

SAR 위성의 고주파 호환성 설계 및 검증

원영진*, 박홍원**, 문홍열***, 우성현****, 김진희*****

RF Compatibility Design & Verification for the SAR Satellite

Young-Jin Won*, Hong-Won Park**, Hong-Youl Moon***, Sung-Hyun Woo****, Jin-Hee Kim*****

Abstract

Synthetic Aperture Radar(SAR) is a powerful and well established microwave remote sensing technique which enables high resolution measurement of Earth surface independent of weather conditions and sunlight illumination. KARI has been developing the first Korea SAR satellite which is scheduled to be launched in this year. The SAR satellite mainly consists of the bus platform and SAR payload. Most of all, the RF compatible design during the design phase and the verification of the RF compatibility during the testing phase is very important procedure for the in-orbit performance guarantee because the SAR payload radiates high power through the SAR antenna. In this study, the SAR satellite design criteria and verification procedure for the RF compatibility are described. In addition, this paper describes the RF full radiation testing (RF auto-compatibility testing) for the verification of the RF performance robustness, the testing configuration, and the test results.

초 록

영상 레이더(SAR)는 날씨가 밤낮에 관계없이 전천후로 고해상도의 지구 관측을 가능하게 하는 강력하고 잘 정립된 마이크로웨이브 원격 탐사 기술이다. 한국항공우주연구원에서는 올해 발사될 예정인 우리나라 최초의 영상 레이더 위성을 개발해오고 있다. 영상 레이더 위성은 크게 위성 본체와 SAR 탑재체로 이루어진다. SAR 탑재체는 고출력의 전력을 SAR 안테나를 통하여 방사하기 때문에 설계 단계에서의 고주파 호환성 있는 설계와 시험 단계에서의 고주파 호환성 검증이 실제 궤도 상에서 성능 보장을 위해서 무엇보다 중요한 절차이다. 본 연구에서는 영상 레이더 위성의 고주파 호환성을 위한 설계 기준과 검증 절차에 대하여 기술한다. 부가적으로 본 논문은 영상 레이더 위성의 RF 성능의 강건성 검증을 위한 RF 전체 방사 시험(RF 자체 호환성 시험)과 시험 형상 그리고 시험 결과에 대하여 기술한다.

키워드 : 합성 개구면 레이더 (Synthetic Aperture Radar), 고주파 호환성 (Radio Frequency Compatibility)

접수일(2011년 9월 7일), 수정일(1차 : 2011년 10월 13일, 2차 : 2011년 10월 24일, 게재 확정일 : 2011년 11월 1일)

* 다목적실용위성5호체계팀/yjwon@kari.re.kr

** 다목적실용위성5호체계팀/hwpark@kari.re.kr

*** 다목적실용위성5호체계팀/hymun@kari.re.kr

**** 다목적실용위성5호체계팀/mach@kari.re.kr

***** 다목적실용위성5호체계팀/kimjh@kari.re.kr

1. 서 론

현재 한국항공우주연구원에서는 한국 최초의 영상 레이더를 탑재한 합성 개구면 레이더(Synthetic Aperture Radar) 위성인 SAR 위성을 개발하고 있으며 현재 비행 모델에 대한 시험을 모두 성공적으로 완료하고 발사를 준비하고 있다. SAR 탑재체는 광학 탑재체를 대체할만한 차세대 지구 관측 탑재체로서 날씨가 밤낮에 관계없이 전천후로 영상을 생성할 수 있는 장점이 있기 때문에 최근에 위성 개발의 트렌드를 주도하고 있는 탑재체이다.

차세대 SAR 위성은 태양 동기 궤도인 Dawn-Dusk 궤도를 순회하며 레이더 탑재체인 SAR를 주탑재체로 장착하며 이중 주파수 수신기인 IGOR(Integrated GPS Occultation Receiver)를 부탑재체로 장착하는 위성이다. 차세대 SAR 위성의 전체적인 형상은 그림 1과 같으며 크게 본체 모듈(Bus Module)과 탑재체 모듈(Payload Module) 그리고 SAR 안테나로 이루어진다.

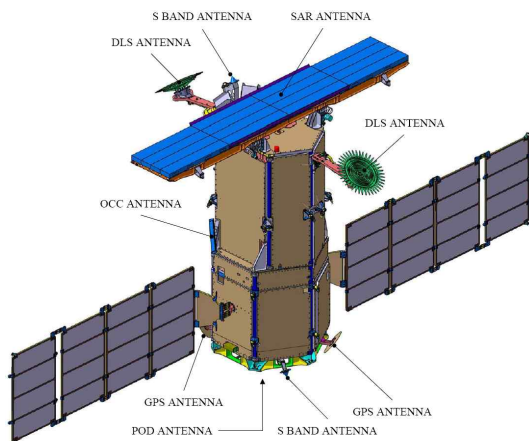


그림 1. 차세대 SAR 위성의 형상

본 논문은 SAR 위성의 Radio Frequency(RF) 호환성(Compatibility) 검증에 관한 것이다. 무엇보다도 SAR 위성의 경우 고출력의 전력을 SAR 안테나를 통하여 방사하기 때문에 설계 단계에서부터 RF적으로 호환성 있는 설계가 요구되며 시

험 단계에서는 고주파 호환성 검증이 중요하다고 하겠다. 본 연구에서는 우리나라 최초의 SAR 위성을 개발하는 동안 설계에서부터 시험 단계까지의 고주파 호환성을 위한 전체 절차에 대하여 기술하고 설계 시 고려 사항과 설계 결과, 그리고 시험 시 검증 절차와 검증 결과에 대하여 기술한다. 그리고 고주파 호환성 검증의 마지막 단계에서 수행했던 차세대 SAR 위성의 RF 성능의 건전성 검증을 위한 RF Auto-Compatibility 시험(RF Full Radiation Test)에 대하여 기술한다.

