

다중 통신서비스를 위한 평판 슬롯 광대역 안테나

Planar Slot Wideband Antenna for Multiple Communication Services

박 동 국*[★], 미겔 페란도 바타예르**

Dong-Kook Park*[★], Miguel Ferrando Bataller**

Abstract

As various communication services have emerged due to the development of mobile communication technology, there is a need for a wideband antenna supporting multiple communication services with one antenna. In this paper, we propose a planar slot wideband antenna that can support all the communication services of 3.1~4.99GHz, the low frequency band of 5G, in addition to the existing communication services such as WiFi, LTE 2300/2500, and WiMAX. Through the simulation, the optimized antenna design parameters were obtained, and the antenna was fabricated to implement an antenna with a frequency bandwidth of 1.96~6.01GHz ($S_{11} < -10\text{dB}$) and presented the radiation pattern and gain of the antenna. The proposed antenna is a multi-band antenna that can provide all the services of LTE, Wifi, WiMAX, and 5G low frequency bands. It can be used as a repeater antenna in radio shadow area such as buildings, dense areas, and ships.

요 약

이동통신 기술의 발전으로 다양한 통신서비스가 출현됨으로 인해 하나의 안테나로 다중 통신 서비스를 지원하는 광대역 안테나를 필요로 하고 있다. 본 논문에서는 WiFi, LTE 2300/2500, WiMAX 등 기존의 통신 서비스에 5G의 저주파수 대역인 3.3~5.0 GHz의 통신서비스를 모두 지원할 수 있는 평판형 슬롯 광대역 안테나를 제안하고자 한다. 시뮬레이션을 통해 최적화된 안테나 설계 파라미터를 구하고, 안테나를 제작하여 주파수 대역폭이 1.96~6.01 GHz($S_{11} < -10\text{dB}$)인 안테나를 구현하였고, 안테나의 방사패턴 및 이득을 제시하였다. 제안하는 안테나는 LTE, Wifi, WiMAX, 5G 저주파 대역의 서비스를 모두 제공할 수 있는 다중 대역 안테나로 건물 내 또는 건물 밀집지역, 선박 등 전파 음영지역에서 중계기용 안테나로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

Key words : Multi-band antenna, wideband antenna, slot antenna, 5G antenna, repeater antenna

* Dept. of Electronics and Electrical Inf. Engineering,
Korea Maritime & Ocean University
** ITEAM, Polytechnic University of Valencia, Spain
★ Corresponding author
E-mail: dkpark@kmou.ac.kr, Tel: +82-51-410-4311
Manuscript received Feb. 25, 2020; revised Mar. 18, 2020;
accepted Mar. 20, 2020,
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.

1. 서론

이동통신 기술의 발전에 의해 새로운 서비스가 출현하면 이를 지원하는 통신기기 및 안테나 개발이 필요하게 된다. 최근에는 국가별로 다르기는 하지만 전세계적으로 5G 서비스를 시작하거나 준비 중에 있고, 주파수 대역 또한 나라별로 상이하지만 5G 주파수 대역 중 저주파수 대역으로 약 3.3~5.0 GHz 대역 주파수를 사용하고 있다[1]. 그러므로 5G 서비스를 위한 기지국 및 단말기용 안테나 개발이 진행 중이다. 특히 건물 내 또는 건물 밀집지

역과 같은 전자파 음영 지역에서 이러한 통신 서비스를 지원하기 위해 사용되는 소형 중계국은 하나의 중계기로 여러 형태의 다양한 통신서비스를 지원할 수 있도록 설계하고 있다. 따라서 하나의 안테나로 다중 통신 서비스를 지원하는 광대역 안테나 개발이 필요하다[2]-[5].

