J. Space Technol. Appl. 1(1), 33-40 (2021)
https://doi.org/10.52912/jsta.2021.1.1.33

우주기술과 응용
Journal of Space Technology and Applications
ISSN 2765-7469

논문

차세대소형위성 2호 영상 레이다 안테나 개발 및 차량 탑재 시험

신구환[1†], 이정수[1], 장태성[1], 김동국[1], 정영배[2]

[1]한국과학기술원 인공위성연구소
[2]한밭대학교 전자공학과

Development and Field Test of the NEXTSat-2 Synthetic Aperture Radar (SAR) Antenna Onboard Vehicle

Goo-Hwan Shin[1†], Jung-Su Lee[1], Tae Seong Jang[1], Dong-Guk Kim[1], Young-Bae Jung[2]

[1]Satellite Technology Research Center, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 34141, Korea
[2]Department of Electronics Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea

Received: April 13, 2021
Revised: April 22, 2021
Accepted: April 23, 2021

***Corresponding author :**
Goo-Hwan Shin
Tel : +82-42-350-8622
E-mail : goohshin@kaist.ac.kr

Copyright © 2021 The Korean Space Science Society. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID
Goo-Hwan Shin
https://orcid.org/0000-0002-7712-2511
Jung-Su Lee
https://orcid.org/0000-0002-2601-2494
Tae Seong Jang
https://orcid.org/0000-0001-7041-1874
Dong-Guk Kim
https://orcid.org/0000-0002-8600-6571
Young-Bae Jung
https://orcid.org/0000-0002-7244-9187

요 약

본 논문에서는 총 무게 42 kg 이내의 요구사항을 토대로 차세대소형위성 2호 영상 레이다 시스템을 개발한 결과를 보고한다. 차세대소형위성 2호는 소형급 인공위성으로, 탑재체의 무게 비중이 전체 무게 대비 약 40% 정도를 차지하도록 설계하였다. 영상 레이다 시스템은 안테나, RF송수신기, 기저대역 신호처리기, 전력부 등으로 구성되며, 이 중에서 특히 무게 비중이 큰 부품은 영상 레이다의 핵심인 안테나이다. 안테나 설계시 이득, 효율 등을 고려한 다양한 선택이 가능하지만, 차세대소형위성 2호 사업에서 요구하는 무게, 전력 및 해상도 등을 반영하여 Micro-strip Patch Array 안테나를 채택하여 설계하였다. 차세대소형위성 2호의 임무 요구 조건에 부합하도록 안테나의 주파수는 9.65 GHz, 이득은 42.7 dBi 그리고 반사손실은 −15 dB로 규정하여 개발하였으며, 차량에 탑재한 현장시험을 통하여 요구 성능의 충족 여부를 검증하였다.

Abstract

Based on the requirements of a total weight of 42 kg or less, the NEXTSat-2 SAR (synthetic aperture radar) system was developed. As the NEXTSat-2 is a small-sized satellite, the SAR system was designed to account for about 40% of the dry mass of the payload relative to the total mass. Among the major components of the SAR system – which are an antenna, an RF transceiver, a baseband signal processor, and a power unit – a part with a particularly large dry mass is the antenna, the core of the SAR system. Whereas various selections are possible in consideration of gain and efficiency when designing the antenna, the micro-strip patch array antenna was adopted by reflecting the dry mass, power, and resolution required by the NEXTSat-2 project. In order to meet the mission requirement of the NEXTSat-2, the antenna was developed with a frequency of 9.65 GHz, a gain of 42.7 dBi, and a return loss of −15 dB. The performance of the antenna was verified by conducting a field test onboard the vehicle.

핵심어 : 차세대소형위성2호, 합성개구형안테나, 해상도, 이득, 효율, 패치배열안테나
Keywords : NEXTSat-2, synthetic aperture radar (SAR), resolution, gain, efficiency, micro-strip patch array antenna

1. 서론

광학계 카메라가 탑재된 인공위성은 주로 태양광이 존재하는 주간에 피사체에서 반사된 빛을 이용하여 영상화하지만, 영상 레이다 시스템의 경우는 빛이 존재하지 않는 야간이나 비가 오는 날씨에도 영상을 만들 수 있는 시스템이다. 즉, 모든 기상 조건에서 영상을 만들 수 있는 기술이라고 할 수 있다[1]. 이와 같이 전천후 조건에서 영상을 만들 수 있는 첨단 기술을 보유한 국가는 많지 않으며, 관련된 핵심 영상 레이다 요소기술은 다양한 용도로 활용이 가능하므로 기술 도입이나 이전이 불가한 품목으로 관리되고 있다. 국내에서도 이 분야의 기술이 취약하다는 판단 아래 독자 기술의 확보와 향후 활용을 위하여 2017년 차세대소형위성 2호 개발사업의 일환으로 영상 레이다 국산화 개발이 착수되었다.

