

서울시 지하층 주택 밀집지역 분포와 공간적 상관관계 연구 : 침수위기지역과 취약가구 거주지역을 중심으로

A Study on the Distribution and Spatial Correlation of Densely Populated Underground Housing Areas in Seoul : Focusing on Flood Risk Areas and Vulnerable Household Residential Areas

임재빈* · 정기성**

Jaebin Lim* · Kiseong Jeong**

Abstract

This study investigates the spatial distribution of basement housing in Seoul and its spatial correlation with socially vulnerable groups (elderly individuals and basic livelihood security recipients) as well as flood-prone areas. The issue of basement and semi-basement housing in Seoul has remained a persistent concern, due to the deteriorating living conditions of housing-vulnerable populations and the growing risk of flood damage driven by climate change. However, there has been a lack of empirical research on the spatial relationship between basement housing and socio-economic factors. Therefore, this study employs spatial statistical techniques (Global Moran's I, Local Moran's I, and Bivariate Moran's I) to examine the relationship between densely concentrated basement housing, socially vulnerable populations, and flood-prone areas within Seoul. The findings indicate a significant positive correlation between areas with a high concentration of basement housing and those with large populations of elderly individuals and basic livelihood security recipients. In contrast, there is no distinct spatial autocorrelation between basement housing clusters and flood-prone areas. This suggests that the spatial distribution of basement housing is shaped more by socioeconomic factors than by the location of flood-prone areas. On the other hand, more proactive policy interventions should be considered in regions such as the southwestern and northern outskirts of Seoul, where basement housing clusters coincide with flood-prone areas. This study provides empirical evidence for policy development on basement and semi-basement housing and housing welfare in Seoul.

Keywords: Seoul Metropolitan City, Underground Housing, Flood Risk Areas, Elderly Population, Basic Livelihood Security Recipients

1. 서론

전 세계적으로 기후변화의 영향으로 여름철 집중

호우로 인한 침수피해는 반복되고 있으며, 기후변화로 인해 그 정도와 피해가 커지고 있는 상황이다(강호선 외, 2023; Kim et al., 2023; Liu et al., 2015).

*충남대학교 국가정책대학원 부교수(주저자: jb.lim@cnu.ac.kr)

**LH 토지주택연구원 수석연구원(교신저자: jkseong@lh.or.kr)

Received: February 2, 2025 / Accepted: April 5, 2025

2022년 여름 기록적인 집중호우가 내리면서 기상 관측 이래 최고치를 기록했으며, 이로 인해 많은 재산 및 인명 피해가 발생했다(박인숙, 2023; 김민준·강전영, 2022). 특히 인명 피해의 대부분이 지하층(반지하) 주택 거주민에게 집중되었고, 이는 지하층 주택의 재해 취약성을 다시 조명하는 계기가 되었다. 최근의 연구에 따르면, 전국에 재해 취약한 지하층 거주주택이 총 18만 5,518동이 있으며, 이 중 92.2%가 서울, 경기, 인천 등 수도권에 집중되어 있는 것으로 나타났다(안의순·박종훈, 2023). 특히 2022년 기준 서울시 지하층 주택은 전체의 48.3%(10만 7,266동)를 차지하고 있으며(안의순·박종훈, 2023), 이는 서울시 지하층 주택 문제의 심각성을 나타낸다.

지하·반지하 주택은 1970년대부터 건설되었으며, 현재까지 많은 지하층 주택들이 건축된 지 30년을 넘어 노후화가 심각한 상태이다. 이러한 노후 주택들은 침수와 화재 등 재난에 매우 취약한 특성을 가진다(박인숙, 2023; 성진욱·정기성, 2021). 지하 주택은 주택의 용적률에 포함되지 않기 때문에 주변 도로와 하수관 등의 기반시설에 과부하를 유발할 수 있으며, 이는 호우 시 침수가 발생하는 악순환을 초래할 수 있다. 게다가 반지하 주택의 열악한 환경과 상대적으로 저렴한 임차료로 인해 고령자, 기초생활수급자 등 사회적 취약계층이 주로 거주하게 된다(박한나·송재민, 2014). 이들은 경제적 여건과 사회적 제약으로 인해 재해에 취약하고 열악한 주거환경에 내몰리며, 이는 이들의 건강과 안전에 악영향을 미칠 가능성이 크다.

2022년 힌남노 폭우 사태 이후, 지하층 주택에 대한 사회적 관심이 크게 증가하였고, 이를 둘러싼 다양한 연구들이 진행되고 있다(강호선 외, 2023; 박인숙, 2023; 안의순·박종훈, 2023). 그러나 지하층 주택의 공간적 분포와 침수위험지역, 취약계층 거주 지역 간의 공간적 상관관계를 구체적으로 분석한 연구는 여전히 부족한 실정이다. 이러한 배경에서 본

연구의 목적은 서울시 지하층 주택의 공간적 분포와 밀집 지역을 공간 통계 기법을 통해 분석하고, 침수 위기 지역 및 취약계층(고령자, 기초생활수급자) 거주 지역과의 공간적 자기상관성을 분석함으로써, 이들 지역 간의 연계성과 주요 관리 지역을 도출하고자 한다. 이를 바탕으로 정책적 대응 방안을 마련하는데 중요한 기초자료를 제공하고자 한다.

이를 위한 본 연구의 가설은 다음과 같이 정의한다.

- H1: 서울시 지하층 주택 밀집지역은 수해위험 밀집 지역과 통계적으로 유의미한 정(+)의 공간적 자기상관성을 가질 것이다.
- H2: 서울시 지하층 주택 밀집지역은 고령인구 거주 밀집지역과 통계적으로 유의미한 정(+)의 공간적 자기상관성을 가질 것이다.
- H3: 서울시 지하층 주택 밀집지역은 기초생활수급자 거주 밀집지역과 통계적으로 유의미한 정(+)의 공간적 자기상관성을 가질 것이다.

2. 이론적 논의 및 선행연구 검토

2.1 지하층 주택의 역사와 제도

한국에서 지하주택의 개념은 1962년 건축법에서 시작되었으며, 초기에는 군사적 긴장 상황에서 폭탄 대피소로 사용되기 위해 설계되었다. 1980년대에는 주택 부족 문제로 인해 이러한 공간을 주거 용도로 사용하는 것이 합법화되었다(하민정, 2022). 1984년 건축법 개정으로 지하층 관련 규정이 완화되고, 1988년 주택 200만 호 건설계획의 일환으로 1990년 다세대 및 다가구 주택이 도입되면서 지하 및 반지하 주택의 수가 급격히 증가하였다.

지하 주택의 재해 취약성 문제는 계속해서 제기되어 왔으며, 이에 따라 정부와 지자체는 다양한 제도 개선을 통해 대응하고 있다. 예를 들어, 2020년 7월에 개정된 ‘주거취약계층 주거지원 업무처리 지침’

은 침수 우려가 있거나 최저 주거기준에 미달하는 지하층 거주가구를 대상으로 지원 범위를 확대하였다. 이 지침은 공공임대주택으로의 이주와 보증금, 이사비 지원을 포함하고 있다(국토교통부, 2020). 또한 2022년 8월 발표된 ‘국민 주거안정 실현방안’은 재해 취약 주택 및 거주자에 대한 실태 조사를 실시하고, 지하층 주택의 신축을 원칙적으로 금지하며, 지하층 주택의 비율이 50% 이상인 경우 정비구역으로 지정할 수 있도록 하였다(국토교통부, 2022). 경기도와 인천광역시 등 수도권 지자체도 각각 도시 및 주거환경정비 조례를 개정하여 지하 주택 문제 해결을 위한 제도적 기반을 마련하였다(안의순·박중훈, 2023).

