

생활인구를 고려한 대피시설 접근성 분석: 서울 중구지역 지진 옥외 대피장소를 사례로

Analyzing Accessibility of Emergency Shelters Based on Service Population: The Case of Outdoor Evacuation Places for Earthquake in Jung-gu, Seoul

김상균^{1*} · 신상영² · 남현정³

Sang-Gyoon Kim^{1*}, Sang-Young Shin², Hyeon-Jung Nam³

¹Researcher, The Seoul Institute, Seoul, Republic of Korea

²Senior Research Fellow, The Seoul Institute, Seoul, Republic of Korea

³Researcher, The Seoul Institute, Seoul, Republic of Korea

*Corresponding author: Sang-Gyoon Kim, sgkim@si.re.kr

ABSTRACT

Purpose: This study analyzes accessibility of outdoor evacuation places for earthquake and the accessibility improvement effects when expanding the evacuation places in accessibility-deficient areas. In order to consider real-world evacuees, the accessibility analysis is based on service population not on resident population. **Method:** Location-allocation model as a GIS-based spatial optimization mode is used to analyze accessibility and vulnerable areas to evacuation places. Of location-allocation problem types, 'Maximize Coverage' method is chosen to allocate as many potential evacuees as possible to evacuation places. And impedance cutoffs or evacuation distances (times) are applied to three classes: 500m (7.5 minutes), 1,000m (15 minutes), and 1,500m (22.5 minutes). Case study area is Jung-gu areas, Seoul as a high-density downtown area. **Result:** Results show that accessibility-deficient areas and population to evacuation places are much more in service population than in resident population. Accessibility is significantly improved when increases when expanding the evacuation places in accessibility-deficient areas. Yet, accessibility-deficient areas are still remained since available lands are insufficient in the high-density downtown area. **Conclusion:** The study suggests that temporary evacuation facilities like outdoor evacuation places for earthquake need to consider real potential evacuees based not only on resident population but also on service population. Also, policy measures to provide emergency shelters need to more utilize spatial optimization tools like location-allocation model.

Keywords: Emergency Shelter, Outdoor Evacuation Place for Earthquake, Service Population, Location-Allocation Model, Accessibility

Received | 25 November, 2021

Revised | 10 January, 2022

Accepted | 28 January, 2022

 OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

요약

연구목적: 이 연구는 지진 옥외 대피장소를 대상으로 생활인구(유동인구)를 측면에서 공간적 접근성을 분석한 후, 접근성 취약지역에 추가 신규 대피장소를 확충할 경우의 모의분석을 하여 개선효과를 비교 함으로써 시사점을 도출하는 것을 목적으로 한다. **연구방법:** GIS 네트워크분석 기반의 최적화 모형인 입지배분모형을 적용하여 접근성을 분석하고 취약지역을 식별하였다. 입지배분방법은 일정한 시간 내에 신속한 이동이 중요한 대피시설의 성격에 비추어 'Maximize Coverage(수요영역 최대화)' 방법을 적용하였고, 대피를 위한 한계 거리 및 시간기준은 보행속도를 고려하여 500m(7.5분), 1,000m(15분), 1,500m(22.5분)의 세 가지로 구분하여 분석하였다. 사례분석 대상지역은 지진 발생 시 신속한 대피와 일시적인 체류를 위한 옥외 대피장소의 기능을 고려하여 거주인구에 비해 생활인구가 월등히 많고 대

피장소로 활용할 수 있는 가용공간이 크게 부족한 고밀 도심지역으로서 서울 중구지역을 선정하였다. 연구결과: 분석 결과, 전반적으로 거주 인구에 비해 생활인구 기준으로 볼 때 접근성이 취약한 집계구 수와 인구 수가 훨씬 많고 비율도 높았으며, 접근성 취약지역에 가용한 신규 대피장소를 확충할 경우의 모의분석에서 접근성이 크게 개선됨을 확인할 수 있었다. 다만, 고밀 도심지역으로서 가용지가 절대적으로 부족한 대상지역의 특성상 잠재적인 대피인구 전체의 접근성을 완전히 해소하지는 못하였다. 결론: 유동인구로 인해 주·야간 인구 차이가 심한 서울 도심의 지역 특성을 반영하기 위하여 생활인구 점두시간대를 적용하여 실제 대피수요를 고려할 필요가 있으며, 입지배분모형을 이용하여 접근성이 불리한 취약지역을 식별하고 신규 대피장소 설치의 우선순위를 부여함으로써 과학적 근거 기반의 의사결정이 필요하다.

핵심용어: 대피시설, 지진 옥외 대피장소, 생활인구, 입지배분모형, 접근성

서론

경주·포항지진을 계기로 지진에 대한 두려움이 커졌고 정책적 관심이 높아졌다. 이에 따라 지자체마다 지진 대피시설을 지정하였는데, 크게 옥외 대피장소와 실내 구호소, 즉 임시주거시설로 구분된다. 옥외 대피장소는 「지진·화산재해대책법」에 의한 시설로서, 지진발생 초기에 구조물 파손 및 낙하물로부터 안전한 외부 대피장소로 제공되며 운동장, 공원, 공터 등을 대상으로 지정된다. 실내 구호소는 지진으로 인해 주거시설을 상실하거나 사실상 주거가 불가능한 경우 이재민의 구호 및 임시거주를 위한 시설이며, 「재해구호법」에 의한 임시주거시설 중 지진 안전성을 갖춘 학교, 공공시설 등을 대상으로 지정된다.

