

재난 대피 시설의 공간적 분포와 접근성에 관한 연구: 청주시를 중심으로

A Study on the Spatial Distribution and Accessibility of Disaster Evacuation Facilities: Focusing on Cheongju City

박현수* · 권설아**

Park, Hyun Soo*, and Kwon, Seol A**

Abstract

Hazards are problems that can arise due to the climate crises. The rise in temperature on the earth can lead to an outbreak of many natural hazards. Hazards arising due to the climate crises are typically characterized by their unspecified targets, diversified aspects, and enlarged scale. This study aimed to examine the distribution and accessibility of disaster evacuation facilities, considering Cheongju as the target city. Our findings show that the disaster evacuation facilities are proportional to the population; therefore, the distance between the facilities was less in highly populated areas. Areas far from the disaster evacuation facilities are generally scattered. This particular area has a population scattered over a wide region; therefore, it was not easy to designate a disaster evacuation facility. Additionally, regression analysis was performed to examine the regional characteristics exhibited by the distance from the disaster evacuation facilities, which showed that the areas with a higher population of toddlers relative to the entire population and a higher number of buildings were nearer to the disaster evacuation facilities. Conversely, areas with a higher elderly population relative to the entire population and decrepit buildings were further from the disaster evacuation facilities.

Key words : Disaster Prevention, Evacuation Facility, Disaster Management, Hazards, Spatial Analysis

요 지

기후위기로 인해 발생할 수 있는 문제는 바로 자연재해이다. 지구의 기온 상승으로 인해 많은 자연재해가 발생할 수 있다. 기후위기로 인한 재해의 특징으로는 재해의 대상이 불특정하고, 양태는 다양해지며, 규모는 대형화되는 것이다. 본 연구는 청주시를 대상으로 재난대피시설의 분포를 살펴보고, 이들 시설까지의 접근성을 살펴보고자 하였다. 또한 연령에 따른 인구특성 별로 이동거리를 확인하고, 재난대피시설까지의 거리에 영향을 미치는 요인을 살펴보고자 하였다. 연구 결과를 살펴보면 재난대피시설은 인구에 비례하여 위치하고 있어, 인구가 많은 지역에서는 거리가 짧게 나타났다. 재난대피시설까지 거리가 먼 지역은 대체로 산재되어 있었다. 이 지역은 넓은 지역에 산재되어 있어 재난대피시설의 지정이 쉽지 않을 것으로 보인다. 그리고 재난대피시설로부터의 거리에 따른 지역적 특성을 살펴보기 위한 회귀분석의 결과는 전체 인구 중에서 유아의 인구가 많을수록, 건물수가 많을수록 재난대피시설로부터의 가까운 것으로 나타났다. 이에 반해 전체 인구 중에서 노인의 인구가 많을수록, 노후된 건물이 많을수록 재난대피시설로부터의 거리가 먼 것으로 나타났다.

핵심용어 : 재난방재, 대피시설, 재난관리, 위기관리, 공간분석

*정회원, 충북대학교 국가위기관리연구소 시민치안연구센터장(E-mail: parkhs75@gmail.com)

Member, Chief, Center for Citizen Safety Research, National Crisisontology Institute, Chungbuk National University

**교신저자, 정회원, 충북대학교 국가위기관리연구소 재난안전혁신센터장(Tel: +82-43-249-1301, Fax: +82-43-272-5798, E-mail: seolakwon@chungbuk.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Chief, Center for Disaster Safety Innovation, National Crisisontology Institute, Chungbuk National University

1. 서 론

기후위기, 도시화, 인구포화상태 등으로 자연재난에 대한 빈도와 심각성이 높아지고 있다(Jha et al., 2015). 이러한 심각한 문제를 해결하기 위해 2015년 재난 위험 감소를 위한 센다이프레임워크(DRR)와 지속 가능한 개발 목표(SDGs) 등이 UN에 의해 수립 되었다. 이 프레임워크에서 취약성 감소는 새로운 재난 위험을 방지한다는 목표를 달성하기 위한 가장 중요한 방법이다(Palliyaguru et al., 2014; Djalante, 2019; Aly et al., 2022).

취약성은 명확하게 정의하기 어려운 개념이며 다양한 상황에 처한 사람들 사이에서 다양성과 복잡성을 지닌다. 취약성은 감수성, 약점, 결함 또는 능력 부족과 관련된 것으로 간주된다(Weichselgartner, 2001; Bolin and Kurtz, 2018; UNDRR, 2022).

최근의 재난 상황에서의 취약성의 개념은 사회적(Peek and Stough, 2010; Flanagan et al., 2011), 경제적(Kienberger et al., 2009; Eid and El-Adaway, 2017), 환경적 및 지리적 분야(Pavlova et al., 2017; Miao et al., 2018)에서 정교 해지고 있으며, 선행연구에는 여러 가지 취약성 정의와 평가를 위한 다양한 방법론적 접근법들이 제시되고 있다.

재난대피시설은 재난에 대한 위험성을 줄이고, 취약성을 개선하는데 중요한 구성 요소이다(Bashawri et al., 2014; Zhao et al., 2017; Ma et al., 2019). 재난이 발생하면 대피시설은 위험 지역 및 상황으로부터 시민들을 보호하기 위한 가장 중요한 수단이 된다. 따라서 대피시설은 재난으로 인한 인적 및 물질적 손실을 최소화하기 위한 핵심 요소로 볼 수 있다(Nappi et al., 2019; Sabouhi et al., 2019).

재난 대피시설은 재난 피해자에게 즉각적이고 일시적인 숙소를 제공 할 뿐만 아니라 재난 상황에서 입은 피해에서 회복하도록 돕고, 재난상황으로 인한 스트레스에 대처하고 적응하는 과정을 돕는 기반적 요소가 된다(Twigg, 2021).

또한, 재난에 대한 영향을 받은 희생자의 생존은 피난 대피시설의 가용성과 접근성에 크게 영향을 받는다. 따라서 재난 시 적절한 대피처를 제공하고 배치하는 연구는 재난관리 연구에서 매우 중요한 부분으로 볼 수 있다(Nappi and Souza, 2015; Mostajabdaveh et al., 2019).

