

세 개의 분기선로를 갖는 WLAN에 적용가능한 삼중대역 안테나 설계 및 제작

하성재* · 윤중한**

Design and Fabrication of Triple-Band Antenna with Three Branch Lines for WLAN Applications

Sung-Jea Ha* · Joong-Han Yoon**

요약

본 논문에서는 WLAN 표준화에 적합하도록 삼중대역 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 마이크로스트립 급전방법을 적용하여 세 개의 마이크로스트립 선로를 갖도록 설계하였으며 임피던스 특성을 향상시키기 위해 하나의 스텐브 추가하여 삼중대역 특성을 얻었다. 요구되는 주파수 대역과 임피던스 대역폭을 얻기 위해 세 개 분기 선로의 길이와 폭을 설정하고 스텐브 길이를 조정하고 최적화하였다. 제안된 안테나는 24.0 mm(W) × 60.0 mm(L) × 1.0 mm(t)의 유전체 기판 위에 23.0 mm(W₂+W₄) × 53.1 mm (L₁) 의 크기로 제작되었다. 제작 및 측정 결과로부터 900 MHz에서는 159 MHz (841~1000 MHz), 2400 MHz 대역에서는 630 MHz (2.32 ~ 2.95 GHz) 그리고 5000 MHz 대역에서는 1,040 MHz (4.95~5.99 GHz)의 대역폭을 얻었다. 또한 무반사 실의 측정결과로부터 제작된 안테나의 이득과 방사패턴 특성을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a monopole antenna applicable to WLAN standardization is designed, fabricated, and tested. The proposed antenna is designed to have three microstrip lines based on microstrip feeding method and inserted one stub to enhance impedance characteristics. Then, it obtained triple band characteristics of the proposed antenna. We adjusted and optimized the lengths and width of the three microstrip lines and one inserted stub to obtain the required impedance bandwidth for this paper. The proposed antenna has 23.0 mm (W) × 53.1 mm (L₁) on a dielectric substrate of 24.0 mm (W₁) × 60 mm (L) × 1.0 mm size. From the fabrication and measurement results, bandwidths of 158 MHz (841 to 1000 MHz) for 900 MHz band, 630 MHz (2.32 to 2.95 GHz) for 2400 MHz band, and 1,040 MHz (4.95 to 5.99 GHz) for 5000 MHz band were obtained based on the impedance bandwidth. The fabricated antenna also obtained the measured gain and radiation pattern characteristics in the required triple band of the proposed antenna.

키워드

Three microstrip lines, One stub, Triple band, WLAN application
3개 마이크로스트립 선로, 1개 스텐브, 삼중 대역, WLAN 응용

* 한국폴리텍대학 신기술연수센터 정보통신과 조교수(sungjae@kopo.ac.kr)
** 교신저자 : 신라대학교 스마트전기전자공학부
• 접수일 : 2018. 11. 07
• 수정완료일 : 2018. 12. 27
• 게재확정일 : 2019. 02. 15

• Received : Nov. 07, 2018, Revised : Dec. 27, 2018, Accepted : Feb. 15, 2019
• Corresponding Author : Joong-Han Yoon
Division of Smart Electrical and Electronic Engineering, Silla University,
Email : jhyoon@silla.ac.kr

1. 서 론

무선 랜(Wireless LAN)으로도 불리는 WiFi 기술은 1997년 IEEE 802.11 전송규격이 출간된 이후 지속적인 보완과 개정 작업을 통해 그 규격이 지속적으로 발전해 가고 있으며 데이터 네트워크의 필수적인 장치로서 현재 스마트폰, 테블릿, 노트북 등 개인 휴대단말기에 내장되어 되어 다양한 응용에 사용되고 있다.

WiFi 기술은 초기 802.11의 2 Mbps 전송율로부터 진화를 거듭하여 현재는 최대 7 Mbps에 이르는 데이터 전송율을 지원하고 있다. 또한 IoT 및 다양한 데이터 서비스지원을 위해 기존 2.4 GHz와 5 GHz 대역을 지원하는 규격(802.11a, 802.11b/g)뿐만 아니라 900MHz (802.11ah), TV 화이트 스페이스 (802.11af)와 같은 추가적인 대역을 지원하는 규격도 제정되었다[1].

