

## 위성체 개발에 필요한 우주환경 시험 기술

천용식\* · 이상설\* · 이주진\*\* / \*항공우주연구소 선임연구원  
 \*\*KARI 우주비행시험연구그룹장

### □ 차 례 □

- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| I. 우주환경          | IV. 인공위성의 환경시험     |
| II. 우주환경 시험의 중요성 | V. 인공위성의 시험 종류     |
| III. 인공위성의 개발 과정 | VI. 인공위성 종합조립/시험센터 |

### I. 우주환경

인공위성이 떠다니는 우주는 공기도 없고 중력도 거의 없는 초청정 환경으로 위성체에 유리한 점만 있을 것 같지만 지상에서 발생하지 않았던 문제들이 나타나게 된다. 즉 반도체 제품이나 플라스틱 제품에 작은 기포가 있다면 진공 상태에 의해 기포가 터지고 제품을 파손 시키게 되며, 물체 표면에 붙어있던 각종 이물질이 튀어 나와 인공위성의 카메라 렌즈나 태양 전지판에 붙게 되어 제기능을 발휘하지 못하게 된다.

또한 인공위성이 떠다니는 우주는 (표1)에서와 같이 심층 우주공간의 상당 온도가  $-270^{\circ}\text{C}$  정도이고 태양 빛을 받는 면은  $+100^{\circ}\text{C}$  정도로 가열되어 극한상태의 온도변화에 처하게 되어, 인공위성의 열보호가 잘못된 경우 내부의 각종 장치 및 기기들이 제기능을 발휘할 수 없게 된다.

이와 같이 우주환경은 지상에서 예기치 못했던 문제점들이 발생하게 되고 이들에 대한 사전검증이 철저히 이루어져야만 인공위성을 우주로 보낼 수 있는 것이다.

<표 1> 우주궤도 환경

환경종류	수	준
진공	$10^{-11}$ atm 이하(480 km 상공)	
극저온	약 4 K (심층우주 상당 온도)	
무중력	수 $\mu\text{g}$	
태양광	자외선, 복사열 $1355 \text{ w/m}^2$	
방사선 노출	$10^7$ dose/년 (1600km 상공 $0.5 \text{ g/cm}^2$ , Al 차단막내에서)	

## II. 우주환경 시험의 중요성

인공위성은 우주공간에서 자기 스스로 작동해야 하므로 스스로 살아가기 위한 모든 장치를 가지고 있다. 즉 태양에너지를 전기에너지로 바꿔 인공위성에 필요한 전력을 공급하는 태양전지판 및 축전지등의 전력공급장치, 스스로 자세를 잘 유지하기 위해 위성체의 위치 및 자세를 감지 조정하는 자세제어 장치, 위성체를 움직여 주는 추력장치, 모든 부품을 지지 보호하는 구조물과 방충, 통신 또는 관측등의 임무를 수행하는 탑재장치로 구성된다.

이러한 부품중에서, 특히 태양전지판과 같이 우주에서 전개하여 사용해야 되는 부품은 장애요인이 항상 존재한다. 전개장치 오동작으로 인한 실패 사례를 예를 들면 (표2)에서와 같다. (표2)에서 1981년 6월에 아리안에 실려 발사된 무게 670kg의 APPLE(Ariane Passenger Payload Experiment) 위성의 경우 태양전지판이 뭉쳐 기능에 영향을 주었으나 기능의 일부만이 작동 되었고, 1992년 2월에 발사된 일본의 JERS-1 위성의 경우 두개의 SAR 안테나의 전개 장애로 초기에는 제기능을 발휘하지 못했으나 4개월이 지난 1992년 6월부터 문제가 해결되어 제기능을 발휘하였다.

이와 같이 우주에서 발생된 기능장애등의 문제점은 지상에서의 해결 노력으로 제기능의 일부 또는 전부를 회복하였다 하더라도 위성 각 부품의 오동작은 위성전체에 영향을 끼쳐 주어진 임무를 충분히 발휘하지 못하게 된다. 그러한 경우, 그 피해는 위성자체에 대한 손실 이상의 영향을 주게 되며 1987년 11월에 발사되었던 TVSAT 1에 서와 같이 실패에 대한 배상을 하는 경우도 발생한다.

