

청계천 복원사업이 도시열섬현상에 미치는 영향*

The Effect of the Cheonggyecheon Restoration Project on the Mitigation of Urban Heat Island

김경태** · 송재민***
Kim, Kyung Tae, Song, Jaemin

Abstract

Urban heat island has emerged as one of the serious urban problems, leading to increased energy consumptions and having a negative impact on human health. Various policies and measures have been introduced to reduce its negative impacts at the national and local level in Korea. Amongst them, the Cheonggyecheon restoration project has been generally conceived to have made a positive contribution to the mitigation of the urban heat island effect; however, there is a lack of thorough empirical assessment on its factual impacts. Thus, the study aims to investigate the effect of the project on the urban heat island effect with a full consideration of the changes in the land-use, surface coverage and characteristics of buildings at a micro-scale before and after the project as well as the distance from the project site, which are used as dependent variables in the regression model. Both a multiple regression and a first difference model have been adopted to test the statistical significance of their effects on the surface temperature. The results from the study confirm that the Cheonggyecheon site before the restoration project was the major source of the urban heat with the highest temperature compared to the temperature of the neighboring area while the currently restored Cheonggyecheon river stream plays an important role in cooling down the temperature, contributing the mitigation of the urban heat island phenomena. The findings shed light on the positive role of water front development in managing the urban heat island effect in many cities.

키 워 드 · 도시열섬효과, 청계천복원사업, Landsat7 ETM+, 수변공간개발

Keywords · Urban heat island, Cheonggyecheon restoration project, Landsat7 ETM+, Water front development

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 인구의 증가 및 산업의 발달과 함께 이루어진 도시화는 인류에게 경제적인 이득

과 편리한 생활을 가져왔지만, 다른 한편으로는 환경오염과 기후변화 등의 다양한 도시 환경 문제를 야기하고 있다. 특히 급격한 도시화로 인한 녹지면적 감소, 불투수 면적 증가, 건물 및 아스팔트로 인한 반사율 감소 및 열 저장 인자 증가는 도시의 온도가 주변 교외 지역보다 높게 나

* 본 논문은 (사)대한국토·도시계획학회 2014 추계학술대회 우수논문상 수상작을 수정·보완하여 작성했습니다.

** University of Seoul (First author: kpkka0525@uos.ac.kr)

*** University of Seoul (Corresponding author: jmsong@uos.ac.kr)

타나는 도시열섬효과(Urban heat island)를 일으키고 있다. 도시열섬효과는 단순한 기온의 증가 뿐 아니라 에너지 사용 증가 및 이로 인한 온실가스 배출 증가, 생태계 파괴 및 건강 등 사회 전반에 부정적 영향을 미친다. 이와 같이 도시화로 인한 열섬효과의 부정적 영향이 증대되면서 이를 해결하기 위하여 다양한 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. 특히, 도시 분야에서는 도시 공간에 따라 열섬특성을 규명하고 이를 도시계획에 활용함으로써 개선 방안을 마련하고자 하는 연구가 활발하다(Oke, 2006).

우리나라에서도 도심 열섬효과를 완화시키기 위하여 도시 바람길 조성, 수변공간 조성, 도시개발밀도조정 및 녹지면적확대 등의 연구 및 사업이 진행되고 있다. 이 중, 청계천 복원 사업은 환경 친화적인 도시공간조성과 지역의 균형발전을 목적으로 2003년부터 2005년까지 5.84km의 서울시 청계천 일대에 진행된 사업으로, 열섬 효과 완화에 긍정적 영향을 미치고 있는 것으로 평가되고 있으나, 이에 대한 체계적인 분석이 이루어지지 않고 있다. 기존의 관련 연구는 복원사업 이전과 이후의 단순 온도 변화 비교를 통한 일차원적인 분석이 이루어졌으며, 분석 단위 역시 지역 전체를 대상으로 한 거시적 연구가 대부분이었으며, 복원 사업 및 시간에 따른 대상지의 토지이용, 건축물, 녹지, 건물의 높이 등의 도시 공간 요소 및 이용 변화 및 청계천으로부터 거리에 따른 영향 등의 주요한 요소들이 고려되지 못하였다는 한계를 가지고 있다.

이와 같은 배경에서 본 연구는 청계천 복원사업으로 인한 수 공간 창출이 열섬 효과 완화에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 하며, 이에 있어 도시 형태의 물리적 변화로 인한 온도 변화 및 청계천으로부터의 거리에 대한 영향이 고려되었다. 또한, 분석 대상지의 사업 전·후의 토지이용, 녹지면적, 건물 특성, 도로 등의 물리적 변화를 고려한

심층 분석이 이루어졌다.

이와 같은 본 연구의 연구결과는 수변 공간 개발 및 도시의 물리적 공간 특성의 변화가 도시의 열섬효과에 미치는 영향을 규명하여, 향후 다양한 도시 개발 및 재생 사업시 예상되는 환경적 영향에 대한 시사점을 제공할 것으로 기대되는 바이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 청계천 복원 사업의 시행 전과 후를 비교하기 위해 2000년과 2010년으로 선정하였으며, 공간적 범위는 그림1에서 보이는 바와 같이 청계천 복원사업이 시행된 태평로부터 마장 철교까지 5.84km를 대상으로, 청계천을 중심으로 상·하 250m의 범위까지를 분석 범위로 설정하였다. 분석 단위는 30m×30m의 격자셀로, 해당 지역의 경우 총 3615개의 격자셀로 이루어져있다.

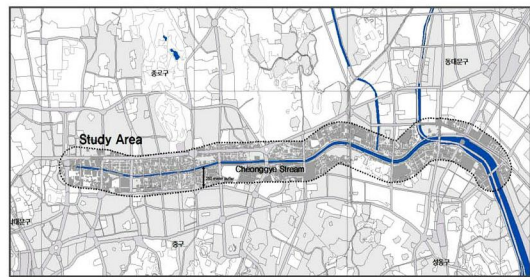


그림 1. 대상지 범위
Fig 1. Scope of the Study

본 연구에서는 청계천 복원 사업이 도시 열섬 현상에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다중 회귀 분석 및 1차 차분분석을 실시하였다. 이에 있어 종속변수로는 대상지의 온도를 산출하여 이용하였으며 독립변수로는 토지이용, 피복현황, 도로면적, 건축물 특성, 청계천 복원 사업의 영향을 보기 위한 청계천으로부터의 거리 등이 주요 독립 변수로 사용되었다.

II. 이론적 배경 및 선행연구 검토

1. 도시열섬현상 및 측정

도시열섬현상(Urban heat island)은 급격히 인구가 증가한 도시지역이 주변 교외지역에 비해 높은 온도를 보이는 현상을 의미하며, 1820년 영국의 Luke Howard가 런던의 높은 이상 기온을 설명하기 위하여 처음으로 제시된 개념이다(홍제우 외, 2013). 일반적으로 도시지역은 교외 지역에 비해 약 3~5°C 정도 기온이 높으며, 이와 같은 온도 차이를 등온선로 나타내면 도시 중심부가 솟아 있는 형태가 바다의 섬과 비슷하여서 열섬(island)이라고 부르게 되었다. 이와 같은 열섬현상은 보통 낮보다는 밤에, 여름보다는 겨울에 더 크고 바람이 약할 때 가장 빈번하게 발생된다(배웅규, 2011).

