

IKONOS 위성영상을 이용한 불투수지표면 분석방법에 관한 실증연구

사공호상*

An Empirical Study on Analysis Method of Impervious Surface Using IKONOS Image

Ho-Sang Sakong*

요 약

토양의 포장은 도시의 기후나 홍수 그리고 수질오염 등에 영향을 미친다. 토양의 포장률이 높아질수록 건물과 도로의 열 저장능력이 커져 대기의 온도가 상승하며, 유출수가 증가하여 집중호우시 홍수를 유발한다. 아울러 비점오염의 부하량이 늘어나서 수질오염을 가중시킨다. 이와 같이 도시의 생태, 재해 그리고 오염에 영향을 미치는 토양의 포장현황을 파악하고 모니터링하는 것은 매우 중요하다. 그러나 도시지역의 토양포장 상태는 복잡하며, 이를 조사하는데 시간과 비용이 많이 소요되기 때문에 자료를 얻기가 매우 어려운 실정이다. 이와 같은 문제인식 하에서, 이 연구에서는 효과적으로 불투수지표면을 조사하는 방법의 하나로서 인공위성영상자료를 이용하는 방법을 모색하였다. 이 연구에서는 실제로 IKONOS 영상을 이용하여 안양시의 불투수지표면(不透水地表面)의 현황을 조사·분석하고, 이 방법의 유용성과 한계를 살펴보았다.

주요어 : 토양포장, 토지피복분류, IKONOS, 고해상도 위성영상

ABSTRACT : Impervious surface affects urban climate, flood, and water pollution. With a higher paved rate, expanded heat containing capacity of buildings and roads raises atmospheric temperature, and increased quantity of the outflowed water brings flood during a heavy downpour. Moreover, increased non-point source pollutant load is accountable for water pollution. In this regard, it is definitely important to research and keep monitoring the current situation of paved surface, which influences urban ecosystem, disaster and pollution. In fact, collecting information on urban paved surface, which requires the time and expense, is very

* 국토연구원 GIS 연구센터 연구위원

difficult due to its complicate structure. In order to solve the problem, this study suggested a method to utilize satellite image data for efficient survey on the current condition of paved surface. It analyzed the paved surface condition of Anyang-si by using IKONOS image and discussed the usefulness and limitation of this method.

Keywords : Impervious Surface, Land Cover Classification, IKONOS, High Resolution Satellite Imagery

1. 연구의 배경 및 목적

자연적인 토양의 과도한 포장(鋪裝)은 인간의 생활공간이나 자연관리 측면에서 부정적인 영향을 끼치고 있다(<표 1> 참조). 특히 도시지역에서 건물 및 시설물 신축, 도로포장 등으로 인한 불투수지표면(不透水地表面)의 증가는 기후는 물론 수자원관리, 수질오염, 토양 및 식물·동물의 생태에 영향을 미친다. 건물과 아스팔트로 포장된 도로 등은 열 저장능력을 향상시켜 대기의 온도가 상승하고, 식생지역으로부터 증산이 줄어들어 상대습도가

감소하게 된다. 수자원 관리 측면에서, 도시지역의 과도한 포장은 홍수시 하수관의 범람을 일으킬 수 있다(서울시정개발연구원, 2000). 또한, 토양포장은 오염물질을 많이 배출하기 때문에 포장비율은 비점오염(非點汚染)의 정도와 큰 관련성이 있다.