## III. 인공위성의 개발 과정

인공위성의 가치는 단위 무게당 금액의 10배 가까이 되며 고장이 난다거나 제기능을 발휘하지 못하면 그 손실이 엄청나게 되는 것이다. 이렇게 고가의 인공위성을 극한의 우주환경에서 고장없이 장기간(3~10년) 동안 정상작동 시키기 위해서는 항공기 이상의 고신뢰도가 보장되어야 한다.

고신뢰도 보장을 위해 인공위성의 환경시험은 (그림1)과 같이 설계후부터 개발 모델(development model)을 제작하여 이에 대한 기본 특성을 측정하는 "개발 시험"을 거쳐 설계수정이 이루어 지도록 하고 실제 부품개발에 들어가게 된다. 개발부품에 대한 환경시험은 시험기준(test level)에

<표 2> 인공위성의 전개장치 실패 사례

위 성 체	발사년	문 제 점	원 인
APPLE#	1981	태양전지판 뭉침	태양전지판 걸쇠가 박힘
INSAT 1A#	1982	태양전지판의 태양 추적 불가능	기계적 걸쇠 오동작
INSAT 1B*	1983	태양전지판의 부적절한 작동	전개구조물의 열로 인한 접촉
ARABSAT 1A*	1985	태양전지판, C-밴드 안테나 전개 실패	기계적인 상호간섭
TVSAT 1^	1987	전개 실패	전개용 걸쇠 구조물이 잠겨 있지 않음
GALILEO#	1989	High Gain 안테나 전개 실패	소켓과 볼 사이에 낮은 용접점
MAGELLAN#	1990	태양전지판 걸쇠 실패	마이크로 스위치 오조정
ANIK-E2*	1991	K, C-밴드 안테나 전개 장애	열담요 또는 기계적 간섭
JERS-1*	1992	레이다 안테나 전개장애	전개편의 낮은 용접점
TSS*	1992	결박선의 전개 실패	미 상

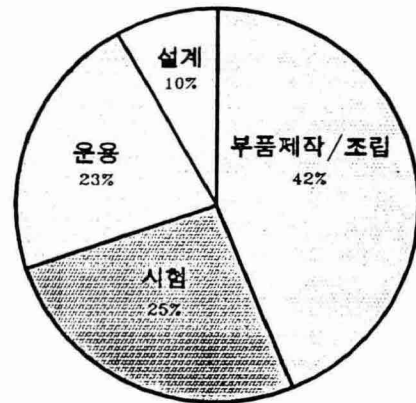
\*: 문제해결, #: 문제부문을 제외하고 위성 사용중, ^: 실패에 대한 배상

<표 3> 인공위성 개발시 시험 요소 및 횟수

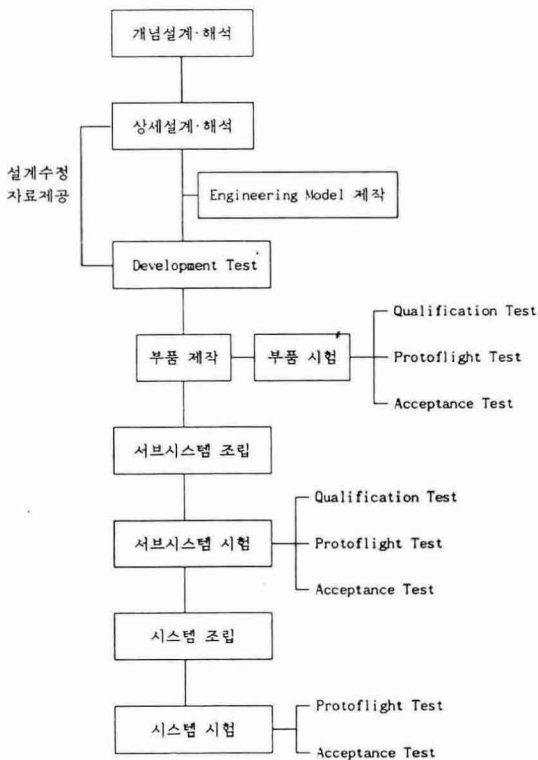
단 계 별	갯 수	시 험 횟 수	비 고
Part/Component	10~20만개	-	단위 제작회사별 수행
Module	30~50 set	150~250회	종합조립/시험시설에 수행
Sub-System	5~10 set	25~50회	"
System	2 set	10회	"

가중치를 둔 평가시험(qualification test), 준승인 시험(protoflight test) 및 승인시험(acceptance test)의 3단계로 구분하여 수행된다.

