

# 산림 우점식생 변화가 온도에 미치는 영향<sup>1a</sup>

안미연<sup>2</sup> · 홍석환<sup>3\*</sup>

## Effect on the Temperature in Forest Dominant Vegetation Change<sup>1a</sup>

Mi-Yeon An<sup>2</sup>, Suk-Hwan Hong<sup>3\*</sup>

### 요 약

본 연구는 산림 우점식생 변화가 지표면 온도에 미치는 영향을 파악하고자 우리나라 대표적 혹서지역인 대구광역시 를 대상으로 연구를 수행하였다. 산림 우점식생 변화 유형별 온도변화는 1990년과 2007년의 Landsat TM 영상 2scene 을 분석하여 확인하였다. 토지피복유형은 산림지역, 시가지지역, 경작지 및 기타지역, 수역으로 구분하였고, 산림지역의 경우 침엽수와 활엽수로 구분하였다. 산림 우점식생 변화 유형에 따른 지표면 온도 변화를 확인하기 위해 통계분석을 실시한 결과 산림이 시가지지역으로 변화될 경우 온도는 높아지며, 유형별로 살펴보면 활엽수림이 시가지지역으로 변화된 경우 약 0.6℃, 침엽수림이 시가지지역으로 변화된 경우 약 0.2℃ 온도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 단순히 17년간 유형변화에 따른 온도 차이로 현재까지 유형이 유지된 경우와 변화된 경우를 동시에 고려할 경우 온도는 더 높은 차이를 보였다. 활엽수림의 경우 활엽수림이 유지될 때 보다 시가지지역으로 변화 될 경우 온도는 2.3℃ 증가하였으며, 침엽수림의 경우 침엽수림이 유지될 때 보다 시가지지역으로 변화될 경우 1.9℃ 온도가 증가하였 다. 산림의 경우 시가지지역으로 변화될 때 온도가 상승하며 산림식생유형 중 침엽수가 파괴되었을 경우보다 활엽수가 파괴되었을 때 0.4℃ 온도가 추가적으로 상승하는 것으로 나타났다. 도시기온 완화를 위해서는 도시림 내에서 활엽수림 의 보호가 더 효율적인 것으로 확인되었다.

주요어: Landsat TM, 도시열섬현상, 도시산림온도

### ABSTRACT

This study investigated the effect of forest type changes in Daegu, the hottest city in Korea, on the land surface temperature (LST). The LST change by forest type was analyzed by 2scene of Landsat TM image from 1990 to 2007. The land cover types were classified into 4 types; forest areas, urban areas, cultivated areas and other areas, and water areas. The forest areas were further classified into the coniferous tree areas and the broadleaf tree areas. The result of the statistical analysis of the LST change according to the forest type showed that the LST increased when the forest was changed to the urban area. The LST increased by about 0.6 °C when a broadleaf tree area was changed to an urban area and about 0.2 °C when a coniferous tree area was changed to an urban area. This was the temperature change as the result of the simple type change for 17 years. The temperature change was larger when considering both cases of the forest type being retained and changed. The

1 접수 2017년 6월 20일, 수정 (1차: 2017년 11월 23일), 게재확정 2017년 12월 14일

Received 20 June 2017; Revised (1st: 23 November 2017); Accepted 14 December 2017

2 부산대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National Univ., Miryang, 627-706, Korea

a 이 논문은 부산대학교 석사학위논문을 재구성하였음.

\* 교신저자 Corresponding author: hong@pusan.ac.kr

LST increased by 2.3 °C more when the broadleaf tree areas were changed to the urban areas than when broadleaf trees were maintained. The LST increased by 1.9 °C more when the coniferous tree areas were changed to the urban areas than when the coniferous tree areas were maintained. The LST increased by 0.4 °C more when the broadleaf tree areas were destroyed than when the coniferous tree areas were destroyed. The results confirmed that the protection of broadleaf trees in urban forests was more effective for mitigating climate change.

**KEY WORDS : LANDSAT TM, URBAN HEAT ISLAND, URBAN FOREST TEMPERATURE**

## 서론

IPCC 제5차 평가보고서에 따르면 지구온난화는 논란의 여지가 없을 정도로 명백하며, 지구온난화로 인해 지난 133년간(1880~2012년) 지구 평균기온이 0.85°C(0.65~1.06°C) 상승하였다(IPCC, 2014). 기후변화로 인해 전 지구적으로 온도가 상승하고 있으며, 특히 인구가 밀집되어 있는 도시 지역은 교외지역과 비교하여 온도가 더 높은 도시 열섬현상을 보이고 있다(Landsberg, 1981).

