

〈主 題〉

위성시험 공정 및 시험 요구 조건에 대한 고찰

조 낙 양

(현대전자(주) 위성사업단)

□ 차 례 □

I. 서 론

II. 위성시험 요구조건(Satellite Test Requirements)

III. 위성시험 공정(Satellite Test Process)

IV. 결 론

I. 서 론

인류가 위성을 제작하고 사용해온 이래로 최근에 위성사업은 수요가 급증하고 있으며, 그 기술과 개념적인 측면에서도 일대 변환기를 맞고 있다 하겠다. 위성은 주로 군사용이나 과학용으로 부터 시작하여 방송, 통신용으로 발달되어 왔으며, 위성제작도 보통 하나의 위성을 올리기 위해 오랜 설계/개발 기간과 제작/시험기간을 필요로 했었다. 그러나 최근들어 전세계적으로 위성을 이용한 통신 및 방송등의 수요가 급증함에 따라 여러개의 동일위성을 이용하여 전세계를 연결하는 새로운 개념의 통신사업이 다각적으로 추진되고 있으며, 이러한 위성들은 과거와는 달리 대량생산의 개념으로 제작/시험되고 있다. 또한 그 규모가 커짐에 따라 여러회사가 공동으로 출자하여 사업을 진행하고 있다.

우리나라에서도 현재 이리돔 사업에 SK Telecom이 참여하고 있으며, 현대전자와 데이콤이 글로벌스타 사업에 참여하고 있다. 특히 현대전자는 단순히 위성 서비스사업에만 참여하는 것이 아니라 위성체 부품제작 및 위성체 제작, 조립 및 시험(Assembly, Integration & Test)에도 참여한다는 점에서 그 의미가 크다 하겠다. 과거 위성제작은 미국과 유럽등지의 일부 선진국 중심으로 이루어져 왔고, 우리나라와 같은 기술중진국에는 기술이전을 회피해 왔던것이 사실이다. 그러므로 최근의 위성수요 급증과 대량생산 추

세는 우리와 같은 중진국들이 위성 AIT사업에 참여하여 기술을 이전 받을 수 있는 호기라 하겠다.

위성을 제작/시험하는 과정은 일반적인 제품과는 다르게 매우 높은 신뢰성과 정밀도를 요한다. 그 이유는 위성체를 제작하여 일단 궤도상에 올리게 되면 더 이상의 보수가 불가능하기 때문이며, 그렇기 때문에 위성제작에 있어서 시험과정은 특히 중요하며 많은 노력을 필요로 하는 분야이다.

본고에서는 위성체 제작을 위한 위성시험 요구조건 및 환경조건에 대해서 알아보고, Globalstar와 같은 저궤도 통신위성의 위성체 시스템 레벨에서의 시험공정에 대하여 고찰해 보고자 한다.

II. 위성 시험 요구 조건 (Satellite Test Requirements)

위성시험 요구조건이란 위성체를 시험하기 위해서 우선적으로 고려되어야 할 위성의 환경조건 및 시험을 위한 준비조건들을 정의하는 것을 말한다. 위성시험 조건은 위성이 직면할 모든 외부환경조건과 시험방법, 시험을 위한 장비 및 프로그램의 준비등으로 구성되는데, 시험조건은 위성 부품 (Unit) 단계에서 부터 위성 서브시스템 (Subsystem) 단계 그리고 위성체 (System) 단계, 궤도상 시험 (In-Orbit Test) 단계에 걸쳐서 정의되어져야 한다.

위성의 시험은 일반적으로 개발시험 (Development Test), 인증시험 (Qualification test), 승인시험 (Acceptance test)으로 구분할 수 있는데 개발시험은 위성 설계단계에서 하드웨어와 소프트웨어의 개념을 확인하고 성능 여유분, 제작 가능성, 신뢰성, 안정성등을 확인하는 시험이며, 인증시험은 설계의 적합성과 적정 성능마진을 확인하고 시험기술, 공정, 환경, 장비 및 소프트웨어등의 성능을 입증하는 시험으로 위성이 그 수명동안 직면하게 될 모든 환경보다 높은 범위에서 시험이 이루어져야 하며, 승인시험은 위성 제작에서의 작업성 (Workmanship)의 품질을 입증하고 위성이 임무수행에 적합한지를 승인하는 시험이다.

