

재해 · 재난감지를 위한 Earth Observation Satellite



서 애 숙
기상청 지구환경
위성과장
[seosuh@kma.go.kr]



박 중 서
기상청 지구환경
위성과 연구관
[parkjk@kma.go.kr]



배 양 숙
기상청 지구환경위성과
[baeyang@kma.go.kr]

1. 서론

유엔 산하 정부간기후변화위원회(IPCC)는 전 지구적으로 이슈가 되고 있는 기후변화의 심각성이 21세기 내내 더 심화 될 것이라고 지난 4월 9일 발표했다. 온대 및 열대 지방에서는 홍수 인한 피해가, 건조지방에서는 가뭄으로 인한 피해가 심각해지면서 유럽의 기록적인 더위, 아프리카 최악의 가뭄으로 인한 물 전쟁, 아시아의 홍수, 미국의 허리케인 카타리나의 피해 등 최근 들어 실제로 지구 곳곳에서 이상기후로 인한 기상이변이 무차별적으로 속출하고 있다. 전 세계적으로 발생하고 있는 이러한 기상이변으로 인한 경제적·인적 손실을 막기 위해 우리는 지구의 기상변화를 정확히 이해하고 돌발적인 재해를 적시에 예측할 수 있는 방법이 절실한 실정이다.

지난 3월 5일 OECD에서 발표한 '2030 환경전망보고서(OECD Environmental Outlook to 2030)'에 따르면 기후변화, 물 부족, 대기오염 문제 등이 더욱 심화되고 정책적 조치가 시급히 취해지지 않을 경우, 이로 인한 경제

및 사회적 비용이 막대할 수 있음을 경고한 바 있다.

선진국의 주도하에 '그린협약·정책'을 발표하고 유해물질 사용억제·환경폐기물 처리강화·신 에너지 개발에 주력하는 등 지구 온난화 방지 및 환경보호를 위한 정책을 규정하기위한 대책마련이 시급한 실정이다.

지구의 기상변화를 정확히 이해하고 돌발적인 재해를 적시에 예측하기위한 노력으로 미국의 NASA(National Aeronautics and Space Administration, www.nasa.gov), 일본의 우주항공 연구개발기구(JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency, www.jaxa.jp), 유럽의 유럽우주국(ESA, European Space Agency, www.esa.int) 등 여러 국제기관이 공동 협력하는 재해·재난 방지 프로젝트를 추진하고 있다.

지구의 상태를 감시하기 위해서는 인공위성의 역할이 매우 큰 비중을 차지한다. 위성으로부터 수집된 정보는 날씨 감시 이외에도 홍수탐지, 가뭄탐지, 유류유출, 산사태, 대기질 등 자연재해재난 현상 및 기후변화감시 등에 폭넓

게 활용되고 있다.

이에 미국, 유럽, 일본 등 위성기술의 선진국에서는 이미 다양한 활용분야를 확대하고, 활용분야별 맞춤형 위성 센서 개발에 초점을 맞추어 진행하고 있다. 현재 운영중이거나 착수예정인 재해재난별 지구관측위성과 이에 대한 활용분야를 소개함으로써, 앞으로 다양한 위성자료의 통합활용에 기초자료로서 사용하고자 한다.

2. 본론

2.1 홍수 및 가뭄 탐지를 위한 위성

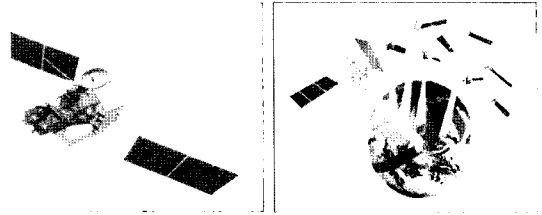
TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)
GPM(Global Precipitation Measurement)

흔히 21세기를 “물의 세기”라 부른다. 물은 경제활동과 우리 생활에 없어서는 안 될 지구환경의 기초이며 필수자원이다. 그러나 지금 세계 곳곳에서는 식량 부족과 전염병을 일으키는 물 부족과 홍수와 같은 수자원 문제와 부딪혀있다.