소형급 인공위성인 차세대소형위성 2호 개발사업에서 요구하는 주요 규격은 전체 시스템 무게 대비 탑재체 무게 비중으로, 영상 레이다 시스템의 요구사항은 총 무게 42 kg이며, 이는 탑재체의 무게가 전체 무게 대비 약 40% 정도를 차지한다[2]. 영상 레이다 시스템 구현에 필요한 구성품은 안테나, RF 송수신기, 기저대역 신호처리기 및 전력부 등인데, 이 중에서 가장 무게 비중이 큰 부품은 영상 레이다의 핵심 부품인 안테나이다. 안테나 설계시 이득, 효율 등을 고려한 다양한 선택이 가능하지만, 차세대소형위성 2호 개발 사업에서는 무게, 전력 및 해상도 등의 요구조건을 반영하여 micro-strip patch array 안테나를 채택하였으며, 특히 차세대소형위성 2호의 임무를 수행하기 위하여 안테나 주파수는 9.65 GHz, 이득은 42.7 dBi 그리고 반사손실은 – 15 dB로 규정하여 개발하였다. 또, 관측 폭을 고려하여 range 방향의 빔 폭(beam width)은 2.9도, azimuth 방향의 빔 폭(beam width)은 0.21도로 설계 규격을 정하였으며, 영상 레이다 해상도(resolution)에 가장 큰 역할을 담당하는 안테나 대역폭은 250 MHz로 정하였다. 이와 같은 설계 변수를 토대로 영상 레이다에서 요구하는 안테나 인증 모델(qualification model, QM)을 설계하였으며, 제작된 QM을 차량에 탑재하고 현장 시험을 실시하여 요구 조건의 충족 여부를 검증하였다. 본 논문에서는 이 연구 결과를 보고한다.

2. 영상 레이다 시스템 개발규격

영상 레이다 시스템 안테나를 설계하기 위한 시스템의 요구 규격은 해석을 통하여 결정되는데, 본 설계에서는 관측 각(look angle) 및 임무 고도(altitude)를 입력 조건으로 정의하여 영상 레이다 임무에 필요한 설계 변수를 도출하였다. 영상 레이다 시스템의 경우, 다양한 운용 모드가 가능한데, Scan SAR(synthetic aperture radar) mode, Spot mode, 및 Strip map mode 등이 그 예이다. 이 중 차세대소형위성 2호의 사업에서는 특히 관측 폭에 중점을 두어 Scan SAR mode와 Spot mode는 제외하고, 표준 영상인 Strip map mode만 구현하도록 정하였다. 향후, Strip Map mode 기능이 우주의 임무 궤도에서 정상적으로 동작하면 다양한 운용모드를 구현할 수 있다. Table 1은 차세대소형위성 2호 사업에서 요구하는 영상 레이다 SAR 시스템의 상위 규격을 보여준다.

3. 영상 레이다 안테나 설계 및 제작

2장에서 영상 레이다 시스템의 임무 수행에 필요한 각종 파라메타를 검토하였는데, 이 요

Table 1. SAR requirements for the NEXTSat-2 program

Parameters	Requirements
Frequency	X-band
Dry mass	42 kg
Altitude	550 km
Look angle	20° – 35°
Operational mode	
Standard	
Resolution	5 – 44 m
Scan width	36 – 46 km
NESZ	−27 – −14 dB
Polarization	VV
Maximum side lobe level	< −19 dB
Accumulate side lobe level	< −12 dB

SAR, synthetic aperture radar; NESZ, noise-equivalent sigma zero.

구 성능의 충족 여부는 안테나의 성능으로부터 가늠할 수 있다. 특히, Table 1에서 정의된 변수 중 해상도(resolution), 관측폭(scan width), 등가산란지수(noise-equivalent sigma zero, NESZ), 편파(polarization), 최대부엽레벨(maximum side lobe level), 누적부엽레벨(accumulate side lobe level) 등은 성능지표의 중요한 변수들이다. 따라서, 이와 같은 요구 조건을 달성하기 위해 도파관 안테나, 슬롯 형태의 도파관 안테나, 반사판 안테나, 위상 배열 안테나 및 패치 안테나 등 다양한 종류의 안테나 후보군을 검토하였으며, 이들 중 기술 구현 가능성, 무게, 개발 일정, 소요 예산 등을 종합적으로 고려하여 micro-strip patch array antenna를 임무에 적합한 안테나로 선정하여 개발하였다. Table 2는 SAR 시스템의 상위 요구 조건에 따른 안테나 개발 규격을 나타낸다.

