

광학위성 카메라전자부 EMC 시험결과와 시스템 양립성 검토

장재웅*, 김태윤**, 임성빈***, 문귀원****

EMC Compatibility Analysis of CEU EMC test results in the Optical Satellite System

Jae-Woong Jang*, Tae-Yoon Kim**, Seong-Bin Lim***, Guee-Won Moon****

Abstract

CEU(Camera Electronic Unit) loaded in optical satellite for a high resolution image acquisition is composited with CC(Camera Controlloer), FPA(Focal Plane Assembly) and CEUP(CEU Power supply). EMC test and analysis results are explained in this paper. CE, CS, RE and RS test is performed in the 1st EMC test, RE, RS test which is not complied and influence considerably after shielding structure is performed in the 2nd EMC test. An effect due to the noise of CEU in the GPS/S-band receiving band is analyzed based on 2nd EMC test results. Margin more than 6dB is guaranteed when CEU is shielded.

초 록

지구관측을 위한 광학위성에 탑재되는 고해상도 영상 획득을 목적으로 하는 위성카메라의 카메라전자부(CEU : Camera Electronic Unit)는 CC(Camera Controller)와 FPA(Focal Plane Assembly), CEUP(CEU Power supply)로 구성된다.

본 논문은 광학위성 탑재체(CEU)의 전자파시험결과와 이를 토대로 한 시스템 양립성 검토결과를 설명하였다. CEU의 1차 전자파시험은 전도성 방출시험, 전도성 감응시험, 복사성 방출시험 및 복사성 감응시험을 수행하였고 2차 시험에서는 1차 시험에서 규격을 만족하지 못함으로써 시스템 성능에 중요한 영향을 미칠 수 있는 복사성 방출시험과 복사성 감응시험을 차폐제를 이용하여 기구적인 차폐를 보강 후 수행하였다. 2차 시험결과에 대한 시스템 양립성은 탑재체(CEU)에서 방출하는 노이즈의 주파수성분이 위성의 GPS/S-Band 수신 성능에 미치는 영향성을 분석하였다. 기구적인 차폐보강이 전제되었을 때, 두 수신대역 내에서 발생하고 있는 노이즈 주파수성분에 대하여 6dB 이상의 마진을 갖는 것으로 나타났다.

키워드 : 광학위성(optical satellite), CEU(Camera Electronic Unit), 전자파적합성(EMC), 차폐(Shield)

접수일(2010년 1월 4일), 수정일(1차 : 2010년 4월 2일, 2차 : 2010년 6월 3일, 게재 확정일 : 2010년 10월 1일)

* 우주환경시험팀/jjw0302@kari.re.kr

** 우주환경시험팀/kity@kari.re.kr

*** 우주환경시험팀/sblim@kari.re.kr

**** 우주환경시험팀/aeromoon@kari.re.kr

1. 서 론

광학위성에 탑재되는 고해상도 영상 획득을 목적으로 하는 위성카메라의 카메라전자부(CEU : Camera Electronic Unit)는 CC(Camera Controller)와 FPA(Focal Plane Assembly), CEUP(CEU Power supply)로 구성된다.

CC는 카메라의 전체적인 운영을 총괄하며, FPA는 영상센서의 제어, CEUP는 CEU내의 전원공급 역할을 수행한다. CC는 위성본체로부터 수신한 명령에 의하여 카메라의 전체적인 운영을 담당하며, 카메라 상태를 위성본체에 알려주는 역할을 수행한다.

본 논문은 광학위성 탑재체(CEU)의 전자파시험결과와 이를 토대로 한 시스템 양립성 분석결과를 설명하였다.

CEU의 1차 전자파시험은 전도성 방출시험, 전도성 감응시험, 복사성 방출시험 및 복사성 감응시험을 수행하였고 2차 시험에서는 1차 시험에서 규격을 만족하지 못함으로써 시스템 성능에 중요한 영향을 미칠 수 있는 복사성 방출시험과 복사성 감응시험을 차폐체를 이용하여 기구적인 차폐를 보장 후 수행하였다.