본 연구는 기후변화로 인해 발생할 수 있는 다양한 유형의 기후적 자연 재난인 재난 및 안전관리 기본법상의 자연재난) 상황에 따른 대피 시설의 공간적 분포와 접근성을 살펴본다. 이 결과를 통해 재난대피시설로 신속히 이동할 수 있는 지역과 그렇지 못한 지역 등 지역별 이동거리의 공간적 분포를 확인하고, 인구특성별(유아, 노인)로 이동거리에 따

른 수혜비율도 살펴보도록 한다. 마지막으로 이동거리에 따른 공간적 특성(인구, 건축물 등)을 통해 재난대피시설까지의 이동거리에 영향을 미치는 요인을 살펴본다. 이를 통해 재난관리 취약성에 영향을 미치는 요인을 찾아 재난관리의 효과성을 높일 수 있는 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 선행연구

재난대피시설은 재난이 발생한 상황에서 사람들이 신속하게 대응할 수 있도록 하는 시설이다. 재난발생 상황에서 재난대피시설로의 대피는 생존을 위해 중요하다. 즉 재난이 발생한 이후에 가급적 빠른 시간 내에 대피할 수 있다면 생존 가능성은 높아질 수 있다. 반대로 재난이 발생했을 때 대피시설의 접근가능성이 낮은 지역에 거주하는 사람들은 생존 가능성이 낮아질 수 밖에 없다(Tsai et al., 2008; Celik, 2017).

재난관리에 있어서 대피단계는 일반적으로 재난 대응 운영의 효율성을 높이고 재난으로 인한 인명 피해 및 신체적 피해 위험을 최소화하기 위해 종종 요구되는 행동으로 간주된다. 대피단계에서는 재난 발생 지역의 재난 유형 및 사전 경고 수준에 따라 위험 구역에서 사람들을 피난하게 하는 수단을 필수, 권장, 선택으로 구분할 수 있다(Vorst, 2010; Campos et al., 2012).

또한, 피난은 사람들을 위험 구역 밖으로 옮기는 것과 관련이 있어 피난 대피소의 위치와 피난 대피소까지의 거리는 특정 지역 내에서 인간의 생명에 대한 위협이 얼마나 상대적으로 높은지에 따라 달라질 수 있다(Uno and Kashiya, 2008; Lambert et al., 2013).

재난대피시설의 접근성에 영향을 미치는 요소는 대피 경로와 거리이다. 대피 경로와 거리는 대피 시설로 이동하는 사람들의 이동을 위한 행동에 큰 영향을 미치는 요소가 된다. 예를 들어 홍수로 범람하거나 지진으로 인해 붕괴한 건물로 덮인 경로는 대피의 효율성을 떨어뜨리고, 피난자의 이동 비용에 영향을 미친다(Yoo and Choi, 2019; Pan, 2020).

또한, 재난대피시설에 도착하기 위해 대피 경로를 따라 이동하는 것은 특히 취약한 인구 집단에 속한 개인(노인, 이동, 장애인 등)에게는 어렵다(Nakanishi et al., 2019; Villeneuve et al., 2021).

국외 재난대피시설을 살펴보면 미국의 경우에는 Mega-Shelter Planning Guide를 통해 단기대피에서 중장기 대피를 위한 운영 지침을 갖고 있다. 재난대피시설은 일반적으로 재난이 발생한 지역 인구의 10-20%의 규모로 계획된다(FEMA, 2010).

호주의 재난대피시설과 관련한 계획을 살펴보면, 대피장소의 적절성, 위치, 진입 및 출입, 교통서비스 등의 포괄적인 내용을 다루고 있다(Choi and Moon, 2017).

1) 재난 및 안전관리기본법 제3조 1항 가. 자연재난: 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 한파, 낙뢰, 가뭄, 폭염, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대발생, 조수(潮水), 화산활동, 소행성·유성체 등 자연우주물체의 추락·충돌, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해

재난대피시설의 접근성을 살펴보기 위해 몇몇 선행연구에서는 GIS 공간분석기법 중 네트워크 분석을 사용했다(Ma and Kim, 2011; Oh et al., 2012). 네트워크 분석은 노드와 링크로 구성된 네트워크 모델을 통해 분석이 이루어진다. 노드는 이동하면서 속도의 변화가 발생하는 곳으로 교차로, 도로의 시작이나 종점 등이고, 링크는 노드와 노드를 연결한 선으로 이동가능한 도로이다. 이러한 방법은 119 센터의 차량이 특정 시간에 도달할 수 있는 서비스 권역을 살펴보거나(Oh et al., 2012), 응급의료 서비스 취약지역을 분석하거나(Yang, 2004), 보행을 통한 도시 공공시설 접근성을 살펴보기 위한 연구(Jeon, 2011) 등으로 적용할 수 있다.

재난대피시설 관련 연구로 Kim (2005)은 재해발생시 보행을 통해 대피소까지의 이동거리를 통해 대피소의 적정위치 선정에 이용했다. 또한 Park and Kim (2012)은 서울을 대상으로 보행을 통해 5분 이내에 도착할 수 있는 대피소에 대해 살펴보고, 이와 함께 보행속도에 대해 나이, 건강상태, 신체조건 등 개인차를 고려하여 연구하였다.

3. 연구방법

3.1 연구자료

본 연구의 대상인 청주시는 도농복합지역으로 도시지역과 비도시지역이 공존하고 있다(Kwon and Ryu, 2018). 2020년 기준 청주시 도시지역의 인구는 775,873명(91.8%)이고, 비도시지역의 인구는 69,120명(8.2%)으로 대부분의 청주시민은 도시지역에 거주하고 있다. 면적별로 도시지역은 339.4 km² (36.1%)이고, 비도시지역은 601.0 km² (63.9%)로 비도시지역의 면적이 매우 넓다. 용도지역별로는 주거지역이 42.7 km² (4.5%)이고, 상업지역은 5.2 km² (0.6%), 공업지역은 20.7 km² (2.2%), 녹지지역은 270.8 km² (28.9%), 농림지역은 271.1 km² (28.8%) 등으로 청주시의 인구는 한정된 주거지역에 밀집되어 있다(Cheongju City, 2022).

본 연구에서 도농복합시인 청주시를 선택한 이유는 첫째, 포괄적 재난관리를 위함이다. 도농복합시의 특성은 농촌의 특성과 도시의 특성을 모두 지니고 있다. 이에 재난 발생시 대피와 관련한 재난시설을 모두 포괄해서 고려해야 할 필요가 있다. 따라서 포괄적 재난관리를 위한 연구를 위하여 도농복합시 중 청주시를 선정하였다. 둘째, 재난대피시설의 접근성에 다양한 공간적 변화를 고려해야 함에 있다. 도농복합시는 도시와 농촌지역의 균형발전을 위하여 등장했다. 이에 공간적 변화가 발생함에 따라 재난대피시설 접근성이 다른 기초자치단체와는 다른 특이성을 살펴보기 위하여 선정하였다(Kwon and Ryu, 2018).