Table 2에 제시된 안테나 개발 규격을 토대로 안테나 설계를 수행하였다. 차세대소형위성 2호에서 요구하는 안테나 길이는 5.197 m, 폭은 0.552 m이다. 이와 같은 대형의 안테나를 성능 요구 조건을 충족하도록 micro-strip patch array로 개발하는 것은 쉽지 않다. 따라서, 안테나를 소규모의 작은 사이즈로 분리하여 설계하였다. 즉, 본 임무용 안테나의 기본 단위는 부배열(sub-array) 사이즈로서 길이 방향으로 0.37 m, 폭은 0.552 m로 설계하였다. 다음 3개 또는 2개로 구성된 부배열 안테나(sub-array antenna)의 조합으로 패널 안테나(panel array antenna)를 구성하였으며, 차세대소형위성 2호의 전체 형상을 고려하여 부배열 안테나 14개를 활용한 5조의 패널 안테나 조합으로 시스템에서 요구하는 임무 충족을 위한 전체 어레이 안테나를 설계하였다. Fig. 1은 부배열 안테나(sub-array antenna), 패널 안테나(panel array antenna) 및 시스템에 조립되었을 때의 전체 어레이 안테나(SAR system antenna)의 형상을 보여준다. 차세대소형위성 2호의 임무에 필요한 전체 어레이 안테나 이득은 42.7 dBi이며, 무

Table 2. SAR antenna requirements for the NEXTSat-2 mission

Parameters	Full array antenna
Size (mm)	5,197.567 × 552.000
Dry mass (kg)	13.7
Material	Micro-strip patch array
Frequency (GHz)	9.65
Gain (dBi)	42.7
Efficiency (%)	50%
Beam width (MHz)	250
Polarization	VV
3 dB beam width (°)	Range: 2.90
	Azimuth: 0.21
Side lobe level (dB)	Vertical: −13, Horizontal: −13
S_{11} level (dB)	−15

SAR, synthetic aperture radar.

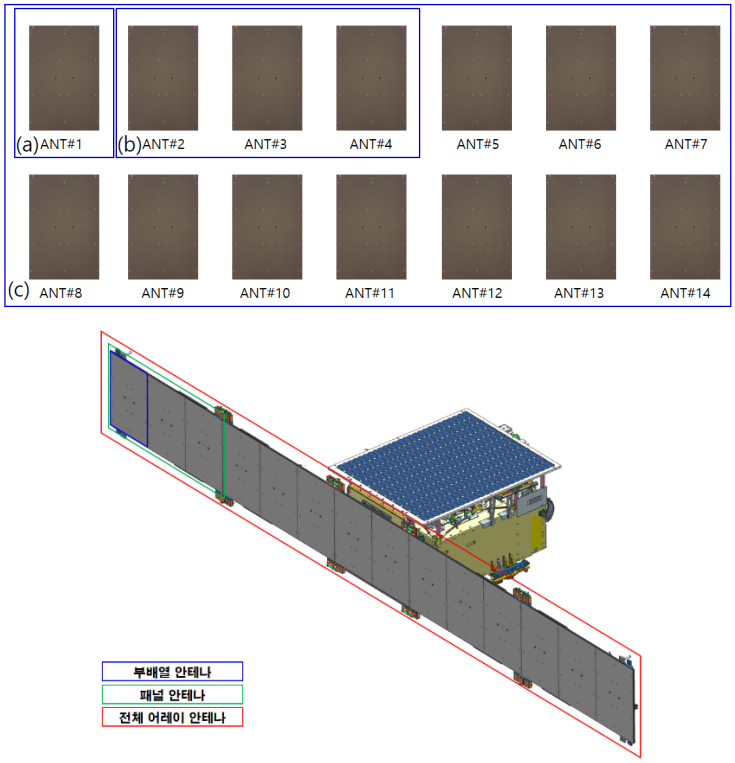

Fig. 1. SAR antenna. (a) sub-array antenna, (b) panel array antenna, (c) SAR system antenna and the entire antenna configuration mounted on the NEXTSat-2 spacecraft. SAR, synthetic aperture radar.

반사 챔버에 안테나를 설치하여 요구 조건 충족 여부를 확인하기 위하여 원전계 빔패턴을 측정하였고, Fig. 2에 이의 결과를 제시하였다.

