

인공위성 S-band가 형성한 발사체 페어링내의 전기장 해석

김의찬*, 이상곤**

The analysis of E-field produced by satellite S-band under fairing of launcher

Eui-Chan Kim*, Sang-Kon Lee**

Abstract

This paper presents an RF Electric field assessment at 2.290 [GHz] inside launcher PROTON M/Breeze M long fairings, produced by COMS TM. COMS intentional RE due to TM ON under fairing has been assessed considering PROTON M / BREEZE M fairing characteristics. As fairings of all launchers present similar sizes, a similar E-field level under fairing is expected for the other launchers. As a result, the RE level under faring is compliant with COMS RS limits, but is not compliant with RS requirements of the launcher PROTON M/Breeze M.

초 록

본 논문에서는 통신해양기상위성의 TM 안테나[2.290 GHz]에 의해 발생된 RF가 발사체 PROTON M/Breeze M long 페어링 안에서 형성되는 전기장의 세기를 예측한다. 위성이 TM을 내보내기 위해 의도적으로 방사하는 전기장의 세기는 PROTON M / BREEZE M 페어링의 특성을 고려함으로써 예측될수 있다. 다른 정지궤도 발사체는 PROTON의 페어링과 유사한 특성을 갖기 때문에, 예측된 결과가 다른 발사체에도 적용될 것이라 예상된다. 해석결과로써, 페어링내의 전기장의 세기는 위성 본체와는 전자파 적합성 요구사항을 만족하나, 발사체 PROTON M/Breeze M과는 전자파 적합성 요구사항을 만족하지 못한다.

키워드 : 전자파 적합성(Electromagnetic Compatibility : EMC),

복사 방출(Radiated Emission : RE), 복사 감응(Radiated Susceptibility : RS)

1. 서 론

높은 신뢰성과 안정성이 필요한 위성체 및 발

사체 시스템은 우주 기술 및 전자기술의 빠른 발전과 더불어 복잡 다양해지고 종전보다 많은 수의 전자 장비를 요구하는 추세이다. 우주에서의

접수일(2011년 1월 8일), 수정일(1차 : 2011년 4월 9일, 2차 : 2011년 6월 14일, 게재 확정일 : 2011년 11월 1일)

* 위성전자팀/eckim@kari.re.kr

** 위성전자팀/skon@kari.re.kr

전자파 환경이란 위성체 및 위성체를 운반하는 발사체에 장착되는 전장품들의 정상적인 동작에 영향을 미치는 전자기적인 주위 상황을 지칭한다. 그리고 이와 같은 전자파 환경은 위성체 전장품들이 정상적으로 동작할 때 발생하는 전자기장에 의한 정상상태 전자파 환경과 위성 임무를 수행하기 위해 위성체 외부의 안테나를 사용하여 의도적으로 전자파를 발생시키는 임무상태 전자파 환경으로 구분될 수 있다. 그러므로 위성체 전장품은 본인 자체가 전자파 환경을 형성하므로써 다른 전장품에 영향을 주는 것이 적극적으로 억제되어야 하여 동시에 다른 전장품에 의하여 발생된 전자파 환경의 영향에 대한 내성(immunity)을 향상시켜 감수성(susceptibility)을 저하하도록 설계되어야 한다. 전자파 환경을 매개로 한 시스템과 시스템간의 상호 간섭에 대한 전자파 적합성 (EMC : Electro-Magnetic Compatibility)는 시스템간(inter-system EMC)라고 하는데 이는 발사체 및 발사장 주위 전자파 환경과 위성체와의 EMC로 이해될 수 있다. 한편, 위성체 시스템 내부에 있어서도 전자파 간섭과 이에 대한 EMC를 만족해야 하는데 이것을 시스템 내부 EMC(intra-system)라고 한다. 위성체가 발사체의 페어링 안에 탑재되어 발사대기 상태일 때, 위성체는 발사장에서 발사체 및 발사장 주변을 제어하는 운용 장비에서 방출되는 전자파 및 발사장 기상상태를 관측하는 기상레이더의 전자파 잡음을 받는다. 또한 위성체는 우주 궤도로 진입 시 발사체의 궤적을 알기 위하여 지상 통제 센터에서 쏘아올린 레이더와 발사체의 정보를 지상국으로 내려 보내는 발사체 송신기 등의 각종 RF환경의 전자파 잡음에 영향이 없이 정상동작하여야 한다. 발사체는 자신의 정보를 지상으로 내려 보내는 송신기의 주파수대역에서 송신기가 방출하는 최대레벨을 위성체에 제공하여 서로 전자파 간섭이 없는지 검증한다. 위성체 역시 대기 상태에서 방출하는 전자파가 발사체의 전자시스템에 간섭이 없어야 한다. 또한, 특수한 경우에는 위성실패의 책임공방을 확실히 하기 위해서 lift-off에서 발사체에서 분리되기 전까지 위성의 상태를 원격 측정에 의하여 받는다. 이때