광대역 안테나를 설계하는 방법으로 많은 방법들이 사용되고 있으며, 특히 마이크로스트립 슬롯 안테나는 두께가 얇고, 평면형이며, 제작의 용이성 때문에 많은 관심을 받아 왔다[6]-[9]. 광대역의 마이크로스트립 슬롯 안테나를 얻기 위해 기생 패치 소자를 슬롯에 추가하거나[6], 접지면에 fractal 구조의 슬롯을 추가한 안테나가 제안되었다[7]. 또한 접지면에 마름모 모양의 슬롯을 갖는 구조[8], 접지면에 물결모양 구조의 슬롯을 추가하여 광대역 슬롯 안테나를 구현한 구조도 발표되었다[9].

본 논문에서는 WiFi(2.4~2.48, 5.15~5.876 GHz), LTE 2300/2500(2.3~2.69 GHz), WiMAX(2.30~2.36, 2.50~2.90, 3.30~3.80 GHz) 등 기존의 통신 서비스에 5G의 저주파수 대역인 3.3~5.0 GHz의 통신서비스를 모두 지원할 수 있는 2.3~5.9 GHz 대역을 포함하는 광대역 안테나를 제안하고자 한다. 접지면에 마름모 모양의 슬롯과 링 모양의 스트립을 이용하여 광대역 특성을 구현하였다. 상용 툴(tool)인 CST사의 Micro-wave Studio(MWS)를 이용한 모의실험을 통해 최적화된 안테나 설계 수치를 얻었고, 이를 근거로 안테나를 제작하여 실험을 통해 2.3~5.9 GHz의 대역을 포함하는 1.96~6.01 GHz (비대역폭 101.6%) 주파수 범위에서 반사계수가 -10 dB 이하가 되는 안테나를 구현하였다.

II. 안테나 설계 및 해석

1. 안테나 구조

제안하는 안테나 구조를 그림 1에 나타내었다. 유전체 기판의 윗면에 마름모 모양의 슬롯 2개가 연결되어 있고, 그 중심에 광대역 매칭을 위한 직사각형 링 스트립이 있는 형태이다. 유전체 기판의 뒷면에는 T 모양의 급전 마이크로스트립 선로가 놓여 있다. T 모양의 급전 선로에서 길이 L_2 스트립의 중심점이 앞면의 직사각형 스트립 링의 중심점과 일치하도록 배치되어 있다. 유전체 기판은 크기

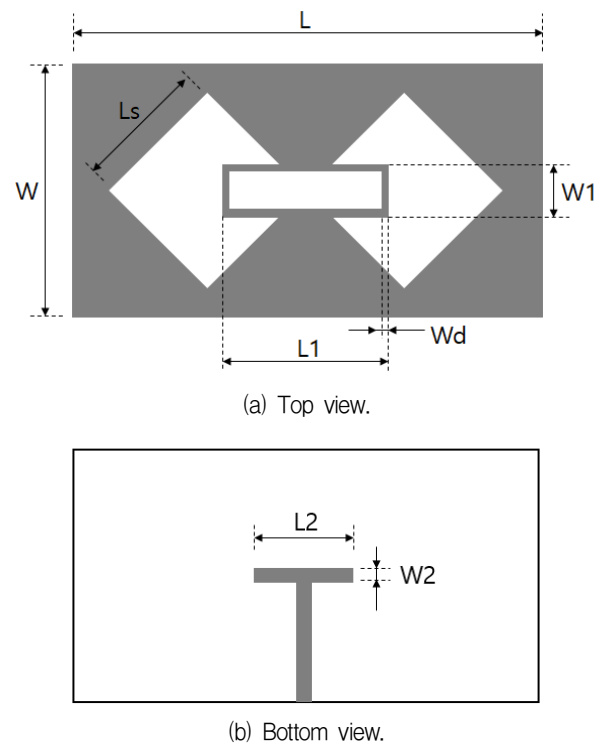


Fig. 1. Geometry of proposed antenna.

그림 1. 제안하는 안테나 구조

86 mm (L) \times 44 mm (W)이고, 유전상수는 4.4, 두께 1 mm 인 FR-4 기판을 사용하였다.