게다가, 지구 온난화와 기후변화로 인해 가뭄과 상습적인 폭우와 같은 이상기후가 나타나고 있다. 이러한 문제해결을 위해서는 이상기후에 대처하고 예측 할 수 있는 기술을 개발하여 호우의 범위를 정확하게 결정짓는 능력이 절실하다.

이에 따라, 미국 NASA는 1997년 일본 JAXA와 공동으로 전지구 물수지관측을 주목적으로 하는 국제공동위성 프로그램인 열대강우관측임무(TRMM, Tropical Rainfall Measuring Mission)에 착수하였다. 이것은 지난 10년간 기상레이더를 탑재한 유일한 최초의 인공위성으로서 허리케인이나 엘니뇨와 같은 단기 기상 변화에 대한 이해를 높이는데 중요한 역할을 해왔으며, 2013년 발사예정인 GPM 프로그램으로 이어져 지구 총 강수량 중 2/3 이상이 집중되는 열대지방의 강우량을 관측하는 임무를 맡게 될 것이다.

TRMM을 대신할 차세대 위성, GPM은 NASA, JAXA,

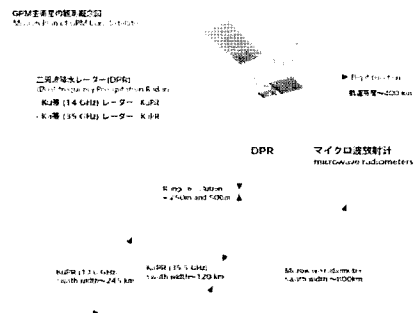


〈그림 1〉 TRMM과 GPM

NICT가 중심으로 되어 추진하고 있는 TRMM의 후속 및 확장 미션으로 강수레이더와 마이크로파 복사계를 탑재한 태양비동기궤도위성 1기(주위성)와 마이크로파 복사계를 탑재한 6~8대의 태양동기궤도위성(부위성)으로 구성되어 지구 궤도를 돌면서 구름을 분석한다.

주 위성은 GMI(GPM Microwave Imager)와 DPR(Dual Frequency Precipitation Radar)이라는 강수관측 장비를 탑재하여 데이터를 수집, 보조 위성으로부터의 데이터에 대한 정확한 보정 기능을 담당하며 GMI는 강수량과 함께 대기의 습도, 기온, 해면 온도 등까지 관측할 수 있는 장비로, 여러 주파수의 마이크로파 에너지를 구름 내부로 쏘아 내린 후, 구름 내의 비 입자나 얼음 입자에 의해 반사된 마이크로파 에너지를 탐지하여 비나 눈 입자를 구별해 내고, 강수 강도, 강수 입자의 수직 분포량 등에 대한 정보를 알아내는 역할을 한다.

일본의 JAXA에서 제공하는 DPR은 서로 다른 대역에서 동



〈그림 2〉 GPM 주위성의 임무계획

작하는 독립적인 두 레이더, Ku-band(13.6GHz) 강수레이더와 Ka-band(35.5 GHz) 강수레이더로 구성되어있으며, 강수

속도, 구름의 형태, 비나 눈 입자의 크기에 대한 데이터를 수집한다.

한편, 보조 위성들은 GPM 프로젝트에 협조하는, 다른 목적의 위성이나 국제 위성들로 각각 하나이상의 강수 탐지 장비를 탑재하여 GPM 네트워크를 구성하게 된다. 이들을 통해 관측된 GPM 데이터는 NASA와 JAXA를 포함한 여러 항공우주국으로 바로 전송되어 GPM 데이터 처리 시스템에 저장되고, 이에 기반하여 세 시간마다 세계 강수량 지도와 거의 실시간의 강우 데이터, 기상 데이터 등을 제공하게 된다.

