

WLAN 시스템에 적용 가능한 결함 접지 구조를 갖는 이중대역 평면형 모노폴 안테나 설계 및 제작

Design and Fabrication of Dual-Band Planar Monopole Antenna with Defected Ground Structure for WLAN Applications

강병남 · 이승엽* · 정민주 · 최도민 · 김남

Byeong-Nam Kang · Seung-Yeop Rhee* · Min-Joo Jeong · Domin Choi · Nam Kim

요 약

본 논문에서는 WLAN(Wireless Local Area Network) 시스템에 적용 가능한 결함 접지 구조(DGS)를 갖는 마이크로스트립 급전 방식의 모노폴 안테나를 제작하였다. 제안된 안테나는 결함 접지 구조를 이용하여 이중 대역이 나타나게 하였으며, 모노폴 안테나는 두께를 단계별로 줄여가며 임피던스 정합을 용이하게 하였다. $44 \times 51 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 의 크기로 모노폴 안테나 및 접지면의 크기를 변화시켜가며 최적화하여 WLAN의 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역을 만족할 수 있도록 하였다. FR-4 기판을 사용하여 제작 및 측정된 결과 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio) 2 이하를 기준으로 210 MHz(2.29~2.50 GHz)와 900 MHz(5.05~5.95 GHz)의 대역폭을 얻었고 전방향성의 방사패턴을 얻었다.

Abstract

In this paper, a dual-band microstrip-fed monopole antenna with a DGS(defected ground structure) for WLAN(wireless local area network) applications is presented. The antenna consists of a monopole and a defected ground, which were etched on both sides of the FR-4 substrate. The defected ground structure was used to obtain the dual band, while the step-by-step reduction in the monopole width was used to improve the impedance matching of the antenna. The antenna has an overall compact size of $44 \times 51 \times 1.6 \text{ mm}^3$, which was optimized by varying the size of the monopole and the ground plane such that it may resonate at the 2.4 GHz and 5 GHz bands of the WLAN. The measurement results showed that the antenna operates in the frequency band of 210 MHz(2.29~2.50 GHz) and 900 MHz(5.05~5.95 GHz) for a VSWR under 2, and showed omnidirectional radiation pattern at all desired frequencies.

Key words: WLAN Application, Dual-Band, Monopole Antenna, DGS(Defected Gound Structure)

I. 서 론

최근 정보통신기술 및 기기의 발전으로 무선 네트워크 분야는 다양한 주파수 대역을 사용하고 있다. 그에 따라

무선 통신 기기들은 여러 개의 안테나 또는 다중 주파수 대역을 커버할 수 있는 안테나의 사용이 요구된다. 기본적으로 평면형 구조의 안테나는 높은 양호도(Q-factor)로 인해 주파수 대역폭이 좁다는 단점이 있지만, 두께가 얇

충북대학교 정보통신공학부(Department of Information & Communication Engineering, Chungbuk National University)

*전남대학교 전자통신공학과(Department of Electronic Communication Engineering, Chunnam University)

· Manuscript received November, 29, 2017 ; Revised December, 21, 2017 ; Accepted December, 28, 2017. (ID No. 20171129-119)

· Corresponding Author: Nam Kim (e-mail: namkim@chungbuk.ac.kr)

고 부피가 작아 제작이 간편하여 많은 관심과 연구가 진행되고 있다^[1].

한편, WLAN(Wireless Local Area Network)는 산업분야는 물론 각 가정에서도 주로 사용되고 있으며, 유선과 비교하여 장소에 구애받지 않고 편리하게 사용할 수 있기 때문에 활용성이 증가하고 응용범위가 확장되고 있다.

주로 Wi-Fi라고 일컬어지는 WLAN은 초기 802.11의 2 Mbps 전송률에 불과했지만, 현재는 최대 7 Gbps에 이르는 전송률을 지원하고 있다. 또한 2.4 GHz와 5 GHz 대역의 지원뿐만 아니라, 추가대역을 지원하는 규격도 제정되었다^[2].

