

인공위성의 오염 관리 계획

운 용 식 / 최 석 원

한 국 항 공 우 주 연 구 소
선 임 연 구 원

1. 머리말

1957년 최초의 인공위성인 Sputnik의 발사 이후 현재 인류는 우주 공간을 돌고 있는 여러 종류의 인공위성으로부터 직·간접적인 혜택을 받으며 생활하고 있다. 1999년 12월에 발사된 우리 나라 최초의 실용위성인 아리랑 1호는 지상에서 약 685 Km 떨어진 우주 궤도상에서 촬영된 지상 영상 자료를 전송하므로써 3차원 입체 정밀 지도의 제작과 국토 운용 계획수립 등에 많은 도움을 주고, 해양 및 대기의 오염도 등 감시에도 활용되고 있다. 또한 무궁화 위성과 같은 통신 위성은 지역간 방송 및 통신 소통을 원활하게 하여 주며 기상 위성은 일기 예보의 정확성을 높여 주어 기상 재해를 예방할 수 있게 한다. 이러한 위성 1기를 설계하고 제작하기 위해서는 최소 3년 이상의 설계 및 제작 기간이 소요되고, 이 기간 동안 막대한 예산이 투입되어야 하며, 분야 별 전문가 수 백 명이 전기간 동안 투입되어야 하는 대형 사업이다.

그러나 이렇게 제작되고 발사되는 인공위성이 모두 성공하는 것은 아니다. 이들 인공위성의 실패 원인 중에는 위성체의 설계 오류나 위성체의 발사 실패 등 여러 요인이 있으나, 지상에서 위성체 부품과 탑재 장치 및 위성 시스템의 조립 및 시험기간 중에 침착된 눈에 보이지 않는 오염 물질 (Contamination Materials)에 의한 것이 있다. 이 오염 물질은 주로 우주 궤도 상에서 고진공(10^{-6} Torr)과 심한 온도 편차($-180^{\circ}\text{C} \sim +120^{\circ}\text{C}$)로 인하여 배출 가스로 생성되거나 위성체 표면 물질과 화합하여 유기물질을 생성하여 위성체 표면 및 광학 탑재 센서 등에 흡착된다. 이러한 오염 물질로 인해 위성체의 성능은 저하되며, 특히 위성체의 위치 감지 센서나 자세제어 센서인 광학 탑재 센서에 오염 물질이 흡착되면, 센서의 시계(Field of View)를 방해하여 궤도상에서 위성체의 자세제어 기능이 약화되거나 상실된다. 또한 관측 위성이나 기상 위성 등 주 탑재 장비가 광학 센서인 경우 오염 물질에 의해 오염되면 영상 자료가 훼손되거나 주임무(Main

Mission)의 성능을 발휘하지 못하는 경우가 발생한다. 1969년에 발사된 미국의 OGO-6 위성은 태양 전지판에서 발생한 배출 가스로 인해 위성체가 오염되어 위성체 전력 생산을 위한 성능 저하의 원인이 된 바 있고, 1980년대에 발사된 SUSIM 위성의 경우 탑재 전자 박스의 발화로 발생된 배출 가스로 인해 위성체 운용을 포기할 수밖에 없었다. 이와 같이 위성 선진국가에서는 많은 위성체의 오염으로 인해 부분적 혹은 전체적 실패를 경험한 바 있다. 이에 따라 미국 및 유럽 국가 등 위성 선진 국가에서는 위성체 오염 관리의 기준을 엄격하게 관리하고 있으며, 오염 측정이나 세척 기술도 꾸준히 개발하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 다목적실용위성 1호에서 수행된 오염 관리 계획을 바탕으로 하여 오염 관리 계획의 수립과 위성체 설계, 조립·시험 및 발사와 우주궤도에서의 단계별 오염관리 요구 조건의 수립 방법에 대하여 기술하고, 국내 위성체 오염 관리 계획 수립을 위한 방향을 제시하고자 한다.

