

# 차세대소형위성2호 X대역 합성 개구 레이더용 송·수신 모듈의 설계 및 개발

## Design and Development of TRM for NEXTSat-2 X-band Synthetic Aperture Radar

김지흥<sup>1\*</sup> · 김동국<sup>2</sup> · 장일영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국방과학연구소 국방시험연구원

<sup>2</sup>한국과학기술원 인공위성연구소

Jeeheung Kim<sup>1\*</sup> · Dong Guk Kim<sup>2</sup> · Ilyoung Jang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Defense Test & Evaluation Research Institute, Agency for Defense Development, Chungcheongnam-do, 32024, Korea

<sup>2</sup>Satellite Technology Research Center, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, 34141, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 차세대소형위성2호의 X대역 합성 개구 레이더 (SAR; synthetic aperture radar)에 탑재하기 위한 송·수신 모듈의 설계 및 개발에 관하여 논한다. 모듈은 DDS를 통해 X 대역의 대상 주파수 범위에서 요구 대역폭을 갖는 칩(chirp) 신호를 생성하고, 송·수신 신호에 대한 주파수 변환 및 합성, 분배 그리고 주파수 합성기능을 수행한다. 제작된 모듈의 송신 경로는 최대 96.8 MHz 까지 총 28개의 대역폭을 갖는 신호를 생성하며, +9.37 dBm 이상의 출력신호 세기를 갖는다. 수신 경로는 15.7 dB 이하의 최소 잡음지수를 가짐으로써, 요구되는 성능을 만족함을 확인하였다. 제작된 모듈은 차세대소형위성2호 비행모델 (FM; flight model)에 장착되었고, 2023년 5월 23일 누리호 3차 발사체로 발사되어 운용 중이다.

### [Abstract]

This paper describes the design and development of a transmit receiver module(TRM) for mounting on X-band SAR of the NEXTSat-2. The TRM generates the chirp signal with required bandwidth through the DDS in X-band and performs frequency conversion, combination for the signal to transmit and be received and frequency synthesis. Tx path of the TRM produces signals of total 28 bandwidths up to 96.8 MHz and has output signal level of more than +9.37 dBm. Rx path of the TRM has minimum noise figure of 15.7 dB. The measurement results show that required requirements are satisfied. The TRM is installed on the NEXTSat-2 flight model(FM), launched by KSLV-II (Nuri) on May 23, 2023 and currently operational.

**Key word** : NEXTSat-2, FM (flight model), Synthetic aperture radar, Transmit receive module.

<https://doi.org/10.12673/jant.2024.28.2.193>



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.

Received 3 April 2024; Revised 26 April 2024

Accepted (Publication) 29 April 2024 (30 April 2024)

\*Corresponding Author; Jeeheung Kim

Tel: \*\*\* - \*\*\*\* - \*\*\*\*

E-mail: heung2da@add.re.kr

## I. 서론

차세대소형위성2호는 X-band 합성개구레이더 (이하 ‘SAR’)를 탑재하여 저궤도에서 지구의 영상을 획득하는 임무를 갖는다. SAR는 마이크로웨이를 사용하기 때문에 구름, 연기와 같은 대기 조건이나 밤낮의 시간과 관계없이 영상획득이 가능한 전천후 관측장비로서 항공기 또는 인공위성의 탑재체로 많은 연구가 진행되고 있다[1]-[5]. 이러한 SAR 탑재체의 주요 서브 시스템인 고주파부는 고효율 칩 신호를 송신하고 수신된 에코(echo) 신호를 처리하는 기능을 담당한다.

차세대소형위성2호에 탑재된 SAR의 고주파부는 송·수신 신호의 증폭을 담당하는 모듈과 칩 신호의 생성 및 주파수 변환 등을 수행하는 모듈로 구성된다. 본 논문에서는 칩 신호의 생성 및 주파수 변환을 담당하는 모듈의 개발사항에 대해 기술하고자 한다.

칩 신호의 생성 및 주파수 변환을 수행하는 모듈(이하 ‘모듈’)은 기능에 따라 크게 파형 발생부, 주파수 변환부, 주파수 합성부 그리고 신호의 합성 및 분배부로 구성된다. 파형 발생부는 SAR의 영상획득에 필요한 광대역 칩 신호를 생성하는 기능을 가지며, DDS (direct digital synthesizer) 기반의 파형 발생 방식을 적용하였다. DDS 소자를 적용하면 소형·경량화 및 저전력 구성이 가능하며 우수한 위상잡음 특성과 다양한 파형의 합성이 가능하다는 장점이 있지만, 우주 환경에 대한 사용 이력(heritage)이 부족하다는 단점을 갖는다. 본 연구에서는 DDS 소자를 포함하여 우주 환경에서 사용 이력이 없는 COTS (commercial off the shelf) 반도체 소자들에 대해 우주 환경 적합성 검증 시험을 수행하였다. 시험은 우주방사선 입자들의 누적으로 인한 성능저하를 평가하는 TID (total ionized dose) 시험을 수행하였고, 시험을 통해 입증된 소자들을 모듈에 적용하였다[6]. 주파수 합성부는 내부 발진기(OCXO)를 이용하여 주파수 상·하향 변환을 위해 사용되는 국부발진 (LO; local

oscillation) 신호, DDS 클럭, 기준신호(reference signal) 등을 생성하여 모듈의 내·외부에 제공하는 기능을 갖는다. 주파수 변환부는 슈퍼헤테로다인 구조로 설계하였으며, 주파수 합성부로부터 국부발진신호를 수신하여 송·수신 신호의 주파수를 상·하향 변환하는 기능을 수행한다. 신호의 합성 및 분배부는 송·수신 신호와 보정신호의 경로를 선택하고 각 경로 신호들의 세기를 조절하는 기능을 수행한다[7].

