



Landsat 위성영상을 이용한 도시확장 및 지표온도 변화 탐지 Detection of Urban Expansion and Surface Temperature Change using Landsat Satellite Imagery

송영선*
Song, Yeong Sun

요 旨

효율적인 국토관리를 위해서 과거로부터의 토지피복/토지이용 변화를 탐지하고 미래의 도시계획에 반영하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 시계열 Landsat 영상을 이용하여 토지피복/토지이용 분류를 수행함으로써 도시변화를 분석하고 도시화에 따른 지표온도의 변화를 조사하였다. 해상도 30m의 Landsat 영상에서 도시변화 후보지역을 추출하고 자세한 변화 상황을 고찰하기 위해 고해상도 항공사진을 함께 사용하는 계층적 변화탐지기법을 사용하였다. 또한, 도시의 발달과 지표온도의 상관성을 평가하기 위하여 Landsat 영상의 열적외선 파장영역을 이용하여 온도를 계산하여 실제기온과 비교하고 토지피복별 지표온도를 계산하였다. 연구 결과 도심지의 팽창을 수치적으로 확인 할 수 있었고 도시화로 인한 온도 상승을 탐지할 수 있었다.

핵심용어 : Landsat 위성 영상, 도심지 변화탐지, 토지피복/이용 변화탐지, 계층적 방법, 지표온도변화

Abstract

It is very important to detect land cover/land use change from the past and to use it for future urban plan. This paper investigated the application of Landsat satellite imagery for detecting urban growth and assessing its impact on surface temperature in the region. Land cover/land use change detection was carried out by using 30m resolution Landsat satellite images and hierarchial approach was introduced to detect more detail change on the changing area through high resolution aerial photos. Also, surface temperature according to land cover/land use was calculated from Landsat TM thermal infrared data and compared with real temperature to analyze the relationship between urban expansion and surface temperature. As a result, the urban expansion has raised surface radiant temperature in the urbanized area. The method using remote sensing data based on GIS was found to be effective in monitoring and analysing urban growth and in evaluating urbanization impact on surface temperature.

Keywords : Landsat satellite imagery, Urban change detection, Land cover/land use change detection, Hierarchial approach, Surface temperature change

1. 서 론

인구에 비해 국토면적은 좁고 도시에 인구가 집중되어 있는 국가의 경우는 효율적인 개발 관리와 이용계획을 세우는 것이 무엇보다도 중요하다. 특히, 지속 가능한 개발을 위해서는 과거의 정확한 도시개발 기록을 기초로 계획 단계부터 미래의 토지이용 계획을 수립해야한다. 토지이용 현황은 현장조사, 지적자료 해석, 항공사진 및 위성영상 등의 원격탐측 자료 등 다양한 자료를 통해 수집될 수 있다. 이 중 위성에 의한 원격탐측 기법은 지리정보 수집 및 관리, 지구환경의 감시, 기상예측, 해양

관측 및 자원탐사 등 여러 분야에 다양하게 활용되고 있으며, 특히 근래 민간용 위성영상의 고해상도화와 극다중분광화 기술의 발전으로 인해 그 응용분야가 급속도로 확대되고 있는 추세이다. 인공위성에서 촬영된 원격탐사 자료는 광역적이며 주기적으로 자료의 획득이 용이하고, 또한 수치화된 자료 형태이므로 컴퓨터 및 영상 분석 소프트웨어의 급속한 발전에 따라 신속히 분석할 수 있다는 장점 때문에 도시변화를 탐지하는데 많이 사용되고 있다(임상규 등, 2001).

국내·외적으로 다양한 위성영상 자료를 활용하여 도심지의 변화를 탐지하고자 하는 연구가 이루어져 왔다.

2005년 12월 6일 접수, 2005년 12월 16일 채택

* 정희원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사후 과정 (point196@yonsei.ac.kr)

국내의 경우 서울지역을 중심으로 위성영상을 이용한 변화탐지에 대한 활발한 연구가 수행되었으며, 러시아의 2m 해상도 DD-5 영상과 IRS-1C, Landsat TM 자료를 이용하여 서울지역의 신도시건설로 인한 도심지의 팽창과 변화를 분석한 연구 사례가 있다(Park 등, 1998). 1998년 환경부에서 Landsat 영상을 사용하여 남한지역에 대해 대분류 토지피복지도를 구축, 2000년에는 IRS 영상을 사용하여 수도권 지역에 대한 중분류 토지피복지도를 구축하였다. 2002년도에는 IKONOS 영상을 사용하여 비도심지와 도심지역을 구분하였다(환경부, 2003). 외국의 경우 토지피복분석에 관한 연구로는 토지이용, 지형분석 또는 토지피복의 경년 변화 분석(Pain, 1985; Stringer 등, 1988; Jo, 1995) 등이 있으며, 토지 피복 분류 정확도 향상에 관한 연구도 수행되었다(Gong과 Howarth, 1990).

