

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 41(9), 755-760(2013)

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.9.755>우주환경을 고려한 디지털채널증폭기의 전자파적합성 분석 및
시험 결과에 대한 고찰

홍상표*, 진병일*, 진봉철**, 서학금**

Study on the EMC analysis and test results of the digital channel
amplifier considering space Environment

Sang-Pyo Hong*, Byeong-Il Jin*, Bong-Cheol Jin** and Hak-Keum Seo**

Samsung Thales*, Agency for Defense Development**

ABSTRACT

The electromagnetic compatibility and its effects, and the system design considerations in space environment are studied in this paper using Multipactor. The system level EMC test results of digital channel amplifier(DCAMP), its affects upon the H/W improving methods regarding its over exceed value of EMC specification are discussed. These analysis values and test results can be used as the criteria for the selection of EMC requirements and of the MILSATCOM system design.

초 록

본 논문에서는 우주환경을 고려한 전자파적합성 및 이에 대한 시스템 영향과 시스템 설계 규격을 Multipactor를 사용하여 분석하였다. 또한, 디지털채널증폭기의 시스템 레벨 전자기파 요구사항 분석과 전자기파(EMC) 규격을 초과한 시험결과 분석과 하드웨어 개선 방법을 도출하였다. 이 분석과 시험 결과들은 군통신위성의 전자기파 요구사항 및 위성체의 설계 기준으로 제시한다.

Key Words : Electromagnetic Compatibility(전자파적합성), Space Environment(우주환경), Digital Channel Amplifier(디지털채널증폭기), Fixed Gain Mode(고정이득), Radiated Emission(복사성 방출), Radiated Susceptibility(복사 감응)

1. 서 론

우주에서의 전자파환경이란 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 발

생하는 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 형성함으로써 다른 전장품에 영향을 주는 것이 적극적으로 억제되어야 하며 동시에 다른

† Received: June 30, 2013 Accepted: August 13, 2013

* Corresponding author, E-mail : sp1110.hong@samsung.com

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871



Fig. 1. Development Scope

전장품에 의하여 발생된 전자파 환경의 영향에 대한 내성을 향상시켜 감응성을 저하하도록 설계 되어져야 한다[1][2].

본 논문에서 정의된 시스템 개발 구성품은 Fig. 1과 같이 X-Band 위성중계기로 구성이 되어 있으며, 위성중계기 시스템에서 정의하는 디지털 채널증폭기(Digital Channel Amplifier)가 우주환경에서 성공적으로 임무수행 여부를 위한 전자파 적합성 분석과 그 결과를 분석하였다.

II. 본 론

2.1 EMC 분석

2.1.1 전도방출

위성탑체체의 모든 서브시스템들은 일반적으로 버스로부터 100V 전원을 공급받아서 동작하므로 전력선이나 신호선을 따라 전달되는 전자기 방출을 확인해야 한다.

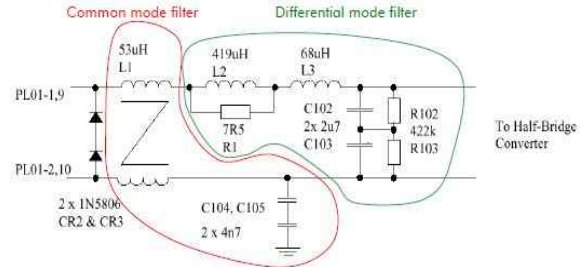
디지털채널증폭기의 전원반에서 발생하는 스퓨어리스 성분은 스위칭 주파수의 하모닉 성분과 함께 반드시 제거되어야 한다. 이를 위해서 전원 반 내부 스위칭 회로로부터 발생하는 스퓨어리스 신호 감쇄를 위해 전원 입력단 회로에 차동모드 및 공통모드 필터를 삽입하였으며, 100 Hz에서 50 MHz까지의 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 필터를 삽입 후 DC/DC 컨버터 스위칭 주파수(80 kHz)와 2차 하모닉 성분들이 약 10 dB 이상 확보되었다.

