

2025학년도 1학기 문헌연구보고서



[싱크홀 발생과 건설 BIM 기술 발전의 필요성]

이름	홍세진
전공	건설시스템공학부
학번	20211289

<목차>

1. 서론

싱크홀 발생과 건설 BIM 기술 발전의 필요성

2. 본론

싱크홀 원인

2.1 우리나라 싱크홀 최근 사고

2.2 우리나라 싱크홀 원인 및 결과 분석

3. 건설 BIM(Building Information Modeling) 기술 필요성

3.1 건설 BIM 기술

3.2 싱크홀을 줄이기 위한 건설 BIM 기술의 필요성

3.3 싱크홀과 관련하여 건설 BIM 프로그램 적용 설계

4. 결론

5. 참고문헌

1. 서론

싱크홀 발생과 건설 BIM 기술 발전의 필요성

최근 전국적으로 지반침하 ‘땅 꺼짐’ 현상이라고 불리는 싱크홀이 발생하고 있다. 발생 빈도가 증가하면서 인명·재산 피해를 보고 있으며 이에 따라 시민들이 일상생활에 불편을 겪고 있고, 불안감이 커지고 있다. “국토교통부의 ‘전국 땅 꺼짐 현황’ 자료에 따르면 2020년부터 2024년까지 5년간 867건의 지반침하가 발생했다. 하수관 손상 394건(45.4%), 다짐 되메우기 불량 (18%), 굴착공사 부실(9.8%), 기타 매설물 (7%), 상수관 손상(4.8%) 순이었다.”¹⁾

국가에서는 싱크홀의 규모와 원인을 알아보고자 전국적으로 ‘지표투과레이더(GPR)’²⁾ 특별점검을 하였다. 4차 산업혁명에 따라 건설 BIM 기술도 발전하고 있다. 건설 BIM 기술의 발전은 건설 사고를 예방할 수 있다. 이 글에서는 싱크홀 발생 원인에 대해 알아보고 건설 BIM 기술을 적용해 보면서 향후 건설 산업 전반에 도움을 줄 수 있는 건설 BIM 기술 발전의 필요성을 강조하고자 한다.



<그림 1. 지반침하>



<그림 2. 지반함몰>



<그림 3. 땅 꺼짐>



<그림 4. 공동>

출처: 국토교통부

2. 본론

싱크홀 원인

2.1 우리나라 싱크홀 최근 사고

1) <서울 하수관 30%, 50년 넘은 ‘초고령’...땅꺼짐 주된 원인>, <연합뉴스>, 윤보람(2025.04.15.), (<https://www.yna.co.kr/view/AKR20250414149800004?input=1195m>) (2025.04.15.검색일).

2) 지표투과레이더 GPR(Ground Penetrating Radar): 전자기파를 사용하여 지하의 구조를 탐사하는 첨단 비파괴 검사법, 국민대학교 토질역학 ppt 자료.

- 경기도 광명시 일직동 신안산선 5-2공구 환기구 공사장 <2025.04.11.> 발생.

경기도 광명시 일직동 신안산선 5-2공구 환기구 공사장에서 붕괴 사고가 발생하였다. 붕괴 전날 10일 터널 중앙 기둥에서 균열 및 파손을 확인하였다. “기둥이 파손된 뒤에 터널 침하 계측기 추이 확인 결과 0.4cm에서 3.7cm까지 터널 천장이 하향 변형이 나타났다. 당시 신안산선 터널 작업 중에 하루 평균 1,626t의 지하수가 배출된 만큼 차수 작업이 진행되었는지 확인이 필요하다. 당시 공사장 붕괴 지점 지표면 3m 아래에 지하수가 흐르고 있었다.”³⁾

