

다채널 영상레이다를 위한 다중대역 송수신기 개발

Development of the Multi Band Transceiver for Multi-Channel SAR

김재민 · 임재환 · 박지웅 · 진형석 · 이현철*

Jae-Min Kim · Jae-Hwan Lim · Ji-Woong Park · Hyeong-Seok Jin · Hyeon-Cheol Lee*

요 약

본 논문에서는 C 대역, X 대역, Ku 대역을 포함하는 다채널 영상레이다를 위한 송수신기를 설계, 제작하고, 전기적인 성능을 검증하기 위한 연구를 수행하였다. 송수신기는 대역별 송신기, 대역별 수신기, 대역별 신호선택기, 고안정발진기, 주파수합성기, 제어기, 전원분배기로 구성된다. 송수신기는 운용모드에 따라 경로 선택 및 수신 대역폭 선택 기능을 가진다. 송수신기는 C, X, Ku 대역 3가지 대역을 모두 송신 및 수신할 수 있으며, 각 대역에서 최대 300 MHz의 대역폭을 가지고, T/R 모듈을 구동시키기에 적합하도록 각 대역별 송수신기 최종 송신 출력은 20 dBm 이상이다. 수신 대역폭은 필요 요구 기능에 따라 모드 선택이 가능하며, 수신 이득은 대역별 C 대역 52 dB, X 대역 50 dB, Ku 대역 60 dB 정도를 가지고 있으며, 잡음 지수는 대역별 H, V 편파에서 Ku 대역 V 편파 최대 4.28 dB의 성능을 보였다. 전기적 성능 시험 결과, 다중대역 송수신기는 다채널 영상레이다에서 요구되는 성능을 만족하였다.

Abstract

In this paper, we designed and fabricated the multi band Transceiver Assembly(TCA) for the Multi Channel Synthetic Aperture Radar(MCSAR) containing C-band, X-band, Ku-band and we researched to verify electrical performance of TCA. The transceiver consists of transmitters, receivers, signal selection modules for each band, and stability oscillator, frequency synthesizer, controller, power distributor. The transceiver has a receive path selection and bandwidth selection functions in accordance with the operating mode. And the transceiver can transmit and receive all three bands simultaneously, each band has a bandwidth of up to 300 MHz. Final transmission output of transceiver for each band is over 20 dBm to be suitable for driving the T/R module. Receiver bandwidth is selected according to the required function and receiver gain has approximately C-band 52 dB, X-band 50 dB, Ku-band 60 dB, the maximum noise figure of Ku-band V polarization is 4.28 dB in the whole band H, V polarization. As a result of the electrical performance test, a multi-band TCA is satisfied the property requirements of the MCSAR.

Key words: Transmitter, Receiver, Transceiver, Multi Channel, SAR

I. 서 론

일반적으로 영상레이다(Synthetic Aperture Radar: SAR)

는 항공기 또는 위성 플랫폼에 장착된 광대역 주파수 특성을 갖는 레이다를 이용하여 관심 영역에 전자파를 송신하고, 지표면으로부터 반사된 전자파를 합성하여 영상

「본 연구는 한국항공우주연구원이 수행하는 “차세대 영상레이다 탑재체 핵심기술개발” 사업의 연구결과임.
LIG넥스원 레이더 연구소(LIGNEX1 RADAR R&D Lab.)

*한국항공우주연구원 탑재체전자팀(Payload Electronics Team, Korea Aerospace Research Institute)

· Manuscript received October 21, 2016 ; Revised December 7, 2016 ; Accepted February 24, 2017. (ID No. 20161021-108)

· Corresponding Author: Jae-Min Kim (e-mail: jaemin.kim@lignex1.com)

을 획득하는 시스템이다. 이러한 영상레이더는 군사 목적의 표적 탐지뿐만 아니라, 전천후 기상환경 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 본 논문에서 제안하는 다중대역 송수신기가 적용될 다채널 영상레이더는 C, X, Ku의 3개의 대역을 이용하여 영상레이더뿐만 아니라, 지구 표면으로 전파를 쏘아 해양과 지표면에서 반사하여 되돌아오는 산란량으로 지구 표면을 관측하는 산란계, 전자 펄스를 발사하여 지표면에 반사하는 시간 또는 위상차를 측정하여 높은 정밀도로 고도를 측정하는 고도계 및 지표로부터 방사되는 에너지를 감지하여 열영상을 만드는 복사계의 기능까지 포함하는 다기능을 보유한 영상레이더의 개념으로 이러한 다채널 영상레이더(Multi-channel SAR, 이하 MCSAR)에 적용될 송수신기에서 요구되는 기능은 다음과 같다.

