

원격탐사 자료를 이용한 자연재해분석에 관한 연구 A Study on Analysis of Natural Disaster Using Remote Sensing Data

박병욱* · 김 철**

Park, Byung-Uk · Kim, Chul

요 旨

본 연구에서는 홍수 및 가뭄 피해지역에 대한 객관적이고 효율적인 조사방법으로서 인공위성 자료를 이용한 원격분석의 타당성을 파악하는 것을 목표로 하였다. 각 피해시기에 관측된 위성자료와 이와 비교할 평시의 위성자료에 대하여 각각 토지피복분류 작업을 실시하였고, 중첩분석을 통하여 홍수 및 가뭄흔적을 파악하였다. 이후 현지조사 자료와 비교 분석함으로써 그 타당성을 검토하였다. 대체적으로 홍수흔적 분석은 당해 연도의 자료만으로도 어느 정도 분석이 가능하였으며, 그 분석결과가 현지조사와 상당히 잘 일치하고 있고, 현지조사시 파악하지 못했던 지역들도 상당수 있음을 알 수 있었다. 따라서 홍수흔적 조사에서는 발생 후 수개월 지나 실시하는 현지조사보다 위성자료를 이용한 분석이 훨씬 정확하고 효율적임을 알 수 있었다. 가뭄흔적 분석에 있어서는 경년변화의 분석을 통하여 객관적으로 수자원의 고갈현상 파악은 가능하나 그 변화가 매우 미미하게 감지되며, 농작물의 피해는 어느 정도 확인할 수 있지만 실질적인 피해조사에는 부적합한 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

The goal of this research is to evaluate methodology that uses satellite data for the analysis of flood and drought damaged area. Land cover classification were performed using satellite data that were acquired at disaster periods and comparatively normal times. Damaged area was extracted by use of overlay analysis in land cover change and compared with the field survey results. The results show analysis of flood damaged area could be carried out with single scene acquired at adequate day, and are corresponded with field survey data very well. And also, some areas that had been missed in field survey were found. The suggested method proved to be more accurate and effective way for mapping inundated areas of floodplains than field survey that would be held a few month later. The results on the analysis of drought damaged area show that drained water could be detected just only in small area, and crop damaged area could not be verified in objective validity. Drought analysis by remote sensing was proved not to be adequate for practical use in this study.

1. 서 론

우리나라는 여름철에 강우가 집중되고 있어 수자원 총량 중 약 20% 정도만을 이용하고 나머지는 손실되고 있으며, 매년 홍수피해 및 가뭄피해를 당하고 있어 효율적인 수자원관리가 요구되고 있다.

정부에서는 매년 홍수에 의한 피해 우심지역에 대해 수해 흔적조사 및 피해 우심지역 원인 규명과 대책 조

사사업을 벌이고 있는데, 이와 같은 사업의 목적은 피해지역의 피해원인을 분석하여 이에 대한 적절한 대책을 강구하고, 차후의 국토개발계획 수립이나 건설시에 기본자료로 활용하는데 있다.

침수흔적조사는 현지답사에 의해 조사하는데 조사시점이 홍수가 난지 수개월이 지난 후이므로 현지에서 홍수흔적을 발견하기가 용이하지 않기 때문에, 대개 주민들의 경험에 의해 조사를 하고 있어 그 정확성에 큰 문제가 내포되어 있다.

이러한 현황조사를 객관적으로 정확히 파악할 수 있

*안성산업대학교 토목공학과 조교수

**호남대학교 토목공학과 조교수

는 방법은 홍수 발생 후 2-3일 이내에 근적외선 칼라사진으로 항공사진 측량을 실시하는 것일 것이다. 그러나 현재 우리나라의 경우 항공사진 촬영의 허가 절차가 까다롭고 복잡하여 적시에 촬영하기가 어려운 실정이며, 또한 비용도 많이 소요된다.

