

기후위험에 대비한 폭염 적응정책의 효과성 평가 : 지역수준 건강영향평가 방법론의 적용*

Evaluating the Effectiveness of Heat-Wave Adaptation Policies against Climate Risk: Application of Local-Level Health Impact Assessment

양희진** · 윤희연***

Yang, Hee Jin · Yoon, Heeyeun

Abstract

This study aims to empirically assess the effects of heat-wave adaptation policies on the incidence of heat-related illnesses. The study period is the summer of 2018, in which the temperature in South Korea reached a record high. We tested the four generalized linear models, including the Poisson, negative binomial, zero-inflated Poisson, and zero-inflated negative binomial regressions. After fitting these with the heat-related patients count data, we selected the zero-inflated negative binomial analysis for its superior goodness-of-fit. The results suggested that temperature increment is associated with the number of patients with heat-related symptoms regardless of whether or not a heat warning went off. Further, the empirical results demonstrated that the increase of both urban forests and cooling shelters in residential areas are associated with lower incidences of heat-related illnesses. Given that climate change is expected to increase the intensity and duration of heat waves, it is necessary to establish better systems for both weather prediction and information delivery in implementing heat warnings. Furthermore, this study suggests that green land use planning and heat-illness prevention programs could be viable measures for preventing adverse effects on human health from extreme weather events.

주제어 폭염, 기후변화, 토지이용, 건강영향, 영과잉 음이향 모형

Keywords Heat Waves, Climate Change, Land Use, Health Impact, Zero-inflated Negative Binomial Model

1. 서론

기후변화로 인해 폭염, 한파와 같은 이상기온 현상과 홍수, 산사태 등 자연재해가 증가하면서 사회경제적 피해를 최소화하기 위한 적응(adaptation) 정책의 도입이 중요해지고 있다. 온실가스 배출량을 줄여 기후변화의 속도를 완화(mitigation)하는 노력과 함께 기후변화 적응계획이 정책적 우선순위에 놓이게 된 배경에

는 이미 상당량 배출된 온실가스가 개인의 건강 및 안전에 위협을 미치고 있으며 그 영향력이 더욱 커질 것으로 예상되기 때문이다 (Solomon et al., 2009; 유정민·윤순진, 2015). 이에 따라 2010년 개최된 제16차 유엔기후변화협약 당사국총회는 간쿤 기후변화 적응체계(Cancun adaptation framework)를 채택하고, 기후변화 적응정책에 대한 국제적 관심을 촉구하였다. 국내에서는 기후위험에 대한 도시 및 지역 차원의 대응력을 높이고자 2012년부터

* 본 연구는 환경부의 재원으로 환경산업기술원의 기후변화대응사업 지원을 받아 수행되었음(과제번호: 201800131002).

** Research Assistant Professor, Incheon Studies Institute, Incheon National University (First Author: hjyang@inu.ac.kr)

*** Associate Professor, Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University (Corresponding Author: hyoon@snu.ac.kr)

16개 광역자치단체별로 기후변화 적응 세부계획을 수립하였으며, 2015년부터 「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」에 따라 모든 기초 자치단체들에서 적응계획 수립을 의무화하고 있다(이정석 외, 2010; 유정민·윤순진, 2015).

기후변화의 위험이 높아지는 가운데 여름철 폭염의 발생빈도와 강도 모두 증가하고 있다. 특히 폭염은 여러 기상재해 중에서 건강 피해가 가장 높은 재해로 평가되는데(WHO, 2011; 이수형·신호성, 2014), 고온 환경의 노출은 온열질환 관련 초과사망을 유의미하게 증가시키고 심혈관 등 기저질환을 앓고 있는 환자들의 건강에 부정적인 영향을 미치기 때문이다(Smoyer-Tomic and Rainham, 2001; 우경숙 외, 2019). 국내의 경우 2018년 여름은 기상관측이 시작된 1907년 이래 역대 가장 무더웠던 기간으로 기록되고 있다(기상청, 2018). 이로 인해 연평균 10명 정도 발생하던 온열질환 사망자가 2018년에는 크게 증가하여 48명으로 집계되었다(임연희, 2019).

폭염으로 인한 일사병, 열탈진 등의 온열질환 발병위험을 낮추기 위하여 다양한 지역사회 적응정책이 도입되었다. 국내에서는 2008년부터 폭염특보제를 시행하고 있으며, 지역사회 보건사업으로 폭염정보 전달체계, 에어컨 시설이 구비된 무더위쉼터의 운영, 취약계층 건강관리사업 등이 기초 자치단체 단위에서 이행되고 있다(채수미 외, 2016; 양희진·윤희연, 2019). 도시 및 조경계획 분야에서도 토지이용 및 도시설계 대안을 모색하면서 녹지공간 확충, 건물외벽 및 옥상 녹화를 통해 도시열섬현상이 완화될 수 있음을 밝히고 있다(김용진 외, 2011; Park et al., 2019). 이처럼 지역수준 단위의 폭염적응정책에 대한 논의가 이루어지고 있으나, 적응정책 도입에 따른 건강영향 완화효과에 관해 통합적으로 분석을 시도한 연구는 현재까지 이루어진 바 없다.

