Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Vol. 38, No. 4, 295-304, 2020
https://doi.org/10.7848/ksgpc.2020.38.4.295

ISSN 1598-4850(Print)
ISSN 2288-260X(Online)
Original article

공간적 자기상관성을 고려한 폭염취약지역 도출에 관한 연구 – 대구광역시를 중심으로

A Study on Identification of the Heat Vulnerability Area Considering Spatial Autocorrelation – Case Study in Daegu

성지훈[1] · 이기림[2] · 권용석[3] · 한유경[4] · 이원희[5]
Seong, Ji Hoon · Lee, Ki Rim · Kwon, Yong Seok · Han, You Kyung · Lee, Won Hee

Abstract

The IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) recommended the importance of preventive measures against extreme weather, and heat waves are one of the main themes for establishing preventive measures. In this study, we tried to analyze the heat vulnerable areas by considering not only spatial characteristics but also social characteristics. Energy consumption, popu lation density, normalized difference vegetation index, waterfront distance, solar radiation, and road distribution were examined as variables. Then, by selecting a suitable model, SLM (Spatial Lag Model), available variables were extracted. Then, based on the Fuzzy theory, the degree of vulnerability to heat waves was analyzed for each variable, and six variables were superimposed to finally derive the heat vulnerable area. The study site was selected as the Daegu area where the effects of the heat wave were high. In the case of vulnerable areas, it was confirmed that the existing urban areas are mainly distributed in Seogu, Namgu, and Dalseogu of Daegu, which are less affected by waterside and vegetation. It was confirmed that both spatial and social characteristics should be considered in policy support for reducing heat waves in Daegu.

Keywords : Vulnerability Assessment, Heat Vulnerability Area, Climate Change, Moran's I, Spatial Regression

초 록

IPCC는 기상이변의 예방 대책의 중요성을 권고하였으며 폭염은 주요 예방대책수립 주제 중 하나이다. 일반적으로 예방대책수립을 위한 기존 연구는 지형적 특성과 사회적 특성을 따로 구분하여 폭염취약지역을 도출하였으나 본 연구에서는 공간, 지형적 특성뿐만 아니라 사회적 특성을 함께 고려하여 폭염취약지역을 분석하고자 하였다. 에너지 사용량, 인구밀도, 정규식생지수, 수변이격거리, 태양복사량, 도로분포를 변수로 하여 점검하고, 여러 회귀모형 중 가장 적합한 모형인 Spatial Lag Model을 선택하여 사용가능한 변수를 추출하였다. 그리고 Fuzzy 이론에 기초하여 각 변수에 대한 폭염 취약정도를 분석하고, 6개의 변수를 중첩분석하여 최종적으로 폭염취약지역을 도출하였다. 연구 대상지는 폭염의 영향이 큰 대구광역시를 선정하였으며, 취약지역의 경우 기존 도심지이며 수변 및 식생에 영향을 적게 받은 대구 서구, 남구, 달서구에 주로 분포되어있음을 확인하였다. 이를 통해 대구광역시의 폭염 저감을 위한 정책적 지원에 있어 공간적, 사회적 특성을 모두 고려해야 함을 확인하였다.

핵심어: 취약성평가, 폭염취약지역, 기후변화, Moran's Ⅰ 지수, 공간회귀분석

Received 2020. 06. 08, Revised 2020. 07. 07, Accepted 2020. 08. 23

1) Member, Dept. of Spatial Information, Ph.D. student, Kyungpook National University (E-mail: seongjh@knu.ac.kr)
2) Dept. of Spatial Information, Ph.D. student, Kyungpook National University (E-mail: geolee@knu.ac.kr)
3) Associated research fellow, Daegu Gyeongbuk Development Institute (E-mail: kwony@dgi.re.kr)
4) Member, Assistant professor, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University (E-mail: han602@knu.ac.kr)
5) Corresponding Author, Member, Associate professor, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University (E-mail: wlee33@knu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

IPCC는 기후변화 현상은 명백하게 발생하고 있으며 이러한 기후변화는 인간 활동의 결과라고 명시함으로써 이에 의해 자연환경과 인간시스템에 영향을 주고 있다고 이야기하였다(Parry *et al*., 2007). 또한 이상기후보고서에 따르면 2018년 대구지역의 여름철 평균기온은 전국 1위를 기록했고, 폭염일수와 열대야 일수 최다 1위를 기록하였으며 온열질환 응급실 감시체계 운영 이래 신고 환자 수 또한 역대 최다를 기록하였다(KMA, 2018). IPCC는 향후 기후변화에 의한 기상이변 예측 및 기후변화에 의한 악영향 최소화를 위한 조치의 중요성을 권고하였다. 이와 관련하여 정부는"저탄소 녹색성장기본법"시행령 제38조에 의해 국가전략을 효율적·체계적으로 이행하기 위하여 국가 기후변화 적응대책 (2011-2015)을 수립했으며, 폭염은 기후변화 적응대책 수립의 실질적인 주제 중 하나이다. 이러한 정책의 수립을 위해 폭염과 관련된 연구는 지속적으로 이루어지고 있는데 우선 Kwon (2015)은 대구광역시의 도시열섬현상의 실태와 도시열섬 저감 방안을 제안하였으며, Kim and Kim (2017)은 2016년 여름철 폭염시기인 대구광역시의 기온공간분포 특성을 대구기상지청관측 자료와 비교 분석을 진행하여 대구광역시의 기온공간분포 특성과 그 원인을 바탕으로 과학적인 도시열섬 완화 대책을 수립하고자 하였다. 그리고 Kim *et al*. (2012)은 서울시의 기후변화 영향평가를 위하여 과거의 온도분포현황을 통해 통계학적인 방법을 이용하여 미래의 여름철 일평균기온을 산정하여 향후 기후변화 적응대책 수립 평가 기준을 제시하고자 하였다.

