최종보고서 별권 2(TBM 통합관리시스템 기술개발사업)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통연구기획사업
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	-
공고번호	공고-제33호	총괄연구개발 식별번호		-
		연구개발과제번호		19RDPP-C155074-01

국가과학기술 표준분류	EI0204	80%	EI0205	20%	-	%

총괄연구개발명	국문	터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기획
	영문	Planning of Development of Core Equipment and Components for Localization of Tunnelling Equipment (TBM) and Verification Research Projects
연구개발과제명 (2세부)	국문	인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획
	영문	Intelligent Integrated Management Technological Development Project of Tunnel Boring Machine

주관 연구기관	기관명	㈜과학기술전략연구소	사업자등록번호	399-81-00379
	주소	(우)30152 세종특별자치시 대평로 75 해비치빌딩 801호, 802호	법인등록번호	160111-0421357

주관 연구책임자	성명	원동규	직위	부대표이사
	연락처 직장전화	044-868-8612	휴대전화	010-9263-7229
	연락처 전자우편	dkwon@stsi.re.kr	국가연구자번호	10930464

연구개발기간	전체	2019. 12. 05 - 2021. 05. 04(1년 5개월)
	1단계	2019. 12. 05 - 2021. 05. 04(1년 5개월)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				민간부담금		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	300,000	-	-	-	-	-	-	300,000	-	300,000	-
1단계	300,000	-	-	-	-	-	-	300,000	-	300,000	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구기관	한국생산기술연구원	조정우	수석	010-3264-1665	chojw1665@kitech.re.kr	협동연구	정부출연연
위탁연구기관	-	-	-	-	-	-	-
연구기관 외 기관	-	-	-	-	-	-	-

연구개발담당자 실무담당자	성명	최권락	직위	전무	
	연락처 직장전화	044-868-8612	휴대전화	010-5437-6248	
	연락처 전자우편	ckr@stsi.re.kr	국가연구자번호	11163491	

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021년 5월 4일

주관연구책임자 : 원 동 규 (직인)

주관연구기관의 장 : ㈜과학기술전략연구소 유 경 만 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">국토교통연구기획사업</td><td colspan="2">총괄연구개발 식별번호</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="3">-</td><td colspan="2">연구개발과제번호</td><td colspan="2">19RDPP-C155074-01</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술
표준분류</td><td>EI0204</td><td>80%</td><td>EI0205</td><td>20%</td><td>-</td><td>%</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명</td><td colspan="7">터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기획</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명
(2세부)</td><td colspan="7">인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="7">2019. 12. 05 - 2021. 05. 04(1년 5개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="7">총 300,000천원
(정부지원연구개발비 : 300,000천원, 기관부담연구개발비 : -
지방자치단체 : - 그 외 지원금 : -)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[✔]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td colspan="2">기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준(-)
종료시점 목표(-)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="7">지정공모 [✔] 자유공모 [ ]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="7">실용화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구
개발
목표
및
내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="7">실시간 TBM 통합 관제 실현을 통한 운영효율성 증진으로 공사기간 10% 단축 및 유지관리비용 15% 절감</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="7">(요약)
ㅇ TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사 결정 기술 개발과 데이터 표준화 및 빅데이터 축적이 가능한 통합 관리 시스템 개발로 운영 효율의 극대화 추진
- TBM 굴진 데이터 기반 실시간 분석 및 예측기술 적용을 통하여 후속 시공단계에서 최적의 의사결정 및 공기만회 방안 수립 지원
- 센싱기술을 활용하여 TBM 부품들에 대한 실시간 자가진단(Self-diagnosis) 및 잔존수명 예지를 수행하고, 이를 통해 다운타임 최소화 목적 달성
- TBM에서 실시간으로 획득·분석된 시공정보·장비정보·위험도 등의 다양한 데이터들을 표준화하고 빅데이터화
- TBM 실시간 시공·안전 통합시스템(HW 및 SW) 개발 및 실증
ㅇ 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술 개발을 통해 건설 안전 확보
- 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술을 통해 지반침하·거동을 사전에 방지하고 위험 발생 시 실시간으로 전달·대처
- 무선통신기술과 스마트기기를 활용한 실시간 위험성 평가, 장비운영 데이터의 실시간 공유, 안전사고 발생 시 실시간 소통을 통해 즉각적으로 대처
ㅇ 친환경 TBM 시공 지원 기술 개발을 통해 건설 작업의 친환경화와 더불어 친환경 프로세스의 공정혁신 추진
- 친환경 TBM 전용 첨가제 주입, 최적 배합 설계, 챔버 내 굴착토 교반 장치, 기술적 굴착토-첨가제 분리를 통해 친환경성 확보
- 고함수비 굴착버력의 고화처리·운반용 갱내 운반 기술을 통해 지상 반출 전 지하에서 고화처리 프로세스까지 사전에 수행</td></tr>
</table>

		(핵심·구성기술 개발 내용) ○ TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술 - TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사 결정 기술 - TBM장비 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술 - TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발 ○ 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술 - 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술 - TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 - GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 시스템 ○ 친환경 TBM 시공 지원 기술 - TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술 - 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

연구개발성과	○ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획연구보고서 ○ 전략계획서 ○ 차년도 사업예산요구 대응 관련 작성 자료
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○ ‘인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술 연구’에 대한 정부투자의 당위성과 사업계획의 타당성 검토자료로 활용 ○ ‘인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업’의 사업예산요구를 위한 선제적 대응자료로 활용 ○ 사업관리, 성과관리, 성과 활용・확산 활성화 계획 수립을 위한 자료로 활용
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명정보	생물자원		정보	실물
	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호
	-	-	-	-	-	-	-	-	-

국문핵심어 (5개 이내)	국토교통	터널굴착장비	통합관리	효율성	성능검증
영문핵심어 (5개 이내)	Land, Infrastructure and Transport	Tunnel Boring Machine	Integrated Management	Efficiency	Performance Verification

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 01

1) 사업의 개념 및 범위 ····· 01

2) 사업 추진 배경 및 필요성 ····· 08

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 21

1) 사업의 추진 근거 ····· 21

2) 사업 기획의 추진체계 및 경과 ····· 25

3) 대내외 환경분석 ····· 30

4) 국내 R&D 역량분석 ····· 64

5) 사업설계를 위한 조사분석 ····· 88

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 108

1) 연구수행 결과 ····· 108

(1) 사업 추진계획(안) ····· 108

(2) 핵심기술 개발(안) ····· 138

(3) 사업 운영관리계획(안) ····· 281

2) 목표 달성 수준 ····· 299

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 299

5. 연구개발성과 관리 및 활용 계획 ····· 299

별첨자료 ····· 300

1. 연구개발과제의 개요

1) 사업의 개념 및 범위

(1) 본 사업 관련 주요 개념

□ 터널굴착 공법

○ 국내에 적용되어 온 도로 및 철도터널 등 교통터널의 주요한 터널공법으로는 크게 발파 굴착 방식에 의한 'NATM 공법'과 비트·디스크 등에 의해 기계적으로 굴착을 수행하는 'TBM(Tunnel Boring Machine) 공법'으로 분류

- NATM 공법에서 터널을 본질적으로 지지하는 주된 요소는 터널 주변지반이며, 지보공 및 복공은 지반 중에 내하 Ring을 구성하여 지반과 일체화된 구조물로서의 터널을 형성(굴착 → Rock bolt 시공 → Shotcrete 시공 → 2차 Lining시공)
- TBM 공법에는 전단면 굴착방식과 Pilot 굴착방식이 있으며 전단면 굴착방식은 직경 6m 미만의 단면에 주로 사용하고, 그 이상의 단면에는 Pilot 굴착방식을 주로 사용 (굴착 → Drill 후방 회전 → 확대 굴착 → 굴진 및 숏크리트 작업 → 일차지보 → 내부복공)

[그림 1-1] TBM 시공 개요도



※ 출처 : 한국건설기술연구원.

○ 터널굴착 공법은 대상 지반의 지질과 종단선형 그리고 터널의 사용목적과 공사주변환경 등에 따라 상황에 맞는 공법을 선정하여 적용

〈표 1-1〉 주요 터널굴착 공법(NATM, TBM) 특징 비교

구분		NATM 공법	TBM 공법
공법개요		주변 암반자체의 지지력 활용 발파에 의한 굴착 후 록볼트 및 숏크리트를 보조지보공으로 사용 단면 형상에 상관없음 계측에 의한 보강 및 안정성 고려 광범위한 지질조건에 사용가능	주변암을 지보재로 활용 전단면 기계굴착 공법(비발파 공법) 원형구조 형성 굴진과 버력처리 자동화 구조적으로 안정된 원형 단면으로 지보재 절감
방법	굴착 공정	천공 및 발파 버력 처리 숏크리트 록볼트 처리 철재 지보공 설치 굴착 공정 복잡	굴착 및 버력처리의 기계화 숏크리트 및 록볼트 설치 굴착 공정 단순
시공정	단면 및 선형	비정밀	정밀
	여굴	12 ~ 15cm	선형의 정밀유지가 필요
	안전성	화약발파로 낙반사고 가능	비발파로 낙반사고 최소
환경성	작업 환경	천공, 숏크리트 분진 및 발파 GAS로 인해 작업 환경이 불량	굴착 분진 극소
	부대 환경	발파진동으로 인한 주변 피해 발생 및 자연환경 훼손, 민원발생	진동에 따른 문제가 적음
경 제 성		여굴발생으로 비경제적 단면 구성 다량 지보재 소요 소규모 장대터널 시 공사용 터널로서 Turing Shelter가 약 200m 간격으로 필요	구조적으로 안전도 증대 장대터널 시 유리 하부 추가 굴착단면으로 인해 NATM에 비해 일부 비경제적 요소 존재

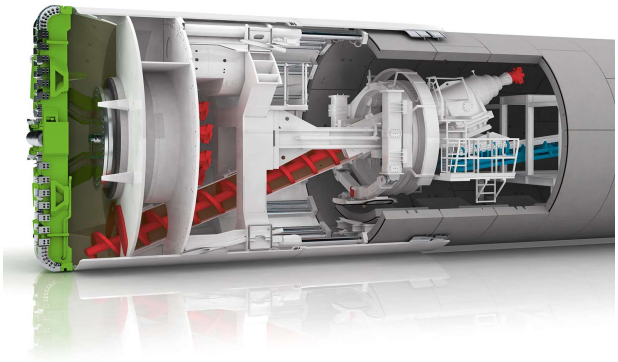
- 현재 잘 사용되고 있지는 않으나 NATM 공법과 유사한 NMT(Norwegian Method of Tunnelling) 공법 및 재래식의 A.S.S.M(American Steel Support Method) 공법도 존재

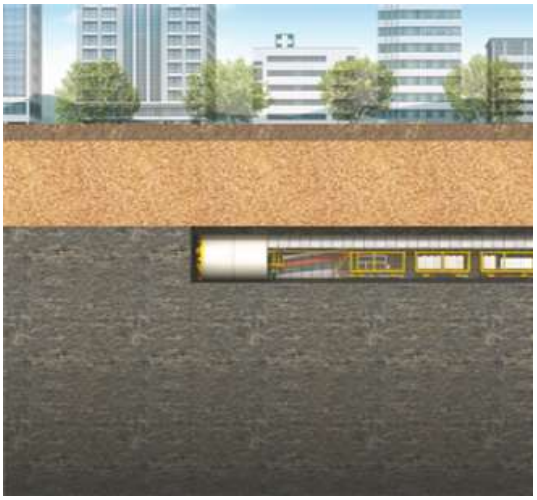
□ TBM(Tunnel Boring Machine, 터널굴착장비)

○ TBM이란 다수의 디스크커터를 장착한 커터헤드를 회전시켜 암반을 압쇄하여 굴진하는 첨단 융복합 장비의 성격을 지닌 원형 회전식 터널 굴진기

- 소음, 진동을 최소화할 수 있는 친환경 장비이며, 터널 굴착부터 벽면(세그먼트)조립, 굴착 암반·토사의 배출까지 모든 터널 시공이 기계화·자동화된 장비
- 터널기계화·자동화 시공법에서는 대상 지반의 지질과 종단선형, 사용목적, 공사 주변환경에 따라 TBM의 세부 Type을 선정하며, 굴착 후의 낙반 및 붕괴 방지를 위한 지보방법 또한 결정

[그림 1-2] TBM 본체 및 도심 시공 예시



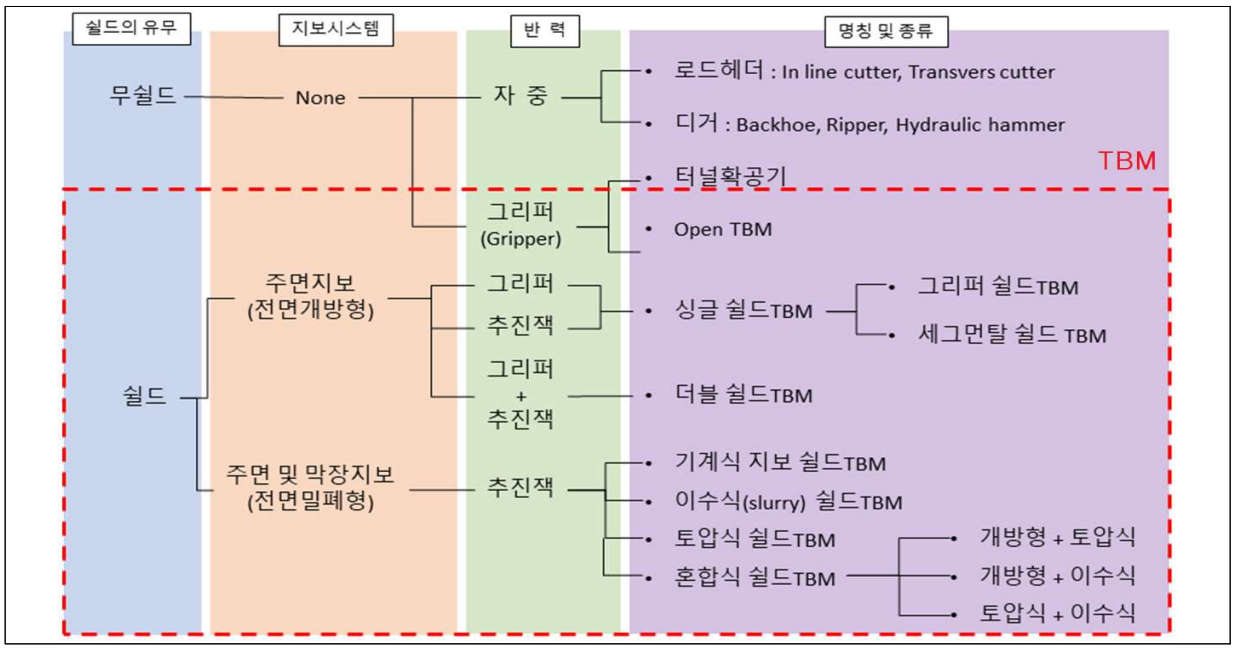


※ 출처 : Herrenknecht 및 동일기술공사 홈페이지. (2020).

○ 기계화 시공 장비의 분류기준에 대한 공통 항목은 크게 쉴드의 유무, 지보방법, 반력을 얻는 방법, 개방형·밀폐형, 전단면굴착·부분단면굴착 등이 존재

- 주면지보형(전면개방형)
  - (싱글 쉴드 TBM) 굴진면에 대한 지보시스템이 없는 전면개방형 단일 쉴드 몸통의 쉴드 TBM을 말하며, 추진 반력을 얻는 방법에 따라 그리퍼 쉴드 TBM과 세그멘탈 쉴드 TBM으로 구분
  - (그리퍼 쉴드 TBM) 전단면 굴착만이 가능하며 세그멘탈 쉴드 TBM은 전단면 커터헤드에 의한 전단면 굴착이나 다른 붐형태의 기구와 결합하여 부분단면 굴착기 형태로도 사용
  - (세그멘탈 쉴드 TBM) 막장주변의 붕락이 우려되거나 무지보 자립시간이나 연장이 짧아 조기 지보재 타설에 의하여 지반을 안정시키기 어려운 곳에 적용
  - (더블 쉴드 TBM) 2개 또는 그 이상의 쉴드 몸통을 가지고 있어 싱글 쉴드에 비해 굴진 효율성이 높으나 싱글 쉴드 TBM에 비하여 장비의 연장이 길기 때문에 압축성 지반에 걸릴 위험이 더 높으며 신축 쉴드 연결부에 장애물이 걸릴 위험도 존재
- 주면 및 막장지보형(전면밀폐형)
  - (기계식 지보 쉴드 TBM) 기계식 지보 쉴드 TBM은 터널 막장면의 지속적인 굴착을 위회전식의 커터헤드가 장착되어 있으며, 디스크형(Disk type) 또는 로드(Rod)가 부착된 스포크형(Spoke type)의 두 가지 종류 회전식 커터헤드를 사용

[그림 1-3] 터널 기계화·자동화 시공법 분류 기준에 따른 TBM 구분



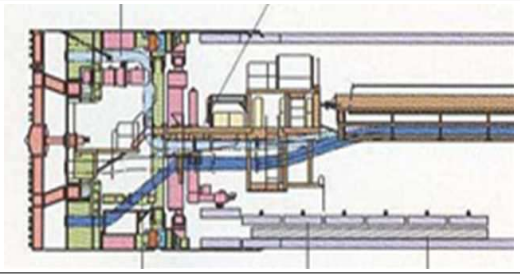
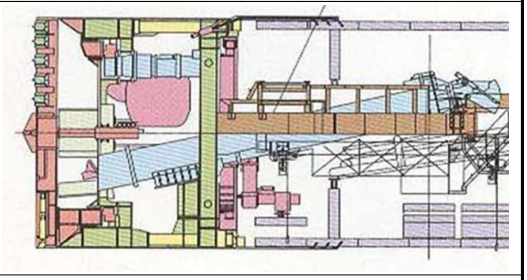
- 이수형(Slurry)

  • (이수식 쉴드 TBM) 커터수압 및 토압에 대응해서 챔버 내에 소정의 압력을 가한 이수를 충만·가압하여 막장의 안정을 유지하는 동시에 이수를 순환시켜 굴착토를 유체수송한 후 배토하는 공법이며 버력처리 역시 이수의 유동에 의하여 수행

- 토압형(EPB)

  • (토압식 쉴드 TBM) 막장전면에 대하여 능동적 지보가 가능하며 이수식과는 달리 챔버 안에 굴착된 물질을 압축하고 막장면을 지지하면서 굴진하는데, 막장토압이 확실하게 스크류 컨베이어에 전달되어야 하기에 소성 유동화한 굴착토를 커터 챔버 내에 가득 채우는 것이 중요

〈표 1-2〉 이수식 및 토압식 TBM의 주요 특성

구분	이수식 TBM	토압식 TBM
개요도		
막장압 지지방법	챔버 내 가압된 이수의 압력에 의해 막장의 토압·수압을 지지	커터에 의해 굴착된 토사를 소성 유동화하면서 막장면을 지지
버력처리	파이프에 의한 유체 수송으로 반출	벨트컨베이어 및 버력대차로 지상 반출
작업부지	지상설비 복잡 (이수플랜트, 세그먼트 야적장 및 뒤채움 플랜트 등)	지상설비 간단 (세그먼트 야적장, 뒤채움 플랜트 등)
환경성	이수 적용으로 산업폐기물 발생	버력 처리에 의한 환경 문제 없음
경제성	△	○

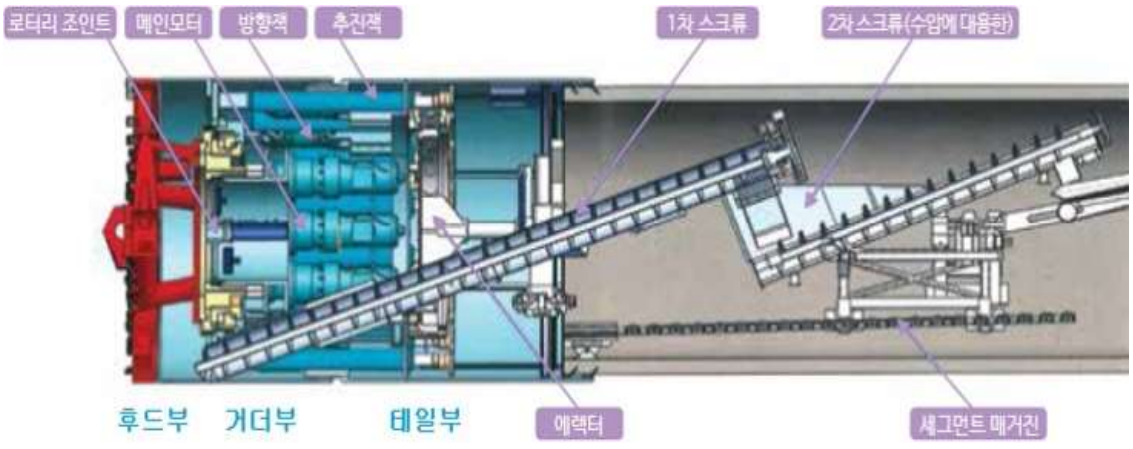
※ 출처: 한국시설안전공단. (2013.12). 특수굴착터널(쉴드터널) 성능평가기준 및 유지관리 매뉴얼 개발

□ TBM의 구성 요소

○ TBM은 크게 전방탐사를 위한 '전방설비', 지반 굴착을 위한 '본체', 버력 이송 및 장비운영을 위한 '후방설비', 버력 처리 및 기타 지원 설비가 포함되는 '운영설비'로 분류

- '전방설비'는 TBM 굴착을 위한 전방예측설비를 의미하며, 막장의 전방탐사를 위한 물리탐사, 선진보링, 막장반사법, 막장화상해석, 네비게이터 등으로 분류 가능
  - 터널전방의 지질상태 파악이 곤란하여 예기치 못한 파쇄대를 만날 경우 굴착면의 붕괴로 인하여 시공에 막대한 지장을 입게되기 때문에 막장전방의 지질특성예측은 중요
- '본체'는 크게 후드부, 거더부, 테일부의 3부분으로 구성
  - (후드부) 회전하며 지반과 맞닿아 원형의 굴착을 하는 커터헤드가 있고 커터헤드 내에는 굴착 시 사용되는 소모품인 커터비트 또는 디스크커터가 배치되어 있으며, 커터헤드 뒤에는 굴진면에 대한 지지 압력을 제어하고 유지시키는 공간인 챔버로 구성
  - (거더부) 커터헤드를 전진시키는 유압 추진책과 그리퍼(Gripper), 굴착을 위해 커터헤드를 회전시키는 구동장치(모터)로 구성
  - (테일부) 세그먼트 조립장치인 이렉터와 외부의 토사 및 지하수유입을 방지하는 테일실, 뒤채움 그라우팅 주입장치 배토 및 버력반출 장비로 구성

[그림 1-4] TBM 본체 구성 예시



※ 출처 : 강릉건설 홈페이지. (2020). Shield TBM

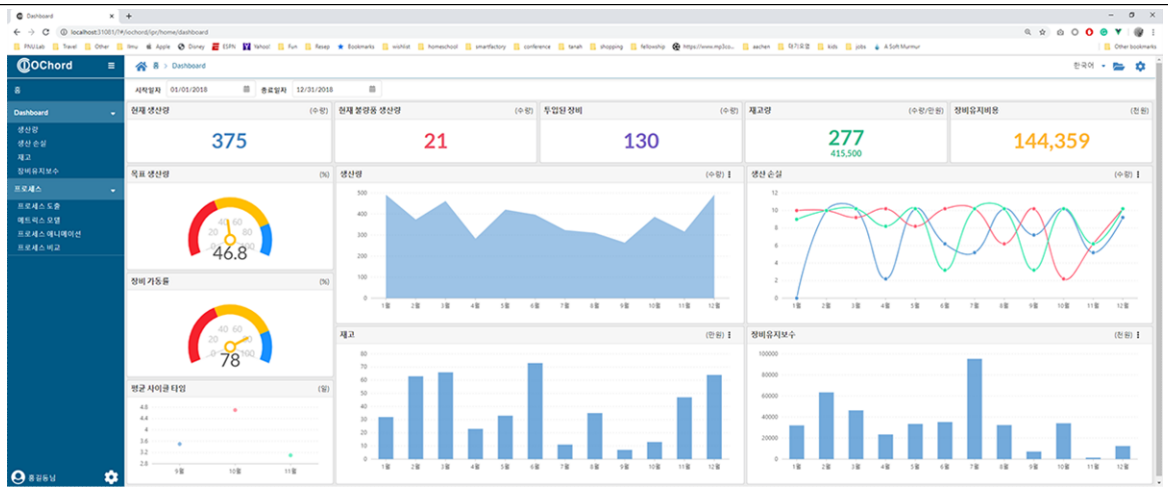
- '후방설비'는 본체 후방에 위치하는 장비들로서, 지상부와 지하부로 구분하고 TBM 본체 구동을 위한 기기·전기 설비와 굴착 후 생성되는 배토·버력 처리 설비, 세그먼트 설치 및 이송을 위한 장치 등이 여기에 포함
- '운영설비'는 TBM 굴진 및 전반적 운영을 위한 설비로서 TBM 굴진 및 굴진환경 제어, 배토·버력처리 제어, 기계·전기 제어, 냉각·환기 제어, 세그먼트 설치 및 제어 등과 관련된 장치로 구성

□ 인텔리전트 실시간 시스템

○ 인텔리전트란 사전적 의미로 '지능적인(정보를 저장하여 새로운 상황에 이용할 수 있는)'을 뜻하며 본 사업에서는 TBM 시공 과정에서 발생하는 상황에 대한 판단을 돕는 기능을 의미

- IT 분야에서는 '인텔리전트'를 단순히 자료 송수신 역할뿐만 아니라 자료처리 능력을 가지고 있는 기술을 가리키는 경우에 사용

[그림 1-5] 자료처리 능력을 포함하는 '인텔리전트' 기술



※ 출처 : BNN. (2019.12). 빅데이터와 인공지능 기반해 최적의 데이터 분석 솔루션 제공

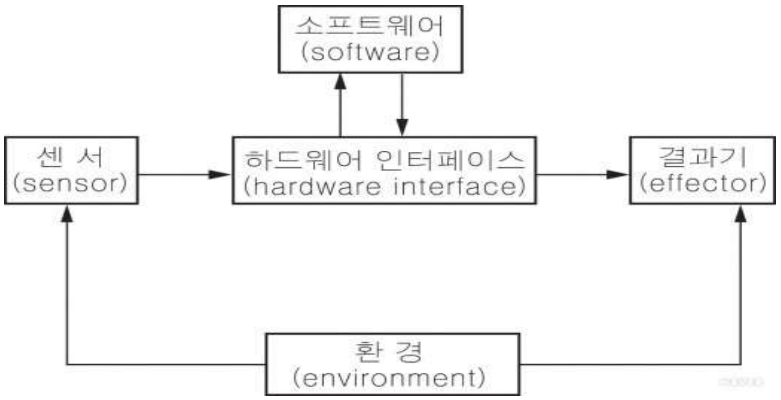
- TBM 시공 과정에서는 수만개의 데이터와 빈번한 돌발상황이 발생하는데, 이러한 과정에서 오퍼레이터(운전자)의 작업 판단을 지원할 수 있는 상황 분석 기술을 의미

○ 실시간 시스템이란 데이터의 처리가 진행 중인 현상과 같은 속도로 행해지는 시스템으로, 데이터 전송을 수반하기도 하며 하드·소프트웨어 모두 높은 수준이 필요

- 비교적 한정된 범위의 데이터 처리가 진행 중인 현상과 같은 속도로 행해지는 시스템을 가리켜 실시간이라고 하며, 이러한 실시간 기술을 통해 즉시 대상의 통제가 가능

- 실시간으로 데이터를 처리하기 위하여 데이터 회선을 통해서 데이터 전송을 수반하기도 하고, 하드웨어적으로도 소프트웨어적으로도 고도의 기술적 결합이 필요

[그림 1-6] 진행 중인 현상과 같은 속도로 데이터를 처리하는 실시간 시스템



※ 출처 : 컴퓨터인터넷IT용어대사전. (2011.01).

