

Research Paper

도시지역의 물리적 환경요소가 복사에너지 흐름에 미치는 영향

송봉근* · 박경훈**

국립생태원*, 창원대학교 환경공학과**

Effects of Physical environmental factors on Radiation fluxes in Urban areas

Bonggeun Song* · Kyunghun Park**

National Institute of Ecology*, Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University**

요약 : 본 연구는 창원시 도시지역을 대상으로 다양한 물리적 환경요인과 복사에너지 간의 관계성을 분석함으로써 열쾌적성을 개선하기 위한 계획 방안을 마련하는데 목적이 있다. 물리적 환경요인은 건물의 배치형태를 고려한 Sky view factor(SVF)와 토지피복 및 토지이용유형을 고려하였고, 복사에너지는 여름철에 주간 및 야간으로 3일 동안 이동식으로 태양 및 지구복사에너지의 유입과 유출량을 측정하였다. SVF를 분석한 결과 주변에 건물이 거의 존재하지 않는 도시공원에서 높았고, 반면에 고층의 건물이 밀집된 고층아파트와 상업지역은 매우 낮은 수치를 보였다. 복사에너지는 주간시간은 지표면으로 유입되는 태양복사에너지가 약 $700\text{W}/\text{m}^2$ 로 가장 높았고, 야간시간에는 지구복사에너지의 유입과 유출만 있고, 그 양은 약 $450\text{W}/\text{m}^2$ 이었다. 지표면으로 유입되는 태양복사에너지는 건물이 밀집된 공간형태일수록 감소하는 경향을 보였고, 대기 중으로 향하는 태양 및 지구복사에너지는 반사율과 방사율, 그리고 열용량과 같은 열적특성에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 그러므로 도시지역의 열쾌적성을 개선하기 위해서는 건물이 밀집된 지역에 대해 배치형태를 조정하거나 벽면녹화를 조성하고, 지표면에 자연적 피복재질로 교체하는 계획방안이 필요할 것으로 판단된다.

주요어 : 복사에너지 흐름, Sky view factor, 토지피복, 토지이용, 지리정보시스템

Abstract : The purpose of this study is to develop urban planning for mitigating thermal comfort by analyzing the relationship between various physical environmental factors and radiation fluxes focused on urban areas of Changwon city, Gyeongsangnam-do. Physical environmental factors were analyzed by sky view factor (SVF), land cover and land use types using GIS program. Radiation fluxes were measured upward and downward in solar and terrestrial radiation by mobile measurement during 3 days (2 daytime and 1 nighttime) in summer season. SVF is high in urban park less around buildings. High dense building sites were low. Downward solar radiation fluxes were the highest about $700\text{W}/\text{m}^2$ at daytime, and decreased in spatial type arranged dense buildings. Upward solar and terrestrial radiations was affected by land cover types that have thermal

features such as reflectivity, emissivity, and heat capacity. Therefore, urban space needs appropriate planning with building arrangement, green walls and land cover replacement for mitigating thermal comfort in urban area.

Keywords : Radiation fluxes, Sky view factor, Land cover, Land use, GIS

I. 서론

최근 여름철의 기록적인 폭염과 도시열섬 현상이 빈번히 발생하면서 농촌지역에 비해 도시지역 거주민들이 느끼는 열쾌적성이 지속적으로 악화되고 있다(질병관리본부, 2013). 도시지역의 열쾌적성은 밀집된 고층 건물과 아스팔트 및 콘크리트 등의 인공 피복재질면에 의해 지표면에 축적되는 복사에너지와 표면온도와 기온 상승에 의해서 많은 영향을 받게 된다(Giridharan *et al.*, 2008; Givoni, 1998; Emmanuel, 1997; Shashua-Bar *et al.*, 2006).

이처럼 매년 반복되고 있는 여름철 폭염과 도시열섬 현상은 인간의 열쾌적성에 많은 영향을 미치게 되면서, 국내·외적으로 관련 연구들이 활발히 진행되고 있다. 먼저 국외에서는 Gulyás *et al.*(2006)과 Huang *et al.*(2012), Matzarakis *et al.*(2007), Memon *et al.*(2009)이 도시지역의 다양한 공간을 대상으로 현장측정 또는 기후모델링을 활용하여 복사에너지 흐름의 특성을 연구하였고, Spangenberg *et al.*(2008)과 Villadiego and Velay-Dabat(2014), Lai *et al.*(2014), Shashua-Bar and Hoffman(2000), Chen *et al.*(2009), Cheng *et al.*(2006)도 유사하게 현장측정과 기후모델링을 통해 건물의 높이와 간격 등에 따른 기온과 습도, 풍속, 평균복사온도 등의 열쾌적성 영향요인을 분석한 후, 열쾌적성 개선을 위한 건물 배치형태 등을 제시하였다. 그리고 Lai *et al.*(2013)와 Li *et al.*(2012)은 GIS 공간분석을 통해 도시지역의 건물 밀집형태를 분석하고, 호흡기 질환 또는 결핵과의 상관관계를 파악하여 도시민의 질병관리 차원에서의 공간개선 방안에 대해 알아보았다. 이상과 같이 국외의 연구에서는 도시지역의 토지이용, 건물형태, 건물배치 등의 다양한 공간적 특성을 고려한 열쾌적성 분석 연구를 현장측정과 기후모델링 기법을 활용하여 연구하고 있다.

