

GPS/DCS/WLAN 시스템에 적용 가능한 삼중대역 안테나 설계 및 제작

김민재* · 박상욱** · 윤중한***

Design and Fabrication of Triple Band Antenna Applicable to GPS/DCS/WLAN System

Min-Jae Kim* · Sang-Wook Park** · Joong-Han Yoon***

요약

본 논문에서는 GPS/DCS/WLAN에 시스템에 활용 가능하도록 삼중대역 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 두 개의 스트립 선로와 접지면에 세 개의 슬릿을 삽입하여 요구하는 주파수 대역과 반사손실 특성을 얻었다. 제안된 안테나는 31 mm(W1)×50 mm(L1)의 크기와 두께(h) 1.6 mm, 그리고 비유전율이 4.4인 FR-4 기판 위에 22 mm(W7+W12+W8)×43 mm(L4+L3)의 크기로 설계되었다. 제작 및 측정결과로부터, -10dB 기준으로 340 MHz (1.465~1.805 GHz), 480 MHz (2.155~2.635 GHz), 1950 MHz (4.975~6.925 GHz)의 대역폭을 얻었다. 또한 요구되는 주파수 삼중대역에서 이득과 방사패턴 특성을 측정하여 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a triple band antenna for GPS / DCS / WLAN system. The proposed antenna has the characteristics required by considering the interconnection of two strip lines and various slits on the ground plane. The total substrate size is 31 mm (W1) × 50 mm (L1), thickness (h) 1.6 mm, and the dielectric constant is 4.4, which is made of 22 mm (W7 + W12 + W8) × 43mm (L4 + L3) antenna size on the FR-4 substrate. From the fabrication and measurement results, bandwidths of 340 MHz (1.465 to 1.805 GHz), 480 MHz (2.155 to 2.635 GHz) and 1950 MHz (4.975 to 6.925 GHz) were obtained on the basis of -10 dB. Also, gain and radiation pattern characteristics are measured and shown in the frequency triple band as required.

키워드

DGS(Defected Ground Structure), Two Branch Lines, GPS/DCS/WLAN Application, Triple Band
DGS, 두 개의 분기 회로, GPS/DCS/WLAN 응용, 삼중 대역

1. 서론

마이크로스트립 선로 기술은 크기, 무게, 가격, 성

능, 및 간단한 부착 가능, 그리고 낮은 프로파일 특성을 갖는 등 많은 장점들로 인해 필터, 커플러, 안테나 등과 같은 마이크로웨이브 부품들을 설계하는데 적용

* 신라대학교 스마트전기전자공학부(alswo9078@naver.com) · Received : Apr. 18, 2019, Revised : May. 17, 2019, Accepted : Jun. 15, 2019

** 신라대학교 스마트전기전자공학부(speed5921@daum.net) · Corresponding Author : Joong-Han Yoon

*** 교신저자 : 신라대학교 스마트전기전자공학부

Division of Smart Electrical and Electronic Engineering, Silla University,

· 접수일 : 2019. 04. 18

Email : jhyoon@silla.ac.kr

· 수정완료일 : 2019. 05. 17

· 게재확정일 : 2019. 06. 15

되어 왔으며 한쪽 면은 금속으로 구성된 마이크로스트립 전송 선로로 다른 한쪽 면은 접지특성을 갖도록 설계되었다[1].

최근 마이크로스트립 선로의 접지면에 일정한 형태를 갖는 슬롯 구조를 삽입함으로써 특정 주파수 저지 특성 및 전달 지연 특성을 갖는 DGS(: Defected Ground Structure)에 대한 연구가 증가하고 있다. 초기 DGS(: Defected Ground Structure)는 필터로서 대역 저지 특성 얻고 상호결합 및 고차 모드 하모닉을 억압하기 위해 마이크로스트립 선로가 위치한 면의 반대쪽 면에 설계되었으며 현재는 광범위한 분야에 널리 응용되고 있다 [2-6].

한편 무선 랜(Wireless LAN)기술은 데이터 네트워크의 필수적인 장치로서 현재 스마트폰, 태블릿, 노트북 등 개인 휴대 단말기에 내장되어 되어 다양한 응용에 사용되고 있으며 향후 IoT 및 다양한 데이터 서비스지원을 위해 기존 2.4 GHz 대역 (2.4~2.484 GHz)와 5 GHz 대역 (5.15~5.875 GHz)을 지원하는 규격(802.11a, 802.11b/g)에서 데이터 속도를 향상시킬 수 있는 여러 가지 방안에 대한 연구가 진행되고 있다[7].

