

# 도시 고온현상에서의 토지피복 유형과 체감온도 간 관계분석\*

## Analyzing the Relationships between Land Cover Type and Sensible Temperature in Urban Heat Wave\*

김동현\*\* · 송슬기\*\*\*  
Kim, Donghyun · Song, Seul-Kii

### Abstract

The purpose of this study is to identify a relationship between sensible temperature in summer and land cover type. Through this, it is possible to form strategies for land use and urban planning which can reduce sensible temperature in summer. To achieve this, multiple regression analyses were conducted based on 80 of the automatic weather station (AWS) point of atmospheric temperature, sensible temperature, and land cover at a radius of 500 m around the AWS point. The heat index was used for measuring sensible temperature. Moreover, considering that abnormally high summer temperature phenomena such as tropical nights have different characteristics depending on the time of the day, air temperature and sensible temperature in daytime and night time were studied separately. The results of the analysis showed that an increase in green area was effective in lowering both atmospheric and sensible temperature. Unlike atmospheric temperature, for lowering sensible temperature in summer nights, a decrease in transportation area was more efficient than an increase in green area. On the other hand, for atmospheric and sensible temperatures during summer days, it is efficient to not just keep expanding green areas, but to also have large and nearby patches of non-urban area.

키 워 드 · 도시 고온현상, 토지이용, 체감온도, 열지수, 저영향개발기법

Keywords · Urban Heat Wave, Land Use, Sensible Temperature, Heat Index, Low Impact Development

### I. 연구의 배경 및 목적

지구온난화와 이에 따른 기후변화는 자연재해 및 생태계 파괴와 같은 환경 문제를 야기할 뿐 아니라 사회경제적 측면에서 지속가능한 삶을 위협하고 있다(이나영 외, 2014). 최근에는 이러한 기후변화로 인해 발생하는 다양한 문제들 중 폭염, 열대야, 열섬현상 등과 같은 이상기온현상에 대한 논의와 관

심이 증가하고 있다. 도시의 온도가 지속적으로 높아지는 이유 중 하나는 급속한 도시화와 무분별한 개발로 인하여 도시 내 녹지공간의 감소한 것을 들 수 있으며, 따라서 이를 해결하고 완화하는데 있어 도시계획 및 토지이용계획이 중요한 역할을 수행할 수 있다(Jusuf et al, 2007). 이에 많은 연구들에서 온도와 토지이용 사이의 관계를 분석하고 검증해 왔다(오규식 외, 2013).

\* 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C04)으로 한국환경정책·평가연구원의 「LID기반 물순환 도시 조성을 위한 계획설계 통합모델 및 적용기술 개발(4차년도)」연구과제를 통하여 수행되었습니다.

\*\* Korea Environment Institute (First author, Corresponding author: donghyunkim@kei.re.kr)

\*\*\* Korea Environment Institute (sksong@kei.re.kr)

고온의 날씨에서 사람들이 느끼는 날씨의 쾌적함 혹은 불쾌함에는 실제 대기의 온도 뿐 아니라 대기의 습도나 바람 등이 중요한 요소로 작용하게 된다(Schoen, 2005). 또한 인간은 주위의 기온이 변화하여도 심부 온도는 37℃ 내외로 유지해야 하므로 이러한 기온의 상승은 신체가 받는 스트레스 증가, 즉 온열질환 발병 증가를 의미한다(김영준 외, 2014). 온열질환의 경우, 열쾌적 상태가 아닌 환경에 노출될 때 그 가능성이 높아지는데, 열쾌적 상태란 사람들이 실제 체감하는 열 환경에 대한 상태로 나타낸다(김영준 외, 2014). 뿐만 아니라 체감온도에 따라 냉난방 시설의 사용량이 증가하므로 전력수요 추정에도 있어서도 체감온도에 대한 고려가 중요해지고 있다(박광수, 2012). 이렇듯 최근 온열질환자 및 폭염 취약계층, 에너지 저감 등에 대한 관심이 증가하면서 대기의 온도보다 사람들이 실제 체감하는 온도에 대한 중요성이 높아지고 있다.

하지만 체감온도와 토지이용 및 피복 사이의 관계를 분석한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 체감온도와 토지이용 및 토지피복과의 관계를 알아보고자 한다. 기후변화로 인한 온도 상승과 토지이용 및 피복 특성 사이의 연관성을 파악하는 것은 고온의 영향을 완화하기 위해 필요한 수단 및 대책을 선정함에 있어서 매우 중요하다(Guo et al, 2015). 연구의 분석결과는 토지이용계획단계에서 체감온도를 완화하는데 있어 적용 가능한 방안을 모색하는데 기여할 수 있을 것이다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 온도변화에 대한 토지이용의 영향

기온의 상승은 도시화로 인한 토지이용 및 피복의 변화로 인하여 발생하는 대표적인 기상현상이라 할 수 있다(김운수·김학열, 2001). 이러한 온도의

상승은 도시를 시원하게 유지시킬 수 있는 그늘이나 녹지 등의 자연지역이 아스팔트 및 콘크리트 등의 건조 환경으로 변모함으로 인해 발생한다(Rinner and Hussain, 2011).

일반적으로 토지피복의 변화는 토지의 열용량 수지의 차이를 유발함으로써 지표면의 온도분포를 변이를 가져오며, 그 결과 도시에 도시열섬현상 및 대기오염, 에너지의 과다소비 등의 직간접적인 영향을 미치게 된다(김운수·김학열, 2001). 또한 녹지와 토양의 공간적 변화는 증발산이라고 하는 자연적 열저감 메커니즘의 효율성을 저해함으로써 열의 정체를 유발한다(Stone and Rodgers, 2001). 이는 도시가 낮에는 막대한 열에너지를 흡수하는 반면, 오후부터 저녁까지 저장된 열을 재배출함에 있어서 오랜 시간이 소요된다는 것을 의미한다(Stone and Rodgers, 2001).

대기온도 및 지표면온도와 토지이용간의 관계를 분석하기 위한 실증적인 연구들이 지속되어오고 있는 가운데 이러한 연구들은 대체로 녹지면적 증가에 따른 온도저감(Lo and Quattrochi, 2003; Chen et al, 2006; Solecki et al, 2005; 김현욱·염종민, 2012) 또는 콘크리트, 아스팔트 등의 불투수층, 교통시설지, 건축지역 등 도시지역 면적 증가에 따른 온도상승(Lo and Quattrochi, 2003; Chen et al, 2006; Yuan and Bauer, 2006; Jusuf et al, 2007; 김현욱·염종민, 2012; 김운수·김학열, 2001)에 초점을 맞추고 있다.

Solecki et al(2005)은 녹지 증가 및 도시화 지역 감소가 도시지역의 온도를 저감하여 에너지 소비와 이와 관련된 비용을 줄임으로써 경제적으로도 효과가 있다고 설명하였다. 뿐만 아니라 이를 통한 온도의 저감은 오존 등의 대기오염인자를 저감함으로써 건강상의 위해를 줄일 수 있다고 논의하고 있다(Solecki et al, 2005). 한편 아파트 단지 내 토양 피복과 온도의 관계를 분석을 통해 김운수·김학열

(2001)은 기존 연구들에서 나타난 녹지와 온도와 관계와는 달리 불투수 면적을 1㎡ 이하의 녹지로 개선하였을 때, 미기상의 변화에 차이가 보이지 않음을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 김운수·김학열(2001)은 한정된 토지 피복의 변화보다는 도시지역 전체의 균형적인 토지피복 개선 노력이 도시 미기후 조절 효과를 발생시킬 수 있을 것이라 제안하였다.

