

토지피복 변화에 따른 식생지수(NDVI)분포 및 변화에 관한 연구: 성남시를 중심으로

성효현* · 박옥준**(이화여자대학교 사회생활학과)

A Study on distribution and change of NDVI with Land-Cover change in City of Sungnam

Hyo-Hyun Sung* · Ok-Jun Park**

요 약

본 연구에서는 1985년과 1996년 두 시기에 수집된 성남시의 Landsat TM 다중분광(Multispectral) 영상을 이용하여 토지피복 변화 양상과 식생지수 변화 양상 사이의 연관성을 분석하였다.

토지피복 변화와 NDVI 변화 사이의 연관성을 분석하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 삼림에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역은 삼림지역에서 식생활력도가 높은 6~7단계의 면적이 감소하고 상대적으로 식생활력도가 낮은 5단계로 증가 분포하였고 인공구조물이나 나대지로 변화한 지역에서는 식생지수의 단계가 하락하였다. 둘째, 농경목초지에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역은 삼림으로 변화한 지역과 농경목초지가 그대로 보존된 지역에서는 두 시기동안 식생지수가 상승분포하고 있음을 확연히 볼 수 있었다. 인공구조물이나 나대지로 변화한 지역은 식생지수 단계가 하락하였고 주로 분당구를 중심으로 그 분포를 볼 수 있었다. 셋째, 인공구조물에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역은 대체로 식생지수 단계가 상승분포하였고 인공구조물 불변지역에서 식생지수단계 상승을 볼 수 있었다. 넷째, 나대지에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역은 성남 시에서 적은 면적을 차지하고 있지만 식생지수단계 상승이 나타났다.

ABSTRACT: The purpose of this study is to analyze relationship between the NDVI change pattern and landcover change pattern in the City of Sungnam during 1985 and 1996. The results of this study are as follows; (1) NDVI of the level 6 and 7 is decreased and the level 5 is increased in the area where Forest area changed to the other land cover during 1985 and 1996. (2) In the area where Agricultural-Pasture changed

* 이화여자대학교 사회생활학과 교수

** 이화여자대학교 대학원 사회생활학과 석사과정 졸업

to forest, NDVI level became higher certainly during that time. But in the area where there has been changed from Agricultural-Pasture to Urban or built-up, Agricultural-Pasture to Barren land, the level of NDVI is decreased. (3) In the Urban or built-up to other land, or built-up the level of NDVI is increased. (4) In the area where Barren land changed to other land cover, the level of NDVI is increased.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 들어 각종 개발과 공해로 인한 도시환경의 오염이 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 각종 개발사업에 따른 자연환경의 파괴를 최대한 예방함과 동시에 녹지공간을 확보하여 환경친화적인 도시공간을 창출하려는 시도가 이루어지고 있다. 그러므로, 자연과 조화되는 도시경관을 조성하여 쾌적한 도시환경을 창출하기 위해서는 도시 오염의 자정자 역할을 담당하는 녹지공간을 보존하고 최대한 녹지공간을 확보하는 일이 중요하게 되었다.

최근에는 과학기술의 급속한 발달로 인해 원격탐사 및 GIS와 같은 응용기술을 이용하여 공간 데이터와 속성 데이터를 보다 효율적으로 저장하고 관리·분석할 수 있게 되었다. 더욱이 고해상도 위성영상을 취득할 수 있는 센서 기술의 발달로 LANDSAT TM 영상의 경우 30m, SPOT영상의 경우 10m정도로 공간해상도가 뛰어난 센서들이 많이 개발되어 있고, 최근에는 1m 이내의 해상도를 가진 광학적 형태의 카메라나 센서가 개발되어, 원격탐사 기술을 이용한 위성 영상 분석이 보다 광범위하고 동시적이며, 신속하게 지구상의 모든 대상물의 감시 및 분석을 가능하게 할 뿐 아니라 비용 절감 및 미래 예측까지도 가능하게 되었다. 위성영상자료의 수집이 용이해지고 영상분석소프트웨어의 개발이 이루어짐에 따라 각종 개발에 따른 시계열적 도시공간 변화에 대한 신속하고 정확한 정보를 확보할 수 있게 되었다(김홍규, 1999).

따라서 본 연구의 목적은 첫째, LANDSAT TM 위성영상자료에서 1985년과 1996년의 성남시의 토지피복 변화를 파악하고, 둘째, LANDSAT TM 위성영상에서 동일 기간의 성남시의 식생지수(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)를 추출하고 셋째, 두 시기동안 토지피복변화와 식생지수를 비교·분석함으로써 토지피복변화와 식생변화 사이의 연관성을 밝혀보고자 한다.

1.2 연구방법

성남시는 1989년부터 시작된 분당 신도시 개발로 인해 신시가지와 기존 시가지 그리고 개발제한구역, 농경지, 삼림 등 다양한 형태의 도시공간이 존재하고 있다. 특히 신도시 개발과 같은 급격하고 대규모의 개발 행위는 많은 토지피복변화와 많은 양의 식생을 훼손시킬 수밖에 없다(노재덕, 1995). 성남시는 개발 전후의 토지피복변화에 따른 식생환경변화를 확실히 볼 수 있는 지역으로써 본 연구를 위해 가장 적절한 표본으로서의 가치를 지닌다 할 것이다.

성남시의 분당 신도시 개발은 1989년에서 1996년까지 이루어졌으므로 본 연구에서는 개발이전 시점인 1985년 10월 21일과 1996년 9월 1일 두 시기에 걸쳐 수집된 LANDSAT TM 영상 자료를 이용하였다.