또한 도시 폭염에 영향을 주는 요소는 여러 가지가 있는데 그 중 도심의 물리적, 환경적 요소 대한 연구로 Kim *et al*. (2015)은 녹지면적, 정규화식생지수, 수계 등의 도시요소는 대기온도를 저감하는데 기여하는 것을 발견하였으며, 지표면온도를 낮추는 것에 있어 식생보다 수역의 비율이 효과적임을 증명하기도 하였다. 그리고 Robitu *et al*. (2006)은 도시지역의 토지이용과 대기온도 간의 관계를 살펴 대부분 주거, 상업, 공업용도와 교통 시설지는 대기온도를 높이는 반면, 녹지나 수계, 그리고 나지는 대기온도를 낮추는 영향이 있음을 밝히고 있다. 또한, Giridharan *et al*. (2004)은 특정 공간의 도로 폭, 건물높이나 규모 등을 동시에 고려하였을 때 고밀·고층으로 조성된 지역의 도시열섬현상을 설명하는 중요한 요소로 이용되고 있음을 확인하였다.

이러한 물리적 환경뿐 아니라 사회적, 경제적 특성을 고려하여 도시의 폭염취약계층을 대상으로 한 연구 또한 진행되고 있다. Lee *et al*. (2010)은 폭염으로 인한 초과사망자 수는 인체 열수지 인지 온도 최대시기와 관련이 있으며, 폭염이 만성질환자 및 체열조절 능력이 취약한 65세 이상 고령자 사망률에 기여한다고 도출하였고, Yun *et al*. (2013)은 열 환경 취약성을 평가하기 위해 IPCC의 취약성 개념을 활용하였으며, 그 결과 기반시설이 부족한 지역과 기초생활수급자, 장애인, 임대주택의 비중이 높은 지역의 취약성 지수가 높게 산출되었다고 하였다.

폭염취약지역을 분석한 연구로는 Choi *et al*. (2018)은 서울시의 폭염 적응정책 수립 및 추진을 위하여 선행적으로 폭염 취약지역의 공간적 분포를 분석하고, 적응능력이 취약한 지역을 파악하는 연구를 진행하였으며, Lee and Cha (2019)는 충청남도를 대상으로 하여 폭염 인명피해에 영향을 주는 요소 (기온, 고령자, 경제적 취약계층, 의료서비스 접근성, 1인 가구)를 고려하여 폭염취약지역을 도출하는 연구를 진행하였고, Cho *et al*. (2019)는 행정동을 기반으로 하여 인구 및 사회, 경제적 관점을 모두 고려한 도시 열 환경 취약지역을 도출하고자 하였으며, 이를 통해 도시 열섬 완화 정책에 기초자료를 제공하고자 하였다.

이와 같이 폭염취약지역에 대한 연구가 계속해서 이루어지고 있으나, 공간적 특성과 사회적 특성 각각을 개별적으로 분석하는 연구가 많다. 그러나 따로 분석을 진행할 경우 폭염취약계층의 수가 많으나 주변 지역이 식생으로 이루어져 기온을 낮춰(Ahn and Kim, 2006) 고위험군으로 분류되지 않는 경우 또는 반대의 경우가 생길 수 있어 정확한 분석에 어려움이 있다. 본 연구에서는 각 변수들의 공간적 자기상관성을 고려하여 공간, 지형적 특성을 고려할 뿐만 아니라 사회적 특성을 함께 고려하여 폭염취약지역을 분석하고자 한다.

2. 연구대상지 및 연구방법

2.1 연구대상지

기상청에서는 전국적으로 향후 60년간 5조 7천700억의 폭염으로 인한 사회적 비용이 발생할 것으로 추계하였으며, 그 중에서도 대구광역시의 경우 타지역에 비해 노령화가 빠르게 진행하여 폭염으로 인한 사회적 비용도 그만큼 클 것으로 예상하였다(Kwon *et al*., 2017). 그리고 대구광역시의 폭염과 이상고온은 기후변화로 인해 앞으로 더욱 악화될 것으로 예상된다고 발표하였다. 대구광역시는 중구를 중심으로 북쪽에 북구와 동구, 동쪽에 수성구, 남쪽에 남구, 달서구 그리고 달성군, 서쪽에 서구와 달성군이 분포해있다. 그리고 북부에 팔공산, 남부에 비슬산으로 위치하여 남북으로는 막혀있고 동쪽으로는 트여있다. 이러한 지형특성으로 인해 겨울철에는 춥

고 여름은 무더운 내륙분지형 기후의 특성을 가진다. 낙동강과 금호강 그리고 신천, 팔거천과 같은 강이 흐르고 있고, 서쪽에 산업단지가 밀집해 있으며, 산업단지에서 발생하는 인공열은 폭염과 열대야와 같은 피해를 가중시키는 원인 중 하나이다(Kwon, 2018). 이와 같이 폭염에 의한 피해가 심각할 것으로 예상되는 대구광역시를 연구대상지로 선정하였다. Fig. 1은 연구대상지를 나타내며, 진한 선은 구, 연한 선은 행정동을 나타낸다.

