

비대칭 인셋 급전을 사용한 이중 대역 패치 안테나 설계

Design of Dual-Band Patch Antenna Using Asymmetric Inset Feeding

박 동 국*

Dong-Kook Park*

Abstract

This paper presents a novel method of implementing a dual-band antenna using a square patch with an inset feed structure. The proposed method is to simply design a dual-band antenna using an asymmetric inset structure with different lengths of slots dug into the patch for inset feeding. To verify the proposed method, a dual-band inset patch antenna supporting 1.57 GHz GPS and 2.4 GHz WiFi bands was designed and manufactured on a 1 mm thick FR4 substrate. From measurement, it was confirmed that the frequency bands of the antenna that satisfy a return loss of -10dB or less are 1.55~1.57GHz and 2.41~2.45GHz, which has dual-band characteristics. Using the proposed method, it is possible to simply implement a dual-band antenna using inset feeding, and it is expected to be utilized in a variety of application fields.

요 약

본 논문에서는 인셋(inset) 급전 구조의 사각형 패치 안테나를 이용하여, 2중 대역 안테나를 구현하는 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 방법은 인셋 급전을 위해 패치 안테나 안으로 파고 들어간 슬롯의 길이를 다르게 한, 비대칭(asymmetric) 인셋 구조를 이용하여, 간단히 이중 대역 안테나를 설계하는 방법이다. 제안한 방법의 검증을 위해, 1.57GHz의 GPS와 2.4GHz WiFi 대역 지원 하는 이중 대역 인셋 패치 안테나를 두께 1mm의 FR4 유전체 기판에 설계하고, 제작하였다. 제작한 안테나의 측정 결과 -10 dB 이하의 반사손실을 만족하는 주파수 대역은 1.55~1.57 GHz 및 2.41~2.45 GHz로 이중 대역 특성을 갖는 것을 확인하였다. 제안한 방법을 사용하면, 인셋 급전을 이용하는 이중 대역 안테나를 간단히 구현할 수 있으며, 다양한 응용 분야에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

Key words : Asymmetric inset, dual-band, inset fed, patch antenna, microstrip antenna

1. 서론

마이크로스트립 패치 안테나는 부피가 적고, 가격이 저렴하고, 평판형이므로 이동통신용 안테나로 많이 사용되고 있다[1]-[6]. 또한 이동통신의 발달로 다중 서비스를 하나의 단말기로 이용하려는 필요성이 대두되어, 하

나의 안테나로 다중 대역 특성을 지원하는 다중 대역 안테나 개발이 활발히 이루어지고 있다[3]-[6]. 그러나 인셋(inset) 급전 구조를 사용하는 패치 안테나의 경우 다중 대역 안테나 연구가 다른 종류의 안테나에 비해 미흡하다.

본 논문에서는 인셋 급전 구조의 사각형 패치 안테나

* Dept. of Electronics and Electrical Inf. Engineering, Korea Maritime & Ocean University

* Corresponding author

E-mail : dkpark@kmou.ac.kr, Tel : +82-51-410-4311

Manuscript received Oct. 5, 2023; revised Oct. 25, 2023; accepted Nov. 6, 2023.

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.

를 이용하여, 이중 대역(dual-band) 안테나를 구현하는 방법을 제안한다. 인셋 급전을 위해 패치 안테나 안으로 파고 들어간 슬롯의 길이를 다르게 한, 비대칭(asymmetric) 인셋 구조를 이용하여 간단히 구현이 가능한 이중 대역 안테나에 대해 시뮬레이션을 하고, 실험을 통해 결과를 검증하였다.

