



서울시 주요 공원, 유적지 및 공공기관시설 내 연못 및 호수면적 변화에 따른 LST(Land Surface Temperature) 분포 경향 - 다중시기의 Landsat TM/ETM 위성영상을 이용하여

*Analyzing LST Distribution according to Ponds and Lakes in Parks and Public Organizations of Seoul
- Based on Multi-temporal Landsat TM/ETM*

길승호*

Kil, Sung-Ho *

* Dept. of Ecological Landscape Architecture Design, Kangwon National University(sunghokil@kangwon.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study was to verify LST (Land Surface Temperature) distribution according to increasing a water-area in various ponds and lakes in Seoul. The LST was retrieved through using multi-temporal Landsat TM/ETM with previous studies. The various ponds and lakes was in parks and public organizations of Seoul. **Method:** The data of ponds and lakes was used through Seoul Biotope Map (2000, 2005 and 2010) recreated every five-years. The LST in each pond and lake was extracted from retrieved LST. **Result:** As the water area was increased, the LST was gradually lowered to L-shaped model. The Han River was the lowest LST as around 2 1°C. The water-area LSTs of below 20,000m² distributed a large range. Thirty-seven water-areas in twenty-five sites were selected in major parks and public organizations. The LST of a large water-area is less influenced from the temperature of surrounding environment while the LST of a small water-area has a wide deviation because the small water-area is more exposed from it. Therefore effective strategies should be made to mitigate LST around a small water-area as well as increasing a large water-area is important.

KEYWORD

도시 열섬
수자원
지표면 온도

Urban Heat Island
Water area
Surface Temperature

ACCEPTANCE INFO

Received Jul, 21, 2017
Final revision received Nov, 22, 2017
Accepted Nov, 27, 2017

© 2017 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

급속한 도시 개발로 인한 인공열과 대기오염 물질로 인해 도시 온도는 주변 지역에 비해 높아짐(Kang et al., 2010)에 따라 도시는 도시 열섬 현상으로부터 많은 환경문제를 안고 있다. 도시 열섬 현상은 농경지 및 식생지역으로부터 콘크리트와 아스팔트와 같은 불투수 면적으로 대체됨에 따라 나타난다(Buyantuyev and Wu, 2010). 이러한 변화는 증발산 감소, 태양 에너지 흡수 표면적 증가, 좁은 건물 사이로 열이 빠져나가지 못하게 하는 도시 형태로부터 발생한다. 이러한 열에너지가 도시 내부에 계속적으로 남아 생태순환 과정에 악영향을 끼치며 지역 및 도시 전체의 기후 환경에 주요 동인으로 작용한다(Bonan, 2002; Wu 2008).

도시 열섬 현상을 완화하기 위해 조경가 및 도시계획가들은 녹지 확대, 수자원 면적 증가, 녹지네트워크, 바람길 조성 등 다양한 연구들을 진행하고 있다(Kim et al., 2004; Kim et al., 2011; Park et al., 2000; Cha et al., 2007). 특히, 녹지의 연결성과 녹지의 확대를 위한 연구들이 많이 진행(Yun et al., 2013; Cha et al., 2007)되었으

며 이를 확인하는 수단으로 식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)를 이용한 도시 기온 저감 효과에 대한 연구(Liu and Zhang, 2011; Yuan and Bauer, 2007; Kim et al., 2004; Jo et al., 2009)들이 많이 진행되었다. 한편, 녹지와 달리 수자원과 도시 기온과의 연구들도 진행되었는데, Landsat 영상을 통한 호수 수질인자 추출(Kim et al., 1996), 알베도, 식생지수 및 지표면 온도를 통한 수문인자 변화 분석(Chae and Song, 1999) 등이 그것이다.

이러한 연구들은 인공위성 자료를 통한 분석이 많이 이루어졌다. 원격탐사는 넓은 지역의 시·공간정보를 쉽게 처리할 수 있으며, 비용이 저렴하고 주기적인 데이터 획득이 용이하다(Jee and Choi, 2014). 인공위성 자료의 활용은 현장 조사에 비해 누적된 자료를 활용한 다중시기 검토를 통해 현재 토지이용 상태를 쉽게 파악할 수 있다. 특히 이러한 인공위성 자료를 이용한 방법 중 Landsat TM/ETM을 이용한 연구들이 많았다(Park et al., 2008; Jee and Choi, 2014; Chae and Song, 1999).

도시열섬현상 완화를 위해 녹지와 수자원의 활용은 매우 중요한 요소임에도 불구하고 수자원 관련 연구들은 녹지 확대와 관련된 연구들에 비해 상대적으로 연구가 적었다. 도시열섬 저감을 위해서 녹지 확대 뿐만 아니라 수자원 확대를 위한 더 많은 연구들

이 진행될 필요가 있다. 수자원은 녹지와 더불어 한 도시의 온도를 저감시키는데 영향을 미치고 있다(Oh and Hong, 2005). 따라서, 도시 열섬 저감을 위한 수자원의 역할 중 면적과 온도와의 관계를 다중시기를 통해 확인해 보고자 한다.

본 연구는 서울시 주요 공원 및 공공기관 내 연못과 호수의 면적변화에 따른 온도 분포의 경향성을 파악하는데 있다. 우선, 다중시기의 위성영상을 활용하여 서울시 전체 수자원 면적 변화에 따른 온도분포를 파악하고 서울시 주요 공원 및 공공기관 내의 연못 및 호수의 온도를 파악하였다. 이는 현재의 연못 및 호수가 전체 수자원 온도에 얼마나 영향을 미쳤는지를 확인하기 위함이다.

2. 연구 범위 및 방법

2.1. 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 대한민국 수도인 서울시를 대상으로 하였다. 서울시는 지속적인 인구 증가와 급격한 도시 개발로 인하여 전체 면적 중 도시지역 면적 비율이 높은 도시 중 하나일 뿐만 아니라(Kim and An, 2017) 1908년부터 1917년까지 평균 10.6°인데 비하여 1998년부터 2007년까지 평균 13.0°로 세계 평균 기온 상승의 6배가 넘는 수치(National Institute of Meteorological Sciences, 2009)로 도시화로 인한 도시 열섬 현상이 가중되고 있는 도시이다.

이러한 도시화로 인한 환경 문제를 해결하기 위한 수단으로 도시환경 변화에 대한 지속적인 모니터링을 위해 서울시는 우리나라에서는 처음으로 1999년부터 5년에 한 번씩 비오톱 지도(Biotop map)를 제작하고 있다. 현재까지 4번(2000년, 2005년, 2010년 그리고 2015년) 개시되었다. 우리나라에서 비오톱 지도 제작이 가장 오래되었으며, 다중시기의 인공위성 영상 취득을 통해 도시 열섬 현상이 가중되고 있는 서울시를 대상으로 하였다.

인공위성 자료는 Landsat TM, ETM+의 영상이 사용되었다. 도시생태현황도가 2000년, 2005년, 2010년, 2015년에 나왔지만, 최종 현황조사는 발표되기 1년 전에 이루어지기 때문에 1999년, 2004년, 2009년 영상을 활용하였다. 2014년의 영상을 활용하지 못한 이유는 Landsat 영상의 6월 자료가 구름 간섭이 많아 제외하였다. 영상자료는 Table 1과 같다. 동일한 날짜에 자료를 획득하는 것은 위성궤도 및 기후 환경 등에 따른 문제로 인한 데이터 확보에 한계성을 가지고 있다. 따라서 각 영상은 6월에 찍은 영상 중 구름 상태가 10%이내에 있는 질 좋은 영상을 각 시기별로한 개씩 이용하였다. 7월과 8월은 장마와 잦은 구름의 간섭과 Landsat ETM+의 2003년 5월 SLC(Scan Line Corrector)의 문제로 더 이상 질 좋은 위성자료를 획득하기 어렵다. 아래 Table 1과 같이 USGS에서 제공하는 사이트(<http://glovis.usgs.gov/>)로부터 인공위성 자료를 획득하였다. 이는 자료획득의 용이성과 자료 분석의 일관성을 위한 것으로 3시기(1999년, 2004년, 2009년)의 LST를 분석하여 서로 차이가 있는지 확인하기 위함이다.