도시화가 진행됨에 따라 인간은 환경에 영향을 미치며, 도시지역은 도시를 둘러싼 비도시지역에 비해 높은 온도를 유지한다. 이러한 현상은 ‘도시열섬’이라 알려져 있고 이러한 도시의 온도환경에 대한 연구가 진행되었다. 원격탐측 분야에서 열적외선 파장영역을 사용하여 온도를 추출함으로써 본격적으로 열 영향을 평가하기 시작한 것은 대략 1970년대 후반부터이며 이후 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 대표적인 예는 미국의 기상위성인 NOAA위성에 탑재된 AVHRR의 열적외 데이터를 사용하여 여러 가지 기온현상과 지표온도 분포를 관측한 것이다. 열대성 도시인 싱가포르에서는 Landsat-5 열적외 센서를 사용하여 지표온도와 도시지형사이의 관계가 조사되었으며, 도시열섬현상이 파악되었다(Nichol, 1994). 더 나아가 위성영상으로부터 추출된 2-D 열적외 데이터를 3-D 도시지형으로 보간하여 시각화 하는 모델이 연구되었다(Nichol, 1998). 국내의 경우, 도시열섬 분석에 원격탐측 기법을 적용한 기초적인 연구가 1990년대에 시작되었고(이용식, 1990), 박민호(2001)는 Landsat TM 열적외 데이터를 이용하여 토지피복별, 구별, 고도별, 경사도별, 사면방향별 지표온도를 추출하여 도시열섬현상을 연구하였다. 또한 신도시개발이 도시열섬 현상에 미치는 영향이 분당신도시와 판교지역을 중심으로 연구되었다(송영배, 2002).

본 연구에서는 GIS(Geo-spatial Information System)을 기반으로 원격탐측기법을 활용하여 서울시의 변화를 탐지하고자 하는 목적 아래, Landsat 영상을 준비하여 토지피복/토지이용 분류를 수행함으로써 토지피복별 면적변화량을 통하여 광역적 도시변화를 탐지하고 변화가 탐지된 지역에 한해 고해상도 항공사진을 이용하는 계층적 방법을 사용함으로써 국지적 변화도 분석하였다. 또한, 도시의 발달과 지표온도의 상관성을 알아보기 위하여

Landsat 영상의 열적외선 파장영역을 이용하여 온도를 추출하였다. 예측한 온도와 실제 온도와의 상관성을 살펴보고 토지피복별 온도를 산정하였다. 최종적으로 신도시 지역에 대하여 온도를 추출한 결과 도심지 확장으로 인한 지표온도의 상승을 확인할 수 있었고, 제안된 도심지 변화탐지 기법의 가능성을 제시할 수 있었다. 본 연구의 자료처리 과정은 다음 그림 1과 같다.

2. 연구 대상지역

연구 대상지역은 서울시로서 1/1,000 지형도에서 서울 행정계계를 수동등록(Digitizing)하여 벡터자료를 취득하였다. 이 벡터 자료에 근거하여 Landsat 영상으로부터 서울 행정구역만을 추출하였으며, 사용된 다중 시기의 위성영상은 1970년대부터 2000년도까지의 Landsat 영상으로서 사용된 영상의 특성은 표 1과 같다. 보다 정밀한 분석을 위해서는 동일 계절에 취득한 영상을 사용해야 하지만, 영상취득 여건상 약간의 계절적 차이가 발생한 영상을 활용하였다.