2.1 시험 준비 (Test Preparation)

위성 시험을 위해서는 기본적으로 시험장비, 시험 소프트웨어와 MGSE (Mechanical Ground Support Equipment), EGSE (Electrical Ground Support Equipment)등의 장비 그리고 테스트를 위한 문서 (Documents)들이 준비 되어 져야한다.

시험장비는 발사환경시험장비(진동시험기, Acoustic Chamber, 충격시험기), 궤도환경시험장비(열진공 챔버, 열주기챔버), 탑재체(Payload)시험장비(CATR, NFR, EMI/EMC Chamber), 축정 및 Alignment장비, 태양전지판(Solar Array) 및 안테나 전개시험장비등을 들 수 있다. 각 장비들은 위성체의 크기 및 사용 환경에 따라 적절히 준비되어야 하며 시험에 충분한 성능을 가지고 있어야 한다. 또한 부품단계, 서브시스템 단계, 시스템 단계 각각에 대해 그 용도와 필요에 따라 준비되어야 하며 위성체에 미치는 피해를 최소화 할 수 있어야 한다.

위성체 시험을 위한 소프트웨어는 시험작업을 조정하기 위한 제어 소프트웨어와 시험의 결과를 저장하고 분석하기 위한 Data Acquisition S/W로 나눌 수 있으며 각각의 소프트웨어들은 장비와 마찬가지로 사용되기 전에 충분히 검토되고 인증되어야 하는 것을 원칙으로 한다.

MGSE는 위성제작을 위해 필요한 기계적 장비들로 각종 돌리(Dolly), 어댑터(Adapter), 고정구(Fixture)등을 말하며, EGSE는 위성의 부품 및 서브시스템, 그리고 시스템 단계에서의 전기적 성능을 시험하기 위한 장비이다.

이 밖에도 위성시험을 위해서는 각종 문서들과 시험시간, 시험 안전계수, 시험공차등이 정해져야 하며,

일반적으로 이러한 변수들은 위성 부품단계에서의 성능시험 자료가 그 작성 기준이 된다.

2.2 시험 환경 (Test Environments)

위성체를 시험하기 위한 환경이란 바로 위성체가 그 수명기간 동안에 직면하게 되는 모든 외부 환경을 모사하는 것을 말하며, 일반적으로 위성체에 주어지는 환경은 크게 지상환경, 발사환경, 궤도환경으로 나눌 수 있다.

1) 지상환경 (Ground Environment)

지상환경이란 위성이 발사되기 이전에 제작, 조립, 시험, 운반, 저장등의 과정에서 직면하게 되는 모든 외부환경을 말하며, 일반적으로 위성제작/시험 시설은 청정도 100,000 Class이하의 청정실로 운용되며 요구조건에 부합하는 습도, 온도등의 관리가 필요하다.

2) 발사환경 (Launch Environment)

위성이 발사체에 실려 발사된후 부터 정상궤도에 진입을 완료할 시점까지의 환경을 말하며, 위성이 발사체로 부터 받는 소음 및 진동과 가속도에 의한 하중, 발사체 단분리시에 받게되는 충격, 대기압에서 진공상태로의 급격한 압력의 변화등의 환경으로서 위성이 받게되는 외부 가진력은 대부분 발사 30분이내에 집중되기 때문에 위성의 구조적 설계에 있어서 중요한 변수가 되는 환경이다.

3) 궤도환경 (Orbital Environment)

위성이 정상궤도에 진입한 후부터 수명을 다할 때까지의 환경을 말하며, 보통 열진공환경과 전자파환경으로 구분된다. 열진공 환경은 우주의 고진공과 가혹한 온도 환경을 시뮬레이션하는 것으로 특히 저궤도위성의 경우에는 위성의 식(Eclipse)으로 인한 온도 변화에 대한 고려가 필요하다. 전자파환경은 위성 탑재체가 우주전자파에 의해 겪게되는 환경을 말한다.

Ⅲ. 위성시험 공정 (Satellite Test Process)

위성의 시험은 부품단계, 서브시스템 단계 그리고 위성체 즉 시스템 간계에 걸쳐서 지속적으로 이루어지며 각 단계의 시험은 그 목적에 따라 인증시험 (Qualification Test)과 승인시험(Acceptance Test)으

로 구분된다. 이 장에서는 글로발스타와 같은 대량생산 개념의 저궤도위성에서의 위성체 단계의 시험공정에 대해 전반적으로 알아보고 각 공정의 목적과 기능에 대하여 서술해 보고자 한다.

