

우주환경을 고려한 정지궤도위성에 적합한 X대역 필터의 멀티팩터 시험 결과 연구

박종희* · 김영길**

*(주)큐니온 · **아주대학교

The Multipactor Test results on the X Band filter of Space Qualification Model
appropriated for the Geostationary Satellite considering for space environments

Jong-hee Park* · Young-kil Kim**

*Qnion Co., Ltd. · **Ajou University

E-mail : martin.park@qnion.com, ykkim@ajou.ac.kr

요 약

본 논문은 정지궤도위성 관측탑재체 고속 데이터 전송을 위한 X-대역 이중모드 고전력 채널필터의 우주인증모델에 대한 멀티팩터 시험을 통하여 설계시 요구되는 8 dB 마진과의 비교 검토를 수행하였다. 해석적인 요구되는 마진을 시험을 통해서도 충족하며, 만족한 시험결과를 얻었음을 확인하였다. 멀티팩터의 설계 및 시험은 ECSS의 규격을 준용하여 시험이 실시되었으며, 이를 근간으로 설계시 마진을 충분히 확보되면, 별도의 시험 없이 우주인증 모델용 필터 개발에 있어서 참조하여 사용할 수 있을 것으로 제안한다.

ABSTRACT

In this paper, a multipactor test for the space qualification model of the X-band dual-mode high-power channel filter for high-speed data transmission of geostationary satellite observation payloads was conducted and compared with the 8 dB margin required for design. It was confirmed that analytically required margins were met through testing and that satisfactory test results were obtained. The design and test of the multipactor are tested according to the ECSS standard. Based on this, it is suggested that if the margin of design is sufficiently secured, it can be used in the development of the filter for space qualification model without any test.

우주인증모델, 비행인증모델, 멀티팩터, 정지궤도위성

Qualification Model, Pre-Flight Model, Multipactor, Geostationary Satellite

1. 서 론

정지궤도위성 X-대역 이중모드 고전력 채널필터의 멀티팩터 시험은 ECSS 규격에 준용하여 시험 절차 및 시험결과를 확인하였다. [1] 본 연구에서는 비행모델을 개발함에 앞서서 우주인증모델에서 멀티팩터 시험을 통해 우주환경에서 발생할 우려가 있는 상황을 사전에 모의하여 검증하는데 있다. 이를 위해서 ESA에서 인증 받은 시험시설을 이용하여 우주환경시험을 실시하였으며, 규격에 맞는 청정실 조건, 테스트베드를 구축하고, RF 파괴감지장치를 통한 측정을 실시하여 멀티팩터

시험 결과를 확인하였다.

이는 정지궤도위성 X-대역 출력필터 멀티팩션 민감도 해석을 통하여, 요구마진을 만족하는 설계 내용과 비교 검증하였다. [2] 정지궤도위성의 X-대역 출력필터 우주인증모델의 성능시험의 확인 자료로 활용하고자 한다.

II. 본 론

2.1 시험개요

가. 청정실 조건

시험을 위한 청정실은 ESA(European Standard Agency)에서 인증한 class 100,000을 보장하는 장소에서 수행하였으며, 온도 22.4 °C, 습도 41.5 %, 압력 11.6 Pa, 공급량 4,952 m³/h를 유지하였으며, 시험대상장비인 X-대역 이중모드 고전력 채널 필터는 비행모델급에 준하여 다루고 보관하였다.

나. 시험대상장비 (DUT, Device Under Test)

시험대상장비는 우주인증급용 X-대역 이중모드 고전력 출력필터로서 원통형의 이중모드의 대역 통과필터와 와플타입의 저대역필터로 구성되어지며, 그림1과 같은 형상으로, 양쪽 포트에 WR112 UBR84 플랜지 형태의 세이버를 포함하고 있다.

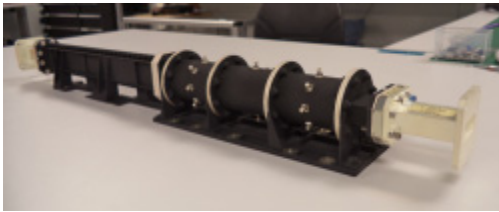


그림 1. X-대역 채널필터

다. 테스트베드

테스트베드는 X-대역에서 동작할 수 있도록 준비되어 540W 펄스 기준으로 시험할 수 있도록 그림 2와 같이 구성하였다. 시험대상장비에 대한 온도 모니터링은 RF입력부, 입력손실, 반사손실을 측정하도록 구성하였다. 우주공간에 유사한 환경을 모의하기 위한 전자를 생성하는 것은 3개소의 ⁹⁰Sr 방사성의 베타 소스를 사용하여 실험을 수행하였다. 멀티팩터영향을 확인하기 위한 RF과괴감지시스템으로는 제3고조파 모니터링장치(3H), 널링감지시스템(NS), 전자사태감지기(EM), 광학감지장치(OD)로 구성하여 시험을 실시하였다.

