한국측량학회지, 제 28권 제 2호, 2010. 4 : pp. 197~206

Landsat 영상을 이용한 도심의 열변화 탐지

Detection of Heat Change in Urban Center Using Landsat Imagery

강 준 묵[1] · 가 명 석[2] · 이 성 순[3] · 박 준 규[4]
Kang, Joon Mook · Ka, Myung Seok · Lee, Sung Soon · Park, Joon Kyu

Abstract

Recently, developed countries have continuously been trying to recognize many issues about heat island in urban area and to make up countermeasures for them. This research is designed to extract change of land cover in the area under condition of land development with satellite images and to analyze its effect on the heat change in there. Heat change upon change of land cover in daejeon was analyzed with the four Landsat satellite images taken in April 1985, August 1994, May 2001, and May 2009. In order to measure the temperature on the surface in the city, the land surface temperature was produced with Landsat TM Band 6. Heat change is to detected with it. As a result, The urban area has been increased up to 23.59 percent. On the other hand, the forest area has been decreased up to 27.91%. Due to the urbanization, the temperature on the surface in urban center was higher than surrounding area. In that case, the temperature of urban center area was higher 2.4 to 5.7℃ compared with the forest area.

Keywords : Landsat imagery, heat island, heat change, change of land cover

초 록

최근 선진국들은 도시의 열섬현상에 대한 많은 문제점들을 인식하고, 이에 대한 대책을 마련하기 위해 끊임없이 노력하고 있다. 본 연구에서는 위성영상을 이용하여 도심의 개발사업이 진행됨에 따른 토지의 피복변화량을 추출하고 이 변화량이 도심의 열변화에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 1985년 4월, 1994년 8월, 2001년 5월, 2009년 5월에 해당하는 4개의 Landsat 위성영상을 이용하여 대전광역시의 토지피복변화에 따른 열변화를 분석하였다. 도심의 지표면 온도를 추출하기 위해 Landsat TM 열적외선 영역센서인 Band 6의 분광밝기정도를 이용하여 표면온도분포를 산출하였으며, 이를 통해 도시화로 인한 열분포의 변화를 탐지하고자 하였다. 그 결과, 도심지의 면적이 최대 23.59% 상승한 반면 산림지역은 최대 27.91% 감소하였고, 도시화로 인해 도심의 지표온도가 주변지보다 높게 나타났으며, 이 경우 산림지역에 비해 약 2.4℃~5.7℃ 높게 형성되어 있음을 알 수 있었다.

핵심어 : Landsat 영상, 열변화, 피복변화, 열섬현상

1. 서 론

도시의 급속한 성장으로 인해 주거를 비롯한 각종 시설들은 늘어나는 반면 녹지는 줄어들고 있다. 또한 인공열과 대기오염 물질로 인해 도시 상공의 기온은 주변지역보다 현저히 상승하고 있다. 현대 도시의 대부분에서 열섬이라는 특유한 기후 현상이 나타나고 있으며, 이는 보통 도심지로 갈수록 기온이 상승하고 외곽으로

1) 정회원 · 충남대학교 공과대학 토목환경공학부 교수(E-mail:jmkang@cnu.ac.kr)
2) 교신저자 · 정회원 · 충남대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail:kaga82@nate.com)
3) 정회원 · 한국지질자원연구원 선임연구원(E-mail:gisyi@kigam.re.kr)
4) 정회원 · 충남대학교 건설방재연구소 연구원(E-mail:surveyp@empal.com)

갈수록 낮게 나타난다. 이를 해결하기 위해 세계 각국은 자연지대와 도시지대 사이에 기온 강하와 상승현상이 다르게 나타난다는 사실을 이용해 도시에 숲이나 공원 조성 등의 녹화사업을 추진하고 있다.

이러한 도시열섬에 관한 연구로는 Landsat TM 영상자료를 이용한 표면온도와 NDVI의 상관성 분석을 통해 대구광역시의 열섬분포 패턴과 녹지의 열섬완화효과를 규명한 연구가 있었다(박경훈 등, 1999). 또한 대구광역시의 12개 사례지를 대상으로 Landsat TM 영상의 DN값으로부터 추출한 온도값을 토대로 토지이용형태, 개발밀도, 식생지수별 지표면 온도의 특성을 GIS 공간 분석기법을 활용하여 파악하였으며(도후조 등, 2007), 도시 내 용도지역의 토지피복형태가 열섬현상에 미치는 영향을 분석하고자 청주시 시가지를 대상으로 기온을 관측하여 이를 토대로 토지피복형태와 기온과의 관련성 등을 요인분석을 통해 해석하기도 하였다(조성모 등, 2009). Landsat ETM+ 영상을 이용하여 원자력발전소의 주변 지역에 대한 해수의 온도를 추출하였으며(김기홍 등, 2008), 강릉시를 대상으로 Landsat TM 영상을 이용하여 지표피복분류를 실시하고, 여기서 생성된 분류영상을 가지고 그리드 연산을 통하여 지표변화정보를 추출하였다(최승필 등, 2003).