Table 1. Imagery summary of this study

Data acquired	Scene center time	Satellite	Sensor	Datum/map projection
1999. 6. 30	11:03:44	Landsat 7	ETM+	WGS 84 / UTM zone 52N
2004. 6. 3	10:52:08	Landsat 5	TM	
2009. 6. 1	10:59:06	Landsat 5	TM	

2.2. 연구방법

1) LST (Land Surface Temperature) 산출

Landsat TM/ETM 영상 자료의 6번 밴드는 열적외선 영역이며, 식 (1)과 (2)에 의해 LST를 추출하였다(Chander and Markham, 2003; Landsat Project Science Office, 2002).

$$L_{\lambda} = \frac{(L_{max} - L_{min})}{(Q_{max} - Q_{min})} \times (Q_{dn} - Q_{min}) + L_{min} \quad (식 1)$$

여기서, L_{λ} 는 측정된 분광방사량 ($W/m^2sr\mu m$)이며, L_{min} 는 최소방사휘도로서 $Q_{dn}=Q_{max}$ 일 때 분광복사에너지 ($W/m^2sr\mu m$)이고, L_{max} 는 최대방사휘도로 $Q_{dn}=0$ 일 때 분광복사에너지 ($W/m^2sr\mu m$)이다. Q_{dn} 는 영상자료에서 분석된 픽셀단위의 DN(Digital Number) 값이며, Q_{max} 는 DN단위인 정량화된 최소복사에너지이고 Q_{min} 는 DN단위인 정량화된 최대복사에너지이다.

$$T_k = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (식 2)$$

여기서, T_k 는 지표면 온도(LST: Land Surface Temperature)이며, K_1 과 K_2 는 NASA에서 제공되는 보정계수($W/m^2sr\mu m$)이다. Landsat TM의 경우 $K_1=607.76$ 과 $K_2=1260.56$ 이며 Landsat ETM의 경우 $K_1=666.09$ and $K_2=1282.71$ 이다. T_k 는 절대온도($^{\circ}F$)이기 때문에 섭씨온도($^{\circ}C$)로 환산하기 위해 273.15를 뺐다. 따라서 최종 식은 다음과 같다.

$$T_c = T_k - 273.15 \quad (식 3)$$

2) LST 보정

열적외선 밴드인 6번 band를 이용한 온도 추정 은 대기의 상태 또는 지표면 특성에 따라 달라질 수 있으므로 대기 투과율과 지표면 방사율을 고려하여 LST 보정을 실시해야 한다. LST 보정 방법은 크게 세 가지로 분류된다. 첫 번째는 Single-channel 방법으로 하나의 열적외선 밴드로 사용 가능하다. 두 번째는 Two-channel 또는 Split-window method로서 최소 2개의 열적외선 밴드를 이용하며 MODIS 영상에 이용되고 있다. 세 번째는 Gillespie et al.(1998)에 의해 개발된 TES(Temperature and Emissivity Separation) 방법이 있다. 본 연구는 하나의 열적외선 밴드로 활용 가능한 Single-channel 방법을 이용하였다.

Single-channel 방법은 또한 크게 3가지로 분류되는데 1) RTE

(Radiative Transfer Equation), 2) Qin et al.(2001)의 Mono-window 알고리즘, 그리고 3) Jimenz Munoz and Sobrino(2003)의 알고리즘이 있다. 이 중 아시아권에서 여러 번 사용(Bhattacharya et al., 2009; Liu and Zhang, 2011; Kong et al., 2014)된 적이 있는 Qin et al.(2001)의 알고리즘을 활용하여 LST를 보정하였다. Mono-window 알고리즘은 아래와 같은 식의 형태로 진행된다.

$$T_s = \frac{a \times (1 - C - D) + (b \times (1 - C - D) + C + D) \times T_c - D \times T_a}{C}$$

(식 4)

$$C = \epsilon \times \tau \tag{식 5}$$

$$D = (1 - \tau) \times [1 + (1 - \epsilon) \times \tau] \tag{식 6}$$

Ts는 보정된 LST이며, a와 b는 Qin et al.(2001)에 의해 제시된 회귀 계수로서 a=67.355351이고, b=0.458606이다. Tk는 보정되기 전의 LST이며, Ta는 유효 평균 대기 온도이다. ε는 방사율이고, τ는 수분량에 의해 결정된 대기 투과율을 말한다.

유효 평균 대기 온도(Ta), 대기 투과율(τ)는 Liu and Zhang (2011)에 의해 제시된 방법에 따라 아래 식 6과 식 7에 의해 진행되었다.

$$T_a = 16.0110 + (0.92621 \times T_b) \tag{식 6}$$

$$\tau = 1.05371 + (0.14142 \times \omega) \tag{식 7}$$

여기서, Tb는 인접한 지표면 온도로서 기상청의 AWS 기상자료의 평균값을 활용하였으며, 수분량(ω)은 다음의 식 8에 의해 제공되며, RH는 상대습도(Relative Humidity)로서 마찬가지로 AWS 기상자료의 평균값을 이용하였다.

$$\omega = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[\frac{17.27 \times T_b}{237.3 + T_b} \right] \times RH \right\} + 0.1697 \tag{식 8}$$

방사율(ε)은 LST 보정과정에서 중요한 역할을 하는데, 피복 상태, 식생, 토양 수분 등의 변이에 따라 시공간적 변동성이 매우 크다. 따라서, 광범위한 지역의 방사율 측정자료가 부족하기 때문에 위성관측 자료를 활용하여 방사율을 산출하였다(Kim et al., 2014; Park and Suh, 2013). 방사율 산출은 NDVI를 이용하여 추정할 수 있는데 Zhang et al.(2006)로부터 제시된 방사율 추정방법을 사용하였다.

Table 2. Calculating emissivity using NDVI

NDVI	Land surface emissivity(ε)
• NDVI < -0.185	• 0.995
• -0.185 ≤ NDVI < 0.157	• 0.970
• 0.157 ≤ NDVI < 0.727	• 1.0094+0.047ln(NDVI)
• NDVI > 0.727	• 0.990

NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 적색 밴드와 근적외선 밴드 사이의 반사도 차이를 활용하여 구해질 수 있다. 이는 식생이 적색 영역에서 반사도가 낮고 근적외선 영역에서 반사도가 높기 때문이다. NDVI를 구하는 공식은 식 9를 이용한다. NIR은 근적외선 영역으로 Landsat TM/ETM 영상의 Band 4에 해당되며, Red는 Band 3에 해당된다.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \tag{식 9}$$

3) 공원 및 공공시설 내 수자원 온도 산출 및 분석

2000년, 2005년 그리고 2010년의 도시생태현황도에 나타난 현장조사 데이터 중 수자원과 관련된 자료는 하천 및 습지 비오톱이다. 2000년의 수자원 개수는 475개이며, 2005년은 553개, 2010년은 676개로 총 1704개이다. 면적의 범위는 23.85㎡부터 3,950,390.00㎡까지이다. Landsat 영상에 의해 구해진 보정된 LST는 30m×30m의 해상도로서 한 픽셀당 면적이 900㎡이다. 900㎡이하 면적에 의한 온도가 해당 수자원 표면온도로 볼 수는 없다. 하지만 수자원을 포함한 한 픽셀 안에 있는 표면온도가 그 수자원으로부터 온도에 영향을 받고 있을 것으로 예상되고 한 픽셀의 온도 또한 900㎡안에 위치한 온도의 평균값이기 때문에 900㎡이하의 면적에 대한 온도도 활용하였다. 각 수자원 비오톱에 대한 온도는 식 4에 의해 보정된 LST를 통해 각 비오톱 면적에 해당되는 평균값을 구하였다. 평균값은 ArcGIS 9.3 패키지에 있는 Zonal statistics를 이용하였다.