3.1 시험의 목적

1) 인증시험 (Qualification test)의 목적

- 비행모델 시험(Flight Model Test)전에 위성체 설계의 검증(Verification)과 인증(Qualification)을 완료한다.
- 위성체가 수명기간(Lifetime)동안 직면할 모든 환경 조건에서 성능을 유지할 수 있는지 여부를 인증한다.
- 위성체 시스템 단계의 AIT의 workmanship의 질을 인증한다.
- 위성체 AIT를 위한 GSE(Ground Support Equipment)의 적합성을 인증한다.
- 승인시험의 AIT pass/fail criteria(통과 기준서)를 위한 참고자료를 작성한다.
- 위성체 시스템 테스트를 포함한 모든 부품의 인증과정을 완료한다.
- 진동(Vibration), 열(Thermal)등의 해석모델들을 인증한다.

2) 승인시험 (Acceptance test)의 목적

- 승인된 설계 규격에 따라 제작된 위성의 작업성이 적합하며 또한, 기대되는 동작 환경에서 일정한 성능을 갖추고 있는지를 증명하기 위해 수행된다.
- 작업성(workmanship)에 결함이 있는지 여부를 검사.
- 보관 또는 발사를 위한 위성체의 준비를 수행한다.
- 위성체의 성능이 QM(Qualification Model)시험 및 규격과 일치하는지 확인한다.

3.2 시험 공정

<그림 1>은 글로발스타의 인증시험(Qualification Test)공정도를 보여주고 있고 <그림 2>는 승인시험(Acceptance Test)의 공정도이다. 위성 시험과정을 간단히 살펴보면, 우선 위성은 최초로 추진시스템의 조립성을 검사하게 되고 다음으로 초기 Alignment를

하고 다음에 초기 전기적 성능시험을 통해 부품들의 작동충능을 시험하게 된다. 다음에 위성은 열주기 챔버로 옮겨져 열주기시험을 거친 후 태양전지판(Solar Array)을 장착하고나서 태양전지판 수동전개 시험을 진행한다. 다음으로 Mass Property를 측정하고 Dynamic Test로 넘어가서 Acoustic, Sine, Randoem, Shock Test의 순서로 진동시험을 하게된다. 이후에 다시 Solar Array Pyro Deployment 시험을 실시한 후 태양전지판 모듈을 떼어내고 열진공챔버로 옮겨져 열진공/열평형 시험을 하게된다. 그 과정에서 열진공 시험전에 중간 Alignment와 전기성능시험을 통해 Dynamic Test에 의한 성능저하 및 Alignment 오류를 검사하게 된다. 열진공시험 후에 위성은 EMC 시험을 하게 되고 다음에 최종 전기성능 시험과 최종 Alignment, 그리고 추진시스템 시험 순으로 시험을 진행하게 된다. <그림 2>에서 알 수 있듯이 글로발스타에서는 제작기간을 단축하기 위하여 승인시험에서는 몇개의 시험과정을 생략하고 시험을 진행하게 된다. 다음에 각 시험공정의 목적과 시험방법을 간단히 기술하였다.

