

# 통신위성 중계기용 고신뢰도 RF 부품에 관한 고찰

## Investigations of Highly Reliable RF Equipments for Communication Satellite Payload

장병준(B.J. Jang)  
염인복(I.B. Yom)  
이성팔(S.P. Lee)

위성RF부품연구팀 선임연구원  
위성RF부품연구팀 선임연구원  
통신위성개발센터 책임연구원, 센터장

RF 부품의 설계는 이용분야에 따라 그 설계법 및 제조공정이 달라지게 된다. 상업적인 이용분야에서는 대량생산 및 저가격화를 목적으로 하는데 반해, 통신위성 및 군사분야 등에서는 고신뢰도 및 고성능을 요구하게 된다. 그동안 국내의 RF 기술은 기본적으로 이동통신 및 위성방송수신기 등의 상업적인 분야에 치중되어 왔기 때문에 높은 신뢰도를 요구하는 위성중계기용 RF 설계기술의 기술수준은 선진국에 비해 매우 낮은 수준이다. 2005년도에는 국내에서 독자적으로 개발되고 있는 중계기를 탑재하는 통신위성이 발사될 예정이므로, 현 시점에서 높은 신뢰도를 갖는 위성중계기용 RF 부품의 설계법 및 제조공정 등을 살펴보는 것이 필요하리라 판단된다. 따라서 본 고에서는 높은 신뢰도를 갖는 위성중계기용 RF 부품의 설계 및 제조공정에 대하여 고찰한다.

## I. 서론

국내의 산업 환경은 기본적으로 대량생산 및 저가격화에 중점을 둔 상업적인 이용분야에 중심을 두고 발전되어 왔다. 이는 현재까지 국내의 주요 전자 관련 수출품이 D-램, TFT-LCD, 이동통신 단말기 등인 것으로부터도 알 수 있다. 하지만 우리나라는 고신뢰도(high reliability)를 갖는 전자제품, 특히 고신뢰도 RF 부품의 수요 및 제조 기술은 미비한 상태이다. 이는 기본적으로 고신뢰도를 갖는 전자산업이 군사용 응용분야 등에서부터 발달되어 왔기 때문에 대부분의 기술들을 선진국들이 독점하고 있는 상태이며 또한 군사와 관련된 부분이므로 기술이전을 꺼리기 때문이다. 또한 기술 및 제조설비를 유지하는 데에도 고비용이 들기 때문에 이윤을 추구하는 사기업에서는 지속적인 투자가 이루어지기 어렵다.

하지만 고신뢰성 전자부품은 전자산업의 역사를 볼 때 산업을 이끄는 원동력의 역할을 한다. 예를 들어 CDMA의 경우, 미국에서 오래전부터 군사적인 응용분야에 사용되어져 왔으며 이것이 기반이 되어 미국 Qualcomm이 CDMA 원천기술을 가지게 된 것이다. 또한 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) 기술[1]의 경우 미사일이나 레이더와 같은 전장품 등에서 시작된 것으로 이동통신 시장이 커짐에 따라 단말기의 핵심 부품이 되었다. 따라서 각국에서도 이를 인지하고 오래전부터 고신뢰성 전자부품의 개발에 심혈을 기울이고 있다. 특히 일본은 수십 년간의 실험 위성개발을 통해 현재 독자적인 위성과 위성부품을 개발할 수 있는 나라가 되었으며, 이러한 기술력은 다른 산업발전의 근간이 되고 있다.

그러나 국내에서는 아직 이러한 고신뢰도 분야에

대한 투자가 미비한 실정이다. 다행히 2005년도 발사를 목표로 국내 통신방송위성 중계기를 ETRI와 국내기업이 공동으로 개발하고 있다[2],[3]. 이러한 개발을 단순히 상업적인 측면에서 볼 것이 아니라, 타산업에의 기술적인 파급효과까지 고려하여 장기적인 측면에서 살펴보고 과제를 진행하여야 할 것이다.

본 고에서는 이러한 측면에서 통신위성 중계기에 들어가는 RF 부품을 중심으로 고신뢰성 부품을 설계/시험/검증/인증하는 방법 등에 대하여 기술한다.

## II. 위성부품의 요구사항

### 1. 위성부품의 동작 환경

위성부품의 설계초기부터 수명이 끝나는 시기까지의 다양한 외부 환경은 위성부품의 신뢰도 및 제조공정 등을 결정하는 데 중요한 요인이다. 위성부품이 동작하는 환경은 크게 지상환경, 발사환경 및 우주환경의 3단계로 구분한다. 위성부품은 상기 세 가지 환경 중 우주환경에 처해있는 기간이 지배적이지만 위성부품을 설계할 때에는 지상환경과 발사환경을 모두 견딜 수 있게 설계하여야 하므로 다음과 같이 3가지 환경을 모두 고려하여 설계 및 제작되어야 한다.

#### 가. 지상환경

발사 이전에 위성부품에 주어지는 모든 환경, 즉 저장, 제작, 조립 및 운반 등이 지상환경(ground environment)에 해당된다. 발사와 우주 환경에 비해 지상 환경은 가혹하지는 않으나 그 기간이 짧게는 수개월에서 길게는 수년 정도까지 걸리므로 이 기간 동안에 저장, 조립 및 운반 등의 과정에서 부품의 신뢰도나 성능이 영향받을 가능성이 있다. 따라서 위성부품의 모든 조작과 운반 등은 관련 요구조건에 부합되게 수행되어야 하며, 이동에 의한 진동이나 충격에도 충분히 견디어야 한다. 또한 작업 환경도 청정실 기준 등의 규격에 맞추어 습도, 온도, 먼지, 정전기 등이 관리되어야 한다.