(2) 본 사업의 범위

□ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업의 적용 범위

○ (핵심기술 1) TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사 결정 기술

- TBM 굴진 데이터 기반 실시간 분석 및 예측기술 적용을 통하여 후속 시공단계에서 최적의 의사결정 및 공기만회 방안 수립 지원
- 센싱기술을 활용하여 TBM 부품들에 대한 실시간 자가진단(Self-diagnosis) 및 잔존수명 예지를 수행하고, 이를 통해 다운타임 최소화 목적 달성
- TBM에서 실시간으로 획득·분석된 시공정보·장비정보·위험도 등의 다양한 데이터들을 표준화하고 빅데이터화
- TBM 실시간 시공·안전 통합시스템(HW 및 SW) 개발 및 실증

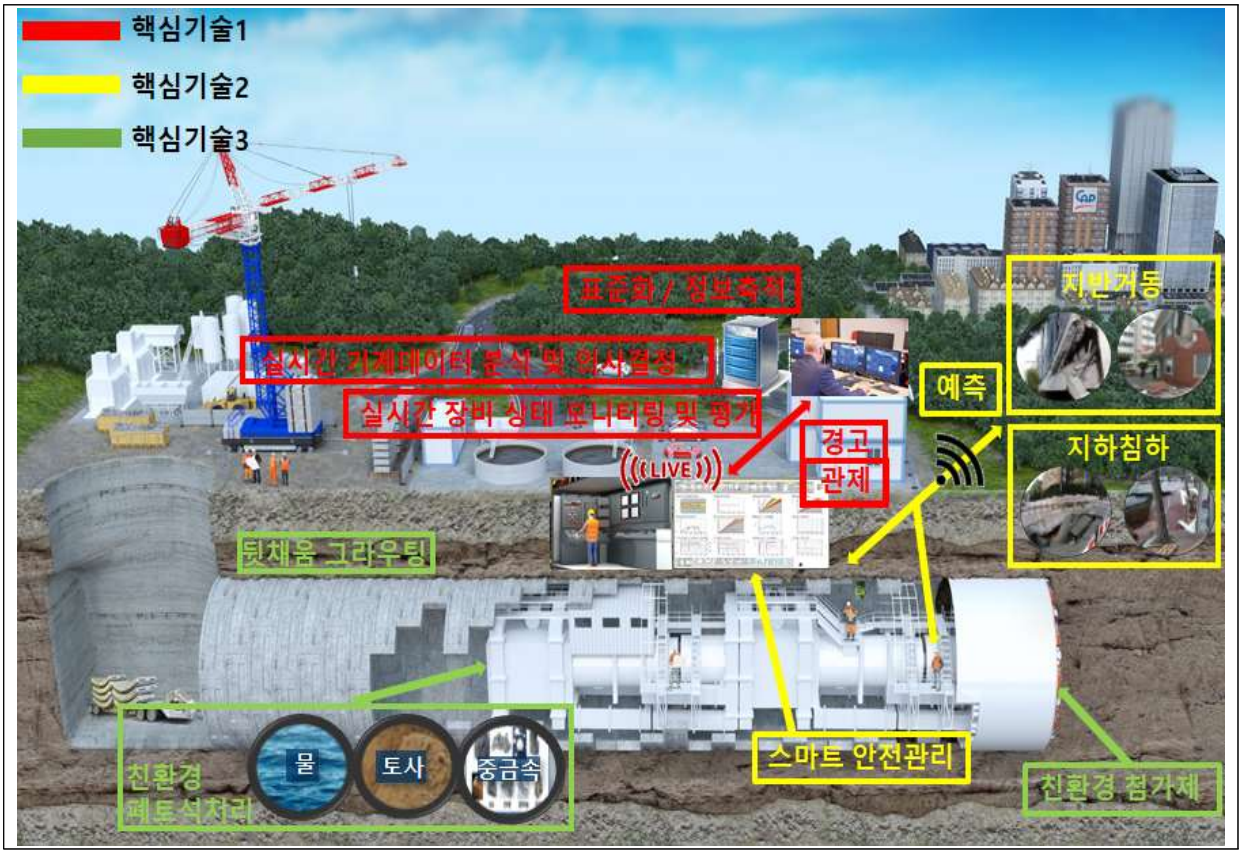
○ (핵심기술 2) 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술

- 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술을 통해 지반침하·거동을 사전에 방지하고 위험 발생 시 실시간으로 전달·대처
- 무선통신기술과 스마트기기를 활용한 실시간 위험성 평가, 장비운영 데이터의 실시간 공유, 안전사고 발생 시 실시간 소통을 통해 즉각적으로 대처

○ (핵심기술 3) 친환경 TBM 시공 지원 기술

- 친환경 TBM 전용 첨가제 주입, 최적 배합 설계, 챔버 내 굴착토 교반 장치, 기술적 굴착토-첨가제 분리를 통해 친환경성 확보
- 고함수비 굴착버력의 고화처리·운반용 갱내 운반 기술을 통해 지상 반출 전 지하에서 고화처리 프로세스까지 사전에 수행

[그림 1-7] 본 사업의 개념도



2) 사업 추진 배경 및 필요성

(1) 사업의 배경

□ 인구의 도시 집중화 가속에 따른 교통량 증가로 교통혼잡 문제는 더욱 심화 예상

○ 전 세계 도시인구 비율은 '18년 55.3%에서 '50년 68.4%까지 오를 것으로 전망되며, 특히 한국은 86.4%까지 오를 것으로 예상

〈표 1-3〉 도시인구 비율

구분	연도별 도시인구 비율		
	'18년	'30년 (예상)	'50년 (예상)
세계 평균	55.3%	60.4%	68.4%
한국	81.5%	82.0%	86.4%

※ 출처 : 유엔경제사회국. (2018). 세계 도시화 전망 보고서

○ 교통수요는 꾸준히 증가될 것으로 예상되고 있으며, 이로 인해 교통혼잡으로 1인당 낭비되는 시간 역시 큰 폭으로 늘어날 것으로 예상되고 있는 상황

- 도시인구 증가에 비례하여 전 세계 도시 교통수요는 '10년 25.8조km에서 '50년 67.1조 km에 해당하는 약 260%(41.3조km 추가)로 증가 전망
- 전망대로 교통수요가 증가하면 교통체증으로 1인당 낭비되는 시간 또한 전 세계적으로 '10년 58.4시간에서 '50년 106.3시간으로 증가

※ 출처 : 전자통신연구원. (2018.) ICT기반 도시교통문제 대응방안

○ 인구의 도시 집중화 현상으로 인해 교통수요가 급증하고 있으며, 국내의 경우 사회적 비용이 연간 30조 원 이상으로 증가하고 있는 상황

[그림 1-8] 교통혼잡으로 인한 국내의 연도별 사회적 비용



※출처 : 통계청. (2020). 도로교통 혼잡비용

□ **세계 주요국들은 인구의 도시 집중화에 대응하기 위하여 안전하고 빠른 이동이 가능한 도심지 지하교통 터널 건설에 주목**

○ 주요국들은 교통 혼잡 완화 및 지상공간 창출을 위해 지하 도심순환 고속도로 및 대심도 지하 고속철 건설 등 대형 프로젝트를 진행 중

〈표 1-4〉 국외 터널공사의 TBM 적용 주요실적 현황

국가	명칭	사업목적
프랑스	A86 East 터널	도심 14km 외곽에 위치하는 A86 외곽순환도로 중 말메종에서 베르사유 남부지역의 RN286 고속도로를 접속하기 위함
말레이시아	SMART 터널	말레이시아 수도의 도시화에 따라 토지개발이 진행되고, 그로인한 지표 유출수 증가와 주요하천의 축소로 인해 Klang 강의 잦은 범람으로 인한 경제적 손실방지 및 교통량 증가에 따른 교통체증 해소를 위함
스페인	M30 도로	기존 M30도로의 교통량 증대에 따른 교통체증 문제 해결 및 만자나레스강과 주변 지역의 환경 복원을 위함
싱가포르	KPE Road 터널	Kallang Paya Lebar 고속도로(KPE)의 남쪽 동해안 고원도로에서 북동쪽 Tampines 고속도로 까지 연결되는 고속도로 터널
미국	Big-Dig	교통체증 없고 녹지 가득한 도시로의 변신을 위해 도심을 관통하는 고속도로의 차로를 확장하고 지하화하여 공원과 녹지를 마련하기 위함
	Alaskan way	노후화되고 지진으로 손상된 고가도로를 철거하여 지상교통흐름의 저해와 주변 환경에 대한 피해를 최소화
영국	런던 실버타운	템즈강 하저터널 관통으로 혼잡한 런던의 교통문제 해소하기 위함

※ 출처 : 한국과학기술기획평가원. (2019). 지하공간 개발동향

○ 전 세계 10대 초장대 터널 중 5곳의 터널에 TBM이 적용되었으며, 이를 통해 시공 안정성 및 경제성을 증명

- (스위스) ’16년 완공된 Gottard Base 터널은 지하 2,000m를 지나는 세계 최장 터널로서 4대의 경암반 TBM을 적용하였으며, Lotschberg Base 터널은 경반암 TBM을 사용
- (영-프) Chunnel 터널은 굴착속도 향상 위해 11대의 쉴드 TBM을 적용
- (스페인) Pajares Base 터널은 가장 최근인 2020년 완공된 터널로 10대의 더블/싱글 쉴드 TBM 공법을 적용하였으며, Guadarrama 터널은 4대의 고성능 쉴드 TBM을 사용

※ 출처: 한국지방세연구원. (2018.01). 지방세포럼 – 수도권광역급행철도(GTX)와 터널보링머신(TBM)

□ **터널 건설 시 기존 NATM 공법은 발파 과정을 포함하기에 장기간의 도심 통행 제한, 문화재 손상, 안전 위험 야기 및 하저터널 개발 한계 존재**

○ 기존 공법은 발파 과정이 필요하기 때문에 인근 지역이 통제되고 공기 또한 TBM 방식에 비해 길어 장기간 도심 통행 제한을 유발

※ 출처 : 동아일보. (2017.03.10.). 상습정체 강남대로, 3월말부터 더 지옥

○ 경제적 가치로 환산할 수 없는 중요 건축문화재들이 터널굴착 공사에 따른 발파진동으로 인해 손상되고 있어 이에 대한 문제가 제기

※ 출처 : MBC. (2018.05.04.). 터널 발파 작업에 가옥·보물까지 균열…주민들 '불안'

○ NATM 공법의 발파에 따른 현장 근로자와 인근 시민들의 안전 문제 발생

- 터널 굴착 중 발파로 인한 낙반사고 및 지반침하에 의한 낙상사고 등 공사 현장 근로자에 대한 안전사고 노출 우려가 꾸준히 제기

※ 출처 : SAFENET 안전전문 포털사이트. (2020). 터널 작업자 안전사고

- 주변 건물 및 가스관과 같은 위험시설의 균열을 유발하는 안전 문제 존재

※ 출처 : MBC. (2018.12.23.). 터널 뚫는다고 하루 4번 '쾅'..“갈라지고 깨지고”

- 인근 지역의 지반침하를 유발하고 지하수를 유출시켜 대규모 싱크홀 발생으로 이어지는 등 시민 안전 위협

[그림 1-9] 발파 공사로 인해 발생한 인근 지역의 싱크홀



※출처 : 동아일보. (2016.04.). 인천 송현동 싱크홀 원인은 지하차도 발파공사

○ 터널 경로의 효율성을 위해 하저터널 건설이 필요하나 기존 발파 방식은 지반 안전 문제로 인해 하저 개발에 적용이 어려운 상황

※ 출처 : 이데일리. (2019.12.18.). 서울 지하철 8호선 연장선 '한강 하저터널' 공사 착수

□ **TBM 공법을 통한 지하교통 터널 건설의 장점 인식이 확산되며, 전 세계적으로 터널 건설 시장에서 TBM 관련 기술 수요가 증가 중인 추세**

○ 경제성과 안전성 등 TBM 공법의 장점 측면 인식이 확산되며 '00년 이후 전 세계적으로 TBM 공법을 활용한 지하교통 터널 시공이 증가

- '00년 이후 국외 대형 터널공사의 TBM 적용 주요실적을 조사하여 '01년부터 5년 단위로 분류한 결과, TBM 적용 사례가 지속적으로 증가하고 있는 것을 확인

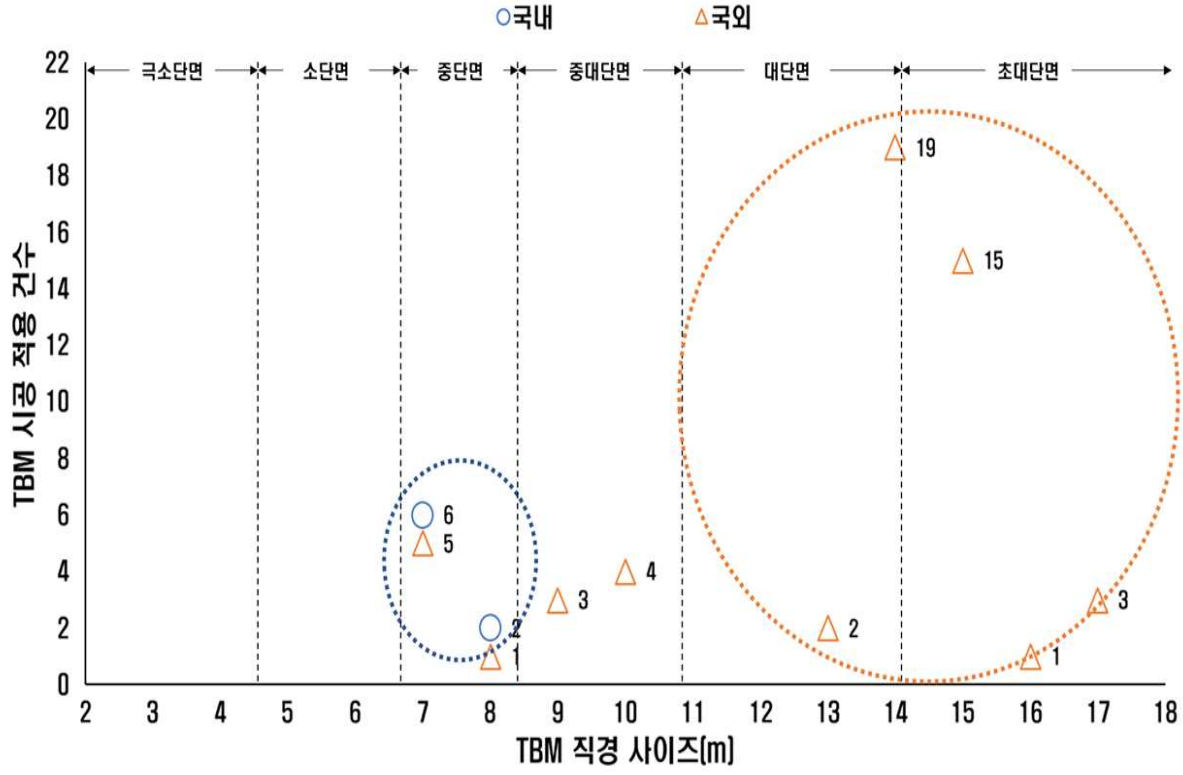
〈표 1-5〉 '00년 이후 국외 터널공사의 TBM 적용 주요실적 현황

구분	'01~'05년	'06~'10년	'11~'15년	'16~'20년
적용(건)	6	12	14	17

※ 출처 : 과학기술전략연구소 TBM 기획연구 조사결과. (2020).

- '00년 이후 주요 터널 건설에서 활용된 TBM 적용 단면 사이즈는 지하철 등 다용도로 활용이 가능한 7~8m급 단면과 그 이상의 대형 터널용 단면 위주로 적용되어 왔음을 확인

[그림 1-10] '00년 이후 국내·외 주요 터널공사에서의 TBM 직경별 시공 적용현황



※ 출처: 과학기술전략연구소 TBM 기획연구 조사결과. (2020).

- 그러나 80%가 넘는 TBM 적용률을 보이는 유럽이나 50% 이상의 적용률을 보이는 미국에 비해 국내의 TBM 적용률은 아직 1%에 그치고 있는 상황

※ 출처 : 메리츠종금증권 리서치센터. (2018.06). 메리츠 2018년 하반기 전망 시리즈 16

(2) 사업추진의 필요성

□ 전 세계적으로는 TBM 활용이 크게 확산되고 있으나 국내 터널의 TBM 적용률은 1%에 그치고 있는 상황으로 이에 대한 대응책 마련이 필요한 시점

○ 주요국들의 TBM 적용률은 유럽(80%), 일본(60%), 미국(50%), 중국(40%), 대만(30%)

※ 출처 : 메리츠종금증권 리서치센터. (2018.06). 메리츠 2018년 하반기 전망 시리즈 16

〈표 1-6〉 국내 터널의 TBM 적용 비율

구간	항목	연장(km)	TBM 적용비율 (%)
고속도로	총 연장	901	1.02
	NATM+기타	891.9	
	TBM	9.2	
고속철도	총 연장	998.7	1.12
	NATM+기타	976.2	
	TBM	11.3	
도시철도	총 연장	717.9	2.69
	NATM+기타	698.6	
	TBM	19.3	
총 계	총 연장	2,617.8	1.61
	NATM+기타	2,566.7	
	TBM 공법	39.8	

※ 출처 : 과학기술전략연구소 TBM 기획연구 조사결과. (2020).

□ 향후 도심지 터널들의 TBM 공법 적용 필요성이 점차 증대되는 것에 반하여 관련 기술 시장은 국외 제조사가 과점하고 있어 특정 국가에 대한 기술 의존도가 높아지고 있는 상황

○ 높은 국내 도시화율에 따라 앞으로 건설되는 터널들은 대부분 도시 내부 또는 인근에 위치하게 되기 때문에 TBM 공법 적용 필요성이 점차 증대될 수밖에 없는 상황

○ 세계 TBM 시장은 독일·중국 제조사의 점유율이 대부분인 상황으로, 지속적인 점유율 증가 추세에 따라 독일·중국 양강구도 형태로 굳혀지고 있는 실정

- 독일의 헤렌크네히트사가 '08년까지 세계시장의 약 40%를 점유하며 독보적으로 시장을 이끌어가던 시기에는 그 외 다수의 TBM 관련 기업이 존재하였었으나, 이후 공격적 기업인수를 통해 중국의 CRCHI 및 CRTE가 급성장하며 독일·중국 양강 과점 구도로 시장은 재편

※ 출처 : 건설경제 (2019.11.04). 세계 TBM 생산 1위 CRCHI를 가다

□ **TBM 관련 기술 선도국과의 국내의 기술격차가 심화되고 있어 TBM 분야 기술개발에 대한 정부투자가 필요한 시점**

○ 국내의 TBM 관련 기술 수준은 최고기술보유국(독일) 대비 60~70% 수준으로 기술격차가 상당히 큰 상황

※ 출처 : 한국건설신문. (2015.08). 국내 TBM 기술은 어디까지 왔나

○ 후발 주자인 중국은 적극적 정부투자로 '19년 기준 생산량 세계 1위 달성

- 풍부한 자본과 폭발적 수요를 무기로 압축성장에 성공하면서 중국은 '19년 기준으로 세계 TBM 시장의 40%가량을 점유

※ 출처 : 건설경제 (2019.11.04). 세계 TBM 생산 1위 CRCHI를 가다

○ 국내의 낮은 기술수준에서 추가적인 R&D 투자가 이루어지지 않을 경우 기술격차의 폭이 더욱 넓어질 가능성이 높은 상황

- TBM 관련 R&D 투자*는 타 R&D 투자액 대비 미미한 수준

* 최근 5년간 TBM 분야 R&D 투자는 총 212억 원으로 동 기간 국토교통 R&D 투자액 2조 3,140억 원의 0.009%에 불과

※ 출처 : 국토교통부. (2019.02). 2020년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획

- 민간에서도 소수의 TBM 관련 기업들이 자체 및 정부 과제의 기업부담금 매칭을 통해 투자를 이어가고는 있으나 역량 한계로 투자액의 규모가 극히 적은 상황

□ **건설산업은 국내총생산에서 차지하는 비중이 15%에 달하는 중요 산업 분야이나, 현재 건설산업의 생산성 증가율은 저성장 국면이 지속되고 있는 상황**

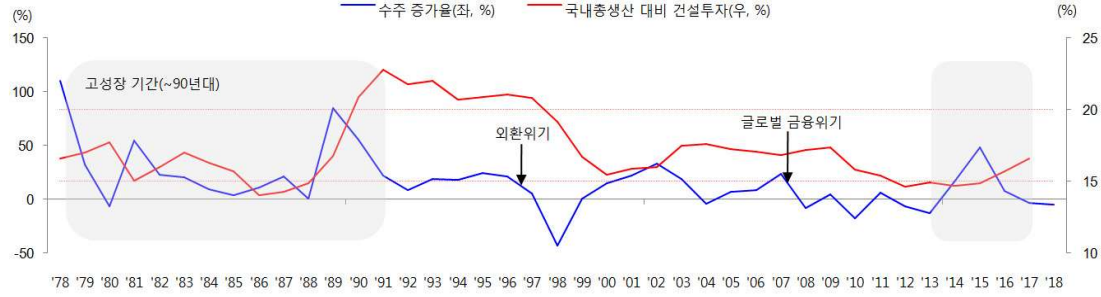
○ 국내 주요 건설기업의 평균 영업이익률은 2009년 6.5%에서 2017년 4.4%로 감소한 반면, 동 기간 동안 제조업은 5.8%에서 7.5%로 증가

- 2015년 이후 국내건설 수주는 정부의 정책 방향에 따라 부침을 거듭하고 있으며 2018년에는 4% 감소를 기록

- 건설산업은 국내총생산에서 차지하는 비중이 높기 때문에 건설업의 저성장·저생산은 국내 경제에 부정적 요인으로 작용

※ 출처 : KDB미래전략연구소. (2019.04). 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안

[그림 1-11] 저성장이 지속되고 있는 국내 건설산업



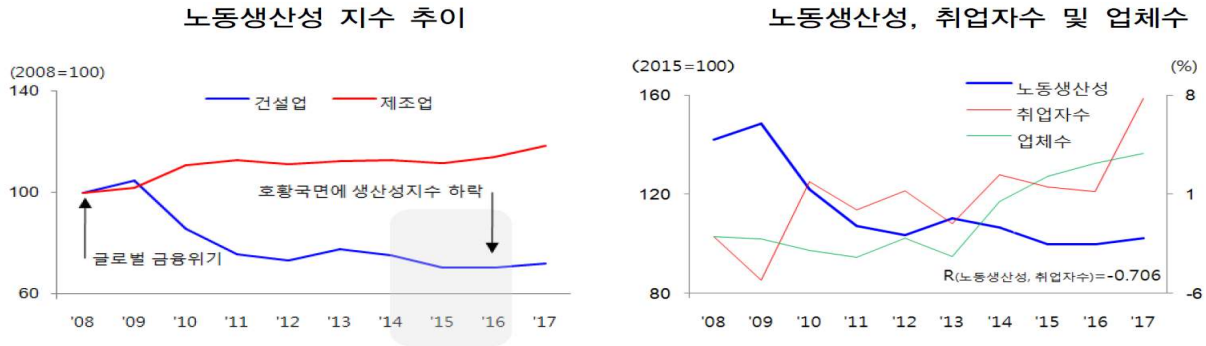
※출처 : 한국은행·통계청. (2019). 국내 건설경기 추이

○ 건설산업 노동생산성은 급격한 하락세를 보이며, 최근 10년 동안 27.9% 감소

- 2009년부터 건설산업 노동생산성이 급격히 하락하고 있으며 제조업이 동 기간 동안 18.5% 증가한 것과 대조적
- 큰 폭으로 하락한 건설산업 생산지수는 2013년 이후 경기 회복으로 기업체와 취업자 수가 증가하였음에도 불구하고 반등하지 못하고 부진 지속
- 이는 수주 호황국면에서 노동력 공급부족으로 비숙련노동력 투입이 증가하면서 건설산업 생산성 향상으로 이어지지 못한 결과

※ 출처 : KDB미래전략연구소. (2019.04). 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안

[그림 1-12] 국내 건설산업 노동생산성

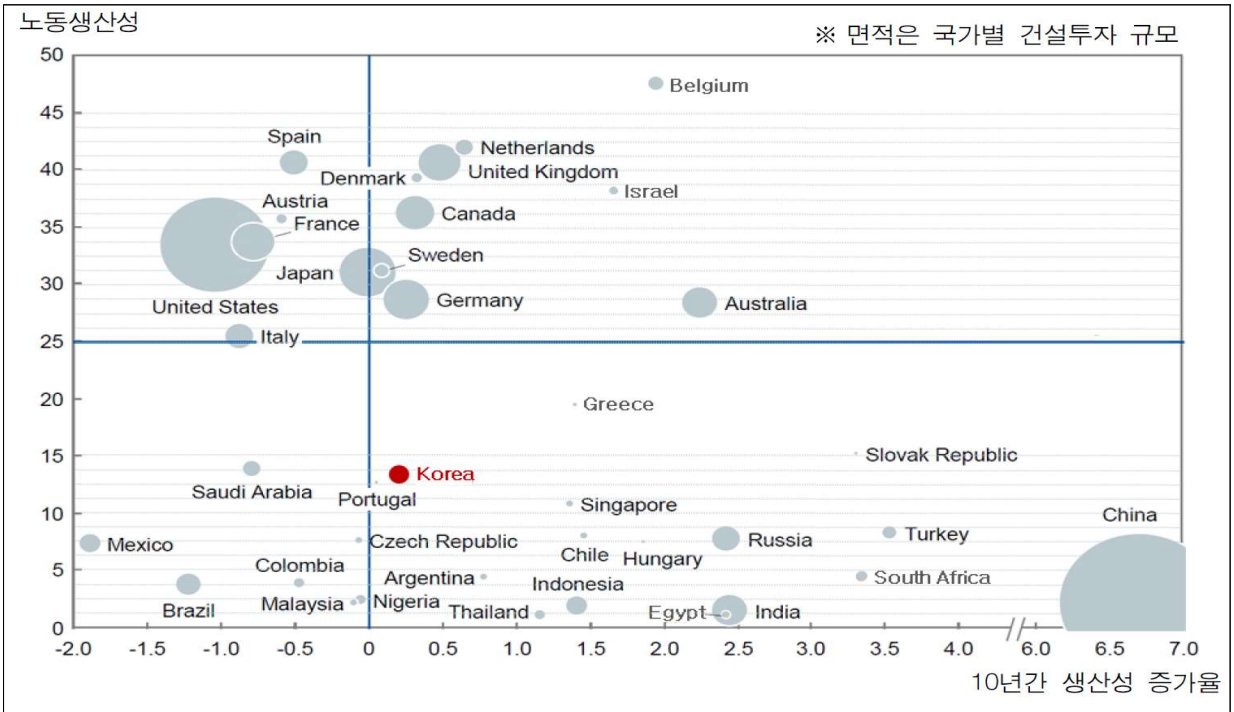


※출처 : 한국생산성본부 및 대한건설협회. (2018). 건설산업 노동생산성 추이

○ 국제적 기준에서 비교해 보았을 때도 국내의 건설산업 분야 노동생산성은 선진국 대비 절반 수준에도 못 미치는 것으로 조사

- 노동생산성 선도그룹은 시간당 평균 30~40$ 생산하는 반면에 우리나라는 평균에도 못 미치는 1시간당 평균 14$만을 생산

[그림 1-13] 건설산업 분야 노동생산성 국제 비교



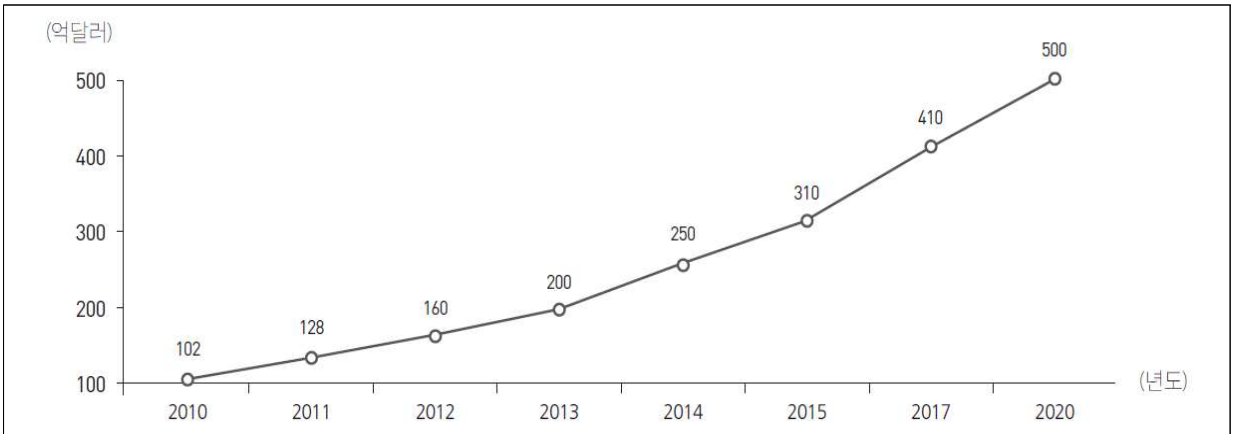
※출처 : McKinsey. (2017). 국가별 건설업 노동생산성 비교