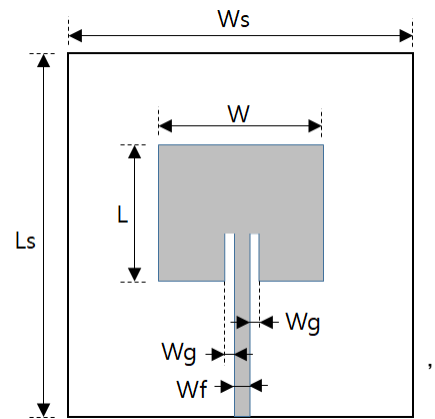
II. 안테나 설계 및 해석

그림 1(a)에는 일반적으로 많이 사용하는 인셋 급전 방식의 마이크로스트립 사각형 패치 안테나 구조를 나타내었다. 인셋 급전 패치 안테나는 50Ω 의 특성임피던스를 갖는 마이크로스트립 급전 선로를, 안테나의 입력 임피던스가 50Ω 되는 위치까지 패치의 안쪽으로 파고 들어가 연결함으로써, 별도의 임피던스 정합회로가 필요 없는 장점이 있다. 또한, 그림 1(a)의 안테나 공진 주파수는 길이 L 에 의해 결정되며, 인셋 급전을 위해 패치 안테나로 파고 들어간 슬롯의 깊이 d_1 과 d_2 의 길이는 동일하다. 이 경우 안테나의 반사계수 특성을 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 공진이 f_0 주파수에서 생기는 것을 볼 수 있다.

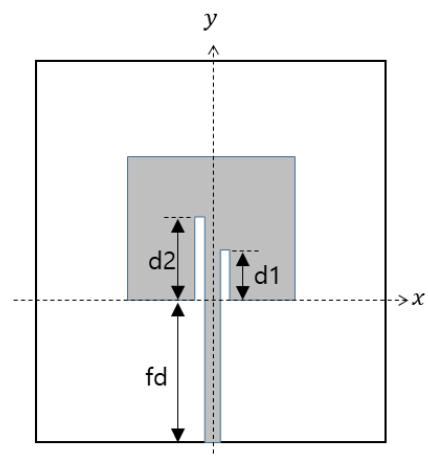
본 논문에서 제안하는 안테나는 그림 1(b)와 같이, d_1 과 d_2 의 길이가 다른, 즉 비대칭(asymmetric) 인셋 급전을 갖는 안테나로서, 비대칭 급전의 경우 어떤 현상이 생기는데 대해 연구를 하였다. 안테나의 공진 길이 L 은 고정하고, 또한 안테나 급전선로의 길이 fd 에 따른 변화는 미미하므로 급전 길이 fd 도 고정하고, 비대칭 인셋 급전을 위한 슬롯의 길이 변화에 따른 공진주파수 변화를 중점적으로 살펴보고자 한다.

$d_2 = d_1 + \Delta d$ 라 두고, 먼저 $\Delta d = 0\text{mm}$ 인 대칭형 인셋 안테나에서 길이 d_1 를 조절하여 f_0 에서 임피던스 정합이 되는 안테나를 설계한다. 그림 2에 이 경우의 반사계수 특성을 제시하였다.

비대칭 인셋 급전을 위해 Δd 를 4mm , 6mm , 8mm 로 변화를 주었을 때, 반사손실 특성을 그림 3에 나타내었다. $\Delta d = 0\text{mm}$ 인 그림 2와 비교하면, $d_1 = d_2$ 인 경우에는 f_0 주파수에서만 공진이 생겼으나, $\Delta d \neq 0$ 인 경우 f_0, f_1 의 2개의 주파수에서 공진이 생겼다. 즉, 비대칭 인셋 급전으로 이중 대역 안테나를 구현할 수 있음을 알 수 있다. 이것은 그림 2, 그림 3의 스미스 차트(Smith chart) 상에 제시된 입력 임피던스 변화에서도 알 수 있다. 그림 2(b)에서 $\Delta d = 0\text{mm}$ 일때는 공진원(resonance circle)이



(a) A typical inset fed patch antenna



(b) The proposed antenna

Fig. 1. The proposed asymmetrical inset fed patch antenna.
그림 1. 제안된 비대칭 인셋 급전 패치 안테나

하나만 존재하였으나, 그림 3(b)에서 $\Delta d \neq 0$ 일 때 두 개의 공진원의 생기며, Δd 가 증가하면 f_0 공진원은 반경이 동일하지만 f_1 공진원은 Δd 의 증가에 따라 공진원의 반경도 증가하는 것을 볼 수 있다.

