

스마트 지하안전 조사 · 분석 · 평가 기술개발

2025. 12

* (안내사항) 본 기획보고서는 연구개발계획 수립의 참고 자료로 활용하되, 제안시(신청시) 제출하는 연구개발계획서의 연구개발 최종 목표, 연구 내용, 연구 성과, 연구 기간, 예산 등 상세 내용은 반드시 공고시 게재되는 공고안내서의 과제제안요구서(RFP)를 따라야 함을 알려드립니다.



국토교통부



국토교통
과학기술진흥원

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	01
1) 과제의 범위 및 개념	01
2) 과제 추진 배경 및 필요성	03
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	11
1) 과제 추진 근거	11
2) 과제 기획의 추진체계 및 경과	17
3) 대내외 환경분석	23
4) 국내 R&D 역량분석	71
5) 과제설계를 위한 조사분석	82
3. 연구개발과제의 구성 및 추진전략	85
1) 과제방향	85
2) 연구개발과제 목표 및 지표	98
4. 연구 개발내용	102
1) (핵심기술1) 스마트 지하안전평가 및 조사 ^{공사중} 기술	102
2) (핵심기술2) 스마트 지하안전점검 ^{상시} 기술	130
3) 파급효과	178
5. 연구개발과제 운영관리계획(안)	179
1) 연구개발과제 관리방안	179
6. 인력투입 소요 예산 산정	194
1) 총 사업비	194
2) 소요인력	196

1. 연구개발과제의 개요

1) 과제의 범위 및 개념

(1) 본 과제의 범위

- 본 과제는 지하공간에 존재하는 다양한 위험 요인의 점검·조사, 분석·평가 및 예측을 통한 안전한 국토를 조성하기 위해 AI 등 4차 산업혁명 기술을 기반으로 첨단 스마트 지하안전관리 기술을 개발하는 국토교통 연구개발과제에 해당
- 지반·지하공간의 “설계 - 시공 - 유지관리” 단계에서 효율적이고 신뢰성을 확보한 지하 안전관리를 위해 ①스마트 지하안전평가 및 조사 기술^{공사중} 기술, ②스마트 지하안전점검^{상시} 기술 개발을 본 과제의 범위로 설정
- 본 과제에서 최종목표로 설정한 각종 성과품은 「지하안전관리에 관한 특별법(이하 지하 안전법)」에서 규정한 (소규모)지하안전평가, (육안·공동)안전점검 등에 직접적으로 활용 할 수 있도록 개발 범위를 설정

「지하안전법」 의무 주체 및 내용		단계별 지하안전관리			성과물
의무 주체	의무 사항	공사 전	공사 중	준공 후	
지하개발 사업자	굴착공사 착공 전, 지하안전평가 (소규모 10~20m, 일반 20m 이상)	지하안전평가서 작성 및 검토 자동화 기술			지하안전평가 자동화 시스템
지하시설물 관리자	안전점검 (연 1회 이상 육안조사, 5년 1회 이상 공동조사)		스마트 지하안전조사 기술		실시간 지하안전 감시 시스템
			지반침하 위험지역 예측 기술		AI 기반 지반침하 예상지역 예측 모델
				육안조사 디지털화 기술	지표조사 장비 및 AI 기반 분석 S/W
			공동 분석 AI 표준모델 및 탐지 심도 향상 기술		확장형 공동 분석 플랫폼

[그림] 과제의 범위 개념도

(2) 본 과제의 주요 개념

□ 지하공간

- (지하) 땅속이나 땅속을 파고 만든 구조물의 공간을 지칭
- (공간) 물리적으로나 심리적으로 널리 퍼져 있는 범위로, 어떤 물질이나 물체가 존재할 수 있거나 어떤 일이 일어날 수 있는 자리
- (본 과제에서의 지하공간) 땅속에 만들어진 구조물(지하시설물) 및 땅의 표면인 지반을 포함

□ 지반침하

- 지하개발사업 또는 지하시설물의 이용·관리 중에 주변의 지반이 내려앉는 현상
- (표준국어대사전) 지반이 내려앉는 일로 지진이나 지각 변동으로 말미암은 자연 침하와 과잉 양수 따위로 말미암은 인위적 침하로 구분
- (공동, 空洞) 지표 하부에 발생한 빈 공간으로, 확대될 경우 지반침하 등이 발생할 수 있는 공간

□ 안전관리

- 어떠한 시설물이 부주의로 인해 사고를 발생시키지 않도록 점검하고 대책을 마련하는 행위

□ 스마트 안전관리

- AI, IoT 등 첨단 기술을 기반으로 기존 지하안전관리 업무의 효율성, 신뢰성을 대폭 향상함과 동시에 정보의 수집·분석 및 결과 공유의 일치성을 확보할 수 있는 기술로 인력의 개입을 최소화하는 기술로 정의
- 지하공간의 안전성(지반침하)에 영향을 미치는 여러 요인(지하수위 강하, 상하수도관 파열, 인근 지역의 굴착공사 등)을 다각적인 관점에서 분석하여 사고를 발생시키지 않도록 점검하고 대책을 도모하는 행위

□ 지하안전평가

- 지하안전에 영향을 미치는 지하개발사업의 실시계획·시행계획 등의 허가·인가·승인·면허·결정 또는 수리 등을 할 때에 해당 사업이 지하안전에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 지반침하를 예방하거나 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는 것

□ 지하안전점검

- 지하시설물관리자가 소관 지하시설물 및 주변 지반에 대해 안전점검 및 유지관리규정에 따라 육안관찰이나 조사장비를 이용한 자료의 획득 및 분석을 통해 결과를 도출하는 행위로 육안조사는 연 1회 이상, 공동조사는 5년에 1회 이상을 실시
- (육안조사) 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 간단한 점검기구 등으로 검사하여 지하 시설물 주변지반에 내재되어 있는 위험요인을 조사하는 행위
- (공동조사) 지표투과레이더(GPR) 탐사를 이용하여 지하시설물 및 주변 지반에 대하여 침하 공동 등의 발생 유·무를 파악하는 행위

2) 과제 추진 배경 및 필요성

(1) 추진 배경

□ 도심지에서 빈번하게 발생하고 있는 지반침하로 인해 인명피해와 재산피해를 발생하고 있으며, 이로 인해 국민들의 불안감이 95.2%를 차지할 정도로 매우 높은 상황

○ 최근 5년('19~'23)간 지반침하는 총 957건(연평균 약 191.4건) 발생하였고, 지역별로 경기도(197건), 광주시(122건), 부산시(85건), 서울시(81건) 수순으로 빈번하게 발생

○ '24.8월, 서울시 연희동에서 발생한 지반침하 사고(약 3.2m×5.8m×2.15m)로 차량의 탑승자가 심정지 상태로 구출될 만큼 피해가 상당

- 도로 하부 확인 결과 하수도(D450mm, 폐관), 가스관(D300mm), 상수도(D250mm, 폐관) 등이 존재하나 누수 등 주요 손상은 미발견



* (출처) 중앙일보 "연희동 싱크홀 주변 지하수위 7m 폭 꺼졌다. "시민들 불안"

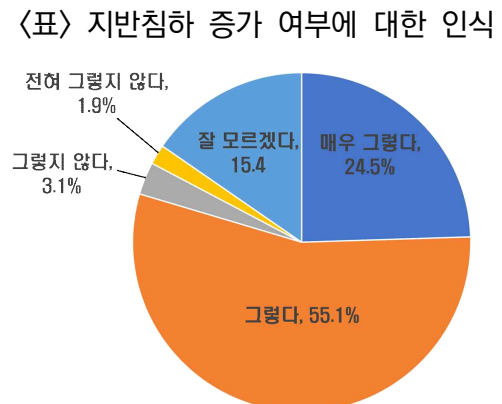
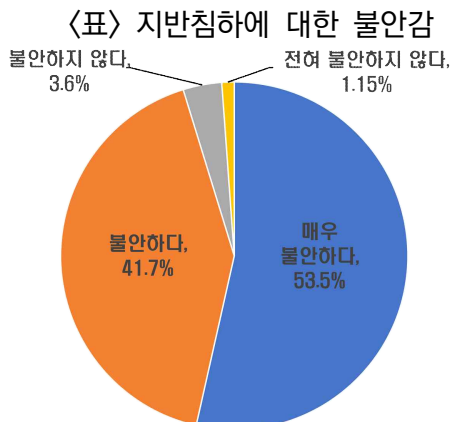
○ '24.9월, 부산시 사상~하단선 지하철 2공구에서 지반침하(약 10m×5m×8m)가 발생하여 차량 2대가 파손

- 특히, 해당 공사 구간에서는 지난해 3건, 올해 8건 등 11건의 크고 작은 지반침하가 발생하여 시민들의 불안감 증가 초래



* (출처) 국제신문, 정부, 부산 사상~하단선 지반침하 특별 점검 착수

○ 경기·서울·인천 등 수도권 주민 1,000명을 대상으로 지반함몰 발생에 대한 인식조사를 실시, 95.2%는 지반함몰에 대해 불안해하고 있으며, 79.6%는 향후 지반함몰이 증가할 것이라고 응답



※ 출처: 경기개발연구원, 도시를 삼키는 싱크홀, 원인과 대책

□ 정부는 지하안전 사고 방지를 위해 「지하안전법」 제정 및 지하안전 로드맵 등 정책을 수립하여 관계부처 및 지자체별 대책 마련을 위한 기반을 조성했으나 실제로는 이를 제대로 활용하지 못하는 상황

- 국토교통부는 지하안전관리 관련 법 제정 및 정책을 수립하여 대책 마련
 - 지반침하, 노후 기반시설로 발생하는 안전사고에 대비하여 ‘지하안전법’, ‘기반시설관리법’ 등 시행
 - 지하안전점검 관계자의 원활한 업무 수행을 지원하기 위한 지하안전점검 표준매뉴얼, 지하안전관리 업무 지침 등의 정책을 수립
- 특히, '24.9월, 잇따라 발생한 지반침하 사고를 계기로 국토부는 관계부처, 지자체, 유관기관, 학계 및 민간전문가로 구성된 “지하안전관리체계 개선 TF”를 구축, 현재 지하안전관리체계의 현황과 문제점을 분석하고 전반적인 개선방안을 도출, 그 결과를 「제2차 국가지하안전관리 기본계획(‘25~’29)」에 반영할 계획

〈표〉 국토부 지반침하 관련 대책

구분	내용	
지반침하 예방대책('14~)	지하공간통합지도	지하시설물 정보, 지하구조물 정보, 지반정보 연계
	지하개발 사전 안정성 분석	특별법 내 지하안전 영향평가 제도로 의무화
	지반침하 취약지역 안전관리계획	특별법 내 지하안전관리계획으로 시행
지하안전관리체계 개선 TF('24.9.)	①고위험지역 중점관리, ②지반탐사 신뢰도 제고, ③지하안전관리체계 정비, ④굴착공사 관리 강화, ⑤지자체 협력·지원 강화 등	

- 서울시 역시 '14년 수립한 “도로함몰 특별관리 대책”을 시작으로 “서울시 지하안전관리 종합 추진계획(‘18.7.)”, 서울시 지하 공동조사 추진계획(‘22.7.)“, ”서울시 지반침하(땅꺼짐) 특별 대책(‘22.12.)“ 등의 다양한 노력을 통해 노후 하수관 관리 강화, 굴착공사장 관리 강화, 지하수관리 강화 등을 마련 추진
- 현재, 전국에 지반침하 위험도평가를 실시했거나 시행 중인 경우는 부산 1건, 경북 포항 2건, 충남 당진 1건 등 4건에 불과하며 중점 관리 대상으로 지정·고지된 지역은 전무

□ 「지하안전법」에 따르면 대부분의 지하안전관리 의무가 기초지자체에 부여되어 있으나 기초지자체의 인력·장비·예산 부족 상황을 지원하고 견인할 수 있는 기술지원이 절실

- 지하개발사업자는 굴착공사 사업의 착공 전에 지하안전평가를 실시하여 승인기관의 검토를 완료하도록 의무화하고 있으나, 오프라인 기반으로 평가서 작성 및 검토기관 검토가 진행되고 있어 착공이 지연될 수 있다는 민원 발생이 빈번
- 또한, 육안조사와 공동조사로 구분되는 지하안전점검은 법령에서 정한 주기에 따라 정기적으로 수행하도록 의무화하고 있으나, 현업에서는 전부 인력에 의존한 조사 및 점검을 수행하고 있어 인적 오류 발생 우려가 있고, 결과 도출까지 장시간 소요되어 긴급한 상황 발생 시 실효성이 떨어진다는 지적 발생

(2) 추진 필요성

□ 지하안전관리의 기초가 되는 지하안전평가는 전부 오프라인(보고서) 중심으로 작성되고 검토되고 있어, 관련 정보의 재활용이 어렵고 작성·검토에 장시간이 소요되는 실정

- 현행 「지하안전법」에 따르면 지하개발사업자가 10m 이상의 굴착공사를 시행하기 전에 지하안전평가를 수행하고 검토기관의 검토를 거쳐 승인기관의 승인을 받도록 규정
 - 그러나, 지하안전평가 검토는 최대 50일이 소요됨에 따라 굴착공사 착공이 지연된다는 민원 발생이 빈번하고, 특히, 보완이 필요한 것으로 검토될 경우 재검토에 또다시 일정 시간이 소요되기 때문에 굴착공사 지연은 불가피
- 또한, 굴착공사를 추진하는 과정에서 당초 검토한 지하안전평가의 조건과 변경된 상황이 발견될 경우, 이를 반영하여 재협의를 하도록 법령에서 규정
 - 이 경우, 진행하던 굴착공사를 중지하고 S/W 안정해석을 통해 지하안전평가서를 재작성하고 재협의를 실시하는데 상당한 시간이 소요되어 공기가 지연된다는 민원이 빈번
- 지하안전평가서는 일종의 설계도서와 그 형식과 내용이 유사하게 작성되도록 표준매뉴얼이 마련되어 있고, 검토기관의 검토를 위해서는 평가서를 전산화하여 JIS(지하안전정보시스템)에 등록하고, 이와 별도로 오프라인의 평가서도 제출
 - 반면 전산화한 자료는 단순히 보고서를 PDF와 같은 이미지로 저장하여 관리하기 때문에 평가서 작성에 활용된 다양한 데이터를 공유하거나 재활용하는데 한계가 존재
 - 특히, 지반침하 사고가 발생하여 긴급하게 현장의 안정성을 검토해야 하는 상황에서 오프라인 중심의 지하안전평가서는 활용성이 떨어져서 작성 및 검토 체계 개선이 필요한 실정

□ 상하수도, 통신, 전력 등 지하시설물 매설 상부 지반에 대해 육안조사(1회/년)와 공동조사(1회/5년)를 정기적으로 실시 중이나, 광역적 분포로 실시간 감시는 한계

- 지반침하 사고를 사전에 예방하기 위해 「지하안전법」에 따라 정기적으로 육안조사와 공동조사를 실시함에 따라 지반침하 사고 발생은 점차 감소하고 있으나, 발생은 여전
- 국내·외에서 지반침하를 사전에 검지(또는 예측)하기 위해 이론적, 실험적으로 다양한 노력을 시도 중이나, 地 공간(지질, 물, 간극 등)이 갖는 불확실성(불균질, 비등방성)으로 인해 지반침하 발생 역학관계를 명확히 규명하는 것은 여전히 난제

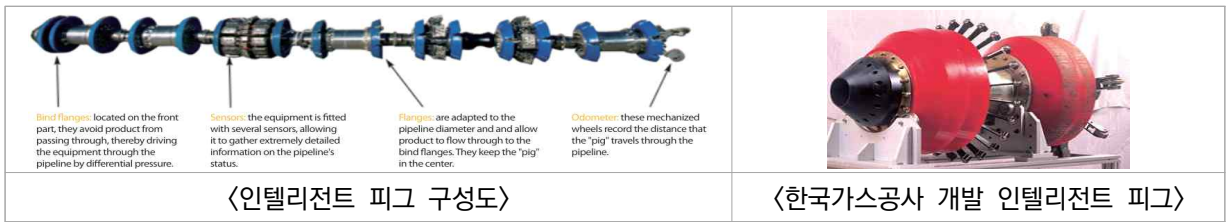
* (지반침하) 지중에 생긴 공간이 그 상부 지반의 지지력을 잃고 꺼지는 현상

- 일반적으로 연약지반의 장기 침하를 파악하기 위해 지표 및 지중에 침하계를 설치하여 종방향의 침하 거동을 측정하고 있고, 서울시에서는 유출지하수관리관측망 정보와 지반 거동 계측기를 연계, 광역적 지반침하 감시를 위한 지반침하 관측망 설치 타당성을 검토하고 있으나 아직 실용화에는 미치지 못한 실정

- 따라서, 지반침하 발생 예측 기술과 연계하여 고위험 구간에 대해 첨단 센서를 활용한 실시간 감시 기술을 개발·활용할 필요성과 사회적 요구가 증가하고 있는 상황



【 CCTV를 이용한 하수관로 내부 점검(예) 】



【 가스관로 내부 점검 활용 장비(예) 】

- 육안 및 공동조사는 전부 인력 중심으로 시행되고 있어 정확하고 신속한 결과 도출에 한계가 있으며, 특히, 도출된 결과의 디지털 정보 구축에 어려움 존재

- 육안조사는 점검자가 도보로 지표면의 습윤 상태, 지반침하 및 손상을 조사하도록 하고 공동조사는 지표투과레이더(GPR, Ground Penetration Radar) 장비로 도로·철도 하부 약 1.5m 이내에 존재하는 공동을 탐사하고 있으나,

* 현재 국내에서 활용 중인 주행형 멀티채널 GPR 장비는 국산 1종, 외산 4종

- 탐사 결과는 전적으로 인력 중심으로 분석되고 있어 분석사별 분석 결과의 신뢰도 차이가 발생할 수 있고, 결과 도출까지도 장시간* 소요

* 일반적으로 100km를 탐사할 경우, 현장 조사는 4MD, 결과 분석은 10MD 소요

- 공동탐사 산업은 전부 중소기업으로 이루어져 있고, 전문기업별로 연간 발주 물량을 나눠서 수주하는 실정으로, 기업은 채용한 전문 분석사를 투입하는 것만으로 수주한 물량의 분석을 충분히 수행할 수 있어 기술개발에 미온적, 역량도 부족

- 또한, 지도학습을 기반으로 개발한 공동 분석 AI 기술은 학습데이터 의존성이 높아 국내 지반·지질 특성을 모두 반영하는데 한계

- 따라서, 공동의 현장조사는 현행을 유지하되, 탐사 결과의 분석 신뢰도 및 업무 효율을 대폭 향상하기 위한 AI 기술 개발 및 실용화가 필요한 시점

※ GPU(Graphics Processing Unit) 1대당 10km/hr 수준 ⇒ 100km를 약 10시간 내 1차 분석

□ 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부 지하 공동조사 방법 부재

- 최근 5년('20~'24)간 지반침하 사고(총 867건)별 원인 조사결과 하수도 등 기존 매설물 손상이 57%(497건)으로 가장 높은 비중을 차지
- 현행 GPR을 활용한 지하 공동탐사 방법으로는 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부의 지반에서 발생한 공동은 확인하지 못하고 있음
- 해외 GPR 장비 중 장심도 탐사가 가능한 장비가 존재하는 것으로 조사되고 있으나, 실제 국내지반을 대상으로 시험해본 결과 2m 이상 탐사 불가
- 또한, 장심도의 경우 측정 가능한 공동의 크기를 제시하고 있지 않아 국내 도심지에서 적용 가능성이 높지 않음

(3) 국고지원의 적절성

□ 「지하안전관리에 관한 특별법」 제13조(지하안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구·개발사업)에 따라 정부 출연금을 활용한 기술개발 추진

- 국토교통부장관은 서울시 연희동, 부산시 사상구 등에서 발생한 지반침하 사고를 계기로 “지하안전관리체계 개선 TF”를 구성하고 전문가 검토를 거쳐 개선방안을 마련
- 특히, TF에서 검토된 다양한 대책은 “제2차 국가지하안전관리 기본계획('25~'29)”에 반영하여 앞으로 5년 동안 지하안전관리 정착을 위해 정책과제로 추진될 예정
- 따라서, 효율적이고 신뢰성을 확보한 지하안전관리가 기초 지자체 중심으로 현장에서 원활하게 작동될 수 있도록 첨단 기술 기반의 기술개발이 병행될 필요

□ 안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가 책임 체제 구축 등 국정과제를 포함해 정부 정책목표를 실현하기 위한 기술개발이 필요

- 지반 안전성에 대한 국민의 관심과 지하시설물과 관련한 안전사고 등이 지속적으로 발생하므로, 안전사회 구현을 위한 정부 정책의 실천 수단으로써 관련한 기술개발이 필요
 - (123대 국정과제) 이재명 정부의 123대 국정 과제 중 본 과제와 연관성이 높은 부문으로 '31. 미래 모빌리티와 K-AI 시티 실현', '72. 국민안전 보장을 위한 재난안전관리체계 확립'으로 정부 연구개발의 강화 필요

〈표〉 본 과제와 관련된 국정과제 계획

국정과제		내용
31	미래 모빌리티와 K-AI 시티 실현	○ (AI 시티 조성) 거주하며 실증하는 AI 특화 시범도시 조성·확산 - (AI 전환 가속화) 디지털 트윈 국토, AI 물류·건축·에너지 등 도시 서비스 제공
72	국민안전 보장을 위한 재난안전관리체계 확립	○ (건설안전 대책강화) 지반탐사·노후 상하수도관 정비 확대 등 싱크홀 방지, 화재안전 성능기반 설계 등 건축물 화재 예방, 건설공사 전 과정 안전대책 마련 등

- (한국판 뉴딜 종합계획) 4대 핵심 인프라*로 선정된 노후 지하공동구의 디지털 관리체계 구축과 지하공간의 안전한 관리를 위해 접목해야 할 디지털 트윈 기술의 구축을 위해 연구개발의 강화가 필요
 - * 4대 핵심 인프라: 차세대 지능형 교통시스템(C-ITS), 노후지하공동구 관리체계, 홍수관리시스템, 재난대응 조기 경보시스템
- (인공지능 국가전략) SOC 안전 확보 부문에서 지하공동구와 상하수도 시설물의 안전관리를 위해 AI 기술을 도입하여 공공부문의 주도로 맞춤형 및 지능형 공공서비스를 제공하기 위한 연구개발의 강화가 필요

□ 지하공간 정보는 국가 및 공공기관에서 데이터를 수집 제공하며 관리하므로, 민간에서의 활용과 접근이 어려워 정부 주도의 기술개발이 필요

- (지반정보 관리) 주요 부처에서는 표준화된 지반정보를 제공하기 위해 지속적으로 기술 개발 추진 중이며, 지반조사 결과를 바탕으로 효율적인 갱신과 활용을 목표
- 국토교통부에서는 국토지반 정보 통합DB센터를 운영하며 국토교통부 산하기관 및 지자체, 시민, 기업 등에게 정보를 제공하고 지반조사에 대한 가이드라인을 제시해 지반정보를 표준화하여 정확도 높은 지반정보를 수집·관리·활용 가능



[그림] 지반정보의 수집·관리·활용을 지원하는 국토지반정보 통합DB센터

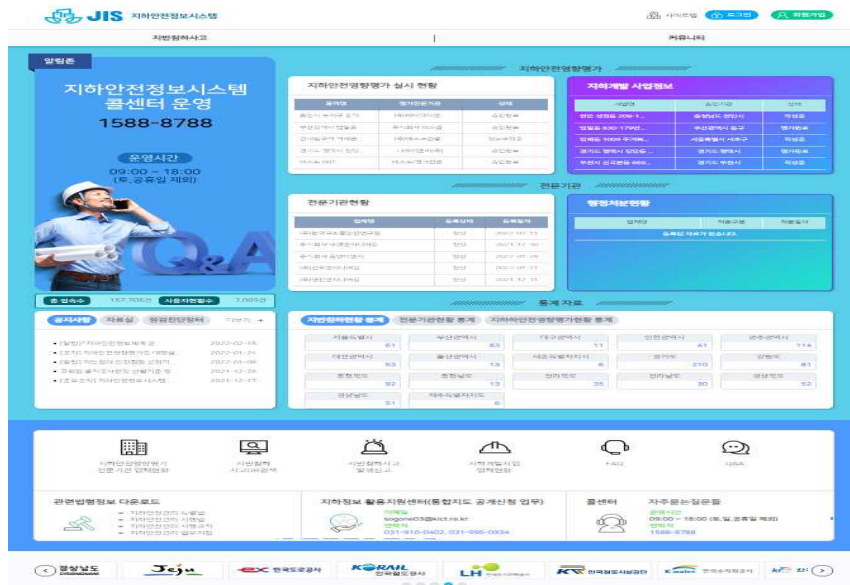
○ (지하구조물 안전관리) 국토교통부는 지하공간 통합지도 활용을 지원하고, 지하안전 정보시스템과 지하시설물 통합관리시스템, 지하공간 통합지도 구축사업을 통해 지하 구조물을 관리하는 중

- 지반침하 안전사고를 예방하고 지하공간의 안전한 개발과 이용을 지원하기 위해 지하안전 정보시스템을 운영 중

- 지하시설물 통합관리시스템을 통해 시군구의 6종 지하시설물*의 속성 및 공간자료를 통합 관리하며, 지하공간 통합지도 구축사업을 실시해 지하 정보의 속성 및 공간자료(3차원)를 구축하고 통합 관리하는 중

* 6종 지하시설물: 상수도, 하수도, 통신, 난방, 전력, 가스

※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020.8), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업



[그림] 지하안전평가 관리를 지원하는 지하안전정보시스템

○ 지반과 지하시설물을 관리하는 공공기관*이 상이하여 제대로 된 정보 파악이 어려우며, 국가 보안성이 높은 영역에 해당하여 민간에서 관련 데이터를 직접 활용하기 어려운 상황

- 제1차 지하안전관리 기본계획('20~'24) 수립을 통해 부처별로 관리 중인 개별 시설물의 정보 통합·연계 필요성이 제시될 정도로 지하안전정보의 정확도가 요구되는 상황

* 각 지하시설물 담당 부처: 국토교통부- 공동구 / 산업통상자원부- 송전선로·가스·송유관·열수송관·운수관 / 환경부- 상수도·하수도 / 과학기술정보통신부- 통신구 등

※ 출처: 한국건설신문(2019.10), 시도 때도 없는 '지반침하 사고' 1주일에 4건씩 사고 발생

- 전력, 통신, 상수도, 냉·난방관 등 지하 매설물을 공동 수용할 수 있는 도시기반시설인 지하공동구는 국가 중요·보안시설에 해당

※ 출처: 굿뉴스365(2020.11), 세종시설공단, 지하공동구 방호·보안 관리 우수 감사장 받아

- 민간에서는 지하시설물 탐사 장비와 안전관리 기술을 개발하고 활용하는 기업들은 다수 존재하나, 보안성이 높은 지하 데이터를 활용한 서비스 제공도 어려운 실정

〈표〉 국내 지하매설물 탐사 장비 및 안전관리 기술개발 기업

구분	기업명	장비 및 기술	장비 및 기술 내용	주요 활동 내용
탐사장비	이성	차량형 다채널 GPR 장비	2m 폭의 도로에서 총 16개의 채널이 넘는 신호 처리하는 국산화 장비 개발	- '18년 폭발물 탐지/제거 로봇 탐색 개발 - 지하공동 형상화 기술의 고도화 기술 개발 등
		휴대용 GPR 탐사 장비	차량형 장비가 진입하기 어려운 인도, 좁은 도로에서 탐사 작업 진행이 가능한 장비	
	셀파 이엔씨(주)	차량형 3D GPR 탐사시스템	시속 60km로 최대 5m 깊이 지하 시설물 정보 정밀 탐사 시스템	- 차량형 3D GPR 탐사 시스템 개발 중 - 지하시설물 탐사장비 성능 평가 테스트베드 개발 중
	(주)지오메카 이엔지	IPF-GRED	GPR 탐사에서 획득한 자료 중 공동 반응을 단시간에 빠르게 분석 가능 하며, 반응의 연속성과 매설물 지도 등을 검토해 공동이 아닌 반응은 제외시키는 추가 검증을 수행하는 공동 자동분석 기술	- 차량형 대규모 3D GPR 및 다중채널 핸디형 GPR, 전자유도 관로탐사장비 등으로 전국 지자체의 도로 합몰 예방 탐사 사업 수행 중
	연테크	고압선 전원추적 전류 임펄스 탐사기술	지중 전력선의 설치정보 탐사 및 저압선과 고압선의 설치정보의 정확한 파악이 가능한 장비 기술	- 대용량 전력소자를 사용한 안정된 고압선 탐사기술 개발 및 국내 특허와 해외 6개국 특허 출원 중 - '20년 지중 전력선 탐사 장비 개발
안전관리 시스템	코워드윈	싱크트리 시스템	싱크볼을 관 이음부에 설치하여 누수로 인해 발생하는 동공을 감지 및 싱크 트리 시스템을 통해 관리자에게 알려 싱크홀을 예방하는 안전관리 기술	- '17년 싱크홀을 예방하는 AR기술을 접목한 싱크트리 시스템 개발 사업 착수

※ 출처: 전자신문(2017.11), 이성, 다채널 GPR 탐사장비 개발.. 해외 의존하던 장비 분야 국산화, 건설기술뉴스(2021.12), 주행속도 시속 60km로 지하 5m 깊이까지 '정밀 탐사' 기능, 공학저널(2020.4), 매일건설신문(2020.8), 기술과 경험으로 무장한 'GPR 강자', 연테크(2020.10.), "디지털 페이스 매핑" 기술로 터널 개량 안전 확보",

- 재난 및 재해로부터 국민의 안전을 위해 예방하고 보호하는 것은 국가의 의무에 해당
- 지반침하 사고를 포함한 재난 및 재해에서 국민을 보호하고 지키는 것은 헌법을 포함하여 법령에 지정된 국가의 의무사항

참고

국가의 재난·재해로부터의 국민 보호 의무 규정법

- 헌법
 - 제34조 제6항: 국가는 재해를 예방하고 그 위험으로부터 국민을 보호하기 위하여 노력하여야 한다.
- 재난 및 안전관리 기본법
 - 제2조(기본이념): 이 법은 재난을 예방하고 재난이 발생한 경우 그 피해를 최소화하는 것이 국가와 지방자치단체의 기본적 의무임을 확인하고, 모든 국민과 국가·지방자치단체가 국민의 생명 및 신체의 안전과 재산보호에 관련된 행위를 할 때에는 안전을 우선적으로 고려함으로써 국민이 재난으로부터 안전한 사회에서 생활할 수 있도록 함을 기본이념으로 한다.
 - 제4조(국가 등의 책무) 제1항: 국가와 지방자치단체는 재난이나 그 밖의 각종 사고로부터 국민의 생명·신체 및 재산을 보호할 책무를 지고, 재난이나 그 밖의 각종 사고를 예방하고 피해를 줄이기 위하여 노력하여야 하며, 발생한 피해를 신속히 대응·복구하기 위한 계획을 수립·시행하여야 한다.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

1) 과제 추진 근거

(1) 법적 근거

□ 본 과제는 「과학기술기본법」, 「지하안전관리에 관한 특별법」, 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 등에 법적 근거를 두고 추진

〈표〉 지하공간 안전 솔루션 개발 사업의 법적 지원 근거

근거 법률	내용	소관부처
과학기술기본법 [2021.10.21. 시행]	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제1조(목적) - 이 법은 과학기술발전을 위한 기반을 조성하여 과학기술을 혁신하고 국가경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 나아가 국민의 삶의 질을 높이고 인류사회의 발전에 이바지함을 목적으로 한다. ○ 제11조(국가연구개발사업의 추진) 1항 - 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 말은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다. 	과학기술 정보통신부
지하안전관리에 관한 특별법 [2022.01.28. 시행]	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제1조(목적) - 이 법은 지하를 안전하게 개발하고 이용하기 위한 안전관리체계를 확립함으로써 지반침하로 인한 위해(危害)를 방지하고 공공의 안전을 확보함을 목적으로 한다. ○ 제3조(국가 등의 책무) 1항 - 국가 및 지방자치단체는 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위하여 지반침하 예방 및 지하안전관리에 관한 종합적인 시책을 수립·시행하여야 한다. ○ 제13조(지하안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구·개발사업) 1항 - 국토교통부장관은 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 지하안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구·개발사업을 할 수 있다. 	국토교통부
시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 [2021.09.17. 시행]	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제1조 (목적) - 이 법은 시설물의 안전점검과 적절한 유지관리를 통하여 재해와 재난을 예방하고 시설물의 효용을 증진시킴으로써 공중(公衆)의 안전을 확보하고 나아가 국민의 복리증진에 기여함을 목적으로 한다. ○ 제3조(국가 등의 책무) - 국가 및 지방자치단체는 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위하여 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 종합적인 시책을 수립·시행하여야 한다. - 관리주체는 시설물의 안전을 확보하고 지속적인 이용을 도모하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다. - 모든 국민은 국가 및 지방자치단체, 관리주체가 수행하는 시설물의 안전 및 유지관리 활동에 적극 협조하여야 한다. ○ 제11조(안전점검의 실시) 1항 - 관리주체는 소관 시설물의 안전과 기능을 유지하기 위하여 정기적으로 안전점검을 실시하여야 한다. 다만, 제6조 제1항 단서에 해당하는 시설물의 경우에는 시장·군수·구청장이 안전점검을 실시하여야 한다. ○ 제12조(정밀안전진단의 실시) 1항 - 관리주체는 제1종시설물에 대하여 정기적으로 정밀안전진단을 실시하여야 한다. 	국토교통부

근거 법률	내용	소관부처
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제13조(긴급안전점검의 실시) 1항 <ul style="list-style-type: none"> - 관리주체는 시설물의 붕괴·전도 등이 발생할 위험이 있다고 판단하는 경우 긴급안전점검을 실시하여야 한다. ○ 제15조(지방자치단체에 대한 지원) <ul style="list-style-type: none"> - 국가는 제3종시설물의 지정과 안전점검등에 필요한 지원을 할 수 있다. 	
<p>지속가능한 기반시설 관리 기본법 [2022.12.08. 시행]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제1조(목적) <ul style="list-style-type: none"> - 이 법은 기반시설의 체계적인 유지관리와 성능개선을 통하여 국민이 보다 안전하고 편리하게 기반시설을 활용할 수 있도록 하고, 나아가 국가경제 발전에 기여함을 목적으로 한다. ○ 제3조(기본원칙) <ul style="list-style-type: none"> - 관리주체는 다음 각 호의 기본원칙에 따라 기반시설을 관리하여야 한다. <ol style="list-style-type: none"> ① 관리주체는 기반시설의 안전성, 사용성, 내구성 등을 종합적으로 고려하여 선제적으로 관리함으로써 노후화에 따른 생애주기비용을 최소화한다. ② 국가 및 지방자치단체는 유지관리와 성능개선에 필요한 기술개발을 촉진하고 관련 산업을 진흥하여 새로운 일자리를 창출한다. ○ 제4조(적용대상) <ul style="list-style-type: none"> - 이 법의 적용대상은 다음 각 호의 요건을 모두 충족하는 기반시설로 한다. <ol style="list-style-type: none"> ① 관리주체가 관리하는 기반시설 ② 체계적인 관리와 예산의 지원이 필요한 기반시설 - 제1항에 따른 기반시설의 종류, 범위에 관한 구체적인 사항은 대통령령으로 정한다. ○ 제5조(국가 등의 책무) <ul style="list-style-type: none"> - 국가와 지방자치단체는 국민의 안전하고 편리한 기반시설 이용을 도모하기 위하여 필요한 종합적인 시책을 수립·시행하여야 한다. - 국가와 지방자치단체는 기반시설의 유지관리와 성능개선에 필요한 예산을 확보하고, 중기재정계획에 반영하여야 한다. - 관리주체는 국가와 지방자치단체의 시책에 적극 협력하여야 하며 기반시설의 유지관리와 성능개선에 필요한 재원을 마련하여야 한다. ○ 제17조(연구개발의 촉진 등) <ul style="list-style-type: none"> - 국토교통부장관은 기반시설의 유지관리 및 성능개선에 필요한 연구 및 기술개발(이하 “연구개발사업”이라 한다)과 전문인력 양성 등을 위하여 다음 각 호의 사업을 추진할 수 있다. <ol style="list-style-type: none"> ① 기반시설의 유지관리 및 성능개선 관련 기술개발 ② 기반시설 조사·진단 장비의 개발 및 보급 (중략) - 국토교통부장관은 연구개발사업을 하는 데에 드는 비용의 전부 또는 일부를 예산의 범위에서 출연 또는 보조할 수 있다. 	<p>국토교통부</p>
<p>국토교통과학기술 육성법 [2018.01.18. 시행]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제1조(목적) <ul style="list-style-type: none"> - 이 법은 국토교통과학기술 육성을 위한 기반을 조성하여 산업의 경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 지속적인 발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 한다. ○ 제4조(종합계획의 수립·시행) 1항 <ul style="list-style-type: none"> - 국토교통부장관은 국토교통과학기술의 효율적·체계적 육성을 위하여 10년 단위의 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(이하 “종합계획”이라 한다)을 5년마다 수립·시행하여야 한다. ○ 제8조(연구개발사업의 추진) 1항 <ul style="list-style-type: none"> - 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업(이하 “연구개발사업”이라 한다)을 할 수 있다. 	<p>국토교통부</p>

(2) 국정과제 근거

- 본 과제는 「이재명 정부의 123대 국정과제」 중 ‘31. 미래 모빌리티와 K-AI 시티 실현’, ‘72. 국민안전 보장을 위한 재난안전관리체계 확립’에 해당

〈표〉 본 과제 관련 국정운영 5개년 계획

국정과제		내용
31	미래 모빌리티와 K-AI 시티 실현	○ (AI 시티 조성) 거주하며 실증하는 AI 특화 시범도시 조성·확산 - (AI 전환 가속화) 디지털 트윈 국토, AI 물류·건축·에너지 등 도시 서비스 제공
72	국민안전 보장을 위한 재난안전관리체계 확립	○ (건설안전 대책강화) 지반탐사·노후 상하수도관 정비 확대 등 싱크홀 방지, 화재안전 성능기반 설계 등 건축물 화재 예방, 건설공사 전 과정 안전대책 마련 등

(3) 국가 계획 근거

- 「제5차 과학기술기본계획», 「데이터 산업 활성화 전략」 등의 계획에 지원 근거를 두고 있으며, 각 계획에 제시된 과제에 따라 본 과제를 추진

〈표〉 국가계획 및 주요내용

계획명	주요내용	소관부처
제1차 국가전략기술 육성 기본계획 ('23~'27)	○ (추격·경쟁 분야) 연구생태계 조성·조기상용화 지원 - (연구인프라 확충) 디지털·AI 전환이 본격 적용되는 분야로, 대학·연구기관 시뮬레이션 자원 공유, 바이오파우드리 구축 등 인프라 대대적 확충 - (조기상용화 지원) 로봇테스트필드 등 초기제품 실증지원을 강화하고, 딥테크 창업·금융·혁신조달 등 조기상용화 마중물 역할 수행 ※ 본 연구과제는 12대 국가전략기술 중 '인공지능'과 관련성이 높음	관계부처 합동
제5차 과학기술기본계획 ('23~'27)	○ 3대 추진전략을 통해 과학기술이 선도하는 담대한 미래를 비전으로 제시 - (전략 3) 과학기술을 기반으로 국가가 당면한 현안을 해결하고 미래 이슈에 대한 선제적 대응을 목표로하며 미래위험 대응 및 안전사회 구현을 제시 - 재난관리 책임기관별 분산된 데이터를 통합, 데이터 기반 재난관리 체계 구축을 위해 재난안전 데이터 공유 플랫폼 운영을 제시 - 데이터 확보를 위한 첨단 재난기술 개발 지원 및 인프라 확대를 제시 - 가상과 현실의 초연결에 기반한 사이버물리시스템(Cyber Physical System)상 위험·재난·범죄 대응 역량 강화	과학기술정보통신부

계획명	주요내용	소관부처
데이터 산업 활성화 전략 ('18)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (전략 2) 4차 산업혁명의 데이터를 구축하여 분석 및 활용하는 등 실제 데이터를 기반한 영역별 국가 빅데이터 지원체계를 마련할 것을 제시 - 긴급구조, 노후 건물 붕괴 등의 재난 시 신속 대응 및 예방의 강화를 위해 빅데이터를 기반한 실시간 모니터링, 사전 예측, 조기 대응 등의 빅데이터 플래그십 프로젝트 투자를 대폭 확대 	관계부처 합동
인공지능 국가전략 ('19)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (분야 1, 2) '세계를 선도하는 인공지능 생태계 구축'과 'AI를 가장 잘 활용하는 나라'에서 AI 인프라 확충과 전 산업 AI 도입을 제시 - 신산업 분야 AI 활용 활성화를 위한 공공데이터를 적극 발굴·개발 추진 - AI·5G 융합을 통한 지하 공동구, 상하수도 등의 시설물 안전관리를 추진과제로 제시 	관계부처 합동
한국판 뉴딜 종합계획 1.0 ('20~'25)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (전략 1) 디지털 뉴딜 전략 내 1. D.N.A. 생태계 강화, 4. SOC 디지털화 분야에서 ICT 기술과 SOC 핵심 인프라의 디지털화를 제시 - 시장 창출의 촉진을 위해 산업현장에 5G·AI 기술을 접목하는 융합프로젝트를 추진하여 확산 - 정밀도로지도, 지하구조물 3D 통합지도, 지하공동구 계측기 설치 등 핵심 인프라 디지털 관리체계의 구축 	관계부처 합동
엔지니어링산업 혁신전략 ('20)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (전략 2) AI 기반 디지털 엔지니어링 구현 - 디지털 엔지니어링으로의 전환 및 수출 경쟁력 제고를 목표로 AI 기반 디지털 엔지니어링을 구현(디지털 엔지니어링 기반 구축, 엔지니어링 지능화)을 통한 업계의 디지털화, 지능화를 위한 추진 동력을 마련 	관계부처 합동
디지털트윈 활성화 전략 ('21)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (전략 1) 산업성장기반 조성 - 폭넓은 활용기반을 조성하기 위해 공공·민간의 공통 수요 3D 객체 구축을 지우너하고, 이를 오픈 플랫폼으로 확산 - 시나리오형 모의실험이 가능한 시뮬레이션 SaaS의 개발·실증 지원을 통해 디지털트윈의 개발기반 강화 및 판로 개척 - 전 국토의 고품질 3차원 공간정보를 구축하여 디지털트윈 공통 활용기반을 조성하고 표준 행정모델의 구축 및 확산 	관계부처 합동

(4) 부처계획 근거

- 국토교통부에서 발표한 「제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획」, 「제7차 건설기술진흥 기본계획」, 「제2차 국가지하안전관리 기본계획」 등과 연계하여 본 과제를 추진
- '제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('23~'32)'에서 '지속가능한 국토교통 기반

시설 고도화'와 연계

- '제7차 건설기술진흥기본계획('23~'27)'에서 '국민이 안심할 수 있는 건설공사·시설물 안전 확보'와 연계, 특히, 견고한 지하안전망 구축 과제를 포함
- '제2차 국가지하안전관리 기본계획('25~'29)', '제5차 시설물의 안전 및 유지관리 기본 계획('23~'27)', '스마트 건설기술 로드맵('18)'의 유지관리 단계 등과 연계

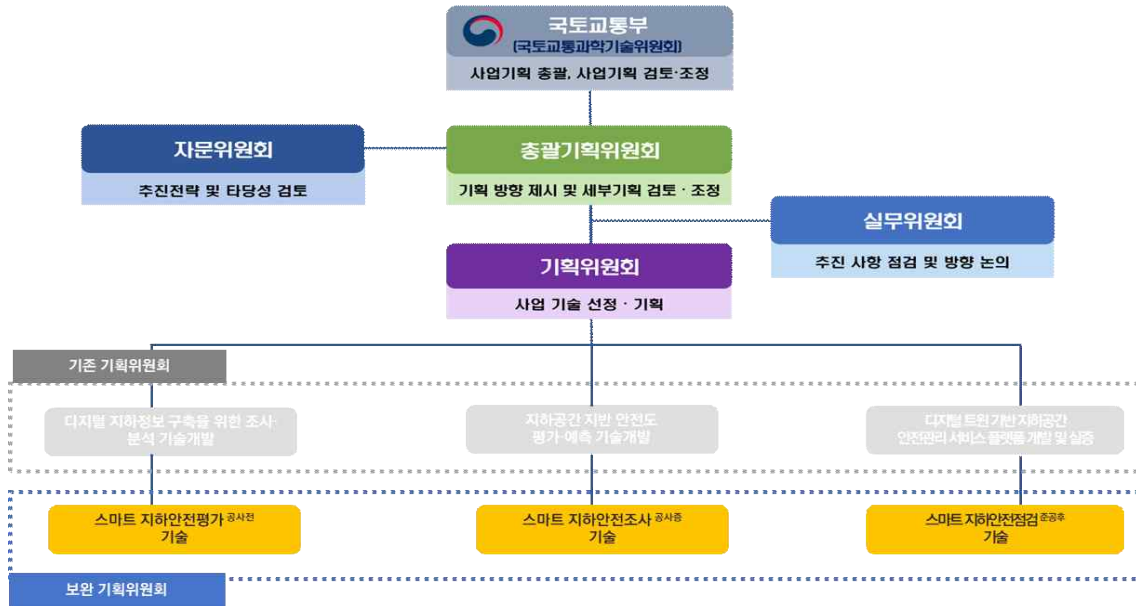
〈표〉 부처계획 및 주요내용

계획명	주요내용	소관부처
제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 ('23~'32)	<ul style="list-style-type: none"> ○ '추진전략 3 : 지속가능한 국토교통 기반시설 고도화'에서 고효율 스마트 재료 및 SOC안전·신속회복 관련 기술 개발 과제 제시 - (SOC안전·신속회복) 시설물의 평가예측 등 첨단기술 기반 효율적 유지관리성능 개선을 통해 SOC신뢰성 회복, 회복성 확보 	국토교통부
제2차 국가지하안전관리 기본계획 ('25~'29)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (전략3) 스마트 지하안전관리를 위한 기술 고도화 - 지하안전 연구개발(R&D) 확대 및 혁신 지원 : R&D 투자 확대, 기술혁신 지원, 지속적 기술 발굴 - AI 기술 기반 지하안전관리 혁신기술 확보 : 공동 분석 AI, AI 활용 육안조사, 지하안전평가 디지털 전환 	국토교통부
제7차 건설기술진흥기본계획 ('23~'27)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (추진과제 3) 국민이 안심할 수 있는 건설공사·시설물 안전 확보를 추진방향 제시 - 시설물 안전·성능 확보 및 유지보수 산업 육성 추진과제를 제시하고 노후화, 기후변화 등에 대비한 선제적 관리체계 구축, 첨단 기술(로봇·드론, IoT 등) 확산을 위해 시범사업 (기반시설 첨단관리 R&D 등)을 실시를 추진 - 지하시설물 관리 강화, 지하개발시 안전관리 철저, 지하정보 연계 강화 강화를 위해 지반침하(싱크홀) 예방 등 빈틈없는 지하안전망 구축을 제시 	국토교통부
스마트 건설기술 로드맵 ('18)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트 건설기술 육성을 통해 글로벌 건설시장 선도를 목표로 설계-시공-유지관리의 세 단계별 '25, '30년 기술개발 발전 목표 제시 - 유지관리 단계에서 '25년 빅데이터와 AI 기반 예측형 유지관리 기술의 개발을, '30년 디지털 트윈 기반 스마트 시설물 유지관리 기술의 개발을 추진 목표로 제시 	국토교통부
건설산업 혁신방안 ('18)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 4대 혁신방안의 하나인 '기술 혁신'에서 R&D 강화, 스마트 인프라 등 기술로 승부하는 건설시장의 확대를 통해 혁신친화적 산업으로의 전환을 제시 - (과제 1) IoT, 빅데이터를 기반한 최적의 유지보수 기술의 개발을 제시 - 시설물의 내부손상을 탐지하고, 수명을 자동으로 예측하는 기술을 포함한 첨단 건설기술 개발에 '27년까지 약 1조 원의 투자를 제시 	관계부처 합동

계획명	주요내용	소관부처
제1차 기반시설관리 기본계획 ('20~'25)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세계 일류의 기반시설 관리로 강한 경제, 고품격 생활안전 실현을 비전으로 제시하며, 기반시설 지속 가능성을 확보를 위한 스마트 유지관리 기반 구축을 미션으로 제시 - (과제 2) 자연재해 등으로 인한 땅 꺼짐 대비 안전 점검 신기술의 반영과 공동구의 재난 대응을 위한 스마트 기술을 적용하는 방안 마련, 지하공간 통합관리시스템의 고도화 등의 내용 포함 - (과제 3) 지하시설물 및 지상시설물을 아우르는 안전 모니터링, 진단, 성능해석 및 평가, 예측, 장수명화 기술의 고도화와 디지털 트윈 등 첨단기술을 활용한 지능형 안전관리 시스템의 개발 및 보급 내용을 제시 	국토교통부
지속가능한 기반시설 안전강화 종합대책 ('19)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기반시설의 안전하고 지속 가능한 관리를 실현하기 위한 4대 추진전략 중 - (전략 4) '안전하고 스마트한 관리 체계 구축'에서 빅데이터·3D 지하시도·미래 기술 등을 활용한 관리체계의 구축을 제시 - 15종 기반시설의 제원과 노후도, 점검·보수보강 이력 등을 빅데이터로 구축 및 빅데이터 분석을 통해 취약지역·시설요소를 과학적으로 규명할 것을 추진 - 도로 점용허가로 지하시설물 설치 시 준공도면이 지하공간 통합 지도에 연계되도록 체계를 개선할 것을 추진 	관계부처 합동
제5차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획 ('23~'27)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설물이 안전하게 유지관리 될 수 있도록 하기 위해 사각지대 없는 시설물 디지털 안전관리 구현을 비전으로 제시 - (기술) 스마트 안전진단, BIM 활용 지원, 원격 계측·관리, 시설 안전 빅데이터 활용 등 첨단기술 도입 및 효율화를 제시 - 안전진단을 첨단기술 중심으로 전환할 수 있도록 제도를 정비하고, 면밀한 관리가 필요한 주요 시설물은 상시 모니터링을 위해 IoT 센서 등을 활용한 원격 관리체계 확산을 제시 - 시설물에 대한 설계·시공·유지관리 정보가 담긴 BIM 데이터를 활용하여 주요 시설물에 대한 관리 효율화·과학화를 제시하고 안전진단 자동화, DB를 이용한 시설물 수명·사고 예측 등 공공분야의 지원이 필요한 핵심분야를 발굴하여 국가R&D 추진을 제시 	국토교통부

2) 과제 기획의 추진체계 및 경과

(1) 기획 추진체계



- (국토교통부) 주관부처로서 스마트 지하안전관리 기술개발 과제에 대한 상세기획 총괄
- (총괄기획위원회) 건설 분야에서 스마트 지하안전관리 기술개발 과제에 대해 거시적 관점에서 기획 방향을 제시하고, 세부계획 결과(안) 검토·조정
- (자문위원회) 산·학·연의 지반공학, 기반시설, 지하개발 등 관련 분야 전문가를 중심으로 추진전략, 타당성 등을 검토
 - 사업의 객관성 확보, 사업 성과물의 확산 시 문제점·이슈 사항 등 논의
- (실무위원회) 관계기관(국토부, 진흥원, 기획연구 수행기관 등) 중심으로 구성되며, 추진사항 점검 및 방향 논의 등 실무에 대한 의사결정
 - 지하공간에서의 위험을 예측하고 안전한 도시 구현을 위한 스마트 지하안전관리 기술개발의 상세 기획의 원활한 추진을 위하여 기획 참여 주체 간 역할분담
 - 기획업무의 진도관리, 추진방향의 논의 및 신속한 의사결정 지원 등 사업기획 실무에 대한 관리·조정
- (기획위원회) 사업에 대해 기술적 관점에서 전문적으로 기술을 선정·기획
 - (구성) 「스마트 지하안전관리 기술개발」의 기획위원회로 구성
 - (기획위원장) 기획위원회 총괄관리자로서, 위원 간 조정·중재를 통해 의견 합치를 유도하고, 총괄기획위원회의 위원으로 참여하여 기획위원회의 도출 결과를 보고하는 한편, 기획방침·작성기한 등을 준수할 수 있도록 기획위원회에 대한 관리 감독 수행
 - (간사위원) 기획위원장을 도와 기획위원회의 전반적인 운영을 지원하여, 사업 전체적인 방향에서 합리적인 국산 기술 개발사업의 상세기획이 마련될 수 있도록 유도

- 구성기술별 담당 기획위원으로부터 작성 내용을 수신받아 종합적 검토 및 핵심기술 단위 기술 기획을 완성
 - (기획위원) 핵심·구성과제(기술)의 평가의견 제시·논의를 통한 선정지원, 역할 분담에 따른 기술별 상세기획 내용 작성 및 사업 내 작성 기술의 검토의견 제시
- (운영) 「스마트 지하안전관리 기술개발」의 사업별 기획위원회를 구성하여, 중점적으로 추진 되어야 하는 핵심·구성기술을 선정하고, 이에 대한 세부 계획(안)을 마련
 - (핵심·구성기술 후보 도출) 지하안전의 안전한 도시구현을 위한 입체적 지하안전 관리 기술 관련 주요 동향 분석 및 성과 분석 결과, 기술수요조사 결과 등에 따른 세부기술별 핵심기술과 그에 따른 구성기술 후보 도출
 - (핵심·구성기술 선정) 도출된 세부기술별 핵심기술에 대한 기술수요기관의 주요 이슈, 기존 기술과의 중복성, 기술의 실현가능성, 기술개발 목표의 적합성, 정부투자의 적정성, 기술의 경제성 등을 검토하여 핵심기술 및 구성기술 선정
 - (전문적 기획 수행) 추진 과제(기술)에 대한 전문적 지식을 바탕으로 사업별 세부과제 및 핵심기술의 개발 상세 기획내용(목표, 연차별 연구내용, 소요 기간 및 예산, 최종 성과물, 활용 방안, 기대효과, 성과지표 등) 작성
- (보완 기획) 기획위원회 운영을 통해 선정된 핵심·구성과제(기술)의 상세기획 내용에 대해 대내외 환경 변화를 반영하여 수정 기획 수행

□ 기존 기획위원회 명단

기술영역	연번	성명	소속	구분	전문분야
1. 디지털 지하 정보 구축을 위한 조사·분석 기술 개발 (13명)	1	강재모 (간사위원)	한국건설기술연구원	연	토질, 지하안전
	2	김홍균	국토안전관리원	산	지반공학
	3	정인수	한국건설기술연구원	연	정보가시화
	4	김정환	서울기술연구원	연	시설물 안전관리
	5	이재환	서울기술연구원	연	지반공학
	6	곽창원	인하공업전문대학	학	지반공학
	7	고준영	충남대학교	학	지반공학
	8	박희문	한국건설기술연구원	연	도로, 지반
	9	김정훈	연세대학교	학	센서, 모니터링
	10	곽성환	서울시설공단 도로관리처	산	지반시설
	11	김정렬	인하대학교	학	건설관리, 토목공학
	12	오태민	부산대학교	학	물리탐사
	13	황영철	상지대학교	학	지반공학

기술영역	연번	성명	소속	구분	전문분야
2. 지하공간 지반 안전도 평가·예측 기술 개발 (12명)	14	김동규	한국건설기술연구원	연	지하, 지하개발
	15	반호기 (간사위원)	강원대학교	학	지반/지하안전해석
	16	박태일	한국건설기술연구원	연	자산관리, 위험평가
	17	곽동구	케이씨엠시	산	시스템, 디지털트윈
	18	송기일	인하대학교	학	지반공학
	19	공명식	한국건설기술연구원	연	상수도, 난방관
	20	김범주	동국대학교	학	상수도, 지반
	21	이종근	국토안전관리원	산	지반공학, 토질,
	22	안재욱	국토안전관리원	산	지반 시스템
	23	이승태	군산대학교	학	지하구조물 유지관리
	24	김윤옥	(주)한올이엔씨	산	딥러닝
	25	김병민	울산과학기술원	학	지반공학
3. 디지털트윈 기반 지하공간 안전관리 플랫폼 개발 및 실증 (7명)	26	김용수 (기획위원장)	(주)씨스텍	산	지반공학
	27	이주현	서울시설공단 기술혁신센터	산	지반공학
	28	김현기	한국철도기술연구원	연	지하구조물, 철도
	29	백용	한국건설기술연구원	연	지반연구본부
	30	유훈	국토안전관리원	산	구조 및 건설재료
	31	유찬호	(주)아신씨엔티	산	계측, 모니터링, IoT
	32	이효범	한국철도기술연구원	연	지하구조물, 철도

□ 보완 기획위원회 명단

기술영역	연번	성명	소속	구분	전문분야
기존 기획위원회 상세기획 내용에 대한 수정 기획 (6명)	33	김용수	(주)씨스텍	산	지반공학
	34	이종영	중앙대학교	학	지반공학
	35	이종재	세종대학교	학	동역학, 스마트구조
	36	김현기	한국철도기술연구원	연	지하구조물, 철도
	37	김정환	서울기술연구원	연	시설물 안전관리
	38	강재모	한국건설기술연구원	연	토질, 지하안전

기술영역	연번	성명	소속	구분	전문분야
GPR 탐사 심도 향상 (12명)	39	김용수	(주)씨스텍	산	지반공학
	40	강재모	한국건설기술연구원	연	토질, 지하안전
	41	이동권	보민글로벌	산	GPR 탐사
	42	오영철	셀파이엔씨	산	GPR 탐사
	43	김현욱	아이리스테크놀로지	산	GPR 탐사
	44	유영철	코탐	산	GPR 탐사
	45	김상욱	이성	산	GPR 장비 설계·제작
	46	김기주	비어스	산	GPR 탐사
	47	박민철	서울연구원	연	지반공학
	48	박삼규	한국지질자원연구원	연	지반공학
	49	용환호	한국노어촌공사 농어촌연구원	연	GPR 탐사
	50	김홍균	국토안전관리원	공	지반공학

(2) 기획 추진경과

○ 착수 회의(1회)

날짜	회의명	내용
'21.9.28.	사전 기획연구 착수회의	예타사업의 AI 기술 적용 분야에 대한 논의 및 소액사업의 수혜자(활용) 관점에서 조사·분석을 통해 데이터 표준화 방안 및 연구 범위 명확화 필요

○ 기획위원회(2회)

날짜	회의명	내용
'21.10.28.	제1차 기획위원회	중점분야 및 핵심기술, 구성기술에 대해 기술적 관점에서 타당성을 검토하여 기술체계(안) 마련 및 기존 기술과의 중복성, 기술개발 가능성 논의
'21.12.14	제2차 기획위원회	당초대비 변경된 기술체계(안)에 대한 적정성 검토·확정 및 향후 추진계획 (기술분과위원회 구성방안, 기술수요조사 추진일정 등) 논의

○ 총괄위원회(1회)

날짜	회의명	내용
'22.07.27	제1차 총괄위원회	본사업의 추진을 위해 대표성과물을 중심으로 핵심기술별 보완작업 논의

○ 핵심기술별 분과위원회 (10회)

날짜	회의명	내용
'22.03.21.	1핵심 기술개발 가능성 논의	1핵심기술에서 제시한 기술개발 내용의 적합성 및 기술구현의 가능성 논의
'22.04.19.	1핵심 기술체계(안) 조정	기술체계(안) 조정, 핵심기술을 통한 대상시설물 선정, 대표성과물 제시
'22.04.20.	1핵심 기술체계(안) 조정	기술체계(안) 재조정 및 확정, 대표성과물을 통한 실증방안 논의
'22.04.21.	3핵심 기술체계(안) 조정	기술체계(안) 조정, 핵심기술을 통한 대상시설물 선정, 대표성과물 제시
'22.04.22.	3핵심 기술체계(안) 확정	기술체계(안) 재조정 및 확정, 대표성과물을 통한 실증방안 논의
'22.04.25.	1핵심 테스트 베드 실증	대표성과물에 대한 구체적인 테스트베드 실증 논의
'22.04.25.	2핵심 기술체계(안) 조정	기술체계(안) 조정, 핵심기술을 통한 대상시설물 선정, 대표성과물 제시
'22.04.25.	3핵심 테스트 베드 실증	대표성과물에 대한 구체적인 테스트베드 실증 논의
'22.04.26.	2핵심 기술체계(안) 확정	기술체계(안) 재조정 및 확정, 대표성과물을 통한 실증방안 논의
'22.04.27.	3핵심 테스트 베드 실증	대표성과물에 대한 구체적인 테스트베드 실증 논의

○ 의견 수렴 (11회)

날짜	회의명	내용
'21.07.21.	지하공간 전문가 자문위원회	지하공간의 AI 적용 가능 분야 발굴 및 활용방안 논의
'21.07.24.	유지보수 전문가 자문위원회	지하공간의 안전관리 및 실시간 모니터링 논의
'21.07.30.	지하시설 전문가 자문위원회	교량 및 상하수도 콘크리트 인프라 구조물 해체 및 교체 자동화 의견 제안
'21.08.05.	입체적 지하공간 전문가 자문위원회	기존의 유사사업을 활용한 데이터 추출·가공 제안, 입체적 지하공간의 안전관리를 제시
'21.08.24.	AI 빅데이터 전문가 자문위원회	지하공간 구축(건설·설계·시공) 분야에 기존의 데이터를 가공한 데이터의 필요성 및 데이터 활용방안의 문제점 제시 및 해결방안 논의
21.12.06	핵심기술 별 기술체계(안) 재조정	1차 기술분과위원회 안건(기술체계 및 대상 등)에 대한 위원별 의견 회신 결과 및 반영 사항 공유
'21.12.16	(가칭) 지하안전관리 기술 개발 사업의 명칭 확정	(가칭) 지하안전관리 기술개발 사업 등 위원들이 제시한 과제명을 종합해 '입체적 지하공간의 안전관리' 과제명칭 확정
'22.01.03	핵심기술 별 조정이 필요한 기술체계도 조정	기존 기술체계(안) 조정을 통해 핵심기술별 개발하는 성과물에 대한 구체적인 실증 방안 논의 및 최종 기술체계도 수립
'22.03.08.	부처 R&D 사업설명회	본 과제의 개요 및 핵심기술의 기술개발 목표 및 목적 적합성 논의에 관한 주요사항들을 사업설명회를 통해 공유 및 제안
'22.04.17	행안부와와의 부처협력 논의	지하공간의 입체적 안전관리 기술개발 사업에서 행안부의 역할 제시하고 협력 여부를 논의

○ 사업 보완기획을 위한 추진방향 논의(2회)

날짜	회의명	내용
'23.11.24.	기존 기획 성과물 수정·보완 방향 검토회의	과기부 예산심의 주요 검토의견을 반영하여 재추진을 위한 방안 검토
'24.8.12.	지하안전관리 기술개발 기획 추진방향 검토회의	기존 기획 성과물(지하공간의 입체적 안전관리 기술개발) 기반으로 대내외 환경변화를 고려한 보완기획 방향 논의

○ 제2차 국가지하안전관리 기본계획 연계를 위한 검토회의(1회)

날짜	회의명	내용
'24.8.28.	제2차 국가지하안전관리 기본계획 연계를 위한 검토회의	수립중인 제2차 국가지하안전관리 기본계획 주요 내용과 본 과제의 연결방안 논의

○ 기획보고서 수정본 검토회의(1회)

날짜	회의명	내용
'24.10.8.	'스마트 지하안전관리 기술개발' 기획보고서(안) 검토회의	제2차 국가지하안전관리 기본계획 주요내용을 반영한 기획보고서 수정본 검토

○ GPR 탐지 심도 향상 방안 검토회의(4회)

날짜	회의명	내용
'25.8.21.	스마트 지하안전관리 기술개발 기획 점검회의(1차)	지반 심도 2m 이상 탐지 가능 기술 검토
'25.9.12.~22. (서면검토)	스마트 지하안전관리 기술개발 기획 점검회의(2차)	차량 탑재(시속 20km 이상), 최대 심도 4m 이상 탐지 가능한 GPR 탐사 기술 검토
'25.11.6.	지하안전 전문가 세미나	GPR 탐지 심도 향상 기술에 대한 공공분야 적용 가능성 검토
'25.12.22.	스마트 지하안전관리 기술개발 기획 점검회의(3차)	GPR 탐지 심도 향상 기술 세부 성과목표 설정 및 기술개발 로드맵 작성

3) 대내외 환경분석

(1) 정책적 환경분석

【미국】

□ 자국민과 지하 시설물의 보호, 지하 가스저장시설 안전 수칙 개발의 의무화 규정 등 지하 시설물 안전과 관련된 법안을 제정 및 추진하여 지하 안전사고를 예방하는 중

- 미국은 지하 인프라를 보호하는 조치로, 지하 굴착공사 중 타사 가스 배관, 상·하수도관 등의 매설상황을 확인하지 않아 발생하는 배관 손상사고를 방지하여 시민의 안전과 재산을 보호하기 위해 발굴피해방지법을 규정

참고

미국 지하시설물 안전관리 체계

- 미국의 지하시설물 안전관리 체계는 ‘파이프라인&위험물질 안전청(PHMSA)’에 의해 위험물질과 파이프라인 검사체계로 구분
 - 위험물질 안전을 위해 현장운영 부서의 규정 준수 실행, 사건 또는 사고 대처, 조사 안전 수행, 법규 준수 등 운송의 안전성과 보안을 확보하도록 조치
 - 파이프라인 안전을 위해 파이프라인 안전 집행 프로그램을 통해 파이프라인 안전규정을 감독하고, 규정이 준수되고 있는지를 확인
 - 시설 운영자들이 안전청의 요구기준을 맞추고 있는지 확인하는 시스템 구축 시 굴착 방법 사용
- 연방정부와 주 정부의 동의하에 발굴피해 방지 프로그램을 강화하고, 지하 인프라를 보호하는 조치를 강화하기 위해 발굴피해방지법(a.k.a. One-Call law) 채택
 - 지하를 굴착하는 주체와 지하 인프라의 운영자 간 명확한 의사소통 절차를 개괄
 - 각 주에서 발굴 프로젝트를 시작하기 전 파이프라인, 통신 와이어와 하수도 등 지하 인프라의 운영자가 소유한 지하 시설을 식별하고 표시·고지해야 하는 법
 - 굴착하는 주체와 지하 인프라 운영자 간 커뮤니케이션을 용이하게 하고 지하 인프라 시설의 위치를 조율할 수 있도록 지원
 - 국가 측의 집행 권한과 함께 일정과 실행 기준을 설정
 - One-call center인 811번 전화를 통해 처리되어 일반적으로 “원콜 법” 또는 “811 법”으로 알려진 발굴피해방지법
 - 811로 전화하면 해당 지역 지하 시설을 운영하는 회사에 무료로 전달되며, 당사는 직원을 파견하여 발굴 작업을 시작할 때 타격을 입지 않도록 시설물의 정확한 위치를 결정하고 표시하여 고지
 - 대부분의 주에서 발굴 작업 수행자는 최소 48시간 전에 유틸리티 위치를 표시하도록 전화해야 하는 의무가 존재



참고

발굴피해방지법 관련 주요 사항

- 발굴피해방지법에 따른 커뮤니케이션 의무
 - ① 굴착업자의 통지(Excavator Notice)
 - 굴착업자는 굴착 시작 전 지하 인프라 운영자에게 작업에 대하여 통지 의무
 - ② 운영자의 회신(Operator Response)
 - 지하 인프라 운영자들은 작업 통지를 받은 후 지하 시설의 위치를 식별할 수 있도록 굴착 지역 내에 지하 시설물의 위치를 표시하여 전달
 - ③ 긍정적 회신(Positive Response)
 - 계획된 굴착 지역 내 지하 시설을 표시하였음을 알리고, 시설이 없을 경우 이에 대해서도 고지
 - ④ 피해 통지(Damage Notification)
 - 지하 시설에 피해가 발생한 경우 운영자 또는 One-call center에 신속히 통지
 - ⑤ 유해 물질 유출(HAZMAT Release)
 - 유해 물질이 방출되면 굴착업자는 911에 전화 의무

- 발굴피해방지법의 주요 규정 사항
 - ① 파견 직원의 최소 기준(Minimum Standards for Locators)
 - 시설 운영자가 파견하는 직원의 최소 자격 기준에 대한 규정, 각 주(State)별로 상이
 - ② 허용 구간(Tolerance Zone)
 - 파이프라인 부근 굴착을 위한 구간이며, 주의 표시를 시행
 - ③ 수작업 굴착 시 요구사항(Hand-Digging Requirement)
 - 굴착업자는 허용구간 내에서 작업할 때 수동 파기 또는 다른 특수 굴착 방법을 사용

- 발굴피해방지법의 집행 사항
 - ① 필수 보고 (Mandatory Reporting)
 - 굴착업자는 지하 시설의 손상을 주 기관이나 부서에 보고 의무
 - ② 집행 기관 (Enforcement Authority)
 - 각 주(State)별 행정법에 따라 상이
 - ③ 벌금 (Penalty)
 - 각 주(State)별 행정법에 따라 상이

○ 각 주(State)별 조치 (State Action)

- 각 주별 지침은 주에 따라 다양하지만 의사소통, 표준화 및 시행을 포함한 몇 가지 기본 요소를 공유
 - 발굴피해방지법을 시행하기 위하여 각 주에서 관련 법안을 제정 또는 개정
 - 사전통지 제안 기간, 긍정적 대응과 관련한 주(state)별 행정법 차이, 시행 프로그램 및 부과 벌금의 규모, 집행 권한을 가진 주체 등 일부 규정이 다양하여 조금씩 상이