한편, 국내의 경우에는 백상훈 등(2011)이 도시지역의 가로공간을 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 열환경 특성을 분석한 후, 공간계획 및 설계 차원에서의 열환경 개선방안을 제시하였다. 강동현 등(2014)은 영남지역 일대를 대상으로 기상자료와 GIS 공간분석기법을 통해 토지피복재질과 열쾌적성 간의 관계성을 분석하였고, 도시계획 수립 시 쾌적한 옥외공간을 조성하기 위한 방안을 마련하고자 하였다. 이정아 등(2010)은 고려대 캠퍼스 일대를 대상으로 열환경 분석 프로그램인 Rayman과 현장측정을 통해 공간특성에 따른 열수지의 변화를 분석하였다. 이민복(2014)은 수도권의 3개 도시를 대상으로 위성 영상자료와 미기후 모델링을 이용하여 기후요소와 열쾌적성을 평가하였다. 이와 같이 국내에서도 다양한 방법에 의해 건물의 배치형태와 높이, 밀집도, 토지피복재질 등 도시공간에 분포하는 물리적 환경요소가 열쾌적성에 미치는 영향을 연구하고 있으며, 기후요소 자료는 위성영상이나 기후 모델링 분석 자료, 기상청에서 측정된 기온, 풍속, 습도 등이 활용되고 있다. 그러나 도시지역의 물리적 환경요소를 고려하여 열쾌적성 개선방안을 마련하기 위해서는 우선적으로 도시지역에 분포하는 다양한 물리적 환경요소에 따라 발생하는 복사에너지의 흐름 특성이 파악되어야 하며, 이를 토대로 기후적인 요소와 관련시켜 개선방안을 도출할 필요가 있지만, 국내에서는 아직까지 이러한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 경상남도 창원시 도심지역을 대상으로 열쾌적성에 영향을 미치는 다양한 물리적 환경요소에 대해 복사에너지 흐름과의 관계성을 파악하고자 하였으며, 이를 토대로 도시 환경계획 차원에서 열쾌적성을 개선하기 위한 방안에 대해 알아보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지 선정

본 연구의 대상지역은 대한민국 창원시 도심지역 ($35^{\circ}14'01.02''N$, $128^{\circ}41'19.95''E$) 중에서 토지이용유형을 고려한 도시공원과 저층아파트, 상업시설, 단독주택, 고층아파트의 5개 지역이다(Figure 1). 도시공원은 대부분 수목과 잔디와 같은 자연적 피복재질로 이루어져 있고, 인공구조물은 거의 포장되어 있지 않다. 저층아파트는 아스팔트 포장재질이 대부분 덮여 있고, 5층의 건물이 밀집되어 분포하고 있으며, 곳곳에 모래로 덮인 놀이터와 주차장이 위치하여 건물의 밀집도가 낮은 지역이 있다. 상업지역은 30m 이상의 고층 건물이 10m 정도의 폭으로 매우 밀집되어 분포하고 있으며, 대부분 아스팔트 재질로 포장되어 있다. 또한 도시민이 휴식을 취할 수 있는 분수공원이 위치하고 있다. 단독주택은 건물이 대부분 2층 높이로 이루어져 있고, 약 10가구 정도가 블록을 형성하고 있으며, 블록 간의 간격은 약 5m 정도이다. 지표면의 피복재질은 아스팔트로 덮여있다. 고층아파트는 높이 약 50m 정도의 건물이 분포하고 있으며, 건물 주변에는 높이 약 3m의 조경수목이 구성되어 있다. 대상지역 간의 거리는 약 10m 내외이며, 가장 북쪽에 위치한 도시공원에서 남쪽에 위치한 단독주택까지의 직선거리는 약 1.5km이다.

2. 복사에너지 현장측정 방법

현장측정에서는 지표면 부근에서 발생하는 복사에너지의 흐름을 파악하고자 하였다. 복사에너지의 흐름은 Figure 2와 같이 하늘에서 지표면으로 유입되는 태양($K\downarrow$) 및 지구복사에너지($L\downarrow$)와 지표면에서 반사되어 하늘로 방출되는 태양($K\uparrow$) 및 지구복사에너지($L\uparrow$)의 총 4가지 방향으로 이루어진다. 이는 건물이 밀집된 지역일수록 더욱 복잡하고 다양한 흐름을 보이게 된다.

복사에너지의 측정은 Figure 3과 같이 순복사량 측정계(CNR4 Net-radiometer, Kipp & Zonen Int.)와 데이터로거(CR1000)가 탑재된 측정 장비를 이용하여 이동식으로 측정하였다. 순복사량 측정계는 설치 높이 1.2m를 기준으로 위쪽과 아래쪽 방향에서 유입되는 태양 및 지구복사에너지를 측정하게 되며, 지표면에 축적되는 순복사에너지량을 산출하게 된다. 측정 일시는 열쾌적성이 취약한 여름철을 대상으로 하였고, 2013년에 구름이 거의 없고 날씨가 맑은 날을 선정하여 주간시간은 6월 29일과 8월 9일, 야간시간은 8월 14일에 측정을 실시하였다. 측정시간은 주간시간은 13시부터 15시 30분까지, 야간시간은 0시부터 2시 30분까지 약 2시간 30분 동안 측정하였다.

측정 지점은 Figure 3과 같이 열 쾌적성에 영향을 미치는 물리적 환경요소와 측정 이동시간 및 거리를 고려하여 도시공원은 10개 지점, 저층아파트는 7개

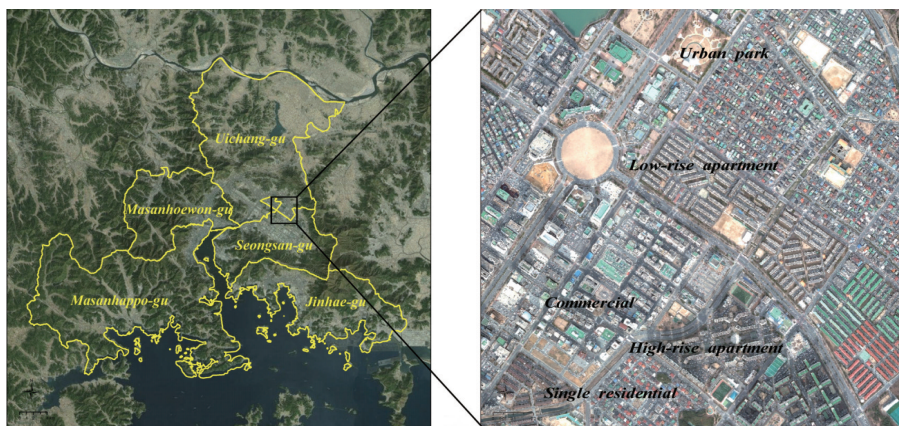


Figure 1. Study sites

지점, 상업시설은 9개 지점, 단독주택은 7개 지점, 고층아파트는 11개 지점으로 총 45개 지점을 선정하였다. 대상지역별로 측정지점의 특성을 살펴보면, 도시공원은 보도블록과 잔디, 목재데크, 시멘트, 화강암 등 국내의 도시공원에서 조경재료로 많이 활용되고 있는 토지피복재질을 측정지점으로 선정하였다. 저층아파트는 주로 건물의 밀집도를 고려하였다. 상업시설은 건물의 밀집도와 보도블록, 아스팔트, 콘크리트, 자갈의 토지피복재질을 선정하였고, 단독주택에서는 대부분 아스팔트 재질로 건물의 밀집 정도를 고려하였다. 고층아파트는 아스팔트와 모래, 타일, 인조잔디와 같은 다양한 피복재질을 고려하였다.