본 논문의 본문에서는 모듈의 설계사항과 각 구성부가 갖는 기능을 충족하기 위한 요구도를 기술하고, 개발된 모듈의 검증을 위해 수행한 측정 결과를 정리한다. 그리고 결론을 통해 모듈의 개발사항을 정리한다.

## II. 모듈의 설계 및 개발

### 2-1 구성부 기능 설계

모듈은 기능적으로 4개의 부로 구성되며, 물리적으로 3개의 CCA (circuit card assembly)로 구성된다. 주파수 변환부는 상향과 하향으로 구분되어, 상향 변환부는 파형 발생부와 함께 1개의 CCA로 구성(이하 ‘UWA’ (up-conversion and waveform generation assembly))되고, 하향 변환부는 주파수 합성부와 함께 1개의 CCA로 구성(이하 ‘DFA’ (down-conversion and frequency synthesis assembly))된다. 그리고 신호의 합성 및 분배부는 단독 CCA를 구성(이하 ‘SWN’ (switch network))한다.

그림 1은 각 CCA를 통합하여 구성한 모듈의 구성도를 보여 준다. 모듈은 SAR 송·수신 신호 증폭 모듈들(ANT TRMs)에 광대역 칩 신호와 보정신호를 송·수신하고 펄스 트리거(trigger) 신호를 전송하며, 베이스밴드 모듈의 동작을 위한 클럭 신호를 생성하여 전달한다. 그리고 RS422 인터페이스를 통해 SAR 제어 모듈과 통신 인터페이스를 구성한다.

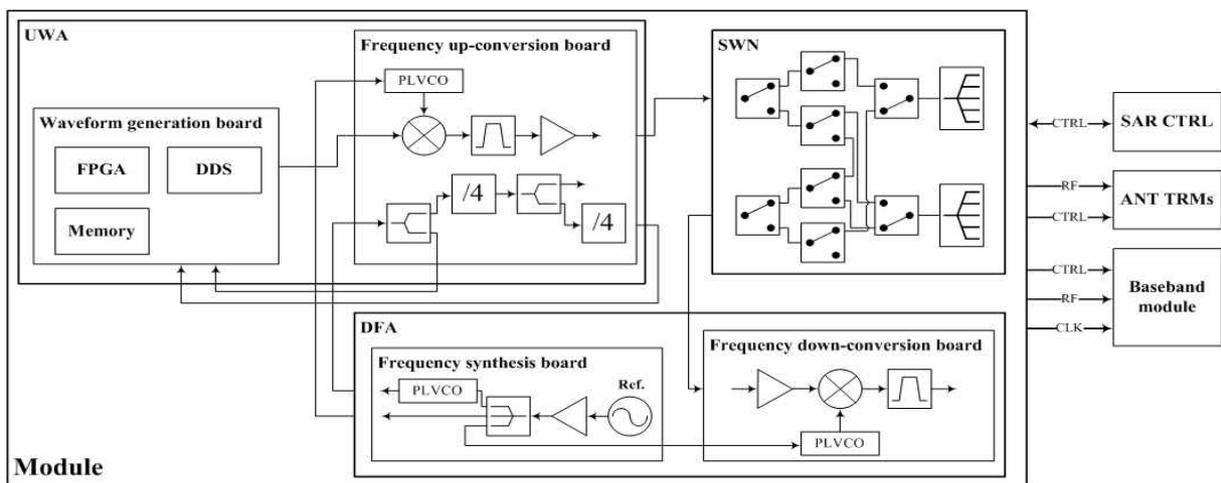


그림 1. 모듈의 구성도

Fig. 1. Configuration of the module.

주파수 합성부는 내부의 발진기에서 100 MHz의 기준신호를 발생하여 주파수 상향 및 하향 변환부에 국부발진 신호 생성을 위한 신호를 전달한다. 그리고 내부 PLVCO (phase locked voltage controlled oscillator)를 이용하여 기준신호를 2.4 GHz로 주파수 상향시켜 파형 발생부의 DDS 클럭, 베이스밴드 모듈의 클럭으로 사용되도록 신호를 전달한다.

주파수 상향 변환부는 주파수 합성부로부터의 기준신호를 상향 변환한 신호와 파형 발생부로부터의 DDS출력 신호를 합성하여 최대 96.8 MHz 대역폭의 칩 신호를 출력한다. 그리고 상향 변환부의 일부에는 베이스밴드 모듈의 클럭 신호 생성을 위해, 주파수 합성부로부터의 2.4 GHz 입력 신호를 분기하여 600 MHz와 150 MHz로 하향 변환하는 경로가 구성되어 있다. 주파수 하향 변환부는 수신된 칩 신호를 국부발진 신호와 합성하여 주파수 하향 변환하는 경로로 구성되어 있다. 그리고 수신 칩 신호의 대역폭에 따라, 수신신호의 주변 잡음 신호를 제거하기 위한 3단 필터뱅크 구조가 구성되어 있다.

신호의 합성 및 분배부는 스위치 조합과 DCA (digital controlled attenuator)를 통해 SAR 운용시 사용될 모드 선택이 가능하게 하였으며, 스위치 조합은 경로상 RF 신호의 격리도 확보를 위해 다단으로 구성하였다. 그리고 2개의 5분기 전력 분배기는 각각 SAR의 송·수신 신호 증폭 모듈들과 칩 신호의 송·수신 기능 그리고 SAR 자체 보정 기능을 수행하도록 경로를 구성하였다.

파형 발생부는 FPGA (field programmable gate array)를 통해 모듈 내 RF경로에 위치한 DCA, 스위치, PLVCO의 제어 및 디택터 신호 감지, SAR의 송·수신 신호 증폭 모듈들의 펄스 반복 트리거 신호 제어, DDS 제어 등의 기능을 수행한다. DDS의 칩 신호 대역폭은 메모리에 저장되어 사용자의 제어에 따라 변경할 수 있도록 구성하였다.