공원 및 공공기관 시설 내 연못, 분수, 호수를 찾는 것은 제시된 도시생태현황도에 나타난 자료를 활용하여 해당 위치와 Naver 지도 및 Daum 지도를 대조해가며 해당 장소의 명칭을 찾아 구해진 LST를 기입하였다. 그 다음 세 시기(1999년, 2004년, 2009년)의 LST와 해당 수자원의 면적 비교를 통한 현황을 해석하였다.

통계분석은 IBM SPSS Statistics 20.0(IBM Inc., 2011)을 이용하였으며 공간분석은 ArcGIS 9.3을 이용하였다. 이외 자료 정리 및 데이터 수집은 한글 2014와 Microsoft Office사의 Excel을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 보정된 LST에 의한 수자원 온도 분포

1999년 보정된 LST 분포는 20.15℃~35.97℃이며, 2004년 보정된 LST 분포는 19.16℃~37.66℃이고, 2009년 보정된 LST 분포는 18.91℃~38.81℃였다. 각 시기별 수자원 전체 평균온도는 29.73℃(1999. 6. 30), 29.46℃(2004. 6. 3), 29.93℃(2009. 6. 1)으로 비슷한 LST를 보였으며 전체 수자원 LST는 29.72℃였다.

3.2. 수자원 면적 변화에 따른 시기별 LST 분포

각 시기별 수자원 면적 변화에 따른 LST 분포는 다음의 Figure 2와 같다. 3시기 모두 L자 형태의 모습을 지니고 있었다. 이는 Oh and Hong (2005)의 연구결과에서 하천면적률과 LST와의 상관계

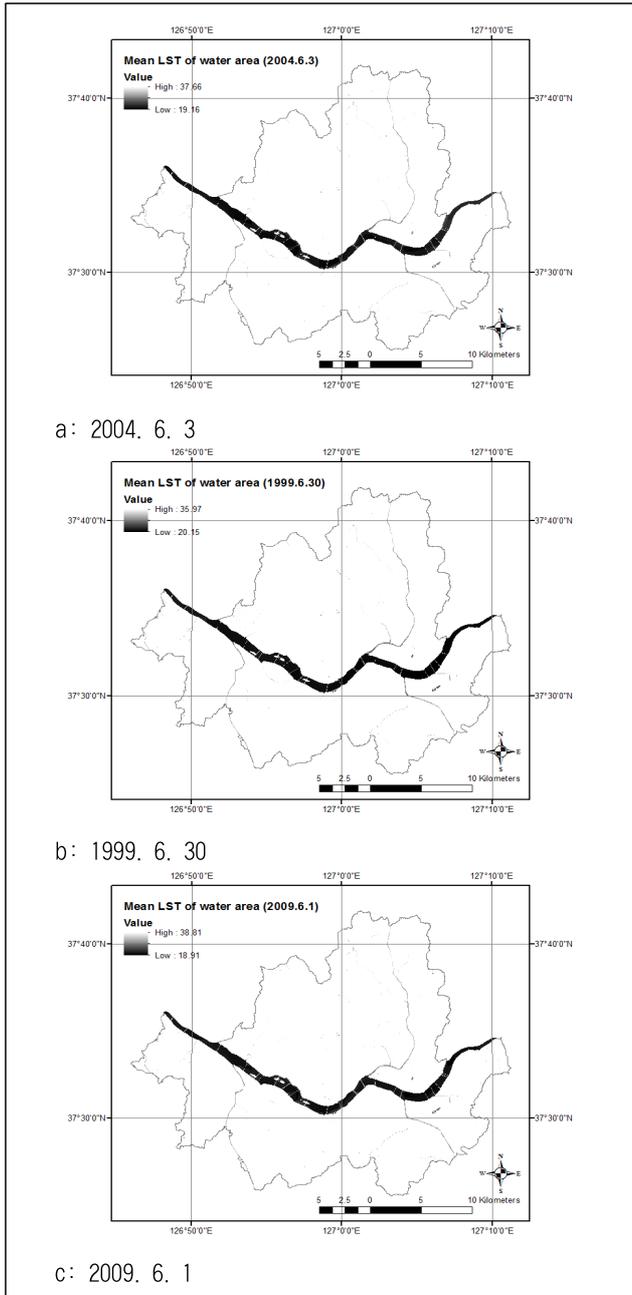


Figure. 1. Mean LST of water area

수가 -0.5 이하로 높지 않게 나타난 것과 관련하여 해석해볼 수 있다. 즉, 서울시 지역에 한하여 면적과 온도와의 상관관계가 선형이 아니기 때문에 더 높은 상관계수를 얻기 힘들다는 것을 반증하는 결과이다. 본 연구결과에서 수자원 면적 증가에 따른 LST의 상관계수는 -0.542($p<0.01$)로 Oh and Hong (2005)에 비해 약간 높은 상관계수를 보였다. 세부적으로 1999년도 자료는 -0.542 ($p<0.01$), 2005년도 자료는 -0.680 ($p<0.01$), 2009년도는 -0.628 ($p<0.01$)로 나타났다.