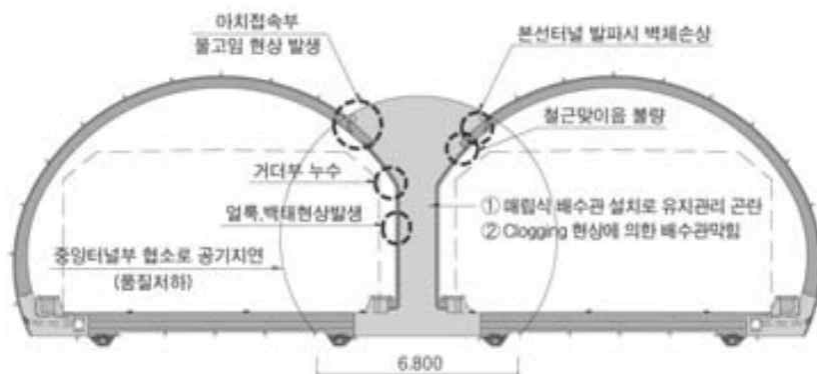
계측관측 시간	(1) 우측 천단부 (시정)			(2) 우측 천단부 (중정)			(3) 좌측 천단부 (시정)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
02시25분 (초기치)	534795.295	189402.972	114.267	534808.061	189408.661	114.397	534800.017	189392.349	114.324
03시25분	534795.296	189402.970	114.263	534808.063	189408.659	114.391	534800.016	189392.354	114.316
변위량 초기치 대비	0.001	0.002	0.004	0.002	0.002	0.006	0.001	0.005	0.008
04시25분	534795.294	189402.974	114.257	534808.064	189408.661	114.387	534800.013	189392.355	114.318
변위량 초기치 대비	0.001	0.002	0.010	0.003	0.000	0.010	0.004	0.006	0.008
05시15분	534795.294	189402.971	114.255	534808.065	189408.66	114.382	534800.013	189392.355	114.318
변위량 초기치 대비	0.001	0.001	0.012	0.004	0.001	0.015	0.004	0.006	0.012
07시20분	534795.297	189402.967	114.250	534808.063	189408.659	114.381	534800.010	189392.359	114.307

<표 1. 터널 내부 천단침하 계측결과> 출처: 국토부



<그림 5. 터널 내부 붕괴> 출처: YTN

당시 2-Arch 터널 공법으로 공정이 진행 중이었다. 2-Arch 터널 공법은 “중앙부 터널 선굴진 후 좌우측 터널을 굴진해 나가는 방식을 선택하는데, 이대 좌우측 터널의 안정성 확보를 위해 중앙부 터널 굴진 후 중앙부 거더 및 기둥 구조물을 선공하고 좌우측 터널을 굴진한다. 이때 발생하는 문제점은 중앙부 구조물의 방수 부위와 후발 굴착되는 터널과의 연결부위와의 연결부에 누수의 위험이 항상 발생한다.”라고 나와 있다.⁴⁾



<그림 6. 2-Arch 터널 문제점> 출처: 쌍용건설

- 서울 강동구 명일동 대형 싱크홀 <2025.03.24.> 발생.

강동구 명일동에 가로 20m, 세로 20m, 깊이 20m 크기의 싱크홀이 발생하였다. 당시 9호선 4단계 구간 연장 공사가 진행 중이었다. 당시 터널 내부에 굴착 공정이 진행 중이었다. 굴착⁵⁾ 시에는 물이 새어 나오지 않도록 차수막법을 적용하면서 해야 하는데 당시 작업자들은 “터널 굴착하는 도중에 물이 유입되어 현

3) <광명 공사장 붕괴 이전 '터널 변형'...기둥 '파손'도>, <YTN>, 표정우(2025.04.13.), (https://www.ytn.co.kr/_ln/0103_202504130203409018) (2025.04.29. 검색일).

4) 황철비, 「2-ARCH 터널 방수 시 문제점에 대한 사례 연구」, 『쌍용 토목기술팀』 2001.

5) 굴착(掘鑿, excavation): 지반을 파는 작업으로서 지반의 강도에 따라 발파굴착, 기계굴착 및 인력굴착으로 구분하여 적용함, <대한토목학회>, <토목용어사전>.

장에서 빠져나왔다“라고 진술하였다. 터널 상부가 붕괴하면서 내부로 토사와 물이 유입되면서 싱크홀이 발생하였다.⁶⁾



<그림 7. 명일동 대형 싱크홀> 출처: 한겨레

2.2 우리나라 싱크홀 원인 및 결과 분석

싱크홀은 발생 원인에 따라 크게 두 가지로, 인위적으로 발생하는 싱크홀과 자연적으로 발생하는 싱크홀로 나뉜다. 우리나라 암반은 주로 화강암질로 구성되어 있어 자연적으로 싱크홀이 일어나기는 쉽지 않다. 최근에 일어난 싱크홀 사고도 모두 인위적으로 형성된 싱크홀이다. 인위적인 싱크홀은 지중⁷⁾ 시설물, 지하 건설, 과도한 지하수 사용 등으로 인해 발생한다.

