도시열섬 완화를 위한 녹지증가에 따른 온도변화 분석

Analysis of Temperature Change by Forest Growth for Mitigation of the Urban Heat Island

윤희천¹⁾ · 김민규²⁾ · 정갑용³⁾

Yun, Hee Cheon · Kim, Min Gyu · Jung, Kap Yong

Abstract

Recently, environmental issues such as climate warming, ozone layer depletion, reduction of tropical forests and desertification are emerging as global environmental problems beyond national problems. And international attention and effort have been carried out in many ways to solve these problems. In this study, the growth of green was calculated quantitatively using the technique of remote sensing and temperature change was figured out through temperature extraction in the city. The land-cover changes and thermal changes for research areas were analyzed using Landsat TM images on May 2002 and May 2009. Surface temperature distribution was calculated using spectral degree of brightness of Band 6 that was Landsat TM thermal infrared sensor to extract the ground surface temperature in the city. As a result of research, the area of urban green belt was increased by 2.87km² and the ground surface temperature decreased by 0.6°C~0.8°C before and after tree planting projects. Henceforth, if the additional study about temperature of downtown is performed based on remote sensing and measurement data, it will contribute to solve the problems about the urban environment.

Keywords : Urban heat island, Landsat image, Thermal change, Land cover

초 록

최근 기후 온난화, 오존층 파괴, 열대림의 감소, 사막화 등의 환경문제가 이미 한 국가 문제를 넘어 범세계적인 지구환경문제로 대두되면서 이를 해결하기 위한 국제적인 관심과 노력이 다양하게 진행되어 왔다. 본 연구에서는 원격탐사 기법을 이용하여 도시의 녹지증가를 정량적으로 산출하고, 온도 추출을 통해 도시의 온도변화를 파악하고자 하였다. 2002년 5월과 2009년 5월 Landsat TM영상을 이용하여 연구대상지의 녹지 면적변화와 열변화를 분석하였으며, 도시의 지표면 온도를 추출하기 위해 Landsat TM 열적외선 영역센서인 Band 6의 분광밝기정도를 이용하여 표면온도분포를 산출하였다. 연구결과, 도심지 녹지의 면적이 2.97km² 증가하였으며, 도시의 지표온도가 약 0.6°C~0.8°C 낮아졌음을 제시하였다. 향후 원격탐사 및 실측자료를 바탕으로 도심 온도변화에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면 도시환경문제 해결에 크게 기여할 것이다.

핵심어 : 도시열섬, Landsat 영상, 열변화, 토지피복

1. 서 론

기후 온난화, 오존층 파괴, 열대림의 감소, 사막화 등의 범세계적인 지구환경문제로 이를 해결하기 위한 국제적인 관심과 노력이 다양하게 진행되고 있다. 지난 1972년 유엔 인간환

경 회의에서 “하나뿐인 지구”라는 슬로건 아래 “인간 환경선언”을 채택한 이후 지구환경 문제는 이제 전 인류가 머리를 맞대고 풀어야 할 과제로 인식하게 되었고 잇달아 다양한 국제협약이 마련되고 있다(Kim, 2010).

우리나라는 도시의 급속한 성장으로 인한 인공열과 대기오

1) 정희원 · 충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수(E-mail:hcyoon@cnu.ac.kr)

2) 교신저자 · 충남대학교 대학원 토목공학과 공학박사(E-mail:kmgtpq@paran.com)

3) 정희원 · 충남대학교 대학원 토목공학과 공학박사(E-mail:jungjusa@hanmail.net)

염 등 환경문제에 대한 해결방안으로 도시에 숲이나 공원 조성 등의 나무심기 운동을 활발하게 추진하고 있으며, 최근 원격탐사를 이용한 다양한 연구가 수행되고 있다(Kang et al., 2010).