그리고 DCS(Digital Cellular System)는 GSM의 주파수 대역 중 하나인 1.8GHz를 사용하는 기술이다. 상향 주파수는 1710.2 MHz에서 1784.8 MHz, 그리고 하향주파수는 1805.2 MHz에서 1879.8 MHz에서 동작한다.[8]

또한 GPS (Global Positioning System)는 GPS 위성에서 보내는 신호를 수신해 사용자의 현재 위치를 계산하는 위성항법시스템으로 항공기, 선박, 자동차 등의 내비게이션장치에 주로 쓰이고 있으며, 최근에는 스마트폰, 태블릿 PC등의 이동통신 단말기에 필수적으로 장착되고 있으며 다양한 응용분야로 확대될 것으로 예측되고 있다[9-10].

따라서 향후에는 차량 내를 비롯한 다양한 공간에서 GPS/DCS를 포함한 신뢰성 있는 이동통신 환경이 절대적으로 필요하며 따라서 GPS/DCS를 포함한 다중대역 시스템 및 관련 부품들의 개발이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 이러한 부품들에 대한 연구개발 내용 중에 GPS를 포함한 이중대역에서 동작하는 안테나에 대한 연구는 많이 진행되어 왔지만 삼중대역에서 동작 가능한 안테나에 대한 연구는 많지 않다

[11-18].

본 논문에서는 DGS(: Defected Ground Structure) 구조를 적용하여 WLAN 802.11b (2.40~2.484 GHz), 802.11a (5.15~5.875 GHz) 표준화 주파수 대역, 그리고 GPS L1 대역(1.575 GHz), DCS (1.80 GHz)을 포함하는 삼중대역 안테나를 제안하였다.

요구되는 안테나 특성(반사손실, 방사패턴, 이득)을 얻기 위해 제안된 모델에 대한 시뮬레이션을 진행하였다. 제안된 모델의 안테나 특성에 큰 영향을 미치는 파라미터를 확인하고 시뮬레이션을 활용하여 원하는 주파수 대역과 임피던스 특성을 갖는 파라미터 수치를 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

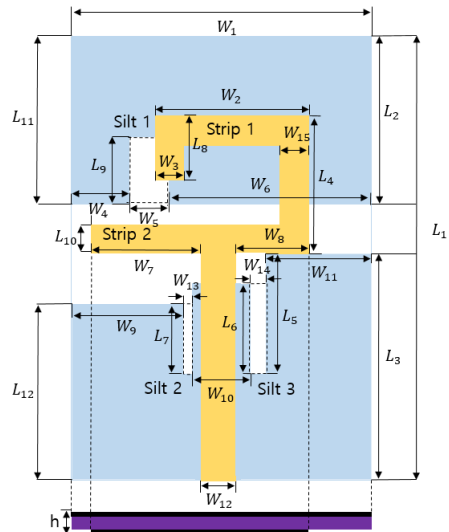


그림 1. 제안된 GPS/DCS/WLAN 안테나의 구조
Fig. 1 Structure of the proposed GPS/DCS/WLAN antenna

그림 1은 제안된 안테나의 구조를 나타내었다. 제안된 안테나의 앞면은 두 개의 마이크로스트립 분기 선로를 가지며 접지면은 슬릿 1, 슬릿 2, 슬릿 3 구조를 삽입하여 GPS/DCS/WLAN 시스템의 주파수 대역

과 대역폭을 만족하도록 설계하였다. 설계사양에서 제안된 안테나는 요구되는 GPS (1.575 GHz), 대역과 DCS (1.80 GHz), 그리고 WLAN (2.40~2.484, 5.15~5.875 GHz) 대역에서 -10dB 이하의 반사손실 특성을

얻어야 하며 방사패턴은 가능한 전방향성 특성을 그리고 최대이득은 0 dBi 이상의 특성을 얻도록 설계하고자 한다.

