

수문모형 및 수자원 관리를 위한 원격탐사 기술

이규성 (인하대학교 지리정보공학과 교수)

1. 머리말

그 동안 언론 매체를 통하여 한반도 지역의 위성사진이 소개되면서 등장하는 ‘원격탐사(remote sensing)’라는 용어가 가져다 주는 느낌은 막연히 인공위성에서 촬영된 영상을 다루는 새로운 기술이란 인상이었을 것이다. 대개의 사람들이 그렇듯이 신문에 실린 위성사진을 보며 자신의 전문 분야와 직접적으로 연관된 활용 가능성을 진지하게 따져 본 이는 그리 많지 않았으리라 생각된다. 국내에 원격탐사란 용어가 소개된지도 벌써 20여년이 흘렀고, 그 동안 여러 분야에서 산발적으로 원격탐사 기술을 활용하려는 시도가 이어져 오고 있다. 물론 수자원 관리와 관련된 원격탐사 활용연구도 몇 번의 시도가 있어 왔지만, 전통적인(?) 수자원전문가 그룹의 대부분은 그러한 기술이 있는가보다 하는 정도에 머물고 있지, 실제로 이러한 기술이 자신의 전공 분야와 관련하여 얼마만큼의 도움이 될 수 있을까 하고 진지하게 고려해 볼 기회는 많지 않았으리라 믿는다. 이렇게 귀중한 지면을 빌어 원격탐사를 소개하는 이 글이 과연 얼마만큼 수자원전문가들의 마음을 움직일 수 있을지 여부는 자신할 수 없지만, 원격탐사 기술이 수자원 분야에서 활용될 수 있다는 가능성이 조금이라도 인식되고 더 나아가 차후에 이러한 기술 분야를 활용하고자 할 때 하나의 시발점으로 사용될 수 있기를 바랄 뿐이다.

수자원 관리와 관련된 수많은 종류의 수학적 모형을 포함하여, 현실 세계에서 발생하는 여러 가지 자연현상의 과정을 이해하고 그 결과를 예측하고자 하는 모델링에 있어서 자주 언급되는 용어 중에 “garbage

in - garbage out”이란 말이 있다. 이는 곧 모형의 적용에 있어서 요구되는 입력 변수에 관한 자료의 결핍과 부정확성 등에 어려움이 많고, 따라서 모형에 의하여 예측되는 결과 또한 실질적인 해석이 곤란한 경우를 지칭할 때 자주 사용되는 말이다. 여러 가지 수문학적 제반 현상을 이해하기 위한 모형에 있어서 가장 큰 어려움 중 하나는 모형을 적용하기 위한 보다 정확하고 충분한 양의 입력자료가 절대적으로 부족하다는 점을 꼽을 수 있다. 모델링에 의하여 예측되는 수치에 대한 정확도와 신뢰도 문제는 끊임없는 논의의 대상이었고, 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 좀 더 세련되고 우수한 수학적 모형이 개발되어야 하는 동시에 모형매개변수에 대한 보다 정확하고 충분한 양의 자료가 제공되어야 할 것이다.

즉 현재 수문학적 현상을 이해하기 위한 여러 모형들이 garbage out의 문제점을 가지고 있다면, 이러한 문제점을 보완하기 위한 하나의 방안으로서 좀 더 나은 garbage in을 생각해 볼 수 있다. 수문학과 수자원 관리를 위한 원격탐사기술의 활용은 결국 질적으로나 양적으로 보다 향상된 자료를 획득하기 위한 수단으로서 설명할 수 있을 것이다. 가령 예를 들어, 대부분의 유출모형에 있어서 요구되는 유역의 특성(지형, 토지이용, 토양, 식생 등)에 관한 매개변수들이 유역 전체를 평균한 몇몇의 대표값에 의하여 입력되는 것이 일반적이다. 지형, 토지이용, 토양, 식생 등과 같은 매개변수가 가지고 있는 공간적 그리고 시간적인 변이를 감안한다면 유역 내에서 이러한 인자들을 몇 개의 대표값만으로 입력하였을 경우 그 예측 결과에 대한 의문은 당연할 것이다. 원격탐사 기술은 결국 수자원

관리를 위한 대상 지역의 제반 인자에 관한 공간적·시간적 변이를 적절히 설명해 줄 수 있는 대안으로서 이해되어야 하며, 수문학적 현상을 이해하기 위하여 요구되는 실 상황의 자료를 보다 현실성 있고 정확하게 제공할 수 있는 기술로서 인식되어야 한다.

2. 원격탐사의 이해

2.1 원격탐사의 원리

원격탐사(remote sensing)의 기술 영역은 크게 위성영상·항공사진촬영·물리탐사·해저탐사 등의 수단에 의하여 목표물에 관한 정보를 획득하는 모든 기술을 포함하는 광의의 개념과 단순히 항공기 및 인공위성에 탑재된 전자기 센서에 의하여 얻어지는 디지털 영상자료를 이용하여 지구 표면에 관한 정보를 추출하는 협의의 개념으로 나누어지는데, 일반적으로 원격탐사는 협의의 개념으로 자주 사용되고 있다. 원격탐사의 과정은 지구 표면으로부터 반사 또는 방사되는 전자기에너지(electromagnetic radiation)를 센서를 통하여 감지하여 영상자료로 변환하는 자료획득(data acquisition) 단계와 수신된 영상자료를 처리·분석하여 대상물의 물리화학적 특성에 관한 정보를 추출하는 자료분석(data analysis) 단계로 구분된다.

인공위성 원격탐사는 먼저 현지측정 및 항공사진에 비하여 훨씬 넓은 지역을 한 번에 관측할 수 있다는 이점을 가지고 있다. 수자원과 관련된 자료의 수집이 대개 넓은 공간에 걸쳐 실시되며, 이에 따라 수만 평방 킬로미터 이상 되는 광범위한 지역의 영상자료를 제공할 수 있는 원격탐사는 중요한 관측 수단으로 이용될 수 있다. 광범위한 지역을 관찰할 수 있다는 이점과 함께, 원격탐사는 육안으로 감지하기 어려운 물체나 현상들을 탐지·인식할 수 있는 기능을 가지고 있다. 원격탐사 센서에 의해 감지되는 파장은 가시광선을 포함하여 육안으로 볼 수 없는 근적외선부터 열적외선 및 마이크로웨이브까지 넓은 영역에 걸쳐 있으므로, 다양하고 보다 세부적인 정보의 획득이 가능하

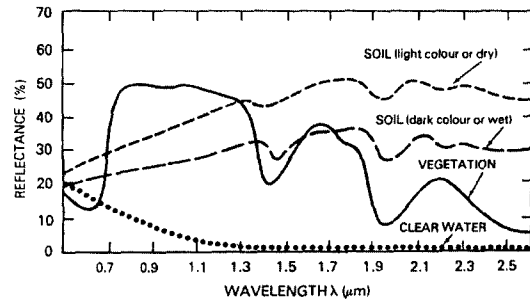


그림 1. 주요 지표물의 분광 반사특성

다.