2. 오염 관리 계획의 수립

2. 1 오염 관리 흐름도

위성체의 오염은 위성 목적의 요구 조건 (Mission Requirements)에 따라 규정된 기준을 벗어나 위성의 성능을 저하시키는 잠재 요소이다. 그러므로, 오염은 위성체 시스템의 성능에 대한 위험 요소임을 인식하고, 이를 완화시켜야만 한다. 이를 위해 초기 위성체 설계시 오염관리 계획과 수행 계획을 수립하고, 지속적

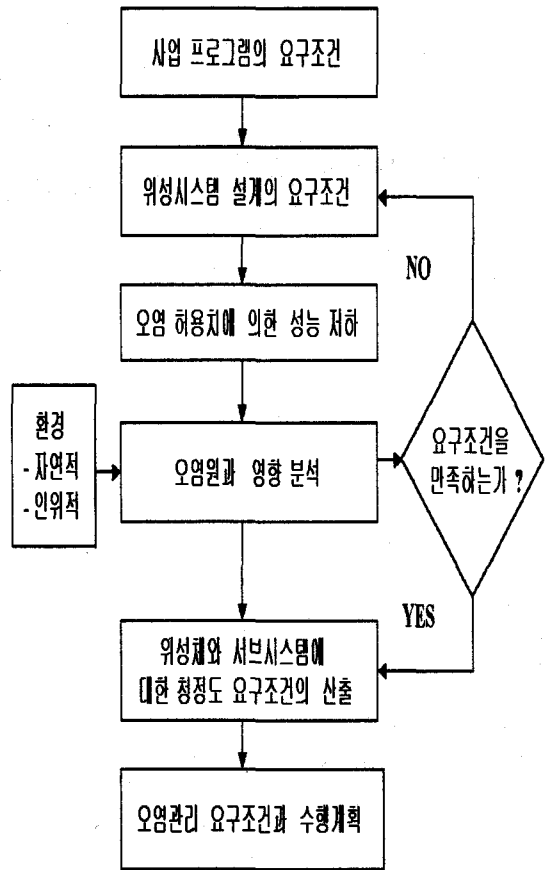


그림 1 위성체 오염 관리 흐름도

으로 오염 측정을 수행함으로써 오염으로 인한 위험성을 많이 줄일 수 있다. 이를 통하여 오염으로 인한 전체 사업의 예산을 절감할 수 있고 사업 일정을 차질없이 추진할 수 있게 된다. 그림 1은 위성체의 오염 관리를 위한 전체적인 요구 조건의 흐름을 보여주고 있다.

2. 2 오염 관리 담당자

오염 관리 담당자는 위성체 제작에 소요되는 모든 물품에 대한 청정도 요구 조건을 설정하고, 그 조건을 충족시키기 위해 필요한 절차와

방법을 만드는데 우선적인 책임이 있다.

그리고, 오염 관리 담당자는 위성체에 소요되는 부품, 위성체에 탑재되는 전기·전자 박스 및 위성체를 설계하는 담당자에게 오염에 관한 자문을 하면서, 제작된 제품의 오염 여부를 검토 및 확인하고 이를 승인한다.

오염 관리 담당자는 다음 사항을 중점적으로 지원한다 ;

- 위성체의 오염 요구 조건에 따라 각 조립 장소 및 시험 장소의 청정환경 설계
- 위성용 부품과 재질의 선택 및 사용검토
- 전기·전자 박스의 조립, 위성체 조립·시험 및 발사장에서 최종 조립·시험기간 동안 오염을 관리하거나 제거하기 위한 방법 및 절차의 사전 검토
- 정밀 세척, 포장 및 운반 기간 동안의 보호 방법
- 오염원의 제거 혹은 억제를 위한 방법 확인
- 작업 인원의 오염 관리 교육
- 부품 조립, 위성체 조립·시험 및 발사장 최종 조립·시험 작업 절차의 감시
- 기타, 위성체 오염에 관련되어 지원이 요구되는 제반 활동

3. 오염 관리 요구 조건의 수립

위성체 오염 관리의 기본 개념은 위성에 탑재되는 부품 및 장비와 작업 공간의 오염될 확률을 최소화하는 것이다. 즉, 위성 부품 및 재질의 적절한 선택 및 처리와 초음파 세척, Bake-Out 세척 및 일반적인 위성체 외부 표면의 세척 작업에 의해 최소화될 것이다.

그리고, 위성체 부품 및 시스템의 조립 및 시험 공간 등 오염 관리가 요구되는 곳은 MIL-STD-209E와, MIL-STD-1246D와 총질량 손실(Total mass Loss, TML) 1 %이하와 0.1 %의 휘발성 응축물의 기준에 만족하는 청정 지역이 되어야 한다.