2. 본 론

2.1 SAR Satellite Overview

2.1.1 SAR Satellite RF Units

차세대 SAR 위성은 그림 1과 같은 형태의 다양한 RF 송수신을 위한 안테나를 장착하고 있으며 안테나를 통하여 신호를 송수신하기 위한 다양한 기능의 RF 유닛을 장착하고 있다. S-band 대역의 원격 명령 수신 및 텔레메트리 전송을 위한 S-band 트랜스폰더(S-band 안테나), L1-band GPS 수신기 어셈블리(GPS 안테나), L1-band와 L2-band 동시 수신 가능한 IGOR GPS 수신기(POD & OCC 안테나), X-band 레이더 신호를 송수신하기 위한 X-band SAR 탑재체(SAR 안테나), 그리고 수신된 마이크로웨이브 영상 Raw 데이터를 지상으로 전송하기 위한 X-band DLS(Down Link Subsystem) 송신기(DLS 안테나) 등의 RF 장비들이 위성에 장착되어 있으며 이를 간략하게 정리하면 표1과 같다.

송신기와 수신기를 구별하여 정리하면 차세대 SAR 위성은 S-band transmitter과 X-band DLS transmitter, 그리고 X-band SAR transmitter의 3개의 송신기로 구성되며 S-band receiver와 GPS assembly receiver, IGOR receiver, 그리고 X-band SAR receiver의 4개의 수신기로 구성된다. 또한 RF 출력 레벨은 고출력을 방사하는 SAR 탑재체의 특성으로 인해 4 Watts를 방사하는 S-band 트랜스폰더에서 최대 1800 Watts를

방사하는 X-band SAR 트랜스미터까지 다양한 주파수 스펙트럼과 다양한 출력 레벨을 방사하는 특성을 가지게 된다.

표 1. RF Units Summary for SAR Satellite

Unit	Frequency	Bandwidth	Antenna Gain(max)
S-band Transmitter	2256MHz	±1.5625 MHz	4 dBi
S-band Receiver	2077.4 MHz	±20KHz	4 dBi
GPS Receiver	1575.42 MHz	±2MHz	2.5 dBi
IGOR Receiver	1227.6 MHz	±2MHz	4 dBi
	1575.42 MHz	±2MHz	
DLS Transmitter	8130 MHz	±88MHz	7 dBi
	8260 MHz	±88MHz	
SAR Transmitter	9660 MHz	±120MHz	45.9 dBi
SAR Receiver	9660 MHz	±120MHz	45.9 dBi

2.2 RF Compatibility Verification Overview

본 절에서는 차세대 SAR 위성의 고주파 호환성 검증을 위한 전반적인 절차 및 고려 사항에 대하여 기술한다.

2.2.1 고주파 호환성 검증 절차

차세대 SAR 위성의 경우 앞에서 언급했듯이 3개의 송신기와 4개의 수신기로 구성되며 주파수 대역은 1227.6MHz(L-band)에서부터 9660MHz(X-band) 대역까지 스펙트럼이 분포하게 되며 방사 RF 출력 레벨은 4 Watts에서 1800 Watts 까지 출력하게 된다. 따라서 다양한 주파수 대역과 높은 출력 레벨의 영향을 설계 단계에서 분석하고 시험 단계에서 검증하기 위하여 요구되는 고주파 호환성 검증 절차를 정리하면 그림 2와 같다.

고주파 호환성 검증 절차는 설계 단계에서부터 시험 단계에 이르기까지 해석과 유닛 레벨,

서브시스템 레벨, 위성 전체 시스템 레벨의 시험을 통하여 수행된다.

설계 단계에서는 우선적으로 RF 유닛들의 전기/전자 성능 측면에서의 전기/전자 설계 결과와 기계적인 배치에 의한 기계 설계 결과를 바탕으로 RF 유닛 송신기의 수신기에의 영향성과 상호 변조(Intermodulation) 영향을 보기 위한 고주파 간섭 해석(RF Interference Analysis)을 초기 단계에 수행하여 상세 설계에 문제가 있는 부분의 개선점들을 반영하여야 한다. 그리고 SAR 탑재체를 탑재한 위성의 경우 SAR 안테나 주변 구조물에 의한 SAR 안테나 성능의 영향성을 분석하기 위한 RF 성능 분석(RF Performance Analysis)도 수행하게 된다.

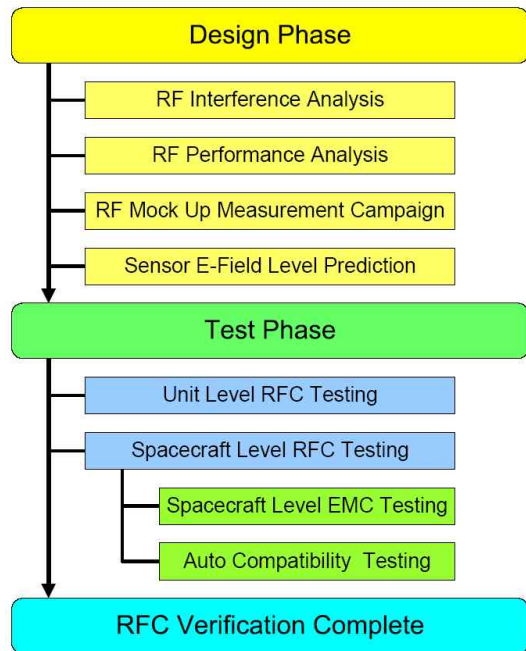


그림 2. RF Compatibility Verification Procedure

그리고 최종 비행 모델 제작 전에 위성체를 모사하기 위한 mock-up을 제작하여 E-field 등을 측정하여 안테나 coupling factor 등을 측정하여 실제 예측된 값들과 비교하여 기계적인 부분의 개선점이나 전기적인 차폐(Electrical Shielding)