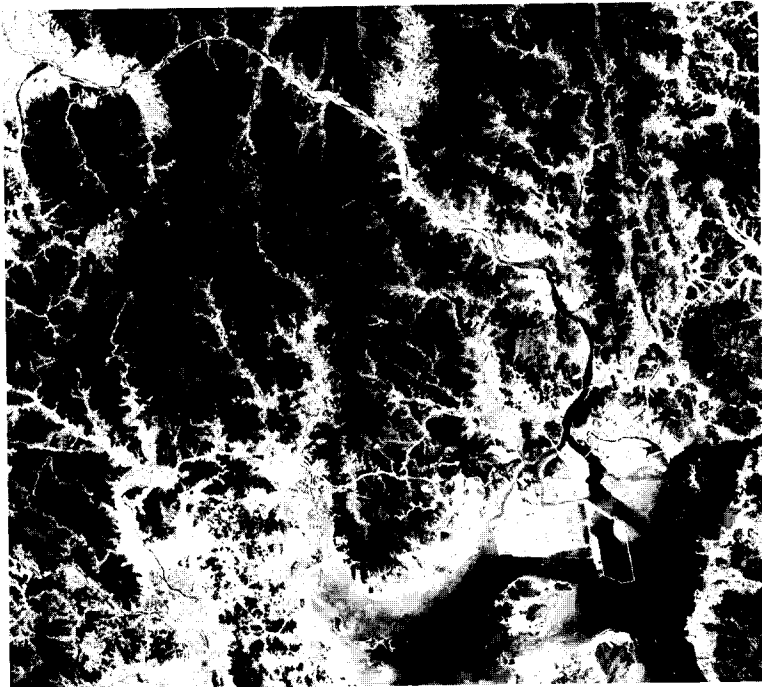
현재 사용 중인 대부분의 원격탐사자료는 지구 표면에서 반사되는 태양 에너지를 기록한 것인데, 가시광선(0.4-0.7 μ m)을 포함하여 육안으로 볼 수 없는 적외선 및 마이크로웨이브 영역에서 영상자료를 얻고 있다. 따라서 다양한 파장 영역에서 얻어지는 원격탐사자료를 효과적으로 분석하고 이용하기 위해서는 각 파장 영역에서 주요 지표물이 어떠한 반사특성을 가지고 있는가를 이해하여야 한다. 그림 1은 중요한 지표물의 파장에 따른 반사정도를 보여주는 분광반사특성(spectral reflectance) 곡선이다. 물론 그림에서 나타나는 반사특성은 환경 조건에 따라 다양한 변이를 가지고 있지만, 주요 지표물의 기본적인 분광반사특성을 이해한다면 훨씬 효율적인 원격탐사자료의 활용이 될 수 있다.

녹색 식물은 가시광선 영역에서 비교적 낮은 반사도를 가지고 있으나, 근적외선 영역에 이르러서는 다른 물체들과 비교하여 매우 높은 반사를 가지고 있다. 물론 각 파장영역에서의 반사 정도는 식물의 종류, 엽량, 활력도 등에 따라 다양한 변이를 보이지만, 가시광선 영역에 비하여 월등히 높은 반사특성은 식물의 대표적인 반사 특징이다. 반면에 물은 일반적으로 가시광선에서 비교적 낮은 반사를 보이고 있으며, 가시광선을 벗어나 적외선 파장 영역에서는 태양에너지의 대부분이 물 표면에 의하여 흡수됨으로 반사되는 에너지가 거의 없는 특성을 가지고 있다. 따라서 적외선 영상에서 물은 아주 검게 나타나는데, 정확한 하천의 물줄기를 조사하거나 수물 면적 등을 구하기 위해서는 적외선 영상이 가장 효과적이라 할 수 있다.

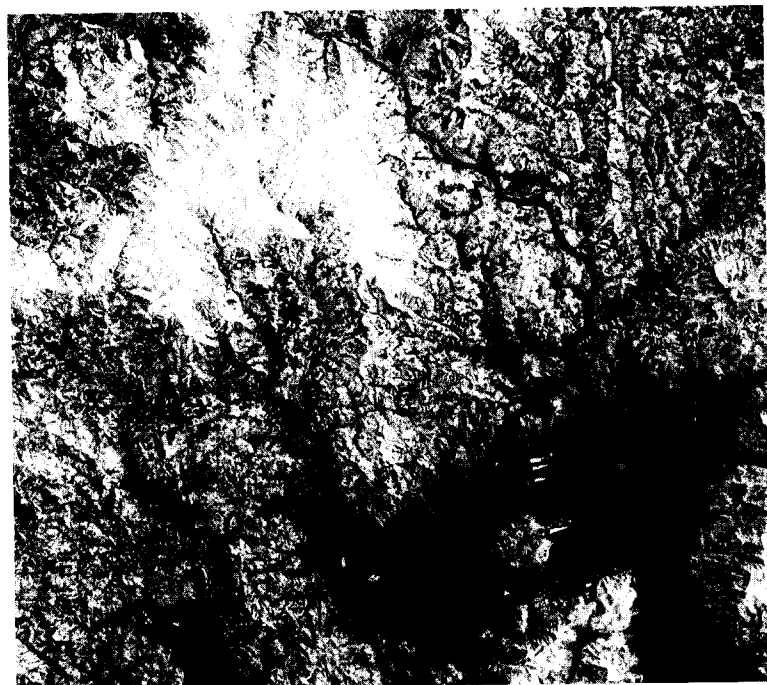
그림 2는 두 개의 다른 파장 영역에서 얻은 인공위성영상인데, 가시광선 영상에서 구별하기 어려운 육지와 바다와의 경계나 비교적 좁은 하천의 정확한 흐름 등이 적외선 영상에서는 확연히 나타남을 볼 수 있다. 또한 산림의 경우 적외선 영상에서는 식물의 높은 반사에 따라서 가시광선 영상과 비교하여 아주 밝게 나타나고 있다. 이와 같이 동일한 지역에 대하여 여러 파장에서 서로 다른 영상을 얻음으로써, 지표물에 대한 다각적인 분석과 다양한 정보의 획득이 가능하게 된다. 토양은 물이나 식물에 비하여, 파장영역에 상관없이 대체로 일정한 반사를 보이는 특성을 가지고 있지만, 토양의 종류에 따라서 식물보다 아주 높은 반사도를 가진 모래부터 물에 가깝게 아주 낮은 반사도를 가진 진흙에 이르기까지 매우 다양한 종류가 있다.

