

# 위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석<sup>†</sup>

윤민호\* · 안동만\*\*

\*서울대학교 대학원 생태조경학 전공 · \*\*서울대학교 조경 · 지역시스템공학부

## An Application of Satellite Image Analysis to Visualize the Effects of Urban Green Areas on Temperature

Yoon, Min-Ho\* · Ahn, Tong-Mahn\*\*

\*Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Seoul National University

\*\*Dept. of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University

### ABSTRACT

Urbanization brings several changes to the natural environment. Its consequences can have a direct effect on climatic features, as in the Urban Heat Island Effect. One factor that directly affects the urban climate is the green area. In urban areas, vegetation is suppressed in order to accommodate manmade buildings and streets. In this paper we analyze the effect of green areas on the urban temperature in Seoul. The period selected for analysis was July 30th, 2007. The ground temperature was measured using Landsat TM satellite imagery. Land cover was calculated in terms of city area, water, bare soil, wet lands, grass lands, forest, and farmland. We extracted the surface temperature using the Linear Regression Model. Then, we did a regression analysis between air temperature at the Automatic Weather Station and surface temperature. Finally, we calculated the temperature decrease area and the population benefits from the green areas.

Consequently, we determined that a green area with a radius of 500m will have a temperature reduction area of 67.33km<sup>2</sup>, in terms of urban area. This is 11.12% of Seoul's metropolitan area and 18.09% of the Seoul urban area. We can assume that about 1,892,000 people would be affected by this green area's temperature reduction. Also, we randomly chose 50 places to analysis a cross section of temperature reduction area. Temperature differences between the boundaries of green and urban areas are an average of 0.78°C. The highest temperature difference is 1.7°C, and the lowest temperature difference is 0.3°C. This study has demonstrated that we can understand how green areas truly affect air temperature.

*Key Words : Urban Forest, Surface Temperature, Urban Heat Island, Thermal Comfort, Land Cover*

### 국문초록

위성영상 자료를 이용하여 녹지가 주변 도시지역 기온저감에 영향을 미치는 범위를 분석하는 방법을 제시하였다. Landsat 5 TM Band 6에서 표면온도를 추출하고, 이를 자동기상관측소의 실측기온을 이용하여 기온으로 보정하였다. 위와 같은 방법으로 위성영상으로부터 지표온도를 추출 보정한 후 녹지가 도시기온에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 등온선도를

<sup>†</sup>: 본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호: S10107L0201004)'의 지원에 의하여 이루어진 것임.

**Corresponding author:** Min-Ho Yoon, Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea, Tel.: +82-2-880-4884, E-mail: headlight@snu.ac.kr

작성하였다. 기온이 거리에 따라 급격하게 변화하는 지역을 기온완화구간이라고 정의하고, 100m당 0.1℃ 이상의 기온저감을 기준으로 기온완화효과 영역을 설정하였다. 위와 같은 방법으로 수혜면적을 도출한 후 해당행정구역 내 인구가 동일하게 분포한다고 가정하여 기온저감수혜인구를 도출하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다. 녹지의 기온저감영향이 녹지로부터 반경 500m까지 미친다는 선행연구를 토대로 기준을 설정할 경우 시가지 중 100m 당 0.1℃ 이상의 기온저감 영향을 받는 면적은 67.33km<sup>2</sup>로 전체 서울시 면적의 11.12%, 시가지면적을 기준으로 할 경우 18.09%를 차지한다. 서울시민이 시가지에 등밀도로 거주한다고 가정하면 2008년 1/4분기 기준으로 서울시 인구 10,456,095명 중 약 1,892,000명을 기온저감 수혜인구로 추정할 수 있다. 또한, 기온저감 영향권역 단면 50곳을 임의로 선정하여 단면도를 작성한 결과, 녹지의 경계부와 시가지의 기온은 평균 0.78℃ 차이가 났으며, 최저 0.3℃, 최대 1.7℃의 차이를 보였다. 이를 통해 열섬완화측면에서 법률상 공원의 유치거리 및 배치의 적절성을 분석하여 향후 공원 조성 시 인간의 이용측면만이 아닌 열섬완화 및 열 쾌적성을 고려한 새로운 기준작성의 기초자료로 활용 가능하다.

주제어: 도시숲, 표면온도, 도시열섬현상, 열 쾌적성, 토지이용

# 1. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

1960년대 이후 지속적으로 추진되어 온 성장위주의 경제개발정책에 의한 수도권 인구집중은 도시화를 가속화시켰을 뿐만 아니라 양호한 자연생태계 훼손 등 심각한 환경문제를 야기하고 있다. 도시화가 진행되는 과정에서 발생하는 토지이용변화에 따른 녹지감소는 서식처파괴, 생물다양성 감소, 인간의 열 쾌적성 악화 등 부정적인 영향을 끼친다. 특히, 열수지 체계를 변화시키는 근본적인 요인으로 작용하여 이전과는 다른 도시 기후가 발생하게 된다(김수봉 등, 2006).

도시화 과정에서 나타나는 가장 뚜렷한 도시기후의 변화는 기온의 상승으로, 기온은 야외 공간 이용 및 만족도에 영향을 미치는 핵심적 물리인자이다(Nikolopoulou and Lykoudis, 2006; Ingegrd et al., 2007; Nikolopoulou and Lykoudis, 2007). 도시의 성장과 더불어 도시기온이 상승해왔다는 사실은 도시열섬(Urban Heat Island)현상의 명백한 증거가 된다(Landsberg, 1981). 도시열섬현상은 무더운 여름철, 시민의 열 쾌적성을 악화시키고 피부발진, 열 피로, 열 경련, 열 졸도, 일사병 등 열과 관련된 질병을 발생시킨다(환경부, 2005; 조현길과 안태원, 2006). 또한 기후변화로 인해 여름철 평균기온이 상승하고, 사망률 및 질병률과 밀접한 관계를 갖는 폭염일수의 빈도와 강도가 증가함에 따라 도시의 열환경은 더욱 악화되고 있다(WHO, 2004). 따라서 도시열섬현상 완화방안을 마련하는 것이 시급한 실정이다.

