

# 초소형 드론 탑재용 GPS 대역 마이크로스트립 안테나의 소형화

## Miniaturization of GPS Microstrip Antenna for Small Drone

김 완 기\* · 우 종 명\*\*

\* 주저자 : 충남대학교 전파정보통신공학과 박사과정

\*\* 교신저자 : 충남대학교 전파정보통신공학과 교수

Wan-Ki Kim\* · Jong-Myung Woo\*

\* Dept. of Radio and Information Communication Engineering, Chungnam National University

† Corresponding author : Jong-Myung Woo, jmwoo@cnu.ac.kr

Vol. 21 No.3(2022)  
June, 2022  
pp.62~72

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.3.62>

Received 21 April 2022  
Revised 23 May 2022  
Accepted 9 June 2022

© 2022. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요 약

본 논문에서는 초소형 드론에 탑재가 가능하도록 소형화된 GPS 대역( $L_1$  대역 중심 주파수 : 1.575 GHz) 안테나를 제안하였다. 소형화는  $\lambda/4$  마이크로스트립 안테나를 기저로 섭동법을 적용시키고, 패치 가장자리의 전류 길이를 길게 하는 개념으로 실현시켰다. 제안된 안테나는  $10\text{ mm} \times 9\text{ mm} \times 10\text{ mm}$  ( $0.05\lambda \times 0.05\lambda \times 0.05\lambda$ ) 크기의 스티로폼( $\epsilon_r=1.06$ , 두께=10 mm) 표면에 장착 가능한 인쇄형으로 제작하였다. 임피던스 매칭을 위해 급전 선로의 두께 및 길이, 단락 스텐브 간의 간격을 조절하였으며, 그 결과, 제작된 안테나는 중심주파수 1.575 GHz에서  $S_{11}$ 은 -38.6 dB를 얻었으며, 방사 패턴 측정 결과,  $0^\circ$  방향에서  $xz$ -plane의  $E_\theta$  성분 이득 1.87 dBi,  $yz$ -plane의  $E_\theta$  성분 이득 -1.7 dBi의 특성을 얻었다. 결과적으로,  $\lambda/2$  마이크로스트립 패치 안테나와 비교하여 98.8 %의 체적 축소를 확보함으로써, 초소형 드론에 탑재가 가능한 GPS 안테나로써 활용이 가능함을 제시하였다.

핵심어 : 초소형 드론, GPS, 마이크로스트립 안테나, 안테나 소형화

### ABSTRACT

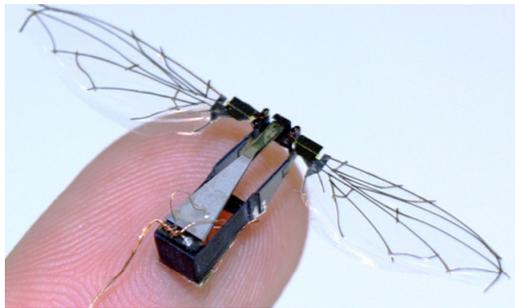
In this study, a miniaturized GPS band( $L_1$ : 1.575 GHz) antenna that can be mounted on a small drone is proposed. The miniaturization was designed by applying the perturbation method based on the  $\lambda/4$  microstrip antenna and lengthening the current path at the edge of the patch. The miniaturized antenna was fabricated such that it could be attached to the surface of styrofoam( $\epsilon_r=1.06$ ,  $t=10\text{ mm}$ ) having a size of  $10\text{ mm} \times 9\text{ mm} \times 10\text{ mm}$  ( $0.05\lambda \times 0.05\lambda \times 0.05\lambda$ ). 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 -18.8 dB at the center frequency of the fabricated antenna, 1.575 GHz. The radiation pattern measurement results show that the maximum gain of  $E_\theta$  is 1.87 dBi in 0 directions in the  $xz$ -plane, and that  $E_\theta$  is an omnidirectional characteristic with an average gain of -1.7 dBi in the  $yz$ -plane. It was found that the antenna can be used as an ultra-small microstrip antenna, which can be mounted on a small drone for GPS, and is capable of preserving a reduction ratio of 98.8% as compared to a  $\lambda/2$  microstrip patch antenna.

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

## I. 서 론

### 1. 개 요

드론(Drone)은 사람이 직접 탑승하지 않고, 지상에서 무선으로 조종해 사전 프로그램된 경로에 따라 자동 또는 반자동으로 날아가는 항공기 일체를 지칭하며 유인기와 대비되는 용어로 지칭한다. 과거에는 주로 군사적 용도로 활용되었으나 최근에는 완구용, 경주용 레이싱 드론, 촬영 및 산업용 드론 등 다양한 분야로 확대되고 있다. 특히 최근에는 <Fig. 1>에 나타난 바와 같이, 새, 곤충과 같은 형태의 초소형 드론(<https://patentyogi.com>)을 활용한 감시나 정찰 업무 용도의 연구·개발이 활발히 진행되고 있다(Phan et al., 2016; Jang, 2018).



<Fig. 1> Subminiature drone

실 사례로 미국 육군에서 개발한 초소형 드론인 블랙 호넷(TELEDYNE FLIR, 2022)은 길이가 16.7 cm, 무게 33 g에도 불구하고 이미지 센서, 열 영상 센서, 고성능 카메라, GNSS(Global Navigation Satellite System) 네비게이션 등 다양한 기능을 수행할 수 있는 초소형 모듈들이 탑재되어 있다. 일반적으로 드론은 비행체, 송신기(조종기), 수신기 및 다양한 센서로 구성되며 특히 GPS(Global Positioning System)센서는 위성에서 보내는 신호를 받아 비행체의 현재 위치를 비행 제어부로 알려 주는 장치로 드론의 핵심 역할을 관장한다. GPS 수신 모듈의 경우 기술의 발달로 인해 이미 수 mm 이하 크기의 제품들이 상용화되어 있으나, 안테나의 경우 그 크기가 파장에 의존되는 물리적 특성에 따라 소형화에 많은 어려움이 따른다.