- 안정된 기준 신호 및 국부 신호 생성 및 제공 기능
- 송신 대역 확장 기능
- 대역별 송신 신호 발생 기능

- 고출력 증폭장치 구동을 위한 송신 신호 증폭 기능
- 운용 모드별 수신 대역폭 선택 기능
- 디지털 감쇠기를 이용한 수신 이득 제어 기능
- 수신 신호 증폭 기능
- 송수신기 채널 보정 경로 제공 기능

영상 레이더 신호를 처리하는 송수신기에서는 수신 잡음 지수가 중요한 성능이 되며, 다채널 영상레이더 개념상 각 운용별 대역폭 선택 기능 또한 중요하다.

본 논문에서는 C, X, Ku 대역의 다채널 영상레이더에 적용할 송수신기를 설계하고 제작하여 성능을 확인하였다^[1]. 논문의 II장에서는 송수신기의 설계에 대해서 기술하였고, III장에서는 송수신기의 제작 및 시험 결과를 제시하였으며, IV장에서는 결론을 내리도록 한다.

II. 다중대역 송수신기 설계

2.1 송수신기 구조 및 개발 목표 규격

본 논문에서 제안하는 다중대역 송수신기(C 대역, X

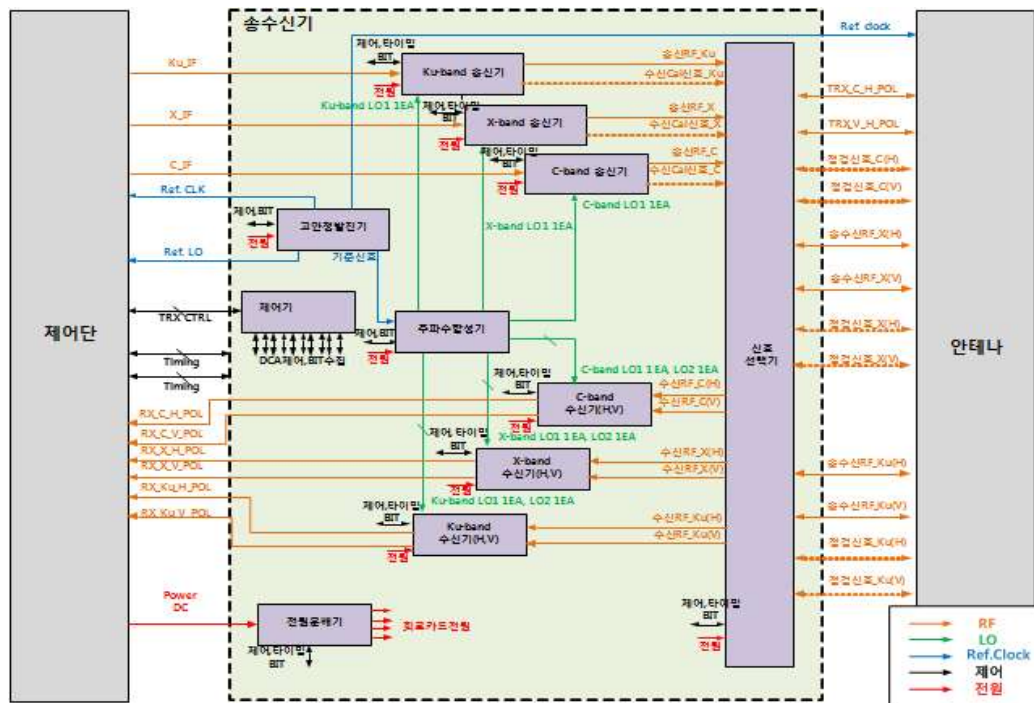


그림 1. 다채널 영상레이더 시스템 블록도
Fig. 1. Block diagram of MCSAR.

대역, Ku 대역)가 적용될 다채널 영상레이다의 구조는 위 그림 1과 같이 제어단과 송수신기, 안테나로 구성된다. 제어단에서는 시스템에 필요한 타이밍 및 제어 신호를 전달하고, 송신에 필요한 Chirp 신호를 생성하며, 수신 IF 신호를 처리한다. 안테나는 고출력 증폭장치가 배치되어 송신신호를 증폭하고 방사하는 역할 및 수신 신호에 대한 저잡음 증폭 등을 수행한다.

송수신기는 대역별 송신기, 대역별 수신기, 대역별 신호선택기, 주파수합성기, 고안정발진기, 제어기, 전원분배기 등으로 총 13개의 회로카드로 구성되며, 회로카드는 하우징에 탈·부착이 가능하다. 고안정발진기 및 주파수합성기는 시스템 기준 클럭 신호를 생성하여 다채널 영상레이다에 제공하고, 또한 송수신기에 필요한 국부 발진 신호를 생성하여 제공한다^[2].