이에 본 연구는 폭염에 따른 질병 부담을 완화하기 위한 도시 및 지역관리 방안에 대한 논의가 필요하다는 문제인식 하에, 통합적인 분석틀에서 폭염적응정책이 지역사회 거주민들의 건강영향에 미치는 효과에 관해 실증적 분석결과를 제시하는 것을 목적으로 한다. 현재까지 지역수준의 건강영향 평가 방법론은 환경학 및 공중보건 분야에서 폭염과 같은 자연위해요인의 증가에 따른 영향을 평가하는 데 주로 이용되어 왔다. 본 연구는 이러한 방법론을 확장하여 기온 및 폭염지속일수와 같은 자연위해요인, 지역의 인구 및 사회경제적 환경 특성, 그리고 폭염적응정책을 통합적으로 고려하는 분석틀을 이용하여 폭염적응정책의 도입 및 확대에 따른 건강영향 효과를 평가하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 역대 폭염 영향이 가장 컸던 2018년 여름(7-8월) 수도권 66개 시군구별 자료를 구축하였으며, 온열질환 상병자수의 가산자료(count data)를 이용하는 방법론을 도입하였다. 이를 통해 기후변화 적응정책의 건강영향을 평가하기 위한 분석 모형을 개발하고 기후위험에 대응하는 도시 및 지역관리 방안에 관한 시사점을 도출하고자 한다.

이후 제Ⅱ장에서는 폭염 적응정책의 효과 평가에 관한 문헌 고찰을 통해 본 연구의 차별성을 제시하고, 제Ⅲ장에서는 가산자료의 분석모형과 분석자료, 변수구성에 관한 분석틀을 설명한다. 제Ⅳ장에서는 수도권 기초자치단체별 온열질환 상병자수 및 지역요인 특성에 관한 기초통계를 제시하고, 포아송 모형, 음이항 모형, 영과잉 포아송 모형, 영과잉 음이항 모형에 대한 모형 비교를 통해 폭염 적응정책의 효과에 관한 실증 결과를 제시한다. 마지막으로 제Ⅴ장에서 결론과 함께 기후위험에 대응하는 도시 및 지역관리 방안에 관한 정책적 시사점을 도출한다.

II. 문헌고찰 및 연구의 차별성

폭염의 건강영향평가는 예방의학 및 공중보건 분야에서 주로 다루어져 왔다. 폭염 기간 보건사업 시행에 따른 건강위험의 저감효과를 다루는 실증연구들은 1999년 미국과 2003년 유럽에서 발생한 폭염 재해 이후 논의가 활발히 이루어지기 시작하였다(Kaiser et al., 2001; Naughton et al., 2002; Bassil and Cole, 2010; Schifano et al., 2012). 이러한 연구들은 폭염 위험에 관한 정보가 실제 사람들에게 전달되었는가, 이에 따라 개인의 행동 변화가 이루어졌는가, 그리고 온열질환에 따른 사망 및 상병률의 감소가 이루어졌는가로 나누어 평가되고 있다(Bassil and Cole, 2010).

폭염 경보제(heat alarm system)는 폭염의 위험으로부터 인명 피해를 저감시키고자 세계의 많은 국가에서 시행되고 있는 대표적인 폭염 적응정책이다. 이와 관련하여 Ebi et al.(2004)는 1995년부터 시행된 미국 필라델피아 폭염 경보제로 인해 3년간 약 117명의 인명을 구한 편익을 확인하였으며 운영비용 21만 달러와 비교할 때 편익이 훨씬 크다고 주장하였다. 또한 Schifano et al.(2012)는 2003년 유럽에서 발생한 대규모 폭염 발생 이후 여러 국가들에서 폭염정보 제도 및 다양한 보건사업이 시행되었음을 지적하면서, 이탈리아 16개 도시들의 폭염으로 인한 고령자의 일별 사망률이 폭염 경보제 시행 이후 유의미하게 감소하는 것을 확인하였다. Chau et al.(2009) 역시 홍콩을 사례로 폭염 경보의 효과를 확인하였는데, 폭염 경보제 도입 이후 온열질환으로 인한 사망이 65세 이상 고령자는 약 0.97명/일, 심장질환자는 약 1.23명/일 감소되었음을 확인하였다.