측정방법은 도시공원에서 가장 북쪽에 위치한 지점을 시작 지점으로 선정하여 저층아파트, 상업시설,

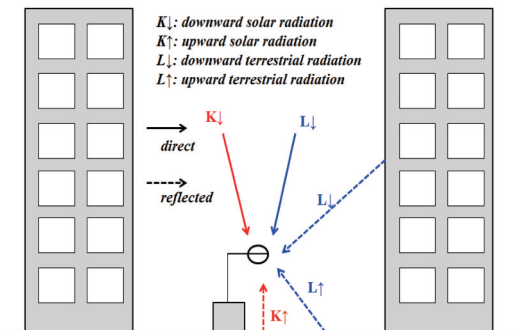


Figure 2. Direction of Radiation fluxes in urban area

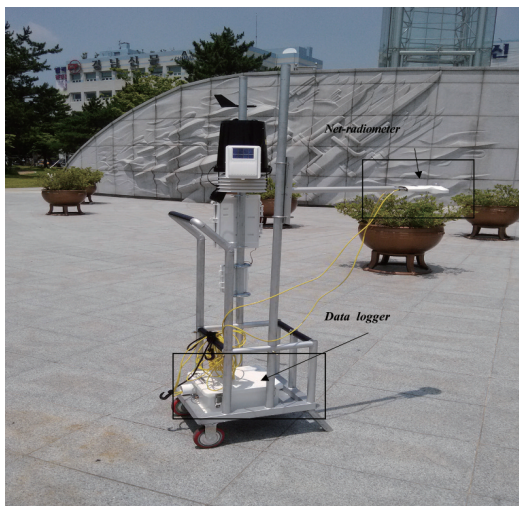


Figure 3. Equipment for measuring radiation fluxes

단독주택, 고층아파트 순으로 측정하였고, 도시공원의 시작지점을 마지막으로 측정하여 총 5km를 이동하였다(Figure 4). 그리고 측정시간이 약 2시간 30분이기 때문에 경과시간에 따라 측정값이 변화할 수 있어 식(1)과 식(2)의 보정식을 적용하였다.

$$Y = X - X \times (T - T_s) \times \alpha \quad \text{식(1)}$$

$$\alpha = \left(\frac{X_f - X_s}{X_f} \right) / (T_f - T_s) \quad \text{식(2)}$$

여기서, X_f 는 종점에서의 측정 값, X_s 는 시점에서의 측정 값, T_f 는 종점에서의 측정시간, T_s 는 시점에서의 측정시간, α 는 보정계수, X 는 측정지점에서의 측정 값, T 는 측정지점에서 시간, Y 는 보정된 값이다.

그리고 순복사량 측정계의 측정 시간 간격을 5초 단위로 설정하였고, 각 측정 지점마다 이동식 측정 장비를 위치시킨 후에 순복사량 측정계의 수평을 맞춰 2분 동안 고정하여 측정하였으며, 측정 시작 시간과 종료 시간을 야장에 기입하였다. 측정을 마친 후, 순복사량 측정계 데이터로거에서 데이터를 추출한 후에 야장에 기입된 측정 시간에 맞추어 측정 결과를 편집하여 결과를 도출하였다.



Figure 4. Measurement points by each sites

분류한 자료이다. 토지이용유형은 “창원시 환경지도 제작 및 GIS구축” 사업에서 제작된 토지이용현황도를 활용하였으며(창원시 2009), 현 시점으로 변경된 토지이용유형으로 갱신하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 복사에너지 측정 결과

측정지점별로 복사에너지를 측정한 결과는 Figure

8와 같다. 우선 태양복사에너지의 유입량($K\downarrow$)은 주간 시간이 700~800W/m²(06/29: 799.5W/m², 08/09: 691.6W/m²)로 측정되었고, 8월 9일은 상업지역에서 고층아파트로 측정될수록 구름의 영향이 있어 태양복사에너지의 유입량이 감소하는 것을 알 수 있다. 야간 시간은 평균 -3.7W/m²이며, 측정지점별로 차이가 없었다. 8월 9일에서 40번 지점은 건물에 의해 그림자가 형성되어 태양복사에너지 유입량이 적었다. 태양복사에너지의 유출량($K\uparrow$)을 살펴보면, 주간시간은 약

