

## 정지궤도 통신해양기상위성 기술특성 분석

양군호\*

# Technical Characteristics of Geosynchronous Communication, Ocean and Meteorological Satellites

Koon-Ho Yang\*

### Abstract

In this study, the technical characteristics of geosynchronous multi-mission satellites are investigated, compared to communication satellites. Geosynchronous meteorological satellites, whose imaging data is normally shared with the international society, have large coverage for monitoring and data service. Also the higher pointing accuracy is requested to keep the spatial resolution of 1-4km, compared to those of communication satellites. Cryogenic thermal control is needed for the better performance of IR sensors and the contamination protection of optical parts should be considered. On the other hands, for the successful development of the multi-mission satellite COMS, which will be launched in 2008, the special features of attitude control, electrical power, thermal control and mechanism are investigated.

### 초 록

본 논문에서는 통신위성과 비교하여 정지궤도 기상위성의 기술적 특성을 분석하고 통신 방송, 기상 및 해양관측 등 복합 임무를 수행하는 위성에서 고려하여야 할 특성을 살펴 보았다. 정지궤도 기상위성은 관측자료의 국제공유를 기본으로 하고 있어 관측 및 서비스 영역이 넓으며 1km~4km 공간해상도로 관측하기 위해서는 통신위성에 비해 매우 높은 지향 정밀도가 요구된다. 또한 적외선 센서의 성능을 유지하기 위하여 극저온 열제어가 필요하며 기상 탑재체 광학부의 오염방지를 위한 설계 및 관리도 고려되어야 한다. 한편 2008년 발사를 목표로 개발될 통신해양기상위성은 복합임무를 성공적으로 수행하기 위하여 자세제어계, 전력계, 열제어계 및 전개장치 등에서 고려하여야 할 사항들을 분석하였다.

키워드 : 복합임무위성(multi-mission satellite), 지향 정밀도(pointing accuracy), 극저온 열제어(cryogenic thermal control), 위치유지기동(stationkeeping)

\* 통신위성체계그룹/khyang@kari.re.kr

## 1. 서 론

지구에 대해 상대적으로 고정된 위치를 유지하여 지상과 항상 송수신이 가능한 정지궤도 위성의 주 활용분야는 통신 방송 서비스 임무이다. 최근에 들어서는 정지궤도에서의 24시간 상시 관측, 넓은 가시영역을 이용한 전 지구 관측 연구에 대한 관심이 높아져 정지궤도 위성 활용에 기상/해양 관측 수요가 증대되고 있다. 그러나 통신방송 탑재체와 기상/해양 관측 탑재체는 임무 성격이 서로 상이하여 탑재체의 특성이 크게 다르다. 즉, 통신방송 중계기는 고품질 서비스를 위하여 고출력이 되어야 하므로 전력 소모가 크고 발생 열도 많으며 작동온도는 상대적으로 높은 편이지만, 기상/해양 관측 센서는 전력 소모는 크지 않지만 센서의 성능을 높이기 위하여 극저온 열제어가 이루어져야 한다. 또한 위성체는 탑재체의 특성을 고려하여 탑재체가 최적의 성능을 구현할 수 있도록 설계되어야 하므로 통신위성과 기상위성은 위성체 구성 및 설계 특성에도 차이가 있으며 이에 대한 특성분석이 필요하다.

한편 정지궤도는 활용성이 높은 반면에 궤도 및 주파수 자원이 매우 한정적이어서 이를 확보하기 위한 국가간의 경쟁이 치열하다. 따라서 확보된 정지궤도 위치 및 주파수에 대한 활용성을 높이는 방안 수립이 필요하며 그 중 하나가 여러 종류의 탑재체를 하나의 위성체에 장착하는 복합임무위성이다. 우리나라도 2000년도에 개정된 국가 우주개발 중장기 기본계획에 통신해양기상위성 1, 2호를 포함시켜 복합임무 위성을 통한 우주 자원 이용 극대화를 추구하였다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 통신방송 탑재체와 기상/해양 탑재체는 특성이 매우 다르므로 이러한 여러 종류의 탑재체를 하나의 위성에 탑재할 때에 고려하여야 할 사항들에 대한 검토가 필요하다.