폭염 경보제 도입에 따른 초과사망자 저감효과에 관한 다양한 실증적 결과들이 축적되는 가운데, 무더위쉼터의 지역사회 도입으로 인한 건강위험 저감효과에 관한 논의도 이어지고 있다. Kaiser et al.(2001)는 1999년 미국 오하이오주 신시네티의 여름 폭염 재해로 인해 18명의 온열질환 사망이 발생하였는데, 에어컨과 같은 냉방시설을 집에 갖추고 있거나 냉방설비가 있는 무더위쉼터를 이용하게 함으로써 온열질환 발생을 저감시킬 수 있음을 주장하였다. 이와 관련하여 Naughton et al.(2002)는 80명의 사망자를

기록한 1999년 미국 시카고의 폭염 재해를 사례로 폭염 발생 전 냉방시설을 갖춘 무더위쉼터를 방문한 경우 사망발생의 오즈비(odds ratio)가 0.2배 낮아지는 것을 확인하였다. Bouchama et al.(2007)는 체계화된 선행연구 분석을 통해 온열질환 관련 발생 위험의 오즈비 변화를 확인하였으며, 냉방시설을 갖춘 무더위쉼터의 이용은 온열질환 사망의 오즈비를 약 0.34배 낮추는 것을 확인하였다. 이와 같이 기존 연구들은 여름철 폭염 재해 발생 시 냉방시설 이용에 대한 접근을 높이는 것이 온열질환으로 인한 건강 위험을 줄일 수 있음을 밝히고 있다.

이와는 달리 도시 및 조경계획 분야에서는 도시의 미기후환경 변화를 직접 측정하여 도시녹화가 열섬현상의 완화에 효과적임을 밝히고 있다. 김용진 외(2011)는 도시열섬계수를 이용하여 녹지비율이 증가할수록 도시열섬현상이 유의미하게 감소되는 것을 실증하였다. 김수영 외(2015)는 인구와 기반시설이 밀집되어 있는 도시지역에서 기후변화로 인한 재해위험이 높아짐을 지적한 바 있다. 인천시를 대상으로 폭염 기록일과 도시지역 특성 간의 관계를 분석하였는데, 도시의 총 녹지면적은 폭염 발생 여부에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 평가하였다. 반면, 이수형·신호성(2014)은 전국을 대상으로 기초자치단체별 온열질환의 질병부담 위험수준을 분석하였는데, 비도시지역 비율이 높은 농촌 지역에서 온열질환 질병부담이 높게 나타남을 밝혔다. 이와 같이 지역수준의 환경특성과 폭염 및 열섬현상의 관계를 탐색하는 실증연구들이 이어지고 있지만, 폭염에 따른 질병부담 완화 효과에 관한 실증연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

기존 선행 연구들은 기후변화 적응정책 도입의 필요성을 강조하면서 폭염 적응 정책 도입에 따른 건강영향 저감효과에 관해 실증 연구를 수행하고 있다(Weisskopf, 2002; Bassil et al., 2007; Bassil and Cole, 2010). 그러나 도시녹화와 같은 물리적 토지이용을 포함하여 다양한 적응정책의 효과를 통합적으로 분석한 실증 연구는 수행된 바 없다. 본 연구는 가산자료를 이용한 분석 방법론의 적용을 통해 방법론적 한계를 극복하고 실제 수도권 기초자치단체의 온열질환 발병 환자수를 이용하여 적응정책 효과에 관한 영향을 실증하고자 한다는 점에서 기존 연구와 차별성을 지닌다.

III. 분석틀

1. 분석모형

본 연구에서는 하루 동안 발생한 자치구별 온열질환 상병자수를 종속변수로 이용하였다. 상병자수 자료는 음이 아닌 정수 값을 지니는 가산자료에 해당하는데, 이산적(discrete)인 분포와 함께 한쪽으로 기울어진 분포형태를 따르기 때문에 최소자승법을 이용한 회귀모형을 적용하게 되는 경우 모형추정의 효율성이 감

소될 수 있다(Tutz, 2011:181; Gimeno-Feliu et al., 2016). 이에 공중보건 및 의학 분야에서는 일자별 특정 질환 상병자수나 일정 기간 보합청구 횟수 등의 가산자료 분석에 있어 포아송 회귀모형이나 음이항 회귀모형을 이용하여 분석을 수행하여 왔다. 도시계획 분야에서도 교통사고 발생건수(서지민·이수기, 2016; Choi et al., 2018), 범죄 발생건수(곽명신 외, 2017), 사회적기업의 입지수(이민주·박인권, 2013), 주택매매거래 사례수(김동현·이상정, 2018) 등에 이러한 가산자료 분석방법이 이용된 바 있다.