연구를 위한 영상 자료의 수집에 어려움이 있었던 관계로 부득이 10월 중순과 9월 초라는 시기적 차이가 존재하게 되었다. 10월 중순과 9월 초라는 시간적 차이는 일정부분 추수이후와 추수이전, 낙엽이 진 시점과 지기 이전이라는 시기적 특성이 존재하고 이러한 문제점은 원격탐

사를 이용한 변화탐지 연구에 악영향을 미치게 되었다. 그러므로 1996년 9월 1일의 영상보다 85년 10월 21일의 영상의 식생지수 분석에서 식생활력이 저조하게 나타날 것으로 예상하며 분석결과와 상대적 객관성을 잃게 하는 요인으로 작용할 가능성이 있다. 일반적인 토지피복 분류를 통한 변화탐지의 경우 분류 하고자하는 항목의 분광반사특성이 기타항목의 분광반사특성을 무시할 수 있을 정도로 대표값을 가지는 경우가 대부분이기 때문에 토지피복 프로세스에는 큰 영향을 미치지 못한다고 가정하고 대기학적 보정이나 방사량보정과 같은 전처리를 실시하지 않는 경우가 많다. 하지만 Hyperspectral 영상 등과 같은 높은 분광해상도를 지니는 영상 자료를 이용할 경우 가능한 분류항목도 상당히 증가하게 되고 상당히 미세한 분광특성을 감지해내야 하는 경우가 많다. 이러한 경우 대기상태의 감쇄를 통한 상대방사량 보정을 실시해 줌으로써 기준이 되는 어느 한 시기의 대기조건에 다른 한 시기의 영상을 상사시켜 발생할 수도 있는 분류 오차를 확률적으로 최소화 할 수 있게 된다. 이를 위해 보통 회귀방정식을 이용한 다시기(Multi-Date) 영상의 정규화(Normalization) 기법을 주로 이용한다. 하지만 이 연구에서는 비교적 저해상도의 Landsat TM 영상을 이용해 가장 분광반사율이 높은 대표적인 분류항목인 5개의 항목에 한해 분류를 실시하였으므로 상대방사량 보정 효과를 크게 기대할 수 없다는 판단 하에 방사량보정을 실시하지 않았으며, 식생지수 분석의 경우 그 주목적이 두 시기 사이에 발생하는 신도시의 광역적 변화양상을 추적하기 위한 것이었고 수종(침엽수, 활엽수 등)의 변화추적, 병충해 분석, 삼림의 성장 및 밀도분석 등과 같은 상당히 미묘한 차이를 추적한다는 목적은 아니었던 관계로 대기보정이나 방사량 보정의 효과는 그리 크지 않을 것이라고 판단하였다.

그러나 연구지역에서 1996년에 비해 1985년에 침엽수림의 분포가 많았고, 10월 21일이라는 시점이 완전히 낙엽이 지거나 추수가 끝나는 시점이 아니기 때문에 식생의 계절적 노화에 따른 약간의 분광반사율의 차이를 제외하고는 그 영향이 크게 작용하지 않을 것으로 예상된다.

이 연구의 방법은 첫째, 토지피복분류는 LANDSAT TM의 열적외선 밴드(band 6)를 제외한 6개 밴드(밴드1~5, 7)를 사용하여 감독분류(Supervised classification)를 실시한 후 최대우도분류법(Maximum Likelihood Decision Rule)을 이용하여 토지피복분류를 실시하였다. 두 시기동안 토지피복 분류결과와 변화양상을 추적하기 위해 선분류 후비교법에 따른 변화탐지(change detection)를 실시하였고, 두시기 동안 토지피복변화를 인덱스를 이용하여 정량적으로 표현하였다. 감독분류를 위한 참조자료는 환경부의 토지피복 분류영상을 이용하였다.

둘째, 식생지수는 TM 밴드 3과 밴드 4의 합과 차의 비로 계산되는 NDVI¹⁾(Normalized Difference Vegetation Index)식을 이용하였다. TM 영상의 밴드 3(0.63-0.69 μ m)은 클로로필 흡수영역에 있어 식생지역과 비식생지역을 구분하는데 용이하며, 밴드 4(0.76-0.90 μ m)는 물의 반사율은 낮고, 식생에 의한 반사율은 매우 높아지는 파장역으로서 식생과 수역 간에 대비도가 커지게 되므로 이를 이용하여 수역을 분리하거나 토지와 수역의 구분, 토지와 식생의 구분 등에 유용하게 사용된다. 두 시기동안 식생지수(NDVI) 분석결과 변화양상을 알아보기 위해 변화탐지를 실시하였고, 식생지수 단계별 인덱스를 작성하여 그 변화양상을 정량적으로 분석하였다.

셋째, 본 논문의 최종 목적인 토지피복변화 인덱스에 따른 식생지수(NDVI)변화 인덱스를 비교·분석함으로써 1985년과 1996년 두 사이

1) $NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$, DSAT TM(Thematic Mapper)

TM3: 가시광선 적색(0.63~0.69 μ m), TM4: 근적외선(0.75~0.9 μ m) 파장역

의 성남시 토지피복변화에 따른 식생지수변화를 고찰하였다.

사용된 소프트웨어는 영상분석을 위해 Intergraph사의 MAI(MGE Advanced Imager)를 사용하였으며 성남시의 행정경계도의 벡터라이징은 GEOVEC을 사용하였다. 토지피복인덱스와 식생지수단계별 인덱스 및 토지피복변화에 따른 식생지수변화 인덱스는 C언어를 이용해 프로그래밍하였다

본 연구를 수행하기 위한 절차는 다음과 같다 (Fig 1)

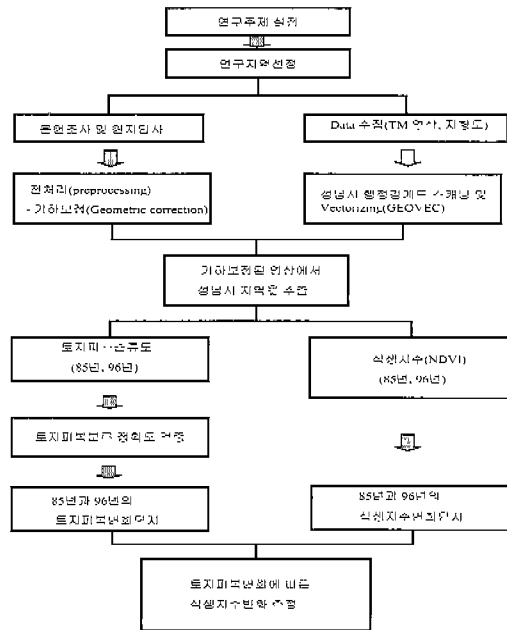
1.3 연구동향

국내 식생에 대한 연구를 종합하여 보면 식생의 분포와 시계열적 변화를 추적해 보고자 하는 연구(이규성, 1994; 박병욱, 1996; 김동실, 1999)와 곡물생산량을 추정하기 위한 연구(한균형, 1987; 황순욱, 1997), 녹지의 모니터링과 관리에 대한 연구(서동조, 1990; 노재덕, 1995; 박중화

외, 1997)등이 있을 뿐 토지이용 변화지역에 대한 식생활력도의 변화를 정량적으로 분석한 연구는 미비한 편이며, 또한 변화 면적을 관리측면으로 활용한 연구도 거의 없는 실정이다. 그러므로 식생변화 면적을 정확하게 추출하고 그 원인규명과 녹지관리 측면에서 활용될 수 있는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구와 같이 대단위 택지개발 사업이 이루어진 곳에서 토지 피복이 변화함에 따른 식생활력도 변화의 공간적 패턴과 식생활력도의 변화를 정량적으로 고찰하는 것이 요구된다.