□ TBM 관련 시장은 매년 고성장 중인 고부가가치산업으로 국내 건설산업의 글로벌 경쟁력 강화를 위해 육성이 필수적인 영역

○ TBM 시장은 세계적으로 매년 급속 성장하고 있으며, 첨단 기술이 복합적으로 집약되는 고부가가치산업으로 이에 따른 파급효과 또한 높은 분야

- 세계 TBM 시장규모는 최근 10년간 평균적으로 매년 20%씩 고성장 중이며, '10년 대비 '20년은 약 5배 가까이 시장규모가 늘어난 상황

[그림 1-14] 세계 TBM 시장규모



※ 출처: 한국지방세연구원. (2018.01). 지방세포럼 - 수도권광역급행철도(GTX)와 터널보링머신(TBM)

○ 해외건설 수주 또한 감소하고 있는 상황에서 후발 주자인 우리나라는 TBM 관련 기술 개발 시 기존 TBM 선도국의 기술력을 극복할 수 있는 획기적 운영효율화 기술 개발 필요

- 글로벌 건설 시장에서 국외 시공사들의 저가 공세가 지속됨에 따라 국내 시공사들은 경쟁력 하락으로 해외건설 수주에 어려움을 직면하고 있는 상황

※ 출처: MoneyS. (2021.02). '글로벌 입찰 무법자' 중국의 저가수주로 몸살 앓는 한국 건설·조선

[그림 1-15] 감소 추세의 해외건설 수주



※ 출처: 해외건설협회. (2021.01). 해외건설 수주추이

- 터널 건설 분야의 경우 하나의 사업마다 막대한 비용과 시공 기간을 요구하기 때문에 운영 프로세스의 효율성을 높여 투입 비용과 시공 기간을 줄이는 것이 경쟁력의 핵심으로, 공사 기간 단축 및 비용 절감 측면에서의 혁신적 기술 개발이 향후 산업의 주도권 요소

- 산업 안전에 대한 관심과 중요성도 높아지고 있는 현재, 미흡한 건설 안전 관리로 인해 발생하는 공사기간·운영비용 증가를 해결할 수 있는 방안의 마련도 필요

□ **터널 건설 분야에 TBM 공법이 확대되고 있으나 장비의 파손/고장이 발생하면 그 위치와 원인을 인력 중심 육안으로 확인·평가함으로 인해 시공 지연 발생 중**

○ TBM 장비의 파손/손상을 육안으로 식별하는 것이 매우 어렵기 때문에, 진단과 위치파악에 시공 지연시간(downtime)의 70~90%가 소요

- 일부 현장에서는 TBM에 사용되는 커터 소모비용과 교체시간이 전체공사의 각각 30% 및 20~40%를 차지

○ 그럼에도 불구하고 TBM장비에 파손/고장이 발생하면 인력에 의해 그 위치와 원인을 육안으로 확인·파악하는 사후정비 방식의 수동체계로서 TBM 시공지연의 주된 요인으로 지적

※ 출처: Li, J. et al.(2019), Application and outlook of information and intelligence technology for safe and efficient TBM construction, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol., 93, 103097

□ **TBM 시공법의 효율성을 개선하기 위해 전 세계적으로 데이터 표준화 기법을 활용하여 TBM의 방대한 양의 결과를 정리하는 기술을 도입 중**

○ 중국 국가핵심연구실(State Key Laboratories, SKLs)에서는 TBM 시험시설 구축, 현장 장비 개발, 시공 데이터 표준화, 원격 관리 시스템 도입 등을 통해 효율성을 개선 중

- TBM 굴착대상 지반의 역학적 정보 실시간 평가 기술, 장비상태의 모니터링 및 평가 기술, 시공 데이터 표준화 및 통합 플랫폼 등을 도입

○ 영국은 터널정보관리시스템(Tunnel Information Management, TIM)을 통해 TBM 실시간 제어 및 최신 정보 공유, 분석, 예측, 데이터 표준화를 수행

- 시스템 도입과 함께 시공모니터링 관련 연구 활성화 및 부가 수익 창출 등의 파급효과를 기대 중
- 시공 중 지질/지하수 조건, 지반변형, 구조물 손상 등 변수들에 대한 방대한 정보를 표준화하여 제공하는 기능을 포함

○ 스페인 ACCIONA社에서는 TBM 통합 관리에 필요한 데이터 표준화 및 조건에 대한 연구를 수행

- TBM의 물리적 작업 수행 능력 확인* 및 장비 유지관리를 위한 시스템을 구축

* 굴진 데이터(토크, 추력, 굴진율, 커터헤드 회전속도 등), 지질조건(암반등급, 지반공학적 특성 등)

□ **TBM 공사구간에 대한 합리적인 정보 전달 방법이 없는 관계로 민원이 발생한 이후나 대응을 하는 실정이며, 운전자 경험에 의존한 작업으로 인해 지반 문제 파악이 어려운 상황**

○ 현재까지는 TBM 공법이 적용되는 터널 굴진구간에 대해 주변 지반을 실시간으로 확인할 수 있는 모니터링 체계가 없어 민원 발생 후의 대응만 이루어지고 있는 상황

○ TBM 운전자 경험에 전적으로 의존한 작업으로 인해 작업자의 미숙 또는 판단 오류시 주변 지반에 발생한 문제를 파악하지 못하고 작업이 지속 진행

※ 출처: 실드 TBM 공법의 진실과 오해. (2014.09). 한국건설신문

[그림 1-16] 주변 지반 문제를 파악하지 못한 터널 굴착 공사



※ 출처: 석촌 싱크홀 원인은 '지하철 9호선' 쉴드 터널 공사 '잠정 결론'. (2014.08). SBS

□ 「제1차 자원순환기본계획('18~'27)」 수립을 통해 '폐기물 발생량 감축' 및 '순환이용률 향상'이 추진되고 있으며 국내에서는 연간 약 30만 톤 수준의 TBM 굴착 관련 폐토석이 발생 중

○ 지하건설 관련 굴착토에 따른 매립지 포화 등이 사회적 문제로 대두되고 있으며, 건설폐기물 순환이용률을 88.9%까지 높이고자 기본계획을 수립

- 최근 건설폐기물 및 지하건설 관련 굴착토 발생량 증가와 이에 따른 매립지 포화 등이 사회적 이슈로 대두
- 국내 건설폐기물 순환이용률은 79.5%로, 수립된 기본계획에서는 9.4% 증가한 88.9%를 달성 목표로 설정

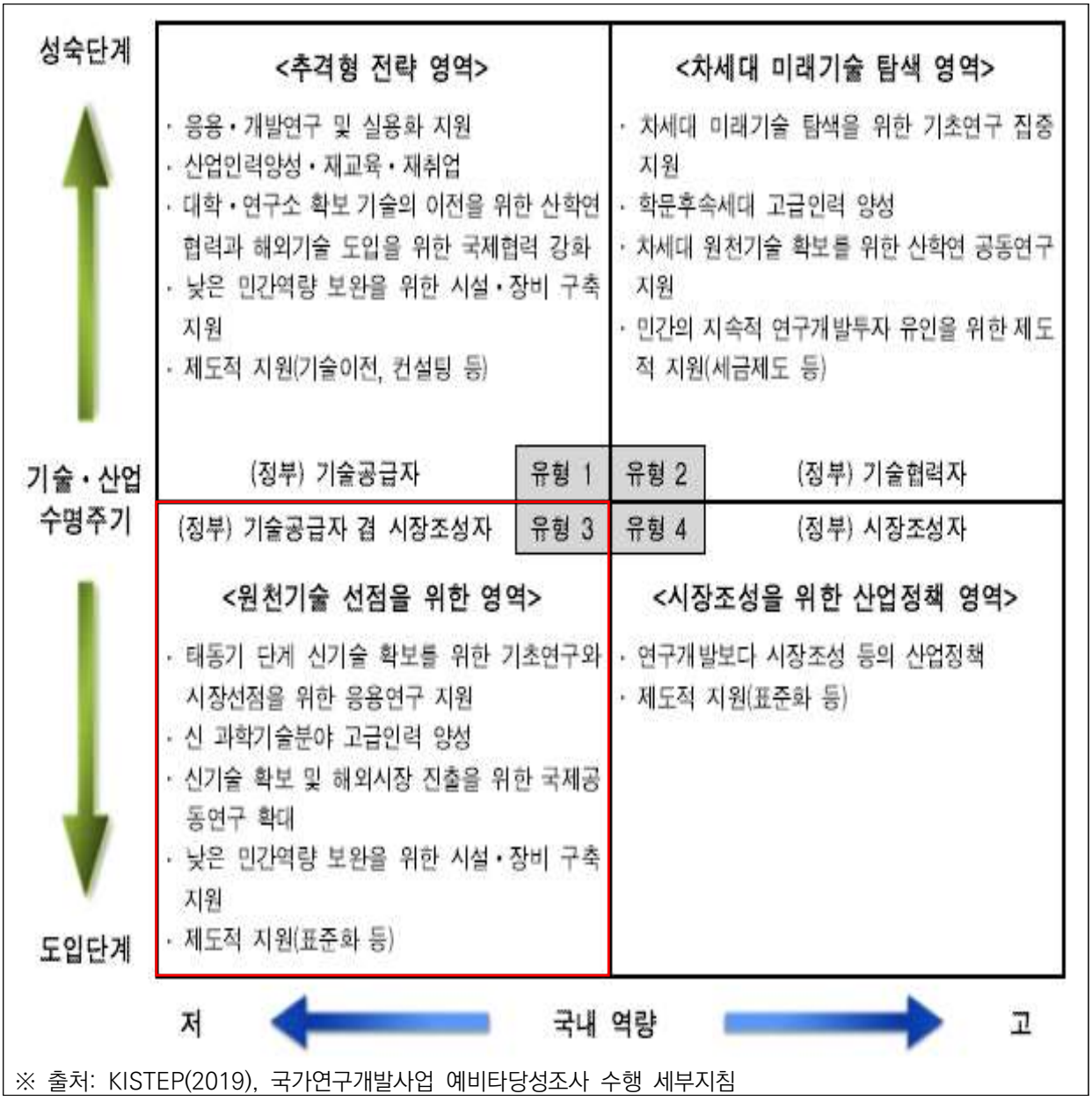
○ TBM 굴착을 통해 발생하는 폐토석은 연간 약 30만 톤 수준이며, 이 굴착토는 대부분 건설폐기물로 취급되어 매립·폐기 중

- 국내에서 연간 발생하는 건설 폐토석은 약 200만 톤 수준으로 이중 15% 정도가 TBM 굴착과 관련 있는 상태
- TBM 굴착토는 고함수비, 중금속/오염물 흡착, 낮은 pH등과 같은 특성에 의해 대부분 건설폐기물로 취급되어 사토장에 매립 또는 폐기되는 실정

(3) 국고지원의 적절성

□ 정부 R&D 역할모델 유형으로 본 정부지원의 타당성

[그림 1-17] 산업기술분야 유형별 정부역할의 실천방안



※ 출처: KISTEP(2019), 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침

○ 본 사업은 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침」에서 제시한 정부지원의 역할 중 정부의 '기술공급자 겸 시장조성자' 역할을 하는 사업

- 산업기술개발사업의 경우 해당 산업 분야의 국내 역량과 기술·산업의 성숙도에 따라 정부지원의 필요성을 고려할 필요
- 위 [그림]과 같이 4가지 유형에 따라 정부의 역할이 각각 정의되며, 국내 개발역량이 낮거나 기술·산업의 수명주기가 도입기인 경우에는 정부가 기술공급자 또는 시장조성자로서의 역할을 수행
- 이외의 경우는 민간이 시장을 주도하고 정부가 이를 보조하는 형태의 역할 분담이 대체로 적합

□ 인프라(SOC)는 국민 삶의 질을 향상시키는 공공재이자 공공서비스

○ 공공건설 시장규모는 전체의 약 30%이며, 건설기술에 의한 생산성 향상 시 공사비 원가 절감으로 이어져 국가 재정 효율화에 직접적 혜택 발생

○ '21년도 정부연구개발 10대 중점투자방향 중 '주력산업의 기술자립 경쟁력 제고'를 이행을 위해 국가 차원의 지원 필요

- (중장기 경쟁력 강화) 기술 수준이 낮고 생태계도 미흡한 분야는 중장기적(3~5년) 원천기술개발 및 기술 패러다임을 바꾸는 차세대 유망기술 선점에 주력
- (주력산업 고부가가치화) 산업군별로 차별화된 전략 적용 및 핵심 기술 축적을 통해 주력 산업을 고부가가치화
- (테스트베드 확충) 핵심전략품목 기술개발이 생산까지 이어질 수 있도록 수요기업 맞춤형 신뢰성·실증 평가체제 구축·지원

○ 인프라 투자는 경제성장과 일자리 창출 및 국민 복리 증진에 기여하고 있으며, 인프라의 질은 국가 경쟁력을 좌우

- 인프라에 1달러 투자 시 GDP 0.2달러 성장에 기여(세계은행, 2015)하며, SOC 1조 원 투자 시 신규취업자 14,000명 창출(건설산업연구원, 2017)

□ 국내 TBM 기술의 시장선도·확산을 위해 기술수준 향상은 불가피한 조건

○ 국가는 초기 시장이 형성될 수 있으나 민간의 연구 개발 역량이 낮은 경우, 진입에 필요한 실용화 기술개발을 주도하는 등 기술공급자 역할 의무 존재

○ TBM 분야 기술개발 전문업체의 경우 중소기업이고 개발역량이 높지 않아서 자체개발이 어려운 상황

- 대기업은 전반적으로 기술투자보다는 단기적인 비용절감에 관심이 많아 기술개발보다는 저가 공사가 가능한 전문업체를 선정하는 것을 선호
- 주로 중소기업으로 이루어진 전문업체가 신기술을 개발하고 있으나, 초기비용 부담, 인센티브 부족, 타 업체의 견제 등으로 인해 기술 개발에 소극적인 실정
- 건설 분야 기술개발은 초기투자비용이 높아 안정적 시장여건이 확보되지 않으면 투자 회수 등의 문제로 개발을 기피

※ 신기술 개발에 필요한 기간은 평균 2.7년이고 개발비용은 6.2억원 가량 소요 ('10.4, 건설연)

□ 첨단 기술이 복합적으로 집약되는 TBM 분야는 대규모·장기투자가 필요한 영역이며 기술개발 성공 시 터널건설산업 전반에 파급효과가 큼

○ 높은 연구개발 난이도와 대규모의 장기적 투자가 필요한 TBM 분야는 민간 기업에서 독자적으로 연구개발을 추진하기 어려운 고부가가치산업 분야

○ TBM 통합관리 기술은 공사기간 감축으로 경제성에 직결되기 때문에, 국내 터널건설산업 전체에 대한 막대한 파급효과로 연결

□ 건설의 효율화를 위해 마련된 국가 정책에 부합

○ 문재인 정부는 「100대 국정과제」 중 건설분야에서 4차 산업혁명을 확산·촉진시킬 수 있도록 건설 기술개발 및 인프라 구축 등을 국정과제로 선정하는 등 정책적 방향 제시

○ 「제6차 건설기술진흥기본계획」과 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획」에서 기존의 로우테크 건설산업 이미지를 미래 인프라 패러다임 변화에 대응할 수 있도록 변화 강조

□ 건설산업의 생산성 침체를 극복하기 위한 국가 차원의 방안 필요

○ 건설산업의 생산성 저하는 국내 업계 전반에 걸친 문제로 국가 차원의 지원으로 생산체계를 획기적으로 개선하여 생산성을 제고하고 산업 역량 강화 필요

- 국제적 기준에서 비교해 보았을 때도 국내의 건설산업 분야 노동생산성은 선진국 대비 절반 수준에도 못 미치는 것으로 조사
- 건설산업 분야 노동생산성 선도그룹은 시간당 평균 30~40$ 생산하는 반면에 우리나라는 평균에도 못 미치는 1시간당 평균 14$만을 생산

※ 출처: McKinsey. (2017). 국가별 건설업 노동생산성 비교

□ 글로벌 건설 시장에서 국외 시공사들의 저가 공세가 지속됨에 따라 감소 추세가 지속되고 있는 해외건설 수주를 회복하기 위해 정부의 개입이 필요

○ 국외 시공사들의 저가 공세가 지속됨에 따라 국내 시공사들은 경쟁력 하락으로 해외건설 수주에 어려움을 직면하고 있는 상황

○ 해외 수주 축소는 단순히 각 기업별 문제에서 끝나는 것이 아닌, 세밀하게 연결되어 있는 관련 산업 전체를 위협

[그림 1-18] 감소 추세의 해외건설 수주



※ 출처: 해외건설협회. (2021.01). 해외건설 수주추이

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

1) 사업의 추진 근거

(1) 법적 근거

□ 본 사업은 「과학기술기본법」, 「국토교통과학기술 육성법」, 「건설기술 진흥법」 등의 법적 근거를 두고 추진

〈표 2-1〉 본 사업 추진의 법적 근거

근거 법률	내용	소관부처
과학기술기본법	○ 제1조(목적) - 이 법은 과학기술발전을 위한 기반을 조성하여 과학기술을 혁신하고 국가경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 나아가 국민의 삶의 질을 높이고 인류사회의 발전에 이바지함을 목적으로 한다. ○ 제5조 1항(과학기술정책의 중시와 개방화 촉진) - 정부는 과학기술정책의 수립과 추진을 통하여 과학기술이 국가의 경제적·사회적 문제를 해결하고 미래전략을 달성하는 중추적인 역할을 할 수 있도록 필요한 자원을 최대한 동원하여 창의적 연구개발과 개방형 과학기술혁신활동을 적극적으로 지원하여야 한다. ○ 제7조 3항(과학기술기본계획) - 기본계획에서는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. 1. 과학기술의 발전목표 및 정책의 기본방향 2. 과학기술혁신 관련 산업정책, 인력정책 및 〈이하 중략〉 ○ 제11조 1항(국가연구개발사업의 추진) - 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다. ○ 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성) - 정부는 과학기술에 기반을 둔 성장동력을 발굴·육성하기 위하여 필요한 시책을 세우고 추진하여야 한다.	과학기술 정보통신부
국토기본법	○ 제2조(국토관리의 기본 이념) - 국토는 모든 국민의 삶의 터전이며 후세에 물려줄 민족의 자산이므로, 국토에 관한 계획 및 정책은 개발과 환경의 조화를 바탕으로 국토를 균형 있게 발전시키고 국가의 경쟁력을 높이며 국민의 삶의 질을 개선함으로써 국토의 지속가능한 발전을 도모할 수 있도록 수립·집행하여야 한다. ○ 제4조 1항(경쟁력 있는 국토 여건의 조성) - 국가와 지방자치단체는 도로, 철도, 항만, 공항, 용수(用水) 시설, 물류 시설, 정보통신 시설 등 국토의 기간시설(基幹施設)을 체계적으로 확충하여 국가경쟁력을 강화하고 국민생활의 질적 향상을 도모하여야 한다.	국토교통부
건설기술 진흥법	○ 제7조(건설기술 연구·개발 사업) - 국토교통부장관은 건설기술을 향상시키고 기본계획을 효율적으로 추진하기 위하여 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 건설기술 발전에 필요한 건설기술 연구·개발 사업을 할 수 있다. ○ 제8조(건설기술의 연구·개발 등의 권고) - 국토교통부장관은 새로운 건설기술의 도입·연구·개발을 위하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자에게 대통령령으로 정하는 바에 따라 부설연구소의 설치·운영이나 공동연구 및 정보 교환 등과 기술개발을 위한 투자를 권고할 수 있다.〈이하 중략〉	국토교통부

근거 법률	내용	소관부처
	○ 제9조(공동연구·개발) - 국토교통부장관은 건설기술의 연구·개발과 관련된 공공기관·법인·단체·대학(이들의 부설연구소 등을 포함한다. 이하 "건설연구기관"이라 한다)의 인력·자금·시험시설 및 기술정보의 효율적 활용과 선진기술 획득을 위하여 관계 중앙행정기관의 장과 공동연구를 추진하거나 건설기술연구기관의 건설기술 연구·개발을 지원할 수 있다. ○ 제10조 2(융 · 복합건설기술의 활성화) - 국토교통부장관은 건설기술과 정보통신, 전자, 기계 등 다른 분야 기술을 융 · 복합한 기술(이하 "융 · 복합건설기술"이라 한다)의 개발 · 보급 및 활용을 촉진하기 위한 시책을 마련하여야 한다. ○ 제13조(개발기술의 활용 권고) - 국토교통부장관은 발주청이 시행하는 건설공사에 제12조에 따라 건설기술의 시범사업을 한 결과 성능이 우수하다고 인정되는 건설기술을 우선 활용하도록 권고할 수 있다. ○ 제14조(신기술의 지정 · 활용 등) 1항 - 국토교통부장관은 국내에서 최초로 특정 건설기술을 개발하거나 기존 건설기술을 개량한 자의 신청을 받아 그 기술을 평가하여 신규성 · 진보성 및 현장 적용성이 있을 경우 그 기술을 새로운 건설기술(이하 "신기술"이라 한다)로 지정 · 고시할 수 있다. ④ 국토교통부장관은 발주청에 신기술 및 제1항에 따라 신기술을 신청하고자 하는 기술과 관련된 장비 등의 성능시험이나 시공방법 등의 시험시공을 권고할 수 있으며, 신기술의 경우 성능시험 및 시험시공의 결과가 우수하면 신기술의 활용 · 촉진을 위하여 발주청이 시행하는 건설공사에 신기술을 우선 적용하게 할 수 있다. ○ 제18조(건설기술정보체계의 구축) 1항 - 국토교통부장관은 다음 각 호의 건설기술에 관한 자료 및 정보의 종합적인 유통 체계를 갖추고 그 보급과 확산을 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 건설기술정보체계를 구축 · 운영하여야 한다. ○ 제43조(설계 등의 표준화) 1항 - 국토교통부장관은 건설공사에 드는 비용을 줄이고 시설물의 품질을 향상시키기 위하여 건설자재 · 부재의 치수 및 시공방법을 표준화하도록 노력하여야 한다.	
국토교통 과학기술 육성법	○ 제7조(기술수요조사) - 국토교통부 장관은 국내외 기술동향조사 등을 통하여 정기적으로 기술수요조사를 하고, 그 결과를 반영하여 연구개발과제를 발굴하여야 한다. - 제1항에 따른 기술수요조사에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다. ○ 제8조(연구개발사업의 추진) - 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술연구개발사업(이하 "연구개발사업"이라 한다)을 할 수 있다. - 국토교통부장관은 연구개발사업을 할 때 연도별·분야별 연구과제를 선정하여 다음 각 호의 기관 또는 단체등과 협약을 맺어 연구를 하게 할 수 있다. 〈이하 중략〉	국토교통부
국토의 계획 및 이용에 관한 법률	○ 제3조(국토 이용 및 관리의 기본원칙) - 국토는 자연환경의 보전과 효율적 활용을 통하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 이루기 위하여 다음 각 호의 목적을 이룰 수 있도록 이용되고 관리되어야 한다. 〈이하 중략〉	국토교통부
건설산업 기본법	○ 제6조 1항(건설산업진흥 기본계획의 수립) - 국토교통부장관은 건설산업의 육성, 건설기술의 개발, 건설공사의 안전 및 품질 확보 등을 위하여 5년마다 건설산업진흥 기본계획을 수립·시행하여야 한다.	국토교통부

(2) 국정과제 근거

□ 본 사업은 「문재인 정부의 국정운영 5개년 계획」 5대 국정목표 중 '더불어 잘 사는 경제'에 해당되며, 100대 국정과제 중 두 가지에 해당

〈표 2-2〉 국정운영 5개년 계획의 주요 내용

세부이행체계	내용
고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴 · 육성 (산업부 · 과기정통부 · 국토부 · 복지부 · 기재부)	○ (미래 성장동력) 추격형에서 선도형 경제로의 경제 패러다임 전환을 위해 미래성장동력 발굴·육성 가속화 추진 ○ (첨단기술 산업) 융복합 추진전략 마련, 반도체 · 디스플레이 · 탄소산업 등 4차 산업혁명 대응에 필요한 첨단 신소재 · 부품 개발 - 지능형 로봇, 3D프린팅, AR · VR, IoT가전, 스마트선박, 나노 · 바이오, 항공 · 우주 등 첨단기술 산업 육성을 위해 R&D 및 실증 · 인프라 구축 지원
국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화 (국토부)	○ (건설산업 경쟁력 강화) 간접비 지급방식 개선, 임금지급보증제 도입 등 불공정 해소 및 유망분야 육성, 해외진출 지원 통한 일자리 창출

(3) 국가계획 근거

□ 본 사업은 제4차 국가과학기술 기본계획('18~'22) 등에 지원근거를 두고 있으며, 각 계획의 제시된 로드맵에 따라 본 사업을 추진

〈표 2-3〉 국가계획 근거

계획명	주요 내용
제4차 국가과학기술 기본계획 ['18~'22]	○ '국민 맞춤형 재난·안전 교육 및 생활 체감 서비스 확대', '재난현장지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 기술 확보', '신기술·신비즈니스의 제도적·실증적 생태계 구축' 과제를 제시 ○ 고부가가치화 및 신산업 창출을 위하여 원천성이 강한 세계적 수준의 SW 핵심기술을 개발하여 물류, 의료 등의 기존산업과의 융합 확산 지원 - 제조업 재도약 및 서비스업 육성, 쾌적하고 편안한 생활환경 조성 등 과제 추진을 위한 스마트 도로교통 기술, 스마트 철도교통 기술, 지능형 물류체계기술 등의 물류 기술을 중점과학기술로 설정

(4) 부처계획 근거

□ 본 사업은 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22), 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27) 등의 부처계획에 근거를 두고 추진