보강 등을 분석 결과를 통하여 상세 설계에 반영하도록 한다. 또한 SAR 위성의 경우 설계 단계에서는 고출력 SAR 탑재체 송신기로 인한 SAR 안테나 주변의 Star Tracker와 같은 민감한 자세 제어 센서 유닛들의 위치에 따른 영향성을 분석하여 영향성을 최소화할 수 있도록 기계적인 설계 변경이나 위치 조정 또는 전기적인 차폐의 방법을 사용하여 민감한 센서 유닛들에 영향을 주지 않도록 설계에 반영하여야 한다.

시험 단계에서는 우선적으로 개별 유닛들이 EMC 요구 사항을 만족하는 지 유닛 레벨 EMC 시험을 통하여 검증하게 되고 필요 시 서브 시스템 레벨의 EMC 시험을 통하여 고주파 호환성 검증을 수행하게 된다. 다음으로 시스템 레벨에서의 EMC 시험을 수행하게 되고 최종적으로 SAR 탑재체를 전체 방사(Full Radiation)를 통하여 모든 유닛들의 운영을 통한 RF 방사 환경에 동작하도록 한 후에 위성 전체의 영향을 점검하는 RF Auto-Compatibility 시험을 최종적으로 수행하게 된다.

2.2.2 고주파 호환성 검증 고려 사항

차세대 SAR 위성의 고주파 호환성 검증을 위한 요구 사항은 EMC 규격에 정의된다. 요구 규격에 따라서 설계가 이루어지며 설계 단계에서 고주파 호환성을 위한 설계 및 검증은 다음과 같은 개념으로 수행된다.

우선적으로 RF Interference Analysis (RFIA) 프로그램이나 툴에 의해 Onboard 송신기나 수신기 그리고 안테나 특성 등의 전기적인 특성을 모델링하고 위성 구조체에서의 상호 interaction을 분석하여 RF interference 분석을 수행하게 된다. 송신기(Tx)에서 수신기(Rx)로의 RF coupling factor 계산을 위해서는 주로 Geometric Theory of Diffraction(GTD) 분석 방법이 사용되며 RF reflection surface나 diffraction edge에 따른 위성의 외부 형상의 영향을 고려하게 된다. 송신기의 interference 특성은 bandwidth modulated sideband effects나 harmonic interference 그리고 out of band noise 특성 등으로 정의되며 Passive Intermodulation Product(PIM)에 의한

주파수 특성이나 이득 특성이 수신기의 PIM 마진을 결정하게 된다. 일반적으로 RF interference analysis program을 사용하여 송신기의 수신기에의 영향이나 수신기의 PIM interference 값이 정해지게 되며 이에 따른 interference 분석 마진 값이 정해지게 된다.

차세대 SAR 위성의 경우 그림 1에서 확인할 수 있듯이 SAR 안테나 측면에 S-band 안테나와 Star Tracker가 위치함으로써 SAR 안테나의 패턴에 영향을 주어 SAR 영상 performance에 영향이 없는지 분석하는 RF performance analysis를 수행하게 된다. 또한 차세대 SAR 위성의 경우 S-band와 X-band의 RF source가 있으며 그 주변에 star tracker와 같은 민감한 센서 유닛이 장착되게 되므로 sensor E-field level prediction 분석을 수행하여 센서 유닛의 영향성 등이 설계 단계에서 분석되어야 한다. 또한 설계 단계에서는 실제적인 고주파 호환성 검증 절차가 추가되는 데 full scale RF mock-up measurement campaign에서 안테나 coupling factor나 앞에서 예측된 E-field level 등의 측정을 통하여 예측된 값에 대한 검증을 수행하게 된다.

시험 단계에서는 EMC 규격의 요구 사항을 만족하는 지 유닛 레벨의 EMC 시험을 수행하게 되며 SAR 탑재체와 같이 여러 유닛이 결합되는 경우 서브 시스템 레벨의 EMC 시험을 수행하여 고주파 호환성 검증을 수행하게 된다. 최종적으로 시스템 레벨의 고주파 호환성 검증을 수행하게 되는 데 크게 시스템 레벨 EMC 시험과 SAR 탑재체의 전체 방사 조건에서 위성 전체의 영향성을 검증하는 RF Auto-Compatibility 시험을 수행하게 된다.

2.3 RF Compatibility Verification Results

본 절에서는 차세대 SAR 위성의 설계 단계에서부터 시험 단계까지의 각 단계 별 고주파 호환성 설계 및 검증 결과에 대하여 정리한다.

2.3.1 RF Interference Analysis

RF interference 분석은 각각의 안테나를 통하

여 방사되는 RF source의 특성(기본 주파수 성분과 harmonics 성분) 및 RF 송신 시스템에서 생성된 radiated spurious emission 특성을 입력으로 사용하여 그 영향으로 인한 수신기의 성능 저하(Noise level increasing, Loss of synchronization, BER increasing 등)를 야기하며 interference level이 클 경우 그 영향 받은 수신기의 하드웨어의 물리적인 파괴까지도 초래할 수 있기 때문에 설계 단계에서 그 영향성을 분석하게 된다.

