

Research Paper

온열질환자 예측을 위한 최적의 지표 분석

김상혁* · 송민주** · 윤석환*** · 이동근****

서울대학교 환경대학원 협동과정조경학*, 고려대학교 환경생태공학부**,
일본 국립환경연구소***, 서울대학교 농업생명과학대학 조경지역시스템공학부****

Analysis of Optimal Index for Heat Morbidity

Sanghyuck Kim* · Minju Song** · Seokhwan Yun*** · Dongkun Lee****

Interdisciplinary program in Landscape Architecture, Seoul National University, Seoul, Korea*
Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea**
National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan***
Department of Landscape Architecture, Seoul National University, Seoul, Korea****

요약: 본 연구의 목적은 온열질환자를 설명, 예측하기 위한 최적의 폭염 관련 지표를 선정하고 예측하여 실효성을 확인하는 것이다. 2021년부터 2023년까지의 온열질환 응급실감시체계 데이터와 기상청 AWS 데이터를 기반으로 일 평균 기온, 일 최고 기온, 일 평균 WBGT, 일 최고 WBGT 값을 계산하여 회귀분석을 진행하였다. 분석 결과 네 가지 지표 중 일 최고 WBGT가 R^2 값 0.81, RMSE 0.98로 가장 적합한 지표로 나타났으며 그 임계값은 29.94도로 나타났다. 전체 분석 기간 중 해당 임계값을 초과하는 날은 총 91일이었으며 이 때 발생한 환자수는 339명으로 나타났다. 일 최고 WBGT의 회귀식을 통해 2021년부터 2023년까지의 온열질환자 수를 예측한 결과 매년 10명 미만의 오차를 보여 정확성이 상당히 높은 것을 확인할 수 있었다. 지속적인 연구를 통해 데이터 및 분석 방법을 고도화한다면, 폭염 피해를 예측 및 저감하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

주요어: 폭염, 기후변화, 온열질환, 임계값

Abstract: The purpose of this study is to select and predict optimal heatwave indices for describing and predicting heat-related illnesses. Regression analysis was conducted using Heat-related illness surveillance system data for a number of heat-related illnesses and meteorological data from the Korea Meteorological Administration's Automatic Weather Station (AWS) for the period from 2021 to 2023. Daily average temperature, daily maximum temperature, daily average Wet Bulb Globe Temperature (WBGT), and daily maximum WBGT values were calculated and analyzed. The results indicated that among the four indicators, the daily maximum WBGT showed the highest suitability with an R^2 value of 0.81 and RMSE of 0.98, with a threshold of 29.94 Celsius. During the entire analysis period, there were a total of 91 days exceeding this threshold, resulting in 339 cases of heat-related illnesses.

First Author: Sanghyuck Kim, E-mail: kimsanghyuck123@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0784-8384

Corresponding Author: Dongkun Lee, Tel: +82-2-880-4885, E-mail: dklee7@snu.ac.kr, ORCID: 0000-0001-7678-2203

Co-Authors: Minju Song, E-mail: thdalswn99@korea.ac.kr, ORCID: 0000-0001-9091-1550

Seokhwan Yun, E-mail: ysw2664@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7893-2308

Received: 25 November 2023. Revised: 10 January 2024. Accepted: 15 January 2024.

Predictions of heat-related illness cases from 2021 to 2023 using the regression equation for daily maximum WBGT showed an accuracy with less than 10 cases of error annually, demonstrating a high level of precision. Through continuous research and refinement of data and analysis methods, it is anticipated that this approach could contribute to predicting and mitigating the impact of heatwaves.

Keywords: Extreme heat, climate change, heat morbidity, threshold

I. 서론

기후변화의 영향으로 전 세계적으로 지진, 태풍, 폭염 등의 재해 및 이상기후 현상으로 인한 피해가 지속적으로 증가하고 있다. 기후변화 정부 간 위원회(Intergovernmental panel on climate change, IPCC)의 제 6차 평가보고서(Assessment Report 6, AR6)에 따르면 과거 대비 현재 지구의 평균 기온이 1.1°C 가량 높아졌으며 온실가스배출량이 유지될 경우 2040년까지 약 1.5°C 상승할 것으로 예측되고 있다. 이러한 기온 상승은 전 세계적으로 폭염의 강도와 지속 기간을 증가시켰으며 앞으로도 이러한 추세가 계속될 것으로 전망되고 있다. 우리나라 역시 기온 상승으로 인한 영향을 지속적으로 받고 있다. 보고서에 따르면 국내 평균 기온은 100년 전에 비해 약 1.6°C 상승하였으며 이러한 기온 상승으로 인해 여름철의 열대야 현상 및 폭염 일수가 지속적으로 증가하고 있다(The Government of the Republic of Korea 2023). 특히 2018년에는 서울 39.6°C, 강원도 홍천군 41°C라는 기상 관측 이래 최고 온도를 갱신하며 역사상 최악의 폭염을 기록하는 등 폭염의 강도 역시 갈수록 강해지고 있다. 다양한 선행연구들에 따르면 이러한 추세는 21세기 말까지 지속될 것으로 전망되고 있어 폭염 피해는 앞으로 더욱 심각해질 것으로 예상된다(Kim et al. 2022).

