수도권 신도시의 열쾌적성 평가

An Evaluation of Thermal Comfort of New Towns in Seoul Metropolitan Area

오 규 식*

Kyu Shik Oh

이 민 복**

Min Bok Lee

이 동 우***

Dong Woo Lee

요 약 본 연구는 인간의 생리학적요소를 고려한 PET(Physiologically Equivalent Temperature)를 산정하여 수도권 신도시(분당, 일산, 동탄1)의 열쾌적성을 평가하였다. 또한 선행연구 고찰을 통해 열쾌적성과 관련된 도시공간요소들을 선정하고 회귀분석을 실시하여 PET와 도시공간요소들과의 관계를 분석하였다.

분석결과, 3개 신도시 중 계획단계에서 열섬 저감효과를 고려한 2기 신도시인 동탄1이 1기 신도시인 분당, 일산에 비해 열쾌적성이 우수한 것으로 나타났다. 불투수면적률, 용적률, 상업면적률, 주거면적률 등이 PET를 상승시키는 주요 변수로 분석되었으며 하천면적률, 식생활력도(NDV) 등이 PET를 저감시키는 것으로 나타났다.

본 연구는 위성영상 분석기법, 바람길 모델 등과 같은 GIS 공간분석기법을 복합적으로 활용하여 도시 전체 공간을 대상으로 PET를 산정함으로써 열쾌적성을 과학적이고도 구체적으로 평가한 선행적 연구로서 의의를 지닌다. 또한, 본 연구를 통해 도출된 PET와 도시공간요소와의 관계분석 결과는 도시계획 수립단계에서 도시민의 열쾌적성을 제고할 수 있는 계획안 수립에 기여할 수 있을 것이다.

키워드 : 삶의 질, 열쾌적성, 생리적 등가온도, 도시공간요소, 신도시, GIS

Abstract This study assessed the thermal comfort of new towns in the Seoul Metropolitan Area (Ilsan, Bundang, Dongtan1) using PET (Physiologically Equivalent Temperature) which refers to real human heat stress. The relationship between PET and urban spatial elements was also analyzed using multiple regression analysis.

The study results show that the thermal comfort of Dongtan 1, which is considering a reduction of the urban heat island effect in the planning phase, is higher than other cities. In addition, through regression results, the impervious ratio, floor area ratio, commercial area ratio, and residential area ratio were found to be major factors increasing PET. Moreover, the river area ratio and NDVI were found to be major factors decreasing PET.

This study has scientific significance as research that focuses on the assessment of thermal comfort scientifically and definitely, by estimating PET for an entire urban area using GIS analysis that included remote sense analysis and the wind field model. The results of this study can be used in preparing more effective urban plans for the promotion of citizen thermal comfort.

Keywords : Quality of Life, Thermal Comfort, Physiologically Equivalent Temperature, Urban Spatial Element, New Towns, GIS

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

기후 변화로 인한 이상기온이 사회적 문제로 대

두됨에 따라 도시 외부공간에 대한 관심이 증대되고 있다. 또한 도시민들의 의식수준의 향상은 보다 쾌적한 주거환경으로의 조성을 유도하고 있다[33, 35]. 이러한 차원에서 도시공간의 열섬·냉섬 저감방

[†] This research was supported by a grant (07High Tech A01) from the High Tech Urban Development Program funded by the Ministry of Land, Transportation, and Maritime Affairs of the Korean government

* Kyushik Oh, Professor, Department of Urban Planning, Hanyang University. ksoh@hanyang.ac.kr

** Minbok Lee, Master's Student, Department of Urban Planning, Hanyang University. ssushine@nate.com

*** Dongwoo Lee, PH. D Candidate, Department of Urban Planning, Hanyang University. estevan97@hanyang.ac.kr (Corresponding Author)

안에 대한 연구가 수행되고 있으며 관련 규정과 지침이 국가적 차원에서 신설되고 있다[37, 38]. 한편, 인간이 실제로 느끼는 쾌적 정도를 나타내기 위해 Hóppe [37, 1996]는 생리적 등가 온도(Physiologically Equivalent Temperature, 이하 PET)개념을 제시했다. PET는 기후요소가 변화함에 따라 인간이 실제로 느끼는 열적 스트레스를 온도단위(℃)로 나타내어 열쾌적성을 정량적이고 구체적으로 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 PET와 관련된 대부분의 연구가 실내공간을 대상으로 진행되어 왔다. 최근 외부공간을 대상으로 공간개방도와 PET와의 관계분석을 실시한 연구[22, 35]가 부분적으로 이루어지고 있으나, 도시전체를 대상으로 한 연구는 시도되지 못하고 있으며 PET와 도시공간요소와의 관계도 명확히 파악되지 못하고 있다. 본 연구는 도시전체 공간을 대상으로 PET개념과 GIS 공간분석 기법을 적용하여 도시민이 실제로 느끼는 체감온도를 고려한 열쾌적성 평가방법을 마련하고, 평가결과와 도시공간요소와의 회귀분석을 통해 도시공간요소와 PET와의 관계를 규명하였다.

1.2 연구의 범위

연구 대상지는 수도권 1기 신도시(분당, 일산)와 2기 신도시(동탄1)로 선정하였다. 신도시를 대상으로 선택한 이유는 기성시가지와 달리 비교적 동일한 시기에 도시가 조성되고 계획단계에서부터 열환경과 관련된 계획요소(자연·인공적 요소)를 고려하였기 때문이다. 또한 지속가능한 신도시 계획기준(2005년 제정, 2010년 개정)에 의해 1기 신도시에

비해 환경적 계획요소가 고려된 2기 신도시를 추가적으로 고려하여 열쾌적성 개선여부를 PET 통해 비교하였다. 다만 2기 신도시의 대부분이 준공이 이루어지지 않은 이유로 가장 최근에 입주가 완료된 동탄1을 대상으로 하였다<Figure 1>, <Table 1>.

Table 1. Summary of the Study Areas

	Bundang	Ilsan	Dongtan 1
Area (ha)	1,964	1,574	903.6
Population Density (Person/ha)	199	175	135
Development Density (Person/ha)	489	425	41
Road Construction (km)	82.8	51.4	32.5
Green Space Ratio (%)	19.4	23.5	24.2
Project Period	'89. 8~ '96. 12	'90. 3~ '95. 12	'01.12~ '08. 03

2. 이론 고찰

2.1 삶의 질과 열쾌적성

삶의 질은 인간의 존엄과 가치가 훼손받지 않고 건강하며 문화적인 최저한의 생활이 확보되는 “인간다운 생활을 영유하는 기본조건”이라 할 수 있다 [29, 32]. 이 같은 삶의 질 개념은 대부분의 국가와 지역에서 추구하고 있지만 구체적인 내용은 국가와 지역마다 다르게 표현되고 있다[14, 15]. 대표적으로 세계보건기구(WHO)는 인간의 기본 생활욕구를 충족시키기 위한 조건으로 안전성, 건강성, 편리성, 쾌적성의 4가지를 제시하였다. 본 연구는 WHO가 제시한 4가지 원칙 중 쾌적성과 밀접한 관련을 맺고 있다. 일반적으로 인간이 갖고 있는 기본적인 요구가 특정 환경에 의해 정신적, 감각적으로 충족될 때, 쾌적하다는 표현을 쓴다. 쾌적성은 문화, 연령, 성, 시간 등의 변수에 따라 다르고, 도시의 복잡한 환경에 대한 이용자 집단의 가치평가로 추출되는 경향이 강하다[17].