차세대 SAR 위성의 RF 유닛은 GPS(L1-band) 수신기, IGOR(L1 & L2-band) 수신기, S-band 송/수신기, X-band DLS 송신기 및 X-band SAR 송/수신기로 분류할 수 있으며 RF interference 신호원(RF source)과 영향을 받을 수 있는 수신기(RF target)는 다음과 같이 정의할 수 있다.

- RF Source: S-band Tx, X-band DLS Tx, X-band SAR Tx
- RF Target: GPS Rx, IGOR Rx, S-band Rx, X-band SAR Rx

이중에서 영향을 받을 수 있는 유닛에서 X-band SAR Rx는 다른 대역에서의 X-band SAR Rx로의 영향이 미미하므로 배제하기로 한다.

따라서 RF 유닛 간의 상호 간섭 경우의 수는 총 10가지가 존재하며 X-band DLS 및 X-band SAR 송신기에서 GPS 수신기로의 간섭 영향은 물리적인 blockage 등으로 인하여 배제하였다. 따라서 표 2의 8가지 경우에 대한 interference 영향만 고려하여 분석하였다.

표 2의 8가지 경우에 대한 RF interference 분석이 수행되었으며 각각 영향을 받는 수신기의 in-band 및 out-band 특성에 대하여 마진을 확인하였다. 전자는 RF interference 방사원의 harmonics 또는 spurious 신호 성분 중 영향 받은 수신기의 in-band 대역의 주파수 성분의 신호가 noise level에 영향을 주는 정도를 noise temperature로 계산하였으며 후자는 RF interference 방사원 자신의 주파수 성분(fundamental frequency)이 영향 받을 수 있는

수신기의 out-band rejection 특성과의 영향성을 검토하였다.

표 2. Case Study for RF Interference Analysis

Frequency Band	Case
S-band to L-band (GPS)	S-band Tx to L-band Rx at S-band Tx band
	S-band Tx to L-band Rx at L-band Rx band
S-band to S-band (Cross Coupling)	S-band Tx to S-band Rx at S-band Tx band
	S-band Tx to S-band Rx at S-band Rx band
X-band DLS to S-band	X-band Tx to S-band Rx at X-band Tx band
	X-band Tx to S-band Rx at S-band Rx band
X-band SAR to S-band	X-band Tx to S-band Rx at X-band SAR Tx band
	X-band Tx to S-band Rx at S-band Rx band

RF interference 분석 결과 X-band 대역의 SAR와 DLS에 의한 out-band에서의 spurious immunity 마진이 부족하여 영향이 존재할 것으로 분석되었으며 따라서 이를 보완하기 위하여 S-band RFDU(RF Distribution Unit)의 안테나 입력단 쪽에 그림 3의 형상과 특성을 갖는 LPF(Low Pass Filter)를 추가하여 X-band 신호를 제거하는 RF interference 경감 방법을 적용하였다.

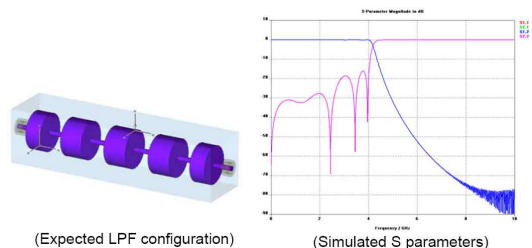


그림 3. RF Interference Mitigation Method for S-band

2.3.2 RF Performance Analysis

RF performance 분석은 차세대 SAR 위성의 경우 그림 4에서와 같이 SAR 안테나 주변에 S-band 안테나 및 Star Tracker, LRR(Laser Retro Reflector)이 구조적으로 가깝게 위치하므로 구조적인 영향으로 SAR 안테나의 방사 패턴에 영향을 주어 SAR performance에 영향을 주는 지 분석하는 과정이다.

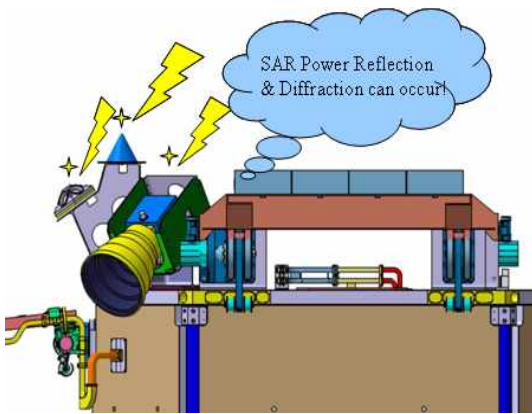


그림 4. RF Performance Analysis Motivation

SAR 안테나 interference 분석을 TAS-I(Thales Alenia Space-Italia)사에서 UTD(Uniform geometrical Theory of Diffraction) 해석 방법을 사용하는 툴을 사용하여 해석하였으며 그림 5는 전체 안테나의 patch radiator를 SAR 안테나 전체에 배치한 모습이며 이를 이용하여 생성한 SAR 안테나 패턴은 그림 6과 같다. Full SAR array 안테나 패턴의 main lobe 결과는 그림 7과 같으며 그림 7에서 확인할 수 있듯이 SAR 안테나 주변 구조물들이 SAR 안테나 패턴에 왜곡을 거의 일으키지 않으며 따라서 SAR performance에 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

