

〈主 題〉

위성 AIT 시설에 관한 고찰

김 봉 전

(현대전자(주) 위성사업단)

□ 차 례 □

I. 서 론	Ⅲ. 위성 AIT 시설
Ⅱ. 위성 AIT 과정	Ⅳ. 결 론

I. 서 론

인공위성은 실용화된 이래로 인류의 문화발달에 지대한 영향을 끼쳐왔다. 초기의 인공위성은 주로 냉전 체제하에서 군사용, 과학실험용으로 사용되어지다가 통신, 방송기술이 발달하고 전화, TV등의 통신방송매체의 보급이 확산됨에 따라 차차 상업용 통신방송 위성시대로 진입하였고, 지구의 자원탐사, 지도제작, 해양관측, 기상관측 및 예보, 선박이나 항공기의 위성항법시스템 등의 폭넓은 분야로 응용되어 왔다.

위성운용궤도 측면에서 볼때, 방송통신위성은 그 특성상 주로 지구정지궤도상에서 운용되어 왔고, 군사위성, 실험위성, 탐사위성, 관측위성, 측지위성등은 그 목적에 따라 저궤도 및 중궤도 또는 지구정지궤도상에서 운용되었다. 그러나 최근에는 멀티미디어의 등장과 컴퓨터 통신, 이동통신, 직접 위성방송등 정보화사회의 도래로 말미암아 정보전달의 양이 폭증하고 있는 추세이고 정보전달매체로서의 위성통신에 대한 수요 또한 폭증하고 있는 실정이다. 이에 따라 기존의 위성통신방식에서 탈피한 새로운 위성통신 체계가 구상되어 왔다. 위성 통신체계는 위성의 궤도에 따라 기존의 정지궤도위성 통신체계, 중궤도위성 통신체계, 저궤도위성통신체계로 구분할 수 있다. 현재 추진중인 전지구적 정지궤도 위성통신망으로 대표적인 것은 Hughes사의 Spaceway계획과 Space System/Loral사의 Cyberstar계획을 들 수 있다. Spaceway계획은 17개의 지구정지궤도위성을 사용하여 전세계적 정보통신망을 구성하며, Cyberstar계획은 3개의 위성으로 인

구밀집지역에 대한 양방향 디지털통신을 구현하게 된다. 중궤도위성통신 네트워크로 대표적인 것은 TRW의 Odyssey계획과 Inmarsat-P의 Inmarsat-P계획을 들 수 있다. Odyssey계획은 12개의 위성을 10,354 Km의 중궤도에 배치하여 통신망을 구성하며, Inmarsat-P는 10개의 위성을 10,400 Km의 중궤도에 배치하여 통신망을 구성한다. 저궤도 위성통신망은 현재수요가 폭증하고 있는 소형 휴대용 단말기를 사용하여 전지구상에 걸쳐 실시간통신을 할수 있는 위성이동통신체계이며 대표적인 것으로는 48개위성을 1400Km의 궤도에 배치하는 Space System/Loral사의 Globalstar계획, 66개위성을 780 Km의 궤도에 배치하는 Iridium계획, 840개위성을 700 Km의 궤도에 배치하는 Teledesic계획을 들 수 있다. 이밖에도 추진중이거나 구상중인 계획으로는 Orbcomm(36개 위성), Starsys(24개), Gemnet(38개), Faisat(26개), Leo one(48개) 등이 있다. 또한 각국은 자국의 방송통신수요 증가에 대응하기위해 독자적으로 또는 인접국과 연계하여 지역방송통신위성 개발계획을 수립중에 있다. 특히 아시아 지역은 그동안의 경제성장의 여파로 멀티미디어, 위성방송, 이동통신등의 보급이 확산되어 향후 최대의 위성시장이 될 것으로 예상된다. 이 밖에도 지구환경에 대한 범세계적인 관심고조로 관측위성, 과학위성등의 수요도 증가일로에 있다. (Fig. 1.1)은 Globalstar위성이 궤도상에 배치된 모양을 나타내고 있다.

이와같이 정보전달매체로서의 전지구적 위성통신수

요의 증가로 인하여 신규위성수요가 폭증함에 따라 기존의 위성개발 및 제작방식으로는 효율적인 위성생산과 사용자들의 요구시기를 충족시킬 수 없게 되었다. 더구나 Teledesic이나 Globalstar와 같은 계획이 구체화 되기 위해서는 위성생산도 종래의 주문생산방식에서 탈피하여 대량생산체제로 전환되지 않을 수 없다. 이에 따라 Teledesic의 경우 2-3일에 1개이상의 위성을 제작하여야 하며 Globalstar의 경우 일주일내 한 개정도를 생산하여야 원하는 계획대로 위성통신서비스를 제공하게 된다. 이러한 생산속도는 기존의 설계, 개발단계에서 제작까지 소요기간인 3-5년에 비하면 가히 혁명적이라 하지 않을 수 없다. 따라서 새로운 위성생산(AIT : Assembly, Integration and Test)방식이 요구되며 과거의 위성 AIT경험을 토대로 비행모델(Flight Model)의 경우 위성의 시험기간을 단축하기 위하여 몇몇 시험과정은 과감히 생략하는 방식도 검토되고 있다. 또 하나의 위성 AIT회사가 전체물량을 소화하기 힘들고 초기투자에 대한 위험부담등을 분산시키고자 국제적인 합작회사를 구성하여 생산 및 서비스를 분담하는 국제협력이 대체를 이루게 되었고 이에 따라 위성 생산비용을 줄이기 위해 임금이 비교적 싼 기술중진국과의 협력방식의 위성AIT도 고려될 수 있다.

