

# X대역 위성용 SAR 송수신모듈 조립체 공학 모델 설계 및 제작

## Design and Implementation of X-Band Transmit/Receive Module Assembly Engineering Model for Satellite SAR Applications

박준영 · 양호준 · 김수연 · 강권구 · 이유리 · 김종필

Jun Young Park · Ho-Jun Yang · Su Yeon Kim · Gwon Gu Khang · Yu-Ri Lee · Jong-Pil Kim

### 요 약

위성용 SAR 안테나에 적용할 수 있는 X대역 송수신모듈 조립체 공학 모델을 본 논문에서 소개한다. 능동 위상 배열구조 안테나를 적용한 SAR 안테나 운용을 위해 수백 수천 개의 송수신모듈을 효율적으로 관리하고 확장성, 그리고 규격화를 위해선 송수신 단위 모듈 구조가 필요하다. 또한 위성용 제품의 경우 부품의 EEE 선정, User LAT, 디레이팅이 요구되며, 공정 단계에서는 하이브리드 공정인증이 요구되지만, 본 논문에선 송수신모듈 8개와 송수신모듈 운용용 부가 기능이 포함된 조립체 단위를 설계하고 제작하여 위성용 SAR 탑재체에 적용할 수 있는 성능을 확인하고자 하였다. 제작된 송수신모듈 조립체는 조립체 단위에서 송신 출력 00.0 dBm, 송수신 위상 가변 5.625°, 이득 가변 0.5 dB, 최대 소모 전력 68.05 W의 특성을 가진다.

### Abstract

This paper presents the design and implementation of a unit transmit/receive module assembly engineering model for satellite synthetic aperture radar (SAR) applications. To manage hundreds or thousands of transmit/receive modules for active electronically scanned array (AESA) applied SAR antenna efficiently, with expandability and standardization, a unit assembly is required. Before applying requirements for satellite SAR payload applications such as EEE component selection, user LAT, and derating, an engineering model was designed to evaluate the RF performance as a unit assembly. The transmit/receive module unit assembly includes eight transmit/receive modules with additional functions for operating the assembly. Measurement results for the transmit/receive module assembly included an RF output power of 00.0 dBm, 5.625°-step phase shifts, 0.5-dB step attenuations, and maximum power consumption of 68.05 W.

Key words: Satellite, SAR(Synthetic Aperture Radar), EM(Engineering Model), TRM(Transmit/Receive Module)

### I. 서 론

위성용 SAR(synthetic aperture radar) 탑재체는 주/야간,

기상 상태와 관계없이 영상 획득이 가능하여 군사, 해양, 대기 등 여러 분야에서 활용되고 있다. 최근에는 전자적 범 조향이 가능한 능동 위상 배열구조 안테나를 적용한

「이 연구는 2021년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-21-029).」

LIG넥스원(주)(LIG Nex1 Co., Ltd.)

· Manuscript received November 7, 2023 ; Revised November 22, 2023 ; Accepted November 22, 2023. (ID No. 20231107-092)

· Corresponding Author: Jong-Pil Kim (e-mail: [jongpilkim@lignex1.com](mailto:jongpilkim@lignex1.com))

SAR 탑재체에 관한 관심이 높아지고 있다. 능동 위상 배열 안테나는 수백 개 송수신모듈의 전기장 위상, 크기값을 가변하여 안테나 빔을 형성하고 조향할 수 있다.

이때 수백 수천 개 채널을 사용하는 능동 위상 배열 안테나의 송수신모듈을 효율적으로 관리하고 확장성, 그리고 규격화를 위해선 송수신 단위 모듈 구조가 필요하다. 본 논문에서 명명한 송수신모듈 조립체는 1채널 송수신모듈 8개와 송수신모듈을 운용하기 위한 부가 기능이 포함된 조립체 단위로 설계하고 제작하였다.

나아가, 위성용 SAR 안테나에 적용되는 송수신모듈은 우주 환경을 고려한 설계 및 공정이 반영되어야 한다. 가령, 부품 및 설계 단계에서는 EEE(electrical, electronic and electromechanical) 부품 선정, User LAT(lot acceptance test), 부품 정격 출력 완화(derating)가 요구되며, 공정 단계에서는 하이브리드(hybrid) 공정인증이 요구된다. 마지막으로 제품 단계에서 송수신모듈에 대한 스크리닝(screening) 및 제품 레벨의 LAT이 요구된다<sup>[1]</sup>. 하지만, 본 논문에서는 추후 인증 모델(qualified model) 개발을 위한 3F(form, fit, function)를 맞춰 제작된 위성용 SAR 안테나에 적용할 수 있는 송수신모듈 조립체 공학 모델을 소개하고자 한다. 공학 모델의 구성, 설계, 제작 및 시험 결과 순으로 설명되며, 제시된 모든 시험 결과는 키사이트사의 PNA-X N5242A를 통해 얻어졌다.

## II. 본 론

### 2-1 송수신모듈 조립체 기능 및 구성

송수신모듈 조립체 주 기능은 능동 위상 배열 안테나에 적용되어 RF 송신 고출력 증폭, RF 수신 저잡음 증폭, RF 송·수신 위상/크기 가변 기능, RF 송·수신 보정 경로 기능이 있다. 이러한 기능들을 위해 송수신모듈 조립체는 그림 1과 같이 내부 구성품들로 구성되며, 구성품별 기능은 표 1에 제시되어 있다.