이와 같이 도시의 생태와 재해 그리고 환경오염에 영향을 미치는 불투수지표면적이 날이 갈수록 늘어나고 있으며, 이에 대한 현황파악과 계획적 관리가 시급한 실정이다. 그러나 도시지역에서 토양의 포장은 연속적이지 못할 뿐 아니라 규모가 일정하지 않기 때문에 일일이 현장을 직접 조사해야하며, 이에 따른 시간과 비

<표 1> 불투수지표면이 도시생태에 미치는 영향

영향요인	토양피복의 영향
도시기후	<ul style="list-style-type: none"> · 건물과 아스팔트 포장 등의 열저장능력을 통해 대기온도 상승 · 식생지역으로부터 증산이 줄어 상대습도 감소 · 1ha 이상 포장되지 않은 토양은 쾌적한 기후조성에 기여
수자원 및 수질관리	<ul style="list-style-type: none"> · 우수관리 분리되지 않은 경우 홍수시에 하수관 범람 우려 · 포장된 공간으로부터 우수와 함께 흘러나온 오염물이 상하수로로 유입 우려
토양	<ul style="list-style-type: none"> · 물공급이나 산송공급에 유용한 토양유기체 파괴
동식물상	<ul style="list-style-type: none"> · 토양포장은 동식물 서식공간 손실의 원인 · 도로와 같이 부분적인 토양포장도 비오톱 단절과 적응력이 부족한 종들의 심각한 감소를 초래

용이 많이 소요된다. 뿐만 아니라 건물의 신축과 도로개설 등으로 토양포장상태가 수시로 변하기 때문에 자료의 최신성을 유지하기 어려운 실정이다.

이러한 문제의 인식하에서, 이 연구는 보다 경제적이고 신속하게 토양의 포장상태를 파악하는 방법으로서 인공위성 영상 자료를 이용하는 방안을 모색하였다. 비도시지역은 대부분 투수지역이기 때문에 시가지 및 도심지역에 대한 토양포장을 중점적으로 분석하였다. 본 연구에서 불투수지표면은 '아스팔트포장, 콘크리트 구조물 등 인공적인 시설의 설치로 인하여 물이 지하로 침투할 수 없는 지표면'을 말한다.

2. 선행연구

인공위성영상자료는 분광특성을 이용하여 넓은 지역의 토지피복을 분석하는데 널리 사용되고 있다(환경부, 2002). 토지피복분류에 가장 많이 활용되는 Landsat 위성영상은 해상도가 낮아서 주로 도시내부보다는 도시와 비도시를 포함하는 넓은 지역의 변화를 분석하는데 활용되었다(사공호상, 2002). 그러나 1999년 이후 1m급 고해상도 위성영상이 공급되면서 도시지역의 아스팔트포장, 콘크리트포장 등을 분석하는데 활용되고 있다(김원주 외4, 2000).

한편, 수질오염의 원인 중에서 비점오염은 면(面) 형태로 분포하여 강우와 함께 부하되므로 토양의 포장현황에 따라 영향을 받으며, 그 중에서도 불투수지역

의 범위와 종류를 알아야 한다. 이 때 불투수지역은 대체로 위성영상을 이용한 토지피복분류로 파악하고 있다(하성료·배명순, 2000). 지금까지는 Landsat 위성영상을 이용하여 개략적인 토지피복을 분류하였기 때문에 비도시지역 또는 하천 유역을 대상으로 분석하는데 그치고 있으며, 도시지역에 대해서는 분석하지 못하고 있는 실정이다(김철·김석규, 2002). 이 외에도 토양에 함유된 수분량을 분석하여 가뭄지역을 분석하는데 인공위성영상자료가 활용되고 있다(박은주 외2, 2002).

3. 연구방법

3.1 연구지역

경기도 안양시를 대상으로 실증연구를 수행하였다. 안양시의 면적은 58.52km²서, 구 시가지와 신시가지 그리고 산림, 농경지, 하천 등의 다양한 지형적 조건을 갖추고 있는 지역이다. 또한 안양시는 연구원과 인접해 있기 때문에 지역에 대한 인지도가 높아 영상판별을 하는데 유리할 뿐만 아니라 현장조사도 용이하므로 대상 지역으로 선정하였다.

