

고해상도 관측위성 개발

이 응 식 · 한국항공우주연구원 위성광학기술팀, 선임연구원

_e-mail : eslee@kari.re.kr

이 글에서는 고해상도 관측위성에 대해 소개하고 고해상도 광학카메라 개발에 필요한 주요기술에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

2006년 7월 다목적실용 위성 2호의 발사 성공으로 우리나라도 흑백 1m, 컬러 4m의 고해상도 영상을 자력으로 확보할 수 있게 되었고, 지도제작, 재난 관리, 공공부분 시설관리 등에 사용하고 있으며 해외 판매도 실시하고 있다. 1994년 미국 정부가 군사 및 안보 기술로 분류하였던 해상도 1m 수준의 위성영상 사업화 승인을 계기로 위성영상 시장의 규모가 폭발적으로 증가하였으며, 영상 공개로 파생되는 새로운 부가가치산업 시장이 확대되어 활성화되었고, 구글어스는 전 세계의 많은 지역의 촬영영상을 인터넷을 통해 공개하고 있다. 해상도 1m는 685km 우주 공간에서 우리 집을 찍으면 우리 집 앞에 세워둔

우리 차의 모습까지 구별할 수 있는 수준으로 버스와 승용차를 구분하며 승용차 대수를 셀 수 있는 수준이다. 지상관측 카메라는 대략 해상도 1m 수준을 고해상도 카메라로 분류한다.

위성관측 카메라는 대상을 보는 방법에 따라, 광학 카메라, 적외선 카메라 및 영상레이더 등으로 구분할 수 있다.

광학카메라는 대형 디지털 카메라와 같은 원리로 물체에 반사되는 태양빛을 우리 눈이 보듯이 사물을 찍는 방식이며 제일 선명한 사진을 찍을 수 있고 디지털 사진을 보듯이 대상을 볼 수 있지만 밤이나 구름이 많은 악천후 기상상태에서는 찍을 수 없는 단점이 있다.

표 1 고해상도 카메라 개발 현황

위성명(국가)	발사연도	해상도
IKONOS (미국)	1999	1m(흑백), 4m(컬러)
QuickBird (미국)	2001	0.6m(흑백), 2.4m(컬러)
IGS (일본)	2003, 2006	1m(흑백)
EROS B1 (이스라엘)	2006	0.7(흑백)
KOMPSAT2 (대한민국)	2006	1m(흑백), 4m(컬러)
Cartosat-2 (인도)	2007	1m(흑백)
Worldview-1 (미국)	2007	0.5m(흑백)
Geoeye-1 (미국)	2008 발사 예정	0.41m(흑백), 1.65m(컬러)
Pleiades (프랑스)	개발 중	0.7m(흑백), 2.8m(컬러)

Worldview-1과 Geoeye-1이 0.5m 이하의 해상도를 갖는 상용 위성이며, 미국의 첩보위성 키홀(KH)-11이 약 15cm 해상도를 갖는 것으로 알려져 있다.

적외선 카메라는 모든 물체가 온도에 따라 특징적인 적외선을 내뿜는 현상을 이용하여 방출되는 열적외선을 감지하여 대상 물체를 구별하는 카메라이다. 대상물의 온도를 매우 정확하게 판별하므로 비행기나 중장비 등이 시동이 켜졌는지 꺼져있는지를 쉽게 구별할 수 있으며 군에서 사용하는 야간투시경도 적외선 카메라의 일종이다. 위성 적외선 카메라는 주로 첩보용 위성에 탑재되어 사용되며 미국의 첩보 위성인 키홀-12, 프랑스의 첩보위성인 Helios에도 적외선 카메라가 탑재된 것으로 알려져 있다.

