

GPS용 초소형 $\lambda/4$ 파장 마이크로스트립 안테나Design of Subminiature $\lambda/4$ Microstrip Antenna for GPS

최 윤 선 · 정 방 철* · 우 종 명

Yoon-Seon Choi · Bang-Chul Jung* · Jong-Myung Woo

요 약

본 논문에서는 소형 기기에 탑재가 가능하도록 소형화한 GPS 대역(L_1 : 1.575 GHz) 안테나를 제안하였다. 소형화 된 안테나는 $12 \times 11 \times 10$ mm($0.06 \times 0.06 \times 0.05 \lambda$) 크기의 styrofoam($\epsilon_r=1.06$, 두께=10 mm) 표면에 장착 가능한 인쇄형으로 제작 하였다. 임피던스 매칭을 위해 급전 선로 두께 및 길이와 단락 스틱 간의 간격을 조절하였으며, 그 결과, 제작된 안테나는 중심주파수 1.575 GHz에서 S_{11} 은 -38.6 dB를 얻었으며, 방사패턴 측정 결과, xz -plane에서 E_θ 성분이 0° 방향에서 최대 이득 -2.3 dBi를 나타내었고, yz -plane에서 E_θ 성분은 평균이득 -3.2 dBi의 무지향성 특성을 얻었다. 결과적으로, $\lambda/2$ 마이크로스트립 패치 안테나와 비교하여 87 %의 면적 축소를 확보함으로써, 소형 기기에 탑재가 가능한 초소형 마이크로스트립 안테나로써 활용이 가능함을 제시하였다.

Abstract

In this study, a miniaturized GPS band(L_1 : 1.575 GHz) antenna that can be mounted on a small device is proposed. The miniaturized antenna was manufactured such that it could be attached to the surface of styrofoam($\epsilon_r=1.06$, $t=10$ mm) having a size of $12 \times 11 \times 10$ mm($0.06 \times 0.06 \times 0.05 \lambda$). The thickness and length of the feeding line and the spacing between short stubs were adjusted for impedance matching. S_{11} was found to be -38.6 dB at the center frequency of the fabricated antenna, 1.575 GHz. The radiation pattern measurement results show that the maximum gain of E_θ is -2.3 dBi in 0 directions in the xz -plane, and that E_θ is an omnidirectional characteristic with an average gain of -3.2 dBi in the yz -plane. Under these circumstances, it was found that the antenna can be used as an ultra-small microstrip antenna, which can be mounted on a small device, and is capable of preserving a reduction ratio of 87 % as compared to a $\lambda/2$ microstrip patch antenna.

Key words: GPS(Global Positioning System), Microstrip Antenna, Miniaturized Antenna

I. 서 론

Global Positioning System(GPS)은 실시간으로 물체에 대한 정확한 위치 정보를 제공하며, 과거에는 차량, 선박,

항공 등 제한된 분야에서 사용하였지만, 최근 GPS 시스템은 개개인의 휴대용 무선 통신기기, 소형 드론, 자율주행자동차 등 일상생활 전반에서 필수적인 요소가 되었다^{[1][2]}. 이에 따라 소형 기기에 탑재가 용이한 GPS 수신 안

「이 연구는 2017학년도 충남대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.」

충남대학교 전파정보통신공학과(Department of Radio Science & Communication Engineering, Chungnam National University)

*충남대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chungnam National University)

· Manuscript received June 30, 2020 ; Revised July 16, 2020 ; Accepted July 23, 2020. (ID No. 20200630-055)

· Corresponding Author: Jong-Myung Woo (e-mail: jmwwoo@cnu.ac.kr)