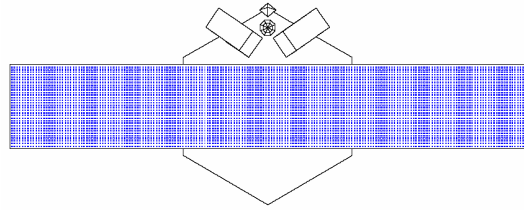


그림 5. Simulation Layout of the SAR Antenna

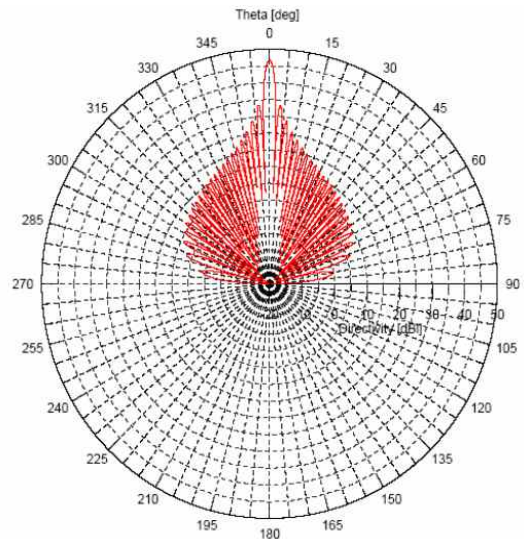


그림 6. Full SAR Array Radiation Pattern

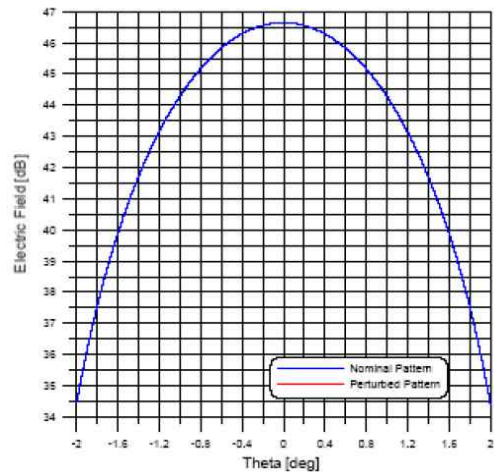


그림 7. SAR Antenna Main-Lobe Radiation Pattern

2.3.3 RF Mock-Up Measurement Campaign

RF mock-up measurement campaign은 실제 위성의 FM 모델 제작 전에 수행되었으며 실제 위성의 크기와 동일한 RF mock-up을 제작하여 실제 안테나가 장착되는 지점에 실제 FM 안테나와 유사한 특성을 갖는 안테나를 설계 및 장착하여 안테나와 안테나 간의 coupling factor 및 E-field 등을 측정하여 예측된 결과와 비교를 수행하여 문제가 없는 지 점검하는 절차이다.

그림 8은 실제 제작된 mock-up을 가지고 anechoic chamber에서 측정을 수행하는 형상이다.

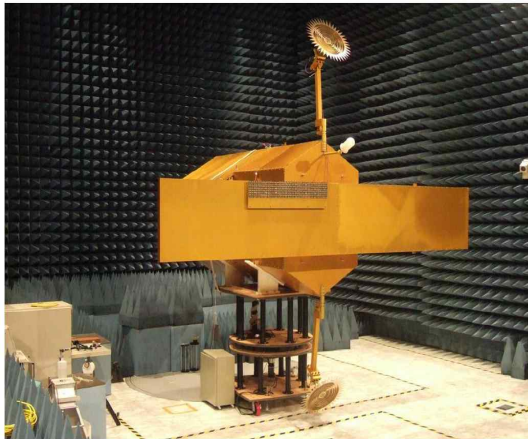


그림 8. Test Configuration of RF Mock-up Campaign

RF mock-up을 이용하여 S-band 안테나의 이득 측정 및 주요한 주파수 대역의 E-field 측정 및 Star Tracker 위치에서의 E-field 측정을 수행하였으며 측정 결과는 그림 9와 같다. RF mock-up을 이용한 시험은 안테나의 특성과 위성 비행 모델 형상이 완벽히 동일하지는 않기 때문에 어느 정도의 레벨을 예측하여 참고하는 정도의 수준으로 시험을 진행하게 된다.

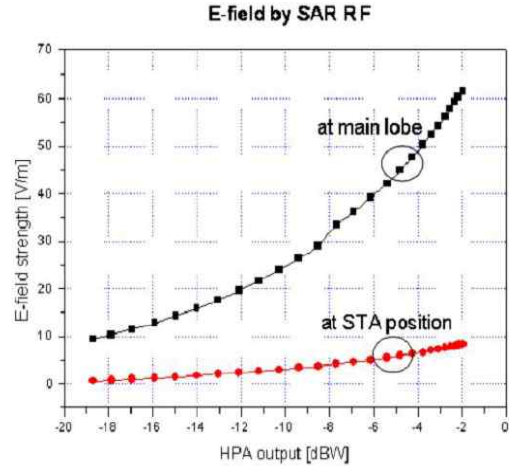


그림 9. E-Field Measurement Result of SAR Antenna and STA Position

2.3.4 Sensor E-Field Level Prediction

Sensor E-field measurement prediction이란 자 세 제어계의 민감한 센서 유닛들이 RF source에 의해 영향이 없는 지 사전에 예측하는 과정으로 차세대 SAR 위성의 경우 Star Tracker assembly의 E-field 요구 사항이 100 V/m로서 Star Tracker 주변의 가장 큰 전력 송신원인 SAR 안테나에 의한 영향에 대한 분석 및 예측이 수행되었다. 또한 TAS-I사에서는 SAR 탑재체 방사에 따른 S-band 대역에서의 영향을 알아보기 위하여 실제 SAR 안테나 주변에서의 전계를 측정하였다.

