

Research Paper

지역 특성을 고려한 무더위쉼터의 입지특성 분석 및 평가 모델 개발

류지은* · 부찬종* · 이경일** · 조경두***

인천연구원 인천탄소중립연구·지원센터*, 서울과학기술대학교 AI반도체연구소**,
인천연구원 인천탄소중립연구·지원센터***

Development of a Model for Analyzing and Evaluating the Suitability of Locations for Cooling Center Considering Local Characteristics

Jieun Ryu* · Chanjong Bu* · Kyungil Lee** · Kyeong Doo Cho***

Incheon Carbon Neutrality Center(ICNC), The Incheon Institute*
AI Semiconductor Research Center, Seoul National University of Science and Technology**
Incheon Carbon Neutrality Center(ICNC), The Incheon Institute***

요약: 기후변화로 인한 폭염은 취약계층의 건강 피해를 급격히 증가시키고 있으며, 이를 예방하기 위하여 국가, 광역, 기초지자체는 기후위기 적응대책을 수립하고 있다. 폭염 피해를 줄이기 위한 대표적인 기후위기 적응대책은 무더위쉼터 개소 수 확대이다. 단기간에 효과가 높아 전라북도를 제외한 대부분의 광역지자체에서는 해당 사업을 적응대책으로 포함하고 있다. 하지만 예산 및 비예산 등에 따라 무더위쉼터로서 선정 기준이 달라 무더위쉼터의 이용률 및 효과가 모두 다르다. 따라서 본 연구에서는 지자체에서 적응대책 이행을 위해 무더위쉼터 확장 시 가능성이 높은 지역을 예측 및 평가할 수 있는 로지스틱 회귀분석 모델을 개발하였다. 원도심과 신도시의 공존 등으로 다양한 폭염 취약 환경으로 구성된 인천광역시를 대상으로 사회·경제적·환경적 차이를 고려하여 강화·옹진 군과 이외의 지역으로 구분하여 무더위쉼터 가능 지역을 예측하는 로지스틱 모델을 개발하였다. 연구 결과, 강화·옹진군 지역의 통계 모델에서는 지표면 온도가 높을수록, 65세 이상 고령자수가 많을수록 무더위쉼터 가능성이 높은 것으로 나타났으며, 약 80.93%의 예측 정확도를 나타냈다. 강화·옹진군 이외의 지역에 대해서는 지표면 온도가 높을수록, 65세 이상 고령자수가 많을수록, 30년 이상인 노후 주택으로부터의 거리가 가까울수록, 공공시설로부터의 거리가 가까울수록 무더위쉼터 가능성이 높은 것으로 나타났으며, 약 89.08%의 예측 정확도로 나타났다. 개발된 로지스틱 회귀모형은 지역의 특성을 고려하여 무더위쉼터로서 가능성이 높은 지역을 예측 및 평가할 수 있으며, 추후 무더위쉼터 추가 지정 시 우선순위 선정 및 관리에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주요어: 기후위기 적응대책, 무더위쉼터, 폭염, 온열질환, 로지스틱 회귀분석

Abstract: Heat waves caused by climate change are rapidly increasing health damage to vulnerable groups, and to prevent this, the national, regional, and local governments are establishing climate

First Author: Jieun Ryu, Tel: 82-32-715-5793, E-mail: ulygajok@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2766-4686

Corresponding Author: Kyeong Doo Cho, Tel: +82-32-260-2664, E-mail: kdcho@ii.re.kr, ORCID: 0000-0001-9199-129X

Co-Authors: Chanjong Bu, Tel: +82-32-715-5769, E-mail: BUCJ88@ii.re.kr, ORCID: 0009-0003-8516-8928

Kyungil Lee, Tel: +82-2-970-9474, E-mail: leedake@seoultech.ac.kr, ORCID: 0000-0002-9752-1130

Received: 9 April, 2024. Revised: 17 August, 2024. Accepted: 22 August, 2024.

crisis adaptation policy. A representative climate crisis adaptation policy to reduce heat wave damage is to expand the number of cooling centers. Because it is highly effective in a short period of time, most metropolitan local governments, except Jeonbuk, include the project as an adaptation policy. However, the criteria for selecting a cooling centers are different depending on the budget and non-budget, so the utilization rate and effectiveness of the cooling centers are all different. Therefore, in this study, we developed logistic regression models that can predict and evaluate areas with a high probability of expanding cooling centers in order to implement adaptation policy in local governments. In Incheon Metropolitan City, which consists of various heat wave-vulnerable environments due to the coexistence of the old city and the new city, a logistic model was developed to predict areas where heat waves can be cooling centered by dividing it into Ganghwa-Ongjin-gun and other regions, taking into account socioeconomic and environmental differences. As a result of the study, the statistical model for the Ganghwa-Ogjin-gun region showed that the higher the ground surface temperature and the more and more the number of elderly people over 65 years old, the higher the possibility of location of cooling centers, and the prediction accuracy was about 80.93%. The developed logistic regression model can predict and evaluate areas with a high potential as cooling centers by considering regional environmental and social characteristics, and is expected to be used for priority selection and management when designating additional cooling centers in the future.

Keywords: Climate crisis Adaptation Measures, Cooling Center, Heat Wave, Heat-related illness, Logistic Regression Analysis

I. 서론

기후위기로 인하여 기후변화뿐만 아니라 폭우·폭염·가뭄 등과 같은 자연재해가 나타나고 있으며(Lee & Kwon 2022) 이에따라 기상이변에 의한 피해가 지속적으로 증가하고 있다(Lee & Han 2019). 특히 폭염과 관련하여 온열질환 환자가 증가하였고, 2024년 기록적인 폭염과 열대야로 온열질환 추정 사망자가 23명, 이들을 포함해 전체 온열질환자는 2,700명을 넘어서 23년 대비 약 13.8% 증가했다(Hankyung dot com, 2024). 농수산 분야에서는 저수온 양식어류가 2018년에 500만 마리가 폐사하였으며, 에너지 분야는 2018년 기준 약 820.2만kW 전력수요가 증가하였다(Lee 2020).