4. 영상 레이다 안테나 차량 탑재 시험

초대형 안테나를 지상에서 모사하여 요구 조건의 충족 여부를 검증하는 현장 시험은 실질적으로 불가하므로, 본 연구에서는 현장 시험에 적합한 안테나 형태를 구성하였다. 즉, 3장에서 기술한 안테나 구성에 따라 Fig. 3과 같이 부배열 안테나 3조로 구성된 패널 안테나를 차량에 탑재한 후 현장 시험을 수행하였다. 검증 방법은 9.65 GHz 주파수를 방사하고, 후방으로

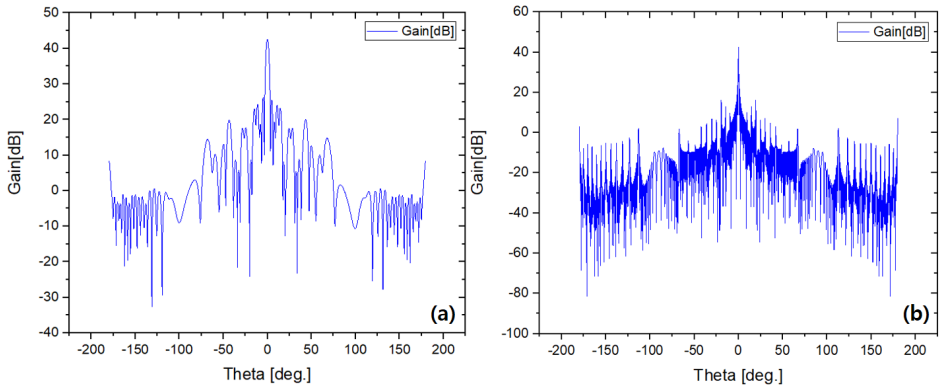

Fig. 2. Far field beam pattern measurement of the NEXTSat-2 SAR antenna configured with 5 panel antenna: (a) range beam pattern, (b) azimuth beam pattern. SAR, synthetic aperture radar.

Fig. 3. SAR panel antenna 1 set assembly onboard VAN vehicle for field test. SAR, synthetic aperture radar.

산란된 신호를 수신하여 영상품질 및 신호처리 여부를 확인하였으며, 요구 사항 대비 측정 결과를 비교하여 안테나 성능을 분석하였다. Table 3은 측정된 결과를 토대로 분석한 결과를 보여주며, 패널 안테나가 요구하는 사항을 만족하는 것을 확인하였다. 또, 대전-당진간 고속도로 및 교량을 활용하여 왕복 운행을 하면서 다양한 파라메타에 따른 안테나 성능을 측정하였는데, Fig. 4는 이 시험을 통하여 획득된 영상을 보여준다.

Table 3. SAR antenna requirements for the NEXTSat-2 mission vs. field test results

Parameters	Field test results	
	Requirements	Results
Frequency (GHz)	9.65	9.65
Gain (dBi)	36.9	> 36.9
Efficiency (%)	50%	50%
Beam width (MHz)	250	250
Polarization	VV	VV
3 dB beam width (°)	Range: 2.90	Range: 2.90
	Azimuth: 1.00	Azimuth: 1.00
Sidelobe level (dB)	V: −13, H: −13	V: −13, H: −13
S_{11} level (dB)	−15	> −15

SAR, synthetic aperture radar.

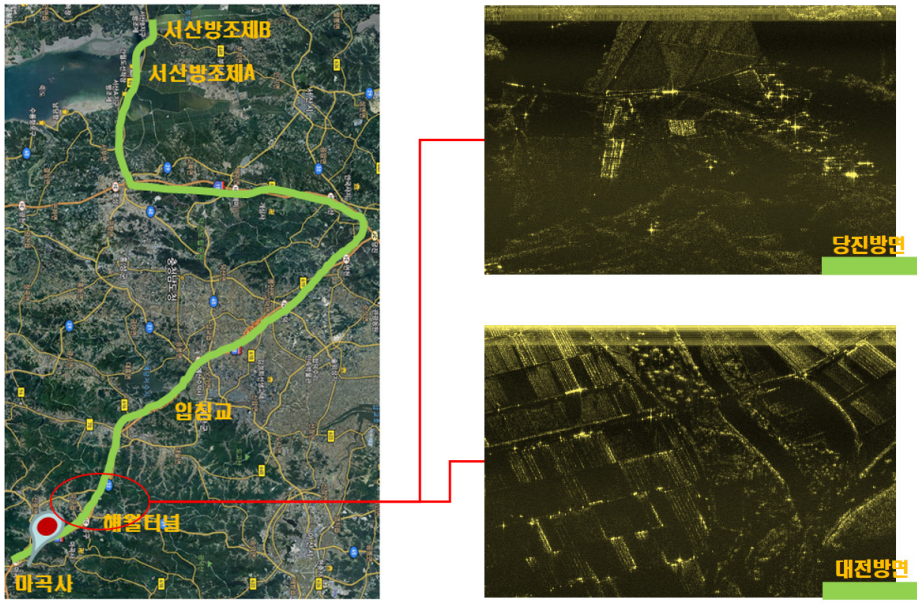

Fig. 4. SAR panel antenna test section from Daejeon to Dangjin express way and imagery. SAR, synthetic aperture radar.

