

근린단위의 도시열섬관리를 위한 국지온도와 도시환경의 관계

이건원

호서대학교 건축토목환경공학부

Relationship between Urban Environment and Local Temperature for Managing Urban Heat Island Effect in Neighborhood

Gunwon Lee

Division of Architecture, Civil & Environmental Engineering, Hoseo University

요약 본 연구는 국지온도에 영향을 미치는 요소를 도출함으로써 국지온도 관리 및 열섬현상 저감을 위한 효과적인 정책제시를 위한 기초데이터 확보를 목적으로 한다. 국지온도에 영향을 미치는 요소로 자연환경, 토지이용, 토지피복 등의 세 가지를 선정하였다. 이를 위해 2007년, 2011~2016년 7월과 8월의 전국 자동기상관측시스템(AWS, Automatic Weather System) 측정 지점 500m 반경(0.79km²) 내의 토지피복도, 토지이용 면적 데이터를 활용하였다. 연구를 위해서 다중회귀분석을 바탕으로 위계적 회귀분석(Hierarchical Regression Analysis)을 이용하여 각 변수의 투입에 따른 모델의 설명력을 검토하였다. 연구 결과, 도시열섬 저감 및 국지온도 상승을 억제하기 위해서 교통관련 인자들에 대한 조절을 위한 적절한 정책적 수단이 필요하며, 그리고 국지온도 상승을 억제하기 위해서 산림지 면적을 증가시킬 수 있도록 토지이용계획상의 배려가 필요하다는 결론을 얻을 수 있었다. 본 연구는 추후 열섬현상 저감을 위해 보다 효과적인 정책 수립과 도시의 지속성 제고 전략을 마련할 수 있는 방안을 제시했으며, 토지이용과 토지피복면적 등의 상세한 자료들을 분석에 활용했다는 점에서 의의가 있다.

Abstract This study aims to offereffective policies for managing local temperatures and reducing the heat island effect by identifying elements that affect local temperatures. The three elements of natural environment, land use, and land coverage were first selected, and then control factors were applied,including season, weather, and measurement units for wind speed. In order to analyze these factors' relations to summer temperatures, an integrated model was developed, and an analysis was conducted of the urban heat island reduction effect of elements impacting local temperatures.The analysis used nationwide weather system (AWS) data from July and August 2007 and 2011-2016, land coverage data provided by the Ministry of Environment, and land use area data from local governments after rearrangingthem based upon their falling within a 500-meter radius (0.79km²) of AWS measuring points. The study results show that the natural environment, land use, and land coverage all have a relation to changes in local temperatures.Natural elements have the greatest impact, and land use hasthe lowest. The results could provide basic data for establishing more effective policies to mitigate the heat island effect and strategies for enhancing the sustainability of cities.

Keywords : Heat Island Effect, Land Use, Local Temperature, Neighborhood unit, Urban Design

1. 서론

들의 경우, 전체 인구의 80%이상이 도시에 거주하고 있다. 바야흐로 도시의 시대라고 해도 과언이 아니다. 도시 지역으로의 인구증가는 인구증가에 따른 거주지역의 확

1.1 연구의 배경 및 목적

근대 이후, 끊임없이 도시화가 진행됨에 따라 선진국

보가 이미 개발된 지역으로 편중되면서 그 현상이 더욱

본 논문은 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(과제번호 17CTAP-C133102-01)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Gunwon Lee(Hoseo Univ.)

Tel: +82-41-540-5785 email: gwlee@hoseo.edu

Received September 19, 2017

Revised (1st October 10, 2017, 2nd October 12, 2017)

Accepted October 13, 2017

Published October 31, 2017

가중되고 있다. 기계발지에 대한 중복 개발 현상은 고밀도·고층빌딩의 증가와 녹지공간의 감소 그리고 증가된 일일당 에너지소비량으로 쉽게 인지될 수 있다.

고밀도 개발과 녹지 부족 등의 물리적 특징을 갖고 있는 도시의 기온은 농촌 및 교외의 기온과 비교해 볼 때, 큰 차이를 보인다. 도시의 온도가 주변부의 농촌 및 교외 지역과 극명한 온도차이를 보이는 현상을 도시열섬현상이라고 지칭한다. 도시열섬 현상은 1820년 Luke Howard의 런던에 대한 관찰에서 밝혀진 바 있다.

도시열섬으로 대변되는 도시온도의 증가는 도시 생태계의 교란, 여름철 온도상승으로 인한 냉방 에너지 사용 증가, 도시 공기의 대류현상 교란으로 인한 오염물질의 배출 방해 등 2차적인 환경문제를 야기하기 때문에 심각한 문제로 인식되고 있다. 도시열섬현상으로 대표되는 도시온도의 교란이 도시 환경의 악순환을 야기하고 있는 것이다.

한편, 최근 도시에서 배출되는 탄소배출량을 저감시키려는 노력이 다양한 부문에서 진행 중이다. 교통부문에서의 탄소배출량을 줄이기 위해서 자동차 사용 감소를 위한 다양한 연구가 진행 중이다. 하지만 건축물 부문에서는 도시열섬현상으로 대표되는 도시온도 관리가 핵심임에도 건축물의 단열성능 향상에만 연구가 집중되고 있을 뿐이다(Brundl, W.&P. Hoppe, 1984[1]). 실제로 그리스의 에어컨 급증 사례를 연구한 Santamouris (1990)[2]에 따르면, 도시온도는 건축물 이용자로 하여금 냉방 또는 난방을 촉진시키는 중요한 요인인 만큼 건축물 부문의 에너지 소비 감소 및 탄소배출량 저감을 위해 반드시 도시온도에 대한 관리가 필요하다.

본 연구에서는 도시의 국지온도와 자연환경, 토지이용 및 토지피복과의 상관성을 통계적 측면에서 분석함으로써 보다 효과적인 국지온도 관리 및 열섬현상 완화 방안을 위한 기초데이터 도출을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 전국에 걸쳐 분포되어 있는 자동기상관측시스템(AWS, Automatic Weather System) 지점 478개소 중 442개소이며, 각 AWS 지점으로부터 반경 500m의 미시적 공간으로 한정한다. 시간적 범위는 환경부에서 제공하는 2007년 토지피복도 데이터를 기초로 하되, 특정 권역별로는 새롭게 보완된 2011~2016년 데이터를 보완하여 활용하였다. 계절 데이터는 실제로

열섬현상이 가장 두드러지는 것으로 알려진 여름철인 7월과 8월로 한정했다.