## 2. 본 론

### 2.1 정지궤도 기상 및 통신위성 특성 비교

인공위성의 임무는 위성에 탑재되는 탑재체를 원하는 궤도에 안전하게 위치시켜 탑재체가 설계 수명동안 성공적으로 동작하도록 하는 것으로서 위성에 탑재되는 탑재체의 종류에 따라 위성의 설계 및 특성도 달라지게 된다. 정지궤도에 위치한 위성들은 지구 자전 속도와 동일한 속도로 운동하므로 지구의 같은 지역을 24시간 지향 및 관찰할 수 있다는 특성이 있다. 이러한 정지궤도의 특성 때문에 적은 수의 위성을 이용하여 통신망 구축이 가능하므로 정지궤도 위성은 현재 통신위성으로 가장 많이 활용되고 있다. 또한 24시간 지구관측은 태풍의 실시간 추적, 호우를 유발시키는 구름대의 생성/발달 추적등을 가능하게 하므로 전 지구의 기상관측 및 기후 연구를 위한 기상위성을 정지궤도에 위치시켜 관측하고 있으며 최근에 들어 지구 온난화 및 사막화 등 기후 변화에 따라 그 중요성이 더욱 높아지고 있다.

본 장에서는 관심이 높아지는 정지궤도 기상위성을 통신위성과 비교, 분석함으로써 특성을 파악하고자 하였으며 통신위성에 대한 기상위성의 특징은 다음과 같이 정리할 수 있다.

#### 2.1.1 서비스 영역 및 국가간 자료 공유

통신위성은 서비스 영역에 대한 규제가 매우 심하며 주변 국가와의 통신 간섭이 발생할 경우에는 해당 국가와의 조정을 위한 협의가 필요하며 최악의 경우에는 일부 통신 중계기의 사용이 금지되기도 한다. 따라서 주변 국가와의 통신 간섭을 최소화시키기 위하여 위성 개발 초기부터 서비스 영역에 대한 관리가 엄격하게 이루어지며 그림 1.에 나타난 바와 같이 통신 신호도 해당 서비스 지역에 집중될 수 있도록 위성 및 안테나를 설계하게 된다.

그러나 기상위성의 경우, 기상관측은 지구관측 뿐만 아니라 필요에 따라 국부지역에 대한 관측도 이루어지지만 관측자료에 대해서는 세계 기상기구인 WMO가 주변의 수신 희망국가들에게 배포하도록 권장하고 있어 관측 자료에 대한 분배 서비스 영역이 매우 넓은 것이 특징이다.

그림 2.는 일본 정지궤도 기상위성인 GMS-5

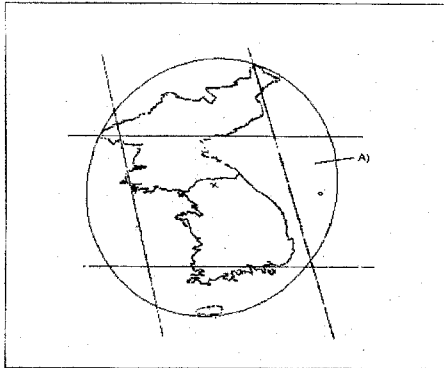


그림 1. 무궁화위성 3호 Ka 대역 통신 서비스 영역

위성의 자료 분배 영역을 나타내고 있으며 일본 뿐만 아니라 한국, 러시아, 중국, 동남 아시아, 호주 뉴질랜드, 하와이 등 매우 넓은 지역의 많은 국가들에게 서비스를 하고 있다.