송수신모듈 조립체(transmit/receive module, TRM)에는 송수신모듈 8개가 들어가 있으며, 4개씩 수직 편파(V-polarization), 수평 편파(H-polarization)로 사용된다. 편파(polarization)의 선택 운용은 인터페이스 보드(interface board)와 아날로그 제어 보드(analog control board)에 채널

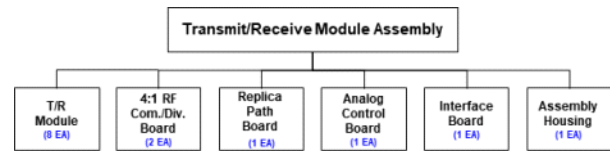


그림 1. 송수신모듈 조립체 구성품

Fig. 1. Transmit/receive module assembly components.

표 1. 송수신모듈 조립체 구성품별 기능

Table 1. Transmit/receive module components functions.

Component	Functions
Transmit/receive module	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RF output power amplification</li> <li>• RF receiver low noise amplification</li> <li>• RF transmit/receive amplitude variation</li> <li>• RF transmit/receive phase variation</li> </ul>
4:1 RF Com./Div. B'd	• RF power divider & combiner
Interface board	• Receiver pulse gating circuits
Analog control board	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmitter pulse gating circuits</li> <li>• Transmitter capacitor bank circuits</li> </ul>
Replica path board	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RF radiator path provider</li> <li>• RF replica beam path provider</li> </ul>
Housing (frame)	• Thermal stabilization

별 송수신 소자 gating 회로를 통해 선택적으로 on/off가 가능하다.

4:1 RF 분배결합기(4:1 RF Com./Div. board)는 수직 편파, 수평 편파 각각 1개씩 총 두 개가 사용되며, 1개의 4:1 RF 분배결합기는 송수신모듈 4개에 대한 RF 송신입력 분배 및 RF 수신 출력 결합 기능을 한다. 보정 경로 보드(replica path board)는 송수신모듈 8개에 대한 RF 송신 출력 경로와 RF 수신 입력 경로를 제공하고, 채널별 RF 송·수신 신호를 커플링 하여 시스템 내부적으로 복제빔(replica beam)을 제공한다.

### 2-2 송수신모듈 조립체 설계

본 논문에서 제시한 송수신모듈 조립체는 표 2와 같이 성능 요구 규격 충족을 위해 설계를 진행하였다.

먼저, 송수신모듈 조립체 성능 요구 규격 충족을 위해 표 3과 같이 송수신모듈에 적용되는 X-band 주요 RF 소

표 2. 송수신모듈 조립체 성능 요구 규격

Table 2. Transmit/receive module assembly performance requirements.

Performance specifications	Value
Frequency band	X-band, O.O [GHz]
Transmit power @1CH TRM	>00 [W]
Noise figure @1CH TRM	<4 [dB]
TRM attenuator variation LSB	0.5 [dB]
TRM phase variation LSB	5.625 [°]
Replica path coupler loss	<-20 [dB]
Power Dissipation @Duty 12 %, 8CH	<70 [W]

표 3. 송수신모듈 주요 RF 부품

Table 3. Transmit/receive module RF components.

Component	Manufacturer	Part name
Corechip	OMMIC	CGY2170YUH/C1
DRA	UMS	CHA5115-99F
HPA	UMS	CHA8710a99F
LNA	UMS	CHA2110-98F
Circulator	Smiths interconnect	C85105/D
Limiter	Qorvo	TGL2217 TGL2201

자를 선정하였다. 송신 경로의 경우, RF 송신 출력 OOW 이상을 위해 UMS社 GaN 25 W급 HPA(high power amplifier)로 선정하였고, 송수신모듈 송신 출력단/수신 입력단 경로 분리를 위해 circulator는 25 W를 견딜 수 있는 Smiths Interconnect社 50 W급 C85105/D를 선정하였다. 수신 경로의 경우, 잡음지수 4 dB 이하 충족을 위해 UMS社 noise figure 1.2 dB LNA(low noise amplifier)로 선정하였다. 추가로 능동 위상 배열 안테나에서 고려할 점은 Active VSWR(voltage standing wave ratio)이다. Active VSWR은 능동 위상 배열 구조에서 복사소자 간 상호결합으로 발생하는 반사계수이며, 이와 관련하여 송수신모듈로 반사된 RF 신호가 HPA의 고장을 유발할 수 있다<sup>[2]</sup>.

이를 방지하기 위해 그림 2와 같이 랑게 커플러(Lange Coupler), 리미터(limiter)로 구성된 Active VSWR 보호회로를 추가하였다. Active VSWR 보호회로에 적용되는 리미터는 복사소자 Active VSWR 값, 송수신모듈 출력,

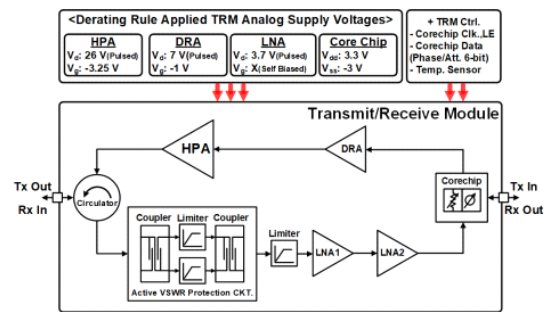


그림 2. 송수신모듈 블록도 및 전원과 제어

Fig. 2. Transmit/receive module block diagram.

LNA 최대 RF 입력 레벨을 고려하여 적합한 최대 입력과 flat leakage를 계산하여 선정하였다.