3.2 위성영상 데이터

본 연구에는 2000년 2월 18일에 취득한 미국의 IKONOS 위성영상을 이용하였다. IKONOS 위성영상은 흑백 및 다중분광 영상 모두 11비트의 정보를 가지고 있으며, 1m 흑백 영상데이터는 가시광선에서

근적외선 파장대의 정보를 가지고 있다. 4m 다중분광 영상은 적색, 녹색, 청색과 근적외선의 각 4개의 밴드로 구성되어 있다.

3.3 영상융합

영상분류 및 판독능력을 향상시키기 위하여 영상융합 (image fusion)을 실시하였다. 영상융합방식으로 IHS 변환기법, Brovey 변환기법 등 많은 기법들이 있으나, 본 연구에서는 원래 다중분광 데이터의 칼라 밸런스가 가능한 한 그대로 유지되는데 유리한 주성분(principal component) 변환기법을 이용하였다. 이 기법은 다중분광 데이터의 주성분을 분석하여 고해상도인 단밴드 영상을 제1주성분의 데이터 범위에다 맞추는 뒤에 1 주성분을 고해상도 밴드로 대체하고, 이어 주성분 역변환과정을 거친다. 주성분변환기법은 방사정확도가 높은 반면, 계산부하량이 상당히 하여 수행속도가 매우 느린 단점이 있다.

3.4 기하보정 및 정사보정

수치지형도와 원시영상을 중첩한 결과 도심지역의 수평오차는 약 70m 정도이고 도시주변 산림지역은 약 300m 정도로 나타남에 따라 우선 기하보정을 실시하였다. 기하보정은 1/5,000 수치지형도에서 취득한 30개의 지상기준점과 다항식변환 (polynomial transformation)기법을 이용하여 실시하였다. 기하보정을 실시한 결과 평균제곱근오차는 4.05m로 나타났으며, 수평오차는 도심지역이 10m, 산림지역이 200~300m 오차가 발생하였다. 따라서 기하보정으로는 오차를 보정할 수 없다고

판단하여 정사보정을 실시하였다.

정사보정은 전정색 영상과 다중분광 영상, 그리고 해상도를 통합한 영상 등 세 가지에 대해서 각각 실시하였으며, 1/5,000 축척의 수치지형도에서 추출한 등고선으로 제작한 수평해상도 5m인 수치고도모형 (digital elevation model)을 이용하였다. 정사보정 결과 도심지의 수평오차는 5m 이내로 보정되었으나, 산림지역에서는 약 50~80m의 오차를 보였다. GPS 장비를 이용하여 산림지역의 지상기준점을 측정하면 오차범위를 줄일 수 있지만 비용이 많이 들고, 본 연구의 초점이 토양포장을 분석하는데 있으므로 여기에 만족하기로 하였다.

3.5 토지피복 분류

IKONOS 위성영상은 1m의 공간해상도를 갖는 영상이므로 분류의 정확도를 높이기 위해서는 분류항목을 세분해야 한다. 그 이유는 동일한 분류항목이라도 빛이 반사되는 정도에 따라 다르게 나타나기 때문이다. 분류방법은 IKONOS 위성영상을 대상으로 실시한 실증연구의 결과에 따라 퍼지-감독분류법을 적용하였다(사공호상, 임정호, 2003).

분류항목은 <표 2>와 같이 투수지역은 식생, 경작지, 비닐하우스, 하천, 나대지, 기타초지, 철도 등이 포함되고, 불투수지역은 도로, 기타 콘크리트구조물, 아파트, 단독주택, 연립주택, 주택외 건물, 공장 등이 포함되도록 하였다. 그리고 그림자는 미분류 항목으로 간주한 다음 주변상황을 고려하여 투수지역과 불투수지역으로 판단하여 지정하였다.