특히 청주시의 경우 2014년 7월 1일 청원군과 통합한 가장 최근에 구성된 도농복합도시로서 도시지역과 비도시지역의 인구밀집도는 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 청주시의 공간에 따른 인구사회학적, 지리적 다양성은 자연재난이

나 사회재난이 발생했을 경우에 미치는 영향이 지역에 따라 다를 수 있다. 이에 청주시 재난대피시설의 분포와 접근성을 살펴볼 필요가 있다(Kim, 2019).

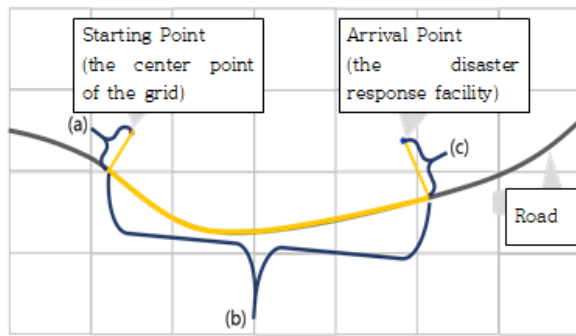
본 연구에서는 청주시 내 공간의 특성을 파악하기 위해 국토정보플랫폼 국토통계지도(<https://map.ngii.go.kr/>)에서 제공하는 청주시 250 m 격자 도면(15,526개 격자)과 각 격자 내 인구수(총인구, 유아, 그리고 고령인구), 건물특성(총 건물수, 35년 이상 건물수)의 정보를 수집하였다. 그리고 청주시 재난대피시설을 파악하기 위해 공공데이터포털(<https://www.data.go.kr/>)에서 ‘충청북도 지역별 재난 대피 데이터’를 수집하였다. 이 자료는 충청북도 내 재난대피시설 종류와 주소 등의 정보를 수록하고 있다. 이 자료의 주소를 이용하여 청주시 내에 위치한 재난대피시설을 선별하였고, Geocoding을 사용하여 좌표로 변환하였다.

이 자료에는 456개소의 민방위대피시설, 지진옥외대피장소, 그리고 지진겸용임시주거시설이 구분되어 제공되고 있다. 이 자료 중에서 민방위대피시설은 대체로 지하주차장이거나 지하로 지정되어 있어 지진이나 수해 등 자연재해에 대응하기 위한 시설로 부적합하다고 판단하였다. 따라서 이 연구에서는 186개소의 지진옥외대피장소와 지진겸용임시주거시설만을 대상으로 분석하였다. 또한 청주시 내 각 공간과 재난대피시설 간의 거리를 산출하기 위해 국가교통정보센터(<https://www.its.go.kr/>)에서 ‘전국표준노드링크’ 자료를 수집하였다.

3.2. 연구방법

청주시 내 각 공간에서 재난대피시설까지의 접근성을 살펴보기 위해 도로이동거리를 산출하고자 한다. 두 지점 간의 거리는 직선거리를 이용하여 파악하는 것이 쉬운 방법이다. 그러나 직선거리는 건물, 하천 등 다양한 장애물로 인해 이동이 불가능하기 때문에 현실을 반영한다고 할 수 없다. 이에 비해 도로이동거리는 출발지에서 사람이 이동할 수 있는 도로를 이용하여 도착지까지 이동한 거리이다. 도로이동거리를 통해 재난대피시설까지의 거리를 이용하게 된다면 재난발생 시 시민이 이동하는 실제 거리에 가까운 값을 알 수 있을 것이다.

Fig. 1을 살펴보면, 도로이동거리를 산출하기 위해 우선 출발지는 250 m 격자의 중심점(centroid)을 기준으로 하였다. 그리고 도착지는 재난대피시설이다. 출발지부터 도착지까지 도로를 이용한 거리는 단순히 도로의 길이만으로는 산출할 수 없다. 이러한 이유는 출발지부터 가장 가까운 도로까지의 거리도 함께 고려해야 하기 때문이다. 그리고 도착지의 경우도 마찬가지로이다. 따라서 이 연구에서는 도로이동거리는 출발지로부터 가장 가까운 도로까지의 최단거리, 출발지 도로로부터 가장 가까운 재난대피시설 인근 도로까지 최단거리, 그리고 도착지 도로로부터 재난대피시설까지의 최단거리를 모두 합산한 값으로 정의하도록 한다.



Road travel distance = the shortest distance from the starting point (the center point of the grid) to the nearest road (a) + the shortest distance from the nearest road from the starting point to the nearest road from the disaster response facility using the road (b) + the shortest distance from the nearest road from the disaster response facility to the disaster response facility (c)

Fig. 1. The Distance Traveled on the Road

격자의 중심점에서 재난대응시설까지의 도로이동거리는 한 격자에서 재난대피시설의 수만큼 산출될 수 있다. 이들 도로이동거리 중에서 격자의 중심점으로부터 재난대피시설까지 가장 가까운 도로이동거리를 이 연구에서는 사용하도록 한다.

재난대피시설까지의 도로이동거리를 통해 청주시 각 지역에서의 접근성을 살펴볼 수 있을 것이다. 또한 각 지역별 도로이동거리에 영향을 미치는 요인을 살펴보도록 한다. 이를 통해 재난대피시설로부터 먼 거리에 있는 지역의 특성을 살펴볼 수 있을 것이다.

이 연구에서는 R 프로그램을 이용하여 분석하였다. 도로이동거리를 산출하기 위해 출발지 혹은 도착지로부터 가장 가까운 거리를 구하기 위해 R 프로그램의 'geosphere' 패키지를 이용하였다. 이 패키지의 'dist2Line' 함수는 격자의 중심점이나 재난대피시설과 같은 점(point)에서 도로인 선(line)까지 가장 가까운 거리를 구할 수 있는 함수이다. 그리고 출발지 도로로부터 도착지 도로까지 최단거리를 구하기 위해 'splannr' 패키지를 이용하였다. 이 패키지의 'sum_network_routes' 함수를 이용하여 노드와 링크로 구성된 교통망에서 출발지 점과 도착지점까지 최단 경로를 선정할 수 있다. 또한 최단 경로의 거리를 구할 수 있어, 이 연구에서는 최단 경로의 거리를 이용했다. 이밖에도 연구결과를 표현하기 위해 'rgdal', 'sp', 'ggplot2', 'splot' 등 공간데이터를 분석 및 가시화하기 위한 패키지를 사용하였다.