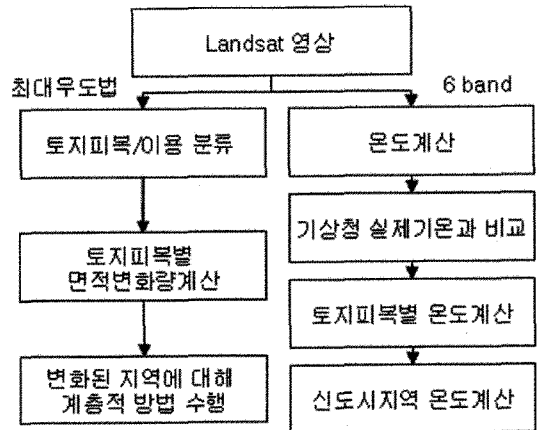


그림 1. 연구 흐름도

표 1. Landsat 영상 취득 시기와 센서

취득시기	센서
1973년	MSS
1981년 7월 31일	MSS
1985년 5월 14일	TM
1990년 4월 26일	TM
1994년 7월 26일	TM
2000년 4월 29일	ETM+

한편, 계층적 변화탐지를 수행하기 위한 대상지역은 마포구 성산동 월드컵 주경기장 지역을 중심으로 선정하였고, 온도변화 탐지를 위한 대상지로는 일산 신도시 지역과 현재 분당구청이 있는 주변 지역을 선정하였다.

3. 토지피복/토지이용 변화를 이용한 도심지 변화 탐지

3.1 토지피복/토지이용 분류

본 연구에서는 미국의 지질조사국(USGS) 및 국토지리정보원에서 정한 토지피복분류 항목을 참고하여 Landsat 영상에서 분류할 수 있는 일반적인 토지피복분류 항목을 선정하였고, 이에 따라 도심지역, 농업지역, 산림지역, 수계지역의 4개 항목을 분류항목으로 구분하였다. 연구지역이 서울지역이라는 특성 때문에 광산, 채석장, 모래사장 등의 나지 또는 늪, 염전 등의 습지는 나타나지 않을 것이므로 분류항목에서 제외하였다. 아래의 표 2는 본 연구에서 사용된 토지피복/토지이용 분류항목에 관한 설명이다. 분류방법으로는 감독분류 방법 중의 하나인 최대우도분류법을 사용하였다. 최대우도분류법은 영상의 공분산과분산을 계산하고 이것이 가우스 정규분포를 이룬다는 가정 하에 각 항목의 확률밀도함수를 계산하여 확률이 가장 높은 계급으로 분류하는 것이다. 이 방법은 분류에 있어서 가장 높은 정확도를 나타내나 처리에 있어서 시간이 오래 소요된다(서동조 등, 1999). 훈련지역의 선정은 4개의 분류항목에 대하여 영상 전체에 고른 분포를 갖도록 하여 영상 당 각각 10개를 선정하였다.

표 2. 토지피복/토지이용 분류항목

토지피복분류항목	포함하고 있는 지형·지물
수계지역	하천, 호수
도시지역	주거지역, 공항, 공공시설물, 상업지역
산림지역	골프장, 활엽수, 침엽수림
농경지	논, 밭, 과수원

표 3. 토지피복별 면적 변화량(단위 : km²)

	농지	산림	수계	도심지	합 계
1973년	150.57	318.59	10.80	130.38	610.34
1981년	169.66	225.95	22.69	192.04	610.34
1985년	12.95	200.60	25.04	371.75	610.34
1990년	14.15	186.19	21.93	388.07	610.34
1994년	39.39	203.26	21.82	345.87	610.34
2000년	34.43	154.01	20.55	401.35	610.34

시계열별 Landsat 영상을 이용하여 4개의 항목에 따라 감독 분류를 시행한 결과 영상은 그림 2와 같고, 토지피복 분류 결과 및 변화량은 표 3에서 보는 바와 같다. 표 3에서 알 수 있듯이 농지, 산림지역, 수계는 전체적으로 감소하였고 도심지의 면적은 증가하였음을 알 수 있다. 여기서 사용한 Landsat 영상은 계절이 동일하지 않은 관계로 분류영상 비교 시 오차를 포함하고 있을 수도 있음을 감안하여야 한다.

