

영남지역의 토지피복에 따른 열쾌적성평가도 구축*

강동현¹ · 최철현¹ · 정성관¹※

Development of Thermal Comfort Evaluation Map by the Land Cover in Yeongnam Region*

Dong-Hyun KANG¹ · Chul-Hyun CHOI¹ · Sung-Gwan JUNG¹※

요 약

본 연구는 다양한 기상자료와 공간분석기법을 통해 영남지역의 열쾌적성평가도를 구축하여 우선적인 열환경 개선 정책이 추진되어야 하는 지역을 도출하였으며, 토지피복 현황과의 비교를 통해 향후 지역적 범위의 도시·녹지계획 수립에 활용하여 쾌적한 야외활동을 도모하고자 하였다. 기상청의 RCP시나리오자료와 GIS공간분석기법을 통해 열쾌적성 지수인 PET를 산출한 결과, 대구광역시(33.65)가 여름철 열적스트레스가 가장 높은 지역으로 나타났으며, 봉화군(28.44)은 PET값이 낮게 나타나 타 지역에 비해 여름철 열적스트레스가 낮은 것으로 평가되었다. 지역별 특성에 따라 영남지역을 광역시, 대도시, 도·농촌형, 농촌형으로 구분하여 산출된 PET값을 비교해 본 결과, 창원군, 함안군, 고령군 등은 농촌형 지역임에 불구하고 PET값이 높게 나타났는데, 타 농촌지역에 비해 녹지면적이 현저히 낮은 것으로 분석되었다. 다음으로 산출된 PET값에 따라 군집분석을 통해 영남지역을 분류한 결과 열쾌적성이 높은 등급일수록 시설지역 면적율은 낮고, 녹지지역 면적율은 높은 것으로 나타났다. 이상의 결과를 통해 구축된 열쾌적성 평가도는 영남지역의 열쾌적성을 정량적으로 평가함으로써 기후변화에 대응 가능한 도시계획에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 열쾌적성, PET, 군집분석, RCP 시나리오

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the thermal comfort in Yeongnam area using climatic data and GIS data in order to determine regions necessary to improve thermal environment policies. The results of the calculated PET show that Daegu city is high and Bonghwa-gun is low compared to other regions. PET was compared with the

2014년 4월 1일 접수 Received on April 1, 2014 / 2014년 6월 17일 수정 Revised on June 17, 2014 / 2014년 6월 18일 심사완료 Accepted on June 18, 2014

* 본 논문은 2014년 한국지리정보학회 춘계학술대회에 발표된 것으로서 주저자의 석사학위논문의 일부를 수정·보완한 것임.
1 경북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

※ Corresponding Author E-mail : sgjung@knu.ac.kr

typical classification according to regional characteristics. As a result, PET value of rural areas such as Changnyeong-gun, Haman-gun and Goryeong-gun was high but Green space was too low compared to other rural areas. Yeongnam area was classified according to the value of PET using cluster analysis. As a result, more low grade areas show that green space ratio was low and facility area was high. It is determined that there is a relationship between thermal comfort and land cover. The thermal comfort evaluation map in Yeongnam area will be useful for urban planning in order to establish a sustainable city in climate change.

KEYWORDS : Thermal Comfort, PET, Cluster Analysis, RCP Scenarios

서론

전세계적으로 기후변화에 의한 이상기후 현상이 빈번하게 발생되고 있다. 특히 여름철 폭염은 인간에게 극단적인 열 스트레스를 초래하여 호흡기 질환, 심혈관 질환, 전염병 등 다양한 질병을 일으킬 뿐만 아니라 사망에도 이르게 하는 등 건강에 큰 위협으로 작용한다. 일본은 1994년 여름 75일간 30℃를 넘는 고온으로 7월에는 655명, 8월에는 733명의 인명피해를 입었고, 1995년 미국 시카고에서는 폭염으로 인해 700명 이상이 사망하였으며, 2003년 8월 유럽에서는 중부, 서부 및 남부지역에서 발생한 폭염과 그로 인한 간접적인 대기오염의 악화로 인해 약 35,000명이 인명피해 입는 등 이상고온에 의한 문제가 날로 심각해지고 있다 (Stern, 2007).

2013년 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차 평가보고서에 따르면 우리나라 6대 도시의 경우 1911년에서 2010년 사이 100년간 지구온난화와 1960년 이후 급격히 진행된 도시화의 영향으로 기온이 1.8℃ 상승하였으며, 국립기상연구소는 1901년부터 2008년까지 우리나라의 모든 기상재해 중 폭염으로 인한 사망자가 가장 많았다고 보고하였는데, 이러한 이상 기후 현상으로 인한 피해는 미래에 예상되는 전 지구 및 한반도 온난화에 따라 더욱 심화될 것으로 예상되고 있다. 이처

럼 폭염, 열대야 등의 극단적인 기후변화는 인간으로 하여금 높은 열적 스트레스를 동반하며 인류의 건강에 큰 위협이 되고 있다. 특히 고령자가 폭염에 더 취약한 것으로 알려져 있는데, 우리나라는 이미 고령화 사회에 진입하였기 때문에 향후 예상되는 폭염피해에 대한 사전 대비책이 필요하며, 도시민의 생활에 있어 도시의 물리적 요소가 미치는 영향은 지대한 실정이기 때문에 기후변화 적응력이 높은 도시를 만드는 것은 최근 도시계획의 주요한 패러다임이라 할 수 있다(Hwang, 2012; Lee, 2013).

이에 따라 도시의 물리적 요소와 열환경 간의 상관성을 파악하고 개선하기 위한 많은 연구들(Park *et al.*, 1999; Park and Jung, 1999; Jo *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2011; Song and Park, 2011)이 이루어졌다. 그러나 이와 같은 연구들은 지표면 온도분포 분석 및 예측 차원의 접근이 주를 이루고 있고, 생리 기후학적 측면을 포함하지 않고 있다. 이는 인간이 실제 체감할 수 있는 열적 스트레스와는 거리가 있으며 기후변화로 인한 피해에 대응하기 위해 실제로 요구되는 것은 열 환경의 인공적인 변화가 인간의 체감 정도 및 건강에 어떤 영향을 끼치는가를 평가하는 것이다(Jendritzky and Nübler, 1981). 인간이 피부로 느끼고 반응하는 열쾌적성은 온도 뿐만 아니라 일사량·습도·바람 등의 다양한 기후요소와 활동량 및 착의량, 심리적 요소 등의 개인요소가 서로 상호작용하여 복합적으로

영향을 미치게 되는데, 이를 고려한 쾌적 영역의 설정은 도시, 건축, 조경, 생태 및 환경 설계자들에게 매우 중요한 개념이다(Yoon *et al.*, 2011).

한편 환경 선진국이라 불리는 독일의 경우 도시옥외공간의 구성에 있어 시민들에게 최적의 환경을 제공하기 위한 목적으로 인체를 고려한 인간 생기후지도(Human bioclimatic map)를 제작하고 있으며(WHO, 2004; Lim, 2013), 캐나다에서는 밴쿠버, 몬트리올 등 대도시를 중심으로 한대지역의 특성을 반영한 도시설계 방안을 제시하고 있다(Choi, 2013). 아시아에서는 일본이 2002년부터 동경도 환경과학연구소가 동경도립대학과 함께 도시열섬(Urban heat island) 현상에 중점을 둔 지역적 스케일의 동경시 기후지도를 제작하였으며, 홍콩도 열환경 지수인 생리적 등가 온도(Physiologically Equivalent Temperature: PET)를 이용한 인간 생기후지도를 제작해 도시발전계획의 가이드라인으로 활용하고 있다(Ng, 2012; Park, 2013).

이처럼 해외의 경우 외부 온열 쾌적성을 향상시키기 위한 다양한 기준과 방법을 가지고 있으며, 열쾌적성 지도를 제작해 도시 계획 및 설계에 이를 반영하고 있다. 최근 들어 폭염에 의한 피해가 급증하자 기상청 및 기상연구소에서는 여름철 실제 인지되는 온도에 대한 연구(Byon *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010a; Lee *et al.*, 2010b)가 이루어지고 있으나 토지피복 등과 같은 도시구성요소간의 연계성이 떨어져 지역별 개선방향을 도출하는 데는 무리가 있으며, 열쾌적성 평가 지표를 활용하여 공간요소에 의한 영향을 분석한 연구(Lee, 2006; Jeon *et al.*, 2010; Lim *et al.*, 2013)의 대부분이 캠퍼스 및 공원, 아파트 단지 등과 같이 소규모 외부공간에만 한정되어 있어 미기후적 공간 평가는 가능하나 지역 및 도시전체 공간 스케일에 대한 적용이 사실상 불가능하다. 기후는 대상으로 하는 지역의 범위나 기후현상의 공간규모의 크기에 따라 대기후·중기후·국지기후·미기

후로 구분되는데, 일반적으로 도시 및 지역적 차원의 기후는 국지기후로 정의되며, 토지피복 형태 및 식생, 작은 지형이 기후에 큰 영향을 미치게 된다. 그렇기 때문에 이와 같은 기후인자들을 고려한 도시계획은 도시에 살고 있는 거주자들의 열적 부하 및 스트레스를 줄일 수 있다(Jendritzky, 1988). 따라서 우리나라의 복잡한 지형 및 이에 기인한 지역적 차이를 고려하여 폭염에 대응한 적응대책이 수립되어야 하며, 토지이용 및 녹지공간 등 다양한 도시계획 요소가 도시기후에 미치는 영향에 관한 과학적인 연구들이 수행되어야 하고, 이러한 연구결과를 바탕으로 정책과 제도가 마련되어야 한다(Eum, 2012).