다음으로 토지이용과 온도와의 관계를 분석한 연구들 중 그 관계를 도시지역과 비도시지역으로 나누어 비교한 연구들이 있다. 먼저 Rosenzweig et al(2005)은 Newark와 Camden 지역을 대상으로 도시와 비도시지역 간의 온도 차이를 분석한 결과, 도시지역의 최저온도가 비도시지역에 비해 1.5~3℃ 높게 나타남을 제시하였다. Mishra et al(2015) 연구에서는 1973-2012년 사이 도시지역과 비도시지역 간 차이를 장기적으로 분석하였다. 도시지역과 비도시지역 모두 연간 고온일수의 증가를 경험하였으나 그 증가폭은 도시지역이 더욱 크게 나타났다. 한반도의 열대야 특성을 파악하고자 한 최광용, 권원태(2005)는 열대야 발생에 영향을 줄 수 있는 요인으로 위도 및 해발고도, 해양 인접성 등과 같은 자연적인 요인 뿐 아니라 도시화 및 인구밀도 등의 요인을 들 수 있다고 설명하였다. 이 연구에서는 도시화 및 산업화가 이루어진 대도시들에서 타 지역보다 이른 시기(7월 초)부터 새벽열대야(일 최저 기온 25℃ 이상)가 발생하였으며 7-8월의 일별 새벽열대야 발생률 역시 타 지역 및 주변지역보다 높게 나타남을 확인하였다(최광용·권원태, 2005). 또한 이 연구에서는 토지피복의 변화 역시 열대야 특성에 영향을 미치는 요인으로 확인되었는데, 인구밀도가 높은 대도시 및 산업도시에서 연평균 열대야 발생빈도가 1990년도 이후 증가하였을 뿐 아니라 1990년대 이후 도시화가 급격히 이루어지 수업 및 원주 등에서도 연평균 열대야 발생 빈도 10회 이상

증가한 것으로 나타났다(최광용·권원태, 2005).

## 2. 체감온도와 고온환경에 대한 논의

폭염 등의 이상고온현상은 인구와 인프라가 집중되어 있는 도시지역에 있어 치명적인 재해로 작용한다(이성희·김정곤, 2014). 지구온난화로 인한 폭염의 빈도 및 강도, 지속시간은 지속적으로 증가될 것으로 예상되며 이와 함께 도시의 인구집중과 고령화로 인하여 폭염에 대한 취약계층이 증가함으로써 대형 인명피해의 위험성이 더욱 가중될 것으로 보인다(이대근 외, 2010).

이상고온으로 인한 영향 역시 다양한 부문에서 나타나고 있다. 먼저 공중 보건의 측면에서 살펴보면, 국내의 고온으로 인한 건강 피해가 지속적으로 보고되고 있는 실정이다(박정임 외, 2005). 이상고온 현상은 사망과 관련성이 높은 열사병이나 심혈관·신장·호흡기·대사 등과 관련된 각종 질환을 유발하여 공중보건에 큰 피해를 가져온다(명수정, 2009).

아울러, 갑작스런 온도 상승은 생리학적으로 온도 변화에 적응할 시간이 충분하지 못해 공중보건 및 개인의 건강에 큰 피해를 초래하게 된다(명수정, 2009). 우리나라의 대도시의 야간에 발생하는 무더위, 열대야 현상 역시 심혈관계 질환을 가지고 있는 노약자의 사망자 수를 증가시키는 원인이 된다(최광용 외, 2005).

이러한 온열질환에 대한 문제는 대기의 온도보다는 체감온도와 관련이 높다(김영준 외, 2014). 여름철의 체감온도는 습도와 관련이 높다. Barreca(2012)는 1973년부터 2002년까지 계열 자료를 이용해 미국지역에서의 습도와 사망률 관계를 분석하는데 중점을 두었다. 이 연구를 통해 Barreca(2012)는 상대적으로 온도가 낮고 건조한 지역보다 온도가 높고 습한 지역일수록 사망률이 높음을 확인하였다(Barreca, 2012). 앞서 설명한 열대야 현상의 경우, 북태평양의 고기압

의 영향으로 인하여 여름철 야간에 한반도에 자주 발생하는 고온다습한 무더위를 일컫는 용어로, 이 역시 체감온도와 영향이 있다(최광용, 권원태, 2005). 또한 NOAA에서 발표한 기온암계치별 인체 생리반응에 대한 기준을 살펴보면 체감온도를 나타내는 Heat Index가 80°F(26.7°C)인 환경에 장시간 노출 혹은 육체적 활동을 하였을 경우, 열스트레스가 누적되는 것으로 나타났다(최광용, 권원태, 2005). 따라서 체감온도는 기온과 함께 기후변화로 인한 건강상의 영향을 분석할 때 중요한 고려대상이다.

기온의 상승은 에너지 소비 변동에도 영향을 미칠 수 있다. 대기 온도가 상승하면 건물들의 냉난방 부하가 상승하고 이는 에너지 소비 및 침투 에너지 소비량, 에너지 비용 등을 상승시키기 때문이다(Synnefa et al, 2006). 일례로, 2011년 9월 기상 이변으로 인해 기온이 급격히 상승함에 따라 전국적인 대규모 전정사태가 야기되었으며(박광수, 2012) 열대야 현상의 강도와 빈도가 증가함에 따라 야간 전력 사용량 급증으로 인한 과부하 발생으로 전력공급이 중단되는 사례도 경험하였다(최광용, 권원태, 2005). 최근 전력수요 추정에 있어서도 기온 뿐만 아니라 습도를 중요한 변수로 보고 있는데 이는 전력수요는 대기의 온도보다는 개인이 느끼는 체감온도가 더욱 관련이 높기 때문이다(박광수, 2012). 열적으로 쾌적한 외부 환경은 더 적은 에너지 사용을 유도하면서 내부의 환경에도 긍정적인 영향을 미치게 된다(Johansson and Emmanuel, 2006). 특히 현대는 중위 및 상위 소득 계층을 필두로 건물 내부에서 더 많은 시간을 보내는 등 도시민들의 생활방식이 변모하였고 이러한 변화는 냉난방 시설사용의 증가 등 에너지 소비량을 상승시킨다(Johansson and Emmanuel, 2006). 냉난방 시설사용의 증가는 다시 외부 온도 상승에 기여하고 과도한 열이 도시로 배출되면서 온도저감을 위한 더 많은 에너지가 필요하게 되는 등의 악순환이 지

속되고 있다(Johansson and Emmanuel, 2006). 따라서 체감온도의 감소와 열적 쾌적성의 상승은 이러한 악순환을 막기 위해 고려되어야 한다.

체감온도와 관련된 열적 쾌적성(thermal comfort)은 인간의 Well-being의 측면에서 중요성을 가지므로(Budd, 2001; 2008) 인간에게 있어 열섬현상이나 온도상승 그 자체보다 더 관련성이 높은 논의이다(Johansson and Emmanuel, 2006). 도시의 형태 및 요소는 도시의 기후, 특히 외부 환경의 열적 쾌적성에 중대한 영향을 미친다(Johansson and Emmanuel, 2006). 하지만 대기 및 지표면 온도와 관련하여 토지 피복 유형별 효과를 고찰한 연구는 현재까지 지속적으로 추진되어 온 반면, 체감온도 및 열적 쾌적성과 관련한 토지 피복 유형별 효과에 대한 연구들은 그에 비해 관심을 받지 못하고 있는 실정이다(Brandani et al., 2015). 이와 관련된 연구로는 네덜란드 도시들을 대상으로 녹지 및 수역 면적 등 도시의 형태학적 기준과 열섬현상 및 열적 쾌적성 사이의 관계를 설명하기 위한 Steeneveld et al.(2011)의 연구가 있다. 이 연구에서는 대상이 된 도시 중 약 50%가 연중 7일 이상 열스트레스를 경험하고 있으며 이러한 상황에서 도시 내 녹지공간의 증가는 열섬현상 완화 등 도시의 온도저감에 효과가 있다고 설명했다(Steeneveld et al., 2011).

### 3. 체감온도의 측정에 대한 논의

Deosthali(1999)와 Emmanuel(2005)에서는 온도-습도 지수(Temperature Humidity Index)를 통해 체감온도와 관련된 열적 쾌적성을 측정하였다.