4. 연구결과

재난대피시설과 관련한 수집된 자료를 통해 청주시의

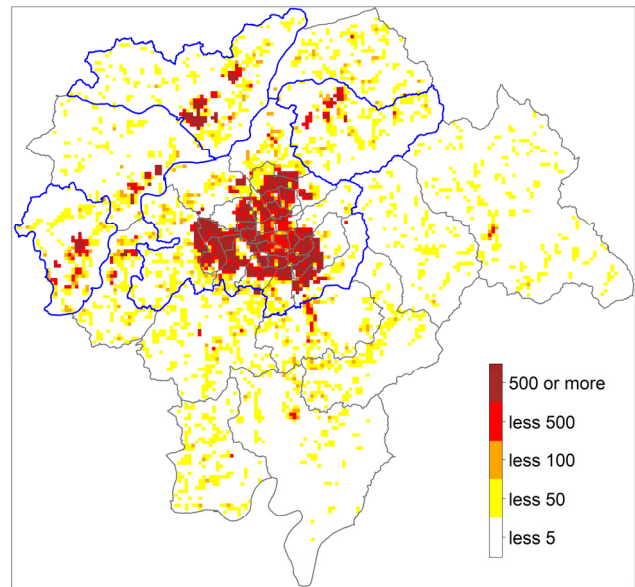


Fig. 2. Cheongju Population Distribution

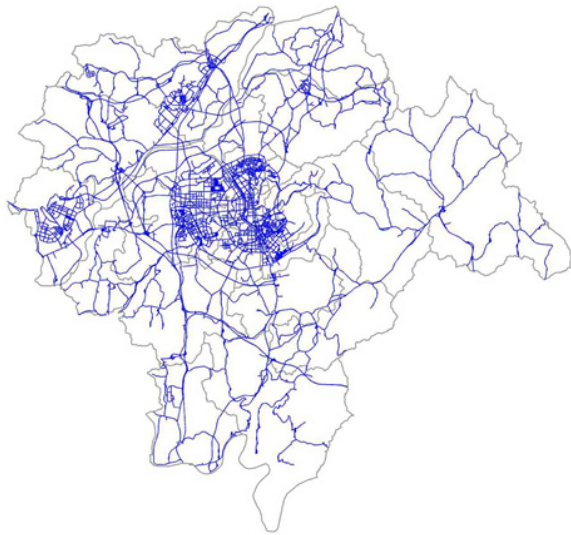
공간적 특성을 살펴보았다. Fig 2는 청주시 내 격자별 인구이다. 청주시 인구는 중심부와 외곽 일부 지역의 인구밀도가 높은 것을 확인할 수 있다. 특히 중심부 지역은 상대적으로 넓은 지역에 걸쳐 인구밀도가 높은 것으로 나타났다.

Fig. 3은 청주시 도로망과 재난대피시설의 위치이다. 이 결과를 통해 청주시 도로망과 재난대피시설의 위치는 중심부에 집중되어 있는 것을 확인할 수 있다. 앞서 살펴본 Fig. 2와 비교하면 인구밀도가 높은 곳에 도로망이 집중되어 있고, 재난대피시설도 집중되어 있는 것으로 나타나고 있다. 이에 비해 청주 외곽지역에는 일부 지역을 제외하고, 재난대피시설이 드물고, 도로가 인접해 있지 않아 이동이 상대적으로 어려운 것으로 나타났다.

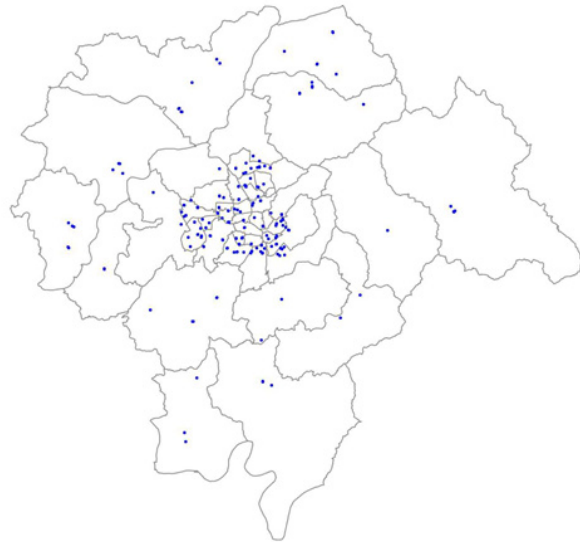
청주시의 지진옥외대피장소와 지진점용임시주거시설 같은 재난대피시설의 구성을 살펴보면 Table 1과 같다. 전체 186개소 중 초·중·고등학교와 같은 학교시설은 168개소(90.3%)로 대부분을 차지하고 있다. 이외 공원 9개소(4.8%), 체육시설 4개소(2.2%) 등이다.

재난대피시설까지 거리를 살펴본 결과는 Fig. 4와 같다. 재난대피시설까지 거리는 중심부에서 2 km 이내에 도달할 수 있는 지역이 많았다. 그렇지만 지진이나 홍수 등의 재난발생으로 인해 신속히 대피해야 하는 상황에서 재난대피시설까지 이동하는 거리가 2 km라면 이동을 위해 소요되는 시간이 적지 않을 것이다.

성인의 보행속도가 1.5 m/s이라고 가정한다면 1분당 90 m를 이동할 수 있고, 2 km를 이동하기 위해서는 22분 이상이 소요된다. 이러한 의미에서 긴급히 대피를 해야 하는 상황에서 재난대피시설까지 거리가 1 km 이상이라면 10분 이상의 시간이 소요되므로, 효과적인 대피가 이루어지기 어려울



(a) Cheongju road network



(b) Cheongju disaster response facilities

Fig. 3. Cheongju Road Network and Disaster Response Facilities

Table 1. The State of Disaster Response Facilities in Cheongju

Item	n	%
School	168	90.3
Park	9	4.8
Sports facility	4	2.2
Community service center	2	1.1
Etc	3	1.6
Total	186	100.0

수 있다. 더욱이 어린이나 노인의 경우에는 성인에 비해 보행속도가 느리므로 대피에 시간이 더 소요되기 때문에

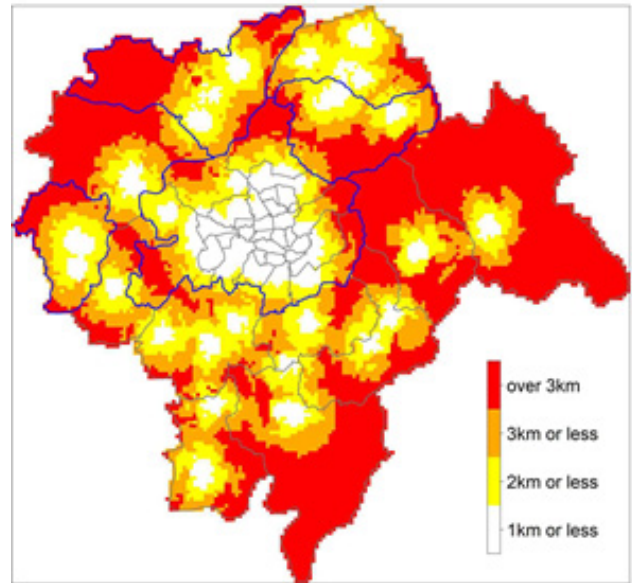


Fig. 4. Distance From Disaster Response Facilities (All Areas of Cheongju)

더욱 위험한 상황에 놓일 수 있다(Hardy et al., 2007; Studenski et al., 2011).