1) 추진서브시스템 조립시험

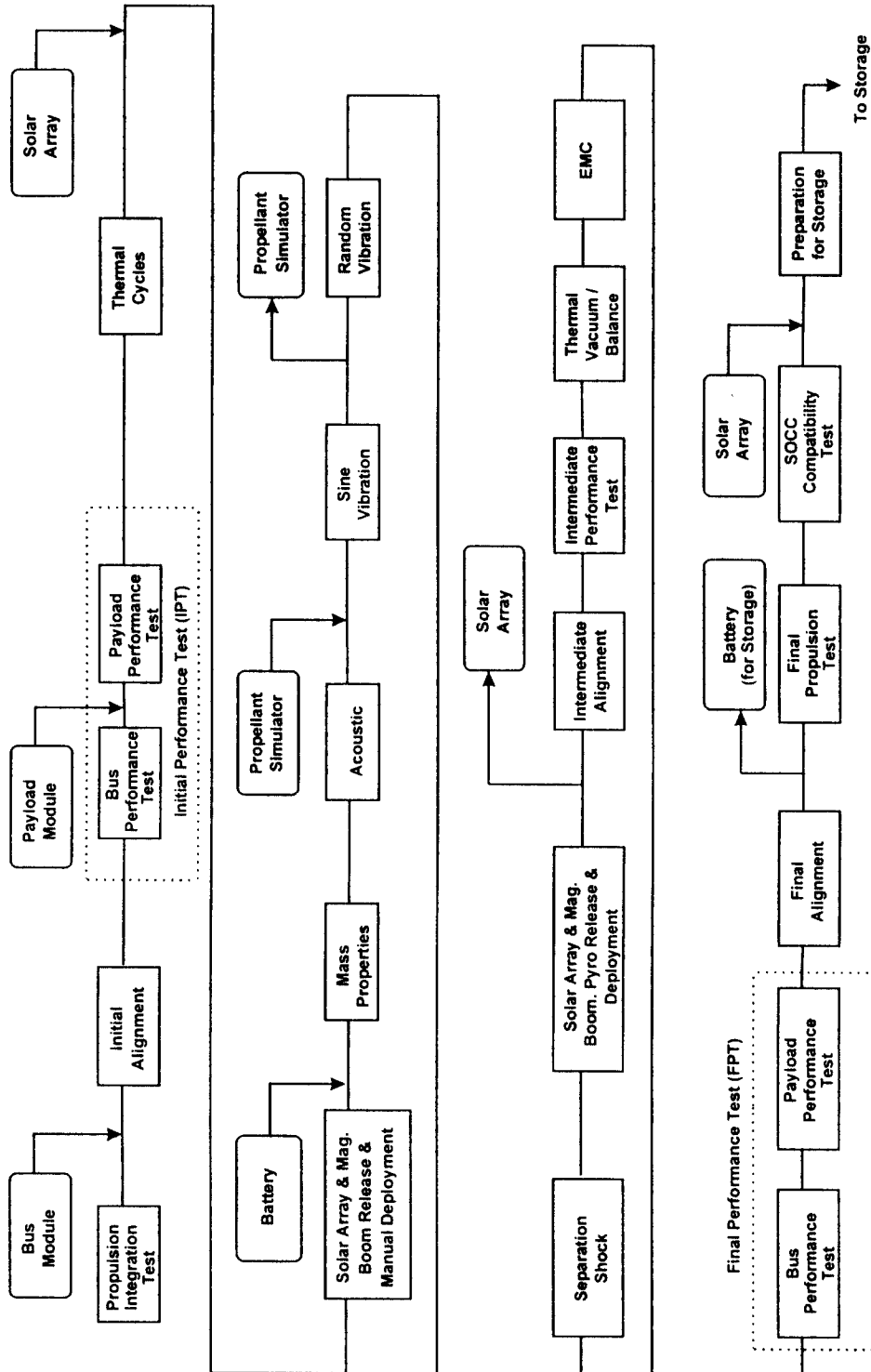
(Propulsion Integration Test)

추진서브시스템 조립시험은 인증시험과 승인시험 초기에 추진서브시스템 모듈 조립이 정확하게 되었는지의 여부를 확인하는 시험으로 위성체 패널 조립전에 실시하게 된다.