이러한 기후변화 및 기상이변으로 인한 자연재해는 취약계층 및 취약지역에 더 큰 피해를 야기한다. 폭염 발생 시 65세 이상 노인층의 초과사망자수가 가장 민감하게 증가하는 것으로 나타났으며, 일본에서도 1968년부터 2009년까지의 연평균 온열질환 사망자 중, 65세 이상 노인이 50% 이상 비율을 차지했다(JME 2011). 60세 이상 고령자 중에서도 농림어업 종사자들은 기후

에 직접적으로 노출 빈도가 높아 폭염에 취약하다(Kim et al. 2014). 이처럼 인구학적, 생물학적 특징을 포괄하는 사회경제적 취약계층과 (Kim & Kim 2021) 폭염에 취약한 도시 및 주거환경에 대하여 포괄적으로, 기후변화로 인한 피해 정도가 다르게 나타난다. 따라서 이들을 생활 환경을 고려한 맞춤형 대책이 필요하다.

우리나라에서는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄중법)」을 2022년에 공포하였으며, 해당법에 따르면 기후변화 적응대책은 취약대상을 우선하여 기후변화로 인한 피해를 줄이는 것을 목적으로 하고 있다. 탄중법에 근거하여 국가, 광역지자체 및 기초지자체에서도 취약계층 지원과 관련된 정책을 적응대책에 포함하고 있으며, 별도로 온열질환 폭염 상황을 대비하기 위하여 매년 폭염 종합대책을 수립하고 있다(Kang et al. 2020). 온열질환자들은 대부분 사회적 취약계층이며, 지역 자치단체 단위의 폭염 정책을 통해 예방될 수 있으므로(Martinez et al. 2011; Chae et al. 2016) 지자체의 적극적인 정책 수립 및 실행 의지가 중요하다.

폭염과 관련된 지방 기후위기 적응대책 중, 취약계

층의 폭염에 의한 피해 저감을 위한 가장 효과적인 단기적·구조적 대책이 무더위쉼터 조성이다(Kang et al. 2020; Kim 2019). 무더위쉼터와 관련하여 활용도를 높이기 위하여 양적 확충 및 이용 현황 분석과 관련된 다양한 선행연구가 있다. Chae et al.(2016)의 연구에서는 무더위쉼터 이용현황에 대한 설문조사를 통해 무더위쉼터의 위치가 정책 실수요자에 대한 고려가 미흡한 상황이며, 다양한 계층이 이용할 수 있도록 개수의 확대 및 접근성을 확대할 필요가 있다고 언급하였다. Kang et al.(2020)의 연구에서도 무더위쉼터는 노인의 더위 해소에 도움이 되며 쉼터 개소수 확대를 통해 접근성 강화의 필요성을 강조하였다. Kim et al.(2020)의 연구에서는 취약계층을 대상으로 무더위쉼터 불편한 점에 대한 설문조사를 수행한 결과, 접근성이 낮아 이용률이 저하되므로 이를 해결하기 위하여 무더위쉼터 셔틀버스 운행 및 폭염 도우미 확대 등을 제시하였다. Song(2013) 부산의 전체 무더위쉼터 중 경로당이 546개소(64%)로 대부분을 차지한다고 하였으며, Park et al.(2016)은 이용자의 특성 및 지역 폭염 발생 특성을 고려해 운영 방법을 세분화시키는 것이 필요하다고 하였다.

이처럼 무더위쉼터는 대표적인 기후위기 적응대책으로, 대부분의 지자체에서 무더위쉼터 운영 및 확대를 적응대책으로 포함하고 있다. 하지만 무더위쉼터를 확대하기 위하여, 입지의 특성 분석 및 개소수 증가를 위한 방법론적인 연구는 아직 미흡한 상황이다. 따라서 기존의 무더위쉼터로 지정된 공간의 특성을 분석하여 무더위쉼터가 필요한 취약계층의 분포, 폭염 취약지역 등을 고려하여 무더위쉼터로서 기능을 극대화할 수 있는 공간을 분석하는 연구가 필요하다.

인천광역시 동구에서는 2018년 폭염 기간 중, 취약계층의 무더위쉼터 이용을 돕기 위하여 일 3회 쪽방촌에서 무더위쉼터까지 셔틀버스를 운행한 사례가 있다. 또한 인천광역시에서는 제3차 지방 기후위기 적응대책('22~'26)에서 취약지역 내 취약계층의 폭염 피해를 줄이기 위하여(Cho et al. 2022), 2022년 이후 매년 무더위쉼터를 10개소씩 확대하는 것을 목표로 하고 있다. 하지만 인천광역시의 무더위쉼터 확대 사업은 비예산으로서 공공의 성격을 띤 기관의 자발적인 참여를 기대할 수밖에 없는 실정이다. 따라서 취약계층 및 취약

지역을 고려하여 무더위쉼터가 필요한 지역 및 무더위쉼터 설치가 필요한 지역을 분석하여 다양한 기관의 참여를 유도하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 대표적으로 단기간에 효과가 높은 기후위기 적응 정책인 무더위쉼터의 확대를 위하여 지역의 공간적 특성에 기반하여 지역 내 무더위쉼터로 선정될 가능성이 높은 지역을 도출하기 위하여 로지스틱 회귀분석을 이용하였으며, 결과를 도면화하여 기후위기 적응정책에서 활용할 수 있는 방안을 제시하였다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

인천광역시의 무더위쉼터의 공간정보를 활용하여 공간 환경 특성을 분석하고, 현재의 특성을 기반으로 무더위쉼터 추가 선정 가능한 지역을 분석할 수 있는 통계 모형을 개발하는 것을 본 연구의 범위로 하였다.

인천광역시는 도서 지역으로 구성되는 강화 및 옹진군, 내륙지역을 포함하여 2군 8구로 구성된다. 강화군은 8개, 옹진군은 23개 도서로 구성된다. 본 연구에서 무인도서는 제외하였으며, 도서 지역 중에서도 행정복지센터 등 공공기관이 다수 존재하는 강화군과 옹진군 일부 지역으로 공간적 범위를 한정하였다.

2. 인천광역시의 무더위쉼터 현황분석

1) 무더위쉼터 지점의 특성 분석

인천광역시에서는 제3차 지방 기후위기 적응대책(2022~2026년)을 2021년에 수립하였으며(Incheon Metropolitan City 2021), 폭염과 관련된 기후위기 적응정책 중 '폭염 무더위쉼터 확대 사업'은 사업 이행점검 지표로 '무더위쉼터 확대개소수'를 사용하고 있다.