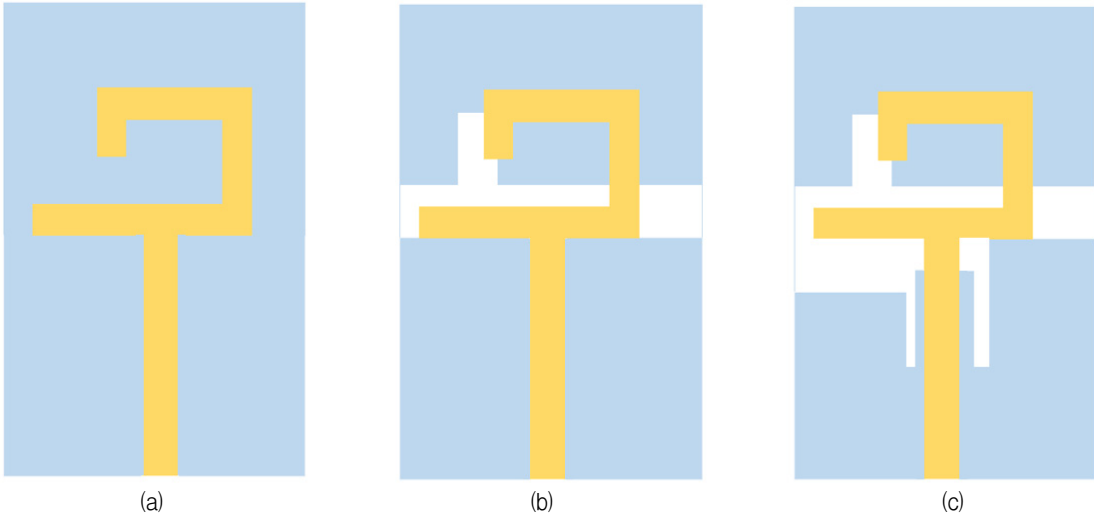


그림 2. 제안된 GPS/DCS/WLAN 안테나의 설계과정
Fig. 2 Design process of proposed GPS/DCS/WLAN antenna

제안된 안테나는 크기가 31 mm(W_1) × 50 mm(L_1)이고 두께(h) 1.6 mm, 유전율(ϵ_r) = 4.4 인 FR-4 기판 위에 22 mm($W_7+W_{12}+W_8$) × 43 mm(L_4+L_3)의 크기로 설계되었다. 제안된 안테나는 두 개의 분기 선로와 접지면의 세 개의 슬릿으로 구성되었으며 두 개의 분기회로는 첫 번째 선로 ($W_8 \times L_{10}+W_{15} \times L_4+W_2 \times L_8+W_3 \times L_8$)와 두 번째 선로($W_7 \times L_{10}$)로 구성되어 있으며 접지면의 슬릿은 슬릿 1($W_7 \times L_{10}$), 슬릿 2 ($W_7 \times L_{10}$), 슬릿 3($W_7 \times L_{10}$)으로 구성되었다. 안테나 설계를 위해 3D로 설계 가능한 Ansoft사의 HFSS 프로그램을 사용하여 반사손실 특성을 최적화 하고 전방향성 방사특성과 최대 이득을 가지도록 설계하였다. 설계된 안테나의 최적화한 수치는 표1에 나타내었다.

표 1. 설계된 안테나의 파라미터
Table 1. Parameter of the designed antenna

Parameters	Value [mm]	Parameters	Value [m]
L_1	50.0	W_1	31.0
L_2	16.3	W_2	15.0
L_3	29.0	W_3	3.0
L_4	14.0	W_4	6.0
L_5	15.7	W_5	4.0
L_6	12.5	W_6	21.0
L_7	10.0	W_7	12.5
L_8	6.2	W_8	6.5
L_9	7.25	W_9	13.1
L_{10}	3.0	W_{10}	4.8
L_{11}	16.3	W_{11}	10.9
L_{12}	23.3	W_{12}	3.0
h	1.6	W_{13}	0.75
		W_{14}	1.53
		W_{15}	3.0

그림 2는 제안된 안테나의 설계 과정을 나타내었으며 그림 2(a)는 기본적인 안테나의 형상을 나타내며 그림 2(b)는 슬릿 1을 삽입하여 단순한 DGS(Defected Ground Structure) 패턴을 나타내었다. 그림 2(c)는 추가적인 슬릿2 와 슬릿 3을 삽입하여 다소

복잡한 DGS(: Defected Ground Structure) 패턴을 설계하였으며 논문에서 요구되는 GPS (1.575 GHz) 대역과 DCS (1.80 GHz), WLAN (2.40~2.484, 5.15~5.875 GHz)대역을 만족시켰다.

