

GPS 대역을 포함한 소형화된 이중대역 평면형 안테나

Compact Dual-Band Planar Antenna with GPS Band

조규필 · 신동기 · 이영순*

금오공과대학교 전자공학과

Gyu-Pil Cho · Dong-gi Shin · Young-soon Lee*

Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do, 39177, Korea

[요 약]

본 논문에서는 GPS 대역과 휴대용 기기에 적용을 위한 마이크로스트립 급전 이중대역 평면형 안테나를 제안하였다. 이중 대역 특성을 얻기 위하여 개방 L-형 슬롯과 구부러진 사각형 슬롯이 사용된다. 제안된 안테나는 유전상수(ϵ_r)가 4.3, 두께가 1.6 mm, 크기가 $57 \times 57 \text{ mm}^2$ 인 FR4 기판에 설계 및 제작되었다. 제안된 안테나의 제작 및 측정 결과 임피던스 대역폭($|S_{11}| \leq -10\text{dB}$)이 GPS 대역에서 60 MHz (1550 ~ 1610 MHz), DCS / IMT-2000 대역에서 670 MHz (1690 ~ 2360 MHz)로 GPS와 DCS / IMT-2000 대역을 충분히 만족한다. 또한, 사용하고자 하는 대역에서 안정되고 우수한 무지향성 방사패턴을 얻을 수 있었으며, 2.36 dBi 이상의 높은 이득과 90% 이상의 효율을 얻을 수 있었다.

[Abstract]

In this paper, a compact microstrip-fed dual-band planar antenna for global positioning system (GPS) and mobile handset applications is presented. Dual operating frequency bands are achieved by an open end L-shaped slot and a bent rectangular slot. The proposed antenna is designed and fabricated on the FR4 substrate with dielectric constant of 4.3, thickness of 1.6 mm and size of $57 \times 57 \text{ mm}^2$. The measured impedance bandwidth ($|S_{11}| \leq -10\text{dB}$) of the fabricated antenna is 60 MHz (1550 ~ 1610 MHz) in the GPS band and 670 MHz (1690 ~ 2360 MHz) in the DCS / IMT-2000 band, covering the required bandwidths for GPS (1570 ~ 1580 MHz) and DCS / IMT-2000 (1710 ~ 2200 MHz) bands. In particular, it has been observed that antenna has a good omnidirectional radiation patterns as well as high gain of 2.36 dBi and its efficiency is more than 90 % over the entire frequency band of interest.

Key word : DCS / IMT-2000, GPS, Monopole slot antenna, Mobile handset, Planar.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.3.232>



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 25 May 2020; Revised 27 May 2020

Accepted (Publication) 25 June 2020 (30 June 2020)

*Corresponding Author; Young-soon Lee

Tel: +82-54-478-7501

E-mail: yslee@kumoh.ac.kr

I. 서론

다양한 이동통신 서비스가 발전하고 그에 따라 여러 무선통신 표준과 규약을 동시에 만족시키기 위해 하나의 안테나로 다중대역과 광대역의 특성을 가지는 내장형 안테나의 개발 필요성이 중요시되어 왔다. 그러나 무선기기에 적용하는 내장형 안테나는 유한한 크기를 가지기 때문에 다중 대역을 설계 시 각각의 주파수 대역과 대역폭을 만족시키는 것과 광대역 특성을 얻는 것은 제한된다.

기존의 내장형 안테나들은 칩이나 패치형태 그리고 평면역 F형 형태가 주를 이루고 있다[1]-[3]. 칩 안테나는 고유전율로 인한 협대역 특성과 부피가 크고 작업공정이 번거롭다. 패치형 안테나도 역시 협대역 특성과 평면형태가 아닌 단점을 갖고 있다. 평면역 F형 안테나는 소형, 경량이면서 제작이 쉽고, 특성이 우수하나 안테나의 높이가 낮아질수록 커패시턴스의 성분이 감소해 협소한 대역폭을 갖는 단점이 있다[4]. 또한, GPS 대역은 고려하지 않고 GSM / DCS(digital cellular system) / IMT-2000 등의 대역들을 만족하는 내장형 안테나를 설계한 연구들이 많이 있다[5]-[7]. 그 이유는 GPS와 DCS 대역이 극히 인접하여 대역간 공진특성의 전자기적 결합(electromagnetic coupling)으로 인한 다중 공진 설계의 어려움으로 사료되며 본 논문에서 주장하는 삼중 대역을 포함한 다중대역 안테나는 거의 없는 것으로 보인다.