#### 나. 발사환경

발사환경(launch environment)은 발사체의 이륙 직후부터 통신위성이 정상운영체도를 진입하는 시점까지로 볼 수 있으며 이 과정에서 위성부품은 짧은 기간 중 극심한 환경의 변화를 겪게 된다. 이 발사환경을 위성부품의 요구사항과 연관하여 분류하면 (1) 소음 및 구조물과 관련된 주요 기계적 진동, (2) 가속도에 의한 축방향 하중과 바람 및 회전에 의한 수평방향 하중, (3) 분리과정에서 폭발장치에 의해 발생하는 충격, (4) 상승과정에서 공기역학적인 마찰에 의한 열적인 환경, (5) 대기압에서 진공 상태로의 급격한 압력변화 등의 5개로 나눌 수 있다. 위성부품은 이 모든 환경의 변화에 대해 성능에 지장이 없도록 제작되어야 한다.

#### 다. 우주환경

우주환경(space environment)은 통신위성이 정상체도에 들어선 후부터 수명을 다하는 시기까지이며, 일단 요구체도에 진입하면 주어진 우주 환경에서 위성 부품은 십수 년간 규정된 임무를 신뢰성 있게 수행할 수 있도록 설계/제작되어야 한다. 이 우주환경의 특성은 미세중력, 고진공, 태양복사, 극심한 온도차, 자기장, 미세운석 등으로 규정할 수 있다. 이 우주환경을 위성부품 시험과 연관하면 (1) 미세운석에 의한 기계적 충격, (2) 궤도 상태, 즉 태양광, 지구 그림자, 내부열원 등에 의한 열적인 변화, (3) 우주입자, 양자(photon), 전자(electron) 등의 복사환경, (4) 진공 및 열화(aging) 등으로 분류할 수 있다.

<표 1>은 위성부품의 동작환경 및 관련 요구조건 등을 상업용 시스템, 자동차 전장품 등에서 요구되는 환경과 비교하여 나타낸 것으로 위성부품의 요구조건이 가장 까다로움을 나타낸다[4].

## 2. 통신위성 중계기용 RF 부품의 구성

통신위성 중계기의 구성도는 (그림 1)과 같다. (그림 1)은 현재 ETRI에서 개발중인 Ka-대역 위성 중계기를 나타낸 것으로 다른 주파수 대역의 경우

<표 1> 전기부품의 응용분야에 따른 요구조건

응용분야	동작환경 및 고려항목들
Computers, PCs, Workstations	Thermal shock, solder exposure, shock, vibration, fatigue, flammability, solvent exposure, temperature/humidity/bias, overload, RF/EMI, ESD; Mfg. Proc.(+25°C to +260°C); Storage(-40°C to +85°C); Operation(0°C to +55°C);
Automobile	Thermal shock/cycling, temperature extremes, shock vibration, overload, surge, solvent exposure, flammability, EMI; Mfg. Proc.(+25°C to +260°C); Storage(-55°C to +125°C); Operation(-40°C to +55°C);
Satellite	Pyrotechnic shock, random vibration, acceleration, temperature/humidity/altitude, load shock, thermal shock/cycling, acoustical noise, EMI, sine vibration, humidity, temperature extremes, pressure shock, altitude, space simulation, explosive atmosphere; Mfg. Proc.(+25°C to +260°C); Storage(-62°C to +71°C); Operation(-40°C to +125°C);

채널 수의 차이점을 제외하고는 동일한 구조를 갖는다.

(그림 1)에 나타나는 주요한 부품들의 기능을 설명하면 다음과 같다.

가. 입력 여파기

입력여파기(Input Filter Assembly: IFA)는 입력 결합기와 입력 여파기로 구성되어 있다. 입력 여파기의 주요 기능은 상향 링크 내의 신호는 통과시키

고 그 밖의 신호는 제거하는 것이다.

나. 수신기

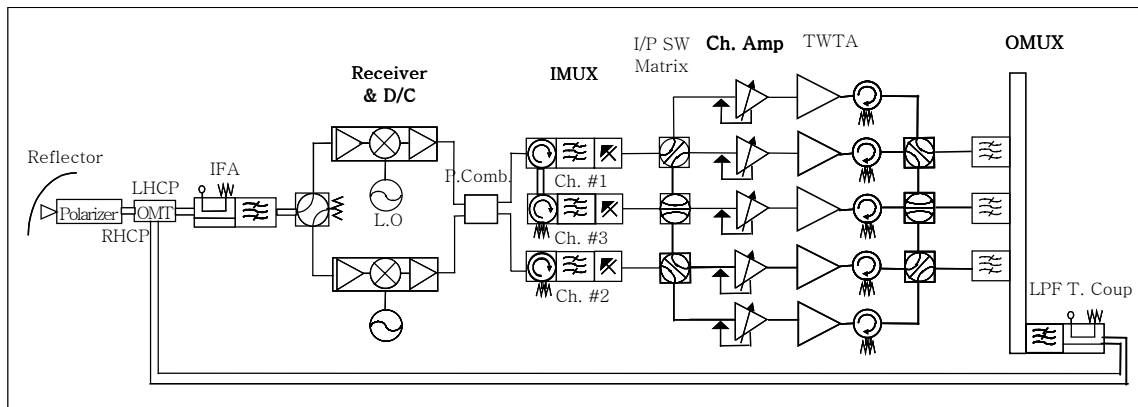
수신기(receiver-downconverter)는 저잡음증폭기(Low Noise Amplifier: LNA), 혼합기(Mixer), 중간주파수 증폭기(IF Amplifier), 국부발진기(Local Oscillator: LO) 및 DC/DC 컨버터로 구성된다. 국부 발진기에서 생성되는 발진 신호는 혼합기에 인가되어 상향 링크 신호를 하향 링크 신호로 변환시키는데 이용된다. 고선형성과 높은 온도 안정도 및 높은 주파수 안정도가 수신기의 주요 지수이며, 고안정도 및 위상잡음 특성을 향상시키기 위해 전압제어발진기(VCO)를 이용한 PLL 구조로 설계된다.