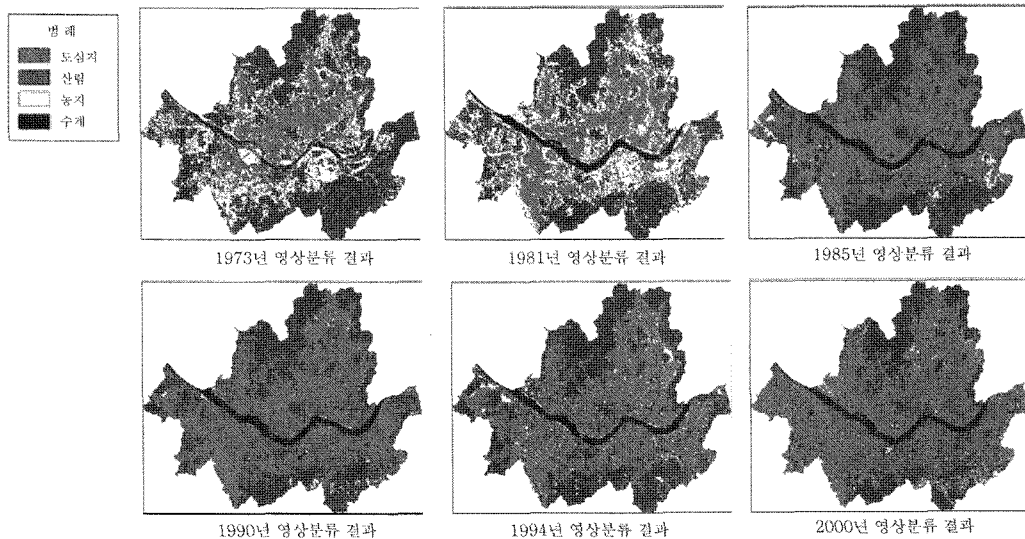


그림 2. Landsat 영상 토지피복 분류결과

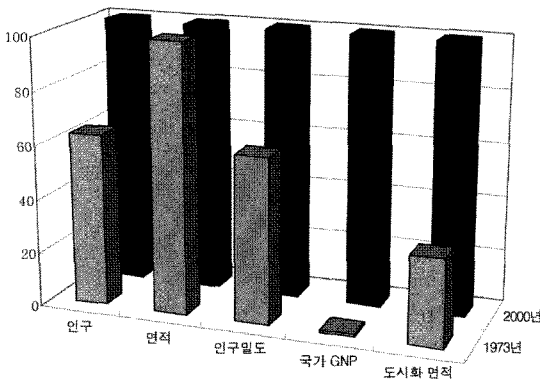


그림 3. 서울시 변화사항 비교

그림 3은 2000년도의 수치를 100으로 하였을 때 1973년의 값을 상대적으로 표현한 것이다. 행정구역상의 면적은 미세하게 감소하였고 추출된 도시화 면적의 경우는 3.1배 증가하였다. 인구는 1.6배 증가하였고, 같은 기간 동안 국가 GNP는 약 100배 증가하였다.

토지피복 분류 결과의 정확도를 평가하기 위해 환경부에서 1990년대에 제작한 중분류 토지피복지도를 참조자료로 하여 1994년 분류결과와 비교하여 정확도를 검증하였다. 영상획득과 동일시기에 제작된 지형도 또는 수치지도를 참조자료로 사용하는 것이 일반적이지만 본 연구지역에 대해 제작년도가 동일한 자료를 취득하는 것이 현실적으로 어려움이 있어서 환경부 자료로 대체하였다. 또한, 동일한 훈련지역(training site)을 사용하여 동일한 분류방법이 적용되었기 때문에 분류의 정확도는 큰 차이가 없을 것으로 판단되었다. 따라서 예측 가능한 토지피복 분포 패턴을 벗어나고 있는 1994년도의 자료를 이용하여 분류결과에 대한 정확도를 검증하였다. 분류정확도 검증은 무작위로 총 140지역에 대하여 평가하였으며, 표 4는 1994년 토지피복 분류의 정확도 검사 결과를 나타내

는 분류 오차표(error matrix)이다. 토지피복분류의 전체 정확도는 87.14%를 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 환경부 토지피복지도 자체의 오차와 두 비교기준이 같은 연도에 제작된 데이터가 아니기 때문에 내포하는 오차를 감안하면 신뢰성 있는 분류결과라 할 수 있다. 클래스별 평균 정확도를 살펴보면 산림지역 91.30%, 수계지역 85.71%, 도심지역 85.37%, 농지 80.00%로써 산림지역의 정확도가 가장 높았고 농경지역의 정확도가 가장 낮았는데 도심지와 산림지역의 면적이 상대적으로 크고 수계지역의 경우 밝기값 분포가 일정하여 분류정확도가 높은 것으로 분석된다. 실제로 변화된 지역을 변화된 지역으로 탐지하는 생산자 정확도의 경우, 농지의 경우 비교적 낮은 정확도를 나타냈고 이는 분류항목에 농지와 황무지의 구분이 없어서 공사 중인 황무지 부분이 농지로 포함된 부분도 있고 도심지로 포함된 부분도 있어서 나타난 결과로 분석된다. 측정 정확도와 우연 일치 기능성에 대한 차이를 표현하는 척도인 kappa 계수는 0~1의 값을 갖는다. kappa 계수는 실제 일치성이 1에 접근하고, 우연 일치 가능성이 0에 접근하면 1로 접근한다(김선수 등, 2003). 본 연구 결과에서 kappa 계수는 0.77 정도로 실제 일치성이 높다고 할 수 있다.