〈표 2-4〉 부처계획 근거

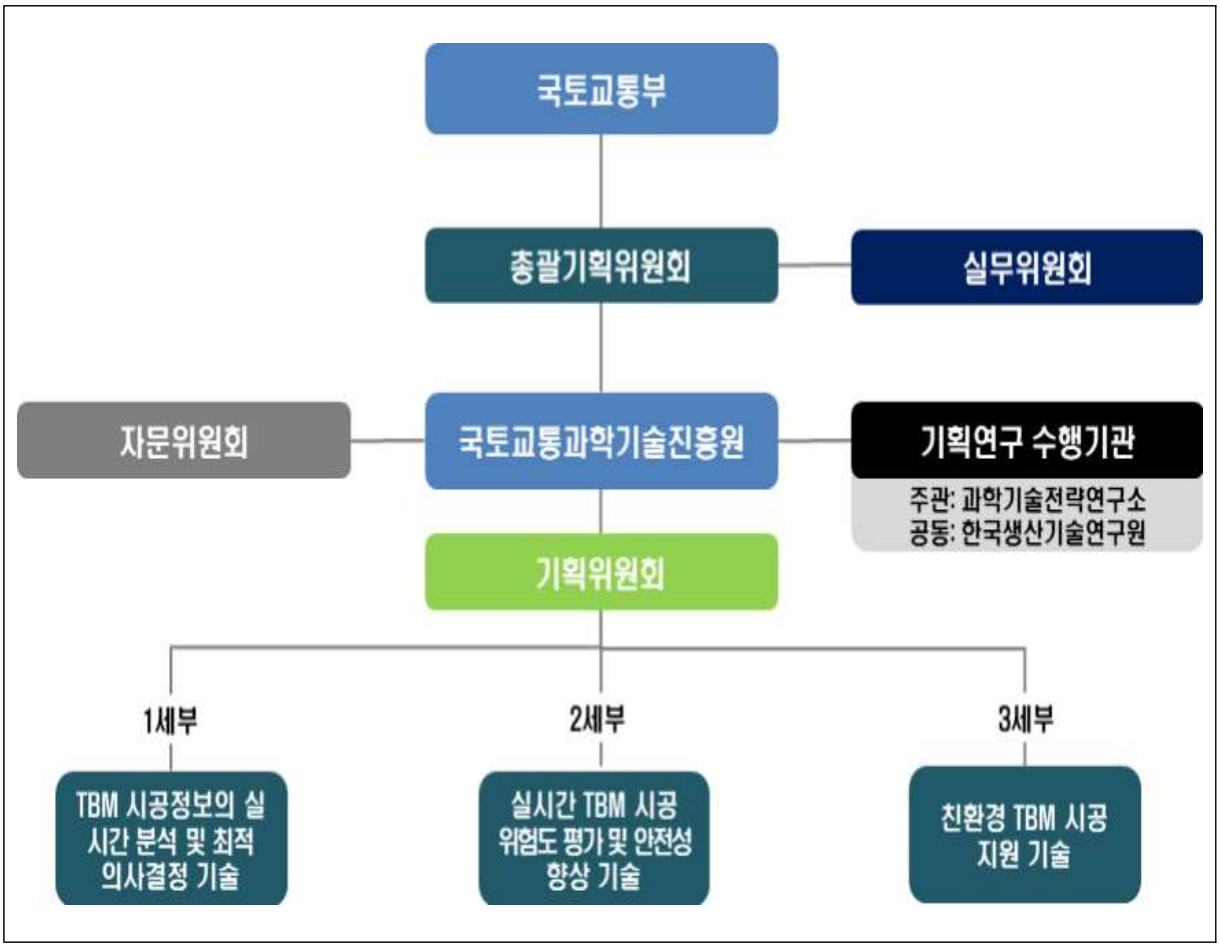
계획명	주요 내용	소관부처
제5차 국토종합계획 ['20~'40]	○ 기간교통망의 효율화와 대도시권 혼잡 해소 ○ 인프라의 전략적 운영과 포용적 교통정책 추진 ○ 미래형 혁신 교통체계 구축	국토교통부
제6차 건설기술진흥기본계획 ['18~'22]	○ 4대 추진전략 : ① 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상② 해외 수요 대응형 건설기술 개발 ③분야 간 융·복합을 통한 경쟁력 강화 ④ 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성 ○ 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신사업 육성	국토교통부
제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획['18~'27]	○ 혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통을 위한 4대 추진전략 (추진전략2, 기술융합을 위한 새로운 가치창출) : 해외건설 수주시 수익률이 높은 新형식·新공법의 고부가가치 건설기술 창출, 신형식 메가 스트럭처 개발 및 엔지니어링 기술 국산화 등을 통해 건설시장의 주력상품인 터널 분야 경쟁력 지속 확보	국토교통부
건설산업 혁신 방안['18.6]	○ 기술혁신을 통해 '4차 산업혁명을 선도하는 글로벌 산업'을 육성하여 R&D 강화, 스마트 인프라 등 기술로 승부하는 건설시장의 확대를 통해 건설산업을 혁신친화적 산업으로 전환을 목표로 추진 ○ 4대 혁신방안인 '기술혁신'내 추진과제 중 '스마트 건설기술 활성화'* 과제에 기술 반영 * 건설자동화, 유지관리/건설재료, 메가스트럭처 등	국토교통부
혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획 ['18~'22]	○ 삶의 질 개선 및 新성장 촉진을 위해 스마트시티를 통한 스마트 건설기술 접목 및 지능형 안전산업 선도를 목표로 추진 ○ 지능화 혁신 프로젝트 추진(전략과제) 중 하나인 '(시티) 스마트 시티 확산으로 삶의 질 향상 및 성장 동력으로 육성'과 '(안전)범죄·사고 예방 스마트 안전사회 구현 및 지능형 안전산업 선도'에 기술 반영	21개 범부처
스마트 건설기술 로드맵 ['18.10]	○ 스마트 건설기술 육성을 통해 글로벌 건설시장 선도를 목표로 '25년까지 스마트 건설기술 정착, '30년까지 건설 자동화를 추진 ○ 로드맵 이행방안의 '민간 기술개발 유도'의 '건설기술·안전 제도 개선', '스마트 신기술 시장진입 여건 마련'과 '공공의 역할 강화'의 '스마트 건설 핵심기술 개발', 'BIM 확산 여건 조성'과 '스마트 생태계 구축'의 '지식플랫폼 구축·운영'에 반영	국토교통부

2) 사업 기획의 추진체계 및 경과

(1) 기획 추진체계

□ **인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획을 위해 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 산·학·연 전문가로 구성된 기획위원회가 협력하여 체계적인 사업기획 추진**

[그림 2-1] 기획 추진체계



○ (국토교통부) 주관부처로서 터널굴착장비(TBM) 기술개발사업 기획 총괄

○ (총괄기획위원회) 터널굴착장비 기술개발사업에 대해 거시적 관점에서 기획방향을 제시하고, 세부계획 결과(안) 검토·조정

- 분야별 전문가로 구성하여 TBM 기술개발사업에 대해 기술적, 정책적, 경제적 타당성 항목 중심으로 거시적 기획방향 제시
- 기획위원회가 도출한 TBM 기술개발사업에 대한 조정의견 제시 및 최종결과 도출

○ (자문위원회) 산·학·연 등 TBM 관련 분야 전문가를 중심으로 추진전략, 타당성 등을 검토

- 사업의 객관성 확보, 사업 성과물의 확산 시 문제점·이슈사항 등 논의

○ (실무위원회) 관계기관(국토부, 진흥원, 기획연구 수행기관 등) 중심으로 구성되며, 추진사항 점검 및 방향 논의 등 실무에 대한 의사결정

- TBM 기술개발사업 상세기획의 원활한 추진을 위하여 기획참여 주체간 역할 분담
- 기획업무의 진도관리, 추진방향의 논의 및 신속한 의사결정 지원 등 사업기획 실무에 대한 관리·조정

○ (기획위원회) 사업에 대해 기술적 관점에서 전문적으로 기술을 선정·기획

- (구성) 4개의 핵심기술을 기획하는 위원회로 구성
  - (기획위원장) 기획위원회 총괄관리자로서, 위원 간 조정·중재를 통해 의견 합치를 유도하고, 총괄기획위원회의 위원으로 참여하여 기획위원회의 도출결과를 보고하는 한편, 기획방침·작성기한 등을 준수할 수 있도록 기획위원에 대한 관리감독 수행

    ※ 각 사업별 위원장은 부처 및 유관기관의 협의를 통해 선출
  - (간사위원) 기획위원장을 도와 기획위원회의 전반적인 운영을 지원하여, 사업 전체적인 방향에서 합리적인 TBM 기술개발사업의 상세기획이 마련될 수 있도록 유도
- 구성기술별 담당 기획위원으로부터 작성 내용을 수신 받아 종합적 검토 및 핵심기술 단위 기술 기획을 완성
  - (기획위원) 핵심·구성과제(기술)의 평가의견 제시·논의를 통한 선정지원, 역할분담에 따른 기술별 상세기획 내용 작성 및 사업 내 작성 기술의 검토의견 제시
- (운영) TBM 기술개발사업의 사업별 기획위원회를 구성하여, 향후 5년 내외에 중점적으로 추진되어야 하는 핵심·구성기술을 선정하고, 이에 대한 세부계획(안)을 마련
  - (핵심·구성기술 후보 도출) TBM 관련 주요 동향 분석 및 성과 분석 결과, 기술수요조사 결과 등에 따른 세부기술별 핵심기술과 그에 따른 구성기술 후보 도출
  - (핵심·구성기술 선정) 도출된 세부기술별 핵심기술에 대한 기술수요기관의 주요 이슈, 기존 기술과의 중복성, 기술의 실현가능성, 기술개발 목표의 적합성, 정부투자의 적정성, 기술의 경제성 등을 검토하여 핵심기술 및 구성기술 선정
  - (전문적 기획 수행) 추진 과제(기술)에 대한 전문적 지식을 바탕으로 사업별 세부과제 및 핵심기술의 개발 상세기획내용(목표, 연차별 연구내용, 소요기간 및 예산, 최종 성과물, 활용방안, 기대효과, 성과지표 등) 작성
  - (세부계획(안) 마련) 상세기획 작성에 필요한 전문적 자료의 질적·양적 수준을 제고하고, 기획위원 간 의견 수렴 및 작성 내용의 종합을 통해 객관적이고 체계적인 상세기획(안)을 도출

□ 위원회 구성

○ (총괄기획위원회) 산업계(3명), 학계(2명), 연구계(1명), 관계(1명) 등 총 7명으로 구성

〈표 2-5〉 총괄기획위원회 구성

구분	성명	소속	직위/직책	기관분류	비고
1	방현하	국토교통부 기술정책과	과장	관	· 부처 총괄
2	이석원	건국대학교	교수	학	· 現 터널지하공간학회 회장
3	전석원	서울대학교	교수	학	· 現 한국암반공학회 회장
4	김낙영	한국도로공사 도로교통연구원	실장	연	· 중단면(7~8m) 터널 발주처
5	김재관	㈜이제이텍	부사장	산	· 前 SK 건설 터키 유라시아 해저터널 현장소장
6	문준배	아주지오텍	본부장	산	· TBM 전문시공사
7	오원섭	기계산업전략연구원	원장	산	· 前 EM Korea 사장 · 前 현대중공업

○ (기획위원회) 산·학·연 비율을 고려하여 위원장(1명)을 포함, 총 17명으로 구성

〈표 2-6〉 기획위원회 구성

구분	성명	소속	직위/직책	기관분류	비고
1	장수호	한국건설기술연구원	선임연구위원	연 (위원장)	1세부
2	최순욱	한국건설기술연구원	수석연구원	연	1세부
3	장현익	한국도로공사 도로교통연구원	수석연구원	연	3세부
4	이철호	한국건설기술연구원	수석연구원	연	2세부
5	지왕률	GTS-Korea	회장	산	1세부
6	김재영	㈜코템	대표	산	3세부
7	김기환	㈜삼보기술단	이사	산	1세부
8	김택곤	SK건설	부장	산	1세부
9	홍은수	HBC Inc.	대표	산	2세부
10	이현구	미래이앤씨	대표	산	2세부
11	박진수	호반산업	수석연구원	산	2세부
12	이승수	두산인프라코어	팀장	산	1세부
13	최항석	고려대학교	교수	학	3세부
14	송기일	인하대학교	교수	학	3세부
15	조계춘	카이스트	교수	학	3세부
16	문준식	경북대학교	교수	학	2세부
17	고태영	강원대학교	교수	학	1세부

○ (실무위원회) 국토교통부(2명), 국토교통과학기술진흥원(2명), 과학기술전략연구소(4명), 한국생산기술연구원(1명) 등 총 9명으로 구성

〈표 2-7〉 실무위원회 구성

구분	성명	소속	직위/직책	비고
1	방현하	국토교통부	과장	-
2	문선일	국토교통부	사무관	-
3	박진회	국토교통과학기술진흥원	그룹장	-
4	김희주	국토교통과학기술진흥원	선임연구원	-
5	원동규	과학기술전략연구소	부대표	-
6	윤성서	과학기술전략연구소	팀장	-
7	박예라	과학기술전략연구소	프로	-
8	조건희	과학기술전략연구소	프로	-
9	조정우	한국생산기술연구원	수석연구원	-

(2) 기획연구 추진경과

○ '19.12. : 기획연구 착수보고

○ '20.01.~02. : TBM 및 지하공간 관련 R&D 과제 현황 분석

* 주요내용 : 旣 추진 중인 사업과 중복소지 있어 지하공간으로 범위 확대 한계
(지하공간 활용 도시 복합 플랜트 실증, 도심 지하 교통인프라 건설 및 운영 기술 고도화 등)

○ '20.02.~07. : TBM 분야별 전문가 인터뷰 및 기술현황·R&D역량 분석

* 현대건설, SK건설, 호반건설, 동아지질 등 설계 · 시공 · 장비 분야 전문가 6명을 대상으로 인터뷰 수행

* TBM 장비국산화 및 설계 · 시공 등 분야별 국내현황 및 기술개발 가능성 등 검토(전문가 10명 대상 조사)

○ '20.06.~09. : TBM 기술개발 시나리오(안) 도출

* TBM 1·2단계 연구진, 한국터널지하공간 학회장 및 기계화시공 기술위원 등과 자문회의 2회 실시(전문가 인터뷰, 민간니즈, 환경분석 등을 고려한 추진방향 검토)

○ '20.10. : 총괄기획위원회의 개최

○ '20.12. : TBM 기술수요조사 시행

* TBM 분야 기술수요조사 시행을 통해 66건의 기술수요 확보

○ '21.01. : 1차 기획위원회의 개최

○ '21.01. : 기술수요조사에 대한 기술평가 시행

○ '21.01.~03. : 2~5차 기획위원회의 개최 및 핵심·구성기술 선정

○ '21.02.~03. : 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획 보고서 작성

3) 대내외 환경분석

(1) 정책적 환경분석

【EU】

□ **지하교통 터널 건설 기술의 고도화를 위해 11개국, 41개 산·학·연 기관이 모여 EU Framework Project* 내 'TUNCONSTRUCT('04~'08) 프로젝트'를 추진**

* 유럽지역 연구기관 및 연구 인력의 참여를 기반으로 EU 공동연구를 증진하고, 이를 기반으로 유럽지역의 연구기반 확대 및 네트워크를 강화하려는 목적의 국제연구 프로그램

○ 'TUNCONSTRUCT(TECHNOLOGY INNOVATION IN UNDERGROUND CONSTRUCTION)'는 지하교통 터널 건설을 통해 교통혼잡 및 오염·소음을 줄임으로써 삶의 질을 향상시키는 것이 목표

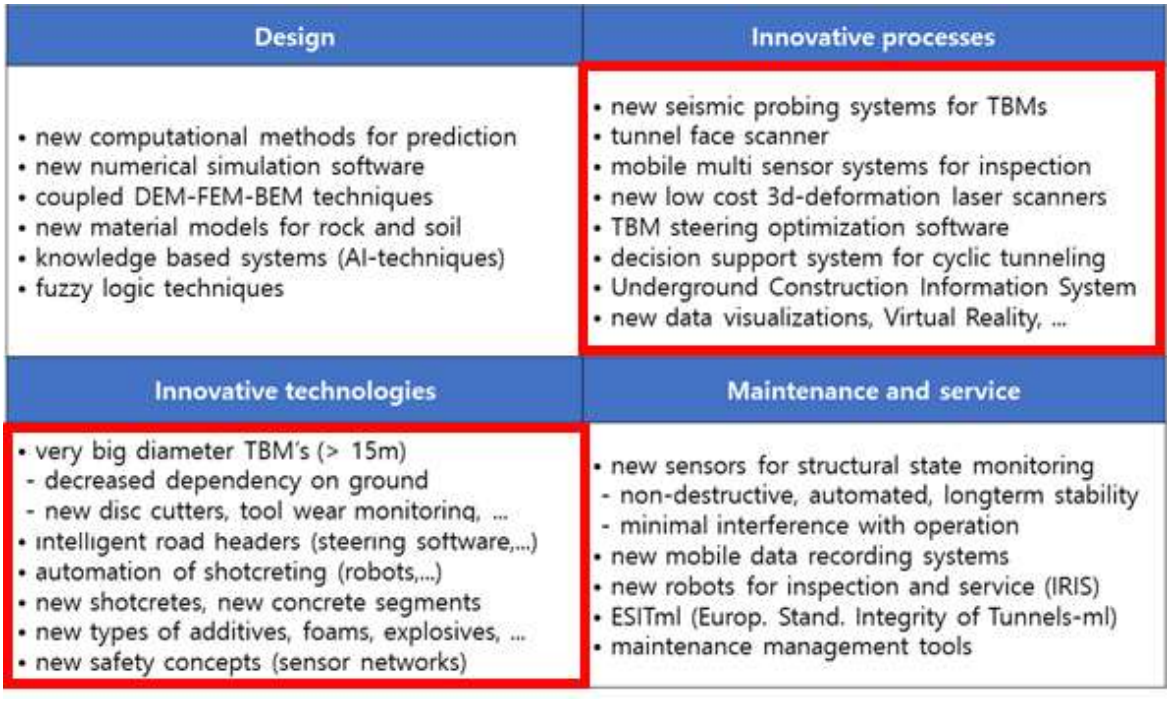
○ 'TUNCONSTRUCT'의 4가지 개발 분야 중 '혁신기술개발' 분야에서는 지반 의존도를 감소시키는 것과 새로운 TBM 디스크 커터 및 세그먼트 개발을 추진

- TBM 커터헤드 설계기술 선진화, 고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 등의 기술발전에 전체 예산 343억 원(EU 기부금 189억 원 포함)을 투자
- TBM공법 적용 공사비의 50% 가량을 차지하는 디스크커터와 세그먼트의 비용 절감을 유도

※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원. (2015). 국토교통 R&D 동향조사 시설물분야

○ 4가지 개발 분야 중 '혁신프로세스개발' 분야에서 TBM 운영의 효율적 프로세스와 관련된 부분들을 개발함으로써 굴착 효율성 향상을 도모

[그림 2-2] 'TUNCONSTRUCT'의 개발분야



※ 출처 : Klaus Chmelina. (2005). TUNCONSTRUCT 프로젝트 소개 발표자료(STSI 재가공)

□ **'유럽 건설기술 플랫폼 비전 2030(ECTP* vision 2030)'을 설정하고 지하교통 터널에 대한 '차세대 창의 기술항목'으로 TBM 기술을 제시**

* ECTP(European Construction Technology Platform)는 유럽 건설 환경에 대한 혁신과 지식 공유 및 경쟁력 향상을 목적으로 26개국이 함께 구성한 조직

○ R&D 투자 증진을 위한 '30년까지의 기술개발 마스터플랜을 수립하고 이와 함께 차세대 창의 기술항목 또한 선정

- 지하교통터널 건설을 위한 대심도 초장대 지하 구조물 건설기술, Waterjet, Laser 등을 이용한 차세대 굴착 기술, 완전자동화 TBM 기술 등 기계식 굴착 기술의 고도화를 추진

〈표 2-8〉 ECTP vision 2030의 터널 건설 차세대 창의 기술항목

구분	선정 기술항목
1	대단면 터널 기술
2	Smart 터널 기술
3	대심도 초장대 지하 구조물 건설기술
4	물리적 특성 평가를 통한 전방 탐사 기술물리적 특성 평가를 통한 전방 탐사 기술
5	Waterjet, Laser 등을 이용한 차세대 굴착 기술
6	완전자동화 TBM 기술
7	자가진단 콘크리트 기술

※ 출처 : 한국건설교통기술평가원. (2012). 대심도 지하 복층터널 구축 기술 개발 기획

○ Mobility and Transport 위원회를 운영함으로써 효율적 교통시스템을 조성하고 산업 경쟁력 향상 및 일자리 창출을 도모

- 효율적이며 경제적인 이동시스템 도입 및 도로의 효율적인 운용을 위한 투자를 추진
- '14년 교통관련 정책 및 시민들의 이동성을 포함한 예산 2,001만 유로와 교통보안 관련 예산 251만 유로 등 총 2,252만 유로를 투자

※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원. (2015). 국도교통 R&D 동향조사 시설물분야

【중국】

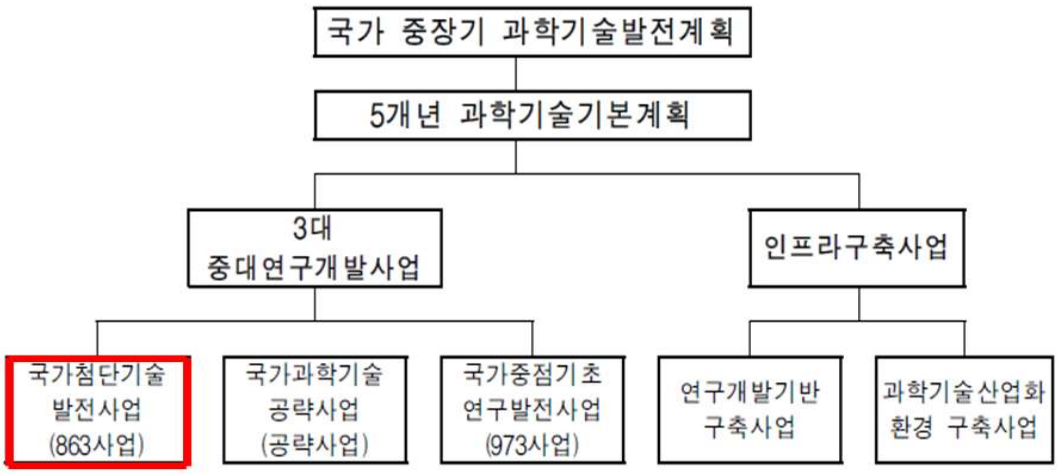
□ **'02년부터 '국가 863 계획 사업*'을 통해 정부 주도하에 TBM 연구개발 지원 및 시장 확대를 추진**

* 5년 마다 수립되고 있는 중국 과학기술부의 '중장기 과학기술발전계획' 내 '3대 중대연구개발사업'으로 '국가 863 계획 사업'이 포함

○ 중국 정부는 TBM 제조 사업을 '16개 중대 장비 기술 사업'의 하나로 편성하고, 지속적으로 자국 TBM 기업에 대해 투자

- 정부 차원에서 연구개발에 대한 대대적인 지원을 하고, 국외 TBM 제작사들의 인수·합병에도 다각적으로 지원하여 중국은 독자적으로 TBM 설계 및 제작이 가능한 수준으로 성장
- 중국은 현재 세계 최대의 터널 시장으로 급부상한 상태이고, 활발한 내수 시장에 의해 많은 경험과 기술력을 축적
- 또한, 내수 시장 활성화를 위하여 그 동안 독점해오던 해외 장비 도입을 축소하고, 다양한 내수 건설사업에 자국 TBM 장비를 적극적으로 투입 추진

[그림 2-3] 중국의 중장기 과학기술발전계획



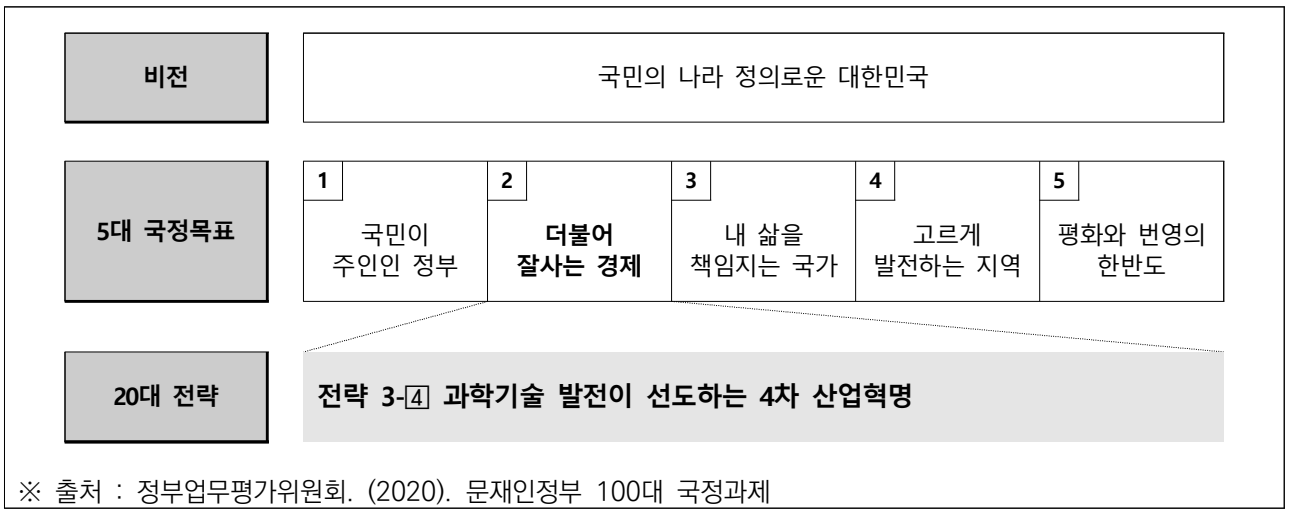
※ 출처 : 건설경제. (2019.05). TBM에 인색한 韓…글로벌 굴착시장서 후진국 신세

【대한민국】

□ 문재인 정부는 「100대 국정과제」에 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명을 20대 전략으로 수립하고 교통망 강화와 신산업 발굴을 추진

○ '국민의 나라 정의로운 대한민국'이라는 비전 달성을 위해 '더불어 잘사는 경제'를 5대 국정목표 중 하나로 설정하고 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명을 20대 전략으로 수립