본 논문에서는 인접 대역간 전자기적 결합 영향이 비교적 적은 슬롯 형태로 GPS와 DCS의 이중 대역 안테나를 설계하고자 한다. 작은 사이즈(전형적인 휴대 기기용 크기)로 슬롯 형태의 안테나를 구현하기는 힘들다. 따라서 내장형 안테나를 설계하는 다른 방법은 모노폴 슬롯을 이용하는 방법이 있는데 일반적인 슬롯 안테나에 비해서 작은 크기로 인해 휴대용 기기에 적용이 가능하다. 또한, 단순한 평면형 구조를 가지며 낮은 단가와 제조하기 쉬운 장점을 가지고 있다. 최근 금속(메탈) 소재를 사용한 스마트폰이 출시됨에 따라 휴대용 기기의 테두리에 메탈 소재를 사용하여 두르거나 후면 커버에 메탈을 적용하고 있다. 이런 경우 기존 안테나들은 메탈의 영향으로 인하여 시스템 전체에 영향을 미치게 된다. 특히 안테나의 경우 근접한 영역에 메탈 소재가 있고 없음에 따라 매우 큰 차이를 보이게 된다. 이는 안테나 방사에 있어 메탈이 근접한 영역에 존재하므로 전자기적 결합의 영향으로 발생하며 이 때 임피던스 정합의 문제와 방사 효율의 저하가 발생하게 될 것이다. 또한 이러한 구조 내에서 다중대역과 광대역의 안테나 커버리지를 요구하므로 이를 구현함에 있어서 문제가 발생 할 수 있을 것이라 추측이 가능하다[8].

하지만 모노폴 슬롯을 사용하게 되면 일반적으로 슬롯에 유기되는 전계 분포를 등가 자계 전류로 둘 수 있으므로 금속과 같은 도체로 상쇄되지 않으므로 메탈 케이스로 하우징 했을 경우 안테나 특성에 영향을 적게 받을 것으로 사료된다.

본 논문에서는 모노폴 슬롯을 이용하여 GPS 대역을 포함한 소형화된 이중대역 안테나를 제안하였다. 이중대역 동작을 위

해 두 개의 서로 다른 공진을 발생시키는 개방된 L형 슬롯과 구부러진 사각 슬롯이 접지면에 에칭 되어 있으며 마이크로스트립 급전 구조로 구성되어 있다.

이와 같은 설계에 대한 논의와 설계 파라미터에 따른 변화를 II장에서 제시하였으며, III장 및 IV장에서는 측정 결과 및 결론에 대해 각각 제시하였다. 본 논문에서의 안테나 모의실험 설계는 CST사의 MWS를 사용하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