광학카메라나 적외선 카메라는 대상물체에서 반사되는 햇빛이나 자체에서 방사되는 열적외선을 감지하는 수동형 센서이고 영상레이더는 센서 자체에서 대상물로 전자기파를 방사하여 반사된 신호를 수집하여 영상을 구성하는 능동형 센서이다. 영상레이더는 지상에서 사용하는 레이더와 비슷한 원리로, 위성이 지나가면서 촬영하려는 곳의 지표면에 전파를 쏘고 발사한 전파가 되돌아오는 것을 동시에 수신한다. 지상의 물체에 반사되는 전파는 반사되는 물체의 형상이 담긴 정보를 가지고 위성으로 되돌아오며, 이

를 바탕으로 자동차, 비행기 모양 등을 레이더 영상으로 확인 할 수 있다. 이런 위성은 레이더 신호의 빔 폭에 따라 해상도가 결정되며 전파를 쏘는 빔 폭을 조절해 해상도를 높이거나 낮추는 방법을 쓴다. 고해상도 영상을 얻기 위해서는 비현실적으로 큰 안테나가 필요하게 되어 해상도 증대는 안테나의 물리적 길이에 제한을 받아왔다. 이러한 제한을 해결하고자 제기된 것이 합성개구면레이더이다. 합성개구면레이더는 물리적 안테나 크기에 의존하던 해상도를 안테나가 탑재되어 이동하는 비행체가 획득하는 여러 개의 신호를 합성함으로써 물리적으로 큰 크기의 안테나와 동등한 효과를 얻어 해상도를 향상시키는 시스템이다. 미국의 첩보 위성인 라크로스, 일본의 IGS, 독일의 SAR-Lupe 등도 레이더를 탑재한 대표적인 위성이며, 2010년에 발사 예정인 다목적 실용위성 5호에도 합성개구면레이더가 탑재된다.

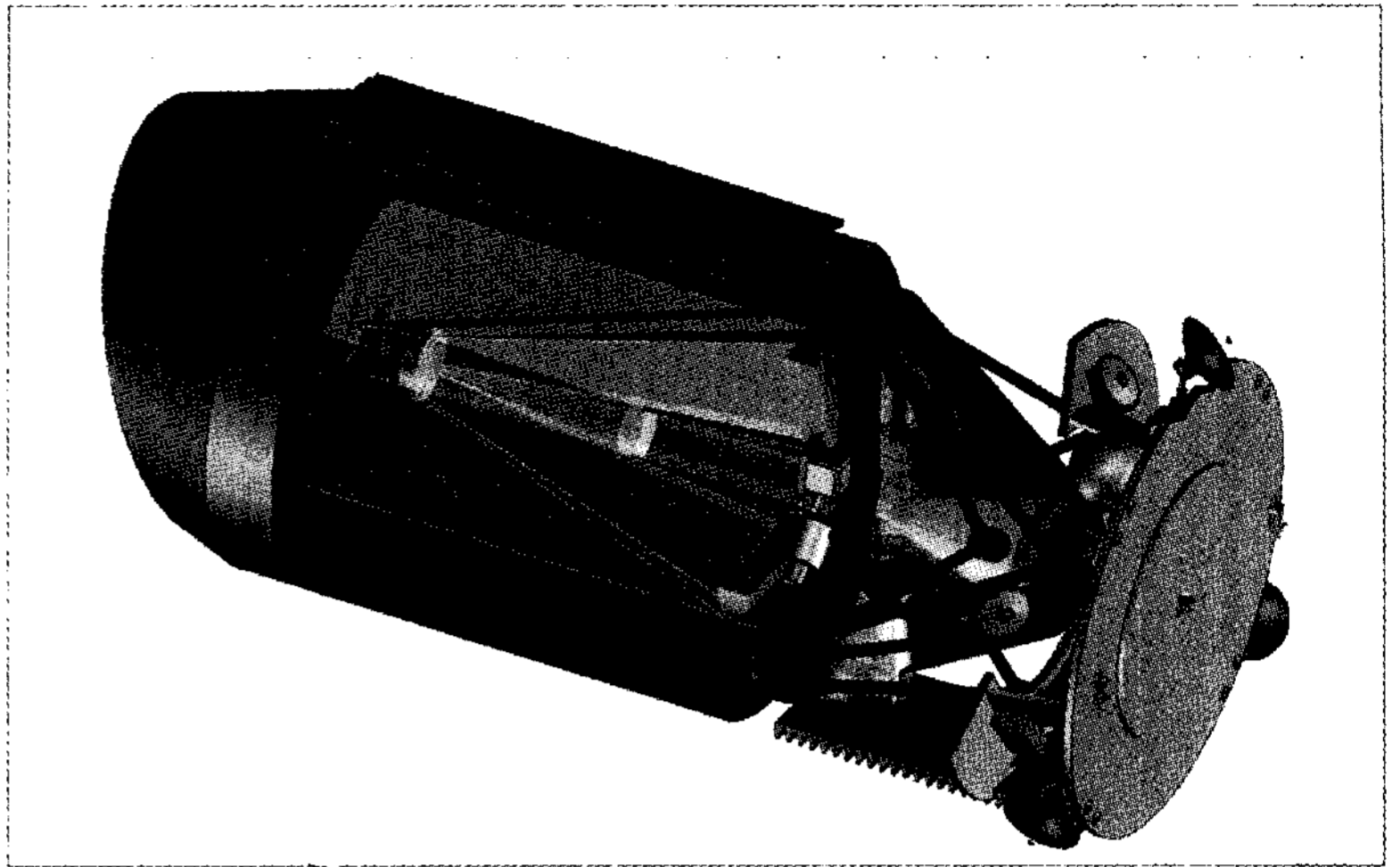
고해상도 관측위성 개발은 위성의 눈에 해당하는 탑재체 개발과 탑재체를 안정적으로 보호하고 촬영 환경을 제공하는 위성본체 개발 및 이들의 조립/ 시험 기술 분야로 구성된다. 여기에서는 관측위성 개발에 필요한 주요 기술들에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