한편, 일반적으로 드론 탑재용 GPS 안테나는 외장형인 모노폴이나 다이폴 형태로 장착하는 경우 공기의 저항이나 외부 환경에 의해 쉽게 파손될 수 있는 문제점이 발생하기 때문에 일반적으로 기기에 부착이 쉽고 경량이며, 외부 환경으로 인한 영향을 최소화하기 위해 대부분 마이크로스트립 패치 안테나를 사용하고 있다. GPS 중심 주파수 1.575 GHz를 기준으로 기본적인 마이크로스트립 패치 안테나의 크기는 약 85 mm ( $\lambda/2$ )로 초소형 드론에 탑재하기에는 어려움이 따른다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 고유전율을 가지는 기판을 사용하여 안테나를 소형화하는 방법이 있으나, 이는 안테나의 효율 저하 및 무게 증가 등의 문제를 야기할 수 있으므로 유전체를 이용한 소형화에는 한계가 존재한다. 따라서, <Fig. 1>과 같은 초소형 드론 등에 탑재하기 위한 안테나는 구조적 변경 등을 통한 다양한 소형화 연구가 필요하다.(Kim and Woo, 2005; Kum and Woo, 2017; Shin et al., 2017; Ryu et al., 2017)

본 논문에서는 초소형 드론에 탑재가 용이하도록 섭동법의 원리를 활용한 구조적인 변경을 통해 GPS 대역( $L_1$ : 1.575 GHz,  $\lambda=190$  mm) 마이크로스트립 안테나의 소형화 방법(Choi et al., 2020; Choi et al., 2022)에 대해 제안하고자 한다.

## II. 안테나 설계 과정

구조적 방법에 의한 마이크로스트립 패치 안테나의 소형화를 위하여 <Fig. 2>에 나타난 섭동법의 원리 (Harrington, 1961)를 적용하였다. 섭동법의 원리는 <Fig. 2(a)>에 나타난 바와 같이, 체적이  $\tau$ 인 캐비티 내에 전계  $\vec{E}_0$ , 자계  $\vec{H}_0$  가 있을 때 공진주파수를  $\omega$ 라 하자. 이 때, <Fig. 2(b)>와 같이 전계 에너지가 강한 부분의 체적을 감소시키거나, 자계 에너지가 강한 부분의 체적을 증가시켜 안테나의 공진주파수를 하향시키는 것이다. 이는 또한 식 (1)과 같이 변화된 공진주파수를 전기장 또는 자기장 에너지의 체적 변화로 나타낼 수 있다. 식 (1)에서 분모항은 원형 캐비티의 체적 내의 총 에너지를 나타내며, 분자항은 변형된 캐비티에서의 해당 변형 체적 내의 자계 에너지와 전계 에너지의 차를 나타낸다. 고정된 체적인 원형 캐비티에 비해 목적하는 공진 주파수 저하 효과를 얻기 위해서는 상대적으로 전기장의 세기가 강한 부분에 내향 변형(inward perturbation)을 가해 주거나, 자기장의 세기가 강한 부분에 외향 변형(outward perturbation)을 가해 주어야 한다는 결론을 도출할 수 있다.

예로, 반파장 평면형 마이크로스트립 패치 안테나의 경우, 안테나 캐비티 내의 필드 분포로부터 공진 길이를 따라 존재하는 방사 개구면 쪽에서는 균일하면서도 강한 전계가 존재하는데 비해, 상대적으로 안테나 캐비티 중앙에서의 전계가 cosine 분포로 작고, 자기장의 세기가 강함을 알 수 있다.

따라서 전기장의 세기가 강한 방사 패치 끝면에서의 외각에 내향 변형을 줌으로써 공진주파수가 하향되고, 이는 동일 공진 주파수에서 안테나가 소형화됨을 예상할 수 있다.



$S$  : Surface area of cavity  
 $\vec{n}$  : Unit vector perpendicular to the surface area  
 $\tau$  : Volume of cavity  
 $\vec{E}_0$  : Electric field of cavity  
 $\vec{H}_0$  : Magnetic field of cavity

$\Delta S$  : Surface area change of cavity  
 $\Delta \tau$  : Volume change of cavity  
 $S'$  : Surface area of perturbed cavity  
 $\tau'$  : 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