지진 대피시설 중 옥외 대피장소는 지진위험으로부터 일시적인 피신을 위한 시설이며, 지진발생 당시의 불특정 유동인구를 신속하게 수용하기 위한 시설이기 때문에 접근성(accessibility) 확보가 대단히 중요하다. 그러나 지자체마다 서둘러 지정하는 과정에서, 그리고 일정 규모의 이상의 인구를 수용할 수 있는 가용한 옥외공간의 제약이 있는 상황에서, 대피장소가 공간적으로 불균등하게 분포할 수 있고 이에 따라 접근성이 불리한 지역이 발생할 수 있다. 특히, 대도시 도심지역은 상업·업무기능이 발달하여 거주인구에 비해 유동인구가 많아 주간과 야간의 잠재적인 대피인구에 큰 차이가 있으며, 고밀화로 인해 가용한 대피장소 또한 절대적으로 부족할 수 있다.

대피시설의 입지 및 분포에 대한 기존 연구는 광범위하게 존재한다. 많은 연구들이 GIS 네트워크 분석기법을 적용하여 접근성을 분석하되, 대피자의 인구특성에 따른 보행속도와 대피시간대 등을 고려한 서비스권역과 취약지역을 분석하였다(Park et al., 2012; Kang, 2015; Kwon et al., 2015; Lee et al., 2015; Kim et al., 2018). Hong et al.(2020)은 대피시설과 거주지역 간의 거리의 편차를 좁히는 형평성 기준과 다수의 인구가 대피시설의 수혜를 받도록 하는 효율성 기준에 따른 대피시설 접근성을 비교 분석하였다.

기존의 많은 연구가 민방위 대피시설을 대상으로 분석하였는데, 민방위 대피시설은 비상사태에 대비한 일시대피를 위한 시설이기 때문에 거주인구보다는 불특정 유동인구가 유의미한 대피자가 된다. 이러한 점에 착안하여 Kim et al.(2016)와 Park(2018)은 주간 유동인구를 고려하여 서비스권역과 대피시설 수용능력을 분석하였다.

한편, 기존의 연구는 접근성에 기반하여 기존에 분포하는 대피시설을 대상으로 서비스권역 또는 취약지역을 분석하는 평가적인 연구가 대부분인데, Cho(2017)과 Yoo et al.(2018)는 네트워크분석과 유전자 알고리즘을 이용하여 취약지역에 대한 신규 대피시설의 적정 개소수 또는 입지를 결정하는 연구를 수행하였다.

많은 연구들이 분석대상으로 삼은 민방위 대피시설은 절대적인 지정량이 많은 편이기 때문에 접근성이 불리한 지역들이 일부 있음에도 불구하고 다른 대피시설 유형에 비해 정책적인 해소 필요성이 높지는 않다. 반면, 경주·포항지진 이후 최근에 새로이 도입된 지진 대피시설, 특히 옥외 대피장소는 상대적으로 많이 지정되어 있지 않고, 공간적 분포나 접근성 등을 평가한 연구는 아직까지 없는 실정이다.1)

이 연구는 지진 대피시설 중 옥외 대피장소를 대상으로 GIS 네트워크분석 기반의 최적화 모형인 입지배분모형(Location-Allocation Model)을 이용하여 거주인구뿐만 아니라 불특정 유동인구 또는 생활인구²⁾를 고려한 접근성을 분석하고자 하며, 접근성이 불리한 취약지역에 옥외 대피장소를 추가로 확충할 경우의 모의실험을 통해 접근성 개선효과를 분석한다. 사례분석지역은 서울의 도심지역인 중구 일대인데, 이 지역은 옥외 대피장소의 지정량이 전반적으로 낮은 수준이고, 주거지에 비해 상업·업무시설이 발달하여 거주인구보다 유동인구가 월등히 많은 것이 특징이다.

사례분석

분석 프로세스

대피시설 입지에 중요하게 고려해야 할 사항 중의 하나는 생활권 범위 안에서 대피시설이 적절하게 분포해 있어 위험한 상황에 처한 시민이 신속하게 대피할 수 있도록 접근성을 확보하는 것이다. 긴급하고 일시적으로 대피해야 할 상황을 감안하면 지진 옥외 대피장소는 다른 대피시설 보다 접근성 요건이 상대적으로 더 중요하다.

이 연구에서는 입지배분모형(Location-Allocation Model)을 이용하여 잠재적인 이용인구(생활인구)의 지진 옥외 대피장소에 대한 네트워크(도로) 접근성을 분석한다. 먼저 Baseline 분석 단계에서 기존 대피시설에 대한 접근성을 분석하여 기존 대피시간대에 도달할 수 없는 집계구 및 인구를 식별한다. 접근성이 불리한 취약지역에 대해 적지분석을 통해 신규 대피시설을 추가로 파악하여 선정한 후, 동일한 방법으로 접근성을 다시 분석하여 비교함으로써 개선효과를 파악한다. 분석을 위한 프로세스는 Fig. 1과 같다.

