



## Article

# 지하안전정보시스템 자료로 본 우리나라 지반침하의 특성: 유효한 대책 수립을 위한 함의

이진용

강원대학교 지질학과

## Characteristics of ground subsidence in Korea based on data from the Underground Safety Information System: Implications for effective countermeasures

Jin-Yong Lee

Department of Geology, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

Received: May 6, 2025 / Revised: May 14, 2025 / Accepted: May 19, 2025

\*Corresponding author: +82-33-250-8551 / E-mail: [hydrolee@kangwon.ac.kr](mailto:hydrolee@kangwon.ac.kr)

**요약:** 최근 국내 도심지에서 지반침하, 이른바 싱크홀 현상이 빈번히 발생하면서 이에 대한 사회적 우려가 증대되고 있다. 본 연구는 국토교통부 지하안전정보시스템에 수집된 2018년부터 2025년 5월까지의 전국 지반침하 사례 1,433건을 기반으로 발생 시기, 지역, 원인, 규모 및 지질 특성에 대한 통계적 분석을 수행하였다. 주요 결과로는 지반침하는 여름철(6~8월), 특히 8월에 집중되며, 경기도와 서울, 광주, 부산 등 대도시에서 빈번하게 발생하고, 주된 원인은 노후 하수관 손상으로 나타났다. 다수의 침하가 지표면 2 m 이내의 얕은 깊이와 10 m<sup>2</sup> 미만의 소규모에서 발생하였으며, 반면 대형 싱크홀의 경우 지하 굴착공사, 특히 터널 공사와 밀접한 연관성을 보였다. 사례 분석을 통해 도출된 결론은 단순한 노후관 교체에 그치는 대책이 아닌, 사전에 정밀한 지질조사 및 상시적인 지질 및 지하수 모니터링을 기반으로 한 체계적인 사전 예방이 필요하다는 점이다. 본 연구는 향후 효율적인 지하 안전관리 및 정책 수립의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

**주요어:** 지반침하, 지하 굴착, 터널, 지하수, 지질

**ABSTRACT:** Recently, growing concern has emerged regarding frequent ground subsidence (commonly referred to as sinkholes) occurring in urban areas across Korea. This study statistically analyzed 1,433 cases of ground subsidence recorded between 2018 and May 2025 in the national Underground Safety Information System operated by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport. The analysis focused on temporal and spatial distribution, causes, dimensions, and geological context. Results revealed that most incidents occurred during the summer months, particularly in August, and were concentrated in major metropolitan areas such as Gyeonggi, Seoul, Gwangju, and Busan. The leading cause was identified as sewer pipe damage due to aging infrastructure. Most events occurred at shallow depths (<2 m) and in small areas (<10 m<sup>2</sup>), while larger sinkholes were closely associated with underground construction, notably tunnel excavation. Case studies confirmed that comprehensive subsurface investigations and groundwater monitoring are more effective countermeasures than simply replacing old pipelines. This research provides foundational insights for formulating effective policies and preventive strategies for underground safety management in urban environments.

**Key words:** ground subsidence, underground excavation, tunnel, groundwater, geology

## 1. 서론

최근 서울 강동구 명일동 등 우리나라 여러 도심에서 지반침하(땅꺼짐)가 발생하여 인명과 재산상 피해가 발생함으로써 시민들에게 공포와 우려를 자아내고 있다. 일반적으로 이를 흔히 싱크홀이라고 부르나 이는 정확한 용어는 아니다. 지질학적으로 싱크홀(sinkhole)은 지표면이 급격하게 내려앉거나 함몰되는 현상으로 주로 지하 암석(특히 석회암)의 용해 또는 지하 공동(空洞)의 붕괴로 발생한다(Gökkaya *et al.*, 2021; Arjwech and Everett, 2024). 이는 자연적으로도 발생할 수 있으며, 이런 자연적 요인에 의한 것을 흔히 싱크홀로 지칭하고 있으나 최근 도심지 등에서 사람의 활동(예: 지하수 과도한 양수, 지하 공간 개발 등)으로 인해 인위적으로 유발되거나 촉진되기도 한다(Lee, 2016; Gökkaya *et al.*, 2021; Öztürk *et al.*, 2025).

한편, 최근에 국내에서 보고되는 지반침하 사례들은 과거보다 그 빈도와 규모 면에서 점차 증가하고 것으로 보이며, 특히 도심지 내 주요 기반 시설(도로, 지하철, 상하수도관 등)에 직접적인 영향을 미치고 있다는 점에서 우려를 낳고 있다. 이에 따라 지반침하에 대한 더 정밀한 진단과 예방이 요구되며, 이를 위한 체계적인 모니터링과 원인 분석 시스템이 필요하다(Zhang *et al.*, 2023). 특히 서울, 부산, 대구, 인천 등 인구 밀도가 높은 대도시를 중심으로 다양한 유형의 침하 현상이 관찰되고 있는데, 이는 도시화에 따른 지하 공간의 복잡화와 노후 인프라, 지하수위 변화 등의 복합적인 요인들이 작용한 결과로 볼 수 있다(Lee *et al.*, 2006, 2007; Lee and Han, 2013; Lee, 2016).

한편, 이와 같은 인위적 지반침하의 발생은 지질학적 문제일 뿐만 아니라 도시계획, 건축, 지반공학, 수리학 등 다양한 학문 분야의 융합적 접근이 필요한 복합 재난 문제로 인식되고 있다. 따라서 현재의 지반침하 문제를 해결하고 예방하기 위해서는 다각적인 자료 수집과 분석, 그리고 정량적 위험 평가에 기반한 정책 수립이 필수적이다. 이러한 필요에 따라 국토교통부는 2018년부터 「지하안전관리에 관한 특별법(약칭 지하안전법)」을 시행하고 있으며, 이에 근거하여 국가 단위의 지하 공간 통합 정보 시스템인 ‘지하안전정보시스템(Underground Safety Information System)’을 구축하였다(www.jis.go.kr; Han, 2018).

지하안전정보시스템은 도심지 지하 공간에서 발생할 수 있는 각종 지반침하 및 지하 위험 요소를 통합적으로 관리하기 위한 목적으로 개발되었으며, 국토교통부 산하 한국건설기술연구원을 중심으로 운영되고 있다(Park *et al.*, 2020). 이 시스템은 지하안전법 등에 따라 전국에서 발생하는 면적 1 m<sup>2</sup> 이상 또는 깊이 1 m 이상 혹은 사상자 또는 실종자가 발생한 땅꺼짐(싱크홀)에 대하여 자료를 수집하고 관리하도록 하고 있다. 이러한 정보는 지방자치단체, 관련 공공

기관, 민간사업자 등에게 제공되어 지하 개발사업의 사전 타당성 평가 및 위험도 분석에 활용된다(Yun and Park, 2024).