2.2 위성영상자료

용도에 적합한 원격탐사자료의 선택에 있어서 우리는 흔히 영상자료의 해상도(resolution)를 그 기준으로 삼는 경우가 많다. 일반적으로 원격탐사 영상자료의 해상도라면 항공사진의 축척과 유사한 개념으로 영상에서 인식될 수 있는 최소 단위 면적의 공간분해능(spatial/ground resolution)을 지칭하지만, 이러한 공간해상도와 함께 동일한 지역을 반복해서 촬영할 수 있는 시



(a) 가시광선 (0.52 - 0.60 m)



(b) 근적외선 (0.76 - 0.90 m)

그림 2. 남해안 지역(광양만)의 파장별 Landsat 인공위성 영상

표 1. 원격탐사 영상자료의 해상도

해 상 력	내 용	예
Spatial resolution	영상자료가 가진 지상분해능력, 즉 얼마만큼 작은 물체를 식별할 수 있는지를 나타내는 최소 단위 면적으로 표현	Landsat TM - 30m SPOT - 20m/10m AVHRR - 1km KOMPSAT - 6.6m
Spectral resolution	센서가 감지할 수 있는 파장영역의 폭과 종류의 많고 적음	Landsat TM - 7 bands SPOT - 3 bands
Radiometric resolution	센서가 동일 지역을 반복하여 촬영할 수 있는 주기	AVHRR - 10 bit TM - 8 bit MSS - 6 bit
Temporal resolution	센서가 하나의 지상해상력 범위에서 감지한 에너지의 민감도	AVHRR - 2회/1일 TM - 1회/16일 MSS - 1회/26일

간적 간격을 관측주기(temporal resolution), 센서가 감지할 수 있는 반사에너지의 민감도를 표시하는 광학적 분해능(radiometric resolution), 그리고 감지할 수 있는 파장 영역의 폭과 종류에 관계 있는 분광력(spectral resolution) 등이 있다(표 1).

민간 목적의 원격탐사 활용은 미국에서 발사된 Landsat 위성과 함께 시작되었다고 할 수 있고, 이제 25년이 넘는 기간 동안 자료 처리 및 응용 기술 개발에 있어서 꾸준한 진전을 가져왔다. Landsat 위성은 1972년 제 1호가 발사된 이래 현재 5호 위성에 이르기까지 인공위성 원격탐사의 대표적인 자료 공급체로서 그 역할을 충실히 수행해 오고 있고, 양질의 자료 공급을 위한 비교적 안정된 체계를 갖추고 다양한 응용 분야에서 널리 활용되고 있다. Landsat의 성공적인 운영과 함께 원격탐사에 대한 관심이 높아졌고, 이에 따라 본격적인 상업 목적의 원격탐사 시장을 겨냥하여 1986년 프랑스를 주축으로 한 유럽국가에서 공간분해능이 Landsat보다 뛰어난 영상자료를 얻을 수 있는 SPOT 위성을 발사하였다. SPOT 위성에서 얻어지는 영상자료는 Landsat 영상보다 높은 공간분해능을 갖추고 있을 뿐만 아니라, 지도 제작에 사용되는 항공사진과 동일한 성격의 입체영상을 얻을 수 있는 장점이 있다. 고해상도의 입체영상자료는 지리정보시스템(GIS)의 기본적인 공간자료라 할 수 있는 수치고도자료(digital elevation model - DEM)를 제공할 수 있으므로, 그 활용의 범위가 날로 확산되고 있다.

Landsat과 SPOT 위성에서 공급되는 원격탐사 영

상자료가 주로 육지를 대상으로 한 관측 및 지도 제작에 많이 사용된다면, 미국 해양대기청(NOAA) 위성에서 공급되는 영상자료는 그 대상이 보다 넓은 지역의 관측을 주목적으로 활용되고 있다. NOAA 위성에서 얻어지는 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) 영상자료는 해양과 대기 관측이 주목적이지만, 대륙 및 지구 전체의 식생 분포 및 변화 감시에 적합한 자료로서 지구환경과 아주 밀접한 관계를 가지고

활용되고 있다.

원격탐사 인공위성의 경우 대부분 북극과 남극을 축으로 지구의 자전 방향과 직각으로 하여 지구를 돌고있는 극궤도 위성이기 때문에 하나의 위성에서 지구의 거의 모든 표면을 촬영할 수 있다. 따라서 원격탐사자료의 획득을 위하여 반드시 자국의 인공위성을 갖출 필요는 없지만, 우주기술개발과 독자적인 정보 획득 능력의 보유를 위한 정책적인 목적으로 미국과 유럽이외에 세계 여러 나라에서도 원격탐사기술의 개발은 활발히 진행되어 오고 있다. 지정학적으로 우리와 밀접한 관계를 가지고 있는 일본의 경우 지난 1980년대 후반부터 해양 및 지구 자원 탐사 목적으로 한 다수의 원격탐사 위성을 발사하여 영상자료를 공급하고 있다. 일본의 원격탐사 위성자료는 우리나라에 설치된 수신소에서 비교적 쉽게 얻을 수 있는 영상자료이며 따라서 우리에게 많은 활용 가능성을 가진 자료라 할 수 있다. 아래 표2는 현재 활용될 수 있는 인공위성 자료의 종류와 특성을 설명하고 있다.

물론 위와 같이 현재 이용 가능한 원격탐사자료 이외에도 향후 1-2년 내에 위의 자료와 비교하여 월등한 공간해상도를 갖춘 본격적인 상업 목적의 영상자료가 공급될 예정이다. 이러한 자료들은 지리정보시스템(GIS)의 본격적인 활용과 함께 급증하는 고해상도 영상의 수요에 부응하여 항공 사진과 대등한 수준의 높은 해상력의 갖춘 영상자료로서, 냉전 체제의 붕괴에 따른 군사 목적의 원격탐사 기술이 민간에 공개될 수 있는 시대적 상황 변동에 따라 가능하게 되었

표 2. 현재 운영중인 주요 원격탐사 위성자료의 종류 및 특성

국가	인공위성	년도	탑재 센서	파장영역	해상력	관측주기	촬영폭
미국	Landsat	1972	MSS TM	V, NIR V, NIR, MIR, TIR	80m 30m	16-18일	185km
	NOAA	1970	AVHRR	V, NIR, TIR	1.1km	12시간	2400km
프랑스	SPOT	1986	HRV	V, NIR, Pan.	10-20m	26일	60km
일본	MOS	1987	MESSR VTIR	V, NIR, TIR 900m	50m 1500km	multimode	100km
	JERS	1992	OPS SAR	V, NIR, MIR Microwave	18m	44일	75km
유럽	ERS	1991	SAR	Microwave	30m	30일	100km
캐나다	RADARSAT	1995	SAR	Microwave	10m -	multimode	50km -