포아송(poisson) 회귀모형은 가산자료인 종속변수의 확률분포가 식 (1)과 같은 포아송 분포를 따른다고 가정한다. 포아송 분포는 일정시간 또는 공간 내에서 사건이 무작위로 발생할 때의 발생 횟수와 그에 대응하는 확률분포를 의미하며, 여기에서 포아송 파라미터 μ_i 는 추정되어야 할 모수로서 본 연구에서는 상병자 확률변수의 기댓값을 의미한다. 포아송 회귀모형은 식 (2)와 같이 포아송 확률변수의 기댓값(평균)과 분산이 같다는 가정을 취하고 있는데, 확률변수의 기댓값은 설명변수들의 선형함수 형태($x'\beta$)로 추정할 수 있다. 이때 추정계수는 독립변수의 한 단위 증가에 대한 종속변수 로그 값의 차이를 의미하며, 로지스틱 회귀함수와 같이 추정계수의 지수값을 이용하여 해석할 수 있다.¹⁾

$$P(Y=y_i)=\frac{\mu_i^{y_i}e^{-\mu_i}}{y_i!} \quad (1)$$

$$\mu_i=E(Y|X)=Var(Y|X)=\exp(x'\beta) \quad (2)$$

음이항(negative binomial) 회귀모형은 평균보다 분산이 더 큰 과대산포(over-dispersion)를 고려한다는 점에서 차이를 지니며, 포아송 분포와 감마분포의 혼합분포 모형으로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (3)과 (4)의 α 는 과분산계수, p 는 상수를 의미하며 일반적으로 $p=2$ 인 NB2 모형을 이용한다. 분산이 평균(μ_i)보다 커지는 과산포 존재여부($\alpha>0$)에 대한 검정은 우도비 검정(likelihood ratio test)을 이용하는데, 포아송 분포를 가정한 모형의 로그우도 값과 음이항 분포를 가정한 모형의 로그우도 값이 같다는 귀무가설을 검정하여 α 값의 유의확률을 통해 음이항 회귀모형 적용의 적합성을 확인할 수 있다(Hilbe, 2014). 이처럼 음이항 회귀모형은 포아송 회귀모형의 평균과 분산이 동일하다는 가정을 완화함으로써 더욱 정확한 추정결과를 제공한다는 장점을 지닌다(이민주·박인권, 2013; 서지민·이수기, 2016; 곽명신 외, 2017).

$$P(Y=y_i)=\frac{\Gamma(y_i+\alpha^{-1})}{\Gamma(y_i+1)\Gamma(\alpha^{-1})}\left(\frac{\mu_i}{\mu_i+\alpha^{-1}}\right)^{y_i}\left(\frac{\alpha^{-1}}{\mu_i+\alpha^{-1}}\right)^{\alpha^{-1}} \quad (3)$$

$$\mu_i=E(Y|X), Var(Y|X)=\mu_i+\alpha\mu_i^p \quad (4)$$

그러나 0값이 기대빈도 이상 관측되는 경우 전통적인 포아송과

음이항 모형 대신 영팽창확률(ϕ_i)을 포함하여 모형을 구성함으로써 추정결과의 왜곡을 방지하고 모형의 설명력을 높일 수 있다 (Hilbe, 2014:172-209; Gimeno-Feliu et al., 2016; Choi et al., 2018). 영과잉(excess zero) 모형은 식 (5)와 같이 확실한 0값에 해당하는 그룹(certain zero)이 존재하여 0값이 기대분포보다 커지게 되는 것을 가정한다. 예를 들어 본 연구에서와 같이 상병자수를 대상으로 하는 경우 온열질환의 발병확률과는 무관한 개인의 독특한 생활패턴 등으로 인해 온열질환 상병자수에 집계되지 않는 상황을 고려할 수 있다. 이때 영팽창확률(ϕ_i)은 식 (6)과 같이 로짓 연결함수에 의해 추정되며 본 연구에서는 실증분석 결과의 팽창모형(inflate)에서 추정결과를 제시하였다.

$$f(Y=y_i)= \begin{cases} \phi_i + (1-\phi_i)P(Y=y_i) & \text{for } y_i=0 \\ (1-\phi_i)P(Y=y_i) & \text{for } y_i=1,2,\dots \end{cases} \quad (5)$$

$$\phi_i = \frac{\exp(z_i'\gamma)}{1+\exp(z_i'\gamma)} \quad (6)$$

식 (5)의 $P(Y=y_i)$ 는 상병자수에 대한 확률변수를 의미하는데 포아송 또는 음이항 분포가 이용된다. 이에 따라 영과잉 모형은 식 (7)의 영과잉 포아송 모형(zero-inflated poisson)과 과대산포를 고려하는 식 (8)의 영과잉 음이항 모형(zero-inflated negative binomial)으로 구분할 수 있다. 영과잉 모형에 대한 검정은 AIC, BIC 값이 적을수록 설명력이 좋아진 것으로 해석할 수 있다. 일부 선행연구들에서는 부웅(Vuong) 검정방법을 이용하여 영과잉 모형을 비교하였는데(Gimeno-Feliu et al., 2016; Choi et al., 2018; 김동현·이상경, 2018), Wilson(2015)은 부웅 검정결과가 정확하지 않음을 이론적으로 제기한 바 있다. 이에 현재 STATA 15 프로그램에서는 더 이상 부웅 검정 결과를 제공하지 않으며 AIC와 BIC 값을 이용할 것을 권고하고 있다.