[그림 2-4] 문재인 정부의 국정목표



※ 출처 : 정부업무평가위원회. (2020). 문재인정부 100대 국정과제

○ 국정과제에서는 건설분야의 4차 산업혁명을 확산·촉진할 수 있는 교통망·건설산업과 미래형 신산업 발굴을 설정

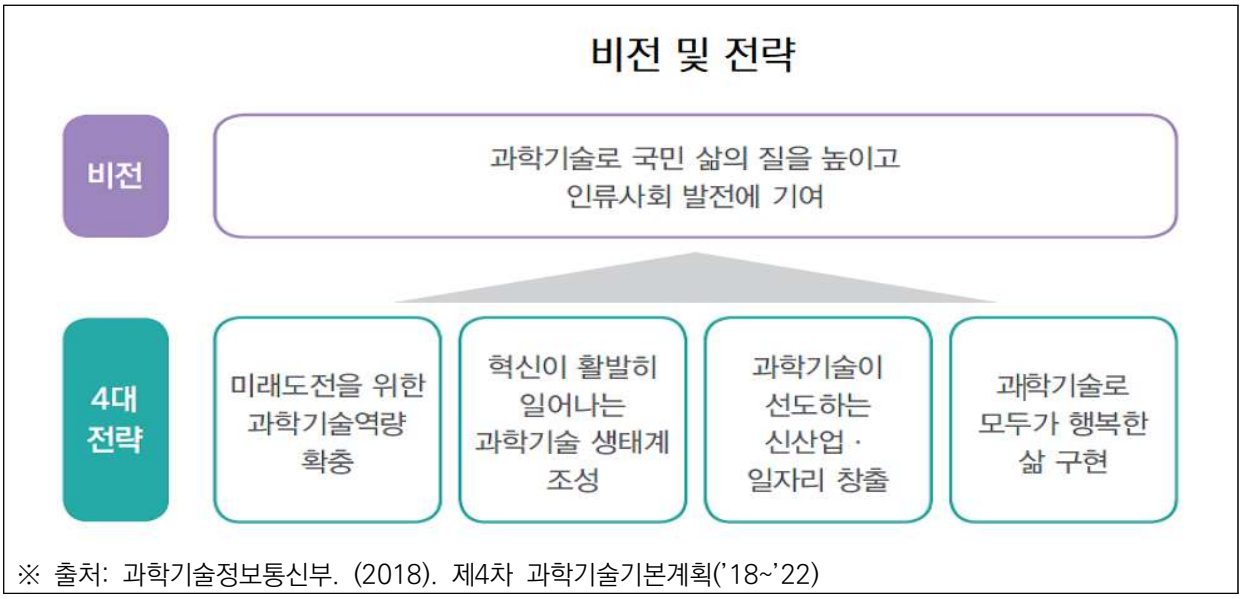
- '국정과제㉜'에서는 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력을 강화를 설정
  - 건설산업을 양질의 일자리로 전환하고 건설산업 경쟁력을 강화하기 위해 4차 산업혁명에 따른 기술을 확보하고 관련 유망분야를 육성

- '국정과제㉞'에서는 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴 육성을 설정
  - 제조경쟁력과 ICT, 서비스 등의 융합을 통해 건설분야 미래 신산업 육성
  - 4차 산업혁명에 필요한 R&D 지원하여 첨단기술과 융복합 추진전략 마련
  - 지능형 로봇 등 신산업 분야의 핵심 원천기술을 확보하여 시장 선점

□ **「제4차 과학기술기본계획('18~'22)」은 국가 R&D 시스템을 창의·선도형 시스템으로 전환하기 위한 과제 발굴을 중점적으로 추진**

○ 4대 전략 중 하나로 '과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출'을 설정하고 신기술·신비즈니스의 제도적·실증적 생태계를 구축함으로써 혁신적인 기술·서비스의 시장출시를 지원

[그림 2-5] 제4차 과학기술기본계획의 비전 및 전략



※ 출처: 과학기술정보통신부. (2018). 제4차 과학기술기본계획('18~'22)

○ 국토인프라 선진화를 위해 최첨단 인프라구조물 건설기술, 국토정보구축 및 활용기술, 미래첨단 도시건설기술, 복합지하 대공간 활용기술 등에 대한 R&D 추진을 제시

- 인프라-실증솔루션-비즈니스모델이 연계된 실증 R&D*를 지원

* 실증프로젝트(안) : 친환경·스마트선박 실해역 테스트, Smart Construction 지능형 건설기계 실증, 도심권 지하공간 미세분진 저감 실증사업 등

□ **「제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)」을 통해 건설기술 선진화와 연구개발 촉진을 통한 경쟁력 제고 및 Big data 기반 건설산업의 기술 고도화를 추진**

○ 건설기술 및 관련 정책·제도 선진화와 연구개발 촉진을 통해 경쟁력을 제고하고 4차 산업혁명 시대에 대응 가능한 건설산업 생태계를 구성

○ 현재 노동집약적인 건설 산업을 고도화된 기술이 적용되는 미래 산업으로 육성하여 고부가 일자리 확보, 노동 생산성 향상, 안전한 근로 환경 조성을 추진

- 경험 중심의 노동집약적 건설 산업을 선진화하여 노동생산성 40% 향상, 사망자 수 30% 감소, 근로시간 20% 단축, 건설엔지니어링 해외수주 100% 확대 목표를 제시

[그림 2-6] 제6차 건설기술진흥기본계획의 전략

전략 Ⅰ 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성

분 야	중점 추진 과제
기술개발	① 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상 ② 해외 수요 대응형 건설기술 개발
고부가 산업 육성	③ 분야간 융·복합을 통한 경쟁력 강화 ④ 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성
건설 안전 강화	⑤ 건설의 안전·환경 관리

전략 Ⅱ 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선

분 야	중점 추진 과제
산업 개편·육성	① Eng.의 역량 강화 및 해외진출 지원 ② 국제 기준에 부합하는 제도 구축
건설인력·교육	③ 글로벌기준에 맞는 경력 관리체계 구축 ④ 국제경쟁력을 갖춘 기술인력 육성
기준·제도	⑤ 기술력 중심의 발주·심의 강화

※ 출처 : 국토교통부. (2017). 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)

□ 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27)」을 통해 TBM 기술 등의 대규모·고난이도·고부가가치형 新형식 인프라 건설 원천기술 확보를 추진

○ 신형식 메가스트럭처 개발 및 엔지니어링 기술 국산화 등을 통해 건설시장의 주력상품인 터널, 교량 분야 경쟁력 지속 확보 추진을 제시

- TBM(Tunnel Boring Machine) 제작·운영 기술 개발과 함께 복층터널, 대심도 해저터널 등에 대한 기술 개발 및 실증 포함

○ 국내 핵심* 산업인 국토교통 분야에 대한 새로운 부가가치 창출 요구에 따라 기존 산업의 첨단화, 효율화 등을 이끌어 지속적인 기술경쟁력 제고 추진을 제시

* '15.3/4 ~ '16.2/4분기 GDP 성장률(3%) 중 건설투자의 기여율은 40.1%('16, 한국은행)

- 추격형 기술개발 전략에서 벗어나, 기술수준을 획기적으로 향상시킬 수 있는 세계 선도 기술 개발에 대한 과감한 투자를 이끌 계획

[그림 2-7] 종합계획의 고부가가치 건설기술 창출 대상



※ 출처 : 국토교통부. (2018). 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27)

□ 「제5차 국토종합계획('20~'40)」의 주요 정책과제에 '대도시권 급행 광역교통망 구축'이 포함되어 새로운 다수의 지하교통 터널 건설 추진 예정

○ 국토 발전전략에 '인프라의 효율적 운영과 국토 지능화'를 포함시켜 광역대중교통 혁신을 계획하고 이를 통한 대도시권 교통혼잡 문제 해소 추진을 제시

○ 대도시권의 주요 거점을 연결하는 광역철도망을 구축하고, 도로 네트워크 강화를 통한 도로의 간선기능 회복을 제시

- 광역급행철도(GTX)·신안산선·신분당선 등 급행철도망 구축사업을 진행하고, 대심도 지하도로와 수도권 외곽 순환고속도로망 건설을 통해 교통량 분산 추진

[그림 2-8] 제5차 국토종합계획의 신교통망 예시



※ 출처 : 국토교통부. (2019.12). 제5차 국토종합계획('20~'40)

□ 「제1차 자원순환기본계획('18~'27)」 수립을 통해 '폐기물 발생량 감축' 및 '순환이용률 향상'이 추진되고 있으며 국내에서는 연간 약 200만 톤 수준의 건설 폐토석이 발생 중

○ 지하건설 관련 굴착토에 따른 매립지 포화 등이 사회적 문제로 대두되고 있으며, 건설폐기물 순환이용률을 88.9%까지 높이고자 기본계획을 수립

- 최근 건설폐기물 및 지하건설 관련 굴착토 발생량 증가와 이에 따른 매립지 포화 등이 사회적 이슈로 대두

- 국내 건설폐기물 순환이용률은 79.5%로, 수립된 기본계획에서는 9.4% 증가한 88.9%를 달성 목표로 설정

○ TBM 굴착을 통해 발생하는 폐토석은 연간 약 30만 톤 수준이며, 이 굴착토는 대부분 건설폐기물로 취급되어 매립·폐기 중

- 국내에서 연간 발생하는 건설 폐토석은 약 200만 톤 수준으로 이중 15% 정도가 TBM 굴착과 관련 있는 상태

- TBM 굴착토는 고함수비, 중금속/오염물 흡착, 낮은 pH등과 같은 특성에 의해 대부분 건설폐기물로 취급되어 사토장에 매립 또는 폐기되는 실정

(2) 경제적 환경분석

【글로벌】

□ 전 세계 터널 프로젝트 예산은 '13년부터 '16년까지 23%가 증가되었으며, 현재 진행 및 계획 중('18년 기준)인 전 세계 프로젝트는 1,527조 원 규모로 추정

○ 국제터널학회(ITA) 회원국의 '16년 터널 건설 프로젝트 예산은 '13년 대비 23% 증가하여 연간 126조 원에 해당하는 규모를 달성

- 연평균 5%의 성장이 예상되었던 것과 달리 연평균 7% 이상 성장을 하였으며 ITA는 향후 5~10년간 예산이 지속 증가할 것으로 전망
- 지역별로는 중국이 50%, 중동이 12%, 유럽이 11%를 차지

※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원. (2019). 국토교통 R&D 동향조사 시설물분야

○ 현재 진행 및 계획 중('18년 기준)인 전 세계 터널 프로젝트는 1,527조 원에 달하는 것으로 추정되고 있으며, 최근 유럽의 터널 프로젝트가 큰 폭으로 증가하고 있는 추세

- 유럽은 전 세계의 42%에 해당하는 634조 원 규모이며, 아시아-태평양은 522조 원, 아메리카는 249조 원, 중동 및 아프리카 지역은 12조 원으로 조사*

* GlobalData 건설정보센터의 '18년 조사(Project Insight: Global Tunnel Construction Projects, 2018)

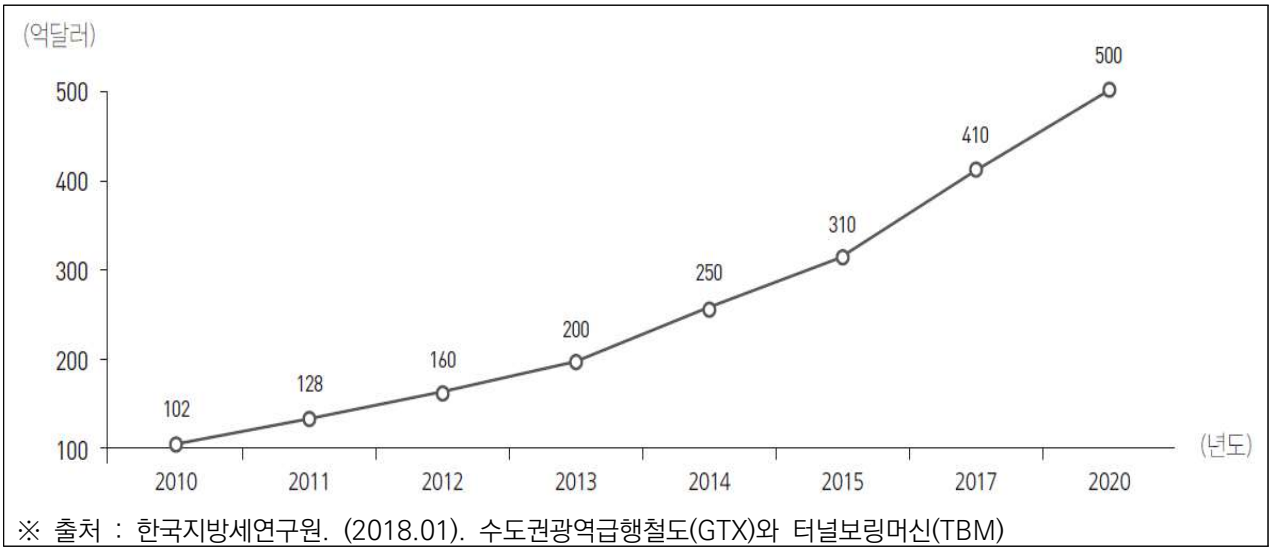
- 국가별로는 영국이 205조 원으로 터널 프로젝트에 가장 많은 예산을 투자하고 있으며 2위는 중국으로 181조 원을 투자

※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원. (2019). 국토교통 R&D 동향조사 시설물분야

□ '10년의 세계 시장 규모가 11조 원이었던 TBM장비 시장은 '20년에 56조 원으로 성장하며 빠르게 확대되고 있는 시장

○ 유라시아 해저터널과 같이 세계적으로 도심지 터널, 하·해저터널, 장대 산악터널 등에서 친환경적이고 경제적인 터널공법으로서 TBM의 적용이 확대되고 있는 상황

[그림 2-9] 세계 TBM장비 시장규모



※ 출처 : 한국지방세연구원. (2018.01). 수도권광역급행철도(GTX)와 터널보링머신(TBM)

○ 세계 TBM장비 시장규모는 매년 20%씩 고성장중이며 도심지에서 중요하게 요구되는 환경성·안전성 및 경제성 향상을 위한 최적의 터널공법으로 주목

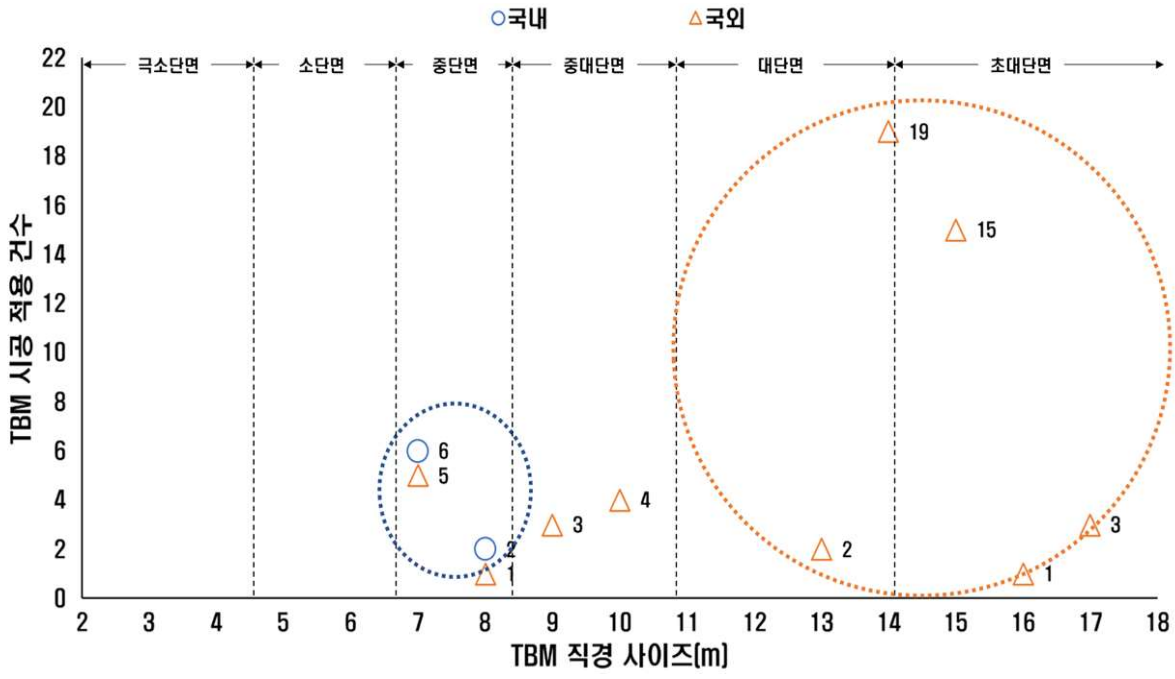
- 기존의 발파공법과 비교할 때 시공시간의 단축으로 고효율의 급속시공이 가능하다는 장점이 부각
- 또한 소음·진동 등의 저감효과 뿐만 아니라 낙반 등의 위험요소가 적어 이러한 문제들에 의해 발생하였던 사회적 비용 감소

□ TBM 기술을 통한 지하교통 터널 건설의 장점 인식이 확산되며 전 세계적으로 터널 건설 시장에서 TBM 기술 수요가 증가 중인 추세

○ 경제성과 안전성 등의 장점 인식이 확산되며 '00년 이후 전 세계적으로 TBM 기술을 활용한 지하교통 터널 시공이 증가

- 국외 터널은 대단면급 이상의 TBM 적용을 통해 단층형뿐만 아니라 복층형, 병렬형 등 다양한 형태로 개발되어 차량 통행로, 지하상가, 사람 이동통로(대피로 포함) 등의 복합 시설의 용도로 활용
- 현재 전 세계 61건 중 40건의 초대단면 터널굴착 공사에 14m급 이상의 TBM이 적용된 것으로 조사

[그림 2-10] '00년 이후 국내·외 터널공사에서의 TBM 직경별 시공 적용현황



※출처 : 과학기술전략연구소 TBM 기획연구 조사결과. (2020).

〈 단면별 면적 및 지름 〉

구분	소단면	중단면	중대단면	대단면	초대단면
면적	20㎡미만	20~45㎡	45~70㎡	70~120㎡	120~200㎡ 또는 200㎡초과
지름	4.4m미만	4.5~6.7m	6.7~8.4m	8.4~10.9m	10.9~14.1m 또는 14.1m초과

□ **TBM 관련 기술 시장은 국외 소수 TBM 제조사가 글로벌 시장을 점유하고 있는 상황으로 높은 시장 진입장벽이 존재하는 과점 시장**

○ TBM은 건설장비 중 기술집약도 및 최적화 필요성이 높은 장비이기 때문에 관련 핵심기술은 소수의 제작사만이 보유하고 있으며, 이에 따라 진입장벽이 높은 상황

- 중대단면급 이상의 TBM은 현재 국외 선도 제작사로부터 100% 수입되고 있는 상황

○ 세계 TBM 시장은 독일·중국 제조사의 점유율이 대부분인 상황으로, 지속적인 점유율 증가 추세에 따라 독일·중국 양강구도 형태로 굳혀지고 있는 실정

- 독일의 헤렌크네히트사가 '08년까지 세계시장의 약 40%를 점유하며 독보적으로 시장을 이끌어가던 시기에는 그 외 다수의 TBM 관련 기업이 존재하였었으나, 이후 공격적 기업인수를 통해 중국의 CRCHI 및 CRTE가 급성장하며 독일·중국 양강 과점 구도로 시장은 재편
- 독일은 품질로 중국은 가격 경쟁력으로 최근 시장 점유율을 공고히 하여, 독일과 중국 외 제조사들은 인수되거나 TBM 생산을 멈춘 상황이고 일본 정도만이 소규모로 제작 중

※ 출처 : 건설경제 (2019.11.04). 세계 TBM 생산 1위 CRCHI를 가다

【대한민국】

□ **'18년 국내 도로 및 철도 분야의 터널은 총 3,399개소로 나타나며 지속 증가 추세**

○ '2018년도 도로 교량 및 터널 현황조서'에서는 국내 도로터널이 2,566개소이며 총 연장은 1,897km인 것으로 집계*

* 교량 및 터널 현황은 전국 279개 지자체, 지방국토관리청 및 한국도로공사가 온라인으로 입력한 데이터를 토대로 집계

- 지난 10년 동안 도로터널 연장은 910km에서 1,897km로 108.5% 증가하였으며 전체 도로연장(110,714km)의 1.7%를 차지
- 우리나라에서 가장 긴 도로터널은 서울양양고속도로 구간에 위치한 '인제양양터널(10.96km)'인 것으로 조사

○ 국내 철도터널은 833개소이며, 총 연장길이는 921km인 것으로 집계

- '18년 국내 철도터널은 총 833개소로 '15년 768개소 대비 65개소 증가하고, 총 연장길이 또한 710km에서 921km로 약 211km 증가
- 우리나라에서 가장 긴 철도터널은 서울의 수서역과 평택의 지제역을 연결하는 '율현터널(50.3km)'인 것으로 조사

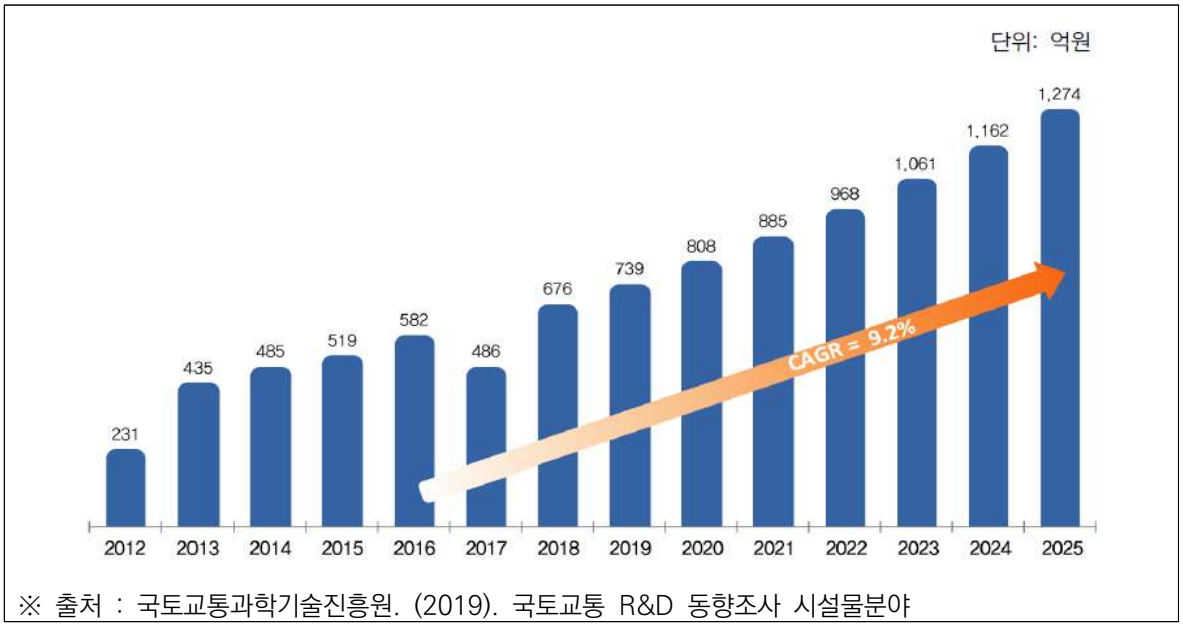
□ **국내 터널시장을 공사수주 실적으로 예측한 결과, '25년 기준 신규건설 수주규모가 1,274억으로 예상되며 지속적으로 성장 중**

○ 도로터널 및 철도터널 신규건설 수주규모는 '12년 231억 원에서 연평균 19.6% 증가하여 '18년에는 767억 원까지 성장한 것으로 조사

- SOC 예산감소를 반영하여 3년간('15~'18년) 연평균 증가율(9.2%)을 '25년까지 증가한다고 가정하면 터널 신규건설 시장규모는 1,274억 원으로 예상*

* '12~'18년 대한전문건설협회 통계자료를 이용하여 신규건설 수주금액을 추정

[그림 2-11] 국내 신규 터널건설 시장 전망



※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원. (2019). 국토교통 R&D 동향조사 시설물분야

□ 아직 국내는 TBM 시장이 크지 않아 현재 1조 원 가량으로 추정되고 있으나, 국내 건설사들은 국외 터널 건설 시장에 진출하기 위해 적극적으로 노력 중

○ 현재 국내 TBM 시장은 1조 원 수준으로 추정되고 있으며, 도심 교통터널의 TBM 적용율은 약 1% 수준

※ 출처 : 한국지방세연구원. (2018.01). 수도권광역급행철도(GTX)와 터널보링머신(TBM)

○ 국내 터널에 대한 현재의 TBM 적용률은 낮지만 최근 우리나라의 건설사들이 TBM 활용을 통한 국외 터널 건설 시장에 진출하기 위해 적극적으로 노력하고 있으며 상당한 성과를 창출 중

- '16년 12월에 개통한 세계 최초의 대륙간 해저터널인 유라시아 해저터널 건설을 국내 기업이 담당하는 등의 주목 받을만한 성과를 창출

〈표 2-9〉 도심교통터널 TBM 적용률

국가별	유럽	일본	미국	중국	대만	한국
TBM 적용률	80%	60%	50%	50%	30%	1%

※ 출처 : 한국지방세연구원. (2018.01). 수도권광역급행철도(GTX)와 터널보링머신(TBM)

(3) 사회적 환경분석

【글로벌】

□ 도시집중 현상 가속화에 의해 인구 및 교통량이 크게 증가함에 따라 도시의 교통 혼잡이 사회적 문제화 되었고, 이를 해결하기 위한 지하 교통 개발이 활발히 진행 중

○ ’50년에는 세계인구 세 명 중 두 명은 도시에 거주할 것으로 파악되며, 인구 1,000만 명 이상의 메가시티는 41곳으로 증가할 것으로 전망되는 등 급격한 도시집중이 진행 중

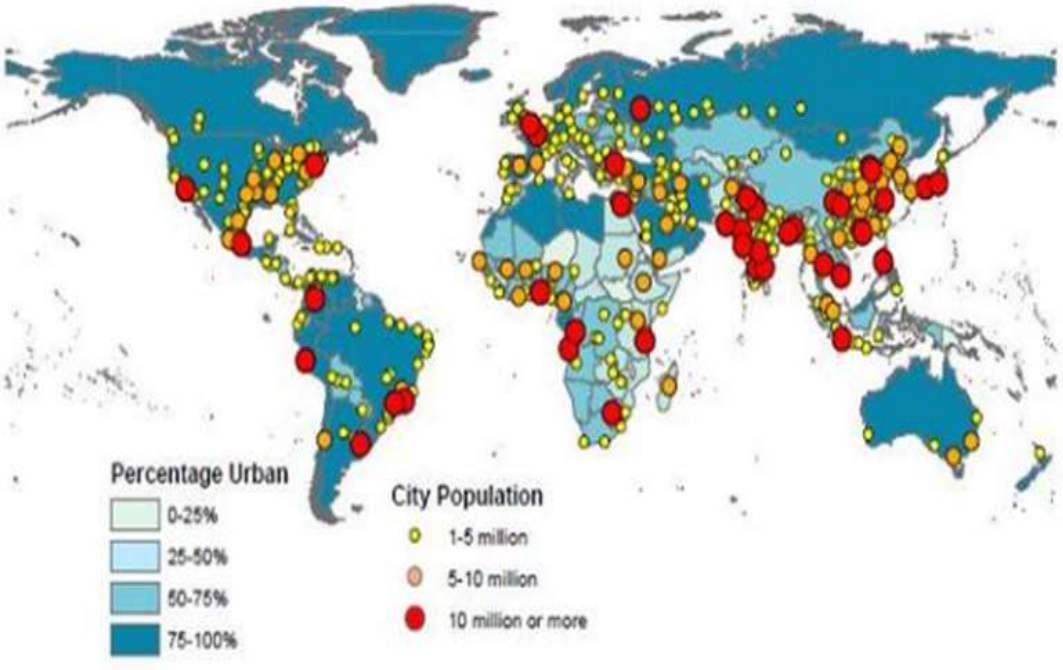
- 전 세계 인구가 ’60년부터 이후 50년간 233% 증가한 반면 도시 인구는 350% 증가

〈표 2-10〉 도시인구 비율

구분	연도별 도시인구 비율		
	’18년	’30년 (예상)	’50년 (예상)
세계 평균	55.3%	60.4%	68.4%

※ 출처 : 유엔경제사회국. (2018). 세계 도시화 전망 보고서

[그림 2-12] 2030년 인구규모별 도시 분포도 및 지역별 도시화율



※ 출처 : 경제IT. (2014.07.17). 2050년 세계 인구 셋 중 둘은 도시인

○ 도시집중 현상 가속화에 따라 이에 비례하여 전 세계 각 국들의 교통수요* 또한 급증 중

* 교통 체계나 교통시설을 이용하는 규모를 나타내며, 주로 도로를 통과하는 차량 대수나 버스의 승객수, 또는 화물의 물동량과 같은 형태의 통행량이 포함