폭염의 경우 다른 재해들과는 달리 도시 내 기반시설에 피해를 주는 경우는 매우 드물다. 따라서 도시에서 폭염으로 인해 발생하는 피해는 주로 질병 및 사망과 같은 보건 분야를 중심으로 이야기되고 있다. 폭염의 경우 온열질환자 및 그로 인한 사망자를 발생시킬 뿐만 아니라 심혈관계 질환, 호흡기 질환, 심폐질환 등 다양한 질병에 영향을 주어 사망에 이르게 할 수 있다(Lim et al. 2013, Guo et al. 2011, Mora et al. 2017). 따라

서 폭염 피해를 정량화 하는 연구는 대부분 폭염으로 인한 초과사망자를 추정하는 방식을 택하고 있으며 국내에서도 다양한 연구가 이러한 방식을 채택하여 폭염 피해를 추정하고 있다(Park & Chae 2020). 그러나 초과 사망자를 추정하는 방법이 연구마다 달라 서로 다른 결과를 해석하기가 난해하고 추정하는 과정에서 폭염에 영향을 받지 않은 사망자가 포함될 수 있다는 한계점이 있다. 이러한 문제를 어느 정도 해결하기 위해 사고사, 자살, 살인 등 폭염과 연관이 없다고 생각되는 데이터를 제외하고 분석하는 연구들도 등장하고 있다.

활발하게 논의되고 있는 사망자와는 달리 온열질환자에 대한 논의는 상대적으로 매우 부족한 상황이다. 온열질환자의 경우 사망자에 비해 데이터 취득이 어렵고, 사망자 대비 심각하게 받아들여지고 있지 않아 폭염 피해를 정량화하는 연구에서 제외되는 경우가 많다. 또한 대부분의 연구에서 폭염 피해를 정량화하기 위한 지표로써 기온만을 고려하고 있다는 한계점이 있다. Chen et al.(2019)에 따르면 인체는 열 순환을 통해 폭염에 자체적으로 대응하나 상대습도가 이러한 순환 과정에 악영향을 줄 수 있어 상대습도에 따라 폭염으로 인한 영향이 크게 달라질 수 있다. 우리나라의 경우 바다와 가깝고 여름철 장마로 인해 상대습도가 높아 폭염으로 인한 피해를 설명하기 위해서는 상대습도를 고려한 지표 선정이 반드시 필요하다.

따라서 본 연구에서는 선행연구에서 사용되고 있는 지표들을 종합하여 기온만을 고려하는 지표와 기온과 습도 모두를 고려하는 지표를 선정하고 지표 간의 적합성을 비교하고자 한다. 또한 각 지표의 온열질환자 발생에 대한 임계값을 도출하여 그 의미를 비교할 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

본 연구는 국내에서 가장 큰 도시인 서울을 대상으로 하였다. 서울은 2023년 기준 약 965만명, 약 390만 가구가 거주하고 있는 대한민국에서 가장 발달된 도시이다. 도시의 면적은 약 605km²로, 주거 밀도가 매우 높은 편이며 지속적인 개발로 인해 도시열섬현상 등 다양한 도시 문제들이 지속적으로 발생하고 있다. 거주자가 많은 만큼 국내에서 가장 많은 온열질환자 및 사망자가 발생하는 도시이며, 국내 도시 중 기상청 AWS (Automated Weather Station) 지점이 가장 많아 분석 대상지로 적합하다 판단하였다.

2. 폭염 관련 지표 선정

본 연구에서는 선행연구를 참고하여 총 4개의 지표를 선정하여 비교하였다. 가장 대표적으로 폭염의 지표로 활용되고 있는 일 최고 기온, 일 평균 기온을 포함하여 일 최고 WBGT (Wet Bulb Globe Temperature, 습구흑구온도), 일 평균 WBGT를 지표로 선정하였다 (Park & Chae 2020, Kim et al. 2006, Lim et al. 2019, MA et al. 2018). WBGT는 국제표준화기구(ISO)에서 열 스트레스 지표로 채택하여 산업, 군사, 스포츠, 상업 분야의 활동규제 기준으로 활용하고 있는 지표로 기온뿐만 아니라 습도, 복사열을 고려할 수 있는 지표이다. 실제로 미국, 일본, 호주, 홍콩 기상청 등에서 활용하고 있으며 본 연구에서는 습도를 고려할 수 있는 지표로 기온과는 다른 결과를 도출할 것으로 예상된다(Lee et al. 2019).