$$f(Y=y_i)= \begin{cases} \phi_i + (1-\phi_i)e^{-\mu_i} & \text{for } y_i=0 \\ (1-\phi_i)\frac{\mu_i^{y_i}e^{-\mu_i}}{y_i!} & \text{for } y_i=1,2,\dots \end{cases} \quad (7)$$

$$f(Y=y_i)= \begin{cases} \phi_i + (1-\phi_i)\left(\frac{\alpha^{-1}}{\mu_i + \alpha^{-1}}\right)^{\alpha^{-1}} & \text{for } y_i=0 \\ (1-\phi_i)\frac{\Gamma(y_i + \alpha^{-1})}{\Gamma(y_i + 1)\Gamma(\alpha^{-1})}\left(\frac{\mu_i}{\mu_i + \alpha^{-1}}\right)^{y_i}\left(\frac{\alpha^{-1}}{\mu_i + \alpha^{-1}}\right)^{\alpha^{-1}} & \text{for } y_i=1,2,\dots \end{cases} \quad (8)$$

2. 분석자료 및 변수

본 연구는 2018년 7월 1일부터 8월 31일까지 건강보험심사평가원에서 제공하는 수도권 시군구별 온열질환 상병자수 자료를 이용하였다. 온열질환 상병자수는 채수미 외(2016), 양희진·윤희연(2019)과 같이 온열질환 상병코드(T67)를 이용하였으며, 주상병 및 부상병 1요인에 해당하는 경우를 대상으로 하였다. Bassil et al.(2007)는 폭염으로 인한 온열질환의 양상을 다음과 같이 5단계로 구분하여 설명한다. 1단계는 피부발진과 같은 가벼운 증상, 2단계는 열경련, 열탈진, 열사병 등의 온열질환의 진단, 3단계는 응급 이송에 따른 응급의료 서비스, 4단계는 입원, 5단계는 사망에 이르게 된다고 설명한다. 본 연구는 열피로, 열경련, 열탈진 등의 온열질환과 관련된 상병자수를 이용하고 있으므로 5단계 사망을 제외한 1~4단계의 온열질환 관련 상병자수를 포함하는 것으로 이해할 수 있다.

기후위험의 사회경제적 영향은 자연위해요인 외에 기후위험에 노출된 인구사회학적 특성요인과 지역의 사회경제적 취약요인으로 평가되어 왔다(IPCC, 2014:24). 본 연구에서는 폭염 적응정책의 효과성을 평가하는 데 초점을 두어 기온, 폭염지속일수와 같은 자연위해요인(hazard), 지역의 인구 및 사회경제적 환경 특성을 통제하기 위한 노출요인(exposure), 그리고 본 연구의 핵심 변수인 폭염의 건강영향을 저감시킬 수 있는 녹지 및 무더위쉼터와 같은 적응요인(adaptation)으로 변수를 구성하였다.

보다 구체적으로 변수 구성은 다음과 같이 이루어졌다. 자연위해요인은 해당 일자의 일최고기온, 해당 일자까지의 폭염 특보 지속일수, 그리고 근로일에 해당하는 평일 여부를 포함하였다. 이때 일최고기온은 자동기상관측소(AWS)의 관측값을 이용하였는데, 기초자치단체별 2개 이상 자동기상관측소가 위치하는 경우 해당 지역 내 관측소들의 평균값을 이용하고, 기상관측소가 위치하지 않는 경우 가장 근거리에 위치하는 기상관측소의 관측값을 이용하였다. 취약요인은 김수영 외(2015), 이수형·신호성(2014)을 참고하여 인구밀도, 고령인구비율과 같은 기후위험에 노출된 인구사회학적 특성과 재정자립도, 비도시지역 면적비율을 포함하였다.

무엇보다 본 연구의 초점이 되는 적응요인에는 기초자치단체별 인구당 도시립 면적, 생활권 도시립 면적(생활립 면적), 그리고 무더위쉼터 개소를 포함하였다. 도시립 및 생활립 면적은 산림청에서 제공하는 2017년 말 기준 전국 도시립 현황통계를 이용하였는데, 생활립이란 실제 주거지역 내에 위치하는 녹화면적으로 도로나 하천변 녹지, 담장녹화지, 옥상녹화 등을 포함한다(산림청, 2018). 이에 반해 도시립 면적은 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따른 도시립과 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에 따른 공원녹지 면적을 모두 포함하는 산림 및 수목의 총면적을 의미한다. 무더위쉼터 개소는 공공데이터포털에서 제공하는 2018년

기온 변화에 따른 온열질환 상병자수 증가 영향이 더욱 큰 것으로 확인되었다. 이는 폭염특보일에 고온의 환경에 더욱 노출되었기 때문인 것으로 이해할 수 있다. 이와 관련하여 본 연구의 기술통계에 기술한 바와 같이 폭염특보가 시행되지 않은 날에도 일 최고기온의 관측값이 폭염정보의 시행 기준인 35℃ 이상 기록되고 있음을 염두할 필요가 있다. 향후 기후변화로 인해 전 지구의 기온이 상승하고 폭염의 강도, 지속일수가 늘어날 것으로 예측됨에 따라 기후위험의 건강영향을 저감시키기 위해서는 무엇보다 폭염특보 시행의 예측력 및 정확도를 높일 필요가 있음을 시사한다.

