

WLAN 적용을 위한 두 개의 분기 선로를 갖는 CPW 급전 모노폴 안테나의 설계와 제작

윤중한** · 최영규*

A Design and Implementation of CPW-fed Antenna with Two Branch Strip for WLAN Applications

Joong-Han Yoon** · Young-Kyu Choi*

요약

본 논문에서는 WLAN 시스템에 적용 가능한 이중 대역을 갖는 안테나를 설계, 제작 및 측정 하였다. 제안된 안테나는 CPW 급전 구조를 바탕으로 두 개의 선로로 구성되어 있으며 두 개 분기 선로의 길이 조절을 통해 이중 대역 특성을 갖도록 설계하였다. 최적화된 수치를 얻기 위해 상용 툴인 HFSS를 사용하여 L_5 , L_8 , W_3 , W_5 , W_9 파라미터에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 안테나를 얻어진 최적화된 수치를 사용하여 FR-4 기판위에 제작하였다. -10dB 임피던스 대역폭을 기준으로 반사손실에 대한 측정결과, 2.4 GHz 대역에서 1,095 MHz (1.57~2.665 GHz) 그리고 5 GHz 대역에서 1,680 MHz (4.99~6.67 GHz)의 대역을 얻었으며 WLAN에서 요구하는 대역폭을 만족시켰다. 또한 WLAN 대역에서 이득과 방사패턴의 특성을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, a CPW-fed dual-band monopole antenna with two branch strips for WLAN(Wireless Local Area Networks) applications was designed, fabricated and measured. The proposed antenna is based on a CPW-feeding structure, and composed of two branch strips and then designed and tuned the length of two branch lines to obtained required frequencies bands. To obtain the optimized parameters, we used the simulator, Ansoft's High Frequency Structure Simulator(HFSS) and carried out simulation about parameters L_5 , L_8 , W_3 , W_5 , W_9 . The proposed antenna is fabricated on the FR-4 substrate using the obtained parameters. The numerical and experiment results demonstrated that the proposed antenna obtained the -10 dB impedance bandwidth 1,095 MHz (1.57~2.665 GHz) for 2.4 GHz band and 1,680 MHz (4.99~6.67 GHz) for 5 GHz band satisfied requirement while simultaneously covering the WLAN bands. And characteristics of gain and radiation patterns are determined for WLAN operating bands.

키워드

Dual-Band Antenna, WLAN, CPW-Fed, Two Branch Strip
이중 대역 안테나, WLAN, CPW 급전, 두개 분기 선로

1. 서론

정보통신 기술의 발달에 따라 개인 휴대 이동통신

기기에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있으며 따라서 개인 휴대기기를 이용한 근거리 통신에 대한 고 품질의 통신을 요구받고 있는 실정이다. 통화품질

* 신라대학교 전자공학과(jhyoon@silla.ac.kr)

** 교신저자(corresponding author) : 신라대학교 전자공학과(jhyoon@silla.ac.kr)

접수일자 : 2015. 02. 11

심사(수정)일자 : 2015. 04. 13

게재확정일자 : 2015. 04. 23

결정하는 많은 요소 중 모든 통신기기의 끝단에 위치해 있는 안테나는 RF 성능을 결정짓는 매우 중요한 부품으로 평가되고 있다. 따라서 다양한 형태의 WLAN 환경에서도 일정한 통화품질을 유지하기 위해 성능이 우수한 안테나의 개발이 필요하다.