경기도 광명시 일직동 신안산선 5-2공구 환기구 공사 현장 싱크홀과 강동구 명일동 대형 싱크홀은 공통으로 지하수가 유실되었고 지하 터널 굴착 공사가 진행 중이었다. 토질 역학적 측면에서 보면 땅 속 흙과 물에 관련 식으로 “전응력(σ)⁸⁾=유효응력($\vec{\sigma}$)⁹⁾+간극수압(u)”¹⁰⁾로 나타낸다.¹¹⁾ 결국 지하수 유실은 전응력이 감소해 땅이 기존에 버티던 힘을 견디지 못하여 싱크홀이 발생한 것을 알 수 있다. 지하 터널 굴진 공사 시에 관리를 부실하게 하거나 연약지반 아래에 지반 보강 공사를 미흡하게 진행되었을 수도 있다.

강동구 명일동 대형 싱크홀 사고 사진을 보면 상하수도관이 파열되어 대량의 물이 쏟아져 나오는 것을 확인할 수 있다. “환경부의 ‘2023 상수도 통계’에 따르면 서울 수도관 총 연장 1만3350km 중 설치된 지 21년 이상 된 수도관은 9154km(68.6%)에 달한다. 17개 시·도 중 노후화율이 가장 높다. 전국 수도관 평균 노후화율은 37.5%이다. 설치된 지 30년이 지나 내구연한이 경과된 노후관인 ‘경년관’의 비율도 36.3%로 지자체 평균(23.2%)을 웃돈다.”¹²⁾라고 나와 있다. 수도관의 노후는 누수와 싱크홀 우려가 크다. 상하수도관 같은 지중시설물은 노후화 되거나 하중에 의한 충격으로 관에 파손되어 누수가 발생하여 상부의 흙이 유실되어 싱크홀이 발생한다.

6) <명일동 대형 싱크홀에 빠진 오토바이 실종자…안엔 토사·물 2천톤>, <한겨레>, 정봉비, 장수경(2025.03.24.), (https://www.hani.co.kr/arti/society/society_general/1188670.html) (2025.04.15.검색일).

7) 지중(地中, underground): 땅을 뚫고 들어갔을 때의 그 속 땅 아래를 뜻한다, <네이버국어사전>

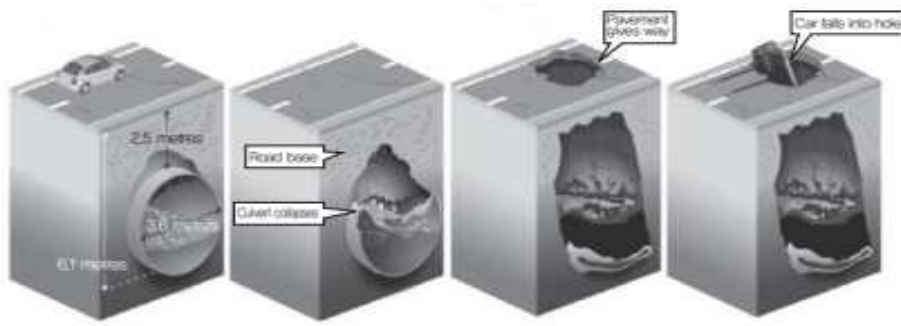
8) 전응력: 흙덩이 전체에 의한 응력, <대한토목학회>, <토목용어사전>.

9) 유효응력: 토립자 간 접촉에 의해 전달되는 응력으로 토립자가 부담하는 응력, <대한토목학회>, <토목용어사전>.

10) 간극수압: 흙이나 암석 공극 속에 있는 물 입자 사이에 전달되는 압력, <대한토목학회>, <토목용어사전>.

11) 장연수, 기초공학, 구미서관, 2022, pp.83-105. 참조.

12) <서울 수도관 69% 노후… 누수·싱크홀 우려>, <세계일보>, 이병훈(2025-02-27), (2024.05.24.검색일).



<그림 8. 지중매설물 훼손에 의한 지반 함몰 발생 개념도> 출처: 쌍용건설

터파기, 지하철 공사, 과도한 지하수 사용, 대형 구조물의 큰 자중으로 인한 지하수 배출로 인하여 지하수위가 기존의 지하수위보다 낮아진다. 낮아진 지하수는 지반 내에 유효응력을 증가시켜 암반 내에 공동이 형성되고 이는 지반을 약화시킨다. 지하수 흐름과 함께 토사 유실이 진행되어 넓은 영역의 지반 침하는 대규모 싱크홀을 발생한다.¹³⁾ 결과적으로 터파기 작업 및 지하 건설 굴진¹⁴⁾시 연약지반 아래에 지반 보강 공사를 되메우기, 다짐 과정을 충분히 해줘야 한다.