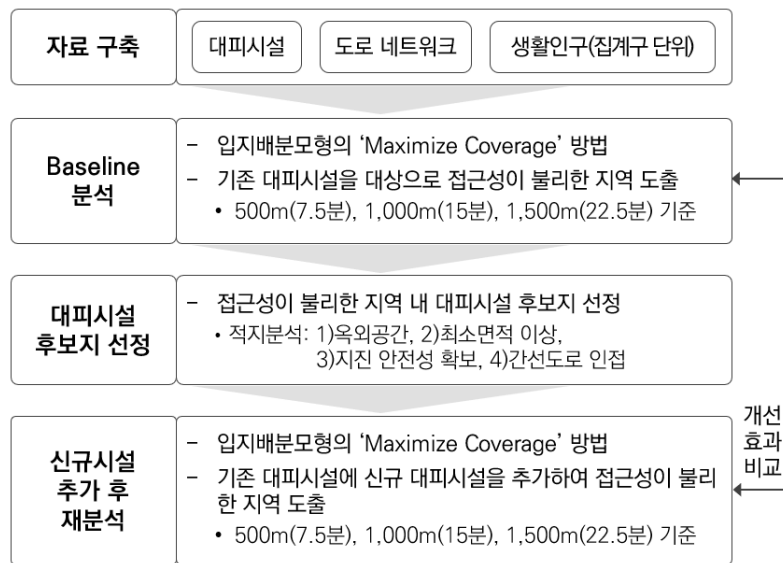


Fig. 1. Analysis process of accessibility to evacuation places

1) 예컨대, 2020년말 현재 서울의 민방위 대피시설은 서울 전체 인구의 약 3배 내외를 수용할 수 있는 물량이고, 지진 옥외 대피장소는 서울 전체 인구의 21~25% 정도를 수용할 수 있는 물량인 것으로 평가됨(The Seoul Institute, 2021)
2) 생활인구는 통신타데이터를 이용하여 추계한 서울의 특정지역, 특정시점에 존재하는 모든 인구를 뜻하며 유동인구의 한 형태임

입지배분모형(Location-Allocation Model)

입지배분모형은 공간적으로 수요가 분포된 상황에서 각종 서비스 공급을 위한 최적의 입지를 선정하기 위하여 개발된 네트워크 기반 최적화 모형의 하나이다. 공간적 입지배분을 위한 다양한 문제해결 방법이 있는데 이 연구에서 사용한 ArcGIS 프로그램에서 활용할 수 있는 문제해결 방법은 Table 1과 같다.

대피시설(공급)의 접근성이 취약한 지역을 도출하기 위해서는 잠재적인 대피인구(수요)를 도로(네트워크)에 따라 최소시간 알고리즘으로 배분하고, 기준 시간대에 따라 각 대피시설에 의해 서비스되는 인구를 최대한 포함하는 방식으로 수요와 공급을 공간적으로 배분하기 위한 구체적인 방법이 필요하다. 이 연구에서는 ‘Maximize Coverage(수요영역 최대화)’ 방법을 적용하였는데, 이유는 소방 및 경찰, 긴급구조와 같은 공공 서비스(대피시설)는 지정된 시간 내에 모든 수요지점(대피인구 위치)에 도달해야 하기 때문이다.

대피시설에 도달하는데 필요한 거리 기준(impedance cutoff)은 500m, 1,000m, 1,500m의 3가지로 구분하였다. 또한 도달 시간은 성인 평균 보행속도 66.7m/min(4km/hr)을 적용하여 7.5분(500m), 15분(1,000m), 22.5분(1,500m)으로 환산하여 적용하였다(National Disaster Management Research Institute, 2014; Lee et al., 2015).

그리고 모형적용에 있어 집계구별 거주인구와 생활인구를 가중치로 각각 적용하였다.³⁾

Table 1. Location-allocation problem types in ArcGIS

| 구분 | 내용 |
|-------------------------------|--|
| Minimize Impedance (P-Median) | 각 시설과 수요 간의 최소거리를 확보하도록 함 ex) 도서관, 공항, 박물관 등 공공시설의 입지 |
| Maximize Coverage | 각 시설에서 최대 수요를 확보하도록 함 ex) 소방 및 경찰, 긴급구조서비스(Emergency Response Services) 등 공공시설의 입지 |
| Maximize Capacitated Coverage | 각 시설의 제약조건을 감안하여 최대 수요를 확보하도록 함 ex) 제한된 병상의 의료 시설, 무제한으로 보관할 수 없는 창고 등의 입지 |
| Minimize Facilities | 최소시설 수로 최대 수요를 확보하도록 함 ex) 학생 거주지로부터 일정거리 길어야 하는 학교버스 정류장 등의 입지 |
| Maximize Attendance | 각 시설과 수요 간의 거리조락을 반영하여 최대수요를 확보하도록 함 ex) 카페, 운동시설 등의 입지 |
| Maximize Market Share | 주변 경쟁시설을 감안하여 최대수요를 확보하도록 함 ex) 대형 할인점 등의 입지(각 시설의 시장점유율 등 정보 필요) |
| Target Market Share | 주변 경쟁시설을 감안하여 최소의 시설 수로 일정 수요를 최대로 확보하도록 함 ex) 최소시설로 최대한 많은 점유율을 확보하기 위한 대형 할인점 등의 입지 |

출처 : ESRI ArcGIS(<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/location-allocation.htm>)

데이터

분석에 사용된 기본적인 데이터는 크게 대피시설, 도로 네트워크, 집계구 인구로 구분할 수 있다. 대피시설 GIS(점) 자료는 2021년 2월 기준으로 서울시 소관부서에 직접 요청하여 구득하였다. 도로 네트워크 GIS(선) 자료는 2020년 기준으로 서

3) 사례지역인 서울시 중구의 집계구 수는 통계청의 거주인구 기준은 237개, 서울시의 생활인구 기준은 245개로 약간의 차이가 있다. 또한 집계구별 거주인구 5명 미만, 생활인구 3명 이하는 개인정보 보호 등의 이유로 ‘N/A’로 처리되어 있음

울시 도로관리시스템의 자료를 사용하였다. 생활인구 자료(집계구 GIS(면) 자료, 생활인구 속성 자료)는 2019년 기준으로 서울 열린데이터 광장의 오픈데이터를 사용하였고, 거주인구 자료(집계구 GIS(면) 자료, 거주인구 속성 자료)는 2019년 기준으로 통계청 자료를 사용하였다(Table 2 참조).

