

저궤도 기상위성 개발 기술 기준에 관한 연구

은종원* 종신회원

A study on the Technological Criteria for the Development of an Low Earth Orbit Meteorological Satellite

Jong Won Eun* Lifelong Member

요 약

저궤도 기상위성 개발을 위한 기술기준을 도출하기 위하여 이론적으로 접근, 적외선 및 마이크로파 탑재체 센서의 특성 분석하였다. 또한, 저궤도 기상위성 탑재체 개발과 관련하여 현존하는 국외 저궤도 기상위성에 탑재된 마이크로파센서들의 채널요구사항 및 위성체 접속 요구사항을 분석하였다. 본 논문에서는 저궤도 기상위성시스템의 접속 요구사항으로 다목적위성 버스와 소형위성 플랫폼인 CAS 500, 그리고 위성관제시스템의 핵심 서브시스템 및 주요 기능 요구사항을 제시 하였다.

Key Words: Low Earth Orbit Meteorological Satellite, Passive Microwave Imager, Passive Microwave Sounder, CAS 500 Platform. Low Earth Orbit Meteorological Satellite Control System

ABSTRACT

For the purpose of drawing out the technological criteria for the development of an Low Earth Orbit Meteorological Satellite some characteristics of infrared and microwave sensors on the payload were analysed by approaching theoretically. In addition, the channel requirements and interface requirements of the microwave sensors equipped on the payloads of the existing foreign Low Earth Orbit Meteorological Satellites were analysed with respect to the development of an Earth Orbit Meteorological Satellite payload.

In this paper, the multipurpose satellite bus and the CAS 500 platform as the interface requirements of an Low Earth Orbit Meteorological Satellite, and core subsystem and principle functional requirements of a satellite control system were systematically described.

I. 서 론

자연재해는 인간에 대한 재해 가운데 자연의 예상치 못한 변동이 원인이 되어 인간에게 피해가 발생하는 재해로 천재라는 의미를 가진다. 천재의 키워드는 태풍, 가뭄, 홍수, 지진, 쓰나미, 화산폭발, 황사, 산불, 한파 등 대부분 기상재해로부터 나온다.

2011년 7월 말 서울 지역의 100년 만의 집중호우는 서초구 우면산 산사태로 16명이 숨지는 참사를 불러오기도 했다. 뿐만 아니라, 얼마 전에는 동남아 이상고온으로 인한 태국의 대홍수는 국토의 3분의 1을 물바다로 만들었고, 전 세계 40%의 하드디스크드라이브[HDD; Hard Disc Drive]를 생산하는 HDD 업체의 생산 공장을 파괴했다.

자연재해로부터 인명 및 경제·사회적 피해를 최소화 하

기 위해 미국, 유럽, 러시아 그리고 중국은 저궤도 기상위성에 적외선 및 마이크로파 대역 탑재체 센서를 탑재, 기상재해 인자를 관측하여 날씨예보에 필수적인 수치예보 모델의 주요입력 자료를 제공하고 있다.

국외 저궤도 기상위성 개발 현황을 살펴보면, 미국은 NOAA-19 위성에 적외선 영상기(AVHRR-3)와 적외선 탐측기(HIR-3), 수동형 마이크로파 탐측기(AMSU-A1/A2/B)를, 유럽은 METOP-A 위성에 수동형 마이크로파 탐측기(MHS)와 적외선 탐측기(IASI)를, 러시아는 METEOR-3M 위성에 적외선 영상기(Klimate)와 수동형 마이크로파 영상기/탐측기(MTVZA)를 탑재하여 기상관측을 수행하고 있다. 마지막으로 중국은 FY-3B위성에는 수동형 마이크로파 영상기(MWRI)와 적외선 탐측기(IRAS), 그리고 수동형 마이크로파 탐측기(MWHS)를 탑재하여 운용하고 있다.[1]

*본 논문은 2012년도 남서울대학교 학술연구비지원에 의해 연구되었음.