현재는 IEEE 802.11ax 표준화 그룹이 활동하고 있으며 고밀도로 AP/단말이 혼재된 밀집환경에서 발생할 수 있는 WiFi 성능이 저하되는 등의 있는 문제점들을 해결하기 위해 AP간의 협력, 빔포밍을 통한 간섭회피 및 동적 민감도(Dynamic Sensitivity) 조절 등 과 기술들이 논의 중이다[2].

이러한 표준화 동향에 따라 관련 시스템에 대한 연구 개발이 진행되어 왔으며 더불어 관련 모듈 및 부품들도 개발되고 있다. 단일 대역 무선 랜 안테나 (2.4 GHz 대역 주파수, 2.4~2.484 GHz) 및 이중대역 무선 랜 안테나 (2.4 GHz 대역 주파수, 2.4~2.484 GHz 그리고 5 GHz 대역의 주파수, 5.15~5.875 GHz) 등에 대한 많은 연구 개발이 이루어져 왔다[3-13].

본 논문에서는 802.11ah WLAN 규격을 포함한 WLAN 시스템 삼중대역 안테나를 제안하였다. 그 동안의 연구 개발된 대부분의 WLAN 안테나는 802.11b와 802.11a 표준화를 만족하는 시스템에 적용 가능한 안테나이며 802.11ah WLAN 주파수 규격이 포함되어 연구 개발된 안테나는 아직 발표되지 않았다. 향후 WiFi 표준화는 PAN(Personal Area Network)와 WAN(Wide Area Network)을 아우르는 다변화된 공간영역으로 확장하기 위해서 다양한 서비스 지원이 가능한 주파수 확보하는 방향으로 발전될 것으로 판단되는 바 본 논문에서 제안된 안테나의 개

발이 필요하다고 판단된다.

제안된 안테나는 상용 톨을 사용하여 요구되는 안테나 특성(반사손실, 방사패턴, 이득)을 얻기 위해 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션을 통해 제안된 안테나의 특성에 큰 영향을 미치는 파라미터를 확인하고 모의실험을 통해 원하는 주파수 대역과 임피던스 특성을 얻었다. 이러한 결과를 바탕으로 비유전율 4.4의 FR-4 유전체 기판위에 제안된 안테나를 제작하였다. 제작 후 제안된 안테나의 반사손실, 방사패턴, 이득에 대한 측정 결과를 얻었다.

II. 제안된 안테나 구조

2.1 제안된 안테나의 구조

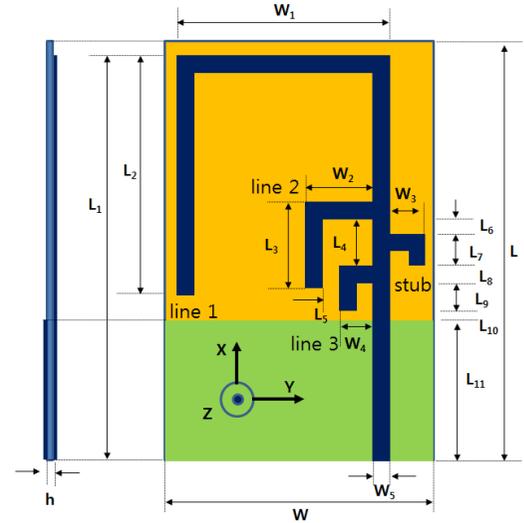


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1 Configuration of the proposed WLAN antenna

제안된 안테나는 그림 1과 같은 구조로 설계하였다. 제안된 안테나는 마이크로스트립 급진 구조를 갖고 세 개의 스트립 라인을 갖도록 설계하였으며 선로 1은 900 MHz 대역, 선로 2는 2.4 GHz 대역, 그리고 선로 3은 5 GHz 대역에서 공진하도록 설정하였다. 임피던스 매칭을 통해 스텐트를 삽입하여 제안된 안테나의 반사손실 특성을 개선하였다. 설계사양은 요구되는 삼중 대역 안테나로 동작하기 위해 WLAN 대역 (902~928 MHz , 2.4~2.484, 5.15~5.35 그리고 5.75

~5.85 GHz)에서 반사손실이 -10 dB 이하의 특성을 얻어야 하며 이득은 0 dBi 이상, 방사패턴은 전방향성을 얻도록 설계하고자 한다.

