

안전한 지반굴착기술 개발기획 최종보고서

2015. 06. 28.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
위탁연구기관 / (주)날리지웍스

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제출문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “안전한 지반굴착기술 및 지하수, 지반구조 영향 예측평가관리기술 개발 기획”에 관한 연구과제(세부과제 “안전한 지반굴착기술 개발기획”)의 보고서로 제출합니다.

2015. 6. 28.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

주관연구책임자 : 백 용 연구위원

연구원 : 정재형 연구위원

연구원 : 김창용 연구위원

연구원 : 정일문 연구위원

연구원 : 장선우 수석연구원

연구원 : 권오일 수석연구원

연구원 : 김우석 수석연구원

연구원 : 이철호 전임연구원

연구원 : 장 리 전임연구원

위탁연구기관명 : (주)날리지웍스

위탁연구책임자 : 류형근 본부장

연구원 : 손창수 책임컨설턴트

연구원 : 남범우 책임컨설턴트

연구원 : 안선영 책임컨설턴트

연구원 : 이정수 전임컨설턴트

연구원 : 김민섭 전임컨설턴트

연구원 : 정솔아 전임컨설턴트

보고서 요약서

과제고유번호	2014- 연구기획-	해당단계 연구기간	6개월	단계구분	1차/1단계
연구사업명	건설기술연구사업				
연구과제명	세부 과제명	안전한 지반굴착기술 및 지하수, 지반구조 영향 예측·평가관리기술 개발 기획			
연구책임자	백 용	총연구기간 참여 연구원수	총 : 9 명 내부 : 8 명 외부 : 1 명	총연구비	정부 : 150,000천원 기업 : 0천원 계 : 150,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국건설기술연구원 지반연구소		참여기업명		
위 탁 연 구	연구기관명 : (주)날리지웍스		연구책임자 : 류 형 근		
요약				보고서면수	255
<p>- ‘안전한 지반굴착기술 개발 기획’과 관련한 핵심기술을 도출하기 위하여 총 4단계로 기획연구를 수행함.</p> <p>1) 기술개발 동향 수요조사 실시, 2) 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정, 3) 연구개발과제 기획, 4) 핵심기술 도출 및 타당성 분석</p> <p>- 그 결과, 기술로드맵과 RFP를 도출하였으며, 도출된 핵심 기술은 다음과 같이 4개 분야로 구성함.</p> <p>1) 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술 개발, 2) 도심지 지반굴착으로 인한 영향 최소화를 위한 보강 기술 개발, 3) 굴착공사의 안전확보를 위한 고정밀 탐사 및 해석 기술 개발, 4) IT 기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향 평가 기술 개발</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한글	굴착, 도심지, 조사, 유지관리			
	영어	Excavation, Urban area, Investigation, Maintenance			

요 약 문

I 제 목

안전한 지반굴착기술 개발 기획연구

II 기술의 정의 및 필요성

□ 기술의 정의

본 연구는 도심지의 지반안전 영향 최소화를 위하여 지반굴착 관련 핵심개발 과제를 도출하는 기획과제이다.

□ 연구개발의 필요성

○ 기술적 측면

지상 공간이 포화됨에 따라 지하공간개발은 필수적인 여건이며 안전에 대한 국가적 관심이 증대되고 있는 상황에서 경제적·사회적 비용을 최소화하고 향후 지반함몰이 발생하지 않는 친환경적인 시공방법 개발이 요구되는 상황에 놓여있다. 고밀도 도심지 굴착 공사에 있어서 상부지반 침하억제 및 관리, 시공비용 절감, 취약한 시공환경의 개선이 필수적으로 해결해야할 과제이므로 주변 지반의 거동과 지하매설물을 동시에 고려할 수 있는 굴착기술과 이를 적절히 평가할 수 있는 기법 또는 평가 모델이 필요하다.

○ 경제·산업적 측면

국토교통부의 건설안전정보시스템(<http://www.cosmis.or.kr>)에 따르면 건설현장 발생공종별 사고사례현황 중 지반굴착에 관련된 사건사고의 발생건수는 108건으로 33%에 달하며, 피해금액은 전체 피해금액의 14.5%를 차지하고 있다. 이는 매년 100건 이상의 붕괴사고가 발생하는 것으로 피해규모로 계산했을 경우 매년 수백억 이상을 굴착공사 또는 공사로 인한 붕괴지역 복구공사에 만 투입하고 있다. 본 기획과제를 통해 도출된 연구 기획을 통해 도심지 붕괴사고를 예방 및 관리가 가능할 경우 해마다 수백억 이상의 복구비 절감이 가능할 것으로 추정된다.

○ 사회·문화적 측면

지반굴착공사는 건설안전취약공종의 하나로 분류되어 있으며, 안전확보를 위한 안전관리 방안이 매우 시급한 실정이다. 2014년 12월 국토교통부가 발표한 싱크홀 예방을 위한 ‘지반침하 예방대

책'에서 지하공간 통합지도 구축 및 서비스, 굴착 공사 현장 주변의 안전관리 강화, 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리, 지하공간 통합 안전관리 체계의 기반 조성 등이 제시되었으며 본 기획 연구의 기술 개발을 통해 안전관리 강화와 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리 기술이 개발될 것으로 기대하고 있다. 도심지 지반함몰은 인위적인 건설공사에 의하여 빈번히 발생함으로, 대도시의 지중구조물과 인접구조물을 고려한 굴착공법과 보강 그리고 조사/탐사 기술을 강화하여 굴착공사로 인한 재해를 사전에 대비할 수 있으며 장기적인 측면에서도 안전한 도시 개발을 통하여 국가 기간 SOC확충을 유도할 수 있는 기반 조성 역할을 도모할 수 있다.

III 국내외 동향 및 환경 분석

도시가 발달함에 따라 도심지 지하공간에 대한 수요가 늘어가고 있으며, 지하공간의 활용 용도로는 지하도로, 복합상가, 지하철 등 다양한 형태가 요구되나, 최근의 터널 관련 연구는 “TBM 핵심 부품설계기술 및 TBM터널의 최적 건설기술(2010~2015)”이나 복층터널, 해저터널 등과 같이 설계/제작 기술이나 국산화 연구에 집중하고 있으며 지반 굴착으로 인한 건설공사 주변 도로, 건물 및 지하매설 시설물 등의 안정성 유지를 위한 기술 개발은 여전히 미흡한 상태이다.

도심지에서 개착을 통한 지하굴착은 근접시공이 주를 이루고 있으며, 주변 지반의 변위를 발생시켜 변화를 유발하여, 인접구조물의 안정에 직·간접적으로 영향을 준다. 국내에서는 과거부터 다수의 근접시공 경험으로 세계수준의 기술을 축적하고 있지만, 최근의 붕괴사고 등으로 사회적 인 문제가 되고 있는 실정이다.

특히, 도심지에서 지하철 및 건축물 공사 등을 개착 공사로 시행할 경우에 인접한 지역에서 많은 차량과 보행인이 통과하고 있어 보다 세심한 안전상의 주의가 필요하나, 각종 전선관, 통신선, 전력선, 상·하수도관, 가스관, 공동구, 각종 맨홀 등 지하매설물의 부적절한 처리는 공사를 더욱 어렵게 만드는 요인이 되고 있다.

또한, 도심지의 지하공간에 대한 활용이 증대되면서, 기존 지하시설물을 확장하여 연결하는 수평 굴착에 대한 수요가 증가하고 있으나, 국내에서는 이에 대한 기초이론 및 시공법에 대한 정립이 부족한 상황이다. 기존 지하시설을 확장하거나 서로 연결하는 것은 고도의 기술이 필요한 사항으로 지상 및 인접구조물의 안전을 확보하면서 시공성 및 경제성을 추구하는 연구가 필요하다.

따라서, 요소기술로 개발된 각각의 도심지 굴착관련 기술들의 적용 목표치를 성능보다는 지반안전을 우선하도록 하고 인접구조물과 지반거동 변화를 통합 관리할 수 있는 체계를 개발하여 지반문제 발생 시 신속히 대응할 수 있는 관리 체계를 마련해야 한다.

IV 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 연구개발과제 구성

핵심과제	연구목표
고밀도 도심지 안전한 수직/수평 굴착 기술 개발	도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술 확보
	도심지 지반굴착으로 인한 영향 최소화를 위한 보강 기술 개발
지반안전 확보를 위한 굴착지반 조사/탐사 기술 개발	굴착공사의 안전확보를 위한 고정밀 탐사 및 해석 기술 개발
IT기술 기반 융복합 공사 관리 및 영향평가 기술 개발	IT 기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향평가 기법 개발

□ 추진전략

연구수행 단계는 4단계로 나누며, 1단계(1차년도)에는 요소기술 조사, 2단계(2차 및 3차년도)에는 핵심기술 개발, 3단계(4차년도)에는 개발 기술검증 및 실용화, 4단계(5차년도)에는 기술고도화를 통한 핵심기술 사업화 및 안전굴착기술 관리 방안을 마련하고자 한다. 개발기술의 실용화를 위하여 원천기술 및 실내실험, 수치해석 등의 실증적 연구를 수행하고, 테스트베드 적용을 통한 현장 적용성을 검토하여 합리적인 도심지 굴착공사 관리방안을 마련하도록 계획하였다.

V 사전타당성 검토

정책적 타당성 분석에서는, 국가전략의 중요성, 상위계획과의 부합성을 중점으로 분석하였다. 본 기획 연구는 국민의 안전을 최우선으로 하는 현 정부 정책 기조에 부합하며 최근 사회적인 이슈가 되었던 지반함몰 문제에 기술적으로 대응함으로써 국민의 불안감을 해소시키고 안전한 미래 도시 건설을 위한 기반 기술을 확보하는 차원에서 시기적절함을 보인다. 2014년 12월 국토교통부가 발표한 ‘지반침하 예방대책’에서 지하공간 통합지도 구축 및 서비스, 굴착 공사 현장 주변의 안전관리 강화, 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리, 지하공간 통합 안전관리 체계의 기반 조성 등이 제시되었으며 본 연구단의 기술 개발을 통해 안전관리 강화와 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리 기술이 개발될 것으로 기대하고 있다. 또한, 본 연구는 정부 국정목표 및 국정과제, 과학기술기본계획, 건설기술진흥기본계획 등의 현 정부 정책기조에 부합되는 주제를 다루고 있다.

기술적 타당성 분석 결과, 본 사업은 연구단 형태로 추진하는 것이 타당하다고 판단되며 추진조

직의 구성에 대해 상세하게 기술하였다. 세부과제별로 기대 성과물과 활용계획, 성과평가를 위한 성과지표를 제시하고 있다. 기술수준 및 성공가능성의 경우, 국내외 논문, 특허, 시장, 기술동향 및 인프라 분석을 통해 분석이 이루어 졌으며, 선진국대비 인프라가 부족한 실정이므로 정부의 적극적인 사업추진이 없다면, 연구성과 도출이 다소 어려울 것으로 판단된다.

경제적 타당성 분석에서는, 비용-편익 분석을 통해 기획연구에서 제시한 연구단 과제 성공 시 예상되는 사회적·경제적 비용에 대한 분석을 수행하였다. 본 연구는 도심지 굴착공사 중 붕괴사고 발생 저감을 통해 사회·경제적인 피해액을 감소시킬 것으로 예측된다. 연구단의 소요 예산(총 5년 연구기간)은 정부출연금인 150억원, 민간부담금이 51억원 수준이며, 세부적인 소요예산에 대해서는 연구 추진단계에서 보다 구체화될 수 있을 것으로 판단된다.

Contents

안전한 지반굴착기술 개발기획최종보고서(안)

1장. 개요

1절. 기획 과제 정의 및 범위	1
1. 기획 과제의 정의 및 필요성	1
가. 기획 과제의 정의	1
나. 과제 추진의 배경 및 필요성	1
2. 기획 과제의 범위	2
가. 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 개착식 지반굴착기술 개발 기획	2
나. 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 비개착식 지반굴착기술 개발 기획	3
3. 기획 과제의 기술분류 체계	3

2장. 동향조사 및 환경분석

1절. 국내외 시장 현황 및 전망	4
2절. 국내외 기술동향	12
1. 국내외 기술현황	12
2. 특허 동향 분석	14
가. 분석 범위	14
나. 분석 기준	14
다. 기술분류	15
라. 특허 및 논문 검색식 및 검색결과	16
마. 특허 및 논문 검색 결과	18
바. 특허 동향분석	18
사. 기술 수명주기 분석	19
아. 도심지 개착식 지반굴착 기술의 특허출원 분석	22
자. 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 특허출원 분석	27
3. 논문 동향 분석	31
가. 도심지 개착식 지반굴착 기술 논문 동향	31
나. 도심지 비개착식 지반굴착 기술 논문 동향	35
4. 동향 분석 종합 결론	40

3장. 기술수요 및 수준·예측조사

1절. 기술수요조사	42
1. 개요	42
가. 기술수요조사의 목적	42

나. 기술수요조사의 절차	42
다. 기술수요조사 발송 및 응답개요	43
2. 기술수요조사 분석결과	43
가. 도심지 개착식 지반굴착 기술분야	44
나. 도심지 비개착식 지반굴착 분야	45
2절. 기술수준 및 예측조사	46
1. 개요	46
가. 기술예측/수준조사의 목적	46
나. 기술예측/수준조사의 절차	46
다. 기술예측/수준조사 발송 및 응답개요	47
라. 기술예측/수준조사 항목 설정	48
2. 기술예측/수준조사 분석결과	52
가. 국내외 기술적 실현시기	52
나. 기술수준 및 기술격차	57
다. 기술성숙도(TRL)	71
라. 최고기술보유국	82
마. 기술기반(인프라) 성숙도	86
바. 기술획득 방식	93
사. 정부우선 시행방안	98
아. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석	103
자. 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석	106
차. 기술격차-기술수준 포트폴리오 분석	109
카. 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석	112
1절. SWOT / Issue-Tree 분석	115
1. SWOT분석	115
가. 개요	115
나. 내외부 요인 분석	116
다. 포지션별 전략 수립	117
2. Issue-Tree 분석	118
가. 개요	118
나. 주요 정책·시장·기술 동향	118
다. 주요 이슈 및 R&D Needs	119

2절. 비전 및 목표	120
1. 비전	120
2. 목표	120
3. 중점추진 분야	121
3절. 연구개발과제 구성	122
1. 후보과제 Pool 구성	122
가. 후보과제 Pool 구성 방법	122
나. 후보과제 Pool 중복성·유사성·위계 검토	122
다. 후보과제 Pool list	122
2. 후보과제 우선순위 평가	126
가. 개요	126
나. 후보과제 우선순위 평가결과	130
4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략	133
1. (중점추진분야 1) 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술 분야 세부과제	133
2. (중점추진분야 2) 도심지 지반굴착으로 인한 영향 최소화를 이한 보강 기술 분야 세부과제	135
3. (중점추진분야 3) 굴착공사의 안전확보를 위한 탐사 및 해석 기술 분야 세부과제	137
4. (중점추진분야 4) IT 기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향평가 기술 분야 세부과제	139
5절. 과제별·연차별 기술로드맵 (최종보고서 수록 예정)	141
1. 총괄 로드맵	141
2. 과제별 로드맵	141
6절. 연구수행체계 제안	142
1. 연구추진체계 정립	142
2. 추진조직	142
3. 추진체계	143

5장. 인력투입계획
및 소요예산
산정

1절. 연구일정에 따른 인력계획144

1. 전체사업 인력투입계획144

가. 연차별 투입 연구인력144

나. 상세 투입연구인력145

2. 중점추진분야별 인력투입계획145

가. 중점추진분야 1145

나. 중점추진분야 2146

다. 중점추진분야 3147

라. 중점추진분야 4148

2절. 소요예산 산정149

1. 예산 산정방법149

2. 전체사업 소요예산150

가. 총괄 소요예산150

나. 예산 항목별 소요예산150

3. 중점추진분야별 소요예산152

가. 중점추진분야 1152

나. 중점추진분야 2153

다. 중점추진분야 3154

라. 중점추진분야 4155

6장. 사전타당성
검토

1절. 정책적 타당성156

2절. 기술적 타당성158

3절. 경제적 타당성158

7장. 과제 제안요구서
작성 및
평가기준 설정

1절. 과제 제안요구서(RFP)163

2절. 평가기준 설정176

1. 평가항목176

2. 가점 및 감점기준178

1

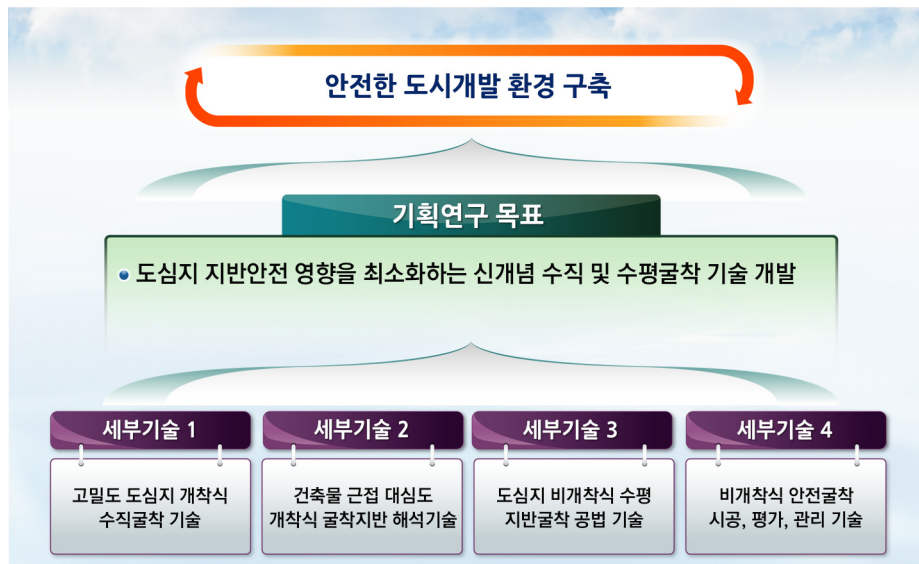
개요

1절 기획 과제 정의 및 범위

1. 기획 과제의 정의 및 필요성

가. 기획 과제의 정의

- 본 기획연구에서는 관련 시장 및 기술 전망 분석을 통해 “도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 개착식/비개착식 지반굴착 기술 개발” 기획연구의 비전과 예상 연구내용을 다음과 같이 설정하였음.



〈그림 1-1〉 본 기획연구 사업의 비전과 예상 목표

나. 과제 추진의 배경 및 필요성

- 최근 서울 지하철 9호선 일부 공사구간 및 잠실 인근 도로에서 지반이 함몰되거나 지하공동이 발생하여, 시민들에게 불안감을 야기하는 사례가 빈번히 발생하는 등 사회적 이슈로 부각되고 있는 실정임.



〈그림 1-2〉 기획연구의 배경 및 필요성

- 이러한 지반함몰 및 침하 현상은 지하철, 대형건축물 신축 등에 따른 지반굴착공사가 주요 발생원인 중 하나로 지적되고 있음.
- 현재까지 지반굴착 시 주된 관심사항은 흠막이 벽체의 안전성 확보 등에 치중되었으나, 서울, 부산 등 대도시를 중심으로 지하심도 30m 이상을 굴착하는 사례가 급증함에 따라, 굴착공사를 진행하는 지점의 하부 또는 상부에 매설되어 있는 여러 시설물들과의 상호 영향 관계 및 안전성에 대한 추가 고려가 시급한 실정임.

2. 기획 과제의 범위

- 본 기획연구에서는 관련 시장 및 기술 전망 분석을 통해 “도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 개착식/비개착식 지반굴착 기술 개발”의 연구개발 목표, 개발내용, 추진전략 및 관련 기술로드맵을 제시하는 것임.
- 본 기획연구에서는 다음과 같이 실제 연구개발이 요구되는 기술들을 상세 분석하여 연구개발 전략을 제시하고자 함.

가. 도심지 개착식 지반굴착기술

- 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술
- 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술
- 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술
- 개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술

나. 도심지 비개착식 지반굴착기술

- 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 비개착식 지반굴착공법 기술
- 도심지 구조물 안전영향 최소화를 위한 지반굴착 보강기술
- IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착공사 인접구조물 손상평가 기법
- 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착기술

3. 기획 과제의 기술분류 체계

- 본 기획연구에서 설정한 기술분류 체계도는 다음과 같음
- 기획연구에서 설정한 기술분류 체계도를 근거로 전문가 수요조사를 수행하여 기획연구에서 의도하는 주요기술 수준에서 조사가 이루어짐
- 기획연구에서는 도심지 지반굴착 기술의 주요 기술별로 실제 연구개발이 요구되는 기술들을 상세 분석하여 연구 개발 전략을 제시함

대분류	중분류	소분류	주요기술
도심지 개착식 지반굴착 기술	고밀도 도심지 개착식 수직굴착 기술	고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술	평범위한 굴착영향범위 평가를 위한 모니터링 기술 고밀도 도심지 수직굴착 성능 향상 기술 고밀도 도심지 수직굴착을 위한 주변지반 보강기술
		대심도(30m 이상) 수직 굴착기술	대심도 굴착시 가시성 벽체의 연직도 유지 굴착기술 개발 대심도 굴착 시 기반암의 응력해방에 따른 안전성 영향 최소화 기법 대심도 굴착 후 퇴매움흙 품질관리기술 개발 도심지 대심도 굴착에 관한 지반조사, 설계, 시공 및 시설물 운영 중 국가기준 제시
	건축물 근접 대심도 개착식 굴착지반 해석기술	도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술	도심지 지상 구조물의 안정성에 미치는 영향 최소화 굴착 기법 도심지 지중 구조물의 종류와 특성에 따른 굴착시 영향 최소화 기법
		개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술	대심도 굴착시 가시성 벽체의 연직도 검측 장비 개발 굴착시 예상되는 문제점 파악을 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술 공사후 지반 내 손상 여부 탐사 기술(함몰 여부, 지중구조물 손상 등) 원심모형시험을 이용한 대심도 굴착시 지반변형 메커니즘 규명 및 대책기술
도심지 비개착식 지반 굴착 기술	도심지 비개착식 수평 지반굴착 공법 기술	도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착공법 선정 기법	도심지 주요 시설물을 고려한 굴착 모델링 기술 경관압입 방식 관련 굴착 기술 지반 연약화 굴착 기초 기술(Microwave, Plasma 등) 도심지 인접 시설물을 고려한 비개착식 굴착 공법 선정 모델 개발 굴착면 사방 지반 경화를 통한 선보강 굴착 기초 기술
		지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법	인접 시설물간 수평 굴착을 위한 지반 안정화 기술 수평 굴착으로 인한 인접지역 안정성 해석 기술 수평 굴착 도임부 정밀 굴착 기술 수평 굴착 연계부 보강 기술
	비개착식 안전굴착 시공, 평가, 관리 기술	안전 지반굴착 보강 신기술	Geo-tube를 활용한 소규모 공동 긴급 보강 기술 급속 냉각 방식을 이용한 굴착면 보강 및 긴급 차수 기술 지반상태와 붕괴 메커니즘에 따른 보강 공법 선정 모델 개발
		IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법	버퍼 및 굴진거리 실시간 모니터링 기술(복층터널 연구단 연구 진행중) 굴착 계측 자료 온라인 통합 관리 기술 굴착 계측 자료간 상관성 및 위험성 평가 기술 굴착 중 상부 지중 시설물 및 공동 감지 기술 굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술 통합 지하매설물 정보와 연계된 굴착 관리 기술

〈그림 1-3〉 기술분류 체계도

2

동향조사 및 환경분석

1절 국내외 시장 현황 및 전망

□ 도심지 개착식 지반굴착기술

- 도심지에서 개착을 통한 지하굴착은 근접시공이 주를 이루고 있으며, 주변 지반의 변위를 발생시켜 변화를 유발하여, 인접구조물의 안정에 직·간접적으로 영향을 줌. 국내에서는 과거부터 다수의 근접시공 경험으로 세계수준의 기술을 축적하고 있지만, 최근의 붕괴사고 등으로 사회적인 문제가 되고 있는 실정임.
- 특히 도심지에서 지하철 및 건축물 공사 등을 개착 공사로 시행할 경우에 인접한 지역에서 많은 차량과 보행인이 통과하고 있어 보다 세심한 안전상의 주의가 필요하나, 각종 전선관, 통신선, 전력선, 상·하수도관, 가스관, 공동구, 각종 맨홀 등 지하매설물의 부적절한 처리는 공사를 더욱 어렵게 만드는 요인이 됨.



〈그림 2-1〉 개착공사중 붕괴 사례 (서울 구로, 2004)

- 국내에서 개착공사에 의하여 발생한 붕괴를 분류하여 보면, 시공 부주의나 시공기술의 미흡으로 발생한 것, 급격한 지층의 변화를 반영하지 못하는 등의 설계법의 미정립 그리고 개착공사에 사용되는 토류시스템 구성품의 문제로 발생되었음.

[표 2-1] 개착공사중 붕괴 유형 (이중재 외, 2009)

붕괴 유형	설 명
앵커, 버팀보 시스템의 파괴	흙막이벽체를 형성하는 엄지말뚝, 띠장, 앵커두부, 앵커강선들을 연결하는 부위의 접속잘못이나 부재의 단면부족으로 인하여 파괴
근입심도 부족에 의한 굴착바닥면 파괴	흙막이벽체의 근입심도가 부족한 경우 수동토압영역의 굴착바닥면이 솟구쳐 오르면서 파괴
과도한 휨모멘트에 의한 엄지말뚝 파괴	엄지말뚝의 단면이 부족한 경우로서 토압산정시 오류를 범했거나 예상하지 못한 과재하중이 배면에 작용했을 때 축압의 증가에 의해 발생
사면활동에 의한 파괴	배면지반 전체가 연약해서 사면안정이 되지 못했거나 암반의 경우 미끄러짐면(Slickenside)이 존재하는 경우 발생
배면의 과도한 침하에 의한 파괴	흙막이벽 배면부가 과도하게 침하하는 경우 앵커강선을 아래로 끌어 내리면서 앵커강선에 과대한 축력으로 파괴
엄지말뚝 처짐에 의한 파괴	Pre-drill 한 후 공내에 Slime이 많이 잔류되어 있거나, 공벽이 무너져 내린 상황에서 엄지말뚝 관입시 확실한 지지층에 놓이지 못 할 경우, 굴착진행에 따라 축력이 증가하게 되어 엄지말뚝이 처짐
2단 흙막이벽 설치 시 연결부위 파괴	매우 상이한 토층에서 장비 효율성에 따라 2단으로 흙막이벽을 설치하는 경우가 있는데 이때 연결부위가 취약
엄지말뚝 근입심을 암반에서 종료했을 때 암반파괴	흙막이벽을 상부토사층과 하부암반층 일부에만 근입되게 설치하고, 하부의 안정되지 않은 암반층에 Rock bolt 와 Shotcrete 로 처리한 경우
지지구조의 평면배치가 역학적으로 불리한 경우의 파괴	건축예정부지의 모양새가 지지구조체를 평면배치하는데 역학적으로 불리하고 또 배면에 인접하여 지하층이 있는 건물이 존재하여 Back-Tie System에 의한 보강조치도 불가능한 경우에 발생 가능
보일링에 의한 파괴	지하수위가 높은 모래층, 자갈층과 같은 투수성의 지반을 강널말뚝이나 연속벽과 같은 차수성의 벽을 사용하여 터파기 내부를 배수할 경우 지하수위 차에 의해 상향의 삼투압에 의해 발생
히빙에 의한 붕괴	연약한 점토지반을 굴착할 경우 굴착배면 토괴중량이 굴착저면 이하의 지반 지지력보다 클 경우 발생
과잉굴착에 의한 파괴	단계별 굴착시 소단을 두어 벽체의 안정성을 확보하여야 하나 이를 무시할 경우 굴착면 내부 수동토압의 감소로 인해 벽체의 붕괴가 유발

- 기존 개착공법에서 부실시공을 줄일 수 있도록 개선이 요구되었으며, 국내와 같이 토층과 암반층의 급격한 지층 경계부를 효율적으로 처리할 수 있도록 설계법의 보완이 요구되었음.
- 굴착 심도가 깊어지면, 굴착에 따른 문제점이 기하급수적으로 증가하게 됨. 서울이나 부산 같이 지하심도 30 m 이상을 굴착하는 사례가 증가하고 있으며, 굴착공사 하부 또는 상부에도 여러 시설물들이 매설되어 있어서 도심지 함몰 사고의 위험이 높음.
- 고층 건축물의 지하층이나 지하철의 역사 등이 대심도에 안전하게 건설될 수 있도록 수직시공의 신뢰성 높은 흠막이 공법의 개발 또는 개선이 요구되며, 대심도 지하도로, 지하철 및 전력구와 같은 각종 라이프 라인등과의 연계를 위해 필요한 샤프트형 수직굴착 공법도 시공 및 유지관리시의 안전성을 높이는 방안이 요구됨.



a. 샤프트형 수직 굴착 방식



b. 지하연속벽 방식 (CnNEWS, 2011)

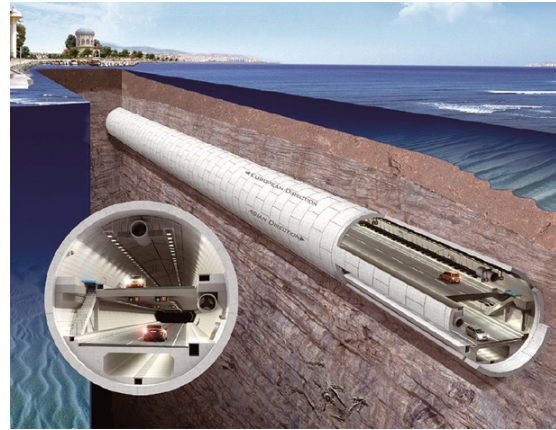
〈그림 2-2〉 도심지 수직 굴착 시공방식

- 그리고, 대부분의 도심지 개착공사가 중소규모 굴착이므로 강재의 사용량을 줄이고, 시공법이 간편한 도심지 중소규모형 흠막이 공법을 개발하여, 도시의 안전을 추구하여야 함.
- 도심형 싱크홀은 대부분 상하수도관 등과 연관되어 있으며, 이들 매설물은 얇은 심도에 건설되고, 협소한 공간에서 작업하여야 함. 시공 마무리 과정에서 부실시공이 발생할 가능성이 높으므로, 매설물 건설에 대응한 경량의 간이형 흠막이 벽(트렌치 공법)을 개발하여야 할 것으로 파악됨.
- 개착공법으로 굴착 시 토류구조물을 구성하는 앵커, 락볼트 등의 시공상태를 파악하고, 주변 지장물과의 관계를 파악하여 안전을 확보하는 것이 중요함. 이를 위해 GPR 장비가 사용되고 있으나, 기존 GPR 기술은 유효 거리가 2-3미터 이내로 제한적이며, 지반의 수분함유량이 많을 경우 적용이 어려움. 이러한 단점을 극복하고 안전한 굴착을 지원하기 위해서 복합탐사 기법이 요구되고 있으며, 밀집도가 대단히 높거나, 가스관 등 위험 매설물 주변에 대응이 가능한 도시지역 천부 탐사에 적합한 소규모 경량의 시추장비 개발 또한 필요한 실정임.



〈그림 2-3〉 매설물 공사를 위한 간이형 수직굴착 흙막이 사례 (영국, 일본)

- 건축물을 시공하는 경우에는 건축분야의 지침 등이 적용되고 있으며, 지하철, 도로, 철도 등에서는 토목분야의 자료가 활용되고, 지하매설물에 관련하여서는 각 관리주체의 지침과 기준이 적용되고 있는 실정임. 그리고 행정적인 측면에서 허가기관별로 다소 차이가 있는 업무기준이 적용되고 있음.
 - 국내의 설계기준은 1967년 건설부에서 발간한 “건축공사 표준 시방서” 3장 토공사에 3.2 흙막이(토류)편으로 널말뚝, 버팀띠장, 흙막이 떼어내기 등의 내용이 수록된 것이 시초이며, 이후 “구조물기초 설계기준”이 제정되고, 최근의 개정작업으로 ‘토압, 수압, 인접 구조물에 안정성 검토 방법, 계측 기준’ 등이 추가, 수정되었음.
 - 그러나, 현재에도 각 기관의 설계 메뉴얼 별로 설계외력, 해석방법, 주변구조물과의 관련성 파악 등 검토 항목과 안전율, 관리치 설정이 상이하여, 현장의 혼란이 있음. 특히 경제적인 시공을 위하여 각 관리 주체별로 다른 안전율을 적용하고 있어서 도심지에 공사에 있어서는 일관된 기준의 개발이 요구됨.
- 도심지 비개착식 지반굴착기술
- 비개착식 굴착공법은 일반적으로 1)발파 및 굴착장비를 이용하는 재래식 굴착공법, 2)파이프루프, 프론트잭킹 등 강관을 활용하는 강관추진공법, 3)TBM 등을 이용하는 기계식 굴착공법(mechanized tunnelling)으로 구분할 수 있음.
 - 기계식공법(mechanized tunnelling)의 경우 국내에는 1985년 수로터널에 처음 도입된 이후 기술발전으로 도심지 지하철, 해저터널 등 연장이 긴 노선에 적용되고 있어서 활용도가 증가하고 있음. 강관추진공법은 주로 도심지를 통과하는 철도, 구조물 밀집구간 등 비교적 연장이 짧은 노선에 적용됨.



- 강관추진공법: 강관루프를 추진, 압입하여 지반이완을 억제한후 터널을 굴착하는 공법
- 기계식공법(mechanized tunnelling): 디스크 커터, 커터비트 등에 의해 기계적으로 터널을 굴착하는 공법

〈그림 2-4〉 도심지 비개착 굴착공법의 사례

- 전 세계적으로 도심지 터널, 장대 산악터널, 하해저터널 등과 같이 사고발생시 큰 피해가 예상되는 등의 상황에서는 기계화 굴착시공 비중이 높으나, 지질적으로 단단한 지반을 가지고 있는 국내서는 아직도 재래식 공법을 이용하는 비율이 높음.

[표 2-2] 주요 국가별 도심지 교통터널에서의 TBM 적용 (건설경제신문, '09. 10. 13)

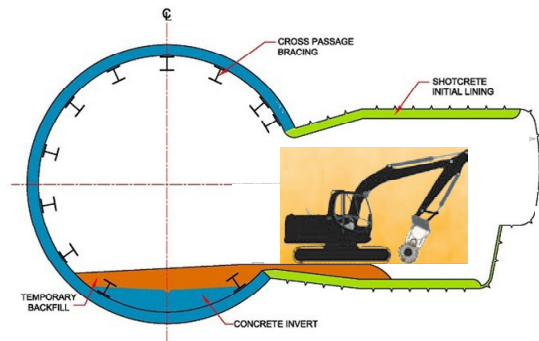
국가	유럽	일본	미국	중국	대만	한국
도심지 교통터널에서의 TBM 적용비율	80%	60%	50%	40%	30%	< 1%

- 서울, 부산 등과 같은 대도시에는 다양한 형태의 시설물이 존재함. 지하철과 같은 교통 시설은 대형의 선형 지중 구조물이며, 상하수도 등 라이프 라인은 소형의 선형 지중구조물이고, 지하 하수처리장, 지하 상업시설 등은 대형 장방형 지중구조물로서 이러한 특성을 반영하는 굴착공법을 기계화 또는 시스템화 하는 연구가 필요함.
- 한국건설기술연구원에서는 주거 및 상가 또는 공장형 지하공간을 건설하기 위한 비개착의 주방식 공법(Room-and-Pillar Underground Method)에 대한 연구를 2013년부터 진행하고 있으며 도심지 지하공간을 효과적으로 개발하기 위해 기존 굴착 방식과는 다른 지하공간 건설 공법 연구를 수행중임.



〈그림 2-5〉 도심지 주방식 굴착공법 개념도 (한국건설기술연구원)

- 주방식 지하공간을 건설하는 공법은 지하공간의 운용 중에도 확장이 가능한 점과 시공 부지의 암반을 구조물로 사용한다는 점에서 경제적인 장점을 갖음. 현재는 연구가 진행 중인 사업으로 국내 도심지에서 시공된 사례는 보고되지 않음.



〈그림 2-6〉 기존 구조물 확장을 위한 수평굴착 사례

- 도심지의 지하공간에 대한 활용이 증대되면서, 기존 지하시설물을 확장하여 연결하는 수평굴착에 대한 수요가 증가하고 있으나, 국내에서는 이에 대한 기초이론 및 시공법에 대한 정립이 부족한 상황임. 기존 지하시설을 확장하거나 서로 연결하는 것은 고도의 기술이 필요한 사항으로 지상 및 인접구조물의 안전을 확보하면서 시공성 및 경제성을 추구하는 연구가 필요함.
- 지하매설물 중 하수관거에서도 비개착 방식을 다양하게 적용하고 있으며 1995년 용산구에 시범적으로 비개착 방식의 하수관거 설치 시작 이후로 시공횟수가 늘어가고 있으나 아직까지는 그 사례가 많지 않은 실정. 하수관거에서의 비개착식 방법은 터널에서와

마찬가지로 기계화/자동화로 시공되기 때문에 초기 비용이 크고 순공사비가 굴착방식에 비해 높은 특징. 비개착식 굴착공법에 의한 하수관거 교체 공법은 마이크로 터널링, 제트 절삭공법, 충격식 몰링, 충격식 래밍, 오거 보링 등이 있음. 비개착 굴착공법은 대부분 해외 기술이 이용되기 때문에 로열티 지불 문제와 전문인력 확보가 어려움.

- 2010년 환경부에서는 “상하수도망 최적관리기술” 연구를 통해, 상하수관거 비개착 보수 기술을 제안한 바 있음. CCTV를 장착한 로봇 탐사기술과 지상 조사 장비 등을 활용한 기술로 조사 이후 필요에 따라 비개착 굴착을 수행하도록 하고 있음.



〈그림 2-7〉 관로 보수설계 기술 (환경부, 2010)

- 굴착 중 전방의 지질구조, 이상대, 용수대 등의 공간적인 정보나 물성 정보를 예측하여 굴착 안정성을 확보하고 설계효율성을 증대시키는 탐사기법은 굴착공법에서 중요하게 여겨짐. 이는 탄성파를 이용한 VSP(vertical seismic profiling)나 TSP(tunnel seismic profiling) 기법 등이 있으며 비저항 센서를 활용하는 방법 등 다양하게 사용되고 있음. 굴착공 내부의 변위는 카메라를 이용한 방식이나 일반 변위센서, 광섬유 센서 등을 사용하여 계측하고 있음.
- 최근에는 IT기술을 활용하여 계측자료의 실시간 모니터링 기술이 각광받고 있음. 현장에서 측정된 다양한 계측자료들을 IT기술을 접목하여 가시화하거나 모바일 등의 통신 수단을 활용하여 관리자에게 통보하는 것을 목적으로 함. 미시추 구간 및 막장 전방 특성 예측이나 설계 지반정보 및 시공 중 지반정보 등을 실시간으로 다룰 수 있는 장점이 있음. 국토교통부의 “IT 및 신소재를 활용한 급속안정화 터널 시공기술 개발”이나 “터널시공 중 디지털 맵핑을 통한 온라인 암관정 기술 및 운영모델 개발”과 같은 IT 접목기술을 통해 터널 영역의 디지털화와 설계자, 감리자, 전문가 등의 접근성을 강화하는 기술임.

- 굴착부분 적용할 수 있는 IT기술은 기존에 상시 모니터링 시스템보다 진보된 기술이 요구되며 계측된 데이터의 자동화된 2차 가공을 통해 온라인상에 게시되고 설계자나 공사 관리자에게 통보함으로써 보다 현실적인 계측 관리가 요구되는 상황임. 또한, 인접 구조물에 대한 영향평가가 동시에 이루어져야 하기 때문에 이러한 계측 자료들과 IT기술을 활용한 새로운 개념의 기술 개발이 요구됨.
- 현재 굴착으로 인한 인접 구조물에 대한 계측은 국내에서도 진행되고 있으나 계측기간 장기화에 따른 계측기 내구성 부족으로 데이터 활용에 문제가 대두됨. 또한 자동계측시스템의 경우 실시간으로 필요이상 무의미한 데이터 축적으로 공학적인 판단을 저해하고 이러한 체계를 통합적으로 관리 및 담당해야 된다는 인식이 부족한 실정임. 따라서 방대한 데이터를 효율적으로 처리할 수 있는 기술과 계측 데이터간의 상관관계로 체계적인 공학적 판단을 수행할 기술이 요구됨.

2절 국내외 기술동향

1. 국내외 기술현황

- 비개착식 굴착공법의 대표적인 예로 터널(Tunnel)은 기술발전으로 인해 전 세계적으로 발파 또는 개착공법에서 NATM(New Austrian Tunneling Method)을 중심으로 한 재래식공법(conventional tunnelling)과 TBM(tunnel boring machine method)에 의한 기계식 공법(mechanized tunnelling)으로 양분되고 있음
- NATM공법이란 주변의 지반을 활용하고 발파에 의한 굴착 후 록볼트, 슛크리트를 지보재로 활용하여 광범위한 지질조건에 사용 가능하나, 진동, 소음 등으로 최근에는 사용이 점차 줄어들어는 추세임
- TBM 공법은 다수의 디스크 커터를 장착한 커터 헤드를 회전시켜 암반을 압쇄하여 굴진하여 고부가가치와 첨단 융복합 장비의 성격을 갖는 원형의 회전식 터널 굴진기로서, 굴진-버럭 반출-지보작업을 연속적으로 수행하면서 터널을 시공하는 공법으로 과거의 발파-굴착에 의존한 기존 공법에 비해 시공의 고속, 및 안전성 향상, 및 경제성이 향상된 장점이 있음
- 전 세계적으로 도심지 터널, 장대 산악터널, 하해저터널 등에서는 안전하고 경제적인 고속 시공을 위하여 TBM의 적용이 일반화되고 있으나 우리나라의 경우 적용 비율이 다른 선진국에 비해 매우 낮은 실정임
- 특히, 국내 지하철, 도로 및 철도 등 대부분의 터널에서는 NATM 공법을 적용하고 있으나 도심지의 경우 민원 발생 및 인접 건물의 대형화로 인해 공법 사용이 제한적이고, 일반적인 발파 굴착의 경우 1일 2회 발파를 기준으로 4~6m/일이 보통이나 TBM의 경우 25~30m/일로 속도가 빠르고, 굴착에 의한 진동을 최소화 할 수 있는 장점이 있음
- 최근 쉘드 TBM공법을 이용하여 지하철 9호선 연장구간인 석촌역을 완공하는 등 비개착식 굴착공법에 대한 니즈가 증가하는 추세임
- 도시가 발달함에 따라 도심지 지하공간에 대한 수요가 늘어가고 있으며, 지하공간의 활용 용도로는 지하도로, 복합상가, 지하철 등 다양한 형태가 요구되나, 최근의 터널 관련 연구는 “TBM 핵심 부품설계기술 및 TBM터널의 최적 건설기술(2010~2015)”이나 복층터널, 해저터널 등과 같이 설계/제작 기술이나 국산화 연구에 집중하고 있으며 지반 굴착으로 인한 건설공사 주변 도로, 건물 및 지하매설 시설물 등의 안정성 유지를 위한 기술 개발은 여전히 미흡한 상태임
- 인구밀도가 높고 교통량이 많은 도심지 지역에서는 하수관 정비를 개착식 굴착공법만으로 해결할 수 없기 때문에 비개착식 굴착 공법을 고려해야하며, 비개착식 굴착공법에 의한 하

수관거 교체 공법은 관 파쇄공법, 마이크로 터널링, 제트 절삭공법, 충격식 몰링, 충격식 래밍, 오거 보링 등이 있음

- 2010년 환경부에서는 “상하수도망 최적관리기술” 연구를 통해, 상하수관거 비개착 보수기술을 제안한 바 있음. CCTV를 장착한 로봇 탐사기술과 지상 조사 장비 등을 활용한 기술로 조사 이후 필요에 따라 비개착 굴착을 수행함
- 굴착 중 전방의 지질구조, 이상대, 용수대 등의 공간적인 정보나 물성 정보를 예측하여 굴착 안정성을 확보하고 설계효율성을 증대시키는 탐사기법은 굴착공법에서 중요하게 여겨짐. 이는 탄성파를 이용한 VSP(vertical seismic profiling)나 TSP(tunnel seismic profiling) 기법 등이 있으며 비저항 센서를 활용하는 방법 등 다양하게 사용되고 있음. 굴착공 내부의 변위는 카메라를 이용한 방식이나 일반 변위센서, 광섬유 센서 등을 사용하여 계측하고 있음
- 일반적인 터널 내 계측은 지중변위, 록볼트 축력, 슛크리트 응력과 같이 터널 내 변형과 관련된 계측 부분과 간극수압, 라이닝 응력, 토압 등의 유지관리 측면으로 분류됨. 터널 계측에 사용되는 계측 방법과 수단은 RMR과 Q시스템에 근거한 막장 관찰과 내공변위, 천단침하, 지표침하, 지중변위 등이 있음
- 막장 전방 예측은 일반적인 터널 계측 개념과는 다르게 터널 시공 중 위험요소로 작용할 수 있는 전방의 파쇄대, 연약층 등의 이상지반을 감지하는 기술로 전기비저항 탐사, 탄성파 탐사(TSP), 전자파 탐사(GPR), 초음파 탐사, 음향 탐사, 레일파 탐사 등이 있음
- 최근에는 IT기술을 활용하여 계측자료의 실시간 모니터링 기술이 각광받고 있고, 현장에서 측정된 다양한 계측자료들을 IT기술을 접목하여 가시화하거나 모바일 등의 통신 수단을 활용하여 관리자에게 통보하는 것을 목적으로 함. 미시추 구간 및 막장 전방 특성 예측이나 설계 지반정보 및 시공 중 지반정보 등을 실시간으로 다룰 수 있는 장점이 있음
- 국토교통부의 “IT 및 신소재를 활용한 급속안정화 터널 시공기술 개발”이나 “터널시공 중 디지털 맵핑을 통한 온라인 암판정 기술 및 운영모델 개발”과 같은 IT 접목기술을 통해 터널 영역의 디지털화와 설계자, 감리자, 전문가 등의 접근성을 강화하는 기술임
- 현재 굴착으로 인한 인접 구조물에 대한 계측은 국내에서도 진행되고 있으나 계측기간 장기화에 따른 계측기 내구성 부족으로 데이터 활용에 문제가 대두됨. 또한 자동계측시스템의 경우 실시간으로 필요이상 무의미한 데이터 축적으로 공학적인 판단을 저해하고 이러한 체계를 통합적으로 관리 및 담당해야 된다는 인식이 부족한 실정임. 따라서 방대한 데이터를 효율적으로 처리할 수 있는 기술과 계측 데이터간의 상관관계로 체계적인 공학적 판단을 수행할 기술이 요구됨.

2. 특허 동향 분석

가. 분석 범위

- 검색엔진은 WIPSON, 톰슨 이노베이션, NDSL, 국토교통 창조경제 R&D포털, 한국특허정보원을 이용
- 본 분석에서는 출원일을 기준으로 2015년까지 한국, 미국, 일본 및 유럽에 출원(등록) 공개된 특허를 대상으로 검색엔진을 이용하여 검색한 공개특허(논문)를 분석 대상으로 함

[표 2-3] 분석 범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개등록특허 (공개등록일 기준)	한국	WIPSON, Thomson Innovation, 국토교통 창조경제 R&D포털, 한국특허정보원, NDSL	~ 현재 (2015.4)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

※ 분석구간: 한국, 미국, 일본, 유럽 - 2015(출원년도 기준)

나. 분석 기준

- 안전한 지반 굴착 기술의 중장기적 예측평가관리기술에 대해 검색된 국내특허 및 해외특허에서 패밀리특허를 한국특허, 일본특허, 미국특허, 유럽특허 순으로 정리
- 공개공보와 등록공보가 중복된 경우 공개공보 삭제
- 굴착기술과 관련이 적은 내용들은 노이즈로 제거하였으며, 본 과제를 도심지 개착식 지반 굴착 기술(A)과 도심지 비개착식 지반굴착 기술(B)로 대분류를 분류하고, 이에 관한 특허와 논문만 남겨서 이를 중점적으로 분석함
- 본 과제의 중분류인 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술(AA), 대심도(30m 이상) 수직 굴착 기술(AB), 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술(AC), 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술(AD), 및 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA), 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB), 안전 지반굴착 보강 신기술(BC), IT기술 및 예측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기술(BD)을 포함하는 관련 특허와 논문들을 분석

다. 기술분류

- 본 분석에서는 과제의 RFP 제안서를 기초로 기술개발대상 범위 내에서 도심지 개착식 지반굴착기술(A)은 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술(AA), 대심도(30m 이상) 수직 굴착 기술(AB), 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술(AC), 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술(AD)으로 세분화 하고, 도심지 비개착식 지반굴착 기술(B)은 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA), 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB), 안전 지반굴착 보강 신기술(BC), IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기술(BD)로 세분화 하여 기술 분류를 확정함

[표 2-4] 기술 분류

대분류	중분류
도심지 개착식 지반굴착 기술 (A)	고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술 (AA)
	대심도(30m 이상) 수직 굴착 기술 (AB)
	도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술 (AC)
	개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술 (AD)
도심지 비개착식 지반굴착 기술 (B)	도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기술 (BA)
	지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법 (BB)
	안전 지반굴착 보강 신기술 (BC)
	IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상 평가 기술 (BD)

라. 특허 및 논문 검색식 및 검색결과

□ 기술분류별 검색식 및 검색건수

대분류	중분류	검색식	검색 건수				
			한국	미국	일본	유럽	합계
도심지 개착식 지반굴착 기술 (A)	고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술 (AA)	((굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*) and (동결판* 팩앵커* 네일* 되메움* 수직* (pack adj anchor) (Flexible adj Freezing adj Plate) (removable adj nail) refilling* backfilling* (vertical adj excavat*)) and (수직* 버티컬* 버티컬* vertical*) and (시공* 공법* construct* build*)),key. and (E21D* E21B* E02D*).ipc. not (수평* horizontal*)	320	147	192	123	782
	대심도(30m 이상) 수직 굴착 기술 (AB)	(굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*) and (심굴* 심층* 대심도* deep*) and (개착식* (cut adj cover open adj cut) (급결* (quick* adj set*)) and ((high* adj press*) 고압*) 연직도* vertical* 자립* (self* 셀프*) adj (standing* 스탠딩*))	42	144	280	131	597
	도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술 (AC)	((굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*) and (시공* 공법* construct* build*)),key. and ((지하* 지중* 언더그라운드* 언더월드* 베이스먼트* underworld* basement* earth* underground*) adj (구조* 스트러처* 스트러처* structure*) (원심* centrifugal*) adj (모델* 모형* model*) (긴급* rapid* emergency*) adj (복구* restorat*) 맞벽* 합벽* (back* adj trowel*)) and (도심* 도시* 시티* 씨티* city* 다운타운* downtown*)	140	282	78	52	552
	개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술 (AD)	((굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*) and (써베이* 써베이* 탐사* 탐지* 서치* 디택트* 디택션* search* servey* detect* explor* 해석* 레이더* 레이디* radar*),key. and ((검층* (밀도* 덴서티* density* borehole* well*) adj (logg* 로그* 로깅*)) GPR* ((지표* 그라운드* earth* ground*) adj (penetrat* 침투* 관통* 투과*)) (Inclinometer* 경사계* (지중* underground) adj (horizontal* 수평*) adj (변위* displacement*)) (대지* 지반* 그라운드* ground* earth* base* 베이스*) adj (함몰* 침하* 침강* 싱크* 싱크* sink* subsidence*)) (굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*).key. and (대지* 지반* 그라운드* ground* base* earth* 베이스*) and ((오픈* open*) adj (셴드* 실드* shield*) 비개착* 강관* ((스틸	260	142	72	80	554

대분류	중분류	검색식	검색 건수				
			한국	미국	일본	유럽	합계
		* steel*) adj (튜브* tube*) 선보강* (pre* adj reinforce*) (굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*).key. and (대지* 지반* 그라운드* ground* base* earth* 베이스*) and ((오픈* open*) adj (실드* 실드* shield*) 비개착* 강관* ((스틸* steel*) adj (튜브* tube*) 선보강* (pre* adj reinforce*))					
도심지 비개착식 지반굴착 기술 (B)	도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기술 (BA)	(굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*).key. and (대지* 지반* 그라운드* ground* base* earth* 베이스*) and ((오픈* open*) adj (실드* 실드* shield*) 비개착* 강관* ((스틸* steel*) adj (튜브* tube*) 선보강* (pre* adj reinforce*)) (굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*).key. and (대지* 지반* 그라운드* ground* base* earth* 베이스*) and ((오픈* open*) adj (실드* 실드* shield*) 비개착* 강관* ((스틸* steel*) adj (튜브* tube*) 선보강* (pre* adj reinforce*))	350	120	402	57	929
	지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법 (BB)	((수평* horizontal*) and (굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*).key. and ((다중* 멀티* multi*) adj (해머* 함마* 험머* 망치* hammer*) (지중* 지반* 그라운드* 베이스* base* ground*) adj (연약* 무름* 위크* weak* soft*) (다단* 스테이지* multistage*) adj (비트* bit*) 옹벽* 소링* 쇼어링* shoring* 흠막이* 연속벽* ((contineous* retaining*) adj wall*)) ((수평* horizontal*) and (굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*).key. and ((다중* 멀티* multi*) adj (해머* 함마* 험머* 망치* hammer*) (지중* 지반* 그라운드* 베이스* base* ground*) adj (연약* 무름* 위크* weak* soft*) (다단* 스테이지* multistage*) adj (비트* bit*) 옹벽* 소링* 쇼어링* shoring* 흠막이* 연속벽* ((contineous* retaining*) adj wall*))	242	56	489	37	824
	안전 지반굴착 보강 신기술 (BC)	(굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*) and ((지반* 그라운드* ground*) near2 (안정화* stabiliz* 보강* reinforce* strengthen*),key. and (공동* (undeground* adj cavern*) 차수* 방수* ((water* 워터*) adj (proof* 프루프* 베리어* 배리어* barrier*)) ((지오* geo*) adj (tube* 튜브*) 충전* 동결* ((지반* 그라운드* ground*) adj (프리징* 프리즈* freez*)))	407	109	191	54	761
	IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기술 (BD)	(굴착* 터파기* 땅파기* dig* excavat*) and ((지반* 그라운드* ground*) and (측정* measur*, gauge* check* 감시* surveillance* observ* watch* vigilance* 계측* 모니터* mornitor* instrument* 진단* diagnosis* diagnose* 모델링* modeling* 영상화* 이미징* imaging*)),key. and (손상* 데미지* 붕괴* collapse* 거동* 변형* modif* transform* 변화* behavior* 침하*)	59	178	476	52	765

마. 특허 및 논문 검색 결과

[표 2-5] 노이즈 제거 후 검색식 및 검색 건수

기술분류	한국	미국	일본	유럽	합계
AA	193	21	160	15	389
AB	19	23	67	23	132
AC	106	56	17	21	200
AD	14	103	60	25	202
BA	276	51	397	26	750
BB	139	15	343	7	504
BC	251	65	136	4	456
BD	15	46	235	15	311
합계	1,013	380	1,415	136	2,944

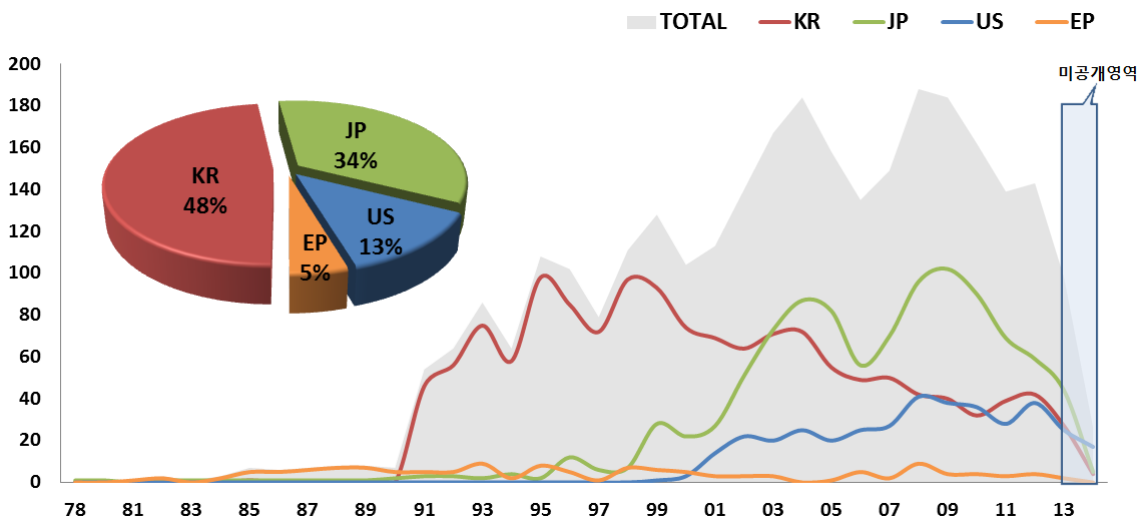
[표 2-6] 논문 유효검색 건수

기술분류	AA	AB	AC	AD	BA	BB	BC	BD	합계
합계	383	356	342	396	321	382	189	206	2,575

바. 특허 동향분석

- 안전한 지반 굴착기술 분야와 관련하여 총 2,944건의 특허가 검색되었으며, 총 2,944건의 특허 중 도심지 개착식 지반굴착 기술(A) 923건, 도심지 비개착식 지반굴착 기술(B)이 2,021건이 분석됨
- 국내에서는 개착식공법을 이용한 발파식 굴착이 많은 비중을 차지 학 있고, 최근 발생한 개착식 흙막이 굴착공사로 인한 다수의 사고 및 인접시설물에 영향을 끼친 사례가 발생하고 있어 도심지 개착식 지반굴착 기술(A)과 도심지 비개착식 지반굴착 기술(B)에 대한 연구는 서로 관련 기술로서 보완적인 모습을 보이면서 안전한 지반 굴착기술이 병행 발전할 것으로 판단됨
- 특허 비개착식 지반굴착 기술(B)은 무발파에 따른 소음과 진동이 발생하지 않는 점은 우리 사회가 요구하고 있는 친환경적 기대와 부합하고, 소음과 진동으로 자칫 환경피해를 유발할 수 있는 여타의 공법과 달리 원형의 단면으로 굴착하게 돼 지반 변형을 최소화하고 안전한 작업환경을 보장받는 장점이 있어, 앞으로 비개착식 지반굴착 기술(B)에 대한 연구 개발 및 이에 따른 특허 출원은 증가할 것으로 예상됨
- 안전한 지반 굴착기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 유럽에서 관련 연구가 시작되어 90년대 한국에서의 관련 연구가 급증하고 이에 따른 특허 출원이 병행하여 증가하고 있는 것으로 보임

- 1991년부터 한국 출원건수의 높은 증가율의 영향으로 출원 건수가 증가하기 시작하여, 2003년까지 안전한 지반 굴착기술 분야에 관련된 연구개발이 급증하다가 2007년에서 2009년 까지 다시 증가추세로 나타나고 있음
- 한국은 90년대부터 안전한 굴착 분야에 대한 연구 개발이 급증하였고 이에 따라 출원건수가 급증하는 추세를 보이고 있고 이후 2000년부터는 출원이 줄어드는 경향을 보임
- 일본의 경우 90년대 초반까지 출원 건수가 미비하다가 90년대 초반부터 급격이 증한 이후 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있어, 2000년 “대심도 지하의 사용에 관한 특별조치법”을 제정하였고, 사용권 허가를 얻게 되면 기업은 토지 소유자의 의사와 관계없이 사업을 실시할 수 있게 되었고, 특히 실드터널기술의 발달에 따른 것으로 판단됨
- 이는 주거시설이나 상업시설이 밀집해 있는 도심지의 지하터널, 도시철도 역사, 대규모 상업시설, 초고층 빌딩의 기초 공사 등으로 인한 지반굴착관련 사고가 빈번히 발생하고 있어 경제적인 손실 뿐 아니라 인명피해가 발생하여 사회적인 비용이 급속히 증가하는 추세를 반영하고 있는 것으로 추측됨
- 주요시장국 연도별 특허동향 그래프에서 2013년 이후 출원이 감소하는 것은 특허출원 후 1년 6개월이 경과되어 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 미공개로 인해 특허분석 데이터 상에 포함되지 않음을 유의해야 함

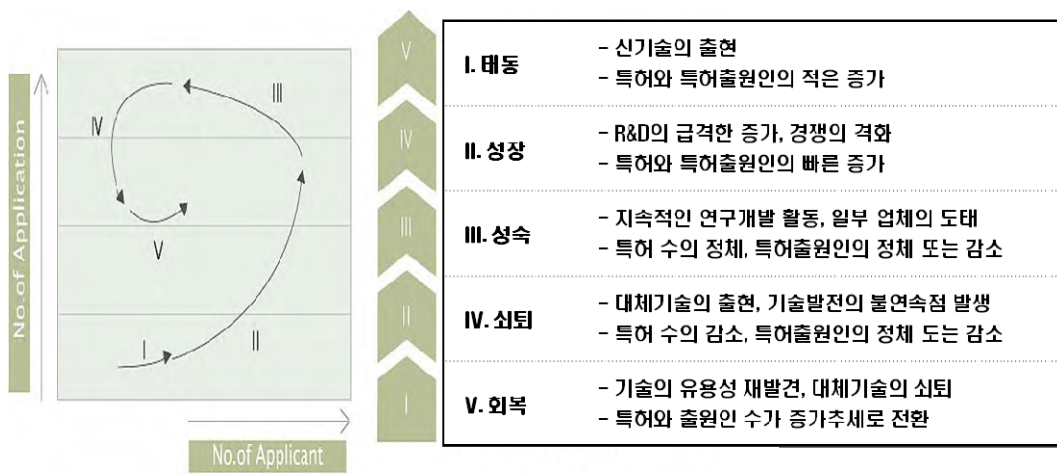


〈그림 2-8〉 연도별 전체 출원수

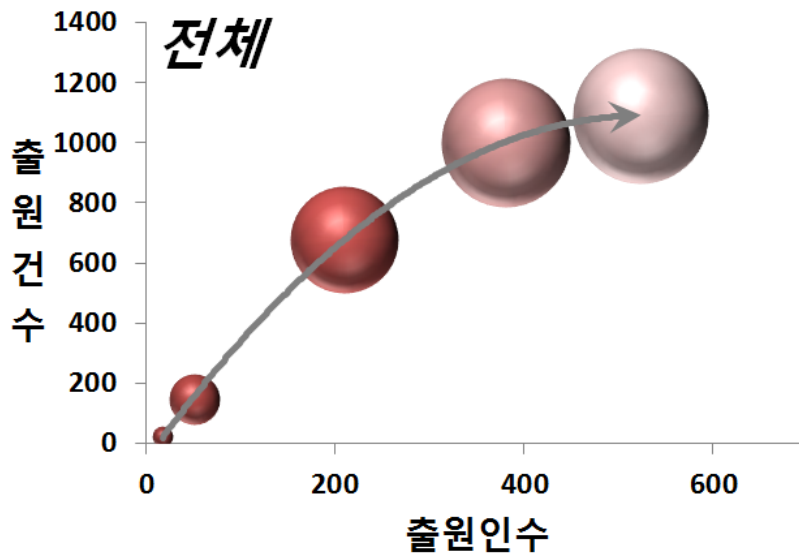
사. 기술 수명주기 분석

- 본 그래프는 안전한 지반 굴착기술 분야의 전체 및 해당 국가의 기술 위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로 전체 출원 중 최근의 출원 동향을 5개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있음

- X축은 출원인 수(특허 자수)이고, Y축은 출원 건수(특허건수)이며, 각 구간은 1구간(1980년~1986년), 2구간(1987년~1992년), 3구간(1993년~1999년), 4구간(2000년~2006년), 5구간(2007년~2014년)으로 구분함
- 안전한 지반 굴착기술 분야에 대해 전 세계 기술 위치를 포트폴리오로 분석해보면 1구간(1980년~1986년)부터 5구간(2000년~2006년)까지 출원 건수와 출원인 수가 계속 증가하는 성장 단계를 보이고 있어 안전한 지반 굴착기술 분야에 대한 연구 개발 및 이에 따른 특허 출원이 급격히 증가하는 추세로 분석되나, 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향을 지속적으로 모니터링 해야 할 것임

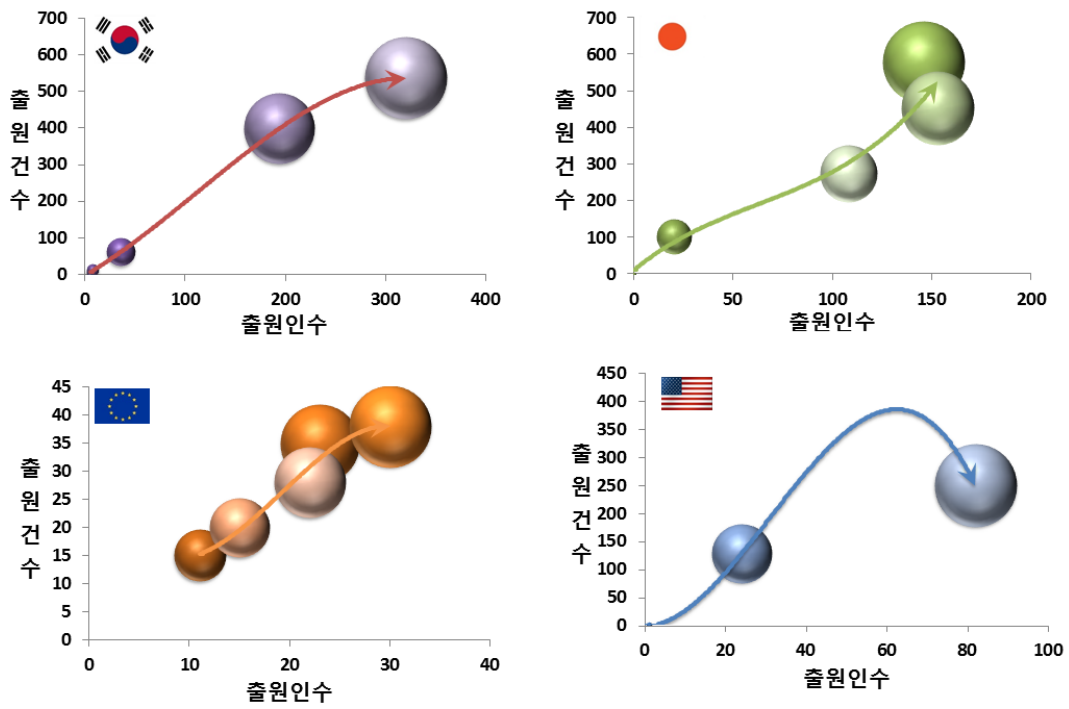


〈그림 2-9〉 기술 수명주기 판단 기준



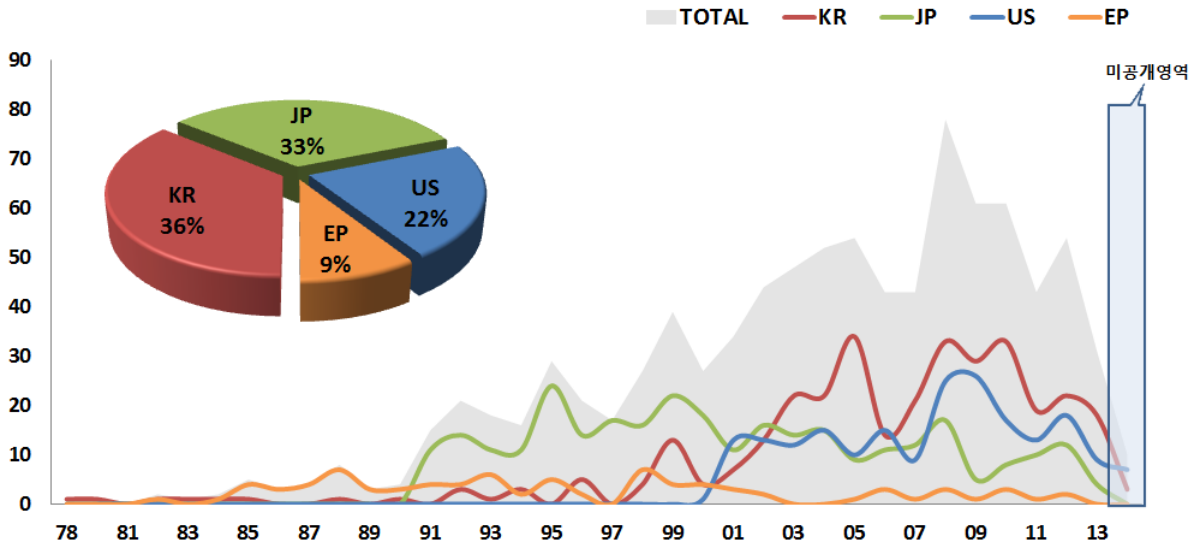
〈그림 2-10〉 전체 기술 수명 주기

- 이는 해당 기술의 주요 출원국인 한국과 일본의 영향이라고 판단되며, 한국의 경우 2000년 대부터 출원 및 출원인의 급격한 증가가 있었고, 일본은 1990년대 중반부터 출원 및 출원인의 급격한 증가를 나타내고 있음
- [한국] 포트폴리오로 나타난 한국특허의 기술위치는 1구간(1980년~1986년)부터 2구간(1987년~1992년)까지는 출원 및 출원인이 전무한 상태에 있다가 3구간(1993년~1999년)부터 출원 및 출원인이 나타나기 시작하고, 이후 4구간 및 5구간(2000년~2014년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 계속 증가하는 발전기의 단계를 보이고 있어 최근 전한 지반 굴착기술 분야에 대한 전 국민적인 관심, 관련기관 및 학술단체의 많은 관심과 연구개발 노력이 증가하고 있는 것으로 분석됨
- [일본] 포트폴리오로 나타난 일본특허의 기술위치는 1구간(1980년~1986년)까지 출원 건수가 거의 없는 상태이다가 2구간(1987년~1992년)부터 출원이 늘어나기 시작하다가 4구간(2000년~2006년)부터 5구간(2007년~2014년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 큰 폭으로 증가하는 성장기의 단계를 보이고 있어 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향을 지속적으로 모니터링 해야 할 것임
- [미국] 포트폴리오로 나타난 미국특허의 기술위치는 1구간(1987년~1990년)부터 3구간(1993년~1999년)까지 출원 건수가 거의 없는 상태이다가 4구간(2000년~2006년)부터 증가율이 확연하게 증가 추세에 있는 것으로 나타나는 것으로 보아, 4구간(2000년~2006년)에 기술개발에 참여하는 연구주체가 늘어나 급격한 기술 개발이 이루어지는 발전단계로 분석되며, 이후부터 5구간(2007년~2014년)까지 출원건수와 출원인의 수의 증가율이 낮은 양상을 보이고 있어 성장기로 판단되나 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향을 지속적으로 모니터링 해야 할 것임
- [유럽] 포트폴리오로 나타난 유럽특허의 기술위치는 1구간(1987년~1990년)부터 5구간(2000년~2014년)까지는 출원인 수가 다소 감소한 상태에서 출원 건수도 약간 감소하는 양상을 보이고 있으나, 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향을 지속적으로 모니터링 해야 할 것임
- 유럽출원은 상대적으로 분석대상 특허건수가 적어 큰 의미는 없다고 판단됨



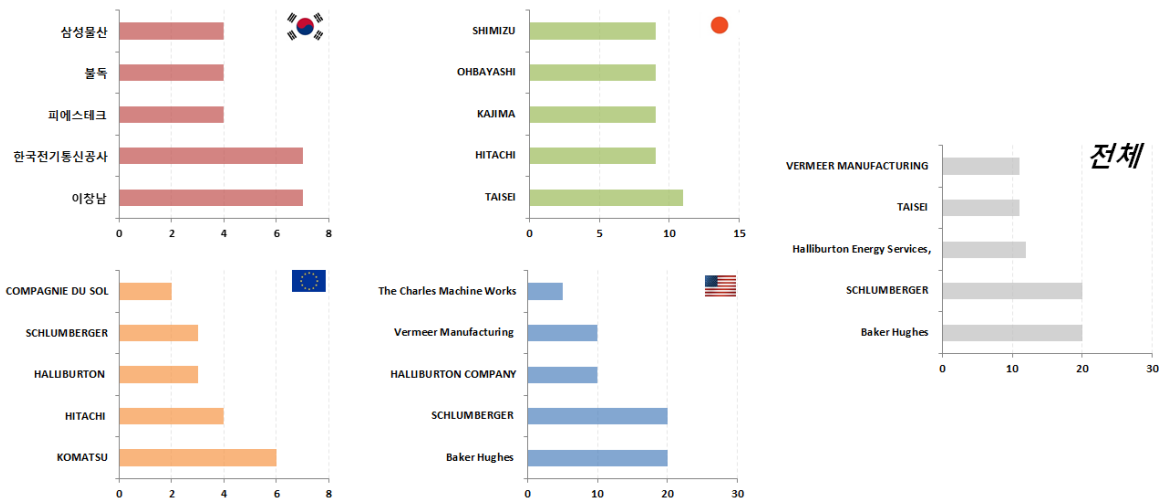
〈그림 2-11〉 국가별 기술 수명 주기

아. 도심지 개착식 지반굴착 기술의 특허출원 분석



〈그림 2-12〉 연도별 출원수

- 도심지 개착식 지반굴착 기술의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1989년까지는 유럽을 제외하고 출원 건수가 미미한 수준이었다가, 1990년 일본에서 출원이 늘어가기 시작하였고, 1992년 이후부터 출원 증감이 반복되면서 전체적으로 출원은 늘어나는 추세를 보이고 있는 것으로 나타남
- 국가별로 살펴보면, 한국특허[KIPO]는 1991년까지 출원이 거의 없는 상태를 유지하다가 1991년 부터 1997년 까지 출원건수의 증가와 감소가 반복되었고, 1999년부터 출원수가 급증하여 이후 2006년까지 지속적으로 출원 건수가 증가하는 경향을 보이다가 2006년에 출원 건수가 급감하였으나 2010년에 최고 정점을 찍고 최근에는 감소하는 추세를 나타내고 있음
- 일본특허[JPO]는 1990년대부터 출원 건수가 급증하여 1995년에 최고 정점을 찍고 이후 현재까지 출원 건수는 점차적으로 감소하는 경향을 보이고 있어 1990년부터 2000 사이에 걸쳐 출원건수의 증가와 감소가 집중되어 이 기술 분야에 대한 검증단계를 지난 것으로 판단됨
- 미국특허[USPTO]는 2000년 이전까지는 출원건수가 거의 전무한 상태이다가 2000년 부터 출원 건수가 급증하는 경향을 보이기 시작하였고, 이후 출원 건수를 유지하다가, 2008년에 다시한번 출원건수가 급증하는 경향을 보이면서 2009년에 최고 점을 찍고, 현재는 감소하는 추세로 나타나고 있어 이 분야의 연구개발은 2009년을 정점으로 활발히 진행되었던 것으로 나타남
- 유럽특허[EPO]는 80년대부터 출원 건수가 있었으나, 다른 국가들에 비해 출원건수 증가와 감소에 대한 등락의 차이가 크지 않으며, 출원건수도 많지 않은 것으로 나타나고 있고, 유럽특허만의 그래프를 참고하면, 1985년부터 1993년 까도심지 개착식 지반굴착 기술분야에 연구 개발이 이루어지고 이에 따른 출원건수가 있었던 것으로 나타남
- 나라별 출원 점유율 그래프를 보면, 한국이 36%로 가장 많은 출원을 하는 것으로 나타났고, 그 뒤로 일본 33%, 미국 22%로 나타나고 있으며, 유럽은 9%로 다른 국가들에 비해 출원건수가 많지 않은 것으로 판단됨
- 나라별 출원 점유율 그래프에서 나타나듯이 도심지 개착식 지반굴착 기술에 대한 연구 개발은 한국과 일본에서 가장 왕성하게 진행되는 것을 알 수 있음
- 주요시장국 연도별 특허동향 그래프에서 2013년 이후 출원이 감소하는 것은 특허출원 후 1년 6개월이 경과되어 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 미공개로 인해 특허분석 데이터 상에 포함되지 않음을 유의해야 함



〈그림 2-13〉 국가별 주요 출원인

- [한국]의 주요출원인은 이창남, 한국전기통신 공사가 주요 출원인이며, 그 뒤로 삼성물산, 불독, 피에스테크가 출원을 하였으며, 개인 출원인인 이창남은 “흙막이 공법”에 관한 특허를 출원하였고, 한국 전기 통신 공사는 “통신 선로 또는 전기 선로 공사를 위한 굴착 기술”을 연구하는 것으로 나타나며, 삼성물산, 불독, 피에스테크 같은 건설회사를 중심으로 비교적 많은 도심지 개착식 지반굴착 기술에 대한 연구 개발이 진행되어 이 분야의 특허출원이 활발한 것으로 나타남
- [일본]은 TAISEI 가 가장 많은 출원 건수를 나타내고 있으며, 그 뒤로 HITACHI, KAJIMA, OHBAYASHI, SHIMIZU TOBISHIMA가 각각 많은 출원 건수를 나타내고 있고, TAISEI는 “중형 실드 굴진기와 굴진 방법”, “시트 파일의 비개삭 측의 개량 장치와 개량 방법” 등의 기술에 대해서 출원하여 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야에 대한 연구개발을 수행하여 출원을 진행한 것으로 판단되고, HITACHI는 “건설기계”, “굴착 영역 제한 제어의 기초 정보 연산 장치 및 연산 방법 및 건설기계” 등과 같은 굴착 기계에 대하여 연구개발을 진행하고 특허를 출원한 것으로 판단됨
- [미국]의 주요출원인은 Baker Hughes, SCHLUMBERGER, VERMEER MANUFACTURING, HALLIBURTON 등의 미국 출원을 하고 있으며, Baker Hughes는 “SYSTEM AND METHOD FOR DOWNHOLE BLOWOUT PREVENTION”, “Downhole Local Mud Weight Measurement Near Bit”과 같은 기술을 보유하고 있는 것으로 나타남
- [유럽]출원은 한국, 미국, 일본에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타나며, KOMATSU가 가장 많은 출원을 하는 것으로 나타나고, 그 뒤로 HALLIBURTON, HITACHI가 유럽에 출원을 하고 있는 것으로 나타나며, KOMATSU는 “굴착기의 굴착 제어 시스템” 등의 굴착 기계에 관한 기술을 보유하고 있는 것으로 나타나 일본 국적의 출원인들이 유럽에 출원을 주도하고 있는 것으로 분석됨

- 전체 상위 톱 5에는 미국의 Baker Hughes사가 도심지 개착식 지반굴착 기술과 관련하여 연구 개발을 가장 활발히 하여 이에 따른 출원 건수가 가장 많은 것으로 나타났고, 그 뒤로 SCHLUMBERGER사가 가장 많은 출원을 하고 있는 것으로 나타남
- 도심지 개착식 지반굴착 기술분야 에서는 미국의 SCHLUMBERGER가 미국에서 20건, 유럽에서 5건을 출원하여 미국 및 유럽에서 출원한 것으로 나타고, HALLIBURTON이 미국에서 10건, 유럽에서 5건을 출원하여 미국 및 유럽에서 출원한 것으로 나타남
- 일본의 HITACHI는 일본에서 9건 유럽에서 4건을 출원하여 일본과 유럽에서 출원한 것으로 나타남
- 도심지 개착식 지반굴착 기술분야에서는 3개국 이상의 여러 나라에 출원하는 주요 출원인은 조사되지 않았으며, 2개국 이상 출원한 SCHLUMBERGER, HALLIBURTON, HITACHI는 자국의 출원을 기초로 유럽에 출원한 것으로 나타나며, 자국의 출원 건수가 유럽의 출원건수보다 많은 것으로 보아 자국 출원을 우선하는 것으로 나타남

[표 2-7] 국가별 주요 출원인

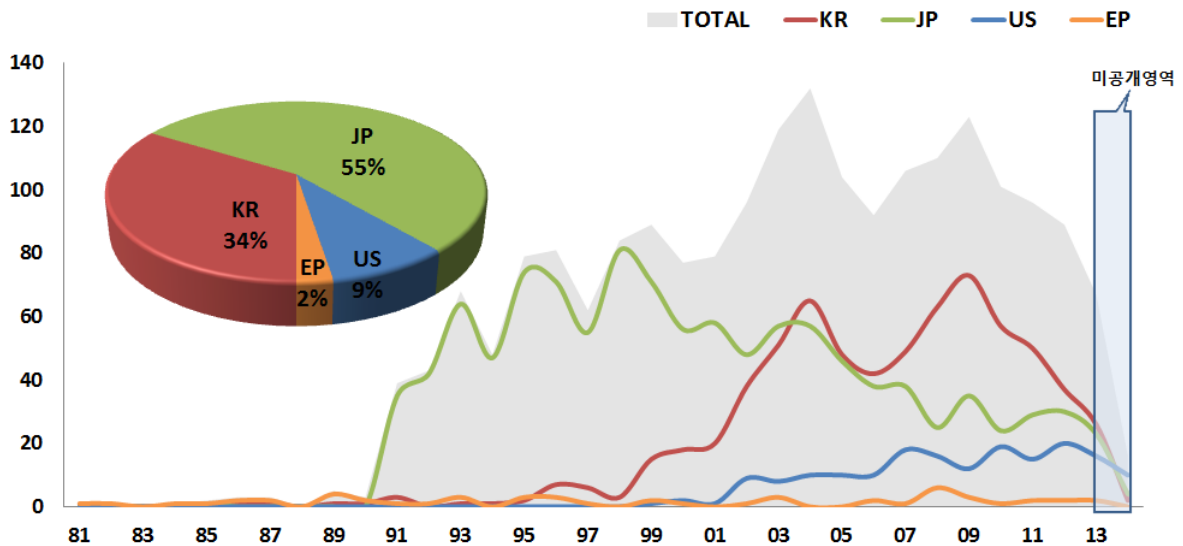
순위	한국		미국		일본		유럽	
	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수
1	이창남	7	BAKER HUGHE	22	TAISEI	11	KOMATSU	6
2	한국전기통신공사	7	SCHLUMBERGER	20	HITACHI	9	HALLIBURTON	5
3	피에스테크	4	HALLIBURTON	10	KAJIMA	9	SCHLUMBERGER	5
4	불독	4	Vermeer Manufacturing	10	OHYASHI	9	HITACHI	4
5	삼성물산	4	The Charles Machine Works	5	SHIMIZU	9	COMPAGNIE DU SOL	2
6	동아지질	4	Allan HENDERSON	2	FUJITA	6	Den Norske Stats Oljeselskap	2
7	스마트엔지니어링	4	NIHON KANKYO	2	TAKENAKA KOMUTEN	6	JAPANIC	2
8	대한지오이엔씨	3	OCEAN RISER SYSTEMS	2	CHIYODA SOILTECH	5	Trevi S.p.A.	2
9	한국건설공법	3	Unitac	1	KUMAGAI GUM	5	Alfred Kunz	1
10	금강공업	3	Allan P. HENDERSON	1	FUKUDA	4	B & amp	1

- 도심지 개착식 지반굴착 기술분야에서는 HITACHI가 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술 분야(AA)에서 6건, 대심도(30m 이상) 수직 굴착 기술 기술 분야(AB)에서 6건을 출원하고, KAJIMA가 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술 분야(AA)에서 6건, 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술 분야(AD)에서 2건을 출원하는 등 일본 기업이 비교적 중복되는 분야에서 연구개발이 이루어지는 것으로 나타남
- VERMEER MANUFACTURING은 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술 분야(AC)에서 8건, 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술 분야(AD)에서 3건을 출원한 것으로 나타남
- 도심지 개착식 지반굴착 기술분야는 HITACHI, KAJIMA 등의 일본 출원인이 비교적 많은 출원을 하는 것으로 조사되어 도심지 개착식 지반굴착 기술분야는 일본을 중심으로 연구 개발이 이루어지고 있는 것으로 판단됨

[표 2-8] 기술별 주요 출원인

순위	AA		AB		AC		AD	
	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수
1	한국전기통신공사	7	HITACHI	6	VERMEER MANUFACTURING	8	SCHLUMBERGER	20
2	HITACHI	6	SHIMIZU	5	SCHLUMBERGER	6	Baker Hughes	17
3	KAJIMA	6	TAKENAKA KOMUTEN	5	이창남	6	HALLIBURTON	15
4	TAISEI	6	OHBAYASHI	3	불독	4	The Charles Machine Works	5
5	CHIYODA	5	TAISEI	3	대한지오이엔씨	3	FUJITA	3
6	피에스테크	4	Allan HENDERSON	2	한국건설공법	3	VERMEER MANUFACTURING	3
7	OHBAYASHI	4	ARKEMA FRANCE	2	금강공업	3	CENTRAL RES INS	2
8	동아지질	4	COMPAGNIE DU SOL	2	한국전력공사	3	CHINETSU GIJUTSU	2
9	스마트엔지니어링	4	Den Norske Stats Oljeselskap	2	홍순권	3	GEO SEARCH	2
10	FUJITA	3	FUKUDA	2	Baker Hughes	2	KAJIMA	2

자. 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 특허출원 분석

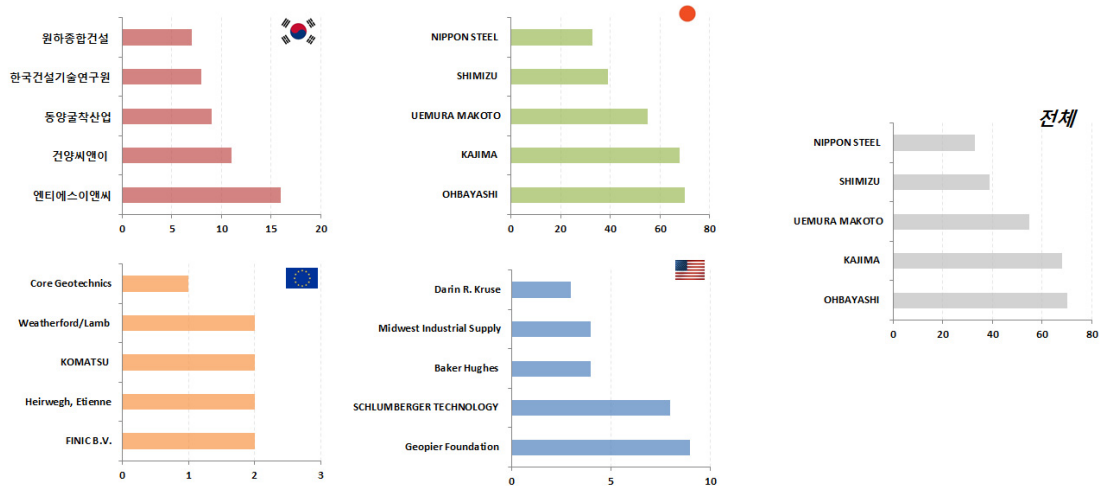


〈그림 2-14〉 연도별 출원수

- 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1990년 이전까지는 유럽을 제외하고는 출원 건수는 전무하다가, 1990년 이후 일본의 출원 건수가 급격히 증가하고, 2000년대 이후 한국의 출원 건수가 증가하는 추세를 보이고 있어, 전체적으로는 출원 건수가 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타남
- 국가별로 살펴보면, 한국특허[KIPO]는 1995년까지 출원이 거의 없는 상태를 반복하다가 1991년에 출원이 시작되었고 이후 1996년부터 출원수가 증가하는 것을 보이고 있으며, 2004년 까지 급격히 증가하는 추세를 보이다가 2006년에 출원이 감소하다가 2009년 최고 출원 건수를 기록하며 급격히 증가하고 있어 전체 적으로는 출원 건수는 증가하는 것으로 나타남
- 일본특허[JPO]는 1985년부터 출원이 시작되어 1991년부터 출원건수가 급격히 증가하는 추세를 보이기 시작하여 1999년까지 등락을 반복하다가 2000년 이후 출원은 감소하는 경향을 보이고 있어 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에 대한 검증단계를 지난 것으로 판단되며, 이러한 검증단계는 현재까지도 지속되고 있는 것으로 나타남
- 미국특허[USPTO]는 1998년 이전까지는 출원건수가 없는 상태로 지속되다가 1999년 첫 출원이 이루어 졌고, 이후 현재까지 출원은 증가하는 추세이나, 한국, 일본에 비교하여 볼 때 출원수는 많지 않은 것으로 나타나 미국에서는 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에 대한 연구 개발이 한국, 일본에 비해 많지 않은 것으로 판단됨
- 유럽특허[EPO]는 다른 국가들에 비해 출원건수 증가와 감소에 대한 등락의 차이가 크지 않으며, 출원건수도 많지 않은 것으로 나타나고 있지만, 유럽특허만의 그래프를 참고하면,

1981년부터 출원건수를 보이고 있어 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에 대한 연구는 가장먼저 이루어진 것으로 판단됨

- 나라별 출원 점유율 그래프를 보면, 일본이 55%로 가장 많은 출원을 하는 것으로 나타났고, 그 뒤로 한국 34%를 나타내고 있고, 미국과 유럽은 각각 9%, 2%를 나타내고 있어, 일본과 한국에 비해 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야 분야에 대한 연구가 활발하지 않는 것으로 판단됨
- 나라별 출원 점유율 그래프에서 나타나듯이 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에 대한 연구 개발 및 이에 따른 출원은 일본에서 가장 왕성하게 진행되는 것을 알 수 있음
- 한편, 주요시장국 연도별 특허동향 그래프에서 2013년 이후 출원이 감소하는 것은 특허출원 후 1년 6개월이 경과되어 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 미공개로 인해 특허분석 데이터 상에 포함되지 않음을 유의해야 함



〈그림 2-15〉 국가별 주요 출원인

- [한국]의 주요출원인은 엔티에스이앤씨가 가장 많은 출원 건수를 보유하고 있고, 그 뒤로 건양씨앤이, 동양굴착산업, 한국건설기술연구원, 원하종합건설이 출원 건수를 보유하고 있어, 한국은 건설 회사 및 건설 장비 회사를 중심으로 연구단체를 중심으로 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야의 연구 개발 및 특허 출원이 활발히 진행되는 것으로 분석되며, 엔티에스이앤씨는 “지하터널 형성용 구조물 설치방법” 등에 대한 특허를 출원하였으며, 건양씨앤이는 “아치형 삼각 파이프 루프공법에 의한 지하 통로 구축 공법및 그 장치” 등을 출원하고 있는 것으로 나타남
- [일본]은 OHBAYASHI가 가장 많은 출원건수를 나타내고 있으며 그 뒤로 OHBAYASHI가 많은 출원 건수를 나타내고 있고, KAJIMA, UEMURA MAKOTO, SHIMIZU 등이 주요 출원을 하고 있으며, OHBAYASHI는“지하구조 및 지하구체를 가지는 건조물의 개축 방법” 등