3. 사용 데이터

본 연구에서는 온열질환자 파악을 위해 질병관리청의 온열질환 응급실 감시체계의 데이터를 활용하였다. 온열질환 응급실감시체계는 전국 500여개 응급실 운영 의료 기관이 참여하여 응급실에 내원한 온열질환자의 데이터를 수집한 것으로 매년 5월 20일부터 9월 30일까지 운영된다. 질병관리청에서는 2015년부터 온열질환 응급실감시체계 데이터를 제공하고 있으나, 2015년부터 2020년까지는 공간해상도가 시도 단위, 시간해

상도가 1주일 단위로 폭염에 따른 온열질환자 수의 변화를 파악하기에 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 시군구 단위의 공간해상도와 1일 단위의 시간해상도로 제공되는 2021년부터 2023년까지의 온열질환 응급실감시체계 데이터를 활용하여 폭염 관련 지표와 온열질환자 수의 관계를 분석하였다. 해당 데이터는 참여 기관이 제한적이며 응급실에 내원한 환자만을 대상으로 하기 때문에 전체 온열질환자를 반영하지 못한다는 한계점이 있으나, 응급환자에 대한 데이터인 만큼 당일의 기상 환경과 가장 높은 연관성을 보일 것으로 예상되어 본 연구에 가장 적합한 데이터로 선정, 분석에 활용하였다.

기상 데이터의 경우 기상청에서 1시간 간격으로 제공하는 AWS (Automated Weather Station) 데이터를 활용하였다. 서울 내부에 존재하는 30개의 AWS 지점 데이터를 활용하였으며, 1일당 총 720개(24시간, 30개 지점)의 데이터 중 가장 높은 기온을 일 최고 기온으로, 720개의 평균값을 일 평균 기온으로 활용하였다. WBGT는 별도의 추정 모델을 통해 각 지점마다 1시간 단위로 추정되었으며 마찬가지로 1일당 720개의 값 중 가장 높은 값을 일 최고 WBGT, 평균값을 일 평균 WBGT로 활용하였다. 평균 기온 및 WBGT 값들의 경우 계산 과정에서 소수점 아래 값들이 발생하게 되는데, AWS 원본 데이터 및 일 최고 기온과의 단위를 맞추기 위해 모두 소수점 둘째 자리에서 반올림한 값을 사용하였다.

4. WBGT 추정 모델

본 연구에서는 WBGT 추정을 위해 기상청에서 개발한 KMA2016 모델을 활용하였다. 국내 AWS 지점에서는 일사량을 측정하고 있지 않아 기온, 습도만을 활용하는 2변수 모델을 채택하였다. KMA2016의 경우 기온과 상대습도만을 활용하는 모델이지만 그 정확성이 상당히 높음이 선행연구를 통해 확인되었다(Lee et al. 2019). KMA2016에서 WBGT를 계산하는 식은 다음과 같다(T_a : 기온, RH: 상대습도).

$$WBGT = -0.2442 + 0.5399T_w + 0.45535T_a - 0.0022T_w^2 + 0.00278T_wT_a$$

이때, T_w 는 기온과 상대습도를 통해 계산하며, 그 식은 다음과 같다.

$$T_w = T_a \tan^{-1}[0.151977(RH+8.313659)]^{1/2} + \tan^{-1}(T_a+RH) - \tan^{-1}(RH-1.67633) + 0.00391838RH^{3/2} \tan^{-1}(0.023131RH) - 4.686035$$

5. Piecewise Linear Regression

온열질환의 경우 대부분 여름철에 발생하며, 해당 시기의 기온 및 습도와 직접적인 연관이 있다. 지역적으로 차이는 있을 수 있으나 특정 기상 환경(온도, 습도 등)을 기준으로 온열질환자가 발생하기 시작하여 계속해서 증가하는 추세를 보일 것으로 예상된다. 이러한 온열질환자의 발생 분포 및 임계값을 도출하기 위하여 본 연구에서는 Piecewise Linear Regression을 활용하였다.

Piecewise Linear Regression은 독립변수의 구간을 나누어 각 구간에 맞는 선형 회귀식을 도출하고 각각의 회귀식이 연속이 되도록 연결하는 방식의 회귀분석이다(그림 1). 이러한 방식은 특정 값을 기점으로 다른 양상을 보이는 데이터를 분석하기에 적합하여 온열질환자와 폭염 관련 지표들 간의 상관관계를 분석하기 위한 방식으로 채택하였다. 본 연구에서는 구간의 개수를 설정할 수 있도록 python을 통해 구현하여 활용하였으며 구간을 2개로 설정, 구간의 경계에 해당하는 x 값을 임계값으로 활용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 연도별 기상 및 온열질환자 발생 특성