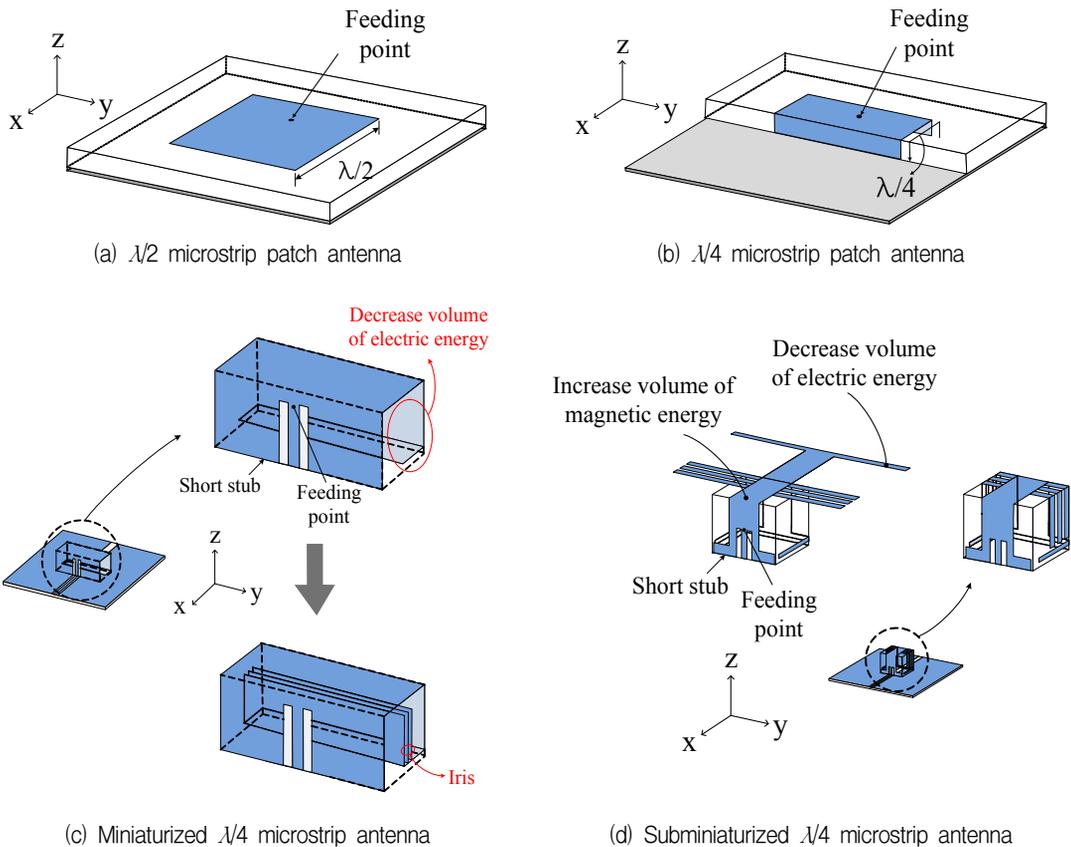
<Fig. 2> Perturbation theory

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \approx \frac{\iiint_{\Delta \tau} (\mu |\vec{H}_0|^2 - \epsilon |\vec{E}_0|^2) d\tau}{\iiint_{\tau} (\mu |\vec{H}_0|^2 - \epsilon |\vec{E}_0|^2) d\tau} \dots\dots\dots (1)$$

$\omega_0$  : Resonant frequency in cavity  
 $\omega$  : Resonant frequency in perturbed cavity  
 $\mu$  : Permeability  
 $\epsilon$  : Permittivity

이와 같은 원리를 적용하여, <Fig. 3>에는 제안한 안테나의 소형화 과정을 나타내었다. <Fig. 3(a)>는 기준이 되는  $\lambda/2$  선형 마이크로스트립 패치 안테나의 구조를 나타냈으며, <Fig. 3(b)>는  $\lambda/4$  기본형 마이크로스트립 안테나를 반으로 접는 형태로 패치 크기를  $\lambda/4$ 로 소형화한 안테나이다. 이를 더욱 소형화하기 위해 방사 소자 끝단을 수직으로 접어 내렸다. <Fig. 3(c)>는 접동법의 원리에 따라  $\lambda/4$  마이크로스트립 안테나에서 전계 에너지가 강한 부분의 체적을 감소시킬 수 있도록 방사 소자 끝을 접지면과 가깝게 하여 아래로 접어 넣는 구조로 변경하였다. 급전부는 평판 상에 안테나를 부착하는 형태로 설계하기 위해 코플래너 마이크로스트립 라인 급전 방식을 적용하였다. 전체적인 안테나 크기(체적)를 더욱 소형화하기 위하여, 방사 소자의 끝단과 방사 소자의 윗면 사이에 3개의 iris 구조를 수직으로 배치하는 방법을 사용하였다. 이는 주파수 하향을 최대로 하여 같은 설계주파수에서 안테나의 크기를 소형화시키기 위함이다.

최종적으로 <Fig. 3(d)>와 같이 제작의 용이성 확보와 소형화율을 증가시키기 위해 자체 에너지가 강한 부분의 체적을 증가시킬 수 있도록 방사 소자 급전 부근의 폭을 좁게 하였으며, 전계 에너지와 자기 에너지 세기가 중간 수준인 부분에 3개의 양팔 소자를 추가하여 패치 가장자리로의 전류 경로를 증가시키는 효과로 안테나를 보다 소형화하는 구조로 변경하였다. 또한, 끝단에 양팔을 부가시키고 접어 내린 뒤 양쪽 표면으로 다시 한 번 접어 들임으로써 전계가 강한 부분의 체적 감소 효과를 극대화시켰다. 여기서, 급전부는 동일하게 평판 상에 안테나를 부착하는 형태로 설계하기 위해 코플래너 마이크로스트립 라인 급전 방식을 적용하였다.