전세계적인 위성수요의 폭증과 위성 개발 및 AIT 비용과 시간을 줄이기 위한 이같은 추세로 인하여 한국과 같은 중진국들도 저궤도 위성통신망계획에 참여하여 기술선진국으로부터 위성개발 및 AIT기술을 이전받을 수 있는 토대가 마련되었으며 향후 국내 위성관련산업도 대폭 신장될 것으로 기대된다. 위성의 조립과 시험(Assembly, Integration and Test)은 위성 개발에 소요되는 비용의 약 20-30%에 달하며, 저궤도위성의 경우 AIT비용은 대당 2-3백만달러, 정지궤도위성의 경우 약 2천5백만 달러에 달하게 되어 향후 세계적인 위성수요의 신장으로 볼때 상업성 측면에서도 충분히 수지균형을 맞출 수 있을 것으로 판단된다.

현재의 국내위성관련 산업현황을 살펴보면 1991년 무궁화호 1.2호개발계획을 시작으로 우리별 1.2호개발 및 발사성공, 우리별 3호계획, 다목적 실용위성개발계획등이 진행되고 있어 관련 연구소와 산업계가 의욕적으로 위성개발분야에 투자하고 있다. 더구나 현대전자(주)는 Globalstar계획에 참여하여 위성탑재부품 공급계약체결, 지상국장비 및 단말기제작공급, 위성서비스 사업권획득, 1세대 Globalstar 추가위성물량과 차

세대 Globalstar위성 제작물량의 25%를 국내에서 AIT하여 공급하는 협약을 체결한 바 있다. 이에 따라 현대전자(주)의 관련연구인력 40명은 이미 미국의 Space System/Loral 사에 파견되어 위성개발 및 AIT 기술을 이전받고 있으며, 또 이탈리아의 Alenia사에 20여명을 추가로 파견하여 Globalstar AIT기술을 전수받을 예정이다. 그리고 국내에서의 본격 위성완제품 생산을 위한 AIT시설도 1998년 완공예정으로 추진중에 있다.

본고는 위성체 제작에 필요한 위성 AIT시설전반에 대해 기술한 것으로 2장에서는 저궤도 및 정지궤도 위성체의 조립과 성능시험에 관한 일반적인 절차를 개략적으로 살펴보고, 3장에서는 위성체의 조립과 환경시험에 필요한 AIT 시설에 대해 기술하였다. 위성 AIT시설은 크게 조립시설, 발사환경 시험시설, 궤도환경 시험시설, 탑재체성능시험시설, 보조시설로 구분할 수 있으며 각 시설들에 대한 기능과 규격에 대해 기술하였다. 또한 효율적인 위성제작을 위해 AIT 시설이 갖추어야 할 요구사항들에 대해서도 살펴보았다.

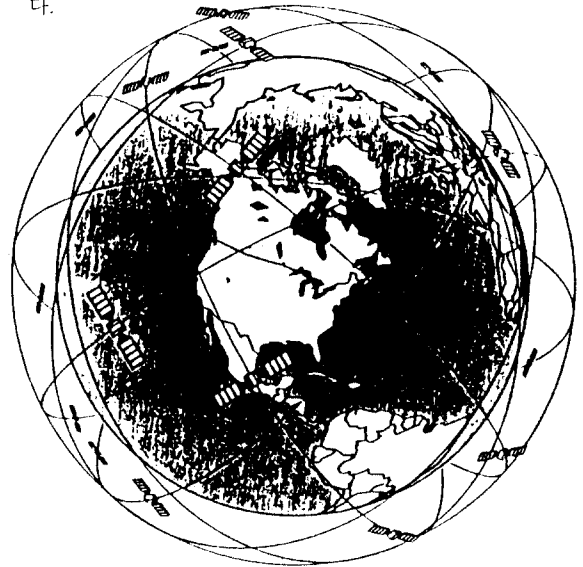


그림 1.1 Globalstar 위성의 궤도 배치도

Ⅱ. 위성 AIT 과정

위성의 제작은 부시스템(Subsystem)차원에서의 각종 단품(Component)의 제작, 조립, 성능시험을 거쳐 계되며 위성체 시스템(System)차원의 총조립단계에서 각종 성능시험, 환경시험을 통하여 위성발사이전

에 운용성능을 확인함으로써 완료된다. 이에 따라 부시스템단계부터 운용성능을 확인하기 까지의 AIT과정은 위성의 임무(Mission), 설계규격에 따라 적절히 분석되고 관리되어야하며 위성설계의 초기단계부터 검토하여야 할 중요 인자중의 하나이다.

일반적으로 위성의 제작과정은 위성버스부분과 탑재부분으로 나누어 독립적으로 조립되고 시험된다. 버스부분의 AIT과정을 세분해보면 버스의 주구조물(Main structure)에 다음과 같은 부품들이 병렬로 또는 순차적으로 결합된다.

- Harness
- 추진계
- 자세제어계
- TT&C(Telemetry, Tracking, and Command)계
- 전력계
- 열제어계

조립과정이 진행되는 동안 선정된 몇몇 단계에서 부시스템(Subsystem)차원의 시험이 수행된다. 탑재부분의 AIT과정은 통신부품이나 센서(Sensor)부품들이 통신 부시스템 패널(Panel)이나 센서 패널위에 설치되고 시험된다. 이 패널들은 다른 버스구조물과 같이 위성체에 결합하게 된다. 기존의 위성 발사환경시험이나 궤도환경시험은 위성버스와 통신탑재물 또는 센서탑재물이 결합되어진 상태로 수행된다.