광학탑재체

광학탑재체는 광학, 전자, 기계 등 기술이 융합된 시스템 장치로서 촬영 대상으로부터 입사되는 빛을 초점면에 모으는 반사경으로 구성된 광학부와 초점면에 모아진 빛을 전기 신호로 변환하는 검침기, 촬영된 영상 데이터를 암호화된 자료로 압축하여 지상으로 전송하는 전자전송부 그리고 이들 광부품 및 전자 부품들이 최적의 성능을 안정적으로 낼 수 있도록 지지하는 기계구조부로 크게 구성된다. 카메라의 광학적 형태에 따라 구성되는 광구조 부품의 형태나 기술적 난이도가 달라지며, 최근의 세계적인 동향에 따르면 비교적 제작과 조립이 용이한 2반사경식 광학계보다 성능이 향상된 3반사경식이 선호되고 있으며 광학계의 열구조적 안정성을 높이는 신소재 구조물이 적용되고 있다. 광학계의 유효구경은 관측고도와 지상 해상도에 의해 두 개의 점광원(목표물)을 분해할 수 있는 이론적 회절한계로 결정된다. 지상 685km 높이의 우주 상공에서 해상도 1m의 영상을 위해서는 주반사경의 유효구경이 0.6~0.8m 정도이며, 근래 발사 예정인 Geoeye-1은 직경이 1.1m이고 해상도가 15cm인 키홀 위성은 직경 3m의 반사경을 사용하는 것으로 알려져 있다. 무중력 및 열적 환경 하에서 선명한 상을 촬영하기 위해서는 주반사경의 형상오차에 의한 파면오차(WaveFront Error)가

20nm(RMS)보다 작아야 한다. 또한, 반사경의 무게가 증가하면 이를 안정적으로 지지해야 하는 기계 구조부의 질량도 따라서 증가하고 위성체의 무게도 증가하므로 무게를 최소화하기 위한 반사경의 경량화 설계가 필수적이다. 반사경 경량화는 열팽창 계수가 매우 작은 제로도(zerodur)나 유엘이(ULE) 등의 유리 재질을 사용하여 형상 최적화하는 방법과 열팽창 계수가 비교적 크지만 고강성 특성을 갖는 실리콘카바이드(SiC)나 베릴륨(Be) 등의 재질을 사용하여 경량화 비율을 높이고 반사경의 온도 변화를 엄격히 제어하는 방법 등이 사용된다. 최근에는 복합재를 사용하여 강성을 최대한 반사경 구조물에 얇은 제로도 반사경을 접착하는 복합재 반사경과 반사경 뒷면에 액추에이터를 장착하여 반사면을 원하는 형상으로 능동 제어하는 적응 광학 반사경 등의 경량화 기법에 대한 연구가 미국을 중심으로 활발히 진행되고 있다.