도시열섬현상의 주된 원인으로는 콘크리트 건물과 아스팔트 포장 등의 토지피복, 하수관 등을 통한 도심 내 수분원(moisture sources) 제거, 냉·난방 및 산업시설을 통한 인공 열 방출 등이 제시되고 있다(Oke, 1987; Gallo *et al.*, 1996). 그러나 열섬현상에 의한 피해가 크다고 할지라도 현재 유지되고 있는 도시구성의 기본요소들을 대규모로 바꾸는 것은 불가능하며, 소규모 변경 또한 단시간에 이루어질 수 없다. 이에 따라 기존 도시구조의 틀이 유지되는 상태에서 열섬저감의 효과가 확실한 대책들이 강구되어 왔으며, 이러한 대책들에서 도시녹지가 특히 주목되고 있다.

도시녹지와 온도와의 관계성 연구는 주로 인공위성의 열적외밴드를 활용한 지표면 온도 연구와 실측온도를 통한 비교 연구가 이루어져 왔다. 인공위성 영상을 통한 연구의 경우 도시지역을 대상으로 토지피복유형 변화에 따른 시계열 연구가 주로 진행되었으며, Quan and Lee(2009)은 제주도를 대상으로 토지피복유형에 따른 지표면온도 분포를 연구한 결과 도시지역과 경작지지역(약30°C), 초지와 과수원(약25°C), 산림지역(약20°C) 순으로 지표면온도가 낮게 나타났다. Jung *et al.*(2011)은 진주시를 대상으로 용도지역에 따른 온도변화를 확인한 결과 녹지지역이 가장 온도가 낮았으며, 주거지역, 상업지역, 공업지역 순으로 온도가 높은 것을 확인하였다. Hong *et al.*(2005)은 Landsat ETM+영상을 활용하여 아파트 단지 내 토지이용 및 녹지구조에 따른 온도변화에 관한 연구를 실시한 결과 토지이용 자체는 도시온도 변화의 주요인자로 작용하지 않지만 토지피복유형인 건

폐울과 녹지울과는 상관관계가 나타났으며 특히 녹지의 질과 관련된 녹피울과 녹지용적과는 강한 음의 상관관계가 있음을 밝혔다. 실측에 관한 연구는 도시공원, 가로녹지 등 조성녹지를 대상으로 현장조사를 통해 주로 실시되었으며, Ki *et al.*(2012)는 성남시 분당구 중앙공원을 대상으로 토지피복 및 식생유형에 따른 온도에 대한 연구를 수행한 결과 식재유형에 따라 침엽수 및 활엽수 식재지는 저온역, 초지와 포장지는 고온역으로 구분되었으며, 침엽수 평균 29.8°C 최저 28.3°C에서 최고 30.8°C 온도를 보였으며, 활엽수는 평균 30.1°C이며, 최저 28.6°C에서 최대 32.0°C까지 온도가 분포하였다. Kim(2012)은 올림픽공원을 대상으로 토지피복 및 식생유형에 따른 온도를 연구한 결과 산림(31.01°C), 조성녹지(31.54°C), 수면(32.39°C), 포장지역(33.23°C) 순으로 높게 나타났으며, 특히 기존산림과 조성한 녹지 간 온도차는 0.53°C의 차이가 있음을 제시한 바 있다.

선행연구 중 인공위성영상을 활용한 경우 시계열 분석을 통해 동향을 파악하는데 유리하지만 위성영상의 해상도로 인해 대부분의 연구가 광의의 도시지역 토지피복변화에 한정되었으며, 도시녹지에 주목한 실측연구는 현장조사의 한계로 인해 협의의 조성녹지에만 집중하고 있었다. 선행연구의 도시녹지 대상은 주로 공원, 가로수, 가로녹지 등 조성녹지였으며, 이는 조성녹지가 도로, 고층건물 밀집지역과 같은 고온역을 형성하는 지역에 존재하므로 도시열섬현상의 1차적 저지요인으로 볼 수 있기 때문이다. 그러나 우리나라는 국토의 64%를 산림이 차지하며, 도시녹지의 대부분도 도시산림이 차지하고 있다. 우리나라의 대부분 도시산림은 시가지지역을 둘러싼 형태로, 도시외곽에 면적으로 위치하고 소규모의 산림이 도심에 파편화되어 입지하고 있다. 따라서 도심 내 온도완화에 있어 산림의 역할이 가장 강하게 작용하겠으나, 도시림 관련 연구는 도시림 개발 전·후의 시계열 연구가 대부분 진행되었으며, 도시림의 구조적 측면에서의 자연적 변화에 따른 온도 관련 연구는 미미한 상태이다.