도시열섬현상 완화방안에는 인공열 발생억제, 녹지 및 수공간 증가 등이 있다. 열섬완화를 위해 녹지를 이용한다면 도시 기후의 완화 뿐만 아니라 부가적으로 대기질 개선 기능 및 건

강상의 이점도 얻을 수 있다(김해동과 구현숙, 2002; Takemi and Catharine, 2007). 따라서 쾌적하고 건강한 도시환경을 조성하기 위해서는 도시계획차원에서 인간의 열 환경을 고려한 도시녹지의 확충 및 체계적인 관리가 절실히 요구된다(Jussi and Marja, 2005).

현재 국내외에서는 도시열섬현상의 원인 및 완화방안, 위성영상을 이용한 대규모 지역의 열환경 분석, 토지이용변화에 따른 기온변화 등 열섬관련 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다. He et al.(2007)은 중국 전역을 대상으로 토지이용변화와 도시열섬 변화를 평가하였고, 이강국과 홍원화(2008)는 대구광역시를 대상으로 열 환경 분포특성을 분석하여 토지이용에 따라 온도분포가 다르며, 도심내의 녹지 및 수변지역과 도심지역간에는 뚜렷한 온도차이가 난다는 것을 밝혔다. Steve et al.(2007)은 도시열섬에 영향을 미치는 다양한 토지이용유형의 영향을 조사하였고, 토지이용이 도시기온에 영향을 미치고 열 쾌적감을 고려한 토지이용계획을 통해 열 환경을 향상시킬 수 있다는 결론을 도출하였다.

기존 연구에 의하면 도시열섬현상을 완화시키는 효과적인 방안이 도시녹지 조성임에도 도시녹지의 열섬완화영향에 대한 정량적 연구는 미흡한 실정이고 따라서 도시녹지 계획·설계시 활용할 수 있는 기초자료 또한 부족한 실정이다. 그러므로 도시녹지가 주변기온에 영향을 미치는 범위와 강도를 규명하는 것은 향후 도시녹지 조성시 적지선정 및 규모고려에 활용가능하다는 점에서 매우 중요하다. 또한 제도적인 측면에서 볼 때 도시녹지를 조성할 경우 인간의 이용만을 고려하여 대규모 산림의 유무에 관계없이 유치거리 및 배치에 일률적인 기준을 제시하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 녹지의 기온저감 영향효과의 정량적인 분석기법을 설정하여 서울시 도시녹지가 기온저감에 영

향을 미치는 범위를 파악하고 기온저감영향 수해면적 및 수해 인구 규모를 추정하여 도시계획에 있어 도시녹지 조성 유도를 위한 기초자료를 제공하는 것이다. 본 연구는 도시녹지 조성에 있어 제도적 기준에 따른 일률적인 녹지조성이 아닌 인간의 열 쾌적성을 고려한 새로운 기준작성의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## II. 연구범위 및 방법

### 1. 연구범위

본 연구는 녹지가 도시기온에 미치는 영향에 관한 연구이므로 무더운 여름철인 2007년 7월 30일을 시간적 범위로 하였다. 연구대상지 및 자동기상관측망 분포는 그림 1과 같다.

서울시의 경우, 1960년대 이후 지속적인 성장위주의 경제개발정책으로 인해 인구집중과 도시화가 가속화되어 양호한 자연생태계 훼손, 도시열섬현상 발생 등 심각한 환경문제를 야기하고 있다. 또한, 지역에 따라 개발 정도의 양상이 차별화되고, 토지이용 형태가 상이하어 녹지의 규모 및 분포양상이 다양하다. 따라서 산림의 존재유무에 따른 차등적 도시녹지조성, 현행 법제도 내에서의 공원의 유치거리 및 배치의 적절성 측면에서 시사점을 도출하고자 하는 본 연구의 목적에 부합하기 때문에 서울시를 대상지로 선정하였다.

### 2. 연구방법

녹지의 기온저감영역 분석에는 Landsat 5 TM(TM: Thematic Mapper)의 Band 6 영상을 이용하였다. 대상지를 위성영상에서 정확하게 추출하기 위하여 데이터별로 서로 다른 좌표체계를 일원화시킬 필요가 있다. 따라서 ArcGis 9.3을 이용하여 Transverse Mercator 좌표체제로 이루어져 있는 토지이용도 및 수치지도를 Universal Transverse Mercator 좌표로 변환하였다.

Landsat 5 TM 위성영상의 Band 6은 지표면이 반사하는 열적외선(10.4~12.5 $\mu$ m) 파장대를 저장한다. 이 같은 특성을 이용하여 Band 6의 수치값(DN: Digital Number)을 방사휘도(radiance)로 바꾸는 절대 보정식들이 개발되었으며, Landsat 영상의 종류에 따라 서로 다른 알고리즘을 적용하여야 한다. 위성영상의 Band 6 자료에서 제공되는 화소별 수치값은 영상이 갖는 밝기 값을 의미하기 때문에 표면온도를 추출하기 위해서 영상의 밝기에 해당하는 태양광선의 에너지 값인 복사값으로 전환한 후 다시 표면온도로 환산하였다. 본 연구에서는 한국과학기술원에서 개발한 네 가지 모델을 이용하였다.

