

## 技術論文

## 정지궤도 통신위성의 원격측정명령처리기 성능검증모델 전자파환경시험

구자춘\*, 최재동\*, 김중표\*, 구철희\*, 최성봉\*

## EMC Tests for CTU EQM of GEO Communication Satellite

Ja-Chun Koo\*, Jae-Dong Choi\*, Joong-Pyo Kim\*, Cheol-Hea Koo\* and Seong-Bong Choi\*

## ABSTRACT

This paper introduce electromagnetic environmental requirements, test procedures and test results for the Command Telemetry Unit(CTU), which is engineering qualification model for communication satellite in geostationary earth orbit. Also, through debugging of the CTU during the Electro Magnetic Compatibility(EMC) tests, this paper evaluates characteristics of noise generated by the CTU. It is also obtained that better EMC performance can be acquired by improving electrical power converter module of the CTU.

## 초 록

본 논문은 정지궤도 위성의 원격측정명령처리기 성능검증모델의 전자파환경 규격과 시험절차 및 시험결과를 소개한다. 또한 전자파환경시험 동안에 디버깅을 통하여 원격측정명령처리기에서 발생된 잡음 특성을 평가하였다. 원격측정명령처리기의 전자파양립성 성능은 전력변환기 모듈의 개선을 통해 향상될 수 있다.

**Key Words** : Command Telemetry Unit(원격측정명령처리기), EMC Tests(전자파환경시험), Electromagnetic Compatibility(전자파양립성), Communication Satellite(통신위성)

## 1. 서 론

전자 회로들이 소형화, 복잡화 되어 많은 회로들이 고밀도화 됨으로서 전자 장비들은 전자파 간섭(Electromagnetic Interference: EMI)에 더욱 취약하게 되었다<sup>[1]</sup>. 위성 시스템은 내부의 복잡한 구조로 인해 전자파에 의한 간섭이 쉬운 구조로 되어있다<sup>[2]</sup>. 전자 장비들은 전자파 간섭을 통해 다른 시스템에 영향을 주어서 오동작을 야기할 수도 있고 혹은 다른 시스템에 의해 자신이 오동작을 일으킬 수도 있다. 높은 신뢰성과 안정성이 필요한 위성체(spacecraft)에 있어서 전자파환경

시험은 매우 중요한 시험 항목이다. 전자 장비들은 위성체에서 통합된 후에 시행되는 시스템 수준의 전자파환경시험을 통해 최종적으로 전자파양립성(Electromagnetic Compatibility: EMC)을 판단하게 된다<sup>[3]</sup>. 이를 위해 전자 장비들은 개발 단계에서부터 전자파환경에서 성능검증을 할 수 있는 전자파환경시험을 수행하여 전자파양립성 규격을 충족시킬 수 있도록 해야 한다<sup>[3]</sup>.

원격측정명령처리기는 향후 국내 정지궤도 통신 위성에서의 활용을 위하여 설계, 제작 및 시험 기반 기술을 확보하는 것을 목적으로 연구가 진행되었다<sup>[4]</sup>. 본 논문은 정지궤도 통신위성의 원격측정명령처리기 성능검증모델(Engineering Qualification Model: EQM)의 전자파환경 규격과 시험 절차 및 결과를 소개한다. 또한 전자파환경시험 동안에 디버깅(debugging)을 통하여 원격측정명령처리기에서 발생된 잡음(noise) 특성을 평가하고, 전자파양

† 2004 년 10월 4일 접수 ~ 2005 년 2월 15일 심사완료

\* 정희원, 한국항공우주연구원

연락처, E-mail: jckoo@kari.re.kr

대전광역시 유성구 어은동 45번지

립성 성능을 향상시킬 수 있는 개선 사항을 제시하였다.

## II. 본 론

### 2.1 원격측정명령처리기 시스템 개요

원격측정명령처리기는 hot 예비(redundancy)로 동작되며, 명령수신기로부터 받은 위성체구성명령(Spacecraft Configuration Change: SCC)으로 직접 위성체 구성을 제어하는 릴레이 구동회로, 명령수신기로부터 받은 명령의 유효성을 판단하여 명령의 복호 및 검증, MIL-STD-1553B 데이터 버스를 통해 버스 명령을 탑재컴퓨터(On-Board Computer: OBC)로 전달하고 탑재컴퓨터로부터 측정 데이터를 수집 및 포맷, 그리고 수집된 측정 데이터를 RF 비콘 송신기에 전달하는 기능을 가지고 있다<sup>[4,5]</sup>. 이러한 기능들을 수행하기 위해 원격측정명령처리기는 그림 1과 같이 50 V 전압을 입력받아 내부의 사용 전원인 5 V, 3.3 V 및 -28 V로 변환하는 전력변환기(Electrical Power Converter: EPC), 상향링크(uplink)/1553B, 측정(telemetry), 명령(command) 및 기저판(backplane) 보드들로 구성되어 있다<sup>[4,5]</sup>. 원격측정명령처리기를 지상에서 기능시험을 위한 지상전기지원장비(Electrical Ground Support Equipment: EGSE)의 하드웨어는 원격측정명령처리기와 원격명령/측정 접속(interface), 위성체구성명령 확인, 원격측정 확인, 그리고 50 V 전압 생성 기능을 수행하며 소프트웨어는 지상 관제국을 묘사하는 기능을 구현하고 있다<sup>[4,5]</sup>.

원격측정명령처리기 및 지상전기지원장비에서 사용하는 주파수는 24 MHz 메인 클럭 오실레이터, 24 MHz에서 분주된 12 MHz 마이크로 컨터롤러 클럭 및 6 MHz 데이터 버스 클럭, 그리고 수십 kHz에서 400 kHz로 변화되는 DC/DC 컨

버터 스위칭 주파수를 사용하고 있다<sup>[4,5]</sup>.

