

소형 드론용 SAR 시스템의 다중편파 안테나 장치 설계 및 제작

Design and Fabrication of Fully Polarimetric Antenna for a Compact Drone-Borne SAR

김진우¹ · 권순구² · 전영범³ · 유응노⁴ · 김덕진^{*5} · 박주성^{**6} · 김영상^{**7}

Jin-Woo Kim¹ · Sun-Koo Keon² · Yeong-Beom Jeon³ · Eung-Noh You⁴ ·
Duk-jin Kim^{*5} · Joo-Sung Park^{**6} · Yung-Sang Kim^{**7}

요 약

본 연구에선 소형 드론 탑재용 SAR 시스템 개발을 위하여 안테나의 소형 및 경량화 방법을 제안하였다. 안테나의 경량화를 위하여 마이크로스트립 패치 형태로 안테나 기본 구조를 설계하였다. 그리고 광대역 고이득의 안테나 성능을 확보하기 위하여 방사패치에 기생패치를 적층하였다. 안테나 크기 및 패치 간 간격은 목표 성능 만족을 위하여 시뮬레이션 결과를 바탕으로 반복적으로 조정하여 최적화하였다. 추가적으로 다중편파 SAR 영상 획득을 위하여 동등성능의 HH, VV, HV 그리고 VH 편파의 안테나 4종을 제작하였다. 그 결과, 무게 100 g 미만의 초경량 안테나 제작이 가능하였다.

Abstract

In this study, a method was proposed to develop a compact antenna for a drone-borne synthetic aperture radar(SAR). The compact antenna structure was designed as a microstrip patch antenna, and a parasitic patch was stacked on the radiation patch to improve the bandwidth and gain of the antenna. The size and interval between patches were iteratively adjusted based on the simulation in order to satisfy the requirements of the antenna. Additionally, HH-, VV-, HV-, and VH-polarimetric antennas were fabricated to acquire fully polarimetric SAR data. As a result, the compact antenna could be successfully developed with a small weight of less than 100 grams.

Key words: Compact Drone, SAR, Compact Antenna, Fully Polarimetric, Microstrip Patch

I. 서 론

최근 4차 산업이 활성화 되면서 소형 드론에 장착 가능한 다양한 센서들이 개발되고 있다. 특히 소형 드론에 장

착 가능하도록 센서들의 소형 · 경량화가 중요한 개발요소로 인식되고 있다. 하지만 개발비용, 구조적 경량화 제약과 같은 다양한 이유로 현재까지 소형 드론에 장착 가능한 센서는 광학 센서가 주를 이룬다. 비록 소형 · 경량

「이 연구는 2020년도 LIG넥스원 자체 선행연구 연구비의 지원으로 연구되었음.」

LIG 넥스원(LIG NEX1)

*서울대학교 지구환경과학부(School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University)

**에이스 테크놀로지(Ace Technology)

1: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0002-3776-6697>), 2: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0002-8130-7471>), 3: 선임연구원(<https://orcid.org/0000-0003-0221-3221>),

4: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0002-2255-6531>), 5: 교수(<https://orcid.org/0000-0001-8147-7641>), 6: 책임연구원(<https://orcid.org/0000-0002-9185-4145>),

7: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0002-1611-9888>)

· Manuscript received June 3, 2020 ; Revised July 7, 2020 ; Accepted August 25, 2020. (ID No. 20200603-047)

· Corresponding Author: Jin-Woo Kim (e-mail: modone79@gmail.com)

화에 많은 제약이 있지만 Synthetic Aperture RADAR(SAR)은 주·야간으로 고해상도의 레이다 영상을 획득할 수 있다. 그래서 감시 및 정찰분야에 활용도가 매우 높다^[1]. 이러한 이유로 최근에는 소형 드론에 탑재 가능한 소형 SAR 개발관련 연구가 꾸준히 증가하고 있다^{[2]~[4]}.