도시림의 구조와 온도에 관한 연구에 따르면 von Arx *et al.*(2012)는 산림을 대상으로 수목의 수관하부를 실측한 결과 산림의 수관은 오픈스페이스와 비교하였을 때 매일

최대 기온을 최대 5.1℃까지 낮추며 평균적으로 1.8℃를 완화시키는 효과를 보였다. 식생유형별 낮과 밤의 온도를 비교한 결과는 활엽수 내부가 침엽수 내부 보다 낮의 경우 약 0.8℃, 밤의 경우 약 0.5℃ 온도가 더 낮게 유지된다고 하였다. Kim(2004)은 경상남도 함안군 산림지역을 대상으로 Landsat TM을 활용한 임상별 온도분포연구를 수행한바 있는데, 그 결과 임상의 분포를 가지는 곳은 함안군 전체평균 표면온도보다 낮게 나타나며, 그 범위는 12~15℃이고, 함안군 평균표면온도 16℃보다 1~4℃ 낮은 온도 분포를 보임을 확인하였다. 임상에 있어 침엽수림과 활엽수림, 혼효림의 온도분포 차이는 크지 않았지만 활엽수림과 혼효림이 침엽수림보다는 다소 낮은 온도분포를 보인다고 하였다. 이는 제4차 임상도를 활용하여 영급과 경급에 따른 온도 분포 범위를 제시하였지만 위성영상의 활용 가능성을 확인하였을 뿐 제4차 임상도(Forest Service, 1996)의 정확성 등 임상별 온도저감 효과에 대해 구체적으로 제시하지는 못하였다.

이에 본 연구에서는 인공위성영상을 활용하여 도시산림 우점식생 유형을 정확하게 구분한 후 이들 지역의 시계열 변화에 따른 도시산림지역의 식생 유형변화와 도시온도에 미치는 영향의 관계에 대해 연구해보고자 하였다.

## 연구방법

### 1. 연구대상지 및 연구내용

#### 1) 연구대상지

연구대상지는 우리나라 대표적 흑서지역이면서 도시의 확장이 지속적으로 일어나는 대도시인 대구광역시로 설정하였다. 대구광역시의 총 면적은 센서스용 행정경계 기준

약 88,995ha이었다. 대상지의 지형을 살펴보면 한반도 동남부 내륙에 위치하고 있으며, 북쪽으로는 팔공산, 남쪽으로 대덕산과 비슬산, 동서로는 완만한 구릉지로 둘러싸인 분지형 도시이다. 토지이용현황의 경우 산림의 비율이 54%로 가장 높았으나 조성공원은 약 1%로 도시 토지이용유형 중 매우 낮은 비율이었다(Statistics annual report, 2013). 다른 대도시들과 같이 도시외곽을 둘러싸고 있는 개발제한구역으로 인해 도시 내 과밀화양상이 뚜렷하게 나타났으며, 이로 인해 녹지축의 단절과 파편화 현상으로 열섬현상이 더욱 가중되고 있는 실정이다.

#### 2) 연구내용

본 연구에서는 산림 우점식생 변화에 따른 지표면 온도 변화를 규명하고자 하였다. 조사대상지는 센서스용 행정경계 기준 대구광역시이며 1:5,000 수치지형도를 활용하여 위성영상의 기하보정 및 향(aspect) 분석을 실시하였다. 위성영상을 이용한 토지피복유형 분류는 분류항목을 선정한 후 감독분류법을 이용하여 시기별 토지피복유형을 분류하였으며, 1990년부터 2007년간의 변화를 분석하였다. 토지피복분류는 여름철 영상을 기준으로 산림지역, 시가지지역, 경작지 및 기타지역, 수역 4가지 유형으로 분류하였으며, 산림지역의 경우 같은 해 겨울철 영상을 통해 침엽수를 구분한 후 나머지 지역을 활엽수로 구분하였다. 각 대상지의 온도는 Landsat 5호의 TM센서에서 감지한 Thermal Band를 이용하여 연도별 여름철 온도를 추정하였으며 Landsat TM 해상도는 30m이나 온도(TIR)센서의 해상도가 120m이므로 30m 셀로 일원화하여 통계분석을 실시하였다. 분석에 사용된 자료의 세부사항은 Table 1과 같다.

### 2. 분석방법

Table 1. Information of Analysed Data

| Spatial data                 | Scale (Resolution)     | Path | Row | Date        | Main Analysis   |
|------------------------------|------------------------|------|-----|-------------|---|
| Administrative area Boundary | -                      | -    | -   | 2000        | - Criteria of study site  |
| Digital topographic map      | 1:5,000                | -    | -   | 2000        | - Geometry Correction Criteria<br>- Slope Analysis  |
| Landsat TM                   | 30×30(m)<br>TIR:120(m) | 114  | 35  | 1990.08.02. | - Summer temperature data extraction<br>- Land cover type classification                          |
|                              |                        |      |     | 1990.11.22. | - Coniferous and broadleaf trees classification in forest according to classified land cover type |
|                              |                        |      |     | 2007.08.17. | - Summer temperature data extraction<br>- Land cover type classification                          |
|                              |                        |      |     | 2007.02.06. | - Coniferous and broadleaf trees classification in forest according to classified land cover type |