그림 1의 아랫면에서 보이는 것과 같이 개방된 L형 슬롯과 구부러진 사각 슬롯이 이중대역 동작을 위해 두 개의 다른 공진 주파수를 생성한다. 또한 슬롯 안테나의 상보적인(complementary) 구조에 해당하는 스트립 안테나와 비교 했을 때 슬롯 안테나가 넓은 대역폭을 갖는 것으로 잘 알려져 있으므로[9] 제안된 안테나 설계에 앞서 언급한 슬롯을 도입했다. W1과 W2는 L형 슬롯의 가로 폭과 세로 폭이며 L1과 L2는 각각 L형 슬롯의 세로 길이와 가로 길이에 해당된다. 그리고 NL1은 구부러진 사각 슬롯의 세로 길이에 해당하며 NL2와 NL3는 가로 길이를 의미한다. 또한, NW1은 구부러진 사각 슬롯의 세로 폭에 해당되며 NW2와 NW3는 가로 폭을 나타낸다. NG와 NG2는 L형 슬롯과 구부러진 사각 슬롯 사이의 갭을 나타낸다. 그림 1의 윗면에서 마이크로스트립 급전선의 끝단은 대역폭을 향상시키기 위해 개방된 L형 슬롯으로 둘러싸인 부유(floating)된 접지부분에 도체 via로 연결되어 있다[10]. WF와 LF는 각각 급전선의 폭과 길이를 나타낸다. 마지막으로 TW, TL 및 Toff는 임피던스 정합을 위해 도입된 DGS(defected ground structure)로 폭이 좁고 작은 직사각형 슬롯의 가로, 세로 길이 및 개방된 L형 슬롯의 아래를 기준으로 한 y축 offset 위치이다. 모의실험에서 사용된 유전체 기판은 유전상수(ϵ_r)가 4.3, 두께가 1.6 mm, 기판 크기는 57 mm × 57 mm 의 FR4 기판을 사용하였다. 이와 같이 제안된 안테나 구조의 최적화된 설계를 위하여 몇 가지 중요한 설계 파라미터 변화에 따른 공진주파수 및 반사계수의 변화들을 분석하여 아래에 제시하였다.

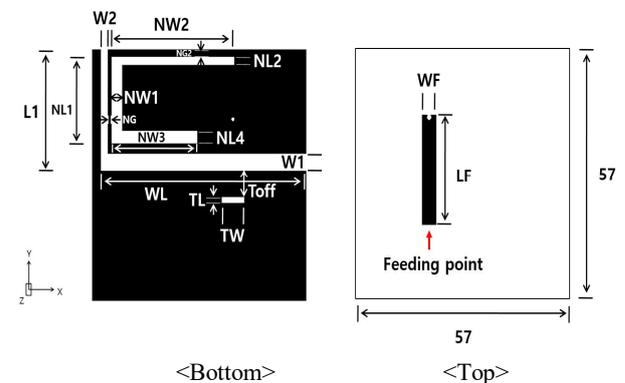


그림 1. 제안된 안테나

Fig. 1. The proposed antenna

그림 2에서는 먼저 구부러진 사각 슬롯의 위쪽 가로길이인 NL2의 파라미터의 변화에 따른 경향을 제시하였다. 구부러진 사각 슬롯이 GPS 대역의 공진에 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다. NL2의 길이를 30.5 mm에서 32.5 mm 까지 1 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, 예상했던 바와 같이 낮은 주파수 대역인 GPS 대역의 공진주파수 및 반사계수 변화를 관찰할 수 있다. 따라서 NL2 파라미터를 적절하게 조절하여 GPS 대역을 확보할 수 있다. 하지만 높은 주파수 대역인 DCS 대역에서는 공진주파수 및 반사계수의 크기에 변화가 거의 없는 것으로 보인다.

그림 3에서는 L형 슬롯과 구부러진 사각 슬롯 사이의 갭을 나타내는 NG 파라미터의 변화에 따른 경향을 제시하였다. NG를 1 mm에서 5 mm까지 2 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수 크기를 비교하였을 때, 그림 2에 제시된 NL2 파라미터와 같이 각각의 대역에서 공진주파수 및 반사계수의 크기가 다소 불규칙하게 변화하지만 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 따라서 NG가 1 mm 일 때 사용하고자 하는 GPS 대역에서 최소의 반사계수 크기를 가지는 최적의 조건을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 NL2와 NG 파라미터는 GPS 대역 특성을 만족할 수 있는 주요한 파라미터라 사료된다.