3.2 계층적 방법을 이용한 변화탐지

해상도 30m인 Landsat 영상의 분류를 통해 대략적인 서울시의 토지이용의 변화를 탐지할 수 있으나 국부 지역에 대하여 상세한 변화를 탐지하기 위하여 계층적 방법을 도입하였다. 계층적 방법이란 먼저 지상 해상도가 낮은 위성영상을 사용하여 변화된 지역을 탐지하고 탐지된 지역을 중심으로 보다 높은 해상도의 영상을 이용하여 단계별로 변화를 탐지하는 것을 말한다. 그림 4는 Landsat 영상으로부터 얻은 월드컵 주경기장 주변의 변화정보를 나타낸다. 그림 4에서 알 수 있듯이 농지부분이

표 4. 1994년 분류 오차표와 정확도 평가

	참조자료					합계	생산자 정확도 (producer's accuracy)	사용자 정확도 (user's accuracy)	kappa 계수
	산림	수계	도심지	농지	합계				
분류 결과	산림	42	1	2	1	46	80.77%	91.30%	0.8617
	수계	0	6	1	0	7	85.71%	85.71%	0.8496
	도심지	10	0	70	2	82	94.59%	85.37%	0.6896
	농지	0	0	1	4	5	57.14%	80.00%	0.7895
합계	52	7	74	7	140	overall accuracy = 87.14%		overall kappa accuracy = 0.7721	

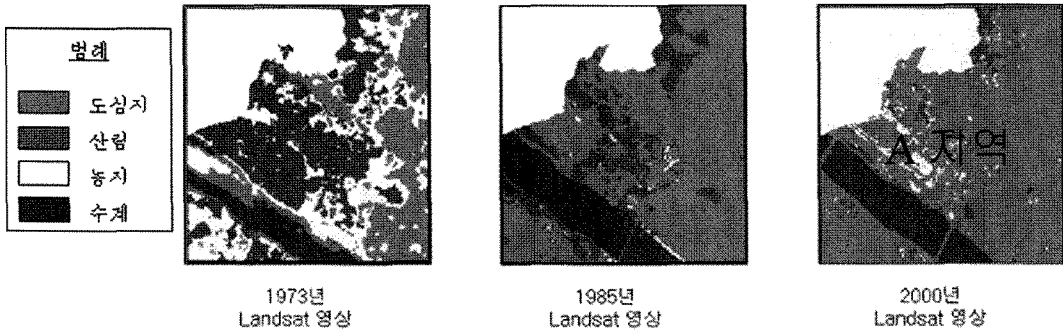


그림 4. Landsat 영상을 이용한 월드컵 경기장 주변 변화

거의 없어짐을 알 수 있다.

이 지역에 대해 보다 고해상도 영상인 항공사진을 이용하여 상세한 변화를 분석하였다. 1985년, 1991년, 2000년의 각각 두 장의 항공사진에 대하여 1차 다항식기법을 적용하여 기하보정을 수행한 후 모자이크를 수행하였다. 1985년에서 2000년 사이에 이 지역 주변에 많은 변화가 있음을 육안으로 확인할 수 있다. 본 연구에서는 변화된 지역을 자동으로 추출하기 위하여 의사 컬러(pseudo color) 영상을 생성하여 분석하였으며, Layer stack 기법을 이용하여 각각 1985년, 1991년, 2000년 흑백 항공사진을 R, G, B 밴드로 지정하여 그림 5와 같이 컬러 사진으로 생성하였다.

