

원격탐사기술



김성준 >>>
 건국대학교 사회환경시스템공학과 부교수
 kimsj@konkuk.ac.kr



박근애 >>>
 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 박사과정
 dolpin2000@konkuk.ac.kr



이미선 >>>
 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 박사과정
 misun03@konkuk.ac.kr

1. 서론

바야흐로 21세기에는 전 세계적으로 우주경쟁이 더욱 치열해질 것으로 예측하고 있다. 국가경계가 없는 지구상공에서의 공간확보를 통하여 지구상에서 일어나는 실시간의 현상들을 얼마나 신속하게, 얼마나 정확/정밀하게 관측하여 이들 정보를 활용하느냐가 해당 국가의 미래를 결정짓는다고 해도 과언이 아닌 시대가 도래한 것이다. 현재 지구상공에는 지구자원 탐사위성을 비롯하여 기상 관측 위성, 범세계 위치정보 위성, 통신 위성, 첩보 위성 등이 미국, 일본, 프랑스, 인도, 캐나다 등의 국가에 의해 제 각각의 목적에 따라 운영되고 있다. 한편 과거 군사적인 목적위주로 활용되던 원격탐사기술이 탈냉전시대 이후부터는 지구

의 자원, 기상, 환경 등 인류의 번영을 위한 목적으로 전환되어 사용되기 시작하였다. 수자원 분야는 RS (Remote Sensing; 원격탐사) 기법을 활용하는데 무한한 잠재력을 가지고 있는 응용분야이다. 예를 들어 위성영상을 활용한 구름 및 강우분포, 홍수와 가뭄 피해지역, 식생의 생육상태, 토양수분과 증발산량의 파악, 자연 생태계의 변화, 수질오염 감시 등 무궁무진하다.

우리나라는 1996년 과학기술부가 국가우주개발중 장기계획을 수립(1997년 12월 세부실천계획 수립)한 이래로 그림 1에서 보는 바와 같이 특히 한반도 및 해양관측 등 실용급 자원탐사위성인 다목적실용위성 (KOMPSAT; KOrEA Multi-Purpose SATellite) 총 8기[전자광학관측위성; 4기(1호, 2호, 3호, 6호), 전천후관측위성; 2기(5호, 7호), 광역관측위성 2기(1호, 4호, 8호)]를 쏘아 올릴 계획을 수립한 바 있다. 이에 한국항공우주연구소에서는 약 5년(1994. 11.~1999. 12.)의 개발기간을 거쳐 1999년 12월 다목적실용위성 1호(KOMPSAT-1)를 발사하여 2000년 초부터 지금까지 한반도 주변의 위성영상(공간해상도: 6.6m 흑백)을 저가로 공급하고 있다. 또한 2006년 계획된 KOMPSAT-2호는 흑백 1m, 칼라 4m, 2008년 KOMPSAT-3호는 흑백 80cm, 칼라 2.8m의 공간해상도를 가질 예정이어서 이들 영상을 활용한 다양한 분야의 첨단연구가 기대된다. 특히 2010년의 KOMPSAT-5호는 SAR(Synthetic Aperture Radar) 위성(해상도; 1~3m급)으로서 구름, 강우와 관계없이 이들을 뚫고 지상을 관측하는 능력을 가지고 있어, 홍수에 의한 침수지역 파악, 광역의 토양수분 상태 등 수자원 분야에서 실질적으로 필요로 하는 영상이 공급될 예정이다.