그림 4에서는 L형 슬롯의 가로 폭에 해당하는 W1의 변화에 따른 경향을 제시하였다. W1으로 인해 DCS / IMT-2000 대역의 변화를 예상해볼 수 있다. W1을 2 mm에서 4 mm까지 1 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, W1의 증가할수록 GPS 대역에서는 공진주파수의 변화 없이 반사계수의 변화만 보이고, 예상했던 바와 같이 DCS / IMT-2000 대역에서 공진주파수의 변화가 확연하게 보이며 동시에 대역폭 또한 넓어지는 것을 확인할 수 있다. W1이 4 mm 일 때 원하는 대역폭을 만족하는 것을 알 수 있다.

그림 5에서는 윗면에 위치하고 있는 급전선 길이인 LF의 변화에 따른 경향을 제시하였다. LF를 13 mm에서 17 mm 까지 2 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때 GPS 대역에서는 공진주파수의 변화는 없으며 반사계수의 변화만 관찰된다. 하지만 DCS / IMT-2000 대역에서는 두 변화가 모두 관찰되며, LF가 17 mm일 때 최적의 결과 값을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

마지막으로 그림 6에서는 두 가지 슬롯들이 위치한 접지면에 직사각형의 작은 슬롯의 가로 길이인 TW 파라미터의 변화에 따른 경향을 제시하였다. TW를 3.5 mm, 7.5 mm, 10.5 mm의 간격으로 공진주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, GPS 대역과 DCS/IMT-2000 대역의 반사계수 특성이 서로 반대되는 것을 알 수 있다. 결론적으로 전체 주파수 대역에서 반사계수의 변화에 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 앞서 언급한 바와 같이 최적의 안테나의 정합을 유도하는 DGS 슬롯으로 사료된다.

앞서 제시한 주요 안테나 설계 파라미터 변화에 따른 공진주파수 및 반사계수의 변화를 분석해보면 양 끝이 개방된 L형 슬롯이 DCS / IMT-2000 대역을 만족시키고, 동시에 구부러진 사

각 슬롯이 GPS 대역을 만족시키는 것을 알 수 있다. 최적의 임피던스 특성을 얻기 위해 각각의 파라미터들을 적절하게 조절하여 대역을 만족시켰으며, 제시된 모의 실험결과를 통한 최적의 안테나 구조 설계 파라미터의 값을 표 1에 제시하였다.

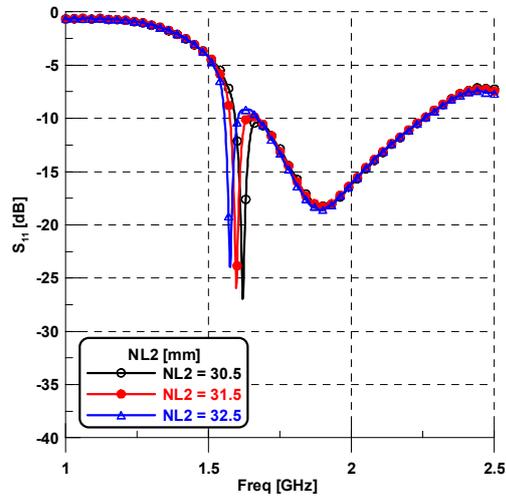


그림 2. NL2의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 2. Simulated return losses for different values of parameter NL2.

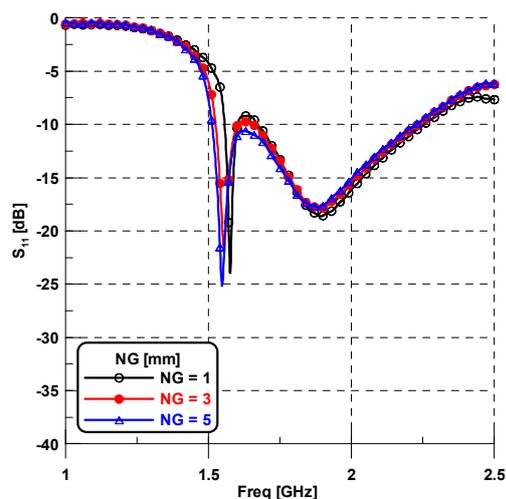


그림 3. NG의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 3. Simulated return losses for different values of parameter NG.