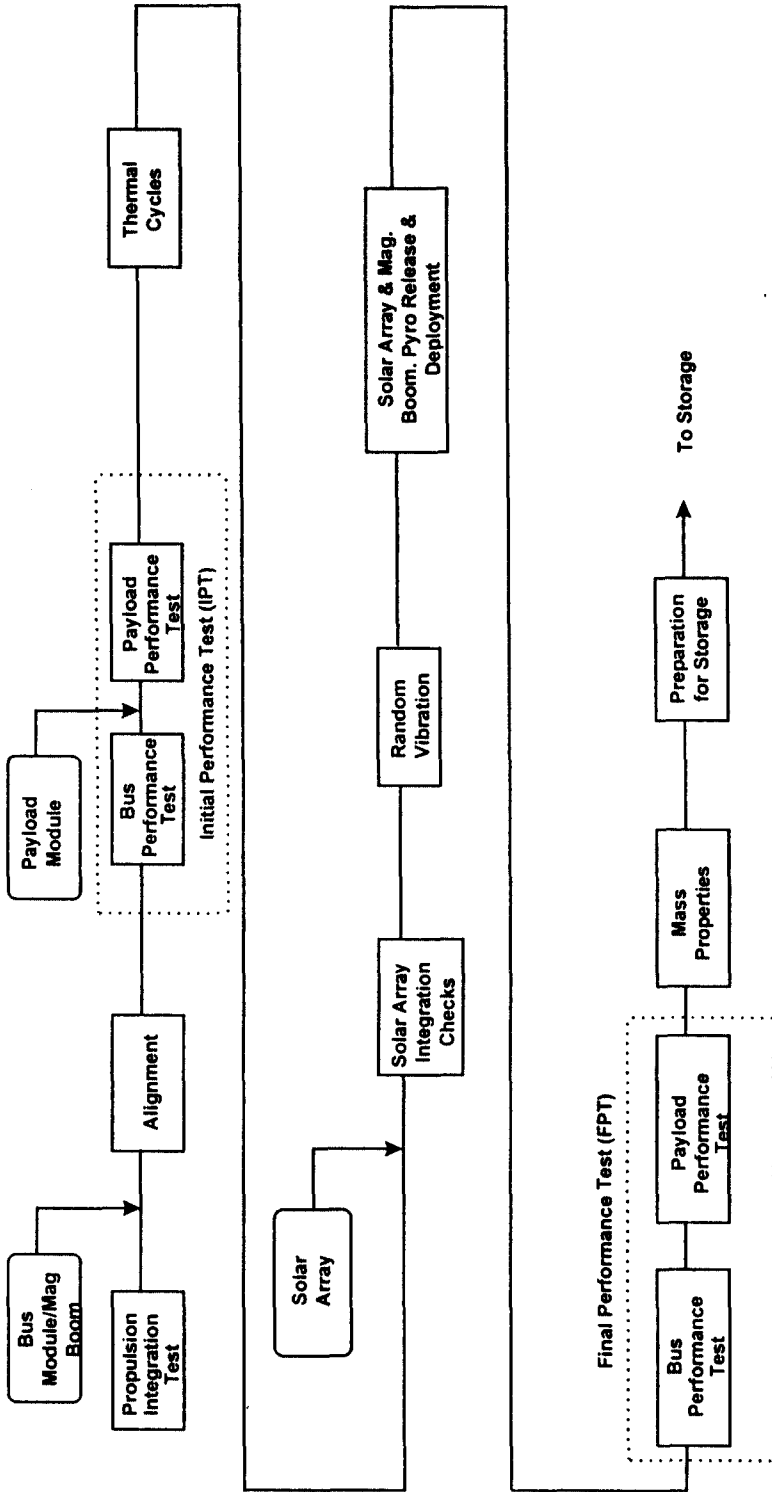
2) Alignment

위성체의 부품들중 각종 센서류와 Thruster, Momentum Wheel, Reaction Wheel 및 Antenna 등은 매우 정밀한 조립이 요구된다. 위성체 조립상의 미세한 각도 차이 등이 궤도상에서는 큰 오류를 일으킬 수 있기 때문에 위성체 Alignment는 매우 중요하다. 일반적으로 Alignment는 초기 Alignment, 중간 Alignment, 최종 Alignment로 구분된다.

- 초기 Alignment : Qualification test초기에 Alignment를 보정하고 테스트 전반의 기초 자료로 이용한다.
- 중간 Alignment : 위성 Dynamic Test(Vibration & Acoustic Test)후에 발생한 Alignment 변화를 검사하고 조정한다.
- 최종 Alignment : 모든 환경 시험이 끝난 후에 최종적으로 Alignment를 검사하고 조정한다.



(그림 1) 글로발스타 인증시험 공정도



(그림 2) 클로발스타 위성체 승인 시험 공정도

3) 전기적 성능시험(Electrical Performance Test)

위성체의 전기 장비들의 성능을 시험하는 Test로서 위성체 탑재체(Payload) 및 Telemetry & Command 장비등의 성능을 검사한다. ISTC(integration system test complex)에서 보통 EGSE에 의해서 Test가 실시되며 일부 탑재체 서브시스템의 성능시험은 NFR(Near Field Ranging), CATR(Compact Antenna Test Ranging)에서 이루어진다. Alignment와 마찬가지로 시험 초기, 중반 그리고 시험 후에 각각 실시하게 된다.

- 초기성능시험(Initial Performance Test) : 각 서브시스템(Subsystem)의 성능을 검증하고 위성체의 Health Check의 기본 정보로도 활용하게 된다.
- 중간성능시험(Intermediate Performance Test) : 위성체 Dynamic test시 발생한 위성체 성능 저하 여부를 확인한다.
- 최종성능시험(Final Performance Test) : 환경 시험에서 발생한 성능 저하를 확인하고 보정한다.