본 연구에서는 Landsat 영상을 이용하여 토지의 피복변화량을 추출하였고, 이 변화량이 도심의 열변화에 미치는 영향을 분석하였으며, 추후 도심의 열섬현상의 대책을 마련함에 있어서 유용한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 자료취득 및 처리

2.1 자료취득

본 연구에서는 1985년 4월, 1994년 8월, 2001년 5월, 2009년 5월의 4시기 Landsat 위성영상을 이용하여 토지의 피복분류 및 지표면의 온도를 추출하였으며, 통계청의 행정구역경계(시도, 시군구, 읍면동)를 이용하여 이들 자료를 행정구역 별로 구분하였다. 표 1에 본 연구에 사용된 데이터를 정리하였다.

표 1. 연구에 사용된 데이터

Landsat Image	Data
TM 1985. 04. 05 TM 1994. 08. 20 ETM+ 2001. 05. 27 TM 2009. 05. 25	센서스용 행정구역경계 (시도, 시군구, 읍면동) 2007년도

2.2 자료처리

영상의 분류는 유사한 특징의 픽셀들을 동일한 항목 또는 클래스(Class)로 분류하는 과정을 뜻하며 이를 통해 영상자료에 포함된 여러 가지 대상물들을 구별할 수 있다. 모든 물체는 각기 고유한 분광신호와 분광반응패턴을 가지고 있는데, 이렇게 물체의 분광특성이 서로 다른 원리를 이용하여 영상을 분류한다.

본 연구에서는 분류항목을 산림지역(초지, 농지포함), 시가화건조지역, 수계, 나지 총 4가지로 항목을 설정하였으며 나지를 제외한 항목들은 밝기의 정도에 따라 각각 3개의 클래스로 다시 나누어 트레이닝 셋을 설정하였다. 영상의 분류는 감독분류 방법 중 정확도가 비교적 높고 가장 많이 사용되고 있는 최대우도법(Maximum likelihood)을 사용하였다. 표 2는 영상의 분류항목을 나타내고 있다.

표 2. 영상의 분류항목

항 목	클래스	
시가화건조지역	Red1	
	Red2	
	Red3	
수 계	Blue1	
	Blue2	
	Blue3	
산림지역 (초지, 농지포함)	Green1	
	Green2	
	Green3	
나 지	Cyan	

2.3 지표온도추출

Landsat TM/ETM+ 영상자료의 6번 밴드는 열적외선 영역에 속하며, 이 밴드를 통해 나타나는 영상자료의 밝기는 이 파장대에서 에너지 세기, 지표면 온도를 미리 정해진 관계식에 의해 이산화하여 반영하고 있는 것이다. 본 연구에서는 이 절대방사량을 환원하는 NASA Model에 기반하여 지표면온도를 추출하고자 한다. Landsat TM/ETM+ 분광반사휘도 값을 나타내었고 변환식은 아래와 같다(엄대용, 2006).

$$L=\left(\frac{L_{MAX}-L_{MIN}}{Q_{CALMAX}-Q_{CALMIN}}\right)(Q_{CAL}-Q_{CALMIN})+L_{MIN} \quad (1)$$

여기서,

- L(절대방사휘도) : 측정된 분광반사량 $W/(m^2 sr\mu m)$
- L_{MIN}(최소방사휘도) : $Q_{CAL}=Q_{CALMAX}$일 때 분광복사에너지 $W/(m^2 sr\mu m)$
- L_{MAX}(최대방사휘도) : $Q_{CAL}=0$일 때 분광복사에너지 $W/(m^2 sr\mu m)$
- Q_{CALMAX} : DN단위로 정량화된 최소복사에너지 (DN=0 : TM or NLAPS products in ETM+, DN=1 : LPGS products in ETM+)
- Q_{CALMAX} : DN단위로 정량화된 최대복사에너지 (DN=255)
- Q_{CAL} : Digital Number

표 3. Landsat TM/ETM+ 분광반사휘도 값

구 분	L_{MIN}	L_{MAX}
Landsat TM	0.1238	1.560
Landsat ETM+ (High Gain)	3.2	12.65

$$T(K)=\frac{K2}{\ln(\frac{K1}{L}+1)} \quad (2)$$

- $T(K)$: Effective at satellite temperature in Kelvin
- $K1$: Calibration constant 1 in $W/(m^2 sr\mu m)$
- $K2$: Calibration constant 2 in degree Kelvin
- $T(K)$: spectral radiance in $W/(m^2 sr\mu m)$.

이상과 같이 Landsat TM/ETM+ 영상에서 구한 절대방사휘도 L과 절대온도(K)사이에는 다음과 같은 상관관계가 존재하며 표 4는 Landsat TM/ETM+ 열밴드 보정 상수를 나타내고 있다.