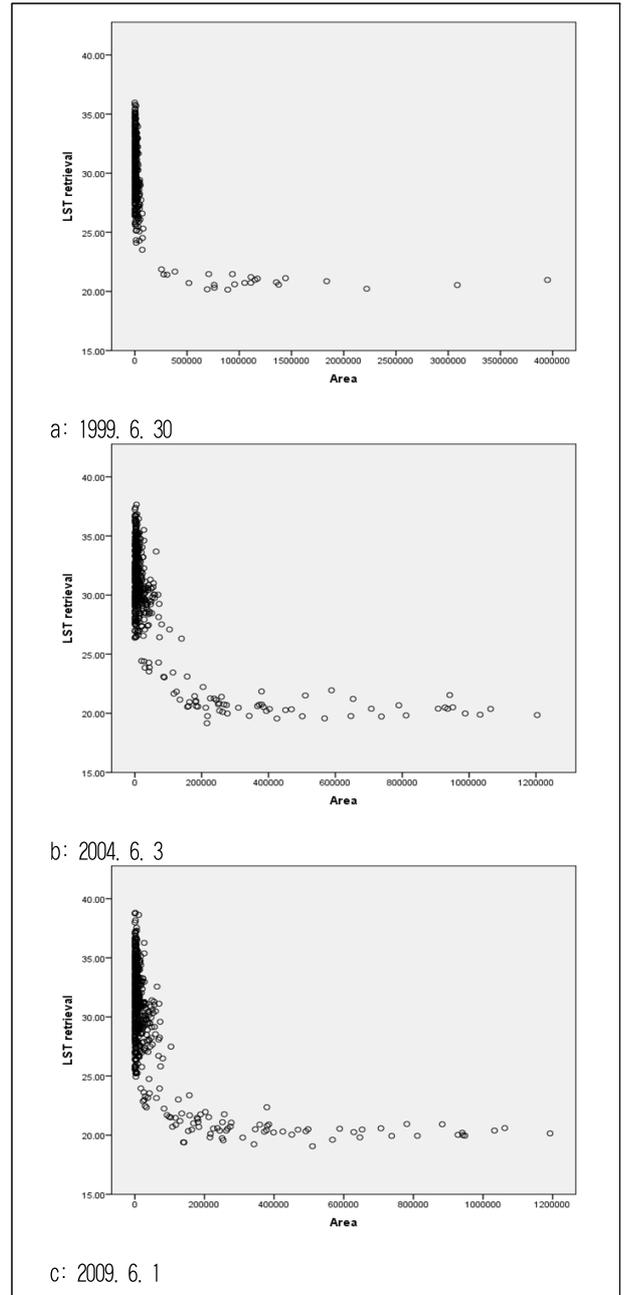


Figure. 2. LST distribution of water-area in each time

약 100,000m²이상 지역은 서울을 가로지르는 한강 지역으로서 평균 21°C(1999년 20.89°C, 2004년 20.90°C 그리고 2009년 20.74°C)을 보이며 그 언저리를 차지하고 있었다. 한편, 100,000m²이하 지역은 서울시 중소 하천, 호수, 습지, 연못 등을 포함한 지역으로 약 21°C에서 39°C까지 넓게 분포하고 있었다.

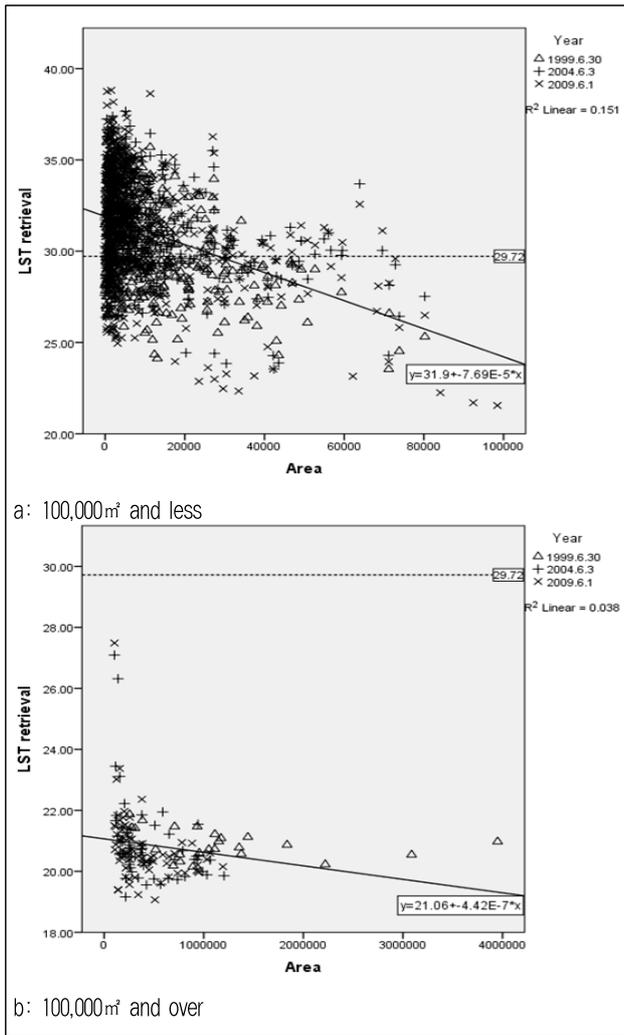


Figure. 3. LST distribution of all temporal water-area

100,000m² 면적까지는 면적의 변화에 상관없이 LST 분포가 다양하지만, 100,000m² 면적을 벗어나면서 LST 편차가 줄어들고 LST도 서서히 낮아져 약 20°C 전후에서 수렴하는 경향을 알 수 있었다. 면적이 커질수록 계속적으로 LST가 낮아지지 않음을 의미한다. 약 100,000m² 이하 지역과 그 이상 지역을 구분하여 보면 다음의 Figure 3과 같다. Figure 3a에서 보면, 약 70,000m² 이후부터 전체 수자원 평균 LST(29.72°C)보다 LST가 급격히 떨어지는 모습을 볼 수 있다. 약 20,000m² 이하의 수자원은 약 25°C부터 39°C 까지 다양하게 분포하고 있었다. 주변 환경 변수로부터 영향을 받은 LST가 실제 수면에 의한 LST보다 높기 때문에 수자원 면적이 작은 면적일수록 LST 분포 범위가 넓게 발생한 것으로 판단된다. 수자원 면적은 온도를 저감시키는 역할을 한다(Oh and Hong, 2005; Jo et al., 2009). 따라서 20,000m² 이하 면적의 비오톱의 실제 수면 온도는 주변 환경에 비해 낮을 수 있지만, 주변환경의 온도가 높거나 낮을 경우 해당 비오톱 LST를 왜곡할 수 있다.

3.3. 주요 공원 및 공공기관시설 내 연못 및 호수지역의 LST 분포

서울시 내에 위치한 주요 공원 및 공공기관시설의 연못 및 호수

지역은 도시생태현황도에 나타난 자료를 바탕으로 총 25곳에서 37개의 연못 또는 호수를 찾았다. 각 시기별 LST는 공원의 경우 총 13곳의 20개, 역사유적지의 경우 총 3곳의 7개, 공공기관시설의 경우 총 9곳의 10개의 연못 또는 호수를 포함하였다(Table 3 참조).

공원의 LST에서 3시기를 통틀어 가장 높은 LST를 보인 곳은 문래근린공원 내 연못으로 36.30°C(2009년 자료)를 보였으며, 가장 낮은 LST를 보인 곳은 제2롯데월드 앞에 위치한 석촌호수로 24.52°C(2009년 자료)였다. 제2롯데월드 앞에 위치한 석촌호수의 면적은 73,841m²으로 서울시 수자원 평균 LST 저감에 많은 영향을 끼친 것으로 파악된다. 문래근린공원은 주거단지가 밀집되어 있는 곳으로 1,000m²이 넘는 지역임에도 불구하고 매우 높은 기온을 보였다. 주거지역은 농업지역과 상업지역 다음으로 높은 온도분포를 보인다(Jung et al., 2011). 건폐율과 LST와의 강한 양의 상관관계를 가지고 있어 건폐율이 높을수록 LST가 높아짐을 알 수 있다(Do et al., 2006). 또한, 식생체적이 증가할수록 그리고 건물체적이 감소할수록 그 지점의 온도는 감소한다(Jo and Ahn, 2010). 이러한 연구결과를 통해 아파트 지역으로 둘러싸인 문래근린공원의 연못은 건물체적이 높고 건폐율이 높기 때문에 상대적으로 높게 측정된 것으로 해석된다.