설계된 안테나 기관의 크기는 24.0 mm(W) × 60.0 mm(L)이고 유전율(ϵ_r) = 4.4, 두께 1.0 mm인 FR-4 기관 위에 설계되었으며, 안테나의 크기는 23.0 mm(W_2+W_4)×53.1 mm (L_1)을 갖도록 설계하였다. 전체 스트립라인의 두께는 동일하게 2 mm로 설정하였다. Ansoft 사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 제안된 안테나의 임피던스와 방사 패턴 특성 변화를 확인하였으며 최적화 설계를 진행하였다.

2.2 제안된 안테나의 설계 과정

그림 2는 L_2 길이 변화에 따른 제안된 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. L_2 는 제안된 안테나의 선로 1의 길이를 나타내는 파라미터로서 가장 긴 길이의 선로이며 900 MHz 대역의 반사손실 특성에 영향을 줄 것으로 예상된다. 그림에서 보는 바와 같이 L_2 의 길이를 30.0 mm부터 32.0 mm까지 1.0 mm 씩 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션 결과로부터 L_2 의 길이 변화는 제안된 안테나의 900 MHz 대역의 반사손실 특성에 영향을 끼쳤으며 다른 대역의 반사손실 특성에는 거의 영향이 없었다. L_2 의 길이는 900 MHz 대역의 충분한 대역폭을 확보하기 위해 31.0 mm로 설정하였다.

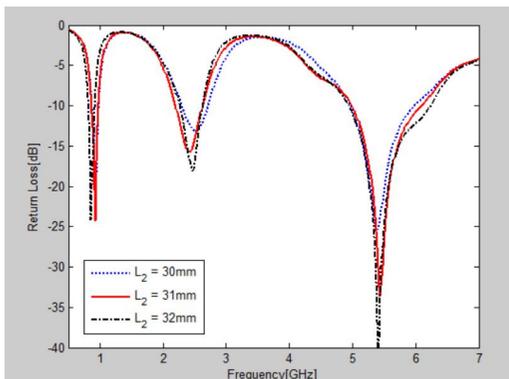


그림 2. L_2 길이 변화에 따른 반사손실 특성
Fig. 2 Return loss characteristic of the effect of the L_2 .

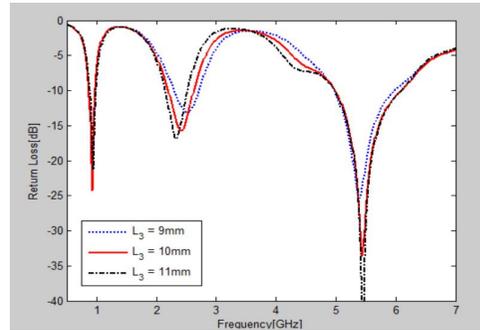


그림 3. L_3 길이 변화에 따른 반사손실 특성
Fig. 3 Return loss characteristic of the effect of the L_3 .

그림 3은 L_3 길이 변화에 따른 제안된 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. L_3 는 제안된 안테나의 선로 2의 길이를 나타내는 파라미터로서 중간 길이의 선로이며 2.4 GHz 대역의 반사손실 특성에 영향을 줄 것으로 예상되었다. 그림에서 보는 바와 같이 L_3 의 길이를 9.0 mm부터 11.0 mm까지 1.0 mm 씩 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션 결과로부터 L_3 의 길이 변화는 제안된 안테나의 2.4 GHz 대역의 반사손실 특성에 영향을 끼쳤으며 다른 900 MHz 그리고 5 GHz 대역의 반사손실 특성에는 거의 영향이 없었다. L_3 의 길이는 2.4 GHz 대역의 충분한 대역폭을 확보하기 위해 10.0 mm로 설정하였다.

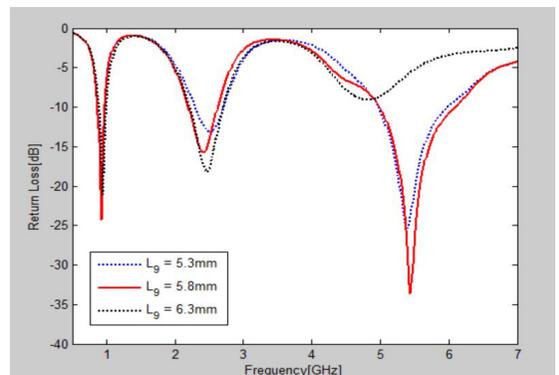


그림 4. L_9 길이 변화에 따른 반사손실 특성
Fig. 4 Return loss characteristic according to the length of L_9 .

