

우주로부터의 지구환경 모니터링 기술 - MODIS를 중심으로 -

Earth Environmental Monitoring Technologies from Universe - Mainly MODIS -

박 중 화*

Park, Jong-Hwa

1. 머리말

최근 들어 지구의 환경문제가 대두되면서 국지적인 홍수와 가뭄의 증가, 토양침식, 사막화, 열대림의 난벌, 대기중 탄산가스의 증가에 의한 온실효과, 산성우, 오존홀, 이상기상으로 엘니뇨, 라니냐 현상 등이 매스컴에 자주 등장하게 되었다. 우주로부터의 리모트센싱(원격탐사, Remote Sensing, 이후 RS)은 지구상의 현상을 패턴정보화하기 위한 지구환경 연구에 많은 공헌을 해 왔다. 예를 들어 NIMBUS-7 위성에 의한 오존홀의 관측, NOAA 위성에 의한 엘니뇨 현상의 관측, LANDSAT 위성에 의한 토양과 식생정보 관측 등 화상정보로 관측하여 점의 관측 결과만이 아닌 현상을 일목요연하게 보여주는 임팩트는 매우 크다.

지구환경위성을 이용하여 취득한 화상정보는 안전보장, 환경, 농업, 지도 등의 분야에서 사람의 손 및 비행기 등으로 취득한 데이터에 비하여 저비용으로 단기간에 정보수집이 가능하도록 하였다. 또한 같은 장소의 정보를 반복 취득할 수 있고 사람과 비행기가 갈 수 없는 세계의 정보를 장소에 상관없이 정보 취득이 가능하게 되었다. 한편 인간의 활동은 대기, 토양, 물, 해양, 산림과 복잡하게 관련되어 지구 시스템에 중대한 영

향을 미치고 있다. 이러한 요소들을 포함하는 지구규모의 환경을 과학적으로 관찰하고 이해하며 예측할 수 있는 지구 시스템 과학에 있어서는 장기간에 걸친 지구의 지속적인 관측, 지구환경에 관한 정보시스템의 확립, 대기와 지구에 관련된 현상을 예측하는 수치 모델의 개발이 필요할 것이다.

장기간에 걸친 대기와 지구의 지속적인 관측은 1960년 쏘아 올린 기상위성 TIROS, 1972년 LANDSAT의 전신인 지구자원위성 ERTS로부터 시작되어, 이후 기능과 역할이 다른 많은 위성들에 의해 지구환경에 관한 귀중한 정보를 제공받고 있다. 2000년부터는 "Mission to Planet Earth"의 슬로건 아래 대기와 전 지구규모의 지구환경 관측이 계획되어 실시되고 있다.

본 신기술코너에서는 위성에 의한 지구환경의 모니터링에 관하여 그 특징을 소개하고 대표적인 지구환경관측위성에 대하여 제시하였다. 또한 2000년대 전반의 지구환경모니터링에 중요한 역할을 담당하고 있는 Terra와 Aqua위성의 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (이후 MODIS)에 대하여 소개하고 MODIS의 응용과 활용분야에 관해 고찰하고 농공분야에서의 활용 가능성을 검토하고자 한다.

* 충북대학교 농과대학 (jhpak7@chungbuk.ac.kr) 、

2. 위성에 의한 지구환경의 모니터링

위성에 의한 RS는 위성에 탑재된 센서에 의해 지구환경을 모니터링 한다. 그림 1의 RS관측에 관한 모식도와 같이 가시, 근적외선영역에서는 태양광의 반사를 관측하나 지상의 대상물체 차이에 따른 반사특성 차이를 알기 위하여 칼라사진과 같이 RGB의 3원색으로 나누지 않고 대상물 특유의 반사특성을 검출하기 쉬운 복수의 파장대(multi-spectrum)를 사용하여 관측한다.

위성에 의한 RS는 다음과 같은 이점을 가지고 있다. ① 위성의 지상 분해능과 주사 폭에 따라 차이는 있으나 소유역에서 지구 규모의 관측이 가능하다. MODIS는 주사 폭을 달리하여 분해능을 250m까지 관측할 수 있는 특징을 가지고 있다. 지상 관측은 점 관측에 해당하나 위성을 사용함으로써 보다 광범위한 영역을 목적에 맞춘 분해능으로 면적인 패턴 정보를 취득하고 관측이 가능한 점이 RS의 큰 특징이다. ② 주기적으로 지속적인 관측이 가능하다. 관측대상에 따라 요구되는 관측주기는 다르나 기상과 같이 변화가 심한 것을 대상으로 하는 정지기상위성은 1시간, 또는 30분, 15분 간격의 관측도 가능하다.

③ 균질의 재현성을 갖는 데이터를 얻을 수 있다. 최근의 위성에서는 높은 데이터 전송속도가 가능하도록 전송상의 오차를 보정해주는 정정기능을 부가하여 데이터의 신뢰성을 향상시키고 있다. 특히 가시광선 및 적외선 센서의 경우 대기의 영향을 받으므로 대기효과의 보정이 중요하다. ④ 현지관측을 동시에 실시하여 관측데이터를 교정하고 넓은 범위에 적용하는 것이 가능하다. 신뢰성 높은 데이터해석을 위해서는 현지조사(ground truth)가 실시되어야 한다. 이는 관측된 물리량과 대응시켜 검정을 함으로써 위성에 의한 정도를 검정하고 그 데이터에 기초하여 추정함으로써 광범위한 지역에 관한 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있다. ⑤ 하나의 위성에서 여러 센서를 탑재하여 동시에 같은 지점을 다른 센서로 관측하여 다양한 정보취득이 가능하다.

3. 지구환경 관측위성

그림 2와 같은 위성들의 활동으로 우주로부터의 RS는 지금까지 전 지구의 환경관측이 이루어지고 있다. 지금까지 많은 영향을 가져온 위성에 대해 간략하게 정리하면 다음과 같다.

