

## 지상 디지털트윈 지오앰블런스 기술개발전략 수립 연구\*

서민송<sup>1</sup>·장용구<sup>2\*</sup>·류지송<sup>3</sup>

### Research on Establishing Ground Digital Twin Geo-ambulance Technology Development Strategy\*

Min-Song SEO<sup>1</sup>·Yong-Gu JANG<sup>2\*</sup>·Ryu-Ji SONG<sup>3</sup>

#### 요 약

지하사고가 발생할 경우 신속하게 원인을 파악하고 인적, 물적 피해를 줄여야 한다. 지하사고조사위원회는 발생한 사고의 원인을 규명하고 이후 동일한 사고가 발생하지 않도록 대응방안을 마련하는 역할을 한다. 그러나 지하사고조사위원회 운영 기간이 최소 6개월에서 최대 9개월까지 활동할 수 있도록 법에 명시되어 있어 실질적으로 동시공간에 추진 중인 건설 사업에서 사고조사보고서를 인용하고 검토를 통해 자체사업에 반영하기에 어려워 보인다. 본 연구에서는 기존에 3개월이 소요되던 자료수집과 분석을 최대 1개월 이내로 단축시킬 수 있도록 현장에 출동하여 자료를 수집하고 디지털트윈으로 구현하고 제공함으로써 지하사고조사위원회가 의사결정을 신속하게 할 수 있는 기술개발 전략을 수립해보고자 했다. 연구결과 5개 기술개발 분야인 지상 데이터 수집·전송 기술, 지상안전 데이터 생성기술, 디지털트윈 기반 지하안전 분석·가시화 기술, 디지털트윈 기반 지오앰블런스 구축·운영 기술, 디지털트윈 기반 지오앰블런스 표준화 및 법제도 연구를 도출할 수 있었다. 제시된 기술이 개발된다면 기존대비 신속한 의사결정을 통해 사고현장을 줄이는데 기여할 수 있을 것으로 보인다.

주요어 : 지하사고, 지하사고위원회, 지오앰블런스, 기술개발, 전략수립

#### ABSTRACT

If an underground accident occurs, the cause must be quickly identified and human and material damage reduced. The Underground Accident Investigation Committee is responsible for identifying the causes of accidents and preparing response plans to

2024년 2월 5일 접수 Received on February 5, 2024 / 2024년 2월 16일 수정 Revised on February 16, 2024 / 2024년 2월 19일 심사완료 Accepted on February 19, 2024

\* 이 논문은 국가과학기술연구회 선행융합연구사업 “지오앰블런스 구축을 위한 지하사고현장 디지털트윈 구축 분석 요소기술의 PoC 검증” 과제(CPS22121-100)를 통해 수행되었습니다.

1 한국건설기술연구원 박사후연구원 Post Doctor, Korea Institute of Civil engineering and Building Technology

2 한국건설기술연구원 연구위원 Research Fellow, Korea Institute of Civil engineering and Building Technology

3 한국건설기술연구원 박사후연구원 Post Doctor, Korea Institute of Civil engineering and Building Technology

※ Corresponding Author E-mail: wkddydrn@kict.re.kr

prevent similar accidents from occurring in the future. The law stipulates that the Underground Accident Investigation Committee can operate from a minimum of 6 months to a maximum of 9 months after an accident occurs. However, the operation schedule of the Underground Accident Investigation Committee seems difficult to cite the accident investigation report to the construction project currently in progress at the same time project. In this study, the Underground Accident Investigation Committee seeks to establish a strategy for developing technology that can shorten data collection and analysis, which previously took 3 months, to less than 1 month. As a result of the research, five areas of technology development identified, ground data collection and transmission technology, ground safety data generation technology, digital twin-based underground safety analysis and visualization technology, digital twin-based geo-ambulance construction and operation technology, and digital twin-based geo-ambulance standardization and legal system. research was able to be conducted. If the proposed technology is developed, it is expected to contribute to reducing accident scenes through faster decision making than before.

*KEYWORDS: Underground accident, Underground Accident Committee, Geoambulance, Technology development, Strategy establishment*

## 서 론

### 1. 배경 및 필요성

지하사고가 발생할 경우 신속하게 원인을 파악하고 인적, 물적 피해를 줄여야 한다. 「지하안전관리에 관한 특별법」에서는 면적  $1\text{m}^2$  또는 깊이 1m 이상의 지반침하가 발생하거나, 사망자·실종자·부상자가 발생한 경우 지방자치단체의 장이 지하사고조사위원회를 구성하여 운영하되 국토교통부장관에게 사고사실을 알리도록 되어 있다. 더 나아가 면적  $4\text{m}^2$  또는 깊이 2m 이상의 지반침하가 발생하거나, 지반침하사고로 사망자·실종자·부상자가 3명 이상 발생한 경우 ‘중앙지하사고조사위원회’를 국토교통부장관이 구성하여 운영할 수 있도록 하였다. 지하사고조사위원회는 발생한 사고의 원인을 규명하고 이후 동일한 사고가 발생하지 않도록 대응방안을 마련하는 역할을 한다.