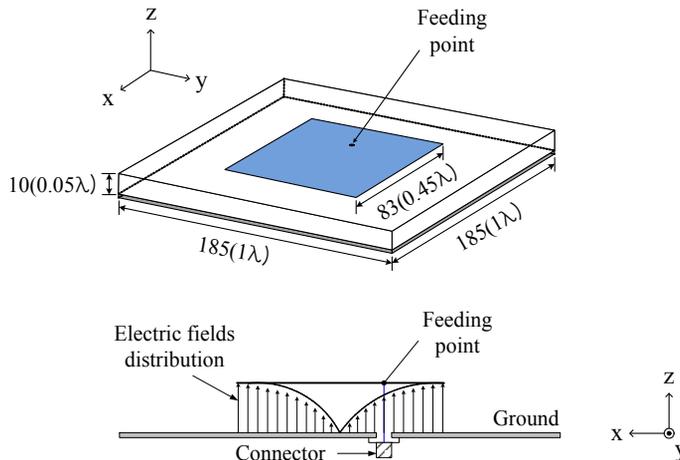


<Fig. 3> Antenna design process

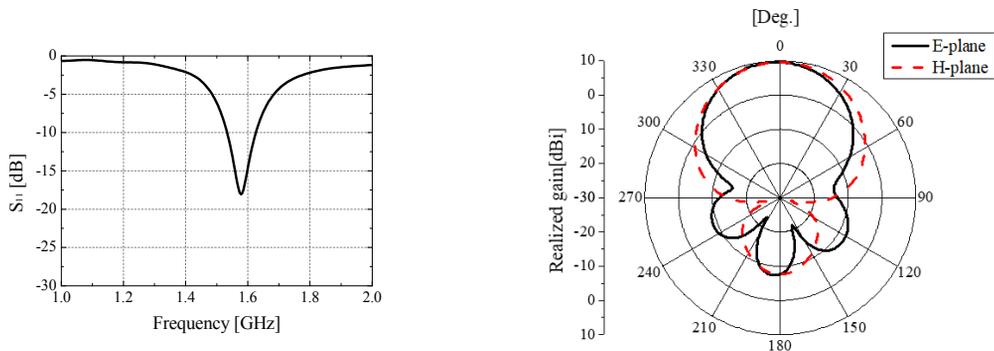
### III. 안테나 설계 및 제작 결과

#### 1. 기본형 $\lambda/2$ 마이크로스트립 패치 안테나

먼저, 기준이 되는  $\lambda/2$  마이크로스트립 선형 패치 안테나를 시뮬레이션하여 그 특징을 살펴보았다. 시뮬레이션 툴은 CST 社의 MWS(2021)을 이용하였고 중심주파수는 GPS의 대역인 1.575 GHz로 설정하였다. 설계된 안테나의 구조를 <Fig. 4(a)>에 나타내었다. 반파장 마이크로스트립 패치 안테나의 캐비티 내의 전계 분포는 <Fig. 4(a)> 아래에 나타난 바와 같이, 방사소자 양 끝에서 전계가 최대이고, 중앙에서 최소가 된다. 설계된 안테나는 하단 접지면으로부터 프로브 급전시켰다. 패치 안테나 방사소자의 크기는  $90\text{ mm} \times 83\text{ mm}$  ( $0.5\lambda \times 0.45\lambda$ )이며, 접지면의 크기는  $185\text{ mm} \times 185\text{ mm}$  ( $1\lambda \times 1\lambda$ )이다. 이 때 기판은 스티로폼( $\epsilon_r=1.06$ )을 이용하였으며 두께는 10 mm이다. 설계한  $\lambda/2$  마이크로스트립 선형 패치 안테나의  $s_{11}$  특성을 <Fig. 4(b)>에 나타내었으며, 그 결과는 -17.8 dB를 얻었다. 방사 패턴은 <Fig. 4(c)>에 나타난 바와 같이, 최대 이득 9.6 dBi를 얻었으며, E-plane, H-plane 모두 브로드사이드한 특성을 얻었다.



(a) Antenna structure and electric fields distribution



(b)  $s_{11}$  (Simulation)

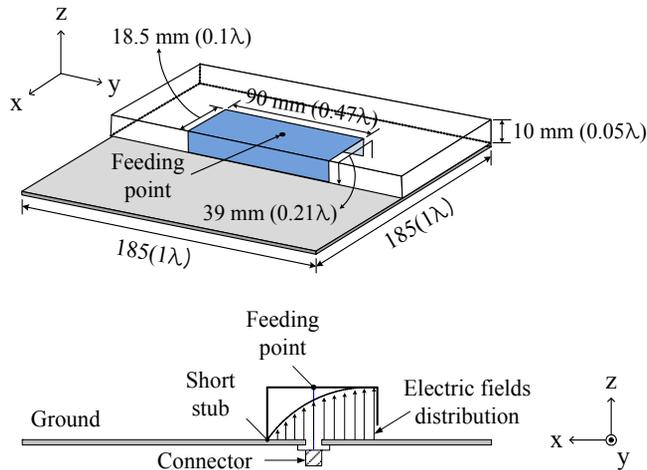
(c) Radiation pattern(Simulation)

<Fig. 4> Antenna structure and characteristics of  $\lambda/2$  microstrip patch antenna