NASA는 GPM 프로젝트가 제공하는 이러한 정보들을 통해

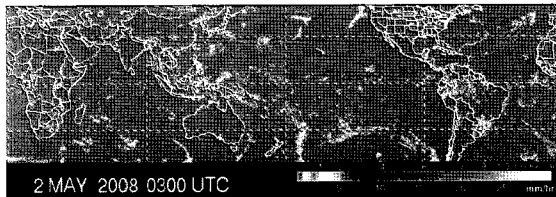
(표 1) 탑재센서별 특성

| 센서명 | 특성 |
|--|--|
| PR (Precipitation Radar) | - 폭풍의 3차원적인 구조를 측정하여, 폭풍의 구조와 강수의 강도 및 공간분포에 대한 정보를 생산 - 5km의 공간해상도와 247km의 관측폭을 가짐 |
| TMI (TRMM Microwave Imager) | - 대기중 수증기량, 구름 수액량 및 강우강도에 대한 측정 - 10.7, 19.4, 21.3, 37, 85.5 GHz의 5개 마이크로파 채널을 가짐 |
| VIRS (Visible and Infrared Scanner) | - 가시~적외 5채널을 가지는 기상위성인 GOES나 POES의 영상기들과 유사한 성능 - TRMM 위성의 다른 마이크로파 센서들과 함께 종합적인 기상분석에 사용 |
| CERES- (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) | - 장파복사와 단파복사 에너지의 장기적 관측 - 특히 지구 복사에너지 수지와 관련된 구름의 역할에 대한 연구원 - 두개의 센서가 탑재되어 있으며, Terra와 Aqua위성에도 탑재 |
| LIS- (Lightning Imaging Sensor) | - 폭풍시 구름발달에 따른 낙뢰예보지원을 위한 관측을 통해 실험예보 지원 |

지구의 기상 변화를 보다 정확히 이해함으로써 일기예보의 정확도를 높일 수 있을 것으로 보고 있다.

이 밖에도 지구 전체에서의 물의 분포와 그 움직임을 파악하여 수자원을 보다 효율적으로 관리하고 농작물의 생산성 관리를 도울 수 있다는 점, 갑작스러운 강우로 인한 단기 홍수나 말라리아나 황열병, 뇌염 바이러스 등의 질병 다발 지역을 예측하여 세계 건강에 이바지할 수 있다는 점도 지구과학 프로젝트로서의 GPM이 가져올 수 있는 혜택이다.

더 나아가, GPM은 장기적으로 지구촌이 안고 있는 지구 온난화라는 거대한 숙제를 정확하게 분석하고 풀어내는 데 있어서도 큰 공헌을 할 수 있을 것으로 기대하고 있다.



(그림 3) TRMM위성이 생산하는 3시간 간격의 전구 저위도지역 강수



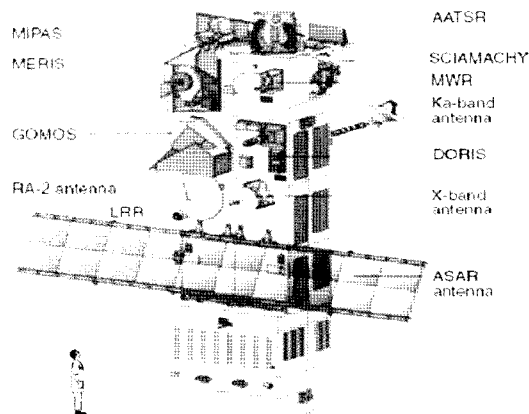
(그림 4) 강수 및 홍수 예보 (그림 5) 허리케인 Kenna 비구름(2002.10.23), TRMM

2.2 유류유출 탐지를 위한 위성

ENVISAT(ENvironmental SATellite)

유럽 ESA(Europe Space Agency) 지구관측프로그램의 일환으로 ERS-1/2에 이어 보다 향상된 품질의 대기복사, 대기 화학, 지면정보 및 해양관측 등 본격적인 환경감시임무를 수행한다.

현재 지구관측위성으로는 가장 큰 크기로 열 개의 정교하고 복잡한 광학기와 레이더 장비를 탑재했다. 이는 지구의 육지, 대기, 해양, 빙하를 연속적으로 관측하고 모니터링하여 지구 시스템 연구, 기후변화에 도움이 되는 데이터를 제공해 주는 임무를 수행한다.



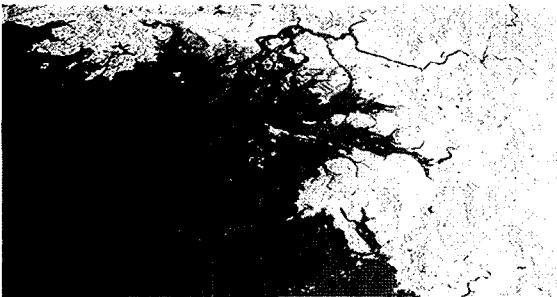
(그림 6) ENVISAT위성 모형도

가장 큰 싱글 장비인 ASAR(Advanced Synthetic Aperture Radar)은 C-band로 운영되며 ERS-2이후 데이터의 연속성을 확보하였다. 이것의 특징은 적용범위, 투사각의 범위, 편광, 운용모드의 능력 향상이라 할 수 있다.