Two-point linear model

$$T(^{\circ}\text{K})=203.2+0.541176\times\text{TM6} \quad (\text{식 } 1)$$

Linear regression model

$$T(^{\circ}\text{K})=219.97218+0.525959\times\text{TM6} \quad (\text{식 } 2)$$

Quadratic regression model

$$T(^{\circ}\text{K})=209.830966+0.834313\times\text{TM6}-0.001372\times\text{TM6}^2 \quad (\text{식 } 3)$$

Cubic regression model

$$T(^{\circ}\text{K})=206.127+1.054\times\text{TM6}-0.003714\times\text{TM6}^2+6.60655\times 10^{-6}\times\text{TM6}^3 \quad (\text{식 } 4)$$

여기서, T=표면온도

TM6=Band 6의 수치값

봄과 가을에는 2차회귀모형(Quadratic regression model), 여름에는 선형회귀모형(Linear regression model), 겨울에는 3차회귀모형(Cubic regression model)이 적합하다는 기존연구가 있으나, 본 연구에서는 네 가지 모델을 모두 적용시켜 본 후 선형회귀모형(Linear regression model)을 이용하였다(조명희, 2001).

대상지역의 지표면온도를 추출할 때 평균방사율을 채택하는 경우가 많으나, 특정항목의 방사율과 평균방사율의 차이가 발생하여 지표면온도에 큰 오차를 발생시킬 수 있으므로 정확한 방사율을 적용하는 것이 바람직하다. 오차를 줄이기 위한 방사율 적용은 식 5와 같다.

$$T_s=\varepsilon^{-0.25}T_a \quad (\text{식 } 5)$$

여기서,  $T_s$ =방사보정 실시온도

$\varepsilon$ =방사율

$T_a$ =표면온도( $^{\circ}\text{K}$ )

이와 같은 토지피복분류와 분류항목별 방사율을 적용하여 방사보정을 실시함으로써 표면온도의 산출을 위한 NASA 모델의 적용에 있어 평균방사율의 적용으로 인해 발생할 수 있는 오차의 요인을 제거할 수 있다(엄대용, 2006).

위 과정을 통해 방사보정한 표면온도는 절대온도이므로 섭씨온도로 변환하기 위해서 273.15를 감하였다. Landsat 위성영상에서 추출한 온도는 표면온도로 인간이 느끼는 실제기온과는 차이가 있다. 따라서 산출된 표면온도와 자동기상관측소에서 측정된 실측값을 분석하여 지표면온도를 기온으로 보정해야 한다. 서울시의 경우 1998년 이후의 자동기상관측 자료는 백엽상에서 관측한 기온자료와 비교한 결과, 월별 기온의 시계열간 상관계수 값이 0.98이상으로 높게 나타났기 때문에 본 연구에서는 기온보정에 있어 자동기상관측소의 자료를 이용하였다(부경운 등, 1999).

표면온도를 기온으로 보정하기 위하여 위성영상으로부터 추출된 표면온도와 같은 위치의 자동기상관측 지점에서 실측한 기온을 사용하여 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다. 위성영상을 통해 추출한 지표면온도가 한 지점만을 대표하는 값이기 때문에 자동기상관측소에서 측정한 기온과 상관관계가 높지 않다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 위성영상으로부터 추출한 지표면온도가 주위의 토지이용을 반영할 수 있도록 표면온도를 보정하였다(서울시정개발연구원, 2002; 오규식과 홍재주, 2005). 한 지점의 기온에 영향을 미치는 토지이용 범위는 대상지로부터 반경 500m~1km이므로 본 연구에서는 500m를 기준으로 토지이용유형을 반영하였다(윤용한, 2000; 권영아 등, 2003; 이은주, 2006; 도후조 등, 2007).

이를 위해 ArcGIS 9.3의 Neighborhood Statistics를 이용하여 대상지에 주변 500m 범위 토지이용을 반영한 평균표면온도를 입력하였다. 위 과정을 통해 주변 토지이용을 반영한 표면온도와 기온과의 회귀식을 도출할 수 있으며, 회귀식을 Landsat TM Band 6에 적용하여 표면온도를 기온으로 변환하였다. 위와 같은 방법으로 위성영상으로부터 표면온도를 추출 보정한 후 녹지가 도시기온에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 기온분포도를 이용하여 등온선도를 작성하였다. 토지이용 유형이 녹지인 곳을 중심으로 기온 단면도를 작성하여 녹지와 그 주변의 기온 분포 및 도시녹지의 열섬완화영역 범위를 파악하였다.

이를 위해 ArcGIS 9.3의 Neighborhood Statistics를 이용하여 대상지에 주변 500m 범위 토지이용을 반영한 평균표면온도를 입력하였다. 위 과정을 통해 주변 토지이용을 반영한 표면온도와 기온과의 회귀식을 도출할 수 있으며, 회귀식을 Landsat TM Band 6에 적용하여 표면온도를 기온으로 변환하였다. 위와 같은 방법으로 위성영상으로부터 표면온도를 추출 보정한 후 녹지가 도시기온에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 기온분포도를 이용하여 등온선도를 작성하였다. 토지이용 유형이 녹지인 곳을 중심으로 기온 단면도를 작성하여 녹지와 그 주변의 기온 분포 및 도시녹지의 열섬완화영역 범위를 파악하였다.