2차 시험결과에 대한 시스템 양립성은 탑재체(CEU)에서 방출하는 노이즈의 주파수성분이 위성의 GPS/S-Band 수신 성능에 미치는 영향성을 분석하였다. 분석결과 기구적인 차폐보장을 전제로 두 수신대역 내에서 발생하고 있는 노이즈 주파수 성분에 대하여 6dB 이상의 마진을 갖는 것으로 나타났다.

이 외에 규격을 만족하지 못하는 인러쉬(inrush), 리플(ripple) 및 신호선의 전도성 방출시험 결과는 시스템 성능에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 자세한 내용은 본문에서 설명하였다.

본문의 2장에서는 탑재체(CEU)의 1차 전자파시험결과를 요약했고 규격을 초과하는 시험항목에 대한 시스템 영향성 분석결과를 설명하였으며, 3장에서는 1차 시험결과에서 시스템에 중요한 영향을 줄 수 있는 시험항목의 2차 시험결과와 시스템의 영향성 분석결과를 설명했다.

2. 탑재체(CEU) 1차 전자파시험

광학위성 탑재체(CEU)의 1차 전자파시험을 2009년 04월 06일 ~ 2009년 04월 09일의 일정으로 독일 Astrium 전자파시험 시설에서 수행하였다. 1차 전자파시험결과에 대한 주요 내용은 다음과 같다.

2.1 전자파 시험결과 요약

1차 시험결과는 표 1과 같으며 측정결과 규격을 만족하지 못하는 시험항목에 대하여는 시스템 양립성검토가 요구되며 이들 항목에 대한 검토결과는 이어지는 절에서 나타났다.

표1. 시험결과 정리

분류	시험항목	결과
1차 전원선 CE	시간영역 인러쉬전류	Failed
	주파수 영역 CE, 차동모드	Passed
	주파수 영역 CE, 공통 모드	Passed
	시간영역의 리플과 스파이크	Failed
	사인파인가 (30Hz ~ 50MHz), 차동모드	Passed
	트랜지언트 인가	Passed
신호선 CE	주파수 영역 CE, 공통 모드	Failed
RE	자기장	Failed
RE	전기장	Passed
RS	자기장	Passed
RS	전기장	Passed

2.2 인러쉬 전류

측정결과는 다음과 같이 요약된다.

- Ipp 지속시간 (규격) $\leq 50 \text{ us}$
- Ipp 지속시간 (측정) $< 1 \text{ msec}$
- 최대값 $< 12.4 \text{ App}$

측정결과에 대한 분석결과는 다음과 같다. 참고하고 있는 EMI 요구조건의 인러쉬 곡선은 전원이 퓨즈와 릴레이를 통하여 공급하는 경우에 해당하는 규격으로 정의되었으며, 이후 버스의 전원분배는 LCL (Latching current limiter) 회로로 설계변경 되었기 때문에 시험결과를 기존의 규격에 적용하기는 어렵다. 따라서 인러쉬 측정

결과는 버스의 LCL Trip-off 레벨과 CEUP에 내장되어 있는 Current limiter의 trip-off 레벨과 영향성 검토 후 결정해야할 것이다. 즉, 측정결과에 따라 규격의 trip-off 파라미터를 변경하여 본 측정결과가 규격에 적합함을 확인하였다.

2.3 리플

측정결과는 다음과 같이 요약된다.

- 리플 Ipp (규격) ≤ 30 mApp
- 리플 Ipp (측정) < 200 mApp @2.5 KHz

측정결과에 대한 분석결과는 다음과 같다. 2.5 kHz는 MS Band의 line rate의 주파수로 전류와 전압의 진폭이 스윙하게 되며, 실제로 전도성 감응시험에서 1Vrms (or 1Arms)의 크기로 인가하여 검증하므로 시스템에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다.

