

CDMA/WLAN 겸용 CPW 급전 인쇄형 모노폴 안테나 설계

Design of CPW-Fed Printed Monopole Antenna for CDMA/WLAN

남주열 · 송원호 · 이영순*
금오공과대학교 전자공학과

Ju-Yeol Nam · Won-Ho Song · Young-soon Lee*

Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do 730-701, Korea

[요 약]

본 논문에서 CDMA (1.85~2.12 GHz) 및 2.4 GHz WLAN (2.4~2.484 GHz) 이중대역 사용이 가능하면서 무지향성 방사패턴을 가질 수 있도록 역 L-형 슬롯을 가진 CPW (coplanar waveguide) 급전 인쇄형 모노폴 안테나를 새롭게 제안하였다. 제안된 안테나는 2.4 GHz WLAN (wireless local area network) 대역에서 임피던스 대역폭을 증가시키기 위해 기존의 n-형 슬롯을 대신하여 역 L-형 슬롯이 인쇄된 방사 모노폴에 에칭 된다. 제안된 안테나는 크기가 $50 \times 25 \text{ mm}^2$ 이고 두께가 1.6 mm, 유전상수가 4.4인 FR4 기판의 한쪽 면에서 설계 및 제작되었다. 제작된 안테나의 측정결과, 임피던스 대역폭($S_{11} \leq -10 \text{ dB}$)이 CDMA (code division multiple access) 주파수 대역에서는 280 MHz (1.84~2.12 GHz), WLAN 주파수 대역에서는 420 MHz (2.38~2.8 GHz)인 대역폭을 얻을 수 있었다. 역 L-형 슬롯 사용의 결과로 WLAN 대역에서 기존의 n-형 슬롯의 사용결과 140 MHz (2.39~2.53 GHz)에 비해 대역폭이 3배가량 증가된 점은 주목할 만한 결과이다. 또한 사용 주파수 전 대역에서 좋은 무지향성 방사패턴을 얻을 수 있었다.

[Abstract]

In the present study, a coplanar waveguide (CPW)-fed printed monopole antenna with an inverted n-shaped slot is newly proposed for dual band operations which cover bandwidths of CDMA (1.85~2.025 GHz) and WLAN (2.4~2.484 GHz) as well as implementation of omnidirectional radiation pattern. For enhancement of impedance bandwidth ($S_{11} \leq 10 \text{ dB}$) in 2.4 GHz WLAN frequency band, an inverted n-shaped slot instead of the previous n-shaped slot is etched on the printed radiating monopole. The proposed antenna is designed and fabricated on one side of FR4 substrate with dielectric constant of 4.4, thickness of 1.6 mm, and size of $50 \times 25 \text{ mm}^2$. It has been observed that the measured impedance bandwidths are 280 MHz (1.84~2.12 GHz) in frequency band of CDMA and 420 MHz (2.38~2.8 GHz) in WLAN frequency band respectively. It is noticeable that impedance bandwidth in 2.4 GHz frequency band of WLAN is enlarged to three times due to use of inverted L-shaped slot in comparison with impedance bandwidth 140 MHz (2.39~2.53 GHz) obtained by use of the previous n-shaped slot. In addition, good omnidirectional radiation patterns have been observed over the entire frequency band of interest.

Key word : Printed monopole, L-shaped slot, Dual band for CDMA/WLAN, Omni-directional radiation pattern.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.6.623>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 26 November 2015; Revised 27 November 2015
Accepted (Publication) 10 December 2015 (30 December 2015)