외곽지역에서는 재난대피시설까지의 거리가 3 km 이상인 지역이 많이 나타나고 있다. 특히 북서부지역, 동부지역, 남부지역에서는 많은 지역에서 재난대피시설까지 이동하기에 어려움이 클 것으로 보인다. 앞서 Fig. 2에서 살펴본 바와 같이 인구가 밀집되어 있는 지역의 경우에는 재난대피시설까지 이동하는 거리가 그렇지 않은 지역에 비해 가까운 것으로 나타났다. 즉 재난대피시설이 주로 인구가 많은 지역에 위치한 것이다. 이러한 점은 재난대피시설의 지정에 있어서 효율성을 감안한 것으로 볼 수 있으나 형평성을 고려하지 못한 것으로 보인다.

지역의 형평성을 고려한 재난대피시설의 지정이 필요하다고 하더라도 거주인구가 매우 드문 지역까지 재난대피시설이 있어야 한다는 것은 다시 효율성이 저하될 수 있다. 따라서 거주인구가 매우 드문 지역을 제외하고 격자별 재난대피시설까지의 거리를 살펴볼 필요가 있다. Fig. 5는 격자 내 거주인구가 5인 이상인 지역만을 대상으로 재난대피시설까지의 거리를 나타낸 결과이다. 이 결과에서 거주인구가 5인 미만인 지역은 녹색으로 표시하였다(총 15,526개의 격자 중 11,990개).

재난대피시설과의 거리가 3 km 초과인 지역은 대체로 거주인구가 드문 지역에 산재되어 있었다. 특히 북서부, 동부, 그리고 남부지역에서 이러한 경향을 나타내고 있다. 이 지역에서는 재난대피시설로 이동하는 것이 매우 어려운 지역으로 재난대피시설에 대한 수혜의 형평성을 위해 지정

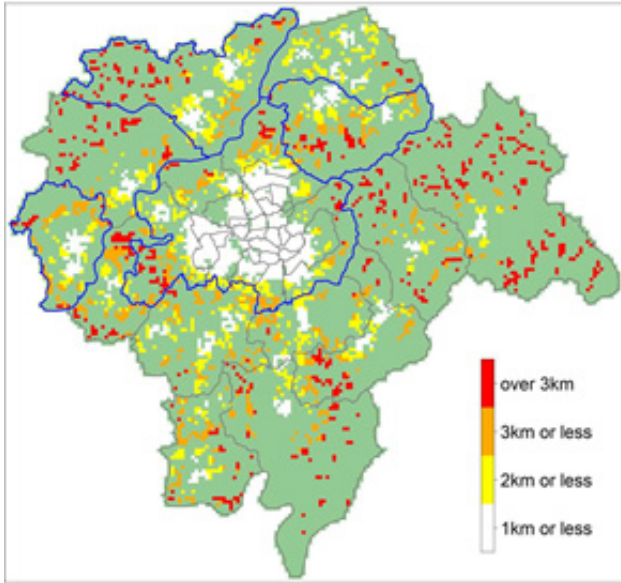


Fig. 5. Distance from Disaster Response Facilities (Areas Where 5 or More People Live in Grid)

이 필요한 것으로 보인다. 그렇지만 이 지역에는 넓은 지역에 산재되어 있어 재난대피시설의 지정이 쉽지 않을 것으로 보인다.

Fig. 6은 재난대피시설로부터 거리에 따라 포함되는 격자의 비율이다. 이 결과는 거주인구가 5명 이하인 격자를 제외한 결과이다. 재난대피시설로부터 거리가 1 km 이내에는 전체 격자 중에서 34.6%가 포함된다. 그리고 2 km 이내에는 59.9%, 3 km 이내에는 81.7%가 포함되는 것으로 나타났다. 앞서 가정했듯이 10분 이내에 성인이 도보로 재난대피시설까지 도착하기 위해서는 900 m 이내에 시설이 위치해야 한다. 그렇지만 10분 이내에 재난대피시설까지 도착할 수 있는 격자는 32.1% 정도이다. 15분 이내에 도착할 수 있는 격자의 비율은 43.5%, 20분 이내는 55.0%로 나타났다.

Fig. 7은 전체 인구 중에서 재난대피시설로부터 거리에 따라 포함되는 격자 내에 거주하는 인구의 비율이다. 이와 함께 유아와 노인을 나누어 살펴보았다. 또한 Fig. 7(b)는 유아와 노인의 경우, 성인에 비해 보행속도가 느리므로 보행 속도를 15% 느린 점을 고려한 이동거리이다. 우선 Fig. 7(a)를 살펴보면, 재난대피시설로부터 거리가 1 km 이내에는 전체 인구 중에서 86.1%가 포함되는 것으로 나타났다. 그리고 2 km 이내에는 전체 인구 중에서 95.1%가 포함되었다.

연령별로 살펴보면, 유아의 경우에는 재난대피시설로부터 거리가 1 km 이내에 전체 유아 중에서 85.7%가 포함되고 있었다. 그리고 노인의 경우에는 82.4%로 나타났다. 유아의 경우에는 전체 인구의 비율과 큰 차이를 보이지 않았으나, 노인의 경우에는 전체 인구의 비율에 비해 3.7% 더 낮게

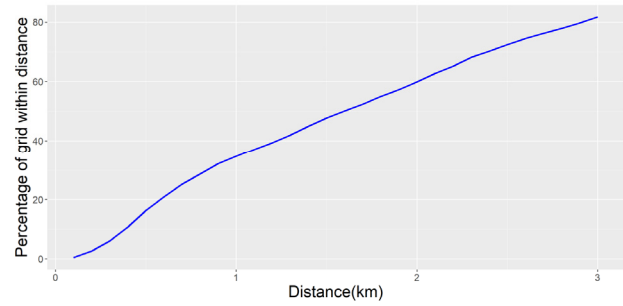
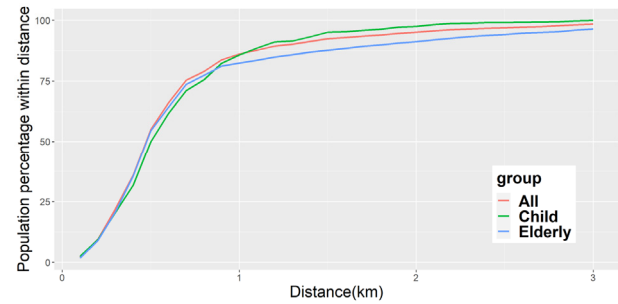
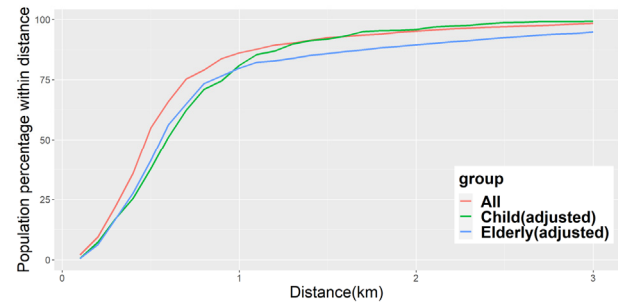