### 2.2 전자파환경시험 규격 및 항목

원격측정명령처리기 성능검증모델의 설계검증에 적용된 전자파환경시험 규격은 군용규격인 MIL-STD-461<sup>[6]</sup>을 기본으로 하고 있지만 정지궤도 통신위성에 맞게 구성된 자체 규격인 CD-03-77300-001A<sup>[8]</sup>을 적용하였다. 참고문헌 [8]은 무궁화1호 위성의 전자파환경시험 규격<sup>[10]</sup>과 유사한 레벨로 작성되었으며 위성의 발사장에서 받게 되는 전자기 환경, 발사체 내에 탑재되어 캐도로 진입 시 받게 되는 발사체 송신기 및 발사장의 레이다와 같은 전파의 영향, 파이로(pyrotechnic) 소자 및 avionics 등의 위성체 내부 서브시스템이 동작 중에 발생하는 각종 전자기적 잡음의 영향을 고려하였다. 전자파환경시험 방법은 군용규격인 MIL-STD-462<sup>[7]</sup>를 기본으로 한 시험 절차서<sup>[9]</sup>에 따라 전자파 무반향실(anechoic chamber)에서 수행하였다.

표 1. 전자파환경시험 항목

시험항목	상세항목	시험대상
본딩, 접지 및 절연 저항 측정		구조 몸체
전도성방출	돌입전류 측정	전원 입력선
	차동모드 및 공통모드 전류 측정	전원 입력선
전도성감응	차동모드 연속 사인파형 전압 인가	전원 입력선
	차동모드 과도특성 전압 인가	전원 입력선
복사성방출	AC 자기장 측정	피시험체
	전기장 측정	피시험체
복사성감응	AC 자기장 인가	피시험체
	전기장 인가	피시험체

원격측정명령처리기의 전자파환경시험은 방출 잡음의 수준이 규격에서 정의된 제한 레벨을 만족하는지를 확인하는 전도성/복사성방출(Conducted Emission: CE/Radiated Emission: RE) 시험과, 전도성/복사성방출 규격에서 제한된 잡음보다 6 dB 이상의 안정성 마진(safety margin)을 갖는 전자파 에너지를 인가하여 오동작 없이 정상적으로 동작하는지를 확인하는 전도성/복사성감응(Conducted Susceptibility: CS/Radiated Susceptibility: RS) 시험으로 표 1과 같이 수행하였다<sup>[8,9]</sup>.

#### 2.2.1 전자파환경시험 상세규격

전자파환경시험은 먼저 원격측정명령처리기의 본딩(bonding) 및 접지 저항이 2.5 mΩ 이하<sup>[8,9]</sup>,

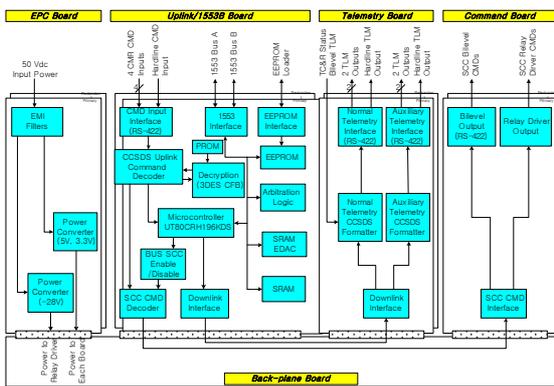


그림 1. 원격측정명령처리기 보드 구성도

절연(isolation) 저항이 1 MΩ 이상<sup>[8,9]</sup>의 요구조건을 만족하는 환경에서 원격측정명령처리가 실제 동작하는 상태로 수행되었다.

전도성방출 시험은 원격측정명령처리가 on 될 때 전원 입력선에 대해 시간 영역에서 돌입전류(inrush current)를 측정하고, 원격측정명령처리가 정상적인 상태로 동작하는 동안에 전원 입력선에서 발생하는 차동모드(Differential Mode: DM)와 공통모드(Common Mode: CM)의 전류 잡음을 주파수 영역에서 측정한다. 그림 2는 돌입전류 규격이다<sup>[8,9]</sup>. 그림 3은 30 Hz에서 50 MHz 주파수 영역에서의 차동모드와 공통모드로 구별하여 적용되는 전도성방출 전류 잡음에 대한 규격이다<sup>[8,9]</sup>.

전도성감응 시험은 원격측정명령처리가 정상적인 상태로 동작하는 동안에 전원 입력선에 대해 6 dB 이상의 안정성 마진을 갖는 연속 사인파형 전압과 과도특성 전압을 인가하여 원격측정명령처리가 정상적인 기능을 수행하는지를 감시한다. 그림 4는 30 Hz에서 50 MHz 주파수 영역에서의 차동모드 연속 사인파형 전압 인가 규격이다<sup>[8,9]</sup>. 그림 5는 50 V 입력 전원에  $\pm 50$  V 과도특성 전압을 초당 10개의 펄스로 인가하는 규격이다<sup>[8,9]</sup>. 이 시험동안 원격측정명령처리의 입력 전원선의 전원 리턴과 구조물체사이의 공통모드 측정전압은 차동모드 인가전압의 50 % 이하가 되어야 한다<sup>[8,9]</sup>.