내용적 범위는 첫째, 도시열섬에 대한 이론검토를 통해 실제로 도시열섬을 야기하는 요인에 대한 탐구를 진행한 후, 둘째, 각 요인을 모두 고려한 모델을 구성하여 각 요인들이 온도에 미치는 미시적 효과를 확인하였고, 셋째 최종 모델을 바탕으로 날씨와 풍속 등의 자연적 요인이 인공적 환경이 온도 증감에 미치는 요인에 어떻게 영향을 미치는 지에 대해서 분석을 하였다.

본 연구에서 활용한 연구방법은 모두 세 가지로 첫째, 도시열섬에 대한 이론 및 주요 도시열섬 요인을 찾기 위해 문헌고찰을 활용했다. 둘째, 각 요인이 국지온도에 미치는 영향을 찾기 위해서 다중회귀분석을 활용했으며, 셋째, 두 번째 방법과 관련이 깊지만 자연환경, 토지이용, 토지피복 등의 세부적인 요인들이 나머지 요소들이 통제된 상황에서 국지온도에 미치는 영향을 객관적으로 살펴보기 위해서 위계적 회귀분석(Hierarchical Regression Analysis)을 활용했다.

2. 문헌고찰

2.1 도시열섬과 국지온도

도시열섬은 도시의 중심부의 온도가 교외에 비해서 고온을 유지하고 있는 현상을 지칭한다. 도시열섬의 특성은 시간, 계절, 도시공간의 특성 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Chandler, T.J., 1970[3]).

도시열섬과 관련한 연구는 1820년에 런던에서 Luke Howard에 의해서 최초로 수행된 바 있다. 이후, 1868년 파리에서 Emillien Renou가 이를 추가로 검증하였다. 1927년에는 Wilhelm Schmidt가 계측학의 지침인 등치선을 보다 효과적으로 표현하기 위해 특별히 고안된 장비를 사용하기 시작하였다(Landsberg, R, 1981[4]). 1945년 이후, 많은 도시들이 재개발을 거치면서 밀도가 증가하고, 녹지가 감소함에 따라 도시열섬과 관련된 수많은 연구가 수행되기에 이르렀다. Chandler, T.J.의 1962년과 1964, 1965년의 연구들은 런던에 이상기온이 분포함을 분석한 바 있다.[5-7] 그 후, 이론적으로 도시열섬이 정립된 것은 1987년 Oke에 의해서이다(Oke, T.R., 1987[8]).

전술한 연구들에서 도시열섬이 가지고 오는 도시온도

교란에 의해 발생하는 2차적인 문제에도 불구하고, 몇몇 연구들은 도시열섬 현상이 여름철 온도 상승에 따라 냉방에너지 사용량을 증가시키지만, 반대로 겨울철의 온도 상승으로 난방에너지 사용량을 절감시킨다고 주장하고 있다. 하지만 다수의 연구결과는 냉방을 위한 에너지 사용이 난방을 위한 것보다 더 높게 나타나고 도시기온의 증가가 냉방 요구를 증가시키고, 도시지역에 더 많은 에너지 공급을 조장한다고 결론짓고 있다(Taha, H., 1997[9]; Landsberg, R., 1981[4]).

결국, 도시열섬 현상은 반드시 제거되어야 하는 도시 문제의 하나로, 도시온도의 관리 및 저감이 핵심이다. 도시의 국지온도를 상승시키는 다양한 요소를 찾아내고 검증하는 것이 도시열섬을 관리하는 첫 걸음이라고 할 수 있다. 국지온도는 미시적 공간영역에서의 에너지 소비에 절대적인 영향을 미치므로 더욱 중요하게 관리되어야 할 것이다.

2.2 이론검토

도시열섬을 저감하기 위한 목적으로 도시온도의 상승을 야기하는 요소들을 다룬 다양한 연구들이 존재한다. 도시온도와외의 상관요소를 밝힌 연구들에서 도시온도와 밀접하게 관련이 있는 것으로 밝혀낸 요소는 모두 세 가지로, 식생 및 토지피복, 자연요소, 토지이용에 따른 인공열 등으로 압축할 수 있다.

첫째, 식생은 태양광 및 태양열의 직접 입사를 막아주고, 열저항력을 증가시켜주며, 열의 침입을 막아주고, 잠열의 이동을 촉진시킴으로 온도를 저감시켜 준다. 식생과 토지피복에 의한 온도 저감 효과는 잘 알려진 사실이며, 식생에 의한 온도저감 효과를 밝힌 연구들은 온대기후에서의 삼림대의 다양한 기온상태변화를 조사한 Barry, R.G. & R.J. Chorley(2003)[10]의 연구가 있다. 그리고 Hidebrandt, E.W. & M. Sarkovich(1998)[11]의 연구는 세크라멘토 시를 대상으로 차양 수목의 냉방에너지 절감 효과를 실험하기도 하였다. 이외에 Landsberg, R.(1981)[4] 역시 큰 공원이 있거나 밀집되어 있는 지역의 기온 냉각현상에 대해서 연구했다. Meier, A.K.(1991)[12]은 더운 지역 기후에서의 녹지에 의한 냉각효과를 분석했다.

둘째, 자연요소 역시 도시온도와 관련이 깊은데, 계절 및 시간, 풍속, 고도, 날씨 등이 포함될 수 있다. 자연요소는 지표면 냉각의 역할 외에 절대적인 환경 조건을 형

성함으로써 온도 형성에 중요한 역할을 수행한다. 시간대와 계절에 따라서 도시온도의 변화와 편차가 영향을 받는다. 주로, 도시열섬은 낮 시간대에 강도가 강해진다. 하지만 시간에 따른 도시열섬의 강도는 지역마다 편차를 갖는데, 지역마다 풍속, 고도, 날씨, 습도 등의 차이로 냉각효과의 차이가 있기 때문이다. 기본적인 환경차이로 인해 온도가 변화한다는 사실을 밝혀낸 연구로는 런던 도심 공원들의 기온을 시간대로 측정하여 비교한 Chandler, T.J. & S. Gregory(1976)[13]의 연구와 예과도르의 키토(Quinto)에서의 열섬현상이 주간에만 발생함을 밝혀낸 Hannel, F.G.(1976)[14]의 연구 등이 있다.

마지막으로 토지이용에 의한 인공열 역시 도시온도에 영향을 주는 중요한 요인 중의 하나이다. 인공열은 다양한 토지이용에 따른 연소과정, 예를 들자면, 교통, 가열과 냉각, 전기의 사용 등에 의해서 도시환경으로 방출된다. Harrison, R. et al.(1984)[15]의 연구는 1971~1976년까지의 런던에 대한 연구를 통해서 교통, 2차·3차 산업용 공장과 가정 등에서 나오는 열의 흐름을 조사하였다. Taha, H.(1997)[9] 역시 대도시 중심지의 인공열로 인한 온도상승에 대해서 분석한 바 있다.