*Corresponding Author; Young-soon Lee

Tel: +82-54-478-7501

E-mail: yslee@kumoh.ac.kr

1. 서론

최근 CDMA 단말기의 저가공급이 가능하여 다양한 전자 및 전기 기기의 무선 네트워킹을 위해 기기 내부에 별도의 무선기기를 개발하는 것이 아니라 CDMA 단말기를 그대로 사용하는 추세에 있고, 더불어 이러한 기기들은 Wi-Fi를 이용한 무선 랜 접속이 가능하도록 개발되고 있는 추세이다. 그러므로 CDMA(1.85~2.025 GHz: 이 주파수 대역은 PCS (personal communication services), CDMA2000 및 TD-SCDMA (time division-synchronous CDMA)를 모두 포함한 주파수 대역임) 및 2.4 GHz WLAN (2.4~2.484 GHz)의 이중대역에서 사용할 수 있는 가볍고, 견고하면서도 부피가 작은 저가의 무지향성 안테나 개발의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 용도로 가장 적합한 안테나는 인쇄형 모노폴 안테나로, 이중 대역 동작을 위해 그동안 P-형태[1], G-형태[2] 및 디스크 슬릿 (disc-slit) 모노폴 안테나[3]와 같은 다양한 형태의 인쇄형 모노폴 안테나가 제안되었다. 이러한 대부분의 안테나는 비교적 크기가 크고 구조가 다소 복잡하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 참고문헌 [4]에서는 이중대역 동작을 위해 n-형태의 슬롯(slot)을 가진 CPW 급전 인쇄형 모노폴 안테나를 제안하였다. 참고문헌 [4]에서 제안된 안테나는 인쇄된 방사 모노폴에 n-형태의 슬롯을 에칭(etching)한 형태로 크기가 작고 구조가 단순한 이점이 있으나, 실제 제작을 해본 결과 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서의 동작 주파수 대역폭이 다소 좁다는 점이 문제점으로 발견되었다.

본 논문에서는 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서의 동작 주파수 대역폭을 넓히기 위해서 참고문헌 [4]에서 제안된 n-형태의 슬롯을 사용하는 대신에 역 L-형태의 슬롯을 사용하기로 하였다. 이는 최근 논문들에서 슬롯 형태 안테나의 대역폭을 증가시키기 위해 제안된 광대역 모노폴 슬롯 안테나[5] 및 반과장 폴디드 슬롯 안테나[6]에 근거를 두었다. 참고문헌 [5]에서는 기존의 반과장($\lambda/2$) 공진 슬롯 안테나를 접지면 가장자리에서 절단한 $1/4$ 과장($\lambda/4$) 모노폴 슬롯 안테나를 제안하여 슬롯 안테나를 소형화 하면서 주파수 대역폭을 넓힌 결과이고, 반면에 참고문헌 [6]에서는 기존의 한 과장(λ) 폴디드(folded) 슬롯 안테나를 접지면 가장자리에서 절단한 반과장($\lambda/2$) 폴디드 슬롯 안테나를 제안하여 슬롯 안테나의 소형화 및 광대역화를 하였다. 이와 같이 절단된 슬롯 안테나는 모두 기존 슬롯 안테나의 대칭축을 따라 절단된 형태로 슬롯 안테나를 소형화 할 수 있을 뿐만 아니라 동작 주파수 대역폭을 넓히는데 이점이 있음을 보여주는 연구결과로 사료된다. 따라서 본 논문에서는 2.4 GHz 공진 주파수를 결정하는 n-형태의 슬롯을 대칭축을 따라 절단하게 되면 두 개의 역 L-형 슬롯으로 나누어지게 되므로, 대역폭을 증가시키기 위해 기존의 n-형태의 슬롯[4] 대신에 이러한 역 L-형 슬롯을 에칭한 인쇄형 모노폴 안테나를 제안하여 CDMA 및 2.4 GHz WLAN 이중 주파수대역에서 사용이 가능하며, 특히 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서 보다 넓은 주파수 대역폭을 가지는 새

로운 형태의 안테나를 제안하고 설계를 하였다. 본 논문에서 안테나의 모의실험 설계는 CST사의 MWS를 사용하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

본 논문에서 제안 하고자하는 역 L-형태의 슬롯이 에칭된 이중 대역용 CPW 급전 모노폴 안테나를 그림 1에 제시하였다. 그림 1에서 L1은 모노폴 안테나의 공진 길이이고, L2는 역 L-형 안테나의 공진 길이이며, Soff 및 SW는 각각 역 L-형 슬롯의 off-set 길이 및 슬롯 폭이다. 또한 그림 1에서 보는바와 같이 유전체 기판은 참고문헌 [4]에서와 같이 유전상수(ϵ_r)가 4.4, 두께가 1.6 mm, 기판 크기가 25 mm × 50 mm인 FR4 기판을 사용하였다. 그리고 CPW 급전선의 전송선 특성임피던스를 50 Ω 로 설계하기 위해 급전선의 폭은 3.5 mm, 급전선과 접지면 사이의 간격은 0.5 mm로 하였다.