3. 1 오염 물질의 허용치 및 청결도

위성체 오염 물질의 허용치는 위성체의 저장, 발사와 궤도 운전에 따라 오염 임계 표면(Contamination Critical Surfaces)과 오염 민감 표면(Contamination Sensitive Surfaces)에 오염 물질이 허용될 수 있는 누적량을 정의하기 위하여 만들어진다. 오염 임계 표면은 위성체 부품 및 시스템에 대하여 구조적, 형상적, 기능적인 이유로 인하여 세척을 수행할 수 없는 표면을 의미하고, 오염 민감 표면은 위성체 조립·시험 및 발사 등의 과정을 통하여 발생하는 분자 혹은 입자 오염이 누적되어 성능 저하에 원인이 되는 표면을 의미한다.

이 누적량은 입자 오염(Particulate Contamination)과 분자 오염(Molecular Contamination) 별로 위성체 수명 종료까지의 성능 요구 조건과 오염으로 인한 표면 상태의 등급 등을 고려하여 구할 수 있다. 입자 오염은 위성체의 조립·시험, 운송, 저장 및 발사와 태양전지판 전개 등의 과정에서 발생하는 금속·비금속의 물질을 의미한다. 그리고 분자 오염은 위성체 표면에 가스의 응축, 기포의 상 변화 등으로 인하여 발생하는 오염이다.

이러한 방법에 의해 구해진 다목적 실용위성 1호에 대한 오염 허용치의 예가 표 1에 나타나

표 1. 다목적실용위성 아리랑 1호의 오염 허용치 예

위성 탑재 장비	위성체 조립 및 시험		발사장 작업		우주 궤도에서의 수명 종료 (End of Life)	
	입자 오염	분자 오염	입자 오염	분자 오염	입자 오염	분자 오염
탑재 광학 카메라	해당사항 없음	해당사항 없음	외관 청결	1 mg/ft ²	2% Obsc.	500 Ang.
열 제어 표면	외관 청결	요구 조건 없음	외관 청결	1 mg/ft ²	2% Obsc.	500 Ang.
태양 전지판	외관 청결	요구 조건 없음	외관 청결	1 mg/ft ²	2% Obsc.	1000 Ang.
자세제어 센서	외관 청결	요구 조건 없음	외관 청결	요구 조건 없음	2% Obsc.	1000 Ang.
위성 구조체	외관 청결	알콜 세척	외관 청결	요구 조건 없음	요구 조건 없음	요구 조건 없음
다층 단열제 (MLI)	외관 청결	Vacuum Bake-out	외관 청결	요구 조건 없음	요구 조건 없음	요구 조건 없음
전선 묶음 (Harness)	외관 청결	Vacuum Bake-out	외관 청결	요구 조건 없음	요구 조건 없음	요구 조건 없음

있다.

3. 2 오염원과 영향 분석 (Contamination Sources and Effects Analysis, CSEA)

위성체가 우주 궤도에서 운용되는 동안 발생하는 오염원과 침전물의 질적·양적 평가는 오염 임계 표면에 의해 만들어진다. 그리고, 임계 표면을 둘러싼 오염 환경(분자 및 입자)의 물리적 특성과 탑재 장비의 상대적 위치와 위성체의 형상 및 오염 민감 표면의 작용 등이 오염원으로 고려되어야 한다. 이들 고려 사항을 기준으로 위성체의 발사에서 우주 궤도상에서 수명 종료(End-of-Life, EOL) 시까지의 시간을 포함하여 프로그램으로 해석하면, 위성체

자체 오염, 오염의 재 분배(Contamination Redistribution) 및 우주 환경에서 영향을 미치는 물질에 기인하는 오염 등을 예측할 수 있다. 또한, 이 해석 결과로 위성체 부품 및 탑재 장비의 우주궤도에서 열·진공에 따른 표면 처리나 보호용 커버의 설계 사양 등도 알 수 있다.

3. 3 사용 물질의 선택 및 처리

3. 3. 1 위성체 사용 물질의 기준

위성체 부품 및 시스템에 사용되는 물질의 선택 기준 및 조건은 다음과 같다.

(가) 물질 내부에 배출가스의 용축물을 최대 0.1 % 포함하고 ASTM E595-90에 따라 시험되었을 때 TML이 1.0% 이하가 되어야 한다.

