

차세대 SAR 탑재체를 위한 이중 수신 채널 T/R 모듈 설계

원영진*, 윤영수**, 우성현***, 윤재철****, 김정훈*****, 김진희*****

Design of the Dual Receiving Channel T/R Module for the Next Generation SAR Payload

Young-Jin Won*, Young-Su Youn**, Sung-Hyun Woo***, Jae-Cheol Yoon****,
Jung-Hoon Keum*****, Jin-Hee Kim*****

Abstract

This paper describes the transmit/receive(T/R) module for the space based X-band active phased array radar. T/R module is the integrated module which is assembled by the transmitting and receiving RF semiconductor devices to enable the electronically beam steering of the phased array antenna and the key component of the SAR payload. T/R module can selectively receive the polarization signals by the switch according to the established technology but now the technological trend of the T/R module is to receive the horizontal and vertical polarization signal simultaneously. Therefore the research and development of the dual polarization receiving channel T/R module is actively in progress.

In this study, as the prior research for the next generation SAR payload, the technological trend of the active phased array radar T/R module and the result of the preliminary design of the dual receiving channel T/R module were described.

초 록

본 논문은 우주용 X-대역 능동 위상 배열 레이더를 위한 T/R 모듈에 대하여 기술한다. T/R 모듈은 위상 배열 안테나의 전자적 빔 조향을 가능하게 하는 송수신 RF 반도체 소자가 집적된 모듈이며 SAR 탑재체의 핵심 부품이다. 기존의 T/R 모듈은 수평 편파 또는 수직 편파 신호를 스위치에 의해 선택적으로 수신할 수 있었다. 그러나 현재 기술적 흐름은 수평 편파와 수직 편파 신호를 동시에 수신하는 것이다. 따라서 이중 편파 동시 수신 T/R 모듈에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있다.

본 연구는 차세대 SAR 탑재체를 위한 선행 연구로서 능동 위상 배열 레이더 T/R 모듈의 기술 개발 동향과 이중 수신 T/R 모듈의 예비 설계 결과를 정리하였다.

키워드 : 영상 레이더 (Synthetic Aperture Radar), 이중 수신 T/R 모듈 (Dual Receiving Channel Transmit/Receive Module)

접수일(2012년 9월 17일), 수정일(1차 : 2012년 10월 20일, 게재 확정일 : 2012년 11월 1일)

* 다목적실용위성5호체계팀/yjwon@kari.re.kr

** 다목적실용위성5호체계팀/ysyou@kari.re.kr

*** 다목적실용위성5호체계팀/mach@kari.re.kr

**** 다목적실용위성5호체계팀/yjch@kari.re.kr

***** 다목적실용위성5호체계팀/jhkeum@kari.re.kr

***** 다목적실용위성5호체계팀/kimjh@kari.re.kr

1. 서론

레이더 전파를 이용하여 송수신된 신호를 처리하여 영상을 만드는 SAR (Synthetic Aperture Radar)는 마이크로웨이를 사용하기 때문에 구름이나 밤낮에 상관없이 영상 촬영이 가능하기 때문에 전천후의 관측 장비로서 항공기용 또는 인공위성의 탑재체로 많은 연구가 진행되고 있으며 SAR 위성의 영상 형성 기하 구조는 그림 1과 같다.

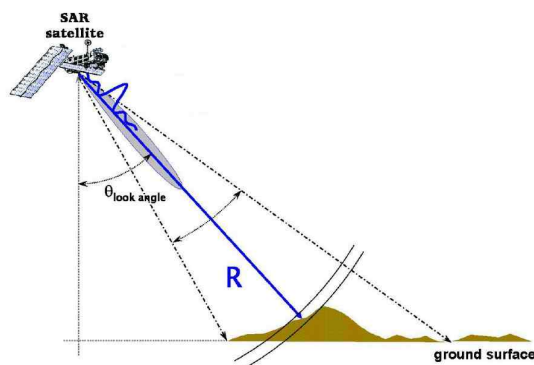


그림 1. SAR 위성의 영상 형성 기하 구조

이러한 SAR 탑재체의 중요한 서브시스템인 SAR 안테나는 레이더 신호를 송신하고 수신하는 역할을 담당하는데 SAR 안테나에서 신호의 송신 및 수신하는 중요한 역할을 담당하는 구성품이 T/R 모듈(Transmit/Receive Module)이다.

SAR 안테나로는 안테나의 특성에 의해 결정된 정해진 안테나 빔을 사용하는 수동 SAR 안테나(Passive SAR Antenna) 또는 원하는 방향으로 전자적인 빔 조향(Electronically Beam Steering)이 가능한 능동 위상 배열 안테나(Active Phased Array Antenna)가 주로 사용된다. 그 중에서도 다양한 장점을 지닌 능동 위상 배열 안테나가 주로 사용되는 추세이며 이러한 능동 위상 배열 안테나에는 이들 T/R 모듈이 다수 장착되어 T/R 모듈을 통하여 수신된 레이더 반사파 신호를 SAR 영상 처리 기법을 통하여 영상으로 변환하게 된다.