다. 입력 멀티플렉서

입력 멀티플렉서(input multiplexer)는 isolator, circulator 및 도파관 타입의 채널필터와 균지연 등화기(equalizer) 등으로 구성된다. 채널여파기는 인접 채널 성분을 충분히 제거하여야 하며, 균지연 등화기는 동작대역 내의 균지연 특성을 평탄화하기 위해 사용된다. 보통 채널필터는 이중 모드 공진기로서 크기와 무게를 최소화할 수 있도록 설계된다.

라. 채널증폭기

채널증폭기(channel amplifier)는 각 채널별로



(그림 1) 통신위성용 Ka-대역 중계기의 구성도

이득을 조정하는 기능을 수행한다. 고정이득(Fixed Gain: FG) 모드와 자동이득제어(Automatic Level Control: ALC) 모드가 제공되며 지상 명령에 의해 동작 모드를 선택할 수 있다. 채널증폭기의 DC 구동 전력은 TWTA로부터 제공된다. 제어회로 모듈은 지상명령에 의해 채널증폭기의 이득과 ALC 동작 온/오프 그리고 ALC 동작레벨 설정 등의 기능을 수행한다.

#### 마. 진행파관 증폭기

진행파관 증폭기(TWTA)는 진행파관(TWT)과 EPC(Electric Power Conditioner)로 구성된다. 통신방송위성의 TWTA의 출력은 수명 종료시 전력이 100와트 이상 요구된다. 진행파관 증폭기의 RF 특성은 주로 TWT의 특성에 의해 결정되며 EPC는 TWT와 채널증폭기에 DC 전력을 제공한다.

#### 바. 출력 멀티플렉서

출력 멀티플렉서(output multiplexer)는 출력스위치, 출력 채널 여파기, 매니폴드(manifold), 고조파제거여파기(Harmonic Rejection Filter: HRF), 출력 방향성 결합기 등으로 구성된다. 출력 멀티플렉서는 삽입손실을 줄이고 크기를 최소화하기 위해 매니폴드 방식을 이용하는데 공통 매니폴드에 대역통과 여파기가 결합된 구조를 가지며, 송신 주파수 성분과 수신 주파수 성분을 분리할 뿐만 아니라 고전력 증폭기의 고조파 성분도 제거한다.

### 3. 위성 RF 부품의 주요 기술

앞 절에 설명한 통신위성 중계기용 위성 RF 부품을 설계/제작하기 위해 필요한 주요 기술들을 정리하면 다음과 같다. 보통 위성 RF 부품을 설계하는 방식은 새로운 회로설계기술을 채택하기 보다는 검증이 된 이전기술을 사용하려는 경향이 강하기 때문에 설계기술 자체는 그렇게 새롭지 않다. 하지만 고신뢰도를 주기 위하여 부품 선정, 재료 및 제조공정, 시험 수준 및 각종 분석, 엄격한 시스템 관리 등 상

당히 높은 수준의 기술을 요구한다.

#### 가. 소자 선정

위성부품을 구성하는 소자의 선정은 공식적인 위성관련 기구(예, 유럽의 ESA, 미국의 NASA)에 의해 공증된 시험절차에 의해 제작되며, 공식적으로 인증된 부품을 선정하여야 한다. 이러한 소자들을 Hi-Rel 부품이라고 부르며, 이 부품들은 초기불량률을 제거하기 위하여 여러 가지 인증 시험을 거쳐야 한다. 이러한 고신뢰도 소자를 사용하는 이유는 통신위성의 주기가 10년 이상이며, 주어진 궤도에서 성공적인 유지를 위해서는 소자 하나하나의 신뢰도가 매우 중요한 역할을 하기 때문이다. 소자는 일련번호로 구분이 되며 각 소자에 대하여 실시하는 시험의 결과는 각 일련번호별로 기록되어 보관되어야 한다. 또한 시험결과는 부품과 함께 수요자에게 납품되어야 한다.

#### 나. 제조 기술

위성부품을 제조하기 위한 기술은 크게 패키징 방법에 따라 hermetic seal과 non-hermetic seal로 나뉘어진다.

Hermetic seal 기술을 적용한 패키지는 패키지 내에 모든 소자들이 반도체 칩 형태로 조립이 되며, 조립 후 패키지는 진공상태로 만들어 완전히 밀봉시킨다. 반도체 칩 소자를 직접 다루어 조립하므로 제조 공정은 반도체 조립실 정도의 청정도를 요구할 뿐만 아니라 정밀 작업을 요구하게 된다.

Non-hermetic seal 기술을 적용한 패키지는 일반 상업용 모듈을 만드는 것과 동일하게 패키징되어 있는 소자를 구매하여 조립하게 되며 조립 후 진공상태를 만들지 않는다. 단 상업용과 다른 것은 모든 사용한 소자, 재료, 공정기법이 outgassing 문제가 없는 것으로 선정하여야 한다는 것이다. Outgassing이란 위성부품이 위성환경에 놓여 있을 때 소자에서 불순물 가스가 방출되는 것을 말하는 것으로 플라스틱 패키지나 PCB 물질 등에서 방출된다.

따라서 non-hermetic seal 기법으로 부품을 만들더라도 사용하는 소자는 outgassing 문제가 없는 hermetic-seal된 소자를 선정하여야 하며 심지어 사용할 PCB 재질이나 납땜재질 또한 이에 준하는 물질을 사용하여야 한다.

국내에서 생산되는 대부분의 RF 부품이나 소자들은 non-hermetic seal된 소자로 향후 고신뢰도 부품을 제조하기 위해서는 hermetic seal 기술의 국산화가 필수적이다.

#### 다. 시스템 기술

위성부품은 반도체 칩을 직접 조립하거나 hermetic seal된 소자를 이용하여 제조되므로 모든 공정을 체계적으로 관리하기 위한 시스템 기술이 필수적이다. 이는 소자의 선정 및 구매, 작업의 적절한 통제, 작업자의 작업성(workmanship) 관리, 조립 후 시험의 체계적인 수행, 조립 및 시험장비의 청정도 유지 등을 위해서 필수적인 기술로서 위성부품은 설계단계부터 납품까지 모든 과정이 체계적으로 관리되어야 한다.