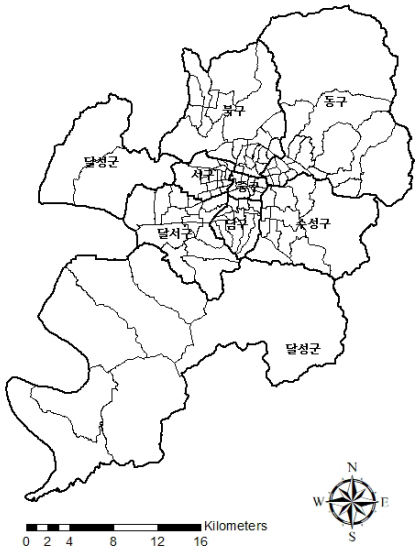


Fig. 1. Study area

2.2 연구방법

대구광역시의 지형적 특성과 사회적 특성을 모두 고려하여 폭염취약지역을 분석하고자 한다. 우선 취약지역 평가를 위해 공간 특성 변수로 태양복사량, 수변이격거리, 정규식생지수, 도로 분포 데이터와 사회적 특성을 가진 폭염취약계층 분포와 에너지 사용량 데이터를 취득하였으며, 변수 점검을 위하여 태양복사량, 수변이격거리, 정규식생지수, 도로 분포, 폭염취약계층 분포, 에너지 사용량에 대한 상관관계 분석을 진행하였다(Kwon *et al*., 2017). Table 1은 변수별 특성을 정리한 것이다.

Table 1. Characteristics by variable

공간적 특성 변수	태양복사량, 수변이격거리, 정규식생지수, 도로 분포
사회적 특성 변수	폭염취약계층 분포, 에너지 사용량

그 후 종속변수인 지표온도의 공간적 상관성을 검토하기 위하여 GEODA 1.14.0 프로그램의 LISA (Local Index of Spatial Association) cluster 분석을 시행하여 대구광역시 지표온도의 공간적 상관성이 있음을 확인하였고, 대구광역시 지표온도의 공간적 상관성 여부를 판정하여 공간분석방식을 적용하였다.

공간분석 방법 중 3가지의 분석모델인 최소제곱회귀분석(OLS: Ordinary Least Squares), 공간시차모형(SLM: Spatial Lag Model), 공간오차모형(SEM: Spatial Error Model)을 각각 검토하여 가장 적합한 분석모델을 선정하였다. 각각의 모델의 R-squared값, Log likelihood값 그리고 Akaike information criterion값 등의 분석을 진행하여 알맞은 모델을 선정하였다.

선정된 변수들을 이용하여 Fuzzy이론에 기초하여 취약지역을 도출하였으며 도출된 취약지역을 중첩하여 최종적으로 폭염취약지역을 선정하였으며, Fig. 2는 연구흐름도를 나타낸다.

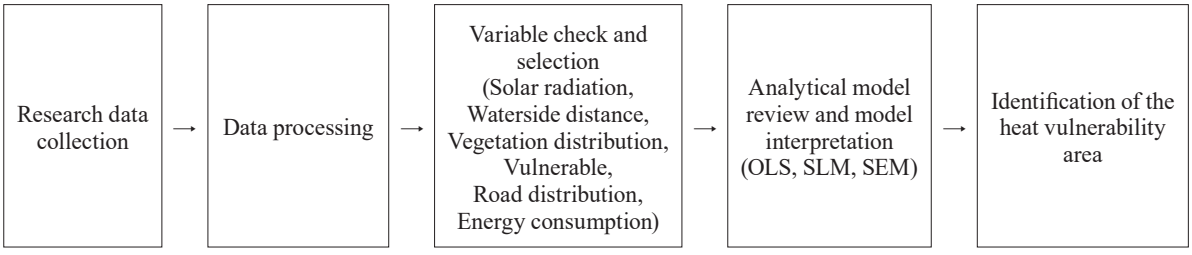


Fig. 2. Study flow chart

3. 데이터 가공 및 변수 선택

3.1 데이터 취득 및 가공

사용된 데이터는 지표면온도, 수변지역, 식생지역 데이터, 국가에서 제공하는 건물 위치, 도로, 인구, 취약계층에 대한 데이터를 사용하였고, 폭염에 영향을 주는 인자분석을 위해 Landsat 8 OLT/TIRS의 영상을 이용하여 정규식생분포(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index), 지표면 온도, 수변지역(NDWI: Normalized Difference Water Index) 자료를 산출하였으며, 국가공간정보포털에서 제공하는 건물 및 도로 데이터를 취득하였다. Table 2는 취득 데이터의 메타데이터를 나타낸다.

Table 2. Metadata of sample

	Data unit	Data source	Data type
Solar radiation	30m*30m	Landsat 8 OLT/TIRS	Raster
Waterside distance	30m*30m	Landsat 8 OLT/TIRS	Raster
Vegetation distribution	30m*30m	Landsat 8 OLT/TIRS	Raster
Vulnerable	-	국가공간정보포털	Shape
Road distribution	행정동	공공데이터포털	Table
Energy consumption	행정동	공공데이터포털	Table
Road distribution	-	국가공간정보포털	Shape
Energy consumption	-	대구경북연구원	Table

지표면 온도의 경우 열 환경 변화에 대한 분석을 위해 Landsat 8 OLT/TIRS의 2019년 6월에서 8월 영상을 사용하려고 했으나 장마와 태풍의 영향으로 인한 구름으로 인해 분석 자료로 활용이 어려움이 있다. 그래서 2000년 이후부터 평균기온이 지속적으로 상승하는 경향을 보이고 있으며, 2015년의 경우 폭염주의보가 발생하기도 한 5월 영상을 활용하였다(KMA, 2018).

Landsat 8 OLT/TIRS로 취득한 2019년 5월 21일 영상을 이용하여 QGIS 3.6에서 제공하는 Cloud masking을 이용해 구름영역을 최대한 제거하고자 하였으며, Land surface temperature를 이용하여 지표온도와 정규식생지수를 산출하였다. 그리고 수변이격거리 데이터를 취득하기 위하여 정규수분지수를 우선 취득한 후 수변 거리에 대한 데이터를 추가한 후 다시 래스터(raster)값으로 변환하였다.