앞으로 지하층 주택은 신축이 금지되고 점진적으로 정비되면서 그 수가 줄어들 것으로 보인다. 2022년 침수 피해 이후 나온 2023년 2월 국토교통부 대응정책에 따르면, 지하 주택의 신축을 원칙적으로 불허하고 단계적으로 감축하는 방안에 대한 내용이 담겼다(국토교통부, 2023).

한국의 지하 주택 대부분은 서울 수도권에 집중되어 있으며, 전체 지하 주택의 96%가 수도권에 위치하고 있다(안의순·박중훈, 2023). 특히 서울은 지하 주택이 가장 많이 분포하는 도시로, 서울시는 지하층 주택 거주민들의 주거 환경을 개선하기 위해 ‘주거취약계층 주거상향사업’을 추진하고 있다. 이 사업은 이주 지원을 위한 주택 바우처(6년 간 매월 20만원), 전세자금 대출 지원 및 반지하주택 매입 정책을 포함한다(서울주택도시공사, 2025). 서울시는 점진적으로 지하층 주택을 소멸시키는 방향으로 정책을 수행하고 있다.

2.2 지하층 주택의 거주 취약성

지하 주택은 인구가 밀집된 도시 지역에서 경제적 이점과 보안상의 이점을 제공하지만, 환경적 위험, 특히 홍수에 상당히 취약하다(Peacock et al., 2022).

지하 주택의 고유한 설계는 자연광 부족, 환기 불량, 높은 습도 등을 포함하여 곰팡이 및 습기와 같은 문제를 악화시켜 심각한 건강 위험을 초래한다. 또한, 지하 주택은 지하수와 가깝고 종종 오래된 배수 시스템을 가지고 있어 극한 기상 상황에서 홍수 피해에 매우 취약하다(Liu et al., 2015; Macuha, 2023).

서울시의 경우 대부분의 지하 및 반지하 주택이 1980년대 후반과 1990년대 초반에 집중적으로 건설되어 현재는 노후화된 상태이다(신상영 외, 2023). 이러한 노후된 지하 주택은 열악한 환경에도 불구하고 경제적으로 취약한 계층에게 중요한 주거 선택지로 남아있다. 모든 지하 주택을 금지하거나 철거하는 것이 현실적이지 않기 때문에, 정책적 노력은 특히 반복적인 홍수 피해를 입은 주택의 구체적인 취약성을 파악하고 해결하는 데 초점을 맞춰야 한다. 이러한 주택의 물리적 조건을 개선하고 거주자들에게 맞춤형 지원을 제공하는 것이 빈번한 기후 관련 재난에 대한 저항력을 높이는 데 중요하다.

최근 연구는 특히 기후 변화로 인한 극한 기상 현상으로 인해 지하 주택의 홍수 취약성이 증가하고 있음을 강조하고 있다(IPCC, 2023; 강호선 외, 2023; Kim et al., 2023; 안의순·박중훈, 2023). 이러한 주거지의 거주자는 사회경제적 취약성과 열악한 주거 조건으로 인해 더 높은 위험에 직면해 있다(Chen et al., 2021). 부적절한 인프라, 열악한 생활 조건, 거주자의 사회경제적 지위의 결합은 이러한 가구에 대한 홍수의 영향을 크게 증가시킨다(Hatzikyriakou and Lin, 2018; Lee and Han, 2024). 이전 연구를 종합해 보면, 지하 주택의 물리적 및 사회경제적 문제는 홍수 위험을 높여 포괄적인 완화 전략이 필요함을 알 수 있다.

이 문헌 검토는 특히 사회경제적 및 환경적 문제점이 겹치는 서울과 같은 도시 지역에서 지하 주택의 홍수 취약성을 완화하기 위한 목표 지향적 정책 개입과 인프라 개선의 긴급한 필요성을 강조한다.

Table 1. Variables

Variables		Content	Period	Source	Range
Underground Housing		Number of housing units with underground floors: Refers to the number of housing units that include underground floors, specifically targeting multi-household houses, multi-family houses, row houses, and multiplex houses.	2022	Seumter National Statistics (2025) (in Korean)	
Flood-Prone Areas		Area of flood-risk zones (m ²): Based on the spatial data of Seoul's "Flood Trace Map," this indicates the total area (m ²) of flood-prone regions within each administrative district (Dong).	2023	Data Seoul (2025b) (in Korean)	Administrative district (Dong)
Vulnerable Class	Old Population	Number of elderly population: Represents the total number of elderly individuals residing in a given area.	2023	KOSIS (2025) (in Korean)	
	Basic Livelihood Security Recipients	Number of Basic Livelihood Security Recipients: Refers to the total number of individuals receiving benefits under the National Basic Livelihood Security System in a specific area.	2023	Data Seoul (2025a) (in Korean)	

3. 연구 설계

3.1 범위 및 방법

서울시 지하주택의 공간적 특성과 수해위험 및 취약계층 상관분석을 위하여 서울시 424개 동단위 지역을 연구의 공간적 범위로 설정하였으며, 연구의 시간적 범위는 데이터 구축 시기에 따라 2022년부터 2023년까지의 범위를 기본으로 하였다.

본 논문에서는 정의하는 ‘지하주택’의 의미는 단독주택인 다중주택, 다가구주택과 다중주택 중 연립주택, 다세대주택의 범위에서 해당 건축물의 용도 중 지하층을 포함하는 주택을 의미한다.

본 연구의 방법으로 먼저, 서울시 지하주택의 공간적 분포를 확인하고 공간적자기상관성을 확인하기 위해 전역적 Moran’s I 분석과 국지적 Local Moran’s I LISA 분석을 진행하였다. 그리고 수해위험지역, 취약계층(고령자, 기초생활수급자) 변수와 지하주

택 간의 이변량 공간적 자기상관성 분석(Bivariate Local Moran’s I)을 수행하여 지하주택과 취약변수 간의 상관관계와 공간적 밀집도를 분석하였다.

3.2 변수의 구성

본 연구의 핵심 변수인 지하·반지하 주택 데이터 구축은 민간개방 건축행정 데이터인 ‘세움터 건축물 대장’ 데이터를 기본으로 하였다. 2022년을 기준으로 아파트를 제외한 단독·공동주택의 범위 내에서 지하·반지하 주택이 존재할 수 있는 다중주택, 다가구주택, 연립주택, 다세대주택을 대상으로 지하 거주 조건에 맞는 서울시 내 총 158,586 지하 주택을 추출하였다(Table 1).

서울시 침수위험지역 변수는 ‘서울시 열린데이터 광장’에서 2022년 기준 ‘서울시 침수흔적도’ 공간데이터를 기반으로 하였다. 재해지도 작성 기준 등에 관한 지침에 따른 침수흔적도의 정의는 “태풍, 호우,

해일 등 풍수해로 인해 침수피해가 발생한 지역에 대한 침수흔적조사를 통해 침수심 등을 표시한 재해지도"이며, 침수심(파고 높이에서 해당 지역 해발고도를 뺀 값)을 6단계로 표현하고 있다. 본 연구에서는 반지하 특성상 단계의 구분없이 모든 침수흔적영역을 동일하게 위험지역으로 간주하였으며, 해당 동지역 내에 침수위험지역의 면적(m^2)을 변수로 사용하였다.

서울시 내 취약계층 변수로 고령자 인구수와 국민기초생활보장수급자 수를 사용하였다. 서울시 동지역별 65세 이상 고령자 인구수는 통계청 '인구총조사' 2023년 데이터를 사용하였으며, 서울시 동단위 국민기초생활보장수급자 수 데이터는 '서울시 열린데이터광장' 2023년 데이터를 사용하였다. 고령자 인구 변수는 대표적인 사회취약계층 변수이며, 특히 반지하 주택의 거주하는 고령자의 경우 폭우 및 재해 상황에서 상대적으로 대응 대처가 어려운 특성을 가지고 있다(김민준 외, 2023). 국민기초생활보장수급자는 「국민 기초생활보장법」에 따른 저소득층으로 정부의 공적 부조를 받는 사회적 취약성과 빈곤 계층이다. 소득 인정액이 중위소득 30~50% 이하의 대상으로 지역의 쇠퇴 및 열악한 주거지역의 분포를 측정하는 데 매우 중요한 변수라고 할 수 있다(김길, 2017; 박윤환, 2013; 조준혁 외, 2014). 이에 본 논문에서는 고령자 인구수와 국민기초생활보장수급자를 주거열악을 경험하는 사회취약계층으로 정의하고 주요 변수로 활용하였다.