여러 대역폭을 충족시키기 위해 다양한 다중 안테나들이 개발되었다. 이중 사각 링 안테나^[3], 원호형태의 안테나^[4], 화살과 리본 모양의 안테나^[5], 미앤더 라인 안테나^[6], 바람개비 모양 안테나^[7] 등이 개발되었으며, 최근에는 접지면에 슬릿, 슬롯 또는 스텝을 삽입하는 안테나들이 개발되고 있다^{[8]~[10]}.

하지만 이러한 안테나들은 구조가 복잡하거나 이득이 낮거나 대역폭이 협소하다는 단점이 있다. 특히 WiFi 무선통신에 사용되는 선형 형태의 모노폴 안테나인 경우, 수 %의 대역폭을 좁은 대역폭과 작은 이득으로 인하여 실제 응용에 많은 제약이 뒤따르고 있는 실정이다.

본 논문에서는 WLAN의 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역에서 사용 가능한 이중대역 특성과 일반 모노폴 안테나의 이득보다 높은 고이득 특성을 갖는 평면형 모노폴 안테나를 제안하였다.

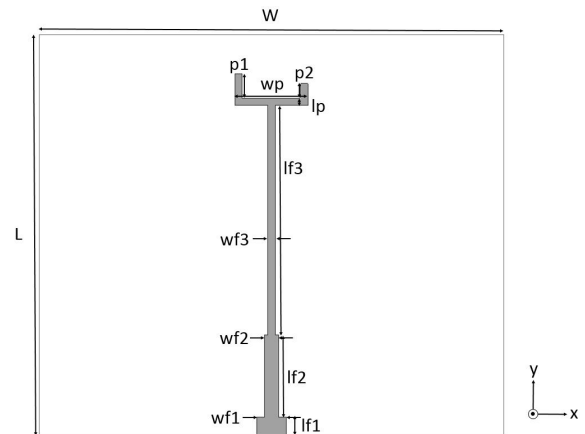
II. 안테나 구조 및 설계

제안된 안테나는 전면부에 평면형 모노폴 안테나를 급전선로와 연결하여 배치하였고, 결합 접지 구조를 사용하여 이중 대역을 구현하였다. 결합 접지 구조란 DGS(Defected Ground Structure)라고 불리며, 접지면에 하나 이상의 슬롯, 슬릿을 두어 접지면의 구조를 변형시키는 구조를 말한다^[11].

그림 1은 제안된 안테나의 모습을 보여주고 있으며 전체적인 안테나의 크기는 $51 \times 44 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 이다. 기판의 재질로는 비유전율이 4.3이고 손실탄젠트가 0.025인 FR-4를 사용하였다. 시뮬레이션 툴은 3D EM 시뮬레이션이

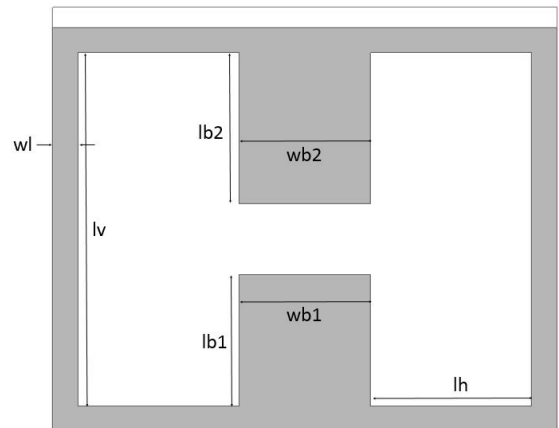
가능한 CST microwave studio를 사용하였다. 평면형 모노폴 안테나 구조는 급전부에서 굽기를 줄여가며 단계별로 배치하여 임피던스 정합을 용이하게 하였으며 공진점 사이의 거리를 벌리고 대역폭을 넓혔다. 또한 접지면에 결합을 두어 원하는 대역에서 공진이 일어나도록 하였다.

결합 접지 구조가 안테나 성능에 미치는 영향을 보기 위해 안테나의 접지면을 최소화한 경우와 접지면을 반사판으로 채운 경우, 사각 슬롯만 있는 경우를 그림 2에 나타냈다.