따라서 본 연구에서는 차선책으로 인공위성에 의한 탐사자료를 이용하는 방법을 적용하여 수치적 해석에 의한 피해분석의 타당성을 조사하고자 하였으며, 아울러 가뭄의 피해조사에 대해서도 그 가능성을 검증하고자 하였다. 물론 이 방법도 적시의 위성자료 획득 가능성이 문제시 될 수 있으나 앞으로의 위성개발 추세에 비추어 볼 때 그 가능성이 매우 높다고 생각되므로,¹⁾ 현재까지의 위성자료 중에서 가장 적합한 자료를 선택하여 분석의 가능성을 제시하고자 하였다.

미국의 경우 국토 면적이 넓기 때문에 상대적으로 홍수피해에 대한 적시의 자료 취득이 용이하여, 일찍이 Hallberg와 Hoyer(1973)²⁾가 LANDSAT MSS 자료를 이용하여 미시시피강 유역의 홍수피해를 조사한 것을 비롯하여, Harker와 Rouse(1977)³⁾ 및 Ferguson 외(1979)⁴⁾ 등이 항공기 및 인공위성을 이용한 홍수흔적 조사의 효용성을 제시하고 있으며, 최근에는 Luker 외(1993)⁵⁾ 등에 의하여 GIS를 이용한 홍수유출 모형의 개발에 대한 연구들이 진행되고 있다. 일본의 경우도 幾志新吉(1989)⁶⁾ 등이 원격탐사에 의한 홍수재해현황 검출에 대한 연구를 수행한 바 있다. 국내의 경우에도 박경윤(1988)⁷⁾ 등에 의해 원격탐사 자료를 이용한 유출모형 개발에 대한 연구가 이루어져왔으나 실제로 위성자료를 이용하여 홍수흔적을 분석한 사례는 없는 실정이다.

본 연구에서는 먼저 홍수 및 가뭄피해 현황을 조사하고 이 시기에 관측된 위성자료를 조사하여 가장 적합한 대상 지역 및 시기를 결정하였다. 각 피해시기에 관측된 위성자료와 이와 비교할 평시의 위성자료에 대하여 각각 정밀기하보정을 실시한 후, 토지피복분류 작업을 실시하였고 중첩분석을 통하여 홍수 및 가뭄흔적 분석을 하였다. 이후 현지조사 자료와 비교 분석을 실시함으로써 인공위성 자료를 이용한 흔적조사의 타당성을 검토하였다.

2. 자료수집 및 분석

2.1 자료수집

본 연구의 대상지역은 크게 홍수지역과 가뭄지역으

로 나누어 선정작업을 수행하였다. 조사기간은 최근의 자료가 신빙성이 높고 또한 오래 지난 자료보다는 자료의 정확도가 높다는 가정 하에서 1990년부터 1995년까지의 기간 중에서 전국을 대상으로 수집하였다.

홍수는 집중호우나 태풍을 중심으로 발생한 것을 조사하였으며, 대부분 홍수피해가 크고 범람지역이 확실하다고 판단되는 지역을 선정한 후, 이 중에서 우선 홍수 당시의 인공위성 관측자료가 있고, 홍수가 발생한 후 그 피해 현황이 지도로 보전되어 있어서 추후 디지털 타이핑에 의한 입력이 가능한 지역으로 선정함으로써, 원격탐사 자료에 홍수흔적의 현황도를 중첩하여 분석 결과를 검증할 수 있도록 하였다. 최종적으로 선택된 곳은 1990년 9월 9일~9월 12일에 홍수피해가 발생한 충주댐의 하류지역,⁸⁾ 즉 충청북도 충주시 일원이다.