인간은 최소의 생리적 노력에 의해 생산된 열량과 발열량이 평형을 이루었을 때 열적으로 쾌적하다고 한다[42]. 열쾌적성에 대한 연구는 1900년대

Figure 1. The Study Areas

초반부터 기온, 습도, 풍속 등과 같은 기후 요소를 조합하여 산정하는 열쾌적 지표(Thermal Comfort Index)가 개발되면서 시작되었다. 열쾌적성을 평가하기 위한 쾌적영역에 대한 본격적 연구는 실내의 쾌적상태를 평가하기 위한 생체기후도를 제작한 것으로부터 기인한다. 생체기후도는 열쾌적성과 밀접한 관련을 맺고 있는 네 가지 요소(온도, 습도, 풍속, 일조량)를 그래프화 하여 해당 조건을 만족하는 쾌적영역대(Comfort Zone)를 제시함으로써 열쾌적성을 평가한다[42]. 생체기후도는 지속적인 실증연구[39, 42, 52]를 통해 발전되었으며, Bosselmann[1, 1991]에 의해 가로공간과 같은 외부 공간으로 그 적용성이 확대되었다. 생체기후도 외에도 신유효온도(New Effective Temperature, ET), 표준유효온도(Standard Effective Temperature) 등과 같이 다양한 열쾌적 지표가 개발되었으나, 이들 대부분의 주 용도가 밀폐된 실내공간이나 각 건물에 한하여 적용하기 위한 것이었기 때문에 도시공간의 적용이 부적절하다.

2.2 PET

Fanger[11, 1970]는 인간이 실제로 느끼는 열쾌적성을 평가할 수 있는 예상평균온열감(Predicted Mean Vote, 이하 PMV)개념을 제시하였다. PMV지표는 인체 열조절 시스템의 생리적 반응을 1,300명 이상의 사람으로부터 수집된 온열감 의사 표시를 통계학적으로 연관시킨 것이다. PMV는 활동량, 착의량, 온도, 평균복사온도, 상대기류속도, 수증기분압 등의 변수에 의해 산정되며, 일반적으로 $-0.5 < PMV < +0.5$ 범위에 있을 때 쾌적한 것으로 정의된다. 유럽에서는 건축물의 열환경 성능을 평가하기 위한 ISO(International Standards Organization) Standard 7730의 지표로도 사용되고 있다[4, 41]. PMV 지표를 활용하여 인간이 실제로 느끼는 쾌적 정도를 온도로 나타낸 것이 PET이다. PET는 인간의 에너지 균형에서 파생된 생체기후학적 열쾌적성 평가지표[18, 19]로 일반적으로 쓰이는 온도단위(℃)를 사용하여 현재까지 개발된 열쾌적성 지표와 달리 이해가 용이한 장점이 있다<Table 2>. PET에 대한 관심이 증대됨에 따라 이를 활용한 연구가 국내·외에서 다수 이루어지고 있다. 특히, 실외공간을 대상으로 PET의 적용성을 검증한 다수의 실증 연구[21, 33, 34, 36, 37]가 수행되었다.

Table 2. Thermal Comfort Index Range [33]

PMV	PET (℃)	Human Sensations	Thermal Stress Levels
- 3.5	<4	Very Cold	Extreme Cold Stress
- 2.5	8	Cold	Strong Cold Stress
- 1.5	13	Cool	Moderate Cool Stress
- 0.5	18	Slightly Cool	Slight Cool Stress
0.5	23	Comfortable	No Thermal Stress
1.5	29	Slightly Warm	Slight Heat Stress
2.5	35	Warm	Moderate Heat Stress
3.5	>41	Hot	Strong Heat Stress
		Very Hot	Extreme Heat Stress

Internal Heat Production: 80W, 0.9Clo (Clo: Heat Transfer Resistance of the Clothing)[34]

Höppe[18, 1999]는 기온, 평균방사온도, 풍속, 공기수증기압을 이용하여 PET를 산정할 수 있는 방법을 제시하고 이를 발전하여 PMV, PET 지수를 적용한 도시지역의 기상정보 제공 방법을 고안하였다[1]. 또한, 응용연구로 실측 일조량을 PET이론에 접목하여 도심 내부 주요 가로에서의 쾌적성을 평가하였다[35]. 실제 독일에서는 Matzarakis et al [35]에 의한 PET평가 방법을 적용하여 기상예보에 활용하고 있다. 그 외에도 Hwang et al[20, 2009]은 대학교의 외부공간을 대상으로 PET를 평가하여 적용 가능성을 검증하였다. 국내에서도 전미영 등[5, 2010]이 공동주택(소규모 외부공간)을 대상으로 PET를 평가하였다. 이와 같이 다양한 실증 연구를 통해 PET의 적용 범위가 외부공간으로 확대되고 있으나 분석기법의 부재, 방대한 자료구축의 어려움으로 도시 전체공간에 대한 PET평가는 시도되지 못하고 있으며, 도시공간요소와의 심도 있는 관계분석도 이루어지지 못하고 있다.

2.3 도시공간과 열 환경

도시공간에 대한 열 환경 연구는 주로 도시 열섬 현상을 대상으로 이루어졌다. 특히 과거에 비해 다양한 공간정보 DB의 구축이 가능해지고, GIS 및 위성 영상분석 기법과 미기후 모델링이 발전함에 따라 이와

Figure 2. The Study Flow

관련된 구체적인 실증연구가 수행되고 있다. 도시화에 따른 토지피복의 변화 또는 도시공간요소가 도시기온에 미치는 영향을 분석하거나[12, 30, 41, 44, 48, 55] 하천, 녹지, 공원, 가로수 등에 의한 도시열섬 저감효과를 분석한 연구[1, 6, 7, 27, 23, 36, 40, 45, 53, 54, 55]가 주로 이루어지고 있다. 또한, 열섬 완화 차원에서 ENVI-met, MUKLIMO, MIMO와 같은 미기후 모델링을 적용하여 효과적인 바람길 조성을 위한 연구[5, 16, 28]도 활발히 이루어지고 있다. 이와 같이 도시의 열섬현상과 관련된 실증 연구가 지속적으로 이루어지고 있으나, 도시공간의 열쾌적성을 실증 분석한 연구는 부족하다.

3. 분석방법

본 연구는 수도권 신도시를 대상으로 PET를 산정하여 지점별 열쾌적성을 평가한다. 다음으로 도시공간을 대상으로 수행된 열환경 관련 선행연구를 토대로 도시공간요소를 독립변수로 도출하고 PET와 상관분석을 실시한다. 상관분석 결과를 토대로 유의수준을 만족하는 변수와 PET와의 회귀분석을 통해 도시공간요소와 PET와의 관계를 사례대상지별로 분석한다<Figure 2>.