테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 위해서는 안테나의 소형화가 가장 큰 문제가 된다. 따라서, GPS 안테나를 소형 기기에 탑재하기 위한 연구는 다양한 방법으로 수행되어 오고 있다. 특히, 소형 무선 기기에 탑재하는 GPS 안테나로 많이 사용되고 있는 안테나는 기기 내부에 장착하는 내장용과 외부에 부착하는 외장형 형태가 있다. 외장형의 형태인 모노폴이나 다이폴 안테나는 일정 높이를 가져 기기의 외부에 부착할 경우, 외부 환경에 의해 쉽게 파손될 수 있는 문제점이 발생할 수 있다^{[3]~[5]}. 따라서, 기기의 몸체에 부착이 쉽고, 외부 환경으로 인한 파손의 우려를 감소시키기 위해 마이크로스트립 안테나를 채택할 수 있다^[6]. 마이크로스트립 안테나는 큰 유전율이나 투자율을 갖는 물질을 안테나의 기판으로 사용하여 크기를 소형화할 수 있다^{[7]~[9]}. 고유전율을 사용하여 안테나를 소형화하는 경우, 유전체의 무게 또한 문제가 될 수 있다. 하지만, 안테나 탑재 공간이 한정될 경우 매우 작은 크기의 안테나로써 구현이 가능한 장점이 적극 활용될 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 소형 전자 기기에 탑재가 가능하도록 소형화 한 GPS 대역(L_1 : 1.575 GHz, $\lambda=190$ mm) 선형편파 안테나를 제안하고자 한다. 먼저, 기준이 되는 기본형 마이크로스트립 선형패치 안테나는 styrofoam(두께=10 mm, $\epsilon_r=1.06$)상에 $\lambda/2$ 크기의 방사소자를 갖는 구조로 설계하였다. 다음으로, 같은 주파수에서 방사소자를 $\lambda/4$ 로 소형화시킨 단락 스텐브 구조의 새로운 안테나를 제안하였다.

II. 안테나 설계

2.1 기본형 마이크로스트립 패치 안테나 설계

먼저, 기준이 되는 1 소자 $\lambda/2$ 마이크로스트립 선형패치 안테나를 시뮬레이션 및 제작하여 그 특징을 살펴보았다. 시뮬레이션 툴은 CST 社의 MWS(2017)을 이용하였다. 이 때, 중심주파수는 GPS의 L_1 대역인 1.575 GHz로 설정하였다. 설계된 안테나의 구조를 Fig. 1(a)에 나타내었고, 제작된 안테나를 Fig. 1(b)에 나타내었다. 설계된 안테나는 뒷면에서부터 프로브 급전하였다. 패치 안테나 방사소자의 크기는 83×92 mm($0.45 \times 0.5 \lambda$)이며, 접지면의 크

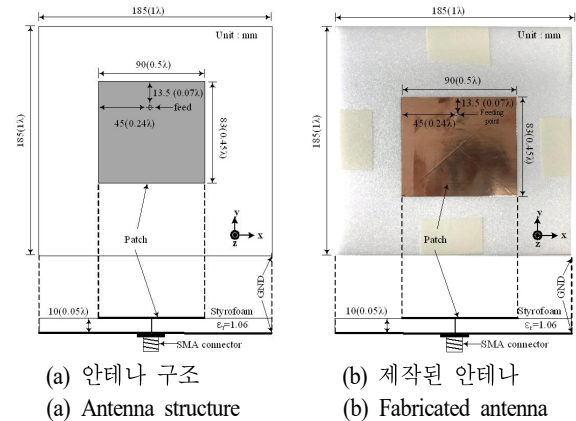
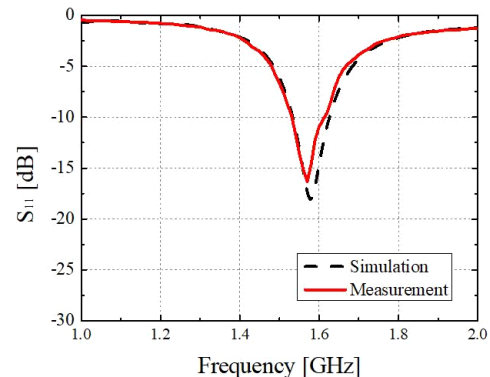


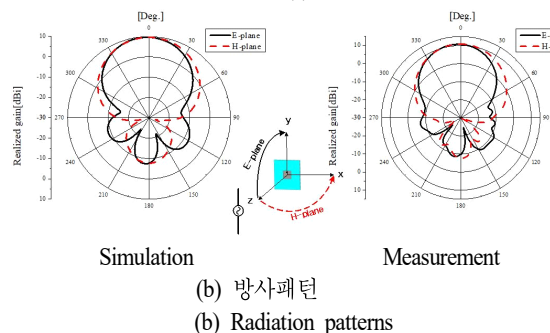
그림 1. $\lambda/2$ 마이크로스트립 패치 안테나
Fig. 1. $\lambda/2$ microstrip patch antenna.