Fig. 6. Distance from Disaster Response Facilities and Percentage of Grid Within Distance (1~3 km)



(a) Distance from disaster response facilities and percentage of population within distance (1~3 km)



(b) Distance from disaster response facilities and percentage of population within adjusted distance (1~3 km)

Fig. 7. Distance from Disaster Response Facilities and Percentage of Population Within Distance (1~3 km)

나타났다. 재난대피시설로부터 거리가 2 km 이내에는 유아의 경우, 97.5%가 포함되어 전체 인구(95.1%)에 비해 더욱 높았다. 이에 비해 노인의 경우에는 91.2%로 여전히 전체 인구의 비율에 비해 낮게 나타났다.

다음으로 유아와 노인의 경우에 보행속도가 느린 점을 가정한 Fig. 7(b)를 살펴보면, 유아의 경우에는 재난대피시설로부터 1 km 이내에는 전체 유아 중에서 80.9%가 포함되고 있었다. 전체 인구의 경우(86.1%)에 비해 5.2% 더 낮게 나타났다. 노인의 경우에는 79.8%로 전체 인구와 6.3% 더 낮았다. 재난대피시설로부터 2 km 이내에는 유아의 경우,

Table 2. Regional Characteristics According to the Distance from Disaster Response Facilities

Independent variables	Coefficient	T value
Child ratio	-.13	-12.35***
Elderly ratio	.01	4.13***
Number of buildings	-.01	-21.29***
Ratio of buildings over 35 over	.01	9.01***
F value	228.82***	
R ²	.21	

*: $p < .05$, **: $p < .01$, ***: $p < .001$

95.8%로 전체 인구의 비율과 큰 차이를 보이지 않았다. 이에 비해 노인의 경우에는 89.5%로 전체 인구에 비해 5.6% 더 낮은 것으로 나타났다.

재난대피시설로부터의 거리에 따른 지역적 특성을 살펴 보기 위해 회귀분석을 시행했다. 회귀분석의 분석 단위는 격자이다. 지역적 특성으로는 각 격자별 전체 거주인구 중 유아, 노인 인구의 비율, 건물수, 그리고 35년 이상 된 건물의 비율이다.

회귀분석의 결과는 Table 2와 같다. 독립변수로 가정된 네 개의 요인이 모두 종속변수에 통계적으로 유의미한 영향을 미치고 있다. 이들 독립변수 중에서 노인의 비율과 35년 이상 된 건물의 비율은 종속변수에 정적(positive)인 영향을 미치고 있다. 이에 반해 유아의 비율과 건물수는 부적(negative)인 영향을 미치고 있다.

이러한 결과는 전체 인구 중에서 유아의 인구가 많을수록, 건물수가 많을수록 재난대피시설로부터의 가까운 것으로 나타났다. 이에 반해 전체 인구 중에서 노인의 인구가 많을수록, 노후된 건물이 많을수록 재난대피시설로부터의 거리가 먼 것으로 나타났다.

5. 결 론

전 지구적으로 평균기온이 상승하여 폭염이나 홍수가 빈번히 발생하면서 자연재해도 증가하는 추세이다. 이러한 기후위기로 인한 재난발생 시 적절한 대피가 이뤄지지 못한 다면 신체적 피해, 물질적 피해가 확대될 수 있다(O'Brien et al., 2006; Kelman, 2015).

효과적인 재난대피시설의 공간적 분포는 위치의 적합성과 인구의 분포에 대한 분석에서 출발한다. 특히 재난대피시설은 대피시설의 수요 및 자원의 분배에 있어서 인구특성상 취약성을 고려하여 자원분배의 불균형을 해소하기 위해 노력해야한다(Aryanti and Muhlis, 2020).

본 연구는 청주시를 대상으로 재난대피시설의 분포를 살펴보고, 이들 시설까지의 접근성을 살펴보고자 하였다. 또한 연령에 따른 인구특성별로 이동거리를 확인하고, 재난

대피시설까지의 거리에 영향을 미치는 요인을 살펴보고자 하였다.

이를 위해 도로이동거리를 통해 재난대피시설의 접근성을 살펴보았다. 도로이동거리를 산출하기 위해 가로와 세로 모두 250 m인 격자 도면을 이용하였고, 각 격자의 중심점을 기준으로 가장 가까운 재난대피시설까지의 거리를 계산하였다.

연구결과 첫째, 재난대피시설에 대한 공간분포를 살펴보면 청주시 인구에 비례하여 위치하고 있어, 인구가 많은 지역에서는 거리가 짧게 나타났다. 이러한 점은 인구가 밀집하지 않은 지역에서는 이들 시설까지 이동하는 거리가 멀어지는 것을 의미하고 있다. 재난대피시설까지 거리가 먼 지역은 대체로 산재되어 있었다. 특히 청주시 북서부, 동부, 그리고 남부지역에서 이러한 경향을 나타내고 있다. 이 지역에서는 재난대피시설로 이동하는 것이 매우 어려운 지역으로 재난대피시설에 대한 수혜의 형평성을 위해 지정이 필요한 것으로 보인다. 그렇지만 이 지역에는 넓은 지역에 산재되어 있어 재난대피시설의 지정이 쉽지 않을 것으로 보인다.

둘째, 재난대피시설에 대한 접근성을 격자와 인구를 기준으로 수혜범위를 살펴보았다. 우선 격자를 기준으로 재난대피시설로부터 거리가 1 km 이내에는 전체 격자 중에서 86.1%가 포함된다. 그리고 2 km 이내에는 95.1%, 3 km 이내에는 98.4%가 포함되는 것으로 나타났다. 인구를 기준으로 재난대피시설로부터 거리가 1 km 이내에는 전체 격자 중에서 34.6%가 포함된다. 그리고 2 km 이내에는 59.9%, 3 km 이내에는 81.7%가 포함되는 것으로 나타났다. 그리고 유아와 노인의 경우에는 보행속도가 상대적으로 낮을 것이라고 가정하여 재난대피시설로부터의 거리를 보정하여 살펴보았다. 이 결과에서는 유아의 경우에는 재난대피시설로부터의 거리가 1 km 이내에서는 전체 인구에 비해 포함되는 비율이 낮았으나 거리가 멀어지면서 차이가 줄어들었다. 이에 비해 노인의 경우에는 거리에 따라 포함되는 비율이 전반적으로 낮은 경향을 보이고 있었다.