본 연구는 도시립 전체 면적과 생활립 면적을 비교하여 녹지 조성의 온열질환 질병 부담 완화효과에 대해 실증적인 결과를 제공하고 있다. 흥미로운 점은 도시립 전체 면적의 증가는 온열질환 상병자수 저감에 유의미한 영향을 미치지 않았으나, 생활지역과 연계된 녹지공간의 확대는 온열질환 상병자수를 0.98~0.99배 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 기후변화의 위험이 증대되는 상황에서 거주지역과 연계한 생활립 조성 노력이 필요함을 확인해주는 결과이다. 향후 건물 외벽 녹화 및 보행로 식재 등의 구체적인 녹화계획을 통해 생활립 면적을 확대하는 도시 및 지역관리 방안이 이루어질 필요가 있음을 시사해 준다.

마지막으로 본 연구는 무더위쉼터 조성을 통해 온열질환 상병자수를 낮출 수 있음을 확인하였다. 기존 선행연구들은 냉방시설 설비가 있는 장소를 방문하는 것만으로 온열질환에 따른 건강위험을 낮추고 초과사망자 발생을 줄일 수 있음을 제기한 바 있다(Kaiser et al., 2001; Bouchama et al., 2007). 이와 같은 결과는 특히 냉방시설의 가동이 어려운 저소득 주거가구가 밀집한 지역을 중심으로 무더위쉼터의 조성 노력이 필요함을 의미한다. 한국 환경정책·평가연구원(2016)의 연령별 온열질환 발생 비교에 따르면 60대 이상 고령자가 31%, 40~50대 중장년층이 38%에 이르는 것으로 나타났다. 현재 무더위쉼터는 노인정을 중심으로 조성되고 있는데, 공공시설 등을 포함하는 무더위쉼터를 조성하여 저소득 중장년층들이 접근하기 쉬운 장소로 확대될 필요가 있다.

본 연구는 시군구 단위의 기초자치단체의 일자별 환자수를 통합하여 분석에 이용하였는데 개별 폭염 특보활동 자료에 대한 신뢰도를 확보하지 못하여 다양한 폭염 적응정책의 효과를 비교하지 못한 한계를 지닌다. 향후 폭염 적응정책에 관한 풍부한 자료를 취합할 수 있다면 본 연구에서 제안하는 분석틀을 확장하여 도시 및 지역 관리방안의 건강영향에 대해 실증하는 후속 연구들이 이루어질 수 있을 것으로 기대한다.

지속될 것으로 예상될 때, 폭염경보는 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 시행됨.

주3. 폭염특보 피해예방활동은 시군구별 단위에서 활동내용에 대해 집계하고 있음. 그러나 자료의 일관성 및 신뢰도를 확보할 수 없어 본 연구에서는 개별 투입 내용을 분석에 포함하지 않았음.

인용문헌

References

1. 광명신·권정주·성현곤, 2017. “도시의 물리적 환경이 범죄유형별 발생시점별 범죄발생에 미치는 영향”, 『국토계획』, 52(4): 225-236.
Kwak, M.S., Kwon, J.J., and Sung, H.G., 2017. “Impacts of Urban Physical Environment on Crime Incidence by Its Type and Time”, *Journal of Korea Planning Association*, 52(4): 225-236.
2. 기상청, 2018. “2018년과 1994년 폭염 비교”, 서울.
Korea Meteorological Administration, 2018. “Comparison of 2018 and 1994 Heat Waves”, Seoul.
3. 김동현·이상경, 2018. “아파트 단지특성이 주택매매거래율에 미치는 영향”, 『부동산학연구』, 24(4): 53-68.
Kim D.H. and Lee S.K., 2018. “The Effect of Characteristics of Apartment Complex on the Count Rate of House Transaction”, *Journal of the Korea Real Estate Analysis Association*, 24(4): 53-68.
4. 김수영·박창석·변병석, 2015. “기후변화 리스크 평가에 기초한 도시관리 전략: 인천광역시를 대상으로”, 『국토지리학회지』, 49(4): 479-490.
Kim, S.Y., Park, C.S., and Byun, B.S., 2015. “Urban Management Strategies Based on Climate Change Risk Assessment”, *The Geographical Journal of Korea*, 49(4): 479-490.
5. 김용진·강동화·안건혁, 2011. “기후변화에 따른 도시열섬현상 특성 변화와 도시설계적 대안 모색에 관한 기초연구”, 『도시설계』, 12(3): 5-14.
Kim, Y.J., Kang, D.H., and Ahn, K.H., 2011. “Characteristics of Urban Heat-Island Phenomena caused by Climate Changes in Seoul, and Alternative Urban Design Approaches for Their Improvements”, *Journal of the Urban Design Institute of Korea*, 12(3): 5-14.
6. 산림청, 2018. 「전국 도시립 현황 통계」, 대전.
Korea Forest Service, 2018. *National Urban Forest Statistics*, Daejeon.
7. 서지민·이수기, 2016. “서울시 보행자 교통사고에 영향을 미치는 물리적 환경요인에 관한 연구: 2014 TAAS 자료를 중심으로”, 『국토계획』, 51(3): 197-216.
Seo, J.M. and Lee, S.G., 2016. “A Study on the Physical Environmental Factors Influencing Pedestrian Traffic Accidents in Seoul, Korea: Focused on the 2014 TAAS Data”, *Journal of Korea Planning Association*, 51(3): 197-216.
8. 양희진·윤희연, 2019. “도시 폭염 대응정책의 성과 효율성: 서울시 온열질환 상병자수 및 의료지출을 대상으로”, 『도시행정학보』, 32(1): 31-45.
Yang, H.J. and Yoon, H.Y., 2019. “Measuring the Efficiency of Heat-Wave Action Programs in Urban Environments: Using Heat-Related Illness Data in Seoul, South Korea”, *Journal of The Korean Urban Management Association*, 32(1): 31-45.