임무의 연속성을 위해 scatterometer를 제외한 ERS-1/2의 모든 관측기기를 탑재하였다. 해색측정을 위한 센서(MERIS)를 추가하여 환경변수 측정 범위를 확대하고 대기·해양 자료의 종합적인 수집을 통한 상호작용 및 환경변화 감시를 통해 기후변화과정 예측능력을 향상시킨다.

ENVISAT은 해수면온도, 해수면 고도, 심지어 해양플랑크톤과 같은 해양의 정밀한 관측을 제공한다. 또 불법어업과 해양의 오염물질 및 해류, 교활한 오일 환경오염 등을 탐지하는 등의 해양환경감시 임무를 수행한다.+

○ 최근영상



〈그림 7〉 한반도 서해안 원유유출(2007.12.11.)



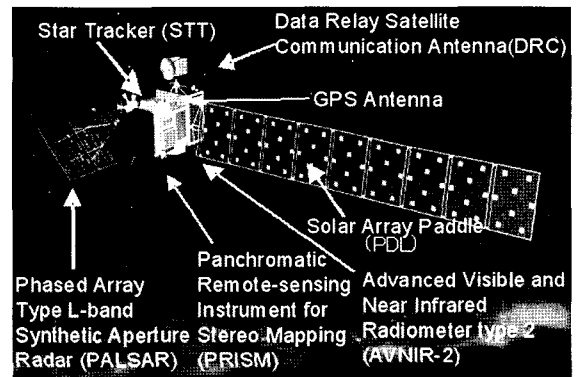
〈그림 8〉 스페인 Galicia해변 원유유출(2002.11.)

〈표 2〉 탑재센서별 임무

| 탑재센서명 | 임무 |
|---|--|
| AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer) | • 가시/적외, 1 km 해상도@직하점 • 해수면온도, 대기화학성분, 식생분포 |
| ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) | • 마이크로파(C-band)/VIRS • 해류, 지형측량, 눈·빙하 지도 작성 |
| DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) | • 정밀궤도 측정(궤도오차 - 1cm) • 정밀궤도 측정(궤도오차 - 1cm) |
| GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars) | • 자외/가시/적외, 1.7km 수직해상도, Linear CCD array • 대기화학성분, 오존 측정, 대기현상 |
| LRR (Laser Retro-Reflector) | • 위성 위치·궤도 정밀 측정 |
| MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) | • 가시/적외, 1km(해양), 0.3km(해안, 육지) • 해색관측, 해양 생태학, 식생분포, 강수량 |
| MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmosphere Sounding) | • 중적외/열적외(4.15-14.6 μm) • 중·상층 대기화학성분 및 온도 측정 |
| MWR (MicroWave Radiometer) | • 수동 마이크로파/대기온도측정 |
| RA-2 (Radar Altimeter 2) | • 마이크로파(Ku-band, S-band) • 눈·빙하, 지질구조, 해수면파 |
| SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) | • 전지구 대류권/성층권 대기화학성분 측정 • 눈·빙하, 지질구조, 해수면파 |

2.3 산사태 탐지를 위한 위성

ALOS(Advanced Land Observing Satellite)



〈그림 9〉 ALOS 위성

ALOS는 일본 JAXA에서 개발한 위성으로 자원측량과 재난감시, 지역의 정확한 토지관측, 지도제작 등의 임무 수행을 위해 2006년 1월 24일 발사되었다.

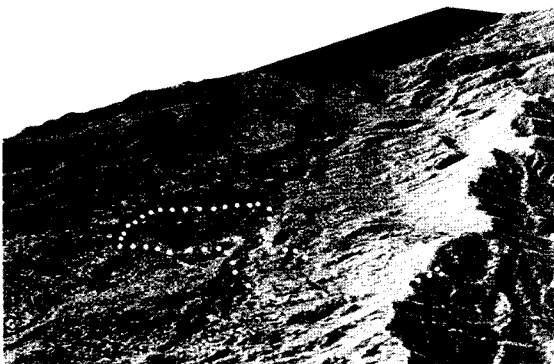
ALOS는 세 개의 센서를 가지고 있다.