**2-2 요구 성능 설정 및 상세 설계**

모듈은 3개의 물리적으로 구분된 CCA로 구성되며, SAR 시스템의 요구조건을 충족하기 위해 SWN에는 SAR 운용 모드에 따른 경로 설정 기능, UWA에는 요구 대역폭을 갖는 칩 신호 생성 및 주파수 상향 변환 기능, DFA에는 기준신호 발생 및 주파수 하향 변환 기능이 요구된다.

모듈은 상기 요구조건과 SAR 시스템과의 연동을 위해 외부로부터 -15, +7, +5 VDC의 전압을 입력받을 수 있어야 하며, 전력조건 충족을 위해 30 W 이하의 소모전력 특성을 가져야 한다. 모듈의 송신 경로는  $f_c$  기준으로 6.7 MHz에서 96.8 MHz까지 28개의 저장된 대역폭을 갖는 칩 신호를 최대 15%의 듀티비(duty cycle)로 출력할 수 있어야 한다. 출력 신호의 세기는 +6 dBm 이상, 보정 신호의 세기는 최대 -19 dBm의 수준을 가져야 하고, 출력 신호의 고조파 및 불요파는 최소 -50 dBc 이하여야 한다. 모듈의 수신 경로는 최소 잡음지수 16 dB, 수신 신호 대역폭은 필터뱅크 설정 경로 및 사용 대역폭에 맞는 대역폭을 출력할 수 있어야 하며, 고조파 및 불요파는 최소

**표 1. 모듈의 설계 요구사항**

**Table 1. Design requirements of the module.**

Item	Requirement
Frequency (GHz)	$f_c$
Bandwidth (MHz)	6.7 (Min.) ~ 96.8 (Max.) / 28 ea
PRF (kHz) / Duty (%)	2 ~ 6 / < ~ 15
Tx. P <sub>OUT</sub> (dBm)	> +6
Cal. P <sub>OUT</sub> (dBm)	≈ -19
Tx. Harmonic/Spurious (dBc)	< -50
Rx. Noise figure (dB)	16 (Min.)
Rx. BW (MHz)	24.2 (@ BPF 25 MHz) 48.4 (@ BPF 50 MHz) 96.8 (@ BPF 150 MHz)
Rx. Harmonic/Spurious (dBc)	< -50
Power (W)	< 30
Dimension (mm <sup>3</sup> )	< 220 (W) × 100 (D) × 160 (H)
Weight (kg)	< 3

-50 dBc 이하여야 한다. 모듈이 탑재되는 플랫폼은 탑재체의 하중에 상대적으로 큰 제약이 따르는 100 kg급 초소형 위성이기 때문에, 모듈에는 소형 경량화 설계가 필요하다. 모듈에 요구되는 물리적 요구조건을 충족하기 위해서는 3 kg 이하의 무게, 체결부 및 커넥터를 포함하여 220 × 100 × 160 mm<sup>3</sup> 이하의 크기를 가져야 한다. 표 1에는 모듈에 요구되는 설계 요구사항을 정리하였다.

모듈의 고주파부는 각 구성부에 걸쳐 분산되어있기 때문에, 주요 기능인 송신, 수신, 보정 및 클럭 신호 경로로 구분하여 상세 설계를 진행하였다. 우선 송신경로는 주파수 상향 변환부에 구성되어 있으며, 파형 발생부에서 입력되는 DDS 출력 칩 신호와 주파수 합성부에서 입력되는 기준신호를 내부 PLVCO로 주파수 상향 변환한 국부발진 신호와 함께 믹서로 주파수 상향 변환하여 SWN으로 전달한다. 전달된 송신 신호는 SWN의 초단에서 DCA로 세기가 조절된 후 송·수신용 5분기 전력 분배기를 통해 SAR의 송·수신 증폭 모듈들로 출력된다.

수신경로는 SWN의 송·수신용 5분기 전력 분배기를 통해 입력되며, SWN의 수신 경로에서 DCA를 통해 세기가 조절된 후, 주파수 하향 변환부로 전달된다. 전달된 신호는 주파수 합성부에서 입력되는 기준신호를 내부 PLVCO로 주파수 상향 변환한 국부발진 신호와 믹서를 통해 IF신호로 주파수 하향 변환된다. 이후 3단 필터뱅크를 통해 설정된 칩 신호의 대역외 신호가 제거된 후, 증폭되어 베이스밴드 모듈로 IF 신호를 출력하게 된다.

보정 경로는 모듈 자체와 SAR 고주파부의 송·수신 경로에 대해 구성되며, SWN의 스위칭 구성 변경을 통해 설정할 수 있다. 그림 2는 각 경로별 SWN의 스위칭 구성 경로를 보여준다. 모듈 자체에 대한 점검은 SWN의 5번 경로를 사용하고, SAR의 송신 경로에 대한 점검은 SWN의 1번과 4번 경로를 사용한다. 그리고 SAR의 수신 경로에 대한 점검은 SWN의 2번과 3번

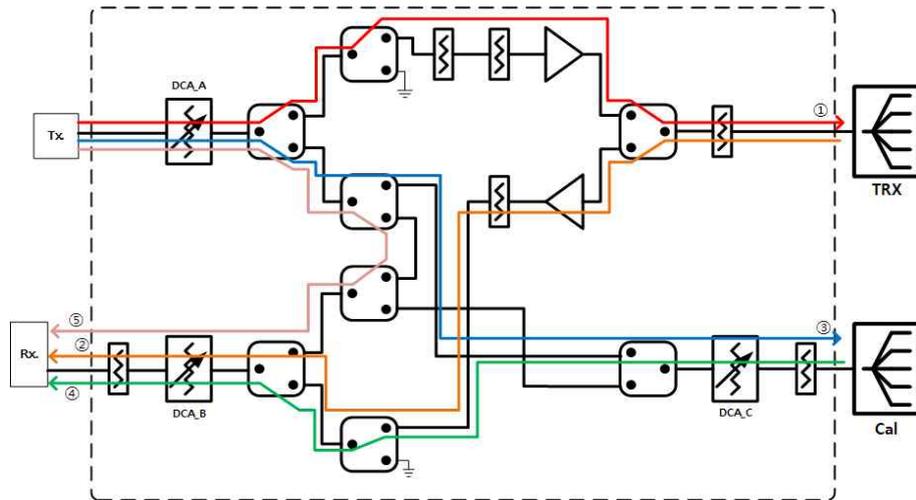


그림 2. SWN의 운용 모드별 경로  
 Fig. 2. The paths of the SWN for operation modes.