본 연구에서는 이와 같은 지하안전정보시스템에 축적된 2018년 이후 전국적인 지반침하 정보를 활용하여 우리나라에서 발생한 지반침하의 시공간적 분포 특성을 분석하고, 지반침하 발생과 관련된 주요 요인을 분석하고자 하였다. 보고된 지반침하 사례들을 계량적으로 분석함으로써 연도별 및 도시별 발생 추이, 지반침하의 원인, 지질 특성을 통계적으로 평가하였다. 또한 최근 몇 년 사이에 발생한 대표적인 대규모 싱크홀 사례를 구체적으로 살펴봄으로써 지반침하(싱크홀)에 대한 대책으로 주로 언급되는 노후 상하수도관의 교체 및 관리가 유효한 방법인지 등에 대한 논의도 포함하였다. 이를 통해 지반침하에 대한 효과적이고 효율적인 대책 마련 및 지하 안전관리 정책 수립에 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 자료 수집

본 연구를 위한 지반침하 자료는 국토교통부의 지하안전정보시스템(JIS)에서 취득하였다. 회원가입을 하기 전에는 커뮤니티 메뉴만 제공되지만, 회원가입을 한 이후에는 지반침하사고, 통계분석 등의 추가적인 서비스의 이용이 가능하다(그림 1). 지반침하사고 메뉴에서는 사고 발생 위치(행정동까지만 제공), 사고 발생 일자, 발생원인 구분, 복구 상태, 통보 여부, 통보 일자, 상태 정보를 실시간으로 제공한다. 통계분석 메뉴에서는 연도별 및 지역별 발생 추이 및 특성 통계를 제공한다. 이 논문에서 주로 이 자료를 이용하였고 자료의 기간은 2018년부터 2025년 5월 1일 현재까지이다. 그 외는 공식적인 대한민국 정책브리핑(<https://korea.kr/briefing/>) 자료를 이용하였다.

### 2.2. 통계분석

본 논문에서는 경향분석을 위해서는 선형회귀분석과 비모수 경향분석 방법인 Mann-Kendall test와 Sen's test를 적용하였다(Choi and Lee, 2009; Park *et al.*, 2011). 이 경우 경향성 유무 판단의 유의수준은 0.05를 채택하였다. 그리고 본 연구에서 사용한 통계분석은 고생물 자료를 분석하기 위하여 개발되었으나 현재는 여러 학문 분야에서 광범위하게 사용되고 있는 무료 통계소프트웨어인 PAST(버전 5.2.2; Hammer *et al.*, 2001)를 사용하였다.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1. 전국적인 발생 빈도 및 특성

그림 2는 2018년부터 2025년 현재까지 이 시스템에 등

록된 지반침하 사고의 통계를 보여준다. 동 기간 지반침하는 모두 1,433건으로 2018년 338건을 정점으로 해가 감에 따라 뚜렷한 감소세를 보이고 있다(그림 2a). 그리고 2025년 자료(5월까지만의 자료이므로)를 제외한 선형회귀분석에서는 연간 -31건의 감소세가 나타나며, 또 비모수 분석인 Mann-Kendall test와 Sen's test에서도 95% 신뢰수준에서 감소하는 것으로 나타났다(그림 3). 그런데 이는 최근에 싱크홀 사고가 증가하고 있다는 일반적 인식과는 매우 상반된 결과이다. 이는 명일동 지반침하 사고로 인명피해가 준 충격이 크고 국민의 관심이 고조됨에 따라 그동안 언론의 주목을 받지 못하다가 이를 계기로 언론 보도가 많이 됨으로써 정량적 건수가 늘어난 것으로 오인한 것일 수 있다. 다만 이런 감소 경향이 지반침하와 관련된 공사 건수의 감소 혹은 상하수도관 누수의 감소에 의한 것인지는 판단하기 어렵다.

한편, 지반침하가 어느 월에 많이 발생하는지를 살펴보면(그림 2b), 8월이 19.3%로 가장 많은 것으로 나타났다.

그리고 그다음은 6월로 14.1%를 차지하고, 그리고 7월이 13.4%로 이 삼 개월을 합하면 46.8%에 해당한다. 지반침하 사고는 계절적으로 여름철(6~8월)에 가장 빈번하게 발생하는 경향이 있으며(그림 2c), 이는 집중호우, 노후 지하 인프라, 지하수위 변동, 그리고 지반의 수분함량 변화 등 복합적인 요인에 기인한다. 여름철은 장마와 태풍의 영향으로 짧은 시간에 많은 비가 내리며, 이에 따라 하수관 손상 부위나 지하 공동으로 빗물이 침투하여 세굴(scour)이나 세입(piping) 현상이 발생하고, 지하의 세립질 토사가 유실되며 공동 형성이 촉진된다. 특히 노후화된 하수관이나 상수도관 주변은 집중호우 시 취약 구조로 작용하여 침하를 유발할 가능성이 높다(Kwak *et al.*, 2020). 또한 점토질 지반에서는 반복적인 건조-습윤 사이클로 인해 지반의 수축 및 팽창이 발생하며, 이는 구조물 하중과 결합될 경우 지표면의 불균일한 침하로 이어질 수 있다(Wang, 2022). 여기에 여름철 집중되는 지하 공간 개발 공사와 장비 진동, 급격한 지하수위 상승 및 하강에 따른 지반 지지력 변화가 맞물