각 대역별 송신기는 대역폭 75 MHz의 IF 신호를 입력받아 주파수 체배 회로를 통과하여 300 MHz의 신호로 변환된 후 주파수 상향 변환용 주파수 혼합기를 통과하여 각 송신기에서 C 대역, X 대역, Ku 대역 300 MHz 대역폭의 RF 신호를 출력한다. 또한, 송신 채널 보정 경로를 제공하며, 송신 채널에서의 진폭 보정 등을 위하여 디지털 감쇠기로 1 dB step 최대 9 dB 정도의 이득을 제어하는 기능을 가지고 있다.

각 대역별 수신기는 입력된 RF 에코 신호를 주파수 하향 변환하여 중심주파수 200 MHz의 IF로 변환한 후 저잡음 증폭한다. 수신기는 H와 V 2채널로 구성되어 있으며, 다채널 영상레이다에서 필요한 다양한 운용 모드에 적합한 IF 필터의 대역폭 선택 기능을 제공한다. 또한, 거리에 따라 다르게 입력되는 RF 신호의 방사 특성을 조절하기 위하여 6 비트 디지털 감쇠기를 2개 이용하여 최대 30 dB 정도의 수신 이득을 제어하는 기능을 가지고 있다.

각 대역별 신호선택기는 송신신호를 입력받아 H와 V 편파로 분리하는 기능을 제공하며, 송수신 경로와 송수신 점검 및 내부점검 경로를 제공하고 또한, 송수신 채널 간격리 기능을 제공한다.

송수신기의 개발 목표 규격을 표 1에 나타내었다. 송수신 중심 주파수는 C, X, Ku 대역으로 송신 대역폭은 각 대역별 최대 300 MHz이다. 송신기의 송신 출력은 C 대역 28 ± 1.5 dBm, X 대역 29 ± 1.5 dBm, Ku 대역 30 ± 1.5 dBm이

표 1. 송수신기 개발 목표 규격

Table 1. The specification of transceiver

항목	개발 목표 규격	
1. 송신 주파수	C / X / Ku 대역	
2. 송신 대역폭	대역별 최대 300 MHz	
3. 송신 출력	C 대역	28 ± 1.5 dBm
	X 대역	29 ± 1.5 dBm
	Ku 대역	30 ± 1.5 dBm
4. 수신 대역폭	대역별 H, V 편파 Mode 1, 2, 3 선택 기능	
5. 수신 이득	대역별 H, V 편파 40 dB 이상	
6. 잡음 지수	대역별 H, V 편파 5 dB 이하	
7. 송수신기 출력	C 대역_H : 20 dBm 이상	
	C 대역_V : 20 dBm 이상	
	X 대역_H : 21 dBm 이상	
	X 대역_V : 21 dBm 이상	
	Ku 대역_H : 21 dBm 이상	
	Ku 대역_V : 21 dBm 이상	
8. 크기	$505(W)\times 305(H)\times 345(D)\pm 2$ mm	

며, 송수신기 최종 출력은 신호선택기를 거쳐 안테나부에서 증폭되는 구동레벨에 맞추어 C 대역 H, V 편파는 20 dBm 이상, X, Ku 대역 H, V 편파는 21 dBm 이상이다. 수신 대역폭은 다채널 영상레이다의 운용 개념 및 목적에 따라 각 대역별 Mode 1, 2, 3으로 선택할 수 있어야 하며, C, Ku 대역의 경우 5, 50, 300 MHz, X 대역은 30, 150, 300 MHz의 대역폭을 선택할 수 있다. 수신 이득은 대역별 40 dB 이상이고, 수신 이득은 동적 영역 및 대역폭과 시스템 버짓에 맞추어 설계하였다. 수신 잡음지수는 각 대역별 H, V 편파 모든 채널에서 5 dB 이하이다.

이외 설계 고려사항으로 다중대역이 한 시스템 내에서 운용되기 때문에, 각 대역별로 간섭이 일어나지 않도록 차폐가 잘 이루어져야 한다. 또한, 국부신호와 넓은 대역폭을 지닌 출력 신호 사이에 간섭이 생기지 않아야 하며, 차폐가 잘 이루어져야 한다. 이에 주파수 설계가 중요하며, 송신 및 수신 신호에서 원 신호와 겹치지 않고 하모닉과 스푸리어스가 생기지 않도록 설계하였다. 그림 2는 다채널 영상레이다에서 사용하는 주파수 설계의 스푸리어스 특성 분석이다.