표 4. Landsat TM/ETM+ 열밴드 보정 상수

구 분	$K1$	$K2$
Landsat TM	60.776	1260.56
Landsat ETM+ (High Gain)	666.09	1282.71

위로부터 얻어지는 온도는 절대온도(K)이기 때문에, 이를 섭씨온도(°C)로 환산하기 위하여 273.15를 감하였다.

$$T(℃)=T(K)-273.15 \quad (3)$$

3. 토지피복 및 열변화 탐지

3.1 토지피복변화 탐지

본 연구를 위해 제작된 분류영상은 대전광역시를 기본으로 주변지역까지 포함하는 정사각형 모양의 영상이므로 연구대상지만을 마스킹(Masking)하는 작업을 수행하였다. 통계청에서 제공받은 행정경계(시) shp파일을 이용하여 마스크밴드(mask band)를 제작하고 연도별 분류영상 및 추출영상에 대하여 각각 마스킹을 실시하였다. 그림 1~4는 분류결과로부터 대전광역시를 마스킹한 결과를 나타낸 것이다.

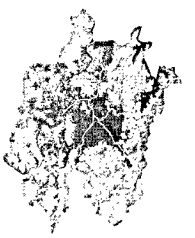


그림 1. 토지피복변화 마스킹(1985)

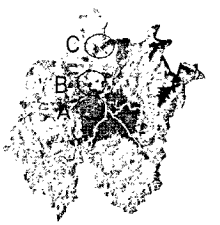


그림 2. 토지피복변화 마스킹(1994)

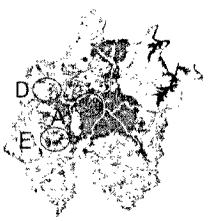


그림 3. 토지피복변화 마스킹(2001)

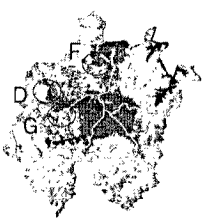


그림 4. 토지피복변화 마스킹(2009)

마스킹한 영상을 이용하여 1985년~1994년, 1994년~2001년, 2001년~2009년의 시기에서 개발사업이 크게 진행된 3곳을 선정하여 피복의 변화를 분석하였다. 각 클래스 별 픽셀 수를 계산하고 1픽셀의 면적을 이용하여 클래스별 면적을 산출하였다.

3.1.1 1985년 ~ 1994년의 피복변화 탐지

1985년~1994년의 경우, A지역은 둔산 지구가 위치한 둔산 1, 2동, 월평 1, 2, 3동, 삼천동, 탄방동, 만년동에 해당하며, B지역은 엑스포과학공원이 있는 신성동, C지역은 대전 3 · 4산업단지가 위치한 구즉동과 목상동을 나타내는 것이다. 표 5~표 7은 각 지역의 토지피복변화를 나타내며, 그림 5~그림 7은 토지피복변화의 비율을 그래프로 나타낸 것이다.

표 5. 1985년~1994년의 A지역 피복변화

구 분	1985. 4. 5		1994. 8. 20	
	면적(km²)	비율(%)	면적(km²)	비율(%)
시가화 건조지역	5.40	44.85	8.24	68.44
산림지역	6.09	50.58	2.73	22.67
수역	0.26	2.16	0.23	1.91
나지	0.29	2.41	0.84	6.98

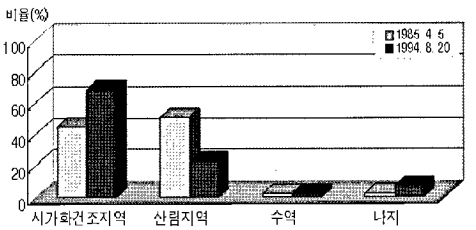


그림 5. 1985년~1994년의 A지역 피복변화 그래프

A지역에서는 시가화건조지역의 비율이 23.59% 증가한 반면 산림지역은 27.91% 감소하였고, 나지의 경우 약 5% 증가하였다. 이는 1985년 4월 대전 서구 둔산 · 월평 · 삼천 · 탄방동 일대를 포함하는 7.43㎢에 총 5만 700호의 주택을 세워 20만2800명을 수용하기 위해 추진된 둔산 신도시 개발 때문인 것으로 판단된다. 특히, 아파트단지가 밀집해 있는 둔산 중심부에서는 산림지역을 거의 찾아볼 수가 없으며, 나지의 면적이 증가한 것으로 보아 아직도 개발중인 토지가 있는 것으로 사료된다.