기는 185×185 mm($1 \times 1 \lambda$)이다. 이 때 기판은 styrofoam($\epsilon_r=1.06$)을 이용하였으며, 두께는 10 mm이다. 설계된 안테나는 뒷면에서부터 프로브 급전하였다.

설계 결과 특성을 Fig. 2에 나타내었으며, Fig. 2(a)에서



(a) S_{11}



(b) 방사패턴
(b) Radiation patterns

그림 2. $\lambda/2$ 마이크로스트립 패치 안테나 특성
Fig. 2. Characteristics of $\lambda/2$ microstrip patch antenna.

중심주파수 1.575 GHz에서 S_{11} 측정은 Agilent 社の E8356A 모델을 사용하였고, 그 결과는 -19.2 dB를 얻었다. 방사 패턴 측정은 충남대학교 안테나 연구실 소유의 무반사실 측정실에서 진행하였다. 그 결과는 Fig. 2(b)에 나타난 바와 같이, 최대이득 10.7 dBi를 얻었으며, E-plane, H-plane 모두 브로드사이드한 특성을 얻었다.

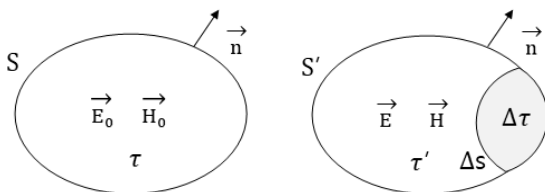
2-2 소형화 된 마이크로스트립 안테나 설계

2-1 절에서 설계한 $\lambda/2$ 기본형 마이크로스트립 선형패치 안테나를 소형화하고자 Fig. 3에 나타난 섭동법 원리를 적용하였다. 섭동법 원리는 Fig. 3(b)와 같이 전계 에너지가 강한 부분의 체적을 감소시키거나, 자계 에너지가 강한 부분의 체적을 증가시켜 안테나의 공진주파수를 하향시키는 원리이다. 이는 또한 식 (1)과 같이 변화된 공진주파수를 전계 또는 자계의 체적 변화에 대해 나타낼 수 있다.

$$\frac{\omega - \omega_o}{\omega_o} \approx \frac{\iiint_{\Delta\tau} (\mu |\vec{H}_o|^2 - \epsilon |\vec{E}_o|^2) d\tau}{\iiint_{\tau} (\mu |\vec{H}_o|^2 + \epsilon |\vec{E}_o|^2) d\tau} \quad (1)$$

ω_o : Resonant frequency in cavity

ω : Resonant frequency in perturbed cavity



S : Surface area of cavity

\vec{n} : Unit vector perpendicular to the surface area

τ : Volume of cavity

\vec{E}_0 : Electric field of cavity

\vec{H}_0 : Magnetic field of cavity

S' : Surface area of perturbed cavity

τ' : Volume of perturbed cavity

\vec{E} : Electric field of perturbed cavity

\vec{H} : Magnetic field of perturbed cavity

(a) Original metal cavity

(b) Perturbed metal cavity

그림 3. 섭동법 원리

Fig. 3. Perturbed metal cavity.

μ : Permeability

ϵ : Permittivity

이와 같은 원리를 적용하여, Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이, $\lambda/2$ 기본형 마이크로스트립 선형패치를 전계 에너지가 강한 부분인 방사소자를 아래로 접어 넣는 형태로 접지면에 근접시켜 $\lambda/4$ 마이크로스트립 안테나 크기로 소

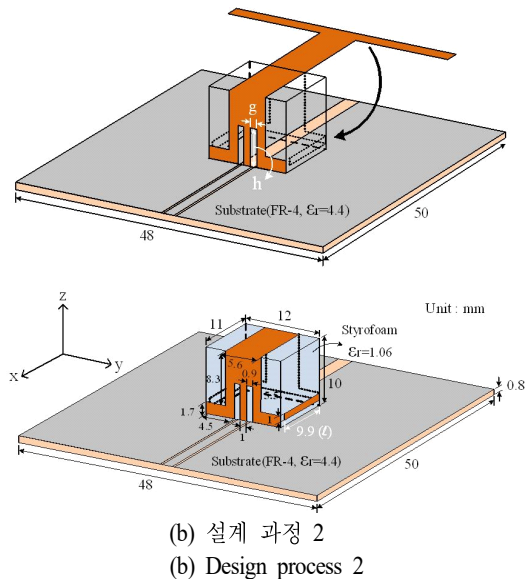
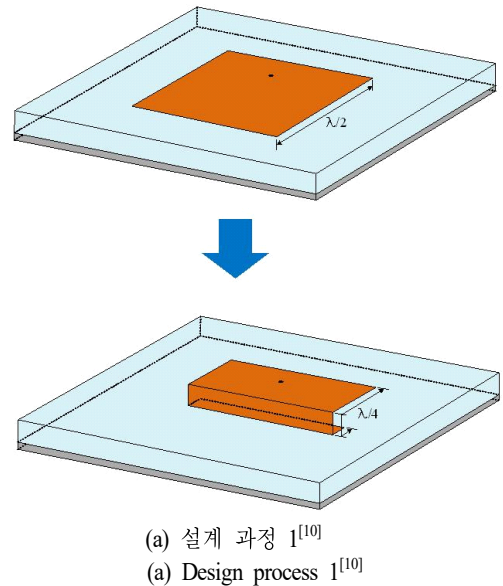