2. 안테나 설계 과정

그림 2에 일반적인 직사각형 모양의 슬롯에서 제안하는 구조의 슬롯 형상으로 슬롯 모양이 변화하는 과정을 나타내었다. 그림 2의 모든 슬롯 안테나의 급전은 그림 1(b)와 같이 유전체 뒷면에서 T 모양의 마이크로스트립 선로로 급전이 되는 구조이다. 그림 2(a)는 일반적인 직사각형 슬롯 안테나 모양이며, 그림 2(b)는 급전선로를 중심으로 대칭적으로 마름모 모양의 슬롯이 있고, 이 슬롯이 직사각형 슬롯으로 연결되어 있는 모양이며, 그림 2(c)는 제안하는 슬롯 안테나 모양이다. 그림 2에 제시된 3개의 슬롯 안테나에 사용된 유전체 기판의 크기는 모두 동일하며, 3개의 슬롯 안테나에서 횡 방향의 슬롯의 길이도 모두 동일하게 하였다.

그림 3에 그림 2의 안테나에 대한 반사계수 특성을 제시하였다. 일반적인 직사각형 슬롯 안테나의 경우, 슬롯의 길이에 의해 공진주파수가 결정이 되며, 그림 2(a) 안테나의 경우 1.27 GHz, 3.2 GHz, 5.62 GHz에서 공진이 생기는 것을 볼 수 있고, 반

사계수 특성을 살펴보면, $S_{11} < -10$ dB 이하의 주파수 범위가 첫째와 세 번째 공진주파수 근방에서 협대역으로 존재함을 볼 수 있다.

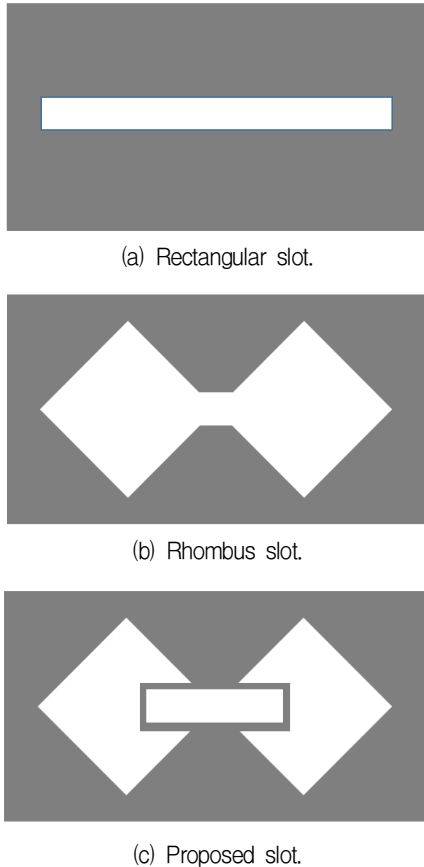


Fig. 2. Design Process of proposed slot antenna.
그림 2. 제안된 슬롯 안테나의 설계 과정

이러한 협대역 특성을 개선하고자 그림 2(b)와 같이 직사각형의 슬롯의 모양을 마름모 모양으로 변형하였다. 그림 2(b)의 경우 그림 2(a)와 공진주파수는 유사하지만 반사계수가 -10 dB 이하인 주파수 대역폭이 크게 개선이 되는 것을 볼 수 있다. 이것은 평판 직사각형 다이폴 안테나에 비해 보우타이(bow-tie) 구조의 다이폴 안테나가 광대역이 되는 것과 동일한 개념이다[10].