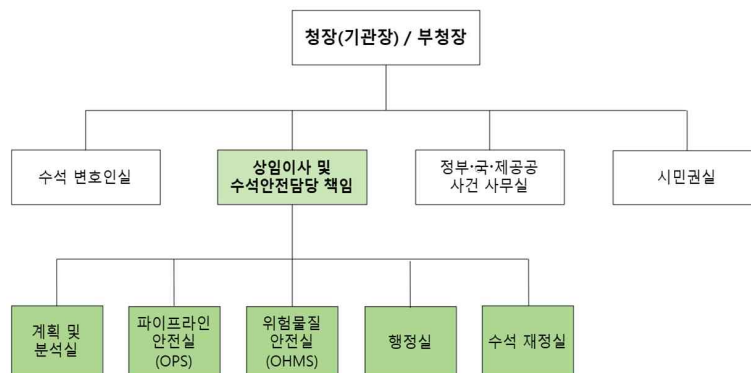
○ 연방정부의 조치 (Federal Action)

- 각 주별 법령의 집행 수준이 다양하므로 의회는 '06년 파이프라인 검사, 보호, 집행 및 안전(PIPES)법을 통해 PHMSA*가 위반자에 대한 강제 조치를 취할 수 있는 권한을 부여
 - PIPES에 따라 PHMSA는 모든 주의 프로그램에 대한 검토를 수행하여 발굴피해방지법이 발굴 시 피해를 줄이고 적절하게 시행되는지 여부를 결정
- 충분한 굴착 피해방지프로그램이 없는 경우 해당 주 내에서 발굴 피해방지 프로그램 위반자가 PHMSA가 자체 집행을 수행할 수 있도록 권한을 부여
 - * 위반에 대한 일일 민사벌금 \$ 205,000에서 일련의 관련 위반에 대해 최대 2백만 달러까지의 연방 인사 처벌을 포함하여 이러한 주 내에서 연방 표준 시행이 가능
- '17년 4월 PHMSA는 34개 주에 대한 평가를 완료하고 그 중 13개가 부적절한 프로그램을 보유한 것으로 공지
- PHMSA는 피해 방지법을 시행할 권리가 부족한 주들에게 주 정부가 5년 이내에 적절한 변경을 하지 않으면 파이프라인 안전 이니셔티브를 지원하기 위한 보조금의 손실 가능성을 통지

참고 미국 파이프라인&위험물질 안전청 (PHMSA*)

○ 기관 개요

- 지하에 매설된 모든 천연가스 저장시설 및 파이프라인의 안전감독을 시행하고 규율하는 연방 기관으로 미 교통국(DoT) 산하 부속 조직이며, 연방규칙 제191조와 제192조에 의거하여 설립·운영
 - 미국 내 지하 파이프라인의 안전 감독을 시행하며, 개별 주로 하여금 연방 규칙을 채택하도록 요구
 - 개별 주들은 연방 규칙 또는 자체 규칙을 시행하여 지역 내 소유한 파이프라인의 집행상 책임
- 일상 생활에 필수적인 에너지 및 기타 유해 물질의 안전한 운송 방식을 개선시킴으로써 사람과 환경을 보호
 - 국가 정책 수립, 표준 설정 및 시행, 교육 및 사고 예방을 위한 연구 수행
 - 사고 발생 시 일반인과 최초 대응자가 피해를 줄이도록 교육



[그림] 미국 PHMSA 본사 조직도

- PHMSA 사무소는 전국 5개 지역에 위치하며 본사는 워싱턴 D.C에 위치



[그림] 미국 PHMSA 전국 사무소 위치

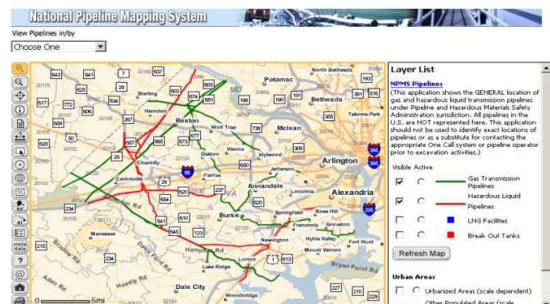
□ 지하 천연가스 저장시설의 안전 표준을 개발하는 규칙인 파이프라인 감독, 보호, 집행 및 안전법 (PIPES*)을 통해 지하시설물의 안전을 유지하는 중

* The Pipeline Inspection, Protection, Enforcement and Safety (PIPES) Act of 2006

- PIPES 법은 규칙 작성, 연구 및 기타 파이프라인 안전조치와 관련된 19개의 명령을 포함하는 법으로, '06년 제정되어 '16년 6월 22일 대통령이 다시 서명
- PIPES 법은 천연가스의 개발과 관련된 기회와 도전을 인정하고, 지하 천연가스 저장시설에 대한 최소 수준의 연방 안전 표준을 개발하는 규칙을 의무화함으로써 기관의 활동을 지원
 - PIPES Act는 PHMSA에게 안전 결과를 개선하기 위해 정보 공유 시스템을 개발하기 위한 PHMSA 작업을 포함하여 파이프라인 안전에서 새로운 기술을 가장 잘 활용할 수 있는 방법을 조사하도록 규정
 - 연방 및 주 차원의 감독활동이 파이프라인 안전에 어떻게 기여하고 있는지 더 잘 이해하기 위해 국가 통합 파이프 라인 안전 데이터베이스를 생성할 수 있는 권한을 부여
 - PHMSA는 뛰어난 파이프라인 안전 지침에 대해 90일마다 의회에 업데이트 해야 하며, 적시에 완료하지 못한 경우 이유를 보고함으로써 파이프라인 안전조치와 관련한 투명성을 향상
 - PIPES 법은 연방 안전 표준에 존재하는 격차를 해소하고자 하며, 이를 위해 PHMSA는 지하 천연가스 저장시설에 대한 최소 연방 안전 표준을 설정하고 주 내 모든 저장시설에 대해 추가적인, 또는 보다 엄격한 안전 표준을 채택 가능
 - 이 법은 또한 PHMSA에 긴급 명령 권한을 제공하고 파이프라인 운영자가 시기적절한 사후 검사 정보를 받도록 강제하는 것이 가능
 - PIPES 법에 따르면 PHMSA는 소규모 액화 천연가스 시설 및 수중 송유관에 관한 규정을 업데이트하고, 해안지역, 해양 해안 및 대호를 명시적으로 '파이프라인 사고에 특별히 환경적으로 민감한 구역'으로 지정하여 보호조치를 개선

□ 국가 파이프라인 매핑 시스템(National pipeline Mapping System)을 구축하여 위험한 액체 및 천연가스 파이프라인의 지도정보를 파악

- 미국의 액체(유류) 및 가스전송 파이프라인 및 LNG 시설을 포함하는 GIS의 데이터 세트를 지칭하며 미 교통부(DoT) 산하 위험물질 및 파이프라인 안전청(PHMSA)에 의해 구축
 - 1996년 발효된 배관 안전 및 상호협력법(Accountable Pipeline Safety and Partnership Act)에 따라 배관관리자는 배관이 위치한 자치단체의 규제기관에 그들의 시설에 대한 지도(Map)를 제공
 - PHMSA 산하 OPS(Office of Pipeline Safety)는 국가 배관망 매핑시스템의 기본전략을 수립하고 오염취약지역, 높은 인구밀도 지역에 위치한 배관의 운영자가 유지·관리하는 지도 정보가 표준규정에 적합한지를 확인
 - 국가 파이프라인 매핑 시스템은 통합되고 비상업적인 유류·가스전송 파이프라인에 대한 GIS 데이터 소스로 구성
- 데이터는 전송 파이프라인 운영자로부터 수집되며, 제출은 필수로 규정되어 있고, 매년 제출된 데이터를 통해 업데이트 중
 - 포함되는 데이터로는 주 간(Interstate) 및 주 내(Intrastate)의 위험한 액체 및 천연가스 파이프라인 시스템, 통합 유지관리 프로그램(IMP, Integrity Management Programs)에 포함된 위험 액체류 및 천연가스 파이프라인 시스템이 해당
 - 포함되지 않는 데이터로는 배분 파이프라인 시스템, 수집 파이프라인 시스템, 일반적으로 규제되지 않은 파이프라인 시스템이 해당
- 국가 파이프라인 매핑 시스템은 두 가지 버전으로 관리되며, 이용 주체에 따라 접근 가능한 데이터에 차이가 존재
 - 파이프라인 통합관리 매핑 응용 프로그램(PIMMA)은 접근을 위한 암호가 필요하며, 연방 정부, 주·지방 정부, 파이프라인 사업자로 접근을 제한하는 업무시스템
 - 일반인을 위한 뷰어(public viewer)는 신규 출시된 버전으로 모든 사람에게 개방되나 세션 당 하나의 카운티만 표시되며, 정보 및 세부 사항에 제한 존재
 - * 일반인은 해당 지역의 송전선 사업자 목록을 열람 가능하며 표식 데이터에는 이름(또는 기관), 전화번호 또는 이메일이 포함

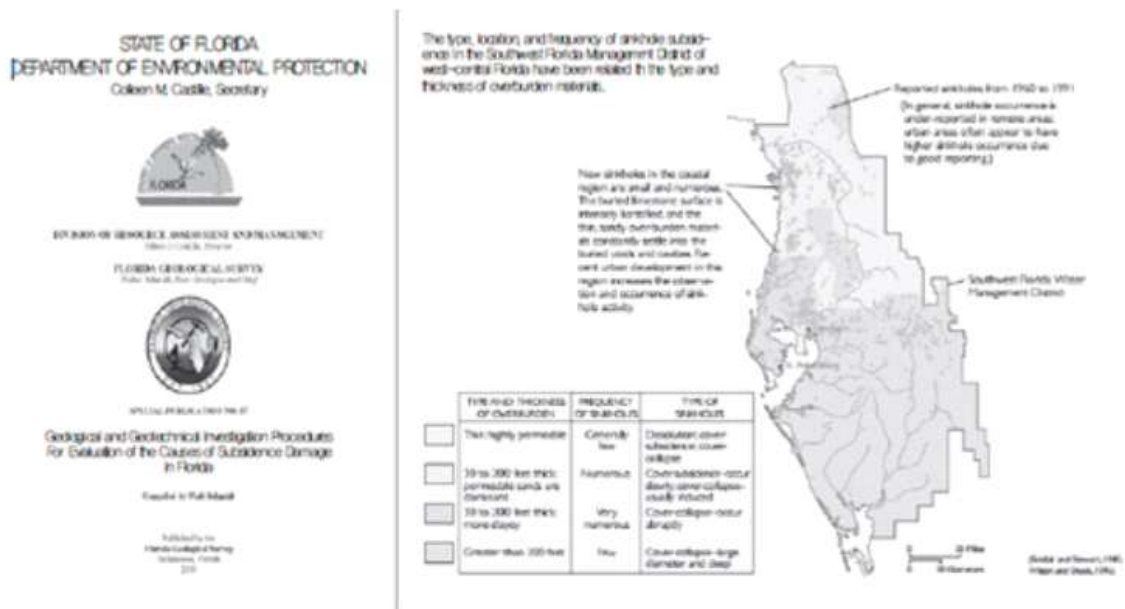


※ 출처: 국토교통부,과학기술정보통신부,행정안전부(2020.8), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 미국 파이프라인 매핑 시스템(National pipeline Mapping System) 웹 페이지-Intro(좌)
미국 파이프라인 매핑 시스템-일반 뷰어(Public viewer) 버전의 페이지 뷰(우)

□ 인명 및 재산의 보호를 위해 미국 내에서 발생하는 싱크홀 예측기술인 레이더 간섭기법을 구축하는 등 국가 차원에서 사전대책을 마련하여 시행하는 중

- 플로리다주는 석회암 분포 지역, 충적층의 두께, 지반함몰 발생 위치 등의 자료를 활용하여 지반함몰 발생 가능성이 큰 지역을 분류하여 대책 마련에 활용
 - 싱크홀이 빈번하게 발생하는 플로리다주는 인공위성 및 항공 사진 등을 통해 중장기적인 측면에서 싱크홀 발생 현황을 모니터링하고 DB화하는 중
 - 미국지질조사국(USGS)을 중심으로 싱크홀 지도 제작과 대응 방안에 대한 연구를 수행하는 중
 - 남서부 플로리다주의 물 관리부는 다른 수자원부서와 함께 서부 플로리다 지역의 적정 지하수위를 정하기 위해 작업하며, 보험부서는 지반함몰 손실과 수문학적 조건을 고려한 보험료를 청구 중
 - 싱크홀에 대비하여 미국(플로리다)이 구축하여 실행 중인 기술적 대응 방안
 - 지반 함몰 조사 방법에 대한 기술적 검토 및 Sinkhole Investigations Protocols 구축
 - 함몰 사고에 대한 데이터베이스 축적 및 지반함몰 지도 제공, 지질 조사에 따른 지반함몰 발생 확률 관리
 - 웹 또는 유선으로 지반함몰 사고 관련 신고 및 문의를 위한 체계 구축
- 미국은 지반함몰을 예방하기 위해 다양한 데이터를 축적하여 지반함몰을 예측할 수 있는 기술을 개발하여 활용하는 중
 - 미국 항공우주국(NASA)은 항공기 시스템과 인공위성에서 수집된 레이더 자료를 이용한 레이더 간섭기법(InSAR, Interferometric Synthetic Aperture Radar)을 통해 싱크홀을 예측하는 기술을 활용 중
 - 레이더 간섭기법을 통한 예측기술을 활용해 '12년 미국 LA에서 발생한 대형 싱크홀 Bayou Corne Sinkhole을 발생 한 달 전에 예측한 사례



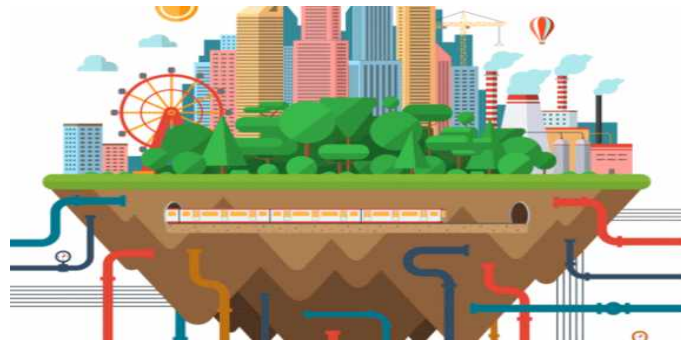
※ 출처: 의정부시 행정혁신위원회(2019.6), 도심지 내 지반함몰 원인 및 정책적 대응 방안

[그림] 싱크홀 조사 프로토콜(좌) 및 싱크홀 발생확률 관리(우)

【영국】

□ 정부는 영국 내 지하에 묻혀있는 공공시설물의 디지털지도 구축 프로젝트 착수하여 시행 중

- 지하 배관과 전력망 등의 새로운 디지털지도는 건설과 개발의 효율성을 개선하며, 주택 및 인프라 프로젝트에 도움
 - 영국에서 매년 지하 매설물을 찾기 위해 파놓은 400만 개 이상의 구멍 중 많은 구멍이 잘못 하여 매년 약 24억 파운드의 공공시설물 손상에 대한 경제적 비용이 발생
 - 국무장관 로드 트루 CBE는 디지털지도를 통해 가스, 수도, 전기 및 통신과 같은 중요 및 지역 서비스가 효율적으로 유지 관리되고, 현재 거리 아래에 있는 전력망, 상하수도 배관 등을 통해 가정과 기업에 제공될 수 있다고 언급
 - 디지털지도를 통해 유틸리티 기업 및 지방 당국의 시간과 비용을 절약하고, 새로운 인프라의 설치 과정에서 발생하는 혼란의 감소가 가능
 - 향후 3년간 잉글랜드 북동부, 웨일스, 런던을 시작으로 산업계와 정부 간 협력 하에 제작될 예정



※ 출처: 워터저널(2021.9), 영국 정부, 상하수도관 등 지하 매설물 디지털지도 구축 2단계 프로젝트 착수

[그림] 영국 디지털지도 프로젝트 구축 조감도

【유럽 연합(EU) 국가】

□ 연합국 협력사업 성격으로 시설물 전 분야의 효과적인 유지관리와 성능 향상을 위해 차세대 시설물 성능평가, 비파괴 검사 등의 기술개발 관련 연구에 적극적인 투자를 진행

- '13년부터 미국을 포함한 연합국 협력사업으로 Infravation(An Infrastructure Innovation Programme) Project 추진하며 교량, 터널, 도로포장 등 교통 관련 기반시설물 유지관리 및 성능 향상을 위한 기술 연구를 진행
 - Infravation은 신규 및 기존 기반시설물 솔루션을 통해 사용자, 경제, 사회에 높은 수준의 서비스를 제공하는 고품질 인프라 구현을 목적으로 하며, 공동 자금조달에 사용 가능한 예산은 9백만 유로
 - Infravation Project를 통해 개발된 기술은 차세대 시설물 성능평가 방법, 시설물 내구성 및 수명 연장, 비파괴 검사, 교통 흐름 저영향 유지관리 기술, 기후변화 대응 시설물 성능 유지, 에너지 효율적 시설물 건설/운영, 재료 재활용 기술 등 시설물 유지관리 전 분야를 진행

※ 출처: 국토교통부, 과학기술정보통신부, 행정안전부(2020.8), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

【일본】

□ 「제2차 인프라 장수명화 계획(행동계획)」(21~25) 중 개별 시설별로 장수명화 계획을 수립하여 하수도 등의 시설물 상태를 첨단기술을 접목해 파악 및 유지관리하는 정책을 추진 중

○ 하수도 시설을 포함한 인프라의 유지관리·보수를 위한 관련 법 제정 및 재정적인 지원 등을 통해 시설물의 수명 연장을 촉진할 계획을 수립 및 추진 중

- 국토교통성에서 주관하는 인프라 중 법령으로 지정한 모든 시설(도로, 철도 등의 산업 인프라, 하천관리시설 등의 생활 관련 인프라)이 대상이며, 하수도법 제2조 제2항에 따라 하수도 시설(관로시설, 처리시설, 펌프시설 등)이 대상에 포함

- 국토교통성에서 교부금 등을 통해 재정적으로 지원하거나 하수도, 공영주택 등의 분야에서 시설의 재편성 사례집과 가이드라인을 작성하여 알리는 등, 지방공공단체 등의 주관기관에서 지역 실정에 맞게 대응할 수 있도록 지원하고 있으며, 각 분야에서의 재편성 실행 수도 증가하는 중

○ 하수도 시설의 안전한 유지관리를 위해 정기점검, 첨단기술을 접목한 하수도 기술 실증 사업을 실시하는 등의 계획을 수립 및 추진 중

- 5년마다 1회씩 실시하는 정기 점검으로 시설 점검을 촉진하고, 부식의 우려가 있는 큰 관로시설은 '25년도까지 100%의 점검 실시율 달성을 목표

- 노후화된 하수도 시설의 증대에 따른 도로 함몰사고 발생이나 기능 정지 등을 미연에 방지하기 위해 하수도 관로의 노후화 대책을 실시

- 계획적인 점검·조사를 실시한 하수도 관로에서 긴급도 I의 판정을 받은 관로 중 문제 해결 완료 비율이 '25년도까지 100%가 될 수 있도록 대처할 계획

- 하수도 혁신적 기술 실증 사업(B-DASH 프로젝트)을 통해 AI·ICT등의 기술을 접목한 하수도 시설 운영의 최적화·고도화를 추진할 계획

※ 출처: 국토교통성(2021.6), 인프라 수명연장 계획(행동계획)

□ 지반침하 대책에 대한 조례 및 규제법을 규정하여 시행 중이며, 국민의 안전을 위해 부처별 지반침하 예방 및 대책 사업의 실시로 침하에 대처할 기술력을 축적하는 중

○ 일본은 지하수 이용의 지속적인 증가로 일부 지역에서 심각한 지반침하가 일어난다는 사실을 파악하여 물 순환 기본법을 제정하여 지하수 이용을 관리하는 중

- 환경성에서 수년 동안 조사한 결과 7개 지역의 지반이 매년 2cm 이상 침하하며, 64개 지역에서 지반침하 현상이 나타나는 것을 확인

- '14년 물순환기본법을 제정하여 지하수를 국민공유 재산으로 관리하고 예방

〈표〉 일본 지반침하 예방대책

구분	주요내용
양수 시설 설치 등에 관한 신고	- 양수 시설을 설치하는 경우 규모에 관계없이 신고 - 지반침하 방지를 위해 설치 장소 및 우물의 깊이에 따라 설치할 수 있는 양수설비 규모가 규제
지하수위 및 지층 수축량 모니터링 및 긴급조치	- 지하수 펌핑에 의한 지반침하 방지를 위해 지하수 및 지층 수축량을 모니터링 - 일정 기준을 초과 시 “지반침하 주의보 및 지반 침하경보”가 발령된 경우, 홍보 차량 등에 의해 사업자와 시민들에게 주의시킴과 동시에 지하수 절수 협력 요청
지반침하 모니터링	- 매년 도시 수준 측량을 실시하여 지반침하의 상황을 감시
지하수 펌핑량 실태 조사	- 범·조례의 허가를 받아 지하수 채취자 및 운전수의 채취에 대하여 조사를 실시하고 양수량의 실태 파악을 실시

○ 일본은 지반침하에 대한 대응책을 마련하기 위해 환경성, 국토교통성 등을 중심으로 관련 규제를 도입하여 진행 중

- 지반침하에 대응하기 위한 조례 및 법규가 제정되었고 매년 조사사업을 시행하며, 연구를 통해 지반침하 대응기술을 개발하는 중

〈표〉 일본 지반침하 관련 제도 내용

구분	주요내용
환경성(지반침하)	- 전국 지반 환경 정보 디렉토리(지하수 및 지반침하 상황 등) - 전국의 지반침하 지역의 개황 - 지하수 채취 규제에 관한 조례 등 - 지반침하 모니터링 지침
국토교통성(지반침하)	- 지하수 이용 현황 - 지하수 보전 및 지반침하 현상 - 지하수 관련 법 제도 - 지반침하 방지 등 대책 요강 지역 정보
방재백서('14년) 지반침하 대책사업	- 지반침하 대책사업 등 - 지하수 조사(보전 조사) - 지반침하 방지 대책사업 - 저지 대책 관련 대강 사업 - 지하수 대책조사 - 지반침하 대책조사

○ 환경성에서는 지반침하에 대한 상황을 명확히 파악하기 위해 매년 「지반침하 지역의 개황」 보고서를 발표

- 일본 환경성에서 지반침하 모니터링 지침을 공표하고, 지자체의 모니터링 수준이 적정하게 유지되도록 통지하는 식으로 진행 중
 - 각 지방정부의 지반침하 수준, 침하량, 관측수 등의 침하 현황과 이로 인한 피해 상황 (도로 및 농수로 손상, 홍수 등)을 파악
 - 기타 지반침하 측정을 위한 수준 측량에 대한 현황을 파악하며, 지반침하에 따른 각 지방정부의 대책 방안을 정리
 - 각 지자체 별로 지하수 채취 및 건축물 설치 규제, 조례 등에 근거하는 규제 등을 시행 중인 지역을 파악
 - 지반침하가 두드러지는 지역은 장관 회의에서 지반침하 방지 등의 대책 요강을 만들어 배포
- ※ 출처: 국토교통부(2019.7), 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사현장 활용지원 기술 개발 기획 최종보고서

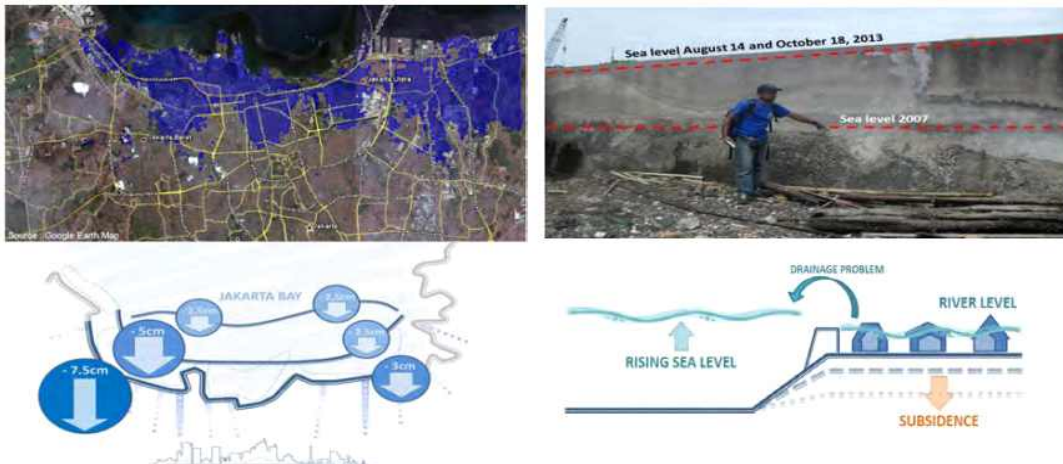
【인도네시아】

□ 자카르타 행정부는 과도한 지하수 추출로 인한 지속적인 자카르타의 지반침하를 막기 위해 생활용수 공급 사업 및 방조제 건설 사업을 추진하며, 한국과의 국제협력사업도 추진 중

○ 자카르타는 도시민의 60%가 지하수를 식수로 사용하기 위해 추출하므로 지반이 침하하는 문제가 증가하는 추세

- 네덜란드 Deltares 해양연구소의 최근 연구에 따르면 자카르타는 연평균 7.5cm~13cm의 침하가 발생
- 인도네시아 민간 주체의 독립적인 지하수 추출 활동이 땅을 가라앉게 만드는 요인으로 작용
- '19년 10월 네이처 커뮤니케이션즈 저널은 '50년에 자카르타 침몰을 예측한 연구 결과를 발표
- 국가연구혁신청(BRIN)의 에디 허마완 교수는 자카르타와 북부 해안 지역의 지반 침하 속도를 조절하는 것이 자카르타가 침몰하지 않도록 하는 데 중요하다고 언급

※ 출처: 신흥지역정보 종합지식포털(2021.10), '인도네시아 자카르타, 일부 지하수 추출 금지할 계획. 전문가들 서두를 필요 없다는 입장'



※ 출처: 한국국제협력단(2016.5), 인도네시아 자카르타 수도권해안종합개발(NCICD) 컨설팅사업 심층기획조사보고서

[그림] 북부 자카르타지역 지반침하 현황

○ 한국농어촌공사 해외사업처는 새만금 방조제 축조와 간척 기술력을 접목한 「인도네시아 자카르타 수도권 해안종합개발 컨설팅사업」(NCICD)을 '16년부터 추진 중

- NCICD는 과도한 지하수 추출로 인한 지속적인 지반침하로 인해, 개방형 방조제를 건설하여 바다와 하천의 홍수에 대해 장기적으로 방어하고, 사회-경제적 발전의 도모를 목표로 하는 사업
- '14년 네덜란드 정부의 협력사업을 통한 마스터플랜 수립을 기초로 시작해 인도네시아 정부에서 대규모 방조제 축조 경험과 간척 기술력이 있는 한국농어촌공사에 공식적으로 기술지원을 요청하여, '16년 말부터 한국국제협력단의 재원(90억 원)을 통해 추진 중
- 자카르타 행정부뿐만 아니라 공공사업 및 공공주택부, 해양조정부와 같은 여러 부서의 통합 프로젝트로 시행 중

- 자카르타 방조제는 개방형 방조제로 구상하였으며, 건설 이후에도 지반침하가 계속되면 개방 구간을 막아 폐쇄형 방조제로 전환할 수 있도록 설계에 반영

※ 출처: 한국농어촌공사(2020.10), KRC 해외리포트-새만금 방조제 축조기술이 인도네시아 자카르타에 한국국제협력단(2016.5), 인도네시아 자카르타 수도권해안종합개발(NCICD) 컨설팅사업 심층기획조사

○ 수도 자카르타의 식수원 수질문제와 지하수의 과다 취수로 인한 지반침하 문제의 해결을 위해 「까리안 광역상수도 사업」을 한국수자원공사와 협력하여 시행할 계획

- '까리안 광역상수도 사업'은 까리안 댐을 수원으로 활용해 취수, 도수시설, 정수장 및 송수시설 등을 설치하여 생활용수를 공급하는 사업으로, '22년부터 '54년까지로 사업 기간을 계획하는 중
 - '17년 11월 한-인니 정상회담을 계기로 한국수자원공사가 본 광역상수도 사업을 인도네시아 정부에 제안하여 사업화
 - 한국판 광역상수도를 해외에 수출한 최초 사례로, 설계, 건설 및 기자재·부품 등 다양한 부문의 신남방 물 시장진출에 큰 도움을 줄 것으로 예상
 - '까리안 광역상수도 사업'의 사업 범위는 한국수자원공사가 사업의 전 과정을 도맡아 진행할 경우 수도 요금 인상이 불가피하므로, 사업비 조달 측면에서 다음과 같이 크게 세 부분으로 설정
 - 까리안 댐 및 취수시설 건설은 한국 정부의 대외경제협력기금(EDCF)으로 진행 중
 - 도수시설 건설은 한국수출입은행의 경험증진자금(EDPF)을 지원받아 진행 중
 - 정수장과 송수시설 건설 및 운영관리는 한국수자원공사가 제안형 민관합작투자(PPP) 사업으로 진행
- ※ 출처: 천지일보(2021.1), 한국수자원공사 '인도네시아 까리안 광역상수도 사업' 2000억 원 규모 최종 수주 워터저널(2021.3), Part 01.인도네시아 까리안 광역상수도 사업개요



※ 출처: 천지일보(2021.1), 한국수자원공사 '인도네시아 까리안 광역상수도 사업' 2000억 원 규모 최종 수주

[그림] 까리안 광역상수도 전체 사업 구조도

【대한민국】

가. 국정과제

□ 이재명 정부는 「123대 국정과제」에서 세계를 이끄는 혁신경제, 기본이 튼튼한 사회를 5대 국정목표에 포함

- 지반 안전성에 대한 국민의 관심과 지하시설물과 관련한 안전사고 등이 지속적으로 발생하므로, 안전사회 구현을 위한 정부 정책의 실천 수단으로써 관련한 기술개발이 필요
 - 이재명 정부의 123대 국정 과제 중 본 과제와 연관성이 높은 부문으로 '31. 미래 모빌리티와 K-AI 시티 실현', '72. 국민안전 보장을 위한 재난안전관리체계 확립'으로 정부 연구 개발의 강화 필요

〈표〉 본 과제와 관련된 국정과제 계획

- 국정과제		- 내용
31	미래 모빌리티와 K-AI 시티 실현	○ (AI 시티 조성) 거주하며 실증하는 AI 특화 시범도시 조성·확산 - (AI 전환 가속화) 디지털 트윈 국토, AI 물류·건축·에너지 등 도시 서비스 제공
72	국민안전 보장을 위한 재난안전관리체계 확립	○ (건설안전 대책강화) 지반탐사·노후 상하수도관 정비 확대 등 싱크홀 방지, 화재안전 성능기반 설계 등 건축물 화재 예방, 건설공사 전 과정 안전대책 마련 등

나. 국가 계획

□ 제5차 과학기술기본계획('23~'27)에서 데이터 및 첨단기술 기반 재난안전관리 체계 구축 및 미래위험 관리를 통한 사회적 대응력 및 회복력 제고를 제시

- 재난 피해 저감 첨단기술 고도화 및 현장적용 확대
 - 방재·인명 구출을 위한 디지털트윈·메타버스·시물레이션 기반 모니터링 시스템 구축 등 스마트 안전장치·설비 기술 고도화 및 건설현장 등의 인명사고 방지를 위한 무인화·자동화·안전관리 기술 고도화 추진 제시
 - 가상과 현실의 초연결에 기반한 사이버물리시스템(Cyber Physical System)상 위협·재난·범죄대응 역량 강화 제시
- 재난 상황의 신속한 복구 및 지역사회 공동체 회복 지원
 - 교통 통신 에너지 인명탐색 구조 화재 진압 등 재난 상황의 신속한 복구를 지원하는 주요 기술의 고도화 제시
 - 미래 재난에 효과적으로 대응하고 사회적 회복력을 제고할 수 있는 사회 전환 프레임워크 구축 제시

- 미래위험 시나리오 및 피해 영향 분석을 위한 국가 미래예측 체제 구축
 - 미래위험을 최소화하고 사회적 신뢰 제고 및 갈등 해결을 위해 슈퍼컴퓨팅 및 인공지능 기술 기반, 객관적, 정량적 판단으로 사회 문제 이슈를 상시 모니터링 할 수 있는 체계 구축 추진 제시

□ ‘데이터 산업 활성화 전략(‘18)’ 중에서 시설물 붕괴 등의 국내 사회 현안을 해결하고 강화하기 위해 데이터를 분석 및 활용할 것을 제시

- 보건복지, 재난 안전, 의료서비스 등의 다양한 국내 사회문제를 해결하기 위한 빅데이터 기술의 활용 및 분석의 세부 추진전략을 제시
 - 빅데이터 기술을 활용하여 긴급구조, 시설물 붕괴 등의 사회적 문제를 실시간으로 모니터링하고 사고를 사전 예측하는 등의 조기 대응이 가능하도록 추진할 것을 제시
 - 이와 같은 사회문제 해결을 위한 빅데이터 플래그십 프로젝트 투자*를 ’18년에 2건, ’19년에 20건, ’22년에 25건으로 늘릴 방향을 제시
 - * 빅데이터 플래그십 프로젝트 투자: 각종 사회 현안 해결에 기여할 수 있는 국민 체감형 빅데이터 활용 성공 사례를 발굴·전파하는 사업

□ ‘인공지능 국가전략(‘19)’은 부문별 맞춤형·지능형 공공서비스 제공을 가속화할 것을 추진하는 전략의 하나로 지하 시설물은 SOC 안전확보 부문 내용에 포함

- 현재 우리나라는 AI와 같은 첨단 디지털 기술을 적기에 제대로 반영하지 못해 전자정부 시스템이 노후화되어 공공서비스 혁신이 정체되어 있는 중
 - 우리나라는 WEF 국가경쟁력 평가(‘19) 중 정부의 변화 대응력 순위가 36위에 머물러 있으며, ’30년에 10위권 이내로 순위를 향상할 것을 목표로 전략을 추진 중



※ 출처: 관계부처 합동(2019.12), 인공지능 국가전략

[그림] 우리나라 전자정부 순위 및 정부의 변화대응력 순위

- '20년부터 AI 기술을 도입할 공공서비스 중의 하나로 SOC 안전확보 부문에서 지하 공동구 및 상하수도 시설물 안전관리를 채택
 - 공공부문이 선도적으로 AI를 활용함으로써 맞춤형·지능형 공공서비스의 제공을 활성화할 것을 추진 중
 - AI 기반 디지털 정부를 구현하기 위해 노인복지 강화, SOC 안전확보 등 국민이 체감할 수 있는 분야부터 먼저 도입할 것을 추진하며, 그 중 지하시설물의 안전관리가 해당

〈표〉 공공서비스 도입·활용 과제(예시)

구분	주요 내용
맞춤형 문화복지	개인 맞춤형 문화누리카드 사용자 추천, 미사용 사전 예측·안내
고품질 특허정보	외국어 특허정보 즉시 번역·제공, 선행특허 정보 신속 확인
환경오염 대응	중단기 미세먼지 예측기술 개발, 지하수 오염 감시 및 예측
교정업무 효율화	효율적 수용관리를 위한 ICT 기반 스마트 교도소 구축
국민생활 안전	범죄정보 분석을 통한 범죄 발생 예측 및 대응
노인복지 강화	고령자, 치매환자 등의 간병·간호와 신체 활동 지원
SOC 안전확보	AI·5G 융합을 통한 지하공동구, 상하수도, 철도 등 시설물 안전관리

※ 출처: 관계부처 합동(2019.12), 인공지능 국가전략

□ 한국판 뉴딜 종합계획('20~'25)에서 지하공간 및 지하시설물의 관리체계를 디지털화할 대상으로 선정하여 추진

○ 노후 지하공동구를 디지털 관리체계를 구축할 대상인 4대 핵심 인프라로 선정하여 디지털화할 것을 제시

- '20년에 10km였던 관리체계를 '25년 130km로 확대 구축하려는 목표 제시

〈표〉 국가 4대 핵심 인프라의 디지털화 목표

현재 상황		미래 모습	
"아날로그식 국가인프라 관리"		"스마트한 국가인프라 관리체계 구축으로 국민안전 확보 및 신산업 창출"	
성과지표	'20년	'22년	'25년
차세대지능형 교통시스템 (C-ITS)	고속국도 85km(2%)	고속국도 2,85km(51.2%)	고속국도 4,075km(100.0%)
노후지하공동구 관리체계	10km	30km	130km
홍수관리시스템	6%	100%	-
재난대응 조기경보시스템	-	510개소	-

※ 출처: 관계부처 합동(2020.7), 한국판 뉴딜 종합계획

○ 우리나라 국토·시설의 안전한 관리를 위해 구축하여 접목하고자 하는 디지털 트윈 기술에 지하공간을 포함하여 추진 중

- 바람길 분석, 오염사고 확산 분석, 지하 시설물 관리, 대피경로 제시, 교통 시뮬레이션, 건물 가시권 분석에의 디지털 트윈 활용 사례를 제시

- 15종*의 지하구조물의 3D 통합지도를 제작하고 노후화된 지하 공동구(120km)** 계측기를 설치하는 등 지능형 관리시스템을 구축하는 개선 방향을 제시

* 지하 시설물 6종: 상수관·하수관·가스·열수송·통신·전력

지반 3종: 시추·관정·지질

지하구조물 6종: 공동구·지하철·지하보도·차도·상가·주차장

** 전체 322km 중 스마트한 관리로 수명 연장이 가능한 노후(10~30년) 지하 공동구가 대상

- 29개 무역항의 지하 시설물을 실시간으로 모니터링하는 기술 등의 디지털 관리체계를 구축할 것을 제시



※ 출처: 관계부처 합동(2020.7), 한국판 뉴딜 종합계획

[그림] 디지털 트윈 활용 사례

다. 부처 계획

□ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27)에서 기술융합을 통한 새로운 가치 창출의 목표를 위해 스마트 기술을 통한 시설물의 장수명화와 지하공간의 관리 효율 증대를 제시

- 융합기술을 통한 건설 지능화 실현, 고부가가치 건설 기술 창출 등의 과제 추진을 제시
 - 센서 네트워크를 통한 빅데이터 기술로 선제적 유지관리 시스템을 구축하고, 자기 치유 건설재료 등으로 시설물을 장수명화할 것을 제시
 - 비파괴 방식 시설물 내부 손상 감지·진단과 인공지능을 이용한 시설물 빅데이터 분석 등으로 잔존수명 및 유지관리 최적 시점의 예측이 가능하게 할 계획
 - 지하공간 구축 기술과 가스, 상·하수도 등 지하 라이프라인의 건설·유지관리 기술과 지중 인프라 및 인접 구조물 피해 방지 기술 개발을 제시
 - 지반 정보와 연계한 지하 관망 설계·시공 기술, 관내 상태 진단·보수 로봇, 노후 관망의 비(非)개착식 신설·교체 장비 및 공법 등을 개발을 제시

□ 제7차 건설기술진흥기본계획('23~'27)에서 디지털 전환을 통한 스마트건설 확산과 국민이 안심할 수 있는 건설공사·시설물 안전 확보 제시

- BIM 도입으로 건설산업 디지털화 추진
 - 설계도서/시공상세도를 BIM으로 작성하고, BIM에서 도출된 도면·수량 등을 성과품으로 인정하기 위한 관련기준 정비

- 설계 BIM을 토대로 시공 단계에서 공정·기성관리 등에 활용하고 유지관리 단계에서 안전점검·진단, 보수·보강 등 이력관리에 활용 등 설계~시공~유지관리 등 건설 전 과정에 걸쳐 BIM 도입
- 건설 전 단계에서 생성되는 데이터를 저장·관리하고, 사업 참여 주체간 이를 공유·협업할 수 있는 플랫폼 구축 추진

○ 스마트 건설기술 활성화를 위한 생태계 구축

- 주요 SOC 발주기관을 대상으로 기업들의 스마트 건설기술 활용 유도 정도 및 실제 활용 효과 등을 평가
- ICT, 드론·로봇 등 첨단 분야를 포함하여 건설산업의 외연 확대
- 건설현장 맞춤형 규제 샌드박스 도입, 스마트 건설 공사의 계약방법/총사업비 특례 부여 등을 위한 근거 마련 추진

○ 지반침하(싱크홀) 예방 등 빈틈없는 지하안전망 구축

- 로봇·드론, IoT 등 첨단기술 확산을 위해 기반시설 첨단관리 R&D 등 시범사업을 실시하고, 본 과제로의 확대 추진
- 지하시설물 관리 강화를 위해 노후 지하시설물(상·하수도 등) 매설지역, 침수 지역 등 지반침하 취약지역을 중심으로 지반탐사 확대
- 지하개발시 안전관리를 철저히 하기 위해 경미한 지반침하가 반복되는 등 이상 징후에 대해 인허가기관의 긴급안전조치 명령 활성화 유도
- 지하공간 통합지도 정보(지하시설물의 위치·속성 등)와 지하개발·지반침하 정보의 주기적인 연계시스템 구축

□ 우리나라 기반시설의 지속 가능성을 확보하기 위해 스마트 유지관리의 기반을 구축하고자 제1차 기반시설관리 기본계획('20~'25)을 수립 및 추진 중

○ 자연재해로 인한 기반시설과 국민의 위험을 대비하여 안전을 위해 관련 규정과 지침의 마련과 정비를 추진 중

- 지진 등의 재해를 대비하여 재난 점검의 신기술을 반영하고 기반시설관리법 및 관련된 규정에 맞추어 기존 시설별로 점검을 진행하고 유지관리의 실시 지침을 정비할 것을 제시
- 특히 집중호우·폭설·지진 등으로 지하 시설물 주변 지반이 약화되어 땅 꺼짐이 발생할 우려가 크므로 이에 대비한 점검 및 보수 요령을 정비할 것을 제시

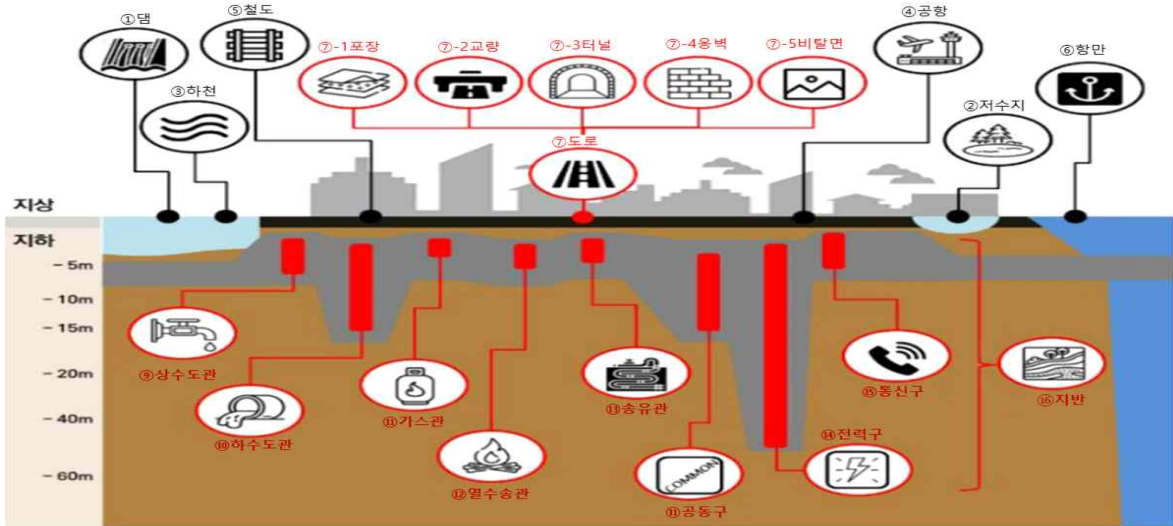
○ 지하 기반시설의 안전관리를 강화하기 위한 방안으로 지하공간 통합관리시스템을 구축하고 고도화할 것을 추진 중

- '23년까지 통신구·전력구·송유관 정보를 포함하여 전국단위로 3차원 지하지도를 구축해 지하 시설물의 체계적 관리 지원을 추진할 것을 제시
- 주요 도심지역의 현장굴착과 지중탐사 등을 통해 기존 지하지도의 정확성을 검증 및 확인 하도록 하며, 불타거나 위치에 오류가 있는 구간은 해당 지하시설물의 관리주체가 정확도를 개선하도록 추진할 것을 제시

○ IoT 등의 첨단 디지털 기술을 활용하여 스마트 유지관리 기술개발을 위한 투자의 확대

교량하부·수중 등의 안전점검 사각지대 해소 계획을 제시

- '22년부터 국민 일상생활의 안전과 밀접한 관련이 있는 기반시설 토탈케어 기술을 개발하여 유지관리 기술의 고도화를 추진할 것을 제시
- 기반시설 토탈케어 기술에는 지하 시설물(가스관, 열수송관, 공동구 등)과 지상시설물(도로 등)을 아우르는 안전 및 유지관리 모니터링, 진단, 성능해석 및 평가, 예측, 장수명화 기술이 포함



※ 출처: 국토교통부(2020), 제1차 기반시설관리 기본계획

[그림] 생활기반시설 토탈케어 기술 개발 대상

□ 지하 시설물과 지하공간의 안전 및 유지관리의 강화를 위한 정책을 추진하는 다양한 부처 계획을 수립하여 추진 중*

* 지속 가능한 기반시설 안전 강화 종합대책('19), 제5차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획('23~'27), 제1차 지하 안전관리 기본계획('20~'24)

- 지속 가능한 기반시설 안전 강화 종합대책('19)에서 지하공간 통합지도를 구축해 지하공간과 시설물의 관리시스템을 고도화할 것을 제시
 - 지하 시설물의 체계적 관리를 위해 '23년까지 전국단위의 지하 지도(3D)를 구축할 예정
 - 현재 통합지도에 반영되지 않고 있는 통신구·전력구·송유관 정보도 통합지도에 포함되도록 개선할 것을 제시
 - 도로 점용허가로 지하 시설물 설치 시 도로관리청에 제출되는 준공도면이 지하공간 통합지도에 연계되도록 점용허가 체계 개선을 병행할 것을 제시
- 제5차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획('23~'27)에서 사각지대 없는 시설물 디지털 안전관리 구현을 비전으로 제시
 - (기술) 스마트 안전진단, BIM 활용 지원, 원격 계측·관리, 시설안전 빅데이터 활용 등 첨단 기술 도입 및 효율화를 제시
 - 안전진단을 첨단기술 중심으로 전환할 수 있도록 제도를 정비하고, 면밀한 관리가 필요한 주요 시설물은 상시 모니터링을 위해 IoT 센서 등을 활용한 원격 관리체계 확산을 제시
 - 시설물에 대한 설계·시공·유지관리 정보가 담긴 BIM 데이터를 활용하여 주요 시설물에 대한 관리 효율화·과학화를 제시하고 안전진단 자동화, DB를 이용한 시설물 수명·사고 예측 등 공공분야의 지원이 필요한 핵심분야를 발굴하여 국가R&D 추진을 제시

○ 제1차 국가지하안전관리 기본계획('20~'24)을 통해 지하안전관리 역량을 강화하고, 지하 안전 공공정보의 대국민 서비스 확대 추진 전략을 제시

- 기존 지하안전기술의 고도화·실용화*를 통해 지반침하를 사전에 예방하고 지하공간의 안정성을 확보하도록 추진 중

* 대단면 지하공동구 건설기술, 비개착 지하 시설물 설치기술 등

- 지하공간 건전도 모니터링 기술, 데이터를 기반으로 지반 위험을 실시간으로 예측 및 대응하는 기술 등의 안전관리 기술 개발을 통해 안전하고 효율적인 지하공간을 개발할 것을 제시

- 다양한 지하시설물을 체계적으로 관리하기 위해 지하시설물 스마트 유지관리 플랫폼, 공간 정보 정확도 향상 기술, 증강현실 기반 지하 시설물 인식 기술, 지능정보기반(CPS) 지하 시설물 안전관리 기술 등의 빅데이터 기반 통합 유지관리 체계를 구축할 것을 제시

- 지하안전정보의 체계적인 관리, 품질 향상을 위해 자료의 표준화 및 정보의 적정성 검토 절차를 신설하여 지하정보시스템 활용에 관한 법적 근거를 마련할 예정

- 지하안전DB의 통계분석 툴, 가공프로세스 등을 개발하고, 지반침하 통계, 지하안전관리 기술자 현황, 지하시설물 관리실태 현황 등의 지하공간 정보가 담긴 지하안전 통계연보(가칭 지하안전백서)를 발간하여 공공정보를 개방하고 공유하는 방안을 추진 중

○ 국토교통부는 제1차 국가지하안전관리 기본계획이 '24년도로 종료됨에 따라 앞으로의 5년 동안 지하안전관리의 정책 비전, 목표를 설정하기 위해 제2차 국가지하안전관리 기본계획을 마련

- 제1차 기본계획을 추진하는 기간이 국가지하안전관리의 도입기에 해당한다면 제2차 기본 계획이 추진되는 향후 5년은 지하안전관리가 안정적으로 정착할 수 있도록 그간의 노력 및 경험을 토대로 다양한 정책을 준비하고 있는 것으로 파악

- 먼저, 1차 기본계획이 새로운 제도의 운영 기반과 체계를 마련하는데 주안점을 두고 추진 됐다면, 2차 기본계획은 관리 사각지대를 해소하여 지반침하 사고 발생을 사전에 예방, 최소화하고 지방자치단체의 지하안전관리 역량 강화를 도모하는 한편, 관련 산업계의 육성 과 최적 관리체계를 실현하기 위한 밑그림을 제시

- 이를 위해 미래를 예측하고 새로운 제도가 현장에서 원활히 작동되도록 제도를 정비하고, 현장의 효율성을 확보하도록 다양한 첨단 기술 도입을 검토

* (출처) 국토교통부 보도자료 “국민의 발 아래 지하시설물 더욱 안전하게” (2024.01.09.)

○ 또한, 국토교통부는 서울 연희동, 부산 사상구 등에서 발생한 지반침하 사고를 계기로 “지하안전관리체계 개선 TF”를 구성하여 「지하안전관리체계 개선방안*」(9.13)의 후속 조치로, 구체적인 시행방안을 마련

* (주요내용) ① 고위험지역 중점관리, ② 지반탐사 신뢰도 제고, ③ 지하안전관리체계 정비, ④ 굴착공사 관리 강화, ⑤ 지자체 협력·지원 강화 등

* (출처) 국토교통부 보도자료 (2024.09.28.)

- 지하안전관리체계 개선방안은 그간 국토교통부에서 국토안전관리원 등 관계기관 협의를 통해 마련

- 먼저 지반침하 고위험지역에 대한 특별점검 등 관리가 강화된다. 취약지역에 대한 집중

관리로 점검 주기를 단축하고 공동이 발견될 경우 신속 복구 등이 진행되며 탐사지원도 확대되며, 고속 및 일반 국도의 지반침하 예방을 위해 약 1,700km 구간에 대해 2년간 전수조사 실시도 포함

- 다음으로 지반탐사의 신뢰도 제고를 위한 지반침하 예측기술 고도화가 진행된다. 장비의 성능에 대한 검증 방안이 마련되며, '공동 분석 AI 표준 모델' 개발이 추진된다. 여기에 스마트 모니터링체계 연구를 통한 예측 및 감시 자동화도 진행
- 세 번째는 극한 기후 위기에 대비할 수 있도록 실효성 있는 지하안전관리체계도 마련할 계획이고, 관리체계 실효성 제고를 위한 관련 지침 및 매뉴얼을 개발해 보급하며, 관리주체별 의무 이행 여부에 대한 관리 감독 기능을 강화.
- 네 번째는 연약지반에서의 굴착공사 관리가 강화된다. 굴착공사로 인한 지반침하 예방을 위해 연약지반일 경우 착공후지하안전조사 실시 등을 통해 관리를 강화해 나갈 계획
- 마지막으로 지자체 및 지하시설물관리자의 정보공유 및 협력·지원이 강화될 수 있도록 하고 지반침하 우려지역에 대한 정보를 공유하게 되며 공동복구체계가 개선되며, 여기에 담당자 역량 강화를 위한 컨설팅 및 교육도 추진

(2) 경제적 환경분석

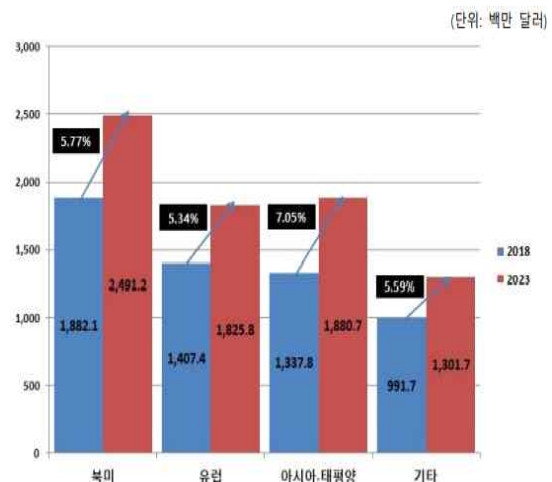
□ 지하공간 및 지하시설물 탐사 장비 기술

【국외】

- 전 세계 지중 탐사 기기 시장은 '18년 56억 2,000만 달러에서 연평균 성장률 5.94%로 증가하여, '23년에는 75억 달러에 이를 것으로 전망
- 통신, 하수구, 수도 등을 포함한 라인을 탐지하는 지중 탐사 기기 시장에서 지층 탐지 레이더(GPR)는 연평균 성장률 7.66% 증가하여 '23년에는 29억 4,860만 달러에 이를 것으로 전망
- 지중 탐사 기기 시장에서 산업에 따라 분류된 기술 중 상하수도 산업은 연평균 성장률 8.24%로 증가하여 '23년에는 14억 1,150만 달러에 이를 것으로 전망



[그림] 글로벌 지중 탐사 기기



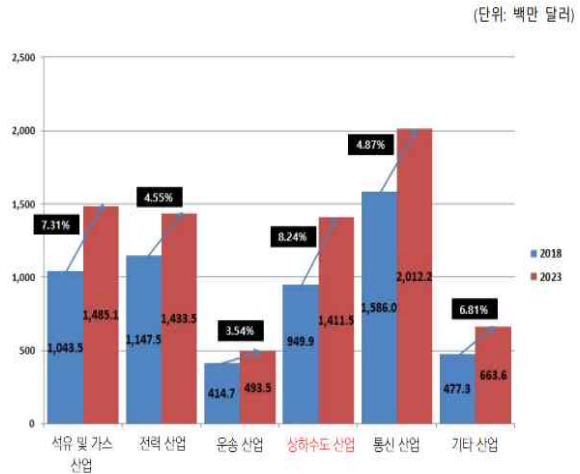
[그림] 글로벌 지중 탐사기기 시장의

시장 규모 및 전망



[그림] 글로벌 지중 탐사기기 시장의 기술별 시장 규모 및 전망

지역별 시장 규모 및 전망



[그림] 글로벌 지중 탐사기기 시장의 산업별 시장 규모 및 전망

※ 출처: 연구개발특구진흥재단(2019.1), 지중 탐사 기기 시장

○ 세계 지중 탐사 기기 시장의 주요 기업들은 지중 탐사 기기 제품의 개발 및 공급에 주력하고 있으며, 이에 따라 다양한 제품을 출시 중

- (미국) 혁신적인 제품과 기술 지원 및 고객 만족 제공에 중점을 두며 제품 출시, 확장 및 인수와 같은 유무기 전략을 통해 시장 입지를 확장하는 데 주력하는 중
- (영국) 파이프라인 검사용 비디오 시스템 등을 제공하며, 시장 입지를 강화하고 혁신적인 케이블 및 파이프 로케이터 개발 및 제공에 집중
- (스웨덴) 비파괴적인 지하 조사 솔루션 제공에 중점을 두고 있으며, 전략적으로는 제품 출시의 유기적 전략을 통해 비즈니스를 강화하고자 노력

<표> 세계 지중 탐사 기기 시장의 제품 현황

국가	기업명	제품
미국	Vivax-Metrotech	<ul style="list-style-type: none"> • Pipe, Cable, Marker, Fiber Optic, Plastic Pipe/Duct Locators • Metal Detectors • Cable Fault Locators • CCTV Sewer/Duct Inspection Systems
	Ridge Tool Company	<ul style="list-style-type: none"> • SR-24 Line Locator with Bluetooth and GPS • SeekTech SR-60 Locator • SeekTech SR-20 Locator • ST-33Q+ Line Transmitter • ST-510 Line Transmitter • ST-305 Line Transmitter • SeekTech Inductive Signal Clamp
	The Charles Machine Works	<ul style="list-style-type: none"> • UtiliGuard • 830R/T • Locating Beacons • 2550GR
영국	Radiodetection	<ul style="list-style-type: none"> • Cable and Pipe Locator Range • Cable Avoidance Tools • Pipeline Integrity and Corrosion Control

국가	기업명	제품
		<ul style="list-style-type: none"> • GPR • Pipeline Inspection • Sondes • Metal Locators • Accessories • Time Domain Reflectometers (TDRs)/Cable Test Products
스웨덴	Guideline Geo	<ul style="list-style-type: none"> • MALA Easy Locator Pro WideRange HDR • MALA Easy Locator HDR • MALA Easy Locator Pro • MALA ConcreteExplorer • MALA GroundExplorer • MALA ProfessionalExplorer • MALA MIRA

※ 출처: 연구개발특구진흥재단(2019.1), 지중 탐사 기기 시장

【국내】

- 국내 지하시설물 탐사 장비를 이용하며 관련 정보를 제공 및 관리하는 기업들이 현재 국내외로 활발하게 활동하며 다량의 실적 구축 중
 - 이성은 지하시설물 조사, 인공구조물의 비파괴 검사 등 지하 매설물 정보를 얻는 방법으로 GPR 등의 탐사 기술을 활용하며, 나아가 폭발물 탐지 등 지하공간에 활용 가능한 기술 개발 중
 - 셀파이엔씨(주)는 지하안전을 위해 깊은 심도까지 탐지가 가능한 GPR 탐사장비를 지속적으로 개발해 도로 불탐 구간 등을 최소화시키는 등 국내 GPR 탐사기술 선진화 유도 계획
 - (주)지오메카이엔지는 지하매설물의 손상으로 인한 가스폭발 등의 사고 발생 예방을 위해 공동의 정확한 발견 및 지반정보서비스 제공을 위한 지속적인 기술 개발 계획
 - 연테크는 대용량 전력소자를 사용한 안정된 고압선 탐사기술 개발하고 국내 특허와 미국을 비롯한 해외 6개국 특허를 출원 중

〈표〉 국내 지하매설물 탐사 장비 기업 현황

기업명	장비 및 기술	장비 및 기술 내용	주요 활동 내용
이성	차량형 다채널 GPR 장비	2m 폭의 도로에서 총 16개의 채널이 넘는 신호 처리하는 국산화 장비 개발	- '18년 폭발물 탐지/제거 로봇 탐색 개발
	휴대용 GPR 탐사 장비	차량형 장비가 진입하기 어려운 인도, 좁은 도로에서 탐사 작업 진행이 가능한 장비	- 지하공동 형상화 기술의 고도화 기술 개발 등
셀파이엔씨(주)	차량형 3D GPR 탐사시스템	시속 60km로 최대 5m 깊이 지하시설물 정보 정밀 탐사 시스템	- 차량형 3D GPR 탐사 시스템 개발 중 - 지하시설물 탐사장비 성능 평가 테스트베드 개발 중
(주)지오메카이엔지	IPF-GRED	GPR 탐사에서 획득한 자료 중 공동 반응을 단시간에 빠르게 분석 가능하며, 반응의 연속성과 매설물 지도 등을 검토해 공동이 아닌 반응은 제외시키는 추가 검증을 수행하는 공동 자동분석 기술	- 차량형 대규모 3D GPR 및 다중채널 핸디형 GPR, 전자 유도 관로탐사장비 등으로 전국 지자체의 도로함몰 예방 탐사 사업 수행 중
연테크	고압선 전원추적 전류 임펄스 탐사기술	지중 전력선의 설치정보 탐사 및 저압선과 고압선의 설치정보의 정확한 파악이 가능한 장비 기술	- 대용량 전력소자를 사용한 안정된 고압선 탐사기술 개발 및 국내 특허와 해외 6개국 특허 출원 중 - '20년 지중 전력선 탐사장비 개발

※ 출처: 전자신문(2017.11), 이성, 다채널 GPR 탐사장비 개발..해외 의존하던 장비 분야 국산화, 건설기술뉴스(2021.12), 주행속도 시속 60km로 지하 5m 깊이까지 '정밀 탐사' 가능, 공학저널(2020.4), 매일건설신문(2020.8), 기술과 경험으로 무장한 'GPR 강자', 연테크(2020.10.), "디지털 페이스 매핑' 기술로 터널 개량 안전 확보"

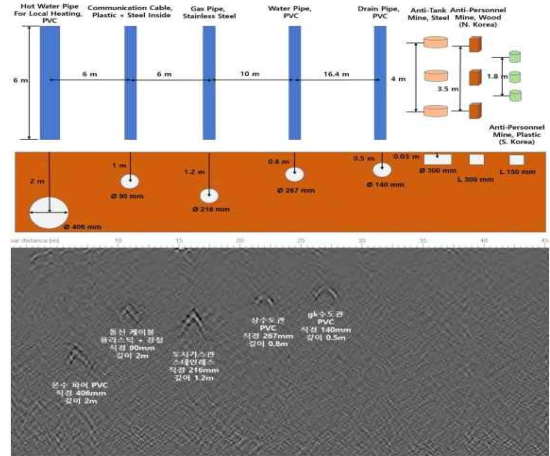


수행년도	영역명
2019-2020	시도 12로선(중구1C-육전교차로) 실시설계 새만금 태양광 발전단지 제안서 작성 중 지방공사 국지도39로선 양주정동-황해 도로건설공사 기본 및 실시설계 함양부후촌(고지) 일주체계조형사업 용지시설공사 중 지방공사 양성-성남 고속도로 건설공사 6공구 진중-내촌 도로건설공사(1공구) 부설 1회설 입구 비탈면용과구간 지방공사 당진지역 전기공급시설 전역공사 추가 제척기 설치용역 지방공사 충남지구 1,2구역 근린생활시설 신축공사 근북(충화정동) 공공하수처리시설 설치사업 기본 및 실시설계용역 산청-함백간 지방도 확충공사 기본 및 실시설계용역 수주시 영동구 이외동 00부지 지방공사 일제-갈서 전기공급시설(대저어발)설계용역 지방공사 영동교 4가 442-2번지 주거복합 신축공사 지방공사 용역 원주-강릉 6공구 노반공사 제로도를 발생형 규명관련 지방공사 안동영마루 1동복 및 동성오관 1동복 민간참여 주거환경개선사업 화동동 북동동길 도시개발도로 개설공사 무안시 자연로인접 지방공사 용역 19-영-00사업 지방공사용역(C06B) 충주천 국가산업단지 진입도로 개설공사 위례신사선 도시철도 민간투자사업 154KV 옥산-서천중 2개소 TL 지향용전선로 이설공사 오전2리 농어촌도로(하도212로선) 확충공사 실시설계
2019	

※ 출처: 이성, (주)셀파이엔씨

[그림] 국내 지하매설물 탐사 장비 및 기술개발 기업들의 실적 현황

- 항공우주연구원과 DfR 컨설팅이 최근 실험에 성공한 드론 지중 물질 탐사로 지하 안전 관리 및 스마트시티 건설 등의 다양한 영역의 확장 기대
 - 해외에서도 연구 개발 초기 단계이며, 국내 최초로 드론을 활용한 지중 물질 탐사 실험에 성공
 - 저주파 레이더를 탑재한 드론을 이용한 지중 탐사는 지면에 접촉하지 않고 넓은 지역을 탐사해 사람의 접근이 어려운 지역의 지하 인프라 관리에 용이
 - 드론 탑재 소형 경량 레이더를 이용하여 지하 재해 및 비상 대응, 지하시설물 유지관리 프로그램, 스마트시티 프로그램 등 다양한 영역에서의 활용이 가능



※ 출처: 파이낸셜 뉴스(2021.12), “드론에 레이더 탑재하니 땅속이 훤히 보인다”...지중 탐지 드론 개발

[그림] 지중 드론 탐지 시험 모습과 모식도 및 탐지 결과

□ 지하안전 관리시스템 기술

【국내】

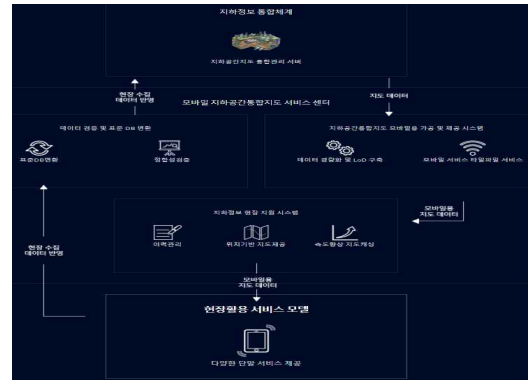
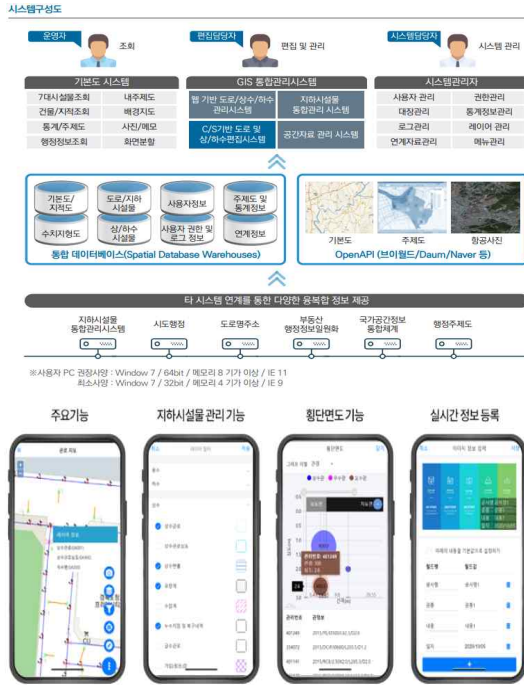
- 국내 기업들은 지하공간의 안전을 위한 관리시스템을 구축 및 개발하여 활용 중
 - 공간정보기술(주)은 C/S로 운영되던 상·하수도 및 도로 관리시스템을 웹 기반으로 운영할 수 있는 시스템으로 전환하고, 분산된 DB를 통합 및 표준화하는 지하시설물 관리 솔루션 기술을 개발 중

- ㈜지노시스템은 굴착 계획 시 지장 물 조사 등의 획기적인 업무시간 단축으로 업무 효율성을 향상시키며, 굴착 사고를 예방할 수 있는 기술을 개발 중
- 디비엔텍은 AI 기반 데이터 분석을 통한 지반함몰 위험지도 GIS 맵핑에의 활용을 위한 기술 개발과, 굴착 매설현장에서 발생 가능한 지하안전사고를 사전에 방지하고 사고 발생 시 체계적인 대응이 가능하도록 하는 기술 개발 중
- ㈜새한지앤아이는 기존의 지하공간통합지도 데이터를 현장에서 모바일로 바로 활용할 수 있는 기술을 개발하여 그동안의 환경적 제약을 없애고 보다 많은 현장에서 관련 정보를 빠르고 안전하게 활용 가능하도록 할 계획

〈표〉 국내 지하안전 관리시스템 관련 기술 개발 기업

기업명	기술명	기술 내용
공간정보기술(주)	GeoDT UFM (도로 및 상·하수도 관리시스템)	C/S 기반 도로 및 상하수도 편집 시스템 제공 기능 및 WEB 기반 GIS 통합관리시스템 기능
	Mobile UFM (모바일 웹 기반 지하시 설물 위치 확인시스템)	모바일 기기의 GPS를 활용한 사용자 위치 기반 지하시설물 실시간 정보 확인 기술
㈜지노시스템	GeoGate	기존의 GIS 응용 시스템과 통합 연계해 DB 갱신, 분석 업무를 처리 하는 Enterprise GIS Software로, 토지, 시설물 등 다양한 분야 적용
	GeoField	현장시설물 관리, 재난재해 대처와 같이 현장과 센터의 신속한 의사소통 및 조치 결과의 공유가 필요한 분야에 적합하게 설계된 Mobile 제품
	GeoTerra	GIS 데이터와 3차원 모델을 결합시켜 평면 GIS 데이터를 3D 지리 정보로 재현하는 웹 기반 제품
	GeoUPIS	국가표준 UPIS(도시계획정보체계)에 적합하도록 GeoGate 제품군을 기반으로 개발된 웹 서버 패키지 제품
	U-Solver	국가 인증절차를 통과한 도로 및 상/하수도 시설물 관리대장 조회, 현황집계, 데이터의 입력 및 수정을 돕는 도로 및 상/하수도 시설물 관리용 프로그램
	GIMapper	현장에서 점, 선, 면 등의 데이터를 취득하여 실시간 또는 후처리 보장을 통해 향상된 정밀도의 GIS 데이터 구축을 지원하는 모바일 프로그램
디비엔텍	AirScape	3차원 기반의 실측 GIS 데이터와 최첨단 3D-영상컴퓨팅 기술을 접목해 사용자가 경관을 실제와 같이 조감 가능한 실시간 조작형 시뮬레이션 시스템
	지반함몰 예측시스템	지반함몰 위험도를 제공하기 위해 지하공간통합지도와 인공지능 딥러닝 기술 기반의 지반함몰 위험지도 GIS 맵핑 시스템 구축 기술
㈜새한지앤아이	모바일 기반 지하공간 통합지도 서비스	모바일 클라이언트 모듈, 데이터 보안 관리 및 지하공간지도 모바일 가시화 기술
	경량화된 데이터 포맷 기술	웹 기반의 데스크톱 전산 환경에서 운영 중인 무겁고 다양한 포맷의 3차원 지하공간통합지도 데이터를 현장에서 모바일로 바로 활용 가능한 기술

※ 출처: ㈜공간정보기술, ㈜지노시스템, ㈜디비엔텍, 건설기술(2021.12), 지하공간통합지도 용량 크게 낮추고 '고속 전송'



※ 출처: (주)공간정보기술, (주)지노시스템, (주)디비엔텍

[그림] 국내 기업들의 지하안전관리 관련 시스템 구성도

(3) 사회적 환경분석

□ 인도네시아에서는 지하수의 과도한 추출로 인해 도시 전체가 가라앉는 사고가 발생하며, 이에 대한 대응 방안을 마련하여 시행하는 중

- 인도네시아 자카르타에서는 도시민의 과도한 지하수 추출이 주원인이 되어 도시 자체의 지반침하가 발생하였으며, 그에 따른 경제적 손실이 클 것으로 예상
 - 자카르타 도시민의 60%가 식수를 위해 지하수를 추출하는 과정에서, 곳곳에서 지하수 개발이 계속되면 120cm 넘게 내려앉을 것으로 전망
 - 특히 바다에 접한 북부 자카르타는 최근 10년간 2.5cm 넘게 가라앉아 해수면 아래에 있으며, 지금도 매년 최대 25cm씩 낮아지고 있는 중
 - 전문가들은 '30~50년 사이에 자카르타의 바닷물이 도시 중심부에 도달할 것으로 예측
 - 미국 비영리 민간 기후변화 연구기구 '클라이메이트 센트럴'은 '2030년 자카르타 침몰 예측 지도'를 제작, 경제적 손실을 2,000억 달러(약 234조 원)로 추산



※ 출처: 한국일보(2021.8), 가장 빨리 가라앉는 이 도시 운명, “한국에 달렸다”

[그림] 북부 자카르타 지반침하 모습(좌) ‘30년 자카르타 침몰 예측 지도(우)

- 인도네시아 정부는 지반침하를 막기 위해 한국과 함께 국제협력사업을 진행 중
 - 한국수자원공사와 협력하여 자카르타 일대 상수도 공급 사업을 진행하며, '25년 상업 운영에 들어가면 200만 명에게 생활용수를 공급 가능
 - 한국농어촌공사와 협력하여 해수면 상승에 대응하기 위한 국가수도통합 해안개발사업을 진행하며, 현재 인도네시아 북쪽 해안에 46km에 달하는 제방을 쌓는 중

※ 출처: 한국일보(2021.8), 가장 빨리 가라앉는 이 도시 운명, “한국에 달렸다”

□ 국내에서도 싱크홀로 인한 건물 붕괴로 인적·물적 피해가 발생하는 등 지속적인 지하 안전사고로 국민의 불안감 증대

- 「지하안전특별법」 시행('18.1) 후 지반침하 예방을 위한 주기적인 안전점검에도 불구하고, 연희동 사고(8.29, 2명 부상) 등 지반침하 지속 발생
 - 최근 5년('19~'23)간 지반침하는 총 957건(연평균 191.4건) 발생, 지역별로 경기도(197건), 광주시(122건), 부산시(85건), 서울시(81건) 順으로 지반침하의 주요 원인은 상하수관 손상(50%), 다짐 불량(30%), 굴착공사 부실(7%) 등에 따른 토사 유실, 토질·자연현상에 의한 공동 발생

〈표〉 최근 5년간 지반침하 발생 현황

시·도	연 도	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년 (상반기)	계
	전 국	193	284	142	177	161	41	998
서울특별시		13	15	11	20	22	4	85
부산광역시		15	29	17	8	16	9	94
대구광역시		3	2	1	2	4	0	12
인천광역시		8	20	2	1	2	2	35
광주광역시		20	55	13	6	28	3	125
대전광역시		20	20	8	9	9	4	70
울산광역시		1	2	5	3	0	0	11
세종특별자치시		1	2	0	1	0	2	6
경기도		53	47	35	36	26	10	207
강원특별자치도		5	30	5	10	18	2	70
충청북도		6	24	2	9	10	0	51
충청남도		2	5	5	4	0	0	16
전북특별자치도		6	7	14	40	3	0	70
전라남도		5	7	7	5	4	3	31
경상북도		1	14	12	16	8	0	51
경상남도		32	5	5	4	9	1	56
제주특별자치도		2	0	0	3	2	1	8

※ 출처: 국토교통부 지하안전관리 개선방안 ('24.9.)