그림 4은 L_9 길이 변화에 따른 제안된 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. L_9 는 제안된 안테나의 선로 3의 길이를 나타내는 파라미터로서 제일 작은 길

이의 선로이며 5.0 GHz 대역의 반사손실 특성에 영향을 줄 것으로 예상되었다. 그림에서 보는 바와 같이 L_9 의 길이를 5.3 mm부터 6.3 mm까지 0.5 mm 씩 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션 결과로부터 L_9 의 길이 변화는 제안된 안테나의 5.0 GHz 대역의 반사손실 특성에 영향을 끼쳤으며 900 MHz 대역의 반사손실 특성에는 거의 영향이 없었다. 다만 L_9 의 길이변화가 2.4 GHz 대역의 반사손실 특성에는 영향을 끼치는 것으로 판단되며 이러한 결과는 매우 근접해 있는 선로 2와 선로 3사이의 상호 영향 때문인 것으로 생각된다. 따라서 L_9 의 길이는 충분한 대역폭을 확보하기 위해서 5.8 mm로 설정하는 것이 타당하다고 판단하였다.

그림 5은 제안된 안테나의 스텐브 유무에 따른 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 스텐브가 존재하지 않을 경우보다 스텐브가 존재할 경우의 제안된 안테나의 반사손실 특성이 개선되고 있음을 보여주고 있다. 또한 스텐브가 존재하지 않을 경우의 반사손실 특성은 -10 dB를 기준으로 930 MHz (5.29~6.22 GHz)대역폭을 얻었으나 요구되는 5.0 GHz 대역의 주파수 대역(5.15~5.35 그리고 5.75~5.85 GHz)을 만족시키지 못하고 있는 것을 확인하였다. 그러나 스텐브가 존재할 경우의 반사손실 특성은 1,125 MHz (4.985~6.11 GHz)로 요구되는 5.0 GHz 대역의 주파수 대역을 만족하고 있음을 확인하였다.

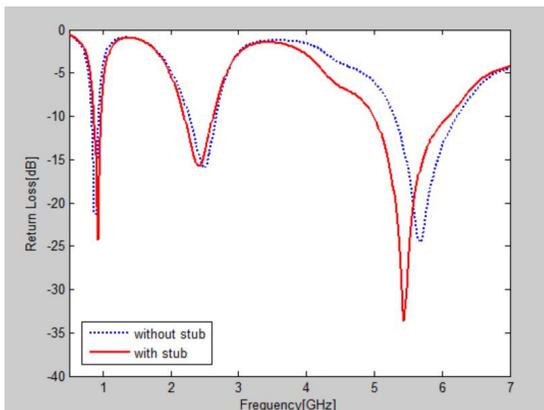


그림 5. 스텐브 유무에 따른 반사손실 특성
 Fig. 5 Return loss characteristic according to the with and without stub

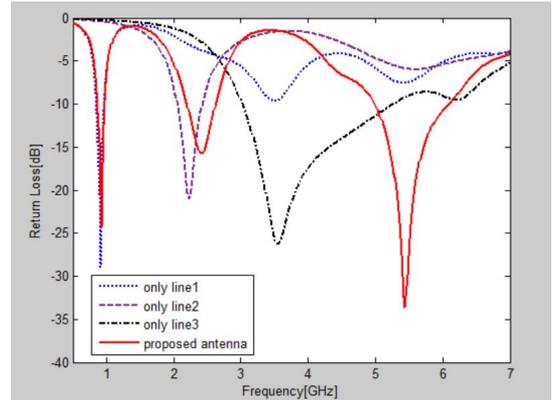


그림 6. 제안된 안테나의 설계 과정에 따른 반사손실 특성
 Fig. 6 Return loss characteristics of the proposed antenna design process