(Fig. 2.1)은 일반적인 정지궤도 위성의 AIT과정을 나타내고있다. 정지궤도위성의 AIT과정을 간단히 살펴보면, 먼저 위성의 초기 전기적성능시험은 위성체내의 모든 부품들이 설계된 상태로 작동하는 지를 점검하게 된다. 다음에 위성은 열진공챔버(Thermal Vacuum Chamber)로 옮겨진 후 선정된 우주환경에 대한 위성체의 반응온도를 측정함으로써 위성의 열조절설계를 검증하게 된다. 그 후 위성체는 열환경챔버에서 모든 탑재물의 온도변화에 대한 성능시험을 수행하게 된다. 환경시험동안 모든 위성의 부시스템은 고객이 정의한 규격성능을 만족하여야 한다. 열시험 후 위성체는 다시 전기적성능시험을 거치게 되며 열진공시험동안 제거되었던 태양전지판이나 반사기 또는 다른 전개식 장치들이 설치되고 정렬된다. 이때 태양전개장치의 성능확인용을 위한 전개시험이 수행된다.

다음에 위성은 진동시험이나 음향시험(Acoustic Test)같은 발사환경시험을 거치게 되며 시험후 모든 전개장치들은 정렬검증을 받게된다. 이때 음향시험은 위성의 설계규격에 따라 선택적으로 수행될 수 있다.

정렬검증이 끝난 위성은 CATR(Compact Antenna Test Range)시설에서 최종적인 안테나 성능시험을 거치게 된다. 이시험에서는 안테나의 성능이 설계규격에 일치하는지를 검증하게 되며, 그후 EMC/ESD시험이 탑재물의 전자파 적합성을 검증하기 위해 수행된다.

한편 몇몇 위성제작회사들은 다음과 같은 이유로 궤도환경시험전에 발사환경시험을 수행하는 것을 선호하기도 한다.

- 이순서가 실제 위성이 겪게되는 비행순서와 일치한다.
- AIT 과정의 비교적 초기단계에 진동에 의해 야기되는 과피를 발견할 수 있다.

그러나 이 시험순서는 위성체 부품의 분리 및 재결합횟수를 증가시켜서 더 많은 AIT시간이 필요하게 되고 위성체에 대한 위험부담을 가중시킨다. EMI/EMC시험후 위성은 발사 상태의 형태를 구성한 후 위성체 질량, 관성모멘트, 질량중심등 위성체 질량 특성측정이 수행된다. 이 후 위성은 발사장으로 선적을 위한 작업을 수행하면서 AIT 과정이 종료된다.

저궤도 위성의 AIT 과정도 정지궤도위성 AIT과정과 대체적으로 비슷하지만 Globalstar나 Iridium, Teledesic계획등과 같은 저궤도 통신위성망 계획은 수십개에서 수백개의 위성을 비교적 짧은 기간내에 생산하여 궤도상에 배치하여야하기 때문에 기존의 AIT과정과 달리 AIT과정에 대한 새로운 접근방법이 강구되어야 한다. 이러한 계획을 예정대로 수행하기 위해서는 위성의 발사단계부터 기존의 방법과 다른 접근이 이루어 져야 하는 데 그 한 예로 Globalstar계획의 경우 한번에 12개의 위성을 동시에 발사하는 방법이 검토되고 있다. 이 방법은 발사체 기낭(Fairing)을 3개의 층으로 구획하고 매층마다 4개의 위성을 대칭적으로 배열하여 총 12개를 수용하도록 설계하였다. 위성의 동시발사요구를 만족시키기 위해서는 적기에 위성의 생산과 선적이 이루어져야 하며, 시간적 제약조건으로 인하여 위성제작 전공정에 걸쳐 시간과 비용을 절약할 수 있는 AIT과정이 필요하게 되었다. 따라서 시험과정에 있어서 많은 시간이 소요되는 열진공시험등은 QM(Qualification Model)에 대해서만 수행되고 FM(Flight Model)에서는 생략하는 방법이 강구되고 있다. 그러나 여기서 강조되어야 할것은 위성의 대량생산은 부품단계의 품질관리는 물론 위성의 설계나 제작공정, 시험에 대한 확고한 기술축적과 품질보증이 뒷받침되어야 한다는 것이다. 위성 부시스