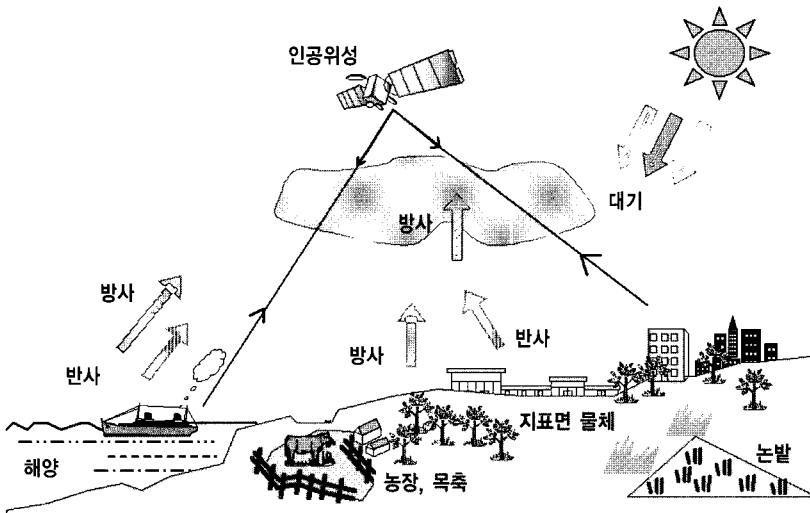


그림 1. RS의 모식도

가. 정지 기상위성 GOES, GMS, METEOSAT

1966년에 ATS-1 (Applications Test Satellite)이 발사되어 1974년 SMS-1 (Synchronous Meteorological Satellite)부터 기상의 정상적인 관측이 실시되었다. 1977년 GMS (Geostationary Meteorological Satellite) 1호의 발사를 시작으로, 1995년 3월에는 GMS-5가 발사되어 운용되어 왔었다. 그러나 카메라의 노후화 등으로 기능이 떨어져 지금은 2003년 5월에 발사된 미국해양기상청 정지 기상위성(Geostationary Operational Environmental Satellite) GOES-9호가 역할을 수행하고 있다. 정지 기상위성에는 구름의 검출, 수증기영상, 구름 상부의 온도측정용 가시, 열적외선 센서가 탑재되어 있다. 이로써

기상관측뿐 아니라 열적외선 채널을 이용하여 해면온도분포도 관측이 가능하게 되었다. 기상위성에 의해 얻어진 자료는 기상청 홈페이지에 인공위성영상으로 제공되고 있다. 기상위성 영상의 예로 그림 3은 2003년 9월에 발생한 태풍 매미에 관한 정보(GOES-9 아시아 합성영상, 2003년 09월 12일 16시)를 나타낸 것이다.

나. 극궤도위성 NOAA

극궤도위성 NOAA시리즈는 1960년의 TIROS-1이래 긴 역사를 가지고 있다. NOAA위성에는 가시, 근적외선, 열적외선 센서인 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 및 수직온도분포 측정용 센서 TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder)가 탑재되어 있다. 처음에는 기상관측, 해면온도 관측을 주목적으로 하였으나 관측결과가 좋아 미국의 NOAA(대기해양청)에서는 전 세계의 해면온도 분포도를 작성하였으며, 세계적인 기상이변으로 불리는 엘니뇨현상을 AVHRR을 이용하여 나타내었다. 또한 NOAA위성은 매일 관측이 가능하며 위성아래 1km 분해능의 넓은 범위를 관찰할 수 있는 점에서 식생의 모니터링에 적합하여 식생정보 취득에 폭 넓게 이용되고 있다. NOAA위성 데이터는 장기간의 데이터가 축적되어 있어 장기간의 평균적인 상황의 변화 관찰에 유용하게 이용되고 있다.

국명·기관명	1995	96	97	98	99	2000	01	02	03	04	
한국	KOMPSAT										
일본	ADEOS-1 TRMM								ADEOS-II		ALOS
미국	TOMS		TRMM	NOAA-15	LANDSAT-2 TERRA	KONOS	NOAA-16	NOAA-17 AQUA	NOAA-18		
프랑스	SPOT-4				SPOT-5A						
유럽우주기관	ERS-2		ENVISAT				ERS-3				
캐나다	RADARSAT-1						RADARSAT-2				
인도	IRS-1C	IRS-1D	IRS-P4	IRS-P5	IRS-P6						

그림 2. 세계의 지구관측위성과 장래 계획

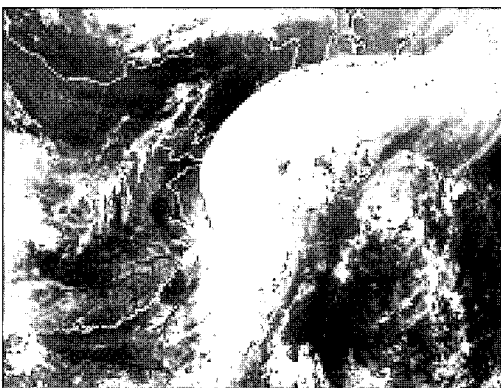


그림 3. GOES-9 아시아 합성영상 (2003년 09월 12일 16시)

다. 육지관측용 위성 LANDSAT, SPOT

육지관측용 위성은 지상 물체의 반사를 파장특성에 따라 식물, 물, 토양, 암석 등을 분류하기 위하여 다파장, 고분해능으로 지상의 상황을 상세하게 관측하는 것을 목적으로 하고 있다. 이는 식물의 분류 및 토지이용의 해석 등에 이용하기 위한 것이다.

LANDSAT시리즈는 미국에 의해 1972년에 발사되어 관측되기 시작하였다. 지상분해능이

80m인 4개의 MSS (Multi-spectral Scanner)밴드의 출현은 RS분야를 일으켰으며 토지이용의 조사 등에 폭 넓게 이용되어 점차 전 세계로 확산되어 이용되게 되었다. 이후 분해능이 30m (열적외선은 120m)인 7개 밴드로 구성된 TM(Thematic Mapper)센서를 탑재하여 분해능을 높이고 활용방법이 다양하게 제공되면서 지금도 많은 정보를 제공해 주고 있다.

1986년 프랑스는 높은 분해능을 갖는 가시·근적외방사계(HRV: Haute Resolution Visible)를 탑재한 SPOT을 쏘아 올려 지상의 현상을 상세하게 알 수 있게 되었다.

라. 해양위성 SEASAT

해양위성 SEASAT은 1978년에 합성개구레이더 SAR (Synthetic Aperture Radar), 고도계, 마이크로파 산란계, 마이크로파 방사계를 탑재하고 쏘아 올려졌다. 특징은 디지털처리를 할 수 있으며 고분해능의 25m 화상이 얻어지므로 해면관측뿐만 아니라 지형정보의 정확한 파악이 가능하게 되었다. 또한 마이크로파에 의한 관측은 구름의 영향을 받지 않는 전천후형 센서로 구름아래 아마존의 열대림지역 및 악천후지역 등의 관측을 가능하게 하였다.