한편 세계 이동 통신 시장이 음성 위주에서 인터넷(데이터 통신) 및 이동 방송 위주로 전환되는 가운데 세계 각국은 신기술과 시장 선점을 위하여 치열한 경쟁을 하고 있다. 따라서 현재 2.4 GHz 대역에서 주로 운용되고 있는 WLAN 시스템은 전송속도를 높이고 대용량 통신을 위해서 5 GHz 대역의 WLAN과 혼용하여 운용되어야 한다. 즉 각각의 시스템을 직접화하여 두 주파수 대역에서 모두 적용될 수 있는 시스템의 개발이 진행되어야 한다. 따라서 이러한 시스템이 동작되기 위해서는 성능이 우수한 이중대역 안테나의 설계가 필수적이라고 할 수 있다. 현재 2.4 GHz 대역을 사용하는 802.11b/g 와 더불어 5 GHz 대역을 사용하는 802.11a에 대한 표준화가 이미 규격화되었다. 이에 따라 802.11b/g에서 정의되는 2.4 GHz 대역 주파수는 2.4~2.484 GHz 이며 802.11a에서 정의되는 5 GHz 대역 주파수는 5.15~5.825 GHz, 5.25~5.35 GHz 그리고 5.725~5.825 GHz 이다.

II. 관련 연구

현재 모바일기기에서 사용되는 많은 안테나는 마이크로스트립 패치 형태로 구성되어 있다. 마이크로스트립 안테나는 저렴하고 견고하며 대량생산이 가능한 장점을 갖고 있지만 또한 좁은 대역과 낮은 효율을 갖는 것이 단점을 갖고 있다[1]. 이러한 단점들을 극복하기 위해 다양한 방사체와 급전 구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나가 연구되었다[2-4].

CPW 급전 구조 방식은 마이크로스트립 선로에 비해 분산 특성이 작고, 광대역 특성을 얻을 수 있으며 접지면과 동일한 면에 급전구조를 구현함으로써 급전 손실을 줄일 수 있다. 이러한 장점으로 인해 CPW 급전을 이용한 마이크로스트립 안테나에 대한 많은 연구가 지속적으로 이루어져 왔다[5-19]. CPW 급전구조를 이용한 광대역 특성과 더불어 다중공진 특성에 대한 연구가 각각 진행되어 왔다[5-9], [10-12]. 특히

CPW 급전이 적용된 WLAN 시스템용 안테나에 대한 연구도 많이 이루어졌다[13-19]. 수직 선로를 갖는 사각 링 안테나 그리고 미앤더 라인과 L 모양의 선로를 가진 안테나가 연구되었으며 ‘e’ 모양의 안테나 그리고 접혀진 스테르브를 갖는 원형 모노폴 안테나에 대한 연구가 진행되어 왔다[13-16]. 또한 스테르브와 접지면 슬롯을 갖는 수정된 링 안테나, 수직 선로를 갖는 끝단에 개방된 사각 링 안테나, 5 GHz 대역에서 동작하는 안테나가 제시되었다[17-19].

본 논문에서는 CPW 급전구조에서 이중 대역을 갖는 WLAN 안테나를 설계하고자 한다. 두 개의 스트립 선로를 분기하여 2.4 GHz 대역(2.4~2.484 GHz)과 5 GHz 대역(5.15~5.35 GHz, 5.72~5.825 GHz)에서 공진하도록 설계하였다. 다음 장에서 구체적인 설계구조 그리고 제작 및 측정결과에 대해서 설명하겠다.

III. 설계 및 구현

제안된 안테나는 그림 1과 같은 구조로 설계하였다. CPW 급전 구조를 기반으로 WLAN 이중대역에서 동작가능 하도록 두 개의 스트립 구조를 제안하였다. 안테나의 전체 크기($W_1 \times L_1$)는 25.0 mm × 44.0 mm의 크기를 갖으며 접지면의 크기($W_1 \times L_7$)는 25.0 mm × 18.2 mm이다. 두 개의 분기선로 스트립 1, 스트립 2로 각각 구성하였다.