경로를 사용하게 된다. 모든 경로에 사용되는 보정신호는 주파수 상향 변환부의 출력신호를 사용하며, 각 경로를 거쳐 SWN을 통해 출력된 신호는 주파수 하향 변환부를 통해 베이스밴드 모듈로 출력된다.

클럭 신호 경로는 주파수 합성부에서 생성되어 분기된 기준신호가 3분기 전력 분배기로 분기된 후 PLVCO를 통해 2.4 GHz로 주파수 상향 변환된 신호를 사용한다. 변환된 신호는 주파수 상향 변환부로 전달되어 전력 분배기를 통해 2개의 경로로 분기된다. 분기된 신호 중 1개는 파형 발생부의 클럭으로 사용되며, 나머지는 주파수 분배기를 통해 1/4로 주파수 하향 변환된 후, 전력 분배기를 통해 2개의 경로로 분기된다. 분기된 신호 중 1개는 베이스밴드 모듈로 전달되고, 나머지는 주파수 분배기를 통해 1/4로 주파수 하향 변환된 후, 베이스밴드 모듈로 전달된다.

위와 같이 경로별 설계사항들을 충족하기 위해 아래와 같

표 2. CCA의 요구사항  
 Table 2. Requirements of the CCAs

CCA	Item	Requirement
SWN	Insertion loss (dB)	> - 5 (path 1, 2) ≈ - 35 (path 3, 4) > - 20 (path 5)
	Attenuation (dB)	0 ~ 31.5 (64 bit)
UWA	CLK P <sub>OUT</sub> (dBm)	> + 3
	Tx. P <sub>OUT</sub> (dBm)	> + 15
DFA	Tx. Harmonic/Spurious (dBc)	< - 50
	Ref. P <sub>OUT</sub> (dBm)	> + 5
	2.4 GHz P <sub>OUT</sub> (dBm)	> + 15
	Self-Cal. path Attenuation (dB)	0 ~ 31.5 (64 bit)
	Rx. Harmonic/Spurious (dBc)	< - 50

이 CCA 별 요구도를 설정하였다. SWN의 신호 송신 및 수신경로는 - 5 dB 이상, 보정신호 송신 경로는 - 35 dB, 자체 점검 경로는 - 20 dB 이상의 삽입손실을 가져야 하고 경로별로 0 ~ 31.5 dB 범위에 대해 64 bit 의 이득 제어가 가능해야 한다. UWA는 베이스밴드 모듈 클럭 신호는 + 3 dBm 이상, 송신신호 출력 세기는 + 15 dBm 이상 그리고 고조파 및 불요파는 - 50 dBc 이하여야 한다. DFA는 기준신호 세기 + 5 dBm 이상, 2.4 GHz 신호 세기 + 15 dBm 이상, 자체 보정 경로는 0 ~ 31.5 dB 범위에 대해 64 bit 의 경로에 대한 이득 제어가 가능해야 하며, 고조파 및 불요파는 - 50 dBc 이하여야 한다. 표 2에는 각 CCA에 요구되는 설계사항들을 정리하였다.

그림 3은 송신경로의 RF 전력 버짓 분석 결과를 보여준다 [8]-[9]. 송신경로는 DFA의 기준신호를 UWA에서 PLVCO로 주파수 상향 변환한 국부발진 신호와 UWA의 DDS에서 출력된 IF신호가 믹서를 통해 주파수 상향 변환되어 -22.4 dBm의 칩 신호로 출력되게 된다. 이후, 2단계의 대역외 신호 제거 및 증폭 과정을 거쳐 + 15.2 dBm의 레벨로 SWN으로 전달되게 된다. SWN은 SAR의 송·수신 모듈들의 포화 레벨 구동과 경로 손실을 고려하여 최소 손실을 갖는 그림 2의 1번 경로를 통해 신호를 출력하게 된다. SWN의 4 최종 출력단인 5분기 전력 증폭기 단에서 출력 레벨은 + 11.3 dBm이다.

그림 4는 수신경로의 RF 전력 버짓 분석 결과를 보여준다. 수신경로는 SWN에서 그림 2의 2번 경로를 사용하며, SAR 고주파부의 종단에 위치한다. 모듈의 초단인 SWN에서는 5분기 전력 분배기를 통해 입력된 신호를 증폭 후, DCA로 세기 조절하여 DFA로 전달한다. 전달된 신호는 다시 증폭 후 믹서를 통해 주파수 하향 변환되어, 필터뱅크를 통해 설정된 대역폭 외 신호 제거 과정을 거치게 된다. 이후 이득 조절된 신호는 베이스밴드 모듈로 출력된다. 모듈은 전단에 위치한 SAR의 송·수신 신호 증폭 모듈들로부터 출력되는 신호의 세기 범위를 수