표 3. 고해상도 인공위성 원격탐사자료

국가/주관기관	인공위성	파장영역	해상력	사시기
미국 NASA	Clark	Pan, NIR	3m, 15m	1997
미국 Earthwatch	EarlyBird QuickBird	Pan, NIR	3m, 15m	1997
			1m, 4m	1998
미국 Space Imaging	CARTERRA	Pan, NIR	1m, 4m	1998
미국 OrbImage	OrbView	Pan, NIR	1-2m, 8m	1998
일본 NASDA	ADEOS	Pan, NIR	8m, 16m	1996
한국 과학기술처	KOMPSAT	Pan	6.6m	1999
		800m	Pan, NIR	

다. 향후 2년 이내에 항공사진에 버금가는 높은 해상력을 갖춘 고해상도 영상자료가 여러 민간 기업 또는 국가에 의하여 공급될 예정이다 (표 3).

우리 나라에서도 우주개발중장기 사업의 하나로 1999년에 최초의 지구탐사 목적의 자국 위성을 발사할 예정으로 있다. 다목적실용위성 1호로 발사될 아리랑(KOMPSAT-1) 1호에서는 지도 제작과 환경 감시의 목적을 수행하게 될 두개의 센서가 탑재된다. 주로 접근이 어려운 지역의 지도제작을 위하여 고안된 EOC(Electronic Optical Camera)의 경우 비교적 고해상도의 흑백 입체영상을 제공하게 되며, 현재 미국의 NOAA위성에서 공급되는 AVHRR자료와 유사한 특성을 가진 LRC(Low Resolution Camera) 센서의 경우 한반도 전 지역의 해양과 생태계 관측 및 모니터링을 위한 중요한 자료를 공급할 수 있을 것이다.

2.3 원격탐사자료 분석

원격탐사자료의 활용과 관련하여 마지막으로 언급

될 사항은 자료분석 과정이다. 원격탐사 영상자료는 컴퓨터로 처리가 가능한 디지털 자료의 형태로 획득되므로, 자료의 효율적인 활용을 위해서는 이 자료의 처리를 위한 영상처리 기법에 대한 이해가 수반되어야 한다. 원격탐사 영상자료를 항공사진과 같이 육안에 의한 판독을 통하여 필요한 정보를 취득하는 경우도 있지만, 대개의 경우 컴퓨터 영상처리 기법을 통하여 '영상자료'를 '공간정보'로 변환하게 되는 것이다. 영상처리 기법에는 관심 대상인 지표물에 관한 신호를 강조하여 판독 및 분석을 용이하게 하는 영상강조(image enhancement), 영상자료를 다른 지도 혹은 GIS내의 공간자료와 함께 중첩하여 처리하기 위하여 반드시 선행되어야 하는 기하학적 보정(geometric correction), 그리고 지표물을 자동으로 분류하여 토지이용도 등을 제작할 수 있는 영상분류(image classification) 등이 있다.

3. 수자원관리를 위한 원격탐사

3.1 수문모형을 위한 매개변수 추정

수문학적 모형은 대상 유역 전체에 대하여 매개변수마다 하나의 대표값을 부여하여 분석하는 집중형 모형(lumped model)과 대상유역을 수문학적 특성에 따라 여러 개의 소유역으로 분할하여 각 소유역별로 매개변수값을 산정하여 분석하는 분산형 모형

(distributed model)으로 나눌 수 있다. 두 유형 모두 정도의 차이는 다소 다를지라도 매개변수의 산정에 있어서 수문학적 특성을 고려하는 최소의 단위는 하나의 유역이 되는 셈이고, 유역 내에서의 매개변수의 공간적 변이는 없는 것으로 가정된다. 결국 하나의 유역에서 각각의 매개변수에 대한 공간적 변이를 제대로 설명하기 위해서는 지도를 이용하거나 현지조사 등을 통하여 방대한 양의 자료가 필요하게 되며, 현실적으로 이러한 입력자료의 산정은 거의 실시되지 않고 있다. 수문모형에 있어서 원격탐사 기술은 여러 가지 매개변수에 대하여 공간적 변이를 충분히 나타낼 수 있는 보다 정확한 입력자료를 산출할 수 있는 방안으로 사용될 수 있다. 원격탐사자료를 이용하여 추출이 가능한 매개변수로는 강우, 토지이용 및 식생, 지형, 증발산 등을 꼽을 수 있다.

정확한 강우지역과 강우량의 산출은 수문학적 측면에서 가장 중요한 자료 중 하나다. 우량계에 의한 강우량의 산정은 측정지점에 대해서는 정확한 값을 얻을 수 있지만, 측정지역의 공간적 분포에 따라 측정지점 이외의 지역에 대한 추정에는 한계가 있다. 원격탐사기술을 이용한 강우량의 공간적 분포 측정은 지상 레이더와 인공위성에서의 관측으로 나뉜다. 인공위성을 이용한 강우분포와 강우량의 산정은 아직까지 현지측정과 같은 직접적인 측정치를 얻기에는 현실적으로 한계가 있지만, 비교적 넓은 지역을 대상으로 한 강우량의 공간적 분포를 추정하기 위한 접근은 다양한 위성자료를 이용하여 활발한 연구가 진행 중이다. 원격탐사기술을 통하여 공간적·시간적 변이를 보여주는 강우량을 추정하기 위한 접근은 기상위성(NOAA, GOES, GMS, Meteosat 등)에서 얻어지는 가시광선 및 적외선 영상과 지상 레이더자료를 복합적으로 활용하는 방향으로 시도되고 있으며, 향후 수 년 이내에 선보이게 될 종합적인 지구관측시스템(Earth Observing System - EOS) 계획에 의한 다양한 관측체계가 갖추어지면 보다 정확한 강우 측정이 가능하리라 예상된다.