- 지하공간은 상·하수도관 누수, 굴착공사에 따른 지하수위 변형 등의 원인으로 지반침하가 발생하며, 지하 인프라 노후화가 심각해 시설물과 지반이 연동된 대비책의 필요성 지적

- 개발된 지 20~30년이 지난 1·2기 신도시들을 중심으로 지속적인 지반침하가 발생하는 원인으로 지목
- (상·하수도관 누수) '상하수도 R&D 기술동향보고서'에 따르면 '18년 기준 국내 상·하수도관은 35만 6,411km에 이르며 이 중 매설 경과 20년을 초과한 노후관은 36.9%이고, '25년에는 그 비율이 60.1%까지 증가할 것으로 전망되므로 과거 시설물에 대한 관리방안의 마련이 필요
- (굴착공사) '지반굴착 공사로 인한 사고 사례 분석' 연구에서 지반침하 및 건물 붕괴의 가장 큰 원인은 굴착에 취약한 매설 시설을 제대로 파악하지 못한 것으로 조사되었고, 이에 따라 설계·시공 시의 꼼꼼한 지반조사와 적정 규정의 공사 진행, 지하수 유출량 관리 기준의 마련 필요성이 제기
- 전문가들은 땅 꺼짐의 직접 원인인 지하 구조물의 유지·관리를 위해 자동화 점검, 관측 기술개발이 요구된다고 언급

※ 출처: 경기신문(2022.1), 잇을만하면 발생하는 땅 꺼짐 공포...지하 인프라 개선 대책 절실



※ 출처: 물산업신문(2021.8), 대구시, 지하철 1호선 안심역 인근 거대 싱크홀 발생(좌)
 국제신문(2019.9), 양산 북부동 지반침하 원인은 취약지반·급격한 지하수위 변동 탓(우)

[그림] 상수도관 파손으로 인한 대구 싱크홀 현장(좌), 굴착공사에 따른 지하수위 변동으로 인한 지반침하(우)

□ 매설된 지하시설물의 부정확한 정보와 시설물의 안전점검을 위한 인력투입의 한계로 일반 및 손상 배관 정보의 신뢰성 확보가 낮은 편

○ 지하시설물 6종 가운데 매설 시기를 알지 못하는 배관들이 국내 전 지역에 퍼져 있어 시설물의 정보 파악이 어렵고, 나아가 국민의 안전까지 위협하는 상황

- 국토교통부가 제출한 '지하시설물 6종 노후 현황'의 분석 결과, 지하시설물 전체 47만 6,329km 중, 30년 이상된 노후 배관과 매설 시기를 알 수 없는 배관이 3분의 1을 차지
- 1970년대 이전에 매설된 50년 이상의 배관이 다수를 차지해 국민 안전을 위협하는 실정이며, 실제 최근 5년간 발생한 1,170건의 지반침하사고 중 절반 이상이 상하수도관 손상으로 발생
- 국회의원은 지하시설물 노후화의 위험성을 고려해 지방정부와 관계부처의 대책 마련이 시급한 상황이라며, 매설 시기가 모호한 배관과 노후배관부터 점검 및 교체하는 선제적 대응의 필요 지적

※ 출처: 이투데이, 경기도, 매설시기조차 모르는 하수도관·가스관·전력관·통신관 전국서 가장 많이 방치

〈표〉 지역별 지하시설물 매설연도 확인불가 배관 현황

단위: km

구분	상수도관	하수도관	가스관	열수송관	전력관	통신관	합계
서울	1	3,054	3,290	8	1,726	1,329	9,408
부산	-	79	-	-	579	632	1,209
대구	409	1,649	69	-	386	593	3,106
인천	133	557	17	125	679	1,229	2,740
광주	-	1,909	-	7	594	591	3,101
대전	3	1,299	-	-	707	655	2,664
울산	16	703	-	-	154	313	1,186
세종	11	4	23	-	36	507	581
경기	1,125	10,282	3,376	12	3,071	5,773	23,639
강원	452	3,068	1	-	572	1,268	5,361
충북	344	1,832	1,255	-	430	1,225	5,086
충남	589	2,770	196	-	543	1,315	5,413
전북	1,056	2,919	260	-	454	1,069	5,758
전남	451	1,546	46	-	471	1,030	3,544
경북	1,517	2,540	124	-	477	1,298	5,956
경남	906	1,577	-	1	645	975	4,104
제주	962	1,864	-	-	294	195	3,315
합계	7,975	37,652	8,657	153	11,818	19,997	86,252

※ 출처: 이투데이, 경기도, 매설시기조차 모르는 하수도관·가스관·전력관·통신관 전국서 가장 많이 방치

- 지하시설물 중 특히 지난 3년간 국내에 매설된 도시가스 배관의 75%는 설계와 시공이 다른 것으로 드러났으며, 그 오류로 인한 대형 사건사고 발생이 우려
 - '18년부터 '20년 9월까지 전국에서 시행된 고압·중압 도시가스 매설배관 공사 총 3,549건 중 2,667건 즉 75%에 달하는 공사에서 당초 설계도와 매설 깊이나 길이가 다르게 시공
 - 특히 재해로 인한 복구 작업이 많은 경우, 다른 지하매설물 관리자가 가스배관 시공 사실을 알지 못하고 굴착공사를 시행하게 될 때에 배관 파손에 따른 가스 누출 및 폭발 우려

- 국회의원은 고압·중압 가스 배관은 사고 시 대형 참사로 이어지며 국민들의 직접적인 피해로 직결되므로 실효성 있는 시공감리를 위한 제도 개선과 각별한 관심의 요구를 지적
- ※ 출처: 에너지Time뉴스(2020.10), 매설된 도시가스 배관 75%가 설계와 시공 달라

○ 터널 시설물 등의 손상 분석은 인력 중심으로 진행되어 작업 효율성이 매우 낮은 편

- 1인당 1일 분석량이 6km 내외에 불과하며, 방대한 시설물을 분석 시 장시간이 소요
- 지반침하 안전점검을 위한 투입 인력은 매년 6명으로 한정되어, 전국 대상의 지반탐사 업무 전담 수행에 어려움 직면

※ 출처: 데일리중앙(21.09.02.) 최근 5년 간 싱크홀 포함한 지반침하 사고 1,176건 발생

구분	연도	건수	매설깊이 차이			매설길이 차이					
			감소(건)	평균(m)	최대(m)	증가(건)	평균(m)	최대(m)	감소(건)	평균(m)	최대(m)
고압	2018	59	5	0.2	0.4	24	20	133	30	23.7	233
	2019	12	2	0.3	0.4	3	6.5	12	7	3.6	8.4
	2020.09	9	0	0	0	7	54.2	180	2	8.8	12.1
	소계	80	7	-	-	34	-	-	39	-	-
중압	2018	1352	313	0.3	0.93	600	6.1	503	449	11.7	1349
	2019	1241	244	0.3	2.2 (계획 깊이 3.0m)	557	6.8	778	440	5.8	1789
	2020.09	432	88	0.32	0.9	213	8.0	180	131	5.8	83.8
	소계	3025	645	-	-	1370	-	-	1020	-	-
합계	3115	652	-	-	1404	-	-	1059	-	-	

※ 출처: 에너지Time뉴스(2020.10), 매설된 도시가스 배관 75%가 설계와 시공 달라

[그림] 설계도면과 상이한 도시가스 매설 배관 건수

□ 국토부에서는 '14년부터 싱크홀 예방을 선언하였으나, 사고 발생 예방에 한계

- 국토교통부에서는 '14년 당시 「지하공간 통합안전관리체계」 구축과 「싱크홀 예방을 위한 지반침하 예방대책」을 발표하였으나 싱크홀은 지속적으로 발생

〈표〉 2016~2021.6월 싱크홀(지반침하) 발생 원인별 현황

구분	하수관 손상	상수관 손상	공사 다짐 (되메우기) 불량	굴착공사 부실	기타 매설물 손상	상·하수관 공사 부실	기타 매설공사 부실	기타
발생건수	632건	150건	246건	60건	55건	33건	23건	232건
비중	44.2%	10.5%	17.2%	4.2%	3.8%	2.3%	1.6%	16.2%
소계	782건(54.6%)		649건(45.4%)					

※ 기타 매설물: 전기·통신·난방관로·맨홀 등 / 기타: 지하수 유출, 폐자재·폐관 방치, 장기압밀침하(점토지반) 등

※ 출처: 이코리아(2021.9), 천준호“싱크홀 6년간 1,431건 발생, 예산 대비 효과 없어”

- 국토교통부가 추진했던 싱크홀 예방대책 사업은 시스템 구축이나 이미 형성된 지하공동 탐색 사업으로, 싱크홀 발생원인을 사전에 제거하는 사업은 부재
 - 「지하공간 통합지도 구축 사업」(‘15~’19): 데이터 축적 및 시스템 제작 사업
 - 「지반함몰 발생 및 피해 저감을 위한 지반 안정성 평가 및 굴착보강 기술 개발」(‘15~’20): R&D사업
 - 「지하공간탐사」 및 「도로포장 위해요소 정밀조사」(‘20~’21): 지하공동 탐색 사업
- ’21년 8월 대구 도시철도 1호선 터널 공사장 인근에서 발생한 싱크홀의 경우, 해당 공사 구간에 대한 지하안전평가 및 착공후지하안전조사가 있었음에도 싱크홀 예방에 실패하여 폭 10m, 깊이 7m의 대형싱크홀로 인해 횡단보도 절반이 침하
- 국회 국토교통위원회 의원은 국토부가 추진해온 사업과 규제들이 불필요하다고 할 수 없으나, 싱크홀 예방 목적을 달성하기에는 역부족이었다며 ’16년과 ’20년을 비교했을 때 발생 비중이 늘어난 ‘공사 후 다짐 불량’(16.9%→17.6%), 지하수 유출 등 ‘기타 원인’(12.5%→19.7%)들에 대해서도 직접적인 예방대책 마련의 필요성을 제기

※ 출처: 이코리아(2021.9), 천준호“싱크홀 6년간 1,431건 발생, 예산 대비 효과 없어”

(4) 기술적 환경분석

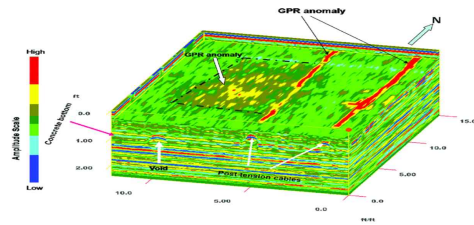
가. 해외 기술 동향

【지하공간 정보구축을 위한 조사·분석 기술 동향】

- 지하시설물 위치조사를 위해서 다양한 물리탐사 기술이 활용되고 있으며, 이중 가장 정확도와 해상도가 높은 기술인 GPR*을 이용한 조사 기술에 대한 연구가 활발히 진행

* GPR : Ground Penetration Radar ; 지반 투과 레이더

- 해외 선진 기업체 및 공공기관을 중심으로 활발하게 기술개발이 추진되고 있으며, 그 결과가 바로 현장에 적용되고 있는 상황으로 기술 실현성이 높은 편
- ‘GPR 조사 기술은 노르웨이, 미국, 캐나다, 이탈리아 등이 Hardware 개발 분야의 최고 수준 국가이며, 국내의 경우 Hardware는 해외 장비에 의존하고 조사 분석 분야는 세계 최고 대비 70% 수준에 불과



※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 지하시설물 위치조사 기술의 Hardware 및 분석결과(GPR)

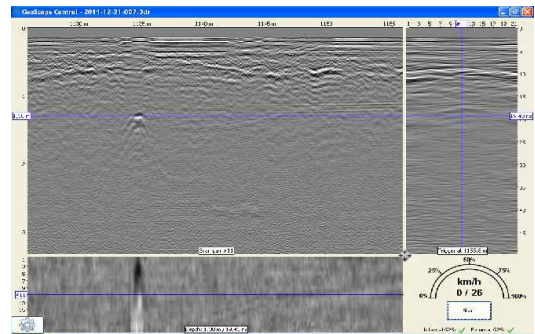
- (미국) GPR 기술을 활용하여 지하매설물 탐지, AR 영상활용, GPS 연동 등 타 기술과 연계한 기술개발에 집중하고 있으나 기술수준은 높지 않은 편
- 연방 도로청(FHWA, Federal Highway Administration)은 GPR을 이용한 지하매설물 탐지 기술(Utility Investigation Technologies (R01B))을 도로 관련 문제의 해결을 위한 SHRP2 Solutions* 중의 하나로 선정
- * SHRP2 Solutions: 미국 고속도로 시스템과 관련된 가장 긴급한 문제들을 해결하기 위하여 수행한 100여 개 이상의 연구 프로젝트들 중에서 새롭고, 혁신적이며, 검증된 해결책들(Solutions)을 수집/정리한 제안서



※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] Utility Investigation Technologies (R01B) 소개 그림

- 미시간 대학에서는 GPR과 AR을 이용하여 지하매설물을 실제 영상과 결합하여 제공하는 Prototype 서비스를 개발하여, 굴착 공사 시 기존 지하 매설물의 손상을 최소화할 수 있는 연구 수행
- Bentley사는 Virtual Excavation이라는 연구를 통해 지하매설물, GPR영상과 실제 현실의 영상을 결합하여 굴착 공사의 편의성과 안전성 향상 기술 개발에 성공
 - 주파수 200~3,000MHz를 사용하며 20채널(조사 유효 폭은 1.5m, 채널 간격 7.5cm)의 안테나를 이용하여 최대 60km/h의 속도로 이동하면서 실시간으로 지하매설물의 1차원, 2차원 GPR 영상 획득
 - 범용 GPS와 연동하여 지하시설물의 위치 파악을 수행하며, 3DR Examiner라는 전용 소프트웨어를 이용하여 실시간 3D GPR View와 같은 분석을 지원, 자동 3D Pipe Modeling 등의 고수준 기능은 지원 불가

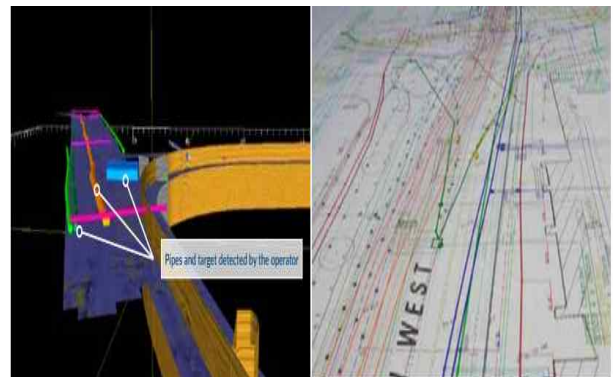


※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 미국 3D RADAR社 DXG1820 안테나 어레이(좌), 미국 3D RADAR社의 분석 SW-3D Examiner(우)

○ (이탈리아) IDS사의 STREAM EM GPR 시스템은 차량 견인형 GPR 시스템으로 세계 최고 수준의 GPR 탐사 장비

- 15km/h 이내의 속도로 이동하면서, 지하 매설물의 GPR 영상을 획득하고, 후 처리 소프트웨어를 이용하여 3차원 지하매설물의 디지털 모델 제공
- 정확도는 5cm 정도이며, RTK를 이용한 고정밀 GPS Mapping을 수행하고 데이터 처리 및 관로 3D Modeling 자동화율은 약 30~40% 수준



※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 이탈리아 IDS社의 STREAM EM GPR 시스템

□ 초음파 센서를 이용한 비파괴 형식의 지하 매설물 깊이를 측정하는 장치를 개발하고
지반 상태를 측량하여 지반특징을 분석하는 연구를 수행 중

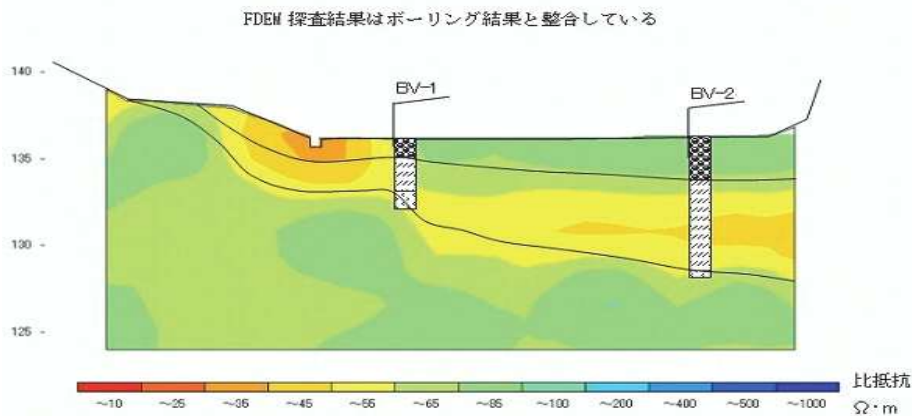
- (일본) 초음파 센서를 활용한 지반구조물에 대한 상태평가를 확인하며, 비파괴 형식으로 탐사를 시행하여 지하구조물의 두께, 수반의 상태를 측정
 - 동 장치는 구조물의 지상 노출 부에 센서를 맞추고 측정 장비에서 초음파를 발신하여 지중 매설 및 수중 구조물의 근입 길이 및 도로 부속물의 버팀대, 강판 등의 균열, 부식 등의 변장을 비파괴로 확인



※ 출처: 한국건설기술연구원(2016), 지반/지하 안전기술개발 사업 연구

[그림] 비파괴 측정장치 및 각종 센서

- 간 사이 전력 주식회사에서는 아스팔트 밑이나 콘크리트 아래 지반에 대해 비파괴 형식으로 탐사를 시행하는 FDEM 탐사방법을 개발
 - FDEM 탐사방법은 지표면에서 비파괴로 지하 구조물이나 지반의 비저항 분포를 측정하는 탐사 방법이며, 비정형 분포를 파악하여 노반의 두께, 수반의 상태 등 구조물 아래의 지반 상태를 추정
 - 소형탐사선으로 장소의 제약을 받지 않으며 16종류의 주파수를 순차적으로 전환하여 일반적인 전기 탐사와 비교해 높은 해상도에서 깊이 약 30m까지 탐사 가능

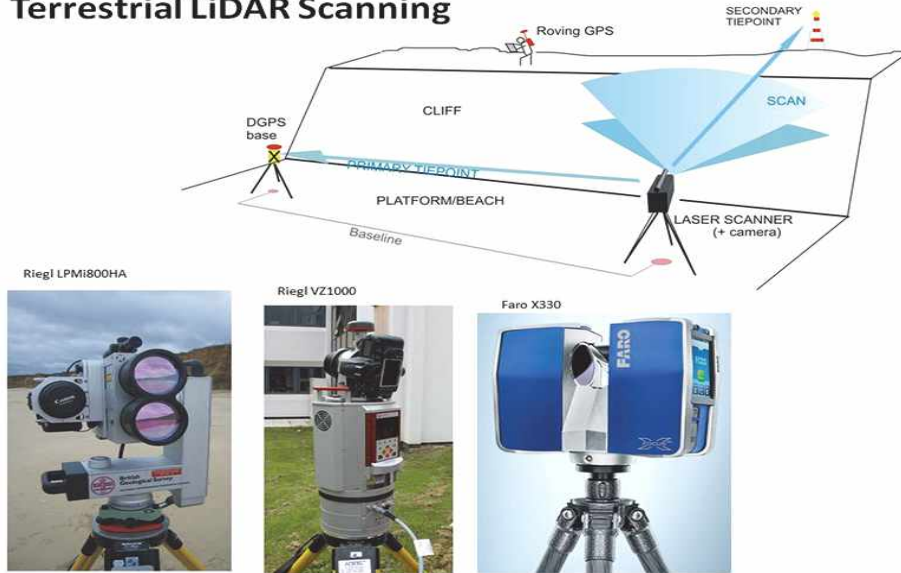


※ 출처: 한국건설기술연구원(2016), 지반/지하 안전기술개발 사업 연구

[그림] 산사태면에 대한 FDEM 탐사 결과 예시

- (영국) 지질연구소는 '99년부터 지반 기반의 지리정보학적 측량을 수행하며 토양 수축 레이저 측정 기법 개발
 - 접근이 어려운 지역(화산구, 빙하, 연안 침식 관측, 내륙 및 해안 산사태) 등 지질학적 구조 매핑, 암석 안정성 및 침하 특징을 분석

Terrestrial LiDAR Scanning

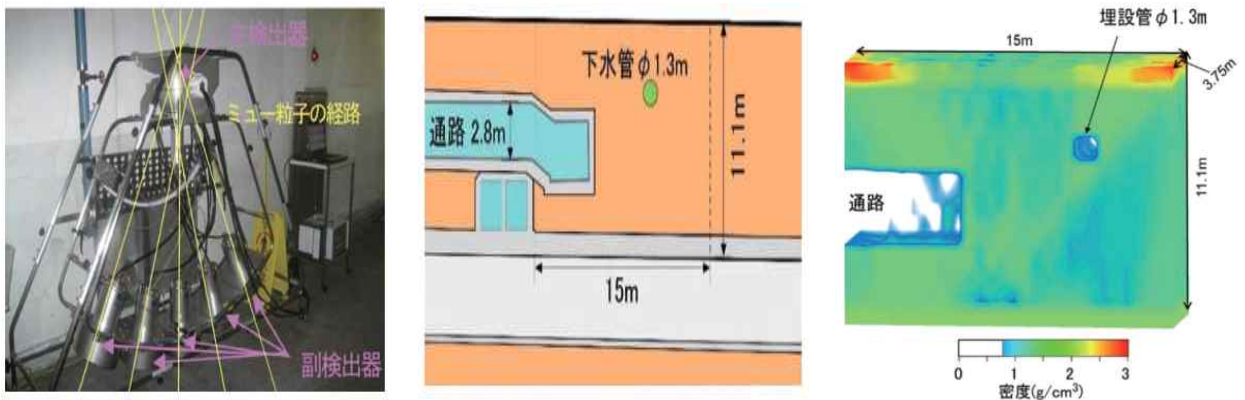


※ 출처: 한국건설기술연구원(2016), 지반/지하 안전기술개발 사업 연구

[그림] 영국 지진연구소의 지질정보학적 측량

□ 뮌 입자를 활용한 탐사 기술은 사람의 접근이 어려운 지역에 활용하며, CNN을 연계한 딥러닝 기술로 확대하여 개발 중

- (중국) 우한대학교에서 GPR과 심층신경망(Convolutional Neural Network, CNN)을 결합하여 GPR 데이터로부터 지하의 실시간 탐지를 위한 딥러닝 기술
 - GPR 데이터 분석결과 지하시설물 위치정보만 탐지 가능하며, 시설물의 매립 심도와 면적, 규모 등의 정보를 반영하여 식별·검출 품질을 개선 (Wuhan University, 2019)



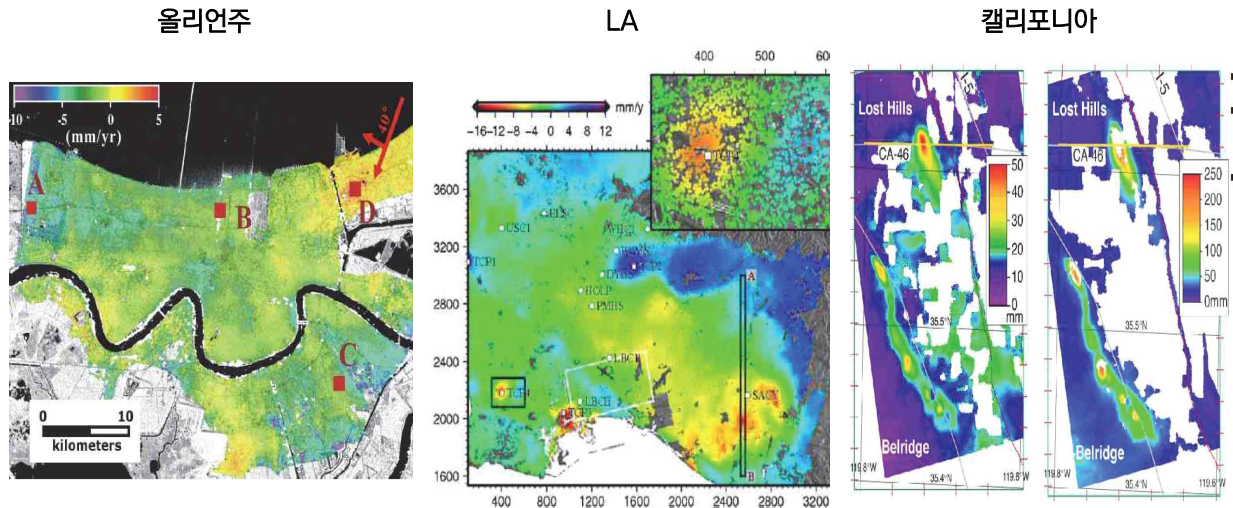
※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 뮌 검출기의 활용 사례

【지하공간 지반 안전도 평가 기술 동향】

□ 레이더를 활용한 지하공간의 지반정보를 관측하고 안전성을 평가하는 연구를 추진 중

- (미국) 위성레이더를 이용하여 올리언주, LA, 캘리포니아 등에서 연약지반, 지하수사용, 유전, 지열발전소 등 지반정보를 고려한 지하공간에 대한 지반침하 모습을 관측하여 안전 상태를 관측

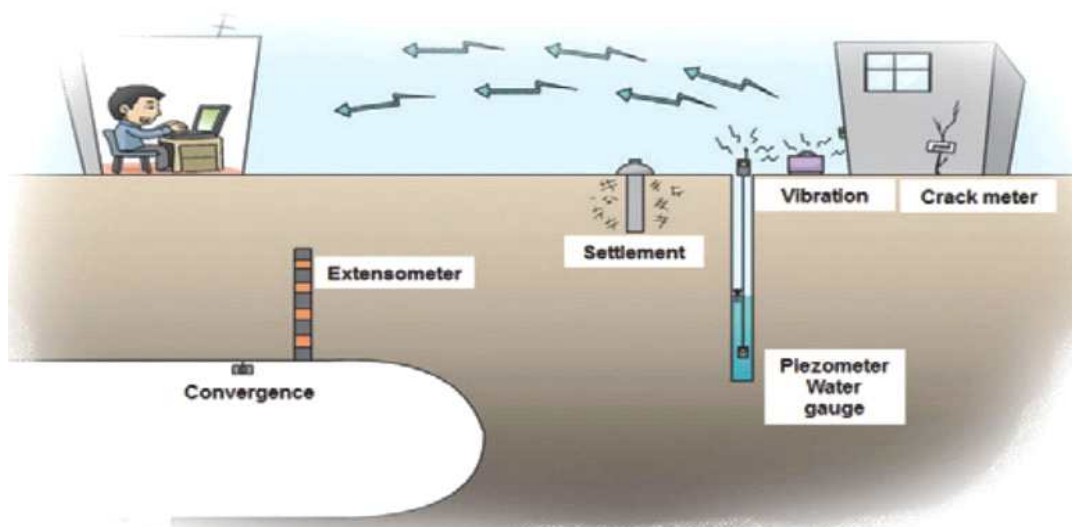


※ 출처: 한국건설기술연구원(2019), 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사현장 활용지원 기술개발

[그림] 미국 위성레이더 활용 지반침하 관측 현황

○ (싱가포르) 지하구조물 건설공사 시 안전을 확보하기 위한 기술을 활용

- 싱가포르 주룡 해저유류기지(JRC, Jurong Rock Cavern Project) 건설 시 이용하여 터널 및 주변 구조물의 장·단기 안전성을 평가하고 지반 보강 및 설계/시공법의 검증과 개선을 목적으로 다양한 토목 계측기 시스템을 이용



※ 출처: 한국건설기술연구원(2016), 지반/지하 안전기술개발 사업 연구

[그림] 계측기 설치 개념도

□ 지하시설물 관련 데이터를 표준화하여 데이터 플랫폼과 연계하는 기술을 통해 관리자에게 표준화 정보를 제공하는 연구를 수행 중

- (영국) 국립지질조사국(British Geological Survey, BGS)은 Geology of Britainviewer를 통해 영국 전역의 상세하고 다양한 지질정보를 3차원으로 제공
 - 영국 전역의 지질도를 3D로 구현하기 위해 기본이 되는 수많은 펜스 다이어그램(지질단면도)를 구축하였으며, Geology of Britain viewer에서는 임의의 지점, 축선에 대한 단면 혹은 3차원 지질분포를 UTM 좌표와 함께 공간통계 분석



※ 출처: 한국건설기술연구원(2019), 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사현장 활용지원 기술개발

[그림] Geology of Britain viewer 홈페이지 및 지질정보

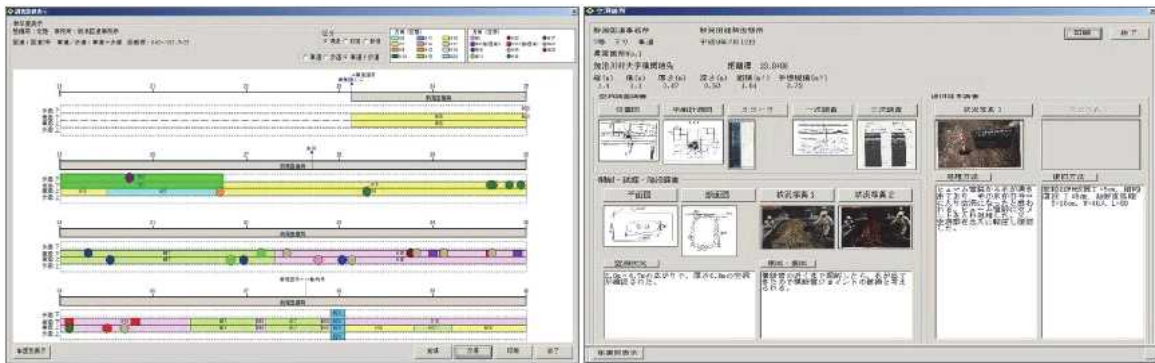
- (일본) 지하시설물의 정보를 관리하고 취득한 GPR 데이터를 표준화하여 플랫폼에 연계하는 연구를 진행하고 있으며, 취득한 데이터는 DB를 구축하고 인프라 시설의 활용
 - 도로관리시스템(ROADIS)을 구축하여 도로 하부의 지하시설물의 정보를 관리하고 있으며, 습득한 GPR정보를 기반으로 도로 관리자 및 공익 사업자에게 정확한 표준화 정보를 제공



※ 출처: 한국건설기술연구원(2019), 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사현장 활용지원 기술개발

[그림] 일본의 도로관리시스템(ROADIS)

- 도로함몰 발생 방지를 목적으로 '06년부터 레이더기술 및 조사차량을 활용하여 10년 주기로 도로 지하공간 공동 발생 데이터를 수집 및 정보 표준화
- 조사에 의해 취득한 데이터를 해석하여 공동의 규모와 함몰 위험도를 정리한 후, 전문가 및 도로 관리자 의견 등을 종합적으로 고려하여 함몰 가능성 타당성 논의
- 조사된 조사 실시 상황, 조사 결과, 보수 상황 등의 상세한 데이터는 데이터베이스로 관리하여 도로, 하수도 등 인프라 시설의 유지관리를 위한 기초데이터로 활용



※ 출처: 한국건설기술연구원(2019), 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사현장 활용지원 기술개발

[그림] 도로 지하공간 공동 조사 데이터 관리 시스템

- 카자마 건설은 최근 도시부의 지하터널공사 시공사례가 증가하는 추세에 대응하기 위하여 '도시 NATM 시공 관리지원 시스템' 구축
- 삼차원 표시 시스템, 터널 계측관리 시스템 등 도시 NATM 용으로 개발된 정보화 시공 툴과 각종 해석 툴을 사내 네트워크로 구성하여 도시 NATM 에서 요구되는 기반거동에 따른 신속하고 정확한 대응이 가능
- 터널 주변부의 3차원 CAD 데이터에 터널계측 관리시스템내의 정보(굴착진행방향, 각종 계측 데이터)를 체계적으로 통합하여 도식화함으로써 설계의 타당성 확인을 위한 유용한 자료로 활용



※ 출처: 한국건설기술연구원(2019), 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사현장 활용지원 기술개발

[그림] 카자마 건설의 도시 NATM 시공 관리지원 시스템

【디지털트윈 기반 지하공간 안전관리 플랫폼 개발 및 실증 기술동향】

□ **지하시설물 데이터 플랫폼을 활용하여 발생하는 안전사고에 대한 긴급 대응 및 보수 보강을 수행하는 기술들을 실용화 연구로 추진 중**

- (미국) 소규모 굴착공사에도 OPS(One Call System)로 연락을 하도록 처리절차를 표준화하였으며, 신고된 공사에 대하여 매설된 지하시설물 관리기관에서 전문가를 지원
 - 전문가는 각 기관에서 구축한 지하시설물 DB를 이용하여 사고를 미연에 방지할 수 있도록 현장감독을 수행하지만, 별도의 시스템을 통해 통합된 정보는 미제공



※ 출처: 한국건설기술연구원(2019), 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사현장 활용지원 기술개발

[그림] OPS(One-Call-System)홈페이지 및 주(州)별 정보

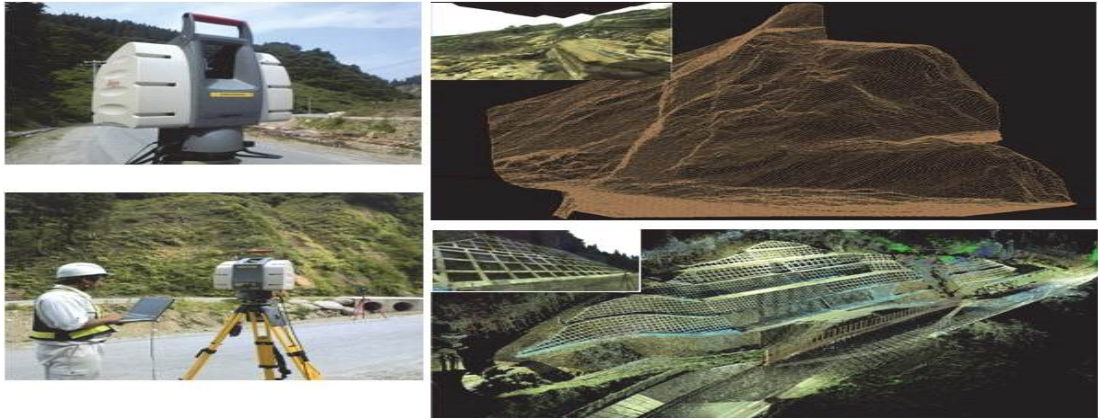
- 파이프라인 및 위험물질 안전청(PHMSA)은 미국 내 지하시설물 안전관리 시스템 개발을 통해 지하에 매설된 모든 천연가스 저장시설 및 파이프라인에 대한 안전 감독을 시행
 - PHMSA는 미국의 액체(유류) 및 가스전송 파이프라인, LNG 시설물을 포함하는 GIS 데이터 세트를 구축
 - 파이프라인 감시체계(안전관리시스템, SMS) 기반의 정보공유 체계를 통해 파이프라인 매핑 시스템을 제공하며 업무시스템과 일반인이 접근 가능한 공개 시스템으로 구성



※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2021), 지하시설물 스마트 건설 및 유지관리 연구사업 기획 최종보고서

[그림] 파이프라인 매핑시스템

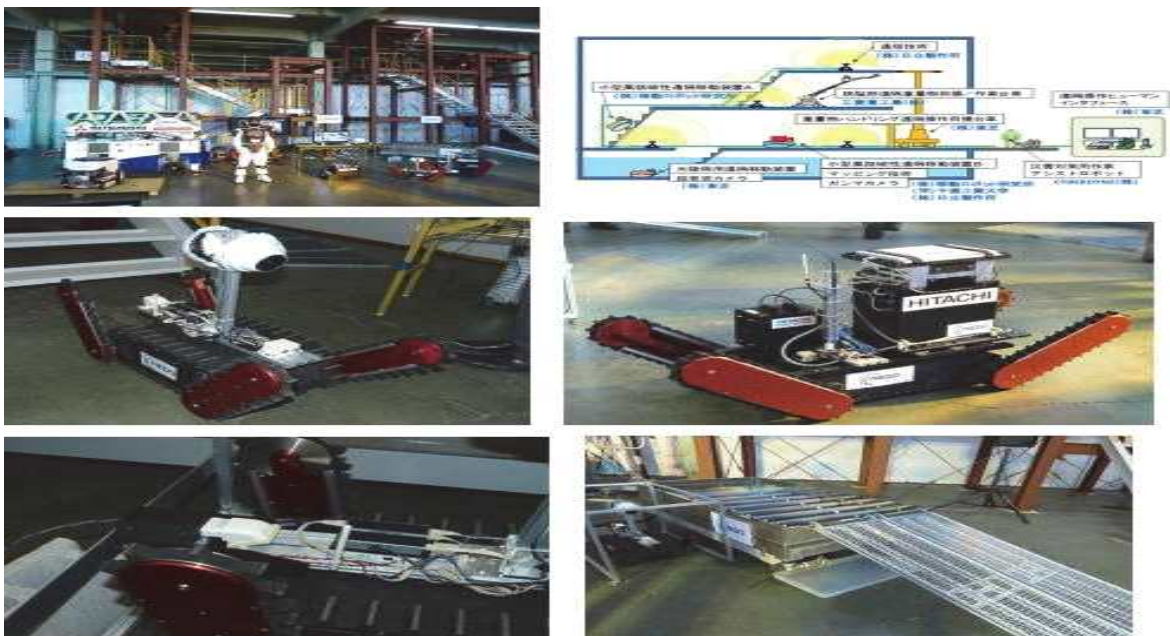
- (일본) 레이저를 활용하여 지형이나 구조물 형상에 대한 공간현상을 스캔하는 기술 활용
 - 레이저 스캐너를 활용하여 지형이나 구조물 형상을 입체 이미지로 표현하고, 구조물의 측량을 측정하는 작업 수행
 - 지하매설물의 시공단계마다 3차원 데이터를 취득하여, 지중 매설물의 유지관리를 용이하게 해주며, 보이지 않는 공간을 시각적으로 형상화하여 공간에 대한 보수, 복구 과정에서 3차원 시뮬레이션을 통해 효과적인 검토 제공



※ 출처: 한국건설기술연구원(2016), 지반/지하 안전기술개발 사업 연구

[그림] S3차원 레이저 스캐너 시스템

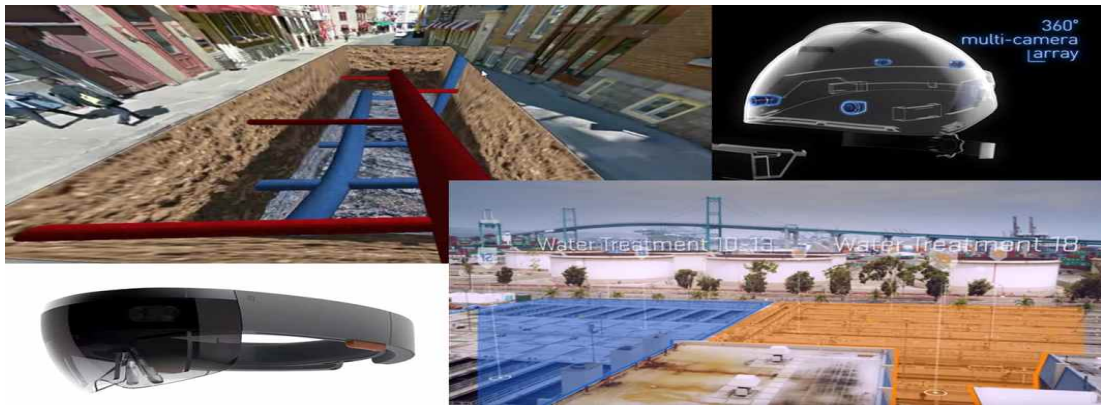
- NEDO는 재해 대응 무인화 시스템 연구개발 프로젝트를 통해 지하공간, 원전 사고 현장 등에서 사용 가능한 무인 로봇 시스템 실용화 연구
 - 재해 대응 무인화 시스템은 복수의 로봇 UI 통합, 지하 계단 이동 가능, 원격 자동 충전 시스템, 무선 통신 시스템, 재해 대응 작업 맵핑 기술을 제공



※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2021), 지하시설물 스마트 건설 및 유지관리 연구사업 기획 최종보고서

[그림] 파이프라인 매핑시스템

- (스웨덴) Eurostep사는 ISO 10303-239 PLCS(Product Life Cycle Support)를 기반으로 제품 및 시설의 생애주기 정보를 통합 관리할 수 있는 정보관리 미들웨어를 개발하여 상용화 성공
 - 국방, 항공, 철도, 인프라 등 다양한 산업 분야에 마스터 정보관리, 수명주기 관리, 형상 관리 등을 하고 있으며, 가상현실 및 증강현실을 구현하여 공사에 활용 중
 - 볼보(Volvo)사는 굴삭기의 원격 조종에 증강현실을 응용하여 태블릿 형식의 리모트 컨트롤러에 실제 지반, 지하매설물, 작업할 영역을 함께 디스플레이하여 지하매설물의 위치 확인과 장비의 원격조정이 동시에 가능한 기술을 제안



※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 증강현실을 통한 지하 시공 기법 적용 사례

- (오스트리아) Smart Vidente 에서는 지리 공간적 데이터베이스를 활용하여, 3D로 시각화하는 증강현실 시스템을 구축
 - GPS, 관성, 자이로스코프 및 자기 센서를 사용하여, 모바일을 활용한 지리정보를 3D로 시각화하고 지하 배관 네트워크에 대한 그래픽을 확인하여 누출 가능성 예측
 - 굴착활동 이전에 종이지도의 한계점을 극복하여, 지하 네트워크를 직관적으로 제공



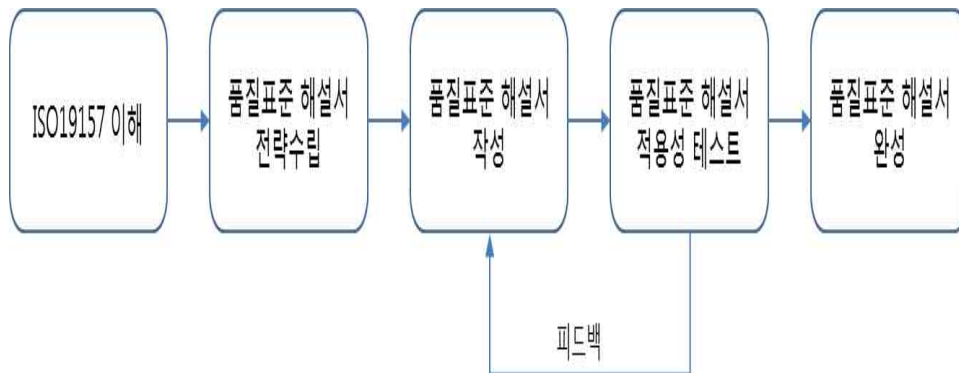
※ 출처: 한국건설기술연구원(2016), 지반/지하 안전기술개발 사업 연구

[그림] Smart Vidente

나. 국내 기술 동향

【국내 공간정보 데이터 품질 기술 동향】

- 한국정보화진흥원, 한국데이터산업진흥원, 국토교통부 등에서 일부 공간정보에 대한 데이터 품질 표준화 개발 진행 중
 - (한국정보화진흥원) 공공데이터 포털을 통해 공공데이터 품질관리가 국제표준에 적합하도록 지원
 - (한국데이터산업진흥원) 데이터 품질 인증제도를 운용하면서 국제규격을 선도하는 데이터 품질 방법론 개발
 - (국토교통부) 국가공간정보표준화사업을 통해서 공간정보의 생산 및 가공에 필요한 품질표준 해설서 제작
 - 품질평가는 품질평가 준비→품질측정→품질평가 방법 지정→품질평가 보고의 절차로 진행, 품질 확보를 위한 작업으로 공간정보 데이터 품질의 개념적 모델의 유기적 구조 관계를 DQ 요소에 의해 결정



※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 공간정보 품질표준 해설서 제작 과정

- 국토교통부, 환경부 등에서 지하시설물 관련 데이터 통합 DB센터를 운영 중이나, 타 부처와 데이터를 연계하는 시스템은 지하수 관련 데이터만 일부 제공 중
 - 국토교통부에서는 전 국토의 지반조사 결과의 효용성을 높이기 위하여 '03년부터 국토 지반 정보 통합 DB센터를 운영
 - 「지반조사 결과 전산화 및 활용에 관한 지침」에 따라 건설 현장에서 발생하는 지반 시추 성과와 관련된 각종 조사·관측 자료와 시험자료의 효율적인 수집, 관리 및 활용 시스템
 - 지반정보의 3차원 모델링, 공간분석과 시각화가 가능하며 국토교통부 산하기관 및 지자체와 시민, 기업 등에게 정보를 제공하고 지반조사에 대한 가이드라인을 제시하여 지반정보를 표준화함으로써 정확도 높은 지반정보를 수집·관리·활용 가능

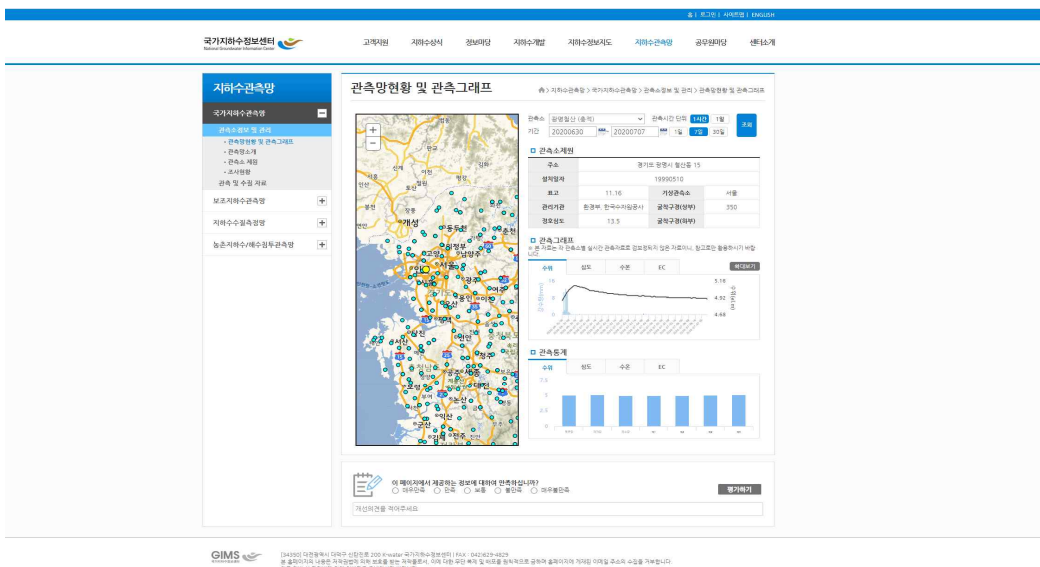


※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 지반조사의 수집·관리·활용을 지원하는 국토지반정보 통합DB센터

○ 환경부는 전국 지하수 수량, 수질 이용실태 등 모든 지하수 정보를 관리하기 위해 국가 지하수정보센터를 운영

- 국가지하수정보센터는 「지하수법」 제5조의2와 지하수관리 기본 계획에 의거하여 지하수 이용, 조사, 관측 자료와 국내외 신기술 및 연구자료 등의 효율적 활용 지원
- 농림축산식품부(농업용지하수), 환경부(지하수 수질), 행정안전부(온천, 비상 급수), 국방부(국방용지하수)의 시스템을 연계하여 정보 제공

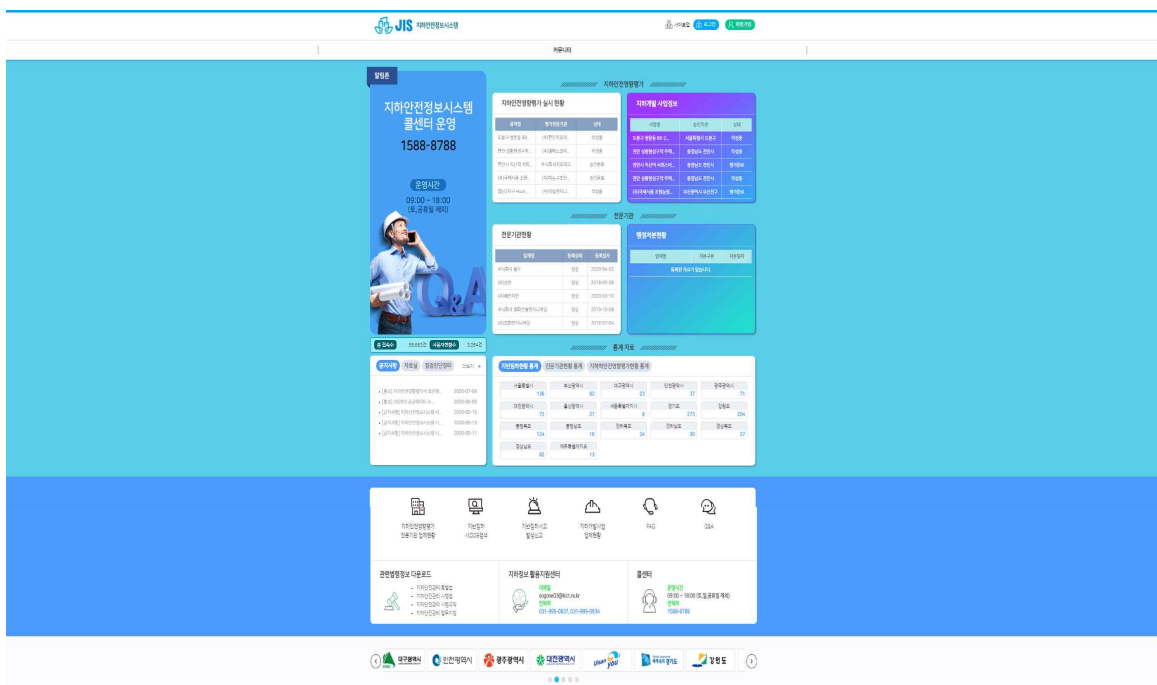


※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 지하수 정보를 수집·관리·활용을 지원하는 지하수 정보센터

【지하공간 안전관리 기술 동향】

- 국토교통부는 지하공간통합지도를 지하개발 현장에서 활용할 수 있도록 지원하고, 지하구조물의 생애주기를 통합관리를 지원하나, 지질데이터는 업데이트가 필요한 상황
- 지반침하 안전사고를 예방하고 지하공간의 안전한 개발과 이용을 지원하기 위해 지하 안전 정보시스템을 운영
 - 지하안전 영향평가, 소규모 지하안전 영향평가, 사후지하안전 영향조사, 지하안전 점검, 지하안전 계획 수립 관리 등에 대한 검토·승인·관리를 지원
 - 모든 관리기관에서 일괄적으로 공통된 표준양식 기반의 지하정보를 구축하는 등 지하공간 통합지도 표준 데이터를 구성하기 위한 지속적인 개선방안을 도출 필요
- 지하시설물 통합관리시스템을 통해 시군구의 6종 지하시설물의 속성 및 공간 자료 (2차원)를 통합관리
 - 서버 시스템은 도로 굴착·점용·인허가 시스템, 상·하수도 웹 조회 시스템, 유관기관 데이터 (가스, 통신, 난방, 전력) 조회 시스템, 도로 웹 조회 시스템으로 구성
- 지하공간 통합지도 구축사업을 통하여 지하시설물 6종, 지하구조물 6종, 지반 3종의 지하정보의 속성 및 공간자료(3차원)를 구축하고 이를 통합관리
 - 지반 데이터는 지하공간 통합지도 DB 구축사업을 통하여 구축하며 시추 데이터 갱신 사항이 발생할 경우 새로운 데이터(2차원, 3차원)를 수작업을 통하여 제작하고 관정 데이터는 2차원 데이터만 갱신하며 지질 데이터는 갱신사항 없는 것으로 조사



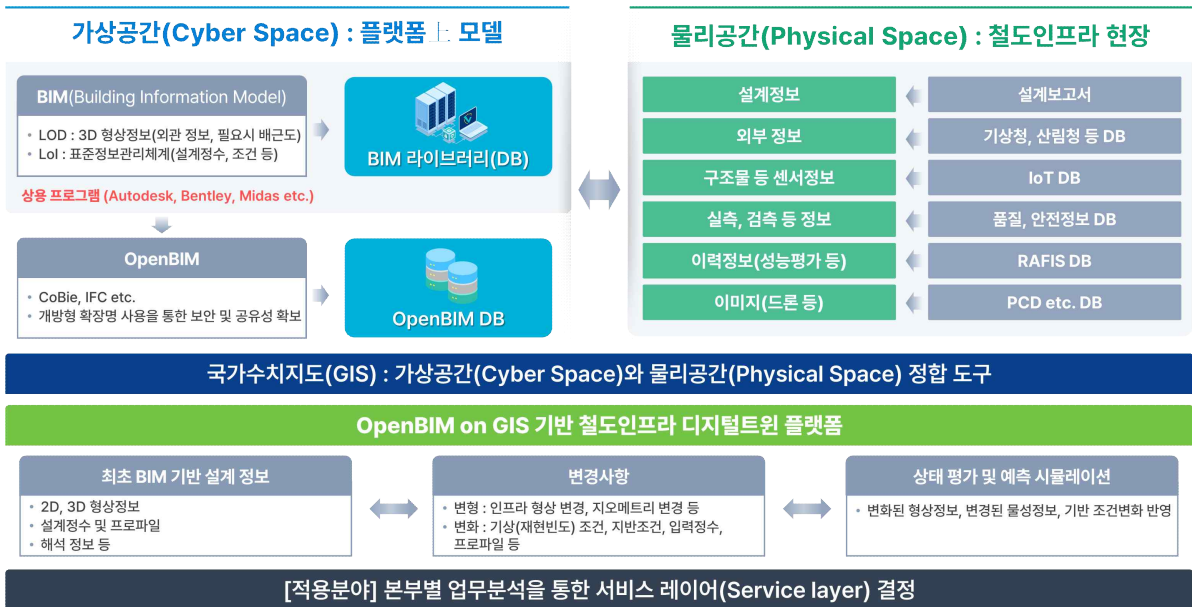
※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] 지하안전정보시스템 화면

【정보 관리 및 가상현실 기술 동향】

□ (국가철도공단) 철도인프라 디지털트윈 정보화전략계획(ISP) 수립 용역 발주

○ 국가철도공단은 OpenBIM on GIS를 기반으로 철도인프라와 활용 가능한 모든 데이터를 연계하여 다양한 상황(설계, 건설, 유지관리, 재난안전관리 등)에 대한 관리, 분석, 운영 시뮬레이션이 가능한 “철도인프라 디지털트윈 시스템”을 구현하고 이를 현실 세계의 업무에 활용하기 위하여 “철도인프라 디지털트윈 정보화전략계획 수립 용역”을 발주 및 수행 중(2024)



※ 출처: 국가철도공단 ISP 용역 제안서 발표자료(2024)

[그림] 철도인프라의 DT 구현을 위한 플랫폼 기본 개념도



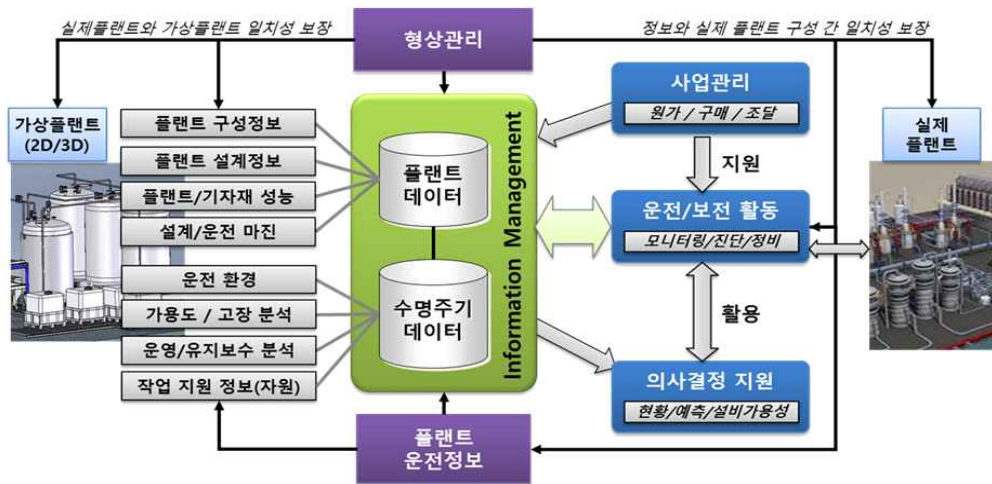
※ 출처: 국가철도공단 ISP 용역 제안서 발표자료(2024)

[그림] 철도인프라 건설단계의 설계변경 프로세스 자동화(공간정보 기반으로 지하공간 확장 가능)

【정보 관리 및 가상현실 기술 동향】

□ 국내 기업에서는 현장에서 수집한 정보를 3차원 공간상에서 가시화하여, 가상현실 기술 결합을 통해 일부 플랫폼에 대한 통합정보관리 시스템 개발 중

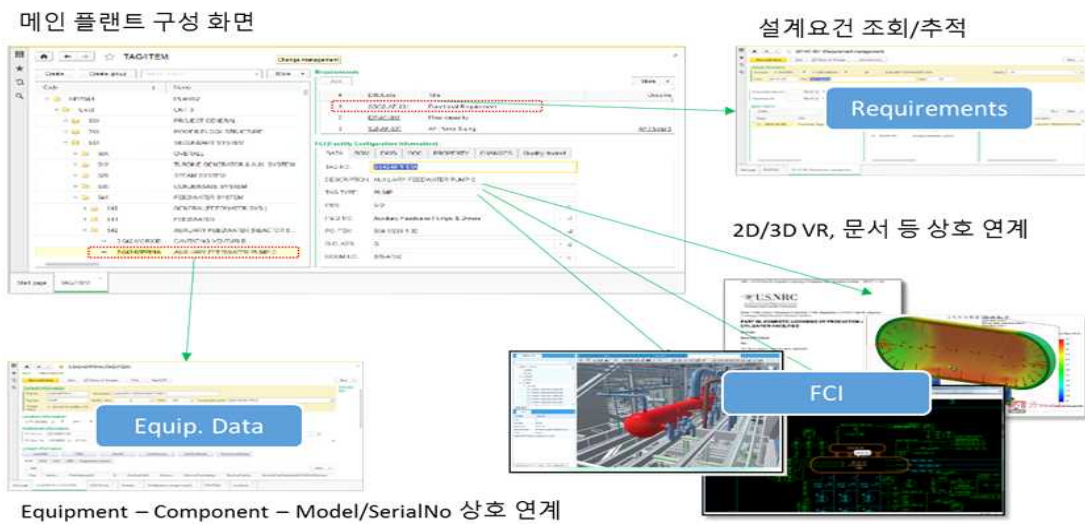
- (주)부품디비는 한국수력원자력과 공동으로 추진한 “데이터 기반 원전 건설관리체계 통합화/자동화 기술개발(2012~2016)” 연구에서 원자력 발전소 생애주기 통합정보관리체계 개발
 - 원자력 발전소 생애주기 통합정보관리체계는 신규 건설 원전의 통합정보관리체계로 실제 플랜트 형상과 가상현실의 형상을 동일한 조건에서 다루고 있으며, 현재 사업화 추진



※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

[그림] (주)부품디비 플랜트 생애주기 통합정보관리 및 정보서비스 개념도

- (주)부품디비는 중소규모 플랜트를 위한 통합정보관리 시스템, 형상관리에 활용하기 위한 정보관리 모델 및 정보관리플랫폼 등을 개발하고 있으며, 가상현실 기반 플랜트 운전 및 정비에 활용



※ 출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), 기반시설 첨단관리(Total care) 기술개발사업

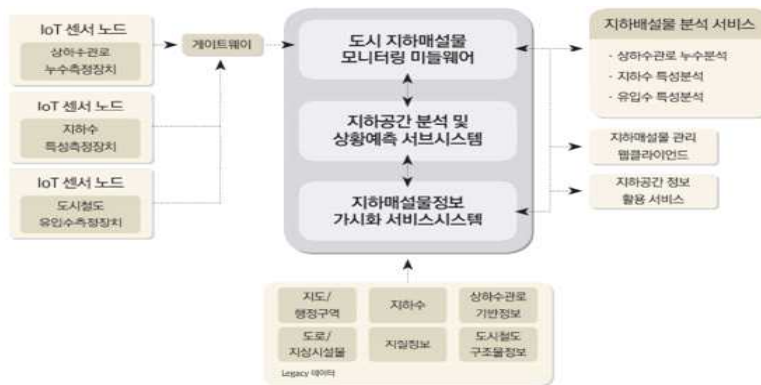
[그림] (주)부품디비 통합정보관리 및 조회 플랫폼

【디지털트윈 기반 지하공간 안전관리 플랫폼 개발 및 실증 기술 동향】

□ 과학기술정보통신부, 국토교통부에서는 지하공간의 이상 징후를 사전에 대응하기 위한 지하시설물 모니터링 및 의사결정 시스템을 개발 중이나 활용도는 낮은 편

○ (과학기술정보통신부) 도시 재난재해 사고의 주요 요인을 내재하고 있는 지하공간의 이상 징후를 사전에 감지, 예측, 대응하기 위한 사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발 사업수행

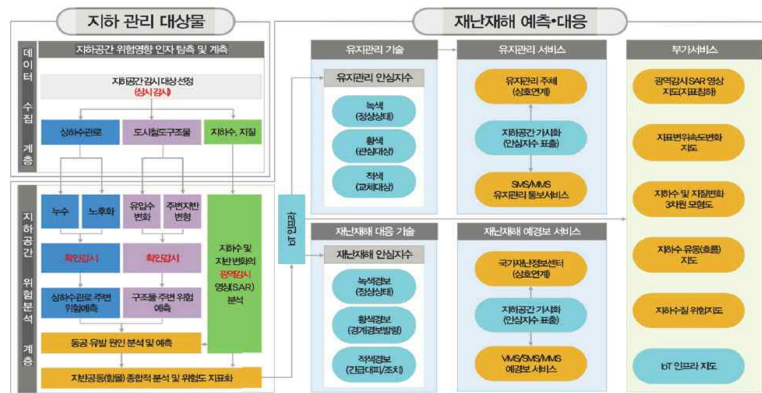
- 도시철도구조물 주변의 위험요인을 실시간으로 감시하며, 이상 징후 탐지 시 영향 진단을 통해 사고를 예측하고 신속히 대응하는 재난재해 대응 시스템 개발을 위한 4대 실용화 핵심기술을 개발 추진



※ 출처: 정보통신기술진흥센터(2015), IoT 기반 도시 지하매설물 모니터링 플랫폼 기술현황

[그림] 도시 지하매설물 모니터링 플랫폼 구조도

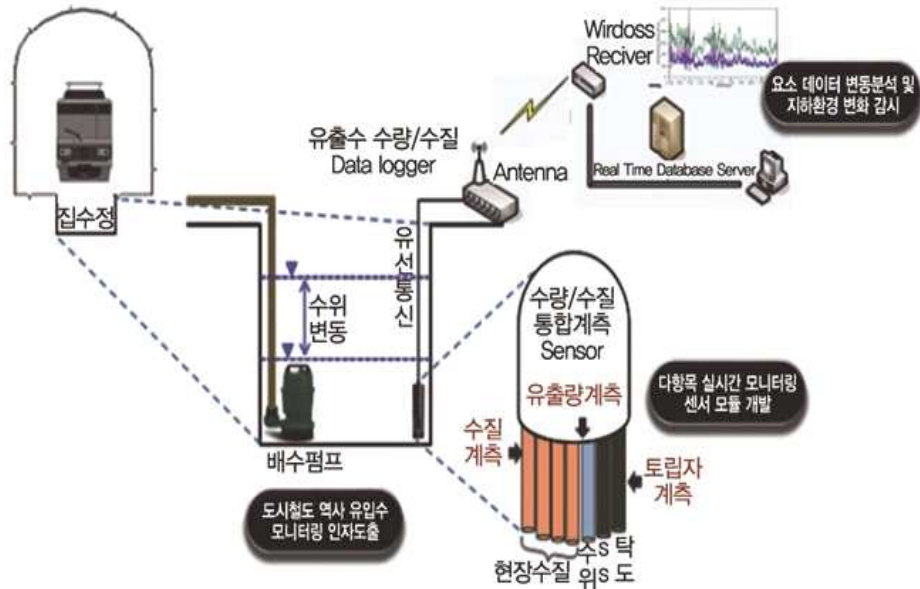
- 지하공간의 변화를 추적하는 통합감시 및 예측 모델 개발을 통해 주요 시설에 대한 개별적인 상태변화 뿐만 아니라, 싱크홀과 같은 복합 재난재해 사고를 조기에 감지하고, 사전에 선제적으로 대응할 수 있는 IoT 기반 대응 시스템 개발
- 도시 전역에 분포하고 있는 지하 매설물 및 도시 철도 지하구조물/주변 지반의 자원과 자산에 대한 센싱 및 계측 데이터 수집이 가능한 광역 저전력 고신뢰 WPAN 기술과 복합 재난재해 사고를 조기에 감지하고 사전 예방하는 의사결정 시스템 개발