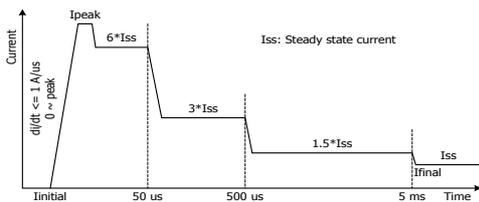


그림 2. 돌입전류 규격

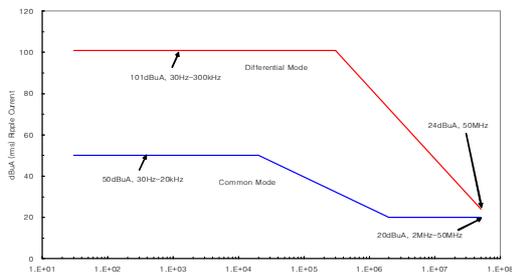


그림 3. 차동모드와 공통모드 전도성 방출 규격

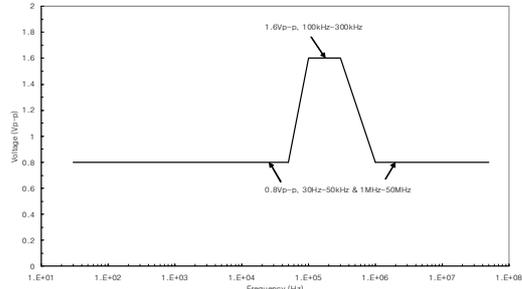


그림 4. 차동모드 연속 사인파형 전압 전도성감응 규격

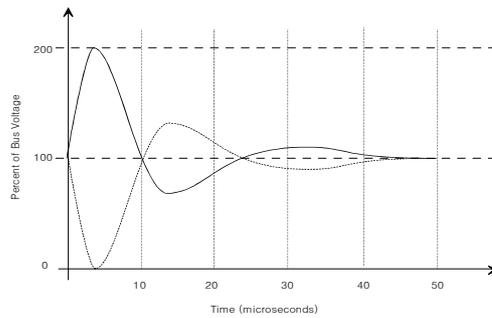


그림 5. 과도특성 전압 전도성감응 규격

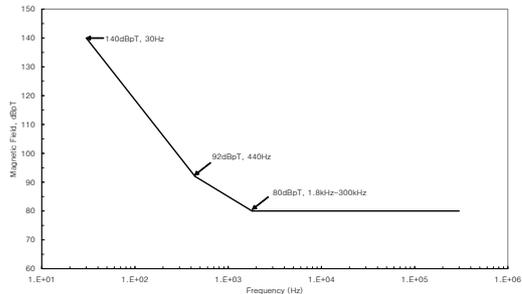


그림 6. 자기장에 대한 복사성방출 규격

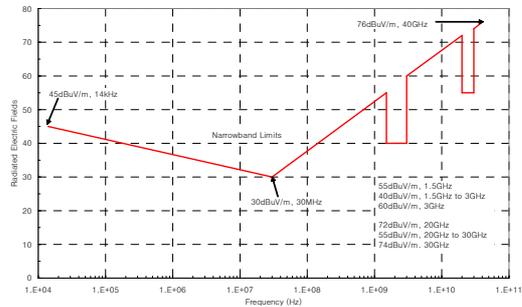


그림 7. 전기장에 대한 복사성방출 규격

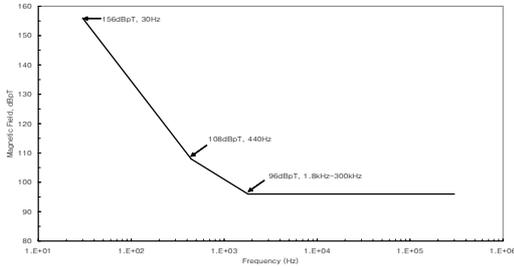


그림 8. 자기장에 대한 복사성감응 인가규격

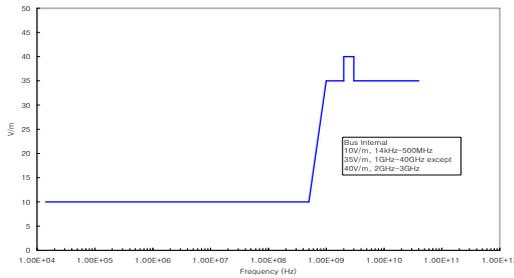


그림 9. 전기장에 대한 복사성감응 인가규격

복사성방출 시험은 측정 주파수 대역에 적합한 안테나를 사용하여 정상 상태의 전자 장비가 방출하는 전자파를 측정한다. 그림 6은 30 Hz에서 300 kHz 주파수 영역에서의 자기장에 대한 복사성방출 규격이다<sup>[8,9]</sup>. 이 시험은 원격측정명령처리기로부터 7 cm 떨어진 지점에 루프(loop) 안테나를 설치하여 시험 장치가 방출하는 자기장 세기를 x, y, z축 방향에서 측정한다. 그림 7은 14 kHz에서 40 GHz 주파수 영역에서의 전기장에 대한 복사성방출 규격이다<sup>[8,9]</sup>. 30 MHz 이상의 주파수 영역에서는 수직 및 수평편파 특성을 모두 만족해야 한다<sup>[8,9]</sup>. 이 규격은 통신위성의 특성상 Ka 밴드 대역인 40 GHz까지 레벨이 규정되어 있다. 이 시험은 원격측정명령처리기로부터 1 m 떨어진 지점에 안테나를 설치하여 원격측정명령처리기가 정상 동작 상태일 때와 전원이 인가되지 않고 지상전기지원장비만 동작하는 백그라운드(background) 상태일 때로 구분지어 수행한다. 이는 시험 장치를 구동하기 위한 지상전기 지원장비의 영향을 배제한 순수 원격측정명령처리기에 의해 방출되는 전기장 세기를 측정한다.