인천광역시에서 관리하는 실내 무더위쉼터는 1,006개소, 실외 무더위쉼터는 341개소이다(Figure 1). 이중 시설에 별도의 온도 조절 장치가 없는 실외 무더위쉼터를 제외하고 실내 무더위쉼터의 현황을 분석하면, 금융기관 10.9%, 노인시설 70.2%, 주민센터 13.3%, 기타 4.4%, 복지회관 0.9%, 마을회관, 보건소, 종교시설이 각 0.1%의 비율로 나타났다. 기타에 포함되는 장소는

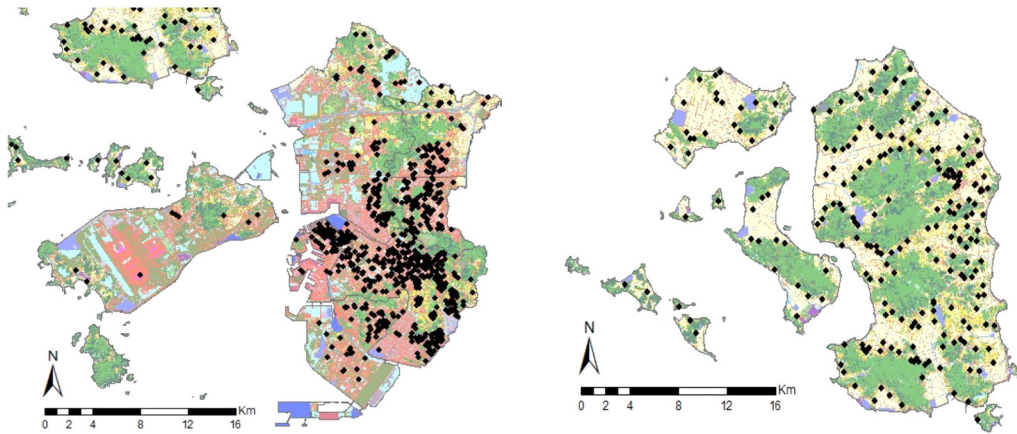


Figure 1. Distribution Status of Cooling Center Sites in Incheon Metropolitan City (Black dots: Cooling Centers)

지하철 역사 및 시장 고객지원센터, 문화센터, 도서관, 주민 대피시설, 민방위 교육장 등이다. 즉, 경로당 및 노인시설을 제외하고 대부분 공공의 목적을 포함하고 있는 시설들이 무더위쉼터로서 역할을 하고 있다.

기초지자체 단위에서 무더위쉼터의 분포 개수를 비교하면 강화군 23.6%, 남동구 22.8%, 부평구 10.3%가 존재하며 이외의 자치군·구의 무더위쉼터 비율은 10% 미만이다. 강화군 내에서는 무더위쉼터의 약 98.1%가 노인시설이다. 강화·옹진군 이외의 지역은 노인시설이 57.8%, 금융기관이 15.7%, 행정복지센터 등의 시설이 무더위쉼터의 약 19.3%의 비중을 차지한다.

2) 폭염 취약계층 분석

기후변화로 인한 온도상승은 건강에 직접적으로 영향을 미쳐 피해를 야기시키며, 특히 노후도가 높고 열악한 시설의 주거지역에 거주하는 사회적 취약계층, 경제적 취약계층의 피해가 크다(Bae et al. 2020). 노후도가 높은 주거환경은 임대료가 저렴하여 대부분 임차인 비율이 높고 불량한 주거환경에 노출되어 있으나 주택 개선 및 개량 의지가 없고 비용적인 문제로 에너지 이용량이 적어 폭염 및 한파에 취약하다는 특징이 있다(Lee & Wang 2013). 일반적인 사회적 취약계층은 60대 이상 고령자와 실외 근로자, 저소득자, 영유아, 1차 산업 종사자로 볼 수 있다(Kim et al. 2014; Cho et al. 2022; Ryu et al. 2023). 이 중 영유아는 30~40대 부모와 동거하며 돌봄을 받기 때문에 기후의 영향에 쉽게 영

향을 받지만, 취약지역에 거주한다고 보기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 영유아는 제외하고 열환경 취약계층에 대한 기존 연구를 참고하여 65세 이상의 고령자(Lee et al. 2020)이면서, 노후도 높은 다세대 및 단독주택에 거주하는 사람(Bae et al. 2020) 폭염 취약계층으로 한정하였다. Kim et al. (2020)의 연구에서 지역별로 30명, 전남 영광, 부산시 기장, 경남 남해, 전북 임실군에서 120명을 대상으로 설문조사 하였을 때 실제로 무더위쉼터 이용자의 91%는 월평균 소득 100만 원 미만이며, 기초생활수급자 및 차상위계층에 속하는 대상자는 86%였다.

이와 관련하여 시군구 단위의 인구 관련 정보가 포함되어 있는 인천통계연보(2021년)를 활용하여 취약계층의 시군구별 거주 분포 추이를 전체 인구밀도, 구별 인구수 대비 고령자의 비율을 기준으로 현황을 분석하였다.

3) 폭염 취약지역 분석

열섬현상 파악 및 폭염 취약지역 분석을 위한 연구들은 기상관측 지점에서 실측한 지표면 실측온도를 이용하거나(Lee & Oh 2019; Lee et al. 2020), SOLWEIG 모델 등을 이용하여 위험 지도를 작성하는 연구(Bae et al. 2020), 위성영상을 활용하여 지표면 온도를 분석하고 이를 활용하는 연구들(Lee et al. 2012; Lee & Oh 2019; Park 2020; Kim & Kim 2020; Lee & Lim 2022)이 대부분이다. Rhim et al. (2023)의 연구에서도 Landsat-8 위성

