

땅꺼짐 사고 사례 분석을 통한 디지털 트윈 기반의 전문가 요구사항 도출

이우식, 장용구, 류지송
한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부
e-mail:wslee@kict.re.kr

Derivation of Digital Twin Based Expert Requirements through Case Analysis of Ground Subsidence Accidents

Woo-Sik Lee, Yong-Gu Jang, Ji-Song Ryu
Dept. of Future & Smart Construction Research,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약

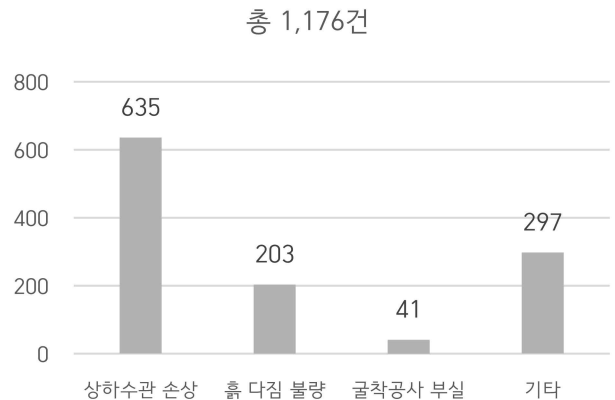
최근 강원도 양양군 낙산해수욕장 부근의 땅꺼짐 현상이 빈번히 발생하고 있다. 이와 같은 땅꺼짐 현상은 실제 국민들의 삶과 직결되는 사고로 신속한 처리와 대응이 필요하며, 2차 사고 방지 또한 중요하다. 그러나, 현재의 대응 프로세스와 기술로는 한계가 있으며, 이에 대한 첨단 기술의 활용을 통한 사고조사 및 원인규명 등에 소요되는 시간의 단축이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 땅꺼짐 사고 사례들을 분석해 보고 전문가들이 요구하는 자료들을 도출하여 향후 첨단 기술들과 접목을 통한 땅꺼짐 현상 발생시 보다 신속하고 능동적인 대응이 가능한 기술적 토대를 마련하고자 한다.

핵심어 : 땅꺼짐, 디지털 트윈, 중앙사고조사위원회, 전문가 요구분석, 지반함몰, 지하매설물

1. 서론

땅꺼짐 현상은 사전적 의미로 멀쩡하던 땅이 움푹 꺼져서 생긴 구멍, 땅이 갑자기 꺼지는 현상을 말한다. 최근 강원도 양양군 낙산해수욕장 앞 상가지구에서 가로 12m, 세로 8m, 깊이 5m 규모의 대형 땅꺼짐 현상이 발생하였다. 사고발생 1일 후 국토교통부에서는 중앙지하사고조사위원회를 구성하여 원인규명 및 재발 방지대책을 마련하는데 많은 시간이 소요된다. 중앙지하사고조사위원회는 지하안전관리에 관한 특별법에 따라 면적 4㎡ 또는 깊이 2m 이상의 지반침하가 발생하거나, 지반침하사고로 사망자, 실종자, 부상자가 3명 이상 발생한 경우 사고 경위 및 원인 등을 조사하기 위해 설치된다. 이와 같은 크고 작은 지반침하 사고가 끊임없이 발생하고 있다. 국토교통부와 국회입법조사처의 자료에 의하면, 최근 5년간 전국에서 발생한 땅꺼짐의 발생 원인별 통계는 다음 그림 1과 같다. 행정구역별로 보면 경기지역이 217건으로 가장 많고 그 다음으로 충청북도 지역이 147건, 광주광역시가 126건, 강원도가 125건, 부산광역시가 104건 등으로 집계되고 있다. 이와 같은 땅꺼짐 현상은 무리한 지하개발로 인해 지하수의 흐름이 변경되거나 지하매설물의 누수 등 결합에 의한 지하공간이 생겨 발생하는 경우가 대부분이다. 이와 같은 사고를 미연에 방지하고 사고 시 신속한 대응을 위해서는 지질 및

지반, 지하수위, 지하매설물 노후도 등 다양한 정보들이 필요하다. 최근 지하수법(2002) 및 지하안전법(2018)을 제정하여 급격한 지하사고에 대응하기 위하여 의무적으로 지하수 영향조사 및 지하안전평가를 통해 땅속 안전을 법으로 강화하고 있다.



[그림 1] 최근 5년간 전국 지반침하 발생원인('17~'21.6)

2. 연구내용

2.1 연구개요

본 연구에서는 그동안 땅꺼짐 현상이 발생함에 따른 문제점을 고찰해보고 이에 대한 해결방안과 함께 보다 과학적이고 효율적인 대응 방안 모색해 보고자 한다.

2.2 땅꺼짐 현상 대응시 문제점 및 해결방안

땅꺼짐 현상은 지하시설물에 의한 사고뿐만 아니라 침수나 썩크홀과 같은 지질 및 지반 관련 다양하고 복합적인 원인에 의해 발생한다. 땅꺼짐과 같은 지하사고 발생시 대응에 관한 문제점을 살펴보면, 첫째 지하사고 발생시 중앙지하사고조사위원회를 구성하여 현장조사를 포함한 조사 및 원인규명과 개선방안 등을 마련하는데 평균적으로 2개월 정도 소요되는 것으로 파악되었다. 둘째, 지하조사시 GPR탐사 위주의 조사가 주로 이루어지고 있으며, 보다 정밀하고 다양한 정보 획득을 위한 전문적인 시스템이 갖춰져 있지 못한 실정이다. 따라서, 지질 및 지반, 지하수 등 지하정보와 함께 지상의 각종 변위에 따른 변동사항에 대한 모니터링 시스템이 갖춰져 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 표 1과 같이 시간적 측면과 기술적 측면을 고려해서 해결방안을 제시하였다.