그러나 그림 2(b)의 안테나도 우리가 원하는 임피던스 대역폭을 만족하지 못하고 있으므로, 그림 2(c)와 같이 직사각형 링 모양의 스트립을 급전 슬롯 부근에 삽입하였다. 이로 인해 2 GHz 근방에 공진이 생기면서 임피던스 특성이 개선되었다. 즉, 시뮬레이션 결과로부터 급전 슬롯 부근에 삽입한 직사각형 스트립 링이 2 GHz 부근의 공진을 만들

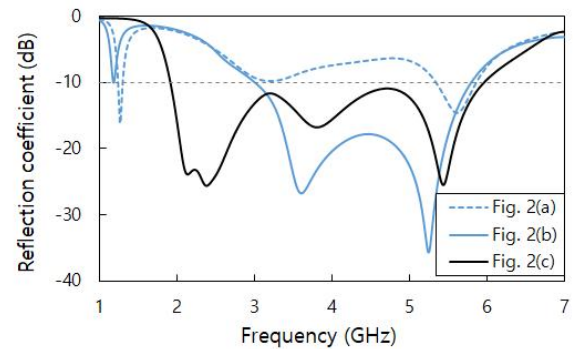


Fig. 3. Reflection coefficient of the three antennas shown in Figure 2.

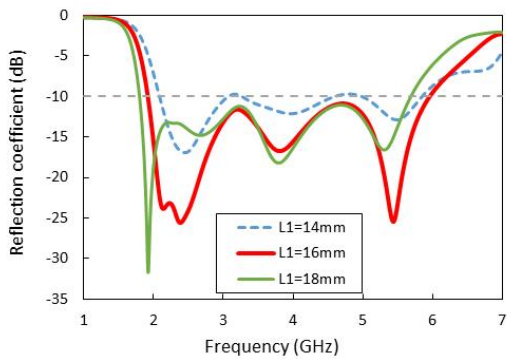
그림 3. 그림 2에 제시된 3개의 안테나의 반사계수

고, 임피던스 정합에도 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

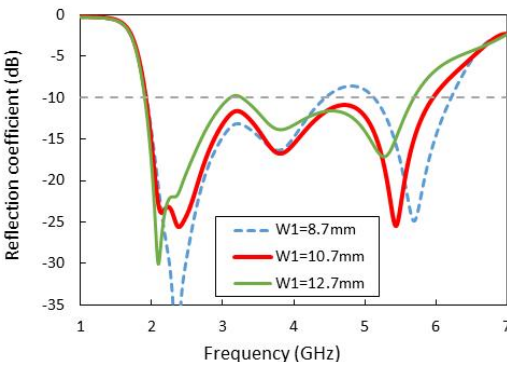
그림 4에 삽입한 직사각형 링 스트립의 가로 길이 L_1 , 세로 길이 W_1 의 변화에 따른 안테나 반사계수 특성을 나타내었다. 단 스트립의 폭 W_d 는 1 mm로 고정하였다. L_1 의 길이가 변함에 따라 공진주파수의 변화가 생기고, 임피던스 대역폭에 변화가 생기는 것을 볼 수 있으며, L_1 의 길이가 작아지면서 임피던스 정합 특성이 나빠지는 것을 볼 수 있다. 또한 W_1 길이 변화에 의해 임피던스 대역폭의 높은 주파수 쪽 변화도 생기지만, 약 3 GHz와 5 GHz 대역에서 임피던스 정합 특성 변화가 서로 반대로 나타나는 것을 볼 수 있다.

그림 5에는 임피던스 정합 특성을 개선하기 위하여 T형 마이크로스트립 선로의 길이 L_2 와 폭 W_2 의 변화에 따른 반사 계수 변화를 나타내었다. 길이 L_2 가 변함에 따라 공진주파수 변화가 크게 나타나며, 약 3 GHz와 5 GHz 대역에서의 임피던스 정합 특성이 서로 반대로 작용함을 볼 수 있다. 또한 W_2 를 크게 하면 임피던스 대역폭이 조금 증가하는 것을 볼 수 있으나 약 3 GHz 대역에서의 임피던스 정합이 점점 나빠지게 됨을 볼 수 있다.