의 기술에 대해서 출원하여 도심지 비개착식 지반굴착 기술 관련분야에 기술을 보유하고 있는 것으로 판단되고, KAJIMA는 “비개착 굴착 장치” 등을 출원하여 비개착 분야에 대한 연구 개발을 수행하고 이에 따른 특허 출원을 하는 것으로 판단됨

- [미국]의 주요출원인은 Geopier Foundation, SCHLUMBERGER TECHNOLOGY, Baker Hughes 등이 미국에 출원을 진행하고 있고, Geopier Foundation는 “APPARATUS AND METHOD FOR GROUND IMPROVEMENT” 등을 출원하여 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에 대한 연구 개발을 수행하고 이에 따른 특허 출원을 하는 것으로 나타남
- [유럽]출원은 FINIC B.V., Heirwegh, Etienne 등이 출원 하는 것으로 나타났으나, 한국, 미국, 일본에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타나며, 그 출원 건수가 2건 이내로 많지 않은 것으로 조사됨
- 전체 상위 톱 5에는 일본의 “OH BAYASHI”가 가장 많은 출원 건수를 기록하고 있고, 그 뒤로 KAJIMA, UEMURA MAKOTO, SHIMIZU가 많은 출원 건수를 기록하고 있어 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에서는 일본국적의 기업이 압도적으로 많은 연구 개발과 이에 따른 출원을 진행하는 것으로 나타남
- 한국은 엔티에스이앤씨가 가장 많은 출원 건수를 보유하고 있어 주요 출원인으로 조사되었고, 미국은 Geopier Foundation이 가장 많은 출원 건수를 보유하고 있어 주요출원인으로 조사됨
- 일본은 OH BAYASHI가 가장 많은 출원건수를 나타내고 있어 일본의 주요 출원인으로 조사되었으며 유럽은 FINIC B.V., Heirwegh, Etienne 등이 출원 하는 것으로 나타났으나, 한국, 미국, 일본에 비해 많은 건수를 출원하는 출원인은 없는 것으로 조사됨
- 살펴본 바와 같이 한국, 미국, 일본, 유럽에 중복하여 출원한 주요 출원인은 조사되지 않아 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에서는 여러 나라에 중복 출원하는 출원인은 없는 것으로 나타남
- 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야 에서는 OH BAYASH가 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기술 분야(BA)에서 21건, 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법 분야(BB)에서 32건, 안전 지반굴착 보강 신기술 분야(BC)에서 6건, IT기술 및 계측 자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기술 분야(BD)에서 11건을 출원하여 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야(B) 전반에 걸쳐서 많은 출원을 하는 것으로 나타남
- KAJIMA, NIPPON STEE, FUJITA, SHIMIZU, TAISEI 등도 두 개 이상의 분야에서 출원을 하는 것으로 조사됨
- 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야는 OH BAYASH, KAJIMA 등의 일본 출원인이 주로 출원하는 것으로 조사되어 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야는 일본을 중심으로 연구 개발이 이루어지고 있는 것으로 판단됨

[표 2-9] 국가별 주요 출원인

순위	한국		미국		일본		유럽	
	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수
1	엔티에스이앤씨	16	Geopier Foundation	9	OHBAYASHI	70	FINIC B.V.	2
2	건양씨앤이	11	SCHLUMBERGER TECHNOLOGY	8	KAJIMA	68	Heirwegh, Etienne	2
3	동양굴착산업	9	Baker Hughes	4	UEMURA MAKOTO	55	KOMATSU	2
4	한국건설기술연구원	8	Midwest Industrial Supply	4	SHIMIZU	39	Weatherford	2
5	원하종합건설	7	Darin R. Kruse	3	NIPPON STEEL	33	Core Geotechnics	1
6	김정윤	6	R&	3	TAISEI	32	ONTARIO	1
7	김창근	6	Allan HENDERSON		JFE ENGINEERING	27	Boissie, Chantal	1
8	삼보굴착	6	Vermeer Manufacturing	2	TAKENAKA KOMUTEN	26	CAMCO DRILLING GROUP	1
9	송기용	6	GEOPIER FOUNDATION	2	KUBOTA	25	CBK S.r.l.	1
10	경전굴착	6	Weatherford	2	OKUMURA	24	Clavarino, Amedeo	1

[표 2-10] 기술별 주요 출원인

순위	BA		BB		BC		BD	
	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수
1	UEMURA MAKOTO	55	OHBAYASHI	32	Geopier Foundation	9	OHBAYASHI	11
2	KAJIMA	34	KAJIMA	23	OHBAYASHI	6	OKUMURA	11
3	NIPPON STEE	29	TAKENAKA KOMUTEN	18	OKABE	6	TAKENAKA DOBOKU	9
4	JFE ENGINEERING	24	NIPPON STEEL	14	FUJITA	6	CHEMICAL GROUTING	8
5	KUBOTA	24	FUJITA	10	쌍용건설	5	KAJIMA	8
6	UEMURA KOICHI	22	KOBE STEEL	9	효창이엔지	4	SCHLUMBERGER	8
7	OHBAYASH	21	ISANWA KIZAI	8	KENSETSU KISO ENG	4	SHIMIZU	8
8	SHIMIZU	20	SHIMIZU	8	KFC	4	FUJITA	7
9	JFE KOKEN	16	TODA CONSTR	7	KUMAGAI GUMI	4	TAISEI	7
10	TAISEI	15	HAZAMA GUMI	6	Midwest Industrial Supply	4	ENAKA KOMUTEN	7

3. 논문 동향 분석

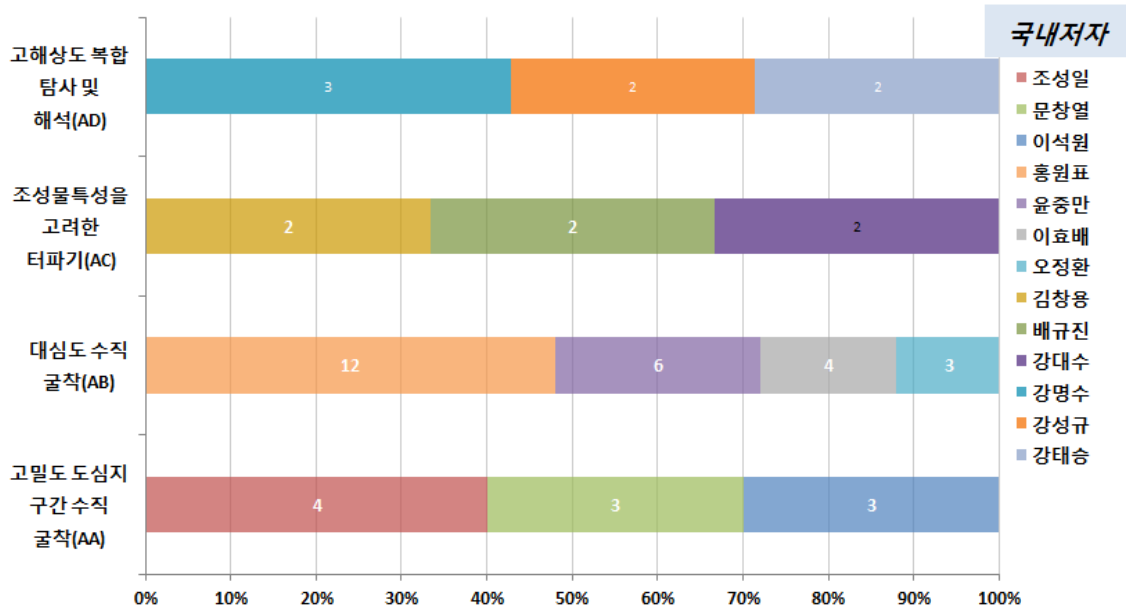
가. 도심지 개착식 지반굴착 기술 논문 동향

□ 연도별 전체 논문 발행건수 분석

- 안전한 지반 굴착기술 분야는 특히 문헌 뿐만 아니라 논문 자료를 통한 경향도 의미가 있을 거라 판단되어, 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야의 주요 논문을 통하여 대체적인 기술흐름과 연구를 파악함
- 논문 검색은 국토교통 창조경제 R&D포털 및 NDSL를 이용하였으며, 특허와 동일한 검색키워드를 사용하여 각 중분류별로 검색을 진행함
- 도심지 개착식 지반굴착 기술에 대한 논문의 발행연도별 동향을 보면, 거시적인 관점에서 1993년 이전까지는 논문 발표가 미비 하였고, 1994년 이후부터 지속적으로 증가세에 있다가 1996년, 2002년부터 2006년까지 논문 발표량이 급증하고 있다가, 현재는 논문 발표가 줄어드는 추세를 보이나, 전체적인 흐름상 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야의 연구 개발은 최근 10년 동안 확연히 늘어나고 있는 추세로 분석됨
- 연도 구간별 세부기술 동향을 살펴보면 4개 중분류 분야에서, 고해상도 복합 탐사 및 해석(AD) 분야가 27%로 가장 높은 비율을 차지하고, 그 뒤로 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술(AA) 분야가 26%, 대심도 수직 굴착 기술(AB)이 24%, 조성물특성을 고려한 터파기 기술(AC) 분야가 23%로 각각 나타나고 있음
- 도심지 개착식 지반굴착 기술의 4개 중분류 분야는 비슷한 비율로 논문이 발표되고 있음을 나타내며, 이는 4개 중분류 분야별가 각각 유사한 비율로 연구 개발이 진행되었음을 알 수 있음

□ 국내 저자 분석

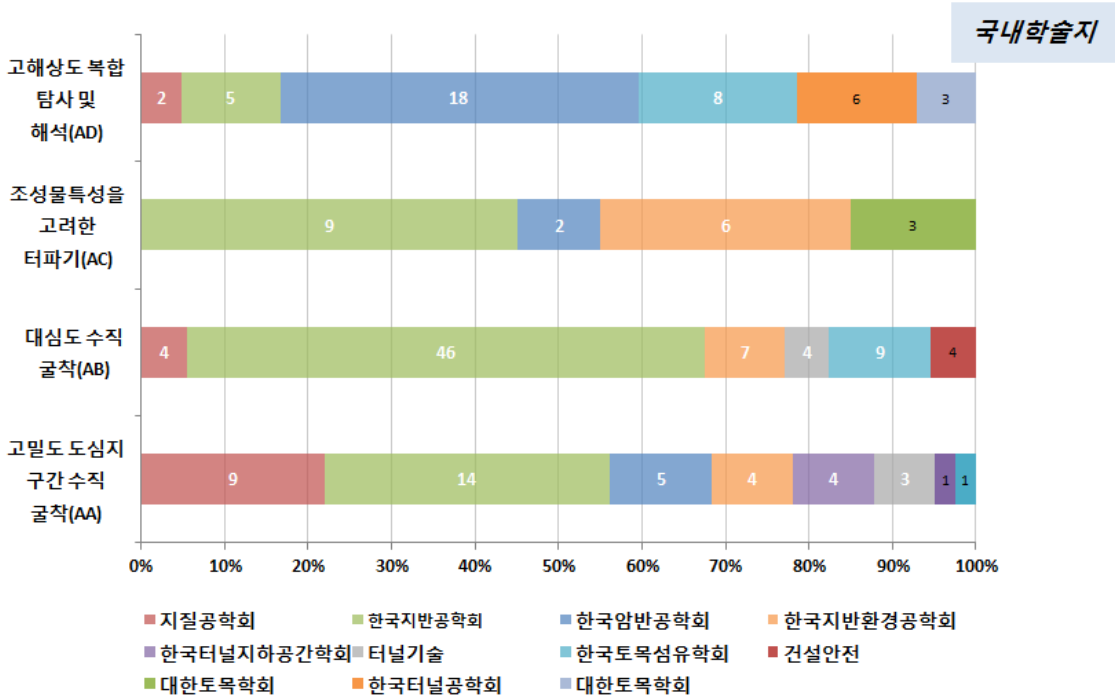
- 본 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야 국내 저널의 주요저자를 조사함
- 국내저널 주요 연구자는 홍원표(중앙대학교 건설시스템공학부)가, “지하굴착시 앵커지 지중연속벽에 작용하는 측방토압 및 벽체의 변형”을 한국 지반공학회 학회지에 수록하는 등 대심도(30m 이상) 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야에서 가장 많은 연구 개발을 하는 저자로 조사되었고, 조성일(서울시 도시안전본부장)이, “지하공동굴착 시 수리지질조사 자료를 이용한 저장공동 심도의 지하수체계 특성 연구”를 지질공학 학회지에 수록하는 등 고밀도 도심지 구간 수직 굴착(AA)분야에서 가장 많은 연구 개발을 하는 것으로 조사됨



〈그림 2-16〉 기술별 국내 논문 저자

- 조성물특성을 고려한 터파기 기술(AC)에서는 김창용, 배규진 등이 주요 연구 활동을 하는 것으로 나타났고, 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술(AD) 분야에서는 유광호, 권상기 등이 주요 연구 활동을 하는 것으로 나타남

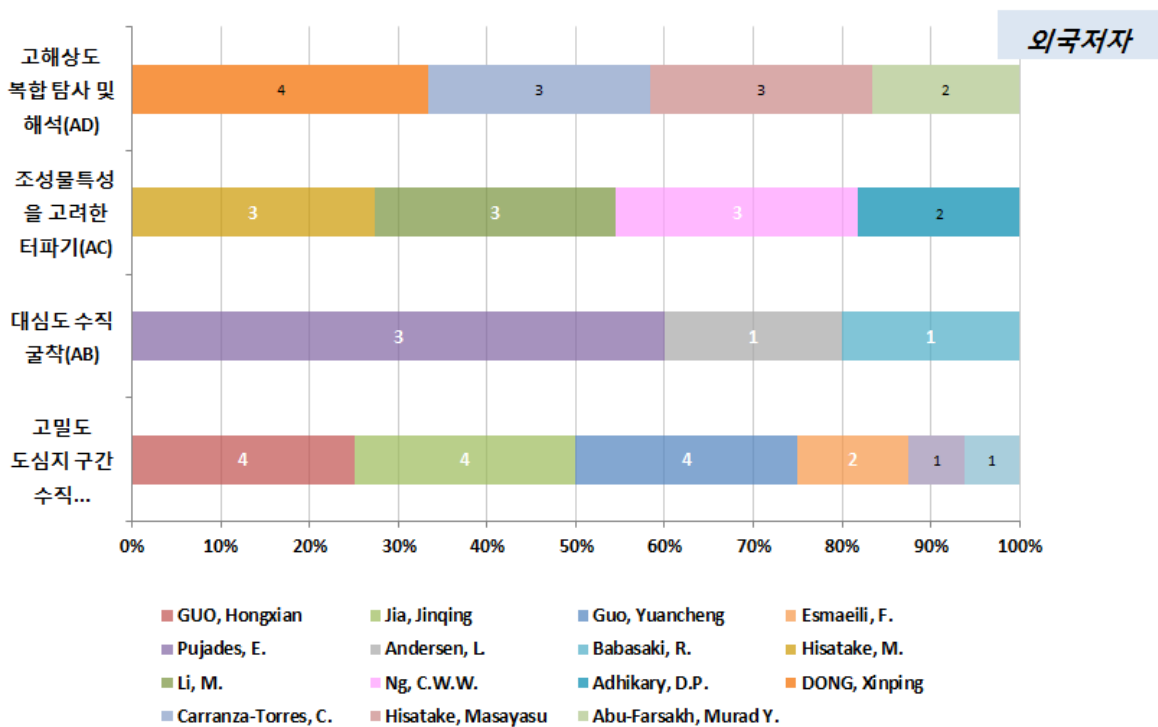
□ 국내 학술지 분석



〈그림 2-17〉 기술별 국내 학술지

- 본 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야에서 주요 논문이 게재된 국내 학술지를 검토함
- 지반공학 학회에는 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술 분야(AA)의 14건, 대심도 수직 굴착 기술 분야(AB)의 46건, 조성물특성을 고려한 터파기 기술(AC) 분야의 9건, 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술(AD) 분야의 5건을 각각 게재하여 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야에서 가장 많은 논문이 게재되는 것으로 조사됨
- 한국 암반공학회 학회지에는 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술 분야(AA)의 5건, 조성물특성을 고려한 터파기 기술(AC) 분야의 2건, 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술(AD) 분야의 18건이 각각 게재된 것으로 조사되어, 지반공학 학회 다음으로 많은 논문이 게재되는 것으로 조사됨
- 그 외에도 한국지반환경공학회, 한국터널지하공간학회, 한국터널공학회, 등에 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야의 논문이 게재된 것으로 조사됨

□ 국외 저자 분석



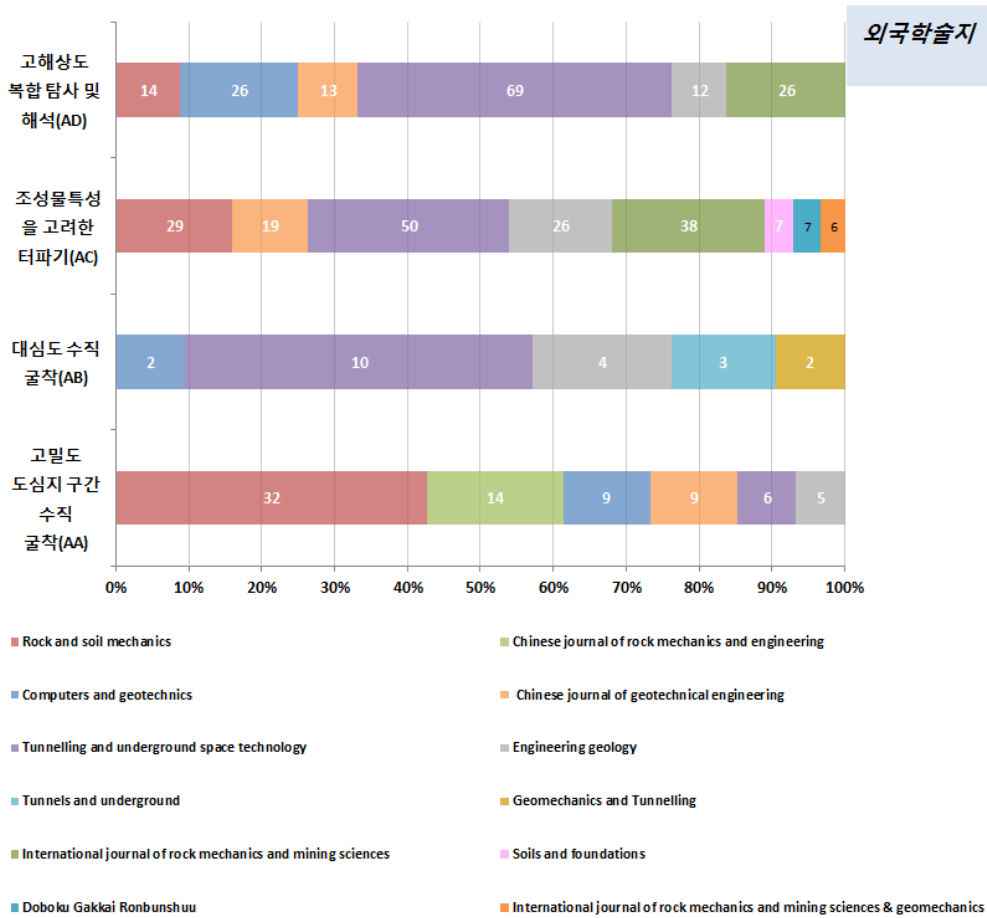
〈그림 2-18〉 기술별 외국 논문 저자

- 본 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야에서 주요 논문이 게재된 외국 학술지 저자를 검토함
- 외국저널의 주요 저자로는 GUO, Hongxian, Jia, Jinqing 등이 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술 분야(AA)에서 논문을 발표하고, Pujades, E. 등이 대심도 수직 굴착 기술

(AB) 분야에서 논문을 발표한 것으로 조사되어 본 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야에서의 주요 연구자로 조사됨.

- Hisatake, M., Li, M. 등이 조성물특성을 고려한 터파기 기술(AC) 분야의 논문을 발표한 것으로 조사되었고, DONG, Xinpeng 등이 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술(AD) 분야에서 논문을 발표한 것으로 조사되어 본 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야에서의 주요 연구자로 조사됨.

□ 국외 학술지 분석



〈그림 2-19〉 기술별 외국 학술지

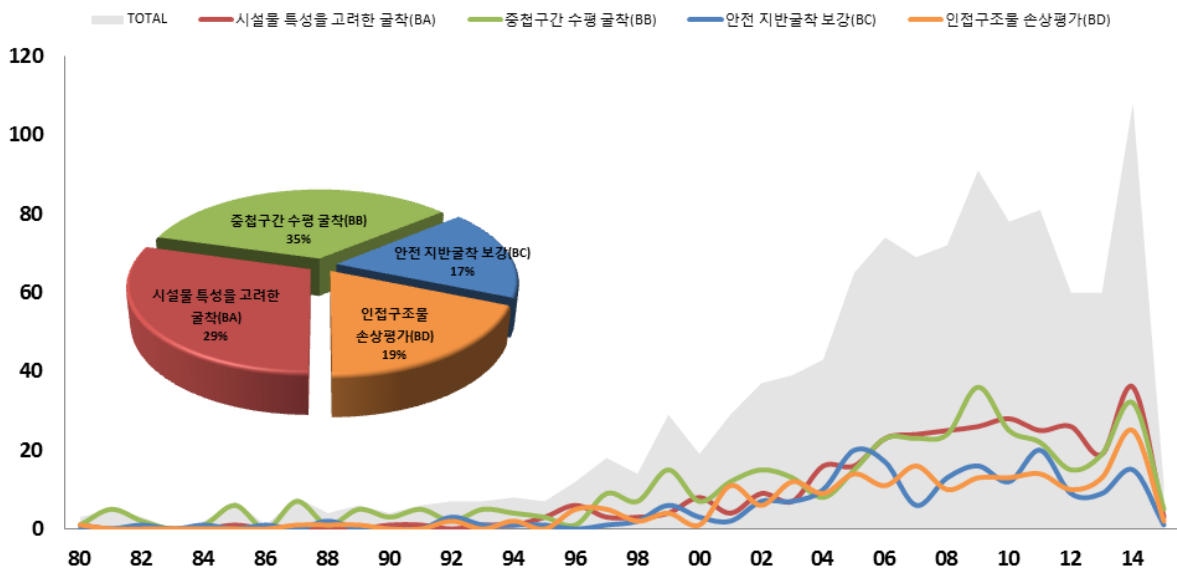
- 본 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야에서 주요 논문이 게재된 외국 학술지를 검토함
- Tunnelling and underground space technology에 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술 분야(AA)의 6건, 대심도 수직 굴착 기술 분야(AB)의 10건, 조성물특성을 고려한 터파기 기술(AC) 분야의 60건, 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술(AD) 분야의 59건이 게재되어 가장 많은 논문이 게재된 것으로 조사되었고, Rock and soil mechanics에 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술 분야(AA)의 32건, 조성물특성을 고려한 터파기 기술(AC) 분야의

29건, 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술(AD) 분야의 14건이 게재되어 Tunnelling and underground space technology 다음으로 많은 논문이 게재된 것으로 조사됨

- 이외에도 International journal of rock mechanics and mining sciences에 조성물특성을 고려한 터파기 기술(AC) 분야의 38건, 고해상도 복합 탐사 및 해석 기술(AD) 분야의 26건이 게재되는 등 다양한 외국 학술지에 주요 논문이 게재된 것으로 조사됨

나. 도심지 비개착식 지반굴착 기술 논문 동향

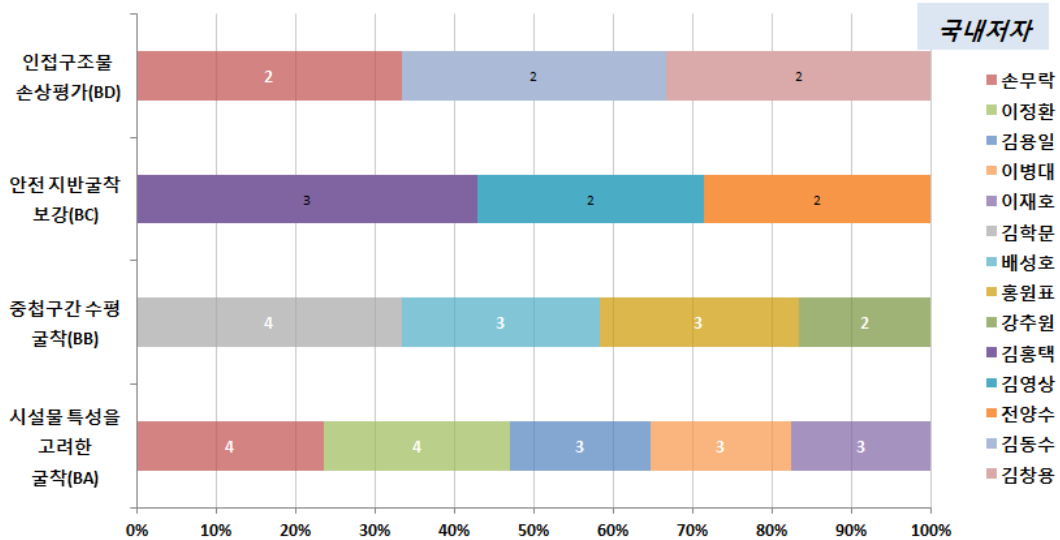
□ 연도별 전체 논문 발행건수 분석



- 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야는 특허문헌뿐만 아니라 논문 자료를 통한 경향도 의미가 있을 거라 판단되어, 주요 논문을 통하여 대체적인 기술흐름과 연구를 파악함
- 논문 검색은 국토교통 창조경제 R&D포털 및 NDSL를 이용하였으며, 특허와 동일한 검색키워드를 사용하여 각 중분류별로 검색을 진행함
- 도심지 비개착식 지반굴착 기술에 대한 논문의 발행연도별 동향을 보면, 거시적인 관점에서 1984년 이전까지는 논문 발표가 미비 하였고, 1992년 이후부터 논문 발표가 증가되는 경향을 보이고 있다가 1995년부터 2010년까지 등락을 반복하면서 전체적으로는 논문 발표가 급증하는 것으로 보아 이 시기에 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에 대한 연구 개발이 매우 활발하게 진행된 것으로 판단됨
- 2010년의 최고 정점 이후 논문 발표가 줄어드는 추세를 보이다가 최근 2012년 이후 다시 논문 발표가 급증하는 추세를 나타내는 것으로 보아 최근 비개착식 지반굴착 기술에 대한 사회적인 높은 관심으로 인한 연구개발이 활발히 진행되는 것으로 판단됨

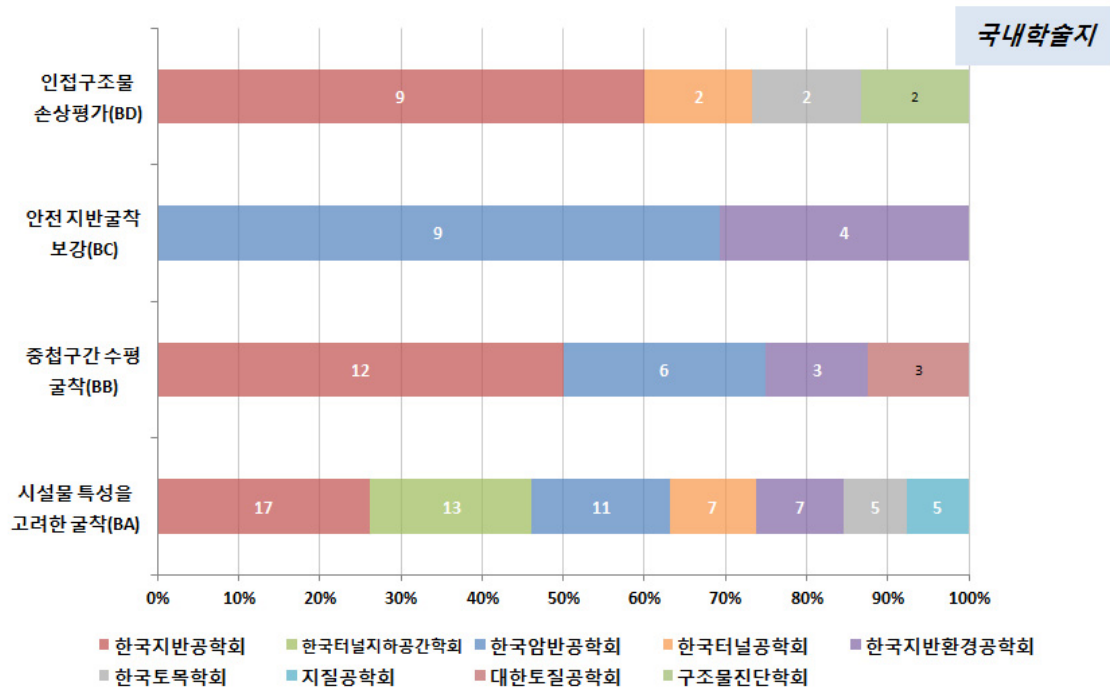
- 연도 구간별 세부기술 동향을 살펴보면 4개 중분류 분야에서, 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB)이 35%로 가장 높은 비율을 차지하고, 그 뒤로 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA)이 29%, IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법(BD)이 19%, 안전 지반굴착 보강 신기술(BC)이 17%로 각각 나타나고 있음
- 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야는 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB)과 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA)에 대한 연구 개발이 가장 활발한 것으로 나타나고 있으며, 전 지반굴착 보강 신기술(BC) 및 IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법(BD)에 대한 연구 개발은 상대적으로 적은 것으로 나타남

□ 국내 저자 분석



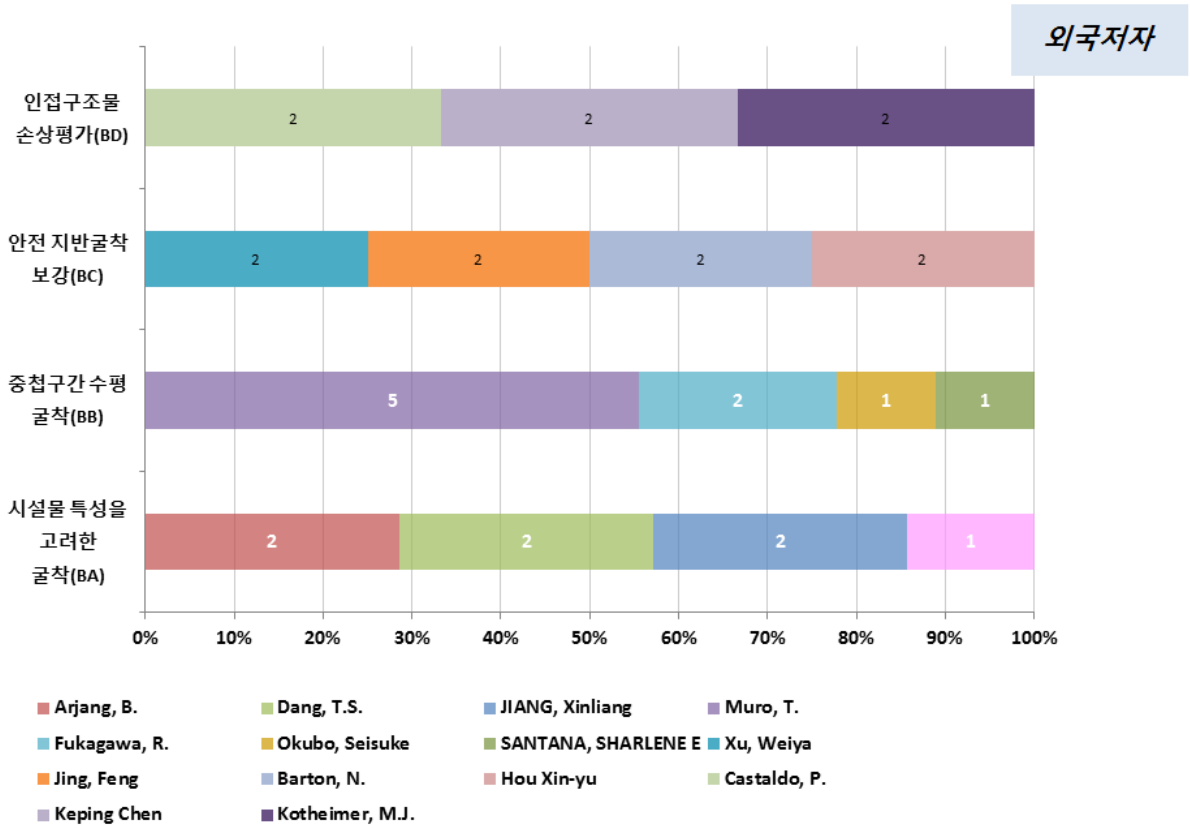
- 국내저널 주요 연구자는, 손무락(특허청 건설기술심사팀)이 “지반굴착 유발 진형성 지반 변위에 의한 인접구조물의 거동분석”을 대한토목학회논문집에 발표 하는 등 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA)분야 및 계IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법(BD)분야의 논문을 발표함
- 김학문(단국대학교 토목환경공학과)는 “도심지 흠막이 굴착시 인접구조물의 손상 평가 연구”을 한국지반공학학회지에 게재 하는 등 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB) 분야의 논문을 발표하는 것으로 조사됨
- 지반굴착 보강 신기술(BC)분야에서는 김홍택, 김영상, 전양수 등이 주요 연구 활동을 하는 것으로 나타났고, IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법(BD)분야 에서 김동수, 김창용 등이 주요 연구 활동을 하는 것으로 나타남

□ 국내 학술지 검토



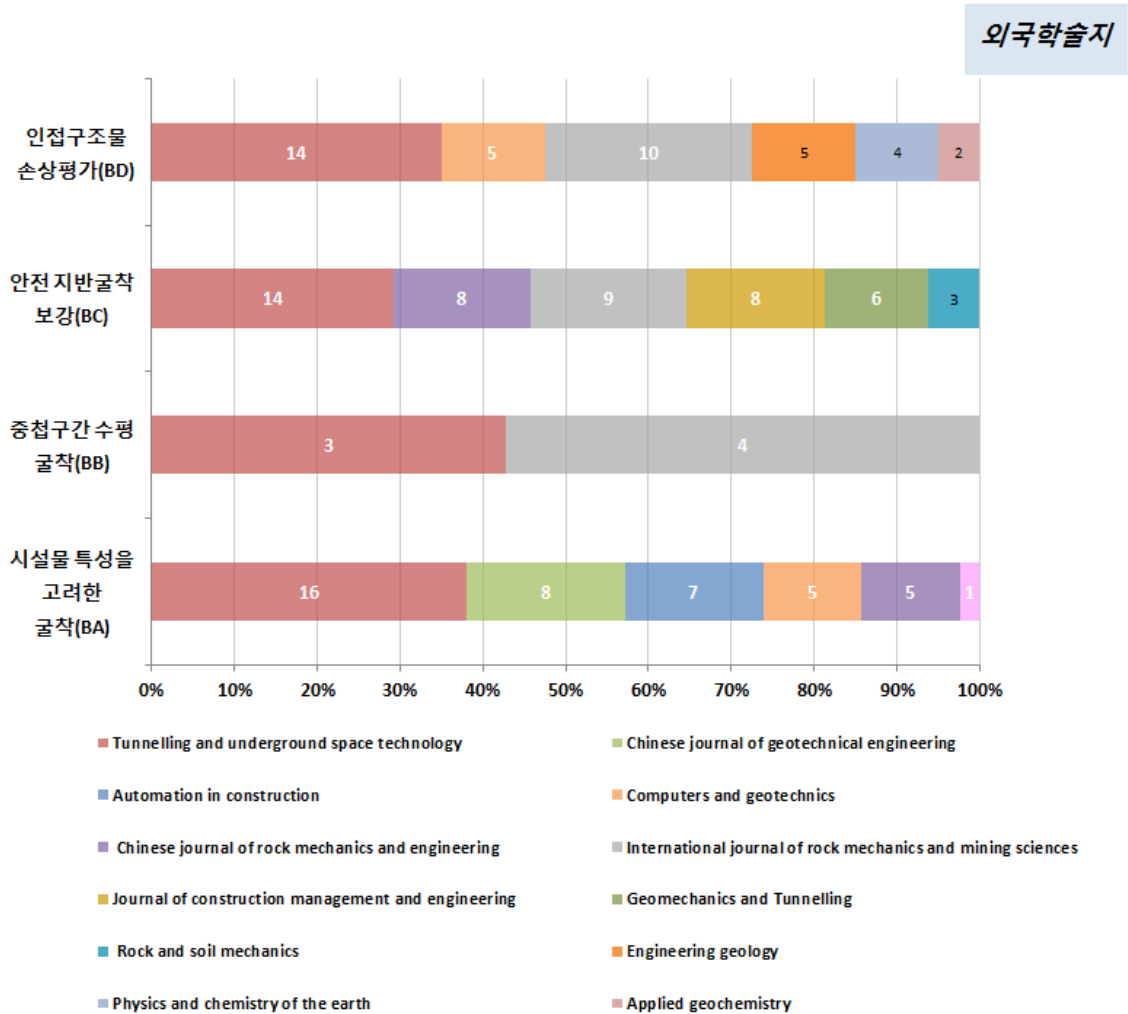
- 지반공학 논문집에는 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA)분야의 17건, 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB) 분야의 12건, IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법(BD)분야의 9건을 각각 게재하여 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에서 가장 많은 논문이 게재되는 것으로 조사됨
- 한국암반공학회 학회지에는 지반공학 논문집에는 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA)분야의 11건, 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB) 분야의 6건, 지반굴착 보강 신기술(BC)분야의 9건을 각각 게재하여 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에서 지반공학 논문집 다음으로 많은 논문이 게재되는 것으로 조사됨
- 그 외에도 한국터널지하공간 학회지, 한국터널공학 학회지, 지질공학회 학회지 등에 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야의 논문이 게재된 것으로 조사됨

□ 국외 저자 검토



- 외국저널의 주요 저자로는 Arjang, B., Dang, T.S., JIANG, Xinliang 등이 지도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA)에서 논문을 발표하고, Muro, T., Fukagawa, R., Okubo, Seisuke 등이 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB) 분야에서 논문을 발표한 것으로 조사되어 본 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에서 연구개발을 하는 것으로 조사됨.
- Xu, Weiya, Jing, Feng, Barton, N. 등이 지반굴착 보강 신기술(BC)분야의 논문을 발표한 것으로 조사되었고, Castaldo, P., Keping Chen, TKotheimer, M.J. 등이 IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법(BD)분야의 논문을 발표한 것으로 조사됨

□ 국외 학술지 검토



- Tunnelling and underground space technology지에 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA)분야의 16건, 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB) 분야의 3건, 지반굴착 보강 신기술(BC)분야의 14건, IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법(BD)분야의 14건을 각각 게재하여 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에서 가장 많은 논문이 게재된 것으로 조사됨
- International journal of rock mechanics and mining sciences지에는 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB) 분야의 4건, 지반굴착 보강 신기술(BC)분야의 9건, IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법(BD)분야의 10건을 각각 게재하여 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에서 Tunnelling and underground space technology지 다음으로 가장 많은 논문이 게재된 것으로 조사됨
- 이외에도 Chinese journal of rock mechanics and engineering, Computers and geotechnics 등의 학술지에 주요 논문이 게재된 것으로 조사됨

4. 동향 분석 종합 결론

- 안전한 지반 굴착기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 유럽에서 관련 연구가 시작되어 90년대 한국에서의 관련 연구가 급증하고 이에 따른 특허 출원이 병행하여 증가하고 있는 것으로 보임
- 안전한 지반 굴착기술 분야에 대해 전 세계 기술 위치를 포트폴리오로 분석해보면 1980년 부터 2006년까지 출원 건수와 출원인 수가 계속 증가하는 성장 단계를 보이고 있어 안전한 지반 굴착기술 분야에 대한 연구 개발 및 이에 따른 특허 출원이 급격히 증가하는 추세로 분석되나, 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향을 지속적으로 모니터링 해야 할 것임
- 도심지 개착식 지반굴착 기술의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1989년 까지는 유럽을 제외하고 출원 건수가 미미한 수준이었다가, 1990년 일본에서 출원이 늘어나기 시작하였고, 1992년 이후부터 출원 증감이 반복되면서 전체적으로 출원은 늘어나는 추세를 보이고 있는 것으로 나타남
- 도심지 개착식 지반굴착 기술의 주요출원인들의 출원동향을 분석해보면, 국내출원인의 해외출원활동과 해외출원인들의 국내출원활동이 상대적으로 적은 것으로 보이며, 이러한 현상은 본 과제가 각국의 지반굴착 및 건설기술과 연계된 지역적인 특성의 성격을 갖는 것도 고려된 것으로 분석됨
- 안전한 지반 굴착기술에 대한 논문의 발행연도별 동향을 보면, 거시적인 관점에서 1993년 이전까지는 논문 발표가 미비 하였고, 1994년 이후부터 지속적으로 증가세에 있다가 1996년, 2002년부터 2006년까지 논문 발표량이 급증하고 있다가, 현재는 논문 발표가 줄어드는 추세를 보이나, 전체적인 흐름상 도심지 개착식 지반굴착 기술 분야의 연구 개발은 최근 10년 동안 확연히 늘어나고 있는 추세로 분석됨
- 연도 구간별 세부기술 동향을 살펴보면 4개 중분류 분야에서, 고해상도 복합 탐사 및 해석(AD) 분야가 27%로 가장 높은 비율을 차지하고, 그 뒤로 고밀도 도심지 구간 수직 굴착 기술(AA) 분야가 26%, 대심도 수직 굴착 기술(AB)이 24%, 조성물특성을 고려한 터파기 기술(AC) 분야가 23%로 각각 나타나고 있음
- 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1990년 이전까지는 유럽을 제외하고는 출원 건수는 전무하다가, 1990년 이후 일본의 출원 건수가 급격히 증가하는 등 한국, 미국의 출원 증감이 반복하는 추세를 보이고 있어, 전체적으로는 출원 건수가 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타남
- 도심지 비개착식 지반굴착 기술에 대한 논문의 발행연도별 동향을 보면, 거시적인 관점에서 1984년 이전까지는 논문 발표가 미비 하였고, 1992년 이후부터 논문 발표가 증가되는 경향을 보이고 있다가 1995년부터 2010년까지 등락을 반복하면서 전체적으로는 논문 발표가 급증하는 것으로 보아 이 시기에 도심지 비개착식 지반굴착 기술 분야에 대한 연구 개발

이 매우 활발하게 진행된 것으로 판단됨

- 연도 구간별 세부기술 동향을 살펴보면 4개 중분류 분야에서, 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법(BB)이 35%로 가장 높은 비율을 차지하고, 그 뒤로 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법(BA)이 29%, IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법(BD)이 19%, 안전 지반굴착 보강 신기술(BC)이 17%로 각각 나타나고 있음
- 안전한 지반 굴착 기술 관련 분야는 최근 사회문제로 쟁점 화되어 사회적 이슈로 부각되고 있는 실정이고, 전 세계적으로 도심지 터널, 장대 산악터널, 하해저터널 등에서는 안전하고 경제적인 고속시공을 위하여 각국의 안전한 지반 굴착 기술에 관한 연구가 진행되고 있는 실정으로, 도시가 발달함에 따라 도심지 지하공간에 대한 수요가 늘어가고 있으며, 지하공간의 활용 용도로는 지하도로, 복합상가, 지하철 등 다양한 형태가 요구되나, 국내 기술력은 매우 미흡한 수준이며, 안전한 지반 굴착 기술은 새로운 시장창출의 가능성으로 기술발전의 성장세를 지속 유지할 필요가 있는 것으로 전망됨

3

기술수요 및 수준·예측조사

1절 기술수요조사

1. 개요

가. 기술수요조사의 목적

- 기술수요조사는 도심지의 안전한 굴착을 위해 기술개발이 필요한 기술아이템 도출을 목적으로 함
 - 산·학·연 전문가를 대상으로 도심지의 안전한 굴착을 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함
 - 기술수요조사는 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발 과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당됨
 - ※ 도심지 안전한 굴착 기술의 분류체계를 제시하고 수요조사를 실시하였으며, 기술분류체계 상 연구개발 아이템이 많이 제안된 기술분야는 기술개발 니즈가 높은 기술분야로 볼 수 있음
 - ※ 연구개발 아이템이 제안되지 않은 기술분야는 기술개발 니즈가 없는 기술분야로 볼 수 있음

나. 기술수요조사의 절차

- 기술수요조사는 기술수요조사 설계, 기술수요조사 수행, 기술수요조사 결과분석, 기술수요조사 결과 활용 순으로 추진함
 - 기술수요조사 설계단계에서는 기술수요조사서 항목을 결정하고 기술수요조사 대상자를 설정함
 - 기술수요조사 수행단계에서는 기술수요조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함
 - 기술수요조사 결과분석단계에선 기술분류체계와 회신된 기술아이템을 매칭하고, 응답 현황 및 기술분류체계별 기술수요를 분석함

- 기술수요조사 결과활용단계에서는 회신 조사서 내용으로 기술분류체계, 동향 및 환경분석 내용을 보완하고, 기술아이템은 후보과제로 구성하여 향후 중점분야 선정 및 수행과제 선정에 활용함



〈그림 3-1〉 기술수요조사 진행 절차

다. 기술수요조사 발송 및 응답개요

- 기술수요조사는 전문가 자문위원회를 대상으로 메일을 발송하여 조사함

[표 3-1] 기술수요조사 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	2015년 1월 12일 ~ 2월 9일(4주간)
조사대상	전문가 자문위원회
조사방법	이메일을 통한 설문조사
응답자 수	총 46명(산 : 22명, 학 : 17명, 연 : 7명)
기술수요조사 응답건수	53건

2. 기술수요조사 분석결과

- 제안받은 기술아이템은 총 53건이며, 기술분야별로 구분할 경우 도심지 개착식 지반굴착 기술분야에서 가장 많은 30건의 기술아이템을 제안받음
 - 도심지 개착식 지반굴착 기술분야에서는 총 30건의 기술아이템을 제안받았으며, 세부적으로는 개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합탐사 및 해석기술분야에서 가장 많은 14건의 기술아이템을 제안받음
 - 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야에서는 총 23건의 기술아이템을 제안받았으며, 세부적으로는 안전지반굴착 보강 신기술분야에서 가장 많은 10건의 기술아이템을 제안받음

가. 도심지 개착식 지반굴착 기술분야

□ 도심지 개착식 지반굴착 기술분야에서는 총 30건의 기술아이템을 제안 받음

[표 3-2] 도심지 개착식 지반굴착기술분야 기술수요조사 제안기술 목록

중분류	제안기술
고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술	도심지 굴착공사로 인한 공동발생 예방기술개발
	토류판 토사 유출 긴급 보수용 가변 동결판(FlexibleFreezingPlate,FFP)공법개발
	팩앵커의 팽창압력과 배수재를 이용한 정착지반의 압밀과 이에 따른 지반의 강도증가를 유도 하는 팩앵커개발
	굴착시 보강재의 강성을 높이고 제거율을 향상시킨 암반지반 보강용 제거식 네일 개발
	도심지 수직굴착을 위한 선보강 후굴착 공법 개발
	대심도 굴착용 CIP 공법 개발
	굴착 배면지반의 다짐불량 및 시공 안전성을 개선한 굴착공법 개발
대심도(30m 이상) 수직 굴착기술	라이프라인 신설 및 교체시의 교통통제 경감을 위한 조립식 굴착기술개발
	대심도 자립식 흙막이 공법
	고밀도 도심지 개착식 수직 굴착 가이드라인 개발
	대심도 자립식 흙막이공법 급결 고압 분사공법(Twin-Jet)
	가설구조와 본구조의 합벽식 공법을 이용한 지하구조 터파기 및 구조물 건설기법
	원심모형시험을 이용한 굴착채해발생 메커니즘 규명 및 긴급복구 최적기술 개발
	도심지 지중 구조물 특성을 고려한 자립식 흙막이 설치 기술개발
도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술	인접구조물에 근접한 지역에서의 지반굴착시 기존 구조물 되메움 지반에서의 침하 및 지반내 공동형성 메커니즘 분석 및 관리기술
	각도 변위 센서를 이용한 지중 구조물의 위치파악 기술
	깊은 굴착시 근접 구조물 및 지반에 대한 거동 특성에 관한 연구
	도심지 개착식 지반 굴착기술_건축물 근접 대심도 개착식 굴착 지반해석
	GPR 탐사로 지하시설물 위치파악 및 해석을 통한 굴착공사의 안전확보
	데이터 분석기법을 이용한 도심지 개착식 흙막이 변위 예측시스템 개발(자기유사성함수개발)
	다변량 통계 분석기법을 이용한 도심지 지하개착 굴착공사 흙막이 시스템 위험도 예측 관리 기술개발
개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합탐사 및 해석기술	복합지반 지구물리탐사 값을 이용한 지반 물성 및 경계 해석
	고밀도 도심지 초고층 건설현장 굴착 배면 지반거동 특성 연구(굴착현장에서의 시공전후)
	표면파(MASW)를 이용한 도심지 지하 고해상도 강성분포 단면획득을 위한 연구
	개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 지중수평변위 분석 및 대응방안 시스템 구축 기술
	도심지 건축물 근접 대심도 개착식 지반 굴착시 지반함몰 예측 및 보수 보강공법 개발
	지반굴착 해석기술의 올바른 활용기법 연구
	개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합탐사 및 해석기술
3차원 비파괴 지반 손상대 평가기법 개발	
차수식 흙막이 벽체에 작용하는 수압산정 기준에 관한 연구	

나. 도심지 비개착식 지반굴착 분야

□ 도심지 비개착식 지반굴착 분야에서는 총 23건의 기술을 제안 받음

[표 3-3] 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 기술수요조사 제안기술 목록

중분류	제안기술
도심지 주요시설물 특성을 고려한 지반굴착공법 선정 기법	고속철도구간 지하횡단을 위한 침하억제형 수평굴착공법개발
	경사 마이크로파일과 프리캐스트 세그먼트 판넬을 일체화한 비개착식 수평 지반굴착 기술 개발
	도심지 오픈 실드_도심지 비가시설 지하구조물 축조
	인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정 모델 개발
	위터젯과 다중해머방식의 확공기를 결합한 지향성 수평굴착 기술개발 연구
지중시설물 중첩구간에서의 수평굴착 신공법	비개착식 하수관 삼분할 세그먼트 교체공법
	고밀도 도심지 비개착 지중수평연속벽 시공기술 연구
	도로하부 통로 박스 건설 다단비트(bit) 굴착장비 개발 연구
	프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착공법
	암반 연약화를 이용한 굴착성능 향상연구
	비개착식 싱크홀 충전공법
안전지반굴착 보강 신기술	비개착 굴착지반 침하예측 요소망 및 보강 시스템 개발기술
	미생물의 생체광물 형성작용을 이용한 지반 보강 기술 개발
	급속 동결공법을 적용한 굴착면 보강 및 긴급 차수 기술
	도심지 터널 및 지반굴착에 따른 지하공동 조사장비 개발 및 Test-bed 기반 구축
	레이저 센서를 이용한 지반함몰 및 지하공동 3-D예측 기술 개발
	자가치유 혼화재 기반의 지하 공동보수 /보강 기술 개발
	비개착 공사 인접 현장의 지하공동 (싱크홀)점검 장비개발
	토목섬유 튜브를 활용한 지하공동 긴급보수보강 기술개발
	토목섬유 튜브를 활용한 중소규모 공동 긴급 보강기술
	비개착식 싱크홀 존재확인 추정공법
	굴착주변 지반내부의 영상화 및 손상도 해석 기술 개발
	실시간 지반 거동 모니터링이 가능한 IT기반의 안전진단 시스템 개발 및 구축

2절 기술수준 및 예측조사

1. 개요

가. 기술예측/수준조사의 목적

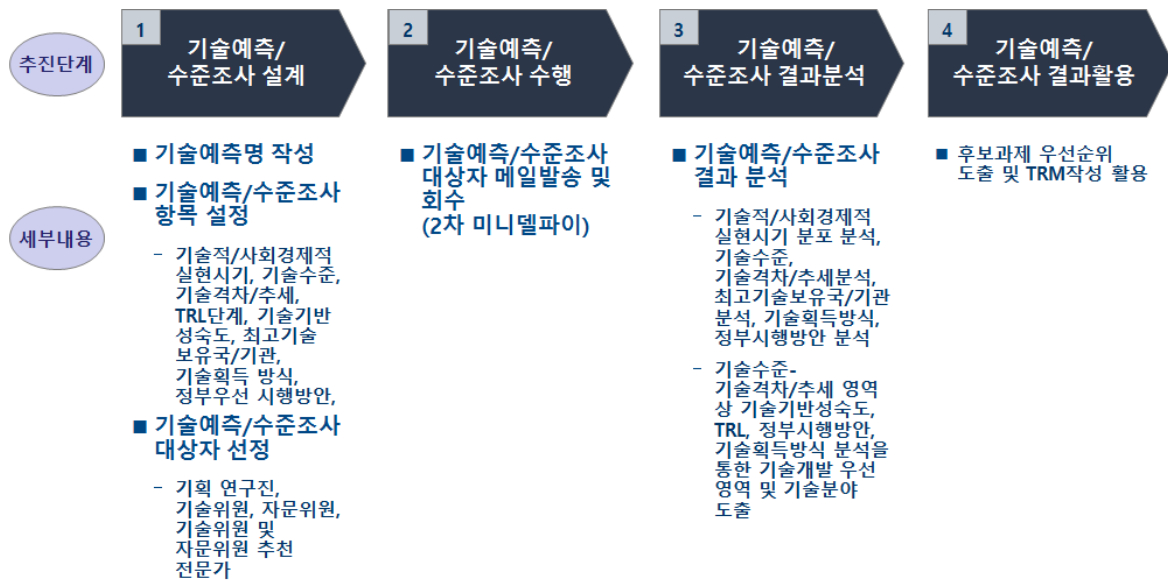
- 기술예측/수준조사는 도심지의 안전한 굴착 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여 과제우선 순위 평가를 위한 기초자료로 활용을 목적으로 함
- 산·학·연 전문가를 대상으로 도심지의 안전한 굴착 기술의 실현시기, 기술수준, TRL단계, 중요도 등을 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함
- 기술예측/수준조사는 도심지의 안전한 굴착 기술의 기술혁신 동향을 예측하여 이를 토대로 효과적인 R&D계획을 수립하고 합리적인 의사결정 방안을 마련하기 위한 조사임
 - 연구개발 사업 계획과 전략 수립에 활용하기 위한 적합한 자료와 다양한 예측방법을 사용하여 미래의 기술변화에 관한 필요한 정보를 수집함
 - 현재 기술의 수준을 살펴봄으로써 기술변화를 예측하고, 이를 기반으로 기술개발의 방향과 목표를 설정함

나. 기술예측/수준조사의 절차

- 기술예측/수준조사는 기술예측/수준조사 설계, 기술예측/수준조사 수행, 기술예측/수준조사 결과분석, 기술예측/수준조사 결과 활용 순으로 추진함
- 기술예측/수준조사 설계단계에서는 기술예측/수준조사서 항목을 결정하고 기술예측/수준조사 대상자를 설정함
 - 조사항목은 기술예측/수준조사를 수행한 선행연구의 기술예측/수준조사항목을 검토하여 기술개발 추진방향 설정에 시사점을 줄 수 있는 항목으로 구성함
 - 세부 기술분야별 최고기술보유국과 국내의 기술적/사회경제적 기술실현시기, 최고기술 보유국 대비 국내 기술수준, 기술격차, 격차년도, TRL, 인프라 성숙도, 기술적 중요도, 기술획득방식, 정부우선시행방안 등을 조사항목으로 설정함
- 기술예측/수준조사 수행단계에서는 기술예측/수준조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함
 - 기술예측/수준조사는 2Round에 걸친 Mini-델파이 방법을 활용함
 - 응답자별로 본인의 1Round 응답결과와 전체 조사대상자 응답 통계자료를 함께

제공하여 조사항목별로 전문가의 합의를 유도함

- 2Round 응답결과 중 양 극단값을 평가한 조사자의 응답결과를 배제한 값의 평균치를 최종 결과값으로 설정함
- 기술예측/수준조사 결과분석단계에선 기술분류체계별 조사결과를 분석하고, 기술수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술격차-기술수준, 기술기반 성숙도-중요도의 포트폴리오 분석을 통해 기술개발 추진전략을 설정함
- 기술예측/수준조사 결과활용단계에서는 분석결과를 기반으로 한 사업추진방향 설정, 후보과제 우선순위 도출, TRM작성 등에 활용함



〈그림 3-2〉 기술예측/수준조사 추진 절차

다. 기술예측/수준조사 발송 및 응답개요

- 기술수요조사는 전문가 자문위원회를 대상으로 메일을 발송하여 조사함

[표 3-4] 기술예측/수준조사 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	1차 조사기간 : 2015년 2월 16일 ~ 3월 2일(2주간) 2차 조사기간 : 2015년 3월 4일 ~ 3월 11일(1주간)
조사대상	전문가 자문위원회
조사방법	이메일을 통한 설문조사
응답자 수	총 19명(산 : 5명, 학 : 8명, 연 : 6명)

라. 기술예측/수준조사 항목 설정

(1) 기술 실현시기

- ‘기술적 실현시기’는 해당기술의 기술적인 문제가 해결되어 기술이 적용된 최초의 시작품 등이 실험실 수준에서 완료되는 예상시점(Single Point Time)임
- ‘사회경제적 실현시기’는 해당기술의 경제성이 확보되어 기술을 적용한 제품 등이 상업화 되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점(Single Point Time)임

(2) 국내 기술수준 및 기술격차

- ‘국내 기술수준’은 `15년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술보유국 대비 국내 기술수준임
 - 기술수준의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-5] 기술예측/수준조사의 기술수준 평가 기준

기술수준	설명
100%	독보적 세계 최고
81% ~ 99%	기술 분야를 선도
61% ~ 80%	선진기술의 모방개량이 가능
41% ~ 60%	선진기술의 도입적용이 가능
1% ~ 40%	연구개발능력이 취약
0%	우리나라에서 관련 연구가 전혀 진행되고 있지 않음

- ‘기술격차’는 국내 기술수준이 세계최고기술에 도달하기까지 소요되는 시간(단위:년)임
- ‘기술격차추세’는 세계 최고기술과 국내 기술수준 격차가 어떻게 변화하고 있는지를 나타내는 지표로 5점척도로 평가함
 - 기술격차추세의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-6] 기술예측/수준조사의 기술격차추세 평가 기준

구분	설명
5	최고기술과 기술격차가 “빠르게 확대 중”
4	최고기술과 기술격차가 “확대 중”
3	최고기술과 기술격차가 “유지되고 있음”
2	최고기술과 기술격차가 “축소 중”
1	최고기술과 기술격차가 “빠르게 축소 중”

(3) 기술성숙도(TRL)

- ‘기술성숙도(TRL)’는 해당기술의 국내외 기술성숙도를 나타내는 지표임
- 기술성숙도(TRL)의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-7] 기술예측/수준조사의 기술성숙도(TRL) 평가 기준

기술성숙도 단계	설명
1단계	기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계
2단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계
3단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계
4단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계
5단계	확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
6단계	파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
7단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이뤄지는 단계
8단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계
9단계	사업화가 완료된 단계

(4) 최고기술 보유국

- ‘최고기술보유기관’은 ’15년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술을 보유한 국가임

(5) 기술기반 성숙도

- ‘기술기반 성숙도’는 해당 기술과 관련된 국내 산업/기술 연구인력, 장비 등 인프라 수준을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함
- 기술기반 성숙도의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-8] 기술예측/수준조사의 기술기반 성숙도 평가 기준

구분	설명
5	세계선도 연구인력 및 장비 등 확보
4	최고기술보유국과 동등한 수준
3	최고기술보유국보다 낮지만 자체연구개발 수행가능 인력 장비 확보
2	국내 관련 연구인력, 장비가 매우적어 해외협력연구가 필요한 수준
1	국내 관련 연구인력, 장비 인프라 전무

(6) 기술적 중요도

- ‘기술 핵심성’은 해당기술이 ‘안전한 지반굴착 기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함
- 기술 핵심성의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-9] 기술예측/수준조사의 기술 핵심성 평가 기준

구분	설명
5	해당기술이 ‘안전한 지반굴착 기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 높음
4	해당기술이 ‘안전한 지반굴착 기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 높음
3	해당기술이 ‘안전한 지반굴착 기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 보통임
2	해당기술이 ‘안전한 지반굴착 기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 낮음
1	해당기술이 ‘안전한 지반굴착 기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 낮음

- ‘시급성’은 해당 기술이 적정 수준을 구현해야 하는 시기를 고려하여 기술개발이 시급한 정도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함
- 시급성의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-10] 기술예측/수준조사의 시급성 평가 기준

구분	설명
5	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 매우 시급함
4	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급함
3	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급한 정도가 보통임
2	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급하지 않음
1	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 전혀 시급하지 않음

- ‘과학기술적 파급효과’는 해당 기술이 타 요소기술 개발에 미치는 영향력을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함
- 과학기술적 파급효과의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-11] 기술예측/수준조사의 과학기술적 파급효과 평가 기준

구분	설명
5	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 높음
4	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 높음
3	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 보통임
2	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 낮음
1	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 낮음

(7) 기술획득방식

- ‘기술획득방식’은 해당 기술의 기술개발을 위해 적합한 연구 주체를 나타냄
- 기술획득방식은 아래 4개 항목 중 하나를 선택하여 조사함

[표 3-12] 기술예측/수준조사의 기술획득방식 조사 항목

구분	설명	
자체 개발	민간	기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 바람직함
	정부	기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초 단계 연구개발이 필요하여 정부출연연구소 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 바람직함
	공동	정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직함
기술도입 및 국제공동연구	국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감할 수 있어 독자적 개발 보다는 국제공동개발 또는 해외 기술을 도입하는 것이 바람직함	

(8) 정부우선시행방안

- ‘정부우선시행방안’은 해당 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 정책을 의미함
- 정부우선시행방안은 아래 5개 항목의 중요도 비중을 조사함

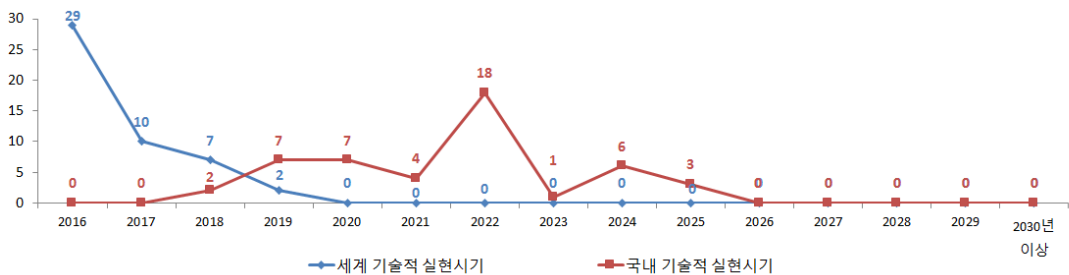
[표 3-13] 기술예측/수준조사의 정부우선시행방안 조사 항목

구분	설명
인력양성	해당기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요
협력교류 활성화	기술의 성격상 다학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요
인프라구축	기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라구축이 필요
연구비확대	기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요
제도개선	규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요

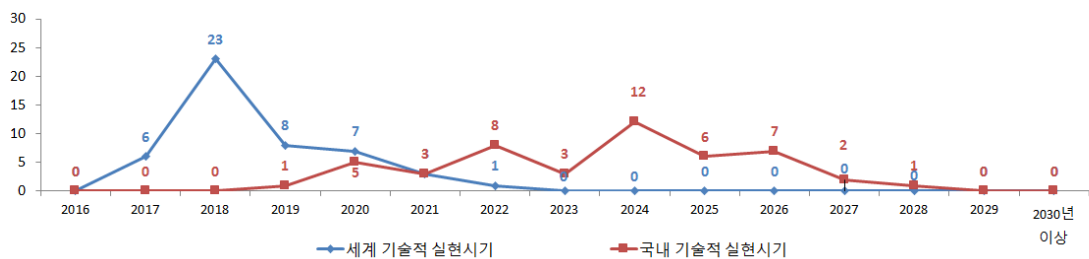
2. 기술예측/수준조사 분석결과

가. 국내외 기술적 실현시기

- 해외 최고기술보유국의 안전한 지반굴착기술은 국내보다 2~6년 이상 앞서 실현될 것으로 전망됨
- 해외 최고기술보유국에서는 '19년까지 안전한 지반굴착 기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
 - 해외 최고기술보유국은 '16년에 기술적 실현시기가 집중되어 있음
- 국내는 '25년까지 안전한 지반굴착기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
 - 국내는 '22년에 기술적 실현시기가 집중되어 있음
- 해외 최고기술보유국은 '22년까지 안전한 지반굴착기술이 모두 사회적경제으로 실현될 것으로 전망됨
 - 해외 최고기술보유국은 '18년에 사회경제적 실현시기가 집중되어 있음
- 국내는 '28년까지 안전한 지반굴착기술이 모두 사회경제적으로 실현될 것으로 전망됨
 - 국내는 '22년, '24~'26년에 사회경제적 실현시기가 집중되어 있음
- 안전한 지반굴착기술의 기술적 실현 이후 사회경제적 실현까지 해외는 1~3년, 국내는 1~2년이 소요될 것으로 전망됨



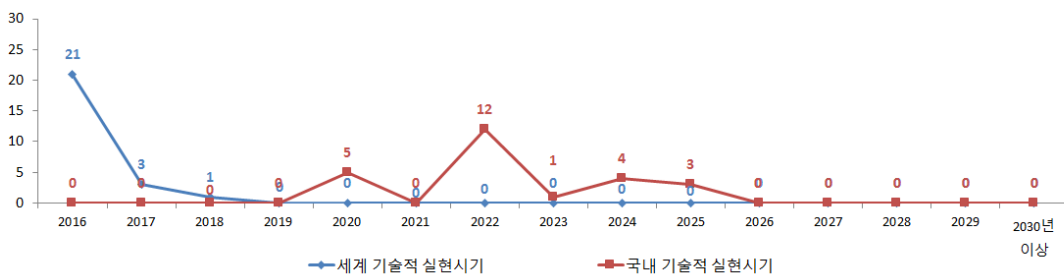
〈그림 3-3〉 안전한 지반굴착 기술의 국내외 기술적 실현시기



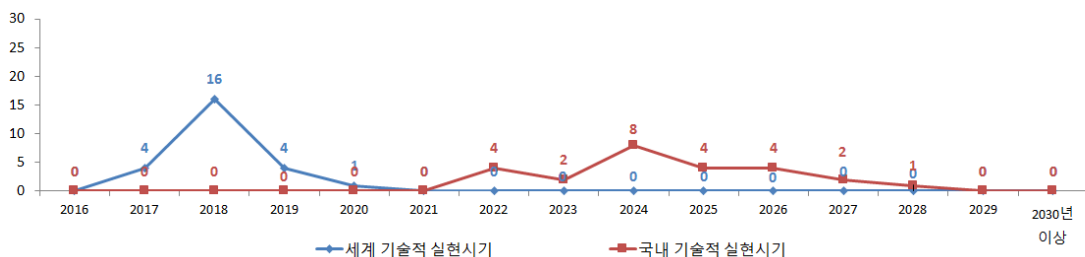
〈그림 3-4〉 안전한 지반굴착 기술의 국내외 사회경제적 실현시기

(1) 도심지 개착식 지반굴착 기술

- 해외 최고기술보유국의 도심지 개착식 지반굴착 기술은 국내보다 4~7년 이상 앞서 실현될 것으로 전망됨
 - 해외 최고기술보유국은 '18년까지 도심지 개착식 지반굴착 기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
 - 해외 최고기술보유국의 도심지 개착식 지반굴착 기술의 기술적 실현은 '16년에 집중될 것으로 예측됨
 - 국내는 '25년까지 도심지 개착식 지반굴착 기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
 - 국내 도심지 개착식 지반굴착 기술의 기술적 실현은 '22년에 집중될 것으로 예측됨
 - 해외는 '20년까지 도심지 개착식 지반굴착 기술이 모두 사회적경제적으로 실현될 것으로 전망됨
 - 해외 도심지 개착식 지반굴착 기술의 사회적경제적 실현은 '18년에 집중될 것으로 예측됨
 - 국내는 '28년까지 도심지 개착식 지반굴착 기술이 모두 사회적경제적으로 실현될 것으로 전망됨
 - 국내 도심지 개착식 지반굴착 기술의 사회적경제적 실현은 '22년, '24년~'26년에 집중될 것으로 예측됨
- 도심지 개착식 지반굴착 기술의 기술적 실현 후 사회적경제적 실현까지 국내외 모두 0~2년이 소요될 것으로 전망됨



〈그림 3-5〉 도심지 개착식 지반굴착 기술의 기술적 실현시기



〈그림 3-6〉 도심지 개착식 지반굴착 기술의 사회적경제적 실현시기

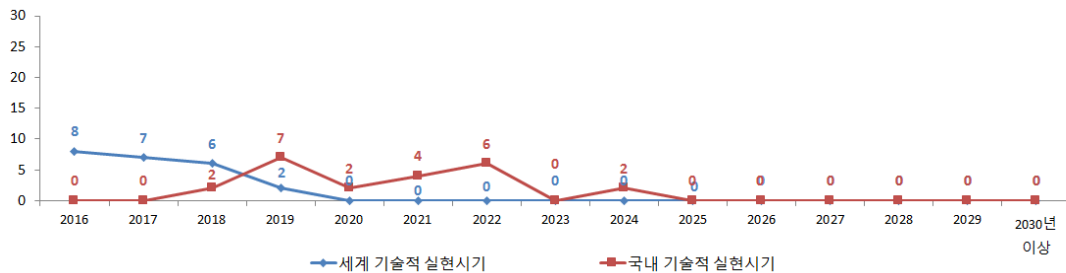
[표 3-14] 도심지 개착식 지반굴착 기술의 기술적·사회경제적 실현시기

중분류	기술분류체계 소분류	기술적 실현시기		사회경제적 실현시기	
		세계	국내	세계	국내
고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술	도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법	16	22	18	25
	수직굴착 공사로 인한 공동 예방기술	16	25	18	28
	토류판 이동 토사유출 보강공법	16	24	17	25
	지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발	16	20	18	22
	암반 보강용 네일개발	16	20	17	22
대심도 (30m 이상) 수직 굴착기술	대심도 굴착 연직도 유지관리기술	16	22	18	24
	대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술	16	22	18	24
	대심도 굴착 되메움 품질관리 기술	16	22	18	26
	대심도 수직 굴착 가이드 라인 제시	16	22	18	24
	대심도 자립식 흙막이 공법	16	22	18	25
도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술	대심도 지지식 흙막이 공법	16	22	18	24
	터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술	16	22	18	23
	터파기 및 구조물 건설기법	16	22	18	24
	굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술개발	16	22	19	24
개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술	도심지 지중구조물 특성을 고려한 흙막이 기술	16	25	18	26
	복합 지반 탐사 자료를 이용한 해석기법	17	24	19	27
	가시설, 벽체 연직도 검증 장비개발	17	24	19	26
	굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발	16	20	17	22
	지반 손상대 평가 기법 개발	17	24	19	26
	근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술	16	22	18	24
	근접 구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석 기술	16	22	18	24
	GPR탐사를 이용한 지하시설물 위치파악 기술	16	20	17	22
	도심지 개착식 흙막이 변위 예측 시스템 개발	16	23	18	25
지층 수평 변위 분석 기술	18	25	20	27	
굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석기술	16	20	18	23	

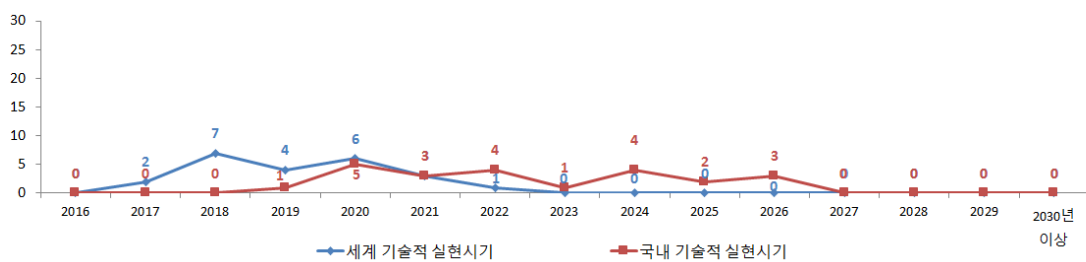
(2) 도심지 비개착식 지반굴착 기술

- 최고기술보유국의 도심지 비개착식 지반굴착 기술은 국내보다 1~3년 이상 앞서 실현될 것으로 전망됨
- 해외 최고기술보유국은 '19년까지 도심지 비개착식 지반굴착 기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨

- 해외 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 기술적 실현은 '16~'18년에 집중될 것으로 예측됨
- 국내는 '24년까지 도심지 비개착식 지반굴착 기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
- 국내 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 기술적 실현은 '19년과 '22년에 집중될 것으로 예측됨
- 해외는 '22년까지 도심지 비개착식 지반굴착 기술이 모두 사회적경제적으로 실현될 것으로 전망됨
- 해외 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 사회적경제적 실현은 '18~'20년에 집중될 것으로 예측됨
- 국내는 '26년까지 도심지 비개착식 지반굴착 기술이 모두 사회적경제적으로 실현될 것으로 전망됨
- 국내 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 사회적경제적 실현은 '20년, '22년, '24년에 집중될 것으로 예측됨
- 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 기술적 실현 후 사회적경제적 실현까지 국외는 1~3년, 국내는 1~5년이 소요될 것으로 전망됨



〈그림 3-7〉 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 기술적 실현시기



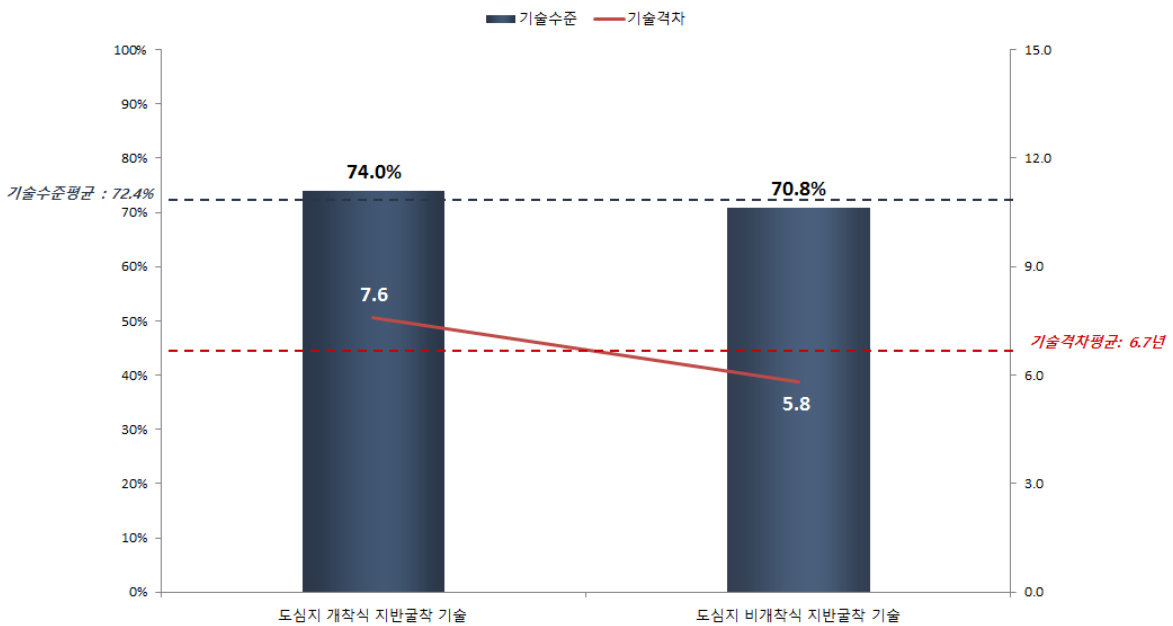
〈그림 3-8〉 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 사회적경제적 실현시기

[표 3-15] 도심지 개착식 지반굴착 기술의 기술적·사회경제적 실현시기

중분류	기술분류체계 소분류	기술적 실현시기		사회경제적 실현시기	
		세계	국내	세계	국내
도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법	침하억제형 수평굴착공법기술	18	20	20	22
	인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정모델개발	16	19	18	21
	경사 마이크로 파일과 프리캐스트 새그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술	17	19	19	20
	도심지 비가시설 지하구조물 축조 기술	17	19	19	21
	강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술	17	19	18	20
지중시설물 중첩구간에서의 수평굴착 신공법	지중수평연속벽 시공기술	16	19	19	21
	다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법	18	20	20	22
	암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발	18	22	21	25
	다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설 기술개발	18	22	20	24
	프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법	16	18	18	20
안전 지반굴착 보강 신기술	굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술	18	21	20	24
	비개착식 지반함몰 충전공법	18	24	21	26
	지하공동 조사장비 개발	17	22	20	24
	지하공동 및 지반함몰 3-D 예측기술	17	22	19	24
	자기치유 혼화재를 이용한 보수/보강기술	19	24	21	26
	비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발	16	21	18	23
	미생물을 이용한 지반보강기술	19	22	22	26
	급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수 기술	17	22	20	25
IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법	지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술	16	19	18	20
	IT기반의 안전진단 시스템 개발	17	21	18	22
	굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술	16	21	18	22
	굴착계측자료 관리기술	16	19	17	20
	지중구조물 정보 관리기술	16	18	17	19

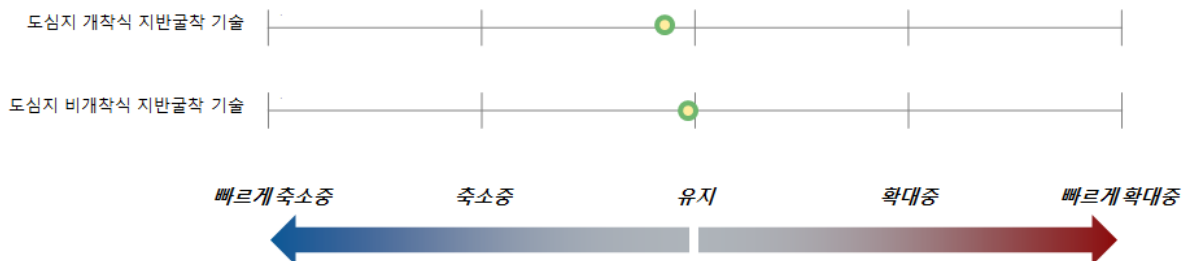
나. 기술수준 및 기술격차

- 국내 안전한 지반굴착기술의 전체 기술수준은 72.4%이며, 평균기술격차는 6.7년임
 - 도심지 개착식 지반굴착 기술분야(74.0%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야(70.8%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야(5.8년)의 기술격차가 가장 적으며, 도심지 개착식 지반굴착 기술분야(7.6년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-9〉 국내 안전한 지반굴착 기술분야 대분류별 기술수준 및 기술격차

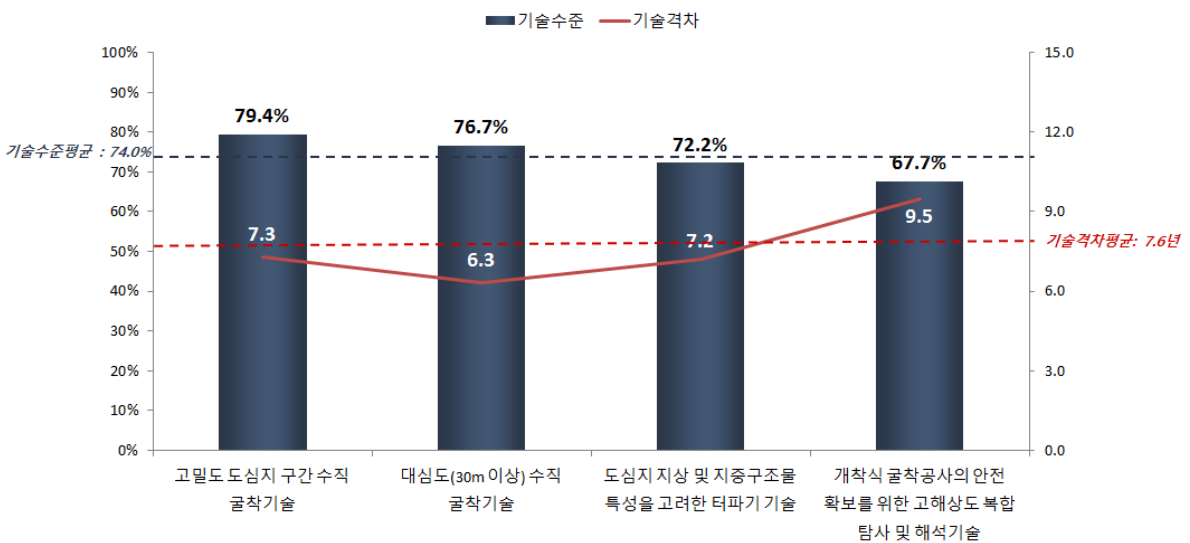
- 국내 안전한 지반굴착기술의 기술격차는 완만하게 축소 추세에 있음
 - 도심지 개착식 지반굴착 기술, 도심지 비개착식 기술분야는 기술격차가 완만하게 축소되고 있음



〈그림 3-10〉 국내 안전한 지반굴착 기술분야 대분류별 기술격차 추세

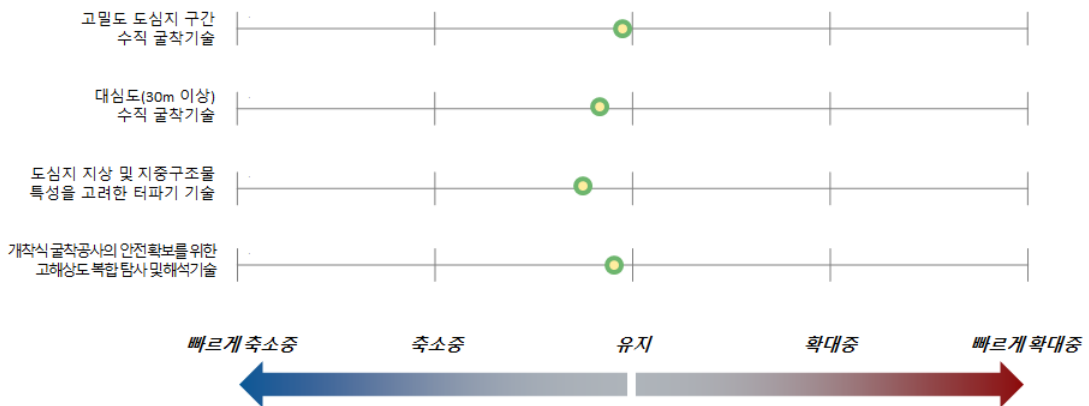
(1) 도심지 개착식 지반굴착 기술

- 국내 도심지 개착식 지반굴착 기술의 기술수준은 74.0%이며, 평균기술격차는 7.6년임
 - 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술(79.4%)과 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술(76.7%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술(67.7%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술(6.3년)의 기술격차가 가장 적으며, 개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술(9.5년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-11〉 도심지 개착식 지반굴착 기술분야 중분류별 기술수준 및 기술격차

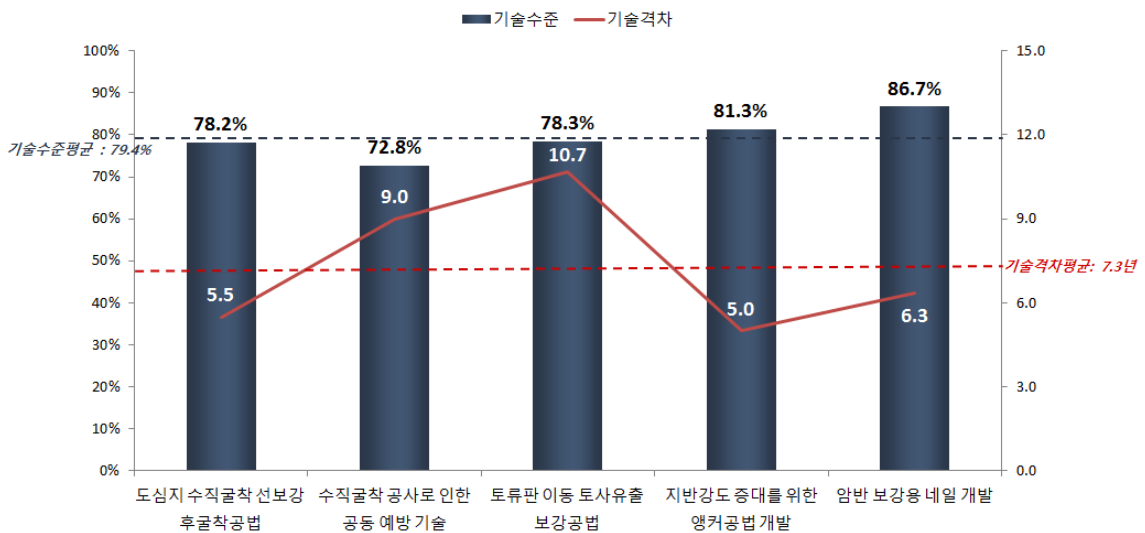
- 국내 도심지 개착식 지반굴착 기술의 기술격차추세는 전반적으로 완만하게 축소되고 있음



〈그림 3-12〉 도심지 개착식 지반굴착 기술분야 중분류별 기술격차 추세

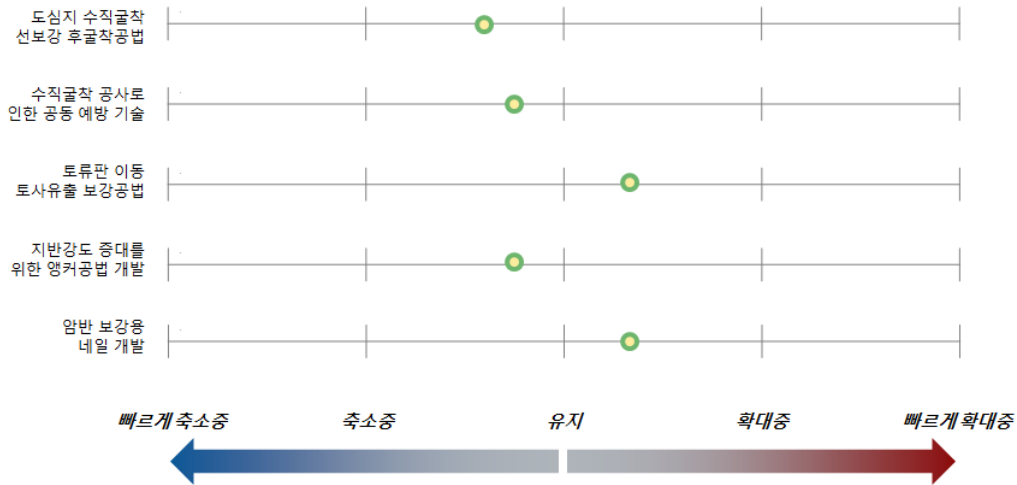
(가) 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술

- 국내 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술의 전체 기술수준은 79.4%이며, 평균기술격차는 7.3년임
- 암반 보강용 네일개발(86.7%)과 지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발(81.3%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 수직굴착 공사로 인한 공동 예방기술(72.8%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발(5.0년)의 기술격차가 가장 적으며, 토류판 이동 토사유출 보강공법(10.7년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-13〉 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

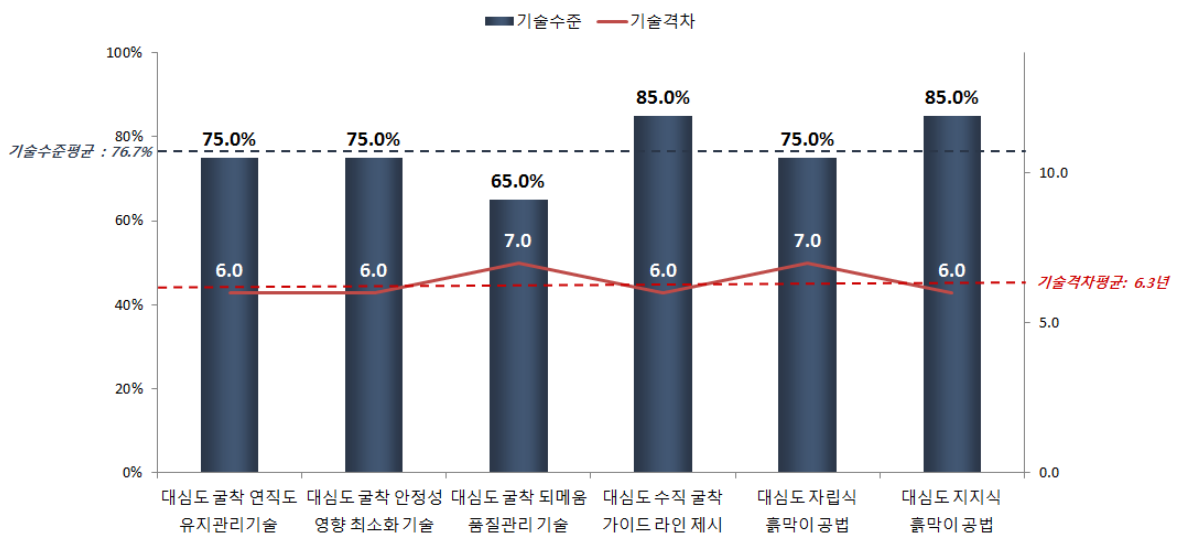
- 토류판 이동 토사유출 보강공법과 암반 보강용 네일개발을 제외한 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술의 기술격차는 축소 추세에 있음
- 도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법, 수직굴착 공사로 인한 공동 예방기술, 지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발기술 분야는 기술격차가 소폭 축소 추세에 있음
- 토류판 이동 토사유출 보강공법, 암반 보강용 네일개발기술분야는 기술격차가 소폭 확대 추세에 있음