그림 3에서 임피던스 정합 관점에서 보면 $\Delta d = 6\text{mm}$ 일 때가 임피던스 정합이 가장 좋고, 다른 길이에서는 공진주파수에서 임피던스 정합 특성이 다소 좋지 않음을 알 수 있다. 즉, d_2 의 길이를 조정하면 임피던스 정합 특성이 좋은 주파수 대역이 존재하는 것을 알 수 있다. 그러나 원하는 f_1 주파수에서 임피던스 정합 특성이 좋게 만들기 위해, 안테나의 폭 W 를 가변해 보았다.

$\Delta d = 6\text{mm}$ 로 고정을 하고, 그림 1의 패치 안테나의 폭 W 를 가변한 안테나의 폭을 $W + \Delta W$ 라 할 때, ΔW 가 -3mm , 0mm , $+3\text{mm}$ 일 때의 공진주파수 변화를 그림 4(a)에 나타내었다. 그림 4(a)에서 f_0 주파수는 ΔW 의 변화에 거의 변화가 미미하며, f_1 주파수는 W 가 증가하면 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그림 4(b)는 대

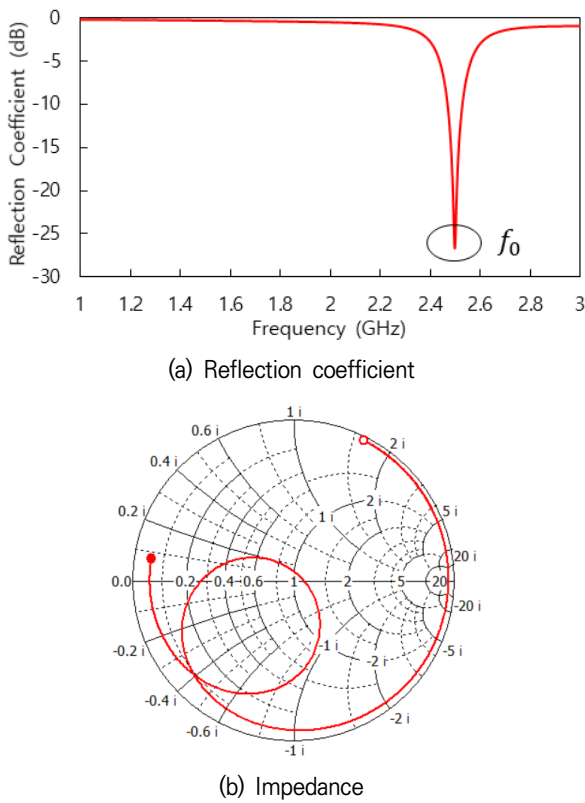


Fig. 2. A typical inset fed patch antenna.
 그림 2. 일반적인 인셋 급전 패치 안테나

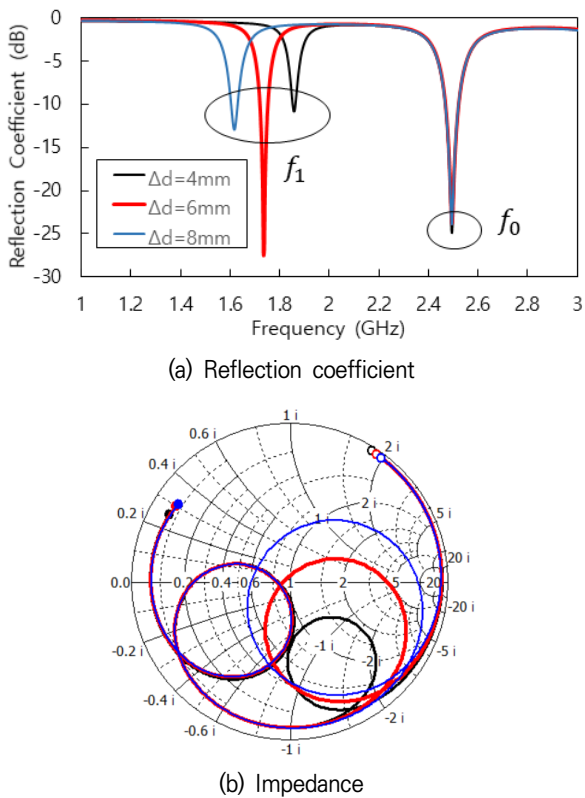


Fig. 3. Reflection coefficient and impedance of the proposed antenna according to Δd .
 그림 3. Δd 의 변화에 따른 제안한 안테나 반사계수 및 임피던스