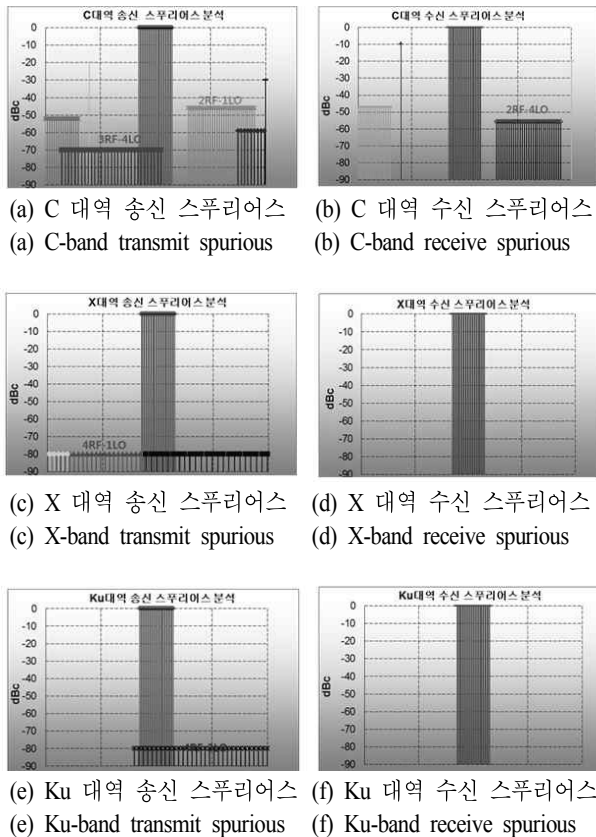


그림 2. 대역별 송신 및 수신 스푸리어스 분석

Fig. 2. Spurious analysis of transceiver for each band.

송신의 경우, 대역별 내부로 들어오는 스푸리어스가 존재하고, 특히 C 대역에서 -70 dBc 수준이지만 시스템 운용 버짓 상에서 문제가 없으며, 또한 스킵트 특성이 뛰어난 Bandpass 필터를 적용할 경우, 더욱 억제되기 때문에 영향이 없을 것으로 판단된다. 수신인 경우, 신호 내부로 들어오는 스푸리어스가 없음을 확인할 수 있다.

2.2 송수신기 상세 설계

C 대역, X 대역, Ku 대역에서 신호가 서로 대역폭 내에서 겹치지 않게 설계하였으며, 대역폭 내부로 들어오는 하모닉 및 스푸리어스의 경우, 버짓을 확인하여 성능에 문제가 없도록 설계하였다. 또한, 위상 잡음 특성 개선을 위해 PLO(Phase locked Oscillator)를 사용하여 국부신호를 설계하였다^{[3],[4]}.

송신 출력의 경우, 송신기에서 안테나로 전달될 때 대

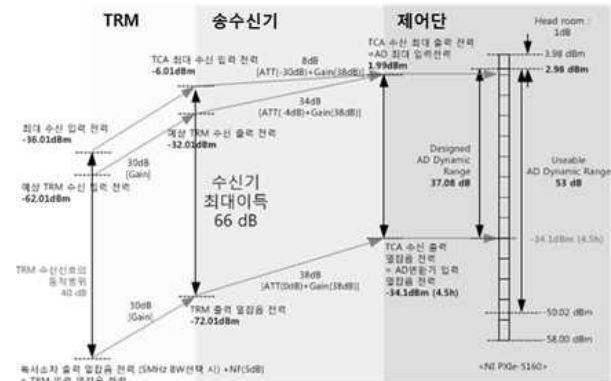


그림 3. 수신 동적 영역 설계(5 MHz 대역폭)

Fig. 3. Receive dynamic range design(5 MHz bandwidth).

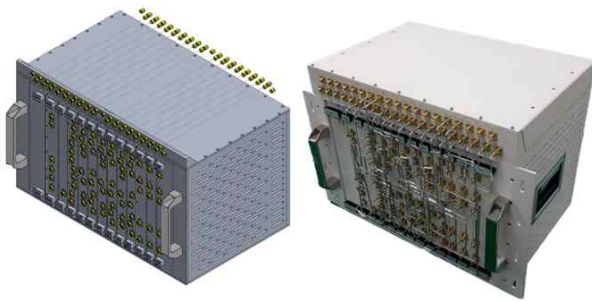
역별 손실의 차이가 존재하기 때문에 손실을 고려하였고, TRM을 구동하기 위하여 대역 내에서 평탄한 출력을 유지하여야 하므로 C 대역, X 대역, Ku 대역에서 각각 28, 29, 30 dBm 기준으로 ± 1.5 dB의 평탄도를 가지도록 설계하였다.