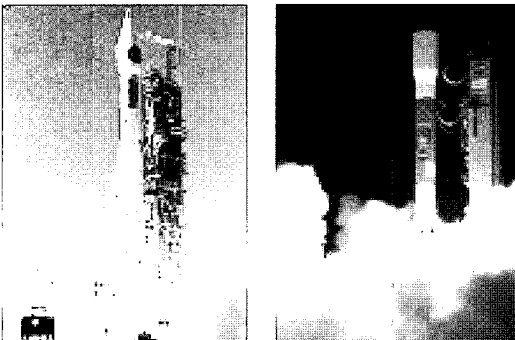


그림 4. Terra 위성과 Aqua 위성의 발사장면, 발사시기 및 초기 화상 취득 시기

마. 열대 강우 관측위성 TRMM

TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 위성은 미국과 일본의 관측기를 탑재한 것으로 열대지방의 강우를 관측하기 위해 적도에 30° 낮은 경사각과 350km의 저고도의 궤도에 설정되었다. TRMM위성에는 강우레이더(PR), 가시적외선 관측장치(VIRS), TRMM 마이크로파 관측장치(TMI), 구름 및 지구방사에너지 관측장치(CERES), 번개 관측장치(LIS)의 5가지 기기가 탑재되어 있다. 관측에서 얻어진 자료를 통해 강우의 3차원적 구조 파악과 강우 메커니즘의 규명, 엘니뇨 현상의 해명, 열대성 강우예보의 정확성을 높일 수 있을 것으로 기대되고 있다.

4. MODIS와 21세기의 지구관측위성

위성에 의한 관측은 늘어나는 지구환경에의 위협으로부터 지구를 지키기 위한 Mission to Planet Earth에 중요한 수단을 제공해 주고 있다. 미국, 유럽, 일본 등에서 POP (Polar Orbital Platform; 극궤도 플랫폼)에 EOS (Earth Observing System; 지구관측시스템)를 탑재하여 운영하고 있다. 본 코너에서는 그림 4와 같이 1999년 12월에 미국의 EOS AM-1위성으로 명명된 Terra 위성과 2002년 5월에 발사된 Aqua위성(EOS PM-1)이 같이 탑재하고 있는 MODIS에 대해 검토하였다.

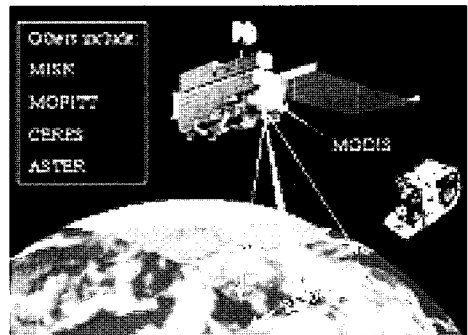


그림 5. MODIS의 측정방법, 센서 및 밴드별 분해능

가. Terra 위성과 Aqua 위성

지구환경의 관측은 계속성이 매우 중요하다. Terra위성과 Aqua위성은 지구환경을 대기, 해양, 육지를 광범위하게 관측할 수 있는 만능센서 MODIS를 탑재하고 있다. 이는 NOAA위성의 전통을 이어 MODIS 데이터는 직접 송신이 가능한 것으로 수신국만 준비되면 누구든 자유롭게 수신할 수 있는 특징을 가지고 있으며 학술적 연구에도 최적인 것으로 판단된다.

Terra위성에는 센서로 ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System), MISR (Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer), MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere)가 탑재되어 있

다. 그림 5는 Terra위성이 탑재한 센서와 주사 폭, 밴드별 분해능을 같이 나타낸 것이다. 각 센서에 의해 밴드별로 측정된 데이터는 그림 6의 과정과 단계를 거쳐 데이터를 보정하고 수정하여 연구자 및 수요자에게 제공되고 있다. 표 1과 같이 대기, 육지, 해양, 설빙, 태양복사와 지구상의 환경은 탑재된 MODIS를 비롯한 각종 기기에 의해 조사되고 있다.

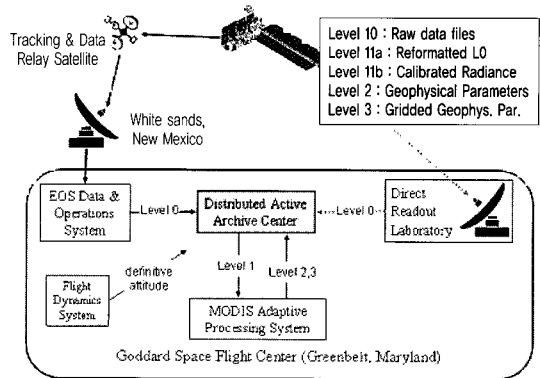


그림 6. MODIS 관련 조직 및 관련도

표 1. MODIS의 성능, 각 밴드별 파장영역과 응용분야

Orbit:	705 km, 10:30 a.m. descending node or 1:30 p.m. ascending node, sun-synchronous, near-polar, circular
Scan Rate:	20.3 rpm, cross track
Swath Dimensions:	2330 km (across track) by 10 km (along track at nadir)
Telescope:	17.78 cm diam. on-axis, afocal (collimated), with intermediate field stop
Size:	1.0 x 1.6 x 1.0 m
Weight:	250 kg
Power:	225 W (orbital average)
Data Rate:	11 Mbps (peak daytime)
Quantization:	12 bits
Spatial resolution:	250 m (bands 1-2), 500 m (bands 3-7), 1000 m (bands 8-36)
Design Life:	5 years

Primary Use	Band	Bandwidth ¹	Spectral Radiance ²	Required SNR ³	Primary Use	Band	Bandwidth ¹	Spectral Radiance ²	Required NEAT(K) ⁴
Land/Cloud	1	620-670	21.8	128	Surface/Cloud	20	3.660-3.840	0.45	0.05
Boundaries	2	841-876	24.7	201	Temperature	21	3.929-3.989	2.38	2.00
Land/Cloud	3	459-479	35.3	243	Temperature	22	3.929-3.989	0.67	0.07
Properties	4	545-565	29.0	228	Temperature	23	4.020-4.080	0.79	0.07
	5	1230-1250	5.4	74	Atmospheric	24	4.433-4.498	0.17	0.25
	6	1628-1652	7.3	275	Temperature	25	4.482-4.549	0.59	0.25
	7	2105-2155	1.0	110	Cirrus Clouds	26	1.360-1.390	6.00	150 ⁴
Ocean color/	8	405-420	44.9	880	Water Vapor	27	6.535-6.895	1.16	0.25
Phytoplankton/	9	438-448	41.9	838	Temperature	28	7.175-7.475	2.18	0.25
Biogeochemistry	10	483-493	32.1	802	Ozone	29	8.400-8.700	9.58	0.05
	11	526-536	27.9	754	Temperature	30	9.580-9.880	3.69	0.25
	12	546-556	21.0	750	Surface/Cloud	31	10.780-11.280	9.55	0.05
	13	662-672	9.5	910	Temperature	32	11.770-12.270	8.94	0.05
	14	673-683	8.7	1087	Cloud Top	33	13.185-13.485	4.52	0.25
	15	743-753	10.2	586	Altitude	34	13.485-13.785	3.76	0.25
	16	862-877	6.2	516	Temperature	35	13.785-14.085	3.11	0.25
Atmospheric	17	890-920	10.0	167	Temperature	36	14.085-14.385	2.08	0.35
Water Vapor	18	931-941	3.6	57					
	19	915-965	15.0	250					