※ 출처: 한국전자통신연구원(2015), 사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술

[그림] 지하매설물 재난재해 예측 대응기술

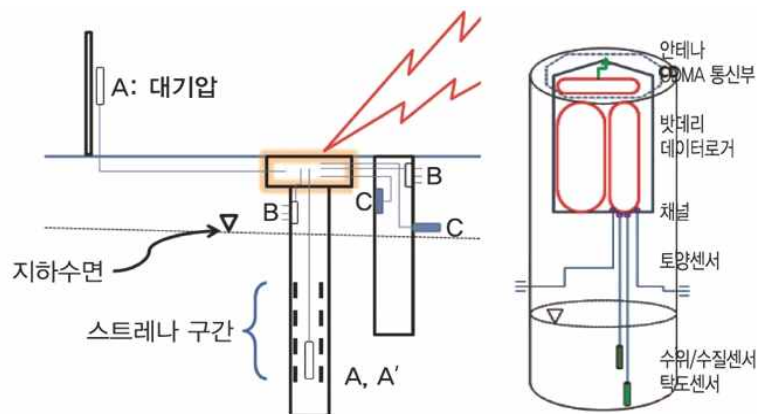
- 도시철도 지하구조물 및 주변 지반의 위험도 영향인자를 계측하고, 이에 대한 위험도 평가 알고리즘을 제시하여 위험도 등급(안심지수)을 수요처에 서비스(재난 경보, 유지 보수 알림 서비스 등) 로 제공하기 위한 요소 및 융합 기술 개발
 - 도시철도 지하구조물 하부 공동 발생 시 구조물 이상거동 탐지 개소 비파괴 평가 시험법 도출 및 시뮬레이션 개발



※ 출처: 한국전자통신연구원(2015), 사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술

[그림] 지하철 유입수 모니터링

- 도심지역의 지질과 지하수 변화를 실시간으로 예측하여 인위적, 또는 자연적인 복합 재난재해를 조기에 감지하고 사전 예방할 수 있는 기술
 - 도시 지하수 및 지반변형 감지 센서를 개발하고 최적의 관측망을 구축하여 모니터링하며, 지하 굴착공사, 토목건설 등에 의해 지하수계가 영향을 받아 재해 또는 재난으로 파생되는지에 대한 과학적인 규명 및 정량적인 평가 기술



※ 출처: 한국전자통신연구원(2015), 사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술

[그림] 실시간 측정과 전송이 가능한 복합센서

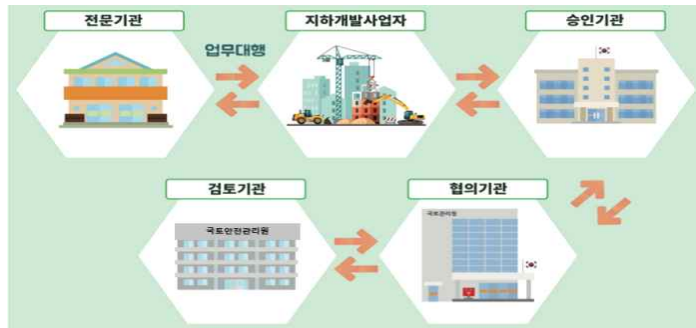
- (국토교통부) 도로함몰 위험구간 탐지 장비 개발을 목적으로 복합센서형 비파괴 검사장비, Multi-Data를 활용한 도로함몰 탐지 시스템 시제품, 탐지 장비의 운용 및 데이터 취득 매뉴얼 개발 추진
 - 지표투과레이더, Falling Weight Deflectometer(FWD), Acoustic Emission 등 다양한 종류의 비파괴 시험을 이용하여 도심지 하부에 발생한 공동이나 지반의 상태를 평가하여 도로함몰 위험도를 평가할 수 있는 물리탐지 및 분석 시스템 개발
- 도로함몰 위험구간 탐지 분석 기술 개발을 목적으로 비파괴시험 데이터 처리 프로그램, 데이터마이닝을 이용한 도로함몰 자동진단 프로그램, 도로함몰 위험도 평가 프로그램을 개발
 - 도로함몰 위험 구간을 자동으로 스크린해 주는 자동 진단 프로그램을 개발하고, 도로함몰 위험 구간에서 위험도 등급을 산정해 주는 위험도 등급 알고리즘 개발



※ 출처: 국토교통부(2015), 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발 기획

[그림] 도로함몰 위험도 탐지시스템 개념

- 굴착깊이 20m 이상의 공사는 계획단계에서 지하안전평가를 수행하고, 착공 후에 착공 후지하안전조사를 수행하여 공사 중 안전관리 상태를 확인하고 보수보강하는 기술 개발 중
 - 지하개발 사업자가 작성한 지하안전평가서 등의 적정성을 검토하기 위해 승인기관으로 해당사업의 개발계획을 국토교통부에 협의 요청하여 진행 중
 - 기술적인 검토를 위해 국토안전관리원 등에 검토를 의뢰하여 굴착공사 안전관리를 위한 플랫폼 개발을 추진 중



※ 출처: 국토안전관리원(2021), 국내 지하안전관리제도 최신동향

[그림] 지하안전평가 협의절차 플랫폼

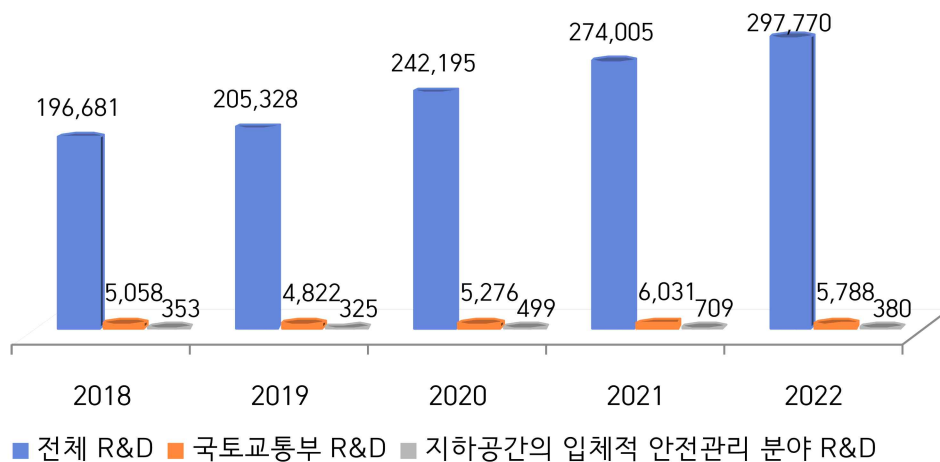
4) 국내 R&D 역량분석

(1) 국가연구개발사업과 지하공간의 안전관리 관련 R&D 투자동향

□ '22년 정부의 연구개발 예산은 29조 7,770억 원으로 전년 대비 약 8.7% 증가하였으며, 지하공간의 안전관리 R&D 투자는 증감을 반복하는 추세

- 정부 연구개발사업의 투자는 '18년부터 꾸준히 증가하고 있으며, '22년에는 약 29.7조 원으로 그 규모가 최대로 확대
- 지하공간의 안전관리 R&D는 국가 전체 R&D 예산의 약 0.13%로, '22년에는 약 380억 원의 예산이 투자될 계획

(단위: 억 원)



※ 출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 2021년도 정부 연구개발예산 현황분석, 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 2022회계연도 국토교통부 소관 예산 및 기금운용계획안 개요(국토교통부), 2022 나라살림 예산개요(기획재정부)

[그림] 정부 연구개발사업과 지하공간의 안전관리 관련 R&D 사업의 투자 동향

(2) 지하공간의 안전관리 관련 투자동향

□ 분석 개요

- (목적) 국가연구개발사업과 지하공간의 안전관리와 관련한 정부 R&D 사업의 투자동향 분석을 통해 국내 연구개발 역량을 진단
- (조사범위) 최근 5년('18~'22년)간 국가연구개발사업 및 과제
- (검색범위) 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 활용하여 전체 R&D 중 지하공간의 안전관리와 관련 있는 과제들을 아래의 검색어를 통해 포괄적으로 조사
- (검색어) 지하공간+AI; 지하공간+안전평가; 지하공간+안전관리; 지하공간+정보구축; 지하공간+위험평가; 지하공간+예방+대응; 지하공간+디지털 트윈; 지하공간+실증;
- (분석항목) 연도별, 부처별, 연구단계별, 수행기관별 정부 R&D 출연금 및 과제 수

□ 연도별 투자동향

- '18년 이후 지하공간의 안전관리 분야의 정부 R&D 연구비 투자는 연평균 453억 원 이고, 전체 R&D 대비 지하공간의 안전관리 분야의 투자 비중은 연평균 약 0.18% 수준으로 투자
 - 지하공간의 안전관리 분야 과제 수 투자 비율이 '21년 126개에서 '22년 16개로 약 87.3% 감소하였고, 투자 비중은 전년도 대비 약 46.4%(329억 원) 감소
 - 지하공간의 안전관리 분야 정부 R&D 과제 수는 연평균 -35%로 감소하고 있으며, '18년 88건에서 '21년 126건으로 증가하였으나, '22년 16건으로 감소

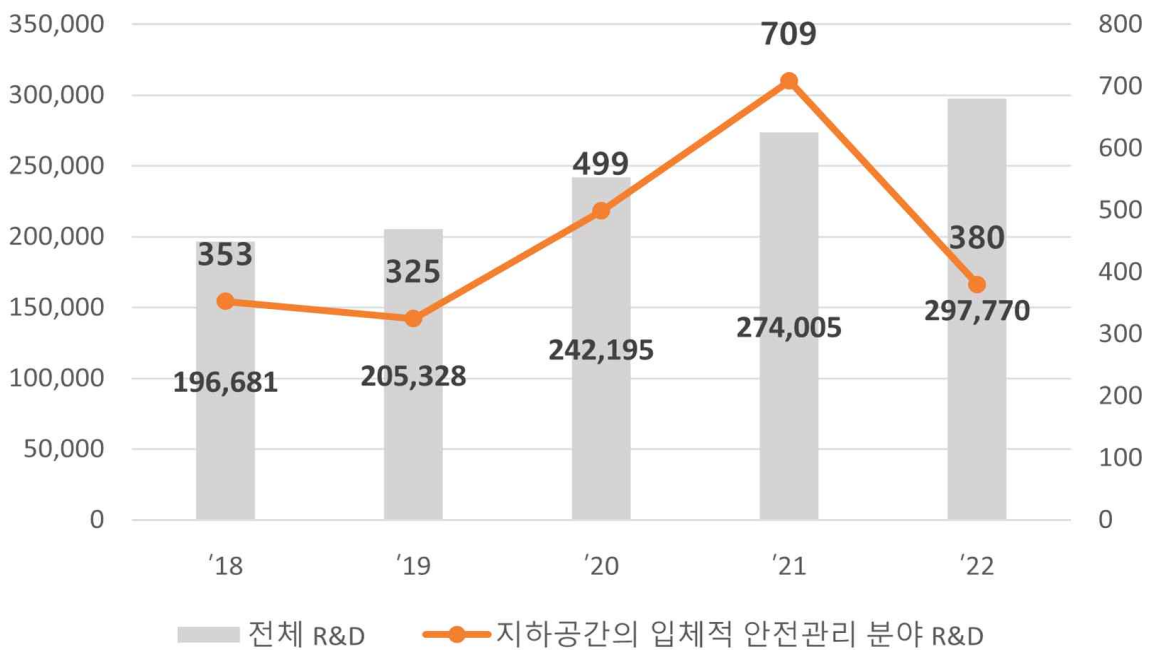
〈표〉 전체 R&D 예산 및 지하공간의 안전관리 분야 R&D 투자 현황

(단위: 억 원, %)

구 분	'18	'19	'20	'21	'22	평 균
전체 R&D (A)	196,681	205,328	242,195	274,005	297,770	243,196
국토교통부 R&D	5,058	4,822	5,276	6,031	5,788	5,395
지하공간의 안전관리 분야 R&D (B)	353	325	499	709	380	453
국가 R&D 중 지하공간의 안전관리 분야 투자 비중(B/A)	0.17	0.15	0.20	0.25	0.12	0.18

※ 출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 2021년도 정부 연구개발예산 현황분석, 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 2022회계연도 국토교통부 소관 예산 및 기금운용계획안 개요(국토교통부), 2022 나라살림 예산개요(기획재정부)

(단위: 억 원)



※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

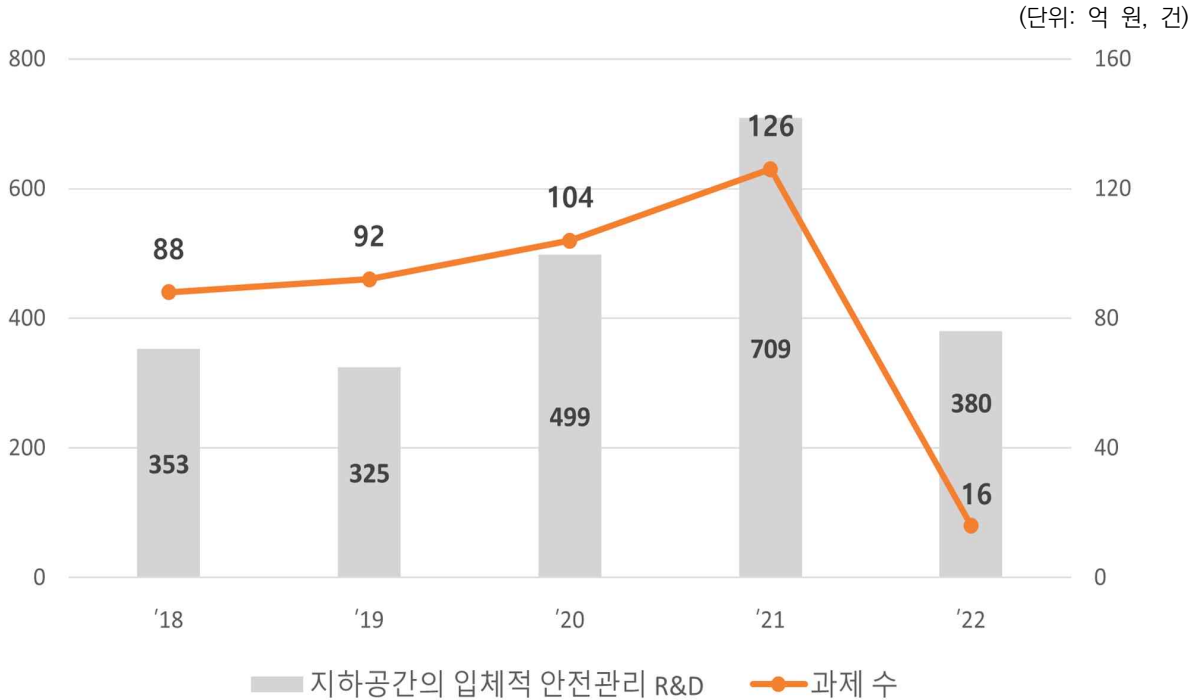
[그림] 전체 R&D 예산 및 지하공간의 안전관리 분야 R&D 투자 현황

〈표〉 지하공간의 안전관리 분야 R&D 예산 투자 현황 및 과제 현황

(단위: 억 원, 건)

구분	'18	'19	'20	'21	'22	합계	GAGR(%)
지하공간의 안전관리 R&D	353	325	499	709	380	2,266	2%
과제 수	88	92	104	126	16	426	-35%

※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)



※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

[그림] 지하공간의 안전관리 관련 분야 정부 R&D 예산 투자 및 과제 현황

□ 부처별 투자동향

- 최근 5년간('18~'22) 지하공간의 안전관리 관련 분야 부처별 R&D 투자 현황을 살펴보면 국토교통부가 911억 원(40.21%)으로 가장 많이 투자
 - 부처별 R&D 투자 비중은 국토교통부, 과학기술정보통신부, 산업통상자원부 순으로 높게 나타나며, 총 7개 부처와 다부처에서 수행
 - 국토부의 예산은 '18년 141억 원에서 '19년 한 해 130억 원으로 감소하였다가 증가 추세로 바뀌었고, '22년 예산에서는 전년도인 '21년도와 유사한 투자 현황을 보이는 중
 - 과학기술정보통신부 R&D 투자는 '18년 60억 원의 예산에서 출발하여 지속적으로 증가하다가 '22년 139억 원으로 감소하였고, 'AI를 활용한 지하공간 및 자원개발', '인공지능을 활용한 대심도 지하 대공간의 스마트 복합 솔루션 개발- 미래 지하 대공간 안전을 위한 스마트 복합 솔루션 개발' 등의 사업을 수행

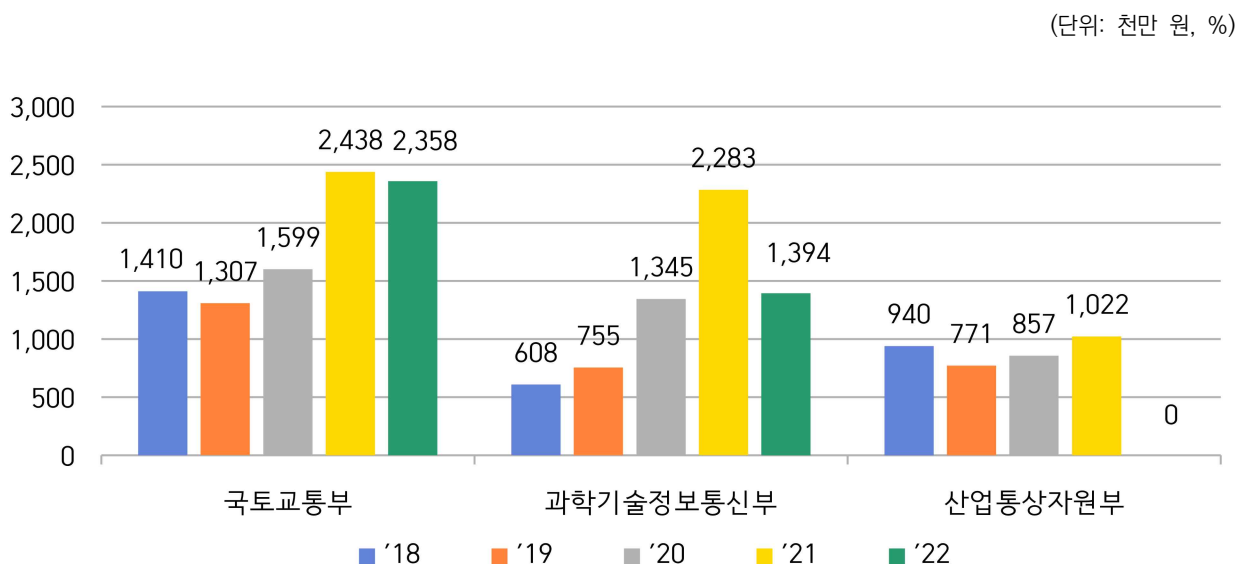
- 산업통상자원부 R&D 예산은 '18년 94억 원에서 '19년 77억 원으로 잠시 감소하였다가 '20년~'21년 사이 다시 증가 추세로 바뀌었으며, '가스 배관 등 지하매설물 사고 예방을 위한 통신시스템 및 건설기계 자동제어 시스템 개발', 'LID 기반의 식생형 빗물 유출관리 및 원격 제어형 지하 저류시설 구축을 위한 공동협업프로젝트' 등의 사업을 진행
- 중소벤처기업부는 'Bluetooth Mesh Network를 활용한 지하공간 손쉬운 무선 통신 네트워크 구축 및 안전관리시스템 개발', '인천공항 지하공동구 스마트 작업 안전관리 시스템 개발' 등의 사업을 수행하였으며, 그 외 행정안전부, 환경부, 다부처에서는 'Noise Cancellation 적용하여 원신호 잡음 제거와 PLC 기반 원격 감시제어 가능한 터널 및 지하용 디지털 재난방송 송수신 장치 개발', '지중환경 오염경로·오염물질 스마트 진단·평가·예측 현장 적용 등의 사업을 수행용 기술개발', '디지털트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술개발'
- 교육부는 '긴급재난을 고려한 지하 대피공간 구축방안', '전하 충전성을 활용한 도심지 터널 기계화 건설 중 지질 리스크 탐사기술 개발' 등의 사업을 수행

〈표〉 지하공간의 안전관리 분야 R&D 투자 현황

(단위: 천만 원, %)

부처명	'18	'19	'20	'21	'22	합계	비 중
국토교통부	1,410	1,307	1,599	2,438	2,358	9,112	40.21
과학기술정보통신부	608	755	1,345	2,283	1,394	6,385	28.18
산업통상자원부	940	771	857	1,022	-	3,590	15.84
중소벤처기업부	111	116	200	199	51	677	2.99
교육부	112	126	166	219	-	623	2.75
행정안전부	106	60	170	163	-	499	2.20
환경부	240	116	199	135	-	690	3.05
다부처	-	-	453	629	-	1,082	4.78
합 계	3,527	3,251	4,989	7,088	3,803	22,658	100

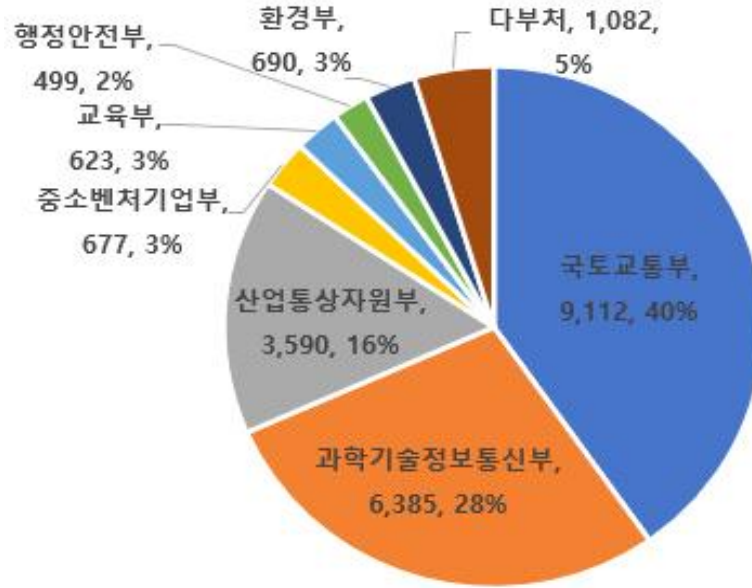
※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)



※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

[그림] 부처별 지하공간의 안전관리 분야 R&D 투자 비중 중 상위 3개 부처의 투자 규모

(단위: 천만 원)



※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

[그림] 지하공간의 입체적 안전관리 분야 부처별 비중 ('18~'22 안전관리 투자 투자액 합계)

○ 국토교통부는 타 부처에 비해 대형 R&D 과제 위주로 투자

- 국토부는 911억 원을 92개 과제에 지원하고 있으며 과제당 평균 연구비는 9.9억 원 수준으로 지원
- 과학기술정보통신부는 638억 원을 157개 과제에 지원하며 과제당 평균 연구비는 4.0억 원 수준으로 투자
- 산업통상자원부는 38개 과제로 지원을 하고 있으며 과제당 평균 연구비는 9.4억 원

<표> 부처별 지하공간의 안전관리 분야 R&D 과제당 평균 연구비 현황

(단위: 억 원, 건)

구분	정부 연구비	과제 수	과제당 평균 연구비
국토교통부	911	92	9.9
과학기술정보통신부	638	157	4.0
산업통상자원부	359	38	9.4

* 과제 수 상위 3개 부처의 정부 연구비, 과제 수를 분석함

※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

□ 연구단계별 투자동향

- '18년~'22년 지하공간의 안전관리 관련 R&D는 개발 단계에 약 1,125억 원 (약 50%)으로 가장 많은 투자가 이루어지고 있으며, 개발연구 단계의 R&D 예산은 증감을 반복하는 추세이고, 응용 연구단계의 연구비 투자는 '21년까지 증가하다가 '22년에 감소

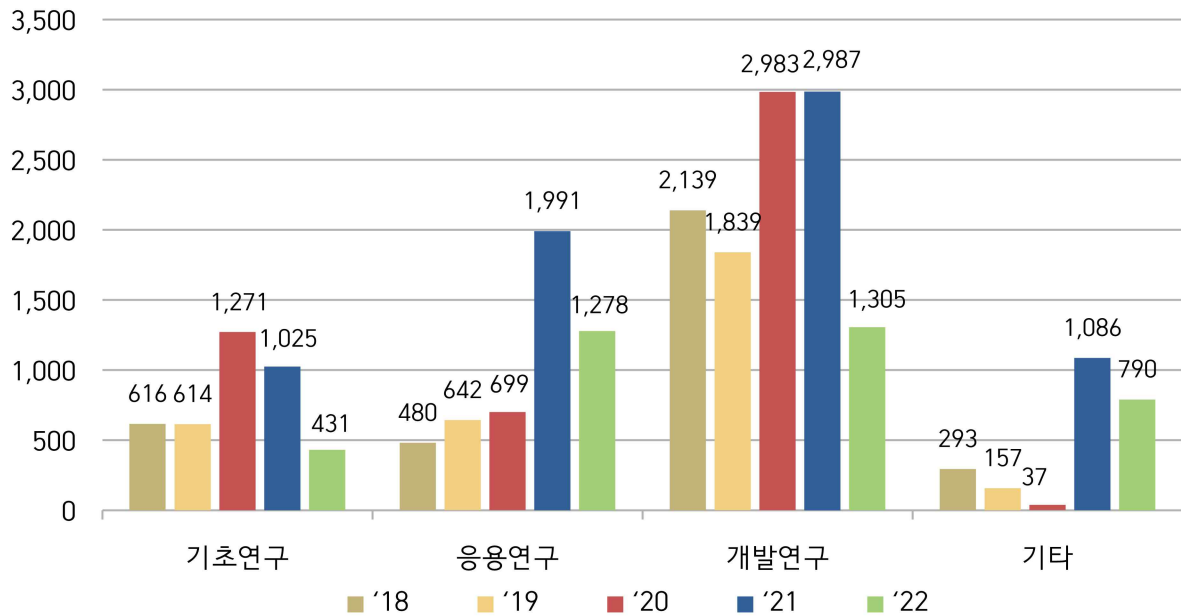
〈표〉 지하공간의 안전관리 관련 분야 연구단계별 R&D 예산 투자 현황

(단위: 천만 원, %)

구분	'18	'19	'20	'21	'22	합계	비중
기초연구	616	614	1,271	1,025	431	3,957	17.5
응용연구	480	642	699	1,991	1,278	5,090	22.4
개발연구	2,139	1,839	2,983	2,987	1,305	11,253	49.7
기타	293	157	37	1,086	790	2,363	10.4
합계	3,528	3,252	4,990	7,089	3,804	22,663	100

※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

(단위: 천만 원)



※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

〔그림〕 연구단계에 따른 지하공간의 안전관리 관련 분야 R&D 예산 투자 현황

- 과학기술정보통신부, 행정안전부, 교육부, 다부처를 제외한 4개 부처에서 지하공간의 안전관리 관련 R&D 중 기초·응용연구보다 개발연구가 높은 비중을 차지

〈표〉 부처별 연구단계에 따른 지하공간의 안전관리 관련 분야 R&D 예산 투자 현황

(단위: 억 원, %)

부처명	기초연구		응용연구		개발연구		기타	
	금액	비중	금액	비중	금액	비중	금액	비중
국토교통부	69	7.6	309	34.0	528	58.0	4	0.4
과학기술정보통신부	175	27.5	107	16.8	176	27.6	179	28.1
산업통상자원부	40	11.22	0.5	0.14	264	74.05	52	14.5
중소벤처기업부	-	-	-	-	67	100	-	-
행정안전부	39	81.3	3	6.2	6	12.5	-	-
환경부	9	13.24	27	39.70	32	47.06	-	-
교육부	61	98.9	0.7	1.1	-	-	-	-
다부처	-	-	60	56.07	47	43.93	-	-

※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

□ 연구수행 주체별 투자동향

- 정부 R&D 투자금을 기준으로 출연연·국공립연구소(46.2%), 산업체(21.2%), 대학(17.8%)으로 나타났으며, 과제 수 기준으로는 대학(43.7%), 산업체(28.2%), 출연연·국공립연구소(21.8%)로 조사
- 대학에 투자된 정부 연구비는 증감을 반복하는 추세를 보이며, 산업체 R&D 투자금의 경우 '18년부터 지속적으로 증가하다 '21년부터 감소하는 추세
- 출연연·국공립연구소 예산은 '21년까지 증가하다가 '22년 다시 감소하는 추세

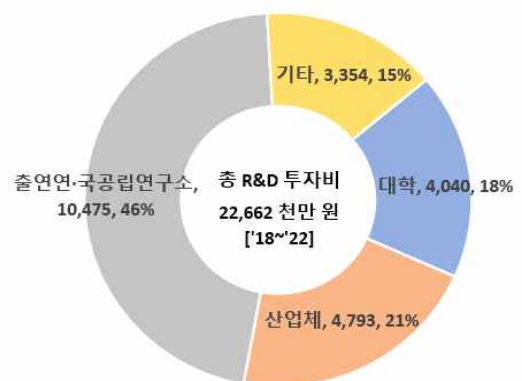
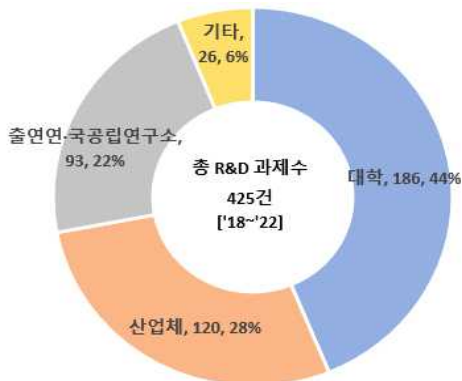
〈표〉 수행기관별 지하공간의 안전관리 관련 분야 R&D 투자 현황

(단위: 천만 원, %, 건)

구분	'18	'19	'20	'21	'22	합계	비중	과제 수
대학	1,175	807	1,084	953	21	4,040	17.8	186
산업체	865	1,004	1,401	1,307	216	4,793	21.2	120
출연연·국공립연구소	1,295	1,409	2,226	3,405	2,140	10,475	46.2	93
기타	193	31	280	1,424	1,426	3,354	14.8	26
합계	3,528	3,251	4,991	7,089	3,803	22,662	100	425

※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

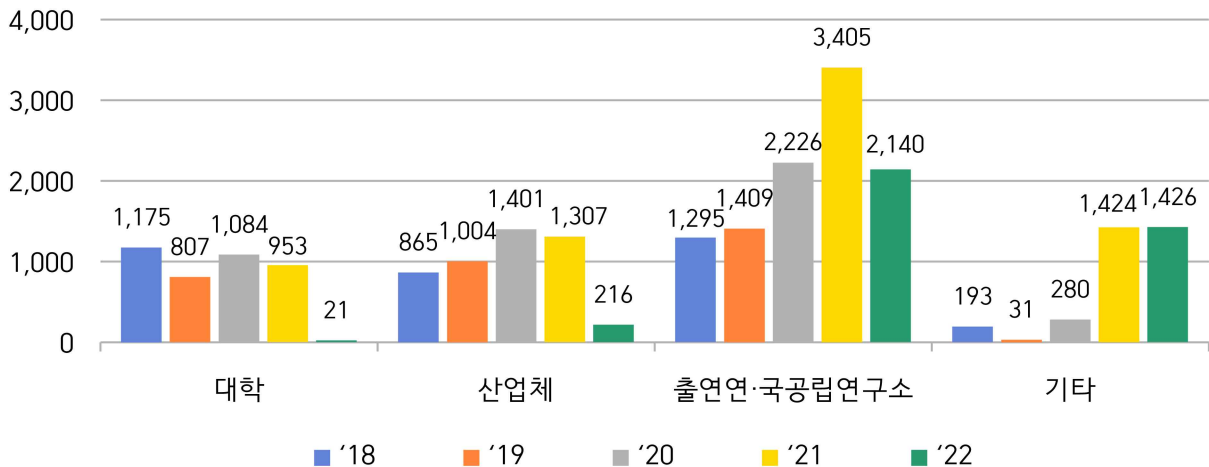
(단위: 건, 천만 원)



※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

[그림] 수행기관별 지하공간의 안전관리 R&D 예산 투자 현황 및 과제 현황

(단위: 천만 원)



※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

[그림] 수행기관별 지하공간의 안전관리 R&D 연도별 예산 투자 현황

(3) 지하공간의 안전관리 관련 기술역량분석

□ 사업 관련 국가전략기술의 수준 및 격차는 중점과학 기술의 수준 및 격차

- 건설·교통 분야의 국토공간정보 구축 및 분석기술 기술수준은 81.0%, 기술격차는 3년으로 추격그룹에 포함
- ICT·SW 분야의 ‘지하공간의 안전관리’ 사업 관련 기술의 국가전략 기술의 평균 기술 수준은 84.2%, 평균 기술격차는 1.6년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 4개의 기술은 추격에 포함
 - 대면적·초고속·초정밀 디스플레이 소재·공정 및 장비 기술의 기술 수준은 95.0%, 기술격차는 0.5년으로 추격 그룹에 포함
 - 지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술 기술의 기술 수준은 79.0%, 기술격차는 0.5년으로 추격 그룹에 포함
 - 다중 인공지능 공통 플랫폼 기술의 기술 수준은 80.0%, 기술격차는 2.0년으로 추격 그룹에 포함
 - 지식정보보안기술의 기술 수준은 83.0%, 기술격차는 2.0년으로 추격 그룹에 포함

〈표〉 지하공간의 안전관리 관련 국가전략별 기술별 기술 수준 및 기술격차

분야	중점 과학기술	최고 기술국	기술 수준·격차			연구단계역량	
			그룹	수준 (%)	격차 (년)	기초	응용개발
건설·교통	국토공간정보 구축 및 분석기술	미국	추격	81.0	3.0	보통	우수
ICT·SW	대면적·초고속·초정밀 디스플레이 소재·공정 및 장비 기술	일본	추격	95.0	0.5	우수	탁월
	지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술	미국	추격	79.0	2.0	보통	우수
	다중 인공지능 공통 플랫폼 기술	미국	추격	80.0	2.0	보통	우수
	지식정보보안기술	미국	추격	83.0	2.0	보통	우수

※ 출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP)(2020), 2020년 기술 수준 평가

(4) R&D 인프라 현황

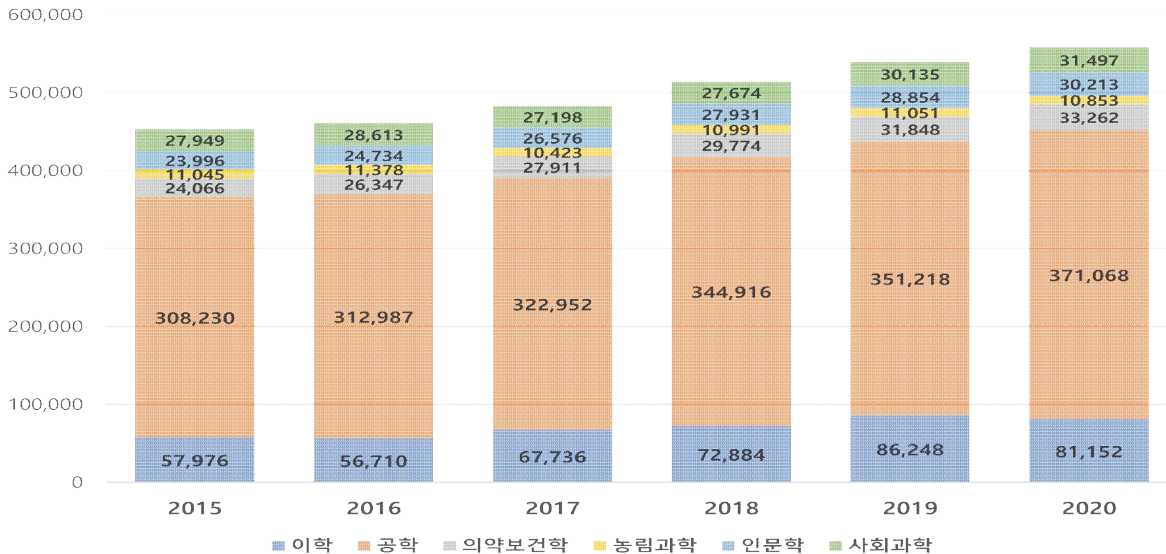
【연구인력 현황】

□ '20년 기준 공학 분야(기계/전기/전자/IT 등) 전체 연구인력은 37만 명으로 높은 수준

- '20년 우리나라 공학 분야 전공자 수는 371,068명(66.5%)으로 가장 많은 비중을 차지
 - 2020년 과학기술의 분야(이학, 공학, 의약보건학, 농림과학) 전공자 수는 496,345명으로 전체 연구인력 중 88.9%를 차지

○ 6년간('15~'20) 과학기술의 공학 분야 전공자 수는 연평균 3.61%로 지속적인 성장 추세

(단위: 년, 명)



※ 출처: 한국과학기술기획평가원(2022), 2020년도 연구개발활동조사보고서

〈표〉 우리나라 전공별 연구원 수

(단위: 명)

구 분		2015	2016	2017	2018	2019	2020	
과학기술분야	이 학	연구원수	57,976	56,710	67,736	72,884	86,248	81,152
		비중	12.8%	12.3%	14%	14.2%	16%	14.5%
	공 학	연구원수	308,230	312,987	322,952	344,916	351,218	371,068
		비중	68%	67.9%	66.9%	67.1%	65.1%	66.5%
	의약보건학	연구원수	24,066	26,347	27,911	29,774	31,848	33,262
		비중	5.3%	5.7%	5.8%	5.8%	5.9%	6.0%
농림과학	연구원수	11,045	11,378	10,423	10,991	11,051	10,853	
	비중	2.4%	2.5%	2.2%	2.1%	2.0%	1.9%	
인문사회분야	인문학	연구원수	23,996	24,734	26,576	27,931	28,854	30,213
		비중	5.3%	5.4%	5.5%	5.4%	5.3%	5.4%
	사회과학	연구원수	27,949	28,613	27,198	27,674	30,135	31,497
		비중	6.2%	6.2%	5.6%	5.4%	5.6%	5.6%
총계		연구원수	453,262	460,769	482,796	514,170	539,354	558,045
		비중	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

※ 출처: 한국과학기술기획평가원(2022), 2020년도 연구개발활동조사보고서

【연구장비 현황】

□ 본 과제의 연구장비는 기존 R&D 사업을 통하여 구축된 것으로 확인되며, 기술개발 수행을 위한 연구장비로 적정한 것으로 판단

○ 기존 R&D 사업을 통하여 구축한 연구장비* 지하공간의 입체적 안전관리 관련 장비** 총 49점으로 파악

* 국가과학기술정보서비스 포털(www.ntis.go.kr)에 등록된 모든 연구장비

** 지하, '탐사' 키워드를 활용하여 추출

〈표〉 '지하', '탐사' 키워드로 조사된 연구장비 수

구분	3천만원 이상	3천만원 미만	합계
수량(점)	49	0	49

□ 연구장비 활용계획

○ 지하공간 정보 조사 사각지대 해소 및 고도화, AI 기반 지하 안전점검 장비 개발, 지하 안전공간의 지반침하, 공동감지 및 관리 솔루션 개발 등의 기술개발에 활용 가능

〈표〉 지하공간의 안전관리 기술개발 수행을 위한 주요 연구장비(3천만원 이상) 현황

순번	보유기관명	연구장비명	취득일자	수량
1	경상국립대학교	이동지진계	1995	1
2	공주대학교	탄성파 발생기	1995	1
3	부산대학교	전기비저항탐사기	1996	1
4	충북대학교	탄성파탐사기	1996	1
5	공주대학교	지질탐사기	1997	1
6	한국철도기술연구원	지하매설물 탐지기	1998	1
7	전남대학교 산학협력단	탄성파 탐지기	1998	1
8	충북대학교	지질탐지기	2001	1
9	한국지질자원연구원	복소 전기비저항 IP 탐사 시스템	2002	1
10	한국지질자원연구원	24bit 자기지전류탐사기	2005	1
11	한국지질자원연구원	24bit 자기지전류탐사기	2005	1
12	한국지질자원연구원	버리스 고정밀 중력계	2005	1
13	극지연구소	지표투과레이더(Ramac)	2006	1
14	한국지질자원연구원	자기부상식 해저면 탄성파 탐사기록계	2006	1
15	한국지질자원연구원	고정밀 씨지5 중력계	2006	1
16	한국지질자원연구원	다중채널/다중분극 지표레이더	2007	1
17	한국지질자원연구원	다중채널 전기비저항 탐사 시스템	2007	1
18	극지연구소	지하탐사레이더 시스템	2007	1
19	국립문화재연구원	자력탐지기	2007	1
20	한국지질자원연구원	복소 전기비저항 IP 탐사 시스템	2008	1

순번	보유기관명	연구장비명	취득일자	수량
21	극지연구소	고압멀티채널압축기	2008	1
22	한국원자력연구원	별컨 지오모듈러	2008	1
23	한국지질자원연구원	다중 주파수 전자탐사기	2008	1
24	한국지질자원연구원	핵자기 공명 지하탐지 시스템	2009	1
25	한국해양과학기술원	해양 자기지전류	2010	1
26	극지연구소	변형된 지표투과레이더(Ramac)	2010	1
27	극지연구소	자동전기비저항탐사기	2010	1
28	극지연구소	전자탐사기	2010	1
29	전남대학교 산학협력단	지하투과탐사레이더	2011	1
30	한국지질자원연구원	시간영역 전자탐사 시스템	2011	1
31	한국지질자원연구원	세슘형 자력 탐사기 시스템	2011	1
32	한국지질자원연구원	천해용 다중채널 탄성파 자료취득 시스템	2012	1
33	부경대학교 대연캠퍼스	항공자력탐사계	2012	1
34	한경대학교	탄성파탐사기	2012	1
35	강원대학교 춘천캠퍼스	탄성파탐사기	2012	1
36	강원대학교 춘천캠퍼스	자력탐사기	2013	1
37	인하대학교	지표레이더 탐사기	2013	1
38	한국지질자원연구원	공곡도 측정 시스템 1세트	2014	1
39	한국광해광업공단	시간영역 전자탐사 수신기	2014	1
40	국립문화재연구원	다중채널 레이더 시스템	2014	1
41	한국생산기술연구원	전기비저항탐사기	2014	1
42	한국지질자원연구원	디지털 3성분 수직 탄성파 탐사 어레이시스템	2014	1
43	극지연구소	탄성파 에너지원	2015	1
44	한국광해광업공단	시간영역 전자탐사 송신기	2015	1
45	한국지질자원연구원	고온고압용 3성분 지오폰	2015	1
46	한국지질자원연구원	수직탄성파 탐사용 7 코어 원치	2015	1
47	충남대학교	비저항측정기	2015	1
48	한국철도기술연구원	지반투과레이더 컨트롤러	2015	1
49	국립재난안전연구원	3차원측정기	2015	1

5) 과제설계를 위한 조사분석

(1) 기술수요 조사

(가) 조사목적

□ 산·학·연 전문가를 대상으로 지하공간의 입체적 안전관리 기술개발 수요 발굴

- 지하공간의 입체적 안전관리 기술개발의 구성기술 선정 근거로 활용
- 지하공간의 입체적 안전관리 기술개발 분야의 구성기술 선정에 있어 산·학·연 전문가의 다양한 의견수렴 및 반영
 - 기술목표 수립을 위해 전문가로부터 대상 기술을 체계적으로 분류, 분석, 예측하여 향후 비교우위를 가질 수 있는 중점기술과 분야의 수요를 조사

(나) 조사개요

□ 산·학·연 전문가 대상의 도로인프라 디지털 설계 및 시공관리 기술개발 기술수요조사 개요

- 조사목적: 지하공간의 입체적 안전관리 기술개발 조사
- 조사대상: 지하공간 안전 관리 관련 종사자 및 연구자
- 조사기간: 2021.12.22.(수요일)~2021.12.31.(금요일), 10일간
- 조사방법: 공문발송을 통한 이메일 회신
- 조사내용
 - 지하공간의 입체적 안전관리 기술개발 향상 및 기술 확보를 위해 개발되어야 하는 기술 수요, 연구개발 내용 및 범위 등
- 기술수요조사 결과
 - 총 23건의 기술수요를 회신

〈표〉 기술수요조사 회신 결과

번호	과제명
1	초소형 로봇을 활용한 지하공간 시설물 지도 구축 및 안전관리
2	지하시설물 위치조사를 위한 탐사능 실증 연구
3	지하매설관 관재 위치, 선형 조사 시스템 개발
4	지하공간 GRP 탐사 상태정보 획득 기술
5	입체적 지하공간 모니터링을 위한 스마트 센싱 솔루션

번호	과제명
6	비접촉 드론 GPR 탐사 기술개발
7	유온 입자를 활용한 지하 불탐구간 탐사 기술
8	멀티 클라우드 및 AI 기반 준실시간(Near Real-Time) 지반안전도 평가 기술
9	다차원 위험도 평가 및 분석 기술
10	AI 및 빅데이터 기반 지반탐사 정보 자동 분석 기술
11	AI 기반 LiDAR방식의 지반침하 안전점검(육안조사) 기술
12	디지털트윈 기반 지능형 입체적 위험관리시스템 구축
13	패시브 탄성파를 이용한 지하시설물 안전상태 평가기법 개발
14	지하공간-지반 특성을 고려한 딥러닝 기반 위험도 평가 기법 개발
15	공용 중 터널의 디지털 트윈 모델 및 손상 예측 AI 개발
16	AI 및 빅데이터 기반의 지반침하 위험지도(Hazzard Map) 기술개발
17	지하철 터널, 지하수 현황, 지반침하 거동 파악을 위한 유지관리 기술
18	지하안전평가서 적정성 검토 및 의사결정 자동화 기술
19	지하시설물 디지털정보 통합시스템 구축, AR 기반 지하매설물 가시화 기술개발
20	지하공간 위험지도 서비스 기술
21	인접구조물 하부 지반정보 비파괴 조사기술
22	무인체 및 AI 기반 사고 대응복구 기술
23	MR 기술을 활용한 Wearable 기기 기반 지하공간 데이터 시각화

(다) 응답자 현황

- 지하공간의 안전관리 기술과 관련하여 산업체, 대학, 연구기관 등에서 총 23명이 응답
 - 산·학·연 별 수요조사 실시 대상자 수는 연구기관 12명(52%), 학계 9명(39%), 산업체 2명(9%) 구성
 - 응답자 23명 중 연구기관 12명으로 가장 높았으며, 학계 9명, 산업체 2명 순으로 나타나는 것을 확인

〈표〉 기술 제안기관별 응답자 현황

(단위 : 명, %)

구분	산업체		학계		연구기관		합계	
	인원	비중	인원	비중	인원	비중	인원	비중
응답자	2	9	9	39	12	52	23	100

(2) 관련 과제 추진현황 및 중복성 검토

(가) 유사과제 현황 및 중복성 검토

- ‘지하공간’ ‘안전’의 키워드를 활용하여 관련 과제의 추진 현황을 조사하고 중복성 검토를 통한 차별성·연계성을 도출

〈표〉 국내 연구 사례 중복성 검토

총괄과제명	스마트 지하안전 조사·분석·평가 기술개발	지반함몰 발생 및 피해 저감을 위한 지반 안정성 평가 및 굴착·복구 기술개발	흙막이 개착현장 주변의 지반함몰 예측 및 지진 시 액상화 평가 기술 개발
소관부처	국도교통부	국도교통부	국도교통부
관리기관	국도교통과학기술진흥원	국도교통과학기술진흥원	국도교통과학기술진흥원
연구기간	2026 ~ 2029	2015 ~ 2020	2019 ~ 2022
예산	80억원 (정출금)	133.42억원 (정출금)	76.49억원 (정출금)
목적	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 굴착공사로 인한 공사현장 및 주변 지반의 안전사고 발생 저감을 위해 AI, IoT 등 첨단 기술을 연계한 스마트 지하안전관리 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 도심지 지반굴착으로 인한 인접 지반 및 지하수위에 미치는 특성을 규명하고, 지반함몰에 대한 위험도 평가를 위한 설계 및 시공기준 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 굴착 주변의 지반함몰 위험도 평가기술 및 액상화 평가기준·대책 매뉴얼 개발
사업내용	<ul style="list-style-type: none"> - (공사중) 스마트 지하안전평가 및 조사 기술 • 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술 • 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술 - (상시) 스마트 지하안전점검 기술 • 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 • 육안조사 디지털화 기술 • AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발 • 지하 공동(空洞) 분석 AI 표준 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 지반함몰 위험성 예측 및 평가 기술 개발 - 굴착시 지반이완영역 탐사(심도 10m 이상)를 위한 복합탐사해석 시스템 개발 - 지반 굴착시 차수성능 향상을 위한 보강기술 개발 - 충전 재료를 활용한 지반함몰 긴급복구 기술 개발 - 대심도(30m이상) 및 도심지 수직굴착시 지반변위 최소화를 위한 굴착공법개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 도심지 흙막이 굴착 시공 중 문제패턴 조기 인식을 위한 실시간 영상 및 이동체 수집 • 3D 영상정보 기반 비접촉식 Full-field measurement 측정 시스템 개발
차별성	-	<ul style="list-style-type: none"> - 선행과제는 도심지 굴착 공사시 지반함몰 위험성 예측 및 평가 기술 등을 개발하는 과제로, AI를 활용해 지하안전평가서 작성 및 검토 자동화 기술 등을 개발하는 본 과제와는 차이점 존재 	<ul style="list-style-type: none"> - 선행과제는 도심지 흙막이 굴착 시공 중에 발생할 수 있는 지반함몰 문제를 해결하기 위한 지반 및 흙막이벽 변위 데이터 수집 및 예측에 초점을 맞추어 연구가 진행 중 - 본 과제에서 개발하는 구성기술의 주요 목표는 고정형 카메라를 활용한 다중 영상 인식 기반 지반 변위 감지 기술 개발로 대상 및 방법에 차이점 존재
연계성	-	<ul style="list-style-type: none"> - 연구 대상 및 방법에 차이점이 있지만, 선행과제의 방법론에 대한 분석 및 검토를 통하여 본 구성기술의 방향성 설정과 기술 개선에 도움이 될 것으로 기대 	<ul style="list-style-type: none"> - 연구 대상 및 방법에 차이점이 있지만, 선행과제의 방법론에 대한 분석 및 검토를 통하여 본 구성기술의 방향성 설정과 기술 개선에 도움이 될 것으로 기대

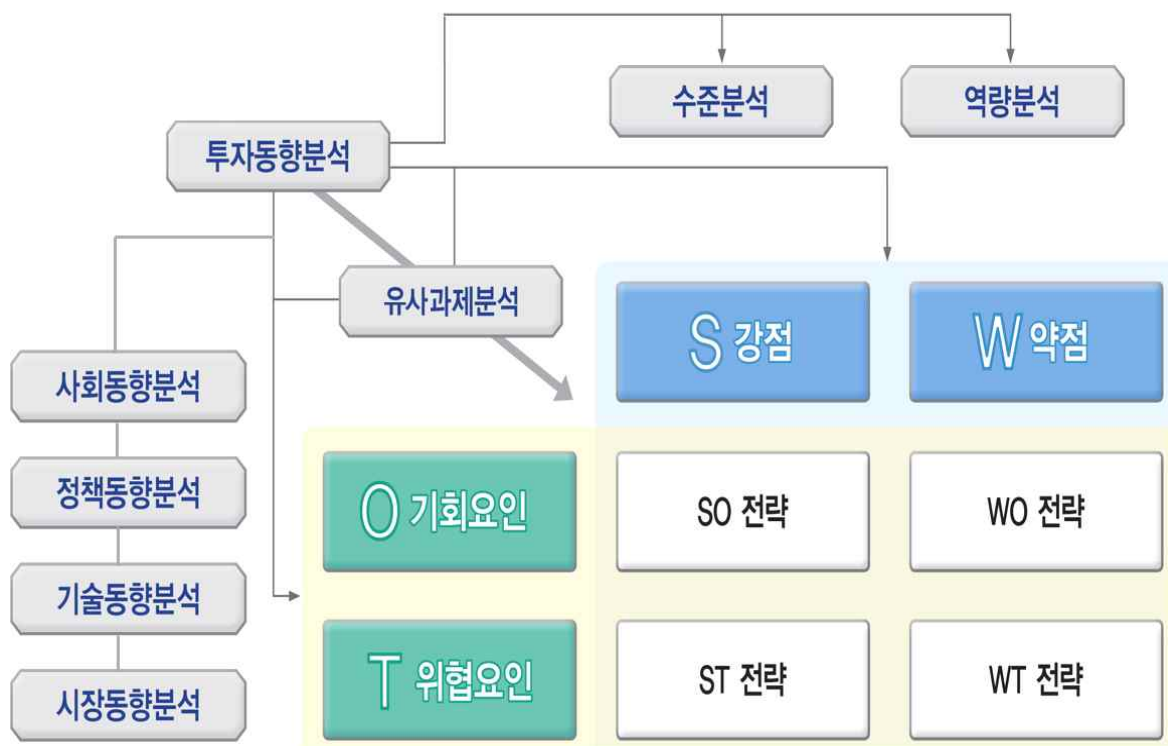
3. 연구개발과제의 구성 및 추진전략

1) 과제방향

(1) 과제 추진계획(안)

□ 도출 방법 및 내용

- 지하공간의 안전관리 기술개발 관련 R&D 수준 및 역량 분석을 ‘내부환경’으로 정책, 연구개발, 시장 강점·약점을 ‘외부환경’으로 조사하여 SWOT-Matrix 분석 시행
 - 내부환경은 강점과 약점(SW)으로 외부환경은 기회요인과 위협요인(OT)으로 반영
 - 외부환경인 사회·정책·기술 등 동향 분석과 내부환경인 수준 분석과 역량분석에 연계반영
 - 투자 동향 분석과 유사과제분석 결과는 내외부 구분 없이 적용하되, 투자 동향은 역량 분석에도 연계반영
- SWOT 분석은 1단계로 대내외 환경변화와 R&D 역량분석, 2단계로 역량 기회요인과 위협 요인, 강점과 약점의 도출, 3단계로 이러한 4개의 요인을 이용한 SWOT matrix 분석을 통한 기술개발 전략 도출 절차로 진행
 - SO는 강점을 활용한 성장 전략, WO는 약점극복을 통한 기회 대응 전략, ST는 강점 확산으로 위협 최소화 전략, WT는 약점보완을 통한 생존전략 관점에서 기술



[그림] R&D 추진방향 도출 방법

(2) 종합분석(SWOT)

(가) 외부환경: 기회와 위협

- (기회 1) 지하공간의 안전관리를 위해 ‘제2차 지하안전관리 기본계획’, ‘지속 가능한 기반시설 안전 강화 종합대책’ 등의 계획을 마련하며 적극적으로 지하안전 정책을 추진
 - “제2차 지하안전관리 기본계획(‘25~’29)”을 통해 새롭게 도입된 지하안전관리 제도의 원활한 현장 정착을 도모하고, 첨단 기술과 연계하여 신뢰성 높은 안전관리를 추진
 - “지하안전관리체계 개선방안(‘24.9.)”의 후속 조치로 관산학연 전문가로 구성된 “지하안전관리체계 개선 TF”를 구성하여 실효성을 확보한 다양한 대책을 마련하고 구체적 시행방안을 마련
 - ①고위험지역 중점관리, ②지반탐사 신뢰도 제고, ③지하안전관리체계 정비, ④굴착공사 관리 강화, ⑤지자체 협력·지원 강화 등을 제2차 기본계획에 반영 추진
- (기회 2) AI, IoT 등 디지털 기반 핵심기술을 활용하여 지하공간의 안전 관리방안을 개선하고자 노력
 - ’20년부터 AI 기술을 도입할 공공서비스 중의 하나로 SOC 안전확보 부문에서 지하 공동구 및 상하수도 시설물 안전관리를 채택
 - AI 기반 디지털 정부를 구현하기 위해 노인복지 강화, SOC 안전확보 등 국민이 체감할 수 있는 분야부터 먼저 도입할 것을 추진하며, 그중 지하시설물의 안전관리가 해당

〈표〉 공공서비스 도입·활용 과제(예시)

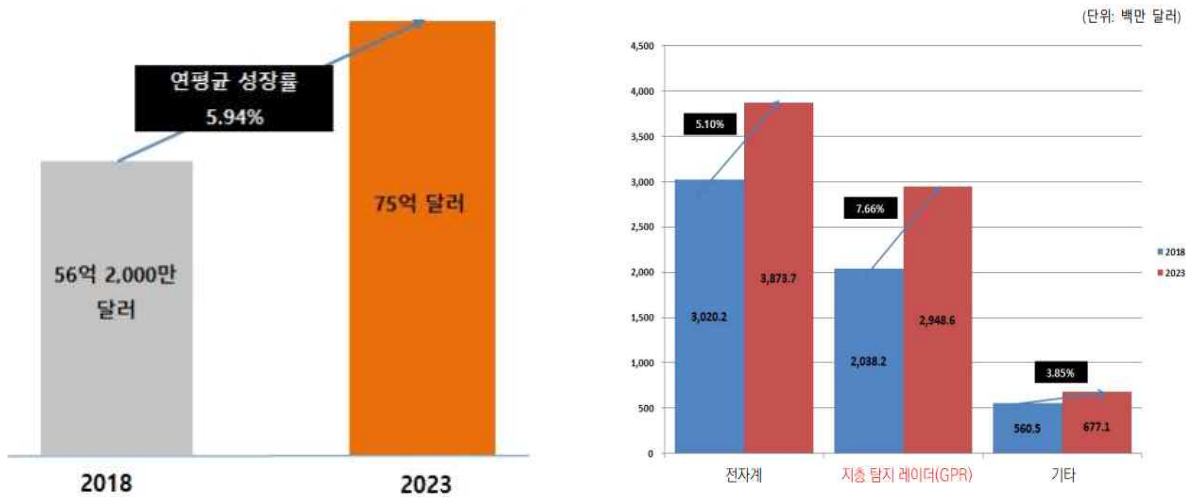
구분	주요 내용
맞춤형 문화복지	개인 맞춤형 문화누리카드 사용처 추천, 미사용 사전 예측·안내
고품질 특허정보	외국어 특허정보 즉시 번역·제공, 선행특허 정보 신속 확인
환경오염 대응	중단기 미세먼지 예측기술 개발, 지하수 오염 감시 및 예측
교정업무 효율화	효율적 수용관리를 위한 ICT 기반 스마트 교도소 구축
국민생활 안전	범죄정보 분석을 통한 범죄 발생 예측 및 대응
노인복지 강화	고령자, 치매환자 등의 간병·간호와 신체 활동 지원
SOC 안전확보	AI·5G 융합을 통한 지하공동구, 상하수도, 철도 등 시설물 안전관리

※ 출처: 관계부처 합동(2019.12), 인공지능 국가전략

- 우리나라 국토·시설의 안전한 관리를 위해 구축하여 접목하고자 하는 디지털 트윈 기술에 지하공간을 포함하여 추진 중
 - 지하구조물(지하시설물, 지하구조물 등)의 3D 통합지도를 제작하고 노후화된 지하 공동구 (120km)* 계측기를 설치하는 등 지능형 관리시스템을 구축하는 개선 방향을 제시
 - * 전체 322km 중 스마트한 관리로 수명 연장이 가능한 노후(10~30년) 지하 공동구가 대상

□ (기회 3) 지하공간 탐사 기기 시장의 성장 및 지하시설물 탐사 장비 기술 개발의 발전

- 전 세계 지중 탐사 기기 시장은 '18년 56억 2,000만 달러에서 연평균 성장률 5.94%로 증가하여, '23년에는 75억 달러에 이를 것으로 전망
- 통신, 하수구, 수도 등을 포함한 라인을 탐지하는 지중 탐사 기기 시장에서 지층 탐지 레이더(GPR)는 연평균 7.66% 증가하여 '23년에는 29억 4,860만 달러에 이를 것으로 전망



※ 출처: 연구개발특구진흥재단(2019.1), 지중 탐사 기기 시장

[그림] R&D 추경로별 지중 탐사 기기 시장 규모 및 전망(좌), 글로벌 지중 탐사기기 시장의 지역별 시장 규모 및 전망(우)

- 지하시설물 탐사 장비를 이용하여 관련 정보를 제공 및 관리하는 국내·외 기업이 기술 개발 및 공급에 주력하며 제품 서비스 제공에 집중
- Guideline Geo社は 비파괴적인 지하 조사 솔루션 제공에 중점을 두고 있으며, 전략적으로는 제품 출시의 유기적 전략을 통해 비즈니스를 강화하고자 노력
- 이성은 지하시설물 조사, 인공구조물의 비파괴 검사 등 지하 매설물 정보를 얻는 방법으로 GPR 등의 탐사 기술을 활용하며 지하공간에 활용 가능한 기술을 개발 중

□ (위험 1) 국민의 삶과 밀접한 지하안전사고 발생은 매년 인명·재산 등의 큰 피해를 초래하며 불안감을 야기

- 매년 지반침하 사고가 발생하여 사회적 문제가 야기되고, 싱크홀을 포함한 지반침하로 인한 인적·물적 피해 발생 사건은 총 1,176건('17~'21.6)으로, 국민들의 불안감을 조성
- ※ 출처: 데일리중앙(2021.9), 최근 5년 간 싱크홀 포함한 지반침하 사고 1,176건 발생
- 지반침하로 인한 최근 5년간의 피해 규모는 사망 1명, 부상 20명, 차량 파손 56대, 오토바이 파손 2대 등을 포함하며 기계, 도로 및 건물 손상 등의 재산 피해 발생
- 국내 지반침하 사고 시 대규모로 발생하며, 국민의 생활공간이나 혹은 매우 근접한 곳에서 발생하여 불안이 더욱 증대되는 상황
- '14년 서울 석촌호수 도로에서 발생한 대규모 싱크홀 사고 이후 국내에서 지반침하에 대한

관심과 불안이 대두

- 경기도 구리시의 지반침하(20.8)는 도로에서, 경기도 안산시의 지반침하(21.1)는 아파트 단지 근처에서 발생

□ (위협 2) 지하안전사고 발생 시 완벽히 대처할 수 있는 기술과 사전 예방 기술이 모두 부족한 관계로 예방 및 재발 방지를 하기 어려운 상황

- 기존 지반함몰 등의 지하 사고 발생 시 대처하는 긴급 복구 방법으로는 완벽한 재발을 예방하기 어려운 상황
 - 현재는 자갈이나 흙 등으로 공간을 충전하고 콘크리트로 상부를 마감하는 것과 같이 응급 대처 방식으로 공사를 마무리하고 있는 것이 현실로 잠재적 위험성을 내포
- 과학기술정보통신부, 국토교통부에서는 지하공간의 이상 징후를 사전에 대응하기 위한 지하시설물 모니터링 및 의사결정 시스템을 개발 중이나 활용도는 낮은 편
 - 과학기술정보통신부는 도시 재난재해 사고의 주요 요인을 내재하고 있는 지하공간의 이상 징후를 사전에 감지, 예측, 대응하기 위한 사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발 사업 수행
 - 국토교통부는 도로함몰 위험구간 탐지 장비 개발을 목적으로 복합센서형 비파괴 검사장비, Multi-Data를 활용한 도로함몰 탐지 시스템 시제품, 탐지장비의 운용 및 데이터 취득 매뉴얼 개발 추진

□ (위협 3) 지하시설물의 정확한 위치 정보 파악의 어려움 및 측정 결과의 부정확성에 따른 지하 안전점검 한계 발생

- 지하공간 속 시설물의 정확한 위치정보가 미파악됨으로 굴착공사 중 매설물 손상 및 인명·재산피해 등의 문제가 발생할 가능성이 존재
 - 다른 지하시설물 관리자가 가스배관 존재 사실을 인지하지 못하고 굴착공사를 하게 될 시, 배관 파손에 따른 가스 누출 및 폭발로 인한 인명·재산피해 우려
- 기구축한 지하공간 통합지도 데이터의 오류로 정확한 지하인프라 및 위치정보를 파악하기 어려운 문제가 존재
 - 광역상수도과 가스관, 통신관로, 열수송관 정보 등을 관리하는 공사의 지하시설물 정보 전산화 과정에서 발생하는 정보 누락, 탐사 기술의 한계 등을 오류 원인으로 추정
- 지반 및 지하구조물의 안전상태를 전자기파를 이용하여 예측하는 GPR 기술이 존재하나 파동 측정의 불명확성 등의 문제점이 있어 더 나은 기술개발의 필요성이 제시

(나) 내부환경: 강점과 약점

□ (강점 1) 지하안전관리에 관한 특별법, 지속가능한 기반시설 관리 기본법 등의 법적 근거를 제공함으로써 지하공간 안전도 향상을 위한 토대 마련

- 정부는 지하안전관리에 관한 특별법, 지속가능한 기반시설 관리 기본법 등을 시행하며 안전한 도시구현을 위한 법적 근거 마련
 - 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법('21.9)을 시행하여 시설물의 안전점검과 적절한 유지관리를 통하여 재해와 재난을 예방하고 시설물의 효용을 증진
 - 지하안전관리에 관한 특별법('22.1)을 마련하여 지하를 안전하게 개발하고 이용하기 위한 안전관리체계를 확립
 - 지속가능한 기반시설 관리 기본법('22.12)을 시행하여 기반시설의 체계적인 유지관리와 성능개선을 통하여 국민이 보다 안전하고 편리하게 기반시설을 활용하도록 추진

□ (강점 2) 지하공간 분야의 전문연구인력과 연구기관 등 국내 R&D 수행 인프라 역량 충분

- '20년 우리나라 공학 분야 전공자 수는 371,068명(66.5%)으로 가장 많은 비중을 차지
 - 2020년 과학기술의 분야(이학, 공학, 의약보건학, 농림과학) 전공자 수는 496,345명으로 전체 연구인력 중 88.9%를 차지
- 본 과제 의 소요 인력은 연평균 58명으로 R&D 수행을 위한 연구인력은 충분히 확보된 상태로 파악
 - 책임급 연구인력은 36명, 선임급 연구인력은 66명, 연구원은 130명이 필요 인력으로 산정

〈표〉 동 과제의 연구개발부분 인력투입계획('26~'29)

구분	'26	'27	'28	'29	계
책임급	7	10	10	9	36
선임급	13	17	19	17	66
연구원	25	34	37	34	130
소계	45	61	66	60	232

- 본 과제의 연구장비는 기존 R&D 사업을 통하여 구축된 것으로 확인되며, 기술개발 수행을 위한 연구장비로 적정한 것으로 판단
 - 기존 R&D 사업을 통하여 구축한 연구장비 지하공간의 안전관리 관련 장비는 총 49점(3천만원 이상)으로 파악
 - 지하공간 정보 조사 사각지대 해소 및 고도화, AI 기반 지하 안전점검 장비 개발, 지하안전공간의 지반침하, 공동감지 및 관리 솔루션 개발 등의 기술개발에 활용 가능

□ (강점 3) 지하구조물 데이터 통합관리를 통하여 현장에서 데이터를 활용할 수 있도록 지원하며 데이터의 품질을 관리 중

- 국토교통부는 지반침하 안전사고를 예방하고 지하공간의 안전한 개발과 이용을 지원하기 위해 지하안전 정보시스템을 운영 중
 - 지하안전평가, 소규모 지하안전평가, 착공후지하안전조사, 지하안전점검, 지하안전 계획 수립 관리 등에 대한 검토·승인·관리를 지원
- 지하공간 통합지도 구축사업을 통하여 지하시설물 6종, 지하구조물 6종, 지반 3종의 지하정보의 속성 및 공간자료(3차원)를 구축하여 지하구조물의 생애주기를 관리
 - 지반 데이터는 지하공간 통합지도 DB 구축사업을 통하여 구축하며 시추데이터 갱신 사항이 발생할 경우 새로운 데이터(2차원, 3차원)를 수작업을 통하여 제작

□ (약점 1) 국내 응용개발 연구단계 역량에 비하여 대부분의 기술 수준은 높지 않은 편

- 건설·교통 분야의 국토공간정보 구축 및 분석기술 기술수준은 81.0%, 기술격차는 3년으로 추격 그룹에 포함
- ICT·SW 분야의 ‘지하공간의 안전관리’ 사업 관련 기술의 국가전략 기술의 평균 기술 수준은 84.2%, 평균 기술격차는 1.6년 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 4개의 기술은 추격에 포함

〈표〉 지하공간의 안전관리 관련 국가전략별 기술별 기술 수준 및 기술격차

분 야	중점 과학기술	최고 기술국	기술 수준·격차			연구단계역량	
			그룹	수준 (%)	격차 (년)	기초	응용개발
건설·교통	국토공간정보 구축 및 분석기술	미국	추격	81.0	3.0	보통	우수
ICT·SW	대면적·초고속·초정밀 디스플레이 소재·공정 및 장비 기술	일본	추격	95.0	0.5	우수	탁월
	지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술	미국	추격	79.0	2.0	보통	우수
	다중 인공지능 공통 플랫폼 기술	미국	추격	80.0	2.0	보통	우수
	지식정보보안기술	미국	추격	83.0	2.0	보통	우수

※ 출처: 한국과학기술기획평가원(2020), 2020년 기술 수준 평가

□ (약점 2) 지하공간 안전관리 데이터는 보안성이 높은 영역으로 간주되어 지하공간 데이터의 부처별 연계성 및 민간기업에서의 현장 활용성이 낮은 상황

- 지하시설물의 대부분은 국가 보안성이 높은 영역에 해당하여 민간에서 관련 데이터를 직접적으로 활용하기 어려운 상황
 - 전력, 통신, 상수도, 냉·난방관 등 지하 매설물을 공동 수용할 수 있는 도시기반시설인 지하공동구는 국가 중요·보안시설에 해당
 - ※ 출처: 굿뉴스365(2020.11), 세종시설공단, 지하공동구 방호·보안 관리 우수 감사장 받아
- 지반과 지하시설물을 관리하는 공공기관이 중앙정부, 지방자치단체, 민간기업 등으로 상이한 관계로 제대로 된 정보 파악이 어려운 현실
 - 국토교통부는 공동구, 산업통상자원부는 송전선로·가스·송유관·열수송관·온수관, 환경부는 상수도·하수도, 과학기술정보통신부는 통신구 등을 관리하며 지하시설물별 관리 행정기관 상이
 - ※ 출처: 한국건설신문(2019.10), 시도 때도 없는 '지반침하 사고' 1주일에 4건씩 사고 발생