2020년 8월에 구리시 교문동에서 발생한 지반침하 사고(면적  $150\text{m}^2$ , 깊이 21m)는 사고 발생 직후 2일 동안 복구를 완료하였고, 3일 후인 2020년 8월 29일에 중앙지하사고조사위원회

를 구성하고 그해 12월까지 약 3개월 동안 13차례 회의가 진행되었다. 3차에서 8차까지 지속적으로 부문별 위원들이 수집한 자료를 토대로 회의가 진행된 것을 알 수 있었다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020). 지하사고조사위원회는 ‘지하안전사고가 왜 발생했는가?’를 신속하게 파악하여 유사 사업을 수행하고 있는 사업자들에게 경각심을 주고 사례로써 활용할 수 있도록 사고개요, 사고원인의 분석, 조치결과 및 사후대책 등 유사한 사고의 예방을 위한 자료를 만들어내는 것이 임무이다. 그럼에도 그 기간이 최소 6개월에서 최대 9개월까지 활동할 수 있도록 법에 명시되어 있어 실질적으로 동시간대에 추진 중인 건설 사업에서 사고조사보고서를 인용하고 검토를 통해 자체사업에 반영하기에 어려워 보인다.

본 연구에서는 지하사고조사위원회가 사고조사를 위한 자료를 수집하고 의사결정을 추진하는 과정을 효율화 할 수 있는 기술 개발 전략을 제시하고자 한다. 앞서 살펴본 바와 같이 지하사고조사를 위해서 3개월이 넘는 기간 동안 자료의 수집과 분석이 반복되는 것을 확인했다. 본 연구에서는 기존에 3개월이 소요되던 자료수

집과 분석을 최대 1개월 이내로 단축시킬 수 있도록 현장에 출동하여 자료를 수집하고 디지털 트윈으로 구현하고 제곱함으로써 지하사고조사 위원회가 의사결정을 신속하게 할 수 있는 기술 개발 전략을 수립해보고자 한다.

## 2. 국내외 동향

현재 국내에서 디지털트윈과 관련된 연구의 경우 초기에는 사물인터넷(IoT)기반 도시 지하 매설물 모니터링 및 관리 시스템의 경우 지하 공간 상황을 초기에 감지 예측 대응하는 IoT 기반 지하공간 그리드 시스템 개발 과제를 수행하여 연구의 공간적 대상은 도시지역의 상수도, 하수도, 도시철도, 지하수이며 이들을 모니터링 체계로 구축하였다(Lee, 2017). 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 굴착현장 안전관리지원 기술 개발연구에서는 지하공간통합지도의 요구가 가장 높게 나타나고 있는 굴착 건설시공 등 공공 및 민간건설 분야에서의 지하공간통합지도 제공 및 활용지원을 위한 핵심요소 기술들을 도출하여 굴착시공현장 안전관리지원 활용 기술을 개발하는 연구가 기획된 후 추진되었다(Jang, 2019). 스마트시티 구성요소인 공간정보인프라 구축을 위해 최신 공간정보 취득 기술인 드론을 기반으로 도심지의 3차원 디지털트윈 모형을 구축하고 구축된 모형 간의 처리시간·품질·정확도 분석을 통하여 활용성을 모색하였다(Lim, 2020)

영국의 경우 국립지질조사국에서 3D지형모델링과 3D지질도를 통해 GIS3D 지표면의 입체모델을 구현하는 방법론 및 소프트웨어 도구를 개발하여 시각화하여 3차원 지질분포, 공간통계 분석을 통해 시각화하여 제공하고 있다. 또한, 지상-지하 통합 시스템을 구축하여 공간정보 구축 및 표준화, 유지·관리 등의 정책·예산 지원 방안을 마련하여 지상-지하 통합정보 시스템을 운영하고 재난발생 시 활용하고 있다(British Geological Survey, 2023).

미국의 경우 미국교통부에서 3D-4D 데이터 모델을 구축하여 지진 등의 재해재난 대

응을 위한 3D공간정보 DB구축 및 관련 정책을 지원 중에 있다(Science for a Changing World, 2023).