도시열섬효과는 도시지역의 급격한 온도상승을 야기하여 인간에게 직접적인 피해를 가져오는데, 2003년 유럽에서는 폭염과 대기오염으로 인하여 약 35,000명이 피해를 입었으며, 특히 프랑스의 경우 최고 기온 기록을 갱신하였으며 약 15,000명의 사망자가 발생하고, 농작물 생산성도 크게 저하되었던 것으로 밝혀졌다(명수정, 2009). 우리나라의 경우도 도시열섬으로 인한 피해에서 예외가 아니다. 장재연(2008)의 연구에 따르면 서울의 경우, 1971~2007년 동안 일 최고기온이 30°C가 넘는 날이 꾸준히 증가하고 있으며, 김용진(2011)은 서울의 1908~1917년의 평균 기온이 10.6°C인데 비해 1998~2007년의 10년 평균 기온이 13.0°C로 2.4°C 상승하여 세계 평균 기온 상승의 6배가 넘는 수치임을 보여주고 있다. 이와 같이 기후변화로 인한 지구 평균 표면 온도 증가와 도시열섬으로 인한 온도 상승효과까지 더해져 도시열섬저감 및 대응 방안 마련이 시급하다고 하겠다.

도시열섬현상(Urban heat island)의 원인으로는

다음의 요소들이 중요한 것으로 밝혀져 왔다(오규식 외, 2005; 김용진 외, 2011; 배웅규 외, 2011). 첫째, 도시화가 진행됨에 따른 도시피복의 알베도(albedo)에 따른 영향으로, 여기서 알베도는 태양복사에너지를 반사율을 뜻한다. 알베도는 콘크리트, 아스팔트, 녹지, 수면 등의 피복형태에 따라서 다른 값을 가지는데, 알베도가 낮을수록 반사율이 낮아져 태양복사에너지를 더욱 많이 흡수한다. 따라서 콘크리트와 아스팔트 등 알베도가 낮은 피복형태가 주를 이루는 도시의 경우, 태양에너지 흡수량이 증가하여 주변 교외지역에 비해 온도가 상승한다. 둘째, 도시에서 소비되는 연료 및 에너지에 따른 인공열의 발생과 오염물질의 방출량 증가 그리고 도시를 덮는 대기 오염물질이 도시열섬에 의해 도시 온도가 상승하게 된다. 셋째, 도시 주변온도를 흡수하는 수변공간이나 녹지면적의 감소 또한 온도 상승을 유발시켜 도시열섬현상이 발생하게 하는 원인이다.

도시지역에 발생하는 도시열섬의 측정 방법으로는 대표적으로 현장에서 직접 측정하는 실제측정방법과 항공기와 위성을 사용하여 온도를 측정하는 위성측정방법, 컴퓨터 프로그램을 사용하여 측정하는 시뮬레이션 방법이 있다. 각각 방법에 따라, 실제 측정방법은 관측 장비 설치가 어려우며, 시뮬레이션 방법은 정확한 온도 측정에는 용이하지만 주변지역과의 관계를 파악하기에 어려움이 있고, 위성 데이터는 도시표면의 온도만을 측정한다는 한계점이 존재한다(김용진, 2011).

본 연구에서는 그 중 열 적외선 측정으로 지표면의 온도 측정이 용이한 Landsat 7 ETM+의 위성 데이터로 측정된 온도 자료를 이용하고자 한다.

2. 수변공간과 도시열섬효과

과거 수변공간은 물을 관리하거나 홍수 등을 막는 기능적 목적 위주로 사용되어왔으나, 시간이 지

남에 따라 주민들의 이용이 줄어들고 접근성도 떨어지면서 도시공간과는 단절되어 왔다(권영상, 2010). 그러나 2002년 울산 태화강 살리기와 2003년 서울 청계천 복원사업 등 수변공간을 활용하고 하천을 정비하는 사업의 중요성이 부각되고 있다. 특히 청계천 복원사업으로 서울 도심의 열섬현상이 완화되고 주변지역은 서비스기능으로 재편되는 등 환경적으로 도시적으로 활력을 되찾는 수변 공간 개발의 긍정적 측면이 부각되고 있다(최정희, 2009).

도시 내 기온을 저감시키기 위한 방안으로는 도시지역 내의 알베도를 감소시켜 일사흡수량 및 온실효과를 저감시키는 방법과 녹지면적과 수변공간을 조성하여 주변지역의 열을 흡수시켜 저감하는 방법, 인간이 활동하는 수단에서 발생하는 열 자체를 줄이는 방안들이 있다(서응철, 2007). 이 중 수변 공간 활용과 녹지 조성이 온도 저감 효과가 커 효과적인 방안으로 주목받고 있다. 홍원화 외(2007)는 토지이용상태와 도시 기온 특성을 분석한 연구에서 수변공간이 계절에 상관없이 도시 기온과 부(-)의 관계를 나타내며, 수계 피복이 50% 이상인 지역일 경우 뚜렷하게 기온 완화효과를 보임을 보였다. 또한 수계 피복의 정도에 따라 온도차가 최대 4.5°C 정도 나서, 도시열섬저감 효과에 있어서 녹지의 비율보다 수계의 토지비율이 더 큰 영향이 있음을 보여주었다. 조성모 외(2008)는 청주시를 대상으로 토지피복형태와 열섬현상과의 관계에 대한 연구를 수행하여 건폐지, 포장지, 나지의 경우 도시 기온과 정(+)의 상관관계를, 수공간과 녹지는 부(-)의 상관관계를 보여, 수변공간이 도시온도를 저감시킨다는 결과를 제시하였다. 한편 수변공간의 조성은 직접적으로 도시기온을 저감시키는 것 외에도 도시 내 불길의 조성으로 인한 바람길을 조성하여 도시 열섬 완화에 기여한다(명수정, 2009).

3. 도시계획 및 도시설계 요소와 도시열섬효과

도시열섬효과 완화를 위해 도시설계 및 도시계획 요소를 고려한 연구들도 활발히 진행되어 왔다.

오규식 외(2005)는 서울시를 대상으로 토지이용과 건축물의 용적률·건폐율 등의 도시공간요소들이 온도에 미치는 영향을 Landsat 위성영상 및 AWS(Automatic Weather Station) 실측자료를 이용해 도출된 지표면 온도와의 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다. 연구 결과 서울의 열섬효과를 상승시키는 요인으로는 교통과 상업, 주거면적율과 건물의 용적률이 있으며, 공원 녹지의 경우 열섬저감에 효과적임을 보여주고 있다. 김용진 외(2011)의 연구에서는 서울시를 대상으로 도시설계적인 요소인 도로량, 비주거용지 비율, 건물중량비, 개발면적비율과 녹지면적 비율이 도시 온도에 미치는 영향을 보기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 본 연구에서는 기존 연구들과는 다르게 맑은 날과 흐린 날의 경우로 나누어 분석을 시행하였으며, 맑은 날의 경우에는 녹지네트워크 조성이 열섬에 미치는 영향이 큰 반면 흐린 날에는 도시의 건물과 도로의 복사열 등의 도시설계적 방안이 도시 열섬 저감에 있어 효과적이라는 결론을 도출하였다.