- PRISM(Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)은 가시-근적외 복사계로 주로 정확한 지형 고도 측량 임무를 수행하며 이를 위한 세 세트의 광학 시스템을 갖추고 있다. 리모트 센싱장비는 정확한 지표면 관측과 25000:1 크기의 매핑을 통해 스스로 데이터를 수집하는 능력이 있다. ALOS의 주목적중 하나인 아시아 태평양 지역을 포함하고 일본과 그 외 다른 나라의 지도를 제공하게 되면서 지도제작법에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

- AVNIR-2(Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type2)는 가시-근적외 복사계로 주로 식생, 지표면 관측 임무를 담당한다.

- PALSAR(Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar)는 L-band SAR로 밤낮으로 지상의 모든 기상을 관측할 수 있는 능력이 있으며 주로 간섭계, 지표면, 해빙에 대한 관측을 한다.

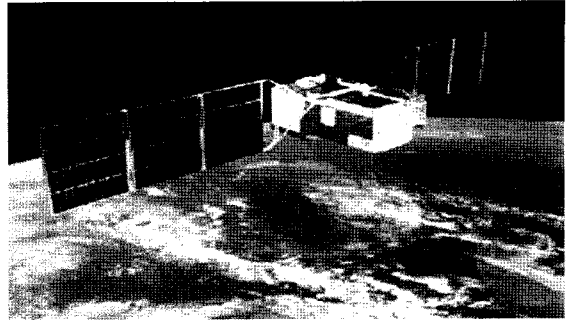
이처럼 ALOS는 지도제작 뿐 아니라, 국내외 재해모니터링과 자원측량 등 지구의 개발과 환경오염 감시에도 활용되어 환경파괴와 자연재해의 완화를 돕는 우리 미래를 위한 위성의 근본적인 역할을 수행한다.



(그림 10) 필리핀 Leyte Island 산사태지역 조감도(2006.02.24)

2.4 대기질 탐지를 위한 위성

GOSAT(Greenhouse Gases Observing Satellite)



(그림 11) GOSAT 위성

지구 온난화는 이산화탄소, 메탄, 인간 활동에 의해 생산되는 기타 온실가스 때문인 것으로 추정된다. 과학자들은 몇 세기내로 지구의 기후변화가 심각해질 것이라고 예상하고 있다.

GOSAT은 일본 JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)의 전지구 기후변화 관측 임무 (GCOM: Global Change Observation Mission)의 일환으로 이산화탄소나 메탄과 같은 온실가스 측정 목적으로 개발되는 위성으로 일본 환경부(MOE: Ministry of the Environment) 및 국립환경연구소(NIES: National Institute for Environmental Studies)와 공동 개발 중에 있으며 최근 온실가스의 흡수와 방출수준을 입수하여 지구 온난화를 방지하려는 국제적 목적이 있다. JAXA은 데이터를 수집하여 작업하고 위성을 개발하는데 책임을 지고, MOE와 NIES는 최근 온실가스의 흡수와 방출량과 같은 데이터를 입수하여 이를 활용한다.

2008년 발사 예정으로 온실가스 측정을 위해 TANSO(Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation)로 불리는 관측기기를 탑재할 예정이며, TANSO는 온실가스 측정을 위한 FTS(Fourier Transform Spectrometer)와 구름 및 에어로솔 정보 수집을 위한 CAI(Cloud and Aerosol Imager) 두 개의 센서로 구성되어 있다.