이에 본 연구에서는 다양한 기상자료와 GIS를 이용한 공간분석기법을 활용하여 기후정보를 공간화하였고, 구축된 기상자료를 통해 영남지역을 대상으로 열쾌적성 지수인 PET를 산출하였다. 또한 군집분석을 통해 산출된 PET값에 따라 영남지역을 등급화하여 열쾌적성평가도를 구축하고 상대적인 지역별 비교를 통해 여름철 열환경 개선 계획수립 시 우선순위를 결정하는데 도움을 주고자 하였으며, 유형에 따라 토지피복면적을 산출하여 비교함으로써 폭염에 적응 가능한 도시 및 녹지계획 수립정책의 기초자료로 활용하고자 하였다.

연구범위 및 방법

1. 시·공간적 범위

본 연구의 시간적 범위는 2010년 8월로 하였다. 2010년은 전 지구적 기온 관측이 시작된 1880년 이래 전지구의 평균기온이 가장 높았던 해로 미국해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) 산하 국립기상데이터센터(National Oceanographic Data Center: NODC)에 따르면 우리나라와 지리적으로 가까운 일본의 경우 2010년 7월 17일부터 9월 5일까지 기간 동안 기온관측 이래 최악의 폭염, 열사병으로 503명이 사망하였으

며, 우리나라도 같은 해 여름철 92일 중 81일의 전국 평균기온이 평년보다 높아 폭염이 지속되는 등(Presidential Committee on Green Growth and Korea Meteorological Administration, 2010), 2010년은 전 지구적 차원의 기온상승으로 인해 인간이 느끼는 열적 스트레스는 높았을 것이라 예상된다.

지역별 열쾌적성을 평가하기 위한 공간적 범위는 영남지역으로 선정하였다(그림 1).

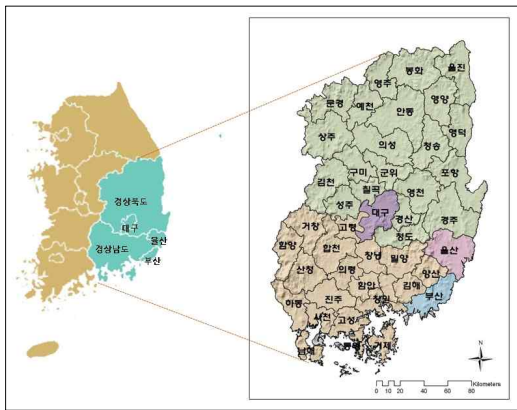


FIGURE 1. Location of study area

영남지역은 한반도의 동남부에 위치하여 부산·대구·울산광역시 및 경상남·북도를 포함하는 지역이며, 총 면적 32,278km²로 남한면적의 32.22%를 차지한다(National Statistics Korea, 2012). 지형 현황은 대구·경북권의 북부지역을 중심으로 해발고도가 1,000m가 넘는 산악지형들도 존재하며, 평균고도는 280m로서 낙동강 인근지역과 북부 산악 지역 간에 극명한 고도 차이를 보인다. 부산·울산·경남권은 대구·경북권에 비해 고도가 낮고 완만하며 특히 낙동강과 접하여 대규모 평야지대가 형성되어 있다. 기후특성을 보면 영남지역의 대구광역시는 산으로 둘러싸인 분지 형태의 지형을 이루고 있으며, 최근 40년간 최저기온이 가장 빠르게 상승한 지역으로 여름철 평균기온이 제주도보다 높아 우리나라에서 가장 더운 지역이

다. 경북지역은 구미, 포항 등 주요 산업도시를 포함하면서 농림업이 발달한 지역으로, 전국평균 수준의 기온현황을 보인다. 부산·울산·경남 지역은 연안이 고도로 산업화된 지역으로 아열대성 기후를 보이고 있으며, 태풍의 이동로에 포함되는 경우가 잦아서 태풍이나 홍수 피해도 잦고, 해안 지역이라는 특성 상 눈은 거의 내리지 않는다. 특히 이 지역은 기후변화와 관련하여 겨울철 기온 상승폭이 크고, 남부해안 지대에 국한되었던 아열대성 기후가 2050년에는 영남지역 대부분에 분포하게 될 것으로 예측되고 있다(Korea Meteorological Administration, 2011). 이처럼 영남지역은 지역별 다양한 지형과 기후 특성을 가지며, 광역시, 대도시, 도·농촌 복합지역, 농촌지역으로 대표되는 지역별 특성이 다양하게 나타나기 때문에 토지피복현황에 따른 지역간 열쾌적성 비교·분석에 적합할 것이라 판단된다.

2. 연구과정

연구의 주된 내용은 다양한 기상자료를 바탕으로 인간이 실제 느끼게 되는 열쾌적성 지수인 PET를 지역별로 산출하고 GIS를 통해 기후공간자료를 시각화하여 열환경개선이 시급한 지역을 도출하고자 하였으며, 토지피복현황과의 비교를 통해 지역계획차원에서 가이드라인으로 활용하고자 수행한 연구로서 그림 2와 같은 연구수행과정을 통해 분석 및 평가를 진행하였다.

먼저, 국내·외 선행연구를 참조하여 야외평가에 적합한 열쾌적성 평가 지표와 공간적 분석을 위한 GIS 기반 DB 구축 방법을 선정하였으며, 다양한 형태의 지형 및 토지이용 등의 물리적 환경이 고르게 분포하고 있고, 그에 따라 기온·습도·풍속·일사량 등의 기후분포도 다양하게 나타나는 대상지역을 선정하였다. 다음으로 공간구성요소의 산출을 위해 선행연구를 참고하여 환경부에서 제작된 2010년 중분류 토지피복도를 국지적 규모(Local scale)의 분석에 부합하도록 분류하였다.

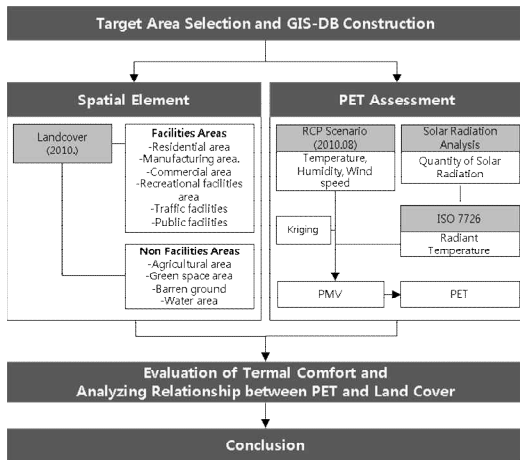


FIGURE 2. The performance process of study

열쾌적성 산출을 위한 기초자료의 경우 실측 자료를 통해 보정된 기상청 시뮬레이션 자료를 사용하였다. 온도자료의 경우 PRIDE(PRISM based Downscaling Estimation)모델 기반의 1km 공간해상도 자료를 사용하였고 습도와 풍속 자료는 온도자료와의 공간해상도를 일치시키기 위해 공간통계기법인 크리깅(Kriging)을 사용하여 1km×1km의 래스터 데이터로 변환하였다. 일사량은 지형 및 건물 높이가 반영된 DEM(Digital Elevation Model)자료를 바탕으로 Arc GIS 9.3의 Area Solar Radiation Tool을 통해 분석된 자료를 사용하였다. 다음으로 ISO 7726에서 제시하고 있는 산출식을 통해 복사온도를 산출하였고, 예상온열감(Predicted Mean Vote: PMV)을 계산한 후 PMV 지수를 온도단위로 표현하여 이해가 용이한 PET 지수로 변환하였다(Höppe, 1999). 구축된 GIS 기반 기상 DB를 바탕으로 지역별 기후분포와 열쾌적성을 평가하였으며, SPSS Statistics 19.0 통계프로그램을 활용하여 지역별 토지피복 현황을 정리하였다.

3. 연구방법

1) GIS 기반 기상자료 구축

열 쾌적성을 산정하기 위해서는 해당 지점의 기온, 풍속, 습도, 복사온도 등과 같은 방대한 기상자료가 구축되어야 한다. 현재 기상청은 한반도 지상 기상관측을 위해 유인기상관측소와 자동기상관측시스템을 운영하고 있다. 하지만 이들 관측망을 모두 고려할 경우 약 12km의 해상도를 나타내어 면적이 작은 우리나라의 지역별 기후 분석에는 적합하지 않으며(Kim *et al.*, 2012), 지역별 관측망을 나타낸 지점들도 지리적으로 특정지역에 집중되어 있거나 대부분 고도 300m 이하에 분포하고 있어서 국지기후특성을 정량적으로 분석하기에는 어려움이 많다(Baek *et al.*, 2011). 그러나 각각의 도시들을 대상으로 기온, 풍속, 습도 등의 미기후요소들을 실측하는 것은 실효성이 떨어지기 때문에 실측치와 가장 근접하는 모델링 방법을 선정하는 것이 중요하다(Choi, 2012).