Table 1. Environmental Variables used in Analysis and Basis for Selection

Categories	explanation	Variables	Ref.	Unit (resolution)
Vulnerable class	Number of seniors aged 65 years or older	Number of seniors aged 65 years or older	Lee et al. 2014 Lee et al. 2020	100by 100 raster
	Old house (over 30 years old)	Distance from low-rise old houses	Bae et al. 2020; Lee & Wang 2013 Park & Kim 2021	300by 300 raster
	Basic livelihood recipient	Number of basic livelihood recipient	Kim et al. 2020	Administrative district
Vulnerable area	Ground surface temperature	LST	Lee et al. 2012; Lee & Oh 2019; Park 2020; Kim & Kim 2020; Lee & Lim 2022	30by 30 raster
			Song, 2013, Results of analysis of current situation around cooling centers's location	
Characteristics of a cooling center	Facilities for the elderly, such as senior centers	Distance from public facilities	Results of analysis of current situation around cooling centers's location	300by 300 raster
	Public facilities, financial institutions			

영상을 이용해 폭염 취약지역을 도출하여 쿨링포그 효과를 극대화할 수 있는 지역을 도출하였다. 즉, 고밀도로 토지를 이용하는 지역이 폭염 취약지역이므로(Park 2020) 지표면의 온도가 높은 곳을 폭염 취약지역으로 구분하였다.

지표면 온도(LST, Land surface temperature)의 계산은 Landsat-8 위성영상을 이용하였다. Landsat-8 자료는 해상도가 30m로 건물 단위의 분석이 가능하며, OLI(Operational Land Imager)와 TIR(Thermal Infrared Sensor)이 장착되어 있어 지표면 온도(LST)를 산출할 수 있다. Landsat-8 데이터 중 Collection 2 Level 1 Terrain Precision (L1TP) 데이터는 기본적인 방사 보정과 기하 보정을 완료한 후, 대기에서 반사된 태양에너지(Top-of-atmosphere reflectance) 정보를 제공한다. 하지만 이는 지표의 직접적인 반사율과는 차이가 존재할 수 있는 대기의 영향이 포함되어 있다. 반면 Landsat 8 Collection 2 Level 2 Science Product (L2SP) 데이터는 L1TP 데이터를 바탕으로 대기보정을 수행하여 대기질에 따른 반사와 산란을 제거한 분석준비 데이터(Analysis Ready Data, ARD)이다. 본 연구에서는 이러한 L2SP 위성영상 중 구름이 10% 이하인 2000~2022년까지의 자료를 검토 후, 2019년 6월 13일 영상 자료를 이용하여 LST를 도출하였다. 기본적으로 제공되는 LST는 절대 온도이므로, 섭씨온도로 바꿔주기 위해서 273을 감하

였다(Lee et al. 2017). 구축된 섭씨 단위 LST의 값을 기준으로 폭염 취약지역의 현황을 분석하였다.

4) 환경변수 선정

회귀분석에 사용하는 환경변수는 기후위기 취약계층, 취약지역, 무더위쉼터의 특성에 기반하여 4개를 선정하였다(Table 1). 기초생활수급자(Kim et al. 2020) 변수는 읍면동 단위의 데이터로만 구축이 되어 있어서 제외하였다. 취약계층은 65세 이상 고령자 수, 취약계층 및 저소득층이 거주하는 저층 노후주택으로부터의 거리를 환경변수로 선정하였다. 무더위쉼터의 목적에 따라 취약지역은 LST값을 기준으로 선정하였다. 또한 무더위쉼터는 공공기관 등에 주로 지정되어 있다는 특성에 기반하여 무더위쉼터로 선정할 수 있는 지역을 도출하기 위해서 공공시설로부터의 거리를 환경변수로 선정하였다.

3. 로지스틱 회귀분석을 이용한 무더위쉼터의 입지 특성 분석 및 모형 개발

회귀분석은 가장 널리 사용되는 머신러닝 기법이며, 과거 현상에 대한 설명과 미래값을 외삽하는 등 활용도가 매우 높다(Brett 2024). 데이터의 특성에 따라 회귀분석을 선택할 수 있으며, 종속변수가 산사태의 발생, 미발생과 같은 이항형 변수일 때에 선형회귀분석은 독

립변수와 종속변수의 관계를 제대로 설명하지 못한다 (Lee & Kim 2012; Seo et al. 2020). 본 연구에서도 무더위쉼터의 위치정보를 기반으로 데이터를 분석하므로 오차의 제곱합이 최소가 되도록 하는 OLS(Ordinary Least Squares) 회귀분석이 아닌 일반화 선형모델(GLM, Generalized Linear Models)을 사용해야 한다. GLM 중에서 이진 결과를 모델링하는데 사용되는 로지스틱 회귀분석을 이용하였다. 로지스틱 회귀모델은 (Equation 1)과 같이 나타낼 수 있으며, 추정된 회귀계수는 β_0, β_1 등으로 나타낸다. P는 성공률을 의미하며, 종속변수 Y가 이항형 변수인 경우 독립변수 X에 의해 예측된 확률값을 의미한다(Lee & Kim 2012; Hong 2005).

$$P(Y|X) = P_i = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_i)}{1 + (\beta_0 + \beta_1 x_i)} \quad (1)$$

무더위쉼터 위치 자료의 기초 통계량 분석 결과를 토대로 데이터 분포의 차이가 큰 도서 지역과 내륙지역으로 구분하여 분석을 진행하였으며, 로지스틱 회귀분석을 수행하기 위하여 R studio 4.3.3 프로그램을 이용해 기존 무더위쉼터에서 반경 500m 이상인 지역을 대상으로 랜덤포인트를 강화·옹진군에 462개, 이외의 지역에 390개 생성하였다.

변수 간의 연관성을 확인하기 위하여 상관분석을 하였으며, 다중 로지스틱 회귀모형 중 변수 선택 방법으로 $\alpha=0.05$ 수준에서 p-value 값 기반 후진제거법을 적용하였다. 개발한 모형 결과를 검증하기 위하여 Akaike Information Criterion (AIC) 값 비교 및 우도비 검증을 수행하였다. Hong (2005)과 Lee and Kim (2012)은 로지스틱 회귀분석에서 각 회귀 계수의 통계적 검증을 위

하여 우도비 검정의 모형 유용성 검증 효율이 높아 사용 빈도가 높다고 하였다. 개발한 모형을 적용하여 도면으로 무더위쉼터 선정이 가능한 지역을 도출하였다.