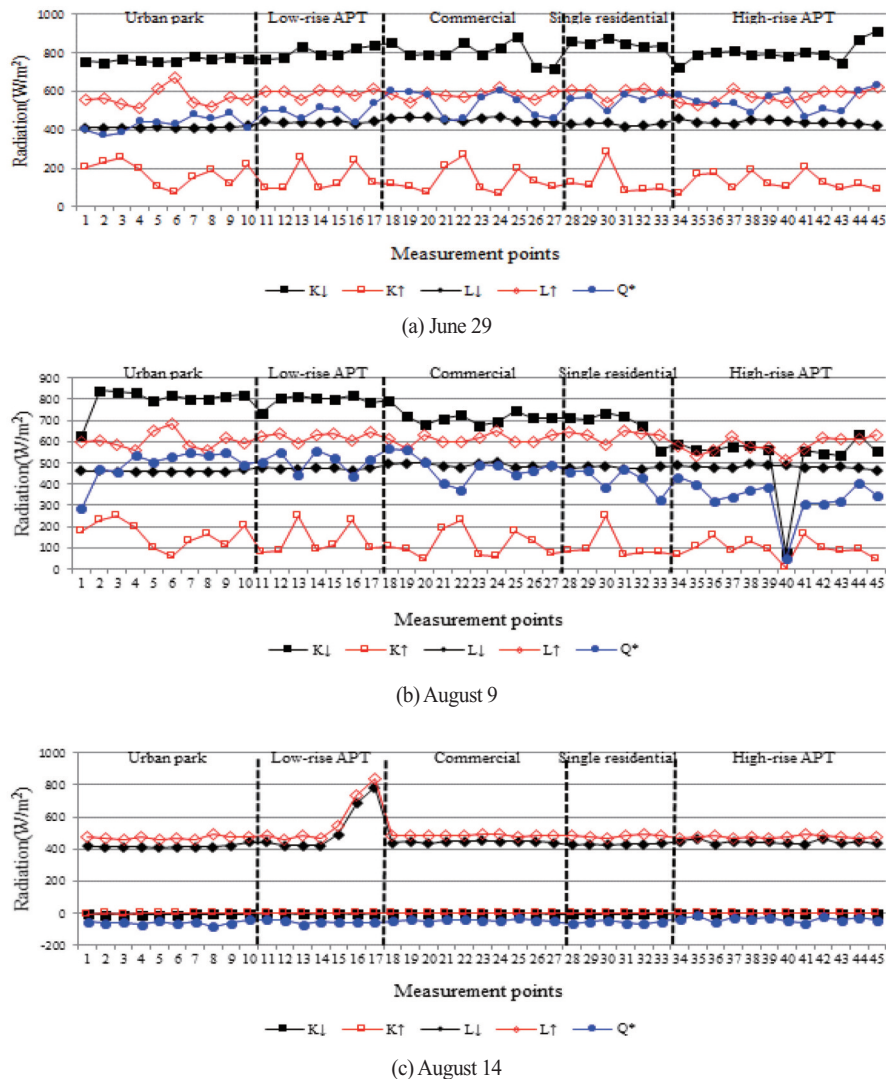


Figure 8. Radiation fluxes by each measurement points($K\downarrow$: downward solar radiation, $K\uparrow$: upward short radiation, $L\downarrow$: downward terrestrial radiation, $L\uparrow$: upward terrestrial radiation, Q^* : net radiation)

Table 1. Pearson's correlation between radiation fluxes

	Daytime					Nighttime				
	K↓	K↑	L↓	L↑	Q*	K↓	K↑	L↓	L↑	Q*
K↓	1	0.315**	-0.534**	-0.062	0.762**	1	0.676**	0.725**	0.508**	0.526**
K↑		1	-0.312**	-0.464**	-0.259*		1	0.569**	0.376*	0.267
L↓			1	0.312**	-0.213*			1	0.341*	0.636**
L↑				1	0.022				1	-0.252
Q*					1					1

*, p<0.05, **, p<0.01

150W/m² 이하(06/29: 143.9W/m², 08/09: 123.2W/m²)로 태양복사에너지 유입량보다 월등히 낮았으며, 야간시간은 주간시간과 유사하게 복사에너지가 거의 없었다. 지구복사에너지 유입량(L↓)은 평균적으로 6월 29일은 435.1W/m², 8월 9일은 476W/m², 그리고 8월 14일은 448.6W/m²로 주간 및 야간시간의 차이가 크지 않았으며, 저층아파트의 아스팔트와 콘크리트 재질 (15, 16번 지점)에서 각각 682.6W/m²와 783.1W/m²로 매우 높게 측정되었는데, 이 지점 주변은 주차 시설이 위치하여 자동차에서 방출되는 지구복사에너지의 양이 많기 때문으로 생각된다. 지구복사에너지 유출량(L↑)은 주간시간이 평균 약 580W/m²(06/29: 573.6W/m², 08/09: 582.3W/m²)이고 야간시간인 8월 14일은 493.2W/m²로 측정되었다.

Table 1은 주간 및 야간으로 구분하여 복사에너지 흐름 간의 Pearson 상관계수를 산출한 결과이다. 주간시간 순 복사에너지와 상관성이 가장 높은 복사에너지는 태양복사에너지 유입량(0.762, p<0.01)으로 나타났으며, 나머지 복사에너지는 순 복사에너지와 상관성이 낮았다. 야간시간의 경우에는 유의확률 1% 이내에서 태양복사에너지 유입량(0.526)과 지구복사에너지 유입량(0.636)이 순 복사에너지에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

이와 같은 분석을 통해 주간시간 지표면에 축적되는 순 복사에너지는 하늘로부터 유입되는 복사에너지의 양에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타나, 열쾌적성 개선을 위해서는 건물과 수목을 적절히 배치하여 그늘 지역을 형성할 수 있는 공간계획 방안이 필요할 것으로 판단된다. 야간시간에도 태양복사에너지 유입량이 증가할수록 순 복사에너지양도 증가하는 것

으로 나타났으나 복사에너지가 극히 적기 때문에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었으며, 반면에 지구복사에너지 유입량은 순 복사에너지의 증가에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러므로 야간시간에는 건물이 밀집된 형태와 토지피복유형에 따른 지구복사에너지와의 관계성을 파악하여 열 쾌적성을 개선할 수 있는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

2. 물리적 환경요소 분석 결과

Figure 9은 SAGA 프로그램에 의해 SVF를 분석한 도면이고, Table 2는 현장측정지점별로 물리적 환경요소인 토지이용 및 토지피복유형과 SVF를 나타낸 결과이다. 도시공원은 주변에 건물이 거의 없는 오픈된 지역이기 때문에 측정지점에서 모두 0.9 이상으로 매우 높았다. 저층아파트는 비교적 건물이 밀집되어 있지만 건물의 층수가 낮아 SVF는 약 0.7~0.8로 분석되었다. 상업지역과 고층아파트 지역은 높은 건물이 밀집되어 있기 때문에 SVF가 매우 낮았으며, 특히 고층아파트는 0.3~0.5로 건물의 밀집도가 매우 높았다. 단독주택은 건물의 층수가 매우 낮기 때문에 SVF가 약 0.8 정도로 비교적 높은 것으로 나타났다. Figure 10은 현장에서 각 대상지역마다 직접 어안렌즈(Fisheye lens)를 통해 하늘이 보이는 면적을 촬영한 것으로 상업지역과 고층아파트 지역에서 밀집된 건물 배치로 인해 하늘이 보이는 면적이 다른 지역보다 적은 것을 알 수 있다.