III. 제작 및 측정 결과

앞서 분석된 결과를 토대로 얻어진 표 1의 최적화된 구조를 적용하여 제작한 안테나를 그림 7에 제시하였다. 제작에는 모의 실험에서와 동일하게 두께 1.6 mm, 유전상수가 4.3인 FR4 기판이 사용되었다. 그림 8에서는 모의실험 결과와 실제로 제작된 안테나의 반사 손실 측정 결과를 비교하여 나타내었다.

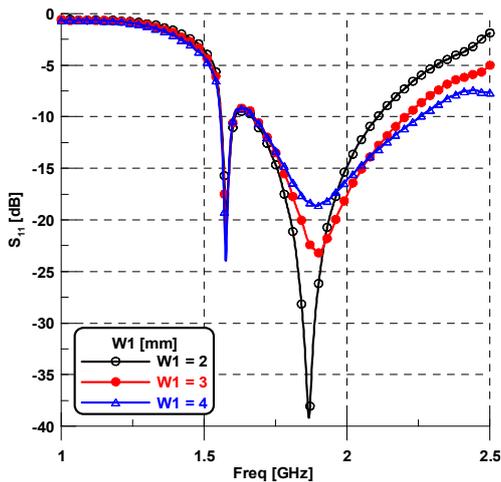


그림 4. W1의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 4. Simulated return losses for different values of parameter W1.

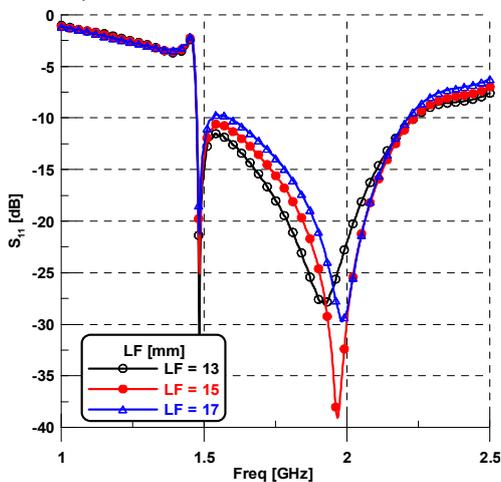


그림 5. LF의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 5. Simulated return losses for different values of parameter LF.

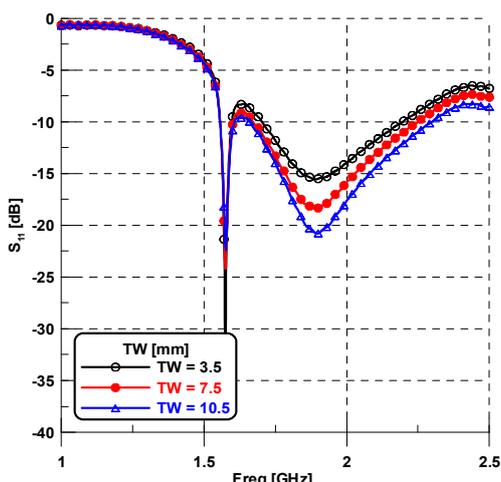


그림 6. TW의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 6. Simulated return losses for different values of parameter TW.

표 1. 제안된 안테나의 최적화 파라미터

Table 1. Optimization parameter of the proposed antenna

parameter	values [mm]	parameter	values [mm]
NL2	32.5	LF	17
NG	1	NG2	1
W1	4	NL1	27.5
Toff	6	TW	7

그림 8에서 보는바와 같이 모의실험 결과 $|S_{11}| \leq -10\text{dB}$ 인 임피던스 주파수 대역폭이 GPS 대역에서 40 MHz (1556 ~ 1596 MHz), DCS / IMT-2000 대역에서는 594 MHz (1660 ~ 2254 MHz)의 대역폭을 가지는 것을 확인했다. 이러한 모의실험 결과는 사용하고자 하는 대역을 충분히 만족하는 결과이다. 또한 실제 제작된 안테나의 측정 결과 GPS 대역에서 60 MHz (1550 ~ 1610 MHz), DCS / IMT-2000 대역에서 670 MHz (1690 ~ 2360 MHz)로 모의 실험 결과와 비교해 다소 증가한 대역폭을 얻었으며 실제로 규정된 GPS와 DCS / IMT-2000 대역을 충분히 만족하는 것을 확인 할 수 있다.