3.1 PET 산정

PET를 산정하기 위해서는 선행적으로 PMV가 산출되어야 한다. 인간의 열쾌적성이 유지되기 위

해서는 열적 중립성의 느낌을 제공하는 피부온도와 인체 내부온도가 조화를 이룸으로써 신체의 열적 평형 상태가 유지되어야 한다. 즉 인간의 대사량이 대류, 복사, 땀의 증발로 인한 열량 소모량과 같아야 한다. PMV는 이 두 조건을 쾌적방정식으로 나타낸 <Equation 1>을 기반으로 산정된다.

$$M - W = H + E_c + C_{res} + E_{res}$$

$$PMV = (0.028 + 0.303 \cdot e^{-0.036M}) [(M - W) - H - E - C_{res} - E_{res}] \quad (1)[22]$$

M: 대사량, W: 유효대사량
H: 대류, 복사에 의한 열손실량,
Ec: 피부에서의 수분 증발량
Cres: 호흡에 의한 대류 열교환량
Eres: 호흡에 의한 증발열 교환량

성인의 평균 대사량(M)과 작업종류에 따른 대사량(W)은 활동의 유형에 따라 (Met, 1Met=58.2) 다르게 나타난다. PMV를 계산하는 방법은 Equation 2와 같으며, Equation 3과 Table 3을 이용하여 각 변수에 대한 값을 적용할 수 있다.

$$PMV = (0.303 \times e^{-0.036 \times M} + 0.028) \times (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - p_a]$$

$$\begin{aligned}
& -0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - p_a) \\
& - 0.0014 \times M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} \times f_d \\
& \times [(t_d + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_d \times h_c \times (t_d - t_a) \\
& \quad (2)[22]
\end{aligned}$$

fcl=인간 나체의 표면적과 옷을 입었을 경우의
표면적의 비, M=대사율(Kcal/m²h),
W=외부 작업율(Kcal/m²h), ta=공기의 온도(°C),
 $\bar{t}_r$ =평균복사온도(°C), Var=공기의 상대속도,
pa=수증기분압, hc=대류열전달계수(W/m²K),
tcl=옷 표면의 온도(°C)

$$\begin{aligned}
f_{cl} &= \begin{cases} 1.00 + 1.290 \times I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / W \\ 1.05 + 0.645 \times I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / W \end{cases} \\
H_c &= \begin{cases} 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} & 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \sqrt{V_{ar}} \\ 12.1 \sqrt{V_{ar}} & 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \sqrt{V_{ar}} \end{cases} \\
& \quad (3)[22]
\end{aligned}$$

fcl=인간의 나체의 표면적과 옷을 입었을 경우의
표면적의 비, Icl=착의량, hc=대류열전달계수(W/m²K),
tcl=옷 표면의 온도(°C), ta=공기의 온도(°C),
Var=공기의 상대속도

Table 3. Applied Values for PMV Estimation [25]

	Conditions	Applied Values
Work Metabolism (W)	Comfortable Human Walking Speed (About 1.4m/s)	2.6 Met
Insulation Clothing (Icl)	Easy Attire of Adult Males	0.6 Clo
Vapor Pressure(pa)	Mean Value at Observation Time	1004.7Pa
Heat Conductivity (hc)	Assuming tcl Equal to ta	$hc \sqrt{V_{ar}} = 12.1$

PMV 산정식을 토대로 PET와의 관계를 Equation 4와 같이 유도할 수 있다. Equation 4는 인체의 생리적인 열환경 상태 모델인 MEMI (Munich Energy-balance Model for Individual)를 바탕으로 Höppe와 Mayer에 의해 개발된 것으로

PMV를 PET로 변환하는데 주로 사용되고 있다[18, 19, 37]. Equation 5를 통해 PMV와 PET간의 관계는 Figure 3과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
PET(^{\circ}\text{C}) &= 0.1607 \times PMV^2 + 5.3214 \times PMV \\
&+ 20.531 \quad (*-3.5 < PMV < 3.5) \\
& \quad (4)[22, 35]
\end{aligned}$$

Figure 3. Relationship between PET and PMV

한편, 도시공간의 PET를 산정하기 위해서는 해당 지점별 기온, 풍속, 습도, 기압과 같은 방대한 자료가 구득되어야 한다. 본 연구에서는 위성영상 (Landsat)을 이용하여 대상지의 기온을 산출하였다. 위성영상을 통해 지표온도를 도출하고 이를 AWS의 실측 기온과 회귀식을 구성하여 지점별 기온을 산출하였다(Figure 4). 풍속의 경우 바람장 모델인 Envi-met을 적용하여 산정하였다. 풍속, 풍향, 기온 등과 같은 기상자료와 건물, 토지피복, 고도와 같은 공간자료를 Envi-Met에 입력하여 해당 지점의 풍속을 추출하였다. 또한, 도시 외부공간에서의 쾌적성을 평가하기 위해 ISO 7730[22]에서 제시되고 있는 성인 남성이 서 있는 높이(1.8m)와 가장 가까운 2m에서의 결과 값을 추출하였다(Figure 5). 습도와 기압의 경우, 대상지 전체지역에 대한 측정이 제한되기 때문에 수도권 지역의 평균값인 50.8%와 1004.7pa를 3개 대상지에 동일하게 적용하였다. 지점별 기온, 풍속, 습도, 기압자료를 변수로 Equation 1과 Equation 2를 적용하여 PMV를 도출하고, Equation 4를 적용하여 PET를 산정하였다(Figure 6).

Figure 4. Temperature Analysis Result
(2009. 6. 1)

Figure 5. Wind Speed and Wind Direction
Analysis Results using Envi-met (Bundang)

Figure 6. PET Estimation Methods for the Case Study Areas

3.2 PET와 도시공간요소와의 관계 분석

본 연구에서는 도시공간을 대상으로 열환경을 분석한 선행연구¹⁾ 검토를 통해 독립변수를 선정하였다. 이를 위해 선행연구에 사용된 변수 중 사용빈도가 높고 도시 열환경과 설명력이 높은 변수를 도출하였다. 최종적으로 도시공간요소를 자연적 요소 8개, 인공적 요소 6개, 복합적 요소 1개로 분류하였다<Table 4>. 선정된 도시공간요소는 PET와의 관

계해석이 가능하도록 30×30m의 격자 단위로 구축하고 앞서 산정된 PET평가 결과와 함께 단일 파일로 통합하였다. 다음으로 PET와 도시공간요소와의 상관분석을 실시하여 회귀분석에 적용 가능한 독립변수를 도출하고 회귀분석방법 중 하나인 Step-wise 기법을 적용하여 PET 산정모형을 도출하였다. 각 신도시가 가지고 있는 자연 및 인문·사회적 특성이 상이하기 때문에 도시별로 회귀식을 구성하였다.