¹Bands 1 to 19, nm; Bands 20-36, μm
²(W/m²·μm·sr)
³SNR=Signal-to-noise ratio
⁴NEAT=Noise-equivalent temperature difference } Performance goal is 30%-40% better than required

MODIS는 Terra(육지의 의미)의 중심적 관측 기기로 현지시간의 오전 10시 30분 (육지의 식생을 관측하는데 적합한 것에서 Terra라 명명)의 태양주기궤도로 그림 5와 같이 2,330km의 주사 폭으로 표 1의 36밴드로 관측된다. 공간 분해능은 수직점에서 밴드 1-2가 250m, 밴드 3-7이 500m, 밴드 8-36이 1000m (AVHRR은 1km)이다. 데이터는 12비트(AVHRR은 10비트)로 양자화 된다. MODIS는 NOAA위성의 AVHRR 전통을 이어 개량되었다.

관측대상은 구름의 성질, 방사에너지 플럭스, 에어졸의 성질, 토지피복과 토지이용의 변화, 식생의 변화, 지표면 온도, 산불, 화산폭발에 의한 분화, 해면온도, 바다 색, 눈 표면피복, 대기온도와 습도, 해빙 등 다양하다. 표 1에서 가시, 근적외선 영역의 20개 밴드로 육지, 구름, 에어졸, 바다 색, 대기 중의 수증기, 권운(일명 새털구름)을 관측하

고, 적외선영역의 16개 밴드에서는 지표 및 구름의 온도, 대기의 온도, 수증기, 오존을 관측한다.

Atmosphere(대기), Calibration(보정), Land(토지), Ocean(해양)의 4개 MODIS Science Team이 그림 7과 같이 구성되어 운용되고 있으며 웹으로 정보제공도 해주고 있다.

나. Aqua 위성

EOS PM-1으로 명명된 Aqua위성은 2002년 5월 발사되어 데이터를 송신하고 있다. 이 위성은 현지시간 오후 1시 30분의 태양 동기 극궤도에 설정되어 있다. MODIS에 의한 해수면 색의 관측에는 태양의 영향을 받지 않게 하였다라는 점에서 Terra보다 적합하다. 이러한 이유 때문에 Aqua라 이름 붙여진 것으로 생각된다. Aqua의 목적은 대기, 해양, 지표면에 관련된 지구의 상관 과정과

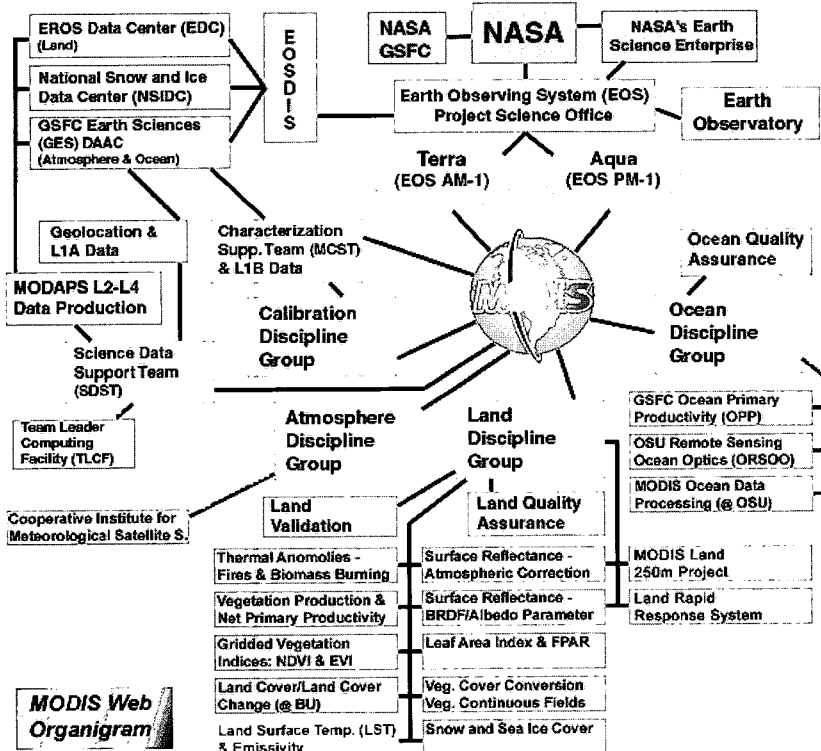


그림 7. MODIS 관련 조직 및 관련도

그것이 지구시스템 변동에 미치는 영향 관계를 파악하는데 있다. 데이터의 세트로는 대기온도와 습도의 프로파일, 구름, 강우, 방사밸런스, 설빙, 해수면 수온, 해양의 생산성, 토양수분이 작성되어 수치 예보의 정도 향상에도 공헌하고 있다.

센서는 AIRS (Atmospheric Infrared Sounder), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), CERES (Cloud and Earth's Radiant Energy System), AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit), MHS (Microwave Humidity Sounder (U.K.)), MIMR (Multifrequency Imaging Microwave Radiometer (ESA))의 6개의 센서가 탑재되어 있다. AIRS센서는 상향 방사를 0.4-1.7 μm , 3.74-15.4 μm 의 범위를 2,378채널로 관측하고 대기온도와 습도, 표면온도, 구름의 성질, 방사에너지 플럭스를 관측한다. MODIS는 Terra에 탑재된 것과 같은 사양의 센서가 탑재되어 있다. CERES센서는 지구의 전체 방사수지와 방사 플럭스에 미치는 구름의 역할을 관측하기 위하여 반사된 태양광 측정용의 단파장 0.3-5.0 μm , 지구 열방사 측정용의 장파장 8-12 μm , 전방사 측정용의 0.3-200 μm 영역의 3센서로 구성되어 있으며 분해능은 20km이다. MHS센서는 150-183GHz대 5채널의 수동 주사형

마이크로파 방사계로 대기의 온도를 관측한다. MIMR센서는 6.9-80GHz를 12채널로 관측할 수 있는 수동 전방시주사형 마이크로파 방사계로 구름의 성질, 방사에너지 플럭스, 강우, 지표면 습도, 해빙, 눈표면, 해수면 온도, 해상풍을 관측한다.