녹지의 기온완화구간을 설정하기 위해 로지스틱함수를 응용하였다(박인환 등, 2000). 대상지가 소규모이거나 각각의 단면을 분석하는 것이 가능할 경우 로지스틱함수를 이용하여 기온저감구간을 산출하는 것이 가능하나, 본 연구는 위성영상을 이용하여 대규모인 서울시를 대상으로 도시녹지의 기온저감 영향 수해면적과 수해인구를 도출하는 것이 목적이므로 온도가 급격하게 변화하는 구간인 기온완화구간 기준을 100m당 0.1℃의 기온저감을 갖는 구간으로 정의하였다.

등온선도를 이용하여 위 기준에 부합하는 구간을 추출한 후 토지이용도와 중첩하여 녹지와 시가지를 중심으로 기온저감

수해면적을 산출하였다. 위와 같은 방법으로 수해면적을 도출한 후 해당행정구역 내 인구가 동일하게 분포한다고 가정하여 기온저감 수해인구를 도출하였다.

기초데이터로 Landsat 5 TM 위성영상, Landsat 7 ETM+ 위성영상, 수치지도, 토지피복도, 기상청의 자동기상관측자료, 통계청 인구자료를 사용하였고, 위성영상 분석 및 기온추출을 위해 Imagine 9.1(Leica Geosystems, 2006), ArcGIS 9.3(ESRI Inc., 2006), SPSS 15.0(SPSS Inc., 2006), Microsoft Excel 2007(Microsoft Corporation, 2006) 등의 프로그램을 이용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 도시기후분석

본 연구는 도시녹지의 기온저감 영향에 관한 연구로 과도한 도시개발로 인해 도시기후가 변화하여 도시열섬현상이 발생하는 서울시가 대상지로 적합하다. 위성영상으로부터 기온을 추출하는 경우, 영상 종류에 따라 서로 다른 알고리즘을 적용하여야 한다. 위성영상은 NASA에서 제공받아 Imagine 9.1, ArcGIS 9.3을 이용하여 분석하였으며, 기상자료는 기상청에서, 수치지도 및 토지이용도는 환경부 자료를 이용하여 분석하였다. 이를 통해 서울시의 녹지가 도시기온에 미치는 영향에 관한 평가를 수행하였다.

더운 여름철 녹지의 기온저감영향을 분석하는 것이 연구의 목적이므로 1984년부터 2007년까지 약 30장의 Landsat 5 TM 와 Landsat 7 ETM+위성영상 중에서 1차적으로 여름철에 촬영된 위성영상을 선정하였다. 2차적으로 촬영 당일 기상상태가 좋은 날 중에 가장 최근의 영상을 선택하였다. 또한, Landsat 7 ETM+위성의 경우 Band 6 해상도가 60×60m으로 기존 위성에 비해 향상되었으나, 2004년 이후 촬영영상은 위성의 고장으로 분석에 필요한 영상을 제공하지 못하는 실정이다. 따라서 이용 가능한 가장 최근 영상인 2007년 7월 30일 Landsat TM 5 위성영상을 연구에 이용하였다. 도시기후를 분석하기 위한 기초자료로 기상자료를 구축하였다. 본 연구에 사용된 위성영상의 촬영일자과 서울시를 대표하는 일별 기상자료는 다음 표 1과 같다.

표 1. 일별기상자료

일시	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	평균 습도 (%)	평균 풍속 (m/s)	풍향
2007년 7월 30일	26.4	31.2	22.2	70.6	1.9	W

자료: 기상청(www.kma.go.kr)

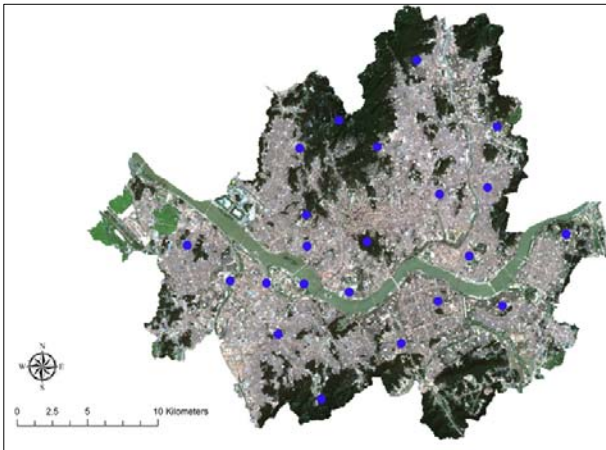


그림 1. 연구대상지  
범례: ● 자동기상관측망

분석 당일의 기상은 구름의 영향이 적은 맑은 날로, 최고기온이 30°C 이상인 전형적인 여름철의 기상상태를 보였다. Landsat 5 TM 위성이 한반도 상공을 지나는 시간은 오전 10시에서 11시 사이로 분석에는 자동기상관측소에서 측정된 오전 10시와 11시의 기온을 평균하여 이용하였다.

본 연구에서는 한국과학기술원에서 개발한 네 모델을 모두 적용하여 분석한 후 자동기상관측소 측정값과 가장 상관관계가 높은 모델의 값을 이용하였다. 선형회귀모형을 적용하여 표면온도를 산출하였다(그림 2 참조).