능동 위상 배열 안테나는 고각 방향 및 방위각 방향으로 빔 조향이 가능하고 여러 가지 편파 선택이 가능하며 임무에 필요한 빔을 방사하고 표적을 맞고 돌아오는 반사 신호를 수집하는 역할을 한다.

능동 위상 배열 레이더 시스템의 안테나 패턴은 각각의 배열에 구성된 T/R 모듈의 이득과 위상을 제어함으로써 원하는 안테나 빔 패턴을 형성하고 SAR 시스템에 필요한 안테나 패턴을 형성할 수 있다. T/R 모듈의 이득과 위상 값은 안테나 빔 패턴을 형성하는 중요한 입력 값이므로 위상 배열 안테나에서 진폭과 위상을 효율적이고 안정적으로 제어하는 것이 중요하다. 그리고 T/R 모듈의 이득과 위상 값은 주변 온도, 주파수, 그리고 이득/위상 설정 값에 따라서 변하게 되므로 주기적으로 T/R 모듈의 이득과 위상 값을 효율적으로 점검 및 제어하여야 한다.

본 논문에서는 X-band 대역에서 동작하는 우주에서 적용 가능한 SAR용 능동 위상 배열 안테나의 이중 수신 T/R 모듈의 시뮬레이션을 통한 설계 및 성능 분석 결과를 정리하였다. 2장에서는 T/R 모듈의 개발 동향에 대하여 정리하고 3장에서는 이중 수신 T/R 모듈의 주요 특징 및 요구 규격과 아키텍처 분석에 대하여 정리하였다. 4장에서는 이중 수신 T/R 모듈의 설계 결과와 성능 분석 결과에 대하여 정리하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 정리하였다.

2. T/R 모듈 개발 동향

2.1 SAR 시스템 Overview

일반적인 SAR 탑재체 시스템의 시스템 블록 다이어그램은 그림 2와 같다.

SAR 시스템은 크게 레이더 역할을 담당하는 SAR Sensor Subsystem (SSS)과 저장한 레이더 수신 신호를 지상으로 내려보내기 위한 Data Link Subsystem (DLS)으로 구성된다.

여기서 SAR Sensor Subsystem은 크게 SAR Sensor Electronics (SSE)와 SAR Antenna Subsystem (SAS)으로 나뉜다. SAR Sensor

Electronics를 세분하면 레이더 신호인 chirp 신호를 생성하고 수신된 신호를 digitizing하는 전체적인 레이더 탑재체의 제어를 담당하는 SAR Control Subsystem(SCS)과 생성된 chirp 신호를 증폭 및 방사 주파수 대역으로 변조하고 수신된 신호를 기저 대역으로 변환하는 역할 등을 담당하는 SAR Tranceiver Subsystem(STS)으로 나누어진다.

SAR Antenna Subsystem(SAS)은 RF 신호를 분배하고 안테나 빔 패턴을 제어하여 방사 소자를 통하여 실제 레이더 신호를 방사하고 수신하는 역할을 담당하게 된다.

이러한 SAR 탑재체의 주요한 서브시스템인 SAR 안테나에서 레이더 신호를 송신하고 수신하는 중요한 역할을 담당하는 구성품이 T/R 모듈(Transmit/Receive Module)이다.

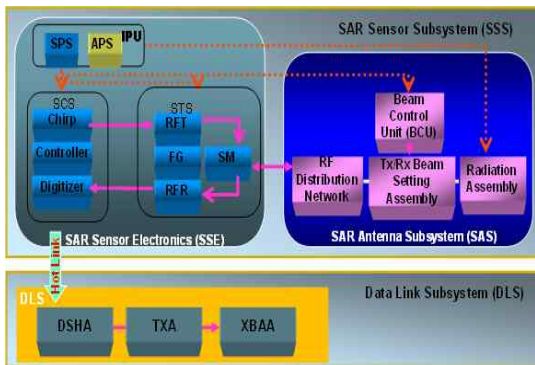


그림 2. SAR 탑재체 시스템 블록 다이어그램

2.2 T/R 모듈의 특징

간략화된 기본적인 T/R 모듈의 구조는 그림 3과 같다. 송신부에는 송신 신호를 증폭하기 위한 driver amplifier와 power amplifier로 구성되며 수신부에는 저잡음 증폭기(low noise amplifier)로 구성된다. 송신부와 수신부의 공통 path 부분은 T/R 모듈의 진폭과 위상을 제어하기 위한 attenuator와 phase shifter로 구성된다.

SAR를 위한 안테나 편파에는 주로 수평 편파(Horizontal Polarization)와 수직 편파(Vertical

Polarization)가 사용되는데 일반적인 T/R 모듈의 경우 수평 편파(Horizontal Polarization) 또는 수직 편파(Vertical Polarization)를 선택적으로 하나만 선택하여 신호를 수신하도록 되어 있어 운용 중 해당 시간에 한 가지 편파의 신호만 수신하여 편파 다양성(Polarization Diversity)의 장점을 가지지 못한다.