III. 연구 결과

1. 무더위쉼터의 입지 특성 분석

무더위쉼터 1,006개소 중에 분석에 사용한 공간 자료는 총 981개로, 이는 내륙에서 멀리 떨어져 있고 면적이 작은 옹진군의 도서 지역 일부에는 환경변수 데이터 구축이 되어 있지 않아 데이터 전처리 과정에서 제외되었기 때문이다. 데이터의 기술통계 분석 결과, 도서 지역 내 무더위쉼터가 있는 지역의 지표면 온도는 내륙지역보다 약 10.57% 온도가 낮은 것으로 나타났다.

인천광역시 통계(2021)를 기준으로 지역 특성을 비교하면, 도서 지역인 강화·옹진군은 인천광역시 총면적 1,066.46km² 중에 약 54.8%를 차지하지만, 인구는 인천광역시 전체인구 3,014,739명 중에 약 3.0%가 거주하여 인구밀도가 매우 낮다. 취약계층인 강화·옹진군의 65세 이상 고령자의 수는 전체 인천광역시의 약 6.7%의 비중으로 나타났다. 강화·옹진군에서는 강화읍, 길상면, 내가면, 교동면의 일부 지역에만 정주 공간 및 기반 시설이 존재하여 기반 시설로부터의 거리 및 노후 주거지로부터의 거리 변수가 강화·옹진군 이외의 지역보다 크게 다른 분포를 나타냈다(Table 2). 지역별로 4개의 환경 변수 간의 상관성은 모두 0.5 이하인 것으로 나타났다(Table 3).

Table 2. Descriptive Statistic Analysis

	Data		LST (°C)	Over65y (person)	Dis_oldhouse (m)	Dist_160 (m)	Description	Frequency
Inland	Data	Average (SD)	38.8 (2.2)	57.9 (57.1)	535.9 (753.3)	174.1 (155.6)	Continuous data	696
	Random	Average (SD)	35.3 (5.3)	2.3 (12.7)	2,925.2 (3,373.1)	501.2 (438.7)	Continuous data	390
Island	Data	Average (SD)	34.7 (18.4)	5.3 (13.0)	1,016.4 (761.5)	2,231.2 (2,370.6)	Continuous data	285
	Random	Average (SD)	301.3 (20.4)	0.1 (1.0)	1,353.5 (1,276.4)	2,312.7 (2,509.3)	Continuous data	462

Table 3. Results of Correlation Analysis of Environmental Variables

	Variable	LST	Over65y	Dist_160	Dis_oldhouse
Inland	LST	1.0000000	0.1644134	-0.3789740	-0.4275049
	Over65y	0.1644134	1.0000000	-0.2877380	-0.2781249
	Dist_160	-0.3789740	-0.2877380	1.0000000	0.3811418
	Dis_oldhouse	-0.4275049	-0.2781249	0.3811418	1.0000000
Island	LST	1.0000000	0.01733144	0.06195606	-0.12622321
	Over65y	0.01733144	1.0000000	-0.13096022	-0.08281786
	Dist_160	0.06195606	-0.13096022	1.0000000	-0.07883884
	Dis_oldhouse	-0.12622321	-0.08281786	-0.07883884	1.0000000

2. 무더위쉼터 선정 가능지역 분석 모형 개발

강화·옹진군 이외 지역에서 무더위쉼터로서 가능성을 예측한 결과는 Table 4, 강화·옹진군에서의 무더위 쉼터로서 가능성을 예측한 결과는 Table 5와 같다. Table 4에 의하면, 강화·옹진군을 제외한 내륙지역에서는 지표면의 온도, 65세 이상 고령자 수, 공공시설로부터의 거리, 노후주택으로부터의 거리가 유의미한 변수로 나타났다. 지표면 온도가 1단위 증가하면 무더위 쉼

터로서의 가능성은 1.177배 증가한다고 볼 수 있으며, 65세 이상의 고령 인구수가 1단위 증가하면 무더위 쉼터로서 가능성은 1.057배 증가한다고 해석할 수 있다. 공공시설로부터의 거리와 노후 주거지로부터의 거리는 멀어질수록 무더위쉼터로서의 가능성이 감소하는 것으로 나타났다. 네 개의 변수는 모두 유의확률이 0 수준에서 유의성이 있다. 우도비 검정 결과 변수들과 이탈도의 감소량은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

Table 4. Results of Logistic Regression on area Other than Ganghwa and Ongjin in Incheon

Variable	B	S.E.	p-value	EXP(B)	Deviance	Pr(>chi)	DF
Constant	-4.925e+00	1.067e+00	3.89e-06***	0.007			
LST	1.631e-01	2.759e-02	3.28e-09***	1.177	210.86	<2.2e-16***	1
over65y	5.560e-02	6.725e-03	<2e-16***	1.057	433.26	<2.2e-16***	1
Dist_160	-2.994e-03	4.622e-04	9.33e-11***	0.997	79.71	<2.2e-16***	1
Dis_oldhouse	-5.975e-04	9.428e-05	2.34e-10***	0.999	67.16	2.499e-16***	1
AIC	637.13						
signifi.codes	all variables are 0 '***'						
phisq	6.878858e-170						
confusion matrix	Accuracy: 0.8941, Kappa: 0.7661, p-value: <2.2e-16 sensitivity: 0.8809, specificity: 0.9007, Balanced accuracy: 0.8908						

Table 5. Results of Logistic Regression on Ganghwa and Ongjin area in Incheon

Variable	B	S.E.	p-value	EXP(B)	Deviance	Pr(>chi)	DF
Constant	-6.99056	0.74422	<2e-16***	0.0009			
LST	0.19033	0.02250	<2e-16***	1.2096	247.840	<2.2e-16***	1
over65y	0.43628	0.08021	5.34e-08***	1.5469	51.416	7.472e-13***	1
AIC	699.96						
signifi.codes	all variables are 0 '***'						
phisq	2.2e-16						
confusion matrix	Accuracy: 0.7898, Kapp: 0.5222, p-value: 0.01124 sensitivity: 0.7709, specificity: 0.8478, Balanced accuracy: 0.8093						