온도-습도 지수의 하나의 AT(확실 온도, Apparent Temperature)는 Steadman(1979, 1984)에서 출발한 개념으로, 이는 사람이 이슬점(14°C)과 관련된 보통의 습도에서 사람들이 느끼는 온도를 나타내며 바람, 온도, 습도, 태양복사열, 네 가지를 고려하여 식(1)과 같이 산출한다(Schoen, 2005).

(식 1)

$$AT = Ta + 0.348e - 0.70ws + 0.70 \frac{Q}{ws + 10} - 4.25$$

Ta = 온도  
e = 습도  
ws = 바람  
Q = 태양복사열

고온다습한 환경에서 폭염특보의 효율성을 높이고 열파에 대한 대응을 체계적으로 하기 위하여 미국 기상청에서는 HI(Heat Index)를 개발하여 사용하고 있다(이나영 외, 2014). HI는 앞서 설명한 Steadman의 확실 온도에서 고안된 개념으로 온도와 습도를 통해 사람이 체감하는 열적 쾌적성을 나타낸다(Browning and Walawender, 2009).

(식 2)

$$HI(^{\circ}F) = 42.379 + 2.04901523 \times T + 10.14333127 \times RH - 0.22475541 \times T \times RH - 0.00683783 \times T^2 - 0.05481717 \times RH^2 + 0.00122874 \times T^2 \times RH + 0.00085282 \times T \times RH^2 - 0.00000199 \times T^2 \times RH^2$$

T = 온도 (°F)  
RH = 상대습도 (%)

식(2)는 HI의 값을 산출하는 식이다(김영준 외, 2014). HI는 같은 기온이라 할지라도 습도에 따라 그 값이 달라지며 일반적으로 기온 27°C, 상대 습도 40% 이상인 경우에만 그 값이 의미를 가지므로(김영준 외, 2014) 여름철 체감온도 측정에 사용된다. 겨울철 체감온도의 경우 식(3)과 같은 WCI(Wind Chill Index)를 사용하며 이 역시 Steadman의 확실 온도에서 고안된 개념이다(Browning and Walawender, 2009).

(식 3)

$$\text{체감온도 } (^{\circ}C) = 13.12 + 0.6215 \times T - 11.37 \times 0.16 V^2 + 0.3965 \times 0.16 V^2 \times T$$

T = 기온 (°C)  
V = 풍속 (km/h)

(그림 1)은 NOAA의 HI 차트로 80°F(26.7°C) 이상은 주의, 91°F(32.8°C) 이상은 매우 주의, 103°F(39.4°C) 이상은 위험, 126°F(52.2°C) 이상은 매우 위험을 의미한다. 기온임계치별 생리반응 기준이 되는 HI 80°F(26.7°C)에서 습도의 영향을 배제하면 약 25°C 정도로, 이는 열대야 기준이 되는 일 최저 기온 25°C와 유사한 수치라 할 수 있다(최광용 외, 2002; 최광용·권원태, 2005).

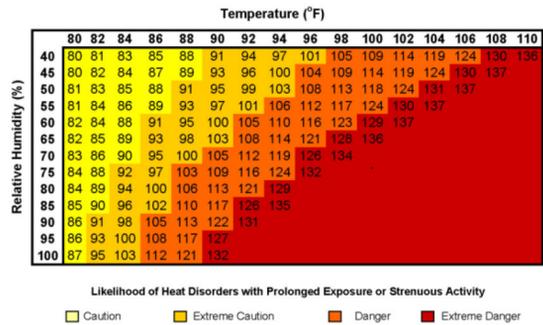


그림 1. NOAA의 Heat Index 차트  
Figure 1. Heat index chart of NOAA

Sources : National Weather Service Weather Forecast Office(<http://www.srh.noaa.gov/ama/?n=heatindex>)

### III. 연구 방법

#### 1. 연구 가설

본 연구의 목적은 체감온도와 토지이용 특성 사이에 존재하는 관계 검증에 대한 것이다. 앞서 선행연구들을 살펴본 결과, 토지이용과 대기 및 지표면 온도 사이에서는 녹지지역의 면적의 증가가 온도 저감에 효과적으로 나타난 반면, 도시화 지역 면적의 증가는 온도 상승에 원인이 되는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 체감온도 저감 역시 대기 및 지표면 온도에 대한 연구에서와 마찬가지로 녹지공간의 증가와 도시화 지역의 감소가 효과가 있을 것이라는 가설을 설정하였다.

## 2. 연구의 범위

연구의 공간적 범위는 조사의 대상이 되는 80개 자동기상관측장비(AWS)의 관측지점 반경 500m이다. 전국의 AWS 관측은 573개 지점에서 이루어지고 있으나 AWS 관측지점 중 습도와 대기온도가 함께 측정되는 지점은 80개가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 대기온도와 습도가 모두 관측되는 80개 지점을 조사의 범위로 한정하였다. 관측지점의 위치는 <그림 2>와 같다.

이렇게 기상 관측 자료를 사용할 경우, 관측지점이 존재하지 않는 지역의 값을 알기 위해서는 보간법을 사용하여야 한다. 하지만 이 경우 미관측 지점의 값이 왜곡되어 나타날 수 있다는 한계가 있다. 이를 방지하고자 이 연구는 Stewart and Oke(2012)가 제시한 국지기후대(Local Climate Zone)에 대한 개념을 토대로 AWS 반경거리를 활용하였다. AWS를 기준으로 무엇을 국지기후대로 볼 것인가에 대해 수백m를 기준으로 하고 있는데(홍제우 외, 2013), 대기 온도와 토지이용과의 관계를 살펴보고 있는 김운수·김학열(2001)과 박유나 외(2014), 조현길·안태현(2009) 등에서는 각 AWS 지점으로부터 500m 반경을 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서 역시 다음의 <그림 3>과 같이 500m 반경의 지역을 대상으로 분석을 실시한다. 공간의 대상이 되는 토지피복 및 유형의 경우, 환경부에서 제공하고 있는 중분류 토지피복도를 활용하였다.

다음은 연구의 시간적 범위이다. 앞서 이론적 고찰을 통하여, 기후변화로 인한 이상고온 현상과 관련한 체감온도 상승이 취약계층을 포함한 도시민들의 건강을 위협하고 에너지 소비와 비용을 증가시키는 등 여러 문제가 발생하고 있음을 확인하였다. 이에 본 연구는 여름철 체감온도를 저감시키기 위한 토지피복 유형 및 토지이용 특성을 파악하고자 한다. 분석에 사용된 대기 온도 및 습도, 강수량 등

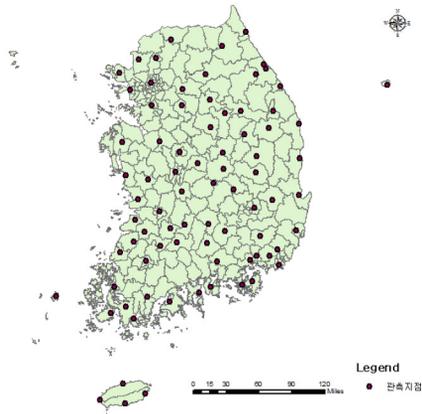


그림 2. AWS 관측지점  
Figure 2. Observing point of AWS

Sources: AWS point data from Korea Meteorological Administration



그림 3. AWS 관측지점 500m 반경 예시  
Figure 3. Example for 500m radius in observing point of AWS

Sources: Land cover map of Ministry of Environment and AWS point data from Korea Meteorological Administration

의 기상자료의 관측시점은 2009년 8월이다. 이는 연구에서 활용한 환경부의 중분류 토지피복도가 2009년에 2차 갱신한 자료임을 감안한 것이다(환경공간정보서비스 홈페이지). 종속변수로 사용된 대기 온도와 체감온도의 경우, 2009년 8월 관측치의 평균값과 더불어 2009년 8월 15일 오전 2시 및 오후 2시의 관측 자료를 기반으로 한다. 2009년 8월 15일의 경우, <그림 4>와 같이 각 관측지점별로 월 최고기온을 가장 많이 기록한 일자이다.