표면온도 산출시 오차를 최소화하고자 토지피복도와 표면온도 분포도를 중첩하여 각 토지피복별 방사율을 적용한 후 방사보정을 실시하였다. 공기의 혼합작용은 광범위한 지역의 온도와 습도를 동일하게 만든다. 따라서 주변지역의 토지이용은 한 지점의 기온에 영향을 미치지 때문에 본 연구에서는 ArcGIS

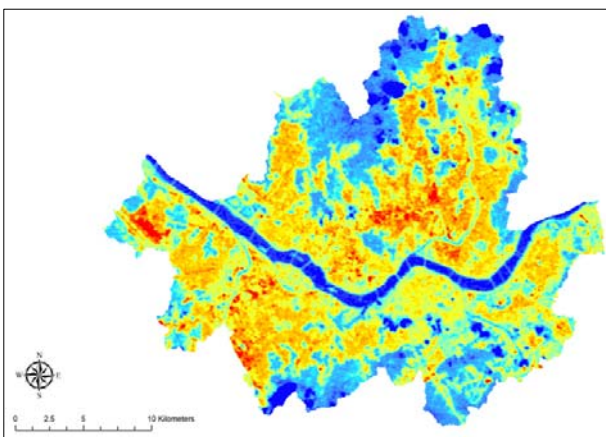


그림 2. 표면온도 분포도  
범례: 표면온도  
최고: 29.4°C  
↑  
최저: 8.8°C

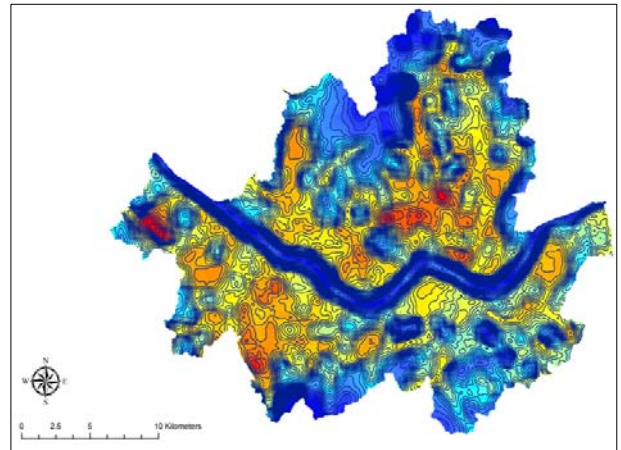


그림 3. 등온선도  
범례: 등온선 — 기온  
최고: 29°C  
↑  
최저: 24.4°C

9.2의 Neighborhood Statistics를 이용하여 반경 약 500m 지표면의 평균온도를 산출하여 중심에 위치한 격자에 주변의 평균표면온도를 입력하였다. 평균표면온도 산출시 경계부에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위해 서울시 경계부로부터 약 5km 주변부까지 확장하여 분석한 후 서울시를 추출하였다.

표면온도 분석결과, 위성영상에서 추출한 온도는 지표면의 특성을 잘 반영한다는 것을 알 수 있다. 한강부근과 서울시 외곽지역의 대규모 녹지 등 수공간과 녹지가 높은 비율을 차지하는 지역은 다른 지역에 비해 대체로 온도가 낮은 경향을 보였다.

토지이용을 반영한 표면온도를 기온으로 변환하기 위하여 자동기상관측지점과 같은 위치의 표면온도를 위성영상으로부터 추출하고, 위성영상으로부터 추출된 표면온도와 같은 위치

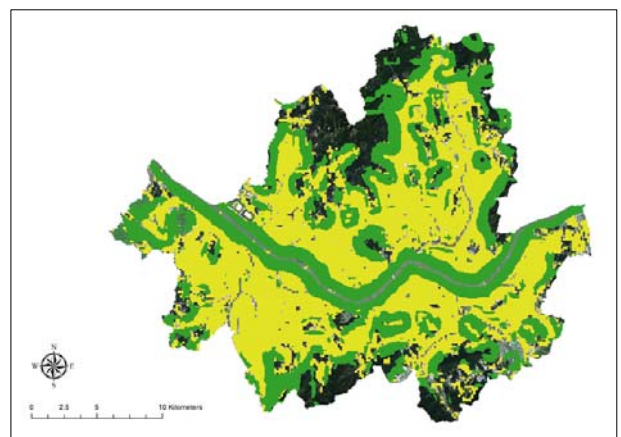


그림 4. 시가지와 기온저감영역 중첩  
범례: ■ 기온저감영역, ■ 시가지

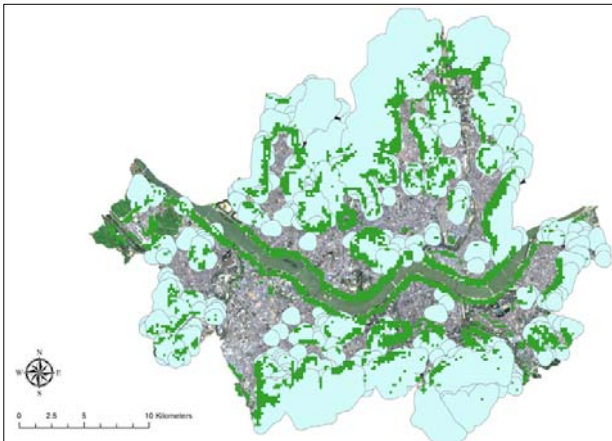


그림 5. 녹지 반경 500m와 시가지 기온저감영역 중첩  
범례: ■ 시가지 기온저감, ■ 녹지반경 500m

의 자동기상관측 지점에서 실측한 기온을 사용하여 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다.

Landsat 5 TM 위성이 한반도 상공을 촬영하는 시간은 오전 10시에서 11시 사이이다. 자동기상관측소의 기온은 시간별로 제공되므로 보다 정확한 값을 산출하기 위하여 10시와 11시 기온의 평균값을 도출하였다. 서울시 22곳의 자동기상관측소 중 좌표가 부정확하거나 기온 관측값이 누락된 2곳을 제외한 20곳에서 관측된 기온과 위성에서 추출한 기온간의 관계식은 다음과 같다. 유의수준 0.1에서 유의하였다.