그림 4. $\lambda/4$ 마이크로스트립 안테나 설계 과정

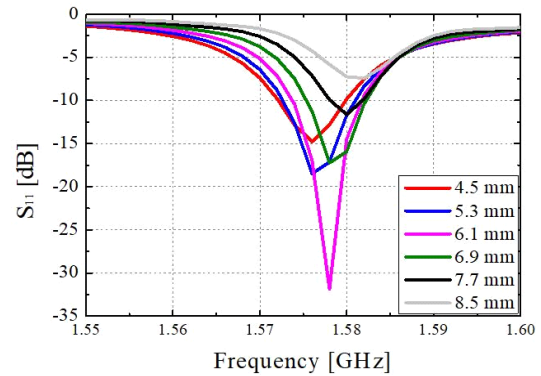
Fig. 4. Design process of $\lambda/4$ microstrip antenna.

형화하였다. 따라서, Fig. 4(b)에서도 마찬가지로 안테나의 방사소자를 아래로 접어 넣은 구조로써, 주파수 하향을 최대화 하여 같은 설계주파수에서 안테나의 크기가 소형화 되도록 하였다. 이 때, 평판상에 안테나를 부착하는 형태로 설계하기 위해 coplanar waveguide 급전 방식을 적용하였다. 사용 기판은 FR-4($\epsilon_r=4.4$, 두께=0.8 mm)를 채택하였다. 제안된 안테나는 $12 \times 11 \times 10$ mm($0.06 \times 0.06 \times 0.05 \lambda$) 크기의 styrofoam($\epsilon_r=1.06$, 두께=10 mm) 위에 설계하였다.

기본형 $\lambda/2$ 마이크로스트립 안테나와의 직관적인 크기 비교를 위해 같은 두께의 styrofoam을 채택하였다. 이는 제작의 편의성을 위해 채택한 재료이며, 향후 고유전율 기판을 사용하여 설계 시 안테나 전체 체적을 대폭 감소시킬 수 있을 것이다.

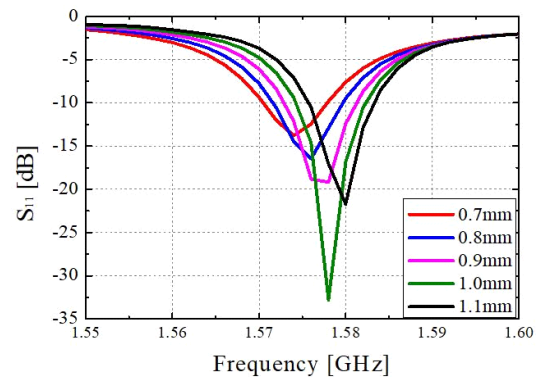
안테나의 급전점부터 방사소자 끝까지의 총 길이는 44 mm (0.24λ)로 최적화하였다. 안테나의 임피던스 매칭을 위해서는 단락 스텐브의 높이(h)와 간격(g), 방사소자의 길이(l)를 조절하였다. 이들 파라미터에 따른 S_{11} 특성은 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5(a)에는 단락 스텐브의 높이(h)에 따른 S_{11} 특성을 나타내었다. 단락 스텐브의 높이에 따라 급전 위치가 변하게 되므로, 입력 임피던스 특성이 변화하게 되며, 적정 높이에서 50Ω 주파수가 상향하는 특성을 보였다. Fig. 5(b)에는 단락 스텐브와 급전 라인의 간격(g)에 따른 S_{11} 특성을 나타내었다. 간격이 커질수록 자체 에너지 체적 증가 효과로 주파수가 상향하는 특성을 보였다. Fig. 5(c)에는 방사소자의 길이(l)에 따른 S_{11} 특성을 나타내었다. 길이가 길어질수록 안테나 방사소자 길이 증가 효과로 주파수가 하향하는 특성을 보였다. 이러한 특성을 감안하여 각 설계 파라미터를 최적화시켜 최종 설계값을 얻었다.