한편 기상청은 IPCC의 5차 평가보고서를 위해 기후변화 시나리오 개발 사업에 적극 참여하여 RCP에 기반한 전지구, 지역기후변화 시나리오 및 우리나라 국가표준 기후변화 시나리오를 개발하였으며, Kim *et al.*(2012)은 국내 여건이 반영된 고해상도의 격자자료 생산을 위해 한반도(12.5km) 기후변화 시나리오를 바탕으로 통계적 상세화 과정을 통해 1km 해상도의 관측 격자자료를 추출하였고, 현재 기상청에서는 고해상도의 기온과 강수량 자료를 제공하고 있다. 따라서 본 연구에서는 PRIDE 모델을 적용하여 1km 격자 단위로 제공되는 기온자료를 이용하였다. 또한 습도와 풍속 분포도 작성을 위해 기상청의 기후변화센터(Climatic Change Information Center: CCIC)에서 제공되는 한반도 상세 기후변화 시나리오를 바탕으로 지형효과를 잘 반영할 수 있는 수치표고모델과 지구통계학적 기법인 크리깅을 적용하여 습도와 풍속 GIS-DB를 구축하였다(표 1).

국지적인 기후 특성을 분석할 수 있는 격자형 기후자료 산출을 위해 관측자료와 해발고도, 지면 피복상태, 수륙분포 등의 부가적인 지리적인자를 고려한 분석기법 개발이 필요한데(Hong *et al.*, 2007), 크리깅 기법은 특히 지

TABLE 1. Input data utilized in this study

Type	Data form	Data processing method	Data source
Temperature	Raster	ASCII→ transform to GIS raster grid(1km)	Korea Meteorological Administration
Wind speed	Raster	ASCII→transform to GIS raster grid(12.5km)→kriging(1km)	Korea Meteorological Administration
Relative humidity	Raster	ASCII→transform to GIS raster grid(12.5km)→kriging(1km)	Korea Meteorological Administration
Quantity of solar radiation	Raster	DEM→GIS Solar radiation analysis(1km)	National Geographic Information Institute

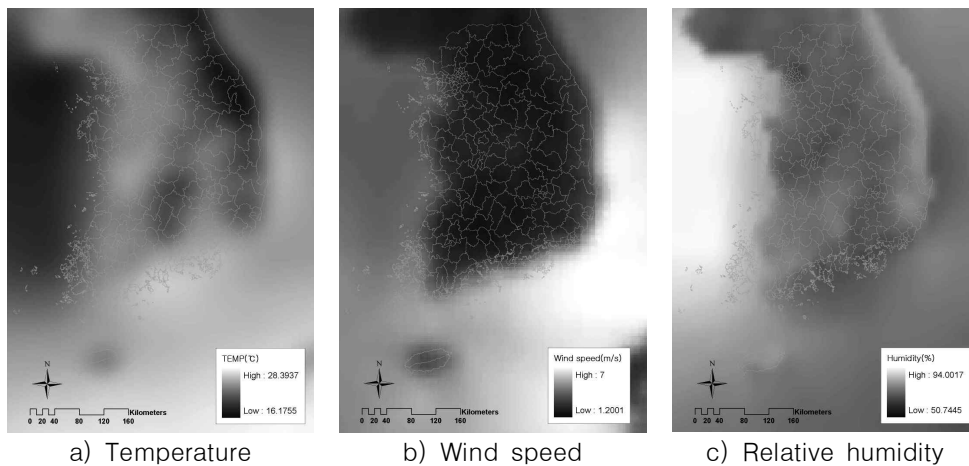


FIGURE 3. The construction of meteorological data

형 효과 등과 같은 공간적 자기상관이 고려되기 때문에 기상관련 분포도 작성이 가능하다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되는 정규 크리깅을 사용하여 기온과 풍속, 습도의 분포도를 작성하였다(그림 3).

2) 구축된 기상자료의 검증

일반적으로 공간통계분석의 검증을 위해 사용되는 방법은 교차검증법(Cross-validation)으로서 추정된 값의 정확성을 평가하기 위해 수행된다(Choi, 2012). 비교검증을 위한 식에는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error: RMSE) 값으로 정확성을 검증하였다.

RMSE는 추정 값 또는 모델이 예측한 값과 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이를 다룰 때

흔히 사용하는 측도로, 정밀도(Precision)를 표현하는데 적합하며 아래의 식을 통해 산출할 수 있다(식 1).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [M - P]^2} \quad (1)$$

n : 측정수

M : 측정망에서 실측된 값

P : 예측된 값

자료의 검증을 위해 89개소의 자동기상관측 시스템에서 측정된 2010년 8월 평균 기온, 풍속, 상대습도의 속성자료를 ArcGIS 9.3을 활용하여 포인트 자료로 생성한 후, 해당지점별 모델링된 기상자료의 속성값을 입력하였다(그림 4).

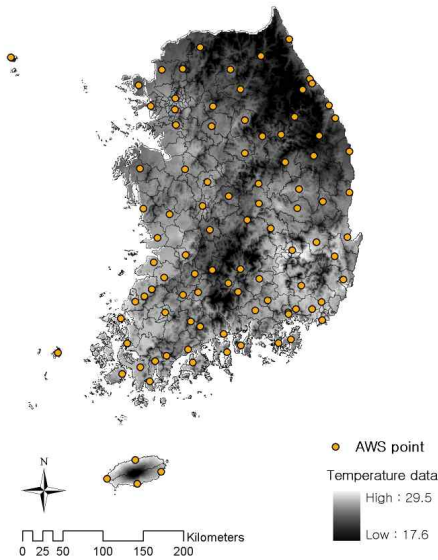


FIGURE 4. The distribution of weather stations

RMSE 값을 산출한 결과, 기온은 RMSE가 0.44로 나타나 실측치와 정확도가 매우 높은 반면, 풍속은 0.98, 상대 습도는 6.45로 기온에 비해 상대적으로 정확도가 낮게 나타났다(표 2). 이는 풍속과 습도의 경우, DEM과 크리깅 기법을 적용하여 미지점에 대한 보간을 하였지만 원 시나리오 자료의 해상도가 12.5km로 남한상세자료인 기온에 비해 많이 떨어져 RMSE 값이 높게 나타났을 것이라 판단된다. 그러나 기후 모델링 자료는 특정지점에 대한 기후만을 파악할 수 있는 기상관측장치와는 다르게 다양한 지점에 대한 정보의 확인이 가능하고, 지형, 고도, 해양의 영향을 반영하였기 때문에 국지적 규모의 열쾌적성 산출을 위한 연구를 위해서는 더 적합한 자료라 할 수 있다.

TABLE 2. Cross-validation of meteorological data

	Temperature	Wind speed	Relative humidity
RMSE	0.44	0.98	6.45

3) 열쾌적성 지수 산출

열쾌적성 평가지표인 PET는 열쾌적성 지수 중 다양한 환경적·개인적인 요소를 고려하고 온도단위로 나타내어 이해가 용이하다는 특성을 가지고 있는데, 기온, 평균복사온도 등과 같은 열환경 인자와 활동지수, 의복지수 등을 활용하여 산출할 수 있다(ASHRAE, 1989; Lim et al, 2013). 그러나 기상청에서는 복사온도를 시간단위로 제공하지 않으며, 국지적 규모의 열쾌적성 평가에 있어 모든 지역을 대상으로 실측하는 것은 실효성이 떨어지기 때문에, ISO 7726(1985)에서 제시하고 있는 아래의 식(2)을 활용하여 복사온도를 산출하였다(Forsthoff and Neffgen, 1999).

$$T_r = (t_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 v_a^{0.6} (t_g - t_a)^{0.25} - 273 \tag{2}$$

Tr : 복사온도 va : 풍속
 tg : 흑구온도 ta : 기온

흑구온도는 인체에 대한 열부하의 크기를 대표하는 값으로 널리 쓰이고 있다(Kim, 2008). 정확한 열 환경평가를 위해서는 흑구온도 관측 장비를 설치하여 측정 자료를 근거로 열 환경을 평가하는 것이 필요하지만 국내에서는 군부대나 일부 실내 작업장에서 흑구온도를 관측하고 있는 실정이다. 이에 따라 기상청에서는 2006년 보건분야 산업기상정보 산출기술개발이라는 연구를 통해 흑구온도 추정식을 개발하였는데, 2008년 인제대학교 대기환경정보연구센터에서는 이 추정식을 아래 식(3)과 같이 보완하였다(Choi, 2013).

$$T_g = -0.0296 + 0.0074t_a^2 + 0.7912t_a - 0.0009t_a^2 + 0.0938r_h - 0.0218w_s^2 - 0.173w_s - 24.678i_{ns}^2 + 30.668i_{ns} \tag{3}$$

Tg : 흑구온도 rh : 상대습도
 ta : 건구온도 wS : 풍속
 ins : 일사량

열쾌적성 지표인 PET 산정을 위해서는 선행적으로 PMV가 산출되어야 하는데, PMV 값은 인체와 주변 환경과의 열교환에 관한 생리학적인 이론에 근거하여 열평형방정식에 의해 산출되며, 의복의 열저항값과 활동 유형에 따른 신진대사율의 개인적 변수와 평균복사온도, 기온, 기류속도, 상대습도 등의 물리적 변수를 활용하여 아래 식 (4)를 통해 계산할 수 있다(ISO 7730, 2005; Lim *et al.*, 2013).

$$PMV = [0.303e^{-0.036 \times M} + 0.028] \times L \quad (4)$$

L : 열부하 M : 대사량

$$L = (M - W) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_a + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_{cl} (t_a - t_a) - 0.305 [5.73 - 0.007(M - W) - P_a] - 0.42 [(M - W) - 58.15] - 0.0173M(5.87 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a)$$