3. 건설 BIM(Building Information Modeling) 기술 필요성

3.1 건설 BIM 기술

건설 BIM 기술이란 BIM(Building Information Modeling, 빌딩 정보 모델링)을 활용한 현장 관리는 3차원 정보모델을 기반으로 시설물의 생애주기에 걸쳐 발생하는 정보를 통합 제공함으로써 설계 품질 향상과 현장 시공 오차를 줄일 수 있는 디지털화된 현장관리 모델이다. 품질, 시간, 원가, 유지, 보수 안전 등의 정보가 입력되어 있다. “3D 모델링은 2D 평면 환경의 도면을 z축의 추가로 입체화한 것이다. 4D 모델링은 3D 차원에 시간 계수, 5D 모델링은 4D 차원에 원가 계수, 6D 모델링은 5D 차원에 시설물 관리를 추가한 개념이다.”¹⁵⁾ BIM으로 사용되는 프로그램은 Autodesk의 Revit, Autodesk의 Civil 3D를 전 세계적으로 많이 사용하고 있다. 검토 버전 프로그램은 Autodesk의 Navisworks 프로그램을 사용한다.

건설 BIM 기술은 설계, 시공, 유지관리에 이용될 수 있다. 설계 단계에서는 시설물, 건축물의 3차원 모델에 공간, 형상 및 정보를 포함해 사전에 검토, 자동수량산출, 도면 검토 등 설계를 미리 해볼 수 있다. 시공 단계에서는 BIM 기반으로 공정 계획 및 진행할 수 있고, 진도 관리(4D), 비용 관리(5D), 설계 변경 및 안전관리, 장비 시뮬레이션, 검측 등을 통해 경제적으로 안전하게 시공하여 생산성을 증대시킬 수 있다. 유지관리 과정에서는 실시간, 입체 공간에서 시설물, 건축물에 대한 안전 상태를 센서와 드론으로 연계한 감시, 성능평가, 보강공법 결정, 사고 예방, 대응 자동화 등의 입체적, 선제적 유지관리가 가능하다. 추가로 기획 단계에서는 다양한 대안 노선을 검토하고 발주자, 인허가자, 설계사, 시공사, 감리단 및 관련 협력체 관계에도 빠른 소통으로 업무 효율이 강화된다. 이는 탈현장, 자동화 등 4차 산업혁명에 맞는 스마트 건설 구현을 위한 핵심 요소로 비용 감소, 생산성 및 품질 개선, 안정성 향상을 가져온다.

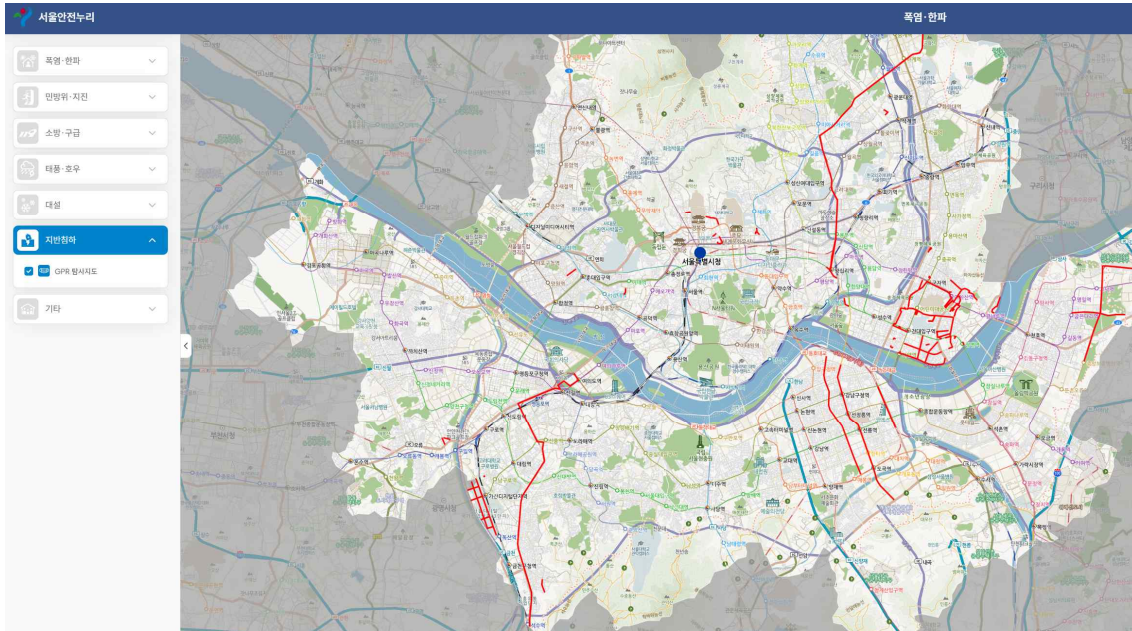
13) 김창용, 「지반함몰(싱크홀) 발생원인과 기술 및 정책적 대응방향」, 『쌍용(통권 71호)』, 2015.

