

Landsat 영상을 이용한 도시확장과 지표온도 변화 탐지 Detection of urban expansion and surface temperature change using Landsat imagery

손홍규¹⁾ · Kwak은주²⁾ · 방수남³⁾ · 박완용⁴⁾

Sohn, Hong Gyoo · Kwak, Eun Ju · Bang, Soo Nam · Park, Wan Yong

¹⁾ 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 조교수(E-mail:sohn1@yonsei.ac.kr)

²⁾ 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail:ssilver79@hanmail.net)

³⁾ 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail:snbang@hanafos.com)

⁴⁾ 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail:wypark@hanafos.com)

Abstract

Seoul has experienced a rapid urban expansion over the past three decades. This paper reports an investigation into the application of Landsat imagery for detecting urban growth and assessing its impact on surface temperature in the region. Land cover/use change detection was carried out by using Landsat data. The results revealed a notable urban growth in the study area. This urban expansion had 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.

1. 서 론

우리나라처럼 인구에 비해 국토면적은 좁고 도시에 인구가 집중되어있는 나라는 효율적인 관리와 이용계획을 세우는 것이 무엇보다 중요하다. 과거의 정확한 도시개발 기록으로부터 도시화에 의한 확장 분석이 중요한 요소이다. 지속 가능한 개발을 위해서는 계획 단계에서 현재의 토지이용 현황을 기반으로 미래의 토지이용 계획을 수립해야한다. 토지이용 현황은 현장조사, 지적자료 해석, 항공사진 위성자료 등의 원격탐측 자료 등 다양한 자료를 통해 수집될 수 있다. 이 중 위성에 의한 원격탐측 기법은 지리정보 수집 및 관리, 지구환경의 감시, 기상예측, 해양관측 및 자원탐사 등 여러 분야에 다양하게 활용되고 있으며, 특히 근래 민간용 위성영상의 고해상도화와 극다중분광화 기술의 발전으로 인해 그 응용분야가 급속도로 확대되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 GIS 기술을 기반으로 원격탐측기법을 활용하여 서울시의 변화를 탐지하고자 한다. 이를 위해 여러 시기의 Landsat 영상을 준비하여 서울지역의 토지피복/토지이용 분류를 수행함으로써 서울지역의 변화를 분석하였다. 또한, 도시의 발달과 지표면 온도의 상관성을 알아보기 위하여 Landsat 영상으로부터 열적외선 파장영역을 이용하여 온도를 추출하였다. 최종적으로 도심지 확장으로 인한 지표면 온도의 상승을 확인할 수 있었고, 제안된 도심지 변화탐지 기술의 가능성을 제시하였다.

2. 연구방법

2.1 토지피복/토지이용 분류

Landsat 영상자료를 이용하여 토지피복분류를 시행한 사례들을 살펴보면 동일한 연구지역에서도 연구

의 목적, 분석하고자 하는 내용 및 분석 방법에 따라 분류항목이 각기 다를 수 있다. 본 연구에서는 Landsat 영상자료를 이용하여 토지피복 분류를 시행한 후 토지피복 변화량 정보를 구하여 국토이용 계획 및 관리에 사용하는 것이므로 토지피복과 토지이용의 개념을 특별히 구분하지 않겠다. 특히 도시화지역과 비도시화 지역을 구분하기 위하여 미국의 지질조사국(USGS) 및 국토지리정보원에서 정한 토지피복분류 항목을 참고하여 Landsat 영상에서 분류할 수 있는 일반적인 토지피복분류 항목을 선정하였다. 즉, 본 연구에서는 도심지역, 농업지역, 산림지역, 수계지역의 4개 항목을 분류항목으로 선정하였다. 연구지역이 서울지역이라는 특성 때문에 광산, 채석장, 모래사장 등의 나지 또는 늪, 염전 등의 습지는 나타나지 않을 것이므로 분류항목에서 삭제하였다. 아래의 표 1은 본 연구에서 쓰인 토지피복/토지이용 분류항목에 관한 설명이다. 분류방법으로는 감독분류 방법 중의 하나인 최대우도법을 사용하였다. 최대우도법은 영상의 공분산과 분산을 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. training site의 설정은 4개의 분류항목에 대하여 영상 전체에 고른 분포를 갖도록 하여 scene당 각각 10개를 선정하였다. 상용프로그램인 Erdas Imagine을 사용하였다.

