

홍수 재해관리를 위한 위성영상자료의 현황과 전망

이 규 성 (인하대학교 지리정보공학과 부교수)

1. 머리말

홍수는 우리 나라에서 발생하고 있는 대표적인 자연재해로서 막대한 인명 손실과 재산 피해를 야기하고 있다. 물론 지난 수 십 년 동안 꾸준히 시행되어 온 국가적인 치수사업과 국토녹화 노력에 힘입어 과거에 비하여 홍수피해는 많이 줄어들고 있으나, 연중 강우 분포가 고르지 못하고 여름철에 강우가 집중되는 계절적 특성에 기인하여 홍수 피해는 되풀이되고 있다. 특히 근년에 들어 대규모의 홍수가 발생하고 있는데, 1995년 북한 서부지역, 1996년 임진강 유역, 그리고 1998년 지리산 및 중부 지역의 대홍수는 엄청난 인명과 재산의 손실을 가져왔다. 이렇게 되풀이되는 홍수 재해에 대한 적절한 관리와 대비책 마련이 시급한 과제라 할 수 있다. 일반적으로 재해관리(disaster management)란 재해 발생할 시점을 가능한 미리 예측하고 피해를 경감하기 위한 사전 준비, 재해상황이 발생하였을 경우 효과적인 대응(response), 그리고 재해 상황이 종료된 후 신속한 피해복구(recovery)를 포함하는 제반 활동을 포함한다. 물론 홍수와 같은 천재지변에 있어서 재해 상황이 발생하는 것을 완전히 방지한다는 것은 거의 불가능할지라도, 적절한 재해관리 기술을 통하여 그 피해를 최소화 할 수 있을 것이다.

과학기술의 발달과 함께 홍수 재해관리에도 많은 진전을 가져왔다. 특히 인공위성을 이용한 기상관측과 통신 기술을 기반으로 하여 이루어지는 호우 예보는 빠른 속도의 기술적 발달을 보이고 있고, 예전에 비하여 보다 정확한 홍수 기상 예보가 가능해 졌다.

폭 넓고 정확한 기상자료의 측정과 수집을 통하여 홍수재해를 야기할 수 있는 집중 호우 상황을 어느 정도까지 예측하게 되었으나, 예보의 시간적 근접성과 정확성 등에 있어서 아직도 개선되어야 할 점이 많다. 홍수를 야기할 수 있는 상황을 미리 예측하는 기상예보와 함께, 재해관리 측면에서 보다 중요한 문제는 재해 상황이 발생하였을 경우 피해를 최소화하기 위한 대책의 마련과 신속한 피해복구사업을 위한 체제가 구비되어야 한다. 이러한 재해관리 활동을 위해서는 무엇보다 먼저 침수지역에 대한 신속하고 정확한 현황 파악이 선행되어야 한다. 아울러 차후의 방재 대책 수립을 위해서는 홍수 사상에 대한 강우자료뿐만 아니라 홍수가 발생한 지역적 특성과 관련된 지형, 식생, 토지이용 등에 관한 폭 넓은 자료가 요구된다.

이 글은 홍수와 관련된 재해관리에 있어서 활용 가능한 위성영상자료의 현황과 전망을 살펴보고자 한다. 공간적·시간적으로 매우 동적인 현상이라 할 수 있는 홍수의 특성을 분석하고 적절한 방재 대책 수립을 위해서는 매우 방대하고 정확한 자료가 수집되어야 한다. 위성영상자료는 결국 이러한 자료 수집과 관련하여 그 활용 가능성이 언급될 수 있을 것이다. 지난 1960년대부터 발사되기 시작한 각종 기상위성은 홍수재해를 야기할 수 있는 집중적인 호우 현상을 미리 찾아내고 그 진행 과정을 추적하는 데 매우 효과적으로 사용되어 왔다. 기상위성이 실질적으로 홍수예보와 관련하여 매우 효과적으로 사용되어 온 사실에 반하여, 지구관측위성에서 주기적으로 촬영되는 원격탐사(remote sensing) 영상자료는 그 동안 홍수 재해관리 측면에서 연구와 시범사업이 세계 각국에서 진

행되어 왔으나 현실적으로 실무에 직접 적용되는 사례는 흔하지 않다. 물론 홍수재해관리에 있어서 위성 영상자료의 활용 잠재력은 매우 높다고 할 수 있으나, 실질적인 적용에 이르기까지 해결하여야 할 여러 가지 기술적인 혹은 제도적 문제점이 있는 현실이다. 환경, 식생, 자원 등 타 분야에서와 마찬가지로 홍수 재해관리를 위하여 위성영상자료가 효율적으로 활용되기 위해서는 먼저 현재의 위성자료가 가지고 문제점을 파악하는 일부터 시작되어야 할 것이다.

2. 광학 위성영상을 이용한 홍수모니터링

1) 광학위성영상의 특성

지난 1972년 발사된 Landsat 위성으로부터 시작된 인공위성 원격탐사는 현재 세계 각국에 의하여 다양한 종류의 영상센서를 통하여 영상자료를 공급하고 있다. 현재 운영되고 있는 대부분의 위성영상자료들은 지구 표면에서 반사 또는 방사되는 특정 파장영역의 전자기에너지를 기록함으로써 얻어지는 데, 가시광선, 반사적외선, 열적외선을 그 파장 영역으로 하는 광학센서(optical sensor)가 주를 이루고 있다. 이러한 광학영상자료는 지도제작, 환경모니터링, 식생 분석, 자원탐사, 지도제작 등 다양한 분야에서 활발히 이용되고 있다.