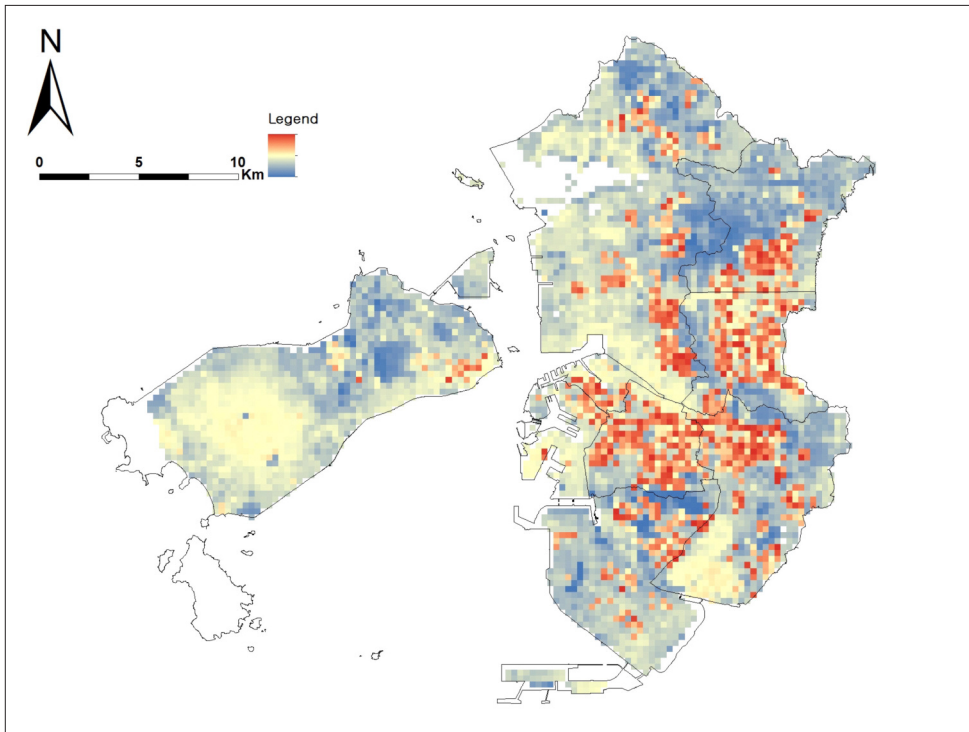


Figure 2. Result of Predicting possible Cooling Centers on areas Other than Ganghwa and Ongjin in Incheon

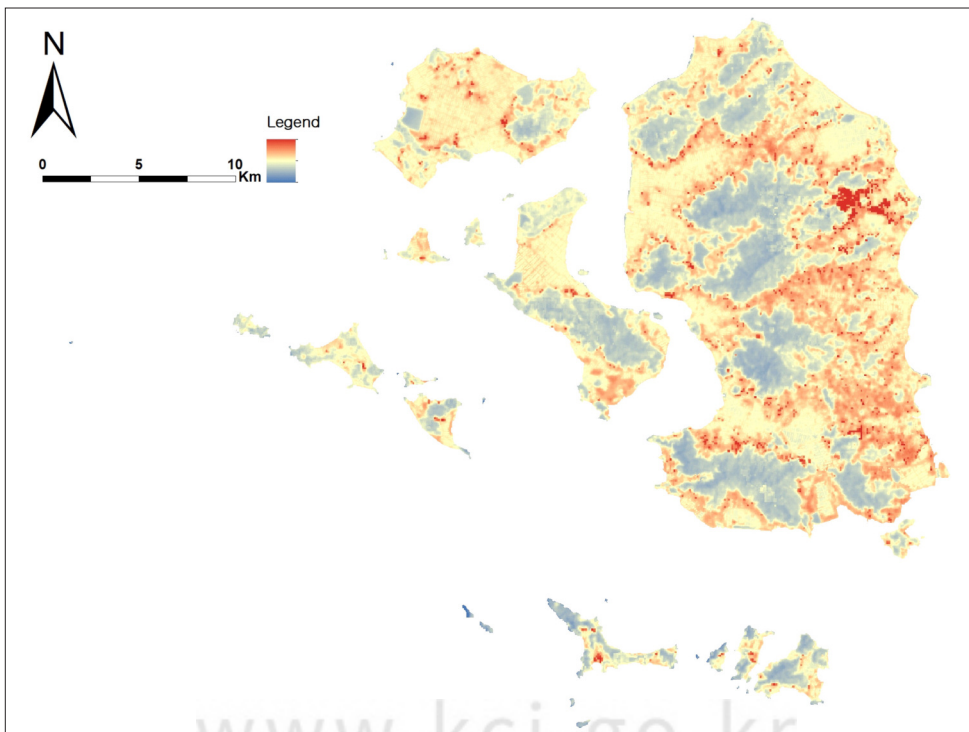


Figure 3. Result of Predicting possible Cooling Centers on Ganghwa and Ongjin area in Incheon

강화·옹진군에서는 지표면의 온도와 65세 이상 고령자 수만 유의미한 변수로 나타났다(Table 5). 공공시설로부터의 거리 변수와 노후주택으로부터의 거리 변수는 유의성이 없어 로지스틱 회귀모형의 기법 중 후진 제거법을 통해 제거되었다. 해당 모형은 LST가 1단위 증가할 때 무더위쉼터로서의 가능성이 약 1.2배 증가하는 것으로 나타났으며, 고령자수가 1단위 증가할 때는 약 1.5배 증가하는 것으로 나타났다. 우도비 검정결과 변수와 이탈도의 감소량은 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.

로지스틱 회귀분석 예측 모형의 확률 분포를 공간으로 보기 위하여 모형 결과를 데이터에 적용하여 무더위쉼터로서의 입지 가능성이 높은 지역을 도출하였다. 로지스틱 회귀분석 결과는 확률값으로 값은 0~1 사이의 확률 분포로 나타난다. Figure 2는 강화·옹진군 이외의 지역을 대상으로, Figure 3은 강화·옹진군 지역을 대상으로 예측한 분포도이다. 두 결과 모두 파란색 비율이 높은 지역은 토지이용이 대부분 산림으로 나타났으며, 수목으로 인하여 지표면의 온도가 낮고 주거지 및 공공기관으로부터의 거리가 멀리 나타난 지역이므로 무더위쉼터로 선정되기 어려운 지역이다. 붉은색은 무더위쉼터로서의 가능성이 높은 지역으로, 강화·옹진군은 일부 시가지 지역 및 65세 이상 고령층의 거주지역이 밀집된 강화군청 일대에서 무더위쉼터의 입지 가능성이 높게 나타났으며, 강화·옹진군 이외의 지역에서는 원도심이면서 저층 노후 주거지가 밀집된 미추홀구와 부평구의 비율이 가장 높았다.