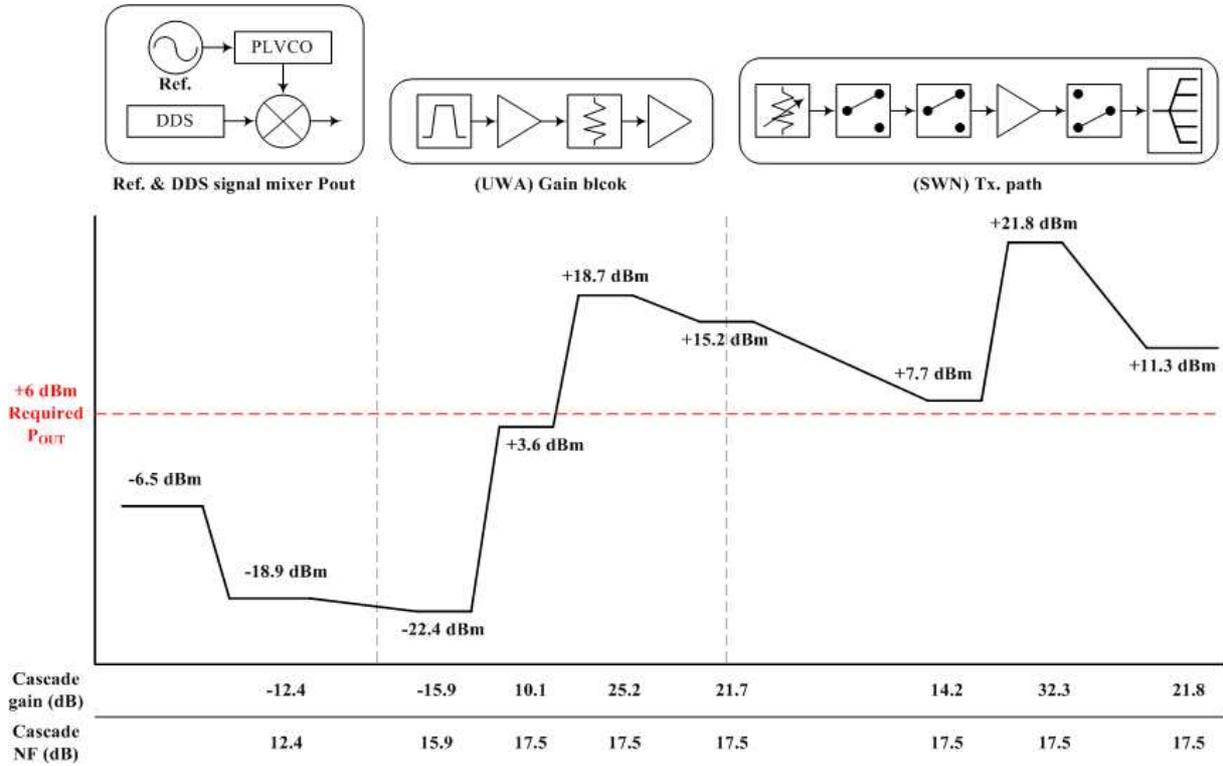


그림 3. 송신경로 RF 전력 버짓  
Fig. 3. RF power budget of the Tx path.

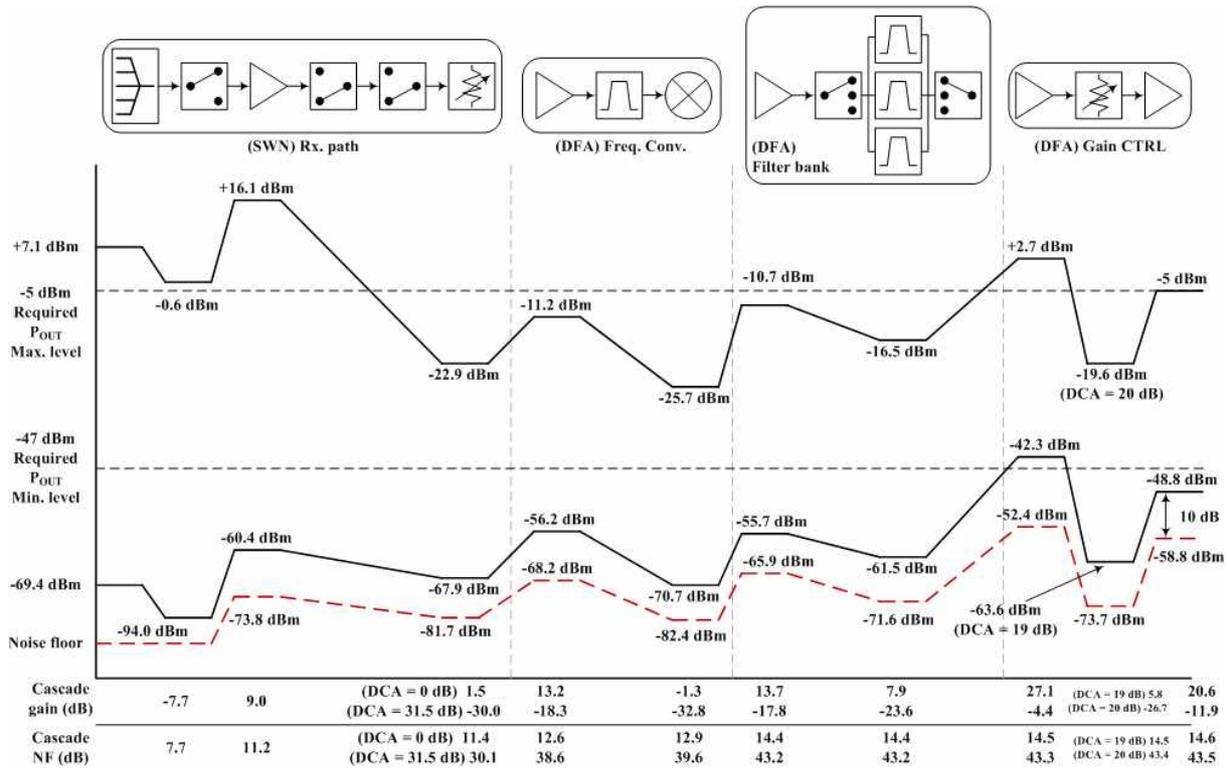


그림 4. 수신경로 RF 전력 버짓  
Fig. 4. RF power budget of the Rx path.