(a) 앞면

(a) Front view



(b) 뒷면

(b) Back view

그림 1. 제안된 안테나

Fig. 1. Geometry of proposed antenna.

그림 3은 그림 2에서의 안테나와 제안된 안테나의 반사계수를 비교하여 나타낸 것이다. 그림 2(a) 구조의 경우에는 약 1.6 GHz 대역에서 약간 공진하는 것을 볼 수 있다. 모노폴 안테나의 가장 긴 부분은 43.5 mm로 1.72 GHz의 $\lambda/4$ 에 해당하지만, 굽기 변화로 인해 임피던스가 변화하여 원래 대역이 아닌 1.6 GHz에서 $\lambda/4$ 공진하는 것

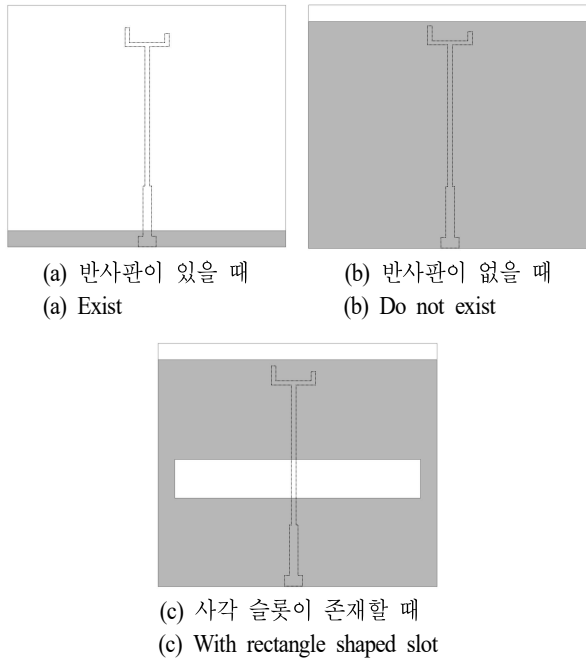


그림 2. 접지면의 반사판
Fig. 2. Reflector of back side.

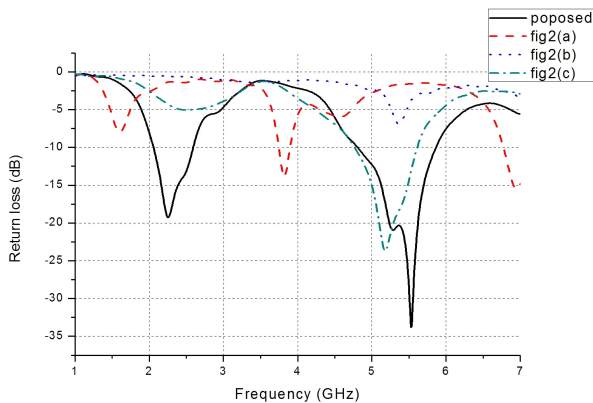


그림 3. 반사면 변화에 따른 반사계수 비교
Fig. 3. Comparison of return loss by changing reflector.

으로 판단된다.

그림 2(b) 구조의 경우에는 공진이 거의 일어나지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 모노폴 안테나가 채워진 접지면으로 인하여, 안테나가 아닌 일반적인 개방 선로(opened line)로 동작하여 방사가 거의 일어나지 않기 때문인 것으로 판단된다. 그림 2(c) 구조의 경우에는 사각 슬롯으로 인해 공진점이 변경되었으나, 낮은 대역에서는 충분한 공진이 일어나지 않고 있고, 높은 대역에서는 원하는 대역을 전부 만족하지는 않고 있음을 볼 수 있다. 그림 3을 보면 결합 접지 구조가 공진 대역에 영향을 줄 수 있다.

그림 4는 접지면의 세로막대부분 lv의 길이 변화에 따른 반사계수를 나타낸 것이다. lv의 길이가 증가할 때, 고주파 대역의 대역폭은 거의 변하지 않으면서 저주파수 대역의 대역폭이 넓어지면서 공진점이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 모노폴이 두 갈래로 분리되는 부분의 가로 길이 wp의 변화에 따른 반사계수를 나타낸 것이다. wp의 길이가 길어질수록 저주파 대역과 고주파 대역 모두의 공진점이 낮아지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 길어진 모노폴 길이로 인하여 공진에 요구되는 파장이 길어졌기 때문에 공진주파수가 낮아지는 것으로 판단된다.