3.3 분석 모형

본 연구는 지하주택의 홍수 취약성을 분석하기 위해 전역적 모란 I(Global Moran's I)과 국지적 모란 I(Local Moran's I), 그리고 이변량 국지적 모란 I(Bivariate Local Moran's I) 공간 분석모형을 사용하였다.

전역적 모란 I는 공간 자기상관(spatial auto-

correlation)의 측정 도구로, 패턴이 군집된(cluttered), 분산된(dispersed), 또는 무작위(random)인지 평가한다. 이 기법은 지하 주택과 홍수 위험이 공간적으로 자기상관되는지를 파악하여 전반적인 공간 패턴을 식별할 수 있다. 전역적 모란 I의 공식은 식 (1)과 같다:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_j w_{ij}} \quad (1)$$

여기서 N 은 공간 단위의 개수이며, x_i 와 x_j 는 위치 i 와 j 에서 변수 x 의 값, \bar{x} 는 변수 x 의 평균, w_{ij} 는 위치 i 와 j 사이의 공간가중치, 그리고 W 는 모든 공간가중치 w_{ij} 의 합을 나타낸다.

국지적 모란 I 지수(Local Moran's I)는 지역 클러스터와 공간적 이상치(spatial outliers)를 식별하는데 사용된다. 이는 지하 주택과 홍수 위험이 집중된 지역을 탐지하는 데 도움이 되며 국지적 모란의 I의 공식은 식 (2)과 같다:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})}{S^2} \quad (2)$$

여기서 x_i 는 위치 i 에서 변수 x 의 값이며, \bar{x} 는 변수 x 의 평균, w_{ij} 는 위치 i 와 j 사이의 공간가중치, 그리고 S^2 은 변수 x 의 분산을 나타낸다.

이변량 국지적 모란 I(Bivariate Local Moran's I) 지수는 두 개의 다른 변수 간의 공간적 상관관계를 분석하는 공간분석기법이다. 이 방법은 지하주택의 밀집 지역의 분포와 홍수 위험 지역, 취약계층 밀집 지역 간 공간적 관계를 분석하는 데 사용되었다. 이 변량 국지적 모란 I의 산식은 식 (3)과 같다:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (y_j - \bar{y})}{S_x^2} \quad (3)$$

여기서 x_i 와 y_j 는 각각 위치 i 와 j 에서 변수 x 와 y 의 값이며, \bar{x} 와 \bar{y} 는 해당 변수들의 평균을 나타낸다. w_{ij} 는 위치 i 와 j 사이의 공간 가중치이며, S_x 는 변수 x 의 표준편차이다. 이 통계치는 두 개의 서로 다른 변수 간의 국지적 공간적 관계를 이해하는 데 도움을 준다.

4. 실증분석

4.1 기초통계량

본 연구에서 사용한 주요 변수들의 기초통계량은 Table 2와 같다. 2022년 기준 본 연구에서 산출한 서울시 지하주거공간을 포함하는 주택의 수는 158,586 동이었다. 서울시 법정동 단위 424개 지역으로 구분하였을 때, 평균 355개 동으로 나타났으며, 최대 한 지역 내 1,564 동의 지하주택이 존재하는 것으로 확인하였다. 행정안전부가 제공하는 침수흔적도의 서울시 내 면적으로 확인하였을 때, 총 59,128,693m²였으며, 지역별로 평균 139,454m² 침수흔적을 보이는 수해 위험지역을 나타내었고 가장 많은 면적을 가진 지역은 1,256,369m²로 확인되었다. 65세 이상 고령자 인구수의 경우 서울시 내 103,051명이 있는 것으로 확인된 가운데, 지역 평균 244명, 최대 1,070명으로 확인되었다. 기초생활수급자의 경우 서울시 내 총 383,985명이 있는 것으로 확인된 가운데, 지역 평균 906명, 최대 5,548명, 최소 1명이 있는 것으로 확인되었다.

4.2 공간적 분포 및 공간적자기상관 밀집도 분석

먼저 본 연구의 핵심 변수별로 서울시 내 공간적 분포를 확인하고 Moran's I 지수를 활용한 공간적자기상관 분석을 통해 통계적으로 유의미한 밀집지역을 도출하고자 한다.

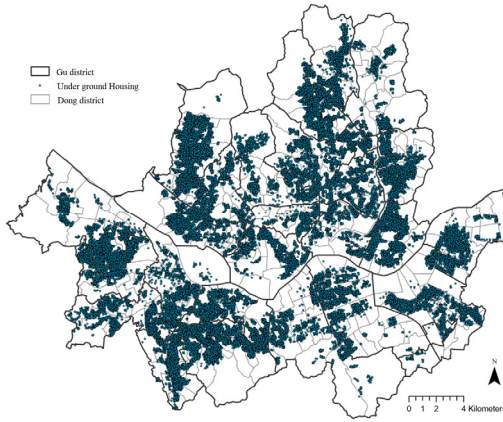
4.2.1 지하주택

서울시 내 지하, 반지하 주택의 분포를 나타낸 지도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1(a)는 주소지를 기반으로 한 산포도를 나타낸 것이며, (b)는 424개 법정동을 기반으로 한 지하주택 수에 따른 단계구분도이다. 지역을 기반으로 볼 때, 강남에서는 관악구, 금천구, 양천구 등 서울 서남권 지역에서 지하주택 분포가 상대적으로 높게 나타났으며, 강북에서는 은평구, 서대문구, 강북구, 광진구, 중랑구 지역에서 지하주택이 상대적으로 많이 분포하는 것으로 확인되었다.

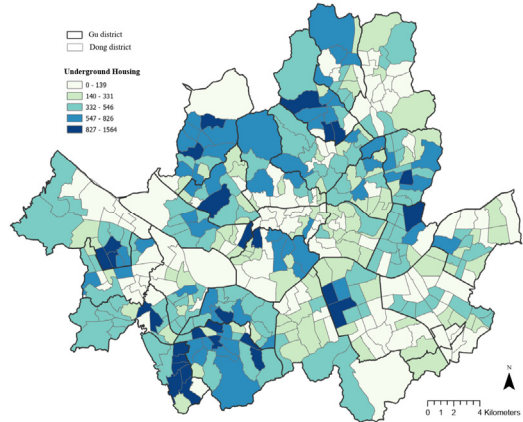
이러한 지하주택의 분포가 통계적으로 유의미한 분포패턴을 가지는지 확인하기 위하여 공간적자기상관 분석(Moran's I)을 진행하였다(Fig. 1). 먼저 전역적 분석(Global Moran's I)분석 결과 Moran's I 값은 0.272로 정(+)적인 공간적자기상관성의 패턴을 보였다. 통계적으로도 유의확률 <0.001 수준에서 Z-score 값이 13.276으로 나타나 공간적으로 높은 수준의 밀집성을 나타내는 것으로 해석할 수 있다. 서울시 전체적으로 지하주택 분포가 통계적으로 밀집되었다는 결과를 확인한 뒤, 국지적으로 어떤 지역이 유의미하게 밀집되어 있는지 확인하기 위해