일반적으로 고해상도(예: 30 cm급) 영상복원이 가능한 SAR는 중심주파수 Ku- 또는 X-band와 대역폭 500 MHz 이상의 시스템 제원을 갖는다. 시스템 구성은 안테나, RF 송수신장치, 그리고 제어/신호처리장치로 나눌 수 있다^[1]. 소형·경량화를 위하여 RF 송수신장치와 제어/신호처리장치는 통합하여 제작되기도 한다. 하지만 소형 드론에 탑재하기 위한 소형·경량화 관점에서 안테나는 많은 제약사항이 있다. 기존 연구에선 X-band의 혼 안테나를 이용하여 차량시험을 하거나 소형 드론에 탑재하기 위하여 Ku-band의 혼 안테나를 이용하기도 하였다^{[2][3]}. 하지만, 고품질의 SAR 영상획득을 위해서는 광대역 고이득의 안테나 성능이 확보되어야 하는데, 혼 안테나의 경우, 성능 측면에서 제약이 있다. 그러므로 광대역 고이득의 성능을 확보하면서 소형·경량화가 가능한 안테나의 최적화 설계 및 제작이 필요하다.

안테나의 최적화 설계 및 제작을 위해서는 SAR 시스템의 제원이 우선적으로 결정되어야 한다. 본 연구에선 소형 드론에 탑재 가능한 SAR 시스템의 제원 기준 설정을 위하여 미국 IMSAR(社)의 “ONESAR” 시스템을 벤치마킹하였다. 이 시스템은 지금까지 전 세계적으로 개발된 SAR 중에서 가장 소형·경량화된 시스템 중 하나이다. 시스템 전체 무게는 약 2.7 kg(Ku-band 기준)이고, 운용고도는 최대 500 m이다. SAR 영상 해상도는 0.3 m 기준이다. 이 제원을 기준으로 안테나의 목표성능을 설정하였다. 설정된 목표 성능 구현을 위하여 안테나 설계, 제작, 그리고 검증을 진행하였다. 추가적으로 다중편파 SAR 영상획득이 가능하도록 동일성능의 H 편파와 V 편파 안테나 설계 및 제작도 진행하였다. II장에서는 안테나의 목표 성능, 설계된 안테나 구조, 그리고 구현 방법에 대하여 자세하게 설명하였다. 3장은 제작된 안테나 형상 및 측정된 안테나 성능에 대하여 설명하였고 4장에선 결론으로 마무리하였다.

II. 안테나 설계

표 1은 본 연구에서 설정한 안테나의 목표성능을 나타낸다. 안테나의 중심 주파수는 X-band로 설정하였고, SAR 영상 해상도는 30 cm급 복원이 가능하도록 대역폭 500 MHz 이상으로 설정하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 운용고도 최대 500 m 제원을 만족하기 위하여 안테나 이득은 15 dBi 이상으로 설정하였다. 그리고 가장 중요한 안테나의 무게는 100 g이하로 설정하였다.

목표 성능에 기반하여 안테나는 소형·경량화가 가능한 Inset Fed 방식의 마이크로스트립 패치 안테나의 단일 방사패치 구조로 설계하였다(그림 1a). 그리고 500 MHz 이상의 광대역 특성을 만족시키기 위하여 기생패치를 적층하였다. 이 때, 방사패치와 기생패치 사이의 간격은 일정하게 유지되어야 한다. 이를 위하여 본 연구에선 유전율이 낮은 Foam을 삽입하여 간격을 조정하면서 유지할 수 있도록하였다(그림 1b). 방사패치의 길이(L), 폭(W), 두께(h), 유전율(ϵ_r)은 마이크로스트립 패치가 목표성능의 공진주파수에서 동작되도록 식 (1)~식 (5)를 이용하여 계산하였고, 시뮬레이션 결과를 이용하여 최적화하였다^[5].

$$f = \frac{c}{2(L + \Delta L) \sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \quad (2)$$

$$W = \frac{c}{2f} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (3)$$

$$L \simeq 0.49\lambda_d = 0.49 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

표 1. 안테나 설계목표

Table 1. The requirements of the antenna.