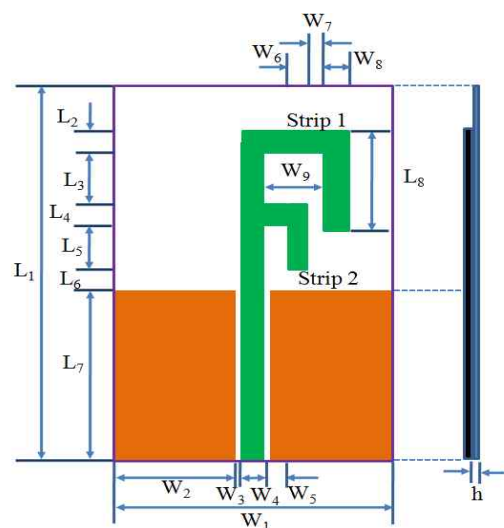


그림 1. 제안된 이중대역 WLAN 안테나
Fig. 1 Proposed dual band WLAN antenna

이중 대역 특성을 갖는 안테나를 구현하기 위해 3D 설계가 가능한 Ansoft사의 HFSS(: High Frequency Structure Simulator)[20]를 이용하여 최적의 임피던스 특성 변화 및 최적의 방사특성을 설계하였다.

그림 2는 스트립 2의 길이(L_5) 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 다른 파라미터들의 값은 다음과 같다. : $L_1 = 30.0$ mm, $L_2 = 2.0$ mm, $L_3 = 4.0$ mm, $L_4 = 2.0$ mm, $L_6 = 1.5$ mm, $L_7 = 11.0$ mm, $L_8 = 10.5$ mm, mm, $W_1 = 18.0$ mm, $W_2 = 7.3$ mm, $W_3 = 0.7$ mm, $W_4 = 2.0$ mm, $W_5 = 1.5$ mm, $W_6 = 1.5$ mm, $W_7 = 0.95$ mm, $W_8 = 2.0$ mm, $W_9 = 4.0$ mm. 그림 2에서 보는 바와 같이 스트립 2의 길이인 L_5 의 길이를 3.9 mm에서 4.9 mm까지 0.5 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성을 비교하였다. L_5 길이 변화에 따른 시뮬레이션 결과, 2.4 GHz 대역에서는 반사손실 특성에 변화가 없었으며 5 GHz 대역에서는 반사손실 특성 및 공진주파수 특성에 큰 변화가 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 스트립 2의 길이 변화가 5 GHz 대역 특성에 강한 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 안테나의 반사손실과 공진특성이 $L_5 = 4.4$ mm 일 때 제일 우수한 결과를 얻었다.

그림 3은 스트립 1의 길이(L_8) 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림 3에서 보는 바와 같이 스트립 1의 길이인 L_8 의 길이를 10.0 mm에서 11.0 mm까지 0.5 mm 간격으로 변화시켰을 때 반사손실 특성을 비교하였다. L_8 길이 변화에 따른 시뮬레이션 결과, 5 GHz 대역에서는 반사손실 특성 및 공진주파수 특성에 변화가 없었으며 2.4 GHz 대역에서는 반사손실 특성 및 공진주파수에 큰 변화가 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 스트립 1의 길이 변화가 2.4 GHz 대역 특성에 강한 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 안테나의 반사손실과 공진특성이 $L_8 = 10.5$ mm 일 때 제일 우수한 결과를 얻었다.

그림 4는 접지면과 급전선로 사이 갭의 길이(W_3) 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 갭의 길이인 W_3 의 길이를 0.5 mm에서 0.9 mm까지 0.2 mm 간격으로 변화시켰을 때 반사손실 특성을 비교하였다. W_3 길이 변화에

따른 시뮬레이션 결과, 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역에서 공진주파수 특성과 반사손실 특성은 어느 정도 변화가 있으며 이러한 결과는 갭의 길이 변화가 제안된 안테나의 동작 주파수 대역에서 어느 정도 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 안테나의 반사손실과 공진특성이 $W_3 = 0.7$ mm 일 때 제일 우수한 결과를 얻었다.