경복궁, 창경궁, 창덕궁 그리고 덕수궁의 연못 LST 분포에서 최대 높은 LST를 보인 곳은 덕수궁의 연못으로 33.92°C(2009년 기준)를 나타냈고 다른 궁궐 안에 있는 연못에 비해 높은 기온을 보였다. 이는 문래근린공원의 LST 해석과 마찬가지로 상업시설과 포장된 도로가 주변에 많이 분포하고 있기 때문으로 보인다. 가장 낮은 LST를 보인 곳은 창덕궁 안에 위치한 관람지로 25.73°C(2009년 자료)였다. 관람지의 면적은 1,968m²로 다른 경희지(11,748m²), 향원지(5,437m²)에 비해 상대적으로 매우 작았음에도 매우 큰 폭의 LST 차이를 보였다. 그 이유는 연못 주변 지역이 모두 녹지로 둘러싸여 있기 때문으로 보인다. Kwon and Lee(2001)는 창덕궁, 창경궁 주변 도심지의 LST 분포가 궁궐 내부에 비해 주변과 약 1°C~2°C의 낮다고 하였다. 특히, 위 연구결과에 따르면, 북악산 동쪽 끝자락에 위치한 창덕궁은 안쪽에 위치한 연경당, 존덕정이 창덕궁 입구쪽에 위치한 인정전에 비해 약 1°C정도 차이를 보이기 때문에, 창덕궁 안쪽에 들어갈수록 LST가 낮게 분포하는 것을 볼 수 있다. 따라서 창덕궁 관람지는 부용지, 애련지보다 더 안쪽에 위치하여 있기 때문에 면적이 다른 연못보다 적지만 녹지가 풍부한 주변 환경의 영향으로 더 낮게 나타난 것으로 파악된다.

공공기관시설의 연못 또는 호수의 LST 분포를 보면, 최대 높은 LST를 보인 곳은 전쟁기념관 연못으로 33.68°C(2004년 기준)를 나타냈으며 2004년 수자원 평균 LST에 비해 4.22°C 높았다. 다른 시기에서도 31.91°C(1999년 기준), 33.1°C(2009년 기준)로 나타나 각 시기를 종합한 수자원 평균 LST보다 2~3°C 높게 나타났다. 전쟁기념관 또한 앞선 결과 해석과 마찬가지로 도로 및 주거환경이 밀집하고 있어 상대적으로 높게 나타난 것으로 보인다. 가장 낮은 LST를 보인 곳은 삼육대학교 내 위치한 계명호로 25.25°C(2009년 기준)를 나타냈으며, 2009년 수자원 평균 LST에 비해 -

4.68°C 낮았다. 2004년 조사에서도 27.02°C(-2.44°C 차이)로 나타

Pond in Gwanak lake park (관악호수공원 내 연못) • 1,014

Table 3. LST of lakes and ponds in Seoul

Class.	Name	Area(m ²)	1999. 6. 30 LST(°C)	2004. 6. 3 LST(°C)	2009. 6. 1 LST(°C)	
Park (13) 20	Seokchon Lake (석촌호수)	Lake in front of [1] LotteWorld (제1롯데월드 앞)	• 80,242	• 25.31 (-4.42)	• 27.52 (-1.94)	• 26.49 (-3.44)
		Lake in front of [2] LotteWorld (제2롯데월드 앞)	• 73,841	• 26.43 (-3.30)	• 25.82 (-3.64)	• 24.52 (-5.41)
	Seoul Olympic Park (서울올림픽공원)	Mongchon lake (몽촌호수)	• 36,545	• 27.39 (-2.34)	• 29.19 (-0.27)	• 28.91 (-1.02)
		88 lake (88 호수)	• 12,350	• 27.69 (-2.04)	• -	• -
	Lake Park of West Seoul (서서울호수공원)	• 15,774	• -	• -	• 33.66 (3.73)	
	Nanji pond of Pyungwha park in Worldcup park (월드컵공원내 평화의 공원의 난지 연못)	• 15,529	• -	• 29.35 (-0.11)	• 30.10 (0.17)	
	Dream Forest of North Seoul (북서울꿈의 숲)	Wolyungji pond (월영지)	• 9,034	• -	• -	• 31.21 (1.28)
		Changpowon pond (창포원)	• 829	• -	• -	• 30.45 (0.52)
	Pond in Boramae park (보라매공원내 연못)	• 8,444	• 30.54 (0.81)	• 31.78 (2.32)	• 30.92 (0.99)	
	Yeouido Saetgang Ecological Park (여의도 샛강생태공원)	Yeumot and Banggaemot (여의못과 방개못)	• 8,405	• 29.34 (-0.39)	• 29.11 (-0.35)	• 32.39 (2.46)
		Ecological pond (생태연못)	• 7,098	• 28.53 (-1.20)	• 30.73 (1.27)	• 32.13 (2.20)
		Orimot (오리못)	• 1,429	• 28.14 (-1.59)	• 31.33 (1.87)	• 30.38 (0.45)
	Seoul Forest (서울 숲)	Pond in front of community center (커뮤니티 센터 앞 연못)	• 7,492	• -	• -	• 29.43 (-0.50)
		Pond in ecological forest (생태숲 안에 위치한 연못)	• 6,607	• -	• -	• 31.44 (1.51)
	Seoul Children's Grand Park (어린이 대공원)	Ecological pond (생태연못)	• 4,423	• 28.85 (-0.88)	• 31.03 (1.57)	• 33.20 (3.27)
		Environment pond (환경연못)	• 1,732	• 32.65 (2.92)	• 33.31 (3.85)	• 34.34 (4.41)
	Pond at Sungchongol in Woomyunsan natural and ecological park (우면산 자연생태공원 내 연못 [성춘골 부근])	• 3,645	• -	• 27.98 (-1.48)	• 26.43 (-3.50)	
	Pond in Yeouido park (여의도 공원 내 연못)	• 1,515	• 33.30 (3.57)	• 32.66 (3.20)	• 31.67 (1.74)	
Pond in Munrae park (문래근린공원)	• 1,102	• -	• -	• 36.30 (6.37)		

Table 3. (Continued)

Class.	Name		Area(m ²)	1999. 6. 30 LST(°C)	2004. 6. 3 LST(°C)	2009. 6. 1 LST(°C)
Historical site	Gyeongbokgung palace (경복궁)	Gyeonghoeji (경회지)	• 11,748	• 29.07 • (-0.66)	• 30.44 • (0.98)	• 31.44 • (1.51)
		Hyangwonji (향원지)	• 5,437	• 30.20 • (0.47)	• 31.60 • (2.14)	• 31.33 • (1.40)
	Changgyeonggung palace (창경궁)	Chundangji (춘당지)	• 7,649	• 27.72 • (-2.01)	• 29.61 • (0.15)	• 26.99 • (-2.94)
	Changdeokgung palace (창덕궁)	Buyongji (부용지)	• 2,548	• 27.85 • (-1.88)	• 30.42 • (0.96)	• 27.34 • (-2.59)
		Gwanlamji (관람지)	• 1,968	• 25.69 • (-4.04)	• 28.86 • (-0.60)	• 25.73 • (-4.20)
		Aelyeunji (애련지)	• 1,056	• 28.10 • (-1.63)	• 29.80 • (0.34)	• 27.43 • (-2.50)
Pond in Deoksugung palace (덕수궁 내 연못)		• 848	• 32.49 • (2.76)	• 31.20 • (1.74)	• 33.92 • (3.99)	
Public site	Ilgam lake in Konkuk University (건국대학교 일감호 호수)		• 50,845	• 26.08 • (-3.65)	• 27.67 • (-1.79)	• 28.47 • (-1.46)
	National Museum of Korea (국립중앙박물관)	Mirror pond (거울못)	• 8,482	• -	• -	• 29.77 • (-0.16)
		Eastside pond (동쪽 연못)	• 7,359	• 30.12 • (0.39)	• 32.02 • (2.56)	• 32.46 • (2.53)
	Jaemyung lake in Sahmyook University (삼육대학교 내 제명호)		• 7,446	• -	• 27.02 • (-2.44)	• 25.25 • (-4.68)
	Pond in the Warmemorial of Korea (전쟁기념관 연못)		• 7,398	• 31.91 • (2.18)	• 33.68 • (4.22)	• 33.10 • (3.17)
	Pond in Korea Institute for Industrial Economics and Trade (KIET 산업연구원 내 연못)		• 2,993	• 30.58 • (0.85)	• 31.59 • (2.13)	• 31.86 • (1.93)
	Pond in University of Seoul (서울시립대학교 연못)		• 2,538	• 29.48 • (-0.25)	• 31.07 • (1.61)	• 30.80 • (0.87)
	Pond in Kyunghee Elementary School (경희초등학교 옆 연못)		• 2,298	• -	• 31.64 • (2.18)	• 30.17 • (0.24)
Fountain in Kyunghee University (경희대학교 내 분수)		• 1,417	• -	• 31.42 • (1.96)	• 28.76 • (-1.17)	
Pond in Seoul National Cemetery (국립현충원 내 연못)		• 763	• -	• 32.21 • (2.75)	• 29.64 • (-0.29)	