2.1.2 복사성 방출

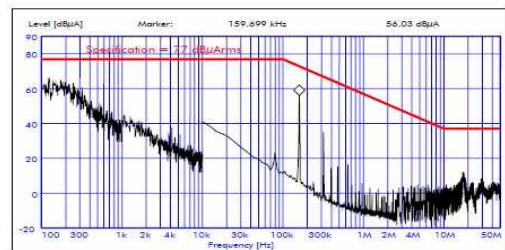
2.1.2.1 디지털채널증폭기의 RF 특성

디지털채널증폭기의 주요한 복사성 방출 요소는 내부 모듈의 RF 기능을 담당하는 중간주파수 처리반이다. 중간주파수처리반은 입력 신호 전력 레벨이 Limiter 임계 전력 이상의 신호가 있을 경우에는 Hard Limiter와 같이 동작을 수행하고, 입력 신호가 Limiter 임계 전력 이하일 경우 선형적으로 동작하는 기능을 수행하게 된다. 또한, 디지털 신호처리기 앞, 뒷단에 위치하고 있으며,

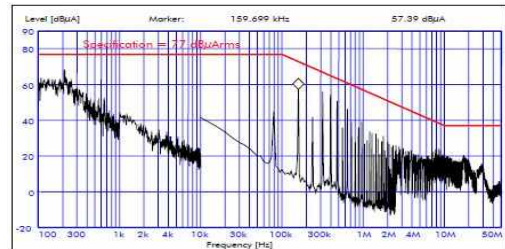
L-대역 신호를 입력하여 L-대역으로 증폭하는 기능을 수행하는 모듈로서 운용 주파수에 따른 RF 특성은 Table 1과 같다.



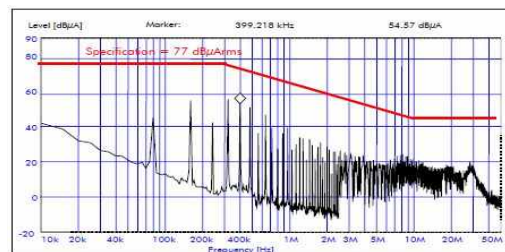
(a) Input DC Interface



(b) DM, Hot Line



(c) DM, Return Line



(d) CM, Common Line

Fig. 2. Input DC Interface & CE Test.

Table 1. Units characteristics

Input (GHz)	Mode	Pin (dBm)	Gain (dB)	Pout (dBm)	LO Freq. (GHz)	Pout (GHz)
0.95 ~ 1	FGM	-49 ~ -19	16	-33 ~ -3	0.905	0.95 ~ 1

2.1.2.2 기구설계

1차 EMC 시험을 실시한 결과 Fig. 6의 (a)와 같이 요구사항 불만족이 발생되었다. 이를 위해 식 1과 식 2를 근거로 분석하였으며, 디지털채널증폭기의 방사된 간섭신호 성분들을 최소화하기 위해 다음과 같은 기구적인 보강을 실시하여 차폐효과를 개선하였다.

▪ **RF SMA connector**

디지털채널증폭기 출력단 및 국부발진기 출력단에서 발생하는 RF Leakage 성분들은 EMI Gasket을 적용하여 제거

▪ **Equipment cover**

디지털채널증폭기 커버에서 차폐효과 개선을 위해 스크류로 차폐 및 EMI RF gasket을 적용하여 기구적인 차폐 효과를 개선

▪ **Electrical connections**

RF 회로, TM/TC 및 DC/DC 간의 전기적인 접속 연결은 EMI feedthru Capacitor 및 전원노이즈 제거용 필터를 적용하여 노이즈원을 제거

2.1.2.3 복사성 방출 요구규격 & 분석

본 시스템의 복사성 방출 규격을 Table 2와 같이 정의하였다. 이는 EUROSTAR 3000 BUS 및 TAS SB4000 BUS를 근거로 규정하였다. Notch Frequency 대역은 S, X, Ku & Ka-band TCR & Repeater receiving frequency를 포함한다.

복사성 방출 규격은 위성 시스템을 구성하는 하드웨어가 방출하는 전기장 노이즈를 규제하고자 하는 것이며, 통신 유닛을 포함하는 시스템의 경우 외부 전기장 노이즈가 수신기의 성능에 영향을 미치지 않도록 수신주파수 대역에서 특히 노이즈가 발생하지 않도록 시스템을 통제한다. 이에 해당하는 부분이 본 시스템에서 규정한 notch frequency band이다. 통상 수신 주파수 대역의 복사성 방출 노이즈 세기는 매우 낮게 통제된다.