배용규 외(2011)의 연구에서는 열섬현상 완화를 위해 주거지 공간위계별 열섬완화 설계요소를 도출하였는데, 개별 건축물(Unit)단위에서는 옥상녹화, 건물면 색채, 주동의 형상 등이 열섬현상 완화에 효과적이며, 여러 단지가 모여 형성되는 구역(District) 및 가장 거시적인 위계인 도시(Urban) 차원에서는 녹지와 연계, 토지이용, 적절한 스카이라인 조성, 차량동선 배치 그리고 하천을 이용한 수변 공간 조성이 열섬현상을 완화 시킬 수 있는 도시설계적인 요소임을 보여주었다.

이와 같이 기존 연구들을 종합해 보았을 때 도

표1. 열섬효과 완화를 위한 물리적 요인
Table 1. Physical Factors for Heat Island Effect Mitigation

구분 (Classification)	지표 (Variables)
거시적 물리적 요인 (Macroscopic physical factors)	토지이용 Land-Use (주거면적율, 상업면적율) (Residential area ratio ,Commercial area ratio)
	녹지 Green Area
	하천 River
	피복현황 Land Cover Type
미시적 물리적 요인 (Micro-physical factors)	건축물 (용적률,건폐율) Building (Floor Area Ratio, Building Coverage Ratio)
	높이 (표고, 건물층고) Height (Altitude, Building Height)
	도로량 Traffic

시계획 및 도시설계요소가 도시열섬과 관련이 있음을 알 수 있으며, 주요 요인을 정리해보면 표1과 같다.

4. 청계천복원사업의 효과

청계천 복원사업은 2003년 5월부터 2005년 9월까지 약 2년에 걸쳐 태평로에서 마장동 신답 철교 구간의 청계천복개 구조물을 철거하고 하천을 복원하는 동시에 해당 지역의 안전, 환경, 문화 및 경제의 발전 및 회복을 위하여 이루어진 대표적 수변공간 조성 재생 사업이다. 본 사업은 도시 인프라 노후화로 인해 발생되었던 안전문제 해소, 환경 친화적인 도시 공간 조성, 역사성 회복, 주변 지역의 경제 활성화 등을 주요 목표로 하였다(서울시, 2006). 청계천 복원사업의 주요한 효과로는 다음과 같다.

1) 토지이용의 변화 및 지가 상승

청계천 복원사업 이전이 2002년에는 18건이었던 토지이용 변경 승인 횟수가 복원 사업 이후인 2006년에는 33건으로 대폭 증가 하였으며, 낙후된 건물들이 대거 재건축 되거나 새로운 건물들이 입지하게 되었다. 또한 청계천 주변지역의 토지이용의 변화로 인하여 지가가 35~80% 정도 상승하게 되었다(Lim et al., 2013). 이와 같이 청계천 복원 사업은 주변 공간의 토지 이용의 변화 및 지가 상승을 야기하였다.

2) 보행 및 대중교통중심으로 도시구조 변화

과거 청계천로와 청계천고가도로는 교통체계가 불편하여 버스와 일반차량의 통행이 뒤섞이고, 하루 16만대의 차량들이 통행하는 교통정체가 빈번히 발생하는 지역이었으나, 청계천 복원사업 이후 고가도로가 없어지고 대중교통체계(버스 중앙차로제 도입)와 보행자도로가 동시에 정비되었다. 이로 인하여 대중교통으로 접근성이 사업 이후 크게 증가하였다. 또한 시청광장과 보행자도로가 이어지면서 보행환경이 크게 개선되었다(양윤재, 2008).

3) 주변지역 대기질 개선 완화

청계천 복원 전·후의 대기오염정도를 비교해 보면 이산화질소(NO₂)의 농도는 51.0에서 46.0PPB로 10% 감소하고, 미세먼지(PM₁₀)의 경우에는 71.0 μg/m³에서 60.0μg/m³로 16% 농도가 감소했고, 중금속인 Fe와 Mn의 농도는 청계천 복원 전·후로 큰 증감 형태를 보이지 않았다. 이러한 결과는 청계천 복원의 직접적인 영향보다는 주변지역의 교통량이 크게 감소한 점과, 주변 가게들이 정비되어 얻은 영향이 큰 것을 알 수 있다(장영기, 2010).

4) 도시열섬현상 완화

청계천 복원사업 이전에는 노후화된 고가도로 및 교통정체 등으로 인하여 청계천 고가도로 일대가 서울 도시열섬현상이 일어나는 주요 지역 중 하나였다(한수곤 외, 2006).

하지만 복원 사업 후 노후화된 구조물 제거 및 수변공간 형성으로 인하여 현재는 주변 지역에 비하여 낮은 온도를 보이고 있다. Kim et al(2008)는 복원 전인 2002년과 2003년 그리고 복원 후인 2005년의 실측 데이터 기온 비교를 통해, 청계천 지역의 평균 온도가 0.4℃ 감소하였음을 보였다. 또한 수직적으로 청계천 남쪽 지역에서 북쪽으로 기온을 측정하여 온도 감소 추이를 보이고 있다. 한편 청계천 주변 지역 중 직접적인 영향을 받는 청계4가와 물길이가 흐르지 않는 종로5가를 대상으로 평균 온도 분포를 비교해 보았을 때, 청계4가가 약 1.7℃ 정도 낮은 온도 분포를 보이고 있다(김운수, 2006).

5. 소결

앞에서 논의된 바와 같이 청계천 복원 사업이 주변지역에 비해 도시 기온을 감소시키고 열섬 저감에 기여했다는 선행 연구들이 존재하지만, 기존의 연구들은 사업 전후의 일차원적인 온도 변화 비교 및 분석 단위가 지역 전체로 한 거시적 연구가 대부분이었다. 또한 복원 사업과 함께 발생한 도시공간 요소의 변화에 대한 고려와 청계천으로부터 거리에 따른 영향 등이 고려되지 않아 실제로 청계천 복원으로 인한 수변공간의 조성이 도시열섬완화에 대한 기여 정도에 대한 정확한 분석이 이루어지지 않았다. 따라서 청계천 복원 사업으로 인한 온도 변화에 대한 영향 분석에 있어 주변부의 토지이용이나 피복상태, 건축물 높이, 녹지의 변화 등에 대한 고려가 필요하다. 실제로 청계천 복원 전인

2001년의 토지의 용도 변경은 18건에서 복원 후 2006년 33건으로, 청계천 복원 사업이 토지이용과 지가의 상승에 영향을 미쳤으며(Lim et al. 2013), 이와 같은 물리적 요소(토지이용, 건축물 등)의 변화는 도시의 열섬효과와 밀접한 관계를 가지므로 이에 관한 고려가 필요한 것이다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구의 한계점을 보완하여 분석단위를 30m×30m 격자셀로 청계천 수변공간의 인근지역의 토지이용, 건축물, 피복현황, 녹지 등의 도시의 물리적 요소의 영향 및 청계천으로부터 거리의 영향을 고려하여 청계천 복원사업이 도시열섬현상에 미치는 영향을 심층 분석하고자 한다.