-: Not investigated or not built at that time

(): Difference between mean LST of total water-area in each time and mean LST of each water-area

나 수자원 평균 LST를 낮추는데 기여하였다. 다만, 제명호는 불암산 남쪽에 위치한 곳으로 산림내부에 있기 때문에 LST가 낮게 평가된 것으로 보인다. 그 다음으로 수자원 평균 LST 저감에 기여한 곳은 건국대학교 일감호였는데, 1999년 기준으로 26.08°C (-3.65°C 차이)을 기록했다. 2004년은 27.67°C(-1.79°C 차이)을 나타냈으며, 28.47°C(-1.46 차이)을 나타냈다. 일감호는 석촌호수 다음으로 큰 호수로서 50,845㎡로 넓은 규모를 가지고 있다. 주변에 학교건물, 상업시설과 주거지역이 밀집해 있음에도 불구하고 전체 수자원 평균 LST(29.72°C)보다 낮아 면적이 넓은 규모의 수자원이 LST 저감에 영향을 끼친 것으로 해석된다.

동 시간에 추출된 수면의 LST가 지역마다 또는 비슷한 크기의 수면적을 가지고 있음에도 다양한 LST 차이를 보였다. 북서울 숲공원 안에 있는 창포원(829㎡, 30.45°C[2009년 기준])과 덕수궁 내 연못(848㎡, 33.92°C[2009년 기준])은 비슷한 크기임에도 약 3.47°C의 차이를 보였다. 경희대학교 내 분수(1,417㎡, 28.76°C

[2009년 기준])와 여의도샛강공원 내 오리못(1,429㎡, 30.38°C [2009년 기준])은 약 1.62°C의 차이를 보였다. 전쟁기념관 연못(7,398㎡, 33.10°C[2009년 기준])과 삼육대학교 내 제명호(7,446㎡, 25.25°C[2009년 기준])는 7.85°C로 매우 큰 차이를 보였다. 이러한 이유는 해당 장소의 주변환경 요소의 특성들(건물체적, 불투수면적, 식생피복, 식생체적 그리고 알베도 등)에 의해 차이가 난 것으로 보인다. 식생체적 10% 증가는 기온을 약 0.14% 감소시키고 건물체적 10% 증가는 기온을 약 0.26% 증가시킨다(Jo and Ahn, 2010). 공업시설, 상업시설이 높은 주변 지역은 상대적으로 높은 LST를 보인다(Do et al., 2006). 따라서 주변 환경의 물리적 구성요소(콘크리트, 아스팔트, 식물 등)에 따라 불투수면적이 높은 곳은 수면 상승 온도를 가중시켜 높은 LST로 나타났을 가능성이 높다. 또한 비슷한 수면적을 보였다고 하더라도 주변 환경의 물리적 구성요소에 따라 온도 편차는 다양하게 나타날 수 있다. 따라서, 온도는 다양한 원인에 의하여 변화하므로 수자원 면적 변

화 이외에 추가적인 변수를 도입해야 할 필요가 있다.

Table 3의 온도를 그래프로 나타내면 Figure 4와 같다. 앞선 결과와 마찬가지로 면적이 증가할수록 LST는 낮게 나타났다. 35,000㎡이 넘는 지역(석촌호수, 건국대학교 일감호, 서울 올림픽 공원의 몽촌호수)은 각 시기별 평균 수자원 LST에 비해 약 -0.27℃~-5.41℃ 낮았다. 반면, 16,000㎡를 넘지 않는 지역은 -4.68℃~-6.37℃까지 LST의 온도차가 넓었다. 16,000㎡~35,000㎡의 범위에 있는 지역은 조사되지 못했다.

Figure 4의 결과를 보면 수자원 평균 LST(29.72℃)를 낮추기 위해서는 최소 16,000㎡이상은 필요할 것으로 보인다. 설명력이 낮은 이유는 16,000㎡이하의 수자원 LST 분포가 넓었기 때문으로 해석된다. 다만, 서서울호수공원이 15,774㎡로 16,000㎡에 근접하지만 평균온도에 비해 3.73℃ 높게 나타났기 때문에 서울시 지표면 온도를 낮추기 위해서는 더 넓은 수자원 면적이 필요할 것으로 사료된다. 따라서 16,000㎡이상이라도 주변 환경에 따라 LST는 달라질 수 있음을 알 수 있다. 하지만, 추후 연구에서 각 지역의 LST의 평균값을 활용하여 비선형회귀분석을 통한 설명력 확보와 표면온도 저감을 위한 최소한의 수자원 면적, 수자원 면적 분포에 따른 표면온도 분포 모델 등을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

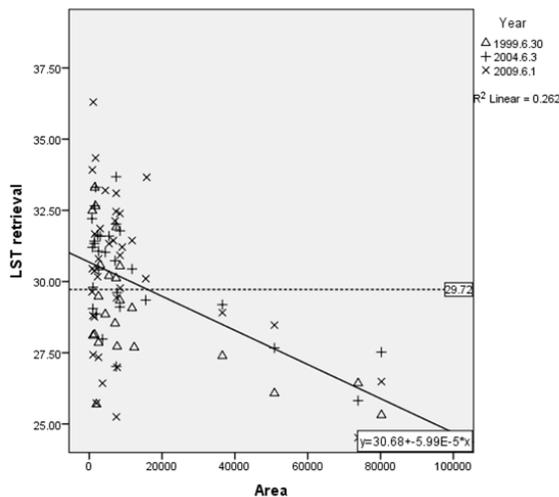


Figure. 4. LST distribution of ponds and lakes in Seoul

4. 결론

본 연구는 서울시 지역 내 다양한 수자원을 대상으로 면적이 증가함에 따라 LST변화가 어떻게 나타나는지를 확인해 보았다. 분석 자료는 대규모 자료를 쉽게 이용할 수 있으며, 주기적인 데이터 획득이 쉬운 Landsat TM/ETM 인공위성 자료를 이용하였다. 또한, 공원 및 공공기관시설의 연못 및 호수 자료를 얻기 위해 5년마다 갱신되는 서울시 도시생태현황도를 활용하였다.

Landsat TM/ETM의 Band 6를 활용하여 계산된 LST는 기존 연구문헌을 통해 정사보정 및 대기보정이 이루어졌다. 도시생태현황도에 나타난 공원 및 공공기관시설의 연못 및 호수 자료를 활용하여

보정된 LST 자료와 함께 분석되었다.

가장 낮은 LST 분포를 보인 곳은 한강 지역으로 약 21℃ 전후로 나타났다. 100,000㎡이하 지역은 넓은 범위의 LST 분포를 보였으며, 면적이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 특히, 20,000㎡이하의 면적은 매우 다양한 온도 편차를 보이고 있었다.