그림 9에서는 GPS 및 DCS / IMT-2000 두 주파수 대역에서 각각의 중심 주파수를 기준으로 Y-Z 평면(E-plane) 2D 방사패턴의 모의실험 결과와 측정 결과를 비교하여 제시하였다. 그림 9에서 볼 수 있는 것처럼 모의실험 결과와 실제 측정 결과의 방사패턴이 비교적 8자 형태로 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 그림 10에서는 각 주파수별 X-Z 평면(H-plane)에서의 2D 방사패턴의 모의실험 결과와 측정한 결과를 비교하여 제시하였다. 그림 10에서 보는 바와 같이 특별한 null점도 보이지 않는 무지향성인 경향을 보이고 있다. 사용하고자 하는 대역에서 동일하게 Y-Z 평면과 X-Z 평면에서 전형적인 다이폴 및 모노폴 안테나의 방사패턴임을 알 수 있다. 특히 본 논문의 안테나가 사용하고자하는 주파수 전 대역에서 안정된 방사패턴을 보이므로 휴대용 기기에 사용이 적합하다고 판단된다. 다만 모의실험 결과와 측정 결과 값이 다소 오차가 있는 것으로 보이는데, 이것은 방사패턴을 측정 할 때 흔하게 나타나는 현상으로 OTA 챔버 내에서 측정을 위해 SMA 커넥터와 연결된 케이블에 의한 감쇄 및 거치의 문제로 인해 방사패턴에 영향을 주었을 것으로 사료된다.

제안한 안테나의 이득은 각각의 주파수 대역에서 2.36 dBi 이상의 이득을 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 GPS 대역(L1 : 1.575 GHz)을 포함한 DCS / IMT-2000 대역(1.71 ~ 2.2 GHz)을 만족하는 소형화된 모노폴 슬롯 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 $57 \times 57\text{mm}^2$ 의

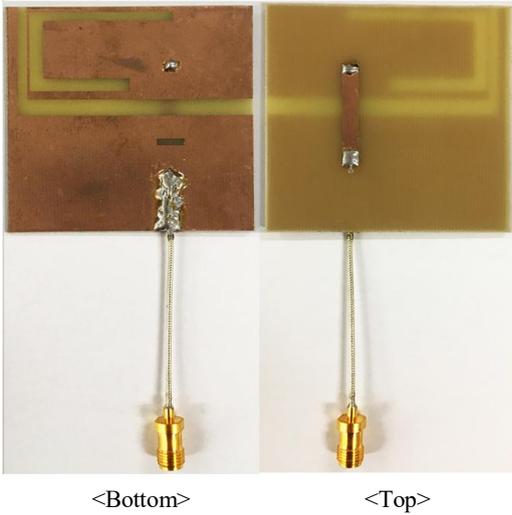


그림 7. 제작된 안테나
Fig. 7. Fabricated antenna.

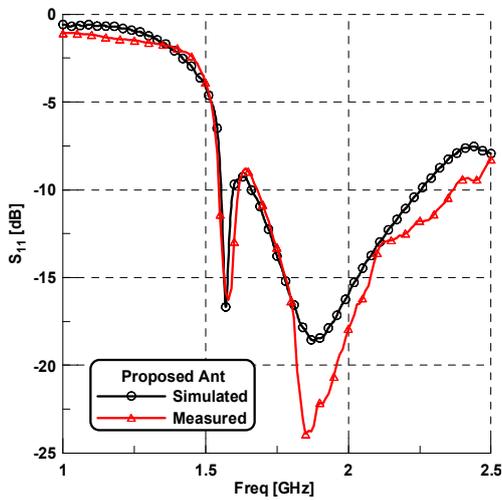


그림 8. 제작된 안테나의 반사계수
Fig. 8. Measured return losses of fabricated antenna.