복사성감응 시험은 원격측정명령처리기가 정상적인 상태로 동작하는 동안에 6 dB 이상의 안정성 마진을 갖는 의도된 전자파를 인가하여 정상적인 기능을 수행하는지를 감시한다. 그림 8은 30 Hz에서 300 kHz 주파수 영역에서의 자기장

에 대한 복사성감응 규격이다<sup>[8,9]</sup>. 이 규격은 16 dB의 안정성 마진을 요구한다<sup>[8,9]</sup>. 이 시험은 원격측정명령처리기로부터 7 cm 떨어진 지점에서 자기장을 원격측정명령처리기의 x, y, z축 방향으로 인가한다. 그림 9는 14 kHz에서 40 GHz 주파수 영역에서의 전기장에 대한 복사성감응 규격이다<sup>[8,9]</sup>. 30 MHz 이상의 주파수 영역에서는 수직 및 수평편파 특성을 모두 만족해야 한다<sup>[8,9]</sup>. 원격측정명령처리기는 위성체 구조 내부에 위치하므로 통신 탑재체(payload)의 방출 에너지가 고려되지 않는다<sup>[8]</sup>. 이 시험은 원격측정명령처리기로부터 1 m 떨어진 지점에서 고 전력 증폭기를 사용하여 안테나를 통해 전기장을 인가한다.

### 2.3 전도성방출 시험

#### 2.3.1 전원 입력선에 돌입전류 측정

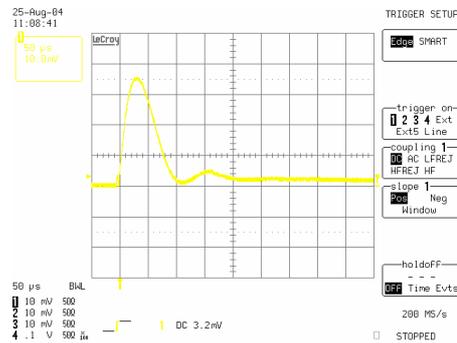


그림 10. 돌입전류 측정결과

그림 10은 원격측정명령처리기가 on될 때 시간영역에서 50 V 전원 입력선에서 발생하는 돌입전류로 약 100 μs 동안 3.4 A(1.0 A/div) 피크, 피크까지의 전류 변화는 0.2 A/μs로 측정되었으며, 200 μs에서 정상상태의 전류(약 0.2 A)에 도달하여 규격을 만족하였다.

#### 2.3.2 차동모드 및 공통모드 전류측정

그림 11은 주파수영역에서 차동모드 및 공통모드 전도성방출 전류측정 시험구성이다. 전원 입력선의 차동모드 측정은 +(pos)선에 흐르는 전류 잡음을 측정하고 공통모드 측정은 + 및 -(ret)선에 흐르는 전류를 동시에 측정한다. 이 그림에서 EUT(Equipment Under Test: EUT)는 피시험체인 원격측정명령처리기를 나타낸다. 그림 12는 차동모드 전도성방출 시험 결과이며, 그림 13은 공통모드 전도성방출 시험 결과로 주파수 영역에서 입력 전원선에 대해 측정된 전류 잡음 레벨을 보여준다. 그림 12와 13에서는 지상전기지원장비만 동작하는 백그라운드 잡음 측정결과와 원격측

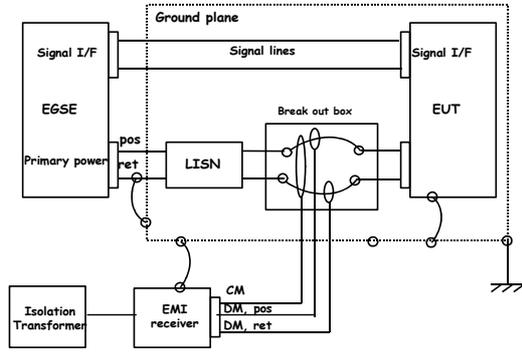


그림 11. 차동모드 및 공통모드 전도성방출 측정 시험구성

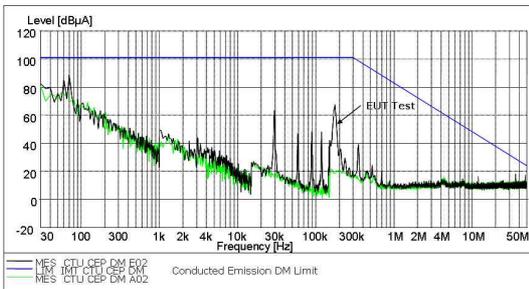


그림 12. 차동모드 전도성방출 측정결과

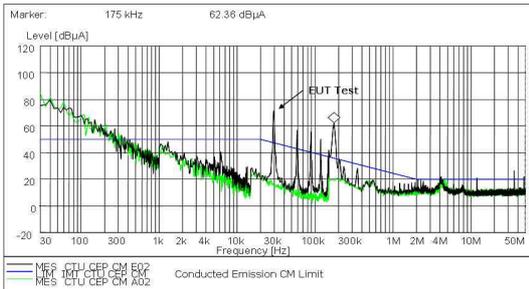


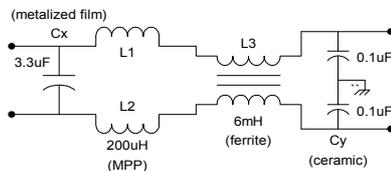
그림 13. 공통모드 전도성방출 측정결과

정명령처리기가 지상전기지원장비와 함께 정상 동작할 때의 잡음을 측정된 결과를 함께 나타내었다. 이 그림으로 지상전기지원장비의 영향을 배제한 원격측정명령처리기에 의해 방출되는 전도성방출 잡음을 알 수 있다.