<표 2> 토지피복 분류항목

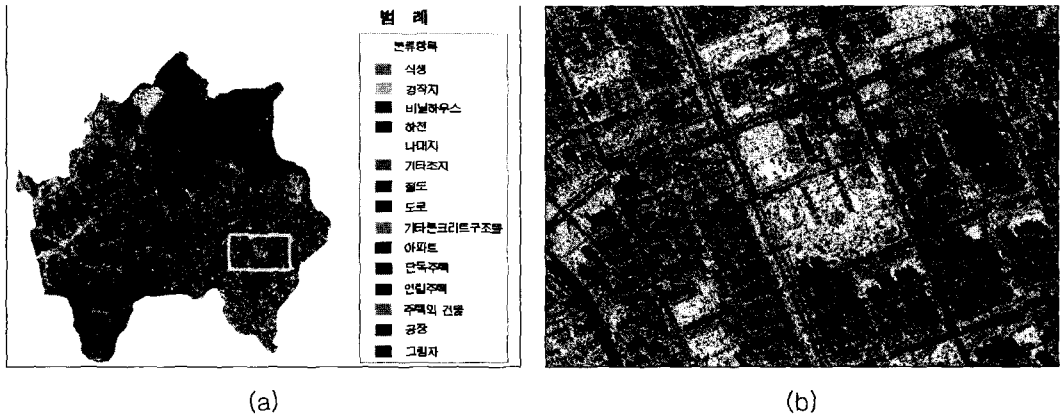
	투수지역	불투수지역	미분류	
			그림자	비포장 포장
1	식생	도로	그림자	비포장 포장
2	경작지	콘크리트 구조물		-
3	비닐하우스	아파트		-
4	하천	단독주택		-
5	나대지	연립주택		-
6	기타초지	주택외 건물		-
7	철도	공장		-

[그림 1]은 IKONOS 위성영상을 이용한 안양시 토지피복분류 결과이다. (a)는 안양시 전체의 토지피복분류결과이며, (b)는 일부지역의 분류결과를 확대한 것이다.

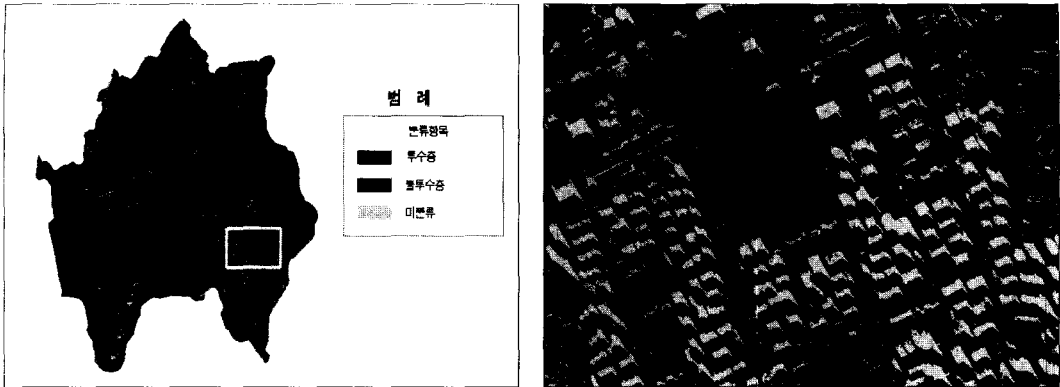
3.6 토양포장 분류

토지피복분류결과를 연구의 목적에 부

합되도록 불투수지표와 투수지표로 재분류하였다. 식생, 경작지, 비닐하우스, 하천, 나대지, 기타초지, 철도는 투수지표로 분류하였으며 도로, 기타 콘크리트구조물, 아파트, 단독주택, 연립주택, 주택외 건물, 공장은 불투수지표로 분류하였다. 또한 미분류로 설정된 그림자 지역은 육안으로 판독하여 불투수지표와 투수지표로 분류



[그림 1] 안양시의 토지피복분류결과



[그림 2] 투수 및 불투수지표면 분류결과

하였다. [그림 2]는 토지피복분류를 투수·불투수지표 재분류한 결과이다.