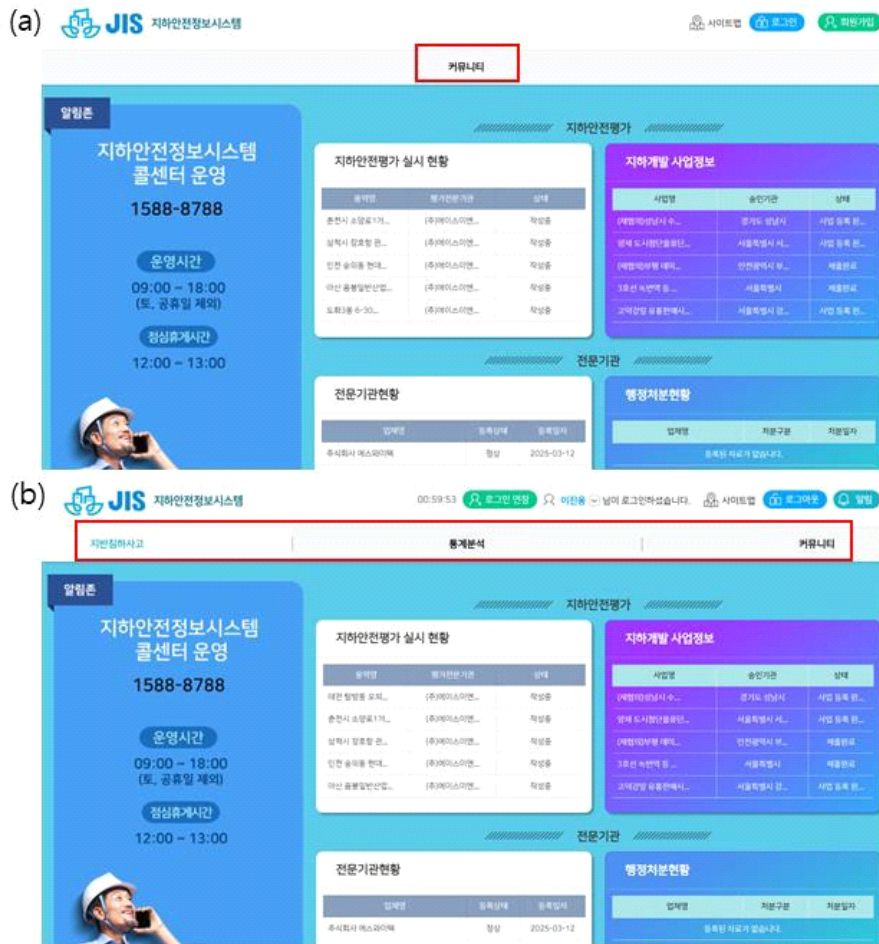


Fig. 1. (a) The main page of the Underground Safety Information System (www.jis.go.kr) operated by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and (b) the interface after logging in following user registration.

리면 사고 발생 가능성은 더욱 높아진다(Yang *et al.*, 2019).

한편, 지반침하가 가장 많이 발생한 지역은 경기도(311건, 21.7%), 광주광역시(157건, 10.9%), 부산광역시(137건, 9.6%), 서울특별시(126건, 8.8%), 강원특별자치도(113건, 7.9%), 충청북도(113건, 7.9%) 순으로 나타난 것은(그림 2d) 단순한 행정구역의 면적보다는 인구 밀도, 도시화 수준, 지하 인프라의 밀도 및 노후화, 지하 공간 개발 빈도 등의 복합적인 도시 인자와 밀접한 관련이 있다. 예를 들어, 경기도는 수도권 외곽의 광역도시군이 밀집해 있고 인구가 전국에서 가장 많은 지역으로, 대규모 주거단지 개발, 지하철 연장, 상·하수도 정비, 도로 굴착공사 등 다양한 지하 공간 활용이 집중되면서 침하 사고가 잦다(Kim *et al.*, 2018). 서울특별시는 인구 밀도가 전국 최고 수준이며, 1970~80 년대에 구축된 노후 상하수도관과 공동구가 복잡하게 얽혀 있어 지하 구조물의 파손이나 지반 이완에 따른 침하 위험이 높은 편이다(Fadhillah *et al.*, 2020). 광주광역시와 부산

광역시 역시 도시철도 신설 및 정비 공사, 상수도관 교체 사업 등이 활발히 이루어진 지역으로, 지하 굴착 및 충전 불량으로 인한 공동(cavity)이 주요 원인 중 하나로 추정된다. 한편, 강원특별자치도의 경우 대규모 도시보다는 춘천, 원주, 강릉 등의 신도시 및 관광개발에 따른 지하 공간 공사와 풍화암과 충전층이 혼재된 지형적 특성이 침하를 유발할 수 있는 환경적 요인으로 작용한다. 충청북도 역시 대규모 산업단지 조성 과 도로 인프라 확장, 특히 하천 주변 충전층 기반의 매립지 개발이 이 지역의 지반침하 발생에 일정 부분 기여한 것으로 판단된다(Heo *et al.*, 2016). 이처럼 지반 침하 발생은 단순히 지형이나 행정구역의 면적보다는, 인구 밀도, 도시개발 정도, 지하 매설물의 복잡성, 공사 빈도, 지질 특성과 같은 도시 인자와 밀접하게 연결된 것으로 사료된다.