2. 성남시의 토지피복 변화 (1985~1996)

[Table 2-1] 에서 알 수 있듯이 성남시의 토지피복은 약 11년에 걸쳐 농경목초지, 삼림, 수역의 면적이 감소한 반면 인공구조물과 나대지의 면적은 증가하였다. 특히 농경목초지는 85년



[Fig 1] flowchart for the study processes

토지피복 변화에 따른 식생지수(NDVI)분포 및 변화에 관한 연구

<Table 2-1> The change of land cover in Sungnam City(1985-1996)

분류항목	1985		1996		면적변화량 (km ²)
	면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)	
삼림	71.80	50.91	63.17	44.79	-8.63
수역	0.90	0.64	0.53	0.38	-0.37
농경목초지	52.48	37.21	30.22	21.43	-22.26
인공구조물	10.95	7.76	31.71	22.48	20.76
나대지	4.90	3.48	15.40	10.92	10.5
계	141.03	100	141.03	100	0

<Table 2-2> The change of land cover in Sungnam City based on Gu-administry unit(1985-1996)

분류항목	분당구			수정구			중원구		
	1985	1996	면적변화량 (km ²)	1985	1996	면적변화량 (km ²)	1985	1996	면적변화량 (km ²)
삼림	38.16	30.94	-7.22	21.33	20.96	-0.37	12.31	11.27	-1.04
수역	0.62	0.38	-0.24	0.23	0.14	-0.09	0.05	0.01	-0.04
농경목초지	28.46	14.50	-13.96	16.43	11.68	-4.75	7.60	4.05	-3.55
인공구조물	0.66	15.29	14.63	5.09	8.22	3.13	5.19	8.20	3.01
나대지	1.31	8.10	6.79	2.60	4.68	2.08	0.99	2.61	1.62
계	69.21	69.21	0	45.68	45.68	0	26.14	26.14	0

에 비해 성남시 면적의 16%정도인 22.26km²로 가장 많이 감소하였고, 삼림도 8.63km²로 성남시 전체면적의 6%정도 감소하였다. 이는 분당구의 대단위 택지개발²⁾이 지형적으로 고도 100m이하의 농경·목초지가 대상이었고 그 동안 개발이 제한되었던 남단녹지에 해당되는 분당구 일부가 도시지역으로 상당부분 개발되었기 때문이다. 두 시기동안 단대천과 대원천이 복개되었고 탄천에 20여 개의 다리가 건설되면서 수역의 면적이 감소한 것으로 분석되었다. 반면, 도시개발로 인해 인공구조물이 20.76km², 나대지가 10.5km²로 85년에 비해 인공구조물은 189%, 나대지는 214%의 급격한 증가를 보이고 있다. 두 시기동안 성남시 토지피복의 변화는 농경목초지의 대규모 감소와 인공구조물의 대규모 면적증가로 특징지어질 수 있다.

[Table 2-2] 는 1985년과 1996년 사이의 토지피복 항목별 면적의 변화를 구별로 나타낸 것이다. 분당구의 경우가 토지피복항목별 면적 변화량이 가장 많이 나타나고 있다. 대체로 분당구, 중원구, 수정구 모두 인공구조물과 나대지의 면적은 증가한 반면 농경목초지와 삼림, 수역의 면적이 감소하였다.

분당구의 경우, 두 시기 사이에 인공구조물 지역과 나대지 지역이 다른 구에 비해 상당히 증가한 것을 볼 수 있다. 분당구 면적의 인공구조물은 21%, 나대지는 약 10%정도 증가한 반면 농경목초지는 분당구 면적의 20%, 삼림은 10%정도 감소하였다. 수정구의 경우는 인공구조물은 10%, 나대지가 5%정도 증가하였고 농경목초지가 수정구 면적의 10%, 삼림은 0.8%로 감소하였다. 중원구는 인공구조물이 중원구 면적의

2) 분당구 지역의 택지개발지역의 면적 20.09km² 중 표고 50m이하지역이 12.92km², 50-80m지역이 4.83km², 100m이상의 지역은 0.79km²로 3.9%정도를 차지하고 있다.

12%, 나대지가 6.2%정도 증가한 반면 농경목초지, 삼림, 수역의 면적은 다소 감소하였다. 수정구와 중원구는 인공구조물과 나대지 지역이 분당구와 같이 증가하였으나 분당구에 비해 변화의 폭은 적었다. 이는 분당구는 계획적으로 남단 녹지에 해당되는 농경목초지의 개발이 이루어진 반면 수정구와 중원구는 도심외곽지역이 개발제한지역으로 지정되어 있어 더 이상의 시가지가 확장 공간이 제한되었기 때문인 것으로 보인다.

[Fig 2-1 A] 의 1985년 토지피복 분류영상을 보면 탄천을 중심으로 동쪽의 수정구와 중원구와 서울공항 활주로, 경부고속도로에서 인공구조물이 분포한다. 서울과 인접한 지역과 경부고속도로 주변, 남서울골프장, 탄천 및 동막천, 분당천, 여수천, 야탑천, 운중천 지류를 따라서 농경·목초지가 집중 분포하며 분당구에서 넓은 분포가 나타나고 있다. 대부분 성남시 외곽은 삼림이 분포하고 있다. 개발제한구역과 공원용지로 지정되어 있어 개발이 제한되었기 때문에 삼림의 토지이용을 보인다. 그리고 나대지는 수정구와 중원구의 도시시가지 주변 일부와 서울공항 주변에 주로 분포하고 있다.