Table 2. List of data sources for analysis

| 구분 | 내용 | 기준연도 | 출처 |
|---------|---------------------------------|-------|--|
| 대피시설 | GIS 자료(점) | 2021년 | 서울시 |
| 도로 네트워크 | GIS 자료(선) | 2020년 | 서울시 |
| 생활인구 | 집계구 GIS 자료(면) 집계구별 생활인구 속성자료 | 2019년 | 서울시 열린데이터광장 (https://data.seoul.go.kr) |
| 거주인구 | 집계구 GIS 자료(면) 집계구별 거주인구 속성자료 | 2019년 | 통계청 통계지리정보서비스 (https://sgis.kostat.go.kr) |

생활인구 자료는 연구 수행 당시 거주인구 통계자료(인구주택총조사)와 가장 근접한 조사시점인 2019년 6월 25일을 기준으로, 인구가 가장 많은 침두시간대(peak time)인 14시 인구를 이용하였다. 2019년 6월 25일 서울시의 거주인구는 9,157,007명이고, 생활인구는 10,980,906명으로 집계되어 생활인구가 거주인구보다 약 182만 명 또는 1.2배 많은 것으로 나타났다. 특히 사례분석 대상지인 중구는 거주인구는 117,207명에 불과하나 생활인구는 무려 493,819명으로 주간에 약 38만 명 또는 4.2배의 인구가 추가로 유입되는 것으로 파악된다(Table 3 참조).

Table 3. Difference between service population and resident population

(단위: 명)

| 구분 | 2019년 6월 25일 0시 거주인구 (A) | 2019년 6월 25일 14시 생활인구 (B) | B-A | B/A |
|-----|--------------------------|---------------------------|-----------|-----|
| 서울시 | 9,157,007 | 10,980,906 | 1,823,899 | 1.2 |
| 중구 | 117,207 | 493,819 | 376,612 | 4.2 |

사례지역

사례분석 대상지역으로 서울시 중구 일대를 선정하였다. 중구 일대를 선정한 이유는 우리나라는 물론 서울의 대표적인 도심 상업·업무시설 밀집지역으로 주·야간 인구격차가 심해 대피시설의 수용 관점에서 극한상황의 시나리오(Worst-Case Scenario)를 검토할 수 있으며, 시가화면적당 지진 옥외 대피장소 개소 수를 살펴보다라도 서울시 자치구 중 가장 낮은 지역이기 때문에 대피시설 접근성 문제 및 추가 확보의 필요성이 높은 지역이기 때문이다(Fig. 2 참조).

중구 관내에는 23개소의 지진 옥외 대피장소가 지정되어 있는데, 이 연구에서는 구 경계로부터 500m 버퍼지역에 있는 인접 자치구의 대피장소 36개소를 포함하여 총 59개소를 분석대상으로 하였다(Fig. 3 참조). 지진 옥외 대피장소는 지진 발생 초기에 시설물 붕괴와 낙하물 등의 위험으로부터 신속하게 대피하여 일시적으로 몸을 보호하기 위한 장소로서, 이러한 시설의 성격을 감안하면 지진 당시 대상지역의 외곽에 위치한 대피자들은 인접한 자치구의 가장 가까운 옥외 대피장소로 대피할 수도 있기 때문이다. 또한 네트워크 분석을 위한 생활인구 집계구 중심점(centroid)은 주로 인구가 집중되어있는 시가화지역으로 한정된 중심점을 사용함으로써 분석의 현실성을 높이고자 하였다.

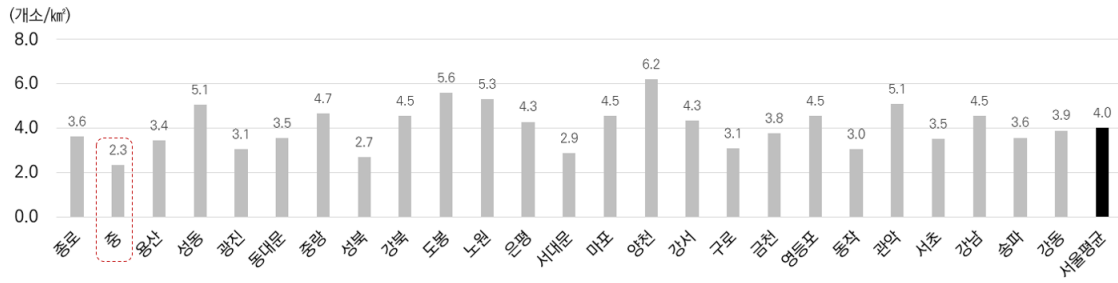


Fig. 2. Number of outdoor evacuation places for earthquake per built-up areas by district(Gu), Seoul (evacuation places/km²)

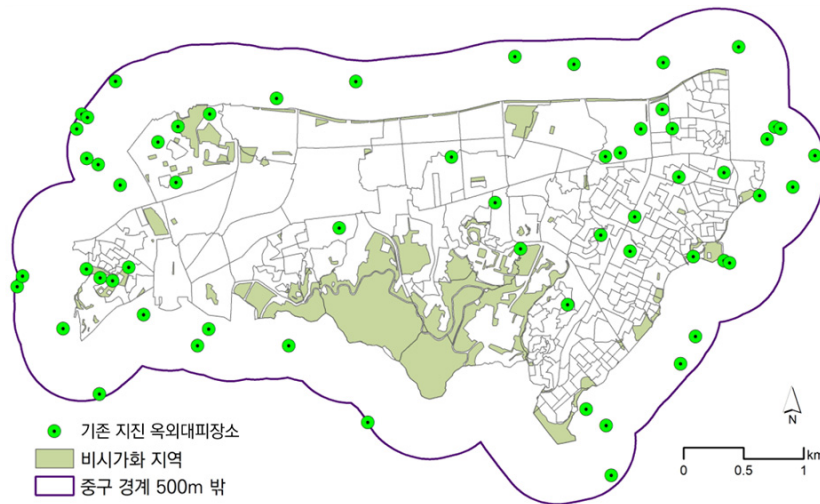


Fig. 3. Distribution of outdoor evacuation places for earthquake in Jung-gu and 500m buffers (existing 59 sites)