가뭄 대상지역의 선정은 palmer의 가뭄지수 중에서 가장 낮은 수치, 즉 가장 극심한 한발을 나타내는 -4.0 이하의 지역을 선정하였다. 우선 palmer의 최대 평균가뭄지수(12개월)로 우선 순위를 지역별(시·군 단위)로 나타내고, 그 지역의 월별 가뭄지수 중에서 극심가뭄을 나타내는 순서로 월별 순서를 선정한 후,⁹⁾ 인공위성의 관측시기와 비교하여 대상지역을 선정하였다. 이 결과 최종적으로 1995년 6월의 의성군 일원을 연구대상지역으로 선정하였다.

위성자료에 대해서는 현재 이용 가능한 인공위성인 LANDSAT, SPOT, JERS에 대하여 그동안 우리나라의 관측현황 자료를 입수한 후, 앞서 언급한 홍수 및 가뭄 피해 발생시기에 촬영한 데이터를 찾고 이 중 피해발생 지역의 위성경로와의 일치여부 및 구름상태를 조사하여 최적의 영상자료를 선택하였다.

그러나 SPOT 및 JERS 위성자료에는 홍수피해 발생시기에 관측한 자료가 전혀 없었기 때문에 LANDSAT의 TM(Thematic Mapper) 센서로 관측한 자료를 사용하였다. 선정된 홍수기 및 갈수기의 위성 관측자료는 표 1과 같으며, 아울러 피해흔적의 분석을 위하여 비교 대상의 평시자료를 각각 선정하였다. 평시자료의 선정은 각 피해시기와 계절이 같고 연수의 차가 되도록 적은 자료 중에서 구름상태가 양호한 것으로 하였다.

일반적으로 홍수흔적 조사에 가장 적합한 것은 홍수 발생 후 5일 이내에 관측된 자료이어야 하며, 그 이상 지난 자료로는 장기간에 걸친 식생의 변화분석에 의해서 일부 추적이 가능하다고 알려져 있다.¹⁰⁾ 표에서 알

표 1. 최종적으로 선택한 인공위성 자료의 현황 (LANDSAT-5호)

구분	날짜	센서	Path	Row	구름량	Sub. No.	대상지역
홍수기	1990. 9. 26	TM	115	34	30%	3	충주시
홍수기 비교	1989. 10. 9	TM	115	34	0%	3	"
갈수기	1995. 6. 29	TM	114	35	10%	1	의성군
갈수기 비교	1992. 7. 6	TM	114	35	30%	1	"

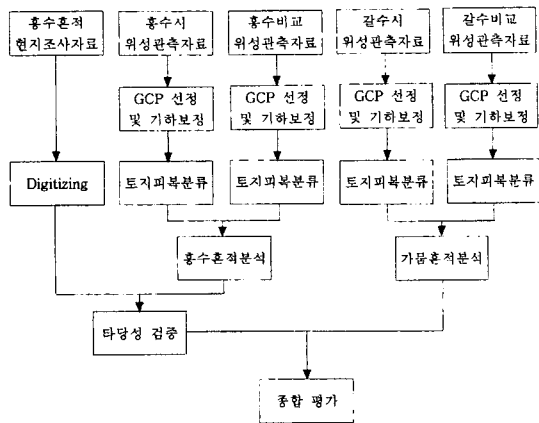


그림 1. 원격탐사를 이용한 홍수 및 가뭄흔적 분석과정

수 있듯이 본 연구에 사용된 홍수기의 위성자료는 홍수 발생 후 약 2주일이 지난 자료이었지만, 이것이 현재 사용할 수 있는 최적의 자료이었기 때문에 이를 이용한 분석 가능성을 모색하였다.

2.2 분석과정

본 연구에서는 PC를 주컴퓨터로 하여 ER Mapper S/W를 사용하여 분석하였다.

전체적인 분석과정을 도표로 표현하면 다음 그림 1과 같다. 타당성 검증에 있어서 가뭄피해에 대해서는 기존의 현지조사 자료를 구할 수 없었기 때문에 객관적인 검증을 할 수 없었다.