Fig. 6에는 제안된 안테나의 시뮬레이션된 전류 분포형을 나타내었다. 급전 라인을 따라 방사소자 끝단까지의 전류 경로를 확보해 주어, 같은 주파수에서 소형화 된 안테나를 설계할 수 있다. Fig. 6에 나타낸 바와 같이 방사소자 끝단이 개방이므로, 개방점으로부터 $\lambda/4$ 지점이 되는 급전부에서 전류 분포가 세게 나타남을 확인할 수 있다.



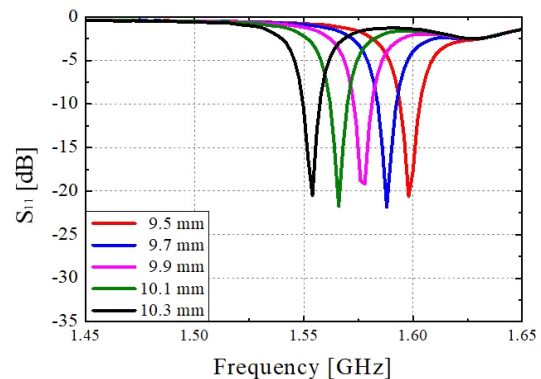
(a) h 에 따른 S_{11} 특성

(a) S_{11} by h



(b) g 에 따른 S_{11} 특성

(b) S_{11} by g



(c) l 에 따른 S_{11} 특성

(c) S_{11} by l

그림 5. 설계 파라미터에 따른 S_{11} 특성

Fig. 5. S_{11} of simulated antenna by design parameter.

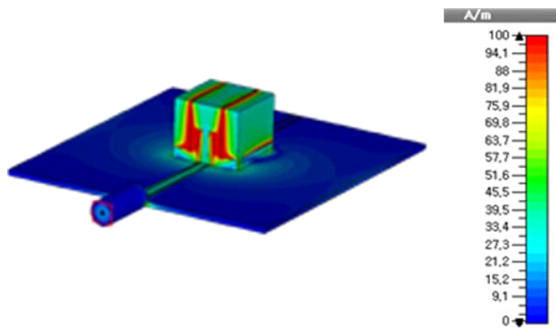
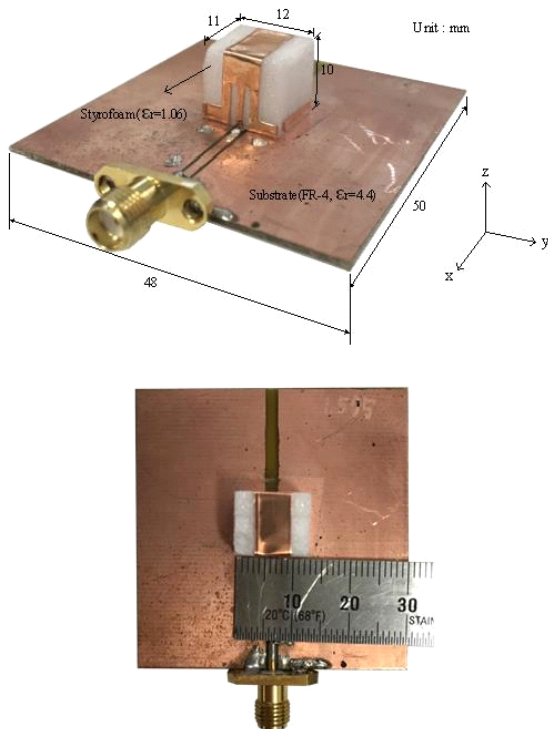


그림 6. 설계된 안테나의 전류 분포

Fig. 6. Current distribution of designed antenna.