그림 5는 접지면과 스트립 2 사이 길이(W_5) 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 갭의 길이인 W_5 의 길이를 1.0 mm에서 2.0 mm까지 0.5 mm 간격으로 변화시켰을 때 반사손실 특성을 비교하였다. W_5 의 길이 변화에 따른 시뮬레이션 결과, 2.4 GHz 대역에서 공진주파수 특성과 반사손실 특성은 변화가 없었으며 5 GHz 대역에서는 공진주파수 특성과 반사손실 특성이 커다란 변화가 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 W_5 의 길이가 결과적으로 스트립 2의 길이에 영향을 주는 파라미터이므로 W_5 의 길이 변화가 제안된 안테나의 5 GHz 대역에 영향을 미치고 있다고 판단된다.

그림 6은 접지면과 스트립 1 사이 길이(W_9) 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 W_9 의 길이를 3.5 mm에서 4.5 mm까지 0.5 mm 간격으로 변화시켰을 때 반사손실 특성을 비교하였다. 우선 W_9 의 길이를 4.0 mm에서 4.5 mm로 변화시켰을 때 2.4/5 GHz 대역에서 공진주파수 특성과 반사손실 특성은 변화가 없음을 확인하였다. W_9 의 길이가 스트립 1의 길이에 영향을 주는 파라미터이므로 W_9 의 길이 변화가 제안된 안테나의 2.4 GHz 대역에 영향을 미치고 있다고 판단되지만 W_9 의 길이 변화가 크지 않아서 W_9 길이 변화가 2.4 GHz 대역에서 공진주파수 특성과 반사손실 특성에 큰 변화가 없는 것으로 판단된다. 그러나 $W_9 = 3.5$ mm 일 경우 스트립 1과 스트립 2와의 간격이 0.4 mm 되므로 결합현상으로 인해 반사손실 특성에 영향을 주는 것으로 판단된다.

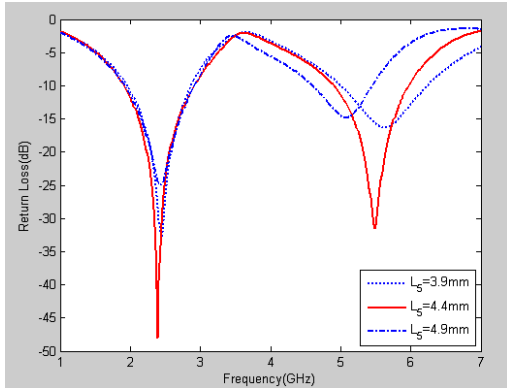


그림 2. 스트립 2의 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성
 Fig. 2 Characteristics of simulation return loss of effect of strip 2

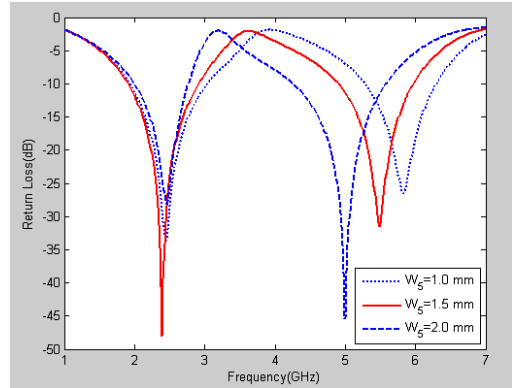


그림 5. 스트립 2와 급전선로사이의 갭 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성
 Fig. 5 Characteristics of simulation return loss of effect between strip 2 and feed line

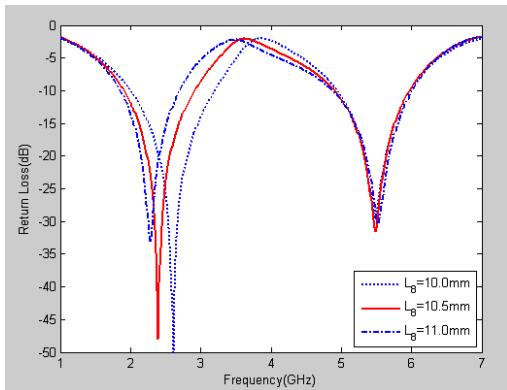


그림 3. 스트립 1의 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성
 Fig. 3 Characteristics of simulation return loss of effect of strip 1