그림 5는 그림 4에서 A지역으로서 R, G, B, 세 컬러가 합쳐지면 흰색으로 보이는 색의 원리를 이용한 것으로 사진에서 흰색으로 보이는 부분은 1985년에서 2000년에

이르면서 변하지 않은 부분으로 볼 수 있다. 붉은색으로 보이는 부분과 파란색으로 보이는 부분은 과거에는 없던 부분이 1991년과 2000년에 새로 생성된 부분으로 볼 수 있으며, 그림 5에서 보는 바와 같이 이 지역에 많은 변화가 발생했음을 알 수 있다.

4. 지표온도 변화탐지

Landsat TM 밴드 6은 열적외선 영역에 존재하며 이 밴드를 통해 나타나는 영상 자료의 밝기는 이 파장대에서의 에너지 세기, 즉 지표온도를 반영하고 있는 것이다. 이 영상의 밝기로부터 실제온도를 계산하고 지표온도의 변화를 측정하기 위해 표면방사 온도를 TM 열적외 자료로부터 유도하였다. 영상의 디지털 수(DN)를 방사온도로 변환하기 위한 2차 모델식은 식 (1)과 같다(Malaret 등, 1985).

$$T(K) = 209.831 + 0.834DN - 0.00133DN^2 \quad (1)$$

위의 식은 물질 고유의 방사율은 고려하지 않고 물체가 흑체라고 생각하고 구한 방사 온도이다. 흑체온도인 식 (1)의 온도에 산림지역에는 0.95, 도심지, 농경지, 수역에는 0.92의 방사율을 적용하였다. 방사율이 보정된 온도는 다음 식 (2)를 통하여 계산한다(Artis와 Carnahan, 1982).

$$T_s = \frac{T(K)}{1 + \lambda T(K) / \alpha n \epsilon} \quad (2)$$

여기서, λ : 방사 파장 길이 (=11.5 μ m) (Markham and Barker, 1985)

K : 스테판-볼츠만 상수 (= 1.38 $\times 10^{-23}$ JK⁻¹)

h : 플랑크 상수 (= 6.26 $\times 10^{-34}$ Js)

α : $\frac{hc}{K}$ (=1.438 $\times 10^{-2}$ mK)

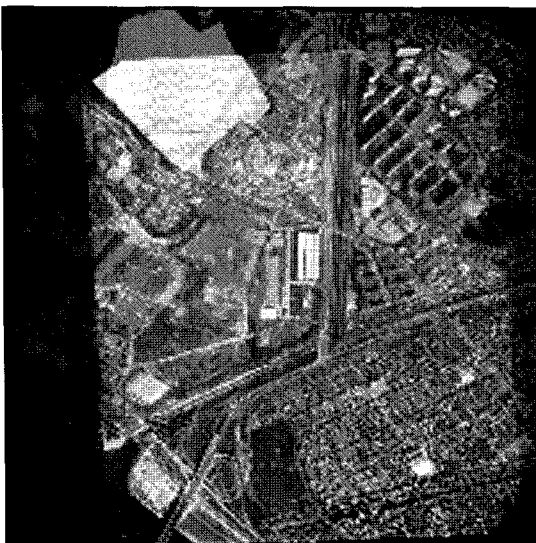


그림 5. 의사 컬러사진에 의한 변화탐지

식 (2)를 이용하여 Landsat 밴드 6 자료로부터 1985년, 1990년, 1994년의 지표온도를 계산하였으며, 앞의 실험에서 쓰인 Landsat 영상 중에서 TM 센서의 자료만을 이용하였다. 계산된 자료가 기상온도 대신 쓰이는 것이 타당한지 검토하기 위해 기상청으로부터 제공된 그 당시의 실제 기온자료와 Landsat 영상으로부터 구한 서울시 지표평균 온도와 비교하였다. 각 시기의 서울시 전체 평균 온도는 표 5와 같다.

표 5에서 보는 바와 같이 Landsat 영상으로부터 결정된 지표방사온도와 기상청에서 발표한 실제 온도사이에는 많은 차이가 존재한다. 그러나 본 논문에서는 대상지역의 정확한 온도를 추출해내는 것보다 인공위성 영상 데이터를 이용한 온도측정에 의한 도시화로 인한 온도의 변화 분석과 그 응용성 검토가 목적이므로 정확한 실제 온도가 측정되지 못하더라도 상대적인 온도 분포만으로도 상당한 가치가 있을 것으로 사료된다. Landsat 영상이 취득되는 시간은 위성이 우리나라를 통과할 때의 시각인, 대략 오전 10시 30분경이다(Sabins, 1997). 계산된 지표온도는 오전 10시 30분경의 온도이고 기상청으로부터 제공된 기온은 03시, 09시, 15시, 21시 측정값의 평균 온도이므로 두 온도는 차이를 보이게 된다. 보통 오전 10시 30분경의 온도가 하루 평균온도보다 약 1~2℃ 정도 높게 계산되고(기상청, 1996), 그 차이는 기온이 낮을수록 더 심하다. 표 5에서 나타난 바와 같이 취득한 온도자료와 실제온도가 동일한 순서를 나타내고 실제온도와 취득된 자료와의 온도 차이가 낮은 온도에서 더 크게 나타나는 점으로 볼 때 인공위성 자료를 사용하여 예측한 온도 값이 실제 기온 값을 반영하는 값을 확인할 수 있다.