카메라의 초점면에 위치한 검침기는 CCD 또는 CMOS 소자가 사용되며 면적 CCD를 사용하는 휴대용 디지털 카메라와는 달리 선형 CCD를 사용하여 스캐너와 같은 원리로 촬영하는 푸쉬부름(pushbroom) 방식이 일반적이다. 위성 카메라는 고속으로 이동하기 때문에 밝은 영상을 얻기 위해서는 물리적 한계가 있는 반사경의 직경을 키우는 방법



3반사경식으로 설계된 SNAP 카메라의 내부 구조

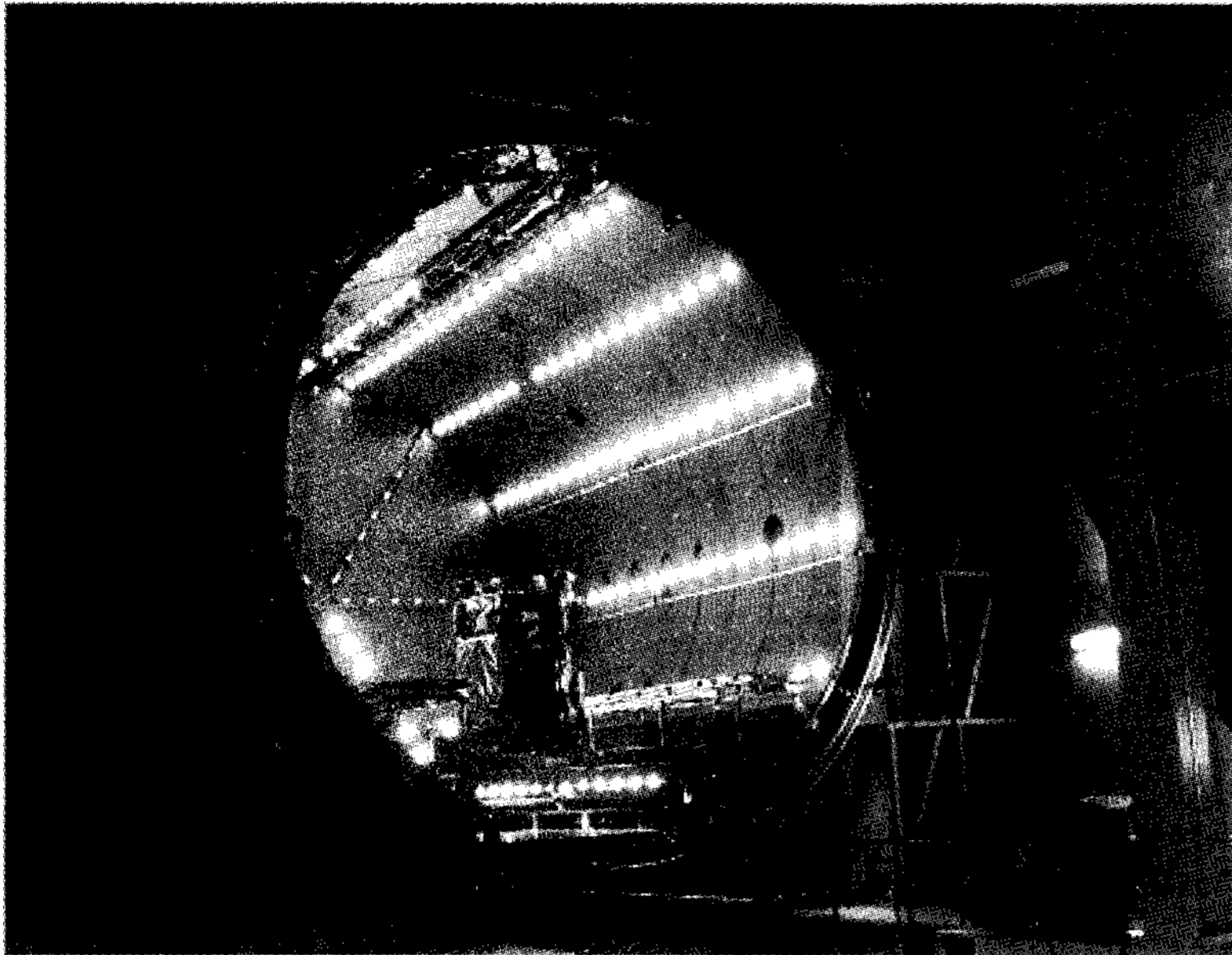
외에 노출 시간을 증가시키는 기술이 사용된다. 위성 진행 방향으로 시간지연적분(TDI; Time-Delay Integration) 기법을 적용하여 노출 시간을 증가시키는 효과를 얻을 수 있으며, 현재는 100단계 이상의 TDI를 지원하는 우주용 CCD가 사용되고 있다.