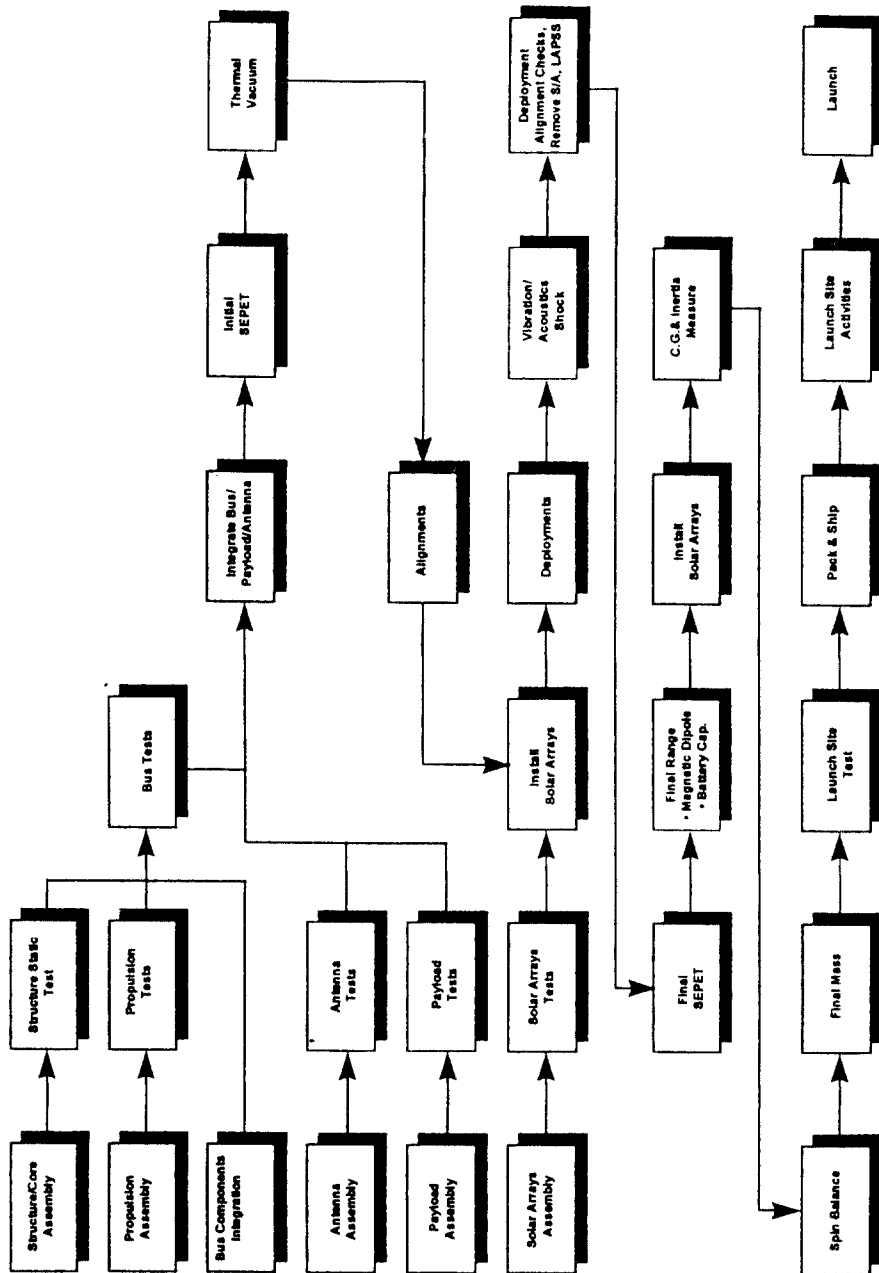


그림 2.1 표준 GEO 위성 AIT 과정

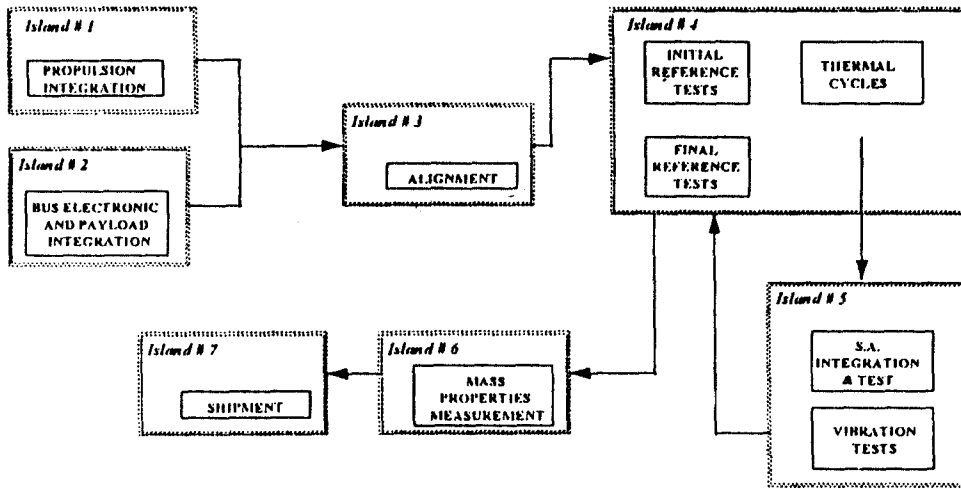


그림 2.2 Island개념의 위성 AIT흐름도

템의 모듈식 설계(Modular Design) 또한 위성의 AIT 시간과 비용을 절감시키는 방법중의 하나이다. 모듈식 구조는 위성의 제작공정을 보다 쉽게 해준다. 개개 모듈은 독자적으로 작동하고 다른 모듈에 영향을 끼치지 않으므로 한 모듈에서의 문제점으로 인한 전체 생산일정의 과급효과는 상대적으로 줄어들게 된다. 또 설계변경에 대한 절차가 비교적 단순하고 이전세대 위성으로 부터의 경험축적으로 전체 개발비용 및 시간을 절약할 수 있다.

Globalstar 위성의 AIT개념과 AIT과정은 1주일에 한개의 위성을 생산할 수 있는 생산성측면과 위성의 신뢰성 및 기술적인 위험측면과의 타협점을 찾는 것으로 요약될 수 있다. 즉 위성의 AIT는 단일 공장내에서 수행되며 (Fig. 2.2)에서와 같이 "Islands"라 불리는 8개의 전문AIT 구역에서 56개의 위성을 생산하는 것이다. 개개 Island는 전용 구역내에서 기술자들이 전용 AIT장비를 이용해서 설정된 AIT작업을 수행한다. 작업이 끝난 위성은 다음 Island구역으로 이동된다. AIT과정에서 문제가 발견되면 그 위성은 고장수리전문구역(Throubleshooting Island)으로 이동되어 라인의 생산속도에는 영향을 끼치지 않게 된다. 고장수리 전문구역으로 이동된 위성은 고장진단을 거치게 된다. 이때 모듈개념의 설계로 인해 문제가 되는 부품은 쉽게 새로운 부품으로 교체되어 라인에 재투입된다. 이러한 Island 개념의 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 개개 Island는 56번의 반복작업을 수행한다.
 - 서로 다른 Islands간에 장비의 이동이 없다.
 - 생산라인에서 위성은 공정을 되돌아 가지 않는다.
 - 한 작업구역에서 다른 작업구역으로 인력이 이동되지 않는다.
 - 생산속도를 높이기 위해 몇몇 환경시험과 성능시험은 수행되지 않는다.
- 이 특징들을 다른말로 표현하면 위성은 생산라인을 흘러가는 물품으로 간주된다.

III. 위성 AIT 시설

위성을 조립하고 시험하기 위한 AIT시설은 크게 종합조립시설, 발사환경시험시설, 궤도환경시험시설, 탑재체 성능시험시설, 보조시설들로 구분할 수 있다. 이장에서는 AIT시설에 대한 기능과 일반적인 규격에 대해 간단히 기술하였다.