그림 6은 각각의 선로가 독립적으로 존재할 경우와 제안된 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 제안된 안테나의 900 MHz 반사손실 특성은 선로 1만 존재할 경우의 반사손실 특성과 일치하는 결과를 얻었다. 이러한 결과는 선로 1과 다른 선로사이의 거리가 어느 정도 차이가 있어 선로 1의 공진이 다른 주파수 대역에 영향을 주지 않고 있는 것으로 판단된다. 하지만 선로 2와 선로 3이 독립적으로 존재할 경우의 반사손실과 제안된 안테나와의 반사손실에는 차이가 발생하는데 이러한 결과는 선로 2와 선로 3 사이에 거리차가 좁혀져 두 선로사이의 커플링에 의한 영향에 의한 결과를 보이며 더불어 스텐브의 영향도 포함되어 있는 것으로 판단된다.

이러한 결과로부터 제안된 안테나의 최적화된 시뮬레이션 반사손실 특성을 얻었으며 97 MHz (874~971 MHz), 2400 MHz 대역에서는 440 MHz (2.19~2.63 GHz) 그리고 5000 MHz 대역에서는 1,125 MHz (4.985~6.11 GHz)의 대역폭을 얻었으며 요구되는 삼중대역 WLAN 대역을 만족하는 것을 확인하였다. 제안된 안테나의 최적화된 수치는 표 1에 나타내었다.

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

Parameters	Value [mm]	Parameters	Value [m]
L	60.0	W	24.0
L ₁	53.0	W ₁	19.0
L ₂	31.0	W ₂	7.0
L ₃	10.0	W ₃	4.0
L ₄	5.5	W ₄	2.0
L ₅	2.0	h	1.0
L ₆	1.5		
L ₇	4.0		
L ₈	2.0		
L ₉	5.8		
L ₁₀	1.5		
L ₁₁	19.2		

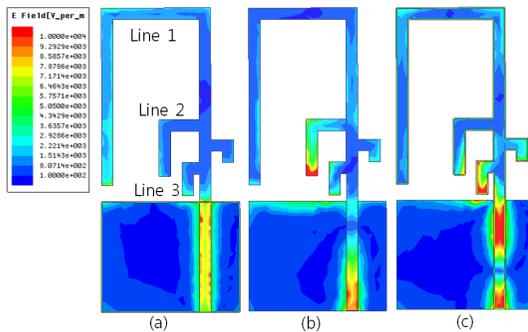


그림 7. 제안된 안테나의 전류 분포(a) 922.5 MHz, (b) 2.42 GHz, and (c) 5.44 GHz.

Fig. 7 The current density of proposed antenna (a) 922.5 MHz, (b) 2.42 GHz, and (c) 5.44 GHz.

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 HFSS 상용 툴을 사용하여 스트립 라인과 스테르브에 대한 전류밀도 분포를 그림 7에서 나타내었다. 그림 7(a)는 922.5 MHz 주파수에서, 그림 7(b)는 2.42 GHz 주파수에서, 그리고 그림 7(c)는 5.44 GHz 주파수에서 각각 제안된 안테나의 표면 전류분포를 나타내었다. 이들 주파수는 각 대역에서 시뮬레이션 반사손실 특성이 가장 우수한 주파수를 선정하였다. 그림에서도 알 수 있듯이 900 MHz 주파수에서는 가장 긴 선로 1 과급전선로에 강한 전류밀도가 분포하고 있음을 확인하였다. 이 결과로부터 선로 1의 길이가 900MHz 대역의 반사손실 특성에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 또한 2.42 GHz 주파수에서는 선로 2에 강한 전류밀도 분포가 존재하고 있으며 선로 2가 2.4 GHz 대역의 반사손실 특성에 큰 영향을 끼치고 있는 것으로 알 수 있었다. 또한 5.44 GHz에서는 선로 3에서

강한 전류밀도가 분포하고 있는 것으로 확인하였으며 더불어 스테르브, 그리고 선로 3과 인접한 선로 2의 일부에서도 일정 정도의 전류밀도가 분포하고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 5 GHz 대역의 공진은 선로 3 뿐만 아니라 인접된 여러 요소들에 의해 공진되고 있음을 확인하였다.