조사된 주요 공원 및 공공기관시설 내 연못 및 호수지역은 총 25 지역에서 37 곳이었다. 가장 높은 온도를 보인 공원 지역은 문래근린공원 내 연못(36.30℃), 역사유적지역은 덕수궁 내 연못(33.92℃), 그리고 공공기관시설 지역은 전쟁기념관 연못(33.68℃)로 나타났다. 가장 낮은 LST를 보인 공원 지역은 제2롯데월드 앞에 위치한 석촌호수(24.52℃), 역사유적지역은 창덕궁 안에 위치한 관람지(25.73℃), 그리고 공공기관시설 지역은 삼육대학교 내 위치한 제명호(25.25℃)로 나타났다.

주변 지역의 포장도로 및 건물의 밀집된 지역은 높은 LST를 보였으며, 주변에 녹지가 풍부한 지역은 낮은 LST를 보였다. 또한 같은 시기에 추출된 수자원 LST에서 비슷한 크기의 면적을 가지고 있는 수자원 LST 분포는 넓은 범위를 차지하고 있었다. 그 이유는 주변 환경의 물리적 구성요소(콘크리트, 아스팔트, 식물 등)의 규모에 따라 불투수표면적의 비율이 결정되어 넓은 LST 분포 범위를 갖게 된 것으로 해석된다. 따라서 주변 환경의 물리적 구성요소에 따라 LST 편차는 다양하게 나타날 수 있다. 향후 각 수자원 주변 건물 밀도, 녹지 풍부도 등을 분석하여 해당 수자원 LST의 영향 요소 및 LST 증감의 기여도를 확인해 볼 필요가 있다.

큰 면적일수록 LST는 낮아져 어떤 한 온도에 수렴하는 경향을 보였지만, 작은 면적의 LST의 온도는 편차가 매우 컸다. 다시 말하면, 큰 면적의 수자원은 주변 환경으로부터 영향을 적게 받아 LST 온도가 낮았지만, 작은 면적의 수자원은 주변 환경에 더 많이 노출되어 LST 분포의 범위가 넓었다. 따라서 큰 규모의 수자원 면적을 확대하기 위한 효율적인 정책방안이 마련될 필요가 있으며 작은 면적의 수자원이더라도 주변 환경의 녹지 확충 및 녹지 구조 개선을 통해 서울시 전체 온도 저감을 위한 방안이 모색될 필요가 있다.

본 연구는 각 수자원 개별 면적에 의한 LST를 확인함으로써 면적 증가에 따른 LST의 변화를 가시적으로 확인하였으며 주요 공원 및 공공기관시설의 LST를 비교함으로써 수자원 지역 구성에 유용한 정보를 제공할 수 있다. 하지만, 몇 가지 한계점 및 아쉬운 점을 가지고 있다.

첫 번째는 Landsat TM/ETM으로 분석된 LST의 해상도 900m² (30m×30m)이기 때문에 그 이하의 면적을 지닌 수자원은 그 면적에 대한 LST를 대표할 수 없다. 따라서 실제 수면의 온도와 다를 수 있다. 다만, 해당 픽셀 안에 수자원이 포함되어 있기 때문에 그 픽셀에 대한 간접적인 LST를 확인한 것으로 더 좋은 해상도를 통한 분석이 이루어진다면 자료의 질을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

두 번째는 시기의 문제이다. 각 지역의 LST는 6월 한 시기에 추출된 자료이며 오전 11시에 찍힌 영상이다. 여름을 대표한다거나 그 외 시기를 대표할 수 없다. 하지만, 위성영상을 통해 얻어진 LST는 토지피복에 따른 온도분포를 확인하기 위한 수단으로 적절할 수 있다. 또한 각 해당연도 6월 초와 6월 말에 조사된 결과를

볼 때 시기적 차이로 인하여 해석의 오류가 발생할 가능성이 있다. 하지만 동일한 날짜에 자료를 획득하는 것은 위성궤도 및 기후 환경 등에 따른 문제로 인한 데이터 확보에 한계성을 가지고 있다. 따라서 반복적인 자료 획득이 쉽고 구름 간섭에서 자유로운 기기로 드론(drone)과 같은 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)을 활용하여 지표 온도뿐만 아니라 대기 온도 관측을 병행하여 도시 열섬 현상에 대한 연구가 진행될 필요가 있다.

세 번째는 도시생태현황도 자료에 나타나지 않은 수자원 자료들로 인해 LST 산출을 하지 못한 점이다. 이러한 자료들은 개발로 인해 사라졌거나 새로 생긴 수자원 또는 조사되지 못한 자료들이다. 앞으로의 자료는 각 지역의 대학, 공원, 공공시설에 수자원 자료들이 더욱 포함되었으면 한다.

네 번째는 2015년 6월 18일 서울시 도시생태현황도가 개시되었는데, 이에 대한 비교 분석을 하지 못한 점은 아쉬운 부분이다. 2014년 6월 영상은 구름 간섭이 심하여 본 연구 분석에 활용되지 못하였다. 향후 2014년 5월과 7월, 2015년 6월 영상을 분석한 이후 현재 분석된 자료와 비교 검증할 필요가 있다.

서울은 밀집된 건물과 인구 집중화로 인하여 도시 열섬 현상으로부터 다양한 환경 문제를 안고 있다. 도시 지역 내 수자원은 도시 열섬 현상을 완화하기 위한 하나의 수단으로 중요한 역할을 한다. 본 연구 결과를 바탕으로 서울시 지역 내 큰 규모의 수자원을 마련하거나 작은 규모의 수자원일지라도 주변 지역에 대한 온도 저감 정책들을 모색할 필요가 있다. 특히 서울시 내 분포하고 있는 기존 수자원을 활용하여 Cooling effect를 보다 증진할 수 있는 방안들이 함께 시행되길 바란다.

Acknowledgements

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: 2017043 B10-1719-BB01)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Reference

[1] Bhattacharya B. K., Mallick, K., Padmanabhan, N., Patel, N. K., and J. S. Parihar, "Retrieval of land surface albedo and temperature using data from the Indian geostationary satellite: a case study for the winter months", *International Journal of Remote Sensing*, 2009

[2] Bonan G. B. , "Ecological climatology: concepts and applications". Cambridge: Cambridge university press, 2002

[3] Buyantuyev, A., & Wu, J. , "Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns", *Landscape Ecology*, 2010

[4] 차재규, 정영호, 류지원, 김대욱, "도시열섬현상 완화를 위한 녹지네트워크 및 바람길 구축", *한국지리정보학회지*, 제 10권 제1호, 2007 // (Cha, J. G., Jung E. H. Ryu, J. W. and D. W. Kim, "Constructing a green network and wind corridor to alleviate the urban heat-island". *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.10, No. 1, 2007)

[5] 채효석, 송영수, "Landsat TM 자료를 이용한 지표면 수문인자 변화 분석", *한국지리정보학회지*, 제 2권 제3호, 1999 // (Chae H. and Y. Song, "An analysis on the changes of the surface hydrological parameters using landsat TM data", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 2, No. 3, 1999)

[6] 채서일, "사회조사방법론", 서울: B&M books, 2005 // (Chae S. I. "social science search methodology", Seoul: B&M books, 2005)

[7] Chander, G., and B. Markham, "Revised landsat-5 tm radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003

[8] "Characteristics of urban heat-island phenomena caused by climate changes in Seoul, and alternative urban design approaches for their improvements", *Journal of Urban Design Institute of Korea*,

[9] 조성모, 윤용환, 류을렬, 박봉주, 김원태, "도시내 용도지역의 토지피복 형태가 열섬현상에 미치는 영향", *한국환경과학회지*, 제 18권 제 2호, 2009 // (Cho, S., Yoon, Y., Ryu, E., Park, B. and W. Kim, "The Influence of land cover and zoning on the urban heat island in Cheongju", *Journal of the Environmental Sciences*, Vol.18, No. 2, 2009)