3.1 종합조립시설

위성체 차원의 종합조립에 관련된 시설은 크게 위성종합조립동(High bay), 위성 부시스템 조립동, 위성 종합체제시험센터(Integrated System Test Center), 질량특성측정시설, 측정 및 정렬시설, 전개시험시설로 구분할 수 있으며 각 시설의 기능 및 규격은 다음과 같다.

3.1.1 위성종합조립동(High bay)

위성종합조립동은 위성체차원의 총조립을 위한 시설로 그 크기는 조립되는 위성의 제원과 생산물량에 따라 결정되며 경우에 따라서는 2-3개의 조립동을 운영하기도 한다. 이시설은 조립시 번지등에 의한 위성체 오염을 방지하고 항상 동일한 온도조건과 습도조건을 유지하여야 한다. 따라서 일정기준 이상의 청정도를 유지하여야 하며 공기조화시설을 갖추어야 한다. 또 기술자의 출입 및 다른 환경시험시설들과의 연결을 위한 Air-lock시설이 설치되어야 하며 위성 및 위성조립용 장비들의 운반을 위한 Crane시설이 필요하다. 이 밖에도 위성조립상황을 상황실에서 파악할 수 있도록 원격카메라의 설치와 마이크시선, 위성 및 전자장비의 접지를 위한 접지시설, 각종 케이블의 연결을 위한 Trench, 방문객이나 고객들을 위한 전시창(View Window)등이 필요하다. 종합조립동의 일반적인 규격은 다음과 같다.

- 청정도 : Class 100,000 이하
- 온도 및 습도조건 : 23℃±2℃이내, 50%±10%이내
- Crane 용량 : 10Ton 이상
- 조립동 높이 : 15M이상(GEO급), 7M 이상(LEO급)

3.1.2 부시스템(Subsystem) 조립동

부시스템조립동은 위성버스(Bus)구조물, 탑재체, 추진계, 안테나등 부시스템차원의 조립을 수행하기 위한 시설이다. 이 시설의 높이는 종합조립동처럼 높을 필요는 없지만 청정도와 온,습도 조건은 설계사양을 만족하는 수준이어야 하며 경우에 따라서는 Class 100이하의 청정도가 요구되기도 한다. 이 경우 Laminar Flow Bench(또는 Tent)를 이용하여 국부적으로 설계규격을 충족시킬 수 있다.

3.1.3 위성종합체계시험센터(Integrated System Test Center)

ISTC는 위성체에 대한 종합성능시험을 수행하기 위한 시설로 Low Bay시설이라고도 불린다. 이 시설은 지상에서 위성조립시 위성이 우주공간에서 임무를 수행하는 것처럼 Software적으로 성능점검을 수행하며 다음과 같은 Simulation Tools를 갖추어야 한다.

- Battery Simulator
- Solar Array Simulator
- TT&C 장비
- 자세제어 Simulator
- RF Simulator
- Main Computer 및 Control S/W
- 연결용 단자 및 신호전달용 케이블

3.1.4 질량특성 및 회전평형 측정시설(Mass

Properties and Spin Balance Facility)

이시설은 위성의 관성모멘트, 질량, 질량중심, 동적균형성(Dynamic Balancing)등을 측정하기 위한 것이며, 정밀한 동적균형성측정은 공기저항의 영향을 배제하기 위해 열진공챔버나 별도의 챔버에서 수행될 수 있다. 주로 위성종합조립동내에 설치되며 질량특성측정 장비 및 제어 컴퓨터로 구성된다. 대체적인 규격은 다음과 같다.

- 질량측정범위 : 50-4,000Kg
- 질량측정 정밀도 : 0.1%이내
- 관성모멘트 정밀도 : 0.1%이내
- 질량중심의 정밀도 : 0.03mm이내

3.1.5 측정 및 정렬시설

(Measurement and Alignment Facility)

이 시설은 위성체의 모든 부시스템 또는 부품들이 설계규격대로 정확히 위치하는지를 확인하는 것으로 조립후나 환경시험후에 측정을 수행한다. 이시설은 정밀측정을 위해 내진대(Seismic Mass)위에 위성과 장비를 배치하여 외부의 진동에 의한 교란을 방지하여야 한다. 이 시설은 주로 위성종합조립동내에 설치되며 측정이 수행되는 동안은 Crane등 진동을 야기하는 장비의 사용은 피하여야 한다. 주요장비와 정밀도는 다음과 같다.

- Theodolites
- Tooling Bar
- Rotary Table
- Control Computer & S/W
- Movable Optical Drive and Optical Cubes/Mirrors
- 정밀도 : 길이 μm 급, 각도 12 arc-sec이내

3.1.6 전개시험시설

이시설은 태양전지판이나 안테나처럼 발사시에 접혀있던 장치들이 궤도상에서 설계규격대로 전개될 수 있는지를 지상에서 모의실험하는 것으로 조립과정 및 환경시험 전후에 걸쳐 2-3회 수행된다. 이러한 전개시험은 우주에서와 같은 무중력상태를 모사하는 방식에 따라 공기부양식, 풍선에 의한 전개, Curtain(Overhead Track)방식으로 구별할 수 있다. 공기부양식은 매끈한 평판상의 공기구멍에서 공기를 불어내어 전개장치의 중력효과를 상쇄시켜 무중력상태를 모사하며, 풍선방식은 He가스를 풍선에 넣고 전개장치에 매달아 전개시 중력효과를 보정하며, Curtain식은 무게보정을 위해 균형추(Countweight)를 사용하며 레일에 롤러등을 이용, 전개시 수평이동이 용이하도록 고안된 장치이다. 전개시험시설건물의 높이는 채용되는

방식에 따라 달라지며 풍선방식의 경우, 보다 정밀한 시험을 위해서는 종합조립동 수준의 높이가 필요하다. 전개시험은 어떤 방식을 채용하더라도 궤도상의 무중력상태를 정확히 모사할 수는 없으므로 때때로 전개장치 개발단계에서는 고공에서 항공기의 급강하 시 발생하는 짧은 무중력상태 동안 전개장치를 작동시켜 고속도 카메라와 측정장치에 의해 전개상태를 분석하기도 한다.