M : 대사율(Kcal/m²h)
 W : 외부 작업률(Kcal/m²h)
 ta : 기온(°C)
 tr : 평균복사온도(°C)
 fcl : 착의면적지수
 tcl : 착의 상태에서 외표면의 평균복사온도(°C)
 hc : 대류 열전달율(W/m²·°C)
 pa : 대기중의 수증기압(kPa)

개인적 변수에는 일반적으로 인간이 편안하게 도보시(1.4m/s) 소모되는 열량값인 2.6MET와 여름철 얇은 신사복의 착의량 값인 0.6Clo을 대입하였으며, PMV 산정식을 토대로 온도단위(°C)를 사용하여 이해가 용이한 지표인 PET를 아래 식 (5)를 통하여 산출하였다(Matzarakis *et al.*, 2007; ISO 7730, 2005; Oh *et al.*, 2013).

$$PET = 0.1607 \times PMV^2 + 5.3214 \times PMV + 20.531 \quad (5)$$

4) 토지피복 GIS-DB구축

지역의 열환경은 토지이용 및 지역 내에 분포하고 있는 녹지, 하천, 토지피복상태 그리고 기류, 외기온도 등에 따라 좌우되므로 지역의 열적 특성을 파악하기 위해서는 공간구조와 그에 따른 기후적 특성을 이해하는 것이 중요하다(Yoon *et al.*, 2011). 이에 본 연구에서는 열환경과 관련된 공간자료를 구축하여 지역별 열쾌적성과의 비교를 하고자 하였으며, 이를 위한 공간요소의 선정은 열환경을 분석한 국내·외 선행연구(Gallo *et al.*, 1996; Emmanuel, 1997; Cionco and Ellefsen, 1998; Shashua-Bar and Hoffman, 2000; Kim *et al.*, 2003; Oh and Hong, 2005; Oke, 2006; Lee *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011; Song and Park, 2011)를 참고하였다. 본 연구에서는 지역별 열쾌적성 평가라는 연구목적에 부합하여 국지적 규모에서 중요한 기후인자인 토지피복을 선정하였으며, 환경부에서 제작한 토지피복 1:25,000 축적의 중분류도를 활용하였다. 도시의 일정 단위를 결정함에 있어 수백m 정도가 적당하다는 연구결과(Yeo, 2008)를 근거로 100m×100m 해상도의 래스터(Raster)자료로 생성하였으며, 시가지지역의 경우 주거지역, 공업지역, 상업지역, 위락시설지역, 교통지역, 공공시설지역으로 세분화하여 자료를 구축하였다(표 3).

TABLE 3. Elements of land cover

	Variable	Unit	Data
Facility area	residential area	%	Land cover of Department of Environment (2010)
	manufacturing area	%	
	commercial area	%	
	recreational facilities area	%	
	transportation area	%	
	public facilities area	%	
	agricultural area	%	
Non Facility area	green area	%	
	barren area	%	
	water area	%	

구축된 공간요소와 PET와의 관계해석을 위해 연구대상지인 영남지역 전체에 대한 1km×1km의 GRID를 생성하였고, 총 생산된 32,258 개의 GRID에 그림 5와 같이 각각의 공간요소들의 면적을 및 평균값 속성을 적용하여 PET 산출 값과 함께 단일 파일로 통합하였다.

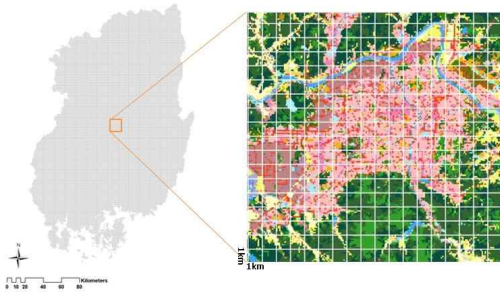


FIGURE 5. Calculated GRID and applied space element

결과 및 고찰

1. 기후분포

영남지역의 기후 특성은 그림 6과 같다. 부산광역시(27.50)와 대구광역시(27.48)와 같이 대도시 지역의 기온이 높았으며, 김해시

(27.60), 창녕군(27.38), 창원시(27.36)등의 지역도 상대적으로 기온이 높게 나타났다. 반면, 문경시(24.93), 영양군(24.84), 봉화군(24.37)등의 경상북도 북부지역과 함양군(24.52), 거창군(24.26) 등의 경상남도 서부지역은 상대적으로 낮은 기온을 나타냈는데, 이들 지역은 지대가 높고 녹지관련 요소들이 풍부한 곳으로, 이와 같은 요소들이 기온을 낮추었을 것이라고 사료된다(Kwon, 2002; Lee *et al.*, 2011).

풍속의 분포는 남해에 접해 있는 거제시(5.52)와 통영시(4.83), 남해군(3.72), 부산광역시(3.67)가 높게 나타났고, 다음으로 동해에 접해있는 영덕군(3.17), 울산광역시(3.15), 포항시(3.10) 등의 순으로 분석되었는데, 이는 해안지역에서의 해면과 육지 표면의 온도차로 인해 생기는 해륙풍의 영향 때문일 것으로 판단된다. 반면 내륙에 위치한 합천군(1.73)과 거창군(1.78), 구미시(1.79), 칠곡군(1.79), 산청군(1.79)은 낮은 풍속을 나타내었다.

기상청에서는 기온과 습도의 기후요소를 활용하여 여름철인 6월에서 9월간 불쾌지수 서비스를 제공하고 있다. 이는 상대습도가 인체가 느끼는 열쾌적성 평가에 있어 중요한 요인이기 때문이다. 분석된 영남권역의 상대습도의 분포

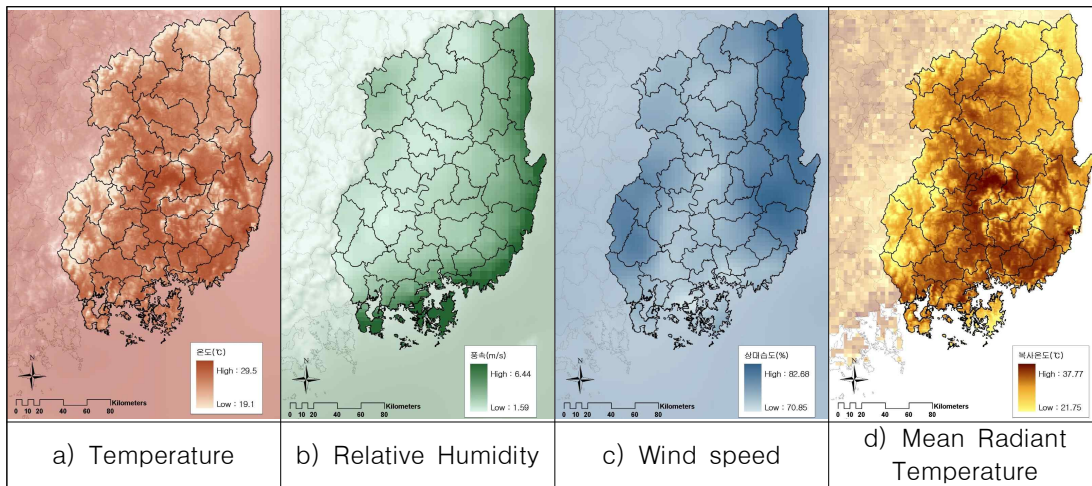


FIGURE 6. Thermal environment component distribution

를 살펴보면 울진군(81.28)과 영덕군(80.91), 경주시(79.63), 포항시(79.47), 울산광역시(79.15)와 같이 동해안과 인접한 지역과 영양군(78.91), 청송군(78.45)의 경북 북부 지방이 높게 나타났다. 경북 북부지방은 소백산, 태백산의 영향으로 수림지가 풍부하기 때문에 이에 따라 습도가 높게 나타난 것으로 판단된다(Yoon, 2002). 반면, 진해시(72.39)와 고성군(72.50), 통영시(72.53)의 남해안과 인접한 지역은 상대습도가 낮게 나타났으며, 전반적으로 상대습도의 분포는 기온의 분포와 서로 반대되는 경향을 보였다.

평균 복사온도는 인간의 열적 스트레스를 감지하는 데 있어 가장 큰 영향을 주는 기상요소이다(Jendritzky, 1988; Mayer, 1996). 복사온도를 산출한 결과 대표적인 도시화 지역인 부산광역시(34.47)와 대구광역시(35.01), 김해시(34.95), 창원시(34.95)가 높게 나타났으며, 이와 인접한 지역인 창원군(34.84)과 함안군(34.62)도 높게 나타났다. 대도시의 팽창에 의해 그 주변의 중소 도시나 농촌 지역에 영향력을 미쳐, 전체가 도시화되어 가는 거대 도시화가 이루어지고 있는데, 이에 따라 대도시와 인접한 지역도 도시열섬현상이 높아진다고 볼 수 있다.

2. 열쾌적성 평가

앞서 분석된 기후요소들을 토대로 열쾌적성 지수인 PET를 산출한 결과, 그림 7과 같은 분포를 나타내었다. 열쾌적성은 GRID별 20.99℃에서 36.56℃로 최대 15.57℃의 차이가 나는 것으로 분석되었으며, PET값이 가장 높은 대구광역시(33.65)와 가장 낮은 봉화군(28.44)이 평균 5.21℃의 차이를 나타냈다. 이는 앞서 두 지역 간 기온 차이가 3.11℃였던 것을 고려할 때, 지역별 인간이 느끼는 열쾌적성은 기온에 비해 지역 간 편차가 더 크다는 것을 알 수 있으며, 이는 열쾌적성 산출에 있어 풍속 및 습도, 복사온도와 같이 다양한 기후요소가 추가적으로 반영되기 때문이라 판단된다. 이처럼 지역

민들이 실제 느끼게 되는 열적 스트레스는 기상청에서 측정되는 기온에 의한 체감보다 더 클 수 있다는 것을 의미한다.