- 전 세계 도시 교통수요는 '10년 기준 연간 25.8조 km에서 '50년에는 연간 67.1조 km까지 증가할 것으로 예측

[그림 2-13] 전 세계 도시교통 수요의 현황 및 전망



※ 출처 : 전자통신연구원. (2018). ICT기반 도시교통문제 대응방안

○ 급증하는 교통수요와 함께 교통체증이 크게 증가하고 있어 전 세계적으로 교통체증으로 인해 낭비되는 시간과 불편함이 사회적 문제로 대두

- 현재의 예상대로 도시 교통수요가 증가하면 전 세계적으로 '교통체증으로 인해 낭비되는 시간'은 '10년 기준 연간 1인당 58.4시간에서 '50년에는 연간 1인당 106.3시간까지 늘어날 것으로 전망

※ 출처 : 전자통신연구원. (2018). ICT기반 도시교통문제 대응방안

○ 주요국들은 교통 혼잡 완화 및 지상공간 창출을 위해 지하 도심순환 고속도로 및 대심도 지하 고속철 건설 등 대형 프로젝트를 진행 중

〈표 2-11〉 국외 터널공사의 TBM 적용 주요실적 현황

국가	명칭	사업목적
프랑스	A86 East 터널	도심 14km 외곽에 위치하는 A86 외곽순환도로 중 말메종에서 베르사유 남부지역의 RN286 고속도로를 접속하기 위함
말레이시아	SMART 터널	말레이시아 수도의 도시화에 따라 토지개발이 진행되고, 그로인한 지표 유출수 증가와 주요하천의 축소로 인해 Klang 강의 잦은 범람으로 인한 경제적 손실방지 및 교통량 증가에 따른 교통체증 해소를 위함
스페인	M30 도로	기존 M30도로의 교통량 증대에 따른 교통체증 문제 해결 및 만자나레스강과 주변 지역의 환경 복원을 위함
싱가포르	KPE Road 터널	Kallang Paya Lebar 고속도로(KPE)의 남쪽 동해안 고원도로에서 북동쪽 Tampines 고속도로 까지 연결되는 고속도로 터널
미국	Big-Dig	교통체증 없고 녹지 가득한 도시로의 변신을 위해 도심을 관통하는 고속도로의 차로를 확장하고 지하화하여 공원과 녹지를 마련하기 위함
	Alaskan way	노후화되고 지진으로 손상된 고가도로를 철거하여 지상교통흐름의 저해와 주변 환경에 대한 피해를 최소화
영국	런던 실버타운	템즈강 하저터널 관통으로 혼잡한 런던의 교통문제 해소하기 위함

※ 출처 : 한국과학기술기획평가원. (2019). 지하공간 개발동향

□ **터널 건설시 주요국들은 기존 NATM 공법이 야기하는 사회적 문제를 해결하기 위해 TBM 공법을 활용하고 있으나 인력에 의한 장비 문제 파악으로 공사 지연이 발생 중**

○ 전 세계적으로는 TBM 활용이 크게 확산되고 있으며, 주요국들의 TBM 적용률은 유럽(80%), 일본(60%), 미국(50%), 중국(40%), 대만(30%) 수준

※ 출처 : 메리츠종금증권 리서치센터. (2018.06). 메리츠 2018년 하반기 전망 시리즈 16

○ TBM 장비의 파손/손상은 육안 식별이 불가능하여, 파손/고장 위치와 현상 파악에만 공사지연(다운타임, downtime)의 70~90%가 소요

※ 출처: Li, J. et al.(2019), Application and outlook of information and intelligence technology for safe and efficient TBM construction, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol., 93, 103097

【대한민국】

□ **국내 도심에서는 다수의 터널굴착 공사가 지속적으로 진행되고 있으나 NATM 방식 공법으로 진행되고 있어 긴 기간 동안 주변 지역의 교통체증을 유발 중**

○ 국내 도심에는 서부간선지하도로, GTX(수도권 광역 급행철도), 도시철도 연장 건설 등의 다양한 터널굴착 공사가 진행되고 있으며 향후에도 많은 터널굴착이 예정

○ 우리나라 터널굴착 공사 방식의 대부분을 차지하고 있는 발파 방식의 'NATM 공법'은 긴 기간 지속적으로 교통체증을 유발하는 등의 사회적 비용을 야기

- NATM 공법의 경우 천공작업, 발파, 환기, 버력제거, 보재시공이라는 많은 단계를 거쳐야만 작업이 가능하여 진행 속도가 1일 2회 기준으로 약 '4~6m/일'에 불과
- 발파 및 긴 공기에 따라 터널 건설 현장 주변 지역이 오랜 기간 통제되고 지속적인 교통체증이 유발되는 등의 사회적 비용 발생

[그림 2-14] 신분당선 연장공사('17~'22년)로 인한 교통 문제



※ 출처 : 동아일보. (2017.03.10.). 상습정체 강남대로, 3월말부터 더 지옥

□ 기존의 NATM 공법을 적용한 터널굴착 작업의 경우 발파 과정을 포함하는 특성상 작업 현장의 안전사고가 다수 발생

○ 기존 공법은 화약 폭파 및 별도의 굴삭기 사용에 의해 관련 인명 사고가 발생

- 터널 막장 발파작업을 위해 화약 설치 작업 중 누설전류로 인하여 화약이 폭발하는 사고가 발생
- 협소한 공간에서 별도의 굴삭기를 운용함에 따라 이동 과정에서 지속적으로 사고 발생

※ 출처 : 서울특별시 지하철건설본부. (2000). 지하철 건설공사 안전사고사례

○ 시공 작업 중 발생한 낙석과 연마석 파편으로 인해 심각한 인명 피해가 빈번하게 발생

- 1차 발파 후 2차 발파를 위하여 부석정리 중 막장에서 낙석이 발생하여 사망 및 중상이 발생하는 사례가 존재
- 낙석과 비례에 의한 재해자는 전체 재해자 비율 중 54.9%에 해당되는 것으로 파악

〈표 2-12〉 터널굴착 관련 사고의 발생형태별 비율

구분	분 류	재해자수(명)	구성비(%)
사고 발생형태	낙하, 비례	17	54.9
	추 락	12	38.7
	협 착	1	3.2
	전 도	1	3.2

※ 출처 : 서울특별시 지하철건설본부. (2000). 지하철 건설공사 안전사고사례

□ **NATM 기반 TBM 터널건설 주변 지역 피해를 예측하지 못해 민원 발생 후 사후 대응해야 하는 상황 발생**

○ NATM과 같은 발파식 공법은 인근 지역의 지반침하를 유발시키고 지하수를 유출시켜 주변 지역의 대규모 싱크홀 발생으로 이어지는 등 지반 안전 문제를 유발

[그림 2-15] 발파 방식의 터널굴착 공사로 인한 싱크홀 발생 사례



※ 출처 : 동아닷컴. (2016.04.05.). 인천 송현동 싱크홀 원인은 지하차도 발파공사

○ 발파 방식의 공법은 발파진동으로 인한 주변의 노후건물 균열, 가스관과 같은 위험시설의 파손 등을 유발하기에 국토 안전과 관련한 문제 제기가 지속적으로 이어지고 있는 상황

- 발파진동을 수반하는 NATM 방식의 터널굴착 공사는 인근 건축물에 균열을 일으키며, 특히 노후건물*의 균열 발생에 많은 영향을 주어 건축물 안전에 대한 문제가 지속적으로 제기

* 국내 건축물은 30년 이상 된 노후건물의 비중이 '18년말 기준 37.1%으로 상당히 높고 내진설계가 되어있지 않은 경우가 대부분이어서 진동에 특히 취약하며 노후건물 비중은 앞으로 더욱 증가 예정

- 굴착 공사 발파에 따른 진동에 의해 주변 가스관, 수도관, 송전 설비 등 위험시설이 손상되고 있어 미세한 균열에 따라 이후 큰 피해로 연결될 수 있는 위험시설 안전 문제가 존재

[그림 2-16] 발파로 인한 건축물 균열 사례



※ 출처 : MBC뉴스. (2018.12.23.). 터널 뚫는다고 하루 4번 '쾅'..“갈라지고 깨지고”

□ 터널 공사의 발파에 따른 진동·소음으로 인해 인근 지역의 재산 피해를 유발

○ 터널굴착 공사 발파에 의한 지속적인 진동·소음으로 인해 주변 지역의 축산 농가는 가축들이 과도한 스트레스를 받아 성장이 지연되는 등 재산 피해가 발생

※ 출처: 축산신문. (2009.03.25). 도로공사 발파소음 돼지 폐사피해 심각

○ 발파식 굴착에 따른 진동·소음으로 인해 공사 지역 인근의 식물들은 생육이 정지

- '14~'15년에 시행되었던 용인의 고속철도 관련 NATM 발파 공사의 경우, 인근 식물원의 분재나무 2,000여 그루가 공사 기간 동안 생육이 멈추고 불량 상태에 이르는 피해 발생

※ 출처: 환경부 홍보자료 (2017.01.19.) 수도권 고속철도 공사장 발파 진동으로 인해 배상결정

□ 터널굴착 공사의 발파로 인해 건축 연대가 오래되어 내구성이 높지 않은 문화재들이 손상되고 있으며 멸종위기 동식물들의 서식에 악영향을 미치고 있는 상황

○ 단순 경제적 가치로 환산할 수 없는 오래된 중요 건축문화재들이 터널굴착 공사에 따른 발파진동으로 인해 손상되고 있어 문제가 제기되고 있는 상황

- 11년간 진행되어 최근 완공 된 울산의 율리-삼동 간 도로 건설 사업의 경우, 현장 인근에 있어 장기간의 진동에 노출된 '보물 제382호 청송사지 삼층석탑'에 균열이 발생

※ 출처: MBC (2018.05.04.) 터널 발파 작업에 가옥·보물까지 균열…주민들 '불안'

○ 야간에도 진행되는 터널 발파 작업으로 인해 멸종위기 동식물들의 서식 환경에 문제가 발생

※ 출처: 한겨레. (2018.10.02.). 백두대간 야간 발파로 멸종위기 삵·수달 기절하겠네

(4) 기술적 환경분석

【미국】

□ Colorado School of Mines에서 AI를 이용한 굴진 자동화 및 굴진율 예측에 관한 연구 수행

○ 센서로 유입되는 정량적인 데이터에 의존하는 것이 아닌 AI를 활용하여 TBM 작업환경에 대한 상호작용, 예측, 분석을 수행

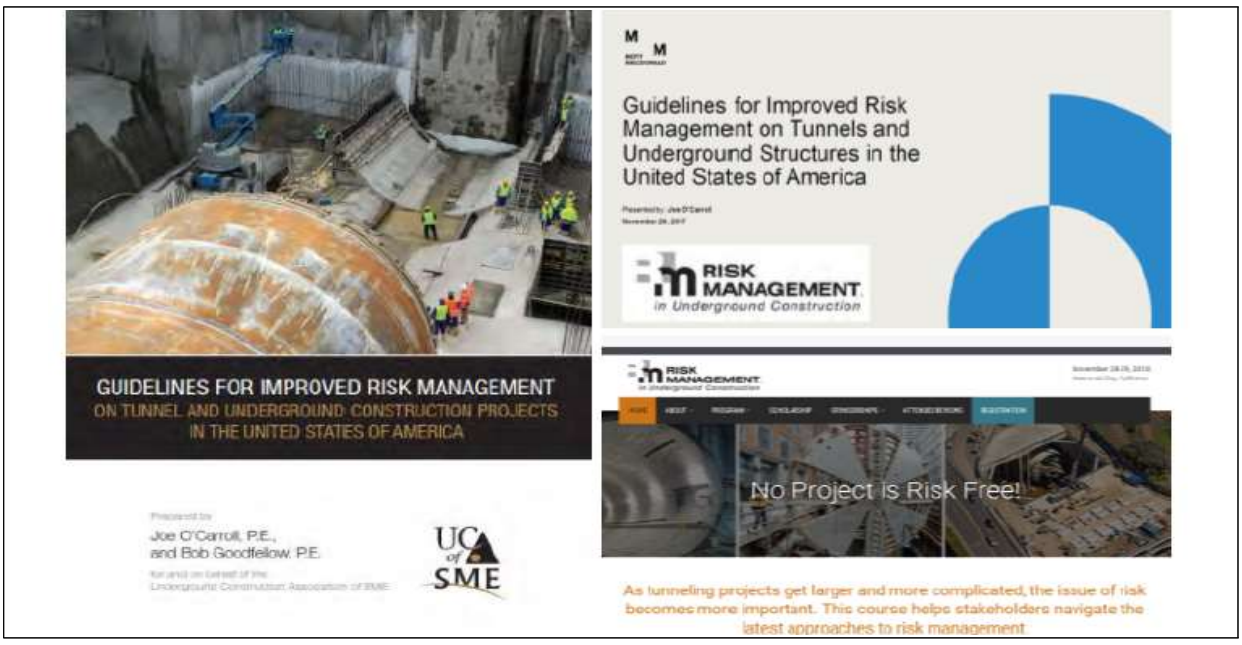
- CSM에서는 AI를 이용한 굴진 자동화에 대한 연구 수행중: TBM-지반 상호작용 과정을 이해하기 위한 데이터 패턴 인식 연구(오퍼레이터-입력, 장비성능-출력)
- 이산사건 시뮬레이션(Discrete evenet simulation) 모델 기반의 굴진율 예측에 관한 연구 수행

□ 터널공사에 대한 리스크관리 지침 제정 및 지반조건에 의한 위험요소가 제시되고 있으나 시스템에 대한 연구 수준은 낮음

○ TBM 굴착지반의 침하와 굴착 리스크를 고려하는 통합 시스템에 대한 연구가 미미한 상태

- 지하터널공사에 대한 리스크 관리시스템은 BTS(영국터널학회)와 ABI(영국보험자협회)에 의해 체계화 된 상황
- 미국에서는 2012년 UCA(미국지하공간협회)를 중심으로 터널 및 지하 건설공사에서의 개선된 리스크 관리 지침이 제정되어 일반 터널 프로젝트에 적용하도록 하고 있음 (김영근, 2019)
- Sousa and Einstein(2011)은 미국의 지하철 프로젝트에 베이시안 네트워크(Bayesian Networks)를 활용한 리스크 분석을 수행한 바 있으며, 지질예측 모델을 기반으로하여 리스크를 최소화 하는 시공전략 결정 모델을(Construction strategy decision model) 제안

[그림 2-17] Guidelines for Improved Risk Management on Tunnel and Underground Construction Projects(UCA, 2012)



【중국】

□ '10년 국가핵심연구실에서 TBM 운전 의사결정 시스템 연구 수행

○ 장비 통합 및 제어 기술, 원격 자동 진단시스템, 인텔리전트 의사결정시스템 등에 대한 연구 진행

- CREG社에서 SKL of Shield TBM and Boring Technology 연구 진행
- 시스템 통합기술 연구(①TBM 제어기술, ②원격 자동 진단 기술, ③의사결정 기술)

□ 국가핵심연구실(State Key Laboratories, SKLs)에서 TBM 시험시설 구축, 현장 장비 개발, 시공 데이터 표준화, 원격 관리 시스템 보유를 통해 TBM 분야 연구가 활발하게 진행 중

○ SKL of Full-Face Rock TBM(2004년 설립, 중국 NHI社): TBM의 다기능 시험 시스템 등 첨단 시험시설 구축

○ 커터헤드 및 절삭도구 기술 개발

- 다양한 지질조건에 따른 커터헤드/절삭도구 설계 기술 개발
- 절삭도구 설계/제작을 위한 산업표준 개발 등

○ 쉴드TBM 굴착 제어 기술: 터널 현장에 기술적 권고/서비스를 제공할 수 있는 쉴드 TBM 정보 관리 시스템(Information management system) 보유

- 원격 자동진단시스템(Remote automatic diagnosis system)
- 인텔리전트 의사결정시스템(Intelligent decision system)

[그림 2-18] 중국 CREG사의 TBM현장 인텔리전트 빅데이터 플랫폼(Zhang et al., 2018)]

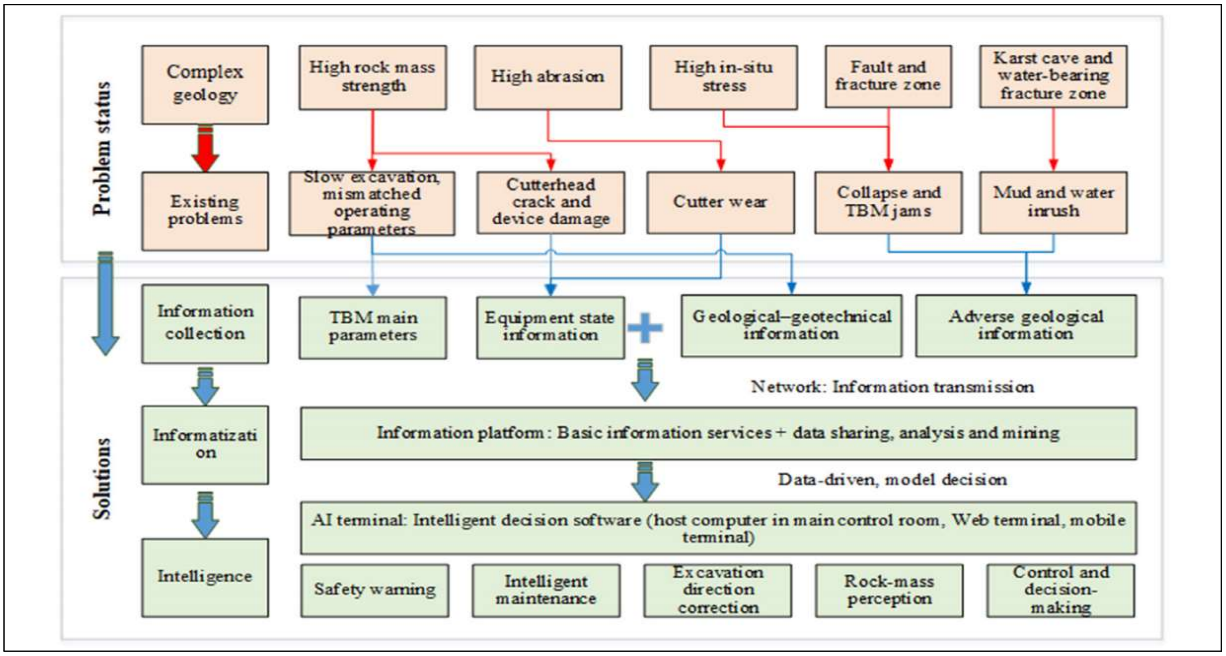


○ 중국 인텔리전트 TBM 터널링(National Key basic research program)

- 안전하고 효율적인 TBM 시공을 위한 정보기술 적용 시스템
- TBM 시공을 위해 정보기술이 통합된 생태학적 프레임워크

- TBM 굴착대상 지반의 역학적 정보 실시간 평가
- TBM 장비상태의 모니터링 및 평가
- TBM 시공 데이터 표준화 및 통합 플랫폼

[그림 2-19] 중국 인텔리전트 TBM터널링 시스템의 개념도

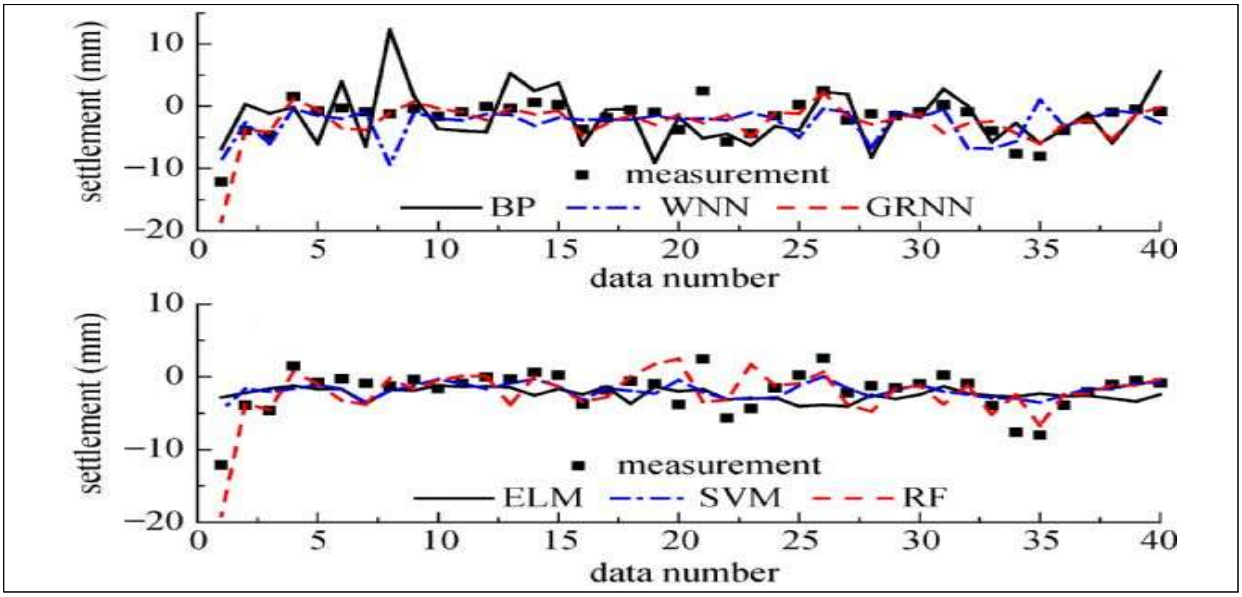


□ 다양한 머신러닝 기법을 TBM 연구에 접목하는 사례 증가

○ 주로 터널 굴진중 침하량을 예측하는 방법에 대한 연구가 시작되고 있음

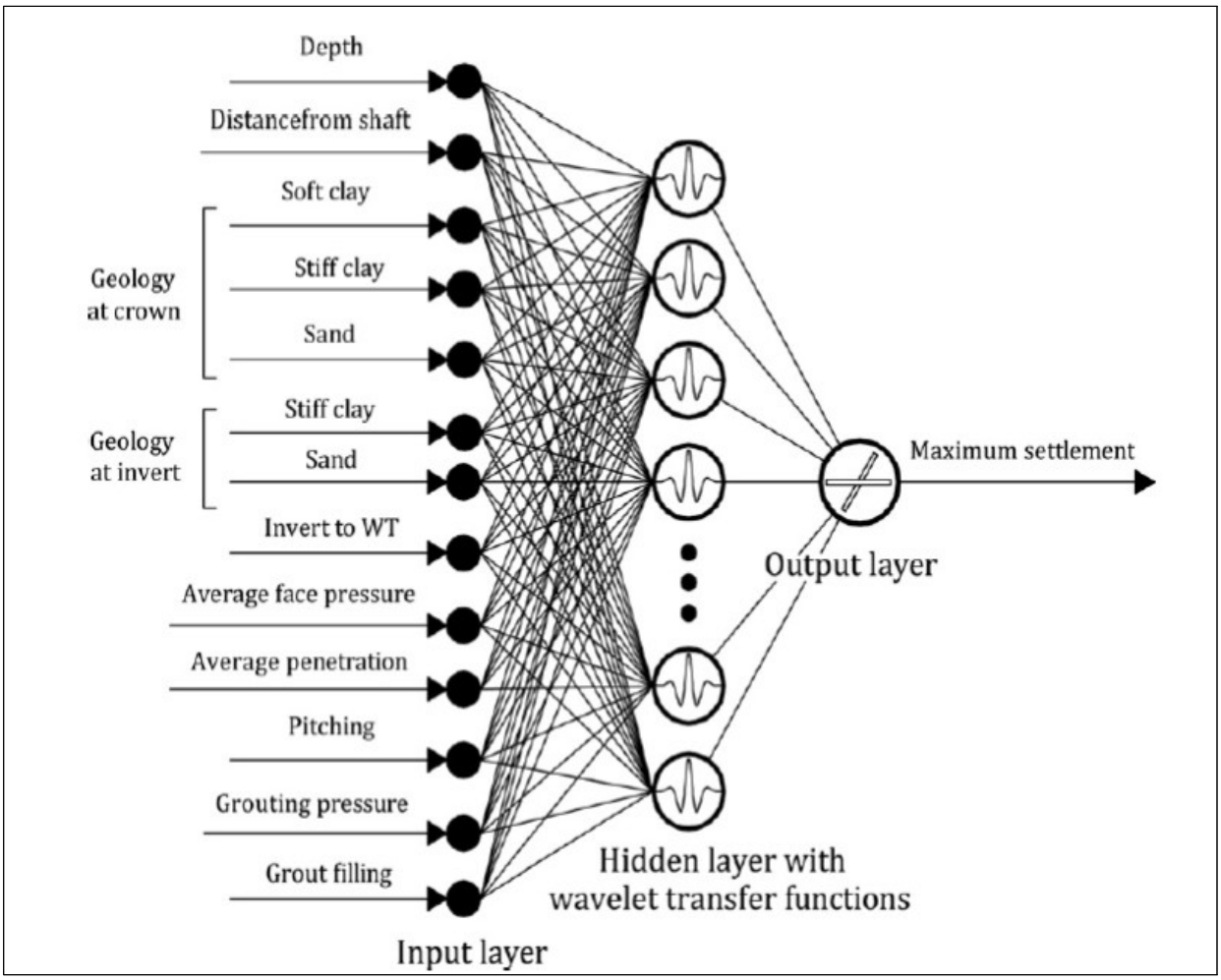
- Pourtaghi and Lotfollahi-Yaghin (2011)은 웨이블릿 이론과(Waveler theory) 인경신경망(Artificial Neural Network, ANN) 이론을 사용하여 지반침하를 추정하려는 시도
- Chen 등 (2019)은 여러 가지 머신러닝 기법을 활용하여 지반 침하량의 예측 정확도 비교 실험을 수행하여 각각 다른 입력변수들이 예측 결과에 미치는 영향을 분석
  - back propagation neural network, wavelet neural network, random forest 등 사용

[그림 2-20] Results of test set of different ML methods in predicting settlements (Chen et al., '19)



[그림 2-21] A typical topology sample of wavelet neural network

(Pourtaghi and Lotfollahi-Yaghin, 2011)



【영국】

□ 영국 터널정보관리시스템(Tunnel Information Management, TIM)의 TBM 실시간 제어 및 최신 정보 공유, 분석, 예측, 데이터 표준화, 모니터링 관련 연구 활성화 및 부가 수익 창출 기대 중

○ TIM은 터널 시공/자산 관리를 위한 웹기반 정보관리시스템으로 다수의 사용자들을 대상으로 실시간 제어 접속을 제공하고, 시공 트러블과 같은 중요 이슈에 대해 즉각적인 알림과 더불어 부정적인 경향을 보이는 항목에 대한 자동 경고가 가능

○ BIM모델과 통합하여 다양한 터널 정보(생산, 품질, 플랜트, 환경/지반변형 모니터링)를 생성하고 최신 정보로 의사결정이 가능케 하는 리포팅(Reporting) 가능

○ 터널 굴착 전에 수치해석 및 분석을 통해 사전에 지반과 구조물에 대한 리스크를 검토할 수 있도록 했으며, 지반 특성을 고려한 최적 TBM 제작 사양 도출

○ 시공 전 정보 제공과 더불어, 시공 중 지질/지하수 조건, 지반변형, 구조물 손상 등의 예측과 실제 결과의 모니터링 기능을 포함하여, TBM 운전변수들의 조건을 제안하는 기능을 가짐

○ 시스템을 모듈 형태로 구성하여 프로젝트별 맞춤형으로 판매 가능

[그림 2-22] 영국 TIM 시스템의 결과 리포팅(예)



※ 출처: Tunnel Information management (http://www.mytimapp.com)