*남서울대학교 정보통신공학과 위성정보융합센터(jweun@nsu.ac.kr)

접수일자: 2012년 6월 2일, 수정완료일자: 2012년 6월 19일, 최종게재확정일자: 2012년 6월 25일

기상 선진국들이 적외선 및 마이크로파 대역 탑재체를 운용하는 저의는 가시광선 대역을 이용하는 광학 센서는 야간이나 구름 등이 끼어 있을 때 목표지역 촬영이 어렵지만 적외선 및 마이크로파 대역 탑재체 센서는 야간이나 악천후에도 관측이 가능하기 때문이다. 또한, 마이크로파 대역 탑재체 원천 기술은 진일보된 군사첩보위성 개발에 활용이 가능하다.

그렇다면 우리는 어떠한가? 저궤도 기상위성의 탑재체로 사용 가능한 적외선 영상기 및 탐측기, 마이크로파 영상기 및 탐측기 등의 국내 기술은 국외 기술에 비하여 그 수준이 미약하다. 지난 2009년 8월과 2009년 6월 2차례에 걸쳐 나로호에 의해 발사되었던 과학기술 2호 위성의 탑재체인 마이크로파 영상기는 Ka 대역의 두 개의 채널(23.8, 37 GHz)과 수십에서 수백 Km의 해상도 등의 성능을 가지고 있다. 이러한 마이크로파 영상기 기술은 수 Km의 해상도와 다양한 채널을 가지는 국외 탑재체 기술과는 많은 차이가 있다. 따라서 다양한 사용자 요구사항이 반영된 고 해상도 저궤도 기상위성의 탑재체가 안정적으로 운용될 수 있도록 초기에는 외국과 협력개발을 통해 관련 기술을 습득한 후 국내에서 자립개발이 이루어 질 수 있도록 탑재체 국산화 개발 로드맵을 수립하는 것은 매우 중요하다.

저궤도 기상위성은 정지궤도 보다 낮은 고도에서 다양한 기상센서를 활용 할 수 있으며 전 지구를 관측 할 수 있는 장점이 있다. 이러한 저궤도 기상위성은 기상예보의 중요 입력 및 참고자료를 제공하고 수증기, 해빙, 토양수분, 해수면 온도, 대기온도, 수문순환 등 다양한 인자의 기후적 변동과 이들과 연관된 기후변화의 이해에 결정적인 자료를 제공할 수 있어 그 활용성이 증대되고 있다.[2]

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 저궤도 기상위성 탑재체의 특성에 대하여 고찰하고, III장에서는 저궤도 위성의 마이크로파 탑재체에 관하여 기술하였다. IV장에서는 저궤도 기상위성 시스템의 접속 요구사항을 기술하였다. 끝으로 본 논문의 결론을 V장에서 언급하였다.

II. 저궤도 기상위성 탑재체의 특성

정지궤도 및 저궤도 기상위성의 가장 큰 차이점은 운영고도에 있다. 정지궤도의 높은 고도는 기상 탑재체 선택에 있어 제약을 주고 있다. 가시 및 적외선센서 보다 상대적으로 장과장인 마이크로파의 경우 정지궤도의 높은 고도는 고해상도 관측을 어렵게 만들기 때문에 사용 되지 않고 있다.

저궤도위성은 이러한 고도로 인한 제한을 받지 않아 가시광선 및 적외선 탑재체 뿐만 아니라 다양한 주파수 영역의 마이크로파 탑재체를 장착할 수 있다. 가시광선, 적외선 및 마이크로파 탑재체의 차이점은 구름의 영향이다. 가시광선 및 적외선 탑재체는 구름이 존재할 때 지표 및 해양 면을 관

측하기 어렵다. 반면에 마이크로파 탑재체는 구름의 존재와 관계없이 대기 구조, 지표 및 해양 면을 관측할 수 있는 장점을 가지고 있어 저궤도 기상위성의 효율을 높여준다.[3]

가시광선은 사람이 눈으로 인지할 수 있는 $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ 의 파장 대를 가진다. 가시광선 탑재체는 지표 또는 대기에 의해 반사되는 태양 복사 에너지를 측정하여 지표의 상태와 그림 등의 분포를 측정한다.