2021년부터 2023년까지 서울특별시에서 온열질환 응급실감시체계에 기록된 환자 수는 총 422명이었다. 연도별로 살펴보면 2021년이 121명, 2022년이 110명, 2023년이 191명으로 2023년에 서울에서 가장 많은 환자가 발생한 것으로 나타났다. 데이터가 수집된 5월 20일부터 9월 30일까지 평균기온의 경우 2021년이 24.03°C, 2022년이 24.09°C, 2023년이 24.84°C로 나타나 2023년이 가장 더웠던 것으로 나타났고 그에 따라 가장 많은 환자 수가 발생한 것으로 생각된다. 그러나 2021년과 2022년은 평균기온이 거의 유사하며, 2022년이 다소 높음에도 2021년에 더 많은 환자가 발생하여 여름철 평균기온과 온열질환자 수 사이에는 유의미한 관계가 나타나지 않았다(그림 2). 반면에, 폭염일수의 경우 환자 수와 같은 추세를 보였다. 가장 많은 환자가 발생한 2023년이 35일, 그 다음으로 2021년이 32일, 2022년이 22일로 폭염일수가 증가함에 따라 환자 수도 증가하는 모습을 확인할 수 있었다(그림 3). 다만, 본 연구에서 활용된 온열질환자 수 데이터는 해당 연도에 발생한 모든 환자 수가 아니라 약 500개의 응급실에 방문한 환자 수이므로 실제 환자 수와는 오차가 있을 수 있다. 또한 폭염일수 역시 기상청에서 집계하는 방식인 '일 최고 기온이 33°C 이상'인 날짜로 계산하였기 때문에 기온뿐만 아니라 습도와의 관계성을 확인하기 위해서는 다양한 변수와의 추가 분석이 필요하다.