토지이용 또는 토지피복 현황은 강우의 침투, 증발산, 토양침식에 영향을 미치는 인자이며, 아울러 대다

수의 수문모형에 있어서 중요한 매개변수의 하나로 취급된다. 원격탐사 영상자료는 넓은 면적의 유역에서 토지피복 형태의 공간적 분포에 대한 정보를 비교적 정확하고 쉽게 제공할 수 있으며, 수문모형에 있어서 가장 빈번하게 사용될 수 있는 위성영상자료의 활용분야라 할 수 있다. 위성영상자료는 컴퓨터에서 처리가 가능한 디지털자료의 형태이므로, 토지피복형에 관한 정보는 영상처리기법을 통한 자동 분류에 의하여 얻어지게 된다. 위성영상자료에서 분류 가능한 토지피복형 등급은 종종 수문모형에서 요구되는 토지이용등급과 차이가 있을 수 있다. 가령, 미국 토양보존국(Soil Conservation Services - SCS)의 수문모형에서 요구하는 토지이용 등급과 비교하여, 위성자료에서 구분이 가능한 등급은 이보다 더욱 세분하여 분류할 수 있는 경우(산림을 침엽수림과 활엽수림으로 나누어 분류)가 있고 그와 반대로 수문모형에서 요구하는 토지이용등급에 못 미치는 경우도 있게 된다. 수문모형을 위한 토지이용의 분류는 대상 유역의 물리적, 지역적 환경에 따라 다양하게 나타날 수 있으며, 따라서 지역적 특성에 맞는 토지이용 등급을 설정하여 위성자료로부터 추출할 수 있는 최적의 정보를 활용하는 방향으로 수문모형의 개발이 요구된다.

강우에 의한 유출량의 추정에 있어서 가장 영향을 미치는 매개변수로서 유역의 지형적 특성을 꼽을 수 있다. 수문모형을 위한 유역의 경계, 면적, 형상, 사면의 경사와 방위 등에 관한 자료는 기존의 지형도를 이용하여 입력치를 산정하고 있다. 물론 유역의 지형적 특성을 나타내는 매개변수의 추정에는 유역 전체 또는 소유역으로 구분하여 하나의 값을 부여함으로써, 지형의 공간적 변이를 구체적으로 나타내는 데에는 여러 제한이 있다. 원격탐사자료를 이용한 지형자료의 획득은 항공사진측량을 통한 지형도 제작과 같은 원리로 인공위성에서 얻어지는 디지털 입체영상자료를 컴퓨터에서 처리하여 3차원의 고도자료를 추출할 수 있는 수치사진측량(softcopy photogrammetry)을 통하여 이루어질 수 있다. 수치사진측량 기술은 향후 1-2년 내에 선보이게 될 고해상도 위성영상과 함께 접근 불능지역이나 기존 지형도의 갱신이 필요한 지역을

대상으로 가장 최신의 디지털 고도자료를 직접 얻을 수 있는 중요한 기술로서 활발한 연구가 진행 중에 있다. 고해상도 입체위성영상을 이용하여 추출이 가능한 수치고도자료(DEM)를 이용하면, 지형도에서 인식할 수 있는 국소적인 지형 인자의 산출이나 유역의 경계, 수계망의 분포 등 유역의 지형적 특성에 관한 매개변수를 효과적으로 산정할 수 있다.

수면 또는 토양표면으로부터 수분의 증발이나 식물의 호흡과 광합성 과정을 통한 수분의 증발산은 저수량 변화, 관개, 강우유출 등과 관련하여 중요한 매개변수가 될 수 있으나, 넓은 지역을 대상으로 한 장기적인 증발산량의 추정은 어려움이 많다. 원격탐사자료만을 이용한 증발산량의 산정은 직접적인 측정보다는 주로 기상자료와 병행하여 넓은 지역을 대상으로 한 증발산량의 추정에 사용될 수 있다. 현존하는 위성자료를 이용한 증발산량의 추정을 위하여 도출 가능한 인자로는 표면온도, 토양표면의 수분함량, 식생피복, 태양의 복사에너지 등이 있다. 이러한 인자들에 관한 공간적 분포는 열적외선영상, 가시광선 및 적외선 영상, 그리고 마이크로웨이브 방사자료 등이 있다.

3.2 수면 맵핑 및 홍수 특성 분석

영상자료에서 수면을 찾아내는 것은 유로의 지형적 위치나 물의 분광반사특성을 이용하면 비교적 용이한 작업이라 할 수 있다. 앞의 그림 1에서 관찰되었듯이 대략 0.7 m 보다 긴 적외선 파장에서 물의 반사율은 매우 낮아 다른 지표물과 쉽게 구별되므로 위성영상자료에서 물 표면은 정확하게 분류해낼 수 있다. 위성영상을 이용한 수면의 자동 인식 및 분류는 최초의 지구자원탐사위성인 Landsat위성이 발사된 이래 비교적 자주 이용되어온 활용분야로 꼽을 수 있다. 위성영상에서 인식될 수 있는 물 표면의 최소 면적은 영상자료의 공간해상도와 직접적으로 연관되어 있지만, 하천과 같이 연결되어 있는 경우와 소규모 저수지나 호수와 같이 육지에 둘러 쌓여 독립적으로 분포하는 경우에는 자동으로 인식될 수 있는 정도에 차이가 있다. 일반적으로 저수지의 경우 영상자료의 공간해상도보다 2-3배 넓은 면적을 가져야만 정확히 인식될 수 있

는 반면, 폭이 5m에 불과한 하천이라도 30m의 해상력을 가진 Landsat Thematic Mapper(TM) 영상자료에서 비교적 정확하게 인식될 수 있는 차이점을 보여주고 있다. 하천 수면의 경우는 영상에 나타나는 각 화소의 분광반사치 이외에도 하천이 위치한 주변 지형과의 관계 등이 전체적인 판독에 영향을 미치기 때문에 호수나 저수지보다 비교적 용이하게 판별될 수 있다.

위성영상에서 물 표면이 비교적 쉽게 판별될 수 있는 기본적인 특성을 감안한다면, 홍수로 인한 침수지역을 찾아내어 침수지역의 정확한 지도를 신속히 제작하고, 침수 현황에 대한 분석을 위한 도구로서 원격탐사자료는 매우 유용하게 사용될 수 있다. 장마 기간에 맞추어 획득된 원격탐사 영상자료를 이용하여 침수지역에 대한 직접적인 분석을 하는 방법과 함께, 침수이전과 이후의 영상을 병용하여 침수가 예상되는 범람원에 대한 특성을 간접적으로 분석하는 방안이 있을 수 있다.