III. 분석의 틀

1. 분석 대상 및 방법

본 연구에서는 청계천 복원 사업이 도시열섬 현상에 미치는 영향을 분석하기 위하여 선행연구를 바탕으로 표 2와 같이 도시열섬에 영향을 줄 수 있는 변수를 선정하였다. 측정분석 단위는 도시온도를 30m×30m 격자셀로, 대상지에 해당하는 모든 격자셀의 수는 3615개 이다. 변수에 대한 설명은 다음과 같다.

종속변수로는 Landsat 7 ETM+로 측정된 지표면 온도를 사용하였으며, 독립변수로는 토지이용, 피복현황, 건축물 특성 및 청계천으로부터의 거리 변수가 사용되었다.

토지이용 변수는 2000년과 2010년의 도시생태현황도 자료상에 있는 토지이용도에 근거하여 각 그리드에 포함되는 주거지역과 상업지역의 면적율로 계산된다. 녹지면적은 도시생태현황도의 녹지율 데이터를 근거로 하여 m^2 으로 계산되며, 도로 면적은 서울시 GIS 자료를 근거로 m^2 으로 산출하였다.

표 2. 변수의 선정 Table 2. Variables for Analysis

구분 (Classification)	변수 (variables)	변수설명 (Data generation)	단위 (Unit)	출처 (Source)
종속변수 (Dependent Variable)	온도 Temperature	Landsat 7 ETM+로 측정된 지표면 온도 Surface Temperature	°C	USGS, GIS
독립변수 (Independent Variable)	토지이용 Land Use (x_{a1})	주거면적율, 상업면적율 House Area Ratio, Commercial Area Ratio	%	도시생태현황도 Biotop Map of Seoul
	피복현황 Land Cover (x_{a2})	녹지면적, 도로면적 Green Area, Road Area	m ²	도시생태현황도 Biotop Map of Seoul 서울시 GIS 자료 Seoul Gis Data
	건축물 특성 Building (x_{a3})	용적률, 건폐율, 건물지하층고 Floor Area Ratio, Building Coverage Ratio, Building Height	%	건축물 대장, 수치지도, 서울시 GIS 자료 Building Register Digital Map Data Seoul Gis Data 10m DEM(표고), Digital Map Data
	복원사업의 효과 The Effects of Restoration Projects (d)	하천으로부터의 거리 Distance from the River	m	저자 계산 Own calculation

건축물의 용적률과 건폐율 변수는 건축물대장¹⁾과 수치지도상의 건물 데이터 파일과 결합하여 도출하였다. 한편 복원사업의 효과를 보여주는 하천과의 거리 변수는 청계천을 기준으로 GIS상에서 각 그리드간 수직거리로 표현 한다.

본 연구에서 이루어진 분석 모형은 표3과 같이 일반 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis) 및 1차 차분 모형을 이용하여 이루어졌다. 여기서 모델1과 2는 각각 복원사업 전인 2000년과 복원사업 후인 2010년의 독립변수들이 지표면 온도에 미

치는 영향을 식(1)과 같이 다중회귀분석 최소자승법을 실시하여 분석하였다. 모델3에서는 식(2)와 같이 1차 차분모형을 이용하여 본 연구에서 도시열섬에 영향을 줄 수 있는 분석 지역의 특성이 포함된 오차항 (ϵ_i)을 1차 차분을 통해 제거함으로써, 다른 요소들을 제외하고 청계천 복원사업 자체가 도시열섬에 주는 영향을 정확히 분석 할 수 있게 한다.

$$y_i = \beta_0 + \sum_{a,i} \beta_{ai} X_{ai} + \gamma d_i + \epsilon_i \quad \dots \quad \text{식(1)}$$

- 단, y_i : 2000·2010년도의 지표면 온도
- β_{ai} : 물리적 요소 a의 독립변수 i의 계수
- X_{ai} : 물리적 요소 a의 독립변수 i
- γd_i : 청계천으로 부터의 거리
- ϵ_i : 오차항

표 3. 분석 모델
Table 3. Analysis Model

구분 (Classification)	종속변수 (Dependent Variable)	분석방법 (Analytical Methods)
Model 1	T_{2000}	최소자승법(OLS)
Model 2	T_{2010}	최소자승법(OLS)
Model 3	$\Delta T = T_{2010} - T_{2000}$	1차 차분분석

$$\Delta y_i = \beta_{ai} \Delta x_{ai} + (\gamma_{2010} - \gamma_{2000}) d_i \dots \text{식(2)}$$

- 단, Δy_i : 지표면 온도의 변화량($T_{2010} - T_{2000}$)
- β_{ai} : 물리적 요소 a의 독립변수 i의 계수
- Δx_{ai} : 물리적 요소 a의 변화량($X_{2010} - X_{2000}$)
- d_i : 청계천으로부터의 거리
- $(\gamma_{2010} - \gamma_{2000})$: 복원사업의 효과

2. 지표면 온도 설정 방법

1) Landsat 7 ETM+로 인한 도시 온도 측정

본 연구에서는 현재 지구관측을 하는 Landsat 위성 중 Landsat 7의 위성영상을 이용하여 지표면 온도(Land Surface Temperature)를 산출하였다. Landsat 7은 기존의 TM 센서를 보다 발전시킨 ETM+ 센서를 탑재하고 있으며 TM과 비교할 때 Thermal Band의 해상도가 120m에서 60m로 향상 되어 보다 정밀한 지구 관측이 용이해졌고, 15m 해상도의 Panchromatic Band가 추가되어 다양한 방법으로 더 좋은 영상 제공 가능하다는 장점이 있다. Landsat 7 ETM+ 은 미국지질조사국(United States Geological Survey: USGS)에서 무료로 제공하고 있다.

표 4. 두 시점의 관측결과
Table 4. Observation results of the two time

관측일자 Analysis period	서울시 평균 온도 Temperature (°C)	풍속 Wind speed (ms^{-1})	운량 Cloudine ss
Period I (2000.09.14.)	19.58	14	1.0 %
Period II (2010.09.16.)	19.3	2.1	9.0 %

영상의 관측일자는 표4과 같이 청계천 복원사업(2003~2005)의 복원 전인 2000.9.4.과 복원 후인

2010.9.16 을 대상으로 하며, 분석의 정확도를 높이기 위하여 운량이 10%이하인 영상 중 기상조건과 기간이 가장 흡사한 두 시점을 대상으로 연구를 진행했다. 이는 일반적으로 열섬강도는 맑고 바람이 잔잔한 날 강하게 나타난다는 조건을 고려하여, Landsat 7 ETM+ 의 2000년과 2010년의 영상의 출력결과가 인접한 날인 9월을 대상으로 한 것이다.