2.4 신호선(1553B)에 대한 전도성 방출시험

신호선에 대한 전도성 방출시험 측정결과는 그림1, 2, 3과 같다.

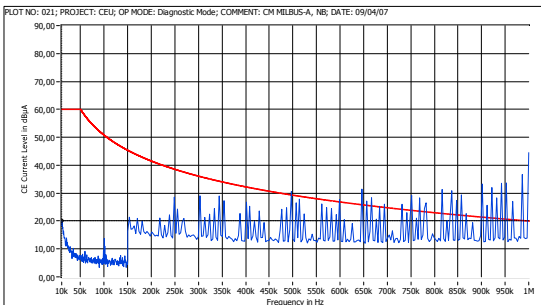


그림 1. 전도성 방출시험결과 (10kHz ~ 1MHz)

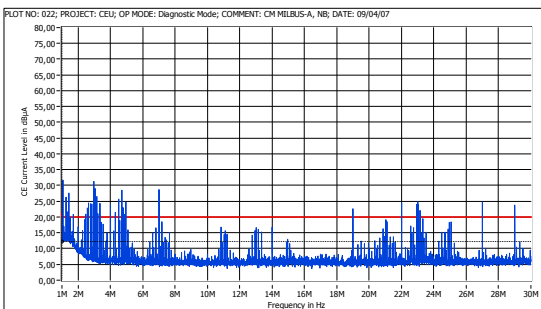


그림 2. 전도성 방출시험결과 (1MHz ~ 30MHz)

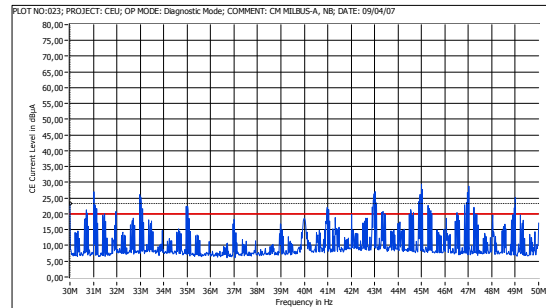


그림 3. 전도성 방출시험결과 (30MHz ~ 50MHz)

시험구성상 발생하는 전도성 잡음은 지상지원 장비(EGSE)와 통신하면서 유기되는 것으로 보이며 이를 검증하기 위하여 3 가지 형태로 시험 구성을 변경하여 수행하였으나, 모두의 경우 약간의 차이는 있지만 규격을 초과하였다. 일반적으로 유닛 및 시스템 레벨에서 충분한 마진으로 신호선에 대한 전도성 감응시험을 수행하기 때문에 시스템에 미치는 영향은 없을 것이라 판단된다. 측정결과 시험구성에 따라 노이즈 주파수가 변하는 것으로 보면, 시험구성에서 데이터 버스 인터페이스 장치의 설치로 1553B 데이터 BUS 케이블 외피의 차폐와 차폐중단이 적합하지 않아 노이즈가 초과하여 나타나는 것으로 판단된다.

즉, 실제 하드웨어가 설치되면 인터페이스 장치에 의하여 차단되는 차폐의 완결성이 유지되므로 이러한 노이즈 문제는 충분히 개선될 것으로 판단된다.

2.5 복사성 방출시험(E-field)

복사성 방출시험의 측정결과는 다음과 같이 요약된다.