표 1. 토지피복/토지이용 분류항목

토지피복분류항목	내용
수계지역	하천, 호수
도시지역	주거지역, 공항, 공공시설물, 상어지역
산림지역	골프장, 활엽수, 침엽수림
농경지	논, 밭, 과수원

2.2 지표온도 추출

Landsat TM 밴드 6은 열적외선 영역에 존재하며 이 밴드를 통해 나타나는 영상 자료의 밝기는 이 파장대에서의 에너지 세기, 즉 지표면 온도를 반영하고 있는 것이다. 이 영상의 밝기로부터 실제온도를 계산하기 위해 표면온도의 변화를 측정하기 위해 표면방사 온도를 TM 열적외 데이터로부터 유도하였다. 영상의 디지털 수를 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. 이 논문에서는 흑체온도인 식 (1)의 온도에 산림지역에는 0.95, 도심지, 농경지, 수역에는 0.92의 방사율을 적용하였다. 방사율 보정된 온도는 다음 식 (2)를 통하여 계산한다(Artis와 Carnahan, 1982).

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

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

K : Stefan Boltzmann's constant (= $1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$)

h : Planck's constant (= $6.26 \times 10^{-34} \text{ Js}$)

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

식 (2)를 이용하여 Landsat band 6 데이터로부터 1985년, 1990년, 2000년의 지표온도를 계산하였다. 계산된 자료가 기상온도 대신 쓰이는 것이 합당한지 알아보기 위해 기상청으로부터 제공된 자료로부터

확인할 수 있는 그 당시의 실제 기온과 Landsat 영상으로부터 구한 서울시 지표면 평균 온도와 비교해 본다. 분류한 토지피복결과와의 비교를 위해 토지피복에 따른 온도 분포를 구해보고, 또한 서울시의 경우 1980년대에 이미 도시화가 많이 진행되었기 때문에 주어진 데이터로 도시화가 온도에 미치는 영향을 파악하기 미흡하다고 판단하여 1980년대에서 1990년대로 감에 따라 새로이 생긴 일산신도시와 분당신도시지역을 대상으로 1985년과 1994년의 지표온도를 계산하였다. 1985년 영상의 경우 신도시개발전이고, 1994년 영상의 경우 신도시 개발이 한창 진행되어 마무리 단계일 시기이다. 이 두시기의 영상의 지표 온도를 비교함으로써 도심지 생성이 지표온도에 미치는 영향을 평가할 수 있다.

3. 연구 대상지역

연구대상도시는 서울시로서, AutoCAD system 을 이용하여 1/1,000 지형도에서 서울 행정경계를 디지털 타이핑하여 벡터데이터를 취득하여 이 벡터 선에 의해 Landsat 영상으로부터 서울 행정구역만을 추출하여 사용하였다. 다시기의 영상을 사용할 수 있는 원격탐측의 장점을 살려 1970년대부터 2000년도까지의 Landsat 영상을 사용하였는데 사용된 영상의 취득 시기는 표 2와 같다. 온도변화 탐지를 위한 대상으로, 일산신도시지역에 33×33 영상소(1518m×1518m) 지역을 선정하고, 현재 분당구청이 있는 주변 지역으로 31×31 영상소(1023m×1023m)를 선택하였다.

표 2. Landsat 영상 취득 시기

취득시기	
1973년	1990년 4월 26일
1981년 7월 31일	1994년 7월 26일
1985년 5월 14일	2000년 4월 29일

4. 실험 및 결과

4.1 토지피복/토지이용 분류 결과 및 정확도 평가

4.1.1 토지피복 분류결과

그림 1은 시기별 Landsat 영상을 이용하여 4개의 대분류로 감독 분류를 시행한 결과이다. 표 3과 그림 2에 토지피복 분류 결과 및 변화량을 나타내었다. 사용한 Landsat 영상은 계절이 동일하지 않은 관 계로 분류영상 비교 시 오차를 포함하고 있음을 감안하여야 한다. 그러나 표 3과 그림 2에서 알 수 있 듯이 농지와 수계는 전체적으로 감소하였고 도심지의 면적은 증가하였음을 알 수 있다. 산림지역도 전 체적으로 감소하였음을 알 수 있다. 그림 3은 2000년도의 수치를 100으로 하였을 때 1973년의 값을 상 대적으로 표현한 것이다. 행정구역상의 면적은 조금 감소하였고 추출된 도시화 면적의 경우는 3.1배 증 가하였다. 인구는 1.6배 증가하였고, 같은 기간 동안 국가 GNP는 약 100배 증가하였다.