〈그림 3-14〉 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술분야 소분류별 기술격차 추세

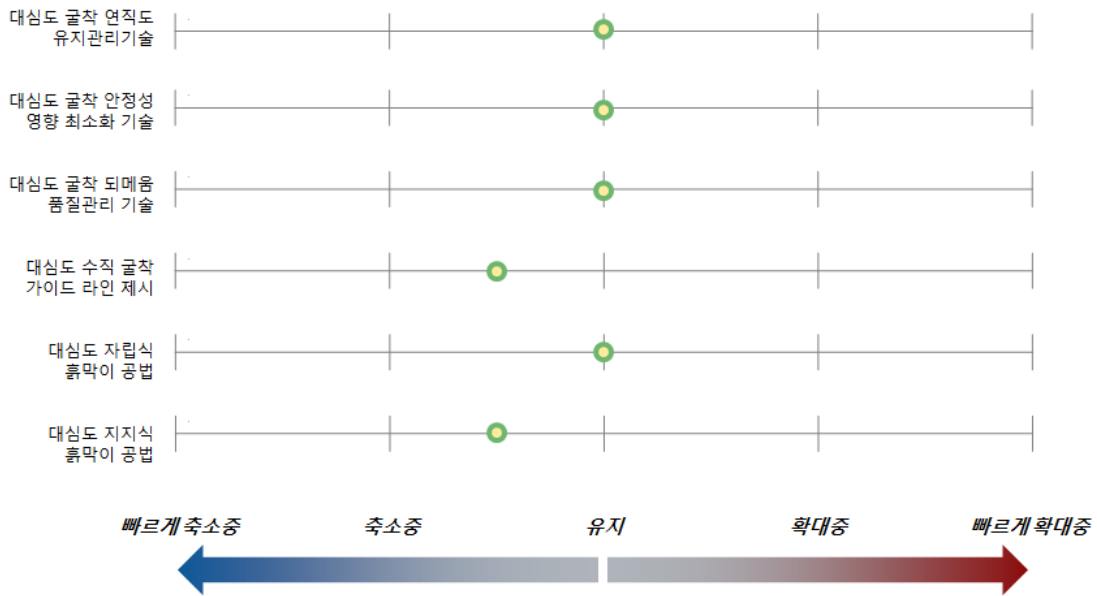
(나) 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술

- 국내 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술의 전체 기술수준은 76.7%이며, 평균기술격차는 6.3년임
- 대심도 수직 굴착 가이드라인 제시(85.0%), 대심도 지지식 흙막이 공법(85.0%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 대심도 굴착 되메움 품질관리 기술(65.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 대심도 굴착 연직도 유지관리기술(6.0년), 대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술(6.0년), 대심도 수직 굴착 가이드라인 제시(6.0년), 대심도 지지식 흙막이 공법(6.0년)의 기술격차가 가장 적으며, 대심도 굴착 되메움 품질관리기술(7.0년), 대심도 자립식 흙막이 공법(7.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-15〉 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

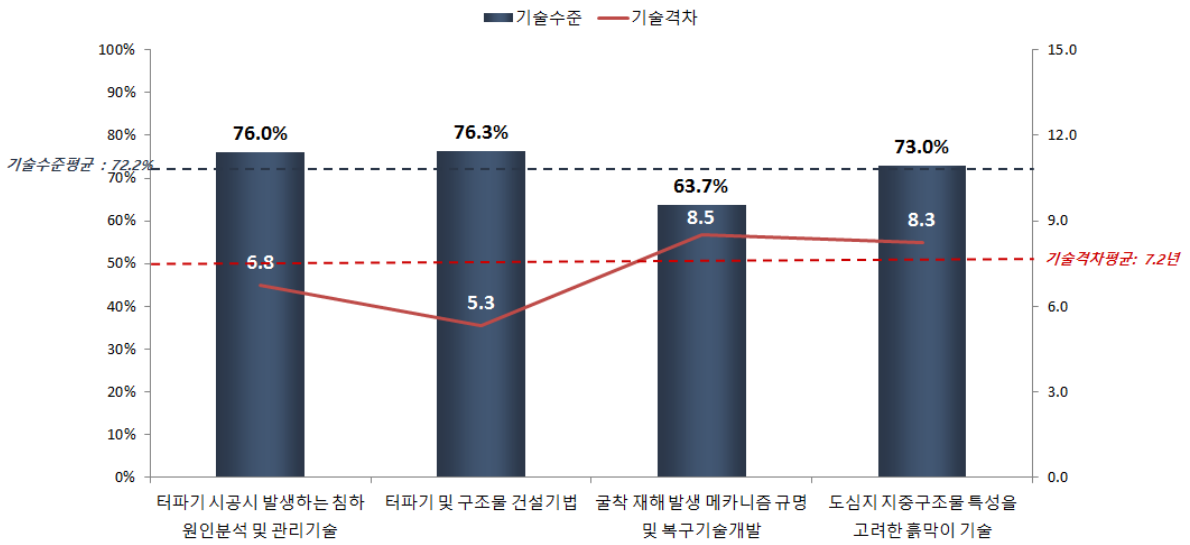
- 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술 분야의 기술격차는 전반적으로 유지되고 있음
 - 대심도 수직 굴착 가이드라인 제시, 대심도 지지식 흙막이 공법은 기술격차가 축소 추세에 있음
 - 대심도 굴착 연직도 유지관리기술, 대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술, 대심도 굴착 되메움 품질관리 기술, 대심도 자립식 흙막이 공법 분야는 기술격차가 유지되고 있음



〈그림 3-16〉 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술분야 소분류별 기술격차 추세

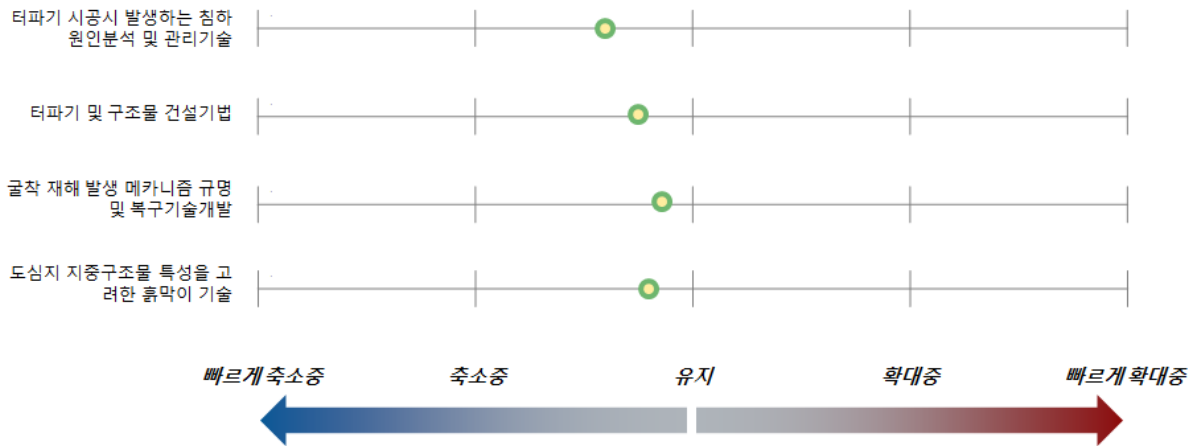
(다) 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술

- 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술의 전체 기술수준은 72.2%이며, 평균기술격차는 7.2년임
 - 터파기 및 구조물 건설기법(76.3%), 터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술(76.0%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술 개발(63.7%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 터파기 및 구조물 건설기법(5.3년)의 기술격차가 가장 적으며, 굴착재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술개발(8.5년), 도심지 지중구조물 특성을 고려한 흙막이 기술(8.3년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-17〉 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

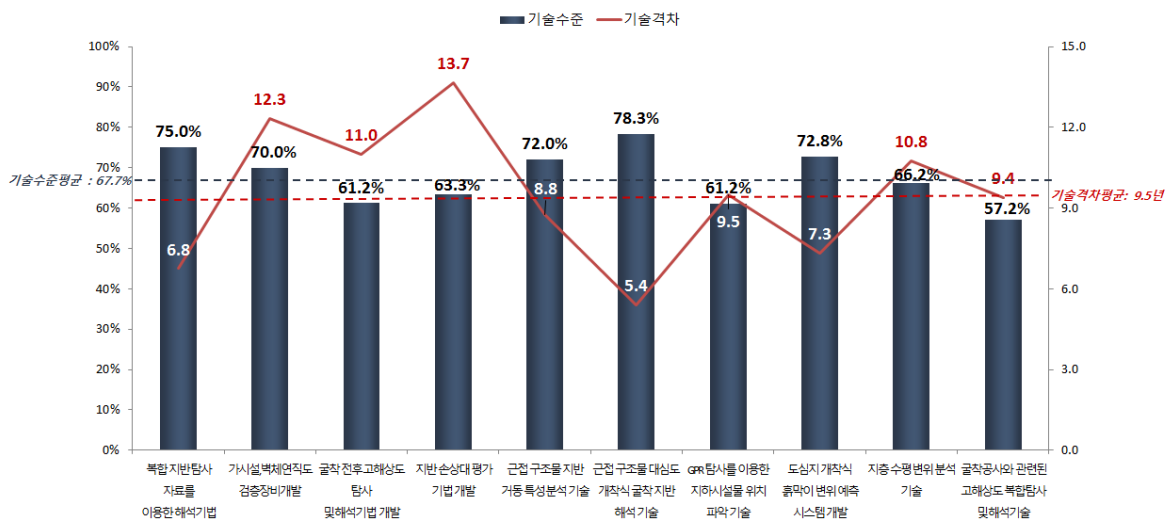
- 국내 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술분야의 기술격차는 전반적으로 축소 추세에 있음
- 터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술이 상대적으로 빠르게 축소 중이며, 굴착재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술개발은 상대적으로 완만하게 축소 중임



〈그림 3-18〉 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술분야 소분류별 기술격차 추세

(라) 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술

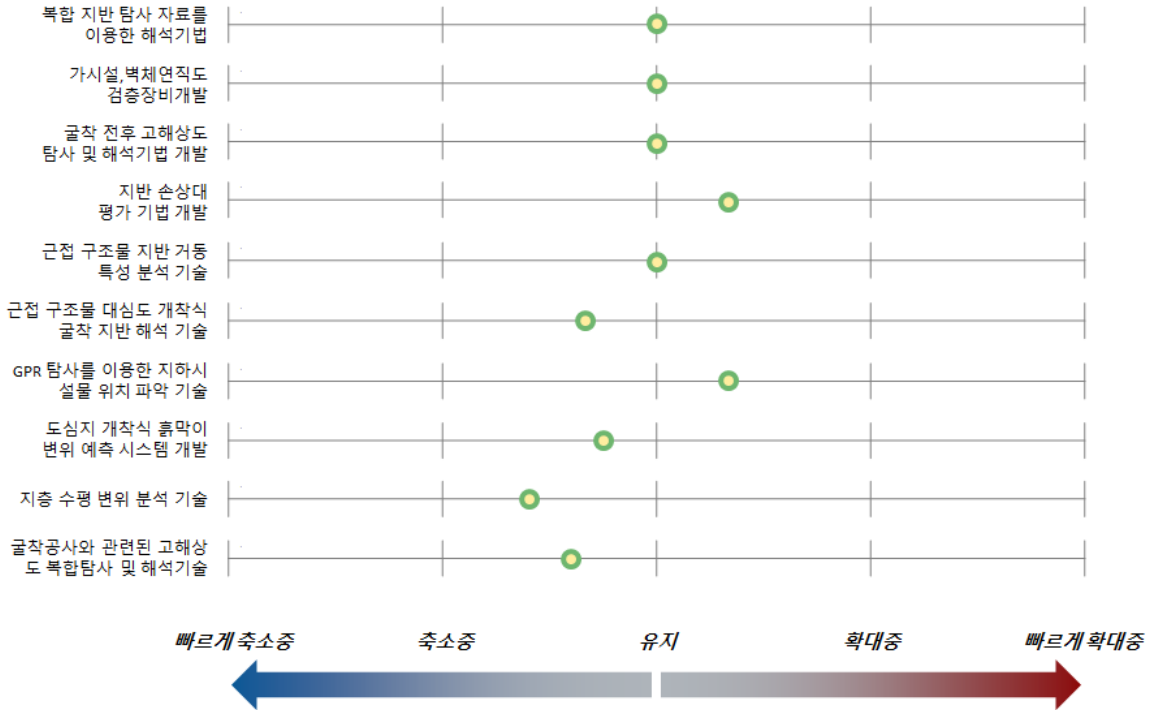
- 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술분야의 전체 기술수준은 67.7%이며, 평균기술격차는 9.5년임
- 근접구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석기술(78.3%), 복합지반 탐사자료를 이용한 해석기법(75.0%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 굴착공사와 관련된 고해상도 복합 탐사 및 해석기술(57.2%), 굴착전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발(61.2%), GPR탐사를 이용한 지하시설물의 위치파악기술(61.2%), 지반 손상대 평가기법 개발(63.3%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 근접구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석기술(5.4년)의 기술격차가 적으며, 지반 손상대 평가기법 개발(13.7년), 가시설, 벽체 연직도 검증장비 개발(12.3년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-19〉 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

- 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술분야의 기술격차 추세는 지반 손상대 평가기법 개발, GPR탐사를 이용한 지하시설물 위치 파악 기술을 제외하고는 축소 또는 유지되고 있음
- 지층 수평 변위 분석 기술, 굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석기술, 근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술, 도심지 개착식 흙막이 변위 예측시스템 개발은 기술격차가 축소 추세에 있음
- 복합 지반 탐사자료를 이용한 해석기법, 가시설, 벽체연직도 검증장비개발, 굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발, 근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술은 기술격차가 유지되고 있음

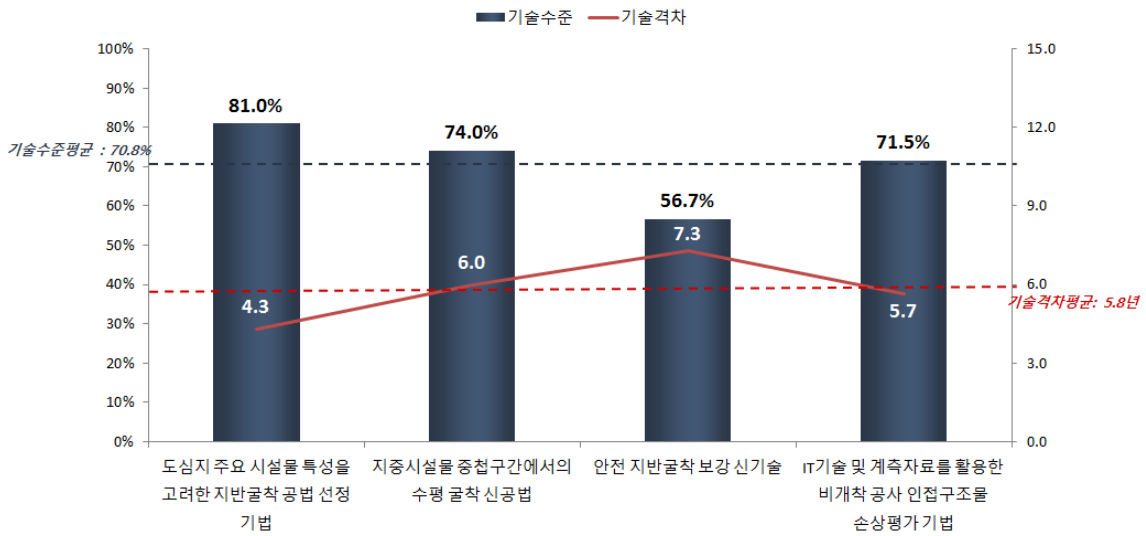
- 지반 손상대 평가기법 개발, GPR탐사를 이용한 지하시설물 위치파악 기술은 기술격차가 확대 추세에 있음



〈그림 3-20〉 개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합탐사 및 해석기술분야 소분류별 기술격차 추세

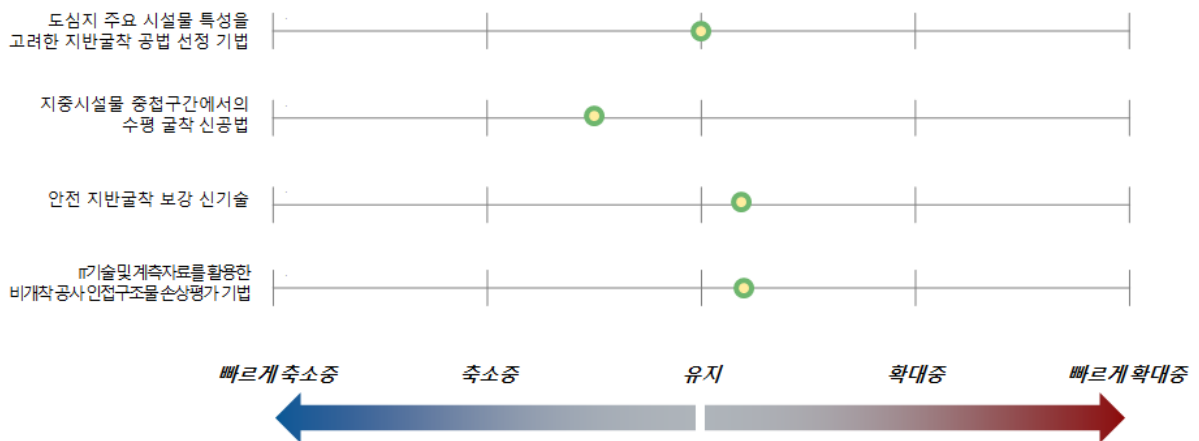
(2) 도심지 비개착식 지반굴착

- 국내 도심지 비개착식 지반굴착 분야의 전체 기술수준은 70.8%이며, 평균기술격차는 5.8년임
- 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착공법 선정기법(81.0%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 안전 지반굴착보강 신기술(56.7%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정기법(4.3년)의 기술격차가 가장 적으며, 안전 지반굴착 보강 신기술(7.3년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-21〉 도심지 비개착식 지반굴착 분야 중분류별 기술수준 및 기술격차

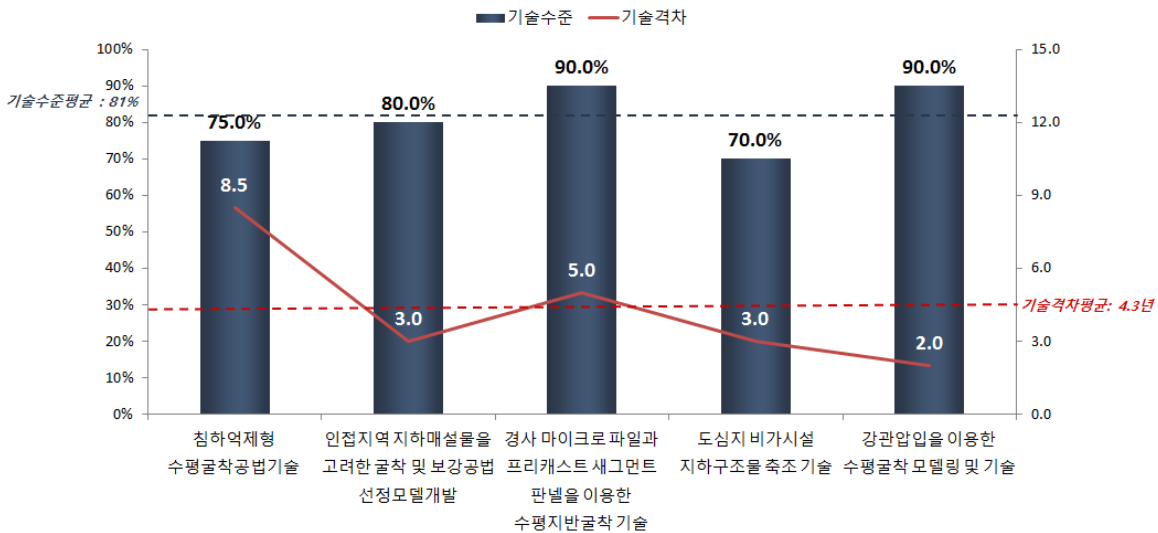
- 국내 안전한 지반굴착기술의 기술격차의 기술격차추세는 기술분야에 따라 차이가 있음
 - 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법분야는 기술격차가 축소 추세에 있음
 - 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법은 기술격차가 유지되고 있음
 - 안전 지반굴착 보강 신기술, IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착공사 인접구조물 손상 평가기법은 기술격차가 확대 추세에 있음



〈그림 3-22〉 도심지 비개착식 지반굴착 분야 중분류별 기술격차 추세

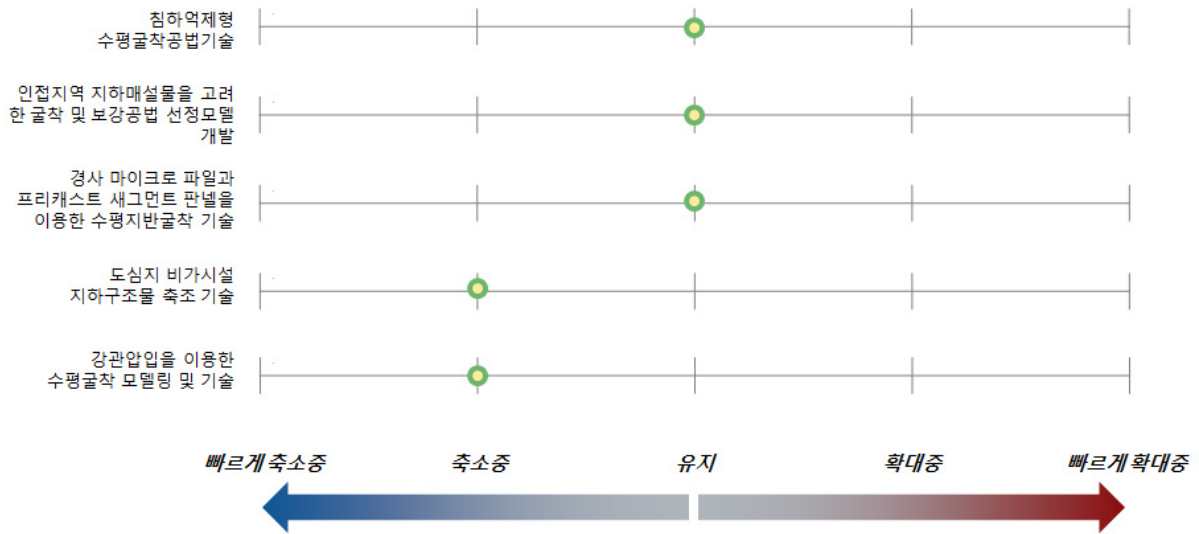
(가) 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법

- 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법의 전체 기술수준은 81.0%이며, 평균기술격차는 4.3년임
- 경사 마이크로파일과 프리캐스트 세그먼트 판넬을 이용한 수평지반 굴착기술(90.0%), 강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술(90.0%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 도심지 비가시설 지하구조물 축조기술(70.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술(2.0년)의 기술격차가 가장 적으며, 침하억제형 수평굴착공법기술(8.5년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-23〉 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정기법분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

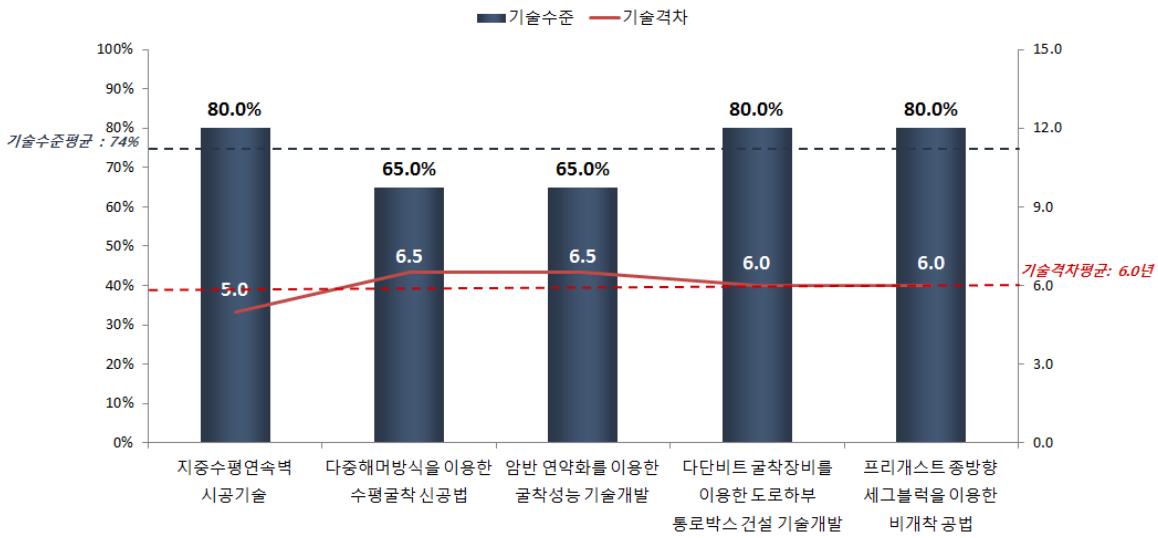
- 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정기법 분야의 기술격차 추세는 유지 또는 축소되고 있음
- 도심지 비가시설 지하구조물 축조기술, 강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술 분야의 기술격차가 축소 추세에 있음
- 침하 억제형 수평굴착공법기술, 인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정 모델 개발, 경사 마이크로 파일과 프리캐스트 세그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술은 기술격차가 유지되고 있음



〈그림 3-24〉 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법분야 소분류별 기술격차 추세

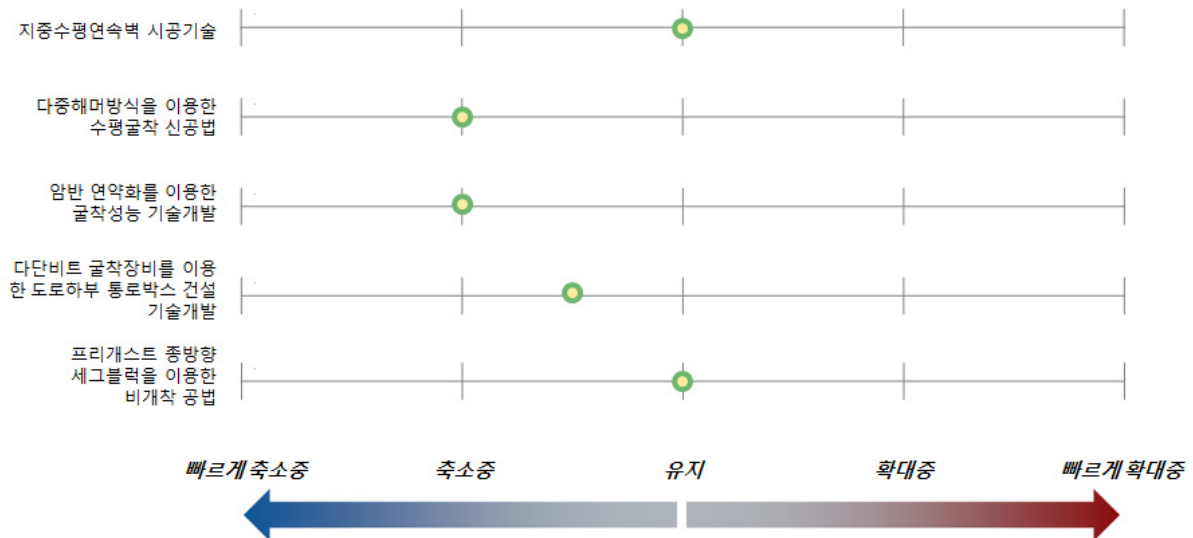
(나) 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법

- 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법의 전체 기술수준은 74.0%이며, 평균기술격차는 6.0년임
 - 지중 수평 연속벽 시공기술(80.0%), 다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설기술개발(80.0%), 프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착공법(80.0%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 다중 해머방식을 이용한 수평굴착 신공법(65.0%), 암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발(65.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 지중 수평 연속벽 시공기술(5.0년)의 기술격차가 상대적으로 적으며, 다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법(6.5년), 암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발(6.5년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-25〉 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

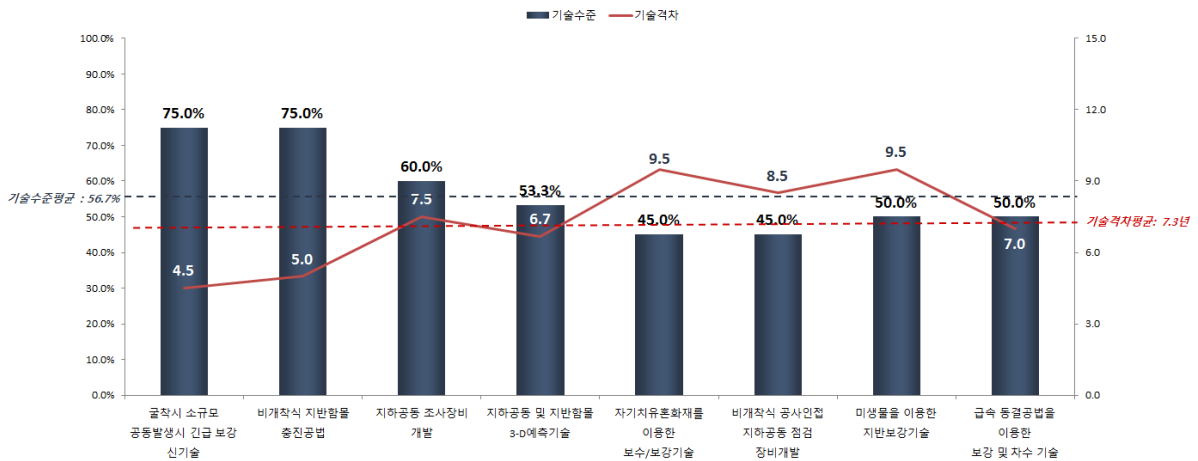
- 지중시설물 중첩구간에서의 수평굴착 신공법분야의 기술격차 추세는 전반적으로 축소 추세에 있으며, 기술에 따라 차이가 존재
 - 다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법, 암반 연약화를 이용한 수평굴착 신공법, 다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설기술개발의 기술격차는 축소 추세에 있음
 - 지중 수평 연속벽 시공기술, 프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법의 기술격차는 유지되고 있음



〈그림 3-26〉 지중시설물 중첩구간에서의 수평굴착 신공법분야 소분류별 기술격차 추세

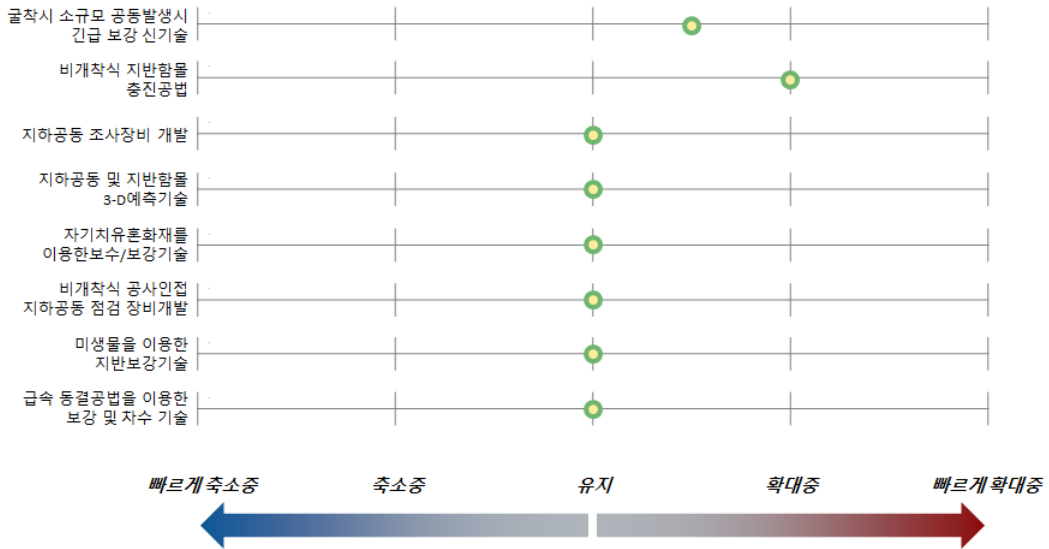
(다) 안전 지반굴착 보강 신기술

- 안전 지반굴착 보강 신기술의 전체 기술수준은 56.7%이며, 평균기술격차는 7.3년임
 - 굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술(75.0%), 비개착식 지반함몰 충전공법(75.0%)의 기술수준은 상대적으로 높으며, 자기치유혼화재를 이용한 보수/보강기술(45.0%), 비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발(45.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
 - 굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술(4.5년), 비개착식 지반함몰 충전공법(5.0년)의 기술격차가 상대적으로 적으며, 자기치유혼화재를 이용한 보수/보강기술(9.5년), 미생물을 이용한 지반보강기술(9.5년), 비개착식 공사인접 지하공동 점검장비개발(8.5년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-27〉 안전 지반굴착 보강 신기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

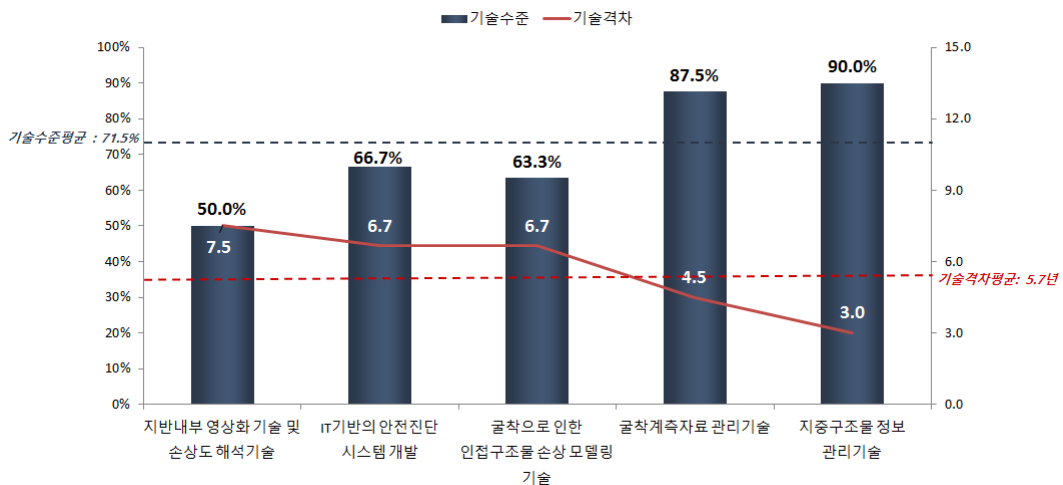
- 비개착식 지반함몰 충전공법, 굴착시 소규모 공동발생시 긴급보강 신기술을 제외한 안전 지반굴착 보강 신기술분야의 기술격차는 유지되고 있음
 - 비개착식 지반함몰 충전공법, 굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술은 기술격차가 확대 추세에 있음
 - 지하공동 조사장비 개발, 지하공동 및 지반함몰 3D예측기술, 자기치유혼화재를 이용한 보수/보강기술, 비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발, 미생물을 이용한 지반보강 기술, 급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수기술은 기술격차가 유지되고 있음



〈그림 3-28〉 안전 지반굴착 보강 신기술분야 소분류별 기술격차 추세

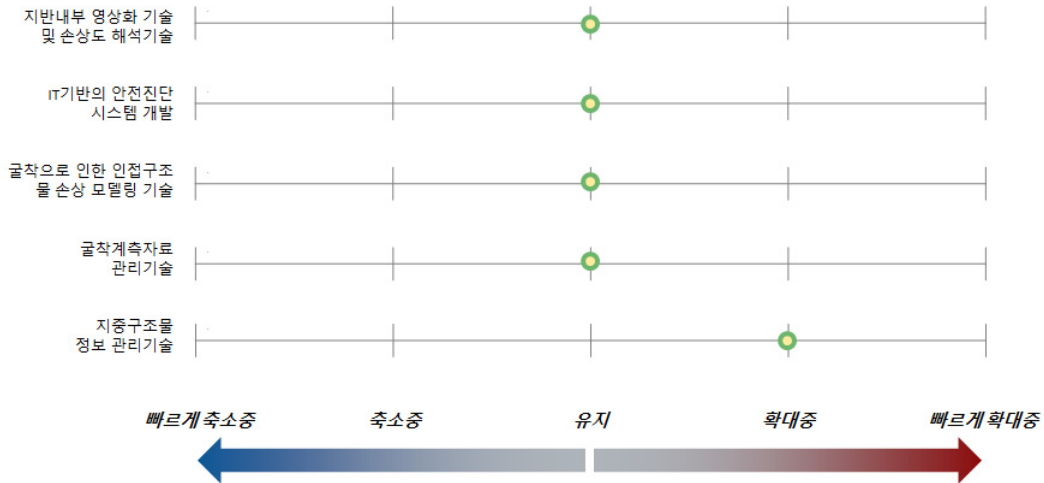
(라) IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법

- 국내 IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법의 전체 기술수준은 71.5%이며, 평균기술격차는 5.7년임
- 지중구조물 정보관리기술(90.0%)과 굴착 계측자료 관리기술(87.5%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술(50.0%)분야의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 지중구조물 정보관리기술(3.0년)의 기술격차가 가장 적으며, 지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술(7.5년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-29〉 IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가기법분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

- 지중구조물 정보 관리기술을 제외한 IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가기법분야의 기술격차는 유지되고 있음
- 지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술, IT기반의 안전진단 시스템개발, 굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술, 굴착계측자료 관리기술은 기술격차가 유지되고 있음
- 지중구조물 정보관리기술은 기술격차가 확대 중임



〈그림 3-30〉 IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가기법분야 소분류별 기술격차 추세

다. 기술성숙도(TRL)

- 안전한 지반굴착 기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계이며, 국내 기술성숙도(TRL)는 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 이루어지는 단계에 있음
- 도심지 개착식 지반굴착 기술분야와 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야 의 국내외 기술성숙도(TRL) 수준은 유사함
- 상대적으로 도심지 개착식 지반굴착 기술분야의 국내 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국내외 기술성숙도(TRL)격차가 적음

		★ 국내 TRL 단계			● 국외 TRL 단계			
도심지 개착식 지반굴착 기술				★ 5.7		● 8.0		
도심지 비개착식 지반굴착 기술				★ 5.5		● 8.0		
TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-31〉 안전한 지반굴착기술의 대분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(1) 도심지 개착식 지반굴착 기술

- 도심지 개착식 지반굴착 기술분야의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가 또는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 핵심성능평가, 확정된 시스템 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 국내외 모두 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국내는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되고 있으며, 국외는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 단계에 있음
- 국내외 모두 개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합탐사 및 해석기술분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 상대적으로 가장 낮으며, 국내는 실험실 규모의 핵심성능평가가 이루어지는 단계에 있으며, 국외는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있음
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 대심도(30m 이상) 수직굴착 기술분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합탐사 및 해석기술분야임

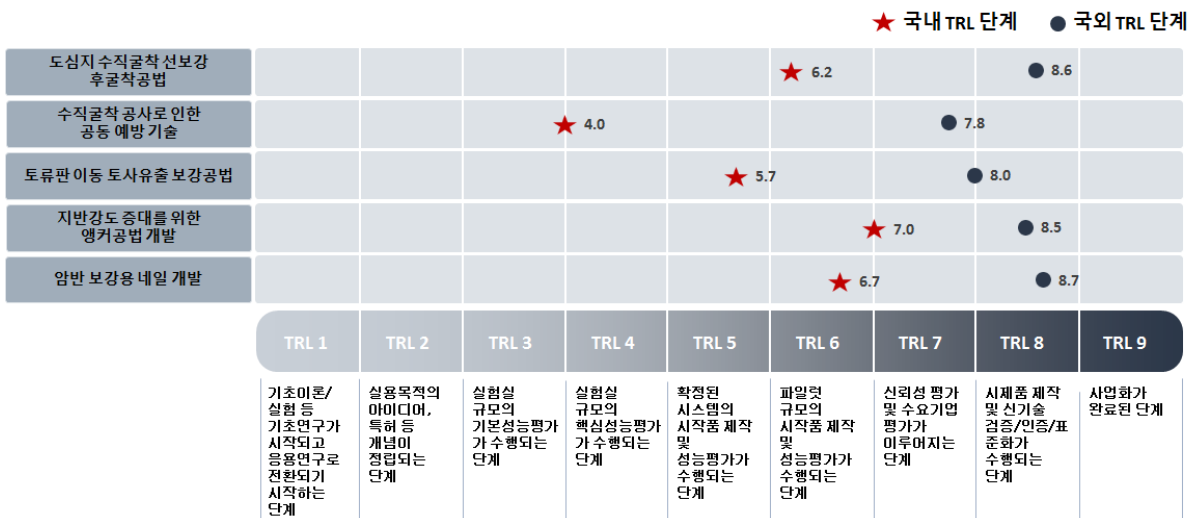
★ 국내 TRL 단계 ● 국외 TRL 단계

	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
고밀도 도심지 구간수직 굴착기술					★ 5.9			● 8.3	
대심도(30m 이상) 수직 굴착기술					★ 6.9			● 8.5	
도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술				★ 5.3			● 7.7		
개착식굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도복합탐사및해석기술				★ 4.6			● 7.5		
	기초미론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-32〉 도심지 개착식 지반굴착 기술분야 중분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(가) 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술

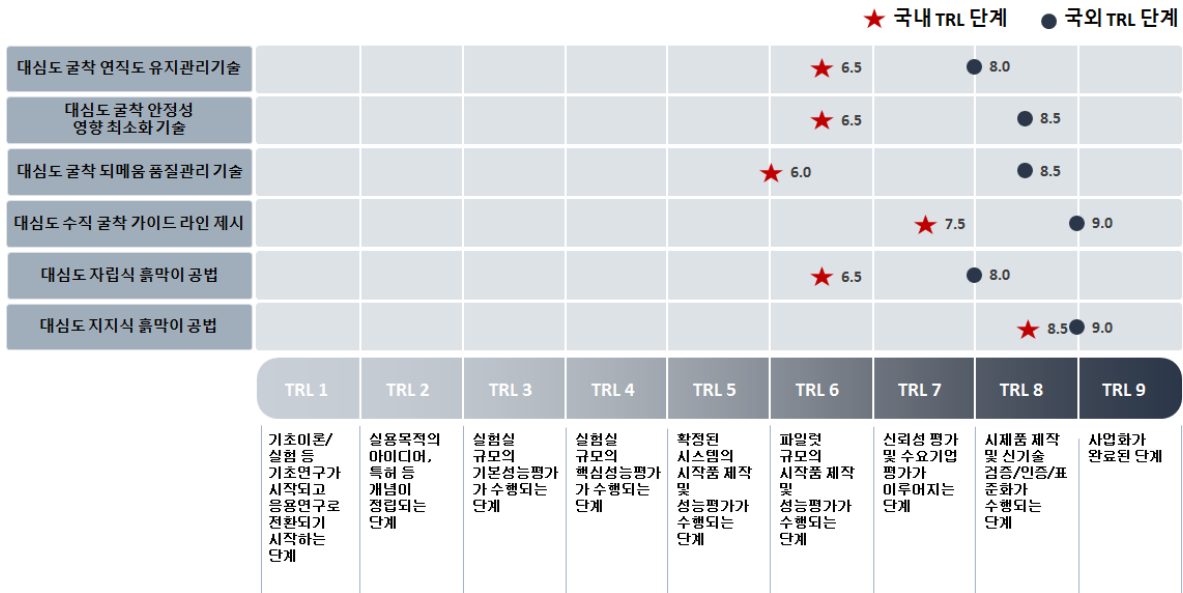
- 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가 또는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 핵심성능평가, 확정된 시스템 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 암반 보강용 네일 개발로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내의 경우 지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지고 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국내외 모두 수직굴착 공사로 인한 공동 예방 기술로, 국외는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지고 있으며, 국내는 실험실 규모의 핵심성능평가가 이루어지는 단계임
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 지반강도 증대를 앵커공법 개발분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 수직굴착 공사로 인한 공동 예방기술분야임



〈그림 3-33〉 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(나) 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술

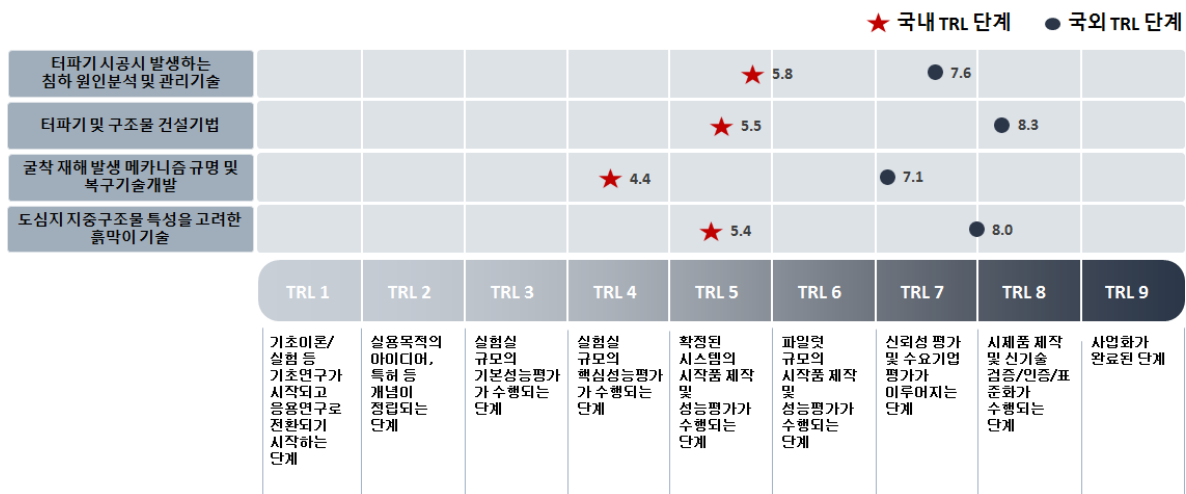
- 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 수행 또는 사업화가 완료된 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가 또는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가, 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 대심도 수직굴착 가이드라인 제시, 대심도 지지식 흙막이 공법으로 사업화가 완료된 단계이며, 국내의 경우 대심도 지지식 흙막이 공법으로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국외의 경우 대심도 굴착 연직도 유지관리기술, 대심도 자립식 흙막이 공법으로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계이며, 국내는 대심도 굴착 되메움 품질관리기술로 파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계임
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 대심도 지지식 흙막이 공법분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 대심도 굴착 되메움 품질관리기술분야임



〈그림 3-34〉 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술분야 소분류별 국내의 기술성숙도(TRL)

(다) 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술

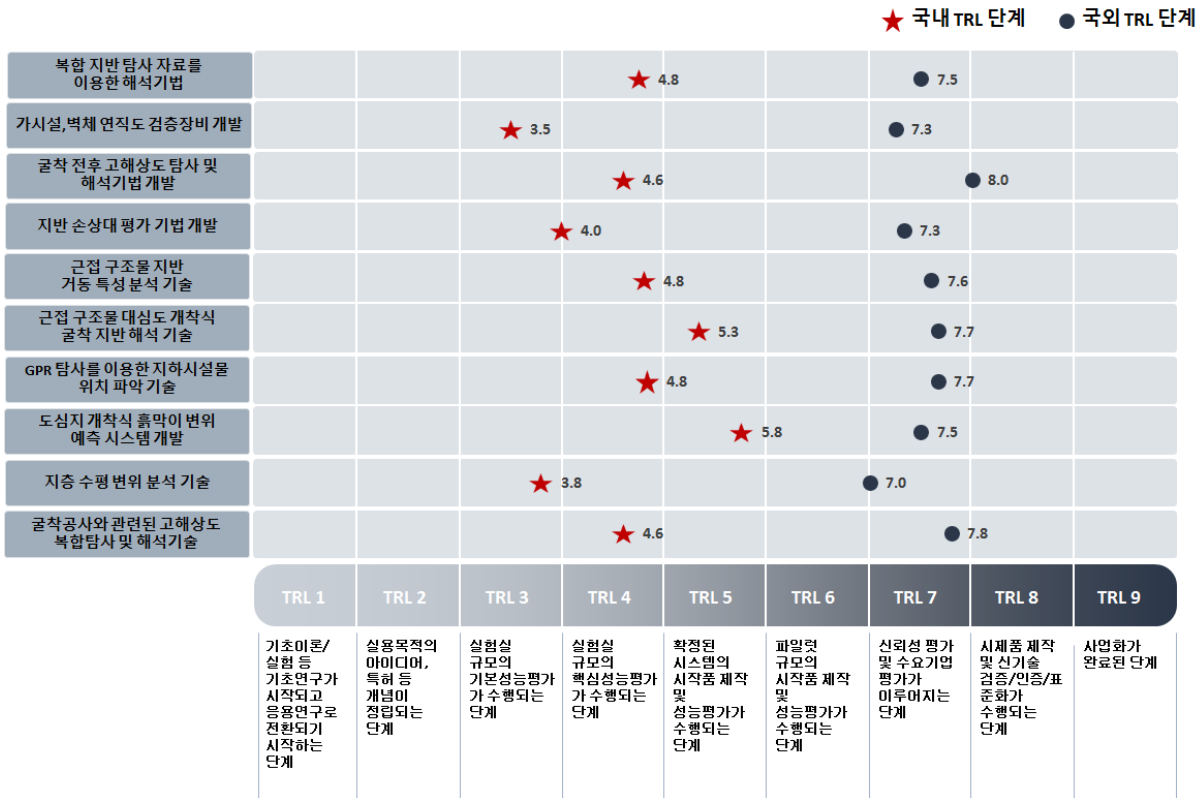
- 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가 또는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 핵심성능평가, 확정된 시스템 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 터파기 및 구조물 건설기법으로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내의 경우 터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술로 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국내외 모두 굴착 재해발생 메카니즘 규명 및 복구기술개발로, 국외는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지고 있으며, 국내는 실험실 규모의 핵심성능평가가 이루어지는 단계임
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 터파기 구조물 건설기법분야임



〈그림 3-35〉 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(라) 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합탐사 및 해석기술

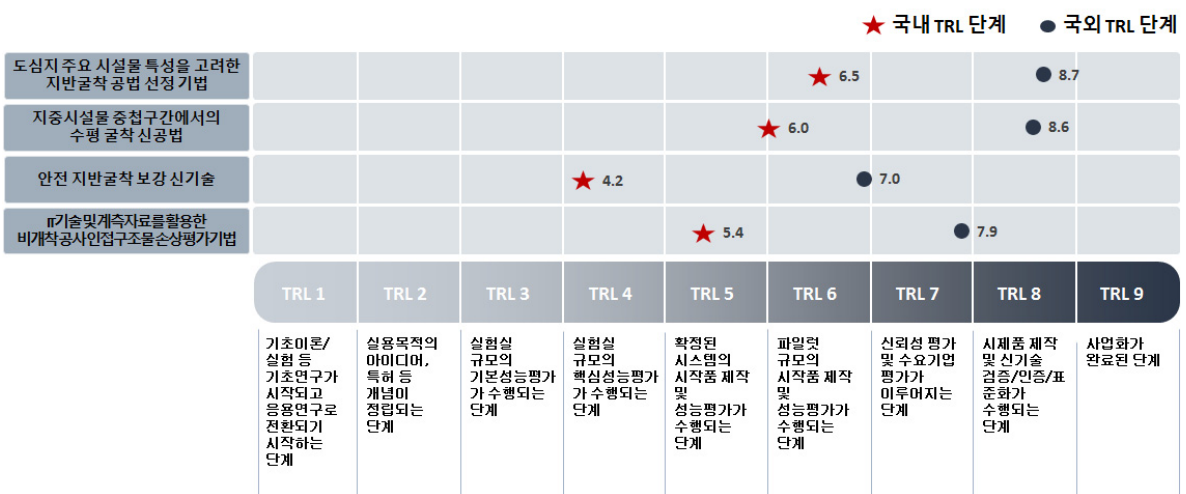
- 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합탐사 및 해석기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가 또는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 기본/핵심성능평가, 확정된 시스템 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내의 경우 도심지 개착식 흙막이 변위예측 시스템 개발로 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국외의 경우 지층 수평변위 분석 기술로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지고 있으며, 국내의 경우 가시설, 벽체 연직도 검증장비 개발로 실험실 규모의 기본성능평가가 이루어지는 단계임
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 도심지 개착식 흙막이 변위예측 시스템 개발분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 가시설, 벽체 연직도 검증장비 개발분야임



<그림 3-36> 개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합탐사 및 해석기술분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(2) 도심지 비개착식 지반굴착

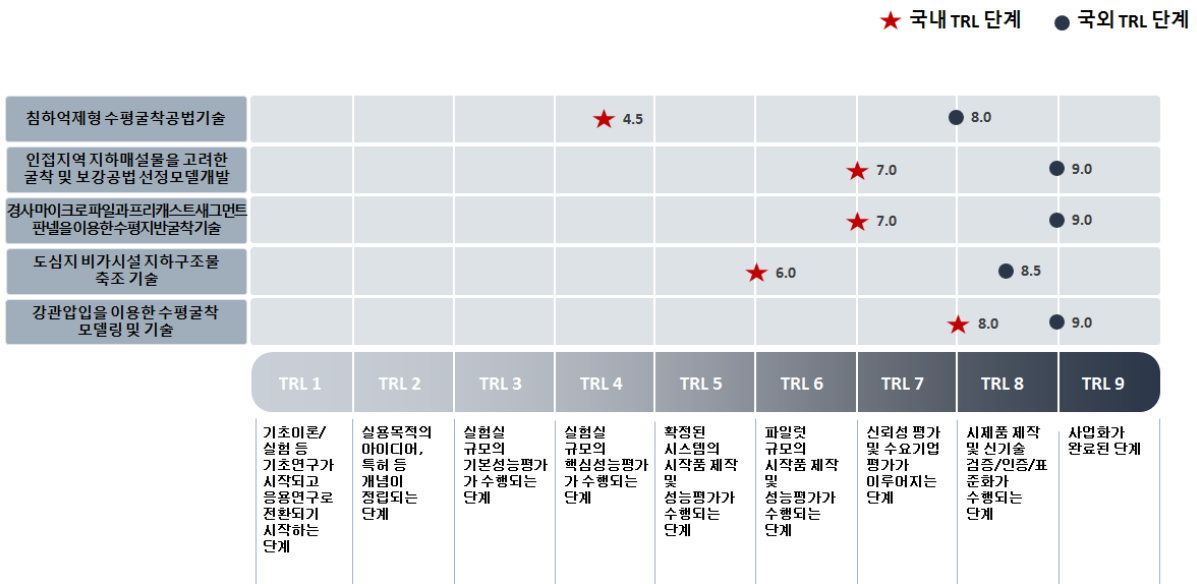
- 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가 또는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 핵심성능평가, 확정된 시스템 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 국내외 모두 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정기법분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국외는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 단계에 있으며, 국내는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계임
- 국내외 모두 안전 지반굴착 보강 신기술분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 상대적으로 가장 낮으며, 국외는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있으며, 국내는 실험실 규모의 핵심성능평가가 이루어지는 단계에 있음
- 국내외의 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정기법분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 안전 지반굴착 보강 신기술분야임



<그림 3-37> 도심지 비개착식 지반굴착 분야 중분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(가) 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법

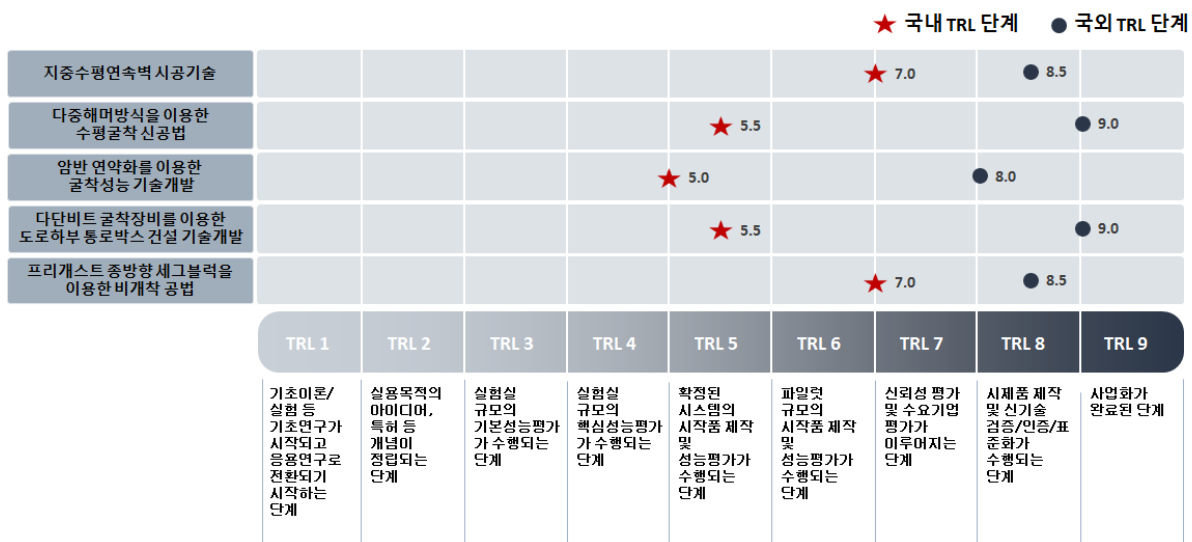
- 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행, 사업화가 완료된 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 핵심성능평가, 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가, 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정모델개발, 경사 마이크로파일과 프리캐스트 세그먼트 판넬을 이용한 수평지반 굴착기술, 강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술로 사업화가 완료되었으며, 국내의 경우 강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국내외 모두 침하억제형 수평굴착공법기술로 국외는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내는 실험실 규모의 핵심성능평가가 이루어지는 단계임
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 침하억제형 수평굴착공법기술분야임



〈그림 3-38〉 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정기법분야 소분류별 국내의 기술성숙도(TRL)

(나) 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법

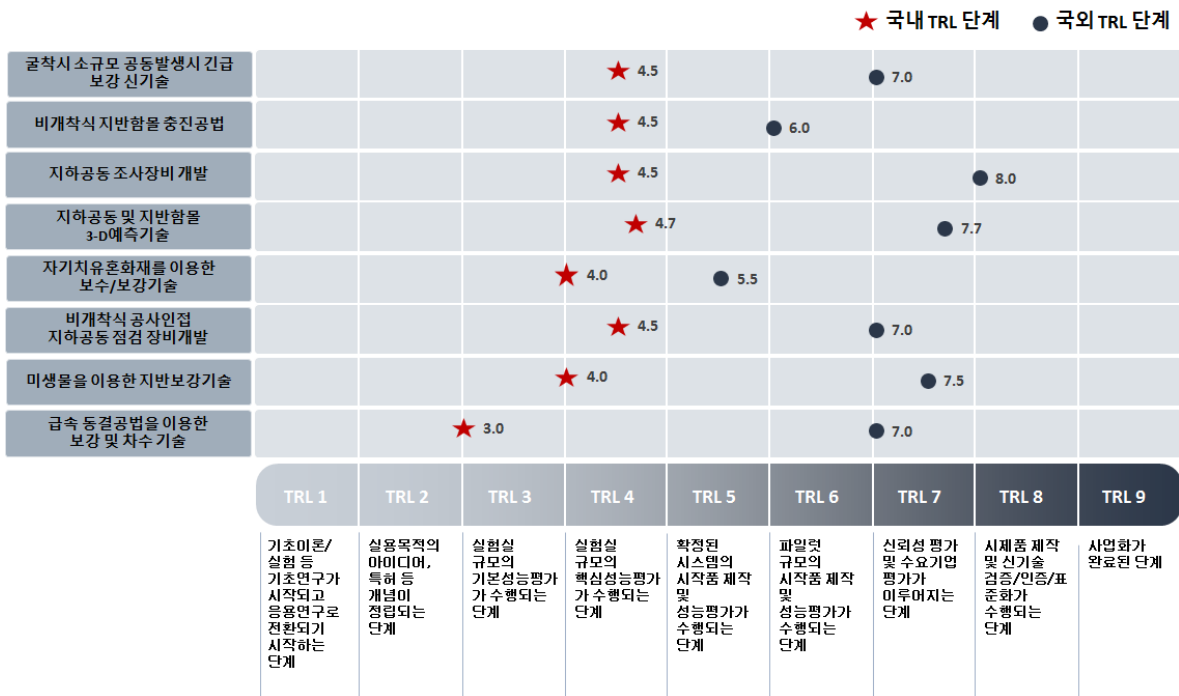
- 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 수행, 또는 사업화 완료 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 다중 해머방식을 이용한 수평굴착 신공법, 다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설기술개발로 사업화가 완료된 단계이며, 국내의 경우 지중 수평연속벽 시공기술, 프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착공법으로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국내외 모두 암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발로 국외는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계이며, 국내는 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 지중수평연속벽 시공기술, 프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 다중 해머방식을 이용한 수평굴착 신공법, 다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설기술개발분야임



〈그림 3-39〉 지중시설물 중첩구간에서의 수평굴착 신공법 분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(다) 안전 지반굴착 보강 신기술

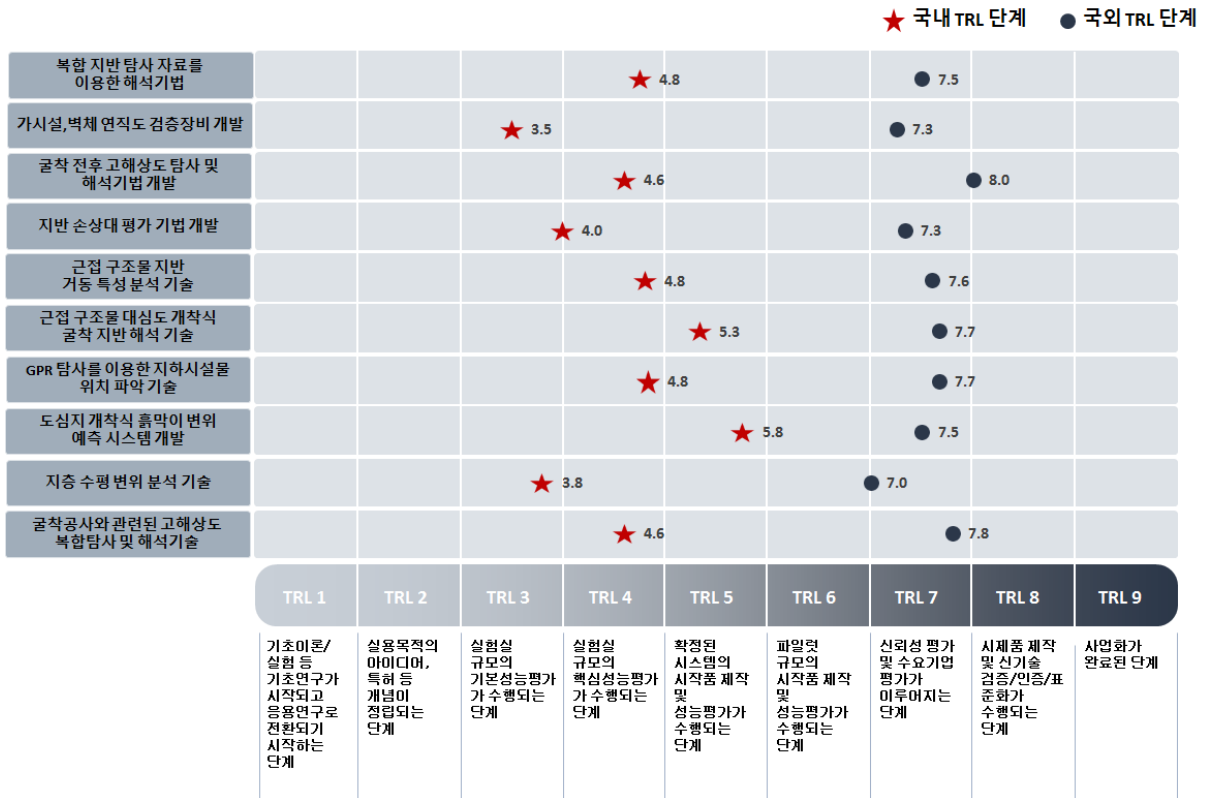
- 안전 지반굴착 보강 신기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 확정된 시스템 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가, 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 기본/핵심성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 지하공동 조사장비 개발로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내의 경우 지하공동 및 지반함몰 3D 예측기술로 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국외의 경우 자기치유혼화재를 이용한 보수/보강기술로 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있으며, 국내의 경우 급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수기술로 실험실 규모의 기본성능평가가 이루어지는 단계임
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 자기치유혼화재를 이용한 보수/보강기술분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수기술 분야임



〈그림 3-40〉 안전 지반굴착 보강 신기술분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(라) IT기술 및 예측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법

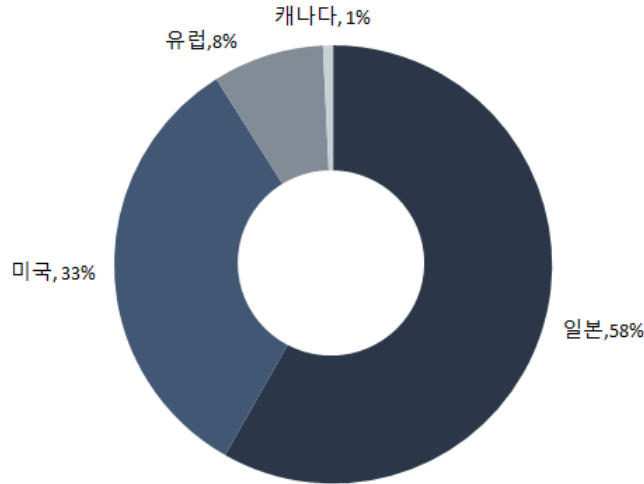
- IT기술 및 예측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가 또는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 핵심성능평가, 확정된 시스템 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 IT기반의 안전진단 시스템 개발로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내의 경우 지중구조물 정보 관리기술로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국외의 경우 지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지고 있으며, 국내의 경우 IT기반의 안전진단 시스템 개발로 실험실 규모의 핵심성능평가가 이루어지는 단계임
- 국내의 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 지중구조물 정보 관리기술분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 IT기반의 안전진단 시스템 개발분야임



〈그림 3-41〉 IT기술 및 예측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

라. 최고기술보유국

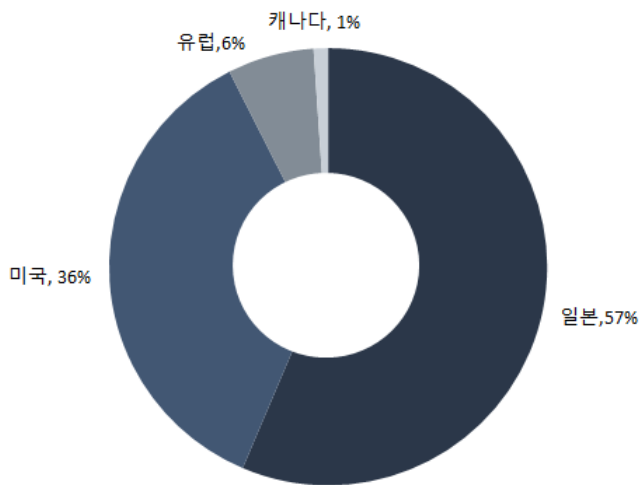
- 안전한 지반굴착기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 일본이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남
- 일본 58%, 미국 33%, 유럽 8%, 캐나다 1%순으로 최고 기술을 보유한 것으로 나타남



〈그림 3-42〉 안전한 지반굴착기술의 최고기술보유국 비중

(1) 도심지 개착식 지반굴착 기술

- 도심지 개착식 지반굴착 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 일본이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남
- 일본 57%, 미국 36%, 유럽 6%, 캐나다 1%순으로 최고 기술을 보유한 것으로 나타남



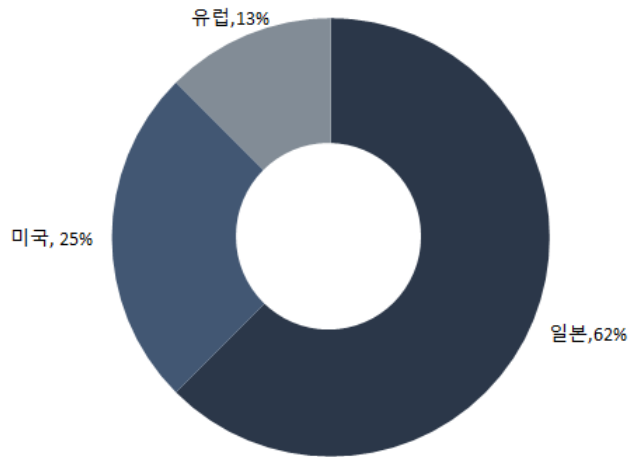
〈그림 3-43〉 도심지 개착식 지반굴착 기술분야 최고기술보유국 비중

[표 3-16] 도심지 개착식 지반굴착기술분야 소분류별 최고기술 보유국 비중

기술분류체계		최고기술보유국 비중(%)			
중분류	소분류	일본	미국	유럽	캐나다
고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술	도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%
	수직굴착 공사로 인한 공동 예방기술	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%
	토류판 이동 토사유출 보강공법	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%
	지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	암반 보강용 네일개발	0.0%	66.7%	33.3%	0.0%
대심도 (30m 이상) 수직 굴착기술	대심도 굴착 연직도 유지관리기술	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%
	대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%
	대심도 굴착 퇴매움 품질관리 기술	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%
	대심도 수직 굴착 가이드 라인 제시	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	대심도 자립식 흙막이 공법	33.3%	33.3%	33.3%	0.0%
	대심도 지지식 흙막이 공법	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%
도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술	터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관 리기술	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%
	터파기 및 구조물 건설기법	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%
	굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술개발	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%
	도심지 지중구조물 특성을 고려한 흙막이 기술	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%
개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술	복합 지반 탐사 자료를 이용한 해석기법	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%
	가시설, 벽체 연직도 검증 장비개발	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%
	굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발	33.3%	50.0%	16.7%	0.0%
	지반 손상대 평가 기법 개발	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%
	근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%
	근접 구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석 기술	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%
	GPR탐사를 이용한 지하시설물 위치파악 기술	33.3%	33.3%	33.3%	0.0%
	도심지 개착식 흙막이 변위 예측 시스템 개발	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%
	지층 수평 변위 분석 기술	60.0%	20.0%	0.0%	20.0%
굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석 기술	40.0%	40.0%	20.0%	0.0%	

(2) 도심지 비개착식 지반굴착기술


- 도심지 비개착식 지반굴착 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 일본이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남
- 일본 62%, 미국 25%, 유럽 13%순으로 최고 기술을 보유한 것으로 나타남



〈그림 3-44〉 도심지 비개착식 지반굴착 분야 최고기술보유국 비중

[표 3-17] 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 소분류별 최고기술 보유국 비중

기술분류체계		최고기술보유국 비중(%)			
중분류	소분류	일본	미국	유럽	캐나다
도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법	침하억제형 수평굴착공법기술	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정모델개발	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	경사 마이크로 파일과 프리캐스트 새그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술				
	도심지 비가시설 지하구조물 축조 기술				
	강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
지중시설물 중첩구간에서의 수평굴착 신공법	지중수평연속벽 시공기술	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설 기술개발				
	프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
안전 지반굴착 보강 신기술	굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%
	비개착식 지반함몰 충전공법	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	지하공동 조사장비 개발	0.0%	50.0%	50.0%	0.0%
	지하공동 및 지반함몰 3-D 예측기술	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%
	자기치유 혼화재를 이용한 보수/보강기술				
	비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%
	미생물을 이용한 지반보강기술	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수 기술	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법	지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술	33.3%	33.3%	33.3%	0.0%
	IT기반의 안전진단 시스템 개발	40.0%	20.0%	40.0%	0.0%
	굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술	60.0%	40.0%	0.0%	0.0%
	굴착계측자료 관리기술	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	지중구조물 정보 관리기술	50.0%	0.0%	50.0%	0.0%

*  음영처리된 소분류는 최고기술 보유국가를 응답한 전문가가 없는 경우임

마. 기술기반(인프라) 성숙도

- 국내 안전한 지반굴착기술 분야의 기술기반(인프라)은 일부 해외협력이 필요한 수준인 것으로 나타남



〈그림 3-45〉 안전한 지반굴착기술의 대분류별 기술기반 성숙도

(1) 도심지 개착식 지반굴착 기술

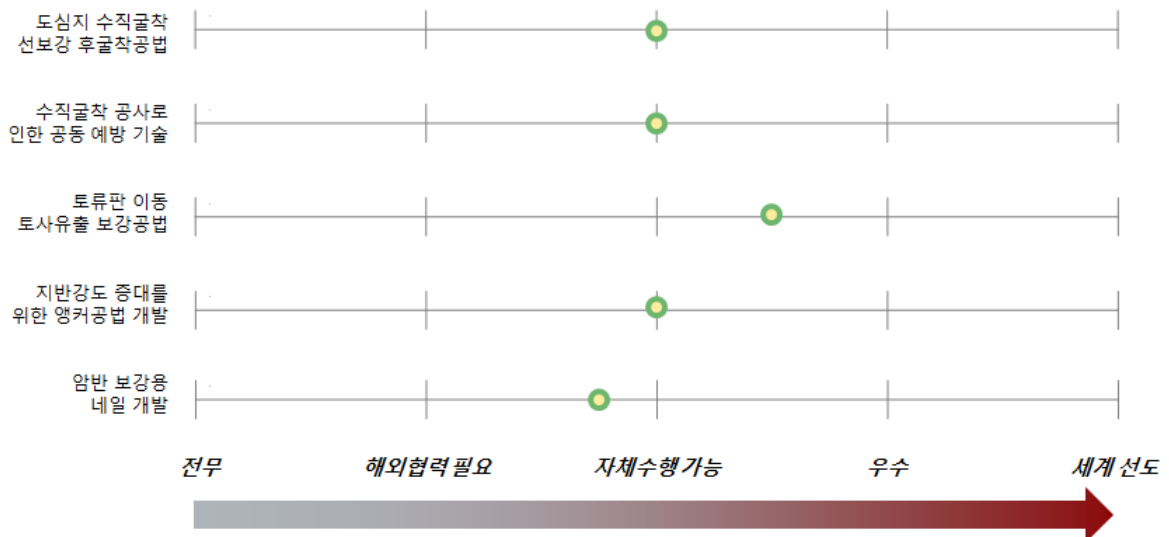
- 국내 도심지 개착식 지반굴착 기술분야의 기술기반(인프라)은 일부 해외협력이 필요한 수준인 것으로 나타남
 - 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술, 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
 - 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술, 개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술분야는 자체 연구수행 수행 가능수준에 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-46〉 도심지 개착식 지반굴착 기술분야 중분류별 기술기반 성숙도

(가) 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술

- 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 도심지 수직 굴착 선보강 후굴착공법, 수직굴착 공사로 인한 공동예방 기술, 지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 토류판 이동 토사유출 보강공법분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨
- 암반 보강용 네일개발분야의 기술기반(인프라)은 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-47〉 고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술분야 소분류별 기술기반 성숙도

(나) 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술

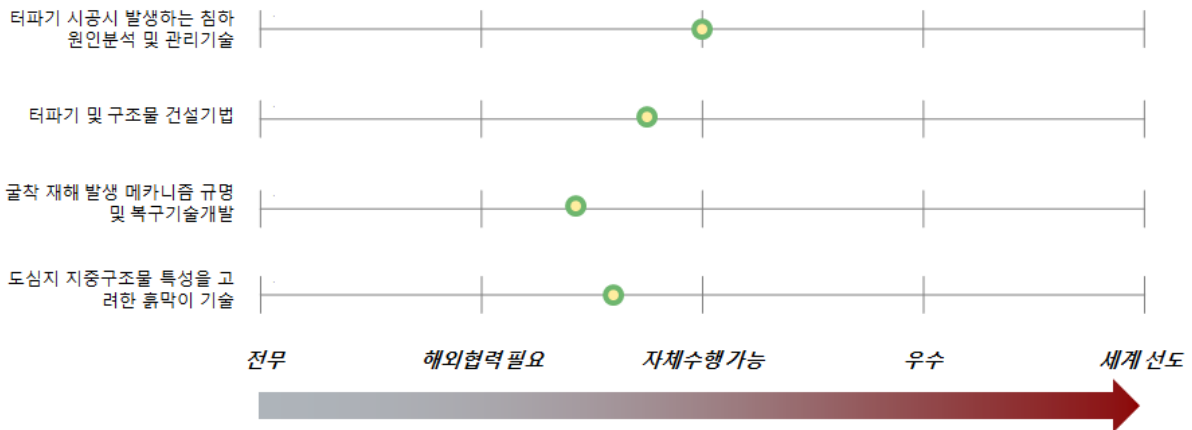
- 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 대심도 굴착 연직도 유지관리기술, 대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술, 대심도 굴착 되메움 품질관리 기술, 대심도 자립식 흩막이 공법분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 대심도 수직 굴착 가이드라인 제시, 대심도 지지식 흩막이 공법분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨



〈그림 3-48〉 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술분야 소분류별 기술기반 성숙도

(다) 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술

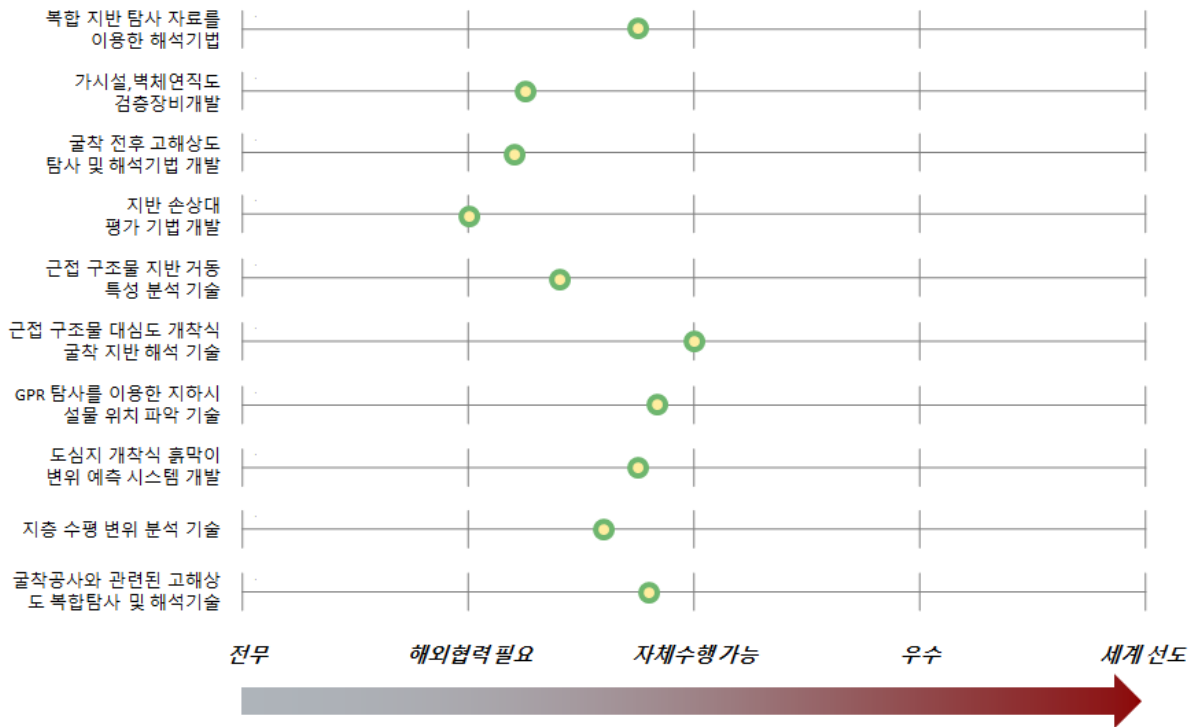
- 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 미흡하여 해외협력이 필요한 수준인 것으로 나타남
- 터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술개발, 도심지 지중구조물 특성을 고려한 흙막이 기술, 터파기 및 구조물 건설기법분야의 기술기반(인프라)은 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-49〉 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술분야 소분류별 기술기반 성숙도

(라) 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술

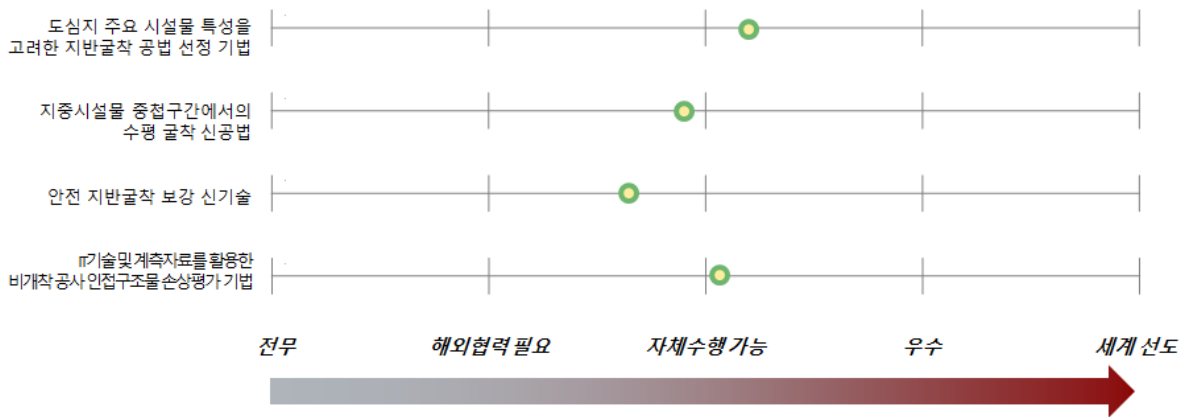
- 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 미흡하여 해외협력이 필요한 수준인 것으로 나타남
- 근접 구조물 대심도 개착식 굴착지반해석기술분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 지반 손상대 평가기법개발, 굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발, 가시설, 벽체연직도 검층장비개발, 근접구조물 지반거동 특성분석 기술, 지층 수평변위 분석기술, 도심지 개착식 흠막이 변위 예측시스템 개발, 굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석기술, 복합지반 탐사자료를 이용한 해석기법, GPR탐사를 이용한 지하시설물 위치파악 기술분야의 기술기반(인프라)은 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-50〉 개착식 굴착공사의 안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술분야 소분류별 기술기반 성숙도

(2) 도심지 비개착식 지반굴착

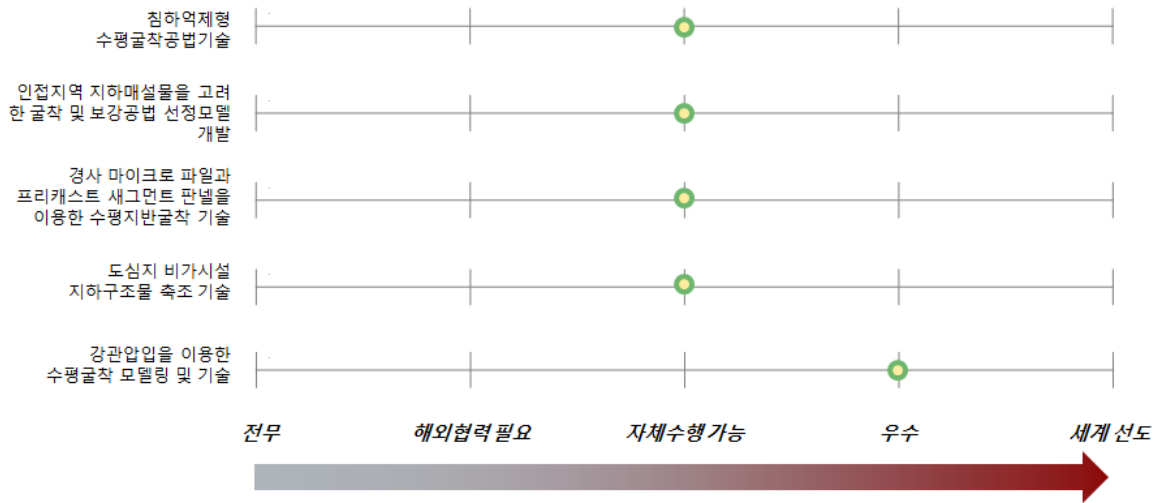
- 국내 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야의 기술기반(인프라)은 일부 해외협력이 필요한 수준인 것으로 나타남
- 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정기법, IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가기법분야의 기술기반(인프라)은 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
- 안전 지반굴착 보강 신기술, 지중시설물 중첩구간에서의 수평굴착 신공법분야는 자체 연구수행 수행 가능수준에 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-51〉 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야 중분류별 기술기반 성숙도

(가) 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법

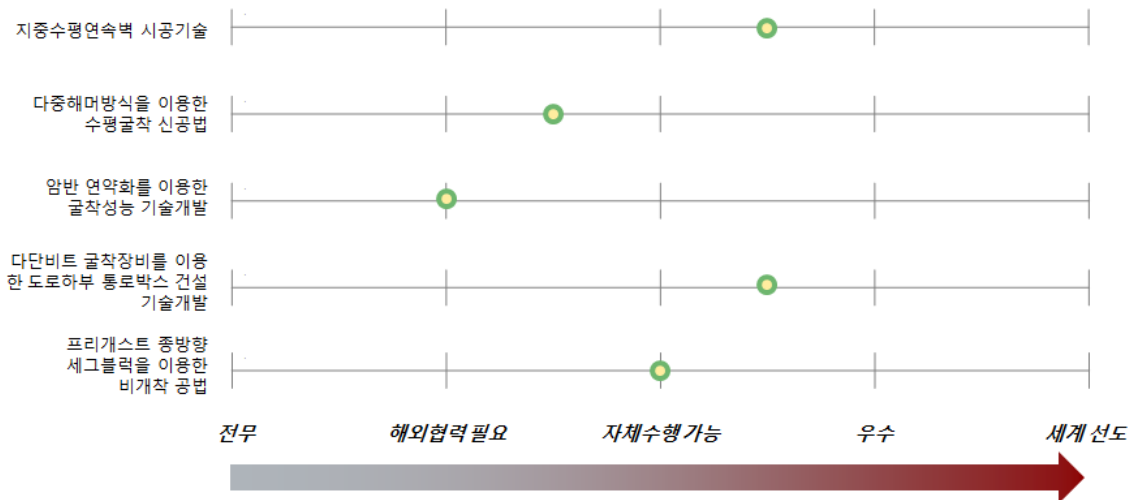
- 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 침하억제형 수평굴착공법기술, 인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정모델 개발, 경사 마이크로 파일과 프리캐스트 세그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착기술, 도심지 비개착식 지하구조물 축조기술분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨



〈그림 3-52〉 도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법분야 소분류별 기술기반 성숙도

(나) 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법

- 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법분야를 구성하는 소분류 기술별로 기술기반(인프라) 수준은 다양하게 나타남
 - 프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착공법분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구 수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
 - 지중수평연속벽 시공기술, 다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설기술 개발분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨
 - 암반연약화를 이용한 굴착성능 기술개발, 다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법 분야의 기술기반(인프라)은 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-53〉 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법분야 소분류별 기술기반 성숙도

(다) 안전 지반굴착 보강 신기술

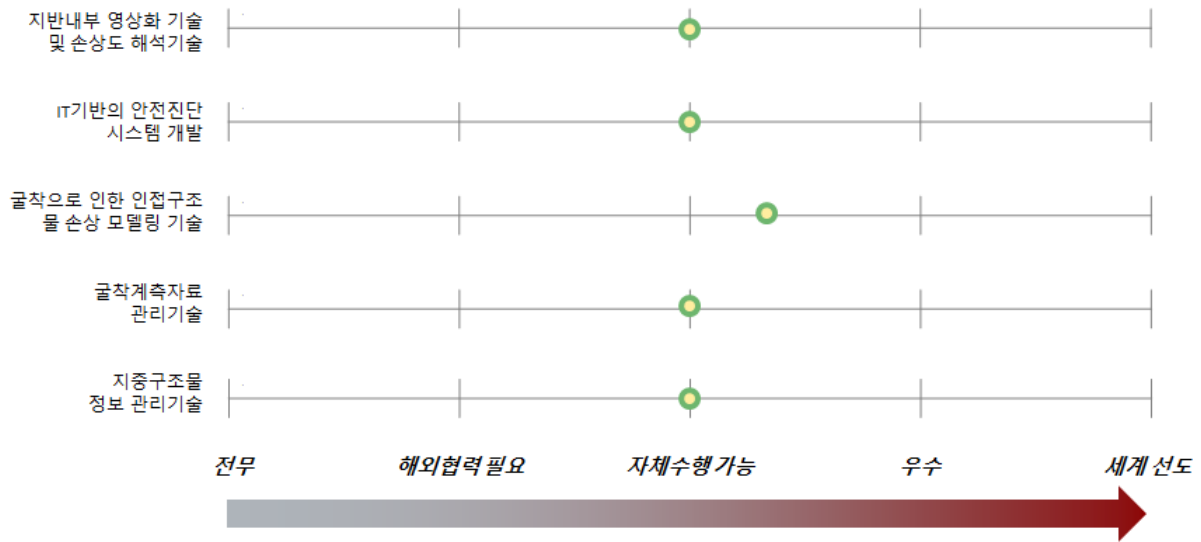
- 안전 지반굴착 보강 신기술분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 미흡하여 해외협력이 필요한 수준인 것으로 나타남
- 굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술, 비개착식 지반함몰 충전공법, 지하공동 조사장비개발, 비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 미생물을 이용한 지반보강 기술, 급속동결공법을 이용한 보강 및 차수기술, 자기치유혼화제를 이용한 보수/보강기술, 지하공동 및 지반함몰 3D예측기술분야의 기술기반(인프라)은 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-54〉 안전 지반굴착 보강 신기술분야 소분류별 기술기반 성숙도

(라) IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법

- IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법분야의 기술기반(인프라)은 자체수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착공법분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 지중수평연속벽 시공기술, 다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설기술 개발분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨



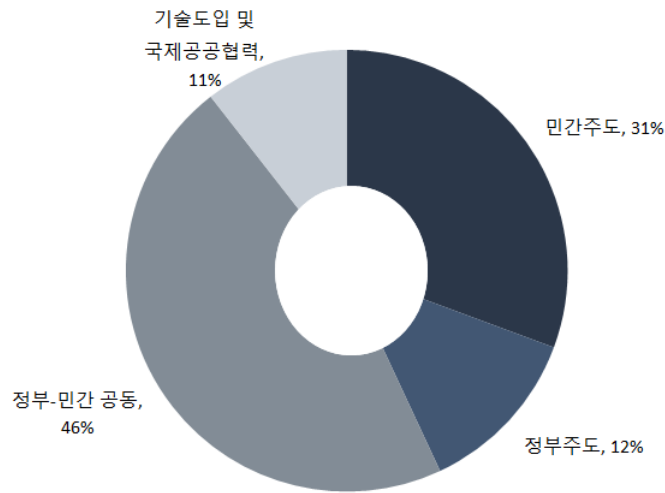
〈그림 3-55〉 IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법분야 소분류별 기술기반 성숙도