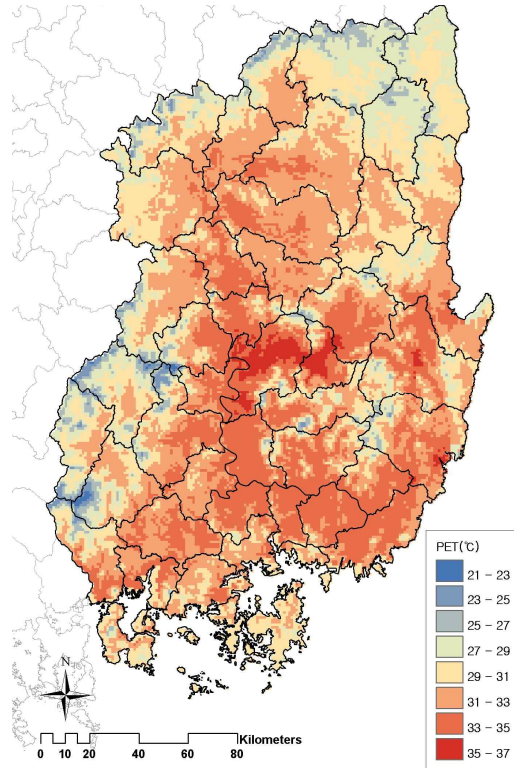


FIGURE 7. The PET distribution

지역별로 산출된 PET값을 살펴보면, 대구광역시(33.65), 김해시(33.49), 창원군(33.46), 창원시(33.14), 함안군(33.08), 경산시(33.04) 순으로 높게 나타났으며, 봉화군(28.44), 울진군(28.80), 함양군(28.81)이 낮게 분석되었다(표 4). 한편, 기온과 복사온도가 제일 높게 나타났던 지역인 김해시의 PET 값은 대구광역시보다 낮게 나타났는데, 이는 앞서 상대습도와 풍속을 분석한 결과 김해시가 대구광역시보다 높았기 때문이라 판단되며, 이를 통해 열쾌적성은 기온뿐만 아니라 습도·바람 등의 다양한 기후요소가 상호작용하여 복합적으로 영향을 미친다는 것을 확인 할 수 있다(Heo *et al.*,

2004). 한편, 본 연구에서는 지역별 열쾌적성 평가의 목적에 따라 1km 해상도로 PET지수를 산출하였는데, 여름철 열적스트레스가 높고 폭염의 위험성이 높을 것으로 예상되는 지역을 대상으로 세부적인 평가가 이루어져 향후 예상되는 기후변화에 의한 인명피해를 막기 위한 대책마련이 필요할 것으로 판단된다.

TABLE 4. Average PET of Yeongnam region

region	PET (°C)	region	PET (°C)	region	PET (°C)
Daegu	33.65	Sacheon	32.20	Hadong	30.73
Gimhae	33.49	Yeongcheon	32.13	Namhae	30.73
Changnyeong	33.46	Ulsan	31.88	Cheongsong	30.71
Changwon	33.14	Gunwi	31.85	Tongyeong	30.42
Haman	33.08	Masan	31.85	Yeongdeok	30.42
Gyeongsan	33.04	Gyeongju	31.73	Gimcheon	30.41
Goryeong	32.97	Goseong	31.63	Geoje	30.18
Jinju	32.82	yecheon	31.47	Sancheong	29.88
Busan	32.76	Andong	31.41	Yeongju	29.77
Chilgok	32.75	Seongju	31.35	Mungyeong	29.39
Yangsan	32.63	Hapcheon	31.23	Hamyang	28.81
Gumi	32.53	Cheongdo	31.17	Uijin	28.80
Uiryeong	32.48	Pohang	31.09	Yeongyang	28.80
Miryang	32.30	Jinhae	31.08	Geochang	28.47
Uiseong	32.29	Sangju	30.83	Bonghwa	28.44

다음으로 지방자치단체 예산편성 운영기준

(2014)에서 제시하고 있는 지방자치단체 구분표를 참고하여 지역별 특성에 따라 영남지역을 광역시, 대도시, 도·농촌형, 농촌형으로 구분하여 산출된 PET값을 비교해 본 결과(그림 8), 광역시에서는 대구광역시(33.65)가 가장 높게 나타났으며, 대도시에서는 김해시(33.49), 창원시(33.14) 순으로 나타났고 도·농 복합형 지역에서는 경산시(33.04), 진주시(32.82), 양산시(32.63) 순으로 나타났다.

농촌형 지역에서는 창녕군(33.46)이 가장 높았으며, 함안군(33.08), 고령군(32.97) 순으로 나타났고, 봉화군(28.44)이 가장 낮은 값으로 분석되었다. 이와 같은 농촌지역은 정신적·신체적·행동적으로 폭염에 가장 취약한 집단인 노년층의 비율이 높기 때문에 지자체 차원의 열환경을 향상시키기 위한 노력이 필요한데, 이들 지역의 토지피복 면적율을 산출한 결과 표 5와 같이 나타났다. PET가 높게 나타난 창녕군, 함안군, 고령군, 칠곡군 등은 농촌지역의 평균 시가화 지역 면적비율인 3.20%에 비해 각각 4.83%, 5.92%, 3.88%, 6.58%로 높게 나타난 반면, 녹지면적비율은 평균 71.19%에 비해 창녕군은 53.24%, 함안군 55.73%로 각각 17.95%, 15.46%정도의 큰 차이를 보여 녹지면적율이 현저히 부족한 것으로 나타났다. 따라서 이들 지역은 폭염에 대한 노인의 건강영향 피해를 최소화하기 위해 공중보건학적 측면뿐

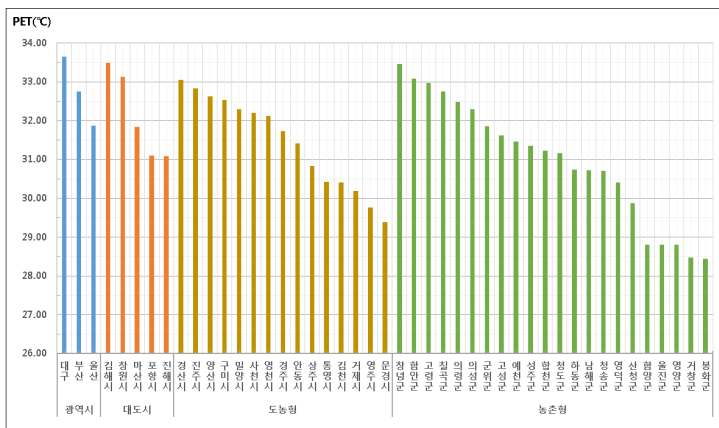


FIGURE 8. PET by regional characteristics

TABLE 5. Land cover ratio and PET in rural areas

Type	Region	Percentage of land cover(%)					PET(°C)
		Build-up area	Agricultural area	Green area	Barren area	Water area	
Rural	Gunwi	2.41	19.66	74.91	0.75	2.28	31.85
	Uiseong	2.61	26.95	67.45	0.70	2.29	32.29
	Cheongsong	1.78	15.83	79.83	0.94	1.62	30.71
	Yeongyang	1.11	12.79	84.27	0.55	1.28	28.80
	Yeongdeok	2.23	13.82	81.11	1.19	1.65	30.42
	Cheongdo	2.91	22.06	71.45	1.01	2.57	31.17
	Goryeong	3.88	23.43	65.61	2.45	4.63	32.97
	Seongju	3.23	26.18	66.94	1.67	1.99	31.35
	Chilgok	6.58	20.01	68.09	2.16	3.17	32.75
	Yecheon	3.85	37.79	53.82	1.80	2.73	31.47
	Bonghwa	1.47	14.77	82.24	0.51	1.00	28.44
	Uljin	1.79	10.08	85.50	1.33	1.29	28.80
	Uiryeong	2.80	19.28	73.73	1.12	3.08	32.48
	Haman	5.92	32.09	55.73	1.96	4.30	33.08
	Changnyeong	4.83	36.01	53.24	1.32	4.61	33.46
	Goseong	4.59	25.49	66.09	0.99	2.84	31.63
	Namhae	4.80	27.23	62.30	1.36	4.30	30.73
	Hadong	3.34	20.27	72.87	0.89	2.63	30.73
	Sancheong	2.31	15.39	79.13	1.22	1.95	29.88
	Hamyang	2.66	19.25	76.07	0.75	1.27	28.81
	Geochang	2.84	22.99	72.23	0.79	1.16	28.47
	Hapcheon	2.45	18.69	73.56	1.29	4.00	31.23
	mean	3.20	21.82	71.19	1.22	2.57	30.98

만 아니라 지역계획차원에서 녹지를 확보하는 방안을 마련하고, 그늘제공을 위한 가로수 식재 등을 통해 여름철 노년층의 열적스트레스를 낮추기 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다.