위성영상을 지표면 온도로 변환하기 위하여 본 연구에서는 지구의 위성영상을 가시화하기 용이한 프로그램인 ENVI 5.1을 사용한 예일지구관측센터(The Yale Center for Earth Observation)의 변환 방법②으로 다음과 같은 세 단계를 거쳐 온도를 산출하였다.

우선 첫 번째로, Digital Number(DN)값을 방사휘도(Radiance)로 식(3)에 따라 변환한다.

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) \times (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \dots \text{식(3)}$$

- L_{λ} : 방사휘도 watts / (meter squared * ster * μm)
- $LMIN_{\lambda}$: 최소방사휘도 QCAL=0일때 분광복사에너지
- $LMAX_{\lambda}$: 최대방사휘도 QCAL=QCALMAX일때 분광복사에너지
- $QCALMIN$: DN단위로 정량화된 최소복사에너지
- $QCALMAX$: DN단위로 정량화된 최대복사에너지
- $QCAL$: Digital Number, DN

두 번째로, 방사휘도를 절대온도(Kelvin)로 식(4)에 따라 변환한다. ETM+과 TM 열적의 밴드의 보정 상수는 표5와 같다.

$$T = \frac{K_2}{\ln(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1)} \dots \text{식(4)}$$

- T : 실제 위성 절대온도(Kelvin)
- K_1, K_2 : 보정상수
- L_{λ} : 방사휘도, 단위 watts / (meter squared * ster * μm)

표 5. ETM+과 TM 열적외 밴드의 보정 상수
Table 5. Correction factor for thermal infrared band

구분 (Classification)	Constant 1 - K1	Constant 2 - K2
	watts/(meter squared×ster ×μm)	Kelvin
Landsat 5	607.76	1260.56
Landsat 7	666.09	1282.71

세 번째로, 절대온도를 섭씨온도(Celsius)로 변환하여 위성영상을 지표면 온도로 변환한다. 절대온도를 섭씨온도로 변환하기 위해 식(5)과 같이 273.15를 차감하여 계산한다.

$$T(^{\circ}C) = T - 273.15 \dots\dots\dots \text{식(5)}$$

2) Gapfill 함수를 이용한 위성 영상의 보정

Landsat 7 ETM+ 위성영상은 기존의 Landsat 5 보다 지표면 온도를 정확히 측정하는 장점이 있지만, SLC(Scan Line Corrector)의 기능을 보정해 줄 필요가 있다. 이 손상되어 2003년 5월 31일 부터 데이터의 일부분이 측정되지 않는 문제가 발생

하고 있다. 이를 위하여 USGS(United States Geological Survey)에서 제공하는 Gapfill 함수는 데이터가 손상된 지역주변의 정상화소에 대한 상관 회귀식을 최소제곱법 방법을 사용하여 손상된 지역을 복구한다(박준규, 2012).

IV. 분석결과

1. 대상지의 기온분포 변화

Landsat 7 ETM+로 서울시의 지표면온도를 ArcGis 10.2로 표현한 결과 표6과 같이 나타났다. 복원 전인 Period I (2000. 09. 14.)의 서울시 전체 지표면 온도의 평균은 19.58℃ 였지만, 대상지의 평균 온도가 21.45℃로 1.88℃차이로 서울에서도 도시열섬이 뚜렷하게 나타나고 있다.

복원 후인 Period II (2010. 09. 16.)의 서울시 평균기온은 19.3℃ 이고, 대상지의 평균 온도가 20.63℃ 로 1.31℃ 차이가 나는 것을 알 수 있다. 단순히 기온을 비교 했을 때 복원 전 후로 약 0.5℃ 정도 주변지역보다 기온이 하락한 것을 알 수 있다. 특히, 표6의 기온분포도를 보면, 복원사업이

표 6. Landsat7 ETM+ 복원 전·후의 기온분포도
Table 6. Landsat7 ETM+ Temperature distribution before and after restoration

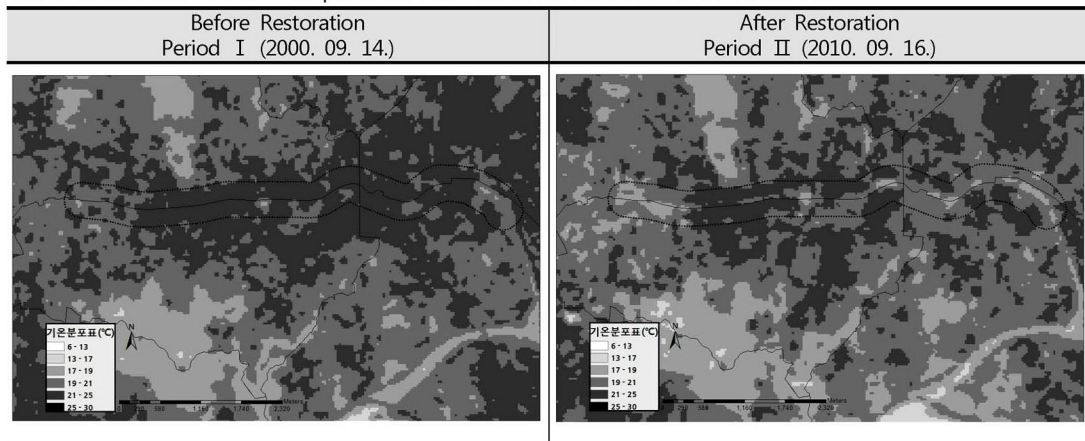


표 7. 기초통계량
Table 7. Basic statistics

변수명 (Indicator)		단위 (Unit)	N		Mean		Std. Dev		Min		Max	
			2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
Urban Temperature	Surface Temperature	°C	3615	3615	21.46	20.61	0.89	1.31	18.22	17.33	23.69	24.81
Land Use	Commercial Area Ratio	%	3615	3615	42.06	40.67	43.44	43.29	0	0	100	100
	House Area Ratio	%	3615	3615	5.56	7.90	21.50	25.16	0	0	100	100
Land Cover Type	Green Area	m ²	3615	3615	44.66	84.66	137.24	217.26	0	0	900	900
Traffic	Road Area	m ²	3615	3615	252.54	204.42	330.59	276.65	0	0	900	900
Building	Building Coverage Ratio	%	3615	3615	23.1	25.6	29.8	31.2	0	0	99.9	99.8
	Floor Area Ratio	%	3615	3615	124.6	109.0	232.4	185.1	0	0	1677.6	1644.7
Building Height	Underground Floor	unit	3615	3615	0.50	0.55	0.86	0.92	0	0	7	7
River	Distance from the River	m	3615	3615	99.48	99.48	70.89	70.89	0	0	249.51	249.51

시작되었던 태평로 부근과 대상지 동쪽 부분의 온도 변화가 큰 것을 파악 할 수 있다.

피복현황의 변화에서는 녹지지역의 면적이 44.66m²에서 84.66m²으로 평균 약 2배 증가하였으며, 도

2. 분석지표의 기초통계량 요약

청계천을 중심으로 250m 버퍼 된 공간에 30m×30m의 3615개의 그리드로 중첩시켜 분석한 결과 표7과 같은 결과가 도출되었다.