송·수신 공통 경로의 경우, 송·수신 경로 변환, 송·수신 크기 가변, 위상 가변 기능을 위해 SPDT, phase shifter, attenuator 기능이 포함된 OMMIC社 corechip을 선정하였다. 이렇게 선정한 부품들을 가지고 송수신모듈 조립체 송·수신 RF budget을 표 4 및 표 5와 같이 설계하였다.

우주 환경에서 지상 또는 항공에서 능동 위상 배열 안테나를 운용하는 것과 가장 큰 차이점은 한 번 발사되면 안테나 핵심 요소인 송수신모듈의 수리나 교체가 불가능

표 4. 송수신모듈 조립체 송신 RF budget

Table 4. Transmit/receive module assembly transmit RF budget.

Item	Component	Input (dBm)	Input (dBm)	Acc. gain (dB)	Output (dBm)
4:1 RF Com./Div. board	SMA conn.	-	-0.2	-0.2	-
	Divder	-	-6.6	-6.8	-
	SMP conn.	-	-0.25	-7.05	-
TRM	SMP conn.	-	-0.25	-7.3	-
	Corechip	-	6	-1.3	-
	DRA	-	21.8	20.5	-
	HPA	-	17.09	37.59	-
	Circulator	-	-1	36.59	-
	SMP conn.	-	-0.25	36.34	-
Replica path board	SMP conn.	-	-0.25	36.09	-
	Coupler	-	-0.3	35.79	-
	SMP conn.	-	-0.2	35.59	-
Total	-	-	-	35.59	00.0

표 5. 송수신모듈 조립체 수신 RF budget

Table 5. Transmit/receive module assembly receive RF budget.

Item	Component	Input (dBm)	Input (dBm)	Acc. gain (dB)	Output (dBm)	NF (dB)
Replica path board	SMP conn.	-40	-0.2	-0.2	-40.2	0.2
	Coupler	-40.2	-0.3	-0.5	-40.5	0.5
	SMP conn.	-40.5	-0.25	-0.75	-40.75	0.75
TRM	SMP conn.	-40.75	-0.25	-1	-41	1
	Circulator	-41	-0.7	-1.7	-41.7	1.7
	Coupler	-41.7	-0.5	-2.2	-42.2	2.2
	Limiter	-41.7	-0.4	-2.6	-42.6	2.6
	Coupler	-42.6	-0.5	-3.1	-43.1	3.1
	Limiter	-43.1	-0.4	-3.5	-43.5	3.5
	LNA	-43.5	18.5	15	-25	4.7
	LNA	-25	18.5	33.5	-6.5	4.71
	Corechip	-6.5	6	39.5	-0.5	4.72
	SMP conn.	-0.5	-0.25	39.25	-0.75	4.72
4:1 RF com./div. board	SMP conn.	-0.75	-0.25	39	-1	4.72
	Combiner	-1	-0.6	38.4	-1.6	4.72
	SMA conn.	-1.6	-0.2	38.2	-1.8	4.72
Total	—	—	—	38.2	-1.8	4.72

하다는 점이다. 따라서 우주 환경에서 긴 운용 시간 동안 고장이 나지 않도록, EEE, user LAT로 신뢰성 있는 부품을 사용하는 것에 더해, 정격 출력 완화와 용접 밀폐(hermetic sealing)가 송수신모듈에 적용되어야 한다. 정격 출력 완화 설계는 부품에 가해지는 스트레스 지수를 낮춰 고장률을 줄이고 수명을 증가시키는 것으로, ESA 표준문서 ECSS-Q-ST-30-11C<sup>[3]</sup>에 따라 부품의 사용전압, 소모 전력, 허용온도 등을 제조사 정격보다 낮춰서 사용하는 것을 말한다. 가령 HPA의 데이터시트에서 최대 정격 전압(absolute maximum rating)이 35 V로 나와 있다면 ECSS-Q-ST-30-11C에 따라 75 % 낮춘 26.25 V로 설정하는 것이다. 이렇게 정격 출력 완화가 적용된 운용전압들을 그림 3에 나타내었다. 이는 위성용 SAR 안테나 송수신모듈 조립체 공학 모델의 3F 중 기능(function)에 해당한다.

위성용 SAR 안테나에 적용되는 송수신모듈은 형상적(form)으로는 용접 밀폐가 적용되었다. 우주 진공 상태에서는 기관, 전자 부품 등에서 수분, 가스, 화학 물질 등 가스방출(out-gassing)이 발생한다. 이는 송수신모듈을 포함

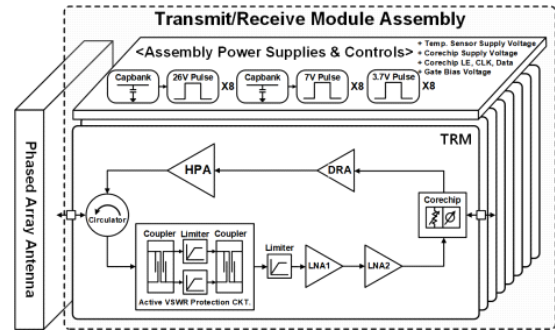


그림 3. 송수신모듈 조립체 전원과 제어 구성

Fig. 3. Transmit/receive module assembly supply voltages & digital controls.

한 모든 전자 부품의 손상을 유발하기 때문에 송수신모  
들의 고장 방지를 위해 송수신모들 자체에서 방출될 수  
있는 가스나 수분을 최대한 제거하고, 그림 8의 조립체  
에서 볼 수 있듯이 덮개로 송수신모들을 덮어 용접 밀폐를  
적용하였다.