기계 구조부는 광학-전자 부품들을 우주발사 환경으로부터 보호해주며 특히 주반사경과 부반사경 사이의 상대 위치를 안정적으로 유지시켜주는 역할을 한다. 주반사경과 부반사경의 위치 변화는 카메라 성능에 민감하게 영향을 미치며 2~3 μ m 이내로 항상 유지되어야 한다. 우주 궤도상에서 운용 중인 카메라는 지구 복사열, 태양광선 및 절대온도에 가까운 우주 심연 환경에 노출되어 있어 열적인 환경 변화가 심하게 발생하며 이는 열팽창 계수에 따라 광학 부품의 형상 및 위치 변형을 야기한다. 우주 환경

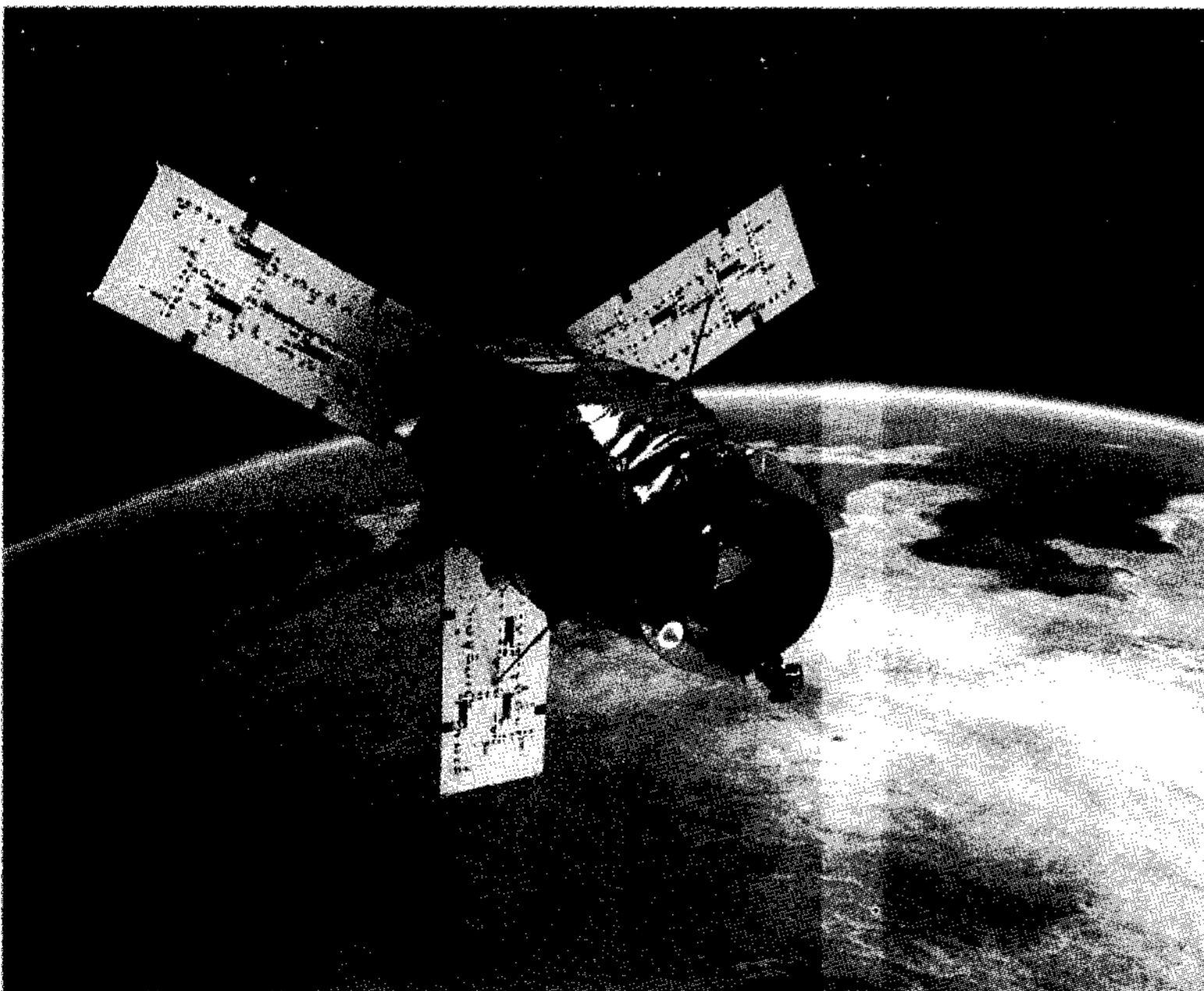
하에서 광학 부품들의 형상 및 상대 위치가 안정적으로 유지되기 위해서는 열팽창 계수가 매우 작은 값을 갖는 제로도 또는 복합재료 등으로 설계하여 열 변화에 둔감한 구조물을 구성하거나 섬세한 열제어 설계를 통하여 카메라의 온도를 일정하게 제어하는 방법이 사용된다. 최근에는 다른 재질에 비하여 단위 질량 당 강성 계수가 월등히 큰 실리콘카바이드를 사용하고 전체 구조를 1 $^{\circ}$ C 내외로 매우 세밀하게 온도 조절하는 방법을 사용하기도 한다.

위성본체