Parameters	Values
Frequency	X-band
Bandwidth	> 500 MHz
Antenna gain	> 15 dBi
Weight	< 100 g
Size	180(L)×150(H)×2(D) mm

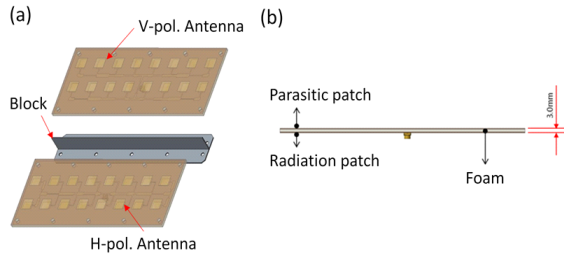


그림 1. (a) 안테나 설계형상, (b) 안테나 패치의 결합구조
Fig. 1. (a) The designed shape of the antenna (b) The combined structure of the antenna patch.

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{re} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{re} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (5)$$

여기서, c 는 자유공간에서의 빛의 속도이며, ΔL 은 유효 패치 길이를 형성하는 프린징 길이(fringing length), ϵ_{re} 는 유효 유전율(effective dielectric constant), λ_d 는 유전율 ϵ_r 을 가지는 유전체에서의 파장이다.

15 dBi 이상의 안테나 이득 특성을 확보하기 위하여 패치배열은 8×2 의 배열구조로 선정하였다(그림 1a). 배열 간격 (d)은 빔 조향범위 내에서 그레이팅 로브가 발생하지 않도록 식 (6)을 이용하여 동 위상이 되는 최대 조건을 계산하였다^[6].

$$\frac{d}{\lambda} < \frac{1}{1 + |\sin \theta_0|} \quad (6)$$

(θ_0 : Maximum angle of beam steering)

시뮬레이션을 통해 얻은 방사패치 안테나 배열과 전송선로의 연결은 복잡성 및 손실을 최소화하기 위하여 Series-Corporate feed network 급전방식으로 설계하였다. 마지막으로 V 편파 및 H 편파 안테나 간의 분리도를 얻기 위하여 차폐벽을 사이에 두는 구조로 HH, VV, HV, 그리고 VH 편파 안테나를 설계하였다(그림 1a). 그림 2는 설계된 V 편파 및 H 편파 안테나의 빔 형성 시뮬레이션 결과를 보여준다.

III. 안테나 성능 측정 결과

시뮬레이션으로 검증된 안테나 설계값을 이용하여 안

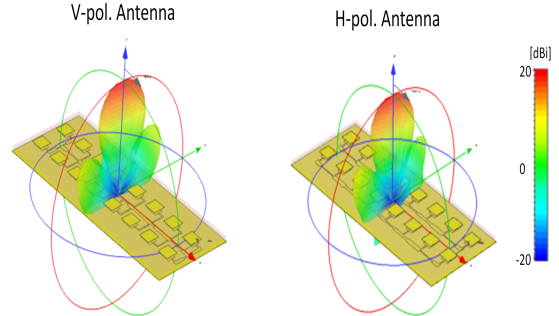
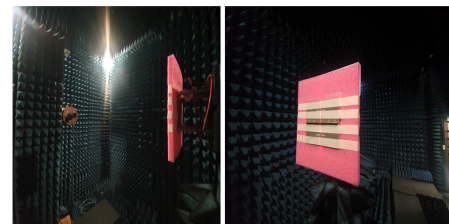


그림 2. V 편파 및 H 편파 안테나의 빔 형성 시뮬레이션 결과
Fig. 2. The simulated results of H- and V-pol. antenna beam pattern, respectively.

테나를 최종 제작하였다. 안테나의 최종 형상은 그림 3(a)와 같다. 이 후 성능검증을 위하여 무반향실 Chamber에서 안테나 성능 측정을 실시하였다(그림 3(b)). 측정결과는 표 2와 같다. 대역폭은 HH, VV, HV, 그리고 VH 편파 안테나 모두 600 MHz를 만족하였다. HH, HV 그리고 VH 편파 안테나는 대역폭 내에서 약 18 dBi의 안테나 이득 성능을 보여 주었다. VV 편파 안테나는 대역폭 내에서 약 19 dBi의 안테나 이득 성능을 보여 주었다. HH 편파



(a)



(b)

그림 3. (a) 안테나 최종 형상, (b) 안테나 성능측정 시험
Fig. 3. (a) The final shape of the antenna, (b) The experiment of measuring performance of the antenna.