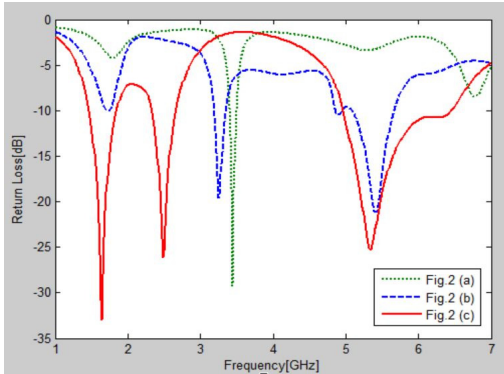


그림 3. 그림 2의 안테나 설계과정에 따른 시뮬레이션 반사손실

Fig. 3 Simulation reflection loss according to the antenna design process of Figure 2

그림 3은 그림 2의 제안된 안테나의 설계과정 중에 각 모델에 대한 반사손실 특성을 나타낸 결과이다. 그림 3에서 보듯이 그림 2(a)는 일반적인 두 분기회로를 갖는 안테나이며 시뮬레이션 결과는 -10dB 기준으로 90MHz (3.41~3.49 GHz)사이에서 협대역으로 공진이 일어나며 그림 2(b)는 간단한 DGS 구조를 갖는 모델로 -10dB 기준으로 130 MHz (1.71~1.84 GHz), 140 MHz (3.19~3.35 GHz), 570 MHz (5.21~5.78 GHz)에서 각각 공진이 일어나지만 논문에서 요구되는 대역폭을 얻을 수는 없었다. 그림 2 (c)는 그림 2(b)의 DGS(: Defected Ground Structure) 구조에서 슬릿 2와 슬릿 3을 추가로 삽입한 구조로써 시뮬레이션 결과 -10dB 기준으로 400 MHz (1.45~1.85 GHz), 320 MHz (2.32~2.64 GHz), 1,360 MHz (4.96~6.32 GHz)의 특성으로 GPS/DCS/WLAN 대역에 만족하는 결과를 얻었다.

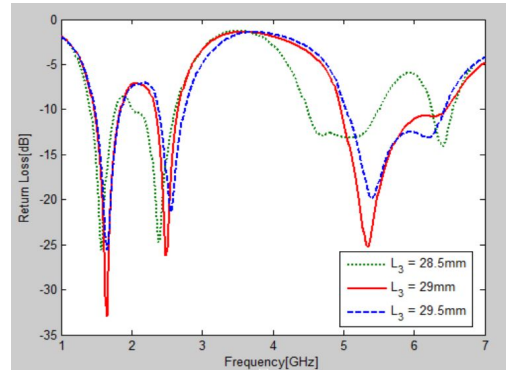


그림 4. L3 길이 변화에 의한 시뮬레이션 반사손실
Fig. 4 Simulation return loss due to L3 length change

제안된 안테나 특성에 커다란 영향을 미치는 파라미터를 찾기 위해서 시뮬레이션을 진행하였으며 그중 L_8 , W_7 , L_3 의 파라미터는 제안된 안테나 특성에 커다란 영향을 주지 않는 것으로 확인하였다. L_8 의 길이는 첫 번째 분기 선로 길이이며 L_8 의 길이변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성 결과 대역폭의 변화가 거의 없었다. 또한 W_7 는 두 번째 분기선로의 길이이며 마찬가지로 길이변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성 결과 대역폭의 차이가 거의 없었다. 이러한 결과 L_8 , W_7 의 선로 길이의 변화보다는 접지면의 슬릿 구조에 따른 제안된 안테나 반사손실 특성 변화가 더 크다는 것으로 의미한다. 마이크로스트립 구조는 제안된 안테나의 특성에 많은 영향을 끼치지 못하면 접지면의 DGS(: Defected Ground Structure)가 제안된 안테나의 반사손실 특성에 커다란 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