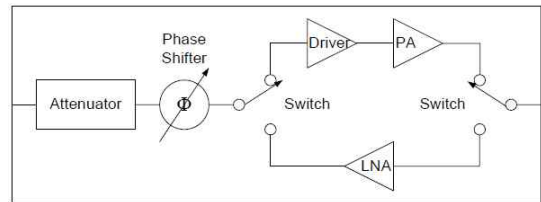


그림 3. 기본적인 T/R 모듈 구조

2.3 T/R 모듈 개발 동향

2.3.1 TerraSAR-X

TerraSAR-X는 2007년에 발사된 독일의 X-band SAR 위성으로서 고성능의 X-band T/R 모듈의 적용 사례이다.

TerraSAR-X T/R 모듈은 독일의 DLR과 EADS Astrium에서 개발하였으며 T/R 모듈 아키텍처는 그림 4와 같다.

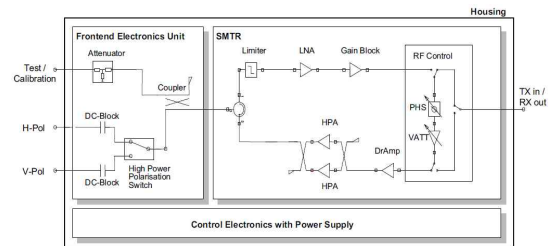


그림 4. TerraSAR-X T/R 모듈 아키텍처

TerraSAR-X의 SAR 안테나 전단부에는 수백 개의 T/R 모듈이 장착되는데 각 T/R 모듈은 수평/수직 편파의 waveguide radiator에 연결된다. T/R 모듈은 크게 SMTR(Standardized Modular T/R Module)과 FEU(Frontend

Electronics Unit), 그리고 CE(Control Electronics Unit)으로 구성된다. T/R 모듈 자체적으로는 H와 V 편파 수신을 위하여 스위치를 사용함으로써 H/V 동시 수신은 불가능하며 선택적 편파 수신이 가능하지만 전체 안테나 측면에서는 Dual Receiving Antenna(DRA) 모드를 사용하여 H/V Pol.의 동시 수신이 가능하다.

SMTR의 주요 기능은 정교하고 정밀한 진폭과 위상 제어, 송신/수신 path 제공, 송신 운용 구간 동안 고출력 전력 증폭, 수신 운용 구간 동안 저잡음 증폭 수신을 담당한다. 이러한 역할을 담당하고 compact하게 제작하기 위하여 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 적층 기판 기술 및 주요한 부품들인 LNA(Low Noise Amplifier), PHS(Phase Shifter), VATT(Variable Attenuator) 등의 주요한 부품들에 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)를 사용하였다.

FEU의 기능은 낮은 손실과 안테나 포트들 간에 펄스 간 고출력 편파 스위칭(Polarization Switching)을 제공한다. FEU에는 aluminum oxide substrate(Al_2O_3) hybrid 회로 기술이 적용되었으며 고출력 스위칭에 적합한 PIN 다이오드 스위치를 적용하였다.

CE는 송신/수신 운영 구간 동안 T/R 모듈의 능동 부품들에 대한 동적 제어(Dynamic Control) 기능 및 온도에 따른 자동 온도 보상 기능을 제공한다. 능동 부품 동적 제어 및 자동 온도 보상 기능을 위하여 내부적으로 저장된 calibration lookup table을 사용하여 진폭 및 위상 교정과 송신 전력 조절을 수행하게 된다.

TerraSAR-X T/R 모듈의 주요한 요구 사항은 아래와 같으며 실제 구현된 T/R 모듈의 제작 형상 및 SMTR의 내부 구조는 각각 그림 5와 그림 6과 같으며 T/R 모듈의 주요 제원 및 성능은 표 1과 같다.

- 온도 범위 $-20^{\circ}C$ 에서 $+60^{\circ}C$ 에서 진폭과 위상의 정밀한 제어가 가능
- Full Polarimetric Operation(HH, VV, HV, VH)

- 고 효율성
- 수명 기간 동안 고 신뢰성
- 낮은 부피 및 무게

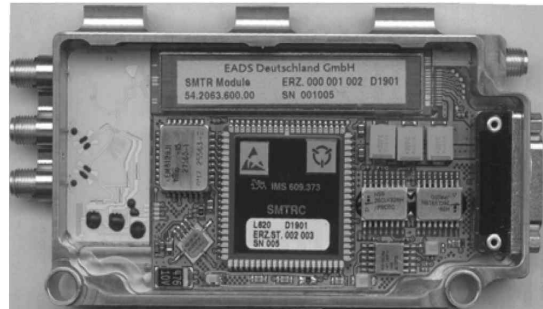


그림 5. TerraSAR-X T/R 모듈 형상

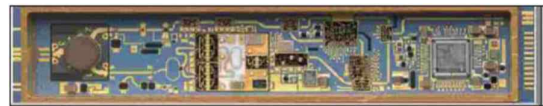


그림 6. TerraSAR-X SMTR 내부 구조

표 1. TerraSAR-X Performance Summary

Item	Performance
Frequency Range	9.5 ~ 9.8 GHz
Overall Noise Figure	4.3 dB
Rx Gain	28 dB
Output Power	37 dBm
Phase Control Range	360 degrees
Phase Quantization	6 bit
H/V Pol. 동시 수신	Not Possible

2.3.2 COSMO-SkyMed

COSMO-SkyMed는 2007년에 발사된 이탈리아의 X-band SAR 위성으로서 지금까지 4기가 발사되어 운영되고 있다.