성능시험은 launch configuration, transfer orbit, operational orbit-sun-light, operational orbit eclipse등 모든 가능한 상황에 대하여 실시한다.

4) 열환경 시험(Thermal Test)

위성체 열환경 시험은 위성체 AIT 중에서 가장 많은 시간을 필요로하는 시험으로 위성을 대량 생산하는데 있어서 제작시간에 가장 영향을 미치는 중요한 변수로 작용하며 보통 열주기시험(Thermal Cycling Test), 열평형시험(Thermal Balance Test), 열진공시험(Thermal Vacuum Test)으로 구분할 수 있다.

a. 열주기 시험

우주의 열 환경을 모사하여 위성체의 성능을 시험하는 것으로 온도 범위, 주기 회수, 극한 온도에서의 Test 시간등이 시험의 매개 변수가 된다.

b. 열평형/열진공 시험

- 위성체가 TV 환경하에서 만족스러운 성능을 발휘할 수 있는지를 인증.
- 위성체 열 해석 모델을 인증하고 열진공 환경하에서의 T&C Operation을 인증한다.
- 열 진공 시험은 열주기 시험의 매개 변수에 압력 변수가 추가된다.

5) 태양전지판 전개 시험

태양전지판 모듈의 조립 상태를 확인하고 태양전지판 전개를 인증한다. 시험은 수동 또는 Pyro Release 로 실시하며 Pyro Release 시험시에는 폭발때의 충격에 의한 성능 저하를 검증한다.

6) Mass Properties(Mass, MOI, COG)

위성체의 무게와 무게 중심, Moment of Inertia(MOI) 등의 파라미터를 측정하여 발사시나 위성 자세 제어등의 정보로 사용한다.

7) Dynamic Test

위성체가 발사시에 발사체로부터 받게되는 소음 및 진동에 의한 환경에 대해 위성체의 안전성 및 신뢰도를 인증하는 시험을 Dynamic Test라고 한다.

Dynamic Test는 Acoustic test, Sine Vibration Test, Random Vibration Test등으로 구분할 수 있다.

a. Sine Vibeation Test(정현파 진동 시험)

위성체가 받는 저주파 동적 하중에 대한 안정성 및 신뢰성을 인증하는 시험으로 통상 5~100Hz 범위의 주파수로 3 축에 대해 각각 실시하게 되며 주파수 증대 비율은 (sweeping rate) 보통 2~4 oct/min이다. 보통 수직 방향 가진시에는 Head Expander를 이용하고 수평 방향 가진시에는 Slip Table을 사용하여 위성체를 고정 시키게 된다. Sine Vibration Test 시에는 위성체 고유 진동수 부근에서의 공진에 의한 파손을 방지하기 위해 가진 압력에 Notch를 주게 된다.

b. Random Vibration Test(랜덤 진동 시험)

위성체가 발사시에 발사체와의 접합부를 통해서 전달 받게 되는 Random vibration에 대한 안정성 인증 시험을 말한다. 보통 20~2000Hz 범위의 주파수에서 시험하게 되며 가속도값은 rms(root mean square)값으로 주어지게 된다. 일반적으로 대형 위성의 경우에는 진동시험기 용량등의 문제로 Random 진동 시험을 생략하고 Acoustic Test만을 수행하게 된다.

c. 소음 진동 시험 (Acoustic Test)

위성체 발사시에 위성체에 가해지는 음향 진동력에 대한 안전성 및 신뢰성을 인증하는 시험으로 보통 잔향실(Reverberant Chamber)에서 실시되며 Acoustic Test는 무게에 비해 표면적이 큰 태양전지판이나 안테나 등의 시험에 유용하다.

d. 충격 시험(Shock Test)

발사체 단분리나 위성체 추진시에 발생하는 충격력에 대한 안정성 인증 시험으로 보통 충격력은 위성체와 발사체의 접합부에서 최대가 된다. 충격 시험은 충격 시험기나 충격을 이용하여 시험하거나 폭발 불트를 이용한 충격 시험을 실시한다.

8) EMI/EMC & ESD Test

위성체 환경시험중의 한분야인 전파시험은 위성체 및 서브시스템의 전기적인 특성을 측정하는 것으로 전자기적 안정성을 보증하기 위한 시험이다.