14) 굴진 (掘進, drilling): 드릴이 서로 다른 암석들을 관입함, <대한토목학회>, 『토목용어사전』.

15) <4차 산업 혁명 건설 산업의 변화와 미래> 김선근 저, 한솔아카데미, 04-1 스마트 컨스트럭션 참조.

3.2 싱크홀을 줄이기 위한 건설 BIM 기술의 필요성

국내 상하수도관 및 지중 시설물이 노후화했기 때문에 이에 따른 조사와 교체 작업이 필요하다. 최근 서울시에서는 빈번하게 발생하는 싱크홀을 예방하기 위해 도로 아래를 지표투과레이더(GPR)¹⁶⁾로 측정하여 위험도 순으로 분류하였다. 이를 시민들에게 공개할 필요성이 있지만 집값 문제로 일부 공개를 결정하였다.¹⁷⁾ 서울시는 “지표투과레이더 특별점검 결과와 시민신고 조치사항을 ‘서울안전누리집’에 공개하고 있다”라고 밝혔다.¹⁸⁾



<그림 9. 서울안전누리집 기반침하-GPR 탐사지도> 출처: 서울안전누리

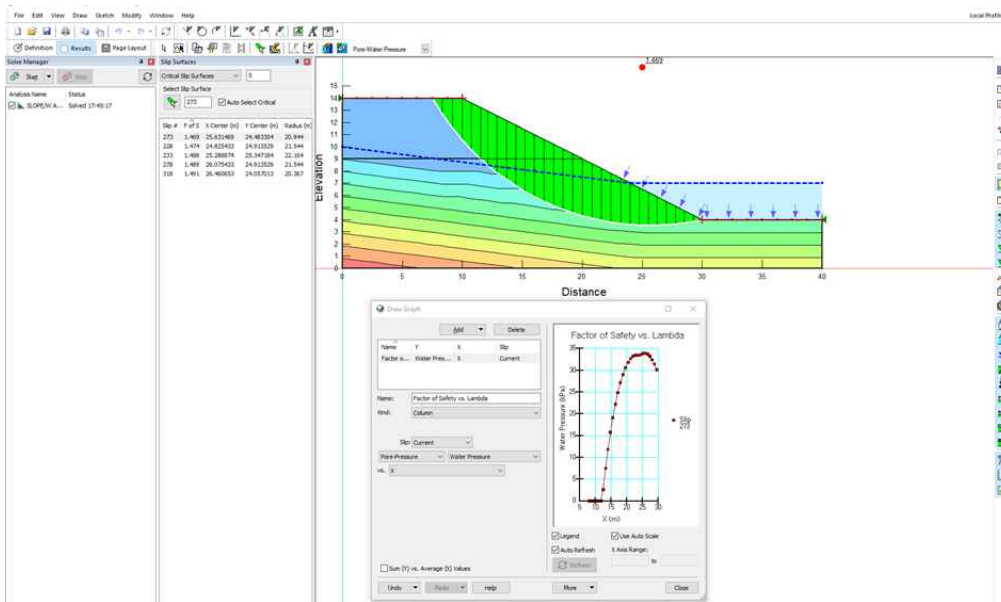
GeoStudio의 SLOPE/W 프로그램은 토질 특성, 경사면 형상, 지하수 조건 및 외부 힘과 같은 변수를 입력하여 다양한 상황에 대한 시뮬레이션하여 평가할 수 있다. 응력 분포, 안전율, 파괴면 등 안전성에 미치는 요인을 시각적 그래프로 표현하여 엔지니어가 설계함에 있어서 편의성을 제공해준다. 아래 그림과 같이 프로그램 사용 결과 사면의 절편 정보를 이미지와 그래프를 통해 알 수 있다.

지표투과레이더(GPR), GeoStudio의 SLOPE/W 프로그램 등 여러 가지 프로그램이 실무에서 사용 중이다. 하지만 이러한 프로그램은 매시간, 공사 전후 지속적인 관리가 불가능하고 일시적으로 예측 판단 설계에 쓰이고 있다. 반면, 건설 BIM 프로그램은 실시간으로 공정 진행 중, 공사 전후 관리에 쓰이고, 프로그램들이 종합되어 있어 설계사, 시공사, 발주처가 동일한 정보를 공유할 수 있어 일을 효율적으로 처리할 수 있다. 따라서 싱크홀과 같은 건설 사고를 줄이기 위해서는 통합 구축 시스템인 건설 BIM 기술의 개발 및 적용이 필요하다.