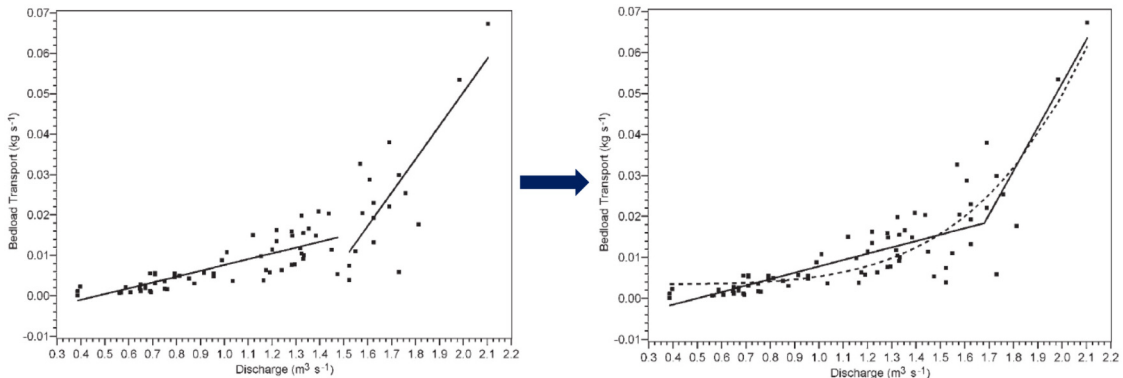


Figure 1. An example of piecewise linear regression

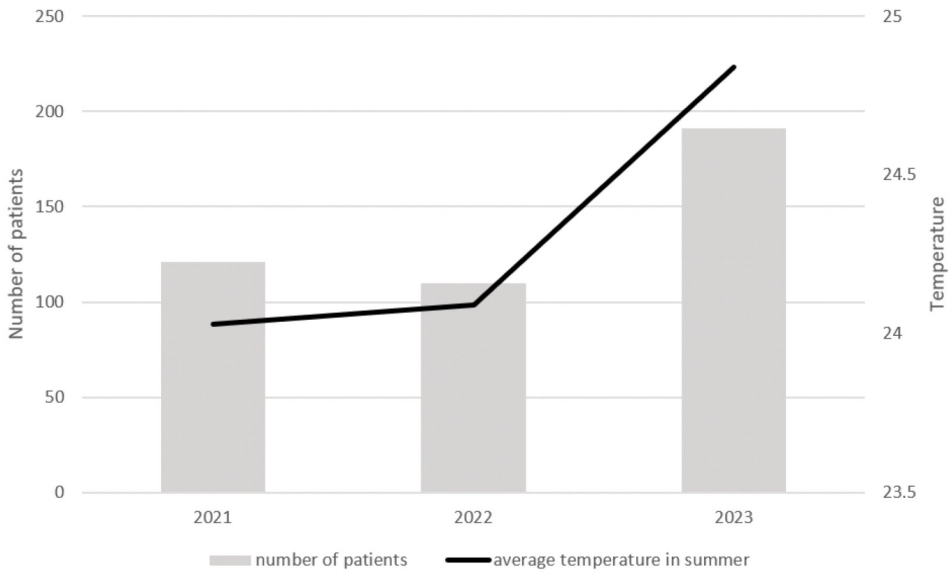


Figure 2. The number of patients and average temperature by year

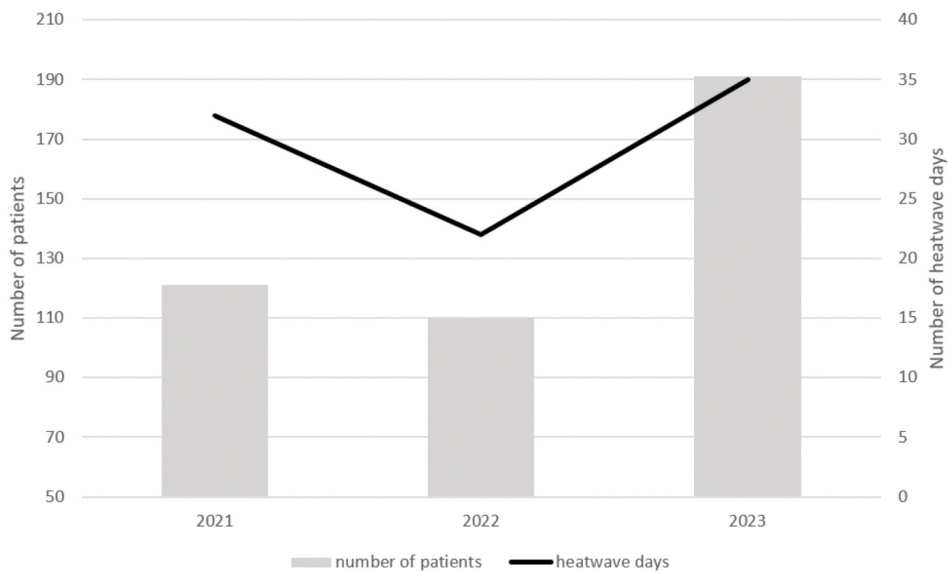


Figure 3. The number of patients and heatwave days by year

2. 지표 간 회귀분석 결과 비교

2021년부터 2023년까지 3개년도를 대상으로 매년 5월 20일부터 9월 30일까지 총 402일의 일 평균기온, 일 최고 기온, 일 평균 WBGT, 일 최고 WBGT와 발생한 환자 수 사이의 piecewise regression을 진행하였다. 해당 기간 총 422명의 환자가 발생하였으며, 일 최고 환자

수는 13명으로 나타났다. 분석 결과 네 가지 지표 모두 상당히 높은 R² 값을 보였다(그림 4). 가장 높은 R² 값을 보인 지표는 일 평균기온으로 0.82의 R² 값을 보였으며 그다음으로는 일 최고 WBGT (0.81), 일 평균 WBGT (0.763), 일 최고 기온(0.761) 순으로 나타났다. 각 지표 별 회귀식의 RMSE는 일 평균기온 1.09, 일 최고 기온 1.27, 일 평균 WBGT 0.87, 일 최고 WBGT 0.98로 나타

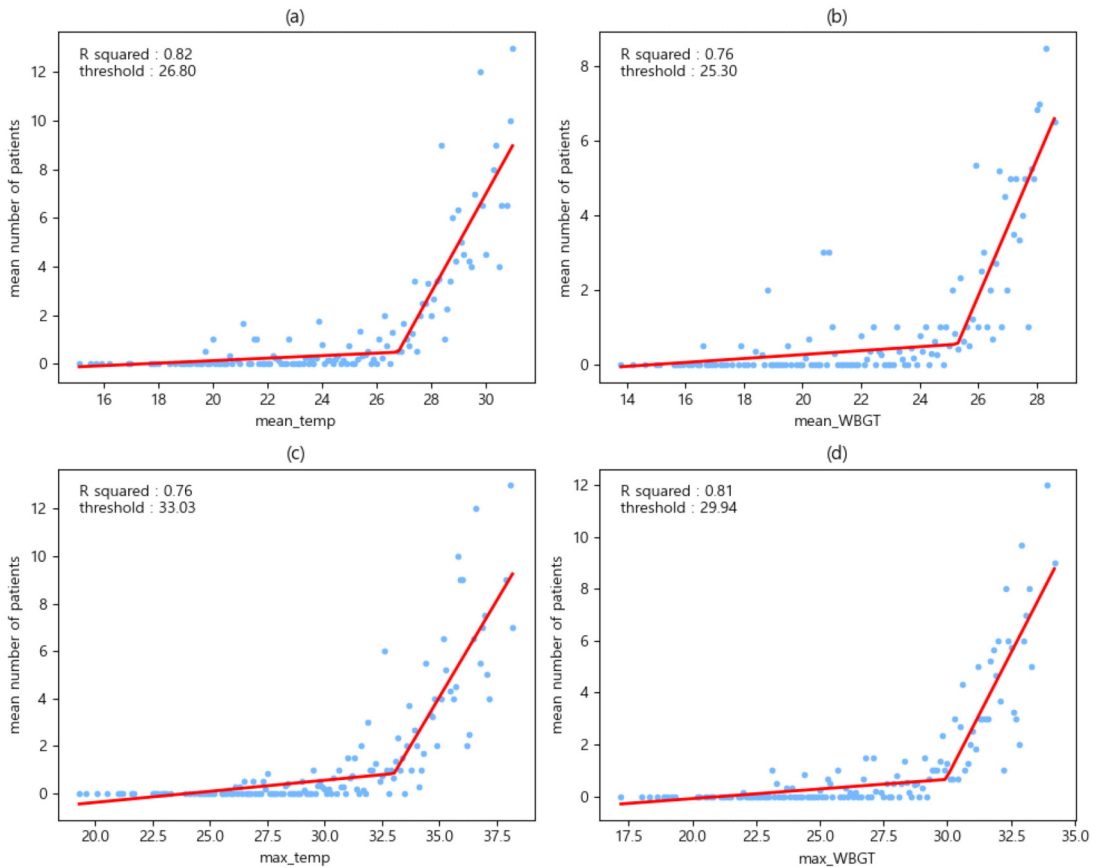


Figure 4. The results of regression between 4 different indices and number of heat-related patients. ((a) : mean temperature, (b) : mean WBGT, (c) : max temperature, (d) : max WBGT)