Baseline 분석: 기존 대피시설에 대한 접근성 취약지역 분석

중구 일대의 기존 지진 옥외 대피장소 59개소와 생활인구를 대상으로 접근성에 기반한 공간적 최적배분을 시행하였다. 7.5분(500m), 15분(1,000m), 22.5분(1,500m) 각각의 기준 시간대에 따른 접근성이 취약한 지역 즉, 미도달 집계구 수와 그에 해당하는 거주인구 수 및 생활인구 수가 Table 4에 제시되어 있다.

Table 4. Summary of accessibility analysis results to outdoor evacuation places for earthquake in Jung-gu (existing 59 sites)

| 가중치 기준 | 기준 시간대 | 미도달 집계구 / 전체 집계구 | | 미도달 인구 / 전체 인구 | |
|--------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------|
| | | 집계구 수(개) | 비율(%) | 인구 수(명) | 비율(%) |
| 거주인구 | 7.5분 (500m) | 86 / 237 | 36.3 | 43,698 / 117,207 | 37.3 |
| | 15분 (1,000m) | 13 / 237 | 5.5 | 5,167 / 117,207 | 4.4 |
| | 22.5분 (1,500m) | 2 / 237 | 0.8 | 0 / 117,207 | 0.0 |
| 생활인구 | 7.5분 (500m) | 96 / 245 | 39.2 | 212,964 / 493,819 | 43.1 |
| | 15분 (1,000m) | 15 / 245 | 6.1 | 10,979 / 493,819 | 2.2 |
| | 22.5분 (1,500m) | 2 / 245 | 0.8 | 621 / 493,819 | 0.1 |

시간대별 미도달 집계구의 인구 수를 살펴보면, 7.5분 기준에서는 거주인구의 37.3%, 생활인구의 43.1%가 지진 발생 시 대피장소로의 접근이 어려운 것으로 나타났다. 15분 기준에서는 거주인구의 4.4%, 생활인구의 2.2%가 접근성이 취약한 것으로 나타났다. 그리고 22.5분 기준에서는 거주인구와 생활인구 모두 접근성에 문제가 없는 것으로 나타났다. 일부 예외는 있지만, 거주인구에 비해 생활인구 기준으로 볼 때 접근성이 취약한 인구 수가 훨씬 많고 비율도 높음을 알 수 있다.

Fig. 4은 7.5분(500m) 시간대를 기준으로 생활인구 측면에서의 입지배분모형의 GIS 분석결과를 보여주고 있다. 대상지역 내 붉은색으로 표시된 집계구들이 접근성이 취약한 지역들이다.

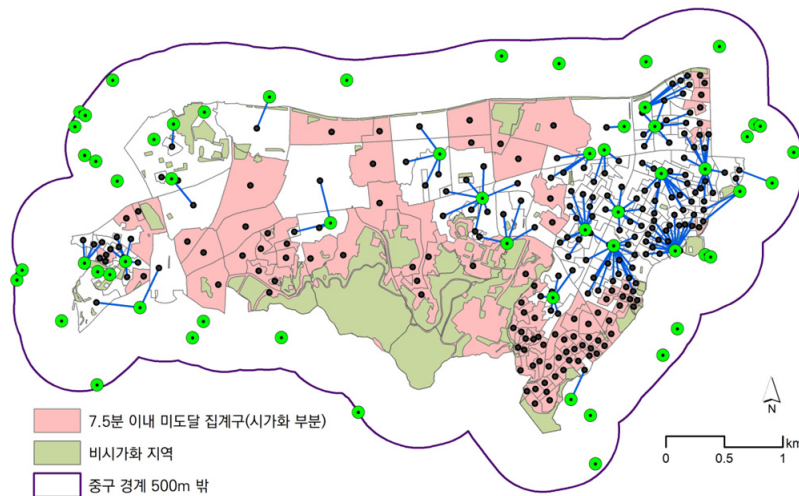


Fig. 4. Example of accessibility results to outdoor evacuation places for earthquake based on existing 59 sites and service population in Jung-gu: 7.5 minutes (500 meters)

취약지역에 대한 대피시설 추가 후보지 선정

접근성이 불리한 지역을 대피소요시간 7.5분 기준으로 삼고, 대상지역 내에서 추가로 지진 옥외 대피장소를 지정 가능한 후보지를 검토하였다. 후보지 적지분석을 위한 선정기준은 첫째, 기존 분석에서 7.5분 미도달 집계구 내의 위치하거나 인접한 지역에 위치한 옥외공간일 것, 둘째, 최소 면적 500m² 이상일 것(건물의 입지여부를 고려하여 비건폐지 부분이 충분한 수의 대피인구를 수용할 수 있을 것), 셋째, 지진 발생 시 인접지역의 건물(붕괴 또는 낙하물)로부터 대피인구의 안전을 확보할 것, 넷째, 간선도로급 이상의 도로와 접해 있어 접근성이 양호할 것이다(Fig. 5 참조). 최종적으로 중구 관내의 37개의 후보지가 선정되었고, 면적은 179,312m²이다(Table 5, Fig. 6 참조).