이상에서 검토한 기존 연구들 대부분은 매우 거시적인 측면에서 도시의 평균온도와 도시 내 각 요소와의 관련성을 검토하거나 매우 미시적으로 온도에 영향을 미치는 개별요소 하나하나를 관측하는 방식으로 분석하고 있다. 기존 연구들은 너무 거시적이거나 개별 요소에 대한 분석만 의존하고 있으므로 한계가 있다고 말할 수 있다.

본 연구에서는 미시적인 공간영역인 근린단위를 중심으로, 자연환경과 토지이용, 토지피복이 국지온도에 미치는 영향을 종합적으로 분석하고자 한다. 더 나아가 본 연구의 결과가 미시적인 영역의 계획 및 설계에서 활용될 수 있도록 근린단위의 열섬현상 저감시 고려해야 할 사항들을 제시하고자 한다.

2.3 가설설정

기존 연구 검토를 통해서 다음과 같은 가설을 제기할 수 있다.

첫째, 미시적 공간의 토지이용 및 토지피복은 알베도 및 인공열 발생 등에 의해서 국지 온도에 영향을 줄 것이다.

둘째, 기존의 연구들과 달리 다양한 토지이용 및 토지피복 요소를 동시에 고려 및 통제하여 통합 모델을 구성

할 경우, 기존 연구들과는 다른 결과를 제시할 수 있을 것이다.

셋째, 미시적 공간의 토지이용 및 토지피복 외에 자연 요소 역시 국지온도에 영향을 줄 것이며, 자연요소에 대한 고려 또는 통제는 국지온도 설명에 있어 중요한 역할을 할 것이다.

넷째, 계절과 날씨, 풍속의 계측 등 기존 데이터의 측정 방식에 영향을 미치는 요소들 역시 통합 모델의 설명력에 영향을 줄 것이다.

다섯째, 고도, 풍속 등의 자연요소와 측정방식의 차이까지 고려한 통합모형을 구성할 경우, 둘째 가설에서 설정한 모델에서의 결과 도출은 물론, 기존 연구들과 다른 결과가 도출될 수 있을 것이다.

3. 분석체계

3.1 분석모형 설정

본 연구에서는 전술한 가설들을 검증하고자 다음과 같은 연구모형을 구성하였다. 국지온도를 설명할 수 있는 요소들로 온도 측정지점의 반경 500m 내의 고도, 풍속 등의 자연요소, 주거지역, 공업지역, 교통지역 등의 토지이용면적, 농림지, 자연삼림지 초지 등의 토지피복 면적에 대해 조사하였고, 측정시점 및 방법에 영향을 미치는 계절, 날씨, 풍속측정 등의 요소들에 대해서도 고려하였다.

본 연구에서는 각 요소가 국지온도에 미치는 영향 정도를 보다 정확하게 분석하기 위해서 통제변수로 각 AWS 지점이 속한 도시의 평균온도, 평균습도, 평균운량을 도입함으로써 보다 연구모델의 현실성을 제고할 수 있었다.

$$T_k = f(MW_u, W_k, E_k, WS_k, LU_k) \quad (식1)$$

여기서,

T_k = AWS K지점의 온도

MW_u = AWS K지점이 속한 도시의 평균온도, 평균 습도, 평균운(雲)량

W_k = AWS K지점 온도 측정시 계절, 날씨 등

E_k = AWS k지점 지역의 평균고도

WS_k = AWS k지점 풍속

LU_k = AWS k지점 지역 토지이용-피복면적

본 연구에서 제시한 선형식의 의미와 설명력 등을 파악하기 위해서 다중회귀분석을 활용했고, 각 변수들의 위계적 투입 및 모델 간의 설명력 비교를 위해서 위계적 회귀분석을 이용하여 연구를 수행했다.

본 연구에서 선택한 분석방법인 위계적 회귀분석은 다양한 독립변수를 그룹(group) 또는 블록(block)을 형성하여, 순차적으로 다중회귀분석에 투입함으로써 각 독립변수들이 종속변수에 미치는 영향정도를 비교할 수 있는 방법이다. 단, 전 단계 투입된 모델에 비해 다음 단계에 투입된 모델은 전 단계 모델을 포함하고 있어야 한다.

위계적 회귀분석은 각 독립변수 그룹 또는 블록의 투입단계마다의 조절된 결정계수(Adjusted R^2)를 비교함으로써 보다 관찰하고자 하는 현상을 잘 설명하는 모델을 도출할 수 있다. 그리고 각 독립변수의 투입여부가 현상을 설명하는데 미치는 효과를 판단할 수 있다는 점에서 전통적으로 사회과학 분야에서 다양하게 활용되고 있는 방법 중 하나이다.

위계적 회귀분석은 단계선택(stepwise)방법 또는 전진선택(forward selection)방법에 의한 회귀분석과는 다르다. 단계선택방법 또는 전진선택방법에 의한 회귀분석은 각 독립변수의 유의도를 증시하며, 종속변수에 가장 영향력이 큰 독립변수 선정에 초점을 맞추는데 반해, 위계적 회귀분석은 독립변수의 종속변수에 미치는 영향의 유의도 보다는 그것이 유의하지 않더라도 그 변수가 투입되어 통제되어지는 전체적인 상황을 증시한다. 위계적 회귀분석은 모델을 구성하는데 관심이 있는 방법이다. 여기서의 설명력(R^2) 역시 유의하지 않은 독립변수까지를 포괄하는 하나의 설명 모델의 설명력이라는 것이다. 실제로 단계선택방법 또는 전진선택방법에 의한 회귀분석은 연구자의 의지가 개입되지 않는다는 점에서 지나치게 탐색적이기 때문에 이를 지양할 것을 권하는 연구자도 많다. 이와는 달리 최근 사회과학에서의 통계의 활용은 결과 그 자체에 관심을 갖기보다는 분석에 근간이 되는 이론과 그 해석의 풍부함에 초점을 두는 경향이 강하다는 점에서 오히려 위계적 회귀분석의 활용빈도는 증가하는 추세이다.

이와 같은 연구 수행을 위해 분석프로그램으로 STATA 15.0을 사용하였다.