3. 홍수흔적 분석

홍수기 및 비교평시에 관측한 TM 자료에 대하여 각 지상기준점(GCP)을 이용하여 affine 변환식으로 정밀 기하보정한 후 충주댐 하류의 남한강 수계를 중심으로 해석대상영역(1100line×700column)만 절출하였다(그림 2, 3 참조). 이러한 해석대상영역에 대하여 7개 밴드와 사전확률을 이용하는 최대우도법을 적용하여



그림 2. 홍수기의 해석대상영역(1990)



그림 3. 비교평시의 해석대상영역(1989)

표 2. 평시(1989) 및 홍수기(1990)의 토지피복변화

(단위 : km²)

90년 89년	산림	밭	논	도시	물	나지	비경작밭	혼적지 (추정)	구름	계
산림	331.4	14.5	3.1	0.2	0.6	0.2	2.2	1.4	2.0	355.7
밭	11.4	60.0	14.1	2.6	0.2	1.0	21.2	5.5	1.1	117.1
논	2.5	4.4	58.7	0.6	0.0	0.3	8.0	8.6	0.5	83.5
도시	0.0	0.2	0.1	9.3	0.8	1.3	2.1	1.1	0.1	15.1
물	0.0	0.0	0.0	0.1	12.0	0.3	0.0	0.4	0.1	13.0
나지	0.0	0.4	0.1	1.1	0.0	3.5	3.2	0.2	0.0	8.5
비경작 밭	3.2	7.6	2.7	2.4	0.1	0.7	12.3	3.3	0.3	32.5
계	348.6	87.0	78.7	16.2	13.7	7.3	49.1	20.6	4.2	625.4

토지피복분류를 실시하였다.

분류항목으로 산림, 밭, 논, 도시, 물, 나지, 비경작 밭을 주요 분류항목으로 설정하였다. 한편, 홍수기의 자료에는 피해발생 후 2주일이 경과하였지만 일부 홍수 혼적 형태가 뚜렷이 나타나고 있었으므로 이를 또한 하나의 분류항목으로 설정하였으며, 아울러 이 자료에는 약간의 구름 및 그 그림자가 존재하고 있어서 이들도 별도로 분류하였다. 실제 분류작업에 있어서는 분류항목간의 분리도를 고려하여 일부 항목은 세분류한 후 통합처리 하였다.¹¹⁾ 또한 혼합화소(mixel) 현상에 의한 오분류 요인을 소거하기 위하여, 분류된 결과에 대하여 윈도우내 가장 다수의 값으로 대체하는 majority 필터링(3×3)을 최종적으로 실시하였다.¹²⁾

대체적으로 1990년의 자료만으로도 홍수혼적지역을 추출할 수 있었으며, 더욱 구체적으로 규명하기 위하여 평시 및 홍수기의 분류결과를 중첩분석하여 그 변화추이를 분석하였으며, 그 결과를 표 2에 요약하여 나타냈다.

여기서 보면 각 자료의 분류결과에서 약간의 오분류가 발생하였음을 알 수 있다. 이것은 물론 두 시기의 자료간에 기하보정이 아주 완벽하지 않음에도 기인할 수 있지만, 주로 특성이 유사한 분류항목 간에 분리도가 크지 않아 발생한 것들이다. 즉, 전반적으로 도시 및 나지, 비경작 밭들 사이에는 그 유사성이 상대적으로 크며, 또한 산림과 밭도 서로 유사한 패턴을 보이고 있다.

따라서 이들의 항목을 복합적으로 지니고 있는 혼합화소의 경우 상황에 따라 분류항목이 바뀌기 때문에 중첩분석시 오분류처럼 나타나게 되는 것이다. 또한 밭의 경우는 작물의 재배기간이 비교적 짧기 때문에 같은 시기라 할지라도 어느 해에는 작물이 재배되고 어느 해에는 재배되지 않는 경우가 발생하여 경년변화가 나타나게 된다.