Table 2. Basic Statistics

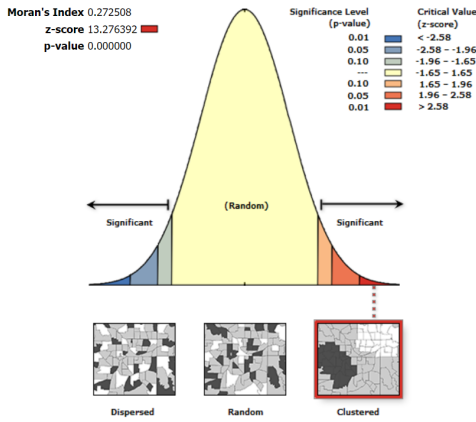
Variables	Min	Max	Avr	STD
UnderH (unit)	0	1,564	355.15	282.860
Flooding (m ²)	0	1,256,369	139,454	282.860
OldP (Num. of people)	0	1,070	243.04	189.085
Vulnerables (Num. of people)	1	5,548	905.63	700.338
Num	424			



(a) Scatter Plot of Underground Housing

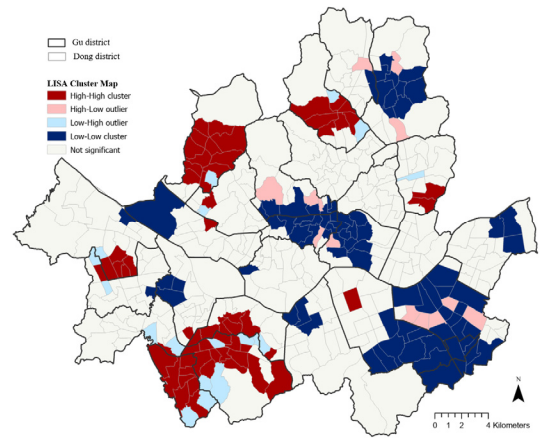


(b) Choropleth Map of Underground Housing



Given the z-score of 13.276392, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

(c) Global Moran's I_Underground Housing



(d) LISA Cluster Map_Underground Housing

Fig. 1. Results of Underground Housing Distribution, Spatial Autocorrelation (Moran's I) & LISA Analysis in Seoul

Local Moran's I 방법인 LISA(Local Indicator of Spatial Association)분석을 실시하였다. 결과는 Fig. 1(d)와 같다. 밀집도가 높은 지역들의 통계적 군집 패턴을 나타내는 HH 지역들은 관악구, 동작구, 노랑진동, 금천구 등 서울 서남권 지역에 가장 넓게 분포되어 있으며, 강서구와 양천구 일부지역, 강남구 일부지역에서 HH 지역이 확인되었다. 강북에서는 은평구, 강북구, 중랑구에서 HH 지역을 확인할 수 있었다.

4.2.2 수해위험지역

다음으로 서울시 내 태풍, 호우, 해일 등 침수피해가 발생한 지역을 나타내는 침수흔적도는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2(a)의 경우 침수흔적 6단계를 동일 level로 둔 실제 수해피해면적을 polygon으로 나타낸 이미지이다. 그리고 (b) 이미지는 각 행정동에서 침수흔적 면적(m^2)을 단계구분도로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 침수흔적 지역을 지하주택 수해위험 지역으로 설정하였으며, 지역별로 살펴보면 영등포구 여의도 지역, 금천구, 동작구, 구로구, 강서구 등 서

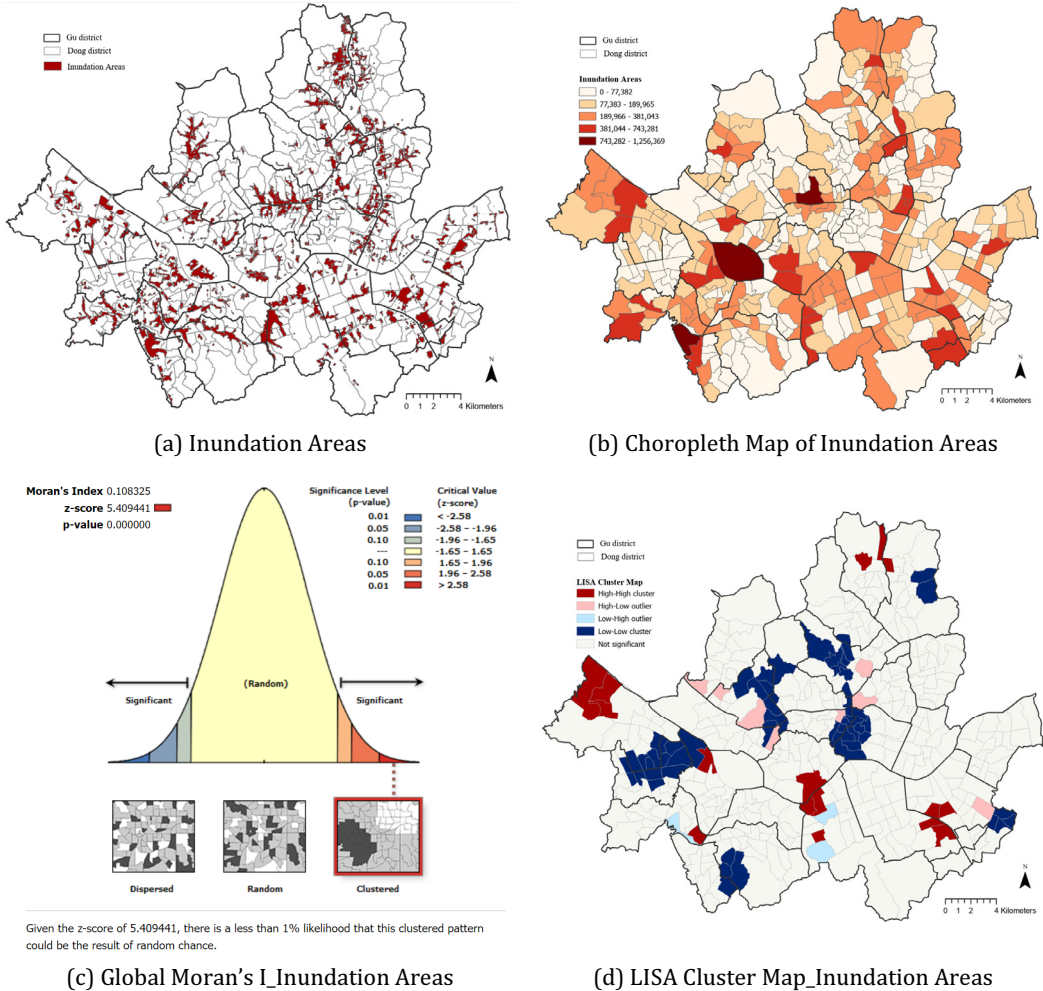


Fig. 2. Results of Flood Trace Map, Spatial Autocorrelation (Moran's I) & LISA Analysis in Seoul

을 서남권 지역과 서초, 강남, 송파 등 동남권 일부 지역에서 상대적으로 높은 침수흔적 면적을 나타내는 것을 확인하였다. 강북지역보다 한강 이남 지역에서 수해위기지역의 면적이 상대적으로 높게 나타나는 가운데, 강북 종로구, 성북구, 동대문구, 은평구 지역에서 수해흔적 면적이 상대적으로 높게 나타났다.

수해위험지역의 공간적 분포가 통계적으로 유의미한 패턴을 가지는지 확인하기 위해 Moran's I 분석을 진행하였다(Fig. 2). 먼저 전역적 분석(Global

Moran's I)분석 결과 Moran's I 값은 0.108로 정(+)적인 공간적자기상관성의 패턴을 보였다. 통계적으로도 유의확률 <0.001 수준에서 Z-score 값이 5.409으로 나타나 공간적으로 높은 수준의 밀집성을 나타내는 것으로 해석할 수 있다. 서울시 전체적으로 지하주택 침수위기 지역들이 통계적으로 밀집되었다는 결과를 확인한뒤, 국지적으로 어떤 지역이 유의미하게 밀집되어 있는지 확인하기 위해 Local Moran's I 방법인 LISA(Local Indicator of Spatial Association)분석을 실시하였다. 한강 이남지역에

서 HH 지역이 주로 나타났으며, 강서구, 영등포구, 구로구 일부 지역에서 HH 지역이 나타났다. 송파, 강남, 서초 등 소위 강남 3구라고 불리는 서울 동남권 지역에서도 수해위험 지역의 공간적 밀집 패턴을 확인할 수 있었다. 강북에서는 용산구의 한강변 지역과 도봉, 노원구 일부지역에서 HH 지역이 확인되었다.