Table 1. Classification of Variables by Models

Models						Classification of Variables	Variables
1	2	3	4	5	6		
○	○	○	○	○	○	Control Variable	Temperature
							Moisture
							Cloud
					○	Natural environment	Altitude
							Wind speed
							Residential
○	○	○	○	○	○	Landuse	Industrial
							Traffic
							Public facility
							Rice paddy
							Field
	○	○	○	○	○	Agricultural area	Greenhouse area
							Other agricultural area
							Broadleaf forest
		○	○	○	○	Forest	Coniferous forest
							Mixed stand forest
							Natural grassland
			○	○	○	Grassland	Golf course
							Other grassland
						Wetland & Waterside	Inland & costal wetland
							Lighted area
				○	○	Wetland & Waterside	Other dry land
							Inland water
							Marine water
○	○	○	○	○	○	Dependent Variable	Micro Temperature

3.2 자료

K지점의 온도를 자연요소, 토지이용, 토지피복으로 설명하기 위한 연구모델을 효과적으로 분석하기 위해서 다음과 같이 연구를 위한 데이터를 구성하였다. 먼저, 국지온도 데이터는 각 해의 7월과 8월에 대해서 하루 중 온도가 가장 높은 오후 2시경에 측정된 매일의 온도를 활용했다. 날씨 역시 온도 측정시점의 맑은 날과 흐린날 여부가 관찰된 데이터와 각 온도측점 지점의 고도, 풍속 데이터를 활용했다. 이 데이터들은 전국에 위치한 AWS의 478개 지점 데이터에서 구득할 수 있었다. 이중 온도 데이터는 종속변수로, 나머지 요소는 모두 독립변수로 활용되었다.

여기서 독립변수의 일부 및 종속변수로 사용된 AWS를 통한 기초자료는 기상청이 1995년부터 국지규모의 방재기상정보 생산을 위하여 설치·운영하여 획득된 자료이며, 관측요소로는 강수량, 기온, 풍속, 고도 등이다.

토지이용 및 토지피복 데이터는 환경부에서 제공하는 2007년 토지피복도 데이터를 기초로 하되, 연구 데이터 및 결과의 최신성을 달성하기 위해서 특정 권역별로는 새롭게 보완된 2011~2016년 데이터를 보완하여 활용하

였다. 현재 이와 관련하여서 환경부에서 제공하고 있는 토지피복도 자료는 낙동강 상류(2011), 낙동강 중하류(2012), 영남권역 및 서울·성남·용인(2013), 남북한강 유역 및 인천·경기권역(2014), 대전·세종·충남권역(2015), 전북·제주권역(2016) 등이다.

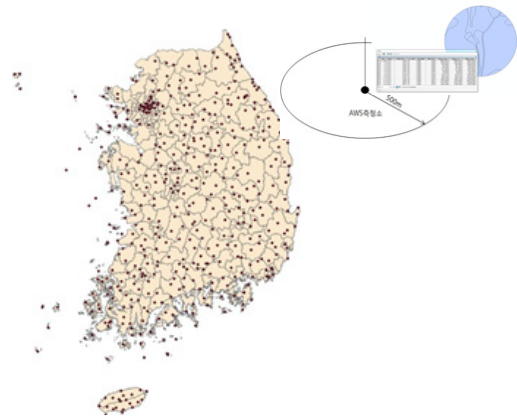


Fig. 1. Location of AWS

토지이용 데이터의 보완을 위해서 추가로 각 지자체에서 제공하는 건축물 연면적 자료를 결합하여 활용했다. 가급적 본 연구에서 다룬 모든 기상데이터 및 건축물 연면적 자료 등 자료는 해당 권역의 토지피복도 제공연도와 일치할 수 있도록 노력하였다.

이렇게 구성된 데이터를 본 연구에서는 AWS의 측정 지점으로부터 반경 500m의 원형지역(0.79km²)을 중심으로 ArcGIS 10.3을 활용하여 국지 면적을 추출하였다.

다만, AWS 자료 478개 중 토지이용 및 토지피복 자료와 일치하지 않는 도서지역의 37곳을 제외한 442개 지점의 데이터가 분석에 활용되었다.

3.3 분석 변수

식생 및 토지피복에 의한 온도변화에 주목한 연구(Barry, R.G. & R.J. Chorley, 1968[10]; Hidebrandt, E.W. & M. Sarkovich, 1998[11]; Landsberg, R., 1981[4]; Meier, A.K., 1991[12]), 자연요소에 의한 온도변화에 주목한 연구(Chandler, T.J. & S. Gregory, 1976[13]; Hannel, F.G., 1976[14]), 토지이용의 인공력에 의한 온도변화에 주목한 연구(Harrison, R. et al., 1984[15]; Taha, H., 1997[9])로부터 실제 도시온도와 긴밀한 관계를 맺는 것으로 알려진 요소인 자연환경, 토

지이용, 토지피복을 주요 독립변수로 선정하였다. 측정 요소에 해당하는 계절, 날씨, 풍속측정 범위는 통제변수에 해당한다.

Table 2. Descriptive Statistics by Variables

Variables	Variables	Ave.	SD	Min.	Max.
Control Variable	Temperature(℃)	13.1	1.7	0	17.1
	Moisture(%)	68.0	7.9	0	87
	Cloud(%)	7.7	13.2	0	54
Natural environment	Altitude(km)	0.15	0.22	0.002	1.67
	Wind speed(m/s)	2.59	1.0	0.6	6.1
Landuse	Residential(km ²)	0.41	0.3	0.1	1.0
	Industrial(km ²)	0.39	0.2	0.1	0.9
	Traffic(km ²)	0.38	0.2	0.1	0.9
	Public facility(km ²)	0.40	0.2	0.1	1.0
Agricultural area	Rice paddy(km ²)	0.35	0.2	0.1	1.0
	Field(km ²)	0.37	0.3	0.1	1.0
	Greenhouse area(km ²)	0.37	0.3	0.1	0.9
Forest	Other agricultural area(km ²)	0.40	0.3	0.1	1.0
	Broadleaf forest(km ²)	0.11	0.2	0	0.8
	Coniferous forest(km ²)	0.12	0.1	0	0.6
Grassland	Mixed stand forest(km ²)	0.08	0.1	0	0.5
	Natural grassland(km ²)	0.02	0	0	0.3
	Golf course(km ²)	0.11	0.1	0	0.2
Wetland & Waterside	Other grassland(km ²)	0.03	0.1	0	0.4
	Inland & costal wetland(km ²)	0.03	0	0	0.3
	Lighted area(km ²)	0.02	0	0	0.1
	Other dry land(km ²)	0.04	0.1	0	0.6
Dependent Variable	Inland water(km ²)	0.04	0.1	0	0.4
	Marine water(km ²)	0.25	0.2	0	0.8
	Micro Temperature(℃)	23.39	10.4	2.3	32.8

자연환경변수는 AWS 측정지점의 고도와 측정된 풍속의 평균을 선정하여 활용했다. 각 지자체에서 제공된 면적자료 중에서 토지이용 분석을 위한 자료로, 주거지역, 공업지역, 교통지역, 공공시설지역 면적을 선정하였다. 환경부에서 제공된 토지피복도의 농림지 중에서는 논, 밭, 하우스재배지, 기타재배지를 선정하였으며, 자연산림지는 활엽수림, 침엽수림, 혼효림으로 선정하였다. 초지는 자연초지, 골프장, 기타초지를 선정하여 조작성의 영향을 내렸으며, 습지 및 수변지는 내륙-연안습지, 채광지역, 기타나지, 내륙수, 해양수를 선정하였다.