표 2. 안테나 성능 측정시험 결과

Table 2. The measured results of antenna performances (f_l : low frequency, f_c : center frequency, and f_h : high frequency).

Polarization	Measured values		
HH	Bandwidth		600 MHz
	Gain	f_l	18.71 dBi
		f_c	18.55 dBi
		f_h	18.28 dBi
	Weight		94 g
VV	Bandwidth		600 MHz
	Gain	f_l	18.70 dBi
		f_c	19.07 dBi
		f_h	19.45 dBi
	Weight		95 g
HV	Bandwidth		600 MHz
	Gain	f_l	18.73 dBi
		f_c	18.79 dBi
		f_h	18.30 dBi
	Weight		95 g
VH	Bandwidth		600 MHz
	Gain	f_l	18.36 dBi
		f_c	18.52 dBi
		f_h	18.07 dBi
	Weight		95 g

안테나의 무게는 약 94 g이었고, 다른 안테나들의 무게는 약 95 g이었다. 이 결과를 통하여 제작된 안테나의 성능이 목표성능을 모두 만족한다는 것을 알 수 있다. 특히, 안테나 이득은 최적화 과정을 통하여 모든 안테나에서 목표치보다 약 3 dBi 이상 초과 성능을 확보하였다.

IV. 결 론

본 논문은 소형 드론에 탑재 가능하도록 SAR 시스템의 안테나를 소형·경량화하는 방법에 대하여 설명하였다. 무게절감을 위하여 마이크로스트립 패치 형태를 안테나의 기본 구조로 선정하였다(표 2). 그리고 광대역 성능을 확보하기 위하여 방사패치에 기생패치를 적층하는 구조로 설계하였다. 안테나 크기, 패치 간 간격과 같은 세부

요소들은 본 논문에서 설정한 목표성능에 맞도록 반복적인 시뮬레이션 과정을 거쳐 최적화하였다. 추가적으로 다중편파 SAR 영상확보를 위하여 동일성능의 H편파와 V편파 안테나 설계 및 제작을 진행하였다. 그 결과, 대역폭 600 MHz 및 평균 18 dBi 이상의 고이득 성능을 만족하면서 무게가 100 g 미만인 초경량 다중편파 안테나 제작이 가능하였다.

차후, 안테나와 더불어 개발 중인 RF 송수신 및 제어장치 개발이 완료되면 소형 드론 탑재 후 비행시험을 통하여 SAR 시스템 성능 검증도 진행될 계획이다.

References

- [1] H. I. Shin, K. I. Kwon, S. H. Yoon, H. S. Kim, J. Hwang, and Y. C. Ko, et al., "SAR test-bed to acquire raw data and form real-time image," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 20, no. 2, pp. 181-186, 2017.
- [2] K. W. Lee, B. S. Kim, M. J. Moon, J. H. Song, W. K. Lee, and Y. K. Song, "Drone-based micro-SAR imaging system and performance analysis through error corrections," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 27, no. 9, pp. 854-864, Sep. 2016.
- [3] T. Deguchi, T. Sugiyama, and M. Kishimoto, "R&D of drone-borne SAR system," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W13, pp. 263-267, 2019.
- [4] J. W. Kim, S. G. Keon, J. W. Ok, E. N. Yoo, D. J. Kim, and Y. W. Shim, et al., "Real-time image reconstruction for compact drone-borne SAR using GPU signal processing," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 9, pp. 780-783, Sep. 2019.
- [5] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, New York, NY, John Wiley & Sons, 2014.
- [6] J. R. James, P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, London, Peter Peregrinus, 2014.