위성영상자료는 현지 조사나 항공사진에 비하여 광범위한 지역을 한 번에 관측할 수 있다는 이점을 가지고 있다. 홍수 모니터링을 위하여 위성 영상자료를 활용하기 위해서는 먼저 각 위성자료에 대한 기본적인 특성을 이해하는 것이 무엇보다 중요하다. 위성 영상자료를 구별하는 인자로서 지상의 물체를 감지할 수 있는 최소 단위면적

을 나타내는 공간해상도, 영상이 촬영되는 파장 영역, 그리고 원하는 지역을 촬영하기까지 걸리는 시간과 반복하여 촬영할 수 있는 주기 등이 있다. 다음 표 1은 현재 운영중인 여러 종류의 광학위성영상의 기본적인 특성을 보여주고 있는데, 홍수모니터링 측면에서 가장 주목해야 될 요소로서는 촬영주기를 꼽을 수 있을 것이다. 대부분의 홍수는 매우 짧은 기간에 발생하는 경우가 대부분이므로, 이를 효과적으로 모니터링하기 위해서는 적절한 관측주기가 요구된다.

위에 열거된 지구관측위성은 모두 지구 전지역을 촬영하기 위하여 극궤도를 돌고 있기 때문에 동일지역을 반복하여 촬영할 수 있는 주기는 한번 궤도에서 영상이 얻어지는 촬영폭(swath width)에 따라 결정된다고 할 수 있다. 수십미터 이내의 고해상도 영상자료를 얻기 위해서는 상대적으로 좁은 촬영폭을 가져야만 되며, 따라서 촬영주기가 그 만큼 길어지게 된다. Landsat, SPOT HRV, IRS LISS 등의 영상자료는 주로 육지를 대상으로 한 관측 및 지도 제작에 많이 사용된다. 반면에 SeaWiFS 및 AVHRR 자료는 영상의 공간해상도가 떨어지는 만큼 넓은 촬영폭으로 동일지역을 짧은 주기로 자주 촬영할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 저해상도 위성영상은 주로 해양과 구름 관측이 주목적이지만, 대륙 및 지구 전체의 식생 분포 및 변화 감시에 적합한 자료로서 지구 환경관리에 매우 요긴하게 사용되고 있다. 특히 NOAA AVHRR 위성자료는 공간해상도가 1km로서

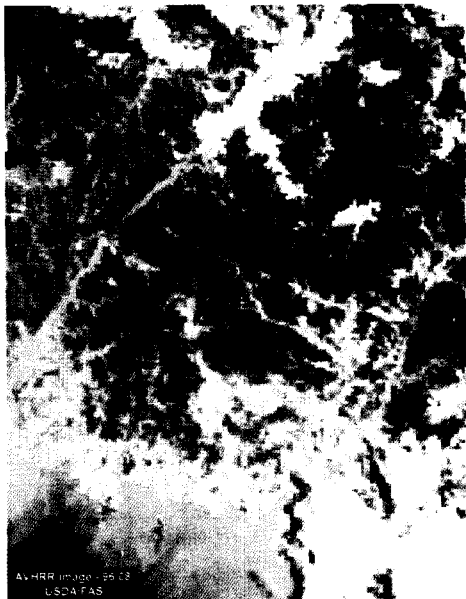
표 1. 현재 운영중인 광학 위성영상의 종류 및 특성

국가	인공위성	최초 발사년도	탑재 센서	공간해상도	관측주기	촬영폭
미국	Landsat	1972 -	MSS TM	80m 30m	16 - 18일	185km
	NOAA	1970 -	AVHRR	1.1km	12시간	2400km
	OrbView	1997 -	SeaWiFS	1.1km	1일	2,800km
프랑스	SPOT	1986 -	HRV	10 - 20m	5 - 26일	60km
			VMI	1km	1일	2,000km
일본	MOS	1987 -	MESSR V, TIR	50m 900m	multimode	100km 1500km
	JERS	1992 -	OPS	18m	44일	75km
인도	IRS	1988 -	LISS	6 - 24m	5 - 24일	70 - 150km
			WIFS	188m	3일	770km

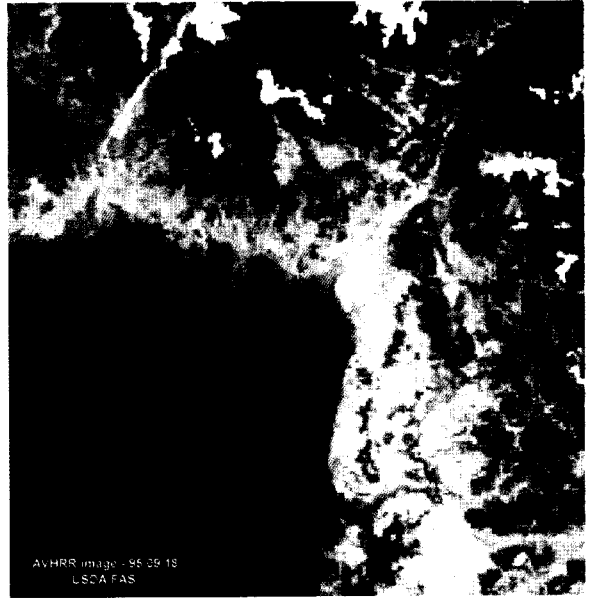
도로, 하천, 건물 등 비교적 자세한 물체를 정확하게 기록할 수 없지만, 동일 지역에 대하여 12시간 간격으로 영상을 얻을 수 있는 위성이 여러 개 작동 중에 있기 때문에 짧은 시간에 발생하는 대규모의 재해 모니터링에 있어서 효과적으로 사용될 수 있다.