[Fig 2-1 B] 의 1996년도 성남시의 토지피복 분포를 보면 탄천을 따라 동쪽인 수정구와 중원구, 분당의 대단위 아파트가 건설지역과

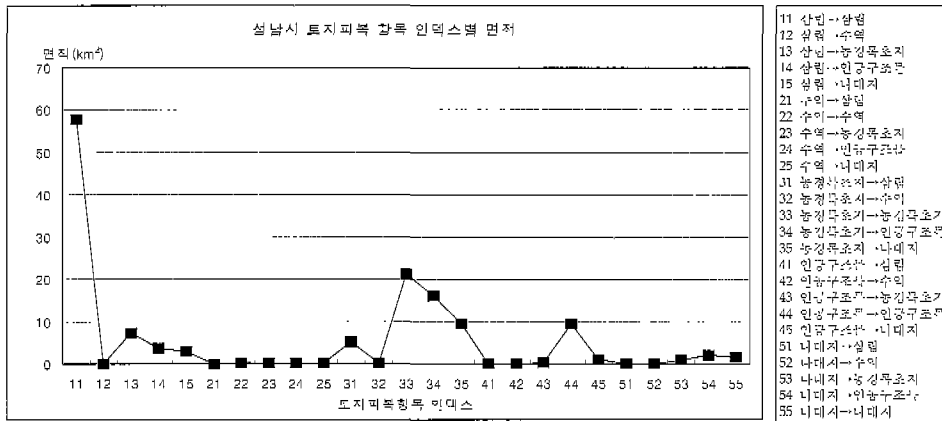
경부고속도로, 서울외곽순환고속도로, 내곡-분당간 고속화도로, 수서-분당간 고속화도로, 분당-장지간 고속화도로, 성남-광주간 산업도로 등이 확연히 인공구조물이 나타나고 있다. 탄천 지류들인 상적천, 운중천, 동막천, 여수천을 따라 농경목초지가 분포하며, 삼림은 인공구조물 외곽지역에 펼쳐져 있고, 나대지는 인공구조물주변과 탄천을 따라 분포하며 그 지류인 운중천과 동막천을 따라 일부 분포하고 있다.

본 연구에서는 두 시기 사이의 토지피복 항목별 면적변화량을 보다 정밀하게 추출하기 위해 변화탐지 인덱스를 작성하였다. 변화탐지 인덱스는 85년과 96년 토지피복 항목에 각각 code값을 부여하여 각각의 토지피복변화를 인덱스로 표현한 것이다. 각 인덱스별로 변화면적을 계산함으로써 토지피복 항목별 변화를 정확하고 정량적으로 계산할 수 있었다. 프로그래밍 언어를 이용하여 프로그램을 작성한 토지피복 변화탐지 인덱스를 토지피복분류 결과에 적용하였다.

[Fig 2-2] 은 시각적으로 면적을 쉽게 파악할 수 있도록 꺾은선 그래프로 표현한 것이다.

[Fig 2-2] Area of land cover change (1985~1996)

[Fig 2-2] 에서 성남시 전체로 보면 두 시기 동안 11, 33, 34, 35, 44가 많은 면적을 차지하고 있다. 삼림은 농경목초지(13), 인공구조물(14),



[Fig 2-2] Area of land cover change (1985~1996)

나대지(15)로 변화가 크고, 특히 11(삼림→삼림) 지역은 성남시의 전체 면적의 40%를 차지하고 있으며 이것은 성남시의 시가지 외곽이 상당수 개발제한구역과 공원용지로 지정되어 있고 85년과 96년의 개발제한구역의 면적이 54.8km²로 변화가 없었기 때문에 두 시기동안 변화가 적었던 것으로 보인다.

33(농경목초지→농경목초지) 지역은 21km²로 농업용지나 잔디밭, 골프장 등의 지역을 나타내는 것으로 85년에 비해 농경목초지 면적이 절반 가까이 감소한 상태이다.

34(농경목초지→인공구조물)지역은 분당구의 택지개발사업에 따른 토지피복 변화로 성남시의 면적의 11.4%정도의 비율을 차지하고 있다. 35(농경목초지→나대지)지역은 주로 건설을 추진 중에 있는 지역과 학교용지 증가에 따른 토지피복의 변화를 보이고 있다.

44(인공구조물→인공구조물)지역은 수정구와 중원구의 시가지 지역에 분포하며 성남시 면적의 6.71%를 차지하고 있다.

[Fig 2-3] 의 분류영상에서 11(삼림→삼림)의 분포가 가장 두드러지며, 13(삼림→농경목초지)은 서울외곽고속도로주변과 인터체인지 주변 지역, 14(삼림→인공구조물)지역은 택지개발이 이루어진 분당구 지역과 서울외곽순환고속도로에 주로 분포한다.

농경목초지에서 토지피복이 변화한 지역 중

인공구조물(34), 나대지(35)로의 변화가 가장 크며, 34(농경목초지→인공구조물)와 35(농경목초지→나대지)로의 변화는 분당구 신도시 주택 건설지역과 인공구조물 주변지역에 나대지(35)지역이 분포한다. 농경목초지가 대단위 택지개발사업의 대상지였기 때문이다. 31(농경목초지→삼림)은 주로 도로가 건설된 지역 주변에서 분포한다. 이는 도로건설 후 도로 주변화단의 인공조림에 인한 것으로 보인다.

인공구조물지역에서 토지피복이 변한 지역은 44(인공구조물→인공구조물)를 제외하고 성남시 전체 면적의 1.05%인 1.49km²에 불과하다. 주로 수정구와 중원구의 도시시가지 지역에 분포하는 것으로 미루어 보아 도시 조경시설의 확충에 따른 토지피복의 변화라 할 수 있다.

또한 나대지에서 토지피복이 변한 지역도 성남시 전체 면적 중 3.46%의 극히 적은 면적을 차지하며, 54(나대지→인공구조물)와 55(나대지→나대지)가 대부분을 차지하고 있다. 54지역은 건물이 건축된 곳에 분포하고 55지역은 학교운동장에서 분포를 볼 수 있다.

3. 성남시의 식생지수(NDVI) 분포변화(1985~1996)

NDVI영상은 -1에서 1까지의 실수값을 갖게

<Table 3-1> Area change in the 7 NDVI levels (1985~1996)

단계	분당구			수정구			중원구			성남시전체		
	1985	1996	면적 변화량 (km ²)	1985	1996	면적 변화량 (km ²)	1985	1996	면적 변화량 (km ²)	1985	1996	면적 변화량 (km ²)
1	0.78	1.66	0.88	2.20	0.67	-1.53	1.37	0.52	-0.85	4.35	2.85	-1.59
2	4.03	13.39	9.36	7.57	6.66	-0.91	6.52	6.72	0.20	18.12	26.77	8.65
3	10.82	8.77	-2.05	5.87	5.51	-0.36	2.92	3.29	0.37	19.62	17.57	-2.15
4	12.72	5.77	-6.95	7.69	5.14	-2.55	3.85	2.13	-1.72	24.26	13.04	-10.92
5	23.85	29.04	5.19	11.95	19.72	7.77	7.47	9.58	2.11	43.27	58.34	15.07
6	16.12	10.58	-5.54	9.16	7.98	-1.18	3.76	3.9	0.14	29.03	22.46	-6.68
7	0.89	0	-0.89	1.24	0	-1.24	0.25	0	-0.25	2.38	0	-2.38
계	69.21	69.21	0	45.68	45.68	0	26.14	26.14	0	141.03	141.03	0

되는데 본 연구에서는 자료의 처리를 편리하게 하기 위하여 NDVI값에 128을 곱한 뒤 128을 더 하여 0부터 255까지의 정수 값을 갖게 변환하였다. 식생지수(NDVI)를 8개의 단계로 구분하였으나 1985년과 1996년 두 시기동안 8단계에 해당하는 면적이 없었으므로 7단계까지 표현하였다.