원격탐사란 물리적인 접촉이나 탐사 없이 지상물체의 특성을 파악하고자 하는 활동으로써 대기 또는 지표면으로부터 반사되거나 방사된 전자기복사에너지를 측정, 기록하고 대기 조건과 지표면 물질들의 분포 그리고 그것들의 정보를 알아내고자 하는 모든 행동을 총체적으로 의미한다. 기구나 항공기를 이용한 원격탐사를 시작으로 근래에 들어서는 위성영상이나 각종 센서를 이용한 원격탐사가 여러 분야에서 활발하게 진행되고 있다(Yun et al., 2004).

원격탐사 관련 연구로 대구시 주변의 도농 통합지역을 대상으로 도시화의 진행 정도와 토지이용 변화의 상관관계를 파악하고 비트맵 분석을 통하여 도시변화 유형도를 제작하고 이를 토지피복도와 비교하여 도시화의 민감성을 분석한 연구가 이루어졌으며(Park et al., 2002), Landsat TM 영상을 이용한 토지이용분석과 유역의 오염량을 산출한 연구도 이루어졌다. 이 연구를 통해 지형도를 이용한 토지이용도와 위성영상을 이용한 토지이용도를 구축하고 이를 적용하여 산정한 오염 부하량을 비교·분석하였다(Park and Kim, 2001).

토지이용 변화에 따른 녹지 환경의 민감성 평가에 따른 연구도 수행되었다. 이를 위해 천안시를 대상으로 1985년에서 1999년까지의 총 5개의 Landsat TM 영상을 이용하여 영상의 시계열적인 분석과 토지이용 분류를 종합적으로 분석하고 식생의 시계열적 변화와 식생에 영향을 미치는 인자를 도출하였으며 경관생태지수와 식생지수를 변수로 하여 녹지 환경의 민감성을 평가하였다(Lee and Kim, 2001).

식생에 관한 연구로는 인공위성자료를 활용하여 광주광역시 녹지 특성을 분석한 연구가 수행되었다. 녹지 환경을 이루고 있는 구성요소를 용이하게 파악할 수 있도록 하기 위해 녹피 유형에 따른 구분을 시도하였고, 이를 인공위성자료를 활용하여 규명하였다. 원격탐사 기법을 이용하여 도시토지환경을 분석하였고, 토지 환경의 경년변화를 비교하기 위해 위성자료를 이용한 토지피복분류를 실시, 분석·검토하여 도시화에 따른 토지 환경 변화 분석도를 작성하고 도시계획의 바람직한 방향설정을 시도하였다(Cho et al., 1998). 위성영상을 이용한 황해도 북부 농촌지역의 토지이용 변화 연구를 통해 비 접근지역인 황해도 재령평야의 토지이용 분류를 수행하고 이를 비교·분석함으로써 북한지역의 토지이용 변화를 파악하고자 하였다(Kim et al., 1998).

본 연구에서는 도시 녹색성장의 일환으로 나무심기 운동

이 진행된 연구대상지의 시계열 Landsat TM 영상으로 토지의 피복분류를 수행하여 녹지의 변화를 파악하고, 온도추출을 통해 도시의 온도 변화를 분석함으로써, 향후 도시의 열섬현상 등 환경문제에 해결을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 자료취득 및 처리

2.1 연구대상지

본 연구에서는 도시 녹색성장을 위한 나무심기 운동에 따른 도시 지역의 녹지 및 온도 변화를 분석하기 위해 구미시를 연구대상지로 선정하였다. Figure 1은 연구대상지의 영상으로 연구대상지를 붉은 색으로 나타내었다.

Figure 1. Satellite image of study area

구미시는 2006년부터 2015년까지 1,000만 그루를 목표로 현재 나무심기 운동을 추진 중에 있으며, 목표의 50%정도를 추진한 상태이다. 나무심기를 통해 현재 2개 지역의 도시 숲 조성이 완성된 상태이며, 녹지 및 온도 변화에 대한 분석의 적지로 판단된다.