3. 열쾌적성에 따른 지역의 유형화

산출된 PET 지수에 따라 지역을 구분하여 여름철 폭염대책이 시급한 지역을 도출하고, 토지피복현황과의 비교를 위해 군집분석(Cluster analysis)을 실시하였다. 군집분석은 대상 혹은 변수들이 지니고 있는 다양한 이질적인 특성을 유사성(Similarity)을 바탕으로 동질적인 집단으로 묶어 주는 방법으로서, 대상들의 명확한 분류기준이 존재하지 않거나 밝혀지지 않은 상태에서 유용하게 이용될 수 있는 방법이다. 군집분석에 있어 군집의 수를 몇 개로 설정하느냐에 따라 분석의 결과가 달라질 수 있기 때문에 군집의 수를 설정하는 것은 매우 중요하다. 본 연구

에서는 왈드방법(Ward's method)을 이용한 계층적 군집분석(Hierarchical clustering)을 일차적으로 수행하여 얻은 덴드로그램(Dendrogram)을 확인하여 적절한 군집의 수를 4개로 설정하였고(Kim, 2013), 비계층적 군집분석인 K-평균 군집분석을 통해 6번의 반복계산을 하여 최적의 군집을 산출하였다. 산출된 군집의 중심값은 32.98, 31.79, 30.57, 28.79로 나타났으며, 산출된 네 개의 군집간 평균의 차이가 있는지에 대한 분산분석을 실시한 결과 F값은 185.755, 유의확률은 $p < 0.001$ 로 군집간의 차이가 있음을 확인하였다. 산출된 군집을 중심값의 대소에 따라 상대적 열쾌적성 불량지역, 취약지역, 양호지역, 우수지역으로 명명하였으며, 열쾌적성 우수지역이라고 명명한 군집 4에는 6개의 지역이, 나머지 3개의 군집에는 각각 13개의 지역이 포함되었다(표 6).

TABLE 6. Cluster result analysis

	Cluster				F	Sig.
	1	2	3	4		
center of cluster	32.98	31.79	30.57	28.79	185.	0.000
number of cluster	13	13	13	6	755	

K-평균 군집분석을 통해 지역을 유형에 따라 분류한 후 ArcGIS 9.3을 활용하여 영남지역의 상대적 열쾌적성 평가도를 그림 9와 같이 작성하였다.

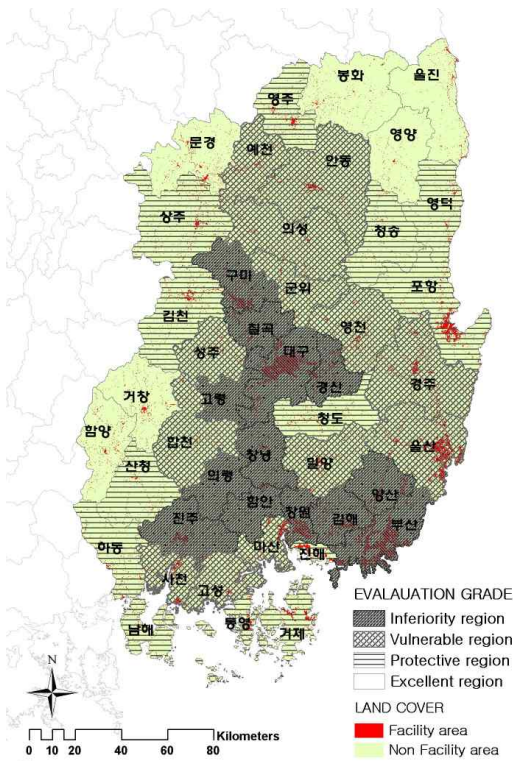


FIGURE 9. Thermal comfort evaluation map

상대적 열쾌적성 불량지역에는 대구광역시, 칠곡군, 구미시, 경산시를 포함한 13개 지역이 분류되었고, 울산광역시, 밀양시, 안동시를 포함한 13개 지역은 열쾌적성 취약지역으로, 포항

시, 통영시, 거제시 등 13개 지역은 열쾌적성 우수지역으로, 봉화군, 거창군, 영양군 등 6개 지역은 열쾌적성 양호지역으로 분류되었는데, 시설지역과 비시설지역으로 토지피복을 분류하여 구축된 열쾌적성평가도와 비교한 결과, 시설지역이 집중되어 있는 지역들이 상대적으로 열쾌적성이 떨어지는 것으로 나타났다.

4. 유형에 따른 토지피복 비교

다음으로 PET 지수에 따라 구분된 지역들의 토지피복현황을 확인하기 위해 환경부에서 제작된 1:25,000 축척의 중분류 토지피복도를 바탕으로 공간유형을 분류하였다. 중분류 토지피복항목은 인공성 및 자연성, 투수성 및 불투수, 녹지 등을 고려하여 총 22개 항목으로 분류되어 있는데, 본 연구에서는 중분류속성을 활용하여 시가지지역에 포함되는 주거지역, 상업지역, 공업지역, 위락시설지역, 교통지역, 공공시설지역은 시설지역으로 나머지 농업지역, 녹지지역, 나지, 수역을 비시설지역으로 재분류하였다. 평가된 등급별 토지피복비율을 살펴보면, 주거, 공업, 상업지역 등의 시설지역 면적율은 불량지역이 10.96%, 취약지역이 4.68%, 양호지역 3.99%, 우수지역 2.05%로 열쾌적성이 높은 지역일수록 시설지역 면적이 낮은 것으로 나타난 반면, 녹지지역 면적율은 58.30%, 67.12%, 71.13%, 79.93%로 높아지는 것으로 나타났다 (표 7).

한편, 하천 및 논, 밭과 같은 자연적인 공간 요소는 신선한 공기를 생성 및 정화하고 온도를 조정하는 등 도시기후에 긍정적인 영향을 미치는 요소로 인지되는데(Song, 2011), 본 연구에서는 선행연구와는 다르게 열쾌적성 불량지역에서 수역 및 농업지역의 비율이 높게 분석되었다. 이는 분류된 토지피복도를 확인해 보았을 때, 고밀의 개발이 이루어진 시가지지역이 강과 하천 등의 내륙수역을 중심으로 분포하고 있고, 대도시 외곽지역에 불투수성 시설농경지가 많이 분포하고 있기 때문이라 판단되며(Oh et al., 2013), 추후 이와 같은 지역만

TABLE 7. Percentage of land cover according to evaluation grade

(Unit: %)

		Inferiority region	Vulnerable region	Protective region	Excellent region	Yeongnam region
Facility area	residential area	4.93	2.35	2.17	1.19	2.66
	manufacturing area	1.98	0.68	0.41	0.09	0.78
	commercial area	0.71	0.25	0.22	0.10	0.32
	recreational facilities area	0.09	0.04	0.02	0.01	0.04
	transportation area	2.48	1.11	0.98	0.57	1.28
	public facilities area	0.77	0.25	0.19	0.09	0.31
	sum	10.96	4.68	3.99	2.05	5.38
Non Facility area	agricultural area	23.92	23.39	21.10	15.98	21.61
	green area	58.30	67.12	71.13	79.93	68.25
	barren area	2.63	1.64	1.53	0.79	1.68
	water area	4.19	3.17	2.25	1.25	2.81
	sum	89.04	95.32	96.01	97.95	94.62
total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

을 대상으로 하여 GRID의 크기를 줄이고 세분화하여 미기후측면에 대한 연구가 필요할 것이라 판단된다.

결론

지구 온난화의 가속화로 인해 여름철 이상고온 및 폭염 현상이 빈번하게 발생하고 있으며, 그에 따른 인명 피해도 급증하고 있다. 이에 본 연구에서는 이상기후변화로 인한 폭염에 대비하기 위해 다양한 기후요소가 고려된 여름철 열쾌적성을 지역별로 평가하여 어느 지역에 더 우선적인 열환경 개선 정책이 추진되어야 하는지 제언하였다. 또한 지역을 구성하는 토지피복 현황과 산출된 PET 지수간의 비교를 통해 토지이용 계획 및 관리가 지역민들이 느끼는 열쾌적 정도와 관련이 있음을 확인하였으며 그 결과는 다음과 같다.


먼저, 영남지역에 위치한 지역들의 PET를 산출한 결과, 열쾌적성이 가장 불량한 지역은 PET값이 높게 산출된 대구광역시(33.65), 김해시(33.49), 창원군(33.46), 창원시(33.14) 순이었으며, 반면 봉화군(28.44), 거창군(28.47), 영양군(28.80), 울진군(28.80)은 PET값이 낮게 나타나 타 지역에 비해 여름철 열적스트레스가 낮은 것으로 평가되었다.

다음으로 지역의 특성에 따른 열쾌적성을 평가한 결과 창원군과 함안군, 고령군, 칠곡군 등은 농촌지역임에도 불구하고 PET값이 높게 나타났다. 농촌지역은 폭염에 취약한 고령자들의 인구 비율이 높기 때문에 기후변화에 따른 인명피해에 취약하다고 할 수 있는데, 이 지역들에 대한 토지피복면적을 산출한 결과 녹지 면적율이 타 농촌지역들에 비해 현저히 떨어지는 것으로 나타나 지자체 차원에서 녹지면적을 확보해야 하며, 시가지지역의 증가가 불가피할 경우 산림훼손을 방지하고 개발 제한구역의 보전 등 이상기후에 따른 피해를 저감하는 대비책이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

K-평균군집분석을 활용하여 영남지역을 유형에 따라 분류한 결과, 부산광역시, 대구광역시와 이와 인접한 경산시, 칠곡시, 창원시, 김해시, 양산시, 창원군을 포함한 13개 지역이 상대적 열쾌적성 불량지역으로 평가되었다. 최근 증가하고 있는 여름철 폭염피해를 막기 위해서는 이들 지역에 대한 우선적인 대비책 마련이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 시가지지역의 면적율이 높고 고밀의 개발이 이루어진 대구광역시, 부산광역시와 인접한 경산시, 칠곡시, 김해시, 양산시와 같은 지역이 열쾌적성 불량지역으로 나타났는데, 이는 인구와 산업이 과도하게 집중된 대도시의 시가지 확장으로 인해 주

변지역 역시 도시화가 진행되고 이로 인해 주변 지역의 열환경 역시 떨어지고 있다고 할 수 있으며, 지속가능한 개발 측면에서 도시확장에 대한 대비책이 필요할 것으로 판단된다.