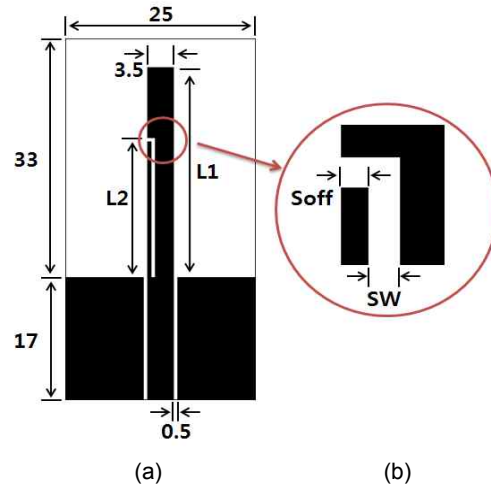


그림 1. (a) 제안된 안테나의 구조 (b) 에칭된 역 L-형태 슬롯의 확대된 그림
 Fig. 1. (a) Geometry of the proposed antenna, (b) Enlarged view of etched inverted n-shaped slot.

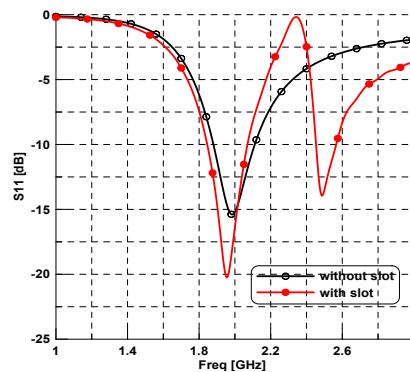


그림 2. 역 L-형태 슬롯이 없는 경우와 있는 경우 모의실험 반사계수 비교
 Fig. 2. Comparison of simulated reflection coefficient between without and with inverted L-shaped slot.

참고문헌 [4]에서 제안한 n-형태의 슬롯을 사용하지 않고 본 논문에서 제안 하고자하는 역 L-형 슬롯만으로도 이중대역 공진이 가능함을 알아보기 위하여, 참고문헌 [4]에서의 안테나 구조와 동일하게 $L1 = 32 \text{ mm}$, $L2 = 18.5 \text{ mm}$ 및 $SW = 0.5 \text{ mm}$ 로 하고, 역 L-형 슬롯의 off-set 길이인 S_{off} 는 참고문헌 [4]의 n-형 슬롯을 대칭축을 따라 절단된 폭의 길이인 $S_{off} = 0.5 \text{ mm}$ 로 하여 역 L-형 슬롯이 없는 경우와 있을 때의 모의실험 결과 반사계수 크기를 비교하여 그림 2에 제시하였다. 그림 2에서 보는바와 같이 역 L-형 슬롯이 없는 경우 이중대역 공진이 없이 낮은 주파수 대역인 CDMA 주파수 대역 공진만 일어나고, 역 L-형 슬롯이 있는 경우 2.4 GHz 근방 WLAN 주파수 대역을 포함하는 이중대역 공진이 일어남을 볼 수 있어, n-형 슬롯을 대신하여 본 논문이 제안하는 역 L-형 슬롯의 사용만으로도 이중대역 공진이 가능함을 알 수 있다.