본 연구의 목적이 홍수혼적조사에 있으므로 이와 부

합하는 변화만을 홍수혼적 항목으로 재분류하였으며, 그 결과를 그림 4에 나타냈다. 즉, 홍수혼적지역으로는 90년도 분류결과 중 혼적추정지와 90년에 새로이 물로 분류된 지역을 선정하였다. 그림 4에서는 홍수혼적지역을 강조하기 위하여 산림과 구름, 논과 밭을 통합하여 표시하였다.

그림에서 살펴보면 대체적으로 홍수혼적은 기존의 논과 밭에서 나타나고 있으며, 도시지역에서는 그 혼적을 발견하기가 어려웠다. 이는 홍수기의 위성관측 자료가 홍수 발생 후 2주일이 지난 시점이었기 때문에 도시 지역에서는 배수가 빨리 진행되어 그 혼적이 나타나지 않았고 농작물인 경우에는 침수피해로 인한 식물의 활력감소 및 토양의 수분함량이 포착되어 구별이 가능하였을 것으로 판단된다.

이상과 같은 홍수혼적 분석결과와 타당성을 검증하기 위하여 그림 4에 기존의 현지조사 결과를 중첩하여 표현한 것이 그림 5이다. 여기서 살펴보면 현지조사된 홍수 혼적지 중 배수가 빠른 일부지역이 위성자료 분석 결과에서는 비경작 밭으로 분류된 곳도 있지만, 도시지역을 제외하고 전반적으로 현지조사 결과와 위성관측 자료에 의한 결과가 잘 부합되고 있음을 알 수 있다. 또한 현지조사시 파악되지 않은 지역들도 상당수 있음을 발견할 수 있어 위성관측 자료에 의한 분석의 객관성 및 타당성을 입증할 수 있었다. 수치적인 피해면적의 비교는 피해지역의 상이함이 일부 나타나므로 면적의 과다 여부가 타당성 검증에 도움이 되지 않기 때문에 실시하지는 않았다.

4. 가뭄혼적 분석

갈수기(그림 6) 및 비교평시 분석을 위해 사용된



그림 4. 홍수흔적 발생지역도(1990)