싱가포르의 경우 Virtual Singapore를 통해 도시의 모든 구조물과 대응되는 디지털 트윈을 구현하고, 인프라(전기 및 교통 등)와 기상정보, 인구통계, 시설물 및 건물내부까지 데이터를 수치화하여 시뮬레이션을 수행할 수 있고 이를 통해 재난·재해, 도시계획, 교통, 환경 등 다양한 분야의 테스트 베드로 활용되고 있다(Shahat and Chang, 2021).

건설 산업에서 진행 상황 모니터링을 위해 자율 탐색 및 고성능 이동 기능을 갖춘 모바일 로봇은 잠재적으로 동적으로 변화하는 건설 작업 공간을 탐색하여 정기적인 데이터 수집을 수행할 수 있는 로봇 개를 활용하여 자동화된 건설 진행 상황 모니터링을 위한 로봇 기반 절차의 기본 사항을 확인하였다(Afsari and DeVito, 2021)

앞서 살펴본 바와 같이 디지털트윈 기술을 통해 재난·재해를 예방하고자 하는 연구들이 지속적으로 수행된 것을 확인할 수 있었다. 국내의 경우 센서를 활용한 모니터링, 지하공간통합 지도를 활용한 현장안전 확보, 드론을 이용한 3차원 모형 구축 등 사고 발생 이전에 사전적으로 활용할 수 있는 기술 개발의 연구가 주를 이루는 것을 확인하였다. 반면 국외에서는 3D, 4D 데이터베이스를 구축하되 통계 또는 시뮬레이션이 가능하도록 함으로써 의사결정에 필요한 결과를 제공하는 수준까지 연구와 기술개발이 진행된 것을 알 수 있었다.

앞서 살펴본 연구동향을 토대로 지하사고조사를 위해서는 지상과 지하의 정보가 모두 필요할 것으로 판단된다. 한편 지반조사, 물리탐사 등 현장시험의 경우 고가의 장비가 필요한 부분으로 이런 물리적 장비는 최소화하고 신속하게 지상에서 자료를 수집할 수 있는 기술이 우선 필요할 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 지상에서 수집하는 하는 자료를 기반으로 의사결정을 지원하는 지상 디지털트윈 지오앰블런스 기술에 대한 개발전략 수립 하고자 한다.

### 3. 연구목적

본 연구에서는 기존에 3개월이 소요되던 자료수집과 분석을 최대 1개월 이내로 단축시킬 수 있도록 현장에 출동하여 자료를 수집하고 디지털트윈으로 구현하고 제공함으로써 지하사고조사위원회가 의사결정을 신속하게 할 수 있는 기술개발 전략을 수립하는 것이 목적이다. 기술개발 전략 수립을 위해 방향정립, 전략수립, 계획수립의 단계를 통해 지하사고조사 절차에서 필요한 행위의 흐름에 따라 요소기술을 도출하고자 한다. 전략 수립을 위한 연구의 흐름은 그림 1과 같다.