인공위성 본체는 탑재체 운용에 필요한 제반 환경을 지원하며 구조계, 열제어, 자세제어, 전력, 추진, 원격측정명령 등의 부분체가 유기적으로 작동하도록 구성된다. 각 부분체의 기능에 대해서



우주 궤도환경을 모사할 수 있는 대형열진공 챔버



한국항공우주연구원이 개발 중인 다목적실용위성 3호의 비행 상상도

하는 역할을 한다. 실린더구조, 격자구조, 외곽뼈대-플랫폼 구조 등이 인공위성의 주 구조로서 많이 사용되고, 인공위성의 경량화 추구 특성상 비강성/비강도가 우수한 알루미늄 및 타이타늄 재질이 하니컴 샌드위치 패널 형태로 많이 사용된다. 최근에는 금속재료의 단점을 극복한 복합재료의 사용이 활발하게 이루어지고 있다.

인공위성은 절대진공과 절대온도(OK)에 가까운 우주에서 태양 및 지구 복사열에 직접 노출되는 극한환경 하에서 운용된다. 이러한 극한환경으로부터 위성을 보호하고 위성부품들이 허용된 온도범위에서 작동할 수 있도록 능동과 수동 열제어 개념을 적절히 조합하여 열제어를 수행한다. 열제어 방식은 다층박막단열재, 이차면경 등을 사용하는 수동형과 히터, 자동온도조절기, 히트파이프 등을 이용하는 능동형 방식으로 구분할 수 있다.