[Table 3-1] 는 1985년과 1996년 두시기 사이의 식생지수(NDVI) 단계별 면적변화량을 나타낸 것이다. [Table 3-1] 에서 식생지수(NDVI) 2단계, 5단계는 증가하였고 1단계, 3단계, 4단계, 6단계 7단계에서 면적감소를 보이고 있다. 특히 5단계의 면적이 15km² 증가하여 성남시 전체면적에서 11%정도를 차지하는 면적으로 가장 많은 면적증가를 보였다. 4단계는 면적이 10.92km² 감소하여 두 시기동안 46.24%감소하였다. 식생활력이 좋은 6~7단계는 성남시 전체면적의 6% 정도 감소하였다.

[Table 3-1] 에서 분당구는 1, 2, 5단계에서 식생 면적이 증가한 반면 3, 4, 6, 7 단계에서 감소하였다. 특히 수정구와 중원구에 비해 1~2단계가 증가하였고 식생활력도가 높은 6~7단계에서 면적이 감소하였다. 식생환경이 악화되었기 때문으로 보인다.

수정구는 낮은 1~4단계와 식생지수가 높은 6~7단계의 면적이 감소하였고 5단계에서 면적이 증가하였다. 식생활력도가 좋은 5단계의 증가가 두드러지며 두 시기 동안 7.77km²가 증가하여 분당구의 5.19km², 중원구의 2.11km²면적보다 많은 증가를 보이고 있다.

중원구는 1, 4, 7단계에서 식생지수 면적의 감소와 2, 3, 5, 6단계에서 증가를 보이고 있다. 중원구는 분당구나 수정구에 비해 면적변화량이 적었다.

[Fig 3-1] A에서 식생지수 1~2단계는 수정구와 중원구의 도시지역과 수정구와 서울시가 인접한 지역, 서울공항의 활주로 부근지역, 서울톨게이트지역과 경부고속도로, 성남대로를 따라 분포한다. 3~4단계는 탄천 및 그 지류인 운중천, 동막천, 분당천, 여수천을 따라 주로 분포하

며, 5~7단계는 수정구와 중원구의 도시시가지 외곽지역과 분당구에 주로 분포한다. 또한 탄천의 지류인 금토천 상류지역과 상적천 상류지역, 대원천 상류지역에서 7단계의 분포를 볼 수 있다. 이런 지역들은 대부분 개발제한구역과 자연녹지지역, 공원용지로 지정되어 있어 개발이 제한된 지역이다.

[Fig 3-1] B에서 식생지수(NDVI) 1~2단계는 경부고속도로, 서울외곽순환고속도로, 분당-내곡간 고속도로로, 분당-장지간 고속도로로, 분당-수서간 고속도로로, 성남-광주간 산업도로 등을 따라 분포하고 특히 수정구와 중원구, 분당구의 시가지 지역에 남북으로 길게 분포한다. 3~4단계는 탄천 지류들인 상적천, 금토천, 운중천, 동막천, 분당천 주변지역과 도로주변을 따라 나타난다. 5단계 이상은 대체로 탄천을 중심으로 서쪽지역과 동쪽의 시가지외곽지역에 주로 분포한다.

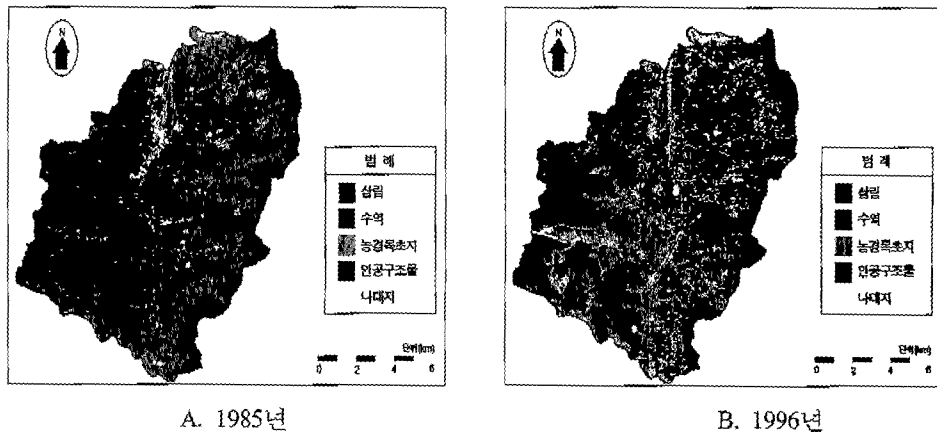
본 연구에서는 식생지수 변화를 보다 세밀하고 정량적으로 측정하기 위해 85년과 96년의 식생지수 변화인덱스를 작성하였다. 식생지수 변화인덱스를 이용하여 인덱스별 세부변화양상과 함께 그 면적을 정량적으로 계산할 수 있었다.

[Table 3-2] 는 1985년과 1996년의 식생지수 변화인덱스별 면적이고 [Fig 3-2] 은 결과 영상이다.

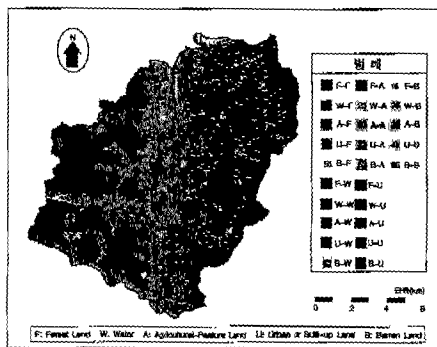
85년과 96년 사이 모든 식생지수 단계의 면적을 비교하여 보면 식생지수 단계가 변하지 않은 면적이 57.57km²로 성남시 면적의 41%를 차지한다. 특히 85년에 5단계였고 96년 5단계인 면적이 27.80km²로 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 이것은 성남시의 경우 개발제한지역으로 지정된 면적이 두 시기동안 변하지 않았고, 주로 성남시 지형이 300~600m의 급경사 지대가 외곽 지역에 분포하는 분지형 지역이기 때문이다.