이와 같이 제안된 본 안테나 구조의 최적 설계를 위하여 몇 가지 중요한 안테나 설계 파라미터 변화에 따른 공진 주파수 및 반사계수의 변화를 분석하여 그 결과들을 아래 그림들에 제시하였다. 먼저 그림 3에서는 낮은 주파수 대역인 CDMA 공진 주파수를 결정하는 파라미터 $L1$ 의 변화에 따른 경향을 나타내었다. $L1$ 의 길이를 27 mm에서 33 mm까지 2 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, 예측되는바와 같이 $L1$ 길이가 증가할수록 2.4 GHz 주파수 대역에서는 공진 주파수 변화가 거의 없는 반면에, CDMA 주파수 대역에서 공진주파수가 감소하는 것을 볼 수 있다. 특이한 사항은 길이가 길어질수록 CDMA 대역 공진주파수에서 반사계수의 크기가 감소(return loss가 증가)되는 경향이 있으며, 또한 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서의 대역폭이 다소 증가됨을 알 수 있다.

그림 4에서는 높은 주파수 대역인 2.4 GHz WLAN 주파수 대역의 공진주파수를 결정하는 파라미터 $L2$ 의 변화에 따른 경향을 제시하였다. $L2$ 의 길이를 0.4 mm에서 0.6 mm까지 0.1 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, $L2$ 길이가 증가할수록 CDMA 주파수 대역에서는 공진 주파수 변화가 없는 반면에, 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서 공진주파수가 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 $L2$ 길이가 길어질수록 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서 반사계수의 크기가 다소 감소되는 경향이 있음을 알 수 있다.

그림 5에서는 역 L-형 슬롯의 off-set 길이인 파라미터 S_{off} 의 변화에 따른 경향을 제시하였다. S_{off} 의 길이를 18.7 mm에서 19.6 mm까지 0.3 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, S_{off} 길이가 증가할수록 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서는 공진 주파수 변화가 없는 반면에, CDMA 주파수 대역에서 공진주파수가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 S_{off} 의 변화가 $L2$ 길이 변화에 영향을 주지 않으므로 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서 공진주파수가 $L2$ 길이에 의해서 결정되므로 영향을 주지 않는 반면에, S_{off} 의 길이가 길어지면 모노폴의 공진 경로 길이가 길어지는 효과가 있

어 CDMA 주파수 대역에서는 공진주파수가 감소하는 것으로 사료된다.

그림 6에서는 역 L-형 슬롯의 폭인 파라미터 SW 의 변화에 따른 경향을 제시하였다. SW 의 폭을 0.45 mm에서 0.6 mm까지 0.05 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, SW 의 폭이 증가할수록 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서는 공진 주파수가 다소 증가하는 반면에, CDMA 주파수 대역에서 공진주파수가 다소 감소하는 것을 볼 수 있다. 특징적인 것은 SW 가 증가함에 따라 2.4 GHz WLAN 주파수 대역에서 대역폭이 증가한다는 것이다. 그 이유는 슬롯 안테나의 경우 슬롯 폭이 증가하게 되면 공진 모드의 개수가 증가되어 대역폭이 증가하는 반면 반사계수는 커지는 특성이 있기 때문인 것으로 사료된다.

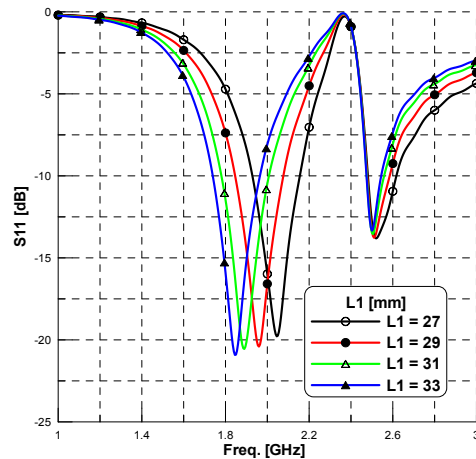


그림 3. $L1$ 의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 3. Simulated reflection coefficient for different values of parameter $L1$.

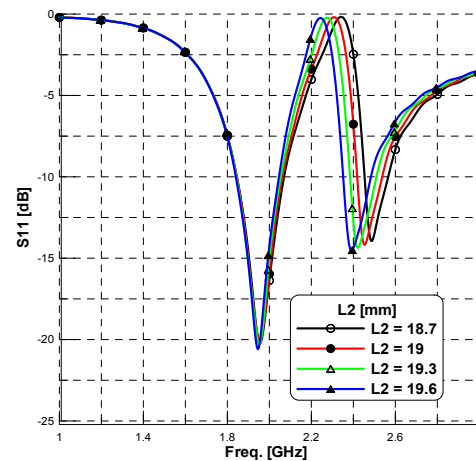


그림 4. $L2$ 의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 4. Simulated reflection coefficient for different values of parameter $L2$.