다. 데이터 처리

Terra 위성의 데이터는 그림 6에 나타난 것과 같이 TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System)을 경유하여 New Mexico주의 White Sands의 지상국에서 150Mbps로 수신되어 기록된다. 이 데이터는 45Mbps의 회선으로 GSFC (Goddard Space Flight Center)에 보내져 Level 0의 처리가 되며, ASTER데이터를 제외한 기기를 담당하고 있는 DACC (Distributed Active Archive Center)에 보내져 개발된 알고리즘으로 고차처리 된다. Level 0의 ASTER데이터는 세계의 각 지구에 분포한 ASTER GDS (Ground Data system)에 보내지며, Level 1로 가공된 데이터는 EROS Data Center에 보내지게 된다. 미국에 있어서 Terra 위성의 각 관측기기의 처리체제는 그림 6과 같으며 이용자는 각 DAAC로부터 데이터 제공을 받아 이용하고 있다.

여기서 MODIS는 NOAA위성과 같이 Direct

표 2. MODIS자료의 MOD구분과 응용분야

MOD01	Level-1A Radiance Counts	MOD23	Suspended-Solids Conc. Ocean Water
MOD02	Level-1B Calibrated Relocated Radiances	MOD24	Organic Matter Concentration
also Level 1R "subsampled" 5kmX5km product		MOD25	Coccolith Concentration
MOD03	Relocation Data Set	MOD26	Ocean Water Attenuation Coefficient
MOD04	Aerosol Product	MOD27	Ocean Primary Productivity
MOD05	Total Precipitable Water	MOD28	Sea Surface Temperature
MOD06	Cloud Product	MOD29	Sea Ice Cover
MOD07	Atmospheric profiles	MOD31	Chlorophyll Concentration
MOD08	Ground Atmospheric Product (Level-3)	MOD32	Processing Framework & Match-up Database
MOD09	Atmospherically-corrected Surface Reflectance	MOD35	Cloud Mask
MOD10	Snow Cover	MOD36	Total Absorption Coefficient
MOD11	Land Surface Temperature & Emissivity	MOD37	Ocean Aerosol Properties
MOD12	Land Cover/Land Cover Change	MOD39	Clear Water Epsilon
MOD13	Vegetation Indices	MOD43	Albedo 16-day L3
MOD14	Thermal Anomalies, Fires & Biomass Burning	MOD44	Vegetation Cover Conversion
MOD15	Leaf Area Index & FPAR	MODISLB	Snow and Sea ice Albedo
MOD16	Surface Resistance & Evapotranspiration		
MOD17	Vegetation Production, Net Primary Productivity		
MOD18	Normalized Water-leaving Radiance		
MOD19	Pigment Concentration		
MOD20	Chlorophyll Fluorescence		
MOD21	Chlorophyll_a Pigment Concentration		
MOD22	Photosynthetically Active Radiation (PAR)		

Broadcast도 실시하므로 그 특성을 살려 DAAC와 같은 조직이 아니라 직접 데이터를 수신할 수 있는 수신국을 몇 개의 거점에 배치하여 지역적인 연구 및 대상을 특화하는 연구를 추진하는 네트워크를 구축하고 있다. 이 네트워크는 그림 7과 같이 Terra위성과 Aqua위성을 같이 하여 지구환경을 관측하고 지구환경 변동을 이해하는데 많은 데이터를 제공하고 있다. 대기, 육지 및 해양에 관한 자료는 표 2와 같이 분류되어 조사되고 많은 자료가 MODIS의 홈페이지 등을 통하여 제공되고 있다.

5. MODIS의 응용범위

MODIS에 의해 가능한 재해의 경감·지구 환경문제에 응용 가능성은 표 3과 같이 다양하다. 대표적인 분야를 정리하면 다음과 같다.

가. 재해의 경감을 위한 응용

1) 홍수

그림 8과 같이 어떤 지역의 홍수 전과 홍수 후의 영상을 이용하여 홍수 범위의 확정과 그에 따른 피해정도의 추정이 가능할 것이다. 최근 들어 국지적인 호우와 태풍에 의한 홍수피해가 빈번히 발생하고 급증하는 현실에서 홍수지도의 작성 등을 통한 홍수로 인한 피해분석, 재해로부터의 피난, 피해 복구에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

2) 지반침하 및 지반활동

지반침하의 고정도·광역적 파악이 가능할 것이다. 농촌지역의 개발 및 도시개발지역 등 자원의 이용에 따른 변동을 검출하는데 사용할 수 있을 것이다. 최근 반복되고 있는 국지적인 강우와 태풍 등에 의한 홍수로 지반이 약화되어 지반침하 및 활동 가능성이 높아지고 있다. MODIS는 광역적인 지반활동과 침하의 관측이 가능하며 발생예측이 가능하다. 호우 등에는 그림 9와 같은 자료를 이용 지반침하 및 지반활동 예상지역의 포인팅을 실시하여 해당지역을 모니터하면 재해를 줄일 수 있을 것이다.

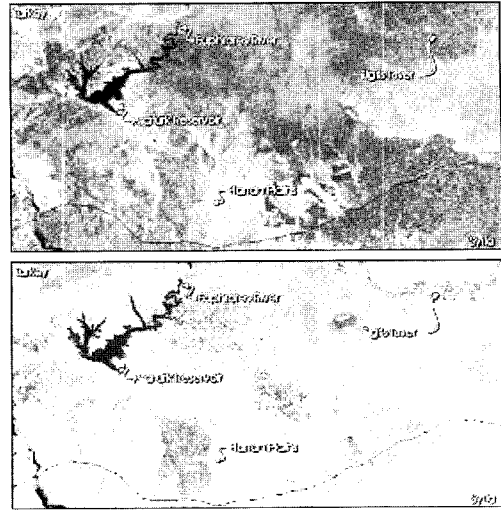


그림 8. MODIS를 이용한 2003년 6월의 이란 티크리스강 유역의 홍수전과 홍수후

표 3. MODIS를 이용해 가능한 재해의 경감 및 지구 환경문제에의 응용

	관측대상 또는 물리량	농림수산 분야	자원 개발	방재	지구 환경	비 고	
육 지	지형 및 지질	○	○	○	○		
	산림피해 및 재해	○		○	○		
	개발 후보지조사		○				
	재해발생상황	○		○			
	토양피복 및 토지이용 변화	○		○	○		
	식생분포 및 변화	○			○		
	화산효과			○	○	지진, 화산분화, 홍수, 해일	
해 양	지표면 온도				○		
	토양수분량	○		○	○	체적효과	
	기름 오염	○		○	○		
	수표면 온도	○		○	○		
	선박사고 수사·구난			○			
대 기	피토플랑크톤 및 용존산소량	○	○		○		
	파랑스펙트럼 및 해저면 지형				○	○	광파장역 (수m~수백m)
	구름특성	○			○	○	홍수, 태풍
	방사에너지플럭스	○			○		
	에어졸 특성			○			
	대기온도	○	○		○		
설 빙	대기습도	○		○	○		
	강수 및 번개	○		○	○		
	지면 얼음변화						
	바다 빙하 유동				○		
	눈피복, 적설수량				○	체적효과	