그림 6에 제안된 안테나의 동작주파수 대역 중 2 GHz, 4 GHz, 6 GHz에서의 표면 전류를 삼각형 화살표 모양으로 나타내었다. 대체적으로 큰 전류가 흐르는 경로는 급전선로, 급전부 근처에 놓여 있는 스트립 링과 마름모 모양의 슬롯의 테두리 주변임을 볼 수 있고, 이 모든 경로가 안테나의 동작주파수 및 임피던스 정합에 영향을 미치는 중요한 설계 파라미터가 됨을 알 수 있다.

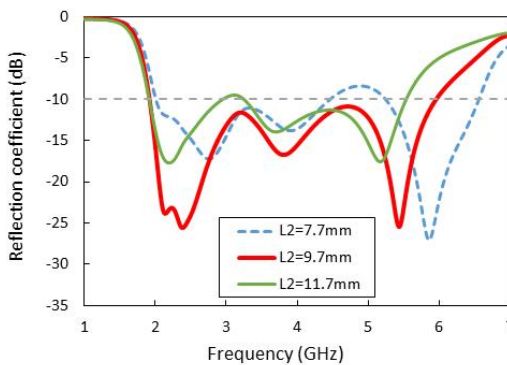


(a) L1.

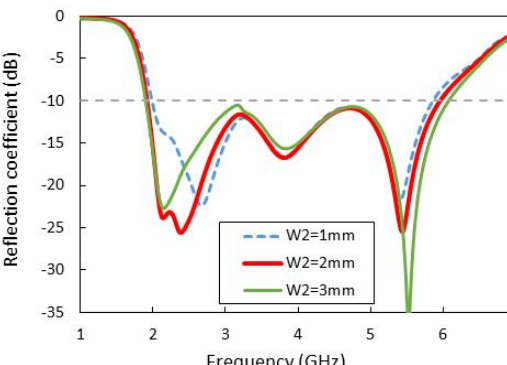


(b) W1.

Fig. 4. Reflection coefficient according to L1 and W1.
그림 4. L2과 W1의 변화에 따른 반사계수

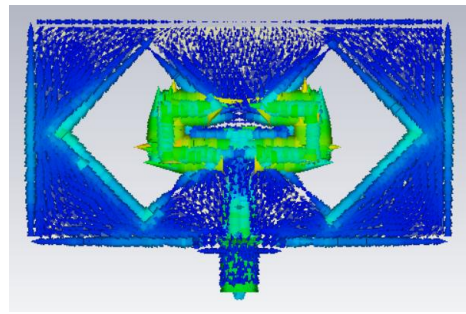


(a) L2.

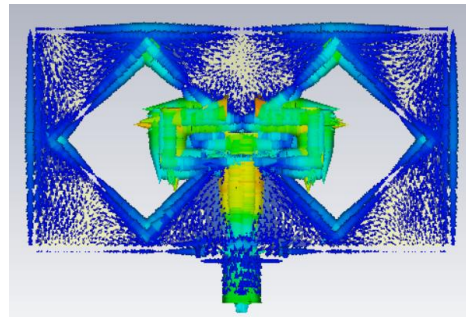


(b) W2.

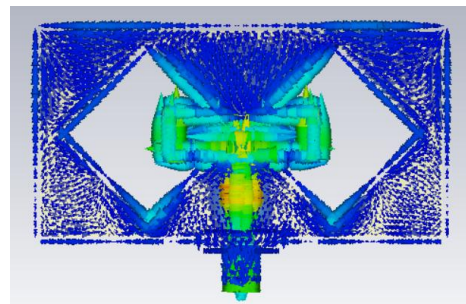
Fig. 5. Reflection coefficient according to L2 and W2.
그림 5. L2와 W2의 변화에 따른 반사계수



(a) 2 GHz.



(b) 4 GHz.