□ (약점 3) 지하공간의 안전관리 기술 분야의 관련 과제 및 R&D 투자 축소 추세

- 지하공간의 안전관리 분야 정부 R&D 과제 수는 연평균 -35%로 감소하고 있으며, '18년 88건에서 '21년 126건으로 증가하였으나, '22년 16건으로 감소
 - 최근 5개년간의 과제 수는 88건('18) → 92건('19) → 104건('20) → 126건('21) → 16건('22)
 - ※ 출처: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)
- '18년 이후 지하 공간의 안전관리 분야의 정부 R&D 연구비 투자는 연평균 453억 원 이고, 전체 R&D 대비 지하공간의 안전관리 분야의 투자 비중은 연평균 약 0.18% 수준으로 투자
 - 지하공간의 안전관리 분야 과제 수 투자 비율이 '21년 126개에서 '22년 16개로 약 87.3% 감소하였고, 투자 비중은 전년도 대비 약 46.4%(329억 원) 감소

〈표〉 전체 R&D 예산 및 지하공간의 안전관리 분야 R&D 투자 현황

(단위: 억 원, %)

구 분	'18	'19	'20	'21	'22	평 균
전체 R&D (A)	196,681	205,328	242,195	274,005	297,770	243,196
국토교통부 R&D	5,058	4,822	5,276	6,031	5,788	5,395
지하공간의 안전관리 분야 R&D (B)	353	325	499	709	380	453
국가 R&D 중 지하공간의 안전관리 분야 투자 비중(B/A)	0.17	0.15	0.20	0.25	0.12	0.18

※ 출처 : 한국과학기술기획평가원(2021), 2021년도 정부 연구개발예산 현황분석
 국토교통부(2021), 2022회계연도 국토교통부 소관 예산 및 기금운용계획안,
 기획재정부(2022), 나라살림 예산개요,
 국가과학기술지식정보서비스

(3) SWOT 분석결과

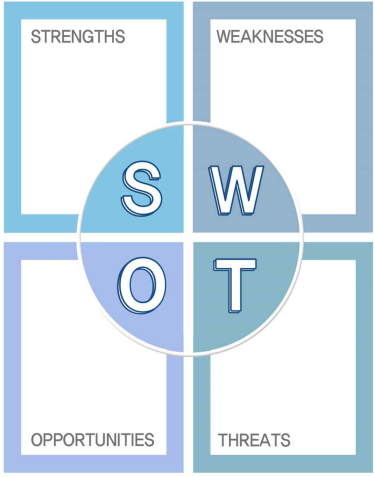
□ 지하공간의 안전관리 기술개발 관련 외부환경의 이슈와 국내 내부역량을 고려한 SWOT 분석을 통해 추진방향 도출

〈표〉 SWOT 요약

<ul style="list-style-type: none"> · (기회 1) 지하공간의 안전관리를 위해 ‘제1차 지하 안전관리 기본계획’, ‘지속 가능한 기반시설 안전 강화 종합대책’ 등의 계획을 마련하며 적극적으로 지하안전 정책을 추진 · (기회 2) 디지털 트윈, VR 등의 디지털 기반 핵심기술을 활용하여 지하공간의 안전 관리방안을 개선하고자 노력 · (기회 3) 지하공간 탐사 기기 시장의 성장 및 지하 시설물 탐사 장비 기술개발의 발전 	<ul style="list-style-type: none"> · (위협 1) 국민의 삶과 밀접한 지하안전사고 발생은 매년 인명·재산 등의 큰 피해를 초래하며 불안감을 야기 · (위협 2) 지하안전사고 발생 시 완벽히 대처할 수 있는 기술과 사전 예방 기술이 모두 부족한 관계로 예방 및 재발 방지를 하기 어려운 상황 · (위협 3) 지하시설물의 정확한 위치 정보 파악의 어려움 및 측정 결과의 부정확성에 따른 지하 안전 점검 한계 발생 								
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td colspan="2">본 과제가 대응해야 하는 외부환경의 이슈</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">T</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">S</td> <td style="text-align: center;">W</td> </tr> <tr> <td colspan="2">본 과제가 고려해야 하는 내부역량</td> </tr> </table>		본 과제가 대응해야 하는 외부환경의 이슈		O	T	S	W	본 과제가 고려해야 하는 내부역량	
본 과제가 대응해야 하는 외부환경의 이슈									
O	T								
S	W								
본 과제가 고려해야 하는 내부역량									
<ul style="list-style-type: none"> · (강점 1) 지하안전관리에 관한 특별법, 지속가능한 기반시설 관리 기본법 등의 법적 근거를 제공함으로써 지하공간 안전도 향상을 위한 토대 마련 · (강점 2) 지하공간 분야의 전문연구인력과 연구기관 등 국내 R&D 수행 인프라 역량 충분 · (강점 3) 지하구조물 데이터 통합관리를 통하여 현장에서 데이터를 활용할 수 있도록 지원하며 데이터의 품질을 관리 중 	<ul style="list-style-type: none"> · (약점 1) 국내 응용개발 연구단계 역량에 비하여 대부분의 기술 수준은 높지 않은 편 · (약점 2) 지하공간 안전관리 데이터는 보안성이 높은 영역으로 간주되어 지하공간 데이터의 부처별 연계성 및 민간기업에서의 현장 활용성이 낮은 상황 · (약점 3) 지하공간의 입체적 안전관리 기술 분야의 관련 과제 및 R&D 투자 축소 추세 								

(4) SWOT 분석을 통한 추진전략 도출

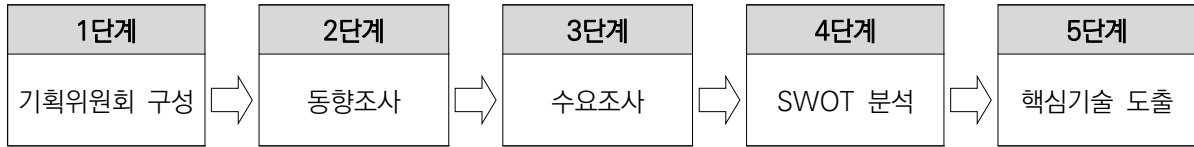
□ 지하공간의 안전관리 기술개발과 관련한 현황 및 역량을 종합적으로 고려하여 사업의 전략을 도출

	Strengths(강점) <ul style="list-style-type: none"> 지하안전관리에 관한 특별법, 지속 가능한 기반시설 관리 기본법 등의 법적 근거를 제공함으로써 지하공간 안전도 향상을 위한 토대 마련 지하공간 분야의 전문연구인력과 연구기관 등 국내 R&D 수행 인프라 역량 충분 지하구조물 데이터 통합관리를 통하여 현장에서 데이터를 활용할 수 있도록 지원하며 데이터의 품질을 관리 	Weaknesses(약점) <ul style="list-style-type: none"> 국내 응용개발 연구단계 역량에 비하여 대부분의 기술 수준은 높지 않은 편 지하공간 안전관리 데이터는 보안성이 높은 영역으로 간주되어 지하공간 데이터의 부처별 연계성 및 민간기업에서의 현장 활용성이 낮은 상황 지하공간의 입체적 안전관리 기술 분야의 관련 과제 및 R&D 투자 축소 추세
Opportunities(기회) <ul style="list-style-type: none"> 지하공간의 안전관리를 위해 '제1차 지하 안전 관리 기본계획', '지속 가능한 기반시설 안전 강화 종합대책' 등의 계획을 마련하며 적극적으로 지하안전 정책을 추진 디지털 트윈, VR 등의 디지털 기반 핵심기술을 활용하여 지하공간의 안전 관리방안을 개선하고자 노력 지하공간 탐사 기기 시장의 성장 및 지하시설물 탐사 장비 기술 개발의 발전 	SO 전략 <ul style="list-style-type: none"> SO1. 지하공간 안전관리 관련 법·정책 추진을 토대로 지하공간 안전도 향상 기술 개발 SO2. 국내 전문 연구인력을 활용한 탐사 장비 기술 개발 및 고도화 SO3. 기 구축된 지하시설물 데이터를 활용하여 데이터 표준화 및 DB 구축 	WO 전략 <ul style="list-style-type: none"> WO1. 디지털 트윈, VR 등의 기술을 활용한 안전관리 기술을 마련하여 현장 활용성 제고 WO2. 디지털 기반의 정보 구축 조사 분석을 통한 평가·진단 기술의 고도화 WO3. 지하공간 안전관리 추진 정책을 기반으로 지하공간 안전관리·운영 개발 및 실증 추진
Threats(위협) <ul style="list-style-type: none"> 국민의 삶과 밀접한 지하안전사고 발생은 매년 인명·재산 등의 큰 피해를 초래하며 불안감을 야기 지하안전사고 발생 시 완벽히 대처할 수 있는 기술과 사전 예방 기술이 모두 부족한 관계로 예방 및 재발 방지를 하기 어려운 상황 지하 시설물의 정확한 위치 정보 파악의 어려움 및 측정 결과의 부정확성에 따른 지하 안전점검 한계 발생 	ST 전략 <ul style="list-style-type: none"> ST1. 국민의 불안감 해소를 위한 안전도 지하공간 안전도 평가·예측 방안 마련 ST2. 지하 안전 R&D 수행 인프라를 활용하여 지하 시설물의 위치 정보 정확성 제고 ST3. 데이터 분석을 통한 지하안전 상시 모니터링을 통한 사고 예방 및 신속한 대처 기술 개발 	WT 전략 <ul style="list-style-type: none"> WT1. 기존의 불탐구간 탐지기술(장비)개발을 통한 지하공간 조사 사각지대 해소 WT2. 지하공간 안전관리 주체 대상의 데이터 서비스 제공을 위한 지하안전 관리 플랫폼 구축

(5) 핵심기술 도출과정 및 기술체계(안)

□ 핵심기술 도출 과정

○ 지하공간의 안전관리 관련 이슈 도출 및 SWOT 분석을 통한 핵심기술 도출



[그림] 핵심기술 선정 및 도출과정

○ Top-down(하향식) 방식으로 동향조사, 수요조사, SWOT 분석 등을 진행하여 추진 가능 분야(핵심기술)를 도출

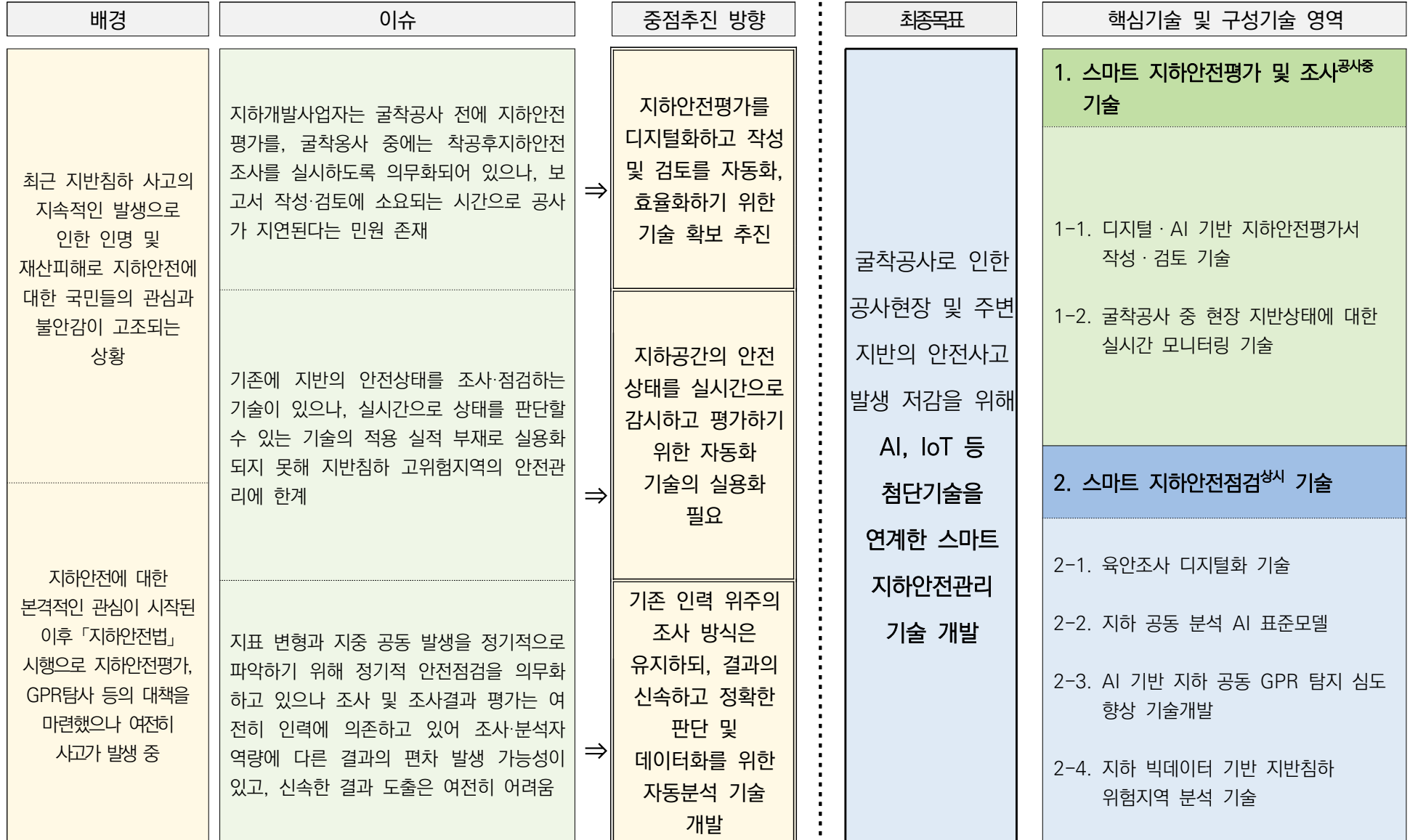
1단계	기획 위원회 구성	<ul style="list-style-type: none"> 기획 위원회 구성 및 기획 추진 방향 논의
2단계	동향조사	<ul style="list-style-type: none"> 지하공간 안전관리 관련 기사, 논문 등 조사 실시 현재 추진 중인 지하공간 안전관리 관련 R&D 사업 조사
3단계	수요조사	<ul style="list-style-type: none"> 지하안전 분야의 안전관리 추진 가능 영역 발굴을 위한 기술수요조사를 실시하여 총 23개 수요를 발굴
4단계	SWOT 분석	<ul style="list-style-type: none"> 대내외 환경분석 및 R&D 역량분석에 기반한 SWOT 분석을 실시 SWOT분석을 통해 SO전략(3개), ST전략(3개), WO전략(3개), WT전략(2개)의 총 11개 전략 방향 도출
5단계	추진 가능 분야(핵심기술) 도출	<ul style="list-style-type: none"> SWOT 분석에서 도출한 전략방향과 수요조사 기반으로 추진 가능 분야(핵심기술)를 발굴하고, 전문가 자문위원회 논의를 통해 최종 확정 <ul style="list-style-type: none"> ① 스마트 지하안전평가 및 조사^{공사중} 기술, ② 스마트 지하안전점검^{상시} 기술로 총 2개 핵심기술 선정

□ 동 과제의 핵심기술 및 구성기술

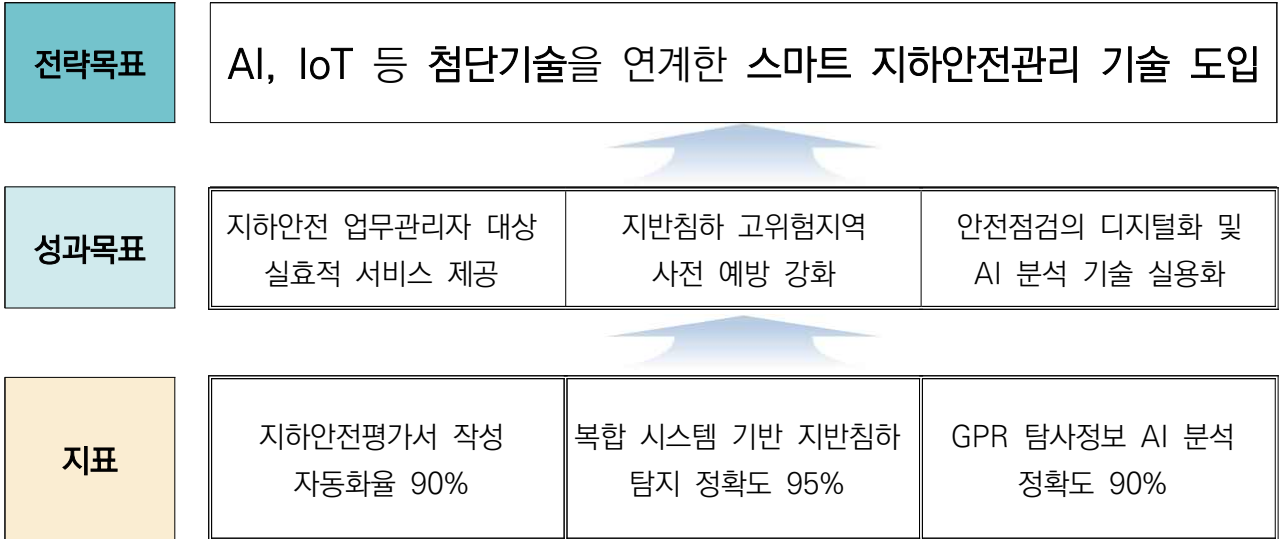
〈표〉 핵심기술 및 구성기술명

핵심기술	구성기술
<p style="text-align: center;">스마트 지하안전평가 및 조사^{공사중} 기술</p>	<p>1-1. 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 인공지능 기반 지반정수 산정 기술 - LMM(Large Multimodal Model) 언어모델 기반의 생성형 인공지능 활용 지하안전평가서 작성 자동화 기술 - RPA(Robotic Process Automation) 기반 지하안전평가서 오류 탐색 자동화 기술 - API(Application Programming Interface) 기반 지하공간 안전해석 S/W 개발
	<p>1-2. 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 스마트센서(연속형/지점형/분포형)를 이용한 지반침하 감지 시스템 기술 - 다중 영상 분석 기반 지반 변위 감지 기술
<p style="text-align: center;">스마트 지하안전점검^{상시} 기술</p>	<p>2-1. 육안조사 디지털화 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수집한 정보에 대해 침하, 균열, 습윤상태를 판독할 수 있는 학습용 데이터 구축 - 학습데이터 활용 학습을 통해 조사결과를 분석할 수 있는 인공지능 모델 및 분석 네트워크 개발 - 분석 결과의 정량화 등 육안조사서 자동 생성 기술
	<p>2-2. 지하 공동(空洞) 분석 AI 표준모델</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내에서 활용중인 모든 GPR 장비에 적용 가능한 공동 분석 AI 표준모델 개발 - 분석 결과의 정량화 등 지하공동 조사서 자동 생성 기술
	<p>2-3. AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지하 공동 탐지 심도 향상 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 - AI 기반 저주파·고주파 복합 GPR 데이터 해석 프로그램
	<p>2-4. 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지하정보 데이터 수집·연계 및 분석 DB 구축을 위한 추출·변환·적재 기술 - 스마트 모니터링 중점 관리 구간 선정을 위한 AI 기반 위험평가 기술

□ 이슈-목표-핵심기술 연계도



□ 비전체계도



추진과제	핵심기술		구성기술	
	1	스마트 지하안전평가 및 조사공사중 기술	1-1. 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술	
			1-2. 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술	
	2	스마트 지하안전점검 ^{상시} 기술	2-1. 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술	
			2-2. 육안조사 디지털화 기술	
			2-3. AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발	
2-3. 지하 공동(空洞) 분석 AI 표준모델 개발				

2) 연구개발과제 목표 및 지표

(1) 성과목표 및 지표

(가) 전략목표

전략목표	AI, IoT 등 첨단기술을 연계한 스마트 지하안전관리 기술 도입
도출 근거	<ul style="list-style-type: none"> ○ 법적 근거 <ul style="list-style-type: none"> - 「지하안전관리에 관한 특별법」 제13조(지하안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구·개발사업) : 국토교통부장관이 연구개발 사업을 수행하고 필요한 경비를 정부 출연금 등으로 총당하는 근거 - 「건설기술 진흥법」에 따라 국토교통부장관은 건설기술의 공동연구 및 정보 교환 등 기술개발을 위한 투자 권고 및 기술정보의 효율적 활용과 선진기술 획득을 위해 관계 중앙행정기관의 장과 공동연구를 추진하거나 건설기술 연구기관의 건설기술 연구·개발에 대해 지원 가능 - 그 외 「과학기술기본법」, 「국토교통과학기술 육성법」, 「산업기술혁신 촉진법」 등으로 건설기술 연구 지원가능 ○ 상위 계획 <ul style="list-style-type: none"> - 「제5차 국가과학기술기본계획」(’18~’22): 과학기술을 기반으로 국가가 당면한 현안을 해결하고 미래 이슈에 대한 선제적 대응을 목표로하며 미래위험 대응 및 안전사회 구현을 제시 - 「엔지니어링산업 혁신전략」(’20): 디지털 엔지니어링으로의 전환 및 수출 경쟁력 제고를 목표로 AI 기반 디지털 엔지니어링을 구현(디지털 엔지니어링 기반 구축, 엔지니어링 지능화)을 통한 업계의 디지털화, 지능화를 위한 추진 동력을 마련 - 「Digital twin 활성화 전략」(’21): 활용기반 구축, 산업생태계 조성, 기술 경쟁력 확보를 목표 달성을 위해 Digital twin 산업 성장기반 조성, 대규모 선도시장 창출 기술 경쟁력 강화, 표준화·제도 개선의 전략을 추진 ○ 부처 계획 <ul style="list-style-type: none"> - “지하안전관리체계 개선방안(’24)” ⇒ 「제2차 국가지하안전관리 기본계획(’25~’29)」 : ①고위험지역 중점관리, ②지반탐사 신뢰도 제고, ③지하안전관리체계 정비, ④굴착공사 관리 강화, ⑤지자체 협력·지원 강화 등 지하안전관리체계 정착을 위한 구체적 시행방안 추진 - 「제7차 건설기술진흥기본계획」(’23~’27): 지하시설물 관리 강화를 위해 노후 지하시설물(상·하수도 등) 매설지역, 침수 지역 등 지반침하 취약지역을 중심으로 지반탐사 확대 등 지반침하(싱크홀) 예방 등 빈틈없는 지하안전망 구축

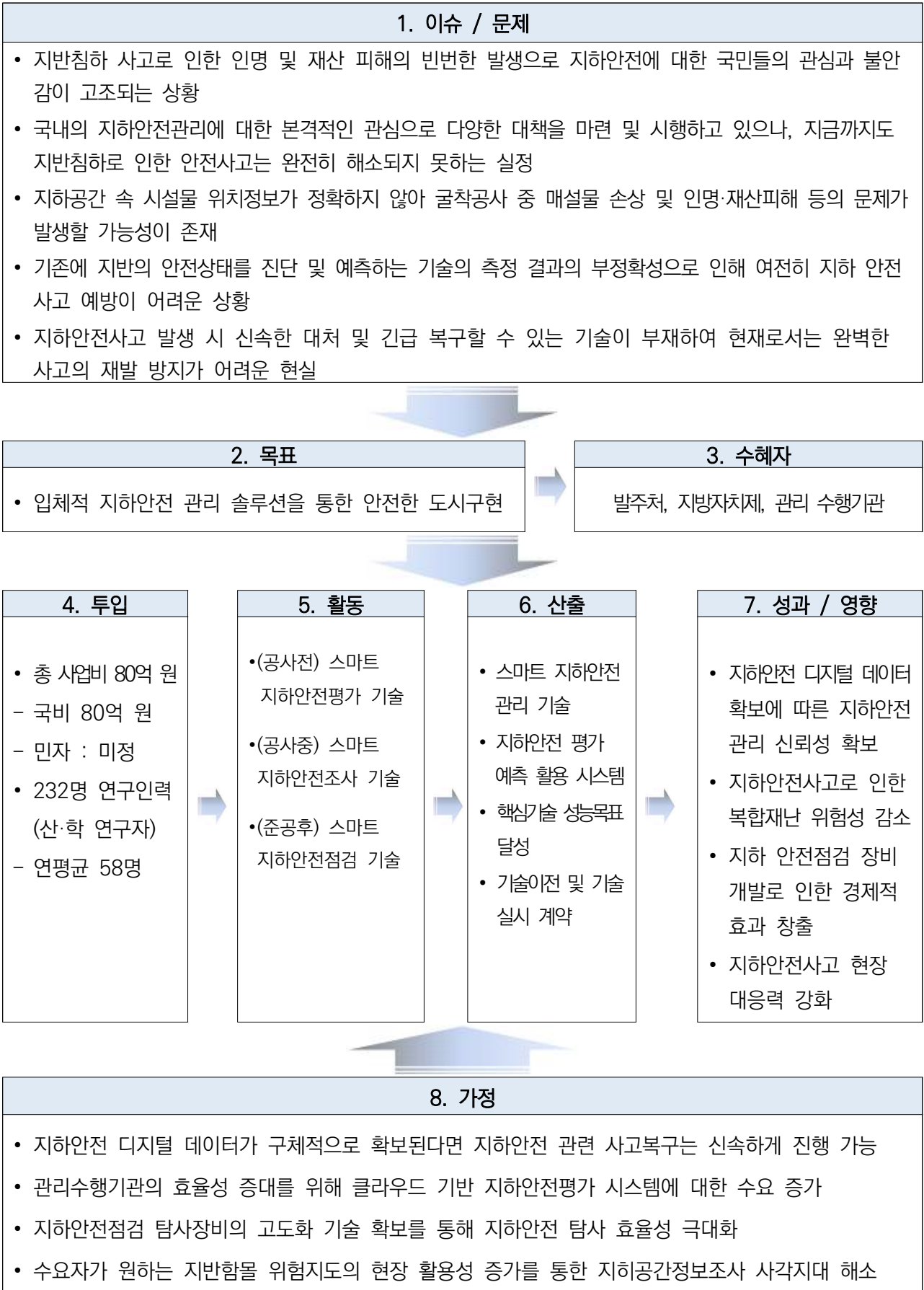
(나) 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기
<p>성능지표 달성도(100%)</p>	<p>(측정방법) 동 과제에서 제시한 개별 개발성능 목표 중 연차별 달성 목표치의 비 율(누적)</p>	<p>(측정산식) = 성능목표치 달성 건수 / 총 성능목표 수 × 100 (측정방법) = 스마트 지하안전관리 기술의 성능목표 달성 건수로 측정</p>
<p>지하안전평가서 작성 자동화율 90%</p>	<p>(측정방법) 동 과제를 통해 개발된 지하안전평가 자동화 시스템을 통해 평가서 작성을 위한 자동화 시스템 활용율 90% 이 상 및 결과의 디지털화 90% 이상 여 부를 측정</p>	<p>(측정산식) = (시스템 활용 지하안전평가서 작성 항목) / (전체 지하안전 평가서 작성 항목) × 100</p>
<p>복합 시스템 기반 지반침하 탐지 정확도 95%</p>	<p>(측정방법) 동 과제를 통해 개발된 지반침하 상시 안전감시 시스템을 테스트베 드 실증을 통해 신뢰성을 확인하고, 수집된 모니터링 데이터 분석결과 와 실제 지반침하 발생유무를 비교 하여 정확도를 측정</p>	<p>(측정산식) = (시스템 분석에 따른 지반침하량) / (실제 지반침하량) × 100</p>
<p>GPR 탐사정보 AI 분석 정확도 90%</p>	<p>(측정방법) 동 과제를 통해 개발된 점검결과 분석 S/W의 정확도를 측정</p>	<p>(측정산식) = (AI S/W 분석 결과 / 실제 분석 대상) × 100</p>

참고 단계별 성과 목표 및 지표

구성기술	성능지표	현재 최고 기술수준		개발목표 스펙	목표달성 가능년도
		국내	해외		
(구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술	지하안전평가 작성 정확도	근거 無	제도 부재	90% 이상 (기존 인력 기반 보고서 대비)	2028
	지하안전평가 작성 관련 자료의 DB化	DB 부재	제도 부재	DB 구축율 100%	2029
(구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술	스마트 센서의 탐지위치 (pinpointing)오차	- (문헌 없음)	최대 4.15%	평균 3%	2029
	영상 분석 기반 지반변위 측정 정확도 (%)	90%	-	95%	2029
(구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술	위치 정확도	10cm	-	10cm 이하	2028
	도로노면 손상상태 3중 탐지 (탐지 정확도)	80%	-	mAP@50 85%	2029
(구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발	GPR 장비별 데이터셋	2000개	-	GPR 장비별 2000개 이상	2027
	탐지 정확도	80%	-	mAP@50 90%	2029
	분석속도 (/km/차선)	-	-	20분 이내	2029
(구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발	가탐심도	-	-	4m이상	2029
	차량 운행속도	-	-	20km/h이상	2029
	탐지 공동 크기 (가탐심도, 차량 운행속도 유지)	-	-	0.6m이하	2029
	탐지 정확도 (가탐심도, 차량 운행속도 유지)	-	-	mAP@50 90%	2029
(구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술	지하시설물 디지털정보 구축 정확도	*기존에 검증된 산정 기준 없음	100m 이내 측정오차 3cm 미만	100m 이내 2개 점을 측정한 거리 차이가 3cm 미만 정확도	2029
	지반침하 안전도 지도 영향인자 구축 범위	N/A	3종	15종 이상	2029
	지반침하 위험예측 정확도	N/A	70%	예측 정확도 80% 이상	2029
	지반침하 모델 신뢰도(정합도)	N/A	N/A	정합도(AUC) 0.8 이상	2029

(2) 연구개발과제 논리모형 설정



4. 연구 개발내용

1) (핵심기술 1) 스마트 지하안전평가 및 조사^{공사중} 기술

(1) 핵심기술 개발 내용

(가) 기본 개념

□ 지하개발사업자, 지하시설물관리자 및 지자체가 공동 활용할 수 있는 시뮬레이션 기반 지하공간 안전관리 플랫폼 및 실시간 모니터링 기술 개발

○ AI언어모델 기반 지하안전평가서 작성·검토 자동화 기술 개발

- 클라우드 기반 지하안전평가 자동화 시스템에서 API 기반으로 “지반굴착” 안전해석이 가능한 S/W 개발, AI, RPA 등을 기반으로 지하안전평가 결과의 유효성 검토 기술 등을 개발하고 안전관리·운영 플랫폼과 연계 가능한 핵심기술 개발

○ 스마트센서와 영상정보를 통해 지반침하의 위험구역을 상시 감시하고, 지반침하의 징후를 조기에 발견하여 지하안전사고를 선제적으로 예방하는 기술

○ 지하공간에 대한 상시 모니터링 체계 구현을 통해 지하안전사고를 선제적으로 대응하여, 재난으로부터 국민 생활 안전을 적극적으로 관리하는 기술

(나) 기술 범위

□ 본 기술은 「지하안전법」에서 정한 “지하시설물”이 매설되어 있는 “지하공간(지반 포함)”을 대상으로 하며, 지자체 및 지하시설물관리자 등이 지하공간의 안전 확보를 위한 다양한 “안전관리” 활동을 디지털화된 방식으로 수행할 수 있도록 지원하는 기술

○ 굴착공사 현장, 지하시설물 노후 등 지반침하의 위험이 높은 지역에 대해 실시간으로 지반상태 변화를 모니터링하고, 지반침하를 조기에 감지하기 위한 기술이며 다양한 스마트 센서(연속형/지점형/분포형)를 현장 상황에 맞게 선정하여 센서 네트워크를 구축하고, 수집되는 정보를 분석해 위험의 전조를 확인하고 선제적인 대응이 가능하도록 하는 기술 개발

〈표〉 핵심기술 구성

핵심기술	구성기술
스마트 지하안전평가 및 조사 ^{공사중} 기술	1-1. 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술
	1-2. 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

(2) 추진배경 및 필요성

(가) 추진배경

(구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

□ 지하안전평가 보고서 의무화, 표준 매뉴얼 마련 등의 업무를 보다 효율적으로 진행하기 위해 데이터를 활용한 기술 개발이 요구되는 실정

- 정부는 제4차 산업혁명에 대응한 지능정보사회 중장기 종합대책을 통해 나타날 경제·사회의 혁신적 변화에 대응한 종합적인 국가전략을 수립
 - 국토교통부는 “제1차 연구개발 종합계획”에 기술융합을 통한 새로운 가치 창출은 기존 건설 기술에 AI, 로봇, IoT 등 첨단기술의 융·복합을 통해 “건설 지능화”와 “건설기술 고부가 가치화” 달성을 목표로 설정
 - 과학기술정보통신부는 ‘데이터 AI 경제 활성화 계획’을 통해 2023년까지 데이터 관련 시장 규모를 '19년 대비 2배 성장한 30조원까지 성장시키고, AI 분야 유니콘 기업 10개 육성 및 관련 분야 전문인력 양성의 기대효과를 제시
- 지하안전법에 따르면 대통령령으로 정하는 규모 이상의 지하 굴착공사를 수반하는 사업의 착공신고 수리 전까지 지하안전평가* 보고서를 제출하도록 의무화
 - * 지하안전평가, 소규모 지하안전평가, 착공후 지하안전조사 및 지반침하위험도평가
 - 지하안전평가는 사업의 실시계획·시행계획 등의 허가·인가·승인·면허 또는 결정 등을 할 때에 해당 사업이 지하안전에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 지반침하를 예방하거나 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는 것이 목적
- 국토안전관리원은 지하안전평가서 표준매뉴얼을 마련(20.6)하여 신뢰성과 객관성을 확보한 지하안전평가가 수행되도록 하고 있는 상황이며, 환경변화를 고려 수시 개정 중
 - 작성 및 검토의 방식과 절차는 대부분 전문인력에 의존하고 있으며, 작성 및 검토 결과만 지하안전정보시스템을 통해 저장·관리하고 있어, 업무의 효율성 향상 및 상세정보의 데이터화 등을 위한 개선이 요구되는 실정

(구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

□ 도심지의 고도화, 지상 공간의 포화에 따라 지반 함몰 현상 발생 가능성이 증가하여, 인적 및 재산적 안전에 대한 사회적 불안이 가중되고 있는 실정

○ 전국에 지반침하 발생이 우려되는 지역이 증가추세이나 위험을 분석하는 핵심기술이 미흡한 실정으로 수도권에 거주하는 국민 95% 이상이 지반침하에 대해 불안감을 표출

□ 기반시설물의 노후화가 가속화됨에 따라 해당 시설 뿐만 아니라 주변 시설 및 지반에 영향을 미쳐 사회적으로 큰 문제를 야기

○ '18년 동작구 공립유치원 굴착공사 사고, '18년 백석역 일대 열수관 파열 및 지반 침하 등의 사고 사례와 같이 기반시설물의 노후화로 인한 사고는 막대한 인명 피해와 재산 피해를 야기하는 사회적 위협 요인

- 2016년부터 2021년 6월까지 발생한 전국의 지반침하 사고의 원인은 '상·하수관 손상' 54.6%(782건), '공사 후 다짐 불량' 17%(246건), '굴착공사 부실' 4.2%(60건), '전기·통신·난방관로·맨홀 등 매설물 손상' 3.8%(55건), '상·하수관 공사 부실' 2.3%(33건) 로 확인

※ 출처: 국회 국토교통위원회 2021

□ 정부의 대규모 지하공간 개발 사업 추진이 계획되고 있으며, 지하 안전 관련 법·제도 개선 노력이 추진 중

○ 수도권 전역의 교통망 개선을 위하여 수도권광역 급행철도(GTX 사업) 사업, 경부고속도로 지하화, 경인고속도로 지하화 등 국가적으로 지하공간 개발 계획들이 지속적으로 추진 중

○ '지하안전관리에 관한 특별법' 제정 및 시행으로 지하 안전에 관한 법이 시행 중이나 이를 관리하는 기술자의 역량 및 관련 기술의 부족으로 어려움 존재

□ 도시 하부의 하수관로 등 지하시설물 노후화, 대규모 굴착공사로 인해 지반침하 사고 및 복합재난 발생 가능성 증가

○ 국내 지반침하 사고는 매년 250건 내외로 지속적으로 발생* 중이며, 최근 이상기후에 따른 집중호우로 인하여 지반침하 발생 가능성이 증가하고 있는 실정

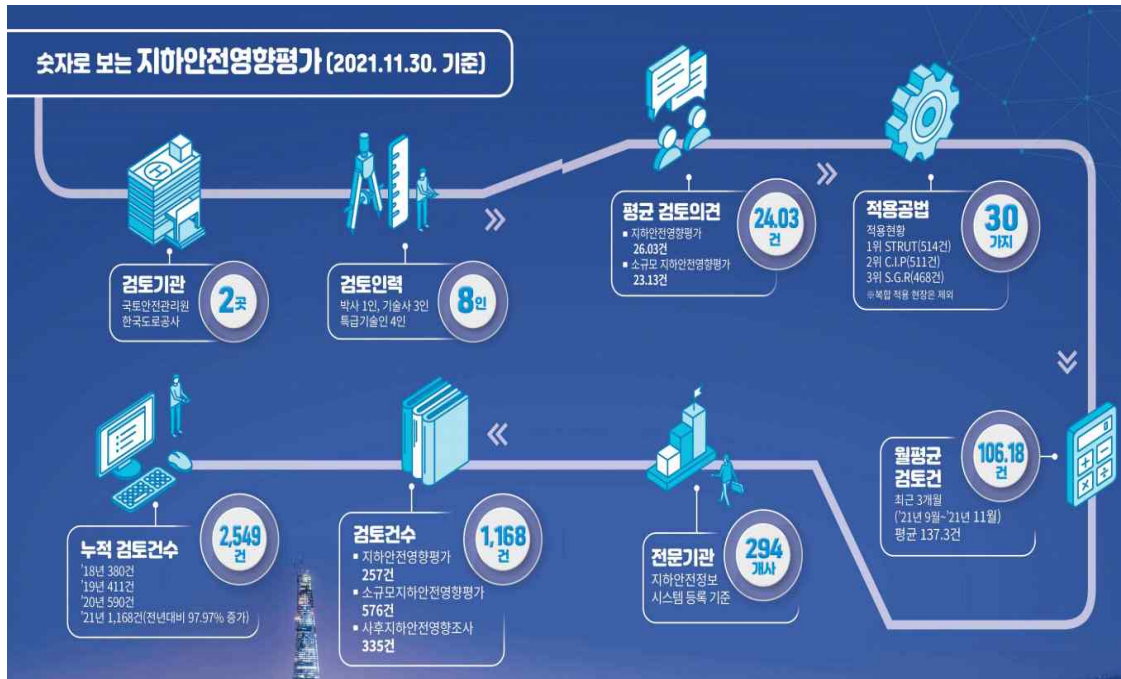
* ('17) 279건 → ('18) 338건 → ('19) 192건 → ('20) 284건 → ('21) 136건

□ 정부는 도심지를 중심으로 발생하는 지반침하 사고를 체계적으로 예방하기 위해 지하 안전관리에 관한 특별법을 제정(이하 지하안전법, '18.1월 시행)하여 운영 중이나, 법 이행을 위해 현장에서 적용할 수 있는 핵심기술이 부재하거나 미흡한 실정

○ 지하안전법은 크게 대형 굴착공사에 따른 지반침하 사고 예방을 위한 '지하안전평가'

제도와 지중에 매설된 기존 지하시설물로 인한 사고를 예방하기 위한 ‘지하안전점검’ 제도 및 보이지 않는 땅속을 체계적이고 가시적으로 관리하기 위한 ‘지하공간통합지도’로 구성

- 지하안전법은 제정 당시 서울 송파구(’14)를 중심으로 발생한 대형 지반침하 사고의 발생에 따른 국민의 불안감을 해소하기 위해 특별법의 형태로 발의되어, 제도 운영에 필요한 핵심기술의 국내 확보 여부에 대한 구체적인 검토 없이 제도가 도입되어, 현장 점검자 등이 제도 이행에 기술적 한계가 발생하여 제도의 실효성이 저하



[그림] 지하안전평가 작성 및 검토 현황 (2021.11.30. 기준)

(나) 추진 필요성

(구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

- 최근 해외에서는 설계, 디자인, 부동산 등 건설분야와 인공지능, 빅데이터 등 ICT 기술을 융합하여 설계 관련 정성적 데이터에 대한 정량적 접근과 분석방법에 대한 필요성을 인식하고 실증적 연구를 시도하는 단계
 - 반면에 국내의 경우 설계 시 정성적인 기존의 데이터의 정량화를 통해 기존의 프로세스를 개선하는 것은 신규 영역 창출 가능성을 높이는 부분
 - 국내외 건설산업에서의 인공지능 연구 및 기술개발 수준은 초창기로 설계-시공 단계의 업무 최적화 및 효율화를 위한 연구와, 단순한 일부 설계업무 자동화를 넘어서는 설계 고유특성을 기반으로 한 인공지능 관련 기술의 개발은 미흡한 실정
 - ※ 출처 : 인공지능 기반의 건축설계 자동화 기술 개발 (국토교통부, 2020.1)
- 기후변화, IT 기술발전 등에 따라 국토교통부는 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 행정서비스 혁신 방안을 마련하고 다양한 성능개선 요구를 반영 추진하고 있으며, 소극적인 건축정보 공개와 유용한 가치를 갖는 정보제공이 미흡한 실정에서 수요가 많은 건축정보를 선제적으로 공개하여 프롭테크 등 관련 산업의 활성화를 유도
 - 지하안전평가 제도를 시행한 2018년도 이후, 지하안전평가서 작성을 위한 다양한 질의가 반복적으로 발생하고 있으며, 검토기관에서는 반복질의가 많은 유형을 선별한 Q&A집을 마련하여 공개하고 있는 실정
 - 그러나 검토가 완료된 지하안전평가서는 보고서 형태로 지하안전정보시스템에 저장·관리됨에 따라 평가에 활용된 다양한 데이터의 재가공·재활용 등을 위해서는 별도의 기능이 필요하며, 특히, 지하수 변화에 의한 영향 검토, 지반안전성 검토 등을 위한 각종 지반 정수의 신뢰성 확보를 위한 데이터화 필요

(단위: 건)

질의 유형	2018년	2019년	2020년	2021년 4월	소계
지하안전영향평가 대상 여부	139	160	151	49	499
최대굴착깊이 산정	21	38	38	15	112
재협의 대상 여부	4	54	165	93	316
사후지하안전영향조사 시기 및 방법 등	2	1	30	14	47
대행계약 관련	11	9	9	3	32
대행비용 산정 관련	4	5	7	3	19
기타 사항	52	56	61	10	179
소계	233	323	461	187	1204

[그림] 지하안전평가 작성 관련 유형별 질의 현황 (출처) 국토안전관리원, 2021.6

(구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

□ 지하공간통합지도 구축을 통해 안전관리 체계가 마련되었으나 정보의 신뢰성이 낮아 직접 현장에서 활용하기 어려운 실정

- 지반, 지하수, 주변 시설물 등의 복합적인 영향 요소를 고려하여 위험 예측 인자의 신뢰성을 높이기 위한 안전도 예측 모델 개발 필요
- 지하시설물에 대한 지자체 및 관리 주체가 상이한 관계로 지하시설물 관리 의사결정 체계가 부재
- 실제 지하 시설물의 위치 정보와 관리 정보간의 오차가 높은 관계로 3차원 지하 안전도 지도 개발이 필요한 상황

□ 지반침하 특성상 불특정 지역에서 돌발적으로 발생하므로, 일반적인 계측관리로는 침하발생 징후 감지 및 예측이 어려운 실정

- 기존 항공사진을 기반으로 하는 사진측량은 도심지 내 장애요소(구조물) 등에 의해 한계점이 있어 신뢰성이 떨어지는 상황으로 이를 극복하기 위해 지상의 고정형 카메라를 설치하여 영상 인식 기반의 지반침하 감지 기술 개발 필요
- 지반 변위 감지를 위하여 지반 침하 특성을 고려한 영상 분석 기술 연구 필요
 - 지반 침하 발생 특성(범위, 지역, 형상 등)에 맞는 지반 프로파일 모델 생성 기술 개발이 필요하며 데이터의 공간적 동기화의 신뢰성 확보를 위하여 검증 필요
 - 지반 변위 감지를 위한 카메라 설치(거리, 각도 등) 및 촬영 조건(빛 조건 등) 분석 필요

□ 도로함몰, 지반침하 현상, 열수송관 파열 등 사고가 사회적 이슈로 부상되며 국토부는 지하시설물 모니터링 기술개발의 중요성을 부각

- 지반침하 사고를 선제적으로 예방하기 위해서는 지반탐사 정보의 디지털화와 더불어 광범위하게 분포된 지하공간의 상태변화에 신속하게 대응할 수 있는 효율적인 안전관리 상시 모니터링 솔루션이 필요
 - 특히 최근 주목받고 있는 기술인 분포형 센싱 시스템 기술의 고도화를 통해 효율적 안전 관리 기반을 구축하여 안전관리 사각지대 제로(zero)화를 달성하는 것이 필요

□ 지하시설물 노후화, 관리체계 부실로 대규모 복합재난의 위험성이 증가하는 추세

- 건축공사장 등 지하개발현장에서의 지하사고 발생이 증가하고 있으며 GTX 등 도심대심도 지하개발 급증으로 지하안전의 위험 증대하는 상황이지만, 이를 감지 및 예측하기에는 현실적으로 기술적인 한계성 존재

(3) 현황 및 개선방안

(가) 현황 및 문제점

□ 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

- 현행 지하안전평가의 협의 절차는, 지하개발사업자가 지하안전평가서를 작성하여 승인기관(지자체)에 평가서를 제출하면 승인기관은 협의기관(국토부)에 협의를 요청하고 다시 검토기관(국토안전관리원 등)에 검토를 요청하는 절차로 진행
 - 지하개발사업 시행 전에 승인을 받아야 하나 인력 중심의 평가서 작성 및 검토로 인해 지하 개발사업 시행 지연의 원인으로 작용한다는 지적이 발생하였고, 국토교통부는 협의 절차를 개선하도록 제도를 보완
 - 그러나, 평가보고서 기반의 검토를 거치는 방식으로는 오류 및 검토의견* 등에 관한 즉각적인 보완이 어려우며 수정·보완된 평가보고서를 재차 검토의뢰 해야 하는 행정 절차가 존재
- * (평균 검토의견) 지하안전평가 26.3건, 소규모 지하안전평가 23.13건
- 지하안전평가서의 작성 항목 중에는 사업개요, 지역, 지반·지질현황 등 데이터화/시스템화가 가능한 항목이 존재하며, 국내·외 소프트웨어 전문업체의 개발 동향 및 수준으로 볼 때 안전성 검토 등의 경우에도 시스템화/자동화가 가능한 부분이 존재하는 것으로 파악
 - 지하안전평가 결과를 총괄 관리하는 지하안전정보시스템은 평가 실시현황, 결과 등에 관한 실적을 관리하는 행정시스템으로써 업무 효율성과 신뢰성 등을 향상하기 별도의 기능은 부재한 실정

평가서 작성항목	지하안전 영향평가	소규모 지하안전 영향평가	사후 지하안전영향조사서		
			최초	일간	최종
요약문	●	●	-	-	●
대상사업의 개요	●	●	●	●	●
대상지역의 설정	●	●	●	-	●
지반 및 지질현황	●	●	●	-	●
지하수 변화에 의한 영향 검토	●	●	●	●	●
지반안전성 검토	●	●	●	●	●
지하안전확보방안 수립	●	●	-	-	-
지하안전확보방안 적정성 및 이행여부 검토	-	-	●	●	●
종합평가 및 결론	●	●	●	-	●
사후지하안전영향조사 시기	●	-	-	-	-
부록	●	●	-	-	●

[그림] 지하안전평가서 종류별 작성항목

(나) 개선방안

(구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

- API(Application Programming Interface) 기반 지하공간 안전해석 S/W 개발
 - 다양한 상용 지반해석 프로그램을 활용하고 그 결과를 보고서에 수록하는 형태에서, 평가 보고서 작성과 일체화 된 안전해석 S/W를 개발하여 입력 정수의 관리부터 해석결과의 유효성 검토 및 보고서 자동화까지 가능하도록 하여 업무 효율성 및 신뢰성을 확보하는 기술 개발
- AI(Artificial Intelligence) 및 RPA(Robotic Process Automation)를 활용한 지하 안전 영향평가 보고서 유효성 검토 기술 개발
 - 단순 업무 실수, 입력 오류 등의 사전 예방 및 반복되는 평가 오류를 미연에 예방하고 평가 기간을 획기적으로 단축할 수 있도록 인공지능 기술 등을 활용한 유효성 검토기술을 개발
- LMM(Large Multimodal Model) 언어모델 및 생성형 인공지능 등을 활용한 지하 안전평가서 작성 자동화 기술
 - 지하안전평가 결과의 신뢰성과 업무 효율성을 혁신적으로 향상할 수 있도록 설계 자동화, 해석·분석 자동화 등의 기존 기술을 고도화하고 인공지능 기술을 활용한 보고서 자동 생성이 가능하도록 하는 시스템/기술과 관련 자료의 데이터화를 통한 빅데이터 분석 Tool 등을 개발
- 인공지능 기반 지반정수 산정 기술 개발
 - 지반공학에서 다루는 자연재료(암반 및 흙)는 콘크리트 또는 강재와 같이 재료의 물성치가 정형화되어 있지 않아 그 성질이 지역별로 상이하여 설계정수의 불확실성이 큼
 - 토류구조물 설계시 토질정수 도출을 위해 경험식(낮은 상관성)이 다수 제안되고 이를 설계단계에서 적용되는 것이 현실이며, 현장 및 실내시험을 통해 얻은 설계정수의 불확실성이 커 보수적 수준의 안전율을 적용하여 토질정수의 불확실성을 보완하는 방향으로 설계가 진행되고 있음
 - 따라서, 검토 및 설계단계에서 AI 기술에 의한 학습화, 정형화된 Data(지형 및 토질정수)를 반영할 경우 시간 단축 및 설계인력 변경에 따른 개인적 오차를 줄일 수 있음

〈표〉 지하안전평가서 작성·검토 개선방안

AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ○ 보고서 중심의 지하안전평가 작성 및 검토 체계 ○ 전문인력 중심의 평가서 검토 ○ 별도의 다양한 툴을 이용한 안정성 검토 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 데이터·시스템 기반의 지하안전평가 작성 및 검토 체계 ○ 인공지능+전문인력 협업의 평가서 검토 ○ 지하안전평가 특화 툴 공유·활용을 통한 안정성 검토

(구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

□ 실제 현장환경에서 지반 상태변화 탐지에 초점을 맞춘 스마트 센싱 고도화 기술

- 지중 환경변수의 변화에 대응 가능한 연속형, 지점형, 분포형 센서의 다각적인 활용 및 고도화를 통해 지반침하 관리의 불탐구간을 최소화하며 지반 침하 인지 및 위험도 분석의 신뢰성 향상 가능
- 지점형 센서를 단일 전력/통신선으로 통합 연결하는 모듈기반 분포형화(化) 센싱 기술을 통해 실규모 현장의 장거리 조건에서 분포형 TDR의 지반 함수량 및 위치 검출 정확도 향상
- 분포형 센싱 정보, 도심지 관측망 및 사설 관측망에 대한 통합 정보를 기반으로 지반침하를 정확히 예측하고 지반침하 위험도 분석기술에 의해 사고에 선제적으로 대응할 수 있는 관리 체계 개발

□ 다중 영상 분석 기반 지반침하 감지 기술을 통한 지반침하 즉시 대응

- 지반침하를 감지하기 위한 다중 영상 분석 기술로서 현장의 고정형 카메라를 통하여 다중 영상을 획득/분석, 공간적 동기화 및 영상 간 위치 보정(GNSS 정보 활용) 기술 개발
- 전체적인 지반 프로파일을 만들고 모델을 생성하기 위해 고정형 카메라 설치 및 촬영 방식 등을 고려한 지반 변위 감지 알고리즘 개발
- 지반 침하 특성을 고려한 3차원 형태의 데이터 단면 추출 및 변위 감지 기술 개발

□ 지하안전 관리 영역에 따른 지반침하/공동 감지 모니터링 실증 및 체계 개발

- 지하안전관리 영역에 따른 지반침하/공동 감지 모니터링 실증 및 개선점 도출
- 도로/보도 시범사업을 통한 IoT 기반 실시간 감지 모니터링 제어/계측/통신 통합 시스템의 현장 적용 및 시스템 구축
- 스마트센서 및 다중 영상 분석 기반 지반 변위 감지 시스템의 현장 시험 적용 및 분포형화 센싱 데이터의 상위 네트워크와의 연계 기술 실증

〈표〉 실시간 모니터링 및 AI 기반 분석기술 (As-is, To-be)

AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ○ 현행의 지점형 센서는 고밀도 네트워크 구성의 한계로 불탐구간이 다소 발생하며, 물리탐사의 경우는 지반침하에 대한 상시 모니터링이 불가 ○ 기존 지반침하 감시 기술은 지반침하 특성(불특정 지역에서 돌발적으로 발생)에 대한 즉각적인 대처가 불가 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트센싱(연속형/지점형/분포형) 기반의 지반 침하 감지솔루션을 통해 불탐구간 및 시간을 최소화한 상시 모니터링 체계를 구축하고, 안전감시 및 대응의 효율성을 증대 ○ 다중 영상 분석 기반 지반침하 감지 기술 개발을 통해 돌발적으로 발생하는 지반침하 사고에 능동적으로 대응할 수 있는 기술적 해법 마련

(4) 기술개발 개요

(가) 기술개발 정의

□ (구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

- 「지하안전법」 의무사항인 “지하안전 영향 평가서” 작성 및 검토 업무의 효율성 및 신뢰성 향상을 위한 온라인 기반의 One-Stop 평가체계 구축 기술 개발
 - (기존) Off-line 기반 평가체계 (별도전산해석 + 별도보고서 → 별도보고서 평가)
 - (변경) On-line 기반 One-Stop 평가체계 (전산해석 → 보고서 → 평가)

□ (구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

- 스마트센서(연속형/지점형/분포형) 이용 지반침하 감지 시스템 개발
 - 분포형 센싱 기술 고도화 기술로서 지반 상태변화 탐지를 위한 분포형 TDR의 지반 함수량, 온도 및 위치 검출 정확도 향상 기술을 개발하고, 다양한 환경변수에 대응 가능한 TDR 센싱 프로세싱 기법이 반영된 스마트센서기술 개발
 - 모듈 연결 방식으로 지점형 지중 센싱 정보를 단일 선상에서 계측 가능한 분포형 통신 방식의 베이스 모듈 및 프로토콜 매뉴얼을 개발하고 입력 및 함수비의 다중 인자 측정 가능한 분포형 센서기술 개발
- 다중 영상 분석 기반 지반침하 감지 기술 개발
 - 지반침하를 감지하기 위한 다중 영상 분석 기술로서 현장 고정형 카메라를 통하여 다중 영상을 획득 및 분석하는 공간적 동기화 및 해상도 보정/병합 기술 개발
 - 다중 영상 분석을 기반으로 지반 변위 발생 시 감지하는 알고리즘을 개발하며, 다중 영상 분석 기반의 지반 변위 추출 기술 개발
- 지하안전 관리 영역에 따른 지반침하/공동 감지 모니터링 실증 및 체계 개발
 - 도로/보도 시범사업을 통한 IoT 기반 실시간 감지 모니터링 제어/계측/통신 통합 시스템의 현장 적용 및 시스템 구축
 - 스마트센서 및 다중 영상 분석 기반 지반 변위 감지 시스템의 현장 시험 적용 및 분포형화 센싱 데이터의 상위 네트워크와의 연계 기술 실증

(나) 기술개발 목표

□ (구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

- 기존, 지반해석 S/W를 활용하여 분석한 결과를 토대로 오프라인 보고서를 작성하여 검토요청, 검토 및 검토결과 반영 등 행정절차에 따라 이루어지던 지하안전평가서 작성·검토 의무를 연구개발을 통해 온라인 기반으로 작성 및 검토가 가능하도록 하고 각종 정보를 디지털화하여 업무수행 효율성을 50% 이상 개선하는 자동화 시스템 개발 목표

□ (구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

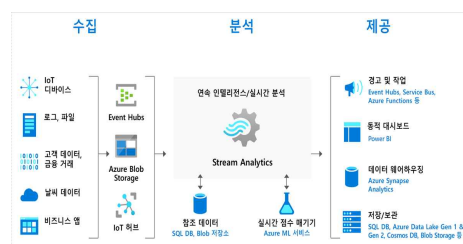
- 스마트센서(연속형/지점형/분포형)를 이용한 지반침하 감지 시스템 개발
 - 지반침하 측정이 가능한 스마트센서기술 개발
 - 압력 및 함수비의 다중 인자 측정 가능한 분포형 센서기술 개발
 - 모듈 연결 방식으로 지점형 지중 센싱 정보를 단일 선상에서 계측 가능한 분포형 통신 방식의 베이스 모듈 및 프로토콜 매뉴얼 개발(분포형화 센싱)
 - 도심지 스마트센서 기반 지반침하 감지 센싱 분석, 가시화 및 관리체계 개발
- 다중 영상 분석 기반 지반침하 감지 기술 개발
 - 다중 영상의 공간적 동기화를 위한 알고리즘 개발
 - 다중해상도 영상에 대한 해상도 보정 및 병합 기술 개발
 - 다중 영상 분석 기반 지반 변위 감지 알고리즘 개발
 - 다중 영상 분석 기반 지반 변위 추출 기술 개발
- 지하안전 관리 영역에 따른 지반침하/공동 감지 모니터링 실증 및 체계 개발
 - 지하안전관리 대상영역(도로/보도)에 따른 실시간 지반침하/공동 감지 기술 현장 검증
 - 도로/보도를 대상으로 한 IoT 기반 실시간 감지 모니터링 기술 실증현장 구축
 - 지하매설 센서 및 지상 센서의 센서네트워크와 상위 네트워크 연계기술 실증
 - 연상기반 지하시설물 상부 지표면 영역에 대한 침하분석 기술 실증

5) 국내외 기술개발 동향

(가) 해외 동향

(구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

- Autodesk 社 등의 BIM, 디지털 트윈 관련 전문기관들은 클라우드 기반의 서비스 기술을 점차 확대하는 추세
 - 특히, 디지털 트윈이 점차 현실화 되면서 다중 물리 해석을 위한 클라우드 기반의 CAE 플랫폼 기술개발이 확대 진행 중
- 마이크로소프트, 구글 등은 클라우드에서 구현한 데이터 플랫폼을 서비스
 - MS의 클라우드 서비스 ‘애저(Azure)’는 서비스형 인프라(IaaS), 서비스형 플랫폼(PaaS), 서비스형 소프트웨어(SaaS)까지 유형별로 다양한 서비스를 포함하고 있음
 - MS는 클라우드 데이터 플랫폼이 엔드-투-엔드 데이터 분석 솔루션으로 이뤄졌다는 점을 강조하고 MS가 제안하고 있는 데이터 플랫폼 서비스로는 가장 빠르게 인사이트를 얻을 수 있는 분석 서비스인 ‘애저 시냅스 애널리틱스(Azure Synapse Analytics)’, 빠르고 쉽게 협업이 가능한 완전 관리형 ‘아파치 스파크’ 기반 분석 플랫폼 ‘애저 데이터브릭스(Azure Databricks)’, 기업용 완전 관리형 클라우드 하둡 및 스파크 서비스 ‘HD인사이트(Insight)’, 데이터 이동 및 변환을 자동화하는 데이터 통합 서비스 ‘애저 데이터 팩토리(Azure Data Factory)’, IoT 디바이스에서 실시간으로 데이터 스트림할 수 있는 ‘애저 스트림 애널리틱스(Azure Stream Analytics)’, 애저의 기본 데이터 레이크 서비스 ‘애저 데이터 레이크(Azure Data Lake)’ 등이 존재



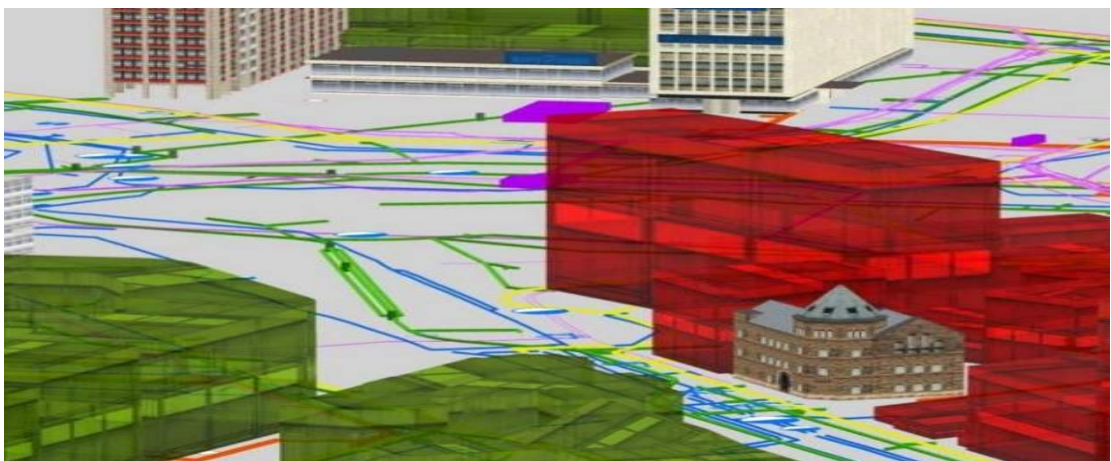
※ 출처: MS 애저 클라우드, 윈도 오피스 사업규모념을 갖, 디지털투데이(2021)

[그림] MS 클라우드 서비스 애저(Azure), 애저 스트림 애널리틱스(Azure Stream Analytics)

- 구글 클라우드는 데이터 분석 플랫폼이 단일 CSP에 종속되지 않고 여러 클라우드 환경에서 활용될 수 있도록 하는데 집중하며, 구글 클라우드는 데이터 플랫폼을 수집, 프로세스, 저장, 분석, 활용 등 5단계로 나눠 해당 단계에 맞는 서비스들을 조합해 제공하고, 수집 단계 서비스로는 스트리밍 분석 파이프라인의 이벤트 수집 및 전송을 위한 서비스인 ‘클라우드 펍서브(Cloud Pub/Sub)’이 있으며, 이 서비스는 규모에 맞는 고가용성과 일관된 성능을 기반으로 내구성 있는 메시지 스토리지 및 실시간 메시지 전송을 제공 및 OSS의 ‘아파치 카프카’와 같은 기능을 하는 서비스 구현

(구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

- 이탈리아 Monitech 사에서는 상수도관로의 누수 위치를 탐지할 수 있는 S.I.M.P.Le. 이라는 분포형 TDR 센싱 시스템을 상용화하였고, 계측선은 동축 케이블을 사용하여 관로 매설 시 관로에 평행하게 매설하는 방법을 사용
 - 분포형 TDR 계측시스템에서 계측선을 측정장비에 상시 연결하여 원격에서 실시간으로 모니터링함으로써 검사시간과 비용을 획기적으로 단축시킬 수 있으며, 작업자가 휴대용 TDR 측정장비에 수동으로 연결하여 점검하는 주기적 점검의 경우 작업자 1인이 하루에 8km 이상의 상수도관로 점검이 가능
 - ※ 출처: <http://www.monitechsrl.it/eng-ENG/>
 - 분포형 TDR 센싱 시스템에 대한 최초의 대규모 실증 사례로는 2015년 이탈리아의 10km 지중 파이프라인에 적용한 누수 위치 탐지 사례가 있으며, 이는 200m 길이 단위로 센싱 요소(계측선)들로 분할하여 구축
 - * 10km 전체 구간을 상시 연결된 모니터링 시스템으로 구축하지는 않았고, 작업자가 주기적으로 계측선 포트 함체를 개방한 후 계측장비를 연결하여 점검하는 방식으로 사용하였으며, 해상도는 4cm 간격으로 탐지한 것으로 추정
- 분류, 분리, 추출이 용이한 데이터 모델 개발
 - CityGML Utility NetworkADE 모델은 전기, 담수, 폐수, 가스, 통신 네트워크와 같은 다양한 유형의 네트워크를 모델링 할 수 있는 개념을 제공
 - 데이터의 수집 뿐만 아니라 이후 활용성과 확장성 개발에 집중하는 경향



[그림] CityGML Utility NetworkADE 모델 구축(예)

- 미국은 위성레이더를 이용하여 지반침하를 관측하고 있으며, 싱크홀 예측기술을 개발하여 활용
 - 올리언주, LA, 캘리포니아 등에서 연약지반, 지하수사용, 유전, 지열발전소 등으로 인해 발생하는 지반침하 분포를 관측하여 싱크홀 예측기술까지 활용

(나) 국내 동향

(구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

○ 비탈면 현황도 관리시스템 (국토안전관리원, '20년)

- 국토교통부는 비탈면 시공 시 보수·보강 공법 적용에 따라 원지반의 피복 등으로 인한 원지반 상태의 확인이 어려운 점을 고려 시공 시 원지반의 상태를 기록 보관하는 것을 목적으로 현황도* 작성이 의무화 되었으며, DB화 하여 비탈면의 기초자료로 유용하게 활용되는 실정
- * 도로, 철도, 부지조성 등 건설을 위하여 지반을 절취할 경우 원시 상태 사면의 사면형상, 지질상태, 풍화정도, 불연속면, 지하수 특성 등 제반특성을 평면상에 기재(스케치)한 도면
- 초기에는 국토교통부가 마련한 현황도 작성요령에 따라 보고서를 작성 후 검토기관에 우편으로 송부하여 검토를 받은 후 이를 발주기관에 제출하는 방식을 활용하였으나, 보고서 표준양식의 부재, 우편송달 방식에 따른 검토효율 저하, 최종자료의 참고형(종이문서) 관리 등으로 유지 관리에서 활용도가 낮은 문제점을 해결하고 현황도 자료의 체계적 관리 및 유지관리단계에서의 활용성 증대를 위해 전산 기반의 관리체계를 마련하여 운영 중



[그림] 비탈면 현황도 관리시스템 상의 현황도 작성 화면 (예시)

○ 클라우드 기반 데이터 플랫폼으로 신속한 데이터 분석 수행

- 클라우드 기반 데이터 플랫폼이 부상하고 있는 이유는 편리성 외에도 데이터 양과 종류가 늘어나면서 겪는 관리 역량 부족 문제를 해결할 수 있고, 정형화된 환경이 아닌 데이터 소비 패턴의 변화에 대응할 수 있으며, 실시간으로 데이터를 활용할 수 있기 때문
- 최근에는 데이터 분석을 통해 나온 결과 값을 머신러닝 모델에 바로 적용할 수 있는 서비스들도 출시되고 있으며 클라우드 관리 서비스 제공사인 클루커스는 '클루커스 DAaaS(Data Analytics as a Service)'라는 데이터 플랫폼 서비스에 스파크비온드의 예측, 분석 서비스를 함께 공급

○ 클라우드 기반 해석 솔루션 SIMULIA

- 다쏘시스템코리아는 클라우드를 통해 데이터 관리 및 고급 해석을 수행할 수 있는 3DEXPERIENCE Works, SIMULIA을 개발
- 3DEXPERIENCE 플랫폼에서 설계, 해석, 정보 공유 및 프로젝트 협업을 위한 앱 및 온라인 서비스에 즉시 액세스가 가능



[그림] 클라우드 기반 해석 솔루션 SIMULIA

※ 출처 <https://www.3ds.com/ko/cloud>

○ 인공지능 보고서 작성 서비스 플랫폼 개발·구현

- 아일리스프린티어(㉸)는 인공지능 보고서 생성 자동화 솔루션 다빈치 애널리스트를 개발하여 서비스를 제공 중. 목적에 맞는 정형·비정형 데이터를 수집하고 머신 러닝 기반의 데이터 분석하여 보고서를 자동으로 생성하는 기술을 확보. 핵심 기술로는 데이터 마이닝 기술, 자연어 처리 기술, 빅데이터 검색 엔진, 데이터 퀄리티 필터 등을 적용

※ 출처 : <https://leevi.co.kr/davincianalyst.html#header>

- 더아이엠씨에서 개발한 의사결정 지원 솔루션 TEXTOMi(텍스토미)는 데이터 수집과 정제 및 분석에 인공지능 기술을 적용. 주요 기능으로는 시장 상권 분석 및 잠재 소비력 추정, 소비지수 개발, 환경 분석 솔루션 구축, 선호도 비교 분석과 고객 충성도 관리 등을 구현

※ (출처) <https://m.blog.naver.com/theimc/222016470658>

- LG전자는 기존에 사람이 처리해야 했던 데이터 조회, 정리 등 반복적이고 정형화된 업무를 대신 처리하기 위해 RPA 기술을 도입한 사내 보고서를 대신 써주는 로봇 소프트웨어를 개발

※ 출처 : <http://news.tf.co.kr/read/economy/1737653.htm>

○ AI+RPA 기반의 스마트 기술 적용 추진 중

- Automation Anywhere의 AI 기반 인지 기능을 제공하는 IQ Bot을 적용한 기업의 사례를 보면 인지 기술 기반 봇은 신청서, 청구서, 주문서, 신고서, 송장, 통지문 등 문서 형식과 양식에 제한되지 않고 다양한 자료를 분석하고 분류. 또한 틀린 맞춤법을 찾아내는 것은 기본이고, 번역부터 글에 담긴 감성까지 분석하며, 최근에는 컴퓨터 비전 기술로 문서뿐만 아니라 영상에 담긴 사람 얼굴까지 인식해 업무를 처리