그림 6은 p1의 길이변화에 따른 반사계수를 나타낸 것이다. p1의 길이가 길어지면 p2와의 공진점이 멀어지면서 5 GHz 대역에서 이중 공진이 일어나는 것을 볼 수 있다.

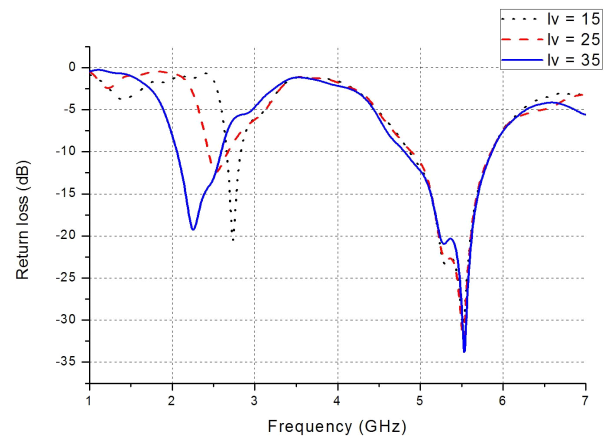


그림 4. lv 변화에 따른 반사계수 변화
Fig. 4. Return loss vs. length of lv.

반면에 낮은 대역은 변화가 거의 없음을 볼 수 있다. 이를 통해 p_1 과 p_2 를 이용해 낮은 대역은 크게 변화시키지 않으면서 높은 대역의 공진점을 조절할 수 있음을 알 수 있다. 파라미터 조정을 통해 결정된 최적 파라미터는 표 1에 나타났다.

그림 7은 표 1의 최적 파라미터로 구성한 안테나의 반사계수를 시뮬레이션을 통해 나타낸 것이다.

낮은 대역에서의 대역폭은 2.05~2.59 GHz(0.54 GHz)로 약 24%이고, 높은 대역에서의 대역폭은 4.81~5.86 GHz (1.05 GHz)로 약 20 % 이다. WLAN에서 요구되는 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역을 모두 만족하는 것을 볼 수 있다.

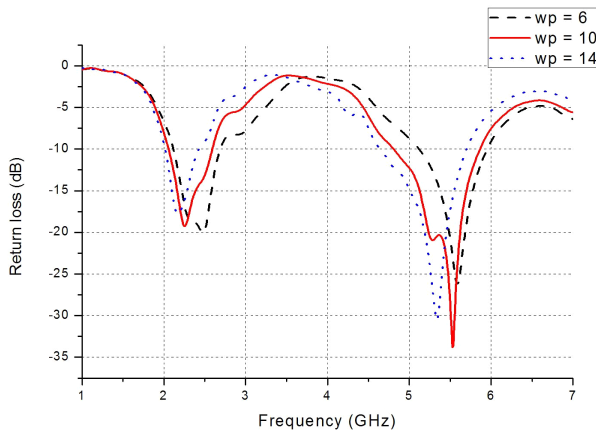


그림 5. w_p 변화에 따른 대역폭 변화
Fig. 5. Return loss vs. length of w_p .

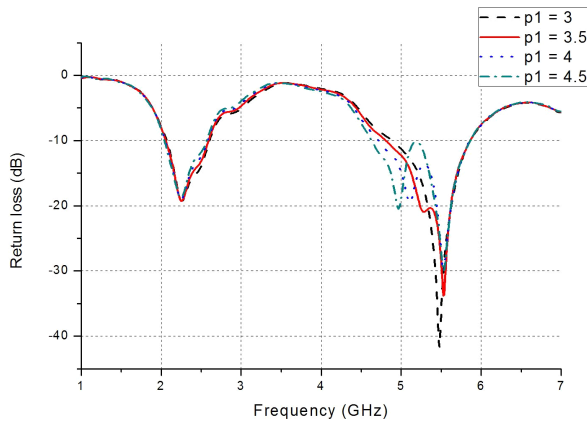


그림 6. p_1 변화에 따른 대역폭 변화
Fig. 6. Return loss vs. length of p_1 .