16) 1)과 같음.

17) <[팩트체크] 서울시 싱크홀 정보 공개, 집값 떨어트린다?>, <JTBC news>, 구민주(2025.04.08.), (<https://news.jtbc.co.kr/article/NB12241296?influxDiv=JTBC>) (2025.04.15.검색일).

18) <땅 꺼짐 불안 커지자...서울시, 지표투과레이더 점검 결과 공개>, <한겨레>, 허윤희(2025.04.30.), (<https://www.hani.co.kr/arti/area/capital/1195079.html>) (2025.05.24.검색일).



<그림 10. GeoStudio Slope/W 프로그램 사용 예> 출처: 홍세진

국내 건설 산업에 이러한 한계를 극복하기 위해서는 BIM 통합설계프로세스를 구축하고 기존에 사용하던 분석 프로그램과의 연동을 가능하게 해야 한다. 건설 산업 종사자가 프로그램 이용 부담에 대한 인식을 전환할 필요성이 있으며 BIM 전담 인력을 적극적으로 육성하고 공공시설 분야를 시작으로 관련 지침을 재정 및 계획하여 확산을 유도할 필요가 있다. 국토교통부에서 스마트 건설 활성화 방안 “2030 건설 전 과정 디지털화·자동화”를 목표로 움직이고 있다.¹⁹⁾

「스마트 건설 활성화 방안 S-Construction 2030」 추진

- 목표 : 2030 건설 전 과정 디지털화·자동화 -

- (공공 중심 BIM 도입 확대) 신규 공공사업을 대상으로 공사비 규모, 분야별로 건설 전 과정에 걸쳐 BIM 도입을 순차적으로 의무화한다.
- BIM 도입이 빠른 도로 분야부터 1,000억원 이상에 우선 도입(‘22.下)하고, 철도·건축(‘23), 하천·항만(‘24) 등으로 순차 도입한다.
- ‘26년에 500억원, ‘28년에 300억원 이상으로 확대하고, BIM 조기 안착을 위해 사업 성과 등을 고려하여 일정을 당겨 추진하는 방안도 검토한다.

구 분	1단계				2단계		3단계
	'22.下	'23	'24	'25	'26	'28	'30
도로	1,000억				500억	300억	300억 미만 (예: 100억 t)
철도, 건축	지침.기준 정비						
하천, 항만 등	지침.기준 정비		1,000억				

- (전문인력 양성) 고용보험기금으로 교육비 전액을 지원하는 국가전략 산업직종 훈련의 연간 수강인원을 2배 확대(약 200명 → ‘23: 280명, ‘25: 400명)하고, 자체 교육을 실시하는 설계업체에도 교육비용을 지원(‘23: 400명 → 단계적 확대 추진)하여 설계 분야의 전문인력을 양성한다.

<그림 11. 국토교통부 보도 자료 2022.07.20.> 출처: 국토부

19) 김희진, 「시공단계의 BIM기반 공정 및 기성계획에 대한 시공사 BIM 활용」, 『쌍용(통권 80호)』, 2023.

3.3 싱크홀과 관련하여 건설 BIM 프로그램 적용 설계

싱크홀은 지하 공사, 지반 침하, 지하수 유실, 노후화된 상하수도관 지하 매설물 파손 등으로 인하여 발생한다. 기존에 사용하던 프로그램들을 중심으로 건설 BIM 프로그램을 어떻게 적용해야 할지 설계해 보았다.

지반 설계 단계에서는 지반 데이터 통합, 지하 매설물 모델링, 해석 결과 연동을 할 수 있다. 시추조사, 표준관입시험, 콘관입시험, 그라우팅 등을 수행할 때 실시간 3D로 만들어 위험 지대를 시각화하여 지반 데이터를 통합할 수 있다. 상하수도관, 전기 통신, 전력관의 위치와 노후화된 정도를 BIM에 값으로 입력하여 지반 침하 우려 구역을 사전 확인할 수 있다. 지표투과레이더(GPR), SLOPE/W와 같은 해석 프로그램을 BIM 프로그램과 연동하여 안전율이 낮은 구간은 보강 설계를 하여 안정성을 높일 수 있다.