### 1) 세부대상지 설정

산림 우점식생 변화에 따른 지표면 온도를 비교하기 위해 동일한 센서를 가지고 있는 Landsat TM 영상 중 구름이 없는 날의 가장 오래된 영상과 가장 최신의 영상인 1990년과 2007년 영상을 사용하여 17년간 산림 유형의 변화가 일어난 지역을 선정하였다. 위성영상을 사용하기 전 전처리 단계로 기하보정을 실시하였다. Landsat 위성영상은 대략적인 보정 후 제공되기 때문에 지상기준점(GCP)을 설정하고 정확도를 보정하였다. 기하보정의 기하학적인 위치 수정은 1/5,000 수치지형도를 기준으로 하여 1990년 영상의 기하보정을 실시하였고, 2006년과 2007년 영상은 기하보정된 1990년 영상을 기준으로 영상 대 영상 중첩(image to image)방식의 기하보정을 실시하였다(Ki and Lee, 2009; Yoon *et al.*, 2003) 또한 위성영상 회도 값의 재지정은 Erdas imagine 2014의 내장알고리즘을 이용하여 최근린내 삽법(nearest neighbor resampling)으로 실시하였다. 대기의 차이에 의한 영향을 배제하기 위해 구름 및 그림자 지역을 추출하여 분석에서 제외하였다.

세부대상지 선정기준은 크게 3가지로 1990년 8월을 기준으로 산림지역이며 남향에 위치하고 구름 및 구름 그림자의 영향으로 평균치를 고려한 이상치의 낮은 온도를 배제하였다. 산림 유형변화에 따른 온도에 대해 연구하기 위해서 1990년 8월 영상을 기준으로 산림지역을 추출하였으며, 그림자의 경우 음영으로 인해 감독분류 시 오류가 있을 확률이 높고 온도에 영향을 주기 때문에 1:5,000 수치지형도를 활용하여 남향( $135 \leq \text{aspect} \leq 225$ )을 추출하였다. 구름 및 구름 그림자의 경우 온도에 가장 큰 영향을 미치며, RGB 영상을 이용하여 구름 및 구름 그림자의 영향으로 확인되는 1990년 8월 2일 기준 24°C 이하와 2007년 8월 17일 기준 23°C 이하인 경우를 제외하였다.

### 2) 토지피복유형분류

대구광역시 전역을 대상으로 여름철 영상을 활용하여 산림지역, 시가지지역, 경작지 및 기타지역, 수역 총 4개 유형으로 토지피복유형을 분류하였다. 산림의 식생유형을 구분하기 위해 여름철 영상을 통해 분류된 산림지역을 대상으로 같은 해 겨울철 영상을 활용하여 침엽수를 재구분하고 나머지를 활엽수로 구분하였다.

위성영상의 토지피복분류는 감독분류(supervised classification) 기법(Cambell, 1987)을 사용하였으며, 영상분류방식은 최대우도법(Maximum Likelihood Classification)으로 분류하였다(Lillesand and Kiefer, 1994).

### 3) 지표면 온도산출

지표면 온도분석은 NASA(National Aeronautics and

Space Administration) 모델을 기반으로 하여 산출하였다(Markham and Beckerl, 1986; NASA, 2002). Landsat TM 위성영상은 밴드별로 정량화된 복사에너지(Digital Number)로 제공되기 때문에 밴드특성을 이용하여 방사휘도(Radiance) 값으로 변환하고, 이를 다시 지표면 온도로 변환해야한다. LMAX와 LMIN은 분광방사휘도로 각각 1.560과 0.1238을 사용하였고, QCAL은 계산될 영상의 DN값, QCALMIN은 DN의 최소값으로 1을 사용하였으며, QCALMAX는 DN의 최대값으로 255값을 사용하였다.

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

$L_{\lambda}$  (절대방사휘도): 측정된 분광방사량

$LMIN_{\lambda}$  (최소방사휘도): QCAL=0일 때 분광복사에너지

$LMAX_{\lambda}$  (최대방사휘도): QCAL=QCALMAX일 때 분광복사에너지

QCALMIN: DN단위로 정량화된 최소복사에너지

QCALMAX: DN단위로 정량화된 최대복사에너지

QCAL: Digital Number, DN

식 (1)로부터 계산된 방사휘도를 아래 식 (2)를 적용하여 절대온도 T(K)로 변환할 수 있다. Landsat TM의 열적외밴드 보정 상수 K1은 607.76, K2는 1260.56을 사용하였다(NASA, 2002).

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

T(K): 절대온도(Kelvin)

K1, K2: 보정상수

$L_{\lambda}$ : 절대방사휘도

절대온도(Kelvin)를 섭씨온도(Celsius)로 변환하는 식은 다음과 같다.