(표 3) CAI사양(A)/FTS사양(B)

| | Band 1 | Band 2 | Band 3 | Band 4 |
|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| Spectral coverage [μm] | 0.370-0.390 (0.380) | 0.668-0.688 (0.678) | 0.860-0.880 (0.870) | 1.56-1.68 (1.62) |
| Target substance | Cloud, Aerosol | | | |
| Swath [km] | 1000 | 1000 | 1000 | 750 |
| Spatial resolution at nadir [km] | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1.5 |

(A)

| | Band 1 | Band 2 | Band 3 | Band 4 |
|--|--|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Spectral coverage [μm] | 0.758-0.775 | 1.56-1.72 | 1.92-2.08 | 5.56-14.3 |
| Spectral resolution [μm] | 0.5 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| Target species | O ₂ | CO ₂ , CH ₄ | CO ₂ , H ₂ O | CO ₂ , CH ₄ |
| Instantaneous field of view | Instantaneous field of view: 15.8 mrad | | | |
| Field of observation (footprint) diameter of view at range | Field of view for observation (footprint) diameter of app. 10.5 km | | | |
| Single-scan data acquisition time | 1.1, 2.0, 4.0 seconds | | | |

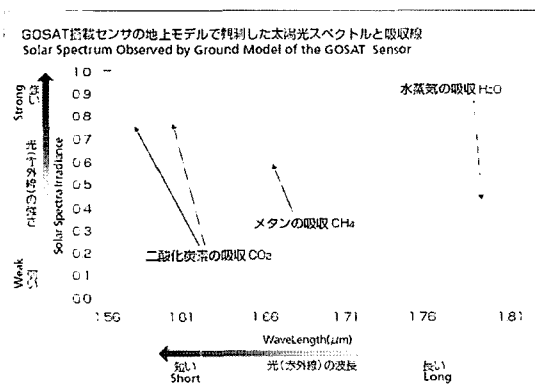
(B)

GOSAT은 100분마다 지구를 1회전하면서 3일마다 같은 지점의 자료를 수집하고 온실가스의 지구분포를 측정하기 위해서 고안되었다. 따라서 위성은 여러 지역으로부터 많은 자료를 제공해주고 세계 전 지역의 정확한 온실가스 양을 계산해준다.

또한, 지상 혹은 상층 관측은 센서유형과 성능에 따라 다양한 데이터를 얻게 되어 비교가 쉽지 않다. GOSAT은 싱글 센서로 전 지구관측을 하고 싱글 공학기술 스케일에 데이터를 비교할 수 있게 한다.

GOSAT의 임무는 아시아, 태평양 지역(~ 수 천 km²)에서 온실가스의 흡수·배출량 및 삼림 탄소수지 추정 정확도를 향상시키고, 지역별 흡수·배출량 추정법 구축 및 안정적 이산화탄소 관측체제 실현하는데 있다.

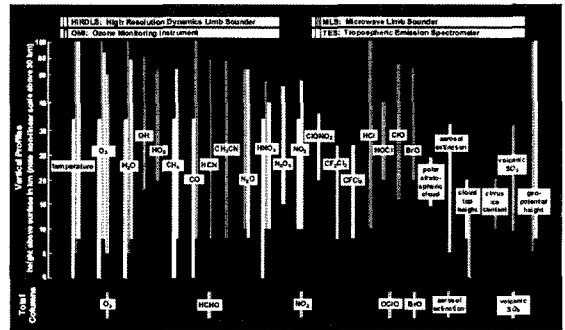
또한, 이산화탄소·메탄의 전지구적 농도분포 및 시간에 따른 변동을 파악하고 최종적으로 탄소순환 메커니즘 이해 및 기후변화와의 상관관계를 규명하는데 있다.



<그림 12> Solar Spectrum Observed(GOSAT센서)

AURA

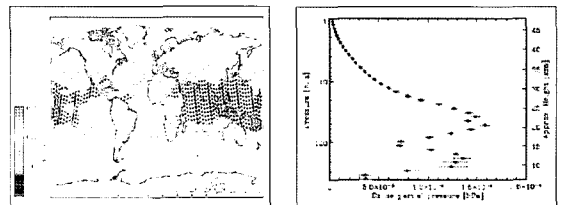
2004년 7월 미국 NASA에서 대기화학성분감시를 목적으로 발사한 위성으로 오존, 일산화탄소, 이산화질소, 이산화황 등의 대기 중 미량기체 및 에어로솔 농도와 분포를 측정한다.