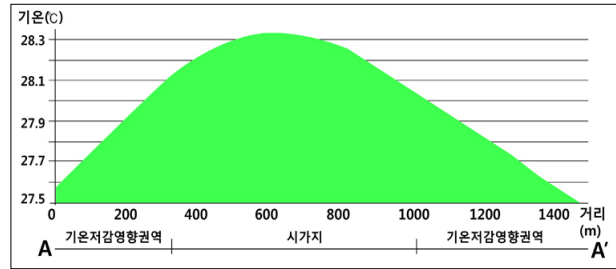


그림 7. A-A' 기온단면도

$$T(^{\circ}\text{C}) = 0.313X + 23.150 \quad (\text{식 } 6)$$

여기서, T= 기온

X= 표면온도(°C)

본 연구에서는 선형회귀모형을 적용하여 위성에서 추출한 표면온도와 자동기상관측소의 관측값 사이에 회귀분석을 실시하여, 이 회귀식을 Landsat TM Band 6에 적용하여 표면온도를 기온으로 변환하였다.

추정된 기온은 최저 24.4°C, 최고 29.0°C로 약 4.6°C의 분포범위를 보였으며, 한강을 중심으로 고온을 보이는 지역이 분리되는 경향을 보였다.

또한, 서울시 주변부의 대규모 녹지를 제외한 서울시의 소규모 녹지는 기온저감영향이 낮음을 알 수 있었다. 녹지가 기온에 미치는 영향을 분석하기 위하여 0.1°C 간격의 등온선도를

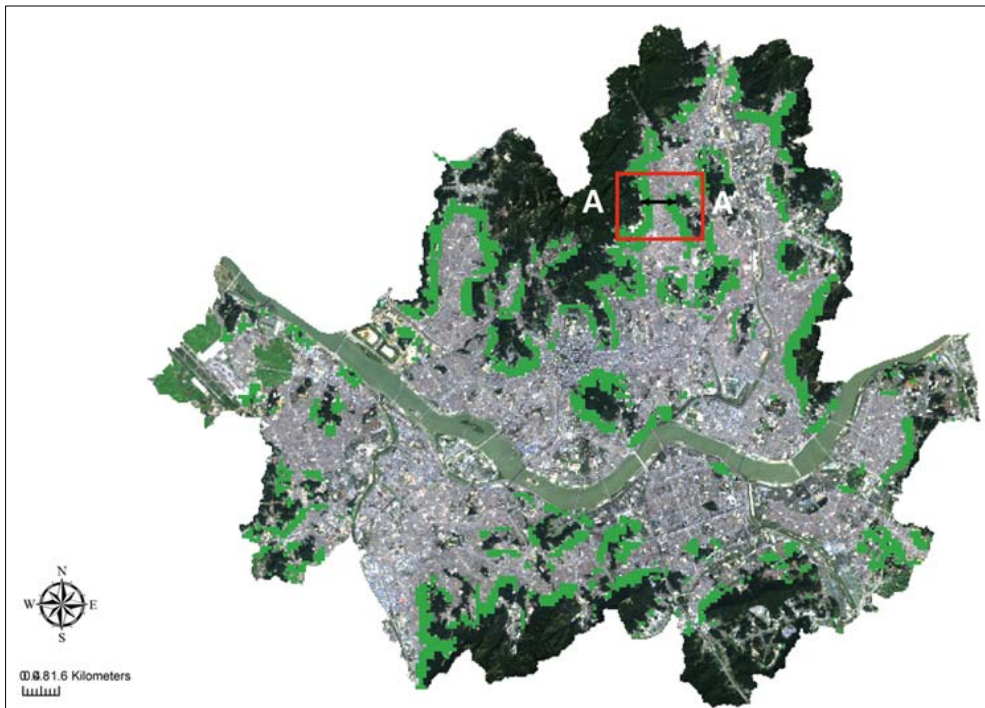


그림 6. 기온저감 영향 수혜면적  
범례: ■ 기온저감영향권역

작성하였다. 2007년 7월 30일 촬영시점의 서울시 등온선도는 그림 3과 같다.

시가지의 특성을 보이는 부분의 최고온도는 29.0°C로 최저기온인 24.4°C에 비하여 최대 4.6°C 이상 높게 나타났다. 녹지의 경우도 소규모 및 중규모 도시숲에 비해 대규모 도시숲의 기온저감영향효과가 크게 나타났다. 기온저감구간은 평균 27.4°C로 시가지에 비해 평균기온은 0.3°C가 낮았고, 최고기온과 비교해서는 1.6°C의 차이가 나는 것으로 밝혀졌다.

## 2. 기온저감 수혜면적 산출

기온저감 수혜면적을 산출하기 위하여 100m 당 0.1°C 이상의 기온저감영향이 있는 지역을 기온저감 수혜면적으로 정의하였다. 위 기준으로 수혜면적을 도출한 후 해당 행정구역 내 인구가 동일하게 분포한다고 가정하여 기온저감 수혜인구를 도출하였다. 녹지의 기온저감영향이 미치는 범위를 녹지가장자리로부터 반경 500m와 반경 1km로 나누어 분석하였다. 결과에는 반경 500m를 중심으로 서술하고 반경 1km 기준은 시사점을 도출하는 데 활용하였다.