4.2.3 취약계층

다음으로 취약계층을 대변하는 고령인구와 기초생활수급자 분포는 다음과 같다(Fig. 3). 서울시 고령인구는 전체 인구 대비 16.3%로 초고령사회로 이미 진입되었다고 볼 수 있다(서울연구원, 2022) 주로 한강 이북지역들인 강북구, 중구, 종로구에서 고령인구 비율이 상대적으로 높게 나타나나 본 연구에서는 절대적 인구수를 확인한 것으로 강서구, 구로구, 강남구, 송파구 일부지역에서 상대적으로 높은 고령 인구수를 확인할 수 있었다. 강북지역에서는 은평구, 도봉구, 노원구 등 서울 외곽 지역에서 상대적으로 높은 고령인구의 분포를 확인할 수 있었다. 기초생활수급자의 분포 패턴은 Fig. 3(b)에서 확인할 수 있듯이 서울 서남권 지역과 강북 외곽 지역으로 분포하는 경향을 보이고 있다. 이러한 취약계층의 분포가 통계적으로 유의미한 분포패턴을 가지는지 확인하기 위하여 공간적자기상관 분석(Moran's I)을 진행하였다(Fig. 3). 먼저 전역적 분석(Global Moran's I)분석 결과 Moran's I 값은 각각 0.081, 0.293으로 정(+)적인 공간적자기상관성의 패턴을 나타내었다. 통계적으로도 유의확률 <0.001 수준에서 Z-score 값이 각각 4.071, 14.383으로 나타나 공간적으로 높은 수준의 밀집성을 나타내는 것을 확인할 수 있다. LISA(Local Indicator of Spatial Association)분석 결과는 Fig. 3(c), (d)와 같다. 고령인구의 밀집도가 높은 HH 지역들은 서남권의 강서구와 양천구 연접지역, 금천구와 관악구 지역으로

분포되어 있으며, 동남권에서는 송파구와 강동구로 이어지는 지역에 분포되어 있다. 서울 도심권 지역은 오히려 고령 인구수가 낮은 지역이 밀집되어 있는 LL지역들이 분포되어 있고, 은평구와 노원구 등 외곽 일부 지역으로 고령인구가 밀집되어 있는 HH 지역이 위치하고 있는 것으로 확인되었다.

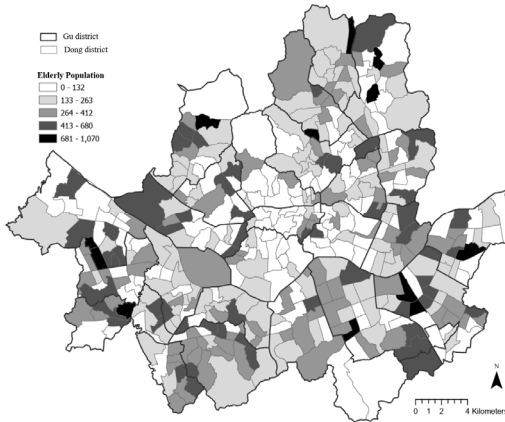
기초생활수급자들의 밀집 패턴은 강북 외곽지역으로 뚜렷한 HH 지역들이 나타난 모습을 가지고 있어, 서울시 내 경제 사회계층의 양극화가 강하게 나타나는 패턴을 확인할 수 있었다.

4.3 지하주택과 이변량 공간적 자기상관 분석

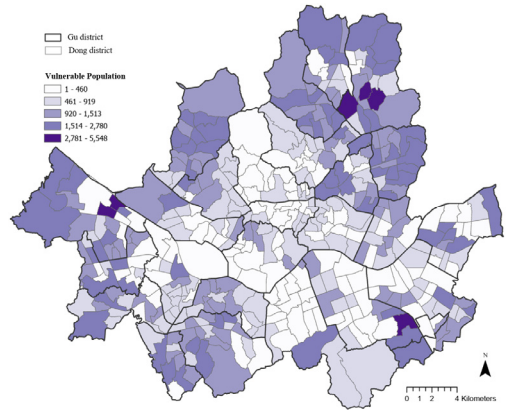
다음으로 변수 간 상관관계 분석을 진행하였다. 분석 결과는 Table 3과 같다. 분석 결과, 지하 주택 수(UnderH)는 고령자 수(OldP)와 기초생활수급자 수(Vulnerable)와 각각 0.219($p<0.001$)와 0.333($p<0.001$)의 양의 상관관계를 보인다. 특히 기초생활수급자 수와 더 강한 상관관계를 나타냈다($p<0.001$). 이는 서울시 지하·반지하 주택에 고령자와 기초생활수급자가 상대적으로 많이 거주할 가능성이 있음을 시사한다. 반면, 침수 위기 지역 면적은 지하 주택 수, 고령자 수, 기초생활수급자 수와 유의미한 상관관계가 없었다. 한편, 고령자 수와 기초생활수급자 수 사이에는 0.208의 양의 상관관계가 있었다($p<0.001$). 결과적으로 지하 주택의 거주자 주로 사회적 취약 계층임을 나타내며, 침수 위험지역과 지하 주택 밀집지역과는 직접적인 상관관계가 없음을 보여준다.

다음으로 지하주택과 주요 변수 간 구체적인 공간적 상관관계를 규명하기 위하여 이변량 공간적자기상관분석(Bivariate LiSA Analysis)을 진행하였다(Table 4).

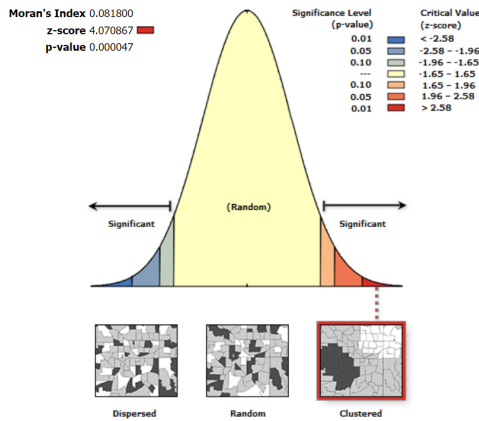
먼저, 지하 주택 수와 침수 위기 지역 면적의 Moran's I 값은 -0.050으로 음의 상관관계를 나타내지만, z-score가 -1.630이고 p-value 값이 0.030으



(a) Choropleth Map of Elderly Population

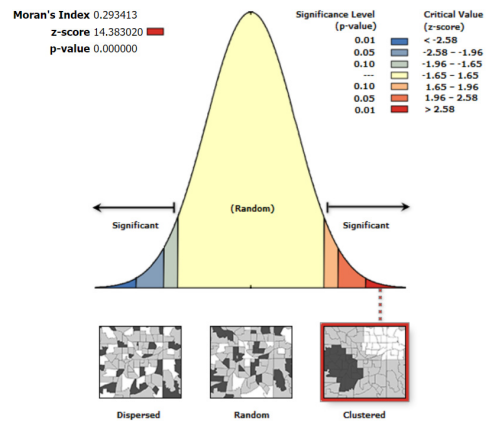


(b) Choropleth Map of Vulnerable Population



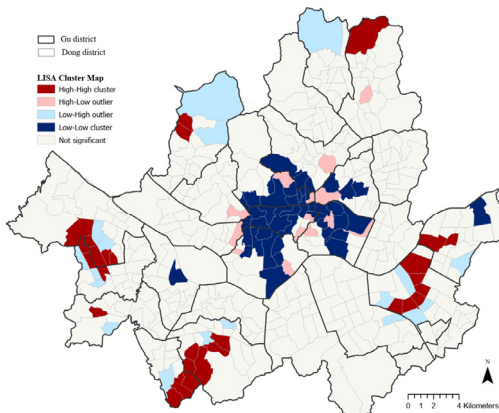
Given the z-score of 4.070867, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