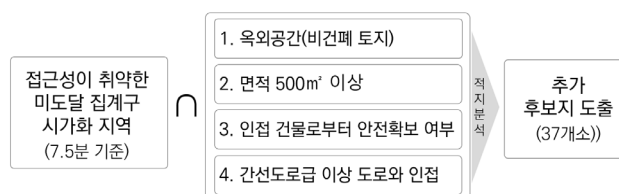


Fig. 5. Procedure for deriving new candidate sites of outdoor evacuation places for earthquake

Table 5. Summary of new 37 sites for outdoor evacuation places for earthquakes in Jung-gu

| 구분 | 세부 구분 | 개소 | 총 면적(m ²) | 개소당 평균 면적(m ²) |
|----|------------|----|-----------------------|----------------------------|
| 토지 | 공공시설 부지 | 10 | 19,634 | 1,963 |
| | 공동주택 부지 | 2 | 4,904 | 2,452 |
| | 공원 | 12 | 119,831 | 9,986 |
| | 오픈스페이스(공터) | 11 | 32,791 | 2,981 |
| | 운동시설 부지 | 1 | 565 | 565 |
| | 종교시설 부지 | 1 | 1,588 | 1,588 |
| | 계 | | 37 | 179,312 |

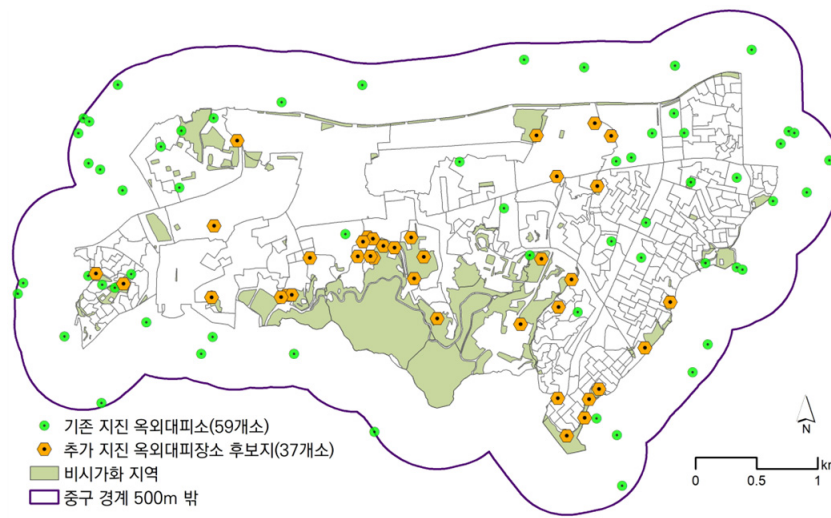


Fig. 6. Distribution of outdoor evacuation places for earthquake in Jung-gu (existing 59 sites, new 37 sites)

추가 후보지를 포함한 접근성 재분석 및 개선효과

중구의 기존 지진 옥외 대피장소 59개소에 추가 후보지 37개소를 적용하여 총 96개소를 대상으로 시설확충에 따른 접근성 개선효과를 모의분석하였다. 앞서 Baseline 분석과 동일한 방법을 적용하였으며, 7.5분(500m), 15분(1,000m), 22.5분(1,500m) 각각의 기준 시간대에 따른 접근성이 취약한 지역 즉, 미도달 집계구 수와 그에 해당하는 거주인구 수 및 생활인구 수가 Table 6에 제시되어 있다.

시간대별 미도달 집계구의 인구 수를 살펴보면, 7.5분 기준에서는 거주인구의 21.7%, 생활인구의 25.9%가 지진 발생 시 대피장소로의 접근이 어려운 것으로 나타나, 추가적인 시설확충에 따라 접근성 취약지역이 상당히 해소됨에도 불구하고 여전히 취약지역이 잔존함을 확인할 수 있다. 따라서 전체 인구를 대상지역 일대에서 해소하는 문제는 근본적인 가용공간의 한계가 있음을 말해 주었다. 또한 앞서 분석결과와 마찬가지로, 접근성 취약인구는 거주인구에 비해 생활인구 기준에서 인구 수가 훨씬 많고 비율도 높음을 알 수 있다. 15분 기준에서는 거주인구의 0.7%, 생활인구의 0.1%가 접근성이 취약한 것으로 나타나, 거의 대부분 해소됨을 알 수 있다.

Fig. 7은 7.5분(500m) 시간대를 기준으로 생활인구 측면에서의 입지배분모형의 GIS 분석결과를 보여주고 있다. 대상지

역 내 붉은색으로 표시된 집계구들이 접근성이 취약한 지역들이다.

Table 6. Summary of accessibility analysis results to outdoor evacuation places for earthquake in Jung-gu (96 sites: existing 59 sites, new 37 sites)

| 가중치 기준 | 기준 시간대 | 미도달 집계구 / 전체 집계구 | | 미도달 인구 / 전체 인구 | |
|--------|--------|------------------|-------|-------------------|-------|
| | | 집계구 수(개) | 비율(%) | 인구 수(명) | 비율(%) |
| 거주인구 | 7.5분 | 49 / 237 | 20.7 | 25,453 / 117,207 | 21.7 |
| | 15분 | 4 / 237 | 1.7 | 851 / 117,207 | 0.7 |
| | 22.5분 | 2 / 237 | 0.8 | 0 / 117,207 | 0.0 |
| 생활인구 | 7.5분 | 54 / 245 | 22.0 | 128,103 / 493,819 | 25.9 |
| | 15분 | 3 / 245 | 1.2 | 715 / 493,819 | 0.1 |
| | 22.5분 | 0 / 245 | 0.0 | 0 / 493,819 | 0.0 |