셋째, 재난대피시설로부터의 거리에 따른 지역적 특성을 살펴보기 위한 회귀분석의 결과는 청주시의 경우 전체 인구 중에서 유아의 인구가 많을수록, 건물수가 많을수록 재난대피시설로부터의 가까운 것으로 나타났다. 이에 반해 전체 인구 중에서 노인의 인구가 많을수록, 노후된 건물이 많을수록 재난대피시설로부터의 거리가 먼 것으로 나타났다.

재난 발생 시 취약성은 인구 수요와 피난처 용량 자원간의 불균형의 공간적 이질성에 의해 증가하기 때문에, 본 연구에서는 재난대피시설 자원의 공간 분포를 공간 접근성 추정 및 대피에 취약한 계층유형을 통해 살펴보았다.

연구결과 재난 발생시 비도시지역에 거주하거나 주변에 위치한 사람들이 지리적으로 피난처까지의 긴 대피 거리로 인해 대피에 어려움을 겪고 있음을 확인했다. 특히 비도시지역에 거주하는 사람들의 대부분이 노인이라는 특성에 따라

지방정부가 재난 발생 시 노인의 대피환경에 대해 관리해야 한다는 증거를 제공할 수 있었다.

재난대피시설에 대한 공간분포와 접근성에 대한 연구는 향후 재난 대피시설에 대한 계획을 구성하는 데 있어서 취약한 대피환경을 개선하는데 도움을 줄 수 있다. 또한 분석된 정보를 활용하여 재난 대비 관리를 효율화하여 지역 공동체의 재난 탄력성 향상에 도움을 줄 수 있다. 또한 미래사회 발생 가능한 재난에 대한 효과적인 평가와 적절한 의사결정 절차의 사용에 도움을 주어 복잡한 재난 환경에서 상당히 잘 작동 할 수 있는 다양한 기술과 모델을 구축할 수 있다.

특히 지역사회에서 토지 이용, 도로 네트워크 및 새로운 지역사회 개발 계획은 재난 대피 체계를 우선시 하여 고려해야 한다. 따라서 본 연구결과를 활용하여 지역 환경 계획, 개발 통제 계획 및 정책 수행에 도움을 줄 수 있다.

본 연구는 향후 재난 대비를 향상시키기 위한 기초 참고 자료를 제공 할 수 있으며, 미래사회의 효과적이고 지속가능한 재난대응체계를 구축하는데 도움을 줄 것이다. 또한 취약한 지역 및 취약한 대피시설에 관한 정보관리를 통해 지방정부와 정책 입안자가 취약성 감소를 위한 정책 결정을 내리는 데 도움을 줄 수 있을 것이라 본다.

다만 본 연구는 인구특성별(유아, 노인)로 이동거리에 따른 수혜비용을 살펴보았기 때문에 장애인 등 교통약자에 대한 대피시설 접근성에 대한 한계가 있다. 재난 상황에서 장애인 등 교통약자의 대피를 위한 이동은 매우 중요한 부분이다. 그러나 아직 이들의 거주지역에 대한 데이터가 마련되지 않아 이 연구에서는 함께 분석하지 못했다. 향후 교통약자의 대피시설 접근에 대한 공간분포와 접근성에 대한 후속연구를 통한 보완을 기대해 본다.

감사의 글

이 논문 또는 저서는 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2020S1A5B8103910).

References

- Aly, M.M., Refay, N.H., Elattar, H., Morsy, K.M., Bandala, E.R., Zein, S.A., and Mostafa, M.K. (2022). Ecohydrology and flood risk management under climate vulnerability in relation to the sustainable development goals (SDGs): A case study in nagaa mobarak village, egypt. *Natural Hazards*, Vol. 112, pp. 1107-1135.
- Aryanti, T., and Muhlis, A. (2020). Disaster, gender, and space: Spatial vulnerability in post-disaster shelters. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 447, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- Bashawri, A., Garrity, S., and Moodley, K. (2014). An overview of the design of disaster relief shelters. *Procedia Economics and Finance*, Vol. 18, pp. 924-931.
- Bolin, B., and Kurtz, L.C. (2018). Race, class, ethnicity, and disaster vulnerability. In H. Rodríguez, W. Donner, and J. Trainor (Eds.), *Handbook of disaster research* (pp. 181-203). Cham: Springer.
- Campos, V., Bandeira, R., and Bandeira, A. (2012). A method for evacuation route planning in disaster situations. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 54, pp. 503-512.
- Celik, E. (2017). A cause and effect relationship model for location of temporary shelters in disaster operations management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 22, pp. 257-268.
- Cheongju City. (2022). *Cheongju city basic statistics*. Retrieved August 8, 2022 from cheongju.go.kr
- Choi, S.K., and Moon, J.M. (2017). Research composition of space and current situation of domestic temporary evacuation facility for responding to Korea social disaster. *Journal of the Korean Housing Association*, Vol. 28, No. 6, pp. 11-19.
- Djalante, R. (2019). Key assessments from the IPCC special report on global warming of 1.5 C and the implications for the sendai framework for disaster risk reduction. *Progress in Disaster Science*, Vol. 1, 100001.
- Eid, M.S., and El-Adaway, I.H. (2017). Sustainable disaster recovery decision-making support tool: Integrating economic vulnerability into the objective functions of the associated stakeholders. *Journal of Management in Engineering*, Vol. 33, No. 2, 04016041.
- FEMA. (2010). *Maga-shelter planning guide: A resource and best practices reference guide*. Retrieved June 30, 2022, from <https://www.fema.gov/pdf/emergency/disasterhousing/mspg.pdf>
- Flanagan, B.E., Gregory, E.W., Hallisey, E.J., Heitgerd, J.L., and Lewis, B. (2011). A social vulnerability index for disaster management. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-22.
- Hardy, S.E., Perera, S., Roumani, Y.F., Chandler, J.M., and Studenski, S.A. (2007). Improvement in usual gait speed predicts better survival in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, Vol. 55, No. 11, pp. 1727-1734.
- Jeon, B.W. (2011). *A study on the development of network for pedestrian access to public facility*. Ph.D. dissertation,

Kangwon National University.