페어링내에서 S-band 안테나가 방사하는 전기장이 발사체 및 위성본체에 성능의 영향을 주어서는 안 된다. 페어링내에서 방사되는 RF는 자유공간이 아닌 방사된 전자파가 페어링에 반사되는 oversized cavity의 환경에서 해석되어야 한다. 본 논문에서는 PROTON M/ Breeze M long 페어링내에서의 통신해양기상위성 S-band 안테나가 형성하는 전기장의 세기를 해석하고 위성 본체 및 PROTON 발사체와의 전자파 적합성을 고려해 본다.

2. 본 론

2.1 통신해양기상위성

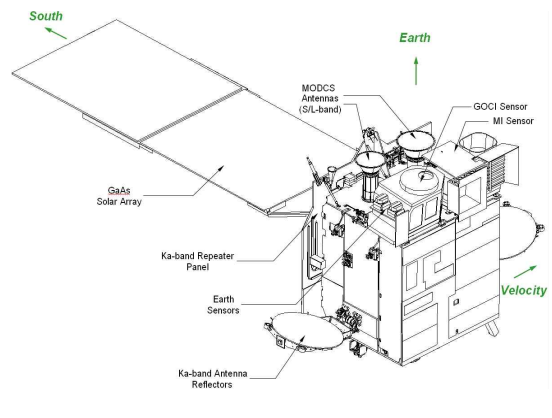


그림 1. 통신해양기상위성 형상

통신해양기상위성(Communication, Ocean and Meteorological Satellite : COMS)은 통신, 해양 및 기상탐재체를 주요 탑재체로 탑재하여 임무를 수행하는 다임무 정지궤도 위성이다. 통신 탑재체인 Ka-band 중계기는 한반도 및 중국의 동북 지역에 통신서비스를 제공하며, 해양탐재체(Geostationary Ocean Color Imager : GOCI)는 약 500m급의 공간분해능을 갖는 8개 가시광선채널을 통해 한반도 주변의 해양데이터를 획득하는 것이 주 임무이다. 또한 기상탐재체(Meteorological Imager

: MI)는 지구표면 및 구름의 이미지 측정과 복사 정보를 획득하는 것이다. 통신해양기상위성 모델은 EADS Astrium사의 Eurostar 3000 모델위성의 기본형상 및 요구사항을 기본으로 두며, 통신해양기상위성의 모든 요구사항은 Eurostar 3000에서 가져온다.