났다. 일 최고 기온의 경우 다양한 선행연구에서 폭염으로 인한 피해를 설명하기 위해 활용되었으나 온열질환자를 예측하기에는 가장 적합하지 않은 것으로 나타났다. 일 평균기온의 경우 가장 높은 R² 값을 기록하였으나 RMSE에서는 일 최고 WBGT가 가장 낮게 나타났다.

3. 지표 간 임계값 비교

네 가지 지표의 임계값은 모두 다르게 나타났다 (Figure 4, Table 1). 분석 결과 기온 관련 지표의 임계값이 WBGT 관련 지표의 임계값보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 일 평균값의 경우 임계값이 기온은 26.8°C, WBGT는 25.3°C로 약 1.5°C 차이를 보였으며 일 최솟값의 경우 기온은 33.03°C, WBGT는 29.94°C로 약 4°C 차이가 발생하였다. 선행연구에 따르면 KMA

2016 모델의 경우 기온 0.96°C 상승 시 WBGT가 0.94°C 상승, 상대습도 4.35% 상승 시 WBGT가 0.45°C 상승하는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2019). 서울의 경우 Figure 5를 보면 일반적으로 일 평균 기온이 상승하면 일 평균 습도가 감소하는 추세를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 불투수 표면이 많고 녹지가 상대적으로 적은 서울의 특성상 도시 공간에 지속적인 수분 공급이 어려워 기온이 높아지면서 자연스럽게 상대습도가 감소하는 경향이 나타난 것이라 할 수 있다. 이러한 경향성으로 인해 서울의 경우 평균 기온이 1~2°C 상승하더라도 습도가 10~20%까지 감소하게 되어 기온이 높더라도 WBGT는 오히려 더 낮은 날들이 발생하게 된다. 이러한 특성이 기온과 WBGT의 임계값 사이에 차이를 발생시켰으며, 일 최솟값으로 갈수록 그 차이가 벌어지는 결과가 나타나게 된다.

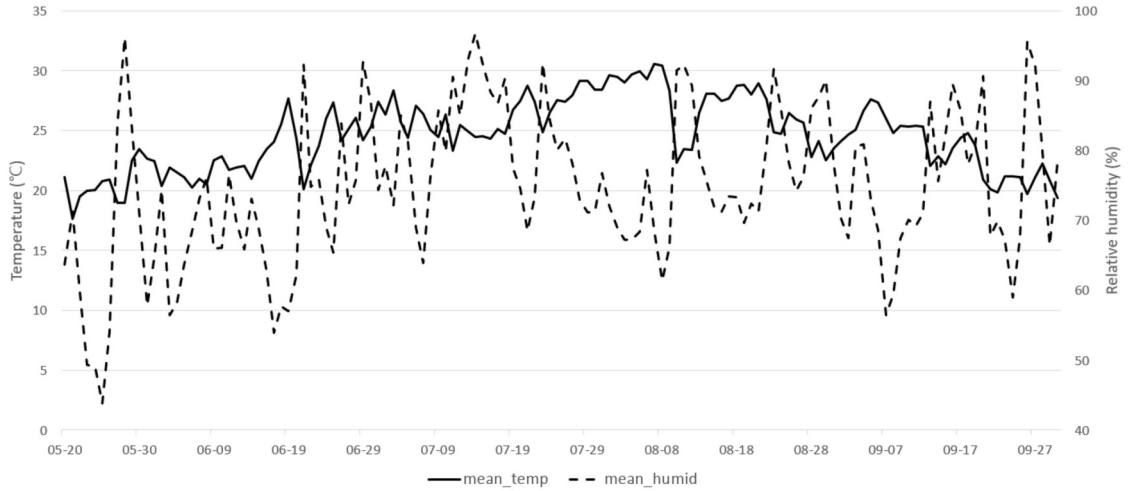


Figure 5. Daily mean temperature and humidity changes in Seoul, 2023

Table 1. Summary of the results of regression about 4 indice

	mean T	max T	mean WBGT	max WBGT
R squared	0.82	0.76	0.76	0.81
RMSE	1.09	1.27	0.87	0.98
Threshold	26.80	33.03	25.30	29.94
number of patients (Over threshold)	341	330	344	339
number of days (Over threshold)	97	86	103	91
number of days without patients (Over threshold)	14	9	17	10