그림 4는 슬릿 3에서 우측에 위치한 L_3 의 길이변화에 따른 반사손실 특성을 시뮬레이션 결과로 나타내었으며 28.5 mm부터 29.5 mm까지 0.5 mm 간격으로 길이변화를 주었다. 시뮬레이션 반사손실 결과 L_3 의 길이가 증가할수록 GPS/DCS의 주파수 대역의 변화가 거의 없으며 2.4 GHz 대역에서는 높은 주파수 대역으로 이동하고 있음을 확인할 수 있으며 5.0 GHz 대역에서는 그림 4에서 보듯이 주파수 대역의 변화가 큰 것을 알 수 있으며 결론적으로 L_3 의 길이가 29.0 mm 일 때 최적화된 반사손실 대역폭을 얻을 수 있었다.

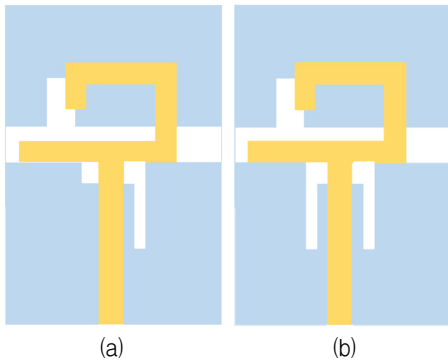


그림 5. (a) 슬릿 3을 삽입 했을때
(b) 슬릿 2와 슬릿 3이 대칭일 때
Fig. 5 (a) When slit 3 is inserted

(b) When the slit 2 and the slit 3 are symmetrical

그림 5 (a)는 슬릿 1을 갖는 DGS(Defected Ground Structure) 패턴에 슬릿 3을 추가적으로 삽입한 구조를 나타낸 그림이며 그림 5 (b)는 그림 5 (a)에서 슬릿 2를 추가적으로 삽입 하였으며 슬릿 3과 슬릿 2가 대칭일 때 나타낸 그림이다. 그림 6은 그림 5에서 나타낸 그림을 시뮬레이션 하여 반사손실의 결과를 나타내었다. 그림 5 (a)의 시뮬레이션 반사손실 결과는 -10dB 기준으로 330 MHz (1.52~1.85 GHz)의 대역폭을 나타내는 것을 확인할 수 있었고 그림 5 (b)의 시뮬레이션 반사손실 결과는 -10dB 기준으로 710 MHz (1.49~2.20 GHz)와 680 MHz (5.26~5.94 GHz)의 대역폭을 확인 할 수 있었으며 두 결과 본 논문에서 요구되는 대역폭을 얻을 수 없었다. 그 결과 그림 2 (c)처럼 슬릿 3의 폭은 1.53 mm(W_{14})와 슬릿 2의 폭을 0.75 mm(W_{13})으로 설정하여 -10dB 기준으로 400 MHz (1.45~1.85 GHz), 320 MHz (2.32~2.64 GHz), 1,360 MHz (4.96~6.32 GHz)의 대역폭을 얻을 수 있었다.

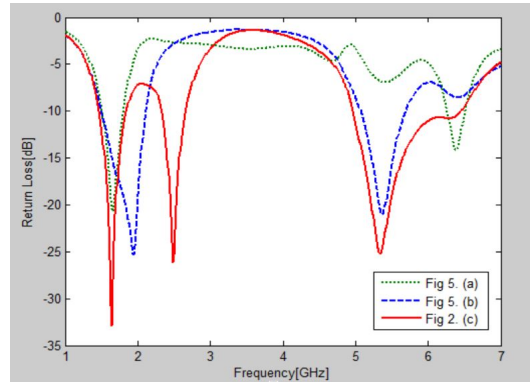


그림 6. 그림 5의 슬릿 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실

Fig. 6 Simulated reflection loss due to slit effect in Fig. 5

제안된 안테나의 대역별 공진 영역을 파악하기 위해 그림 7과 같이 각 대역의 전류분포도를 나타내었다. 그림 7(a)는 1.80 GHz 주파수에서, 그림 7(b)는 2.45 GHz 주파수에서, 그리고 그림 7(c)는 5.60 GHz 주파수에서 제안된 안테나의 전류 분포를 나타내었다. 그림 7(a) 경우 1.80 GHz 주파수에서는 슬릿 3의 우측과 가장 긴 스트립 라인에 강한 전류밀도가 분포 되어있음을 알 수 있고 그림 7(b) 경우 2.45 GHz 주파수에서는 두 번째 스트립 라인에서 강한 전류 밀도가 분포함을 알 수 있다. 그리고 그림 7(c) 경우 5.60 GHz 주파수에서는 슬릿 3의 좌측과 우측에 전류밀도의 분포가 강하게 일어나는 것을 확인할 수 있다.