송수신모듈 조립체의 전원과 제어 구성을 간략하게 그림 3에 나타내었다. 표 1에서 설명한 각 구성품의 기능이 그림 3과 같이 capbank와 gating 회로를 지나 펄스 형태로 8조의 각 송수신모듈의 HPA, DRA, LNA 드레인(drain)으로 전원이 인가된다<sup>[4]</sup>. 외에 송수신모듈 온도 측정을 위한 온도센서 전원, 위상 가변을 위한 corechip CLK, data, LE 등 디지털 신호들이 인터페이스 보드를 통해 송수신모듈로 인가된다. 전체 송수신모듈 조립체 구성품은 그림 4에 나타내었다. 이 송수신모듈 조립체는 8조의 송수신모듈, 2조의 4:1 RF 분배결합기, 보정 경로 보드, 조립체 하

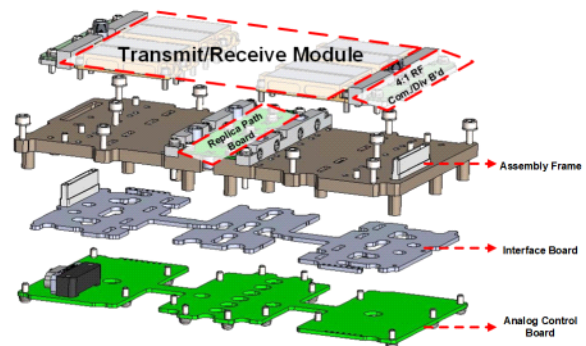


그림 4. 송수신모듈 조립체 분해도

Fig. 4. Transmit/receive module assembly break down.

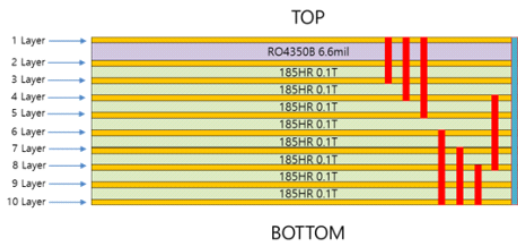
우정, 인터페이스 보드, 아날로그 제어 보드로 구성한다.

### 2-3 송수신모듈 조립체 제작

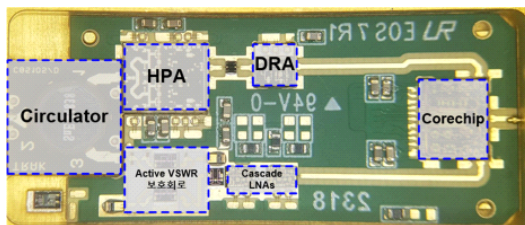
그림 5(b)는 송수신모듈 조립체에 조립되는 송수신모듈의 사진이다. 송수신모듈은 길이 41.4 mm, 폭 15 mm, 높이 6.75 mm의 도금된 알루미늄 하우징 안에 그림 5(a)와 같이 Rogers와 Teflon RF 기판을 혼합하여 제작하였다.

그림 6의 보정 경로 보드는 안테나 복사소자부와 송수신모듈 간의 경로 보드이다. 보정 경로의 포트는 양옆의 8개의 송수신모듈 포트, 후면의 안테나 복사소자 포트 8개, 복사소자 포트 두 당 하나의 복제 빔을 얻기 위한 보정 경로 coupling 포트 4개로 이루어진다. 모든 경로는 노출에 의한 손상 방지를 위해 strip line으로 설계 및 제작되었다. 그림 7은 송수신모듈 포트에서 각 포트 간의 출력 특성에 대한 그래프이다. 송수신모듈 여덟 포트에 대한 복사소자 경로의 손실은 0.7 dB 이하, 복제 경로의 손실은 20 dB 이하로 확인하였다.

그림 4의 송수신모듈, 4:1 RF 분배결합기, 보정경로 보

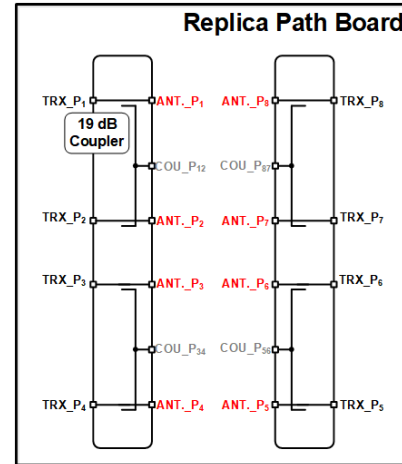


(a) 송수신모듈 기판 적층 구조  
(a) Transmit/receive module board stacked layers

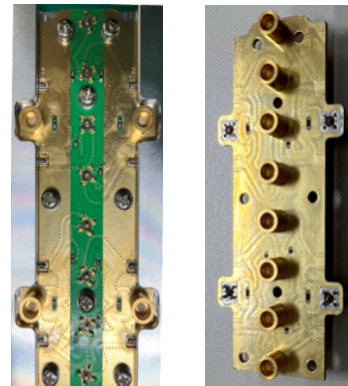


(b) 송수신모듈 내부 사진  
(b) Transmit/receive module

그림 5. 송수신모듈 기판 적층 구조 및 내부 사진  
Fig. 5. Transmit/receive module stacked layers and photograph.