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

토지피복 변화유형별 지표면 온도 변화 비교분석은 1990년과 2007년 여름영상의 지표면 온도를 각각 산정한 후 중첩된 동일 cell의 값의 차이로 계산하였다. 온도 분석을 위한 Landsat TM 위성영상의 촬영 시기는 1990년 8월 2일, 2007년 8월 17일이다. 두 영상은 15일간의 차이가 있으며, 촬영일의 기상 조건으로 인한 지표면 온도차는 필연적이다. 따라서 아래 식 (4)와 같이 1990년도와 2007년도 지표면 온도차를 구하여 이를 비교, 분석하였다. 분석대상이 되는 영상

의 해상도는 토지피복유형분류 단위인 30m 셀로 일원화하였다. 토지피복 유형과 지표면 온도값 중첩을 위한 분석프로그램은 Erdas Imagine 2014, Arc GIS 9.3을 사용하였다.

$$\Delta T = T_{90} - T_{07} \quad (4)$$

$\Delta T$  : 지표면 온도변화량

$T_{90}$ : 1990년 지표면 온도

$T_{07}$ : 2007년 지표면 온도

#### 4) 산림유형별 온도변화 분석 및 비교

산림식생유형 변화에 따른 지표면 온도 변화에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 SPSS for Windows 21을 사용하여, 1990년과 2007년 지표면 온도 변화량과 각 변화유형간의 분산분석을 실시하였다. 식생변화에 따른 온도변화의 관계 분석을 위해 사후검정을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 세부대상지 선정 결과

세부대상지의 주된 선정요인인 1990년 기준 산림지역을 추출한 결과 대구광역시 전체 면적 88,995ha 중 1990년 8월 기준 산림면적 43,876ha인 약 49.3%가 추출되었다. 그 중 구름 및 구름 그림자 등 온도에 영향을 줄 수 있는 요인을 배제하고 남향을 추출한 결과 7,617ha가 세부대상지로 선정되었다. 이는 1990년 8월 기준 산림의 17.4%에 해당하며 이 중 침엽수림은 61.2%, 활엽수림은 38.8%로 침엽수가 약 1.6배 많은 부분을 차지하였다.

### 2. 도시산림 식생유형변화

1990년부터 2007년까지 약 17년간 산림 우점식생 변화를 살펴본 결과 침엽수림의 면적은 4,658ha에서 4,669ha로 11ha 증가하였으나 전체면적 대비 0.1%로 비슷하게 유지된 것을 볼 수 있었다. 활엽수림의 경우 2,959ha에서 2,858ha로 101ha가 줄어들었으며 그 중 약 91ha가 시가지 지역으로 변화된 것을 확인할 수 있었다(Table 2).

산림 우점식생 변화에 따른 비율을 살펴보면 침엽수림이 침엽수림으로 유지된 곳이 51.8%로 절반 이상이 침엽수림으로 유지되었다. 활엽수림이 활엽수림으로 유지된 곳은 28.7%로 전체면적의 약 80%가 산림 식생이 유지된 것으로 나타났다. 산림식생유형이 변화된 곳은 활엽수가 침엽수로 변화된 비율이 9.5%로, 침엽수가 활엽수림으로 변화된 비율이 8.8%에 비해 약 0.7% 더 높게 나타났다. 일반적으로 침엽수에서 활엽수로의 천이가 진행되어 침엽수에서 활엽

수로의 변화 비율이 더 높아야 되지만 산림 전체가 대상이 아닌 온도에 영향을 줄 수 있는 요인을 배제한 특정지역을 샘플링 했기 때문인 것으로 판단된다(Table 3).

Table 2. Area and Percentage by Forest Type

| Forest Type | 1990.08  |            | 2007.08  |            |
|-------------|----------|------------|----------|------------|
|             | Area(ha) | Percent(%) | Area(ha) | Percent(%) |
| C.F.        | 4,658.2  | 61.2       | 4,669.1  | 61.3       |
| B.F.        | 2,959.2  | 38.8       | 2,858.8  | 37.5       |
| U.A         | -        | -          | 90.5     | 1.2        |
| Sum         | 7,617.4  | 100.0      | 7,617.4  | 100.0      |

※C.F.: Coniferous forests, B.F.: Broadleaf forests, U.A.: Urban Areas

Table 3. Area and Percentage by Changing Forest Type

| Change of Forest Type | Area(ha) | Percent(%) |
|-----------------------|----------|------------|
| C.F. → C.F.           | 3,943.4  | 51.8       |
| C.F. → B.F.           | 673.4    | 8.8        |
| C.F. → U.A.           | 41.4     | 0.5        |
| B.F. → C.F.           | 725.7    | 9.5        |
| B.F. → B.F.           | 2,184.4  | 28.7       |
| B.F. → U.A.           | 49.1     | 0.6        |
| Total                 | 7,617.4  | 100.0      |