표 1. 제안한 안테나의 최적 파라미터

Table 1. Design parameters of proposed antenna.

Parameter	Value	Parameter	Value
L	44	W	51
lf1	2	wf1	3
lf2	7	wf2	1.6
lf3	27	wf3	0.8
lp	0.5	wp	10
p1	3.5	p2	2.3
lb1	12	wb1	17
lb2	15	wb2	17
lv	35	lh	14
wl	3		

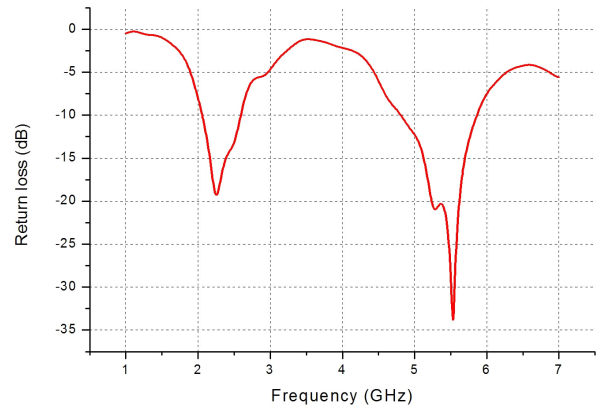
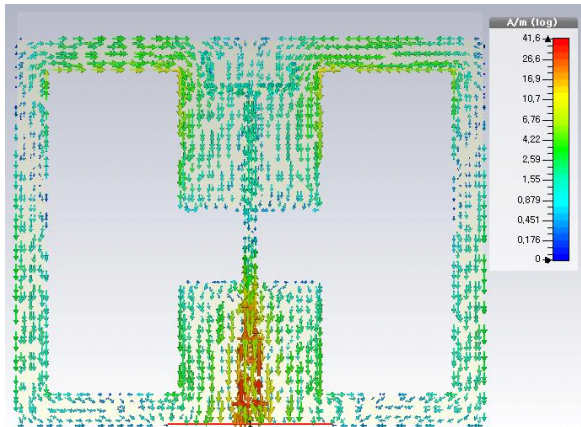
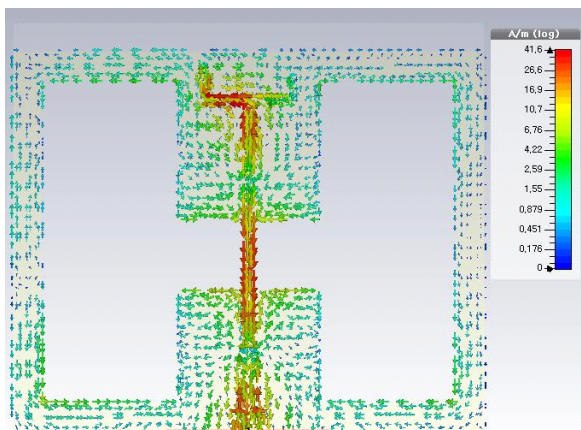


그림 7. 제안된 안테나의 반사계수
Fig. 7. Return loss of proposed antenna.