- Jha, A., Brecht, H., and Stanton-Geddes, Z. (2015). Building resilience to disasters and climate change in the age of urbanization. In I. Davis, K. Yanagisawa, and K. Georgieva (Eds.), *Disaster Risk Growth and Livelihood: Investing in Resilience and Development* (pp. 7-27). London and New York: Routledge.
- Kelman, I. (2015). Climate change and the Sendai framework for disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Science*, Vol. 6, No. 2, pp. 117-127.
- Kienberger, S., Lang, S., and Zeil, P. (2009). Spatial vulnerability units-expert-based spatial modelling of socio-economic vulnerability in the Salzach catchment, Austria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 9, No. 3, pp. 767-778.
- Kim, D.W. (2019). Analysis and implications of innovative brand tasks by local government type. *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 19, No. 5, pp. 128-137.
- Kim, Y.C. (2005). *Selection of appropriate location for the disaster relief shelter in the city*. Master's thesis, Yonsei University.
- Kwon, S.A., and Ryu, S.I. (2018). Current status of ordinances on disasters and safety management and policy tasks for enhancement of disaster resilience capacity of basic local governments: Focusing on urban-rural complex typed cities. *Korean Local Government Review*, Vol. 20, No. 1, pp. 25-45.
- Lambert, J.H., Parlak, A.I., Zhou, Q., Miller, J.S., Fontaine, M.D., Guterbock, T.M., et al. (2013). Understanding and managing disaster evacuation on a transportation network. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 50, pp. 645-658.
- Ma, S., and Kim, H.S. (2011). Accessibility to welfare facilities for the aged through GIS network analysis: Focused on inland areas in Incheon. *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 70, pp. 64-75.
- Ma, Y., Xu, W., Qin, L., and Zhao, X. (2019). Site selection models in natural disaster shelters: A review. *Sustainability*, Vol. 11, No. 2, 399.
- Miao, C., Teng, J., Wang, J., and Zhou, P. (2018). Population vulnerability assessment of geological disasters in China using CRITIC-GRA methods. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 11, No. 11, pp. 1-12.
- Mostajabdaveh, M., Gutjahr, W.J., and Sibel Salman, F. (2019). Inequity-averse shelter location for disaster preparedness. *IISE Transactions*, Vol. 51, No. 8, pp. 809-829.
- Nakanishi, H., Black, J., and Suenaga, Y. (2019). Investigating the flood evacuation behaviour of older people: A case study of a rural town in Japan. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 30, 100376.
- Nappi, M.M.L., and Souza, J.C. (2015). Disaster management: hierarchical structuring criteria for selection and location of temporary shelters. *Natural Hazards*, Vol. 75, No. 3, pp. 2421-2436.
- Nappi, M.M.L., Nappi, V., and Souza, J.C. (2019). Multi-criteria decision model for the selection and location of temporary shelters in disaster management. *Journal of International Humanitarian Action*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-19.
- O'Brien, G., O'keefe, P., Rose, J., and Wisner, B. (2006). Climate change and disaster management. *Disasters*, Vol. 30, No. 1, pp. 64-80.
- Oh, C.S., Lee, S.W., Lee, I.M., and Kho, S.Y. (2012). A spatial analysis about arrival delay and dispatch distribution of the 119 rescue-aid service utilizing GIS -Gyeongsangbuk. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, pp. 13-22.
- Palliyaguru, R., Amaratunga, D., and Baldry, D. (2014). Constructing a holistic approach to disaster risk reduction: The significance of focusing on vulnerability reduction. *Disasters*, Vol. 38, No. 1, pp. 45-61.
- Pan, A. (2020). Study on the decision-making behavior of evacuation for coastal residents under typhoon storm surge disaster. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 45, 101522.
- Park, J.K., and Kim, D.M. (2012). Analysis of shelter service areas according to walking speed using network analysis. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 20, No. 4, pp. 37-44.
- Pavlova, I., Makrigakis, A., Depret, T., and Jomelli, V. (2017). Global overview of the geological hazard exposure and disaster risk awareness at world heritage sites. *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 28, pp. 151-157.
- Peek, L., and Stough, L.M. (2010). Children with disabilities in the context of disaster: A social vulnerability perspective. *Child development*, Vol. 81, No. 4, pp. 1260-1270.
- Sabouhi, F., Tavakoli, Z.S., Bozorgi-Amiri, A., and Sheu, J.B. (2019). A robust possibilistic programming multi-objective model for locating transfer points and shelters in disaster relief. *Transportmetrica A: Transport*

- Science*, Vol. 15, No. 2, pp. 326-353.
- Studenski, S., Perera, S., Patel, K., Rosano, C., Faulkner, K., Inzitari, M., et al. (2011). Gait speed and survival in older adults. *Jama*, Vol. 305, No. 1, pp. 50-58.
- Tsai, C.H., Chen, C.W., Chiang, W.L., and Lin, M.L. (2008). Application of geographic information system to the allocation of disaster shelters via fuzzy models. *Engineering Computations*, Vol. 25, No. 1, pp. 86-100.
- Twigg, J. (2021). The evolution of shelter ‘self-recovery’: Adapting thinking and practice for post-disaster resilience. *Journal of the British Academy*, Vol. 9, No. s8, pp. 5-22.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2022). *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction*. Retrieved July 5, 2022, from https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportenglish.pdf
- Uno, K., and Kashiwayama, K. (2008). Development of simulation system for the disaster evacuation based on multi-agent model using GIS. *Tsinghua Science and Technology*, Vol. 13, No. S1, pp. 348-353.
- Villeneuve, M., Abson, L., Pertiwi, P., and Moss, M. (2021). Applying a person-centred capability framework to inform targeted action on disability inclusive disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 52, 101979.
- Vorst, H.C. (2010). Evacuation models and disaster psychology. *Procedia Engineering*, Vol. 3, pp. 15-21.
- Weichselgartner, J. (2001). Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, Vol. 10, No. 2, pp. 85-95.
- Yang, B.Y. (2004). *The application of GIS for effective distribution of the emergency medical service area*. Master’s thesis, Kyunghee University.
- Yoo, B., and Choi, S.D. (2019). Emergency evacuation plan for hazardous chemicals leakage accidents using GIS-based risk analysis techniques in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 16, No. 11, 1948.
- Zhao, L., Li, H., Sun, Y., Huang, R., Hu, Q., Wang, J., and Gao, F. (2017). Planning emergency shelters for urban disaster resilience: An integrated location-allocation modeling approach. *Sustainability*, Vol. 9, No. 11, 2098.

Received	■	August 17, 2022
Revised	■	August 18, 2022
Accepted	■	September 7, 2022