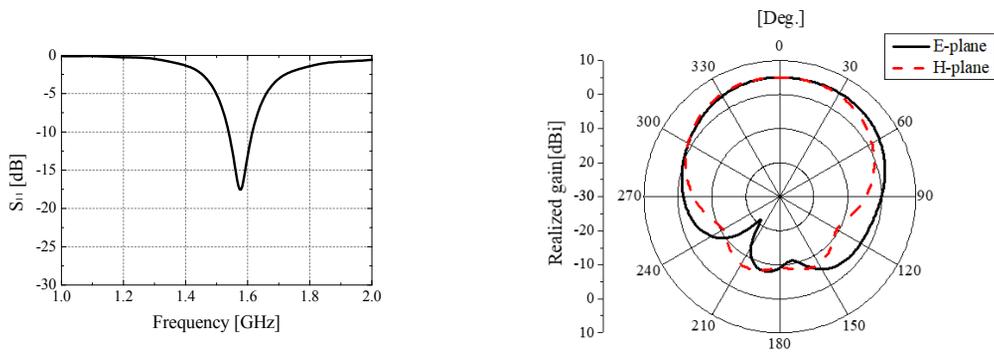
## 2. $\lambda/4$ 마이크로스트립 안테나

<Fig. 5(a)>는  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나를 반으로 접는 형태로 패치 크기를  $\lambda/4$ 로 소형화한 안테나의 구조를 나타내었다. 방사 소자의 끝단을 접지면과 가깝게 접어 내린 형태의 구조를 가진다. 접어 내린 부분과 접지면과의 간격 및 급전점 위치를 조정하여 임피던스 매칭 특성을 얻을 수 있으며, 이 때, 접어 내린 부분까지의 길이가 총 방사 소자의 길이가 된다.  $\lambda/4$  패치 안테나 방사소자의 크기는  $90 \text{ mm} \times 18.5 \text{ mm}$  ( $0.5 \lambda \times 0.1 \lambda$ )이며, 접지면의 크기는  $185 \text{ mm} \times 185 \text{ mm}$  ( $1 \lambda \times 1 \lambda$ )이다. 이 때 기판은 스티로폼( $\epsilon_r=1.06$ )을 이용하였으며 두께는  $10 \text{ mm}$ 이다.

다음으로, 설계한  $\lambda/4$  마이크로스트립 패치 안테나의  $S_{11}$  특성을 <Fig. 5(b)>에 나타내었으며, 그 결과는 설계 중심 주파수에서  $-17.5 \text{ dB}$ 를 얻었다. 방사 패턴은 <Fig. 5(c)>에 나타낸 바와 같이,  $0^\circ$ 에서 최대 이득  $5.04 \text{ dBi}$ 를 얻었으며, E-plane, H-plane 모두 브로드사이드한 특성을 얻었다. 설계 결과에서 알 수 있듯이, 같은 설계 주파수에서  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나의 방사소자 면적 대비  $78.7\%$ 의 소형화율을 얻었다.



(a) Antenna structure and electric fields distribution



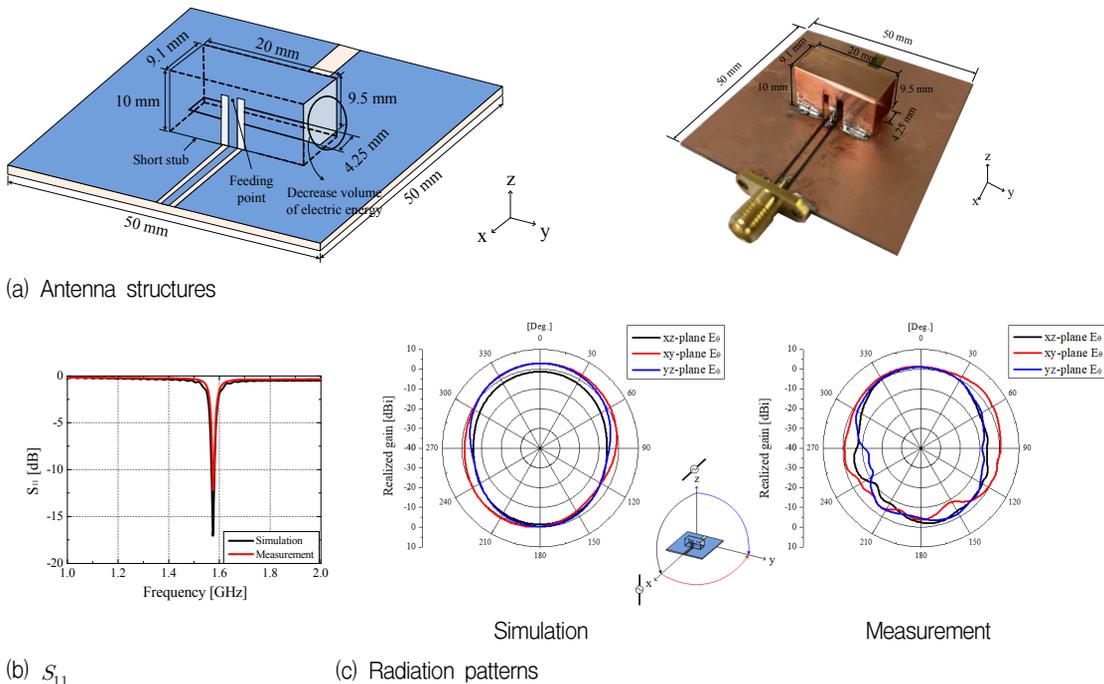
(b)  $S_{11}$  (Simulation)

(c) Radiation pattern (Simulation)

<Fig. 5> Antenna structure and characteristics of  $\lambda/4$  microstrip patch antenna