(나) 배출가스에 대한 어떠한 자료도 없는 물질은 오염관리 담당자의 자문을 받아 ASTM E595-90에서 요구하는 대로 시험을 하여야 한다.

만약 아래에 기술된 사항 중 하나라도 해당되는 것이 있다면 위성체 부품으로 사용해서는 안된다;

- (1) 봉인된 보관함에 설치된 물질이 배출 가스 요구 조건을 만족하도록 요구 되지 않은 경우
- (2) 배출가스 요구 조건을 만족하지만 배출 가스 봉인을 나타내는 표시가 없는 경우
- (3) 위 (1) 혹은 (2)에 해당되지 않은 물질이라도 만약에 그 물질이 필요한 만큼의 시험이나 추가 분석 등으로 오염에 민감한 요소로 취급하도록 표시되어 있지 않은 경우

(다) 특정 물질 사용 허가서에 의해 기재되지 않은 다음 물질의 사용은 금지된다;

- (1) Zinc
- (2) Cadmium
- (3) Electroplated Tin과 Uncoated Silver

3. 3. 2 공급 계약자의 물질 사용 목록 (Materials Usages List, MUL)

오염 관리 담당자는 위성체 제작이나 조립·시험에 사용되는 모든 장비 및 소요 물품의 사용 목록을 작성한다. 이 목록에 포함된 물품이 공급 계약사에 의해 ASTM E595에 따라 시험되는 경우에는 시험 장소, 무게, 면적 및 TML 등을 기재하여 물품 공급 시 제출하도록 한다.

3. 3. 3 열·진공 부품의 Bake-out의 수행

위성체 엔지니어링 도면에서 제시되는 부품이나 장비의 재질이나 물성 치에 따라 열·진공 시험 조건이 결정된다. 탑재 장비 중 우주 궤도상에서 오염 물질에 노출될 위험성이 있는 것은 비활성 잔류물(NVR)의 발생을 줄이도록 하여야 하고, 이를 위하여 부품 개발 과정 동안 열·진공 Bake-out 시험을 수행하여 물질 자체에 포함된 오염 물질을 제거하여야 한다.

3. 3. 4 정전기 방전(Electrostatic Discharge, ESD) 물질

오염 관리 항목 중 하나로 정전기 방전재의 사양이 수립되어야 한다. 특히 정전기로 인한 전기·전자 박스의 손상을 막기 위해 사용되는 방전 물질에 오염을 유발하는 물질이 포함되지 않아야 한다. 따라서, 각종 포장재, 온도와 습도 조절이 가능한 정전기 방지용 커버, 청정실용 정전기 방지 장치의 사용과 작업 인원에 대한 정전기 방지 교육 및 오염 관리 교육이 병행되도록 하여야 한다.

3. 3. 5 포장 물질

오염 임계 표면을 가진 위성용 탑재 장치 및 장비는 설계 시점부터 포장재의 물질 사양 및 특성을 고려하여 제작되어야 한다.

이렇게 제작된 포장재는 위성체가 로켓에 실려 발사되기 직전까지 사용된다.

3. 4 오염 측정

오염 측정의 목적은 사전에 결정된 오염 허용치에 대한 청정도 수준을 감시하고, 위성체

조립·시험에 필요한 자재의 감시를 할 수 있도록 하는 것이다. 또한, 이러한 측정 작업을 통해 세척이나 오염 관리 조건을 더욱 강화하거나 완화할 수 있는 계획을 수립하는데 사용될 수 있다.

3. 4. 1 온도, 습도 및 차압의 측정

위성체 부품과 탑재 장비 및 시스템의 조립·시험과 발사 관련 작업 등 위성체에 관련된 모든 장소에 온도, 습도, 차압 조건을 설정하여 측정한다. 이 측정 데이터는 연속적으로 기록·저장되는 장치에 의해 관리되어야 하고 사업 종료 시까지 보관되어 위성체의 환경 변화 추이를 확인할 수 있도록 한다.