Table 2. RE requirements

구 분	Frequency band	RE limit (dBμV/m)
Others	1 ~ 40 GHz	70
S-band_Rx	2.65 ~ 2.69 GHz	20
X-band	7.25 ~ 8.4 GHz	30/90
Ku-band	11.7 ~ 14.8 GHz	30/90
Ka-band	20.2 ~ 31 GHz	30/90
L-band	0.95 ~ 1 GHz	50

본 시스템에서는 실제 사용하는 수신 주파수 대역에서 수신기의 수신 성능을 기준으로 규격 레벨을 정의하였으며, 시스템에서 발생하는 간섭신호 성분을 제거하기 위해 추정된 결과를 토대로 Fig. 3과 같이 NASA에서 제공하는 Multipactor 툴을 이용하여 해석 및 하드웨어에서 발생하는 RE/RS E-field를 산출하였다. 본 논문에서 분석에 필요한 RF 특성 즉 최악의 조건을 고려하여 표1의 신호세기를 근거로 분석을 실시하였다. 또한, Multipactor 소프트웨어의 해석 결과의 정확도를 확인하기 위해 디지털채널증폭기의 각 해당 주파수에서 발생하는 복사 전기장 세기를 식 1을 근거로 산출하였으며 shielding effectiveness 계산 결과를 Table 3에 나타내었다.

$$\frac{E^2}{120\pi} = \frac{PG}{4\pi R^2} \tag{1}$$

여기서, E = E field (V/m)

P = Maximum RF power (W)

R = 1 meter

G= Transmitting source gain (G=1, isotropic)

분석결과 디지털채널증폭기의 최대 출력 레벨은 0.0005W이고, 수식 1의 방정식으로부터 1m 거리에서 측정되는 E-field는 101.77 dBuV/m을 산출 하였으며, 디지털채널증폭기의 RE E-field 요구규격 50 dBuV/m를 가정할 경우 디지털채널증폭기의 요구된 isolation은 최소 51.77 dB를 확보하여야 한다. EQM2 에서는 요구된 isolation을 추가적으로 확보하기 위해 컨넥터 및 하우징 커버의 차폐 보강으로 각 보드의 입출력 컨넥터에 EMI Gasket과 Conductive Epoxy를 적용하여 최소 100 dB 이상의 shielding effectiveness 확보가 가능하도록 설계/제작될 예정이다.

Table 3. Requested SE for the DCAMP

보드별 입출력 포트명	dBm	E-Field (dBuV/m)		
		RE	Limit	Isolation
신호처리기 최대입력	-5	99.8	50	49.8
신호처리기 최소입력	-35	69.8	50	19.8
디지털채널증폭기 최대입력	-19	85.8	50	35.8
디지털채널증폭기 최소입력	-49	55.8	50	5.8
신호처리기 최대출력	-20	84.8	50	34.8
신호처리기 최소출력	-50	54.8	50	4.8
디지털채널증폭기 최대출력	-3	101.8	50	51.8
디지털채널증폭기 최소출력	-33	71.8	50	21.8
국부발진기 최대출력	-10	94.8	50	44.8
기준주파수 클럭	-3	101.8	50	51.8

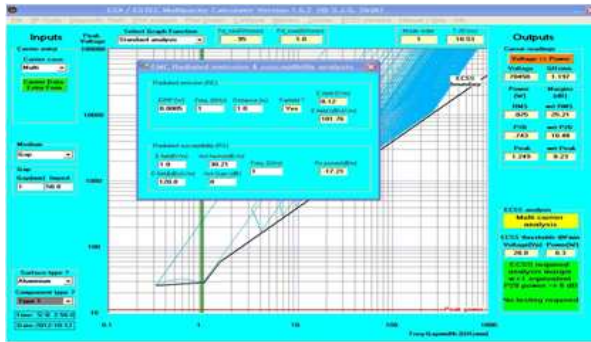


Fig. 3. RE/RS E-Field analysis

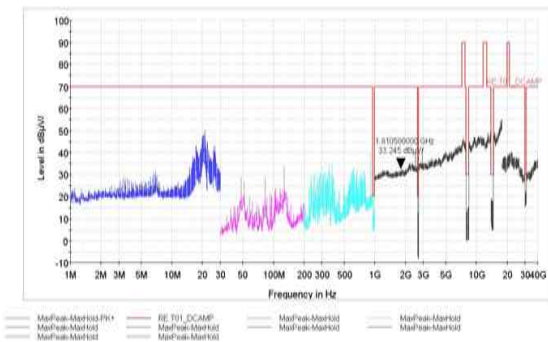


Fig. 4. RE E-Field test result

2.1.2.4 복사성 방출 시험결과

Figure 4는 상기 분석 결과를 반영하여 설계한 디지털채널증폭기에 대해서 1 MHz ~ 40 GHz 사이의 주파수 대역에서 측정한 복사성 방출 시험 결과를 나타낸다. 시험결과 모든 주파수 대역에서 측정된 노이즈는 요구규격을 만족함을 알 수 있다.