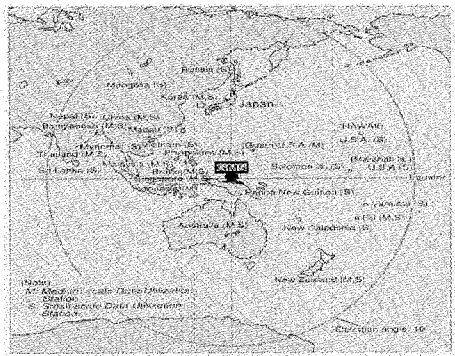


그림 2. 일본 GMS 위성의 자료 서비스 영역

한편 통신위성의 경우는 통신사업 추진 방향, 서비스 수요 등에 따라 고유의 서비스 특성을 갖는 반면에, 기상위성의 경우는 여러 국가와 기상 관측자료를 공유할 수 있도록 약속으로 정해진 형식(GVAR, S-VISSR, WEFAX, HRIT, LRIT 등)의 자료를 전송하여야 한다.

### 2.1.2 기상 관측 정밀도

통신위성의 안테나 지향 정밀도는 일반적으로 Roll축 및 Pitch축은  $\pm 0.15^\circ$ , Yaw축은  $\pm 0.40^\circ$ 내로

유지하여 통신 신호가 목표된 서비스 영역내에 전송되도록 한다. 한편 기상위성은 mirror를 scan 하여 image를 얻게 되므로 scan line과 scan line, frame과 frame, image와 image 사이의 일치율을 위하여 통신위성에 비하여 더욱 엄격한 지향 정밀도 및 안정도가 요구된다.

일반적으로 통신위성의 자세제어계에는 전이궤도에서 주로 사용되는 태양센서와 정지궤도에서 주로 사용되는 지구센서가 설치된 반면에, 기상위성은 정밀한 궤도 결정과 자세제어를 위하여 태양센서 및 지구센서의 사용뿐만 아니라 별 센서 또는 기상 탑재체에 의한 별 관측, 정밀한 Ranging 측정 및 지상 기준 지형등을 이용한다.

미국 GOES 위성은 관측 자료의 정밀도 및 안정도를 더욱 높이기 위하여 INR(Image Navigation and Registration) 시스템을 구축하여 운용하고 있다. INR 시스템은 위성과 지상국이 연계된 제어 시스템으로서 24시간동안 발생하는 궤도 및 자세 오차를 규명하고 Image 보상 계수를 계산하여 위성으로 올려주면 위성내의 자세제어계에서는 이 계수를 이용하여 하루동안에 천천히 변화하는 관측 오차에 대한 제어를 수행한다. 이러한 오차를 발생시키는 원인으로는 궤도상의 표류 효과, 대기 환경에 의한 지구센서 신호의 잡음, 열변형에 의한 위성체 제어축과 기상 탑재체 광학축의 틀어짐 등이 있다. 또한 단시간에 발생하는 관측 오차에 대한 제어는 위성 자세제어계내의 AOCE(Attitude and Orbit Control Electronics)에서 Mirror 운동 보상 신호를 발생하고 Image 보상 신호와 중첩하여 명령 신호를 발생하는 방법으로 이루어진다.

기상 관측시 Image의 품질을 높이고 왜란을 최소화하기 위하여 관측중에는 태양전지판의 회전을 중지시키고 관측후 태양 전지판이 태양을 향하도록 회전시켜 줌으로써 통신위성에서 태양 전지판을 연속적으로 회전시켜 항상 태양을 향하도록 하는 것과는 운용 방식이 다르다. 또한 위성의 위치를 정해진 궤도내 유지하기 위한 남-북 및 동-서 Stationkeeping도 통신위성에서는 7일-14일에 한번씩 수행하는 것이 일반적인 것에 비하여 Stationkeeping 동안에는 추력기 분사에 의해 요구되는 품질의 기상 관측 자료를 얻는 것이 불가능하므로 기상위성에서는 Stationkeeping 빈

도수를 최소화시켜 동-서 Stationkeeping는 2-3개월에 한번, 남-북 Stationkeeping은 일년에 한번 수행하는 것이 일반적이다.