3.2 발사환경시험시설

위성은 발사부터 궤도진입까지 발사체에 의해 야기되는 극심한 환경조건에 견딜 수 있도록 설계되어야 하며 발사이전에 이러한 환경시험을 수행하여 성능을 검증하여야 한다. 발사환경시험시설은 음향소음(Acoustic Noise) 시험시설, 진동시험시설, 하중시험시설, 충격시험시설로 구분된다.

3.2.1 음향소음(Acoustic Noise) 시험시설

위성은 발사체가 이륙할때나 음속돌파시 발생하는 극심한 음향소음하에서도 각 시스템 또는 부품들이 요구성능을 유지하도록 설계되고 시험과정을 거쳐 그 성능이 검증되어야 한다. 이시설은 발사시에 발생하는 음향소음을 모사하기 위하여 액체질소를 기화시켜 Horn을 통해서 음파를 증폭시키면서 인위적인 음압진동을 발생시킨다. 이시설은 음향챔버와 음향소음발생기, 제어 및 시험장치들로 구성되며 음향챔버의 크기에 따라 시험가능한 주파수 범위가 달라지므로 챔버체적과 챔버 변길이의 비는 시설설계의 주요 인자가 된다. 챔버벽은 음향소음에 견딜수 있도록 두꺼운 강화콘크리트로 건설되며 챔버바닥은 주위시설로의 진동전달을 방지하기 위하여 격리되어야 한다. 최대 음압수준은 160dB정도이며 주파수 범위는 20Hz - 11.2 KHz이다.

3.2.2 진동시험시설

진동시험은 정현파 진동시험과 불규칙(Random) 진동시험으로 구분되며 위성체의 진동 모드(Mode), 공진주파수 등을 측정하게 된다. 이 시험시설은 위성이 발사되는 기간동안 설계규격에 요구되는 진동에 견딜 수 있는 지를 검증하기 위한 것이다. 이 시설은 전기식 진동발생기(Shaker)와 Slip Table, Cooling Units, Fixture, 출력증폭기, 제어 및 측정장비들로 구성되며 진동발생기는 주위시설과 격리되도록 공기압 스프링(Pneumatic Spring)에 의해 지지되는 내진대위에 설치된다. 주요 시설규격은 다음과 같다.

- 정현파 가진력 : 200kN 이상

- 불규칙 가진력 : 200kN(RMS) 이상
- 주파수범위 : 5 - 2,000Hz

3.2.3 충격/분리 시험시설

위성은 발사체로부터 분리될 때나 기낭(Fairing)의 분리, AKM(Apogee Kick Motor)의 점화, 안테나나 태양전지판 전개 등에 의해 야기되는 충격에서도 설계요구성능을 충족하여야 하며 충격시험을 통해 성능검정이 되어야 한다. 또 위성체가 분리될때 흔히 Tip-off error라고 불리는 분리에 의해 야기되는 실패를 방지하기 위해 수행된다.

특히 한번에 12개의 위성을 발사하는 Globalstar계획과 같은 저궤도 위성분리시 분리실패의 위험이 증대되며 특별한 모의실험장치에서 수행될 수 있다. 주요장비는 충격측정장비, 낙하 해머, Pyrotechnics장치, 가속도계, 기타 보조장비등이다.

3.2.4 하중시험시설

하중시험시설은 위성체 부품, 부시스템, 위성체 구조물에 대한 설계하중의 만족여부를 확인하기 위한 것으로 유압시험기로 인장 및 압축에 대한 시험을 수행하게 된다. 또 구조물의 강성과 피로, 변위측정시험도 수행된다. 주요장비로는 정하중시험기, 피로시험기, 하중계, 유압장치, 유압펌프, 측정용 장비등이 있다.

3.3 궤도환경시험시설

모든 위성은 궤도진입후 극도의 고진공과 저온상태에서 작동되도록 설계되어야 하며 태양열 복사, 지구복사등의 열환경에서도 제 성능을 유지하여야 한다. 또 위성은 지구의 주위를 돌면서 반복적인 고온/저온의 열하중에 노출된다. 이러한 우주환경을 모의시험하기 위한 시설로는 열진공(Thermal Vacuum) 시험시설과 열주기(Thermal Cycle) 시험시설이 있다.

3.3.1 열진공시험시설

열진공시험시설은 극도의 우주환경과 작동조건에서 위성부품의 온도가 적절히 유지되도록 하는 열제어계의 성능을 확인하고 위성체 각부품들이 완벽한 기능을 수행하는지를 파악하기 위한 것이다. 이 시설은 대형의 진공챔버, 진공펌프, 액체 및 기체 질소용배관계 및 저장탱크, 제어장치 및 측정용기기로 구성된다. 또 필요에 따라 태양광 발생장치(Sun Simulator)를 설치할 수 있다. 진공챔버는 주로 스테인레스 강으로 제작되고 내부는 열덮개(Thermal Shroud)가 감싸고 있다. 열덮개는 주로 열전도율이 높은 알루미늄으로 제작되며 내부표면은 열 방사도($\epsilon > 0.9$)를 높이도록 흑

색코팅된다. 또 외부표면은 열 방사도가 0.1이하가 되도록 가공된다. 열덮개는 수개의 구역으로 나누어져 있어 각각온도조절이 가능하며 액체질소 또는 저온의 기체질소를 사용하여 저온환경을 모사하게 된다. 진공챔버의 형태는 대개 구형 또는 원통형이며 그 크기는 시험하는 위성의 크기에 따라 직경 3-4m에서 12m정도이다. 또 부품차원의 열진공시험을 위해 직경 1m이하의 챔버가 사용된다. 장비들의 주요사양은 다음과 같다.