복원 전과 후의 토지이용의 변화로는 상업면적율의 평균이 42.06%에서 40.67%로 감소하였고, 주거면적율은 5.56%에서 7.90%으로 증가 하는 것을 볼 수 있다. 실제로 복원사업이 시행되었던 22개 구역 중 1개의 구역의 재개발, 재건축, 용도변화에 대한 신청건수는 2000년도 8건에서 2002년도 23건, 2006년도 33건 등 으로 하천의 복원뿐만 아니라 주변지역의 물리적인 변화가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다(Lim et al., 2013). 또한 건축물의 건폐율은 23.1%에서 25.6% 증가한 반면 용적률은 124.6%에서 109%로 다소 감소 한 것을 볼 수 있다.

표 8. 주요 변수 변화량 (2000-2010) 대응표본 t검정 통계량

Table 8. Paired T-Test statistics

Variable	Mean Difference between 2000 and 2010	t	df	Sig.
Surface Temperature	0.86	42.36	3614	0.00
Commercial Area Ratio	1.38	5.85	3614	0.00
House Area Ratio	-2.34	-9.09	3614	0.00
Green Area	-39.99	-11.07	3614	0.00
Road Area	48.11	18.11	3614	0.00
Building Coverage Ratio	-2.26	-3.63	3614	0.00
Floor Area Ratio	17.82	3.62	3614	0.00
Underground Floor	2.36	34.71	3614	0.00

로 면적은 252.54㎡에서 204.42㎡로 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 복원사업으로 인하여 고가도로를 철거하고, 하천주변으로 녹지공간을 조성하였기 때문이다. 이와 같은 청계천 복원사업지구의 물리적 변화에 대한 통계적 유의성을 검증하기 위하여 대응표본 t검정을 표8과 같이 실시하였다.

검정 결과 2000년과 2010년간의 토지이용, 피복현황, 도로면적, 건축물 특성의 변화가 유의수준 5%에서 모두 통계적으로 유의한 것으로 검증되었다. 이와 같은 결과는 청계천복원사업의 열섬현상 저감에 대한 분석 시 대상지역의 물리적 변화에 대한 고려도 함께 이루어져야 함을 시사하고 있다.

3. 다중회귀분석 및 1차 차분 분석 결과

본 연구는 청계천복원사업이 도시열섬현상에 미치는 영향을 측정하기 위해 위성영상을 지표면 온도로 변환하고, 도시의 거시적 요인과 미시적 요인을 30m×30m의 격자로 중첩시켜 다중회귀분석 및 1차 차분 분석을 실시하였으며, 그 결과는 표9와 같다.

모델 1과 2는 청계천 복원사업 전·후의 도시특성 요인 및 청계천부터의 거리가 온도에 미치는 영향에 대한 횡단면 데이터 분석으로 주요 결과는 다음과 같다.

본 연구의 목적으로 수 공간이 도시온도에 미치는 영향을 알기 위해 선정한 청계천으로의 거리 변수의 분석 결과는 청계천 복원사업으로 인한 수 공간 조성의 영향을 직접적으로 보여주고 있다. 모델 1의 부(-)의 계수는 사업이전 현재 청계천의 위치, 즉 그 당시의 청계고가도로로부터의 거리가 멀어질수록 기온이 감소하여, 청계고가 주변의 열섬현상이 그 주변보다 더욱 컸음을 의미한다. 반면, 모델 2의 양(+)의 계수는 복원 후 청계천으로부터의 거리가 가까울수록 기온이 감소하는 것으로, 수 공간 조성

으로 인한 열 흡수 능력이 강화됨을 시사하고 있다. 회귀분석결과, 다른 물리적 조건이 동일한 경우 청계천으로부터 100미터 더 가까이 위치할수록 온도가 약 0.4℃ 감소하는 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

토지이용 부문의 경우 모델1·2에 대하여 통계적으로 유의한 정(+)의 관계를 갖는 것으로 도출되었으며, 이는 상업지역의 면적과 주거지역의 면적의 비율이 높을수록 도시온도가 상승하는 것을 시사하고 있다. 피복현황 부문 또한 모델1·2에 대하여 통계적으로 유의한 부(-)의 관계를 갖는 것으로 도출되었으며, 이는 녹지면적이 높을수록 도시온도를 감소시키는 것으로 나타났다. 도로 부문은 모델1·2에 대하여 통계적으로 유의한 정(+)의 관계를 갖는 것으로 도출되었으며, 이는 도로 면적이 증가할수록 도시온도를 상승시키는 것으로 나타났다. 건축물 부문에서는 모델1·2에 대하여 통계적으로 유의한 결과 값을 가지는 것으로 도출되었고, 용적률 변수는 모델1·2에 대하여 통계적으로 유의한 정(+)의 값을 가져, 대지면적 당 건물 면적이 증가할수록 열저장 공간이 증가하여 도시온도를 상승시키는 것으로 나타났다. 한편 용적률 변수는 모든 모델에 대하여 통계적으로 유의한 값을 가지지만, 모델 2에선 정(+)의 관계를, 모델 1과 3에선 부(-)의 관계를 가지는 것으로 나타났다.

1차 차분모형을 사용한 모델3에서는 온도에 영향을 미치는 지역 고유의 특성 요소들을 제거하여 청계천 복원 사업의 효과를 측정하고자 하였다. 청계천으로 부터의 거리 변수의 계수는 복원 전과 복원 후의 청계고가로부터의 영향으로 주변지역과 실측으로 나타난 온도 차이를 알 수 있기 때문에 복원사업 자체가 도시열섬에 주는 효과를 나타내고 있다. 청계고가로부터의 거리 변수가 양의 유의한 계수를 갖는 것은 청계천으로부터의 거리가 멀어질수록 온도의

표 9. 분석 결과

Table 9. Analysis Results

변수명 (Indicator)		Model 1 (2000)	Model 2 (2010)	Model 3 (Panel analysis)
분석방법		최소자승법 (OLS)	최소자승법 (OLS)	1차 차분 분석 (First-Order Difference Analysis)
토지이용 Land Use	상업 면적율 Commercial Area Ratio	0.0037* (0.000)	0.0121* (0.000)	0.0090* (0.000)
	주거 면적율 House Area Ratio	0.0048* (0.000)	0.0016* (0.037)	-0.0033* (0.01)
피복현황 Land Cover Type	녹지 면적 Green Area	-0.0003* (0.004)	-0.0004* (0.000)	0.0003* (0.003)
도로량 Traffic	도로 면적 Road Area	0.0000 (0.378)	0.0002* (0.031)	0.0019* (0.000)
건축물 Building	건폐율 Building Coverage Ratio	0.0031* (0.000)	0.0073* (0.000)	0.0050* (0.000)
	용적률 Floor Area Ratio	-0.0006* (0.000)	0.0003* (0.050)	0.0000 (0.647)
건물층고 Building Height	지하층수 Underground Floor	-0.0648* (0.000)	-0.4216* (0.000)	-0.0019 (0.688)
청계천으로부터의 거리 Distance from the River		-0.0005* (0.022)	0.0039* (0.000)	0.0031* (0.000)
상수항 Constant		21.52 (0.000)	19.72 (0.000)	-1.08 (0.000)
R-squared (Adj R-squared)		0.1598 (0.1579)	0.3488 (0.3474)	0.1476 (0.1458)

주1) * 유의수준 5%(p<0.05)에서 유의함, ** 유의수준 10%(p<0.1)에서 유의함

2000년과 2010년의 온도차이가 더 크게 나는 것을 의미하며, 이는 청계천 복원 사업으로 인하여 청계천가가 위치하고 있던 기존의 열 집중 지역이 열 흡수 지역으로 바뀌어 오히려 청계천으로부터의 거리가 멀어질수록 온도가 감소함을 명확히 보여주고 있는 것이다.