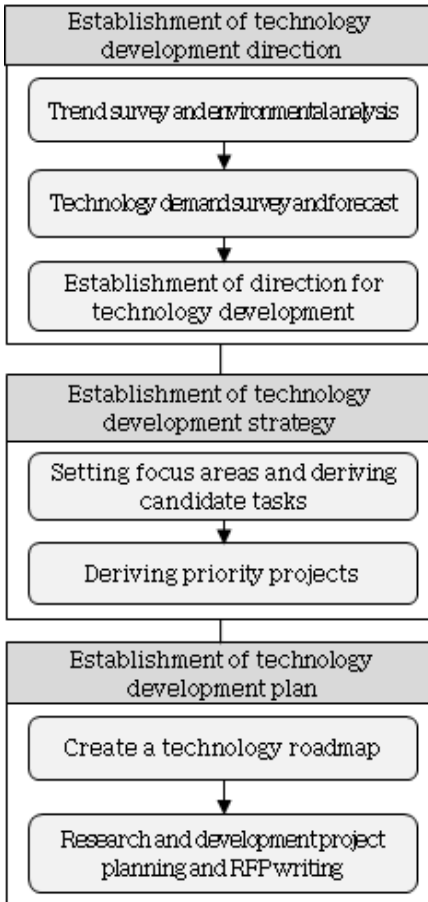


FIGURE 1. Process of research

## 디지털트윈 지오앰블런스 기술개발 전략 수립

### 1. 기술개발 방향정립

기술개발 방향정립을 위해서 우선 지상·지하 안전 확보를 위해 수행하고자 하는 기술개발전략 수립에 필요한 동향조사·분석을 실시했다. 동향 및 현황조사는 인프라, 정책, 기술, 특히, 시장 부문으로 나누어 분석했다. 동향조사 결과 인프라 측면에서는 지능정보사회의 심화와 디지털트윈구현, 초고속 통신기술 도입과 기술간 융합이 심화되면서 삶의 패러다임과 일자리, 산업 구조가 변화할 것으로 보였다. 이로 인해 사회적으로 구조가 복잡해지고 현재로써는 알 수 없는 다양한 문제가 유발될 것으로 보였다. 이런 문제는 첨단 기술을 통해 해소하고 안정적인 삶을 영위할 수 있는 사회를 구성하기 위한 유·무형의 서비스의 필요성 증가로 나타날 것으로 보였다(Park, 2022). 정책측면에서 국가기초는 국민의 안전한 삶의 영위를 지원하는 국가가 되는 것으로 이를 위해 첨단기술 기반의 선제적이고 신속한 대응이 가능한 체계를 구현하려는 움직임을 볼 수 있었다(Go and Bae, 2022). 더불어 이런 신속하고 안전한 사회와 첨단기술이 접목된 스마트시티 구현을 위한 정보로써 공간정보가 핵심정보로 강조되고 있으며, 지상과 지하의 3차원 공간정보를 기반으로 연계, 분석, 가시화를 위한 기술 개발 방향을 정립하였다(Hong and SIM, 2023, Seo, 2020). 기술측면에서는 3차원 공간정보 기반으로 센싱, 네트워크, 분석, 가시화 기술을 도입하여 디지털트윈을 구축하는 기술의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 더불어 3차원 공간정보를 경량화하여 활용성을 높이고, 보안데이터의 개방 및 활용이 가능한 보안전송 기술 등 응용기술들이 개발되고 있으며 실시간 3차원 데이터 구축 및 응용기술 개발이 증대되고 있다(Park, 2022). 특히측면에서는 드론을 활용해 생성된 정보를 가상의 디지털트윈 공간에 실시간으로 반영하여 의사결정 및 분석·처리하는 기술의 발전속도 심화되

TABLE 1. Result of environmental analysis

SO(Strength + Opportunity)	WO(Weakness + Opportunity)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementation of a digital twin smart city based on 3D spatial information through field information collection, processing, and construction technology</li> <li>• Dominate the global maintenance market by discovering and developing spatial information application and convergence technology                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of technology to utilize spatial information-based above-ground and underground spatial information to provide a safe living environment</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promoting collaboration with organizations with low technology gaps by identifying technology levels compared to developed countries</li> <li>• Preoccupy the market by establishing domestic standards and international standardization for linking data between above-ground and underground information</li> <li>• Investment of technology development budget through selection and concentration</li> </ul>
ST(Strength + Threat)	WT(Weakness + Threat)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preemptive investment in technology development is necessary for rapid disaster prevention and response</li> <li>• Securing original application technology through technology that can link and utilize existing spatial information and field information</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Need to establish mid- to long-term investment and technology development roadmap for SW/HW technology</li> <li>• Securing global market share through above-ground and underground safety prevention and response, development and standardization of maintenance technology</li> </ul>

고 있고 현실과 가상을 연계·혼합하는 기술 관련 특히 증가하고 있다(Emimi and Khaleel, 2023). 시장의 경우 드론을 활용한 현장정보 수집·전송, 디지털트윈 구축, 시설물 유지관리 산업이 지속적으로 확대되고 향후 재정투입도 활발할 것으로 분석되며 시설물 유지관리를 위한 공간정보 융합시장 규모 확대되고 있다.

동향 및 현황조사를 분석한 결과 첨단기술을 통한 선제적이고 신속한 재난재해 예방 대응체계 구현 정책 추진이 이뤄지고 있으며 공간정보 기반의 스마트시티 구현과 이를 통한 안전한 생활 환경 조성 목표 수립하고 국토교통과학기술 종합계획을 통해 3차원 공간정보 관련 기술을 핵심기술로 육성 추진하고 있어 공간정보 응용 및 융합기술 개발 활발하다. 이에 따라, 다양한 기술의 융합이 활발해지면서 Infromaiton Technology (IT), Nano Technology (NT), Bio Technology (BT)와 같은 새로운 분야 등장하고 글로벌 유지관리 시장의 규모가 확대되고 있으며 안전한 생활 조성을 위한 다양한 욕구 증대되고 있다. 하지만 미국, 유럽 등 선진국 대비 3차원 공간정보 구축 관련 Software (SW)와 센서, 드론 등 Hardware (HW) 원천기술 독립성 낮다. 또한, 지상과 지하정보 간의 표준화된 연계 방법과 데이터 모델이 마련되어 있지

않으며 기술개발을 위한 예산 투입에 소극적인 실정이다.