3. 4. 2 청정도 및 오염 측정

위성체에 관련된 일련의 작업을 수행하는 동안 관련된 청정 시설물 내의 공기 중에 부유하는 먼지 입자 수와 하이드로 카본(Hydrocarbon)을 포함하는 비활성 잔류물을 측정한다. 먼지 입자 수는 Particle Counter를 사용하여 실시간으로 측정하므로써 위성체의 허용 청정도

를 만족하는지를 수시 확인한다. 그리고, 비활성 잔류물은 시설물 내에 Witness Plate을 설치하여 시설물내 먼지의 량과 먼지 입자의 화학적 분석을 통하여 오염 여부를 확인하도록 한다. 이 측정 데이터도 사업 종료시 까지 보관하여 참고 자료로 수시 활용한다.

3. 5 위성체 부분체의 제작 및 조립

3. 5. 1 구조체의 제작과 조립

구조체의 제작·조립은 청정 지역이 아닌 일반 작업장에서 수행된다. 이러한 작업은 드릴링(Drilling), 용접(Welding) 혹은 기계 작동으로 인해 금속 칩(Chips), 먼지, 기계 작동 오일 등이 발생되므로 제작 완료 후 세척이 수행되어야 한다. 또한, 위성체 조립·시험에 사용되는 리벳(Rivet), 볼트(Bolts), 와셔(Washers) 등과 같은 조립용 부품은 외관상 오염이 되지 않은 것을 확인한 후 사용되어야 한다.

3. 5. 2 위성체의 조립 환경

위성체의 조립·시험을 위한 환경 설정의 기준에 영향을 주는 것은 위성체의 고도, 탑재

표 2. 위성체 조립 시험환경의 청정도 관리 기준

위성 오염 민감도	청정도 요구 조건	청정도 관리 기준 (Fed. Std. 209)
A(High)	광학 탑재 카메라 자체 조립시	청정도 100 급 이상
	조립·시험 등 일반 작업 시	청정도 10,000 급 이상
B(Medium)	광학 탑재 카메라 노출시	청정도 10,000 급 이상
	조립·시험 등 일반 작업 시	청정도 100,000 급 이상
C(Low)	광학 탑재 카메라 노출이 없는 경우 조립·시험 등 일반 작업 시	청정도 100,000 급 이상

광학 카메라의 청정도 요구 조건 및 탑재되는 열 조절 장치의 오염 임계 표면의 영향 등이다. 보통 이들 인자에 의해 위성체 오염 민감도에 따라 표 2 에서와 같이 3 등급으로 분류하여 조립·시험의 환경 조건 및 오염 허용치를 결정한다.

만일, 불가피한 사정으로 인하여 탑재 광학 카메라가 청정도 10,000 이하의 지역에 노출되는 경우에 청정도 100,000 이상을 계속 유지하는 장소에서는 광학 부분에 커버를 한 상태로 72 시간 이내에 사용은 가능하다. 그러나, 청정도 100,000 이하의 장소에서 노출되는 경우에는 오염 관리 담당자의 허락을 득하고 요구되는 보호 장치를 갖춘 후에 작업을 수행하여야 한다.

규정된 청정도 이하의 지역에서 조립·제작된 부품 및 부분품은 청정 지역으로 반입되기 전 항상 세척이 수행되도록 규정한다.

또한 조립기간 중 외관상 나타나는 입자 혹은 오염 물질은 수시로 세척 작업을 통하여 제거하도록 한다.

3. 6 위성체 시스템의 환경시험

위성체의 조립이 완료되면 열·진공시험, 발사 환경시험 등 별도의 시험 시설로 이동하여 각종 환경 시험을 수행한다. 이때 각 환경 시험에 따른 오염 관리 지침이 수립되어 시행되어야 한다.

3. 6. 1 위성체 이동 및 환경시험 오염 관리

위성체가 환경 시험 시설로 이동하기 적어도 2주 전 환경 시험 장소의 모든 장비 및 시설은

미리 외관 검사를 통하여 필요한 부분을 세척한다. 그러나 세척하기에 불가능한 기기 혹은 유압 장비 등은 청정용 보호 비닐을 사용하여 밀봉시킨다. 다음에 청정 시설을 가동하여 요구되는 청정도를 맞추어 주고, Witness Plate을 설치하고 NVR을 측정하여 위성체의 청정 요구 조건에 만족하는지를 확인한다.