### 2.1.3 기상센서의 극저온 열제어

통신위성의 경우는 TWT, OMUX 등 중계기 구성품에서의 높은 열을 히트파이프를 이용하여 패널면 전체로 전송하고 패널을 통하여 우주로 방출함으로써 중계기들이 작동 범위내로 유지되도록 하는 열제어 개념을 적용한다. 기상위성의 경우는 기상 탑재체가 가시광선 대역뿐만 아니라 적외선 대역 채널도 보유하고 있고 적외 채널은 저온에서 좋은 성능을 나타내므로 기상 위성에서는 탑재체에 대한 극저온 열제어가 필요하다.

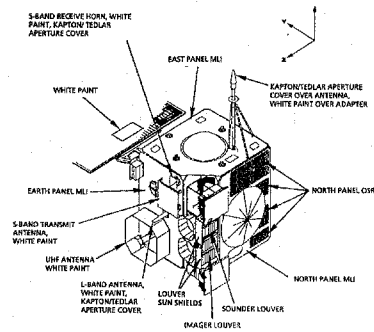
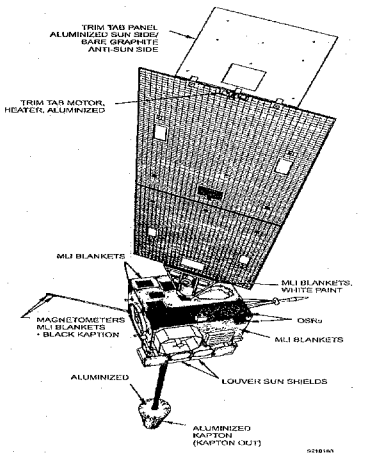


그림 3. GOES 기상위성의 열제어계 구성도

그림 3은 GOES I-M 위성의 열제어계 구성을 나타낸 것으로서 태양전지판의 태양열 반사에 의한 온도 상승 영향을 없애기 위하여 기상 탑재체가 장착되는 북쪽 방향에는 태양 전지판을 설치하지 않았다. 태양 전지판의 비대칭 설치에 따른 위성체 관성 모멘트의 불균형으로 태양풍에 의한 토크가 발생하게 되므로 이를 방지하기 위하여 북쪽에 Solar Sail Boom을 설치하여 관성 모멘트의 균형을 구현하였다.

기상 탑재체에 태양열의 유입을 방지하기 위하여 Louver를 설치하였으며 탑재체에서 발생하는 열은 우주로 복사 방출되도록 Radiant Cooler를 장착하였다. 또한 기상 탑재체와 위성체 사이를 열적으로 단열시켰으며 위성체 열변형이 기상 탑재체의 광학축에 영향을 주지 않도록 하기 위하여 Optical Bench를 설치하였다.

최근에는 기상 탑재체의 온도를 더욱 낮추기 위하여 Active Cooler를 적용하는 방법을 연구하고 있다. Active Cooler를 사용할 경우에 더 많은 전력이 요구되어 태양전지판 크기가 커져야 하고 Cooler에서 진동이 발생되어 관측 Image의 품질을 손상 시킬 수 있는 단점이 있지만, 연구를 통하여 이러한 단점이 해결될 경우 기상 탑재체의 온도를 더욱 낮출 수 있게 되어 고 품질의 관측 Image를 얻을 수 있다.

### 2.1.3 전력 소모 및 위성 운용 수명

통신위성의 중계기들은 고 출력을 내어야 하므로 많은 전력을 소모하게 되며 또한 수익성을 높이기 위하여 한 위성에 최대한의 중계기를 탑재하므로 통신위성의 소요 전력은 보통 5kW 이상이 되며 최근에는 20kW 전력 용량의 통신위성 개발도 이루어지고 있다. 반면에 기상 관측 탑재체는 150W-250W 정도의 낮은 전력이 요구되므로 기상위성의 총 전력 용량은 통신위성에 비하여 매우 낮게 되며 GOES I-M 위성의 경우 1050W 이다.