III. 제작 및 측정

제안된 최적화 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하고 측정하였다. 그림 8은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다. 제작된 안테나는 회로망 분석기를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 방사패턴은 에이스테크놀러지 모바일 무반사실에서 측정하였다. 그림 9은 제안된 안테나의 반사손실 특성에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 제작 후 측정한 결과를 비교하여 나타내었다. 반사손실 측정 결과, -10dB를 기준으로 900 MHz에서는 159 MHz (841~1000 MHz), 2400 MHz 대역에서는 630 MHz (2.32~2.95 GHz) 그리고 5000 MHz 대역에서는 1,040 MHz (4.95~5.99 GHz) 대역폭을 얻었다.

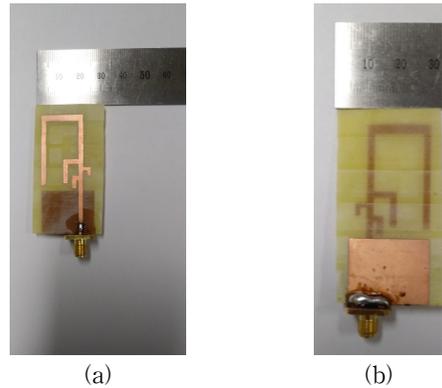


그림 8. 제안된 안테나의 시제품 (a) 앞면 그리고 (b) 뒷면

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

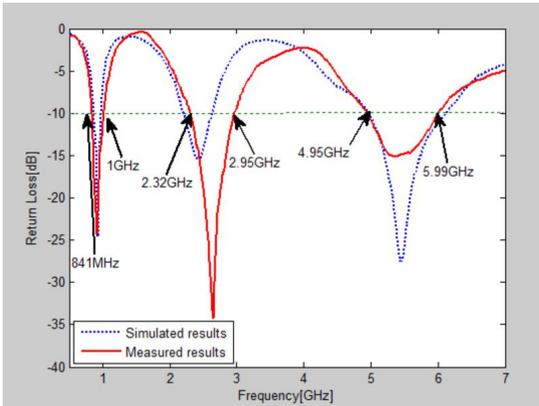


그림 9. 제안된 안테나의 측정된 반사손실 결과
 Fig. 9 The measured return loss results of the proposed antenna

그림 10, 11, 12, 그리고 13는 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 10는 910 MHz 주파수에서, 그림 11는 2.44 GHz 주파수에서, 그림 12는 5.35 GHz 주파수에서, 그림 13는 5.75 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나의 방사패턴은 3D 패턴을 제시하였으며 동작대역에서 전체적으로 전방향성 특성을 나타내고 있다. 그림 14는 측정된 안테나의 이득을 나타내었다. 900 MHz 대역에서 평균이득은 $-3.78 \sim -3.02$ dBi, 최대이득은 $2.43 \sim 2.82$ dBi, 2.4 GHz 대역에서 평균이득은 $-3.36 \sim -2.18$ dBi, 최대이득은 $2.92 \sim 4.63$ dBi, 그리고 5.0 GHz 대역에서 평균이득은 $-4.44 \sim -1.9$ dBi, 최대이득은 $1.18 \sim 3.37$ dBi를 얻었다.

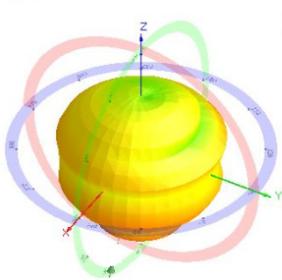


그림 10. 910 MHz에서 측정된 3-D 방사패턴
 Fig. 10 Measured 3-D radiation pattern in 910 MHz

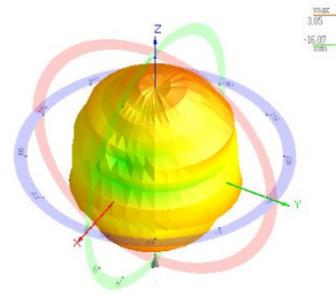


그림 11. 2.44 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
 Fig. 11 Measured 3-D radiation pattern in 2.44 GHz

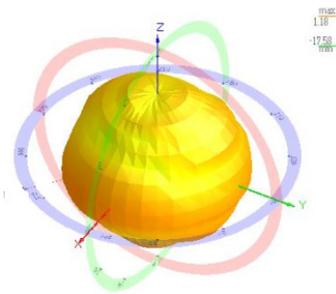


그림 12. 5.35 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
 Fig. 12 Measured 3-D radiation pattern in 5.35 GHz