그림 10은 차세대 SAR 위성과 동일한 타입의 안테나를 simulation tool을 사용하여 예측하는 것으로 1/3 Tile에 대한 E-field를 예측하였을 때 peak 값으로 약 79.55 V/m 정도로 예측되었다. 통계적인 방법에 의하여 이를 전체 full array에 대하여 확장하여 예측하면 약 100 V/m가 넘을 것으로 예측되었다.

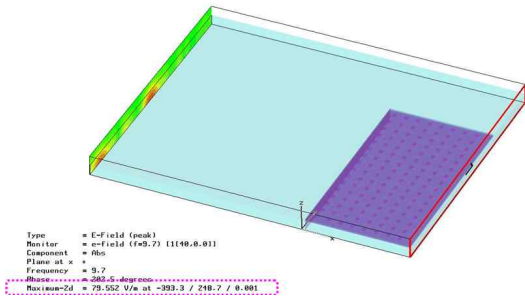


그림 10. E-Field Level Prediction Simulation of SAR Antenna

따라서 Simulation 결과에 따라 Star Tracker에 대한 전기장 요구 사항 초과에 대한 설계 변경이 필요하다고 판단되어 Star Tracker Assembly의 기계적인 shield 보강을 통하여 이를 해결하였다. 그림 11과 같이 기존의 hole이 있던 구조에서 hole을 기구적으로 완전히 차폐한 구조로 전기적인 차폐 구조 보강을 기계 설계에 반영 및 적용하였다.

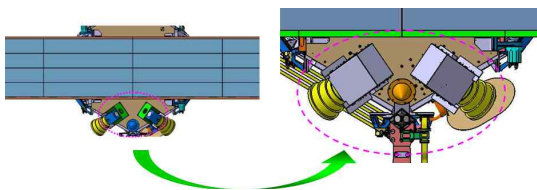


그림 11. STA Mechanical Design Change

부가적으로 탑재체를 개발한 TAS-I 사에서는 SAR 안테나 방사 시 SAR 안테나 주변에서의 S-band 대역에서의 noise level과 전계 강도를 측정하였으며 시험 형상은 그림 12와 같으며 시험 결과는 그림 13과 같다.

시험 결과 S-band 대역에서 noise level은 큰 영향이 없음을 확인하였으나 전체 SAR 안테나 레벨이 아닌 타일 레벨의 시험이어서 정확한 결과는 아닌 것으로 판단되며 TAS-I사의 분석 결과 SAR 안테나 패널 레벨의 경우도 유사할 것으로 예측되었다.



그림 12. Test Setup Configuration of TT&C Antenna

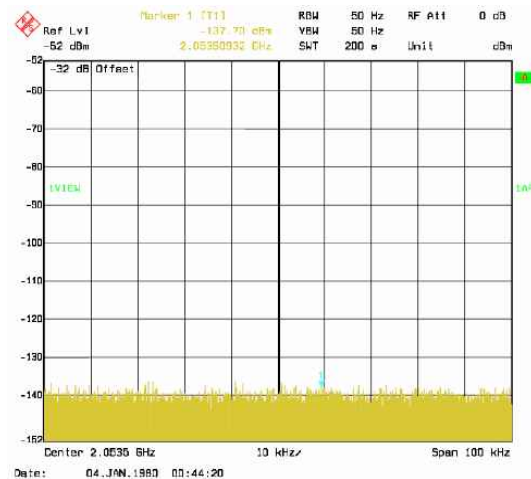


그림 13. S-band Noise Floor Measurement Result

2.3.5 Spacecraft Level EMC Test

Spacecraft level EMC 시험의 목적은 SAR 탑재체가 고출력의 전력을 소모하는 실제 레이더 운용 모드에서 위성 본체와 SAR 탑재체 간의 전력 인터페이스의 자체 호환성(Self Compatibility)을 시험하고 SAR 안테나의 방사 시에 민감한 수신기 주파수 대역(Notch Band)에서 불요 전자파 성분(Spurious Component)이 없는지 측정하는 것이며 또한 실제 궤도 운영 조건에서 방사되는 전계(Radiated Emission Electric Field)의 크기를

표 3. Spacecraft Level EMC Test Matrix

Test ID	Test Description
FM EMC-001	RF Launch Compatibility - RE Test in Launch Mode - RS Test in Launch Mode
FM EMC-002	Radiated Emission Electric Field Test - Ambient Test - RE Test in Normal Mode - RE Test in SAR Payload Operation Mode
FM EMC-003	EMI Safety Margin Test on Power Bundles - Ambient Test - CE Test in Normal Mode - CE Test in SAR Payload Operation Mode - Spurious Measurement in Rx Notch Band under SAR Radiation - CS Test (if over limited in CE Test)

측정하여 요구 사항을 만족하는지 검증하는 절차이다. Spacecraft level EMC 시험의 test matrix는 표 3과 같다.

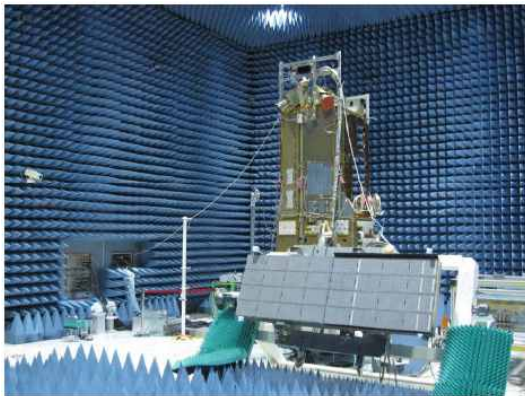


그림 14. Test Configuration of Spacecraft Level EMC Testing

시스템 레벨 EMC 시험의 형상은 그림 14와

같으며 SAR 안테나의 2개 패널 중 한 개의 패널만 장착하여 SAR 탑재체 운영을 통하여 시험을 수행하였다.