궤도상에서 위성운용에 따른 위성임무 요구조건을 만족시키기 위해 위성의 자세결정, 자세제어, 모멘텀 덤핑, 태양전지판 지향제어 등의 역할을 자세제어가 담당한다. 궤도상의 인공위성은 지구 중력장 및 자기장, 태양풍 등의 외란에 의해 지향하고자 하는 자세에 오차가 생길 수 있어 지속적인 자세제어가 필요하다. 또한 카메라의 시선을 촬영 위치로 정확히 지향하고 카메라의 스캔 방

간략히 소개하고자 한다.

구조계는 위성의 제작부터 임무 완수까지 모든 주위 환경을

견딜 수 있어야 하며, 발사 및 우주환경 하에서 탑재체 및 부분체 부품 등의 장비를 지지하고 보호

향으로 위성을 정해진 속도로 일정하게 움직여주는 기능도 필요하다. 전력계는 위성의 임무 수행에 필요한 전력을 생성하고 저장하며 전력장치를 제어하고 전력을 분배한다. 위성은 태양전지로부터 전력을 공급받으며 전력효율의 우수성으로 인해 갈륨아세나이드 계열이 최근에 태양전지로 많이 사용된다. 배터리는 니켈-카드뮴(NiCd) 등의 2차 전지가 주로 사용되며 최근에는 전력용량 대 무게비가 우수한 니켈-수소전지 혹은 리튬-아이온 전지가 각광을 받고 있다. 추진계는 위성이 발사체에서 분리된 후 위성의 최종임무궤도에 진입하는데 필요한 추력 및 위성의 3축 자세제어를 위한 제어모멘트를 제공한다. 단일 추진 아이드라진 시스템이 저궤도 경량위성에 많이 사용되며, 신뢰성이 높은 단일 액체추진제 하이드라진 추력시스템을 사용한다. 추진제 공급은 위험성이 낮은 압력공급방식으로 격막이 있는 추진제 탱크를 사용하여 밀어내기 방식으로 추력기까지 추진제를 공급한다. 원격측정명령계는 지상과 위성 간의 통

신 기능을 담당하며 지상의 명령에 따라 위성 전체의 동작을 제어하고 감시하며 위성의 정상적인 임무 수행을 보장하는 기능을 수행한다. 이를 위해 지상과의 RF 통신 경로 유지, 지상 명령 수신과 명령 전달 기능을 수행하며, 주기적으로 위성 상태 수집, 저장 및 지상으로의 전송 기능을 갖는다.

위성 조립 시험

조립 시험은 고신뢰성이 요구되는 우주비행체에 대해서 구조/동특성, 열진공, 열제어 및 전자파 환경에 대한 시험과 분석을 수행한다. 발사환경 시험은 위성이 발사체에 탑재되어 지상으로부터 설정궤도까지 도달하는 과정에서 겪게 되는 진동, 충격 및 음향가진을 지상에서 모사하는 시험이며, 질량 중심, 관성모멘트 및 관성곱과 같은 질량 특성을 측정한다. 우주환경은 지상 환경과 다르기 때문에 주로 전자파 환경이 우주환경에서 예상하지 못한 기능 장애를 보이기도 하고 때때로 임무 성공에 치명적 영향

을 미치기도 한다. 이런 이유들로 위성체는 지상에서 우주환경시험을 통하여 기능 및 작동상태를 점검해야 한다. 궤도환경 시험은 고진공 상태에서 태양복사열에 의한 고온환경 및 심연 우주의 극저온 환경을 위성체에 모사하는 시험으로 10^{-6} Torr 이하의 고진공 및 -180°C 이하의 극저온 모사가 가능한 열진공 챔버와 같은 시설이 필요하다. 전자파환경 시험은 위성이 지상 및 궤도에서 접하게 되는 전자파환경에서 안정하게 동작하는지 여부를 시험한다.

미국은 올해 해상도 0.41m를 갖는 Geoeye-1을 상업용 위성으로 발사 예정이며, 우리나라를 포함한 세계 각국은 지구 곳곳의 더 넓은 관심 지역을 더 명확하고 더 자주 보기 위한 노력으로 고해상도 지구 관측 위성 개발에 박차를 가하고 있다. 우리나라도 1m 이하 해상도의 다목적실용위성 3호 및 5호를 개발 중이며 이와 관련된 우주기술 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.