### III. 위성부품의 설계/제작/시험

본 절에서는 제 2절에서 설명한 위성 RF 부품을 개발하기 위해 필요한 과정들을 기술한다. 먼저 개발모델을 정의하고 제작과정 및 제작 후 필요한 환경시험 및 고신뢰도를 갖기 위해 필요한 인증절차 등을 기술한다.

#### 1. 개발모델의 정의

통신위성이 노출되게 될 환경조건에서 부품이나 시스템이 규정된 성능을 만족하는지를 확인하기 위해서 각 개발 부품들은 설계해석, 시험, 검사, 시험운용 등의 일련의 과정을 거쳐 인증(qualification)을 받아야 한다. 이를 위해 위성개발 단계별로 모델을 설정하여 성능과 설계의 마진을 확인하게 된다. 일반적으로 사용되는 개발모델의 종류는 이력(heritage)

이 없는 새로운 부품의 경우 다음과 같은 6단계까지의 모델개념을 도입하고 있다.

#### 가. 초기모델(Breadboard Model)

초기모델은 개발초기단계에 전기회로적인 설계와 성능을 규명하고자 부품의 전체 또는 일부분만을 제작해서 전기적으로 시험하는 모델로 기계적인 설계는 반영하지 않는다.

#### 나. 시험모델(Engineering Model: EM)

이 모델은 개발경험이 많이 축적된 경우에는 사용하지 않는 모델이다. 하지만 경험이 전혀 없는 부품을 개발하거나 새로운 기술이 도입될 경우 이 모델 개념을 도입하고 있다.

#### 다. 인증모델(Engineering Qualification Model: EQM)

부품 공급자가 다른 위성개발 과정에서 동일한 단위부품 및 조건으로 그 성능이 인증되었다는 충분한 자료를 제공하지 못할 경우, 개발하려는 부품이나 시스템 중 1개를 인증모델로 제작하고 인증수준의 시험을 거쳐서 그 설계와 성능의 만족도를 보여야 한다. 이 때에 사용되는 모델이 인증모델이며 이에 관련된 시험은 그 설계의 적합성뿐만 아니라 안전 및 성능의 마진을 확인하기 위한 것이다. 이 인증모델은 모든 면에서 비행모델과 동일한 규격서를 기준으로 제작되어야 하나, 부품의 재질 선정은 비행모델에 사용하려는 것과 동일한 규격(generic spec.)으로 선정되 반드시 위성용으로 인증된 부품일 필요는 없다. 이를 위한 모든 시험은 소정 절차에 따라 공식적으로 기록되어 보고되어야 하며 이 시험결과를 기준으로 설계 해석의 타당성을 확인하고 비행모델의 설계내용과 제작기준을 확정한다. 이 인증시험을 거친 부품은 비행용으로 사용되지 않는다.

#### 라. 인증모델 II(Qualification Model: QM)

인증모델(EQM)과 동일하나 Hi-Rel 부품 등 비

행모델과 완전히 동일한 부품과 규격으로 제작된 모델로 인증시험을 거치며 비행용으로 사용되지 않는다.

마. PFM 모델(ProtoFlight Model)

통상 비행모델 등 처음 제작되는 부품은 PFM으로 선정하여 PFM 수준의 시험을 거쳐 인증모델의 성능시험을 뒷받침하도록 한다. 이 PFM 모델과 시험의 목적은 작업의 질과 설계의 적합성을 규명하기 위한 것으로, 실제 비행하는 데 사용하여야 하므로 성능을 저하시키거나 신뢰도에 영향을 줄 수 있는 과다시험을 하지 않아야 한다. Hi-Rel 부품, 재질 및 공정을 반드시 사용하여야 한다.

바. 비행모델(Flight Model)

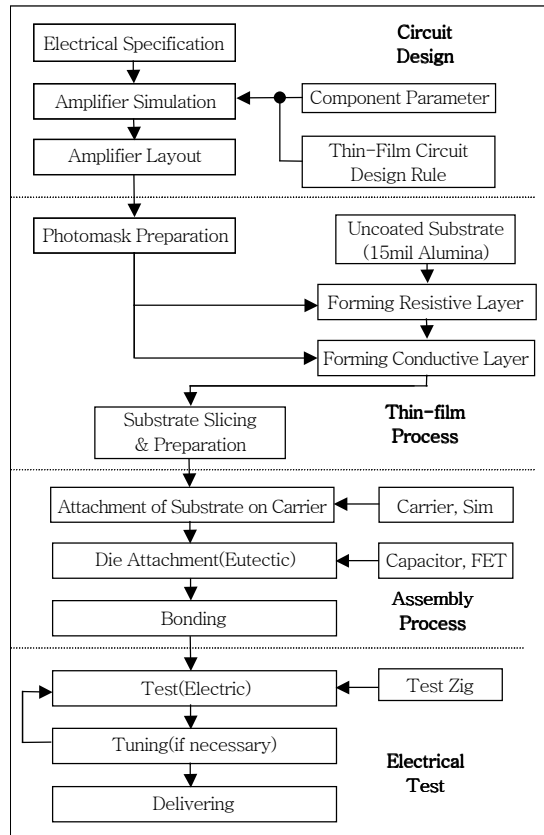
PFM 모델을 제외한 모든 비행용 하드웨어는 비행모델에 해당되며 인수(acceptance)시험을 거쳐야 한다. 이 인수시험의 목적은 workmanship의 지료가 기본적인 성능을 규명하기 위한 것이다.

이상의 6개 모델을 전부 개발하는 것은 시간과 비용이 상당히 소요되므로 많은 경우에 시험환경의 정도, 부품의 기능 및 구매자의 요구에 따라 일련의 모델을 선정하고 적합한 시험을 통해 그 성능을 입증하게 된다. 이에 따라 시험의 수준도 실제 발생하는 환경보다 높게 설정하여 설계의 적합성과 마진을 확인하게 된다.