2.2 자료취득

Landsat 위성영상은 1984년부터 일반에 공개되었으며 광범위한 지역의 과거에서 현재에 이르는 변화탐지를 모니터링하기 위한 방법으로 인공위성 영상자료는 많은 분야에서 활발하게 이용되고 있다. 본 연구에서는 연구대상지의 녹지 및 온도 변화 탐지를 위해 2002년과 2009년의 Landsat TM 영상

자료를 취득하였다. Table 1은 연구에 사용된 Landsat TM 영상의 개요이며, Figure 2는 각 시기별 위성영상을 나타낸다.

Table 1. Summary of the Landsat images

Sensor	Resolution	Date
TM	30m	2002. 05. 22
TM	30m	2009. 05. 25

(a) 2002. 05

(b) 2009. 05

Figure 2. Satellite images each period

2.2 영상분류

영상의 분류는 유사한 특징의 픽셀들을 동일한 항목 또는 클래스(Class)로 분류하는 과정을 뜻하며 이를 통해 영상자

료에 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 나지, 수계, 도심, 녹지 및 경작지의 5가지로 항목을 구분하여 트레이닝 셋을 설정하였다. 영상의 분류는 감독분류 방법 중 정확도가 비교적 높고 가장 많이 사용되고 있는 최대우도법(Maximum likelihood)을 사용하였으며, 녹지의 분류를 위해 4, 3, 2 밴드 조합을 이용하였다. Table 2는 영상의 분류항목이며, Figure 3은 트레이닝 셋 설정화면을 나타낸다.

Table 2. Classification item

Item	Class	
Bare Ground	Red	
Water	Blue	
Urban area	Black	
Forest	Forest	
Farmland	Yellow

Figure 3. Training set configuration

2.3 온도추출

Landsat TM/ETM+ 영상자료의 6번 밴드는 열적외선 영역에 속하며, 이 밴드를 통해 나타나는 영상자료의 밝기는 이 과정에서 에너지 세기, 지표면 온도를 미리 정해진 관계식에 의해 이산화하여 반영하고 있는 것이다. 본 연구에서는 이 절대방사량을 환원하는 NASA Model에 기반하여 지표면온도

를 추출하였다. Table 3은 Landsat TM/ETM+ 분광방사휘도 값을 나타내며 변환식은 아래와 같다(Um, 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 분광복사량 $W/(m^2 sr \mu m)$
- 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_{CALMIN} : 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

Table 3. Spectral radiance of Landsat TM/ETM+

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

Landsat TM 영상에서 구한 절대방사휘도 L 과 절대온도(K) 사이에는 다음과 같은 상관관계가 존재하며 Table 4는 Landsat TM/ETM+ 열밴드 보정 상수를 나타낸다.

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

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

Table 4. Thermal band constants of Landsat TM/ETM+

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

위로부터 얻어지는 온도는 절대온도($^{\circ}K$)이기 때문에, 이를 섭씨온도($^{\circ}C$)로 환산하기 위하여 273.15를 감하였다.

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273.15 \quad (3)$$

3. 녹지 및 온도 변화 탐지

3.1 녹지 변화 탐지

분류에 사용된 영상은 구미시 일원 지역 전체에 대한 영상 이므로 나무심기 운동을 통해 도시숲이 조성된 A지역과 B지역으로 영상을 마스킹하여 지역별 녹지 변화를 분석하였다. Figure 4는 2002년 구미시 전체 영상이며, 도시숲이 조성된 A지역과 B지역을 영상에 나타내었다. Figure 5와 Figure 6은 각 시기별 영상 분류 결과를 나타낸다.

본 연구에서는 A지역과 B지역의 영상분류 결과로부터 나무심기 운동 전인 2002년과 나무심기 운동 후인 2009년의 식생지역의 면적을 산출하고 비교하였다. Figure 7과 Figure 8은 각각 A지역과 B지역의 영상분류 결과를 나타낸다.