주1. 가산자료 분석의 통계프로그램 코드 및 결과해석은 UCLA 웹사이트를 참조 (<https://stats.idre.ucla.edu/other/dae/>).

주2. 폭염특보제는 폭염주의보와 폭염경보로 구분되며 2008년 6월부터 시행되고 있음. 폭염주의보는 일 최고기온이 33℃ 이상인 상태가 2일 이상

9. 우경숙·김대은·채수미, 2019. “고온이 사망에 미치는 영향에 대한 메타분석”, 「보건사회연구」, 39(2): 10-36.
Woo, K.S., Kim, D.E., and Chae, S.M., 2019. “High Temperature-Related Mortality in Korea: A Meta-Analysis of the Empirical Evidence”, *Health and Social Welfare Review*, 39(2): 10-36.
10. 유정민·윤순진, 2015. “런던과 뉴욕 기후변화 적응정책의 제도화와 거버넌스 구조에 대한 비교 연구”, 「사회과학연구」, 26(3): 217-247.
Yu, J.M. and Yun, S.J., 2015. “A Comparative Study on the Institutionalization of Climate Change Adaptation Policies and their Governance Structure of London and New York City”, *Journal of Social Science*, 26(3): 217-247.
11. 이민주·박인권, 2013. “가산자료 회귀모형을 이용한 사회적기업의 입지요인 분석”, 「국토계획」, 48(4): 151-168.
Lee, M.J. and Park, I.K., 2013. “Analyzing the Location Factors of Social Enterprises with Count Data Regression Models”, *Journal of Korea Planning Association*, 48(4): 151-168.
12. 이수형·신호성, 2014. “기초자치단체의 폭염으로 인한 온열 및 심뇌혈관질환 부담”, 「보건교육건강증진학회지」, 31(4): 51-62.
Lee, S.H. and Shin, H.S., 2014. “Municipal Disease Burden Attributable to Heat Wave”, *Korean Journal of Health Education and Promotion*, 31(4): 51-62.
13. 이정석·김이진·유승연, 2010. “국제 기후변화협상 동향과 전망”, 「환경포럼」, 15(2): 1-8.
Lee, J.S., Kim, I.J., and Yu, S.y., 2010, “International Climate Change Negotiation Trends and Prospects”, *Environmental Forum*, 15(2): 1-8.
14. 임연희, 2019. “폭염이 건강에 미치는 영향”, 「보건복지포럼」, 269: 7-19.
Lim, Y.H., 2019. “The Health Effects of Heat Waves”, *Health and Welfare Forum*, 269: 7-19.
15. 채수미·김남순·윤석준, 2016. “폭염의 건강영향을 완화하기 위한 지역사회 보건사업의 효과 평가”, 「보건사회연구」, 36(3): 179-203.
Chae, S.M., Kim, N.S., and Yoon, S.J., 2016. “The Effectiveness of Community Public Health Interventions in Alleviating the Health Impacts of High Temperatures”, *Health and Social Welfare Review*, 36(3): 179-203.
16. 한국환경정책·평가연구원, 2016. “폭염대비 무더위쉼터의 실효성 제고 방안”, 「KEI 포커스」 4(1): 1-26.
Korea Environment Institute, 2016. “Measures to Improve the Effectiveness of the Hot Shelter against Heat Waves”, *KEI Focus*, 4(1): 1-26.
17. Bassil, K., Cole, D.C., Smoyer-Tomic, K., Callaghan, M., and Heat Episode Public Health Intervention Review Team, 2007. *What is the Evidence on Applicability and Effectiveness of Public Health Interventions in Reducing Morbidity and Mortality during Heat Episodes?: A Review for the National Collaborating Centre for Environmental Health*, Vancouver: National Collaborating Centre for Environmental Health.
18. Bassil, K. and Cole, D., 2010. “Effectiveness of Public Health Interventions in Reducing Morbidity and Mortality During Heat Episodes: A Structured Review”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(3): 991-1001.
19. Boeckmann, M. and Rohn, I., 2014. “Is Planned Adaptation to Heat Reducing Heat-Related Mortality and Illness? A Systematic Review”, *BMC Public Health*, 14: 1-13 (Article No. 1112).
20. Bouchama, A., Dehbi, M., Mohamed, G., Matthies, F., Shoukri, M., and Menne, B., 2007. “Prognostic Factors in Heat Wave-Related Deaths: A Meta-Analysis”, *Archives of Internal Medicine*, 167(20): 2170-2176.
21. Chau, P.H., Chan, K.C., and Woo, J., 2009. “Hot Weather Warning Might Help to Reduce Elderly Mortality in Hong Kong”, *International Journal of Biometeorology*, 53(5): 461-168.