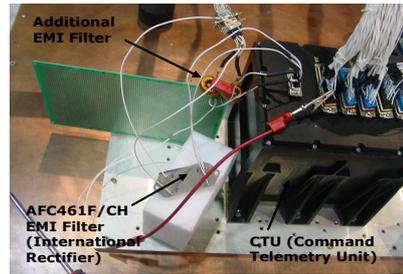
그림 13의 공통모드 전도성방출 측정결과는 규격 제한 레벨을 초과하였다. 30 kHz에서 200 kHz 주파수 영역에서의 전도성방출 잡음은 원격측정명령처리기의 전력변환기 DC/DC 컨버터의 스위칭 주파수 및 고조파(harmonic) 성분들로 기인하며 차동모드와 공통모드에서 거의 동일한 레벨을 보였다. 1 kHz 이하 주파수 영역에서의 잡

음은 측정 RF 전류 프로브(probe)의 임피던스 전달함수로 인해 발생하는 현상으로 원격측정명령처리기에서 발생하는 전도성방출 잡음과는 무관하며 백그라운드 잡음 레벨과 동일하였다.

전자파환경시험 동안 디버깅을 통하여 그림 14와 같이 원격측정명령처리기의 입력 전원 라인에 별도의 전자파 필터를 설치하여 공통모드 전도성방출 시험을 수행하였다. 그림 (a)는 원격측정명령처리기 주(primary) 부분에 설치한 전자파 필터 회로도이며 그림 (b)는 설치 셋업이다. (a)의 Cx 필름(film) 캐패시터는 입력 전원선 사이에서 차동모드 전류를 션트(shunt) 시키고, 차동모드 쇼크(choke) 코일 L1 및 L2는 차동모드 전류를 억제시키고, 공통모드 쇼크 코일 L3는 공통모드 전류를 억제시키고, Cy 세라믹(ceramic) 캐패시터들은 공통모드 전류를 접지에 션트시킨다. Hot 예비로 동작하는 원격측정명령처리기의 주 부



(a) 전자파 필터 회로도



(b) 설치 셋업

그림 14. 전자파 필터 설치

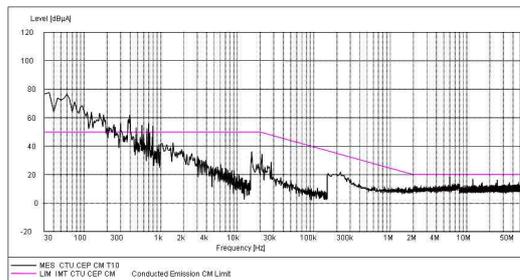


그림 15. 전자파 필터 설치 후 공통모드 전도성방출 측정결과

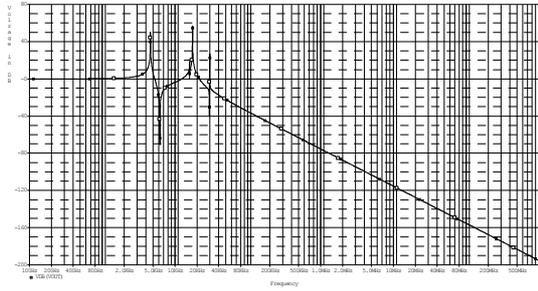


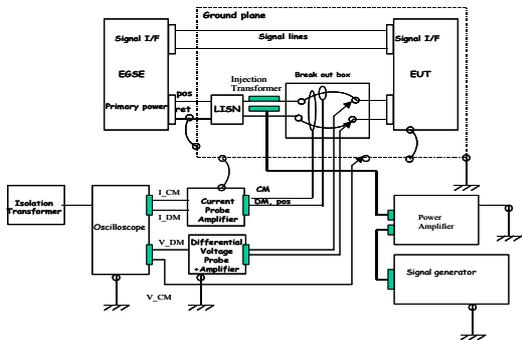
그림 16. 전자파 필터의 주파수특성 해석결과

분에만 (a)의 전자파 필터를 설치후 시험하였을 때 예비 부분의 전도성 잡음이 복사성 잡음으로 변환된 후 다시 주 부분의 전도성 잡음으로 발생하였다. 그래서 (b)와 같이 원격측정명령처리기의 예비 부분에 IR(International Rectifier)사의 AFC461F/CH 전자파 필터를 추가로 설치 후 시험하였을 때 공통모드 전도성방출 결과는 그림 15와 같았다. 전자파 필터 설치로 DC/DC 컨버터의 스위칭 주파수 및 고조파 성분들의 잡음이 제거되었을 뿐만 아니라 6 MHz, 12 MHz 및 24 MHz 클럭 주파수들의 잡음도 세기가 감소되어 규격을 만족하였다. 그림 16은 그림 14 (a)의 전자파 필터 회로에 대한 주파수 특성 해석결과이다. 약 30 kHz 이상의 주파수 영역에서 -40 dB/decade로 원격측정명령처리기의 DC/DC 컨버터에서 발생하는 공통모드 전도성 잡음을 감쇄할 수 있다.

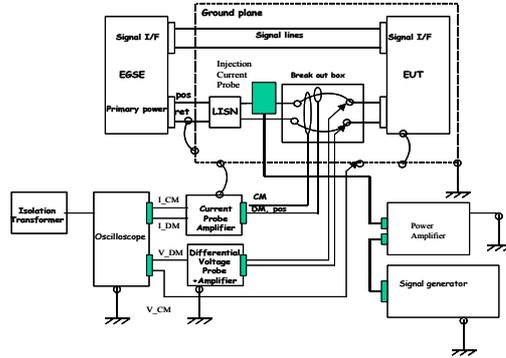
## 2.4 전도성잡음 시험

### 2.4.1 연속 사인파형 전압 인가

그림 17은 주파수영역에서 차동모드 연속 사인파형 전압을 원격측정명령처리기의 전원 입력선에 인가하는 시험구성이다. 그림 (a)와 같이 10 kHz 이하의 주파수 영역에서는 변압기(transformer)를 사용하고 그림 (b)와 같이 10



(a) 주파수 <math>< 10 \text{ kHz}</math>



(b) 주파수 <math>> 10 \text{ kHz}</math>

그림 17. 연속 사인파형 전압인가 시험구성

kHz 이상의 주파수 영역에서는 전류 프로브를 사용하여 잡음을 인가한다. 원격측정명령처리기가 정상적인 상태로 동작하는 동안에 전원 입력선에 대해 그림 4의 규격과 같이 주파수 영역에 따라 0.8 Vp-p 및 최대 1.6 Vp-p 차동모드 연속 사인파형 전압을 인가하였다. 이 시험에서 원격측정명령처리기는 오동작 없이 규격을 만족하였다.

