

통신방송위성 Ku 대역 탑재체 수동 상호혼변조왜곡 분석

*이용민, **김현국, *정대진, *이성팔, **박계영

*한국전자통신연구원 통신위성개발센터, **한국정보통신대학교

전화 : 042-860-1649 / 팩스 : 042-860-6949

Analysis of Passive Intermodulation Distortion of Ku-Band Payload System for Communication & Broadcasting Satellite

Yong Min Lee, Hyoun Kuk Kim, Tae Jin Chung, Seong Pal Lee, Ke Young Park

Communication Satellite Development Center, ETRI

E-mail : ymlee01@etri.re.kr

Abstract

This paper describe the passive intermodulation products(PIMs) which are formed in high power Ku-band transponder and antenna subsystem on the Communication & Broadcasting Satellite(CBS) program when two transmit carriers beat together to generate harmonics that fall into the receive band. How the PIMs are initially generated and the effect of PIMs for Ku-Band payload system are analyzed by calculating the PIMs frequencies and the power level of PIMs.

I. 서론

최근 국제적인 통신량의 급증과 가속화된 정보화 시대의 개막에 따라 국내의 위성관련 기술에 대한 개발 노력은 위성통신 시스템의 대용량, 고속화와 함께 많은 융통성 및 편의성을 제공하고 있다. 이러한 전반적인 위성통신 시스템은 점차 그 복잡성을 더해갈 뿐만 아니라 위성 탑재체의 성능개선을 위하여 과거에는

미처 고려되지 않았던 부분들까지도 그 관심의 대상이 되고 있다.

통신위성 탑재체 시스템의 송신전력 및 수신감도의 향상을 위하여 위성 탑재체에 사용되는 수동부품의 비선형성에 기인하는 각종 현상들에 대한 분석 노력이 바로 그와 같은 관심의 대상들 중의 하나라고 할 수 있다.

오늘날의 대부분의 통신위성 탑재체는 하나의 안테나에 송·수신기능이 결합된 형태로 구성된다. 하지만 그와 같은 구성은 다수의 주파수성분이 특정한 수동소자를 지나면서 상호혼변조왜곡을 발생시키고, 이러한 송신주파수의 상호혼변조 왜곡성분이 수신 주파수대역에까지 도달함으로써 송·수신부간 간섭현상을 초래하여 결국 수신단의 성능이 저하되는 수동 상호혼변조왜곡(PIM : Passive Intermodulation Distortion)을 발생시키게 된다.

본 논문은 한국전자통신연구원에 개발 중인 통신방송위성(CBS : Communication & Broadcasting Satellite) Ku 대역 탑재체 시스템에 대한 수동 상호혼변조왜곡에 대한 성능 분석을 통하여 통신위성 시스템에서의 수동 상호혼변조왜곡의 원인과 그로 인한 시스템 성능의 영향 분석에 대해 고찰하였다.

II. Ku 대역 탑재체의 구성 및 수동 상호혼변조왜곡

수동 상호혼변조왜곡 현상은 통신방송위성 탑재체 설계 시 시스템 성능을 결정짓는 중요한 요소 중의 하나이다. 그러나 실제의 경우 위성 탑재체에 있어서 수동 상호혼변조왜곡 현상의 발생은 그 모델링이 매우 어려운데, 그 이유는 수동 상호혼변조왜곡 자체가 매우 미세한 부분에서 발생하는 현상이라는 점과 탑재체 조립을 위한 탑재체의 형상은 물론 작업자의 숙련도에 따라서도 그 특성이 달라진다는 것이다.[1]

위성 탑재체 시스템에서의 수동 상호혼변조왜곡 신호는 주로 위성용 RF 부품 및 모듈에서 재료 및 구조의 비선형성에 의하여 발생하며, 필터 등에 의하여 제거가 불가능하다. 이와 같은 수동 상호혼변조왜곡신호는 위성의 포화 전력 증가 및 채널 간격의 감소에 따라 발생이 증가하여 신호의 끊김, 통신품질 저하 등의 통신 장애를 유발하게 된다.[2]

그림 1은 Ku 대역 탑재체 시스템의 블록도이며, 시스템을 구성하고 있는 출력 멀티플렉서부(OMUX Ass'y), 직교모드변환기(OMT), 도파관(W/G), 혼안테나(Horn Antenna), 반사판(Reflector) 등에 의해 수동 상호혼변조왜곡 신호가 발생하게 된다.

위성 탑재체 시스템에서 수동 상호혼변조왜곡

신호의 발생을 최소화하기 위해서는 배럴류 구리와 같은 비철급속 합금의 사용과 X 대역 이상에서 여파기의 제작 시 Invar의 사용, 동축선로의 연결 시 선로의 외부와 페룰 간의 납땜 그리고 집합부의 간격에 의해 발생하는 수동 상호혼변조왜곡의 방지를 위해 높은 평탄도의 도파관 Flange를 사용하고 주름진 Flexible 도파관의 사용은 피하여야 한다.