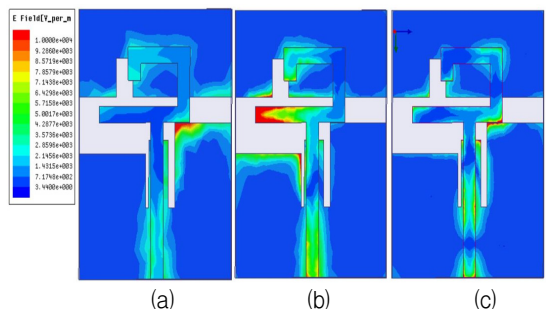


그림 7. 제안된 안테나의 전류분포

(a) 1.80 GHz, (b) 2.45 GHz, (c), 5.60 GHz

Fig. 7 The current distribution of the proposed antenna (a) 1.80 GHz, (b) 2.45 GHz, (c), 5.60 GHz

III. 제작 및 측정결과

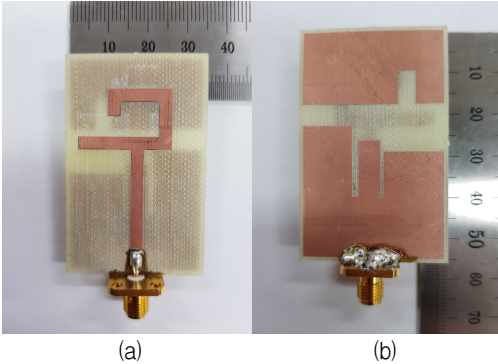


그림 8. 제안된 안테나의 프로토타입 (a) 앞면 (b) 뒷면

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

그림 8는 최적화된 표 1의 파라미터 수치를 사용하여 제작된 안테나이다. 그림 9은 제안된 안테나의 실제 제작한 결과와 시뮬레이션 결과를 나타내었다. -10dB 기준으로 1.5/1.8 GHz 대역에서는 340 MHz (1.465~1.805 GHz), 2.4 GHz 대역에서는 480 MHz (2.155~2.635 GHz), 그리고 5.0 GHz 대역에서는 1,950 MHz (4.975~6.925 GHz)으로 논문에서 요구되는 GPS/DCS/WLAN의 대역이 만족한 것을 확인하였다.

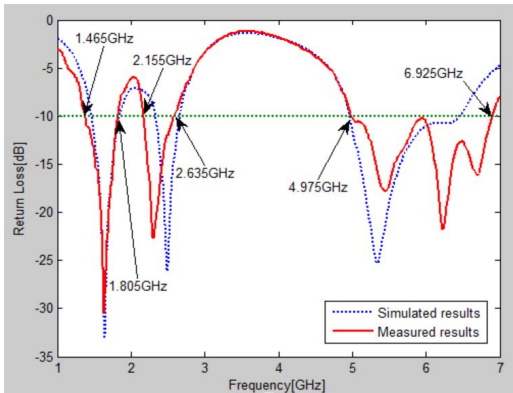


그림 9. 제안된 안테나의 측정된 반사손실
Fig. 9 The measured return loss results of the proposed antenna

그림 10, 11, 12, 13은 제작된 안테나의 방사패턴을 측정한 것이다. 그림 10은 1.5 GHz 주파수에서 그림 11은 1.8 GHz에서 그림 12는 2.45 GHz에서 그림 13은 5.6 GHz에서 방사패턴을 나타내었다. 제안된 안테나에서 측정된 방사패턴은 3D로 제시하였고 동작대역에서는 전체적으로 전방향성의 특성을 나타낸다. 그림 14는 측정된 안테나의 이득을 나타내었다. 1.5 GHz에서는 -3.95 dBi 평균이득과 0.25 dBi의 최대이득을 얻었으며 1.8 GHz에서는 -4.26 dBi 평균이득과 2.08 dBi의 최대이득을 그리고 2.45 GHz에서는 -1.78 dBi의 평균이득과 4.70 dBi의 최대이득 얻었고 5.6 GHz에서는 -5.38 dBi 평균이득과 그리고 2.22 dBi의 최대이득을 얻었다.