【스페인】

□ ACCIONA社에서는 TBM 통합 관리에 필요한 데이터 표준화 및 조건에 대한 연구 수행

○ TBM 물리적 작업 수행 능력 확인 및 장비 유지관리 시스템 구축

- TBM 컨트롤 데이터센터(TBM Control data Center, TCC) 개념 연구
- 인텔리전트 자가진단 도구(intelligent self-monitoring tool): 모든 시공 프로세스에 포함된 개별 관리 시스템들을 포함
- (1) 굴진 데이터: 토크, 추력, 굴진율, 커터헤드 회전속도 등
- (2) 지질조건: 암반등급, 지반공학적 특성 등
- (3) 장비 유지관리(Machinery maintenance): 커터 마모, 참가제 소모량, 파손, 보수 등
- (4) 실행계획(logistics) 및 품질: 세그먼트 잔고/설치/이력 감시 등의 업무를 수행

□ ACCIONA社 TBM 컨트롤 데이터센터(TBM Control data Center, TCC)에서 개발한 자가진단 도구 및 Sabadell 프로젝트 적용에 따른 비용 감축 사례가 있으며, TCC 실시간 모니터링을 통해 작업 효율 증대에 효과를 보이고 있음

○ 모든 시공 프로세스에 포함된 개별 관리 시스템들을 포함하는 인텔리전트 자가진단 도구(Intelligent self-monitoring tool)를 개발

○ 스페인 마드리드 Sabadell 프로젝트 적용에 따른 비용 감축 성과 달성

- 인건비: 20% 절감
- TBM 유지관리비: 15% 절감
- 공기: 10% 단축

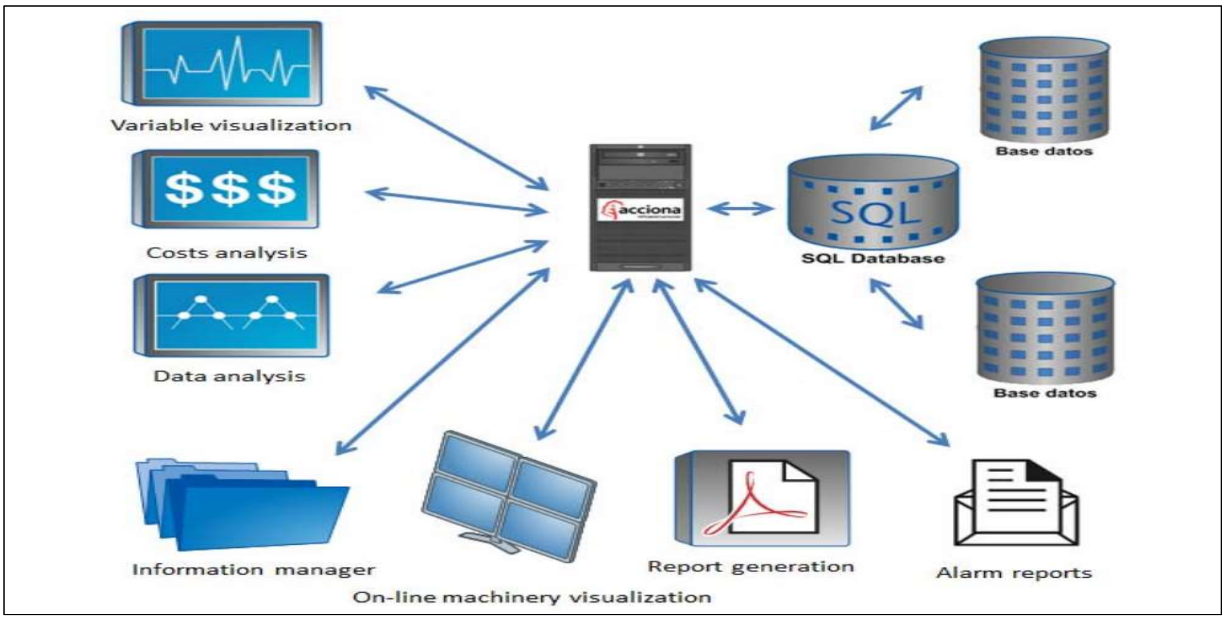
○ 주요 모니터링 항목은 다음과 같음

- 굴진 데이터: 토크, 추력, 굴진율, 커터헤드 회전속도 등
- 지질조건: 암반등급, 지반공학적 특성 등
- 장비 유지관리(Machinery maintenance): 커터 마모, 첨가제 소모량, 파손, 보수 등
- 실행계획(logistics) 및 품질: 세그먼트 잔고/설치/이력 감시 등

○ TCC의 주요 기능은 다음과 같음

- 지질정보 제공
- 수집된 정보의 가시화
- 기준치를 넘는 특정 변수에 대한 알람 기능
- 실시간 굴진데이터 수집, 예측 알고리즘 형성
- 데이터 중앙화, 데이터베이스 형성

[그림 2-23] TBM 컨트롤 데이터센터 시스템의 구성개념



※ 출처: Moreno, P. et al.(2015), TBM Process Data Management System, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 7, No. 5, pp. 432-437.

【일본】

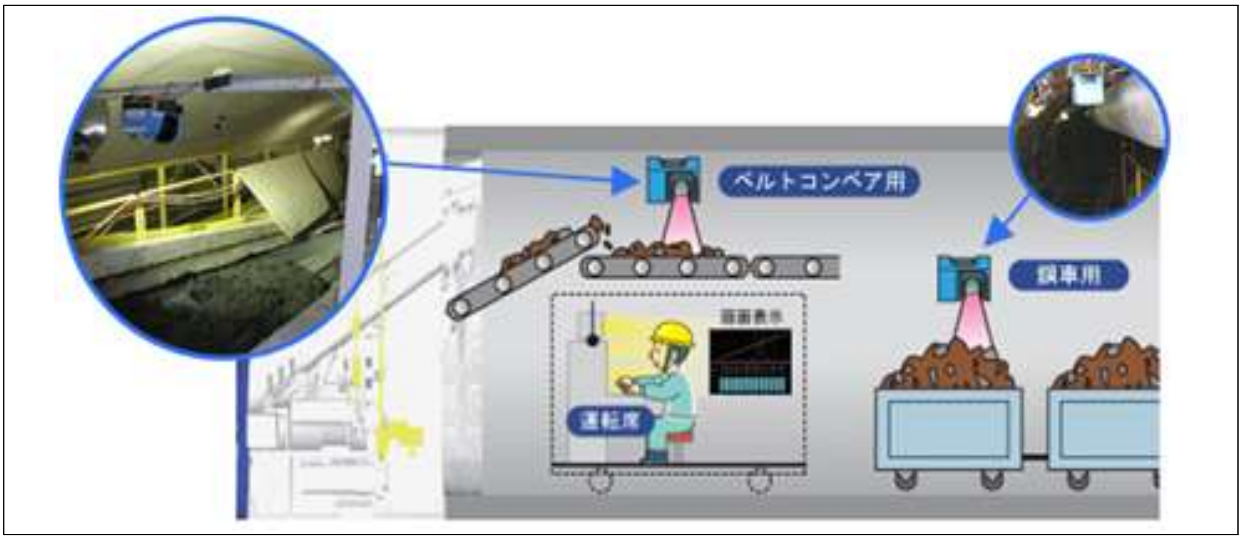
□ 굴착토의 용적 측량에 대한 연구 중 레이저와 CCD 카메라를 이용한 방식이 주로 도입되었으며, 일본에서 1990년대부터 다수의 지적재산권 등록 건수가 있음

○ 오바야시社는 레이저스캐너를 이용한 컨베이어로 이송되는 흙과 모래량을 측정하는 장치를 개발(밸트컨베이어의 반송 토사량 검출장치 및 그 검출 방법, JP17220633)

○ 가와사키철강에서는 CCD카메라를 이용한 2D 이미지로부터 반송체의 이송 체적을 연속적으로 측정할 수 있는 특허를 출원하였음(컨베이어의 반송 물량 측정장치, JP11014428)

○ Enzan Koubou社는 이토압식 쉴드TBM의 굴착토 배출량을 측정하고 시공관리에 활용하기 위해 레이저 측정방식의 Soil volume measurement system을 개발하여 상용화

[그림 2-24] 이토압식 쉴드TBM의 레이저 스캐너식 굴착토 배출량 측정



【기타】

□ TBM 분야의 실시간 모니터링 및 장비상태 평가 기술은 중국을 중심으로 진행되고 있는 반면, 기계 부품 관련 외국 기업들은 소재부품, ICT, 인공지능 등이 융합된 기술 형태로 R&D를 진화시키고 있음

○ 기계 부품의 성능, 안전, 수명 예측 등이 종합적으로 고려된 상태진단/예측(PHM, Prognostics Health Management)기술 확보에 주력하고 있음

- 중국: TBM, 철도 시스템 등에 대한 실시간 센싱, 진단, 전송기술 개발 완료, 핵심부품 결함 예측 알고리즘 개발에 주력 중

○ 제조업 생산장비의 고장/예측 알고리즘 개발로 시작됐으나, 점차 일반기계장비, 자동차, 건설기계 분야로 확대되는 추세임

- 미국: 장비/시스템 건전성, 고장진단, 예측 알고리즘을 개발 완료
- 미국: 항공기, 전자 장비 배터리의 고장메커니즘 및 예측분석기법 연구개발 중
- 프랑스: TBM, 철도 시스템 등에 대한 실시간 센싱, 진단, 전송개술 개발 완료 후 핵심 부품의 결함 예측 알고리즘 개발 주력 중

□ 지하공간은 지상에서 사용되는 통신(LTE, WiFi 등)의 사용이 제한되어 최근 지하 건설공사에 적용되는 사례가 증가하고 있음

○ 지하에서 통신을 사용하기 위해 별도의 네트워크망을 구성하여 지상과 연결하고자 하는 노력은 계속되어왔음

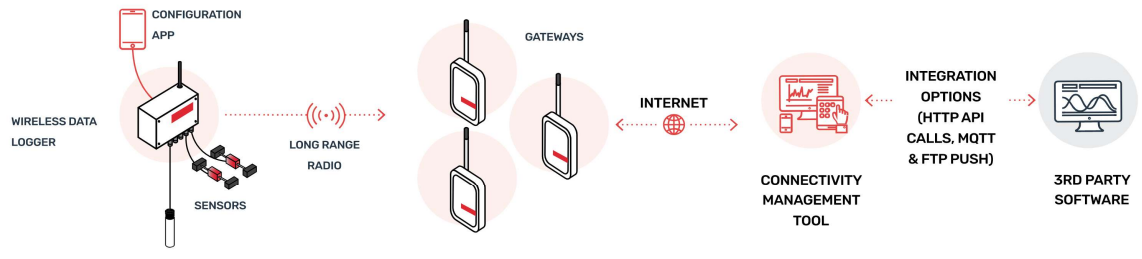
- 무선 통신 기술로 사용되는 방식은 WiFi, LTE, Bluetooth 등 다양한 통신 방식을 사용하여 결과적으로 지하공간에 모니터링을 위한 광역 네트워크망을 구성

- 지하공간의 특성상 새로운 무선 장치를 추가하거나 공간 확장에 따른 네트워크 확장이 용이한 기술을 중심으로 발전하고 있음
- 대표적인 적용 사례는 광산과 같이 지하공간이 복잡하게 구성되거나 연장이 상대적으로 긴 형태의 공간에 사용되고 있으며 장비의 이동이 중요하게 여겨지는 현장에서 적용사례가 늘어가는 추세
- WorldSensing社는 건축물, 철도, 터널 등에 무선통신을 이용한 모니터링 시스템을 적용하고 있으며 원격으로 인프라를 연결하고 무선 모니터링 하는 것을 목적으로 하고 있으나 인력과 장비 사이의 위험 요인 분석이나 장비의 상태 점검 등의 활용은 상대적으로 취약

[표 2-13] TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 시스템 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 시스템	스페인	Worldsensing	Loadsensing	지하 및 구조 모니터링 솔루션 원격 인프라 모니터링 시스템
	미국	Caterpillar	MINESTAR	광산 작업 인력 및 장비 안전 관리
	미국	GE	CAS	중장비 충돌 방지 시스템
	영국	MST	IMPACT Tracking System	지하 광산 통신, 자동화, 안전 관리 솔루션
	독일	INFSOFT	Tracking System	지상 또는 지하의 장비 및 인력의 위치 추적, 안전관리
	스위스	RealTrac	RealTrac UG	장비와 인력간 충돌 방지
	미국	IWT	SENTINEL	터널내 모니터링 및 통신 시스템 구축

[그림 2-25] Worldsensing社의 모니터링 시스템

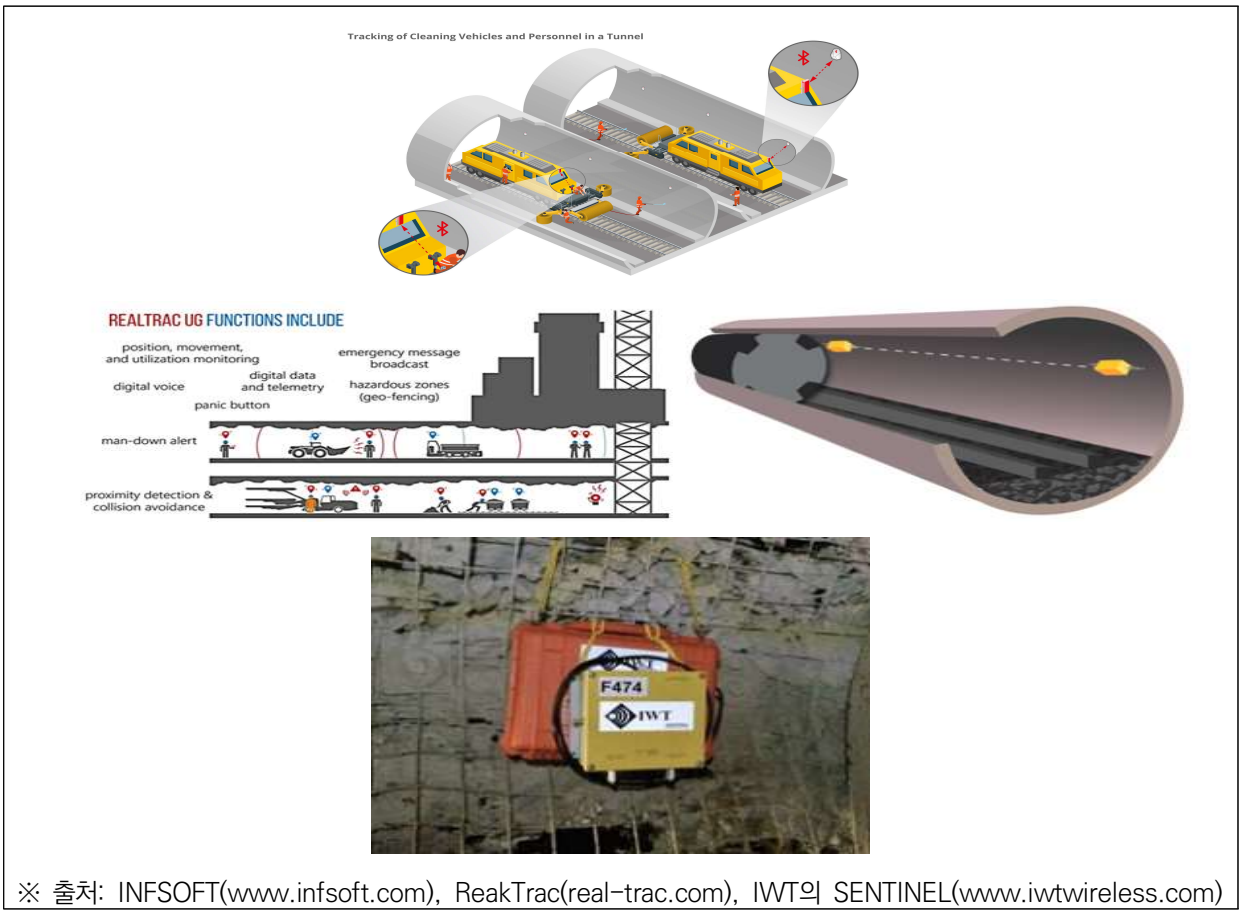


※ 출처: Worldsensing 홈페이지(www.worldsensing.com)

- 해외에서는 광산에서 무선통신 기술을 활용한 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술이 상대적으로 활발히 진행
- Caterpilar社는 광산에서 사용되는 장비와 인력을 관리하기 위하여 모니터링 시스템을 구축
- 실시간 사이클 타임, 화물 탑재량, 인력 및 장비의 이동과 개인간 통신, 근접 탐지 시스템을 적용하여 안전사고를 사전에 예방하는 기술을 적용

- 터널에 적용된 사례는 NATM 현장을 중심으로 적용되는 것으로 판단되며 실시간 위치 정보, 자산의 추적, 위험지역 확보, 유해 가스 모니터링 등 작업자나 장비의 위치 판단 등을 통해 빠른 구조 작업을 수행하는 것을 목적
- 특히 터널의 경우는 좁은 지역에서 인력과 장비의 이동이 이루어지기 때문에 상호간 충돌방지를 위한 시스템을 갖추는 데 중점을 두고 적용한 것으로 판단(INSOFT, RealTrac, IWT 등)

[그림 2-26] 모니터링 시스템의 터널 적용 사례



※ 출처: INFSOFT(www.infsoft.com), ReakTrac(real-trac.com), IWT의 SENTINEL(www.iwtwireless.com)

- 해외에 적용된 무선통신 기반 모니터링 시스템과 안전관리 시스템은 대부분 광산이나 NATM 터널에서 인력이나 장비의 위치추적, 관리, 충돌 방지, 환경 모니터링 등에 적용
- TBM에 적용된 기술은 기존에 지하에 적용된 기술 중 충돌방지 등 부분적인 도입이 시도된 적이 있으나 장비의 운영, 인력의 이동 및 공정 모니터링 등 TBM 터널에 적용된 연구는 제한적

□ 미국 및 핀란드에서 TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술 연구가 지속되고 있음

○ 미국의 화학회사 BASF社는 기획적인 차세대 굴착토 개량(Soil Conditioning) 첨가제를 개발

- 폼(MasterRoc SLF) 및 폴리머(MasterRoc SLP)는 액체 형태의 발포제 및 윤활성 중합체 즉 등급이 낮고 포화된 지반에 특히 유용, 투수성 감소, 커트헤드 및 스크류 컨베이어의 마찰 및 마모성을 낮춰 전력 소비와 도구의 마모를 크게 저감 가능
- 점착력이 큰 점토 지반에서 사용되는 폴리머(MasterRoc ACP)는 안정적인 폼을 생성, 막힘 및 부착 가능성을 줄이기 위해 설계되어 커터 헤드의 클로킹(Clogging) 및 점착(Adhesion)을 감소시키고 커터헤드의 토크를 감소시켜 TBM 굴진 속도를 증가시키는 등의 장점이 있음

- 암반용 Master ABR5는 디스크 커터 등 마모를 줄이고 분진 발생을 줄여 작업환경을 개선, 전반적인 TBM 굴진 속도를 증진시키고 유지보수 비용을 감소시켜 전체적인 공사비를 크게 감소 가능

○ 핀란드 Normet社는 최근 향상된 Soil Conditioning 기술을 도입하여 TBM 관련 제품을 지속적으로 개발 및 개선

- Normet의 연구 및 개발팀은 고성능 친환경 폼제(계면활성제) 및 폴리머 등의 전체 제품군의 성능 향상을 위해 기존 TamSoil 제품군은 기존 제품에 비해 TBM 커터 헤드 토크를 효과적으로 감소시킬 수 있어 굴착 도구 및 스크류 컨베이어의 마모를 최소화하고 개량된 굴착토의 유동 특성을 크게 개선하여 TBM 시공 효율을 극대화 기대
- 점착력이 큰 점토 지반에서 사용되는 폴리머(MasterRoc ACP)는 안정적인 폼을 생성, 막힘 및 부착 가능성을 줄이기 위해 설계되어 커터 헤드의 클로킹(Clogging) 및 점착(Adhesion)을 감소시키고 커터헤드의 토크를 감소시켜 TBM 굴진 속도를 증가시키는 등의 장점이 있음

〈표 2-14〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
EPB-Type 전용 각종 첨가제의 상용화	상용화된 EPB-Type TBM 전용 첨가제			
	미국/ 핀란드	BASF/Normet	MasterRoc SLF, SLP, ACP/TamSoil 등	일반적인 EPB-Type TBM 전용 첨가제로 TBM 굴진성능을 향상시킴

□ 뒤채움 상태 평가에 대한 자동화 장비 및 선진 평가 사례는 없으며 해당 분야의 연구가 지속되고 있지 않은 상태

○ 시공 중 주입압과 주입량을 통해 뒤채움재의 상태를 평가하는 방식은 뒤채움재가 손실되어 뒤채움재의 양이 과도하게 사용되어도 주입압이 증가하지 않는 문제가 있으며, 운영 중인 터널의 경우 뒤채움 상태에 대한 평가가 이루어지지 않고 있음

- Impact Echo (IE) 및 Ground Penetration Radar (GPR)을 이용하여 뒤채움 상태를 평가한 사례가 있으며, 일본의 경우 통신케이블과 하수관으로 사용되는 길이 2.3km, 직경 5m 터널의 뒤채움 품질 검사에 교토대학교 연구진이 IE 방법을 이용
- 기존의 코어 회수(Core Drilling)을 통한 방법에 비해 측정 횟수 및 위치에 대한 제한이 적으며 비파괴 방법이라는 이점을 가짐. 그러나 자동화된 장비가 없고, 현장에서 실험 후 후처리 작업이 요구되어 현재 세그먼트 직경, 두께 등에 따라 분석할 수 있는 기술은 없음
- 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술은 일본을 중심으로 실제 현장에서 적용된 바 있으나 그 노하우는 일본 외에는 전해지지 않았음
- 중국의 경우 2007년 상하이에서 GPR을 이용하여 뒤채움 상태를 평가하고자 하였고, 20MHz의 주파수가 GPR 검사방법을 이용할 때에 알맞다는 결론을 도출
- 공동 여부는 확인이 가능하나 자동화 평가는 불가능한 실정, 뒤채움의 품질을 확인하기에는 여전히 어려움 있음

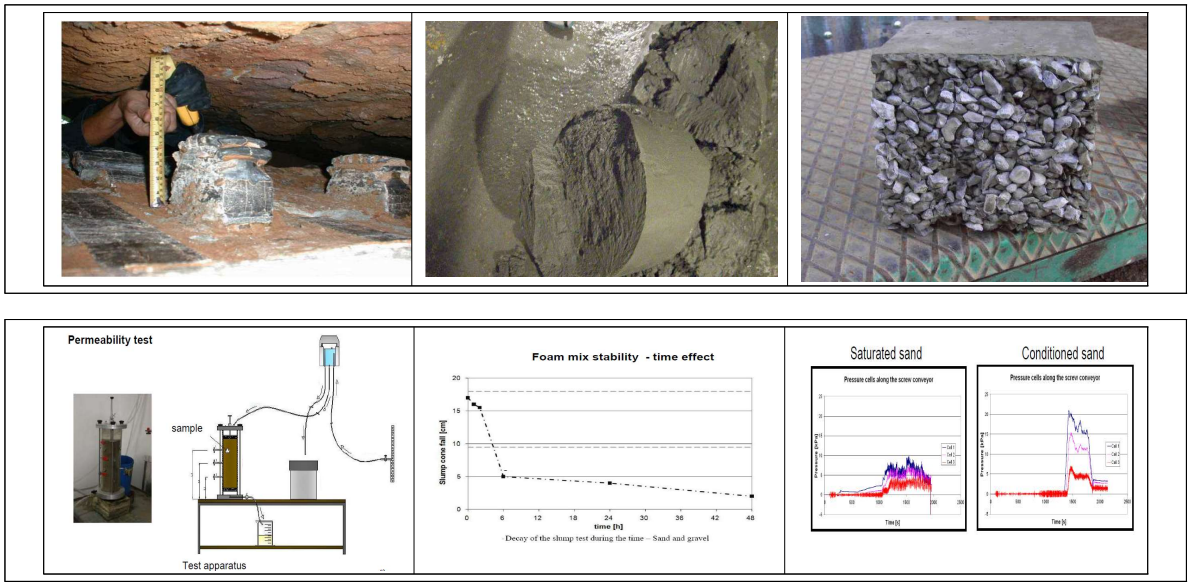
- 10cm 미만의 UGM(Uncompensate Grout Mortar), 10-30cm 사이의 NGM(Normal Grout Mortar), 그리고 30cm 이상의 OGM(Overcompensated Grout Mortar)에 대해 실험 수행
- 라이닝두께(35-100cm)와 구라우트에 관한 국한된 정보만 연구되었으므로 다양한 지반 조건에 사용하기엔 한계가 있음

□ 일본 및 중국에서 뒤채움 그라우트재에 대한 연구가 진행되고 있어 해당 분야의 데이터, 기술력, 경험이 축적되고 있는 상태

○ 뒤채움 그라우트재는 일본의 경우 지진 발생이 빈번한 내부 상황으로 지반 안정화 및 장기적인 안정성을 화곱하기 위한 다양한 지반보강용 재료 및 시공기술이 발달되어 있고, 최근 중국에서 TBM 기술개발에 정부의 전폭적인 지원으로 상당한 기술력과 경험 축적

- 무기계 가소성 그라우트는 유럽 등 해외의 경우 글로벌 규모의 제조업체에서 주도적으로 연구를 진행하고 있어 시험장비부터 현장적용, 성능평가까지 가능한 수준으로 예상
- 국외의 경우 그라우트로서 시멘트 페이스트계, 모르타르계, 기포제, 굴착토 재활용, 유기계, 규산계 등 다양한 재료 및 시공장비에 대한 기술이 국내에 비해 발달된 상태
- 뒤채움 그라우팅 재료의 성능, 특성 및 주입방법에 따라 주위지반과 세그먼트에 미치는 영향까지 체계적으로 연구되고 있는 것으로 파악

[그림 2-27] 해외 Backfill Grouting 연구



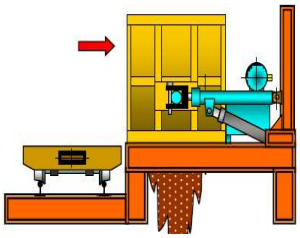
□ 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반 시스템에 대한 연구 사례가 있으며 버력적재함의 대용량화, 덤핑방식 다양화에 주력하고 있음

○ EPB TBM 폼(Form)제 함유 굴착 슬러리 재활용을 위한 음이온 계면활성제 활용 사례 보고(Caracciolo et al. 2021)

○ 굴착토 세척 후 분류하여 자갈 입자들을 건설 골재로 활용(Voit and Kuschel 2020) 하거나 콘크리트 혼합 사례(Voit et al. 2020)가 보고

○ 일본의 경우 버력적재함 대용량화, 배토방식의 개발, 현장 작업 조건에 대한 덤핑방식의 다양화에 주력하고 있음

〈표 2-15〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

적재함 밑열림 배토식	적재함 분리 배토식	적재함 회전식
		

〈표 2-16〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
적재함 대용량화	적재함 밑열림 배토식, 측면 배토식			
	일본	ACTIO	광차	적재함 및 배토구조

- 유럽의 경우 버력적재함 대용량화에 주력하고 있으며, 시멘트밀크 운반용 소용량 탱크 및 침전 방지를 위한 교반장치가 장착

〈표 2-17〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

적재함 밑열림 배토식	적재함 밑측면 배토식	적재함 회전식
		

〈표 2-18〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
적재함 대용량화	적재함 배토방식, 대용량화		
	독일	MUHLHAUSER	광차

- 중국의 경우 버력적재함 대용량화에 주력하고 있으며, 시멘트밀크 운반용 소용량 탱크 및 침전 방지를 위한 교반장치가 장착

〈표 2-19〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

20m3 이상 대용량 적재함	적재함 회전식	시멘트밀크 운반차량
		

〈표 2-20〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
적재함 대용량화	적재함 배토방식, 대용량화		
	중국	CREG	광차