B지역에서는 시가화건조지역이 1.65%, 산림지역은 2.07% 감소하였고 나지는 약 4% 증가하였다. 여기서 시가화건조지역의 감소는 개발지역의 상당부분이 아직

표 6. 1985년~1994년의 B지역 피복변화

구 분	1985. 4. 5		1994. 8. 20	
	면적(km²)	비율(%)	면적(km²)	비율(%)
시가화 건조지역	7.41	25.07	6.92	23.42
산림지역	21.74	73.57	21.13	71.50
수역	0.07	0.24	0.07	0.24
나지	0.33	1.12	1.43	4.84

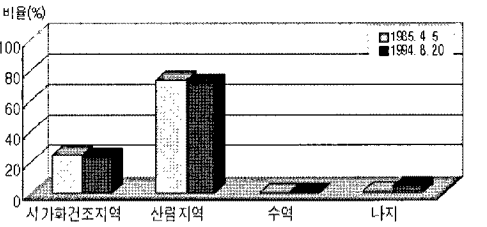


그림 6. 1985년~1994년의 B지역 피복변화 그래프

개발중인 나지에 포함되어 있고, 나지의 일부가 산림지역으로 오분류되었기 때문인 것으로 판단된다. 특히, 도룡동 갑천변과 우성이산 아래에서는 약 0.89㎢규모의 엑스포과학공원 조성으로 인해 시가화된 것을 확인할 수 있었다.

표 7. 1985년~1994년의 C지역 피복변화

구 분	1985. 4. 5		1994. 8. 20	
	면적(km²)	비율(%)	면적(km²)	비율(%)
시가화 건조지역	5.85	14.64	4.01	10.04
산림지역	32.67	81.76	34.27	85.76
수역	1.21	3.03	0.58	1.45
나지	0.23	0.57	1.10	2.75

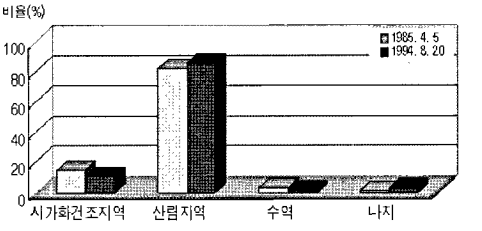


그림 7. 1985년~1994년의 C지역 피복변화 그래프

C지역의 경우, 시가화건조지역은 4.60% 감소한 반면 산림지역은 4.00% 증가하였고, 나지는 2.18% 증가하였다. 이것은 영상분류 시 시가화건조지역과 산림지역이 오분류된 결과로 판단된다. 이 지역에서는 1992년 대전 대덕구 문평동 갑천변에서 신탄진과 대덕연구개발특구를 잇는 도로 사이 1.24㎢에 제3산업단지가 조성되어 있는 것과 1993년 이 도로 건너 신일동 일대 1.9㎢규모의 제4산업단지의 개발이 착공중인 것을 확인할 수 있었다.

3.1.2 1994년 ~ 2001년의 피복변화 탐지

1994년~2001년의 경우, D지역은 노은 지구가 위치한 노은 1, 2동, A지역은 둔산 지구에 해당하는 둔산 1, 2동, 월평 1, 2, 3동, 삼천동, 탄방동, 만년동, E지역은 관저 지구가 위치한 관저 1, 2동, 진잠동을 나타내는 것이다. 표 8~표 10은 각 지역의 토지피복변화를 나타내며, 그림 8~그림 10은 토지피복변화의 비율을 그래프로 나타낸 것이다.

표 8. 1994년~2001년의 D지역 피복변화

구 분	1994. 8. 20		2001. 5. 27	
	면적(km²)	비율(%)	면적(km²)	비율(%)
시가화 건조지역	2.01	6.66	3.36	11.13
산림지역	28.07	92.95	24.42	80.86
수역	0.01	0.03	0.08	0.26
나지	0.11	0.36	2.34	7.75

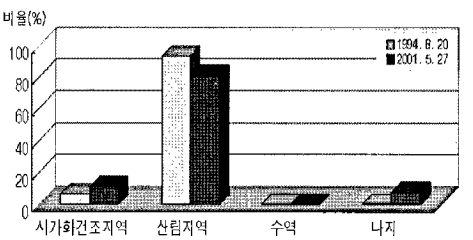


그림 8. 1994년~2001년의 D지역 피복변화 그래프

D지역에서는 시가화건조지역이 4.47% 증가한 반면 산림지역은 12.09%감소하였고, 나지가 7% 이상 증가한 사실을 알 수 있다. 이는 노은동 일대가 1993년 12월(1지구) 및 1995년 2월(2지구) 각각 택지개발지구로 지정되면서 대규모 개발사업이 진행되었고, 2002년에 완공된 노은 1지구가 당시에는 개발중이었기 때문인 것으로 판단된다.