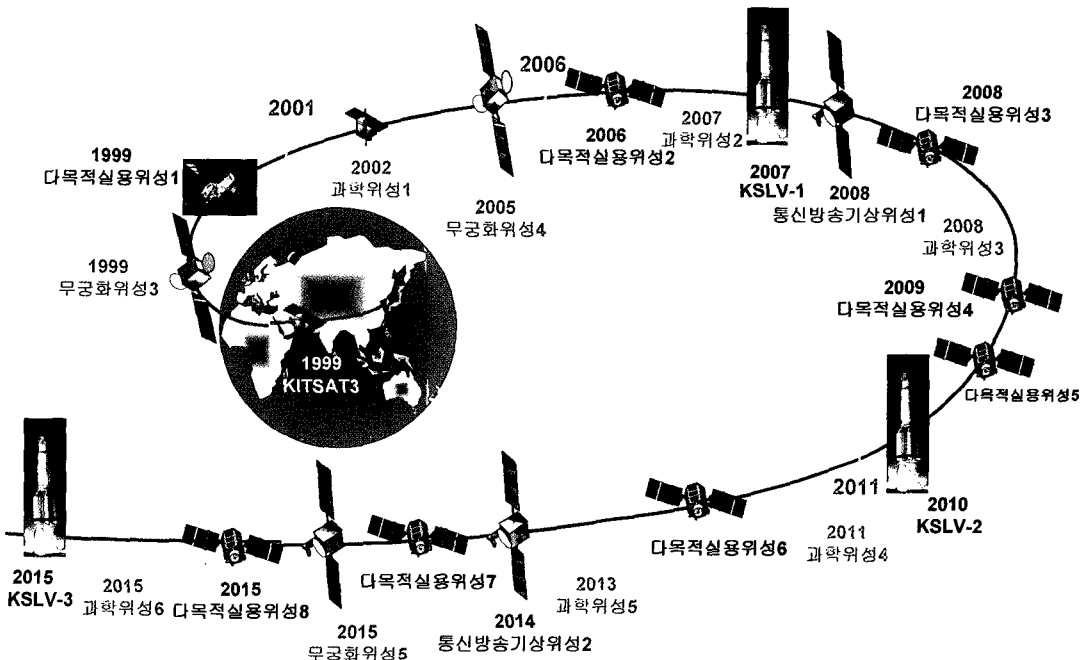


그림 1. 우리나라 미래 우주개발 프로그램(1999~2015)

본 고에서는 현재 전 세계적으로 운영되고 있는 인공위성들을 대상으로, 시간/공간/분광 해상도별 활용 분야를 살펴보고, 수자원분야에서는 어떠한 인공위성 영상들을 대상으로 어떠한 분야에 활용이 가능한지를 정리하여 원격탐사 분야에 관심을 가지고 있는 이들에게 도움을 주고자 한다.

2. 원격탐사기술의 현재

그림 2는 2006년 현재 운영되고 있는 다양한 지구 자원 탐사위성들을 대상으로 시간(Temporal), 분광(Spectral), 공간(Spatial) 해상도의 특징별로 배열하여 정리한 것이다. 표 1은 실제 관련분야에서 필요로 하는 자료들을 영상으로부터 획득하기 위하여 요구되는 시간 및 공간해상도 그리고 활용하여야 할 분광대를 정리한 것이다.

첫째, 시간해상도는 원격탐사자료를 활용하여 국토 및 도시환경을 검토할 때, 일반적으로 세 가지 중

류의 시간해상도를 고려하여야 한다. 우선 생물계절학적 주기(phenological cycle)에 따라 진행되는 식물들의 시간적 발달주기를 파악하여야 한다. 둘째, 해당 인공위성이 얼마나 자주 토지 및 물관련 자료를 수집할 수 있는가 하는 것이다. 마지막으로 토지 및 물 관리자가 얼마나 자주 이러한 종류의 정보를 요구(표 1의 시간해상도 요구값 참조)하는가? 이다.

둘째, 분광해상도는 대상지역의 토지 및 물관련 분광분석(예, 많은 밴드들)을 통하여 다양한 특징을 추출하는데 활용되므로, 표 1에서 속성별로 요구되는 분광해상도를 가지는 인공위성(시간 및 공간해상도 고려한 상태에서)을 그림 2에서 선택하여야 한다.

셋째, 공간해상도는 현재 각 인공위성마다 목적별로 0.82cm~8km까지의 다양한 해상도를 가지고 운영되고 있다. 그림 2를 보면 현재의 인공위성들을 크게 3그룹의 공간해상도로 구분할 수 있는데, ① 정지기상위성(GOES, METEOSAT 등)은 그림 2의 우측 하단(고 시간해상도, 저 공간해상도), ② 궤도 기상위성(EOS Terra MODIS, NOAA AVHRR 등)은 우측