위성의 수명도 통신위성의 경우는 투자에 대한 수익성을 높이기 위하여 가능한 높은 수명의 위성 및 통신 탑재체를 선호하게 되며 현재 통신위

성의 일반적인 수명은 12년-15년 정도이다. 기상 위성의 경우에는 관측을 위한 Mirror 구동 장치 구동부의 마모, 신호 검출 Detector의 성능 저하 등으로 기상위성의 수명이 보통 5년으로 제한되고 있으며 최근에 발사되는 기상위성의 경우에는 수명이 7년으로 증가하였지만 통신위성과 비교하였을 때 1/2정도로 짧은 수명이다.

### 2.1.3 관측 장비에 대한 오염 방지 관리

통신위성에서도 우주의 진공 및 고온 환경에서 위성체, 탑재체 등을 이루는 재료로부터 방출되는 가스에 대한 규제가 있으며 이를 만족하기 위하여 재료 선정을 신중하게 하고 오염방지를 위한 설계가 수행된다. 기상위성의 탑재체는 기상을 관측하기 위하여 광학부가 있고 이 광학부가 배출 물질에 의해 오염될 경우 기상 관측 성능이 저하되거나 관측 자체가 불가능하게 될 수도 있으므로 기상위성에서는 오염 방지에 대한 관리가 더욱 엄격하게 수행되어야 한다. 오염 물질 방출이 최소화되는 재료를 선정하여 위성체 및 탑재체를 제작하고, 우주 공간의 임무 궤도에서 가스 배출이 충분히 이루어진 후에 기상 관측 탑재체의 덮개를 열어 줌으로써 관측 장비의 오염을 방지하도록 설계되어야 한다.

또한 궤도 수정 및 위성 자세제어를 위하여 사용되는 추력기의 분사 연료에 의한 관측 장비의 오염을 방지하기 위하여 분사된 연료의 확산 영역 등을 고려하여 추력기 및 기상 탑재체의 배치를 하여야 한다.

## 2.2 통신해양기상 복합위성의 특성 분석

정지궤도는 반지름이 36000km인 적도상의 원으로서 위성간의 전파간섭, 충돌 등이 발생하지 않는 범위에서 배치시킬 수 있는 인공위성의 수량이 제한되므로 이 궤도를 확보하려는 국가간의 경쟁이 매우 치열하다. 그러므로 확보된 정지궤도에 위성을 위치시킬 때에 위성의 활용성을 극대화하기 위한 방안이 관심이 집중되고 있으며 그 대표적인 예가 통신 서비스와 기상/해양 서비스를 하나의 위성에서 수행하는 통신해양기상 복

합위성이다. 이에 대한 사례로서는 인도의 INSAT 위성 시리즈와 일본의 MTSAT 위성 등이 있으며 한정된 궤도 및 주파수 자원의 활용 극대화를 위하여 우리나라도 우주개발 중장기 기본계획에 통신해양기상 복합위성 형태로 2008년에 1호를 발사하도록 계획되었다.

통신과 기상/해양의 서로 다른 탑재체를 한 위성에서 탑재한 통신해양기상 복합위성의 사례를 조사하고 특성을 분석하였다.

### 2.2.1 자세제어계

통신해양기상위성의 경우에 지향 정밀도는 통신 서비스를 위한 것보다는 기상 관측을 위한 것이 더욱 높은 정밀도를 요구하므로 복합위성의 지향 정밀도 요구조건은 기상 관측에 대한 것으로서 결정되어야 한다. 표 1.은 통신위성과 기상위성의 대표적인 지향 정밀도를 나타낸 것이다.