표 9. 1994년~2001년의 A지역 피복변화

구 분	1994. 8. 20		2001. 5. 27	
	면적(km²)	비율(%)	면적(km²)	비율(%)
시가화 건조지역	8.24	68.44	8.01	66.53
산림지역	2.73	22.67	2.11	17.53
수역	0.23	1.91	0.31	2.57
나지	0.84	6.98	1.61	13.37

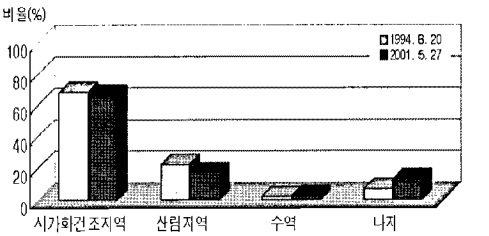


그림 9. 1994년~2001년의 A지역 피복변화 그래프

A지역의 경우, 시가화건조지역은 1.91%, 산림지역은 5.14% 감소하였고, 나지는 6.39% 증가하였다. 특히 1994년 시가화건조지역으로 분류되었던 만년동일대가 나지로 나타났는데, 당시 한밭수목원(1994~2009), 대전문화예술의 전당(1996~2003)의 공사가 진행중이였기 때문인 것으로 사료된다. 전체적인 시가화건조지역의 면적은 감소하였고, 나지의 면적이 상대적으로 증가한 것으로 나타났다.

E지역의 경우, 시가화건조지역이 5.98% 증가하였고, 산림지역은 12.26% 감소하였다. 나지의 경우 5.74%가 상승한 것으로 나타났는데, 이것은 관저 지구의 개발이 점차 확장되었기 때문인 것으로 사료된다.

표 10. 1994년~2001년의 E지역 피복변화

구 분	1994. 8. 20		2001. 5. 27	
	면적(km²)	비율(%)	면적(km²)	비율(%)
시가화 건조지역	3.85	7.20	7.05	13.18
산림지역	49.04	91.66	42.48	79.40
수역	0.17	0.32	0.46	0.86
나지	0.44	0.82	3.51	6.56

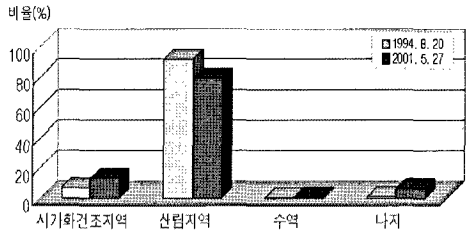


그림 10. 1994년~2001년의 E지역 피복변화 그래프

3.1.3 2001년 ~ 2009년의 피복변화 탐지

2001년~2009년의 경우, F지역은 대덕테크노벨리가 있는 구즉동, D지역은 노은 지구가 위치한 노은 1, 2동에 해당하며, G지역은 서남부 지구가 있는 온천 1동, 과수원동을 나타내는 것이다. 표 11~표 13은 각 지역의 토지피복변화를 나타내며, 그림 11~그림 13은 토지피복변화의 비율을 그래프로 나타낸 것이다.

표 11. 2001년~2009년의 F지역 피복변화

구 분	2001. 5. 27		2009. 5. 25	
	면적(km²)	비율(%)	면적(km²)	비율(%)
시가화 건조지역	4.11	11.93	6.88	19.97
산림지역	28.09	81.54	25.48	73.96
수역	0.99	2.87	1.69	4.91
나지	1.26	3.66	0.40	1.16

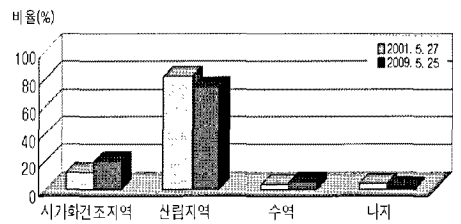


그림 11. 2001년~2009년의 F지역 피복변화 그래프

F지역의 경우, 시가화건조지역은 8.04% 증가한 반면 산림지역은 7.58%, 나지는 2.5% 감소하였다. 이는 2001년부터 2007년까지 3단계에 걸쳐 시행된 유성구 관평동 일대 4.257㎢규모의 대덕테크노벨리 조성사업에 기인하는 것으로 판단된다.

표 12. 2001년~2009년의 D지역 피복변화

구 분	2001. 5. 27		2009. 5. 25	
	면적(km²)	비율(%)	면적(km²)	비율(%)
시가화 건조지역	3.36	11.13	6.06	20.07
산림지역	24.42	80.86	23.17	76.72
수역	0.08	0.26	0.16	0.53
나지	2.34	7.75	0.81	2.68

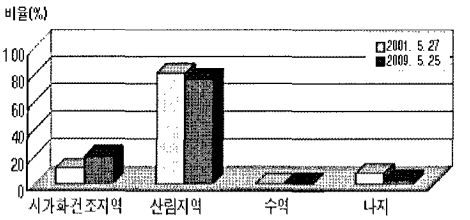


그림 12. 2001년~2009년의 D지역 피복변화 그래프

D지역의 경우, 시가화건조지역은 8.94% 증가하였고, 산림지역은 4.14%, 나지는 5.07% 감소하였다. 2001년 5월 개발사업이 진행중이였던 약 3.54㎢규모의 노은 1지구 및 2지구 택지개발사업이 완료가 되어 나지가 모두 시가화건조지역으로 바뀌었으며, 2009년의 2.68% 나지는 개발중인 노은 3지구로 판단된다.