적외선 영역은 파장 대가 $0.7 \mu\text{m}$ 부터 1mm 까지 이다. 적외선 탑재체는 물질이 방출하는 열을 탐지하여 다양한 용도로 이용한다.

기상원격탐사에서는 이러한 물질의 방출 특성을 활용하여 구름의 상부 표면 온도를 측정하여, 그 측정 온도가 낮을수록 강수로 전환될 가능성이 높다는 가정 하에 강수량 추정에 이용하고 있다.

대기 중에 존재하는 CO_2 및 O_3 등 다양한 기체에 의해 적외선 영역의 복사에너지가 흡수된다. 다음 식(1)은 CO_2 의 흡수 영역에 대해 고 분해능 관측을 통하여 다양한 채널에서 복사량을 측정하게 되면, 각각의 흡수선이 Plank 함수와 만나는 온도의 고도와 가중함수(Weighting Function)를 추출할 수 있다.

$$W(z, \infty) = \frac{dT}{dz}(z, \infty) \quad (1)$$

여기에서 T는 투과도(Transmittance, $e^{-\tau}$)이다.

마이크로파 대역은 수 GHz로부터 수 백 GHz까지로 대기 입자와의 진동관계를 이용하여 지표 및 대기의 다양한 변수 측정이 가능하다.

마이크로파 탑재체는 구름의 상층온도에 기인한 흑체복사량만을 측정하는 적외선 탑재체와 차별되어 구름을 통과하여 흑체복사량을 측정할 수 있어 구름, 강수 및 지표인자 측정은 다른 탑재체에 비하여 정확도가 높다.[4]

다음 식(2)은 마이크로파 탐측(Sounding)이 지면의 반사율을 고려하기 때문에 다음과 같은 가중함수를 갖는다.

$$W(\lambda, z) = [1 + (1 - \epsilon) \left(\frac{T_0}{T_\lambda}\right)^2] \frac{dT_\lambda}{dz} \quad (2)$$

여기에서 T_0 는 지표에서부터 대기상층까지의 투과도(Transmittance, $e^{-\tau(0, \infty)}$)이다.

III. 저궤도 기상위성 마이크로파 탑재체

본 장에서는 국외에서 사용하고 있는 대표적인 저궤도 기상위성 마이크로파 탑재체의 기술적 요구사항을 기술한다.

1. 수동형 마이크로파 영상기

가. 탑재체 채널요구사항

본 장에서는 주요 수동형 마이크로파 영상기로서 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program) 위성의 SSMI(Special Sensor Microwave Imager), Coriolis위성의 WindSat(Wind Microwave Radiometer), GPM(Global Precipitation Measurement Microwave Imager)위성의 GMI(GPM Microwave Imager)를 기술하였다.

SSMI는 4개 주파수와 7채널로, WindSat은 5개의 주파수와 22채널로, GMI는 7개 주파수 13채널로 구성되어있다.[5] 일반적으로 채널수의 증가는 관련 부품들의 추가 등으로 인하여 전체 질량과 요구 전력 등의 증가와 비례하는 경향이 있다. 수동형 마이크로파 영상기 탑재체 채널요구사항은 다음 표 1에 나타내었다.