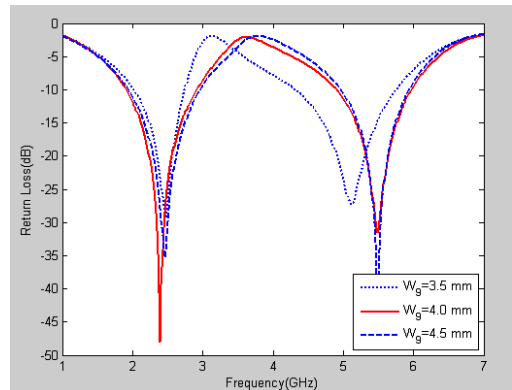


그림 6. 스트립 1과 급전선로사이의 갭 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성
 Fig. 6 Characteristics of simulation return loss of effect between strip 1 and feed line

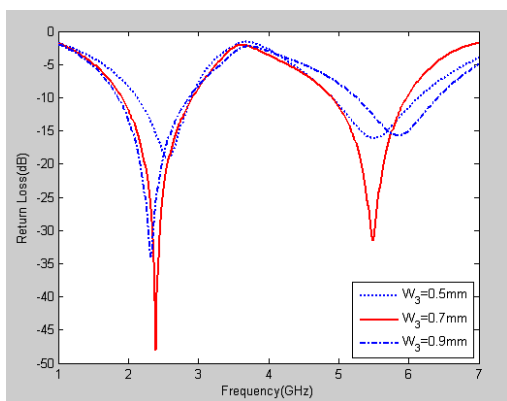


그림 4. 접지면과 급전라인 사이의 갭 영향에 의한 시뮬레이션 반사 손실 특성
 Fig. 4 Characteristics of simulation return loss of effect between ground plane and feed line

위에서 언급한 시뮬레이션 결과로부터 제안된 안테나의 최적화된 수치는 표 1에 나타내었다. 얻어진 최적화된 파라미터를 사용하여 $\epsilon_r=4.4$, $h=1.0\text{mm}$ 인 FR-4기판으로 안테나를 제작하였다.

표 1. 제안된 안테나의 최적화된 파라미터 값들
 Table 1. Optimized parameters of value of proposed antenna

parameter	value [mm]	parameter	value [mm]
L1	30.0	W2	7.3
L2	2.0	W3	0.7
L3	4.0	W4	2.0
L4	2.0	W5	1.5

L5	4.4	W6	1.5
L6	1.5	W7	0.95
L7	11.0	W8	2.0
L8	10.5	W9	4.0
W1	18.0	d	1.0

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 상용 시뮬레이터인 HFSS를 사용하여 전류분포를 그림 7에 나타내었다. 스트립 1 과 스트립 2에 의해서 2개의 공진 주파수 2.395 GHz와 5.485 GHz을 확인하였으며 2.395 GHz와 5.485 GHz에서 각각 다른 표면 전류 분포가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그림 7(a)은 제안된 안테나의 첫 번째 공진주파수인 2.395 GHz 에서 나타내어진 전류분포이며 그림 7(b)는 두 번째 공진주파수인 5.485 GHz 에서의 표면 전류분포이다. 그림 7(a)에서 보는바와 같이 공진 주파수가 2.395 GHz일 경우 상대적으로 긴 선로인 스트립 1에서 강한 전류 밀도가 존재하고 있음을 알 수 있다. 더불어 급전라인을 따라 강한 전류밀도가 분포하고 있는 것을 확인하였다. 따라서 2.395 GHz의 대역의 공진은 주로 스트립 1에 의해 강하게 영향을 받는 것으로 판단된다. 그림 7(b)에서는 공진주파수가 5.485 GHz 일 경우 상대적으로 짧은 선로인 스트립 2에 의해 강한 표면 전류 밀도가 분포하는 것을 확인할 수 있다. 더불어 2.395 GHz의 전류밀도에서처럼 분포형태는 다르지만 급전 라인에서 강한 전류밀도가 분포하고 있는 것을 확인하였다. 따라서 5.485 GHz의 대역에서의 공진은 주로 스트립 2에 의해 강하게 영향을 받는 것으로 판단된다.