신하고, 베이스밴드 모듈의 수신 동적범위 (DR; dynamic range)를 충족할 수 있도록 설계하였다. 버짓을 통해 설계된 최대 입력신호 세기는 +7.1 dBm, 최소 잡음지수는 14.6 dB, 최대 이득 20.6 dB 그리고 최소 이득은 -11.9 dB이다.

**2-3 제작 및 측정 결과**

본 장에서는 이전 장의 설계내용에 따라 제작된 모듈의 형상과 주요 특성에 대한 측정 결과들을 정리하였다.

그림 5 (a)부터 그림 5 (f)는 제작된 모듈의 각 구성부 형상을 보여준다. 그림 5 (a)는 주파수 합성부로서 2.4 GHz 경로에서의 방사로 인한 간섭을 방지하기 위해 해당 경로에 금속 격벽을 적용하였다. 그림 5 (b)는 주파수 하향 변환부로 경로상 방사로 인한 간섭 최소화를 위해 금속 격벽과 semi-ridged 케이블을 적용하였다. 그림 5 (c)는 주파수 상향 변환부로서 주파수 하향 변환부와 마찬가지로 경로상 방사에 의한 간섭 최소화를 위해 금속 격벽과 semi-ridged 케이블을 적용하였다. 그림 5 (d)는 파형 발생부로 RF 신호를 발생시키는 DDS를 포함하는 RF 부에 RF 신호 방사로 인한 간섭 최소화를 위해 금속 격벽을 적용하였다. 그림 5 (e)와 그림 5 (f)는 SWN을 구성하는 두 개의 보드 형상이다. 그림 5 (e) 면에는 운용 모드별 스위치 설정을 위한 구성부가 위치하며, 그림 5 (f) 면에는 5분기 신호 분배 및 합성을 위한 전력 분배기가 위치한다.

표 3에는 제작된 모듈의 요구사항에 대한 측정 결과를 정리

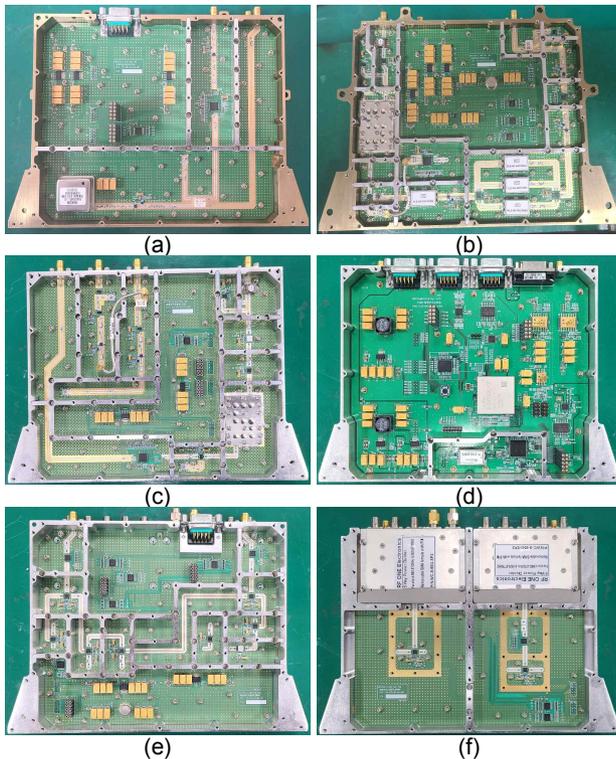


그림 5. 모듈의 제작 형상  
Fig. 5. Fabricated configuration of the module.

표 3. 모듈의 요구사항과 측정결과

Table 3. Requirements and test results of the module.

Item	Requirement	Test result
Frequency (GHz)	$f_c$	
Bandwidth (MHz)	6.7 (Min.) ~ 96.8 (Max.) / 28 ea	
PRF (kHz) / Duty (%)	2 ~ 6 / <~ 15	
Tx. P <sub>OUT</sub> (dBm)	+ 6	+ 9.37 ~ + 9.42
Cal. P <sub>OUT</sub> (dBm)	≈ - 19	- 19.34 ~ -19.22
Tx. Harmonic /Spurious (dBc)	< - 50	< - 56.75 (DCA_A = 5 dB)
Rx. Noise figure (dB)	< 16 (Min.)	15.7
Rx. BW (MHz)	24.2 (@ BPF 25 MHz) 48.4 (@ BPF 50 MHz) 96.8 (@ BPF 150 MHz)	
Rx. Harmonic /Spurious (dBc)	< - 50	< - 59
Dimension (mm <sup>3</sup> )	< 220 (W) × 100 (D) × 160 (H)	220 (W) × 98.2 (D) × 160 (H)
Weight (kg)	< 3	2.88