표 13. 2001년~2009년의 G지역 피복변화

구 분	2001. 5. 27		2009. 5. 25	
	면적(km²)	비율(%)	면적(km²)	비율(%)
시가화 건조지역	8.20	30.14	8.22	30.21
산림지역	16.64	61.15	14.61	53.69
수역	0.42	1.54	0.88	3.23
나지	1.95	7.17	3.50	12.87

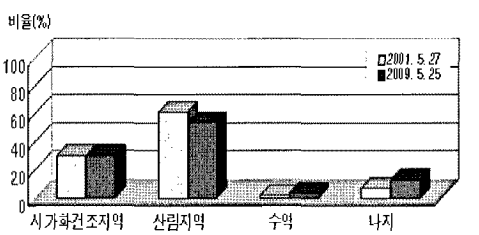


그림 13. 2001년~2009년의 G지역 피복변화 그래프

G지역의 경우, 시가화건조지역의 비율이 거의 변화가 없고, 산림지역은 7.46% 감소하였다. 나지의 경우 5.7% 증가하였는데 이것은 2006년 12월 공사착공에 들어간 도안 신도시 때문인 것으로 나타났다. 2011년 6월 사업준공을 목표로 추진 중에 있는 도안 신도시 택지개발사업이 완료된다면 시가화건조지역의 비율이 큰 폭으로 상승할 것으로 예상된다.

3.2 열변화 탐지

본 연구를 위해 제작된 온도추출영상은 대전광역시를 기본으로 주변지역까지 포함하는 정사각형 모양의 영상이므로 앞의 토지피복분류와 마찬가지로 마스킹하는 작업을 수행하였다. 그림 14~17은 분류결과로부터 대전광역시를 마스킹한 결과를 나타낸 것이다.

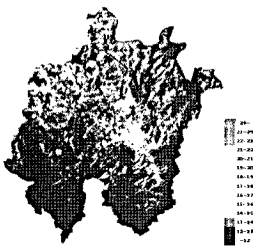


그림 14. 열변화 마스킹(1985)

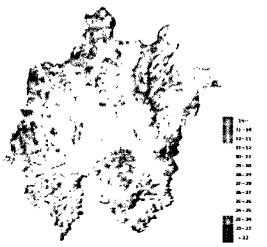


그림 15. 열변화 마스킹(1994)

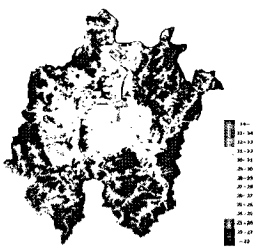


그림 16. 열변화 마스킹(2001)

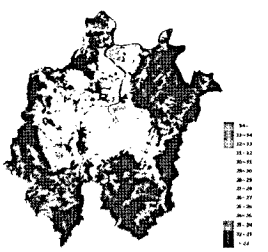


그림 17. 열변화 마스킹(2009)

앞에서 분류한 시기별 토지피복결과와의 비교를 위해 토지피복에 따른 지표온도 분포를 산출하였다. 산출결과 일반적으로 시가화건조지역에서 가장 높은 온도를 나타내고 있고 수역이 가장 낮은 온도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, 시기화건조지역과 산림지역의 온도차이가 최소 2.4℃에서 최대 5.7℃로 나타났다. 다만 나지가 시가화건조지역보다 온도가 높게 산출된 영상은 콘크리트의 구조물이 나지로 오분류되면서 나온 결과라 사료된다. 표 14는 토지피복별 평균온도를 나타내는 것이다.

표 14. 토지피복별 평균온도

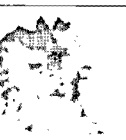
영상	시가화 건조지역	산림지역	수계	나지
1985년 4월 5일	13.1℃	10.7℃	5.2℃	12.5℃
1994년 8월 20일	28.5℃	24.5℃	24.9℃	28.7℃
2001년 5월 27일	28.4℃	22.7℃	20.0℃	28.0℃
2009년 5월 25일	27.7℃	22.6℃	20.2℃	25.6℃

본 연구에서 이용한 영상은 취득시기가 모두 다르기 때문에 직접적인 온도변화량의 비교가 불가능하다. 따라서 지표온도추출은 각 영상마다 실시하되 실질적인 온도비교는 취득시기가 비슷한 2001년과 2009년 사이의 지표온도변화에서 수행하였고, 나머지 영상은 앞에서 분류한 토지피복의 변화에 따른 온도 분포현황만을 분석하였다. 추후 취득시기가 동일한 영상자료에 의해 각 시기별 지표온도를 비교한다면 각 시기별 지표온도의 변화를 좀더 정확한 탐지가 가능할 것으로 판단된다.