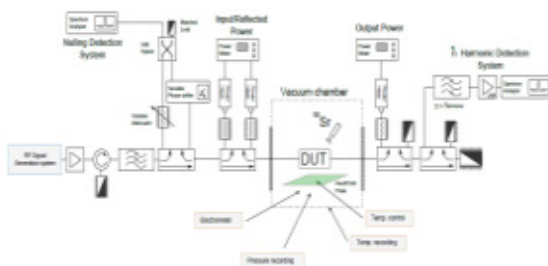


그림 2. 테스트베드 구성도

라. 테스트 파라미터

X-대역 고출력 출력필터를 위한 멀티팩터 시험을 위한 파라미터는 표1과 같이 선정하였다.

표 1. 멀티팩터시험 파라미터

구분	적용파라미터	비고
주파수	8.2 GHz	
압력	< 1.5 * 10 ⁻⁵ mbar	
온도	+22 °C	
펄스반복주파수	1,000 Hz	
펄스 폭	20 μs	
듀티 사이클	2 %	
최대 RF출력(펄스)	540 W	

마. 멀티팩터시험절차

멀티팩터 방전을 초기화하기 위해서는 시험용 챔버에 충분한 자유전자가 필요하다. 특히 시험대상장비의 치명적인영역 주변으로 더더욱 충분히 방출해줘야 한다. 이는 멀티팩터 방사임계값에 신뢰성 있는 데이터를 얻기 위해서는 반드시 필요한 조건임을 명심해야 한다. 이러한 조건을 충족하기 위해서, 시험은 시험대상장비의 관심 있는 부위에 동시에 3개소에서 베타 방사성 소스인 ⁹⁰Sr을 위치해서 시험 동안 충분한 자유전자가 존재하도록 준비를 하였다. 챔버에 자유전자가 충분히 배치된 상태에서는 벡터네트워크분석기를 통해 시험전과 시험후의 S파라미터 값을 측정하였다. 시험대상장비를 위한 멀티팩터 시험을 하기 전에, 사전에 검증을 위한 시험절차로 테스트베드에 대해서 시험대상장비를 전송선로로 사용하여 검증하였다. 이때 모든 멀티팩터 시험파라미터는 표 1에 언급된대로 그대로 수행하였고, 테스트베드에서 사용된 RF과괴감지시스템은 시험 중에 연속적으로 사용되었다. 이러한 사전검증이 완료된 후에 정상 시험시에는 같은 절차로서 시험이 수행되었다. 시험실 보유 RF과괴참조샘플을 시험대상장비로 활용하여 RF과괴에 대한 참조시험을 실시하여 테스트베드를 검증하였으며, 이 때, 모든 RF과괴감지장치는 시험 중에 지속적으로 동작하였으며, 입력손실, 반사손실, RF참조샘플의 온도에 대해서는 시험 중에 계속 측정하였다. 원하는 RF출력세기로 방전된 샘플을 통해 RF과괴감지시스템의 반응에 대한민감도를 확인하였다.

바. 멀티팩터시험 셋업 (진공 챔버 내부)
열진공챔버 내부에는, 멀티팩터 시험을 위한 시험 구성도는 그림3과 같이 구성하였다.



그림 3. 열진공챔버 내부 시험구성도

X-대역 출력필터에서 멀티팩터에 취약할 것으로 예상되는 저대역통과필터 조립부위, 대역통과필터부의 접합부위, 두 대역필터와의 결합부위 이상 3개소를 선정하여, ^{90}Sr 방사성 β 소스를 방사하도록 그림4와 같이 구성한다.

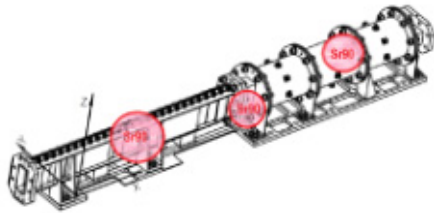


그림 4. ^{90}Sr 방사성소스 삽화도

RF과외감지시스템을 위해 그림5와 같이 1개소의 광전자 프로브를 설치하고, 또한 그림6과 같이 1개소의 광섬유케이블을 설치하였다.

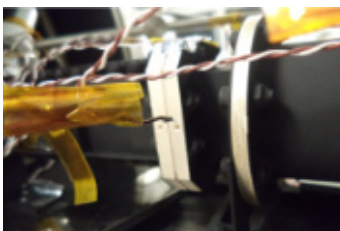


그림 5. 광전자프로브 위치

그림7과 같이 다수의 곳에 열전쌍을 설치하여 전 시험동안 측정을 하였으며, 그 위치는 표2와 같이 선정하였다.