- 챔버 크기 : $\phi 9m \times L12m$ (GEO위성)
- 냉각방식 : LN2 또는 GN2 재순환식
- 진공도 : $10E-6$ Torr 이하
- 온도범위 : $-180^{\circ}C$ to $150^{\circ}C$
- 펌프용량 : 8hr for $10E-6$ Torr 이내
- 열전대 CH수 : 600 CH 이상

3.3.2 열주기(Thermal Cycle)시험시설

열주기시험은 열주기환경에서 탑재체와 버스의 성능을 시험하는 것으로 위성체의 온도 Margin을 확인하기 위한 것이다. 이 시험은 챔버 벽을 주기적으로 가열하거나 냉각하는 환경챔버안에서 수행되며 열균형시험과 연계하여 진공상태에서 열진공 챔버안에서도 수행할 수 있다. 그러나 대기압 상태에서 수행하는 것이 보다 일반적이며 위성시험시간 및 비용측면에서 훨씬 경제적이다. 시설의 주요사양은 다음과 같다.

- 챔버크기 : $4m \times 4m \times 4m$ (GEO)이상
- 온도범위 : $-50^{\circ}C$ to $120^{\circ}C$
- 습도범위 : 20% to 98%

3.4 탑재체 성능시험시설

이 시험시설은 트랜스폰더(Transponder) 차원에서 안테나 패턴에 이르기 까지 위성탑재체 전만의 성능과 전자기적 특성을 확인하기 위한 것으로 크게 Compact Antenna Test Range(CATR)시설, Near Field Antenna Test Range(NFR)시설, EMC/ESD시설로 구별된다.

3.4.1 CATR시설

안테나에 의한 수신은 평면파의 형태로 이루어진다. 이 시험시설은 제한된 공간에서 평면파를 발생시켜 시험안테나에 복사하여 각 방향에 대해서 수신되는 필드를 측정하여 안테나의 성능을 시험하는 것이다. 시험 안테나의 크기는 장비가 만들어 내는 평면파의 영역에 의해 제한 받는다. 이 시설은 RF를 흡수하는 피라미드형태의 내장재로 구성되며 외부는 전자

기과의 차폐를 위해 전도성 금속막으로 둘러싸여진다. 이 시설의 일반적 규격과 장비는 다음과 같다.

- 시설제원 : $30m \times 20m \times 15m$
- 측정 주파수 범위 : 1GHz-100GHz
- 정밀도: 0.25dB이내
- 측정 안테나 범위 : 수 cm에서 수m직경
- 주요장비 : 반사경, Main Positioner, Acquisition System, 응용 S/W

3.4.2 NFR시설

이 시설은 근거리에서 안테나로 부터의 출력을 Scanning하여 필드를 측정한다. 이때 측정하는 Probe의 위치 또한 정확해야 하며 측정된 필드값과 위치데이터들은 컴퓨터를 이용하여 변환되어 안테나 패턴 및 파라메타들을 얻는다. 주요장비로는 Probe, Scanner, 위치제어기, Network Analyzer, 컴퓨터 및 응용S/W로 구성된다. 이시설 또한 외부로부터의 전자기차폐를 위해 차폐된 챔버가 필요하다.

- 시설제원 : $23m \times 12m \times 10m$
- 주파수 범위 : 1GHz-60GHz
- Scanner Table : $7m \times 7m$
- Gain정밀도:0.25dB이내

3.4.3 EMC/ESD시설

이시설은 시스템이나 전자장비에서 발생하는 RF간섭신호의 크기를 측정하는 전자파 장해시험(EMI)과 전자기적 환경에서 설계성능대로 작동되는지를 확인하는 전자기 감응성(EMC)시험, 우주환경에서 Thermal Emission Charging에 의한 위성시스템의 성능시험이나 오동작, 소자피괴의 여부를 확인하는 정전기 방전(ESD)시험등 위성의 전자기적 환경시험을 수행하는 것으로 전자파 무향실이 필요하다.

- 시설규격: $16m \times 10m \times 11m$
- 측정주파수범위: 30Hz to 40GHz

3.5 보조시설

위성의 AIT시설은 위에서 언급한 시설이외에도 각종 MGSE(Mechanical Ground Support Equipment)장비, 공작실/치공구실, 부시스템차원의 시험실, 계측장비 보정실, 자재보관창고, 부품반입, 완제품 포장 및 반출, 전력공급, 공조시설, 가스공급시설, 전산실 및 자료보관실, 사무실 등 보조시설이 필요하다.

3.6 위성 AIT시설 요구사항

위성AIT시설은 계획입안단계 부터 시설요구사항에 대한 면밀한 검토가 이루어져야 하며 한번 건설되면

30년이상 사용되므로 장래의 확장에 대비한 유연한 설계구조를 가져야 한다. 이러한 시설요구사항은 시설부지측면과 시설설계측면으로 구분할 수 있다.

3.6.1 시설입지조건

시설입지조건에 대한 일반적인 검토사항은 다음과 같다.