또한 우주환경에 따른 온도변화를 감안하여 온도변화에 의해 발생할 수 있는 각 구성품의 크기의 변화를 고려한 재질의 선택 그리고 작업환경의 청결도 유지 등이 매우 중요하다고 할 수 있다.

III. 수동 상호혼변조왜곡의 시스템 영향 분석

3.1 PIM 주파수 계산

수동 상호변조왜곡의 분석의 대상이 되는 통신방송위성 Ku 대역 탑재체 시스템은 상향 주파수 14.0 ~ 14.5 GHz의 신호를 수신하고 하향 주파수 대역인 12.25 ~ 12.75 GHz로 주파수 변환 후 증폭하여 송신하여, 전체 500 MHz 대역 내에 36 MHz 대역폭을 갖는 12개의 통신 채널을 수용하도록 설계되었다.

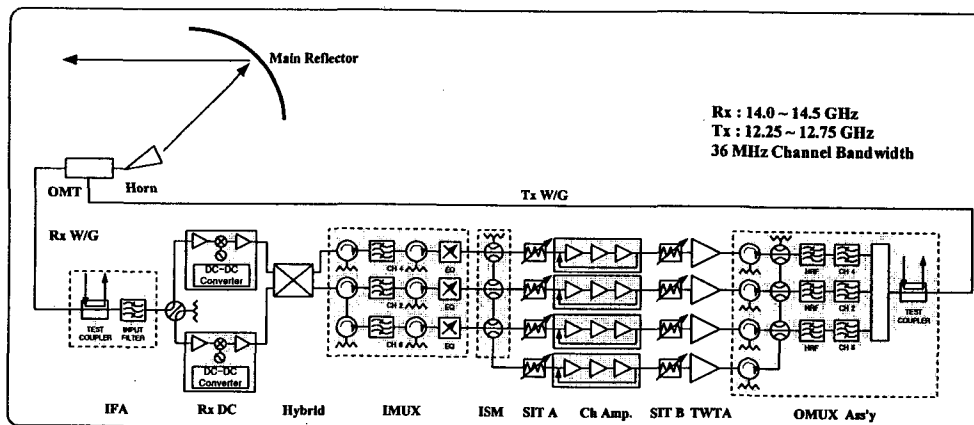


그림 1. Ku 대역 탑재체의 블록도

이 때, 상호 수동혼변조왜곡이 발생하는 주파수는 다음과 같이 계산되어진다.[3]

$$F3 = n F1 \pm m F2$$

여기서,

$p = n + m$: 상호혼변조 곱의 차수

F3 : 수신 대역내의 상호혼변조 주파수

F1, F2 : 송신 채널 주파수

수동 상호혼변조왜곡 신호의 주파수 계산은 PIM 분석을 위해 개발된 프로그램에 의해 계산하였고, 표 1에 나타난 Ku 대역 탑재체 시스템의 채널 중심주파수가 사용되었다.

표 1. Ku 대역 탑재체 채널 중심 주파수

Channel Number	Uplink Center Frequency (GHz)	Downlink Center Frequency (GHz)
2	14.038	12.290
4	14.078	12.330
6	14.118	12.370
8	14.158	12.410
10	14.198	12.450
12	14.238	12.490
14	14.278	12.530
16	14.318	12.570
18	14.358	12.610
20	14.398	12.650
22	14.438	12.690
24	14.478	12.730

표 2에 Ku 대역 탑재체 주요 PIM 주파수 계산 결과를 나타내었으며, 7차에 해당하는 $4*f_2 - 3*f_1$ 즉, 14.25 GHz의 수동상호혼변조왜곡 신호가 수신대역에서 발생함을 확인하였다.

표 2. Ku 대역 탑재체 PIM 주파수 계산 결과

PIM product level	Involved TX frequencies	PIM frequency
3 rd order	$2*f_2 - f_1$	13.250 GHz
5 th order	$3*f_2 - 2*f_1$	13.750 GHz
7 th order	$4*f_2 - 3*f_1$	14.250 GHz
9 th order	$5*f_2 - 4*f_1$	14.750 GHz

3.2 PIM 전력 계산

수동 상호혼변조왜곡에 의한 탑재체 시스템 G/T 성능의 영향분석을 위하여 수신 대역내에서의 4kHz 당 수동 상호혼변조왜곡 신호의 전력레벨을 계산하였다.

수동 상호혼변조왜곡 신호의 전력레벨 계산을 위하여 먼저 300차까지의 PIM 차수에 따른 수신 대역내의 수동 PIM 신호의 개수를 분석하였으며, 그림 2에서와 같이 일정한 PIM 차수이상에서는 더 이상 수동 상호 혼변조왜곡 신호의 개수가 증가하지 않음을 확인하였다.