22. Choi, Y.W., Yoon, H.Y., and Jung, E.A., 2018. “Do Silver Zones Reduce Auto-Related Elderly Pedestrian Collisions? Based on a Case in Seoul, South Korea”, *Accident Analysis and Prevention*, 119: 104-113.
23. Ebi, K.L., Teisberg, T.J., Kalkstein, L.S., Robinson, L., and Weiher, R.F., 2004. “Heat Watch/Warning Systems Save Lives: Estimated Costs and Benefits for Philadelphia 1995-98”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(8): 1067-1073.
24. Gimeno-Feliu, L.A., Calderón-Larrañaga, A.C., Diaz, E., Poblador-Plou, B., Macipe-Casta, R., and Prados-Torres, A., 2016. “Global Healthcare Use by Immigrants in Spain according to Morbidity Burden, Area of Origin, and Length of Stay”, *BMC Public Health*, 16: 1-10 (Article No. 450).
25. Hilbe, J.M., 2014. *Modeling Count Data*, New York: Cambridge University Press.
26. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Summary for Policy Makers*, Geneva.
27. Kaiser, R., Rubin, C.H., Henderson, A.K., Wolfe, M.I., Kieszak, S., Parrott, C.L., and Adcock, M., 2001. “Heat-Related Death and Mental Illness during the 1999 Cincinnati Heat Wave”, *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 22(3): 303-307.
28. Naughton, M.P., Henderson, A., Mirabelli, M.C., Kaiser, R., Wilhelm, J.L., Kieszak, S.M., Rubin, C.H., and McGeehin, M.A., 2002. “Heat-Related Mortality during a 1999 Heat Wave in Chicago”, *American Journal of Preventive Medicine*, 22(4): 221-227.
29. Park, C.Y., Lee, D.K., and Hyun, J.H., 2019. “The Effects of Extreme Heat Adaptation Strategies under Different Climate Change Mitigation Scenarios in Seoul, Korea”, *Sustainability*, 11: 1-13 (Article No. 3801).
30. Schifano, P., Leone, M., Sario, M.D., de'Donato, F., Bargagli, A.M., D'Ippoliti, D., Marino, C., and Michelozzi, P., 2012. “Changes in the Effects of Heat on Mortality among the Elderly from 1998-2010: Results from a Multicenter Time Series Study in Italy”, *Environmental Health*, 11(1): 1-9 (Article No. 58).
31. Smoyer-Tomic, K.E. and Rainham, D., 2001. “Beating the Heat: Development and Evaluation of a Canadian Hot Weather Health-Response Plan”, *Environmental Health Perspectives*, 109(12): 1241-1248.

32. Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R., and Friedlingstein, P., 2009. "Irreversible Climate Change due to Carbon Dioxide Emissions", *PNAS*, 106(6): 1704-1709.
33. Tutz, G., 2011. *Regression for Categorical Data*, New York: Cambridge University Press.
34. Weisskopf, M.G., Anderson, H.A., Hanrahan, L.P., Blair, K., Torok, T.J., and Rumm, P.D., 2002. "Heat wave morbidity and mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs 1995: An improved response?", *American Journal of Public Health*, 92(5): 830-833.
35. Wilson, P., 2015. "The Misuse of the Vuong Test for Non-Nested Models to Test for Zero-Inflation", *Economics Letters*, 127: 51-53.
36. World Health Organization (WHO), 2011. *Heat-Health Action Plan: To Prevent the Heat Waves Consequences on the Health of the Population in the Former Yugoslav Republic of Macedonia*, Copenhagen.

Date Received	2020-01-22
Reviewed(1 st)	2020-02-25
Date Revised	2020-03-13
Reviewed(2 nd)	2020-03-27
Date Accepted	2020-03-27
Final Received	2020-03-31