(c) Global Moran's I_Elderly Population

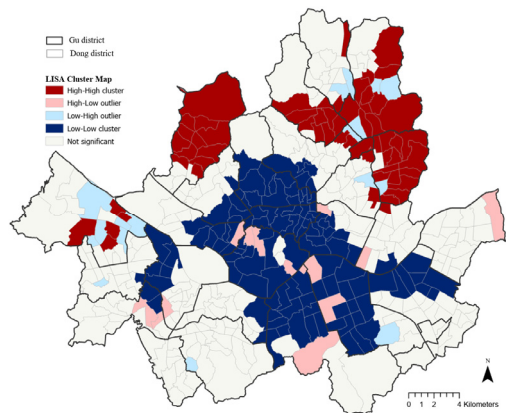


Given the z-score of 14.38302, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

(d) Global Moran's I_Vulnerable Population



(e) LISA Cluster Map_Elderly Population



(f) LISA Cluster Map_Vulnerable Population

Fig. 3. Results of Vulnerable Population Distribution, Moran's I & LISA Analysis in Seoul

Table 3. The Result of Correlation Analysis

Variables	UnderH	Flooding	OldP	Vulnerable
UnderH	1			
Flooding	-.035	1		
OldP	.219***	.075	1	
Vulnerable	.333***	.040	.208***	1

*p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01

Table 4. The Result of Bivariate Moran's I Statistics

Types	UnderH-Flooding	UnderH-OldP	UnderH-Vulnerable
Moran's I	-0.050	0.110	0.104
z-score	-1.630	3.883	2.883
p-value	0.030	0.010	0.030

로 유의미하게 나타난다. 지하 주택 수와 고령자 수의 Moran's I 값은 0.110이며, z-score 3.883, p-value 값 0.010으로 강한 양의 상관관계가 유의미하게 나타났다. 이는 고령자가 많은 지역에 지하 주택이 밀집해 있을 가능성을 의미한다. 또한, 지하 주택 수와 기초생활수급자 수의 Moran's I 값은 0.104, z-score 2.883, p-value 값이 0.030으로, 양의 상관관계가 유의미하게 나타나 기초생활수급자가 많은 지역에서도 지하 주택이 밀집해 있음을 의미한다. 이러한 결과는 지하 주택이 고령자 및 기초생활수급자와 같은 사회적 취약 계층이 많이 거주하는 지역에 집중되어 있음을 보여주며, 침수 위험 지역과는 직접적인 공간적 군집패턴과 상관관계가 약함을 시사한다.

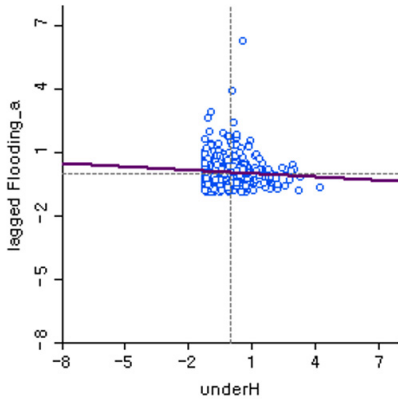
이러한 지하주택과 주요변수 간 공간적자기상관성을 지역 분포로 파악하기 위해 이변량 국지적 공간자기상관성을 나타내는 Bivariate Moran's I LISA 분석을 실행하였다. 분석결과는 Fig. 4과 같다. 먼저 지하주택과 침수위험지역이 유의미하게 연관되어 밀집된 HH지역으로 강서구, 영등포구, 동작구 등 서울시 서남권 지역에 주로 분포되어 있다. 강북에서는 도봉구, 은평구, 종로구 일부 지역에 HH 지역이

분포하는 것으로 확인되었다. 다음으로 지하주택과 고령인구가 유의미하게 연관되어 밀집된 HH 지역으로 금천구, 구로구, 양천구 등 서남권 외곽지역, 송파구, 강동구 일부 지역 등지에 분포되어 있다. 강북에서는 은평구, 도봉구, 노원구 일부 지역으로 서울 외곽지역에 HH지역들이 산재되어 있는 패턴을 확인할 수 있었다. 마지막으로 지하주택과 기초생활수급자가 유의미하게 연관되어 밀집된 HH지역 패턴은 은평구, 노원, 도봉구, 강북구, 중랑구 등 강북 외곽지역으로 뚜렷한 분포 패턴이 확인되었다.

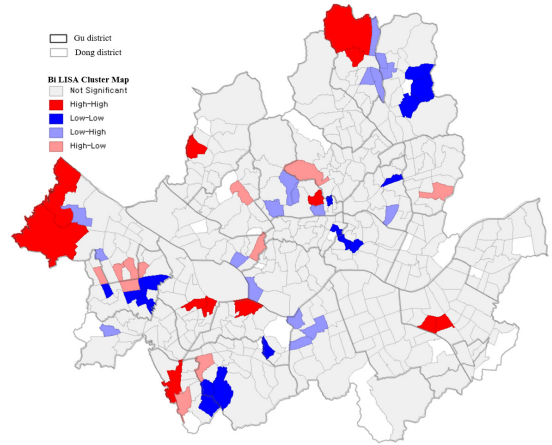
공간분석 결과를 종합하면, 사회적 취약계층(고령자 및 기초생활수급자)과 지하주택의 공간적 분포 간 유의미한 양(+)의 상관관계가 존재함을 확인했지만, 침수위험 지역과 지하주택 밀집지역 간에는 예상했던 정(+)의 상관관계가 나타나지 않았다.

결과적으로 가설 H1(지하층 주택 밀집지역과 침수위험 밀집지역 간 정(+)의 공간적 자기상관성)은 기각(-) 되었으며, 가설 H2(지하층 주택 밀집지역과 고령인구 밀집지역 간 정(+)의 공간적 자기상관성)과 가설 H3(지하층 주택 밀집지역과 기초생활수급자 밀집지역 간 정(+)의 공간적 자기상관성)은 지지(+)하는 것으로 나타났다(Table 5).

Moran's I: -0,050 (isolates in weights are removed)

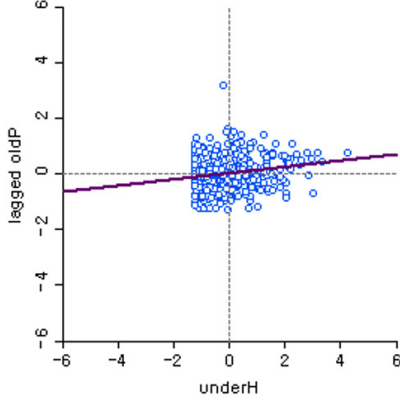


(a) Bivariate Moran's I_UnderH&Flooding

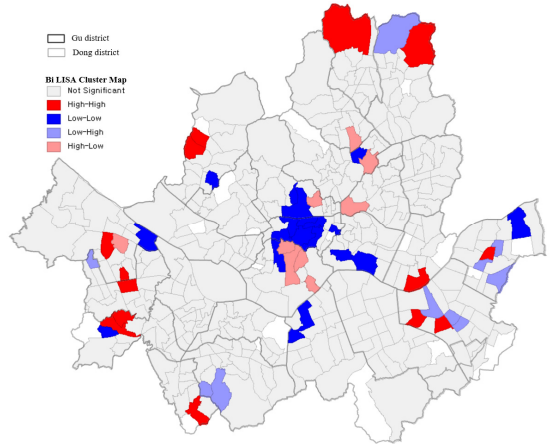


(b) Bi LISA Cluster Map_UnderH&Flooding

Moran's I: 0,110 (isolates in weights are removed)