인공위성의 개발과정에 있어 시험이 차지하는 비율은 (그림2)에서 보는 바와 같이 전체 소요 예산의 약 25% 정도를 차지하게 되고 모듈 수준 이상의 부분조립체에 대한 시험 횟수만도 300회 이상을 수행하게 되어, 특히 인공위성의 시험평가는 상상을 초월할 정도의 중요성이 부여되고 있음을 알 수 있다.



<그림 2> 인공위성 개발시 과정별 소요 예산 비율



<그림 1> 인공위성체 시험 흐름도

#### IV. 인공위성의 환경시험

인공위성이 발사체에 실려 우주궤도에 진입한 후 임무수행을 하기까지는 (표4)와 같은 과정을 거치게 되고, 각 단계마다 인공위성에 미치는 영향이 달라지게 되어 이 모든 과정을 시험내용에 반영하여 “지상 모사 시험”을 수행하여야 한다.

인공위성이 작동되는 과정을 모두 지상에서 확인시험하기 위한 환경시험의 종류는 표 5와같이 나누게 된다.

#### V. 인공위성의 시험 종류

앞서 논한 인공위성 개발에 필요한 시험은 개발시험과 환경시험으로 대별되고 이를 자세히 설명하면 다음과 같다.

<표 4> 인공위성의 작동 과정

단계별	과 정	유 발 환 경	인공위성에 영향인자
발사	발사체 탑재 및 발사	가속, 진동, 소음, 공력가열, 전자파 간섭	가속, 진동, 소음, 전자 간섭
	발사체에서 분리	충격, 감소, Spin	충격, Spin
	전이궤도 진입(지구정지궤도경우)	Despin, 가속	Despin
궤도 진입	본궤도 진입	우주환경((표1) 참조)	우주환경
	작 동	우주환경 전자파 간섭	우주환경 전자파 간섭

<표 5> 인공위성의 환경시험 종류

시 험 종 류	작 동 단 계 별	내 용
발사환경 시험	발사단계의 지상모사	진동/소음, 가속, 충격 Spin
궤도환경 시험	우주궤도 환경의 지상모사	진공, 열, 태양광모사
전자파 시험	전자파 간섭 현상 시험	전자파

### 1. 인공위성 개발시험

주로 서브시스템의 상세설계 해석 또는 개발제 작단계에서 필요하게 되며 주요 시험종류는 다음과 같다.

- 안테나계 개발시험

안테나 반사기의 열변형도를 확인하기 위한 시험으로 설계검증 및 제작공정검증 자료로 제공된다.

- 전력계 개발시험

태양전지판 개발을 위해 태양전지의 수명시험, 발전시험이 수행되며 특히 위성의 수명에 영향을 주는 배터리의 수명시험은 필수적이다.

- 구조계 개발시험

초경량, 박판 구조물의 강도 특히 진동에 대한 특성 측정(진동모드, 감쇠계수, 공진주파수)이 주요 항목이 된다. 인공위성 구조계 설계상 진동 해석이 가장 중요하게 고려되므로 진동특성의 정밀측정이 요구된다.

- 열제어계 개발시험

태양광을 모사시킨 태양광 모사 챔버에서 궤도 상의 위치에 따라 태양광 변화에 의한 열특성을 측정한다. 열보호막의 설계에 필수적인 자료를 공급하게 되고 위성체의 정확한 온도분포 계산에 필수 과정이다.

- 자세제어계 개발시험

위성체 자세제어 성능확인을 위한 필수과정으로 정밀 rotator(2 또는 3 axis)에서 가상표점에 대한 자세제어 정밀도를 시험한다.