(a) 보정 경로 보드 세부 구조  
(a) Detailed replica path board circuit structure



(b) 보정 경로 보드 제작 사진  
(b) Fabricated replica path board front side and backside

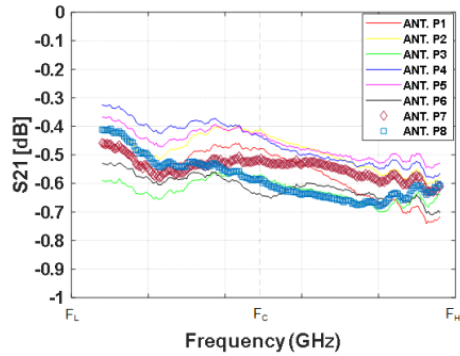
그림 6. 보정 경로 보드 세부 구조 및 제작 사진  
Fig. 6. Detailed structure and photograph of fabricated replica path board.

드, 인터페이스 보드, 아날로그 제어 보드를 모두 알루미늄 하우징에 조립한 송수신모듈 조립체의 사진이 그림 8에 나타나 있다. 완조립된 송수신모듈 조립체의 무게는 00g, 가로×세로×높이 00×00×00로 제작되었다.

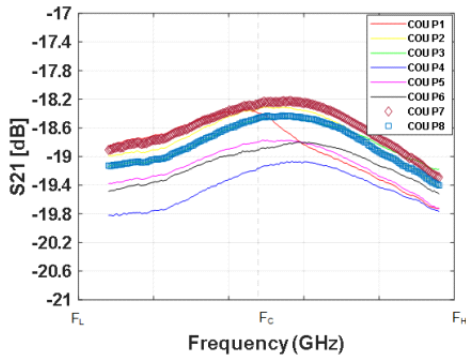
### 2-4 송수신모듈 조립체 시험 및 결과

송수신모듈 조립체 시험 구성을 그림 9에 나타내었다. 펄스 timing 등 SAR 운용 제어신호를 생성하는 전자 지상 지원 장비(electrical ground support unit, EGSE), 송수신모





(a) 복사소자 경로 측정 결과  
(a) Radiator path



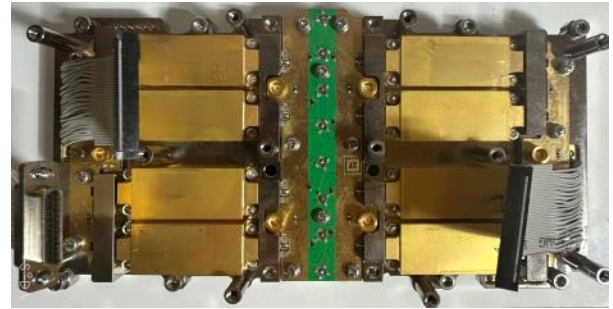
(b) 보정 경로 측정 결과  
(b) Replica path

그림 7. 보정경로 보드 경로 간 측정 결과  
Fig 7. Measurement results of replica path board upon antenna ports and replica ports.

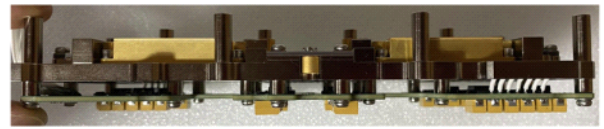
들 조립체 경로 제공을 위한 스위치 박스, PNA, 전원공급기, 그리고 해당 장비들을 조작하는 GUI로 구성된다.

송수신모듈 조립체 단위에서 각 채널에 대한 위상 및 크기 가변 시험, RF 출력 시험 등을 진행하기 위해 GUI로 경로를 설정하는 스위치 박스를 제작하였다. 경로를 설정하는 RF 스위치 10개, PNA 신호 증폭용 앰프 한 개, 상용 2:1 분배/결합기 하나, 상용 4:1 분배결합기 두 개로 스위치 설정에 따라 송신, 수신, 송수신 복제 경로에 대한 측정이 모두 가능하며, 스위치 박스의 내부 회로도도 그림 10, 스위치 설정에 따른 경로는 표 6에 정리하였다.

송신경로일 경우 PNA에서 나온 RF 펄스가 SW1을 지나 23 dB 증폭된 뒤 2-way 분배기를 거쳐 송수신모듈 조립체의 4:1 RF 분배결합기로 입력된다. 송수신모듈을 지



(a) 상단  
(a) Top view



(b) 측면  
(b) Side view

그림 8. 송수신모듈 조립체 사진  
Fig. 8. Photograph of fabricated transmit/receive module assembly.

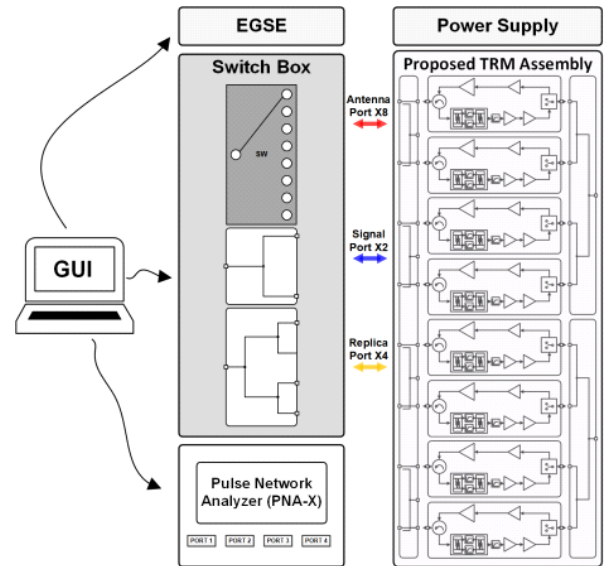


그림 9. 송수신모듈 조립체 시험 구성도  
Fig. 9. Transmit/receive module assembly test bench setup diagram.