칭형($\Delta d = 0mm$) 인셋 급전이며, 패치 안테나의 폭은 ΔW 가 $+3mm$ 인 경우의 반사계수를 나타내었다. 이 경우에는 이중 공진 현상이 생기지 않음을 알 수 있다. 즉, 안테나의 이중 공진 현상은 그림 1(a)와 같은 균일한 인셋 급전에서 안테나의 폭 W 의 길이에 의해 생기는 것이 아니라, 비대칭 인셋 급전에 의해 생기는 것임을 다시 한번 확인할 수 있다.

정리하면, 그림 3과 그림 4로부터 비대칭 인셋 패치 안테나에 의한 이중 공진주파수에서 f_1 공진 주파수는 패치 안테나 폭 W 와 급전 길이 d_2 에 의해 모두 변하게 되며, 이 두 파라미터 W 와 d_2 의 적절한 설계를 통해 이중 대역 패치 안테나를 구현할 수 있음을 알 수 있다.

그림 5에 f_0 및 f_1 주파수에서 패치 안테나 표면에서의 전류분포를 제시하였다. 그림 5(a)에서 f_0 주파수에서는 수직 방향의 전류가 흐르는 것을 볼 수 있으며, 따라서, y 축 방향, 즉, 수직 방향의 편파(polarization) 특성을 갖는 전자기파가 방사됨을 알 수 있다. 반면에 그림 4(b)에 제시된 f_1 주파수에서는 반원 모양의 전류가 흐르고 있으며, 전자기파 방사에 기여하는 전류 성분은 수평 방향의 전류 성분임을 알 수 있다. 즉, x 축 방향의 수평편파 특성을 갖는 전자기파가 방사된다.

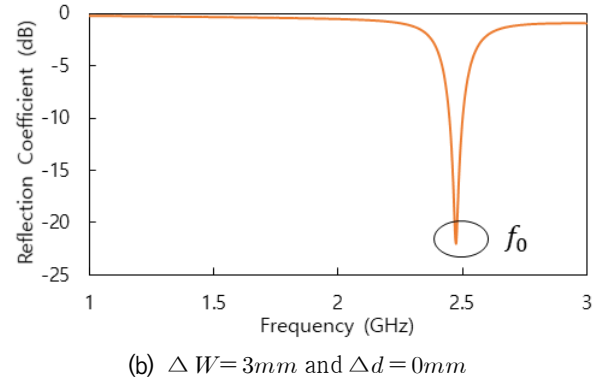
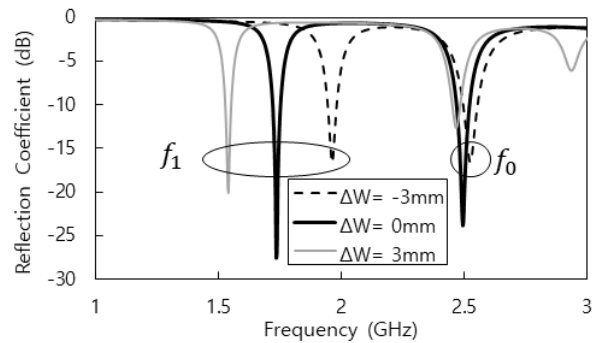


Fig. 4. Reflection coefficient of the proposed antenna according to ΔW and Δd .
 그림 4. ΔW 와 Δd 의 변화에 따른 제안하는 안테나 반사계수

특히 그림 5에서 패치면 테두리를 따라 큰 전류가 흐르는 것을 볼 수 있는데, 그림 5(a)는 좌우 테두리 전류의 방향이 동일한 방향으로 수직편파 특성을 가지며, 그림 5(b)는 좌우 테두리의 전류의 방향이 서로 반대 방향이라 방사패턴에 기여를 못하며, 그림 5(b)의 위쪽 테두리에 흐르는 전류가 방사패턴에 기여하여 수평편파 특성을 가지는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 그림 1(b)의 안테나는 주파수 분리 및 편파 분리까지 가능한 구조의 안테나가 된다.