- 구동 장치 개발시험

고진공, 열교번 상태하에서의 구동장치의 신뢰도 확인이 중심이 되며 인공위성 초기 실패의 대부분이 구동장치 고장임을 감안할 때 그 중요성은 매우 크다.

### 2. 발사 환경 시험

위성체가 로켓트에 탑재되어 발사되는 동안 추진제에 의한 가속 및 진동이 전달되고 단분리 등에 의한 충격 하중을 받으므로 이에 대해 다음과 같은 시험이 수행되어야 한다.

- 가속 하중시험(Quasi-static load test)

- 정현파 진동시험(Sinusoidal vibration test)

- 음향 진동시험(Acoustic vibration test)

- 충격시험(Shock test)

- 가속하중 시험

주로 구조체에 대해 실시하며 강도 안전도 확인을 위한 시험으로 설계/해석 검증 자료로 사용된다.

- 정현파 진동시험

발사체에서 전달되는 저주파 진동에 대한 각 부품의 진동 안전도 확인을 위한 시험으로 위성체 각부분에 가장 심한 영향을 주는 시험이다.

• 음향진동시험

안테나 태양전지판등의 얇고 넓은 구조물의 고주파수 진동에 대한 안전도 확인 시험으로 소음을 전달시켜 진동을 주게된다.

3. 전자파 환경 시험

위성체는 지구의 자기, 전리층, 반 알렌대(Van Allen Belt) 및 우주선 방사사와 같은 전자파 환경에 의해 영향을 받게된다. 이러한 전자파 환경속에서 동작되는 모든 장비들은 전자파 적합성 평가가 요구된다.

- 방출 시험(Emission test)
- 감응 시험(Susceptibility test)
- 정전기 방전(Electrostatic discharge)

• 방출시험

위성체에 의해 생성되는 신호의 잡음 특성을 얻기 위해서 협대역 및 광대역에서 간섭신호의 발생여부, 간섭신호의 증폭 그리고 간섭신호 결합등이 평가된다.

• 감응시험

전도와 복사로 인한 간섭을 측정하여 간섭상태를 고려하여 감응성을 결정한 후 안전한 범위를 설정하여 원치않는 신호 발생시 만족하게 운용되어야 한다.

• 정전기 방전(ESD)

정전기의 영향을 받은 위성체는 연속적인 방전현상이 발생된다. 정전기의 영향을 최소로 하기 위해 방전 전류의 흐름을 해석하여 정전기에 민감한 장비에 직접적인 방전전류를 차단하는 것이다.

4. 궤도환경 시험

궤도를 운행하는 동안 태양에 비치는 면과 그림자진 면의 온도 차이와 고진공 상태에서의 위성체 각 부품의 동작 신뢰도를 확인하기 위한 시

험이다. 특히 고진공( $10^{-12}$  Torr 이하)환경하에서 출기가스(Outgassing)에 의한 표면 오염에 주의하여야 한다. 시험대상물의 종류에 따라 다음과 같은 종류의 시험을 실시한다.

- 열주기 시험(Thermal cycling test)
- 열진공/주기 시험(Thermal vacuum cycling test)
- 열평형 시험(Thermal balance test)

• 열주기 시험

위성체 부품중 진공상태에서 출기가스의 문제가 없는 부품에 대해 대기 상태에서 열주기 시험을 실시한다.

• 열진공/주기 시험

위성체 대부분의 부품, 서브시스템 및 시스템에 대해 실시하며  $10^{-5}$  Torr이하의 진공에서 위성의 예상 최고, 최저 온도보다 심한 환경하에서 장시간 시험한다.

• 열평형 시험

새로운 모델 개발시 설계자료를 위한 인공위성내 열전달 경로 및 온도 분포를 확인하는 시험으로 궤도 위치에 따른 모사 태양광을 위성체에 조사하여 실제의 우주공간 열상황을 재현하여 시험한다. 가장 고가의 시험항목이며 정확한 온도 분포가 측정될 수 있다.