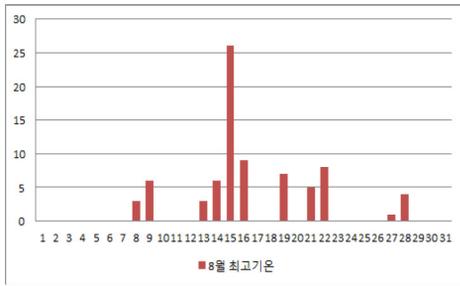


그림 4. 월 최고기온을 관측한 빈도(2009년 8월)

Figure 4. Observation's frequency of daily maximum temperature(Aug 2009)

Sources: Korea Meteorological Administration (2009)

이렇게 시간대를 구분하여 영향을 살펴본 이유는 여름철의 고온 현상이 그 시간대에 따라 다른 특성을 가지기 때문이다. 이순환 외(2008)에서는 태양복사에너지가 강한 오전 시간대에 비하여 도시화로 인한 인공열이 증가하는 주간 중 오후 시간대로 갈수록 도시와 농촌 간 온도차가 크게 발생한다고 분석하였다. 또한 안지숙·김해동(2006)의 연구를 바탕으로 도시의 열섬현상이 야간에 비하여 주간에 강도가 높기는 하나 야간에 발생하는 열섬의 강도 역시 중요하다고 설명하였다(이순환 외, 2008). 따라서 온도에 대한 토지피복 유형의 영향을 주간과 야간 시간대로 나누어 살펴볼 필요가 있으며, 본 연구에서도 이를 반영하여 분석하였다. 이 연구에서 사용된 오후 2시의 기준은 체감온도에 영향을 미치는 태양복사열이 가장 강한 시간대를 선택한 것이며, 오전 2시의 기준은 열대야 현상에 영향을 미치는 야간 시간대의 대표할 수 있는 시간을 선택한 것이다.

### 3. 분석 방법 및 변수 구성

분석 방법으로는 다중회귀분석을 활용하였다. 사용한 변수는 <표 2>와 같다. 먼저 종속변수는 2009년 8월의 평균, 오전 2시, 오후 2시의 대기온도와

체감온도이다. 대기온도와 체감온도를 종속변수로 하여, 그 영향의 정도와 특성을 비교하였다. 이 연구는 체감온도와 토지이용 특성 사이의 관계를 파악하는 것이 주 목적이거나, 온도 측정의 형태에 차이에 따른 변화의 차이를 비교하기 위해 두 변수를 모두 활용하였다. 대기온도는 AWS의 관측값을 체감온도는 관측값을 기반으로 (식 2)에 따라 산출한 Heat Index의 값을 활용하였다(<표 2>).

독립변수로는 도시지역 면적, 교통시설지역 면적, 녹지지역 면적 등 토지이용 요소들이 있다. 토지이용 요소들은 <표 1>의 토지피복도 유형을 기준으로 하였다. 도시지역 면적의 경우 주거지역, 공업지역, 상업지역, 문화·체육·휴양지역, 공공시설지역을 합한 면적이다. 교통시설지역 면적은 시가지 건조지역

표 1. 토지피복 유형의 분류

Table 1. Type of land cover

Sources: Environmental Geographical Information Services

Level 1	Level 2
Urbanization area	Residential zone
	Industrial zone
	Commercial zone
	Culture, sports, recreation
	Transportation
	Public facilities
Agricultural area	Rice paddy
	Field
	Cultivation under structure
	Orchard
	Other
Forest area	Broad-leaved forest
	Coniferous forest
	Mixed forest
Grassland	Natural grassland
	Artificial grassland
Wetland	Inland wetland
	Coastal wetland
Bare ground	Natural bare ground
	Other
Water area	Inland water
	Ocean

중 교통지역의 면적을 의미한다. 앞서 설명한 교통 시설지의 변화가 온도에 영향을 미친다는 김운수·김학열(2001)을 고려하여 시가화 건조지역을 도시 지역과 교통지역으로 분리하여 변수를 설정하였다. 녹지지역은 토지피복도의 산림지역 내 모든 유형과 초지 중 자연 초지를 합한 면적을 의미한다. 본 연구의 질문과 가설이 녹지지역에 초점을 맞춰져 있으므로 기타 토지피복 유형들은 제외하였다.

다음으로 독립변수 중 통제변수로 토지이용 외 체감온도 등에 영향을 미칠 것이라 판단되는 9가지 변수를 활용하였다. 자연적 요인으로는 풍속(박유나 외, 2014)과 강수량(구해정 외, 2007), 관측지점의 고도(박유나 외, 2014), 해양 인접성(최광용, 권원태, 2005)을 변수로 사용하였다. 해양 인접성 변수의 경우, 해양과 접해있는 시군구에 위치한 관측지점을 1, 그렇지 않는 관측지점을 0으로 하는 더미변수이다. 또한 대기온도 및 체감온도의 상승은 토지이용 뿐 아니라 인간 활동 및 도시 규모에도 영향을 받는다(최광용, 권원태, 2005; 이순환 외, 2008; 박종철 외, 2012; 박유나 외, 2014). 이를 고려하여 각 관측지점이 해당하는 시군구의 인구 밀도를 더미변수(인구 밀도 3000명/㎢ 이상)로 추가하였다. 분석의 범위가 관측지점이므로 사회경제적 요인들을 통제할 수 있는 여러 변수들을 사용할 수 없다는 것이 한계로 작용한다.

마지막으로 관측지점 500m 내의 패치정보를 통제변수로 활용하였다. 이는 주변 토지이용 유형 및 패턴에 대한 영향과 지리적 공간의 연속성을 고려하기 위함이다(Dzebo and Stripple, 2015). 특히 본 연구는 도시 및 녹지공간이 체감온도 등에 미치는 영향에 초점을 두고 있으므로 관측지점 500m 내 비도시지역에 해당하는 패치 수 및 패치 평균 크기, 이 패치들 간의 평균 거리 등을 변수로 추가하였다.

여기서 패치는 바탕과 구별되는 비선형적이고 면

표 2. 변수 구성 및 설명  
Table 2. Definitions of variables

	Variable	Definition
Dependent variable	TA	Air temperature of AWS's observing point(°F)
	HI	Heat Index from TA variable(°F)
Independent variable	Urban	Urbanization area(except for transportation) in 500m radius of AWS(km)
	Transportation	Transportation area in 500m radius of AWS(km)
	Green	Green area(agriculture, forest, grassland, wetland, bare ground) in 500m radius of AWS(km)
Control variable	Wind	Wind speed of AWS's observing point(m/h)
	Height	Altitude of AWS's observing point(m)
	Rain	Precipitation of AWS's observing point(mm/h)
	Sea Proximity	Coastal city=1, otherwise =0
	Pop_den	Above 3,000/km <sup>2</sup> of population density=1, otherwise=0
	Patch_all	Number of total patches in 500m radius of AWS
	Patch_non	Number of non-urbanization area's patches in 500m radius of AWS
	Patch_area	Area's average of variable of Patch_non(km)
	Patch_dist	Average distance between variables of Patch_non(km)

적인 경관요소로 동식물의 군집이나 자연 및 인공 교란 등에 의해 만들어진 동질적 단위의 조각을 의미한다(이도원, 1998). 도시화 및 개발사업 등이 자연녹지공간을 파괴하여 경관의 변화가 일어나게 되면 일반적으로 식생패치의 크기 및 연결성이 감소하게 된다(이상범, 2007). 따라서 보전녹지지역의 선정이나 각종 개발사업의 공간계획 수립시 이러한 개별 식생패치의 특성들이 고려되어야 한다(이상범, 2007). 본 논문의 경우, 중분류 토지피복 유형을 동질적 패치 단위로 판단하고 GIS를 통해 분석하였다. 비도시지역 패치는 중분류 토지피복 유형 22개 중 시가화·건조지역에 해당하는 6개 유형을 제외한

농업, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역의 16개 유형의 패치를 의미한다. 이 연구는 토지피복도에서 제시되는 기본적인 패치를 활용하여 자료를 구축하였다.