토지이용 및 토지피복도 변수 23개 중에 다중공선성의 판정을 위한 분산팽창계수(VIF: Variation Inflation Factor) 수치결과가 10보다 높아 변수의 다중공선성(Multicollinearity)의 위험성이 있는 상업지역, 위락시설지역, 과수원이 제외가 되었다.

본 연구에서는 각 변수들의 유의성 여부를 95% 수준에서 확인하되, 90%에 해당하는 변수들에 대해서 추가로 확인하였다. 이상으로 본 연구에서 활용한 변수의 목록 및 각 변수의 기술통계치를 정리하면 표2와 같다.

4. 분석결과

4.1 결과1: 모형 검토

본 연구에서 제시하는 여섯 가지 모델에 대한 조절된 R²를 이용한 설명력 분석결과와 그 변화량, 변화량의 F검정결과를 정리하면 표3과 같다. 그리고 각 모델에서의 간단한 독립변수와 종속변수 간의 관계 역시 설명하면 표5와 같다. 먼저, 모델1은 각 AWS가 위치한 도시들의 평균온도, 평균습도, 평균운량을 통제한 상태에서의 토지이용 만을 고려하여, 미시온도와외의 관련성을 검토한 모델로, 본 연구에서 가장 기저에 위치한 모델이라고 할 수 있다.

모델2에 경우에는 모델1에 농림지 관련 변수를 추가한 것으로, 분석결과로는 대체적으로 8개의 변수 모두 미시온도와 유의미한 관계를 갖는 것으로 도출되었다. 다만, 공업지역과 기타재배지에 경우에는 다른 변수들에 비해서 유의도가 낮은 것을 알 수가 있었다. 모델2는 모델1과 조절된 R²값을 비교할 때, 19.78%에서 37.14%로 상당한 수준으로 모델 설명력이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 조절된 R²는 조절된 결정계수(adjusted coefficient of determination)를 의미한다. 회귀식의 적합도 또는 설명력을 의미하는 점에서는 결정계수 또는 R²와 같지만 결정계수는 독립변수가 증가함에 따라서 그 값이 계속 증가하지만, 수정된 결정계수는 불필요한 독립변수가 섞이게 되면 그 값이 오히려 낮아지게 되어 모형의 적합도를 판단할 때 많이 활용하게 된다. 예를 들어, 이전 모델에 비해서 독립변수를 추가로 투입했는데 그 이전 모델보다 수정된 결정계수가 낮아지게 된다면, 그것은 불필요한 독립변수를 추가했다는 결론이 가능하다.

수정된 결정계수의 변화량의 F검정결과 역시 유의미한 것으로 나타났다. 이는 실제로 어떤 토지이용이냐하는 토지이용의 양상 그 자체보다는 토지피복이 보다 미시온도를 잘 설명하는 변수임을 확인하는 것이라고 생각된다. 이 부분은 통제변수를 도입하지 않은 선행연구에

비해서 조절된 R²수치가 약 20%가량 높게 나타났다는 점에서 모델구성의 중요성을 알 수 있었다.

모델3에 경우에는 모델2에 자연산림지 관련 변수를 추가한 것으로, 그 조절된 R²의 변화량은 3.59%이고, F검정 결과 역시 유의미했다. 그 결과로부터 교통지역과 공공시설지역에 비하여 주거지역, 논, 하우스재배지, 활엽수림이 상대적으로 유의도가 높은 것으로 알 수가 있었다. 활엽수림지가 미시온도와 유의미한 관계를 갖는 것으로 파악되었다. 동일한 자연지에 기반한 토지피복이라고 생각되던 농림지와 산림지가 다른 방식으로 미시온도와 관계를 갖는 점이 흥미롭다고 생각된다.

다음으로 모델4는 모델3에 초지 관련 변수를 추가하였으며, 전체적인 변수별 유의미 정도는 기존의 모델3과 비슷한 수준으로 나왔다. 조절된 R²의 변화량은 5.13%이고, F검정 결과 역시 유의미했다. 초지 관련 변수는 다른 변수들에 비해서 자연초지 만이 유의도가 높은 것을 알 수 있었다. 이것을 통해 타 변수들이 통제된 상황에서 자연초지 만이 미시온도와 영향을 갖는 다고 결론내릴 수 있으며, 자연초지가 도시온도 감소에 강한 영향관계를 갖는다는 점을 밝힐 수 있었다. 기존의 선행연구들에서 관찰하는 결과와 유사함을 확인할 수 있었다.

모델5는 모델4에 습지 및 수변지 관련 변수들을 추가한 것으로, 내륙수와 해양수가 대기온도저감 효과가 있으며, 유의미함이 확인되었다. 모델5에서 특이한 것은 모델4에 비해서 모델 설명력이 45.86에서 44.76%로 떨어진 것을 확인할 수 있는데, 이를 통해서 실제로 도시온도를 설명함에 있어서 습지 및 수변지 관련 변수는 크게 도움이 되지 않음을 알 수 있다. F검정 결과도 유의미하지 않게 나왔다.

마지막으로 자연환경변수인 측정지점의 고도와 풍속을 고려한 최종 모델6을 살펴보면 모델 설명력이 73.21%로 모델4에 비해서는 27.35%, 모델5에 비해서는 38.32% 수준으로 크게 증가함을 확인할 수 있었다. 그 변화량의 F검정 결과도 유의미함을 알 수 있었다.

이 정도의 모델 설명력은 높은 수준의 것으로 알려져 있으며, 실제로 도시온도를 설명함에 있어서 토지피복이 절반을, 측정지점의 자연환경인 고도와 풍속이 나머지 절반을 설명한다고 결론내릴 수 있다. 본 결과로부터 도시온도 분석에 있어서 자연지형과 그 지형의 풍속 등의 바람효과를 반드시 고려해야함을 알 수 있는 부분으로 생각된다.