Table 4. Independent Variables (Urban Spatial Elements) for this Study

Urban Spatial Elements			Unit	Sources	Notes
Natural Factors	Topography	Elevation	m	Digital Map (2008)	-
		Slope	Degree		-
		Aspect	Degree		South: 1, North: 0
	Facility	Green Space Area Ratio	%	Land Cover Map (2007)	-
		Distance from Green Space	m		-
		Stream Area Ratio	%		-
		Distance from Stream	m		-
	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)		-1~+1	Landsat (2009.6.1)	-
Man-made Factors	Land Use	Residential Area Ratio	%	Land Cover Map (2009)	-
		Commercial Area Ratio	%		
		Industrial Area Ratio	%		
	Land Cover	Impervious Area Ratio	%	Land Cover Map (2009)	Concrete and Asphalt Area
		Road Area Ratio	%	Land Cover Map (2009), GIS Road Data (2008)	Execpt for Residential Street
		Distance From Road	m		
	Building	Building-to-Area Ratio	%	Digital Map (2008), Building Register (2008), Web Site in Study Areas	-
		Floor Area Ratio	%		
Other Factor		Sunlight	W/m²	Digital Map (2008)	-

4. 분석 결과

4.1 PET분석 결과

대상지별 PET분석 결과는 Figure 7, Table 5와 같다. 분당의 PET는 23.8℃에서 34.9℃로 대상지 내에서 인체가 실제로 느끼는 온도는 약 10℃ 정도의 차이를 보이고 있으며, 평균은 31.1℃로 3개 도시 중 가장 높게 나타났다. 일산은 22℃에서 29.5℃로 대상지 내에서 인체가 실제로 느끼는 온도와 약 7.5℃ 정도의 차이를 나타내고 있으며 평균은 27.2℃로 분당보다 약 3℃ 낮은 것으로 분석되었다. 동

탄1의 PET는 18.1℃에서 25.4℃로 평균은 22.9℃로 3개 도시 중 PET가 가장 낮은 수치를 보이고 있으며, 여름철의 쾌적 범위인 18~23℃에 가장 근접한 범위를 보이고 있다. 대상지 내에서 인체가 실제로 느끼는 온도와는 약 7.2℃ 정도의 차이가 있는 것으로 나타나며, 일산과는 0.3℃의 차이를 보인다.

동탄1의 PET가 낮게 산정된 이유는 Table 1에 제시된 바와 같이 계획 수립시 1기 신도시들에 비해 생태면적률이 확보되고 열섬저감, 바람길 조성과 같은 환경요소들이 고려된 결과로 해석된다. 또한 대상지 주변에 개발이 진행 중에 있으며, 분당과 일

Figure 7. PET Assessment Results

Table 5. PET Assessment Results on the Study Areas

PET Range (°C)		Bundang	Ilsan	Dongtan 1
Mean PET(°C)		31.1	27.2	22.9
Areas for Stress Classes (m ² , %)	No thermal stress	-	118,800(0.8)	2,888,100(36.3)
	Slight heat stress	2,746,800(14.0)	14,510,700(95.6)	5,077,800(63.7)
	Moderate heat stress	16,915,500(86.0)	548,100(3.6)	-
	Total	19,662,300(100)	15,177,600(100)	7,965,900(100)

산에 비해 시가화지역이 비교적 작은 수도권 외곽에 조성된 것도 영향을 미친 것으로 판단된다(Figure 7).

열적 스트레스를 받는 면적을 대상지별로 살펴보면, 분당전체 면적의 86%가 상당한 수준의 열적 스트레스(moderate stress)를 받는 지역이며 열적 스트레스를 받지 않는 지역은 분포하지 않아 분당이 3개 도시 중 열쾌적성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 반면, 동탄1은 상당한 수준의 열적 스트레스(moderate stress)를 받는 지역이 분포하지 않고, 전체면적의 36.3%에서 열적 스트레스가 없는 것으로 나타나 3개 도시 중 열쾌적성이 가장 우수한 것으로 분석되었다(Table 5).

4.2 상관분석 결과

PET와 독립변수들 간의 상관 분석을 실시한 결과 도로와의 거리를 제외한 인공적 요소와, 일조와 같은 복합적 요소가 양의 상관관계를 맺고 있으며 경

사면 방향과 하천으로부터의 거리를 제외한 자연적 요소들이 음의 상관관계를 맺고 있는 것으로 분석되었다. 이는 도시공간을 대상으로 한 열환경 관련 선행연구와 유사한 경향을 나타내고 있다. 다만 분당의 경우 하천면적률과 하천으로부터의 거리가 선행 연구와 상이한 결과를 나타냈는데, 이는 타 도시에 비해 하천주변으로 고밀의 개발이 이루어져 있으며 대규모 녹지가 중심부에 적게 위치하고 주로 외곽에 분포하고 있기 때문인 것으로 판단된다(Table 6).

4.3 PET와 도시공간요소간의 회귀분석 결과

4.3.1 분당

회귀식의 설명력(R²)은 0.445로 나타났으며 유의수준에서 도로면적률이 제외되었다. 이외에 모든 변수가 0.01이내에서 유의함을 나타냈다. 표준화계수를 살펴보면 하천면적률이 0.192로 가장 영향을 많이 미치는 것으로 나타났으며, 이 외에도 녹지면적률(0.147), 상업면적률(0.142), 불투수면적률(0.139)이

Table 6. Correlation Analysis Result

Independent Variables			Bundang	Ilsan	Dongtan 1
Natural Factors	Topography	Elevation	-0.460**	-0.099**	-0.304**
		Slope	-0.286**	-0.101**	-0.295**
		Aspect	0.188**	0.025**	0.184**
	Facility	Green Space Area Ratio	-0.126**	-0.614**	-0.150**
		Distance from Green Space	-0.018**	0.466**	0.464**
		Stream Area Ratio	0.132**	-0.275**	-0.104**
		Distance from Stream	-0.242**	0.510**	0.159**
	NDVI		-0.370**	-0.219**	-0.406**
Man-made Factors	Land Use	Residential Area Ratio	0.125**	0.558**	0.156**
		Commercial Area Ratio	0.178**	-0.011**	0.278**
		Industrial Area Ratio	-	-	-0.008
	Land Cover	Impervious Area Ratio	0.321**	0.544**	0.279**
		Road Area Ratio	0.166**	0.171**	-0.018
		Distance From Road	-0.440**	-0.371**	-0.304**
	Building	Building-to-Area Ratio	0.164**	0.340**	0.153**
		Floor Area Ratio	0.181**	0.283**	0.169**
Other Factor		Sunlight	0.273**	0.328**	0.463**

** : p-value 0.01

Table 7. Multiple Regression Analysis Result of Bundang (Adj. $R^2=0.445$)