결국, PIM 신호의 전력레벨 계산을 위한 PIM의 차수를 29차로 제한하고 수신 대역내의 PIM 개수를 104개만 고려하였는데, 그 이유는 그림 3에서 보는 바와 같이 일정한 만큼 PIM의 차수가 증가하면 수신 대역내에서 PIM의 개수가 증가하더라도 더 이상 PIM의 전력 레벨은 증가하지 않고 감소하기 때문이다.

표 3에 이와 같은 분석방법에 따라 Ku 대역 탑재체 시스템의 수신 대역내에서 -164.6 dBW/4kHz 만큼의 수동 상호혼변조왜곡이 발생함을 확인하였으며, 그 전력량이 동일 대역폭에서의 잡음 레벨과 비슷하여 탑재체 시스템의 Spurious 요구사항보다 100dB 이상 적음으로써 시스템 성능에 아무런 영향이 없음을 검증하였다.

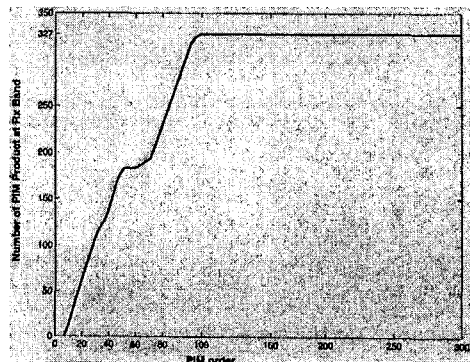


그림 2. PIM 차수와 수신 대역내 PIM 신호 개수

IV. 결론

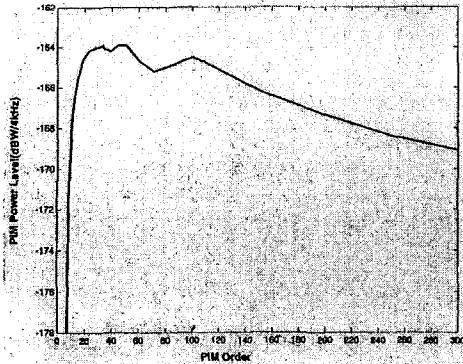


그림 3. PIM 차수와 PIM 출력 레벨

표 3. Ku 대역 탑재체 PIM 전력 계산 결과

Parameters	PIM Level
OMUX PIM Output Level [dBW]	-130.0
Output W/G PIM [dBW]	-150.0
Antenna Feed Assembly [dBW]	-160.0
Total [dBW]	-128.9
Order of PIM	29.0
Channel Bandwidth [MHz]	36.0
Product Bandwidth [dBHz]	90.2
4kHz [dBHz]	36.0
Number of Product	104.0
Total Power Increase [dB]	20.2
Expected Spurious Level due to PIM	
Level of 1 Product [dBW]	-128.9
Level of all product [dBW]	-108.8
Power per Hz [dBW/Hz]	-198.9
Power in 4 kHz @Antenna Transmit Interface [dBW/4kHz]	-162.9
OMT Isolation [dB]	-35.0
Power in 4 kHz @Antenna Transmit Interface [dBW/4kHz]	-197.9
System Thermal Noise at Antenna Receive Interface	
Boltzman Constant (k)	-228.6
System Noise Temperature [dB K]	28.8
Antenna Loss [dB]	-0.8
Noise Power per Hz [dBW/Hz]	-200.6
4kHz [dBHz]	36.0
PIM Power in 4 kHz [dBW/4kHz]	-164.6

본 논문에서는 수동상호변조왜곡의 발생원인 중 송신부의 출력 멀티플렉서, 도파관 및 안테나 결합체 등의 기계적 결합력, 부식, 오염, 송신 전력의 변화 그리고 다중 채널 입력신호의 주파수차이로 인한 표면 진류밀도의 변화 등에 기인하는 수동 상호변조왜곡 현상들을 분석하였다. 그리고 이러한 왜곡 및 간섭현상이 한국 전자통신연구원이 개발 중인 통신방송위성(CBS : Communication & Broadcasting Satellite)에 있어서 탑재체 G/T(Gain/Noise Temperature) 특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 분석 결과 수신 대역 내에서의 PIM 전력레벨은 -164.6 dBW/4kHz로 전체 시스템 성능에 아무런 영향이 없는 것으로 분석되었다.

본 논문의 분석결과는 통신방송위성 탑재체 규격의 만족을 위해 통신방송위성 탑재체 상세설계에 반영되었고, 통신방송위성 기술인증모델(EQM : Engineering Qualification Model)의 제작 및 시험을 통하여 분석결과를 검증할 예정이며 최종적으로 국내 위성 탑재체 기술의 상용 및 실용화를 위한 설계자료로서 충분한 활용가치가 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] Multipactor and PIM in space RF hardware; ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 20-01-1993.
- [2] 정명영, " RF 부품의 Passive IMD 동향", 전파 제96호.
- [3] G. H. Schennum, G. Rosati " Minimizing Passive Intermodulation Product Generation in High Power Satellites", Aerospace Applications Conference, Proceedings IEEE, Vol. 3, 1996.