시험 결과 시스템 수준의 요구 사항을 초과하는 사항은 없었으며 다만 그림 15와 같이 L2-band에서 규격을 초과하는 것으로 측정되었다. 그러나 실제 IGOR receiver의 notch band에서는 규격을 만족하는 것으로 확인되었으므로 RF Auto-Compatibility 시험에서 최종 RE 특성을 검증하는 것으로 결정되었다.

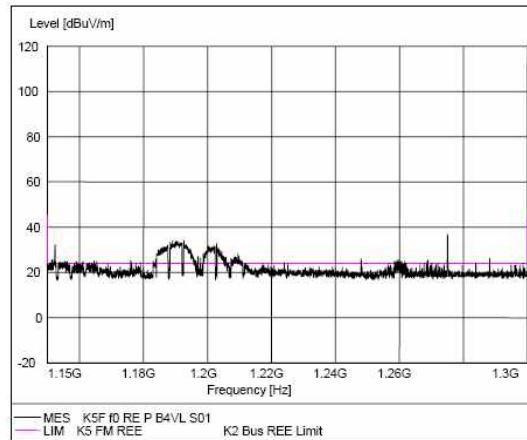


그림 15. Test Result of RE-E-field Noise

2.3.6 Spacecraft Auto-Compatibility Test

Spacecraft level Auto-Compatibility 시험은 고주파 호환성 설계 및 검증 단계의 최종 단계로서 시험 목적은 위성 시스템의 최대 운영 조건에서 위성의 성능의 영향성을 보기 위한 시험이다. SAR 위성의 경우 SAR 탑재체 운영 시 최대 운영 조건이므로 SAR 영상 모드 운영 시 서브 시스템이나 개별 유닛의 성능에의 영향이 없는 지 운영 요구 사항(Operation Requirement)을 만족하는 지 본 시험을 통하여 검증하게 된다. 또한 추가적으로 EMC 시험에서 연장하여 모든 RF 송수신 장비가 동작하는 조건에서 전기장의 세기를 측정하여 EMC safety margin이 확보되는 지를 검증하는 목적도 있다.

시험 조건은 RF 간섭이 가장 민감하도록 실제 영상 획득 모드에서 운영하는 모든 유닛들을 커서 정상 동작하도록 하여 최대의 RF 간섭 영향에 노출되도록 하여 시험을 수행하게 된다.

Auto-Compatibility 시험의 test matrix는 표 4와 같으며 시험 형상은 그림 16과 같다.

표 4. Spacecraft Level RF Auto-Compatibility Test Matrix

Test ID	Test Description
FM RFC-001	RFC Reference #1 - Bus Normal Mode (TT&C Tx ON) - Payload Rx Mode (DLS Store)
FM RFC-002	RFC Reference #2 - Bus Normal Mode (TT&C Tx ON) - Payload Rx Mode (DLS TXA ON)
FM RFC-003	RFC Reference #3 - Bus Normal Mode (TT&C Tx OFF) - Payload Rx Mode (DLS Store)
FM RFC-004	RFC Test #1 - Bus Normal Mode (TT&C Tx ON) - Payload ST/HR Imaging Mode [HH Polarization] (DLS Downlink)
FM RFC-005	RFC Test #2 - Bus Normal Mode (TT&C Tx ON) - Payload ST/HR Imaging Mode [VV Polarization] (DLS Downlink)
Measurement	- E-Field Strength Measurement - RF Spurious Measurement

Reference 시험은 SAR 탑재체가 방사하지 않을 경우 reference level을 참조하여 방사 시 레벨과 비교하기 위하여 수행하였다. 실제 RF Auto-Compatibility 시험은 SAR 탑재체의 영상 획득 모드 중 Standard와 High Resolution Mode에서 각각 수행하였으며 E-field 및 RF spurious level을 각각 측정하였다. 또한 Spacecraft level EMC 시험 동안 재 측정하기로 하였던 특정 주파수 band에서의 RF emission

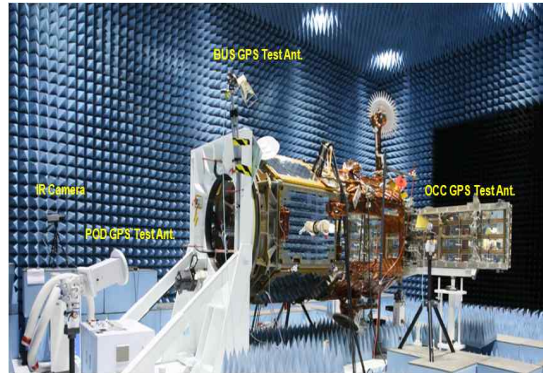


그림 16. Test Configuration of RF Auto-Compatibility Test

level 측정도 부가적으로 수행하였다.