그리고 지반침하의 원인별 통계를 분석한 결과(그림 2e), 전체 침하 사례 중 하수관 손상이 가장 높은 비율인 645건

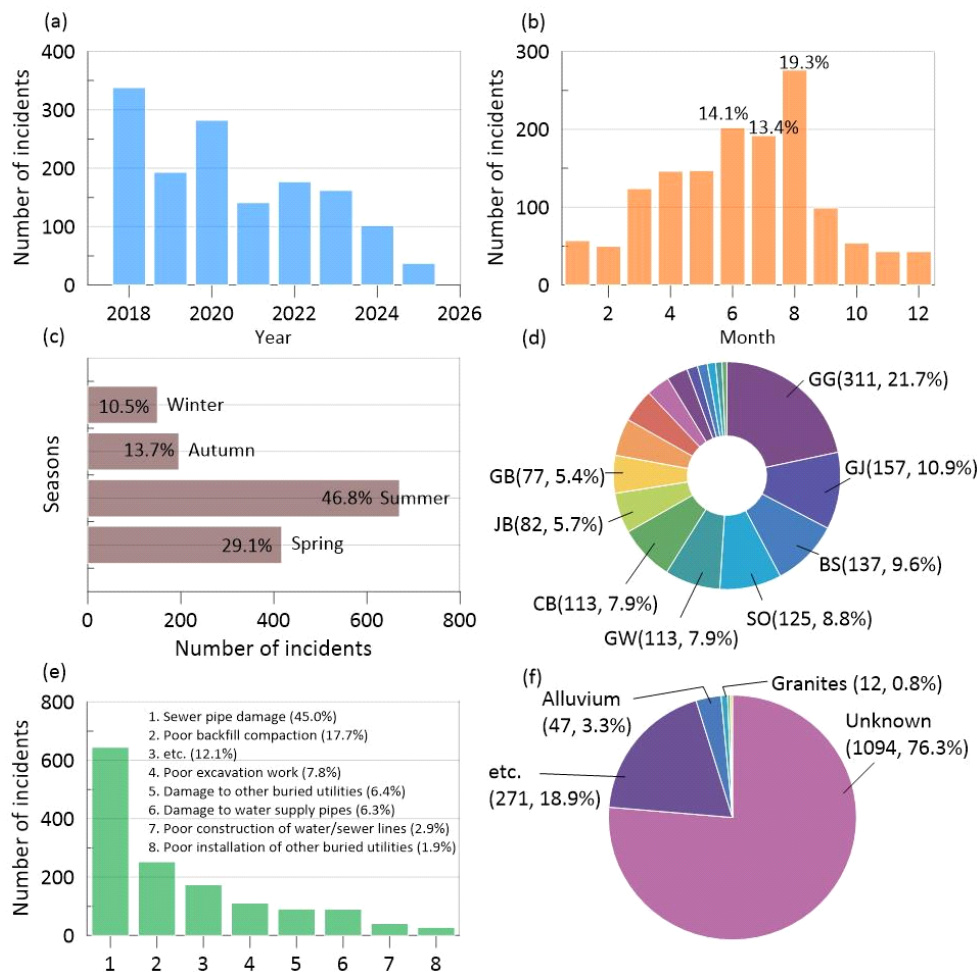


Fig. 2. Statistics on ground subsidence incidents in Korea registered in the Underground Safety Information System (2018–2025.05.): (a) Number of incidents by year, (b) by month, (c) by season, (d) by region (refer to Table 1 for the abbreviations of local region), (e) by cause, and (f) by geological setting.

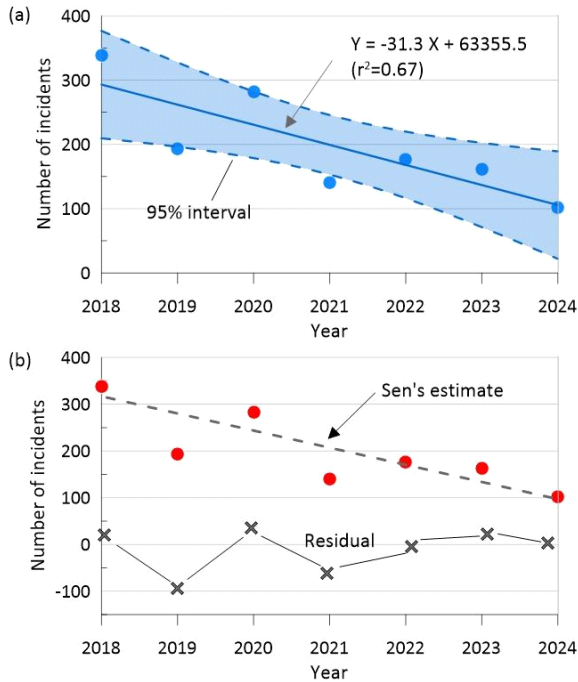


Fig. 3. (a) Linear regression of the ground subsidence incidents and (b) their Sen's estimates.

으로 나타나 주요 원인으로 지목된다. 이는 국내 도시 지역의 노후 하수관망이 적절히 유지 관리되지 못하고 있음을 시사하며, 하부 지반의 침식 및 공동 형성을 통한 침하 유발 가능성이 큼을 의미한다. 다음으로는 다짐(퇴메우기) 불량 이 253건으로 나타났으며, 이는 지하 공사 후 퇴메움 작업의 품질 저하가 시간이 지나면서 지반 안정성에 부정적 영향을 미치는 대표 사례로 해석된다. 그 외에도 굴착공사 부실(111건), 기타 매설물 손상(91건), 상수관 손상(90건) 등 지하 구조물 시공 및 운영 단계에서의 문제들이 상당한 비중을 차지하고 있으며, 이는 지하 인프라의 전반적인 유지 관리 체계에 대한 개선이 필요함을 보여준다. 특히 상수관 공사 부실(41건) 및 기타 매설 공사 부실(28건)과 같은 시공 단계의 결함은 장기적으로 지반 안정성에 영향을 미치는 주요 요인이며, 이러한 사례는 사후적 조치보다 선제적 진단 및 예방 중심의 정책 전환의 필요성을 강하게 시사한다.

한편, 지반침하 발생 지점의 지질 분포를 살펴본 결과, '불명'으로 분류된 사례가 총 1,094건으로 전체의 대부분을 차지하고 있으며(그림 2f), 이는 현재의 지하안전정보 시스템에서 지반침하에 대한 기초자료 확보가 부족하거나 조사 체계가 미비함을 보여준다. 이는 향후 침하 원인 규명을 위한 정밀 지질조사의 필요성을 강하게 시사한다. 그 외 '기타'로 분류된 271건을 제외하면, 충적층(47건), 화강암류(12건), 호상편마암(5건), 편암류(4건) 등 고유 지반에 관한 사례는 상대적으로 적은 것으로 나타난다. 특히 충적층

은 느슨하고 다짐이 약한 지질 특성상 침하에 취약할 수 있으며, 실제로 도시 지역의 하천 주변이나 매립지에 흔히 분포하고 있어 주의가 요구된다. 반면 화강암류, 편마암류, 편암류와 같은 견고한 암반 기반 지질에서는 지반침하 발생 건수가 적은 편이며, 이는 지질의 공학적 특성과 침하 저항성의 차이를 반영하는 것으로 판단된다. 그러나 전체 사례의 약 70% 이상이 '불명'이나 '기타'로 분류된 점은, 지반침하와 지질 특성과의 관련성을 보다 정확히 규명하기 위해 현장 기반의 지질 정보 수집 체계 강화와 통일된 분류 기준 마련이 필요함을 시사한다.