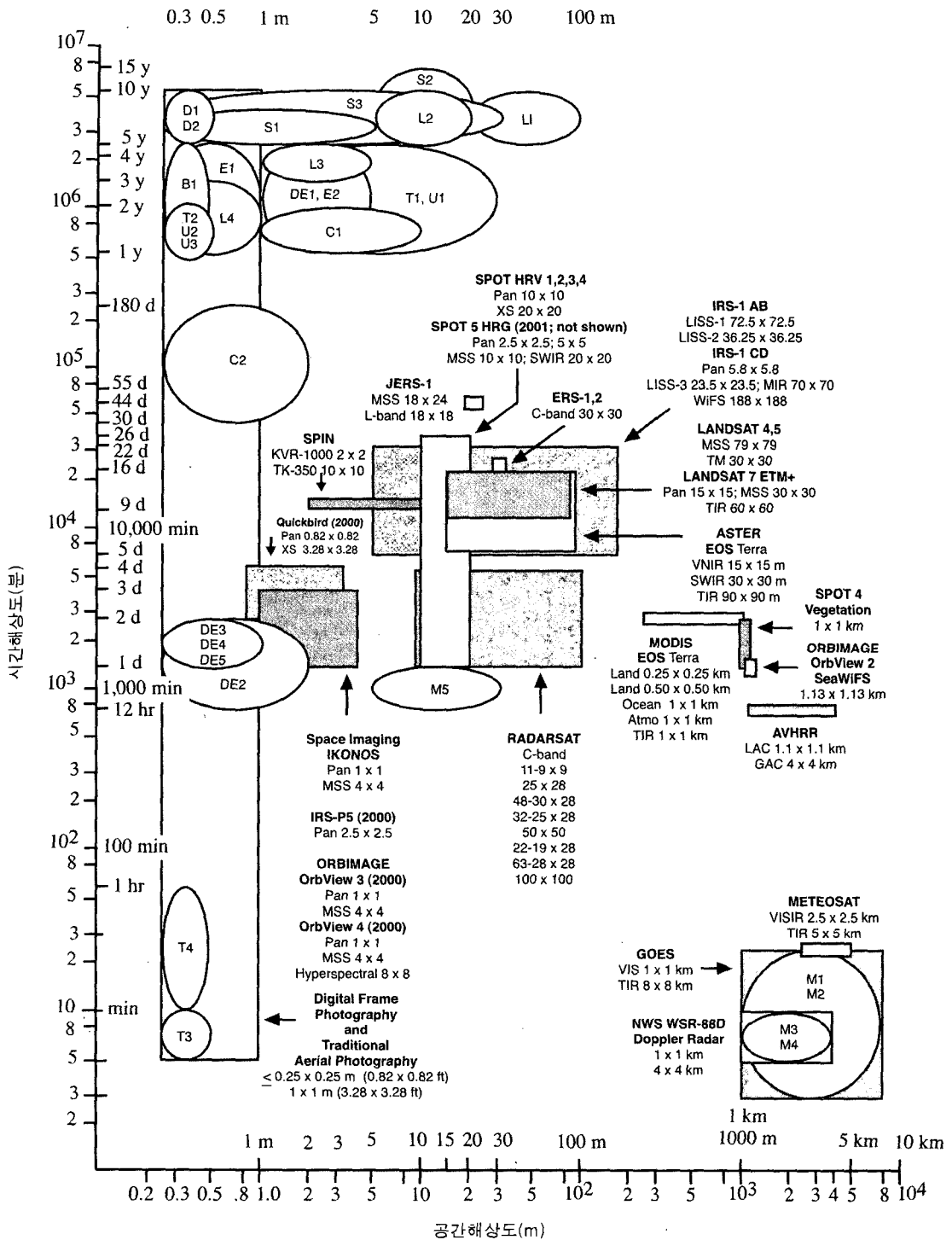


그림 2. 다양한 인공위성영상들의 시간 및 공간 해상도별 분포도(타원형내 기호는 표 1내의 기호와 대별하여 참조)

표 1. 관련 자료를 제공하기 위해 필요한 속성들과 최소 원격탐사 해상도간의 상관관계(채효석, 김성준 등, 2002)