동향조사 결과를 바탕으로 현장정보 수집, 처리, 구축 기술의 개발, 3차원 공간정보 기반 디지털트윈 스마트시티 구현, 공간정보 응용 및 융합기술 발굴, 안전한 생활환경 제공을 위한 공간정보기반 지상·지하 연계 활용 기술 개발 등이 필요할 것으로 보인다. 또한 신속한 재난 재해 예방 대응을 위한 선제적인 기술개발 투자 필요하고 기 구축 공간정보와 현장 정보를 연계 활용할 수 있는 기술을 통한 원천 응용기술 확보를 통해 보완해야 한다(표 1).

## 2. 기술개발 전략수립

지상에서 정보를 수집·가공·제공할 수 있는 디지털트윈 지오앰블런스 개발을 위해 중점추진 분야 선정하였다. 이를 기반으로 전문가 기술수요조사를 통한 기술들을 도출하였다. 전문가는 관·산·학·연 전문가를 대상으로 하였으며, FGI(Focus group interview) 방식으로 진행하였다. 전문가 의견을 수렴한 결과 데이터 수집·가공·처리·활용 등 프로세스를 기반으로 지하안전평가, 지하사고 발생 대응 업무를 지원하는 기술을 개발해야 하는 것으로 나타났다. 더불어, 요소기술에 따른 중점추진분야 및 후보과