바. 기술획득 방식

- 안전한 지반굴착기술의 기술획득방식은 정부-민간 공동(46%)으로 기술을 획득 비중이 가장 높음
- 안전한 지반굴착기술을 구성하는 대분류 기술 모두 정부-민간 공동 기술획득이 적절한 것으로 조사됨

[표 3-18] 안전한 지반굴착기술 대분류별 기술획득 방식 조사결과

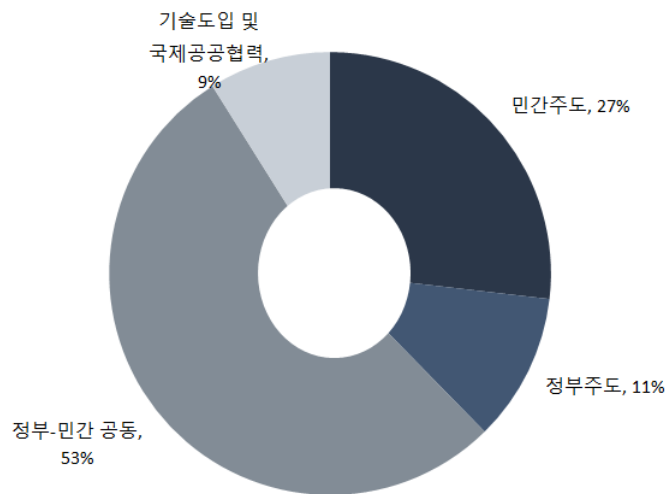
분야	대분류	기술획득 방식			
		민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
안전한 지반굴착기술	전체	31%	12%	46%	11%
	도심지 개착식 지반굴착기술	27%	11%	53%	9%
	도심지 비개착식 지반굴착기술	35%	14%	39%	12%



〈그림 3-56〉 안전한 지반굴착기술분야 기술획득 방식 조사결과

(1) 도심지 개착식 지반굴착기술

- 도심지 개착식 지반굴착기술의 기술획득 방식은 주로 정부-민간 공동(53%)으로 기술을 획득하여야 하는 것으로 나타남
- 도심지 개착식 지반굴착기술을 구성하는 소분류 기술 대부분이 정부-민간 공동 기술획득이 적절한 것으로 조사됨
 - 도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법, 토류판 이동 토사유출 보강공법, 지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발, 암반 보강용 네일개발은 민간주도 기술획득이 적절한 것으로 조사됨
 - 도심도 굴착 되메움 품질관리 기술은 정부주도 기술획득이 적절한 것으로 조사됨



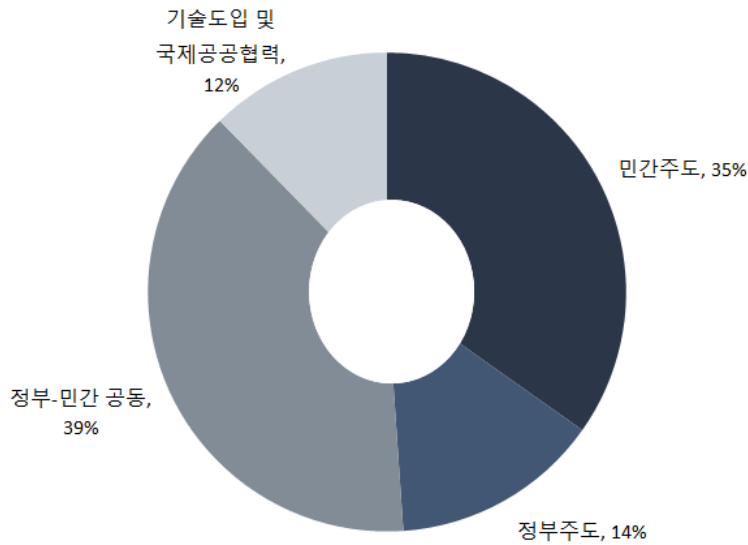
〈그림 3-57〉 도심지 개착식 지반굴착기술분야 기술획득 방식 조사결과

[표 3-19] 도심지 개착식 지반굴착기술분야 소분류별 기술획득 방식 조사결과

중분류	기술분류체계		민간	정부	정부/민간 공동	기술도입 및 국제 공동연구
	소분류					
고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술	도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법	57%	0%	43%	0%	
	수직굴착 공사로 인한 공동 예방기술	14%	14%	71%	0%	
	토류판 이동 토사유출 보강공법	60%	0%	40%	0%	
	지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발	67%	0%	33%	0%	
	암반 보강용 네일개발	80%	0%	20%	0%	
대심도 (30m 이상) 수직 굴착기술	대심도 굴착 연직도 유지관리기술	0%	25%	75%	0%	
	대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술	0%	25%	75%	0%	
	대심도 굴착 퇴매움 품질관리 기술	25%	50%	25%	0%	
	대심도 수직 굴착 가이드 라인 제시	0%	50%	50%	0%	
	대심도 자립식 흠막이 공법	50%	0%	25%	25%	
	대심도 지지식 흠막이 공법	75%	0%	25%	0%	
도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술	터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술	13%	0%	88%	0%	
	터파기 및 구조물 건설기법	29%	0%	71%	0%	
	굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술 개발	13%	13%	75%	0%	
	도심지 지중구조물 특성을 고려한 흠막이 기술	29%	0%	71%	0%	
개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술	복합 지반 탐사 자료를 이용한 해석기법	17%	17%	33%	33%	
	가시설, 벽체 연직도 검층 장비개발	17%	0%	67%	17%	
	굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발	0%	14%	43%	43%	
	지반 손상대 평가 기법 개발	0%	20%	60%	20%	
	근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술	14%	14%	71%	0%	
	근접 구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석 기술	25%	0%	75%	0%	
	GPR탐사를 이용한 지하시설물 위치파악 기술	14%	14%	29%	43%	
	도심지 개착식 흠막이 변위 예측 시스템 개발	17%	0%	83%	0%	
	지층 수평 변위 분석 기술	43%	0%	57%	0%	
	굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석 기술	14%	14%	29%	43%	

(2) 도심지 비개착식 지반굴착기술

- 도심지 비개착식 지반굴착기술의 기술획득 방식은 주로 정부-민간 공동(39%), 민간주도(35%)로 기술을 획득하여야 하는 것으로 나타남
- 도심지 비개착식 지반굴착기술을 구성하는 소분류 기술 대부분이 정부-민간 공동, 민간주도 기술획득이 적절한 것으로 조사됨
 - 경사 마이크로 파일과 프리캐스트 새그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술, 강관 압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술, 다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법, 다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설 기술개발, 프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법, 자기치유 혼화재를 이용한 보수/보강기술은 민간주도 기술획득이 적절한 것으로 조사됨
 - 미생물을 이용한 지반보강기술은 기술도입 및 국제공동연구를 통한 기술획득이 적절한 것으로 조사됨



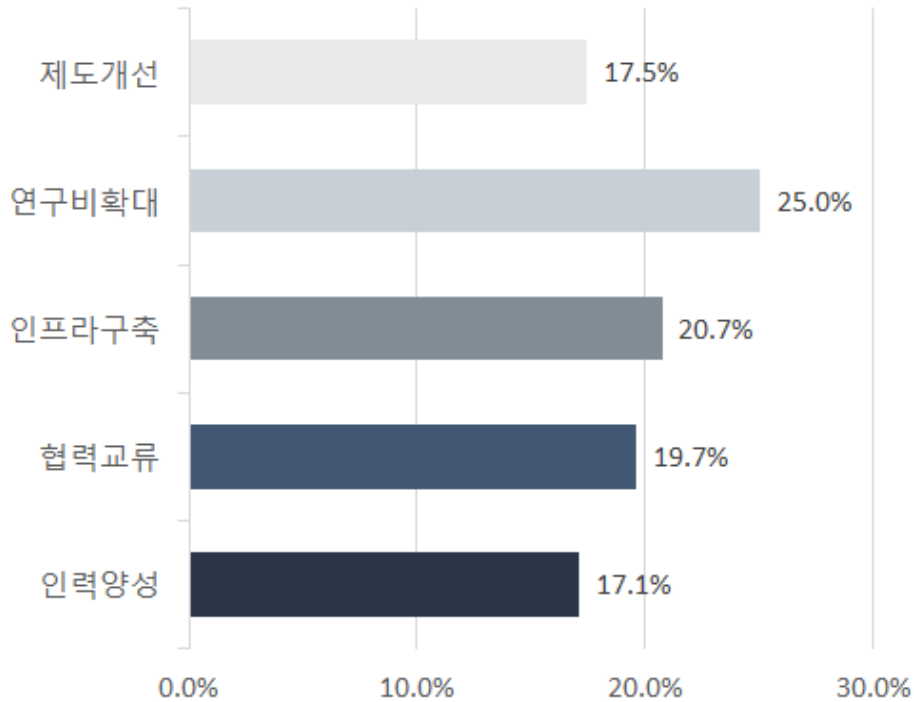
〈그림 3-58〉 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 기술획득 방식 조사결과

[표 3-20] 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 소분류별 기술획득 방식 조사결과

중분류	기술분류체계		민간	정부	정부/민간 공동	기술도입 및 국제 공동연구
	소분류					
도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법	침하억제형 수평굴착공법기술		25%	0%	50%	25%
	인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공 법 선정모델개발		33%	0%	67%	0%
	경사 마이크로 파일과 프리캐스트 새그먼트 판 넬을 이용한 수평지반굴착 기술		67%	0%	33%	0%
	도심지 비가시설 지하구조물 축조 기술		33%	0%	67%	0%
	강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술		67%	0%	33%	0%
지중시설물 중첩구간에서의 수평굴착 신공법	지중수평연속벽 시공기술		50%	0%	50%	0%
	다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법		100%	0%	0%	0%
	암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발		50%	0%	0%	50%
	다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박 스 건설 기술개발		100%	0%	0%	0%
	프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법		100%	0%	0%	0%
안전 지반굴착 보강 신기술	굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술		25%	0%	75%	0%
	비개착식 지반함몰 충전공법		25%	0%	75%	0%
	지하공동 조사장비 개발		25%	25%	25%	25%
	지하공동 및 지반함몰 3-D 예측기술		0%	20%	80%	0%
	자기치유 혼화재를 이용한 보수/보강기술		100%	0%	0%	0%
	비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발		0%	25%	50%	25%
	미생물을 이용한 지반보강기술		0%	0%	0%	100%
	급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수 기술		0%	0%	67%	33%
IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법	지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술		0%	25%	50%	25%
	IT기반의 안전진단 시스템 개발		0%	40%	60%	0%
	굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술		0%	40%	60%	0%
	굴착계측자료 관리기술		0%	50%	50%	0%
	지중구조물 정보 관리기술		0%	100%	0%	0%

사. 정부우선 시행방안

- 안전한 지반굴착기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 2개 분야 공통적으로 연구비확대가 가장 시급한 것으로 나타났으며, 다음으로 인프라 구축이 필요한 것으로 나타남



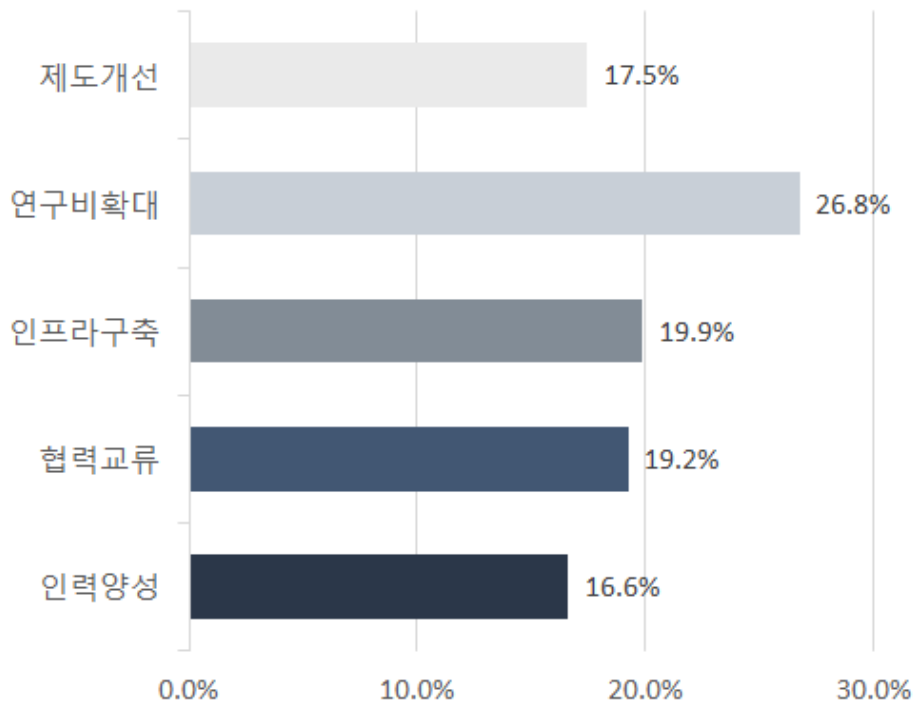
〈그림 3-59〉 안전한 지반굴착기술 정부우선 시행방안 조사결과

[표 3-21] 안전한 지반굴착기술 대분류별 정부우선 시행방안 조사결과

분야	대분류	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
안전한 지반굴착 기술	전체	17%	20%	21%	25%	18%
	도심지 개착식 지반굴착기술	17%	19%	20%	27%	18%
	도심지 비개착식 지반굴착기술	18%	20%	22%	23%	17%

(1) 도심지 개착식 지반굴착기술

- 도심지 개착식 지반굴착기술 분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 도심지 개착식 지반굴착기술의 대부분이 연구비확대가 가장 시급한 것으로 나타났음
 - 도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법, 도심도 자립식 흙막이 공법은 인프라 구축이 가장 시급한 것으로 나타남



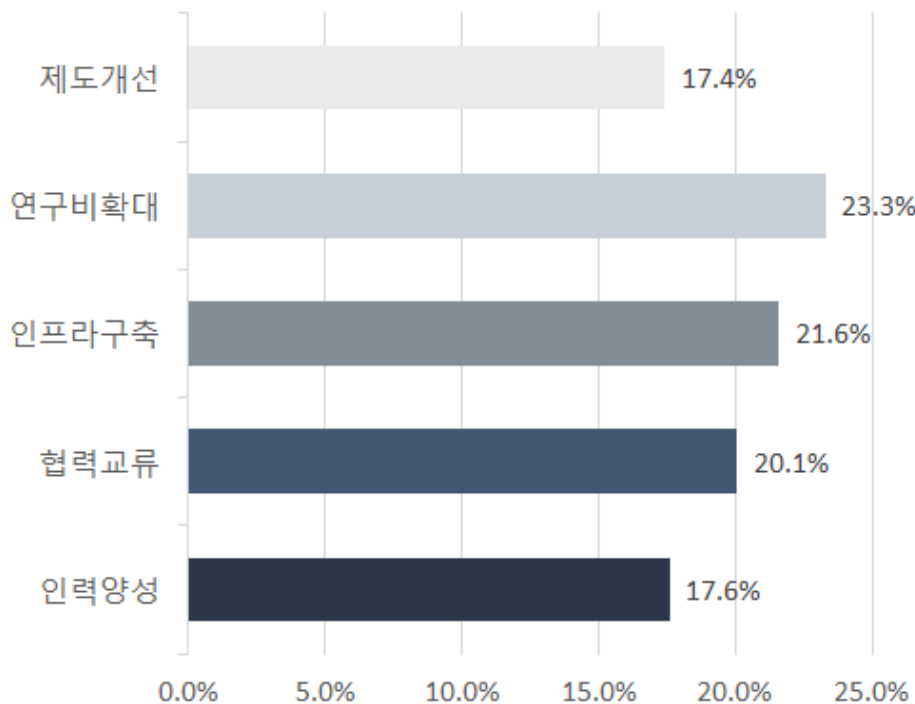
〈그림 3-60〉 도심지 개착식 지반굴착기술분야 정부우선 시행방안 조사결과

[표 3-22] 도심지 개착식 지반굴착기술분야 소분류별 정부우선 시행방안 조사결과

중분류	기술분류체계		인력 양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도 개선
	소분류						
고밀도 도심지 구간 수직 굴착기술	도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법		15%	18%	23%	22%	22%
	수직굴착 공사로 인한 공동 예방기술		16%	17%	16%	31%	20%
	토류판 이동 토사유출 보강공법		18%	16%	21%	29%	17%
	지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발		17%	18%	20%	27%	18%
	암반 보강용 네일개발		18%	18%	25%	25%	15%
대심도 (30m 이상) 수직 굴착기술	대심도 굴착 연직도 유지관리기술		13%	23%	23%	25%	18%
	대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술		13%	23%	23%	23%	20%
	대심도 굴착 퇴매움 품질관리 기술		10%	20%	23%	23%	23%
	대심도 수직 굴착 가이드 라인 제시		10%	21%	21%	28%	20%
	대심도 자립식 흙막이 공법		13%	23%	27%	23%	13%
	대심도 지지식 흙막이 공법		13%	17%	23%	23%	23%
도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술	터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술		18%	19%	18%	28%	18%
	터파기 및 구조물 건설기법		19%	19%	16%	23%	23%
	굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술개발		20%	16%	16%	29%	18%
	도심지 지중구조물 특성을 고려한 흙막이 기술		19%	19%	15%	26%	21%
개착식 굴착공사의 안전확보를 위한 고해상도 복합 탐사 및 해석기술	복합 지반 탐사 자료를 이용한 해석기법		21%	20%	16%	32%	12%
	가시성, 벽체 연직도 검증 장비개발		20%	16%	25%	28%	12%
	굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발		20%	26%	21%	26%	7%
	지반 손상대 평가 기법 개발		20%	19%	18%	30%	13%
	근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술		19%	18%	17%	32%	14%
	근접 구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석 기술		17%	21%	16%	31%	15%
	GPR탐사를 이용한 지하시설물 위치파악 기술		17%	24%	21%	27%	11%
	도심지 개착식 흙막이 변위 예측 시스템 개발		20%	19%	17%	31%	13%
	지층 수평 변위 분석 기술		22%	18%	20%	28%	13%
	굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석기술		17%	23%	23%	28%	9%

(2) 도심지 비개착식 지반굴착기술

- 도심지 비개착식 지반굴착기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 도심지 비개착식 지반굴착기술의 대부분이 연구비확대와 인프라구축, 협력교류 활성화 지원이 필요한 것으로 나타났음
 - 경사 마이크로 파일과 프리캐스트 새그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술, 암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발은 협력교류가 가장 시급한 것으로 나타남
 - 지하공동 조사장비 개발, 비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발, 지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술은 인프라구축이 가장 시급한 것으로 나타남
 - 도심지 비가시설 지하구조물 축조 기술은 제도개선이 가장 시급한 것으로 나타남



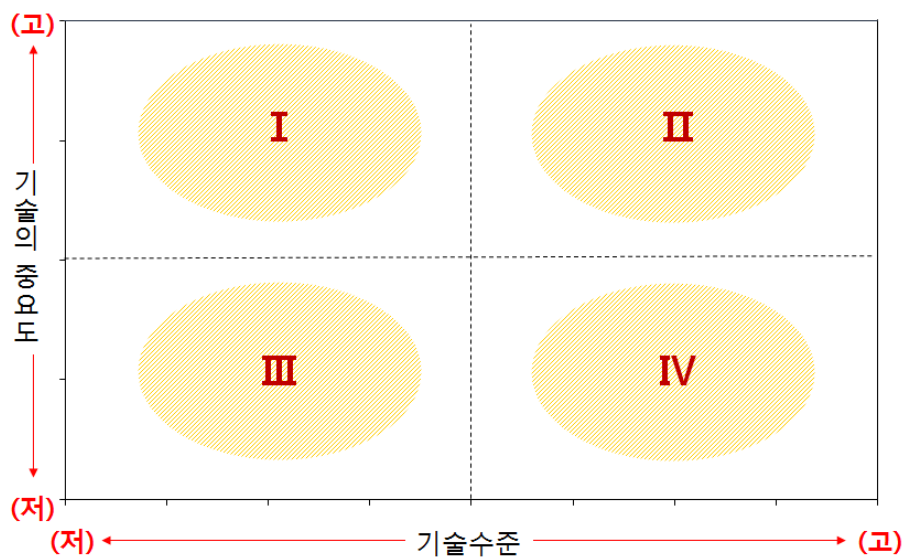
〈그림 3-61〉 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 정부우선 시행방안 조사결과

[표 3-23] 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 소분류별 정부우선 시행방안 조사결과

중분류	기술분류체계		인력 양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도 개선
	소분류						
도심지 주요 시설물 특성을 고려한 지반굴착 공법 선정 기법	침하억제형 수평굴착공법기술		12%	19%	15%	42%	12%
	인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강 공법 선정모델개발		13%	20%	23%	23%	20%
	경사 마이크로 파일과 프리캐스트 새그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술		20%	23%	17%	20%	20%
	도심지 비가시설 지하구조물 축조 기술		20%	20%	17%	20%	23%
	강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술		17%	20%	20%	23%	20%
지중시설물 중첩구간에서의 수평굴착 신공법	지중수평연속벽 시공기술		15%	25%	25%	20%	15%
	다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법		20%	20%	20%	20%	20%
	임반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발		15%	25%	20%	20%	20%
	다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설 기술개발		20%	20%	20%	20%	20%
	프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법		15%	15%	25%	25%	20%
안전 지반굴착 보강 신기술	굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술		21%	15%	20%	23%	21%
	비개착식 지반함몰 충전공법		19%	18%	18%	28%	19%
	지하공동 조사장비 개발		13%	23%	28%	21%	16%
	지하공동 및 지반함몰 3-D 예측기술		14%	20%	24%	26%	16%
	자기치유 혼화재를 이용한 보수/보강기술		20%	20%	20%	20%	20%
	비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발		15%	23%	28%	21%	14%
	미생물을 이용한 지반보강기술		20%	20%	25%	25%	10%
	급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수 기술		17%	17%	27%	30%	10%
IT기술 및 계측자료를 활용한 비개착 공사 인접구조물 손상평가 기법	지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술		19%	23%	28%	21%	10%
	IT기반의 안전진단 시스템 개발		20%	17%	24%	24%	15%
	굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술		20%	22%	21%	24%	13%
	굴착계측자료 관리기술		21%	18%	19%	23%	20%
	지중구조물 정보 관리기술		18%	18%	22%	20%	22%

아. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술 수준과 기술의 중요도를 축으로 함
 - I : 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야 하는 영역
 - II : 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역
 - III : 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요한 영역
 - IV : 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역



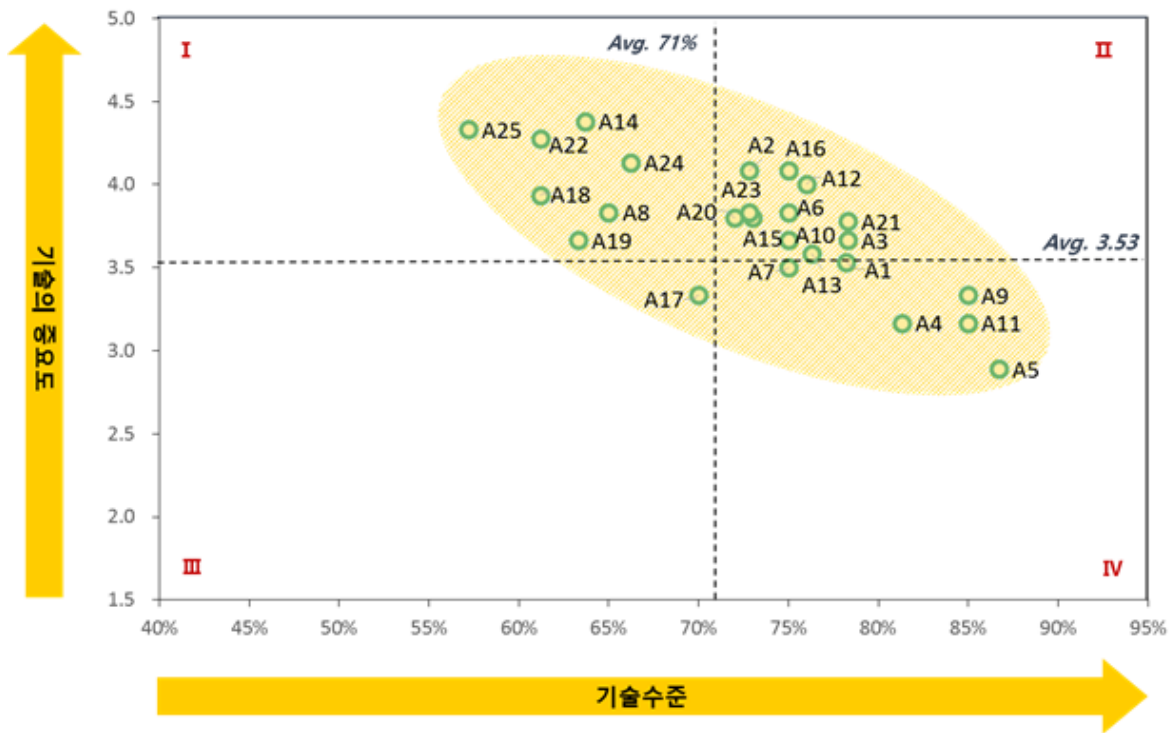
〈그림 3-62〉 기술수준-중요도 포트폴리오

(1) 도심지 개착식 지반굴착기술

- 도심지 개착식 지반굴착기술 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석결과 주로 I, II, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
 - A8(대심도 굴착 되메움 품질관리 기술), A14(굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술 개발), A18(굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발), A19(지반 손상대 평가 기법 개발), A22(GPR 탐사를 이용한 지하시설물 위치 파악 기술), A24(지층 수평 변위 분석 기술), A25(굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석기술)은 I 영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야함
 - A2(수직굴착 공사로 인한 공동 예방 기술), A3(토류판 이동 토사유출 보강공법), A6(대심도 굴착 연직도 유지관리기술), A10(대심도 자립식 흠막이 공법), A12(터파기 시공시

발생하는 침하 원인분석 및 관리기술), A13(터파기 및 구조물 건설기법), A15(도심지 지중구조물 특성을 고려한 흙막이 기술), A16(복합 지반 탐사 자료를 이용한 해석기법), A20(근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술), A21(근접 구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석 기술), A23(도심지 개착식 흙막이 변위 예측 시스템 개발)은 II영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능함

- A17(가시설, 벽체 연직도 검증장비 개발)은 III영역에 포함되어 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요함
- A1(도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법), A4(지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발), A5(암반 보강용 네일 개발), A7(대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술), A9(대심도 수직 굴착 가이드 라인 제시), A11(대심도 지지식 흙막이 공법)은 IV영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야함



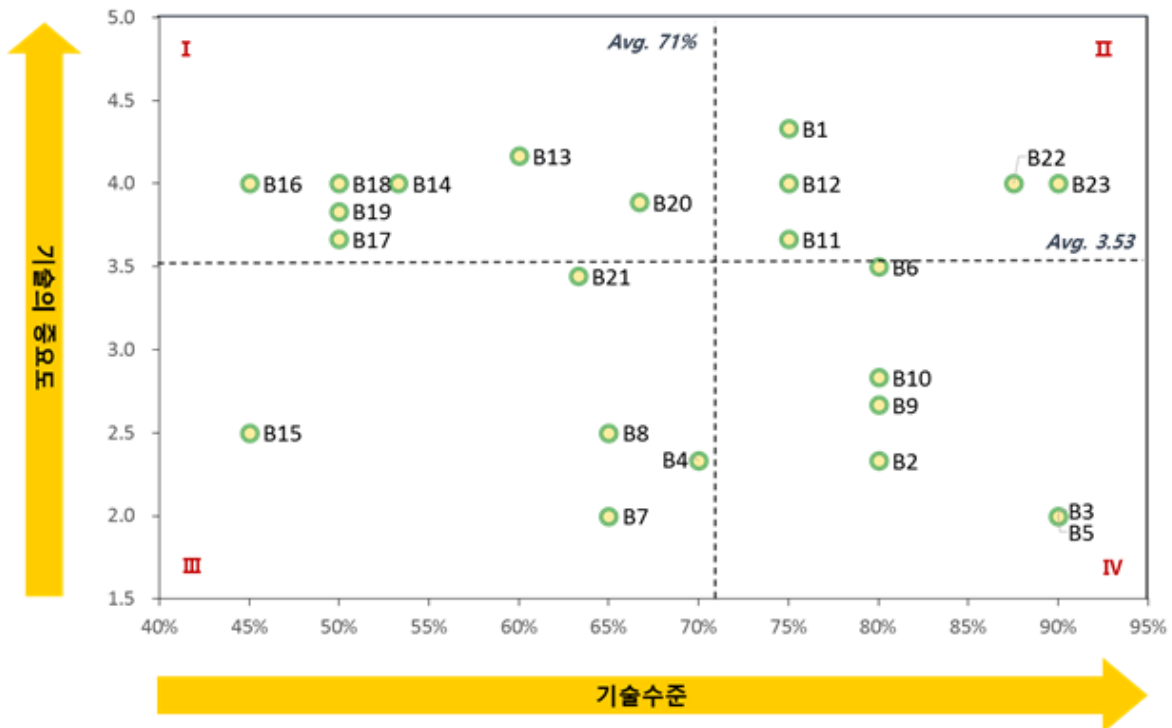
〈그림 3-63〉 도심지 개착식 지반굴착기술분야 기술수준-중요도 포트폴리오

(2) 도심지 비개착식 지반굴착기술

- 도심지 비개착식 지반굴착 기술분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석결과 모든 영역에 고르게 분포해 있는 것으로 나타남
- B13(지하공동 조사장비 개발), B14(지하공동 및 지반함몰 3-D 예측기술), B16(비개착

식 공사인접 지하공동 점검 장비개발), B17(미생물을 이용한 지반보강기술), B18(급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수 기술), B19(지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술), B20(IT기반의 안전진단 시스템 개발)은 I 영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야함

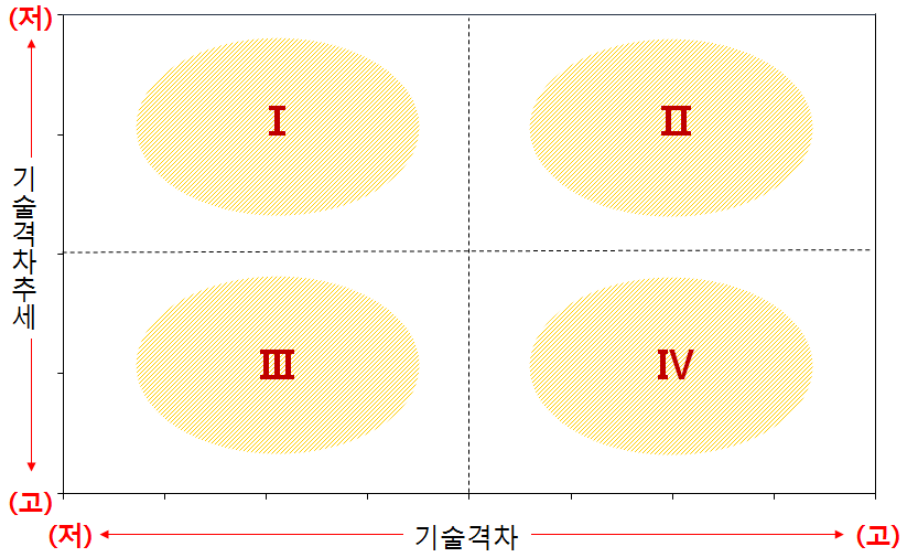
- B1(침하억제형 수평굴착공법기술), B11(굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술), B12(비개착식 지반함몰 충전공법), B22(굴착계측자료 관리기술), B23(지중구조물 정보 관리기술)은 II 영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능함
- B4(도심지 비가시설 지하구조물 축조 기술), B7(다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법), B8(암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발), B15(자기치유 혼화재를 이용한 보수/보강기술), B21(굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술)은 III영역에 포함되어 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요함
- B2(인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정모델개발), B3(경사 마이크로 파이프와 프리캐스트 새그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술), B5(강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술), B6(지중수평연속벽 시공기술), B9(다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설 기술개발), B10(프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법)은 IV영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야함



〈그림 3-64〉 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 기술수준-중요도 포트폴리오

자. 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술격차추세과 기술격차를 축으로 함
 - I : 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역
 - II : 기술개발을 가속화할 필요가 있는 영역
 - III : 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요한 영역
 - IV : 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역



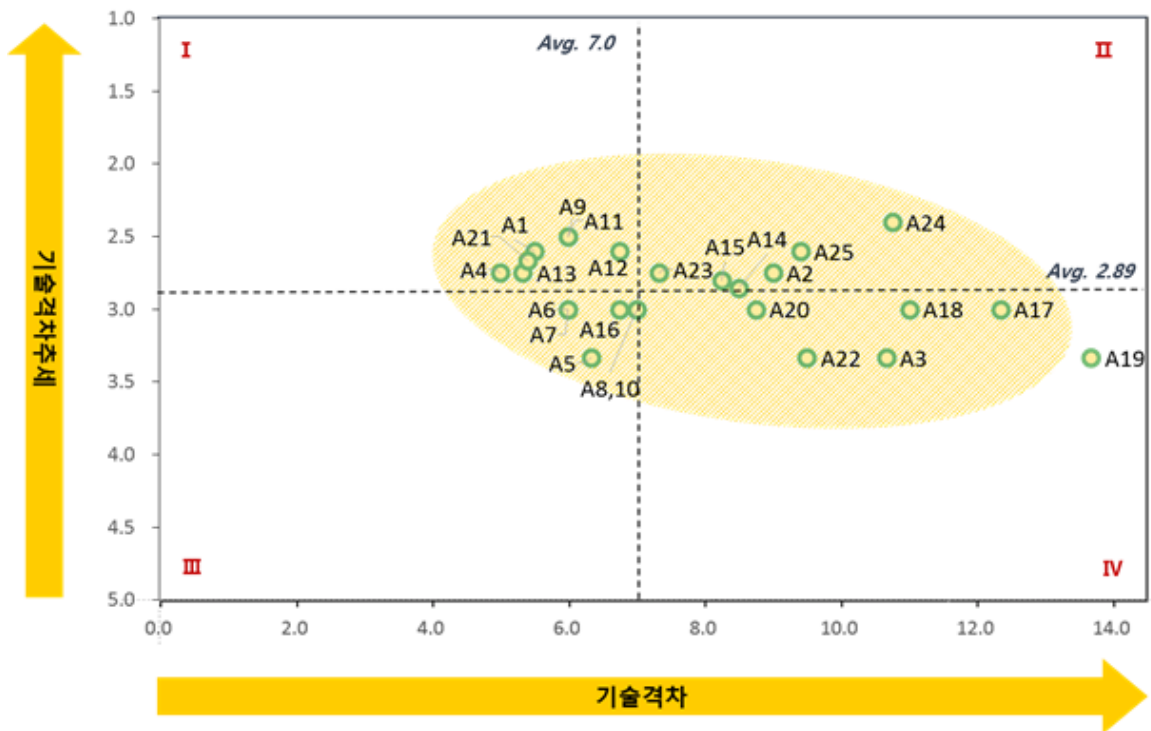
〈그림 3-65〉 기술격차-격차추세 포트폴리오

(1) 도심지 개착식 지반굴착기술

- 도심지 개착식 지반굴착기술분야의 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석결과 모든 영역에 고르게 분포해 있는 것으로 나타남
 - A1(도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법), A4(지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발), A9(대심도 수직 굴착 가이드 라인 제시), A11(대심도 지지식 흙막이 공법), A12(터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술), A13(터파기 및 구조물 건설기법), A21(근접 구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석 기술)은 I 영역에 포함되어 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려해야함
 - A2(수직굴착 공사로 인한 공동 예방 기술), A14(굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기

술개발), A15(도심지 지중구조물 특성을 고려한 흙막이 기술), A23(도심지 개착식 흙막이 변위 예측 시스템 개발), A24(지층 수평 변위 분석 기술), A25(굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석기술)은 II영역에 포함되어 기술개발을 가속화할 필요가 있음

- A5(암반 보강용 네일 개발), A6(대심도 굴착 연직도 유지관리기술), A7(대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술), A8(대심도 굴착 되메움 품질관리 기술), A10(대심도 자립식 흙막이 공법), A16(복합 지반 탐사 자료를 이용한 해석기법)은 III영역에 포함되어 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- A3(토류판 이동 토사유출 보강공법), A17(가시설, 벽체 연직도 검층장비 개발), A18(굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발), A19(지반 손상대 평가 기법 개발), A20(근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술), A22(GPR 탐사를 이용한 지하시설물 위치 파악 기술)은 IV영역에 포함되어 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야함



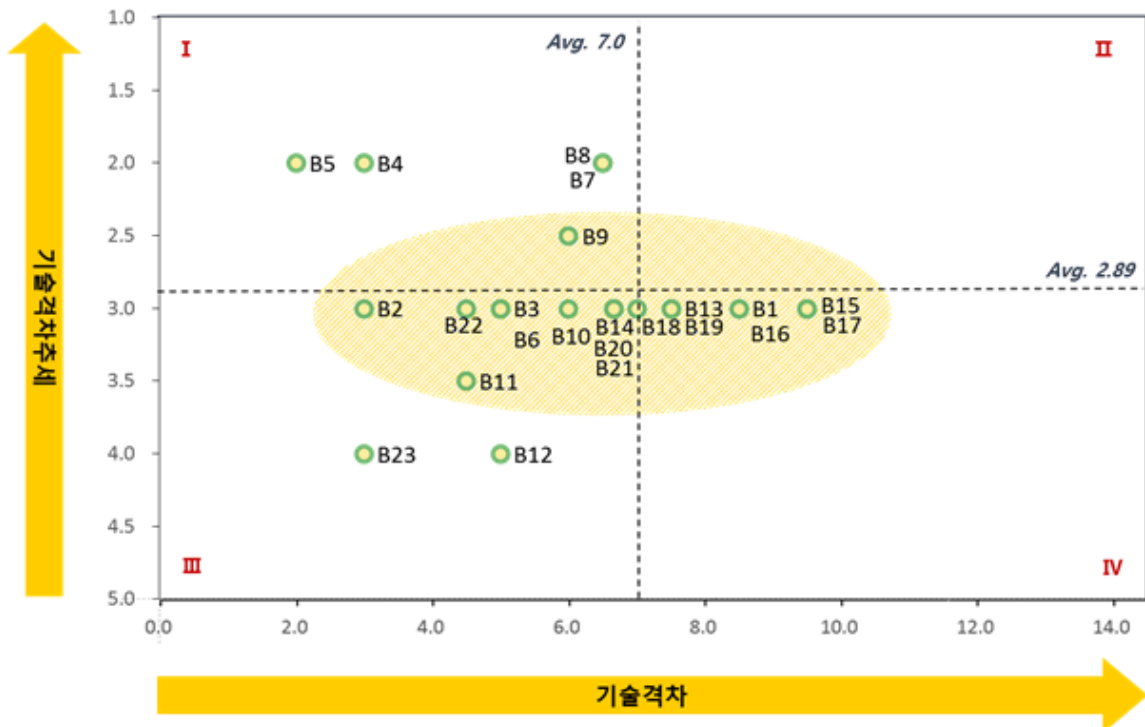
〈그림 3-66〉 도심지 개착식 지반굴착기술분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

(2) 도심지 비개착식 지반굴착기술

- 도심지 비개착식 지반굴착기술분야의 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석결과 대부분 I, III, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
- B4(도심지 비가시설 지하구조물 축조 기술), B5(강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및

기술), B7(다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법), B8(암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발), B9(다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설 기술개발)은 I 영역에 포함되어 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려해야함

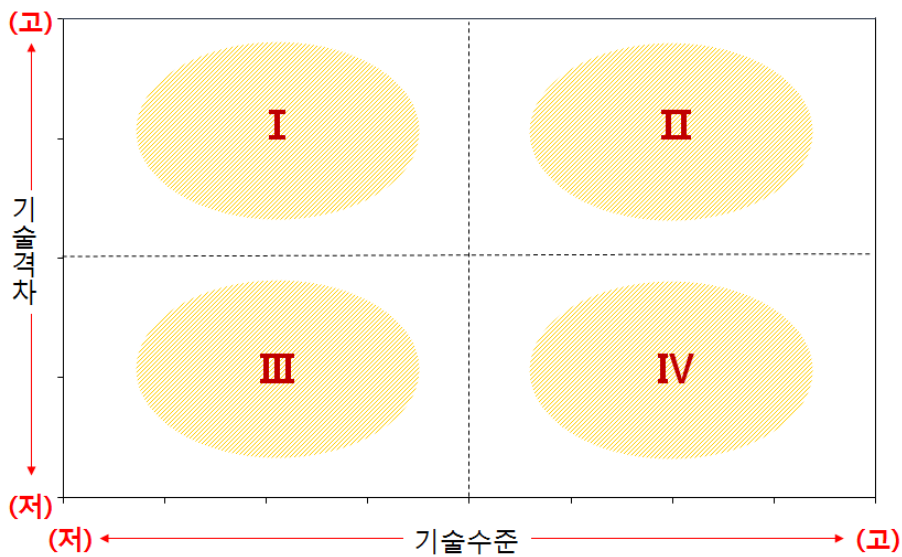
- B2(인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정모델개발), B3(경사 마이크로 파일과 프리캐스트 새그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술), B6(지중수평연속벽 시공기술), B10(프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법), B11(굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술), B12(비개착식 지반함몰 충전공법), B14(지하공동 및 지반함몰 3-D 예측기술), B18(급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수 기술), B20(IT기반의 안전진단 시스템 개발), B21(굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술), B22(굴착계측자료 관리기술), B23(지중구조물 정보 관리기술)은 III영역에 포함되어 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- B1(침하억제형 수평굴착공법기술), B13(지하공동 조사장비 개발), B15(자기치유 혼화재를 이용한 보수/보강기술), B16(비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발), B17(미생물을 이용한 지반보강기술), B19(지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술)은 IV영역에 포함되어 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야함



〈그림 3-67〉 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

차. 기술격차-기술수준 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술격차와 기술수준평균을 축으로 함
 - I : 기술수준을 끌어올리고자 한다면 정부의 역할이 매우 중요한 영역
 - II : 기술격차 해소를 위한 정부 역할 확대를 고려할 필요가 있는 영역
 - III : 기술수준 향상을 위한 정부-민간의 역할을 적절히 고려해야 하는 영역
 - IV : 세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역

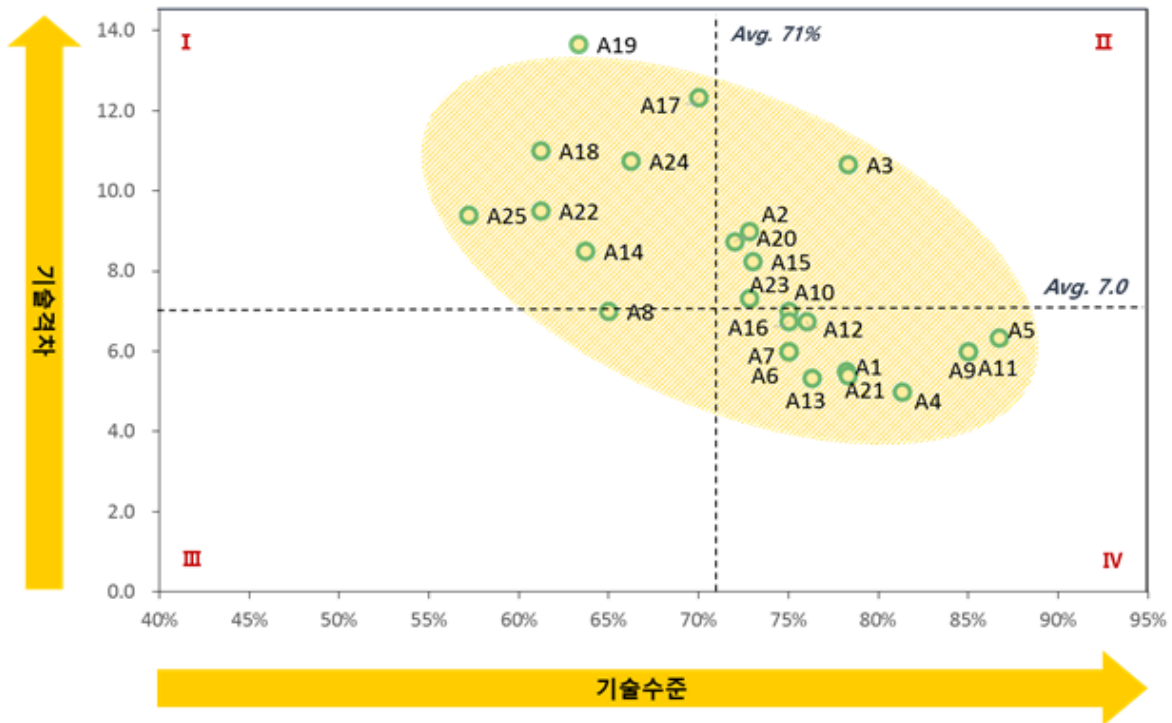


〈그림 3-68〉 기술격차-기술수준 포트폴리오

(1) 도심지 개착식 지반굴착기술

- 도심지 개착식 지반굴착기술 분야의 기술수준-기술격차 포트폴리오 분석결과 대부분 I, II, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
 - A14(굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술개발), A17(가시설, 벽체 연직도 검층장비 개발), A18(굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발), A19(지반 손상대 평가 기법 개발), A22(GPR 탐사를 이용한 지하시설물 위치 파악 기술), A24(지층 수평 변위 분석 기술), A25(굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석기술)은 I 영역에 포함되어 기술수준을 끌어올리고자 한다면 정부의 역할이 매우 중요함
 - A2(수직굴착 공사로 인한 공동 예방 기술), A3(토류판 이동 토사유출 보강공법), A15(도심지 지중구조물 특성을 고려한 흠막이 기술), A20(근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술), A23(도심지 개착식 흠막이 변위 예측 시스템 개발)은 II영역에 포함되어 기술격차 해소를 위한 정부 역할 확대를 고려할 필요가 있음

- A8(대심도 굴착 되메움 품질관리 기술)은 III영역에 포함되어 기술수준 향상을 위한 정부-민간의 역할을 적절히 고려해야함
- A1(도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법), A4(지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발), A5(암반 보강용 네일 개발), A6(대심도 굴착 연직도 유지관리기술), A7(대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술), A9(대심도 수직 굴착 가이드 라인 제시), A10(대심도 자립식 흙막이 공법), A11(대심도 지지식 흙막이 공법), A12(터파기 시공시 발생하는 침하 원인 분석 및 관리기술), A13(터파기 및 구조물 건설기법), A16(복합 지반 탐사 자료를 이용한 해석기법), A21(근접 구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석 기술)은 IV영역에 포함되어 세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요함

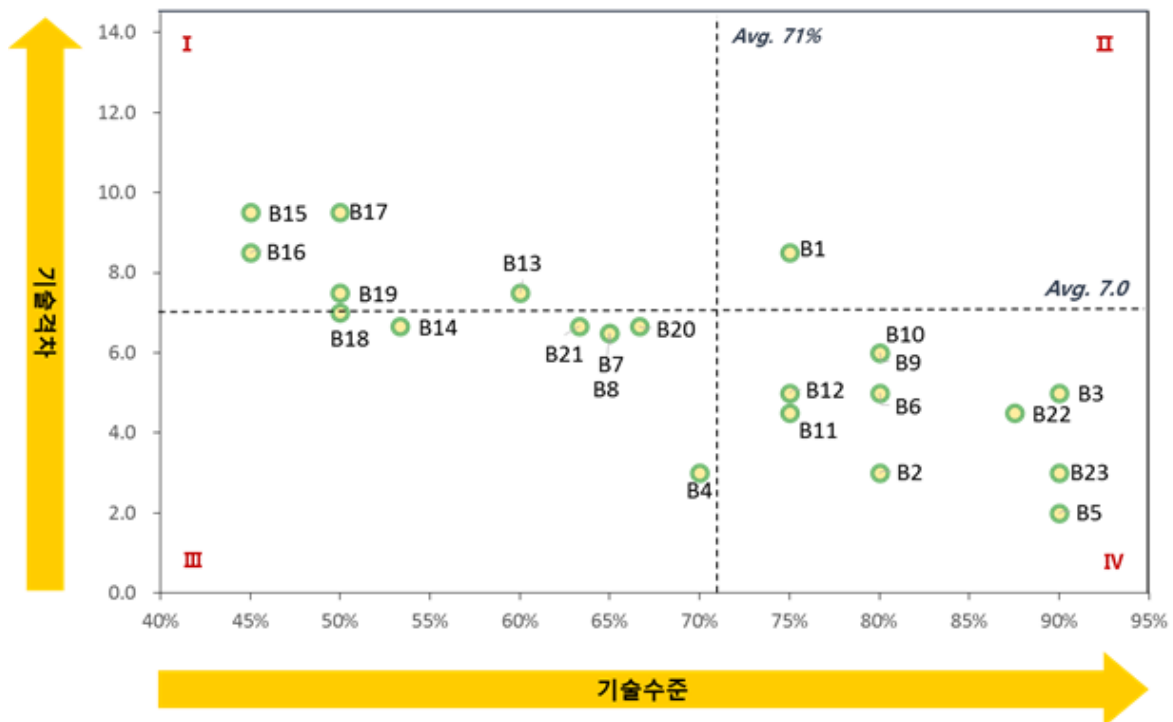


〈그림 3-69〉 도심지 개착식 지반굴착기술분야 기술격차-기술수준 포트폴리오

(2) 도심지 비개착식 지반굴착기술

- 도심지 비개착식 지반굴착기술분야의 기술수준-기술격차 포트폴리오 분석결과 대부분 I, III, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
- B13(지하공동 조사장비 개발), B15(자기치유 혼화재를 이용한 보수/보강기술), B16(비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발), B17(미생물을 이용한 지반보강기술), B19(지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술)은 I 영역에 포함되어 기술수준을 끌어올리고자 한다면 정부의 역할이 매우 중요함

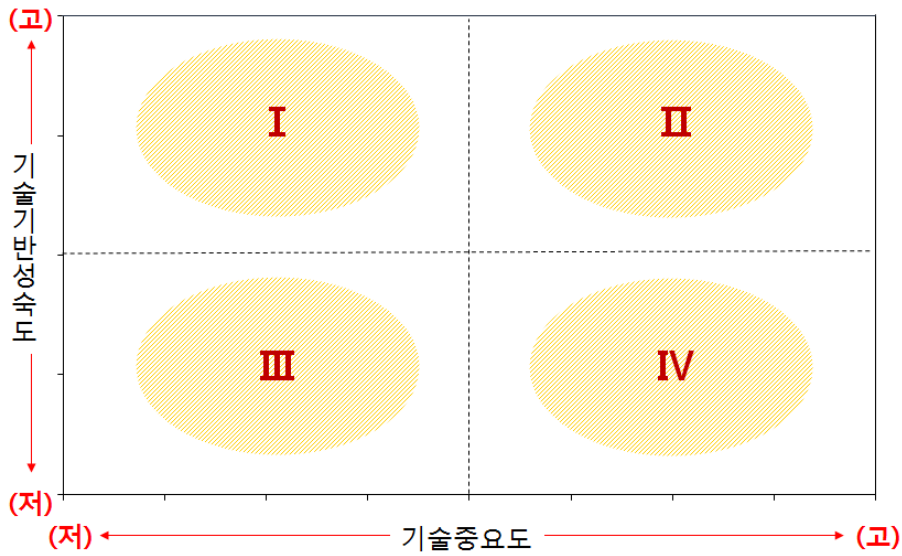
- B1(침하억제형 수평굴착공법기술)은 II영역에 포함되어 기술격차 해소를 위한 정부 역할 확대를 고려할 필요가 있음
- B4(도심지 비가시설 지하구조물 축조 기술), B7(다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법), B8(암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술개발), B14(지하공동 및 지반함몰 3-D 예측기술), B18(급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수 기술), B20(IT기반의 안전진단 시스템 개발), B21(굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술)은 III영역에 포함되어 기술수준 향상을 위한 정부-민간의 역할을 적절히 고려해야함
- B2(인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정모델개발), B3(경사 마이크로파일과 프리캐스트 새그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술), B5(강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술), B6(지중수평연속벽 시공기술), B9(다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설 기술개발), B10(프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법), B11(굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술), B12(비개착식 지반함몰 충전공법), B22(굴착계측자료 관리기술), B23(지중구조물 정보 관리기술)은 IV영역에 포함되어 세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요함



〈그림 3-70〉 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 기술격차-기술수준 포트폴리오

카. 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술기반성숙도와 평균 중요도를 축으로 함
 - I : 기술기반 관리-유지 영역
 - II : 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대해 나아갈 필요가 있는 영역
 - III : 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역
 - IV : 기술기반 확보가 시급한 영역

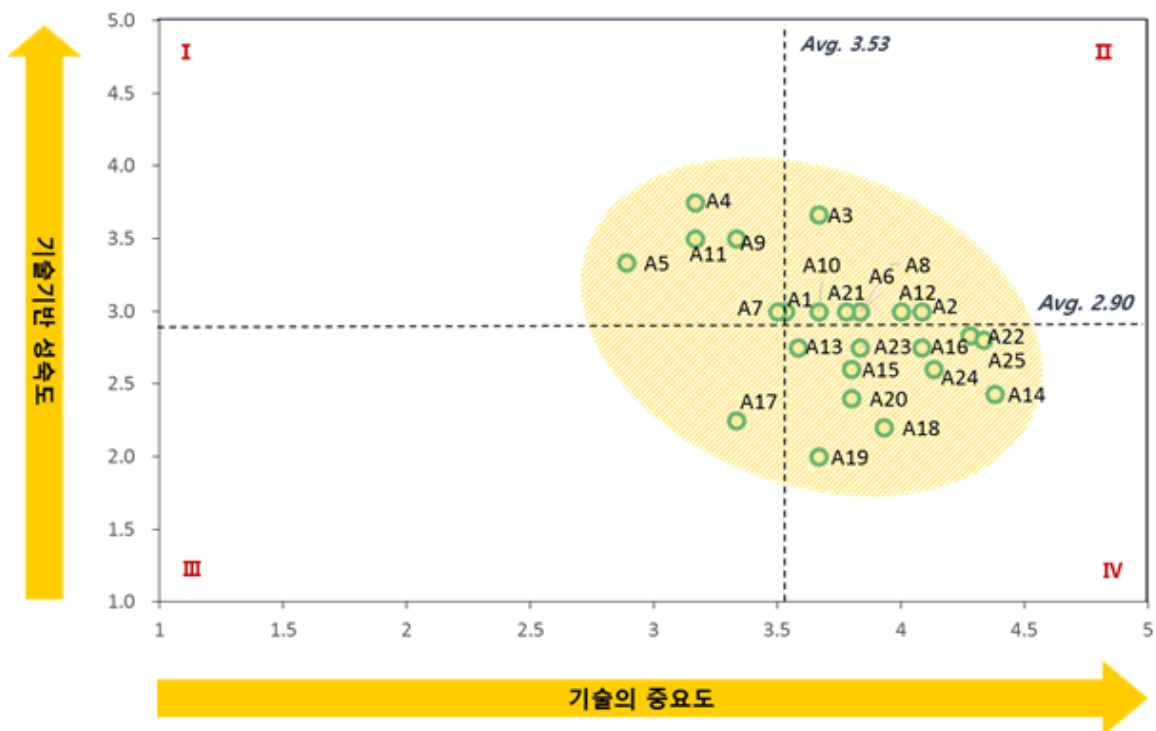


〈그림 3-71〉 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

(1) 도심지 개착식 지반굴착기술

- 도심지 개착식 지반굴착기술 분야의 기술중요도-기반성숙도 포트폴리오 분석결과 대부분 I, II, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
 - A4(지반강도 증대를 위한 앵커공법 개발), A5(암반 보강용 네일 개발), A7(대심도 굴착 안정성 영향 최소화 기술), A9(대심도 수직 굴착 가이드 라인 제시), A11(대심도 지지식 흙막이 공법)은 I 영역에 포함되어 기술기반 관리-유지가 이루어져야 함
 - A1(도심지 수직굴착 선보강 후굴착공법), A2(수직굴착 공사로 인한 공동 예방 기술), A3(토류판 이동 토사유출 보강공법), A6(대심도 굴착 연직도 유지관리기술), A8(대심도 굴착 되메움 품질관리 기술), A10(대심도 자립식 흙막이 공법), A12(터파기 시공시 발생하는 침하 원인분석 및 관리기술), A21(근접 구조물 대심도 개착식 굴착 지반 해석 기술)은 II 영역에 포함되어 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대해 나아갈 필요가 있음

- 17(가시설, 벽체 연직도 검층장비 개발)은 III영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야함
- A13(터파기 및 구조물 건설기법), A14(굴착 재해 발생 메카니즘 규명 및 복구기술개발), A15(도심지 지중구조물 특성을 고려한 흙막이 기술), A16(복합 지반 탐사 자료를 이용한 해석기법), A18(굴착 전후 고해상도 탐사 및 해석기법 개발), A19(지반 손상대 평가 기법 개발), A20(근접 구조물 지반 거동 특성 분석 기술), A22(GPR 탐사를 이용한 지하 시설물 위치 파악 기술), A23(도심지 개착식 흙막이 변위 예측 시스템 개발), A24(지층 수평 변위 분석 기술), A25(굴착공사와 관련된 고해상도 복합탐사 및 해석기술)은 IV영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



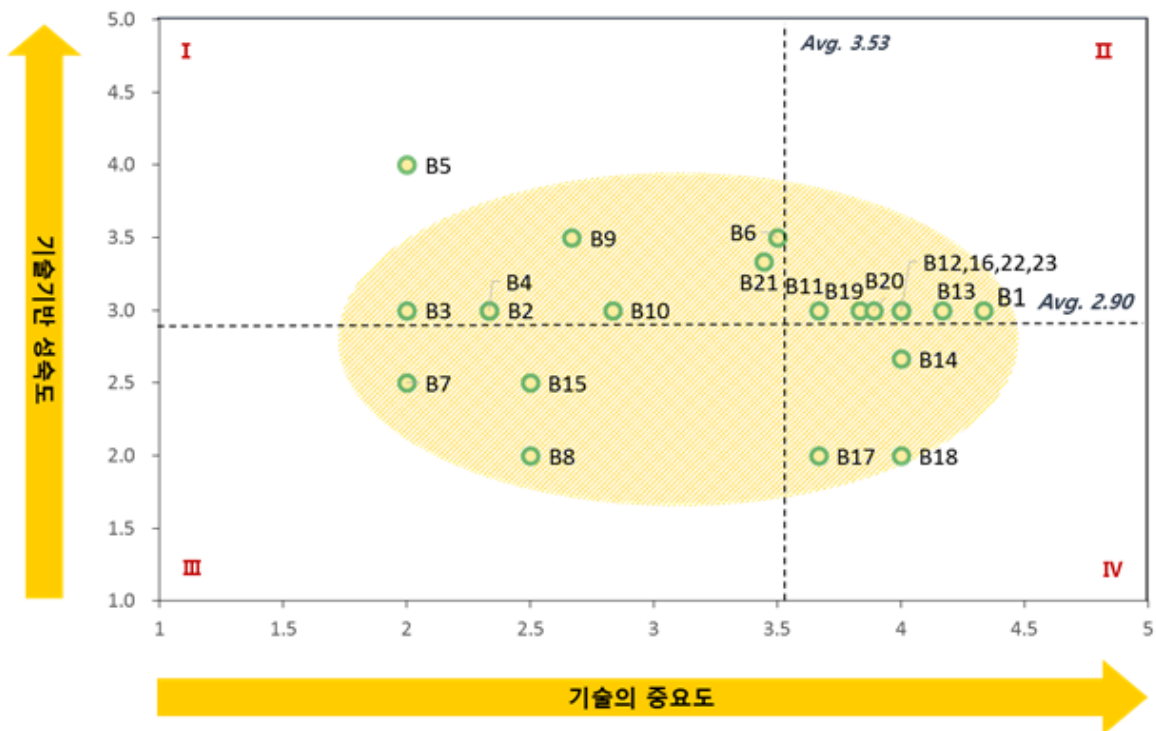
〈그림 3-72〉 도심지 개착식 지반굴착기술분야 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

(2) 도심지 비개착식 지반굴착기술

- 도심지 비개착식 지반굴착기술 분야의 기술중요도-기반성숙도 포트폴리오 분석결과 대부분 I, II영역에 포함되는 것으로 나타남
- B2(인접지역 지하매설물을 고려한 굴착 및 보강공법 선정모델개발), B3(경사 마이크로 파일과 프리캐스트 새그먼트 판넬을 이용한 수평지반굴착 기술), B4(도심지 비가시설 지하구조물 축조 기술), B5(강관압입을 이용한 수평굴착 모델링 및 기술), B6(지중수평 연속벽 시공기술), B9(다단비트 굴착장비를 이용한 도로하부 통로박스 건설 기술개발),

B10(프리캐스트 종방향 세그블럭을 이용한 비개착 공법), B21(굴착으로 인한 인접구조물 손상 모델링 기술)은 I 영역에 포함되어 기술기반 관리-유지가 이루어져야 함

- B1(침하억제형 수평굴착공법기술), B11(굴착시 소규모 공동발생시 긴급 보강 신기술), B12(비개착식 지반함몰 충전공법), B13(지하공동 조사장비 개발), B16(비개착식 공사인접 지하공동 점검 장비개발), B19(지반내부 영상화 기술 및 손상도 해석기술), B20(IT기반의 안전진단 시스템 개발), B22(굴착계측자료 관리기술), B23(지중구조물 정보 관리 기술)은 II영역에 포함되어 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대해 나아가갈 필요가 있음
- B7(다중해머방식을 이용한 수평굴착 신공법), B8(암반 연약화를 이용한 굴착성능 기술 개발), B15(자기치유 혼화재를 이용한 보수/보강기술)은 III영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야함
- B14(지하공동 및 지반함몰 3-D 예측기술), B17(미생물을 이용한 지반보강기술), B18(급속 동결공법을 이용한 보강 및 차수 기술)은 IV영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



〈그림 3-73〉 도심지 비개착식 지반굴착기술분야 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

4

연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 SWOT / Issue-Tree 분석

1. SWOT분석

가. 개요

- SWOT분석을 통해 동향분석 시사점을 내부환경 요인 및 외부환경 요인으로 정리하고, 포지션별 전략을 도출함
- SWOT분석은 기획 연구진 브레인스토밍을 통해 작성함

(1) 강점(Strength) 및 약점(Weakness) 분석

- 타 국가 및 조직과 비교하여 상대적으로 우수하거나 부족한 부분을 제시하였음
- 강점 및 약점은 "2장. 동향 및 환경분석" 결과 중 내부요인을 강점과 약점으로 다시 구분하여 키워드를 작성하는 방법으로 구성하였음
 - 강점 및 약점은 주요 선진·경쟁 국가 및 기관 대비 핵심경쟁력, 노하우, 자원, 전문인력 등의 관점에서 정리하였음

(2) 기회(Opportunity) 및 위협(Threat) 요인 분석

- 대외 환경변화로 인하여 새롭게 발생하는 기회요인 및 불안요인 등을 제시하였음
- 기회 및 위협요인은 "2장. 동향 및 환경분석" 결과 중 외부요인을 기회와 위협요인으로 구분하여 정리하였음
 - 기회 및 위협요인은 국가별 기술의 융합추세, 해외 주요국 대비 정책적 장려정도, 국내외 기술수요 차이, 국가별 시장 성장의 차이, 해외 주요국의 기술개발 전략 등의 관점에서 정리하였음

(3) 포지션별 전략 수립

- 제시된 내부 강점(S) 및 약점(W), 외부 기회(O) 및 위협(T) 요인을 분석하고, SO/WO/ST/WT의 포지션별 전략을 수립하였음
 - SO전략은 강점을 이용하여 기회요인을 활용하는 전략임
 - ST전략은 강점을 이용하여 위협요인을 극복하는 전략임
 - WO전략은 기회를 이용하여 약점을 줄이는 전략임
 - WT전략은 위협과 약점을 최소화하는 전략임

나. 내외부 요인 분석

(1) 강점(Strength) 분석

- 도심지 굴착 공사 경험 다수 보유
- 기계/재료 기반 기술수준 우수
- IT 기반 산업의 기술 수준 우수
- 국민안전처 신설 등 지반재해 저감을 위한 정부의 적극적 의지

(2) 약점(Weakness) 분석

- 조사, 예측, 예방 부분의 원천기술 부재
- 조사, 예측에 대한 건설 산업의 관심 부족
- 지반조사 예측 및 관리를 위한 전문인력 부족
- 최신 조사 장비는 대부분 수입에 의존하여 우리나라의 기술수준이 낮음

(3) 기회(Opportunity) 분석

- 도심도 지하 공간의 개발이 활발하게 추진
- 국내 지중환경에 부합하는 조사/탐사 필요성 및 인식도 향상
- 세계적으로 기후변화 등으로 인한 자연 재해에 대한 관심이 증가

(4) 위협(Threat) 분석

- 일본의 지중 조사기술 선진화
- 미국, 일본 등 선진국들은 체계적인 지반재해 대응방안 보유

다. 포지셔널 전략 수립

(1) SO전략

- 우수한 장비와 IT 기술을 바탕으로 IT기반 국내 환경에 부합하는 선진 조사/탐사 기술 개발 전략 수립

(2) ST전략

- 다양한 굴착경험에 기반한 복합적인 지반조건 대응가능 지반굴착 기술확보를 통해 해외굴착 현장 수주 확대

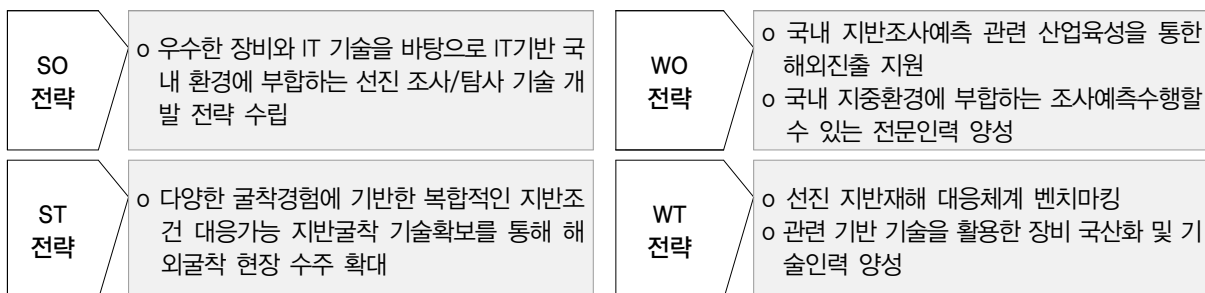
(3) WO전략

- 국내 지반조사예측 관련 산업육성을 통한 해외진출 지원
- 국내 지중환경에 부합하는 조사예측수행할 수 있는 전문인력 양성

(4) WT전략

- 일본의 지중 조사기술 선진화
- 미국, 일본 등 선진국들은 체계적인 지반재해 대응방안 보유

내부 환경 분석	【 강 점(S) 】	【 약 점(W) 】
	<ul style="list-style-type: none"> •도심지 굴착 공사 경험 다수 보유 •기계/재료 기반 기술수준 우수 •IT 기반 산업의 기술 수준 우수 •국민안전처 신설 등 지반재해 저감을 위한 정부의 적극적 의지 	<ul style="list-style-type: none"> •조사, 예측, 예방 부분의 원천기술 부재 •조사, 예측에 대한 건설 산업의 관심 부족 •지반조사 예측 및 관리를 위한 전문인력 부족 •최신 조사 장비는 대부분 수입에 의존하여 우리나라의 기술수준이 낮음
외부 환경 분석	【 기 회(O) 】	【 위 험(T) 】
	<ul style="list-style-type: none"> •대심도 지하 공간의 개발이 활발하게 추진 •국내 지중환경에 부합하는 조사/탐사 필요성 및 인식도 향상 •세계적으로 기후변화 등으로 인한 자연 재해에 대한 관심이 증가 	<ul style="list-style-type: none"> •일본의 지중 조사기술 선진화 •미국, 일본 등 선진국들은 체계적인 지반재해 대응방안 보유



2. Issue-Tree 분석

가. 개요

- Issue-Tree분석은 동향분석결과로부터 R&D Needs를 도출하기 위해 수행함
- Issue-Tree분석은 기획 연구진 브레인스토밍을 통해 작성함
 - 기획연구진 브레인스토밍을 통해 국내외 정책/기술/시장동향 조사결과를 기반으로 관련 키워드를 정리함
 - 개별 키워드는 이슈트리를 통해 체계적으로 세분화하고 주요 이슈를 도출함
 - 기획연구진 브레인스토밍을 통해 이슈를 해결하기 위한 R&D Needs를 도출함

나. 주요 정책·시장·기술 동향

(1) 주요 정책동향

- 국민행복/글로벌 가치창조 관점에서 Value Creator 20 중점프로젝트 발굴 중
- 시설물 유지관리 R&D사업비중 확대 추세
- 국토교통분야에서는 재난재해 대비 시설물 안전성 강화 산업경쟁력 강화 전략 추진
- 예방중심의 선제적 재난대비 시스템 구축 추진
- 세월호 사건 이후 안전에 대한 국민들의 관심과 정부의 국민안전처 신설
- 서울시 지하수 감소로 장기적 관점에서 도심지 지하수 관리방안 모색

(2) 주요 시장동향

- 지반유동 발생 시 막대한 인적·물적 피해손실 유발
- 단순 복구비용 외 사회적비용 발생
- 지반조사장비 및 기술은 해외업체에 의존

(3) 주요 기술동향

- 지반함몰의 근본원인이 규명되지 못함
- 지반 조사 장비기술 미흡
- 국내와 상이한 지중조건에 기반한 해외기술 활용
- 도심지 지반체계적 관리 및 운영기술 미비
- 지반 굴착 관리감독 및 전문인력 부족

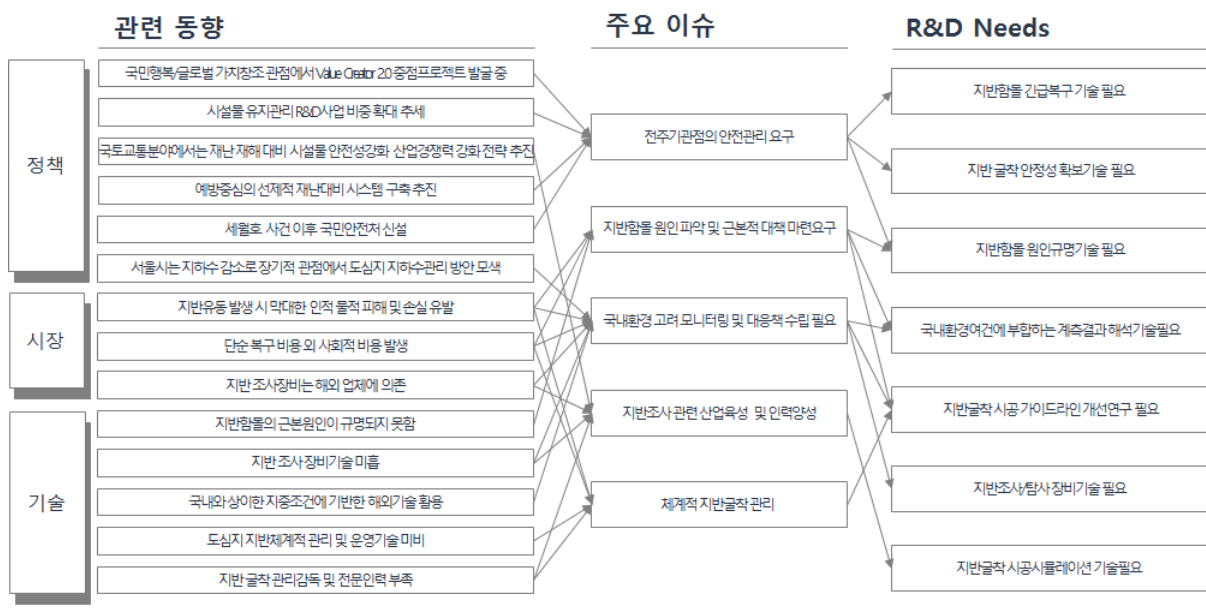
다. 주요 이슈 및 R&D Needs

(1) 주요 이슈

- 전주기관점의 안전관리 요구
- 지반함몰 원인 파악 및 근본적 대책 마련요구
- 국내환경 고려 모니터링 및 대응책 수립 필요
- 지반조사 관련 산업육성 및 인력양성
- 체계적 지반굴착 관리

(2) R&D Needs

- 지반함몰 긴급복구 기술 필요
- 지반 굴착 안정성 확보기술 필요
- 지반함몰 원인규명기술 필요
- 국내환경여건에 부합하는 계측결과 해석기술필요
- 지반굴착 시공 가이드라인 개선연구 필요
- 지반조사/탐사 장비기술 필요
- 지반굴착 시공시물레이션 기술필요



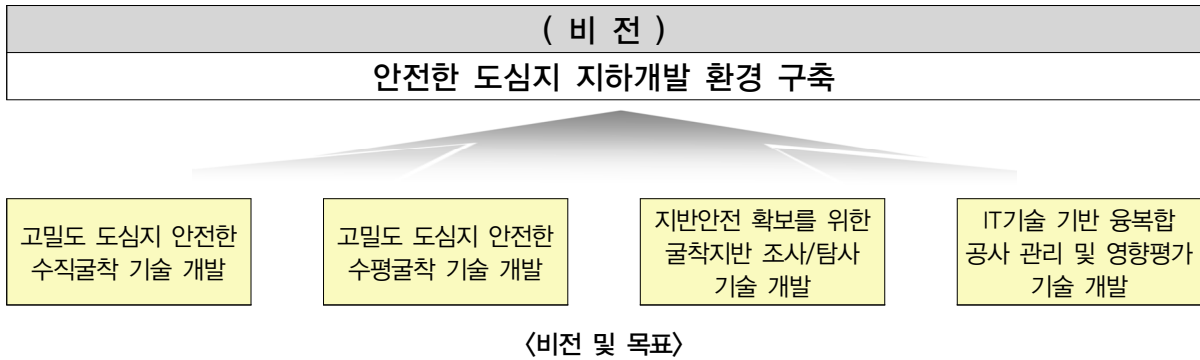
2절 비전 및 목표

1. 비전

- 안전한 지반굴착 연구개발사업의 비전은 ‘안전한 도시개발 환경구축’으로 설정함
- 비전 설정 근거
 - 도심지 지반안전 확보를 통해 국민이 안심하고 생활하는 도심지 건설
 - IT융복합 기반 국내 지중환경에 부합하는 선진 조사/탐사 기술 확보
 - 국내 지반조사/예측 산업육성 및 전문인력 양성을 통한 기존 해외 장비/인력 대체
 - 시공경험 기반 다양한 지반조건 대응가능 지반굴착 기술확보 및 해외 수주확대
 - 해외 선진국가 벤치마킹을 통한 지반재해 대응체계 수립

2. 목표

- 비전 달성을 위해 동 사업에서는 ‘도심지 지반안전 영향을 최소화하는 신개념 수직 및 수평 굴착 기술 개발’을 목표로 설정함
- 목표 설정 근거
 - 도심지 지상 및 지중구조물 특성을 고려한 터파기 기술 확보
 - 고밀도 도심지 구간에서 대규모/대심도(30m 이상) 수직 굴착 기술 확보
 - 개착식 굴착공사 시 지반안전 확보를 위한 고해상도 복합 탐사/해석기술
 - 도심지 현장 주변 주요 시설물을 고려한 지반 굴착공법 개발
 - 도심지 구조물 안정영향 최소화를 위한 지반굴착 보강 기술 확보
 - IT 기술 및 계측자료를 활용한 인접구조물 손상평가 기법 개발
 - 안전한 굴착 공사를 유도하는 굴착공사 시공 가이드라인 개발



3. 중점추진 분야

- 본 연구의 중점 추진 분야는 비전과 목표를 달성할 수 있는 유사 기술분야로 분류하고 해당 기술 분야에서 수행 가능한 세부 기술별로 기획을 수행
- 중점추진 분야는 굴착기술, 보강기술, 조사/탐사 기술, IT 기술 활용 및 영향평가 기술로 분류하고 해당 분야에 요구되는 기술 개념을 중점추진분야로 설정
- 분류한 기술분야를 토대로 연구에서 지향하는 중점추진 분야는 아래와 같음
 - 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술 분야
 - 도심지 지반굴착으로 인한 영향 최소화를 위한 보강 기술 분야
 - 굴착공사의 안전확보를 위한 고정밀 탐사 및 해석 기술 분야
 - IT 기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향평가 기술 분야
- ‘도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술’분야는 개착식/비개착식 굴착 기술에 관련한 분야로 주변 지반 또는 구조물의 안전을 고려한 굴착 공법 기술 분야로 설정
- ‘도심지 지반굴착으로 인한 영향 최소화를 위한 보강 기술’분야는 굴착 공사 중 지반안전을 유지할 수 있는 보강 공법 분야로 설정
- ‘굴착공사의 안전확보를 위한 고정밀 탐사 및 해석 기술’ 분야는 굴착 공사 중 주변 지반의 상태를 탐사 및 해석할 수 있는 기술 분야로 조사 장비와 계측 기술, 신속 탐사 기술 등을 포함하고 해외 기술에 의존하는 기술의 국산화를 추진하는 분야
- ‘IT 기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향평가 기술’ 분야는 최신 IT 기술을 활용한 굴착공사 관리 기술과 인접구조물의 영향을 평가하는 기술 분야로 무선 네트워크, 온라인 관리, 실시간 감시/계측 기술 등을 포함하는 분야로 설정
- 중점추진 분야를 근거로 연구개발과제 구성을 추진하며 연구의 비전과 목표를 달성할 수 있도록 관련 수요조사와 우선순위 설정에 가이드를 제시함

3절 연구개발과제 구성

1. 후보과제 Pool 구성

가. 후보과제 Pool 구성 방법

- 산학연 전문가와 연구 관련 학회를 중심으로 기술 수요조사를 실시하고 수집된 기술수요조사서를 연구 비전과 목표에 맞는 후보과제들을 선별
- 연구개발 목표에 해당하는 기술을 보유한 기업들에게 연구 기획 의도를 설명하고 목표를 달성하기 위한 기술 수요조사를 의뢰
- 연구목표 별 기술분류 체계를 제시하고 소분류에 해당하는 예상 주요기술 목록을 제시함으로써 연구 기획의 의도를 정확히 전달하도록 노력
- 수집된 기술 수요조사서를 주요기술별로 분류하여 기획한 기술분야에 충분한 후보과제 Pool이 구성될 수 있도록 부족한 기술분류 부분은 2차 수요조사를 실시함

나. 후보과제 Pool 중복성·유사성·위계 검토

- 중복성 검토는 후보과제 Pool의 개별 과제들을 대상으로 NTIS에 등재된 국가 R&D 데이터를 활용하여 중복과제 유무를 확인하고 중복과제로 판정될 경우, 후보과제 Pool에서 제외함
- 수집된 수요조사 과제들 중 유사한 기술 수요들은 유사기술로 분류하여 1가지 기술분류로 취급
- 과제 중복여부는 추진 준비 중인 국가 과제를 포함하며 수행중이거나 기 개발이 완료된 과제 또는 기술이 존재하는 경우로 판단
- 중복성과 유사성을 기준으로 수요조사된 기술들을 분류하고 본 연구기획에 적합한 후보과제 Pool을 확보함

다. 후보과제 Pool list

- 중복성, 유사성 검토를 마친 수요조사 기술들의 예상 과제명을 기준으로 연구개발 과제를 정의하고 기획에서 설정한 중점추진분야별로 과제들을 분류함.
- 분류된 후보과제들의 연구목표와 기간, 소요 예산들을 설정하고 우선순위 평가를 수행할 수 있도록 관련 근거 자료들을 수집함

중점추진분야	연번	후보과제명	후보과제 정의
중점추진분야1	1	다양한환경특성에서의지반거동 및함몰평가를위한원심모형실험 연구	-원심모형실험을 이용한 내외부 환경 변화에 따른 지반의 함몰 메커니즘 규명
	2	인접구조물에 근접한 지역에서의 침하 특성분석 및 굴착에 따른 지반내 공동형성 메커니즘 분석과 관리 기술	-지반굴착후 구조물 뒤채움구간에서의 다짐 불량 및 지하수 위 변화 등으로 인한 주변지반 지하공동 발생에 대한 메커니즘을 분석
	3	도심지대심도수직굴착시지반변위및함몰방지를위한지하수위제어및벽체조성기술개발	-천공 후 보강재 삽입과 그라우트재 주입을 순차적으로 진행하는 기존 기술과 달리 천공 후 보강재 삽입과 그라우트재 주입을 동시에 진행할 수 있는 공법 개발
	4	대심도굴착용CIP공법개발	-Excellent Joint 파일을 이용한 CIP 공법과 가이드를 이용한 CIP공법의 현장적용성을 검토
	5	굴착배면지반의다짐불량및시공 안전성을개선한굴착공법개발	-지보공(앵커, 네일 등) 천공시 배토량을 제어하여 벽체 변위 및 지반침하를 최소화 할 수 있는 시공방안 개발
	6	도로및지하매설물설치를위한중심도(5-8m)용장시간hybrid조립식굴착기술개발	-중심도(5-8m) 전용의 굴착기술을 개발하여 다단 굴착시에도 배면에 밀착되게 흙막이 벽체를 시공할 수 있는 기술
	7	고강도 강관을 이용한 개착시 안정확보 및 연구 지하 구조물 활용이 가능한 복합 벽체 시스템 개발	-고강도 재질의 강관을 사용하여 벽체 시스템을 구성하고 굴착 벽면의 안정성을 확보하는 기술
	8	지하철또는경전철의도심지굴착을대체하는저심도터널공법개발	-외부차수가 가능한 저심도 터널을 개발하는 것으로서, 터널 공간을 철도, 도로교통, 하수관로, 통신구, 전력구 등으로 이용
	9	도로하부 통로박스 건설 다단비트(bit)굴착 장비 개발 연구	-지중시설물 중첩구간의 침하(14mm 이하)를 최소화 할 수 있는 신굴착장비 개발
	10	지상/지중 구조물 지하횡단을 위한 침하억제형 수평굴착공법 개발	-침하기준(20m현 14mm)을 만족하는 신형식 기술개발
	11	워터젯과 다중해머방식의 확공기를 결합한 직경 1 m 이하 지향성 수평 굴착 기술 개발 연구	-다중해머방식의 수평확공기에 워터젯을 결합하여 최외곽 부분의 굴착 효율을 증대하고 주변으로의 타격 진동 전파를 저감하는 기술 개발
	12	고밀도 도심지 비개착 지중수평 연속벽 시공기술 개발	-기존 강관추진 비개착수평굴착 대비 30% 시공비 절감이 가능한 수평지중연속토류벽을 이용한 비개착식 수평굴착 공법 개발
	13	비개착식 하수관 삼분할 세그먼트 교체공법	-하수관 내부 자동절단장치 제작, 삼분할 세그먼트몰드 제작, 하수 지관용 연결몰드 제작
중점추진분야2	1	배수재를이용한정착지반의압밀 과이에따른지반강도증가를유도 하는앵커개발	-팩커 내부의 팽창압력을 조절할 수 있는 장치 개발(팩커의 팽창시 지반의 전단파괴방지) -정착지반의 배수유도 장치 개발(smear zone 및 원지반의 간극수압 배출) -인장시 정착지반의 비배수상태를 유지하기 위한 장치개발
	2	친환경 고화제와 다중 동시주입	-친환경 고화제, 다중 동시주입펌프, 프로그램을 개발하여

중점추진분야	연번	후보과제명	후보과제 정의
		장치를 활용한 보강 그라우팅 시스템 개발	품질을 확보하는 구근 형성 문제와 시멘트 부산물에서 발생하는 환경적인 문제, 경제성 문제를 해결
	3	굴착공사(개착/비개착) 중 토사 및 지하수 유출방지를 위한 급속 동결시스템 개발	-액화가스 상방향 주입이 가능한 액화가스 주입시스템의 개발, 현장에서 손쉽게 동결과정을 조절할 수 있도록 동결 모니터링 및 유량조절이 가능한 급속지반동결시스템의 개발
	4	지하 굴착구간의 유출수 방지 및 안정성 향상을 위한 뽀칠형 방수 라이너 공법 개발	-박층 뽀칠 라이너를 이용하여 상하수도관이나 굴착 벽면에 차수/보강이 필요할 때 타설하는 공법. 부착성과 인장성능 등 재료의 개선 연구를 포함.
	5	도심지 굴착에 따른 흙막이 벽체 및 주변 지반침하 안정성 확보 방안 연구	-가설 흙막이벽+영구벽체+차수벽+기초파일의 역할을 한번의 시공으로 해결할 수 있고 시공성 및 경제성을 확보한 공법개발
	6	굴착시보강재의강성을높이고저거울을향상시킨지반보강용제거식네일개발	-29mm 일반 이형철근의 인장강도를 확보할 수 있는 내하체 개발
	7	신개념 충전재료의 개발과 이를 이용한 지반공동의 충전공법 개발	-지반공동의 형상 및 크기와 지중거동을 파악할 수 있는 압력센서 개발 -무기질계 자가치유 혼화재 개발 및 이를 이용한 공동 내 비개착 주입기술 개발과 지반 안정화 평가
	8	지반공동 발생에 따른 긴급 보수/보강 재료 및 기술 개발	-지반의 함몰 또는 공동 발생 시 골재와 토목섬유, 발포재료의 최적 혼합비 산출, 공동크기와 주변지반의 조건에 따른 투입량 등을 포함하는 지침(안)을 개발하여 함몰된 지반을 신속하게 복원함은 물론 이완된 주변지반의 다짐효과를 발생시켜 안정화 시킬 수 있는 기술의 개발
	9	수치해석을 통한 지하공동의 보강 및 안정화해석 모델 개발	-지반공동현상에 있어서 지하수 조건 및 지반의 불포화 특성을 고려한 수치해석과 실내모형시험을 통하여 공동 보강으로 인한 지반안정화 평가
	10	비개착 상부지반 구조물의 함몰 방지를 위한 보강재 기반의 보강기술 개발	-상부지반 구조물(도로 등)의 함몰 방지를 위하여, 보강재를 이용한 비개착 보강기술 개발
	11	토립자이동및지중압력변화를통한지반함몰보강기술	-지하공동발생 가능지역의 추가 지하매설물 설치 시 적용하는 토립자의 이동을 탐지하는 장치개발
	12	지하공동보강방법및해석	-보강에 따른 지반공동의 거동을 수치해석, 실내모형시험을 통해 분석
	13	고화재 기반의 긴급 복구기술 개발	-지하공동발생 가능지역의 추가 지하매설물 설치 시 지반공동에 시공되는 시멘트 모르타르 및 고화재를 활용한 긴급 보수 및 보강 기술개발
	14	보수/보강기술 적용을 위한 Test-bed 기반 구축	-지하수 유출 등에 따른 지반함몰 및 공동현상을 재현함으로써, 제안된 보강 기술의 타당성 평가 수행 및 실험대 기반의 test-bed를 구축하여 현장 적용성 검증과 합리적인 현장 적용가능 보강기술 제안
중점추진분야3	1	복합지반 탐사 자료를 이용한 GIS/ICT 기반 고해상도 해석기술 연구	-개착식 굴착에 따른 지반침하를 위한 복합탐사방안 및 해석기법 제시 -다채널 복합탐사 융합 해석기법 개발 -정밀위치 제어를 위한 GIS/ICT기반 융합

중점추진분야	연번	후보과제명	후보과제 정의
	2	지반굴착 모니터링을 위한 차량 탑재형 고해상도 고속탐사 해석기술 연구	-개착식 굴착공사와 관련된 지반함몰 조사를 위한 차량 탑재형 다채널 고속-고정밀 시스템 상용화
	3	GPR탐사를 이용한 지하시설물 위치파악 기술	-실시간 3차원 GPR탐사 기법 및 시스템 개발 -다중주파수채널 GPR탐사(지하수위에 따른 감쇠 극복, 심도향상, 해상도증가) -포장도로에서 심도 10m이내 30cm 공동탐지 정확성 80% 목표
	1	굴착 유출수로 인한 토립자 유실 및 지반 이완의 영향으로 인한 지반 손상도 평가 기술	-지반 굴착 시 유출수로 인한 토립자 유실에 의한 지반 이완 및 손상도 평가 기술 개발
중점추진분야4	2	무선센서를 활용한 굴착 중 주변 지반 및 인접구조물의 실시간 모니터링 및 손상 평가 기술	-굴착공사 시 주변 구조물의 거동 및 동특성 변화에 기반하여 지하 구조물과 현장 인접 구조물의 손상을 추정 할 수 있는 손상추정 알고리즘의 개발 및 적용
	3	굴착현장및인접시설물안전관리를위한통합IT계측관리및안전점검매뉴얼개발및실증실험	-최신 IT기술을 활용한 지반굴착 중 공사현장 및 인근 시설물(도로, 건물, 지장물) 안전관리를 위한 통합 계측 관리 방안 마련
	4	레이저 센서, UAV 시스템 등 첨단 기술을 이용한 흠막이벽 및 주변 지반 변형의 광역 관측기술	-지반굴착 공사현장 주변 지역의 지반변형을 관측하기 위한 광역 관측 시스템 구축
	5	지중경사계와 간극수압계가 결합된 Sensor Column (Coupled Sensor Column) 개발	-지중경사계와 간극수압계가 결합된 Coupled Sensor Column 을 개발하여 굴착시 간극수압 변화량과 지반거동 메커니즘을 분석하여 지반침하·지반함몰 메커니즘 규명과 선진화된 예측시스템 개발을 통하여 도심지 지반굴착에 대한 시공성 및 안정성을 강화
	6	도심지 굴착영향거리(1H~2H)에 따른 지반손상도 평가를 위한 통합모니터링 시스템 및 가이드라인(안) 개발	-장심도(50m 이상)에서 미소지중침하 계측관리를 위한 정확도 0.1%이상의 층별침하 측정기술 개발
	7	탄성파를 이용한 지반공동 탐비 및 발생 예측 기술 개발	-지반공동의 위치 및 크기를 고신뢰도로 검출하는 기술 개발
	8	지반굴착에 따른 지하공동 조사 장비 개발	-지반굴착 중 발생 가능한 지하공동 예측이 가능한 조사 장비 개발 -현장조건-계측자료를 활용한 실시간 지반거동 특성 예측 알고리즘 개발
	9	‘분포형광섬유’ 센싱 기술을 활용한 지반 거동 및 지하수 관리 기법	-브릴루앙 센싱기법을 활용한 지반 거동 추정 -라만 센싱기법을 활용한 지반 내 지하수 요동 추정
	10	지하수 변동에 따른 지하구조물 및 인접구조물 변상 예측 기술	-지하수 모니터링을 위한 지하수 센서 네트워크 설계 및 구축기술 -굴착 및 수위변화에 의한 지반 및 지하구조물의 변상 예측