COSMO-SkyMed는 이탈리아의 Thales Alenia Space에서 개발하였으며 T/R 모듈의 아키텍처는 그림 7과 같다.

T/R 모듈 설계는 저항 손실을 줄이고 출력 전

력과 noise figure를 개선하기 위하여 2개의 송신 path와 2개의 수신 path에 MMIC를 주로 사용하여 구현하였다. COSMO-SkyMed는 이중 편파 영상 획득은 가능하며 T/R 모듈 자체적으로는 송신과 수신 path에 스위치를 사용하여 경로를 선택함으로써 이중 편파의 동시 수신은 불가능하며 선택적인 편파 수신만이 가능하도록 설계되었다.

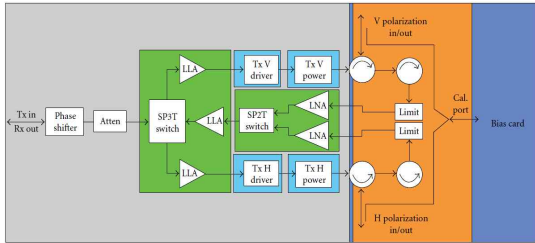


그림 7. COSMO-SkyMed T/R 모듈 아키텍처

그림 8은 8개의 T/R 모듈이 적층된 1개 tile의 T/R 모듈 형상을 보여주고 있으며 그림 9는 1개 T/R 모듈의 내부 형상을 보여 주고 있으며 T/R 모듈의 주요 제원 및 성능은 표 2와 같다.

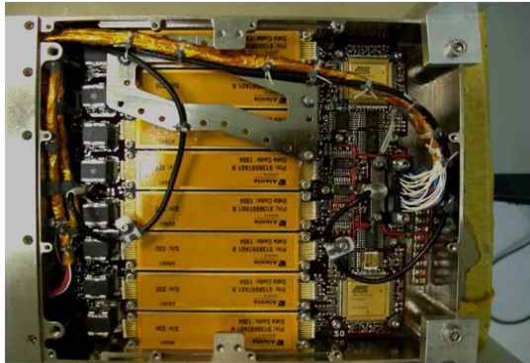


그림 8. COSMO-SkyMed T/R 모듈 형상



그림 9. COSMO-SkyMed T/R 모듈 내부 구조

표 2. COSMO-SkyMed Performance Summary

Item	Performance
Frequency Range	9.5 ~ 9.8 GHz
Overall Noise Figure	3.3 dB
Rx Gain	28 dB
Output Power	35 dBm
Phase Control Range	360 degrees
Phase Quantization	6 bit
H/V Pol. 동시 수신	Not Possible

2.3.3 China National Key Lab

중국에서는 2007년 X-band 대역에서 송신 출력은 8W, 수신 이득은 22 dB이며 동시에 이중 편파의 수신이 가능한 SAR 시스템용 T/R 모듈을 개발하였으며 T/R 모듈의 아키텍처는 그림 10과 같다.

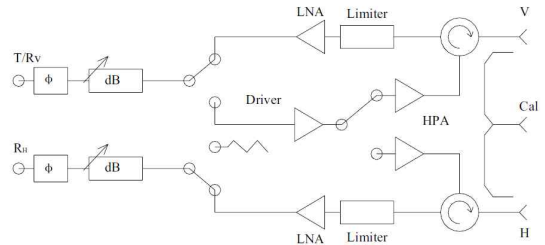


그림 10. China National Key Lab. T/R 모듈 아키텍처

T/R 모듈은 2개의 수신 채널과 2개의 송신 채널, 그리고 T/R converter와 진폭/위상 셋팅을 위한 제어 회로로 구성된다.

그림 10에서 확인할 수 있듯이 송신 path의 경우는 스위치를 통하여 하나의 편파만 선택하도록 되어있지만 수신 path의 경우 H편파와 V편파의 개별 path를 두어서 동시에 두 개의 편파를 모두 수신 가능하도록 구현하였다.

T/R모듈의 형상은 그림 11과 같으며 주요 제원 및 성능은 표 3과 같다.