5. 결과

영상 레이다 시스템은 전천후 및 기후 조건에 무관하게 영상을 획득할 수 있는 시스템으로, 다양한 목적으로 사용되고 있으며, 특히 해양관측, 지구관측, 달관측 등 심우주 분야에도 활용되고 있다. 본 논문에서는 차세대소형위성 2호 개발 사업에서 국내 기반 기술 확보의 일환으로 개발된 영상 레이다의 인증 모델에 대해 지상 검증 결과를 보고하였다. 특히, 위성이 발사될 경우의 고도와 비행속도 등에 대한 파라메타를 지상에서 사전 점검하기 위한 일환으로 차량에 탑재하여 영상 획득 시험을 수행하였으며, 당초 요구 규격으로 설정한 시스템 전체 안테나의 이득 42.7 dBi에 대해 패널 안테나로 구성한 이득 36.9 dBi의 요구조건을 충족함을 현장시험을 통하여 확인하였다. 특히, 송수신기에서 전달된 고출력의 신호를 안테나 방사 소자를 통하여 피사체에 송신하여 후방 산란된 신호가 azimuth 방향과 range 방향으로 빔이 형성되는 것을 지상의 차량에 탑재하여 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부의 사업으로 개발되는 차세대소형위성 2호 개발 사업에서 지원되었습니다(과제번호: 2017M1A3A4A01037203).

References

1. Kwak YG, SAR technology trend (2011) [Internet], viewed 2021 Feb 15, available from: https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO201110334669216&dbt=NART
2. 한국과학기술원, NEXTSat-2 CDR Data Package (인공위성연구소, 2020).

Author Information

신 구 환 goohshin@kaist.ac.kr

2000 과학기술위성1호 개발, 2007 과학기술위성2A호 개발, 2009 과학기술위성2B호 개발, 2011 나로과학위성개발, 2012 표준형 탑재컴퓨터 개발, 2013 과학기술위성3호 개발, 2018 차세대소형위성1호 개발, 2020 태양전지 배열기 국산화를 수행하였다. 2021 현재 KAIST 책임연구원으로 재직 중이며, 차세대소형위성2호 및 소형군집위성 개발 중에 있다. 관심분야는 통신위성, SAR 안테나, 중계기, 이동통신, 태양전지 배열기이다.

김 동 국 dgkim153@kaist.ac.kr

2018 차세대소형위성1호 개발, 2020 저궤도 인공위성용 태양전지판 개발, 2021 차세대소형위성2호 개발 중에 있다. 2014부터 현재 한국과학기술원 인공위성연구소 연구원으로 재직 중에 있다. 관심분야는 인공위성 제품보증, 위성구조물이다.

이 정 수 cortot@kaist.ac.kr

2001년 고려대학교 전기전자전파공학과 공학사, 2003년 고려대학교 전파공학과 공학석사를 취득하였다. 2003년부터 현재 한국과학기술원 인공위성연구소 책임연구원으로 재직 중에 있다. 관심분야는 위성무선통신이다.

정 영 배 ybjung@hanbat.ac.kr

1998년 광운대학교 전파공학 학사, 2001년 한국과학기술원 정보통신공학 석사 그리고 2009년 한국과학기술원 정보통신공학 박사를 취득하였다. 2001년부터 2011년까지 한국전자통신연구원에 근무하였으며, 2011년부터 현재 국립한밭대학교 전자공학과 교수로 재직하고 있다. 관심분야는 안테나, 레이다, 이동/위성통신시스템이다.

장 태 성 tsjang@kaist.ac.kr

2003년부터 KAIST 인공위성연구소에 재직 중이며, 소형위성개발 프로젝트인 과학기술위성 2호, 3호, 나로과학위성 및 차세대소형위성 1호 개발사업에 참여하였다. 현재 KAIST 책임연구원으로 차세대소형위성2호 개발사업 단장을 맡고 있다. 관심분야는 SAR 안테나전개기구, 경량복합재, 위성구조시스템이다.