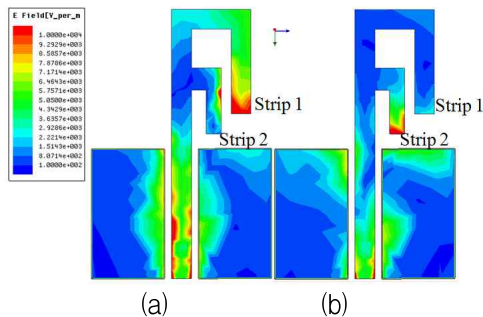


그림 7. 제안된 안테나의 전류밀도
(a) 2.395 GHz ; (b) 5.485 GHz
Fig. 7 The current density of proposed antenna
(a) 2.395 GHz ; (b) 5.485 GHz

제안된 최적화 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하고 측정하였다. 그림 8은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다.

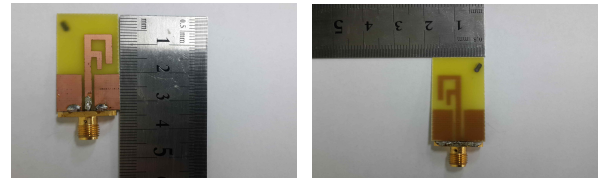


그림 8. 제작된 안테나
Fig. 8 Fabricated of propose antenna

IV. 검증

제작된 안테나는 신라대학교 공과대학 공동기기실 내에 있는 회로망 분석기(Network Analyzer, Anritsu MS4623B)를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 방사패턴은 대전에 위치한 맥스웰의 무반사실에서 측정하였다. 그림 9는 제안된 안테나의 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 제작 후 측정된 결과를 비교하여 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 시뮬레이션 결과와 측정 결과에 어느 정도의 오차가 있으나 측정결과는 시뮬레이션 결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 오차는 제작상의 오류라기보다는 기관의 유전율 오차 및 시뮬레이션 상에 존재하지 않는 SMA 커넥터에 의한 영향 때문인 것으로 판단된다. 측정결과 2.4 GHz 대역에서 -10dB을 기준으로 1,095 MHz (1.57 ~2.665 GHz)의 대역폭을 얻었으며 5 GHz 대역에서는 -10dB을 기준으로 1,680 MHz (4.99~6.67 GHz)의 대역폭을 얻어 WLAN 대역에서 요구하는 대역폭 (2.4~2.48 GHz, 5.15~5.875 GHz)을 만족하고 있음을 확인하였다.

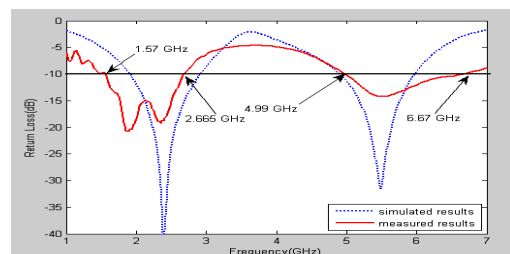


그림 9. 제안된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정된 반사손실
Fig. 9 The simulated and measured return lossresults of the proposed antenna

그림 10, 11, 12은 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 방사패턴이 측정된 주파수는 2.4 GHz 대역 (2.4~2.484 GHz)의 중심인 2.44 GHz, 5.2 GHz 대역 (5.15~5.35 GHz)의 중심인 5.3 GHz, 그리고 5.7 GHz 대역 (5.15~5.825 그리고 5.725~5.825 GHz)의 5.7 GHz로 설정하였다. 그림 10은 2.44 GHz 주파수에서 방사패턴을 나타낸 것이며 그림 11은 5.3 GHz 주파수에서의 방사패턴을 나타낸 것이다. 그리고 그림 12는 5.7 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나의 방사패턴은 전체적으로 H-면에서는 모노폴 안테나의 전방향성 특성을 보여주고 있으나 E-면에서는 다이폴 안테나의 전형적인 패턴인 8자 형태를 얻지 못했다. 이러한 이유는 전류밀도 분포에서도 알 수 있듯이 2.4 GHz 대역 혹은 5 GHz 대역에서는 스트립 1 및 스트립 2에 의해서 방사 방향이 대칭적이지 못하기 때문에 전형적인 E면이 형성되지 않는 것으로 판단된다.