수신 대역폭은 운용모드에 따라 각 대역별 모드(C, Ku 대역 5/50/300 MHz, X 대역 30/150/300 MHz)를 선택이 가능해야 하므로 스위치 단과 필터 단을 배치하였고, 스위칭 속도를 고려하여 설계하였다. ADC의 동적 영역을 고려하고, 동적 영역 설정 시 각 대역에서 가장 작은 대역폭에서 이득이 가장 높게 필요하기 때문에, 각각 대역에서 가장 낮은 대역폭을 기준으로 그림 3과 같이 동적 영역을 설계하고, 수신이득을 설계하였다^[5].

Ⅲ. 다중대역 송수신기 제작 및 시험

3.1 송수신기 제작 형상

다중대역 주파수 및 수신 감도, 송신 출력 등의 설계를 기반으로 제작한 다채널 영상레이다용 송수신기의 형상은 그림 4와 같다. 송수신기의 크기는 $505(W) \times 305(H) \times 345(D) \pm 2$ [mm]이며, 각 회로카드의 두께는 회로카드 내부 및 외부의 차폐를 고려하여 설계 및 제작되었으며, skin depth 공식에 따라 재질 등을 고려하였고, 회로카드 두께를 통일하여 제작하였다^[6]. 왼쪽부터 순서대로 전원 분배기, 제어기, 주파수합성기, 고안정발진기, C 대역 수신기, C 대역 신호선택기, X 대역 수신기, X 대역 신호선



(a) 설계 형상 (a) Design figuration
(b) 제작 형상 (b) Fabrication figuration

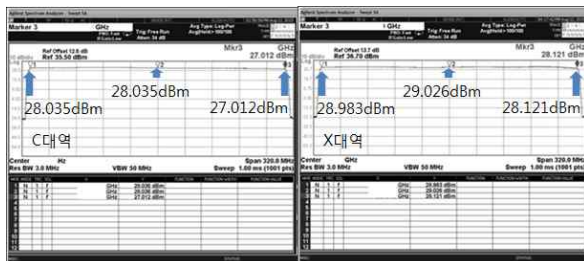
그림 4. 송수신기 형상

Fig. 4. Figuration of transceiver.

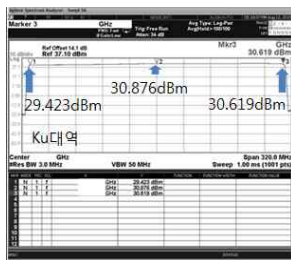
택기, Ku 대역 수신기, Ku 대역 신호선택기, C 대역 송신기, X 대역 송신기, Ku 대역 송신기로 총 13개의 회로카드로 구성되어 하우징에 탈·부착하는 형식이다.

3-2 송수신기 시험 결과

송신기 출력은 그림 5와 같이 주파수별 편차를 확인하기 위하여 가장 넓은 300 MHz 대역폭 기준으로 측정하였다.



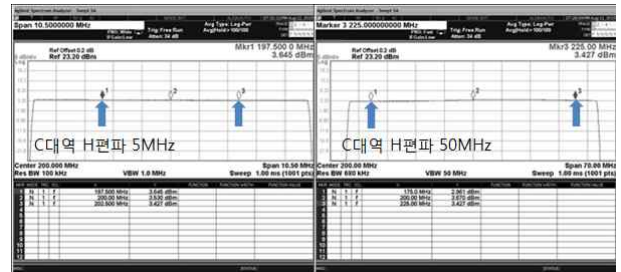
(a) C 대역 송신 출력 (a) C-band transmit output
(b) X 대역 송신 출력 (b) X-band transmit output



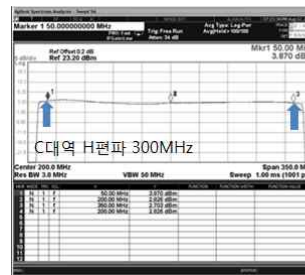
(c) Ku 대역 송신 출력 (c) Ku-band transmit output

그림 5. 송신 출력

Fig. 5. Output of transmit.



(a) 5 MHz 대역폭 (a) 5 MHz bandwidth
(b) 50 MHz 대역폭 (b) 50 MHz bandwidth



(c) 300 MHz 대역폭 (c) 300 MHz Bandwidth

그림 6. C 대역 H 편파 수신 대역폭 선택 기능

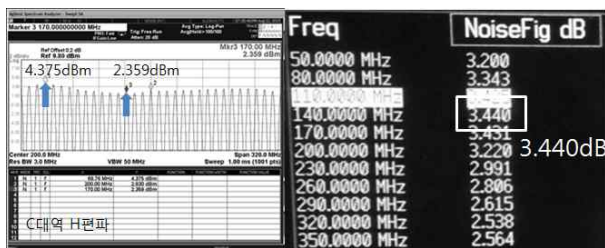
Fig. 6. Receive bandwidth selection function at C-band H pol.