하였다. 모듈은 외부 전원을 사용하여 구동에 필요한 -15, +7, +5 Vdc의 전압을 인가하여 측정을 수행하였다. 모듈은 6.7 MHz부터 96.8 MHz 까지 총 28 가지 설정 대역폭에 대해 2 kHz부터 6 kHz범위의 펄스 반복 주파수, 최대 15%의 듀티비를 갖는 송신 칩 신호를 출력할 수 있음을 측정을 통해 확인하였다. 신호 세기 측정은 96.8 MHz의 대역폭, 4 kHz의 펄스 반복 주파수, 30 us의 펄스폭을 갖는 출력 칩 신호에 대해 모드별 경로상 DCA를 모두 0 dB로 설정하여 수행하였다. 측정된 값은 송신모드의 5개 출력포트에서 + 9.37 dBm에서 + 9.42 dBm, 보정모드의 5개 출력 포트에서 - 19.34 dBm에서 -19.22 dBm로, 두 경로 모두 요구사항을 충족하였다. 송신경로의 고조파 및 불요신호 특성은 경로상 DCA를 모두 0 dB로 설정한 상태에서 CW신호를 사용하여 중심 주파수를 기준으로 대역폭의 최소, 중심, 최대 주파수에서 측정을 수행하였다. 고조파는 - 34.52 dBc 이하로 요구성능을 충족하지 못했지만, 출력 신호세기의 최대 마진인 5 dB를 DCA값으로 설정하여 - 55.62 dBc 이하로 DCA의 마진 범위에서 요구사항을 충족함을 확인하였다. 불요신호는 - 53.95 dBc 이하로 요구사항을 충족함을 확인하였다. 수신경로의 최소 잡음지수는 수신경로상 DCA를 모두 0 dB로 설정한 상태에서 5개의 포트에 대해 측정을 수행하였으며, 경로 모두 15.7 dB로 요구사항을 충족함을 확인하였다. 수신 대역폭은 수신경로상 필터의 출력 특성을 확인하기 위한 것으로 25, 50, 150 MHz 3개의 필터가 필터뱅크로 경로상 구성되어 있다. 그림 6은 보정 경로를 사용하여 측정된 24.2, 48.4, 67.3, 89.1, 96.8 MHz의 대역폭을 갖는 칩 신호의 측정 결과로 IF단에서 수신한 신호의 크기를 0 dBm으로 일괄 보

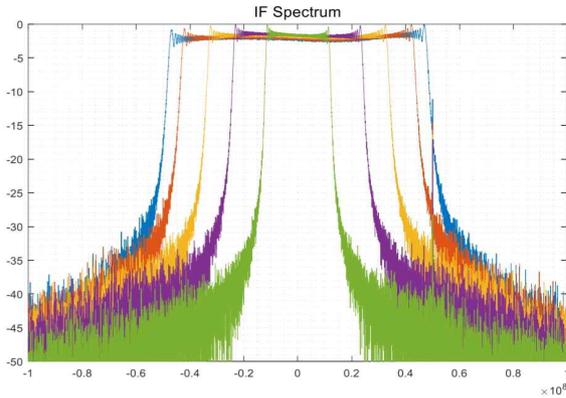


그림 6. 대역폭별 칩 신호의 측정 결과  
 Fig. 6. Measurement results of chirp signals by bandwidth,

정한 뒤 정리한 것이다. 24.2 MHz 대역폭의 신호는 25 MHz 대역통과필터, 48.4 MHz 대역폭의 신호는 50 MHz 대역통과필터, 나머지 67.3, 89.1, 96.8 MHz 대역폭의 신호는 150 MHz 대역통과필터를 적용하였다. 측정 결과를 통해 설정 대역폭의 신호가 각 대역통과필터 경로를 통해 정상 출력됨을 확인하였다. 수신경로의 고조파 및 불요신호 특성은 경로상 DCA를 모두 0 dB로 설정한 상태에서 CW신호를 사용하여 중심 주파수를 기준으로 대역폭의 최소, 중심, 최대 주파수에서 측정을 수행하였다. 고조파는 -70 dBc 이하, 불요신호는 -59 dBc 이하로 모두 요구사항을 충족함을 확인하였다. 모듈은 정상동작 상태에서 -15 Vdc 0.03 A, +7 Vdc 3.57 A, +5 Vdc 0.82 A로 총 29.53 W의 전력을 소모하고, 제작된 모듈의 전체 크기는 체결부 및 커넥터를 포함하여 220 × 98.2 × 160 mm<sup>3</sup>이며, 무게는 2.88 kg로 요구사항을 충족함을 확인하였다.

표 4에는 모듈을 구성하는 각 CCA의 요구사항과 측정 결과를 정리하였다. SWN의 5개의 경로별 손실 특성은 경로상 모든 DCA를 0 dB로 설정하여 측정하였다. 송신과 수신에 사용되는 1, 2번 경로는 각각 -4.8 dB 이상, -3.79 dB 이상의 값을 갖는다. 송수신 경로의 보정에 사용되는 3, 4번 경로는 각각 -35.6 dB, 34.6 dB이며, 모듈 자체보정에 사용되는 5번 경로는 -17.1 dB의 측정값을 갖는다. 그리고 경로상 DCA의 조절 기능은 1에서 64 bit 까지 1 bit 단위 제어를 통해 해당 기능의 보유와 조절 범위를 충족함을 확인하였다. UWA는 +4.79 dBm의 외부 출력 클럭 신호 세기를 갖고, 출력 칩 신호에 대해 +15.7 dBm의 세기와 -62.9 dBc 이하의 고조파, -50.63 dBc 이하의 불요신호 특성을 갖는다. DFA는 +5.84 dBm의 기준신호 출력 세기, +15.1 dBm의 2.4 GHz 신호 출력세기를 가지며, 경로상 DCA를 0 dB로 설정한 상태에서 고조파는 -71.88 dBc 이하, 불요신호는 -60.15 dBc 이하의 측정값을 갖는다. 그리고 경로상 DCA의 조절 기능은 1에서 64 bit 까지 1 bit 단위 제어를 통해 해당 기능의 보유와 조절 범위를 충족함을 확인하였다. 모듈의 구성 CCA 측정 결과 요구조건을 충족함을 확인하였다.

이상 모듈과 구성 CCA에 대해 요구되는 전기적, 물리적 요

표 4. CCA의 요구사항 및 측정결과

Table 4. Requirements and test results of the CCAs.