나 보정 경로 보드의 안테나 복사소자쪽 포트에 나오고 SW8, 9, 10을 어떤 채널로 설정하냐에 따라 해당 송수신 모듈의 출력을 PNA와 power meter로 확인할 수 있다.

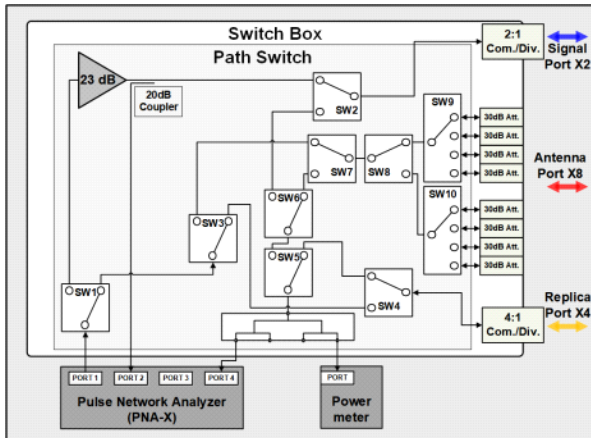


그림 10. 시험용 경로 제공 스위치 박스 내부 블록도  
Fig. 10. Switch box inner block diagram.

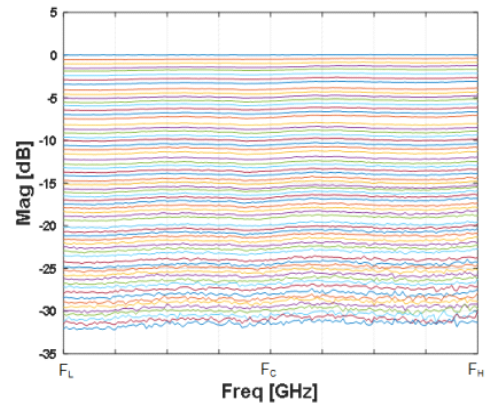
표 6. 모드별 스위치 박스 경로

Table 6. Switch box settings upon transmit/receive cases.

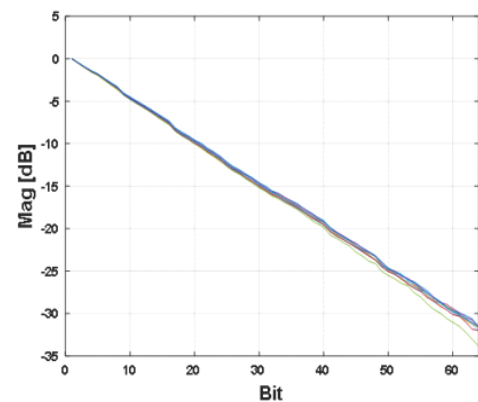
Path case	Switch box path specification
Transmit	SW1 → Amp. → SW2 → 2:1 Com./Div. → TRM assembly → SW9/10 → SW8 → SW7 → SW6 → SW5
Receive	SW1 → SW3 → SW7 → SW8 → SW9/10 → TRM assembly → 2:1 Com./Div. → SW2 → SW6 → SW5
Transmit replica	SW1 → SW2 → TRM Assembly → 4:1 Com./Div. → SW4 → SW5
Receive replica	SW1 → SW3 → SW4 → 4:1 Com./Div. → TRM assembly → SW2 → SW6 → SW5

수신경로의 경우 SW1을 지나 SW9/10 중 선택된 스위치로 입력되어 보정 경로 보드의 복사소자 포트를 지나 2-way 분배기로 나오게 된다. 이후 SW2를 지나 PNA로 다시 입력되어 입출력의 S-파라미터를 확인하게 된다.

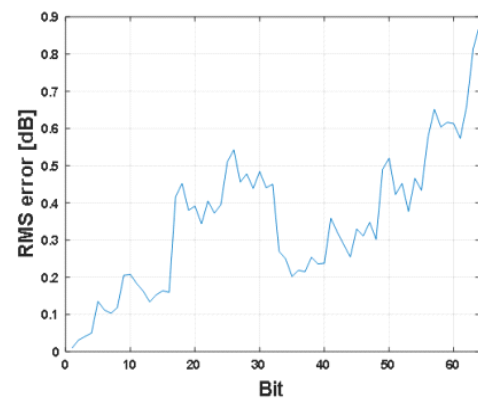
그림 11~그림 13은 송수신모듈 조립체 단위에서 측정된 수신 이득 가변, 수신 위상 가변, 송신 위상 가변 결과이다. 각 그림에는 주파수에 따른 가변 결과, 중간 주파수에서의 8채널의 bit에 따른 가변 결과, 그에 따른 8채널 평균의 RMS error 위상값을 보여준다. 그림 11(a)에서 보여주는 크기 가변 결과에서 송수신모듈 조립체의 입력레벨의 크기가 -40 dBm이라 크기가 낮아질수록 SNR (signal to noise ratio)이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 수신



(a) 주파수에 따른 단일 채널 크기 가변 결과  
(a) Frequency versus magnitude (1 CH)



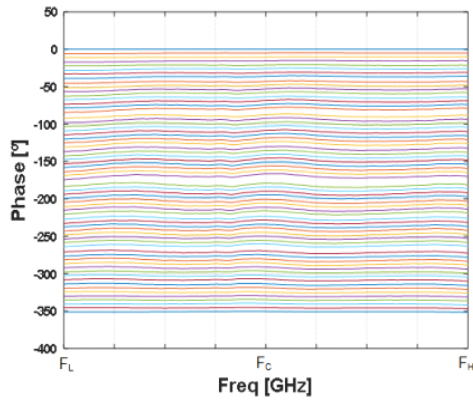
(b) 중심주파수에서의 Bit에 따른 8채널 크기 가변 결과  
(b) Bit versus magnitude (8 CH, @center freq.)