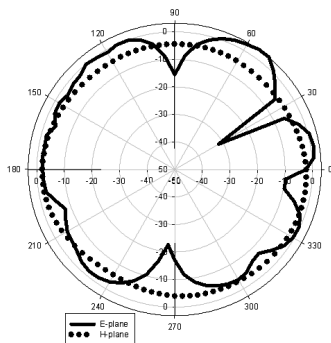


그림 10. 2.44 GHz에서 E면, H-면
Fig. 10 E-plane and H-plane measured radiation pattern of 2.44 GHz

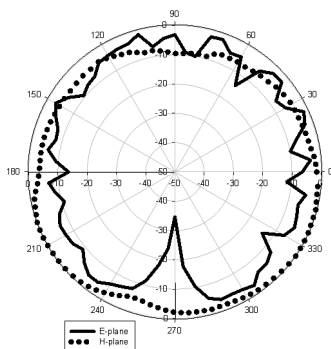


그림 11. 5.3 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 11 E-plane and H-plane measured radiation pattern of 5.3 GHz

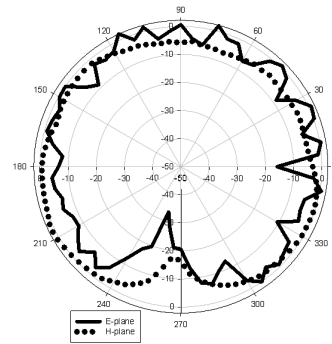


그림 12. 5.7 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 12 E-plane and H-plane measured radiation pattern of 5.7 GHz

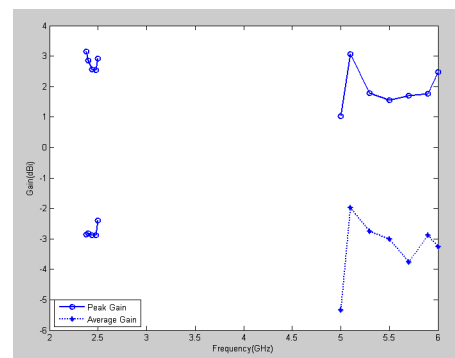


그림 13. 제안된 안테나의 최대이득과 평균이득
Fig. 13 Measured peak and average gain of the proposed antenna

그림 13은 WLAN 각 주파수 대역에서의 최대 이득과 평균 이득을 나타내고 있다. 그림 13에서 볼 수 있듯이 2.4 GHz대역에서 최대이득은 2.54~2.85 dBi 그리고 평균 이득은 -2.88~-2.81 dBi로 값을 얻었다. 특히 최대이득은 2.40 GHz에서 2.85 dBi 값을 얻었다. 또한 5 GHz 대역에서 최대이득은 1.56~3.06 dBi 그리고 평균 이득은 -3.76~-1.97 dBi로 값을 얻었다. 특히 최대이득은 5.10 GHz에서 3.06 dBi 값을 얻었다.

V. 결론

본 논문에서는 WLAN 시스템에 적용 가능한 이중대역 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 CPW 급전 구조를 갖고 있는 두 개의 스트립 구조를 이용하여 이중 공진이 가능하도록 설계하였다. 최적화된 수치를 얻기 위해 두 개의 스트립 선로 길이 및 접지면과 급전선로사이의 갭 길이에 대한 시뮬레이션을 진행하였으