Figure 4. Urban forest region

Figure 5. Result of classification - 2002

Figure 6. Result of classification - 2009

(a) 2002. 05 (b) 2009. 05
Figure 7. Result of classification - area A

(a) 2002. 05 (b) 2009. 05
Figure 8. Result of classification - area B

영상분류 결과에서 보는 것처럼 나무심기 운동 전·후로 영상분류 결과에서 육안으로 식생지역이 눈에 띄게 증가하고, 나지가 감소하였음을 알 수 있다. Table 5와 Table 6은 분류 결과를 통해 산출된 식생지역의 픽셀 수 및 면적을 나타내며, Figure 9와 Figure 10은 그 그래프를 나타낸다.

Table 5. Number of pixels and extent of area A

Year	Pixel	Extent(km ²)
2002	3,060	2.75
2009	5,304	4.77

Figure 9. Change of forest area about area A

A지역은 2002년~2009년까지 나무심기 운동으로 인해 녹지가 2.02km² 증가하였으며, 이는 기존 면적의 약 73%에 해당하는 면적이다.

Table 6. Number of pixels and extent of area B

Year	Pixel	Extent(km ²)
2002	1,238	1.11
2009	2,187	1.96

Figure 10. Change of forest area about area B

B지역의 녹지는 나무심기 운동 전·후로 0.85km² 증가하였다. B지역이 A지역에 비해 식생 면적 증가가 작은 것은 강변지역이기 때문에 나무심기가 가능한 면적이 A지역보다 작기 때문으로 판단된다. 나무심기 운동으로 인해 A지역과 B지역에 증가한 식생의 면적은 총 2.87km²로 기존 식생면적보다 약 57%가 증가한 것으로 산출되었다.

3.2 온도 변화 탐지

본 연구를 통해 제작된 온도추출영상은 구미시 및 주변 지역의 영상이므로 앞의 토지피복분류와 같이 대상지역만을 마스킹 하였다. Figure 11은 2002년과 2009년의 온도추출 결과를 나타내며, Figure 12와 Figure 13은 각 지역별 결과를 나타낸다.

(a) 2002

(b) 2009

Figure 11. Result of temperature extraction

Figure 11과 Figure 12의 온도추출 결과는 온도가 높을수록 밝은 색을 나타낸다. A지역의 경우, 토지피복 분류에서 도심으로 분류된 부분이 높은 온도를 나타내고 있으며, 수계, 녹

(a) 2002

(b) 2009

Figure 12. Result of temperature extraction – area A

지로 분류된 지역은 도심보다 낮은 온도를 나타내고 있다. 또한 2002년에 비해 2009년의 결과에서 도심지역의 온도가 다소 낮게 나타남을 알 수 있다. Figure 13은 B지역 온도추출 결과를 나타낸다.

(a) 2002

(b) 2009

Figure 13. Result of temperature extraction – area B

B지역은 2009년 영상에서 식생지역으로 분류된 지역의 온도가 2002년에 비해 낮은 온도를 나타내고 있지만 도심지역의 경우 온도 변화가 크게 나타나지 않았다. Table 7은 온도추출을 위한 DN값의 일부를 나타내며, Table 8은 각 지역별로 산출된 평균온도를 나타낸다. Figure 14는 나무심기 운동 전·후 온도 변화를 나타낸다.

Table .7 DN Values for temperature extraction

Dims:	Full	Scene	(11,322 points)	
Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 6	16.801117	29.7629	24.4245	2.71427
DN	Npts	Total	Percent	Acc
16.801117	36	36	0.3180	0.3180
16.851948	0	36	0.0000	0.3180
16.902778	0	36	0.0000	0.3180
16.953609	0	36	0.0000	0.3180
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Table 8. Results of temperature extraction

Image	Area A	Area B
2002. 05	20.3℃	22.32℃
2009. 05	19.5℃	21.92℃

Figure 14. Temperature change

각 지역별 온도 추출 결과, 나무심기 운동 전·후로 A지역은 약 0.8℃, B지역은 0.4℃가 낮아졌다.