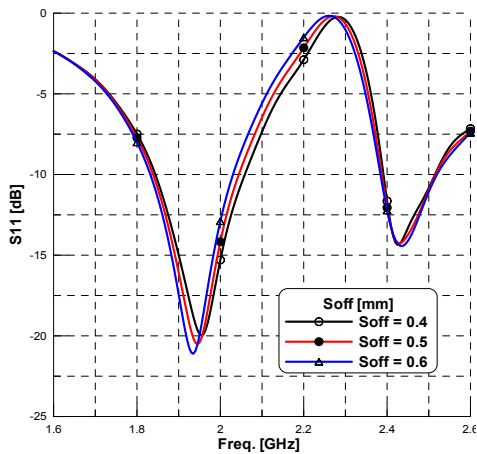


그림 5. Soff의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
 Fig. 5. Simulated reflection coefficient for different values of parameter Soff.

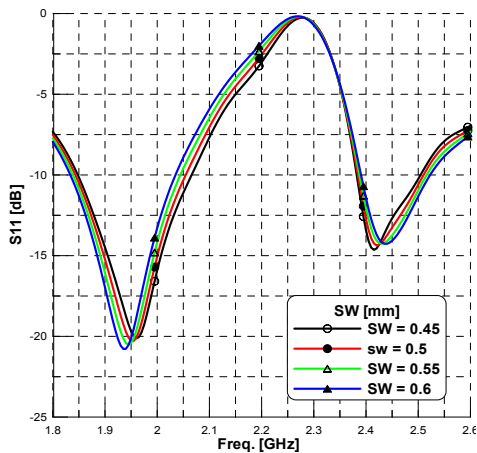


그림 6. SW의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
 Fig. 6. Simulated reflection coefficient for different values of parameter SW.

지금까지 중요한 안테나 설계 파라미터 변화에 따른 공진 주파수 및 반사계수의 변화를 분석해 보면 이중 대역 공진이 낮은 주파수 대역인 CDMA 주파수 대역은 모노폴 안테나의 동작에 의한 것이고, 높은 주파수 대역인 2.4 GHz WLAN 주파수 대역은 모노폴 안테나에 에칭된 역 L-형 슬롯에 의한 슬롯 안테나의 동작에 의한 것임을 명백히 알 수 있다. 앞서 제시된 각 파라미터의 변화에 따른 경향을 토대로 모의 실험결과 최적의 안테나 구조 설계 파라미터의 값들을 표1에 제시하였다.

표 1. 제안된 안테나의 최적화 파라미터

Table 1. Optimization parameter of the proposed antenna.

parameter	value [mm]	parameter	value [mm]
L1	29	Soff	0.5
L2	19.3	SW	0.55



그림 7. 제작된 안테나
 Fig. 7. Fabricated antenna.

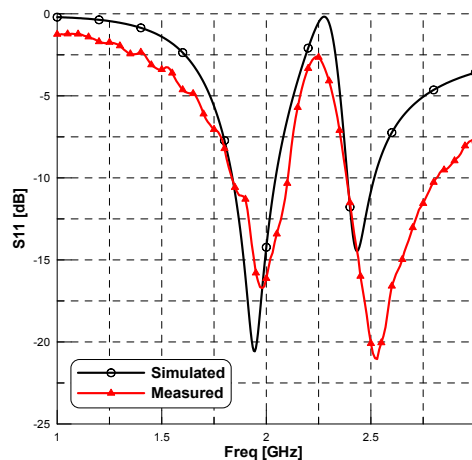


그림 8. 제작된 안테나의 반사계수
 Fig. 8. Measured reflection coefficient of fabricated antenna.