※C.F.: Coniferous forests, B.F.: Broadleaf forests, U.A.: Urban Areas

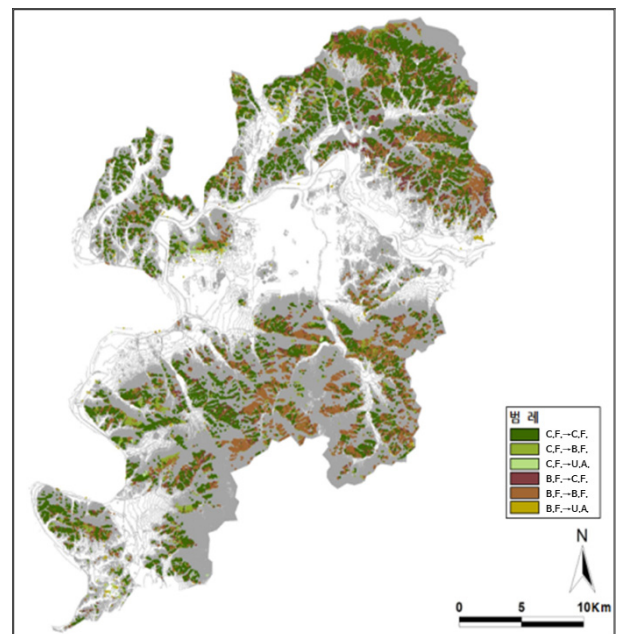


Fig 1. Change of Forest Type from 1990 to 2007

### 3. 도시산림 식생유형변화에 따른 도시기온분석

1990년과 2007년 구름의 영향을 받을 것으로 추정되는 각각 24℃이하와 23℃이하의 온도를 배제한 지표면 온도를 분석한 결과 1990년 08월 02일 세부대상지의 온도는 24.11~29.60℃ 범위였으며, 2007년 08월 17일에는 23.25~32.05℃로 1990년 8월 영상과 비교하여 온도분포범위가 더 넓은 것을 확인할 수 있었다. 세부대상지 전체 평균온도는 각 26.11℃(1990년 8월)와 24.36℃(2007년 8월)로 약 1.76℃ 온도차이가 나타났지만 식생유형변화와 지표면 온도와 의 상관관계 분석에 있어서 온도차를 활용했기 때문에 평균 온도차가 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다. 세부적으로 살펴보면 1990년 8월 침엽수림의 경우 26.15℃로 활엽수림 26.06℃에 비해 0.09℃ 높은 것으로 나타났으며, 2007년 8월의 경우 침엽수림 평균온도는 24.38℃이며, 활엽수림은 24.23℃로 침엽수림이 활엽수림에 비해 0.15℃ 더 높게 나타났다(Table 4).

산림의 식생유형변화에 따른 지표면 온도변화를 알아보기 위해 평균기온이 높은 1990년에서 2007년의 지표면 온도 차를 분석한 결과 침엽수가 유지된 지역은 1.78℃, 활엽수가 유지된 곳은 1.79℃ 낮은 것으로 분석되었다. 산림 우점식생 변화에 따라 지표면 온도가 높아진 유형은 침엽수가 시가화지역으로 변화되었을 때와 활엽수가 시가화지역으로 변화된 유형에서 각각 0.16℃와 0.56℃가 상승하였다(Table 5).

Table 4. LST by forest type

| Forest Type | 1990.08(°C) | 2007.08(°C) |
|-------------|-------------|-------------|
| C.F.        | 26.15       | 24.38       |
| B.F.        | 26.06       | 24.23       |
| U.A.        | -           | 27.53       |
| Average     | 26.11       | 24.36       |

※C.F.: Coniferous forests, B.F.: Broadleaf forests, U.A.: Urban Areas

Table 5. LST Difference by changing forest type

| Change of Forest Type |      | LST Difference(1990-2007) |               |               |
|-----------------------|------|---------------------------|---------------|---------------|
| 1990                  | 2007 | Ave.                      | Standard Dev. | Standard Err. |
| C.F.                  | C.F. | -1.7846                   | 0.59665       | 0.00285       |
|                       | B.F. | -1.6939                   | 0.55488       | 0.00641       |
|                       | U.A. | 0.1625                    | 1.71729       | 0.08007       |
| B.F.                  | C.F. | -1.8109                   | 0.63654       | 0.00709       |
|                       | B.F. | -1.7913                   | 0.62009       | 0.00398       |
|                       | U.A. | 0.5597                    | 1.62662       | 0.06961       |