전체적으로 보면 85년 각 단계에서 96년 식생지수가 상향된 면적은 37.39km²로 성남시 전체면적의 27.9%에 해당된다. 하지만 식생활력도가 높은 5~7단계에서 상승한 면적은 6.38km²로 성

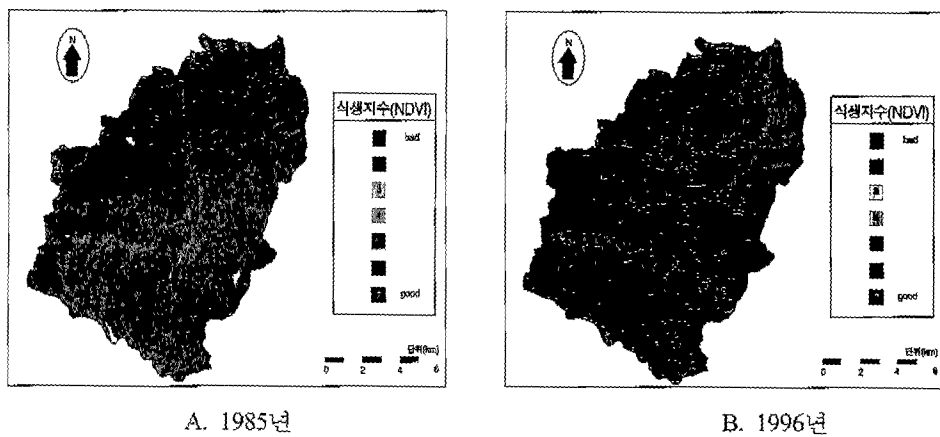
토지피복 변화에 따른 식생지수(NDVI)분포 및 변화에 관한 연구



[Fig 2-1] The land cover of Sungham City



[Fig 2-3] Distribution of land cover change (1985-1996)



[Fig 3-1] Distribution of NDVI in Sungham City

<Table 3-2> Change of NDVI levels

단위(km²)

식생지수	1996년							계	
	1	2	3	4	5	6	7		
1995년	1	0.74	3.07	0.30	0.13	0.10	0.01	0	4.35
	2	0.63	8.61	6.20	1.33	1.05	0.30	0	18.12
	3	0.63	6.34	4.70	3.36	3.65	0.93	0	19.61
	4	0.38	4.05	3.28	3.99	10.98	1.58	0	24.26
	5	0.32	3.35	2.20	3.22	27.80	6.38	0	43.27
	6	0.14	1.22	0.79	0.92	14.23	11.73	0	29.03
	7	0.01	0.13	0.10	0.09	0.53	1.53	0	2.39
계	2.85	26.77	17.57	13.04	58.34	22.46	0	141.03	

남시 면적의 4.5%정도로 적은 면적을 차지하고 있고 또한 85년에 비해 96년에는 7단계의 식생지수면적 분포가 존재하지 않았다. 이는 도시화의 진행과 분당구의 택지개발사업을 통한 삼림의 훼손 및 개발제한구역내의 삼림관리가 이루어지지 않고 있다고 할 수 있다.

[Fig 3-2] 은 85년과 96년의 식생지수 단계별 면적을 식생지수가 상승한 지역과 하락한 지역에 대해 두 가지의 색으로 표현한 영상이다. 상승지역은 녹색, 하락한 지역은 보라색으로 표현하였고 녹색이 진해질수록 식생지수가 더욱 상승한 것이고 보라색이 진해질수록 식생지수가 더욱 하락한 것이다.

[Fig 3-2] 에서 두 시기동안 분당구에서 확연히 식생지수가 하락한 것으로 나타나고 있고, 서울외곽순환도로, 분당-수서간 고속화도로, 분당-내곡간 고속화도로를 중심으로 식생지수가 하락양상을 보이고 있다. 분당구의 동막천 상류지역인 낙생저수지 주변과 수도권 남부저유소에서 식생지수가 하락하였다. 수정구와 중원구의 외곽지역 일부에서 식생지수가 하락한 것을 나타내고 있고 서울과 인접한 수정구와 도심은 대체로 식생지수가 상승하였다. 두 시기동안 개발제한지역, 보춘녹지지역, 공원용지 등의 외곽은 대체로 식생지수가 상승하였고 시가지 개발의 분당구 지역, 도로 건설 지역에서 식생지수가 하락하였다.

4. 토지피복 변화에 따른 식생지수 (NDVI) 변화

4.1 삼림에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역

85년에는 삼림이었으나 96년에는 다른 토지 피복으로 변화가 이루어진 지역의 특성은 대체로 6~7단계에서 식생지수가 하락하는 양상을 보인다.

11(삼림→삼림)지역은 57.76km²로 성남시 전체 면적 대비 가장 넓은 41%의 비율을 차지하고 있다. 그 분포를 보면, 수정구의 복정동, 고등동과 중원구의 여수동과 탄천 지류들을 따라 넓은 상승 분포 양상을 보이고 있고 수정구와 의왕시 접경지역에서도 높게 상승하는 양상을 볼 수 있다. 반면에 금토천과 운중천 상류지역부근, 동막천과 남서울 골프장 주변지역, 서울외곽순환고속도로, 경부고속도로 주변지역에서는 식생지수가 하락하는 양상을 보이고 있다.

13(삼림→농경목초지)지역은 7.35km²의 면적으로 성남시 전체 면적의 5.2%를 차지하고 서울 외곽순환고속도로 주변지역, 남서울 골프장 부근에서 식생지수가 하락한 것을 확연히 볼 수 있고 주로 도로 건설로 산지를 훼손하면서 절개면에 잔디로 조경을 하였기 때문으로 보인다. 수정구의 판교동 지역에서는 식생지수가 상승

분포하고 있다.

14(삼림→인공구조물)지역은 삼림에서 인공구조물로 토지피복이 변화한 지역이다. 그 면적은 3.79km²로 성남시 전체 면적의 2.7%를 차지하고 서울외곽순환고속도로와 분당구의 일부 지역, 동막천 상류지역에 분포하며 식생지수가 급격히 하락하였다.