고, C 대역 27.0~28.0 dBm, X 대역 28.1~29.0 dBm, Ku 대역 29.4~30.8 dBm 사이에 출력이 분포하여 ± 1.5 dB 이내로 출력이 평탄함을 알 수 있다. 이 때 송신기 출력은 신호선택기를 거쳐 시스템 버짓에 맞게 송수신기 후단에 TRM을 구동하는 구동레벨로 출력된다.

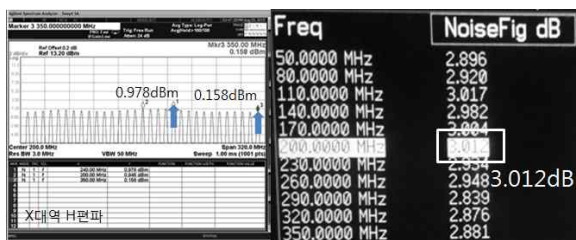
수신 대역폭은 각 대역별 운용모드에 따라 대역별로 3가지 모드로 C, Ku 대역의 경우 5, 50, 300 MHz, X 대역은 30, 150, 300 MHz의 대역폭을 선택할 수 있으며, 편파만 따로 조절할 수는 없다. C 대역, X 대역, Ku 대역 따로 가능하며, 주어진 대역폭보다 약간 큰 파형을 인가하여 스킵트 특성 또한 함께 확인하였다. 그림 6에서는 C 대역 H 편파의 결과를 나타내었고, 타 대역과 편파에서도 전기적 성능을 만족함을 확인하였다.

수신 이득은 송수신기의 수신기에서 주파수 하향변환 이후 제어단으로 전달되어 ADC 프로세스 이후 데이터가 처리되는데, 이 때 사용하는 제어단의 ADC 동적 영역을 고려하여 설정하였다^[7]. C 대역, Ku 대역의 경우, Mode별

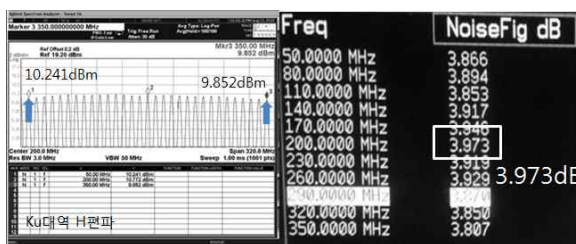
대역폭이 동일하나, X 대역의 경우 운용모드와 최소 대역폭의 크기가 다르기 때문에 버짓에 맞도록 이득이 설계되었다. 대역폭 300 MHz 기준으로 측정하여 주파수별 편차를 확인하였으며, 입력신호로 -50 dBm를 인가하여 측정된 결과이기 때문에 측정된 수치에 $+50$ dB를 한 수치가 수신이득이 된다. C 대역 H 편파 52.3~54.3 dB, V 편파 52.6~54.3 dB, X 대역 H 편파 50.1~50.9 dB, V 편파 49.2~50.9 dB Ku 대역 H 편파 59.8~60.2 dB, V 편파 60.7~61.7 dB의 이득을 가진다. 최소 이득은 40 dB 이상으로 규격에 만족하는 것을 확인할 수 있으며, 수신기 내부에 각 대역별 6비트 디지털 감쇠기를 사용하여 최대 30 dB



(a) C 대역 H 편파 수신 이득 및 잡음지수
(a) C-band H-pol receive gain and noise figure



(b) X 대역 H 편파 수신 이득 및 잡음지수
(b) X-band H-pol receive gain and noise figure



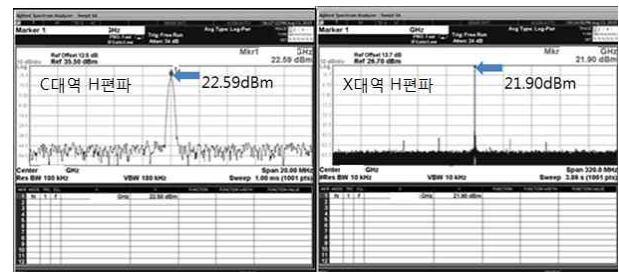
(c) Ku 대역 H 편파 수신 이득 및 잡음지수
(c) Ku-band H-pol receive gain and noise figure

그림 7. 대역별 H 편파 수신 이득 및 잡음지수
Fig. 7. C-band H pol receive gain and noise figure.