이를 위한 선행단계로 인간이 거주하는 지역과 기온저감영향 면적을 중첩하여 분석을 수행하였다. 인간이 거주하는 지역은 토지이용에 따라 한정하였다.

본 연구에서 이용한 토지이용은 중분류로 시가지, 농업지, 산림지, 초지, 습지, 나지, 수역 등으로 크게 분류하였고, 시가지에 사람이 거주한다고 가정하였다. 또한, 기온저감영향 면적을 산출하기 위해 등온선도에서 기온저감을 갖는 구간을 추출하였다.

따라서 토지이용도에서 시가지의 특성을 보이는 부분과 등온선도를 이용하여 추출한 기온저감 영향권역을 중첩하였다. 이 분석을 통해 기온저감영향을 받는 시가지가 추출되었다. 시가지와 기온저감영향권역을 중첩한 결과는 그림 4와 같다. 이 방법을 통해 기온저감구간을 분석한 결과, 도시녹지 주변부의 기온저감 구간을 비롯하여 수공간의 영향을 받는 한강 주변부의 기온저감 영향구간이 추출되었다.

본 연구는 녹지가 도시기온에 미치는 영향을 살펴보는 것이 목적이므로 수공간 등이 기온저감에 미치는 영향 및 기온이 급격하게 상승하는 면적을 제외하고, 녹지가 기온에 미치는 영향을 살펴보았다. 이를 위하여 녹지 가장자리로부터 반경 500m의 범위와 이것을 앞에서 산출한 시가지의 기온저감영역과 중첩분석하였다. 이를 통해 수공간의 기온저감 영향권역을 제외한 녹지의 기온저감 영향권역을 추출하였다(그림 5 참조).

위와 같은 과정을 통해 최종적으로 기온저감 수혜면적을 산출하였다(그림 6). 서울시의 전체면적은 2005년 12월 31일 기준으로 605.4km<sup>2</sup>으로(서울통계연보, 2009) 이 중 시가지가 약

372km<sup>2</sup>로 62%, 산림이 약 133km<sup>2</sup>로 21.98%를 차지한다. 분석 결과, 시가지 중 100m 당 0.1°C 이상의 기온저감 영향을 받는 면적은 67.33km<sup>2</sup>로 전체 서울시 면적의 11.12%, 시가지면적을 기준으로 할 경우 18.09%를 차지한다.

기온저감 수혜인구는 다음과 같다. 서울시 인구는 2008년 1/4분기 기준으로 10,456,095명이다(서울통계연보, 2009). 따라서 서울시민이 시가지에 등밀도로 거주한다고 가정하면 서울시 인구 10,456,095명 중 18.09%인 약 1,892,000명이 서울시 녹지의 기온저감영향을 직접적으로 받는 기온저감 수혜인구로 추정할 수 있다.

또한, 녹지 가장자리로부터 반경 1km까지 녹지의 기온저감영향이 미친다고 설정할 경우 기온저감 면적은 84.33km<sup>2</sup>로, 이에 따른 기온저감수혜인구는 약 2,371,000명으로 나타났다.

녹지가 도시기온에 미치는 영향을 파악하기 위하여 기온저감영향권역 단면 50곳을 임의로 지정하여 단면도를 작성하였다. 단면도는 녹지와 시가지의 경계부로부터 시가지까지를 기준으로 하였다. 그 중 한 곳인 A지점의 기온분포는 다음과 같다.

A-A' 지점은 녹지 사이에 시가지가 위치하고 있어, 녹지에서 시가지로 갈수록 기온이 상승하는 경향을 보였다. 단면도에서 좌측에 위치한 단면 A지점의 경우 기온저감 영향권역은 약 350m이고, 녹지경계부와 기온저감 영향권역 외부 시가지 사이에 약 0.6°C의 차이를 보였다. 단면 A'지점의 경우, 기온저감영향권역은 약 500m이고, 녹지경계부와 기온저감 영향권역 외부 시가지 사이에 약 0.6°C의 차이를 보였다(그림 7 참조).

이와 같은 과정을 통하여 녹지와 기온저감 영향권역 외부 시가지 사이의 기온차의 평균값 및 최소, 최대값을 도출하였다. 녹지의 경계부와 기온저감 영향권역 외부 시가지의 기온은 평균 0.78°C 차이가 났으며, 최저 0.3°C, 최고 1.7°C의 차이를 보였다.

## IV. 결론

첫째, Landsat 5 TM 자료를 이용하여 녹지가 주변 도시지역 기온저감에 영향을 미치는 범위를 분석하는 방법을 제시하였다. 위성영상의 Band 6에서 표면온도를 추출하고, 이를 자동 기상관측소의 실측기온을 이용하여 기온으로 보정하였다. 위와 같은 방법으로 위성영상으로부터 표면온도를 추출 보정한 후 녹지가 도시기온에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 기온분포도를 이용하여 등온선도를 작성하였다. 기온이 거리에 따라 급격하게 변화하는 지역을 기온완화구간이라고 정의하고, 100m 당 0.1°C 이상의 기온저감을 기준으로 기온완화효과 영역을 설정하였다. 위와 같은 방법으로 수혜면적을 도출한 후 해당행정구역 내 인구가 동일하게 분포한다고 가정하여 기온저감수혜인구를 도출하였다.

둘째, 위와 같은 방법을 2007년 7월 30일 서울시 전 지역에 적용하였다. 녹지 가장자리로부터 반경 500m까지를 기온저감 영역으로 적용한 결과 기온저감영역면적은 67.33km<sup>2</sup>로, 이에 따른 기온저감수혜인구는 약 1,892,000명으로 나타났다. 또한, 녹지 가장자리로부터 반경 1km까지 녹지의 기온저감 영향이 미친다고 설정할 경우 기온저감 면적은 84.38km<sup>2</sup>로, 이에 따른 기온저감수혜인구는 약 2,371,000명으로 나타났다.