위성체의 전파시험은 외부의 전자기적 영향을 배제할 수 있는 전자파무향실(Anechoic Chamber)에서 시험한다. 전자파무향실은 흡수체를 이용하여 전자파의 반사를 방지하도록 설치되어, 위성의 전자파 시험을 실시할 수 있는 환경을 제공한다. 또한, 위성체 시험을 위한 시험환경은 상용전자파 시험과는 달리 청정도를 만족해야 한다. (MIL-STD-1541)

위성체의 전자파 시험은 전파의 간섭 및 전파경로에 따라 측정하는 시험방법이 규정되어 있으며 주요 시험사항은 구체적으로 다음과 같은 분류에 따른다.

- 전도 방출 : Conducted Emmission(CE)
- 전도 감응성 : Conducted Susceptibility(CS)
- 복사 방출 : Radiated Emission(RE)
- 복사 감응성 : Radiated Susceptibility(RS)

a. 전도 방출 (CE) 특성시험

전원선, 신호선, 상호결합 선로 및 구조물에 의해 전도되는 전자기파의 전도방사 특성을 측정하는 것으로, 전력 리드선(power leads)에서 방사되는 전자파 특성, 안테나 단말기에서 발생하는 전도 방사 특성등을 시험하는 것이다.

b. 전도 감응성 (CS) 특성시험

이 시험은 EUT에 전도되는 전자파에 대한 내선 특성을 시험하는 것으로 전원선, 포트등에 대하여 시험한다.

b. 전도 감응성 (CS) 특성시험

이 시험은 EUT에 전도되는 전자파에 대한 내선 특성을 시험하는 것으로 전원선, 포트등에 대하여 시험한다.

c. 복사 방출 (RE) 특성시험

이 시험은 EUT의 각면에 발생하는 전자기적 특성을 측정하는 것으로 시스템에서 발생하는 전자파의 양을 측정하는 것이다. 측정시에는 측정하는 주파수 대역별로 다양한 안테나를 필요로 하며 위성체의 각각의 상태에 대하여 시험한다. 이외에도 안테나의 Spurious와 Harmonic을 측정하는 것이 있다.

d. 복사 감응성 (RS) 특성시험

이 시험은 EUT 각면에 전계를 입사하여 시스템의 내성을 측정하는 것으로 10KHz에서 40KHz의 주파수 범위에서 시험한다.

위성체 전자파 환경시험은 이외에 정전기에 의한 위험요소를 시험하는 정전기 방전 (Electrostatic Discharge) 특성시험, 위성체의 구조물과 시스템 및 서브시스템 간의 전자기적 환경에서의 상호적합성을 시험하는 자동 적합성(Auto Compatibility)시험 및 발사체에서 사용하는 TT&C(Telemetry Tracking & Command)특성에 따른 전자기 환경에서의 적합성을 시험하는 발사체 적합성(Launcher Compatibility)시험 등이 있다.

IV. 결 론

상기 논고에서는 저궤도용 중형 위성인 글로발스타를 중심으로 위성체 제작을 위한 조립, 시험 공정 및 시험 요구 조건등을 알아 보았으며, 이와같은 공정 및 시험 요구조건에 맞추어 현대전자는 98년부터 99년까지 글로발스타 위성체 제작, 조립 시험을(AIT)하게 될 것이다. 국내 기업으로서는 처음으로 상용위성을 제작 한 후 이를 기반으로 향후 세계적인 위성체 조업체와 경쟁할 수 있게 될 것이다. 위성체 제조 시장은 년 10조원 이상으로, 기술 집약적인 부가가치가 높은 산업으로 평가되고 있다. 위성체 제작, 조립 및 시험 기술, 위성체 시스템 엔지니어링 기술등을 더욱 발전 시켜 국내기업이 위성체 생산 주계약자로서 세계 시장에 진출할 수 있는 시기가 오기를 기대한다.



조 낙 앙

-
- 1978년 2월 : 서울대학교 공과대 졸업
 - 1983년 1월 : New Jersey I.T. 전자 석사
 - 1990년 1월 : New Jersey I.T. 전자 박사
 - 1995년 2월~현재 : 현대전자(주) 위성사업단 이사
 - 1994년 2월~95년 1월 : NBL Communications, 부사장
 - 1990년 1월~94년 2월 : GE, Martin, Production Engineer
 - 1985년 6월~87년 1월 : RCA, GE, Test Engineer
 - 1983년 1월~85년 5월 : Westinghouse, Design Engineer