통계청에서 제공하는 행정동별 인구수 데이터 및 취약계층 데이터를 사용하여 각 동별 지도 파일에 입력하여 데이터를 제작하였으며, 국가공간정보포털에서 제공하는 건물 및 도로 데이터를 사용하여 건물데이터 및 도로데이터를 제작하였다.

3.2 변수 점검

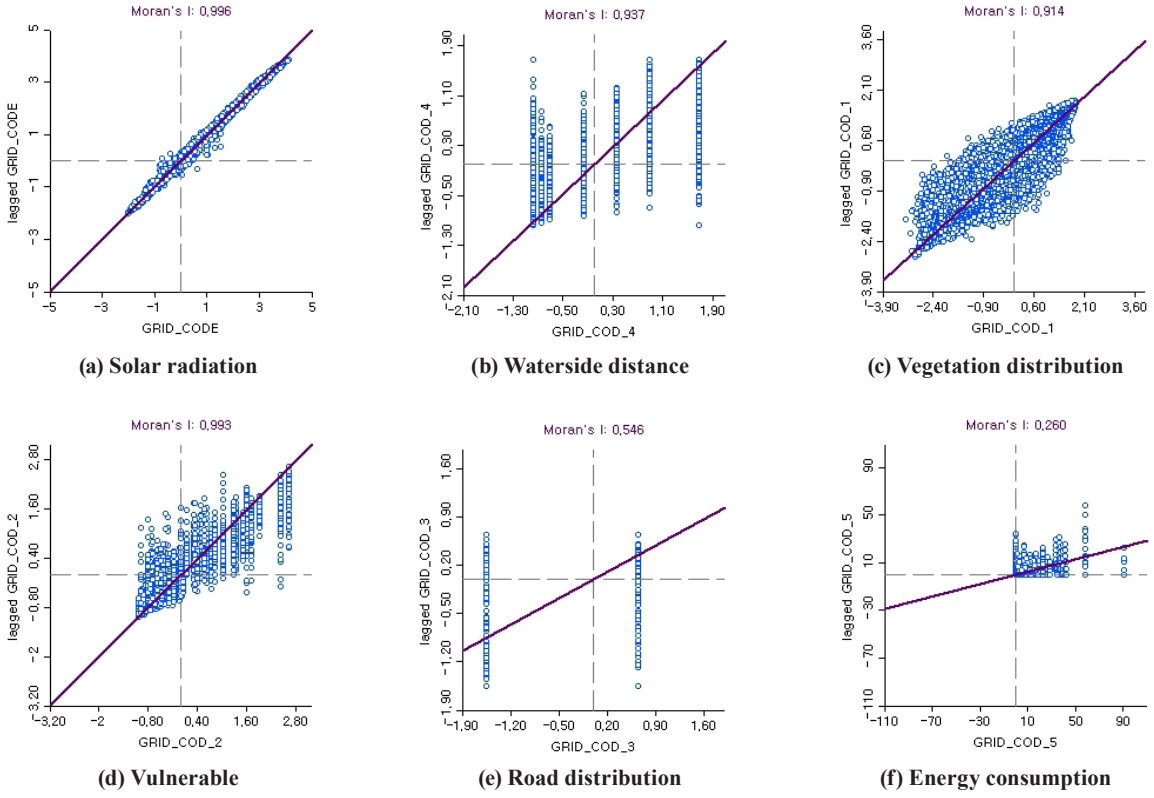
3.2.1 독립변수 점검

태양복사량, 수변이격거리, 정규식생지수, 도로 분포, 폭염취약계층 분포, 에너지 사용량의 6개 독립변수에 대한 상관관계 검토를 위하여 GEODA프로그램을 사용해 Moran's I 지수를 취득하였다. Moran's I 지수는 분석 대상지역의 전반적인 군집경향을 하나의 지표로 제시하는 지수로 지역간의 인접성을 나타내는 공간 가중 행렬과 인접 지역들간 속성 데이터의 유사성을 검증하며 (+)1에 가까울수록 유의미한 결과를 나타낸다. Eq. (1)은 Moran's I 지수가 추정되는 방식을 보여주고 있다(Anselin, 1995).

$$I = \frac{N\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(Y_i - \overline{Y})(Y_j - \overline{Y})}{(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij})\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \overline{Y})^2} \quad (1)$$

$$Where, N is number of regional units,$$
$$Y_i is i properties, Y_j is j properties$$
$$\overline{Y} is mean, w_{ij} is weight$$

Moran's I 지수 분석 결과 모든 변수들이 변수들 간의 상관관계에서 강한 양의 자기상관을 가지는 것으로 나타났으며, 에너지사용량 변수만 0.260으로 다른 변수에 비해 상대적으로 적은 유의성을 보였으나 모든 결과에서 유의미한 결과가 나타남을 확인하였다. 이는 변수간 다중공선성이 존재하여 회귀분석 시 결과가 왜곡되거나 모델의 설명력이 낮게 나올 수 있으며, 따라서 일반적인 회귀분석이 아닌 공간적 자기상관을 고려한 회귀분석을 실시해야함을 확인하였다. Fig. 3은 각 변수에 대한 Moran's I지수 값을 나타낸다.



(a) Solar radiation **(b) Waterside distance** **(c) Vegetation distribution**

(d) Vulnerable **(e) Road distribution** **(f) Energy consumption**

Fig. 3. Moran's I index by variable

3.2.2 종속변수의 공간상관성 검토

종속변수인 지표온도값의 공간상관성 여부를 검토하기 위하여 GEODA 1.14.0 프로그램의 LISA cluster 분석을 진행하였다. LISA는 국지적 차원의 공간적 연관성을 분석하는 것으로 해당지역 주변의 공간적 군집에 대한 유의성을 판단하며, High-High와 Low-Low 유형은 공간적 연관성이 있음을 나타내고, Low-High와 High-Low유형은 공간적 연관성이 적음을 나타낸다.