〈후보과제 Pool〉

- 최종 확정된 후보과제 Pool을 대상으로 전문가 그룹에게 과제카드 작성을 의뢰하여 최근 기술 수준에서 달성가능한 연구목표를 설정함
- 작성된 과제 카드는 보고서 별첨으로 첨부함
- 과제카드는 연구개발 목표, 필요성, 연구 주요 내용, 관련기술/산업/시장동향, 최종성과물, 기존기술 활용방안 등으로 설정함
- 과제카드는 후보과제의 우선순위 평가 시, 평가자의 판단을 돕기 위한 것으로 향후 RFP 작성의 근거자료로 활용함

2. 후보과제 우선순위 평가

가. 개요

(1) 우선순위 평가의 목적

- 안전한 지반굴착기술 기획연구에서 도출된 후보과제 중 동 사업 수행에 필요한 과제를 선정하고, 선정과제 중 추진 우선순위를 설정하기 위함임
- 산·학·연 전문가를 대상으로 안전한 지반굴착기술 기획에서 도출된 후보과제의 기술적 중요도, 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성 등에 대한 평가를 수행함

(2) 우선순위 평가의 절차

- 우선순위 평가는 후보과제 선정, 우선순위평가서 설계, 우선순위평가 수행, 기술수요조사 결과분석 및 활용 순으로 추진함
- 후보과제 선정단계에서는 기술수요조사 결과를 바탕으로 중복성 검토, 유사성 및 위계 검토를 통해 후보과제 pool을 설정, 과제카드를 작성하고, 기술분류체계에 매칭함
 - 후보과제 카드는 우선순위 평가 시 평가자의 판단을 돕기 위해 참고자료로 활용함
- 우선순위 평가서 설계단계에서는 우선순위평가 항목을 결정하고 평가 대상자를 설정함
 - 기술적 중요도(기술의 중요도, 시급성, 과학기술적 파급효과), 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성을 평가항목으로 설정함
 - 기술적 중요도의 경우 후보과제에 매칭되는 기술분류 체계 소분류의 기술수준/예측조사 결과를 활용함

- 우선순위 평가 시 참고자료로 후보과제에 해당하는 소분류의 수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술격차-기술수준, 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 결과를 제공하여 우선순위평가자의 객관성을 도모함
- 우선순위평가 수행단계에서는 기술수준/예측조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함
- 우선순위평가 결과분석 및 활용단계에서는 평가결과를 통해 사업 추진과제를 선정하고 과제추진 우선순위 선정에 활용함



〈그림 4-1〉 우선순위 평가 진행 절차

(3) 우선순위평가서 발송 및 응답개요

- 우선순위평가는 내부 기획연구진, 자문위원 및 외부전문가들을 대상으로 메일을 발송하여 조사함

[표 4-1] 우선순위평가서 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	- 2015년 5월 18일 ~ 2015년 5월 22일 (1주간)
조사대상	- 내부 기획연구진, 자문위원 및 외부전문가 12인
조사방법	- 이메일 발송을 통한 설문조사

(4) 우선순위평가 항목 설정

- ‘기술 중요도’항목은 ‘기술의 핵심성’, ‘기술개발 시급성’, ‘과학기술적 파급효과’로 구분되며, 기술수준/예측조사 결과를 활용함
- ‘기술의 핵심성’는 해당기술이 ‘안전한 지반굴착기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도를 5점 척도로 평가함
- ‘기술개발 시급성’은 적정 수준을 구현해야할 시기를 고려하여 기술개발이 시급한 정도를 5점척도로 평가함
- ‘과학기술적 파급효과’는 해당기술이 과학기술 발전에 미치는 영향력을 5점척도로 평가함
- ‘기술개발 실현가능성’항목은 연구개발 사업 추진 시 과제카드 목표 수준까지 실현 가능한지 여부를 5점척도로 평가함
- 해당항목은 후보과제가 속한 소분류 기술분야의 수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석결과 및 후보과제카드를 참조하여 평가함

소분류	참고 자료				기술중요도 평가결과	후보과제 우선순위 평가	
	포트폴리오분석결과					후보과제	평가 항목
	수준-중요도	기술격차-격차추세	기술격차-기술수준	기술기반 성숙도-중요도		기술개발 실현 가능성	
○○○	기술혁신을 통한 파급효과가 큰 유망한 영역	효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역	기술기반 확보가 시급한 영역	4.0	1 ○○○ 2 ○○○ 3 ○○○	4 3 3

- ‘사회경제적 파급효과’항목은 목표수준까지 기술개발 완료 시 사회경제적으로 미치는 파급효과를 5점척도로 평가함
- 해당항목은 후보과제가 속한 소분류 기술분야의 수준-중요도 포트폴리오 분석결과 및 후보과제카드를 참조하여 평가함

참 고 자 료						후보과제 우선순위 평가	
소분류	포트폴리오분석결과				기술중요도 평가결과	후보과제	평가 항목
	수준-중요도	기술격차-격차추세	기술격차-기술수준	기술기반 성 숙도-중요도			
○○○	기술혁신을 통한 파급효과가 큰 유망한 영역	효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역	기술기반 확보가 시급한 영역	4.0	1 ○○○	4
						2 ○○○	3
						3 ○○○	3

□ ‘정부지원 필요성’항목은 기술개발 사업을 통해 기술을 획득하는 데에 정부지원이 필요한 정도를 5점척도로 평가함

○ 해당항목은 후보과제가 속한 소분류 기술분야의 수준-중요도, 기술격차-기술수준 포트폴리오 분석결과 및 후보과제카드를 참조하여 평가함

참 고 자 료						후보과제 우선순위 평가	
소분류	포트폴리오분석결과				기술중요도 평가결과	후보과제	평가 항목
	수준-중요도	기술격차-격차추세	기술격차-기술수준	기술기반 성 숙도-중요도			
○○○	기술혁신을 통한 파급효과가 큰 유망한 영역	효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역	기술기반 확보가 시급한 영역	4.0	1 ○○○	4
						2 ○○○	4
						3 ○○○	5

나. 후보과제 우선순위 평가결과

(1) 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
인접구조물에 근접한 지역에서의 침하 특성분석 및 굴착에 따른 지하수위 제어 및 벽체조성 기술개발	5.0	4.0	5.0	4.4	4.7	4.0	27.1	1
다양한 환경특성에서의 지반거동 및 함몰 평가를 위한 원심모형 실험	5.0	5.0	5.0	4.2	4.2	3.6	27.0	2
도심지 대심도 수직굴착시 지반변위 및 함몰 방지를 위한 지하수위 제어 및 벽체조성 기술개발	5.0	4.0	4.0	4.4	4.7	4.0	26.1	3
대심도 굴착용 CIP공법 개발	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	24.0	4
도로 및 지하매설물 설치를 위한 중심도(5~8m)용 장시간 hybrid 조립식 굴착기술개발	4.0	4.0	4.0	3.8	3.5	3.5	22.8	5
굴착 배면지반의 다짐불량 및 시공 안전성을 개선한 굴착공법 개발	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.5	22.5	6
도로 하부통로 박스 건설 다단비트(bit) 굴착장비 개발 연구	5.0	4.0	5.0	3.0	2.5	2.5	22.0	7
도심지 굴착에 따른 흙막이 벽체 및 주변 지반 침하 안정성 확보방안 연구	4.0	3.0	4.0	3.5	3.5	3.5	21.5	8
고강도 강관을 이용한 개착 시 안정 확보 및 영구 지하 구조물 활용이 가능한 복합 벽체 시스템 개발	4.0	3.0	3.0	4.0	3.5	3.5	21.0	9
지하철 또는 경전철의 도심지 굴착을 대체하는 저심도 터널공법 개발	3.0	3.0	4.0	3.8	3.5	3.5	20.8	10
워터젯과 다중해머 방식의 확공기를 결합한 직경 1m이하 지향성 수평 굴착기술 개발 연구	5.0	4.0	5.0	2.0	2.0	2.0	20.0	11
지상/지중 구조물 지하횡단을 위한 침하억제형 수평 굴착공법 개발	5.0	4.0	4.0	2.0	2.0	2.0	19.0	12
고밀도 도심지 비개착 지중수평연속벽 시공기술 개발	3.0	2.0	3.0	3.5	3.5	3.5	18.5	13
비개착식 하수관 삼분할 세그먼트 교체공법	4.0	3.0	4.0	3.0	2.0	2.0	18.0	14

(2) 도심지 기반굴착으로 인한 영향 최소화를 위한 보강기술

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
신개념 충전재료의 개발과 이를 이용한 지반공동의 충전공법 개발	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0	27.0	1
수치해석을 통한 지하공동의 보강 및 안정화해석 모델 개발	5.0	5.0	4.0	3.7	4.3	4.0	26.0	2
굴착공사(개착/비개착) 중 토사 및 지하수 유출 방지를 위한 급속 동결시스템 개발	5.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	26.0	2
지하 굴착구간의 유출수 방지 및 안정성 향상을 위한 뿔철형 방수 라이너 공법 개발	5.0	5.0	5.0	4.0	3.4	3.2	25.6	4
비개착 상부지반 구조물의 함몰방지를 위한 보강재 기반의 보강기술 개발	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	25.0	5
토립자 이동 및 지중 압력 변화 계측을 통한 지반함몰 보강 기술	5.0	4.0	4.0	3.7	4.3	4.0	25.0	5
친환경 고화제와 다중 동시주입 장치를 활용한 보강 그라우팅 시스템 개발	5.0	5.0	4.0	4.0	3.4	3.2	24.6	7
배수재를 이용한 정착지반의 압밀과 이에 따른 지반강도 증가를 유도하는 앵커 개발	5.0	5.0	5.0	3.8	2.8	3.0	24.5	8
지반 공동 발생에 따른 긴급보수/보강 재료 및 기술 개발	5.0	4.0	4.0	3.5	4.0	3.5	24.0	9
보수/보강 기술적용을 위한 Test-bed 기반 구축	5.0	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	24.0	9
고화제 기반의 긴급 복구기술 개발	5.0	2.0	3.0	3.5	4.0	3.5	21.0	11
굴착시 보강재의 강성을 높이고 제거율을 향상 시킨 지반 보강용 제거식 네일 개발	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.7	18.7	12
지하 공동 보강 방법 및 해석	4.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	17.5	13

(3) 굴착공사의 안전확보를 고정밀 탐사 및 해석기술

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
복합지반 탐사자료를 이용한 GIS/ICT 기반 고해상도 해석기술 연구	5.0	5.0	5.0	4.3	4.0	4.0	27.3	1
(개착식)지반 굴착 모니터링을 위한 차량 탑재형 고해상도 고속탐사 해석기술 연구	5.0	5.0	4.0	4.6	4.4	4.0	27.0	2
굴착 유출수로 인한 토립자 유실 및 지반 이완의 영향으로 인한 지반 손상도 평가 기술	5.0	5.0	5.0	4.0	3.7	3.3	26.0	3
레이저센서, UAV 시스템 등 첨단기술을 이용한 흙막이벽 및 주변지반 변형의 광역 관측 기술	4.0	5.0	5.0	4.0	3.8	3.8	25.5	4
지중경사계와 간극수압계가 결합된 Sensor Column(Coupled Sensor Column)개발	4.0	4.0	4.0	4.2	4.4	3.8	24.4	5
지반굴착에 따른 지하공동 조사장비 개발	4.0	3.0	3.0	4.5	4.3	4.0	22.8	6
GPR탐사를 이용한 지하시설물 위치 파악기술	4.0	3.0	3.0	4.5	4.3	4.0	22.8	6
'분포형광섬유'센싱기술을 활용한 지반거동 및 지하수 관리기법	4.0	3.0	3.0	4.2	4.4	3.8	22.4	8
탄성파를 이용한 지하공동 탐지 및 발생 예측 기술 개발	4.0	4.0	3.0	4.0	3.7	3.3	22.0	9

(4) IT기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향평가기술

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
굴착현장 및 인접시설물 안전관리를 위한 통합IT 계측관리 및 안전점검 매뉴얼 개발 및 실증실험	5.0	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0	26.0	1
무선센서를 활용한 굴착 중 주변 지반 및 인접구조물의 실시간 모니터링 및 손상 평가 기술	5.0	4.0	5.0	4.0	4.0	3.7	25.7	2
도심지 굴착 영향거리(1H~2H)에 따른 지반손상도 평가를 위한 통합 모니터링 시스템 및 가이드라인(안)개발	4.0	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0	21.5	3
지하수 변동에 따른 지하구조물 및 인접구조물 변상 예측 기술	4.0	3.0	2.0	3.0	4.0	3.3	19.3	4

4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. (중점추진분야 1)

도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술 분야 세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술 개발
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 도심지 굴착공사로 인한 지반 재해 방지 ▪ 인접지역 또는 인접 구조물의 안정성을 고려 ▪ 굴착공사로 인한 공사장의 안전 뿐만아니라 인적 피해가 발생할 수 있는 인접지역의 안전을 반영 ▪ 굴착 공사로 인한 지반 거동 및 특성을 분석하여 개발과제의 근거 제시
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 굴착공사로 인한 지반 거동 분석 기술 개발 ▪ 인접구조물의 안정성 확보를 감안한 굴착 공법 개발 ▪ 도심도 도심지 수직굴착 기술 확보 ▪ 구조물 지하횡단을 위한 수평 굴착공법 개발 ▪ 지하구조물 인접지역에서의 지반변형을 최소화하는 굴착공법 개발
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 굴착공사로 인한 지반거동 및 함몰 평가 <ul style="list-style-type: none"> -원심모형실험을 이용한 다양한 내외부 환경특성 모사 -다양한 환경특성에 따른 지반의 거동 특성 평가 기술 정립 -내외부 환경 변화에 변화에 따른 지반의 함몰 메커니즘 규명 -침하 특성 분석 및 굴착에 따른 지반내 공동형성 메커니즘 분석/관리기술 ▪ 인접구조물 안정성 확보를 감안한 굴착기술 <ul style="list-style-type: none"> -수직굴착 시 지반변위 및 함몰 방지를 위한 벽체조성 기술 -대심도 도심지 수직 굴착을 위한 보강 시 보강재 제원, 시공법, 보강체 형성공법 개발 -대심도 굴착용 CIP 공법 -침하 억제형 도로하부 통로박스 굴착 장비 개발 -지상/지중 구조물 지하횡단을 위한 침하억제형 수평굴착공법

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 선진 굴착공법 및 시공 사례 분석 ▪ 기초기술 동향 조사와 실험기반 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내외 굴착기술의 시공 사례 분석 및 문제점 평가 ▪ 지반거동 및 지반함몰 평가를 위한 실험기반 분석 ▪ 대심도 수직굴착에 관한 국내외 기술 조사
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 굴착과 지반 평가 모델 개발 ▪ 지반거동 매카니즘 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 지반 조건 및 지하수위 변화를 고려한 평가 모델 구축 ▪ 기존 굴착 장비 개선을 위한 굴착 매커니즘 구현 ▪ 굴착에 따른 주변지반 평가를 위한 지반 해석 연구 ▪ 대심도 굴착을 위한 굴착공법 설계(안) 개발 ▪ 실내모형시험을 이용한 지반거동 매카니즘 분석
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 굴착 장비 개발 또는 개선, 시제품 개발 ▪ 테스트베드 시험을 위한 시험시공 조건 결정 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지반변형 및 지반함몰 시각화 및 영향 평가 모델 개발 ▪ 굴착성과 안정성이 확보된 굴착 장비 개선 ▪ 중심도 굴착을 위한 구조실험용 시제품 제작 및 수치해석 연구 ▪ 4차년도 테스트베드 시험을 위한 시험시공 조건 결정
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 테스트 베드 시험 수행 ▪ 굴착 및 지반 평가 모델 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 동적 외부환경 변화를 고려한 굴착 평가 모델 개발 ▪ 테스트베드 시험 수행 ▪ 모형굴착 시험을 통한 굴착 모델 검증
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 굴착기술 관리지침 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 굴착안전 확보를 위한 도심지 굴착기술 관리지침 제안 ▪ 지반안정성과 굴착성능이 향상된 굴착공법 및 장비 제안

2. (중점추진분야 2)

도심지 지반굴착으로 인한 영향 최소화를 위한 보강 기술 분야 세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 도심지 지반굴착으로 인한 영향 최소화를 위한 보강 기술 개발
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 도심지 개착식 공사에서 지반의 침하 또는 용기에 따른 인적, 물적 피해와 관련한 사회적 문제가 발생하고 있어 이에 대한 보강기술의 선진화가 요구되는 시점임 ▪ 대심도 및 도심지에 개착·비개착으로 구조물 설치시 수직 굴착에 따른 지하수 저하로 인해 토사 유출이 발생하여 공사 중 지반붕괴, 공사 후 인접구조물 침하, 도심지 지반 함몰이 발생하므로 적절한 보강 공법을 통해 지반보강 및 차수로 공사장과 인접지역의 안정성을 확보해야 함 ▪ 구조물 기초의 보강, 연약지반의 개량, 대심도 보강, 도심지 함몰 충전, 내진보강 등을 목적으로 다양한 용도로 그라우팅을 적용하고 있는 추세이나, 대심도 지반, 조수 간만의 차, 유속이 빠른 지반, 대수층 지반에는 그라우팅 구근 형성이 어려워, 강도확보를 위해 다량의 재료가 투입되어 경제성, 환경성 문제가 대두되는 실정이므로 이러한 문제점을 해결하는 새로운 보강기술 개발이 필요함
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인접 구조물 또는 굴착공사 중 지반의 안정성을 확보하는 보강 공법 개발 ▪ 공사중 지하 매설물 신속 보수/보강 공법 개발 ▪ 지하공동 신개념 충전재료 개발 ▪ 공사 중 지반함몰 발생 시 긴급 보수/보강 공법 개발 ▪ 지하공동 보강 관련 지반 해석 기술 개발
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 굴착공사로 인한 지반의 안정성 확보차원의 강도 증진 공법 개발 <ul style="list-style-type: none"> -정착지반의 압밀과 이에 따른 지반의 강도 증진 유도 앵커 -친환경 고화제를 이용한 다중 주입식 그라우팅 -토사 및 지하수 유출방지를 위한 급속 동결 시스템 ▪ 굴착구간의 유출수 방지 및 안정성 향상을 위한 박층 라이너 공법 개발 <ul style="list-style-type: none"> -박층형 라이너를 이용한 굴착구간의 차수/보강 공법 -경제성을 확보한 박층형 라이너의 설계/시공 매뉴얼 작성 ▪ 지반공동 발생 시 긴급 보수/보강 재료 및 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> -24시간 이내 적용가능한 긴급 보수/보강 재료 및 기술 개발 -비개착 굴착 공사 시 상부지반의 함몰방지를 위한 보강기술 개발 -함몰된 지반을 신속하게 복원함은 물론 이완된 주변지반의 다짐효과를 발생시켜 안정화 시킬 수 있는 기술의 개발 ▪ 지하공동의 보강 및 안정화 해석 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> -수치해석을 기반으로 지반공동의 보강기술 평가 및 안정화해석 모델 개발 -지하수 조건 및 지반의 불포화 특성을 고려한 수치해석과 실내모형시험을 통하여 지하공동 보강으로 인한 지반안정화 평가 -보강 공법에 따른 지반 안정화 해석 모델 개발 -현장에 적용할 수 있는 실용적인 가이드라인 제시

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> 기존 문헌 조사 및 분석, 사례연구 	<ul style="list-style-type: none"> 지반공동현상 및 공동 주변 구조물과의 상호거동에 관련한 기존 문헌 조사 지반공동의 보수/보강기술 사례 분석 도로 등의 상부지반 함몰을 방지하기 위한 국내외 보강재 적용기술의 사례 분석 친환경 보강재료 선정 및 특성검토
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> 보강에 따른 지반거동 평가 기반 구축 보강 공법 성능 분석 및 장비 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 기존문헌을 토대로 유한요소법을 이용한 매개변수 수치해석 지반의 특성 평가를 위한 실내시험 수행 지반공동 발생에 따른 지반함몰 방지를 위한 보강재의 재료적/역학적 특성에 대한 실험적 평가/분석 다중주입펌프식 그라우팅 공법 및 그라우팅 품질 관리 시스템 개발 앵커형 보강의 팽창압력과 정착장 주변 지반의 압밀 메커니즘 분석
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> 보강 재료 및 공법 검증 보강 공법용 장비의 시제품 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 지반함몰 및 공동현상에 따른 지중 내 거동 대응형 감지 압력센서 개발 및 정밀도 분석 침투 및 지반 응력-변형 연계해석을 통한 실내모형시험 검증 및 평가 Pilot 규모의 실내 챔버시험을 통한 동결관 배치 방안 검증 및 개선 지반함몰 방지용 보강재와 지반의 상호 역학적 특성 규명/평가를 위한 실내실험 시공성 및 경제성 분석 그라우팅 시스템 및 가압장치 제작
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> 현장 적용성 평가 보수/보강 장비 적용 및 운용 지침서 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 자가치유 혼화재 기반의 그라우팅 재료에 대한 지반 내 공동 주입기술 개발 모형시험 결과를 토대로 유한요소법을 이용한 수치해석 역해석 및 해석모델 검증 시스템 현장 적용성 평가 및 장비의 적용·운용 지침서 제작
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 보강 최적 설계(안) 제시 현장 보강 가이드라인 제시 	<ul style="list-style-type: none"> 실대형 실험결과와 수치해석 기반의 안정과 평가 결과의 비교/분석 착/비개착 굴착현장의 토사 및 지하수 유출 발생 Type에 따른 최적 설계안 제시 현장 적용 가능한 급속지반동결시스템의 보완 및 매뉴얼 작성 보강기술에 대한 Test-bed 및 현장실험과 이를 기반으로 하는 현장적용 가이드라인 제시

3. (중점추진분야 3)

굴착공사의 안전확보를 위한 탐사 및 해석 기술 분야 세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> 굴착공사의 안전확보를 위한 고정밀 탐사 및 해석 기술 개발
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> 단일탐사 방식의 한계를 극복하고 지하공동을 정밀하게 영상화 할 수 있는 고해상도 융합기술 기반의 탐사 해석기법 복합지반탐사 자료와 정밀위치제어가 가능한 GIS/ICT기반 융합을 통해 지반굴착 및 지하매설물 인근의 지반관련 문제 저감에 기여하고 최종적으로 도시지반 매설물 해석의 정밀화, 고도화 기법을 제공 국내에서 발생되고 있는 도시형 침하의 사전모니터링을 위해 이동이가능한 장비에 탑재할 수 있는 고속형(조사 커버리지 및 조사시간), 통합형(GPS+탐사자료간 연동), D/B형(조사자료의 주기적인 2D, 3D D/B화) 시스템의 구축 고속 지반탐사 해석기술 개발 및 실증실험을 실시하고 추후 상용화하여 개착식 굴착공사와 관련된 지반침하 방재를 위한 측정시스템의 정밀화, 고도화를 최종적으로 제공
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> 굴착에 따른 지반침하를 위한 복합탐사방안 및 해석기법 제시 굴착공사 관련 지반함몰 조사를 위한 다채널 고속/고정밀 시스템 상용화 탐사시스템 활용을 위한 매뉴얼 제시
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> 개착식 굴착에 따른 지반침하를 위한 복합탐사방안 및 해석기법 제시 <ul style="list-style-type: none"> -3~4종 이상의 탐사기법별 도심지 환경 노이즈 저감을 위한 방안제시 -복합탐사자료의 동시취득, 실시간 해석을 위한 통합 역산기법제시 다채널 복합탐사 융합 해석기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> -복합형(이종의 탐사기법간 융합), 통합형(다채널 센서 기반) -USN기반 탐사 시스템 모듈 융합 -지반함몰 징후의 고분해능 장심도 탐지 기술 확보 정밀위치 제어를 위한 GIS/ICT기반 융합 <ul style="list-style-type: none"> -복합탐사결과의 정밀위치 제어기술을 활용한 3D GIS기술접목 -탐사결과의 실시간 ICT기반 공유방안 수립 및 기존상용지도와 호환 기술 구축 개착식 굴착공사와 관련된 지반함몰 조사를 위한 다채널 고속-고정밀 시스템 상용화 <ul style="list-style-type: none"> -고속형(차량탐재 커버리지 및 조사시간 단축), 통합형(위치정보 및 상용지도 연동), D/B형(조사자료의 주기적인 2D, 3D D/B화) 시스템 구축 -지반함몰 징후의 고정밀 고속 탐지 기술 확보 광대역 듀얼밴드 GPR의 실시간 고속해석 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> -광대역 듀얼밴드 GPR 성능향상을 통한 지하투과심도 극복기술 연구 -다채널 GPR 자료취득 상호간섭 저감 기술 획득 탐사시스템 활용을 위한 매뉴얼 상용화 <ul style="list-style-type: none"> -국제적인 기술우위를 선점하기 위한 시스템 정량화 및 활용 매뉴얼 작성

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> 기존 문헌 및 국내외 기술 사례 탐사를 이용한 지반거동 모델 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 지반함몰 조사를 위한 차량 탑재형 사양 문헌 조사 및 기술 습득 물리탐사(GPR, EM, Seismic, FLIR, 지상 레이저 스캐닝, 영상센서등) 뿐만 아니라 원위치 기법(지중경사계, 간극수압계, 광섬유등)의 활용가능 탐사센서 기반 연구 3차원 실시간 탐사를 위한 최적센서배열 연구 토립자 유실이 빈번한 지역의 지반조건 조사 및 지반함몰 원인 규명
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> 굴착 중 지반공동 특정 기능 시스템 개발 휴대용 또는 차량 탑재형 탐사 시스템 구상 	<ul style="list-style-type: none"> 다채널 고속 측정 시스템 구축 및 해석 기법 습득 심도, 깊이, 크기별 모델 반응 분석이 가능한 모델링 방법 연구 다중주파수대역 3차원 고속자료처리 기술 확보 토립자 유실과 지반 이완에 대한 영향 및 메커니즘 분석 물리탐사 및 원위치기법을 통한 지반함몰 예측 가능성 개발
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> 휴대용 또는 차량탑재형 탐사 장비 개발 지하공동 해석을 위한 알고리즘 개발 지반 손상도 평가 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 휴대용 또는 차량 탑재형 시스템 개발 및 구축 입체적인 지하공동 해석을 위한 3차원 역산이론 및 알고리즘 개발 굴착 중 간극수압 및 지하수위 변화 계측 값을 활용한 지반 손상도 평가 기술 및 계측 예경보 기준 제시 지반 함몰 탐사에 적합한 센서들의 통합형 시스템 구축
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> 테스트베드시험을 통한 기술 검증 조사장비의 표준 체계 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 테스트베드를 활용한 개발 시스템 적용 및 구축 개발된 조사장비의 표준 체계 구축 통합형 센서 설계 기술 개발
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 지반함몰 및 공동 조사 매뉴얼 제시 GRP 고도화 지반손상도 평가 가이드라인 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 탐사 시스템 활용을 위한 매뉴얼 제시 및 상용화 GPR 고도화를 통한 지하시설물 위치정확도 20cm 오차 구현(현재 50cm~100cm 오차) 지반의 손상도 평가 가이드라인 제시

4. (중점추진분야 4)

IT 기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향평가 기술 분야 세부과제

(1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IT 기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향평가 기술 개발
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지반 굴착공사 시 가설 구조물과 인접 구조물의 안전성을 확인하고 구조물의 무너짐 사고 등의 재해를 예방하기 위해서는 지속적인 계측관리 필요함 ▪ 굴착 시 지반의 조건 변화에 따른 지반 이완 및 손상도에 대한 평가 방법 ▪ 굴착공사로 인한 인접 구조물의 손상도 평가 방법 ▪ 첨단 계측 시스템을 활용한 공사장 주변 지반의 광역 모니터링 기술
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IT기술을 활용한 지반 손상도 평가 기술 개발 ▪ 무선센서기반 구조물 손상 평가 기술 개발 ▪ IT계측 관리 및 안전점검 매뉴얼 개발 ▪ 첨단 센서를 이용한 공사장 인근 지반의 광역 모니터링 기술 개발
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지반 손상도 평가 기술 <ul style="list-style-type: none"> -지반 굴착 시 유출수로 인한 토립자 유실에 의한 지반 이완 및 손상도 평가 기술 개발 -굴착 중 계측-해석연계를 통한 예경보 기준 제시 -지반의 손상도 평가를 통한 안전관리 및 보수보강 가이드라인 제시 ▪ 인접구조물 손상도 평가 기술 <ul style="list-style-type: none"> -계측 센서를 탑재한 무선센서 모듈 및 무선센서 네트워크 시스템 구축 -굴착공사 시 주변 구조물의 거동 및 동특성 변화에 기반하여 지하 구조물과 현장 인접 구조물의 손상을 추정 할 수 있는 손상추정 알고리즘의 개발 및 적용 -무선센서 네트워크를 사용한 시공 중 실시간 모니터링 통합 시스템 구성 및 현장주변 구조물들의 손상진단 기술 개발 ▪ IT계측 관리 및 안전점검 매뉴얼 개발/실증실험 <ul style="list-style-type: none"> -최신 IT기술을 활용한 지반굴착 중 공사현장 및 인근 시설물(도로, 건물, 지장물) 안전관리를 위한 통합 계측 관리 방안 마련 -안전설계(DFS) 및 위험요소 프로파일(Hazard Profile)에 기반한 안전점검 및 관리 매뉴얼 개발 -국내 대표 굴착공사 유형별(3~4타입) 현장에 대한 계측 및 안전관리 시스템의 적용성 검증을 위한 Test Bed 운영 ▪ 레이저 센서, UAV 시스템 등 첨단 기술을 이용한 주변 지반 변형의 광역 관측기술 <ul style="list-style-type: none"> -흙막이벽의 직접적인 변형을 3차원으로 모니터링하기 위한 시스템의 개발 -지반굴착 공사현장 주변 지역의 지반변형을 관측하기 위한 광역 관측 시스템 구축

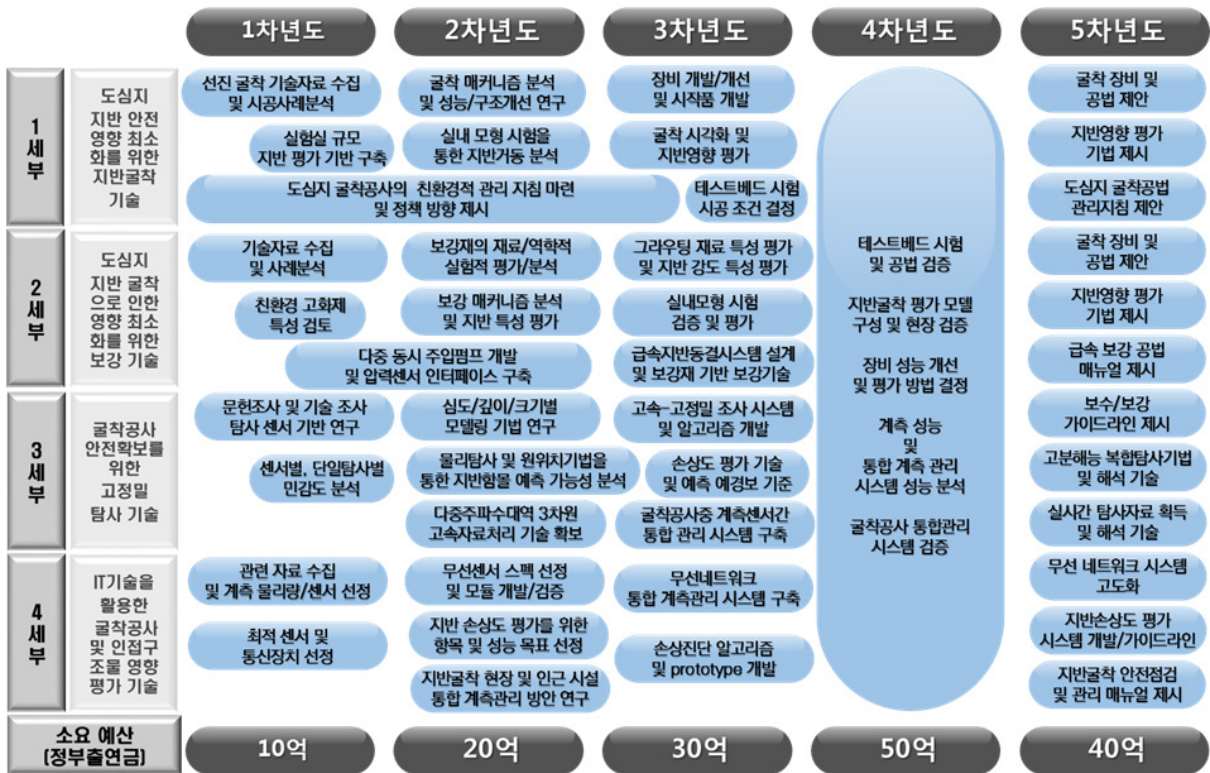
(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> 기존 문헌 조사 및 국내 안전관리 기준 분석 굴착공사 계측용 최적 계측 방식 선정을 위한 선행연구 	<ul style="list-style-type: none"> 지반굴착 공사 안전관리기준 관련 자료 수집 및 분석 현장 계측에 필요한 물리량 및 센서 선정 구조물 변형 예측이 가능한 최적의 센서 및 통신 장치 선정 지반함몰 위험 지역 관련 자료 구축
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> 굴착공사 통합 계측관리 시스템 연구 통합계측관리에 필요한 센서 모듈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 지반굴착 공사 현장 및 인근 시설물 통합 계측관리 방안 연구 현장 환경 및 계측 센서를 고려한 무선센서 스펙 선정 지반손상도 평가를 위한 최적 계측항목 선정 및 성능 개량 목표 선정 위험지역의 영향요인 평가 및 맵핑 구축
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> 무선센서를 이용한 통합 계측관리 시스템 연구 주변구조물 또는 주변지반의 손상진단 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 무선센서 네트워크 구축을 통한 통합 계측 관리 시스템 구축 주변 구조물 손상진단을 위한 손상진단 알고리즘 개발 장심도(50m 이상)에서 미소지중침하 계측기 prototype 제작 및 실내실험 다함수를 고려한 영향 반경 및 상관성 도출
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> 테스트베드 현장 검증 시험 계측을 통한 지반 및 인접 구조물의 변형 예측 프로그램 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 실증단지 적용을 통한 손상진단 알고리즘 검증 수행 및 위험지도 적용 굴착영향거리에 따른 지반손상도 평가를 위한 통합모니터링 Test Bed 구현 일반적인 공법 및 특수공법 적용에 따른 지반 및 인접 구조물의 변상 Test Bed 적용 및 예측 프로그램 개발
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> 통합 계측관리 시스템을 통한 안전점검 및 관리 매뉴얼 제시 현장 통합 계측을 위한 무선센서 네트워크 고도화 	<ul style="list-style-type: none"> 현장 적용을 위한 무선센서 네트워크 고도화 현장 실험을 통한 개발된 기술 및 알고리즘의 타당성 검토 지반 변형 예측에 적합한 격자형 맵핑 제시

5절 과제별연차별 기술로드맵

1. 총괄 로드맵

- 1차년도에는 기술 및 문헌, 사례 조사를 중심으로 연구를 진행하며 2차년도 실험평가에 대비한 실험 평가 기반을 구축함
- 2-3차년도에는 장비 시작품이나 연구 개발 기술들을 평가개선하여 기술을 개발함
- 4차년도에는 개발된 시작품 및 기술을 실증하는 단계로 연관된 세부 기술간 적용성 여부를 시험함
- 5차년도에는 테스트베드 시험 결과를 토대로 기술을 고도화하며 가이드라인과 관리지침 등을 제안함



〈그림 4-2〉 과제 로드맵

6절 연구수행체계 제안

1. 연구추진체계 정립

- “안전한 지반굴착기술 개발” 과제는 건설안전의 기반이 되는 핵심요소기술 개발 및 유기적 연계를 통한 패키지화된 기술의 성격으로 “연구단 수준”의 구성이 적합함
- 산학연 각각의 특성에 맞는 역할분담 및 수행이 필요하며 유기적인 세부 기술간 유기적인 연계가 필요함

〈사업단/연구단/일반과제 구분(참고)〉

사업단	기술별 총괄시스템의 개발과 연구개발결과의 시범적용(Test Bed)을 포함하는 과제로서 정부출연금 500억원 이상, 5년 이상의 연구기간이 소요
연구단	단위·요소기술의 유기적 연계를 통하여 패키지화된 기술을 개발하는 과제로서 정부출연금 50억원 이상
일반과제	단위·요소기술을 개발하는 과제

2. 추진조직

- “안전한 지반굴착기술 개발” 과제는 기초·원천기술, 실용화 기술, 관리정책의 다양한 성격의 연구를 총괄해야 하므로 산, 학, 관과 유연한 관계를 유지하고 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 연구책임자가 필요함
- 원천성격의 기술은 이론정립, 실험 등의 연구내용 위주로 기술정립이 필요하므로 학교 또는 연구기관에서 주도하도록 추진함
- 실용화 기술은 현장적용 가능기술로 생산현장 또는 시공현장을 보유한 기업에서 주도하도록 추진함
- 전체 연구조직은 산, 학, 연이 연계되어 상호보완 및 지원이 이루어지도록 구성함

3. 추진체계

- 연구추진 시 주관 및 협동, 위탁기관 및 참여기업은 모두 성과물이 발생되고, 기관별 성과물이 상호 활용되도록 연구 추진체계를 구성함
- 달성 가능한 성과목표 및 성과지표를 제안·유도하고 연구진행 중 성과목표의 달성 및 관리방안을 주관에서 정립하며, 주관기관은 주기적으로 성과를 관리해야함
- 성과물의 실용화를 우선하여 기술실시 대상기업을 명확히 결정하고, 대상기술이 실용화 가능한 수준으로 성과물이 도출되도록 상시 관리체계를 수립해야함
- 상호 정보 교류가 가능하고 상호 활용, 기술지원이 가능한 추진체계를 수립함

5

인력투입계획 및 소요예산 산정

1절 연구일정에 따른 인력계획

1. 전체사업 인력투입계획

가. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

분류		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
총괄		8.8	19	21.4	38.2	32	119.4
중점 추진 분야 1	1세부과제	0.5	1.1	1.2	1.6	1.5	5.9
	2세부과제	0.5	1.1	1.2	1.6	1.5	5.9
	3세부과제	0.5	1.1	1.1	1.6	1.5	5.8
	4세부과제	0.5	1.1	0.9	1.6	1.5	5.6
	5세부과제	0.5	1.1	0.9	1.6	1.5	5.6
	계	2.5	5.5	5.3	8	7.5	28.8
중점 추진 분야 2	1세부과제	0.5	1.1	1.2	1.6	1.5	5.9
	2세부과제	0.5	1.1	1.2	1.6	1.5	5.9
	3세부과제	0.5	1.1	1.1	1.6	1.5	5.8
	4세부과제	0.5	1.1	0.9	1.6	1.5	5.6
	5세부과제	0.5	1.1	0.9	1.6	1.5	5.6
	계	2.5	5.5	5.3	8	7.5	28.8
중점 추진 분야 3	1세부과제	0.6	1.2	1.7	3.7	2.8	10
	2세부과제	0.6	1.2	1.7	3.7	2.8	10
	3세부과제	0.7	1.6	2	3.7	2.9	10.9
	계	1.9	4	5.4	11.1	8.5	30.9
중점 추진 분야 4	1세부과제	0.6	1.2	1.7	3.7	2.8	10
	2세부과제	0.6	1.2	1.7	3.7	2.8	10
	3세부과제	0.7	1.6	2	3.7	2.9	10.9
	계	1.9	4	5.4	11.1	8.5	30.9

나. 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	2.6	4	4	7	6	23.6	
연구원	1.6	5	3.8	10	10	30.4	
연구보조원	1.6	5	9.2	11.2	10	37	
보조원	3	5	4.4	10	6	28.4	
합계	8.8	19	21.4	38.2	32	119.4	

2. 중점추진분야별 인력투입계획

가. 중점추진분야 1

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계		
계	책임연구원	1	1	1.6	2	1.5	7.1	
	연구원	0.5	1.5	1.5	2	2	7.5	
	연구보조원	0.5	1.5	1	2	2	7	
	보조원	0.5	1.5	1.2	2	2	7.2	
	합계	2.5	5.5	5.3	8	7.5	28.8	
1 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	1.5	
	연구원	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	1.5	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	1.5	
	합계	0.5	1.1	1.2	1.6	1.5	5.9	
2 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	1.4	
	연구원	0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	1.6	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	1.5	
	합계	0.5	1.1	1.2	1.6	1.5	5.9	
3 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	1.4	
	연구원	0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	1.6	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	합계	0.5	1.1	1.1	1.6	1.5	5.8	
4 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	1.4	
	연구원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	합계	0.5	1.1	0.9	1.6	1.5	5.6	
5 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	1.4	
	연구원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	합계	0.5	1.1	0.9	1.6	1.5	5.6	

나. 중점추진분야 2

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계		
계	책임연구원	1	1	1.6	2	1.5	7.1	
	연구원	0.5	1.5	1.5	2	2	7.5	
	연구보조원	0.5	1.5	1	2	2	7	
	보조원	0.5	1.5	1.2	2	2	7.2	
	합계	2.5	5.5	5.3	8	7.5	28.8	
1 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	1.5	
	연구원	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	1.5	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	1.5	
	합계	0.5	1.1	1.2	1.6	1.5	5.9	
2 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	1.4	
	연구원	0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	1.6	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	1.5	
	합계	0.5	1.1	1.2	1.6	1.5	5.9	
3 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	1.4	
	연구원	0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	1.6	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	합계	0.5	1.1	1.1	1.6	1.5	5.8	
4 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	1.4	
	연구원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	합계	0.5	1.1	0.9	1.6	1.5	5.6	
5 세부 기술	책임연구원	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	1.4	
	연구원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	연구보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	보조원	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4	1.4	
	합계	0.5	1.1	0.9	1.6	1.5	5.6	

다. 중점추진분야 3

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계		
계	책임연구원	0.3	1	0.4	1.5	1.5	4.7	
	연구원	0.3	1	0.4	3	3	7.7	
	연구보조원	0.3	1	3.6	3.6	3	11.5	
	보조원	1	1	1	3	1	7	
	합계	1.9	4	5.4	11.1	8.5	30.9	
1 세부 기술	책임연구원	0.1	0.3	0.1	0.5	0.5	1.5	
	연구원	0.1	0.3	0.1	1	1	2.5	
	연구보조원	0.1	0.3	1.2	1.2	1	3.8	
	보조원	0.3	0.3	0.3	1	0.3	2.2	
	합계	0.6	1.2	1.7	3.7	2.8	10	
2 세부 기술	책임연구원	0.1	0.3	0.1	0.5	0.5	1.5	
	연구원	0.1	0.3	0.1	1	1	2.5	
	연구보조원	0.1	0.3	1.2	1.2	1	3.8	
	보조원	0.3	0.3	0.3	1	0.3	2.2	
	합계	0.6	1.2	1.7	3.7	2.8	10	
3 세부 기술	책임연구원	0.1	0.4	0.2	0.5	0.5	1.7	
	연구원	0.1	0.4	0.2	1	1	2.7	
	연구보조원	0.1	0.4	1.2	1.2	1	3.9	
	보조원	0.4	0.4	0.4	1	0.4	2.6	
	합계	0.7	1.6	2	3.7	2.9	10.9	

라. 중점추진분야 4

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계		
계	책임연구원	0.3	1	0.4	1.5	1.5	4.7	
	연구원	0.3	1	0.4	3	3	7.7	
	연구보조원	0.3	1	3.6	3.6	3	11.5	
	보조원	1	1	1	3	1	7	
	합계	1.9	4	5.4	11.1	8.5	30.9	
1 세부 기술	책임연구원	0.1	0.3	0.1	0.5	0.5	1.5	
	연구원	0.1	0.3	0.1	1	1	2.5	
	연구보조원	0.1	0.3	1.2	1.2	1	3.8	
	보조원	0.3	0.3	0.3	1	0.3	2.2	
	합계	0.6	1.2	1.7	3.7	2.8	10	
2 세부 기술	책임연구원	0.1	0.3	0.1	0.5	0.5	1.5	
	연구원	0.1	0.3	0.1	1	1	2.5	
	연구보조원	0.1	0.3	1.2	1.2	1	3.8	
	보조원	0.3	0.3	0.3	1	0.3	2.2	
	합계	0.6	1.2	1.7	3.7	2.8	10	
3 세부 기술	책임연구원	0.1	0.4	0.2	0.5	0.5	1.7	
	연구원	0.1	0.4	0.2	1	1	2.7	
	연구보조원	0.1	0.4	1.2	1.2	1	3.9	
	보조원	0.4	0.4	0.4	1	0.4	2.6	
	합계	0.7	1.6	2	3.7	2.9	10.9	

2절 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

- 세부과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 산정하고, 이를 토대로 중점추진분야의 연구비를 산정하여 총 사업예산 규모를 확정함
- 인건비는 '2015년 학술연구용역 인건비 기준단가'를 적용하여 작성
 - 2015년 학술연구용역 인건비 기준단가의 참여율 100% 기준으로 연봉을 계산한 후 인건비 단가를 예산 작성에 적용
 - 책임연구원 73,390천원, 연구원 56,270천원, 연구보조원 37,610천원, 보조원 28,210천원을 적용함
- 세부 소요예산 내역은 중점추진분야별 연구 내용을 토대로 장비개발이나 현장 실험과 같은 연구비 규모가 커야하는 세부기술에 예산을 추가 배치하였음
- 기타 항목별 예산은 '국토교통부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표 2 연구개발비 비목별 계상기준'을 작성기준으로 활용함
- 간접비는 기관과 학교의 참여를 고려하여 전체예산대비 15%를 기준으로 작성하였음
- 소요예산은 정부출연금을 대상으로 작성하였으며 민간부담금은 참여기업 2개 이상 중소기업 비율 3분의 2이상 참여를 고려하여 총 연구개발비의 25%를 민간부담으로 계상함
 - 예상 항목별 소요예산은 정부출연금에 해당하는 예산으로만 작성함
 - 민간부담금은 전체 소요예산을 책정하는 데에만 활용하고 항목별 소요예산에서는 고려하지 않음

2. 전체사업 소요예산

가. 총괄 소요예산

(단위 : 백만원)

분류	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년 (max)		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	1,000	335	2,000	668	3,000	1,006	5,000	1,672	4,000	1,339	15,000	5,020
중점추진분야 1	300	100	600	200	800	269	1,300	435	1,000	335	4,000	1,339
1-1(세부과제)	60	20	120	40	200	67	300	100	220	74	900	301
1-2(세부과제)	60	20	120	40	160	54	260	87	200	67	800	268
1-3(세부과제)	60	20	120	40	160	54	260	87	200	67	800	268
1-4(세부과제)	60	20	120	40	160	54	260	87	200	67	800	268
1-5(세부과제)	60	20	120	40	120	40	220	74	180	60	700	234
중점추진분야 2	300	100	600	200	800	268	1,300	435	1,000	335	4,000	1,338
2-1(세부과제)	60	20	120	40	160	54	260	87	200	67	800	268
2-2(세부과제)	60	20	120	40	150	50	240	80	180	60	750	250
2-3(세부과제)	60	20	120	40	170	57	280	94	220	74	850	285
2-4(세부과제)	60	20	120	40	170	57	280	94	220	74	850	285
2-5(세부과제)	60	20	120	40	150	50	240	80	180	60	750	250
중점추진분야 3	200	67	400	134	700	235	1,200	401	1,000	334	3,500	1,171
3-1(세부과제)	60	20	120	40	220	74	380	127	320	107	1,100	368
3-2(세부과제)	60	20	120	40	220	74	380	127	320	107	1,100	368
3-3(세부과제)	80	27	160	54	260	87	440	147	360	120	1,300	435
중점추진분야 4	200	68	400	134	700	234	1,200	401	1,000	335	3,500	1,172
4-1(세부과제)	60	20	120	40	220	74	380	127	320	107	1,100	368
4-2(세부과제)	70	24	140	47	240	80	410	137	340	114	1,200	402
4-3(세부과제)	70	24	140	47	240	80	410	137	340	114	1,200	402

나. 예산 항목별 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73.39	190.80	293.56	293.54	513.72	440.32	1731.94	11.55%
	연구원	56.27	90.02	281.34	213.80	562.70	562.70	1710.56	11.40%
	연구 보조원	37.61	60.16	188.04	346.00	421.22	376.10	1391.52	9.28%
	보조원	28.21	84.62	141.04	124.12	282.10	169.26	801.14	5.34%
소계			425.60	903.98	977.46	1779.74	1548.38	5635.16	37.57%
직접비	연구장비/재료비		170.00	378.98	993.18	1446.18	960.14	3948.48	26.32%
	연구활동비		114.40	180.00	226.68	440.00	340.00	1301.08	8.67%
	과제추진비		100.00	157.04	226.68	354.08	340.00	1177.80	7.85%
	연구수당		50.00	100.00	156.00	280.00	251.48	837.48	5.58%
소계			434.40	816.02	1602.54	2520.26	1891.62	7264.84	48.43%
간접비			140.00	280.00	420.00	700.00	560.00	2100.00	14.00%
합계			1000.00	2000.00	3000.00	5000.00	4000.00	15000.00	100.00%

*인건비=소요인력(ManPower) × 단가

3. 중점추진분야별 소요예산

가. 중점추진분야 1

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73.39	73.39	73.39	117.42	146.78	110.08	521.06	13.03%
	연구원	56.27	28.13	84.40	84.40	112.54	112.54	422.01	10.55%
	연구 보조원	37.61	18.80	56.41	37.61	75.22	75.22	263.26	6.58%
	보조원	28.21	14.10	42.31	33.85	56.42	56.42	203.10	5.08%
소계			134.42	256.51	273.28	390.96	354.26	1409.43	35.24%
직접비	연구장비/재료비		55.00	129.49	280.04	400.00	250.00	1114.53	27.86%
	연구활동비		28.58	50.00	43.34	150.00	100.00	371.92	9.30%
	과제추진비		30.00	50.00	43.34	107.04	100.00	330.38	8.26%
	연구수당		10.00	30.00	48.00	70.00	55.74	213.74	5.34%
소계			123.58	259.49	414.72	727.04	505.74	2030.57	50.76%
간접비			42.00	84.00	112.00	182.00	140.00	560.00	14.00%
합계			300.00	600.00	800.00	1300.00	1000.00	4000.00	100.00%

나. 중점추진분야 2

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73.39	73.39	73.39	117.42	146.78	110.08	521.06	13.03%
	연구원	56.27	28.13	84.40	84.40	112.54	112.54	422.01	10.55%
	연구 보조원	37.61	18.80	56.41	37.61	75.22	75.22	263.26	6.58%
	보조원	28.21	14.10	42.31	33.85	56.42	56.42	203.10	5.08%
소계			134.42	256.51	273.28	390.96	354.26	1409.43	35.24%
직접비	연구장비/재료비		55.00	129.49	280.04	400.00	250.00	1114.53	27.86%
	연구활동비		28.58	50.00	43.34	150.00	100.00	371.92	9.30%
	과제추진비		30.00	50.00	43.34	107.04	100.00	330.38	8.26%
	연구수당		10.00	30.00	48.00	70.00	55.74	213.74	5.34%
소계			123.58	259.49	414.72	727.04	505.74	2030.57	50.76%
간접비			42.00	84.00	112.00	182.00	140.00	560.00	14.00%
합계			300.00	600.00	800.00	1300.00	1000.00	4000.00	100.00%

다. 중점추진분야 3

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율 (%)
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73.39	22.01	73.39	29.35	110.08	110.08	344.91	9.85%
	연구원	56.27	16.88	56.27	22.50	168.81	168.81	433.27	12.38%
	연구 보조원	37.61	11.28	37.61	135.39	135.39	112.83	432.50	12.36%
	보조원	28.21	28.21	28.21	28.21	84.63	28.21	197.47	5.64%
소계			78.38	195.48	215.45	498.91	419.93	1408.15	40.23%
직접비	연구장비/재료비		30.00	60.00	216.55	323.09	230.07	859.71	24.56%
	연구활동비		28.62	40.00	70.00	70.00	70.00	278.62	7.96%
	과제추진비		20.00	28.52	70.00	70.00	70.00	258.52	7.39%
	연구수당		15.00	20.00	30.00	70.00	70.00	205.00	5.86%
소계			93.62	148.52	386.55	533.09	440.07	1601.85	45.77%
간접비			28.00	56.00	98.00	168.00	140.00	490.00	14.00%
합계			200.00	400.00	700.00	1200.00	1000.00	3500.00	100.00%

라. 중점추진분야 4

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73.39	22.01	73.39	29.35	110.08	110.08	344.91	9.85%
	연구원	56.27	16.88	56.27	22.50	168.81	168.81	433.27	12.38%
	연구 보조원	37.61	11.28	37.61	135.39	135.39	112.83	432.50	12.36%
	보조원	28.21	28.21	28.21	28.21	84.63	28.21	197.47	5.64%
소계			78.38	195.48	215.45	498.91	419.93	1408.15	40.23%
직접비	연구장비/재료비		30.00	60.00	216.55	323.09	230.07	859.71	24.56%
	연구활동비		28.62	40.00	70.00	70.00	70.00	278.62	7.96%
	과제추진비		20.00	28.52	70.00	70.00	70.00	258.52	7.39%
	연구수당		15.00	20.00	30.00	70.00	70.00	205.00	5.86%
소계			93.62	148.52	386.55	533.09	440.07	1601.85	45.77%
간접비			28.00	56.00	98.00	168.00	140.00	490.00	14.00%
합계			200.00	400.00	700.00	1200.00	1000.00	3500.00	100.00%

6

사전타당성 검토

1절 정책적 타당성

1. 국가전략의 중요성

- 국민의 안전을 최우선으로 하는 현 정부 정책 기조에 부합
- 본 연구단의 기술개발을 통한 정부 정책 실현
 - 서울지역을 중심으로 사회적인 이슈화가 되고 있는 지반함몰 문제에 기술적으로 대응함으로써 여러 가지 지반사고로 인한 국민의 불안감을 감소시키고 안전한 미래 도시 건설을 위한 기술을 확보함
 - 도심지 지반함몰은 인위적인 건설공사에 의하여 빈번히 발생하므로, 대도시의 지중구조물과 인접구조물을 고려한 굴착공법과 보강 그리고 조사/탐사 기술을 강화하여 굴착공사로 인한 재해를 사전에 대비할 수 있음. 장기적인 측면에서도 안전한 도시 개발을 통하여 국가 기간 SOC확충을 유도할 수 있는 기반 조성 역할을 도모할 수 있음.
 - 2014년 12월 국토교통부가 발표한 싱크홀 예방을 위한 ‘지반침하 예방대책’에서 지하공간 통합지도 구축 및 서비스, 굴착 공사 현장 주변의 안전관리 강화, 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리, 지하공간 통합 안전관리 체계의 기반 조성 등이 제시되었으며 본 연구단의 기술 개발을 통해 안전관리 강화와 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리 기술이 개발될 것으로 기대함.
 - 국토교통부의 건설안전정보시스템(<http://www.cosmis.or.kr>)에 따르면 건설현장 발생 공종별 사고사례현황 중 지반굴착에 관련된 사건사고의 발생건수는 108건으로 33%에 달하며, 피해금액은 전체 피해금액의 14.5%를 차지하고 있음. 따라서 지반굴착공사는 건설안전취약공종의 하나로 분류되어 있으며, 안전확보를 위한 안전관리 방안이 매우 시급한 실정임

2. 상위계획 부합성

- 도심지 안전한 지반굴착기술 개발을 지향하는 등 연구단은 ‘박근혜정부 국정목표 및 국정과제(5. 10, 91)’, ‘경제혁신 3개년 계획(18, 26, 31)’, ‘창조경제(전략 2)’, ‘법정계획: 제3차 과학기술기본계획(‘13~’17)’, 제 5차 건설기술진흥기본계획(‘13~’17)의 건설공사 현장의 재해 및 안전사고 저감과 고부가가치 원천기술 확보를 추구하는 방향성에 부합
- 도심지 지반안전 공법 기술은 국정과제 ‘5. 중소·중견기업의 수출경쟁력 강화’를 통해서 중소기업의 새로운 수출동력을 마련하고, ‘10. 교통체계·해운 선진화 및 건설·원전산업 해외진출 지원’에서 해외 건설시장 진출 및 수주 경쟁력 강화를 추진하고 있으며, ‘91. 안전한하고 쾌적한 일터 조성’에서 안전한 지반굴착기술로 건설공사 현장의 재해 및 안전사고 저감에 기여하고자 함
- 경제혁신 3개년 계획은 (18. 중소·중견기업 경쟁력 강화)의 정책 일환으로 굴착 및 보강 관련 중소·중견기업 육성 및 해외 건설시장 진출 기업들의 경쟁력을 강화하고, (26. 융합·신산업 육성)에서 IT기술 기반의 굴착현장 관리 및 영향평가 기술 개발을 추진하며, (31. 해외건설·플랜트 수출 고부가가치화)를 통하여 기술력 기반의 고부가가치 원천기술을 보유·활용하고자 함.
- 창조경제의 (전략 2 벤처·중소기업의 창조경제 주역화 및 글로벌 진출 강화)를 통하여 국내 중소·중견기업이 담당하고 있는 보수·보강 및 도심지 굴착관련 분야에서 중소·중견기업의 기술확보 및 글로벌 시장 진출을 지원함.
- 법정계획: 3차 과학기술기본계획(‘13~’17)을 통하여 국토인프라 선진화를 추구하고 사업화 초기장벽 극복지원을 확대하며 융합 기술 개발을 촉진시키고자 함
- 법정계획: 제5차 건설기술진흥기본계획(‘13~’17)을 통하여 (1-수 Green&Smart 건설기술 개발)로 ③기초·원천·핵심기술 R&D를 추진함.
- 지하안전관리에 관한 특별법: 지하안전을 관리하는 개념으로 국가와 지자체에 지하안전관리 기본계획 수립 의무를 지우고 이와 함께 다양한 지하개발 과정에서 사전·사후 영향평가를 의무적으로 수행해야함.

2절 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

- 본 연구단의 비전으로 제시하고 있는 ‘안전한 도심지 지하개발 환경 구축’ 달성을 위해 본 연구단의 사업목표를 ‘고밀도 도심지 안전한 수직굴착 기술 개발’, ‘고밀도 도심지 안전한 수평굴착 기술 개발’, ‘지반안전 확보를 위한 굴착지반 조사탐사 기술 개발’, ‘IT기술 기반 융복합 공사 관리 및 영향평가 기술 개발’로 구체적으로 제시함
- 중점추진분야로 ‘도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술 분야’, ‘도심지 지반 굴착 영향 최소화를 위한 보강 기술 분야’, ‘굴착공사의 안전확보를 위한 탐사 및 해석 기술 분야’, ‘IT기술을 활용한 굴착공사 및 인전구조물 영향평가 기술 분야’를 설정하고, 이를 실현하기 위한 최적의 과제 구성을 제시함
- 기술수요조사, 기술수준예측조사, 우선순위조사 등을 통해 해당분야 전문가들의 의견을 적극 반영하여 과제 발굴과 구성에 있어서 최대한 객관성을 확보함.
- 본 연구단의 사업목표를 달성하기 위해 각 중점추진과제를 구성하였으며, 적절한 연구개발 목표와 연구내용 및 범위를 설정하여 제시함.

3절 경제적 타당성

1. 비용-편익 분석(Benefit/Cost Analysis)

가. 개요

(1) 분석대상

- 비용-편익 분석은 동 연구단을 구성하고 있는 4개 세부과제 추진 시 소요되는 예산과 발생할 것으로 예상되는 편익을 고려하여 분석함

(2) 편익범위

- 동 연구단의 기술개발에 의한 편익은 굴착공사 중 붕괴사고 발생 저감을 통한 피해액 감소임
- 편익 산정은 미래에 예상되는 붕괴사고 발생 중 동 연구단의 개발기술 적용 시 감소하는 붕괴사고와 피해액을 추정하고, 연구단 개발기술이 기여한 부분을 고려하여 산정함

- 편익 = 연평균 공사중 붕괴사고 발생건수 × 개발기술 적용 대상 시장 비중 × 붕괴사고 발생 시 피해액 × 붕괴사고 저감률 × 개발기술 적용률 × 기술개발성공률 × R&D 기여율

(3) 편익 산출을 위한 요소

- 굴착공사 중 붕괴사고 발생 저감을 통한 피해액 감소분을 환산하기 위하여, 연평균 공사중 붕괴사고, 개발기술 적용대상 시장 비중, 개발기술 적용률, 기술개발 성공률, R&D 기여율, 할인율을 고려함
- 연평균 공사중 붕괴사고 발생건수 : 국내에서 발생할 것으로 예상되는 공사중 붕괴사고 발생건수
- 개발기술 적용대상 시장 비중 : 공사현장 중 개발기술 적용 대상이 되는 지반굴착 공사 현장 비중
- 붕괴사고 발생 시 피해액 : 터파기 및 보강공사에서 붕괴 발생 시 추가되는 시공비용 및 인적피해로 인한 사회적 비용
- 붕괴사고 저감률 : 연구단 개발기술 적용 시 감소할 것으로 예상되는 붕괴사고 비율
- 개발기술 적용률 : 연도별로 개발기술이 공사현장에 적용될 것으로 예상되는 비율
- 기술개발 성공률 : 계획한 기간 내에 목표한 수준까지 기술을 개발하고, 실용화에 성공할 확률
- R&D 기여율 : 본 연구 과제를 통해 달성된 기술 개선 비중
- 할인율 : 화폐의 현재가치 추정을 위한 할인율

(4) 비용의 설정

- 비용은 동 연구단을 구성하는 1~4세부과제의 향후 5년간 예산(안)으로 정부출연금과 민간 참여금의 합한 금액의 현재가치로 산정함

나. 비용-편익 분석 결과

(1) 편익분석

- 연평균 공사중 붕괴사고 발생건수는 매년 100.6건이 발생할 것으로 추정함
- '09년~'13년간 발생한 붕괴사고는 평균적으로 330.6건이 발생하고 있음¹⁾

- '09년부터 '12년까지 붕괴사고는 증가하나 이후 소폭 감소하고 있으며, 안전한 지반 굴착 및 지하수관리기술 개발을 추진하는 등 정부의 적극적인 노력으로 향후 붕괴사고가 증가하지는 않을 것으로 고려함
- '09년부터 '13년까지 평균 붕괴사고 발생건수를 기반으로 향후 약 330.6건의 붕괴사고가 발생하는 것으로 가정함

	2009	2010	2011	2012	2013	평균
붕괴사고 발생건수	220.0	261.0	369.0	402.0	401.0	330.6

*자료 : 재난연감 2010~2013

- '13년 기준 붕괴사고 발생위치 비중을 확인한 결과 약 30.4%가 공사현장에서 발생하는 것으로 조사되었으며, 이를 기반으로 공사중 붕괴사고 발생건수는 매년 100.6건이 발생할 것으로 추정함²⁾
- 붕괴사고가 발생한 공사현장 중 안전한 지반굴착기술이 적용가능할 것으로 예상되는 현장은 약 40%로 추정함³⁾
- 붕괴사고 발생 시 건당 피해규모는 '15년 기준으로 약 50억원이 발생할 것으로 추정하였으며, 이를 기반으로 개발기술이 적용될 것으로 예상되는 '18년에는 피해규모가 약 54.2억원으로 예상됨
- 굴착공사를 수행하는 시공사의 전문가 인터뷰를 통해 약 150억원 규모의 터파기 및 보강공사 중 붕괴발생 시 추가 시공비용 40억원, 인명피해 보상비용 등 사회적 비용 약 10억원 등 총 50억원의 피해액이 발생할 것으로 추정함⁴⁾
 - 면적 60m×500m, 깊이 12m의 터파기 및 보강공사 관련 시공 시 약 150억원이 소요됨
 - 터파기 및 보강공사 중 붕괴 발생 시 약 30%의 추가 재료비가 발생하는 등 40억원 규모의 추가 시공비용이 발생할 것으로 추정함
- 피해액은 매년 연평균 물가상승률 2.7%수준⁵⁾으로 증가하는 것으로 가정함

1) 재난연감 2010~2013, 국민안전처, 2014

2) 재난연감 2013, 국민안전처, 2014

3) 기획연구진 인터뷰

4) A시공사 전문가 인터뷰

5) 2005~2014년간 소비자 평균물가상승률, 한국은행 경제통계시스템

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
붕괴사고 발생시 건당 피해액(억원)	54.2	55.6	57.1	58.7	60.3	61.9	63.5	65.3	67.0	68.8

- 안전한 지반굴착 기술 적용 시 기존 발생하는 붕괴사고를 약 70%가량 저감할 수 있을 것으로 기대됨⁶⁾
- 안전한 지반굴착 기술은 연구단 3차년도인 `18년부터 Test-Bed현장에 적용되기 시작하여 매년 5%씩 공사현장 적용률을 늘려 30%수준을 유지하는 점유목표를 수립함⁷⁾
- 편익 발생기간은 기술진부화, 대체기술 등장 등을 고려하여 기술적용 이후 10년으로 설정함

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
개발기술의 공사현장 적용률	5%	10%	15%	20%	25%	30%	30%	30%	30%	30%

- 기술개발 성공률은 선행연구 결과를 기반으로 30%로 추정함⁸⁾
 - 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사 결과에 의하면 정부 연구개발(R&D)성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사된 바 있으며 이를 준용하여 적용함
- R&D 기여율은 KISTEP의 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판)’에서 권고하고 있는 35.4%를 적용함⁹⁾
 - KISTEP의 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판)’에서는 `13년 7월 국가과학기술심의회에서 심의된 ‘제3차 과학기술기본계획’에서 최근 데이터를 적용하여 새롭게 구한 수치인 35.4%를 활용하는 것을 권고하고 있음
- 화폐의 현재가치 추정을 위한 할인율은 ‘KDI 일반지침(2007년)’인 5.5%를 적용함¹⁰⁾
- 지반굴착기술 적용으로 인한 지반붕괴사고 피해저감 편익의 현재가치는 267.9억원으로 분석됨

6) 기획연구진 인터뷰

7) 상동

8) 2010년 산업기술연구회에 대한 국정감사자료

9) 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판), KISTEP, 2014

10) 일반지침, KDI, 2007

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	계
공사중 붕괴사고 발생건수(건)	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	
개발기술 적용대상 공사현장 비중	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
붕괴사고 발생시 건당 피해액(억원)	54.2	55.6	57.1	58.7	60.3	61.9	63.5	65.3	67.0	68.8	
기술 적용시 붕괴사고 저감율	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	
개발기술의 공사현장 적용률	5%	10%	15%	20%	25%	30%	30%	30%	30%	30%	
개발기술 성공률	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	
R&D기여율	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	
편익(억원)	8.1	16.6	25.6	35.1	45.1	55.5	57.0	58.6	60.1	61.8	423.5
편익의 현재가치(억원)	6.9	13.4	19.6	25.5	31.0	36.2	35.2	34.3	33.4	32.5	267.9

(2) 비용분석

- 정부-민간 투자를 고려한 동 연구단의 총 소요예산은 266.7억원이며, 이를 현재가치로 환산하면 222.1억원임

	2016	2017	2018	2019	2020	합계
소요예산(억원)	13.3	26.7	106.7	66.6	53.3	266.7
소요예산의 현재가치(억원)	12.6	24.0	90.9	53.8	40.8	222.1

(3) B/C ratio 분석

- 동 연구단 편익의 현재가치 267.9억원과 동 연구단의 투입비용의 현재가치 222.1억원을 고려한 B/C Ratio는 1.21로 경제성이 있는 것으로 분석됨

○ B/C ratio = 267.9억원 / 222.1억원 = 1.21

7

과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

1절 안전한 지반굴착기술 개발

연구개발과제명	안전한 지반굴착기술 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도심지 지반안전 확보를 위한 통합형 지반굴착 시공기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 도심지 30m 이상 수직 굴착 안정화 공법 개발 - 인접구조물 안정성을 확보하는 보강 공법 개발 - 도심지 굴착공사에 따른 지반거동 복합탐사기법 개발 - 무선센서 기반 구조물 손상 실시간 평가 기술 개발 - 지반구조 영향평가 및 관리 기술의 수립 및 이행을 위한 정책적 활용 방안 확보
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	<p data-bbox="199 1220 462 1265">□ 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 도심지가 고도화 되고 지상 공간이 포화됨에 따라 지하공간개발은 필수적인 조건으로 경제적·사회적 비용을 최소화하고 향후 지반함몰이 발생하지 않는 친환경적인 시공방법 개발이 요구됨 <div data-bbox="502 1355 1388 1691" style="border: 1px dotted black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 「싱크홀 예방을 위한 지반침하 예방대책」 국토교통부('14.12) <ul style="list-style-type: none"> - 지하공간 통합지도 구축 및 서비스, 굴착 공사 현장 주변의 안전관리 강화, 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리, 지하공간 통합 안전관리 체계의 기반 조성 등 제시 ◆ 「지하안전관리에 관한 특별법」 발의('15. 5, 국회 계류중) <ul style="list-style-type: none"> - 지하안전을 관리하는 개념으로 국가와 지자체에 지하안전관리 기본계획 수립 의무를 지우고 이와 함께 다양한 지하개발 과정에서 사전사후 영향평가를 의무적으로 수행해야함. </div> <p data-bbox="534 1713 1388 1825">※ 2015년 안전 예산이 기존 12,4조원에서 14,6조원으로 대폭 확대되었으며, 지반함몰을 포함한 재난예방보완시설 확충 등의 건설안전관련사업이 4,4조원으로 가장 큰 비중을 보이는 등 건설안전관련 사업의 중요성이 부각되는 시점임.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 고밀도 도심지 굴착 공사에 있어서 상부지반 침하억제 및 관리, 시공비용절감, 취약한 시공환경의 개선도 요구되는 실정

연구개발과제명

안전한 지반굴착기술 개발

- 최근 지반 함몰 및 안전성에 관련하여 국가적인 이슈로 대두가 되고 있으나 지반 내부적인 변화 요소(지하수위 변화, 지하매설물 파손 등)부터 외부적인 변화요소(차량하중, 지진, 지반굴착 등)에 의한 지반거동 해석 및 지반함몰 평가기술이 정립되어 있지 않았음.
※ 국토교통부의 건설안전정보시스템(<http://www.cosmis.or.kr>): 건설현장 발생공종별 사고사례현황 중 지반굴착에 관련된 사건사고의 발생건수는 108건으로 33%에 달하며, 피해금액은 전체 피해금액의 14.5%를 차지
- 이에 따라, 도심지 굴착 공사에 있어서 주변 지반의 거동과 지하매설물을 고려할 수 있는 굴착공법이 요구됨. 또한 이를 적절히 평가할 수 있는 기법 또는 평가 모델이 필요함
- 굴착기술은 보강재료 및 보강기술개발 등과 같은 다양한 방법론적 접근을 통해 보다 정밀하고 정량적인 기술이 연구되어야 하며, 수치해석과 실내모형실험 등의 연구를 통하여 굴착시공 및 지중구조물의 노후화에 기인한 지반함몰에 따른 피해를 최소화함과 동시에, 사전에 예방할 수 있는 보강기술을 개발해야 함.
- 개착/비개착 굴착공법 적용 시 토사나 지하수 유출이 발생하는 경우, 주로 그라우팅 공법을 이용하여 차수 및 보강을 실시하나, 대수층이나 대심도 굴착에 의해 지하수위가 높은 지반에서 다량의 토사나 지하수 유출이 발생하는 경우에는 그라우팅 구근형성이 어려우므로, 적절한 차수 및 보강을 실시하기 위해서는 다량의 그라우팅 재료의 낭비와 그라우팅 재료, 토사 및 지하수 유출로 인한 공사현장 훼손을 감수해야 함.
- 따라서, 도심지 특성에 맞고 주변지반 및 구조물과의 상호 연관성을 고려한 보강 공법과 굴착공사 및 지중구조물의 노후화에 기인한 지반함몰이나 소규모 공동에 대한 긴급 보수 보강 기술 필요한 실정임.
- 또한, 대도시 굴착공사 전/후 지반함몰 분포를 신속하게 평가함으로써, 지자체 및 유관기관의 상시조사에 활용하여 도시형 지반 함몰을 경제적이면서 주기적으로 모니터링하는 시스템을 도입하여 상시관리 방안을 마련하여 관리기관의 역할을 강화.
- 기존 침하 탐사에 주로 활용되는 GPR(지하투과레이더)위주의 단일 탐사로 GPR의 한계(투과심도, 지하수위 하부 감쇠, 자갈층노이즈, 시멘트도로 철망 투과 문제 등)에 봉착할 경우 지하공동탐사가 어려운 실정임. 이러한 단일탐사 방식의 한계를 극복하고 지하공동을 정밀하게 영상화 할 수 있는 고해상도 융합기술 기반의 탐사 해석기법이 필요
- 지반 굴착으로 인한 지하수의 유출은 토립자의 유실을 야기하게 되며, 유실된 빈 공간으로 인하여 지반이 이완되는 효과가 발생하여 지반 구조물의 불안정성을 야기함. 굴착 전 조사된 지반의 조건과 굴착시공기법에 따라 지반 굴착 시 유출수로 인한 토립자 유실 및 지반 이완에 의한 지반 손상도 평가 기술로 굴착전 위험요소를 공유하는 방안이 필요.
- 굴착공사 시 진행되고 있는 계측은 계측관리 기술지침에 따라 이루어지고 있지만 각각의 계측 항목에 대해 독립적으로 계측이 수행되고 있으며 인력을 투입하여 계측이 이루어지

연구개발과제명	안전한 지반굴착기술 개발
	<p>기 때문에 데이터 계측을 통해 최종 분석이 이루어지기까지 상당한 과정과 시간을 거치고 있음.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 무선센서 네트워크를 활용하여 굴착공사 중 계측이 필요한 물리량을 통합적으로 계측하고 관리한다면 공사기간 중 계측분석에 소요되는 시간과 인력 투입을 감소 가능. ○ 굴착영향거리(1H~2H)내에서 발생 가능한 지반침하를 사전에 예측하기 위해 현장적용성이 확보된 고정확도(0.1% 이상) 계측기술의 개발이 시급함. ○ 굴착배면지반의 지반침하, 지하수위 변동, 토립자 유동 등의 지반거동은 지반 굴착 환경에 많은 영향을 끼치기 때문에 이를 선진 계측과 조사 방식을 통해 사전에 분석하고 연구하여 굴착에 의한 영향을 최소화하는 노력이 필요함.
□ 기술동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지반거동 해석 및 지반 함몰 평가기술의 경우 수치 모델링 기법이 제한적으로 활용되고 있으며, 축소모형을 이용한 실험적 거동분석 및 평가는 거의 없는 실정 <ul style="list-style-type: none"> - 미국의 경우 NASA의 레이더 기술을 이용한 대형 싱크홀 예측 기술이 있으나 자연적인 대형 지반함몰에 국한되어 적용되는 기술임. 지반의 수평이동을 바탕으로 싱크홀과의 상관관계 연구중 - 미국지질조사국은 함몰 지도 및 3차원 지하 투시 이미지 레이더망을 구축하여 취약지반에 대한 DB를 확보함으로써 모니터링 및 함몰 대비에 용이할 수 있도록 연구를 진행 중 ○ 개착식 지반굴착 시 토류구조물을 구성하는 앵커, 락볼트 등의 시공 상태를 파악하고, 주변 지장물과의 관계를 파악하여 안전을 확보. <ul style="list-style-type: none"> - 조사장비로 GPR 장비가 사용되고 있으나, 기존 GPR 기술은 유효 거리가 2~3미터 이내로 제한적이며, 지반의 수분함유량이 많을 경우 적용이 어려움. 이러한 단점을 극복하고 안전한 굴착을 지원하기 위해서 복합탐사 기법이 요구됨. ○ 국내의 토류벽 설계기준은 1967년 건설부에서 발간한 “건축공사 표준 시방서” 3장 토공사에 3.2 흙막이(토류)편으로 널말뚝, 버팀띠장, 흙막이 떼어내기 등의 내용이 수록된 것이 시초이며, 이후 “구조물기초 설계기준”이 제정되고, 최근의 개정작업으로 ‘토압, 수압, 인접 구조물에 안정성 검토 방법, 계측 기준’ 등이 추가, 수정되었음. <ul style="list-style-type: none"> - 각 기관의 설계 매뉴얼 별로 설계외력, 해석방법, 주변구조물과의 관련성 파악 등 검토 항목과 안전율, 관리치 설정이 상이하여, 현장의 혼란이 있음. - 특히 경제적인 시공을 위하여 각 관리 주체별로 다른 안전율을 적용하고 있어서 도심지에 공사에 있어서는 일관된 기준의 개발이 요구됨. ○ 지하매설물 중 하수관거에서도 비개착 방식을 다양하게 적용하고 있으며 1995년 용산구에 시범적으로 비개착 방식의 하수관거 설치가 시작된 이후로 시공횟수가 늘어가고 있으나 아직까지는 그 사례가 많지 않은 실정. <ul style="list-style-type: none"> - 하수관거에서의 비개착식 방법은 터널에서와 마찬가지로 기계화/자동화로 시공되기 때

연구개발과제명

안전한 지반굴착기술 개발

문에 초기 비용이 크고 순공사비가 굴착방식에 비해 높은 특징.

- 비개착식 굴착공법에 의한 하수관거 교체 공법은 마이크로 터널링, 제트 절삭공법, 충격식 몰링, 충격식 래밍, 오거 보링 등이 있음. 비개착 굴착공법은 대부분 해외 기술이 이용되기 때문에 로열티 지불 문제와 전문인력 확보가 어려움.
- 2010년 환경부에서는 “상하수도망 최적관리기술” 연구를 통해, 상하수관거 비개착 보수 기술을 제안한 바 있음.
- CCTV를 장착한 로봇 탐사기술과 지상 조사 장비 등을 활용한 기술로 조사 이후 필요에 따라 비개착 굴착을 수행하도록 하고 있음.
- 최근에는 IT기술을 활용하여 계측자료의 실시간 모니터링 기술이 각광받고 있음. 현장에서 측정된 다양한 계측자료들을 IT기술을 접목하여 가시화하거나 모바일 등의 통신 수단을 활용하여 관리자에게 통보하는 것을 목적으로 함. 예를 들어, 미시추 구간 및 막장 전방 특성 예측이나 설계 지반정보 및 시공 중 지반정보 등을 실시간으로 다룰 수 있는 장점이 있음.
- 굴착부분 적용할 수 있는 IT기술은 기존에 상시 모니터링 시스템보다 진보된 기술이 요구되며 계측된 데이터의 자동화된 2차 가공을 통해 온라인상에 게시되고 설계자나 공사 관리자에게 통보함으로써 보다 현실적인 계측 관리가 요구되는 상황임. 또한, 인접 구조물에 대한 영향평가가 동시에 이루어져야 하기 때문에 이러한 계측 자료들과 IT기술을 활용한 새로운 개념의 기술 개발이 요구됨.
- 현재 굴착으로 인한 인접 구조물에 대한 계측은 국내에서도 진행되고 있으나 계측기간 장기화에 따른 계측기 내구성 부족으로 데이터 활용에 문제가 대두됨.
- 자동계측시스템의 경우 실시간으로 필요이상 무의미한 데이터 축적으로 공학적인 판단을 저해하고 이러한 체계를 통합적으로 관리 및 담당해야 된다는 인식이 부족한 실정임.
- 방대한 데이터를 효율적으로 처리할 수 있는 기술과 계측 데이터간의 상관관계로 체계적인 공학적 판단을 수행할 기술이 요구됨.

3. 연구개발 내용

□ 세부과제별 연구내용

[1세부과제] 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술

- (1-1) 도심지 수직 굴착 시 지반변위 및 함몰 방지를 위한 장비 개발
 - 수직 굴착 시 변위제어가 가능한 시작품 및 장비 개발
 - 굴착에 따른 인접지반 평가를 위한 굴착 모델 개발
 - 굴착성능 및 보강조사평가 요소 기술 검증을 위한 테스트베드 총괄 운용
- (1-2) 굴착공사로 인한 지반함몰 평가 기법 개발
 - 지반함몰 발생에 따른 지반거동 메카니즘 분석
 - 외부 환경변화(동적환경) 및 위험 시나리오를 고려한 지반안전 평가 기법 개발

연구개발과제명

안전한 지반굴착기술 개발

- 모형굴착 시험을 통한 굴착 평가 기법
- 지반변형, 지반함몰의 시각화

- (1-3) 도심지 대심도 수직굴착을 위한 연속벽 설치 기술 개발
 - 대심도(30m 이상급) 수직굴착용 공법 개발
 - 대심도 굴착을 위한 굴착공법 설계 가이드라인 제시
 - 대심도 굴착 공법의 적용성 검토를 위한 수치해석 기법 개발
 - 테스트베드 적용을 통한 기술 상용화 실시

- (1-4) 침하억제형 지하횡단 시설물 굴착기술 개발
 - 지하시설물 횡단 기준(도로, 철도)에 부합하는 신형식 기술 개발
 - 강관의 압입과 굴착에 따른 지표면 거동 분석
 - 강관하 영구지보재의 재료 특성에 따른 효율성 연구
 - 지하구조물간 연결통로 구축을 위한 가이드라인 제시

- (1-5) 안전한 지하공간 조성 및 관리를 위한 정책 연구(추후 분리공모 예정)
 - 지하공간 조성의 환경적 사전 안정성 평가 항목 및 지침 수립
 - 안전한 지하공간 조성을 위한 법·제도 개선 사항 및 신규 제정 방안 수립
 - 지하공간의 친환경적 활용 증진을 위한 관련 법·제도 적용 효과 이행평가 방안 수립
 - 지반굴착 안정성 확보를 위한 도심지 굴착공사의 친환경적 관리 지침 마련

[2세부과제] 도심지 지반굴착으로 인한 영향 최소화를 위한 보강 기술

- (2-1) 신개념 충전재료의 개발과 충전공법 개발
 - 자가치유 혼화재를 이용한 그라우팅 재료 개발
 - 자가치유 혼화재 기반의 그라우팅 재료에 대한 지반 내 공동 주입기술 개발
 - 테스트베드 적용을 기반으로 충전재 및 공법에 대한 활용지침서 제시

- (2-2) 수치해석을 통한 보강 해석 기법 및 안정화 평가 기법 개발
 - 침투를 고려한 보강효과 연계해석이 가능 수치해석 기법 개발
 - 근거리 사진계측과 실내모형시험을 통한 수치해석 기법 검증
 - 테스트베드를 통한 실대형 실험과 수치해석 결과 검증
 - 지하수위와 불포화도를 고려한 지반 안정성 평가 및 해석 모델 개발

- (2-3) 굴착공사 중 토사 유출방지를 위한 급속 동결 one-stop 운용 방안 구축
 - 지반 취약요소를 고려한 동결공법의 적용범위 제시
 - 동결 범위에 따른 액화가스 주입구(동결관) 배치 방안 제시
 - 실시간 모니터링 및 유량조절이 가능한 급속지반동결시스템 개발
 - 현장 실증시험을 통한 급속 동결 one-stop 운용 방안 검증

연구개발과제명

안전한 지반굴착기술 개발

- (2-4) 굴착면 차수/보강용 박층 라이너형 보강재료 개발
 - 현장 여건을 고려한 타설장비 구축과 현장 시공
 - 박층 라이너형 타설공법 설계 패턴 제시 및 검증
 - 기존 보강재료와 박층 라이너 타설공법의 경제성 비교 분석
 - (2-5) 친환경 고화제를 활용한 함몰 가능 지반 보강 그라우팅 시스템 개발
 - 대수층, 지하수위가 높은 지반에 적용 가능한 친환경 고화제 개발
 - 강도 및 내구성을 향상을 위한 첨가제 및 배합기술 개발
 - 함몰가능 지반에 대하여 그라우팅 시공시간을 절감시키는 주입 펌프 개발
 - 시공중 개량체 품질 확보가 가능한 프로그램 개발
- [3세부과제] 굴착공사 안전확보를 위한 고정밀 탐사 및 해석 기술 개발
- (3-1) 지반함몰 조사를 위한 복합탐사 해석기법 개발
 - 도심지 환경 노이즈를 고려한 복합탐사기법 운용 방안 제시
 - 복합탐사자료의 동시취득, 실시간 해석을 위한 역산기법 및 해석 알고리즘 제시
 - 복합탐사결과 활용을 위한 지도정보 공유 기술 개발
 - (3-2) 지반함몰 조사를 위한 다채널 고정밀 탐사 시스템 개발
 - 탐사자료와 위치 정보를 연동한 실시간 자료분석 GPR 탐사 시스템 구축(심도 5m 이상)
 - 탐사시스템 활용을 위한 매뉴얼 작성
 - 테스트베드 적용을 통한 개선된 장비 검증
 - (3-3) 탐사자료를 활용한 지반함몰 예상지역 위험도 평가
 - 복합물리탐사 자료를 이용한 지반함몰 예측 모델 개발
 - 위험성의 영향 요인 평가 및 Map 구현
 - 실증실험을 통한 적용성 검증
- [4세부과제] IT기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향 평가 기술 개발
(추후 분리공모 예정)
- (4-1) IT기반 계측을 통한 안전관리 기술 개발
 - IT기술(온라인, 모바일 이용)을 활용한 계측관리 체계 구축
 - 굴착공사 유형별 안전점검 체계 구축
 - 굴착공사현장 및 인접시설물 특성을 고려한 통합 안전관리 방안 제시
 - 통합 굴착 안전관리 테스트베드 운용
 - (4-2) 지반 손상도 평가를 위한 계측 장비 및 센서 개발
 - 지반 손상도 평가를 위한 무선센서 모듈 개발

연구개발과제명	안전한 지반굴착기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> - 무선센서 네트워크 구축을 통한 통합 계측 장비 개발 - 테스트베드 적용을 통한 무선 네트워크 고도화 <ul style="list-style-type: none"> ○ (4-3) 굴착공사 현장 및 주변 지반손상도 평가 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 굴착공사 유형별 계측기반 지반 손상도 평가 기술 - 인접 구조물 손상진단을 위한 손상진단 알고리즘 개발 - 테스트베드 적용을 통한 평가 모델의 타당성 검토 - 지반 손상도 및 구조물 계측자료 연계를 통한 예경보 기준 제시
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> ○ 각 단위과제별로 연구기간 내 현장적용이 가능한 기술, 기술별 달성목표에 대한 검증방법, 내용 및 검증시기 등을 제시하고, 각 단위과제별 연구성과가 집약된 최종 성과물의 현장적용방안을 구체적으로 수립 ○ 개발결과물의 특허출원 등을 통한 실수요처 기술이전 적극 추진 및 현장 활용성 도모 ○ 총연구기간 내 단계별 연구개발 목표 설정 및 실현 전략 제시 <ul style="list-style-type: none"> ※ 예시 : 1단계(요소기술 개발 단계), 2단계(시제품 제작 등 개발기술 구현단계), 3단계(테스트베드 적용, 검증 등 완성단계)
□ 추진체계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 공모는 분리공모과제를 제외한 연구단 컨소시엄 공모임 <ul style="list-style-type: none"> - 분리공모과제의 연구수행기관은 추후 별도 선정되며, 선정 이후 본 연구단 내 해당 세부 과제의 공동연구기관으로 편입 예정임 - 연구단 컨소시엄 신청자는 분리공모과제를 포함(연구내용 및 연구개발비 등 포함, 연구수행기관 제외)한 연구계획을 수립하여 제안하되, 분리공모과제의 편입 후 통합추진을 고려하여 연계전략을 면밀히 수립하여 제시 바람 ○ 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 개발기술의 현장적용을 통한 검증 강화 및 적용사례 확보 - 실질적인 기술사업화 추진을 위한 실시기업 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> ※ 공동구 설계시공사, 시공장비 제작업체 및 공동구 발주관리기관 등을 연구수행체계에 적극 포함 ○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴 - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영 ○ 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용

연구개발과제명	안전한 지반굴착기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문 ○ 연구신청자는 과도한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모 ○ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요

5. 최종성과물

- 주요 최종성과물
 - [1세부과제] 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술 개발
 - (1-1) 도심지 수직 굴착 시 지반변위 및 함몰 방지를 위한 장비 개발
 - 상호 역회전식 보강체 삽입형 오거 장비
 - 실대형 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
 - 수직 굴착 장비 제어 시스템
 - (1-2) 굴착공사로 인한 지반함몰 평가 기법 개발
 - 국내외 지반함몰 사례 조사 보고서
 - 실내실험을 이용한 다양한 내외부 환경특성 모사 매뉴얼
 - 지반 거동 특성 평가 방법 및 지반함몰 메커니즘에 따른 지반 건전성 평가방법
 - 지반변형 및 지반함몰의 시각화 기법
 - (1-3) 도심지 수직굴착을 위한 연속벽 설치 기술 개발
 - 가이드를 이용한 연속벽 설치에 관한 시공매뉴얼
 - 테스트베드 적용 및 성능 검증 보고서
 - 가이드를 이용한 연속벽체 시작용품 제작
 - 고심도 적용 및 절삭부 수준 결정을 위한 수치해석 방법
 - (1-4) 침하억제형 지하횡단 시설물 굴착기술 개발
 - 강관압입방식을 이용한 지하구조물 설치 매뉴얼
 - 실내 성능검증 및 테스트베드 적용 결과
 - 미구경 강관 활용방안에 대한 침하 및 구조 안정성 검토 방법
 - (1-5) 안전한 지하공간 조성 및 관리를 위한 정책 연구(추후 분리공모 예정)
 - 국내외 관련 정책 및 적용 전과정 모니터링 기반의 정책 인벤토리
 - 사전 안정성 평가 항목 및 지침
 - 신규 및 관련 정책 세부 개선안
 - 정책 적용, 활용에 대한 이행평가 방안
 - 지하공간의 활용 및 사용 확대를 위한 친환경적 관리 지침

연구개발과제명

안전한 지반굴착기술 개발

[2세부과제] 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반보강 기술 개발

- (2-1) 신개념 충전재료의 개발과 충전공법 개발
 - 지반공동 보강용 자가치유 혼화재를 이용한 그라우팅 재료
 - 자가치유 혼화재 기반의 그라우팅 재료 주입 공법
 - 자가치유 혼화재 기반의 그라우팅 보강기술에 대한 활용지침서
- (2-2) 수치해석을 통한 보강 해석 기법 및 안정화 평가 기법 개발
 - 지하수위 위치와 불포화도를 고려한 지반공동현상에 대한 주변지반안정성 해석 모델 및 가이드라인
 - 실험실 실험결과와 수치해석 기반의 안정화 평가결과의 비교/분석 결과 보고서
 - 지하수위와 불포화도를 고려한 지반 안정성 평가 모델
- (2-3) 굴착공사 중 토사 유출방지를 위한 급속 동결 one-stop 운용 방안 구축
 - 동결관의 상방향 액화가스 주입이 가능한 액화가스 주입시스템
 - 지반 취약요소를 고려한 동결공법의 적용범위 산정법
 - 실시간 모니터링 및 유량조절이 가능한 급속지반동결 시스템
 - 급속동결공법의 시공 procedure 및 매뉴얼
- (2-4) 굴착면 차수/보강용 박층 라이너형 보강재료 개발
 - 타설장비 제안 및 설계/시공 매뉴얼
 - 타설 공법 및 설계패턴(안) 제시
 - 타설면 부착강도 최소 0.5 MPa (재령 28일 이내) 확보
 - 경제성 분석 보고서
 - 테스트베드 적용 및 성능 검증 보고서
- (2-5) 친환경 고화제를 활용한 함몰 가능 지반 보강 그라우팅 시스템 개발
 - 대수층, 지하수위가 높은 지반에서 적용 가능한 친환경 고화제
 - 친환경 고화제의 품질 관리시험법 표준 정립
 - 시공성 및 경제성 분석 보고서
 - 함몰가능 지반에 대하여 신속 시공이 가능한 주입 펌프 개발
 - 시공중 개량체 품질 확보가 가능한 프로그램

[3세부과제] 굴착공사 안전확보를 위한 고정밀 탐사 및 해석 기술 개발

- (3-1) 지반함몰 조사를 위한 복합탐사 해석기법 개발
 - 복합탐사자료의 동시취득, 실시간 해석을 위한 역산기법 및 해석 알고리즘
 - 복합탐사결과 활용을 위한 지도정보 공유

연구개발과제명	안전한 지반굴착기술 개발
---------	---------------

- (3-2) 지반함몰 조사를 위한 다채널 고정밀 탐사 시스템 개발
 - 탐사자료와 위치 정보를 연동한 실시간 자료분석 GPR 탐사 시스템
 - 탐사시스템 활용을 위한 매뉴얼
 - 실시간 고속처리 소프트웨어
 - 테스트베드 적용 및 성능 검증 보고서

- (3-3) 탐사자료를 활용한 지반함몰 예상지역 위험도 평가
 - 복합물리탐사 자료를 이용한 지반함몰 예측 모델
 - 위험성의 영향 요인 평가가 반영된 Map 구현
 - 테스트베드 적용을 통한 모델 검증 보고서

[4세부과제] IT기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향 평가 기술 개발
(추후 분리공모 예정)

- (4-1) IT기반 계측을 통한 안전관리 기술 개발
 - 계측데이터와 연계, 안전설계(DFS) 및 위험요소 프로파일(Hazard Profile)에 기반한 안전 점검 매뉴얼 개발
 - 굴착공사 및 인접 시설물의 특성을 고려한 통합 안전관리 체계

- (4-2) 지반 손상도 평가를 위한 계측 장비 및 센서 개발
 - 지반 손상도 평가를 위한 무선센서 모듈 시제품
 - 무선센서 네트워크 구축을 통한 통합 계측 장비 제작
 - 무선센서 네트워크 현장 적용 및 검증 보고서

- (4-3) 굴착공사 현장 및 주변 지반손상도 평가 기술 개발
 - 지반 함몰 위험도 평가 가이드라인
 - 인접 구조물 손상진단을 위한 손상진단 알고리즘
 - 지반 손상도 및 구조물 계측자료 연계를 통한 예경보 기준
 - 테스트베드 적용을 통한 모델 검증 보고서

6. 연구기간 및 지원예산

- 활용방안
 - 향후 대도시를 중심으로 급증할 것으로 전망되는 국내 굴착공사 관련 건설사업에 개발기술 적극 활용

 - 세계적 수준의 안전한 굴착 기술의 설계시공 기술 확보로 개발도상국 중심으로 개발기술의 해외 수출(설계지원, 기술이전 및 사업수주 등)

 - 도로, 철도 등 타 SOC 건설사업 추진시 침하 억제형 굴착기술 적극 활용

 - 도심지 굴착 공사 가이드라인 및 정책안 활용

연구개발과제명	안전한 지반굴착기술 개발
---------	---------------

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2020.02. (4년 6개월)
 - 1차년도 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2016.02. (6개월)
- 총 정부출연금 : 15,000백만원 이내(분리공모과제 포함)
 - 1차년도 정부출연금 : 2,000백만원 이내(분리공모과제 제외)
 - ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
 - ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
 - ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수(분리공모과제의 경우 신청시 및 2차년도는 분리공모과제 단위에서 기업부담금 비율 준수)
 - ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
 - ※ 분리공모과제 총 정부출연금 : (1-5) 153백만원, (2-3) 1,154백만원, (3-2) 942백만원

8. 기 타

- 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부과제의 주관연구책임자 또는 총괄과제의 연구책임자로 참여하여야 함
 - ※ 연구단장은 연구단의 효율적 운영관리를 위해 총괄과제 수행 가능
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

연구개발과제명

안전한 지반굴착기술 개발

- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정 보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구 추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
- 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항
 - 주기적 특허 및 시장 동향 조사 실시
 - 총 연구기간 중 최소 2회(중간/종료 단계) 이상의 연구성과 점검 및 파급효과 분석을 실시(별도 보고서 제출)
 - 실용화 대상 기술에 대한 기술설명서(SMK)를 작성하여, 연구개발 완료시점에 제출
- 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「국가연구시설장비 공동활용 서비스」 우선 검색 활용
 - ※ <http://nfec.ntis.go.kr>

연구개발과제명

안전한 지반굴착기술 개발

○ 기타 세부적인 연구내용, 주요 성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 ‘안전한 지반굴착기술 개발기획’ 기획보고서 참조

○ 과제별 연구기간 및 공모방식

세부과제명	연구내용	총 연구 기간 (연차)	공모방식		금회 공모
			컨소 시엄 공모	분리 공모	
【1세부과제】 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반굴착 기술 개발	(1-1) 도심지 수직 굴착 시 지반변위 및 함몰 방지를 위한 장비 개발	1~5	○		○
	(1-2) 굴착공사로 인한 지반함몰 평가 기법 개발	1~5	○		○
	(1-3) 도심지 대심도 수직굴착을 위한 연속벽 설치 기술 개발	1~5	○		○
	(1-4) 침하억제형 지하횡단 시설물 굴착기술 개발	1~5	○		○
	(1-5) 안전한 지하공간 조성 및 관리를 위한 정책 연구	1~5		○	○
【2세부과제】 도심지 지반안전 영향 최소화를 위한 지반보강 기술 개발	(2-1) 신개념 충전재료 개발과 충전공법 개발	1~5	○		○
	(2-2) 수치해석을 통한 보강 해석 기법 및 안정화 평가 기법 개발	1~5	○		○
	(2-3) 굴착공사 중 토사 유출방지를 위한 급속 동결 one-stop 운용 방안 구축	1~5	○		○
	(2-4) 굴착면 차수/보강용 박층 라이너형 보강재료 개발	1~5	○		○
	(2-5) 친환경 고화제를 활용한 함몰 가능 지반 보강 그라우팅 시스템 개발	1~5	○		○
【3세부과제】 굴착공사 안전확보를 위한 고정밀 탐사 기술 개발	(3-1) 지반함몰 탐사를 위한 복합탐사 해석기법 개발	1~5	○		○
	(3-2) 지반함몰 조사를 위한 다채널 고정밀 탐사 시스템 개발	1~5	○		○
	(3-3) 탐사자료를 활용한 지반함몰 예상지역 위험도 평가	1~5	○		○
【4세부과제】 IT기술을 활용한 굴착공사 및 인접구조물 영향 평가 기술 개발	(4-1) IT기반 계측을 통한 안전관리 기술 개발	1~5		○	○
	(4-2) 지반 손상도 평가를 위한 계측 장비 및 센서 개발	1~5		○	○
	(4-3) 굴착영향거리에 따른 지반손상도 평가 기술 개발	1~5		○	○

2절 평가기준 설정

1. 평가항목

기준항목	세 부 항 목
연구개발목표 (10점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 적절성타당성(5점)
	성과지표 설정의 명확성 및 적정성(5점)
연구개발내용 (20점)	RFP와의 적합성(5점)
	과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점)
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성(5점)
	연차별 연구내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획 (20점)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성(5점)
	연구추진 전략의 구체성 및 타당성(5점)
	연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점)
	연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
개발기술의 실용성 및 경제성 (40점)	개발기술의 혁신성 및 차별성(10점)
	활용방안의 적절성 및 구체성(10점)
	개발기술의 실용성 및 사업성(10점)
	개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)(10점)
연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10점)	연구전문성 및 해당분야 실적(5점)
	연구과제 관리 및 운영 능력(5점)

※ 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치

가. 연구개발 목표

- 도심지에서의 안전한 지반굴착 기술관련 핵심개발 과제 도출을 목적으로 최종 목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종목표를 설정하여 제시
- 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위하여 국토교통부 R&D 성과지표에 따라 명확한 성과지표 설정과 평가기준 제시

나. 연구개발 내용

- 기술개발과 실현을 위한 체계적이고 실천적인 과제 구성이 필요함.