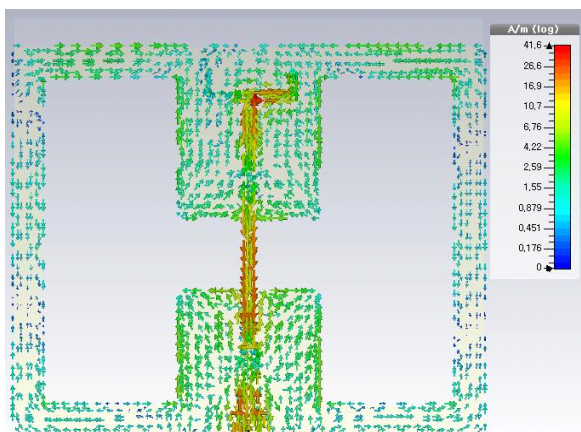
안테나의 표면전류분포를 그림 8에 나타냈다. 그림 8 (a)는 2.45 GHz, (b)는 5.2 GHz, (c)는 5.8 GHz의 전류분포를 각각 나타내고 있다. 전류분포를 보면 2.45 GHz에서는 $1/4\lambda$ 의 모노폴 안테나처럼 동작하고 있고, 5.2 GHz와 5.8 GHz에서는 각각 p_1 , p_2 부분에서 $1/2\lambda$ 의 모노폴 안테나처럼 동작하고 있음을 알 수 있다. 본 논문의 구조와 같이 접지면의 일부를 식각한 구조는 접지면에서 전류가 우회하여 흐르므로 접지면의 길이가 상대적으로 길어지게 되어 안테나의 인덕턴스 성분을 증가시키고, 접지면 중앙부분의 거리에 따라 캐패시턴스가 변한다. 이처럼 임피던스 조절을 함으로써, DGS는 안테나의 길이를 줄일 수 있다.



(a) 2.45 GHz



(b) 5.2 GHz



(c) 5.8 GHz

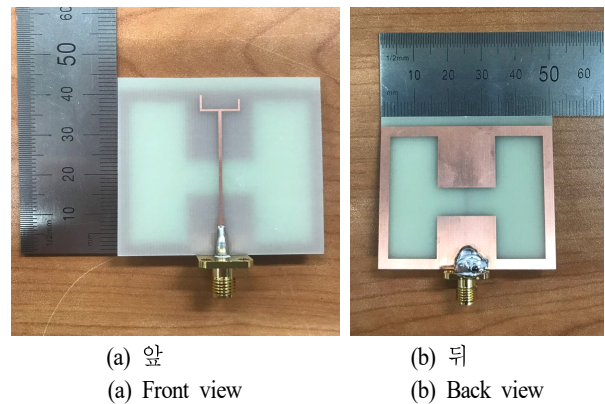
그림 8. 전류분포

Fig. 8. Current distributions.

III. 안테나 제작 및 측정

표 1에 기재된 최적 파라미터를 사용하여 안테나를 제작하고 측정하였다. 기판은 시뮬레이션에서 사용된 FR-4 기판을 사용하였다. 그림 9는 실제 제작된 안테나의 모습이다.

그림 10는 제안한 안테나의 반사손실 특성에 대한 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 반사손실 측정 결과, VSWR가 2보다 작을 때를 기준으로 낮은 대역에서 210 MHz(2.29~2.50 GHz)의 대역폭을 얻었고, 높은 대역에서 900 MHz(5.05~5.95 GHz)의 대역폭을 얻어서 WLAN 시스템의 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역



(a) 앞

(a) Front view

(b) 뒤

(b) Back view

그림 9. 제작된 안테나

Fig. 9. Photograph of fabricated antenna.

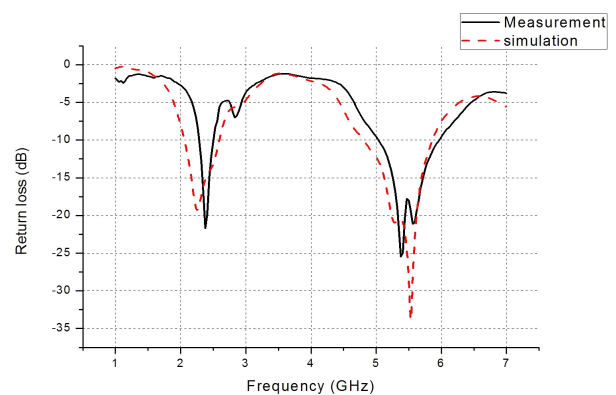


그림 10. 시뮬레이션과 측정의 반사계수 비교

Fig. 10. Comparison of simulated and measured return loss results.

을 만족하였다. 시뮬레이션과 비교해 봤을 때 약간의 차이를 보이고 있는데, 이는 시뮬레이션의 기판과 실제 기판의 유전율 차이 또는 시뮬레이션의 환경과 측정 장소의 환경사이에 차이가 있기 때문이라고 판단된다.