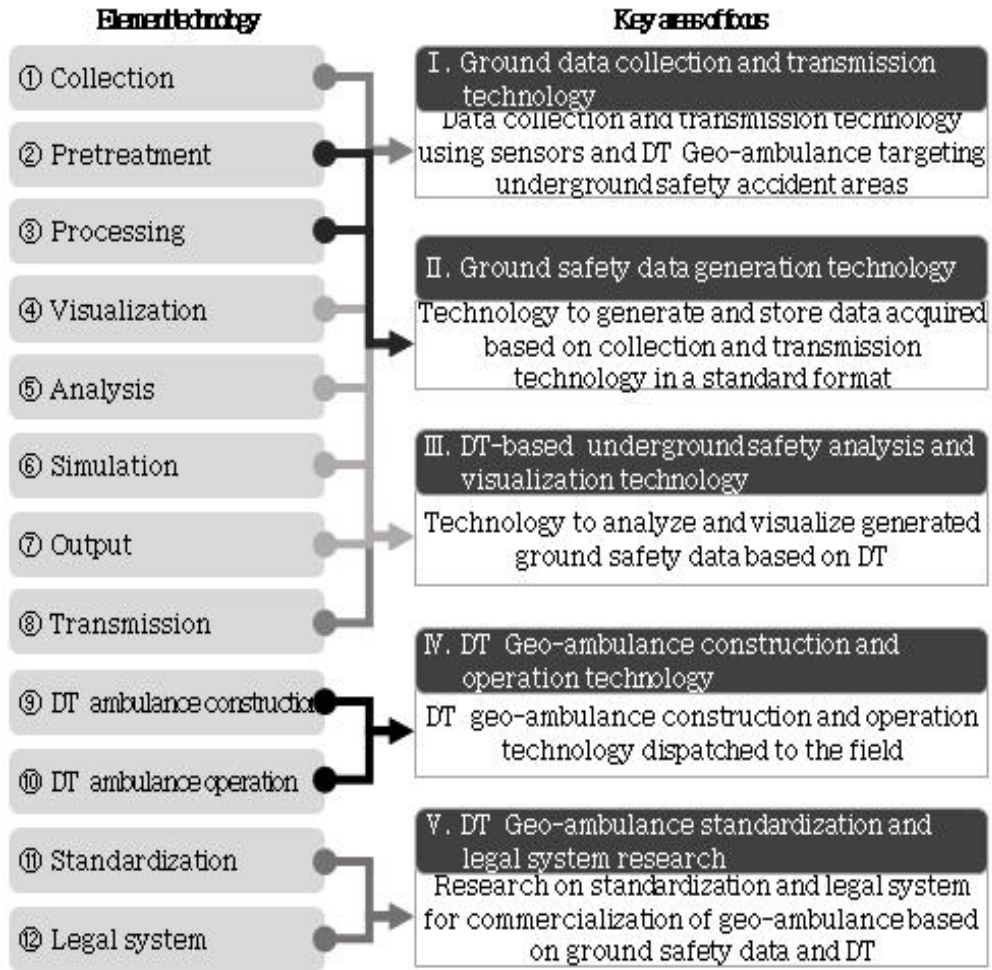


FIGURE 2. Results of key promotion areas according to element technology

제를 도출하였다. 중점추진분야는 지상 데이터 수집·전송기술, 지상안전 데이터 생성기술, 디지털트윈 기반 지하안전 분석·가시화 기술, 디지털트윈 기반 지오앰블런스 구축·운영 기술, 디지털트윈 기반 지오앰블런스 표준화 및 법제도 연구로 설정했다(표 2).

중점추진분야에 따른 후보과제는 지상 데이터 수집·전송기술, 지상안전 데이터 생성기술, 디지털트윈 기반 지하안전 분석·가시화 기술, 디지털트윈 기반 지오앰블런스 구축·운영기술, 디지털트윈 기반 지오앰블런스 표준화 및 법제

도 연구 5개의 분야를 중심 총 31개 후보 과제를 도출하였다(표 3).

### 3. 기술개발 계획수립

기술개발 계획수립을 위해 도출된 31개의 후보 과제에 대해 우선순위를 도출하여 추진과제를 선정하고 이를 통해 기술로드맵을 통한 상세추진계획을 수립했으며 추진과제별 요구사항 정의서를 작성했다. 우선순위는 전문가의견을 수렴하여 지상 데이터 수집·전송기술, 지상안전 데이터 생성기술, 디지털트윈 기반 지하안전 분

Key areas of focus	Technology development content
Ground data collection and transmission technology	1. Development of precision reference point surveying technology : 6. Development of ultra-precision GPR exploration equipment for integrated above-ground and underground safety management
Ground safety data generation technology	1. Development of terrain safety DT information construction technology : 5. Development of above-ground and underground convergence safety DT construction technology
DT-based underground safety analysis and visualization technology	1. Development of 3D DT ground safety management system construction technology : 8. AI analysis technology for real-time changes at the accident site
DT Geo-ambulance construction and operation technology	1. Construction of ground DT Geo-ambulance field support system : 6. Development of ground DT Geo-ambulance integrated solution
DT Geo-ambulance standardization and legal system research	1. Ground Geo-ambulance operation guidelines study : 6. Research on ways to improve laws for Geo-ambulance operation

FIGURE 3. Results of candidate task derivation

석·가시화 기술, 디지털트윈 지오앰블런스 구축·운영기술, 디지털트윈 지오앰블런스 표준화 및 법제도 연구 5개의 중점추진분야로 그룹을 구성하였다. 이후 기술성, 시장성, 실현가능성, 전략타당성, 독창성의 속성별 평균을 분석하여

총 31개 과제 중 20개 선정했다.(표 2).

우선과제도출을 통한 추진과제를 중심으로 상세추진계획을 수립을 위해 기술로드맵을 작성하였으며 중점추진분야별 소프트웨어 기술 및 하드웨어 기술을 도출할 수 있었으며 추진과제의 상

TABLE 2. Results of deriving priority tasks

Rank	Key areas of focus	Project title
1	Ground data collection and transmission technology	Standardization of ground-collected data from ground cave-in sites and development of real-time, high-speed, secure transmission technology
2	DT-based ground safety analysis and visualization technology	Development of 3D DT ground safety management system construction technology
		:
19	Ground safety data generation technology	Development of technology to build terrain safety DT information at ground cave-in sites
20	DT Geo-ambulance construction and operation technology	Development of integrated solution for ground DT geoambulance collection, construction, analysis, and visualization