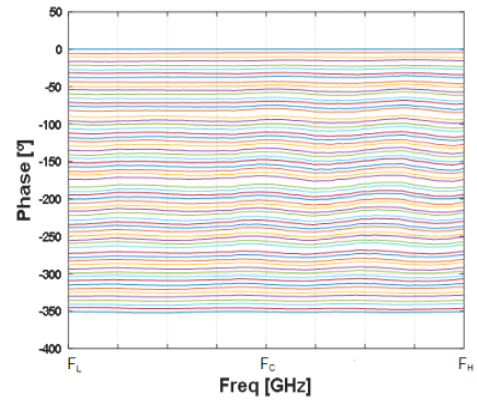
(c) Bit에 따른 크기 RMS 오차(8채널 평균, 중심주파수)  
(c) Bit versus magnitude RMS error (8 CH average, @center freq.)

그림 11. 수신 감쇄기 가변 시험 결과

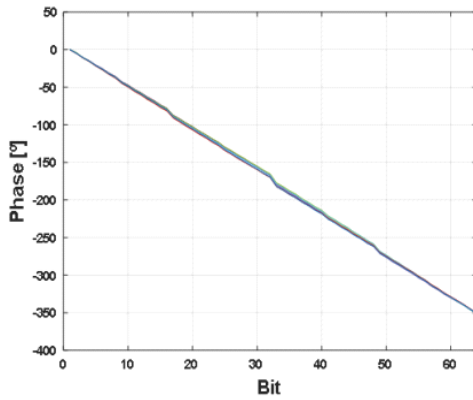
Fig. 11. Receive attenuator variation results.



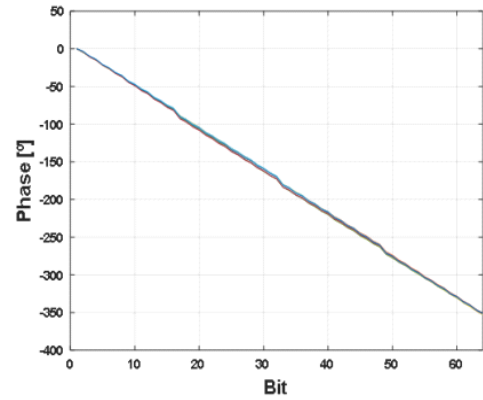
(a) 주파수에 따른 단일 채널 위상 가변 결과  
(a) Frequency versus phase (1 CH)



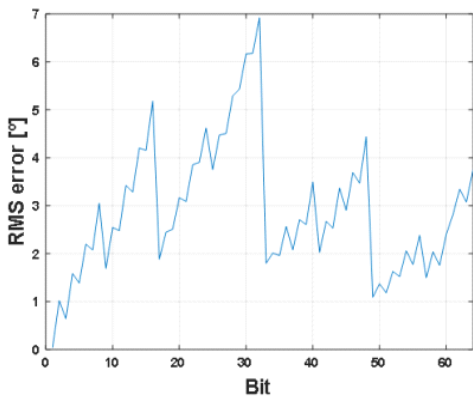
(a) 주파수에 따른 단일 채널 위상 가변 결과  
(a) Frequency versus phase (1 CH)



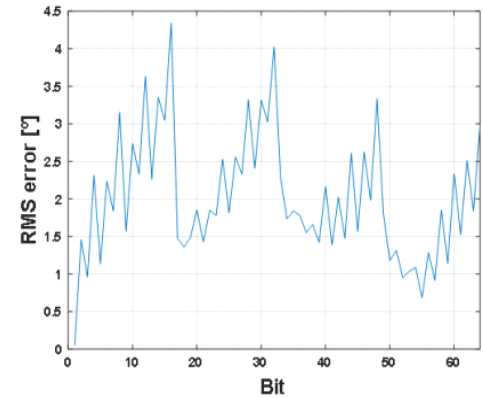
(b) 중심주파수에서의 Bit에 따른 8채널 위상 가변 결과  
(b) Bit versus phase (8 CH, @center freq.)



(b) 중심주파수에서의 Bit에 따른 8채널 위상 가변 결과  
(b) Bit versus phase (8 CH, @center freq.)



(c) Bit에 따른 위상 RMS 오차 (8채널 평균, 중심주파수)  
(c) Bit versus phase RMS error (8 CH average, @center freq.)



(c) Bit에 따른 위상 RMS 오차 (8채널 평균, 중심주파수)  
(c) Bit versus phase RMS error (8 CH average, @center freq.)

그림 12. 수신 위상 가변 시험 결과

Fig. 12. Receive phase shifter variation results.

그림 13. 송신 위상 가변 시험 결과

Fig. 13. Transmit phase shifter variation results.



이득 가변, 송수신 위상 가변 모두 표 2의 성능 요구 규격에 만족하는 LSB(0.5 dB, 5.625°)만큼의 변화량을 확인하였다.

그림 14는 Power Meter로 측정한 단일 채널의 송신 RF 출력 결과를 나타낸다. 12 % duty의 100  $\mu$ s 펄스가 성능 요구 규격인 주파수 대역 평균 00.0 dBm으로 나타났다.

송수신모듈 조립체의 소모 전력을 표 7에 나타내었다. 8채널의 전체 소모 전력은 68.05 W로 설계 규격인 70 W 미만을 만족한다.