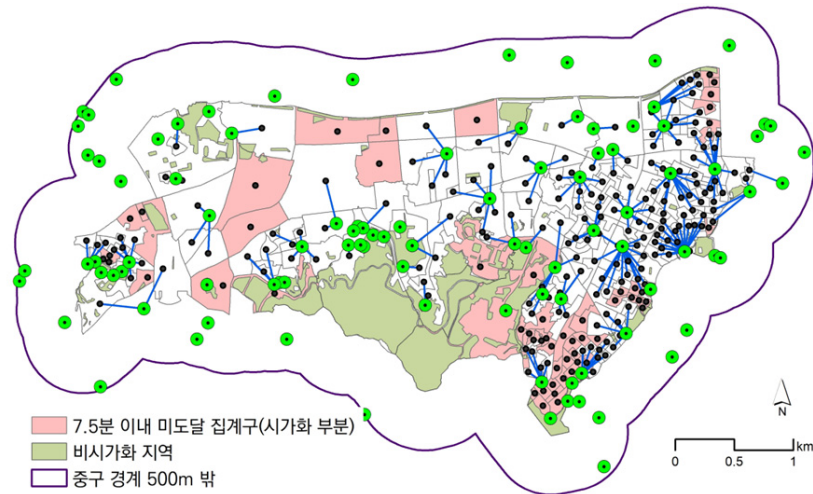


Fig. 7. Example of accessibility results to outdoor evacuation places for earthquake based on 96 sites and service population in Jung-gu: 7.5 minutes (500 meters)

Table 7은 기존 시설과 신규 후보지 확충에 따른 지진 옥외 대피장소에 대한 접근성 개선효과 또는 취약지역의 인구변화를 비교하고 있다. 접근성이 취약한 지역에 추가로 대피장소를 공급하면 접근성이 크게 나아지는 것으로 분석되었다. 예컨대, 대피 소요시간 7.5분을 기준으로 볼 때, 생활인구 측면에서는 미도달 집계구 수가 전체 245개 중에서 96개(39.2%)에 이르렀으나 신규 설치 후에는 54개(22.0%)로 약 17%의 개선효과가 있었다. 미도달 생활인구 수의 경우에는 전체 493,819명 중에서 212,964명(43.1%)이었으나 신규 설치 후에는 128,103명(25.9%)으로 약 17%의 개선효과가 있었다.

한편, 접근성 개선효과에도 불구하고 고밀 도심지역으로서 가용지가 절대적으로 부족한 대상지역의 특성상 잠재적인 대피인구 전체의 접근성 문제를 전부 해소하는 것은 많은 제약과 근본적인 한계가 있음을 보여주었다. 현실적으로 지진 발생 시에 지진 규모나 구조물의 내진설계 여부에 따라 모든 인구가 대피장소로 이동하지는 않겠지만, 이러한 문제는 대피시설 확충만이 아닌 내진설계를 비롯한 예방대책, 예·경보 및 정보전달체계 등 다른 방안이 병행되어야 함을 시사하였다.

Table 7. Summary of accessibility improvements by expanding new sites of outdoor evacuation places for earthquake in Jung-gu

| 가중치 기준 | 분석시나리오 | 집계구 | 미도달 집계구(개, %) | | | 인구 | 미도달 집계구 인구(명, %) | | |
|--------|--------------------------|-------------|---------------|----------|---------|-----------------|------------------|--------------|-----------|
| | | | 7.5분 | 15분 | 22.5분 | | 7.5분 | 15분 | 22.5분 |
| 거주 인구 | 기존 시설 (59개소) | 237 (100.0) | 86 (36.3) | 13 (5.5) | 2 (0.8) | 117,207 (100.0) | 43,698 (37.3) | 5,167 (4.4) | 0 (0.0) |
| | 신규 후보지 추가 (96개소=59+37개소) | | 49 (20.7) | 4 (1.7) | 2 (0.8) | | 25,453 (21.7) | 851 (0.7) | 0 (0.0) |
| 생활 인구 | 기존 시설 (59개소) | 245 (100.0) | 96 (39.2) | 15 (6.1) | 2 (0.8) | 493,819 (100.0) | 212,964 (43.1) | 10,979 (2.2) | 621 (0.1) |
| | 신규 후보지 추가 (96개소=59+37개소) | | 54 (22.0) | 3 (1.2) | 0 (0.0) | | 128,103 (25.9) | 715 (0.1) | 0 (0.0) |

결론

이 연구에서는 서울시 중구지역을 사례로 경주·포항지진 이후에 새로이 도입된 지진 옥외 대피장소에 대한 접근성을 네트 워크 기반의 공간적 최적화 모형인 입지배분모형을 이용하여 분석하였다. 기존 시설 분포조건에서의 접근성 분석을 실시한 후, 접근성 취약지역에 추가로 신규 시설을 확충할 경우의 개선효과를 비교 분석하였다. 기존 연구와의 차별점으로는 유동인 구로 인해 주·야간 인구 차이가 심한 서울 도심의 지역 특성을 반영하기 위하여 생활인구 침투시간대를 적용하여 극한상황에 서의 실제 대피수요를 고려한 것이다. 또한 가용공간이 절대적으로 부족한 고밀 도심지역에 대해 실제 활용할 수 있는 후보 지를 적지분석 과정을 통해 검토·선정하여 분석의 현실적인 설득력을 높였다는 것이다.

지진 옥외 대피장소는 지진 발생 시 현재의 위험한 상황을 신속하게 벗어나기 위하여 일시적으로 머물기 위한 장소이기 때 문에 입지 측면에서 접근성이 매우 중요하며, 주변 건축물로부터 안전하고 개방된 지역에 대해 지정되어야 한다. 공공시설 배분의 형평성 측면에서는 신규 대피시설의 지정은 평균 이상의 공급이 이루어진 지역보다는 상대적으로 불리한 지역을 중 심으로 설치할 필요가 있다. 입지배분모형을 이용하여 접근성이 불리한 취약지역을 식별할 수 있고, 이 지역을 중심으로 신 구 대피시설 설치와 지정 등의 정책적 우선순위를 부여함으로써 과학적 근거 기반의 의사결정이 가능해진다.