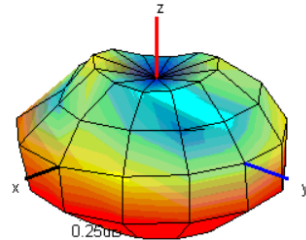


그림 10. 1.50 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 10 Measured 3-D radiation pattern in 1.50 GHz

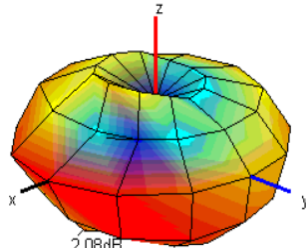


그림 11. 1.80 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 11 Measured 3-D radiation pattern in 1.80 GHz

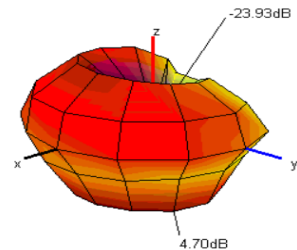


그림 12. 2.45 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 12 Measured 3-D radiation pattern in 2.45 GHz

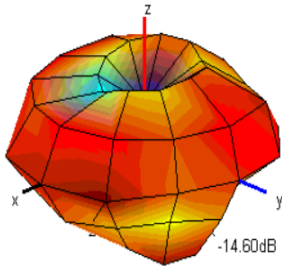


그림 13. 5.60 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 13 Measured 3-D radiation pattern in 5.60 GHz

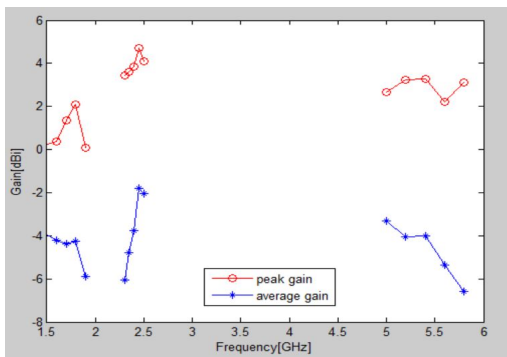


그림 14. 제안된 안테나의 측정된 최대 그리고 평균 이득
Fig. 14 Measured peak and average gains of the proposed antenna

IV. 결론

본 논문에서는 두 개의 스트립 선로와 접지면의 다양한 슬릿을 삽입하여 GPS/DCS/WLAN의 삼중대역을 갖도록 설계하였다. Ansoft사의 HFSS 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 결과부터 안테나를 제작하였다. -10dB 기준으로 $1.5/1.8\text{ GHz}$ 대역에서는 340 MHz ($1.465\sim 1.805\text{ GHz}$), 2.4 GHz 대역에서는 480 MHz ($2.155\sim 2.635\text{ GHz}$), 그리고 5.0 GHz 대역에서는 1950 MHz ($4.975\sim 6.925\text{ GHz}$)으로 논문에서 요구되는 GPS/DCS/WLAN의 대역이 만족한 것을 확인하였다. 1.5 GHz 에서는 -3.95 dBi 평균이득과 0.25 dBi 의 최대이득을 얻었으며 1.8 GHz 에서는 -4.26 dBi 평균이득과 2.08 dBi 의 최대이득을 그리고 2.45 GHz 에서는 -1.78 dBi 의 평균이득과 4.70 dBi 의 최대이득 얻었고 5.6 GHz 에서는 -5.38 dBi 평균이득과 그

리고 2.22 dBi 의 최대이득을 얻었다. 따라서 본 논문에서 제안된 안테나에서 요구되는 GPS/DCS/WLAN 대역에서 잘 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