Model	Regression Coefficient	Standardized Coefficient	t	sig.	Collinearity Diagnostics	
	Beta	Beta			Tolerance	VIF
Constant	33.061		356.151	0		
Elevation	-0.020**	-0.301	-48.878	0	0.698	1.433
Slope	-0.004**	-0.018	-2.883	0.004	0.717	1.394
Distance From Road	-0.006**	-0.241	-39.527	0	0.714	1.400
Distance from Green Space	-0.001**	-0.116	-20.143	0	0.805	1.243
NDVI	-0.007**	-0.099	-14.721	0	0.585	1.709
Sunlight	0.001**	0.085	11.269	0	0.811	1.233
Stream Area Ratio	0.013**	0.192	29.252	0	0.617	1.621
Commercial Area Ratio	0.649**	0.142	17.571	0	0.404	2.472
Green Space Area Ratio	0.008**	0.147	19.813	0	0.482	2.076
Impervious Area Ratio	0.005**	0.139	14.838	0	0.304	3.293
Aspect	0.093**	0.043	7.933	0	0.895	1.118
Residential Area Ratio	0.338**	0.101	10.763	0	0.303	3.300
Floor Area Ratio	0.000**	0.058	10.166	0	0.822	1.216
Distance from Green Space	0.000**	-0.021	-3.405	0.001	0.718	1.394

**: p-value 0.01

PET를 상승시키는 주요 변수로 분석됐다. PET 저감에 가장 영향을 미치는 변수로는 표고(-0.301)로 나타났으며, 이 외에도 도로와의 거리(-0.241), NDVI(-0.110) 등으로 나타났다<Table 7>, <Figure 8>. 관련선행 연구와 달리 하천면적률과 녹지면적률과 같은 자연적 요소가 양의 관계를 나타내는 이유는 상관분석 결과에 제시된 바와 같이 하천주변으로 고밀의 개발이 이루어지고 대부분의 녹지가 대상지 외곽에 위치함에 따라 하천과 녹지에 의한 기온저감효과가 상쇄되었기 때문이다. 이는 위성영상을 이용하여 기온을 산출하는 과정에서 확인되었는데 분당의 기온이 다른 대상지와 달리 하천지역과 녹

지지역에서도 높게 산출되었다. 이에 따라 해당지역의 PET가 높게 산정되고 회귀식의 설명력도 다른 대상지에 비해 가장 낮게 나타났다.

4.3.2 일산

회귀식의 설명력(R^2)은 0.591로 3개 도시 중 가장 높은 것으로 나타났다. 건폐율, 경사도, 표고를 제외한 모든 변수의 유의확률은 0.01 이내로 나타났다. 표준화계수를 살펴보면 하천과의 거리(0.359)가 멀어질수록 PET가 상승하는 것으로 나타났다. 주거면적률(0.298), 녹지와의 거리(0.170), 상업면적률(0.143) 등이 PET를 상승시키는 변수로 분석되었다. PET

Figure 8. Major Variables for Determining PET (Bundang)

Table 8. Multiple Regression Analysis Result of Ilsan (Adj. $R^2=0.591$)

Model	Regression Coefficient	Standardized Coefficient	t	sig.	Collinearity Diagnostics	
	Beta	Beta			Tolerance	VIF
Constant	23.696	227.572	227.572	0		
Impervious Area Ratio	.002	.048	5.159	0	.301	3.317
Distance from Stream	.001	.359	59.092	0	.707	1.415
Distance from Green Space	.003	.170	28.735	0	.742	1.347
Residential Area Ratio	.011	.298	36.989	0	.402	2.487
Distance From Road	-.001	-.062	-8.539	0	.494	2.023
Industrial Area Ratio	.009	.143	21.985	0	.615	1.626
Road Area Ratio	.007	.133	18.691	0	.518	1.931
Stream Area Ratio	-.013	-.096	-15.325	0	.658	1.519
Aspect	.192	.050	7.354	0	.573	1.746
Green Space Area Ratio	-.003	-.056	-6.585	0	.354	2.822
NDVI	-.003	-.036	-5.285	0	.576	1.736
Floor Area Ratio	.003	.032	5.360	0	.725	1.380

**: p-value 0.01

(PET Increase Variable: Distance from Stream)

(PET Increase Variable: Impervious Area Ratio)

(PET Reduction Variable: Green Space Area Ratio)

Figure 9. Major Variables Determining PET (Ilsan)

저감변수로는 하천면적률이 -0.096 으로 가장 높게 나타났으며 도로와의 거리(-0.041), 하천면적률(-0.096), 녹지면적률(-0.056) 등이 PET를 저감하는 변수로 분석되었다<Table 8>,<Figure 9>.

4.3.3 동탄1

회귀식의 설명력(R^2)은 0.491 이며 표고와 녹지율이 유의수준과 다중공선성 문제로 제외되었다. 표준화계수를 살펴보면 주거면적률과 상업면적률이 0.309 와 0.366 으로 PET 상승에 크게 영향을 미쳤으며, 공업지와 사면 방향도 PET 상승을 유도하는 것으로 나타났다. 이외에도 자연적 요소인 녹지와 거리, 하천과의 거리가 멀어질수록 PET가 상승되는 것으로 분석되었다. 기온저감 변수로는 도로와의 거리가 -0.249 로 가장 높았으며, 도로율과 하천면적

률도 영향을 주는 것으로 나타났다. 특히, 상관분석에서 기온 저감요인으로 분석된 도로율이 회귀분석에서도 기온 저감요인으로 분석됐다. 이는 1기 신도시에 비해 도로의 불투수면적률이 낮고 도로 주변으로 녹지공간을 확보했기 때문인 것으로 판단된다<Table 9>,<Figure 10>.

4.3.4 분석종합 및 시사점

PET와 독립변수들간의 선형회귀분석 결과, 분당은 0.445 , 일산은 0.591 , 동탄은 0.491 의 설명력을 나타냈다. 회귀분석 결과 주거지와 상업지로 조성되거나, 불투수면적률이 높고, 남향에 가깝거나 일조량이 높을수록 PET가 상승하는 것으로 분석됐다. 특히 불투수면적률은 3개 대상지에서 PET를 상승시키는 유력한 변수로 도출되었다. 또한, 자연적 요소인 녹

Table 9. Multiple Regression Analysis Result of Dongtan 1 (Adj. R²=0.491)

Model	Regression Coefficient	Standardized Coefficient	t	sig.	Collinearity Diagnostics	
	Beta	Beta			Tolerance	VIF
Constant	24.263	—	175.773	0	—	—
Aspect	0.109**	0.053	6.625	0	0.916	1.092
Commercial Area Ratio	0.885**	0.046	19.059	0	0.267	3.742
Residential Area Ratio	1.735**	0.350	31.177	0	0.456	2.191
Distance from Green Space	0.000**	0.367	44.288	0	0.840	1.191
Industrial Area Ratio	0.286**	0.053	4.703	0	0.456	2.193
NDVI	-0.007**	-0.107	-9.633	0	0.463	2.161
Distance From Road	-0.006**	-0.253	-24.465	0	0.540	1.852
Distance from Stream	0.000**	0.041	5.169	0	0.920	1.087
Sunlight	0.002**	0.082	8.243	0	0.814	1.229
Road Area Ratio	-0.004**	-0.090	-10.371	0	0.760	1.317
Building-to-Area Ratio	0.003**	0.029	2.659	0	0.480	2.085
Floor Area Ratio	0.000**	0.048	4.295	0	0.452	2.214
Stream Area Ratio	-0.012**	-0.064	-7.931	0	0.890	1.124
Impervious Area Ratio	0.002**	0.047	5.191	0	0.706	1.417
Slope	-0.015**	-0.041	-4.543	0	0.711	1.407