PET값에 따라 구분된 유형에 따라 토지피복 면적을 산출한 결과, 여름철 열쾌적성이 높은 지역일수록 시설지역의 면적율은 낮고, 녹지지역의 면적율은 높은 것을 확인할 수 있었다. 이는 토지피복 현황이 인간이 실제 느끼는 열적 쾌적성에 일정부분 영향을 미치는 것을 의미하며, 향후 도시 및 녹지 개발에 있어 열쾌적성을 고려한 계획이 이루어짐으로써 폭염에 적응가능한 도시 구성에 이바지 할 수 있을 것이라 판단된다.

한편, 본 연구는 지역별 평가를 위해 국지적 범위를 대상으로 하여 지역 내의 건물 및 포장 등의 인공구조물과 이로 인한 인공열의 방출 및 공기의 흐름, 수목을 통한 그늘 제공과 같은 세부적인 열 환경 인자들에 대한 고려가 부족하였으며, 향후 보다 정확한 연구결과를 위해서는 열쾌적성이 낮게 평가된 지역을 대상으로 건물 높이 및 면적, 인공피복 등의 세부적인 공간요소에 대한 분석이 보완되어야 할 것으로 판단된다(Yi *et al.*, 2014). 그러나 그동안 방대한 기상 자료 취득 및 산출 방법의 부재로 실내 및 소규모공간에 대한 열쾌적성 평가가 주를 이루었던 연구에 반해, 본 연구에서는 GIS를 이용한 공간분석기법을 활용하여 영남지역의 여름철 야외 온열환경을 정량적으로 평가하였으며, 토지피복현황과의 비교를 통해 녹지 및 산림과 같은 녹색인프라가 생기후학적 측면에도 긍정적으로 기여한다는 것을 규명하였다. 또한 열쾌적성에 따라 지역을 등급화하고 상대적으로 비교함으로써, 녹지계획과 같은 도시환경 개선을 위한 계획수립 시 우선순위를 결정할 수 있는 유용한 지표로 사용될 수 있을 것이다. 궁극적으로는 미래의 기후변화에 대한 적응력을 높일 수 있는 도시계획 정책수립 및 폭염에 따른 인명피해의 최소화와 같은 보건적 측면에서의 전략적 대응을 위한 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 

REFERENCES

- ASHRAE. 1989. ASHRAE Handbook : Fundamentals—chapter 8 thermal comfort. Atlanta, CA, ASHRAE.
- Baek, G.H., M.G. Lee and B.J. Kang. 2011. Development of spatial statistical downscaling method for KMA-RCM by using GIS. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 14(3):136-149 (백경혜, 이명진, 강병진. 2011. GIS를 활용한 KAM-RCM의 규모 상세화 기법 개발 및 검증. 한국지리정보학회지 14(3):136-149).
- Byon, J.Y., J.Y. Kim, B.C. Choi and Y.J. Choi. 2008. Forecast and verification of perceived temperature using a mesoscale model over the Korean Peninsula during 2007 summer. Journal of the Korean Meteorological Society 18(3):237-248 (변재영, 김지영, 최병철, 최영진. 2008. 중 규모 수치 모델 자료를 이용한 2007년 여름철 한반도 인지온도 예보와 검증. 한국기상학회지 18(3):237-248).
- Choi, C.H. 2012. Study on improvement of evaluation method of air pollution removal function of urban forest for accurate estimation of its environmental value. Master Thesis, Univ. of Kyungpook, Daegu, Korea (최철현. 2012. 도시림의 환경가치 추정을 위한 대기정화능 평가방법 개선방안. 경북대학교 대학원 석사학위논문).
- Choi, J.K. 2013. A proposal of the thermal comfort index in outdoor environment considering the characteristics of the domestic climate. Master Thesis, Univ. of Sungkyunkwan, Seoul, Korea (최종규. 2013. 국내 기후특성을 고려한 외부환경 온

- 열 쾌적성 평가방법의 제안. 성균관대학교 대학원 석사학위논문).
- Cionco, R.M. and R. Ellefsen. 1998. High resolution urban morphology data for urban wind flow modeling. *Atmospheric Environment* 32(1):7-17.
- Emmanuel, R. 1997. Urban vegetational change as an indicator of demographic trends in cities: the case of Detroit. *Environment and Planning B* 24:415-426.
- Eum, J.H. 2012. Review of environmental assessment for climate factors in urban planning. *Journal of Environmental Policy* 11(1):27-48 (엄정희. 2012. 도시 계획에서의 기후요소 평가기법에 관한 고찰. *환경정책연구* 11(1):27-48).
- Forsthoff, A. and H. Neffgen. 1999. The assessment of heat radiation. *International Journal of Industrial Ergonomics* 23(5): 407-414.
- Gallo, K.P., D.R. Easterling and T.C. Peterson. 1996. The influence of land use/land cover on climatological values of the diurnal temperature range. *Papers in Natural Resources* 191.
- Heo, I.H., Y.E. Choi and W.T. Kwon. 2004. The spatial and temporal distributions of NET(Net Effective Temperature) with a function of temperature, humidity and wind speed in Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* 39(1):13-26 (허인혜, 최영은, 권원태. 2004. 한반도의 날씨 스트레스 지수 NET(Net Effective Temperature) 분포의 특성. *대한지리학회* 39(1):13-26).
- Hong, K.O., M.S. Suh, D.K. Rha, D.H. Chang, C.S. Kim and M.K. Kim. 2007. Estimation of high resolution gridded temperature using GIS and PRISM. *Atmosphere* 17(3): 255-268 (홍기욱, 서명석, 나득균, 장동호, 김찬수, 김맹기. 2007. GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 기온자료 추정. *대기* 17(3):255-268).
- Höppe, P. 1999. The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology* 43(2):71-75.
- Hwang H.S. 2012. An index and evaluation of vulnerability to climate change in urban area. Master Thesis, Univ. of Inha, Incheon, Korea (황혜선. 2012. 도시지역의 기후변화 취약성 지표 개발 및 평가. 인하대학교 대학원 석사학위논문).
- ISO, E. 7730. 2005. 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. International Standardisation Organisation, Geneva, 147pp.
- Jendritzky, D.M.G. and W. Nübler. 1981. A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Archives for meteorology, geophysics, and bioclimatology, Series B* 29(4):313-326.
- Jendritzky, G. 1988. Bioklima. In: *Stadtklima und Luftreinhaltung*. Springer, Berlin Heidelberg. pp.411-426.
- Jeon, M.Y., S.J. Lee, J.Y. Kim, S.B. Lee and T.Y. Kim. 2010. Evaluation of the thermal environment and comfort in

- apartment complex using unsteady-state CFD simulation. *Journal of the Korea institute of ecological architecture and environment* 10(4):67-73 (전미영, 이승재, 김지영, 이승복, 김태연. 2010. Unsteady-state CFD 시뮬레이션을 이용한 여름철 공동주택 외부공간의 온열환경 및 쾌적성 평가. *한국생태환경건축학회 논문집* 10(4):67-73).
- Jo, M.H., K.J. Lee and W.S. Kim. 2001. A study on the spatial distribution characteristic of urban surface temperature using temotely sensed data and GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 4(1):57-66 (조명희, 이광재, 김운수. 2001. 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시 표면온도의 공간적 분포특성에 관한 연구. *한국지리정보학회지* 4(1):57-66).
- Kim, G.Y. 2013. Development of evaluation model on transportation sustainability by urban characteristics of Korea. Ph.D. Dissertation, Univ. of Hanyang, Korea (김건영. 2013. 도시유형별 교통부문 지속가능성 평가모형 개발. *한양대학교 대학원 박사학위논문*).
- Kim, J.U., D.G. Lee, G.S. Oh and H.C. Seong. 2003. A fundamental study on the relationship between riparian vegetation and surface temperature-Focused on Cheonggaecheon stream restoration. *Journal of the Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology* 6(3):79-85 (김재욱, 이동근, 오규식, 성현찬. 2003. 하천 및 녹지와 온도의 관계에 대한 기초적 연구: 청계천 복원을 중심으로. *한국환경복원기술학회지* 6(3):79-85).
- Kim, K.J., I.A. Yeo and S.H. Yoon. 2011. The study on the characteristics of the formation of urban thermal environment according to the greening type. *Journal of Architectural Institute of Korea* 27(6):229-236 (김금지, 여인애, 윤성환. 2011. 녹화 유형에 따른 도시열환경 형성 특성에 관한 연구. *대한건축학회 논문집* 27(6):229-236).
- Kim, M.K., M.S. Han, D.H. Jang, S.G. Baek, W.S. Lee, Y.H. Kim and S. Kim. 2012. Production technique of observation grid data of 1km resolution. *Journal of Climate Research* 7(1):55-68 (김맹기, 한명수, 장동호, 백승균, 이우섭, 김연희, 김성. 2012. 1km 해상도의 관측 격자 자료 생산 기술. *기후연구* 7(1):55-68).
- Kim, S.C. 2008. Study for globe temperature characteristic and practical use way in downtown area on summer season. Master Thesis, Univ. of Inje, Korea (김석철. 2008. 하계 도심지에서의 흑구온도 특징과 활용방안에 관한 연구. *인제대학교 대학원 석사학위논문*).
- Korea Meteorological Administration. 2011. How should we use climate change information of region?: Suggestions for adapting to climate change policy. Korea Meteorological Administration (기상청. 2011. 지역기후 변화정보 어떻게 활용해야 하나?: 기후변화 적응정책 수립에 대한 제언중심. 기상청).
- Kwon, Y.A. 2002. The influence of urban green areas on ambient air temperature in seoul. Ph.D. Dissertation, Univ. of Konkuk, Seoul, Korea (권영아. 2002. 서울의 도심녹지가 주변기온에 미치는 영향. *건국대학교 대학원 박사학위논문*).
- Lee, D.G., J.Y. Byon, Y.J. Choi and K.R. Kim. 2010a. Relationship between