### 3. ‘ㄷ’-형 초소형 폴디드 마이크로스트립 안테나

2절의  $\lambda/4$  마이크로스트립 안테나의 크기를 더욱 소형화하기 위한 ‘ㄷ’형 폴디드 마이크로스트립 안테나의 구조를 <Fig. 6(a)>에 나타내었다. 접지면과 가깝게 접어 내린 방사 소자의 끝단을 접지면과 평행하게 안으로 접어 넣은 구조로, 방사 소자의 전체 면적을 더욱 축소시킬 수 있다. 이 때, 설계된 안테나의 면적은  $20\text{ mm} \times 9.1\text{ mm}$  ( $0.1\lambda \times 0.05\lambda$ )이며,  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나와의 크기 및 특성 비교를 위해 같은  $10\text{ mm}$  높이로 설정하였다. 코플래너 마이크로스트립라인 급전을 위한 기관은 FR-4( $\epsilon_r=4.4$ , 두께= $0.8\text{ mm}$ )를 사용하였다. 시뮬레이션 결과를 <Fig. 6(b)>에 나타내었으며, 중심주파수  $1.575\text{ GHz}$ 에서  $-16.8\text{ dB}$ 의  $S_{11}$  특성을 얻었다. 방사 패턴은 <Fig. 6(c)>에 나타낸 바와 같이,  $0^\circ$  방향에서  $xz$ -plane의  $E_\theta$ 가 최대이득  $2.86\text{ dBi}$ 를 나타내었고,  $0^\circ$  방향에서  $xy$ -plane의  $E_\theta$ 의 이득은  $-1.34\text{ dBi}$ 를 얻었다. 접지면의 크기가 초소형 기기에 탑재가 적합하도록 설정한  $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$  ( $0.26\lambda \times 0.25\lambda$ )이므로, 파장에 비해 상대적으로 작기 때문에 모든 면의 방사 패턴은 후방 방사가 큰 특성을 나타냈다. 최종 설계 결과, 같은 설계 주파수에서  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나의 방사소자 면적 대비  $97.6\%$ 의 소형화율을 얻었다.



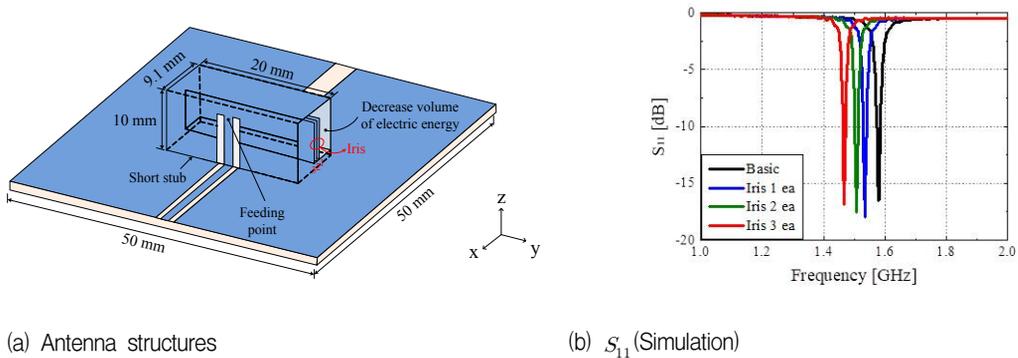
<Fig. 6> Antenna structure and characteristics of ‘ㄷ’ type folded microstrip antenna

안테나 제작은  $0.4\text{ mm}$  두께의 동판을 이용하여 <Fig. 6(a)>에 나타낸 바와 같이, 설계 치수대로 제작하였다. 제작된 안테나는  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나와의 크기 및 특성 비교를 위해 같은  $10\text{ mm}$ 의 높이를 가진다. FR-4 기관의 급전선로와 안테나의 급전선로를, 접지면과 단락 스텐드를 납땜하여 부착하였다. <Fig. 6(b)>에는 시뮬레이션 및 측정 결과를 비교하여 나타내었다. 측정 결과, 중심 주파수  $1.575\text{ GHz}$ 에서  $-12.2\text{ dB}$ 의 매칭 특성을 얻었다. 방사패턴 측정은 충남대학교 안테나 연구실 소유의 무반사실 측정실에서 진행하였다. 안테나의 방사패턴 측정 결과,  $xz$ -plane에서  $E_\theta$ 가  $0^\circ$  방향에서 최대 이득  $1.2\text{ dBi}$ 를 나타내었고,  $yz$ -plane에서

$E_{\theta}$ 가  $0^{\circ}$  방향에서 0.9 dBi를 얻었다. 시뮬레이션 특성과의 최대 이득 값 오차와 0.3 dBi의 측정 오차는 안테나 장착 위치를 변경하면서 생긴 오차 및 무반사실의 환경 오차로 판단된다. 또한, xy-plane에서  $E_{\theta}$ 는  $0^{\circ}$  방향에서 0.96 dBi로 xz-plane에서  $E_{\theta}$ 가  $90^{\circ}$ 의 이득값인 0.71 dBi와 0.25 dB 오차를 보였다. 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 파장에 비해 접지면이 작기 때문에 전체적으로 후방 방사가 크게 나타나는 특성을 보였다.

#### 4. 초소형 마이크로스트립 안테나

전체적인 안테나 크기(체적)를 더욱 소형화하기 위하여, <Fig. 7(a)>와 같이 방사 소자의 끝단과 방사 소자의 윗면 사이에 3개의 iris 구조를 수직으로 배치하는 방법을 적용하였다. 이는 주파수 하향을 최대화 하여 같은 설계주파수에서 안테나의 크기를 소형화시키기 위함이다. Iris 개수에 따른 공진주파수 변화 특성을 <Fig. 7(b)>에 나타내었다. Iris의 개수가 방사소자의 끝단으로 추가될수록 공진주파수가 하향하는 특성을 나타냈으며, 이로써 같은 주파수에서 안테나의 크기를 소형화시킬 수 있음을 알 수 있다.