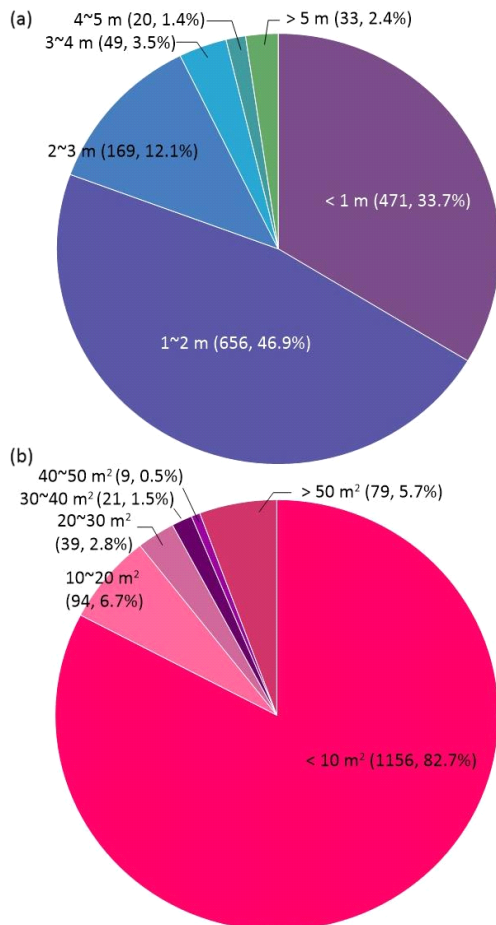
### 3.2. 지사체별 발생 비교 및 규모

표 1에 따르면, 대한민국 전 지역에서 지반침하가 가장 많이 발생한 시기는 공통적으로 2018년이며, 대부분 지역에서 8월에 침하 발생 건수가 집중된 것으로 나타났다. 특히 서울, 경기, 부산, 인천, 대구, 광주, 대전, 울산 등 대도시를 포함한 17개 전 행정구역 모두에서 가장 흔한 침하 원인은 '하수관 손상(sewer pipe damage)'으로 동일하게 보고되었으며, 이는 노후화된 하수관로의 유지관리 부실이 전국적인 지반침하 문제의 주된 요인임을 시사한다. 반면, 지반의 구성에 대해서는 모든 지역에서 '불명(unknown)'으로 기재되어 있으며, 이는 현재 지하안전정보시스템이 지질 정보를 충분히 반영하지 못하고 있는 현실을 보여준다. 지반의 종류나 특성이 지반침하의 발생 가능성과 직접적인 관련이 있음에도 불구하고 이에 대한 정보가 누락되어 있다는 점은, 향후 보다 정밀한 지질 정보 수집 및 데이터베이스 구축이 필요함을 강조한다. 특히 여름철 집중호우가 시작되는 8월을 중심으로 침하 사고가 다수 발생한 점은 강우에 따른 지하 공간 침투수 증가와 노후 관로의 붕괴가 복합적으로 작용하고 있음을 나타낸다.

한편, 그림 4는 발생한 지반침하의 규모를 보여준다. 지반침하 발생의 깊이별 통계를 살펴보면(그림 4a), 침하의 대부분이 지표면에서 비교적 얇은 깊이에서 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 전체 사고 중 1~2 m 깊이가 구간이 656건(46.9%)으로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 1 m 미만 구간도 471건(33.7%)에 달해 이 두 구간만으로 전체 침하의 약 80.6%를 차지한다. 이는 하수관, 상수관, 통신선 등 다양한 지하 매설물이 주로 2 m 이내의 깊이에 설치되어 있는 현실과 밀접하게 관련되어 있으며, 이들 시설물의 노후화, 시공 불량, 관리 미흡 등이 지반침하의 주요 원인으로 작용하고 있음을 시사한다. 반면, 2~3 m 구간에서는 169건(12.1%), 3~4 m는 49건(3.5%), 4~5 m는 20건(1.4%), 그리고 5 cm 이상은 33건(2.4%)으로 침하 빈도는 점차 감소하는 경향을 보인다. 이러한 결과는 지반침하가 대부분 도심의 얇은 심도에서 발생하고 있으며, 특히 도시 기반 시설

**Table 1.** Comparison of ground subsidence characteristics by region.

Region	Peak year	Peak month	Most common cause	Most common geology													
Gyeonggi (GG)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Chungbuk (CB)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Gangwon (GW)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Busan (BS)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Gwangju (GJ)	2018	June	Sewer pipe damage	Unknown													
Gyeongbuk (GB)	2018	June	Sewer pipe damage	Unknown													
Seoul (SO)	2018	June	Sewer pipe damage	Unknown													
Jeonnam (JN)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Gyeongnam (GN)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Incheon (IC)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Ulsan (US)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Daegu (DG)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Jeonbuk (JB)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Daejeon (DJ)	2018	August </tr <tr> <td>Jeju (JJ)</td> <td>2018</td> <td>August</td> <td>Sewer pipe damage</td> <td>Unknown</td> </tr> <tr> <td>Sejong (SJ)</td> <td>2018</td> <td>August</td> <td>Sewer pipe damage</td> <td>Unknown</td> </tr> <tr> <td>Chungnam (CN)</td> <td>2018</td> <td>August</td> <td>Sewer pipe damage</td> <td>Unknown</td> </tr>	Jeju (JJ)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown	Sejong (SJ)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown	Chungnam (CN)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown
Jeju (JJ)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Sejong (SJ)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													
Chungnam (CN)	2018	August	Sewer pipe damage	Unknown													



**Fig. 4.** Magnitude of ground subsidence events: (a) subsidence depth, (b) size (affected surface area).

과 연계된 침하가 주를 이루고 있음을 의미한다.

그리고 지반침하 사고의 규모(면적)를 살펴본 결과(그림 4b), 대부분의 침하가 상대적으로 작은 면적에서 발생한 것으로 나타났다. 특히 면적이 10 m<sup>2</sup> 미만인 침하가 전체 1,398 건 중 1,156건(82.7%)을 차지하며 압도적인 비중을 보인다. 이는 일상적인 도시 인프라 손상이나 시공 부실로 인한 소규모 침하가 대부분이라는 점을 시사하며, 대규모 붕괴 보다는 국지적인 침하 사례가 일반적임을 보여준다. 10~20 m<sup>2</sup> 구간은 94건(6.7%)으로 그 뒤를 이었고, 20~30 m<sup>2</sup>는 39건(2.8%), 30~40 m<sup>2</sup>는 21건(1.5%), 40~50 m<sup>2</sup>는 9건(0.6%)으로 규모가 커질수록 지반침하 빈도는 급격히 감소하는 양상을 보인다. 다만 50 m<sup>2</sup>를 초과하는 대형 침하도 79건(5.7%)이나 발생하였으며, 이는 단일 사고로도 중대한 인명피해 및 재산 손실을 유발할 수 있다는 점에서 주의가 필요하다. 이러한 분포는 대다수 침하가 비교적 작고 국지적인 범위에서 발생하나, 드물게 발생하는 대형 침하의 파급력을 고려하면 면적에 따른 위험도 평가 및 대응 체계도 차등적으로 적용할 필요가 있음을 시사한다.