속 성	최소 해상도 요구값		
	시 간	공 간	분 광
토지 이용/토지 피복			
L1-USGS 단계 I	5~10년	20~100m	가시광-근적외-중적외-레이더
L2-USGS 단계 II	5~10년	5~20m	가시광-근적외-중적외-레이더
L3-USGS 단계 III	3~5년	1~5m	전정색-가시광-근적외-중적외
L4-USGS 단계 IV	1~3년	0.25~1m	전정색(흑백)
건물 및 지적			
B1-건물 둘레, 면적, 체적, 높이, 지적정보(부동산 경계)	1~5년	0.25~0.5m	전정색-가시광
교통기반시설			
T1-일반도로 중앙선	1~5년	1~30m	전정색-가시광-근적외
T2-정밀 도로폭	1~2년	0.25~0.5m	전정색-가시광
T3-교통량 연구(승용차, 항공기 등)	5~10분	0.25~0.5m	전정색-가시광
T4-주차 연구	10~60분	0.25~0.5m	전정색-가시광
공익 기반시설물			
U1-일반 공익시설망	1~5년	1~30m	전정색-가시광-근적외
U2-정밀 공익시설물 폭	1~2년	0.25~0.6m	전정색-가시광
U3-전신주·맨홀·지소 위치	1~2년	0.25~0.6m	전정색수치표고모델 작성
D1-대축척 DEM	5~10년	0.25~0.5m	전정색-가시광
D2-대축척 경사도	5~10년	0.25~0.5m	전정색-가시광
사회경제적 특성			
S1-지방인구 추정	5~7년	0.25~5m	전정색-가시광-근적외
S2-지역/전국 인구 추정	5~15년	5~20m	전정색-가시광-근적외
S3-삶의 질	5~10년	0.25~30m	전정색-가시광-근적외
에너지 수요와 보존			
E1-에너지 수요와 생산잠재력	1~5년	0.25~1m	전정색-가시광-근적외
E2-건물 단열재 조사	1~5년	1~5m	열적외
기상자료			
M1-기상예보	3~25분	1~8km	전정색-근적외-열적외
M2-현재온도)	3~25분	1~8km	열적외
M3-청정대기와 강수형태	6~10분	1km	WSR-88D 레이더
M4-약기상 상태	5분	1km	WSR-88D 레이더
M5-도시열섬효과 모니터링	12~24시간	5~30m	열적외
요주의 환경지역 평가			
C1-지속적 민감 환경지역1~2년	1~10m	전정색-근적외-중적외	
C2-동적 민감 환경지역	1~6개월	0.25~2m	가시광-근적외-중적외-열적외
재해 비상대책			
DE1-비상사태 전영상	1~5년	1~5m	전정색-가시광-근적외
DE2-비상사태 후영상	12시간-2일	0.25~2m	전정색-근적외-레이더
DE3-주택 피해 지역	1~2일	0.25~1m	전정색-근적외
DE4-교통 피해 지역	1~2일	0.25~1m	전정색-근적외
DE5-시설, 서비스 피해 지역	1~2일	0.25~1m	전정색-근적외



그림 3. 주요 인공위성 영상별 공간해상도 비교

표 2. 판독 가능한 정보의 공간해상도 비교

구 분		1m×1m	4m×4m	6m×6m	15m×15m	30m×30m
논	경지정리논	●	●	●	●■	●■
	비경지정리논	●	●	■◎	◎	◎
	비닐하우스	●	●	■	◎	◎
밭	멀칭	●	■◎	×	×	×
	밭	●■◎	■◎	◎	×	×
	과수원	■◎	■◎	◎	◎	×
초지	목장	●■	●■	■◎	◎	×
	초지	■◎	■◎	◎	×	×
	골프장	●	●	●	■	■
저수지	소규모	●	●	●	■◎	◎
	중규모	●	●	●	●	●
	보	●■◎	●■◎	■◎	◎	×
용수로	간선	●	●	◎	◎	×
	지선	●	●■	◎	◎	×
	지거	■◎	◎	×	×	×
	식생	●■	■◎	×	×	×
도로	지방도	●	■	◎	×	×
	농도	●	■◎	◎	×	×

* 비교 : (●) 육안판독가능, (■) 탐지가능, (◎) 추정가능, (x) 추정 또는 판독불능

* 비교영상 : (해상도 순서대로) IKONOS-2 Fusion Color, IKONOS-2 MS, KOMPSAT Fusion Color, ASTER VNIR, Landsat 7 ETM+ MS

중양(중간 시간해상도, 중간 공간해상도), ③ 궤도 지상위성(Landsat ETM+, SPOT, Radarsat, IKONOS 등)은 좌측 중상단(저 시간해상도, 고 공간해상도)에 위치한다. 그림 3은 현재 많이 활용되고 있는 IKONOS-2 Pan. & M/S Fusion(1m×1m), IKONOS-2 M/S(4m×4m), KOMPSAT-1 EOC & ASTER VNIR Fusion(6m×6m), Landsat 7 +ETM 영상들의 공간해상도를 비교한 것이다. 표 2는 공간해상도별 추출 가능한 정보를 육안판독 가능, 탐지 가능, 추정 가능, 추정 또는 판독불가의 4가지 항목으로 구분하여 평가한 것이다(홍성민 등, 2004).