표 1. 통신위성 및 기상위성의 지향 정밀도

위성 종류	Roll 축	Pitch 축	Yaw 축
통신위성	±0.15°	±0.15°	±0.40°
기상위성	±0.00052°	±0.00054°	±0.0042°

정지궤도상의 정해진 위치에 위성을 유지시키기 위하여 동-서 및 남-북 위치유지기동(Stationkeeping)이 필요하며, 최대의 전력을 발생하도록 SAD(Solar Array Drive) 장치를 이용하여 태양전지판을 회전시키는 등 임무기간 동안 위성 운용을 위한 활동이 필요하다.

통신위성의 경우에 태양전지판은 일정 속도로 1일에 360°회전하며, 동-서 및 남-북 위치유지기동은 7일 - 14일에 한번씩 수행하지만, SAD를 구동하고 추력기를 분사하는 동안에는 표 1.에 나타낸 기상 관측 지향 정밀도를 만족시킬 수 없게 된다. 따라서 기상위성의 경우에는 기상 관측의 기본 단위시간인 30분 동안에는 태양전지판 회전을 정지시킨 상태에서 관측을 수행하며, 위치유지기동에 의한 기상 관측 제한을 최소화하기 위하여 동-서 위치유지

기동은 수개월에 1번, 남-북 위치유지기동은 일년에 1번 수행하는 것이 일반적이다.

한편 통신해양기상 복합위성의 경우에는 기상 관측의 지향 정밀도도 확보하고 통신 서비스 영역도 유지시켜야 하므로 통신위성과 기상위성의 운용 모드를 적절하게 조합하여야 한다. 이를 위하여 태양전지판은 관측 기본단 위인 30분동안에는 회전을 정지하고 관측이 끝난 후부터 다음 관측 시작사이에 회전시켜 주는 방법을 이용하여 관측동안에 태양전지판 회전에 의한 관측 영상 품질 저하를 최소화하여야 한다. 또한 위치유지기동은 기상위성에서의 주기를 따를 경우에는 통신 서비스 영역을 유지하기가 어렵게 되므로 통신위성의 주기를 따라서 약 2주마다 한번씩 수행하여야 하며, 만일 위치유지기동 시점에 태풍 등의 심각한 기상현상이 일어날 경우에는 위치유지기동을 하지 않고 계속적으로 기상관측을 수행하도록 지상에서 명령을 줄 수 있어야 한다.

## 2.2.2 전력계

통신방송기상 복합위성인 인도의 INSAT의 총 발생전력이 2500-3000W 정도이며 일본의 MTSAT-1R의 경우는 2700W 인 반면에, 기상 전용위성의 경우는 GOES I-M 위성 1050W, MSG 700W, GMS 300W, FY-2 280W 등으로 위성의 전력발생 용량이 매우 낮다. 이것은 기상 탐재체의 소요 전력이 150W - 250W 정도로 통신 탐재체의 소요 전력에 비하여 낮기 때문이다. 따라서 통신해양기상 복합위성의 전력계에 대한 요구조건은 주로 통신 탐재체의 규모에 의해 결정된다.

전력을 발생하는 태양전지판이 기상 탐재체의 저온 열제어를 위하여 한쪽 방향에만 설치되어야 하는 제약 조건이 있으므로 많은 전력이 요구될 경우에는 태양전지판이 커져 위성체 무게중심점으로부터 멀어지게 되어 위성 자세가 불안정하게 되는 문제가 발생하게 된다. 이를 극복하기 위하여 통신해양기상 복합 위성에서는 GaAs 또는 Ge 재료의 태양전지를

사용하고 다중접합(Multiple Junction) 기술을 적용하여 효율을 극대화시키고 단일 면적당 발생전력을 높임으로써 태양전지판의 면적을 최소화시켜야 한다.