Reference

- [1] W. Yong, "Characteristics of microstrip array antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 7 no. 6, 2012, pp. 1281-1286.
- [2] S. Kakkar and S. Rani, "A novel antenna design with DGS for emergency management," *International J. of applied Electromagnetics*, vol. 42, no. 4, 2013, pp. 629-638.
- [3] K. Kim, "Design and fabrication of DGS band-pass filter for dual-band," *J. of the Korean Association of Information Technology*, vol. 12 no. 9, 2014, pp. 37-43.
- [4] J. Kim, G. Kim, and S. Kim, "Low pass filter design using the SRR-DGS resonator," *J. of the Korean Society of Information and Electronics and Telecommunications*, vol. 8, no. 4, 2015, pp. 257-258.
- [5] T. Choe, J. Kim, and J. Yoon, "A Design and implementation of dual-band monopole antenna with DGS," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 9, 2016, pp. 841-848.
- [6] V. Satam, "Two element compact UWB diversity antenna with combination of DGS and parasitic elements," *Wireless Personal Communications*, vol. 98, no. 3, 2018, pp. 2901-2911.
- [7] 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.
- [8] D. Cho, H. Son, J. Lee, and S. Lee, "A Study on the Enhancement of Isolation of the MIMO Antenna for LTE/DCS1800/USPCS1900 Handset," *J. of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 47, no. 10, 2010, pp. 80-85.

[9] J. Hur, G. Byun, H. choo, and Y. Kay, "Design of dual-band GPS antenna using a single-layer coupled-feed structure," *Electronic Society of Korea*, vol. 27, no. 9, 2016, pp. 775-782.

[10] O. Kwon, R. Song, and B. Kim, "A fully integrated Shark-fin antenna for MIMO-LTE, GPS, WLAN and wave applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 4, 2018, pp. 600-603.

[11] H. Liu, F. Qin, J. Lei, and P. Wen, "Dual-band Microstrip-fed Bow-Tie antenna for GPS and WLAN application," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 56, no. 9, 2014, pp. 2088-2091.

[12] S. Yoon and M. Jong, "A design of dual-band microstrip antenna loading inverted L-shaped parasitic elements vertically at radiation apertures for GPS applications," *The J. of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 14, no. 5, 2015, pp. 38-43.

[13] M. Ahsan, M. Islam, and M. Ullah, "A Microstrip-fed reformed rectangular shape slotted patch antenna for simultaneous operation in GPS and WLAN bands," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 57, no. 9, 2015, pp. 2204-2207.

[14] S. Chen, M. Fang, D. Dong, M. Han, and G. Liu, "Compact multiband antenna for GPS/WiMAX/WLAN applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 57, no. 8, 2015, pp. 1769-1773.

[15] D. Seo, H. Lee, J. Jung, and Y. Sung, "Dual-band antenna using a C-Shaped dual-feed for GPS/WLAN applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 58, no. 5, 2016, pp. 1207-1211.

[16] W. Ren, S. Hu, and C. Jiang, "An ACS-fed, F-shaped monopole antenna for GPS/WLAN/WIMAX applications," *J. of Microwave and Wireless Technologies*, vol. 9, no. 5, 2017, pp. 1123-1129.

[17] H. Piao, Y. Jin, J. Tak, and J. Choi, "Compact mobile quad-band slot antenna design for GPS, WiMAX, and WLAN applications," *J. of*

Electromagnetic Engineering and Science, vol. 17, no. 2, 2017, pp. 57-64.

[18] S. Ullah, F. Faisal, A. Ahmad, and U. Ali, "Design and analysis of a novel triple-band flower-shaped planar antenna for GPS and WiMAX applications," *J. of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 31, no. 9, 2017, pp. 927-940.

저자 소개



김민재(Min-Jae Kim)

2018년 2월 신라대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2018년~현재 신라대학교 일반대학원 스마트전기전자공학부 석사과정

※ 관심분야 : RF & Antenna, DGS



박상욱(Sang-Wook Park)

2018년 2월 신라대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2018년~현재 신라대학교 일반대학원 스마트전기전자공학부 석사과정

※ 관심분야 : RF & Antenna



윤중환(Joong-Han Yoon)

1992년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1994년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
2005년 8월 인하대학교 Post-Doc.
2006년 11월 요코하마 국립대학 Post-Doc.
2008년 8월 삼성전기 책임연구원
2008년 ~ 현재 신라대학교 전자공학과 부교수
※ 관심분야 : RF & Antenna, Radar