이상의 세 가지 해상도(시간, 공간, 분광)를 모두 고려하여 획득하고자 하는 정보에 맞는 인공위성을 선택하여야 한다. 예를 들어, NOAA AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)시리즈 위성영상은 12시간 주기(동일지역을 하루 2회 촬영), 2,700km 관측(촬영)폭, 1.1km 공간해상도(픽셀크기), 5개 분광밴드(적색, 근적외, 3개 열적외), Landsat ETM+(Enhanced Thematic Mapper) 영상은 16일 주기, 185km 관측폭, 칼라 30m/흑백 15m 공간해상도, 8개 밴드(청색, 녹색, 적색, 근적외, 2개 중적외, 열적외, 흑백), IKONOS는 3일 이내 주기, 11km 관측폭, 흑백 1m, 칼라 4m(청색, 녹색, 적색, 근적외) 분광 및 공간해상도로, KOMPSAT-1 EOC(Electro-Optical Camera)는 28일 주기, 17km 관측폭, 6.6m 공간해상도, 1개 밴드(흑백)로 운영되고 있다.

3. 수자원 분야에서의 원격탐사 활용기술

1960년대부터 발사되기 시작한 각종 기상위성은 수자원관련 재해를 야기할 수 있는 집중적인 호우를 미리 찾아내고 그 진행과정을 추적하는데 매우 효과적으로 사용되어 왔다. 이와 더불어 1972년 발사된 미국의 Landsat 위성으로부터 시작하여 프랑스의 SPOT, 인도의 IRS 등 현재 세계 각국의 지구관측 위

성영상은 일정한 주기를 가지고 동일 지역을 반복하여 촬영할 수 있기 때문에, 수자원 관련분야에 높은 활용 잠재력을 가지고 있다.

인공위성영상을 이용한 수자원관련 연구들은 지금까지 대부분 Landsat MSS/TM, JERS-1 SAR, NOAA AVHRR 영상자료를 이용한 연구가 주종을 이루어 왔다. 지난 30년 동안 수자원분야에서 수문분야만 하더라도 많은 연구가 꾸준하게 진행되어 왔다. 그 결과 일반적인 처리과정이 정립되었는데, 이는 영상처리(Image Processing)라는 표현으로 요약할 수 있는 원격탐사자료의 전처리 과정과 후처리 과정을 포함한다. 이 분야에 대한 최근의 연구들은 “Advances in Environmental Remote Sensing”(Danson and Plummer, 1995), “Remote Sensing in Hydrology”(Engman & Gurney, 1991), “Remote Sensing and Geographic Information Systems for Design and Operation of Water Resources Systems”(Baumgartner et al., 1997)에서 찾아볼 수 있으며, 주요 내용으로는 토지피복, 강우, 지표수, 적설분포, 증발산량, 토양수분, 지하수, 농작물 모니터링, 수질 모니터링, RS와 GIS의 통합문제, 수자원관리 등이다. 수자원 재해관련 연구로는 재해 이전과 이후의 영상을 같이 처리함으로써, 재해가 발생한 지역의 지형적 변화특성을 밝히거나 또는 재해로 인한 토양의 손실과 토지이용/수질의 변화 등을 분석하는 경우가 대부분을 이루고 있다. 표 3은 지난 30여년 동안 다양한 인공위성영상을 이용하여 수자원관련 재해(홍수, 태풍, 가뭄, 산사태, 환경오염) 분야에 활용한 전형적인 사례를 정리한 것이다(Takara, 2004).