3.7 블록별 불투수지표면적비율 산정

지표의 포장 현황을 보다 자세하게 분석하기 위해서는 블록별로 불투수지표의 면적비율을 계산하는 것이 바람직하다. 그러나 가로망을 기준으로 블록을 구분할 경우 개체수가 많아서 시간이 많이 소요된다. 따라서 가로를 기준으로 블록을 구분하되 토지이용이 동일하게 블록을 구획하고 토지용도별로 불투수지표면적비율(이하 '불투수율'이라함)을 계산하였다. 토지용도가 동일하지만 포장정도가 다른 점을 감안하여 최대, 최소, 평균 불투수율을 계산하였다. 토지용도별로 구획된 각 블록의 불투수율은 다음의 식(1)에 의해 계산하였다.

$$\text{불투수율}(\%) = \frac{\text{블록의 불투수지역면적}}{\text{블록 전체면적}} \times 100 \quad \text{식(1)}$$

4. 분석결과

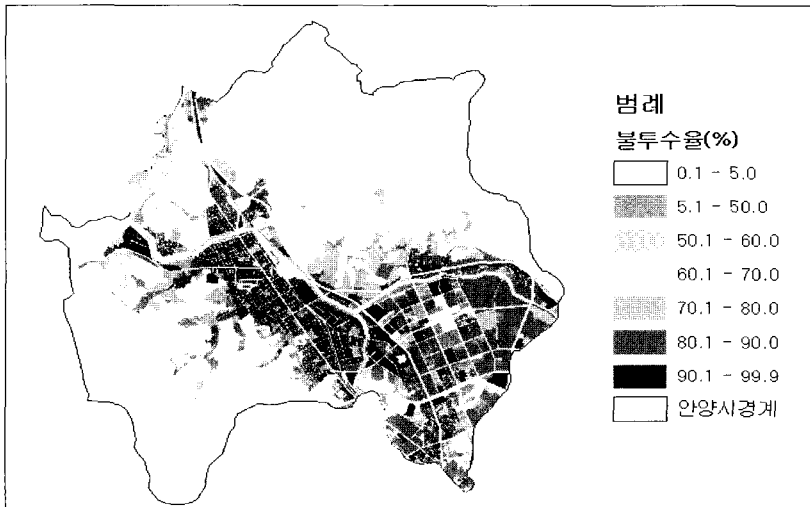
안양시의 불투수율을 분석한 결과 <표 3>에서 보는 바와 같이, 안양시 행정구역면적의 약 64%는 불투수율 5% 미만으로서 산림이나 논·밭이 대부분이다. 이를 안양시의 지목별 토지면적과 비교하면 거의 유사하다. 즉, 안양시의 전체면적 58,519,058.5㎡ 중에서 지목인 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야, 철도용지, 하천, 제방, 구거, 유지, 공원, 묘지를 합하면 37,264,216㎡로서 전체면적의 63.7와 비슷하다.

안양시 전체면적의 약 30%는 최소한 불투수율이 50%가 넘는 것으로 분석되었다. 불투수율 50% 이하인 지역을 제외하 나머지 지역을 도시화지역으로 가정할 경우, 도시화지역의 절반을 훨씬 넘는 62% 지역의 불투수율이 80~90%인 것으로 나타났다. 그리고 16.4% 지역의 불투수율이 70~80%로 분석되었다. 이를 종합하면 도시화지역의 약 80% 지역이 불투수율 70~90%에 해당한다([그림 3] 참조).

<표 3> 안양시의 불투수지표면 분석결과

불투수율 (%)	면적(m ²)	총 면적비율(%)	시가화지역의 불투수면적비율(%)
0.1 ~ 5.0	36,810,138	63.9	-
5.1 ~ 50.0	2,737,393	4.8	-
50.1 ~ 60.0	1,349,053	2.3	7.5
60.1 ~ 70.0	1,683,301	2.9	9.3
70.1 ~ 80.0	2,969,266	5.2	16.4
80.1 ~ 90.0	11,161,934	19.3	61.7
90.1 ~ 99.9	915,915	1.6	5.1
합 계	57,627,000	100.0	100.0