### 2.4.2 과도특성 전압 인가

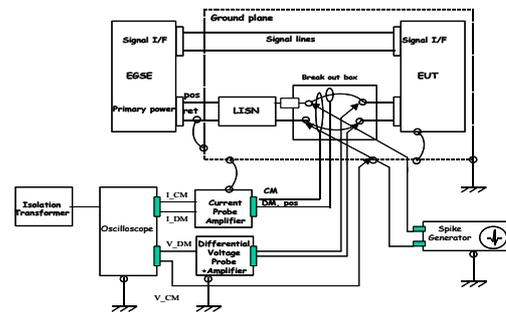


그림 18. 과도특성 전압인가 시험구성

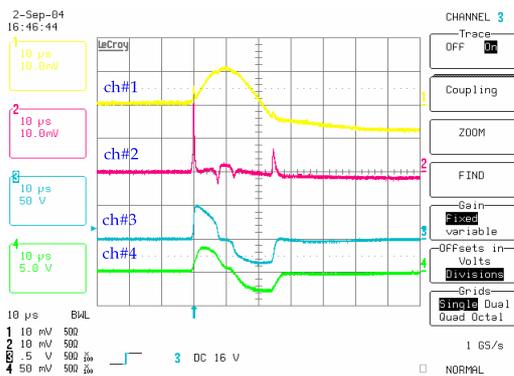


그림 19. 과도특성 전압 전도성잡음 시험 결과

그림 18은 차동모드 과도특성 전압을 원격측정명령처리기의 전원 입력선에 인가하는 시험구성이다. Spike 발생기를 사용하여 원격측정명령처리기의 50 V 전원 입력선에 그림 5의 규격과 같이 +/-50 V 과도특성 전압을 초당 10개의 펄스로 인가하며 원격측정명령처리기가 정상적인 기능을 수행하는지를 시험한다. 이때 입력 전원선에 인가되는 차동모드 전압/전류 뿐만 아니라 전원 리턴과 구조물체사이의 공통모드 전압/전류를 측정한다. 그림 19는 그림 14와 같이 진도성방출 시험에서 사용한 전원 입력선에 전자과필터를 설치 후의 과도특성 전압 감응시험 결과로 차동모드 전압(ch#3)을 +50 V 극성으로 10 Hz로 인가하였을 때 공통모드 전압(ch#4)은 3.5 V, 차동모드 전류는 0.55 A(ch#1, 0.5A/div) 및 공통모드 전류는 0.2 A(ch#2, 0.1A/div)로 측정되었다. 이 시험동안 공통모드 측정전압은 차동모드 인가전압의 50 % 이하가 되었고 원격측정명령처리기는 오동작 없이 규격을 만족하였다.

## 2.5 복사성방출 시험

### 2.5.1 AC 자기장 측정

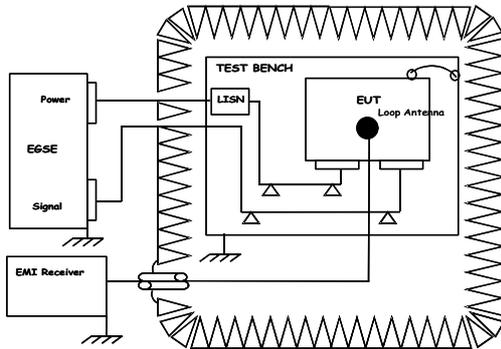


그림 20. AC 자기장 측정 시험구성

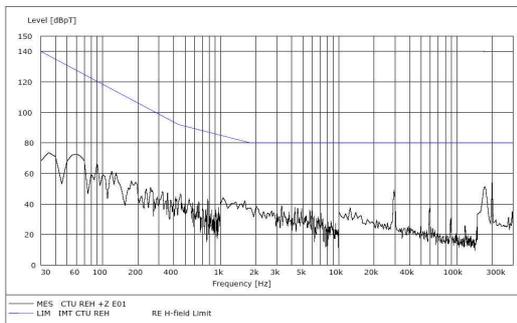


그림 21. +z축 자기장에 대한 복사성방출 시험 결과

그림 20은 주파수영역에서 AC 자기장 복사성방출 측정 시험구성이다. 원격명령처리기로부터 7 cm 떨어진 지점에 루프 안테나를 설치하여 정상 상태로 동작하는 원격명령처리기가 방출하는 자기장 세기를 x, y, z축 방향에서 측정한다. 그림 21은 +z축 자기장에 대한 복사성방출 시험 결과로 규격을 만족하였다. +x축 및 +y축 자기장에 대한 복사성방출 측정 결과는 나타내지 않았으나 +z축에서 측정한 결과보다 약간 낮았다.