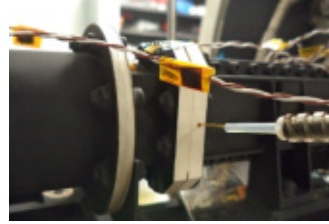


그림 6. 광섬유케이블 위치

표 2. 열전쌍표시번호와 위치

열전쌍 표시번호	위치	비고
1	진공챔버 받침판(우)	
2	입력포트 측 세이버	
3	진공챔버 받침판(좌)	
4	저대역 통과필터(우)	
5	저대역 통과필터(좌)	
6	필터의 조인트 부분	
7	대역 통과필터(우)	
8	대역 통과필터(중)	
10	필터 받침판	
11	출력포트 측 세이버	



그림 7. 열전쌍위치 표시

2.2 시험 및 결과분석

가. 열진공 베이크아웃 시험

멀티팩터 시험하기에 앞서, RF신호의 입력이 없는 상태에서, 약 12시간의 열진공 베이크아웃 시험을 $+85^\circ\text{C}$ (기준: 진공챔버 받침판(좌))에서 유지하게 하고, 시험대상장비 입장에서는 고진공상태에서 약 14시간을 유지하게 하였다. 열진공 베이크아웃 시험시, 온도는 아래 그림 8과 같다.

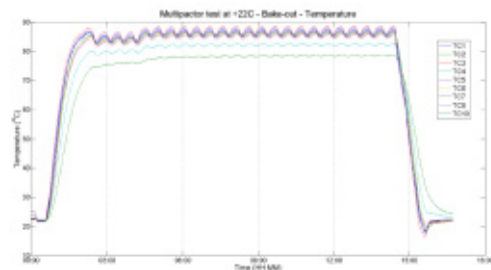


그림 8. 열진공 베이크아웃 시험-온도

나. 멀티팩터시험 (+22°C)

멀티팩터시험을 실시한 시험결과는 표3으로 요약하였으며, 특이사항 없이, 정상적으로 시험대상 장비가 성능을 유지되었으며, 시험결과 프로파일은 그림9, 그림10과 같다.

표 3. 멀티팩터시험결과 요약표

출력 [W]	총 시간(분)	RF과파감지방법			
		3H	NS	EM	OD
100	25	-	-	-	-
120	25	-	-	-	-
190	150	-	-	-	-
300	150	-	-	-	-
380	150	-	-	-	-
480	150	-	-	-	-
540	150	-	-	-	-



그림 9. 멀티팩터시험 - 출력 프로파일



그림 10. 멀티팩터시험 - 입력·반사손실

그러나 본 논문에서의 멀티팩터의 시험을 통해, 다시 한 번 해석결과를 입증하게 됨으로서, 향후 개발될 위성용 고전압 채널필터를 개발함에 있어서, 반드시 필요하지 않은 멀티팩터 시험을 수행할 필요 없이, 개발 당시의 철저한 멀티팩터 민감도 분석만을 통해서도 충분히 인증시험 없이 시스템을 안정적으로 구현할 수 있음을 재확인 하는 계기가 되었다.

참고문헌

[1] Multipaction design and test, ECSS Standard ECSS-E-20-01A Rev.1, 1 March 2013
 [2] Multipaction Sensitivity Analysis of X-band Output Filter for Geostationary Satellite, J.P Kim, S.I Lee, W.G Lim, S.G Kim, S.K Lee, pp. 131-136, Sept. 2015.
 [3] Design of multipactor-free S-band Duplexer using new test method for space applications, S.W Choi, D.Y Kim, K.H Kwon, Y.J Won, Y.K Lee, pp. 1-5, Dec. 2006



박종희 (Jong-hee Park)

1998년 인하대학교 전기공학과 학사
 2015년 ~ 현재 아주대학교 IT융합대학원 재학
 ※ 관심분야: 위성통신, 마이크로파 회로해석 및 설계, 임베디드 시스템



김영길 (Young-kil Kim)

1978년 고려대학교 전자공학과 학사
 1980년 한국과학기술원 석사
 1984년 ENST(프랑스) 박사
 1984년 ~ 현재 아주대학교 전자공학과 교수
 ※ 관심분야: 임베디드 시스템, 초음파 의료기기, Mobile 의료정보시스템, RFID Platform

III. 결 론

이 논문에서는 멀티팩터 민감도 해석에 의해 검토한 결과, ECSS 표준에서 Type1에 대한 해석적인 요구마진인 8 dB 이상을 확보하여 인증시험을 하지 않아도 됨을 알 수 있었다. [2]

또한 입력신호를 120W, 임계간격을 2.5mm로 하여, 멀티팩터 마진을 계산한 결과는 8.44 dB로서 마찬가지로 충족하게 된다. [3]