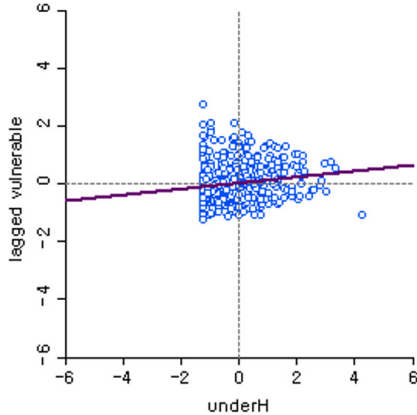


(c) Bivariate Moran's I_UnderH&OldP

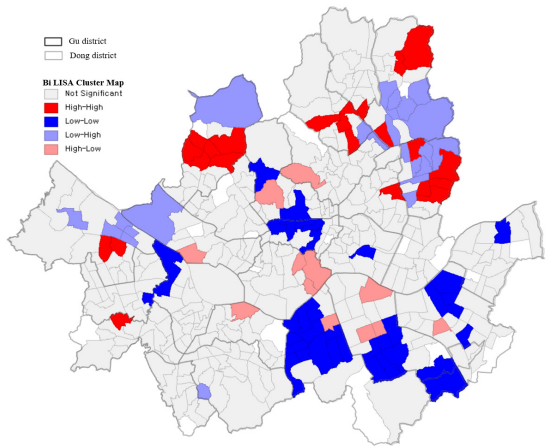


(d) Bi LISA Cluster Map_UnderH&OldP

Moran's I: 0,104 (isolates in weights are removed)



(e) Bivariate Moran's I_UnderH&Vulnerable



(f) Bi LISA Cluster Map_UnderH&Vulnerable

Fig. 4. Results of Bivariate Moran's I Analysis between Underground Housing in Seoul and Key Variables

Table 5. Hypothesis Verification Results

Hypothesis	Result	Evidence
H1	×Support	Moran's I=-0.050, p=0.030
H2	Reject	Moran's I=0.110, p=0.010
H3	Reject	Moran's I=0.104, p=0.030

5. 결론 및 시사점

본 연구는 서울시 지하주택의 공간적 분포와 침수 위험 지역 및 사회적 취약계층(고령자, 기초생활수급자) 거주 지역 간의 공간적 상관관계를 분석하였다. 주요 연구 결과, 지하주택 밀집지역은 고령인과 기초생활수급자가 밀집한 지역과 유의미한 양(+)의 상관관계를 보였으며, 특히 서울 서남권 및 강북 외곽 지역에서 밀집도가 높게 나타났다. 반면, 지하주택과 침수위험 지역 간의 공간적 자기상관성은 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 이는 지하주택의 밀집 분포 패턴이 침수위험지역의 지리적 위치보다는 경제적·사회적 요인에 의해 더 큰 영향을 받고 있음을 시사한다. 즉, 서울시 지하·반지하 주택에는 고령자와 기초생활수급자가 상대적으로 많이 거주할 가능성이 높다는 것을 의미한다. 그리고 국지적으로 이러한 지하주택이 밀집한 수해위험지역에는 더욱 적극적인 정책적 개입이 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 결과는 서울시의 주거취약계층 지원 정책 수립에 중요한 기초자료를 제공할 수 있다.

이러한 연구 결과가 도출된 배경에는 여러 요인이 작용했을 가능성이 있다. 우선, 서울시는 지난 수십년간 도시 정비 사업, 재건축 재개발 사업을 통해 침수위험이 상대적으로 높은 강남 지역에서 지하주택을 포함한 노후 주택을 점진적으로 철거하고 신규주택을 공급해 왔다. 이에 따라 침수위험이 높은 지역에서는 상대적으로 지하주택의 밀집도가 낮아졌을 가능성이 있다. 또한, 지하주택의 분포는 지가(地價)

와 임대료 수준, 그리고 저소득층의 주거 선택과 밀접한 관련이 있으며, 이는 침수위험보다는 경제적 요인이 지하주택의 입지에 더 중요한 영향을 미쳤음을 제기한 선행연구(Peacock et al., 2022)와도 그 결을 같이한다. 마지막으로, 기존 지하주택 거주자의 상당수가 경제적 이유로 인해 주거지를 이동하기 어려운 상황이므로, 기존 취약계층이 밀집된 지역에서 계속해서 지하주택이 유지되고 있을 가능성이 높다(홍희정·홍성현, 2023).

본 연구의 또 하나의 중요한 점은 주거복지 정책을 우선적으로 대응해야 할 지역 도출을 가늠할 수 있다는 것이다. 국지적 공간적 자기상관 분석과 이변량 공간분석을 통해 서울시내 지하주택, 수해위험, 그리고 취약계층 밀집 지역을 법정동 단위에서 확인하였다. HH 지역으로 나타난 서울시 서남권 지역(강서구, 동작구 등)과 강북권 외곽지역(은평구, 도봉구 등)에 우선순위를 두고 주거상향 사업 등 주거복지 정책을 시행할 것을 고려할 수 있다.

서울시는 매년 반복되는 여름철 수해 및 침수 피해를 막고 미리 예방하는 측면에서 본 연구 결과를 활용할 수 있을 것이다. 이미 서울시와 국토교통부, LH에서는 지하·반지하 주택 관련한 정책과 사업들을 진행하고 있다. 주거취약계층 주거상향지원사업이나 반지하 주택 정비를 위한 자율주택정비사업, 반지하 주택의 신축을 제한하고, 기존 반지하 주택을 공공이 매입하여 임대주택이나 커뮤니티 시설로 활용하는 등 반지하 주거 개선 프로젝트를 추진하고 있다(서울주거포털, 2025; 한국토지주택공사, 2025). 정책과 사업수행의 효율성을 높이고 취약 계층의 주

거 환경 개선과 수해피해에 안전한 주거 공간을 제공하기 위하여 본 연구의 주요 결과들은 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 기존 연구들과 차별되는 몇 가지 기여점을 가진다. 첫째, 기존 연구들이 특정 지역에 국한되거나 정성적 분석에 의존한 반면, 본 연구는 서울시 전역을 대상으로 공간 통계 기법(Global Moran's I, Local Moran's I, Bivariate Moran's I 등)을 활용한 실증적 분석을 수행하였다. 둘째, 기존 연구들은 주로 지하주택의 침수 취약성을 강조하였으나, 본 연구는 침수위험 지역과의 관계뿐만 아니라 사회적 취약계층과의 관계를 다층적으로 분석하였다는 점에서 차별성이 있다. 셋째, 본 연구의 결과는 현재 서울시, 국토부, LH 및 SH에서 추진 중인 주거복지 정책 및 주거환경 개선 사업과 연계될 수 있으며, 특히 지하주택 거주 취약계층의 이주 지원 정책을 보완하는데 기초 자료로 활용될 수 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 몇 가지 한계를 가진다. 첫째, 분석에 사용된 데이터는 단기간(2022~2023년)의 횡단면적 자료로서, 장기적인 시계열적 변화 양상을 반영하지 못할 수 있다. 둘째, 지하주택의 개별적인 물리적 특성(주거환경, 건축 연도, 배수 시설 등)을 고려하지 못했다는 점에서 한계가 있다. 셋째, 본 연구는 거시적 수준에서 공간적 상관성을 분석하였으므로, 개별 가구의 거주 만족도나 주거 이동 경향을 분석하는 데에는 한계가 있을 수 있다. 마지막으로 중첩된 HH지역으로 나타난 서울시 내 취약지역별로 차별화된 정책방안을 구체적으로 제안하지 못한 한계가 있다. 향후 연구에서는 장기 시계열 데이터를 활용하여 보다 심층적인 분석을 수행하고 실증분석을 바탕으로 한 서울시 내 구체적인 지역별 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