VI. 인공위성 종합조립/시험센터(Assembly, Integration & Test Center)

인공위성의 조립 및 시험은 우주와 같은 청정 환경에서 수행되는 것이 필수적이다. 인공위성 종합조립/시험 센터(AITC)는 서브시스템 및 시스템 분야별로 반복되는 각각의 시험시 시험실간 이동으로 발생하게되는 공기에 의한 오염을 최소화하기 위하여 한지붕 아래(Under one roof)에서 시험하는 것이 효과적이다.

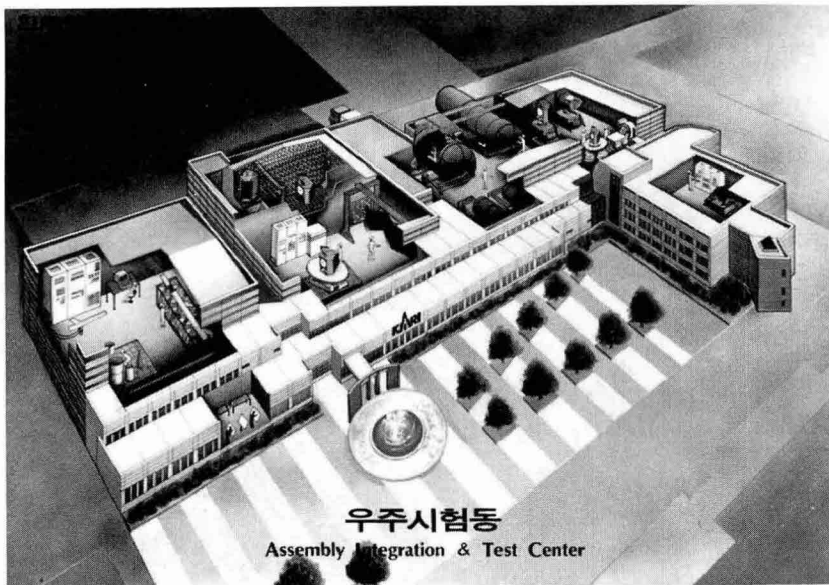
항공우주 연구소에서는 중형급이상의 위성 개발에 필요한 AITC를 건축중에 있다. 1995년 10월에 건물공사가 완공예정인 AITC는 1차로 저궤도 중형위성의 국내 개발을 위한 종합 조립/시험 시

설로 활용되고, 차후의 인공위성 개발시 산·학·연 공동활용을 통한 국내 우주산업 발전의 일익을 담당하게 된다. 또한 위성급의 우주 환경시험

기술의 국내제품 개발에 적용을 통한 국내 산업 기술수준 향상에도 본 AITC는 활용될 예정이다.

〈표 6〉 항공우주연구소에서 건설중인 AITC

구 분	시 설 규 모	소요건물 면적
위성체 조립시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 500kg, <math>\phi</math>1.5m급 위성체 종합조립시설</li> <li>• (1/3600)<math>^\circ</math>, <math>\mu</math>m급 정밀도</li> <li>• 청정도 10,000 Class</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건축면적 : 1,934평</li> </ul>
위성체 시험시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 500kg, <math>\phi</math>1.5m급 위성체 시험시설</li> <li>• 청정도 100,000 Class</li> <li>• 부품개발 시험시설</li> <li>• 궤도환경 시험시설</li> <li>• 발사환경 시험시설</li> <li>• 전자과환경시험시설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연 건 평 : 3,521평</li> </ul>



〈그림 3〉 항공우주연구소에 건설중인 AITC 투시도

筆者紹介

▲천 용 식

- 1987년 : 단국대학교 전자공학과(공학석사)
- 현재 : 한국항공우주연구소 우주비행시험연구그룹  
선임연구원

▲이 상 설

- 1991년 : 한국과학기술원 기계공학과(공학박사)
- 현재 : 한국항공우주연구소 우주비행시험연구그룹  
선임연구원

▲이 주 진

- 1975년 3월 ~ 1982년 8월 : 국방과학연구소 선임연구원
- 1984년 : 미국 John Hopkins대 기계공학과(공학석사)
- 1986년 : 미국 John Hopkins대 기계공학과(공학박사)
- 1986년 10월 ~ 1991년 2월 : 한국표준연구소 책임연  
구원
- 1991년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주연구소 우주비행시  
험연구그룹장 책임연구원