2. 위성 RF 부품의 제작 및 시험

위성부품을 제작하기 위한 제작공정은 매우 다양하며 선진국들은 각국의 기술 수준에 맞도록 자신의 제작공정을 발전시켜 왔다.

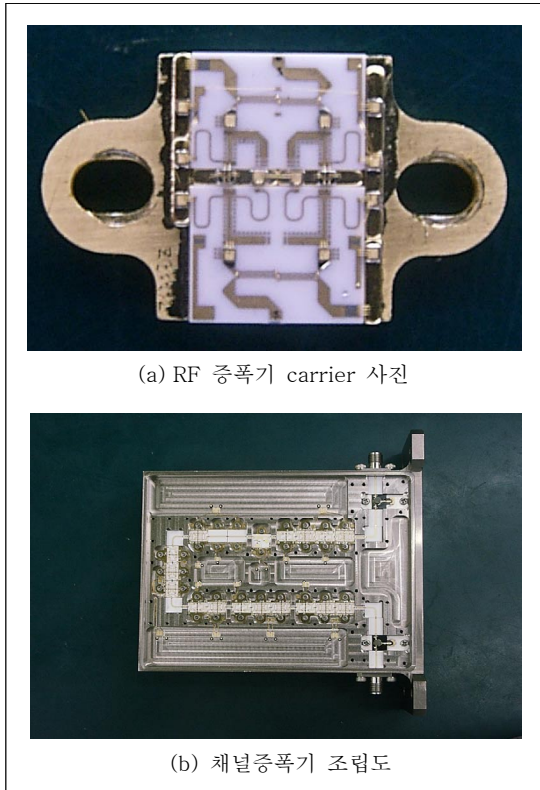
(그림 2)는 위성 RF 부품에 들어가는 RF 증폭기 캐리어를 제작하기 위한 제작과정의 예를 나타낸 것이다. 회로 설계가 완료되면 기판을 제작하고 기판과 개별 소자들의 접착, wire bonding 및 curing 등의 일련의 과정들을 기술하였다. 모든 과정은 신뢰도를 높이기 위하여 품질관리가 이루어져야 하며,



(그림 2) RF 증폭기 carrier 제작 과정

각 단계마다 조립절차서에 따라 이루어져야 한다. (그림 3(a))는 이렇게 제작된 RF 증폭기 캐리어 사진을 나타내며, (그림 3(b))는 이러한 캐리어 레벨의 소자들을 조립하여 만든 채널증폭기의 조립도면을 보여준다. 조립된 채널증폭기는 hermetic seal 과정을 거쳐 완전히 밀봉하게 된다.

이렇게 설계와 제작이 완료된 위성 부품은 시험을 통해 성능을 입증하게 된다. 시험 과정은 제작이 완료되기 전까지 시험 절차서의 작성을 완료한 후 TRR(Test Readiness Review)를 개최하여 시험의 과정에 대한 것을 승인받는다. 승인된 시험절차서에 의거하여 시험이 진행되게 되며 시험의 결과를 검토하여 요구규격을 만족하지 못하는 경우는 NCR(Non-Compliance Record)을 발행하게 되고 이것에 의해 MRB(Manufacturing Review Board)를 개최하여 해결방법을 논의하게 된다. 이러한 과정을



(그림 3) 위성 RF 부품의 제작사진

거쳐 요구되는 모든 시험을 완료하면 시험 결과를 발표하고 TRB(Test Review Board)를 개최하여 시험결과의 만족여부를 검토한다.

위성부품을 설계한 후 초기 전기적 시험을 완료한 후 환경시험을 거치게 된다. 환경시험은 발사 시에 접하게 되는 진동과 우주환경상태를 시뮬레이션하는 열진공시험이 있다. 진동시험에는 정현파진동, 랜덤진동이 있다.

#### 가. 진동시험

진동시험(vibration test)의 목적은 위성부품이 주어진 진동환경에서 견딜 수 있도록 설계 제작되었는지와 부품들이 원하는 대로 동작하는지를 확인하기 위한 것이다. 이 진동환경은 발사체의 이륙경로, 불완전 연소에 의한 주기적인 진동 및 지상의 운반과정 등에서 나타나는 환경이다.

#### 나. 열진공시험

열진공시험(thermal vacuum test)의 목적은 발사, 천이궤도, 운영궤도 등에서 위성부품에 주어지는 극한온도와 진공상태에서 요구조건을 만족시키는가를 확인하는 것이다. 또한 열적인 환경을 변화시키면서 각 부품간의 하드웨어적인 연결부위, 즉 케이블, 커넥터, 조립부품 등에 열응력을 가하여 작업과정에서의 불완전한 부위 및 잠재 결함을 사전에 발견해내는 것이다.