3.2.1 1985년 ~ 1994년의 열변화 탐지

1985년~1994년의 경우 A지역은 둔산 지구가 위치한 둔산 1, 2동, 월평 1, 2, 3동, 삼천동, 탄방동, 만년동에

표 15. 1985년~1994년의 지표온도변화

	1985. 4. 5	1994. 8. 20
A지역		
평균기온	12.48℃	28.32℃
	1985. 4. 5	**1994. 8. 20**
B지역		
평균기온	13.20℃	25.47℃
	1985. 4. 5	**1994. 8. 20**
C지역		
평균기온	13.04℃	24.46℃

해당하며, B지역은 엑스포과학공원이 있는 신성동, C지역은 대전 3 · 4산업단지가 위치한 구즉동과 목상동을 나타내는 것이다. 표 15는 1985년과 1994년 사이의 지표온도변화를 나타낸 것이다.

1985년~1994년에서의 지표온도변화는 해당 표에서 보듯이 둔산 지구의 경우 만년동부근 지표온도가 높게 분포되어있는 것을 확인할 수 있었고, 둔산동 전체에 걸쳐서 온도가 상승한 것으로 나타났다. 신성동의 경우, 갑천 변과 우성이산 아래 토지부근이 고온으로 바뀐 것으로 나타났으며, 또한 대덕벨리 부근도 주변에 비해 온도가 상승한 것을 확인할 수 있었다. 구즉동, 목상동의 경우 1985년 경우보다 대전 3 · 4산업단지 부근에서 고온분포가 뚜렷한 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞에서 언급했듯이 도시화에 따른 도시열섬현상으로서 토지피복변화와 지표온도변화가 서로 밀접한 관계에 있다는 것을 나타내고 있는 것이다.

3.2.2 1994년 ~ 2001년의 열변화 탐지

1994년~2001년의 경우, D지역은 노은 지구가 위치한 노은 1, 2동, A지역은 둔산 지구에 해당하는 둔산 1, 2동, 월평 1, 2, 3동, 삼천동, 탄방동, 만년동, E지역은 관저 지구가 위치한 관저 1, 2동, 진잠동을 나타내는 것이다. 표 16은 1994년과 2001년 사이의 지표온도변화를 나타낸 것이다.

1994년~2001년에서의 지표온도변화는 노은 지구의 경우, 아파트 단지가 밀집해있는 노은 1지구 부근의 고온화 현상이 나타났다. 반면 1994년에 만년동일대에 확연히 나타났던 고온지역이 2001년의 경우 다소 축소되어 있는 것으로 나타났으며, 이것은 1996년도에 공사를 시작한 한밭수목원의 영향으로 인한 온도저감효과로 사료된다. 관저지구의 경우, 2001년에는 개발이 진행됨에 따라 개발지구와 외곽지와의 온도차가 확연히 나타나고 있는 것으로 확인되었다.

3.2.3 2001년 ~ 2009년의 열변화 탐지

2001년~2009년의 경우 F지역은 대덕테크노벨리가 있는 구즉동, D지역은 노은 지구가 위치한 노은 1, 2동에 해당하며 G지역은 서남부 지구가 있는 온천1동, 과수원동을 나타내는 것이다. 표 17은 2001년과 2009년 사이의 지표온도변화를 보여주고 있으며, 그림 18은 해당 시기의 지표온도를 그래프로 나타낸 것이다.

표 16. 1994년~2001년의 지표온도변화

	1994. 8. 20	2001. 5. 27
D지역		
평균기온	24.47℃	23.64℃
	1994. 8. 20	**2001. 5. 27**
A지역		
평균기온	28.32℃	27.81℃
	1994. 8. 20	**2001. 5. 27**
E지역		
평균기온	24.77℃	23.61℃

표 17. 2001년~2009년의 지표온도변화

	2001. 5. 27	2009. 5. 25
F지역		
평균기온	23.91℃	23.83℃
변 화 량	-0.08℃	
	2001. 5. 27	**2009. 5. 25**
D지역		
평균기온	23.64℃	24.02℃
변 화 량	+0.38℃	
	2001. 5. 27	**2009. 5. 25**
G지역		
평균기온	25.18℃	24.81℃
변 화 량	-0.37℃	

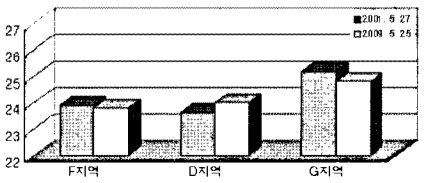


그림 18. 2001년~2009년의 지표온도

2001년~2009년의 지표온도변화에서는 노은 지구를 제외한 대덕테크노벨리, 도안 신도시 부근에서 도심화가 진행했음에도 불구하고 지표온도가 소폭 하락한 것으로 나타났다. 이것은 녹지조성사업의 효과 및 2009년에 발생한 저온현상에 따른 영향인 것으로 판단되며, 실제 2001년 5월 27일 평균기온이 21.6℃이고, 2009년 5월 25일의 평균기온은 20.5℃로 2001년이 2009년보다 높은 것을 기상청홈페이지에서 확인하였다.