주 : 행정구역 경계의 불일치로 공부상의 행정구역 면적과 분석결과가 다름



[그림 3] 안양시의 블록별 불투수율 현황

불투수율별 토지용도를 살펴보면, 투수지역의 대부분은 개발제한구역이나 비시가화지역이다. 불투수율 5~50%인 지역은 농경지이거나 공원이며, 불투수율 50~60%인 지역은 전체의 2.3%로 면적이 매우 작으며, 건설중인 지역에 해당한다. 불투수율이 80~

90%인 지역은 구시가지와 신가지의 대부분을 차지하고 있는 상업지역, 고층아파트, 초고층아파트, 일반주택, 연립주택지이다.

사공호상

토지이용항목별 불투수율은 <표 4>에서 우 저층 아파트지역에서 고층 아파트지역 와 같이 일반주택지역은 83%, 아파트지역 으로 갈수록 불투수율이 높아지고 있다. 은 82%정도로 나타났다. 아파트지역의 경 또한 공업지는 79%로 주거지역에 비해

<표 4> 토지용도별 포장율

분류항목			불투수율(%)	분류항목			불투수율(%)
1	건설중	최소	23.2	14	상업지역	최소	64.1
		최대	73.4			최대	94.7
		평균	52.8			평균	85.3
2	고층아파트	최소	68.7	15	연립주택	최소	57.6
		최대	93.6			최대	93.8
		평균	84.5			평균	83.7
3	공설운동장	최소	69.8	16	일반운동장	최소	17.6
		최대	69.8			최대	66.0
		평균	69.8			평균	35.4
4	공업지역	최소	49.0	17	일반주택	최소	23.1
		최대	93.3			최대	99.7
		평균	79.6			평균	83.1
5	공원	최소	32.8	18	저층아파트	최소	60.4
		최대	66.8			최대	92.3
		평균	44.8			평균	80.4
6	교외건물	최소	30.2	19	주요기관	최소	16.7
		최대	92.3			최대	93.0
		평균	61.3			평균	65.3
7	기타시설물	최소	31.7	20	주차장	최소	51.8
		최대	97.8			최대	91.5
		평균	68.9			평균	76.8
8	나지	최소	11.5	21	철로	최소	55.9
		최대	80.8			최대	75.7
		평균	44.2			평균	67.2
9	논	최소	10.7	22	초고층아파트	최소	69.8
		최대	45.6			최대	92.9
		평균	24.1			평균	84.2
10	대학교	최소	50.3	23	초지	최소	14.1
		최대	93.0			최대	86.0
		평균	62.3			평균	44.0
11	밭	최소	5.3	24	하천제방	최소	31.4
		최대	50.4			최대	98.7
		평균	27.1			평균	65.1
12	비닐하우스	최소	42.2	25	학교	최소	58.7
		최대	84.2			최대	95.0
		평균	66.1			평균	74.1
13	비포장도로	최소	13.1	26	학교운동장	최소	14.2
		최대	40.6			최대	67.6
		평균	23.2			평균	36.1

낮은 반면, 상업지역의 불투수율은 85%로 가장 높은 것으로 분석되었다.

5. 결론

이 연구는 고해상도 위성영상을 이용하여 도시의 생태와 재해 그리고 오염 등에 영향을 미치는 불투수지표면을 분석하는 방법을 모색하는 연구로서, 안양시를 대상으로 실증연구를 수행하였다. 위성영상을 이용하여 불투수지표면 현황을 분석하는 방법론의 유용성을 정리하면 다음과 같다.

(1) IKONOS 위성영상은 복잡한 시가지 지역의 불투수지표면의 상태를 파악하는데 매우 유용한 자료로 활용할 수 있다. 특히 가로를 기준으로 토지용도별로 블록을 구획하고 블록별 불투수율을 분석하였다. 그러나 분석의 정확도를 높이기 위해서는 식생이 활성화되어 있는 시기의 영상이 더 유용하며, 건물의 기울어짐으로 인한 폐쇄지역을 최소화하기 위해서는 수직으로 촬영한 영상을 이용해야 한다.