위성체가 환경 시험 장소로 이동되기 직전에는 탑재 광학 카메라를 정전기 방전용 비닐 커버로 밀봉하고, 위성체 시스템 전체를 동일한 재질의 비닐 커버로 씌워, 이동중 위성체가 오염되지 않도록 한다. 위성체의 이동이 완료되면 환경시험 장소의 청정도가 요구되는 청정 조건을 만족하는 것을 확인하고 이동 중 사용된 비닐 커버는 외관 청정도를 검사하여 진공 청소기로 먼지를 제거한 후 벗겨 낸다.

환경 시험이 종료되면, 다시 비닐 커버를 사용하여 위성체를 밀봉하고, 조립 장소로 이동한다. 위와 동일한 비닐 커버 제거 작업을 수행한 후 위성체 시스템 표면과 탑재 카메라의 외관 검사를 수행한다.

3. 6. 2 열·진공 시험의 오염 관리

위성체의 열·진공 시험 장소로의 이동 및 오염 관리는 3.6.1에서와 동일하게 수행된다.

3. 6. 2. 1 시험 전

열·진공 시험용 챔버에 위성체가 설치되어 시험되므로 챔버 내부의 청정도는 위성체가 요구하는 것과 동일하거나 더 좋은 조건이어야 하고, 챔버 내부 표면은 열·진공 시험 기간 동안 위성체에서 발생하는 배출가스와의 유기화합 반응 등이 발생되지 않도록 철저한 오염 검

사가 선행되어야 한다. 이를 위하여 열·진공 시험을 수행하기 전 챔버 내부에 Witness plate를 설치하고, 챔버를 고온으로 가동하여 NVR을 확인하므로써 챔버 내부의 청정도를 확인한다. 챔버의 청정도가 확인되면, 위성체를 챔버 내부에 설치한다. 위성체가 챔버에 설치, 완료되면 위성체의 오염 임계 표면과 챔버 내부 표면의 적어도 4 곳 이상을 설정하여 시료 채취용 형검으로 표면의 먼지를 채취하고, 열·진공 시험동안 NVR을 측정하기 위하여 챔버 내부 2 곳에 Witness Plate를 설치한다. 열·진공 챔버의 문을 닫기 직전 탑재 광학 카메라의 오염 방지용 커버를 제거한다. 그러나, 커버가 열·진공 시험 조건에 오염을 발생시키지 않는 것으로 확인되었다면 그대로 남겨둘 수 있다(그림 2).

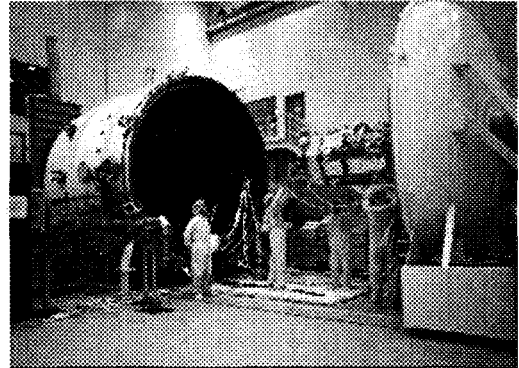


그림 2 열·진공 환경 시험 준비

의 표면 먼지를 채취하여 시험 기간 동안 오염 여부를 확인한다. 다음에 챔버 내부 2 곳에 설치된 Witness Plate를 제거하여 NVR을 측정한다. 마지막으로 시험 기간 동안 측정된 오염 자료를 프로그램으로 해석하여 위성체의 전체적인 세척이 요구되는지를 결정한다.

3. 6. 2. 2 시험기간 중 챔버 내부의 오염관리

열·진공 시험 기간 중 챔버 내부에 설치된 $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하로 유지되는 오염 방지판(Cold Plate)을 운용하여 진공 상태에서 부유하는 오염 물질을 흡착시키고, TQCM(Thermo-electrical Quartz Cristal Microbalance) 및 잔류가스 분석기 등을 이용하여 오염 물질의 발생을 정량적·정성적으로 항상 감시하여야 한다.