인공위성영상과 관련한 수자원분야에서의 국내연구로는 지표면 또는 식생분류 관련연구(정종철 등, 1995; 박종화, 1996), 증발산량 관련연구(신사철, 2003; 채효석 등, 2004), 해수면온도 관련연구(정종철, 유신재, 1999), 항공사진을 이용한 하천변화 연구(박근애 등, 2004), 태풍전후 토지피복 변화분석(이미선 등, 2004), 고해상도영상을 이용한 토지피복 분류기준 설정(홍성민 등, 2004), 토지이용의 변화가

표 3. 수자원 재해관련 원격탐사 활용사례

재해	위성영상/센서(해상도)	획득시기	알고리즘, 처리방법	분석내용
홍수, 범람, 토지이용	Landsat TM(30m)	해당시기	최대우도법을 이용한 유역추출	홍수범람지도
	ERS-1 SAR(30m), KOMPSAT-1 EOC(6.6m)	재해전후	영상대비	홍수범람지도
	TRMM/PR	다시기	강우분포와 지표습윤 분석	지표조건 및 홍수
	Landsat TM(30m), NOAA AVHRR(1.1km), ERS-2/SAR, RADARSAT SAR, JERS-1 SAR	다시기	토지피복분류, 영상해석	홍수
	NOAA AVHRR(1.1km)	다시기	토지피복분류	홍수위험지도
	Landsat TM(30m), MOS-1 MESSR(50m)	일정간격(5년, 10년)의 영상	토지피복분류, 홍수유출분석	토지이용의 변화가 홍수에 미치는 영향분석
홍수, 경관	Landsat TM(30m), MOS-1 MESSR(50m)	임의시기	Level slice법을 이용한 지형분류	미세지형 추출 지도화
사면붕괴, 산사태	Airborne SAR(수 m이내)	재해후	경관분석	사면붕괴 지형분석
	Landsat TM(30m)	재해전후	DEM, 식생, 지질자료 합성, 정량화이론	사면붕괴 예측모형, 토지피복분류
	SPOT HRV(20m, 10m), KOMPSAT-1 EOC(6.6m)	재해후	토지피복분류, 식생지수, 경관합성분석	사면붕괴분포도 갱신
	Landsat TM(30m)	재해후	최대우도법, 비율(ratioing) 적용	붕괴지역 추출
	Landsat MSS(80m), Landsat TM(30m), SPOT HRV(20m)	재해전후	토지피복분류, DEM	토지피복 변화 및 사면붕괴 원인분석
태풍, 해일	SPOT HRV(20m)	재해전후	영상대비, 가시해석, 반사복사량, 식생변동분석	해양색 변화탐지, 해안침식추출
	Meteosat-3(10km)	해당시기	영상처리	태풍이동, 구름상층온도, 해수면 온도
수질오염, 적조	NOAA AVHRR(1.1km)	다시기	해수면 온도, 조류 및 해류 분석	적조와 일반 해양조건간의 관계
	Airborne SLAR(30~80m), ERS-1 SAR(30m)	임의시기	오염물질 관측	적조와 기름오염 탐지
	JERS-1 SAR(30m), ADEOS AVNIR(8, 16m)	재해후	가시해석	선박기름유출 탐지
농업, 초기가뭄 탐지 및 감시	NOAA AVHRR(1.1km)	다시기 (일주일동안의 일영상)	식생지수, 주별 16km격자단위 복사온도	빈도분석, 상호작용 이해를 통한 가뭄심도 및 가뭄지속기간 평가

홍수유출에 미치는 영향분석(김성준 등, 2005) 등이 있다.

4. 결론 및 제언

우리나라의 수자원관련 인공위성 영상정보의 활용 능력은 현재 선진국대비 20~30% 수준이라고 할 수 있다. 수자원분야에서 인공위성영상의 대부분의 활용은 수문모형의 입력자료로서 토지피복도를 원활하게 작성하는 수준이라고 할 수 있다. 2000년 들어 시작한 건설교통부 유역조사사업을 통하여 미국의 Landsat 영상을 활용하여 전국적으로 1975년부터 2000년까지 5년 간격의 기본적인 토지피복도(USGS 단계 I급)를 작성하여 이를 보급한 것은 다행스러운 일이라 할 수 있다(<http://www.wamis.go.kr/>).

정부는 2005년 8월 국가과학기술위원회에서 '미래 국가유망기술 21'을 확정하였는데, 21개 핵심분야 중에서 공공성(국가안위·위상제고)을 고려하여 "전 지구 관측 시스템과 국가자원 활용"을 선정한 바 있다. 특히 '우주와 지구', '정보와 지식', '안전', '국토관리 및 사회인프라' 기술분야에서 제안된 기술들 중에는 원격탐사 기술을 중심으로 구성되어 있어, 미래의 원격탐사기술이 수자원 분야에 미치는 영향은 매우 커질 것으로 예상된다. 또한 건설교통부는 2006년 5월 '국토이노베이션기술개발사업'을 추진하면서 건설교통 R&D 혁신로드맵의 "재해예방 및 감지기술 분야"에서 홍수재해 예방시 원격탐사기술이 큰 비중을 차지하는 것으로 제안된 바 있다 (<http://www.kicttep.re.kr/web/index.jsp>).