분석 결과 대구광역시 도심지 주변에 지표온도 핫스팟(hot spot)이 형성되어있고, 팔공산 등의 도시 외곽지역에 콜드스팟(cold spot)이 형성되어, 종속변수 내 공간적 상관성이 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 4 는 대구광역시의 공간적 군집에 대한 그림이다.

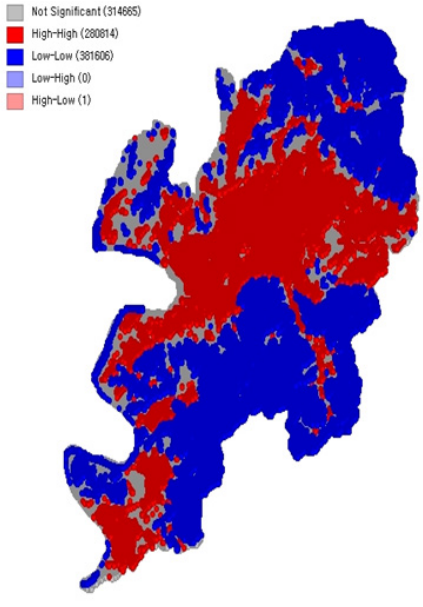


Fig. 4. Hot spots and cold spots in Daegu

4. 분석모델 검토 및 모델 해석

분석모델은 전통적인 분석방법인 OLS 모델과 OLS모델이 가정하지 못하는 공간적 이질성 및 상관성에 대한 영향을 고려한 모델인 SLM, SEM 모델을 사용하여 총 3가지의 모델로 분석을 진행하였으며(Kim, 2003), OLS는 변수들 간의 관련성 파악을 위한 수학적 모형을 통해 관측 데이터로부터 모형을 추정하는 통계기법으로 회귀식에 의해 추정된 예측값과 실측값의 차이를 가장 작게 만드는 회귀선을 의미한다. Eq. (2)는 OLS를 나타내는 식이다.

$$y = \alpha + \beta X \tag{2}$$

$where, y\,is\,Dependent\,variable,$
$X\,is\,Independent\,variable,$
$\alpha\,\text{and}\,\beta\,is\,constant$

그리고 OLS식에서 공간적 자기상관을 변수로 추가하여 회귀식을 만들었을 때 SLM이라 하며 Eq. (3)은 SLM을 나타내는 식이다.

$$y = \rho Wy + \beta X + \epsilon \tag{3}$$

$where,\ W\,is\,Spatial\,weighting\,matrix,$
$\rho\,is\,Spatial\,autocorrelation,$
$X\,is\,\text{Exp}lanatory\,variable\,matrix,$
$\beta\,is\,\text{Exp}lanatory\,variable,\ \epsilon\,is\,error$

공간적 자기상관을 오차항에서 고려한 회귀식을 SEM이라 하며, SLM과 달리 공간 자기상관이 오차항 부분에 포함되어 있다. Eq. (4)는 SEM을 나타내는 식이다.

$$y = \alpha + \beta X,\ \alpha = \lambda W\alpha + \epsilon \tag{4}$$

$where, \alpha\,is\,Spatialautocorrelationerror,$
$\lambda\,is\,Spatialautocorrelationcoefficient,$
$\epsilon\,is\,error$

4.1 최소제곱회귀분석

일반회귀분석 결과 6개 종속변수 모두 통계적으로 유의하게 나타났으며, 다중공선성점수(multicollinearity condition number)는 11.96으로 30보다 작아 다중공선성 문제는 적은 것으로 나타났는데 이는 변수들간의 공간적 자기상관성이 확연히 존재하여 이러한 설명력 수치가 나온 것으로 판단된다. 다만, 잔차의 정규분포 검정을 위해 Jarque-bera를 실시한 결과 정규분포를 따르지 않아 일반회귀모델로는 부적합한 것으로 나타났다.

4.2 공간시차모형

SLM모델을 적용한 결과, 공간적 시차 계수인 ρ가 0.93로 통계적으로 유의하게 나타났다. 이 계수는 폭염에 영향을 미치는 공간적 영향력을 나타내는 것으로 폭염지역이 주변지역의 93%정도의 영향을 받는다는 것으로 해석이 가능하다. 즉, 공간적 시차가 존재하여 OLS보다 SLM모델이 적합한 것으로 확인되었다. 변수 간 정상성이 있는지를 확인하기 위해 Breusch-pagen test를 수행하였으며, 그 결과 변수의 일부 또는 전체가 비정상성을 보였다. 비정상성이란 모든 공간에 동일하게 설명력이 적용되는 것이 아닌 특정 공간에 따라 변화함을 의미한다.

4.3 공간오차모형

SEM모델을 적용한 결과, 자기회귀 계수인 λ가 0.94로 통계적으로 유의하게 나타났다. 이 계수는 오차항의 공간적 상관성에 대한 통계적 유의성을 나타내며, OLS보다 SEM모델이 적합함을 확인할 수 있었다. SEM모델에서도 SLM 모델과 마찬가지로 변수 간 정상성이 있는지를 확인하기 위해 Breusch-pagen test를 수행하였다. 그 결과 SLM 모델과 마찬가지로 변수의 일부 또는 전체가 비정상성을 보임을 확인하였다.