2.2 Cavity내에서의 전기장 해석

위성의 TM 안테나가 방사하는 경우 PROTON M/Breeze M long 패어링내에서 S-Band TM 주파수 대역인 2.290 GHz에서의 RF 전기장을 해석한다. 1GHz 보다 높은 주파수대역에서는 발사체 패어링내에서의 RF는 자유공간(far field)과 공진 cavity 조건의 사이의 중간정도인 다중모드 cavity와 같은 특성을 나타낸다. 이는 자유공간에서의 감쇄현상인 $E \cong 1/d$ 또는 $P \cong 1/d^2$ 이 적용되지 않는다. 발사체 패어링 내부는 다중 모드 cavity를 형성하므로 이 안에서는 RF는 기본적으로 homogeneous, isotropic 성질을 나타낸다. 위성에 의하여 방사된 RF는 패어링 내에서는 거리, 편파, 회전 방향에 관계없이 항상 일정하다. 위성에서 방사된 RF는 일정한 감쇄율로 감쇠되어 패어링 내부에 존재한다. 이 감쇄율은 패어링 재질에 따른 내부 면적, 패어링 aperture 면적, 패어링 내부를 구성하는 각각의 재질에 대한 전기적 특성에 영향을 받는다. 이 감쇄율을 Cavity insertion loss라 하며, 이를 X_c 라 하면, X_c 는 aperture에 의한 방사적 손실 X_r 과 패어링 내부에 흡수되는 손실 X_σ 의 조합으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{X_c} = \frac{1}{X_r} + \frac{1}{X_\sigma} \quad (1)$$

$$\frac{1}{X_r} = \frac{8 \times \pi \times S_0}{\lambda^2} \quad (2)$$

$$\frac{1}{X_\sigma} = \frac{8 \times \pi \times (S - S_0)}{\lambda^2} \times \sqrt{\frac{\pi}{\lambda \times c \times \sigma \times \mu}}$$

$$= \frac{8 \times \pi^2}{\lambda^3} \times (S - S_0) \times \delta \quad (3)$$

S : Cavity 내부 면적 [m^2]

S_0 : Aperture 전체 면적 [m^2]

δ : skin depth, $\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \times f \times \sigma \times \mu}}$

μ : Permeability [H/m]

σ : Conductivity [S/m]

패어링내의 RF 파워 P_r 은 초기의 에너지인 위성 S-band 안테나의 P_t 가 감쇄율 X_c 로 감쇄되어 패어링내에 존재한다.

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{1}{X_c}$$

이는 데시벨로 환산하면 다음과 같다.

$$P_{r_{dBW}} = P_{t_{dBW}} + X_{c_{dB}}$$

최종적으로 발사체 패어링 내부의 전기장의 세기는 다음 수식으로 계산되어 진다.

$$E = \frac{4\pi}{\lambda} \times \sqrt{30 \times P_r} \quad [\text{dB}\mu\text{V/m}]$$

2.3 S-band RF 파워

통신해양기상위성의 원격측정/원격명령을 위해서 사용되는 S-band의 안테나가 패어링내에서의 주요 RF 소스이다. S-band 안테나는 위성의 상판과 아래판에 하나씩 장착되어 있다. 각각의 출력은 다음과 같다.

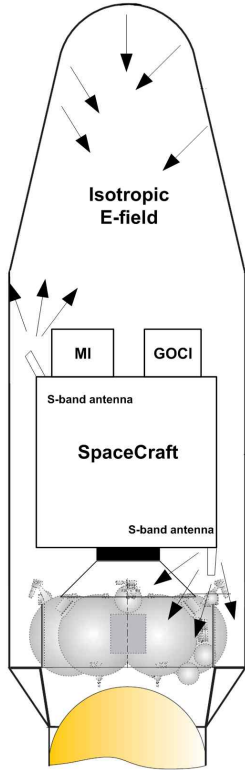


그림 2. 패어링내의 RF 특성

표 1. S-band 안테나 파워

	designation	TM(-Z)	TM(+Z)
	location	bottom	Top
	pattern	Hemispherical	Hemispherical
transmit antenna output EIRP during FLIGHT	nominal	1.9[dBW]	1.6[dBW]

2.4 Oversized Cavity

해석을 위하여 선택된 발사체의 패어링은 PROTON M/Breeze M long이지만, 유사한 사이즈를 갖는 다른 발사체에서도 같은 해석 결과가

적용될 것이라 예상된다. Cavity insertion loss의 계산을 위한 주요 변수는 다음과 같다.