아래 그림 1은 미국 농무부에서 제공한 AVHRR 적외선 칼라합성영상으로서, 지난 1996년 여름 북한에서 발생한 대규모 홍수를 기록한 유일한 위성영상이라고 할 수 있다. 비록 영상에서 논, 밭, 가옥 등의 정확한 침수 모습은 볼 수 없지만 압록강과 청천강의 수계망을 따라 넓게 분포하고 있는 침수 형태를 관찰할 수 있다. 특히 침수 이전의 영상과 비교하였을 때, 홍수로 인하여 수면의 면적이 넓게 분포하고 있는 모습을 명확하게 구분할 수 있다. 이와 같이 광학 위성 영상에 있어서 SeaWiFS, AVHRR, SPOT VMI 등과 같은 저해상도 자료는 비교적 빠른 촬영 주기를 가지고 동일지역에 대하여 반복적인 영상을 얻을 수 있기 때문에 시간적인 변이가 크고 대규모의 공간적인 분포로 발생하는 자연재해를 모니터링하기에 적합한 자료라 할 수 있다.

물론 위에 열거된 국가적 공공목적의 위성영상자료 이외에도, 최근 민간 기업체에 의해 추진되는 상업적인 목적의 고해상도 위성영상자료가 공급될 예정이다. 이러한 위성영상자료들은 최근 지리정보시스템의 본격적인 활용과 함께 급증하는 고해상도 영상의 수요에 부응하여 항공 사진과 대등한 수준의 높은 해상력을 갖춘 영상으로서, 냉전 체제의 붕괴에 따라 종전에 군사 목적에 한하여 제한적으로 사용되었던 원격탐사 기술이 민간에 공개될 수 있었던 시대적 상황 변화에 따라 가능하게 되었다. 향후 수 년 이내에 항공사진에 버금가는 높은 해상력을 갖춘 고해상도 영상자료가 여러 민간 기업 또는 국가에 의하여 공급될 예정이다. 한국에서도 지난 1990년대 초반부터 계획되어 왔던 우주 개발중장기 사업의 하나로, 최초의 지구탐사를 위한 원격탐사 위성을 발사할 예정으로 있다. 1999년 9월에 발사 예정인 다목적실용위성 1호에는 지도 제작을 목적으로 고해상도 영상자료를 얻는 EOC(Electronic Optical Camera)와 환경 감시를 주임무로 하는 OSMI(Ocean Scanning Multispectral Imager)의 두 센서가 탑재될 예정이다. 이중 OSMI는 앞에서 언



1996년 8월



1995년 9월

그림 1. 북한평안도 서부지역의 1996년 홍수(미국 농무부 제공 AVHRR영상)

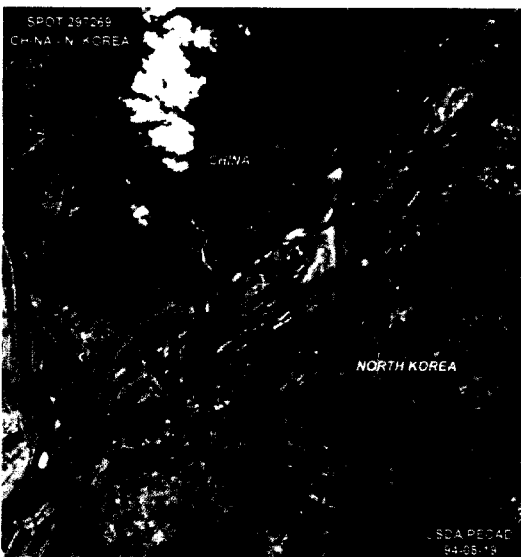
급되었던 저해상도 위성자료와 마찬가지로 약 800km의 주사폭을 3일이라는 비교적 짧은 촬영주기로 영상자료를 공급할 예정으로 있다.

2) 홍수 관측

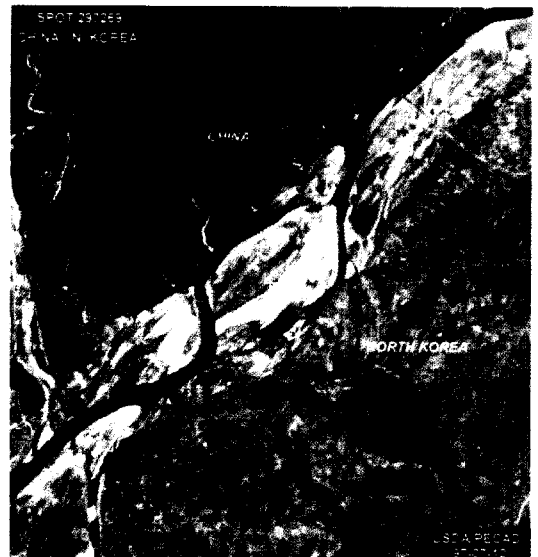
대부분의 홍수 재해가 미리 예정된 시간에 발생하는 것이 아닌 만큼 정확한 발생 시점의 위성영상자료를 얻는다는 것은 매우 어려운 문제이며, 따라서 위의 그림 1의 AVHRR영상과 같이 위성자료에 의한 홍수 재해관측 사례 역시 인공위성의 궤도주기와 재해 발생시점이 잘 부합된 경우이고, 또한 그 시점에서 깨끗한 영상을 얻을 수 있도록 기상조건이 협조하였기 때문이다. 즉, 광학 위성영상자료를 이용하여 홍수와 같이 비교적 단기간에 발생하는 재해 상황에 부합되는 정확한 시점을 포착하여 영상자료를 촬영하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나, 극소수의 지구관측위성에 의존하였던 과거에 비하여, 현재 영상자료를 공급할 수 있는 위성의 수가 많이 증가하였다. 또한 우리나라를 비롯하여 세계 각국에서 추진하고 있는 수많은 지구관측위성 사업을 고려한다면 홍수와 같은 재해 현상을 적기에 촬영할 수 있는 기회는 그 만큼 높

아진다고 할 수 있다. 그러나 비록 여러 개의 위성으로 동일 지역에 대한 촬영주기를 대폭 줄일 수 있게 되었지만, 홍수모니터링을 위한 광학 위성영상자료의 또 다른 제한점은 홍수가 발생하는 시점의 기상 상태가 구름이 없는 맑은 날이어야 한다는 점이다. 이러한 연유로 기상조건에 관계없이 영상자료를 획득할 수 있는 레이더위성자료가 최근 홍수모니터링과 관련하여 관심을 끌고 있는 것이다.