### III. 결 론

본 논문에서는 위성용 SAR 안테나에 적용할 수 있는 송수신모듈 조립체 공학 모델을 설계 및 제작하였다. 위성용 SAR 안테나에 적용되는 송수신모듈 및 조립체는 기본적인 SAR 능동 위상 배열 안테나 성능을 만족함은 물론, 송수신모듈에서부터 부품 선정, 정격 출력 완화, 가스 방출을 고려한 설계 등 우주 환경에 적합한 설계가 적용돼야 하는 어려움이 있다. 위성용 SAR 안테나 송수신모

표 7. 송수신모듈 조립체 소모 전력@Duty 12 %, 8채널  
Table 7. Transmit/receive module assembly power consumptions.

Voltage [V]	Current [A]	Power dissipation [W]
26 (HPA)	2.26	58.9
7 (DRA)	0.24	1.65
3.7 (LNA)	0.48	1.78
3.3 (Corechip pos.)	1.28	4.22
-3 (Corechip neg.)	0.37	1.1
-4.5 (Gate bias)	0.1	0.4
Total power dissipation		68.05
Designed power dissipation		70

듈 조립체의 인증모델을 설계하고 제작하기에 앞서, 본 논문을 통해 3F를 맞춰 제작된 공학 모델로 주요 규격들을 확인하고자 하였다.

제작된 송수신모듈 조립체의 측정 결과, 조립체 단위에서 송신 출력 00 W, 송수신 위상 가변 5.625°, 이득 가변 0.5 dB, 최대 소모 전력 68.05 W의 특성을 가진다.

### References

- [1] H. J. Yang, Y. R. Lee, S. Cho, and J. P. Kim, "The design method of TR module based GaN for satellite," *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 50, no. 1, pp. 31-38, Jan. 2022.
- [2] LIG Nex1, Protection circuit for transceiver module. *Patent No. KR 10-1557823*, Sep. 2015.
- [3] *Space Product Assurance: Derating-EEE Components*, ECSS-Q-ST-30-11C, Oct. 2011.
- [4] I. S. Hwang, Y. R. Lee, and S. H. Jang "Design and implementation of high-efficiency X-band transmit/receive block for scalable active electronically scanned array antenna," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 7, pp. 588-598, Jul. 2020.

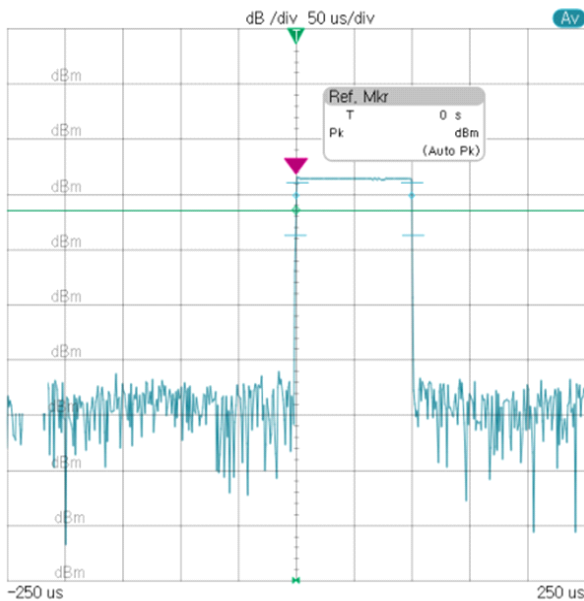


그림 14. 송신 RF 출력 결과, 1CH, Duty 12 %(100 us pulse)

Fig. 14. Transmit RF output power measurement results.

박 준 영 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0009-0002-1751-9944>



2020년 2월: 중앙대학교 전자전기공학부 (공학사)  
2022년 8월: 중앙대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
2023년 2월~현재: LIG넥스원 위성체계 연구소 연구원  
[주 관심분야] RF, 레이다, 반도체 송수신 모듈, 능동 위상 배열 안테나, SAR, 위성 탑재체

강 권 구 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0386-2242>



2021년 2월: 세종대학교 전자공학과 (공학사)  
2023년 2월: 세종대학교 전자공학과 (공학석사)  
2023년 2월~현재: LIG넥스원 위성체계 연구소 연구원  
[주 관심분야] RF 수동 회로 설계, 안테나, 능동 위상 배열 안테나, SAR, 위성 탑재체

양 호 준 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0009-0006-0135-8209>



2016년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)  
2016년 9월~현재: LIG넥스원 위성체계 연구소 선임연구원  
[주 관심분야] 반도체 송수신모듈, 능동 위상 배열 안테나, SAR, 위성 탑재체

이 유 리 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5741-9182>



2005년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)  
2007년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
2007년 2월~현재: LIG넥스원 위성체계 연구소 수석연구원  
[주 관심분야] 반도체 송수신모듈, 능동 위상 배열 안테나, SAR, 위성 탑재체

김 수 연 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-8579-6586>



2020년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학사)  
2022년 8월: 전북대학교 전자정보공학부 (공학석사)  
2023년 2월~현재: LIG넥스원 위성체계 연구소 연구원  
[주 관심분야] RF 수동 회로 설계, 반도체 송수신모듈, 능동 위상 배열 안테나, SAR, 위성 탑재체

김 종 필 [LIG넥스원/소장]

<https://orcid.org/0000-0002-8490-3391>



1998년 2월: 경기대학교 전자공학과(공학사)  
1997년~2000년: 단암전자 주임연구원  
2010년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학석사)  
2000년~현재: LIG넥스원 위성체계 연구소 소장  
[주 관심분야] 반도체 송수신모듈, 능동 위상 배열 안테나, SAR, 위성시스템