**: p-value 0.01

(PET Increase Variable: Distance from Green Space)

(PET Increase Variable: Residential Area Ratio)

(PET Reduction Variable: Distance From Road)

Figure 10. Major Variables Determining PET (Dongtan 1)

지·하천과의 거리가 가까울수록 대부분 열쾌적성이 증대되지만, 분당과 같이 주거지와 상업지의 견제율, 용적률, 불투수면적이 매우 높을 경우 그 효과가 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 모형의 설명력이 기존 통계연구에 비해 다소 낮게 산정되었는데, 이는 PET 산정을 위해 사용된 기초 데이터인 Landsat 영상의 촬영시기가 6월 1일이고, 우리나라를 통과하는 시간이 오전 10:00~11:00임에 따라 지역별 온도차가 분명하게 나타나지 않아 회귀계수가 낮게 산정된 것으로 판단된다. 따라서 향후 온도차가 분명한 시점의 자료가 확보된다면 모형의 설명력을 개선할 수 있을 것이다.

한편, PET분석 결과를 토대로 Hot Spot분석을 실시하여 대상지별 PET가 타 지역에 비해 월등히 높게 나타나는 지역을 도출하고 주요 변수와 비교하였다(Figure 11). 분당에서 PET가 가장 높게 나타난 지역은 대상지 남측에 위치한 상업지역으로 34.9℃를 보이고 있다. 해당 지역의 불투수면적률은 81.7%이며 용적률은 184.8%로 타 지역에 비해 매우 높게 나타나고 있다. 일산의 경우 대상지 남측 경계에 위치하고 있는 고밀 주거지역이 29.5℃로 PET가 가장 높게 나타났다. 해당 지역의 용적률은 182%이며 불투수면적률은 80.1%로 분당과 같이 고밀의 개발이 이루어져 있다. 동탄1은 대상지 북서측

Figure 11. Hot Spot Areas

의 고밀 주거지역에서 25℃를 보이고 있다. 해당 지역의 용적률은 143%이며 불투수면적률은 52.86%로 나타났다. 불투수면적률이 평균보다 낮지만 녹지율이 3.72%로 매우 낮고 북측의 공업지역이 인접하고 있어 PET가 높게 산정된 것으로 판단된다. 이상이 PET평가 결과와 도시공간요소와의 관계분석을 통해 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다.

첫째, 생체기후도와 같은 기존의 열쾌적성 평가 방법이 쾌적 여부에 대한 이분법적 판단만 가능했던 반면, PET는 인간이 실제로 느끼는 열적 스트레스를 정량적으로 제시하여 열쾌적성을 보다 구체적으로 평가할 수 있게 한다. 최근 건축물에 대한 환경성능 평가가 도시공간으로 확대되고 있다. 사례연구에 제시된 바와 PET산정 결과를 통해 인간이 느끼는 열적 스트레스를 등급화 할 수 있으며 해당 등급에 대한 규모의 파악도 용이하다. 따라서 본 연구를 통해 개발된 도시공간의 PET 평가방법은 향후 도시의 열환경 성능을 평가할 수 있는 평가도구로 활용이 가능하다.

둘째, PET는 열쾌적성을 개선을 위한 계획안 수립에 즉각적인 활용성이 높다. <Figure 11>에 제시된 바와 같이 PET분석 결과를 통해 대상지역 내에 열쾌적성이 우수한 지역과 취약한 지역을 손쉽게 판단

할 수 있다. 따라서 도시의 열환경 개선을 위한 우선지역을 선정함에 있어 PET 평가방법이 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 고밀의 개발이 이루어진 주거·상업지역의 불투수표면을 자연형 포장재로 교체하는 것이 열쾌적성을 개선시킬 수 있는 현실적 대안으로 판단된다. 이미 개발이 이루어진 주거·상업 지역을 공원·녹지와 같은 용도로 변경하거나 개발 밀도를 낮추는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 물론, 아스팔트 및 콘크리트로 조성된 모든 지역을 자연형 포장재로 교체할 수는 없으나 본 분석이 30×30m 단위로 분석된 점을 고려하면 관공서, 대규모 상업 빌딩과 같이 건축 바닥면적이 넓고 지붕의 형태가 평탄한 건축물을 대상으로 옥상 녹화가 이루어질 경우 해당 지역의 열쾌적성을 개선할 수 있을 것이다.

5. 결론

PET는 열쾌적성을 평가할 수 있는 주요 평가도구로 활용되고 있으나 분석기법의 부재, 방대한 구축자료의 어려움으로 실내 공간 또는 국지적 외부 공간을 대상으로 주로 적용되었다. 본 연구는 수도권 신도시를 대상으로 PET를 분석하여 도시 외부

공간 전체에 대한 열쾌적성을 평가하고 이에 영향을 주는 도시공간요소와의 관계를 분석하였다. PET를 적용한 도시 열쾌적성 평가결과를 통해 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

첫째, 본 연구는 도시전체 공간을 대상으로 PET를 평가할 수 있는 분석방법을 개발하였다. 그간 PET에 대한 연구는 대부분 국지적 공간에 초점이 맞추어져 주변 환경에 대한 고려가 미흡했으며 결과의 해석 또한 미시적 차원에 머무르고 있다. 본 연구는 위성영상 분석, 미기후 모델링, 래스터 연산, 중첩분석과 같은 GIS를 이용한 공간분석기법을 활용하여 PET의 개념을 도시전체의 공간으로 확장시킬 수 있는 과학적이고도 체계적인 틀을 마련하였다.

둘째, PET는 도시에서 인간이 실제로 느끼는 체감온도를 기준으로 열쾌적성에 대한 정량적 평가를 가능하게 한다. 사례연구 결과에 제시된 바와 같이 자연·환경적 요소를 고려한 2기 신도시의 열쾌적성이 1기 신도시에 비해 우수하게 나타남을 PET분석결과를 통해 확인되었다. 특히, 생체기후도와 같은 기존의 열쾌적성 평가가 쾌적 여부에 대한 이분법적 판단만 가능했던 반면, PET는 인체가 느끼는 피로도를 체감온도에 따라 구분함으로써 보다 구체적인 열쾌적성 평가를 가능하게 한다.

셋째, 본 연구를 통해 수행된 PET와 도시공간요소와의 회귀분석 결과는 향후 도시의 열쾌적성을 개선하기 위한 기초자료로 활용 가능하다. 물론 본 연구결과로 도출된 모형의 설명력 개선이 필요하나 향후, 분석기법의 개선과 자료 확보를 통해 도시공간요소와 PET와의 관계가 보다 구체적으로 파악된다면 계획수립에 있어 유용성을 더욱 확보할 수 있을 것이다.