Item	Requirement	Test result
<b>SWN</b>		
Insertion loss (dB)	> -5 (path 1, 2) ≈ -35 (path 3, 4) > -20 (path 5)	> -4.8 (path 1, 2) ≈ -35 (path 3, 4) -17.1 (path 5)
Attenuation (dB)	0 ~ 31.5 (64 bit)	
<b>UWA</b>		
CLK P <sub>OUT</sub> (dBm)	> +3	+4.79
Tx. P <sub>OUT</sub> (dBm)	> +15	+15.7
Tx. Harmonic /Spurious (dBc)	< -50	< -50.6
<b>DFA</b>		
Ref. P <sub>OUT</sub> (dBm)	> +5	+5.84
2.4 GHz P <sub>OUT</sub> (dBm)	> +15	+15.1
Self-Cal. path Attenuation (dB)	0 ~ 31.5 (64 bit)	
Rx. Harmonic /Spurious (dBc)	< -50	-60.2

구사항에 대한 측정을 수행하였고, 측정 결과를 통해 모듈 및 CCA에 요구되는 모든 사항을 충족함을 확인하였다.

### III. 결 론

본 논문에서는 차세대소형위성2호의 X대역 합성 개구 레이더에 탑재하기 위한 송수신 신호 모듈에 관해 기술하였다. 개발된 모듈은 요구되는 광대역 칩 신호 발생, 주파수 상향 및 하향 변환, 신호의 분배 및 합성, 주파수 합성 기능을 충족하기 위해 3개의 CCA로 구성되어 개발하였다. 모듈 및 구성 CCA는 SAR 시스템의 요구도 충족을 위해 전력 버짓과 계산을 통해 요구도를 도출하였다. 설계된 내용을 기반으로 광대역 칩 신호 발생을 위해 DDS를 적용했고, 신호의 합성 및 분배 CCA로 송신, 수신, 점검 기능을 수행할 수 있도록 했다. 개발된 모듈은 측정을 통해 전기적, 물리적 요구사항을 모두 충족함을 확인하였다.

개발된 모듈은 차세대소형위성2호에 장착되었고, 2023년 5월 23일 누리호 3차 발사체로 발사되어 현재 운용 중이다[10], [11].

### References

[1] J. H. Kim, J. S. Lee, H. T. Choi, J. S. Lee and Y. D. Han, "DM(development model design of the TRM for the NEXTSat-2," in *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Science Spring Conference*, Gangwon-do: Korea, pp. 813-814, 2020.  
 [2] Y. J. Won, Y. S. Youn, S. H. Woo, J. C. Yoon, J. H. Keum

and J. H. Kim, "Development of the dual receiving channel T/R module for the next generation SAR satellite," in *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Science Fall Conference*, Jeju-island: Korea pp. 1738-1742, 2012.

[3] Y. J. Won, Y. S. Youn, S. H. Woo, J. C. Yoon, J. H. Keum and J. H. Kim, "Design of the dual receiving channel T/R module for the next generation SAR payload," *The Journal of Aerospace Engineering and Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 1-11, Nov. 2012.

[4] J. H. Kim, H. T. Choi, J. S. Lee and T. S. Jang, "Design and development of 200 W TRM on-board for NEXTSat-2 X-band SAR," *The Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 26, No. 6, pp. 481-495, Dec. 2022.

[5] M. I. Skolnik, *Introduction to RADAR Systems*, 3rd ed. Boston, MA: McGraw-Hill, 2001.

[6] M. J. Yu, "Status of infrastructure for space parts & unit test," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, Vol. 15, No. 2, pp. 128-141, Dec. 2017.

[7] J. S. Lee, J. H. Kim, M. Y. Park, G. H. Shin, S. Y. Kim, H. Y. Park and T. S. Jang, "Development of synthetic aperture radar (SAR) for NEXTSat-2," in *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Science Fall Conference*, Jeju-do: Korea, pp. 602-603, 2022.

[8] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 2005.

[9] D. M. Pozar, *Microwave and RF Design of Wireless Systems*, 1st ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 2000.

[10] M. Y. Park, J. S. Lee, S. G. Kim, C. Lee, H. Y. Park, S. Y. Kim, S. O. Park, T. S. Jang and J. H. Song, "NEXTSat-2 system design and early operation status," in *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Science Fall Conference*, Gangwon-do: Korea, pp. 846-847, 2023.

[11] J. S. Lee, H. Y. Park, M. Y. Park and T. S. Jang, "NEXTSat-2 SAR system development and early orbit operation result," in *Proceeding of the Korean Society for Aeronautical and Space Science Fall Conference*, Gangwon-do: Korea, pp. 848-849, 2023.



**김 지 흥 (Jeeheung Kim)**

2009년 8월 : 한국항공대학교 항공전자 및 전자공학과 (공학사)  
 2012년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)  
 2012년 10월 ~ 2018년 12월 : 국방과학연구소 연구원  
 2019년 5월 ~ 2023년 3월 : 한국과학기술원 인공위성연구소 선임연구원  
 2023년 4월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원  
 ※ 관심분야 : 안테나, 레이더, 초고주파 송수신기, 합성개구레이더(SAR), 전자기간섭(EMI), EMP



**김 동 국 (Dong Guk Kim)**

2012년 2월 : 순천대학교 기계우주항공공학과(공학사)  
 2014년 2월 : 순천대학교 우주항공공학과(공학석사)  
 2014년 2월 ~ 현재 : 한국과학기술원 인공위성연구소 선임연구원  
 ※ 관심분야 : 위성 제품보증, 위성체 구조설계, 위성체 지상시험



**장 일 영 (Ilyoung Jang)**

2014년 2월 : 전북대학교 항공우주공학과(공학사)  
 2014년 12월 ~ 2016년 11월 : 한국항공우주연구원 연구원  
 2018년 1월 ~ 2019년 12월 : 한국과학기술원 인공위성연구소 연구원  
 2020년 1월 ~ 2020년 12월 : 한컴인스페이스  
 2021년 1월 ~ 현재 : 한국과학기술원 인공위성연구소 연구원  
 ※ 관심분야 : 우주궤도환경시험, 발사환경시험, 위성체 구조물