앞에서 분류한 토지피복결과와의 비교를 위해 토지피복에 따른 온도 분포를 구하고, 또한 서울시의 경우 1980년대에 이미 도시화가 많이 진행되었기 때문에 주어진 자료로 도시화가 온도에 미치는 영향을 파악하기 미흡하다고 판단하여 1980년대에서 1990년대로 감에 따라 새로이 개발된 일산 신도시와 분당신도시지역을 대상으로 1985년과 1994년의 지표온도를 계산하였다. 1985년 영상의 경우 신도시 개발전이고, 1994년 영상의 경우 신도시 개발이 상당히 진행되어 마무리 단계이다. 두 시기의

표 5. 평균 방사온도와 실제 온도

Landsat 영상	지표방사온도(℃)	실제온도(℃)
1985.5.14	28.93	19.1
1990.4.26	25.71	11.7
1994.7.26	35.73	31.7

영상의 지표온도를 비교함으로써 도심지 생성이 지표온도에 미치는 영향을 평가할 수 있으며, 토지피복에 따른 온도 분포의 결과는 표 6에서 보는 바와 같다.

표 6의 결과에서 보듯이 세 시기 모두 도심지에서 가장 높은 온도를 나타내고 있고 수계지역이 가장 낮은 온도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 세 시기 모두 늦봄에서 여름의 시기에 취득된 자료라는 특성을 가지고 있다. 여름에 물이 상대적으로 온도가 낮은 것처럼 물이 다른 토지 피복에 비하여 비열이 높으므로 수계지역의 온도가 가장 낮게 나타난 것은 예상된 결과이다. 도심지의 온도가 가장 높은 것도 도시 열섬 현상과 관련하여 예측된 결과이다.

표 7에서 나타난 온도 분포를 살펴보면 1985년의 경우 도시화가 진행된 서울지역의 온도가 개발전의 상태인 일산, 분당 지역의 온도보다 높으며, 1994년의 경우 한창 신도시 공사가 진행 중인 일산, 분당지역의 온도가 서울 지역보다 높다. 두 시기의 온도차를 보면 계절적인 차이를 고려하더라도 서울지역에 적용했을 때 6.8℃ 정도의 차이를 보인 점으로 미루어 11.08℃와 12.12℃라는 큰 차이는 신도시 생성으로 인한 도시화에 따른 온도변화로 사료된다. 1994년 영상중 위의 실험 대상지와 인접해있는 분당 중앙공원을 추출하여 지표온도를 계산한 결과 29.84℃에서 33.61℃의 온도분포를 나타내었고 평균온도는 30.80℃으로 94년 분당 지역 평균온도인 38.52℃와 7.7℃라는 큰 차이를 나타내었다. 이는 도시 지역에 있는 녹지지역의 중요한 역할을 나타내는 지표로 도시화로 인한 온도 상승을 낮추기 위하여 녹지조성이 중요함을 나타낸다.

표 6. 토지피복별 평균온도(℃)

	도심지	수계	산림	농경지
1985년	31.42	21.21	26.19	25.63
1990년	27.96	16.36	22.65	25.51
1994년	38.43	30.97	31.81	37.68

표 7. 추출된 지표온도(℃)

		일산	분당	서울
1985년	개발 전	26.92	26.40	28.93
1994년	개발 중	38	38.52	35.73
온도차		11.08	12.12	6.8

5. 결 론

위성영상과 영상처리 기법의 발달로 GIS 기반에서 원격탐측 자료를 이용한 도시화 분석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 시계열 Landsat 위성영상을 이용하여 도시화 변화를 탐지하고 그에 따른 온도 변화를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 서울시 변화탐지를 위한 토지피복 분류결과 농지, 산림의 경우는 지속적인 감소를 보였고 수계의 경우 1985년까지 증가 추세를 보이다가 그 이후로 감소현상을 나타내었다. 도심지의 경우는 꾸준히 증가하여 2000년에는 도심지 면적이 1973년에 약 3.1배 증가했음을 알 수 있었다.