- 기획과제에서 제시한 연구목표 및 기술개발 요청사항에 대하여 제안과제의 적정성, 상향된 목표 제시여부 평가
- ‘체계적인 과제 구성 여부 평가
- 최종목표 달성을 위한 각 과제간 연계 여부 및 과제간 개발사항의 중복 여부 및 차별성, 적정성 평가

다. 추진전략 및 계획

- 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 연구개발계획서에 필히 제시하며 이를 통해 향후 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함.
- 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진 판단
- 효율적인 굴착공사 관리로 안전한 도시 생활 확보의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연의 기관구성의 적정성 및 연계성
- 과제의 단계별 추진사항이 연구목표 달성을 위해 타당한가를 평가하고 연구개발 사항과 이를 위한 구체적 추진방안 수립 여부
- 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비의 적정하게 편성 여부

라. 개발기술의 실용성 및 경제성

- 기관선정의 우선순위는 도심지 굴착공사 관리 분야에서의 시장점유율 및 부가가치 확대, 세계최고 수준의 기술경쟁력 확보 등으로 개발기술의 실용성 및 경제성에 초점을 두어 선정함.
- 현재 기술수준과 비교하여 목표한 개발기술의 향상정도, 기술선도국 대비 예상수준, 기술의 경쟁력 수준 등에 대하여 정성적 또는 정량적 평가 여부
- 연구기관 또는 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 및 사업화 방안이 성과지표의 구체적 항목으로 제시 여부
- 개발되는 과제 결과는 실험실 내의 제한된 범위와 조건과는 달리 현장의 여건과 환경을

고려한 실질적이고 실현가능한 기술 여부

- 개발기술의 경제적 기대성과로서 투자 및 파급효과 등에 대한 평가방안이 구체적으로 제시 여부

마. 연구책임자의 전문성 및 관리능력

- 연구책임자는 과제 내의 세부과제 및 세세부과제 간에 유기적인 결합이 원활하게 추진 되도록 할 필요가 있음.
- 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제구축은 물론 과제내에서 진행되는 과제 관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 함.
- 연구책임자는 국토교통부에서 실시하는 해당분야의 산업육성, 발전정책 및 종합계획 수립 등 관련 업무 추진 시, 기술자문 및 적극적인 업무협조 역할을 수행해야 함.

2. 가점 및 감점기준

가. 연구수행 형태에 따른 가점

□ (1안) 일반적인 기준

- 대기업이 주관연구기관으로서
 - 중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1점
 - 중소기업이 참여하는 경우 : 2점
- 기업 이외의 기관이 주관연구기관이고, 참여기업이 있는 경우 : 1점
- 중소기업이 주관연구기관인 경우 : 2점

□ (2안) 연구단 수정 기준

1) 일반과제의 경우

- 중소기업이 주관연구기관인 경우 : 2점
- 대기업이 주관연구기관인 경우 : 1점
- 기업 이외의 기관이 주관연구기관이며
 - 중소기업/참여기업이 1/2이상인 경우 : 2점

- 중소기업이 과제에 참여한 경우 : 1점
(단, 참여기업은 과제를 직접 수행하는 기관으로서 위탁기관 및 단순 참여기업은 제외한다.)

2) 연구단 과제의 경우

- 산, 학, 연이 모두 참여하며
 - 세부 주관연구기관으로 산, 학, 연이 각각 구성된 경우 : 2점
 - 세부 주관연구기관으로 중소기업이 구성된 경우 : 1점
- 산, 학 또는 산, 연으로 구성되며
 - 중소기업이 세부 주관연구기관의 1/3 이상인 경우 : 2점
 - 중소기업이 세부 주관연구기관으로 구성된 경우 : 1점

나. 총연구개발비에 대한 연구신청기관의 연구개발비 부담비율에 따른 가점

- 총연구개발비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구개발비(현금)의 비율에 따라 신청기관 별로 가점 부여(단, 경쟁응모인 경우에 한함)
 - 신청기관 중 연구개발비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 1.0점
 - 그 외 기관은 최대 연구개발비(현금) 부담비율을 기준으로 연구개발비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여

$$\text{부여가점} = 1.0 \times \frac{\text{해당 기관 연구개발비 부담비율}}{\text{신청기관 중 최대 연구개발비 부담비율}}$$

다. 추적평가결과에 따른 가점

- 국토교통부기술 연구개발사업 관리지침의 가점 및 감점 기준에 따르되, 이 지침 시행 이전에 협약체결된 과제의 추적평가결과에 따른 가점 및 감점은 종전 지침에 의함

라. 보안과제 등과 관련된 가점 및 감점

- 현재 개정 작업중에 있는 「국토교통부소관 연구개발사업 관리지침」이 신청서 접수전에 완료될 경우에 한하여 반영하되, 이 경우 가점 및 감점기준은 별도 공지 예정

* 『국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정(’11.3.28)』 제7조 4항 1호 및 [별표 1의3] 관련

마. 기타

- 기획과제에 대한 과제제안자가 본 과제의 주관(공동)연구책임자로 참여시 : 가점 2점(가입 여부)
- 여성연구자가 신규과제 주관연구책임자로 참여시 : 가점 1점
- 최근 3년 이내에 우수 논문(임팩트팩터 15 이상) 실적이 있는 연구책임자가 신규과제를 신청할 경우 : 가점 1점
- 연구개발과제 선정 후 협약포기 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토교통기술 연구개발사업 관리지침」 제정 이후 협약과제 대상) : 3점 감점
- 연구개발과제의 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토교통기술 연구개발사업 관리지침」 제정 이후 협약과제 대상) : 3점 감점

별 침

-후보과제 카드-

1. 과제명		- 다양한 환경특성에서의 지반거동 및 함몰 평가를 위한 원심모형실험 연구													
2. 연구목적 및 배경		<p>- 최근 지반 함몰 및 안전성에 관련하여 국민적인 대두가 되고 있는 바, 지반 내부적인 변화 요소(지하수위 변화, 지하매설물 파손 등)부터 외부적인 변화요소(차량하중, 지진, 지반굴착 등)에 의한 지반거동 해석 및 지반 함몰 평가기술이 정립되어 있지 않은 실정임. 이는 우리나라 뿐 아니라 해외 선진국에서도 지반시설 노후화에 따라 지반함몰 현상이 발생하고 있어 국내외 관심이 증대되고 있으며 피해사례 또한 보고되고 있음.</p> <p>- 본 연구에서는 원심모형실험을 이용해 다양한 지반 환경특성을 모사하는 단계부터 이에 따른 거동 특성 평가기술을 개발하고 최종적으로는 지반 함몰 메커니즘을 규명하고자 함</p>													
3. 연구개발 목표		<ul style="list-style-type: none"> ○ 원심모형실험을 이용한 다양한 내외부 환경특성 모사 ○ 다양한 환경특성에 따른 지반의 거동 특성 평가 기술 정립 ○ 내외부 환경 변화에 변화에 따른 지반의 함몰 메커니즘 규명 													
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<p>- 지반거동 해석 및 지반 함몰 평가기술의 경우 수치 모델링 기법이 제한적으로 활용되고 있으며, 축소모형을 이용한 실험적 거동분석 및 평가는 거의 전무한 실정</p> <p>- 아래 표에는 광역 지반 탐사 및 함몰된 지반 예측기술을 첨부함</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">구분</th> <th style="width: 40%;">보유기술명</th> <th style="width: 15%;">보유기관</th> <th style="width: 35%;">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">국외</td> <td>NASA 레이더 기술을 이용한 대형 싱크홀 예측 기술</td> <td>NASA</td> <td>지반의 수평이동을 바탕으로 싱크홀과의 상관관계 연구 중</td> </tr> <tr> <td>함몰구멍 지도 및 3차원 지하 투시 이미지 레이더(GPIR:Ground Penetrating Imaging Radar) 등</td> <td>미국지질조사국(USGS)</td> <td>취약지반에 대한 DB를 확보함으로써 모니터링 및 대비에 용이할 수 있도록 함</td> </tr> </tbody> </table>			구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국외	NASA 레이더 기술을 이용한 대형 싱크홀 예측 기술	NASA	지반의 수평이동을 바탕으로 싱크홀과의 상관관계 연구 중	함몰구멍 지도 및 3차원 지하 투시 이미지 레이더(GPIR:Ground Penetrating Imaging Radar) 등	미국지질조사국(USGS)	취약지반에 대한 DB를 확보함으로써 모니터링 및 대비에 용이할 수 있도록 함
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능											
국외	NASA 레이더 기술을 이용한 대형 싱크홀 예측 기술	NASA	지반의 수평이동을 바탕으로 싱크홀과의 상관관계 연구 중												
	함몰구멍 지도 및 3차원 지하 투시 이미지 레이더(GPIR:Ground Penetrating Imaging Radar) 등	미국지질조사국(USGS)	취약지반에 대한 DB를 확보함으로써 모니터링 및 대비에 용이할 수 있도록 함												
시장 동향	<p>- 2014년에는 관련 연구개발 예산이 상당부분 반영되었으며 그와 관련된 굴착 중 간극수압 및 지하수위 변화에 따른 지반의 손상도 예측에 관한 연구가 활발히 진행될 것으로 추정됨</p> <p>- 또한 안전 예산이 기존 12.4조원에서 14.6조원으로 대폭 확대되었으며, 지반함몰을 포함한 재난예방보완시설 확충 등의 건설안전관련사업이 4.4조원으로 가장 큰 비중을 보임</p> <p>- 또한 건설관련 시공사 또한 정부 정책의 강화로 인해 지반함몰에 관한 연구 및 지침을 강화할 것이며 이는 시장규모 또한 증대될 것으로 예상됨</p>														
5. 기존 기술 활용방안		<p>- 다양한 환경특성에서의 함몰 평가 기법의 경우에는 실험적으로 구축된 기술이 부족한 상황임</p> <p>- 지오센트리뷰지를 이용한 원심모형실험은 다양한 지반공학적 문제를 모사하고, 이를 해결하기 위한 공학적/연구적 도구로 활용이 가능할 것으로 기대됨</p> <p>- 국내에는 다양한 환경특성에서의 지반거동 및 함몰평가를 위해 활용 가능한 세계적으로 최고 수준의 기술력을 지닌 원심모형실험 실험시설들이 구축되어 있음</p>													
6. 기술개발 필요성		<p>- 지반거동 해석 및 지반함몰을 평가하기 위해서는 크게 경험적인 방법, 수치해석, 축소모델을 이용한 방법이 있음. 이중 경험적인 방법은 계측된 자료를 바탕으로 도해적 확장을 통해 침하를 예측하므로 한계가 있으며, 수치해석은 지배방정식을 이용해 시뮬레이션을 하는 방법이기때 적용성이 넓지만 실제 현상의 개념화되지 않은 요소를 파악하기 어려운 점이 있음.</p> <p>- 마지막으로 축소모델을 이용한 평가방법은 실물모델을 통해 직접적인 원인 규명이 가능하며 특히 원심모형실험을 이용하면 다양한 사례 모사가 가능해지므로 가장 정확한 해석 및 평가 방법이 될 수 있음. 하지만 아직 시험방법이나 평가 매뉴얼 등이 정립되어 있지 않기에 이에 개발이 필요함.</p>													
7. 주요 연구개발 내용		<p>(1차년도)</p> <p>- 기존 자료 및 기초기술 동향 조사와 해석 및 실험 기반 구축</p>													

	<p>(2차년도) - 다양한 지반 조건 및 지하수위 변화 환경 구축 - 지하수위 변화, 세립분 유출 및 유입, 주변지반 침하 등 다양한 내부 환경 변화 시나리오 구현</p> <p>(3차년도) - 내부 환경특성변화(상하수도관 파열 및 토사유실)로 인한 지반함몰 메커니즘 연구 - 내부 환경 변화에 따른 지반 변형 및 함몰 시각화 및 지반 영향 평가</p> <p>(4차년도) - 내부 환경특성변화(지하수위 강하 및 석회암 부식)로 인한 지반함몰 메커니즘 연구 - 내부 환경 변화에 따른 지반 변형 및 함몰 시각화 및 지반 영향 평가 - 진동대 및 동적재하장치를 활용한 지진, 차량하중 등의 동적 외부 환경 모사</p> <p>(5차년도) - 외부 환경특성변화(차량하중 및 지진, 지반굴착)으로 인한 지반함몰 메커니즘 연구 - 외부 환경 변화에 따른 지반 변형 및 함몰 시각화 및 지반 영향 평가 - 다양한 내외부환경 특성 별 지반의 변형 및 함몰 메커니즘 규명</p>												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<p>- 국토교통부는 2015년도 건설 R&D 예산(건설기술연구사업) 중 '시설물 유지관리 및 건설 안전 기술' 분야 등 총 24개(신규 4개, 계속 13개, 종료 7개) 연구과제에 2014년도의 481억 7천5백만 원보다 11.8% 늘려 538억 7천 4백만원을 지원할 계획으로 있으며, 도심지 개발로 인한 싱크홀 등의 사고를 예방하기 위해 신규개발을 지원한 예정</p> <p>- 또한 국토교통부는, 전국 대형 굴착공사 현장점검 실시하여 합동T/F를 추진하고자 하며 싱크홀(공동) 등 지반침하 예방 및 안전의식 제고를 위한 '2015년 상반기 건설현장 안전교육'을 실시함</p> <p>- 또한 교육과학기술부의 국가과학기술기초계획 국가정책 중 '국민의 삶의 질 향상과 국가 안전보장을 위한 지질재해 예측 및 피해저감기술 개발'과 연계된 중장기적 국가정책 수립에 기반자료를 제공하기 위한 기술 개발의 필요성이 대두됨</p>												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<p>- 2013년 기준 '복합 지하 대공간 개발기술' 연구비 약 250억 중 산업계는 약 9%가 참가하고 있는 실정. 이에 학연이 중심이 되어 기술을 개발하고 산업계에서 공동연구에 참여하도록 장려함으로 현실적인 문제를 적극적으로 해결하는 전략이 요구됨</p>												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>최종성과물</th> <th>수요처</th> <th>실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>원심모형실험을 이용한 다양한 내외부 환경특성 모사 매뉴얼</td> <td>건설 및 교통관련 학교-연구원 등의 연구중심 및 공공기관</td> <td>장기간에 걸친 신뢰도 평가와 관련 업계 보급</td> </tr> <tr> <td>지반 거동 특성 평가 방법 및 지반함몰 메커니즘에 따른 지반 안전성 평가방법</td> <td>건설 및 교통관련 정부기관 및 관련 산-학-연구원</td> <td>현장검증을 통한 신뢰도 평가</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	원심모형실험을 이용한 다양한 내외부 환경특성 모사 매뉴얼	건설 및 교통관련 학교-연구원 등의 연구중심 및 공공기관	장기간에 걸친 신뢰도 평가와 관련 업계 보급	지반 거동 특성 평가 방법 및 지반함몰 메커니즘에 따른 지반 안전성 평가방법	건설 및 교통관련 정부기관 및 관련 산-학-연구원	현장검증을 통한 신뢰도 평가			
최종성과물	수요처	실용화 방안											
원심모형실험을 이용한 다양한 내외부 환경특성 모사 매뉴얼	건설 및 교통관련 학교-연구원 등의 연구중심 및 공공기관	장기간에 걸친 신뢰도 평가와 관련 업계 보급											
지반 거동 특성 평가 방법 및 지반함몰 메커니즘에 따른 지반 안전성 평가방법	건설 및 교통관련 정부기관 및 관련 산-학-연구원	현장검증을 통한 신뢰도 평가											
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1차년도</th> <th>2차년도</th> <th>3차년도</th> <th>4차년도</th> <th>5차년도</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1,5</td> <td>2,5</td> <td>2,5</td> <td>2,5</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	1	1,5	2,5	2,5	2,5	10
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
1	1,5	2,5	2,5	2,5	10								
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<p>- 현존하는 다양한 지반함몰의 메커니즘을 수치해석에 그치지 않고 축소모형 수행을 통해 보다 정확한 예측을 할 수 있도록 기여하며 이는 국민안전성 증대에 크게 이바지 함</p> <p>- 지반거동 및 함몰 평가를 위한 축소모형과 관련된 매뉴얼을 구축함으로 관련 연구 및 실무 종사자들이 적합한 연구를 수행하도록 도움</p> <p>- 가이드라인을 통한 관련 재해의 안정성 확보 및 관리/감독이 가능한 시스템 구축에 활용</p> <p>- 메커니즘 규명을 통해 불필요한 예방을 지양함으로 구조물 설치 및 지하굴착시 안정성 및 경제성 확보</p>												

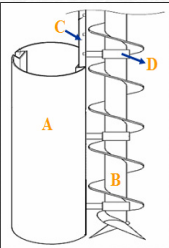


1. 과제명		인접구조물에 근접한 지역에서의 침하 특성분석 및 굴착에 따른 지반내 공동형성 메카니즘 분석과 관리 기술			
2. 연구목적 및 배경		<ul style="list-style-type: none"> - 인접구조물에 근접한 지역에서의 지반굴착시 지반함몰은 구조물 뒤택움구간에서의 다짐 불량 및 사질토 지반에서 지하수위의 변화 등으로 인해 발생함. - 도심지 지반굴착에 따른 안정성 확보를 위해 지반공동이 발생하는 메카니즘을 분석하고 그에 따른 지반공동 발생 예방을 위한 보강기술이 필요함. 			
3. 연구개발 목표		<ul style="list-style-type: none"> - 지반굴착후 구조물 뒤택움구간에서의 다짐 불량 및 지하수위 변화 등으로 인한 주변지반 지하공동 발생에 대한 메카니즘을 분석하여 고밀도 도심지 구간 지반 굴착에 필요한 보강 기술을 마련하고자 함 - 기술개발 목표 : 보강기술 적용시 구조물 뒤택움구간에서의 다짐 불량 및 지하수위 변화 등으로 인한 지반함몰사고 70% 감소 			
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
		국내	개량형 C.I.P공법	최재순	<ul style="list-style-type: none"> -굴착심도 : 18~20m -기존 C.I.P대비 차수효과 및 벽체강성 증진 -흙형 강관파일 지름 : 460mm -흙형 강관파일 길이 : 2m -흙형 강관파일 두께 : 2~3mm -H-pile : 300 × 200 × 9 × 14
		국내	T.D.R 공법	성우기초	<ul style="list-style-type: none"> -기존 S.C.W 및 C.I.P공법의 시공이 불가능했던 N≥50의 사력층, 풍화암, 자갈, 호박돌층의 지층등에도 적용 가능 -지수성 및 내진성이 강해 별도의 보조그라우팅 공법 불필요 -연속벽의 표준수치 : Element 당 Ø550mm×3축 -폭 : 1450mm -주입범위 : Ø0,55m~0,8m -저압주입 : 0,3~0,7MPa -콤프압력 : 0,7~1MPa
	국외	C.S.M 공법	Bauer	<ul style="list-style-type: none"> -차수가능 -최대 작업심도 : 60m -1Panel 길이 : 2,4~2,8m -1Panel 폭 : 0,55~1,2m -일축압축강도 : 5~15MPa -굴진속도 : 10cm/min 	
	시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> - 최근 돌발적인 지반함몰 사고가 빈번히 일어나 인명피해가 발생하고 시민들의 불안감이 조성되어 사회적 이슈로 부각됨에 따라 굴착 방법 규제 및 심의의 전면 도입이 검토되고 있으므로 안전한 굴착기술 및 보강기술의 적용이 부각될 것으로 판단됨 			
5. 기존 기술 활용방안					
6. 기술개발 필요성		<ul style="list-style-type: none"> - 도심지 지반굴착에 따른 지반공동의 발생 예방을 위해 뒤택움구간의 토립자유출을 방지하고 침하를 억제하는 등 지반굴착시 안정성 확보를 위한 보강기술이 필요함. 			
7. 주요 연구개발 내용		<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 인접구조물 뒤택움구간에서의 침하 및 공동발생 가능성에 대한 기초 연구 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실내모형시험을 이용하여 다짐불량으로 인한 지반거동 메카니즘 분석 			

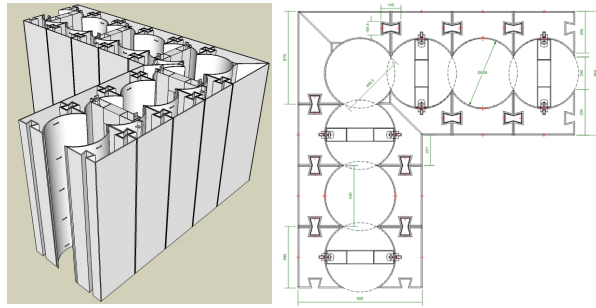
	<p>(3차년도) - 인접구조물 뒤편공간에서의 지반침하 및 공동발생 예방을 위한 고밀도 도심지 지반 굴착 보강기술 개발</p> <p>(4차년도) - 실용화 방안 검증 및 보완</p> <p>(5차년도) - 고밀도 도심지 지반 굴착기술 지침안 작성</p>												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<p>- 최근 지반함몰 사고가 빈번히 일어나 인명피해가 발생하였으며 시민들의 지반함몰에 대한 불안감이 조성되어 사회적 이슈로 부각됨. - 따라서 이를 예방할 수 있는 보강기술 개발을 정부에서 지원하고 연구결과의 활용을 장려한다면 지반함몰 사고를 예방할 수 있으며 파급효과가 클 것으로 예상됨</p>												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<p>- 인접구조물 뒤편공간에서의 침하 및 공동발생 가능성에 대한 기초 연구를 통해 사고사례를 파악하고 기존 연구사례를 수집하여 실내모형시험을 기획할 것이며 이를 통하여 다짐불량 및 지하수위 변화로 인한 지반거동 메커니즘을 분석할 계획임. - 또한 이를 바탕으로 뒤편공간에서의 지반침하 및 공동발생 예방을 위한 고밀도 도심지 지반굴착 보강기술을 제안하고 실용화 방안에 대해 검증 및 보완하고 고밀도 도심지 지반 굴착기술 지침안을 마련할 계획임.</p>												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>최종성과물</th> <th>수요처</th> <th>실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지반함몰 사례 보고서</td> <td>국토교통부, LH공사</td> <td>도심지 구간 지반 굴착시 참고</td> </tr> <tr> <td>다짐불량으로 인한 지반거동 메커니즘 분석보고서</td> <td>국토교통부, LH공사</td> <td>도심지 구간 지반 굴착시 참고</td> </tr> <tr> <td>고밀도 도심지 지반 굴착기술 지침안</td> <td>국토교통부, LH공사</td> <td>도심지 구간 지반 굴착시 반영</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	지반함몰 사례 보고서	국토교통부, LH공사	도심지 구간 지반 굴착시 참고	다짐불량으로 인한 지반거동 메커니즘 분석보고서	국토교통부, LH공사	도심지 구간 지반 굴착시 참고	고밀도 도심지 지반 굴착기술 지침안	국토교통부, LH공사	도심지 구간 지반 굴착시 반영
최종성과물	수요처	실용화 방안											
지반함몰 사례 보고서	국토교통부, LH공사	도심지 구간 지반 굴착시 참고											
다짐불량으로 인한 지반거동 메커니즘 분석보고서	국토교통부, LH공사	도심지 구간 지반 굴착시 참고											
고밀도 도심지 지반 굴착기술 지침안	국토교통부, LH공사	도심지 구간 지반 굴착시 반영											
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1차년도</th> <th>2차년도</th> <th>3차년도</th> <th>4차년도</th> <th>5차년도</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,3</td> <td>1,6</td> <td>1,6</td> <td>1</td> <td>0,5</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	0,3	1,6	1,6	1	0,5	5
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
0,3	1,6	1,6	1	0,5	5								
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<p>- 지반함몰로 인해 시공 중인 도심지 지반굴착 공정과 그에 따른 인접구조물과 사회기반시설이 손상되게 되면 막대한 경제적 손실뿐만 아니라 인명피해도 초래할 수 있음. - 본 연구결과의 보강기술 적용시 구조물 뒤편공간에서의 다짐 불량 및 지하수위 변화 등으로 인한 지반함몰사고가 70% 감소할 것으로 예상됨. - 따라서 지반함몰 사고로 인한 인명피해, 민원발생 줄일 수 있으며 공기지연과 유지보수 기간으로 인한 경제적 손실도 절감할 수 있음.</p>												

1. 과제명	도심지 대심도 수직굴착시 주변변위 및 함몰 방지를 위한 지하수위 제어 및 벽체조성 공법 개발(도심지 수직굴착을 위한 선보강 후굴착 공법 개발)														
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수직 굴착 전 직립식 보강체와 경사식 보강체를 현장 여건에 적합하도록 선 보강을 실시한 후 굴착을 진행하는 선보강 후굴착 가능 기술 개발 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 선보강을 위한 천공 시 연속 배토와 고화재 혼합 후 재주입을 통해 주변지반의 변위, 교란과 폐기물 발생을 최소화하여 본 굴착 이전에 고강도/고강성의 보강체를 형성할 수 있는 공법 개발 필요 - 굴착 및 인발시 공벽 함몰을 최소화하여 연쇄적인 주변 지반 함몰 및 변위를 억제할 수 있는 보강공법 개발 필요 ○ 천공 후 보강재 삽입과 그라우트재 주입을 순차적으로 진행하는 기존 기술과 달리 천공 후 보강재 삽입과 그라우트재 주입을 동시에 진행할 수 있어 시공성을 향상시키고 공사 기간을 단축할 수 있는 공법 개발 필요 														
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도심지 지반함몰 최소화를 위한 선보강 후굴착 공법 특허 1건 이상 ○ 주변지반 변위 최소화를 위한 상호 역회전식 보강체 삽입형 오거 장비 1기 이상 														
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">구분</th> <th style="width: 30%;">보유기술명</th> <th style="width: 20%;">보유기관</th> <th style="width: 40%;">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">국내</td> <td>옹벽용 또는 흙막이용 토류벽 조성장치 및 방법 / Micro Pile</td> <td>대한주택공사, 만선지오쓰</td> <td>-국내 적용 실적 미미 -국외 기술 대비 60% 수준)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">국외</td> <td>EP Root Pile / Micro Pile</td> <td>HIROSE(株)補強土 Company)</td> <td>-사면의 보강, 구조물의 기초공, 기설구조물의 보강 등에 주로 사용 -시공실적은 950건 -도심지 굴착 기술로 확대 필요</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	옹벽용 또는 흙막이용 토류벽 조성장치 및 방법 / Micro Pile	대한주택공사, 만선지오쓰	-국내 적용 실적 미미 -국외 기술 대비 60% 수준)	국외	EP Root Pile / Micro Pile	HIROSE(株)補強土 Company)	-사면의 보강, 구조물의 기초공, 기설구조물의 보강 등에 주로 사용 -시공실적은 950건 -도심지 굴착 기술로 확대 필요
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능											
국내	옹벽용 또는 흙막이용 토류벽 조성장치 및 방법 / Micro Pile	대한주택공사, 만선지오쓰	-국내 적용 실적 미미 -국외 기술 대비 60% 수준)												
국외	EP Root Pile / Micro Pile	HIROSE(株)補強土 Company)	-사면의 보강, 구조물의 기초공, 기설구조물의 보강 등에 주로 사용 -시공실적은 950건 -도심지 굴착 기술로 확대 필요												
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 <ul style="list-style-type: none"> -도심지 대심도 지하화 구조물(초고층 건물, 대심도 지하철/철도 정거장) 필요 등 (개착식) 굴착 시장 확대 -국외 기술의 유사 기술이 국내 도입된 바 있지만, 활용 실적이 미미함 ○ 국외 <ul style="list-style-type: none"> -국외 Micro Pile/EP Root Pile 시장 확대 및 대심도 도심지 굴착 기술 활성화에 대비한 국내 보강기술 개발 필요 -국외 도심지 굴착 사례 증가로 인한 굴착 시장 확대 														
5. 기존 기술 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ Micro Pile, EP Root Pile 등의 국내외 유사기술 중복성 및 장점 평가 ○ 기존 기술의 시공 사례 분석을 통한 단점, 문제점 등을 평가하고 본 기술이 갖추어야 할 기능 수립 ○ 도심지 수직 굴착시 주변지반 교란 및 지반함몰 저감을 위한 보강재 발굴 및 그에 따른 시공법으로 개발시 활용 														
6. 기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 도심지 지반굴착 규모 확대 및 대규모 지반굴착시 주변지반 교란 및 함몰사례 증가 ○ 주변지반 교란 및 지반함몰의 원인중 대표적인 시공시 굴착 공벽 붕괴, 벽체 변위, 지하수위 저하 등을 해결할 수 있는 보강공법 필요 ○ 천공 후 보강재 삽입과 그라우트재 주입을 순차적으로 진행하는 기존 기술과 달리 천공 후 보강재 삽입과 그라우트재 주입을 동시에 진행할 수 있어 주변지반 교란 및 공벽 붕괴를 방지할 수 있음 														
7. 주요 연구개발 내용	(1차년도) ○수직굴착을 위한 지반보강공법 문헌조사 및 시공 사례 조사 -Micro Pile, EP Root Pile 등의 국내외 유사기술 중복성 및 장점 평가														

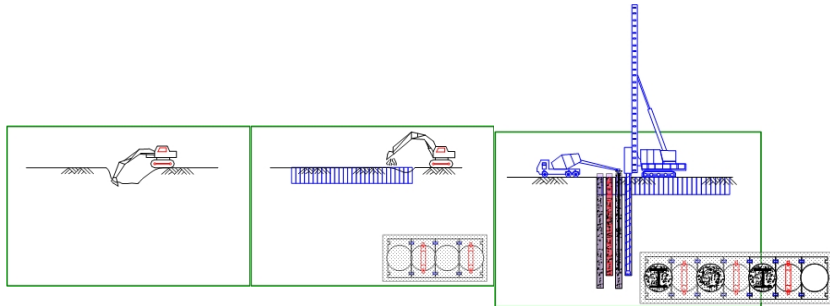
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 기술의 문제점 및 해결방안 모색 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 기술의 시공 사례 분석을 통한 단점, 문제점 등을 평가하고 본 기술이 갖추어야 할 기능 제시 ○ 선보강 후굴착 공법 개발을 위한 조건 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 수치해석 및 사례 분석 등을 통한 대심도 도심지 수직 굴착을 위한 보강 공법 개발을 위한 조건 분석 ○ 선보강 후굴착 보강기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 대심도 도심지 수직 굴착을 위한 보강시 보강재 제원, 시공법, 보강체 형성공법 개발 ○ 선보강 후굴착 공법 실내 모형 실험 <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 선보강 후굴착에 대한 실내 모형 실험 및 개선 사항 도출 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 상호 역회전식 보강체 삽입형 오거 장비 개발(중소형) <ul style="list-style-type: none"> - 천공시 정회전, 보강체 삽입, 오거 인발 및 주입시 역회전이 가능한 오거 장비 개발 또는 기존 장비 개선 ○ 선보강 후굴착 공법 현장 시험시공(소규모) <ul style="list-style-type: none"> - 실내 모형 실험 및 검증 해석을 통한 최종 현장 시험시공 조건 결정 - 전용 장비 활용 및 현장 시험시공을 통한 개발 기술 검증 및 효과 분석 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 상호 역회전식 보강체 삽입형 오거 장비 수정 및 보급(중대형) ○ 선보강 후굴착 공법 현장 실규모 실증 시공 및 결과 검증(중규모) ○ 선보강 후굴착 공법 설계 매뉴얼, 관련 시방서 개발
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정부정책과의 부합성 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 지반굴착에 따른 주변 지반 함몰 사례 증가 및 해결 기술 필요성 제기 - 도심지 대심도 굴착시 주변구조물 안정 및 시민 안전 유지 ○ 민간 단독수행의 어려움 <ul style="list-style-type: none"> - 건설경기 악화로 인한 신공법/신기술 개발 자원 확보 어려움 - 기존 재래식 장비 보급 포화상태로 신규 장비 개발/보급에 대한 거부감 확산 - 주변지반 교란 및 함몰 최소화 효과를 객관적으로 평가할 수 있는 민간 기관 부재 및 신뢰도 미미 ○ 공공관점의 파급효과 <ul style="list-style-type: none"> - 도심지 지반굴착에 따른 주변지반 함몰 및 변위 최소화 기술 개발로 최근 사회적 문제가 되는 싱크홀 등의 공동(Cavitation) 발생 방지 - 도심지 굴착시 법적 소송 문제 최소화 - 굴착 인근 도로 및 통로의 안정성 유지 - 상하수도, 전기, 가스 등 Life Line의 안정성 유지
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주관 연구기관 <ul style="list-style-type: none"> - 도심지 수직굴착을 위한 선보강 후굴착 기술 개발 - 도심지 수직굴착을 위한 선보강 후굴착 기술 실내시험 및 현장시험 수행 - 실규모 천공, 보강재 설치 및 그라우트재 동시 주입 가능한 오거 장비 개발 및 실증 시험 수행 ○ 위탁 연구기관 <ul style="list-style-type: none"> - 1차년도 제안된 초기 기술에 대한 수치해석을 통해 기술 효과 평가 및 개선사항 제시 - 2차년도 현장 실험 결과 분석을 통한 기술 효과 객관적 평가 - 3차년도 실규모 실증 시험 결과 분석 및 주변지반 교란 효과 객관적 검증

10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	수요처	실용화 방안			
	선보강 후굴착 공법	지반굴착 분야	굴착시 주변지반 함몰 등 교란 최소화가 필요한 도심지 지반굴착 현장에 적용할 수 있는 기술 개발 및 보급			
		터널분야	급경사 굴착을 위한 갯문 입구 및 비탈면 구역 적용 가능 기술로 확장			
상호 역회전식 보강체 삽입형 오거	건설기계 분야	기존 굴착 오거 수정을 통한 실규모 오거 장비 개발 및 보급				
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	3억	3억	4억	-	-	10억
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> -도심지 지반함몰 최소화를 위한 선보강 후굴착 공법 개발 및 보급 -주변지반 변위 최소화를 위한 상호 역회전식 보강체 삽입형 오거 장비 개발 및 보급 -도심지 굴착 비용 절감(공사비 절감) 및 공사기간 축소(공기 단축) ○ 파급효과 <ul style="list-style-type: none"> -도심지 굴착에 따른 주변 지반 교란 최소화 및 관련 민원 방지 -도심지 굴착에 따른 싱크홀 발생에 대한 부정적 편견 방지 -기존 건설장비 수정/보완을 통한 신규 장비 개발 및 보급 확산 -굴착에 수반되는 폐기물 발생 및 처리로 인한 비용 절감 					

1. 과제명	대심도 굴착용 CIP 공법 개발															
2. 연구목적 및 배경	<p>- 90년대후반부터 도심지 고층건축물이 급증하고 지하철 건설이 계속됨에 따라 도심지 내 CIP공법의 이용이 증가.</p> <p>- 실제 CIP공법 이용시 널뛰기식 천공에 따른 연직도 유지문제가 벽체형성뿐 아니라 차수성 유지에 대해서도 문제가 됨.</p> <p>- 대심도 굴착시 차수성이 확보되지 않을 경우, 인접 시설물의 균열 등의 피해로 인해 분쟁의 소지가 발생함.</p> <p>- 이상과 같은 문제점을 해결하기 위해 개발된 Excellent Joint 파일을 이용한 CIP 공법과 가이드를 이용한 CIP공법의 현장적용성을 검토하고자 함.</p>															
3. 연구개발 목표	<p>- 1번 기술 (EJ 파일을 이용한 CIP 공법) 대형건설사, 기술개발 중소기업, 그리고 대학의 산학연구로 이 기술의 특성을 규명하기 위한 하중시험 및 모형토조시험 수행 (토질및기초 기술사회 발표) 이를 통해 2008년 NET를 취득함. 그러나 기술개발 중소기업의 내부사정으로 이후 시공실적은 전무. 현재 대형건설사가 특허기술 및 NET 보유 중.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>◆ 구성(1) ◆</p>  <p>A → EJ(Excellent Joint) PILE B → 전용 SCREW C → GUIDE D → BEARING</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>◆ 구성(2) ◆</p> <table border="1" data-bbox="963 891 1378 1144"> <thead> <tr> <th>구 성 품</th> <th>내 용</th> <th>비 고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EJ PILE</td> <td> 3T, 10T 강관 DIA. 430mm 길이 10M </td> <td> 3T : 사용후 사장 10T : 사용후 인발 재사용 </td> </tr> <tr> <td>전용 SCREW</td> <td> DIA. 430mm 길이 11M </td> <td>Dia. 별, 길이별 제작 가능</td> </tr> <tr> <td>GUIDE</td> <td>30 bar air사용 guide 홀에 흙이 차는 것을 방지</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BEARING</td> <td>주문 제작된 Needle Bearing</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> </div> </div> <p style="text-align: center;">EJ 파일 형상 및 제원</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">EJ 파일 실내시험</p> <p>EJ 파일의 경우, 굴착배면지반이 수평하중에 대응하는 흙막이 벽체이지만 위 그림과 같이 실험을 통해 수직하중에도 일정부분 대응이 가능함을 입증함. 이러한 점과 강관도 함께 지중에 설치할 경우, 구조적 특성 등을 연구하여 대심도 등에 적용성을 검토하고자 함.</p> <p>- 2번 기술 (가이드를 이용한 CIP공법) 이 기술은 아이디어 정리단계임. 이 기술이 국내에서 최초 개발된 직후, 미국에서 유사기술이 개발된 사례가 있음. (secant pile wall) 가이드의 형태가 다르지만 방법은 거의 유사한 기술임. 그러므로, 아이디어 단계의 이 기술이 가능할 것으로 판단됨. 이 연구에서는 아이디어 단계의 이 기술에 대한 세부요소기술을 개발하고 테스트베드 운영에 따른 현장적용성을 수행하고자 함.</p>	구 성 품	내 용	비 고	EJ PILE	3T, 10T 강관 DIA. 430mm 길이 10M	3T : 사용후 사장 10T : 사용후 인발 재사용	전용 SCREW	DIA. 430mm 길이 11M	Dia. 별, 길이별 제작 가능	GUIDE	30 bar air사용 guide 홀에 흙이 차는 것을 방지		BEARING	주문 제작된 Needle Bearing	
구 성 품	내 용	비 고														
EJ PILE	3T, 10T 강관 DIA. 430mm 길이 10M	3T : 사용후 사장 10T : 사용후 인발 재사용														
전용 SCREW	DIA. 430mm 길이 11M	Dia. 별, 길이별 제작 가능														
GUIDE	30 bar air사용 guide 홀에 흙이 차는 것을 방지															
BEARING	주문 제작된 Needle Bearing															



CIP시공을 위한 가이드



가이드를 이용한 CIP시공

- 다양한 현장조건 하에서의 시공관련 요소기술 개발
- 수평이 아닌 경사지반이나 연약지반과 같은 다양한 지반조건 하에서의 시공 관련 요소기술을 개발하고 이에 대한 적용성 검토를 수행하고자 함.

4. 기술개발 및 산업/시장 동향

기술 동향

구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
국내	EJ 파일	코오롱/아이콘 개발	CIP시공시 동반되는 차수그라우팅공정 생략 EJ파일 내 홈을 이용한 연직천공 가능 연속천공이 가능
	특수케이싱을 이용한 CIP 기술	흥지기술	특수케이싱을 이용하여 연속천공 차수공정 생략 건축물 지하합성옹벽 가능
	가이드를 이용한 CIP 기술	엘에스씨 산업기술	가이드를 이용하여 SCW와 유사하게 CIP시공 별도의 차수공정 생략 미국의 secant pile wall과 유사(개발일시가 더 빠름)
국외	secant pile wall	TekTracker	상기 가이드를 이용한 CIP기술과 유사.

시장 동향

- 최근 도심지 고층의 건축물이 시공되면서 인접 시설물의 피해를 최소화하기 위해 CIP시공이 급증하고 있는 실정임.
- 기존의 CIP 시공은 널뛰기식 천공, 연직천공이 안 될 경우의 차수문제, 별도의 차수그라우팅의 수행 등 도심지 굴착에서 여러 가지 문제점을 갖고 있음.
- 미국에서도 secant pile wall이라는 유사기술이 개발되어 현장에 적용되고 있음.
- 최근 가시설로서의 CIP벽체의 이용뿐만 아니라 실제 벽체로 이용하려는 연구가 수행되고 있음.
- 전세계적으로 도심지 고층 건축물 시공이 일반화되고 있으므로 이에 대한 시장성은 충분한 것으로 판단됨.

5. 기존 기술 활용방안

- 2008년 NET 기술 (EJ 파일)
- 산학연구 (EJ파일의 수직압축강도 실험, 모형토조를 통한 차수특성실험)결과 이용.

6. 기술개발 필요성

- 90년대 이후, 도심지 고층 건축물의 건설이 빈번해 지면서, 인접 건물의 피해를 최소화하는 공법으로 CIP공법을 주로 사용해 옴.

	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 CIP공법은 콘크리트말뚝의 벽체와 필요시 차수그라우팅을 수행하여 대심도 굴착으로 인한 붕괴를 방지하는 흙막이 가시설로 이용되어 옴. - 기존의 CIP 흙막이벽체 시공방법은 흙막이벽체를 오차 없이 정확하게 시공하기 위해서는 복수의 파일들을 형성하기 위한 천공작업이 정확하게 진행되어야 함. 그러나, 고심도의 천공을 형성함에 따라 천공을 정확하게 수직으로 형성하기 어렵고 복수의 천공을 순차적으로 형성함에 따라 누적오차가 커지는 경향이 있어 흙막이벽체에 틈이 생기고 이로 인해 차수기능 및 구조적 안정성이 위협받는 경우가 다수 발생함. - 이 연구에서 제안하는 새로운 CIP공법은 EJ파일 또는 가이드를 이용한 방법으로 연직도를 손쉽게 유지할 수 있으면서도 시공속도를 크게 증가시킬 수 있음. - 또한, EJ파일 및 가이드를 이용한 CIP공법 모두 콘크리트말뚝이 완전 밀착되어 시공되므로 별도의 차수그라우팅 시공을 생략하는 효과가 있음. 												
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도) EJ파일의 강도특성 연구 및 가이드를 이용한 연속벽 설치공법의 절삭부 수준 결정에 대한 수치해석 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> - 강관부착 EJ파일의 고심도 적용성 검토를 위한 수치해석 연구 - 연속벽 설치시 절삭부 수준 결정을 위한 수치해석 연구 <p>(2차년도) 가이드를 이용한 연속벽에 대한 강도실험 및 모형실험 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시제품 제작 및 실험연구 <p>(3차년도) 테스트베드 운용 및 검증과 시공 매뉴얼 작성 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> - 테스트베드 운용 및 검증을 통한 현장적용성 검토 - EJ파일을 이용한 CIP공법 및 가이드를 이용한 연속벽 설치공법의 시공매뉴얼 												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 굴착공사는 대부분 가시설 공사로 진행되어 시설물에 비해 연구중요성이 미약했음. 그리고, 이 공사를 주로 시행하는 회사는 중소기업으로 기술개발의 역력이 부족함. - 90년대 이후 고심도 건축물의 시공이 빈번해 지고 있으나 굴착관련 연구는 매우 미진함. - 기존의 CIP공법으로 인한 인접 건물의 피해 등으로 인한 분쟁 발생이 증가하고 있으며 이로 인해 사회적 지출이 증가하고 있음 												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 이 연구에서는 주요 목적은 개발된 기술의 현장적용성 검토로 기술을 보유한 중소기업, 현장 테스트베드 제공과 함께 전체적인 시공매뉴얼 등을 담당 대형건설사, 그리고 구조특성실험 및 지반조건에 따른 수치해석을 수행할 대학의 산학연구를 통해 연구를 수행하게 됨. - 주관기관은 대형 건설사 (기술개발 중소기업과 기술제휴 또는 MOU체결) - 공동연구기관은 대학 및 기술개발 중소기업 												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>최종성과물</th> <th>수요처</th> <th>실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EJ파일을 이용한 CIP공법에 대한 시공매뉴얼 (건설신기술 신청)</td> <td rowspan="2">한국토지주택공사 SH공사 등과 같은 지자체 도시개발공사 건설사</td> <td rowspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> - EJ파일, 가이드 등에 관한 제작 회사 설립 - 제작판매 및 시공기술교육 - 제작판매와 시공을 분리하여 시장의 확산을 빠르게 유도 </td> </tr> <tr> <td>가이드를 이용한 연속벽 설치에 관한 시공매뉴얼 (건설신기술 신청)</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	EJ파일을 이용한 CIP공법에 대한 시공매뉴얼 (건설신기술 신청)	한국토지주택공사 SH공사 등과 같은 지자체 도시개발공사 건설사	<ul style="list-style-type: none"> - EJ파일, 가이드 등에 관한 제작 회사 설립 - 제작판매 및 시공기술교육 - 제작판매와 시공을 분리하여 시장의 확산을 빠르게 유도 	가이드를 이용한 연속벽 설치에 관한 시공매뉴얼 (건설신기술 신청)					
최종성과물	수요처	실용화 방안											
EJ파일을 이용한 CIP공법에 대한 시공매뉴얼 (건설신기술 신청)	한국토지주택공사 SH공사 등과 같은 지자체 도시개발공사 건설사	<ul style="list-style-type: none"> - EJ파일, 가이드 등에 관한 제작 회사 설립 - 제작판매 및 시공기술교육 - 제작판매와 시공을 분리하여 시장의 확산을 빠르게 유도 											
가이드를 이용한 연속벽 설치에 관한 시공매뉴얼 (건설신기술 신청)													
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1차년도</th> <th>2차년도</th> <th>3차년도</th> <th>4차년도</th> <th>5차년도</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>7</td> <td>20</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	3	7	20	-	-	30
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
3	7	20	-	-	30								
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 수직하중에 대한 대응강화를 통한 흙막이 벽체의 사용 용도 확대 - 도심지 고심도 굴착시 인접지반의 피해 최소화 - 인접 건물 피해최소화를 통한 분쟁 소지 사전 차단 - 공기단축 등 시공경제성 증진 - 해외진출시 이용가능한 선도적 기술 개발 												

1. 과제명		- 도로하부 통로박스 건설 다단비트(bit)굴착 장비 개발 연구																
2. 연구목적 및 배경		<p>배경: 현재까지 통로박스는 대부분 개착식으로 시공되고, 개착식 시공이 어려운 현장에서 비개착식으로 시공되는 경우에는 오거나 비트를 이용하여 땅을 일부 굴착하고 별도의 공법을 이용하여 시공하는데 시공성이 매우 떨어지며, 지반침하가 발생함</p> <p>- 연구목적: 따라서 부득이하게 비개착식으로 건설되는 통로박스의 경우 * 강관 관입과 굴착 공정에서 침하가 크게 발생하고 * 시공이 까다롭고, 시공성이 매우 저하되는데 저토피고 구간의 굴착시공에 대한 연구가 매우 미진한 실정임 * 따라서 지반침하를 최소화하고 시공성이 뛰어난 수평 굴착 신공법(다단비트 굴착 장비)의 개발</p>																
3. 연구개발 목표		- 지중시설물 중첩구간의 침하(14mm 이하)를 최소화 할 수 있는 신굴착장비 개발																
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">국내</td> <td>수평선진시추 장비</td> <td>희송지오택</td> <td>수평방향 굴착 가능</td> </tr> <tr> <td>NTR</td> <td>NTS</td> <td>대구경강관으로 대규모 침하 발생, 강관내 구조체 형성</td> </tr> <tr> <td>국외</td> <td>Probe drill</td> <td>Hitachi</td> <td>수평방향 굴착 가능</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	수평선진시추 장비	희송지오택	수평방향 굴착 가능	NTR	NTS	대구경강관으로 대규모 침하 발생, 강관내 구조체 형성	국외	Probe drill	Hitachi	수평방향 굴착 가능
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능														
국내	수평선진시추 장비	희송지오택	수평방향 굴착 가능															
	NTR	NTS	대구경강관으로 대규모 침하 발생, 강관내 구조체 형성															
국외	Probe drill	Hitachi	수평방향 굴착 가능															
시장 동향	<p>- 국내시장 규모: 신공법이기에 때문에 정확한 시장규모는 알려져 있지 않지만, 통로박스 건설공사비의 10%로 잡을 경우 몇백억 수준으로 예측됨(근거자료: ○○구 암거 1년 공사비: 약 200억원)</p> <p>- 현재 지중시설물이 중첩되고 있는 구간이 점차 늘어가고 있으며, 침하에 대한 문제가 점차 대두되고 있기 때문에 지중시설물 중첩구간에서의 수평 굴착 신공법에 대한 요구가 증가될 것으로 판단된다.</p> <p>- 현재 도로공사에서는 7*9+6R이라는 정책 아래 다수의 고속도로 건설계획이 세워져 있으므로, 통로박스 등의 시공이 필요하며 다수의 지중구조물 중첩구간에서 적용 가능한 수평 굴착 신공법에 대한 수요가 증가할 것으로 판단된다.</p>																	
5. 기존 기술 활용방안		<p>국내에서는 통로박스 시공방법 등이 다수 개발되었으나, 굴착방법은 현행과 동일한 상태임. 기존의 수평굴착 장비를 개량하여 수평 굴착 장비를 개발</p> <p>- 기 개발 기술명: 선진 수평 시추장치</p> <p>- 주요내용: 수평방향으로 굴착 및 시추를 하는 장비로 20m 이상 굴착 가능</p> <p>- 기 개발기술과의 활용 및 연계방안: * 선진 수평 시추장비를 굴착에 특화된 장비로 개량 * 다단비트 및 사각형 비트 장착 가능하도록 선단부 개량 * 굴착직경이 조절 가능하도록 개선</p>																
6. 기술개발 필요성		- 기술개발의 시의성:																

	항 목	기술의 중요도	실현시기 (연도)	기술수준	격차추세	시급성
	만 점	5		100%	5	5
	배 점	4	18	25%	3	4
	<p>상기 항목을 기준으로 할 때 현재 기술수준은 현저히 낮고 중요도와 시급성이 높은 기술개발이 필요한 사안으로 판단됨.</p> <p>- 기술개발의 적정성:</p> <ul style="list-style-type: none"> * 지금까지 비개착 구간을 공사하는 경우 강관을 이용하여 시공하므로, 강관 추진시 내부 굴착시 침하가 80%이상의 침하가 발생하는 것으로 알려져 있다. 이런 침하는 특히 지중시설물 중첩구간에서는 중요한 관리 요소이다. * 따라서 동 과제에서 상기의 문제점을 해결하는 방안으로 다단비트가 정착된 실드형 굴착 장비의 개발로 침하를 최소화할 수 있다. 					
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 수평 굴착장비 조사 및 분석 - 비트 특성에 따른 굴착성능 연구 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다단비트 장착 실드형 굴착장비 설계 - 사각형 비트 정착기술 개발 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다단비트 장착 실드형 굴착장비 제작 및 검증 - 사각형 비트 정착장비 제작 					
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 정부 정책의 부합성: 안전한 시공기술 확보 * 기반침하에 대한 관심이 높아지고 있는 시점에서, 안전한 시공기술을 확보할 수 있음. 특히 지중구조물 중첩구간이 증가하고 있는 시점에서 주변 구조물의 안정성을 확보할 수 있음 - 민간 단독수행의 어려움: * 굴착장비 시제품을 제작하고 현장적용에 따른 소요비용이 크기 때문에 민간 단독 수행이 어려움. - 공공관점의 파급효과: * 기술적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 기술의 경쟁력 향상 효과 <ul style="list-style-type: none"> - 중첩구조물 시공 시 침하발생을 최소화할 수 있는 기술을 확보함으로써 박스구조물 시공시의 경쟁력을 국제적으로 향상 * 사회경제적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 사회적 효과 <ul style="list-style-type: none"> - 침하를 최소화하므로 주변 구조물의 침하가 발생하지 않게 되어, 안전한 시공효과를 누릴 수 있음 <input type="checkbox"/> 경제적 효과 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 공법은 인력이 다수 필요하였으나, 신 굴착장비의 개발로 경제성을 향상시킬 수 있을 것임 					
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 연구 추진조직 및 구성 후보 과제의 성공적인 기술개발을 위하여 공동연구기관으로 연구를 수행하는 것이 바람직하며, 주관연구기관과 연계하여 시험 시공 등을 통한 실용화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 공동연구기관 부문 					

	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 분야에서 분야에서 10년 이상 경험을 가진 장비 개발에 특화된 연구진을 구성함 - 통로박스 설계 및 시공경험이 10년 이상 있는 전문가로 연구진을 구성하고, 도로공사 등 시공현장을 다수 확보하고 있는 곳과 공동으로 시험시공 수행 					
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	수요처	실용화 방안			
	다단비트가 정착형 수평굴착 장비	시공사	주요 시공업체와 연계를 통한 시험시공 실시, 지중시설물 중첩구간 굴착방법 방침 수립			
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	2.5	3	4.5	-	-	10
12. 기대효과 및 파급효과	- 기대효과					
	기술적 분야		경제산업적 분야			
	* 품질증진 및 공기단축		* 신공법으로 인한 시장 창출			
	* 안전성 증진(침하량 감소) 및 기계굴착		* 공사비 절감, 시공성 증진			
	- 파급효과					
	* 강재산업의 활성화					
	* 신공법 개발로 인한 국내 기술수준 향상					

1. 과제명	- 고속철도구간 지하횡단을 위한 침하억제형 수평굴착공법 개발																				
2. 연구목적 및 배경	<p>배경: 현재까지 국내외 고속열차가 운행되고 있는 선로에서의 노반의 침하를 억제할 수 있는 지하공간 개발기술이 없다는 것.</p> <p>- 연구목적: 따라서 부득이 교량으로 건설되고 있는 실정인데, * 거더 하면에서부터 형하공간 확보로 인한 교량의 길이가 길어지게 되고 * 이로 인한 용지를 대규모적으로 점유하게 되어 많은 부지매입이 필요하며 * 가설시 또는 사용 중 낙하물에 의한 우려에 대한 문제를 해결하고 * 공사비 및 공기를 절감하며 도로의 선형을 좋게하기 위함.</p>																				
3. 연구개발 목표	- 고속철도 침하기준(20m현 14mm)을 만족하는 신형식 기술개발																				
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1" data-bbox="504 707 1396 960"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">국내</td> <td>NTR</td> <td>NTS</td> <td>대구경강관으로 대규모 침하 발생, 강관내 구조체 형성</td> </tr> <tr> <td>STS</td> <td>원하중합건설</td> <td>강관 다열추진 및 지보공 설치시 침하발생, 강관하 구조체 형성</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">국외</td> <td>F/J공법</td> <td>극동강현(일본)</td> <td>20cm정도 침하 발생, PC구조물 추진</td> </tr> <tr> <td>JES공법</td> <td>일본</td> <td>대구경각관 침하발생, 각관내 충전 사용</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	NTR	NTS	대구경강관으로 대규모 침하 발생, 강관내 구조체 형성	STS	원하중합건설	강관 다열추진 및 지보공 설치시 침하발생, 강관하 구조체 형성	국외	F/J공법	극동강현(일본)	20cm정도 침하 발생, PC구조물 추진	JES공법	일본	대구경각관 침하발생, 각관내 충전 사용
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능																	
국내	NTR	NTS	대구경강관으로 대규모 침하 발생, 강관내 구조체 형성																		
	STS	원하중합건설	강관 다열추진 및 지보공 설치시 침하발생, 강관하 구조체 형성																		
국외	F/J공법	극동강현(일본)	20cm정도 침하 발생, PC구조물 추진																		
	JES공법	일본	대구경각관 침하발생, 각관내 충전 사용																		
시장 동향	<p>- 국내시장 규모: 연간 3,000억원으로 비공식적으로 알려지고 있음.</p> <p>□ 국내 * 과거에는 철도시설공단이 주된 시장으로 건물목 횡단 지하시설물이 연간 수십 건이 발주되어 왔으나 * 현재는 각 지자체에서 특히 신도시 조성시 많은 물량이 나오고 있으며 국토해양부 및 도로공사에서 발주하는 신설 도로가 고속도로나 철도, 기타 주 간선도로, 또는 대형 하수Box등 지장물 횡단에 널리 활용 보급되고 있으며 재래식 노후화 된 비좁고 협소한 기존 지하공간 구조물의 개량을 포함하여 향후 지속적으로 지하공간 개발의 수요는 커질 것으로 판단된다.</p> <p>□ 국외 * 일본에도 여러 가지 공법이 난무하는 형태는 우리나라와 비슷하다. 일본은 안전을 가장 중시 여기므로 본 공법의 적용에 있어서 조심스러운 타진을 할 것이다. * 중국은 시장 규모가 큰 반면 기술적용이 쉬울 것 같지 않고 자금회수에서 어려움과 기술 유출로 유사 공법이 개발될 가능성으로 낙관적이지 못하다. * 인도는 떠오르는 신흥국기임에는 틀림없으나 아직은 기술 적용이 쉽지 않을 것 같고 또, 특허 등록에 상당 기간이 소요될 것으로 알려지고 있다. * 그외 동남아는 아직 경제적으로 비개착공법을 적용할 만한 인지도가 떨어지는 것으로 보여진다. * 유럽이나 미국 쪽은 이미 도시가 완성단계에 있어 본 공법을 적용할 만한 공사 건을 찾기가 수월치 않을 것으로 보여진다.</p> <p>국내기업의 * 매출: - * 시장점유율: - 시장성장 전망근거: * 향후 중소도시가 병합되는 과정과 팽창화에서 5,000억원 정도의 규모로 증가가 예상되는데,</p>																				

	<ul style="list-style-type: none"> * 철도, 고속도로 또는 교통량이 많은 주요 간선도로가 있는 경우에는 교통의 편의성을 위하여 이를 가로지르는 지하공간 개발의 수요가 급증할 것으로 보이며, 이러한 증가 사유로는 도시가 과밀화되고 교통량이 증가되어 수도권 등 도심지에서는 민원에 따른 도로건설 방법이 바뀌어지고 있는데 * 기존의 고가차도를 철거하고 지하화하거나 입체교차 시설이 필요한 개소에 지하차도를 건설하는 계획 * 도시 팽창으로 각종 대형건물간 지하 연결통로 구축 계획 * 각 지방자치단체의 도심지 지하도로망 계획이나, GTX계획과 같은 지하구조물 시설 계획 등이 날로 증가하고 있기 때문이다. 																		
<p>5. 기존 기술 활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 기 개발 기술명: 고속철도 선로하 근접시공을 위한 지하공간 개발방법 - 주요내용: 미구경의 강관을 아치형태로 압입하여 외부의 작용력이 축하중으로 전환되도록 하며 벽체는 콘크리트로 구성하고 상부는 강형을 이용하여 지하공간을 구축하는 방법 - 기 개발기술과의 활용 및 연계방안: <ul style="list-style-type: none"> * 미구경강관의 「Arching Roof」 원리에 입각한 방법 적용 * 상부에 강관의 2열배치와 하열 강관의 Launching공사 방법 적용 * 벽체에 사각강관을 적용하고 Launching공사 방법 적용 * 상부는 파형강판을 하부는 콘크리트 제품을 적용 * 굴착시 Top-down원리를 적용 																		
<p>6. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 기술개발의 시의성: <table border="1" data-bbox="507 981 1390 1122" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">항 목</th> <th style="width: 15%;">기술의 중요도</th> <th style="width: 10%;">실현시기 (연도)</th> <th style="width: 10%;">기술수준</th> <th style="width: 10%;">격차추세</th> <th style="width: 10%;">시급성</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>만 점</td> <td>5</td> <td></td> <td>100%</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>배 점</td> <td>5</td> <td>18</td> <td>30%</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-top: 10px;">상기 항을 기준으로 할 때 현재 기술수준은 현저히 낮고 중요도와 시급성이 아주 높은 단계로 기술개발이 매우 필요한 사안임으로 검토됨.</p> - 기술개발의 적정성: <ul style="list-style-type: none"> * 지금껏 대부분 비개착은 강관을 이용하여 공사를 하는 추세에 있지만 재래의 기술은 고속철도가 운행되는 선로 하에서는 노반침하나 지반변위로 인하여 근접시공을 할 수가 없는데 이러한 근거는 크게 다음의 2가지로 해석할 수 있는데, 이는 <ol style="list-style-type: none"> ① 강관 추진시 침하발생 ② 내부 굴착시 침하발생 <p>이러한 이유는 사용강관의 규격이 크고(Ø800~3,000) 굴착시 지보공을 설치하기 때문에 최고 200mm의 침하가 발생되고 있으며</p> * 하지만 동 과제에서 상기의 문제점을 해결하는 방안으로 미구경(Ø170) 강관을 적용하고 PC구조를 Arch형으로 제작하여 Launching공법을 적용하기 때문에 침하량을 허용치 이내로 줄일 수 있기 때문이다. 	항 목	기술의 중요도	실현시기 (연도)	기술수준	격차추세	시급성	만 점	5		100%	5	5	배 점	5	18	30%	3	5
항 목	기술의 중요도	실현시기 (연도)	기술수준	격차추세	시급성														
만 점	5		100%	5	5														
배 점	5	18	30%	3	5														
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 강관의 압입과 굴착에 따른 지표면 거동에 관한 연구 - 추진강관의 곡률 형상에 따른 내하력 연구 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 강관하 영구지보재의 재료 특성에 따른 효율성 연구 - 구조체 추진시 지반거동 범위 연구 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 노반 및 구조체 품질 증진 연구 - 미구경 강관 활용방안에 대한 침하 및 구조안정성 검토 																		
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 정부 정책의 부합성: 녹색성장 실현을 완성 																		

<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> * 친환경 시공관리, 자원 재활용, 폐기물의 자원화 기술실현 - 민간 단독수행의 어려움: <ul style="list-style-type: none"> * 시제품을 제작하여 실험과 모델의 현장 적용에 따른 막대한 자금 소요로 인하여 애로사항 발생. - 공공관점의 파급효과: <ul style="list-style-type: none"> * 기술적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 기술의 확산효과 <ul style="list-style-type: none"> - 열차 서행이 없이 정상 운행이 될 수 있는 기술을 확보하므로서 지하공간 기술의 경쟁력을 세계적 수준으로 향상시킬 수 있을 것 <input type="checkbox"/> 기술적 경쟁력 향상 효과 <ul style="list-style-type: none"> - 외국으로 수출을 할 수 있어 재래적 공법으로 개량한 종래의 방식을 벗어날 수 있도록 도움을 줄 수 있을 것 * 사회경제적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 사회적 효과 <ul style="list-style-type: none"> - 운행중인 교통을 통제하지 않고 시설할 수 있어 공사중 민원이 제기되지 않게 되며, 지하도로의 가능성을 열어 공사비 측면 및 횡단 거리를 단축할 수 있는 효과를 이룰 것 <input type="checkbox"/> 경제적 효과 <ul style="list-style-type: none"> - 원재료의 손실을 감소할 수 있을 뿐 아니라 일부 강관을 추출하여 재사용할 수 있는 여건이 되어 경제적 효과를 이룰 것 <input type="checkbox"/> 산업적 효과(산업발전에 영향을 줄 수 있는 사항) <ul style="list-style-type: none"> - 공사비 증가로 인한 건설부류 횡단 개소를 시행할 수 있어 일자리 창출에도 기여가 가능하고 기업의 활력도 고취할 수 있을 것
-------------------	---

<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 연구 추진조직 및 구성 후보 과제의 성공적인 기술개발을 위하여 주관과 공동 및 위탁연구기관으로 구분하여 수행하는 것으로 계획 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 주관연구기관 부문 <ul style="list-style-type: none"> - 시공분야에서 10년 이상 경험을 가지고 연구경험이 있는 전문가를 구성하여 연구 전반에 대한 총괄 지휘와 담당 연구를 주도하고 - 주로 현장과 실무 중심의 연구를 전담하며 - 그 외 인원을 자문위원(비상근)으로 위촉하여 연구에 활용함. <input type="checkbox"/> 공동연구기관 부문 <ul style="list-style-type: none"> - 토목구조 및 철도분야에서 20년 이상 경험을 가지고 설계경험이 있는 전문가로 구성하고 - 정부 공공기관연구원과 함께 공동으로 추진 계획 - 상기 연구원의 유사 관련 과목의 협력을 구하여 활용함. <input type="checkbox"/> 위탁연구기관 부문 <ul style="list-style-type: none"> - 지반 및 기초, 토목구조 공학으로 30년 이상 경험을 가지고 연구경험이 있는 전문가로 구성 - 주로 학교에 교수 및 대학원생으로 구성하여 조직하며 - 실질적 학술분야에 집중하여 연구를 추진함.
-------------------	---

<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th style="text-align: center;">최종성과물</th> <th style="text-align: center;">수요처</th> <th style="text-align: center;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="vertical-align: top;">고속철도 횡단 지하구조물 설치 방법에 대한 연구보고서</td> <td style="text-align: center;">철도시설공단</td> <td style="text-align: center;">국철 및 고철에 적용근거로 삼음</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">정부 공공기관</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">도로 및 철도 횡단에 적용근거로 삼음</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">지방 자치단체</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	고속철도 횡단 지하구조물 설치 방법에 대한 연구보고서	철도시설공단	국철 및 고철에 적용근거로 삼음	정부 공공기관	도로 및 철도 횡단에 적용근거로 삼음	지방 자치단체
최종성과물	수요처	실용화 방안								
고속철도 횡단 지하구조물 설치 방법에 대한 연구보고서	철도시설공단	국철 및 고철에 적용근거로 삼음								
	정부 공공기관	도로 및 철도 횡단에 적용근거로 삼음								
	지방 자치단체									

11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	5	5	20	-	-	30

12. 기대효과 및 파급효과	- 기대효과	
	기술적 분야	경제산업적 분야
	* 품질증진 및 공기단축	* 녹색성장 환경오염 저감, 폐기물 재활용
	* 안전성 증진 및 기계굴착	* 공사비 절감, 시공성 증진
	* 선로 노반침하 억제 효율증진	
	* 구조체 압출용이	
	- 파급효과	
	* 강재산업의 활성화	
	* 외국 기술의 배제	

1. 과제명	- 워터젯과 다중해머방식의 확공기를 결합한 직경 1 m 이하 지향성 수평 굴착 기술 개발 연구																											
2. 연구목적 및 배경	- 도심지 굴착으로 인한 주변지반 침하/함몰 사례가 증가하고 있는 추세임 - 과거에 시행되었던 개착식 공법 종료 후 지반 강도 복원 등에 대한 대책이 미흡했던 것 또한 한 가지 원인임. 개착식 굴착공법의 경우, 공사기간 동안 발생하는 막대한 사회적 비용(교통체증 등)으로 인해 도심지에서는 점차 사양화 되고 있음 - 국내에 적용되고 있는 비개착식 굴착공법은 세미실드 공법(Micro-TBM)과 강관압입공법(Pipe Jacking)으로 양분됨. 세미실드공법 및 강관압입공법은 시공단가가 고가이며, 조향이 어려운 단점이 있고 특히, 세미실드공법은 커터헤드 처짐이 발생하는 단점이 있음 - 한편 기존의 수평확공기술은 최초 80 mm 슈팅공정부터 최종 800~1000 mm 파이프샐까지 최소 5~8회의 확공 공정을 거치는 다단계의 시공공정으로 인해 시공속도가 매우 느리고 주로 토사지반에 적용됨 - 기존의 수평확공기술의 한계를 극복하고 암반에도 적용하기 위해 다중공압해머 방식의 암반 확공기를 이용한 수평확공공법에 대한 연구가 추진되고 있음. 하지만 내외곽 비트의 타격 빈도 차이로 인해 굴착 효율이 떨어지고 공압해머 타격에 의한 굴착으로 인해 주변으로 다량의 진동이 전파됨 - 이에 다중해머방식의 수평확공기에 워터젯을 결합하여 최외곽 부분의 굴착 효율을 증대하고 주변으로의 타격 진동 전파를 저감하는 기술 개발을 연구하고자 함																											
3. 연구개발 목표	<table border="1" data-bbox="504 934 1391 1296"> <thead> <tr> <th>달성목표</th> <th>지표</th> <th>측정방법</th> <th>목표</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">성능 검증</td> <td>경암 이상의 암반 굴착</td> <td>암반강도 (공인시험성적서)</td> <td>100 MPa 이상</td> </tr> <tr> <td>굴진속도</td> <td>현장시험 (공인시험성적서)</td> <td>1 m/hr</td> </tr> <tr> <td>진동</td> <td>현장시험 (공인시험성적서)</td> <td>워터젯 기술 적용 전보다 20% 진동저감</td> </tr> <tr> <td>특허</td> <td>특허</td> <td>출원</td> <td>1건</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">논문</td> <td>SCI(E)급 논문</td> <td>게재승인</td> <td>2건</td> </tr> <tr> <td>국내저널</td> <td>게재</td> <td>3건</td> </tr> </tbody> </table>			달성목표	지표	측정방법	목표	성능 검증	경암 이상의 암반 굴착	암반강도 (공인시험성적서)	100 MPa 이상	굴진속도	현장시험 (공인시험성적서)	1 m/hr	진동	현장시험 (공인시험성적서)	워터젯 기술 적용 전보다 20% 진동저감	특허	특허	출원	1건	논문	SCI(E)급 논문	게재승인	2건	국내저널	게재	3건
달성목표	지표	측정방법	목표																									
성능 검증	경암 이상의 암반 굴착	암반강도 (공인시험성적서)	100 MPa 이상																									
	굴진속도	현장시험 (공인시험성적서)	1 m/hr																									
	진동	현장시험 (공인시험성적서)	워터젯 기술 적용 전보다 20% 진동저감																									
특허	특허	출원	1건																									
논문	SCI(E)급 논문	게재승인	2건																									
	국내저널	게재	3건																									
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국외 기술동향 1. 천공장비 <ul style="list-style-type: none"> - 암반 천공장비의 경우 스웨덴 및 일본업체들이 세계시장의 80%정도를 점유하고 있으며 관련 소재 및 열처리, 소결생산 기술까지 전 공정의 기술과 제조라인을 보유하여 이 분야 시장을 선도하고 있음 - 유럽 및 미주에서는 선진 다국적기업, 아시아와 중동 지역에서는 일본산 제품이 시장과 기술을 선도하고 있음 2. TBM 장비 <ul style="list-style-type: none"> - 소형 TBM Semi Shield 장비는 독일, 미국, 일본 등의 선진국을 바탕으로 1990년대부터 상용화가 활발히 진행되고 있음 - 외국의 주요 TBM 제작사는 독일 Herrenknecht, 일본 Kawasaki, 미국 Robbins 등이 있음 - 독일, 미국, 프랑스 등 구미지역은 TBM, 전문제작사, 일본은 중공업사 위주로 생산하고 있음 - 건설장비 제조사로는 캐터필러의 자회사(Lovat社)에서 생산, 고마츠는 중국법인에서 생산하고 있음 - 중국 또한, 빠른 속도로 기술개발을 추진하여 비개착공법 관련 가격 경쟁력은 이미 한국을 추월한 것으로 분석되고 있음 																										

시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내 기술동향 - 현재 암반굴착 기계를 생산하는 국내업체는 해외 선진기업의 복제품을 제작하는 수준임. 선진 천공장비 제조업체와의 기술격차는 약 10년 이상 차이가 나는 것으로 분석됨 - 국내의 지반은 토질변화가 매우 심하고, 특히 암반층이 많으므로 암반 굴착이 용이하지 않으므로 이에 대응하는 장비의 개발이 시급함 - 최근 소형 TBM, Semi Shield 장비에 대한 수요가 급증한 상태이나 국내 의 소형 TBM 관련 원천기술을 확보하지 못하고 있는 실정임 - 비개착공법 관련 한국형 자립기술 개발이 시급한 실정임 																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">구분</th> <th style="width: 20%;">보유기술명</th> <th style="width: 20%;">보유기관</th> <th style="width: 50%;">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>국내</td> <td>암반천공</td> <td>창신인터내셔널(주)</td> <td>성능수준: 0.5 m/hr (경암기준)</td> </tr> <tr> <td>국외</td> <td>암반천공</td> <td>스웨덴 Atlas Copco社</td> <td>성능수준: 0.5 m/hr (경암기준)</td> </tr> </tbody> </table>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	암반천공	창신인터내셔널(주)	성능수준: 0.5 m/hr (경암기준)	국외	암반천공	스웨덴 Atlas Copco社	성능수준: 0.5 m/hr (경암기준)						
구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능																
국내	암반천공	창신인터내셔널(주)	성능수준: 0.5 m/hr (경암기준)																
국외	암반천공	스웨덴 Atlas Copco社	성능수준: 0.5 m/hr (경암기준)																
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내시장동향 1. 소규모 터널시공에 주로 세미실드 TBM 장비가 도입되고 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 극경암 및 복합지반 굴착에 부적합함 - 국내기술로 제작된 바 없고, 복합지층 및 토질변화에 대응책이 매우 미비함 2. 다중해머는 암반수직굴착용(지하수, 천부지열 개발)으로 주로 제작됨 <ul style="list-style-type: none"> - 국내의 중소기업 중심으로 수직굴착용 다중해머기술이 적용되고 있음 																		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국외시장동향 1. 복합지층 및 토질변화에 대응한 다중해머굴착 장비 기술 개발됨 <ul style="list-style-type: none"> - 독일, 일본, 미국 등 에서 적극 개발 중이며, 이미 상용화 성공사례가 있음 - 굴진율과 조항에서 강점이 있기 때문에 소규모 공사에 빈번히 사용됨 - 국내와 같이 주로 수직굴착용으로 사용 																		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내시장규모 - 한국의 TBM 시장규모는 약 1조원/년 이상 예상됨 - 한국의 중소형 TBM(직경 3m이하) 장비 시장도 매년 10%이상 성장 하며 2015년 시장규모는 약 4,000억원으로 추정됨. - 국내·외 보고서를 근거로 소형 TBM 시장(직경 1m이하) 및 천공시장을 추정한 결과, 2016년에 1,000억원, 2020년에는 약 1,500억원의 국내시장이 형성될 것으로 예상됨 - 이중 본 연구와 연관 있는 1 m 이하 소구경 TBM 및 암반확공 산업의 매출 규모는 다음과 같이 예측됨. (국내매출 : 400억원 / 2010년 → 900억 / 2016년) 																		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국외시장규모 - TBM 및 천공 세계시장은 연 30%정도로 꾸준히 성장하고 있는 산업이며, 2016년까지 250억불, 2020년까지 약600억불로 지속적으로 시장이 증가할 것으로 예측됨 																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">연 도</th> <th style="width: 15%;">2016년</th> <th style="width: 15%;">2017년</th> <th style="width: 15%;">2018년</th> <th style="width: 15%;">2019년</th> <th style="width: 15%;">2020년</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>국 내</td> <td>1,160억원</td> <td>1,240억원</td> <td>1,320억원</td> <td>1,400억원</td> <td>1,470억원</td> </tr> <tr> <td>국 외</td> <td>254억불</td> <td>330억불</td> <td>406억불</td> <td>482억불</td> <td>558억불</td> </tr> </tbody> </table>	연 도	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	국 내	1,160억원	1,240억원	1,320억원	1,400억원	1,470억원	국 외	254억불	330억불	406억불	482억불	558억불
연 도	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년														
국 내	1,160억원	1,240억원	1,320억원	1,400억원	1,470억원														
국 외	254억불	330억불	406억불	482억불	558억불														
	<ul style="list-style-type: none"> 관 련 근 거 - 기계화 자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 보고서(한국건설교통기술평가원, 2010) - 국외 자료는 각 나라 전문업체의 제공사항을 근거로 추정함 - 국내는 소형 TBM 시장(직경 1m이하) 및 천공시장 																		

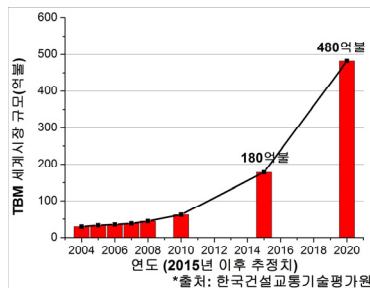


그림 127. TBM산업의 세계시장 규모

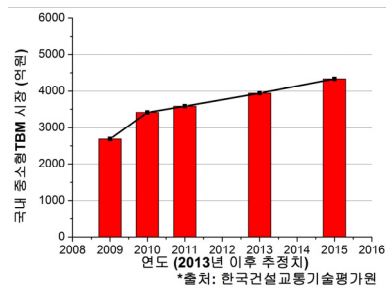


그림 128. 국내 중소형(직경 3m이하) TBM시장

▪ 시장 전망

- 전력구, 통신관로, 상하수도, GTX사업, 해저터널, 지하철공사, 강변 여과수, 빗물관리, 열 배관 Pipe Line 등 상당한 부분의 터널 공사의 국산 기술개발 수요가 급증하고 있음
- 복합지층 및 토질변화에 대응 가능한 워터젯을 접목시킨 다중해머방식의 수평굴착기술은 굴진율과 조향에서 강점이 있기 때문에 건설토목분야 소구경 터널시공에 활용되어 기존의 세미실드 시장의 최소 30%이상을 대체할 것으로 예상됨
- 세미실드 시장의 30%이상을 대체할 경우 2016년 이후 최소 200억원 규모의 수평천공시장으로 증대되어 시장성을 가진 것으로 파악됨
- 건설기계산업 해머비트 생산시장 활성화, 천공/건설기계 산업의 신규 융복합 제품품목으로 주목될 것임
- 신재생 에너지 개발(지하수, 지열발전)사업에 활용 가능함
- 한국 터널시공/천공장비 유지보수와 천공 소모품 시장은 1,000억원/년 정도의 규모가 있는 시장임
- 향후 천공공구 관련 내마모성 신소재산업 분야와 융복합 산업발전이 가능함

5. 기존 기술 활용방안

- 개발기술은 기존의 HDD공법과 똑같은 시공 기술을 이용. 다만, 다양한 지질(특히 암반층)을 빠른 시간 내에 굴착할 수 있는 것이 차이점
- 다중해머방식의 확공기는 이미 수직천공에 사용되고 있음. 수평터널시공에 사용하고자 하는 것이 차이점
- 확공기에 추가할 워터젯 기술은 기존 재료(금속, 도로, 암석 등)의 절삭에 이미 사용되고 있는 것과 동일. 다만, 확공기와 결합하고 노즐 위치 등의 설계가 연구 대상임

6. 기술개발 필요성

- 최근 도심지에서 빈번하게 발생하고 있는 지반 침하/함몰 현상은 과거 비계획적으로 시행된 지하 굴착 및 부실한 후처리 작업에 기인한다. 지상 공간의 포화에 따라 지하 공간의 개발이 불가결한 상황임을 고려할 때, 향후 발생할 지반 침하 등에 대비한 지반 굴착공법을 사용해야 할 것이다. 기존 시설물과의 충돌 및 사회적 비용의 최소화를 위해 근래에는 대부분 비개착공법으로 시공된다. 비개착공법에는 인력을 이용한 광관압입 방식, 기계식 굴착 방법인 세미실드 TBM 방식 등이 널리 사용되고 있다. 광관압입의 경우 단순히 관거를 힘으로 밀어 넣고 관 안에 들어온 토사를 제거하는 방식으로 토사 지반에만 국한되며 인력에 기반을 두기 때문에 시공효율이 좋지 못하다. 세미실드 TBM의 경우 작업장을 안전하고 환경적으로 운용할 수 있다는 장점과 토사지반 암반 모두에 적용이 가능하다는 장점이 있지만, 암반 굴착 속도가 상대적으로 느린 것이 단점으로 꼽힌다.
- 한편, 1 m 이하 소구경 터널공사의 새로운 방법으로 개발 중인 다중해머를 이용한 수평 굴착 기술이 있다. 지향성 수평 천공(Horizontal Directional Drilling, HDD)공법을 이용한 방식으로 다양한 지반조건(암반과 토사)에서 굴착이 가능하다. 기존 HDD 공법이 직경 약 1 m 터널을 굴착하기 위해 5~8차례의 굴착 작업이 필요한 것과 달리 단 1회의 확공으로 공정이 완료되는 것이 차이점이다.
- 다만 내외곽 해머비트의 타격빈도의 차이로 인해 굴착 효율이 떨어질 수 있고 타격에너지

에 의한 굴착으로 인해 진동이 발생한다는 한계점을 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 다중해머방식의 수평확공기에 워터젯 공법을 결합한 직경 1 m 이하 지향성 수평 굴착 기술을 개발하고자 한다. 워터젯 공법의 도입에 따라 터널 최외곽 단면의 굴착을 돕고 주변 지반으로의 진동 전달을 감소시키며 부가적으로 사용된 물에 의한 해머비트의 냉각, 슬러지 배출 능력 향상 등의 시너지 효과가 발생할 것으로 판단된다.