3. 6. 2. 3 시험 후

열·진공 시험이 종료되고 챔버 내부의 온도와 압력이 시험실 내부와 같아지면, 챔버의 문을 천천히 열고, 지체없이 광학 카메라의 오염 방지용 커버를 설치한다. 다시 깨끗한 시료 채취용 형검으로 시험전 채취된 곳과 동일한 곳

3. 7 발사장으로서의 운송 준비

3.7.1 위성체의 정기 세척

위성체가 모든 조립 및 시험을 종료하고, 발사장으로 운송되기 전 보관 기간 동안에는 오염 관리 담당자의 계획에 따라 위성체의 정기적인 외관 검사를 실시하고 외관 세척을 수행한다. 또한 위성체와 시험실 내 적어도 2 곳 이상에 Witness Plate를 설치하여 보관 기간 동안의 NVR을 측정한다.

3.7.2 포장 전 위성체 검사

위성체가 발사장으로서의 운송을 위하여 포장되기 직전에 Ultraviolet Lamp를 사용하여 최종 외관 검사를 수행하고, 이 시점까지 NVR 측정 데이터를 최종 검토한다.

3.7.3 위성체 운송용 컨테이너의 준비

위성체가 컨테이너에 설치되기 전 컨테이너 내부 표면에 외관 입자와 NVR을 검사한다. 만약 내부 표면에 비활성 잔류 물질이나 오염 입자가 발견되면, 세척을 수행하고 다시 검사를 수행하여 내부 표면에 오염 물질이 없는 것을 확인한다. 다음에 오염 채취용 형검으로 오염 관리 담당자가 지정한 컨테이너 내부 표면에 분자 청정도를 측정·확인한다. 다음에 위성체를 컨테이너에 설치한다.

3.7.4 운송을 위한 위성체 포장

컨테이너에 위성체를 설치한 후 그림 3와 같이 광학 탑재 카메라에 정전기 방전 기능이 있는 청정용 비닐을 씌우고 운송기간 중 컨테이너 외부에서 여과 장치를 통과한 건조한 청정 공기나 질소가 공급되도록 장치한다.

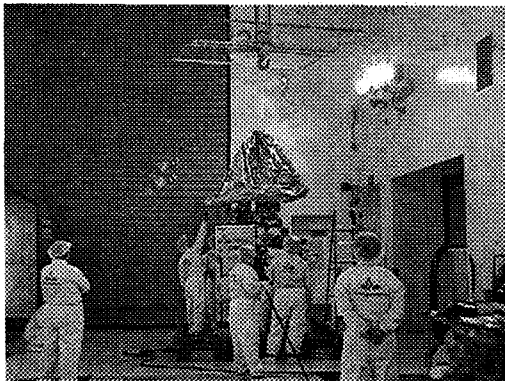


그림 3 광학 탑재 카메라의 포장

다음에 위성체 전체를 동일한 재질의 위성체 커버로 포장하고 완전히 밀봉한다.

마지막으로 위성체 컨테이너 내부에 온도, 습

도 및 진동 센서를 설치한 후 컨테이너를 밀봉한다.

3. 8 발사장에서의 오염 관리

3.8.1 발사체 탑재부의 청정도 검사

위성체가 발사체 탑재부와 결합되기 전 탑재부 내부 표면은 먼저 진공 청소기로 입자가 큰 먼지를 제거하고, 알코올을 사용하여 청정실용 형검으로 세척을 수행한다. 다음에 Ultraviolet Lamp로 표면 내부의 청정도를 검사한다.

위성체가 발사체 탑재부에 설치되면, 탑재부를 밀봉한다. 그림 4와 같이 외부에서 HEPA필터가 설치된 공기청정장치를 사용하여 탑재부 내부에 청정공기를 주입한다.

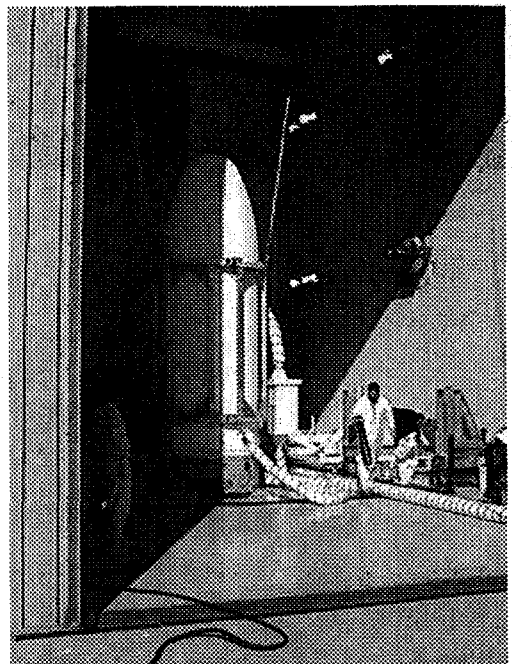


그림 4 발사체 탑재부 HEPA 필터설치

Perspective view of Taejun

Data source: Kompsat BOC image
Landsat-5 TM image
DEM(10m grid)