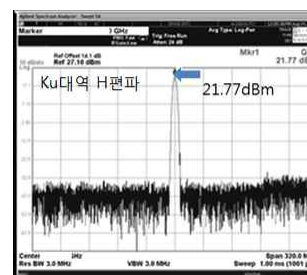
까지의 이득을 감쇠하여 조절할 수 있는 기능을 보유하고 있다. 수신 잡음지수는 C 대역 H 편파 3.44 dB, V 편파 2.79 dB, X 대역 H 편파 3.01 dB, V 편파 2.96 dB, Ku 대역 H 편파 3.97 dB, V 편파 4.27 dB에서 각각 최대 잡음지수를 가진다. 그림 7에서 대역별 H 편파의 대역내 최소 수신이득 및 최대 수신이득과 대역내 잡음지수 중 최대치를 따로 표시하였다.

신호선택기를 거쳐 최종 TRM으로 나가는 송수신기의 출력은 송수신기 후단에 위치한 TRM이 구동하기 위한 구동레벨에 맞게 설계 및 제작되었으며, 대역별 송신출력 평탄도는 송신기 출력으로 확인하였기 때문에 신호선택기 내부는 수동소자 및 스위치로 이루어져 있기 때문에 중심주파수에서 측정하였다. C 대역 H 편파 22.5 dBm, V 편파 22.4 dBm, X 대역 H 편파 21.9 dBm, V 편파 21.9 dBm, Ku 대역 H 편파 21.7 dBm, V 편파 22.1 dBm의 최종 출력을 만족하게 된다.

추가적인 송신 출력에 관한 검증을 위해서 임의 파형 발생기(Arbitrary Waveform Generator)를 이용하여 IF 신호

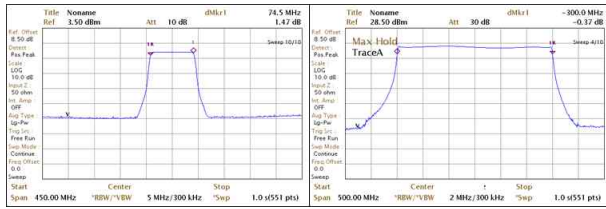


(a) C 대역 H 편파 출력
(a) C-band H-pol output
(b) X 대역 H 편파 출력
(b) X-band H-pol output

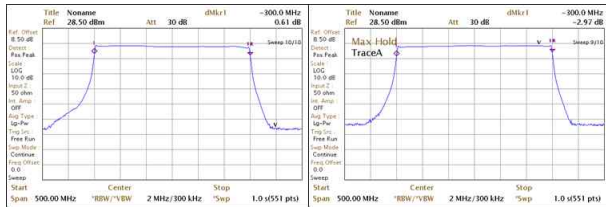


(c) Ku 대역 H 편파 출력
(c) Ku-band H-pol output

그림 8. 대역별 H 편파 송수신기 송신 출력
Fig. 8. Transceiver final transmit output for each band.



(a) IF 신호 출력 파형 (b) C 대역 송신 파형
(a) IF signal output waveform (b) C-band transmit waveform



(c) X 대역 송신 파형 (d) Ku 대역 송신 파형
(c) X-band transmit waveform (d) Ku-band transmit waveform

그림 9. 송수신기 입·출력 파형

Fig. 9. The input and output waveform of transceiver.

와 동일한 주파수와 대역폭의 Chirp 신호를 생성하여 송수신기에 인가하여 송수신기에서 대역폭 확장 및 신호 레벨을 증폭하여 송수신기에서 출력을 확인하였다. 그림 9와 같이 (a) IF 신호 출력 파형이 75 MHz 대역폭으로 생성되어 각 대역별로 대역폭이 확장되어 출력된다. 또한, 입력과 출력 파형을 비교하여 파형에서 Regrowth가 없음을 확인할 수 있으며, 이는 Phase 및 Amplitude의 Imbalance가 없거나 최소화되었다는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 다채널 영상레이다용 송수신기가 개발 가능성이 있는지에 대해 전기적 성능을 검증하기 위한 모델을 설계 및 제작하였고, 그에 대한 시험을 진행하고 검증하였다. 제작된 송수신기는 개발 목표를 충족하였다. 표 2는 제작된 송수신기의 성능에 대한 요약표이다. 각 대역별 목표치인 송신 출력, 송신 위상잡음, 수신 대역폭 선택기능, 수신 이득, 수신 잡음지수, 송수신기 출력 등을 모두 만족하였다. 이러한 결과로 미루어 보아 다중대역에서 서로 간섭이 없도록 잘 설계되어진 주파수 설계와 chirp 신호 인가 후 파형 확인 결과는 여러 대역의 송수신기를 한 조립체 내에 제작할 수 있는 충분한 능력을 제공

표 2. 다채널 영상레이다 송수신기 성능

Table 2. The performance of transceiver for MCSAR.