(a) Antenna structures

(b)  $S_{11}$  (Simulation)

<Fig. 7> Antenna structure and characteristics of ‘ㄷ’ type folded microstrip antenna with Iris

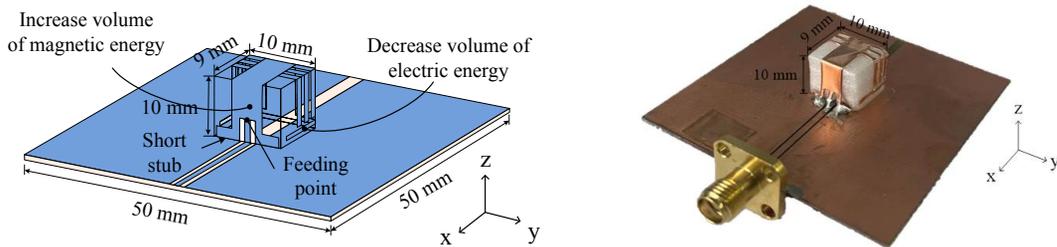
최종적으로, 제작의 용이성 확보와 소형화율을 증가시키기 위해 자계 에너지가 강한 부분의 체적을 증가시킬 수 있도록 <Fig. 8(a)>와 같이, 방사 소자의 중간 부근의 폭을 좁게, 전계 에너지와 자계 에너지가 중간 수준인 부분에 3개의 소자를 추가하여 안테나를 보다 소형화하는 구조로 변경하였다. 설계된 안테나 방사소자의 면적은  $10\text{ mm} \times 9\text{ mm}$  ( $0.05\lambda \times 0.05\lambda$ )이며,  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나와의 크기 및 특성 비교를 위해 같은 10 mm 높이를 가진다. 접지면의 크기가  $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$  ( $0.26\lambda \times 0.25\lambda$ )일 때, 시뮬레이션 결과, 평균 이득은 1.19 dB, 방사 효율은 88 % 를 얻었다.

중심주파수 1.575 GHz에서  $S_{11}$ 은 <Fig. 8(b)>에 나타내었으며, 측정 결과는 -38.6 dB로 -10 dB 대역폭은 13 MHz(0.8%)를 얻었다. <Fig. 8(c)>에는 제작한 안테나의 방사패턴 측정 결과를 나타내었다. 제작한 안테나의 방사패턴 측정 결과, xz-plane에서는  $E_{\theta}$ 가  $0^{\circ}$  방향에서 이득 1.87 dBi를 나타내었고, 또한, xy-plane에서  $E_{\theta}$ 는 -1.7 dBi의 이득을 얻었다. 앞서 설계한 접지면이 축소된 안테나와 마찬가지로 파장에 비해 접지면이 작기 때문에 후방 방사가 크게 나타나는 특성을 보였다.

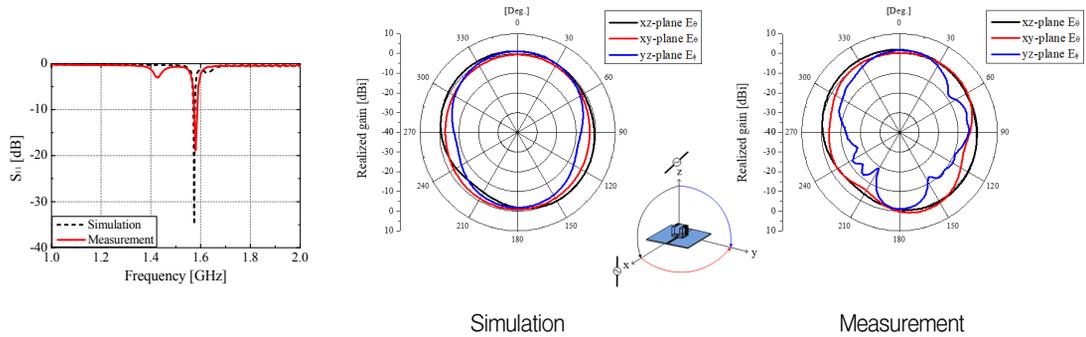
결과적으로,  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나의 면적과 비교했을 때, 98.8%의 소형화율을 얻었다. 이로써, 상대적으로 전기장의 세기가 강한 부분에 내향 변형(inward perturbation)을 가해 주거나, 자기장의 세기가 강한 부분에 외향 변형(outward perturbation)을 가해 주어 공진 주파수 저하 효과를 얻는 섭동법의 원리를 적

용하고, 패치 가장자리로의 저류 경로 증대 효과로부터 안테나의 크기(체적)을 소형화할 수 있다는 결론을 도출할 수 있다. 이들 결과들을 <Table 1>에 정리하였다.

본 논문에서 제안한 안테나는 선형편파이나, 최종 소형화된 안테나의 수직 편파의 이득이 1.2 dBi, 다른 평면의 이득은 0 dBi 내외의 특성을 확보하였다. 다양한 GPS 안테나 종류 중 일반적으로 원형편파 패치 안테나를 사용한 경우, 용도에 따라 다소 차이는 있을 수 있으나 평균적으로 -5 dBi 이상의 규격을 제시하고 있다. 따라서, 안테나의 이득이 낮으면 수신 축적 시간이 많이 소요되지만, 제안된 안테나를 적용하고자 하는 초소형 드론의 경우 빠른 속도의 성능을 요구하지 않아 수신 시간이 충분하므로 목표로 하는 S/N 특성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.(Han, 2007).



(a) Antenna structures



(b)  $S_{11}$

(c) Radiation patterns

<Fig. 8> Antenna structure and characteristics of small microstrip antenna

<Table 1> Characteristics of the designed antennas

| Antenna Structure      | $\lambda/2$ microstrip patch antenna(Sim.) | $\lambda/4$ microstrip patch antenna(Sim.) | ' $\sqsubset$ ' type folded microstrip antenna(Meas.) | Small microstrip antenna(Meas.) |
|------------------------|--|--|---|---------------------------------|
| Resonant frequency     | 1.575 GHz                                  |  |   |                                 |
| Radiating element size | 90 mm × 83 mm                              | 90 mm × 18.5 mm                            | 20 mm × 9.1 mm  | 10 mm × 9 mm                    |
| -10 dB Bandwidth       | 89.7 MHz                                   | 74 MHz                                     | 5 MHz   | 13 MHz                          |
| Realized gain(Max.)    | 9.6 dBi                                    | 5.04 dBi                                   | 1.2 dBi   | 1.87 dBi                        |
| Miniaturization rate   | -  | 78.7 %                                     | 97.6 %  | 98.8 %                          |