각 지표들의 임계값을 비교 및 해석하기 위해 전체 기간 중 임계값을 초과하는 날의 수와 해당 날에 발생한 환자 수를 비교하였다(Table 1). 실제 분석 기간 내 임계값을 초과하는 날은 일 최고 기온이 86일로 가장 적었고, 일 최고 WBGT 91일, 일 평균기온 97일, 일 평균 WBGT가 103일로 가장 많았다. 각 지표별 임계값을 초과한 날에 발생한 환자 수는 초과하는 날의 수와 비슷한 경향성을 보였으며, 일 평균기온 341명, 일 최고 기온 330명, 일 평균 WBGT 344명, 일 최고 WBGT 339명으로 나타났다. 임계값을 초과하는 날 중 환자가 한 명도 발생하지 않은 날은 일 평균 기온 14일, 일 최고 기온 9일, 일 평균 WBGT 17일, 일 최고 WBGT 10일로 나타났다. 일 평균 관련 지표들이 일 최고 관련 지표들보다 임계값 초과 시 발생하는 환자 수가 조금 더 많았지만 임계값을 초과하는 날의 수와 임계값을 초과하였으나 환자가 발생하지 않은 날의 수가 더 많았다. 즉, 임계값을 초과한 날에 환자가 발생할 확률은 일 최고 기온

과 일 최고 WBGT가 90%로 나머지 두 지표보다 약 5% 높아 온열질환자 예측에 적합한 것으로 나타났다.

4. 온열질환자 수 예측

네 가지 변수의 도출된 회귀식을 바탕으로 실제 분석 기간에 대한 환자 수를 예측하여 지표들의 예측력을 비교하였다. 회귀식에 따라 예측된 연도별 온열질환자 수는 Table 2와 같이 나타났다. 일 평균기온과 일 최고 기온의 회귀식은 2021에 가장 많은 환자가 발생할 것으로 예측하여 정확하지 않은 모습을 보였다. 실제 2021년에 발생한 환자 수는 121명인 것에 비해, 일 평균기온은 163명, 일 최고 기온은 171명으로 예측하여 40명 이상의 큰 오차가 발생하였다. 실제로 가장 많은 환자가 발생한 2023년에도 일 평균기온은 147명, 일 최고 기온은 150명으로 40명 이상 적게 추정하여 기온을 기반으로 온열질환자 수를 예측하는 것은 적합하지 않은 것으로 나타났다. 일 평균 WBGT의 경우 2021년

Table 2. The number of patients estimated by two indices' equation

	2021	2022	2023	sum
Actual (used data)	121	110	191	422
Mean temperature equation	163	128	147	438
Max temperature equation	171	113	150	434
Mean WBGT equation	136	143	138	417
Max WBGT equation	123	114	182	419

의 환자 수를 136명으로 예측, 두 가지 기온 관련 지표들보다 더 적은 오차를 보였으나 나머지 두 개의 연도에서 더욱 큰 오차를 드러내어 온열질환자 수 예측에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 일 최고 WBGT의 경우 2021년 123명, 2022년 114명, 2023년 182명으로 모든 연도에서 10명 이하의 오차를 보였으며 3년 전체 419명으로 실제 발생 환자 수인 422명과 3명밖에 차이가 나지 않아 온열질환자 수를 예측하기에 가장 적합한 지표임을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 연구는 질병관리청의 온열질환 응급실감시체계 데이터와 기상청의 AWS 데이터를 활용하여 온열질환자 발생을 설명하기 위한 최적의 지표 및 임계값을 선정하기 위한 분석을 진행하였다. 각 지표들의 회귀 분석 결과 일 평균 기온의 경우 R^2 값이 0.82로 네 지표 중 가장 높았으나, RMSE이 1.09로 다소 높은 편에 속하였다. 일 최고 기온의 경우 R^2 값이 0.76, RMSE가 1.27로 네 지표 중 가장 적합하지 않은 것으로 나타났다. 일 평균 WBGT와 일 최고 WBGT는 R^2 값이 각각 0.76, 0.81, RMSE가 각각 0.87, 0.98로 일 최고 WBGT가 온열질환자를 설명하기에 조금 더 적합한 모습을 보여주었다. 이는 선행연구들과 다소 다른 결과이나, 국내 환경의 특성 및 사망자가 아닌 질환자 데이터를 다루었다는 점에서 이와 같은 결과가 나온 것으로 생각된다.

도출된 각 지표들의 임계값의 경우 전체 기간 중 임계값을 초과하는 날의 수와 해당 기간에 발생한 환자 수를 통해 비교하였다. 그 결과 일 평균 관련 지표들이 일 최고 관련 지표들보다 임계값 초과 시 발생하는 환자 수가 조금 더 많았지만 임계값을 초과하는 날의 수와 임계값을 초과하였으나 환자가 발생하지 않은 날의

수가 더 많아 예측력이 떨어졌다. 이는 곧 일 최고 기온과 일 최고 WBGT가 임계값을 통해 더 높은 확률로 환자 발생을 예측할 수 있음을 의미한다.