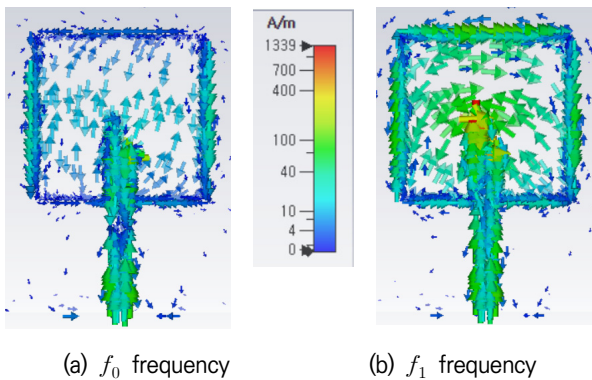


Fig. 5. Surface current density of the antenna at resonant frequency.

그림 5. 공진주파수에서 안테나의 표면 전류 밀도

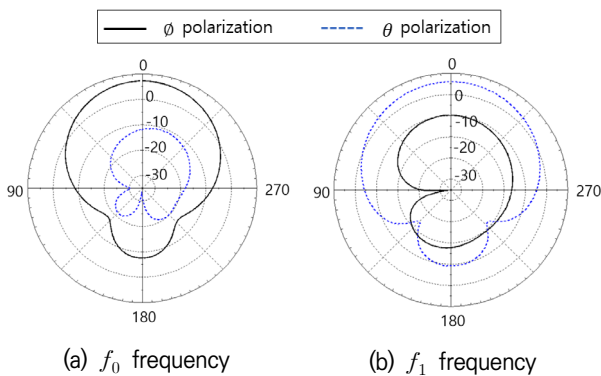


Fig. 6. Radiation pattern of the proposed antenna in the $x-z$ plane.

그림 6. $x-z$ 평면에서 제안된 안테나의 방사패턴

편파 특성을 확실히 살펴보기 위해 그림 4(a)에서 $\Delta W=0$ 인 경우에 대해 안테나 방사 패턴을 시뮬레이션하여 그림 6에 제시하였다. 그림 6에서 $x-z$ 평면상에서 f_0 주파수에서는 수직 방향(ϕ 편파 방향), f_1 주파수에서는 수평 방향(θ 편파 방향)의 편파 특성을 가져, 서로 수직한 편파 방향을 나타내는 것을 재차 확인할 수 있다.

또한 그림 4(a)와 같이 f_1 주파수가 패치 폭에 따라 달라지는 것도 그림 5(b)에 흐르는 전류를 보면 f_1 주파

수가 반원 모양의 전류 경로 길이에 영향을 받는 것을 알 수 있어, 패치 폭에 따라 f_1 주파수가 달라짐을 알 수 있다.

III 안테나 제작 및 측정

위에서 언급한 이중 대역 안테나 설계 방법에 따라, 두 파라미터 W 와 d_2 의 적절한 설계를 통해 1.57GHz의 GPS와 2.4GHz 대역의 WiFi 서비스를 지원하는 이중 대역 패치 안테나를 설계해 보았다. 그림 7에 두께 1mm의 FR-4 유전체 기판을 사용하여 제작한 안테나를 나타내었다. 제작된 안테나 치수는 표 1에 제시하였다.