#### 다. EMC 시험

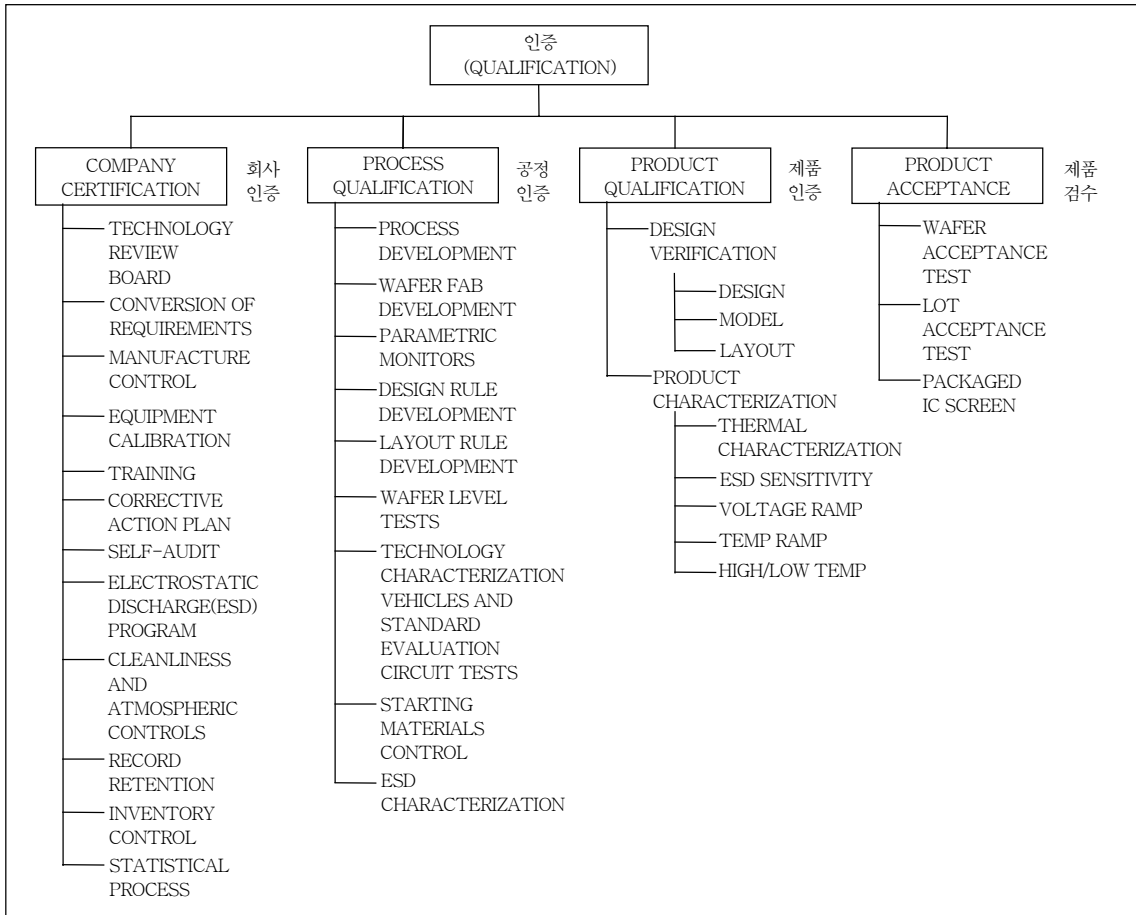
EMC(Electro-Magnetic Compatibility) 시험의 목적은 부품이 전자기적으로 충분한 내성을 갖는지를 확인하는 시험이다. 위성부품은 EMC 요구조건을 만족하기 위하여 다양한 차폐방법 등을 적용하여 제작되어야 한다.

### 3. 인증

통상 RF 부품을 제작하는 방법은 전기적 규격을 보고 적당한 소자를 선정하여 설계/제작/측정하여 요구규격을 만족시키면 제조와 각종 시험을 거쳐 양산하는 것이다. 하지만 위성부품의 경우는 이와 다르게 이러한 기본적인 요구조건에 과거 위성에 이용되었던 이력(heritage)이 더해진다. Heritage가 있다는 것은 위성중계기의 수명동안 동작이 보장될 수 있다는 것을 의미하며, 부품공급업체가 위성중계기에 납품하기 위해 다양한 인증(qualification) 과정을 거쳤다는 것을 의미한다.

부품의 인증이란 특정한 부품의 설계, 제조, 작업자 관리, 성능이 요구되는 전기적 및 환경적 조건 하에서 동작할 수 있다는 확증을 주는 것이다.

부품의 인증은 크게 다음의 4가지 절차로 나뉘어진다. Heritage가 있는 부품인 경우는 앞의 3단계는 간략하게 진행하거나, 문서로 대체 또는 생략될 수 있으며, 제품 검수만을 진행하면 된다. Heritage가 없는 부품의 경우는 이 모든 단계를 처음부터 진행하여야 하는데 이는 많은 투자와 시간이 필요한 작업이다.



(그림 4) MMIC의 인증과정

(그림 4)는 부품의 인증과정 및 각각의 필요 과정 등을 MMIC 소자의 경우를 예로 들어 설명한 것이다. 각 단계를 간략히 설명하면 다음과 같다.

가. 제조사 인증

제조사 인증(company certification)과정은 제조사가 그 부품의 질(quality)을 적절하게 보장하고 있는지 확인하는 과정이다. 위성부품과 같은 고신뢰성 부품의 경우 시스템 사업자와 부품 공급업체 간에는 오랜 기간에 걸쳐 그 부품에 대한 지식 및 경험을 공유하여 그 부품이 요구되는 성능을 만족하고 최종 제품의 신뢰성을 보장할 수 있는 제작과정을 가지고 있다. 새로운 부품을 제공하려는 부품 업체는 시스템 사업자에게 충분한 신뢰성 있는 제품을 생산하기

위한 장비, 설계 과정, 제작 과정 및 제작자들을 관리할 수 있는 문서, 절차 및 관리과정 등을 확신시켜 주어야 한다. 보통 부품의 구매계약이 이루어지기 전에 이 작업이 선행되어야 하며, 품질 및 신뢰도를 만족시킬 수 없는 업체는 고신뢰성 부품의 부품업체로 선정되어서는 안된다.

ISO 9000 인증이라든가 기타 다른 인증절차를 받은 업체의 경우는 과거의 인증을 보완하는 문서 정도로 끝나기도 한다.

나. 공정 인증

공정 인증(process qualification)과정은 자신의 제조공정을 거쳐 생산된 부품이 신뢰성이 높고 생산성이 뛰어나다는 것을 보여주는 과정이다. 그 부품



회사에서 만드는 제품이 여러 가지가 있다고 하더라도 가장 기본이 되는 회로 소자를 이용하여 인증이 진행된다. 이 인증과정은 특정한 부품의 신뢰도를 보여주는 것은 아니고 그 공정 자체가 신뢰할 수 있는 부품을 생산할 수 있다는 것을 보여주는 것이다. 공정 인증 과정은 기본 소자 및 재료의 구매, 관리 절차, 그 공정을 거쳐 제작된 기본 부품의 수명시험, 실패 오차의 분석 과정 등을 포함한다.