III. 제작 및 측정결과

표1에 제시된 최적화 파라미터의 값을 적용하여 제작한 안테나를 그림 7에 제시하였다. 제작에는 모의실험에서와 같이 두께 1.6 mm, 유전상수 4.4인 FR-4기판이 사용되었다.

그림 8은 모의실험 결과와 실제 제작된 안테나의 반사손실 측정결과를 비교하여 나타낸 그림이다. 그림 8에서 보는바와 같이 모의실험 결과 주파수 대역폭이 CDMA 주파수 대역에서는 약 210 MHz (1.84~2.05 GHz)의 대역폭 및 2.4 GHz WLAN 대역에서는 약 130 MHz (2.39~2.52 GHz)의 대역폭을 가지는 것을 알 수 있다. 이러한 모의실험 결과는 요구되는 이중대역의 대역폭인 CDMA 175 MHz (1.85~2.025 GHz) 및 2.4 GHz WLAN 84 MHz (2.4~2.484 GHz) 대역폭을 충분히 만족하는

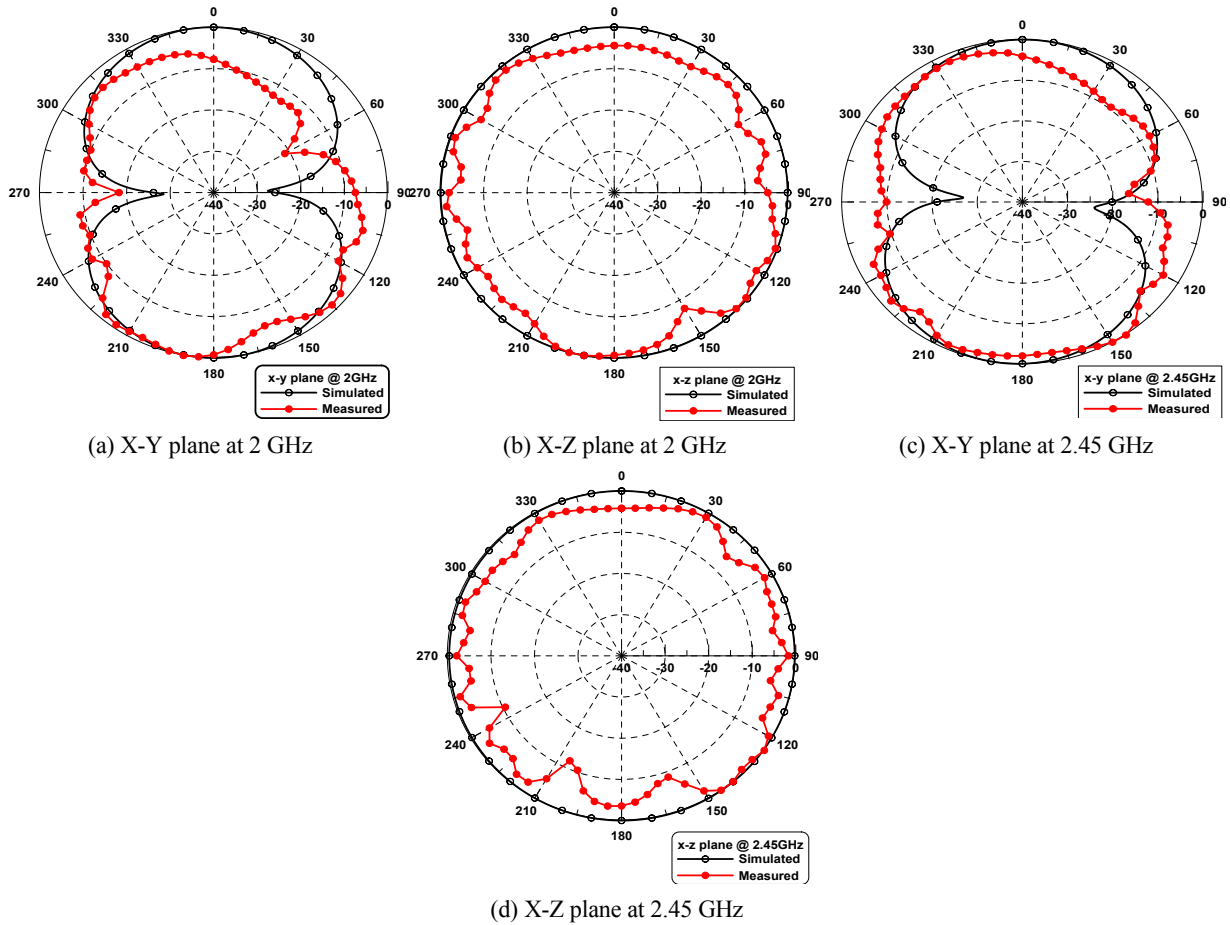


그림 9. 제작된 안테나의 2D 방사패턴

Fig. 9. Measured 2D radiation patterns of fabricated antenna.