셋째, 기온저감 영향권역의 단면 50곳을 임의로 지정하여 단면도를 작성한 결과, 녹지의 경계부와 시가지의 기온은 평균 0.78℃차이가 났으며, 최저 0.3℃, 최대 1.7℃의 차이를 보였다.

본 연구의 시사점은 다음과 같다. 도시녹지 조성 규정에 있어 500m 또는 1km 이내에 일정규모 이상의 도시녹지를 조성하면 도시 주거지, 기타 공간의 열섬효과를 저감하여 도시민 생활환경의 쾌적성을 증대시킬 수 있다. 또한, 대상지 내 대규모 도시숲의 존재 유무에 따라 기온저감 영향권역이 큰 차이를 보였다. 따라서 신규 도시녹지 조성 시 대규모 산림의 존재 유무에 따라 기온저감효과가 낮은 곳을 우선적으로 고려하는 등 지역별로 차등을 두어 도시녹지조성을 유도할 수 있다. 또한, 열섬완화측면에서 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률상 공원의 유치거리 및 배치의 적절성을 고려할 수 있는 근거를 제공할 수 있다. 이를 통해 향후 공원 조성 시 인간의 이용 측면만이 아닌 열섬완화효과를 고려한 새로운 기준작성이 필요하다고 할 수 있다.

연구의 한계점은 다음과 같다. 녹지가 도시기온에 미치는 영향 분석 시 2007년 7월 30일의 인공위성 영상만을 이용하였다. 표고에 따른 기온저감은 고려하지 않았고, 수혜인구 분석 시 등밀도로 거주한다는 가정을 하였다는 한계를 갖는다. 향후 개발에 따른 이억과 녹지를 조성해서 얻을 수 있는 혜택을 경제적 측면에서 분석한다면 도시녹지 조성의 당위성을 더 확고히 할 수 있을 것이다.

인용문헌

1. 권영아, 이현영(2003) 토지이용 유형에 따른 기온 특성 -서울시 자동차 상관측지점 주변을 사례로-. 환경영향평가 12(4): 281-290.
2. 김수봉, 나정화, 정응호(2006) 친환경적 도시계획: 도시열섬연구. 서울: 문운당.

3. 김해동, 구현숙(2002) 도시수목에 의한 미기후개선 효과의 평가. 환경과학논집 7(1): 189-198.
4. 도후조, 이정민, 나정화(2007) 도시지표면 온도분포 특성 및 열섬완화 방안. 한국환경과학회지 16(5): 611-622.
5. 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조(2000) 대도시에 있어 냉섬의 유형별 온도완화 효과. 한국조경학회지 28(1): 11-18.
6. 부경은, 전영신, 박지용, 조하만, 권원태(1999) 자동기상관측장치자료를 이용한 서울의 기온수평 분포 분석. 한국기상학회지 35(3): 335-343.
7. 엄대용(2006) 원격탐사 자료에 의한 표면온도추출 정확도 향상에 관한 연구. 한국지리정보학회지 9(2): 159-171.
8. 오규식, 홍재주(2005) 도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구. 한국도시설계학회지 6(1): 47-63.
9. 윤용환(2000) 공원에 의한 고온성 저감효과에 관한 연구. 한국전통조경학회지 18(1): 83-90.
10. 이강국, 홍원화(2008) 도시 열환경 유형 분석 및 완화방안에 관한 연구. 대한건축학회논문집(계획계) 24(9): 253-260.
11. 이은주(2006) 도시공간 구성요소와 열 쾌적성과의 관련성 연구. 한양대학교 대학원 석사학위논문.
12. 조명희, 이광재, 김운수(2001) 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시 표면온도의 공간적 분포특성에 관한 연구. 한국지리정보학회지 4(1): 57-66.
13. 조현길, 안태원(2006) 도시의 수목식재와 미기후의 상관성 규명. 한국조경학회지 34(5): 70-75.
14. 환경부(2005) 기후변화가 건강에 미치는 영향 및 적응대책 마련. 환경부 보고서.
15. Jussi, S. J. and M. Marja(2005) Seasonality: Nature, people's preferences and urban planning in Oulunsalo, Finland. Landscape Research 30(2): 273-281.
16. Landsberg, H. E(1981) The Urban Climate. New York: Academic press.
17. Nikolopoulou, M. and S. Lykoudis(2006) Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. Building and Environment 41(11): 1455-1470.
18. Nikolopoulou, M. and S. Lykoudis(2007) Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. Building and Environment 42(10): 3691-3707.
19. Steve, K. J., N. H. Wong, H. Emlyn, A. Roni, and Y. Hong(2007) The influence of land use on the urban heat island in Singapore. Habitat International 31(1): 232-242.
20. Takemi, S. and W. T. Catharine(2007) Older people's health, outdoor activity and supportiveness of neighbourhood environments. landscape and urban planning 83(1): 168-175.
21. WHO Regional Office for Europe(2004) Heat-waves: risk and responses. Research Report to WHO.
22. <http://www.kma.go.kr>(기상청)
23. <http://www.seoul.go.kr>(서울통계연보, 2009)

원 고 접 수 일: 2009년 5월 4일  
 심 사 일: 2009년 6월 8일(1차)  
 2009년 6월 17일(2차)  
 계 재 학 정 일: 2009년 6월 23일  
 3인익명 심사필