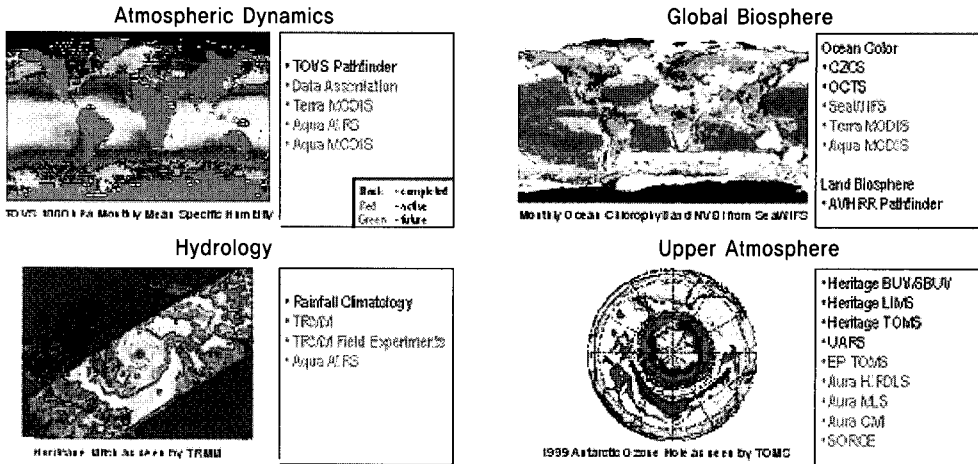


그림 9. 대기의 이동 및 강우 분석에 이용되는 위성과 센서

3) 냉·습해 및 한발

냉·습해와 한발은 많은 부분의 농업 생산력을 떨어뜨려 일국의 식량상황을 급변하게 하는 큰 요인이다. 냉·습해에 기인한 경우 비나 구름이 낀 경우가 많아 광학센서로는 측정이 곤란하다. 농민은 냉·습해를 만났을 경우 농지관리를 달리하여 대응 농작물의 포기 및 피해를 입은 작물을 제거하고 새로운 작물로 대치가 가능할 것이다. MODIS에 의해 토양수분과 지표면온도가 파악되면 농지의 관리 상황과 피해범위의 파악이 가능할 것이다.

4) 지진과 화산활동

지진발생 후 빠르게 화상을 해석함으로써 지진의 발생 메커니즘이 바로 확정되어 여진의 발생예측, 다른 대지진으로의 연동 가능성의 즉시 파악이 가능하다. 또한 GPS 연속관측과 조합하여 전국도를 정밀하게 관측함으로써 지진, 화산분화의 전조적 지각변동의 검출도 기대된다. 단기간에 좁은 범위에 발생하는 화산활동에 동반하는 지각변동을 준 리얼타임으로 파악하여 지진과 화산활동에 관한 메커니즘의 확정, 활동의 추이 예측, 전조의 검출에 활용할 수 있을 것이다.

5) 산림재해

산림재해는 산림의 소실만이 아니라 인접하는

도시의 연소 및 인적 피해발생, 대기오염에 의한 건강피해 발생 등 큰 피해를 가져온다. 대규모의 산림피해는 발생하는 연기 때문에 광학센서로는 정확한 화재지점을 파악하기 어려운 경우가 많다. 따라서 MODIS는 그림 10과 같이 산림재해 모니터링에 필요한 센서로 산림소실량의 파악, 산불에 의한 피해정도 추정 등에 활용성이 기대된다.

6) 기름 오염

대규모의 기름 유출에 의한 해양오염을 방지하기 위하여 평상시부터 기름 유출을 감시하고 재해시에는 기름 유출량을 신속하고 정확하게 파악하여 필요한 방재 체제를 마련할 필요가 있다. 위기관리 및 재해 대응을 위해 인공위성의 관측은 필수조건이라 생각되며 기름의 확산방지 등에 활용이 기대된다.

나. 지구 환경문제에의 응용

1) 식생량의 파악

식생량의 파악은 농업생산 가능량의 추정, 농작물의 작황 추정, 목재 자원량 파악, 온난화 등으로 인한 온도변화에 따른 산림지역의 식생량 파악 등을 위해 중요한 과제이며 위성을 적극적으로 활용할 수 있는 분야이다. 지금은 전 세계적인 식생량

의 변화에 따른 기상조건의 변화, 사막화, 홍수와 가뭄의 발생 등과 연계하여 육지에서 발생할 수 있는 환경문제에 위성자료를 적극 활용하여 대처해 가야 하겠다. 그림 11과 12는 MODIS를 이용하여 작성한 우리나라 전역의 식생분포와 아프리카 전역의 LAI를 나타낸 것이다. 이와 같이 좁게는 소규모 지역의 식생분포와 넓게는 전 세계의 계절별 시기별 환경변화 파악에 유용하게 활용되고 있으며 그 활용도는 점점 높아질 것으로 생각된다.

2) 토지이용

지표면에서의 개발 및 토지이용 패턴의 변화는 환경문제만이 아니라 국가의 안전문제와도 밀접한 관련을 갖고 있다. MODIS는 분해능이 250, 500m를 나타내어 지역의 토지이용 변화 파악에 매우 유용하게 활용되고 있다. 또한 앞으로 그 이용 가능성은 SAR나 IKONOS 등과 함께 매우 높을 것으로 생각된다. 그림 13과 14는 우리나라 중부지방의 토지이용형태와 해양에 관한 MODIS자료이다.