## IV. 결 론

본 논문에서는 소형 드론에 탑재가 가능하도록 소형화된 GPS 대역( $L_1$ : 1.575 GHz,  $\lambda=190$  mm) 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 먼저,  $\lambda/2$  마이크로스트립 패치 안테나를 설계하여 기본 특성을 확인하고, 크기 비교 기준으로 설정하였다. 다음으로,  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나를 반으로 접는 형태를 이용하여 방사소자의 크기를  $\lambda/4$ 로 소형화된 안테나의 구조를 나타내었다. 방사 소자의 끝단을 접지면과 가깝게 접어 내린 형태의 구조를 가진다. 같은 설계 주파수에서  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나의 방사소자 면적 대비 78.7%의 소형화율을 얻었다.  $\lambda/4$  마이크로스트립 안테나의 크기를 더욱 소형화하기 위해 접지면과 가깝게 접어 내린 방사 소자의 끝단을 접지면과 평행하게 안으로 접어 넣은 구조로, 방사 소자의 전체 면적을 더욱 축소시킨 ‘c’형 폴디드 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 이는  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나의 방사소자 면적 대비 97.6%의 소형화율을 얻었다. 추가적으로, 전체적인 안테나 크기(체적)를 더욱 소형화하기 위하여, ‘c’형 폴디드 마이크로스트립 안테나 방사 소자의 끝단과 방사 소자의 윗면 사이에 3개의 iris 구조를 수직으로 배치하는 방법을 적용하였다. 이는 주파수 하향을 최대로 하여 같은 설계 주파수에서 안테나의 크기를 소형화시키기 위함이다. Iris 구조의 개수가 방사 소자의 끝단으로 추가될수록 공진주파수가 하향하는 특성을 나타냈으며, 이로써 같은 주파수에서 안테나의 크기를 소형화시킬 수 있음을 알 수 있다.

최종적으로, 제작의 용이성 확보와 소형화율을 증가시키기 위해 자계 에너지가 강한 부분의 체적을 증가시킬 수 있도록 방사 소자의 중간 부근의 폭을 좁게, 전계 에너지와 자계 에너지가 중간 수준인 부분에 3개의 양 쪽 날개 소자 및 끝단 양쪽 날개 1개를 추가하여 안테나를 더욱 소형화하는 구조의 초소형 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 중심주파수 1.575 GHz에서  $S_{11}$ 의 측정 결과는 -38.6 dB로 -10 dB 대역폭은 13 MHz를 얻었다. 방사패턴 측정 결과,  $0^\circ$  방향에서  $xz$ -plane의  $E_\theta$ 가 이득 1.87 dBi를 나타내었고, 또한,  $xy$ -plane의  $E_\theta$ 는 -1.7 dBi의 이득을 얻었다. 그 결과,  $\lambda/2$  기본형 마이크로스트립 안테나 대비 98.8 %의 방사 소자 면적 축소율을 확보하였다.

이로써, 제안된 소형 안테나가 곤충, 새와 같은 소형 드론 등 다양한 소형 전자기기 탑재에 유효함을 확인하였다. 만일 고유전율을 갖는 세라믹 등을 이용할 경우, 보다 높은 체적 축소율을 얻을 수 있을 것으로 판단되며, 또한, 대량생산이 쉬운 구조로 비용 절감을 실현할 수 있어 본 논문에서 제안한 초소형 안테나는 다양한 활용 분야에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

## REFERENCES

- Choi, Y. S., Choi, D. S., Kim, W. K., Eun, C. S. and Woo, J. M.(2022), “Design of subminiature microstrip antenna for GPS using perturbation effect”, *Microwave and Optical Technology Letters*.
- Choi, Y. S., Jung, B. C. and Woo, J. M.(2020), “Design of subminiature  $\lambda/4$  microstrip antenna for GPS”, *Journal of Korean Institute Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 7, pp.607-613.
- Han, J. H.(2007), “Design Methodology-Technology and trend of GPS reciever design”, *IT SoC Magazine*, pp.32-35.
- Harrington, R. F.(1961), *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, McGraw Hill.

- Jang, Y. S.(2018), “Fields of application and evolution of small drones”, *The Proceedings of Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 67, no. 11, pp.7-12.
- Kim, W. K. and Woo, J. M.(2005), “Miniaturization of microstrip antenna by structural deforming”, *Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 16.2, pp.22-31.
- Kum, J. M. and Woo, J. M.(2017), “Microstrip Antenna using Multi-layer and Folded Structure for GPS Application”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 16.2, pp.171-179.
- PatentYogi, <https://patentyogi.com>, 2022.04.08.
- Phan, H. V., Kang, T. S. and Park, H. C.(2016), “Controlled Flight of Tailless Insect-Like Flapping-Wing Flying-Robot”, *Korea Robotics Society*, vol. 11, no. 4, pp.256-261.
- Ryu, S. R., Park, C. H., Choi, D. S. and Woo, J. M.(2017), “Miniaturization of Microstrip Antenna”, *Progress In Electromagnetics Research Symposium*.
- Shin, J. Y., Woo, J. M., Park, J. H. and Kum, J. M.(2017), “Miniaturized  $\lambda/4$  Folded Microstrip Antenna using Parasitic Element for Parking Management System”, *Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 16.5, pp.144-151.
- TELEDYNE FLIR, <https://www.flirkorea.com/products/black-hornet-prs/?vertical=uas&segment=uis>, 2022.04.21.