참고문헌

1. 강호선·이한승·문혜진·조재웅(2023), "도시침수 상향관리 지원을 위한 RAINSYS 개발", 「한국산학기술학회 논문지」, 24(11): 461~469.
2. 국토교통부(2020), "주거취약계층 주거지원 업무처리 지침", 세종.
3. 국토교통부(2022), "국민 주거안정 실현방안 발표", 세종.
4. 국토교통부(2023), "기후변화에 따른 도시·주택 재해대응력 강화 방안", 세종.
5. 김결(2017), "서울시 빈곤층의 공간분포패턴 변화분석", 「한국도시지리학회지」, 20(1): 61~71.
6. 김민준·강전영(2022), "서울시의 도시홍수 관련 임시대피시설의 공간적 분포 탐색", 「국토지리학회지」, 56(3): 235~244.
7. 김민준·이창규·이상원·강전영·최진무(2023), "인구 감소와 고령화에 따른 노인 자연재난 위험지역 탐지 및 재난대응력 측정", 「대한공간정보학회지」, 31(2): 25~34.
8. 박윤희(2013), "빈곤층 거주지의 공간적 집중에 대한 연구: 기초생활수급인구를 중심으로", 「도시행정학보」, 26(4): 489~510.
9. 박인숙(2023), "반지하주택의 침수 예방을 위한 개선 과제", 「이슈와 논점」, 2132: 1~4.
10. 박한나·송재민(2014), "침수 취약성 지표와 사회적 취약계층 비율 간의 상관관계 분석을 통한 환경정의 실증 연구", 「국토계획」, 49(7): 169~186.
11. 서울연구원(2022), 「서울의 주목할만한 현주소」, 서울.
12. 성진욱·정기성(2021), "신경망분석을 활용한 비주택 고령자 1인 가구의 공유주택 거주 의향에 미치는 중요 요인 분석", 「LHI Journal」, 12(1): 57~68.
13. 신상영·김성은·남현정·김상균(2023), 「서울시 반지하주택 유형과 침수위험 해소방안」, 서울: 서울연구원.
14. 안익순·박중훈(2023), 「건축행정 데이터 기반 재해취약 지하층 주택 현황 분석」, 서울: 건축공간연구원.
15. 조준혁·이영성·정해영·곽태우(2014), "쇠퇴한 지역에 사는 사람들은 건강도 쇠퇴할까?", 「국토계획」, 49(6): 109~125.
16. 하민정(2022), "주거취약계층의 주거권 보장을 위한 법·제도적 고찰: 침수위험 반지하 거주가구 등 주거

- 취약계층에 대한 주거지원 대책을 중심으로”, 「일감 부동산법학」, 25: 183~233.
17. 홍희정·홍성현(2023), “거주유형별 주거취약계층의 특성 분석”, 「SH Urban Research & Insight」, 13(2): 113~146.
18. Chen, Y., T. Liu, Y. Ge, S. Xia, Y. Yuan, W. Li, and H. Xu, (2021), Examining Social Vulnerability to Flood of Affordable Housing Communities in Nan-jing, China: Building Long-Term Disaster Resilience of Low-Income Communities, *Sustainable Cities and Society*, 71: 102939, doi: 10.1016/j.scs.2021.102939.
19. Hatzikyriakou, A. and N. Lin (2018), “Assessing the Vulnerability of Structures and Residential Communities to Storm Surge: An Analysis of Flood Impact during Hurricane Sandy”, *Frontiers in Built Environment*, 4(4): 1~13.
20. IPCC (2023), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva.
21. Kim, S., G. Kim, and K. E. Lee (2023), “Rainfall Peak Prediction Using Deep Learning”, *The Korean Data & Information Science Society*, 34(4): 607~617.
22. Lee, Y. and S. Han (2024), “Exploring Urban Housing Disadvantages and Economic Struggles in Seoul, South Korea”, *Urban Sustainability*, 4(1): 21.
23. Liu, J., T. W. Hertel, N. S. Diffenbaugh, M. S. Delgado, and M. Ashfaq (2015), “Future Property Damage from Flooding: Sensitivities to Economy and Climate Change”, *Climatic Change*, 132: 741~749.
24. Macuha, R. (2023), “Evaluating the Physical Vulnerability of Public School Buildings Against Flooding in Metro Manila, Philippines”, *ASEAN Engineering Journal*, 13(2): 101~106.
25. Peacock, W. G., S. V. Zandt, Y. Zhang, and W. Highfield (2022), “Inequities in Long-Term Housing Recovery after Disasters”, in *The Affordable Housing Reader (2nd ed.)*, London: Routledge, 19.
26. 서울열린데이터광장, “기초생활수급자”, 2025.1.5a 읽음. <https://data.seoul.go.kr/>. Data Seoul, “Basic Livelihood Security Recipient”, Accessed January 5, 2025a. <https://data.seoul.go.kr/>. (in Korean)
27. 서울열린데이터광장, “서울시 침수흔적도”, 2025.1.5b 읽음. <https://data.seoul.go.kr/>. Data Seoul, “Seoul Flood Trace Map”, Accessed January 5, 2025b. <https://data.seoul.go.kr/>. (in Korean)
28. 서울주거포털, “주거정책”, 2025.1.5 읽음. <https://housing.seoul.go.kr/>.
29. 서울주택도시공사, “주거복지사업소개”, 2025.4.5 읽음. <https://www.i-sh.co.kr/main/index.do>.
30. 세움터, “건축물대장데이터”, 2025.1.1 읽음. <https://www.eais.go.kr/>. Seumter National Statistics, “Building Register Data”, Accessed January 1, 2025. <https://www.eais.go.kr/>. (in Korean)
31. 통계청, “인구주택총조사”, 2025.1.1 읽음. <https://www.kostat.go.kr/ansk/>. KOSIS, “Population and Housing Census”, Accessed January 1, 2025. <https://www.kostat.go.kr/ansk/>. (in Korean)
32. 한국토지주택공사(LH), “주거환경개선사업”, 2025.1.5 읽음. <https://www.lh.or.kr/>.

요약

본 연구는 서울시 지하층 주택의 공간적 분포와 사회적 취약계층(고령자, 기초생활수급자) 및 침수위험 지역 간의 공간적 상관관계를 분석하였다. 서울시의 지하·반지하 주택 문제는 주거 취약계층의 삶의 질 저하와 기후 변화에 따른 침수 피해 증가로 인해 지속적으로 논의되고 있으나, 지하층 주택과 사회경제적 요인 간의 공간적 관계에 대한 실증적 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 공간 통계 기법(Global Moran's I, Local Moran's I, Bivariate Moran's I)을 활용하여 서울시 내 지하층 주택 밀집 지역과 취약계층 및 침수위험 지역 간의 관계를 분석하였다. 연구 결과, 지하주택 밀집 지역은 고령 인구 및 기초생활수급자 밀집 지역과 높은 유의미한 양(+)의 상관관계를 보였다. 반면, 지하주택 밀집지역과 침수위험 밀집지역 간의 공간적 자기상관성은 뚜렷하지 않았다. 이는 지하주택의 밀집 분포 패턴이 침수위험지역의 지리적 위치보다는 경제적·사회적 요인에 의해 더 큰 영향을 받고 있음을 시사한다. 또한 국지적으로 지하주택이 밀집한 수해위험지역인 서남권 지역과 강북 외곽지역에는 더욱 적극적인 정책적 개입이 고려될 수 있다. 본 연구는 서울시의 반지하 주택 및 주거복지 정책 수립에 기초 자료를 제공할 수 있으며, 향후 연구에서는 장기적인 시계열 분석과 개별 가구 수준에서의 거주 만족도 조사 등을 추가적으로 수행할 필요가 있다.

주제어: 서울시, 지하층 주택, 침수위험지역, 고령인구, 기초생활수급자