### 3.3. 대표적인 싱크홀 사례

한편, 본 논문에서는 최근에 발생한 대형 싱크홀(지반침하) 사례를 보다 상세하게 살펴봄으로써 관련된 문제가 무엇이고 어떤 대책이 필요한지에 대한 함의를 도출하였다.

#### 3.3.1. 구리시 싱크홀

2020년 8월 26일 오후 3시 45분경, 경기도 구리시 교문

동 장자2사거리 인근 아파트 단지 앞 도로에서 대형 싱크홀이 발생하였다(표 2). 이 싱크홀은 직경 약 16 m, 깊이 약 21 m에 달하는 규모로, 왕복 4차로 중 2개 차로와 인접한 아파트 단지 내 녹지 공간까지 함몰되었다(그림 5a). 사고 발생 당시 인명피해는 없었으나, 인근 상수도, 통신, 도시가스 공급이 일시적으로 중단되었고, 도로 통행이 전면 통제

되었다. 사고 직후 국토교통부 중앙지하사고조사위원회는 사고 원인 조사를 실시하였으며, 그 결과 별내선 복선전철 터널 공사의 시공사인 현대건설의 시공관리 미흡이 주요 원인으로 지목되었다. 조사에 따르면, 시공사는 취약을 사전에 인지하고 있었음에도 불구하고 적절한 지반 보강 조치를 취하지 않았으며, 터널 굴착 중 과도한 지하수 유

**Table 2.** Summary of the sinkhole incident in Guri City in 2020.

Category	Details
Date and Time of Incident	Around 3:45 PM, August 26, 2020
Location	Road near Guri Woosung Hanyang Apartment, 813 Gyomun-dong, Guri-si, Gyeonggi-do, Korea
Size of Sinkhole	Approx. 16 meters in diameter, 21 meters in depth
Major Damages	Collapse of road and sidewalk, partial collapse of apartment boundary wall and green area, temporary suspension of electricity, gas, and water supply
Casualties	None
Cause of Incident	Ground subsidence due to inadequate construction management during Byeollae Line tunnel excavation
Contractor	Hyundai Engineering & Construction and 4 other companies
Investigation Release Date	December 29, 2020
Investigating Authority	Central Underground Accident Investigation Committee, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT)
Preventive Measures	Closer borehole spacing, expanded use of geotechnical data, on-site technical personnel placement, mandatory consultation with external experts when risks are detected



**Fig. 5.** Recent cases of ground subsidence (sinkholes): (a) Guri City, (b) Yangyang, (c) Myeongil-dong, Seoul. Each image was reconstructed based on photographs reported by the public media; therefore, there are no copyright issues.

**Table 3.** Summary of the Yangyang Sinkhole Incident in 2022.

Category	Details
Date of Occurrence	August 3, 2022, 06:40 AM
Location	Construction site near Naksan Beach, Ganghyeon-myeon, Yangyang-gun, Korea
Sinkhole Dimensions	Approx. 12 meters (width) × 8 meters (length) × 5 meters (depth)
Damaged Structure	Partial collapse of a nearby convenience store
Casualties	No injuries or fatalities reported
Evacuation	96 guests from a nearby accommodation facility were evacuated
Cause (Investigation)	Poor construction practices; groundwater and soil inflow through retaining wall gaps
Construction Issues	Inadequate groundwater cutoff and soil support measures
Geological Context	Coastal sandy soil, vulnerable to water infiltration and loosening
Previous Signs	Several minor ground subsidence events were reported before the incident
Responsibility	Construction company failed to respond adequately to earlier warnings
Official Action	Investigated by the Central Underground Accident Investigation Committee (MOCT)

입 등 전조 현상이 있었음에도 불구하고 이를 무시하고 공사를 강행한 것으로 밝혀졌다(Lee *et al.*, 2024). 또한, 사고 발생 5분 후 상수도관이 파손되었으나 이는 싱크홀 이후 발생한 2차 피해로 확인되었다. 이후 구리시는 사고 현장에 대한 응급 복구를 진행하였으며, 2022년 7월 도로 복구를 완료하고 통행을 재개하였다. 이 사고는 지하 공사 시 취약 지반에 대한 철저한 조사와 보강 그리고 지하수 모니터링의 중요성을 일깨워주는 사례로, 향후 유사 사고 예방을 위한 제도적 보완이 요구되었다.

### 3.3.2. 양양 싱크홀

2022년 8월 3일 오전 6시 40분경, 강원도 양양군 강현면 낙산해수욕장 인근의 생활형 숙박시설 신축 공사 현장에서 대형 싱크홀이 발생하여 인근 편의점 건물 일부가 붕괴되는 사고가 발생하였다(그림 5b). 이 싱크홀은 가로 12 m, 세로 8 m, 깊이 5 m 규모로, 인명 피해는 없었으나 인근 숙박시설 투숙객 96명이 긴급 대피하는 등 큰 혼란을 야기하였다(표 3). 사고 직후 국토교통부는 원주지방국토관리청, 국토안전관리원, 도로공사 등과 함께 현장에 전문 인력을 급파하여 사고 원인 조사를 시작하였으며, 8월 4일부터 10월 3일까지 토질, 터널, 수리, 법률 등 관련 분야 전문가 8명으로 구성된 중앙지하사고조사위원회를 구성하여 정밀 조사를 진행하였다. 조사 결과, 사고의 주요 원인은 공사 현장의 부실시공으로 밝혀졌다. 특히, 흙막이 벽체의 틈으로 지하수와 토사가 유입되었고, 지하수 차단 시공도 불량하여 지반침하가 발생한 것으로 확인되었다(Jang *et al.*, 2023). 또한, 사고 이전에도 소규모 지반침하가 여러 차례 발생하였으나, 시공사는 부분적 보강만으로 대응하여 근본적인 문제를 해결하지 못한 것으로 드러났다. 이러한 부실시공과 관리 소홀은 해안가의 느슨한 모래 지반이라는 지질적

특성과 높은 투수성이 결합되어 대형 싱크홀 발생으로 이어졌으며, 이는 향후 유사한 사고 예방을 위해 지하 공간 개발 시 철저한 시공관리와 지질 안전성 평가의 중요성을 시사하였다.