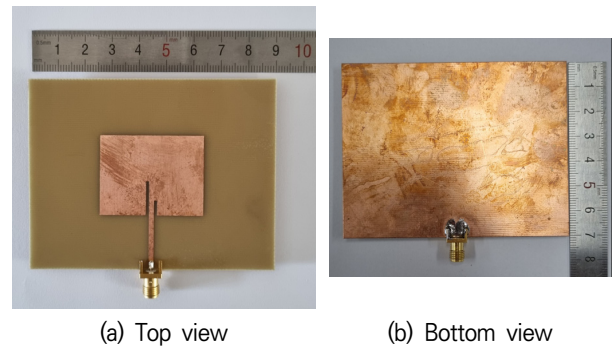


Fig. 7. Photographs of the fabricated antenna.

그림 7. 제작된 안테나의 사진

Table 1. Antenna dimensions.

표 1. 안테나 치수 (단위 : mm)

LS	Ws	L	W
70mm	90mm	29.3mm	37.6mm
Wf	Wg	d1	d2
1.9mm	1mm	12.5mm	5.5mm

반사계수를 벡터회로망 분석기를 이용하여 측정하였고, 그 결과를 시뮬레이션 값과 비교하여 그림 8에 나타내었다. 측정된 반사계수 특성이 시뮬레이션 결과와 매우 유사함을 볼 수 있다. S11이 -10 dB 이하인 주파수 범위는 시뮬레이션에서는 1.55~1.58 GHz 및 2.41~2.46 GHz 이었고, 실험에서는 1.55~1.57 GHz 및 2.41~2.45 GHz로 측정되었다.

2.45 GHz 및 1.57 GHz 주파수에서 시뮬레이션한 안테나의 방사패턴을 그림 9에 나타내었다. 두 주파수에서 모두 안테나 면의 수직 방향(z 축 방향)으로 주빔(main lobe)을 갖는 형태이며, 일반적인 패치 안테나의 방사패턴과 유사한 모양을 갖는다.

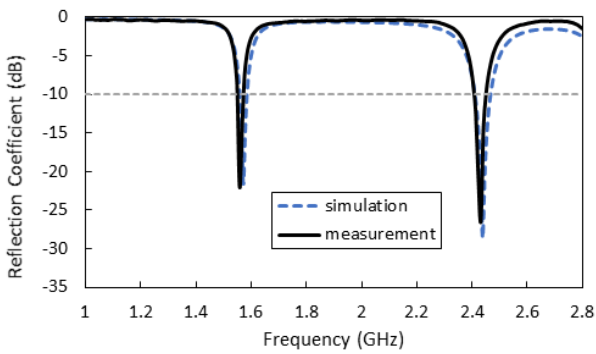


Fig. 8. Simulated and measured reflection coefficient of the proposed antenna.

그림 8. 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정 반사계수

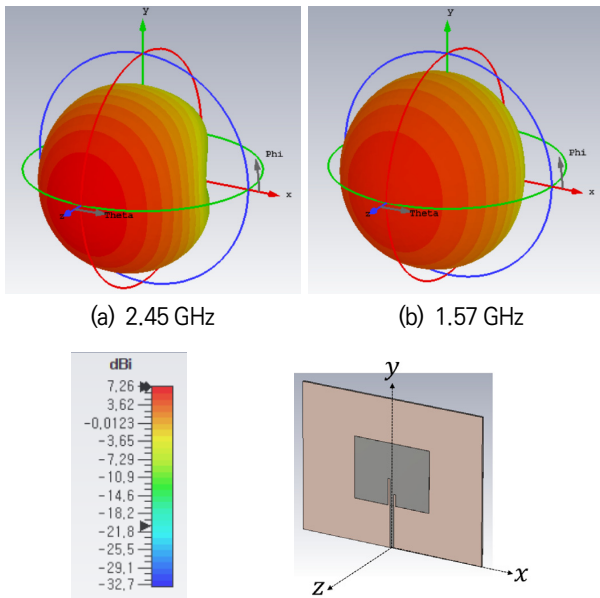


Fig. 9. The radiation patterns of the proposed antenna.