- 전통적인 봇의 경우 형식과 내용이 정해진 문서나 이미지 처리 같은 단순한 업무에 적용되었다면, 인지 기반 봇은 직원, 더 나아가 파트너나 고객과의 상호작용까지 가능한 수준의 지능을 보유한 것으로 평가

※ 출처 : [https://www.itworld.co.kr/playlist\(RPA+AI\)/73201#list-item-155513](https://www.itworld.co.kr/playlist(RPA+AI)/73201#list-item-155513)

○ RPA와 AI 기반의 보고서 정보 자동추출기술 개발 및 적용

- ㈜위세아이텍은 정보 자동추출 기술과 데이터자동화 프로세스의 시스템화를 위한 파일럿을 개발. 다양한 서식을 가진 문서에서 주요 정보를 자동으로 추출하는 RPA 기술과 NLP 기반으로 유사어와 표준어를 자동 매핑하고 분류하는 기술을 확보
- 자동 정보 추출 기술을 기반으로 기존 문서화 되었던 금형산업의 정보들을 시스템화하고 RPA기술을 도입하여 다양한 서식에도 자동 정보 추출이 가능하도록 프로세스를 모듈화 함으로써 사업 종료 후에도 신규 서식에 대한 유연한 대응을 도모

※ 출처 : <http://www.wise.co.kr/reference>

○ AI활용 지반정수 산정에 관한 동향

- 건설기술연구원은 국토지반정보 통합DB센터에서 관리하는 시추주상도를 대상으로 AI를 활용하여 자동디지털 데이터베이스 구축방안에 대해 제안
- 국내외적으로 기초사된 지반조사 정보를 관리하고 활용할 수 있는 방안을 도출하기 위해 연구를 수행하고 있으며, 최근 건설기술연구원에서는 지반조사 정보를 활용하기 위한 방안으로 ‘지반설계정수 디지털 맵’ 제작하여 지반설계정수 중 내부마찰각, 점착력, 투수계수등을 지도형식으로 표현

※ 출처 : A Study on the Utilization of DrillingInvestigation Information, The J. Engineering Geology, Vol. 33, No. 4

(구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

- 카이스트에서는 플랜트 건설 단계에서 생성되는 정보를 기반으로 가상화 플랜트를 구축한 후 운영 단계의 각종 센서 데이터, 운영/유지보수 데이터를 연계하여 공정 최적화, 기기 진단, 최적 유지보수 계획 수립에 활용하는 포털 시스템을 개발
- 경북대학교에서는 이미지 형식의 2D P&ID를 인식하여 지능형 P&ID로 변환하는 산업자원통상부 과제를 주관하여 수행 중
- 지반굴착 시 지하수 흐름의 영향과 지반변형을 복합적으로 예측하기 위한 포화-불포화 변동성 지반에서의 지하수 거동예측 선형 후,지반체적 변화를 정량적으로 위험 예측
 - 지반침하를 유발하는 위험요소 규명 및 분류, 발생 가능한 위험경로 모델링, 위험경로 별 경제적 손실에 대한 평가 등을 통해 굴착공사의 설계 및 시공 과정에서 발생 가능한 지반함몰을 예측 및 평가할 수 있는 기법 도출을 통해 기술 개발 중



※출처: 지반함몰 위험성 예측 및 평가기술 개발, 한국건설기술연구원

[그림] 원심모형시험기(KAIST)

○ 지하안전 관리 대상 영역의 정의 및 지하안전 관리 정보의 명확한 분류체계 개발

- 국토교통부 소속의 지리정보위원회를 두고 산하기관인 한국국토정보공사(LX)에서 공간 정보에 대한 통합적인 내용을 다루고 있으나 지하정보와 직접적으로 연관된 표준은 부재

○ 분류, 분리, 추출이 용이한 데이터 모델 개발

- 국토지리정보원(NGII)에서 공간정보의 데이터 모델을 구축, 제공, 활용하고 있으나 지상 공간에 대한 데이터가 대부분이며 지하공간정보에 직접적으로 활용할 수 있는 모델은 미비

[그림] 지하안전정보시스템 구축(예)

- 2018년 12월 목동에서 발생한 노후 열수송관 파열 사고 이후, 분포형 누수 위치 계측 기술의 필요성이 크게 대두되었으며, 2020년 10월 서울기술연구원에서는 열수송관 파열에 의한 누수 및 누수 위치를 감지할 수 있는 TDR 기반의 분포형 센서(계측선), TDR 계측기기를 개발하여 중계-신내지구 열수송관 설치공사의 80m 구간에 시범 구축
 - 열수송관의 파열 감지 목적으로 최대 1km까지 감지 가능한 분포형 TDR에 대한 선도적인 하드웨어 기술을 성공적으로 개발하였고, 스테인리스 스틸의 평각선에 PVC 로 피복된 분포형 TDR 계측선은 100m 단위의 롤 형태로 개발되어 연결 키트를 이용한 연장이 가능
 - 국내 열수송관에 대한 분포형 TDR의 80m 시범 구축에서는 검증 목적의 지점형 센서가 부재하여 함수비와 온도, 토양 밀도와 같은 복합된 지중환경 변화에 의한 출력 정확도 검증이나 개선이 아직 이루어지지 못한 단계
 - 누수 감지 수준을 넘어서 지하공간의 지반침하 인지 및 위험도 분석이 가능할 수 있도록 다양한 인자와 가용한 센싱 정보를 고려하여 신호처리 알고리즘을 고도화하고 개선하는 선도적인 연구가 필요
- 국내에서는 한국건설기술연구원이 2019년부터 2022년까지 도심지 내 흠막이 굴착 현장에서의 안전을 위하여 지반 함몰 계측 및 데이터 분석/활용을 위한 연구를 진행 중
 - 하지만 개발 중인 기술이 흠막이 굴착 현장에 국한되어 있으며, 고정형 카메라를 활용하는 기술은 포함되지 않아 제한적인 상황

〈표〉 지하안전공간의 지반침하, 공동감지 및 관리 솔루션 구축기술 사례 제시

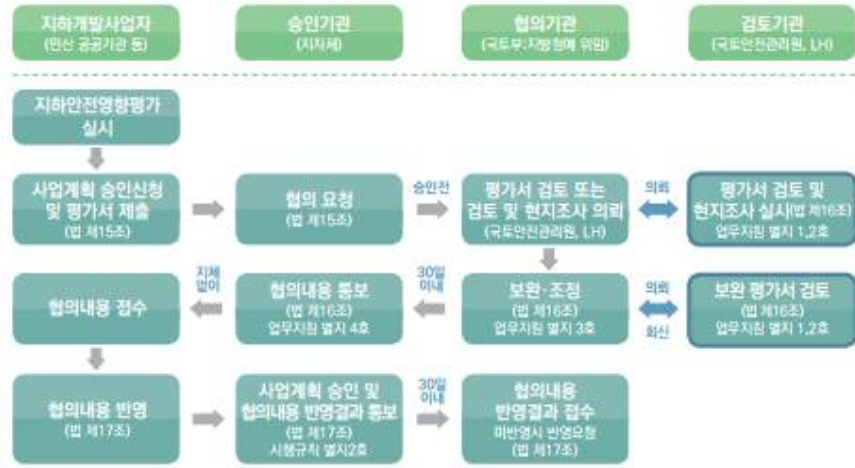
개발방향	국가	기업명	제품명	특징
열수송관 파열 누수감지 목적의 분포형 TDR 개발	대한민국	서울기술연구원	분포형 TDR 계측장비 및 계측선	최대 1km 감지, 10cm 분해능, 무선센서 네트워크 연동, 100m롤 단위의 평각 계측선
	대한민국	서울기술연구원	시범구축 사례	80m 구간의 열수송관에 시범 구축하고 10cm단위로 연속계측
흠막이 개착현장 주변의 지반함몰 예측 및 지진 시 액상화 평가 기술	대한민국	경희대학교	실시간 영상 및 이동체 수집정보 기술	도심지 흠막이 굴착 시 이동체를 활용한 데이터 수집 및 분석 알고리즘 개발
	대한민국	한국건설기술연구원	영상정보 기반 실시간 현장 측정 시스템	흠막이 굴착 시 카메라를 활용한 3D변위 측정

(6) 세부개발 내용

(구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술							
연구 방향	<p>○ 현행, 지하안전평가는 오프라인 보고서를 작성하여 검토기관에 제출하면 검토기관은 그 결과의 적정성을 검토하여 회신하는 형태로 업무 효율성을 확보하지 못하고 평가보고서 작성에 활용된 데이터의 저장·활용성도 떨어지는 실정</p> <p>- 따라서, 평가보고서 작성 단계별로 분절된 업무를 표준화된 플랫폼에서 수행할 수 있도록 하여 정보의 저장·공유를 원활하게 하고 업무의 효율성을 향상하도록 기술 개발 추진</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">한계점</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">기술개발방향</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ■ 온라인 기반으로 지하공간 굴착 등에 따른 안정성 평가가 가능한 해석 S/W의 부재 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ■ API 기반의 지하공간 안전성 평가 S/W 개발 </td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ■ 지하공간 시추정보 DB 등의 국토지반정보는 통합시스템이 존재하나 지하공간 안정성 평가를 위한 각종 지반정수에 대해서는 관리체계 부재 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ■ 지하공간 개발·운영에 따른 안정성 확보 여부를 평가하기 위한 지반정수의 산정에 AI기술을 활용한 관리 </td> </tr> </tbody> </table>	한계점	기술개발방향	<ul style="list-style-type: none"> ■ 온라인 기반으로 지하공간 굴착 등에 따른 안정성 평가가 가능한 해석 S/W의 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ■ API 기반의 지하공간 안전성 평가 S/W 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지하공간 시추정보 DB 등의 국토지반정보는 통합시스템이 존재하나 지하공간 안정성 평가를 위한 각종 지반정수에 대해서는 관리체계 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지하공간 개발·운영에 따른 안정성 확보 여부를 평가하기 위한 지반정수의 산정에 AI기술을 활용한 관리
한계점	기술개발방향						
<ul style="list-style-type: none"> ■ 온라인 기반으로 지하공간 굴착 등에 따른 안정성 평가가 가능한 해석 S/W의 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ■ API 기반의 지하공간 안전성 평가 S/W 개발 						
<ul style="list-style-type: none"> ■ 지하공간 시추정보 DB 등의 국토지반정보는 통합시스템이 존재하나 지하공간 안정성 평가를 위한 각종 지반정수에 대해서는 관리체계 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지하공간 개발·운영에 따른 안정성 확보 여부를 평가하기 위한 지반정수의 산정에 AI기술을 활용한 관리 						
연구 필요성	<p>○ 지하안전평가는 지하공간 개발사업이 지하안전에 미치는 영향을 사업 전·후에 미리 조사·예측하여 지반침하를 예방하거나 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는 법적 의무사항으로,</p> <p>- 지반 및 지질현황, 설계지반정수, 지하수 변화에 의한 영향, 지반안전성 검토 및 검토결과를 고려한 지하안전 확보방안 수립 등의 내용을 포함하도록 규정하고 있으며,</p> <p>- 각종 문헌자료, 사용 지반해석 프로그램, 협의요청 사항 등을 전통적인 보고서 작성 양식에 따라 작성 후에 오프라인 방식으로 검토하는 실정</p> <p>○ 반면, 지하안전평가에 사용된 각종 데이터의 기록·보관 등이 취약하고, 인접 지역에서 유사 사업이 진행될 경우에도 데이터 공유·활용에 한계가 존재</p> <p>- 지하안전평가 보고서 틀, 데이터 입력 및 공유(Patch) 기술, 온라인 기반 지반해석 SW, 머신러닝 기반 데이터 분석, AI를 활용한 지반정수 산정, 품질관리 등 보고서 작성·검토 자동화 기술개발 필요</p> <p>○ 또한, 지하안전평가 작성이 의무화 된 이후 유사한 민원이 반복적으로 발생하고 있어 이를 해소하고자 “반복질의 Q&A집”이 발간되고 있으나 어려움 존재</p> <p>- 평가보고서 작성자의 역량에 따라 품질관리에 한계가 나타날 수 있어 일반화 된 정보 제공을 통해 업무 효율성을 향상하고 품질관리가 가능하도록 기술개발 필요</p> <p>○ 한편, 현재 지반정수의 산출은 현장 및 실내에서 수행된 자료에 기반한 경험식에 크게 의존하고 있으며, 설계정수 간 상관성은 비정형 상태로 존재하여 사용자간에 불확실성이 내포</p> <p>- 실내/외 실험 지반공학 DB를 활용하여 대상지반의 지구물리학적 특성간의 상관성을 AI기술로 학습하여 지반정수 data의 순도를 향상시켜 설계자료 불확실성을 저감시키기 위한 기술개발 필요</p>						

(구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

● 지하안전영향평가 협의절차



- API(Application Programming Interface) 기반 지하공간 안전해석 S/W 개발
- RPA(Robotic Process Automation) 기반 지하안전평가서 오류 탐색 자동화 기술
- AI(Artificial Intelligence)를 활용한 지반정수 산정기술 개발
- LMM(Large Multimodal Model) 언어모델 기반의 생성형 인공지능 활용 지하안전평가서 작성 자동화 기술

연구내용

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2026	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - AI언어기술 기반 지하안전평가 작성 환경 설계 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 지하안전평가 작성항목 분류 및 자동화 대상 추출 - 지하공간 개발에 따른 지하공간 안정 해석 S/W 설계 - 기존 지하안전평가서 수집 및 작성항목 텍사노미/온톨로지 설계 (보고서에 등장하는 어휘나 표현들의 상/하의어, 동의어, 반의어 등의 정보를 제공하는 텍사노미 구축 및 속성 정의) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지하안전평가 자동화를 위한 온톨로지 설계서
2027	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 지하안전평가 작성·검토 자동화를 위한 핵심 요소기술 개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - API 기반 지하공간 안정해석 S/W 개발 - 텍사노미/온톨로지와 머신러닝 기반 로봇 문장 생성기 개발 - AI기반 지반정수 산정시 data 고순도화를 위한 학습자료 확보 - 지하안전평가서 작성을 위한 적응형 문장 생성 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ API 기반 지하공간 안정해석 S/W ▪ 지하안전평가서 작성 자동화 S/W

(구성기술 1-1) 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물															
2028	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - AI언어기술 기반 지하안전평가 자동화 시스템 설계·구축 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - AI언어기술 기반 지하안전평가 자동화 시스템 설계 - API 기반 지하공간 안정해석 S/W 시스템 연동 시험 - AI기반 지반정수 산정기술 및 설계정수 고도화 및 data 필터링 기술 개발 - 기계학습 방법론 기반 자동 오류검토 시스템 개발 - 비정형 데이터 처리 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지하안전평가 자동화 시스템 요구사항 분석서 및 설계서 															
2029	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 자동화 시스템 구축 및 성능 검증 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 테스트 베드를 통한 적용성 검증 - 테스트 베드 검증 결과의 신뢰성 검토 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지하안전평가 자동화 시스템 및 성능검증 보고서 															
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AI 언어모델 기반 지하안전평가서 작성 및 검토 자동화 기술 개발 																
연구목표	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">성능지표</th> <th colspan="2">현재 최고 기술수준</th> <th rowspan="2">개발 목표 스펙</th> </tr> <tr> <th>국내</th> <th>해외</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지하안전평가 작성 정확도</td> <td>근거 無</td> <td>제도 부재</td> <td>기존 인력 기반 보고서 대비 90% 이상</td> </tr> <tr> <td>지하안전평가 작성 관련 자료의 DB화</td> <td>DB 부재</td> <td>제도 부재</td> <td>DB 구축율 100%</td> </tr> </tbody> </table>			성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙	국내	해외	지하안전평가 작성 정확도	근거 無	제도 부재	기존 인력 기반 보고서 대비 90% 이상	지하안전평가 작성 관련 자료의 DB화	DB 부재	제도 부재	DB 구축율 100%
	성능지표	현재 최고 기술수준			개발 목표 스펙												
		국내	해외														
지하안전평가 작성 정확도	근거 無	제도 부재	기존 인력 기반 보고서 대비 90% 이상														
지하안전평가 작성 관련 자료의 DB화	DB 부재	제도 부재	DB 구축율 100%														
1) 지하안전평가 보고서는 인력 기반으로 작성하여 검토를 요청하는 실정으로 이를 자동화 할 경우, 기존 인력 기반의 보고서 대비 오류 탐지율을 90% 이상으로 설정하여 업무의 효율화를 도모 2) 現 지하안전평가는 전부 보고서 제출을 의무화 하고 있어 이를 전산화 하여 DB화 추진																	
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ AI언어기술 기반 지하안전평가 자동화 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - API 기반 지하공간 안전해석 S/W 개발 - RPA기반 지하안전평가서 오류 탐색 자동화 기술 - LMM언어모델 기반의 생성형 인공지능 활용 지하안전평가서 작성 자동화 기술 - AI를 활용한 지반정수 산정기술 																

(구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

<p>연구 방향</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="320 293 874 338">한계점</th> <th data-bbox="874 293 1422 338">기술개발방향</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="320 338 874 667"> <ul style="list-style-type: none"> ■ 기존의 지반침하를 감지하기 위한 지점형 센서와 물리탐사의 경우 조사범위, 정확도 등의 한계가 존재, 상시 모니터링 체계를 통해 시계열에 따른 지반의 연속적 거동을 파악해 정량적 침하위험을 판단하는 새로운 해법 필요 ■ 지반침하 감지를 위한 센싱 기준 부재 <ul style="list-style-type: none"> - 지반침하 감지를 위한 센서 및 설치 방법 등 설계기준 부재 - 지반침하 관리기준 및 대응체계 부재 </td> <td data-bbox="874 338 1422 667"> <ul style="list-style-type: none"> ■ 지반침하를 정량적으로 측정하고, 시계열 변화를 파악하여 연속적인 지반 거동을 측정할 수 있는 스마트센서 및 영상센서 개발을 통한 신뢰성 높은 현장 정보 취득 체계 구축 ■ 지반침하 감지를 위한 계측관리 기준 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 스마트센서(연속형/지점형/분포형) 및 다중 영상 수집 장치의 구성 및 설치방법 정립 - 지반침하 관리기준 및 대응체계 정립 </td> </tr> </tbody> </table>	한계점	기술개발방향	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기존의 지반침하를 감지하기 위한 지점형 센서와 물리탐사의 경우 조사범위, 정확도 등의 한계가 존재, 상시 모니터링 체계를 통해 시계열에 따른 지반의 연속적 거동을 파악해 정량적 침하위험을 판단하는 새로운 해법 필요 ■ 지반침하 감지를 위한 센싱 기준 부재 <ul style="list-style-type: none"> - 지반침하 감지를 위한 센서 및 설치 방법 등 설계기준 부재 - 지반침하 관리기준 및 대응체계 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지반침하를 정량적으로 측정하고, 시계열 변화를 파악하여 연속적인 지반 거동을 측정할 수 있는 스마트센서 및 영상센서 개발을 통한 신뢰성 높은 현장 정보 취득 체계 구축 ■ 지반침하 감지를 위한 계측관리 기준 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 스마트센서(연속형/지점형/분포형) 및 다중 영상 수집 장치의 구성 및 설치방법 정립 - 지반침하 관리기준 및 대응체계 정립
한계점	기술개발방향				
<ul style="list-style-type: none"> ■ 기존의 지반침하를 감지하기 위한 지점형 센서와 물리탐사의 경우 조사범위, 정확도 등의 한계가 존재, 상시 모니터링 체계를 통해 시계열에 따른 지반의 연속적 거동을 파악해 정량적 침하위험을 판단하는 새로운 해법 필요 ■ 지반침하 감지를 위한 센싱 기준 부재 <ul style="list-style-type: none"> - 지반침하 감지를 위한 센서 및 설치 방법 등 설계기준 부재 - 지반침하 관리기준 및 대응체계 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지반침하를 정량적으로 측정하고, 시계열 변화를 파악하여 연속적인 지반 거동을 측정할 수 있는 스마트센서 및 영상센서 개발을 통한 신뢰성 높은 현장 정보 취득 체계 구축 ■ 지반침하 감지를 위한 계측관리 기준 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 스마트센서(연속형/지점형/분포형) 및 다중 영상 수집 장치의 구성 및 설치방법 정립 - 지반침하 관리기준 및 대응체계 정립 				
<p>연구 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최근 도로함몰, 지반침하 현상, 열수송관 파열 등의 사고가 사회적으로 큰 이슈가 되고 있으며, 특히 국토부에서는 주요내용에 '불안 요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리'를 제시하는 등 지하시설물 모니터링 기술개발의 중요성이 부각 <ul style="list-style-type: none"> - 지하공간에 대한 입체적 안전망 구축을 위해서는 현행의 지점형 센싱 방법과 더불어 분포형 센싱 방법을 복합적으로 구성하여 지반상태변화를 감지하는 것이 필요 - 생활기반시설 노후화가 가속화됨에 따라 스마트센싱 기술을 바탕으로 노후도 수준을 정확히 예측하고 성능 중심의 선제적 유지관리로 관리체계의 패러다임 전환이 필요 ○ 종합적인 지하안전관리를 위해 지반침하 감지 기술 개발 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 지반침하 특성상 불특정 지역에서 돌발적으로 발생하므로, 일반적인 계측관리로는 침하발생 징후 감지 및 예측이 어려우므로 이를 극복하기 위해 지상의 고정형 카메라를 설치하여 영상 인식 기반의 지반침하 기술 개발 필요 				
<p>연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트센서(연속형/지점형/분포형)를 이용한 지반침하 감지 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지반침하 측정이 가능한 스마트센서기술 개발 - 압력 및 함수비의 다중 인자 측정 가능한 분포형 센서기술 개발 - 모듈 연결 방식으로 지점형 지중 센싱 정보를 단일 선상에서 계측 가능한 분포형 통신 방식의 베이스 모듈 및 프로토콜 매뉴얼 개발(분포형화 센싱) - 도심지 스마트센서 기반 지반침하 감지 센싱 분석, 가시화 및 관리체계 개발 ○ 다중 영상 분석 기반 지반침하 감지 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 다중 영상의 공간적 동기화를 위한 알고리즘 개발 - 다중해상도 영상에 대한 해상도 보정 및 병합 기술 개발 - 다중 영상 분석 기반 지반 변위 감지 알고리즘 개발 - 다중 영상 분석 기반 지반 변위 추출 기술 개발 ○ 지하안전 관리 영역에 따른 지반침하/공동 감지 모니터링 실증 및 체계 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지하안전관리 대상영역(도로/보도)에 따른 실시간 지반침하/공동 감지 기술 현장 검증 - 도로/보도를 대상으로 한 IoT 기반 실시간 감지 모니터링 기술 실증현장 구축 - 지하매설 센서 및 지상 센서의 센서네트워크와 상위 네트워크 연계기술 실증 - 연상기반 지하시설물 상부 지표면 영역에 대한 침하분석 기술 실증 				

(구성기술 1-2) 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물		
2026	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 스마트 센싱 시스템 및 영상 분석 센싱 기술 개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 분포형 센서의 지중 환경 정보에 대한 민감도 분석 - 다중 영상 획득 및 분석 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지점형 지중센서를 위한 분포형 베이스 센싱 모듈 설계도 ▪ 다중 영상 공간적 동기화 및 해상도 보정 기술 		
2027	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 스마트센싱(연속형/지점형/분포형)을 활용한 지반침하 감지 기술 개발 - 다중 영상 분석 기반 지반 변위 감지 알고리즘 개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 지반침하 안전도 평가·예측 최적 모델 개발 - 센싱 타입에 따른 지반침하 안전감시 네트워크 표준화 및 이상거동 평가 알고리즘 개발 - 고정형 카메라 조건 등을 고려한 지반 변위 감지 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 스마트 센서 활용 이상 변위 평가 알고리즘 ▪ 다중영상 분석 기반 지반 변위 감지 알고리즘 		
2028	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 스마트 센싱 기반의 지반 침하 감지 솔루션 테스트베드 적용 - 다중 영상 분석 기반 지반 변위 추출 기술 개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 테스트베드 환경에서의 스마트 센서 시스템의 센싱 정확도 향상 기법 개발 - 지반 침하 특성을 고려한 3차원 형태의 데이터 단면 추출 및 변위 감지 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 분포형 센싱의 위치 검출 정확도 향상 알고리즘 ▪ 다중 영상 분석 기반 지반 변위 추출 및 감지 기술 		
2029	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 스마트 센싱 기반의 지반 침하 감지 솔루션 검증 - 다중 영상 분석 기반 지반침하 감지 기술의 실증을 통한 현장 검증 및 최적화 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 테스트베드 환경에서의 분포형 센서의 위치 검출 정확도 향상 기법 개발 - 지반 침하 특성을 고려한 3차원 형태의 데이터 단면 추출 및 변위 감지 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 스마트 센서를 활용한 지반침하 상시감시 시스템 ▪ 다중 영상 분석 기반 지반변위 추출 시스템 		
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 스마트 센서를 활용한 지반침하 상시 감시 시스템 ▪ 다중 영상 분석 기반 지반변위 추출 시스템 			
연구목표	성능지표	현재 최고 기술수준	개발 목표 스펙	
		국내		해외
	스마트 센서의 탐지위치 (pinpointing)오차	- (문헌 없음)	최대 4.15%	평균 3%
	영상 분석 기반 지반변위 측정 정확도 (%)	90%	-	95%
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트 센서를 활용한 지반침하 상시 감시 시스템 ○ 다중 영상 분석 기반 지반변위 추출 시스템 			

(7) 민간 기술 및 유사 연구과제와의 차별성·연계성

□ 마이다스아이티, 지하안전평가 전문해석 소프트웨어 GTS NX

- 지하개발사업자가 굴착공사 실시 전 및 실시 중에 의무적으로 수행해야 하는 지하안전 평가와 착공후지하안전조사 시 효율적으로 활용할 수 있도록 지반거동 수치해석, 침투 해석 및 압밀해석 기능 등을 연계할 수 있는 지하안전평가서 자동작성 프로그램 개발
- 특히, 지하안전평가서 등을 작성하는데 있어서 기존 소프트웨어의 해석 결과를 별도로 보고서에 포함해야 하는 번거로움을 해결하기 위해 각종 해석 결과에 관한 표, 그래프 등을 자동으로 생성하고 이를 엑셀 포맷으로 출력하는 기능을 제공
- 지하안전평가서 자동작성 프로그램 개발시 GTS NX 등 기존 개발되어 있는 상용 프로그램과 연계가 가능하도록 개발하여, 민간에서 보유하고 있는 기술을 활용하고 장기적으로 관련 산업의 확산 추진

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관기관 (지원기관)	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
열수송관 첨단 손상감지 시스템 개발	서울시 (2019.10 ~2020.12)	<ul style="list-style-type: none"> • 열수송관의 파열 시 누설 감지를 위한 분포형 계측선, 분포형 TDR 계측기기, 그리고 이를 인터페이스하는 무선센서 네트워크 시스템 개발 • 80m 열수송관에 총 6개 시범 구축 • 열수송관 첨단 손상감지 시스템에 대한 설계·시공 매뉴얼 발간 	<p><차별점></p> <ul style="list-style-type: none"> - 선행과제는 열수송관의 누설감지 목적으로 분포형 TDR에 대한 하드웨어 중심으로 개발되었으며, 본 구성기술은 지반침하를 정확히 예측하기 위한 신호처리 알고리즘의 고도화 및 분석·예측기술에 초점을 맞추어 연구가 계획 - 선행과제는 실규모 현장의 장거리 조건에서 TDR 성능 검증을 위한 지점형 센싱 정보가 없어 실제계의 다양한 조건에서의 출력 특성이 검토되지 못한 상황 - 본 구성기술에서는 분포형 TDR 계측선과 함께 평행하게 매설할 수 있는 지점형 센서의 모듈기반의 분포형화(化) 센싱 시스템을 개발하며 TDR 출력값 검증을 위한 기준으로 삼고, 온도, 토양의 밀도 등 실제 장거리 현장의 복잡한 지중환경 조건 속에서도 지반 함수량 및 위치 검출 정확하게 감지할 수 있는 고도화된 신호처리 알고리즘을 개발한다는 점에서 차별성 존재 <p><연계성></p> <ul style="list-style-type: none"> - 선행과제에서 개발 또는 상용화된 분포형 계측 솔루션 하드웨어를 활용하여 분포형 TDR 기술 고도화를 위한 신호처리 알고리즘을 개발하고, 테스트베드환경에서 분포형 센싱 정보를 포함한 각종 관측망에 대한 통합 정보를 기반으로 지반침하의 정확한 예측, 취약성 분석, 위험도 분석기술을 연구
흙막이 개착현장	국토교통부	<ul style="list-style-type: none"> • 도심지 흙막이 굴착 시공 	<p><차별점></p>

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관기관 (지원기관)	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
주변의 지반함몰 예측 및 지진 시 액상화 평가 기술 개발	(2019.04 ~2022.12)	중 문제패턴 조기 인식을 위한 실시간 영상 및 이동체 수집 • 3D 영상정보 기반 비접촉식 Full-field measurement 측정 시스템 개발	- 선행과제는 도심지 흠막이 굴착 시공 중에 발생할 수 있는 지반함몰 문제 를 해결하기 위한 지반 및 흠막이벽 변위 데이터 수집 및 계측에 초점을 맞추어 연구가 진행 중 - 본 구성기술의 주요 목표는 고정형 카메라를 활용한 다중 영상 인식 기 반 지반 변위 감지 기술 개발로 대 상 및 방법에 차이점 존재 <연계성> - 연구 대상 및 방법에 차이점이 있지만, 선행과제의 방법론에 대한 분석 및 검토를 통하여 본 구성기술의 방향성 설정과 기 술 개선에 도움이 될 것으로 기대

8) 과제추진 및 기술성과 로드맵

□ 추진 로드맵

핵심기술	구성기술	'26	'27	'28	'29	연구목표
스마트 지하안전 평가 및 조사 기술	1-1. 디지 털·AI 기 반 지하 안전평가 서 작성· 검토 기 술	AI 언어모델 기 반 지하안전평가 서 작성 및 검토 자동화 구축 설 계서	API기반 지하공간 안전해석 S/W			AI 언어모델 기반 지하안 전평가서 작 성·검토 자동화 기술 개발
			API기반 지하공간 안전해석 S/W 신뢰성 검증 및 시스템 연계			
			AI기반 지반정수 산정을 위한 data 고순도화를 위한 학습자료 확보	AI기반 지반정수 산정기술 및 설계정수 고도화 및 data 필터링 기술 개발		
			택사노미/온톨로지와 머신러닝 기반 로봇 문장 생성기 개발			
			기계학습 방법론 기반 자동 오류검토 시스템 개발			
				비정형 데이터 처리 시스템 개발		
			AI 언어모델 기반 지하안전평가 자동화 시스템 설계	AI 언어모델 기반 지하안전평가 자동화 시스템 개발 및 실·검증	테스트 베드 를 통한 신뢰성 검증	
		1-2. 굴착공사 중 현장 지반상태 에 대한 실시간 모니터링 기술	지반침하 측정이 가능한 스마트센서기술 개발	스마트 센싱 시스템 테스트 베드 적용	개발 기술의 실증을 통한 현장 검증 및 최적화	
		다중 영상의 공간적 동기화 및 해상도 보정/병합 기술 개발	다중 영상 분석 기반 지반 변위 추출 기술 개발			

□ 성과 로드맵

핵심기술	구성기술	'26	'27	'28	'29	주요 성과물
스마트 지하안전 평가 및 조사 <small>공사중</small> 기술	1-1. 디지 털·AI 기 반 지하 안전평가 서 작성· 검토 기 술	AI 언어모델 기반 지하안 전평가서 작 성 및 검토 자동화 구축 설계서	API기반 지하공간 안전해석 S/W			<ul style="list-style-type: none"> API 기반 지하공간 안전해석 S/W 지하안전평가서 작성 자동화 S/W
			API기반 지하공간 안전해석 S/W 신뢰성 검증 및 시스템 연계			<ul style="list-style-type: none"> 지하안전평가 자동화 시스템 요구사항 분석서 및 설계서
			SI기반 지반정수 산정을 위한 data 고순도화를 위한 학습자료 확보	SI기반 지반정수 산정기술 및 설계정수 고도화 및 data 필터링 기술 개발		<ul style="list-style-type: none"> SI기반 지반정수 산정 알고리즘 SI기반 토질별 암반별 분류기술 지질학적특성에 따른 현장 및 실내실험 결과별 지반정수 분류기법
			택사노미/온톨로지 머신러닝 기반 로봇 문장 생성기 개발			<ul style="list-style-type: none"> 지하안전평가 자동화를 위한 온톨로지 설계서
			기계학습 방법론 기반 자동 오류검토 시스템 개발			<ul style="list-style-type: none"> RPA기반 보고서 자동 오류검토 시스템
				비정형 데이터 처리 시스템 개발		<ul style="list-style-type: none"> AI 기술에 의한 학습화, 정형화된 Data 처리기술
			AI 언어모델 기반 지하안전평가 자동화 시스템 설계	AI 언어모델 기반 지하안전평가 자동화 시스템 개발 및 실·검증	테스트 베드 를 통한 신뢰성 검증	<ul style="list-style-type: none"> 지하안전평가 자동화 시스템 및 성능검증 보고서
			지반침하 측정 스마트센싱 기술	지반침하 상시 감시 스마트센서 시스템		<ul style="list-style-type: none"> 지반침하 상시 감시 스마트 센싱 시스템
	1-2. 굴착공사 중 현장 지반상태 에 대한 실시간 모니터링 기술	다중영상 공간적 동기화 및 해상도 보정/병합 기술	다중영상 분석기반 지반변위 감지 알고리즘	다중영상 분석기반 지반변위 추출 기술	<ul style="list-style-type: none"> 다중영상 분석 기반 지반변위 감시 시스템 	
			테스트베드 실증 및 성과 검증		<ul style="list-style-type: none"> 테스트베드 실증 보고서 	

(9) 소요예산 및 장비 구축 계획

(가) 연도별 소요예산

〈표〉 구성기술별 예상 소요예산

(단위: 백만원, 개)

구성기술명	구분	1차년도 ('26.04~'26.12)	2차년도 ('27.01~'27.12)	3차년도 ('28.01~'28.12)	4차년도 ('29.01~'29.12)	합계
1-1. 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술	국고	100	250	250	150	750
1-2. 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술	국고	100	350	400	400	1,250
합 계		200	600	650	550	2,000

(나) 연구장비

〈표〉 핵심기술 연구장비내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)
4	Pix4D Mapper	사진 측량 소프트웨어	5	1	5
5	카메라	안전감시 현장 고해상도 이미지 수집	3	1	3
6	GoPro Hero10 Black	디지털 영상 수집을 위한 촬영 장비 (현장 조건에 따라 CCTV 등 대체)	0.75	2	1.5
합 계			-	-	9.5

(다) 연차별 직·간접비용 예산

○ 직접비

〈표〉 핵심기술 직접비 예산

(단위: 백만 원)

구분	1차년도 (’26.04~’26.12)	2차년도 (’27.01~’27.12)	3차년도 (’28.01~’28.12)	4차년도 (’29.01~’29.12)	합계
인건비	65	240	285	255	845
장비·재료비	60	160	160	125	505
기타경비	55	140	140	115	450
합 계	180	540	585	495	1,800

○ 간접비

〈표〉 핵심기술 간접비 예산

(단위: 백만 원)

구분	’26	’27	’28	’29	계
간접비	20	60	65	55	200

(라) 소요인력

(단위: 명)

구분	’26	’27	’28	’29	계
책임급	1	3	3	3	10
선임급	1	3	3	2	9
연구원	2	6	6	4	18
합 계	4	12	12	9	37

2) (핵심기술 2) 스마트 지하안전점검^{상시} 기술

(1) 핵심기술 개발 내용

(가) 기본 개념

□ 지하안전법에 따라 실시하는 지하안전점검에 있어서 육안조사와 공동조사를 신속하고 과학적으로 수행하기 위한 연구로 점검 장비개발, 학습 DB 구축, AI 모델 개발, 플랫폼 구축 및 위험성 분석/평가 기술

○ (육안조사) 현행 인력기반으로 수행되는 육안조사를 자동화된 점검 장비를 활용하여 데이터를 취득하고, AI를 이용하여 분석함으로써 정량적이고 일관적인 조사를 통해 인력기반 조사의 효율을 높이고 과학적인 데이터 관리가 가능하게 하는 기술

- 방대한 조사구간에 걸쳐 침하, 균열, 습윤 상태를 조사해야 하므로 인력기반 점검은 상당한 시간이 소요되나 실제로는 큰 이상을 보이는 일부 구간에 대해서만 육안조사서에 기술

○ (공동조사) 현재 공동조사는 지표투과레이더(GPR)를 이용하여 인력기반으로 데이터를 분석하고 있고, 일부 중소기업에서만 AI를 활용한 공동 탐지 소프트웨어를 자체 개발하여 활용하고 있는 상황으로, 다양한 종류의 GPR 장비를 지원할 수 있는 표준화된 AI 모델을 개발하여 산업계를 지원함으로써, 신속한 분석을 통해 공동조사구간 확대 및 조사 빈도의 단축을 경제적으로 지원할 수 있는 기술

- 공동조사는 5년에 1회 수행하도록 하고 있으나, 지하시설물의 증가에 따라 매년 공동조사 범위는 확대되고 있는 상황, 특히, 최근 발생하고 있는 공동의 경우에는 조사기간이 재도래하기 전에 발생하는 경우가 보고되고 있어 위험구간에 대해서는 집중적인 반복조사가 필요한 상황

- AI를 이용한 공동탐지 기술은 신속하게 공동이 의심되는 구간을 탐지할 수 있고, 전문분석사에 의한 공동탐지 대비 인적 오류를 줄일 수 있어 일관적인 결과를 확보할 수 있음.

○ (예측분석) 넓은 범위의 지하 공간 중 실시간 안전감시가 필요한 지반침하 위험이 높은 중점관리 구간 선정을 위한, 지하정보 DB 구축 기술과 AI 기반 지반침하 위험 평가·예측 기술

□ 기업과 상생하는 경제적인 솔루션을 지원하기 위한 기술개발에 집중

○ (상생 기술) 학습 DB의 구축 및 공유, 분석을 위한 AI 표준모델 개발, 플랫폼을 통한 점검업무 지원 등 관리주체뿐만 아니라 지하안전점검 기업과 상생할 수 있는 기술을 개발하여 성과를 공유

○ (경제적인 솔루션) AI를 통한 지상, 지하 데이터 분석 자동화를 통해 분석시간을 단축하여 비용 절감 효과를 높이고 전문가의 최종판단을 지원하는 AI 협업 체계 구축

(나) 기술 범위

□ (구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

- 공동, 지표침하 등 지반침하 징후를 적기에 발견하고 적절한 안전조치를 시행하기 위한 지하 안전 점검 체계의 실효성을 높일 수 있는 기술이며, 지하안전점검 표준매뉴얼에 따른 육안조사를 신속하고 정량적으로 분석할 수 있는 ①차량탐재형 및 개인이동형 안전점검 장비 개발, ②취득 정보를 자동 탐색·발견·인지·검수할 수 있는 학습 데이터 구축 및 AI모델 개발, ③AI 기반 자동형 육안조사서 생성 기술을 포함

□ (구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

- 지하안전점검 표준매뉴얼에 따른 공동조사에는 지표투과레이더(GPR) 탐사를 수행하고 있으며, 각 탐사 업체에서는 다양한 종류의 GPR 장비를 활용하고 있는바, GPR 데이터 분석을 위한 AI 표준 모델을 개발하는 기술임. 이를 위해서 ①국내에서 활용중인 모든 GPR 데이터에 대한 학습 DB 구축, ②다종의 GPR 데이터에 대한 전처리를 포함하는 데이터 표준화 기술 개발, ③ AI 표준모델 및 공동조사서 자동생성 기술 개발, ④DB와 AI모델이 연계될수 있는 플랫폼 구축을 수행함

□ (구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

- 심도 2~4m 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 개발을 위해 심도 2~4m 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 개발, GPR 수집 정보의 정밀 해석 기술 개발, 저주파·고주파 복합 GPR 탐사 시스템 통합 및 성능검증 등을 수행

□ (구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

- (지하정보 DB구축) 다양한 관리주체, 지자체 등에서 생산되는 지하정보를 지하안전관리에 활용하기 위한 데이터 연계 및 수집 기술, 통합된 지하정보를 AI 기반의 위험평가 및 분석·예측에 활용하기 위한 추출·변환·적재를 통한 학습 DB 구축 기술을 포함
- (중점 관리 구간 선정) 지반침하의 위험을 예측하여 선제적인 지하 안전관리를 지원하기 위한 기술이며 지하시설물 공간정보, 지반정보, 지반침하 발생 이력과 같은 관리 정보 등 디지털화된 지하 정보를 활용하여 신뢰성 있는 지반침하 위험평가 AI모델을 개발하고, 이를 실제 안전관리에 활용할 수 있도록 3차원 위험지도를 통해 서비스할 수 있는 솔루션 개발
- (스마트 안전감시) 지반침하 위험구간에 대한 안전감시체계 구축을 위한 기술로 위험구간에 대한 육안 확인이 가능한 CCTV 등의 영상 수집장치를 현장에 설치하고 이를 통해 수집되는 다종의 영상을 AI 분석해 지반의 시계열 변위 감지, 지반침하 등의 유고상황 실시간 확인 및 전파 등을 통해 지하안전사고에 능동적으로 대처하기 위한 기술을 포함

〈표〉 핵심기술 구성

핵심기술	구성기술
스마트 지하안전점검 ^{상시} 기술	(2-1) 육안조사 디지털화 기술
	(2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발
	(2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발
	(2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

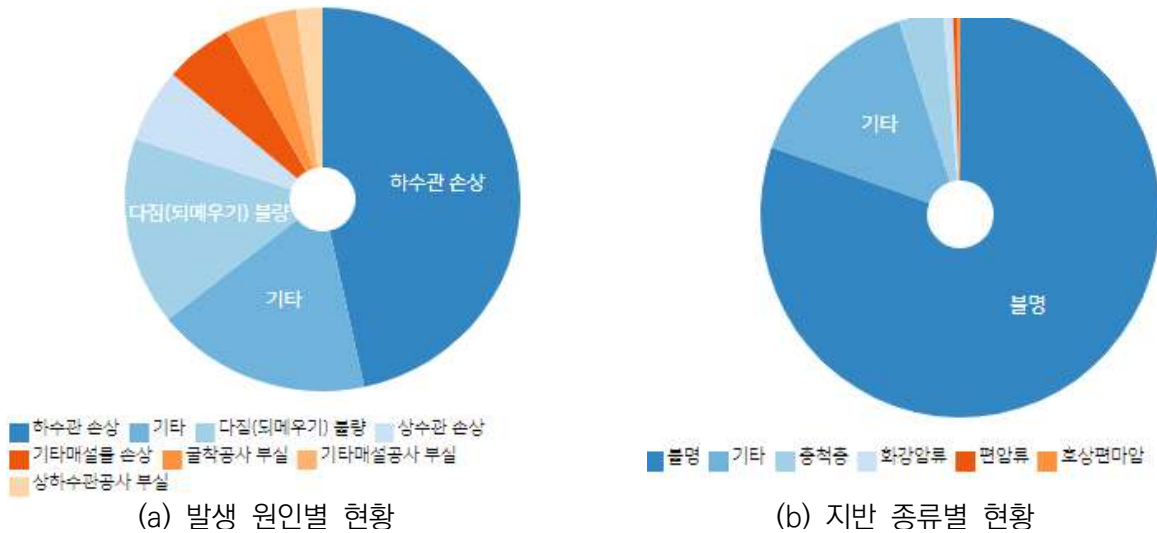
(2) 추진배경 및 필요성

(가) 추진배경

(구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

□ (국내 지반침하 현황) 지난 10년('14~'24년)간 전국에서 발생한 지반 침하 사고는 총 2,079건으로, 이러한 사고가 매년 반복해서 발생하고 있음

- 지하안전정보시스템(JIS)의 통계자료에 따르면, 지반침하의 발생시기, 발생원인, 주요 발생지역 등을 확인할 수 있음
 - 지반침하는 우기인 6~8월과 해빙기인 3~4월에 지역적으로 빈번하게 발생하며, 경기도에서 가장 많이 발생하고 광주광역시, 강원 특별자치도, 부산광역시, 서울특별시의 순으로 나타나며, 상·하수도관 손상과 다짐 불량^(되메우기)이 주요 원인으로 가장 높은 빈도를 보임.



[그림] 지반침하발생현황('24.1 기준 JIS 데이터)

□ (안전점검수행 현황) 이러한 지반 침하를 사전에 인지하고 적절하게 대처하기 위해 육안조사(1회/1년)를 수행하도록 규정되어 있으나, 실제로는 인력이 많이 투입되고, 인력 기반의 점검 결과가 주관적일 수 있어 정확성이 떨어질 수 있음

- 육안조사는 많은 인력이 필요하고 손상 탐지 결과의 객관성이 떨어질 수 있으며, 도로 위

주의 시설 접근성 제약으로 인해 점검 인력의 안전 문제도 우려되는 상황

- 지하시설물이 있는 안전점검 대상 주변 지반이 매우 방대하고, 주로 도로상의 균열, 침하, 습윤상태 등을 육안으로 점검하는 수준
- 정밀 장비나 추가적인 기술적 지원이 부족한 경우 육안조사만으로는 손상의 정확한 파악과 정량화에 어려움이 존재

○ IR Camera, LiDAR, AI 기반 영상분석 등 디지털화된 기술을 도입하여 인력 중심의 육안점검을 보완하는 기술 도입이 요구되지만, 이러한 기술들이 충분히 활용되지 못하고 있어 점검의 정확성과 효율성을 높이는 데 한계가 있는 실정

(구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

□ (반복적인 사고) 도시 하부의 하수관로 등 지하 시설물 노후화, 대규모 굴착공사로 인해 지반 침하 사고 및 복합재난 발생 가능성 증가

○ 국내 지반 침하 사고는 매년 지속해서 발생* 중이며, 최근 이상기후에 따른 집중호우로 인하여 지반 침하 발생 가능성이 증가하고 있는 실정

* ('19) 193건 → ('20) 284건 → ('21) 142건 → ('22) 177건 → ('23) 161건 ('최근 5년간 지반 침하(싱크홀) 발생 현황', 국토안전관리원)



(a) 부산시 지반 침하('24.09)



(b) 광주 지반 침하('24.07)

[그림] 지반 침하 사고 사례

□ (비효율적인 조사방식) 현재 GPR 장비를 활용한 공동 조사 업무는 GPR 가시화 S/W를 통해 조사자가 직접 공동을 확인하는 방식으로 점검 수행

- 현재 GPR 데이터를 활용한 공동 조사 방식은 조사자가 직접 데이터를 확인하며 공동의 유/무를 파악하는 인력 기반의 업무 형태로 수행되고 있으며,
- 공동조사 표준품셈(산업통산자원부) 내에서 현장 조사를 제외하면, 공동 조사 자료 분석에서 가장 많은 인력이 투입되어 가장 많은 비용이 소모됨
- 이는 광범위한 조사 구간을 고려했을때 시간·비용적으로 비효율적인 업무 형태이며, 인공지능을 활용한 반자동화 형태로 점검 효율화를 높여야할 필요가 있음

□ (빅데이터 구축의 한계) 특히, 지하 공동 탐지에 활용되는 GPR 조사 장비의 데이터는 제조사별로 상이한 파일 형식으로 인한 호환성 문제가 있으며,

- GPR SLICE라는 범용 소프트웨어가 존재하지만, IDS 社 DT 형식, GSSI 社 DZT 형식 등 GPR 장비 제작사마다 고유의 파일 형식으로 저장되며, 범용 소프트웨어로도 원본 데이터가 아닌 변환된 형식의 자료만 확인 가능하여 데이터를 활용하는데 한계점 발생

□ (표준화된 데이터의 부재) 각 기업/기관/지자체별로 데이터 구축 및 이를 활용한 AI 모델을 일부 보유하고 있지만, 표준화된 데이터의 부재로 인해 활용성 측면에서 제한적

(구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

□ 현재 도심지에서 주로 사용하는 GPR 장비는 지표면 가까운 곳만 확인이 가능

- 일반적으로 사용되는 고주파수 GPR은 분해능(정밀도)은 높지만, 전파 감쇄가 심해 실제 탐사 심도가 지하 2m 이내에 그치는 경우가 많음
- 도시화가 진행되면서 하수관로, 전력구, 가스관 등 주요 시설물이 점점 더 깊은 곳(2m 이상)에 매설되고 있어, 기존 장비로는 이들 주변의 공동을 찾아내는데 한계
- 지하 공동은 깊은 곳에서 시작되어 점차 위로 커지며 지표면을 붕괴시키므로 심도 2~4m 구간에서 공동의 징후를 미리 포착하면, 공동이 지표면 근처까지 올라와 도로가 주저앉기 전에 선제적으로 대응 가능

(구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

□ 현재까지의 지하안전 관리와 관련된 연구는 지하안전 정보들을 취합하고 융합하는 부분에 치중되어 있고, 지하안전 관리 대상의 범위가 매우 넓고 종류가 다양

- 지하안전 관리와 관련된 연구는 관련 데이터베이스(DB)의 구축, 디지털트윈 등을 이용한 시각화 및 공간정보의 구성과 같이 지하안전 정보들을 취합하고 융합하는 기술에 집중
- 지하안전 관리 대상은 지하에 매설되어 있는 공동구, 각종 배관(망), 전기케이블, 덕트뱅크 등의 독립적 구조물 뿐만 아니라 기존 건축물 기초, 매립자재(케이싱, CIP벽체 등) 등으로 광범위

□ (디지털 정보 인프라 미흡) 지하 생활기반시설의 안전·유지관리를 위한 빅데이터 축적이 부족하고 관련 디지털 모델 개발과 구축에 대한 세부 계획이 미흡한 실정

- 다양한 관리 기관이 구축한 지하 생활기반시설 정보의 표준화 기술 부재
 - 다양한 기관에서 생성한 정보를 표준화된 형식으로 변환해주는 기술을 통해 일관성 있는

정보를 기반으로 지하 생활기반시설의 전 생애주기 관리 필요

○ 지하 생활기반시설 정보의 복합 활용 기술의 필요성 증가

- 지하 생활기반시설의 전 생애주기를 관리하기 위해서는 관리기관이 구축한 정보를 가공 및 활용할 수 있는 기술이 필요

○ '스마트컨스트럭션 2025'는 '20년까지 공공SOC사업 20%에 BIM을 적용하고 '25년부터 AI기반 BIM을 적용할 계획이었으나, 기존 시설물의 3차원 모델 구축 계획은 미비

- 3차원 모델은 시설물 유지관리와 자산관리의 기초가 되는 핵심 정보로, 국외에서는 건설 단계에서 작성된 3차원 모델이 유지관리 단계로 이관되고, 더 나아가 자산관리에 활용

□ **지하시설물 정보를 전산화 하는 과정에서 정보 누락, 오류 확인·수정 과정 미흡 등으로 지하 시설물 데이터 정보의 정확도가 미비한 실정**

- 1970년대의 급속한 도시 개발로 인한 무분별한 지하시설물 설치로 인해 여전히 실제 위치 정보와 관리 정보 간의 오차가 존재하는 실정이며 지하공간 통합지도 및 지하정보 통합체계 구축 사업 현황 자료를 분석한 결과, 지하시설물 데이터 9795만7000건 가운데 287만8000건은 오류 데이터로 추정

※ 출처 : "지하시설물 데이터 '오류', 감소했음에도 288만건은 여전히 오류" (에너지데일리, 2021.10)

□ **지하공간 차원의 지반침하 위험도 평가 부재 및 디지털화가 미비한 상황**

- 지하공간 안전을 고려한 지하시설물 관리 의사결정 체계가 부재하며 통합지도에서 관리하는 지하정보의 활용 안전도 평가가 미비한 상황으로 한정된 디지털 지하정보를 안전도예측에 활용하기 위해서 가용한 정보 내, 영향 인자 정의 및 분석에 적합한 DB 구축은 현재 없는 상황

(나) 추진 필요성

(구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

□ (탐사기술 개발) 기존의 수동 육안조사를 디지털 방식으로 변환하여 검사 효율성을 높이고, 정확성을 향상시키기 위한 탐사 기술개발이 급선무

- 기존의 수동 육안조사는 조사자의 경험과 주관에 의존해 정확성과 일관성에 한계가 있으며, 광범위한 지역을 신속하게 조사하는 데 어려움이 있음
 - 기존 육안조사가 처리하지 못하는 세밀한 결함을 감지하기 위해 카메라, LiDAR 등의 다양한 센서 또는 영상기반 기술을 통합하여 조사 정확성 개선
- 차량 장비는 넓은 도로 및 지역에서 효율적인 탐지가 가능하고, 개인형 이동장치는 좁은 구역이나 장애물이 많은 지역에서 세밀한 탐지 가능한 기술개발 필요

□ (기술 한계 극복) 현재 탐지기법은 도로 파임(pothole)과 같은 손상만을 정성적으로 탐지하는 데 그쳐, 결함의 크기, 깊이, 습윤상태, 균열 정도 등을 정량적으로 측정하지 못하는 한계가 있음

- 기존 탐지기법의 한계는 결함을 수치적으로 측정할 수 없는 것에 있으며, 이를 극복하기 위해 AI 기반 정량적 결함 분석 기술이 필요함.
 - 지역·도로·포장 유형별 정량화된 학습 DB: 결함의 크기, 깊이, 습윤상태 등을 수치화하여 정량적 학습 데이터베이스를 구축함으로써, 정밀한 손상탐지 가능해야 함
 - 이러한 정량화된 데이터를 학습한 AI 모델을 통해, 결함을 정확하게 탐지하고 정량적으로 분석할 수 있는 알고리즘 개발이 필요함
- 현재는 수작업으로 라벨링이 이루어져 AI학습 데이터 구축에 시간이 많이 소요되며, 정확도와 일관성에서 한계가 있음. 이를 개선하기 위해 자동화된 라벨링 시스템을 구축하여 AI가 정확하게 결함을 분류하고 태그를 붙일 수 있어야 함

□ (안전점검 디지털화) 지하 안전점검의 정확도와 효율성 한계를 극복하기 위해 디지털화된 육안조사 기술과 AI 기반 자동화 보고서 출력 시스템의 자동화 도입이 필요

- AI 기술을 도입하여 디지털화된 안전점검 및 보고서 생성을 자동화함으로써 조사자의 주관적 영향을 최소화하고, 점검데이터를 관리하고 출력하는 시스템 필요
 - 다양한 점검 항목과 결함 유형을 디지털로 변환하고, 점검데이터를 자동으로 분석하여 디지털 육안조사서를 자동 생성하는 기술 필요
 - 육안조사시 필요한 데이터를 조사자가 신속하게 조회하고 활용할 수 있도록 효율적인 데이터베이스 관리 시스템을 구축이 필요함

(구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

□ (선제적 대응책의 필요) 이상기후, 노후된 하수관, 공사간 다짐 불량 등 복합적인 원인으로 인해 발생하는 지반 침하는 꾸준히 발생 중

- 지하안전법 등 관계 법률 정비에 따른 안전 강화 조치로 인해, 지반침하의 주요 원인인 노후하수관, 공사간 다짐 불량, 상수관 손상 등에 대해서는 발생 건수가 비교적 감소했음에도 불구하고,
- 전국적으로 지반 침하 사고*가 발생하여, 이에 대한 선제적인 대응책이 필요한 실정
*부산 사상구 감전동 지반 침하 사고('24.08), 부산 사상~하단선 2공구 공사현장 지반 침하 사고('24.09)
- 최근 잇따라 발생한 지반 침하 사고에 대한 우려가 커지면서, 국토교통부도 연말까지「제2차 국가지하안전과리 기본계획('25~'29)」를 수립할 예정

□ (점검 효율화) 인공지능을 활용한 공동조사 업무 지원을 통해 공동조사 업무의 효율화 도모

- 최근 지반 침하 사고가 발생한 부산시의 경우, 시에서 운영하는 지반탐사 장비는 총 3대, 전문직 인력은 2명으로 조사 영역 대비 장비와 인력이 터무니 없이 부족(국회 국토교통위원회 국정감사 내용 中 발췌)
- 따라서, 전문 인력의 공동 조사 업무를 최대한 보조할 수 있는 인공지능 기술의 도입이 시급한 실정

□ (데이터 체계화) 지하 생활기반시설의 안전·유지관리를 위한 표준화된 데이터 구축과 갱신 필요

- 현재 국내에 다양한 GPR 장비들과 이를 분석할 수 있는 소프트웨어가 존재하나, 제조사마다 서로 다른 형식의 파일 형태로 인해 인공지능을 위한 데이터 구축 및 이력 관리 등과 관련하여 데이터 활용성에 문제가 발생
 - 일본의 경우, 지하 시설물의 정보를 관리하기 위해 취득한 GPR 데이터를 표준화하여 DB화하고, 관리 플랫폼에 연계하는 연구를 진행 중이나,
 - 한국의 경우, 연간 800억 수준의 공동 조사 시장이 형성됐지만 장비 및 데이터에 대한 표준안은 전무한 상태
- 따라서, 제조사별 조사장비의 데이터를 표준화할 수 있는 방안 마련과 이를 적용한 데이터 구축 및 갱신, 표준화된 AI 분석 모델을 통해 체계적인 지하안전 확보필요

(구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

□ 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부 지하 공동조사 방법 부재

- 최근 5년('20~'24)간 지반침하 사고(총 867건)별 원인 조사결과 하수도 등 기존 매설물 손상이 57%(497건)으로 가장 높은 비중을 차지
- 서울시 등 대도시의 주요 하수관로는 평균 2~3m 깊이에 묻혀 있어, 관로 주변의 흙이 쓸려나가는 현상을 정확히 진단하려면 2m 이상의 투과심도 확보가 필요
- 현행 GPR을 활용한 지하 공동탐사 방법으로는 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부의 지반에서 발생한 공동은 확인하지 못하고 있음
- 해외 GPR 장비 중 장심도 탐사가 가능한 장비가 존재하는 것으로 조사되고 있으나, 실제 국내지반을 대상으로 시험해본 결과 2m 이상 탐사 불가
- 또한, 장심도의 경우 측정 가능한 공동의 크기를 제시하고 있지 않아 국내 도심지에서 적용 가능성이 높지 않음

(구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

□ (표준화된 디지털 정보 축적) 지하 생활기반시설의 안전·유지관리를 위한 표준화된 정밀 데이터 구축과 갱신 필요

- 지하 생활기반시설 정보 구축의 기준을 수립하고 이를 바탕으로 DB를 표준화하여 다양한 관리기관이 일관성 있는 정보를 구축하도록 할 필요성 존재
- 스마트 기술을 활용하여 지하 생활기반시설의 비정형 데이터를 정형화하고 국가 정보화 시스템과 연계하여 분야별 지하정보를 분석하고 활용할 수 있는 토대 마련 필요
- 지하 정보의 상시 갱신기술과 단계별 품질 검증 기술을 통해 3차원 지하 생활기반시설 정보를 일정 수준 이상으로 관리를 함으로써 일관성 있는 품질의 지하정보를 활용 가능

□ 방대한 기존 정보로 인하여 필요한 정보로의 선택적 접근이 난해하고, 관련 시공도면 (As-built dwg.)의 이해 및 검토의 어려움 존재

- 따라서 지하안전 관리 정보의 명확한 분류체계를 개발하고 관련된 데이터에 대하여 분류, 분리, 추출이 용이한 데이터 모델 개발이 필요
- 중첩된 지하정보를 명확하게 분절화하여 획득하고자 하는 목표정보로 접근성을 향상시킬 수 있는 기술개발이 요구되며 분절화 된 정보를 추출, 가공, 적재할 수 있는 기술개발도 필요

(3) 현황 및 문제점, 개선방안

(가) 현황 및 문제점

(구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

- (육안조사 방식의 한계) 수작업 중심의 육안조사 방식은 시간 소모가 크고 정확도가 떨어지며, 조사자의 경험과 주관적 판단에 의존하는 경우가 많음. 대규모 지역에서 일관된 점검을 수행하는 데 한계가 있으며, 특히 긴급한 상황에서는 신속한 대응이 어려움
 - 지하안전점검 표준 매뉴얼에 따르면 육안조사 방식은 인력 기반에 의한 보행식 조사와 주행식 조사로 수행하게 되어 있으나, 이러한 방식은 주관적 판단에 의존할 가능성이 있음
 - 보행식 조사는 조사자가 도보로 직접 이동하며 수행하기 때문에, 넓은 지역이나 대규모 구간에서는 시간과 인력 소모가 매우 크고 효율이 낮음
 - 주행식 조사의 경우, 차량 또는 이동 수단을 활용하여 이동하면서 관찰하기 때문에 구조물의 상태를 자세히 살피기 어려워 정확한 결함을 발견하기 힘들고, 이동 속도와 관찰 각도에 따라 결함이 누락될 가능성이 큼
 - 휴대폰이나 블랙박스 영상과 GPS 정보만으로는 손상의 세부 상태나 잠재적 위험 요소를 정확히 파악하기 어려워, 저해상도와 GPS 오차로 인해 미세한 변형 확인이 어렵고 정밀 조사가 필요함
 - 휴대폰이나 블랙박스로 수집된 영상은 화질이 제한적이고, 대용량 데이터 저장 및 전송에 제약이 있어 긴급 상황에서 신속한 의사결정을 지연시킬 수 있음
- (디지털화 기술개발 니즈) 육안조사로 상태를 평가할 때 노후도, 지반 침하(공동), 손상, 파손에 따른 보수 보강 이력 등 간접 요인에 대한 자료에 신속하게 접근하기 어려움
 - 현재 육안조사 결과가 주로 종이 기록물로 관리되어 데이터 손실 가능성이 높고 접근성과 활용성이 떨어지며, 수작업으로 인한 입력 오류의 발생 가능성이 높음
 - 시설물의 노후도, 지반 침하(공동), 손상, 파손에 따른 보수 보강 이력 등 간접 요인 평가를 위해 관련 자료를 디지털화하여 신속하고 용이하게 접근함으로써 조사 효율성을 높여야 함
 - 점검자의 주관적인 관점에 따라 세부적인 손상 정보가 잘못된 위치에 기록되어도 그 오류 여부를 즉각적으로 판별하기 어려운 실정
 - 지하구조물 육안조사 및 유지보수 방법을 개선하기 위해서는 지상의 도로 같은 구조물의 상태를 엔지니어가 손쉽게 인지하고 속성 정보를 신속히 파악할 수 있도록 하는 기술개발이 필요함

(구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

- (기존 점검 방식의 문제점) 지반침하 사고는 발생 시 주변 시설물(지상, 지하)의 붕괴를 초래하여 복합재난 유형으로 발생 되므로 선제적 예방이 매우 중요하나, 지반침하를 예방하기 위해 실시하는 지하안전점검은 현장 기술자의 경험에 의존하고 있어, 점검 결과의 신뢰성이 저하되는 경우가 존재
 - GPR탐사를 통한 공동 조사는 지반침하 예방을 위해 법에 따라 실시하는 가장 높은 수준의 점검인데도 불구하고, 결과 분석 시 분석자의 경험에 의존하여 결과의 신뢰도에 개인마다 편차가 크고 분석효율이 떨어져 점검 후 안전조치의 적시성이 결여
 - 또한, 조사구간이 길기 때문에 전문 인력 기반 분석은 시간·비용적으로 비효율적
 - 지하안전점검을 통해 획득한 현장 데이터를 비정형 문서로 각 기관마다 개별적으로 관리하여 안전관리의 활동의 이력관리 및 연계 활용이 불가능한 실정
- (데이터 표준화의 필요성) 관리주체별, 조사업체별 관련 데이터베이스를 구축하고 이를 통한 인공지능 모델 개발 중에 있으나 한계 발생
 - 현재 관리주체별, 조사업체별 구축한 GPR 데이터를 토대로 인공지능 모델 생성하고 이를 통한 공동 조사를 수행하려는 시도가 여럿 있으나,
 - 데이터의 표준화 문제로 인해, 특정 환경에서만 작동되는 한정적인 기능의 인공지능 모델로 개발되어 있는 경우가 다수인 실정
 - 특히, GPR 데이터의 특성상 탐지하는 영역의 지반특성에 맞게 데이터의 형태가 조금씩 상이하므로, 표준화를 통한 빅데이터 구축 또는 지반 특성별 데이터 구축없이 범용적인 모델을 구축하기에 한계가 존재
- (체계적인 관리 시스템의 부재) 지자체별 GPR 데이터를 통합적으로 관리할 수 있는 국가 차원의 플랫폼 시스템의 부재
 - 지하안전관리에 관한 특별법이 제정된 이후, 지하안전평가 등에 대한 업무를 수행하는 '지하안전정보시스템(JIS)'이 운영되고 있으나,
 - 지하안전평가, 소규모 지하안전평가, 착공후 지하안전조사 등에 대한 검토·승인·관리와 같은 행정적 기능이 주기능이며, GPR 데이터 자체를 관리할 수 있는 기능은 존재하지 않는 실정
 - 따라서, 지자체별 지반 특성을 고려하여 GPR 데이터를 체계적으로 구축하고, 이를 토대로 시계열 분석을 통한 미래 공동 성장성 예측 등과 같은 기능이 포함된 국가 차원의 플랫폼 시스템이 필요시 됨

(구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

□ 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부 지하 공동조사 방법 부재

- 현행 GPR을 활용한 지하 공동탐사 방법으로는 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부의 지반에서 발생한 공동은 확인하지 못하고 있음
- 해외 GPR 장비 중 장심도 탐사가 가능한 장비가 존재하는 것으로 조사되고 있으나, 실제 국내지반을 대상으로 시험해본 결과 2m 이상 탐사 불가

□ 국내 지반 특성을 고려한 심도 2~4m GPR 탐사 심도 향상 기술 개발 필요

- 지하 2~4m 심도 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템과 국내 지반 특성 등을 고려하여 지하 2~4m 심도 GPR 수집 정보의 정밀 해석 기술 개발 필요

(구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

□ 부처, 지자체, 개별 관리주체 주도로 구축된 지하정보의 분절화로 인해 지하공간 안전 관리를 위한 데이터 활용 방안은 부재

- 현재의 지하정보는 공간정보 구축을 중심으로 이루어지고 있으며, AI 분석 등을 위해서는 2차적인 데이터 가공 단계가 필요

□ 개별 시설물 단위의 관리가 아닌, 다종 시설을 종합적으로 고려한 지반침하 위험 평가 기술 부재

- 지하공간차원의 지반침하 안전도예측을 위한 지하 공간 위험을 고려한 지하시설물 관리 의사결정 체계, 지하공간통합지도에서 관리하는 지하정보의 활용 및 서비스가 부재하며, 지반침하 안전도 예측기술이 미흡

(나) 개선방안

(구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

- **현행 인력 기반으로 수행되는 육안조사를 자동화된 점검 장비를 활용하여 데이터를 취득하고, AI를 이용하여 분석함으로써 정량적이고 일관적인 조사를 통해 인력 기반 조사의 효율을 높이고 과학적인 데이터 관리가 가능하게 하는 기술**
- 현행 지하 시설물의 육안조사에 사용되는 방법/기술들 대상으로 조사 성능과 한계를 확인하여 최적의 육안조사 방안을 제시
- 육안조사를 자동화할 수 있는 기술(차량탑재형/개인형 이동장치 탑재형)을 개발하고, 손상탐지 후 데이터 처리 및 육안조사서 출력까지 수행하는 체계구축

〈표〉 지하공간 정보조사 사각지대 해소 및 고도화

AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하 시설물 위치조사를 위한 다양한 장비와 제품들이 존재하고 있으나, 각각의 기술에 대한 정확한 탐사능, 적용 한계 등에 대한 정확한 기준이 없어 효율적인 조사가 어려움 존재 ○ 기존 기술은 주로 도로의 침하(도로 파임) 탐지에 초점을 맞추고 있지만, 도로 유지보수의 효과를 극대화하기 위해서는 침하뿐만 아니라 균열, 습윤상태까지도 탐지할 수 있는 기술이 필요 ○ 현재는 사람이 직접 작성해야 한다는 점에서 시간과 인력 소모가 커, 업무 효율성에 어려움이 존재 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하 시설물 육안조사에 활용되는 다양한 장비와 기술에 대한 종합적인 성능 검증을 통해 조사 환경에 최적화된 조사 가이드라인 제시 ○ 지하시설 육안조사 디지털화를 통해 지하정보 정밀도 향상하고, 탐지된 손상의 정량화 및 분류 수행 ○ 자동화 기술을 통해 지하공간 손상 탐지 결과의 객관성을 확보하고, 자동화된 데이터 입력 방법을 통해 효율성 향상 ○ 특정 구간에서 탐지된 결과를 자동으로 보고서로 작성하는 기술을 통해 인력과 시간을 효율적으로 절감

(구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

- **지하안전법에 따른 지하안전점검의 신뢰도, 업무 효율성 및 안전조치의 적시성(현장 대응력)을 높이기 위해 지표·지중 결합정보를 정밀 관측하고 위험 정보를 자동으로 분석하는 기술**
- GPR 데이터 표준화 기술이 적용된 학습 DB 구축을 통해 공동 분석용 표준 AI 모델 개발
- 인공지능 기술을 이용하여 현장에서 측정된 영상정보로부터 지반침하에 대한 위험 정보를 자동으로 인지하여 점검자의 숙련도·전문성을 보완하고 업무 효율을 대폭 향상
- DB와 AI가 연계된 자동 플랫폼 구축을 통해 체계적인 지하안전관리에 기여