### 2.5.2 전기장 측정

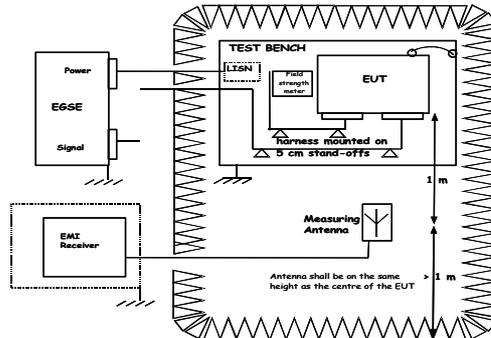


그림 22. 전기장 측정 시험구성

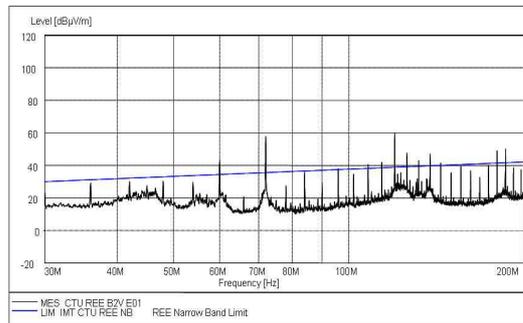


그림 23. 전기장에 대한 복사성방출 시험결과

그림 22는 주파수영역에서 전기장 복사성방출 측정 시험구성이다. 원격명령처리기로부터 1 m 떨어진 지점에 측정 주파수 대역에 적합한 안테나(rod, biconical, double ridged horn, standard horn antennas)들을 사용하여 정상 상태로 동작하는 원격명령처리기가 방출하는 전기장 세기를 40 GHz까지 측정한다. 지상전기지원장비만 동작하는 백그라운드 잡음이 규격에서 정의된 제한 레벨보다 6 dB 이하의 조건을 만족하는 상태에서 시험을 수행하였다. 이는 지상전기지원장비의 영향을 배제한 원격측정명령처리기에 의한 복사성방출 잡음을 측정하기 위함이다. 원격명령처리

기는 30 MHz에서 200 MHz 주파수 영역을 제외한 14 kHz에서 40 GHz 주파수 영역에서의 전기장에 대한 복사성방출 규격을 만족하였다. 또한 200 MHz 이상의 주파수 영역에서는 수직 및 수평편파 특성을 모두 만족하였다.

그림 23은 30 MHz에서 200 MHz 주파수 영역에서의 전기장 복사성방출 측정결과로 원격측정명령처리기 및 지상전기지원장비에서 사용하는 클럭 주파수들의 고조파 성분들로 인해 규격 제한 레벨을 초과하였다. 이들 잡음들은 주로 24 MHz 메인 클럭 오실레이터에서 분주된 6 MHz 데이터 버스 클럭 주파수의 고조파였다. 전자파 환경시험 동안 디버깅을 통하여 입력 전원 라인에 그림 14와 동일한 전자파 필터를 설치한 후 그림 24와 같이 인터페이스 케이블에 페라이트 링 코어(ferrite ring core)를 삽입하고 시험을 수행하였을 때 그림 25와 같이 잡음 원이 되는 클럭 주파수들의 고조파 성분들이 모두 제거됨을 확인하였다.

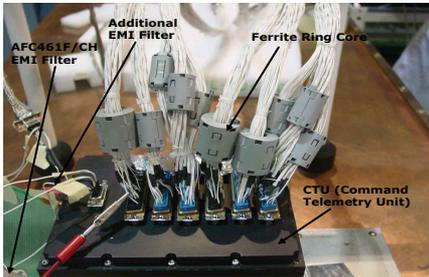


그림 24. 케이블에 페라이트 링 코어 삽입

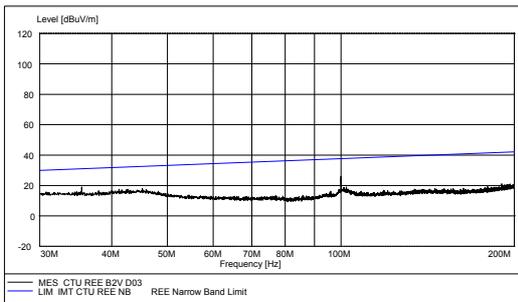


그림 25. 페라이트 링 코어 삽입 후 전기장에 대한 복사성방출 시험 결과

## 2.6 복사성감응 시험

### 2.6.1 AC 자기장 인가

그림 26은 주파수영역에서 AC 자기장 복사성 인가 측정 시험구성이다. 원격측정명령처리기로

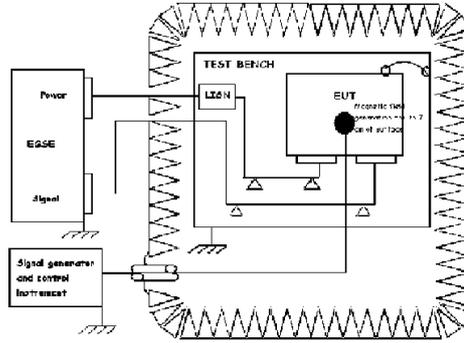


그림 26. 전기장 인가 시험구성

부터 7 cm 떨어진 지점에서 신호 생성기를 사용하여 그림 8과 같은 규격으로 자기장을 원격측정명령처리기의 x, y, z축 방향으로 인가하며 원격측정명령처리기가 정상적인 기능을 수행하는지를 시험한다. 자기장에 대한 복사성감응 시험에서 원격측정명령처리기는 x, y, z축 방향에서 오동작 없이 규격을 만족하였다.

### 2.6.2 전기장 인가

그림 27은 주파수영역에서 전기장 복사성인가 측정 시험구성이다. 원격명령처리기로부터 1 m 떨어진 지점에 측정 주파수 대역에 적합한 안테나를 사용하여 그림 9와 같은 규격으로 전기장을 40 GHz까지 인가한다. 전기장에 대한 복사성감응 시험에서 원격측정명령처리기는 오동작 없이 규격을 만족하였다.