Table 3. Results of technology roadmap creation

Key areas of focus	Research tasks	Year					
		24	25	26	27	28	29
Ground data collection and transmission technology	Task 1	Development of data standardization extraction technology		Development of collection automation technology		Establishment of test bed and commercialization	
	Task 2	Equipment development and data acquisition		Development of field change measurement technology		Establishment of test bed and commercialization	
	Task 3	Development of image processing technology	Development of change detection risk assessment model			System linkage	Test bed application
	Task 4	Development of data security and standardization technology		Development of real-time data processing technology		Establishment of test bed and commercialization	
Ground safety data generation technology	Task 1	Development of DT information construction technology					
	Task 2	Development of 3D DT construction technology					
	Task 3	Development of technology to compare changes before and after an accident				Test bed verification	
	Task 1	Development of monitor visualization technology					
DT-based underground safety analysis and visualization technology	Task 2	Development of real-time collected data modeling technology					
	Task 3	Development of real-time change monitoring technology					
	Task 4	Development of analysis and monitoring time series technology					
	Task 5	Data security technology development					
	Task 1	Development of digital twin data analysis system			Technology development and supplementation		
DT Geo-ambulance construction and operation technology	Task 2	Establishment of HW to accept ground subsidence field data			Detailed settings and optimization		
	Task 3	On-site verification conducted					
	Task 4	Design and construction of ground subsidence test bed					
	Task 1	Standardize data collection and generation					
DT Geo-ambulance standardization and legal system research	Task 2	Derivation of core functions of field support system					
	Task 3	Operational Guidelines Research					
	Task 4	Prepare measures to improve the legal system					

세기술에 대해 6년간의 기술로드맵을 작성했다 (표 3).

#### 4. 기술개발전략 수립 결과

기술로드맵 작성을 통한 상세추진계획 수립을 통해 각 중점 추진분야별 요구사항 정의서를 작성하였으며 요구사항 정의서는 연구개발 목표, 문제정의, 문제 해결방안, 연구개발 필요성, 연구개발내용, 최종 성과물, 기대 및 파급효과 등

이 포함되어 있다. 기술개발전략 수립 결과 각 분야별 최종성과물에 대한 기대 및 파급효과는 표 4와 같다.

지상 데이터 수집·전송기술, 지상안전 데이터 생성기술, 디지털트윈 기반 지하안전 분석·가시화 기술, 디지털트윈 지오앰블런스 구축·운영기술, 디지털트윈 지오앰블런스 표준화 및 법제도 연구 5개의 분야를 중심으로 기술개발전략을 수립하였고 요구사항 정의서를 통해 연구개발 목



표, 연구개발 내용, 최종성과물, 기대 및 파급효과를 분석할 수 있었으며 이를 통해 국토지하사고 신속대응체계 구축을 위한 디지털트윈 지오앰블런스 기술개발 전략을 수립할 수 있었다.

## 결 론

본 연구는 지하사고조사를 위해서 3개월이 넘는 기간 동안 자료의 수집과 분석이 반복되는 것을 확인했다. 본 연구에서는 기존에 3개월이 소요되던 자료수집과 분석을 최대 1개월 이내로 단축시킬 수 있도록 현장에 출동하여 자료를 수집하고 디지털트윈으로 구현하고 제공함으로써 지하사고조사위원회가 의사결정을 신속하게 할 수 있는 기술개발 전략을 수립해보고자 했다. 기술개발 전략 수립을 위해 방향정립, 전략수립, 계획수립의 단계를 통해 지하사고조사 절차에서 필요한 행위의 흐름에 따라 요소기술을 도출했으며 결과는 아래와 같다.

첫째, 환경분석을 실시하여 중점추진분야를 도출하고 후보과제군을 선정한 결과 중점추진분야는 지상 데이터 수집·전송기술, 지상안전 데

이터 생성기술, 디지털트윈 기반 지하안전 분석·가시화 기술, 디지털트윈 기반 지오앰블런스 구축·운영 기술, 디지털트윈 지오앰블런스 표준화 및 법제도 연구로 설정했으며 연구 5개의 분야를 중심 총 31개 후보 과제를 도출하였다.

둘째, 기술개발 계획수립을 위해 도출된 31개의 과제에 대해 우선순위를 도출하였으며 중점추진분야별 도출과제 순위 결과 지상 데이터 수집·전송기술 4개, 지상안전 데이터 생성기술, 디지털트윈 기반 지하안전 분석·가시화 기술 3개, 디지털트윈 기반 지하안전 분석·가시화 기술 5개, 디지털트윈 지오앰블런스 구축·운영기술 4개, 디지털트윈 지오앰블런스 표준화 및 법제도 연구 4개로 각 분야별 20개의 세부과제가 선정되었다.