〈표〉 AI 기반 지하 안전점검 장비개발

AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ○ GPR탐사 결과를 기술자의 경험에 의존하여 분석하여 품질에 대한 편차가 발생하여 안전 점검 체계의 안전성·신뢰도 저하 ○ 상이한 GPR 데이터 형식으로 인한 데이터 활용성 문제 발생 ○ 인력 기반 점검으로 인한 시간·비용적 효율성으로 인해 지반 침하 사고의 선제적 대응 불가 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인공지능 기반 안전점검 결과 분석으로 신속하고 분석 결과의 신뢰성 및 객관성 확보 ○ 데이터 표준화 방안을 통한 체계적인 데이터베이스 관리 가능 및 활용성 극대화 ○ 클라우드 컴퓨팅을 통해 점검 결과를 현장에서 실시간으로 전송·분석하여 현장 대응력 강화

(구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

□ 심도 2~4m 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 기술

- 기 개발된 해외 GPR 장비 활용 또는 국내 기술을 활용한 개발을 통해 심도 2~4m 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 개발
- 지반포장 전자기 물성치 등을 고려한 GPR 수집 정보의 정밀 해석 기술 개발
- 저주파·고주파 복합 GPR 탐사 시스템 통합 및 성능시험장 구축 등을 통한 성능검증

〈표〉 AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술

AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ○ 현행 GPR을 활용한 지하 공동탐사 방법으로는 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부의 지반에서 발생한 공동은 확인하지 못하고 있음 ○ 해외 GPR 장비 중 장심도 탐사가 가능한 장비가 존재하는 것으로 조사되고 있으나, 실제 국내지반을 대상으로 시험해본 결과 2m 이상 탐사 불가 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하 2~4m 심도 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 개발 ○ 국내 지반 특성 등을 고려하여 지하 2~4m 심도 GPR 수집 정보의 정밀 해석 기술 개발

(구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

□ 다양한 관리주체, 지체 등에서 생산되는 지하정보를 지하안전관리에 활용하기 위한 데이터 구축 기술

- 데이터 표준화, 디지털화, 데이터 변환 및 통합관리 기술을 활용한 통합지하정보 구축 및 지하안전관리에 활용
- 비정형 데이터의 정형화 기술, 아날로그 형식 데이터를 디지털화하는 기술개발을 통해 지하통합정보의 양적 확대를 통해 다양한 정보활용 서비스 지원이 가능

○ GIS 기반 공간정보 가시화를 통해 직관적이고 효율적인 정보 관리 및 활용 가능

□ 지하공간 안전도 평가 예측을 위한 학습자료 DB 구축을 통한 지하함몰 안전도 평가 모델 S/W 개발

○ 지반침하 안전도영향인자의 수집 가공, 오류 검출 등 정제 과정을 통해 지반침하 안전도 예측을 위한 학습 DB를 구축

○ 평가 프레임 워크를 개발하여 지반침하 안전도 평가 예측 최적 모델(S/W)을 설계

□ 지하시설물의 위치, 노후도, 관리 이력 등의 특성을 종합적으로 고려한 3차원 안전도 지도를 개발하여 지반침하 안전도 지도 영역 설계 개발

○ 지반침하 발생이력 분포와 지하정보 수준을 고려한 지반침하 안전도지도 영역 설계

○ 지반침하 안전도지도 그리드 영역에 따른 GIS 3차원 매핑기술을 통하여 3차원 지반침하 안전도 지도 시범 구축 및 서비스 모듈 개발

〈표〉 실시간 모니터링 및 AI 기반 분석기술 (As-is, To-be)

AS-IS	TO-BE
<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하 공간 안전도 예측을 위한 학습자료 DB구축이 미비하여 지반침하 안전도영향 인자를 정확히 파악하기 어려운 실정 ○ 지반침하의 위험이 높은 지역을 특정할 수 있는 지반침하 위험평가 및 예측 기술 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지반침하 위험영양인자를 도출하고 이러한 지하정보를 디지털 DB로 구축해 정확하고 효과적인 지하안전관리에 활용 ○ 광범위한 도심지를 대상으로 지반침하 위험을 평가·분석하여, 지반침하 중점관리 구간을 GIS기반의 안전지도로 제시해, 다양한 지하안전관리에 활용할 수 있으며, 지반침하 실시간 안전감시의 효과를 향상

(4) 기술개발 개요

(가) 기술개발 정의

□ (구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

현행 인력 기반으로 수행되는 육안조사를 자동화된 점검 장비를 활용하여 데이터를 취득하고, AI를 이용하여 분석함으로써 정량적이고 일관적인 조사를 통해 인력 기반 조사의 효율을 높이고 과학적인 데이터 관리가 가능하게 하는 기술로 ①차량탐재형 및 개인이동형 안전점검 장비개발, ②취득 정보를 자동 탐색·발견·인지·검수할 수 있는 학습데이터 구축 및 AI 모델 개발, ③AI 기반 자동형 육안조사서 생성 기술로 구성

○ 차량탐재형 및 개인이동형 안전점검 장비개발

- 침하, 균열, 습윤상태를 조사하기 위한 다양한 센서를 탑재하여 육안조사 항목을 자동으로 수집하기 위한 이동형(차량형, 개인형) 장비개발
- 영상카메라, 라이다, 노면 스캐너 등 다양한 도로노면 데이터 취득 센서에 대한 성능 검토를 통해 경제적이고 실용적인 안전점검 장비로 구성

○ 학습데이터 구축 및 AI 모델 개발

- 지하 안전점검을 통해 수집된 디지털 영상 데이터로부터 지표결함을 자동으로 탐지할 수 있는 AI 모델 개발 및 AI 모델 학습을 위한 학습용 DB 구축
- AI 학습용 지표결함 데이터 구축을 위한 Labeling S/W를 개발하여 지역·도로·포장 유형별 AI 학습용 DB를 구축
- 다양한 AI 모델에 대한 성능 비교 검토를 통해 최적화된 AI 모델 개발

○ AI 기반 자동형 육안조사서 생성 기술개발

- 고정밀 위치정보와 함께 취득된 다양한 도로노면 데이터를 AI로 분석하고, 이를 바탕으로 육안조사서를 자동으로 작성하기 위한 기술
- 현재, 육안조사서 작성을 위해 많은 내업 시간이 소요되고 있으므로, 이를 디지털화하여 자동으로 생성, 저장, 관리할 수 있는 표준화된 디지털 육안조사서 생성 기술

□ (구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

○ 국내 활용 GPR 장비에 대한 학습 DB 구축

- 국내에서 공동조사 업무에 활용되는 GPR장비에 대해 공동 분석 AI 모델 개발을 위한 학습데이터*를 구축
 - * 학습데이터는 공동, 맨홀, 지하 매설물 등으로 구성
- 기존에 인공지능 학습데이터 구축사업**을 통해 구축된 데이터를 검토 분석하고 3D GPR 장비에 적합한 학습 DB로 재구축

** 인공지능 학습용 데이터 구축 사업('22, 한국지능정보사회진흥원) - 공동, 맨홀, 배관에 대한 20여만 장의

B, C 스캔 이미지 데이터 제공하고 있으나 3차원 원시데이터 미제공

○ GPR 데이터 표준화 기술개발

- 다중/이종의 센서 데이터를 표준화하여 처리할 수 있는 데이터 표준화 기술 연구
- 도로 하부의 다양한 지반조건에 대해 공동, 지하 매설물 등을 설치한 테스트베드를 설치하고 이 구간에 대해 국내에서 활용되고 있는 GPR 장비에 대한 데이터를 동시에 취득하여 개발용 데이터 확보
- 실제 공동조사 업무에 데이터 표준화 기술을 적용하여 데이터 표준화 성능 검증

○ AI 표준모델 및 공동조사서 자동 생성 기술개발

- 국내에서 활용되는 GPR 장비에 대한 전용 AI 모델 개발 및 구축
- GPR 데이터 표준화 기술을 통해 구축된 학습데이터로 생성된 AI 표준모델 제시
- GPR 데이터 표준화 기술을 통해 구축된 학습데이터로 AI 모델 학습 후 성능 평가
- 현재, 공동조사서 작성을 위해 많은 내업 시간이 소요되고 있으므로, 이를 디지털화하여 자동으로 생성, 저장, 관리할 수 있는 표준화된 디지털 공동조사서 생성 기술

○ DB와 AI가 연계된 자동화 플랫폼 구축

- 학습 DB의 확대 구축에 따라서 AI 모델 재학습 및 성능비교를 통한 최적 AI 모델 제시
- 새로운 AI 알고리즘 개발에 따라 AI 알고리즘 교체 및 업데이트 가능
- 학습 DB 및 AI 모델의 업데이트 이력을 순환하여 관리할 수 있는 환류형 플랫폼 개발

□ (구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

○ 심도 2~4m 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템

- 기 개발된 해외 GPR 장비 활용 또는 국내 기술 활용 개발 등을 통해 저주파/고주파 대역 복합 운영 GPR 시스템을 개발하고, 다중대역 GPR 적응형 제어 알고리즘 개발

○ GPR 수집 정보의 정밀 해석 기술

- 지반·포장 전자기 물성 DB 구축 및 모델링, 포장층 응답 제거 및 심층 신호 향상 처리기술 개발 등을 통해 저주파·고주파 복합 GPR 시스템을 통해 수집한 심도 2~4m 데이터를 정밀하게 해석하는 기술 개발

○ 저주파·고주파 복합 GPR 탐사 시스템 통합 및 성능검증

- 저주파·고주파 복합 GPR 탐사 시스템을 구현하고, 성능시험장 구축 등을 통한 학습데이터셋 구축 및 검증 수행과 지자체 GPR조사 결과와 포장 및 지반특성과 연계하여 실제 공동과의 검증 등을 수행

□ (구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

○ (지하정보DB) 지하정보 관리체계 현황 조사 및 정보구축 기준 및 DB표준화

- 정보관리 주체별(정부부처, 지자체, 관리주체) 지하정보 관리 현황을 파악하고, 안전관리를 위한 지하정보 구축 DB를 표준화하여, 지하안전 평가·예측에 활용할 수 있도록 제공
- (지하정보DB) GIS 기반 공간 정보 가시화 및 정보 특성을 고려한 데이터 가공 기술
 - 지반 정보와 같은 포인트 정보를 3차원 공간정보로 변환하여 지하시설물 공간정보 등과 함께 활용이 가능하도록 DB화하는 기술
 - 지하안전 평가·예측에 활용할 수 있는 데이터 정보 관리 시스템 개발
- (지반침하 위험예측) 지하안전사고인 지반침하의 안전도를 예측하여 선제적인 지하 안전관리를 지원 기술
 - 지하시설물 공간정보, 지반정보, 지반침하 발생 이력 등 관리 정보 등 디지털화된 지하 통합정보를 활용하여 신뢰성 있는 지반침하 안전도 예측 모델을 개발하고, 이를 실제 안전관리에 활용할 수 있도록 3차원 안전도 지도를 통해 서비스할 수 있는 솔루션을 개발

(나) 기술개발 목표

□ (구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

- 차량 및 개인형 이동장치 탑재형 안전점검 장비개발
 - 노면 정보 + 고정밀 위치정보 전송/처리 가능한 차량 탑재형 안전점검 장비
 - 노면 정보 + 고정밀 위치정보 전송/처리 가능한 개인형 이동장치 탑재형 안전점검 장비
- 학습데이터 구축 및 AI 모델 개발
 - 지하 안전점검을 통해 수집된 디지털 영상에 대한 라벨링 자동화 기술
 - 지역·도로·포장 유형별 지표결함에 대한 AI 학습 DB
 - 각 학습 DB에 대한 AI 모델
- AI 기반 자동형 육안조사서 생성 기술개발
 - 디지털 육안조사서 표준화(안)
 - 디지털 육안조사서 생성 프로그램

□ (구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

- 국내 활용 GPR 장비에 대한 학습 DB 구축
 - 공동 분석 AI 학습용 3D 원시데이터 기준 및 가공 기준
 - 국내 활용 GPR 장비에 대한 공동 분석 AI 학습용 3D 원시데이터 DB
- GPR 데이터 표준화 기술개발
 - 3D GPR 데이터 표준화를 위한 전처리 알고리즘

- 테스트 베드에 대한 공통 표준 DB 구축
- AI 표준모델 및 공동조사서 자동 생성 기술개발
 - AI 표준모델
 - 디지털 공동조사서 생성 프로그램
- DB와 AI가 연계된 자동화 플랫폼 구축
 - 지하 공동 분석 AI 플랫폼
 - 플랫폼 시범 운용을 통한 개선 및 플랫폼 운용 매뉴얼

□ (구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

- 심도 2~4m 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 개발
 - 저주파/고주파 대역 복합 운영 GPR 시스템 개발
 - * 기 개발된 해외 GPR 장비 활용 또는 국내 기술 활용 개발
 - 다중대역 GPR 적응형 제어 알고리즘 개발
- GPR 수집 정보의 정밀 해석 기술 개발
 - 지반·포장 전자기 물성 DB 구축 및 모델링
 - 포장층 응답 제거 및 심층 신호 향상 처리기술 개발
- 저주파·고주파 복합 GPR 탐사 시스템 통합 및 성능검증
 - 저주파·고주파 복합 GPR 탐사 시스템 구현
 - 성능시험장 구축을 통한 학습데이터셋 구축 및 검증 수행
 - 지자체 GPR조사 결과와 포장 및 지반특성과 연계하여 실제 공동과의 검증

□ (구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

- 지하정보 관리체계 현황 조사 및 정보구축 기준 및 DB표준화
 - 지하공간 정보 기반 지하시설물 공간 및 속성정보, 지반 정보 DB 표준화 기준 정립
 - 지하통합정보 구축 프로토콜 개발
- GIS 기반 공간 정보 가시화 및 정보 특성을 고려한 데이터 가공 기술
 - 지하시설물 운영 정보, 지반 정보 등 공간정보 변환 기술
 - * 지하시설물 재료, 설치년도, 보수보강 이력, 지반시추 정보, 지하수 관정 정보 등 공간정보로 관리되지 않는 활용정보를 공간정보와 매칭
 - 정보 관리 및 평가·예측 활용을 위한 시설물 정보 기본단위 설정 및 변환을 통한 DB화 기술
 - 지하시설물 빅데이터 구조설계(분석절차, 빅데이터 프로세싱 및 전처리)

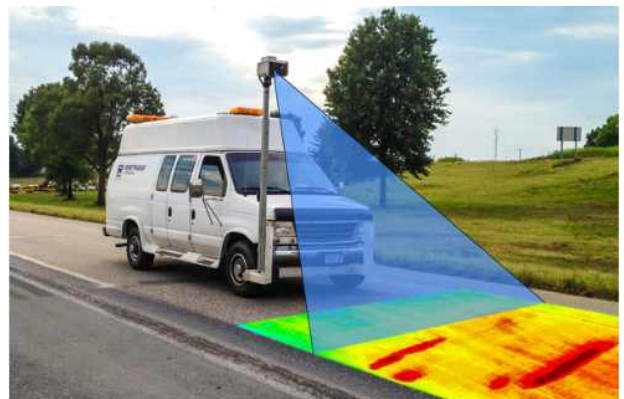
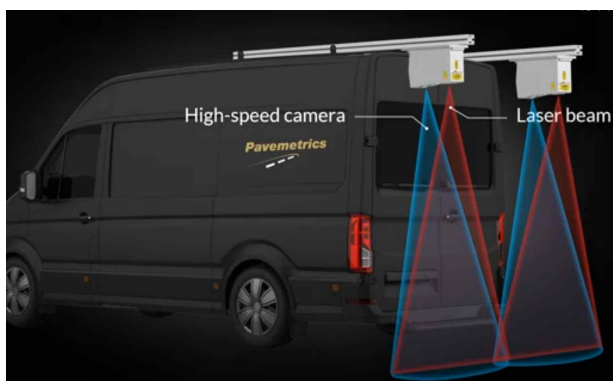
- 지하 안전도 평가·예측 활용 시스템 개발
- 지반침하 안전도 영향인자 분석
 - 지하통합정보 상관성 분석을 통한 지반침하 영향 인자 정의
 - 지하정보 수집, 가공, 관리 매뉴얼
- 지반침하 안전도 예측을 위한 학습자료 DB 구축
 - 지반침하 안전도 예측을 위한 학습자료 DB 구축 프로토콜 표준
 - 지반침하 안전도 예측 학습 DB
- 지반침하 안전도 평가·예측 모델 개발
 - 지반침하 안전도 평가·예측 모델(S/W)
- 지반침하 안전도 3차원 가시화 솔루션 개발
 - 3차원 지반침하 안전도 지도

(5) 국내외 기술개발 동향

(가) 해외 동향

□ (구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

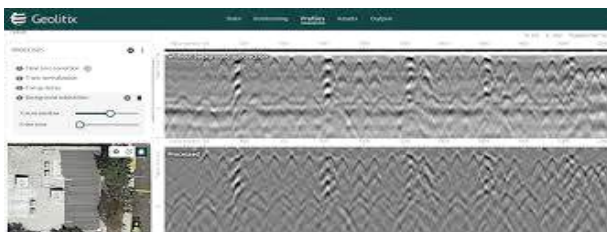
- (미국) Pavemetrics LCMS-2는 레이저 기술을 사용해 도로 표면의 균열, 손상, 마모 등을 고해상도로 검출하고, 자동으로 도로 상태를 분석 및 평가하는 시스템을 활용 중
- (미국) Raodotics AI와 ML을 활용한 RoadBotics의 도로 유지보수 기술은 스마트폰 카메라로 수집된 도로 이미지 데이터를 자동 분석하여 균열, 포트홀 등 손상을 평가하고, GIS 시스템과 통합해 시각적으로 문제 구역을 확인하며, 이를 통해 유지보수 우선순위를 설정하고 도로 손상 진행 경로를 예측하는 기술개발 중
- (일본) Korabo 사는 고해상도 카메라와 이미지 분석 알고리즘을 사용하여 차량을 활용하여 도로 표면의 균열, 손상, 변형 등을 자동으로 탐지하고 3D모델로 평가하는 시스템 활용 중
- (벨기에) XenomatiX의 도로 조사 솔루션은 LiDAR 기반 기술을 사용해 도로 표면을 정밀하게 스캔하고 3D 프로파일을 생성하고, 도로의 평탄성, 균열, 노면 흠, 마모 등을 고속으로 비접촉 방식으로 측정하는 시스템개발 활용 중
- (영국) Dynatest의 다기능 차량(MFV)은 레이저, GPS, 카메라, 및 관성 측정 장치(IMU)를 사용해 도로 표면 상태, 평탄성, 균열, 및 구조적 성능을 실시간으로 측정하고 자동으로 분석하여 도로 유지보수와 재포장 계획을 위한 중요한 데이터를 제공하는 시스템개발 활용 중



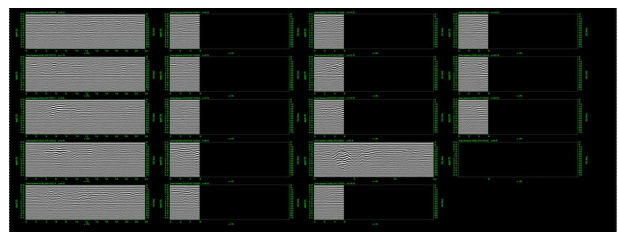
[그림] 해외 육안조사 디지털화 사례

□ (구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

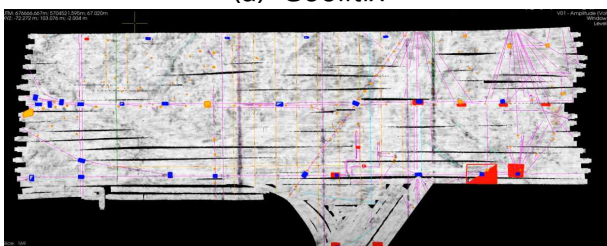
- MALA, GSSI, IDS 등 다양한 GPR 장비 회사에서 장비와 함께 SW를 제공하고 있으며, 일부 SW에서는 AI 기능을 추가하여 작업 시 편리함을 제공하고 있으나,
- GPR-Slice를 제외하고, 호환성 문제와 공동 전용 탐지모델이 탑재되어 있는 예는 없는 것으로 파악되며, 관련하여 대표적인 공동 탐지 SW 목록은 아래와 같음
- (Geolitic) GPR 및 기타 지구물리학적 데이터를 분석하는데 AI를 적용한 클라우드 기반 플랫폼으로, 이 시스템은 GPR 데이터와 같은 대규모 데이터를 자동으로 처리하고 인공지능을 사용하여 지하구조물 및 공동 탐지를 수행함
- (GPR-Slice) 가장 널리 사용되는 GPR 데이터 분석 소프트웨어 중 하나로, 고해상도의 2D 및 3D 데이터 시각화 기능과 다양한 장비와 호환성이 주요 특징이며, 다양한 분석 모듈을 제공
- (IDS IQMAP, GRED HD) 이탈리아 GPR 장비 제조사인 IDS에서 개발한 GeoRadar는 AI 분석기술 도입을 통해 데이터 분석 기능을 지원
- (MALA ObjectMapper) 스웨덴의 GPR 장비 제조사인 MALA에서 개발한 ObjectMapper는 공동 탐지에 특화된 소프트웨어로써, 현장 기반 데이터 해석 및 보고서 생성 기능, 지표면 및 지하 시설물의 자동 탐지 기능이 포함됨
- (EKKO_Project) Sensor & Software의 EKKO_Project는 GPR 데이터를 처리하고 시각화하는 도구로써, 필터링 및 노이즈 제거 기능, 지층 매핑 도구 등을 탑재
- (RADAN) GSSI(Ground Penetrating Systems)의 RADAN 소프트웨어는 가장 널리 사용되는 GPR 데이터 분석 소프트웨어 중 하나로 다양한 형태의 데이터 처리가 가능하며, 특히 GPR 데이터를 시각화하고 분석하는 데 강점이 있음



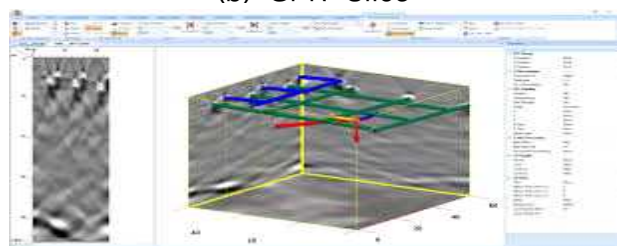
(a) Geolitic



(b) GPR-Slice



(c) GRED HD



(d) RADAN

[그림] 공동 탐지 시 활용되는 해외 SW

□ (구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

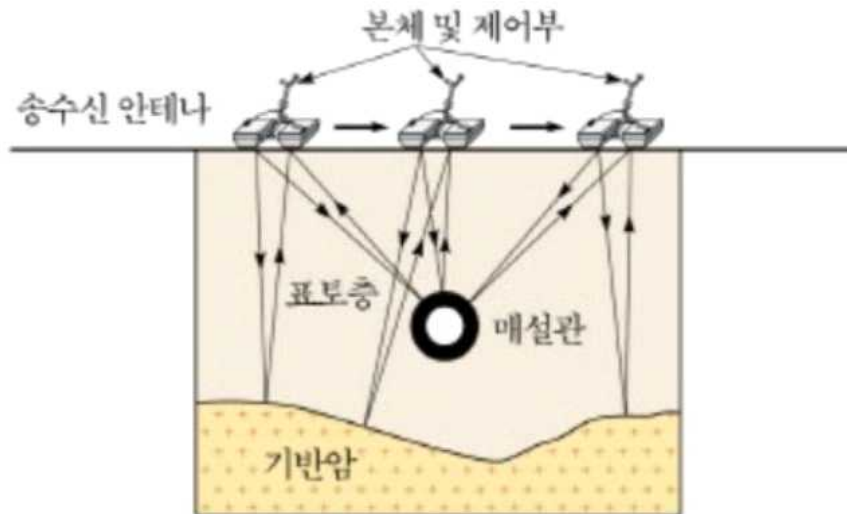
- (일본) 지하에 발생 된 공동에 조사는 국내와 도로 운영환경이 가장 유사한 일본(Geo Search社 등)에서 활발히 운영 중
 - 일본은 국내와 동일하게 3차원 GPR 장비를 차량에 탑재하여 활용중이며, 최고 시속 100km에서 최대 3m까지 공동을 조사 중
- (미국, 유럽 등) 미국 KONTUR, 스웨덴 MALA, 이탈리아 IDS, 호주 CODED RADAR 등에서 차량형 GPR 장비를 보유하고 있으며 국내 기업이 이를 납품받아 국내 현장에서 사용 중
 - 장비 납품기업에서 제시하고 있는 탐사 가능 심도는 최대 3~5m로 제시하고 있으나, 실제 현장에서는 2m이내만 조사 가능

□ (구성기술 2-4) 지반 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

- (시설물 관리 기술 동향) 표준화된 데이터 형식을 기반으로 탐사된 정보를 저장, 가공, 활용할 수 있도록 하는 기술 개발이 활발하며, GIS를 기반으로 시설물 정보를 정밀하게 구축하여 생활기반시설의 전 생애주기를 관리함을 목표로 추진
 - (미국) 파이프라인 및 위험물질 안전청(PHMSA)은 미국 내 지하시설물 안전관리 시스템 개발을 통해 지하에 매설된 모든 천연가스 저장시설 및 파이프라인에 대한 안전 감독을 시행
 - (일본) 「사회자본 노후화 대책 회의('13.3.)」 결과로 인프라를 통합관리 할 수 있도록 시설물별 현황정보를 DB화 하였으며, 이를 플랫폼으로 구축하여 제공
- (비정형 데이터의 정형화 기술 동향) Google, Microsoft, GE, Siemens 등이 인공지능, 클라우드, IoT 등과 같은 시설물 안전 및 유지관리 비정형 데이터의 정형화를 위해 필요한 원천 기술 및 플랫폼 제공
 - Google사는 '15년 11월에 기계학습 및 딥러닝 핵심 플랫폼인 TensorFlow를 오픈 소스로 전격 개방하였고, 50개 이상의 구글 제품이 TensorFlow를 활용
 - 안드로이드 OS의 예와 같이 전 세계의 개발자들을 구글 생태계로 모이게 함으로써, TensorFlow 플랫폼을 주축으로 한 딥러닝 기술 주도권을 확보하려는 시도
 - Microsoft Research Asia가 개발한 ResNets은 95% 이상의 사람, 동물 등의 일반 이미지 인식율을 기록하여 2015년 ILSVRC 대회에서 1위를 차지
 - GE는 제조 산업을 대상으로 운영체제, 클라우드, 빅데이터, 분석 SW 등이 통합된 산업 인터넷 기반 플랫폼 서비스 솔루션인 Predix를 상용화
 - Siemens의 클라우드 기반 개방형 IoT 솔루션인 MindSphere는 시설물 운영 정보의 취합, 처리·저장 및 분석을 지원하는 플랫폼으로 IoT를 활용하여 데이터의 가시화

및 해석을 수행하며 다양한 분석 틀을 통해 최적 운영 방안을 제시

- (유지관리 데이터 보정기술 동향) 해외에서는 교량의 목록과 속성값을 이용하여 3D 객체 생성 모델을 개발하였으며, 생성된 데이터 신뢰도를 향상시키기 위해 인공지능 기반 MS 데이터 보정기술을 개발
 - (미국) Autodesk社와 ESRI社는 ‘Better Design and Long-Term Savings’라는 모토 하에 BIM과 GIS의 결합을 통한 향상된 소프트웨어 상호 운용을 위해 노력
 - (미국) ESRI社는 기존의 공간정보를 통해 축적된 노하우를 기반으로 도로 지도 디지털화를 구현한 ‘Street Wize’를 제공
 - (미국) 지반침하 사고에 대한 DB를 축적하고 있으며, 지질특성 및 지하 동공 지도정보를 활용하여 도심 지하 이상 유무를 신속·정확하게 파악하기 위한 연구개발 다수 진행 중
 - (일본) 국토교통성과 지자체를 중심으로 지반침하 발생 원인을 연구하고 이동식 지표투과 레이더(GPR) 등을 개발하여 활발하게 기술 개발을 구현 중
- 지표면에서부터 공동이 위치한 깊이, 공동 크기, 도로 포장 재질 등으로 안전도를 판단하고, 지하수 수위나 매설관 개수·깊이 등으로 향후 위험요소를 분석



※ 출처: 한국과학기술기획평가원 (2019), 지하공간 개발동향

[그림] 지하공동의 정보 분석 기술

- 지하안전 관리 대상 영역의 정의 및 지하안전 관리 정보의 명확한 분류체계 개발
 - 국제표준화기구인 ISO/TC211에서 전체적인 공간정보의 표준을 제시하고 있으나 지형정보와 수치지도 등에 치중하고 있으며 주기적인 회의를 통하여 관련 데이터 및 제공 정보의 기준을 구축

〈표〉 지하안전공간의 지반침하, 공동감지 센싱 관련 구축기술 사례

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
DB의 활용성 및 확장성	독일	DHI-WASY GmbH	SIMKAS 3D	지상, 지하 매설물의 통합모델 구축
상수도관로의 누수여부 감지를 위한 분포형 TDR 기술 개발	이탈리아	이탈리아	S.I.M.P.Le.	지중매설 상하수도 배관의 누수 위치를 실시간으로 감지하는 시스템
	이탈리아	이탈리아	구축 사례	대규모 지중 파이프 라인((10km)에 대해 약 200m 길이 단위로 센싱 요소를 나누어 분포형 계측 네트워크를 구성하고, 수동 점검용 계측 포트를 통해 누수위치를 탐지

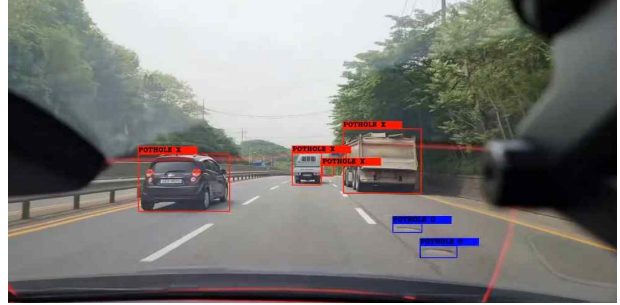
(나) 국내 동향

□ (구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

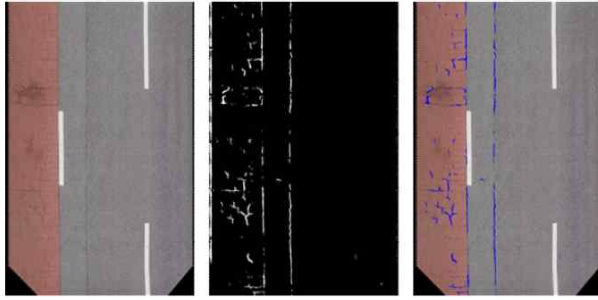
- ㈜다리 소프트의 RiasS 인공지능 도로 분석장치 ARA는 차량에 간단히 부착해 사용할 수 있으며, Global Shutter Camera로 저조도 및 고속 주행에서도 선명한 이미지를 제공하고, 도로 파임, 낙하물, 도로 균열 등 12가지 위험 요소를 탐지하며, 수집된 위험 정보는 곧바로 데이터 플랫폼으로 전송되어 활용
- 한국건설기술연구원에서 차량으로 촬영된 이미지를 활용하여 도로의 도로 파임을 탐지하는 연구가 수행된 바 있음
- 한국도로공사에서는 기반으로 도로 노면표시의 물리적 결함 및 재귀반사도 복합 조사기술을 개발하고 빅데이터, AI 기술을 활용한 건전도 분석 및 평가기술을 개발하여 도로노면 위험요소를 유지관리하기 위한 기술 개발한 바 있음
- 세종대학교는 고속도로 포장 유지관리 점검의 자동화 기술개발을 통해 포장 위험 요소의 자동탐지, 포장외관망도 생성 기술, 유지관리 점검 자동화 체계를 구축하는 연구를 진행한 바 있음
- (주)IRIS에서는 도로의 표면영상과, GPR을 동시에 차량에 부착하여 표면손상과 공동을 동시에 촬영하여 도로의 PMS(포장 유지관리시스템) 자료를 구축하는 데 활용하고 있음



(a) 다리 소프트 Riaas 침하 탐지



(b) 건설기술연구원 침하 탐지



(c) 세종대학교 도로면 손상탐지

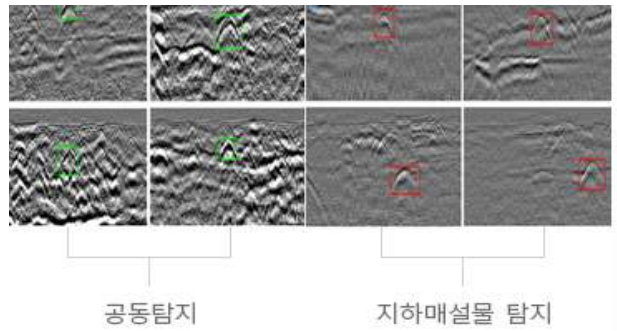
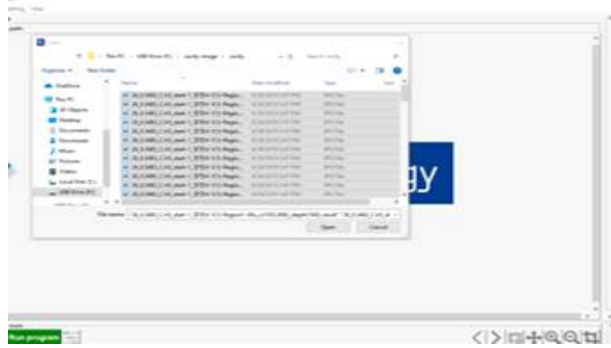


(d) IRIS의 도로노면 영상획득 방법

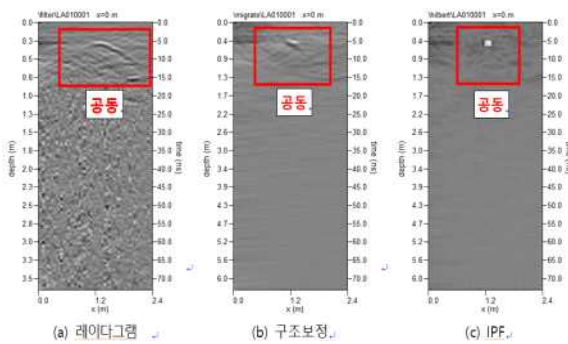
[그림] 육안조사 관련기술

□ (구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

- 국내의 경우, 주로 MALA, 3D RADAR, IDS, 이성 社의 장비를 활용하여 GPR 조사 영역을 수행하고 있으며, 공동 탐지 시 활용하는 소프트웨어는 제품과 함께 제조사의 단독 소프트웨어를 활용 중
- 「지하안전법」이후, 공동 조사 시장의 확대로 인해 다양한 기업 및 기관에서 공동 탐지 관련 다양한 연구 사례가 있으나 일부 기업에서만 자체 개발한 AI 모델을 제한적으로 활용하고 있을 뿐, AI 공동 분석이 상용화 수준까지 도달하지 못한 상황
- (iCavity) 아이리스트테크놀로지(주)는 국토교통부가 지원한 '도로함몰 위험도 평가 및 분석 기술 개발' 연구 과제를 통해 구축한 방대한 GPR 데이터를 토대로 인공지능 기반 공동을 자동으로 탐지할 수 있는 프로그램인 iCavity를 개발
- (Sinkhole-Finder) 이성은 GPS와 DMI를 이용한 경로 측정과 주변 정보 입력을 위한 카메라 영상 합성 등 다양한 위치정보 입력을 위한 장비들을 연동하는 시스템 기술이 적용된 통합 운용 S/W를 개발
- (IPF-GRED) (주)지오메카이엔지는 몇 단계의 전처리(Pre-processing)와 구조보정(Migration) 과정을 거친 자료에 적용하며, 공동 자동분석 알고리즘을 이용해 프로그램 제작사인 이탈리아 IDS사에 의뢰하여 공동 자동분석 프로그램인 "IPF-GRED"를 개발



(a) ICavity (아이리스테크놀로지(주))



(b) IPF-GRED ((주)지오메카이엔지)

[그림] 국내 기업이 자체 활용중인 공동 탐지 S/W

□ (구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

- 이성에서 GPR 제조 원천기술을 보유하고 있으며 국내 현장에도 적용되어 활용 중이나 해외 GPR 장비와 동일하게 2m 이내만 조사 가능

□ (구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

- 국토교통부에서는 전 국토의 지반조사 결과의 효용성을 높이기 위하여 '03년부터 국토지반정보 통합 DB 센터를 운영
- 환경부는 전국 지하수 수량, 수질 이용실태 등 모든 지하수 정보를 관리하기 위해 국가 지하수정보센터를 운영
- 국토교통부에서는 지반침하 안전사고를 예방하고 지하공간의 안전한 개발과 이용을 지원하기 위해 지하안전정보시스템을 운영
- 한국건설기술연구원에서는 터널 등 시설물의 모니터링 및 관리를 위해 딥러닝 기술 기반의 이상 탐지 기술을 개발

〈표〉 지하안전공간의 공동감지 및 관리 솔루션 구축기술 사례

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
데이터베이스 구축 및 고도화	대한민국	국토안전관리원	지하안전정보시스템	각 조사주체로부터 데이터를 입력받아 방대한 DB구축 가능

(6) 세부개발 내용

(구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술		
연구 방향	한계점	기술개발방향
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 인력 기반으로 대규모 지역에서 일관된 점검을 수행하는 데 한계가 있으며, 특히 긴급하게 보수가 필요한 상황에서는 신속한 대응이 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지하시설 육안조사 기술 디지털화를 통해 데이터 정리와 탐지 효율을 향상시키고, 탐지된 손상의 정량화 및 분류 수행
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 육안조사 결과가 주로 종이 기록물로 관리되어 데이터 손실 가능성이 높고 접근성과 활용성이 떨어지며, 수작업으로 인한 입력 오류의 발생 가능성이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 자동화 탐지 기술을 통해 지하공간 손상 탐지 결과의 객관성을 확보하고, 자동화된 데이터 입력 방법으로 효율성 향상,
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 육안조사로 상태를 평가할 때 노후도, 지반 침하(공동), 손상, 파손에 따른 보수 보강 이력 등 간접 요인에 대한 자료에 신속하게 접근하기 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 조사자가 디지털화된 관련 자료(노후도, 지반 침하(공동), 손상, 파손)를 쉽게 접근함으로써 조사 효율성을 높이고, 특정 구간에서 탐지된 손상결과를 육안조사 보고서로 자동 출력함으로써 인력과 시간을 효율적으로 절감
연구 필요성	<p>○ 기존의 수동 육안조사를 디지털 방식으로 변환하여 검사 효율성을 높이고, 정확성을 향상시키기 위한 탐사 기술개발이 급선무</p> <ul style="list-style-type: none"> - 차량 장비는 넓은 도로 및 지역에서 효율적인 탐지가 가능하고, 개인형 이동장치는 좁은 구역이나 장애물이 많은 지역에서 세밀한 탐지 가능한 기술개발 필요 <p>○ 현재 탐지기법은 노면 홈(pothole)과 같은 손상만을 정성적으로 탐지하는 데 그쳐, 결함의 크기, 깊이, 습윤상태, 균열 정도 등을 정량적으로 측정하지 못하는 한계가 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 탐지기법의 한계는 결함을 수치적으로 측정할 수 없는 것에 있으며, 이를 극복하기 위해 AI 기반 정량적 결함 분석 기술이 필요함 - 현재는 수작업으로 라벨링이 이루어져 AI 학습에 필요한 데이터 구축에 시간이 많이 소요되며, 정확도와 일관성에서 한계가 있음. 이를 개선하기 위해 자동화된 라벨링 시스템을 구축하여 AI가 정확하게 결함을 분류하고 데이터에 자동으로 태그를 붙일 수 있어야 함 <p>○ 지하 안전점검의 정확도와 효율성 한계를 극복하기 위해 디지털화된 육안조사 기술과 AI 기반 자동화 보고서 출력 시스템의 자동화 도입이 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> - AI 기술을 도입하여 디지털화된 안전점검 및 보고서 생성을 자동화함으로써 조사자의 주관적 영향을 최소화하고, 점검데이터를 관리하고 출력하는 시스템 필요 	
연구내용	<p>○ 차량 및 개인형 이동장치 탑재형 안전점검 장비개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지하 시설물 육안조사에 활용되는 다양한 장비와 기술에 대한 종합적인 성능조사 	

(구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

- 노면 정보 + 고정밀 위치정보 전송/처리 가능한 차량 탑재형 안전점검 장비
- 노면 정보 + 고정밀 위치정보 전송/처리 가능한 개인형 이동장치 탑재형 안전점검 장비
- 학습데이터 구축 및 AI 모델 개발
 - 지하 안전점검을 통해 수집된 디지털 영상에 대한 라벨링 자동화 기술
 - 지역·도로·포장 유형별 지표결함에 대한 AI 학습 DB개발
 - 각 학습 DB에 대한 AI 모델 개발
- AI 기반 자동형 육안조사서 생성 및 웹 플랫폼 기술개발
 - 취득데이터 저장 및 관리를 위한 웹 플랫폼 개발
 - 디지털 육안조사서 표준화(안)
 - 디지털 육안조사서 생성 프로그램
- 개발된 시스템 실증화 준비
 - 개별기술의 연계 및 통합 고도화
 - 실제 도로노면에 대해서 육안조사의 성능평가 및 검증 수행

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2026	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 지하 시설물 육안조사에 활용되는 Lidar 장비와 노면센서 기술조사 및 동행 파악 및 데이터 수집 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 지하 시설물 육안조사 활용가능한 장비 및 조사 기술 현황 조사 - 고정밀 위치정보 취득이 가능한 GPS 장비 - Lidar, stereo vision 등과 같이 대상의 깊이를 측정가능한 탐지 장비 조사 - 노면센서, IR 카메라를 활용한 습윤상태 탐지방법 개발 - 도로 노면의 다양한 손상데이터 수집 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지하 시설물 육안조사 활용기술/장비 조사 보고서 ▪ 도로 노면의 손상 유형별 이미지 데이터
2027	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 학습데이터 구축 및 AI 손상탐지 모델개발 - 육안점검 이동형, 차량형 조사장비 시제품 개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 현재 사용되고 있는 손상탐지 알고리즘 분석 - 지역·도로·포장 유형별 지표결함에 대한 AI 학습 DB개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 손상탐지 알고리즘에 대한 동행조사 보고서 ▪ 각 도로의 조건에 맞는 AI 손상탐지 알고리즘 ▪ 육안점검 이동형, 차량형 장비 시제품

(구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
	<ul style="list-style-type: none"> - 노면, 깊이 센서 등과 연계할 수 있는 이동형 조사장비 시제품 개발 - 각 학습 DB에 대한 AI 모델 개발 	
2028	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 수집된 데이터에 대한 라벨링 자동화 기술개발 및 AI 손상탐지 모델 고도화 - 노면, 깊이 센서들과 연계된 이동형 조사장비 시제품 개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 취득된 영상데이터의 라벨링 자동화 - 추가적으로 취득된 데이터들에 대해서 학습모델 자동 업데이트 - 노면, 깊이 센서 등과 연계할 수 있는 이동형 조사장비 시제품 개발 - 디지털 육안조사서 표준화(안) 제작 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 취득 영상데이터 자동 라벨링 시스템 ▪ AI 탐지모델 성능 고도화 ▪ 디지털 육안조사서 표준화(안) ▪ 육안점검 이동형, 차량형 장비 시제품
2029	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 디지털 육안조사서 생성 프로그램 및 웹페이지 제작 - 디지털 육안조사 기술 현장 실증 및 상용화 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 디지털 육안조사서 생성 프로그램 제작 - 이력 데이터 저장 및 관리할 수 있는 웹페이지 개발 - 디지털 육안조사 기술 현장 실증 - 개별기술들의 통합화 및 고도화 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 육안조사 이력관리 웹페이지 ▪ 자동 육안조사서 생성 프로그램 ▪ 디지털 육안조사 기술 사용 가이드라인 ▪ 디지털 육안조사 기술조사 솔루션(H/W+S/W)
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 디지털 육안조사 솔루션(H/W+S/W) 	

(구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

	성능지표		현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
			국내	해외	
연구목표	탐사장비	침하깊이 탐지 분해능 ¹⁾ (탐지 정확도)	-	2.5cm	5cm
		Lidar 차량탐재 점검속도 ²⁾ (km/hr)	-	27km/hr	30 km/hr 이상
		습윤상태 탐지성능 ³⁾ (f1 score)	-	-	70%
		위치정확도 ⁴⁾	10cm	-	10cm 이하
AI 분석 S/W	도로노면 손상상태 3종 탐지 ⁵⁾ (탐지 정확도)	80%	-	mAP@50 85%	
	1) 레이저를 활용한 Lidar 센서의 경우 주로 해외 장비를 사용하고 있으며, 2.5cm 정도의 오차를 보이고 있고, 탐지 목표인 침하의 깊이는 5cm 이하인 경우 양호로 판단되기 때문에 개발목표 스펙은 5cm깊이 이상의 깊이를 탐지 2) 포트홀 제거를 위한 도로용 20mm급 노면상태감지 및 급속보강 시스템 개발 연구에 따르면, Lidar를 활용해서 차량탐재 후 점검속도는 빠를수록 좋지만 고비용의 높은 레이저센서 회전수(rpm)을 필요로 함. 50mm포트홀을 감지해내는데 12,000 rpm을 가진 장비가 스캔하는데 필요한 최고속도는 27km/hr임 3) 도로노면의 습윤상태 탐지여부는 실용적으로 사용된 사례가 없으므로, 본연구에서는 도로노면의 습윤상태 탐지 여부에 대한 정확도를 목표 스펙으로 정함. 4) (주)다리소프트에서 도로의 침하의 위치를 10cm정확도로 탐지해낸다는 결과를 보고하고 있으며, 이에 따라 본 연구에서도 RTK등의 기술을 사용하여 10cm 이하의 손상탐지 위치를 찾는것을 목표 5) "CNN을 사용한 노면 크랙의 위치 검출과 분류" 논문에 local 크랙과 침하의 탐지정확도를 82%, 86%로 기술하였다. 기존의 기술들은 세가지 모두 탐지하는 사례가 없으므로, 본 연구에서는 총 3개 크랙, 습윤상태, 침하를 탐지하고mAP@50 85%를 달성하는 것을 목표				
최종 성과물	○ 디지털 육안조사 솔루션(H/W+S/W) - 개인형/차량형 이동장치 탑재형 육안조사 점검장비 - 각 도로의 조건에 맞는 AI 손상탐지 알고리즘 - 취득 영상데이터 자동 라벨링 시스템 - 육안조사 이력관리 웹페이지 - 디지털 육안조사서 표준화(안) 및 자동 육안조사서 생성 프로그램				

(구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

	한계점	기술개발방향
연구 방향	<ul style="list-style-type: none"> ■ 공동 조사시 현장 기술자에 의한 숙련도에 의존하고 있어, 점검 결과의 신뢰성이 저하 되는 경우 발생 ■ 관리주체별, 조사업체별 관련 데이터베이스를 구축하고 이를 통한 인공지능 모델 개발하고 있으나 적용 범위에 대한 한계 발생 ■ 지자체별 GPR 데이터를 통합적으로 관리할 수 있는 국가 차원의 플랫폼 시스템의 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 현장에서 수집된 GPR로부터 공동을 포함한 지하 매설물 자동으로 탐색·발견·인자·검수 ■ 표준화 기술이 적용된 GPR 데이터 구축 및 이를 통해 범용적인 자동 탐지 모델 개발 ■ 지자체별/위치별 지반 특성을 고려하여 GPR 데이터를 체계적으로 구축하고 이에 대한 분석을 수행할 수 있는 플랫폼 개발
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 이상기후, 노후관하수관, 공사간 다짐 불량 등 복합적인 원인으로 인해 발생하는 지반 침하는 꾸준히 발생 중 <ul style="list-style-type: none"> - 지하안전법 등 관계 법률 정비에 따른 안전 강화 조치로 인해, 지반침하의 주요 원인인 노후하수관, 공사간 다짐 불량, 상수관 손상 등에 대해서는 발생 건수가 비교적 감소했음에도 불구하고, - 전국적으로 지반 침하 사고가 발생하여, 이에 대한 선제적인 대응책이 필요한 실정 ○ 인공지능을 활용한 공동조사 업무 지원을 통해 공동조사 업무의 효율화 도모 <ul style="list-style-type: none"> - 최근 지반 침하 사고가 발생한 부산시의 경우, 시에서 운영하는 지반탐사 장비는 총 3대, 전문직 인력은 2명으로 조사 영역 대비 장비와 인력이 턱무니 없이 부족 - 따라서, 전문 인력의 공동 조사 업무를 최대한 보조할 수 있는 인공지능 기술의 도입이 시급한 실정 ○ 지하 생활기반시설의 안전·유지관리를 위한 표준화된 데이터 구축과 갱신 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 현재 국내에 다양한 GPR 장비들과 이를 분석할 수 있는 소프트웨어가 존재하나, 제조사마다 서로 다른 형식의 파일 형태로 인해 인공지능을 위한 데이터 구축 및 이력 관리 등과 관련하여 데이터 활용성에 문제가 발생 - 따라서, 각 제조사별 조사장비의 데이터를 표준화할 수 있는 방안 마련과 이를 적용한 데이터 구축 및 갱신을 통해 체계적인 지하안전 확보 필요 	
연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 활용 GPR 장비에 대한 학습 DB 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 국내에서 공동조사 업무에 활용되는 GPR장비에 대해 공동 분석 AI 모델 개발을 위한 학습데이터*를 구축 * 학습데이터는 공동, 맨홀, 지하 매설물 등으로 구성 - 기존에 인공지능 학습데이터 구축사업을 통해 구축된 데이터를 검토 분석하고 3D GPR장비에 적합한 학습 DB로 재구축 ○ GPR 데이터 표준화 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 다중/이종의 센서 데이터를 표준화하여 처리할 수 있는 데이터 표준화 기술 연구 - 도로 하부의 다양한 지반조건에 대해 공동, 지하 매설물 등을 설치한 테스트베드를 설치하고 이 구간에 대해 국내에서 활용되고 있는 GPR 장비에 대한 데이터를 동시에 취득하여 개발용 데이터 확보 - 실제 공동조사 업무에 데이터 표준화 기술을 적용하여 데이터 표준화 성능 검증 	

(구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

- AI 표준모델 및 공동조사서 자동 생성 기술개발
 - 국내에서 활용되는 GPR 장비에 대한 전용 AI 모델 개발 및 구축
 - GPR 데이터 표준화 기술을 통해 구축된 학습데이터로 생성된 AI 표준모델 제시
 - GPR 데이터 표준화 기술을 통해 구축된 학습데이터로 AI 모델 학습 후 성능 평가
 - 현재, 공동조사서 작성을 위해 많은 내업 시간이 소요되고 있으므로, 이를 디지털화하여 자동으로 생성, 저장, 관리할 수 있는 표준화된 디지털 공동조사서 생성 기술
- DB와 AI가 연계된 자동화 플랫폼 구축
 - 학습 DB의 확대 구축에 따라서 AI 모델 재학습 및 성능비교를 통한 최적 AI 모델 제시
 - 새로운 AI 알고리즘 개발에 따라 AI 알고리즘 교체 및 업데이트 가능
 - 학습 DB 및 AI 모델의 업데이트 이력을 순환하여 관리할 수 있는 환류형 플랫폼 개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2026	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 국내 활용 GPR 장비에 대한 학습 DB 구축 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 국내에서 활용되는 모든 3D GPR 장비에 대한 원시데이터* 구축 * 구축 데이터 : 맨홀, 매설관로, 공동 등 - 데이터의 유효성, 다양성 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내 GPR 장비에 대한 데이터셋 ▪ 데이터셋 검증 문서
2027	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - GPR 데이터 표준화 기술개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 다종/이종 센서 데이터의 표준화 방안 제시 - 다양한 지반조건 환경에서 공동 등과 같은 지하 매설물을 다양한 심도별로 설치한 테스트베드를 대상으로 국내에서 활용되고 있는 GPR 장비를 활용하여 표준화 알고리즘 검증 - 장심도 GPR 장비의 도입(안) 검토 - 실제 공동조사 업무에 대해 데이터 표준화 알고리즘을 적용하여 데이터 표준화 성능 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GPR 데이터 표준화 알고리즘 ▪ 테스트베드 실험 문서 ▪ 실현장 적용 문서
2028	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 국내에서 활용되는 GPR 장비별 AI 표준모델 개발 - 공동조사서 자동 생성 기술개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 국내에서 활용되는 GPR 장비별 전용 AI 모델 개발 - 표준화 알고리즘을 통해 구축된 데이터셋을 토대로 표준 AI 모델 개발 - 학습된 AI 모델에 대한 성능 평가 수행 - 분석 결과를 토대로 디지털 공동조사서 생성 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 장비별 AI 표준모델 ▪ 공동조사서 자동 생성 기술개발
2029	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 공동 조사 전용 웹 플랫폼 개발 - 공동 조사 전용 웹 플랫폼을 활용하여 실현장 적용 검증 및 기능 개선 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 현장 적용 문서 ▪ 공동 조사 전용 웹 플랫폼 ▪ 플랫폼 사용 매뉴얼

(구성기술 2-2) 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구내용) - DB 관리 기능 탑재 - 학습된 모델을 활용한 자동 분석 기능 탑재 - 보고서 산출 기능 탑재 - 개발된 플랫폼을 활용하여 실제 공동 조사 현장에 적용하여 플랫폼의 성능 검증 - 실무자들로부터 피드백을 받아 웹 플랫폼의 기능 개선 	
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자동 공동 조사 AI 모델이 포함된 공동 조사 전용 웹 플랫폼 	

연구목표	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
		국내	해외	
데이터셋 ¹⁾	구축 데이터 유효성, 다양성 검증	-	-	KCL 또는 TTA 등으로부터 구축 데이터에 대한 검증 문서 발급
	GPR 장비별 데이터셋	2000개	-	GPR 장비별 2000개 이상
AI 분석 S/W ²⁾	탐지 정확도	80%	-	mAP@50 90%
공동 조사 전용 웹플랫폼 ³⁾	분석속도 (/km/차선)	-	-	20분 이내
	로딩 속도	-	-	200밀리초

1) 데이터셋의 경우, 구축 데이터에 대한 유효성, 다양성 검증은 SW 품질평가 기관에서 검증을 수행하여 구축 데이터에 대한 검증을 수행. 데이터셋의 수와 관련하여, 국내에서는 '23년에 이성에서 약 100,000장의 GPR 영상 데이터셋을 AI-HUB에 공개하였으나, 본 연구에서는 국내에서 활용되는 GPR 장비 5종에 대해 각각 2000건 이상의 원시데이터 구축을 목표로 하여 총 10,000건 이상의 GPR 원시데이터 구축

2) 공동 및 육안조사 분석 정확도는 '도로함몰 위험도 평가 및 분석기술' 에서 인력 분석 정확도의 동일 수준인 80% 수준으로 기술개발을 완료하였으며, 본 연구에서는 분석 정확도(mAP@50)를 90%까지 도달

3) 공동 조사 전용 웹 플랫폼의 성능지표와 관련하여, 분석량과 로딩속도는 웹 플랫폼의 기능 구성과 서버에 의해 결정되므로 사용자가 이용하는 데 불편함이 없는 수준인 분석량 5이미지/초, 로딩속도 200밀리초를 목표로 설정

최종 성과물
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내에서 활용되는 GPR 장비별 데이터셋 ○ GPR 데이터 표준화 알고리즘 ○ GPR 장비별 표준 AI 모델 ○ 디지털 공동조사서 자동 생성 기술 ○ 공동 조사 전용 웹 플랫폼

(구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

연구 방향	<p style="text-align: center;">한계점</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 현행 GPR을 활용한 지하 공동탐사 방법으로는 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부의 지반에서 발생한 공동은 확인하지 못하고 있음 ■ 해외 GPR 장비 중 장심도 탐사가 가능한 장비가 존재하는 것으로 조사되고 있으나, 실제 국내지반을 대상으로 시험해본 결과 2m 이상 탐사 불가 	<p style="text-align: center;">기술개발방향</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 지하 2~4m 심도 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 개발 ■ 국내 지반 특성 등을 고려하여 지하 2~4m 심도 GPR 수집 정보의 정밀 해석 기술 개발 	
	<p>○ 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부 지하 공동조사 방법 부재</p> <ul style="list-style-type: none"> - 최근 5년('20~'24)간 지반침하 사고(총 867건)별 원인 조사결과 하수도 등 기존 매설물 손상이 57%(497건)으로 가장 높은 비중을 차지 - 현행 GPR을 활용한 지하 공동탐사 방법으로는 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부의 지반에서 발생한 공동은 확인하지 못하고 있음 - 해외 GPR 장비 중 장심도 탐사가 가능한 장비가 존재하는 것으로 조사되고 있으나, 실제 국내지반을 대상으로 시험해본 결과 2m 이상 탐사 불가 - 또한, 장심도의 경우 측정 가능한 공동의 크기를 제시하고 있지 않아 국내 도심지에서 적용 가능성이 높지 않음 		
연구 필요성	<p>○ 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부 지하 공동조사 방법 부재</p> <ul style="list-style-type: none"> - 최근 5년('20~'24)간 지반침하 사고(총 867건)별 원인 조사결과 하수도 등 기존 매설물 손상이 57%(497건)으로 가장 높은 비중을 차지 - 현행 GPR을 활용한 지하 공동탐사 방법으로는 지하 2~4m 심도에 매설된 지하시설물 상부의 지반에서 발생한 공동은 확인하지 못하고 있음 - 해외 GPR 장비 중 장심도 탐사가 가능한 장비가 존재하는 것으로 조사되고 있으나, 실제 국내지반을 대상으로 시험해본 결과 2m 이상 탐사 불가 - 또한, 장심도의 경우 측정 가능한 공동의 크기를 제시하고 있지 않아 국내 도심지에서 적용 가능성이 높지 않음 		
연구내용	<p>○ 심도 2~4m 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 저주파/고주파 대역 복합 운영 GPR 시스템 개발 * 기 개발된 해외 GPR 장비 활용 또는 국내 기술 활용 개발 - 다중대역 GPR 적응형 제어 알고리즘 개발 <p>○ GPR 수집 정보의 정밀 해석 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지반·포장 전자기 물성 DB 구축 및 모델링 - 포장층 응답 제거 및 심층 신호 향상 처리기술 개발 <p>○ 저주파·고주파 복합 GPR 탐사 시스템 통합 및 성능검증</p> <ul style="list-style-type: none"> - 저주파·고주파 복합 GPR 탐사 시스템 구현 - 성능시험장 구축 등을 통한 학습데이터셋 구축 및 검증 수행 - 지자체 GPR조사 결과와 포장 및 지반특성과 연계하여 실제 공동과의 검증 		
	연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
	2026	<ul style="list-style-type: none"> ■ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 저주파·고주파 복합 GPR 장비 분석 및 성능 개선방안 도출 ■ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 국내 도입 저주파·고주파 복합 GPR 장비 테스트 및 분석 - AI 기반 저주파·고주파 복합 GPR 데이터 해석 프로그램 개념설계 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국내 도입 저주파·고주파 복합 GPR 장비 성능 분석 문서

(구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물				
2027	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 국내 특화 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 설계 - AI 기반 저주파·고주파 복합 GPR 데이터 해석 프로그램 설계 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 저주파/고주파 대역 복합 운영 GPR 시스템 설계 - 다중대역 GPR 적응형 제어 알고리즘 설계 - 지반·포장 전자기 물성 DB 구축 및 모델링 - 포장층 응답 제거 및 심층 신호 향상 처리기술 도출 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내 특화 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 설계(안) ▪ AI 기반 저주파·고주파 복합 GPR 데이터 해석 프로그램 설계 				
2028	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 구축 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 저주파/고주파 대역 복합 운영 GPR 시스템 개발 - 다중대역 GPR 적응형 제어 알고리즘 개발 - 포장층 응답 제거 및 심층 신호 향상 처리기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 시제품 				
2029	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 모의환경 실험 및 실제 현장 적용 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 모의환경 시험장 대상 심도 2~4m 지하공동 탐사 정확도 실험 - 실제 지반 대상(지자체 실증 등) 심도 2~4m 지하공동 탐사 정확도 실험 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 실주행 도로 적용 결과 				
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 심도 2~4m 구간 지하 공동 탐지 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 					
연구목표	성능지표		현재 최고	기술수준	개발 목표 스펙	
			국내	해외		
	탐지심도 향상 GPR 시스템	가탐심도		-	-	4m이상
		차량 운행속도		-	-	20km/h이상
		탐지 공동 크기 (가탐심도, 차량 운행속도 유지)		-	-	0.6m이하
탐지 정확도 (가탐심도, 차량 운행속도 유지)		-	-	mAP@50 90%		
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 도입 저주파·고주파 복합 GPR 장비 성능 분석 문서 ○ 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 					

(구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

	한계점	기술개발방향
연구 방향	<ul style="list-style-type: none"> ■ 부처, 지자체, 개별 관리주체 주도로 구축된 지하정보의 분절화로 인해 지하공간 안전관리를 위한 데이터 활용 방안은 부재 ■ 현재의 지하정보는 공간정보 구축을 중심으로 이루어지고 있으며, AI 분석 등을 위해서는 2차적인 데이터 가공 단계가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지반침하 영향인자를 정의하고, 해당 지하정보를 하나의 DB로 통합하여 관리할 수 있는 기술적 방안 제시 ■ 분산된 지하정보들을 연계·수집하여, AI 모델 학습데이터를 구축하기 위한 추출·변환·적재 기술 개발 및 DB 구축 체계 마련 ■ 지하정보 DB 구축 표준화 정립을 통해 데이터 수집 및 활용의 지속 가능성 확보
연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ■ 개별 시설물 단위의 관리가 아닌, 다중 시설을 종합적으로 고려한 지반침하 위험 평가 기술 부재 ■ 지하공간차원의 지반침하 안전도예측 부재 <ul style="list-style-type: none"> - 지하 공간 위험을 고려한 지하시설물 관리 의사결정 체계 부재 - 지하공간통합지도에서 관리하는 지하정보의 활용 및 서비스 부재 - 지반침하 안전도 예측기술 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지하정보 활용 지반침하 안전도 평가 정확도 80% 이상 확보 가능한 AI 기반 평가 모델 개발을 통한 지하안전관리 체계 마련 ■ 지반침하 안전도예측 및 평가 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지하 공간 위험을 고려한 지하시설물 관리 의사결정 체계 확립 - 지반침하 안전도 영향 인자 제시를 통한 안전한 지하공간 및 시설물 관리
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2018년 실시한 지하공간통합지도 구축사업 현황 및 시설물별 데이터 신뢰성 분석 결과, 데이터 오류율이 18~32%로 확인되어 이에 대한 대책마련 필요 ○ (지하공간 안전사고 증가) 지하공간통합지도 구축을 통해 시설물 중심이 아닌 지하 공간 관점에서의 안전관리 체계가 마련되었으나, 관리 정보의 신뢰성이 떨어지며 안전관리를 위한 활용 방안 부재 ○ AI 기술을 활용하여 지반침하의 위험을 평가, 예측하기 위한 운영 데이터 DB 구축에 필요한 기술개발 필요 ○ 외부에 노출되지 않는 지하매설물의 특성상 시설물 상태를 주기적으로 확인하기 어렵고, 확보 데이터의 정확도가 낮으며, 지반과 지하수, 주변 시설물 영향 등 다양한 외부환경 고려가 필요해 파손 예측 및 건전성 평가 알고리즘의 신뢰성 확보가 어려움 <ul style="list-style-type: none"> - 지하매설물의 구조적 건전성과 상관성이 높은 영향인자 선정을 위한 기술적·통계적 분석 기술 적용의 어려움으로 AHP 분석 등의 관련 분야 전문가 판단에 의존하는 방식으로 영향인자 식별이 이루어지고 있으나, 이는 영향인자별 가중치를 정량화 할 수 없으며, 건전도 예측 결과의 신뢰성을 낮춤 ○ (안전사고 대응 선제적 위험 예측 기술) 도시 지하공간 과밀화에 따른 안전사고 위험에 대응하는 위험 예측 기술 개발 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 수도권 등 인구 밀집지역 중심으로 지하공간 시설물 집중, 대심도화 심화 - 시설물 간 상호 영향관계 심화, 지하시설물 공사 시 관리주체 간 빈번한 분쟁 발생, 반복 굴착으로 인한 지반 약화 심화 - 도심지 지하공간 대한 정확한·통합된 정보 부재, 유지관리에 대한 과학적 기준 미비, 시설물-지반 영향관계에 대한 연구 부족 등 과밀화에 따른 위험을 평가하기도 어려운 실정 	

(구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

연구내용

- 지하정보 관리체계 현황 조사 및 정보구축 기준 및 DB 표준화
 - 지하공간정보 기반 지하시설물 공간 및 속성 정보, 지반 정보 DB 표준화 기술
- GIS 기반 공간 정보 가시화 및 정보 특성을 고려한 데이터 가공 기술
 - 지하시설물 운영 정보, 지반 정보 등 공간정보 변환 기술
 - ※ 지하시설물 재료, 설치년도, 보수보강 이력, 지반시추 정보, 지하수 관정 정보 등 공간정보로 관리되지 않는 활용 정보를 공간정보와 매칭
 - 정보 관리 및 평가·예측 활용을 위한 시설물 정보 기본단위 설정 및 변환을 통한 DB화 기술
 - 지하 안전도 평가·예측 활용 데이터 DB 구축
- 지반침하 안전도 영향인자 분석
 - 지반침하 안전도 예측 분석을 위한 지반 침식성(Erosion potential) 평가에 따른 지반 분류 기준 정립 및 지반정보 DB화 기술
 - 지반조사 결과 데이터, 지하수 유동, 굴착공법관련 데이터 등을 포함하여 지하정보 데이터 간 상관성 분석을 통한 위험영향인자 도출 및 분석 활용 데이터 정의
- 지반침하 안전도 예측을 위한 학습자료 DB 구축
 - 지반침하 안전도 영향 인자 DB 정제 및 전처리를 통한 데이터 정규화
 - 지하통합정보 내 지하시설물의 공간 정보 및 관리 오류 정보 검출 및 정제 기술
 - 데이터 가공을 통한 위험예측 학습자료 DB 구축
- 지반침하 안전도 평가·예측 모듈 개발
 - 머신러닝(LR, DT, RF, GBDT), 딥러닝(Alexnet, Resnet, U-Net) 등 기존 모델 수정·조합을 예측 안전도 평가 프레임워크 개발
 - 지반침하 안전도 평가·예측 최적 모델 개발
 - 학습자료 DB 유형별 모델 적용을 통한 지반침하 안전도 평가·예측 최적 프로토콜 개발
 - 현장 실증을 통한 예측 결과 정확성 및 모델 신뢰성(AUC-ROC) 검증
- 지반침하 안전도 3차원 가시화(3차원 지반함몰 위험지도)
 - 지반침하 발생이력 분포와 지하정보 수준을 고려한 지반함몰 안전도 지도 영역 설계
 - 지반침하 안전도 지도 그리드 영역에 따른 GIS 3차원 매핑

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2026	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 지하정보 관리체계 현황 조사 및 정보 구축 기준 및 DB 표준화 - 지반침하 안전도 예측을 위한 영향인자 도출 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 정보 관리 주체별(관리주체, 지자체, 정부부처) 지하 정보 관리현황 조사 및 연계 기술 개발 - 지반침하 안전도 예측 분석을 위한 데이터 가공 및 추출 기술 개발 - 상관성 분석을 통한 영향인자 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 영향인자 상관성 분석 보고서

(구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2027	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 지하통합정보 디지털 표준 정립 - 지반침하 안전도 평가 모델 개발 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 지하시설물 운영 정보, 지반 정보 등 공간정보 변환 기술 - 머신러닝, 딥러닝 등 기존 모델 수정·조합을 통한 안전도 평가 프레임워크 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지반침하 안전도 평가·예측 모델(S/W)
2028	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - GIS 기반 지하공간정보 가시화 및 활용 DB 구축 - 위험도 평가 모델 개발 및 지반침하 안전도 3차원 가시화 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 정보 관리 및 평가·예측 활용을 위한 시설물 정보 기본단위 설정 및 변환을 통한 DB화 기술 - 지반침하 안전도 평가·예측 최적 모델 개발 - 지반침하 발생이력 분포와 지하정보 수준을 고려한 지반함몰 안전도 지도 영역 설계 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3차원 지반침하 안전도 지도
2029	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (연구목표) <ul style="list-style-type: none"> - 지하 안전도 평가 예측 활용 시스템 개발 - 안전도 지도 그리드 영역에 따른 적용성 검토 및 GIS 3차원 매핑 ▪ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 지하안전도 평가 예측 활용 시스템 실증 및 보완 - 3차원 지반함몰 안전도 지도 시범구축 및 서비스 모듈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지하 안전도 평가 예측 활용 DB 시스템 ▪ 지반침하 안전도 평가·예측 모델 및 위험지도
최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지하 안전도 평가 예측 활용 DB 시스템 ▪ 지반침하 예측 모델 및 위험지도 	

연구목표	성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
		국내	해외	
	지하시설물 디지털정보 구축 정확도	*기준에 검증된 산정 기준 없음	100m 이내 측정오차 3cm 미만	100m 이내 2개 점을 측정한 거리 차이가 3cm 미만 정확도
	지반침하 안전도 지도 영향인자 구축 범위	N/A	3종	15종 이상
	지반침하 위험예측 정확도	N/A	70%	예측 정확도 80% 이상
	지반침하 모델 신뢰도(정합도)	N/A	N/A	정합도(AUC) 0.8 이상

최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하 안전도 평가 예측 활용 시스템 ○ 지반침하 예측 모델 및 위험지도
---------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------