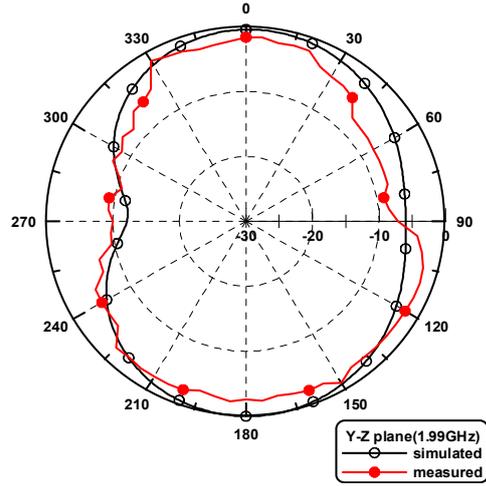
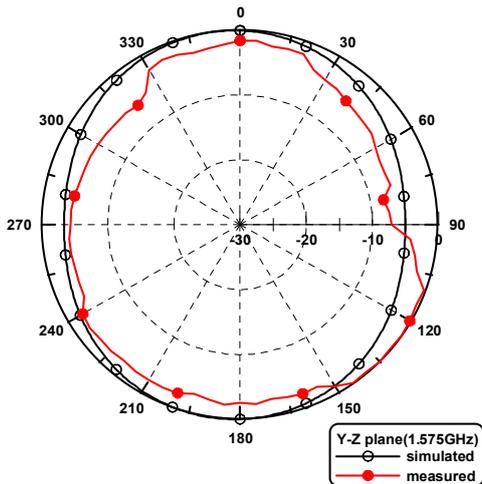


그림 9. 제작된 안테나의 2D 방사패턴(Y-Z Plane)
Fig. 9. 2D radiation patterns of antenna.(Y-Z Plane)

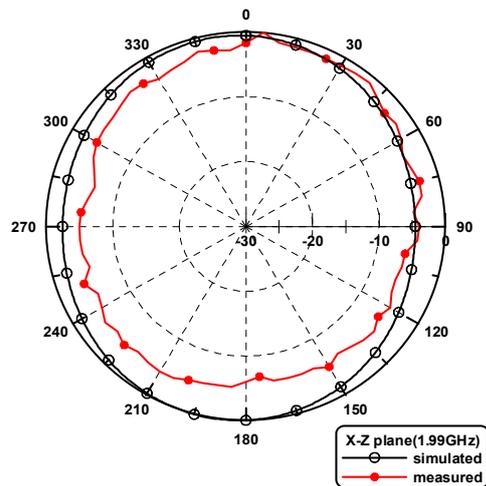
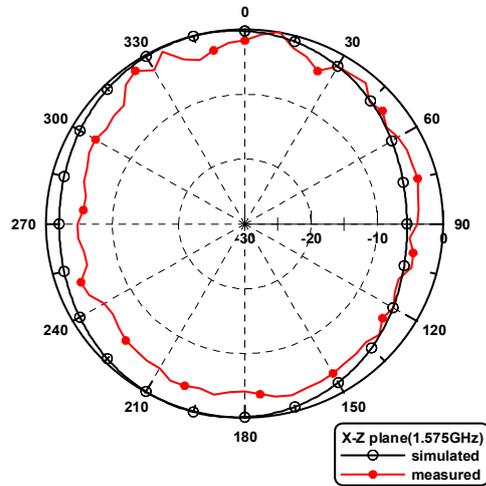


그림 10. 제작된 안테나의 2D 방사패턴(X-Z Plane)
Fig. 10. 2D radiation patterns of antenna.(X-Z Plane)