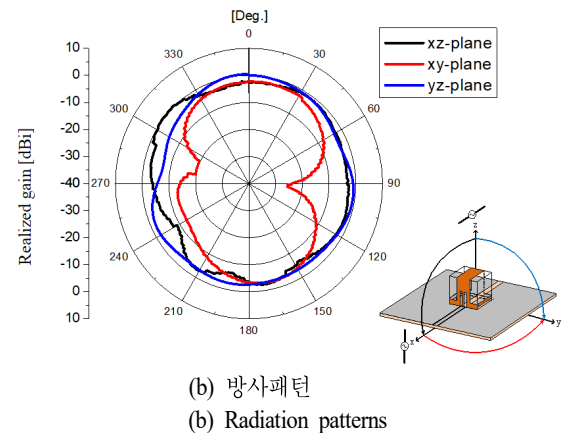
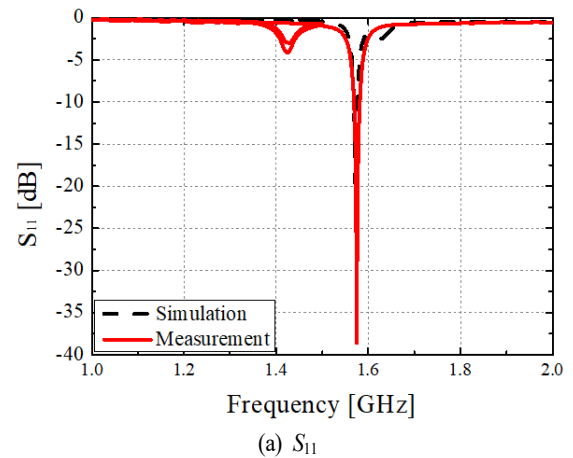
Fig. 7에는 제작된 $\lambda/4$ 마이크로스트립 안테나를 나타내었다. 제작된 안테나는 $12 \times 11 \times 10$ mm($0.06 \times 0.06 \times 0.05 \lambda$) 크기의 styrofoam($\epsilon_r=1.06$, 두께=10 mm) 위에 금속 테이프를 부착하는 형태로 제작하였다. 이 때, $\lambda/2$ 기본형 마이크로스트립 안테나와의 크기 및 특성 비교를 위해 같은 두께를 갖는 styrofoam을 사용하였으며, 급전을 위한

그림 7. 제작된 $\lambda/4$ 마이크로스트립 안테나Fig. 7. Fabricated $\lambda/4$ microstrip antenna.

기관은 FR-4($\epsilon_r=4.4$, 두께=0.8 mm)를 채택하였다. 기관과 안테나는 급전선로와 단락 스텔브를 납땜하여 부착하였다.

Fig. 8에는 설계한 안테나의 측정 결과를 나타내었다. 방사패턴 측정은 충남대학교 안테나 연구실 소유의 무반 사실 측정실에서 진행하였다. 중심주파수 1.575 GHz에서 S_{11} 은 Fig. 8(a)에 나타내었으며, 그 결과는 -38.6 dB로 -10 dB 대역폭은 13 MHz(0.8%)를 얻었다. 여기서 -10 dB 대역폭 0.8 %는 GPS 주파수인 L_1 대역에서 -10 dB 대역폭 15.3 MHz(0.97 %)에 부족하나, 초소형 드론은 속도가 빠르지 않기 때문에 좁은 대역으로도 GPS 신호를 받아 위치 정보를 얻을 수 있다.

Fig. 8(b)에는 제작한 안테나의 복사패턴 측정 결과를 나타내었다. 제작한 안테나의 중심주파수 1.575 GHz에서

그림 8. $\lambda/4$ 마이크로스트립 패치 안테나 특성Fig. 8. Characteristics of $\lambda/4$ microstrip patch antenna.

방사패턴 측정 결과, xz -plane에서는 E_θ 가 0° 방향에서 최대이득 -2.3 dBi를 나타내었고, 이와 같은 특성은 파장에 비해 접지면이 작기 때문에 후방 방사가 크게 나타나는 특성을 보였다. yz -plane에서는 E_ϕ 가 평균이득 -3.2 dBi의 무지향성 특성을 얻었다. 이는 원편파로 수신되는 GPS 신호의 -3 dB 감소된 선형 편파만 수신되어도 S/N을 얻기에 충분하다고 사료된다. 또한, xy -plane에서는 E_θ 가 -2.6 dBi의 무지향성 특성을 얻었다.