광학 위성영상자료를 이용한 홍수피해분석은 장마 시점에 부합되는 위성영상자료를 이용하여 침수피해 지역에 대한 직접적인 분석을 하는 방법이 가장 바람직한 형태가 되겠지만, 적합한 영상자료를 얻기 어려운 문제로 인하여 실질적으로 홍수피해분석에 적용된 사례는 그리 많지 않다. 오히려 광학 위성영상자료를 이용한 홍수피해 분석은 침수 당시의 영상보다는 침수 이전과 이후의 영상을 함께 이용하여 분석함으로써, 홍수피해의 규모와 특성을 밝히고자 하는 사례를 많이 찾아 볼 수 있다. 침수 이전과 이후의 영상을 같이 처리함으로써, 홍수로 인하여 발생한 토사의 침식이나 퇴적으로 인한 지형적 변화 특성을 밝히거나 또는 홍수로 인한 농지의 손실과 토지이용의 변화 등을

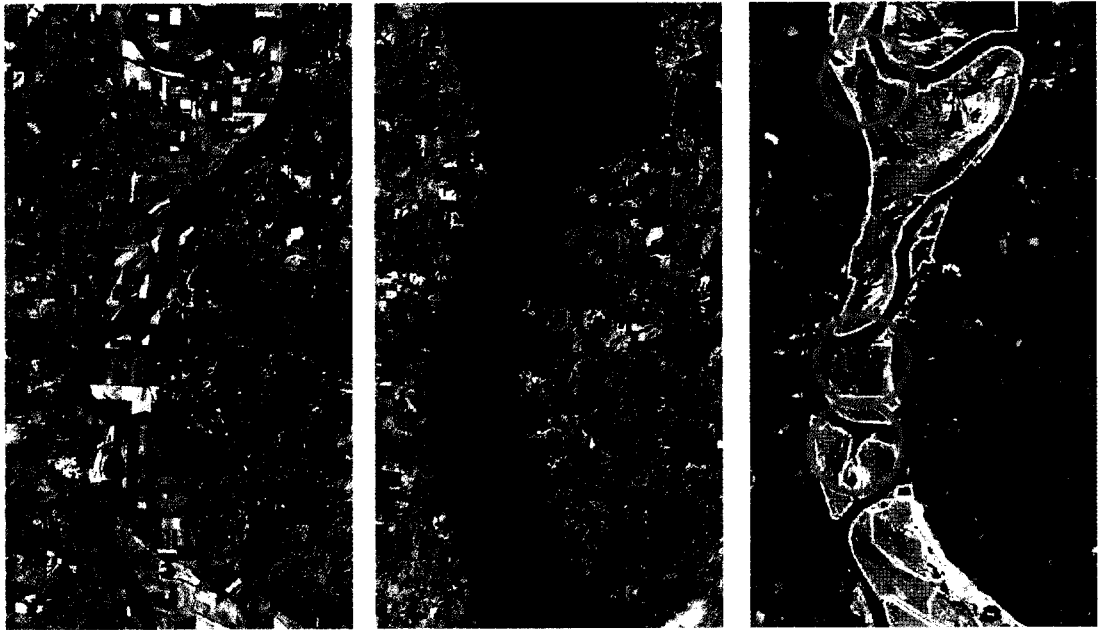


홍수이전(1994. 8. 19)



홍수이후(1997. 7. 12)

그림 2. 북한 압록강 지역의 1995년, 1996년 홍수 피해(미국 농무부 제공 SPOT영상)



홍수 이전

침수

홍수 이후

그림 3. 미국 미시시피강 하류지역의 홍수피해 분석(미국 국립지질원 제공 TM 영상)

분석하는 경우가 대부분이라 할 수 있다.

아래 그림 2는 SPOT HRV영상으로서, 1995년과 1996년 북한에서 발생한 대규모의 홍수로 인하여 발생한 피해 상황을 보여주고 있다. 압록강 하류 신의주의 구리도 지역을 보여주고 있는데, 이 년 동안 계속된 홍수로 인한 토사유실로 홍수 이전에 비하여 많은 농경지가 훼손되었음을 볼 수 있다. 특히 1994년 홍수 이전의 영상에서 볼 수 있듯이 구리도와 압록강 남쪽 강변을 따라 분포하던 농지가 대부분 피해를 입어, 홍수 후 일년이 지난 1997년의 영상에서는 한창 농작물의 생육이 왕성한 7월임에도 불구하고 식물이 거의 자라고 있지 않음을 관찰할 수 있다. 이와 같이 광학 위성영상을 이용한 홍수피해분석은 침수 시점 이후의 깨끗한 영상을 이용하여 홍수로 야기된 피해 현황을 간접적으로 관찰할 수 있는 방법이 있을 수 있다.