그림 9. 제안된 안테나의 방사패턴

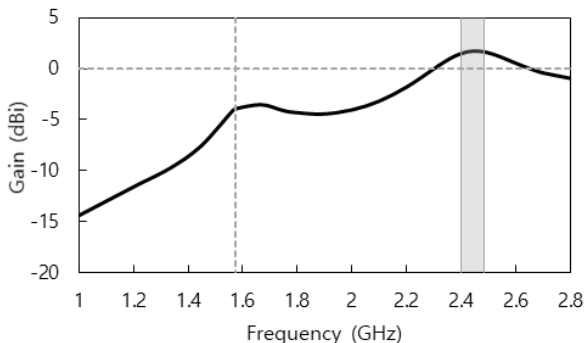


Fig. 10. The simulated gain of the proposed antenna.

그림 10. 제안된 안테나의 시뮬레이션 이득

시뮬레이션한 안테나의 이득을 그림 10에 나타내었다. WiFi 주파수 대역에서 약 1.68 dBi의 이득을 나타내었고,

GPS 주파수에서는 약 -3.9 dBi 이득을 갖는 것을 볼 수 있다. GPS 대역에서 이득이 낮은 이유는 제작한 사각형 패치 안테나의 크기가 WiFi 대역에서는 $0.43\lambda_{g1} \times 0.55\lambda_{g1}$ 이며, GPS 주파수에서는 $0.27\lambda_{g2} \times 0.35\lambda_{g2}$ 로 안테나의 크기가 작아서, 안테나의 효율이 나빠진 것이 원인이다. 여기서 λ_{g1} 은 2.45 GHz에서 관내파장이며, λ_{g2} 은 1.57 GHz에서 관내파장이다.

IV. 결론

본 논문에서는 비대칭 인셋 급전 구조를 갖는 사각형 패치 안테나를 이용하여 이중 주파수 안테나를 구현하는 새로운 방법에 대해 제시하였다. 패치 안테나 길이 L 과 W 를 조정하여 f_0, f_1 주파수를 각각 구현하며, 패치 안테나로 파고 들어간 인셋 급전 선로의 길이 d_1, d_2 를 조정하여 각각 f_0, f_1 주파수에서의 임피던스 정합을 독립적으로 구현할 수 있음을 제시하였다. 또한 두 주파수의 편파가 서로 직각을 형성하여 주파수 및 편파 다이버시티가 가능함을 보였다.

따라서 제안한 방법을 사용하면, 인셋 급전을 이용하는 이중 주파수 대역 안테나를 간단히 구현할 수 있으며, 다양한 응용분야에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

References

[1] M. I. Nawaz, Z. Huiling, M. Sabir Sultan Nawaz, K. Zakim, S. Zamin, and A. Khan, "A review on wideband microstrip patch antenna design techniques," *Int. Conf. on Aerospace Science & Eng. (ICASE)*, 2013.
DOI: 10.1109/ICASE.2013.6785554

[2] K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip antenna technology," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol.29, no.1, pp.2-24, 1981.
DOI: 10.1109/TAP.1981.1142523

[3] S. Chen, Y. Jiang, and W. Cao, "A compact ultra-wideband microstrip patch antenna for 5G and WLAN," *IEEE 3rd Int. Conf. on Electronic Inform. & Comm. Tech.(ICEICT)*, pp.601-603, 2020.
DOI: 10.1109/ICEICT51264.2020.9334347

[4] Y. Y. Chen, Y. C. Jiao, G. Zhao, F. Zhang, Z. L. Liao, and Y. Tian, "Dual-band dual-sense

circularly polarized slot antenna with a C-shaped grounded strip,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.10, pp.915-918, 2011.

DOI: 10.1109/LAWP.2011.2166750

[5] S. P. Park and K. K. Kim, “Design of microstrip antenna for dual-band applications,” *The journal of the Institute of Internet Broadcasting and Communication*, vol.12, no.5, pp.213-217, 2012.

DOI: 10.7236/JIWIT.2012.12.5.213

[6] J. Guo, H. Bai, A. Feng, Y. Liu, Y. Huang, and X. Zhang, “A compact dual-band slot antenna with horizontally polarized omnidirectional radiation,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.20, no.7, pp.1234-1238, 2021.

DOI: 10.1109/LAWP.2021.3076169

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