표 1. 수동형 마이크로파 영상기의 채널 요구사항

측정 채널	SSMI (GHz)	GMI (GHz)	WindSat (GHz)
1	19.35(수직)	10.65(수직)	6.8(수직)
2	19.35(수평)	10.65(수평)	6.8(수평)
3	22.235(수직)	18.70(수직)	10.7(수직)
4	37.0(수직)	18.70(수평)	10.7(수평)
5	37.0(수평)	23.80(수직)	10.7(+45°)
6	85.0(수직)	36.50(수직)	10.7(-45°)
7	85.0(수평)	36.50(수평)	10.7(왼쪽)
8		89.00(수직)	10.7(오른쪽)
9		89.00(수평)	18.7(수직)
10		165.5(수직)	18.7(수평)
11		165.5(수평)	18.7(+45°)
12		183.31±3(수직)	18.7(-45°)
13		183.31±8(수직)	18.7(왼쪽)
14			18.7(오른쪽)
15			23.8(수직)
16			23.8(수평)
17			37.0(수직)
18			37.0(수평)
19			37.0(+45°)
20			37.0(-45°)
21			37.0(왼쪽)
22			37.0(오른쪽)

표 2. 수동형 마이크로파 영상기의 위성접속 요구사항

	SSMI	GMI	WindSat
질량	48.5kg	100kg	341kg
전력	45W	90W	350W
데이터 전송률	3.276kbps	15kbps	174kbps
추정크기	1.40m(높이)×0.70m(직경)	2.25m(높이)×1.25m(직경)	3.20m(높이)×2.51m(직경)

나. 위성체 접속 기술요구사항

수동형 마이크로파 영상기의 위성 장착을 위해서는 그림 1과 같이 SSMI, GMI, WindSat의 공통된 최소 지향 요구조건(본체접속 방향, 관측 방향, 심우주관측 방향, 스캔방향)을 만족하여야 한다.

다음 표 2는 수동형 마이크로파 영상기의 질량, 무게, 데이터 전송률, 크기 등에 대한 요구사항을 나타낸다.

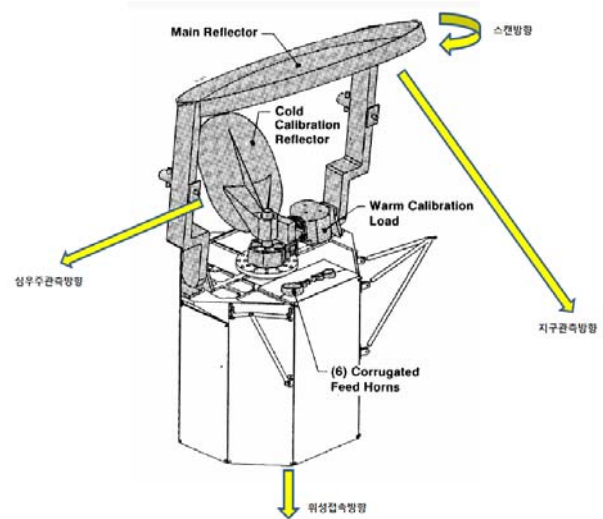


그림 1. 수동형 마이크로파 영상기의 최소 지향 요구조건

2. 수동형 마이크로파 탐측기

가. 탑재체 채널요구사항

본 장에서는 수동형 마이크로파 탐측기로 중국의 저궤도 기상위성인 FY-3A위성의 MWHS(Microwave Humidity Sounder), 인도의 ISRO와 프랑스 CNES가 공동 개발한 Megha-Tropique위성의 SAPHIR(Sondeur Atmospherique du Profil d'Humidite Intertropicale par Radiometrie), 미국의 NPP(NPOESS Preparatory Project)위성의 ATMS(Advanced Technology Microwave Sounder)를 기술하였다.

MWHS는 2개의 주파수와 5개 채널로, SAPHIR는 1개의 주파수와 6개의 채널로, ATMS는 13개의 주파수와 22개 채널로 구성되었다.[5] 수동형 마이크로파 영상기와는 달리, 수동형 마이크로파 탐측기에서는 채널수가 아니라 사용된 주