[10] 도후조, 이정민, 나정화, "도시 지표면 온도분포 특성 및 열섬완화방안", *한국환경과학회지*, 제 16권 제 5호, 2007 // (Do H., Lee, J. and J. Ra, "A study on the distribution characteristic of urban surface temperature and urban heat island effects", *Journal of the Environmental Sciences*, Vol.16, No. 5, 2007)

[11] Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J. S., Hook, S. J., and A. B. Kahle, "A temperature and emissivity separation algorithm for advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1998

[12] 지준범, 최영진, "수도권 지표특성 분석을 위한 Landsat 자료의 활용", *한국지구과학회지*, 제 35권 제 1호, 2014 // (Jee, J. and Y. Choi, "Conjugation of landsat data for analysis of the land surface properties in capital area", *Journal of Korean Earth Science Society*, Vol35, No. 1, 2014)

[13] Jiménez-Muñoz, J. C., and J. A. Sobrino, "A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data", *Journal of Geophysical Research*, 2003

[14] 조현길, 안태원, "도시기온에 작용하는 입체적 토지피복의 영향", *한국조경학회지*, 제 37권 제 3호, 2009 // (Jo. H. and T. Ahn, "Impacts of three-dimensional land cover on urban air temperature", *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, Vol.37, No. 3, 2009)

[15] 조명희, 조윤원, 김성재, "도시복원사업의 열 환경 변화 분석을 위한 ASTER 열적외 위성영상자료의 활용 -청계천 복원사업을 사례로-", *한국지리정보학회지*, 제 12권 제 1호, 2009 // (Jo, M., Jo, Y. and S. Kim, "The application of ASTER TIR satellite imagery data for surface temperature change analysis: A case study of Cheonggye stream restoration project", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.12, No. 1, 2009)

[16] 정길섭, 구슬, 유훈희, "Landsat 위성영상에 의한 용도지역 온도변화분석", *한국지형공간정보학회*, 제 19권 제 2호, 2011 // (Jung, G. S., Koo, S. and H. H. Yoo, "Temperature change analysis for land use zoning using landsat satellite imagery", *Journal of the Korea Society For Geospatial Information System*, Vol.19, No. 2, 2011)

[17] 강준목, 가명석, 이성순, 박준규, "Landsat 영상을 이용한 도심의 열변화 탐지", *한국측량학회지*, 제 28권 제 2호, 2010 // (Kang, J. M. Ka, M. S., Lee, S. S. and J. K. Park, "Detection of heat change in urban center using landsat imagery", *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and cartography*, Vol.28 No. 2, 2010)

[18] 김기호, 김수봉, 정영호, "도시열섬현상 저감을 위한 그린네트워크 구축 방안에 관한 연구 - 대구광역시 달서구를 대상으로-", *한국환경과학회지*, 제 13권 제 6호, 2004 // (Kim, G. H., Kim, S. and E. Jung, "A study on green net-work construction for urban heat island mitigation in Dalseo district, Daegu metropolitan city.", *Journal of the Environmental Sciences*, Vol.13, No. 6, 2004)

[19] 김미경, 김상필, 김남훈, 손홍규, "Landsat 영상을 이용한 세종특별자치시의 도시화와 열섬현상 분석", *대한토목학회논문집*, 제 34권 제 3호, 2014 // (Kim, M., Kim, S., Kim, N. and H. Sohn, "Urbanization and urban heat island analysis using Landsat imagery: Sejong city as a case study", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.34, No. 3, 2014)

[20] Kong, F., Yin, H., James, P., Hutyrá, L. R. and H. S. He, "Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China", *Landscape and Urban Planning*, 2014

[21] 권영아, 이현형, "도시 녹지와 그 주변 기온의 공간적 분포 -서울시 종로구 창경궁, 창덕궁, 창덕궁, 종묘 주변을 사례로-, *대한지리학회지*, 제 36권 제 2호, 2001 // (Kwon Y. and H. Lee, "Spatial distribution of temperature in and around urban parks: A case study of around Changkyeong palace, Changdeok palace and Jongmyo in Seoul", *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol.36, No. 2, 2001)

[22] Landsat Project Science Office, "Landsat 7 Science Data User's

- Handbook”, NASA’s Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 2002
- [23] Liu, L., and Y. Zhang, “Urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER Data: A case study in Hong Kong”, *Remote Sensing* 3, 2011
- [24] 오규식, 홍재주, “도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구”, *한국도시설계학회지*, 제 6권 제 1호, 2005 // (Oh, K., and J. Hong, “The relationship between urban spatial elements and the urban heat island effect”, *Journal of Urban Design Institute of Korea*, Vol.6, No. 1, 2005)
- [25] 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조, “조경계획 일반: 대도시에 있어 냉성의 유형별 온도완화효과 - 대구광역시의 사례 연구 -, *한국조경학회지*, 제 28권 제 1호, 2000 // (Park I., Jang, G., Kim, J., Park, C. and D. Seo, “Effect of cool islands on the thermal mitigation in urban area: case study of Taegu metropolitan city“, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, Vol.28, No. 1, 2000)
- [26] 박기홍, 서명석, “아시아- 오세아니아 지역에서의 세 지표면 방출률 자료 (MODIS, CIMSS, KNU) 상호비교”, *대한원격탐사학회지*, 제 29권 제 2호, 2013 // (Park, K. H. and M. S. Suh, “Inter-comparison of three land surface emissivity data sets (MODIS, CIMSS, KNU) in the Asian-Oceanian regions”, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, Vol.29, No. 2, 2013)
- [27] 박민호, 이점숙, 박정일, “Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용한 한평만지역 지표면온도와 NDVI의 상관관계 분석”, *한국지적정보학회지*, 제 10권 제 2호, 2008 // (Park, M. H., Lee, J. S. and J. I. Park, “Jung II A Relationship Analysis among Land Surface Temperature and NDVI in Hampyeong Bay Using Landsat TM/ETM+ Satellite Images, *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, Vol.10, No. 2, 2008)
- [28] Qin, Z., Karnieli, a., and Berliner, P., “A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region”. *International Journal of Remote Sensing*, 2001
- [29] Ruxton, G. D., and G. Beauchamp, “Some suggestions about appropriate use of the Kruskal-Wallis test”. *Animal Behaviour*
- [30] Wu, J. J., “Making the case for landscape ecology an effective approach to urban sustainability”. *Landscape Journal*, 2008
- [31] Yuan, F., and M. E. Bauer, “Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery” *Remote Sensing of Environment*, 2007
- [32] 윤희천, 김민규, 정갑용, “도시열섬 완화를 위한 녹지증가에 따른 온도 변화 분석”, *한국측량학회지*, 제 31권 제 2호, 2013 // (Yun, H. C., Kim, M. G., and K. Y. Jung, “Analysis of temperature change by forest growth for mitigation of the urban heat island”, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.31, No. 2, 2013)
- [33] 국립기상과학원, “서울의 기후변화”, 2009 // (National Institute of Meteorological Sciences, “Climate change of Seoul”, 2009)
- [34] 김기중, 안영수, “ 도시열섬 지역에 대한 정의 및 구분 방법론에 관한 비교연구”, *한국지역학회지*, 제 33권 제 2호, 2017 // (Kim, K. and Y. An, “An empirical study on the definition and classification methodology of urban heat island areas”, *Journal of Korean Regional Science Association*, Vol.33, No. 2, 2017)
- [35] <http://glovis.usgs.gov/>