PCB 기판에 설계하였으며 접지면에 개방된 L형 슬롯과 구부러진 사각 슬롯으로 에칭 되어있다. 주요 파라미터에 대한 경향분석과 그 결과를 바탕으로 최종적인 형태의 안테나를 제작하고 측정하였다. 최종 제작된 안테나의 임피던스 대역폭 측정 결과 주목할 점은 기존의 스트립이나 패치형태의 안테나보다 대역폭이 증가한 것을 확인할 수 있었다. GPS 대역에서 60 MHz (1550 ~ 1610 MHz), DCS / IMT-2000 대역에서 670 MHz (1690 ~ 2360 MHz)로 충분히 사용하고자 하는 대역을 만족한다. 안테나 효율 및 이득 측정 결과 각각의 주파수 대역에서 약 90 % 이상의 효율과 2.36 dBi의 이득을 가지는 것도 확인 하였다.

끝으로 금속(메탈) 소재의 하우징에도 안테나 동작 특성에 대한 영향을 적게 받을 것으로 사료되고, 제안된 안테나가 인쇄형 평면 안테나이고 윗면에서 급전선이 차지하는 점유공간이 작아 다른 회로들과의 집적화가 가능하므로 휴대용 기기의 내장형 안테나로 사용하기에 적합할 것으로 사료된다.

Acknowledgments

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음 (2019-104-092)

References

- [1] K. Kumari, R. K. Jaiswal, K. V. Srivastava, "A compact triple band circularly polarized planar antenna for wireless application," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 62, No. 7, pp. 2611-2617, Oct. 2020.
- [2] S. Feng, L. Zhang, Z. B. Weng, Y. C. jiao, "A compact broadband differential-fed microstrip patch antenna with 5.8 GHz WLAN band-notched under quad-mode resonance," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 62, No. 4, pp. 1716-1723, Apr. 2020.
- [3] W. Choi, S. Kwon, and B. Lee, "Ceramic chip antenna using meander conductor lines," *Electronics Letters*, Vol. 37, No.15, pp. 933-934, Jul. 2001.
- [4] K. L. Wong, *Planar Antennas for Wireless Communications*, Hoboken: NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [5] H. C. Tung, C. Y. Fang, and K.-L. Wong, "An inverted-L monopole antenna with a meandered wire for GSM/DCS dual-band mobile phones," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 33, No. 3, pp. 212-214, May. 2002.
- [6] G. Y. Lee, S. H. Yeh, and K.-L. Wong, "A broadband folded planar monopole antenna for mobile phones," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 33, No. 3, pp. 165-167, May. 2002.
- [7] G. Y. Lee and K. L. Wong, "Very-low-profile bent planar monopole antenna for GSM/DCS dual-band mobile phone," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 34, No. 6, pp. 406-409, Sep. 2002.
- [8] S. Y. Lee, Study on Enhancement of Antenna Performance for the Mobile Handset with Metallic Case, M. E. dissertation, Kwangwoon University, Seoul, Dec, 2014.
- [9] S. I. Latif, L. Shafai, and S.K. Sharma, "Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip slot antennas," *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, Vol.53, No. 3, pp. 994-1003, Mar. 2005.
- [10] C. L. Li, P. Y. Lim, and C. K. Hwang, "Impedance bandwidth improvement for microstrip-fed slot antennas using short-circuited termination," *Microwave And Optical Technology Letters*, Vol. 45, No. 1, pp.67-70, Apr. 2005.



조 규 필 (Gyu-Pil Cho)

2004년 2월 : 금오공과대학교 물리학과 (이학사)
 2006년 8월 : 금오공과대학교 물리학과 (이학석사)
 2019년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정
 ※관심분야 : RF 소자 설계, 오실레이터, 안테나 설계 및 해석



신 동 기 (Dong-Gi Shin)

2018년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
 2018년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 석사과정
 ※관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 소자 설계



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 : 전자기장 이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 전자기장 개구결합 문제, 전자기장 수치해석