15(삼림→나대지)지역도 2.88km²로 성남시 전체 면적의 2.04%를 차지하고 분당구 지역에 주로 분포하며 동막천 상류지역의 낙생유원지와 수도권 남부저유소시설이 건설되면서 그 주변 지역까지 식생지수가 하락한 것을 확연히 볼 수 있다. 또한 분당구의 시가지 주변지역에서도 식생지수의 하락 양상을 볼 수 있는데 이것은 아직까지 건설중에 있는 지역들인 것으로 판단된다.

4.2 농경목초지에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역

농경목초지에서 다른 토지피복 항목으로 변화한 지역 역시 식생지수가 2~4단계에서 상승한 반면 6~7단계에서는 하락하는 양상을 보이고 있다.

31(농경목초지→삼림)지역은 5.28km²로 성남시 전체면적의 3.7%에 불과하고 대체로 식생지수 단계별로 보아 전체적으로는 상승하였지만 식생활력이 낮은 단계인 1~2단계에서 상승하고 식생활력이 좋은 6~7단계에서 하락하는 양상을 보인다. 수정구의 지역과 중원구와 분당구 사이의 개발제한구역, 분당구의 분당천 상류지역이 식생지수가 상승하였다. 이러한 지역은 주로 농경목초지가 도시시가지로 개발되면서 공원이 조성되거나 가로수가 식재된 곳으로 보인다.

33(농경목초지→농경목초지)지역은 두 시기 사이에 22.26km²의 면적이 감소하여 96년에는 21.34km²로 성남시 전체 면적의 15.13%를 차지하고 있다. 주로 탄천주변과 그 지류 그리고 도로를 따라 분포하고 있으며, 분당구의 도시공원과 구시가지와 신시가지 사이 개발제한구역의 식

생환경은 좋아진 반면 남서울 끝포장 부근은 하락하였음을 볼 수 있다. 식생활력도가 좋아진 것은 85년 10월 중순과 96년 9월 초순의 계절적 차이로 보아야 하겠다.

34(농경목초지→인공구조물)지역과 35(농경목초지→나대지)지역에서 식생지수는 전체적으로 하락하는 양상을 보인다. 34(농경목초지→인공구조물)지역은 16.13km²로 성남시 전체 면적의 11.43%를 차지한다. 대단위 아파트단지가 건설된 분당 지역, 경부고속도로, 성남-광주간 산업도로 등에 분포하며 식생지수는 하락한 것으로 나타났다. 그 이유는 토지피복의 변화에 따라 식생지수가 하락된 때문인 것으로 판단된다.

35(농경목초지→나대지)지역은 9.62km²로 성남시 전체 면적의 6.82%를 차지한다. 아직 개발중에 있는 나대지로서 수정구와 서울 인접지역, 탄천을 따라 식생지수가 상승분포하고 분당구와 경부고속도로 주변, 운중천 주변에서는 식생지수가 하락분포 한 것으로 판명되었다.

4.3 인공구조물에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역

인공구조물에서 다른 토지피복 항목으로 변화한 지역은 10.95km²이며, 불변지역인 44(인공구조물→인공구조물)지역을 제외한 41(인공구조물→삼림), 43(인공구조물→농경목초지), 45(인공구조물→나대지)는 성남시 전체에서 차지하는 면적비 1.1%로 극히 일부지역에 해당된다.

41(인공구조물→삼림)은 면적 0.01km²로 극히 일부지역을 차지하고 있으며, 도심 내 조경사업의 영향이라고 생각된다. 85년 식생지수 2단계에서 96년 5단계로 상승하였다. 중원구 시가지 지역에서 상승 분포한다.

43(인공구조물→농경목초지)지역도 0.37km²로 성남시 전체면적 대비 0.2%를 차지하며 1~3단계의 식생지수가 4~5단계로 상승하였고 수정구의 탄천 주변과 중원구의 도로를 따라 상승분포하고 있다.

44(인공구조물→인공구조물)지역은 9.7km²로 성남시 전체면적 대비 6.9%를 차지하고 주로 식생지수 1~2단계에서 상승하였다. 수정구와 중원구의 도시시가지 지역에서 식생지수가 상승한 것으로 나타났다. 85년 당시 성남시는 도시관리가 체계적으로 이루어지지 않았었고 도로의 정비도 이루어지지 않은 상태에서 낮은 단계의 식생분포를 보인 반면 96년에는 도로망이 정비되고 가로수의 식재로 인해 식생지수 1단계에서 2단계로 상승분포한 것으로 판단된다.

45(인공구조물→나대지)지역은 1.07km²로 성남시 전체 면적의 0.76%를 차지하며 수정구와 중원구의 시가지 외곽지역에서 상승 분포한다.

4.4 나대지에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역

51(나대지→삼림)과 53(나대지→농경목초지) 지역은 0.04km²와 0.99km²로 성남시 전체에서 차지하는 면적이 0.03%와 0.7%정도로 극히 적은 편이지만 식생지수가 모두 수정구의 도로를 따라 상승 분포한다. 수정구의 서울공항 주변에서 두드러진 상승 분포를 보인다. 이것은 도로주변화단의 정비와 가로수 조성 등이 그 주요원인이라고 생각된다.

54(나대지→인공구조물)지역은 2.16km²로 성남시 전체 면적의 1.53%를 차지하고 수정구 도로 주변과 중원구 시가지 주변지역, 분당구의 탄천 주변에서 식생지수가 상승 분포하고 있다.

55(나대지→나대지)지역은 1.66km²로 성남시 전체 면적의 1.17%를 차지하며 서울공항 주변과 중원구에 일부 분포하며 식생지수가 상승한 것으로 분석되었다. 이는 주로 개발예정지나 학교운동장, 체육시설 들인 것으로 보인다.

5. 결론 및 고찰

본 연구는 성남시의 식생지수 분포 및 변화를

토지피복 분포 및 변화와 상대적으로 비교 분석함으로써 두 인자 사이의 연관성을 규명하는데 목적이 있다. 먼저 1985년 10월21일과 1996년 9월 1일 수집된 LANDSAT TM data로부터 토지피복 분포 및 변화를 추출하여 25개의 인덱스를 작성함으로써 토지피복변화 인덱스별 면적을 계산하였고 동시에 두 시기동안의 NDVI(식생지수)를 추출하여 두 시기동안의 식생지수 분포와 변화를 정량적으로 파악하였다. 25개의 토지피복 인덱스 중 수역에서 삼림, 수역, 농경목초지, 인공구조물, 나대지로 토지피복이 변한 지역과 삼림, 농경목초지, 인공구조물, 나대지에서 수역으로 토지피복이 변한 지역은 식생이 거의 존재할 수 없는 환경이고 성남시에서 차지하는 면적이 0.7%로 상당히 적은 분포를 보이고 있어 본 연구의 분석대상에서는 제외시켰다. 마지막으로 25개 토지피복 인덱스 중 16개의 토지피복 인덱스에 대해 식생지수 변화를 비교·분석하여 성남시의 식생변화를 고찰하였다.