- 10 MHz, 20 MHz, 40 MHz 및 이들의 고조파가 전 주파수 대역에서 초과(규격 대비 최대 40dBuV/m 정도)하였음
- 이들 고조파 성분은 위성의 수신 성능에 중요한 영향을 줄 수 있는GPS/S-band에서 나타나고 있음

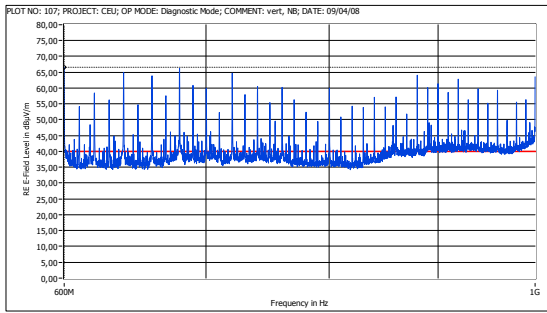


그림 4. 복사성 방출 (600MHz ~ 1GHz)

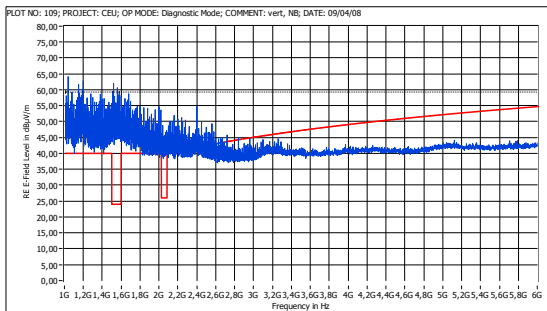


그림 5. 복사성 방출 (1GHz ~ 6GHz; GPS/S-band)

측정결과에 대한 분석결과는 다음과 같다. 10 MHz, 20MHz, 40 MHz는 각각 MS band pixel clock, PAN band pixel clock 및 Master Clock으로 이는 FPA의 G-Link 콘넥터에서 개구면이 형성되었기 때문에 외부로 복사되는 것이라 판단된다. 이는 PCB의 metal layer & reference가 Floating인 경우, clock noise는 G-Link 외피로 guard 되어 있어 이는 안테나로 작용하는데 기인한다.

DLR의 견해로는 G-Link 콘넥터에서 형성되는 개구면에 대한 차폐의 완결성을 유지할 경우 성능저하가 발생할 것으로 생각하고 있으나, 차폐의 완결성을 유지하지 못할 경우 시스템에서 생성되는 외부 RF 에너지와 우주환경에서 경험하게 될 정전기 방전에 의한 하드웨어의 손상 또는 성능저하가 추가로 발생할 수 있기 때문에 기술적으로 설계검토가 이루어져야 할 것이라 생각된다.

측정결과 시스템의 수신 성능에 중요한 영향을 미칠 것으로 판단되며 차폐보강 등의 조치 후 재시험 필요하다. 기구적인 차폐보강 등의 이뤄진 3.2절 및 3.3절의 2차 시험결과를 참조한다.

2.6 복사성 감응시험

측정결과는 다음과 같이 요약된다. 시험은 규격을 만족하는 것으로 보이나 검토내용은 다음과 같다.

복사성 감응시험의 경우 시험 중 저장한 데이터를 분석하는데 시간이 소요되기 때문에 판정에 대한 시간이 지연될 수 있다. 시험동안 모니터 상에 나타나는 데이터 흐름은 이상이 없는 것으로 보이나, 그림 6과 같은 시험결과에서 보면 감응 정도를 판정할 수 있는 오차 범위 내에서 데이터의 변화가 있는 것으로 보여 추가적인 분석이 필요하다.

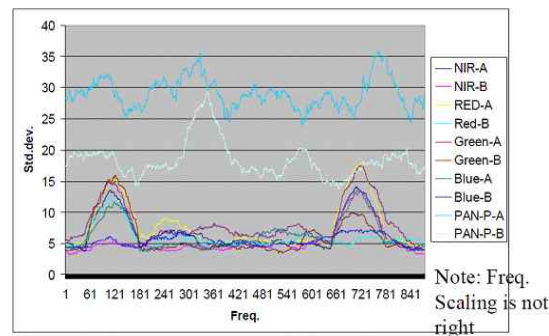


그림 6. 복사성 감응시험 동안에 이미지 데이터의 표준편차 곡선

정확한 것은 데이터 분석결과를 검토 후 판단할 수 있고 이와 관련해서는 복사성 방출 시험결과와 연계하여 검토되어야 한다. 기구적인 차폐보강 후 3.3절의 2차 시험수행 결과 감응시험에 대한 내성은 검증되었다.