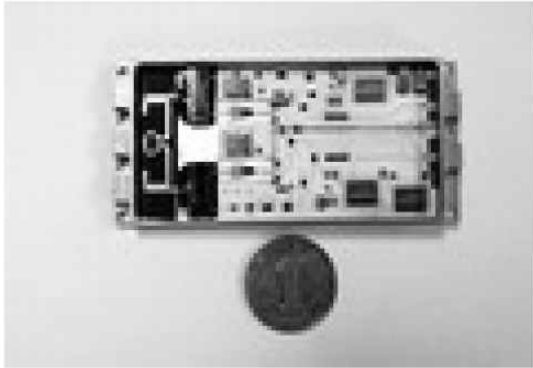


그림 11. China National Key Lab. T/R 모듈 형상

표 3. China National Key Lab Performance Summary

Item	Performance
Frequency Range	X-band (1 GHz bandwidth)
Overall Noise Figure	3.0 dB
Rx Gain	22 dB
Output Power	39 dBm
Phase Control Range	360 degrees
Phase Quantization	6 bit
H/V Pol. 동시 수신	Possible

2.3.4 UMS T/R Module Solution

유럽의 우주급과 군사용 MMIC 분야에서 상당한 heritage를 보유한 UMS(United Monolithic Semiconductors)사에서는 우주용 또는 군사용으로 적용 가능한 위상 배열 레이더용 T/R 모듈 solution을 발표하였으며 아키텍처는 그림 12와 같다.

UMS에서 개발한 T/R 모듈은 space qualified process가 적용된 LNA와 Corechip, 그리고 HPA로 구성된다. UMS사의 T/R 모듈 solution의 가장 큰 특징은 송신 path와 수신 path에 공통으로 사용되는 phase shifter와 attenuator를 Corechip 하나를 적용하여 구현함으로써 회로 구현의 복잡성을 줄이고 회로의 사이즈와 무게를 줄여 구현

할 수 있는 방향을 제시하였다.

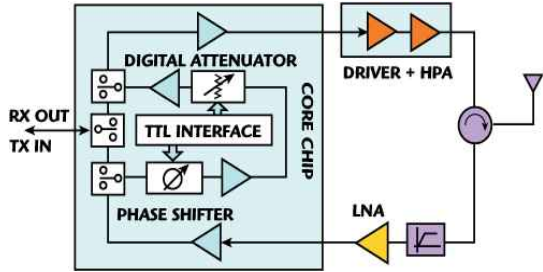


그림 12. UMS T/R 모듈 아키텍처

Corechip의 성능은 6-bit phase shifter를 사용하여 0°에서 360° 사이를 5.625° 간격으로 위상 변화가 가능하며 6-bit digital attenuator를 적용하여 0.3 dB (RMS)의 attenuation error를 가지며 34.5 dB의 감쇄 범위를 제공한다. Corechip의 phase shift 성능과 attenuation 성능은 그림 13과 같다.

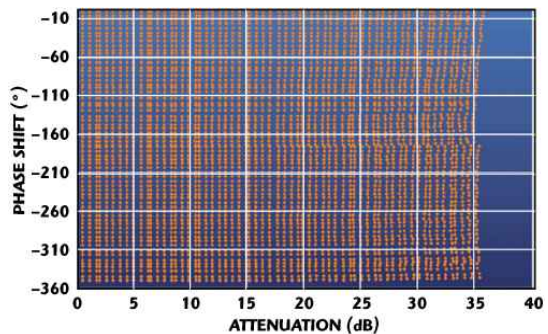


그림 13. Corechip 성능 다이어그램

2.3.5 개발 동향 Summary

지금까지 정리한 우주급 SAR 용 T/R 모듈의 개발 동향을 정리하면 다음과 같다.

우선 크기와 무게를 줄이면서 성능은 최적화하기 위한 Corechip의 개발과 같은 연구가 수행되고 있으며 편파 diversity와 agility를 위한 이중 편파 동시 수신 채널 구조에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 추후 새롭게 개발될 SAR 위

성에는 이 개념이 적용 및 구현 될 것으로 분석된다.

3. 이중 수신 T/R 모듈 설계

3.1 이중 수신 T/R 모듈 특징

본 장에서는 차세대 SAR 탑재체의 선행 연구로서 앞에서 기술 동향으로 언급한 이중 수신 채널 T/R 모듈의 설계에 대하여 기술한다. 지금까지 일반적으로 구현된 T/R 모듈의 경우 수평 편파 또는 수직 편파를 선택적으로 하나만 선택하여 수신하는 구조였는데 반하여 본 논문에서 제안하는 이중 수신 T/R 모듈의 경우 수평 편파와 수직 편파를 각각의 path를 따로 구현하여 동시에 2개의 편파를 동시에 수신 가능하도록 하여 편파 agility를 구현하고자 하였다.

본 논문에서 구현하고자 하는 이중 수신 T/R 모듈의 주요한 특징은 다음과 같다.

- X-band SAR 신호의 송신 및 수신 경로 제공
- 완전 편파 제공(HH, VV, HV, VH) 및 동시 2개 편파 수신 성능(HH and HV, VV and VH) 제공
- 고효율의 송신 성능 제공 및 저전력 소비 제공
- 온도에 따른 안정성 제공
- 고 정밀 진폭 및 위상 제어 기능 제공
- 효율적인 기구 구조 설계 및 낮은 부피 및 무게 구현
- 우주급 고 신뢰성 모듈 구현

3.2 이중 수신 T/R 모듈 설계 요구 규격

이중 수신 채널 T/R 모듈의 설계 세부 요구 규격은 아래 표 4와 같다.