- 기후조건(온도, 습도, 풍속등) : 과도한 온습도변화 지역이나 홍수, 태풍이 빈발하는 지역은 피하여야 한다.
- 대기환경(먼지, 대기오염) : 시설주위에 먼지나 화학물질배출 시설이 없는곳이 좋다.
- 진동환경(철도,고속도로등) : 시설인근에 전철, 고속철도, 고속도로등에 의한 지반진동이 없는곳이 좋다.
- 토양(암반층) : 토양조건은 기초가 확고한 암반층이 좋다. 또 해변지역은 염분에 의한 피해가 우려되므로 피하는 것이 좋다.
- 지진(빈도수,크기) : 시설일대가 지진빈발지역이 아니어야 하며 시설설계시 지진에 대한 고려가 있어야 한다.
- 용수 및 하수처리 : 용수 및 하수의 취급이 용이하여야 한다.
- 전력공급 : 전력공급이 용이한 곳이 좋다.
- 수송 : 위성의 수송은 주로 항공기로 이루어 지므로 시설인근에 공항이 위치해야 하며 공항까지의 양호한 도로조건과 터널 및 고가차도, 육교등 장애물을 통과할때 여유공간이 있는지 확인해야 한다. GEO위성의 경우 특수수송차량을 이용해도 컨테이너 상부까지 높이가 4.5m를 넘는 경우도 발생할 수 있다.
- 인력공급 : 양질의 기술자를 쉽게 확보할 수있는 지역이 바람직하다.

3.6.2 시설설계 고려사항

위성 AIT시설설계에 대한 고려사항들은 다음과 같다.

- 동선의 최소화 : 위성 AIT시 이동을 최소화 함으로써 작업능률 향상 및 이동시의 위험부담을 감소시킬 수 있다.
- 대량생산이 가능한 구조 : 저궤도 통신위성계획이 구체화됨에 따라 기존의 주문생산 구조에서 탈피하여 대량생산체제로 쉽게 전환할 수 있도록 조립 및 시험시설을 구성하여야 한다.
- 시설 및 장비운영비 : 공조비, 전력비, 장비유지보수비등 시설운영비를 최소화 할 수 있는 설계가 되

어야 한다.

- 공간사용의 효율성 : 조립동 및 시험시설의 배치를 최적화하여 효율적인 토지이용이 가능하도록 한다.
- 시설의 독립성 : 특수목적의 위성조립 및 시험용역 시 보안유지가 가능하여야 한다.
- 향후의 확장성 : 중장기 계획에 따라 시설확장시 용이한 설계변경이 가능하도록 배치되어야 한다.
- 부시스템시설과 연계성 : 각종 부시스템 시험실, 부대시설과 원활히 연계될 수 있도록 구성되어야 한다.
- 건설비 : 건설비가 절감될 수 있는 구조와 배치가 되어야 한다.
- 정보처리의 용이성 : 각 시험시설로 부터의 대용량의 성능시험정보가 집중관리되고 쉽게 처리될 수 있는 정보처리시스템이 고려되어야 한다.
- 방문객을 위한 전시창 : 시설의 청정환경 유지를 위해 방문객들이 시설안으로 출입하지 않고 전시창을 통해 위성생산과정을 볼 수 있도록 배치하는 것이 바람직하다.

IV. 결 론

최근에 저궤도 통신위성망계획이 구체화 됨에 따라 막대한 비용의 초기투자부담, 한 회사가 전체물량을 소화할 수 없는 상황, 투자에 대한 위험분담, 생산단가 저감등의 요인으로 국제적 협력에 의한 개발이 진행되고 있으며 한국과 같은 기술중진국도 위성을 생산할 수 있는 환경이 조성되고 있다. 이에 본 고에서는 위성 AIT과정과 시설전반에 관한 기술적인 내용을 정리해보고 향후 국내 AIT시설계획시 고려되어야 할 요구사항에 관해 언급하였다.

1. 위성 AIT과정측면에서 볼때, Globalstar와 같은 빠른 생산속도를 요구하는 저궤도통신위성은 기존의 위성생산과 달리 위성생산방식과 AIT과정에 대한 새로운 접근방법이 강구되어야 한다.

2. 이러한 생산속도를 뒷받침하기 위해서는 많은 시간이 요구되는 시험은 QM에서만 수행하는 방법이 강구되고 있으며 이를 위해서는 부품단계에서부터 시스템 설계, 제작공정에 걸쳐 확고한 기술축적과 품질보증이 이루어져야 한다. 또 위성발사에 있어서도 한번에 10여개를 동시에 발사할 수 있는 방법들이 강구되고 있다.

3. 위성 AIT시설을 크게 종합조립시설, 발사환경시설, 궤도환경시설, 탑재체성능시험시설, 보조시설로

구분하여 시설의 기능과 규격에 대해 정리하였다.

4. 위성 AIT시설은 시설입안단계부터 시설요구사항에 대한 면밀한 검토가 필요하며 시설입지조건과 시설설계시 고려사항들을 정리하였다. AIT시설은 향후 시설확장에 대비한 유연한 설계구조를 가져야 하며, 특히 위성수송시 도로조건은 필수적으로 검토되어야 한다. 또 위성의 대량생산에 대비한 조립과 시험시설의 배치가 이루어 져야 한다.

참 고 문 헌

[1] V. Costabile, "New Spacecraft Assembly, Integration & Test Approach Globalstar Satellite Constellation", AIAA-96-1149-CP, February, 1996, pp1320-1330.

[2] "World Space Markets Survey(10 Year Outlook)", Euroconsult, 1994.



김 봉 전

- 1968년 ~ 1972년 : 서울대학교 공과대학 학사
- 1972년 ~ 1974년 : ROTC 10기 중위제대
- 1974년 ~ 1975년 : 현대자동차
- 1976년 ~ 1978년 : 미국 Marquette University 기계공학 석사
- 1978년 ~ 1982년 : 미국 Purdue University 우주항공공학 박사
- 1982년 ~ 1984년 : Rookwell International 책임연구원 :우주왕복선 연구
- 1984년 ~ 1993년 : Martin Marietta Astronautics at Denver 책임연구원: MX ICBM, Titan-IV로켓트, 각종 NASA 우주선, SDIO
- 1993년 9월 ~ 1996년 2월 : 한국통신 발사감리국장: 부궁화 1호, 2호 발사
- 1996년 3월 ~ 현재 : 현대전자(주) 위성사업단 개발총괄 상무이사