(2) IKONOS 위성영상은 고해상도 위성영상이기 때문에 육안으로 상당히 많은 정보를 판별할 수 있다. 따라서 블록의 경계는 육안으로 판독하고 블록내의 토양 포장상태는 분광특성을 이용하여 분석하였다. 그리고 곧바로 포장지역과 비포장 지역을 분류하는 것보다 중분류 토지피복 분류를 실시한 다음 재분류하는 것이 정확도를 높이는 방법이다.

(3) 블록은 대부분 도로선을 기준으로 구분되기 때문에 수치지도의 도로망도로

중첩하여 정확도를 확인하였고, 토지피복 분류의 결과는 위성영상과 비교하여 정확도를 검사하였다. 그러나 케미컬(chemical) 테니스 코트장 또는 롤러스케이트장의 녹색표면이 식생으로 구분되는 등 토지피복 분류시 주의가 요망된다.

(4) 위성영상으로 토양의 포장을 구분하는 경우 포장의 종류와 불투수 정도를 정밀하게 파악할 수는 없다. 따라서 자연 관리에 필요한 정밀한 자료를 얻고자 하는 경우에는 포장의 종류와 그에 따른 투과성을 조사하여 보완해야 한다.

(5) IKONOS 위성영상은 신속하고 개략적으로 토양의 포장상태를 분석할 수 있는 반면, 아파트 또는 공장지역에 안에 있는 정원이나 잔디밭 등 소규모 불투수 지역을 파악하는데는 한계가 있다.

이상과 같이, 고해상도 위성영상을 이용할 경우 신속하고 경제적으로 불투수지표면의 현황을 파악할 수 있다. 그러나 특정시기에 정밀한 불투수지표면의 현황을 파악하기보다는 신속한 자료가 필요하거나 시계열적으로 변화상황을 파악하는데 더 효과적이다.

참고문헌

- 김철·김석규, 2002. "GIS를 이용한 주암호 지역의 오염부하량 산정 및 수질모의" 한국 지리정보학회지: 5(3), pp.87-98.
- 김원주·서동조·박영준·이건표·박종화, 2000. "고해상도 위성영상자료를 이용한 한강시민공원 잠실지구의 토지피복변화 분석" 2000년도 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집, 제3호. pp.114-119.

- 박은주·황철수·성정창, 2002. “위성영상의 토양 수분 정보와 공간적 요인을 고려한 가뭄민감도 분석”, 한국GIS학회지: 10(3), pp.481-492.
- 사공호상, 2002. 「원격탐사와 GIS를 이용한 수도권 도시화지역의 확산과정과 특성에 관한 연구」, 서울시립대학교 도시공학과 박사학위논문.
- 사공호상·임정호, 2002. “IKONOS 영상의 토지 피복분류 방법에 관한 실증연구”, 한국지리정보학회지 제6권 제3호, pp.107-116.
- 서울시정개발연구원, 2000. 「도시생태 개념의 도시계획에의 적용을 위한 서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시 조성지침 수립」. pp. 67-71.
- 하성룡·배명순, 2000. “GIS와 원격탐사를 이용한 비점오염원 유출분석, 대한토목학회, 학술발표회 논문집, Vol.2000, No.3, pp. 931-934.
- 환경부, 2002. 인공위성영상자료를 이용한 토지 피복지도 구축.
- Amini, J. et al, 2002. Fuzzy logic system for road identification using IKONOS images, Photogrammetric Record, 99: 493-504
- Baraldi, A., and F. Parmiggiani, 1990. Urban Area Classification by Multispectral SPOT Images, IEEE Train, on Geoscience and Remote Sensing, 28(4): 674-680.
- Jensen, J. R., 1982. Detecting Land-Use Development at the Urban Fringe, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(4): 629-643.
- www.anyang.go.kr