이와 비슷한 사례로서 미국 국립지질원(United States Geological Survey - USGS)에서는 1993년 미시시피강 하류에서 발생하였던 홍수피해조사를 위하여 Landsat TM영상을 사용하였다(그림 3). 먼저

홍수 이전의 영상에서 강 주변의 범람원 지역이 일정 면적으로 규격화된 패턴을 보이고 있는 농지로 사용되고 있음을 관찰할 수 있다. 반면에 범람원 바깥 지역은 대부분 산림으로 이루어져 있으며, 부분적으로 농지로 사용되고 있다. 가운데 영상은 1993년 8월 홍수 당시의 영상으로 침수된 지역을 명확하게 보여주고 있다. 물론 이와 같이 완벽한 침수 상황을 보여주는 영상은 촬영 시점에 구름이 없는 아주 양호한 기상 조건이었고 또한, 16일의 촬영주기를 가지고 있는 Landsat위성의 궤도가 정확히 부합되었기 때문에 가능하였다. 침수된 지역을 홍수 이전 영상과 비교하였을 때, 침수된 지역의 대부분이 농지로 사용되었던 범람원을 알 수 있다. 홍수 후 약 4개월이 지난 시점의 영상자료를 이용하여 정확한 피해 상태를 분석하였는데, 단순히 농지의 손실 정도를 파악하는 단계를 넘어 제방 붕괴가 발생한 지점에 대한 지형학적 분석과 퇴적된 토사의 두께까지 분석하였다. 오른쪽의 영상은 홍수가 지나간 후 촬영된 영상자료를 이용하여 피해 정도를 분석한 최종 결과를 보여주고 있는데, 보

표 2. 주요 위성 레이더영상자료의 특성

국가	위성	파장	편광	입사각	공간해상도	촬영주기	촬영폭	비고
유럽	ERS	C-band	VV	20° - 25°	30m	3 - 35일	100km	1998년 종료
일본	JERS	L-band	HH	36° - 41°	18m	44일	75km	
캐나다	RADARSAT	C-band	HH	10° - 60°	7 - 100m	1 - 100m	50 - 500km	

라색, 적색, 노란색으로 운반되어 쌓인 모래의 깊이를 나타내고 있으며, 원형으로 표시된 곳은 붕괴되었던 제방을 보여주고 있다.

3. 홍수 모니터링을 위한 위성레이더 영상자료

1) 영상레이더 인공위성

영상레이더(imaging radar)는 태양에 의존하지 않고 위성에 부착된 안테나에서 마이크로파를 직접 지구에 발사하여 반사되어 오는 신호를 기록하여 영상자료를 얻는 능동적 시스템으로서, 구름, 안개, 비, 연무 등의 기상조건에 영향을 받지 않을뿐더러 야간에 영상 획득할 수 있다. 따라서 광학 위성영상이 가지고 있던 자료획득에 있어서의 단점을 극복하여 원하는 시점의 영상자료를 촬영할 수 있기 때문에 홍수와 관련된 재해 모니터링에 있어서 활용 가능성이 높아지고 있다. 특히 그 동안 불리한 기상조건으로 영상자료 획득이 곤란했던 북구권, 캐나다, 열대지역, 극지역에서 레이더영상의 활용 가치가 매우 증가하고 있고 그에 따른 활발한 응용 연구가 전개되고 있다.

위성에 탑재한 최초의 영상레이더 시스템은 1978년 발사된 SEASAT으로부터 시작되었다. 그후 1980년대에 들어 우주왕복선 기술의 개발로 우주궤도 상에서 영상레이더 시스템을 탑재하여 레이더영상의 자료 획득과 활용에 관한 실험이 활발하게 진행되었다. 우주왕복선 영상레이더(Shuttle Imaging Radar) 실험은 SIR-A, SIR-B 등으로 나누어 레이더영상의 시스템조건을 변형하면서 되풀이 되어 레이더영상의 특징을 이해하는 데 많은 공헌을 하였다. 실험단계를 떠나 본격적으로 인공위성에 탑재하여 레이더영상을 얻기 시작한 것은 1991년 구 소련에 의해 발사된 Almaz, 유럽의 ERS, 1992년 일본에 의한 JERS, 그리고

1995년 캐나다의 RADARSAT에 이르기까지 지속적인 위성레이더 프로그램으로 개발되고 있다. 다음 표 2는 주요 위성 레이더영상의 특성을 보여준다.

ERS는 유럽우주국(European Space Agency - ESA)에 의해 1991년 처음 발사되었고, 1995년 제 2호 위성이 발사되어 현재 영상자료를 공급하고 있다. 1호 위성에서는 촬영주기를 조정할 수 있어 최소 3일 간격으로 동일지역을 반복하여 촬영이 가능하였으나, 2호 위성부터는 35일로 촬영주기가 고정되어 있어 홍수 관측과 같이 비교적 짧은 기간에 발생하는 재해 현상을 관측하는 데 어려움이 많다. JERS는 일본 우주개발국(National Space Development Agency - NASDA)에 의하여 1992년에 발사되었다. JERS는 토지이용 조사, 산림 관리, 어업, 환경 보전, 재해방지, 해안선 모니터링 등을 목적으로 한 위성으로서 하나의 위성에 광학 센서와 영상레이더 센서(SAR)를 함께 장착한 특이한 원격탐사 위성이다. 이 위성에서 수신되는 레이더영상과 광학적 영상자료는 현재 대전의 인공위성센터에 설치된 수신소에서 수신되어 왔으나, 지난 1998년 말부터 위성이 수명을 다하여 더 이상 자료공급이 불가능한 상태이다.