그림 11은 제안된 안테나의 방사패턴에 대한 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

그림 11(a)와 (b), (c)는 각각 2.45 GHz, 5.2 GHz, 5.8 GHz의 E-면과 H-면에서의 방사패턴을 나타내고 있다. 5.8 GHz의 E-면을 제외하면 시뮬레이션 값과 실측 값이 대체적으로 유사함을 알 수 있다.

반전력빔폭은 2.45 GHz에서 약 113°를 얻었고, 5 GHz 대역에서 약 59°를 얻었다. 고주파로 갈수록 지향성이 높아져서 빔폭이 낮아지지만 대체로 넓은 빔폭을 가지고

있음을 알 수 있다. H-면을 보면 모든 주파수 대역에서 전방향성 특성을 띄고 있음을 알 수 있다. 2 GHz 대역에서 최대이득은 약 2.08 dBi, 5 GHz 대역에서 최대이득은 약 4.23 dBi를 얻었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 WLAN의 2.4 GHz와 5 GHz 대역에서 동작하는 평면형 모노폴 안테나를 제안하였다. 접지면에 결합 구조를 두어 모노폴 안테나만 존재할 때와 비교하여 이중 공진이 일어나게 하였고, 대역폭 또한 넓어졌다. 모노폴 안테나는 두께를 점차 줄여가며 임피던스 정합을 용이하게 하였고, 모노폴 끝부분의 길이를 다르게하여 5 GHz 대역의 대역폭을 넓혔다.

FR-4 기판을 사용하여 제작 및 측정한 결과, VSWR가 2보다 작은 주파수 대역은 210 MHz(2.29~2.50 GHz)와 900 MHz(5.05~5.95 GHz)로 요구 대역을 만족하였다. 방사패턴은 모든 주파수 대역에서 전방향성의 특성을 보이고 있고, 반전력빔폭은 2.45 GHz에서 약 113°, 5 GHz 대역에서 약 59°를 얻었다. 이득은 2.4 GHz 대역에서 최대 2.08 dBi, 5 GHz 대역에서 최대 4.23 dBi를 얻었다. 방사각이 넓고 이득이 준수하여 WLAN 시스템에서 사용할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] A. B. Constantine, *Antenna Theory Analysis and Design*, Second edition, John Wiley & Sons Inc, 1997.
- [2] 정병순, 장상현, 윤성록, 김대현, "WLAN 기술의 발전 방향 및 IEEE 802.11ax 표준화 동향," 한국통신학회지, 32(3), pp. 69-76, 2015년 3월.
- [3] 신용진, 이승우, 김남, "이중 사각 링 패치 결합효과와 접지면 L-슬롯을 이용한 4중 대역 인쇄형 모노폴 안테나 개발," 한국전자과학회논문지, 25(10), pp. 1040-1049, 2014년 10월.
- [4] 윤중한, "WLAN 시스템을 위한 두 개 원호 형태 안테나의 설계와 제작," 한국정보통신학회논문지, 19(4), pp. 765-771, 2015년 4월.
- [5] 문승민, 김기래, 윤중한, "WLAN 시스템에 적용 가능