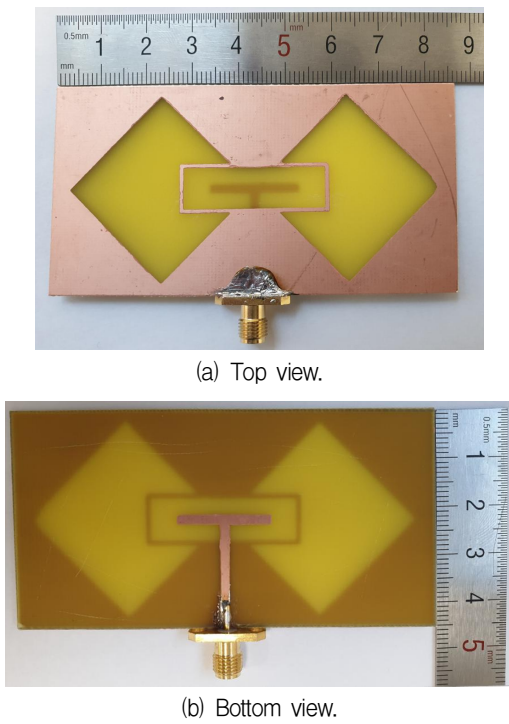
(c) 6 GHz.

Fig. 6. The current flow of proposed antenna.
그림 6. 제안된 안테나의 전류분포

III. 안테나 제작 및 측정

시뮬레이션을 통해 최적화된 안테나 파라미터 수치를 구하고, 이를 바탕으로 두께 1 mm인 FR-4 유전체 기판을 사용하여 제작한 안테나의 모양을 그림 7에 제시하였다. 제작된 안테나의 반사계수를 회로망분석기(Network Analyzer, HP8722ES)를 이용하여 측정하였고, 그 결과를 시뮬레이션 값과 비교하여 그림 8에 나타내었다.

측정한 반사계수 특성이 시뮬레이션 결과와 유사함을 볼 수 있으며, $S_{11} < -10$ dB인 주파수 대역폭이 시뮬레이션에서는 1.918~5.962 GHz (비대역폭 102.6%)였으나, 제작한 안테나의 실험결과는 1.96~6.01 GHz (비대역폭 101.6%)로 측정되어 시뮬레이션과 매우 유사한 값을 얻었다.



(a) Top view.

(b) Bottom view.

Fig. 7. Photographs of the fabricated antenna.
그림 7. 제작된 안테나의 사진. (a) 윗면, (b) 아래면

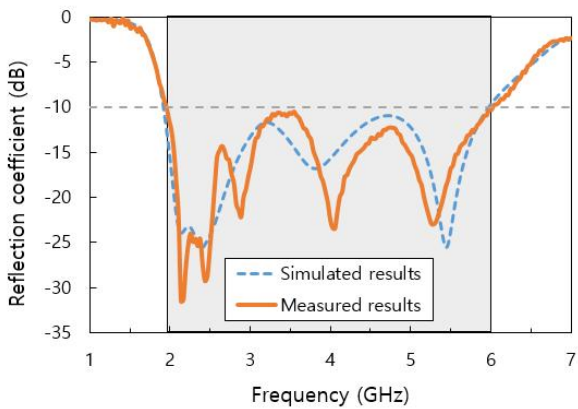
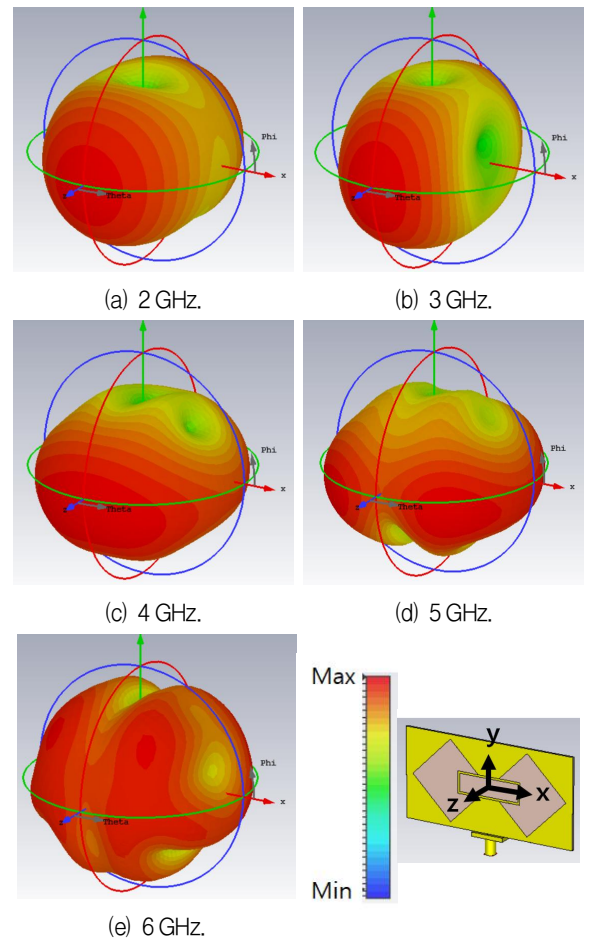