그림 5. 현지조사 결과와의 중첩도

< 범례 >

- 산림 / 구름
- 밭 / 논
- ▨ 도시
- 물
- 나지
- 비경작 밭
- 홍수흔적지(좌)
- 가뭄흔적지(하)
- 현지조사 결과

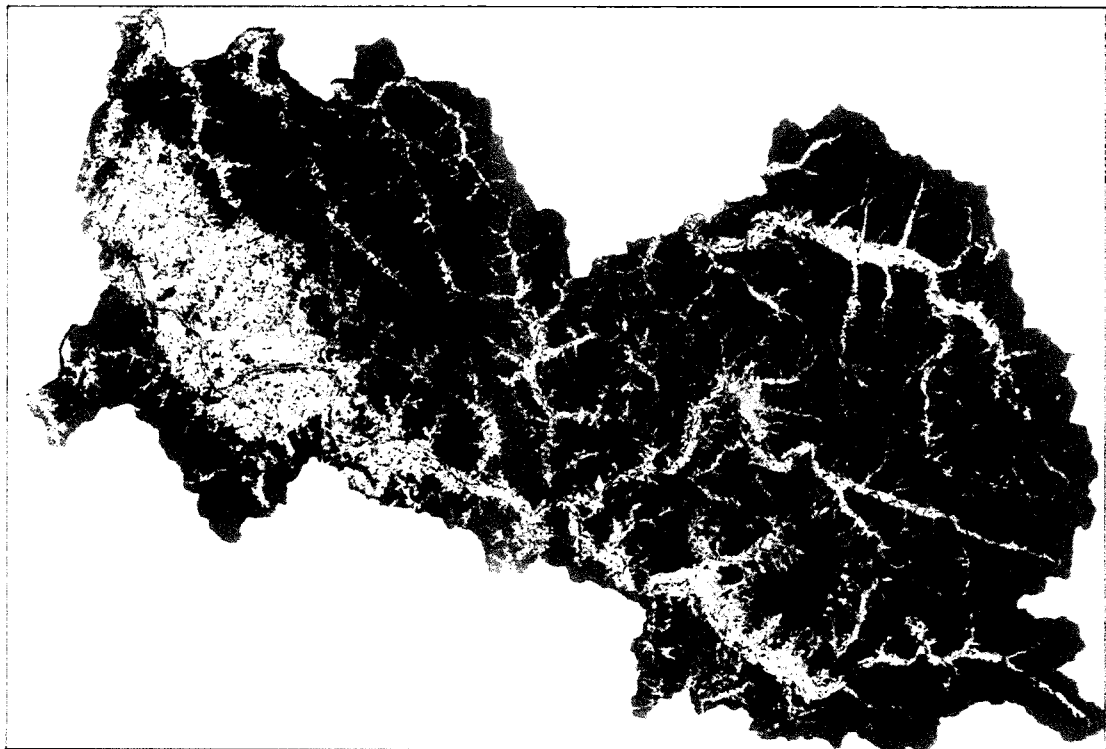


그림 7. 가뭄흔적 발생지역도(1995)

표 3. 평시(1992) 및 갈수기(1995)의 토지피복변화

(단위 : km²)

92년 \ 95년	산림	밭	논	도시	물	나지	비경작밭	습지	구름	계
산림	790.1	38.6	15.2	6.0	0.2	0.4	60.1	0.2	3.1	913.8
밭	14.7	10.8	21.9	0.9	0.0	0.1	5.1	0.0	0.0	53.5
논	13.6	1.3	53.8	5.4	0.1	0.3	7.1	0.2	0.0	81.8
도시	1.7	1.1	0.5	11.7	0.0	1.0	8.8	0.1	0.0	24.8
물	0.6	0.1	1.0	0.5	1.6	0.2	0.3	0.3	0.0	4.5
나지	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0	1.4
비경작밭	20.3	13.3	2.6	4.7	0.0	0.1	46.8	0.0	0.2	88.0
습지	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.9
계	841.1	65.2	95.0	29.5	1.9	3.1	128.6	1.0	3.3	1168.7

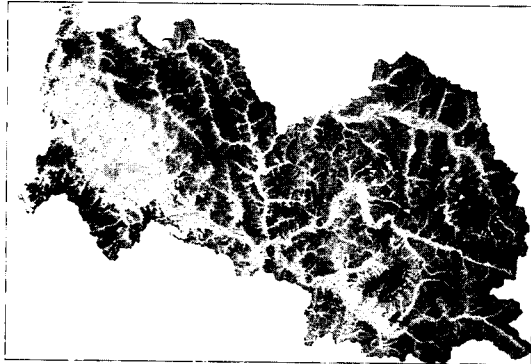


그림 6. 갈수기의 해석대상영역(1995)

TM 자료에 대하여 정밀 기하보정후 의성군 영역만 절출하여 토지피복분류를 실시하였다. 분류항목으로는 홍수시와 마찬가지로 산림, 밭, 논, 도시, 물, 나지, 비경작 밭을 주요 분류항목으로 설정하였으며, 또한 극히 일부지역에 나타나지만 습지 항목을 추가하였다. 갈수기의 자료에도 약간의 구름 및 그 그림자가 존재하고 있어 별도로 분류하였다.

의성군의 산림은 매우 복잡 다양한 분광특성을 나타내고 있어 분류에 어려움이 많았으며, 특히 수목이 별로 없는 산림과 비경작 밭 사이의 혼란이 많이 발생하였다. 또한 관측시기가 6월 말이어서 논인 경우 벼가 많이 자란 논은 밭 및 산림의 특성과 유사하게 나타났으며, 아직 많이 자라지 않고 물이 많이 차 있는 논은 물과 분광특성이 유사하였다. 그 밖에도 앞서 언급한 원인 등이 복합적으로 작용하여 분류결과 자체에는 오분류가 상대적으로 많이 내포되었다.