4.4 결과분석

모델의 설명력은 모델을 통해 산출된 값들이 실제 측정값에 어느 정도 근사하는지를 나타내는 지표로, 보통 R-squared을 참조한다. 그리고 모델의 적합도는 모델 간의 비교를 위한 지표로, 대표적인 지표로는 Log likelihood값과 Akaike information criterion값 등을 사용한다. 참고로 Log likelihood값은 높을수록, Akaike information criterion값은 낮을수록 적합도가 높음을 의미한다.

모델 설명력은 SLM이 0.98로 가장 높게 나타났다. SEM도 0.94로 SLM과는 근소한 차이를 보였으나, OLS모델의 경우 0.57로 다른 두 모형이 비해 설명력이 크게 떨어진 것을 확인할 수 있었다. 이는 독립변수 간 다중공선성문제가 있기 때문으로 판단된다. Table 3은 SLM 분석에 대한 결과를 나타내며, Table 4는 각 분석모델에 대한 R-squared 값을 나타낸 것이다.

Table 3. SLM result report

Variable	Coefficient	Std.error	Z-value	Probability
W_GRID_CODE	0.934051	1.2361e-005	8822.6	0.00000
CONSTANT	0.0579464	0.000778121	74.4696	0.00000
Solar radiation	0.0056031	0.000348623	5.48162	0.00000
Waterside distance	-3.17334e-006	2.73834e-077	-11.5285	0.00000
Vegetation distribution	-0.00011422	1.00118e-006	-17.644	0.00000
Vulnerable	-2.72329e-006	4.10086e-009	-6.64078	0.00000
Road distribution	-0.00011422	1.00118e-006	-8.084	0.00000
Energy consumption	-3.07678e-011	1.11219e-011	-2.76641	0.00567

Table 4. R-squared by analysis model

	OLS	SLM	SEM
R-squrared	0.57	0.98	0.94

확률적 적합도 측면에서는 근소한 차이로 SLM 모델이 가장 양호한 것으로 판단되었으며, OLS모델은 두 모델에 비해 적합도가 크게 떨어졌다. Table 5는 각 모델의 적합도를 비교하기 위한 대표적인 지표값을 나타낸 것이다.

Table 5. Suitability by analysis model

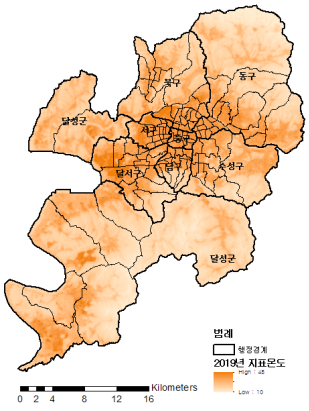
	OLS	SLM	SEM
Log likelihood	261,457	726,405	-37,144.52
Akaike information Criterion	145,287	49,509	74,301
Schwarz criterion	145,271	49,512	74,349.40

상기 설명력과 적합성 두 가지 측면을 모두 고려했을 때 SLM모델이 본 분석에서 가장 적합한 것으로 판단되어, 최종적으로 SLM모델을 선택하였다.

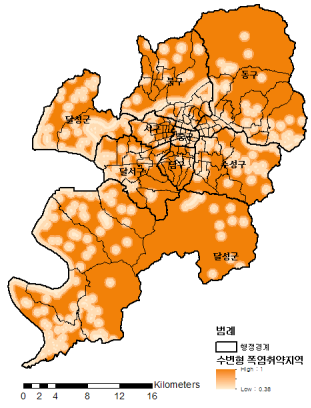
SLM모델 적합 결과 태양복사량, 수변이격거리, 정규식생지수, 도로 분포, 폭염취약계층 분포, 에너지 사용량 데이터는 모두 유의한 것으로 나타났다. SLM모델에서 사용된 변수의 Z-value를 토대로 변수 간 영향력을 판단하였다. 이중 영향력이 가a장 높은 변수는 식생지수로 약 (-)17.6 수준이며, 그 다음으로 영향력이 높은 것은 (-)11.5를 기록한 수변이격거리로 나타났다.

5. 실험 결과

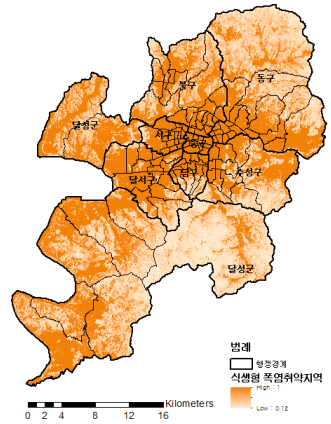
본 연구에서는 Fuzzy이론에 기초한 유효 변수별 취약지역을 도출하였다. 이 Fuzzy이론에 따라 앞서 수행한 변수 중 통계적으로 유의했던 변수 (태양복사량, 수변이격거리, 정규식생지수, 도로 분포, 폭염취약계층 분포, 에너지 사용량)에 대해 지역적 취약성 차이를 살펴보았다. 태양복사열형 폭염취약지역은 대구광역시를 둘러싸고 있는 산자락 남향을 중심으로 형성되었으며, 수변이격거리형 폭염취약지역은 서구, 남구, 달서구와 비슬산 주변 달성군에서 주로 나타났다. 식생형 폭염취약지역의 경우 붉은색일수록 폭염에 취약함을 의미하며, 그림을 통해 주로 시가지화 된 지역을 중심으로 식생형 폭염취약성이 높음을 알 수 있다. 도로분포의 경우 중구지역을 중심으로 도시권 주변으로 밀집되어있는 것을 확인할 수 있으며, 폭염취약계층 분포는 달성군지역에 주로 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 에너지형 폭염취약지역은 지역간 편차가 크지 않아 취약 정도가 공간적으로 뚜렷하게 나타나지 않은 것을 확인할 수 있다. Fig. 5는 각 변수에 대한 취약정도를 나타낸 것이다.