IV. 결과 및 고찰

기후위기는 취약계층에 직접적으로 보다 큰 영향을 미치고 있으며, 취약계층의 폭염으로 인한 피해를 예방하기 위하여 지자체마다 무더위쉼터 운영 및 폭염 저감 시설을 확충하고 있다. 제3차 인천광역시의 기후위기 적응대책에는 2021년 기준 약 1,082개소의 실내·외 무더위쉼터를 매년 10개소 확충하려는 계획이 포함되어 있다. 현재 실내 무더위쉼터의 개수는 1,006개이며, 적응대책의 목표 달성을 위해 무더위쉼터로서 가능성이 높은 지역에 대한 분석이 먼저 필요하다.

본 연구에서는 인천광역시의 환경 특성을 고려하여 강화·옹진군과 이외의 지역을 대상으로 무더위쉼터의 분포 현황 및 특성을 분석하고 이를 기반으로 로지스틱 회귀모형을 개발하여 무더위쉼터 가능 지역을 예측하였다. 인천광역시의 무더위쉼터 특성을 분석하고, 기후위기 취약계층과 취약지역을 고려하여 로지스틱 회귀모형의 환경변수를 구축하였다. 무더위쉼터는 행정복지센터 및 금융기관 등 공공시설에 추가적인 기능으로 사용되는 경우가 대부분이며, 고령자의 거주지 및 노후 주거지 인근에 주로 밀집되어있는 경향이 있었다. 환경변수로는 지표면 온도(LST), 65세 이상 고령자 수 등을 사용하였으며, 지역별로 변수 간의 상관성 분석 등을 통해 유의미한 변수를 선정하여 로지스틱 회귀모형을 개발하였다.

강화·옹진군 이외 지역에서는 지표면 온도가 높을수록, 65세 이상 고령자의 수가 많을수록, 공공시설로부터 가까울수록, 노후 주거지로부터 가까울수록 무더위쉼터로 가능성이 높게 나타났다. 강화·옹진군 지역에서는 지표면 온도가 높을수록, 65세 이상 고령자 수가 많을수록 무더위쉼터로서의 가능성이 높은 것으로 나타났다. 이는 지역별 사회적·환경적 차이에 기인한 것으로, 강화·옹진군에서의 인구밀도는 낮고 면적이 인천광역시 전체 면적의 약 50%를 차지하며 고령층의 1차산업 종사자들이 분산적으로 거주하고 있어, 무더위쉼터가 거주지 및 기반시설이 상대적으로 밀집되어 있는 지역 인근에 있다. 반면 강화·옹진군 이외의 도심 지역에서는 원도심의 노후주택에 거주하는 고령자가 많은 지역의 공공시설에 주로 무더위쉼터가 자리잡고 있으며, 이는 폭염으로 인하여 피해 발생 가능성이 높은 취약지역 및 취약계층의 수요를 고려하여 선정되었기 때문이다. 이처럼 지역별 환경 차이에 따라 무더위쉼터로서 역할을 할 수 있는 기반 시설의 위치 및 수요가 다르므로 이를 종합적으로 고려한 무더위쉼터 확대 방안이 필요하다.

V. 결론

본 연구에서는 로지스틱 회귀분석을 이용하여 기후위기 취약계층을 위한 무더위쉼터 가능 지역을 예측하

였다. 인천광역시 내에서도 환경이 크게 다른 강화-옹진군과 이외의 지역으로 구분하여 통계 및 국가 공간 자료에 기반하여 모형을 개발하였으며, 해당 모형에서는 취약지역 및 취약계층, 그리고 기존 무더위쉼터로서의 특성이 반영되었다. 전국적으로 대부분의 지자체가 도입 및 추진하고 있는 기후위기 적응대책 중 하나인 '무더위쉼터 확대' 사업의 확대 방안을 검토할 때 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 다만 일시적, 상대적으로 LST가 낮은 지역이라도 저층 주거밀집 지역에 거주하는 취약계층의 경우 냉방비 등의 부담에 의한 지속적인 더위 상황에 노출될 경우 온열질환 발생으로 이어질 가능성이 높다. 따라서 취약계층이 거주하는 저층 주거밀집 지역의 경우, 지표면 온도와 상관없이 쉼터가 10분 이내 거리에 위치할 수 있게 적극적인 확대가 요구되는 우선 지역으로 판단된다. 특히 노후 저층 주거밀집 지역의 경우 물리적인 주거 조건 자체가 열악하여 집에서 온열질환이 발생할 확률 또한 높다. 따라서 이러한 지역의 경우 무더위쉼터의 확대뿐만 아니라 최소 주거 기준을 충족시킬 수 있는 추가적인 환경개선, 경제적 지원 등의 방안이 필요할 것이다. 본 연구에서는 인천광역시 전체를 대상으로 환경변수를 이용해 무더위쉼터 가능 지역을 도출할 수 있는 모델을 개발하였으며, 향후 이번 연구의 개발원칙과 방법론을 활용하여 여타 기초지자체에서 활용할 수 있는 취약계층의 이동 및 행태를 고려한 모델 개발에 기여할 수 있을 것이다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 신기후체제 대응 환경기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2023-00221110).