한편 기상관측을 수행하는 동안에는 고품질의 기상 영상 획득을 위하여 태양 전지판의 회전이 정지되어야 하는데 이 시간동안 태양과 전지판 면과의 지향 각도가 7.5° 정도 벗어나게 되고 이것은 0.7%의 전력 손실을 의미하므로 전력계 설계에 있어서 이에 대한 여유를 충분히 고려하여 발생전력 용량을 결정하여야 한다.

## 2.2.3 열제어계

통신 탐재체는 발열량이 매우 높고 작동온도가 수십 °C인 반면에 기상 탐재체의 작동온도는 약 90°K 로 매우 낮아 극저온 열제어가 필요하므로 통신해양기상위성의 경우는 통신 탐재체의 발열열이 기상 탐재체로 전달되지 않도록 단열시키는데 최대한의 노력을 기울여야 한다.

한편 통신 탐재체의 발열열뿐만 아니라 통신 서비스를 위해 위성에 부착된 안테나에 의해서도 부가적인 열하중이 발생하게 되어 기상 탐재체의 열환경이 악화된다. INSAT 위성을 예로 들면 기상전용 위성의 기상 탐재체 장착 위치에서의 온도가 95 ~ 100°K 로 유지되는 반면에, 통신해양기상 복합위성인 경우의 기상 탐재체 장착부위 온도가 105 ~ 118°K 로 상승하게 된다.

따라서 복합위성에서 기상 탐재체의 성능을 유지하고 향상시키기 위해서는 통신 탐재체 및 안테나로부터 기상 탐재체로의 열전달을 차단하고 위성체 내부에서 발생하는 열을 적극적으로 외부로 방출하는 열제어 기술의 적용이 필요하다.

## 2.2.4 전개 장치

통신해양기상위성은 통신위성의 안테나 전

개장치, 태양전지판 전개장치와 기상위성의 Solar Sail Boom 전개장치, 기상 탐제체 덮개 전개장치 등의 많은 전개장치를 하나의 위성에 장착하여야 한다. 이에 따라 전개장치의 설계 및 장착위치 선정시에 전개에 따른 상호간의 기계적 간섭, 전개후 시야각(Field of View) 확보 등에 대한 세심한 검토가 있어야 한다. 또한 전개장치들의 순차적 전개 순서를 최적화하여 전개시 발생하는 하중에 의한 위성 자세 영향을 최소화시켜야 하며 전개용 Pyro 장치에서 발생하는 파편(Debris)에 대한 처리에도 각별한 주의를 기울여야 한다.

한편 Solar Sail Boom의 경우는 Single Point Failure Item으로서 확실한 전개가 이루어져야만 외란에 대해 궤도상에서 위성의 자세를 유지할 수 있으므로 Solar Sail Boom 전개장치에 대한 신뢰도는 매우 높아야 한다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 통신위성과 기상위성의 특성을 비교, 분석하였으며 통신해양기상위성과 같은 복합임무위성에서 고려해야 할 사항들을 검토하였다. 정지궤도 기상위성은 관측 및 서비스 영역, 관측 지향 정밀도, 센서 열제어, 오염방지 관리 및 보조 위성 필요성 등에서 통신위성과 다른 특성이 있음을 파악하였고 복합임무위성을 개발할 때의 자세제어계, 전력계, 열제어계 및 전개장치에 대한 고려사항도 분석하였다.

본 논문의 분석 결과는 2008년 발사 예정인 통신해양기상위성 1호 개발에 기술자료로 활용될 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 김진철, 우주개발중장기 기본계획 보안을 위한 기획연구, 한국항공우주연구원, 과학기술부 보고서, 2000.
2. Lockheed Martin, Koreasat-3 CDR Data

Package, 1998.

3. JMA, Meteorological Observation from Space, 1997.
4. Space System Loral, GOES I-M Data Book, 1998.
5. J. Sudey, Jr., "On-orbit Jitter Performance of the GOES Spacecraft and Instruments", Proceeding of SPIE, 1996, pp.664-676.
6. C.M. Nagrani, Meteorological Payloads for INSAT-2E and Beyond, ISRO, 2001.