가뭄혼적지역은 홍수혼적과는 달리 갈수기의 토지피복분류 결과만으로는 대체적인 윤곽을 전혀 파악할 수

없었다. 물론 TVI(Transformed Vegetation Index)에 의한 식생의 활력도 분석이나 TC(Tasseled Cap) 변환에 의한 밭기, 녹지도, 함수량의 분석¹³⁾ 등을 이용하면 당해 연도의 자료만으로도 분석이 가능하지만 이를 위해서는 그 당시의 현장 분석 결과가 있어야 한다. 본 연구에서는 이를 규명하기 위해서 평시 및 갈수기의 분류결과를 중첩하여 그 변화추이를 분석하고 이중 가뭄으로 인한 토지피복의 변화로 추정되는 지역만을 추출하여 가뭄혼적지로 분류하였다. 경년변화의 분석 결과는 표 3과 같다.

여러가지 오분류의 영향을 고려하여, 가뭄혼적지역으로는 평시의 산림이 도시 및 나지로 변화된 지역, 평시의 논이 도시, 나지, 비경작 밭, 습지로 변화된 지역, 평시의 물이 물이 아닌 다른항목으로 변화된 지역(구름 제외), 평시의 습지가 도시, 나지, 비경작 밭으로 변화된 지역을 선정하였다. 여기서, 본래 가뭄에 의한 피해는 논인 경우 물을 공급하는데 상당한 노력을 기울이므로 그 영향이 비교적 적게 나타나고, 주로 기존의 밭에서 나타날 것으로 예상되지만 위에서 언급했듯이 밭의 경우 재배의 변동이 심하기 때문에 경년변화의 결과만으로 피해지역으로 단정할 수 없기 때문에 제외하였다.

갈수기의 토지분류 결과에서 이와 같이 가뭄혼적지를 재분류한 결과를 그림 7에 나타냈다. 여기서도 가뭄혼적지역만을 강조하기 위하여 산림과 구름, 논과 밭을 통합하여 표현하였다. 대체적으로 강이나 저수지의 물이 많이 줄어들어 있어 가뭄의 흔적을 발견할 수 있었지만 그 면적은 사용자료의 공간해상력 때문에 상대적으로 매우 작게 나타났다. 이 외에 논 및 밭의 피해를 일부 확인할 수 있지만 정확한 파악은 매우 어려움을 알 수 있었다.

종합적으로 볼 때, 위성관측 자료로부터 어느 정도는 가뭄피해흔적을 조사할 수는 있지만 실질적인 피해조사에는 부적합한 것으로 판단된다. 그러나 가뭄피해 발생시 바로 대표적인 지역에 대한 현지조사가 이루어진다면 이를 토대로 하여 위성자료로부터 광역의 농작물 피해에 대한 신속하고 객관적인 조사가 가능할 것이다.

5. 결 론

대체적으로 홍수흔적 분석은 당해연도의 자료만으로도 어느정도 분석이 가능하였으며, 주로 논과 밭 등 농작물에서의 흔적조사가 용이하였고, 도시지역에서는 배수가 빠른 관계로 본 연구에서처럼 2주일이 지난 시점의 자료로는 발견하기가 어려웠다. 이 결과를 현지조사한 결과와 비교해 본 결과 상당히 잘 일치하고 있으며, 현지조사시 파악하지 못했던 지역들도 상당수 있음을 알 수 있었다.

따라서 홍수흔적 조사에서는 발생 후 수개월 지나 실시하는 현지조사보다 위성자료를 이용한 분석이 훨씬 용이하고 객관적이며, 경제성과 정확성을 도모할 수 있음을 알 수 있었다.