3. 탑재체(CEU)의 2차 전자파시험

광학위성 탑재체(CEU)의 2차 전자파시험은 2009년 9월 9일 ~ 2009년 9월 10일의 일정으로 독일 Astrium 전자파시험 시설에서 수행되었다. 2차 전자파시험결과에 대한 주요 검토내용은 다음과 같다.

3.1 2차 시험결과 요약

2차 시험결과는 표 2와 같으며 측정결과 복사성 방출시험에서 규격을 초과하였다. 2차 복사성

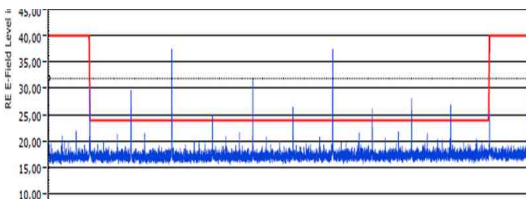
방출시험 결과는 1차 시험결과에 비하여 노이즈 레벨이 개선되었으며 주파수의 가변성은 없는 것으로 나타났다. 따라서 이어지는 절에서는 시스템에 중요한 영향을 줄 수 있는 GPS/S-대역에 대한 시스템 양립성 분석내용을 나타내었다.

표 2. 2차 전자파시험결과

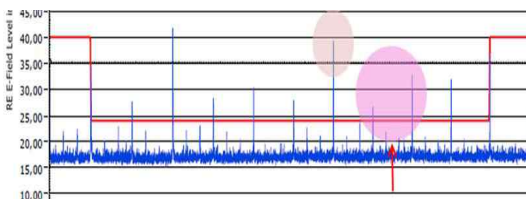
분류	시험	결과
RE	전기장	Failed
RS	전기장	Passed

3.2 복사성 방출시험 (GPS 대역)

2차 복사성 방출시험에서도 여전히 GPS 대역의 규격을 초과하는 것으로 나타났으며 측정결과는 다음과 같다.



(a) 수직편파



(b) 수평편파

그림 7. 복사성 방출시험 (GPS 대역 VER/HOR; RBW 30kHz)

GPS 수신대역에서의 규격을 초과한 주파수성분의 진폭은 표3과 같다.

표 3. GPS 대역 내의 주파수성분 대 진폭

수신대역 주파수	1.56G	1.57G	1.58G
진폭(dBuV/m)	39	27	33

측정결과에 대한 분석결과는 다음과 같다. GPS 수신주파수는 1.5754GHz로 대역 내의 양립성은 주변의 최대 노이즈 레벨을 갖는 세 주파수 대역에 대하여 두 포인트(#1, #2)에 위치한 GPS 수신기 안테나를 기준으로 분석하였다. 검토결과 GPS 수신주파수 대역 내에 인접한 노이즈 성분에 대하여 표 4의 양립성 검토결과에서처럼 최소 8dB 이상의 마진을 갖는 것으로 나타났다.

표 4. 양립성 검토결과

항목	양립성분석					
	#1; 1.56G	#1; 1.57G	#1; 1.58G	#2; 1.56G	#2; 1.57G	#2; 1.58G
수신대역 잡음[dBm]	-134.2	-146.2	-140.2	-132.3	-144.3	-138.3
민감도 [dBm]	-130.0	-130.0	-130.0	-130.0	-130.0	-130.0
마진 [dB]	4.2	16.2	10.2	2.3	14.3	8.3

표 4에서 보여주듯이 GPS 수신대역 내의 노이즈 성분에 대한 마진을 갖기 때문에 성능저하는 없을 것으로 판단된다. 단, 이 결과는 탑재체(CEU)에 기구적인 차폐보강 후 측정한 측정값이므로 2차 전자파시험을 위한 기구적인 차폐 보강내용을 파악하고 이를 시스템에 구현하여 차폐의 완결성을 유지해야 하므로 기구적인 시스템 구현에 대한 추가협의 및 조치가 요구된다.