2.1.3 복사성 감응

2.1.3.1 복사성 감응 요구규격 & 분석

복사성 감응 규격은 위성시스템을 구성하고 있는 송신기의 RF 특성에 의해 시스템이 영향을 받지 않음을 검증하기 위한 것으로, 복사성 감응 규격은 시스템의 송신 주파수 및 송신 특성을 바탕으로 정의되어야 한다. 복사성 감응 규격은 디지털채널증폭기의 규격에 해당하는 전기장 노이즈를 인가하였을 때, 하드웨어 성능이 정상적으로 동작하는지를 확인하는 기준이 되는 규격으로 Table 4와 같이 정의하였다. 또한, Table 5와 같이 복사성 감응 분석을 위해서 입출력주파수를 제외한 나머지 주파수 영역에 대해서는 차폐효과에 따른 영향성이 미약하므로 분석을 실시하지 않았다.

디지털채널증폭기의 경우 0.95 ~ 1 GHz의 입력 주파수 범위를 사용하고 있으므로 본 분석에

Table 4. RS requirements

구 분	Frequency band	Test Level
Others	1 ~ 40 GHz	1 V/m
S-band	2.50 ~ 2.54 GHz	10 V/m
X-band	7.25 ~ 7.75 GHz	10V/m
Ku-band	11.7 ~ 12.75 GHz	10V/m
Ka-band	20.2 ~ 21.2 GHz	10V/m
L-band	950 MHz ~ 1 GHz	1 V/m

Table 5. Minimum signal level

Freq. band	Minimum level	Mode
Input band	-49 dBm	FGM
Output band	-33 dBm	FGM, Pin min & Gmin

Table 6. RS E-Field analysis

(dBm)	(V/m)	Isolation (dBi) ->spur<-40dBc	EMI RF gasket SE(dBi)	Expected SE(dBi)
-49	1	71.787	100	28.213
-33	1	25.787	100	44.213

서는 가장 민감한 대역인 입출력 주파수에 대해서만 분석을 실시하였다. 이를 위해 요구되는 복사성 내성 레벨에 따른 유닛에 미치는 전기장 레벨을 계산하고, 차폐구조물/컨넥터 쉴드 처리 등에 의한 차폐율을 고려하여 유닛 내부의 가장 민감한 부품 또는 보드에서의 내성 요구조건과 비교하여 RS 내성 레벨에 의한 EMC 마진을 계산하였다. 복사성 감응을 위한 가정은 Table 5와 같으며, 최소 입력레벨 인가시 요구되는 차폐 효과를 산출하기 위해 식 2를 적용하였으며, 그 결과를 Table 6에 나타내었다.

$$P_r = \frac{E^2 G \lambda^2}{480 \pi^2} \tag{2}$$

여기서, E = radiated susceptibility level
G = Gain of conceptual receiver (G=1)

분석결과 최소 입력 레벨 조건에서 1 V/m 인가시 차폐효과를 고려하면 약 28 dB 및 최소 출력 레벨 조건에서 약 44 dB의 마진을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

- (1) Pin=-49dBm, Gmin=16dB, Pout=-33dBm
- (2) 1 m 거리에서의 측정된 E-Field: -17.21 dBm
- (3) 합부판정기준: -40 dBc
- (4) EMI Gasket 적용시 Shielding Effectiveness - 100 dBi min.