RADARSAT은 캐나다에 의하여 발사된 최초의 원격탐사 인공위성으로 자료획득 및 공급에 있어서, 비교적 안정된 체계를 갖추고 있어 다른 위성레이더보다 활발한 활용을 보이고 있다. RADARSAT 위성의 궤도는 여느 원격탐사 위성과 비슷한 궤도를 돌고 있는데, 798km상공의 극궤도를 가지고 있으며, 적도선을 매일 오전, 오후 약 6시에 지난다. 궤도를 한바퀴 완전히 도는데는 약 100분이 걸리기 때문에 우리나라를 통과하는 시간 역시 오전, 오후 6시에서 약 20분 정도의 차이가 있을 뿐이다. 정상적인 궤도 주기와 촬영폭을 감안한다면, 다른 원격탐사위성들과 마찬가지로

지로 동일지역을 반복하여 촬영할 수 있는 주기는 약 24일이 걸리게 된다. 그러나, RADARSAT 위성은 촬영각도를 조절함으로써 촬영주기를 단축할 수 있게 되는 데, 촬영조건에 따라 고위도와 극지방은 반나절에서 하루(0.5-1 day), 중위도 지방은 하루 반에서 6일(1.5-6 day) 그리고 적도지방은 이틀에서 열흘(2-10 day) 주기로 촬영할 수 있게 설계되어 있다. 따라서 사용자의 목적에 따라 다양한 형태의 영상자료를 얻을 수 있으며, 촬영각도를 달리함으로써 입체영상의 획득이 가능하다. RADARSAT 영상레이더시스템은 특정 지역에 대하여 필요한 시기의 영상자료를 얻기 위하여 지상에서 미리 촬영일자를 예약할 수 있는 기능을 가지고 있는 데, 영상자료의 사용 목적과 시기적 적합성 등을 위하여 현재 세 가지 촬영 선택권을 제공하고 있다. 홍수나 지진 등과 같이 정확히 예측할 수 없지만, 사전에 특정 지역에 대하여 영상자료가 반드시 촬영되어야 할 경우에는 긴급촬영 주문을 할 수 있다. 긴급촬영 주문은 이틀 전에 주문이 완료되어야 하며, 이 조건으로 주문이 되면 요구된 지역을 통과하는 최

초의 시점에서 최우선하여 촬영하여 영상자료가 공급될 수 있다. RADARSAT 위성영상자료의 경우 비교적 체계적인 자료공급체계와 다양한 사용자의 주문에 맞도록 운영되고 있기 때문에, 홍수를 비롯한 재해관리 목적에 많은 활용이 기대되는 영상자료이다.

2) 홍수모니터링

위성레이더 영상자료는 기존의 광학 위성자료에 비

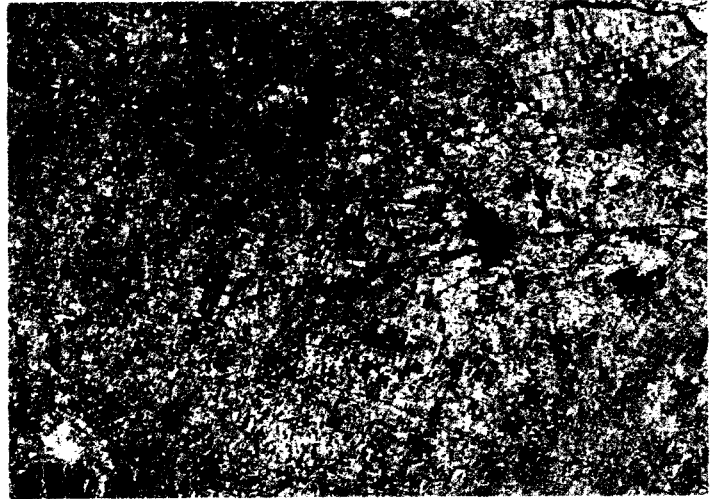


그림 4. 두 시기의 ERS위성 레이더영상을 합성하여 제작된 이탈리아 Emilia Romagna지역의 침수현황(70×50km²)

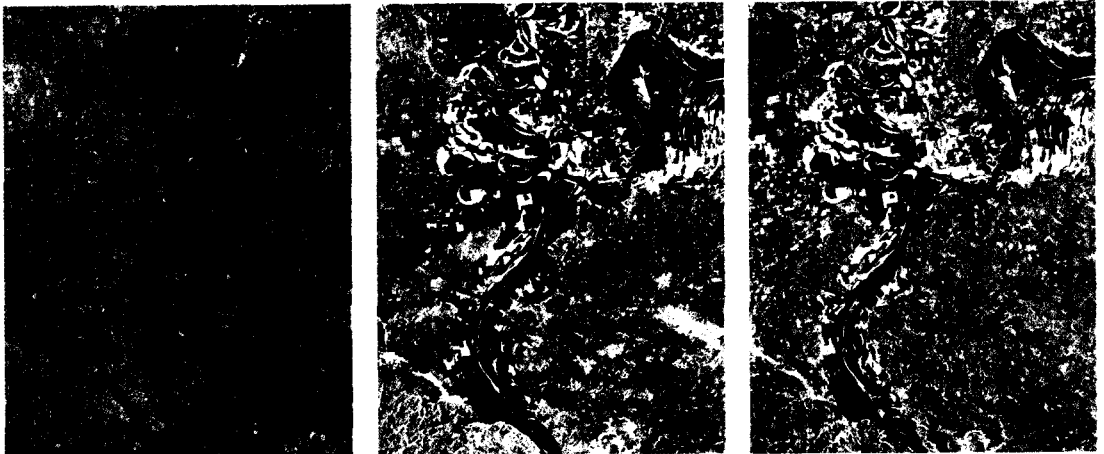


그림 5. 1997년 미국 오하이오강 범람(좌로부터 홍수 이전, 최대 침수, 홍수 이후의 RADARSAT 영상)

하여 비교적 짧은 역사를 가지고 있지만, 적기에 영상 자료를 얻을 수 있다는 이점 때문에 홍수 모니터링에 활용된 사례가 자주 보고되고 있다. 다음에 소개되는 사례들은 비교적 최근에 발생한 홍수에 대하여 위성 레이더 영상자료를 이용하여 침수피해 여부를 관측한 자료들로서, 세계 각국의 원격탐사관련 기구 및 국가적인 기관에서 인터넷상에 올려놓은 자료들을 정리한 것이다.