Table 3. Comparison of Models

Classification	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
adj. R ²	0.1978	0.3714	0.4073	0.4586	0.4476	0.7321
Number of Input Independent Variable	7	11	14	17	22	24
1Degree of Freedom		4	3	3	5	2
2Degree of Freedom		430	427	424	419	417
Δadj. R ²	-	0.1736	0.0359	0.0513	-0.0097	0.2845
F	-	29.68**	8.62**	13.02**	-1.47	221.41* *

< 0.1: †, < 0.05: *, < 0.01: **

4.2 결과2: 계절과 날씨, 풍속효과 분석

최종 모델6을 이용하여 여름철의 계절효과와 날씨효과, 풍속효과를 검토하기 위해서 각 조건을 변경하여 모두 열여덟 가지의 변형모델을 구성하여 모델 설명력을 검토하였다.

결과, 계절은 8월, 날씨는 맑은 날, 풍속은 10초를 단위로 계측한 데이터를 이용한 모델이 국지온도 설명력이 가장 높았다. 본 결과로 외부조건이 가장 극단적인 경우가 국지온도에 주변 요인이 미치는 영향이 극대화됨을 알 수 있었다.

Table 4. Comparison of Models

Month	Weather	MMWS. (per sec.)	Model	R ²	adj. R ²
July	Avg.	10	A-1	0.6168	0.5821
		1	A-2	0.6172	0.5738
	Cloudy	10	A-3	0.3724	0.3174
		1	A-4	0.3715	0.3164
	Sunny	10	A-5	0.7019	0.6796
		1	A-6	0.4800	0.4392
August	Avg.	10	B-1	0.6502	0.6186
		1	B-2	0.6418	0.6202
	Cloudy	10	B-3	0.3617	0.3241
		1	B-4	0.4375	0.4313
	Sunny	10	B-5	0.7426	0.7321
		1	B-6	0.7374	0.7121
Avg.	Avg.	10	C-1	0.6641	0.7098
		1	C-2	0.6765	0.6891
	Cloudy	10	C-3	0.3595	0.4029
		1	C-4	0.3664	0.4121
	Sunny	10	C-5	0.7085	0.6931
		1	C-6	0.7104	0.7002

*MMWS: Measurement Method of Wind Speed

4.3 결과3: 최종 모형 분석

표5에 나오는 최종 모델6의 각 변수들이 국지온도에 미치는 영향에 대해 분석해 보면, 자연환경에 경우는 고도와 풍속이 다른 변수들에 비해 상당히 유의미하게 나왔다. 고도가 증가할 때, 온도가 떨어지는 것으로 알 수가 있으며, 풍속이 증가할 때, 온도가 감소시키는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 바람의 풍속 증가가 미시온도 감소에 효과적임을 알 수가 있었다. 이를 통해 바람길의 효과가 오염원 감소 외에, 열섬저감에 효과적이라는 기존의 이론을 확인할 수 있었다.

도시계획 및 설계에 있어서 근린단위의 설계에 있어서 바람길에 의한 통풍을 반드시 고려해야함을 시사한다고 할 수 있다. 이와 관련해서 미시온도와 도시계획요소 또는 도시설계요소들 간의 관계를 검토함에 있어서 바람길을 동시에 고려해야하며, 마찬가지로 지형에 의한 효과 역시도 동시에 고려할 필요가 있다고 생각된다. 최근에 증가 추세에 있는 미시환경에서의 도시설계요소들에 대한 CFD(Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 활용한 연구가 필요함을 확인할 수 있었다. 도시온도와 관련이 깊을 것으로 여겨지던 토지이용은 주거지 면적이 증가할 때, 미시온도가 증가하며, 교통시설이 증가할 때, 미시온도가 증가함을 알 수가 있었다. 실제로 토지이용 자체는 유의미한 변수가 적었고 도시온도 설명 효과가 작았지만 기존에 알려진대로 주거지와 교통시설이 온도 상승에 관련이 있다는 점과 도로의 온도 상승효과가 주거지의 그것에 비해서 높음을 확인할 수 있었다.

다음으로 농림지에 변수들에 대해서 보면, 하우스재배지가 4.5221로 가장 큰 계수값으로 유의미하게 나왔다. 논, 밭 같은 경우의 계수값은 각각 -0.36, -0.86로 면적이 증가할수록 온도가 저감되는 것을 알 수가 있었으며, 기타재배지 같은 경우의 계수값은 1.45로 온도가 증가하는 것을 알 수가 있었다. 하우스재배지의 면적이 증가할 때, 4.52로 상대적으로 온도가 많이 올라가는 것을 알 수가 있었다. 하우스재배지의 면적이 증가할 때 상대적으로 온도가 상승하는 현상은 모델2와 모델3의 결과와는 상이한 양상을 보이고 있는데, 그 이유는 모델6에 자연환경 등의 변수를 도입하여 그 변수들을 통제했기 때문이다. 실제로 모델2, 모델3의 결과보다는 통합모델인 모델6의 결과인 논, 밭 등은 미시온도를 감소시키고, 하우스 재배지는 미시온도를 상승시킨다는 결과가 보다 현실적인 것으로 생각된다.

다음으로 자연 산림지 변수들을 분석한 결과, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림 3개의 변수들이 모두 면적이 증가할수록 온도가 낮아짐을 알 수가 있었다. 세 가지의 변수들 중 활엽수림의 면적이 증가할 때, 온도저감 효과가 가장 컸다. 활엽수림 변수의 계수값은 -2.2018로 상대적으로 대기온도를 많이 저감시키며, 침엽수림에 비해 활엽수림이 온도를 저감효과가 더 큰 것을 알 수 있었다.

다음으로 초지 변수에 포함되는 자연초지, 골프장, 기타초지 세 가지의 변수는 국지온도와 관련성이 적음을 알 수 있었으며, 자연초지와 골프장에 경우에는 면적이 증가할수록 온도가 증가하는 반면 기타초지 같은 경우에는 면적이 증가할 때, -1.67로 온도를 저감하는 효과가 있다는 것을 알 수가 있었다.

골프장의 경우가 미시온도를 증가시키는 결과가 흥미롭지만 본 결과는 유의성이 떨어지는 것으로 반드시 그렇다고 결론짓기는 어렵다. 다만, 이와 관련한 연구는 추가로 필요할 것으로 생각된다.

마지막으로 습지 및 수변지 변수들을 살펴보면, 내륙습지와 연안습지는 면적이 증가할 때, -2.06로 온도를 저감시키는 것을 알 수가 있었다. 반면 내륙수는 면적이 증가할수록 국지온도가 0.15 증가하는 것으로 나왔는데, 이는 해양수가 내륙수에 비해 온도와 관계가 깊다는 것을 알 수가 있었다. 다만, 내륙수의 경우에는 전체 면적에서 차지하는 비중이 적기 때문에 유의미하지 않게 나왔으며, 내륙수의 온도저감 효과에 대한 또 다른 방식의 연구가 필요함을 시사한다고 할 수 있다.