따라서, 본 논문에서 제안한 소형화된 안테나는 기준이 되는 $\lambda/2$ 마이크로스트립 패치 안테나 특성과 비교하여 같은 높이(styrofoam ($\epsilon_r=1.06$, 두께=10 mm))일 때, 방사 소자의 면적이 87 % 축소된 크기로 동일한 중심주파수에서 설계 가능함을 증명하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 소형 드론에 탑재가 가능하도록 소형화한 GPS 대역(L_1 : 1.575 GHz, $\lambda=190$ mm) 선형편파 안테나를 제안하였다. $\lambda/2$ 마이크로스트립 패치 안테나 대비 87 %의 방사 소자 면적 축소를 확보하여, GPS 기능이 탑재되어야 하는 다양한 소형 전자기기에 활용이 가능하다. 또한 제작 및 구현에 있어 추후 연구에 고유전율을 갖는 세라믹 등을 이용할 경우, 보다 높은 체적 축소를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 또한 대량생산이 쉬운 구조로 비용 절감을 실현할 수 있어, 본 논문에서 제안한 초소형 안테나는 다양한 활용 분야에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] D. H. Won, J. Ahn, E. Lee, M. Heo, S. Sung, and Y. J. Lee, "GNSS carrier phase anomaly detection and validation for precise land vehicle positioning," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64, no. 9, pp. 2389-2398, Sep. 2015.
- [2] S. S. Kang, S. M. Seo, G. Byun, and H. Choo, "Design of dual-band GPS array antenna using in-direct feeding pad," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 5, pp. 355-365, May 2017.
- [3] P. V. Vinesh, R. Anitha, K. C. Prakash, S. Mathew, ssP. Mohanan, and K. Vasudevan, "A compact L-slot loaded planar inverted F antenna for GPS and WLAN applications," in *2015 IEEE Applied Electromagnetics Conference(AEMC)*, Guwahati, 2015, pp. 1-2.
- [4] K. Wei, Z. Zhang, and Z. Feng, "Design of a coplanar integrated microstrip antenna for GPS/ITS applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 458-461, 2011.
- [5] H. S. Tae, K. S. Oh, W. I. Son, W. G. Lim, and J. W. Yu, "Design of compact dual-band quadruple inverted-F/L antenna for GPS L1/L2 band," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 4, pp. 2276-2279, Apr. 2013.
- [6] S. G. Ha, J. Cho, and K. Y. Jung, "Design of miniaturized microstrip patch antennas using non-Foster circuits for compact controlled reception pattern antenna array," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 17, no. 2, pp. 108-110, Apr. 2017.
- [7] S. C. Chen, G. C. Liu, X. Y. Chen, T. F. Lin, X. G. Liu, and Z. Q. Duan, "Compact dual-band GPS microstrip antenna using multilayer LTCC substrate," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 421-423, Apr. 2010.
- [8] A. C. Bunea, D. Neculoiu, M. Lahti, and T. Vähä-Heikkilä, "Stripline-fed LTCC microstrip patch antenna for 35 GHz applications," in *2014 International Semiconductor Conference(CAS)*, Sinaia, 2014, pp. 167- 170.
- [9] A. C. Bunea, D. Neculoiu, M. Lahti, and T. Vaha-Heikkila, "The design of an 80 GHz stacked patch antenna on LTCC substrate," in *2012 Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers*, Alexandria, 2012, pp. 108-111.
- [10] H. M. Heo, Y. J. Jang, and J. M. Woo, "Miniaturization of microstrip antenna using the folded structure," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 16, no. 5, 526-533, May 2005.

최 윤 선 [충남대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-0615-8701>



2014년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2016년 2월: 충남대학교 전자전파정보통신공학과 전파공학전공 (공학석사)
2019년 3월~현재: 충남대학교 전자전파정보통신공학과 전파공학전공 박사과정

[주 관심분야] 안테나

우 중 명 [충남대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0001-5796-5426>



1985년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 3월: 일본, 니혼대학 전자공학과 (공학석사)
1996년 3월: 일본, 니혼대학 전자공학과 (공학박사)

1996년 3월~현재: 충남대학교 전파정보통신공학과 교수

[주 관심분야] 안테나

정 방 철 [충남대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-4485-9592>



2002년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
2004년 8월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
2008년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)
2015년 9월~현재: 충남대학교 전자공학

과 교수

[주 관심분야] 무선 통신, 정보 이론