표 4. 이중 수신 T/R 모듈 설계 요구 규격

Item	Design Specification
Frequency Range	X-band
Bandwidth	> 600 MHz
PRF Range	1000 Hz ~ 8000 Hz
Tx Pulse Width	1 usec ~ 150 usec
Output Power	≥ 38 dBm
Overall Noise Figure	< 4 dB
Rx Gain	≥ 24 dB
Tx Polarization	H or V
Rx Polarization	H and V
Phase Control Range	360 degrees
Phase Quantization	6 bit
H/V Pol. 동시 수신	Possible

3.3 이중 수신 T/R 모듈 아키텍처 분석

요구 규격으로부터 전기적 규격을 만족하며 이중 편파 수신에 동시에 가능한 T/R 모듈 아키텍처는 다음의 2가지 형태의 아키텍처가 도출되었다.

첫 번째 option 1 아키텍처는 모든 편파 운용(HH, VV, HV, VH)을 만족시키며 이중 편파의 수신을 가능하게 하도록 편파 별로 송신 수신 경로를 분리하여 구성하였다. 본 아키텍처를 위하여 Duplexer 1종, HPA 1종, PA 1종, LNA 2종, Attenuator, Phase Shifter, SPDT 각 1종 씩 총 8종 17개의 RF MMIC가 사용됨으로서 구성의 복잡도가 증가한다는 단점이 있다. 하지만 Corechip을 사용하는 option 2에 비하여 전력 소모량이 약간 감소하는 장점을 가진다. Option 1의 아키텍처 구조는 그림 14와 같다.

두 번째 option 2 아키텍처는 이중 수신을 위해 Corechip 2개를 적용하여 이중 편파의 동시 수신이 가능하게 하였고 Corechip의 적용으로 전원 및 제어 인터페이스의 복잡도가 감소한다는 장점을 가진다. 또한 Corechip을 적용함으로써 phase shifter, attenuator, SPDT 등의 부품을 Corechip 하나로 대체할 수 있으므로 RF 부품 수를 획기적으로 줄여서 모듈의 설계 및 조립 공

정을 간략화할 수 있다는 다양한 장점을 가진다. 하지만 Corechip을 사용함에 의해 전력 소모량이 소폭 증가하는 단점을 가진다. Option 2의 아키텍처 구조는 그림 15와 같으며 본 논문에서는 전력 소모량의 측면을 제외하고 더 나은 장점을 가진 option 2에 대한 설계 결과에 대해 정리하도록 한다.

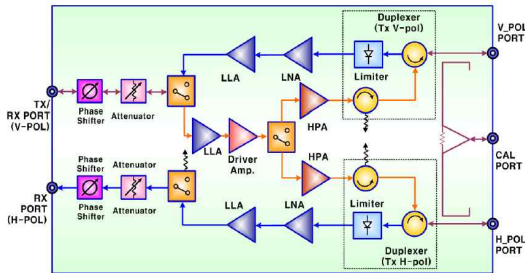


그림 14. T/R Module Architecture Option 1

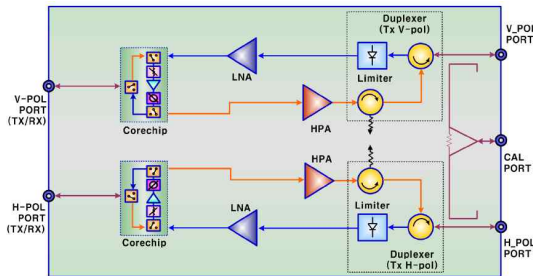


그림 15. T/R Module Architecture Option 2

4. 이중 수신 T/R 모듈 설계 결과

4.1 이중 수신 T/R 모듈 설계 결과

이중 수신 T/R 모듈은 LTCC 다층 기판을 적용하여 회로 기판을 설계하고, MMIC 부품과 기타 전원용 소자들은 barechip으로 적용하여 와이어 본딩으로 연결하는 방식으로 설계하였다.

이중 수신 T/R 모듈의 전기 설계 결과를 바탕으로 부품의 배치를 수행하였으며 T/R 모듈의 하우징 소재는 반도체 소자 및 PCB 소재를 고려하여 선정하였다. 이렇게 설계된 이중 수신 T/R 모듈의 전기 부품 배치 및 사이즈는 그림 16과

같다. 최종 설계된 T/R 모듈의 사이즈는 21.0 mm(폭) x 90.0 mm(길이) x 7.0 mm(높이)이다.

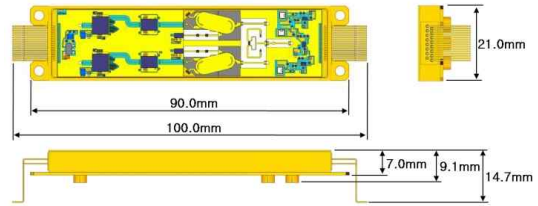


그림 16. 설계된 T/R 모듈 배치도 및 사이즈

4.2 이중 수신 T/R 모듈 전기 성능 분석 결과

이중 수신 T/R 모듈의 전기적 성능을 분석한 결과는 다음과 같다.