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

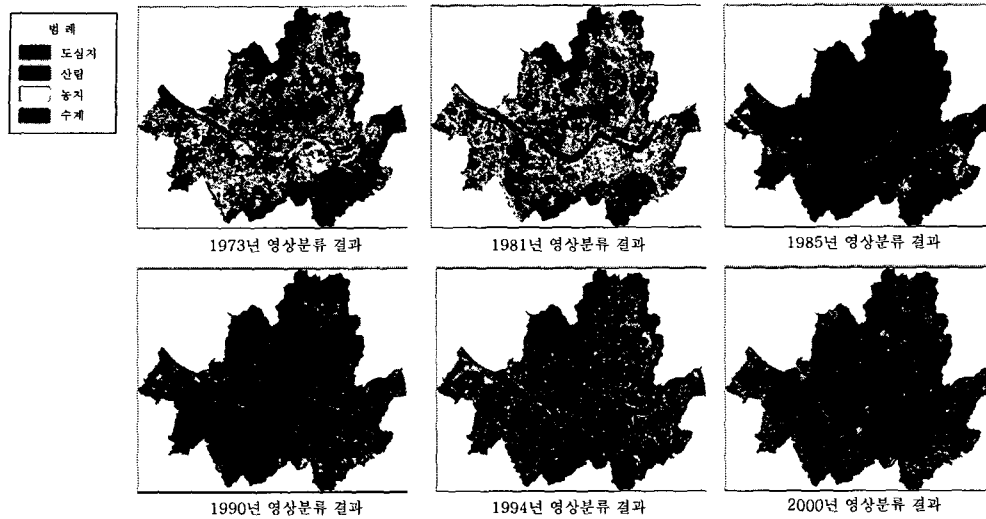


그림 1. Landsat 영상 토지피복 분류결과

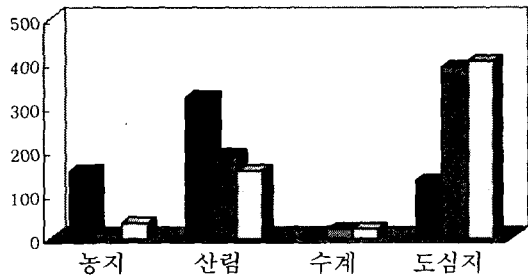


그림 2. 토지피복분류 변화도

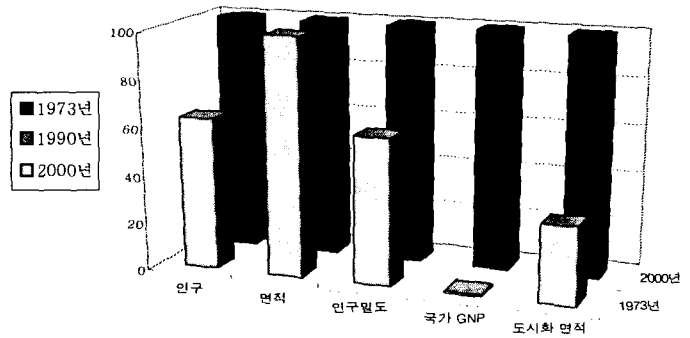


그림 3. 서울시 변화사항 비교

4.1.2 정확도 평가

토지피복 분류 결과의 정확도를 검사하기 위해 영상획득과 동일시기에 제작된 지형도 또는 수치지도를 참조자료로 사용하는 것이 일반적이지만 본 연구지역에 대해 제작년도가 동일한 자료를 구비하는 것은 현실적으로 무리가 있어서, 본 연구에서는 환경부에서 1990년대에 제작한 중분류 토지피복지도를 참조자료로 하여 1994년 분류결과와 비교하여 정확도를 검증하였다. 검사점은 Erdas Imagine을 사용하여 random point로, 총 140점을 추출하였다. 표 4는 1994년 토지피복 분류의 정확도 검사 결과를 나타내는 error matrix이다. 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 평균정확도를 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 가능성에 대한 차이를 표현하는 척도인 Kappa 계수는 0~1의 값을 갖는다. K계수는 실제 일치성이 1에 접근하고, 우연 일치 가능성이 0에 접근하면 1로 접근한다(김선수 등, 2003). 본 연구결과에서 K계수는 0.7 정도로 실제 일치성이 높다고 할 수 있다.