시공 단계에서는 실시간 모니터링, 경고 시스템, 공정 과정을 확인할 수 있다. 지반침하, 지하수위, 지하 시설물의 변형을 감지하는 센서를 연동할 수 있고, 작업자의 작업모에도 센서가 장착되어 실시간으로 데이터를 시각화하고 작업자의 안전을 확인할 수 있다. 또한, 건설 근로자들이 근무 환경에서 어떻게 해야 하는지 VR²⁰⁾ 가상 공간 시뮬레이션을 통해 설명과 이해를 도울 수 있다. 기준치를 초과하는 변형, 지하수위가 변화가 있을 때 자동 경고 및 위험 구간 색상 변화하면서 경고 시스템이 작동한다. 공정 진행 중 약해진 지반 위로 중장비가 이동할 때 작용하는 하중을 프로그램으로 확인하여 지반 붕괴 방지를 공정 간섭 관리를 통해 할 수 있다.²¹⁾

사후 유지관리 단계에서도 사고 발생 후 대응 및 복구가 신속하게 할 수 있다. 지하 시설물에 대한 정보가 BIM 프로그램에 입력되어 있어 매설물 설치 연도, 보수 이력, 교체 필요성의 전산 관리가 편리해진다. 싱크홀 사고가 발생 가능성 및 발생 전후 센서 데이터, 공사 일지 등을 BIM 프로그램을 통해 시각적 3D 사고 재현할 수 있고, 수치상으로 비교 분석할 수 있다. 노후화된 관로, 기둥, 터널 유지 보수가 필요할 때 예측 프로그램을 통해 우선순위를 설정할 수 있는 정비계획 자동화가 가능하다.

4. 결론

싱크홀은 노후화된 지하 매설물, 무분별한 지하 공사로 인한 누수를 원인으로 지반이 약해져 발생한다. 지표투과레이더(GPR), SLOPE/W와 같은 프로그램에 현재의 값을 적용하여 미래를 예측하여 공사할 수 있는 반면, 건설 BIM 프로그램 기술은 실시간 정보 통합하고 예측 및 대응이 가능하여 사후 관리에도 유용하게 쓰인다. 프로그램 기술의 발달은 건설 관련 산업재해를 줄이고, 사람들에게 안전하고 효율적인 인프라를 제공함으로써 건설 현장의 품질과 안전성을 높여준다. 프로그램이 전체적으로 상용화되고 있지 않는 문제점을 극복하기 위해서는 국가적 차원에서는 현재 국가기관 전략사업으로 “‘스마트 건설 기술 인력 양성’, ‘BIM 전문인력양성’, ‘해외플랜트 건설기술 인력 양성 프로그램’”²²⁾이 있지만 이와 관련된 프로그램을 인력 양성에 적극 지원하여 건설 BIM 기술을 발전시켜야 한다. 따라서 싱크홀과 같은 건설 사고를 예측

20) VR(Virtual Reality): 인간의 상상에 따른 공간과 사물을 컴퓨터에 가상으로 만들어, 현실 세계에서는 직접 경험하지 못하는 상황을 간접으로 실제처럼 체험할 수 있도록 하는 기술, <한국정보통신기술협회>, <정보통신용어사전>

21) 임종원, '설계 BIM 모델 속성 정보를 통한 공정 순서 예측 및 일정 정보 입력 방안', 『대한토목학회논문집』, 2024., pp.863-870.

22) 국가기관전략훈련 소개, <건설기술교육원>.

<https://www.kictc.or.kr/portal/country/informationViewAction.do> (2025.05.10.검색)

및 관리를 위해 건설 BIM 프로그램 기술 발전이 필요하다.

5. 참고문헌

1. 논문 및 단행본

- 김창용, 「지반함몰(싱크홀) 발생원인과 기술 및 정책적 대응방향」, 『쌍용(통권 71호)』, 2015.
- 김춘수, 「도심지역의 지반침하(싱크홀)의 원인과 관리적 대책에 대한 제언」, 『대한안전경영과학회지』, 2016 Vol. 18, Issue 4, pp.1-9.
- 김희진, 「시공단계의 BIM기반 공정 및 기성계획에 대한 시공사 BIM 활용」, 『쌍용(통권 80호)』, 2023.
- 이동준, 「BIM 데이터 기반 현장 시공관리 사례 분석 연구」, 대한토목학회논문집, 2024, pp.223-229.
- 임종원, 「설계 BIM 모델 속성 정보를 통한 공정 순서 예측 및 일정 정보 입력 방안」, 『대한토목학회논문집』, 2024, pp.863-870.
- 황철비, 「2-ARCH 터널 방수 시 문제점에 대한 사례 연구」, 『쌍용 토목기술팀』 2001.