온열질환자 예측을 위해 가장 적합한 지표를 선정하기 위해 도출된 회귀식을 통해 2021년부터 2023년까지 온열질환자 수를 예측하고 실제 데이터와 비교하였다. 예측 결과 일 최고 WBGT가 나머지 네 지표에 비해 압도적으로 높은 정확성을 보여주었다. 나머지 지표들이 적어도 한 개의 연도에서 40명 이상의 오차를 발생시킨 것과 달리 일 최고 WBGT의 회귀식은 2021년 2명, 2022년 4명, 2023년 9명으로 모든 연도에서 10명 이하의 오차를 보여주었다. 이는 앞선 결과들을 종합하였을 때, 국내 환경에서 온열질환자 수를 예측하기에 가장 적합한 지표는 일 최고 WBGT임을 확인할 수 있다.

본 연구 결과를 통해 일 최고 WBGT를 활용하여 온열질환자 수를 높은 정확도로 예측할 수 있음이 확인되었다. 그러나 분석에 사용된 데이터가 일부 온열질환자에 국한된다는 점, 실제 측정된 WBGT가 아니라 추정식을 사용했다는 점 등은 본 연구의 한계점으로 추후 보완해나간다면 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이라 생각된다. 데이터 및 방법을 고도화하여 예측의 정확성을 향상시킨다면 지역별 온열질환자 수를 예측하여 취약지역을 도출하고, 적합한 적응 대책 수립 및 자원의 효율적인 분배에 도움이 될 수 있을 것이라 기대된다.

사사

본 성과는 환경부의 재원을 지원받아 한국환경산업기술원 “신기후체제 대응 환경기술개발사업”의 연구 개발을 통해 창출되었습니다(2022003570004).

References

- Chen X, Li N, Liu J, Zhang Z, Liu Y. 2019. Global heat wave hazard considering humidity effects during the 21st century. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(9): 1513.
- Guo Y, Barnett AG, Pan X, Yu W, Tong S. 2011. The impact of temperature on mortality in Tianjin, China: a case-crossover design with a distributed lag nonlinear model. *Environment Health Perspectives* 119(12): 1719-1725.
- Heo S, Bell ML, Lee JT. 2019. Comparison of health risks by heat wave definition: Applicability of wet-bulb globe temperature for heat wave criteria. *Environmental Research* 168: 158-170.
- Jeong D, Lim SH, Kim DW, Lee WS. 2016. The Effects of Climate Elements on Heat-related Illness in South Korea. *Journal of Climate Change Research* 7(2): 205-215. [Korean Literature]
- Kakaei H, Omid F, Ghasemi R, Sabet MR, Golbabaei F. 2019. Changes of WBGT as a heat stress index over the time: A systematic review and meta-analysis. *Urban Climate* 27: 284-292.
- Kim DW, Chung JH, Lee JS, Lee JS. 2014. Characteristics of heat wave mortality in Korea. *Atmosphere* 24(2): 225-234. [Korean Literature]
- Kim J, Lee DG, Park IS, Choi BC, Kim JS. 2006. Influences of heat waves on daily mortality in South Korea. *Atmosphere* 16(4): 269-278. [Korean Literature]
- Kim JU, Sang J, Kim MK, Byun YH, Kim DH, Kim TJ. 2022. Future climate projection in South Korea using the high-resolution SSP scenarios based on statistical downscaling. *Journal of Climate Research* 17: 89-106. [Korean Literature]
- Lee JS, Kim KR, Cho C, Kang M, Ha JC, Kim DS. 2019. Evaluating the accuracies of the WBGT estimation models and their onsite applicability in Korea. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 19(4): 53-63. [Korean Literature]
- Lim YH, Kim H, Hong YC. 2013. Variation in mortality of ischemic and hemorrhagic strokes in relation to high temperature. *International Journal of Biometeorology*, 57(1), 145-153.
- Lim YH, Lee HJ, Hong YT. 2019. Attributable all-cause mortality during heatwaves in South Korea, 2006-2018. *Public Health Weekly Report* 12(37): 1435-1441. [Korean Literature]
- Ma C, Honda Y, Dang TN. 2018. Comparison of wet-bulb globe temperature (WBGT) and mean temperature for assessment of heat-related mortality evidence from 47 Japanese prefectures. *Japanese Journal of Health and Human Ecology* 84(2): 52-72.
- Mora C, Cunsell CWW, Bielecki CR, Louis LV. 2017. Twenty-seven ways a heat wave can kill you: deadly heat in the era of climate change. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 10(11): e004233
- Park J, Chae Y. 2020. Analysis of heat-related illness and excess mortality by heat waves in South Korea in 2018. *Journal of the Korean Geographical Society* 55(4): 391-408. [Korean Literature]
- Park JK, Jung WS, Kim EB. 2008. A study on the influence of extreme heat on daily mortality. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 24(5): 523-537. [Korean Literature]
- The Government of the Republic of Korea. 2023. The Republic of Korea's Adaptation Communication. [Korean Literature]
- Watanabe H, Honda Y, Oka K, Hashizume M, Tobias A, Kim Y. 2022. Comparison of heat-related mortality estimated using ambient temperature and wet-bulb globe temperature in Japan: Supporting evidence for heat health warning system. In *ISEE Conference Abstracts (Vol. 2022, No. 1)*.