2.1.3.2 복사성 감응 시험결과

복사성 감응 시험은 외부에서 형성되는 전자 기장에 대한 디지털채널증폭기의 내성을 확인하는 시험으로 1 MHz ~ 40 GHz 주파수 대역에서 방출되는 전기장을 인가시 디지털채널증폭기가 정상적으로 동작하는지 여부를 Fig. 5와 같은 방법으로 대역내 스퓨어리스 레벨, TC/TM 오류 여부 및 BER 측정하여 이상 유무를 판단하였다. 1차 복사성 감응 시험 결과 대역내 스퓨어리스 레벨 규격을 초과하였다. 측정 결과에 대한

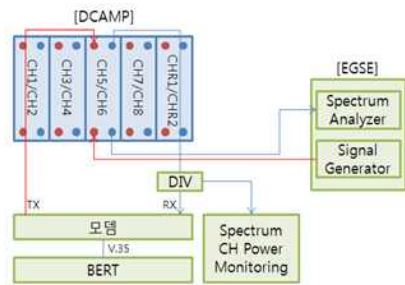
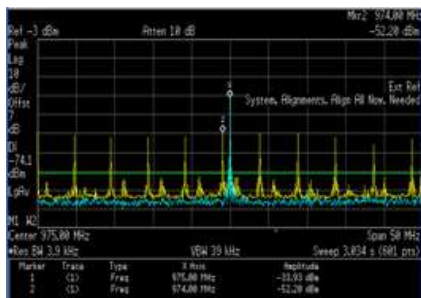
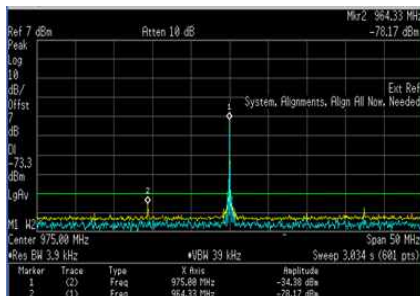


Fig. 5. Success Criteria under RS conditions



(a) 1'st test



(b) 2'nd test

Fig. 6. RS E-Field Test Result

분석결과 입출력 컨넥터에서 형성되는 E-Field 차폐의 완결성을 유지 못하여 성능 저하가 발생한 것으로 판단된다. 측정 결과 송수신 성능에 중요한 영향을 미칠 것으로 판단되어 Conducted Epoxy를 하우징에 도포로 차폐 보강을 실시하였으며, Fig. 6의 2차 복사성 감응 시험 결과와 같이 대역내 스퓨어리스 레벨이 감소 및 요구사항을 만족하였다. 이는 추후 EQM2 시체에 SMA 컨넥터 및 커버쪽에 EMI Gasket을 적용하여 2.1.2.1절에서 나타낸 것과 같이 기구적인 보강 작업으로 차폐효과를 개선할 예정이다.

III. 결 론

정지궤도급 차기 군통신위성 중계기에 탑재될 디지털채널증폭기의 전자파적합성 분석으로 서로 간의 전자기파 적합성이 성립되는지 예비적으로 해석하였고, 또한 1, 2차 전자기파 시험을 실시하여 본 시스템을 검증하였다. 본 논문에서 실시한 전자파 적합성 분석 및 측정 결과물들은 향후 군통신위성의 요구사항 및 위성체의 설계기준으로 주요한 자료로 이용될 수 있으며, 모든 시험 항목에서 요구 규격 대비 충분한 마진 확보로 EUROSTAR 3000 BUS 규격 및 TAS SB4000 BUS의 규격 적용이 가능함을 검증하였다.

References

- 1) Tae-Youn Kim, Seong-Bin Lim, Seok-Weon Choi, "Evaluation of KOMPSAT-2 System in the Conducted EMC Envirment", KSAS journal, No.32, Vol.8, pp. 138-144, 2004.
- 2) Young-Ho Cho, "COMS System Bus Design and Analysis using MIL-STD-1553B", KIEE journal, No.57, Vol.7, pp. 1285-1289, 2008.
- 3) Tae-Youn Kim, Seong-Bin Lim, Seok-Weon Choi, "EMC Design and Evaluation in Conduction Environment", KSAS journal, No.5, Vol.2, pp.67~76, 2006.
- 4) Eui-Chan Kim, Heung-Ho Lee, "Preliminary EMC Analysis between the COMS and the GEO Launch Vehicles", KIEE journal, No.57, Vol.3, pp. 439-445, 2008
- 5) Tae-Byeong Chae, Seung-Hyeub Oh, "EMC Compatability Analysis on Geostationary Satellite", KSAS journal, No.36, Vol.12, pp.

1207-1215, 2008.

6) Mine, 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.

7) Koreasat 5 performance specification

8) DIET (ASTRIUM, ES 3000 BUS Design and Interface Guide)

9) Ariane 5 User's Manual Issue 5, Revision 1