표 3. 수동형 마이크로파 탐측기의 채널 요구사항

측정채널	SAPHIR (GHz)	MWHS (GHz)	ATMS (GHz)
1	183.31±0.20(수평)	150(수직)	23.80(수직)
2	183.31±1.10(수평)	150(수평)	31.40(수직)
3	183.31±2.80(수평)	183.31±1(수평)	50.30(수평)
4	183.31±4.20(수평)	183.31±3(수평)	51.76(수평)
5	183.31±6.80(수평)	183.31±7(수평)	52.80(수평)
6	183.31±11.0(수평)		53.396±0.115(수평)
7			54.40(수평)
8			54.94(수평)
9			55.50(수평)
10			57.290344(수평)
11			57.290344±0.217(수평)
12			52.290344±0.322±0.048(수평)
13			52.290344±0.322±0.022(수평)
14			52.290344±0.322±0.010(수평)
15			52.290344±0.322±0.0045(수평)
16			88.20(수직)
17			166.31(수평)
18			183.31±7.0(수평)
19			183.31±4.5(수평)
20			183.31±3.0(수평)
21			183.31±1.8(수평)
22			183.31±1.0(수평)

표 4. 수동형 마이크로파 탐측기의 위성접속 요구사항

	SAPHIR	MWHS	ATMS
질량	18kg	44kg	73kg
전력	30W	60W	110W
데이터 전송률	1.5kbps	7.5kbps	28kbps
추정크기	0.7m×0.7m×0.7m	0.9m×0.3m×0.3m	0.4m×0.6m×0.7m

파수의 개수 증가가 전체 탑재체 질량과 요구 전력 등의 증가와 비례한다. 다음의 표 3은 수동형 마이크로파 탐측기의 채널 요구사항을 나타낸다.

나. 위성체 접속 기술요구사항

수동형 마이크로파 탐측기를 위성에 탑재하기 위해서는 그림 2와 같이 MWHS, SAPHIR, ATMS의 공통된 최소 지향 요구조건(본체접속 방향, 관측 방향, 심우주관측 방향)을 만족해야 한다.

수동형 마이크로파 탐측기의 질량, 무게, 데이터 전송률, 크기 등에 대한 요구사항은 다음 표 4와 같다.

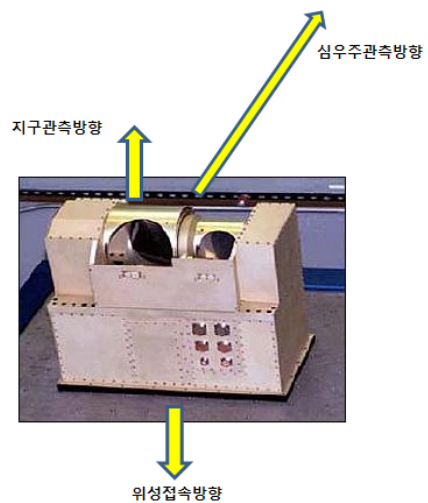


그림 2. 수동형 마이크로파 탐측기의 최소 지향 요구조건

VI. 저궤도 기상위성 시스템의 접속 요구사항

본 장에서는 저궤도 기상위성 시스템의 접속요구사항에 관한 기술기준을 기술한다.

1. 버스체

본 장에서 고려하고 있는 저궤도 위성인 다목적위성의 버스체에 장착 가능한 탑재체 접속 요구사항은 다음의 표 5와 같다.

표 5. 다목적위성의 탑재체 접속 요구사항

질량	전력	데이터 전송률
< 280kg	< 267.54W	< 640Mbps

일반적으로 위 접속 요구 항목 중 크기는 선정된 탑재체의 센서들 간의 상호 간섭을 최소화하고 각각의 탑재체의 센서들의 지향성을 만족시키도록 배치하는 것 등을 포함하고 있다.