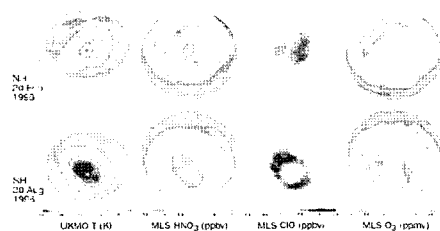
<그림 13> AURA위성관측 대기중 미량기체 농도

HIRDLS(High Resolution Dynamics Limb Sounder), MLS(Microwave Limb Sounder), OMI(Ozone Monitoring Instrument), TES (Tropospheric Emission Spectrometer) 4개의 센서를 탑재하였다.

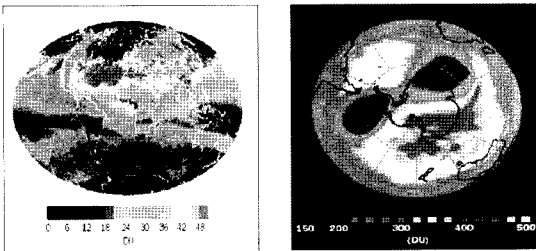
각각의 센서는 대류권 상부와 성층권 하부의 온도 및 권운의 빙정입자, 화산폭발 에어로솔 등 여러 대기화학물질들을 측정하게 된다.



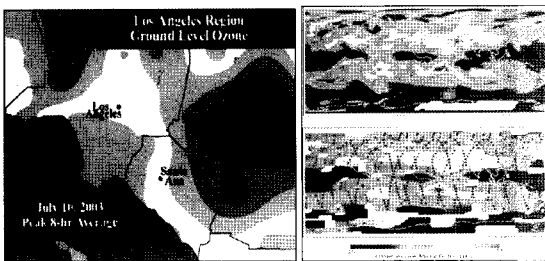
<그림 14> HIRDLS센서의 Ozone Simulated



<그림 15> MLS센서관측 겨울철 성층권하부 온도



〈그림 16〉 OMIS센서관측 오존 맵



〈그림 17〉 TES센서관측 오존 분포

CALIPSO(Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation)

2006년 4월 28일 미국(NASA)과 프랑스(CNES)가 공동 개발하여 발사한 지구관측위성으로 NASA 지구과학국의 ESSP프로그램/NMP 3호기이다. 2채널의 LIDAR 및 수동형센서를 탑재하고 있으며, EOS PM(Aqua)과 편대 비행하는 것에 의하여 복사플럭스와 대기상태를 측정한다. 이 종관적 측정의 자료세트는 에어로졸과 구름의 복사에 대한 영향의 정확한 수치화를 위한 가장 중요한 자료가 된다.

기후예측을 개선하기 위해 필요한 에어로졸과 구름의 특성 측정을 목적으로 한다.

CALIOP(Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization), IIR(Imaging Infrared Radiometer), WFC(Wide Field Camera) 3개의 센서를 탑재하고 있다.



〈그림 18〉 Caliop/CALIPSO가 관측한 구름과 에어로졸

3. 결론

인공위성의 활용은 우주공간이라는 유리한 위치에서 지구를 감시하기 위한 필수적인 도구로 자리 잡아가고 있다. 게다가 최근 들어 대기환경 및 기후변화문제가 심각하게 대두되고 재해 · 재난이 잇따르고 있는 현시점에서 인공위성을 이용한 감시는 매우 고무적이라 할 수 있다. 수신된 위성영상자료가 수직 · 수평 · 공간적인 세부 내용을 제공하여 지구관측을 하고 있지만, 사용자 입장에서 보면 아직까지 여러 가지 한계에 있는 부분이 있다. 예를 들면, 전구 동시 관측망 구성, 자료의 정확도와 검증체계, 관측자료 수집체계 등 지상관측망을 통해서 관측, 수집, 분배되는 전 세계 관측망에 비하면 이와 같은 부분이 아직 취약하다.

또한 전 세계적 차원의 공동 연구개발을 통해 향후 현재의 자료에 대한 가치를 결정하고 미래 인공위성을 위한 개선된 센서 개발에 노력을 해야 할 것이다. 인공위성은 자연재해 재난 및 기후변화 감시에 능동적이고 적극적인 대처를 위한 유용한 자원으로 활용될 것이며, 또한 미래 통합정보의 정확성에 중추적인 임무를 수행하면서 계측 및 관측 관련 산업의 빠른 진보를 가져올 것이다.