#### IV. 분석 결과

##### 1. 변수의 기초 통계량

분석에 사용한 20개의 변수들에 대한 기초 통계량은 <표 3>과 같다. 2009년 8월의 평균 기온은 최저 71.96°F(22.20°C), 최고 84.74°F(29.30°C), 평균 80.09°F(26.72°C)이며 HI의 값은 최저 70.85°F(21.58°C), 최고 95.22°F(35.12°C), 평균 84.84°F(29.36°C)이다. 2009년 8월 15일 오전 2시의 기온은 최저 59.79°F(15.44°C), 최고 81.32°F(27.40°C), 평균 71.98°F(22.21°C)이며 HI의 값은 최저 61.27°F(16.26°C), 최고 89.42°F(31.90°C), 평균 69.39°F(20.77°C)이다. 이 두 변수가 차는 평균 -2.07°F(-1.16°C)(최저 -6.86°F(-3.84°C)에서 최고 8.10°F(4.54°C))로 오전의 경우 체감온도보다 기온이 높은 곳이 많이 나타난다.

2009년 8월 15일의 오후 2시의 기온은 최저 77.54°F(25.30°C), 최고 98.78°F(37.10°C), 평균 87.56°F(30.87°C)이었으며 HI의 값은 최저 79.48°F(26.38°C), 최고 108.07°F(42.26°C), 평균 91.22°F(32.90°C)로 나타났다. 이 변수의 차는 평균 3.65°F(2.04°C)로 최저 -1.55°F(-0.87°C)에서 최고 10.05°F(5.63°C)로 나타났다. 오후의 경우, 8월의 평균 및 오전의 값에 비해 체감온도가 높을 뿐 아니라 기온과 체감온도 사이의 격차도 크게 나타났다. 도시지역과 교통지역, 녹지지역의 면적은 각각 평균 0.25km<sup>2</sup>, 0.05km<sup>2</sup>, 0.13km<sup>2</sup>으로 최소는 모두 0km<sup>2</sup>이며 최대는 각각 0.67km<sup>2</sup>, 0.19km<sup>2</sup>, 0.79km<sup>2</sup>의 면적으로 나타났다. 인구밀도와 해안과의 인접성의 경우, 분석단위가 관측지점임에 따라 더미변수를 사용하였다.

<표 4>에서와 같이 인구 밀도가 3000명/km<sup>2</sup>인 이상인 곳은 80곳 중 8곳이며, 해안지역에 접한 시군구에 위치하는 관측지점은 31곳이다.

표 3. 변수의 기초 통계량

Table 3. Basic statistics of variables

Variable	Min	Max	Mean	S.D.
TA	71.96	84.74	80.089	2.1811
HIA	70.848	95.219	84.836	4.3749
Tam	59.79	81.32	71.978	3.3461
HIam	61.274	89.422	69.368	5.3806
Tpm	77.54	98.78	87.564	3.7811
HIpm	79.479	108.07	91.215	4.3081
Urban	0	0.6729	0.2450	0.1908
Transportation	0	0.1852	0.0499	0.0390
Green	0	0.7851	0.1312	0.1404
WindA	0.9	5.1	1.9225	0.8475
Windam	0	4	0.8125	0.8943
Windpm	0.9	6.3	2.3013	1.0340
Height	3.5	1015.1	157.20	211.72
Rain	74.7	726.5	362.95	150.51
Patch_all	3	220	41.3	27.9
Patch_non	1	27	7.525	5.246
Patch_area	0.002	0.2617	0.0383	0.0507
Patch_dist	0.0022	0.0073	0.0045	0.0010

##### 2. 대기온도 및 체감온도와 토지피복 유형 간의 관계 분석

<표 4>는 대기온도 및 체감온도와 토지피복 유형과의 관계를 분석한 다중회귀모형의 분석결과이다. 먼저 2009년 8월의 평균 대기온도와 체감온도에 대한 결과를 살펴보면 녹지면적이 0.1km<sup>2</sup> 증가하면 대기온도는 0.74°F(0.41°C) 감소하고 체감온도는 0.91°F(0.51°C) 감소하는 것으로 나타났다. 8월 평균 대기온도 및 체감온도에 대한 분석결과의 경우, 녹지지역의 면적을 제외한 다른 요인들에서 온도 증감에 대한 유의성이 나타나지 않았다.

표 4. 분석 결과  
Table 4. Results of Analysis

Variables		Atmosphere Temperature			Sensible Temperature(Heat Index)		
		Average	AM 2:00	PM 2:00	Average	AM 2:00	PM 2:00
Constant		72.324*** (2.7484)	70.3142*** (3.4279)	84.3144*** (3.1161)	73.3976*** (3.2675)	69.9926*** (5.5584)	86.9790*** (4.3457)
Explanatory Variables	Urban	1.8132 (1.7615)	3.3885 (2.2390)	1.4002 (2.0632)	2.2582 (2.0942)	4.7085 (3.6306)	1.1464 (2.8774)
	Transportation	-5.5273 (9.5654)	9.4777 (11.8146)	-12.2167 (11.0535)	0.2536 (11.3720)	32.60071 <sup>†</sup> (19.1577)	-8.5222 (15.4153)
	Green	-7.4291*** (2.3364)	-7.1948** (2.9353)	-3.1533 (2.7383)	-9.1651*** (2.7778)	-8.6672 <sup>†</sup> (4.7597)	-2.19009 (3.8188)
Controlled Variables	Height	0.0007 (0.0013)	-0.0004 (0.0016)	0.0004 (0.0014)	0.0009 (2.7777)	-0.0007 (0.0025)	-0.0007 (0.0020)
	Wind	0.26428 (0.5110)	0.9309** (0.4212)	-0.9359*** (0.3367)	0.1155 (0.6075)	1.4758** (0.6829)	-0.9221 <sup>†</sup> (0.4695)
	Rain	-0.0003 (0.0030)	-	-	0.0001 (0.0036)	-	-
	Sea proximity	0.7027 (0.6510)	1.3089 <sup>†</sup> (0.7359)	-3.4764*** (0.6446)	0.6472 (0.7740)	1.3700 (1.1933)	-1.9040** (0.8990)
	Pop_density	1.3431 (0.9226)	2.4342** (1.1459)	-1.0608 (1.0612)	1.4936 (1.0968)	4.0661** (1.8581)	-0.72952 (1.4799)
	Patch_all	0.0095 (0.0132)	-0.0098 (0.0157)	0.00959 (0.0147)	0.0050 (0.0157)	-0.0244 (0.0255)	0.0126 (0.0204)
	Patch_non-urban	0.0175 (0.0630)	0.0962 (0.0793)	-0.0680 (0.0731)	0.0047 (0.0749)	0.0968 (0.1285)	-0.1962 <sup>†</sup> (0.1019)
	Patch_area	-0.1542 (8.4649)	3.0277 (9.1030)	-19.2757** (8.4844)	0.8479 (10.0637)	4.5543 (14.7608)	-27.2182** (11.8325)
	Patch_distance	2.8348 (2.3879)	-0.5882 (3.0307)	8.4442*** (2.7662)	3.4704 (2.8389)	-3.7137 (4.9143)	9.8327** (3.8578)
Model statistics	N	80	80	80	80	80	80
	R <sup>2</sup>	0.3151	0.4017	0.6025	0.3339	0.3916	0.4045
	Adjusted R <sup>2</sup>	0.1924	0.3049	0.5382	0.2146	0.2931	0.3082
Fitness of model	Log likelihood	-169.335	-189.091	-182.509	-183.176	-227.761	-209.119
	AIC	364.671	402.182	389.018	392.352	479.522	442.237
	SC	395.637	430.767	417.603	423.318	508.106	470.822

Note: p<0.01\*\*\*, p<0.05\*\*, p<0.1\* , figures of parenthesis means standard error.