KARI Korea Aerospace Research Institute
KAI Korea Aerospace Industries, Ltd.
ParAde Engineering

그림 5 다목적 실용위성 아리랑 1호의 대전지역 3차원 영상 자료

3.8.2 발사체 내부의 청정 관리

위성체가 탑재부에 설치된 상태에서 발사체의 추진부와 결합된다. 이때 발사체 탑재부에 공급되는 청정 공기 공급 라인에 설치된 청정도와 온·습도 센서를 이용하여 발사 직전까지 위성체의 청정 환경을 감시한다.

3.9 우주 궤도에서의 오염 관리

위성체가 발사되어 요구된 우주 궤도에 진입하여 태양전지판의 전개와 위성체 자세 제어를 위한 추진 분사장치를 작동시키고, 위성체의 초기 운용 기간 동안 우주 궤도에 노출되면서 발생하는 오염 환경은 3.2절에서 분석한 결과

와 일치하는 것으로 가정한다. 이에 따라 다목적 실용위성 1호의 경우 우주궤도 685 Km에서 열·진공 조건 및 오염원을 분석한 결과에 따라 위성체에서 발생하는 배출 가스의 가능성으로 인해 약 30일 동안 광학 탑재 카메라를 운용하지 않았다.

4. 맺음말

다목적실용위성 1호의 경우 위성체 부품, 서브 시스템의 제작 및 위성체의 조립·시험 전 단계에 걸쳐 전술한 오염 관리 계획이 수립되었고, 각 단계 별로 오염 관리를 위한 요구 조건이 규정되고 시행되었다. 또한 주 탑재체인 광학 탑재 카메라는 우주 궤도 진입 30일 후부터 작동하여 사진 촬영을 한 결과, 현재까지 그림 5와 같이 전송된 자료의 상태가 매우 양호한 상태로, 광학 탑재 카메라에 오염 물질에 의한 영향은 없는 것으로 판단된다.

본 논문에서 기술한 위성체의 오염 관리 계획은 각 위성체의 설계 조건 즉 위성체의 우주 궤도의 설정, 탑재되는 광학 카메라의 청정 요구 조건 등에 따라 달라질 수 있으나 일반적인 위성체의 오염 관리를 위한 계획서로 활용이 가능하다. 또한 엄격한 오염 관리가 요구되는 일반 산업 제품의 오염 관리의 기준 및 관리 계획 수립에도 활용이 가능할 것으로 사료된다.

그리고 본 글에서 기술한 바와 같이 위성체 오염 관리를 위한 기준 및 규격이 미국의 군사

규격과 연방 규격을 사용하고 있어, 이에 대한 국내 규격 및 표준의 수립 및 시행이 시급한 실정이다.

- 참고 문헌 -

1. David F. Hall의 14인, "MSX Contamination Experiment Lessons for S/C Designs, Fabrication, Test, and Integration", 17th Aerospace Testing Seminar, Manhattan Beach, 1997. pp 29-41
2. N. Carosso "Contamination Engineering Design Guidelines", Swales and Associates Inc., 1998, pp 3 - 13
3. F. D. Cottrell "KOMPSAT Contamination Control Plan", TRW, 1996, pp5 - 15
4. P. A. Hiller "KOMPSAT Cleaning Protocol", TRW, 1998, pp 4 - 13
5. 윤용식, 최종연, 박순영, 이주진 "위성체의 오염 측정(Spacecraft Contamination Measurement)" 공기청정기술 제12권 제2호, 1999, pp. 95 ~ 102
6. 박순영, 윤용식, 최종연, 이주진 "위성체 비활성 잔류물의 측정(Measurement of Spacecraft Non-Volatile Residues)", 한국항공우주학회, 1999. pp. 721 ~ 724
7. J.M. Choi, S.W. Choi, J.J. Lee "Cleaning Process and Contamination Control for thermal Vacuum Test", IEST ESTECH 2000. Proceedings, 2000, pp 17 - 21