며 제안된 안테나의 동작원리를 확인하기 위해 표면전류 분포를 상용 툴인 HFSS를 사용하여 확인하였다. 최적화된 수치를 얻은 후 제안된 안테나를 상용 기판인 FR-4에 제작하고 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 반사손실 측정결과, 시뮬레이션 결과와 측정결과가 어느 정도 일치하고 있음을 확인하였으며 제안된 안테나는 -10dB을 기준으로 각각 1,095 MHz (1.57~2.665 GHz), 1,680 MHz (4.99~6.67 GHz)의 결과를 얻었다. 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN 시스템에서 요구하는 대역폭을 모두 만족시켰다. 또한 방사패턴 측정결과, 전방향성의 방사패턴 그리고 2.4 GHz대역에서 최대이득 2.54~2.85 dBi, 5 GHz 대역에서 최대이득 1.56~3.06 dBi을 얻었다.

References

- [1] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*. 3rd ed., Wiley, 2012.
- [2] G. Kumar and K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*. Artech House, 2003.
- [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] J. Yoo, J. Jun, C. Ahn, W. Kim, and W. Yang, "Design and Implementation of CPW-Fed UWB Monopole Antenna," *J. of Electromagnetic Engineering And Science*, vol. 21, no. 2, 2010, pp. 218-223.
- [6] H. Lee, "Wide Band Monopole Antenna by Modified Ground of Coplanar Waveguide," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 60, no. 2, 2011, pp. 53-55.
- [7] H. Lee and Y. Lim, "A Broadband Monopole Antenna with Ring Loop By Modified Ground Plane," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 61, no. 3, 2012, pp. 149-152.
- [8] T. Yoo and T. Kim, "A CPW-Fed Ultra -Wideband Planar Monopole Antenna for UHF Band Applications," *J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 7, 2012, pp. 761-767.
- [9] M. K. Yang, G. P. Gao, S. F. Niu, and J. S. Zhang, "Study of a Compact Ring Monopole UWB Antenna with Band-Notched Characteristic," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 10, 2012, pp. 2387-2392.
- [10] 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.
- [11] S. Lee, 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.
- [12] D. Han, G. Jung, C. Lee, H. Lee, and K. Kwak, "Design of an internal Antenna for Hepta-Band Using CPWG-fed," *J. of Korea Information and Communications Society*, vol. 33, no. 9, 2008, pp. 934-940.
- [13] L. Zhang, Y. C. Jiao, G. Zhao, Y. Song, and F. S. Zhang, "Broadband dual band CPW-fed closed rectangular ring monopole antenna with vertical strip for WLAN operations," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 50, no. 7, 2008, pp. 1929-1931.
- [14] C. Ham, J. Baik, and Y. Kim, "CPW-fed compact meander and L-shaped monopole antenna for dual band WLAN applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 50, no. 12, 2008, pp. 3147-3149.
- [15] T. L. Zhang, Z. H. Yan, Y. Song, and L. Chen, "Compact CPW-fed planar monopole antenna for dual band WLAN applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 51, no. 5, 2009, pp. 1377-1379.
- [16] 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.
- [17] 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.

- [18] 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.
- [19] C. Bark, M. Kim, and H. Sung, "Design of Compact Microstrip Patch Antenna for WLAN of IEEE 802.11a," *J. of Korea Information Science*, vol. 19, no. 12, 2013, pp. 611-617.
- [20] Ansoft High Frequency Structure Simulator (HFSS) Version 10.0, Ansoft Corporation, 2005.

저자 소개



윤중한(Joong-Han Yoon)

1992년 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1994년 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2005년 8월 인하대학교 Pso-Doc.

2006년 11월 요코하마 국립대학 Post-Doc.

2008년 8월 삼성전기 책임연구원

2008년~현재 신라대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야 : RF &Antenna, RFID, Radar



최영규(Young-Kyu Choi)

1987년 중앙대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 교토대학교(일본) 전자공학과 졸업(석사)

1992년 교토대학교(일본) 대학원 공학박사

1992년~1995년 국립 후쿠이대학(일본) 전자공학과 전임강사

1998년~현재 신라대학교 공과대학 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 초고주파, MMIC, 광통신, 광센서