반면에 위성영상을 이용한 직접적인 홍수 모니터링에 있어서 가장 어려운 점은 필요한 시기의 영상자료를 제대로 획득할 수 없다는 데 있다. 비록 위성영상자료에서 수면을 인식하는 것은 매우 용이한 사실이나, 홍수와 같이 비교적 짧은 기간에 발생하는 현상을 적기에 포착하기 위해서는 현재의 인공위성들이 공급하는 영상자료의 촬영주기는 매우 한정되어 있다. 원격탐사 인공위성의 대부분은 지구의 양 극점을 축으로 한 극궤도(polar orbit)를 돌고 있기 때문에 지구의 자전에 따라 지구표면의 거의 모든 지역을 촬영할 수 있으나, 한 번 촬영해 나가는 주사폭이 한정되어 있기 때문에 동일지역을 반복하여 촬영할 수 있는 관측주기는 12시간부터 44일에 이르기까지 다양하다. 가장 짧은 촬영 주기를 가지고 있는 NOAA위성의 AVHRR자료는 공간해상도가 1km이므로 국지적인 침수 지역을 파악하기에는 적합하지 않다. 국지적인 홍수 현상을 분석하기에 적합한 영상을 제공할 수 있는 Landsat, SPOT, JERS, IRS 등의 인공위성들은 촬영주기가 대략 14일에서 44일에 걸치었으므로 특정한 시점의 홍수 상황을 적기에 포착하기에 쉽지 않

고, 게다가 운이 좋아 홍수 상황이 발생한 날에 인공 위성이 그 지역을 통과한다고 할지라도 구름에 가려져 있을 때 획득한 영상은 소용이 없게 된다.

물론 현재 여러 종류의 원격탐사 위성들이 세계 각국에 의하여 운영되고 있고, 또한 앞으로 많은 위성들이 발사 예정으로 있기 때문에 어느 한 지역을 대상으로 특정한 시점의 영상자료를 획득할 수 있는 기회는 점차 나아지고 있다. 위에서 언급된 원격탐사 인공위성들은 대개 지표면에서의 태양광 반사를 기록함으로써 영상자료를 얻게 되는데, 이러한 위성자료들은 야간이나 대상지역이 구름에 덮여 있을 때에는 원하는 영상을 얻을 수 없게 된다. 이러한 위성자료와는 성질을 달리하는 원격탐사자료로서 최근 그 활용이 증가

하고 있는 레이더영상(synthetic aperture radar - SAR)자료가 있다. 태양을 에너지원으로 하는 기존의 광학적 영상자료와 달리 레이더영상은 영상 획득에 필요한 에너지를 센서에서 직접 지표면에 발사하여 반사되어 오는 신호를 기록하는 능동적 시스템으로, 구름에 덮여 있는 지역이나 야간에도 자료를 획득할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 인공위성 레이더영상 자료는 1991년부터 유럽우주국에 의하여 운영되고 있는 ERS와 일본의 JERS에 이어, 지난 1995년말 발사된 캐나다의 RADARSAT에 이르기까지 최신의 기술개발에 힘입어 다양한 자료공급체제를 갖추고 여러 분야에서 활용이 증가되고 있다.

그림 3은 1995년 12월 26일 저녁 6시 30분에

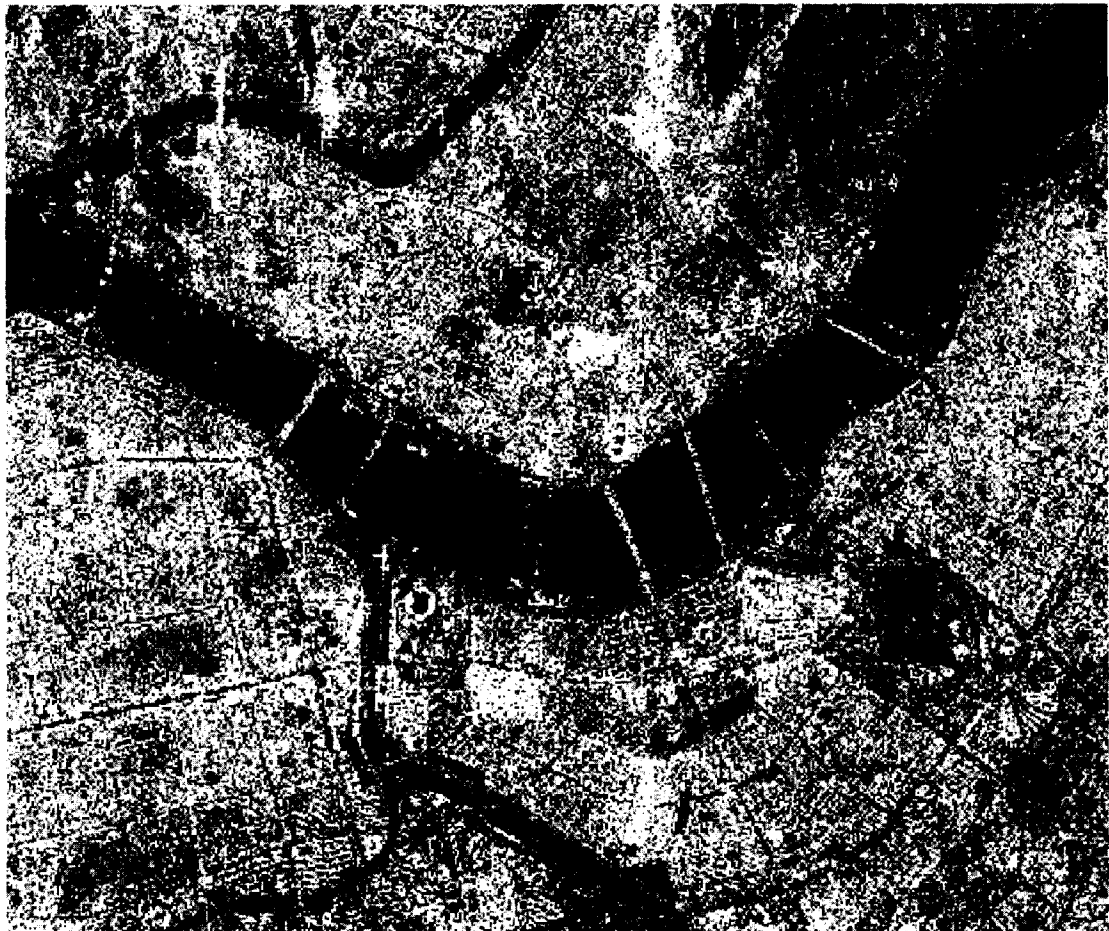


그림 3. RADARSAT 위성에서 관측한 서울 동부지역의 레이더영상 (1995.12.26 18:30 촬영)

RADARSAT에서 촬영된 서울 동부지역의 레이더영상을 보여주고 있다. 동절기임을 감안하면 밤에 촬영된 자료임에도 불구하고 주요 지형지물에 대한 내용을 비교적 상세히 보여주고 있다. 레이더영상에서 물과 같이 평탄하고 고른 표면을 가지고 있는 지표물은 안테나로 수신되는 레이더 반사신호가 거의 없게 되므로 항상 어둡게 보인다. 이 영상에서 한강 본류는 물론이고 중랑천, 탄천, 양재천과 같이 비교적 폭이 좁은 하천과 잠실 석촌호수와 같이 작은 면적의 호수도 쉽게 판별될 수 있다. 아울러 대부분의 레이더센서를 탑재한 인공위성의 경우 정해진 궤도를 돌고 있지만, 안테나의 측면 관측각도를 조절함으로써 원하는 지역을 원하는 시기에 근접하여 영상자료를 획득할 수 있게 된다. 따라서 레이더영상자료는 홍수지역에 관한 분석에 있어서 기존의 광학적 위성영상이 가지고 있는 자료획득의 어려움을 해결해줄 수 있는 대안이 될 수 있다.