(a) Solar radiation

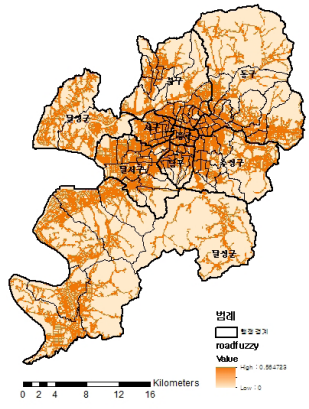


(b) Waterside distance

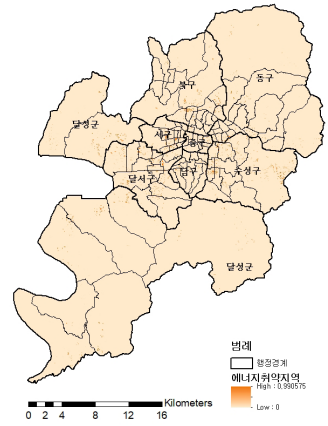


(c) Vegetation distribution

(d) Vulnerable



(e) Road distribution



(f) Energy consumption

Fig. 5. Heat vulnerable areas by variable

위의 유형별로 살펴본 취약지역을 ArcMap 10.5의 Fuzzy overlay툴을 활용하여 중첩분석을 진행하였다. Fuzzy 중첩분석은 기존의 자료 구분에 내재해 있던 부정확성으로 인한 오류의 발생 및 정보의 손실을 줄일 수 있다(Lim and Cho, 1999). Fuzzy overlay를 적용한 결과를 등간격으로 적용하여 총 4가지의 범례로 구분하였으며, 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 첫 번째로 취약지역은 4가지 범례 중 폭염위험에 노출된 정도가 가장 높은 지역으로 기존 도심지 (대구광역시 서구, 남구, 달서구)가 주로 해당된다. 그 중 특히 달성군 현풍읍의 경우 산업단지의 영향으로 취약지역으로 구분되었으며, 달성군 하빈면의 경우 지역 대부분 산지로 이루어져 있으나 인구의 약 15%가 폭염취약계층으로 분류되어 취약지역으로 분류된 것으로 보인다. 중구의 경우 도심지로 이루어져 있으나 공원 등으로 인한

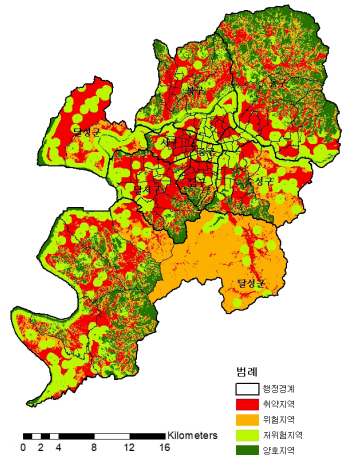


Fig. 6. Identification of the heat vulnerability area

수변지역 (제 1, 2 수창공원, 남산 어린이공원, 경상감영공원, 2.28 기념 중앙공원, 국채보상운동기념공원)의 영향과 폭염취약계층이 적어 고위험지역으로 구분되지 않았다. 두 번째로 위험지역은 폭염위험에 대한 위험요소는 취약지역보다 적지만 폭염으로 인한 피해가 충분히 발생할 수 있는 지역을 의미한다. 공간적으로는 주로 도심지와 도심지의 외곽지역에 분포하고 있으며, 특히 달성군의 가창면의 경우 폭염취약계층 비가 13%로 다른 지역에 비해 상대적으로 높아 위험지역으로 분류되었다. 세 번째 저위험지역은 수변지역을 비롯하여 수변지역의 외곽에 주로 분포하고 있으며, 도심지 외곽과 산림 및 식생지역의 사이에 분포하고 있다. 네 번째로 양호지역의 경우 폭염 위험이 가장 적은 지역이며, 주로 동구와 북구 그리고 산림 및 식생지역에 분포하고 있다. 특히 동구 공산동의 경우 거저산, 삼마산, 문암산등과 같은 대부분의 지역이 산지로 이루어져 양호지역으로 분류되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 타지역에 비해 노령화가 빠르게 진행되어 폭염으로 인한 사회적 비용이 클 것으로 예상되는 대구광역시를 대상으로 하여 공간 및 지형적 특성을 고려할 뿐 아니라 사회적 특성을 함께 고려해 대구광역시의 폭염취약지역을 분석하고자 하였다.

우선 각각의 변수인 에너지 사용량, 인구밀도, 정규식생지수, 수변이격거리, 태양복사량, 도로분포, 폭염취약자 분포 데이터를 분석하고 적합한 변수를 선정하고자 SLM모델을 사용하였으며, 이를 통해 적합한 변수인 에너지 사용량, 정규식생지수, 수변이격거리, 태양복사량, 도로분포, 폭염취약자 분포 총 6개의 데이터를 사용하여 폭염취약지를 분석하였다. 이 중 에너지 사용량, 수변이격거리, 태양복사량, 도로분포, 폭염취약계층 데이터의 경우 양의 상관관계를 가진 것으로 나타났으며, 정규식생지수의 경우 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 이 데이터를 Fuzzy 기법을 사용하여 분석을 진행하였고 그 결과를 취약지역, 위험지역, 저위험지역, 양호지역 4단계로 구분하였다. 취약지역의 경우 기존 도심지이며 수변 및 식생에 영향을 적게 받은 대구 서구, 남구, 달서구에 주로 분포되어있으며, 양호지역은 동구 및 북구 그리고 도심지 외곽의 산림 및 식생지역에 분포되어있음을 확인하였다.