현재 원격탐사 기술개발을 위한 다양한 위성영상 분석소프트웨어(PG-STEAMER, ERDAS, ER-MAPPER, IDRISI 등)들이 적절한 가격으로 개발되어 있으므로, 분석특성에 대한 물리적인 환경은 갖추어져 있다고 볼 수 있다. 이제 수자원분야에서도 원격탐사관련 신규 교과목 개설(또는 보강) 및 교육을 통하여 인적자원 확보를 위한 노력이 요구된다. 앞으로

수자원관련 재해(홍수, 태풍, 가뭄, 산사태, 수질오염, 수생태계 파괴 등) 분야에 정부의 과감한 투자를 통하여 기초적인 기반기술과 원천기술이 지금부터 지속적으로도 확고하게 개발되기를 기대해 본다.

참고문헌

- 국가 수자원관리 종합정보시스템 <http://www.wamis.go.kr/>
 김성준, 박근애, 전무갑(2005). 토지이용의 변화가 홍수 유출에 미치는 영향분석, 한국수자원학회논문집, 제 38권 4호, pp. 301~311.
 박근애, 이미선, 김현준, 김성준(2004). 항공사진을 이용한 하천형태 및 하천부지 변화추세 분석, 대한토목학회논문집, 제24권 5D호, pp. 815~821.
 박종화(1996). 수문해석을 위한 광역유역내의 토양 및 식생정보 추출방법에 관한 연구주요 위성리모트센싱을 이용하여, 한국농공학회지, 제38권 2호, pp.123~132.
 신사철, 김철준(2003). 우리나라에서의 가뭄 발생 지역 판별을 위한 식생지수(NDVI)의 적용성에 관한 연구, 한국수자원학회논문집, 제36권5호, pp.839~849.
 유신재, 정종철(1999). 해양환경관측을 위한 원격탐사의 활용과 그 전망, 대한원격탐사학회지, 제15권 3호, pp.277~288.
 이미선, 박근애, 김성준(2004). 태풍 RUSA 전후의 토지피복변화 분석 기법 연구, 대한토목학회논문집, 제 24권 5D호, pp. 823~828.
 장동호, 지광훈, 이봉주,(1995). Landsat 자료를 이용한 금강하류의 총적주 환경변화에 관한 연구, 대한원격탐사학회논문집, 제11권 2호, pp.59~73
 정종철, 유신재,(1999). Landsat TM을 이용한 표층수온 분석 오차, 대한원격탐사학회지, 제15권 1호, pp.1~8.
 채효석, 김성준, 고덕구(2004). 원격탐사 자료를 이용한 미계측 유역의 수문정보 추출, 한국수자원학회논문집, 제37권3호, pp.44~49.
 채효석, 김성준, 김광은, 김영섭, 이규성, 조기성, 조명희(2002). 환경원격탐사, 시그마프레스.

한국건설교통기술평가원 <http://www.kictep.re.kr/web/index.jsp>
홍성민, 정인균, 김성준(2004). IKONOS 영상자료를
이용한 농업지역 토지피복 분류기준 설정, 대한원격
탐사학회지, 제20권 4호, pp. 253~259.

Baumgartner, M.F., Schultz, G.A. and Johnson,
A.I.(1997), "Remote Sensing and Geographic
Information Systems for Design and Operation
of Water Resources Systems." Proceeding of
the International Association of Hydrological
Sciences, Edited by Baumgartner, M.F.,
Schultz, G.A. and Johnson, A.I.

Danson, F.M. and Plummer, S.E.(1995), "Advances

in Environmental Remote Sensing", John Wiley
& Sons.

Engman E. T., Gurney R. J.(1991), "Remote Sensing
in Hydrology." Chapman and Hall, London.

Takara, K.(2004). "Current situation and
problems in application of remote sensing to
disaster monitoring." Proceedings of the
International Symposium in Monitoring,
Prediction and Mitigation of Disasters by
Satellite Remote Sensing, Edited by Takara,
K., Tachikawa Y., and Kojima, T., Hyogo,
Japan, pp. 185~199. 