위성자료를 이용한 가뭄흔적 분석에 있어서는 객관적으로 주로 수역의 변화에 의한 수자원의 고갈현상 파악은 할 수 있으나 위성자료의 해상력에 비추어 볼 때 이러한 변화는 매우 미미하게 감지될 뿐이며, 토지피복 변화의 추세분석을 통한 방법으로 농작물의 피해지역을 어느 정도는 확인할 수 있지만 실질적인 피해조사에는 부적합한 것으로 판단된다. 이번 연구에서는 이러한 가뭄분석 결과에 대한 비교를 할 수 있는 현지조사 결과가 없어 객관적인 타당성 조사가 불가능하여 다소 아쉬움이 남는다.

그렇지만 가뭄피해도 피해발생당시에 대표적 피해지역 몇 군데에 대한 현지조사를 실시하고 그 때의 인공위성자료를 적시에 구입하여 활용한다면 당해 연도의 자료만으로도 농작물의 피해현황을 효과적으로 파악할 수 있으리라 생각된다.

최근의 인공위성 개발 추세를 살펴보면 1992년 미국 상무부가 민간부분의 위성 발사와 지구관측 자료 획득을 허가하는 "open skies" 정책으로 인하여, EarthWatch사 및 Space Imaging EOSAT사와 같은 민간기업에서 상업적 목적으로 공간해상력 1m 내외의 인공위성을 조만간

발사할 계획으로 있으며, 또한 이들은 다수의 인공위성을 동시에 쏘아 올려 관측주기를 최대한 단축시킴으로서 지구상 어느 지역이든 고객의 요구에 따라 2-3일 안에 관측할 수 있도록 하는 정책을 표방하고 있어 향후 이러한 고해상도의 인공위성 관측자료 입수가 원활할 것으로 예측되는바, 원격탐사에 의한 자연재해 분석이 보다 정확하고 효율적으로 이용될 수 있으리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 건설교통기술연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 여화수, 박경환, 박병욱, "원격탐사의 동향과 고해상도 위성영상의 활용," 한국GIS학회지, 제5권, 제1호, 1997, pp. 89-98.
2. Hallberg, G. R. and Hoyer, B. E., "Application of ERTS-1 imagery to flood inundation mapping," Symposium on Significant Results Obtained from ERTS-1, Vol. 1, 1973.
3. Harker, G. R. and Rouse, J. W., "Flood-Plain Delineation Using Multispectral Data Analysis," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 43, No. 1, 1977, pp. 81-87.
4. Ferguson, H. L., Deutsch, M., and Kruus, J., "Applications to Floods of Remote Sensing from Satellites," The Contribution of Space Observations to Water Resources Management, 1979, pp. 195-206.
5. Luiker, S., Samson, S. A. and Schroeder, W. W., "Development of a GIS Based Hydrologic Model for Predicting Direct Runoff Volumes," Geographic Information Systems and Water Resources, 1993, pp. 303-311.
6. 幾志新吉, "洪水災害狀況の檢出," 日本リモートセンシング學會誌, Vol. 9, No. 4, 1989, pp. 55-57.
7. 박경윤 외, 원격탐사자료 응용기술 연구(III)-한강홍수위와 침수구역 조사, 과학기술처, 1988.
8. 건설부, 1990 대홍수-수해흔적조사 및 피해우심지역 원 인규명과 대책조사, 1991.
9. 건설교통부, 가뭄조사기록 조사보고서, 1995.
10. Kennie, T. J. M. and Matthews, M. C., Remote Sensing in Civil Engineering, John Wiley and Sons, 1985, pp. 294-295.
11. 박병욱, "Landsat TM 자료를 이용한 광주시 환경변화 분석," 한국지형공간정보학회논문집, 제4권, 제1호, 1996, pp. 31-41.

12. 박병욱, "수치위성자료를 이용한 광역의 토지피복분류 기
법," 한국측지학회지, 제 14권, 제 1호, 1996, pp. 39-47.

13. Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., Remote Sensing and

Image Interpretation, John Wiley and Sons, 1994, pp
577-579.