그림 10. 2001년 5월 플로리다의 화재

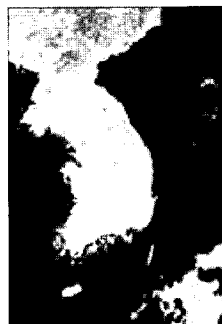


그림 11. MODIS 500m 영상을 이용한 식생분포

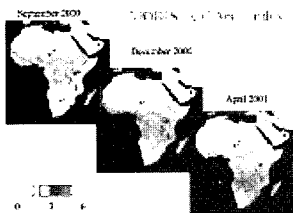


그림 12. MODIS에 의한 엽면적 지수(LAI) 추정

3) 대기

대기는 지구 의 환경에 영향을 미치는 가장 밀접한 요인 가운데 하나이다. 특히 봄철에 찾

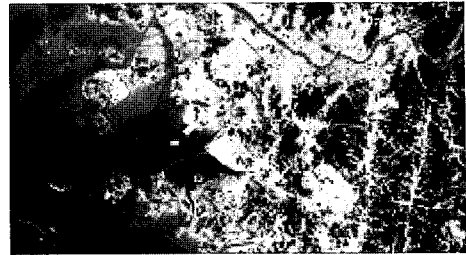


그림 13. 서해안과 중부 지방의 토지이용 형태와 해양환경

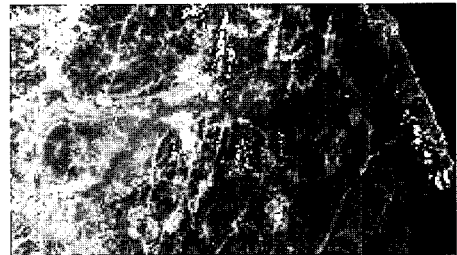


그림 14. 중부지방 38선지대의 토지이용 형태

아드는 황사문제(예, 그림 15)는 대기환경 및 인체에 미치는 영향이 커 인간과 동물에 질병과 장애를 가져와 사회적인 문제로 대두되고 있다. 따라서 대기층 또는 구름의 두께(예, 그림 16), 오존층의 변화, 수증기의 분포(예, 그림 17) 등을 파악하고 감시하는 것은 지구환경을 보전하고 지구온난화 등을 파악하는데 필요한 사항이다. MODIS는 이와 같은 대기층 현상의 파악을 위해 최적인 상태로 구성되어 있으며 그림 15-17과 같이 지구환경 문제를 해결하는데 유용하게 활용되고 있다. 앞으로도 그 활동과 적용에 기대가 크다.

4) 해양

해양은 지구표면의 약 70%를 점하고 있고 식물과 자원의 보고로서 열용량이 매우 크다. 해수는 지구상의 온도변화를 유지시켜주며 해수의 유동에 의한 열 이동에 따라 지구상의 온도차를 완화하여 주고 지구환경을 쾌적하게 유지해 주는 중요한 역할을 하고 있다. 또한 대기와 해양 사이의 온실효과, 이산화탄소의 순환, 식물플랑크톤 등에 의한 광합성작용, 식물의 이산화탄소의 흡수와 산소공급은 세계적으로 문제가 되고 있는 지구온난

화와 밀접한 관계를 갖는다. 해양관측에 있어서 선박이나 브이를 사용하여 얻을 수 있는 데이터의 양은 한계가 있으며 해양현상을 바로 이해할 수 있는 데이터는 그리 많지 않다. 반면에 인공위성을 사용하는 해양관측은 광역성과 주기성을 가지므로 그 활용 가능성과 성과는 어마어마하다. 앞으로 위성을 이용한 해양관측은 그림 18-20과 같

이 해양의 현상을 파악하고 제시해 주는 중심적인 역할을 담당해 갈 것으로 생각된다.

5) 해빙과 눈사태에 관한 연구

빙하를 갖는 지역의 년 변화 및 계절에 따른 변동을 광역적, 시간적, 연속적으로 계속하는 일은 해양과 대기의 상호작용, 지구의 기후변화를 이해하는데 중요한 과제이다. 또한 지구온난화와 해수면 상승 문제를 해결하는데 유용한 정보를 제공하므로 해빙과 눈사태 등에 관한 정보취득과 관측은 지구 환경문제를 해결하는데 불가결한 요소이다. 앞으로 극지방의 해빙과 극 주변과 고산지역의 눈사태에 위성자료의 활용과 기여에 기대되는 바가 크다.

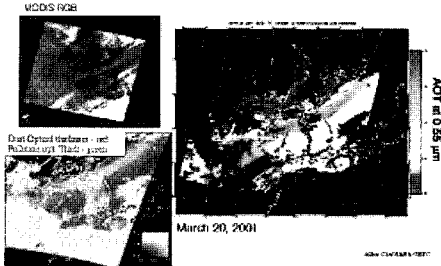


그림 15. 2001년 3월의 한반도주변의 황사현상

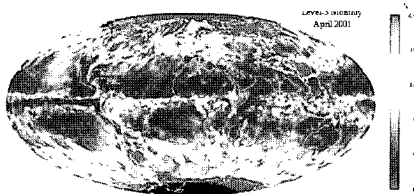


그림 16. 2001년 4월에 측정한 월별 구름의 광학 두께

다. 농공분야에의 응용 가능성

MODIS자료는 분해능이 3가지(250, 500, 1000m)로 되어 있어 지역적인 문제와 지구규모의 문제해결에 유용한 방법으로 표 3에 제시한 응용분야와 밀접한 관련성을 갖고 있는 농공분야의 문제를 해결하는데 있어서도 많은 가능성을 제시해 주고 있다. 특히, 생산성이 높은 연안

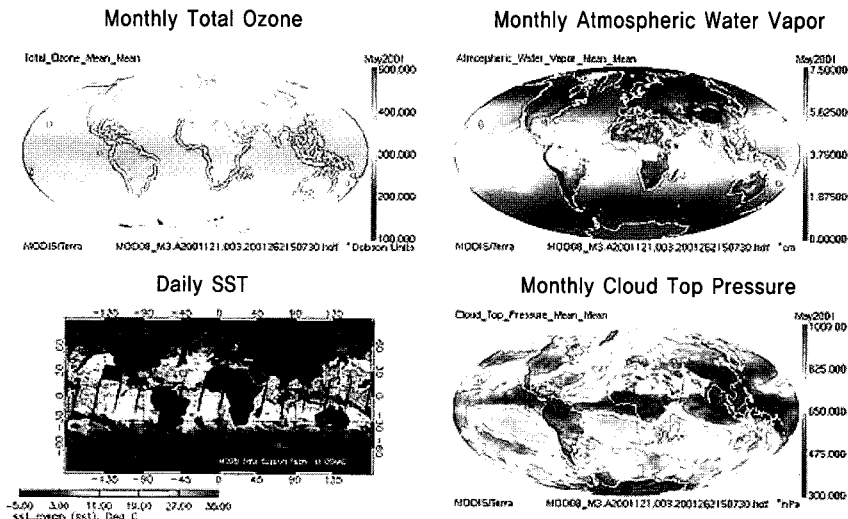


그림 17. 2001년 5월의 대기관련 자료



그림 18. 대기와 해양특성조사

의 환경관리 및 간척 전후 연안과 해안의 환경변화 파악에 있어 그 활용도가 기대된다. 한편 지역개발에 있어 지역자원의 활용을 극대화하기 위한 방법으로 광역적인 자료로 활용이 가능할 것이며 홍수 등의 자연재해로 인한 피해와 피해복구에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