Fig. 8. Simulated and measured reflection coefficient of the propose antenna.

그림 8. 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정 반사계수

그림 9에는 2, 3, 4, 5 및 6 GHz에서의 방사패턴을 나타내었다. 모든 주파수에서 y-z 평면에서는 안테나 수직방향 (z축)으로 최대 빔이 나타나며, x-z 평면에서는 1, 2, 3 GHz에서는 안테나의 수직 방향으로 최대 빔이 형성되지만, 5 GHz 이상에서는 안테나 수직 방향에서 약 $\pm 35^\circ$ 에서 최대 빔이 나타나고 있다. 이것은 5 GHz 이상에서 안테나 표면에 큰 전류가 흐르는 지점들의 횡축 (x축) 방향 간격이 1파장 이상 거리를 두고 있어 생기는 현상이며, 그런 경우라 할지라도 안테나 수직 방향으로의



(a) 2 GHz.

(b) 3 GHz.

(c) 4 GHz.

(d) 5 GHz.

(e) 6 GHz.

Fig. 9. The radiation patterns of the proposed antenna.
그림 9. 제안된 안테나의 방사패턴

빔(beam)의 크기는 결코 작지 않음을 볼 수 있다. 그림 10에 시뮬레이션한 안테나 이득을 나타내었다. 안테나의 동작주파수 대역에서 3 dBi 이상의 이득을 가지며, 3 GHz에서는 최대 6 dBi 이득을 가지는 것을 볼 수 있다.

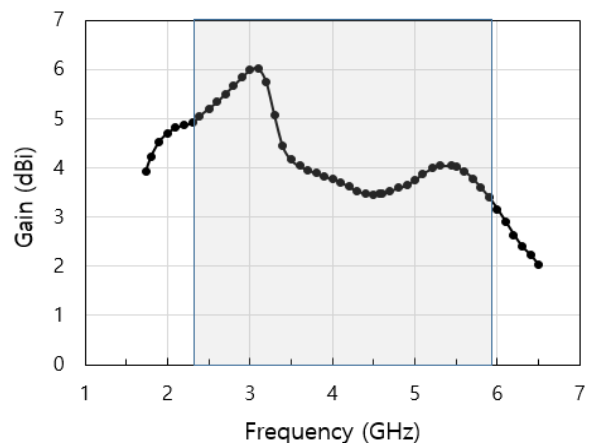


Fig. 10. The simulated gain of the proposed antenna.
그림 10. 제안된 안테나의 시뮬레이션 이득

IV. 결론

본 논문에서는 WiFi, LTE 2300/2500, WiMAX 등 기존의 통신 서비스에 5G의 저주파수 대역인 3.3~5.0 GHz의 통신서비스를 모두 지원할 수 있는 광대역 안테나로 마름모 모양의 슬롯과 직사각형 링 스트립 구조를 갖고, T자형의 마이크로스트립 선로로 급전되는 평판형 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 실험 결과 $S_{11} < -10$ dB인 주파수 대역폭이 1.96~6.01 GHz (비대역폭 101.6%)이며, 이득이 3.0 dBi 이상 되는 광대역 안테나로서, 시뮬레이션 결과와 유사한 실험 결과를 확인하였다.