4.2.1 수신단 성능 분석

수신단은 coupler, duplexer, LNA, Corechip으로 구성되며 설계에 사용된 칩의 데이터를 반영하여 수신 이득과 수신 잡음 지수를 분석하였다. 수신 이득 분석 결과는 28.9 dB로 요구 규격 대비 높게 만족함을 알 수 있고 잡음 지수는 3.27 dB로서 규격을 만족함을 알 수 있다. 상세 수신 소자별 수신 이득과 잡음 지수 분석 결과는 그림 17과 같다.

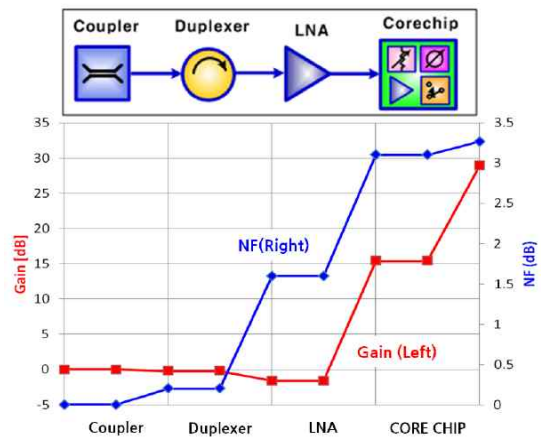


그림 17. 수신 이득 및 잡음 지수 결과

수신단의 잡음 레벨과 최대 수신 레벨에 대한 분석을 수행하였으며 잡음 레벨의 경우 수신 폭 40 MHz와 300 MHz에 대해 분석을 하였고 40 MHz의 경우 -65.81 dBm이고 300 MHz의 경우 -57.06 dBm으로 분석되었다. 또한 최대 수신 레벨의 경우 출력 기준으로 16.5 dBm으로 분석되었으며 각 단위 소자별 신호 레벨과 잡음 레벨은 그림 18과 같다.

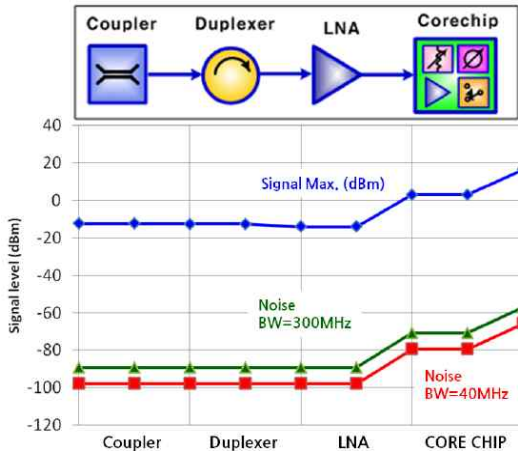


그림 18. 최대 수신 레벨 및 잡음 레벨 결과

4.2.2 송신단 성능 분석

송신단은 Corechip, HPA, duplexer, coupler로 구성되며 송신 이득과 송신 출력에 대한 성능 분석을 수행하였다.

T/R 모듈 송신 입력 레벨 -5.7 dBm에서 포화되는 특성을 나타냈으며 이 때 송신 출력은 38.3 dBm으로서 요구 규격을 만족함을 확인할 수 있다. 송신 이득은 43.9 dB로 분석되었으며 각 단위 소자별 출력 레벨과 이득은 그림 19와 같다.

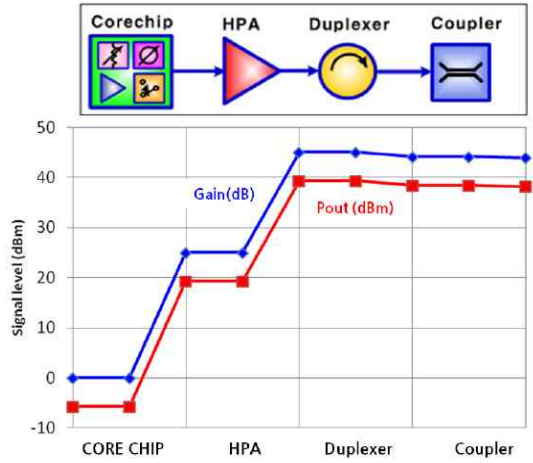


그림 19. 최대 송신 이득 및 출력 레벨 결과

4.2.3 전력 소모량 및 발열량 분석

설계된 이중 수신 T/R 모듈에 대한 전력 소모량과 발열량에 대해 분석하였으며 송신 duty 10%, 수신 duty 90%로 고려하여 분석하였고 음전원과 Corechip은 연속 동작하는 조건에서 분석하였다. 분석 결과 총 소모 전력은 6.505 Watts이고 이에 따른 발열량은 5.665 Watts로 분석되었다.

4.3 이중 수신 T/R 모듈 기계 성능 분석 결과

이중 수신 T/R 모듈의 기계적 성능을 분석한 결과는 다음과 같다.