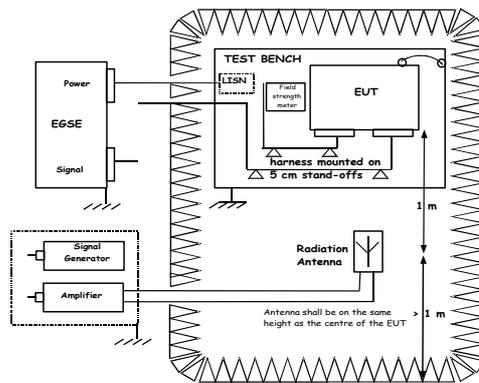


그림 27. 전기장 인가 시험구성

## 2.7 전자파환경시험 결과 분석

원격측정명령처리기에 대한 전자파환경시험 결과 전력변환기 DC/DC 컨버터의 스위칭 주파수 및 고조파 성분들로 기인한 30 kHz에서 200 kHz 주파수 영역에서의 공통모드 전도성방출 시

험항목과 원격측정명령처리기 및 지상전기지원장비에서 사용하는 클럭 주파수들의 고조파 성분들로 기인한 30 MHz에서 200 MHz 주파수 영역에서 전기장 복사성방출 시험항목에서 규격 제한레벨을 초과하였다. 전자과환경시험 동안에 디버깅을 통하여 원격측정명령처리기에서 발생된 잡음 특성을 평가한 결과 공통모드 전도성방출 잡음은 전력변환기의 개선을 통해 제거되어야 하고, 전기장 복사성방출에서의 데이터 버스 클럭 잡음은 근원이 되는 24 MHz 메인 클럭 오실레이터 회로에 칩 bead 등과 같은 소자를 사용하여 제거해야 한다.

그림 28은 원격측정명령처리기 전력변환기 모듈의 설계변경(안)이다. 이 그림에서 전력변환기 모듈은 알루미늄 판으로 된 덮개(cover)를 제거하고 나타내었다. 앞면에는 주 모듈이 위치하고 뒷면에는 주 모듈과 동일한 구조를 갖는 예비 모듈이 위치한다. 그림 (a)의 성능검증모델 전력변환기 모듈에서 사용한 DC/DC 컨버터(5 V, 28 V)들은 비용과 납품시간(delivery time)으로 인해 군용소자(military device) 온도 범위만을 만족하는 상업소자(commercial device)를 사용하였다. 그림 (b)는 전력변환기 모듈의 설계변경(안)으로 IR사의 M3G50 시리즈 우주용 DC/DC 컨버터(전자과 필터 내장)를 사용하면 성능검증모델 전력변환기 모듈의 구조물을 변경 없이 원격측정명령처리기 전자과환경시험에서 발생된 공통모드

전도성방출 잡음을 제거할 수 있을 것이다.

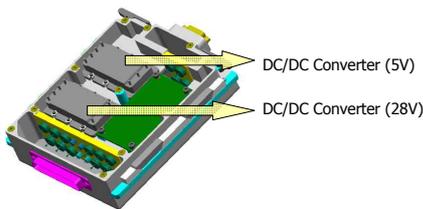
### III. 결 론

본 논문은 정지궤도 통신위성의 원격측정명령처리기 성능검증모델의 전자과환경 규격과 시험절차 및 결과를 소개하였다. 전자과환경시험 동안에 디버깅을 통하여 원격측정명령처리기에서 발생된 잡음 특성을 평가한 결과 공통모드 전도성방출 잡음은 전력변환기 DC/DC 컨버터의 스위칭 주파수 및 고조파 성분들로 기인하였으며, 전기장 복사성방출 잡음은 원격측정명령처리기 및 지상전기지원장비에서 사용하는 클럭 주파수들의 고조파 성분들로 기인하였다.

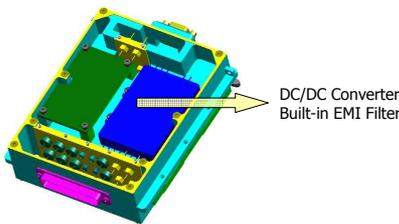
또한 본 논문은 원격측정명령처리기에서 발생된 공통모드 전도성방출 잡음을 제거할 수 있는 전력변환기 모듈의 설계변경(안)을 제시하였다. 원격측정명령처리기에서 발생된 전기장 복사성방출 잡음은 24 MHz 메인 클럭 오실레이터 출력부분의 회로 개선을 통해 제거되어야 한다.

### 참고문헌

- 1) Henry W. O., "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", 2<sup>nd</sup> Ed., Wiley, 1987, pp. 1~28.
- 2) 이호재, 우형재, 신동환, 박종홍, "EQM 통신방송위성 Ka대역 탑재체 시스템의 EMC 시험을 통한 검증", 한국항공우주학회지, 제 31권, 제 10호, 2003, pp. 97~104.
- 3) 천용식, 임성빈, 윤영수, 박종오, 이상철, 이주진, "전자과 환경시험실", 한국항공우주학회지, 제 29권, 제 3호, 2001, pp. 128~132.
- 4) 최성봉 외, "통신위성 원격측정명령처리 및 시각동기 기술개발 최종 연구개발결과보고서", 한국항공우주연구원, 정보통신부, 2004, pp. 21~24.
- 5) CD-02-47300-008, "CTU EQM Equipment Specification", KARI, 2004.
- 6) MIL-STD-461D, "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Emissions and Susceptibility", 1986.
- 7) MIL-STD-462D, "Measurements of Electromagnetic Interference Characteristics", 1993.
- 8) CD-03-77300-001A, "Electromagnetic Compatibility Requirements Specification", KARI, 2004.



(a) 성능검증모델 전력변환기 모듈



(b) 전력변환기 모듈 설계변경(안)

그림 28. 전력변환기 모듈설계변경(안)

- 9) CDD0481010, "CTU EQM EMC Test      Electromagnetic Compatibility Requirements  
Procedure", KAI, 2004.      Specification", Martin Marietta Astro Space,
- 10) 20032596, "A2100      Program      1997.