둘째, Landsat 위성영상의 열적외선 파장대 자료를 이용하여 온도를 추출한 결과 기상청에서 발표한 실제 온도와는 차이를 보였으나 실제 지표온도의 반영을 확인할 수 있었고, 도심지의 온도가 다른 지역의 온도보다 높고 도시화가 진행되면서 지표온도가 상승함을 알 수 있었다.

셋째, 계층적 분류 개념과 의사결려 개념을 이용하여 성산동 월드컵 경기장 주변의 변화사항을 상세하게 얻을 수 있었다.

본 연구에서 사용된 시계열 Landsat 영상은 계절적 차이가 존재하는 영상으로서 동일 계절에 취득된 영상을 활용할 경우 보다 정밀한 분석이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 기상청(1996), 기상연보, 응용기상국 기후자료과.
2. 김선수, 김혜진, 김용일(2003), Landsat TM영상을 이용한 CVA변화탐지와 NDVI 화소차 변화탐지, 대한토목학술 정기학술대회.
3. 박민호(2001), Landsat TM 열적외데이터를 이용한 도시열섬 현상에 관한 연구-서울시를 대상으로, 대한토목학회논문집, 제21권, pp. 861-874.
4. 서동조, 박종화, 조용현(1999), 항공비디오와 Landsat TM 자료를 이용한 지피의 분류와 평가: 태안 해안굴림공원을 사례로, 한국조경학회 추계학술논문발표회지.
5. 송영배(2002), 신도시 개발이 도시열섬 형성에 미치는 영향-분당신도시와 판교지역을 중심으로, 한국조경학회지, Vol. 30, No. 4, pp. 37-46.
6. 이용식(1990), 도시 열섬 분석에 있어서 원격탐사기법의 적용에 관한 연구-Landsat TM 자료를 이용하여, 석사 학위논문, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과.
7. 임상규, 홍석영, 정원교, 김무성(2001), Landsat TM 화상자료를 이용한 평택시 지역의 지표피복분류, 사공농상, Vol. 34, No. 5, pp. 342-349.
8. 환경부 (2003), 인공위성영상자료를 이용한 토지 피복분류.
9. Artis, D. A. and W. H. Carnahan, 1982, Survey of emissivity variability in thermography of urban areas, Remote Sensing of Environment, Vol. 12, pp. 313-329.
10. Gong, P. and P. J. Howarth, 1990, The use of structural information of improving land-cover classification accuracies at the rural-urban fringe, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, No. 1, pp. 67-73.
11. Jo, M. H., 1995, Land use evaluation and suitability analysis for paddy cropping of Nam Khane Watershed, Laos, using remotely sensed data and Geographic Information System, Journal of Korean Society of Remote Sensing, Vol. 11, No. 1, pp. 1-17.
12. Markham, B. L. and J. K. Barker, 1985, Spectral characteristics of the Landsat Thematic Mapper sensors, International Journal of Remote Sensing, Vol. 6, pp. 697-716.
13. Malaret, E., L. A. Bartolucci, D. F. Lozano, P. E. Anuta, and C. D. McGillem, 1985, Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, pp. 1407-1416.
14. Nichol, J. E., 1994, A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 60, pp. 1225-1232.
15. Nichol, J. E., 1998, Visualization of urban surface temperatures derived from satellite images, International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 9, pp. 1639-1649.
16. Pain, C. F., 1985, Mapping of landforms from landsat imagery: an example from eastern new south wales, Australia, Remote Sensing of Environment, Vol. 17, No. 1, pp. 55-65.
17. Park, J. H., T. Ryutaro, D. J. Seo, and C. H. Park, 1998, Urban Expansion and Change Analysis Using Russian 2m Resolution DD-5, IRS-1C, and Landsat TM Data, IEEE, from CD ROM.
18. Sabins, F. F., 1997, Remote sensing: Principles and Interpretation, Third Edition, W. H. Freeman and Company, NewYork, pp. 69.
19. Stringer, W. J., J. E. Groves, and C. Olmsted, 1988, Landsat determined geographic change, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, No. 3, pp. 347-351.