구분	세미실드	강관압입	지향성 수평천공 (HDD)
개요도			
최대 시공거리	1,000 m	120 m	1,800 m
굴착직경	800 mm ~ 3,000 mm	800 mm ~ 3,000 mm	200 mm ~ 1,200 mm
장비 설치공간	넓은 공간 필요 (8×4 m)	넓은 공간 필요 (8×4 m)	지상 (3×2 m)
시공 성공률	90% 이상	95% 이상	90% 이상
시장 점유율	34%	65%	1% 미만
시공특성	암반굴착가능	토사지반굴착	수직개착불필요, 다양한 지반 굴착 가능, 조향가능

7. 주요 연구개발 내용

연차	연구목표	주요연구내용
1차 년도	- 암반확공기 굴착 메커니즘 연구	- 다중해머굴착방식을 실험실 시험 규모로 재현 - 실험실 시험을 통해 타격 단면, 파쇄암분 배출 과정 등을 관찰 - 수치해석을 이용한 확공기 굴착 메커니즘 구현 - 확공기에 추가할 워터젯 노즐 설계
2차 년도	- 워터젯 장착을 통한 다중해머 방식의 수평확공기 성능 향상	- 워터젯 절삭 간격, 속도 등의 변수를 추가한 해머비트 선형굴착시험 수행 - 워터젯 노즐 위치 및 최적 운용 조건 설계 - 수치해석을 이용한 워터젯이 추가된 확공기 굴착 메커니즘 구현
3차 년도	- 현장시험을 통한 개발 기술 검증	- 터널 최외곽 부위의 워터젯 절삭을 통한 굴진율 향상 효과 연구 - 터널 최외곽 부위의 워터젯 절삭을 통한 진동 저감 효과 연구 - 워터젯 사용으로 인한 해머비트 마모 저감 등 시너지 효과 연구

8. 정부지원의 타당성

- 최근 들어 도심지 내 지반 침하/함몰 사례가 빈번히 발생함에 따라 인명·재산 피해가 발생하고 도로 체증 등의 사회적 비용이 수반되며 인근 주민들의 심리적 불안감이 증대되고 있는 실정임
- 지상 공간이 포화됨에 따라 지하공간개발은 필수적인 상황임. 경제적·사회적 비용을 최소화하고 향후 지반 침하/함몰이 발생하지 않는 친환경적인 시공방법 개발이 요구됨
- 워터젯을 도입한 다중해머방식의 수평확공기는 위 조건을 만족시킬 수 있는 대안임
- 연구과정에서 필요한 실험실 시험, 현장 시험 등은 많은 비용이 수반되는 연구로 정부의 지원이 필수적임. 본 연구의 성과로 개발된 새로운 지하굴착기술은 대부분 기존 기술을

	<p>토대로 개발되었기 때문에 국내의 현장에서 바로 적용이 가능하고, 이는 정부의 공공비용 감소와 국내 관련 제조업·시공사의 새로운 수익원이 될 것으로 기대됨</p>												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<p>1. 실험기술팀 - 주요 연구분야 : 실험실 시험 및 현장 시험 연구 - 역할 : 다중해머굴착방식을 실험실 시험 규모로 재현, 선형굴착시험 수행, 현장시험 기획 및 수행</p> <p>2. 워터젯연구팀 - 주요 연구분야 : 워터젯 절삭 기술 개발 - 역할 : 워터젯 노즐 위치, 노즐 직경, 절삭 속도, 수압 등이 해머비트 굴착에 주는 영향 분석 및 워터젯 최적 설계</p> <p>3. 수치해석팀 - 주요 연구분야 : 워터젯이 결합된 다중해머방식의 수평확공기 굴착 메커니즘 연구 - 역할 : 수치해석을 통한 확공기 굴착 메커니즘 구현, 워터젯 절삭에 따른 해머비트 굴착 메커니즘 구현</p>												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="497 853 683 902">최종성과물</th> <th data-bbox="683 853 772 902">수요처</th> <th data-bbox="772 853 1404 902">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="497 902 683 1104">워터젯이 결합된 다중해머방식의 수평확공기</td> <td data-bbox="683 902 772 1104">국내·외 중소 시공사</td> <td data-bbox="772 902 1404 1104"> - 주요 국내·외 학술대회 및 전시회 참가를 통해 제품 홍보 - 국내: 한국건설기계전, 유공압학회, 터널공학회 등 참가 - 해외: Bauma(독일), Conexpo(미국), Intermat(프랑스), Bauma China(중국), 국제정밀공학회(Isgma), 국제터널공학회(World Tunnel Congress) 등 참가 - 특허 등록 </td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	워터젯이 결합된 다중해머방식의 수평확공기	국내·외 중소 시공사	- 주요 국내·외 학술대회 및 전시회 참가를 통해 제품 홍보 - 국내: 한국건설기계전, 유공압학회, 터널공학회 등 참가 - 해외: Bauma(독일), Conexpo(미국), Intermat(프랑스), Bauma China(중국), 국제정밀공학회(Isgma), 국제터널공학회(World Tunnel Congress) 등 참가 - 특허 등록						
최종성과물	수요처	실용화 방안											
워터젯이 결합된 다중해머방식의 수평확공기	국내·외 중소 시공사	- 주요 국내·외 학술대회 및 전시회 참가를 통해 제품 홍보 - 국내: 한국건설기계전, 유공압학회, 터널공학회 등 참가 - 해외: Bauma(독일), Conexpo(미국), Intermat(프랑스), Bauma China(중국), 국제정밀공학회(Isgma), 국제터널공학회(World Tunnel Congress) 등 참가 - 특허 등록											
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="497 1153 647 1193">1차년도</th> <th data-bbox="647 1153 788 1193">2차년도</th> <th data-bbox="788 1153 928 1193">3차년도</th> <th data-bbox="928 1153 1069 1193">4차년도</th> <th data-bbox="1069 1153 1219 1193">5차년도</th> <th data-bbox="1219 1153 1404 1193">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="497 1193 647 1243">2.5</td> <td data-bbox="647 1193 788 1243">2.0</td> <td data-bbox="788 1193 928 1243">1.5</td> <td data-bbox="928 1193 1069 1243"></td> <td data-bbox="1069 1193 1219 1243"></td> <td data-bbox="1219 1193 1404 1243">6.0</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	2.5	2.0	1.5			6.0
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
2.5	2.0	1.5			6.0								
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<p>▪ 기술적 측면</p> <ul style="list-style-type: none"> - 굴착속도 향상, 시공기간 감축으로 비개착공법의 경제성 확보 - 해머 타격 진동 저감에 따른 시공성, 활용성 증진 - 굴착 장비 및 건설기계 국내시장 점유율 급속 향상에 기여함 - 천공산업의 경제성 제고 및 제조업의 국제경쟁력 강화에 기여함 - 수평천공(Horizontal Directional Drilling) 방식 임반 확공기 최적 모델 설계 및 시제품 개발하여 비개착식 확공법의 기술자립을 유도함 - HDD 수평 확공기의 제작 및 설계기술을 확보하여 고효율의 확공기 가능해짐에 따라 기술 경쟁력 강화 - 수평조향식 확공방식은 비개착 천공방법을 이용하므로 천공 작업 안전성 및 환경파괴 최소화를 달성함 <p>▪ 경제산업적 측면</p> <p>1. 천공산업</p> <ul style="list-style-type: none"> - 세계적으로 천공산업은 조선산업의 2배 규모의 산업으로 지속적으로 성장 중 - 세계시장규모 2010년 약 700억불, 2016년 1,000억불 이상 성장할 것으로 예상하며 2001년 이후에는 연평균 8.5% 지속적으로 성장함 (Freedonia Group, 2008) - 2001년에서 2011년 사이의 10년 동안에 아시아-태평양 지역의 국산제품의 시장 점유율 (매출액 기준)은 31%에 이르며 2016년에는 40%에 이를 것으로 전망 - 한국 천공장비 유지보수와 천공 소모품 시장은 연간 1,000억원 임 												

- 천공기술 개발 성공 시 시장 점유율
- 국산 천공장비 신 장비 국내시장 점유율 : 70% / 2010년 → 80% / 2018년
- 세계 신장비 시장 점유율 : 약 0.6% / 2010년 → 1.5% / 2018년

2. TBM 산업

- TBM 장비는 중대형 TBM 1위 업체인 Herrenknecht사의 매출을 기준으로, 전체 세계 시장 규모를 추정하며 2012년 대형 및 초대형 TBM 시장 규모는 52억불, 중소형 TBM 시장규모는 50억불로 연간 매출 규모는 102억불로 추정됨.
- 2015년 이후 세계 TBM 시장규모가 300~400억불로 성장할 것으로 예상됨.
- 세계시장에서 TBM산업은 연 30%정도로 꾸준히 성장 중.
- 한국의 TBM 시장규모는 약 1조원/년 이상 예상됨.
- 한국의 중소형 TBM(직경 3m이하) 장비 시장도 매년 10%이상 성장하며 2015년 시장규모는 약 4,000억원으로 추정됨.
- 이종 본 연구과 연관있는 1 m 이하 소구경 TBM(세미실드, 암반확공) 산업의 매출규모를 아래와 같이 예측됨.
 (국내매출 : 400억원/2010년 → 900억/ 2016년)

1. 과제명

배수재를 이용한 정착지반의 압밀과 이에 따른 지반강도 증가를 유도하는 앵커 개발

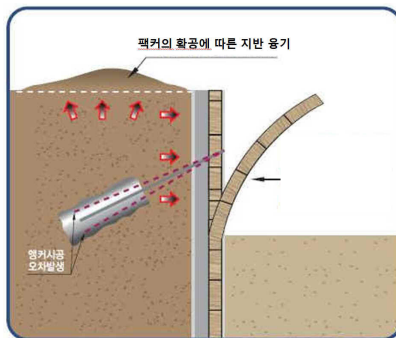
- 점토지반의 천공은 수세식 올케이싱 장비로 시공하게 되며 천공시 천공홀 주변의 확공과 교란영역(smear zone)이 필연적으로 발생하게 된다. 천공을 주변 교란영역의 지반강도는 설계당시 적용한 지반강도 보다 작아지고 함수비는 높아져서 설계당시 지반강도를 기대하기 힘들다.



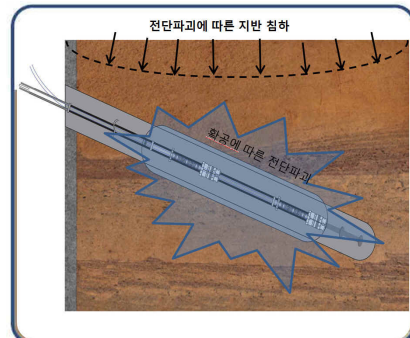
〈수세식 유압 천공 방법〉

2. 연구목적 및 배경

- 점토지반에 시공되는 가설 앵커의 경우 팩커의 단순 확공을 통한 인장력 확보에 주안점이 있었다. 이러한 확공은 지표의 용기 또는 확공 압력에 따른 정착지반의 전단파괴를 유발할 수 있어 주변지반의 침하로 이어지기도 한다.



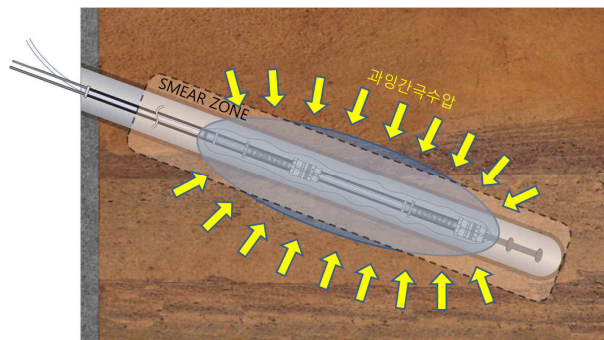
〈확공에 따른 지표용기〉



〈전단파괴에 따른 지표 침하〉

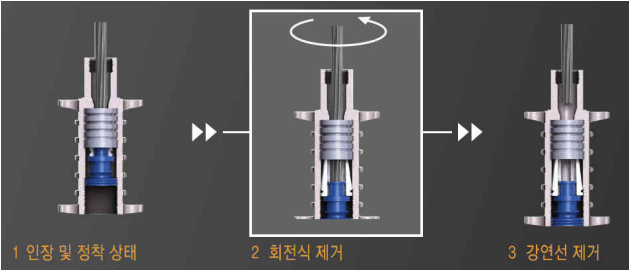
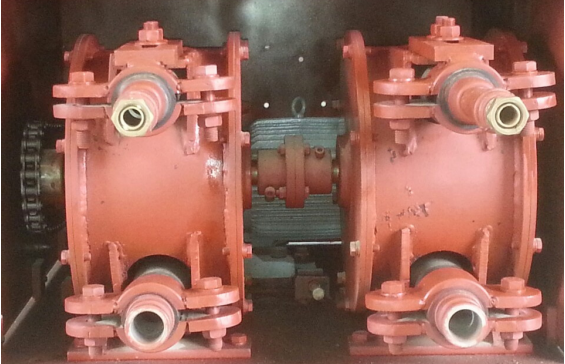
3. 연구개발 목표

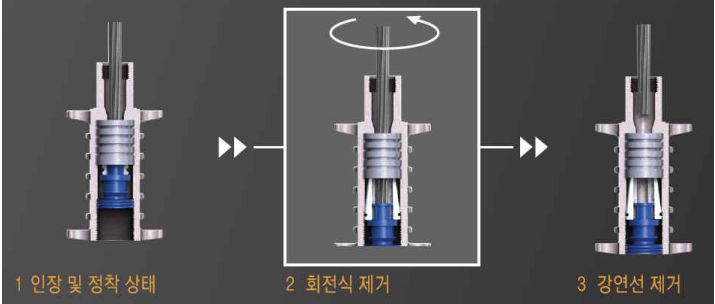
- 팩커 내부에 그라우트를 가압하여 주입하고 팩커 외부의 배수재를 통해 교란영역 및 정착지반의 과잉 간극수를 외부로 배출시켜 설계 인장력을 확보하고자 한다. 또한 팽창압력의 조절과 과잉간극수압 또는 천공시 잔존하는 유입수를 외부로 원활하게 배출 시켜 팩커의 팽창에 따른 인접지반 용기 또는 전단파괴에 따른 지표면의 침하를 최소화 하고자 한다.



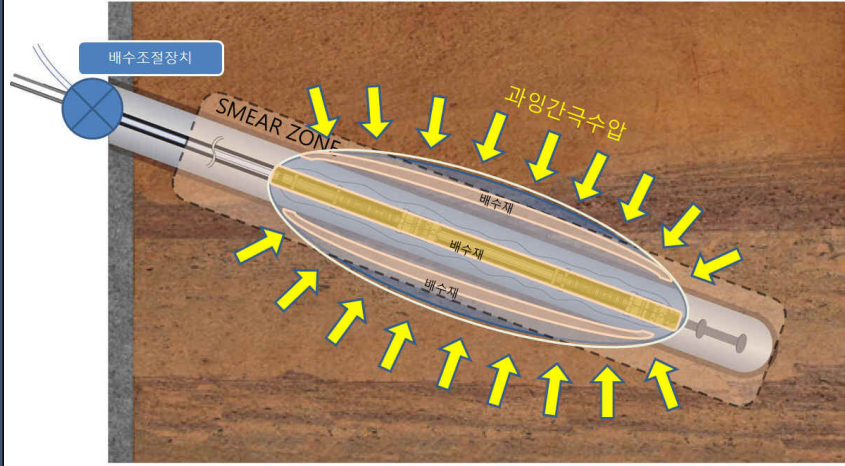
〈팩커의 팽창압력과 이에 따른 과잉간극수압 발생 모식도〉

- 팩커 내부의 팽창압력을 조절할 수 있는 장치 개발(팩커의 팽창시 지반의 전단파괴방지)

		<ul style="list-style-type: none"> - 정착지반의 배수유도 장치 개발(smear zone 및 원지반의 간극수압 배출) - 인장시 정착지반의 비배수상태를 유지하기 위한 장치개발(인장력에 의한 추가 압밀이 발생하여 주변 침하가 발생하기 않게 하기 위한 장치) 																		
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">국내</td> <td>팩을 이용한 확공형 앵커</td> <td>특허기술 아님</td> <td>정착장 확공방법(연약지반에 보편적으로 사용)</td> </tr> <tr> <td>강연선 회수방법</td> <td>·삼우기초 기술 ·화성기초 ·효창이엔지</td> <td>강연선 회수방법에 대한 국내 특허는 다 수입.</td> </tr> <tr> <td>국외</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>				구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	팩을 이용한 확공형 앵커	특허기술 아님	정착장 확공방법(연약지반에 보편적으로 사용)	강연선 회수방법	·삼우기초 기술 ·화성기초 ·효창이엔지	강연선 회수방법에 대한 국내 특허는 다 수입.	국외	-	-	-
		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능															
		국내	팩을 이용한 확공형 앵커	특허기술 아님	정착장 확공방법(연약지반에 보편적으로 사용)															
강연선 회수방법	·삼우기초 기술 ·화성기초 ·효창이엔지		강연선 회수방법에 대한 국내 특허는 다 수입.																	
국외	-	-	-																	
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> - 연약지반 앵커는 섬유 팩커를 이용한 확공형이 주종을 이루고 있으며 연약지반의 압밀특성을 고려한 공법은 없는 실정임 - 2013년도 국내 보링그라우팅 분야 실적은 약 6,403억원(대한전문건설협회, 2013년 실적 자료 참조)이며, 가설 보강재(앵커 및 네일) 분야는 약 1,500억원으로 추산된다.(앵커체 제조업체의 연간 생산량을 기초로 추산함.(삼우기초, 화성기초, 삼진테크, 헤밀, 케이에스 앵커등 국내 10~20개 업체가 생산 판매하고 있으며 업체당 연간 생산량은 대략 100,000m 로 추산된다.)) 																			
5. 기존 기술 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> - 상용화된 연약지반 처리용 PBD를 활용 하여 정착지반의 간극수압 소산을 위한 자재로 적용 - 하중 분산형 내하체 및 강연선 제거 장치이용: 정착지반에 작용하는 하중을 분산시키기 위한 내하체(하중 분산형 싱글내하체) 및 가설 보강재(연선)의 제거에 필요한 장치 활용 																			
	<div style="text-align: center;">  <p>1 인장 및 정착 상태 2 회전식 제거 3 강연선 제거</p> <p>〈내하체 및 강연선 제거방법〉</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> - 팩커 내부의 팽창압력을 조절할 수 있는 장치 개발 (당사가 개발한 저맥동 그라우트 가압장치 수정보완) <div style="text-align: center;">  <p>〈저맥동 그라우트 가압장치〉</p> </div>																			

<p>6. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 도심지 인접 개착식 가시설 시공에 따른 지반의 침하 또는 융기에 따른 인적, 물적 피해와 관련한 사회적 문제가 발생하고 있으며 인접지역에 설치된 가설 보강재(강연선)의 제거의 필요성이 커지고 있는 시점임. - 국토의 개발과정 중 준설 매립지반 또는 연약지반의 이용이 증가되고 있음.(인천 청라지구, 영종도, 송도신도시, 부산신항만등....) - 가설 구조물의 보강을 위한 방법 중 앵커 시공이 빈번히 이루어지고 있으나 천공시 정착장 주변의 교란에 따른 지반강도의 저하로 인하여 설계 인장력의 확보가 어려우며 단순 확공에 따른 주변 지반의 변위가 과대하게 발생하게 된다. - 정착장 주변의 압밀을 유도하여 지반의 강도를 증가시켜 설계 인장력을 확보하고 정착지반의 확공에 따른 과도한 변위를 줄여 싱크홀과 같은 문제를 해결할 수 있음.
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도) 기존 기술 자료 및 기초기술동향 조사</p> <p>(2차년도) 팩커의 팽창압력과 정착장 주변 지반의 압밀 메커니즘 분석(전단파괴를 일으키지 않는 적정 팽창압력과 압밀시간과의 관계 분석)</p> <p>(3차년도) 1. 지반 강도 증가를 고려한 설계 표준화 2. 그라우트 가압 조절장치 개발(팩커의 팽창압력 조절 장치)</p> <p>(4차년도) 1. 배수조건 조절 핵심장치 개발(인장력에 따른 정착장 주변지반의 추가 압밀 방지 장치) 2. 배수재를 이용한 압밀 유도 앵커체 시제품 개발</p> <p>(5차년도) 현장 시험 시공 및 검증업무 수행</p>
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 고밀도 도심지 지하굴착을 위한 앵커 보강이 증대되고 있으며 주변지반의 침하 및 싱크홀 등의 문제가 빈번히 발생하고 있다. - 연약지반에 시공되는 가시설 보강재로 앵커의 사용 많아지고 있으나 연약지반의 강도특성 및 천공에 따른 지반의 교란등의 영향을 고려한 시공 방법 및 보강재는 없는 실정이다. - 간극수압 소산을 통한 지반강도 증가를 예측하기 위한 수치해석적 접근과 현장 시험등을 통한 실증 작업을 민간 단독으로 수행 어려운 상황임. - 배수재를 이용한 앵커의 개발을 통해 연약지반에 시공되는 가설구조물의 안정성과 경제성 그리고 주변지반의 침하를 억제하여 싱크홀과 같은 문제점을 보완할 수 있다. - 고밀도 도심지 지하굴착 및 인접지역에 설치된 보강재의 회수(연선제거) 필요(환경적 측면과 인접지역과 분쟁요인 제거)
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 하중 분산형 앵커 내하체 및 제거장치 이용(선행 특허기술 적용) 

- 정착장에 설치된 배수재의 확공 압력과 압밀과의 관계를 수치해석적 기법을 통해 규명한다.(산학연구 추진)
- 앵커 인장시 정착장 주변의 배수조건을 조절할 수 있는 배수유도 장치를 개발하여 연약지반에 특화되고 진보된 형태의 앵커체를 개발한다.



10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안

최종성과물	수요처	실용화 방안
배수재를 이용한 앵커체	공공기관 및 민간 가설시장	신기술을 통한 보급

11. 소요기간 및 예산

(단위 : 억원)

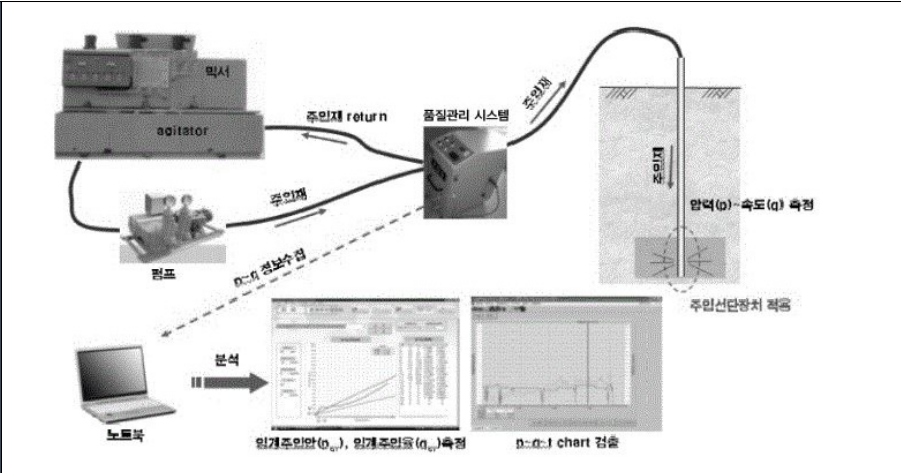
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
0.5	1.5	3.0	3.0	2.0	10.0

12. 기대효과 및 파급효과

국내 연약지반에 시공되는 가설구조물의 안정성 및 경제성 확보와 인접지역 침하 저감. 연약지반에 시공되는 앵커의 안정성 및 경제성 증대(간극수압의 소산을 통한 정착지반의 강도증가 및 침하방지)
 국외의 경우 베트남과 같이 대심도 연약지반 분포가 많은 곳의 경우 지하굴착 가설 시공법 및 보장재로서 사용처가 확대

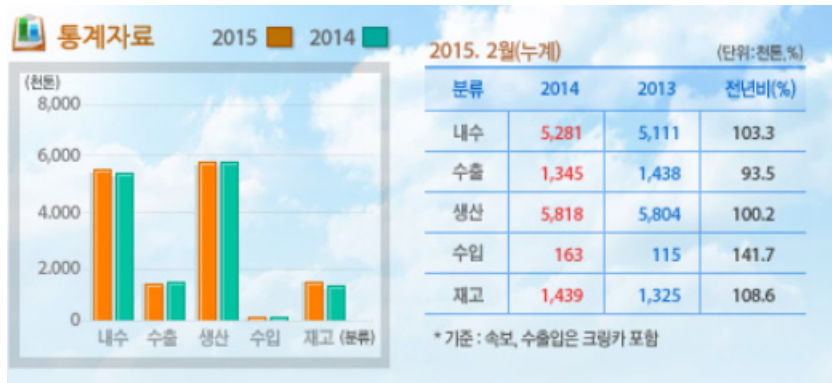
<p>1. 과제명</p>	<p>친환경 고화제와 다중 동시주입 장치를 활용한 보강 그라우팅 시스템 개발</p>
<p>2. 연구목적 및 배경</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 끊임없는 산업발달 및 경제규모의 확장으로 인하여 국토가 협소한 국내 여건상 양호한 지반의 확보가 어려워져 각종 산업시설 구조물이 연약지반에 계획되어, 구조물 하중으로 인한 지반 침하와 인접구조물의 부등 침하가 발생함 ○ 또한, 대심도 및 도심지에 개착·비개착으로 구조물 설치시 수직 굴착에 따른 지하수 저하로 인한 토사 유출이 발생하여 공사 중 지반붕괴, 공사 후 인접구조물 침하, 도심지 지반 함몰이 발생하여 그라우팅 공법을 통한 지반보강 및 차수로 안정성을 확보함 ○ 구조물 기초의 보강, 연약지반의 개량, 대심도 보강, 도심지 함몰 충전, 내진보강 등을 목적으로 다양한 용도로 그라우팅을 적용하고 있는 추세이나, 대심도 지반, 조수 간만의 차, 유속이 빠른 지반, 대수층 지반에는 그라우팅 구근 형성이 어려워, 강도확보를 위해 다량의 재료가 투입되어 경제성, 환경성 문제가 대두되는 실정임으로 이러한 문제점을 해결하는 그라우팅공법 개발이 필요함 ○ 연간 4,500톤의 시멘트를 생산하기 위해 약 5,500만톤의 석회석을 채취하고 시멘트 1톤 생산시 944kg CO2배출되고 연약지반 보강 및 차수재 등 고화제의 부 원료인 벤토나이트, 석고는 국내에 부존하지 않는 수입광물로 다음과 같은 문제점이 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 지층특성 변화로 배합비 조절이 어려워 시멘트 과다 투입 발생 - 시멘트 생성시, 시공중, 시공완료 후 각 종 폐기물 발생 - 시멘트 수화작용으로 인한 중금속(수은, 6가크롬 등) 용출로 환경적인 문제 발생 ○ 시멘트에서 발생하는 근본적인 문제점 해결을 위한 재료 대체가 가능하고, 이산화탄소(CO2) 발생량을 저감하며, 토양오염에 대한 환경적인 문제를 야기하지 않는 친환경 고화제 개발이 필요 ○ 기존 구조물 보수·보강용으로 기존 컴팩션그라우팅공법(고강도 저 치환율)을 많이 적용하나, 신설 구조물의 경우 경제성 확보가 어려워 중강도 고치환율 보강 그라우팅의 개발이 필요 ○ 기존의 압밀 그라우팅은 1개의 천공홀에 하나씩 주입하는 장치 사용으로 인해 시공효율성이 낮았으나, 여러개의 천공홀에 동시에 주입이 가능한 장비의 개발은 시공 효율성과 공기 단축으로 공사비를 감소시켜 국가예산의 절감 및 대심도 지반, 재난·재해의 신속한 대응에 높은 적용성을 보일 것으로 기대 ○ 도심지, 대심도, 지하수위가 높은지반을 보강 할 경우, 그라우팅 품질의 신뢰성을 확인하기가 어려우므로 지반에 주입되는 상황(주입압력, 주입타수, 주입량, 개량체 형성 등)을 실시간으로 모니터링하여 그라우팅 품질의 신뢰성을 확보할 수 있는 프로그램 개발이 필요 ○ 따라서, 친환경 고화제, 다중 동시주입펌프, 프로그램을 개발하여 품질을 확보하는 구근 형성 문제와 시멘트 부산물에서 발생하는 환경적인 문제, 경제성 문제를 해결 할 수 있다고 판단됨
<p>3. 연구개발 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대수층, 지하수위가 높은 지반에 보강 공사시 환경 유해 물질 배출이 없는 친환경 고화제 개발 ○ 고화제의 강도 및 내구성을 보완할 수 있는 첨가재 및 배합기술 개발 ○ 도심지, 대심도, 지하수위가 높은지반 시공 효율성과 경제성을 향상 시키는 다중 동시주입 펌프 개발 ○ 시공중 개량체 품질 확보가 가능한 프로그램 개발 ○ 중강도 그라우팅 공법에 따른 공동 확장이론 및 개량 영향범위 산정식 개발

4. 기술개발 및 산업/시장 동향



구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
국내	다점동시주입시스템을 이용한 해상 거치식 케이스기초 저면 그라우팅공법	대우건설, 동아지질	해상기초하부 지반보강
	저유동성 점소성 몰탈그라우트의 정량균등 다중분배공급장치	대건공영	3점주입분배장치활용한 지반보강
	친환경 모르타르와 급결제용 날개식 이중분사장치 및 원추형 노즐로 구성된 스프레이 장비를 이용한 콘크리트 구조물 급속보수공법	케어콘, 유림건설(주)	초기강도 감소시키고 알카리 무기염계 친환경 모르타르를 사용하여 지반보강

○ 시멘트 재료(한국 시멘트 협회 참조)



시장 동향

- 2014년 기준 5,281,000톤에서 그라우팅용 시멘트는 약 10%로 약 50만톤으로 예상
○ 각 기관(지자체, 정부기관, 공공단체 등)의 보링 그라우팅(대한전문 건설인 협회 참조)

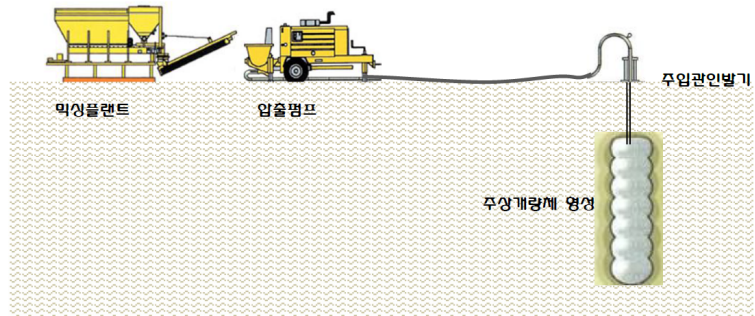
- 서울 : 347건, 210,039백만원	- 세종 : 6건, 510백만원
- 부산 : 130건, 131,487백만원	- 경기 : 524건, 109,076백만원
- 대구 : 28건, 4,256백만원	- 강원 : 68건, 8,228백만원
- 인천 : 25건, 18,037백만원	- 충북 : 58건, 10,521백만원
- 광주 : 13건, 2,695백만원	- 충남 : 101건, 20,776백만원
- 대전 : 29건, 6,609백만원	- 전북 : 244건, 41,650백만원
- 울산 : 78건, 6,609백만원	- 전남 : 312건, 19,531백만원
- 경북 : 274건, 13,414백만원	- 경남 : 472건, 36,687백만원
⇒ 총 합계 금액 : 2,719건, 640,202백만원	

- 지진재해가 증가되는 추세로 내진에 대한 기존 구조물 보강요구와 연약한 지반에 구조물 보강 그라우팅 공사 수요가 증가할 것으로 예상

5. 기존 기술 활용방안

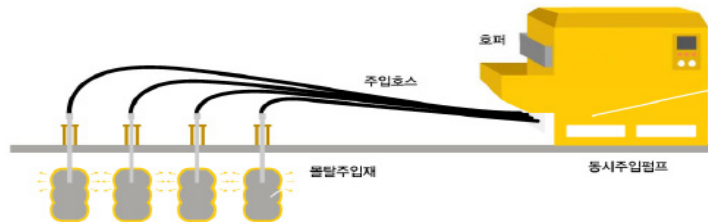
○ 기존 기술

- 컴팩션 그라우팅 공법(고강도 저 치환율) : 주로 기존 구조물 지반보강
- 주입재료 : 마사 + 석분 + 시멘트 + 물
- 주입 펌프기 : 2개의 천공홀에 2개씩 주입
- 컴팩션 그라우팅 제어시스템 : 주입타수, 주입압력, 주입량을 자동 기록



○ 활용방안

- 컴팩션 그라우팅 공법(중강도 저 치환율) : 기존 및 신설 구조물 지반 보강
- 시멘트 대체 재료로 친환경 고화제 개발(마사 + 석분 + 친환경 고화제 + 물)
- 다중 동시주입 펌프 개발 : 여러개의 천공홀에 다수 동시 주입이 가능한 장비개발
- 품질관리 프로그램 개발 : 시공 중 다양한 토질조건 변화로부터 주입타수, 주입압력, 주입량을 측정하여 지반 구속압이 작은 부분에서 주입 속도와 주입 타수의 조절이 가능한 프로그램 개발




6. 기술개발 필요성

- 도심지, 도심도 수직굴착, 주변침하 억제에 대한 그라우팅공법의 연구는 국내에서도 이루어지고 있으나 “시멘트를 대체하는 친환경 재료, 실시가 모니터링이 가능하며 여러개의 홀에 동시 주입하는 장비”에 주안점을 두고 보강하는 그라우팅에 대한 연구는 미진함
- 국내에서 주입재가 천연재료이고 중 강도로 환경유해성 물질이 없어 해수, 하천, 지하수를 오염시키지 않으며, 재난·재해시 신속하게 보강 주입할 수 있는 그라우팅 공법에 대한 연구가 필요함
- 시멘트 사용으로 인한 이산화탄소(CO2) 배출과 중금속 발생으로 토양, 지하수, 해수 등 환경적 문제를 야기하지 않는 시멘트 대체 기술 개발이 필요
 - 근본적으로 시멘트를 전혀 사용하지 않는 친환경 고화제 재료 개발이 필요
 - CO2 발생을 최소화하는 친환경적 고화제 기술 개발이 필요
- 기존 그라우팅 보강은 1개의 천공홀에 1개씩 주입하는 시스템으로서 시공성, 경제성 측면에서 불리하므로 시공성, 경제성을 극대화하여 공사비를 절감할 수 있는 동시 주입이 가능한 장비 개발이 필요
- 시공중 지반에 주입되는 상황을 실시간 모니터링하여 균질한 개량체를 형성함으로써 개량체에 대한 철저한 품질관리 및 시공관리를 가능하게 하는 품질관리 프로그램 개발이 필요

7. 주요 연구개발 내용	○ 1차년도			
	연구개발목표	연구개발내용 및 방법		
	<ul style="list-style-type: none"> - 이론적인 국내외 문헌 및 선행연구 조사 - 유사 실적 사례 조사 - 국내 시장성 수요조사 - 친환경 고화제 선정 및 특성검토 - 유동화 처리 프로세스 개발 및 시공기법 확립 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내외 조사항목 및 기초특성 시험데이터 분석/평가, D/B수집 조사 - 각 기관(지자체, 국토관리청, 도로공사, 수자원공사, 한전, 항만청 등) 그라우팅 시공 D/B수집 조사 - 국내 토질조건에 적합한 친환경적인 고화제 발굴 - 토질별, 고화제별 최적배합비 선정 - 배합설계법 개발 		
○ 2차년도				
	연구개발목표	연구개발내용 및 방법		
	<ul style="list-style-type: none"> - 다중 동시주입펌프 개발 - 품질관리 시스템 개발 - 품질기준 정립 - 품질시험법 표준화 	<ul style="list-style-type: none"> - 시공기법 검토 - 실내 모형시험을 통한 지반공학적 특성 분석 - 적용 구조물별 설계 기준 정립 - 품질 관리시험법 표준 정립 		
○ 3차년도				
	연구개발목표	연구개발내용 및 방법		
	<ul style="list-style-type: none"> - 현장 적용성 평가 - 시공성 및 경제성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 시험 시공 및 기존 공법과의 비교 - 시험시공에 의한 현장 적용성 평가 및 검증 - 적용 대상구조물별 시방기준 정립 - 유지관리 지침서 작성 - 품셈 및 일위대가 작성 - 지속가능한 적용범위 확대검토 		
8. 정부지원의 타당성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다중 동시주입펌프 개발은 기계분야 등 여러 유관 전문가의 도움이 필요하므로 개발업체가 단독으로 수행하기 어려운 실정으로 정부 지원 절실 ○ 개량체 품질확보를 위한 품질관리 프로그램 개발 IT전문가 도움이 필요 ○ 다중 동시주입 펌프 개발로 시공성이 향상되므로 공사비 감소에 따른 국가 예산 절감이 가능하므로 정부지원 필요 ○ 친환경 고화제 개발을 통한 산업 부산물, 폐기물의 재활용으로 환경오염 최소화가 가능하여 시멘트 생산물을 위한 재료원 확보시 개발에 따라 환경오염, 그라우팅(시멘트 이음) 적용시 CR6+ 배출에 따른 환경오염에 최소화가 가능하므로 정부지원이 필요 			
9. 기술확보 전략	<ul style="list-style-type: none"> ○ 산 : 고화제 개발 및 각종 현장에서의 시험시공 ○ 학·연 : - 시험시공의 feed Back을 통한 실험 및 수치해석, 논문작성 <ul style="list-style-type: none"> - 다중 동시 주입펌프 개발 - 품질관리 프로그램 개발 			
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	수요처	실용화 방안	
	친환경 고화제 다중 동시주입 펌프 품질관리 시스템 개발	도로공사, 항만청, 국토관리청, NH공사, 수자원공사 등	신설구조물 보강, 기존구조물 보강, 내진 및 액상화 보강, 연약지반 보강, 공극 충전 등	
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)			
	1차년도	2차년도	3차년도	계
	3.0 억	4.0억	3.0억	10.0억
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 친환경 고화제 개발에 따른 산업 폐기물·부산물 재활용, 재료원(시멘트) 개발 불필요, CR6+ 발생이 없어 토양, 해수, 하천, 지하수 등을 오염시키지 않아 시공시 환경오염 최소화 ○ 다중 동시 주입 펌프에 의한 시공성 향상으로 공사비 감소에 따른 국가 예산 절감 ○ 그라우팅 시공 중 주입압, 주입량, 주입심도를 자동관리 할 수 있는 품질관리 시스템 개발로 개량체의 철저한 품질확보로 국가기반시설물의 장기 장기안정성 증대 ○ 재난·재해에 신속한 보강을 통한 안전사고 절감 			

<p>과제명</p>	<p>굴착공사(개착/비개착) 중 토사 및 지하수 유출방지를 위한 급속 동결시스템 개발</p>
<p>2. 연구목적 및 배경</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 개착/비개착 공법 적용시 토사나 지하수 용출이 발생하는 경우, 주로 그라우팅 공법을 이용하여 차수 및 보강을 실시함 - 하지만, 대수층이나 대심도 굴착에 의해 지하수위가 높은 지반에서 다량의 토사나 지하수 용출이 발생하는 경우에는 그라우팅 구근형성이 어려워, 적절한 차수 및 보강을 실시하기 위해서는 다량의 그라우팅 재료의 낭비와 그라우팅 재료, 토사 및 지하수 유출로 인한 공사현장 환경훼손을 감수해야 함 <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <ul style="list-style-type: none"> - 동결공법을 적용하여 1차적으로 확실한 임시 차수 및 보강을 실시하고 필요한 부분에 그라우팅 공법을 적용하는 방법으로 전술한 문제를 해결 할 수 있다고 판단됨 - 하지만 동결공법은 다음 그림과 같이 굴착 이전에 굴착 대상지반 전면을 동결하는 경우에만 적용되고 있는 실정이며, 토사 또는 지하수 유출이 발생하였을 경우, 차수 및 보강공법으로 활용하기 위한 필요 동결범위 및 액화가스 주입구(동결관) 배치 방안이 정립되지 않음 <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <ul style="list-style-type: none"> - 비개착 공법에서 적용가능한 동결공법에 대한 연구는 국내에서도 이루어지고 있으나 “해저터널 연결부 시공”에 주안을 두고 있어, 부분 차수 방안과 도심지에서 동결공법을 적용할 시 문제가 될 수 있는 지표 융기 및 침하에 대한 연구는 미흡함 - 따라서 도심지 굴착시 대규모 지하수 및 토사 유출이 예상되거나 발생한 경우, 확실한 차수 및 보강을 목적으로 동결공법을 적용하기 위해서는 개착/비개착 공법에 따라 필요 동결범위 및 동결공법 적용방안의 정립, 지표 침하 및 융기로 인한 동결공법의 적용범위(한계)를 제시할 필요가 있음 - 또한 초저온인 액화가스의 특성으로 인하여 액화가스의 주입시에는 별도의 펌프를 사용하지 못하고 액화가스 저장용기 내부의 압력만을 사용하여 주입해야 하므로, 동결관을 상방향으로 삽입하는 경우에는 액화가스의 주입이 어려운 실정임 - 따라서 동결공법의 적용성을 확장하기 위해서는 액화가스 상방향 주입이 가능한 액화가스 주입시스템의 개발이 필요하며, 현장에서 손쉽게 동결과정을 조절할 수 있도록 동결 모니터링 및 유량조절이 가능한 급속지반동결시스템의 개발이 필요함
<p>3. 연구개발 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 도심지 굴착시 대규모 지하수 및 토사 유출이 예상되거나 발생한 경우, 토사 또는 지하수 유출지점 및 발생 범위에 따른 필요 동결범위 및 액화가스 주입구(동결관) 배치 제시 - 급속동결공법 적용시 지표 침하 및 융기로 인한 취약요소 정립 및 동결공법의 적용범위 도출 - 동결관의 상방향 삽입시에도 원활한 액화가스 주입이 가능한 액화가스 주입시스템 개발 - 모니터링 및 유량조절이 가능한 급속지반동결시스템 개발

4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
		국내	간이 동결 강관추진공법 및 그 장치	건양이엔씨 주식회사	드라이아이스를 이용하여 터널 막장 동결
			동결공법을 이용한 흙막이용 가시설의 시공방법	김상록	동결공법을 이용한 흙막이 가시설 설치 흙막이 가시설을 설치하려는 부근을 모두 동결해야 함
		국외	Ground Freezing	TREVIGROUP	수직구 터널, 터널 연결부등에 동결공법 적용 가능 국소 동결공법 적용실적 없음
Ground Freezing	SOILFREEZE		수직구 터널, 광산등에 차수목적의 동결공법 적용 국소 동결공법 적용실적 없음		
5. 기존 기술 활용방안	시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> - 국외의 경우, 고수압 하의 지하공간(터널, 비축기지 등) 건설이 증가하면서 기존의 그라우팅 장비로는 목표 그라우팅 품질을 확보하기 어려우므로 지반을 동결시킨 상태에서 목적하는 구조물을 안전하게 시공(굴착) 할 수 있는 동결공법에 대한 시공 및 연구가 활발히 진행 중 - 국내의 경우, 동결공법에 대한 기술 특허가 터파기 대상 전체지반의 안정 및 차수를 위한 공법으로 국한되어 있음 - 국내외 모두 그라우팅을 적용하기 위한 필요 동결범위 산정 및 동결방안에 대한 연구가 미흡 			
		<ul style="list-style-type: none"> - 기 수행된 국가연구개발 사업은 없음 - 건설기술연구 사업의 “고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발”에서 현재 “고수압 해저터널에 적합한 급속 동결공법의 시공법”을 연구하고 있으나 연구 범위가 본 과제와는 다름 - 다만, 기초적인 동결공법에 대한 이론과 해석기법의 연구는 진행되고 있으므로 본 과제의 연구에 기여할 수 있을 것으로 판단됨 			
		<ul style="list-style-type: none"> - 비개착 굴착시 적용가능한 동결공법에 대한 연구는 국내에서도 이루어지고 있으나 “해저 터널 연결부 시공”에 주안을 두고 있어, 부분 차수 방안과 도심지에서 동결공법을 적용할 시 문제가 될 수 있는 지표 융기 및 침하에 대한 연구는 미흡함 - 국내에서 이루어지고 있는 “해저터널 연결부 시공을 위한 동결공법”을 도심지에서도 빠르게 확대 적용하기 위해서는 동결공법에 의해 발생할 수 있는 지표 융기 및 침하에 대한 연구가 반드시 이루어져야 함 - 시공현장에서 발생하는 과도한 토사 및 지하수 유출은 최근 이슈가 되고 있는 싱크홀 및 시공현장 자체의 안정성과 직결되는 문제이나, 현장에 따라서 그라우팅만으로 차수 및 보강을 수행하기 어려운 경우가 있으므로 빠르고 확실한 보강을 수행 할 수 있는 동결공법을 개착/비개착 굴착현장 모두에 확대 적용하기 위해서는 본 연구의 수행이 필요함 			
		<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개착/비개착 지반에서의 동결공법 적용사례 연구 - 지하수위에 따른 동결토의 동결팽창 영향범위 사례 조사 - 동결공법 적용을 위한 이론적, 해석적 방법 검토 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 동결공법 모사를 위한 해석기법 개발 - 동결/융해 시, 지반의 특성 평가를 위한 실내시험 수행(강도, 열전도도, 지반팽창압 등) 			
6. 기술개발 필요성					
7. 주요 연구개발 내용					

	<ul style="list-style-type: none"> - 최적의 동결관 형상 제시 - 동결관의 상방향 삽입시에도 원활한 액화가스 주입이 가능한 액화가스 주입시스템 개발 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시뮬레이션을 통한 토사 또는 지하수 유출 발생지점 및 발생범위에 따른 필요 동결범위 및 동결관 배치 방안 제시 - 동결공법 현장 실증시험을 위한 예비조사 및 부지선정 - Pilot 규모의 실내 챔버시험을 통한 동결관 배치 방안 검증 및 개선 - 현장 적용 가능하며, 모니터링 및 유량조절이 가능한 급속지반동결시스템 설계 <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">〈모니터링 및 유량조절이 가능한 급속지반동결시스템 (예시)〉</p> <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현장 실증시험을 통한 동결공법 설계요소 검증 - 동결 후 그라우팅을 공법을 적용하여 임시 차수 및 보강공법으로서의 동결공법 적용성 검증 - 현장 적용 가능하며, 모니터링 및 유량조절이 가능한 급속지반동결시스템 개발 <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개착/비개착 굴착현장의 토사 및 지하수 유출 발생 Type에 따른 최적 설계안 제시 - 4차년도 현장 실증시험의 피드백 및 보완 - 현장 적용 가능한 급속지반동결시스템의 보완 및 매뉴얼 작성 - 급속동결공법의 시공 procedure 제시
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 동결공법은 안정성 면에서 우수하지만 적절한 공법의 정립과 적용을 위해서는 이론으로 접근해야 하는 부분이 많아, 민간에서 단독으로 연구를 수행하기 어려움 - 또한 동결공법은 국내에서는 아직 연구가 많이 이루어지지 않은 분야로, 연구수행을 위해서는 초기투자비가 필요하지만 적용성 및 경제성이 확실하지 않은 만큼, 민간에서 단독으로 연구를 수행하기는 어려움 - 동결공법은 폐기물이 발생하지 않는 친환경적 공법이며, 시공현장에서 발생할 수 있는 토사 및 지하수 유출 문제의 확실한 대비책이 될 수 있음
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 학계 또는 연구소에서는 주로 이론적, 실험적, 해석적 연구를 수행 - 산업계에서는 동결공법에 이용되는 동결관의 설계, 급속지반동결시스템의 설계 및 제작을 수행 - 산-학(또는 연) 연계를 통하여 지반공학의 이론적 토대와 실무에서 활용할 수 있는 시스템 개발 노하우의 융합으로 최적의 동결공법 설계법과 지반동결 시스템을 확보 - 각 차년도의 간략한 업무분장은 다음과 같음

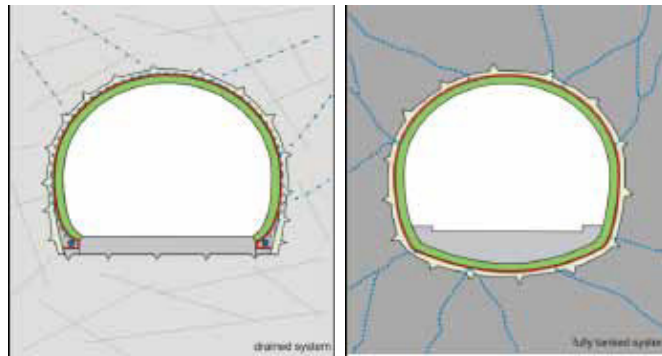
	차년도	학계 또는 연구소	산업계
	1	동결공법의 문헌 및 사례조사	동결공법의 문헌 및 사례조사
	2	동결/융해 실내시험	최적의 동결관 형상 제시 및 상방향 삼입시 원활한 액화가스 주입이 가능한 액화가스 주입시스템 개발
	3	실내 챔버시험 및 시뮬레이션을 통한 동결관 배치 방안 제시	급속지반동결시스템 설계, 동결공법 현장 실증시험을 위한 예비조사 및 부지선정
	4	동결공법의 현장 실증시험	급속지반동결시스템 제작
	5	동결공법의 최적 설계안 및 시공 Procedure 제시	급속지반동결시스템 보완 및 매뉴얼 작성

10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	수요처	실용화 방안
	급속지반동결시스템	보강그라우팅 회사 동결공법 적용가능 회사	현장검증 보고서 첨부
	토사 및 지하수 유출 발생 Type에 따른 최적 설계안 제시	보강그라우팅 회사 동결공법 적용가능 회사	현장검증 보고서 첨부

11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	1.5	1.5	2	3	2	10

12. 기대효과 및 파급효과	- 급속 동결공법에 대한 특허 출원 및 등록을 통한 기술이전
	- 빠르고 안정적인 차수 및 보강을 통한 안전사고 절감
	- 동결공법에 대한 국내의 부정적 및 저조한 인식 환기
	- 친환경적인 공법으로서, 그라우팅시 발생하는 폐기물을 최소화

1. 과제명	- 지하 굴착구간의 유출수 방지 및 안정성 향상을 위한 뿔칠형 방수 라이너 공법 개발	
2. 연구목적 및 배경	<p>- 배경: 현재 터널, 사면, 수직구 등의 건설공사 시에 배수개념으로 설계가 이루어지고 있어 지반침하(싱크홀 등)의 주된 원인이 되는 지하수 유출을 원천적으로 방지할 수 있는 공법 부재</p> <p>- 연구목적: <ul style="list-style-type: none"> • 지하 굴착구간의 경제적인 방수처리가 가능하며, 슛크리트와 함께 굴착면의 안정성을 향상시킬 수 있는 뿔칠형 방수 라이너(Sprayable waterproofing liner) 개발 • 박층(두께 3~5 mm) 시공만으로 방수성과 지보성능을 확보하여 경제성 확보 • 대규모 용출수 발생 및 지하수 유입 구간에 대한 방수 기능 확보를 통해 공사 중뿐만 아니라 영구적으로 싱크홀 등의 지반침하 방지 </p>	
3. 연구개발 목표	- 박층(두께 3~5 mm) 뿔칠 시공에 의해 지하 굴착구간의 방수기능 확보 및 구조물 안정성 향상	
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<p>- 일반적인 터널, 수직구, 횡갱 등의 시공 시에는 굴착면이 슛크리트 등으로만 마무리되어 있어 최종 구조물(콘크리트 라이닝 등)을 시공하기 전에는 시공현장 내부로 유입수 계속 발생</p> <p>- 특히, 슛크리트는 불투성 재료가 아니며, 강지보재와의 시공이음부와 슛크리트 균열 등을 통해 유출수 유입이 지속적으로 발생</p> <p>- 최종 구조물 완공 후에도 대부분 배수개념으로 구조물이 시공되기 때문에, 구조물 운용 중에도 지속적인 유입수 처리 필요</p> <p>- 현재 유입수 방지를 위한 가장 효과적인 공법은 그라우팅을 들 수 있으나, 방수를 위한 그라우팅의 주입범위, 주입효과 등에 있어서 기술적으로 체계적인 정립이 어려우며 공사비도 고가여서 특수조건을 위주로 제한적으로 적용되고 있음</p> <p>- 대규모 굴착구간을 신속하고 빠르게 방수처리를 할 수 있는 기술은 유럽 BASF社 등의 sprayable membrane 제품이 유일</p> <p>- 기타 광산에서 사용되고 있는 TSL(Thin Spray-on Liner) 상용화 제품들이 독일, 남아프리카공화국, 캐나다 등에서 생산되고 있으나, 방수 기능보다는 지보 성능 확보에 초점이 맞추어져 있음</p>
	시장 동향	<p>- 노르웨이, 영국 등에서 공사비 절감을 위해 양호한 암반조건에서 적용되고 있는 싱글셸(single-shell) 터널공법을 실현하는데 있어서도 가장 핵심적인 공법 중의 하나임</p> <p>- Sprayable membrane을 생산하고 있는 대표적인 기업으로는 글로벌 기업인 독일 BASF 와 독일 MINOVA를 들 수 있음</p> <p>- 이외에도 슛크리트 관련 기업인 Normet, Mapei 등에서도 일부 관련 제품을 생산 중에 있음. 나머지 기업들은 캐나다와 남아프리카공화국의 소규모 기업임</p> <p>- 이상과 같이 뿔칠형 라이너 기술은 유럽을 중심으로 한 일부 기업 위주의 독과점 형태로 생산판매되고 있음</p> <div data-bbox="651 1585 1246 1951" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">〈스�크리트를 통한 지하수 유입 사례(ITA, 2013)〉</p>



〈일반적인 터널 배수시스템(좌)과 뿔칠 방수 멤브레인에 의한 방수 시스템(우)〉



〈터널에서 뿔칠형 방수 멤브레인의 시공 예(ITA, 2013)〉

	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 시장성장 전망근거: <ul style="list-style-type: none"> * 수도권 급행광역철도(GTX)의 기본설계계획이 검토되고 있으며, 전 구간 NATM 및 Open TBM 터널로 계획되고 있는 바 슛크리트와 더불어 방수성능 확보와 지보성능 향상 측면에서 시장성 확대가 예상됨 * 전 세계적으로 터널 및 자원개발 분야에서 TSL과 Sprayable waterproofing membrane의 활용 증대가 전망되고 있음 (ITA, 2013) * 터널뿐만 아니라, 다양한 지반구조물/지하구조물에의 적용이 가능하여 시장성 확대 유망
<p>5. 기존 기술 활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 주요내용: 한국건설기술연구원의 자체 사업으로 수행하고 있는 “도심지 지하굴착 솔루션 개발”의 일환으로, 분말형 및 2성분 TSL 시작품 개발 - 기 개발기술과의 활용 및 연계방안: <ul style="list-style-type: none"> * 건설연의 시작품은 방수 성능보다는 대규모 지하공간 공법인 주방식 공법(room-and-pillar method)에서 암반의 안정성 향상을 위한 지보 기능 위주 * 국내에서 유일한 관련 기술이며, 전 세계적으로 독일, 캐나다 등 일부 국가에서만 기술을 보유하고 있는 관계로 단기간 연구 성공에 필수적인 선행기술로 활용이 가능
<p>6. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 실험실 수준에서는 방수 슛크리트를 구현할 수는 있으나, 실제 현장 규모에서는 방수막을 이용한 방수 시스템에 의해 콘크리트 라이닝 등을 보호하는 형태 - 이러한 문제점을 개선하기 위한 방법으로 Sprayed waterproofing membrane에 대한 관심이 증대되고 있으며, 이의 일환으로 국제터널협회(ITA)에서는 Sprayed waterproofing membrane의 설계 가이드라인을 2013년에 제시 - 이에 앞서 유럽의 콘크리트협회인 EFNARC에서 광산 및 터널에 사용될 수 있는 TSL의 시방/가이드라인을 제시

	<ul style="list-style-type: none"> - 이와 같이 향후 지하 굴착구간의 효과적이고 경제적인 방수 공법으로서 뽀칠형 라이너 공법이 유용하게 활용될 것으로 전망 - 특히, Sprayed waterproofing membrane은 횡갱, 철도 분기구간, 대규모 지하공동 등과 같이 기하학적인 구조 형상이 복잡하여 방수막의 시공이 어려운 구간에서 높은 적용성을 발휘함 - 또한 지하 굴착구간 전체에 대한 방수 시공뿐만 아니라, 일부 필요한 구간에 대해 국부적으로 방수 시공법으로 적용할 수 있는 효과적인 공법임 - 터널뿐만 아니라, 옹벽, 지중연속벽, 현장타설 말뚝 등과 같은 모든 지하 구조물 형태에의 적용이 가능함 - 최소 부착강도가 0.5 MPa 이상으로서 굴착면 또는 슛크리트 타설면과의 일체화가 가능 - 기본적인 색상이 흰색(white)으로서 지하 공사장에서 시인성을 향상시킬 수 있으며, 기타 색소와 조합할 경우 다양한 색상으로도 시공이 가능 - 시공속도가 매우 빨라서 인력 타설의 경우에는 50~100 m²/hr 시공이 가능하며(작업자 3명 기준), 기계 타설의 경우에는 최대 180 m²/hr의 시공이 가능함 → 공사기간 단축에 기여 - 암반 조건이 양호할 경우, 뽀칠형 라이너에 의해 구조물 내부를 마감하는 싱글셀 공법이 가능하여(높은 내구성 및 내화 성능 확보) 지하굴착 공사비용의 약 30%를 차지하는 최종 내부 구조물의 대폭 절감이 가능
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(주요 성능목표)</p> <p>방수성능: 유입수 제로화(zero) (EN 12390-8)</p> <p>타설면 부착강도: 최소 0.5 MPa (재령 28일 이내)</p> <p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 뽀칠형 라이너 재료의 주요 구성성분 결정 및 1차 배합 도출 - 뽀칠형 라이너 재료의 제반 성능평가 실험 및 개선사항 도출 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 뽀칠형 라이너 재료의 2차 배합 도출 및 제반 성능평가 실험 - 뽀칠형 라이너 재료용 타설장비 적용성 검토 - 뽀칠형 라이너 재료를 활용하는 지하구조물의 방수 설계방안 연구 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 뽀칠형 라이너 재료용 타설장비 구축 및 시공성 검증 - 뽀칠형 라이너 재료의 최종 시제품 도출 (실내실험, 실물실험, 시험시공 등) - 뽀칠형 라이너 재료를 활용하는 지하구조물의 방수 설계패턴(안) 제시 <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 뽀칠형 라이너 재료의 현장 시공, 검증 및 보완 - 지하구조물의 방수 설계패턴 검증 및 완성 <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 뽀칠형 라이너 재료의 완성 - 뽀칠형 라이너의 경제성 분석 - 뽀칠형 라이너의 설계/시공 매뉴얼 작성
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 재료 분야의 전문 중소기업과의 협업을 통한 산학연 실용화 연구 성격으로서, 현장적용, 성능검증, 설계 등에 있어서 중소기업의 단독 수행 및 연구비 확보 불가
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 연구 추진조직 및 구성

	<p>후보 과제의 성공적인 기술개발을 위하여 주관과 공동 및 위탁연구기관으로 구분하여 실용화상용화 연구를 수행하는 것으로 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 주관연구기관 부문 <ul style="list-style-type: none"> • 고성능 슛크리트 등의 관련 분야 실용화 실적을 보유하고 있는 정부출연기관의 주도로 설계, 재료개발 방향 수립, 객관적인 성능평가, 현장적용 및 지침/기준 반영을 추진 □ 공동연구기관 부문 <ul style="list-style-type: none"> • 시공재료 분야의 전문 중소기업이 참여하여 재료개발을 수행하고 주관연구기관과 공동으로 실용화상용화 추진 □ 위탁연구기관 부문 <ul style="list-style-type: none"> • 주관연구기관에서 도출할 방수 시스템의 실무 적용성 검토를 위해 터널/지반 전문 설계사가 위탁연구기관으로 참여 					
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	뽕칠형 라이너 재료		참여기업		상용화 제품으로 시장 진출 및 판매	
	뽕칠형 라이너의 방수 설계패턴		발주처, 시공사, 설계사		뽕칠형 라이너에 의한 지하구조물의 방수 시공의 근거로 활용	
뽕칠형 라이너의 시공 매뉴얼						
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	3	5	7	6	4	25
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 지반구조물(터널, 옹벽, 지중연속벽, 기초 등)에 구조 형상과 무관하게 적용이 가능한 신속하고 빠른 전면 방수 시공법 확보 - 유럽 위주의 일부 국가에서만 비공개로 보유하고 있는 뽕칠형 방수 라이너 재료 및 공법 관련 원천기술 확보 - 종래의 방수막 시공 대비 시공속도가 매우 빠르며 다양한 형상의 구조물에 적용이 가능하여(시공 중~운영 중), 유출수 발생으로 인한 지반재해 저감에 기여 - 내부 콘크리트 구조물 시공이 필요하지 않은 조건에서 싱글셸 (single-shell) 개념으로 내부 마감이 가능하여, 공사비의 약 30%를 차지하는 구조물 시공비용의 절감 가능 및 싱글셸 공법의 국내 실현 기여 - 향후 시장 확대가 유망한 뽕칠형 라이너 재료 관련하여 중소기업의 신시장 창출 및 해외 시장(토목 및 자원개발 분야) 진출 가능 					

1. 과제명	신개념 충전재료의 개발과 이를 이용한 지반공동의 충전공법 개발										
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> - 연구목적 ; 신뢰성이 확보된 고정밀 압력센서 개발과 센서에 의해 확인된 공동에서 자가치유 재료를 기반으로 하는 지반공동의 항구 보수/보강기술 개발 - 연구배경 ; 최근 국내에서는 지반함몰 및 공동현상이 빈번하게 발생(서울시의 경우, 연평균 약 680여건)하고 있으며, 이에 따른 공공/민간 재산 및 인명피해 가능성이 급증하고 있는 실정임 ; 특히, 수도권의 경우, 지상구조물의 포화상태에 따라 다양한 구조물이 지하화되고 있는 상황에서 구조물시공을 위한 굴착시공이 지속적으로 이루어지고 있으며, 이로 인해 지반침하에 기인한 지반함몰 및 공동의 사고발생 빈도가 증가하고 있는 추세임 ; 이와 같은 지반공동 현상의 원인은 크게 굴착에 따른 토사/지하수의 유출, 부실한 다짐 및 상하수관의 노후화로 인한 누수 등으로 구분할 수 있음 ; 따라서 항구적인 보수/보강기술의 개발 및 적용이 시급함 										
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 지반공동의 형상 및 크기와 지중거동을 파악할 수 있는 압력센서 개발 - 무기질계 자가치유 혼화재 개발 및 이를 이용한 공동 내 비개착 주입기술 개발과 지반 안정화 평가 										
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">구분</th> <th style="width: 20%;">보유기술명</th> <th style="width: 15%;">보유기관</th> <th style="width: 50%;">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">국내</td> <td style="text-align: center;">자가치유 그라우팅 공법</td> <td style="text-align: center;">대원토질 주식회사</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> - 지반 내 물과 반응하여 결정성장형 자기치유 특성을 발휘하여, 그라우트와 지반이 일체화 되어 지반의 내구성 향상되고, 응탈방지 및 차수성 확보 성능 보유 - 자수 및 지반보강, 비탈면 및 터널 보강 - 기존 그라우팅공법과 유사 </td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	자가치유 그라우팅 공법	대원토질 주식회사	<ul style="list-style-type: none"> - 지반 내 물과 반응하여 결정성장형 자기치유 특성을 발휘하여, 그라우트와 지반이 일체화 되어 지반의 내구성 향상되고, 응탈방지 및 차수성 확보 성능 보유 - 자수 및 지반보강, 비탈면 및 터널 보강 - 기존 그라우팅공법과 유사
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능							
국내	자가치유 그라우팅 공법	대원토질 주식회사	<ul style="list-style-type: none"> - 지반 내 물과 반응하여 결정성장형 자기치유 특성을 발휘하여, 그라우트와 지반이 일체화 되어 지반의 내구성 향상되고, 응탈방지 및 차수성 확보 성능 보유 - 자수 및 지반보강, 비탈면 및 터널 보강 - 기존 그라우팅공법과 유사 								
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> - 2014년 6월 송파구 석촌지하차도 지반함몰을 시작으로 하여 잠실운동장, 석촌고분 등의 동시 다발적인 발생으로 인해 지반공동에 대한 안전경각심이 고취되고 있고 이에 대한 대응예산이 증가하고 있음 - 지반함몰관련 하수도 예산 2015년도 2,200억원 예상 - 서울시의 경우, 지반함몰 관련 연차별 특별대책 투자계획 5개년간 1조900억원 정도계획됨 - 소형 압력센서 기술은 다양한 분야에 적용되고 있지만, 현재 지중에서의 활용성을 극히 제한적인 상태임 - 자가치유 재료는 일부 콘크리트와 합성하여 강도증진 및 지속성에 대한 연구가 진행중이며, 지반에 적용되는 경우에는 제한적으로 활용되고 있음 										
5. 기존 기술 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 GPR, 초음파 및 열화상 탐지 등의 지중탐지기술의 적용가능성을 인하여 탐지기술의 적용 및 국산화 추진 - 기존 탐지기술의 활용성 배가를 위한 위치기반 기술의 접목 - 기존 탐지기술의 지중공동 탐지에 최적화된 3차원 인터페이스 개발 및 적용 - 지하수 흐름특성 및 지반의 불포화특성을 고려하는 수치해석적 기법을 활용하여 본 연구에서 수행한 공동 보강 및 안정화 수치해석 기법의 결과와 실내모형시험 결과를 비교분석함으로써, 가장 합리적인 지반공동 보강 및 안정화 해석을 연구하여 지하구조물 설계 시 활용 가능 - 기존의 연구는 굴착시 발생하는 흙막이 벽체의 안정성 연구 및 계측, 인접지반의 침하예측 등의 연구 분석하여 모형실험을 통하여 가능성을 확인하고 실증 실험에서 적용 - 기존 연구에서 각각 수행했던 모형실험 종합적으로 Test-bed 수행이 이루어 질 수 있도록 										

	<ul style="list-style-type: none"> 록 Test-bed 설계에 이를 활용할 수 있는 방안을 검토 - 지하수 유출과 토사의 유실을 모니터링 할 수 있는 방안 수립
<p>6. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2014년 송파구 일대 동공 및 함몰로 인한 지중안전성에 대한 불안감 확산 - 2010년도부터 2014년도 까지 서울시의 지반함몰 발생건수는 총 3,119건으로 연평균 29%의 증가세를 가지고 있어 향후 큰 위험성 내포 - 국내의 지반함몰의 주요원인은 도심지 개발에 따른 굴착시공 및 상하수관과 같은 지중구조물의 노후화에 의한 지하수 흐름의 교란 등으로 추정되고 있으며, 특히 지중구조물의 노후화가 국내보다 20년 앞선 일본 도쿄에서는 연간 1,000여건이 발생하고 있어 국내의 발생추이를 충분히 예측할 수 있음 - 특히, 지반굴착시 지하수 유출로 인한 토사 유실과 지반공동 발생 등의 연구수요가 증가하고 있으나 관련 연구나 국내 실험시설은 미비한 실정임 - 따라서 굴착시공 및 지중구조물의 노후화에 기인한 지반함몰 및 공동에 대한 조사 및 보수보강 기술의 개발이 필요함. - 향후, 인구증가에 따른 지하공간의 개발은 나날이 증가될 것이며 개발에 따른 안정성 확보를 위해 지하수의 흐름에 지대한 영향을 받는 지반공동에 대한 보강 및 안정성 평가는 반드시 수행되어야 함 - 이에 보강재료 및 기술개발 등과 같은 다양한 방법론적 접근을 통해 보다 정밀하고 정량적인 기술이 적용되어야 함
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 센서를 이용한 지반 거동예측 기술에 대한 기존 문헌조사/분석 ; 흙 입자의 이동 및 지하수 흐름 변화에 의한 지중거동 감지를 위한 압력 센서 제작 기술의 국내외 현황 분석 ; 기존 센서의 성능향상 방향 모색 및 센서 제원 최적화 ; 지반공동의 보수/보강기술 사례 분석 ; 국내외 자가치유 재료 조사/분석 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 흙 입자의 이동 및 지하수 흐름 변화 감지 압력센서 인터페이스 구축 ; 무기질계 자가치유 혼화재 개발 및 재료특성 평가 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 지반함몰 및 공동현상에 따른 지중 내 거동 대응형 감지 압력센서 개발 및 정밀도 분석 ; 자가치유 혼화재를 이용한 그라우팅 재료의 재료특성 평가 및 지반의 강도특성 평가 <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 지반함몰 및 공동현상에 따른 지중 내 거동 대응형 감지 센서의 현장 적용성 평가(실내 대형) ; 자가치유 혼화재 기반의 그라우팅 재료에 대한 지반 내 공동 주입기술 개발 <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; Test-bed 적용을 기반으로 지반함몰 및 공동현상에 따른 지중 내 거동 대응형 감지 센서의 신뢰성 평가 ; Test-bed 및 현장실험을 바탕으로 자가치유 혼화재 기반의 그라우팅 보강기술에 대한 활용지침서 제시
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2014년 송파구 지반함몰과 같이 국내 지하시설물의 노후화로 인해 지반함몰 발생이 지속적으로 증가되어 피해가 확산되고 있음 (연평균 29%의 증가, 5년간 3,119건)

	<ul style="list-style-type: none"> - 지반함몰에 대한 서울시의 특별대책 투자는 1조900억원 규모로 이루어져 있으나 기존기술의 적용에 그치고 있어 국내의 여건에 맞는 신기술의 개발이 필요함 - 국내여건과 유사한 일본의 경우 지속적인 투자를 통해 노후된 지하시설물로 야기되는 지반함몰 발생건수를 획기적으로 저감시킴으로 재해대책 비용이 크게 감소됨 - 지반함몰을 지반, 지하시설물, 도로 등의 상부시설물, 교량 및 건물, 교통, 기후 등의 복합적인 원인에 의해 발생하는 것으로 정확한 조사와 적용을 위해서는 정부 주체의 공동 참여를 통한 개발이 필요 - 따라서 도심지 구조물 안전 영향 최소화를 위한 지반 보수보강 기술이 필요 - 또한 본 연구가 순차적인 단계를 거쳐 그와 관련된 최종 보고서가 도출이 된다면, 이를 활용하여 정부 및 지방자치단체에서는 각 문제의 상황에 맞는 대처가 가능할 것으로 판단됨 - 그리고 정부의 최종 목표에 긴밀한 도움이 될 수 있는 만큼 그 파급 효과는 경제적인 부분에서도 나타날 것으로 예상됨 																							
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 센서 및 재료개발 산업체와의 긴밀한 협력으로 해당기술에 대한 광범위 지식재산권 구축 및 선점기술의 분석 및 개선 방안 공동 마련 - 선점기술의 국산화와 지반공동 및 지하 매설물 탐지를 위한 기술 향상과 최적화 - 지반함몰 및 공동 발생 시 항구복구를 위한 최적화된 보수 및 보강 기술개발과 예방기술 마련 - 지하수 유출에 따른 지반공동 발생 원인 분석 - 지하수 흐름과 토립자 이동 계측 기술 분석 - 상기의 전략은 산/학/연이 공동으로 유기적인 협업 수행 																							
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>최종성과물</th> <th>수요처</th> <th>실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지반함몰 및 공동현상에 따른 지중 거동 대응형 감지 센서</td> <td>센서개발 업체, 지중 구조물 관리 기관, 지중 구조물 유지관리 보수 업체, 지중 탐지 민간업체, 정부기관,</td> <td>지중 구조물 보수/보강을 위한 굴착 시 탐사장비 및 방법으로 활용, 노후구조물 및 대형 공사로 인한 공동 발생 의심지역의 탐사에 활용</td> </tr> <tr> <td>지반공동 보강용 자가치유 혼화재</td> <td rowspan="2">재료개발 업체, 보수 보강 민간업체, 정부기관, 지중 구조물 관리 기관</td> <td rowspan="2">보수보강시 다짐장비 활용이 어려운 난공사 구간의 적용, 공동 발생 시 급속 시공 방법으로 활용, 광해(鑛害)에 대비하는 방법으로 활용</td> </tr> <tr> <td>자가치유 혼화재 기반의 그라우팅 기법을 이용한 지반공동 보수/보강 공법</td> </tr> <tr> <td>지하수 흐름 및 토립자 이동 모니터링 기술</td> <td>지반굴착업체, 보수보강 업체, 정부기관</td> <td>지하수 및 토립자 흐름 계측기 개발</td> </tr> <tr> <td>연구보고서</td> <td>국토교통부 및 각 지방자치단체</td> <td>지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시</td> </tr> <tr> <td>연구논문</td> <td>지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소</td> <td>학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유</td> </tr> <tr> <td>특허</td> <td rowspan="2">산/학/연</td> <td rowspan="2">특허 및 신기술 개발로 인한 국내 관련 산업 성장동력 기반 마련</td> </tr> <tr> <td>신기술</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	지반함몰 및 공동현상에 따른 지중 거동 대응형 감지 센서	센서개발 업체, 지중 구조물 관리 기관, 지중 구조물 유지관리 보수 업체, 지중 탐지 민간업체, 정부기관,	지중 구조물 보수/보강을 위한 굴착 시 탐사장비 및 방법으로 활용, 노후구조물 및 대형 공사로 인한 공동 발생 의심지역의 탐사에 활용	지반공동 보강용 자가치유 혼화재	재료개발 업체, 보수 보강 민간업체, 정부기관, 지중 구조물 관리 기관	보수보강시 다짐장비 활용이 어려운 난공사 구간의 적용, 공동 발생 시 급속 시공 방법으로 활용, 광해(鑛害)에 대비하는 방법으로 활용	자가치유 혼화재 기반의 그라우팅 기법을 이용한 지반공동 보수/보강 공법	지하수 흐름 및 토립자 이동 모니터링 기술	지반굴착업체, 보수보강 업체, 정부기관	지하수 및 토립자 흐름 계측기 개발	연구보고서	국토교통부 및 각 지방자치단체	지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시	연구논문	지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소	학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유	특허	산/학/연	특허 및 신기술 개발로 인한 국내 관련 산업 성장동력 기반 마련	신기술
최종성과물	수요처	실용화 방안																						
지반함몰 및 공동현상에 따른 지중 거동 대응형 감지 센서	센서개발 업체, 지중 구조물 관리 기관, 지중 구조물 유지관리 보수 업체, 지중 탐지 민간업체, 정부기관,	지중 구조물 보수/보강을 위한 굴착 시 탐사장비 및 방법으로 활용, 노후구조물 및 대형 공사로 인한 공동 발생 의심지역의 탐사에 활용																						
지반공동 보강용 자가치유 혼화재	재료개발 업체, 보수 보강 민간업체, 정부기관, 지중 구조물 관리 기관	보수보강시 다짐장비 활용이 어려운 난공사 구간의 적용, 공동 발생 시 급속 시공 방법으로 활용, 광해(鑛害)에 대비하는 방법으로 활용																						
자가치유 혼화재 기반의 그라우팅 기법을 이용한 지반공동 보수/보강 공법																								
지하수 흐름 및 토립자 이동 모니터링 기술	지반굴착업체, 보수보강 업체, 정부기관	지하수 및 토립자 흐름 계측기 개발																						
연구보고서	국토교통부 및 각 지방자치단체	지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시																						
연구논문	지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소	학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유																						
특허	산/학/연	특허 및 신기술 개발로 인한 국내 관련 산업 성장동력 기반 마련																						
신기술																								
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1차년도</th> <th>2차년도</th> <th>3차년도</th> <th>4차년도</th> <th>5차년도</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>3,5</td> <td>3</td> <td>15,5</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	2	3	4	3,5	3	15,5											
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계																			
2	3	4	3,5	3	15,5																			
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 지중 탐지기술을 활용하여 국내 지반공동 및 지하시설물 탐지에 최적화 및 향상된 기술을 개발하여 국내 기술 수준의 향상 																							

- 지반함몰 가능성 예측을 통한 재해재난 대비
- 신속한 지반공동 보수보강을 통한 시민의 불편해소 및 공동 확산을 통한 추가 함몰 등의 2차 피해 저감
- 국가 정책과 방향성이 일치한 본 연구를 통한 정책적 가이드라인 제시
- 지반굴착시 지하수 유출과 상수도관 노후에 따른 누수로 인한 토사 유실에 따른 지반공동과 지반함몰에 대한 실증실험을 수행, 보수보강 기술개발 지원 및 실용화 촉진이 가능하며, 관련 분야 기술경쟁력 제고에 기여
- 보수보강 기술개발로 국내 기업체의 국제적 기술력 확보를 통한 해외 건설시장 진출 확대 가능
- 다양한 학술논문 및 특허 등에 의한 관련 연구 기반 구축

1. 과제명	지반공동 발생에 따른 긴급 보수/보강 재료 및 기술 개발												
2. 연구목적 및 배경	<p>- 연구목적 ; 예측이 어려운 소규모의 지반공동 발생에 따른 긴급 보수/보강 재료 및 기술 개발</p> <p>- 연구배경 ; 최근 국내에서는 지반함몰 및 공동현상이 빈번하게 발생(서울시의 경우, 연평균 약 680여건)하고 있으며, 이에 따른 공공/민간 재산 및 인명피해 가능성이 급증하고 있는 실정임 ; 특히, 수도권의 경우, 지상구조물의 포화상태에 따라 다양한 구조물이 지하화되고 있는 상황에서 구조물시공을 위한 굴착시공이 지속적으로 이루어지고 있으며, 이로 인해 지반침하에 기인한 지반함몰 및 공동의 사고발생 빈도가 증가하고 있는 추세임 ; 이와 같은 지반공동 현상의 원인은 크게 굴착에 따른 토사/지하수의 유출, 부실한 다짐 및 상하수관의 노후화로 인한 누수 등으로 구분할 수 있음 ; 따라서 예측 불가능한 소규모의 지반공동 발생 시, 긴급 보수 및 보강이 가능한 재료와 이를 이용한 기술이 필요함</p>												
3. 연구개발 목표	지반의 함몰 또는 공동 발생 시 골재와 토목섬유, 발포재료의 최적 혼합비 산출, 공동크기와 주변지반의 조건에 따른 투입량 등을 포함하는 지침(안)을 개발하여 함몰된 지반을 신속하게 복원함은 물론 이완된 주변지반의 다짐효과를 발생시켜 안정화 시킬 수 있는 기술의 개발												
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1" data-bbox="504 990 1398 1258"> <thead> <tr> <th data-bbox="504 990 667 1032">구분</th> <th data-bbox="673 990 826 1032">보유기술명</th> <th data-bbox="833 990 986 1032">보유기관</th> <th data-bbox="992 990 1398 1032">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="504 1041 667 1128">국내</td> <td data-bbox="673 1041 826 1128" rowspan="2">토목섬유와 발포재료를 이용한 지반보강 기술</td> <td data-bbox="833 1041 986 1128" rowspan="2">-</td> <td data-bbox="992 1041 1398 1128">- 토목섬유를 이용한 지반보강 기술은 연약 지반 및 보강토공법 관련 기술에 주로 적용되고 있으며, 지반공동 보수/보강을 위해 적용되 사례는 전무한 수준</td> </tr> <tr> <td data-bbox="504 1137 667 1258">국외</td> <td data-bbox="992 1137 1398 1258">- 발포재료는 차수의 역할로 주로 사용되며, 토목섬유와 함께 지반공동을 보수/보강하는 기술은 전문함</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	토목섬유와 발포재료를 이용한 지반보강 기술	-	- 토목섬유를 이용한 지반보강 기술은 연약 지반 및 보강토공법 관련 기술에 주로 적용되고 있으며, 지반공동 보수/보강을 위해 적용되 사례는 전무한 수준	국외	- 발포재료는 차수의 역할로 주로 사용되며, 토목섬유와 함께 지반공동을 보수/보강하는 기술은 전문함
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능									
국내	토목섬유와 발포재료를 이용한 지반보강 기술	-	- 토목섬유를 이용한 지반보강 기술은 연약 지반 및 보강토공법 관련 기술에 주로 적용되고 있으며, 지반공동 보수/보강을 위해 적용되 사례는 전무한 수준										
국외			- 발포재료는 차수의 역할로 주로 사용되며, 토목섬유와 함께 지반공동을 보수/보강하는 기술은 전문함										
시장 동향	<p>- 2014년 6월 송파구 석촌지하차도 지반함몰을 시작으로 하여 잠실운동장, 석촌고분 등의 동시 다발적인 발생으로 인해 지반공동에 대한 안전경각심이 고취되고 있고 이에 대한 대응예산이 증가하고 있음</p> <p>- 서울시의 도로함몰 발생은 연평균 680여건이고 이는 점점 증가추세에 있음</p> <p>- 지반함몰관련 하수도 예산 2015년도 2,200억원 예상</p> <p>- 서울시의 경우, 지반함몰 관련 연차별 특별대책 투자계획 5개년간 1조900억원 정도 계획 됨</p>												
5. 기존 기술 활용방안	<p>- 지오백과 같은 토목섬유 보강기술을 기반으로 지반공동 발생에 따른 긴급 보수/보강 기술로의 적용</p> <p>- 지오백 내부에 발포재료 등을 적용함으로써 충분한 원지반의 강성을 발현할 수 있는 기술 개발</p>												
6. 기술개발 필요성	<p>- 2014년 송파구 일대 동공 및 함몰로 인한 지중안전성에 대한 불안감 확산</p> <p>- 2010년도부터 2014년도 까지 서울시의 지반함몰 발생건수는 총 3,119건으로 연평균 29%의 증가세를 가지고 있어 향후 큰 위험성 내포</p> <p>- 국내의 지반함몰의 주요원인은 도심지 개발에 따른 굴착시공 및 상하수관과 같은 지중구조물의 노후화에 의한 지하수 흐름의 교란 등으로 추정되고 있으며, 특히 지중구조물의 노후화가 국내보다 20년 앞선 일본 도쿄에서는 연간 1,000여건이 발생하고 있어 국내의 발생추이를 충분히 예측할 수 있음</p> <p>- 일본의 경우 노후 지중구조물의 관리에 국내의 10배 이상의 예산을 투입하여 함몰 발생건</p>												

	<p>수를 획기적으로 저감시키고 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> - 특히, 지반굴착시 지하수 유출로 인한 토사 유실과 지반공동 발생 등의 연구수요가 증가하고 있으나 관련 연구나 국내 실험시설은 미비한 실정임 - 따라서 굴착시공 및 지중구조물의 노후화에 기인한 지반함몰 및 소규모 공동에 대한 긴급 보수보강 기술의 개발이 필요함.
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 지반공동 발생환경 및 특성 조사, 분석 ; 발포재료의 국내 개발현황 및 적용사례 분석 ; 지반공동 긴급 보수 및 보강기술 사례 분석 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 발포재료의 물리적, 역학적, 환경적 특성 시험 분석 ; 발포재료 주입에 따른 주변 지반의 거동 시험 ; 실내 실험을 통한 발포재료의 지반 다짐 가능성 평가 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 저다짐을 통한 지반 보수/보강 토목섬유개발(채움재 시공 후 발포제를 통한 다짐가능) ; 채움 골재의 종류에 따른 보수/보강 효과 분석 <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 토목섬유를 활용한 실대형 실험을 통한 긴급 보수/보강 기술의 적용성 평가 ; 공동의 크기 및 특성에 따른 골재 채움, 토목섬유 포설 및 발포재료 주입량 산정 ; 골재, 토목섬유 및 발포재료로 보수/보강된 지반의 역학적 특성 분석 <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; Test-bed 적용을 통한 토목섬유 및 발포제를 활용한 지반공동 보수 또는 보강 기술의 현장 적용성 평가 ; 지반공동 긴급보수보강 신기술에 대한 운용방안 매뉴얼 작성
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2014년 송파구 지반함몰과 같이 국내 지하시설물의 노후화로 인해 지반함몰 발생이 지속적으로 증가되어 피해가 확산되고 있음 (연평균 29%의 증가, 5년간 3,119건) - 지반함몰에 대한 서울시의 특별대책 투자는 1조900억원 규모로 이루어져 있으나 기존기술의 적용에 그치고 있어 국내의 여건에 맞는 신기술의 개발이 필요함 - 따라서 도심지 구조물 안전 영향 최소화를 위하여 공동 발생 시, 긴급 보수/보강 기술이 필요하며, 이는 대형 참사 등을 예방하는 기초가 될 수 있음 - 또한 본 연구가 순차적인 단계를 거쳐 그와 관련된 최종 보고서가 도출이 된다면, 이를 활용하여 정부 및 지방자치단체에서는 각 문제의 상황에 맞는 대처가 가능할 것으로 판단됨 - 그리고 정부의 최종 목표에 긴밀한 도움이 될 수 있는 만큼 그 파급 효과는 경제적인 부분에서도 나타날 것으로 예상됨
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 지반함몰 및 공동 발생 시 긴급 또는 항구복구를 위한 최적화된 보수 및 보강 기술개발과 예방기술 마련 - 산업체와의 연계를 통해 지반공동 보강재료 사용될 수 있는 재료들을 검토, 선정 및 보강재료의 물성치를 산정한 후 수치해석을 통해 보강 효과 및 보강 후 안정성 등을 검토 - 추후 현장 자료를 통해 보강재의 보강효과 및 안정성 등을 검증 - 상기의 전략은 산/학/연이 공동으로 유기적인 협업 수행

10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	수요처	실용화 방안			
	토목섬유 및 발포재료를 활용한 저다짐 긴급 보수/보강 공법	재료개발 업체, 보수 보강 민간업체, 정부기관, 지중 구조물 관리 기관	보수보강시 다짐장비 활용이 어려운 난공사 구간의 적용, 공동 발생 시 급속 시공 방법으로 활용, 광해(鑛害)에 대비하는 방법으로 활용			
	연구보고서	국토교통부 및 각 지방자치단체	지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시			
	연구논문	지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소	학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유			
	특허 신기술	산/학/연	특허 및 신기술 개발로 인한 국내 관련 산업 성장동력 기반 마련			
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	0.5	1.5	2	1	1	6
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> - 신속한 지반공동의 긴급 보수보강을 통한 시민의 불편해소 및 공동 확산을 통한 추가 함몰 등의 2차 피해 저감 - 국가 정책과 방향성이 일치한 본 연구를 통한 정책적 가이드라인 제시 - 긴급 보수/보강 기술개발 지원 및 실용화 촉진에 의한, 관련 분야 기술경쟁력 제고에 기여 - 보수보강 기술개발로 국내 기업체의 국제적 기술력 확보를 통한 해외 건설시장 진출 확대 가능 - 다양한 학술논문 및 특허 등에 의한 관련 연구 기반 구축 					

1. 과제명	수치해석을 통한 지하공동의 보강 및 안정화해석 모델 개발														
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> - 연구목적 ; 수치해석을 기반으로 지하공동의 보강기술 평가 및 안정화해석 모델 개발 - 연구배경 ; 최근 수년간 도심지 지반함몰 현상의 빈도수가 꾸준히 증가함에 따라 그에 대한 관심이 높아지고 있는 실정 ; 도심지 지반함몰의 원인으로는 노후하수관거, 지하수와 토사의 유출, 하수관거의 접합 불량, 공동발생, 불안정한 지반구조 등이 있음 ; 따라서 지하수위와 불포화 특성을 고려한 지반공동현상에 대해 수치해석과 실내모형시험을 통하여 지하공동 보강으로 인한 지반안정화를 평가 														
3. 연구개발 목표	지반공동현상에 있어서 지하수 조건 및 지반의 불포화 특성을 고려한 수치해석과 실내모형시험을 통하여 공동 보강으로 인한 지반안정화 평가														
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">구분</th> <th style="width: 20%;">보유기술명</th> <th style="width: 15%;">보유기관</th> <th style="width: 50%;">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>국내</td> <td>MIDAS NX (유한요소해석)</td> <td>(주)마이다스아이티</td> <td>- 모델의 한계와 국외검증 불확실</td> </tr> <tr> <td>국외</td> <td>Plaxis (유한요소해석)</td> <td>Plaxis bv</td> <td>- 다양한 해석 모델과 국외검증 확실</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	MIDAS NX (유한요소해석)	(주)마이다스아이티	- 모델의 한계와 국외검증 불확실	국외	Plaxis (유한요소해석)	Plaxis bv	- 다양한 해석 모델과 국외검증 확실
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능											
국내	MIDAS NX (유한요소해석)	(주)마이다스아이티	- 모델의 한계와 국외검증 불확실												
국외	Plaxis (유한요소해석)	Plaxis bv	- 다양한 해석 모델과 국외검증 확실												
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> - 현재 지반구조물 설계 시 구조물의 안정성에 대한 수치해석은 이루어지고 있으나 지하수위, 지반의 불포화특성을 고려하여 지하공동의 발생 유무와 그 보강에 따른 안정성 해석은 이루어지고 있지 않은 실정 - 지반수치해석 프로그램의 국내 시장 점유율과 국외 시장 점유율은 매우 상이함 - 국내시장의 경우 (주)마이다스아이티사의 MIDAS NX의 점유율이 다소 높지만 국외의 경우 지반 수치해석 프로그램의 대부분을 Plaxis와 Abaqus가 양분하고 있는 실정임 														
5. 기존 기술 활용방안	- 실내모형시험 결과와 지하수위와 불포화특성을 고려하여 수행한 지하공동 보강 및 안정화 수치해석 기법의 결과 비교분석을 통해 가장 합리적인 지하공동 보강 및 안정화 해석을 연구하여 지하구조물 설계 시 활용														
6. 기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 최근 도심지를 중심으로 발생하고 있는 지반함몰 현상으로 인해 재산 및 인적 피해가 늘어나고 있음 - 이러한 지반함몰 현상의 주된 원인인 지하공동은 도심지 개발에 따른 지하수 흐름의 교란과 노후 된 하수관을 통해 발생하는 누수에 의해 발생하는 것으로 밝혀짐 - 앞으로도 인구증가에 따른 지하공간의 개발은 나날이 증가될 것이며 개발에 따른 안정성 확보를 위해 지하공동에 대한 보강 및 안정성 해석은 반드시 수행되어야할 것으로 판단 - 본 연구에서는, 체계화된 학문적 연구를 통해 기술적 자료로 활용이 가능한 결과를 도출할 예정 - 또한 수치해석과 실내모형시험 등과 같은 다양한 연구를 통해 후속 연구를 위한 활용도 및 정확도 향상 효과를 기대할 수 있음 - 이에 연구 결과를 통해 도출된 결과를 분석하여 실제 발생한 현상과 비교 후, 위험성 예측 및 해결책 제시가 가능함 														
7. 주요 연구개발 내용	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 지반공동현상 및 공동 주변 구조물과의 상호거동에 관련한 기존 문헌 조사 ; 불포화도 지반거동 해석을 위한 기존 연구 조사 및 분석 ; 수치해석 물성치 및 모델링을 위한 모형시험 데이터 정리 및 분석 ; 침투 및 지반요소 안전율 연계해석을 통한 실내모형시험 적용의 타당성 검증 및 평가 														