- summer heat stress(perceived temperature) and daily excess mortality in Seoul during 1991~2005. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 26(3):253-264 (이대근, 변재영, 최영진, 김규량. 2010. 인지온도를 이용한 여름철 폭염 스트레스와 일 사망률 증가와의 관련성 연구, 1991~2005, 서울. 한국대기환경학회지 26(3):253-264).
- Lee, D.G., Y.J. Choi, K.R. Kim, J.Y. Byon, L.S. Kalkstein and C.S. Scott. 2010b. Development of heat-health warning system based on regional properties between climate and human health. *Climate Change Research* 1(2):109-120 (이대근, 최영진, 김규량, 변재영, Laurence S. Kalkstein, Scott C. Sheridan. 2010. 대도시 폭염의 기후-보건학적 특성에 기반한 고온건강경보시스템 개발. 한국기후변화학회 1(2):109-120).
- Lee, E.J. 2006. The relationship between urban spatial elements and the thermal comfort—the case study of Seoul. Master Thesis, Univ. of Hanyang, Seoul, Korea (이은주. 2006. 도시공간 구성요소와 열쾌적성과의 관련성 연구. 한양대학교 대학원 석사학위논문).
- Lee, K.H. 2013. An assessment of natural disasters vulnerability in urban area by climate change—focused on land use and green space change. Master Thesis, Univ. of Seoul, Seoul, Korea (이강현. 2013. 기후변화에 따른 도시지역의 자연재해 취약성 평가: 토지이용 및 녹지면적변화를 중심으로. 서울대학교 대학원 석사학위논문).
- Lee, S.G., S.G. Jung, W.S. Lee and G.H. Park. 2011. A predictive model for urban temperature using the artificial neural network. *Journal of Korea Plan Association* 46(1):129-142 (이슬기, 정성관, 이우성, 박경훈. 2011. 인공신경망을 이용한 도시기온 예측모형 구축. 대한국토·도시계획학회 46(1):129-142).
- Lee, W.S., S.G. Jung, G.H. Park and K.T. Kim. 2010. Analysis of urban thermal environment for environment-friendly spatial plan. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(1):142-154 (이우성, 정성관, 박경훈, 김경태. 2010. 친환경적 공간계획을 위한 도시의 열환경 분석. 한국지리정보학회지 13(1):142-154).
- Lim, E.N. 2013. An evaluation of the thermal comfort of urban neighborhood parks and the improvement of thermal environment. Master Thesis, Univ. of Kyungpook, Daegu, Korea (임은나. 2013. 도시근린공원의 열쾌적성 평가 및 열환경 개선방안. 경북대학교 대학원 석사학위논문).
- Lim, E.N., W.S. Lee, C.H. Choi, B.G. Song and S.G. Jung. 2013. An evaluation of thermal comfort on urban neighborhood park for improving thermal environment. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16(4):153-170 (임은나, 이우성, 최철현, 송봉근, 정성관. 2013. 도시근린공원의 열환경 개선을 위한 열쾌적성 평가. 한국지리정보학회지 16(4):153-170).
- Matzarakis, A., F. Rutz and H. Mayer. 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 51(4):323-334.
- Mayer, H. 1996. Human-biometeorologische

- Probleme des Stadtklimas. GEOWISSENSCHAFTEN -WEINHEIM -14:233-239.
- National Statistics Korea. 2012. Cadastral Statistical Annual Report (통계청. 2012. 지적통계연보).
- Ng, E. 2012. Towards planning and practical understanding of the need for meteorological and climate information in the design of High-density cities-A case-based study of Hong Kong. *International Journal of Climatology* 32(4):582-598.
- Oh, K.S. and J.J. Hong. 2005. The relationship between urban spatial elements and the urban heat Island effect. *Urban Design Institute of Korea* 6(1):47-63 (오규식, 홍재주. 2005. 도시 공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구. *한국도시설계학회지* 6(1):47-63).
- Oh, K.S., M.B. Lee and D.W. Lee. 2013. An evaluation of thermal comfort of new towns in Seoul metropolitan area. *Journal of Korea Spatial Information Society* 21(2):55-71 (오규식, 이민복, 이동우. 2013. 수도권 신도시의 열쾌적성 평가. *한국공간정보학회지* 21(2):55-71).
- Oke, T.R. 2006. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology* 84(1-3):179-190.
- Park, I.H., G.S. Jang and J.Y. Kim. 1999. Evaluation of the heat island in transition zone of three cities in Kyungpook, Korea. *Environmental Impact Assessment* 8(2):73-82 (박인환, 장갑수, 김중용. 1999. 추이대를 중심으로 한 경상북도 3개 도시의 열섬 평가. *환경영향평가학회지* 8(2):73-82).
- Park, K.H. and S.G. Jung. 1999. Analysis on urban heat island effects for the metropolitan green space planning. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 2(3):35-45 (박경훈, 정성관. 1999. 광역적 녹지계획 수립을 위한 도시열섬효과 분석. *한국지리정보학회지* 2(3):35-45).
- Park, S.K. 2013. A way for creating human bioclimatic maps using human thermal sensation(comfort) and applying the maps to urban and landscape planning and design. *Journal of the Korea Institute of Landscape Architecture* 41(1):21-33 (박수국. 2013. 인간 열환경 지수를 이용한 생기후지도 작성 및 도시·조경계획 및 디자인에의 적용방안. *한국조경학회지* 41(1):21-33).
- Presidential Committee on green growth and Korea meteorological administration. 2010. 2010 Special report on abnormal climate. Korea Meteorological Administration (녹색성장위원회, 기상청. 2010. 2010 이상기후 특별보고서. 기상청).
- Shashua-Bar, L. and M.E. Hoffman. 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.
- Song, B.G. 2011. Development of integrated spatial environmental assessment and planning methods for improving the urban climate and air quality. Master Thesis, Univ. of Changwon, Changwan, Korea (송봉근. 2011. 도시기후 및 대기질 개선을 위한 통합적 공간환경평가 및 계획기법의 개발. 창

- 원대학교 대학원 석사학위논문).
- Song, B.G. and G.H. Park. 2011. The classification of spatial patterns considering formation parameters of urban climate: the case of Changwon city, South Korea. *Journal of Environmental Impact Assessment* 20(3):299-311 (송봉근, 박경훈. 2011. 도시기후 형성 요소를 고려한 공간유형 분류: 창원시를 대상으로. *한국환경영향평가학회* 20(3):299-311).
- Stern, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern review*. Cambridge University Press.
- WHO. 2004. Heat-waves-risks and responses. *Health and Global Environmental Change Series* 2.
- Yeo, I.A. 2008. EGIS DB integration and the evaluation of thermal environment of Haeundae district in Busan. Master Thesis, Univ. of Busan, Busan, Korea (여인애. 2008. 부산시 해운대구의 환경지리 정보의 구축 및 열환경 평가. 부산대학교 대학원 석사학위논문).
- Yi, C.Y., K.R. Kim, S.M. An and Y.J. Choi. 2014. Impact of the local surface characteristics and the distance from the center of heat island to suburban areas on the night temperature distribution over the Seoul metropolitan area. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17(1):35-49 (이채연, 김규량, 안승만, 최영진. 2014. 수도권 열섬 중심으로부터 교외까지의 거리 및 국지적 지표특성이 야간 기온분포에 미치는 영향. *한국지리정보학회지* 17(1):35-49).
- Yoon, Y.H. 2002. Effect of relative humidity by green space at P.M. 2 o'clock. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation* 6(2):1-6 (윤용환. 2002. 녹지가 14시 상대습도에 미치는 실증적 연구. *한국산림휴양학회지* 6(2):1-6).
- Yoon, Y.H., C.H. Joo and J.H. Kim. 2011. Improvement of environmental comfort by land-use using bioclimatic chart. *Journal of the Korean Regional Development Association* 23(3):39-58 (윤용환, 주창훈, 김정호. 2011. 생체기후도를 이용한 바이오톱 유형별 환경 쾌적성 증진 방안 연구. *한국지역개발학회지* 23(3):39-58). **KAGIS**