이탈리아는 1996년 10월의 전반기에 발생한 Emilia Romagna지역의 홍수피해 분석에 ERS 레이더영상을 이용하였다. 홍수 분석을 위하여 홍수 기간에 얻어진 영상(1996년 10월 14일)과 홍수 이전 시점의 정상적인 영상(1996년 9월 9일)을 합성함으로써, 정확한 침수지역을 효과적으로 구분하였다. 아래 그림 4는 두 날짜의 영상을 합성하여 제작된 칼라영상으로서 약 70×50km의 면적을 보여주고 있다. 이 영상에서 푸른색으로 나타나는 지역이 '96년 10월 홍수

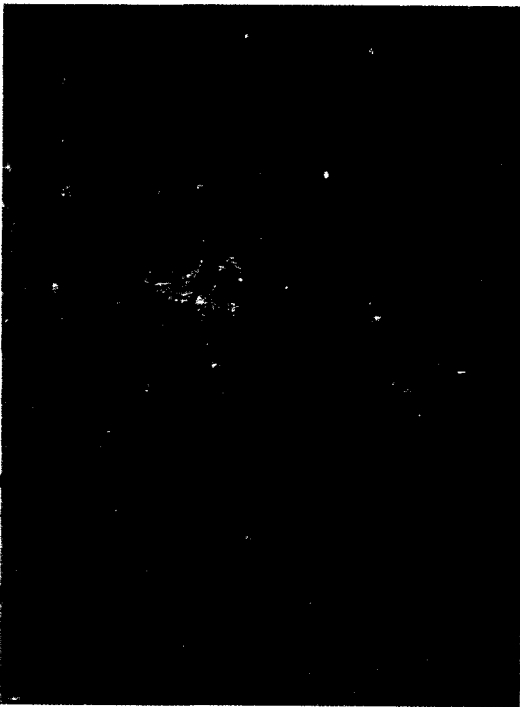


그림 6. 1998년 중국 양쯔강 홍수(홍수 전후의 두영상을 합성한 RADARSAT 영상)

기간에 침수가 됐던 지역에 해당된다. 두 영상을 칼라 합성한 결과 침수지역뿐 아니라 주변의 토지이용상태까지 어느 정도 파악할 수 있다.

1997년 3월 초순 미국 중부 오하이오 강이 범람하는 큰 홍수가 있었다. 다른 위성레이더 시스템에 비하여 비교적 동일 지역을 자주 촬영할 수 있는 RADARSAT 위성 영상자료를 이용하여 침수피해를 구분한 사례이다. RADARSAT위성은 ERS 및 JERS위성과는 달리 안테나의 각도를 조절함으로써 촬영주기를 단축할 수 있는 데, 오하이오강의 홍수 분석에 필요한 영상획득에 있어서 그러한 장점을 살리고 있다. 홍수 발생 이전의 평상시의 영상(1996년 8월 22일)은 정기적인 궤도 주기에 따라 촬영되었던 것이지만, 홍수 기간 중 최대 범람 시점인 1997년 3월 9일의 영상과 최대 침수 시점을 지난 3월 28일 영상은 촬영 날짜를 조절하여 촬영된 영상이다(그림 5). 위의 세 영상 중 3월 9일 영상과 3월 28일 영상은 비교적 근접된 시기의 영상으로서, 이처럼 짧은 주기의 영상을 이용함으로써 홍수 절정기부터 물이 빠져나가는 현황을 관찰할 수 있게 된다.

최근 세계 각국에서 레이더 위성영상을 이용한 홍수 모니터링 사례를 빈번하게 찾아 볼 수 있는 중요한 이유는 기상조건에 관계없이 야간에도 영상자료를 얻을 수 있기 때문이다. 아래 그림 6의 경우 지난 해 중국 양쯔강에서 발생한 대규모의 홍수를 촬영한 모습인데, 이 홍수의 경우 침수기간이 매우 길었기 때문에 여러 종류의 다양한 영상이 촬영되어 위성영상자료가 홍수모니터링에 있어서 매우 효과적임을 보여준 대표적인 사례라고 할 수 있다. 침수 전후의 두 시기 영상을 칼라 합성하여 제작된 영상으로서, 붉은 색으로 표시된 부분이 침수된 지역을 보여주고 있다.

5. 맺음말

홍수 모니터링을 위한 영상자료의 활용에 있어서 가장 중요한 문제는 홍수 상황이 발생하였을 경우 침수 피해지의 공간적 분포를 정확하게 보여줄 수 있는 적기의 영상자료가 신속히 공급되어야 한다는 점이다.