본 연구는 PET를 도시 전체의 공간에 적용한 선행적 연구로서 의의가 있으며 향후, 도시개발·계획수립시 도시민의 열쾌적성을 제고할 수 있는 계획안 마련에 기여할 수 있을 것이다.

References

[1] Bosselmann, P; Arens, E. 1991, Sun, Wind, and Pedestrian Comfort-A Study of Toronto's Central area, Center for Environmental Design Research University of California at Berkeley.
[2] Bouyer, J; Vinet, J; Delpech, P; Carre, S. 2007,

Thermal Comfort Assessment in Semi-outdoor Environments: Application to Comfort Study in Stadia, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95(9-11):963-976.
[3] Cao, X; Onishi, A; Chen, J; Imura, H. 2010, Quantifying the Cool Island Intensity of Urban Parks using ASTER and IKONOS Data, Landscape and Urban Planning, 96(4):224-231.
[4] Chang, C, R; Li, M. H; Chang, S. D. 2007, A Preliminary Study on the Local Cool-island Intensity of Taipei City Parks, Landscape and Urban Planning, 80(4):386 - 395.
[5] Chun, M. Y; Lee, S. J; Kim, J. Y; Lee, S. B; Kim, T. Y. 2010, Evaluation of the Thermal Environment and Comfort in Apartment Complex using Unsteady-state CFD Simulation, The Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 10(4):67-73.
[6] Chun, B. S; Kim, H. Y. 2010, Analysis of Urban Heat Island Effect Using Information from 3-Dimensional City Model, The Journal of GIS Association of Korea, 18(4):1- 11.
[7] Chun, B. S; Guldman, J. M. 2012, Spatial Analysis of the Urban Heat Island Using a 3-D City Model", The Journal of GIS Association of Korea, 24(4):1-16.
[8] Development - Technical Manual 2007 Edition, <http://www.ibec.or.jp>
[9] Ellefsen, R; Cionco, R. M. 1998, High Resolution Urban Morphology Data for Urban Wind Flow Modeling, Atmospheric Environment, 32(1): 7-17.
[10] Emmanuel, R. 1997, Urban Vegetational Change as an Indicator of Demographic Trends in Cities: The Case of Detroit, Environment & Planning B, 24:415-426.
[11] Fanger, P. O. 1970, Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill.
[12] Gallo, K. P; Eastering, D. R; Peterson, T. C. 1996, The Influence of Land Use/Land Cover on Climatological Values of the Diurnal Temperature range, Journal of Climate, 9:2941-2944.

- [13] Givoni, B. 1991, Impact of Planted Areas on Urban Environmental Quality, *Atmosphere Environment*, 25(3):289-299.
- [14] Ha, S. K; Kim, J. I. 1997, A Study on the Quality of Life : Policy Themes and Indicators, *The Journal of Korea Planners Association*, 32(5):155-168.
- [15] Ha, S. K; Kim, J. I. 2000, *Urban Management Theory*, Publisher of Hyungseol.
- [16] Honjo, T. 2009, *Thermal Comfort in Outdoor Environment*, *Global Environment Research*, 13(1):43-47.
- [17] Hong, Y. S. 2007, *Bury these Dreams in the Real Estate*, Publisher of the Era of the Window.
- [18] Höppe, P. 1999, The Physiological Equivalent Temperature: A Universal Index for the Biometeorological Assessment of the Thermal Environment, *International Journal Biometeorology*, 43:71-75.
- [19] Höppe, P. 2002, Different Aspects of Assessing Indoor and Outdoor Thermal Comfort, *Energy and Building*, 34(2):661-665.
- [20] Hwang, Y. J; Lee, J. K; Jeong, Y. M; Koo, K. M; Lee, D. H; Kim, I. K; Jin, S. W; Kim, S. H. 2009, Cooling Performance of a Vertical Ground-coupled Heat Pump System Installed in a School Building, *Renewable Energy*, 34(3):578-582.
- [21] Jendritzky, G; Maarouf, A; Fiala, D; Staiger, H. 2002, An Update on the Development of a Universal Thermal Climate Index, 15th Conference on Biometeorology/Aerobiology and 16th International Congress of Biometeorology.
- [22] KATS, 2010, *Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*, KS A ISO 7730, Korean Standards Information Center.
- [23] Kim, J. W; Lee, D. K; Oh, K. S; Seong, H. C. 2003, A Fundamental Study on the Relationship Between Riparian Vegetation and Surface Temperature : Focused on Cheonggaechon Stream Restoration, *The Journal of the Korea Society of Environmental Restoration*, 6(3): 79-86.
- [24] Kim, S. B; Um, H. H; Kwon, B. H; Oh, S. N; Kim, Y. H. 2004, Examination of Heat Budget Model for Urban Thermal Environment Evaluation, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 40(2):147-158.
- [25] Kim, J. S. 2005, *Environmental Engineering in Architecture*, Publisher of SeoWoo.
- [26] Kim, S. Y; Kim, H. B. 2010, A Study on the Improvement of Korea Green Building Certification System by the Comparison with BREEAM and LEED, *The Journal of Architectural institute of Korea*, 26(12):271-278.
- [27] Kim, K. J; Yeo, I. A; Yoon, S. H. 2011, The Study on the Characteristics of the Formation of Urban Thermal Environment According to Greening Type, *The Journal of Architectural Institute of Korea*, 27(6):229-236.
- [28] Latini, G; Grifoni, R. C; Tascini, S. 2010, Thermal Comfort and Microclimates in Open Spaces, *ASHRAE*.
- [29] Lane, R. E. 1994, Quality of Life and Quality of persons: A New Role for Well-being Measure, *Political Theory*, 22(2):219-252.
- [30] Lee, W. S; Jeong, S. K; Park, K. H; Kim, K. T. 2010, Analysis of Urban Thermal Environment for Environment-Friendly Spatial Plan, *The Journal of Korean Association of GIS*, 13(1):142-154.
- [31] Lee, J. A; Jeong, D. Y; Jeon, J. H; Lee, S. M; Song, Y. B. 2010, An Evaluation of Human Thermal Comfort and Improvement of Thermal Environment by Spatial Structure, *The Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 38(5):12-20.
- [32] Lim, H. S. 1996, A Conceptual Discussion of a Quality of Life, *The Journal of Korea Institute of Public Administration*, 5(1):5-18.
- [33] Matzarakis, A; Mayer, H; Iziomon, M. 1999, Applications of a Universal Thermal Index:

- Physiological Equivalent Temperature, International Journal of Biometeorology, 43(2):76-84.
- [34] Matzarakis, A; Mayer, H. 2000, Atmospheric Conditions and Human Thermal Comfort in Urban Areas, 11th Seminar on Environment Protection: Environment and Health, 155-166.
- [35] Matzarakis, A; Rutz, F; Mayer, H. 2007, Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments: Application of the RayMan model, International Journal of Biometeorology, 51(4):323-334.
- [36] Matzarakis, A; Amelung, B. 2008, Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans, Climatic Change and Human Health, 161-172.
- [37] Mayer, H. 1993, Urban Bioclimatology, Experientia 49; Birkhäuser Verlag, Switzerland, 957-963.
- [38] Memon, R. A; Leung, D. Y. C; Liu, C. H. 2008, A Review on the Generation, Determination and Mitigation of Urban Heat Island, Journal of Environmental Sciences, 20(1):120 - 128.
- [39] Milne, M; Givoni, B. 1985, Energy Conservation through Building Design, Chap 6: Architectural Design Based on Climate, McGraw-Hill
- [40] Oh, K. S; Hong, J. J. 2005, The Relationship between Urban Spatial Elements and the Urban Heat Island Effect, The Journal of Urban Design Institute of Korea, 6(1):47-63.
- [41] Olesen, B. W; Parsons, K. C. 2002, Introduction to Thermal Comfort standards and to the Proposed New Version of EN ISO 7730, Energy and Building, 34(6):537-548.
- [42] Olgyay, V. 1963, Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, Princeton University Press.
- [43] Saaroni, H; Ben-Dor, E; Bitan, A; Potchter, O. 2000, Spatial Distribution and Microscale Characteristics of the Urban Heat Island in Tel-Aviv, Israel, Landscape and Urban Planning, 48(1-2):1-18.
- [44] Sagong, H. S. 2003, An Empirical Study on Analysis Method of Impervious Surface Using IKONOS Image, The Journal of GIS Association of Korea, 11(4):509-518.
- [45] Shashua-Bar, L; Hoffman, M. E. 2000, Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street: An Empirical Model for Predicting the Cooling Effect of Urban Green Areas with Trees, Energy and Buildings, 31(3):221-235.
- [46] Song, Y. B. 2002, Influence of New Town Development on the Urban Heat Islands: in the case of Pan-Gyo Area and Bun-Dang New Town, The Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 30(4):37-46.
- [47] Song, S. Y. 2004, Development and Application of Passive Climatic Design Tool Using Building Bioclimatic Chart for Energy Efficient Building, The Journal of Korea Institute of Architecture and Environment, 4(3):153-160.
- [48] Song, B. K; Park, K. H. 2010, An Analysis of Cold Air Generation Area Considering Climate Ecological Function: A Case Study of Changwon, South Korea, The Journal of Korean Association of Geographic Information Studies, 13(1):114-127.
- [49] Song, D. S; Lim, J. Y. 2009, A Study of Thermal Comfort Assessment Index on Outdoor Environment, The Journal of the Korea Green Building Council, 10(4):26-32.
- [50] Taha, H. 2008, Meso-urban Meteorological and Photo Chemical Modeling of Heat Island Mitigation, Atmospheric Environment, 42(38): 8795 - 8809.
- [51] Voogt, J. A; Oke, T. R. 2003, Thermal Remote Sensing of Urban Climates, Remote Sensing of Environment, 86(3):370-384.
- [52] Watson, D; Labs, K. 1983, Climatic Design: Energy Efficient Building Principles and Practices, McGraw-Hill.
- [53] Yoon, M. H; Ahn, D. M. 2009, An Application of Satellite Image Analysis to Visualize the Effects of Urban Green Areas on Temperature, The

- Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 37(3):46-53.
- [54] Yoon, Y. H; Ju, C. H; Kim, J. H. 2011, Improvement of Environmental Comport by Land-use using Bioclimatic Chart, The Journal of the Korean Regional Development Association, 23(3):39-58.
- [55] Yu, C; Hien, W. N. 2006, Thermal Benefit of City Parks, Energy and Buildings, 38(2): 105-120.
- [56] www.goyang.go.kr/3gu/w_gu
- [57] www.goyang.go.kr/3gu/s_gu
- [58] www.bundang-gu.or.kr
- [59] <http://www.hscity.net>
- [60] www.nso.go.kr
- [61] www.lh.or.kr
- [62] USGS, <http://pubs.er.usgs.gov>
-
- 논문접수 : 2013.01.14
수 정 일 : 2013.04.22
심사완료 : 2013.04.24

<Appendix 1> Related Studies on Selecting Variables for the Analysis

Studies	Main Issues	Analytic Elements
Gallo et al., [12, 1996]	The diurnal temperature range changes in the pre-dominant rural land use and land cover could significantly influence the climatological values.	Land cover, Land use
Emmanuel [10, 1997]	Robust relationships between greenness change and demographic factors associated with urban decay are found.	NDVI, Land Cover, Building Density
Ellefsen et al., [9, 1998]	Constructing high resolution urban morphology data methods are developed for urban wind flow modeling.	Green Space Area Ratio, Distance from Green Space, Vegetation Area Ratio, Land Cover
Shashu-Bar and Hoffman [45, 2000]	An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with tree are established based on statistical analysis.	Green Space Area Ratio, Stream Area Ratio, Vegetation Area Ratio, Land Cover, Building Density
Kim et al., [23, 2003]	Heat island effect due to land cover changes are analyzed using remote sensing data.	Green Space Area, Stream Area, NDVI, Land Cover
Oh et al., [40, 2005]	The relationship between urban temperature and urban spatial elements analyzed and heat island reduction solutions are suggested based on statistical analysis.	Elevation, Green Space Area, Stream Area, Distance from Stream, Distance from Green Space, Vegetation Area Ratio, Land Use, Building Height, Floor Area Ratio
Yu and Hien [55, 2006]	Cooling effects of city green areas are analyzed using TAS and Envi-met modeling.	Green Space Area, Building Material, Building Aspect, Building Height, Building Density
Chang et al., [4, 2007]	Relationships of local cool-island intensity and park characteristics are analyzed using weather observation data.	Green Space Area, Distance from Green Space, Distance From Road
Taha [50, 2008]	A fine-resolution, meso-urban meteorological model was updated and applied, using new data and techniques, in driving fine-resolution photochemical simulations to evaluate the air-quality impacts of urban heat island mitigation.	Green Space Area, Distance from Green Space, Vegetation Area Ratio
Song and Park [48, 2010]	Cold air generation areas are identified considering climate-ecological functions.	Elevation, Slope, Green Space Area, Impervious Surface Area, Land Cover, Land Use, Building Density
Lee et al., [30, 2010]	The effects of various spatial characteristics on the land surface temperature are analyzed.	Green Space Area, Stream Area, NDVI, Impervious Surface Area, Road Area Ratio, Land Cover, Land Use, Building-to-Area Ratio
Lee et al., [31, 2010]	Human thermal comfort by spatial structure was evaluated and solutions for improving the thermal environment are suggested based on analysis results.	The number of Tree, Sky Blockage Ratio, Land Cover, Building Materials
Kim et al., [27, 2011]	Planning methods for mitigating the urban thermal environment were suggested based on thermal comfort simulations.	Green Space Area, Vegetation Area Ratio, Building-to-Area Ratio, Building Height, Floor Area Ratio