구분	성능		
송신 출력	C 대역	27.0 ~ 28.0 dBm	
	X 대역	28.1 ~ 29.0 dBm	
	Ku 대역	29.4 ~ 30.8 dBm	
수신 대역폭	대역별 H, V 편파 Mode 1, 2, 3 선택 기능		
수신 이득	C 대역	H	52.3 ~ 54.3 dB
		V	52.6 ~ 54.3 dB
	X 대역	H	50.1 ~ 50.9 dB
		V	49.2 ~ 50.9 dB
	Ku 대역	H	59.8 ~ 60.2 dB
		V	60.7 ~ 61.7 dB
수신 잡음 지수	C 대역	H	Max 3.44 dB
		V	Max 2.79 dB
	X 대역	H	Max 3.01 dB
		V	Max 2.96 dB
	Ku 대역	H	Max 3.97 dB
		V	Max 4.27 dB
송수신기 출력	C 대역	H	22.5 dBm
		V	22.4 dBm
	X 대역	H	21.9 dBm
		V	21.9 dBm
	Ku 대역	H	21.7 dBm
		V	22.1 dBm

할 수 있음을 보여준다. 비행모델(FM)을 설계 및 제작하기 위해서는 형상 및 무게 등 고려할 부분이 더 많다고 판단되며, 현 시점에서 충분한 전기적 성능을 만족하였기에 다양한 기능을 보유한 다채널 영상레이다 구현할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] K. McClaning, T. Vito, *Radio Receiver Design*, Noble Publishing, 2000.
- [2] 이호섭, 고동국, 유연상, 백성호, "PLL을 이용한 비콘 수신장치용 주파수합성기 설계 및 제작", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 493-496, 2009년.

- [3] 김동식, 최문석, 백진우, 김두수, 김선주, "레이다용 고성능 광대역 PLL 설계 및 측정", 한국전자파학회 종합학술발표회 논문집, 22(1), p. 119, 2012년.
- [4] 채명호, 홍성용, "광대역 주파수 합성기용 YTO 모듈 설계 및 제작", 한국전자파학회지논문지, 22(11), pp. 1280-1287, 2011년 11월.
- [5] 김태환, 최병관, 이희영, 조춘식, "ADC 특성에 따른 능동 위상 배열 레이다 수신기의 이득 설정 방법", 한국

- 국전자파학회논문지, 20(1), pp. 52-59, 2009년 1월.
- [6] H. Kogure, H. Nakano, K. Koshiji, and E. Shu, "Analysis of electromagnetic field inside equipment housing with an aperture", *IEICE Trans. Commun/ v. E80-B*, no. 11, pp. 1620-1623, 1997.
- [7] Merrill Skolnik, *Radar Handbook*, 3rd Edition, McGraw-Hill, pp. 2.92-2.94, 2008.

김 재 민



2013년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)
 2013년 1월~현재: LIG넥스원 레이다연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 송수신모듈 회로설계, 고출력 증폭장치 설계

진 형 석



2000년 8월: 광운대학교 전파공학 전공 (공학석사)
 2000년 8월~현재: LIG넥스원 레이다연구소 수석연구원
 [주 관심분야] 초고주파 능동 회로 및 송수신기 설계/ 능동 위상 배열 레이다 시스템

임 재 환



2004년 2월: 연세대학교 전기전자공학부 (공학사)
 2006년 2월: 연세대학교 전파공학과 (공학석사)
 2006년 2월~2008년 1월: 삼성전자 무선사업부 연구원
 2008년 1월~현재: LIG넥스원 레이다연구소 선임연구원

[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 레이다 송수신모듈 설계, 능동 위상 배열 시스템

이 현 철



1987년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1989년 2월~1996년 7월: 국방과학연구소 선임연구원
 1996년 9월~2001년 12월: Texas A & M University 전기공학과 (공학박사)

2002년 2월~2003년 2월: Texas A & M University 전산학과 Post-Doctorate
 2003년 4월~현재: 항공우주연구원 탑재체전자팀 책임연구원
 [주 관심분야] 영상레이다(SAR), 위성통신

박 지 응



1996년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
 1998년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년 3월~현재: LIG넥스원 레이다연구소 수석연구원
 [주 관심분야] 송수신모듈 회로설계, 능

동 위상 배열 시스템