4.3.1 T/R 모듈의 방열 구조 분석

T/R 모듈은 열적으로 취약하거나 발열량이 큰 소자를 기준으로 방열 경로를 구성하였다. 따라서 HPA 및 Corechip에는 T/R 모듈 하우징과 직접 방열 경로를 구성하였으며 기타 소자는 LTCC 기판의 thermal via를 통하여 하우징과 연결되도록 방열 경로를 구성하였다.

이중 수신 T/R 모듈 방열 구조 설계 개념도는 그림 20과 같다.

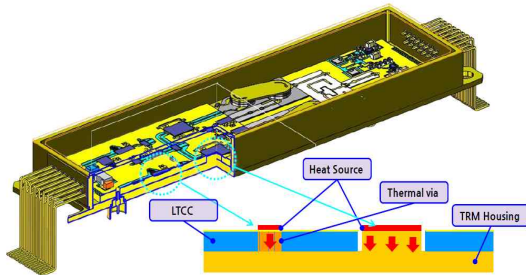


그림 20. 이중 수신 T/R 모듈 방열 구조

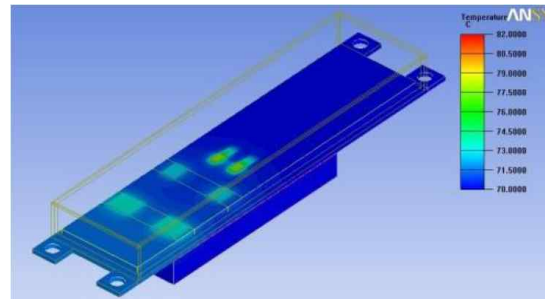


그림 21. 이중 수신 T/R 모듈 열해석 결과

4.3.2 T/R 모듈의 열해석

T/R 모듈의 열해석은 Corechip을 적용한 경우에 대하여 해석하였으며 하우징 재료로 CE7을 적용하였을 경우에 대하여 분석하였다. 해석을 위하여 적용한 구성품의 재질 정보는 표 5와 같다.

표 5. 이중 수신 T/R 모듈 재질 정보

Component	Material
TRM Housing	CE7
PCB	LTCC
HPA, Corechip, LNA, Duplexer	GaAs
Thermal Block	Aluminum

주변 온도 조건은 thermal block을 70°C로 설정하여 T/R 모듈이 heat sink인 외부 tile 하우징에 접촉되어 있는 것으로 모사하였다.

열해석 결과는 그림 21과 같으며 해석 결과 HPA와 Corechip은 상대적으로 발열량이 크긴 하지만 TRM 하우징으로 직접 방열하기 때문에 열 해석 결과가 높지는 않았으며 LTCC 기판에 장착되는 소자 중 LNA가 가장 높은 온도를 형성하였다.

Corechip과 HPA가 각각 74.1°C와 73.3°C로 LNA가 가장 높은 77.9°C로 해석되었다.

5. 결 론

본 논문은 차세대 SAR 위성의 탑재체 선행 연구의 일환으로 X-band 대역의 고 신뢰성을 가지는 이중 수신 채널 T/R 모듈 설계에 대하여 기술하였다.

해외 유사 연구 개발 현황 조사를 통하여 T/R 모듈의 최신 연구 동향을 조사하였고 이에 따른 T/R 모듈 구조 분석 및 도출된 요구 규격을 바탕으로 시스템 아키텍처 별 trade-off를 통해 성능 분석을 수행하였다. 또한 T/R 모듈 구조 분석 및 열해석을 통하여 이중 수신 T/R 모듈 기계적 설계 분석 역시 수행하였다.

설계 결과는 성능 분석을 통해 모든 요구 규격에 부합함을 확인할 수 있었으며 수신 잡음의 경우 3.3 dB 이하, 송신 출력의 경우 38.3 dBm 이상의 우수한 특성을 확인하였다.

또한 부품 배치 측면에서도 Corechip의 사용으로 부품 배치 및 소형화에 큰 이점을 얻을 수 있어서 이중 수신 채널 구현에 따른 문제점을 최소화할 수 있었다.

이상으로 정리한 본 논문의 결과는 향후 SAR 탑재체를 개발하는 데 좋은 참고 자료가 될 것이며 실제 위성에 적용하기 위해서는 EQM (Engineering Qualification Model)을 제작한 후 모든 성능 검증 과정을 거친 다음 비행 모델에 적용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. J. C. Curlander and R. N. McDonough, "Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing", John Wiley & Sons, 1991
2. 정민길 외, "능동 위상 배열 SAR 안테나를 위한 X-대역 송수신 모듈의 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 제20권, 제10호, 2009
3. M. Lorcher et al., "Advanced RF Sensors for SAR Earth Observation Using High Precision T/R Modules", APSAR, 2011
4. P. Capece, "Active SAR Antennas: Design, Development, and Current Programs", International Journal of Antennas and Propagation, 2009
5. Cuo Qing, "High Reliability, High Efficiency Multipolarizations X-band T/R Module", APSAR, 2007
6. United Monolithic Semiconductors, "T/R Module Solution for X-band Phased-Array Radar", Microwave Journal, 2010
7. 한국항공우주연구원 보고서, "이중 수신 T/R 모듈 최적화 기술 분석 및 개발 보고서", KARI, 2012