3.3 복사성 방출시험(S-대역)

S 대역은 GPS 대역에서 설명한 바와 같이 1차 시험에 비하여 노이즈 레벨이 개선되었으며 주파수의 가변성은 없는 것으로 나타났다. S-대역에 대한 측정결과는 다음과 같다.

표 5. S-대역 내의 주파수 성분 대 진폭

수신대역 주파수	1.56G	1.57G	1.58G
진폭(dBuV/m)	31	27	28

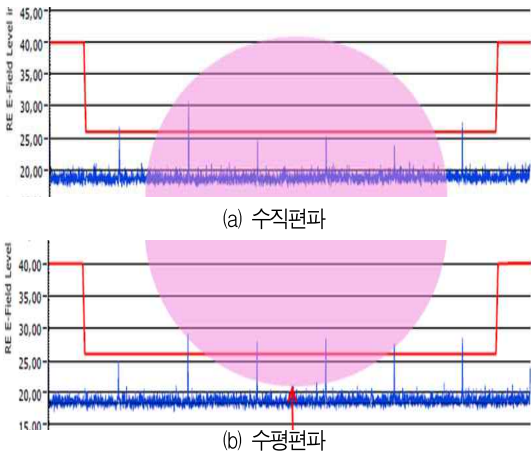


그림 8. 복사성 방출시험 (S-대역 VER/HOR; RBW 30kHz)

측정결과에 대한 분석결과는 다음과 같다. S 대역 수신주파수는 2.0553GHz로 대역 내의 양립성은 주변의 최대 노이즈 레벨을 갖는 세 주파수 대역에 대하여 두 개(네이더/제니스)의 안테나 위치(#1 : 네이더, #2 : 제니스)에서 최악의 조건이 되는 잡음원과 이루는 각과 거리를 고려하여 분석하였다. 분석결과 S-대역 수신주파수 내에 인접한 노이즈 성분에 대하여 표 6의 양립성 검토결과에 서처럼 최소 7dB 이상의 마진을 가지는 것으로 나타났다.

표 6. 양립성 검토결과

항목	양립성분석					
GPS 수신 대역	#1; 2.04G	#1; 2.05G	#1; 2.06G	#2; 2.04G	#2; 2.05G	#2; 2.06G
수신대역 잡음[dBm]	-136.0	-140.0	-139.0	-130.5	-134.5	-133.5
민감도 [dBm]	-123.0	-123.0	-123.0	-123.0	-123.0	-123.0
마진 [dB]	13.0	17.0	16.0	7.5	11.5	10.0

표 6에서 보여주듯이 S-band 수신대역 내의 노이즈 성분에 대하여 7dB 이상의 마진을 갖기 때문에 성능저하는 없을 것으로 판단된다. 단, 이 결과는 탑재체(CEU)에 기구적인 차폐보강 후의 측정값이므로 2차 전자파시험을 위한 기구적

인 보강내용을 파악하고 이를 시스템에 구현하여 차폐의 완결성을 유지하기 위하여 기구적인 시스템 구현에 대한 조치가 요구된다.

3.4 복사성 감응시험

복사성 감응시험 동안에 이미지 데이터의 표준편차는 규격을 만족하는 것으로 측정되었다. 그림 9와 그림 10은 다크픽셀 분석 결과로서 RS E-field 시험 동안에 측정된 데이터의 경향을 보여준다. 결과는 PAN-P 와 MS-RED이며, 나머지 MS-GREEN; MS-BLUE; MS-NIR는 거의 동일하다.