- 패어링내의 도통 물질이 있는 내부 면적
- 패어링의 Aperture 면적(RF 창)
 - RF window(diameter : 778mm)
 - other holes
- 패어링 내부를 구성하는 물질의 특성 (알루미늄 & 탄소)
 - Conductivity
 - Permeability
- 위성 S-band 주파수 밴드 : 2.290 [GHz]

2.2절에서 나타낸 수식에 의거하여, 위성의 TM 안테나에 의해 패어링내에서 형성되는 전기장의 세기는 147.2[dBμV/m] 이다. 이 전기장의 세기는 발사체의 복사감응(RS : Radiated Susceptibility)와 위성의 RS와 비교되고 전자파 적합성의 요구사항을 만족하는지 검토해야 한다.

2.5 EMC 해석

패어링 내에서 Cavity를 적용하여 얻어진 결과는 통신해양기상위성 S-band(TM) 주파수에 의해 형성된 전기장의 세기는 147.2 [dBμV/m] 이며, 이 결과와 TM 주파수에서의 PROTON M/Breeze RS[2]의 세기는 134 [dBμV/m]의 마진을 계산하면 -13.2[dB]이다. 아래의 표는 통신해양기상위성 RS와 패어링내의 전기장의 세기와의 마진을 나타낸다. 위성의 최상층에 위치한 페이로드인 MI, GOCI(external equipment)는 감쇄 없이 패어링내에 존재하는 전기장을 받지만, 위성 내부에 위치한 전장품(internal equipment)은 위성의 구조물에 의해 약 20[dB] 감쇄 효과를 얻는다.

표 2. TM Auto 적합성

	Total E-field [dB μ V/m]	Attenuated Field [dB μ V/m]	RS COMS [dB μ V/m]	Margin [dB]
Internal Equipments	147.2	127.2	148.0	+ 20.8
External Equipments (MI, GOCl)	147.2	147.2	159.0	+ 11.8

4. 결 론

본 논문에서는 위성의 상태를 계속적으로 모니터링하기 위해 발사체 페어링 내에서 통신해양 기상 위성 S-band RF가 ON되었을 때, S-band에 의하여 형성되는 전기장의 세기를 Cavity를 이용하여 해석되었다. 이는 자유공간에서 보여주는 RF의 특성과 달리 거리와 관계없는 무지향성 특성을 지닌다. 발사체의 예로서 PROTON M/Breeze long 페어링을 사용하였다. 해석결과 S-band 주파수대역에서 페어링내의 전기장의 세기는 발사체의 복사감응과 전기적 적합성은 없으나 위성의 복사감응과는 전기적 적합성이 있다. 이는 발사체 선정의 요소가 될 수 있으며 PROTON이 선정될 경우 사용자와는 S-band ON/OFF여부 및 발사체에게는 RFD(Request for Deviation)를 제출하여야 한다. 또한, 발사체와 위성체는 페어링이 부착되는 있는 조건과 분리된 이후의 조건에서도 EMC가 고려되어 한다. 페어링이 분리되면 RF환경은 oversized cavity 조건이 아니고 자유공간 (Free space)이 되므로 자유공간에서의 해석으로 전자파 적합성을 여부를 확인해야 한다.

참 고 문 헌

1. EADS Astrium, EMC Specification, Issue, 03, Rev. 1, January 2001.
2. International Launch Services, Proton Launch System Mission Planners's Guide, Rev. 5, Issue 1, December 2001.

3. 구자춘, "정지궤도 위성 발사체의 전자파 환경", 항공우주학회 춘계학술대회, 2005. 3.
4. Zielinski, R.J. , "Satellite Earth Stations with small antenna(VSAT) as a source of interference", 12th international Wroclaw symposium and Exhibition on EMC, pp.235-239, June 28 July 1 1994.
5. Zielinski R.J., "EMC analysis of Satellite Earth stations with small antenna (VSAT)", Euro Electromagnetics - Euroem, pp. 702-709, May 30-31 and June 1-2-3 1994.
6. T.H. Lehman, " statistical theory of electromagnetic fields in complex cavities"§ Interaction Notes, note 494, May 1993.