#### 다. 제품 인증

제품 인증(product qualification)과정은 설계된 특정 부품의 전기적, 환경적 특성을 확인하는 과정으로 설계 확인(design validation)이라고 부르기도 한다. 설계 확인을 위해서 제작하기 전에 설계의 검증, 해석 등의 검토 회의가 따른다. 설계된 부품은 다양한 테스트를 통해 그 성능이 입증된다. 예를 들어 온도 특성을 결정하기 위한 열해석 및 측정 등이 있다.

#### 라. 제품 검수

비록 설계된 제품이 인증된 공정을 거쳐 제작되고 측정을 통해 규격을 만족한다고 할지라도 신뢰도가 낮은 부품은 존재하기 마련이다. 이것은 제조 공정에서의 변동, 소자 및 재료의 하자, 패키징 시 오차 등에 발생한다. 따라서 적절한 스크린 절차를 거쳐 신뢰도가 낮은 부품은 제거하여야 한다. 이 과정이 상업용 부품과 위성부품을 구별하는 중요 차이점이다. 100% 스크리닝을 통과하기 전까지 그 부품은 위성용으로 인증되었다고 말할 수 없다.

제품 검수(product acceptance)과정을 요약하면 다음과 같다. 제작된 부품에 따라 각각의 과정은 생략되거나 줄어들 수 있다.

##### 1) Stabilization Bake

소자 중 초기에 그 전기적 특성이 변하는 경우가 많이 있다. 대부분의 특성은 20시간 안에 정상상태에 도달하게 된다. Baking이 적당히 이루어지지 않

는다면 수명시험 등에서 기준값을 정하는 데 어려움이 있으므로 실제 측정 전에 이 작업이 필요하다.

##### 2) SEM 해석

반도체 소자들의 경우 SEM 사진으로 불량 등을 판단할 수 있다.

##### 3) Nondestructive Bond Pull 시험

Wire bond의 결합이 적절한지를 판단하기 위한 테스트로서 RF 소자의 경우는 bond의 모양 등이 소자 특성에 영향을 주므로 생략하기도 한다.

##### 4) Visual Inspection

실제 제조공정 시 기판의 크랙(crack), wire-bond의 불량, 조립상태 등의 전반적인 확인 작업이 이루어진다.

##### 5) IR Scan

Visual inspection 단계에서 검출되지 못한 불량을 검출하기 위한 테스트로서 기판의 크랙, die-attach 시에 발생하는 void 등을 검출할 수 있다.

##### 6) Temperature Cycling and Shock Screen

초기 불량을 제거하기 위해 온도시험을 실시하게 되는데 보통 -65°C에서 200°C 간에 15번 정도 시행한다.

##### 7) Mechanical Shock Screen

제작된 부품의 전달, 발사, 취급 시 발행하는 기계적인 진동에 의해 불량이 발생할 수 있는지 사전에 관찰하는 과정이다.

##### 8) Constant Acceleration

기계적인 결함을 찾기 위한 시험으로서 작업자의 작업과정에서의 실수(workmanship에 의한 불량)를 찾는 수단이다.

9) PIND(Particle Impact Noise Detection)

소자를 패키징할 때 입자들이 발생할 수 있는데 이러한 입자가 발생하였는지 여부를 관찰하기 위한 시험이다.

10) Burn-In

초기 불량률 제거하기 위해 높은 온도에서 오랜 시간 시험된다. Burn-in 측정은 한 번만 수행되며 불량률이 가속되지 않도록 시간 조절에 유의하여야 한다.

11) Leak Test

Hermetic 패키지 소자의 경우 패키지 불량이 발생하는지 여부를 관찰하기 위해 수행한다.

12) Radiographic

최종 hermetic 패키지 소자의 내부를 X-ray를 이용하여 불량이 있는지 관찰한다.

이상의 과정이 위성부품에 적용되어 이 모든 인증시험을 통과한 부품만이 실제 위성증계기에 사용되게 된다. 소자의 종류에 따라 각각의 시험을 진행하는 방법 및 절차가 다르게 된다. 사용할 부품에 따라 각각의 절차 및 수준을 결정하는데 이에는 많은 경험과 체계적인 시스템 기술이 필요하다.

#### IV. 위성부품의 분석

설계된 RF 부품을 위성용으로 사용하기 위해서는 전기적 요구 조건을 만족시켜야 할 뿐만 아니라 신뢰도, 기계적 특성, EMC 특성 등도 요구 조건을 만족시켜야 한다. 전기적 특성은 여러 가지 소프트웨어를 이용하여 분석하기도 하고 또는 실제로 초기모델을 제작하여 특성을 측정하여 설계를 검토하기도 한다. 하지만 신뢰도나 기계적 특성 등은 측정이 불가능하거나 쉽지 않아 이론을 바탕으로한 분석을 통해 요구 조건을 만족하는지 여부를 검토하게 된다. 주요 분석 대상으로는 신뢰도(reliability)

분석, FMECA(Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), Part Stress 분석, Worst Case 분석, 열해석(thermal analysis), 구조해석(structure analysis), Radiation Hardening 분석, EMC 분석 등을 들 수 있다.

#### 1. 신뢰도 분석

신뢰도 분석은 소자의 신뢰도에서 전체 부품의 신뢰도를 계산하는 것으로 시스템 개발 전반에 걸쳐 적용된다.

#### 2. FMECA

이 분석의 목적은 기능적 블록에서 모든 가능한 고장모드(failure mode)를 파악하고 분석하며, 성능에 미치는 영향을 조사하기 위한 것이다. FMECA의 주요 목적은 부품의 성능의 손실을 가져오는 모든 single point failure를 파악하기 위한 것이다.