셋째, 5개의 분야를 중심으로 기술로드맵을 작성하였으며 중점추진분야별 소프트웨어 기술 및 하드웨어 기술을 도출할 수 있었다. 또한, 요구사항 정의서 작성을 통해 연구개발 목표, 연구개발 내용, 최종성과물, 기대 및 파급효과를 분석할 수 있었으며 이를 통해 국토지하사고 신속대응체계 구축을 위한 디지털트윈 지오앰블런

Table 4. Result of expected and ripple

Key areas of focus	Expectations and ripple effects
Ground data collection and transmission technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Developed a ground subsidence trend analysis model               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Establishment of a citizen safety system</li> <li>■ Laying the foundation for various commercialization</li> </ul> </li> <li>■ Various uses by providing modules that combine large-capacity data and encryption</li> </ul>
Ground safety data generation technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Expected to increase the ripple effect of visualization technology of ground spatial information               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Precision DT model expected to win orders from overseas markets</li> <li>■ Expectation of creation of new industry for safety management</li> </ul> </li> </ul>
DT-based underground safety analysis and visualization technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Development of daily safety monitoring technology               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Creating a public safety environment through digital twin-based simulation</li> </ul> </li> <li>■ Creating a living safety environment by securing world-class digital twin and analysis technology</li> </ul>
DT Geo-ambulance construction and operation technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Expected ripple effect in the field of land subsidence               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Contributes to the prevention and rapid response to underground accidents</li> <li>■ Creation of new industries through integration with field support systems</li> </ul> </li> <li>■ Securing technological competitiveness in safety management and accident response</li> </ul>
DT Geo-ambulance standardization and legal system research	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Implementation of reliable technology through standardization               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Enables prompt decision-making by the investigation committee</li> </ul> </li> <li>■ Possible to identify the cause of the accident and prepare a response plan               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reduction of social costs arising from safety accidents</li> </ul> </li> </ul>

스 기술개발전략을 수립할 수 있었다.

본 연구를 통해 현장 정보 기반 지하안전사고 원인 규명 및 조사위원회의 신속한 의사결정을 지원할 수 있는 기술로 생각되며, 향후 현장에서 수행하는 시추조사, 물리탐사 등 현장시험 정보와 결합한다면 사고원인 규명을 위해 더 상세한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## KAGIS

## REFERENCES

- Lee, I.H. 2017. Development of an Internet of Things (IoT)-based urban underground facility monitoring and management system. Ministry of Science and ICT (이인환. 2017. 사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발. 과학기술정보통신부).
- Jang, Y.G. 2019. Planning for automation of underground space integrated map update and technology development support for exploration site utilization. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (장용구. 2019. 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사현장 활용지원 기술 개발 기획. 국토교통부).
- Lim, S.H. 2020. Study on 3D Model Building of Drones-based Urban Digital Twin Master Thesis. 2020. Jeonbuk national university (임성하. 2020. 드론기반 도심지 디지털트윈 3차원 모형 구축에 관한 연구. 전북대학교).
- Ministry of Land Infrastructure and Transport. 2020. Ground subsidence accident investigation report Guri-si, Gyeonggi-do (국토교통부. 2020. 구리시 땅꺼짐 사고조사 보고서).
- Ehab Shahat and T.H. Chang. 2021. City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda. MDPI 13(6):1-20.
- Kereshmeh Afsari and Stephen DeVito. 2021. Fundamentals and Prospects of Four-Legged Robot Application in Construction Progress Monitoring. EPiC Series in Built Environment 2:274-283.
- Kim, G.H. 2020. Digital Twin Policy Direction for Realizing Virtual Country. Korea Research Institute for Human Settlements (서기환. 2020. 가상국토 구현을 위한 디지털트윈 정책방향. 국토연구원).
- Go, Y.M. and Y.G. Bae. 2022. Main contents and implications of the new government's science and technology related national tasks. Korea Institute of Science and Technology Evaluation Planning (고윤미, 배용국. 2022. 새정부 과학기술 관련 국정과제 주요 내용 및 시사점. 한국과학기술기획 평가원).
- Park, J.H. 2022. Research on ways to utilize digital twins in the public sector. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (박정호. 2022. 공공분야 디지털트윈 활용방안 연구. 국토교통부).
- Mohamed Emimi and Mohamed Khaleel. 2023. The Current Opportunities and Challenges in Drone Technology. IJES 1(3):74-89.
- Hong, J.S. and J.M. SIM. 2023. Current status and implications of the connection between the 5th Basic Science and Technology Plan and the mid- to long-term plan in the field of science and technology. Korea Institute of Science and Technology Evaluation Planning (홍정석, 심정민. 2023. 제5차 과학기술기본계획과 과학기술분야 중장기계획 간 연계현황 및 시사점. 한국과학기술기획평가원).
- British Geological Survey (BGS). 3D Geological

Models. 2023. <https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/maps-and-resources/maps/minecraft-3d-geological-models>.

Science for a Changing World(SCW). 2023. <https://www.usgs.gov/3d-elevation-program/3d-nation>. 