(7) 유사 연구과제와의 차별성·연계성

□ (구성기술 2-1) 육안조사 디지털화 기술

〈표〉 본 구성기술 관련 민간기술과의 차별성·연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관기관 (지원기관)	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
도시 노면 흙 자동관리시스템 리빙랩 사업 (2019 ~ 2020)	한국건설 기술연구원 (국토교통부)	<ul style="list-style-type: none"> 도시 노면 흙 예지 장치 시작품 개선 제작 도시 도로 파임 기술 실증 확대 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 도로 파임뿐만 아니라 균열 및 습윤상태까지 고려하고, 정량적인 손상 범위를 분류한다는 점에서 차별성 존재 <p>〈연계성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 개발된 예지기기의 성능과 도로 파임의 탐지 문제점 참고 활용 가능
도로노면 위험요소 저감 및 도로 안전도 등급 평가기술 개발 (2023.04 ~ 2027.12)	한국건설 기술연구원 (국토교통부)	<ul style="list-style-type: none"> 도로노면 위험요소 진단 및 관리 기술개발 도로노면 위험요소 저감 실증 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 도로노면의 위험요소(차선, 표지판 등의 손상)를 고려했다는 점에서 본연구의 손상범위(균열, 포트홀, 습윤상태)와 차별성을 가짐 <p>〈연계성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 도로노면의 위험요소에 활용된 장비와 실증방법 참고 활용 가능
고속도로 포장 유지관리 점검 자동화 기술개발 연구용역 (2021 ~ 2021)	한국도로공사 (국토해양부)	<ul style="list-style-type: none"> 주행 중 촬영 영상을 활용한 도로 정보 수집 기술개발 3차원 노면 흙 탐지모델 분석 및 개선방안 도출 현 탐지모델 분석(객체 탐지 부문, 이미지 분류 부문, 정보분석 부문) 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 도로 파임뿐만 아니라 균열 및 습윤상태까지 고려하고, 정량적인 손상 범위를 분류한다는 점에서 차별성 존재 <p>〈연계성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 점검에 사용된 객체 탐지모델 참고 및 활용 가능
인공지능 기반의 도로 파손 정보 제공 기술개발 (2018.04 ~ 2020.12)	케이웍스 (국토교통부)	<ul style="list-style-type: none"> 실시간 도로 파손 정보 수집 인공지능 기술을 활용하여 도로 노면 정보에 대한 데이터 확보 도로 노면 상태를 고려한 주행 알고리즘 개발을 위한 데이터 제공 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 도로 파임뿐만 아니라 균열 및 습윤상태까지 고려하고, 정량적인 손상 범위를 분류한다는 점에서 차별성 존재 <p>〈연계성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> 도로노면 파손정보 수집방법과 활용된 장비, 인공지능기술, 실증방법을 참고 활용 가능

□ (구성기술 2-2) 지하 공동 분석 시 표준모델 개발

〈표〉 본 구성기술 관련 민간기술과의 차별성·연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관기관 (지원기관)	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
지반 침하 데이터 프로세싱을 통한 분석프로그램 개발	동양대학교 산학협력단 (환경부)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 실정에 맞는 비파괴 탐사 결과 분석프로그램 개발 • 국내 상하수도 관거싱크홀(함몰) 분석 및 개선 방안 제시 • 기존 탐사 분석프로그램 평가를 위한 실증실험 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해당연구는 다양한 비파괴시험 분석에 중점을 두어 싱크홀을 탐지하지만, 구성 기술에서는 인공지능 기반의 GPR 분석을 활용 <p>〈연계방안〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소프트웨어의 성능 평가시 비교자료로 사용 가능
하수관로 누수에 기 인하는 지반 침하 (공동) 탐지 및 평 가기법 개발	한국건설 기술연구원 (환경부)	<ul style="list-style-type: none"> • 비파괴(GPR 포함) 탐사기술의 노후 하수관로로 인한 지반 침하 탐지를 위해 GPR 분석기술 개발 • GPR과 하수관로 CCTV 조사 결과를 활용한 지반 침하 진단 프로그램 개발 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해당 연구에서는 GPR 탐사와 CCTV를 활용하여 하수관로 누수로 인한 공동을 탐지하지만, 구성기술에서는 GPR만을 활용하여 공동을 탐지하고자 함. <p>〈연계방안〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소프트웨어의 성능 평가시 비교자료로 사용 가능
전기비저항을 이용한 도로 싱크홀 탐사	인하대학교 산학 협력단 (교육부)	<ul style="list-style-type: none"> • 싱크홀의 발생원인 분석을 통한 위험단계별 분류 • 도로포장의 특성에 맞는 전극 접지기구 개발 • 실험 데이터의 이미지화를 통한 공동 분석방법 제시 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해당연구는 공동을 탐지하는 데 있어 전기비저항 방법을 사용했지만, 구성기술은 GPR을 활용하여 공동을 탐지함 <p>〈연계방안〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소프트웨어의 성능 평가시 비교자료로 사용 가능
도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발	세종대학교 산학 협력단 (국토교통부)	<ul style="list-style-type: none"> • 도로함몰 데이터 취득 및 도로함몰 위험도 분석기술 개발 • 도로함몰 위험도 평가 • PMS와 연계할 포함하는 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해당연구는 특정 조사 차량만을 활용하여 인공지능 모델을 구축하였지만, 구성 기술은 다양한 조사 차량과 연동되는 표준화 기술이 적용된 범용 모델을 구축 <p>〈연계방안〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소프트웨어의 성능 평가시 비교자료로 사용할 수 있으며, 표준화 작업 시 활용 데이터로써 활용 가능

□ (구성기술 2-3) AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발 : 유사 연구과제 없음

□ (구성기술 2-4) 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술

〈표〉 본 구성기술 관련 민간기술과의 차별성·연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관기관 (지원기관)	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
이미지 형식 엔지니어링 도면의 지식기반 설계정보 인식기술 개발	경북대학교 산학협력단 (한국산업기술평가 관리원)	<ul style="list-style-type: none"> • P&ID 도면 내 객체 인식 기술 개발 • 인식 객체 통합 및 연계기술 개발 • 지능형 P&ID 모델링 기술 개발 	<p>〈차별점〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해당 과제는 P&ID 도면 인식하는 것을 목적으로 하나 원천 기술 개발에 초점을 맞추고 있고 대상 도면이 시설물 유지관리 도면과 상이하여 직접 적용이 어려움 <p>〈연계성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 도면 인식 절차 및 관련 기술 분석 결과를 본 과제에 활용 가능
이미지 인식 패턴 분석 기술을 적용한 웹팩스 문서 자동 분류 시스템 개발	(주)페이스시스템 (중소기업기술정보 진흥원)	<ul style="list-style-type: none"> • 문서 전처리 기술 개발 • 문서 인식 기술 개발 • 문서 후처리 기술 개발 	<p>〈차별점〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해당 과제는 일반 사무용 문서의 인식 및 문서 자동 분류를 목표로 하나 시설물 관련 전문 작업 문서/시트 인식에 직접 적용에 어려움 존재 <p>〈연계성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 문서 인식 절차 및 관련 기술 분석 결과를 본 과제에 활용 가능
지능형 CAD/CAM 기술 연구	광주과학기술원 (미래창조과학부)	<ul style="list-style-type: none"> • 영상과 3D 모델에서 특징점 및 기능적 부분 검출 • 영상과 3D 모델의 관련성 정의 알고리즘을 개발 • 사용자 인식/상호작용을 통한 가상물체 증강 구현 	<p>〈차별점〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해당 과제는 전통적인 3D 형상으로 특징을 추출하여 이를 후처리함으로써 부분을 탐색하는 기술을 개발하였으나 딥러닝 등의 최신 기술을 검토하지 않았고 대상 형상이 일반 분야에 한정 <p>〈연계성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 영상처리 및 분석 기술 등 기초 기술을 이 사업 개발 과정에서 응용·고도화 예정
지하공동 3차원 디지털 형상화 및 스마트 암반분류법 개발을 통한 지반안정성 확보 기법 개발 (‘19~’22)	강원대학교 (과학기술정보통신부)	<ul style="list-style-type: none"> • 지하공동에 대한 3차원적 디지털 형상화 및 ICT 기반의 스마트 암반분류법 개발을 통해 지표함몰/지반침하 지역에 대한 능동적, 정량적 안정성 확보 방안 제시 	<p>〈차별점〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 연구는 지하공동의 정보를 토대로 3차원 모델링 및 인공지능 암반분류법의 개발을 목표로 하지만 본 연구는 비정형 데이터까지 활용한 전반적인 지하정보를 구축한다는 측면에서 기술적 차이가 존재 <p>〈연계성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 본 연구에서 수행하는 정밀 탐사 결과의 연계 활용 가능
지반함몰 및 액상화에 관한 지하안전 위험도 평가 고도화 기술 개발	국토교통과학기술 진흥원	<ul style="list-style-type: none"> • 영상정보 기반 비접촉식 실시간 Full-field measurement 측정 시스템 개발 기술 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 연구는 영상정보 기반 변위계측 기술인 반면 본 과제에서는 지하공간 데이터 수집 및 분석을 통한 머신러닝 매개변수 선정 및 모델 개발이 목표인 점에서 차별성 존재 <p>〈연계성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3D 영상정보에 대한 분석 등 연구 결과는 이 과제에 참고 활용 가능
지반함몰 위험성 예측 및 평가 기술 개발	국토교통과학기술 진흥원	<ul style="list-style-type: none"> • 지반함몰 유형에 따른 위험성 영향인자 요소 선정 • 기존 지반굴착 	<p>〈차별성〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 연구는 지반굴착에 따른 지반변형 연계해석 알고리즘을 개발하는 내용인 반면, 본 연구에서는 머신러닝 모

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관기관 (지원기관)	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
		모델링/해석법 분석, 설계인자 파악	델을 활용하여 데이터 기반으로 학습 및 분석하는 것을 목적으로 하여, 차별성 존재 <연계성> - 지반침하 영향인자 분석 및 알고리즘의 결과는 본 연구에서 참고 활용 가능
위험도기반 안전관리체계 평가 기술 개발 ('17~'19)	한국철도기술 연구원 (과학기술정보통신 부)	<ul style="list-style-type: none"> 국가철도시스템 위험측(신 뢰성·안전성) 평가 논리모 형, 위험도 정규화 지수 및 Data 운영시나리오 개 발, 국내철도의 안전관리 체계 개선을 위한 안전관 리체계 개선요건 및 철도 안전관리체계 실효성 평가 모형 개발 등 	<차별성> - 기존 개발과제는 국가철도시스템의 위험 평가 및 관리체계를 위한 기술개발로 관리의 범위 상, 본 기술과제의 범위에 해당하지 않으며, 개별 인프라 시설 들의 관리체계가 아닌 통합운영, 안전관 리 체계 개선 등의 국가적인 차원의 철 도 안전관리체계, 정책운영 개발에 한정 되어 있음 <연계성> - 개발된 위험도 기반 위기대응, 사고 예 방 시나리오, 중대사고 예측 방법론 등 은 대응 시나리오 개발을 위한 본 기술 개발 과제에 참고 가능
빅데이터를 활용한 인공지능-GIS 기반의 도심지 지하건설공사로 인한 지반침하 예측 및 위험도 평가 시스템 개발('17~'20)	성균관대학교 (과학기술정보 통신부)	<ul style="list-style-type: none"> 최근 발생하는 도심지 지하 건설 공사로 인한 지반침하 문제의 과학적 접근을 위해 빅데이터 기반의 인공지능을 개발하고 이를 ICT 기술과 연계하여 도심지 지하건설 공사시 발생하는 지반침하 및 관련 위험도를 예측하는 시스템을 개발 	<차별성> - 기존 개발과제는 도심지 지하건설공사를 대상으로 지반침하 예측 및 위험도 평가 시스템 기술개발에 해당되며, 본 제안과 제의 기술은 지상·지하 공간의 입체적, 지능형 위험관리 시스템개발과 생활기반 시설의 다차원 위험도 평가 기술로 해당 기술의 대상 범위 및 기능면에서 차별 성을 가지고 있음 <연계성> - 개발과제에서 인공지능 기반의 지반침하 예측 기술, 시뮬레이션 기술은 향후 본 지능형 안전관리시스템 개발에 참고 가능
지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사 현장 활용 지원 기술 개발 기획	한국건설기술연구원 (2018.12 ~2019.07)	<ul style="list-style-type: none"> 지하공간정보 구축·관리·활용 국내외 현황 조사 및 분석 건설분야, 재해재난분야, 스마트시티, 도시재생분야 등에서의 지하공간통합지도 활용방안 도출 	<차별점> - 기존 연구는 DB 작성에 치중하나 본 기 획연구는 효율적 활용기술을 개발 <연계성> - 기존 개발, 운영중인 시스템과의 호환성 확보로 시너지효과 기대
스마트건설 안전관리시스템	(주)지에스아이엘	위치태그를 통해 간단히 입력하고, 입력된 정보를 통해 자동으로 생성된 현장위험등급, 위험요인, 대책을 현장담당자와 본부 안전 담당자 간 공유 모니터링	<차별성> 시공단계가 아닌 유지관리단계에서의 생활기반시설 안전과 민관을 연계한 포털시스템 구축 및 시각화 기반의 디지털트윈 구현 <연계성> 실시간 축적된 빅데이터를 이용해 사고예측 모델 적용으로 인한 위험요소 제거 및 사고예방

(8) 과제추진 및 기술성과 로드맵

□ 추진 로드맵

핵심기술	구성기술	'26	'27	'28	'29	연구 목표	
스마트 지하안전 점검 ^{상시} 기술	2-1. 육안조사 디지털화 기술	육안조사에 활용가능한 디지털 기술 조사				1) 현행 인력기반으로 수행되는 육안조사를 자동화된 점검 장 비 를 활 용 2) 데이터를 취득하고, AI를 이 용하여 분석함으로써 정량적 이 고 일 관 적 인 조 사 3) 육안조사의 효율을 높이고 과학적인 데이터 관리	
		노면정보 취득 가능한 장비개발 및 고도화					
			노면 손상 학습데이터 취득 및 구축				
			AI 손상탐지 알고리즘 개발	AI 손상탐지 알고리즘 고도화			
				육안조사서 표준화 및 웹페이지 개발	자동 육안조사 서 생성프로 그램 개발		
			개별기술 통합 및 실증				
	2-2. 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발	국내 활용 GPR 장비에 대한 학습 DB 구축					1) AI 기반으로 육안점검·공동 조사 결과를 실시간 자동으 로 분석하는 S/W를 개발하 여 지하 안전점검의 효율성 및 정확도 제고 2) 지표/지중 결함을 동시에 획 득 지하안전데이터 플랫폼으 로 실시간 전송할 수 있는 장비 개발
			GPR 데이터 표준화 기술 개발				
				GPR 장비별 분석도구 (AI 모델, 보고서 기능) 개발			
				공동 조사 전용 웹플랫폼 개발 및 실증			
	2-3. AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발	저주파·고주파 복합 GRP 장비 분석					1) 지하 2~4m 심도 탐사 가능 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 개발 2) 국내 지반 특성 등을 고려하 여 지하 2~4m 심도 GPR 수집 정보의 정밀 해석 기술 개발
			저주파·고주파 복합 GRP 장비 성능 고도화				
		AI 기반 저주파·고주파 복합 GRP 탐지 심도 향상 데이터 해석 프로그램 개발					
			저주파·고주파 복합 GRP 탐지 시스템 실증				
	2-4. 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술	지하정보 구축 기준 및 DB 표준	지하시설물 관리 기본단위 설정	지하정보 구축 프로토콜 정립	공간정 보 중심 지하안 전관리 활용정 보 시스템 개발		1) 지반침하 위험관리 중점구역 선정 기술 개발
		비정형 데이터 정보 분석 및 추출 모듈 S/W 개발		3차원 디지털 정보변환 S/W 개발			
상관성 분석 을 통한 영향 인자 분석		안전도 영향인자 DB 정제 및 정 규화	지반침하 위험 예측 AI 모델 개발	지반침 하 위험 예측 AI 모델 고 도화 및 실증			
지반침하 안전도 평가 모델 설계							

[그림] 추진로드맵

□ 기술성과 로드맵

핵심기술	구성기술	'26	'27	'28	'29	주요 성과물	
스마트 지하안전 점검 기술	2-1. 육안조사 디지털화 기술	육안조사에 활용가능한 디지털 기술 조사				<ul style="list-style-type: none"> 지하 시설물 육안조사 활용기술/장비 조사 보고 	
		노면정보 취득 가능한 장비개발 및 고도화					<ul style="list-style-type: none"> 지하 시설물 육안조사 활용기술/장비 조사 보고 육안점검 이동형, 차량형 장비 시제품 및 시제품
			노면 손상 학습데이터 취득 및 구축				<ul style="list-style-type: none"> 도로 노면의 손상 유형별 이미지 데이터
			AI 손상탐지 알고리즘 개발	AI 손상탐지 알고리즘 고도화			<ul style="list-style-type: none"> 손상탐지 알고리즘에 대한 동향조사 보고서 각 도로의 조건에 맞는 AI 손상탐지 알고리즘 개발 AI 탐지모델 성능 고도화
				육안조사서 표준화 및 웹페이지 개발	자동 육안조사서 생성 프로그램 개발		<ul style="list-style-type: none"> 디지털 육안조사서 표준화(안) 육안조사 이력관리 웹페이지 자동 육안조사서 생성 프로그램
			개별기술 통합 및 실증			<ul style="list-style-type: none"> 디지털 육안조사 기술 사업 가이드라인 솔루션(H/W+S/W) 	
	2-2. 지하 공동 분석 AI 표준모델 개발	국내 활용 GPR 장비에 대한 학습 DB 구축					<ul style="list-style-type: none"> 국내 GPR 장비에 대한 데이터셋 데이터셋 검증 문서
			GPR 데이터 표준화 기술개발				<ul style="list-style-type: none"> GPR 데이터 표준화 알고리즘
			AI 기반 자동형 지하공간 위험정보분 석 S/W				<ul style="list-style-type: none"> 장비별 AI 표준모델 공동조사서 자동 생성 기술개발
				다중 지하 데이터 동시 획득 및 원격 송수신 차량형 안전점검 장비개발 및 실증			<ul style="list-style-type: none"> 현장 적용 문서 공동 조사 전용 웹 플랫폼 플랫폼 사용 매뉴얼
	2-3. AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발	저주파·고주파 복합 GPR 장비 분석					<ul style="list-style-type: none"> 국내 도입 저주파·고주파 복합 GPR 장비 성능 분석 문서 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 저주파·고주파 복합 GPR 시스템 실주행 도로 적용 결과
				저주파·고주파 복합 GPR 장비 성능 고도화			
				AI 기반 저주파·고주파 복합 GPR 탐지 심도 향상 데이터 해석 프로그램 개발			
				저주파·고주파 복합 GPR 탐지 시스템 실증			

핵심기술	구성기술	'26	'27	'28	'29	주요 성과물
	2-4. 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술	지하정보 구축 기준 및 DB 표준	지하시설물 관리 기본단위 설정	지하정보 구축 프로토콜 정립	공간정보 중심 지하안전관리 활용정보 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> 지반침하 위험관리 중점구역 선정 기술 개발
		비정형 데이터 정보 분석 및 추출 모듈 S/W 개발		3차원 디지털 정보변환 S/W 개발		
		상관성 분석을 통한 인자 영향 분석	안전도 영향 인자 DB 정제 및 규화	지반침하 위험 예측 AI 모델 개발	지반침하 위험예측 AI 모델 고도화 및 실증	
		지반침하 안전도 평가 모델 설계				

[그림] 성과로드맵

(9) 소요예산 및 장비 구축 계획

(가) 연도별 소요예산

〈표〉 구성 기술별 예상 소요예산

(단위: 백만원)

구성기술명	구분	'26	'27	'28	'29	계
2.1 육안조사 디지털화 기술	정부	100	400	450	300	1,250
2.2 지하 공동 분석 AI 표준 모델 개발	정부	250	350	350	300	1,250
2.3. AI 기반 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술개발	정부	250	650	600	500	2,000
2.4. 지하 빅데이터 기반 지반 침하 위험지역 분석 기술	정부	200	500	450	350	1,500
합 계		800	1,900	1,850	1,450	6,000

(나) 연구장비 및 시제품

○ 연구장비 내역

〈표〉 핵심기술 연구장비내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)
1	노면 상태 탐지 센서	노면 습윤상태 탐지 센서 개발 및 시제품	10	6	60
2	도로 표면 손상탐지용 AI 모델 개발용 PC	도로표면 손상 탐지를 위한 AI 학습용 데스크탑	25	3	75
3	GPR데이터 분석 및 공동탐지 AI 모델 개발용 PC	GPR 데이터 분석을 통해 공동탐지 기술을 AI로 활용하기 위한 학습용 데스크탑	20	3	60
4	워크스테이션	분류, 분리, 추출이 용이한 데이터 모델 개발 및 데이터 분절화, 추출, 가공	10	2	20
5	GPU Graphic Card	대용량 데이터 모델 처리	1	2	2
6	Revit / AutoCAD	서버호스팅 및 소프트웨어	15	1	15
7	ABQUS	수치해석	18	5	90
합 계			-	-	322

(다) 연차별 직·간접비용 예산

○ 직접비

〈표〉 핵심기술 직접비 예산

(단위: 백만 원)

구분	'26	'27	'28	'29	계
인건비	345	851	805	499	2,500
장비·재료비	223	482	482	453	1,640
기타경비	152	377	378	353	1,260
합 계	720	1,710	1,665	1,305	5,400

○ 간접비

〈표〉 핵심기술 간접비 예산

(단위: 백만 원)

구분	'26	'27	'28	'29	계
간접비	80	190	185	145	600

(라) 소요인력

(단위: 명)

구분	'26	'27	'28	'29	계
책임급	4	7	8	6	25
선임급	4	7	8	6	25
연구원	8	14	17	11	50
합 계	16	28	33	23	100

3) 파급효과

(1) 과학기술적 측면

□ 지하공간의 다차원 위험도 평가, 디지털 트윈 기반의 위험관리 개발 등을 통한 지하공간의 스마트 유지관리 구현 및 지하공간 건설산업의 부가가치 향상 기대

- 4차 산업혁명 시대에 걸맞는 생활기반시설의 스마트 유지관리 및 안전관리 기반 구축 기여
 - 지하공간의 안전 관련 Data를 축적하여 빅데이터를 생성하고 AI 기반의 Data 분석 및 활용 가능
- 다차원 위험도 평가 기법을 활용한 지하공간의 효율적 안전관리가 가능할 것으로 기대
 - 확률(Probability)-영향(Impact)-비용(Cost) 분석을 통한 과학적 의사결정 체계 마련
 - 확정론적, 확률론적 분석을 통한 의사결정의 유연성 확보하여 효율적인 안전관리 구축
- 복합적인 재난재해에 따른 디지털트윈 기반의 입체적인 위험관리 대응 기술 선점
 - 복합 위험요인에 대한 예방 및 대응 기술 선도를 통해 재난재해에 대비한 지능형 위험관리 통합 솔루션 구축·연계 활용 가능
- 빅데이터 기반의 재해재난 예방 및 대응을 위한 위험관리 의사결정을 통해 신속한 대응 가능
 - 시나리오 기반 생활기반시설의 재난재해 데이터 확보 및 축적
 - 지하공간의 재난재해 예방 및 대응 방안의 과학적인 접근을 통한 위험관리 의사결정 기술 발전에 기여

□ 지하 공간정보 데이터 표준화를 통해 지자체-설계사, 관리주체-설계사 간 데이터 협업을 형성하고 지하공간의 입체적 건설 엔지니어링 부가가치와 업무 효율성의 향상 기대

- 동 과제는 사업기간('26~'29) 동안 80억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 156억 원의 생산유발액, 64.8억 원의 부가가치유발액을 창출할 것으로 추정
 - * 156억 원(생산유발액) : 80억 원(총예산) × 1.95(생산유발계수)
 - * 64.8억 원(부가가치유발액) : 80억 원(총예산) × 0.81(부가가치유발계수)
- 지하정보 구축 건설 데이터 축적을 통해 지하공간 안전도 평가·예측 및 플랫폼 개발을 통해 지하공간 안전에 대한 지식화·지능화 실현 및 산업에 대한 인식 제고로 신규인력 유입 도모
 - 동 과제는 사업기간('26~'29) 동안 80억 원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 67명의 고용유발효과와 87명의 취업유발효과를 창출할 것으로 추정
 - * 67명(고용유발효과) : 80억 원(총예산) × 8.36(고용유발계수)/10
 - * 87명(취업유발효과) : 80억 원(총예산) × 10.82(취업유발계수)/10

〈표〉 동 과제 관련 산업연간 계수

구분	산업분류	생산유발계수	부가가치유발계수	고용유발계수	취업유발계수
동 과제	건설	1.95	0.81	8.36	10.82
사회경제효과	-	156억 원	64.8억 원	67명	87명

※ 출처 : ISTANS, 산업연관표(2019)

5. 연구개발과제 운영관리계획(안)

1) 연구개발과제 관리방안

(1) 추진일정

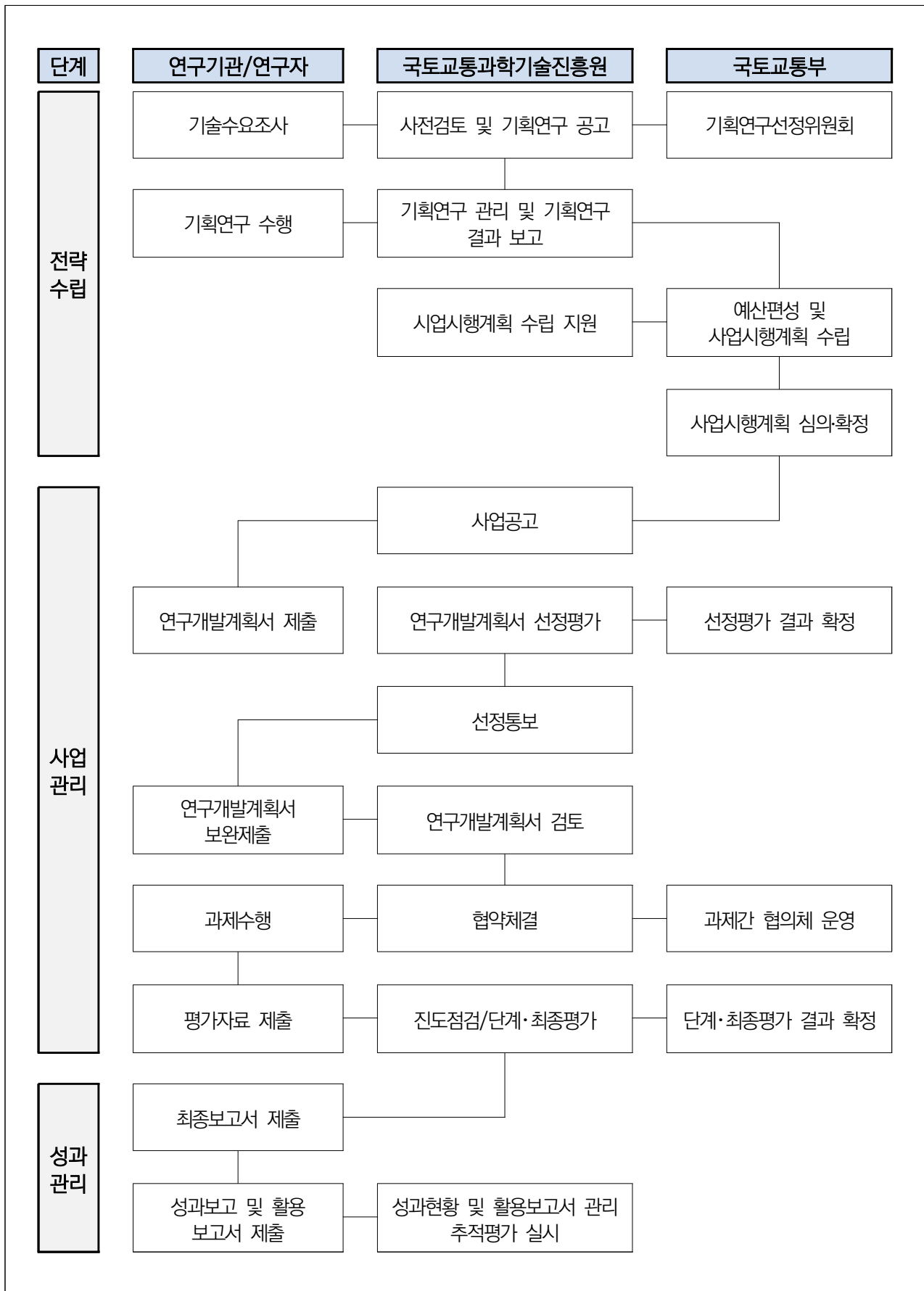
□ 지정공모(Top-Down)로 추진되는 연구개발과제는 ‘차년도 예산 심의확정 → 신규 연구개발 과제 RFP 도출 → 공고·선정 → 연구개발과제 수행 및 최종평가 → 성과활용’의 단계로 추진

절차	일정	비고
차년도 예산 심의	매년 1월~8월	사업 추진방향, 세부과제 추진계획 등에 대해 과기부·기재부 예산 심의
차년도 사업 추진방향 계획 수립	매년 9월~10월	예산 심의결과 등을 반영하여 차년도 추진방향 및 계획 수립
차년도 신규 연구개발과제 RFP 도출	매년 11월~12월	차년도 신규 연구개발과제 RFP 도출
신규 연구개발과제 공고	매년 1월	-
선정평가	매년 3월	신규 연구개발과제 수행 연구개발기관 선정
협약체결	매년 4월	국토교통부-전문기관(KAIA)-연구개발기관 협약
연구개발과제 수행	과제별 연구개발기간	연구개발 추진
최종평가	연구개발기간 종료시	최종평가
성과활용 보고 및 평가 등 사후관리	최종평가 확정 후	성과조사, 분석 등 추적관리

(2) 추진절차

□ 본 과제 유형은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 연구개발기관을 중심으로 ‘전략수립→사업관리→ 성과관리’ 3단계의 사업관리 체계를 구축하여 운영

- (전략수립) 선행과제와의 중복성 및 차별성 검토를 강화하고 유사과제와의 구체적인 연계·활용방안을 계획함으로써 과제 추진의 목적 지향성을 확보
- (사업관리) 성과창출 및 활용을 장려하기 위해 주기적인 성과 조사·관리 및 평가와 연동한 과제 진도수행 점검으로 연구성과의 효과성을 강화
- (성과관리) 연구수행 과정을 평가결과에 반영하고, 단계 및 최종평가위원회를 구성·운영하여 평가의 내실화와 평가결과 환류체계 등 평가의 실효성 강화



[그림] 사업 관리 프로세스

(3) 주요 과업 세부절차

□ 선정평가

○ (기본방향) 선정평가는 공정성 및 절차적 타당성을 위해 전문기관이 주관

- 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」 등을 준수하되, 각 유형에 적합한 평가 방식을 접목하여 공정성과 전문성을 확보한 평가 진행

〈표〉 연구개발과제 선정평가 평가절차

주요 절차	내 용
신청서류 접수 (총괄)주관연구개발기관→전문기관*	<ul style="list-style-type: none"> • 연구개발계획서 등 신청서류 접수
접수결과 및 조치계획 보고 (전문기관→국토부)	<ul style="list-style-type: none"> • 신청서류 접수결과(경쟁률 등) 보고
선정평가 계획 수립 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 선정평가 절차, 일정 등 계획 수립 및 안내
사전검토 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 연구개발기관과 연구자의 참여제한 해당 여부, 연구개발과제 신청자격 적합 여부 등 사전검토
연구개발과제평가단 구성 검토위원회 개최 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 평가위원 전문분야, 평가위원 후보 선정조건 등 심층검토
선정평가 계획 수립 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 선정평가 절차, 일정 등 계획 수립 및 안내, 참석자 명단 접수 등
연구개발과제평가단 구성 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 평가위원 POOL을 이용하여 연구개발과제평가단 구성 (이해관계인 제척)
선정평가 실시 (연구개발과제평가단)	<ul style="list-style-type: none"> • (1단계) 부합성·차별성 평가 • (2단계) 연구개발계획 평가
선정평가 결과 보고·통보 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 선정평가 결과 국토부 보고(필요시 심의위원회 심의) • 선정평가 결과 주관연구개발기관 통보, 협약 체결 안내 ※ 이의신청 기한 10일
협약 체결 (전문기관↔연구개발기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 선정기관은 평가 결과 등 반영 조치 • 전문기관과 선정기관 간 협약 체결 • 협약체결 보고 및 알림

* 전문기관 : 국토교통과학기술진흥원

- (평가계획) 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 상의 평가기준을 기본으로 하고 지원 유형 및 과제 특성에 적합한 평가기준 및 가점 도입
 - (평가계획 수립) 평가방법 및 항목, 연구개발과제평가단 구성 방안, 평가 추진 일정 계획, 평가점수 산정 및 조치 계획 등을 포함하여 수립하도록 함
 - 평가방법 및 항목: 서면평가, 대면평가, 현장평가 등 평가 방법에 대한 계획, 평가항목별 배점 기준 및 가감점 기준에 대한 확정 등을 포함
 - 연구개발과제평가단 구성 방안: 지원 유형별 평가위원 후보선정, 위촉 및 제척에 대한 사항 계획
 - (평가기준) 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제16조 1항에 근거한 평가기준을 본 과제의 지원유형 모두 공통 적용하는 것을 기본으로 하되, 일부 과제 특성을 반영
 - 연구개발과제평가단에서 ‘부합성 평가’ 및 ‘차별성 평가’ 중 어느 하나라도 ‘탈락’ 조치한 경우에는 이후의 세부 평가항목별 점수 미부여

부합성 평가	<ul style="list-style-type: none"> • 연구개발과제평가단에서 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는 것으로 판정시 ‘탈락’ 조치
차별성 평가	<ul style="list-style-type: none"> • 연구개발과제평가단에서 기 수행되었거나 수행중인 과제와 차별성이 없는 것으로 판정시 ‘탈락’ 조치

- 「국토교통 연구개발사업 관리지침」의 평가 기준 중 본 과제에 적합한 평가기준을 선별하여 본 과제의 기본 선정평가 항목으로 설정

〈표〉 연구개발과제 선정평가 항목 및 배점(안)

기준항목	세부 평가항목	배점
연구개발목표 (20점)	•최종 연구개발목표/성과목표의 명확성, 타당성 및 창의성	10
	•단계/연차별 연구개발목표/성과목표(지표) 설정의 적절성 및 구체성	10
연구개발내용 (20점)	•최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	•목표 달성을 위한 연구개발내용·성과의 적절성 및 실현가능성	5
	•연구개발내용 구성의 타당성 및 연계성	5
	•연구개발기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
추진전략 및 계획 (30점)	•연구개발 추진전략 및 방법의 적정성, 구체성 및 타당성	10
	•연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등) 및 연구자의 전문성	10
	•연구개발기관의 연구인프라 및 연구자원시스템의 적절성, 신규 인력 채용 의지	10
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	•연구개발성과 활용시나리오의 적절성 및 구체성	5
	•연구개발성과 실용화 및 정책제안 가능성	10
	•개발기술의 기대성과(기술적/경제적) 및 파급효과	5
연구책임자의 연구수행능력(10점)	•연구책임자의 연구역량(관련분야 연구경험) 및 관리능력	5
	•연구윤리 수준	5
계		100

- (가점 및 감점 기준) 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조(가점 및 감점) 및 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」 별표2에서 본 과제의 지원 유형별 특성에 따른 추가 가점 기준을 전문기관이 종합 검토하여 가점 및 감점 항목을 선정하고, 선정평가 시 종합평가점수에 합산하도록 함
- 과제 선정평가 시 종합 평가점수에 대해 가점 및 감점을 부여하도록 하며, 가·감점 점수는 접수 마감일까지 제출된 자료를 근거로 연구개발과제평가단의 종합평가점수에 합산
- ※ 단, 종합평가점수가 60점 미만인 과제에 대해서는 가점을 부여하지 않음

○ (서류검토) 연구개발기관이 제출한 연구개발계획서에 대해 전문기관이 서류검토 진행

- 전문기관은 각 주관연구개발기관이 제출한 서류검토를 통해 공고 내용과의 부합성 여부, 신청자격 적합 여부, 연구개발과제 내 중복 참여 여부 또는 경쟁 컨소시엄 동시 참여 여부, 고가연구장비 구입시 서류제출 여부, 보안등급 등 필요한 사항에 대하여 사전검토를 수행

○ (사전검토) 선정평가 시 연구개발과제평가단에 전문기관의 사전검토의견 제공

- 과제 선정평가 시, 전문기관이 소관 연구개발계획서에 대한 사전검토를 진행한 후 선정평가위원회에 사전검토 의견을 제공 가능

○ (연구개발과제평가단 구성) 지원 유형별 특성을 반영한 연구개발과제평가단 구성

- 건설 전주기 안전혁신 관련 지원과제들의 연구주제를 기반으로 평가위원을 구성
- 기술 분야를 고려하여 선정평가를 위한 다수의 평가위원을 구성
- 연구개발과제평가단은 위원장 1인을 포함하여 5인~10인 이내에서 적정 인원을 구성
- 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제14조 4항에 따라 위촉 예정 평가위원 수의 3~5배수를 평가위원 후보로 선정
- 관련 규정*에 따라 이해관계인 여부 등을 확인하고 평가위원 제척
- * 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제14조, 「국가연구개발 과제평가 표준지침」

○ (평가 실시) 지원 유형별 특성을 반영한 서면 및 대면평가 실시

- 연구개발과제 수행계획에 대한 주관연구개발기관 연구책임자의 발표와 연구개발과제평가단 질의를 중심으로 대면평가를 진행하며 연구개발과제평가단은 선정평가 기준에 따라 평가 진행

○ (평가점수 산정) 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제15조 제6항, 제9항, 제19조 제3항 등에 따라 종합평가점수는 위원별 점수 중 최고점수와 최저점수 각 1개를 제외한 총점을 산술평균하여 산정*

* 소수점 셋째자리에서 반올림

- 아래의 경우에는 '탈락' 조치

- 종합평가점수가 60점 미만인 과제는 단독신청일 경우도 '탈락'

※ 연구개발과제평가단 종합평가점수가 60점 미만이고 가점 포함시 60점 이상일 경우 '탈락', 종합평가점수가 60점 이상이고 감점 포함시 60점 미만일 경우 '탈락' 조치

- '부합성 평가' 결과 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는 것으로 판정시 '탈락'

- ‘차별성 평가’ 결과 기 수행되었거나 수행중인 과제와 차별성이 없는 것으로 판정시 ‘탈락’
- 선정평가시 획득점수(종합평가점수)를 기준으로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」 제27조 제4항에 따른 “별표2”를 준용하여 가점 및 감점 부여 가능
- 종합평가점수가 60점 미만인 경우에는 가점 및 감점 미부여
- 가점, 감점을 합산한 평가점수로 지원대상 연구개발기관을 선정하되, 선정된 기관이 없는 경우 재공고 등 그 밖의 조치 시행
- **(평가결과의 조치)** 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제19조 제1항, 제2항 등에 따라 조치
 - 선정평가 결과 및 조치계획을 국토교통부 장관에게 보고(필요시 심의위원회 심의)
 - 평가위원 명단 및 종합의견(평가위원 개인별 점수 및 의견 제외) 등 평가결과를 (총괄)주관 연구개발기관에 통보
 - 연구개발과제평가단 및 전문기관 의견 등을 반영·보완한 연구개발계획서 등을 선정된 연구개발기관으로부터 제출받아 검토 후 협약 체결

□ 단계평가

- 과제 수행 종료 전, 과제별 성과에 대한 단계 평가 실시
 - 과제 유형별 평가요소에 따라 실시, 연구결과 및 향후 연구계획 등을 토대로 과제진행 현황 점검 및 상황 변화 등을 모니터링 하여 과제의 계속 진행 여부 결정
- 평가방법(「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제31조 제2항, 제32조 제2항, 제9항 등)
 - (사전검토) 전문기관 담당자는 주관연구개발기관에서 제출한 단계보고서, 성과점검기준표 및 성과증빙자료 등을 사전 검토
 - ※ 전문기관 사전검토 결과를 연구개발과제평가단에 제공 가능(당일 제공)
 - (평가단위) 연구개발과제 단위
 - (평가방식) 과정평가, 성과평가 및 계획평가로 구분하여 실시
 - 현 단계는 과정·성과평가로 구분되며, 항목별“점수부여”
 - 다음 단계 계획평가는 별도 점수부여는 없이 평가단의“의견제시(컨설팅)”방식으로 진행
 - (평가위원) 연구개발과제평가단을 구성하여 실시
 - 대상과제의 기술분야 및 연구내용 등을 고려하여 평가위원 결정
 - 평가위원이 평가대상 연구개발과제의 배경·목적·체계 등에 대해 충분히 이해하고 평가에 참여할 수 있도록 평가전 사전안내 실시
 - 참석한 평가위원 중 추첨을 통해 위원장 선출

- (평가방법) 연구개발과제평가단을 통해 실시하되, 대면(발표)평가, 현장평가 등 적합한 평가방법 선택
 - 평가의 공정성 확보를 위해 평가자료는 당일 배포하되, 평가위원의 충분한 검토를 위해 1시간 이상 검토시간 부여
 - 당해단계 연구개발실적 및 차기단계 연구개발계획에 대한 주관연구책임자의 발표 및 평가위원의 질의응답 방식으로 진행
- ※ 연구책임자 발표가 원칙이며, 미발표시 “0점” 처리(단, 전문기관 사전승인을 득해 연구자 중 위임받은 자가 발표 가능)
- ※ 연구책임자와 배석자(참여연구자) 포함 최대 12인까지 배석 가능하고, 배정된 발표시간 내에 연구책임자 외 배석자도 발표 및 질의사항에 대한 답변 가능
- 평가위원별 평가서를 작성하고, 위원장 주도하에 평가위원간 논의를 거쳐 종합결과서 작성

〈표 6-3〉 연구개발과제 단계평가 평가절차

주요 절차	내 용
단계평가 자료 접수 ((총괄)주관연구개발기관→전문기관*)	<ul style="list-style-type: none"> • 단계보고서, 성과 증빙자료 등 평가자료 접수
단계평가 계획 수립 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 단계평가 절차, 일정 등 계획 수립 및 안내
사전검토 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 과제담당자 사전검토 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심연구개발 성과 질적양적 달성도, 연구개발계획 변경사항, 연구개발비 집행 실적 및 이월신청내용 등
연구개발과제평가단 구성 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 범부처통합연구지원시스템평가위원 후보단 POOL 등을 이용하여 연구개발과제평가단 구성 (이해관계인 제척)
단계평가 실시 (연구개발과제평가단)	<ul style="list-style-type: none"> • 현 단계 연구개발성과수행과정 및 다음 단계 연구개발계획 검토 <ul style="list-style-type: none"> * 해당분야 전문기를 포함한 연구개발과제평가단 구성·운영 및 연구책임자 질의·응답 실시 ** 평가자료는 연구개발과제평가단에 사전 제공하지 않고 당일 배부·검토
단계평가 결과 보고·통보 (전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 단계평가 결과 국토부 보고(필요시 심의위원회 심의) • 단계평가 결과 (총괄)주관연구개발기관 통보, 협약변경 안내
협약 변경(필요시) (전문기관↔연구개발기관)	<ul style="list-style-type: none"> • 단계평가 결과를 반영하여 차기단계 협약변경(필요시)

- (평가항목 및 배점) 「혁신법」 등 법령에서 제시한 평가지표를 준용하되 과제별 특성에 따라 평가지표 및 배점 변경 가능
- (현 단계) 연구개발 수행과정 및 연구개발성과에 대해 정량평가

구분	평가지표	배점	근거
과정평가 (50점)	<ul style="list-style-type: none"> • 연구수행방법의 적절성 <ul style="list-style-type: none"> - 목표 달성을 위한 연구수행 방법의 적절성 - 단계의 목표달성 실패 후 재시도 및 극복 노력의 적절성 	20	시행령 제16조 제1항 제1호 관리지침 제32조 제3항
	<ul style="list-style-type: none"> • 연구수행과정의 적절성 <ul style="list-style-type: none"> - 연구개발 과정에 대한 자료 및 데이터의 체계성 및 충실성 - 연구개발 진행 과정을 입증하는 유·무형적 발생물의 구체성 - 연구개발 추진전략 및 추진체계의 합리성 	20	
	<ul style="list-style-type: none"> • 연구목표의 도전성 및 파생성과 <ul style="list-style-type: none"> - 새로운 연구대상, 방법에 대한 도전성 - 혁신적이거나 새로운 방법에 대한 연구로 학술적/사회적 공헌도 	10	
성과평가 (50점)	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심 연구개발성과의 질적·양적 달성 정도 <ul style="list-style-type: none"> - 계획 대비 달성 정도 판단 	25	시행령 제16조 제1항 제2호 관리지침 제32조 제3항
	<ul style="list-style-type: none"> • 중간성과물의 우수성 <ul style="list-style-type: none"> - 최종 성과목표 달성을 위한 중간성과물의 기여도 - 연구개발성과의 실용화/사업화를 위한 중간성과물의 적정성 - 연구개발성과의 실용화/사업화 가능 여부의 구체성 - 연구개발성과의 관리 및 활용계획의 구체성 	25	시행령 제16조 제1항 제3호 관리지침 제32조 제3항
계		100	-

- (다음 단계) 향후 연구개발계획에 대해 컨설팅 중심으로 진행

구분	평가지표	근거
계획평가	<ul style="list-style-type: none"> • 연구개발성과의 관리 및 활용계획 	시행령 제16조 제1항 제4호 관리지침 제32조 제3항
	<ul style="list-style-type: none"> • 향후 연구개발과제 수행계획 	시행령 제16조 제1항 제5호 관리지침 제32조 제3항
	<ul style="list-style-type: none"> • 관련 분야 기술수준 및 동향변화 대응의 적정성 <ul style="list-style-type: none"> * 급변하는 기술발전, 정부정책의 변화 등으로 인해 해당 과제의 성과물이 이미 상용화되었거나 당초 계획된 목표를 달성하기 어려운 경우 해당 과제 중단 권고 	시행령 제16조 제1항 제5호 관리지침 제32조 제3항, 제5항

※ 과제 특성에 따라 기준항목(세부 평가항목) 및 배점 기준이 달라질 수 있음

○ 연구개발과제평가단 구성

- 평가 대상 연구개발과제의 기술분야 및 연구개발계획서 내용 등을 고려하여 평가위원의 전문분야, 소요인원 등 결정
 - 평가의 연속성 확보를 위해 선정평가 또는 단계평가에 참여한 평가위원을 우선 위촉하되 다양한 의견청취를 위해 과반 이하로 위촉
- 평가위원 위촉절차 및 방법
 - 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제14조(연구개발과제평가단) 및 「국토교통R&D 평가 관리 업무매뉴얼」을 따름
- 평가위원 제척기준
 - 선정평가 시와 동일(「혁신법」 제14조 및 「혁신법 시행령」 제27조 제3항 준용)

○ 평가결과의 산정(「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제32조 제6항 등)

- 위원별 점수 중 최고·최저점수 각 1개를 제외한 총점을 산술평균하여 종합평가 점수를 산정*
 - * 소수점 셋째자리에서 반올림
- 종합평가점수에 따라 평가등급 결정

평가등급	등급 결정 기준
우수	• 종합평가 결과가 만점의 80% 이상
보통	• 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만
미흡	• 종합평가 결과가 만점의 60% 미만
극히 불량	• 과정평가 점수와 성과평가 점수 모두 만점의 40% 미만

○ 평가결과의 조치(「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제33조 제1항, 제6항 등)

- 평가등급에 따라 연구개발과제의 ‘계속지원’(우수, 보통, 미흡) 또는 ‘지원중단’(극히 불량) 조치
- ‘계속지원’ 대상과제에 대해서는 평가결과 및 종합의견을 통보하고, 보완대비표 및 단계 보고서 등을 수정·보완하여 제출 요청
 - 평가결과 및 종합의견에 따라 과제의 보완·변경 또는 연구개발비 감액·증액 등 조정
 - 연구환경 변화, 목표 조기달성 등에 따른 연구목표 수정 및 과제 중단 결정을 위한 특별평가 실시 가능(필요시 단계평가, 특별평가 통합 운영)
 - 연구개발과제평가단 의견 등에 따라 보완된 단계보고서에 대하여 전문기관 담당자 확인을 거쳐 협약 변경(필요시)
- ‘지원중단’ 대상과제에 대해서는 협약 종료 등 지원중단 조치
 - ※ 참여제한 및 제재부가금 부과 등 제재처분 필요사항 제재처분평가단 검토
- 단계평가 결과 및 조치계획을 국토교통부 장관에게 보고(필요시 심의위원회 심의)

□ 최종평가

○ 각 과제별로 최종 연구목표 달성도와 성과활용을 중심으로 전문기관 주도의 최종평가를 실시

〈표 6-4〉 연구개발과제 최종평가 평가절차

주요 절차	내 용
최종평가 자료 접수 ((총괄)주관연구개발기관→전문기관)	•최종보고서, 성과 증빙자료 등 평가자료 접수
최종평가 계획 수립 (전문기관)	•최종평가 절차, 일정 등 계획 수립 및 안내
사전검토 (전문기관)	•과제담당자 사전검토 - 실적·양적 성과목표 달성도, 당초 연구개발계획 대비 수행 여부, 연구개발성과 활용계획의 적정성 등
연구개발과제평가단 구성 (전문기관)	•범부처통합연구지원시스템평가위원 후보단 POOL 등을 이용하여 연구개발과제평가단 구성 (이해관계인 제척)
최종평가 실시 (연구개발과제평가단)	•최종 연구개발목표 달성 여부, 연구개발성과 우수성 등에 대한 평가
최종평가 결과 보고·통보 (전문기관)	•최종평가 결과 국토부 보고(필요시 심의위원회 심의) •최종평가 결과 (총괄)주관연구개발기관 통보 및 보완 요청
최종보고서 발간·배포·등록 ((총괄)주관연구개발기관)	•최종보고서 보완본 필수배포처 배포 •범부처통합연구지원시스템(https://iris.go.kr/)에 최종보고서 등 성과물 등록

○ 평가방법(「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제34조 제2항, 제35조 제2항 등)

- (사전검토) 전문기관 담당자는 주관연구개발기관에서 제출한 최종보고서, 성과 증빙자료 등 사전 검토
 - ※ 전문기관 사전검토 결과를 연구개발과제평가단에 제공 가능(당일 제공)
- (평가단위) 연구개발과제 단위
 - ※ 연구개발과제 특성 등을 고려하여 개별 평가계획 수립시 평가단위 조정 가능
- (평가방법) 연구개발과제평가단을 통해 실시하되, 대면(발표)평가, 현장평가 등 적합한 평가방법 선택
 - 평가의 공정성 확보를 위해 평가자료는 당일 배포하되, 평가위원의 충분한 검토를 위해 1시간 이상 검토시간 부여
 - 최종 연구목표 달성 여부, 연구성과 등에 대한 (총괄)주관연구개발기관 연구책임자 발표 및 평가단의 질의·응답 방식으로 진행
 - ※ 연구책임자 발표가 원칙이며, 미발표시 “0점” 처리(단, 전문기관 사전승인을 득해 연구자 중 위임받은 자가 발표 가능)
 - ※ 배정된 발표시간 내에 연구책임자 외 연구자도 발표 및 질의응답 가능
 - 평가위원별 평가서를 작성하고, 위원장 주도 하에 평가위원간 논의를 거쳐 종합결과서 작성

○ 평가항목 및 배점

- 연구개발과제

구분	평가지표	배점	근거
성과평가 (50점)	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심 연구개발성과의 질적·양적 달성 정도 - 계획 대비 달성 정도 판단 	25	시행령 제16조 제1항 제2호 관리지침 제32조 제3항
	<ul style="list-style-type: none"> • 최종성과물의 우수성 - 최종 성과목표 달성을 위한 최종성과물의 기여도 - 연구개발성과의 실용화/사업화를 위한 최종성과물의 적정성 - 연구개발성과의 실용화/사업화 가능 여부의 구체성 - 연구개발성과의 관리 및 활용계획의 구체성 	25	시행령 제16조 제1항 제3호 관리지침 제32조 제3항
과정평가 (50점)	<ul style="list-style-type: none"> • 연구수행방법의 적절성 - 목표 달성을 위한 연구수행 방법의 적절성 - 단계의 목표달성 실패 후 재시도 및 극복 노력의 적절성 	20	시행령 제16조 제1항 제1호 관리지침 제32조 제3항
	<ul style="list-style-type: none"> • 연구수행과정의 적절성 - 연구개발 과정에 대한 자료 및 데이터의 체계성 및 충실성 - 연구개발 진행 과정을 입증하는 유·무형적 발생물의 구체성 - 연구개발 추진전략 및 추진체계의 합리성 	20	
	<ul style="list-style-type: none"> • 연구목표의 도전성 및 파생성과 - 새로운 연구대상, 방법에 대한 도전성 - 혁신적이거나 새로운 방법에 대한 연구로 학술적/사회적 공헌도 	10	
계		100	-

※ 과제 특성에 따라 기준항목(세부 평가항목) 및 배점 기준이 달라질 수 있음

○ 연구개발과제평가단 구성

- 평가 대상 연구개발과제의 기술분야 및 연구개발계획서 내용 등을 고려하여 평가위원의 전문분야, 소요인원 등 결정
 - 평가의 연속성 확보를 위해 선정평가 또는 단계평가에 참여한 평가위원을 우선 위촉하되 다양한 의견청취를 위해 과반 이하로 위촉
- 평가위원 위촉절차 및 방법
 - 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제14조(연구개발과제 평가단) 및 「국토교통R&D 평가관리 업무매뉴얼」을 따름
- 평가위원 제척기준
 - 선정평가 시와 동일(「혁신법」 제14조 및 「혁신법 시행령」 제27조 제3항 준용)

○ 평가결과의 산정 (「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제35조 제5항 등)

- 위원별 점수 중 최고·최저점수 각 1개를 제외한 총점을 산술평균하여 종합평가 점수를 산정
 - * 소수점 셋째자리에서 반올림
- 종합평가점수에 따라 평가등급 결정

평가등급	등급 결정 기준
우수	• 종합평가 결과가 만점의 80% 이상
보통	• 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만
미흡	• 종합평가 결과가 만점의 60% 미만
극히 불량	• 과정평가 점수와 성과평가 점수 모두 만점의 40% 미만

○ 평가결과의 조치(「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제36조 제1항, 제2항, 제5항 등)

- 평가등급에 따라 연구개발과제의 ‘최종보고서 발간·배포’(우수, 보통, 미흡) 또는 ‘제재처분’(극히 불량) 조치
 - (최종보고서 배포) 평가결과를 반영한 수정·보완된 최종보고서를 제출하도록 요청
 - ※ (총괄)주관연구개발기관의 장은 최종보고서 범부처통합연구지원시스템 공개 및 필수배포처 배포
 - (제재처분) 평가결과 극히 불량일 경우 제재조치평가단을 구성하여 해당 연구개발기관, 연구책임자, 연구자 등에 대해 국가연구개발활동에 대한 참여제한 및 제재부가금을 부과할 수 있음
- 최종평가 결과 및 조치계획을 국토교통부 장관에게 보고(필요시 심의위원회 심의)

(4) 성과 활용·확산 방안

□ 연구성과 활용체계

- 본 과제 연구성과의 기술성과 시장성·사업성 간의 간극을 간소화하고, 성과활용 중심의 연구개발을 통해 일자리 창출 및 경제 활성화를 견인하는 등 정부의 「연구성과 관리·활용 기본계획」의 정책기조에 부합토록 활용체계를 운영
- 성과계획-성과관리-성과평가-활용지원-성과활용 등 기획부터 연구성과 활용까지 연구 전 주기적으로 연구성과 활용체계를 구축·운영
 - (성과계획) 과제기획시부터 연구개발과제의 최종성과물을 제시하고, 연구책임자는 구체적인 성과지표·목표, 성과도출 마일스톤, 성과활용방안 등을 연구개발계획에 제시하여 연구개발 수행 및 성과를 도출하며, 단계평가 결과를 반영하여 필요한 경우 성과계획을 수정 보완 실시
 - (성과관리) 전문기관 및 연구개발기관은 연구개발과제 기획시 제시한 과제관리방안에 따라 세부연구개발내용별 연구성과 도출 및 진척도 등을 모니터링하고, 진도점검을 실시
 - (성과평가) 전문기관은 단계평가를 통해 성과목표 달성 등 연구목표 달성도와 다음단계 연구계획을 평가하고, 연구종료시에는 최종 성과목표 달성 여부를 평가
 - (성과활용 지원) 전문기관은 연구성과의 활용촉진 및 확산을 위해 인프라 지원(기술가치평가, 금융연계 지원), 기술사업화 및 기술이전 컨설팅, 시장진출 지원(기술설명회, 공공구매 협의체 등) 등 성과활용 지원체계를 운영
 - (성과활용) 대학, 연구소, 기업 등 연구에 참여한 기관들은 연구성과를 활용하여 현장 적용, 기술사업화 달성, 정책·제도 반영, 지식재산권 확보 등 실시
- 국토교통부와 전문기관은 매년 연구성과 조사·분석·평가를 통해 연구성과 활용체계 운영을 점검하고, 성과관리 및 평가

구분	기획	연구수행	성과평가
성과계획	·(전문기관) 연구개발과제 기획시 연구과제별 최종성과물(안) 제시	·(연구책임자) 성과지표/목표, 성과물, 활용방안 등을 연구개발계획에 제시	·(연구책임자) 단계평가 결과를 반영하여 성과계획 수정
성과관리	·(전문기관) 연구개발과제 기획시 성과관리 방안을 제시	·(연구책임자) 마일스톤 등에 따라 성과도출 및 연구개발 관리 ·(전문기관) 사업성과 모니터링 및 진도점검	·(전문기관) 단계, 최종평가를 통해 성과달성 여부 판단
성과활용지원	인프라 지원	사업화 컨설팅 지원	시장진출 지원
지원내용	· 기술가치 평가 지원 · 기술금융 연계 지원(협력 금융기관 7개) · 산업 분석 및 시장정보 제공	· 중소/중견기업 기술사업화 컨설팅 지원 · 연구개발 특허 컨설팅 지원 · 기술수요기업 매칭/기술이전 컨설팅 지원	· 공공구매 협의체 운영 · 발주처 대상 기술설명회 · 기술소개자료 제작 및 홍보 · 해외기술로드쇼 개최
성과활용	I 현장적용 및 사업화	II 정책·제도 활용	III 권리확보
수요처	발주청(처), 기업, 연구기관	국토부, 발주청(처)	연구기관, 기업
활용내용	· 현장 기술 적용 및 비용절감 · 기술실시계약, 기술이전	· 개발기술 도입·적용을 위한 법령, 규칙, 기준 등 개선 · 발주기관의 발주제도 개선	· 특허권, S/W, 국제특허 등 국내 및 국외 지식재산권 확보

□ 이해관계자

○ 본 과제의 범위를 고려하여 이해관계자 설정

- (정부·지자체) 스마트 지하안전 관리 기술의 건설시장 적용 및 정착을 위한 법령·정책 및 제도 활용 주체이자 효율적 유지관리 투자배분 주체인 정부(국토교통부 등) 및 지자체
- (관리기관) 기반시설 안전·유지관리 정보 디지털화, 고효율 점검·진단 및 스마트 보수보강 기술 등의 활용과 이를 통한 안전·유지관리 비용 저감 등 기반시설 관리기관인 지자체, 한국도로공사, 국토안전관리원, 한국건설기술연구원 등
- (민간기업) 스마트 지하안전 관리 기술 관련 직접적인 수요처인 설계·감리사, 시공사, 유지관리업체, 전문건설사, 건설장비사, 스타트업, 관련 R&D 기업(IT/SW/통신사) 등
- (연구기관) 스마트 지하안전 관리 기술의 개발과 인력양성, 창업지원 등의 역할을 수행하는 대학, 출연연, 학회 등
- (최종수혜자) 스마트 지하안전 관리 기술의 적용을 통해 기반시설 관리에서 발생하는 국민 불편 감소, 안전성 제고 등 다양한 혜택의 최종 수혜자로서 일반 국민

활용분야	세부 활용계획	활용처				
기반시설 관리 정책 및 제도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 안전 및 유지관리 비용 저감을 위한 '건설 전주기 안전 혁신 기술'의 현장 적용 제도화에 활용 ▪ 기반시설물의 자산관리를 위한 법·제도 정비에 활용 ▪ 민간의 스마트 안전·유지관리 기술 활용 촉진을 위한 인센티브 제도화에 활용 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">구분</th> <th>대상목록</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>제도개선 활용</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 지속가능한 기반시설 관리 기본법 및 시행령 ▶ 기반시설관리 기본계획 등 ▶ 시설물 안전관리 특별법 시행령 </td> </tr> </tbody> </table>	구분	대상목록	제도개선 활용	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 지속가능한 기반시설 관리 기본법 및 시행령 ▶ 기반시설관리 기본계획 등 ▶ 시설물 안전관리 특별법 시행령 	국토교통부, 관리주체 (지자체, 도로공사, 국토안전관리원 등)
구분	대상목록					
제도개선 활용	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 지속가능한 기반시설 관리 기본법 및 시행령 ▶ 기반시설관리 기본계획 등 ▶ 시설물 안전관리 특별법 시행령 					
기반시설 디지털화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지하시설물 불탐, 위치오류 구간 등에 대한 정확도 개선 ▪ 지하 기반시설의 3차원 디지털 정보를 안전관리에 활용 ▪ 노후/소규모 시설물에 대한 디지털 정보 축적을 통해 관리 주체의 안전 및 유지관리에 활용 ▪ 표준화된 기반시설 정보관리와 SOC 지능정보화를 통한 '디지털 댐' 서비스에 활용 	국토교통부, 과학기술정보통신부, 행정안전부, 관리주체(지자체 등)				
스마트 안전·유지관리 생태계 조성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관리주체 역량강화에 활용 - 디지털 기반의 기반시설(노후/소규모 포함) 관리정보 구축 및 운영으로 지자체 등 관리주체 역량 향상 - 지자체, 공공기관 등의 기반시설 관리 직원 대상으로 자산 관리, 스마트 안전·유지관리 기술 관련 교육과정을 신설하여 워크숍, 자료공유 등을 통해 관리주체의 역량 강화에 활용 	국토교통부, 연구기관 (대학, 출연연 등), 민간기업				

□ 연구성과 확산 방안

○ (확산체계) 사업화-후속지원-연계홍보의 연구성과 확산체계를 구축하여 운영

사업화	후속지원	연계·홍보
▶ 연구성과가 시장에 진입하여 새로운 산업으로 연결될 수 있도록 사업화 지원	▶ 신기술 인증을 위한 개발 기술의 검증을 지원하고, 금융 등 후속 지원 프로그램과 연계	▶ 기술이전, 홍보기회 제공 등 기술 보유자와 수요처와의 미스매칭 해소를 지원

○ (기술마케팅·홍보 강화) 연구성과 확산을 위해 기술 수요처를 대상으로 기술 마케팅을 적극 실시하고, 다양한 홍보채널을 통해 대국민 R&D 홍보를 강화

구분		내용
기술 마케팅	사업화 연계실적 조사·검증	<ul style="list-style-type: none"> 성과 집중조사기간 운영, 연구자 대상 성과관리 교육 NTIS 연계한 성과검증 및 사업평가 연계 등 추진
	연구기관 컨설팅 지원	<ul style="list-style-type: none"> 기술료 설명회, 중소기업 기술료 상담 등 실시 실시계약 미체결 기업 집중 조사 및 실시계약 컨설팅 지원 기술료 확대를 위한 부처 훈련 및 매뉴얼 운영
	국내외 시장진출 지원	<ul style="list-style-type: none"> 기술소개자료 제작·발주처 배포, 공공구매협업체 기술설명회 개최 발주기관 대상 기술설명회 개최 해외 기업 대상 연구성과·신기술 홍보활동 추진(해외기술로드쇼 등)
홍보	국토교통 기술대전 개최	<ul style="list-style-type: none"> 매년 국토교통 기술대전 개최 <ul style="list-style-type: none"> - “도슨트 프로그램” 운영 → 청소년 대상 스마트 건설기술 홍보 - 중소기업특별관, 신산업관 등 중소기업 참여
	기관홍보 채널	<ul style="list-style-type: none"> 소식지 'KAIA 인사이트' 콘텐츠 강화 정부정책 등 반영한 브로슈어 및 동영상 신규 제작·배포
	기사·언론 홍보	<ul style="list-style-type: none"> 기관장 활동, 기획기사 등 전략적 기획보도 추진(연중) 기자간담회·TV방송 등 언론사 홍보

○ (연구성과 공유) 사업성과의 활용 및 확산을 위한 연구서과 DB 구축 및 공개

- 과제별 연구성과, 기술소개 홍보자료(SMK) 등 사업화 정보 및 성과정보 등을 총체적으로 수집하여 대외 공개

□ 실증방안

○ (국토교통부 안전기술 실증센터) 본 과제로 도출한 다양한 성과물은 국토안전관리원, 한국도로공사, 한국건설기술연구원 등 대형 실·검증 실험시설을 활용하여 성과물의 실무 활용성 및 기술적 적정성을 검증할 예정

- 국토안전관리원의 현업 활용 장비를 1차 연계 대상으로 설정하고 연구와 실증을 병행할 수 있을 것으로 판단되며, 이 외에도 민간에서 활용 중인 실무에 접목하여 현장 활용성을 검토할 수 있을 것으로 예상되어 연구개발과 실무 연계의 동시성을 확보하는 장점이 존재

○ (지자체 참여) 국토교통부는 지하안전관리의 핵심을 기초 지자체에서 주도적으로 담당 하도록 정부 정책을 마련하여 추진 중으로,

- 본 연구의 성과가 도출되기 전에 성과물 활용 주체를 설정하여 실제 지자체 소관의 실검증 대상을 지자체와 협의·선정하여 현업에 적용하는 전략을 추진

* 그 외 기술의 경우, 과거의 사례를 벤치마킹해서 테스트를 진행하거나 가상상황을 설정해서 모사하는 과정을 통해 확인 예정

6. 인력투입 소요 예산 산정

1) 총 사업비

- 4년('26~'29년)간 총 80억 원(국고 80억 원, 민자 : 미정), 연평균 20억 원 규모, 2개 핵심기술, 6개 구성기술을 선정

〈표〉 핵심기술별 사업 추진 규모

(단위: 백만 원)

핵심기술	구성기술	총사업비	국고	민자
1. 스마트 지하안전평가 및 조사공사중 기술	1-1. 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술	750	750	미정
	1-2. 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술	1,250	1,250	미정
	소 계	2,000	2,000	미정
2. 스마트 지하안전점검상시 기술	2-1. 육안조사 디지털화 기술	1,250	1,250	미정
	2-2. 지하 공동(空洞) 분석 AI 표준모델 개발	1,250	1,250	미정
	2-3. 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술 개발	2,000	2,000	미정
	2-4. 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술	1,500	1,500	미정
	소 계	6,000	6,000	미정
합 계		8,000	8,000	미정

□ 핵심기술별 소요 예산

〈표〉 본 과제의 핵심기술별, 연도별 총사업비

(단위: 백만 원)

핵심기술	구분	2026	2027	2028	2029	합계
1. 스마트 지하안전평가공사중 기술	국고	200	600	650	550	2,000
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	200	600	650	550	2,000
2. 스마트 지하안전점검상시 기술	국고	800	1,900	1,850	1,450	6,000
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	800	1,900	1,850	1,450	6,000
합 계	국고	1,000	2,500	2,500	2,000	8,000
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	1,000	2,500	2,500	2,000	8,000

□ 구성기술별 예산

〈표〉 본 과제의 구성기술별, 연도별 총사업비

(단위: 백만 원)

구성 기술	구분	2026	2027	2028	2029	합계
1-1. 디지털·AI 기반 지하안전평가서 작성·검토 기술	국고	100	250	250	150	750
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	100	250	250	150	750
1-2. 굴착공사 중 현장 지반상태에 대한 실시간 모니터링 기술 개발	국고	100	350	400	400	1,250
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	100	350	400	400	1,250
2-1. 육안조사 디지털화 기술	국고	100	400	450	300	1,250
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	100	400	450	300	1,250
2-2. 지하 공동(空洞) 분석 AI 표준모델 개발	국고	250	350	350	300	1,250
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	250	350	350	300	1,250
2-3. 지하 공동 GPR 탐지 심도 향상 기술 개발	국고	250	650	600	500	2,000
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	250	650	600	500	2,000
2-4. 지하 빅데이터 기반 지반침하 위험지역 분석 기술	국고	200	500	450	350	1,500
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	200	500	450	350	1,500
합계	국고	1,000	2,500	2,500	2,000	8,000
	민자	미정	미정	미정	미정	미정
	소계	1,000	2,500	2,500	2,000	8,000

2) 소요인력

□ 핵심기술별 소요인력

- 지하공간의 안전관리 기술개발의 총 소요인력은 137명이며 연평균 34명이 소요
 - 책임급 인력은 35명, 선임급 34명, 원급 68명이 소요

〈표〉 연도별 소요인력

(단위: 명)

핵심기술	구분	2026	2027	2028	2029	계
1. 스마트 지하안전평가 및 조사 ^{공사중} 기술	책임급	1	3	3	3	10
	선임급	1	3	3	2	9
	연구원	2	6	6	4	18
	소계	4	12	12	9	37
2. 스마트 지하안전점검 ^{상시} 기술	책임급	4	7	8	6	25
	선임급	4	7	8	6	25
	연구원	8	14	17	11	50
	소계	16	28	33	23	100
합 계	책임급	5	10	11	8	35
	선임급	5	10	11	8	34
	연구원	10	20	22	16	68
	소계	20	40	45	32	137