3.3 지표변화와 열변화의 상관관계

각 지역별 토지피복변화와 지표온도변화를 분석한 결과 도심화가 진행될수록 지표온도는 상승하는 것으로 나타났다. 아래 도심지의 면적은 시가화건조지역과 나지를 합하여 산출하였고, 그림 19는 각 시기별 도심지 면적현황을 나타내며 그림 20은 온도변화량을 보여주고 있다.

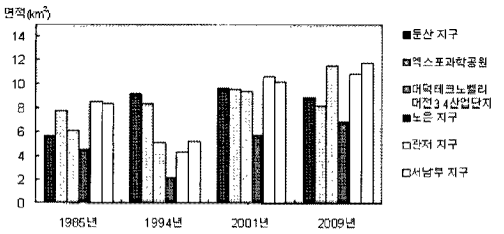


그림 19. 시기별 도심지면적현황

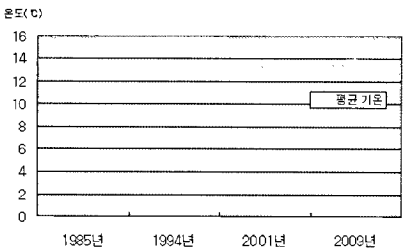


그림 20. 시기별 온도변화량

둔산 지구의 경우, 1984년부터 2001년까지 도심지의 면적이 상승하다가 2009년도에는 소폭 감소한 것으로 나타났으며, 엑스포과학공원 부근의 경우 역시 둔산 지구와 비슷한 형태의 분포가 나타나는 것을 알 수 있었다. 다만 1994년의 경우, 대덕테크노벨리, 대전 3·4산업단지, 관저 지구, 도안 신도시구역의 도심지면적이 감소한 것으로 보이나 이것은 나지의 일부가 산림지역으로 오분류되면서 나타난 현상으로 사료되며, 전체적으로 도심지의 면적은 상승하고 있는 추세인 것으로 판단된다.

평균기온의 경우 2001년을 제외한 2009년까지 점차 상승한 것으로 미루어 볼 때 도시화와 열변화와 밀접한 관련이 있는 것을 알 수 있었다. 또한, 일반적으로 도심지역이 온도가 높고 산림지역 및 수역은 비교적 낮은 온도 분포를 나타내었다. 이는 도시 지역에 있는 녹지지역의 중요한 역할을 나타내는 지표로 도시화로 인한 온도 상승을 낮추기 위하여 녹지조성이 중요하다는 것을 의미한다.

4. 결 론

본 연구는 Landsat 영상을 이용하여 대전광역시의 도시화에 따른 도심의 열변화 현상을 연구한 것으로 다음의 결론을 얻었다.

1. 시기가 다른 Landsat 영상과 지리정보시스템을 활용하여 급격한 도시화로 인한 토지이용변화 및 열변화를 효율적으로 탐지할 수 있었다.
2. Landsat 영상의 분류결과를 이용하여 도시화에 따른 피복변화량을 산출한 결과, 도심지의 경우 최대 23.59% 상승한 반면 산림지역은 최대 27.91% 감소하였음을 파악할 수 있었다.
3. Landsat 영상의 열적외 데이터를 통해 지표온도를 추출하고 토지피복 변화에 따른 온도 변화를 분석한 결과, 도시화의 진행에 따라 도심지의 지표온도가 주변지보다 높게 나타났으며, 이 경우 산림지역에 비해 약 2.4℃~5.7℃ 높게 형성되어 있음을 알 수 있었다.

향후 보다 세분화된 분류와 분석을 통한 자료 구축이 이루어진다면 도시공간의 효율적 관리 및 도시계획 수립을 위한 충분한 기반자료의 제시가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

김기홍, 홍성창, 윤준희 (2008), 대기보정된 Landsat 위성영상을 이용한 해수온도 분석, **한국측량학회지**, 한국측량학회, 제26권, 제3호, pp. 219-225.

도후조, 이정민, 나정화 (2007), 도시 지표면 온도분포 특성 및 열섬완화방안, **한국환경과학회지**, 한국환경과학회, 제16권, 제5호, pp. 611-622.

박경훈, 정성관 (1999), 광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과 분석, **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제2권, 제3호, pp. 35-45.

엄대용 (2006), 원격탐사 자료에 의한 지표온도추출 정확도 향상에 관한 연구, **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제9권, 제2호, pp. 159-171.

조성모, 윤용한, 류을렬, 박봉주, 김원태 (2009), 도시내 용도지역의 토지피복형태가 열섬현상에 미치는 영향, **한국환경과학회지**, 한국환경과학회, 제18권, 제2호, pp. 169-176.

최승필, 양인태 (2003), Landsat TM 영상을 이용한 지표변화정보 추출, **한국측량학회지**, 한국측량학회, 제21권, 제3호, pp. 261-267.

(접수일 2010. 01. 04, 심사일 2010. 01. 25, 심사완료일 2010. 03. 10)