한편 토지이용 측면에서는 상업지역의 면적의 증가량이 커질수록 온도 변화가 증가하며, 주거지역의 면적 증가량이 커질수록 온도 변화가 감소하는 것으로 나타났다. 건축물 측면에서는 건폐율 변화는 유의한 정(+)의 관계가 있는 것으로 도출되었으며 용적률 변수는 유의하지 않다는 결과가 도출되었다. 피복현황 측면에서는 녹지면적 및 도로면적의 증가량이

온도 변화를 크게 하는 것으로 드러났다.

V. 결론 및 시사점

본 연구에서는 청계천복원사업지역을 대상으로 지표 온도를 Landsat7 ETM+ 영상을 통해 산출하고, 도시열섬저감에 영향을 주는 도시 공간의 물리적 요소들과 청계천 복원 사업의 영향을 측정할 수 있는 변수들을 설명변수로 선정하여 다중회귀분석을 실시하였다. 이를 바탕으로 도출된 연구 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 청계천 복원사업으로 인한 도시 열섬효과 완화 효과가 명확하게 입증되었다. 2000년의 경우

청계고가 가장 온도가 높은 열 저장 핵심 지역으로 청계 고가로부터 거리가 100m 가까울수록 도시 기온이 -0.05°C 상승함을 알 수 있다. 반면, 청계천 복원사업이 실시된 2010년에는 청계천으로부터 거리가 100m 가까울수록 온도가 0.39°C 하락함을 알 수 있다. 이와 함께 1차 차분 분석을 통하여 청계천으로부터의 거리변수의 계수가 양의 값이 도출되었으며, 이는 청계천으로부터 멀어질수록 2000년도와 2010년간의 온도 차이가 더욱 커짐을 의미하여 청계천 주변지역이 복원 사업으로 인하여 도시 열섬을 감소했다는 점을 시사하고 있다.

둘째, 기존 연구결과에서와 같이 토지이용, 피복현황, 건축물 특성 등의 물리적 특성 요인 또한 도시 온도에 영향을 미치는 것으로 재확인되었다. 청계천 복원 사업은 청계천 복원 외에 주변 지역의 토지이용, 피복현황 및 건축물에도 영향을 미쳤는데 상업 면적율, 주거 면적율, 건폐율 등이 도시 온도를 상승시키는 것으로 나타났으며, 반면에 녹지 면적과 지하 층수의 증가가 도시 온도 상승 저감에 효과적인 것으로 드러났다. 이는 상업 및 주거 시설로 인한 열 저장 공간의 증가가 도시 열섬에 부정적 영향을 미치며, 녹지 조성이 도시 열섬 완화에 효과적이라는 기존의 연구 결과와도 일치하는 결과이다.

이와 같은 본 연구 결과의 기존 연구와의 차별점은 기존연구에서는 청계천 복원사업의 환경에 미치는 영향 분석이 대부분 일차원적인 사업 전·후의 도시온도 저감 비교에 그쳤지만, 청계천 주변지역의 물리적 요소 변화를 30m×30m의 세밀한 격자단위로 분석하고, 청계천으로부터의 거리에 따른 온도 변화를 분석하여 도시공간적 요소 변화 및 수 공간 개발이 주변 온도에 미치는 영향을 객관적으로 분석했다는 데에 있다. 또한 도시열섬을 측정하기 위해 기존 연구에서 사용했던 Landsat 6 TM 영상보다 정확한 측정값을 가지는 Landsat 7 ETM+ 영상을

사용하여 보다 정확한 지표면 온도를 산출하였으며 Gapfill 함수 보정을 통하여 분석결과의 설명력을 높였다.

이와 같은 연구결과는 수변공간개발이 도시열섬 저감에 효과적인 방안임을 입증하며, 이와 함께 기후변화에 대응하는 지속가능한 도시조성에 있어, 현재의 다양한 도시 개발 및 재생 사업시 사업으로 야기될 수 있는 토지이용, 피복현황 및 건축물 특성 변화가 도시 온도에 미치는 영향이 계획단계에서 사전 영향 분석 등을 통하여 충분히 고려되어야 함을 시사하고 있다.

-
- 주1. 2000년 건축물 자료는 취득상의 문제로 2002년 건축물 대장의 자료를 참고하여 도출하였다.
 - 주2. 지표면온도를 산출 하는 예일지구관측센터(The Yale Center for Earth Observation)의 변환 식은 NASA에서 제공하는 Landsat 7 Science Data Users Handbook을 참고로 하였다.

인용문헌 References

1. 권영상·조민선, 2010. 「수변공간 활성화를 위한 도시계획 및 설계방향」, 경기: 건축도시공간연구소..
Kwon, Y, and Cho, M., 2010. *(A) study on the urban planning and design principles on riverfront*, Gyeonggi: Architecture & urban research institute.
2. 김재욱·이동근·오규식·성현찬, 2003, "연구논문 : 하천 및 녹지와 온도의 관계에 대한 기초적 연구-청계천 복원을 중심으로", 「한국환경복원기술학회지」, 6(3): 79-85.
Kim, J., Lee, D., Oh, G, and Sung, H., 2003. "Articles : A Fundamental Study on the Relationship Between Riparian Vegetation and Surface Temperature-Focused on Cheonggaeecheon Stream Restoration", *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 6(3): 79-85.