### 3.3.3. 서울 명일동

2025년 3월 24일 오후 6시 30분경, 서울 강동구 명일동 대명초등학교 인근 도로에서 대형 싱크홀 사고가 발생하여 오토바이를 타고 지나가던 사람이 함몰된 지반에 빠져 사망하는 비극적인 사고가 일어났다. 해당 싱크홀은 직경 약 20 m, 깊이 약 20 m 규모로 오토바이가 추락하였고, 바로 옆을 지나던 밴 차량은 간신히 붕괴를 피했으나 운전자는 경상을 입었다. 사고 직후 소방 당국과 구조대원 40여 명이 긴급 투입되어 구조 작업을 벌였으나, 주변 지반이 물에 젖어 불안정했고, 인근에서 진행 중이던 지하철 9호선 연장 공사 현장의 구조물과 장비들이 얽혀 있어 수색이 매우 어려운 상황이었다. 약 18시간이 경과한 3월 25일 오전, 사고 지점으로부터 약 50 m 떨어진 하수관 근처에서 시신이 헬멧과 보호 장비를 착용한 상태로 발견되었다. 이번 사고는 서울시와 전국적으로 큰 충격을 주었으며, 서울시장은 사고 현장을 직접 찾아 지하 공간 관리 및 공사 안전에 대한 전면 재점검을 지시하였다. 서울시는 사고 원인으로 지목된 지하철 터널공사와 주변 인프라의 이상 여부에 대한 정밀 조사를 착수하는 한편, 지하 20 m 깊이까지 탐지 가능한 고도 지하감시 시스템을 도입하겠다고 발표하며, 향후 유사 사고를 방지하기 위한 선제적 대응 체계 구축을 약속하였다. 이번 명일동 싱크홀 사고는 도시 지하 공간의 복잡성과 지하 인프라 노후화, 그리고 터널공사 중 안전관리 소홀의 복합적인 위험성이 현실화된 사례로서, 향후 대도시 지반 안전 관리를 위한 경각심을 일깨워주는 계기가 되었다.

### 3.4. 제시되는 대책에 대한 토론

최근 우리나라 주요 도시의 지반침하에 대한 우려가 고조되면서 정부에서는 여러 가지 대책을 제시하고 있다. 제시된 몇 가지 주요 대책에 대하여 유의할 점에 대하여 토론하고자 한다. 첫째, 각종 대형공사장에 대한 안전 점검 강화이다. 이는 임시적으로 효과적인 방안은 될 수 있다. 그러나 공사 현장에서 상시적으로 적극적인 안전점검이 가능하도록 시공사 및 감리사에 대한 관리 및 미흡시 제재수위를 강화할 필요가 있다. 둘째, 지하안전법에 의한 모니터링 강화이다. 현재에도 일정 규모 이상의 공사장에 대하여 사업 기간 및 전후에 지하안전평가를 하고 모니터링을 하고 있으나 제대로 실행되지 않는 경우가 많다. 제한된 예산의 하도급 계약으로 인해 평가 과정이 형식적으로 진행되거나 모니터링이 미흡하게 이루어지는 문제가 발생할 수 있으며, 이는 이미 발생한 세 차례의 주요 싱크홀 사고를 통해 그 심각성이 확인된 바 있다. 그러므로 보다 강화된 감시 및 처벌이 필요하다. 셋째, 노후화된 하수관의 교체이다. 이는 소규모 싱크홀을 막기 위한 대책은 될 수 있다. 그러나 대규모 싱크홀을 막는데에는 효과적이지도 효율적이지도 못하다. 넷째, 지표투과레이더 위주의 탐사이다. 이는 얇은 심도의 동공 등에는 부분적으로 효과가 있을 수 있으나 깊은 심도의 큰 공동이나 점진적으로 진행 중인 공동의 확인에는 취약점이 있으므로 이를 보완하는 추가적인 방법이 필요하다.

## 4. 결론 및 시사점

본 연구는 국토교통부 지하안전정보시스템에 등록된 2018년부터 2025년 5월까지의 지반침하 데이터를 통계적으로 분석하여, 우리나라 지반침하의 시공간적 분포 특성과 발생 요인을 규명하였다. 주요 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 지반침하 발생 건수는 2018년을 정점으로 연평균 약 31건의 감소 추세를 보였으며, 이는 사회적 인식과 상반되는 결과로서 언론 보도와 인식의 불일치 가능성을 시사한다. 이와 같은 지반침하 발생 건수의 감소는 사전 조사와 예방적 관리의 강화, 기술적 개선, 그리고 관련 법제도의 점진적 강화가 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 둘째, 침하 발생은 여름철(6~8월)에 집중되며, 특히 8월에 가장 많이 발생하였고, 이는 집중호우, 수분함량 변화, 노후 하수관 등 복합적인 계절적 요인에 기인하는 것으로 판단된다. 셋째, 지역별로는 경기도, 광주광역시, 부산, 서울 등의 대도시에서 침하가 집중되었으며, 이는 인구 밀도, 지하 인프라 밀집도, 지하개발 빈도 등 도시화 요인과 밀접한 관련이 있다. 넷째, 침하 원인 중 하수관 손상이 가장 높은 비중(약 45%)을 차지하였으며, 다음으로 되메우기 불량, 굴착공사 부실, 기타 매설물 손상 등이 뒤를 이었다. 다섯째, 발생 지점의

지질은 대부분 ‘불명’ 또는 ‘기타’로 분류되어 있어, 현재 시스템의 지질정보 부족 문제가 드러났고, 이는 향후 정밀 지질조사 체계의 필요성을 강하게 시사한다. 여섯째, 침하의 깊이는 대부분 12 m (46.9%) 또는 1 m 미만(33.7%)에 집중되어 있었으며, 침하 면적도 10 m<sup>2</sup> 미만이 82.7%로 소규모 침하가 대부분을 차지했다. 마지막으로, 구리시, 양양, 명일동 등 대표적 사례 분석을 통해, 대형 싱크홀은 주로 지하 굴착공사와 관련이 깊으며, 단순한 노후 인프라 문제를 넘어선 복합적 원인이 작용하고 있음이 확인되었다. 이러한 분석은 향후 지반침하 예방과 관리 정책의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