토지피복의 변화에 대한 분석 결과 1985년과 1996년의 두 시기동안 농경목초지에서 인공구조물로의 변화와 농경목초지에서 나대지로, 삼림에서 농경목초지로, 삼림에서 인공구조물로의 변화가 두드러졌으며, 특히 농경목초지에서 인공구조물로의 변화가 가장 크게 나타나고 있다. 또한 식생지수(NDVI)를 7단계로 세분화시켜 1985년과 1996년, 두 시기 동안 성남시의 식생지수 변화를 고찰한 결과, 식생지수 1~2단계는 주로 수역, 인공구조물과 나대지에, 3~4단계는 농경목초지에, 5단계 이상은 삼림지역에 분포하였다. 두 시기동안 식생지수 1단계, 3~4단계, 6~7단계에서 면적이 감소하였고 2단계와 5단계의 면적이 증가한 양상을 보였다.

최종적으로 토지피복 변화와 NDVI 변화 사이의 연관성을 분석하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 삼림에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역은 삼림지역에서 식생활력도가 높은 6~7단계의 면적이 감소하고 상대적으로 식생

활력도가 낮은 5단계로 증가 분포하였고 인공구조물이나 나대지로 변화한 지역에서는 식생지수가 하락하였다.

둘째, 농경목초지에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역은 삼림으로 변화한 지역과 농경목초지가 그대로 보존된 지역에서는 두 시기동안 식생지수가 상승분포하고 있음을 확연히 볼 수 있었다. 불변지역은 분석을 위해 사용한 위성 영상의 수집시기 차이에 따른 계절적 영향도 일정부분 존재할 것이라 판단된다. 인공구조물이나 나대지로 변화한 지역은 식생지수가 하락하였고 주로 분당구를 중심으로 그 분포를 볼 수 있었다.

셋째, 인공구조물에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역은 대체로 식생지수가 상승분포하였고 인공구조물 불변지역에서 식생지수 상승을 볼 수 있었다. 도심의 가로수정비와 도시조경사업에 따른 것이다.

넷째, 나대지에서 기타 토지피복 항목으로 변화한 지역은 성남시에서 적은 면적을 차지하고 있지만 식생지수의 상승이 나타났다. 주로 도로를 따라 분포하였고 이는 가로수 조성과 도로주변화단의 정비 등에 따른 결과이다.

성남시의 외곽은 주로 표고 300~600m 이상의 산지로 형성되어 있고 대부분 개발제한구역으로 지정되어 있어 토지피복의 변화가 적었음에도 불구하고 활력도가 높은 식생 면적이 감소하였음을 알 수 있었고, 특히 분당구 지역의 급격한 식생지수 하락이 두드러지게 나타나고 있다. 이것은 대단위 택지개발을 위해 농경목초지에서 인공구조물로 토지피복이 변화한 것이 주요 원인이라고 판단된다. 또한 급격하면서도 대규모의 인공구조물로 토지피복 변화가 있었던 지역 주변에서도 주목할만한 식생지수의 하락이 있었으며, 이는 무분별한 도시개발에 따른 부정적 파급성이 주변지역에까지 지대한 환경적 영향을 미친다는 것을 알 수 있게 하는 것이라고 생각된다.

참 고 문 헌

- 김동실, 1999, 인공위성(NOAA/AVHRR)영상자료에 의한 한반도 식생분포에 관한 연구, 한 국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 김홍규, 1999, 퍼지 집합이론을 이용한 원격탐사영상의 최대우도 토지피복분류 및 변화탐지 기법의 개발, 강원대학교 대학원 박사학위논문.
- 노재덕, 1995, 도시녹지의 모니터링 및 관리방안에 관한 연구: 성남시(분당신도시)를 사례연구지로, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 박병욱, 1996, 수치위성자료를 이용한 광역의 토지피복분류기법, 『한국측지학회지』, 제14 권 제1호, pp.39-47.
- 박종화, 서동조, 서창완, 1997, TM영상 추출 NDVI를 이용한 수도권 그린벨트의 평가, 『원격탐사학회지』, VOL.12(3), pp.245-256.
- 서동조, 1990, 지리정보시스템을 활용한 도시오픈스페이스의 분석에 관한 연구: 경기도 안 산시를 사례연구지로, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 이규성, 1994, 시계열 AVHRR위성자료를 이용한 한반도 식생분류, 『한국임학회지』, 제83 권 제4호.
- 이승호, 1992, Landsat 화상자료를 이용한 산림식피 변화에 관한연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 전성우, 박종화, 1997, 『자연환경부문의 원격탐사기법 도입방안에 관한 연구』, 한국환경정책·평가연구원.
- 한근형, 1987, 인공위성사진을 이용한 북한 쌀 생산량 추정, 『지리학논총』, 제14호, pp.311-320.
- 황순욱, 1997, NOAA/AVHRR자료를 이용한 북

- 한지역 지피식생 및 농경지 모니터링, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- Bonan, B., Gordon, 1993, Importance of Leaf Area Index and Forest Type when Estimating photosynthesis in Boreal Forests, *Remote Sensing of Environment*, 43, pp.303-314.
- De Jong, S. M., Borrough, P. A., 1995, A Fractical approach to the classification of Mediterranean Vegetation types in Remotely Sensed Images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 8월, pp.1041-1053.
- Derrien, M., Farki, B., Legleau, H. and Sairouni, A., 1992, Vegetation cover mapping over France using NOAA-11/AVHRR, *International Journal of Remote Sensing*, 12(9), pp.1781-1795.
- Jacobberger, P. A. and Hooper, D. M., 1991, Geomorphology and reflectance patterns of vegetation-covered dunes at the Tsodilo Hills, north-west Botswana, *International Journal of Remote Sensing*, 12(11), pp.2321-2342.
- Jensen, J. R., 1996, *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 2nd ed., Prentice Hall series.
- Juatic, C. O., Holben, B. N. and Gwynne, M. D., 1986, Monitoring East African vegetation using AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), pp.1453-1474.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 1987, *Remote Sensing and Image Interpretation*, 2nd ed., John wiley & Sons.