3. 김윤수·조용현, 2006. 「청계천,서울숲 조성에 따른 미기후 및 생태변화 조사연구」, 서울: 서울시정개발연구원.
Kim, W, and Jo, Y., 2006. *Cheonggyecheon, Seoul microclimate and ecological change in forests*, Seoul: The Seoul Institute.
4. 김용진·강동화·안건혁, 2011, “기후변화에 따른 도시열섬현상 특성 변화와 도시설계적 대안 모색에 관한 기초연구”, 「한국도시설계학회지」, 12(3): 5-14.
Kim, Y., Kang, D, and Ahn, K., 2011. “Characteristics of Urban Heat-Island Phenomena caused by Climate Changes in Seoul, and Alternative Urban Design Approaches for their Improvements”, *Journal of the Urban Design Institute of Korea*, 12(3): 5-14.
5. 명수정, 2009, 「도시지역의 기후변화 적응을 위한 열섬현상 완화방안 연구」, 세종: 한국환경정책평가연구원.
Myung, S. J., 2009. *(A) study on strategies to mitigate urban heat island effects as part of climate change adaptation in urban areas*, Sejong: Korea Environment Institute.
6. 박기용·이선우·심용주·황희연, 2011, “수공간 조성을 통한 도시의 열섬현상 저감효과 분석”, 「한국생태환경건축학회논문집」, 11(5): 13-18.
Park, K, Lee, S., Shin, Y, and Hwang, Hee., 2011. "Analysis on the Mitigation Effects of Urban Heat Island through Creation of Water Space - A case study of Yeol-Mae village Apt in Daejeon"s Noeun District", *Journal of the Korea institute of ecological architecture and environment*, 11(5): 13-18.
7. 박준규·김민규, 2012, “Gapfill 함수에 의한 SLC off 영상 보정 및 활용성 평가”, 「한국산학기술학회논문지」, 13(8): 3692-3697
Park, J, and Kim, M., 2012. "SLC-off Image Correlation and Usability Evaluation by Gapfill Function", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 13(8): 3692-3697
8. 배용규·송두삼, 2011. “열섬현상 완화를 위한 주거지 공간위계별 설계요소 도출 연구”, 「대한건축학회 논문집-계획계」, 27(6): 195-204.
Bae, W, and Song, D., 2011. "Urban Design Elements for the Mitigation of Urban Heat Island Effect according to Urban Spatial Hierarchy", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 27(6): 195-204.
9. 송병근·박경훈, 2012. “도시공간을 고려한 야간시간대의 열섬특성 분석”, 「한국지리정보학회지」, 15(10): 133-143.
Song, B, and Park K., 2012. "Analysis of Heat Island Characteristics Considering Urban Space at Nighttime", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 15(10): 133-143.
10. 서울특별시, 2006. 「청계천복원사업 백서」. 서울. Seoul Metropolitan Government, 2006. *White paper on Cheonggye Stream Restoration Project*, Seoul.
11. 서응철, 2007. “도시열섬 완화를 위한 제도개선”, 「한국생태환경건축학회논문집」, 7(2): 17-22.
Suh, Eung, Chul., 2007. "A Study on the Mitigation Policies for Urban Heat Island", *Journal of the Korea institute of ecological architecture and environment*, 7(2): 17-22.
12. 양윤재, 2008, “도시재생 전환기제로서 청계천 복원사업의 역할과 성과에 관한 연구”, 「한국도시설계학회지」, 9(4): 307-328.
Yang, Y. J., 2008. "A Study on the Role of the Restoration of Cheonggyecheon as a Catalyst for Urban Regeneration", *Journal of the Urban Design Institute of Korea*, 9(4): 307-328.
13. 이강국·홍원화, 2008, “도시 열환경 유형 분석 및 완화방안에 관한 연구”, 「대한건축학회 논문집 - 계획계」, 27(9): 253-260.
Lee, K, and Hong, W., 2008. "A Study on the Urban Heat Environment Pattern Analysis and Alleviation Plan", *Journal of the Architectural*

- Institute of Korea Planning & Design*, 27(9): 253-260.
14. 이우성·정성관·박경훈·김경태, 2010. "친환경적 공간계획을 위한 도시의 열환경 분석", 「한국지리정보학회지」, 13(12): 142-154.
Lee, W., Jung, S., Park, K., and Kim, K., 2010. "Analysis of Urban Thermal Environment for Environment-Friendly Spatial Plan", *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 13(12): 142-154.
 15. 오규식·홍재주, 2005. "도시공간 구성요소와 도시 열섬현상의 관련성 연구", 「한국도시설계학회지」, 6(1): 47-63.
Oh, K., and Hong, J., 2005. "The Relationship between Urban Spatial Elements and the Urban Heat Island Effect", *Journal of the Urban Design Institute of Korea*, 6(1): 47-63.
 16. 장영기·김정·김호정·김운수, 2010. "청계천복원공사에 따른 청계천과 주변지역의 대기질 변화분석", 「한국영향평가」, 19(1): 99-106.
Jang, Y., Kim, J., Kim, H., and Kim, W., 2010. "Analysis of Air Quality Change of Cheonggyecheon Area by Restoration Project", *Journal of environmental impact assessment*, 19(1): 99-106.
 17. 조병희·조윤원·김성재, 2009. "도시복원사업의 열환경 변화 분석을 위한 ASTER 열적외 위성영상 자료의 활용", 「한국지리정보학회지」, 12(1): 73-80.
Jo, M., Jo, Y., and Kim, S., 2009. "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*, 12(1): 73-80.
 18. 조성모·윤용한·류을렬·박봉주·김원태, 2009. "도시내 용도지역의 토지피복형태가 열섬현상에 미치는 영향", 「한국환경과학회지」, 18(7): 169-176.
Cho, S., Yoon, Y., Ryu, E., Park, B., and Kim, W., 2009. "The Influence of Land Cover and Zoning on the Urban Heat Island in Cheongju", *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 18(7): 169-176.
 19. 최정희·김기연·장경철, 2009. "뉴욕시 수변공간의 계획특성 연구 - 로어 맨해튼 사례를 중심으로", 「대한건축학회 논문집-계획계」, 25(9): 241-248.
Choi, J., Kim, K., and Jang, K., 2009. "A Study on the Characteristic of Urban Waterfront Projects in New York City - Focus on the cases of Lower Manhattan", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 25(9): 241-248.
 20. 한수근·허정호, 2006. "청계천 복구에 따른 주변건물의 냉방부하 저감효과에 관한 연구", 「대한건축학회 학술발표대회논문집」, 대구: 대구컨벤션센터.
Han, S., and Huh, J., 2006. "Analysis of Restored Choengye Stream Effect on Reducing the Building Cooling Loads", Paper presented at the Conference of Architectural Institute of Korea, Daegu: Daegu Exhibition & Convention Center.
 21. 홍원화·이강국·서원덕, 2007. "토지이용상태에 따른 도시 기온 특성과 열환경 시뮬레이션", 「대한건축학회 논문집-계획계」, 23(9): 139-146.
Hong, W., Lee, K., and Suh, W., 2007. "Characteristics of Urban Temperature and Thermal Environment Simulation According to Land Usage", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 23(9): 139-146.
 22. 홍제우·홍진규·이성은·이재원, 2013. "자동기상관측소의 국지기후대에 근거한 서울 도시 열섬의 공간 분포", 「대기」, 23(4): 413-424.
Hong, J., Hong, J., Lee, S., and Lee, J., 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.

23. Kim, Y. and Ryoo, S. and Baik, J. and Park, I. and Koo, H. and Nam, J., 2008, "Does the restoration of an inner-city stream in Seoul affect local thermal environment?", *Theoretical and Applied Climatology*, 92(3-4): 239~239~248.
24. Lim, H. and Kim, J. and Potter, C. and Bae, W., 2013, "Urban regeneration and gentrification: Land use impacts of the Cheonggye Stream Restoration Project on the Seoul's central business district", *Habitat International*, 39: 192-200.
25. Oke, T.R. 2006, *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*, Geneva: World meteorological organization.

Date Received 2015-04-16
Date Reviewed 2015-05-21
Date Accepted 2015-05-21
Date Revised 2015-05-22
Final Received 2015-05-22