한편, 본 시스템에 의한 통계(지반침하의 주요 원인이 노후 상하수도관)를 근거로 최근 정부 및 여러 시당국에서 싱크홀에 대한 대책으로 노후화된 상하수도관(특히 하수도관)에 대한 교체에 집중하는 듯한 모습이다. 물론 상하수도관 누수는 지하수질의 오염 그리고 수자원의 낭비(유달을 저하) 등을 유발하므로 이에 대한 대책을 마련하는 것은 매우 필요하다. 그러나 앞서 세 가지 대표적 사례에서 살펴본 바와 같이 인명 및 재산 피해를 유발하는 대형 싱크홀은 대체로 지하 굴착 및 터널 공사와 밀접한 관련이 있는 것이 사실이다. 그런데 얇은 싱크홀에만 집중하는 대책은 효과적이지거나 효율적이지 못한 대책이다. 오히려 지하 공사에 대하여 철저한 지질조사, 엄격한 지하수 모니터링 등이 더 효과적인 가능성이 높다. 또한 낮은 가격 심도만을 가지는 고가의 지표투과레이더(GPR)를 구입하는 것만이 능사가 아니다. 또한 터널 및 지하 공사 시에 전문적인 지질기술자와의 협업 없이 토목 위주의 기술 판단 및 평가로는 싱크홀 문제를 해결할 수 없다는 것을 명심해야 한다.

## 감사의 글

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2019R1A6A1A03033167). 건설적인 수정 의견을 주신 심사위원 분들께 감사드립니다.

## REFERENCES

- Arjwech, R. and Everett, M.E., 2024, Sinkhole formation induced by descending groundwater in a karst aquifer near a limestone quarry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 49, 5027-5037.
- Choi, H.M. and Lee, J.Y., 2009, Parametric and non-parametric trend analyses for water levels of Groundwater Monitoring Wells in Jeju Island. *Journal of Soil & Groundwater Environment*, 14, 41-50 (in Korean with English abstract).
- Fadhillah, M.F., Achmad, A.R. and Lee, C.W., 2020, Integration

- of InSAR time-series data and GIS to assess land subsidence along subway lines in the Seoul metropolitan area, South Korea. *Remote Sensing*, 12, 3505, <https://doi.org/10.3390/rs12213505>.
- Gökkaya, E., Gutiérrez, F., Ferk, M. and Görüm, T., 2021, Sinkhole development in the Sivas gypsum karst, Turkey. *Geomorphology*, 386, 107746, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107746>.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. and Paul, D.R., 2001, Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 4.
- Han, Y., 2018, Proposal of the development direction on the Special Act on Underground Safety Management for preparation of the proactive underground safety management system. *Journal of the Korean Geotechnical Society*, 34, 17-27 (in Korean with English abstract).
- Heo, K.K., Park, H.K., Ahn, B.C. and Min, B.U., 2016, Analysis on the safety of structure and economics of replacement method using rock debris in the soft ground - Case study of Miho Stream crossing road in Cheongju City. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 36, 705-713 (in Korean with English abstract).
- Jang, J., Lee, J.Y., Redwan, M., Raza, M., Lee, M. and Oh, S., 2023, Hydrogeological characteristics and water chemistry in a coastal aquifer of Korea: implications for land subsidence. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1289.
- Kim, K., Kim, J., Kwak, T.Y. and Chung, C.K., 2018, Logistic regression model for sinkhole susceptibility due to damaged sewer pipes. *Natural Hazards*, 93, 765-785.
- Kwak, T.Y., Woo, S.I., Chung, C.K. and Kim, J., 2020, Experimental assessment of the relationship between rainfall intensity and sinkholes caused by damaged sewer pipes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 3343-3359.
- Lee, J.Y., 2016, Status of groundwater monitoring in Songpa, Seoul and suggestions. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 57-66 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y. and Han, J., 2013, Evaluation of groundwater monitoring data in four megacities of Korea: Implication for sustainable use. *Natural Resources Research*, 22, 103-121.
- Lee, J.Y., Yi, M.J., Choi, M.J., Hwang, H.T., Moon, S.H. and Won, J.H., 2006, Analysis of effects of railway tunnel excavation on water levels of a National Groundwater Monitoring Station in Mokpo, Korea. *Tunnel and Underground Space*, 16, 73-84 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., Yi, M.J., Moon, S.H., Cho, M., Won, J.H., Ahn, K.H. and Lee, J.M., 2007, Causes of the changes in groundwater levels at Daegu, Korea: the effect of subway excavations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, 251-258.
- Lee, M., Lee, J.Y. and Jang, J., 2024, Numerical modeling of groundwater system with tunnel construction in an urban area of Korea: implications for land subsidence and mitigation measures. *Environmental Earth Sciences*, 83, 80.
- Öztürk, M.Z., Poyraz, M., Duman, H. and Taşoğlu, E., 2025, A geo-spatial approach to understanding sinkhole formation in Akgöl Wetland, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*, 84, 209, <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12225-0>.
- Park, D.H., Jang, Y.G. and Ryu, J.S., 2020, A Study of the DB design standard for submitting completion drawings for auto-renewal of underground facility information. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 38, 681-688 (in Korean with English abstract).
- Park, Y.C., Jo, Y.J. and Lee, J.Y., 2011, Trends of groundwater data from the Korean National Groundwater Monitoring Stations: indication of any change?. *Geosciences Journal*, 15, 105-114.
- Wang, G., 2022, Seasonal subsidence and heave recorded by borehole extensometers in Houston. *Journal of Surveying Engineering*, 149, 04022018, <https://doi.org/10.1061/JSUED2.SUENG-1369>.
- Yang, J., Cao, G., Han, D., Yuan, H., Hu, Y., Shi, P. and Chen, Y., 2019, Deformation of the aquifer system under groundwater level fluctuations and its implication for land subsidence control in the Tianjin coastal region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 162, <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7296-4>.
- Yun, S. and Park, J., 2024, A study on the legal system implementation support plan of underground safety manager using JIS. *Proceeding of Meeting of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection (Abstracts)*, Busan, September 30 - October 2, 28, 15 (in Korean).
- Zhang, Z., Hu, C., Wu, Z., Zhang, Z., Yang, S. and Yang, W., 2023, Monitoring and analysis of ground subsidence in Shanghai based on PS-InSAR and SBAS-InSAR technologies. *Scientific Reports*, 13, 8031, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35152-1>.