3. 물리적 환경요소와 복사에너지 흐름 간의 관계성

물리적 환경요소와 현장에서 측정된 복사에너지

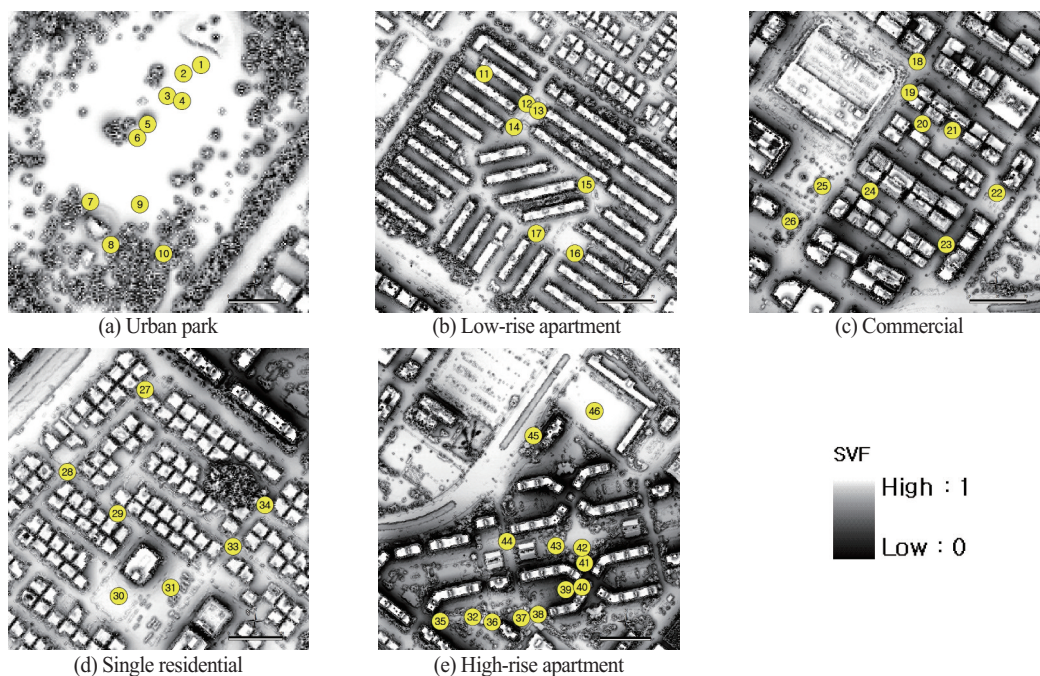


Figure 9. Sky view factor by each sites

Table 2. Sky view factor by each measurement points

Site	Land cover		SVF	Site	Land cover		SVF
Urban park	1	granite	0.996	Commercial	24	asphalt	0.506
	2	birck	0.996		25	brick	0.862
	3	brick	0.997		26	gravel	0.885
	4	lawn	0.997	Single residential	27	asphalt	0.617
	5	urethane	0.998		28	asphalt	0.897
	6	wooden deck	0.998		29	asphalt	0.754
	7	brick	0.998		30	gravel	0.857
	8	lawn	0.997		31	asphalt	0.853
	9	granite	0.986		32	asphalt	0.848
	10	brick	0.937		33	asphalt	0.802
Low-rise Apartment	11	asphalt	0.465		34	asphalt	0.383
	12	asphalt	0.790	High-rise apartment	35	sand	0.525
	13	sand	0.795		36	sand	0.583
	14	asphalt	0.810		37	asphalt	0.565
	15	asphalt	0.696		38	sand	0.326
	16	concrete	0.803		39	brick	0.366
	17	asphalt	0.775		40	brick	0.507
Commercial	18	brick	0.820		41	tile	0.552
	19	brick	0.613		42	brick	0.516
	20	asphalt	0.545		43	asphalt	0.549
	21	concrete	0.682		44	brick	0.751
	22	concrete	0.886		45	artificial turf	0.899
	23	asphalt	0.623				

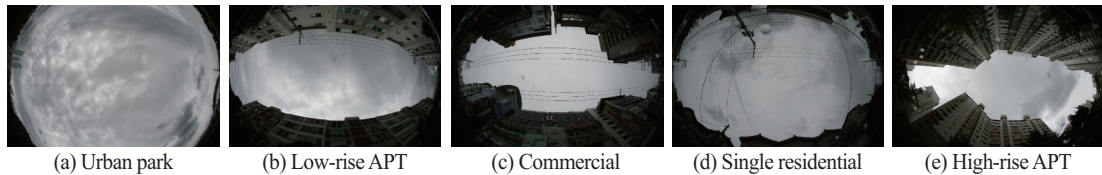


Figure 10. Fisheye lens photographs by each study sites

흐름 간의 관계성을 분석한 결과는 다음과 같다. 우선, 건물이 밀집된 정도를 나타내는 SVF와 복사에너지 흐름 간의 산점도를 분석한 결과, 태양복사에너지 유입량($K \downarrow$)의 경우 6월 29일은 모든 대상지역에서 SVF와의 상관성이 매우 낮았으나, 8월 9일은 건물이 비교적 밀집된 고층아파트와 단독주택에서 R^2 가 각각 0.6798과 0.7860으로 양(+)의 상관성을 보여 건물이 밀집될수록 태양복사에너지 유입량은 줄어드는 것으로 나타났다. 야간시간인 8월 14일은 저층아파트에서 R^2 가 0.7194로 건물 밀집도에 따른 상관성이 높은 것으로 나타났으나, 태양복사에너지 유입량이 매우 적기 때문에 직접적으로 관계성이 있다고 판단하기 어렵다(Figure 11(a)).

태양복사에너지 유출량($K \uparrow$)과 SVF 간의 산점도를 분석한 결과를 살펴보면, 주간시간인 6월 29일과 8월 9일에는 상업지역에서 각각 R^2 가 0.4846과 0.5510로 높은 양의 상관성을 보였으나, 나머지 지역은 건물의 밀집도와 상관성이 매우 낮은 것으로 분석되었다. 야간시간의 경우에는 모든 지역에서 SVF와 태양복사에너지 유출량 간의 상관성이 낮았다(Figure 11(b)).