다. 물론 차후의 방재 대책 마련과 과학적인 재해관리를 위해서도 이미 발생한 홍수에 대하여 다각적이고 종합적인 피해조사와 그 원인 구명이 절대 필요하며, 이러한 목적에 위성영상자료의 활용도는 매우 크다고 할 수 있다. 침수된 시점에 촬영된 위성영상자료를 이용하여 홍수피해지역을 조사하고 홍수 특성에 대한 분석이 가장 바람직한 방법이 될 수 있지만, 현재 운영되고 있는 지구관측위성에서 그러한 자료를 적기에 공급해 줄 수 능력을 갖추고 있는가 하는 점은 신중히 고려되어야 할 것이다. 세계 각국에 의하여 운영되는 원격탐사위성의 종류는 매년 증가하고 있고, 또한 기상조건에 관계없이 비교적 용이하게 영상자료를 얻을 수 있는 위성레이더 시스템이 작용하고 있는 만큼 자료 획득의 가능성은 점점 높아지고 있다고 할 수 있다. 재해 관측을 위한 원격탐사 위성자료는 수신에서부터 사용자에게 공급되기까지 소요되는 시간이 문제였으나, 통신기술과 인터넷의 발달로 자료 공급체계는 날로 개선되고 있다. 비록 자국의 지구관측위성을 보유하고 있지 않아도, 수신에서부터 사용자(재해관리자)에게까지 적기에 공급될 수 있는 효율적인 자료 수급체계를 갖추고 있다면 위성영상자료의 활용 가능성은 훨씬 높아지리라 예상된다.

홍수 재해관리에 있어서 위성영상자료와 함께 고려되어야 할 중요한 방법으로 항공 영상을 꼽을 수 있을 것이다. 특히 우리 나라와 같이 비교적 좁은 지역에서 짧은 시간에 발생하는 홍수재해를 관측 조사하는 데에는 항공기를 이용한 사진촬영이 비용 및 기술적인 측면에서 보다 효과적인 방안이라 할 수 있다. 항공사진은 위성영상에 비하여 공간해상도가 높기 때문에 보다 정밀한 피해 상태를 파악할 수 있다. 일반적으로 항공사진은 지형도제작이나 정밀측량을 목적으로 제

작된 고가의 측량용 카메라로 촬영하지만, 침수지 파악과 피해 현황 분석에 필요한 항공사진 촬영을 위하여 반드시 고가의 정밀카메라를 사용할 필요는 없을 것이다. 일반용 35mm 또는 70mm 소형카메라, 디지털카메라, 비디오카메라 등을 항공기에 탑재하여 사용할 경우 저렴한 비용으로 관측 목적의 항공사진을 얻을 수 있다. 홍수 재해관리는 결국 광범위한 지역에 대하여 다양한 종류의 공간자료가 요구되며, 이러한 자료 획득을 위한 수단으로서 항공영상의 활용은 위성영상과 함께 충분한 고려가 요구된다.

위성영상은 홍수 재해관리에 있어서 침수 시점의 영상을 획득하여 홍수상황을 관측하고 피해조사에 사용되는 직접적인 활용보다는 오히려 종합적인 재해관리에 필요한 제반 공간적인 현황에 관한 정보를 제공해 주는 간접적인 활용가치가 더욱 크다고 할 수 있다. 홍수 피해를 최소화하기 위한 대비책 마련과 재해 발생 후 효과적인 복구방안 수립 등의 재해관리에 있어서 매우 다양한 종류의 공간정보가 구비되어야 할 것이다. 홍수 발생 가능지에 대한 지형 및 토지이용 등에 관한 정보는 재해 관리에 있어서 매우 요긴한 정보이고 위성영상자료를 통하여 최신의 정보를 유지할 수 있는 방안이 수립되어야 할 것이다. 최근 위성영상 자료로부터 얻어지는 각종 공간 정보를 이용하여 홍수유출모형에 필요한 매개변수를 추출하는 작업은 그 한 예가 될 수 있을 것이다. 홍수 재해는 분명 일정 지역을 대상으로 발생하는 공간적인 현상이며, 따라서 재해관리 역시 대상 지역에 대한 공간적 특성을 이해하고 그에 적절한 정보체계의 구비에서 출발된다고 할 수 있다. 위성영상자료의 활용은 결국 홍수 재해지역에 대한 공간적 특성을 이해하는 도구로서 인식되어야 할 것이다. ●

참고 문헌

- 국립방재연구소, 1998. 위성자료를 이용한 미계측
특정지역의 하천재해분석을 위한 기초연구,
국립방재연구소 연구보고서 97-07
- 김경탁, 1998. GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구,
박사학위논문, 인하대학교.
- 김영섭, 서애숙, 조명희, 1998. 원격탐사개론, 동화기술.
- 남현옥, 박경윤, 조성익, 1989. 원격탐사기법에 의한
소유역의 홍수수문곡선 결정, 대한원격탐사학회지,
제5권 1호, pp. 13-27.
- 이규성, 1994. 산림유역의 토양유실량 예측을 위한
지리정보시스템(GIS)의 범용토양유실식(USLE)에의
적용, 한국임학회지 제83권 3호, pp.322-330.
- 이규성, 1998. 수문모형 및 수자원 관리를 위한 원격탐사
기술, 한국수자원학회지, 31(1):58-69
- 조영민, 백홍렬, 1996. 다목적 실용위성 1호 탑재 센서의
특성, 대한원격탐사학회지, 제12권 1호, pp.1-16.
- 한국수자원공사, 1997. 경인운하의 안정적 주운을 위한
수리·수문학적 분석연구 보고서.
- 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.
- Draper, S.E. and Rado, S.G., 1986. Runoff
prediction using remote sensing imagery, Water
Resour. Bull. 22, pp.941-949.
- Wood, H.M., L. Lauritson, and L.V. Moodie, 1999.
Improving the Use of Satellite Data for Disaster
Management Support., Proc. of the 2nd
Conference on Application of Remote Sensing and
GIS for Disaster Management, George
Washington University.
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer, 1994. "Remote
Sensing and Image Interpretation", John Wiley &
Sons, Inc. (Third Ed.)
- Schultz, G.A., 1988. Remote Sensing in Hydrology,
Journal of Hydrology, Vol. 100, pp. 239-265.
- 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.