※C.F.: Coniferous forests, B.F.: Broadleaf forests, U.A.: Urban Areas

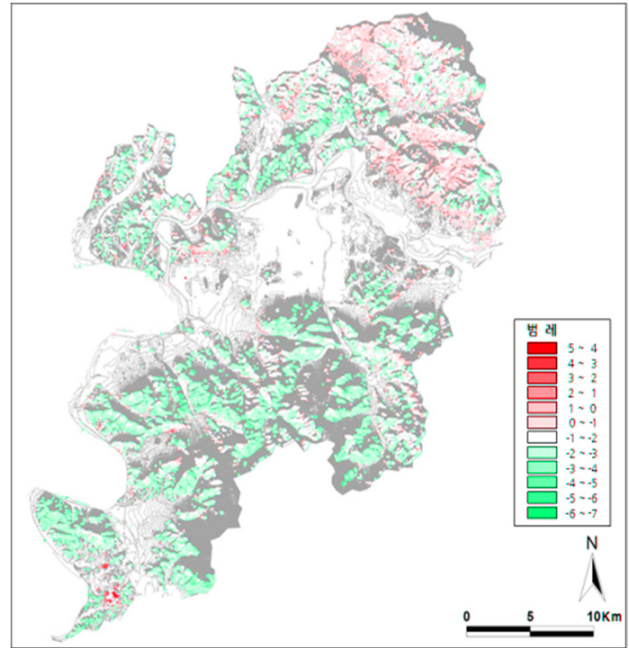


Fig 2. LST Difference by Changing Forest Type from 1990 to 2007

### 4. 도시산림 식생유형변화와 지표면 온도와의 상관관계

6개의 산림 우점식생 변화 유형별 지표면 온도변화량에 대해 일원배치분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 분석결과 F통계량이 2409.7이고 p=0.000로 통계적으로 유의하여, 산림 우점식생 변화 유형에 따른 지표면 온도차는 유의미한 것으로 나타났다(Table 6).

유형간 유사 집단을 분류하기 위해 분산분석을 통해 도출된 결과를 토대로 산림 우점식생 변화 유형별 지표면 온도의 사후검정(Duncan Test)을 실시하였다(Table 7). Duncan의 사후검정을 통해 토지피복변화유형간 차이 있는 집단을 분석한 결과 유형간 유의수준이 통계적으로 유의하였다. 산림지역이 산림지역으로 유지되는 침엽수림에서 침엽수림, 활엽수림에서 활엽수림, 활엽수림에서 침엽수림으로의 변화는 같은 집단으로 분류되었으나 침엽수림에서 활엽수림으로의 변화는 산림지역에서 산림지역의 변화이지만 서로 다른 집단으로 분류되었다. 산림이 시가화지역으로 변화될 경우 온도는 높아지며, 활엽수림이 시가화지역으로 변화된 경우 약 0.56℃, 침엽수림이 시가화지역으로 변화된 경우 약 0.16℃ 온도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 산림이 유지되거나 활엽수림이 침엽수림으로 변화되는 경우는 온도변화가 크게 일어나지 않았는데 평균적으로 약 1.8℃ 온도 차이를 보였다. 반면 침엽수가 활엽수림으로 변화되었을

때에는 약 1.7℃차이를 보였다(Table 8).

이는 단순히 1990년과 2007년의 17년간 유형 변화에 따른 온도 차이로 현재까지 유형이 유지된 경우와 변화된 경우를 동시에 고려할 경우 온도는 더 높은 차이를 보였다. 산림이 유지되거나 활엽수림이 침엽수림으로 변화되는 경우는 온도변화가 크게 일어나지 않았지만 산림이 파괴될 경우 평균적으로 1.8℃이상 온도가 증가하였다. 활엽수림이 활엽수림으로 유지되었을 경우 시가화지역과 비교하였을 때 지표면 온도는 1.79℃완화되며 활엽수림이 시가화지역으로 변화되었을 때 온도가 0.56℃상승하는 것을 고려하면 활엽수림이 유지되었을 때 보다 시가화지역으로 변화될 경우 지표면 온도를 약 2.33℃증가시켰다고 볼 수 있었다. 침엽수의 경우에는 침엽수가 유지되었을 경우 1.78℃완화되며 침엽수가 시가화지역으로 변화될 경우 0.16℃증가하는 것을 고려하면 침엽수림이 유지되었을 때 보다 시가화지역으로 변화될 경우 지표면 온도를 약 1.95℃증가하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 침엽수림이 시가화지역으로 변했을 때 보다 활엽수림이 시가화지역으로 변했을 때 지표면 온도는 더 상승하며, 약 0.4℃ 더 높아지는 것으로 나타났다. 이는 도시림 내 활엽수림으로의 유도는 도시온도를 약 0.4℃정도 낮출 수 있는 것으로 판단할 수 있다. 그러나 분석에 사용된 영상의 지표면 온도는 오전 10시경으로 한낮의 온도일 경우 침엽수림에 비해 활엽수림이 0.4℃이상의 더 높은 온도 완화효과를 보일 것으로 판단된다.