다음은 2009년 8월 15일, 오전 2시의 대기온도 및 체감온도에 대한 분석결과이다. 이는 야간 시간대의 온도 관측 자료로 여름철 야간 열섬, 열대야 현상과 관계가 있는 것으로 나타났다. 먼저 대기온도의 경우, 녹지면적이 0.1㎢ 증가하면 할수록 0.72°F(0.40°C) 감소하였다. 여름철 야간의 대기온도에 영향을 미치는 기타 요인들로는 해양과의 인접성과 인구밀도, 풍속 등이 도출되었다. 여름철 야간의 대기온도는 해안지역이 내륙지역에 비하여 1.31°F(0.73°C) 높았으며 인구밀도가 높은 대도시가 그렇지 않은 지역에 비하여 2.43°F(1.36°C) 높은 것으로 나타났다. 또한 풍속이 1m/h 증가하면 여름철 야간의 대기온도는 0.93°F(0.52°C) 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 관측지점의 여름철 야간의 평균 풍속 0.81m/h로, 바람이 약하게 부는 경향이 있으므로 강한 바람이 부는 상황을 가정하기는 어려우며 이와 더불어 야간에는 주간에 흡수되었던 인공 열이 배출됨에 따라 약한 바람이 오히려 온도를 상승시키는 것으로 여겨진다.

여름철 야간의 체감온도의 경우, 토지피복 유형 중 녹지지역과 교통지역이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 여름철 야간의 체감온도는 교통지역이 0.1㎢ 증가할 때마다 3.26°F(1.83°C)씩 상승하는 것으로 나타났다. 반면 녹지면적이 0.1㎢ 증가할 경우에는 0.87°F(0.49°C) 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 여름철 야간의 체감온도 저감에는 녹지량의 증가보다 교통지역 면적의 감소가 더욱 효과적인 것으로 보인다. 여름철 야간의 체감온도에 영향을 미치는 토지피복 유형 외 다른 요인들로는 풍속과 인구밀도가 유의성을 보였다. 여름철 야간 풍속이 1m/h 증가하면 체감온도는 1.48°F(0.82°C) 증가하며 인구 밀도가 높은 대도시 지역이 그렇지 않은 지역에 비해 4.07°F(2.28°C) 더 높은 여름철 야간 체감온도를 가지는 것으로 나타났다. 풍속과 온도가 (+)의 상관관계를 가지는 것은 앞서 설명한 대기온

도와 동일한 이유라 여겨진다.

여름철 주간의 대기온도 및 체감온도의 분석 결과에서는 도시지역 및 교통지역, 녹지지역 등 토지 피복 유형을 나타내는 변수들과 온도 사이의 유의성을 발견하지 못하였다. 이 보다는 토지이용의 패턴 및 지리적 연속성 등이 여름철 주간의 대기온도 및 체감온도에 더욱 영향을 미치는 것으로 나타났다. 먼저 여름철 주간의 대기온도의 경우, 관측지점 500m 반경 내 비도시지역 패치의 평균 크기가 0.1㎢ 증가할수록 1.93°F(1.08°C) 감소하는 경향을 보였다. 또한 관측지점 500m 반경 내 비도시지역의 패치간 평균거리가 1km 증가할수록 0.84°F(0.47°C) 증가하는 경향을 보였다. 이는 범위 내 동일한 녹지 등의 비도시지역 면적을 가진 지역이라 하더라도 각각의 패치의 면적이 넓고 밀집되어 있는 지역의 대기온도가 더 낮음을 의미한다. 이 외에도 여름철 주간의 대기온도에 영향을 미치는 요인으로는 풍속과 해양과의 인접성이 있다. 여름철 야간의 대기온도 결과와는 반대로 주간의 경우, 풍속이 1m/h 증가할수록 대기온도는 0.94°F(0.53°C) 감소한다.

또한 해안지역이 내륙지역에 비해 3.48°F(1.95°C) 더 낮은 대기온도를 보이는 것으로 나타났다. 여름철 주간의 체감온도의 경우, 관측지점 반경 500m 내 비도시지역 패치 수가 10개 늘어나면 1.96°F(1.10°C), 관측지점 반경 500m 내 비도시지역 패치의 평균 크기가 0.1㎢ 증가하면 2.72°F(1.52°C) 감소하는 것으로 나타났다. 또한 관측지점 반경 500m 내 비도시지역 패치의 평균거리가 0.1km 증가하면 여름철 주간의 체감온도는 0.98°F(0.55°C) 증가하는 경향을 보인다. 이는 여름철 주간의 대기온도 결과와 마찬가지로 녹지량 자체보다는 녹지지역 등의 비도시지역 패치 각각이 크고 밀집되어 있을수록 온도 저감효과가 크다는 것으로 설명할 수 있다. 또한 여름철 주간의 체감온도는 풍속이

1m/h 증가할수록 0.92°F(0.52°C) 감소하며, 해안 지역이 내륙 지역에 비해 1.90°F(1.06°C) 더 낮은 체감온도를 나타내었다.

## V. 결론

바람이나 온도, 습도 등의 기후인자들은 도시계 획과정 상에서 고려되어야 하는 필요조건으로 인식 되고 있으며 이를 도시계획에 적용할 경우, 더욱 안락하고 쾌적한 도시환경은 물론 에너지 소비의 절약 및 대기오염의 개선 등의 이점을 지닌다(김운 수·김학열, 2001). 본 연구에서는 대기 및 지표면 온도와 토지이용 요소 및 특성 사이의 상관관계를 분석한 기존 연구들의 연장선으로, 최근 온열질환 자, Well-being, 에너지 저감 등의 측면에서 중요 하게 대두되고 있는 체감온도와 토지이용 요소 및 특성 간의 상관관계를 분석해보고자 하였다. 그 결 과, 녹지지역의 증가는 대기온도 및 체감온도 감소 에 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 여름철 야 간의 체감온도의 경우, 대기온도와는 달리 녹지량보 다 보다 교통시설지의 감소가 더욱 효과적으로 나 타났다. 따라서 에너지 저감 계획 및 온열질환, 폭 염취약계층 등을 고려한 계획 수립에 녹지지역 확 대 등을 반영할 필요가 있으며 도로 등 교통 시설 지를 확대할 경우에도 녹지계획과 연계하여 추진해 야 할 것이다.

한편, 여름철 주간의 대기온도 및 체감온도의 경우, 단순히 녹지면적의 확대보다는 녹지지역 등의 비도시지역의 면적이 동일하다하더라도 그 패치의 면적이 넓고 밀집되어 있을수록 온도 저감효과가 크다는 것을 확인하였다. 녹지 면적의 증가가 온도 저감에 효과가 있는 것을 고려하면 이러한 결과는 당연하다 할 수 있다. 하지만 대도시 지역에서 이 러한 대규모의 녹지공간을 확보하는 것은 어려움이 따른다(Roten-Mindali et al, 2014). 이를 해결하기

위해서는 도시 내 소규모 공간에 조성할 수 있는 한평 공원 및 쌈지공원, 학교 숲 등과 같은 도시 내 소규모 녹지를 최대한 확대하는 것이 필요하며, 또한 건물 부지나 주차장 공간에 지붕을 녹화하여 녹지공간을 확보하는 것도 좋은 방안이 될 수 있다 (Roten-Mindali et al, 2014; 명수정, 2009).