지표면으로 유입되는 지구복사에너지($L \downarrow$)과 SVF 간의 산점도를 분석한 결과는 Figure 11(c)와 같다. 주간시간의 경우에는 R^2 가 고층 건물이 밀집된 상업지역(06/29: 0.7823, 08/09: 0.7890)과 고층아파트 지역(06/29: 0.8230, 08/09: 0.8351)에서 음(-)의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났으며, 저층아파트와 단독주택도 R^2 가 0.3 정도로 음(-) 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 이러한 이유는 건물에서는 지구복사에너지가 방출하여 건물이 밀집된 지역일수록 지구복사에너지 유입량은 증가하기 때문이다. 반면에 야간시간의 경우에는 건물의 층수가 낮거나 주변에

건물이 거의 없는 개방된 지역인 단독주택과 도시공원 지역에서 R^2 가 0.8 이상으로 강한 음(-)의 상관성을 지닌 것으로 분석되었다. 상업지역과 고층아파트, 그리고 저층아파트에서 상관성이 낮은 이유는 야간시간의 경우 물리적 환경요소 보다는 가정과 산업 활동으로 인한 전력사용과 같은 인위적인 요소의 영향이 작용하였기 때문으로 판단된다. 따라서 각 건물에서 발생하는 전력사용에 따른 지구복사에너지의 방출 특성도 추후에 규명할 필요가 있을 것으로 보인다.

지구복사에너지 유출량은 모두 SVF와 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났으며(Figure 11(d)), 이는 건물의 밀집도 보다는 지표면의 토지피복유형에 대한 영향이 크기 때문으로 판단된다. Table 3은 토지피복유형별로 지구복사에너지 유출량의 특성을 나타낸 것으로 주간시간의 경우 아스팔트(06/29: 599.7W/m², 08/09: 631.1W/m²)와 콘크리트(06/29: 572.7W/m², 08/09: 603.0W/m²), 인조잔디(06/29: 623.3W/m², 08/09: 629.7W/m²), 목재데크(06/29: 672.0W/m², 08/09: 684.4W/m²), 우레탄(06/29: 614.6W/m², 08/09: 648.2W/m²)와 같은 인공적인 피복재질이 자연적 재질보다 지표면에서 방출되는 지구복사에너지의 양이 많은 것으로 나타났다. 송봉근(2014)의 연구에 따르면, 지표면에서 방출되는 지구복사에너지는 지표면의 온도와 밀접한 관련성이 있으며, 토지피복재질이 지닌 색상과 재질에 의해 고유의 반사율과 방사율, 그리고 열용량과 같은 열적 특성에 의해 큰 영향을 받는다고 하였다. 특히 어두운 색 계통의 인공적인 토지피복재질은 반사율이 낮기 때문에 지표면에 축적되는 복사에너지와 지구복사에너지 형태로 방출되는 양이 많아 표면온도가 매우 높은 것으로 나타났다. 따라서 이러한 특성을 이용하여 지표면의 온도를 저감하기 위해 지구복사에너지의 방출이 많은 인



Figure 11. Relationship between Sky view factor and radiation fluxes(UP: Urban park, ■ ; LA: Low-rise apartment, ◆ ; CC: Commercial, ▲; SR: Single residential, ○; HA: High-rise apartment, ●)

Table 3. Upward Terrestrial radiation characteristics by surface fabric types

Surface fabric	June 29	August 9	August 14
Wooden board	672.0	684.4	469.2
sand	548.1	564.1	481.4
granite	564.1	606.7	475.2
brick	562.3	586.9	473.5
asphalt	599.7	631.1	478.9
urethane	614.6	648.2	454.7
artificial turf	623.3	629.7	475.1
gravel	548.9	593.2	477.5
lawn	515.7	560.8	471.6
concrete	572.7	603.0	482.5
tile	573.6	563.6	490.2

공적인 토지피복재질보다 자연적인 재질과 반사율 및 방사율이 높은 재질로 교체할 필요가 있을 것으로 사료된다.

이와 같이 도시지역의 다양한 물리적 환경요소와 복사에너지 흐름 간의 관계성 분석을 통해 도시환경 계획 차원에서 열쾌적성을 개선하기 위한 방안을 고찰해 보았다. 우선 건물의 배치형태와 높이에 대한 적절한 조성 방안이 필요하다고 판단된다. 건물의 밀집도가 높을수록 태양복사에너지의 유입량이 적고 그림자가 형성되는 지역이 증가하지만, 건물에서 방출되는 지구복사에너지의 양도 증가하기 때문에 오히려 역효과를 낼 수도 있다. 또한 Erell(2012)에 따르면, 건물이 밀집된 도시협곡지역일수록 지표면에서 방출되는 복사에너지가 대기 중으로 빠져나갈 수 있는 공간이 줄어들기 때문에 복사에너지가 지표면에 축적될 수 있다고 하였다. 그러므로 건물이 밀집된 지역은 벽면녹화를 조성하여 건물에서 방출되는 지구복사에너지의 양을 줄이거나, 지표면에 축적되는 복사에너지의 양을 최소화 할 수 있는 건물의 높이와 폭의 설계 방안이 마련되어야 할 것으로 생각된다. 그리고 지표면의 피복재질 또한 투수성 포장재질이나 자연적 피복재질로 교체하여 지구복사에너지의 방출량을 저감할 수 있는 계획방안이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 경상남도 창원시 도시지역을 대상으로 SVF와 토지피복 및 토지이용유형의 물리적 환경요소와 현장에서 측정된 복사에너지 흐름 간의 관계성을 분석하여 도시 및 환경계획 차원에서 도시공간의 열쾌적성을 개선할 수 있는 방안에 대해 알아보았다. 도시공간형태 분석은 GIS 프로그램을 활용하였고, 복사에너지 흐름은 태양 및 지구복사에너지의 유입 및 유출량을 현장에서 이동식 측정 장비를 통해 측정하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

우선 복사에너지 흐름을 측정한 결과를 살펴보면, 주간시간은 하늘로부터 유입되는 태양복사에너지의 양이 약 $700\sim 800\text{W/m}^2$ 정도로 가장 많았으며, 주변에 건물이 거의 없는 도시공원에서 가장 높았고 건물이 밀집된 고층아파트 일대에서 가장 적은 양을 보였다. 야간시간의 경우에는 태양 복사에너지의 영향은 거의 없고 지구복사에너지의 유입 및 유출만 있으며, 주차시설이 있는 저층아파트 일대를 제외하고 나머지 측정지점에 대해 복사에너지의 차이가 거의 없었다. 다음으로 SVF를 분석한 결과, 건물이 거의 없는 도시공원은 SVF가 거의 1에 가까웠으며, 반면에 건물이 밀집된 고층아파트와 상업지역은 SVF가 매우 낮았다. 이와 같이 현장에서 측정된 복사에너지 흐름과 SVF 및 토지피복재질 간의 관계성을 분석한 결과, 하늘로부터 유입되는 태양복사에너지는 건물의 높이와 밀집도에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 하늘로부터 유입되는 지구복사에너지도 건물에서 방출되는 양이 많기 때문에 건물이 밀집된 공간일수록 복사량도 증가하는 것으로 측정되었다. 대기 중으로 방출되는 태양 및 지구복사에너지의 양은 건물의 밀집도 보다는 토지피복재질이 지닌 반사율과 방사율, 그리고 열용량과 같은 열적 특성에 의한 영향이 큰 것으로 확인되었으며, 목재데크와 아스팔트, 콘크리트와 같은 인공적인 피복재질은 태양 복사에너지의 방출량이 적은 반면에, 지구복사에너지의 방출량은 많은 것으로 측정되었다. 이는 지표면에 축적되는 순복사에너지량과 지구복사에너지의 유출량에 많은 영향을 미치게 되며, 특히 지구복사에너지 유출