결과이다. 반면에 실제 제작된 안테나의 측정결과 주파수 대역폭이 CDMA 주파수 대역에서는 280 MHz (1.84~2.12 GHz)의 대역폭 및 2.4 GHz WLAN 대역에서는 약 420 MHz (2.38~2.8 GHz)의 대역폭을 가지는 것을 알 수 있었다. 2.4 GHz WLAN 대역에서 측정결과가 모의실험 결과에 비해 크게 증가된 것을 알 수 있는데, 이러한 현상은 접지면 가장자리에서 위치하면서 절단되어 끝이 개방된 슬롯 안테나의 경우 일반적인 슬롯 안테나와는 달리 슬롯을 둘러싸고 있는 도체면(혹은 접지면)의 슬롯 외곽선을 따라 흐르는 전류에 의한 근접 공진으로 인하여 발생하는 현상[5],[6]으로, 시물레이션에서는 이러한 영향을 정확하게 반영을 할 수 없기 때문에 측정 결과와 대역폭에서 큰 차이를 보이는 것으로 사료된다.

결론적으로 기존의 n-형태의 슬롯 사용에 의해 얻어진 측정 결과 대역폭 CDMA 270 MHz (1.85~2.12 GHz) 및 2.4 GHz WLAN 140 MHz (2.39~2.53 GHz) 대역폭인 것에 비해, 본 논문의 구조인 역 L-형 슬롯 사용결과 CDMA 주파수 대역에서는 대역폭이 10 MHz가 증가된 280 MHz (1.84~2.12 GHz), 2.4 GHz WLAN 대역에서는 약 3배가량 증가된 420 MHz (2.38~2.8 GHz)의 대역폭 측정 결과를 얻을 수 있었다.