5. 결론

본 연구의 결과를 통해서 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 모든 토지이용 및 토지피복이 국지온도에 영향을 주지는 않았으나 대체로 기존 이론들에서 제기한 요소들이 국지온도와 관계를 맺고 있었다.

토지이용 관련 변수 중에 주거지역 면적과 교통지역 면적이 국지온도 상승을 동반하는 것으로 나타났다. 이에 도시온도 상승을 억제하기 위해서는 주거 및 교통관련 인자들에 대한 관리가 필요함을 알 수 있다. 두 요소에 의한 인공열 방출 관리를 위한 적절한 정책적 수단이 필요하다고 판단된다. 주거용도 건축물의 배치 및 밀도

Table 5. Result of Regression

Classification	Variables	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6
		Coeff. (S.E.)	Coeff. (S.E.)	Coeff. (S.E.)	Coeff. (S.E.)	Coeff. (S.E.)	Coeff. (S.E.)
Control Variable	Temperature	1.4782** (0.0148)	1.7199** (0.0211)	1.5419** (0.0371)	1.3789** (0.0112)	1.4102** (0.0121)	1.7621** (0.0192)
	Moisture	-0.0021** (0.0001)	-0.0032** (0.0001)	-0.0019** (0.0001)	-0.0033** (0.0001)	-0.0017** (0.0001)	-0.0028** (0.0001)
	Cloud	-0.0002** (0.0001)	-0.0002** (0.0001)	-0.0002** (0.0001)	-0.0002** (0.0001)	-0.0002** (0.0001)	-0.0002** (0.0001)
Natural environment	Altitude						-0.0054** (0.0002)
	Wind speed						-0.3109** (0.0576)
Landuse	Residential	3.1121** (0.9243)	4.1387** (0.8761)	3.1143** (0.8712)	2.7429** (0.9032)	2.1436* (1.0233)	3.1113* (1.5472)
	Industrial	2.0002 (1.9986)	3.1150 [†] (1.7181)	2.0139 (1.5412)	1.7635 (1.6537)	1.4011 (1.6521)	2.4835 (1.6204)
	Traffic	4.4419 [†] (2.9315)	8.2119** (2.6921)	5.0183* (2.0373)	5.3629* (2.7042)	3.0214 [†] (2.6034)	5.1025* (1.3186)
	Public facility	1.8014 (1.6599)	5.0010** (1.6212)	4.0138* (1.2088)	4.0535* (1.5241)	2.9761 [†] (1.4012)	2.1241 (1.5342)
Agricultural area	Rice paddy		4.1290** (0.5110)	3.0143** (0.5440)	3.0921** (0.60110)	2.0218* (0.6875)	-0.3627 (0.5307)
	Field		3.0153** (0.7912)	1.3272 [†] (0.7538)	1.1542 (0.8012)	0.1523 (1.0025)	-0.8673 (0.7621)
	Greenhouse area		9.0972** (2.3101)	8.1776** (2.2113)	8.1098** (2.2018)	7.2124* (2.2416)	4.5221** (1.7021)
	Other agricultural area		4.3124 [†] (2.7919)	3.6302 (2.4309)	3.3121 (2.4318)	2.0931 (2.0124)	1.4504 (1.6943)
Forest	Broadleaf forest			-5.1055** (0.6453)	-4.9996** (0.7547)	-5.8774** (0.7112)	-2.2018** (0.7021)
	Coniferous forest			-0.1027 (0.7872)	-0.3471 (0.7062)	-0.8722 (0.6043)	-1.5299* (0.6722)
	Mixed stand forest			0.4974 (1.0014)	0.2411 (0.9864)	-0.6152 (1.0312)	-1.5845 [†] (0.9367)
Grassland	Natural grassland				-11.2130* (4.0210)	-13.0213** (4.1471)	0.2421 (3.2721)
	Golf course				12.1004 (8.3114)	11.2965 (8.7171)	1.8285 (6.2102)
	Other grassland				-2.4213 (1.6917)	-3.0296 [†] (1.7425)	-1.6732 (1.3211)
Wetland & Waterside	Inland & costal wetland					0.1631 (1.7822)	-2.0687 [†] (1.3211)
	Lighted area					17.9761 (21.4114)	-5.6062 (15.2122)
	Other dry land					-1.4317 (1.6336)	-1.6211 [†] (1.0328)
	Inland water					3.5200* (1.8318)	0.1211 (1.1502)
	Marine water					-1.7721* (0.8973)	-3.0021** (0.6344)
Constant		23.1129** (0.1298)	25.3016** (0.1874)	27.5210** (0.3044)	27.8742** (0.2896)	28.1287** (0.6020)	30.1857** (0.4821)
F		8.61**	17.24**	19.99**	16.23**	12.77**	37.24**
adj. R ²		0.1978	0.3714	0.4073	0.4586	0.4476	0.7321

< 0.1: [†], < 0.05: *, < 0.01: **

등에 의해서 열이 저장되고, 전체 알베도가 저하되는 현상에 대해서도 관리가 필요할 것으로 생각되나 이것들이 국지온도에 미치는 영향에 대해서는 보다 구체적인 후속연구가 필요할 것으로 생각된다.

그리고 토지피복 역시 도시온도와 깊은 관계를 갖고 있었다. 삼림지의 경우 분명한 온도저감 효과를 관찰할 수 있었다. 침엽수에 비해 활엽수가 온도저감에 효과적인 것을 알 수가 있었다. 이에 도시온도 상승을 억제하기 위해서는 산림지면적을 증가시키는 것은 물론, 활엽수의 식재를 보다 권장할 필요가 있다고 판단된다. 습지 및 수변지 같은 경우에도 온도를 저감하는 효과가 있었다. 해양수 외에 내륙-연안습지와 기타내대지 같은 경우에도 대기온도를 저감하는 효과가 있었다. 다만, 해양수에 비해 내륙수 온도저감 효과가 관찰되지 않았다. 많은 이론들에서 수변공간의 열섬효과 저감의 효과에 대해서 보고하고 있는 것과는 다른 결과로 그 원인에 대한 추가연구가 필요할 것으로 생각된다.

둘째, 토지피복이 토지이용 보다 국지온도를 잘 설명하고 있었다. 실제로 여름철에는 토지이용에 따른 인공열 보다는 토지피복이 온도에 미치는 영향이 크기 때문인 것으로 풀이된다. 또 다른 원인에 대해서는 건축물 형상이나 배치, 간격, 용적 등이 추가로 고려되지 않았기 때문으로 생각되나 본 연구 결과만 가지고 이를 단정짓기는 어렵다. 그러므로 이에 대한 보다 구체적인 후속연구가 필요할 것으로 생각된다.