량은 지표면의 온도와 밀집한 관련성이 있기 때문에 도시지역의 열쾌적성을 개선하기 위해서는 지구복사 에너지 유출량을 감소시킬 수 있는 공간계획 방안이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 공간계획 방안은 본 연구에서 지구복사에너지 유출량이 비교적 적게 측정된 잔디 및 모래와 같은 재질을 활용할 수 있으며, 건물에 벽면녹화를 하거나 투수성 포장재질 또는 자연적 토지피복 재질로 교체하는 방안이 있다.

따라서 본 연구는 도시지역의 열쾌적성을 개선하기 위해 우선적으로 도시공간의 다양한 물리적 환경요소에 따른 복사에너지 흐름 특성을 파악하였으며, 이를 바탕으로 건물의 배치형태와 토지피복재질을 개선함으로써 지표면에 축적되는 복사 에너지를 줄이고, 이와 더불어 표면온도 및 기온 저감을 통해 도시지역의 열쾌적성을 개선할 수 있는 공간계획 방안을 마련할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 건물이 밀집된 지역은 건물 벽면에서 방출되는 복사에너지의 영향이 크게 작용하지만 본 연구에서는 이러한 부분을 반영하지 못하였다. 향후에는 건물 벽면에서 방출되는 복사 에너지 흐름과 열쾌적성 지수, 그리고 지역 주민들의 설문조사를 실시하여 이들 간의 관계성을 분석하고, 열쾌적성에 영향을 미치는 물리적 환경요인을 추가적으로 파악할 필요가 있을 것으로 보인다. 또한 건물의 폭과 너비, 다양한 토지피복재질유형을 적용한 공간설계를 고려하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 열쾌적성을 개선할 수 있는 방안을 도출할 것이며, 여름철뿐만 아니라 겨울철의 열쾌적성을 고려하여 최적의 도시공간을 설계할 수 있는 연구를 진행할 계획이다.

사 사

본 연구는 한국연구재단의 지원으로 수행한 “도시 및 환경계획적 활용을 위한 현장측정 및 열적의 원격탐사 기반의 도시열섬 연구 방법론 개발(과제번호: 2013-0095-0000)”의 결과 중 일부를 수정·보완하였습니다.

인용문헌

강동현, 최철현, 정성관. 2014. 영남지역의 토지

피복에 따른 열쾌적성 평가도 구축, 한국지리정보학회지 17(2), 136-155.

백상훈, 시미즈아키, 김학운, 정응호. 2011. 도시가로공간의 공공디자인 개선사업에 따른 열환경 개선 효과 평가, 한국환경과학회지 20(9), 1105-1114.

송봉근, 박경훈. 2011. 도시기후 형성 요소를 고려한 공간유형 분류-창원시를 대상으로-, 환경영향평가 20(3), 299-311.

송봉근. 2014. 도시지역의 기후변화 및 열섬효과 완화를 위한 환경계획 기법의 개발, 창원대학교 박사학위논문

이민복. 2014. 수도권 신도시의 열쾌적성 평가, 한양대학교 석사학위논문.

이정아, 정대영, 전진형, 이상문, 송영배. 2010. 공간 구조별 열쾌적성 평가와 열환경 개선방안, 한국조경학회지 38(5), 12-20.

질병관리본부. 2013. 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보, 주간 건강과 질병보고서.

창원시. 2009. 창원시 환경지도 제작 및 GIS구축, 창원시 연구보고서.

Chen, H., Ooka, R., Huang, H. and Tsuchiya, T. 2009. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation, Building and Environment 44, 2290-2299.

Cheng, V., Steemers, K., Montavon, M. and Compagnon, R. 2006. Urban Form, Density and Solar Potential. Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.

Emmanuel, R. 1997. Summertime heat island effects of urban design parameters, PhD thesis, The University of Michigan.

Erell, E., Pearlmuter, D. and Williamson, T. 2011. Urban Microclimate -Designing the Spaces Between Buildings-, earthscan, London and Washington, DC.

- Giridharan, R., Lau, S.S.Y., Ganesan, S., and Givoni, B. 2008. Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence, *Building and Environment* 43, 1583-1595.
- Givoni, B. 1998. *Climate considerations in building and urban design*, USA, Wiley.
- Gulyás, Á., Unger, J. and Matzarakis, A. 2006. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements, *Building and Environment* 41, 1713-1722.
- Huang, J., Laurent, J. G. C., Spengler, J. and Reinhart, C. 2012. A GIS-BASED ASSESSMENT METHODOLOGY FOR MEAN RADIANT TEMPERATURE IN DENSE URBAN AREA, Fifth National Conference of IBPSA-USA. Madison, Wisconsin. August 1-3, 246-254.
- Lai, P. Low, C., Tse, W.C., Tsui, C., Lee, H. and Hui, P. 2013. Risk of tuberculosis in high-rise and high density dwellings: An exploratory spatial analysis, *Environmental Pollution* 183, 40-45.
- Lai, D., Guo, D., Hou, Y., Lin, C. and Chen, Q. 2014. Studies of outdoor thermal comfort in northern China, *Building and Environment* 77, 110-118.
- Li, X., Wang, C., Hang, G., Xiao, L. and Dixon, J. 2012. Urbanization and human health in China: spatial features and a systemic perspective, *Environmental Science and Pollution Research* 19, 1375-1384.
- Matzarakis, A., Rutz, F. and Mayer, H. 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments-application of the RayMan model, *International Journal of Biometeorology* 51, 323-334.
- Memon, R. A., Leung, D. Y. C. and Liu, C. 2009. An investigation of urban island intensity (UHI) as an indicator of urban heating, *Atmospheric Research* 94, 491-500.
- Oke, T. R. 1981. Canyon geometry and the nocturnal heat island: comparison of scale model and field observations, *Journal of Climatology*, 1, 237-254.
- Shashua-Bar, L., Hoffman, M. E. 2000. Vegetation as a climate component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees, *Energy and Building* 31, 221-235.
- Shashua-Bar, L., Hoffman, M.E. and Tzamir, Y. 2006. Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate, *Building and Environment* 41, 343-354.
- Spangenberg, J., Shinzato, P., Johansson, E., and Duarte, D. 2008. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo, *Rev. SBAU, Piracicaba* 3(2), 1-19.
- Svensson, M. K. 2004. Sky view factor analysis - implications for urban air temperature differences, *Meteorological Applications*, 11, 201-211.
- Villadiego, K., Velay-Dabat, M. A. 2014. Outdoor thermal comfort in a hot and humid climate of Colombia: A field study in Barranquilla, *Building and Environment* 75, 142-152.
- Watson, I. D. and Johnson, G. T. 1987. Graphical estimation of sky view factors in urban environments, *International Journal of Climatology*, 7, 193-197.