3.3 적설량

지역에 따라서 정확한 적설량의 추정은 수자원에측 및 관리에 있어서 중요한 역할을 하게 된다. 수문학적 관심이 되는 눈은 산악지역에서 중고도 이상의 높은 곳에 쌓이게 되는 적설에 해당되며, 이렇게 쌓인 눈이 이듬해 해빙되어 유출로 인입되는 함수관계는 수문모형에서 유용한 매개변수로 작용할 수 있다. 원격탐사 자료를 이용한 적설량 추정은 눈이 덮여 있는 지역의 공간적 분포와 넓이를 산정하고, 쌓여 있는 눈의 깊이 에 대한 정보를 간접적으로 파악함으로써 이루어 질 수 있다. 눈의 분광반사특성은 가시광선과 근적외선 파장에서는 다른 지표물들과 비교하여 매우 높게 나타나므로, 적설지역은 쉽게 구별된다. 다만 이 파장 영역에서는 구름이 눈과 매우 흡사한 반사특성을 가지고 있으므로, 눈과 구름의 반사에서 뚜렷한 차이를 보이는 중적외선(약 1.4 - 3.0 m) 파장영역에서 촬영된 영상을 함께 사용하면 적설지역의 분포와 면적은 쉽게 산정될 수 있다. 또한 표면온도를 나타내는 열적외선영상 또한 적설지역의 구분에 이용될 수 있다.

적설량 추정에 있어서 눈이 쌓인 지역의 면적과 함

께 쌓인 눈의 깊이를 알아야 하는데, 영상자료에서 눈의 깊이를 직접적으로 추정하기는 쉽지 않다. 다만 눈의 표면상태에 따라 미세하게 나타나는 분광반사특성의 차이를 이용하여 간접적으로 눈의 깊이를 추정하는 방법이 적용되고 있다. 정확한 적설량의 추정은 현지 측정자료와 원격탐사 영상자료를 함께 이용함으로써 얻을 수 있게 되는데, 지상관측지점에서 획득한 적설 두께와 영상자료를 통하여 파악된 적설 면적을 함께 이용하는 적설량의 산정이 현재로서는 가장 합리적인 접근이라 할 수 있다.

3.4 수질

급격한 산업화와 인구팽창에 따른 수질의 악화는 중요한 환경오염의 하나로 인식되고 있다. 수질오염 관리에 있어서 중요한 문제 중 하나로서 수질이 어디에 어떻게 변하고 있는가를 신속하고 정확하게 관측할 수 있는 모니터링기법을 들 수 있다. 물이 가지고 있는 분광반사특성에 기인하여 영상자료로부터 수질과 관련된 직접적인 정보를 얻는 데에는 한계가 있다. 앞에서 언급되었듯이 전자기에너지(태양광)의 대부분은 물에서 흡수되고 반사되는 양은 매우 미약하다. 물은 육안으로 볼 수 있는 가시광선영역에서 낮은 반사를 보여주고 있으나, 센서에 기록된 물의 반사신호는 순수한 물 입자, 물 내부에 용해된 입자, 그리고 물 밑 바닥으로부터 반사된 신호가 복합적으로 구성되어 있기 때문에 원격탐사자료로부터 수질 오염원에 관한 정확한 정보를 구별해 낸다는 것은 매우 어려운 일이다. 영상자료를 이용한 수질변화 감시는 넓은 수면에서 주변과 다른 이상 지역을 찾아낸다는 관점에서 출발하여야 할 것이다. 그림 4는 위성에서 촬영된 시화호의 최근 영상을 보여주고 있는데, 시화호 안의 물의 밝기가 주변 바다와 구별되어 아주 어둡게 보이는 것을 쉽게 관찰 할 수 있다.

넓은 수면에서의 국소적이고 급속도의 수질 변화 현상을 공간적으로 관찰하기 위한 도구로서 위성영상 자료는 매우 효과적이라 할 수 있다. 특히 하수관이나 하천에서 호수나 바다로 직접 인입되는 점오염원에 의한 수질변화는 영상자료에서 직접 그 위치를 확인



그림 4. 최근 촬영된 시화호 지역의 Landsat TM 영상

할 수 있다. 다만 수질과 직접적으로 관련된 혼탁도, 토사침전물, 엽록소, 부영양화 등의 오염물질에 대한 정량적인 정보를 원격탐사 영상자료를 통하여 직접적으로 산출하기 위해서는 보다 많은 연구가 필요한 실정이다. 위성영상을 이용하여 수질과 관련된 활용 범위는 영상에서 감지되는 수면의 반사신호의 차이에 따라 수질이 변화한 지점의 정확한 위치, 면적, 그리고 시기적 분포 등을 밝히고, 수질변화의 직접적인 원인 물질인 오염원에 대한 조사는 현지조사 등의 방법으로 확인 검증하는 단계를 거쳐야 할 것이다.

4. 맺음말

원격탐사는 지표물에 직접적인 접촉 없이 그 지표물과 관련된 사실이나 현상에 관한 정보를 획득하는 기술로서 정의된다. 이러한 관점에서 원격탐사 기술의 수자원분야 활용은 결국 수문학적 과정을 이해하고 수자원의 과학적인 관리에 요구되는 여러 가지 정보를 신속하고 효과적으로 제공한다는 입장에서 접근

되어야 한다. 수자원과 관련된 각종 자료는 특정 기술이나 방법에 의존하여 획득될 수 없는 공간적, 시간적 변이가 매우 다양하고, 따라서 효율적인 수자원 관리를 위한 자료 획득 방법은 가능한 모든 제반 기술 분야와의 유기적으로 결합을 통하여 이루어질 수 있을 것이다.