셋째, 자연환경요소인 고도와 풍속이 국지온도와 유의미한 관계를 보였다. 실제로 그 정도가 다른 변수들에 비해서 매우 높았다. 자연환경요소를 포함한 모델의 높은 설명력을 고려할 때, 미시공간의 열섬현상 저감을 위한 설계에는 지형 및 CFD를 활용한 바람길에 대한 계획이 반드시 포함되어야 할 것이다.

넷째, 계절, 날씨, 풍속 측정 등 측정시점 및 방법에 영향을 주는 요소 역시 반드시 고려될 필요가 있다고 판단된다. 본 연구에서 수행한 18가지 모델의 비교 결과, 여름철에 국지온도에 대한 연구를 수행할 경우에는 8월 맑은 날씨에 연구를 수행하는 것이 보다 적절하다고 판단된다. 풍속을 1초 단위로 측정된 모델보다는 풍속을 10초 단위로 측정된 모델이 보다 높은 설명력을 나타냄으로써 10초 단위로 풍속을 측정하는 것이 적절한 측정도구가 될 수 있다고 결론내릴 수 있다. 가장 나쁜 모델과 가장 좋은 모델의 설명력 차이가 54.96%나 된다는

점을 고려할 필요가 있다.

마지막으로 자연요소까지 통합적으로 고려한 모델이 그렇지 않은 모델 보다 설명력이 높았다. 자연초지나 내륙수 등의 변수의 경우에는 자연요소를 고려한 경우 그것들이 온도에 미치는 효과가 사라지는 것을 관찰할 수 있었다. 자연요소를 고려하지 않은 모델의 경우 자연초지가 국지온도를 저감한다는 잘못된 결론을 내릴 수 있음을 밝혀낸 것이다. 이를 통해 반드시 자연요소까지를 고려한 통합모델이 구성될 필요가 있다고 결론내릴 수 있다.

본 연구는 도시열섬현상의 저감효과를 자연요소, 토지이용, 토지피복 등의 다양한 요소를 통합적으로 모델을 구성하여 실증하였다는 점에서 다른 연구와는 다른 차별점을 갖는다. 이 연구 결과들을 바탕으로 보다 효과적인 도시설계 전략 수립을 통해 보다 지속가능한 근린을 조성할 수 있는 초석을 마련했다는 점에서 역시 의미를 지닌다.

향후 연구과제에서는 추가로 상업지역을 모델에 투입하는 방안이 모색되어야 할 것이다. 대부분의 토지이용 변수, 내륙수 변수 등과 국지온도와의 상관관계가 낮게 나온 점을 고려하여, 그 원인을 파악하는 연구가 추가로 진행될 필요가 있다. 열섬저감을 위한 보다 구체적인 도시설계 가이드라인을 도출하기 위해서 용적률, 건물의 배치 및 형상, 입지상태 등을 측정하여 모델에 추가할 필요가 있다고 판단된다. 구체화된 연구에서는 본 연구에서 제안한대로 지형 및 CFD분석을 포함한 풍속에 대한 고려 역시 반드시 이루어질 필요가 있다. 본 연구에서 다루지 못한 도시특성이 국지온도에 미치는 영향 역시 모델에 추가되어 후속 연구에서 다뤄질 필요가 있다고 생각된다.

References

- [1] Brundl, W., P. Hoppe, "Advantages and Disadvantages of the Urban Heat-Island: An Evaluation according to the Hygro-Thermic Effects", *Achieves for Meteorology Geophysics and Bioclimatology Series B: Theretical and Applied Climatology*, vol. 35, no. 1-2 pp. 55-66, 1984.
- [2] Santamouris, M. "Natural Cooling Techniques", *Proc. of Passive Cooling Workshop*, pp. 143-153, Ispra, 1990.
- [3] Chandler, T. J., "Urban Climatology-Inventory and Prospect", *Urban Climates*, WMO Tech. Note 108, pp. 1-14, 1970.

- [4] Landsberg, R., "The Urban Climate", *International Geophysics series*, vol. 28, Academic Press, New York, p.275, 1981.
- [5] Chandler, T. J., "London's Urban Climate", *Geographical Journal*, vol. 128, pp. 279-302, 1962.
DOI: <https://doi.org/10.2307/1794042>
- [6] Chandler, T. J., "City Growth and Urban Climates", *Weather*, vol. 19, no. 6, pp. 170-171, 1964.
DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1964.tb02116.x>
- [7] Chandler, T. J., *The Climate of London*, 1st ed. Hutchinson & Co(Publisher) Ltd, p.292, 1965.
- [8] Oke, T. R., *Boundary Layer Climates*, 2nd ed., Routledge. p. 124, 1987.
- [9] Taha, H., "Urban Climates and Heat Islands : Albedo, Evapotranspiration, and anthropogenic Heat", *Energy and Buildings*, vol. 25, pp. 99-103, 1997.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1)
- [10] Barry, R. G., R. J. Chorley, *Atmosphere, Weather and Climate*, 8th ed., Routledg, London, p.384, 2003.
- [11] Hildebrandt, E. W., M. Sarkovich, "Assessing the Cost-Effectiveness of SMUD's Shade Tree Program", *Atmospheric Environment*, vol. 32, no. 1, pp. 85-94, 1998.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00183-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00183-0)
- [12] Meier, A. K., "Strategic Landscaping and Air-Conditioning Savings: A Literature Review", *Energy and Buildings*, vol. 15, no. 3~4, pp. 479-486, 1991.
- [13] Chandler, T. J., S. Gregory, eds. "The Climate of the British Isles", Longman Group, London, pp. 307-329, 1976.
- [14] Hannel, F. G., "Some Features of the Heat Island in an Equatorial City", *Geografiska Annaler*, vol. 58, no. A, pp. 95-110, 1976.
- [15] Harrison, R., B. McGoldrick, C. G. B. Williams, "Artificial Heat release from Greater London 1971~1976", *Atmospheric Environment*, vol. 18, no. 11, pp. 2291-1304, 1984.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(84\)90001-5](https://doi.org/10.1016/0004-6981(84)90001-5)

이 건 원(Gunwon Lee)

[종신회원]



- 2005년 2월 : 고려대학교 문과대학 한국사학과 (문학사)
- 2006년 2월 : 고려대학교 공과대학 건축공학과 (복수전공 수료)
- 2008년 2월 : 고려대학교 건축공학과 건축계획학 (공학석사)
- 2016년 8월 : 고려대학교 건축학과 도시계획및설계학 (공학박사)
- 2014년 3월 ~ 2017년 2월 : 복원대학교 건축학부 조교수
- 2017년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 건축토목환경공학부 조교수

<관심분야>

공간분석, GIS, 녹색도시, 도시기후-환경설계, 도시재생