표 4. 1994년 error matrix와 정확도 평가

분류결과	참조자료					row total	생산자 정확도	사용자 정확도	Kappa				
	산림	수계	도심지	농지									
	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					
합 계	52	7	74	7	140	overall accuracy = 87.14%		overall Kappa accuracy = 0.7721					

4.2 지표온도 추출 결과

각 시기의 서울시 전체 평균온도는 표 5와 같다. 이온도는 엄밀한 의미에서 실제온도가 될 수 없다. 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). 그러므로 계산된 지표면 온도는 오전 10시 30분경의 온도이며, 기상청으로부터 제공된 기온은 03시, 09시, 15시, 21시 측정값의 평균온도이므로 이 차이 값을 보정해 줘야 한다. 보통 오전 10시 30분경의 온도가 하루 평균온도보다 약 1~2℃ 정도 높게 계산된다(기상청, 1996). 지표면 온도가 기온보다 높다는 점을 감안하고 기온이 낮을수록 그 차이는 더 심하다는 것을 감안해야한다. 취득된 데이터의 경우 7월의 온도가 제일 높고, 5월, 4월 순인 것과 실제온도도 그러한 순서인 것과 실제온도와 취득된 데이터의 차이가 온도가 낮을수록 큰 점을 고려할 때 인공위성 데이터를 사용한 지표면 온도추출에 의한 기온의 추정이 가능함을 확인할 수 있다.

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

토지피복에 따른 온도 분포의 결과는 표 6에 나타내었다. 표 6의 결과에서 보면 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. 그림 4에 추출된 온도를 도시하였다. 이는 토지피복분류 결과와 비교하여 대략적인 토지피복 구분이 육안으로 확인된다.

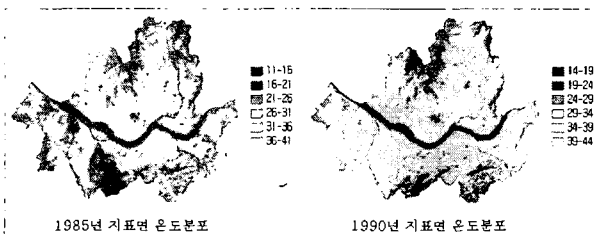


그림 4. 지표면 온도분포

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 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, 분당 지역의 온도가 서울지역보다 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 지표 온도를 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 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 여러 시기의 Landsat 위성영상을 이용하여 도시화 변화를 탐지하고 그에 따른 온도변화를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 도심지 변화탐지를 위한 토지피복 분류결과 1994년도의 경우 전체정확도는 87.14%로 신뢰성 있는 결과를 나타내었고, K계수는 0.77 정도로 실제 일치성이 높다고 할 수 있다. 도시화 면적을 1973년도와 2000년을 비교한 결과 서울의 도시화 면적은 3.1배정도 증가한 것을 알 수 있었다. Landsat 영상의 열적외 데이터를 이용해 온도를 추출해본 결과 실제 지표온도의 반영을 확인할 수 있었고, 도심지의 온도가 다른 지역의 온도보다 높고 도시화가 진행되면서 지표온도가 상승함을 알 수 있었다.

참고문헌

- 기상청 (1996), 기상연보, 응용기상국 기후자료과
- 김선수, 김혜진, 김용일 (2003), Landsat TM영상을 이용한 CVA변화탐지와 NDVI 화소차 변화탐지, 대한토목학술 정기학술대회
- Artis, D. A. and Carnahan, W. H. (1982), Survey of emissivity variability in thermography of urban areas, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 12, pp. 313-329.
- Markham, B. L. and Barker, J. K. (1985), Spectral characteristics of the Landsat Thematic Mapper sensors, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 6, pp. 697-716.
- Malaret, E., Bartolucci, L. A., Lozano, D. F., Anuta, P. E., and McGillem, C. D. (1985), Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, pp. 1407-1416.
- Sabins, F. F. (1997), *Remote sensing: Principles and Interpretation, Third Edition*, W. H. Freeman and Company, NewYork, pp. 69.