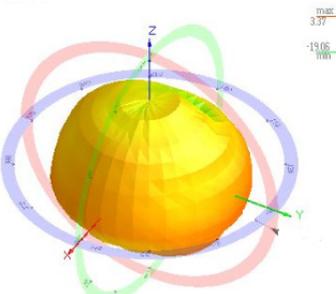


그림 13. 5.75 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
 Fig. 13 Measured 3-D radiation pattern in 5.75 GHz

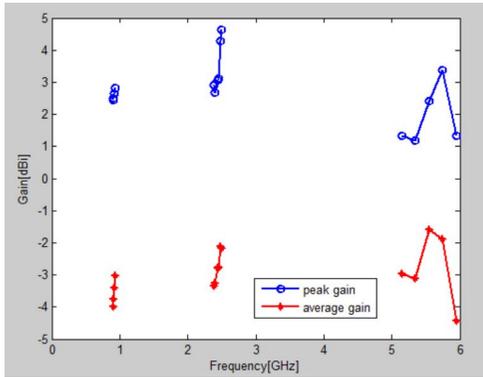


그림 14. 제안된 안테나의 측정된 최대 그리고 평균 이득

Fig. 14 Measured peak and average gains of the proposed antenna

IV. 결론

본 논문에서는 세 개의 마이크로스트립 선로들을 설계하여 WLAN 세 개의 주파수 대역을 대응되는 안테나를 제안하였다. 요구되는 세 개의 주파수 대역에 대응하여 세 개의 선로를 설계 하였으며 임피던스 매칭을 위해서 선로에 스텐드를 삽입하여 반사손실 특성을 향상시켰다. 제안된 안테나의 특성에 중요한 영향을 미치는 파라미터를 확인하고 시뮬레이션을 활용하여 제안된 안테나의 반사손실 특성이 제일 우수한 수치를 얻었다. 또한 제안된 안테나의 표면 전류 밀도를 분석하여 동작원리를 확인하였다. 최적화된 수치로 제안된 안테나를 제작하고 네트워크분석기를 이용하여 반사손실 특성을 측정하였다. 반사손실측정 결과, -10dB를 기준으로 900 MHz에서는 159 MHz (841~1000 MHz), 2400 MHz 대역에서는 630 MHz (2.32~2.95 GHz) 그리고 5000 MHz 대역에서는 1,040 MHz (4.95~5.99 GHz)대역폭을 얻어 요구되는 900 MHz, 2.4 GHz, 그리고 5 GHz WLAN 대역을 만족하고 있음을 확인하였다. 측정된 방사패턴은 3D 방사패턴으로 제시하였으며 전체적으로 전방향성 특성을 나타내고 있고 900 MHz 대역에서 최대 2.65 dBi, 2.4 GHz 대역에서 최대 4.27 dBi, 5.0 GHz 대역에서 최대 3.37 dBi를 얻었다.

References

- [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] Y. Seo, J. Jung, H. Lee, and Y. Lim, "Design of circular monopole antenna with symmetrically folded stub for WLAN operation," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 7, 2012, pp. 1549-1552.
- [6] J. Hoon, 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.

- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] B. Kang, S. Rhee, M. Jeong, D. M. Choi, and N. Kim, "Design and fabrication of dual band planar monopole antenna with defected ground structure for WLAN application," *J. of the Korea Institute of Electromagnetic and Sciences*, vol. 29, no. 1, 2018, pp. 42-49.
- [13] S. Park and J. Jung, "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.



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 2월 인하대학교 Post-Doc.

2004년 10월 요코하마 국립대학 Post-Doc.

2005년 11월 삼성전기 책임연구원

2008년 9월~현재 신라대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : RF & Antenna, RFID, Radar

저자 소개



하성재(Sung-Jea Ha)

2001년 광운대학교 대학원 전파공학과 졸업(공학석사)

2006년 광운대학교 대학원 전파공학과 졸업(공학박사)

2006년~2009년 삼성탈레스(주) 전문연구원

2011년~2014년 (주)엘아이씨티 기술이사

2014년~현재 한국폴리텍대학 신기술연수센터 정보통신과 조교수

※ 관심분야 : RF/MW 시스템, 레이더 시스템