6. 맺는말

본 코너에서는 장기간에 걸쳐 지구환경의 지속적인 관측을 통해 지구환경을 이해하는데 꼭 필요로 하는 위성에 의한 지구환경 모니터링의 중요성을 소개하였다. 지구환경의 학술적인 연구와 지역자원의 효율적인 활용과 관리를 위해서는 각종 위성을 적극 활용할 필요가 있다. 특히 중요한 것은 항상 가까이에서 데이터의 획득이 가능하고 계속적으로 운용되는 직접 수신형 위성일 경우 그 중요성은 더하다. 지금까지 LANDSAT과 NOAA 위성 데이터의 수신·처리·배포가 주였으나 21세기에 접어들면서 Terra위성과 Aqua위성의 MODIS자료가 직접 수신되고 대기, 해양, 육지에 이용 가능한 데이

Weekly Terra MODIS Chlorophyll (D. Clark),
March 6-13, 2001

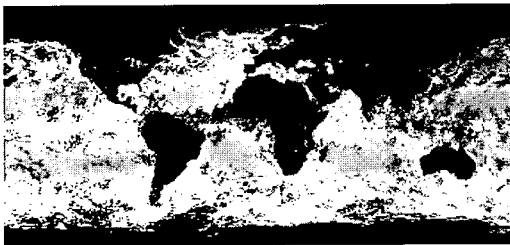


그림 19. 해양의 클로로필 정보 Terra위성 MODIS의 주간정보

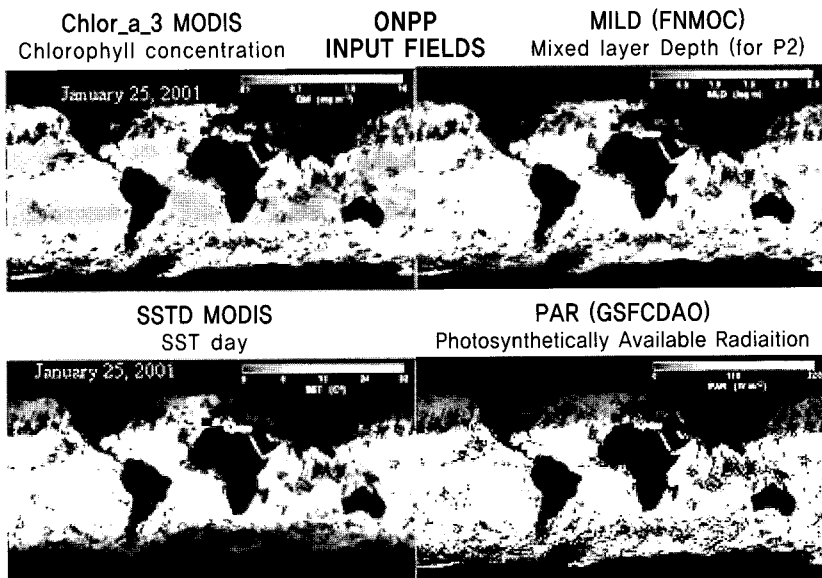


그림 20. MODIS에 의한 해양의 생산성 관측 자료

터가 제공되면서 그 이용이 학술적인 연구 및 지역사회의 개발과 환경보전을 추진해 가는데 그 중요성을 더하고 있다.

우리나라의 경우도 우리별 위성과 아리랑위성(KOMPSAT)의 발사와 시험과정을 거쳐 실용화를 앞두고 있다. 지금까지 외국의 위성에 의존하여 지불해야만 했던 고가의 처리비용을 절감할 수 있도록 보급을 다양화하고 이에 관련된 기술의 축적과 보급을 적극적으로 추진해 가야 할 것이다. 이와 함께 MODIS데이터의 이용을 추진하기 위한 체제를 정비할 필요가 있다. 특히 36개월로 관측되는 데이터로부터 현상을 설명하는 파라미터를 어떻게 산출할 것인가 하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 또한 지상정보의 부족으로 인하여 정확한 해석과 적용성에 문제가 발생하지 않도록 좀 더 적극적인 지상정보의 모니터링을 실시 보완하여 위성정보의 활용도를 높여 나가야 할 것이다. 미국 등은 각 분야별로 연구팀을 구성하여 알고리즘을 개발하고 지상정보에 의한 보정을 통해 정도를 높여가고 있다. 우리의 경우 지금까지의 경우와 같이 알고리즘을 빌려 사용하는 것이 아닌 독자적인 개발을 통해 비교하여 사용하는 것이 바람직할 것이다. 또한 직접수신이 가능한 수신거점을 만들어 우리나라 주변의 연구를 추진하지 않으면 지구환경에 관한 연구에 크게 뒤쳐지게 될 것이다. 이와 함께 아시아 지역의 직접수신 거점들과의 연대를 통한 네트워크를 만들어 정보교환을 추진해 가야 할 것이다. 또한 최근에 발사된 과학정보위성을 최대한 활용하여 MODIS 등과의 연계를 통해 그 정도와 활용도를 높여 나가야 할 것이다.

농공분야에 있어서도 지역공간의 정보 수집과 변화를 계속적으로 축적하여 안전하고 재해에 대비하는 시스템 구축에 적극적으로 활용해 나가야 할 것이다.

참고문헌

1. 기상청 홈페이지,
http://www.kma.go.kr/kma_sat/sat_data.htm
2. 박종화·신용희·박민서, 2003. 벼의 생육단계별 분광반사 특성, 한국관개배수, 10(1), pp. 53-61.
3. 신용희·박종화·박민서, 2003. 발작물의 분광반사특성과 식생지수, 한국관개배수, 10(2), pp. 64-72.
4. 홍석영·이정택·임상규·정원교·조인상, 1998. 분광반사특성을 이용한 벼의 생장량 추정, 한국원격탐사학회지, 14(1), pp. 83-94.
5. Asrar, G., M. Fuchs, E.T. Kanemasu, and J.L.Hatfield, 1984, Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat, Agron. J., 76, pp. 300-306.
6. Huete, A., Justice, C. and van Leeuwen, W., 1996. MODIS Vegetation Index (MOD13), Algorithm Theoretical Basis Document, version 2.0, NASA EOS Doc., p. 105.
7. Kaufman, Y. J. and Tanre, D., 1996, Strategy for direct and indirect methods for correcting the aerosol effect on remote sensing: from AVHRR to EOS-MODIS, Remote Sens. Environ., 55: pp. 65-79.
8. Knyazikhin, Y., J.V., Martonchik, R.B. Myneni, D.J. Diner, and S.W. Running, 1998, Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data, J. Geophys. Res., 103, D24, 32, pp. 257-32, 275.
9. Privette, J., R. Myneni, J. Morisette and C. Justice, 1998. Global validation of EOS LAI and FPAR products, Earth Observer, 10(6): pp. 39-42.
10. Wolfe, R. E., Roy, D. P., and Vermote, E., 1998, MODIS land data storage, gridding, and compositing methodology: Level 2 grid, IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing, 36(4): pp. 1324-1338.
11. MODIS 홈페이지, <http://modis.gsfc.nasa.gov/>