2. 기사

- 구민주 (2025.04.08.), <[팩트체크] 서울시 싱크홀 정보 공개, 집값 떨어트린다?>, <JTBC news>, (<https://news.jtbc.co.kr/article/NB12241296?influxDiv=JTBC>), (2025.04.15.검색일).
- 윤보람 (2025.04.15.), <서울 하수관 30%, 50년 넘은 '초고령'...땅꺼짐 주된 원인>, <연합뉴스>, (<https://www.yna.co.kr/view/AKR20250414149800004?input=1195m>), (2025.04.15.검색일).
- 이병훈 (2025-02-27), <서울 수도관 69% 노후... 누수·싱크홀 우려>, <세계일보>, (<https://www.segye.com/newsView/20250226520241>), (2024.05.24.검색일).
- 정봉비, 장수경 (2025.03.24.), <명일동 대형 싱크홀에 빠진 오토바이 실종자...안엔 토사·물 2천톤>, <한겨레>, (https://www.hani.co.kr/arti/society/society_general/1188670.html), (2025.04.15.검색일).
- 표정우 (2025.04.13.), <광명 공사장 붕괴 이전 '터널 변형'...기동 '파손'도>, <YTN>, (https://www.ytn.co.kr/_ln/0103_202504130203409018), (2025.04.29. 검색일).
- 허윤희 (2025.04.30.), <땅 꺼짐 불안 커지자...서울시, 지표투과레이더 점검 결과 공개>, <한겨레>, (<https://www.hani.co.kr/arti/area/capital/1195079.html>), (2025.05.24.검색일).

3. 용어 관련

<국토교통부 e-국토교통모니터단>, 「국토교통상식 (지반침하 관련 용어)」,
https://www.molit.go.kr/USR/BORD0201/m_67/DTL.jsp?id=IN0405&cate=&mode=view&idx=225234&key=&search=&search_regdate_s=2015-11-15&search_regdate_e=2016-11-15&order=&desc=asc&srch_prc_stts=&item_num=0&search_dept_id=&search_dept_nm=&srch_usr_nm=N&srch_usr_titl=N&srch_usr_ctnt=N&srch_mng_nm=N&old_dept_nm=&search_gbn=&search_section=&source=&search1=&lcmstage=3

<대한토목학회>, 「토목용어사전」

<https://powered-by.tistory.com/entry/%ED%86%A0%EB%AA%A9-%EC%9A%A9%EC%96%B4-%EC%82%AC%EC%A0%84-%EB%8B%A4%EC%9A%B4%EB%A1%9C%EB%93%9C-%EB%8C%80%ED%95%9C>

%ED%86%A0%EB%AA%A9%ED%95%99%ED%9A%8C

<한국정보통신기술협회>, 「정보통신용어사전」

https://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=046591-9

https://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=036426-11

https://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=059709-9

<국민대학교 토질역학 ppt 자료>

- VR(Virtual Reality): 인간의 상상에 따른 공간과 사물을 컴퓨터에 가상으로 만들어, 현실 세계에서 는 직접 경험하지 못하는 상황을 간접으로 실제처럼 체험할 수 있도록 하는 기술, <한국정보통신기술협회>, <정보통신용어사전>
- 간극수압: 흙이나 암석 공극 속에 있는 물 입자 사이에 전달되는 압력, <대한토목학회>, <토목용어사전>.
- 굴진 (掘進, drilling): 드릴이 서로 다른 암석들을 관입함, <대한토목학회>, 「토목용어사전」
- 굴착(掘鑿, excavation): 지반을 파는 작업으로서 지반의 강도에 따라 발파굴착, 기계굴착 및 인력굴착 으로 구분하여 적용함, <대한토목학회>, <토목용어사전>.
- 유효응력: 토립자 간 접촉에 의해 전달되는 응력으로 토립자가 부담하는 응력, <대한토목학회>, <토목용어사전>.
- 전응력: 흙덩이 전체에 의한 응력, <대한토목학회>, <토목용어사전>.
- 지중(地中, underground): 땅을 뚫고 들어갔을 때의 그 속 땅 아래를 뜻한다, <네이버국어사전>
- 지표투과레이더 GPR(Ground Penetrating Radar): 전자기파를 사용하여 지하의 구조를 탐사하는 첨단 비파괴 검사법, 국민대학교 토질역학 ppt 자료.

4. 서적

<4차 산업 혁명 건설 산업의 변화와 미래> 김선근 저, 한솔아카데미, 04-1 스마트 컨스트럭션 참조.
<기초공학>, 장연수 저, 구미서관, 2022. 참조.

5. 정보

국가기간전략훈련 소개, <건설기술교육원>,

<https://www.kicte.or.kr/portal/country/informationViewAction.do> (2025.05.10.검색)