B지역의 온도변화가 작은 값을 보이는 것은 식생면적의 증가가 A지역에 비해 상대적으로 작기 때문이며, 낮은 온도를 나타내는 수계지역이 약 33% 감소하고, 높은 온도를 나타내는 나지지역이 증가함에 따라 평균온도가 높아진 것으로 판단된다. Figure 15는 B지역의 수계, 나지, 식생지역의 변화를 나타낸다.

Figure 15. Change of water, bare ground and forest area - area B

본 연구를 통해 나무심기 운동으로 인해 증가한 식생면적과 온도를 정량적으로 제시할 수 있었으며, 나무심기 운동 완료 후 추가적인 영상분석과 실제 관측자료의 분석을 통해 도시의 온도 변화를 더욱 정확하게 탐지할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

본 연구는 Landsat 영상을 이용하여 도시의 녹지면적 및 온도 변화를 분석한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시기가 다른 Landsat TM 영상을 이용하여 도심 녹지면적의 변화와 이에 따른 온도변화를 정량적으로 제시하였다.
2. Landsat 영상 분류결과를 이용하여 나무심기에 따른 녹지면적 변화를 산출하여 식생지역이 나무심기 운동 전에 비해 약 57%가 증가하였음을 제시하였다.
3. Landsat 영상의 열적외 데이터를 통해 지표온도를 추출하고 도시지역의 온도 변화를 분석한 결과, 식생지역 증가에 따라 도시지역의 온도가 지역에 따라 0.4℃~0.8℃ 낮아졌음을 알 수 있었다.

향후 원격탐사 및 실측자료를 바탕으로 도심 온도변화에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면 도시환경문제 해결에 크게 기여할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012 R1A1A2009156)

References

- Kim, D. (2010), Global Warming Effect on Marine Environments and Measure Practices against Global Warming, *Journal of Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 16, No. 4, pp. 421-425.
- Kang, J., Ka, M., Lee, S., Park, J. (2010), Detection of Heat Change in Urban Center Using Landsat Imagery, *Journal of the Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography*, Vol. 28, No. 2, pp. 197-206.
- Yun, H. and Lee, S. (2004), A Study on Precision Rectification Technique of Multi-scale Satellite Images Data for Change Detection, *Journal of the Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography*, Vol. 22, No. 1, pp. 81-90.
- Park, I. and Jang, G. (2002), A Study on the Change Detection of Multi-temporal Data - A Case Study on the Urban Fringe in Daegu Metropolitan City -, *Journal of*

- the Korean Institute of Landscape Architecture*, Vol. 30, No. 1, pp. 1–10.
- Park, E. and Kim, C. (2001), Environmental Friendly Road Align in Urban Area, *Research of Architecture & Urban Environment*, Vol. 9, pp. 129–138.
- Lee, J. and Kim, H. (2001), The Assessment of the Sensitiveness of the Forest Environment by Land Use Change, *Journal of Korea Planners Association*, Vol. 36, No. 5, pp. 211–224.
- Cho, Y., Cho, K., Hong, H. and Song, T. (1998), Analysis of urban land environment, *Research of Coastal Environment*, Vol. 15, No. 1, pp. 33–41.
- Kim, D., Han, W. and Jung, S. (1998), A study on the Land Use Change in the Northern Part of Whanghae Province using Remote Sensing Images, *Journal of the Korean Association of Professional Geographers*, Vol. 32, No. 4, pp. 135–146.
- Um, D. (2006), A Study on the Accuracy Improvement of Land Surface Temperature Extraction by Remote Sensing Data, *Journal of Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 9, No. 2, pp. 159–171.

(접수일 2013. 03. 08, 심사일 2013. 03. 25, 심사완료일 2013. 04. 24)