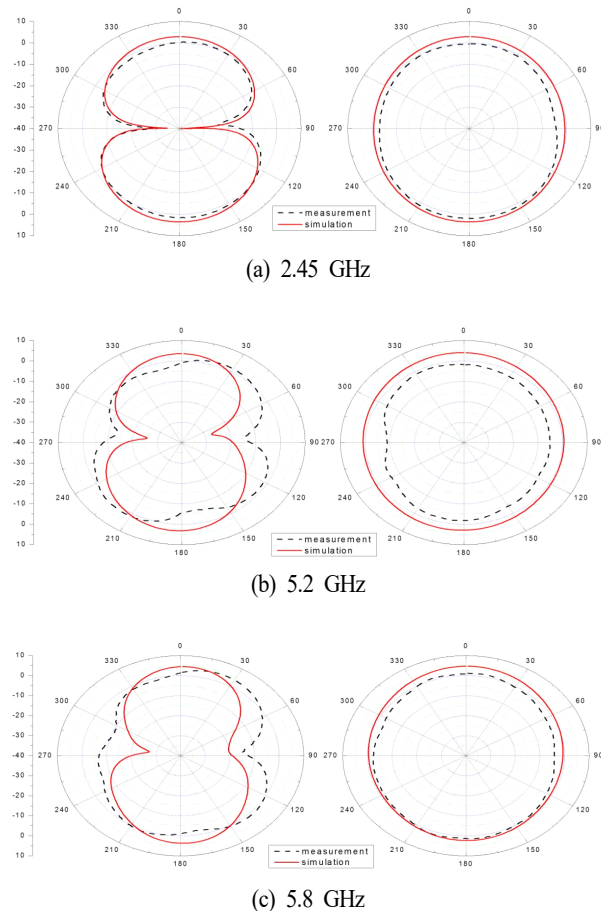


그림 11. 방사패턴
Fig. 11. Radiation pattern.

한 Arrow와 Ribbon 모양을 갖는 모노폴 안테나 설계 및 제작," 한국전자통신학회논문지, 10(7), pp. 763-768, 2015년 7월.

- [6] X. Liu, Y. Li, and W. Yu, "A simple dual-band antenna using a meander line and a tapered rectangle patch for WLAN applications," in *2014 IEEE International Conference on Communication Problem-Solving*, Beijing, Dec. 2014, pp. 542-545.
- [7] 김순섭, 최영준, 주영달, 정용주, "WLAN system을 위한 U-slot 및 short-pin 결합한 바람개비 모양의 이중대역(5.2/5.8 GHz) 마이크로스트립 패치 안테나 설계 및 제작," 한국통신학회논문지, 38(5), pp. 337-343, 2013년 5월.
- [8] 서나현, 이영철, 윤중환, "WLAN/WiMAX 시스템 적용을 위한 DGS를 갖는 삼중대역 안테나 설계 및 제작," 한국정보통신학회논문지, 21(4), pp. 679-687, 2017년 4월.

- [9] S. Oudayacoumar, T. Karthikeyan, and V. Hariprasad, "A triple-band microstrip fed monopole antenna using defected ground structure for WLAN and Wi-MAX applications," in *2014 International Conference on Advances in Electrical Engineering(ICAEE)*, Vellore, Jan. 2014, pp. 1-4.
- [10] J. H. Yoon, M. S. Kim, Y. K. Jang, and Y. C. Rhee, "Fabrication and measurement of a monopole antenna with branch strips and slit ground for dual band WLAN applications," in *Asia-Pacific Microwave Conference 2011*, Melbourne, VIC, 2011, pp. 630-633.
- [11] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, J. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 1, pp. 86-93, Jan 2001.

강 병 남



2016년 2월: 충북대학교 정보통신공학부 (공학사)
2016년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학전공 석사과정
[주 관심분야] 무선전력전송, 안테나설계

이 승 엽



1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1993년 9월~2006년 2월: 국립여수대학교 전자통신공학과 교수
2004년 7월~2005년 8월: Syracuse 대학교 방문교수
2006년 3월~현재: 전남대학교 전자통신공학과 교수
[주 관심분야] 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계, 전자파 해석

정 민 주



2013년 2월: 조선대학교 전자공학과 (공학사)
2015년 3월: 부경대학교 LED 융합공학전공 (공학석사)
2016년 10월~2017년 2월: 충북대학교 홀로그램융합기술센터 연구원
2017년 3월~현재: 충북대학교 정보통신

공학전공 박사과정

[주 관심분야] 안테나 설계, 전자파 해석, EMC

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
2015년~2017년: BEMS 국제학회 회장
1989년~현재: 충북대학교 정보통신공학부 교수

[주 관심분야] 이동 통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격

최 도 민



2016년 2월: 충북대학교 정보통신공학부 (공학사)
2016년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학전공 석사과정
[주 관심분야] 무선전력전송, 안테나설계, 메타물질