	<p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 기존문헌을 토대로 유한요소법을 이용한 매개변수 수치해석 ; 침투 및 지반요소 안전율 연계해석을 통한 수치해석 검증 및 평가 ; 기존문헌과 수치해석의 결과 비교분석 ; 수치해석을 통한 예측 모델 구축 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 근거리 사진계측을 이용한 지하수위와 불포화 조건을 고려한 터널 굴착에 관한 실내모형시험 ; 지반공동에 의한 불포화지반 거동에 대한 모형시험 ; 침투 및 지반 응력-변형 연계해석을 통한 실내모형시험 검증 및 평가 ; 이미지프로세싱 결과와 수치해석결과 비교를 통한 지반거동 분석 <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 실내모형시험 및 근거리 사진계측 이미지프로세싱 결과의 타당성 검토 ; 모형시험 결과를 토대로 유한요소법을 이용한 수치해석 역해석 및 해석모델 검증 ; 지하수위 변화 및 불포화도 조건에 따른 실내모형시험, 근거리사진계측, 유한요소 수치해석 결과물 비교분석 <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 실험결과와 수치해석 기반의 안정과 평가결과의 비교/분석 ; 지하수위 위치와 불포화도를 고려한 지반공동현상에 대한 주변지반안정성 최종평가 및 안정화 해석 모델 제시 ; 현장에 적용할 수 있는 실용적인 가이드라인 제시 															
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 지하공동 현상이 지난 5년간 서울에서는 3100건이 발생하였으며, 연간 29%가 급증하고 있기 때문에, 해결책 제시가 그 어느 때보다 시급한 상태 - 보강공사에는 무려 1조원이 예상되며, 이와 관련된 예산조차 아직 확보되지 않은 상황 - 정부는 이와 관련한 다양한 정책을 내놓고 있으며, 서울시를 비롯한 지방자치단체에서도 여러 해결 방안을 제시하고 있음 - 이와 같은 상황에서 본 과제의 연구가 정부 정책의 방향과 일치하고 있음 - 본 연구가 순차적인 단계를 거쳐 그와 관련된 최종 보고서가 도출이 된다면, 이를 활용하여 정부 및 지방자치단체에서는 각 문제의 상황에 맞는 대처를 할 수 있으며, 정부의 최종 목표에 긴밀한 도움이 될 수 있는 만큼 그 파급 효과는 경제적인 부분에서도 나타날 것으로 예상 															
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 산업체와의 연계를 통해 지하공동 보강재료 사용될 수 있는 재료들을 검토, 선정 - 보강재료의 물성치를 산정한 후 수치해석을 통해 보강 효과 및 보강 후 안정성 등을 검토 - 추후 현장 자료를 통해 보강재의 보강효과 및 안정성 등을 검증 															
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>최종성과물</th> <th>수요처</th> <th>실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지반함몰 예측을 위한 수치해석 기법</td> <td>수치해석 프로그램 제작 업체, 정부기관, 관련 연구를 하는 학교 및 연구소</td> <td>해석 및 평가기법 공유</td> </tr> <tr> <td>지반공동 예측 기술</td> <td>정부기관</td> <td>지반공동 보수보강</td> </tr> <tr> <td>연구보고서</td> <td>국토교통부 및 각 지방자치단체</td> <td>지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시</td> </tr> <tr> <td>연구논문</td> <td>지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소</td> <td>학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	지반함몰 예측을 위한 수치해석 기법	수치해석 프로그램 제작 업체, 정부기관, 관련 연구를 하는 학교 및 연구소	해석 및 평가기법 공유	지반공동 예측 기술	정부기관	지반공동 보수보강	연구보고서	국토교통부 및 각 지방자치단체	지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시	연구논문	지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소	학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유
최종성과물	수요처	실용화 방안														
지반함몰 예측을 위한 수치해석 기법	수치해석 프로그램 제작 업체, 정부기관, 관련 연구를 하는 학교 및 연구소	해석 및 평가기법 공유														
지반공동 예측 기술	정부기관	지반공동 보수보강														
연구보고서	국토교통부 및 각 지방자치단체	지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시														
연구논문	지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소	학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유														

	최종성과물	수요처	실용화 방안			
	특히 신기술	산/학/연	특히 및 신기술 개발로 인한 국내 관련 산업 성장동력 기반 마련			
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	1	1	1	1	1	5
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> - 기수치해석과 실내모형시험을 통해 지반 안정화 해석 모델 개발 - 지하수위에 따른 지반굴착 모사 결과를 활용한 실제 시공의 경제적 효과 기대 - 터널 굴착과 관련된 학문 발전 기대 - 국가 정책과 방향성이 일치한 본 연구를 통한 정책적 가이드라인 제시 					

1. 과제명	비개착 상부지반 구조물의 함몰방지를 위한 보강재 기반의 보강기술 개발										
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> - 연구목적 ; 보강재를 이용한 노반보강에 따른 상부지반 구조물의 함몰방지를 위한 보강기술 개발 - 연구배경 ; 지상구조물의 포화상태에 따라 다양한 구조물이 지하화되고 있는 상황에서 구조물시공을 위한 굴착시공이 지속적으로 이루어지고 있으며, 이로 인해 지반침하에 기인한 지반함몰 및 공동의 사고발생 빈도가 증가하고 있는 추세임 ; 이와 같은 지반공동 현상의 원인은 크게 굴착에 따른 토사/지하수의 유출, 부실한 다짐 및 상하수관의 노후화로 인한 누수 등으로 구분할 수 있음 ; 도심지의 신규 도로공사 수행 시, 사전에 지반함몰을 방지할 수 있는 기술이 필요함 										
3. 연구개발 목표	상부지반 구조물(도로 등)의 함몰 방지를 위하여, 보강재를 이용한 비개착 보강기술 개발										
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">구분</th> <th style="width: 25%;">보유기술명</th> <th style="width: 15%;">보유기관</th> <th style="width: 45%;">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">국외</td> <td style="text-align: center;">Spectra® Roadway Improvement System</td> <td style="text-align: center;">Tensar International Corporation</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 보강재를 도로 노반에 포설함으로써 지반보강을 실시 - 지반함몰에 따른 방지효과가 정량적으로 검증되지는 않음 </td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국외	Spectra® Roadway Improvement System	Tensar International Corporation	<ul style="list-style-type: none"> - 개발된 보강재를 도로 노반에 포설함으로써 지반보강을 실시 - 지반함몰에 따른 방지효과가 정량적으로 검증되지는 않음
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능							
국외	Spectra® Roadway Improvement System	Tensar International Corporation	<ul style="list-style-type: none"> - 개발된 보강재를 도로 노반에 포설함으로써 지반보강을 실시 - 지반함몰에 따른 방지효과가 정량적으로 검증되지는 않음 								
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> - 2014년 6월 송파구 석촌지하차도 지반함몰을 시작으로 하여 잠실운동장, 석촌고분 등의 동시 다발적인 발생으로 인해 지반공동에 대한 안전경각심이 고취되고 있고 이에 대한 대응예산이 증가하고 있음 - 서울시의 도로함몰 발생은 연평균 680여건이고 이는 점점 증가추세에 있음 - 지반함몰관련 하수도 예산 2015년도 2,200억원 예상 - 서울시의 경우, 지반함몰 관련 연차별 특별대책 투자계획 5개년간 1조900억원 정도계획 됨 - 보강재 제조 시장은 매년 증가추세에 있으며, 다양한 공사현장에 적용되고 있음 - 이와 같은 시장환경을 고려하여 지반함몰 발생 시, 피해를 최소화할 수 있는 보강재를 이용한 방지기술 개발 필요한 실정 										
5. 기존 기술 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 보강재를 개선/활용함으로써 국내 실정에 부합하는 지반함몰 피해 최소화 및 방지 기술 개발 - 국외에 다양하게 적용되고 있는 시공사례를 기반으로 선진기술 습득 기회 제고 										
6. 기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 2014년 송파구 일대 동공 및 함몰로 인한 지중안전성에 대한 불안감 확산 - 2010년도부터 2014년도 까지 서울시의 지반함몰 발생건수는 총 3,119건으로 연평균 29%의 증가세를 가지고 있어 향후 큰 위험성 내포 - 굴착시공 및 지중구조물의 노후화에 기인한 지반함몰에 따른 피해를 최소화함과 동시에, 사전에 예방할 수 있는 보강기술의 개발이 필요함. 										
7. 주요 연구개발 내용	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 도로 등의 상부지반 함몰을 방지하기 위한 국내외 보강재 적용기술의 사례 분석 ; 적용 가능한 보강재 종류 선별 및 문헌자료를 이용한 타당성 검증 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> ; 지반공동 발생에 따른 지반함몰 방지를 위한 보강재의 재료적/역학적 특성에 대한 실험적 평가/분석 										

	<p>(3차년도) ; 지반함몰 방지용 보강재와 지반의 상호 역학적 특성 규명/평가를 위한 실내실험</p> <p>(4차년도) ; 지반함몰 방지용 보강재가 적용된 상부지반의 지지력 평가를 위한 실내실험</p> <p>(5차년도) ; 개발된 보강기술에 대한 Test-bed 및 현장실험과 이를 기반으로 하는 현장적용 가이드라인 제시</p>																
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 지반함몰에 대한 서울시의 특별대책 투자는 1조900억원 규모로 이루어져 있으나 기존기술의 적용에 그치고 있어 국내의 여건에 맞는 신기술의 개발이 필요함 - 국내여건과 유사한 일본의 경우 지속적인 투자를 통해 노후된 지하시설물로 야기되는 지반함몰 발생건수를 획기적으로 저감시킴으로 재해대책 비용이 크게 감소됨 - 따라서 도심지 구조물 안전 영향 최소화를 위한 지반 보수보강 기술이 필요하며, 이는 대형 참사 등을 예방하는 기초가 될 수 있음 - 또한 본 연구가 순차적인 단계를 거쳐 그와 관련된 최종 보고서가 도출이 된다면, 이를 활용하여 정부 및 지방자치단체에서는 각 문제의 상황에 맞는 대처가 가능할 것으로 판단됨 - 그리고 정부의 최종 목표에 긴밀한 도움이 될 수 있는 만큼 그 파급 효과는 경제적인 부분에서도 나타날 것으로 예상됨 																
<p>9. 기술확보 전략</p>	<p>지반함몰 및 공동 발생 시, 피해를 최소화하거나 사전에 예방할 수 있는 최적화된 방지기술 마련</p> <p>산업체와의 연계를 통해 지반공동 보강재료 사용될 수 있는 재료들을 검토, 선정하여 보강재의 보강효과 및 안정성 등을 검증</p> <p>상기의 전략은 산/학/연이 공동으로 유기적인 협업 수행</p>																
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">최종성과물</th> <th style="width: 33%;">수요처</th> <th style="width: 33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>상부지반 함몰방지를 위한 보강재 기반의 보강기술</td> <td>민간업체, 정부기관</td> <td>보강재 기반의 지반함몰 방지 시공법 개발</td> </tr> <tr> <td>연구보고서</td> <td>국토교통부 및 각 지방자치단체</td> <td>지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시</td> </tr> <tr> <td>연구논문</td> <td>지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소</td> <td>학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유</td> </tr> <tr> <td>특허</td> <td rowspan="2">산/학/연</td> <td rowspan="2">특허 및 신기술 개발로 인한 국내 관련 산업 성장동력 기반 마련</td> </tr> <tr> <td>신기술</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	상부지반 함몰방지를 위한 보강재 기반의 보강기술	민간업체, 정부기관	보강재 기반의 지반함몰 방지 시공법 개발	연구보고서	국토교통부 및 각 지방자치단체	지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시	연구논문	지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소	학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유	특허	산/학/연	특허 및 신기술 개발로 인한 국내 관련 산업 성장동력 기반 마련	신기술
최종성과물	수요처	실용화 방안															
상부지반 함몰방지를 위한 보강재 기반의 보강기술	민간업체, 정부기관	보강재 기반의 지반함몰 방지 시공법 개발															
연구보고서	국토교통부 및 각 지방자치단체	지반공동 보강 및 안정해석에 대한 가이드라인 제시															
연구논문	지하공간 관련 연구를 하는 학교 및 연구소	학회 논문 등록 후 관련 분야 연구자에게 연구 성과 및 기술 공유															
특허	산/학/연	특허 및 신기술 개발로 인한 국내 관련 산업 성장동력 기반 마련															
신기술																	
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 16.6%;">1차년도</th> <th style="width: 16.6%;">2차년도</th> <th style="width: 16.6%;">3차년도</th> <th style="width: 16.6%;">4차년도</th> <th style="width: 16.6%;">5차년도</th> <th style="width: 16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>1</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	0.5	1	1	1.5	1	5				
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계												
0.5	1	1	1.5	1	5												
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 지반공동을 사전에 예방 또는 그 피해를 최소화함으로써 관련분야 예산 절감 효과 - 국가 정책과 방향성이 일치한 본 연구를 통한 정책적 가이드라인 제시 - 지반굴착시 지하수 유출과 상수도관 노후에 따른 누수로 인한 토사 유실에 따른 지반공동과 지반함몰에 대한 실증실험을 수행, 보수보강 기술개발 지원 및 실용화 촉진이 가능하며, 관련 분야 기술경쟁력 제고에 기여 - 보수보강 기술개발로 국내 기업체의 국제적 기술력 확보를 통한 해외 건설시장 진출 확대 가능 - 다양한 학술논문 및 특허 등에 의한 관련 연구 기반 구축 																

1. 과제명	복합탐사 자료를 활용한 GIS/ICT 기반 고해상도 해석기술 연구														
2. 연구목적 및 배경	<p>가. 최근 다수의 지하공동으로 인한 피해가 발생하고 국민의 도시형침하에 대한 불안감이 높아지고 있음.</p> <p>나. 기존 침하 탐사는 주로 GPR(지하투과레이더)위주의 단일 탐사로 GPR의 한계(투과심도, 지하수위 하부 감쇠, 자갈층노이즈, 시멘트도로 철망 투과 문제 등)에 봉착할 경우 지하공동탐사가 어려운 실정임. 이러한 단일탐사 방식의 한계를 극복하고 지하공동을 정밀하게 영상화 할 수 있는 고해상도 융합기술 기반의 탐사 해석기법이 필요하다. 따라서 본 연구는 복합지반탐사 자료와 정밀위치제어가 가능한 GIS/ICT기반 융합을 통해 지반굴착 및 지하매설물 인근의 공동 침하로부터 대국민 피해저감에 기여하고 최종적으로 도시지반 매설물 해석의 정밀화, 고도화 기법을 제공하고자 함</p>														
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개착식 굴착에 따른 지반침하를 위한 복합탐사방안 및 해석기법 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 3~4종 이상의 탐사기법별 도심지 환경 노이즈 저감을 위한 방안제시 - 복합탐사자료의 동시취득, 실시간 해석을 위한 통합 역산기법제시 ○ 다채널 복합탐사 융합 해석기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 복합형(이종의 탐사기법간 융합), 통합형(다채널 센서 기반) - USN기반 탐사 시스템 모듈 융합 - 지반함몰 징후의 고분해능 장심도 탐지 기술 확보 ○ 정밀위치 제어를 위한 GIS/ICT기반 융합 <ul style="list-style-type: none"> - 복합탐사결과의 정밀위치 제어기술을 활용한 3D GIS기술접목 - 탐사결과의 실시간 ICT기반 공유방안 수립 및 기존상용지도와 호환 기술 구축 														
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">구분</th> <th style="width: 25%;">보유기술명</th> <th style="width: 25%;">보유기관</th> <th style="width: 35%;">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">국내</td> <td>지하정밀영상화 융합기술</td> <td>한국지질자원연구원</td> <td>전기비저항+토모그래피 복합역산 기술</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">국외</td> <td>SJI</td> <td>솔럼버저,미국</td> <td>탄성파탐사+MT, 중력 복합연산 기술</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	지하정밀영상화 융합기술	한국지질자원연구원	전기비저항+토모그래피 복합역산 기술	국외	SJI	솔럼버저,미국	탄성파탐사+MT, 중력 복합연산 기술
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능											
국내	지하정밀영상화 융합기술	한국지질자원연구원	전기비저항+토모그래피 복합역산 기술												
국외	SJI	솔럼버저,미국	탄성파탐사+MT, 중력 복합연산 기술												
시장 동향	<p>○ 국내외 해외의 기술격차는 약 5년 정도를 보이고 있으며 주로 석유탐사기술에서 복합역산이 발전해 있으며 도시형침하를 위한 복합탐사 해석기술은 태동기로 향후 본 연구를 바탕으로 국내외 시장을 선점할 수 있음</p>														
5. 기존 기술 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 자원탐사분야에서 복합해석기술이 발달해 있어 이를 바탕으로 도심지 싱크홀 개념으로 알고리즘을 개량하여 적용을 시도할 수 있음. ○ 기존 연구과제의 알고리즘 개선을 위한 학계, 연구소 협조 방안 모색 														
6. 기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 도시형함몰의 조사에는 단일성분 센서 활용으로 인한 탐지의 신뢰성 확보문제, 조사의 시간 및 주변지역 통제, 경제적 문제, D/B구축의 부재와 같은 문제가 대두 ○ 복합탐사기법의 통합 시스템 구축 및 해석기법 개발로 도심지 조사의 신뢰성 확보 필요 ○ 지하매설물의 정밀위치제어를 위한 GIS/ICT기반 실시간 정보공유 기술 개발 														
7. 주요 연구개발 내용	<p>(1차년도)</p> <p>[연구목표] 도심지역 조사 환경을 고려한 탐사센서 기반 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 단일탐사별 침하지 민감도 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 기 지반함몰 원인 및 탐사장비 민감도 분석 - 활용가능 탐사센서 기반 연구(GPR, EM, Seismic, FLIR, LIDAR등) - 탐사방법별 조사 최적 변수 선정 ○ 도시형 지반함몰 및 매설물 탐사기법 모델링 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 심도, 깊이, 크기별 모델 반응 분석 														

	<ul style="list-style-type: none"> - 탐사방법별 관측 성능 요구수준 분석 - 도시형 지하방재를 위한 다채널 최적센서 및 구성안 제시 <p>(2차년도)</p> <p>[연구목표] 도심지 복합탐사 GIS/ICT 융합 해석기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 서로 다른 물성으로 지하공동을 영상화하기 위한 도시형 침하지 복합역산의 알고리즘 개발 ○ 입체적인 지하공동 해석을 위한 3차원 역산이론 및 알고리즘 개발 ○ 통합자료의 고속처리 소프트웨어 개발 ○ 다채널 센서 자료 통합 기록 및 저장 기술 개발 ○ 실시간 탐사자료의 획득 및 해석 기술 개발 ○ 정밀위치제어 3D GIS 및 ICT기반 해석 기술 개발 <p>(3차년도)</p> <p>[연구목표] 복합 탐사시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 통합형 센서 설계 기술 개발 ○ 지반구성별 센서배열 응답함수 분석 기술 개발 ○ 탐사센서간 상호간섭 영향 제거 방안 연구 (GPR, EM, Seismic, FLIR, LIDAR, DGPS, Vision camera등) ○ 복합탐사시스템 구성 및 테스트베드지역 실증연구 ○ 복합탐사시스템과 복합해석기법의 안정화 및 고도화 												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국가기반 인프라 시설의 노후 및 관리미흡에 의한 도시형지반침하 예측하고 지하매설물 관리를 위한 기초자료 취득 - 각 지자체에서 국민의 재산과 인명을 보호할 방안이 대두되고 있으며 이에 따른 통합탐사 해석기법의 개발이 필요함. 이는 정부의 제도적, 시스템화가 필요한 사안임 												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술정보 수집 및 전문가 확보 - 국내외 각종 전문학술지 게재 논문 자료 분석 - 지반탐사전문기업 및 시스템 개발 전문기관과의 협력을 통한 협업 - 관련 전문학계의 자문 및 정보교류 ○ 타 기관과의 협조방안 - 도시형 침하 방재관련 기존 연구과제 및 연구자들과 주기적인 연구회를 조성하여 상호 기술 교환 - 민간탐사전문 기업 및 지반조사 전문가와 공동연구 및 협력 												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">최종성과물</th> <th style="width: 33%;">수요처</th> <th style="width: 33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>실시간 복합탐사자료 처리/분석/해석 기술 개발</td> <td>정부기관 및 지자체 민간조사업체</td> <td>산학연 공동 연구 및 현업화</td> </tr> <tr> <td>ICT 융합기술을 이용한 지반침하 탐사 시스템 개발</td> <td style="text-align: center;">“</td> <td>국제규격 및 인증 획득</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	실시간 복합탐사자료 처리/분석/해석 기술 개발	정부기관 및 지자체 민간조사업체	산학연 공동 연구 및 현업화	ICT 융합기술을 이용한 지반침하 탐사 시스템 개발	“	국제규격 및 인증 획득			
최종성과물	수요처	실용화 방안											
실시간 복합탐사자료 처리/분석/해석 기술 개발	정부기관 및 지자체 민간조사업체	산학연 공동 연구 및 현업화											
ICT 융합기술을 이용한 지반침하 탐사 시스템 개발	“	국제규격 및 인증 획득											
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 16.6%;">1차년도</th> <th style="width: 16.6%;">2차년도</th> <th style="width: 16.6%;">3차년도</th> <th style="width: 16.6%;">4차년도</th> <th style="width: 16.6%;">5차년도</th> <th style="width: 16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4,5</td> <td>3,5</td> <td>3,0</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>11,0</td> </tr> </tbody> </table> <p>[1차년도] 4,5억원</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 탐사별 센서 장비 구축: 3.0억 ○ 인건비: 연구원 5명, 연구보조원 10명; 1.5억 	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	4,5	3,5	3,0	-	-	11,0
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
4,5	3,5	3,0	-	-	11,0								

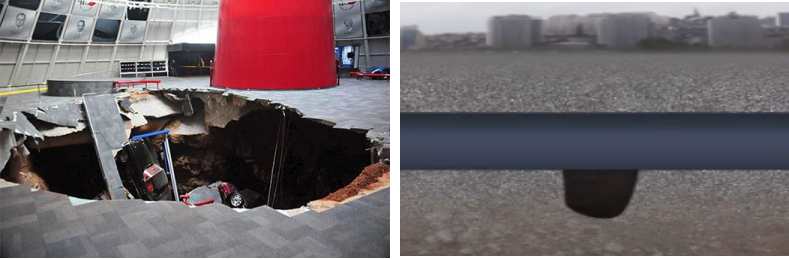
	<p>[2차년도] 3.5억원</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 통합프로그램 시스템 개발: 2.0억 ○ 인건비: 연구원 5명, 연구보조원 10명; 예산 1.5억 <p>[3차년도] 3.0억원</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 테스트 베드를 이용한 검증 및 실증 : 1.5억 ○ 인건비(실무매뉴얼 개발): 연구원 5명, 연구보조원 10명; 예산 1.5억
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<p>[기대성과 및 활용방안]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 대도시 지역 지반함몰을 사전에 정밀하게 대처할 수 있는 능력 향상 <ul style="list-style-type: none"> - 다중센서 및 통합설계를 통한 도시형 지반함몰 예측 정확도 향상 - 지반함몰 및 분석 능력 향상을 위한 미래 기술 도출 - 기존 탐사시스템의 대체 및 대도시 지자체 활용 기대 - ICT기반 통합탐사 기술 도출을 통한 유관 분야 협력과 상생에 기여 ○ 지반함몰 예측의 검정평가 정량화 기여 <ul style="list-style-type: none"> - 향후 탐사장비선정, 센서 변수 및 통합설계 기술의 중복투자 방지 - 고품질 조기경보자료의 생산 및 활용 - 3D GIS기반 지하매설물 정밀위치제어를 통한 탐사결과의 신뢰성 향상 <p>[현업화 (연계)기술]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 대도시 고밀도 지역 탐사 효율성 및 정밀도 개선 기술 ○ 다중센서 기술을 이용한 탐지 능력 향상 기술 ○ 지자체 또는 유관기관 현업화 및 국제적 기술우위 확보

1. 과제명	(개착식)지반 굴착 모니터링을 위한 차량탐재형 고해상도 고속탐사 해석기술 연구																										
2. 연구목적 및 배경	<p>가. 개착식 지반굴착으로 인한 도로함몰 및 도시형 싱크홀이 다수 발생되고 있어 시민 생활과 밀접한 도로 및 인도, 상하수도 누수, 지반-변형 등으로 인한 인명 및 경제적 피해가 커지고 있는 추세임. * 국내의 도시 인구 비율이 91%로 증가됨에 따라 대도시 지반굴착으로 인한 도시형 지반침하(도시형 싱크홀)가 중요.</p> <p>나. 이에 따라 지자체 및 전문기관이 주기적인 사전방재에 활용될 수 있는 고해상도 탐사 시스템이 필요한 실정임. 그러나 기존 지반탐사는 측정시간 및 현장탐사측선 전개에 따른 도로통제, 일회성 조사로 여러 가지 사전방재모니터링 측면에서 문제를 내포하고 있음.</p> <p>다. 특히, 국내에서 발생되고 있는 도시형 침하의 사전모니터링을 위해 차량에 통합 탐재할 수 있는 고속형(조사 커버리지 및 조사시간), 통합형(GPS+탐사자료간 연동), D/B형(조사자료의 주기적인 2D, 3D D/B화) 시스템의 구축이 필요.</p> <p>라. 따라서 본 RFP는 도시형침하로부터 대국민 피해저감을 위한 차량탐재형 고속 지반탐사 해석기술 개발 및 실증실험을 실시하고 추후 상용화하여 개착식 굴착공사와 관련된 지반침하 방재를 위한 측정시스템의 정밀화, 고도화를 최종적으로 제공하고자 함</p>																										
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개착식 굴착공사와 관련된 지반함몰 조사를 위한 차량 탐재형 다채널 고속-고정밀 시스템 상용화 <ul style="list-style-type: none"> - 고속형(차량탐재 커버리지 및 조사시간 단축), 통합형(위치정보 및 상용지도 연동), D/B형(조사자료의 주기적인 2D, 3D D/B화) 시스템 구축 - 지반함몰 징후의 고정밀 고속 탐지 기술 확보 ○ 광대역 듀얼밴드 GPR의 실시간 고속해석 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 광대역 듀얼밴드 GPR 성능향상을 통한 지하투과심도 극복기술 연구 - 다채널 GPR 자료취득 상호간섭 저감 기술 획득 ○ 탐사시스템 활용을 위한 매뉴얼 상용화 <ul style="list-style-type: none"> - 국제적인 기술우위를 선점하기 위한 시스템 정량화 및 활용 매뉴얼 작성 																										
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th style="width: 15%;">구분</th> <th style="width: 25%;">보유기술명</th> <th style="width: 25%;">보유기관</th> <th style="width: 35%;">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">국내</td> <td>없음</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">국외</td> <td>Road Doctor</td> <td>IDS, 이탈리아</td> <td>3~4채널 센서기반 차량탐재형 성능수준 : 상</td> </tr> <tr> <td>UAVSAR</td> <td>NASA, 미국</td> <td>SAR레이더 차량탐재형 성능수준 : 상</td> </tr> <tr> <td>MIRA</td> <td>MALA, 스웨덴</td> <td>멀티채널, 고속3D영상화 성능수준 : 상</td> </tr> <tr> <td>Roadmap</td> <td>Sensor&software, 캐나다</td> <td>다중채널시스템 (250,500,1MHz) 성능수준 : 중</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	없음	-	-	-	-	-	국외	Road Doctor	IDS, 이탈리아	3~4채널 센서기반 차량탐재형 성능수준 : 상	UAVSAR	NASA, 미국	SAR레이더 차량탐재형 성능수준 : 상	MIRA	MALA, 스웨덴	멀티채널, 고속3D영상화 성능수준 : 상	Roadmap	Sensor&software, 캐나다	다중채널시스템 (250,500,1MHz) 성능수준 : 중
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능																							
국내	없음	-	-																								
	-	-	-																								
국외	Road Doctor	IDS, 이탈리아	3~4채널 센서기반 차량탐재형 성능수준 : 상																								
	UAVSAR	NASA, 미국	SAR레이더 차량탐재형 성능수준 : 상																								
	MIRA	MALA, 스웨덴	멀티채널, 고속3D영상화 성능수준 : 상																								
	Roadmap	Sensor&software, 캐나다	다중채널시스템 (250,500,1MHz) 성능수준 : 중																								
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 해외의 기술격차는 약 3년 정도를 보이고 있으며 향후 200억 이상의 수입대체 효과와 150억원 가량의 수출기회를 선점하기 위해 본 연구가 필요 																										
5. 기존 기술 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 유사 시스템이 전무한 상황이나 최근 빈번한 도시형 침하로 인해 다수의 연구과제가 공고 및 진행 중 임 ○ “사물인터넷(IoT)기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술개발('14~현재)” <ul style="list-style-type: none"> - 동 기술과의 차이점: 상기 연구는 도시철도, 지하수, 지하매설관, 상수관로의 모니터링 및 관리시스템 개발을 위한 연구로 센서를 고정형으로 하여 사물인터넷기반 관리시스템 																										

	<p>연구임. 본 기술은 도로주행형 지반침하시스템 탐지기법으로 기존 탐사시스템의 단점을 보완하고자, 다중탐사센서 및 차량통합형 하드웨어 및 소프트웨어 기술을 적극도입하기 위한 실용화 연구의 성격으로, 도시 지역의 높은 잡음 수준 환경에서 양질의 함몰 예측 정보를 고해상도로 구현하고 신속하게 취합하기 위한 기술연구임. 동 기술수요조사에서 제시하는 기술은 기존 탐사의 문제점(단채널 정밀도, 시간-경제적, 현업화, 정량화 문제 등)을 극복하고자 세부 소요 기술에 대한 본격적인 개발을 추구하고자 하는 것으로, 기술 개발 단계에 차이가 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ “도심지 싱크홀 탐지를 위한 Full waveform inversion을 채택하는 탄성파조사기법 개발 (공고중)” - 동 기술과의 차이점: 상기 연구는 도심지 탐사에서 전자파잡음 및 진동잡음을 극복하고자 탄성파 전파형을 이용하는 연구임. 그러나 전세계적으로 도시형 함몰탐지 기법을 위한 최근 기술동향은 고속-다중센서 기법으로 흐르고 있어 센서통합 차량 탑재형 연구와는 다소 차이가 있음. ○ 상기 연구과제의 테스트베드지역 공유를 위한 협조 방안 모색 ○ 상기 관리시스템과의 연동방안 및 ICT 고정센서위험지역에 대한 탐색우선순위 배정등 상호 보완적인 협업체제 필요
<p>6. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대도시의 인구 밀도 증가에 따른 도시형 지반함몰의 인명 및 경제적 피해를 사전에 고속·정밀 탐지할 수 있는 차량탑재형 통합 시스템 해석기법이 필요 ○ 대도시 굴착공사 전·후 지반함몰 분포를 차량탑재형 탐사기법으로 신속하게 평가함으로써, 지자체 및 유관기관의 상시조사에 활용하여 도시형 지반함몰을 경제적이면서 주기적으로 모니터링하는 시스템 기술이 필요 ○ 차량탑재형 시스템 구축으로 조사의 신뢰성 및 경제성 확보 ○ 지자체에서 활용할 수 있는 시스템을 위한 장비의 운용 및 실무용 매뉴얼 개발(차량탑재형 조사 운용방안)
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <p>[연구목표] 개착식 굴착공사 환경을 고려한 탐사센서 기반 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 차량탑재 통합형 센서 구성 방안 연구 - 실시간 다채널 고속 탐사 해석기법 연구 - 최적변수로 구성된 탐사방법의 개별 테스트베드 적용 평가 - 선정된 최적탐사기법과 위치정보간 상호 연계 방안 제시 <p>(2차년도)</p> <p>[연구목표] 다채널 탐지센서의 차량탑재형 통합 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 통합형 탐사센서 분석 기술 연구 - 통합형 센서 설계 기술 개발 - 대도시 잡음 수준을 고려한 신호 대 잡음비 향상 기술 개발 - 지반구성별 센서배열 응답함수 분석 기술 개발 - 실시간 고속 자료처리 분석 기술 개발 ○ 차량탑재형 시스템 구축 - 탐사센서간 상호간섭 영향 제거 방안 연구 (GPR, EM, GPS등) - 차량탑재형 ICT 통합 구성 방안 연구 - DGPS 연동에 따른 상용지도(Google, Naver, Daum 지도)활용방안 - 센서 샘플링 속도에 따른 최적 차량속도 산출 연구 ○ 실시간 고속처리 소프트웨어 최적화 연구 - 다채널 센서 및 위치정보의 통합 기록 및 저장 기술 개발 - 후처리 및 침하 위험지역 실시간 전송 및 전산도면 출력 - 증강현실을 이용한 스마트테블릿 연동 기술

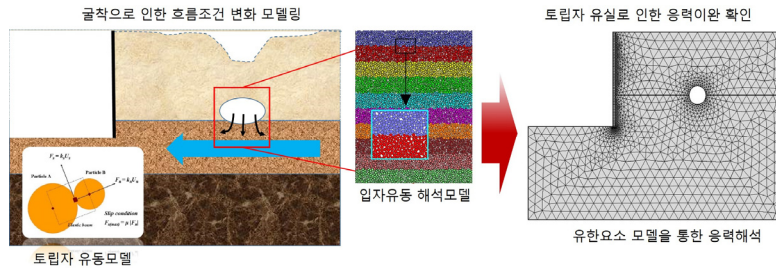
	<p>(3차년도) [연구목표] 테스트베드 검증 및 해석기술 상용화</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 테스트베드 신뢰도 검증 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 테스트베드 모형부지 실증을 통한 평가 정량화 기술 개발 : 오차율, 한계, 민감도등 - 테스트베드 반복 실험을 통한 장비의 운용 내구성 향상 방안 정립 ○ 도심지 실주행을 통한 검증(서울 및 대도시 200km) <ul style="list-style-type: none"> - 실시간 함몰징후 검출 기법 및 검출 자료 D/B화 평가 - 실측도면 출력 및 후처리 프로그램을 통한 평가 연계방안 실용화 ○ 탑재형 탐사시스템 실무 매뉴얼 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 상용화를 위한 실무 매뉴얼 개발 - 상용화 홍보 컨퍼런스 및 학회 부스설치 및 지자체 및 관련 전문가 의견 청취 												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하철, 대형건축물 신축등에 따른 지반굴착공사에 의한 도시형지반침하 <ul style="list-style-type: none"> - 대도시주변의 공사로 인한 지반침하의 감독 및 모니터링을 위해 이들 발주처에서 시스템화된 모니터링 기법을 요구할 필요성 증대 ○ 도시형 지반침하(함몰)은 인명손실의 위험까지 유발할 수 있으나, 현재 고속형 차량탐재 시스템이 전무한 상태이고 기존의 계측망 관리도 센서노드 결함, 고장 발생 등으로 데이터의 신뢰성이 의심받는 사례도 발생하고 있어 단순 스캐닝이 아닌 상시 모니터링과 함께 신속한 대처가 가능한 새로운 시스템 개발이 시급히 요구됨 												
<p>9. 기술 확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술정보 수집 및 전문가 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 각종 전문학술지 게재 논문 자료 - 해외 선진기술에 대한 지속적인 벤치마킹을 위한 외국기업체 및 연구기관과의 협력 추진 - 각종 국제 학회, 세미나 참석 - 지반탐사전문기업 및 시스템 개발 전문기관과의 협력을 통한 협업 - 관련 전문학계의 자문 및 정보교류 ○ 타 기관과의 협조방안 <ul style="list-style-type: none"> - 도시형 침하 방재관련 기존 연구과제 및 연구자들과 주기적인 연구회를 조성하여 상호 기술 교환 - 고정식 센서기반 관리시스템 연구과제등과 연계해 기수행되고 있는 국가연구개발 사업의 관리시스템상에서 위험평가가 이루어진 침하 예상지를 대상으로 도로 실주행 평가 및 자료협업 - 민간탐사전문 기업 및 지반조사 전문가와 공동연구 및 협력 												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">최종성과물</th> <th style="width: 33%;">수요처</th> <th style="width: 33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>차량 탑재형 다채널 고속-고정밀 해석기법</td> <td>정부기관 및 지자체 민간조사업체</td> <td>산학연 공동 연구 및 현업화</td> </tr> <tr> <td>탐사시스템 활용을 위한 매뉴얼</td> <td style="text-align: center;">“</td> <td>국제규격 및 인증 획득</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> ○ 도시형 지반함몰 조사를 위한 차량 탑재형 고속-고정밀 시스템 상용화 <ul style="list-style-type: none"> - 고속형(차량탐재 커버리지 및 조사시간 단축), 통합형(탐사자료와 위치정보 연동), D/B형(조사자료의 주기적인 2D, 3D D/B화) 시스템 구축 - 지반함몰 징후의 고정밀 고속 탐지 기술 확보 ○ 탐사시스템 활용을 위한 매뉴얼 상용화 <ul style="list-style-type: none"> - 국제적인 기술우위를 선점하기 위한 시스템 정량화 및 활용 매뉴얼 작성 	최종성과물	수요처	실용화 방안	차량 탑재형 다채널 고속-고정밀 해석기법	정부기관 및 지자체 민간조사업체	산학연 공동 연구 및 현업화	탐사시스템 활용을 위한 매뉴얼	“	국제규격 및 인증 획득			
최종성과물	수요처	실용화 방안											
차량 탑재형 다채널 고속-고정밀 해석기법	정부기관 및 지자체 민간조사업체	산학연 공동 연구 및 현업화											
탐사시스템 활용을 위한 매뉴얼	“	국제규격 및 인증 획득											
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 16.6%;">1차년도</th> <th style="width: 16.6%;">2차년도</th> <th style="width: 16.6%;">3차년도</th> <th style="width: 16.6%;">4차년도</th> <th style="width: 16.6%;">5차년도</th> <th style="width: 16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">4.5</td> <td style="text-align: center;">4.0</td> <td style="text-align: center;">3.0</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">11.5</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	4.5	4.0	3.0	-	-	11.5
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
4.5	4.0	3.0	-	-	11.5								

	<p>[1차년도] 4.5억원</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 탐사별 센서 장비 구축: 3.0억 ○ 인건비: 연구원 5명, 연구보조원 10명; 1.5억 <p>[2차년도] 4.0억원</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 탑재형 다인승 차량(단가: 50,000천원) 1대: 0.5억 ○ 차량개조 및 통합프로그램 시스템 개발: 2.0억 ○ 인건비: 연구원 5명, 연구보조원 10명; 예산 1.5억 <p>[3차년도] 3.0억원</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 테스트 베드를 이용한 검증 및 실증 : 1.5억 ○ 인건비(실무매뉴얼 개발): 연구원 5명, 연구보조원 10명; 예산 1.5억
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<p>[기대성과 및 활용방안]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 개착식 굴착에 따른 대도시 지역 지반함몰을 신속하게 대처할 수 있는 능력 향상 <ul style="list-style-type: none"> - 고속측정 시스템으로 주기적인 방재모니터링에 경제적 효과 및 실시간 예측을 통한 피해 대응 및 저감 기술 확보에 기여 - 개착식공사지역 및 도심지 도로가 많은 대도시 지자체 활용 기대 - 지반굴착 및 도시형침하로 인한 지반변형의 주기적인 감시 기술 <p>[현업화 (연계)기술]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 개착식 공사 모니터링을 위한 고속통합 탐지 능력 향상 기술 ○ 통합형 차량탐재 기술을 이용한 주기적 평가 및 조기경보체계 성능 향상 기술 ○ 지자체 또는 유관기관 현업화 및 국제적 기술우위 확보

1. 과제명	굴착 유출수로 인한 토립자 유실 및 지반 이완의 영향으로 인한 지반 손상도 평가 기술																	
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> - 하천주변 지역에서의 지반굴착으로 인한 간극수압 및 지하수위 변화 등의 지반 상태의 정확한 정보력 부재와 지하수 영향에 대한 사전조사의 미흡으로 지반 침하 문제와 같은 지반재해가 빈번하게 유발되고 있음. - 지반의 굴착으로 인한 지하수의 유출은 토립자의 유실을 야기하게 되며, 유실된 빈공간으로 인하여 지반이 이완되는 효과가 발생하여 지반 구조물의 불안정성을 야기함. - 굴착 전 조사된 지반의 조건과 굴착시공기법에 따라 지반 굴착 시 유출수로 인한 토립자 유실 및 지반 이완에 의한 지반 손상도 평가 기술을 개발하고자 함. 또한 굴착 중 간극수압 및 지하수위 변화의 계측 값을 활용한 해석을 통해 예경보 기준을 제시하고, 지반의 손상도 평가를 통한 안전관리 및 보수보강 가이드라인을 제시하고자 함. <div style="text-align: center;">  <p>〈도심지내 지반 침하 현상과 지하 동공〉</p> </div>																	
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 지반 굴착 시 유출수로 인한 토립자 유실에 의한 지반 이완 및 손상도 평가 기술 개발 - 굴착 중 계측-해석연계를 통한 예경보 기준 제시 - 지반의 손상도 평가를 통한 안전관리 및 보수보강 가이드라인 제시 																	
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<ul style="list-style-type: none"> - 대부분의 토립자 유실 영향 분석 및 계측기술이 지형적인 요소(karst, chalk 등)만을 고려하고 있음. - 굴착으로 인한 지반 이완과 지하수 흐름 등의 지반공학적 요소를 고려한 지반 손상도 해석 기술 및 계측 기술은 미미한 실정임. - 광역 및 국부적 지반 변화 관측 기술 <table border="1" data-bbox="507 1335 1369 1720"> <thead> <tr> <th>구 분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>국내</td> <td>위성 레이더 멀티간섭(Multiple Aperture Interferometry) 소프트웨어</td> <td>한국항공우주연구원</td> <td>인공위성을 이용한 지반 변화 관측 (센티미터 정밀도) 지반 변화와 지하 공동과의 상관관계 연구필요</td> </tr> <tr> <td>국외</td> <td>NASA 레이더 기술을 이용한 대형 Sinkhole 예측 기술</td> <td>NASA</td> <td>NASA 레이더 기술을 이용한 대형 sinkhole 예측 기술 지반의 수평이동을 바탕으로 지하 공동과의 상관관계 연구 중</td> </tr> <tr> <td>기타</td> <td>GPR(Ground Penetration Radar)을 이용한 지반/지하구조물 탐사</td> <td>범용기술</td> <td>고주파 전자기파를 이용하는 지반 침하 및 지반 이완 비파괴검사 방법</td> </tr> </tbody> </table>	구 분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	위성 레이더 멀티간섭(Multiple Aperture Interferometry) 소프트웨어	한국항공우주연구원	인공위성을 이용한 지반 변화 관측 (센티미터 정밀도) 지반 변화와 지하 공동과의 상관관계 연구필요	국외	NASA 레이더 기술을 이용한 대형 Sinkhole 예측 기술	NASA	NASA 레이더 기술을 이용한 대형 sinkhole 예측 기술 지반의 수평이동을 바탕으로 지하 공동과의 상관관계 연구 중	기타	GPR(Ground Penetration Radar)을 이용한 지반/지하구조물 탐사	범용기술	고주파 전자기파를 이용하는 지반 침하 및 지반 이완 비파괴검사 방법
	구 분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능														
국내	위성 레이더 멀티간섭(Multiple Aperture Interferometry) 소프트웨어	한국항공우주연구원	인공위성을 이용한 지반 변화 관측 (센티미터 정밀도) 지반 변화와 지하 공동과의 상관관계 연구필요															
국외	NASA 레이더 기술을 이용한 대형 Sinkhole 예측 기술	NASA	NASA 레이더 기술을 이용한 대형 sinkhole 예측 기술 지반의 수평이동을 바탕으로 지하 공동과의 상관관계 연구 중															
기타	GPR(Ground Penetration Radar)을 이용한 지반/지하구조물 탐사	범용기술	고주파 전자기파를 이용하는 지반 침하 및 지반 이완 비파괴검사 방법															
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 계측 시장규모는 약 4000억원 이상으로 평가되며, 계측관련 업체는 약 2200여개 이상임. - 2015년도 안전 예산이 기존 12.4조원에서 14.6조원으로 대폭 확대되었으며, 이중 최근 문제가 대두된 지반 재해를 포함한 재난예방보완시설 확충 등의 건설안전관련사업이 4.4조원으로 가장 큰 비중을 보임. - 굴착 공사 시 건설 안전 관리 관련한 수요가 꾸준히 증가할 것으로 예상되며, 시장규모와 신규 업체의 급격한 증가가 예상됨. 																	

5. 기존 기술 활용방안

- 토립자 유출 거동해석을 위해 상용화 된 토립자 유동모형을 활용 가능하나, 물흐름과의 연계해석은 아직 개발되지 않음
- 응력 변화 분석을 위해 유한요소 상용 프로그램을 활용

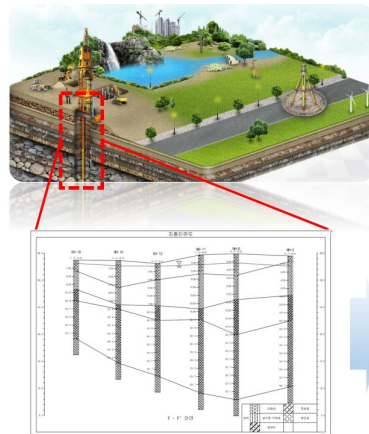


〈지반조건 및 흐름조건 변화를 고려한 지반 응력 이완 해석 및 손상도 평가〉

- 급작스런 지반함몰이 유발되기 쉬운 지반 조건을 도출 하기 위해, 기존 지질 주상도 및 GIS 정보를 활용 가능함.
- 지반침하를 위성레이더 영상을 활용하여 관측할 수 있으나, 정밀도는 센치미터급으로 해상도가 낮은 문제점이 있음.

6. 기술개발 필요성

- 최근 들어 도심지 지하구조물 공사 시 지반함몰 발생으로 인명 및 재산 피해가 늘어남에 따라 지반함몰 문제가 사회적 문제로 대두됨. 하지만 지반함몰에 대한 구체적인 원인파악 및 대책수립이 미흡한 실정.
- 급작스런 지반함몰을 일으킬 수 있는 토립자 유실에 대한 정확한 원인 파악이 이루어지지 않고 있음. 입자유실에 민감한 지반 종류 및 물리적 조건에 대한 분석이 요구됨.
- 굴착에 의한 지반 이완과 지하수 흐름이 토립자 유실에 미치는 영향 평가가 필요한 시점임.
- 토립자 유동모형을 활용하여 굴착에 의한 흐름 조건 변화에 따른 토립자 유출 거동 해석 기술이 필요함.
- 또한 토립자 유출에 따른 공동 유발 요인 분석 후 흐름 연계해석을 통해 손상도 평가가 가능한 유한요소 코드의 개발이 필요함 .
- 입자유실로 인한 지반 손상도 평가와 안전관리를 위한 실시간 계측 기술 및 위험수준 제시가 필요.
- GIS 정보를 이용하여, 손상도 평가를 위한 해석모델의 입력자료 구축이 필요함
- 위성레이더 영상 및 GPS를 활용한 지반침하 관측기술 및 지질공학적 수치 모델링 기술 개발이 필요.
- 간극수압 및 지하수위 계측기술을 활용한 손상도 평가 기술이 필요.



Depth (m)	Layer	Description	USCS*	SPT** blow count
4.0	Weathered granite soil	• Brown color • Medium dense silty sand • Unsaturated e = 0.66 / w = 12.4 %	SP***	19/30
		26/30		
15.0	Weathered granite soil	• Brown color • Dense silty sand • Saturated e = 0.45 / w = 16.7 %	SP***	45/30
				50/25
				50/21
				50/17
				50/12
50/8				
15.0	Weathered granite rock	• Brown color • Intermediately weathered • Saturated		

* Unified soil classification system
** Standard penetration test
*** USCS symbol for poorly graded silty sand

〈지질 주상도 및 GIS 정보를 활용한 하천근방의 지반조건 파악〉

<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도) - 기존 기술자료 및 기초기술 동향 조사와 해석 및 실험 기반 구축</p> <p>(2차년도) - 토립자 유실이 빈번한 하천주변 지역의 지반조건 조사 및 해석을 통한 지반함몰 원인 규명</p> <p>(3차년도) - 실내실험 및 수치해석을 통한 지하수 흐름과 토립자 유실이 지반 이완에 미치는 영향 및 메커니즘 분석 - 간극수압 및 지하수위 변화 예측 전략 수립 및 토립자 유실과의 상관성 분석</p> <p>(4차년도) - 굴착 중 간극수압 및 지하수위 변화 예측 값을 활용한 지반 손상도 평가 기술 및 예측 예경보 기준 제시</p> <p>(5차년도) - 테스트베드 예측값을 활용한 굴착 중 지반의 손상도 평가 가이드라인 제시 - 굴착 유출수로 인한 토립자 유실 및 지반 손상에 대한 보수 보강 가이드라인 제시</p>
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 도심지 지하굴착 작업 시 주변지반의 급작스런 함몰 및 지반 침몰 발생의 빈도수가 점차적으로 증가하고 있어 정부차원의 대책 마련이 시급함. - 이는 흙막이공의 굴착면에서의 지하수 유출에 의한 토립자 유출이 주변 지반 함몰의 원인이 되고 있음. 이를 미연에 방지하기 위해서는 정부차원의 지침이 필요함. - 기존 국내, 외 지반침하 예측 기술은 지형적인 요인을 주로 다루고 있으나, 굴착으로 인한 지반 이완 및 지하수 흐름과의 상관성 등 지반공학적 요인에 대한 평가 기술 및 연구가 미미한 실정임. 이들 연구를 위한 정부차원의 R&D지원이 요구됨. - 굴착 시 일어나는 토립자 유실을 고려한 지반침하 및 지하수 유동 변화를 연계 해석할 수 있는 손상도 평가 기술이 절실히 요구됨. 수치해석 및 실내실험을 통한 기술개발 및 현장검증 작업이 필요. 현장검증을 위해서는 민간 단독으로 수행하기 어렵고, 정부지원이 반드시 필요한 실정임. - 손상도 예측 기술을 이용하여 지반 굴착 시 안전관리 및 보수보강을 통하여 주변지반의 급작스런 함몰을 예방할 수 있으며, 지반 침하 같은 문제를 미연에 예방 가능. 이를 위한 지침 및 법규 마련을 위해 정부차원의 지원이 필요함.
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 실내 실험을 통해 굴착으로 인한 간극수압 및 지하수위 변화와 토립자 유실 및 지반이완의 상관 분석을 실시. - 실내 실험 자료를 기반으로, 기존 개별요소해석 프로그램과 유한요소프로그램의 연계를 통해 토립자 유출 및 지반이완의 수치해석적 기법을 개발. - 실내 실험, 수치해석적 접근 방법을 이용하여 지반의 손상도 평가 및 예경보 기준을 제시하여 안전관리 가이드라인을 제시. <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>

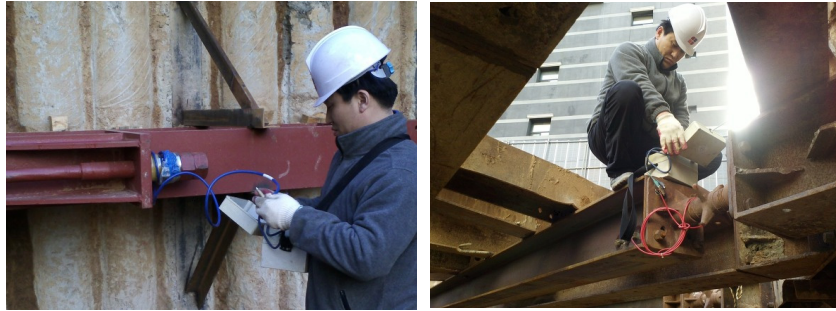
	 <p style="text-align: center;">Particle-Based Fluid simulation</p>																
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>최종성과물</th> <th>수요처</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지반 손상도 평가 기술과 안전관리를 위한 계측 및 보수보강 가이드라인</td> <td>관리주체 공공기관 및 설계, 계측과 시공 관련 민간업체</td> </tr> </tbody> </table>		최종성과물	수요처	지반 손상도 평가 기술과 안전관리를 위한 계측 및 보수보강 가이드라인	관리주체 공공기관 및 설계, 계측과 시공 관련 민간업체	<table border="1"> <thead> <tr> <th>실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>신기술 현장검증을 통한 실용화</td> </tr> </tbody> </table>			실용화 방안	신기술 현장검증을 통한 실용화						
최종성과물	수요처																
지반 손상도 평가 기술과 안전관리를 위한 계측 및 보수보강 가이드라인	관리주체 공공기관 및 설계, 계측과 시공 관련 민간업체																
실용화 방안																	
신기술 현장검증을 통한 실용화																	
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1차년도</th> <th>2차년도</th> <th>3차년도</th> <th>4차년도</th> <th>5차년도</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td>2.5</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> <td>10.0</td> </tr> </tbody> </table>					1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	1.5	2.0	2.5	2.0	2.0	10.0
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계												
1.5	2.0	2.5	2.0	2.0	10.0												
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 굴착으로 인한 간극수압 및 지하수위의 변화에 따른 토립자 유출로 인한 지반거동 해석 및 설계 기술 확보 - 계측 및 해석기술을 이용한 지반의 손상도 평가 및 예경보 가이드라인 제시 - 예경보 가이드라인을 통한 관련 재해의 안정성 확보 및 관리/감독이 가능한 시스템 구축에 활용 - 해당 지역의 구조물 설치 및 지하 굴착시 안정성 및 경제성 확보 - 가이드라인 지침 및 법규화를 통한 계측 영세업체시장의 활성화 및 피해 복구 비용감소 																

1. 과제명

무선센서를 활용한 굴착 중 주변 지반 및 인접구조물의 실시간 모니터링 및 손상 평가 기술

2. 연구목적 및 배경

- 지반 굴착공사 시 가설 구조물과 인접 구조물의 안전성을 확인하고 구조물의 무너짐 사고 등의 재해를 예방하기 위해서는 지속적인 계측관리가 필요함.
- 굴착공사 시 가설 및 주변 구조물의 손상으로 인한 피해를 예방하기 위해 계측관리에 대한 지침을 마련하고 공사 시 이를 시행하고 있음.



〈지반 굴착 공사 시 계측 관리〉

〈지반굴착 시 계측 항목 별 측정 빈도〉

계측항목	설치시기	측정시기	측정 빈도	비고
지하수위계	굴착 전	계측기 설치 후	1회/일 (1일간)	초기치 설정
		굴착 진행 중	2회/주	우천 1일후 3일간 연속 측정
		굴착 완료 후	2회/주	
하중계	스트럿과 어스앵커 설치 후	계측기 설치 후	3회/일 (2일간)	초기치 설정
		굴착 진행 중	2회/주	다음단 설치시 추가측정
		굴착 완료 후	2회/주	다음단 해체시 추가 측정
변형률계	스트럿 설치 후	계측기 설치 후	3회/일	초기치 설정
		굴착 진행 중	2회/주	다음단 설치시 추가측정
		굴착 완료 후	2회/주	다음단 해체시 추가 측정
∴	∴	∴	∴	∴

- 현재 굴착공사 현장에서 사용하고 있는 계측 방식은 유선센서로 시공 중 현장 환경변화를 유기적으로 대처하는데 어려움이 있으며, 센서 및 케이블 설치에 많은 인력과 시간이 필요하며 시공 중 파손의 위험이 있음.

3. 연구개발 목표

- 계측 센서를 탑재한 무선센서 모듈 및 무선센서 네트워크 시스템 구축
- 굴착공사 시 주변 구조물의 거동 및 동특성 변화에 기반하여 지하 구조물과 현장 인접 구조물의 손상을 추정 할 수 있는 손상추정 알고리즘의 개발 및 적용
- 무선센서 네트워크를 사용한 시공 중 실시간 모니터링 통합 시스템 구성 및 현장주변 구조물들의 손상진단 기술 개발

4. 기술개발 및 산업/시장 동향

기술 동향

- 현장에서 계측된 자료와 공사 현황, 기상 상태 등을 종합 분석하여 굴착공사 진행에 따른 가설 및 주변 구조물의 상태를 파악할 수 있음. 굴착공사로 인한 사고를 미연에 방지하기 위해 지하수위, 하중, 변형률 등 다양한 계측이 수행 중.

구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
국내	다중 센싱 무선계측 시스템	한국건설기술 연구원	가속도, 온도 습도 빛 계측 기능, 확장성 없음

구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
	USN 초음파 센서를 활용한 흠막이 안전관리	부산대학교	USN센서에 초음파 센서를 결합하여 흠막이의 변위 측정, 실험실 수준
	무선 센서 시스템	KAIST	무선 센서를 통해 가속도 및 추가적인 물리량 계측이 가능한 시스템
국외	Imote2	Memsic, UIUC	3축 가속도, 온도 습도 계측 가능, 추가적인 확장성이 있음
	Narada	U. Michigan	무선 센서 시스템, 데이터 처리가 빠르고 300m의 긴 통신거리, 확장성이 있음

– 무선센서를 활용한 계측 시스템 구축에 대한 연구는 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있음.

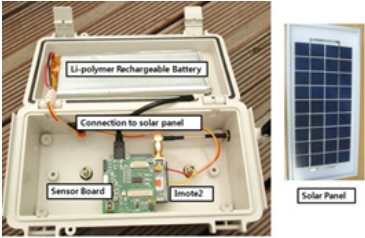
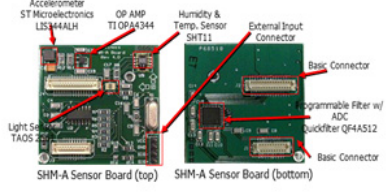
– 무선센서를 활용하여 토목 구조물의 안전관리에 적용한 사례는 많이 있지만 굴착공사 중 계측 및 안전진단에 사용된 사례는 국내외적으로 알려진 바가 없음.

시장 동향

– BCC Research가 발표한 “세계의 무선센서 시장 및 기술” 보고서에 따르면 2011년 세계 무선 센서 시장 규모는 약 7억 9천만 달러를 기록했으며 2016년에는 47억 달러에 달할 것으로 예측.

– 시공 중 계측관리에 대한 필요성이 증가하면서 시공계측관리를 전문으로 하는 업체들이 상당수 존재.

5. 기존 기술 활용방안

〈스마트 무선센서〉

- 현재 상용화되어 있는 무선센서 모듈 중 계측에 필요한 센서들에 대해 확장성이 용이한 무선센서 모듈을 활용 가능함.
- 미국에서 개발된 Imote2는 데이터를 내부적으로 저장하고 이를 연산하여 무선으로 송수신할 수 있으며 여기에 SHM-A보드를 활용하여 3축 가속도, 온도, 습도를 계측이 가능.
- 통신 장애로 인한 data lose와 같이 현장 계측 시 발생할 수 있는 문제점들을 개선한 Imote3가 개발 중이며 가까운 시일 내에 출시 예정.
- 추가적으로 외부 센서로 부터 전압 신호를 받을 수 있어 확장성이 용이하기 때문에 굴착공사 중 사용되는 센서와 연계 가능할 것으로 예상.

6. 기술개발 필요성



- 굴착공사 시 공사가 진행됨에 따라 지속적인 계측관리가 필요함. 계측관리는 공사현장 뿐만 아니라 공사현장 주변 및 지하의 구조물들에 대해서도 지속적인 계측관리가 필요함.
- 굴착공사 시 진행되고 있는 계측은 계측관리 기술지침에 따라 이루어지고 있지만 각각의 계측 항목에 대해 독립적으로 계측이 수행되고 있으며 인력을 투입하여 계측이 이루어지기 때문에 데이터 계측을 통해 최종 분석이 이루어지기까지 상당한 과정과 시간을 거치고 있음.
- 무선센서 네트워크를 활용하여 굴착공사 중 계측이 필요한 물리량을 통합적으로 계측하고 관리한다면 공사기간 중 계측분석에 소요되는 시간과 인력 투입을 감소 가능.
- 가설 구조물뿐만 아니라 주변 구조물들에 대한 계측을 수행하고 손상진단 알고리즘을 도입하여 현장 계측데이터와 연계하여 분석을 수행하면 공사 진행이 주변 구조물에 미치는 영향 효과적 파악 가능.

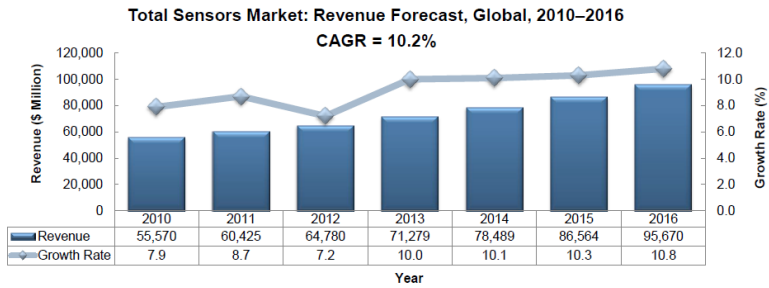
7. 주요 연구개발 내용	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 기술 자료 및 기초기술동향 조사 및 분석 수행 - 현장 계측에 필요한 물리량 및 센서 선정 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현장 환경 및 계측 센서를 고려한 무선센서 스펙 선정 - 다물리량 계측이 가능한 무선센서 모듈 개발 및 검증 - 주변 구조물 손상진단을 위한 손상진단 알고리즘 개발 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 무선센서 네트워크 구축을 통한 통합 계측 관리 시스템 구축 - 구조물 손상진단 알고리즘 검증 수행 <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현장 환경을 모사한 실험실 규모 축소 모형에 대해 통합 계측 시스템 구성 및 손상진단 알고리즘 검증수행 - 개발 무선센서 및 알고리즘 고도화 <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현장 적용을 위한 무선센서 네트워크 고도화 - 무선센서 네트워크 현장 적용 및 검증 					
8. 정부지원의 타당성	<ul style="list-style-type: none"> - 굴착공사로 인하여 다양한 형태의 사고가 지속적으로 발생하고 있으며 이러한 사고를 방지하기 위해 안전관리의 필요성이 증가. - 안전관리를 위한 계측이 이루어지고 있지만 계측 빈도가 매우 낮으며 계측 데이터들의 실시간 통합 관리 및 정보 처리는 이루어지고 있지 않으며 시공 현장 데이터들과 인접 구조물에서 계측된 데이터에 대한 종합적인 분석은 이루어지고 있지 않고 있는 실정임. - 시공현장 전체를 계측하고 관리하는 연구를 기관에서 단독으로 수행하기에는 큰 어려움이 따를 것으로 예상됨. - 무선센서 네트워크를 통해 시공현장 전체를 계측하고 관리 할 수 있는 시스템을 구축한다면 효율적인 안전관리가 가능하며 필요에 따라서는 실시간 계측을 통한 시공 현장 관리도 가능 할 것으로 예상됨. 					
9. 기술확보 전략	<ul style="list-style-type: none"> - 굴착공사 현장에 무선 센서를 설치할 경우 나타날 수 있는 통신문제에 대하여 자기장 통신과 같이 극한 환경에서 통신이 가능한 방법들을 고려하여 제안 기법에 알맞은 통신 방법을 적용. (공동연구 추진) - 기존의 구조물 손상추정 기법에 대한 검토를 통해 계측데이터를 활용하여 지하 구조물 및 인접 구조물의 손상진단에 알맞은 알고리즘을 개발. - 무선센서 모듈 개발 연구사례를 바탕으로 굴착공사 중 모니터링에 적합한 무선센서 모듈을 개발. 					
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	다물리량 계측이 가능한 무선센서 시스템		공공기관 및 안전진단 업체		신기술을 통한 보급	
	구조물 손상진단 프로그램		공공기관 및 안전진단 업체		신기술을 통한 보급	
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	1.0	2.0	2.5	2.5	2.0	10.0

**12. 기대효과 및
파급효과**

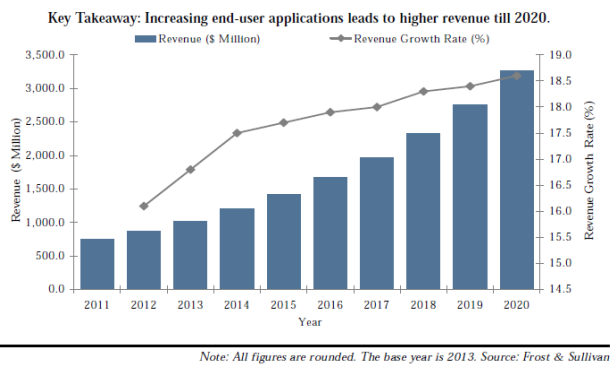
- 굴착공사 중 발생 가능한 사고를 미연에 방지하고 안전관리 모니터링의 효율성 향상이 가능.
- 무선센서 네트워크를 활용한 현장 계측 데이터의 통합관리를 통해 안전관리에 소요되는 시간과 인건비를 대폭 감소할 수 있을 것으로 기대됨.

<p>1. 과제명</p>	<p>굴착현장 및 인접시설물 안전관리를 위한 통합 IT계측 관리 및 안전점검 매뉴얼 개발 및 실증실험</p>																				
<p>2. 연구목적 및 배경</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 최근 도심지역의 지반굴착공사는 한정된 토지의 이용을 극대화하기 위하여 주거 시설 또는 상업 시설 등 기존 시설물 인근에 대규모 연직 지반굴착 또는 터널 굴착공사가 이루어지고 있음. 대규모의 공사 이외에도 소형 건축물의 신축에 따른 다양한 종류의 굴착공사가 진행 중에 있고, 개착식 지하철 박스 공사와 같은 대형 터널공사에서부터 전력구나 하수시설을 위한 소형 터널공사에 이르기까지 다양한 지반관련 공사가 도심지 곳곳에서 진행되고 있음. - 도심지에서의 이러한 굴착공사에 따른 여러 가지의 많은 문제점들이 야기되고 있으며, 특히 지반 및 터널굴착에 따른 붕괴사고로 인한 공사장의 피해 뿐 아니라 주변 지반에 변위가 발생하여 도로함몰, 인접구조물이나 시설물들의 손상 등이 빈번히 발생하고 있음. 이와 같은 인접구조물의 손상은 많은 민원문제를 야기 시키며, 인적피해, 공사 지연 및 공사비 증가 등의 여러 문제를 야기함. - 국토교통부의 건설안전정보시스템(http://www.cosmis.or.kr)에 따르면 건설현장 발생공종별 사고사례현황 중 지반굴착에 관련된 사건사고의 발생건수는 108건으로 33%에 달하며, 피해금액은 전체 피해금액의 14.5%를 차지하고 있음. 따라서 지반굴착공사는 건설안전취약공종의 하나로 분류되어 있으며, 안전확보를 위한 안전관리 방안이 매우 시급한 실정임. <div style="text-align: center;"> <p>발생공종별 사고사례현황</p> <table border="1" style="margin: 0 auto;"> <caption>발생공종별 사고사례현황 (COSMIS, 2015)</caption> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>비율 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>터널 및 굴착공사</td> <td>33%</td> </tr> <tr> <td>건설공사</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>도로공사</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>하천공사</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>시면공사</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>콘크리트공사</td> <td>14%</td> </tr> <tr> <td>기타</td> <td>19%</td> </tr> <tr> <td>강구조물공사</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>해체 및 철거공사</td> <td>4%</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>〈발생공종별 사고사례현황(COSMIS, 2015)〉</p> <ul style="list-style-type: none"> - 이러한 굴착현장의 문제를 미연에 방지하기 위한 지반굴착 공사시 흠막이 벽체와 보강재에 대한 계측을 하고 계측관리를 실시하고 있으나, 열악한 국내 건설상황으로 인해 효과적인 계측관리가 이루어지지 못하고 있음. - 본 연구에서는 최신 IT기술을 활용하여 개발된 센서 및 계측기기 등을 활용한 굴착현장 및 인접시설물 안전관리를 효과적으로 수행할 수 있는 통합 계측시스템 관리 방안 제시하고자 함. - 계측데이터와 연계, 안전설계(DFS) 및 위험요소 프로파일(Hazard Profile)에 기반한 안전점검 매뉴얼 개발. - 그리고 실 굴착공사현장에 Test Bed를 운영하여, 계측시스템 및 안전점검 매뉴얼의 적용성을 검증하여, 개발된 연구성과물의 실효성을 확보하고자 함. 	구분	비율 (%)	터널 및 굴착공사	33%	건설공사	15%	도로공사	8%	하천공사	1%	시면공사	3%	콘크리트공사	14%	기타	19%	강구조물공사	3%	해체 및 철거공사	4%
구분	비율 (%)																				
터널 및 굴착공사	33%																				
건설공사	15%																				
도로공사	8%																				
하천공사	1%																				
시면공사	3%																				
콘크리트공사	14%																				
기타	19%																				
강구조물공사	3%																				
해체 및 철거공사	4%																				
<p>3. 연구개발 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 최신 IT기술을 활용한 지반굴착 중 공사현장 및 인근 시설물(도로, 건물, 지장물) 안전관리를 위한 통합 계측 관리 방안 마련 - 안전설계(DFS) 및 위험요소 프로파일(Hazard Profile)에 기반한 안전점검 및 관리 매뉴얼 개발 																				

	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>지반굴착공사 안전점검 및 관리 매뉴얼 2019. 08. 한국시설안전공단</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>지반굴착공사 통합계측시스템 매뉴얼 2019. 08. 한국시설안전공단</p> </div> </div> <p>- 국내 대표 굴착공사 유형별(3~4타입) 현장에 대한 계측 및 안전관리 시스템의 적용성 검증을 위한 Test Bed 운영</p>
<p>4. 기술개발 및 산업/시장 동향</p>	<p style="text-align: center;">기술 동향</p> <p>- 현재 지반굴착 공사에서 시공 중 발생하는 구조물 및 지반의 거동을 관측하기 위해 용도에 따라 다음과 같은 계측기를 사용 중.</p> <ul style="list-style-type: none"> · 경사계, 지하수위계, 간극수압계, 토압계, 하중계, 변형률계, 건물경사계, 지중침하계, 지표침하계, 균열측정기 <p>- ㈜셈즈에서 지중 구조물 DB를 이용(기존 GIS 및 DB 연동)하여 현장에서 신속 정확하고 용이하게 탐사할 수 있는 RFID·GIS 기반 지중 구조물 관리 시스템 개발.</p> <p>- 필컴패니언(주)에서는 지하철 노선 건설에 주변의 침하, 균열, 이상 등에 대한 감시 작업을 위하여 기존 지하철 노선에 변위가 없는지 계측하기 위한 도상침하계, 가속도 센서를 이용하여 벽이나 구조물이 아주 작은 기울기 변화를 감지하는 구조물경사계(Tilt Meter), 균열 부분에 아주 미세한 균열의 확대나 변화를 감지하는 균열계(Crack Meter) 센서를 이용한 변위 모니터링 시스템을 개발하여 지하철 공사에 적용.</p> <p>- 미국 캘리포니아 샌디에고 지역에서는 지하 상태를 모니터링하기 위하여 터널형 구조물을 설치하여 모니터링 센서들을 부착하고, 센싱 데이터들을 맨홀 근처에 설치된 게이트웨이와 무선통신을 이용하여 통합 관리하는 지하 매설관 관리 시스템을 구축.</p> <p>- 국내 지하굴착공사 관련규정은 다음과 같음.</p> <ul style="list-style-type: none"> · 지하굴착공사 안전관리 편람 (건설교통부, 1996) · 건설공사 가시시설 안전점검 편람(III) - 제III편 : 토공사 (한국건설기술연구원, 1995) · 도로법, 시행령, 규칙(도로점용관련 발체) · 도시가스사업법 · 산업안전기준에 관한 규칙 : 굴착공사 표준안전작업지침(노동부고시) · 각종 시방서(굴착공사관련 발체) : 토목공사 일반표준 시방서, 도로공사 표준 시방서 · 가스배관 관련 타공사 관리 · 굴착공사 관련 안전관리 지침 : <ol style="list-style-type: none"> ① 지하매설물 보호줄파기 안전작업지침(서울지하철본부) ② 도시가스관 안전관리 지침(서울지하철본부) <p style="text-align: center;">시장 동향</p> <p>- 지하공간 활용에 있어서 지반굴착, 지중 구조물 모니터링 및 관리 시스템, 지하철 관련 지하 공간의 안정성 진단 및 평가 기술, 지하공간의 지하수와 지반에 관한 계측을 통한 재난재해 예방 및 대응 솔루션 등이 관련시장으로 분류.</p> <p>- (센서 시장) Frost & Sullivan(2013)에 따르면 2012년 현재 시장은 647.8억달러에서 연평균 성장률 10.2%를 보이며, 2016년에는 956.7억달러 시장으로 성장할 것으로 전망.</p>



- (센서 네트워크 시장) Frost & Sullivan(2014)에 따르면 무선 센서 네트워크 시장은 2013년 10.2억달러에서 연평균 성장률 18.1%를 보이며, 2020년에는 32.7억달러 수준으로 성장할 것으로 전망.



- (지반 공동 및 지중 구조물) 최근 도시화, 초고층화, 집적화 현상이 심화되면서, 싱크홀 문제 발생, 지중 구조물의 복잡성 증가 등으로 인하여 정부차원에서 지반 공동 및 지중 구조물에 대한 사업을 진행하고 있음.

5. 기존 기술 활용방안

- 각종 건설안전 지침서(건설공사 안전점검 지침, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 건설공사 안전관리 업무 매뉴얼, 지하굴착공사 안전관리 편람, 굴착공사 표준안전작업지침 등)을 검토하여 본 연구에 활용.
- 건설공사 참여자의 안전역량 평가체계 개발연구(2014) 연구결과 활용.
- 건설공사 위험요소 프로파일 개발연구(2014) 연구결과 활용.

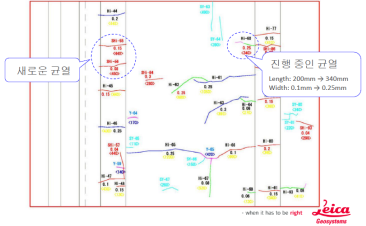
6. 기술개발 필요성

- 최근 도심지 지하공간 활용의 요구가 증대됨에 따라 이에 따른 시공 및 공용 중의 안전성 확보와 함께 효율적인 유지관리방안 필요.
- 지반굴착 시공시의 위험요인이나 공사현장의 안전 상태를 신속·정확하게 조사 및 평가하고, 그에 대한 적절한 안전조치를 취하여 재난 예방 및 공사현장의 안전성 및 기능성을 보완·보전케 함으로써 인적·물적 피해를 예방할 필요.
- 과거 국내에 적용된 굴착 공법 시공시에 발생했던 문제점을 살펴보고 적절한 개선 방안 마련 필요.
- 기존 계측방안의 문제점을 도출, 개선하기 위한 최신 IT기술을 접목한 센서 및 계측기기를 활용한 계측방안 도입 필요.
- 시공안전성이 확보된 설계만 현장에 적용되도록 설계자가 사고 위험요인을 최소화하고 이를 평가할 수 있는 체크리스트 필요.
- 시공자의 안전관리계획 수립 및 발주자의 공사감독시에도 위험요인을 사전에 인지하고 관리할 수 있는 지침 필요.
- 따라서 시공 및 공용 중에 다양한 재난으로부터 안전성 확보와 함께 효율적인 안전관리기법을 개발할 필요.
- 개발된 계측 방안 및 안전관리 기법에 대한 실제 굴착현장 Test Bed에서의 검증 필요.

<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지반굴착 공사 안전관리기준 관련 자료 수집 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 국내·외 지반굴착공사 현황 및 안전관리 규정에 대한 조사 · 지반굴착공사와 관련된 사고사례 수집 및 원인 분석 · 현행 지반굴착 공사장 계측관리 및 안전점검 현황 조사 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지반굴착 공사 현장 및 인근 시설물 통합 계측관리 방안 연구 <ul style="list-style-type: none"> · 지반굴착공사 계측 사례 및 계측 관리기준치에 대한 분석 · 지반굴착 공사현장 및 인근 시설물 위험도 평가(타 세세부 연구결과 활용) 연구 - 지반굴착 공사 현장 및 인근 시설물 안전 점검 매뉴얼 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 현행 지반굴착관련 안전점검에 대한 정책행정·기술적인 관점에서의 문제점 도출 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지반굴착 공사 현장 및 인근 시설물 통합 계측관리 방안 연구 <ul style="list-style-type: none"> · 지반굴착 공사현장 붕괴위험도 및 인근 시설물 영향 평가를 반영한 계측관리 방안 제시 · 지반굴착현장 최신 IT기술을 활용한 통합 계측 방안 마련 - 지반굴착 공사 현장 및 인근 시설물 안전점검 및 관리 매뉴얼 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 안전설계(DFS) 및 위험요소 프로파일(Hazard Profile) 분석 <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내 대표 굴착공사 유형별(3~4타입) Test Bed 운영 <ul style="list-style-type: none"> · 대표 굴착공사 유형별 Test Bed 선정관련 유관기관 협의 · 대표 굴착공사 유형별 Test Bed 선정 · 선정된 Test Bed 계측 시스템 설치공사 및 운영 - 지반굴착 공사 현장 및 인근 시설물 안전점검 및 관리 매뉴얼 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 계측데이터와 연계, 안전설계(DFS) 및 위험요소 프로파일(Hazard Profile)에 기반한 안전점검 매뉴얼 개발 <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내 대표 굴착공사 유형별(3~4타입) Test Bed 운영 <ul style="list-style-type: none"> · 선정된 Test Bed 계측 시스템 설치 및 운영 · Test Bed 운영을 통한 시스템의 현장 적용성 검증 및 문제점 도출 · 도출된 문제점 보완을 통한 실효성 있는 계측 방안 제시 - 지반굴착 공사 현장 및 인근 시설물 안전점검 및 관리 매뉴얼 개발 <ul style="list-style-type: none"> · Test Bed 현장에 개발된 안전점검 및 관리 매뉴얼 적용 · 현장 검증 및 보완을 통한 지반굴착공사 안전점검 및 관리 매뉴얼 제시
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 건설취약공종인 지반굴착공사는 공사현장 뿐만 아니라 인근 시설물(도로, 철도, 건축물 등)에 재난 및 안전사고를 발생시켜 막대한 경제적 손실과 함께 광범위한 사회적 불안감을 조성하므로 지반굴착과 관련된 안전사고를 대비하고, 예방할 수 있는 기술개발을 위해 정부차원의 지원이 필요함.
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 각종 지반굴착관련 설계·시공·계측의 안전과 관련된 지침 수집·분석. - 지반굴착공종의 설계 및 시공·계측자료, 시공실태 수집·분석 및 각종 지침들 활용. - 지반굴착공종의 설계·시공·계측특성을 고려한 유지관리항목별 중요도 분석 - 지반굴착관련 현황, 사고 발생 유형 조사를 통한 문제점 도출. - 전문적인 안전관리 및 계측 업체와 유기적인 협력으로 안전관리기법을 개발 - 타 세세부 연구에서 개발된 센서 및 계측기술의 활용.

10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	수요처	실용화 방안			
	지반굴착공사 통합 계측 매뉴얼	지반굴착공사 시공사 및 계측회사	Test Bed 검증 국토교통부, 한국시설안전공단 등 공공기관의 현장점검 및 건설기술자 교육 등에 활용			
	지반굴착공사 안전점검 및 관리 매뉴얼	국토교통부 등 발주처 한국시설안전공단 지반굴착공사 시공사 및 감리사	Test Bed 검증 국토교통부, 한국시설안전공단 등 공공기관의 현장점검 및 건설기술자 교육 등에 활용			
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	1억	1억	1억	2억	2억	7억
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술적 효과 <ul style="list-style-type: none"> - 지반굴착 관련 설계 및 시공관련 안전 기술의 체계화와 연구개발을 통한 기술 개발 확보 - 안전 위험요인을 미연에 제거함으로써 지반굴착 현장 안전 확보 가능 - 향후 성능위주의 안전설계기술에 응용할 수 있는 기반기술의 확보 ○ 경제적 효과 <ul style="list-style-type: none"> - 계획부터 설계, 시공까지 선제적 안전대책으로 사회적, 경제적 손실 최소화 - 표준화된 대응활동과 재난대응 역량 개선을 통한 인명 및 재산 피해의 최소화 - 관련 안전 및 계측 산업 육성을 통한 경제 활성화 					

<p>1. 과제명</p>	<p>레이저 센서, UAV 시스템 등 첨단 기술을 이용한 흠막이벽 및 주변 지반 변형의 광역 관측 기술</p>										
<p>2. 연구목적 및 배경</p>	<p>- 시공기술의 발달로 건설공사 중 안전사고는 점차 감소하고 있으나, 최근까지도 흠막이 굴착관련 사고는 빈번히 발생하고 있음. 이는 타 구조물에 비하여 지반이 갖는 불확실성 및 굴착공사의 대형화 등 여러 요인에 의해 발생하는 것으로 예상됨.</p> <div data-bbox="539 497 1362 763" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">〈흠막이벽 붕괴로 인한 안전사고〉</p> <p>- 건설공사에 따른 주변지반의 침하와 변형은 굴착공사 시 토류벽 변형과 지하수위 저하에 따른 주변지반의 침하 및 연약지반 상에 성토했을 때 발생하는 압밀침하 등이 있음. 일반적으로 굴착에 따른 영향범위는 연약지반인 점성토의 경우에도 굴착 깊이의 1~4배정도로 알려져 있으나, 도심지에서 진행되는 굴착공사가 대형화함에 따라 광범위한 지역에서 지반침하가 발생하며 피해가 발생하는 사례가 늘어나고 있음.</p> <div data-bbox="687 1055 1214 1435" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">〈서울시 도심에서 발생한 싱크홀〉</p>										
<p>3. 연구개발 목표</p>	<p>- 흠막이벽의 직접적인 변형을 3차원으로 모니터링하기 위한 시스템의 개발 - 지반굴착 공사현장 주변 지역의 지반변형을 관측하기 위한 광역 관측 시스템 구축</p>										
<p>4. 기술개발 및 산업/시장 동향</p>	<p>기술 동향</p>	<p>- 레이저스캐닝 기술, UAV 시스템을 활용하면 관심 대상 및 지역의 변형에 대한 주기적인 광역 모니터링이 가능함. 현장에서 관측된 자료와 공사 현황, 기상 상태 등을 종합 분석하여 공사 진행에 따른 지반 변형과 현장 구조물 안전 상태를 파악할 수 있음 - 공사 현장관리를 통해 시공 품질과 안전성을 높이고 예측하기 어려운 사고들을 미연에 방지하기 위한 다양한 센서 및 시스템이 개발되고 있음</p> <table border="1" data-bbox="507 1823 1401 1989"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>국내</td> <td>지상LiDAR를 이용한 터널의 Reverse Engineering</td> <td>연세대학교</td> <td>터널의 내공단면을 측량 체적 및 여·미 굴량을 구하기 위한 지상 LiDAR의 정확도 및 성능 분석</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	지상LiDAR를 이용한 터널의 Reverse Engineering	연세대학교	터널의 내공단면을 측량 체적 및 여·미 굴량을 구하기 위한 지상 LiDAR의 정확도 및 성능 분석
구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능								
국내	지상LiDAR를 이용한 터널의 Reverse Engineering	연세대학교	터널의 내공단면을 측량 체적 및 여·미 굴량을 구하기 위한 지상 LiDAR의 정확도 및 성능 분석								

		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
	국외		지상 레이저 스캐너를 활용한 옹벽 변위 모니터링	Geo-Instruments	옹벽에 고정형 타겟을 설치하고 지상레이저 스캐너를 통하여 모니터링하여 cm 수준의 옹벽 변위 모니터링 가능
			P20 (지상레이저스캐너), Aibotix (UAV)	Hexagon	레이저스캐너를 활용하여 약 100~300m 거리의 구조물 변형 측정 / UAV를 통해 비접근 지역의 시설물 균열 관리
			KUMONOS	Leica Geosystems	토탈스테이션을 활용하여 대형 구조물의 mm 수준의 균열에 대한 3차원 자료 수집 
시장 동향		- 레이저 센서 및 UAV 시스템을 활용한 시설물 모델링 및 모니터링 시스템 구축에 대한 연구는 최근 활발하게 이루어지고 있음. - 레이저 센서 및 UAV 시스템을 활용하여 대형 구조물의 유지/보수에 적합한 사례는 많이 알려져 있지만 흙막이벽 시공 중 구조물 및 주변 지반 변형 모니터링에 사용된 사례는 국내외적으로 알려진 바가 없음.			
		- BCC Research는 현재 세계 지상레이저스캐너 시장 규모가 약 45억 달러에 근접한 규모를 기록 했으며, 2018년까지 약 89억 달러 규모에 달할 것으로 예상하고 있음. - Teal Group은 2014년 기준 세계 드론 시장을 약 50억 달러 규모로 파악하였으며, 2020년엔 시장 규모가 약 114억에 달할 것으로 판단하고 있음. - 시공 중 발생하는 시설물과 주변 지반의 변형에 대한 실시간 광역 모니터링의 필요성이 증가하면서 실시간 시공관리를 전문으로 하는 업체들이 지속적으로 증가하고 있음.			
5. 기존 기술 활용방안		- 현재 Leica Geosystems, Faro, Riegl 등 많은 기업에서 다양한 종류의 지상레이저스캐너를 개발하고 있음. 이에 최신 지상레이저스캐너 도입을 통해 흙막이 벽 및 지반침하의 실시간 광역 모니터링 시스템 개발이 가능할 것이라 판단됨. - 현재 Leica Geosystems 사에서 개발한 GPS, 고해상도 카메라, 레이저 스캐너를 탑재한 UAV 시스템을 활용하면 시공현장에 대한 모니터링 기술 개발 가능할 것으로 보임. 특히, Agisoft 사의 PhotoScan 프로그램과 같은 최신 근거리사진측량 기술과 UAV 기술의 융합을 통해 시공현장에 대한 3차원 모니터링이 가능할 것임.			
6. 기술개발 필요성		- 굴착공사 시 공사가 진행됨에 따라 지속적인 흙막이벽 및 주변 지반의 변형이 발생함. 굴착 공사가 대형화되고 인근 구조물에 피해가 발생하는 사례가 증가함에 따라 공사현장 뿐만 아니라 공사현장 주변의 지반 및 구조물에 대해서도 지속적인 모니터링이 필요한 상황임. - 흙막이 벽과 주변 지반의 변형을 관측하고, 그 데이터를 설계상의 가상조건 및 계산 결과와 비교하면서 흙막이 굴착공사의 변화 및 주변지반에 미치는 영향을 사전에 파악하여 현장에 신속히 대응할 수 있음.. - 공사현장 주변의 광역적인 지반변형을 관측함으로써 싱크홀과 같은 극단적인 지반변형을 조기에 예측하고 대응하기 위한 정보를 제공할 수 있음.			
7. 주요 연구개발 내용		(1차년도) - 기존 레이저센서 및 위치측위 기술의 활용가능성 검토 - 지상레이저스캐닝 기술 조사 및 기초기술동향 조사 - UAV 시스템에 탑재 가능한 센서 및 기초기술동향 조사			

	<ul style="list-style-type: none"> - 흠막이벽 및 주변 지반 변형 광역 측정을 위한 목표기준 및 초기 시스템 개발 <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지상레이저스캐너를 이용한 흠막이벽 3차원 변형 관측 기술 개발 - 시공현장 모니터링을 위한 UAV 시스템 설계 <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지상레이저스캐너 기반의 흠막이벽 3차원 변형 관측 시스템 구축 - 레이저스캐너, 고해상도 영상센서 등을 탑재한 UAV 파일럿 플랫폼 및 geo-referencing 기술 개발 <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지상레이저스캐너 및 UAV 시스템 기반 흠막이벽 3차원 변형 관측 시스템의 현장 모사 모형에 대한 적용 및 시스템 검토 - 개발 기술에 대한 통합형 시스템 구축 <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현장 적용을 위한 흠막이벽 및 주변 지반 변형 통합 관측시스템 고도화 - 개발 시스템의 현장 시험 적용 및 검증 												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 고밀도 도심지에서 진행되는 지하굴착이 점차 대형화되고 있으며, 이로 인해 주변지반의 침하 및 싱크홀 등의 문제가 빈번히 발생하고 있음. - 현재 흠막이 굴착공사의 안전관리를 위한 계측장비로는 지중경사계, 변형률계, 하중계, 토압계, 지하수위계, 간극수압계, 하중계, 벽면경사계, 균열계, 진동측정기, 소음측정기, 지중변위계 등 다양한 센서가 사용되고 있으나, 대부분의 장비가 1차원 혹은 2차원적인 거동만을 모니터링 할 수 있는 센서이며, 광범위한 지역에 대한 지반 변형을 계측하는 것은 불가능함. - 지상레이저스캐너를 사용할 경우 직접적으로 흠막이벽의 3차원 변형을 관측할 수 있음. - UAV에 레이저스캐너, 고해상도 영상센서를 장착할 경우 자료취득의 비용을 크게 낮출 수 있으며, 즉각적으로 지반침하를 관측할 수 있다는 장점을 가질 수 있음. 												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 흠막이벽 변형 계측 기술에 대한 검토를 통해 흠막이벽의 3차원 거동 특성을 모니터링하기 적합한 레이저 센싱 기술을 개발. - UAV 제작 기술, 레이저 센싱 기술 등 핵심기술을 보유한 기관들의 공동 연구 추진. - 실질적인 시스템 개발을 위해 UAV의 제작능력을 보유한 기업 참여. 												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>최종성과물</th> <th>수요처</th> <th>실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지상 레이저 센서를 이용한 흠막이벽 3차원 변형 관측 시스템</td> <td>공공기관 및 민간 가설시장</td> <td>신기술을 통한 보급</td> </tr> <tr> <td>UAV를 이용한 광역 지반변형 관측 시스템</td> <td>공공기관 및 민간 가설시장</td> <td>신기술을 통한 보급</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	지상 레이저 센서를 이용한 흠막이벽 3차원 변형 관측 시스템	공공기관 및 민간 가설시장	신기술을 통한 보급	UAV를 이용한 광역 지반변형 관측 시스템	공공기관 및 민간 가설시장	신기술을 통한 보급			
최종성과물	수요처	실용화 방안											
지상 레이저 센서를 이용한 흠막이벽 3차원 변형 관측 시스템	공공기관 및 민간 가설시장	신기술을 통한 보급											
UAV를 이용한 광역 지반변형 관측 시스템	공공기관 및 민간 가설시장	신기술을 통한 보급											
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1차년도</th> <th>2차년도</th> <th>3차년도</th> <th>4차년도</th> <th>5차년도</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.0</td> <td>3.0</td> <td>3.0</td> <td>3.0</td> <td>2.0</td> <td>12.0</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	1.0	3.0	3.0	3.0	2.0	12.0
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
1.0	3.0	3.0	3.0	2.0	12.0								
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 도심지에서 시공되는 대규모 굴착사업에 대한 경제적인 지반변형 관측을 통한 안전성 확보 - 시공으로 인한 지반변형 관측뿐만 아니라 자연적인 침하 및 산사태로 인한 지반의 변형을 관측하기 위해 활용 가능 												