따라서 제안하는 안테나는 LTE, Wifi, WiMAX 및 5G 저주파 대역의 서비스를 모두 제공할 수 있는 다중 대역 안테나로 건물 내 또는 건물 밀집지역, 선박 내 등 전파 음영 지역에서의 중계기용 안테나로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] Global update on 5G spectrum, <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/spectrum-for-4g-and-5g.pdf> Accessed 2020.
- [2] M. E. Yassin, H. A. Mohamed, E. A. F. Abdallah, and H. S. El-Hennawy, "Single-fed 4G/5G multiband 2.4/5.5/28GHz antenna," *IET Microwaves, Antennas Propagation*, Vol.13, No.3, pp.286-290, 2019. DOI: 10.1049/iet-map.2018.5122
- [3] A. Haskou, A. Pesin, J. Y. Le Naour, A. Louzir, "Four-port, broadband, compact antenna for 5G indoor access and content distribution over WiFi," *Int. Conf. on High Performance Computing & Simulation*, pp.51-56, 2018. DOI: 10.1109/HPCS.2018.00023
- [4] H. Wang, L. Liu, Z. Zhang, Z. Feng, "Wideband tri-port MIMO antenna with compact size and directional radiation pattern," *Electronics Letters*, Vol.50, No.18, pp.1261-1262, 2014. DOI: 10.1049/el.2014.2291
- [5] B. Kaewchan, W. Naktong and A. Ruengwaree, "T-shape slot in rectangular slot antenna to enlarge bandwidth for broadband communication," *Proc. of the 9th Int. Symp. on Antennas, Propagation and EM theory*, pp.282-285, 2010. DOI: 10.1109/ISAPE.2010.5696454
- [6] Y. Sung, "Bandwidth enhancement of a microstrip line-fed printed wide-slot antenna with a parasitic center patch," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol.60, No.4, pp.1712-1716, 2012. DOI: 10.1109/TAP.2012.2186224
- [7] Wen-Ling Chen, Guang-Ming Wang, and Chen-Xin Zhang, "Bandwidth enhancement of a microstrip-line-fed printed wide-slot antenna with a fractal-shaped slot," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol.57, No.7, pp.2176-2179, 2009. DOI: 10.1109/TAP.2009.2021974
- [8] Jen-Yea Jan, Jia-Wei Su, "Bandwidth enhancement of a printed wide-slot antenna with a rotated slot," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol.53, No.6, pp.2111-2114, 2005. DOI: 10.1109/TAP.2005.848518
- [9] T. Kim, S. Yoon, H. Lee, J. H. Choi, "Wideband slot antenna with corrugated structure," *The Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol.27, No.1, pp.14-19, 2016. DOI: 10.5515/KJKIEES.2016.27.1.14
- [10] M. T. Wu M. L. Chuang, "Compact broadband planar antennas with modified bow-tie patch," *Proc. of Int. Symp. on Antennas and Propagation*, Taiwan, pp.491-492, 2014. DOI: 10.1109/ISANP.2014.7026741

BIOGRAPHY

Dong-Kook Park (Member)



1987 : BS degree in Electronics Engineering, Pusan National University.

1989 : MS degree in Electrical and Electronics Engineering, KAIST.

1994 : PhD degree in Electrical and Electronics Engineering, KAIST.

1996~Present : Professor, Korea Maritime & Ocean University

Miguel Ferrando Bataller (Member)

1982 : PhD degree in
Telecommunication Engineering,
Polytechnic University of Catalonia.
1990~Present : Professor, Polytechnic
University of Valencia.