현재 수자원 관리를 위한 자료의 수집은 대개 현지 측정이나 도면을 이용하여 실시되고 있는 실정이다. 원격탐사 기술은 넓은 지역을 대상으로 비교적 최신의 자료를 반복적으로 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다. 수문모형을 위한 토지이용현황과 유역의 지형적 특성 등에 관련된 매개변수를 추정하는데 있어서 원격탐사자료의 사용은 공간적 변이를 충분히 설명할 수 있는 효과적인 대안이 될 수 있다. 물의 분광반사 특성을 고려하여 적외선 파장영역에서 얻어진 영상을 사용하면, 수면의 위치 및 넓이에 관한 정확한 정보를 획득할 수 있게 되며 더 나아가 동일 지역에 대한 반복적인 관측을 통하여 홍수로 인한 침수현황을 분석하는데 중요한 자료로 사용될 수 있다. 수질과 관련된

원격탐사자료의 이용은 수질변화에 대한 공간적인 감시 기능으로 사용될 수 있으며, 현지 측정자료와 병행하여 분석된다면 광역적인 수질오염관리에 효과적인 도구가 될 수 있다.

우리에게 인공위성 원격탐사가 비교적 생소한 분야로서 소개되고 있지만, 이러한 기술의 성공적인 활용 여부를 너무 기술적 측면에서만 강조되는 경향이 없지 않다. 사실 최초의 민간용 지구탐사위성이 발사되어 우리에게 소개된지도 벌써 20여년이 넘었고, 이제 우리 나라도 1999년 발사예정인 다목적실용위성과 함께 우리 국토에 관한 정보를 직접 획득할 수 있는 원격탐사기술을 갖게 된다. 주로 환경 및 국토관리 등 공공의 목적에 사용되어오던 원격탐사기술은 이제 상세한 지도제작 및 국지적인 공간정보를 획득하기 위한 상업적인 이용을 바라보고 있다. 세계 각국에서 이

미 발사하였거나 앞으로 계획되고 있는 여러 종류의 원격탐사위성을 고려한다면 수자원 분야에서 활용될 수 있는 영상자료의 폭은 매우 다양하다. 이러한 관점에서 원격탐사는 이미 새롭게 소개되는 기술로서의 단계는 벗어났고, 수자원 분야를 비롯하여 지구공간을 대상으로 하는 모든 분야에서 효과적인 자료획득 및 공간모니터링을 위한 하나의 수단으로 인식되어야 한다. 원격탐사 기술이 수자원 분야에서 적극적으로 활용되기 위해서는, 원격탐사 전문가에 의한 영상자료의 이용과 분석 방안이 제시되는 의존적인 방법보다는 수자원 관리를 직접 담당하고 있는 전문가 그룹에 의하여 위성영상자료의 활용도가 인식되고 스스로 자료획득 및 분석방법 등이 강구되는 것이 보다 효과적일 것이다. ●

〈참고문헌〉

- 남현욱, 박경운, 조성익 (1989). "원격탐사기법에 의한 소유역의 홍수수문곡선 결정". 대한원격탐사학회지, 제5권 1호, pp. 13-27.
- 시스템공학연구소 (1995). 수질 정보 종합 관리 시스템 개발 - GIS 및 원격탐사기법을 이용한 환경정보 추출 및 수질관리응용 시스템 개발
- 안충현, 오성남, 박종현 (1995). "RS/GIS수법을 이용한 광역증발산량의 추정". 대한원격탐사학회지, 제11권 1호, pp. 67-80.
- 이규성 (1994). "산림유역의 토양유실량 예측을 위한 지리정보시스템(GIS)의 범용토양유실식(USLE)에의 적용". 한국임학회지 제83권 3호, pp. 322-330.
- 조영민, 백홍렬 (1996). "다목적 실용위성 1호 탑재 센서의 특성". 대한원격탐사학회지, 제12권 1호, pp. 1-16.
- Barrett, E.C., M.J. Beaumont, and R.W. Herschy (1990). "Satellite Remote Sensing for Operational Hydrology: Present Needs and Future Opportunities". Remote Sensing Reviews, 4(2), pp. 451-466.
- Dozier, J. and Marks, D. (1987) "Snow mapping and classification from Landsat Thematic Mapper", Ann. Glaciol. 9, pp. 97-103.
- Draper, S.E. and Rado, S.G. (1986) "Runoff prediction using remote sensing imagery". Water Resour. Bull. 22, pp. 941-949.
- Engman, E.T. and R.J. Gurney, (1991). "Remote Sensing in Hydrology", University Press, Cambridge, Great Britain, 225p.
- Garbrecht, J. and P.J. Starks (1995). "Technical Brief: note on the use of USGS level 1 7.5 minute DEM coverages for landscape drainage analysis". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61(5), pp. 519-522.
- Groves, J.R., Ragan, R.M., and Clapp, R.B (1983). "Development and testing of a remote sensing based hydrological model". Hydrological Applications of Remote Sensing and Remote Data Transmission, IAHS Publ. no. 143, pp. 601-612.
- Haralick, R.M., Wang, S., Shapiro, L.G. and Campbell, J.B. (1985) "Extraction of drainage networks by using a consistent labeling technique". Remote Sensing of Environment, 18, pp. 163-175.

-
- Hockey, B., T. Richards, and H. Osmaston (1990). "Prospects for Operational Remote Sensing of Surface Water". *Remote Sensing Reviews*, 4(2), pp. 265-283.
- Liedtke, J. and A. Roberts (1995). "Practical Remote Sensing of Suspended Sediment Concentration". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(2), pp. 167-175.
- Ragan, R.M. and Jackson, T.J. (1980) "Runoff synthesis using Landsat and SCS model". *Journal of Hydraul. Div., ASCE* 106, (HY5), 667-678.
- Rundquist, D.C., L. Han, J.F. Schalles, and J.S. Peake (1996). "Remote Measurement of Algal Chlorophyll in Surface Waters: the case for the first derivative of reflectance near 690 nm". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(2), pp. 195-200.
- Schultz, G.A. (1988). "Remote Sensing in Hydrology", *Journal of Hydrology*, Vol. 100, pp. 239-265.
- Slack, R.B. and Welch, R. (1980) "Soil Conservation Service runoff curve number estimates from Landsat data". *Water Resour. Bull.* 16, pp. 887-893.
- Smith, M.B. and A. Vidmar (1994) "Data Set Derivation for GIS-Based Urban Hydrological Modelling". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(1), pp. 67-76.
- Stafford, D.B. (1991) "Civil engineering application of remote sensing and geographic information systems". *Proc. of the Conference ASCE (Aerospace div.)*
- Wiesnet, D.R. and Deutsch, M. (1987) "Flood monitoring in South America from the Landsat, NOAA and NIMBUS satellites". *Advances in Space Research*, 7(3), pp. 77-84.