그림 9에는 CDMA 주파수 대역인 2 GHz 및 WLAN 대역 주파수 대역인 2.45 GHz 에서의 모의실험 한 2D 방사패턴 결과 값과 실제 측정한 2D 방사패턴 결과값을 비교하여 나타내었다. 그림 9에서 볼 수 있는 바와 같이 모의실험 결과의 방사패턴 형태 경향과 측정 결과의 방사패턴 형태 경향이 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 즉, 방사 패턴 형태가 이중대역에서 동일하게 X-Y 평면에서는 8자 형태이고, X-Z 평면에서는 무지향성인 전형적인 다이폴 및 모노폴 안테나의 방사패턴임을 알 수 있다. 다만 모의실험 결과가 완전한 다이폴 안테나의 방사패턴을 가지는 반면에, 측정결과가 다이폴 안테나의 방사 패턴과 다소의 오차가 있는 것은 방사패턴을 측정할 때 가끔 볼 수 있는 현상으로, 방사패턴 측정을 위해 안테나의 SMA 커넥터와 연결된 케이블에 의한 감쇄 및 케이블 위치가 방사패턴에 영향을 주었기 때문인 것으로 사료된다. 안테나 이득의 경우도 기존의 n-형태의 슬롯 사용 이중 대역에서 각각 1.8 dBi 및 1.3 dBi인 반면에, 본 논문의 구조인 역 L-형 슬롯 사용결과 측정결과 각각 6.3 dBi 및 3.9 dBi로 커진 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 역 L-형 슬롯 사용결과 지향성이 증가되었기 때문인 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 CDMA(1.85~2.12 GHz) 및 2.4 GHz WLAN(2.4~2.484 GHz) 이중대역 사용이 가능하면서, 전 대역에서 무지향성 방사패턴을 가지는 역 L-형 슬롯을 가진 CPW 급전 인쇄형 모노폴 안테나를 새롭게 제안하였다. 제안된 안테나는 $50 \times 25 \text{ mm}^2$ 크기의 FR4 기판의 한쪽 면에 설계되었으며, 각각의 중요한 파라미터에 대한 경향분석과 그 결과를 토대로 최종적인 구조의 안테나를 제작 및 측정을 하였다. 최종 제작된 안테나의 임피던스 대역폭 측정결과, CDMA 주파수 대역에서는 280 MHz (1.84~2.12 GHz), WLAN 주파수 대역에서는 420 MHz (2.38~2.8 GHz)의 대역폭을 얻을 수 있었다. 특히 2.4GHz WLAN 주파수대역에서의 임피던스 대역폭을 늘리기 위해 기존의 n-형 슬롯을 대신하여 역 L-형 슬롯 사용한 결과로 대역폭이 약 3배가량 증가된 점은 주목할 만한 결과이다. 그리고 WLAN을 포함하여 Bluetooth, Wi-Fi 및 Zigbee 등과 같은 무선 서비스의 경우 방사패턴이 무지향성을 가지는 안테나 특성이 바람직 한데, 본 논문이 제안한 안테나의 경우 사용 주파수 전 대역에서 좋은 무지향성 방사패턴을 얻을 수 있었다. 안테나 이득의 경우, 2.4GHz WLAN 주파수 대역에서 기존의 n-형 슬롯을 가진 모노폴 안테나의 경우 이득이 이중 대역에서 각각 1.8 dBi 및 1.3 dBi인 반면에 역 L-형 슬롯 가진 본 논문의 모노폴 안테나의 이득이 각각 6.3 dBi 및 3.9 dBi로 증가된 결과 또한 주목할 만한 결과이다.

이상에서 언급한바와 같이 본 논문이 제안한 안테나가 충분한 대역폭을 가진 이중 대역이 사용이 가능하면서도 높은 이득의 무지향성 방사패턴을 가지고 있으므로, 예로 2.4 GHz 및 5 GHz 이중대역을 사용하는 이중대역용 WLAN 안테나와 같이 무지향성 방사패턴을 원하는 이중대역용 안테나로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

참고 문헌

- [1] H. H. Yang and S. Yan, "A novel P-shaped printed antenna for RFID applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 51, No. 2, pp. 554-556, Feb. 2009.
- [2] G. L. Xin and J. P. Xu, "Wideband miniature G-shaped antenna for dual-band WLAN application," *Electronics Letters*, Vol. 43, Issue 24, pp. 1330-1332, Nov. 2007.
- [3] C. S. Liu, C. N. Chiu and S. M. Deng, "A compact disc-slit monopole antenna for mobile devices," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 7, pp. 251-254, 2008.
- [4] S. T. Fan, Y. Z. Yin, W. Hu, K. Song and B. Li, "Novel CPW-Fed printed monopole antenna with an n-shaped slot for dual-band operations," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 54, No. 1, pp. 240-242, Jan. 2012.
- [5] S. I. Latif, L. Shafai and S. K. Sharma, "Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip slot antenna," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 3, pp. 994-1003, Mar. 2005.
- [6] Jin-Ha Yoo and Young-Soon Lee, "Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip-fed folded-slot antenna," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 55, No. 10, pp. 2248-2251, Oct. 2013.



남 주 열 (Joo-Yeol Nam)

2010년 2월 : 구미대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2013년 2월 : 금오공과대학교 전자 및 전기공학과 (공학석사)
 2013년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정
 ※관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 회로설계



송 원 호 (Won-Ho Song)

2010년 2월 : 구미대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2013년 2월 : 금오공과대학교 전자 및 전기공학과 (공학석사)
 2013년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정
 ※관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 회로설계



이 영 순 (Young-Soon Lee)

1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)

1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)

1981년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수

※관심분야 : 전자기이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 개구결합