References

- Baek, S., Aki Shimizu, Kim, H. Y. and Jung, E. H. 2011. Evaluation of Thermal Environment Improvement Effect from Public Design Improvement Project on the Urban Street Space, *Journal of the Environmental Sciences*, 20(9), 1105-1114.
- Changwon-si. 2009. Changwon-si environmental atlas and GIS construction, Changwon-si report
- Chen, H., Ooka, R., Huang, H. and Tsuchiya, T. 2009. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation, *Building and Environment* 44, 2290-2299.
- Cheng, V., Steemers, K., Montavon, M. and Compagnon, R. 2006. Urban Form, Density and Solar Potential. Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.
- Emmanuel, R. 1997. Summertime heat island effects of urban design parameters, PhD thesis, The University of Michigan.
- Erell, E., Pearlmutter, D. and Williamson, T. 2011. Urban Microclimate -Designing the Spaces Between Buildings-, earthscan, London and Washington, DC.
- Giridharan, R., Lau, S. S. Y., Ganesan, S. and Givoni, B. 2008. Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence, *Building and Environment* 43, 1583-1595.
- Givoni, B. 1998. Climate considerations in building and urban design, USA, Wiley.
- Gulyás, Á., Unger, J. and Matzarakis, A. 2006. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements, *Building and Environment* 41, 1713-1722.
- Huang, J., Laurent, J. G. C., Spengler, J., and Reinhart, C. 2012. A GIS-BASED ASSESSMENT MTEHOD FOR MEAN RADIANT TEMPERATURE IN DENSE URBAN AREA, Fifth National Conference of IBPSA-USA. Madison, Wisconsin. August 1-3, 246-254.
- Kang, D. H., Choi, C. H. and Jung, S. G. 2014. Development of Thermal Comfort Evaluation Map by the Land Cover in Yeongnam Region, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17(2), 136-155.
- Korea Center for Disease Control and Prevention. 2013. Annual Report on the Notified Patients with Heat related illness in Korea, Public Health Weekly Report.
- Lai, P. Low, C., Tse, W.C., Tsui, C., Lee, H. and Hui, P. 2013. Risk of tuberculosis in high-rise and high density dwellings: An exploratory spatial analysis, *Environmental Pollution* 183, 40-45.
- Lai, D., Guo, D., Hou, Y., Lin, C. and Chen, Q. 2014. Studies of outdoor thermal comfort in northern China, *Building and Environment* 77, 110-118.
- Lee, M., 2014. Evaluation of thermal comfort of new towns in Seoul metropolitan area, Master thesis, Hanyang University.
- Lee, J. A., Jung, D. Y., Chon, J. H., Lee, S. M. and Song, Y. B. 2010. An Evaluation of Human Thermal Comfort and Improvement of Thermal Environment by Spatial Structure, *Journal of the Korea Institute of*

- Landscape Architecture, 38(5), 12-20.
- Li, X., Wang, C., Hang, G., Xiao, L. and Dixon, J. 2012. Urbanization and human health in China: spatial features and a systemic perspective, *Environmental Science and Pollution Research* 19, 1375-1384.
- Matzarakis, A., Rutz, F. and Mayer, H. 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments-application of the RayMan model, *International Journal of Biometeorology* 51, 323-334.
- Memon, R. A., Leung, D. Y. C. and Liu, C. 2009. An investigation of urban island intensity (UHI) as an indicator of urban heating. *Atmospheric Research* 94, 491-500.
- Oke, T. R. 1981. Canyon geometry and the nocturnal heat island: comparison of scale model and field observations, *Journal of Climatology*, 1, 237-254.
- Shashua-Bar, L. and Hoffman, M.E. 2000. Vegetation as a climate component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees, *Energy and Building* 31, 221-235.
- Shashua-Bar, L., Hoffman, M. E. and Tzamir, Y. 2006. Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate, *Building and Environment* 41, 343-354.
- Song, B. G. and Park, K. H. 2011. The Classification of Spatial Patterns Considering Formation Parameters of Urban Climate, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 22(5), 397-408.
- Song, B. G. 2014. Development of Environmental Planning Methodology for Mitigation of Climate change and Heat island effect in Urban area, Ph.D DISSERTATION, Changwon National University, Korea.
- Spangenberg, J., Shinzato, P., Johansson, E., and Duarte, D. 2008. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo, *Rev. SBAU, Piracicaba* 3(2), 1-19.
- Svensson, M. K. 2004. Sky view facotr analysis - implications for urban air temperature differences, *Meteorological Applications*, 11, 201-211.
- Villadiego, K., Velay-Dabat, M. A. 2014. Outdoor thermal comfort in a hot and humid climate of Colombia: A field study in Barranquilla, *Building and Environment* 75, 142-152.
- Watson, I. D. and Johnson, G. T. 1987. Graphical estimation of sky view factors in urban environments, *International Journal of Climatology*, 7, 193-197.
- <http://www.saga-gis.org>