이러한 일환으로 도시의 온도를 저감하고 열적 쾌적성을 강화하는 방안인 저영향개발기법(Low Impact Development)의 적용이 제시되고 있다. 저영 향개발기법은 경우, WSUD(Water Sensitive Urban Design) 및 SUDS(Sustainable Urban Drainage System) 등 유사한 개념으로 사용되고 있다(Coutts et al., 2012). Coutts et al.(2012)의 연구에 따르면 관습적인 설계방법에서는 낮 시간동안 열에 대한 높은 노출과 부하를 경험하여 더 더운 환경을 조성 하는 반면, WSUD를 적용한 설계방안의 경우, 증발 산과 그늘을 강화하여 태양열과 열부하를 제한함으 로써 지표면의 온도를 낮추고 그 결과 인간의 열 쾌적성을 강화하는 결과를 만든다. 이는 낮 시간에 열 저장량을 감소시킨 효과로 인하여 밤 시간대에 더 적은 에너지를 사용하게 함으로써 이점을 가져 오게 된다(Coutts et al., 2012). 하지만 가장 중요 한 것은 현재의 녹지들이 더 이상 훼손되지 않도록 보전하는 것이라 할 수 있다. 따라서 개발계획 수 립시에는 지속가능한 개발을 지향하기 위하여 자연 생태계를 정밀하게 분석·평가하고 이를 바탕으로 개발대상지와 보전지역을 구분한 후 개발대상지에 대한 계획수립시 자연생태계의 원리를 최대한 반영 하여 자연생태계 보전 및 복원에 근접할 수 있도록 해야 할 것이다(한봉호, 2006; 변혜선, 2015).

이 연구는 기존 도시 고온현상 또는 도시 열섬 과 관련된 연구에서 논의되지 않았던 체감온도를 대상으로 분석하였다는데 의의가 있다. 하지만 분석 에 활용된 측정 지점의 수, 도시열섬과 관련된 요 인의 추가적인 고려 등과 관련해 한계를 지니고 있다.

이 연구에서는 체감 온도라는 변수를 포함시키기 위해 총 573개 AWS 중 습도가 측정되는 80개를 활용하였는데 이는 변수와 모형의 설명력에 있어 한계로 연결된다. 따라서 향후 연구에서는 시계열적 자료에 대한 고려, 습도에 대한 추가적인 관측, 다른 형태의 체감온도 산출 등을 통하여 이를 보완할 필요가 있다. 또한 도시열섬과 관련해 인공열 배출과 관련된 변수를 추가하여 도시 고온현상에 대한 논의를 구체화할 수 있을 것이다.

인용문헌

References

1. 구해정·김연희·최병철, 2007. “서울시 도시 열섬 구조의 변화에 관한 연구”, 「기후연구」, 2(2): 67-78.  
Koo, H. J., Kim, Y. H., and Choi, B. C., 2007, "A Study on the change of the urban heat island structure in Seoul", *Journal of Climate Research*, 2(2): 67-78.
2. 기상청, 2009. 「기상연보」, 서울. Korea Meteorological Administration, 2009. *Annual Climatological Report*, Seoul.
3. 김영준·김현수·김유근·김진국·김연매, 2014. “2013년 부산지역 폭염사례일의 열쾌적성 평가”, 「한국환경과학회지」, 23(11): 1929-1941.  
Kim, Y. J., Kim, H. S., Kim, Y. K., Kim, J. K., and Kim, Y. M., 2014. "Evaluation of thermal environments during the heat waves of summer 2013 in Busan metropolitan area", *Journal of Environmental Science International*, 23(11): 1929-1941.
4. 김운수·김학열, 2001. 「서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구(II)」, 서울: 서울연구원.  
Kim, Y. S. and Kim, H. Y., 2001. *An Experimental Study for Considering Climate as a Factor in Urban Design(II)*, Seoul: The Seoul Institute.
5. 김현욱·염종민, 2012. “도시지역의 토지피복유형이

지표면온도에 미치는 영향: 경기도 일산 신도시를 중심으로”, 「대한원격탐사학회지」, 28(2): 203-214.  
H. Y. Kim and Yeom, J. M., 2012. "Effect of the urban land cover types on the surface temperature: case study of Ilsan new city", *Korean Journal of Remote Sensing*, 28(2): 203-214.

6. 명수정, 2009. 「도시지역의 기후변화 적응을 위한 열섬현상 완화방안 연구」, 서울: 한국환경정책·평가연구원.  
Myeong, S. J., 2009. *A Study on Strategies to Mitigate Urban Heat Island Effects as Part of Climate Change Adaptation in Urban Areas*, Seoul: Korea Environment Institute.
7. 박광수, 2012. 「에너지소비에 대한 기온변화의 영향 분석」, 서울: 에너지경제연구원.  
Park, K. S., 2012. *The Impact of Temperature Change on Energy consumption*, Seoul: Korea Energy Economics Institute
8. 박유나·이건원·정윤남·김세용, 2014. “토지이용 및 토지피복과 국지온도 간 관계 분석: 미시공간에서의 통합모델 구축을 중심으로”, 「한국생태환경건축학회 논문집」, 14(5): 123-130.  
Park, Y. N., Lee, K. W., Jeong, Y. N., and Kim, S. Y., 2014. "Analyzing relationship between the local temperature, land usage and land coverage: focused on the integrated model in the microspace", *Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 14(5): 123-130.
9. 박정인·한화진·김용건·문난경·여준호·김호·하종식·김명현, 2005. 「기후변화가 건강에 미치는 영향 및 적응대책 마련」, 서울: 한국환경정책·평가연구원.  
Park, J. L., Han, H. J., Kim, Y. K., Moon, N. K., Yuh, J. H., Kim, H., Ha, J. S., and Kim, M. H., 2005. *The Impact of Climate Change on Health and Adaptation Planning*, Seoul: Korea Environment Institute.
10. 박종철·정일원·장희준·장동호, 2012. “남한 온량지수와 한랭지수의 변화와 인구와의 관계”, 「기후연구」, 7(3): 2010-225.  
Park, J. C. and Jeong, I. W., Jang, H. J., and