이상과 같이 폭염에 영향을 미치는 요인을 공간적 특성 뿐 아니라 사회적 특성을 고려하여 분석한 결과, 대구광역시 각각의 도심지에 주로 폭염취약지역이 분포함을 확인할 수 있었으며, 특히 서구, 남구, 달서구 지역이 면적당 폭염취약지역의 비율이 상당하였으나, 중구의 경우 기존 도심지에 속하지만 수변시설 및 공원과 같은 식생시설이 잘 갖추어져 있어 고위험군에서 제외됨을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 대구광역시의 폭염 저감을 위한 정책적 지원에 있어 공간적, 사회적 특성을 모두 고려해야 함을 확인하였다. 그러나 본 연구 결과 대부분이 정규식생지수와 수변이격거리에 영향을 받아 다른 지수에 대한 큰 차이를 확인하지 못하였으며, 공간적 변수와 사회적 변수간의 상관관계는 입증하지 못하였다.

추후 연구로 대구광역시에 설치된 폭염저감시설의 위치를 파악하여 실제 폭염취약지역에 설치된 시설과 추가로 설치될 폭염저감시설의 적지를 분석하고자 한다. 그리고 드론으로 열영상을 취득하여 폭염취약지역을 분석하는 연구를 진행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NO. NRF-2020R1I1A3061750)

References

Ahn, J.S. and Kim, H.D. (2006), On the seasonal variation of urban heat island intensity according to meteorological condition in Daegu, *J. Environ. Science*, Vol. 15, No. 6, pp. 527-532. (in Korean with English abstract)

Anselin, L. (1995), *SpaceStat Version 1.80 User's Guide*, Regional Research Institute, West Virginia University.

Choi, Y.S., Kim, J.W. and Lim. U. (2018), An analysis on the spatial patterns of heat wave vulnerable areas and adaptive capacity vulnerable areas in Seoul, *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 53, NO. 7, pp. 87-107. (in Korean with English abstract)

Cho, H.M., Ha, J.H. and Lee, S.G. (2019), Exploring physical environments, demographic and socioeconomic characteristics of urban heat island effect areas in Seoul, Korea, *Journal of the Korean Regional Science Association*, Vol. 35, No. 4, pp. 61-73. (in Korean with English abstract)

Giridharan, R., Ganesan, S., and Lau, S. S. Y. (2004), Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong, *Energy*

and Buildings, Vol. 36, No.6, pp. 525-534.

Kim, E.Y., Jeon, S.W., Lee, J.W., Park, Y.H. and Lee, D.K. (2012), Local adaptation plan to climate change impact in Seoul: focused on heat wave effects, *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 21, No. 1, pp. 71-80. (in Korean with English abstract)

Kim, J.H. and Kim, H.D. (2017), Spatial distribution of air temperature during an extreme heat period in Daegu metropolitan area in 2016, *Journal of Environmental Science International*, Vol. 26, No. 9, pp. 1023-1029. (in Korean with English abstract)

Kim, J.S., Lee, D.K., Sung, S.Y., Jeong, S.G. and Park, J.H. (2015), Study of vulnerable district characteristics on urban heat island according to land use using normalized index - focused on Daegu Metropolitan City residential district -, *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 50, No. 5, pp. 59-72. (in Korean with English abstract)

Kim, K.K. (2003), Detecting spatial autocorrelation and using spatial regression, *Korean Journal of Policy Analysis and Evaluation*, Vol. 13, No. 1, pp. 273-294.(in Korean)

Korea Meteorological Administration. (2018), *Newsletter Abnormal Climate Monitoring*, No. 11-1360000-000072-08, Korea Meteorological Administration, Seoul, pp. 1-2

Kwon, Y.S. (2015), *Consideration for a Environment-Friendly City by Reducing the Urban Heat Effect*, ISBN 978-89-8288-482-5, Daegu Gyeongbuk Development Institute Daegu, pp. 1-122.

Kwon, Y.S. (2018), Estimation and countermeasure of the heat wave cause of Daegu Metropolitan basin from the urban structural dimension, *The Korea Spatial Planning Review*, pp. 23-35. (in Korean with English abstract)

Kwon, Y.S., Jeong, K.W. and Choi, Y.J. (2017), *Strategy Against Heat Wave in Urban Area of Metropolitan Region of Daegu*, Report 2017-25, ISBN 978-89-8288-579-2 Daegu Gyeongbuk Development Institute, Daegu, pp. 1-128.

Lee, G.G. and Cha, J.W. (2019), A study on identification of the heat vulnerability area - Case study in Chungcheongnamdo -, *Journal Of The Korean Society Of Rural Planning*, Vol. 25, No. 1, pp. 67-74. (in Korean with English abstract)

Lee, D.G., Byon, J.Y., Choi, Y.J. and Kim, K.R. (2010), Relationship between summer heat stress(perceived temperature) and daily excess mortality in Seoul during 1991~2005, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 26, No. 3, pp. 253-264. (in Korean with English abstract)

Lim, S.H. and Cho, G.S. (1999), The application of fuzzy spatial overlay method to the site selection using GSIS, *Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 17, No. 2, pp. 177-187. (in Korean with English abstract)

Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., Linden, P and Hanson, C. (2007), *Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*, ISBN 978-0521-70597-4, Climate change, New York, pp. 1-976.

Robitu, M., Musy, M., Inard, C., and Groleau, D. (2006), Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate, *Solar Energy*, Vol. 80, No. 4, pp. 435-447.

Yun, S.G., Choi, B.S. and Jeon, E.C. (2013), A study on vulnerability assessment to climate change in Siheung-si, *Journal of Climate Change Research*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-10. (in Korean with English abstract)