최종 시험 형상은 그림 16과 같으며 RF 시험 환경이 실제 궤도 환경과 동일한 환경을 모사하기 위하여 개방된 공간(open space)과 동일하게 만들고 위성에서 방사된 고출력의 전파의 반사 성분을 최소화하기 위하여 전파흡수체를 설치한 anechoic chamber에서 시험을 수행하였으며 시험 시 SAR 안테나에서 방사하는 RF 출력 레벨이 크기 때문에 일반적인 전파 흡수체 외에도 전면에 high power density 특성을 갖는 고출력의 전파를 흡수하기 위한 RF high power absorber wall을 설치하여 시험을 수행하였다. 또한 추가적으로 SAR 안테나를 전개하고 지지하기 위한 MPT(Multi Purpose Trolley), DCS(Deflection Compensation System), PIT(Panel Integration Trolley), SHO(SAR Antenna Horizontal Off-Loading System) 등의 여러 기계 지상 장비를 설계하고 제작하여 시험에 사용하였다.

추가적으로 사용한 장비로는 고출력의 SAR 탑재체 방사 시 전력 방사로 인한 high power absorber의 과열 방지를 위한 공랭식 냉각 장치를 구축하였으며 high power absorber의 온도를 모니터링하기 위한 적외선 카메라도 설치하였다.

그림 17은 Auto-Compatibility 시험 시 적외선 카메라로 촬영한 결과를 보여주고 있으며 ambient 온도 대비 약 3도 정도의 온도가 상승하였으며 예상했던 것보다는 온도가 많이 상승하

지 않음을 확인하였다.

RF Auto-Compatibility 시험 결과 실제 궤도와 동일한 조건에서 SAR 탑재체를 영상 획득 모드로 운영했을 때 위성체에서 관련 텔레메트리를 실시간으로 분석하였으며 SAR full radiation 시에 위성체에 아무 영향이 없음을 본 시험을 통하여 확인하였다. 또한 EMC 시험에서 재검증이 요구되었던 SAR 탑재체 운영 시 L2-band RF spurious level 역시 그림 18과 같이 문제가 없음을 최종적으로 확인하였고 성공적으로 시험을 마무리 하였다.

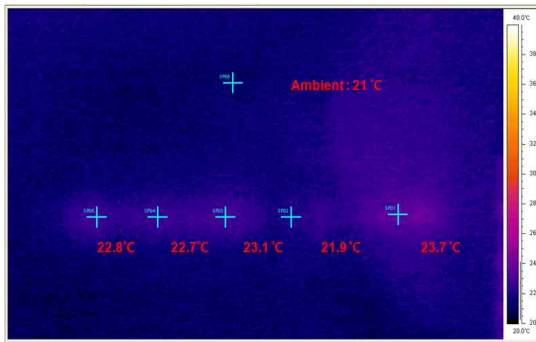


그림 17. IR Camera Picture during RF Auto-Compatibility Test

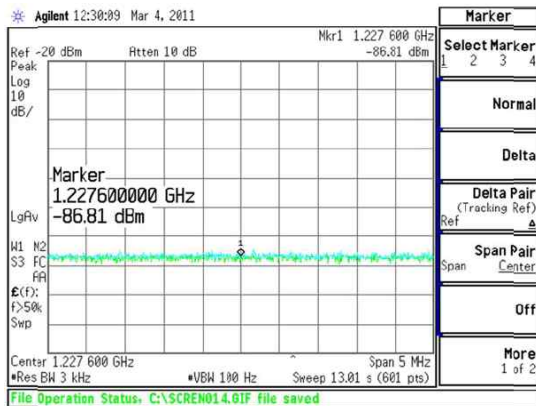


그림 18. Spurious Level @ L2-band during RF Auto-Compatibility Test

3. 결 론

본 논문은 차세대 SAR 위성의 호환성 검증 절차에 대하여 정리한 다음 차세대 SAR 위성 고주파 호환성 검증을 위하여 설계 단계에서의 고려 사항과 해석 결과 그리고 시험 단계에서 수행한 시험 형상과 시험 결과 등에 대하여 정리하였다. 무엇보다도 다양한 RF 유닛을 탑재하며 전파를 이용하여 영상을 획득하고 생성하는 SAR 위성의 특성으로 인하여 고주파 호환성 검증 절차는 잘 정립될 필요가 있으며 고주파 호환성을 고려한 설계와 검증은 중요하다고 하겠다.

차세대 SAR 위성은 설계 단계에서 여러 분석과 예측을 통하여 문제가 있을 것으로 분석된 부분은 설계 변경을 통하여 비행 모델 제작에 반영하였으며 실제 제작된 비행 모델을 여러 시험을 통한 검증 방법으로 고주파 호환성 검증을 성공적으로 수행하였으며 완료하였다.

이상으로 정리한 본 논문의 결과가 차기 SAR 위성을 개발하는데 좋은 참고 자료가 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 최승운, KARI, S-band RF Link Performance for SAR Satellite, 2008
2. TAS-I Report, SAR Antenna Interference Analysis, 2007
3. TAS-I Report, SAR Panel and TT&C Antenna Radiated Test, 2007
4. 장재웅 외, “영상레이더 위성시스템 구조물의 RF 간섭특성 분석 및 검증”, 항공우주기술지, 제8권, 제1호, 2009, pp.187-196
5. 원영진 외, “차세대 저궤도 위성의 근접 구조물에 의한 SAR 탑재체 영향 분석”, 한국우주과학회 가을학술발표회, 2007
6. 원영진 외, “차세대 SAR 위성의 근접장의 SAR 안테나 전계 강도 예측”, 한국우주과학회 봄학술발표회, 2008
7. J. Larson et al., “Space Mission Analysis and

- Design", SpaceTechnology Library, 1992
8. J.A. Miller et al., "Radio Frequency Compatibility Design and Testing on the Polar Platform Spacecraft", IEEE EMC Conference, 1997
 9. KARI Report, SAR Satellite FM EMC Test Report, 2010
 10. KARI Report, SAR Satellite FM RFC Test Report, 2011