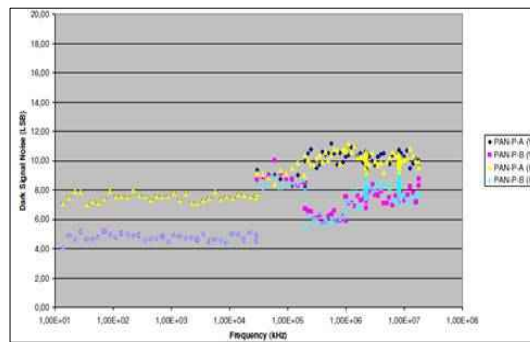


그림 9. 다크픽셀 분석 - RS E-field PAN-P

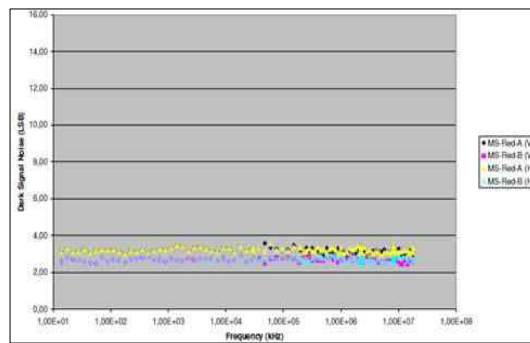


그림 10. 다크픽셀 분석 - RS E-field MS-RED

4. 결론

광학위성 탑재체(CEU)의 전자파시험이 독일 아스트리움에서 2차에 걸쳐 수행되었다. 1차 시험결과 인러쉬(inrush) 전류, 리플(ripple), 신호선의 전도성방출 및 복사성 방출 시험에서 규격을 초과하였다. 이 중에서 복사성 방출 시험결과를 제외한 나머지 항목은 양립성 검토결과 시스템에서 수용할 수 있는 것으로 분석되었고, 복사성 방출시험 결과는 시스템의 수신 시스템 성능에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이에 대한 조치로 CEU의 기구적인 차폐보강 후 2차 시험에서 복사성 방출시험과 복사성 감응 시험을 수행했으며 시험결과 여전히 규격을 초과하는 것으로 나타났으나 전체적인 노이즈 레벨이 감소되었고 주파수 가변성은 없으며 시스템 양립성 검토결과 수신 시스템에 대한 성능저하가 없는 것으로 나타났다. 다만 이 결과는 탑재체(CEU)에 기구적인 차폐보강 후의 측정값이므로 2차 전자파 시험을 위한 기구적인 차폐 보강내용을 파악하고 이를 시스템에 구현하여 차폐의 완결성을 유지하기 위한 기구적인 시스템 구현의 조치가 요구된다.

satellite subsystems based on Interference Analysis Algorithm and Genetic Algorithm”, Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, 2009 3rd IEEE International Symposium, pp.850~853, 2009

5. Milne, G.W., Jansen, E., Roux, J.J., Koekemoer J.-A., Kotze, P.P.A., “EMC and RFI problems and solutions on the SUNSAT micro-satellite”, Communication and Signal Processing Symposium, pp.293~298, 1998

참 고 문 헌

1. 장재웅, 김태윤, 임성빈, “영상레이더 위성시스템 구조물의 RF 간섭특성 분석 및 검증”, 항공우주기술지, 제8권, 제1호, pp.187~196, 2009
2. 김태윤, 임성빈, 최석원, “전도성 전자파환경에서의 다목적실용위성 2호 시스템 설계 검증”, 한국항공우주학회지, 제32권, 제8호, pp.138~144, 2004
3. 김태윤, 임성빈, 최석원, “전도성 EMC 설계 및 검증기술”, 항공우주기술지, 제5권, 제2호, pp.67~76, 2006
4. Zhang Da-Wei, Xie Shu-Guo, Liu Yan, “Research on spectrum optimization of