한편, 취약지역에 대한 대피시설 추가 확충을 통한 접근성 개선효과에도 불구하고 가용지가 절대적으로 부족한 도심지역 에서 잠재적인 대피인구 전체의 접근성을 전부 해소할 수 없었다는 점은 대피시설 확충뿐만 아니라 내진설계를 비롯한 예방 대책, 예·경보 및 정보전달체계 등 다른 방안이 병행되어야 함을 시사하였다.

이 연구의 한계와 향후 과제는 다음과 같으며 후속연구가 필요한 부분이다. 첫째, 이 연구에서는 대피시설에 대한 접근성 취약지역 식별 및 해소를 위한 공간적 형평성 측면에 초점이 맞추어져 있지만, 건축물·구조물과 인구가 매우 고밀도로 집중 되어 있는 서울의 특성상 효율성 측면에서의 분석도 병행하는 등 다양한 각도에서 비교 분석한다면 보다 현실성과 정책적 시 사점을 높일 수 있을 것이다.

둘째, 대피시설의 수용능력을 함께 고려할 필요가 있다. 이 연구는 대피시설의 입지와 접근성에 초점을 맞춰 분석이 이루 어져 각 대피시설이 수용능력을 초과해도 수용이 가능하다는 암묵적인 전제 하에 분석되었다. 현실적으로 지진 발생 시에 모 든 인구가 대피시설로 이동한다는 것은 극단적인 가정이고 모든 인구를 수용할 수 있는 물량을 지정하는 것은 대규모 지진의

발생 가능성과 행정관리비용 측면에서 과다한 면이 있지만, 분석방법론의 한계는 여전히 남는다. 다만, 현재 가용한 대피시설 데이터에서 면적이나 수용가능인구의 정확도가 낮고 누락치도 많기 때문에 당장은 쉽지 않은 문제이다(The Seoul Institute, 2021). 따라서 향후 대피시설 데이터의 개선이 이루어진다면 좀 더 정확하고 정밀한 접근성 분석이 가능할 것이다.

셋째, 대피경로 상의 도로 조건과 보행 장애요인, 교통체증 등으로 인한 병목현상 문제를 고려할 필요가 있다. 향후에 개선된 대피시설 데이터뿐만 아니라 신속한 대피에 영향을 미치는 해당 요인을 검토하여 적용한다면 보다 풍부하고도 현실성 높은 분석이 가능할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 2021년 서울연구원 연구과제(서울시 대피시설의 실태와 개선방안)의 일환으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- [1] Cho, W.K. (2017). A Study on Methodology for Shelter Location Problem with Evacuation demand and Target Evacuation Time. Master's dissertation, Yonsei University.
- [2] ESRI ArcGIS Network-Analyst. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst>
- [3] Hong, E.K., Kim, M.S., Yeom, T.J., Park, M.J. (2017). "A Study of the Reasonable Space for Each Person about Inner Evacuated Facility." *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 13, No. 1, pp. 15-25.
- [4] Hong, H., Lah, T.J. (2020). "A GIS analysis on the equity and efficiency of the disaster evacuation facilities locations: The case of civil defense evacuation facilities in Busan." *The Korean Journal of Local Government Studies*, Vol. 24, No. 3, pp. 125-144.
- [5] Ju, J.S., Park, M.J. (2017). "A study on the planning of suppliable indoor temporary housing facility that is possible for disaster." *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 13, No. 4, pp. 519-528.
- [6] Kang, S. (2015). A Study on the Selection of Vulnerable Area for Disaster Shelter using Network Analysis. Master's dissertation, Yonsei University.
- [7] Kim, J.O., Lee, J.K. (2018). "Safety analysis of pedestrian-centered flood evacuation facility." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 7, pp. 449-456.
- [8] Kim, M.K., Kang, S., Kim, S.P., Sohn, H.G. (2016). "A spatial analysis of shelter capacity using floating population." *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 34, No. 1, pp. 1-10.
- [9] Kwon, J., Yoon, D., Koh, J. (2015). "Analysis of shelters acceptable range according to evacuation speed during flood disaster by severe rain storm." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 15, No. 3, pp. 115-123.
- [10] Lee, S.H., Goo, S.H., Chun, Y.W., Park, Y.J. (2015). "The spatial location analysis of disaster evacuation shelter for considering resistance of road slope and difference of walking speed by age-case study of Seoul, Korea." *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 23, No. 2, pp. 69-77.
- [11] National Disaster Management Research Institute (2014). *Technology Development of Integrated Shelter Management and Evacuee Support in Shelter*. 11-1312184-000099-01, Ulsan, Korea.
- [12] Park, J.K. (2018). "Evaluation of civil defense evacuation shelter locations in fitness according to the walking speed

and changing floating population in time and space.” Journal of Convergence for Information Technology, Vol. 8, No. 1, pp. 95-103.

- [13] Park, J.K., Kim, D.M. (2012). “Analysis of shelter service areas according to walking speed using network analysis.” Journal of Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 20, No. 4, pp. 37-44.
- [14] Seoul Open Data Plaza. <https://data.seoul.go.kr>
- [15] Statistical Geographic Information Service. <https://sgis.kostat.go.kr>
- [16] The Seoul Institute (2021). Current status and improvements of emergency shelters in Seoul.
- [17] Yoo, S., Kim, M.K., Bae, J., Sohn, H.G. (2018). “Selection of appropriate location for civil defense shelters using genetic algorithm and network analysis.” Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 36, No. 6, pp. 573-580.