저궤도 기상위성의 플랫폼으로 사용 가능한 소형위성 시스템은 500kg 급 차세대 소형 위성인 CAS 500 (Compact Advanced Satellite 500)이다. CAS 500은 차세대 소형 실용급 위성의 고유모델 확보 필요성에 의해 한국항공우주연구원(KARI)에서 개발되고 있으며, 다양한 위성활용 요구사항을 충족시킬 수 있는 플랫폼을 기반으로 한다. CAS 500의 무게는 탑재체를 포함하여 500kg 내외이며 소요전력은 약 1KW 이고 위성 본체의 크기는 약 1.4m × 1.4m × 1.5m 이며, 카메라 탑재 시에도 높이는 약 2.4m로 한국형 발사체 페어링에 탑재 가능한 크기이다. CAS 500의 활용될 고도는 500~700km 이며 위성수명은 약 5년 이다.[5]

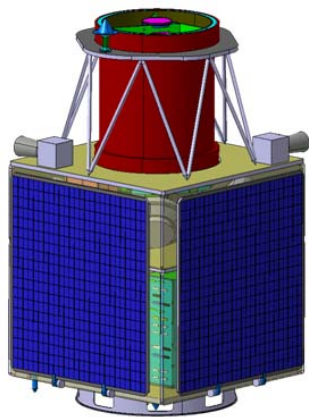


그림 3. CAS 500의 발사형상

CAS 500은 다양한 위성활용 요구를 충족시킬 수 있게 설계되었기 때문에 중·저해상도 광학관측 탑재체 뿐만 아니라 기상·기후·환경감시 등의 과학관측 탑재체와 영상레이더

탑재체를 수용 가능한 구조로 설계되어 있다.[5]

CAS 500의 탑재체 접속 요구사항은 다음의 표 6과 같다.

표 6. 소형위성의 탑재체 접속 요구사항

질량	전력	데이터 전송률
< 100kg	< 100W	< 100Mbps

2. 위성관제시스템

위성관제시스템은 기상위성의 원격 측정 데이터를 수신하여 위성체 및 탑재체의 상태를 감시하고, 필요시에는 원격 명령을 발신하여 궤도 및 자세 조정, 탑재 장치의 제어 등을 수행한다.[6]

저궤도 기상위성 관제시스템의 핵심 서브시스템 및 기능 요구사항은 다음과 같다.

TTC(Tracking, Telemetry, Command) 서브시스템은 위성운용 서브시스템으로부터 위성 제어 명령 및 위성 추적 명령을 수신하여 RF Link를 통해 위성을 추적하고, 원격 명령 신호를 변조하여 위성으로 전송한다. TTC 서브시스템의 운용 및 감시 제어를 위하여 운용 감시 제어 장치와 원격측정 신호의 저장을 위한 기록 장치, 위성운용 서브시스템과 통신을 위한 통신 접속 장치 등의 보조 장치로 구성된다. TTC 서브시스템의 주요 기능은 다음과 같다.

- 위성 추적
- Ranging 및 Range-rate 측정
- TM(Telemetry)/TC(Telecommand) 신호 처리
- Ranging 신호 전송
- 원격 장비 제어 및 감시

위성운용 서브시스템은 실시간으로 위성의 상태를 모니터링하고 원격 명령 신호를 송신하여 위성을 제어하며, TTC 서브시스템의 각종 위성통신 장비들의 상태를 주기적으로 모니터링하고 제어한다. 위성운용 서브시스템은 워크스테이션을 포함한 다수의 컴퓨터 및 입출력 장비와 위성 및 안테나 등의 장비 상태 감시와 제어를 위한 소프트웨어로 구성된다. 위성운용 서브시스템의 주요 기능은 다음과 같다.

- 실시간 TM Data/TC 처리
- 데이터베이스에 의한 TM/TC 처리
- TM 고속 재처리
- 경향 분석(Trend Analysis)

위성임무분석계획 서브시스템은 위성의 궤도와 자세에 대한 분석과 예측을 수행하여 위성 운용 일정 계획을 수립한다. 위성 사용자들이 자신들이 원하는 일시에 탑재장치를 이용하여 관측을 수행하길 원하는 경우 위성임무분석계획 서브시스템은 위성의 궤도와 자세를 고려한 상태에서의 위성 운용 시간표를 생성한다. 위성 임무분석계획 서브시스템