- Jang, D. H., 2012. "Relationship between population and changes in warmth and coldness indices in South Korea", *Journal of Climate Research*, 7(3): 2010-225.
11. 변혜선, 2015. "국토-환경계획 연동제 시행에 따른 충북의 친환경 개발 방향 모색", 「충북 Focus」, 102: 1-25.  
Byeon, H. S., 2015. "A study on green development in Chung-buk with coordination system between land planning and environment planning", *Chung-buk Focus*, 102: 1-25
  12. 안지숙·김해동, 2006. "대구지역의 기상조건에 따른 도시열섬강도의 계절별 변화 특성", 「한국환경과학회지」, 15(6): 527-532.  
Ahn, J. S. and Kim, H. D., 2006. "On the seasonal variation of urban heat island intensity according to meteorological condition in Daegu", *Journal of the Environmental Sciences*, 15(6): 527-532.
  13. 오규식·이민복·이동우, 2013. "수도권 신도시의 열쾌적성 평가", 「한국공간정보학회지」, 22(1): 55-71.  
Oh, K. S., Lee, M. B., and Lee, D. W., 2013. "An evaluation of thermal comfort of new towns in Seoul metropolitan area", *Journal of Korea Spatial Information Society*, 22(1): 55-71.
  14. 이나영·임재영·조영성, 2014. "폭염으로 인한 기후 변화 취약계층의 사망률 변화 분석: 서울을 중심으로", 「보건사회연구」, 34(1): 456-484.  
Lee, N. Y., Cho, Y. S., and Lim, J. Y., 2014. "Effect of climate change on mortality rate analysis of vulnerable populations", *Health and Social Welfare Review*, 34(1): 456-484.
  15. 이대근·최영진·김규량·변재영·L. S. Kalkstein·S. C. Sheridan, 2010. "대도시 폭염의 기후-보건학적 특성에 기반한 고온건강시스템 개발", 「한국기후변화학회지」, 1(2): 109-120.  
Lee, D. G., Choi, Y. J., Kim, K. R., Byon, J. Y., Kalkstein, L. S., and Sheridan, S. C., 2010. "Development of heat-health warning system based on regional properties between climate and human health", *Climate Change Research*, 1(2): 109-120.
  16. 이도원, 1998. "경관생태학의 기본 개념과 환경 관리를 위한 가설적 제안", 「환경논총」, 36: 190-208.  
Lee, D. W., 1998. "Basic concepts in landscape ecology and some hypothetical suggestions for environmental management", *Journal of Environmental Studies*, 36: 190-208.
  17. 이상범, 2007. "생태축 분석을 위한 경관생태학적 방법론 연구", 서울: 한국환경정책·평가연구원.  
Lee, S. B., 2007. *A Study on Landscape Ecological Methodology for Analysis of Ecological Axis*, Seoul: Korea Environment Institute.
  18. 이성희·김정근, 2014. "기후변화 적응을 위한 도시 계획 방안 연구", 「한국기후변화학회지」 5(3): 257-266.  
Lee, S. H. and Kim, J. K., 2014. "A study on the method of urban planning for adaptation to climate change", *Journal of Climate Change Research*, 5(3): 257-266.
  19. 이순환·박명희·김해동, 2008. "도시화에 의한 야간 대기 냉각률 변화에 관한 연구", 「한국대기환경학회지」, 24(1): 83-90.  
Lee, S. H., Park, M. H., and Kim, H. D., 2008. "Study on the variation of nighttime cooling rate associated with urbanization", *Korean Society for Atmospheric Environment*, 24(1): 83-90.
  20. 조현길·안태원, 2009. "도시 기온에 작용하는 입체적 토지피복의 영향", 「한국조경학회지」, 37(3): 54-60.  
Cho, H. K. and Ahn, T. W., 2009. "Impacts of three-dimensional land cover on urban air temperatures", *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 37(3): 54-60.
  21. 최광용·최종남·김종욱·손석우, 2002. "남한의 체감 무더위의 기후학", 「대한지리학회지」, 37(4): 385-402.  
Choi, K. Y., Choi, J. N., Kim, J. W., and Son, S. W., 2002. "The climatology of perceived sultriness in South Korea", *The Korean*

- Geographical Society*, 37(4): 385-402.
22. 최광용·최종남·권호장, 2005. "높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000", 「예방의학회지」, 38(3): 283-290.  
Choi, K. Y., Choi, J. N., Kwon, H. J., 2005. "The impact of high apparent temperature on the increase of summertime disease-related mortality in Seoul: 1991-2000", *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 38(3): 283-290.
  23. 최광용·권원태, 2005. "우리나라 열대야 현상 발생의 시·공간적 특징과 최근의 변화", 「대한지리학회지」, 40(6): 730-747.  
Choi, K. Y. and Kwon, W. T., 2005. "Spatial-temporal patterns and recent changes of tropical night phenomenon in South Korea", *Journal of the Korean Geographical Society*, 40(6): 730-747.
  24. 홍제우·홍진규·이성은·이재원, 2013. "자동기상관측소의 국지기후대에 근거한 서울 도시 열섬의 공간분포", 「대기」, 23(4): 413-424.  
Hong, J. W., Hong, J. K., Lee, S. E., and Lee, J. W., 2013. "Spatial distribution of urban heat island based on local climate zone of automatic weather station in Seoul metropolitan area", *Atmosphere*, 23(4): 413-424.
  25. Barreca, A., 2012. "Climate change, humidity, and mortality in the United States", *Journal of Environmental Economics and Management*, 63(1): 19-34.
  26. Brandani, G., Napoli, M., Massetti, L., Petralli, M., and Orlandini, S., 2015. "Urban soil: assessing ground cover impact on surface temperature and thermal comfort", *Journal of Environmental Quality*, Special Section. Accessed October 9, 2015. doi:10.2134/jeq2014.12.0521
  27. Browning P. A. and Walawender, B. P., 2009. "A climatology of apparent temperature", Paper presented at the 21<sup>st</sup> conference on climate variability and change, Phoenix: American Meteorological Society.
  28. Budd, G. M., 2001. "Assessment of thermal stress—the essentials", *Journal of Thermal Biology*, 26: 371-374.
  29. Budd, G. M., 2008. "Wet-bulb globe temperature (WBGT)—Its history and its limitations", *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11: 20-232.
  30. Schoen, C. 2005, "A new empirical model of the temperature-humidity index", *Journal of Applied Meteorology*, 44(9): 1413-1420.
  31. Chen, X-L., Zhao, H-M., Li, P-X., and Yin, Z-Y., 2006. "Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes", *Remote Sensing of Environment*, 104(2): 133-146.
  32. Coutts, A. M., Tapper, N., Beringer, J., Loughnan, M., and Demuzere, M., 2012. "Watering our cities: the capacity for water sensitive urban design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context", *Progress in Physical Geography*, 1: 1-27.
  33. Deosthali, V., 1999. "Assessment of impact of urbanization on climate: an application of bioclimatic index", *Atmospheric Environment*, 33: 4125-4133.
  34. Dzebo, A. and Stripple, J., 2015. "Transnational adaptation governance: an emerging fourth era of adaptation", *Global Environmental Change*, 35: 423-435.
  35. Emmanuel, R. 2005. "Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka", *Building and Environment*, 40(12): 1591-1601.
  36. Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., and Zhang, X., 2015. "Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters", *Landscape and Urban Planning* 135: 1-10.
  37. Johansson, E. and Emmanuel, R., 2006. "The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka", *International Journal of Biometeorology*, 51(2): 119-133.

38. Jusuf, S. K., Wong, N. H., Hagen, E., Anggoro, R., and Hong, Y., 2007. "The influence of land use on the urban heat island in Singapore", *Habitat International*, 31: 232-242.
39. Lo, C. P. and Quattrochi, D. A., 2003. "Land-use and land-cover Change, urban heat island phenomenon, and health implications, a remote sensing approach", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(9): 1053-1063.
40. Mishra, V., Ganguly, A., and Nijssen, B., 2015. "Changes in observed climate extremes in global urban areas", *Environmental Research Letters*, 10(2): 1-10.
41. Rinner, C. and Hussain, M., 2011. "Toronto's urban heat island—exploring the relationship between land use and surface temperature", *Remote Sensing*, 3: 1251-1265.
42. Rosenzweig, C., Solecki, W., Parshall, L., Chopping, M., Pope, G., and Goldberg, R., 2005. "Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey", *Global Environment. Change B: Environmental Hazard*, 6: 51-62.
43. Roten-Mindali, O., Michael, Y., Helman, D., and Lensky, I. M., 2014. "The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing", *Applied Geography*, 56: 145-153.
44. Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., and Wiencke, M., 2005. "Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey", *Global Environment Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1): 39-49.
45. Steadman, R. G., 1979. "The assessment of sultriness. part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 18: 861-1873.
46. Steadman, R. G., 1984. "A universal scale of apparent temperature", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 23: 1674-687.
47. Steeneveld, G. J., Koopmans, S., Heusinkveld, B. G., and van Hove, L. W. A., 2011. "Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands", *Journal of Geophysical Research*, 116: D20129.
48. Stewart, I. D., 2011. "A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature", *International Journal of Climatology*, 31(2): 200-217.
49. Stone, B. and Rodgers, M. O., 2011. "Urban form and thermal efficiency-how the design of cities influences urban heat island effect", *Journal of the American Planning Association*, 67(2): 186-198.
50. Synnefa, A. Santamouris, M., and Livada, I., 2006. "A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment", *Solar Energy*, 80: 968-981.
51. Yuan, F. and Bauer, M. E., 2006. "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*, 106(3): 375-386.
52. <https://egis.me.go.kr/main.do>
53. <http://www.srh.noaa.gov/ama/?n=heatindex>

Date Received 2015-12-07  
 Date Reviewed 2016-01-28  
 Date Accepted 2016-01-28  
 Date Revised 2016-02-01  
 Final Received 2016-02-01