FMECA 워크시트에는 모든 구별되는 항목과 그들의 기능적 설명, 고장모드에 대한 설명과 원인, 부품 전체에 미치는 영향, 고장 모드를 감지하는 방법, 보상이 가능한 경우는 보상 방법과 위험정도(criticality) 등을 표시한다. 각 고장모드에 따라 시스템 성능에 미치는 영향의 정도에 따라 위험정도를 구분한다.

#### 3. Parts Stress 분석

이 분석의 목적은 모든 부품들의 동작조건, 즉 열적 stress나 전기적 stress가 사용자가 요구하는 derating 요구치에 만족하는지 여부를 확인하기 위한 것이다. 즉 신뢰도 분석 시 가정한 각 부품의 derating을 확인하기 위해 행하는 것이다.

분석의 방법은 각 부품에 인가되는 전압, 전류, 전력을 계산하여 그들의 rated값과 비교하여 stress ratio를 계산하는 것이다. 또한 모든 반도체 소자에 대해서는 최대 결합(junction) 온도도 계산하여야 한다. 즉 위성체 조립면의 최대동작 온도를 기준으로 분석한 열해석을 통해 계산된 최대 결합 온도를

이용하게 된다. 이렇게 계산된 stress ratio는 일정한 워크시트에 표시하여야 하고, 워크시트에는 각 모듈별로 표시하며, 각 모듈에 있는 모든 부품에 대해 실시한다. 워크시트에는 회로도 기준번호, 부품 번호, 주요 전기적 파라미터, 허용된 detating값, 계산된 stress ratio를 기록하게 된다.

#### 4. Worst Case Analysis

이 분석의 목적은 부품의 성능이 지정된 범위 내에서 최악의 조건일 경우도 요구치를 만족하는지 여부를 확인하기 위한 것이다. RF 성능에 영향을 미치는 것으로는 RF 소자들의 성능저하, 바이어스 소자의 성능저하에 의한 공급 전류 및 전압의 변화에 의한 RF 성능 저하 및 제어회로 소자의 성능저하에 의한 RF 성능 저하를 생각할 수 있다.

#### 5. 열해석

이 분석의 목적은 최대 동작 온도에서 각 부품의 온도 및 반도체 소자의 경우 결합 온도가 부품의 derating 온도보다 낮아 동작 시에 성능 저하를 유발하지 않는 것을 확인하고, 부품에서 발생하는 열이 전체 시스템에 미치는 영향을 고려하기 위하여 Maximum heat flux가 지정된 값 미만임을 확인하기 위한 것이다.

#### 6. 구조해석

분석의 목적은 최악의 환경조건 하에서도 구조적으로 파괴가 일어나지 않는 것을 시험 전에 확인하는 것이다. 이 분석에는 온도에 의한 기계적 팽창에 의해 나사 등에 가해지는 압력을 분석하기 위한 static 분석, 자연주파수를 계산하기 위한 normal 모드 분석, sine 진동의 영향을 파악하기 위한 주파수 응답 분석, 랜덤 진동 분석 등이 있다.

#### 7. Radiation Hardening 분석

이 분석의 목적은 우주 방사선 환경이 위성부품

에 미치는 영향을 평가하여 우주환경에서도 수명기간동안 위성부품이 정상 동작한다는 것을 보여주는 것이다. 소자의 동작에 영향을 미치는 것으로는 Natural Total Dose 영향과 Single Event 현상 등을 고려한다. Natural Total Dose는 동작기간 중 연속적으로 쌓이는 방사능에 의해 소자의 성능이 저하하거나 최악의 경우는 동작불능에 빠지기도 한다. 또한 Single Event 현상은 SEU(Single Event Up-set), SEL(Single Event Latch), SEB(Single Event Burnout) 등의 현상을 분석하는 것이다.

Total Dose에 의한 영향에서 소자를 보호하기 위한 방법으로는 Radiation Hardening 소자를 사용하는 방법과 필요한 경우 차폐(shielding)를 행하는 방법이 있다. 차폐의 재질로는 알루미늄을 사용하며 10mm를 최대 두께로 한다. SEP를 보호할 수 있는 방법은 거의 없으며 소자의 설계 시 이러한 점을 고려하여 설계가 되어야 한다.

### V. 결 론

고신뢰도를 요구하는 위성 환경에서 RF 부품의 설계 및 제조를 위해서는 신뢰도 및 인증절차에 대한 전반적인 이해가 필요하다. 본 고에서는 고신뢰성 부품을 설계/제조하기 위해 필요한 신뢰도 요구 조건, 제작 단계, 제작 방법, 인증 절차, 시험 방법 및 분석 방법 등을 간략히 설명하였다.

앞으로 21세기는 대량생산의 시대가 아니라 고품질 소량 생산의 시대가 될 것이라는 것은 주지의 사실이다. 앞에서 살펴본 바와 같이 위성 RF 부품의 제조기술은 우리나라의 기술수준이 한 단계 더 진보될 수 있는 핵심기술로 자동차 부품산업, 항공산업 등 타 산업에 영향력이 큰 고부가가치 기술이다.

현재 ETRI를 주관으로 국내 기업이 공동으로 위성부품을 설계, 제작 및 시험중에 있다. 이러한 결과물을 통해 기술 검증을 추진하고 있다. 이를 바탕으로 하여 앞으로 타 산업과의 연계 및 관련 기술의 축적 그리고 시스템 구축 측면에서 지속적인 관심과 투자

가 필요하다고 생각한다.

## 참 고 문 헌

[1] S. Kayali, *et al.*, "GaAs MMIC Reliability Assurance Guideline for Space Applications," *JPL Publication*

96-25.

[2] 박종홍, 염인복, 이성팔, "통신위성탑재체의 주요기술 분석," 한국항공우주학회지, 제30권 제2호, 2002. 3.

[3] 이성팔, 정태진, 은종원, 박종홍, 염인복, 정철오, "국내 통신방송위성 탑재체 기술개발," 위성통신과 우주산업 제 10권 제1호, 2002. 5.

[4] NS Application note, "Package Reliability," 2000.