[표 1] 땅꺼짐 현상 대응시 문제점과 해결방안

구분	시간적 측면	기술적 측면
문제점	· 사고조사 및 원인규명 등 전체 프로세스 2개월 소요	· GPR 탐사 위주 · 신속한 대응 및 의사결정 시스템 부재
해결방안	· 지오앰블런스 가동을 통한 조사, 원인규명 전 프로세스 10일 소요	· GPR, 탄성파, 전기비저항 탐사, 변위, 기울기, 균열, 지하수위 등 IoT · 드론, 디지털 트윈, AI, IoT, 메타버스 기반 지오앰블런스 구축 기술 개발

2.3 땅꺼짐 사례를 통한 전문가 요구사항 도출

본 연구에서는 양양군과 구리시 땅꺼짐 사고조사 과정 및 결과를 토대로 땅꺼짐 사고 발생시 요구되는 각종 자료와 정보들에 대해 조사하였다. 양양군 땅꺼짐 사고조사에 투입된 중앙지하사고조사위원회 위원은 총 9명(간사 1인 포함)으로 토질 3명, 터널 1명, 지하안전 1명, 수리 1명, 법률 1명 등으로 구성되었다. 조사위원회의 활동 과정은 자료 조사, 현장조사, 관계자 대면조사, 설계 및 시공현황 조사 등을 통하여 원인규명과 재발 방지대책을 제시하는 내용으로 구성되었다. 2022년 8월 4일부터 10월 3일까지 2개월간 활동하였다. 활동내역은 현장조사 5차례, 회의 9차례의 과정을 거쳐 보고서가 작성되었다. 구리시 땅꺼짐 사고조사 보고서를 분석한 결과 동일한 인원수로 터널 2명, 토질/지반 3명, 수리 1명, 법률 1명 등으로 구성되었다. 활동기간은 4개월로 양양시 사례보다 두 배의 기간이 소요되었다. 착수회의, 사고분석 분야 설정 및 역할 배정을 시작으로 총 13차례에 걸친 회의 과정을 거쳐 결론을 도출하였다.

[표 2] 땅꺼짐 사례분석을 통한 전문가 요구사항

구분	양양군 사례	구리시 사례
사전 자료 조사항목	<ul style="list-style-type: none"> · 설계도서 : 지반조사보고서, 설계도, 시방서, 구조계산서, 기술검토의견서 · 지하안전평가, 착공 후 지하안전조사, 협력의내용 이행조치 사항 · 시공자료 : 공사계약서류, 착공신고서, 공사일지, 작업계획서, 안전관리계획서, 품질관리계획서, 측정자료, 공법변경 자료 · 감리자료 : 작업일보, 감리일지, 감리보고서, 업무지시서, 기술검토의견서, 회의록, 검측자료 · 행정자료 : 공사인가 자료, 상하수도 관망도, 배수지 배수량 	<ul style="list-style-type: none"> · 설계도서 : 지반조사보고서, 설계도, 시방서, 구조계산서 · 시공자료 : 안전관리계획서, 시공계획서, 안전점검자료, 측정자료 공문자료 · 감리자료 : 작업일보, 공사감리일지, 감리보고서, 작업지시서, 회의록 · 행정자료 : 안전점검보고서, 상하수도 관망도
현장조사 및 시험항목	<ul style="list-style-type: none"> · 해수 및 지하수 영향검토를 위한 수질조사 · 지하수 유출부 확인 및 유도관 설치 현황 점검 · 계측기기 성능확인 (17개소 수위측정) · 상수, 우수, 오수 관용도로 현황 조사 및 대응요구, 지하수위계 현장실사 · CCTV 조사차량영입, 하수관로 촬영, 누수 여부에 대한 상수관로 청진검사 · 가시설 보강설치 상태, 계측결과, 주변 반상대, 지하수 유출수량, 차수 그라우팅 시공 현황 등 점검 결과 공유 	<ul style="list-style-type: none"> · 현장상황 파악 · 터널내 잔토 정상 · 오탉수, 지하수 배출 처리 상황 · 페이스 맵핑 작업 절차 준수 여부 · 계측결과 확인 여부 · 지하매설관 분석 · 시공 중 선진수평보링 결과 반영 지질 분석 · 조사위 자체 시행 시추 조사 결과와 시공사 시행 시추조사 종합 분석 · 3차원 정보화 기법 활용 현장 지반특성 파악 · 지질학적 특성 및 지하수위 변동 특성 분석 · 관로촬영 · 수치해석을 통한 합물 구간 분석

3. 결론 및 기대효과

본 연구에서는 대형 재해인 땅꺼짐 사고 발생시 신속한 조사 및 의사결정을 통한 국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 기존의 문제점과 해결방안을 제시하였다. 이와 같이 땅꺼짐 현상 발생시 신속 대응함으로써 인적 물적 피해를 최소화하고 대국민 신뢰성 확보 및 안전한 대한민국의 이미지 제고에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국가과학기술연구회 선행융합연구사업 “지오앰블런스 구축을 위한 지하사고현장 디지털트윈 구축 분석 요소 기술의 PoC 검증” 과제(20220707-001)를 통해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 임진상, 강경식, “썩크홀의 물적손상과 정신적 피해분석 및 위험성 평가연구 - 건설현장 주변의 사고사례를 중심으로-”, 대한안전경영과학회지, 제17권 4호, pp. 153-160, 2015년.