References

- Bae M-K, Kim B-E, Lee C-Y. 2020. Analysis on the spatial relationship between the residential area of the vulnerable groups and the hazardous area during the heat wave. *Environmental Policy* 28(3): 243-280. [Korean Literature]
- Brett L. 2024. *Machine Learning with R-Fourth Edition: Learn techniques for building and improving machine learning models, from data preparation to model tuning, evaluation, and working with big data 4th ed. Edition*, Acorn publishing Co., Ltd.. Printed in Korea. [Korean Literature]
- Chae SM, Kim N-S, 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. [Korean Literature]
- Cho KD, Ryu J, Bu CJ. 2022. Spatial downscaling of population vulnerable to climate change in Incheon Metropolitan City and Policy Utilization Plan. *The Incheon Institute*, pp. 7-99. [Korean Literature]
- Hong SH. 2005. Binomial and multinomial logistic regression. *History of Education and Science*, pp. 1-141. [Korean Literature]
- Incheon Metropolitan City. 2021. *The 3rd Incheon Metropolitan City Climate Change Adaptation Measures Detailed Implementation Plan (2022-2026)*. [Korean Literature]
- Japanese Ministry of the Environment (JME). 2011. *Health manual of heat stroke*, pp. 6-7.
- Kang JY, Heo J, Park B-C, Kim K. 2020. A study on Improvement of heat wave adaptation through questionnaire survey on the heat wave cognition in Busan. *National Land Research* 107: 79-92. [Korean Literature]
- Kim D, Park J, Chae Y. 2020. The policy measures to reduce heat-wave damage of vulnerable groups in Korea. *Environmental Policy* 28(2): 6: 211-260. [Korean Literature]
- Kim DW, Chung JH, Lee JS, Lee JS. 2014. Characteristics of Heat wave Mortality in Korea. *Atmosphere. Korean Meteorological Society* 24(2): 225-234.
- Bae M-K, Kim B-E, Lee C-Y. 2020. Analysis on the spatial relationship between the residential area of the vulnerable groups and the hazardous area during the heat wave. *Environmental*

- [Korean Literature]
- Kim HR, Kim YJ. 2021. Identification of Vulnerability factors for urban floods: Considering social vulnerability of vulnerable groups in Seoul. *Journal of Climate Change Research* 12(2): 187-202. [Korean Literature]
- Kim KW. 2019. There is a need for heat wave measures such as expansion of heat shelters and tropical night shelters considering regional balance. Busan edvelopment institute. [Korean Literature]
- Kim, J, Kim H. 2020. Analysis on the Characteristics of Heat Wave Vulnerable Areas Using Landsat 8 Data and Vulnerability Assessment Analysis. *Journal of the Korean Geographic Information Society* 23(1): 1-14. [Korean Literature]
- Lee H, Kim G. 2012. Landslide Risk assessment in Inje using logistic Regresssion model. *Journal of the Korean Society of Surveying and Surveying* 30(3): 313-321. [Korean Literature]
- Lee J-D, Bhang KJ, Han SH. 2012. Relationship analysis between topographic factors and land surface temperature from Landsat 7 ETM+ imagery. *Journal of the Korea Contents Association* 12(11): 482-491. [Korean Literature]
- Lee JH, Wang K. 2013. Green city policy direction considering vulnerable groups. *Korea Reseach Institute for Human Settlements* 427: 1-6. [Korean Literature]
- Lee J-S, Oh M-K. 2019. Distribution analysis of lan surface temperature about seoul using landsat 8 satellite images and AWS data, *Journal of the Korea Academia-industrial, Cooperation Society* 20(1): 434-439. [Korean Literature]
- Lee K, Han TW. 2019. Impact of climate change to the summer season hedging cost in electricity sector: Using a weather derivatives simulation method. *Environmental Policy* 12: 125-159. [Korean Literature]
- Lee K, Lee SJ, Tuvshinjargal N, Lee ES, Lee GG, Jeon SW. 2020. Study on Heat Vulnerability Assessment Using Biotope Map: A Case Study of Suwon Korea. *Journal of Climate Change Research* 11(6): 629-641. [Korean Literature]
- Lee K, Lim CH. 2022. Analysis of the Surface Urban Heat Island Changes according to Urbanization in Sejong City Using Landsat Imagery. *Journal of the Korean Society of Remote Sensing* 38(3): 225-236. [Korean Literature]
- Lee KI, Ryu J, Jeon SW, Jung HC, Kang JY. 2017. Analysis of the effect of heat island on the administrative district unit in Seoul using Landsat image. *Korean Journal of Remote Sensing* 33(5-3): 821-834. [Korean Literature]
- Lee M. 2020. Urban heat wave occurrence status and damage reduction direction. *Planning and Policy Brief* 466: 15-20. [Korean Literature]
- Lee SY, Kwon YS. 2022. Direction of Improvement of Indicators in Heat Wace Sector of The Urban Climate Change Disaster Vulnerability Analysis System. *Living Environment* 20(3): 1-16. [Korean Literature]
- Martinez GS, Imai C, Masumo K. 2011. Local Heat Stroke Prevention Plans in Japan: Characteristics and Elements for Public Health Adaptation to Climate Change. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8: 4563-4581.
- Park JE, Heo BY, S Y. 2016. A Study on Human Damage due to Heat Wave by Region. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 16(1): 103-109.
- Park J-K. 2020. A study on the characteristics of heat wave disaster vulnerability using landsat satellite imagery. *Korea Society of Environmental Administration* 26(1): 33-38. [Korean Literature]
- Park M-H, Kim H. 2021. Effects of heat vulnerability on the distribution of young single-person households in the Seoul Metropolitan area, *Journal of Korea Urban Design Society Urban*

- Design 22(3): 41-53. [Korean Literature]
- Rhim H, Baek S, Ko Y, Jung N, Choi J. 2023. Optimal Locatino selection for the cooling fog system using Landsat-8 Satellite Images. Journal of the Korean Society of Regional Geography 29(1): 107-116. [Korean Literature]
- Ryu J, Bu C, Cho KD. 2023. Incheon metropolitan city climate adaptation priority selection and utilization plan in planning. Journal of Climate Change Research 14(4): 405-423. [Korean Literature]
- Seo JW, Ryu DW, Y BW. 2020. Logistic regression analysis considering soil loss and GIS-based urban ground subsidence vulnerability assessment. Tunnel & Underground Space 30(2): 149-163. [Korean Literature]
- Song K-W. 2013. Emergency measures for people vulnerable to heat waves. BDI Focus. Busan Development Institute. [Korean Literature]
- Hankyung dot com: Another death from heat-related illness occurred during the longest tropical night in history [Internet], Hankyung dot com; [cited 2024 Aug 17]. Available from: <https://www.hankyung.com/article/2024081784487>