의 주요 기능은 다음과 같다

- 임무 계획
- 궤도 예측
- 궤도 결정
- 궤도 유지 조정
- 자세 조정

위성시뮬레이터 서브시스템은 위성을 수학적으로 모델링하여 위성의 운동을 시뮬레이션하는 S/W 시스템으로 원격 명령 검증, 위성 운용자 교육, 위성 제어 절차의 사전 검증, 그리고 위성의 이상 상태 분석 등에 활용된다. 위성 시뮬레이터 서브시스템은 그래픽 운용자 접속 기능을 이용하여 운용자가 쉽게 입력 및 출력 할 수 있으며, 각종의 이벤트 및 초기화 데이터 등 데이터베이스화 되어 있어 필요한 위성 상태에 대한 시뮬레이션을 용이하게 할 수 있도록 구성되어 있다. 위성시뮬레이터 서브시스템의 주요 모델링 기능은 다음과 같다.

- 궤도 예측/결정/조정
- 자세 결정/제어
- 자세 센서
- 전력 제어
- 탑재 컴퓨터(On-board Computer)

V. 결론

본 논문에서는 저궤도 기상위성 개발을 위한 기술기준을 도출 하기 위하여 이론적으로 접근, 적외선 및 마이크로파 탑재체 센서의 특성 분석하였다. 저궤도 기상위성 탑재체 개발과 관련하여 현존하는 국외 저궤도기상위성에 탑재된 마이크로파 센서들의 채널요구사항 및 위성체 접속요구사항을 분석하였다.

- 수동형 마이크로파 영상기: SSMI, GMI, WindSat
 - 수동형 마이크로파 탐측기: SAPHIR, MWHS, ATMS
- 분석된 저궤도 기상위성 마이크로파 탑재체 센서는 센서의 위성접속 요구사항에 따라 분류 되었다. 이러한 요구사항은 무게, 크기, 전력, 데이터 전송률을 포함하고 있다.

본 논문에서는 저궤도 기상위성 시스템의 접속 요구사항으로 다목적위성 버스와 소형위성 플랫폼인 CAS 500, 그리고 위성관제시스템의 핵심 서브시스템 및 주요 기능 요구사항을 제시 하였다. 끝으로, 본 연구를 통하여 제시된 기상탑재체와 위성체의 접속 요구사항은 기상탑재체 센서의 탑재가능성을 도출하는데 필요한 기술적 조건이다.

참 고 문 헌

- [1] 은종원, "위성과 첨단기술융합을 통한 미래 기상서비스 발전방향", 기상기술정책, Vol. 5, No.1, 기상청, pp 19~27, 2012.6.30.
- [2] 김진희, 황도순, "지구관측위성 개발동향," 항공우주산업기술동향 1권 1호, pp71~75, 2003.
- [3] Kummerow, C, W. S. Olson, and L. Giglio, "A simplified scheme for obtaining precipitation and vertical hydrometer profiles from passive microwave sensors." IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 34, pp1213-1232, 1996.
- [4] Janssen, M. A, Atmospheric Remote Sensing by Microwave Radiometer. A Wiley-interscience publication, pp 592, 1993.
- [5] 은종원, "저궤도 기상위성 개발을 위한 사전연구(I)", 국가기상위성센터, 2011.12.
- [6] Gerard Maral, Michel Bousquet, Satellite Communications Systems, JOHN WILEY & SONS, 2002.

저자

은 종 원 (Jong Won Eun)

중신회원



- 1987년 5월 : (미) 유타주립대학교 Ph. D.(물리학)
 - 1989년 4월~2009년 9월 : ETRI 책임 연구원
 - 2005년 3월~2007년 2월 : 한국과학재단 우주단장
 - 2011년 9월 : 기업기술가치평가사
 - 2009년 9월~현재 : 남서울대학교 정보통신공학과 교수
- <관심분야> : 위성통신, 위성정보융합기술, 회로망, 초고주파 통신, T-DMB 시스템, IT기반 융합기술, IT기술마케팅