Table 6. Distribution analysis on LST per changing forest type(one-way ANOVA)

| Devision       | Sum of Squares | df    | Mean Square | F      | Sig. |
|----------------|----------------|-------|-------------|--------|------|
| Between Groups | 4740.1         | 5     | 948.0       | 2409.7 | .000 |
| Within Groups  | 33295.2        | 84632 | .393        |        |      |

본 연구에 따르면 인공위성 영상을 이용한 온도 연구는 광역의 토지이용에 따른 도시열섬현상을 주기적으로 파악하기에는 용이하나, 우리나라에서와 같이 산림의 식생이 다양하고 고밀도로 집적된 곳에서 30m 해상도로 세부적인 현상을 파악하기에는 다소 어려움이 있었다. 실측에 의한 선행연구는 산림의 수관 하부에서 온도를 측정하는 것으로 침엽수림과 활엽수림의 온도차는 최대 5℃까지 나타났으나 (von Arx *et al.*, 2012), 인공위성 영상에 의한 산림 수관 상부의 표면 온도 분석에서는 통계적으로는 유의하나 상대적으로 적은 차이를 보였다. 다만 거시적 관점에서 시가화 지역과 산림 등의 토지피복유형에 대한 시계열 분석에는 매우 효과적인 것을 확인할 수 있었다. 또한 산림의 경우 다양한 지형으로 인해 생기는 음영과 해발고로 인한 구름의 영향 등 샘플을 추출함에 있어 식생유형에 따른 표본의 수를 일치시키는데 어려움이 있었다. 향후 연구에서는 도시산림 내 식생유형을 세분화하여 현존식생유형별 온도연구가 진행되어야 할 것으로 판단되었다.

## REFERENCES

Cambell, J. B.(1987) Introduction to Remote Sensing. the Guilford Press, New York, London

Gallo, K. P., D. R. Easterling and T. C. Peterson(1996) The influence of land use/land cover on climatological values of the diurnal temperature range. *J. Climate*, 9:2941-2944.

Hong, S. H., Lee, K. J. and Han, B. H.(2005) Analysis of Temperature Profiles by Land Use and Green Structure on Built-up Area. *Korean journal of environment and ecology* 19(4):375-384. (in Korean with English abstract)

IPCC(2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jung, G. S., Koo, S. and Yoo, H. H.(2011) Temperature Change

Table 7. Grouping of changing forest type depending on LST(Duncan Test)

| Division            | Change of Forest Type                   | N     | Subset for alpha = 0.05 |        |         |         |
|---------------------|---|-------|-------------------------|--------|---------|---------|
|                     |   |       | 1                       | 2      | 3       | 4       |
| Duncan <sup>a</sup> | Broadleaf forests → Urban Areas         | 546   | 0.5597                  |        |         |         |
|                     | Coniferous forests → Urban Areas        | 460   |                         | 0.1625 |         |         |
|                     | Coniferous forests → Broadleaf forests  | 7482  |                         |        | -1.6939 |         |
|                     | Coniferous forests → Coniferous forests | 43816 |                         |        |         | -1.7846 |
|                     | Broadleaf forests → Broadleaf forests   | 24271 |                         |        |         | -1.7913 |
|                     | Broadleaf forests → Coniferous forests  | 8063  |                         |        |         | -1.8109 |

- analysis for land use zoning using landsat satellite imagery. The Korea Society For Geospatial Information System 19(2): 55-61. (in Korean with English abstract)
- Ki, K. S. and Lee, K. J.(2009) A Study on Temperature Change Profiles by Land Use and Land Cover Changes of Paddy Fields in Metropolitan Areas. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 37(1):18-27. (in Korean with English abstract)
- Ki, K. S., Han, B. H. and Hur, J. Y.(2012) A Study of Factors Influencing of Temperature according to the Land Cover and Planting Structure in the City Park - A Case Study of Central Park in Bundang-gu, Seongnam -. *Korean journal of environment and ecology* 26(5):801-811. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.S.(2012) The Difference in Temperature According to the Land Coverage and Vegetation Structure of Large-Scale Green Area in Seoul. Master's thesis, University of Seoul, 115pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.P.(2004) A Study on Temperatures Distribution of Forest Type Class Using Landsat TM. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* 8(3):11-17. (in Korean with English abstract)
- Landsberg(1981) *The Urban Climate*, International Geophysics series 28. Academic Press.
- Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer(1994) *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3rd edition. NewYork.:Wiley.
- Markham, B. L and J. L. Becker(1986) Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, Exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures, *EOSAT Landsat Tech. Notes* (1):3-8.
- NASA(2002) *The Landsat-7 Science Data User's Handbook*.
- Oke, T. R.(1987) *Boundary layer climates*(2ed.), London and New York.
- Quan, H. C. and Lee, B. G.(2009) Analysis of Relationship Between LST and NDVI using Landsat TM Images on the City Areas of Jeju Island. *The Korea Society For Geospatial Information System*, 17(4):39-44.
- Statistics Korea(2013) *Statistics annual report 2013*. Statistics Korea.
- von Arx, G., M. Dobbertin, M. Rebetez(2012) Spatio-temporal effects of forest canopy on understory microclimate in a long-term experiment in Switzerland. *Agricultural & Forest Meteorology* 166: 144-155.
- Yoon, K. W. , Park, J. H., Chea, K. J. and Park, J. H. (2003) Establishment of Geometric Correction Data using LANDSAT Satellite Images over the Korean Peninsular. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 6(1):98-106.