【대한민국】

□ TBM장비의 파손/고장이 발생하면 그 위치와 원인을 인력 중심 육안으로 확인·평가함으로 인해 시공 지연 발생 중

○ TBM 장비의 파손/손상을 육안으로 식별하는 것이 매우 어렵기 때문에, 진단과 위치파악에 시공 지연시간(downtime)의 70~90%가 소요

- 일부 현장에서는 TBM에 사용되는 커터 소모비용과 교체시간이 전체공사의 각각 30% 및 20~40%를 차지

※ 출처: Li, J. et al.(2019), Application and outlook of information and intelligence technology for safe and efficient TBM construction, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol., 93, 103097

○ 그럼에도 불구하고 TBM장비에 파손/고장이 발생하면 인력에 의해 그 위치와 원인을 육안으로 확인·파악하는 사후정비 방식의 수동체계로서 TBM 시공지연의 주된 요인으로 지적

□ **한국건설기술연구원에서 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발 연구 수행 중**

○ 데이터와 머신러닝 기술을 활용하여 시공과정 및 주변 환경에 대한 불확실성의 리스크를 감소시키는 기술 개발 진행

- 지반/굴진데이터를 활용하여 TBM장비 운전을 자동화하고 전방 예측
- TBM 시공 리스크를 분석함으로써, TBM 시공 중 발생하는 오퍼레이터의 저숙력, 굴진면 전방 불확실성 등에 대한 대비

□ **현대건설에서 지반에 따라 굴착속도 향상 위한 최적운전 지원 시스템 연구 수행 중**

○ 각기 다른 지층, 암층의 상황에 적합하게 운전하여 최고의 굴착속도를 낼 수 있는 최적 운전시스템(TADAS, TBM Advanced Driving Assistance System)을 자체 개발

□ **SK건설에서 지질 및 암반 강도 예측 시스템 연구 수행 및 TBM 제어파라미터 결정 방법을 보유하고 있음**

○ TBM 기계데이터를 이용한 실시간 전방 지질 예측 및 굴진 면 암반의 강도를 유추하는 기초 연구 수행

○ TBM 사양 및 운전자 이력을 고려한 최적 운전 파라미터 도출 수행

□ **제품 생산 공정 라인에 적용하기 위해 학교에서 고장진단 프로그램 연구가 추진되고 있음**

○ 서울대: 배터리, 자동차, 항공기, 플랜트 부품 등의 고장진단 프로그램 연구개발 중

○ 항공대: 항공기 동체균열, 감속기/베어링 등 기계부품 결함/열화에 대하여 PHM 연구 중

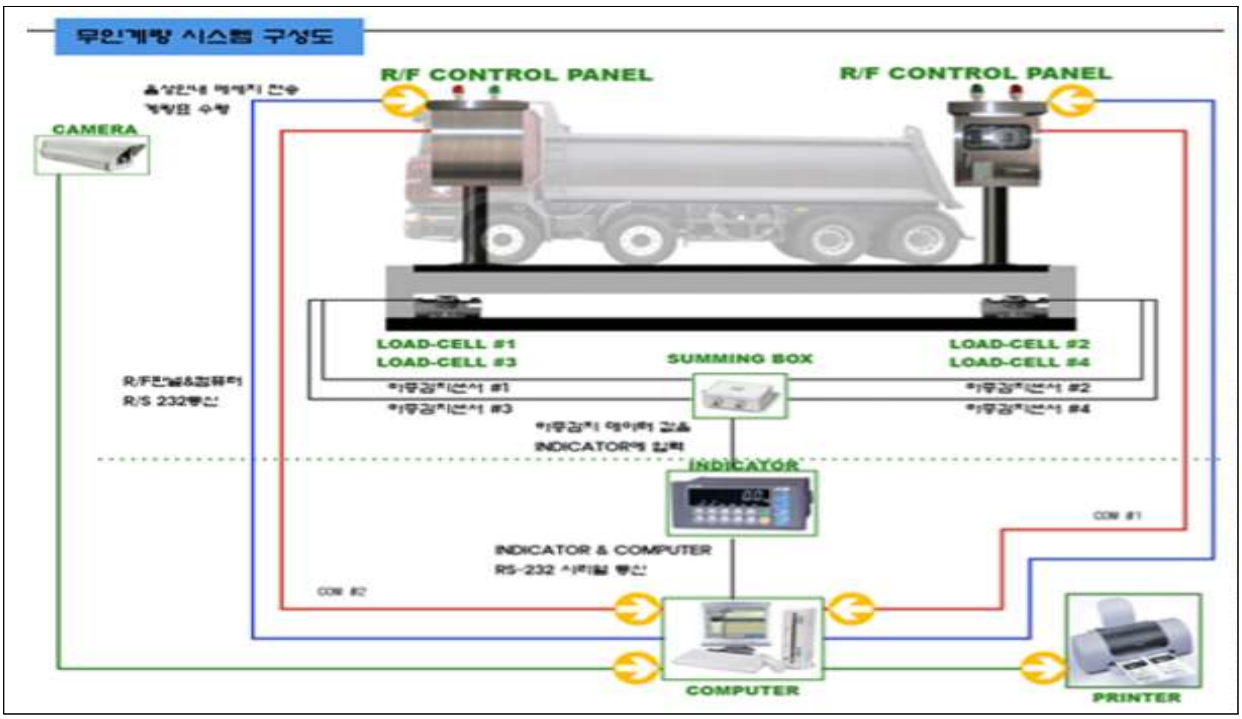
○ 부경대: 회전계 부품의 결함진단/예지연구 진행 중

□ **국내 TBM 안전성 검토 사례 및 TBM 현장 장비 연구에 관한 연구는 미미한 상태**

○ 쉴드TBM 현장에서 굴착토의 발생 현황을 고려하여 시공관리를 하거나 안전성 검토를 한 사례가 거의 없었으며, 따라서 관련 센서의 개발도 거의 진행되지 않음

- 00 기업: 이미 TBM 운용 중 사고가 발생한 상태에서 추가적인 사고를 방지하고자 굴착토의 부피를 덤프무게와 같이 측정한 바 있으나 덤프에 의한 굴착토 반출시 무게를 측정하여 다시 부피로 환산하는 방법으로 기술 수준이 낮고 실시간 굴착토 부피 측정과는 거리가 있음
- 한양대학교: NATM 터널 대상으로 연구를 진행했으며, 사용된 데이터 수가 제한적이라 방법론적 제시에 머무름

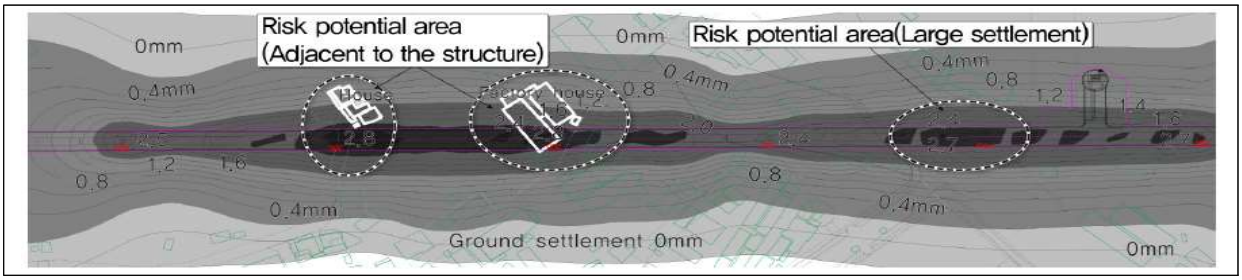
[그림 2-28] 계근대에 의한 굴착토 중량측정 예



○ 최근 쉴드TBM 굴착에 의한 지반침하에 대한 조사결과 분석, 매개변수 해석 등 다양한 학술적 연구가 진행되었으나 국외에 비하여 연구 저변이 취약

- 서울시는 최근 지반침하를 유발하는 지하 공동을 기존의 5배 속도로 빠르게 탐색하는 AI 기반 공동 자동분석 프로그램을 개발하였으며, GPR(지하레이더)의 측정 결과를 AI기반으로 분석
- 박치면 등(2018)은 지층조건, 지반특성, 토피고(터널심도) 및 터널 중심선으로부터 횡방향 이격거리를 고려한 매개변수해석을 수행하여 침하량 평가도표를 도출하고, 침하발생 경향 및 구조물 현황을 고려한 위험구간 선정이 가능
- Kim et al.,(2001)은 인공신경망(Back Propagation)을 이용한 터널굴진중 지표 침하량 예측을 통하여 NATM에서의 역전파 알고리즘으로 지표 침하를 예측하는 연구를 진행
  - NATM 터널을 대상으로 하며, 데이터가 130여개로 제한적이라 대표성 있는 알고리즘으로 사용하기에는 미흡

[그림 2-29] Ground settlement evaluation by simplified settlement evaluation chart (박치면 등, 2018)



○ 쉴드TBM의 굴착위험도 관련 연구는 국내에서 오히려 활발하나 지반침하 등을 연계하여 종합적으로 굴착리스크를 분석하고 관리하는 시스템은 개발된 바 없음

- 국토교통부는 지반침하를 사전에 예방하고 사고발생 시 체계적이고 신속하게 대응하기 위하여 지반침하(함몰) 안전 관리 매뉴얼(2015)을 제시

□ **국내 산·학 공동 연구를 통해 굴착토 개량(Soil Conditioning) 및 지반 보강 기술에 관한 연구를 수행했으나 결과는 미미한 상태**

○ TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 연구 현황

- 현대건설과 고려대학교에서는 실험실 규모의 EPB-Type TBM 굴진을 모사한 시험장비를 고안하여 인공 사질토 지반에서 일련의 굴진시험을 통해 폼 주입비(FIR), 폼 팽창비(FER) 등의 폼 주입변수(Form Injection Parameter)의 영향을 정성적으로 파악
- 고려대학교에서는 실내시험을 통해 화강풍화토 지반에 적합한 폼/폴리머 배합을 제시, 평가하기 위해 간편 시험법 등을 제안과 화강풍화토 시료에 대하여 슬럼프 시험에 의한 슬럼프 차와 낙하 콘 시험에서의 콘 관입 깊이의 높은 상관관계를 제시
- 굴진면 임시 그라우팅 기술은 국내에서 수행된 바가 없음
- 한국전력과 인하대학교가 협력하여 IE를 이용한 터널 외부면 공동 탐사 장치를 개발하여 전력구 터널의 뒤채움 상태를 평가하려는 시도가 있었음
- 시험시간이 길어 효과적으로 현장에 적용하기 어려움이 있고, 대구경 세그먼트의 뒤채움 평가에 적용한 사례는 없는 실정

○ 국내의 경우 전력구 등의 소구경 터널적용이 대부분으로 2010 이후 중점적으로 관련 연구가 시작되었으며 후발주자로써 TBM 커터헤드 설계, 제작 기술, 디크스커터와 세그먼트 라이닝의 고성능화 기술 등을 확보하고 연구를 지속적으로 수행 중

- 시멘트 페이스트, 규산계 그라우트를 이용하여 시공이 진행되고 있어 지하수에 의한 유실, 장기적 내구성 저하 등의 문제점이 여전히 존재하고, 재료, 시공분야의 기업들을 자체적으로 연구를 진행하고 있는 수준으로 데이터 축적이 미미하고 현장 적용이 어려움
- 국내의 경우 TBM 시공과 관련해서는 선진국에 비해 낮은 수준으로 시공 후 유지관리 분야보다는 시공 분야에 관심이 집중된 상태

□ **고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 시스템 연구가 진행된 사례가 있으나 사업화 단계까지 어려운 상태**

○ 터널 굴착시 발생하는 버력 재활용을 위한 실험 연구(김완영 2006) 또는 EPB TBM 굴착토의 골재 활용을 위한 기술 관련 연구(문성용 등 2008) 사례가 있으나, 확실한 대안 기술개발이 이뤄지지 못함

○ EPB 쉴드TBM 굴착시 발생되는 굴착토/버력을 운반하는 차량의 제조사는 없으며, 광산용 소형(4m3미만) 운반 차량만 제조 가능

〈표 2-21〉 고함수비 굴착버력 고화처리/운반기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
국내 전문제조사	해당없음		
	해당없음	해당없음	수입 및 해외 전문제조사 OEM위탁

(4) 종합분석(PEST)

〈표 2-22〉 PEST 분석결과 요약

PEST	환경분석	시사점
정책 동향	○ (국외) 주요국에서 터널건설분야 시공·설계 기술 강화를 위해 연구개발 및 사전에 위험요인을 예방할 수 있는 체계 구축 등을 추진 - (EU) 지하터널 시공 과정에서 교통혼잡 및 오염·소음, 균열을 줄이기 위해 11개국, 41개 산·학·연 기관이 모여 프로젝트 추진 - (중국) '02년부터 정부 주도하에 '국가 863 계획 사업'을 수행하며 TBM 연구개발 지원 및 시장 확대를 추진	■ 정부의 정책적 방향 및 계획에서 필요로 하는 기술개발 및 제도개선 필요 - TBM 시공과정에서 교통혼잡 및 소음, 건물 균열 등 사회적 문제 최소화를 위한 기술 개발 필요 - 숙련인력 감소 대응 및 안전성을 높이기 위해 TBM장비의 지능화 필요 - TBM 시공에 있어서 활용 가능한 Big data 기반의 표준화 플랫폼 구축 필요 ■ TBM 시공 과정에서 발생하는 건설폐기물을 효율적으로 친환경처리 가능한 기술 개발 필요
	○ (국내) TBM 기술개발을 통해 노동생산성 향상 및 편의성 증대를 위한 계획 수립 - 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27)」을 통해 TBM 원천기술 확보 및 인프라 건설 추진 - 「제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)」을 통해 노동집약적 건설산업이 아닌 Big data기반 신사업 육성 - 「제1차 자원순환기본계획('18~'27)」을 통해 국내 건설폐기물의 10%(약 1만 7천 톤/일) 감축을 목표로 친환경적인 시공 추진	
경제 동향	○ TBM을 통한 지하터널 건설의 장점이 확산되면서 전 세계적으로 TBM 기술 수요가 증가 중인 추세 - 전 세계 터널 프로젝트 예산은 '13년부터 '16년까지 23%가 증가되었으며, 현재 진행 및 계획 중인 전 세계 프로젝트는 1,527조 원 규모로 추정 - TBM 관련 기술 시장은 국외 소수 TBM 제조사가 글로벌 시장을 점유하고 있어 높은 진입 장벽이 존재하는 상황	■ 해외 시장에서 터널 시공 분야는 발주가 많고 높은 수익성을 낼 수 있는 분야이므로 첨단 기술과 융복합 가능한 기술개발을 통해 경쟁력 확보 필요
	○ 인력 중심의 TBM 장비 고장 위치 파악 및 점검이 시공 지연의 대부분을 차지하고 있으며, 이로 인해 시공 비용이 증가하고 있는 상황 - TBM 장비진단 및 파손/손상 위치 파악이 시공 지연시간의 70~90% 차지 ○ 현재 터널 발주 제도는 NATM 방식에 적합한 단거리 분리발주로 되어 있으며, 이로 인해 TBM 활용이 1% 수준으로 저조한 상황	■ 공정기간 단축 및 생산성 증대를 위해 터널건설 공법의 지능화 필요 - TBM 장비 진단 및 손상 위치 파악을 단시간에 수행할 수 있는 신기술 도입 필요 ■ TBM 공법의 경제적 효용성 강화를 위해 터널 발주 제도 개선 필요 - 발파 시 소음, 진동, 건물 균열 등 도심 내 터널 공사에는 부적합한 NATM 방식을 TBM으로 원활하게 전환할 수 있도록 분리 발주 제도에 대한 개선이 필요

PEST	환경분석	시사점
사회 동향	○ TBM 터널건설 주변 지역 피해를 예측하지 못해 민원 발생 후 사후 대응해야 하는 상황 발생 - 시공 작업 중 발생한 낙석과 연마석 파편으로 인해 심각한 인명 피해가 빈번하게 발생 - 발파진동으로 인한 주변의 노후 건물 균열 및 가스관 타격과 같은 위험시설 파손 유발	■ TBM 시공 현장 주변의 안전성 확보를 위한 예측 시스템 기술 개발 필요 - TBM 시공 현장 예측 데이터 분석을 통한 위험도 평가 및 주변 지반 모니터링 기술 개발 필요
	○ 국내 도심에서 다수의 터널 굴착 공사가 진행됨에 교통체증 유발 - 발파 및 긴 공사기간에 따른 사회적 비용 발생	■ 터널공사 기간 단축을 위해 노동집약적 터널 건설 방식에서 TBM 방식으로의 전환 유도
기술 동향	○ (국외) 영국, 중국, 스페인 등에서 범국가적 차원으로 지반 역학 정보, 장비 상태 모니터링 기술 등 다양한 정보를 표준화하는 TBM 통합 관리시스템 인프라 구축 진행 중 - 원격 자가진단 시스템, 무인 굴착 제어기술 등 TBM 시공 분야 연구에서 나온 데이터를 DB화하여 기술력 증진에 힘쓰고 있음	■ TBM 시공 효율화 및 작업 현황 모니터링을 위해 다양한 데이터를 표준화하여 통합 관리하는 시스템 구축 필요 - 데이터 수집/저장/분류/접근/보안을 고려한 TBM 통합정보관리 시스템 개발 필요
	○ (국외) AI를 활용한 기술을 TBM 연구에 접목하는 사례 증가 - 굴진 중 침하량 예측, 지반 거동 예측 등 TBM 시공 주변 환경 예측에 대한 연구가 활발히 진행 중 - ICT, 인공지능이 융합된 기술 형태로 R&D를 진화시키고 있음	■ 터널 굴착 과정에서 발생하는 문제 해결을 위해 AI 및 인공지능을 활용한 TBM 시공 주변 환경 위험도 분석 필요
	○ (국내) 머신러닝 기반 터널 시공 자동화 분야 연구를 수행 중 - 데이터와 머신러닝 기술을 활용하여 전방 예측 장비 자동화 연구 수행 중	■ 머신러닝을 활용한 TBM 시공 예측 정확도 향상을 위해 다양한 데이터 수집이 필요하므로 국가적 투자 필요

4) 국내 R&D 역량분석

(1) 국가연구개발사업과 국토교통 R&D

□ '20년 국가연구개발사업의 예산은 24조 2,195억 원으로 전년대비 약 18.0%가 증가했고, 연구개발을 통해 지속가능한 성장기반 강화 및 핵심기술 자립화를 추진 중

○ 소재·부품·장비 분야에 집중투자(1조 7,206억 원)하여 소재·부품·장비 분야 핵심 품목의 특정 국가 의존도를 낮추고, 제품 국산화를 촉진하기 위한 기술개발-인프라 전주기 지원을 강화

- 소재·부품·장비 분야에 대해서는 「장·단기 기술개발→시제품제작→성능·양산평가→설비투자 자금 공급」의 전주기 지원 및 대기업 등 수요기업과 협력개발을 지원하여, 상용화를 앞당기고 판로 지원

○ 건설·교통·안전 분야 R&D에는 지난 5년간 매년 7~8천억 원 가량의 예산이 꾸준히 투자되고 있는 상황

○ '20년 국토교통 R&D는 국가연구개발사업 총 예산의 약 2.2%로 5,247억 원의 예산이 투자되었으며 매년 지속 증가 추세

[표 2-23] 국가연구개발사업과 국토교통 R&D 사업의 투자 동향

[단위: 억원]

구분	국가 R&D	건설·교통·안전 R&D	국토교통 R&D
2016	190,942	7,649	4,075
2017	194,615	7,663	4,329
2018	196,681	8,209	4,667
2019	205,328	7,388	4,822
2020	242,195	7,540	5,247

※ 출처 : 한국과학기술기획평가원. (2020). 2020년도 정부연구개발예산 현황분석, 국토교통과학기술진흥원, 연도별 국토교통연구개발사업 시행계획 참고하여 재가공

(2) TBM 관련 투자동향

□ 분석 개요

○ (목적) 우리나라는 고부가 메가스트럭처(교량, 터널 등) 건설 및 고효율 시공에 대해 지속적으로 투자해왔으며 TBM 관련 정부 R&D 투자동향 분석을 통해 국내 연구개발 역량 진단의 참고자료로 활용

○ (조사범위) 최근 5년('16~'20년)간 국가연구개발 사업 및 과제

○ (검색범위) TBM 관련 R&D 사업과 과제를 검색하기 위해 다음의 기술분류에서 아래의 검색어를 활용하여 검색

○ (검색어) TBM, 굴착, 굴진, 터널, Tunnel, boring machine, 공동구, EPB, Slurry, EPB TBM, Slurry TBM

○ (분석항목) 연도별, 부처별, 연구단계별, 수행기관별, 적용처별 정부 R&D 출연금 및 과제 수

□ 연도별 투자 동향

○ '20년도 정부 R&D 예산(24조 2,000억원) 중 국토교통 R&D 사업 예산은 5,247억원으로 2.2%를 차지하고 있으나, TBM 관련 기술 개발에 대한 투자액은 43억원으로 0.02%*에 불과

* 정부 R&D예산 중 TBM 관련 기술 개발 투자 비중은 0.0178% 차지함

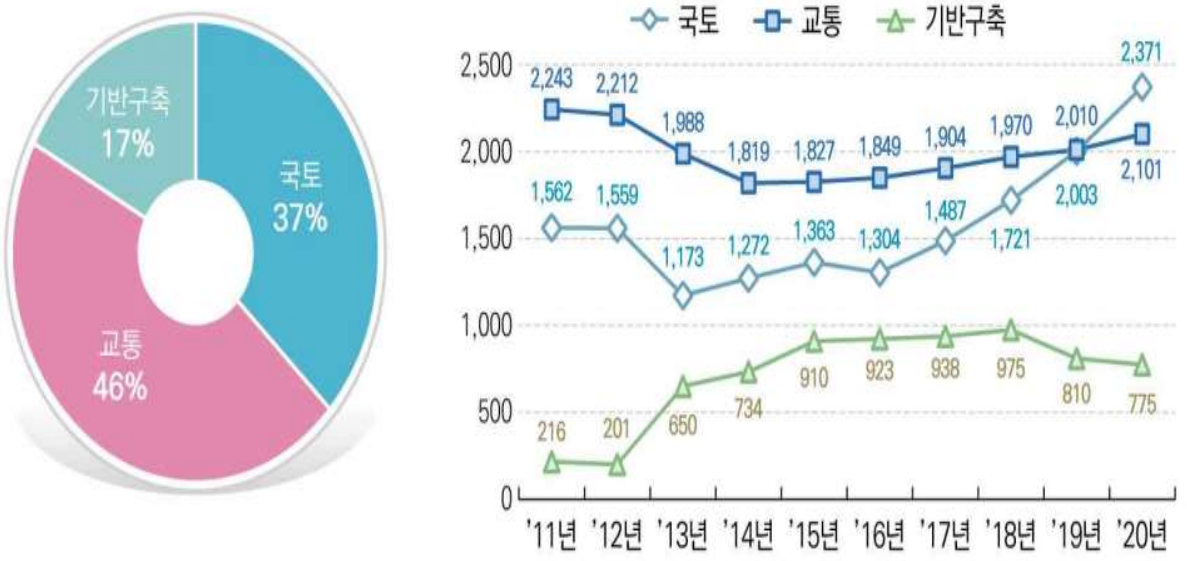
[그림 2-30] 연차별 정부 및 국토교통 R&D 투자 규모



※ 출처 : 국토교통부. (2019.02). 2020년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획

- 국토교통 R&D 중 최근 10년간('11년~'20년) 투자비중은 교통(46%), 국토(37%), 기반구축(17%) 순으로 투자

[그림 2-31] 분야별 투자비중 및 분야별 투자추이



※ 출처 : 국토교통부. (2019.02). 2020년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획

- 국토분야, 교통분야 및 기반구축분야의 핵심 기술 개발에 꾸준히 투자하였으나, TBM 관련 기술에 대한 투자는 전반적으로 미흡

□ 부처별 투자동향

○ 최근 5년간('16~'20) 부처별 R&D 투자현황을 살펴보면 국토교통부가 94.16%를 차지하며, 가장 많은 투자를 수행

- 부처별 R&D 투자 비중은 국토교통부(94.16%)가 월등히 높게 나타나고 산업통상자원부(3.45%), 교육부(1.25%)와 과학기술정보통신부(1.15%) 순으로 비중을 차지
- '16년 국토부의 예산이 '17년 증가했다가 '19년에 감소하는 경향을 확인

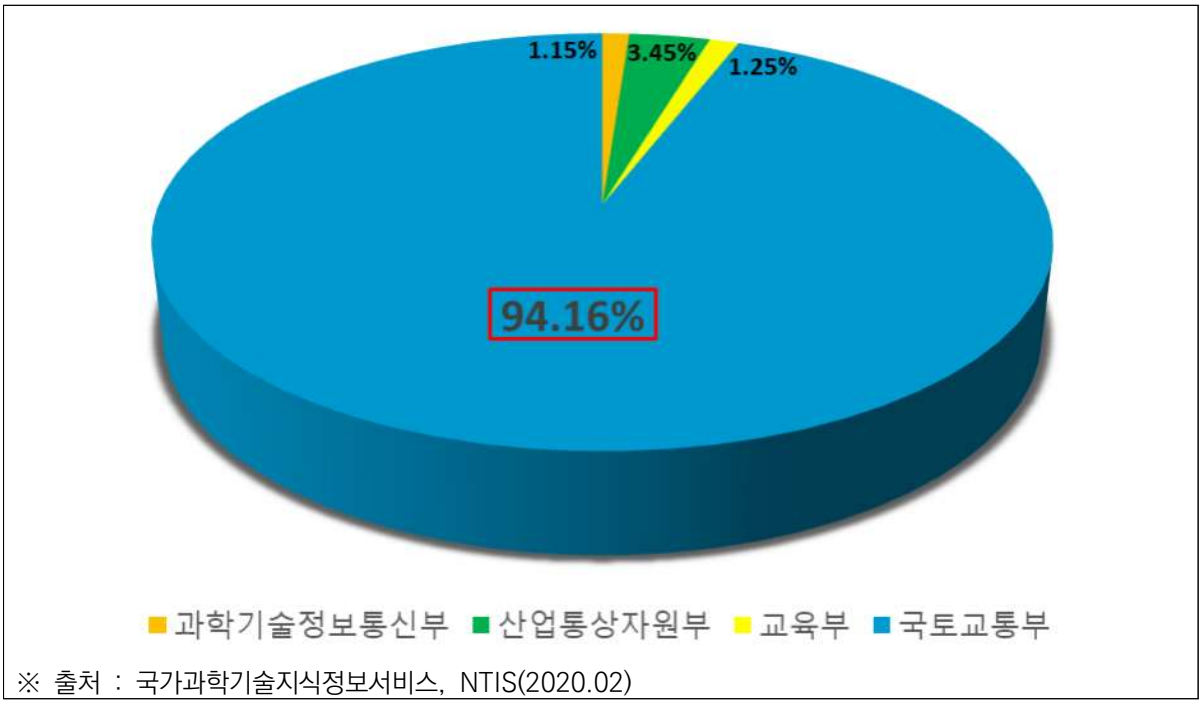
〈표 2-24〉 부처별 TBM 관련 분야 R&D 예산 투자 현황

(단위: 백만 원, %)

부처명	'16	'17	'18	'19	'20	합 계	비 중
국토교통부	4,221	9,680	9,737	6,434	6,704	36,776	94.16
과학기술정보통신부	-	-	95	167	186	448	1.15
산업통상자원부	673	673	-	-	-	1,346	3.45
교육부	34	40	175	100	138	487	1.25
합계	4,928	10,393	10,007	6,701	7,028	39,057	100

※ 출처 : 국가과학기술지식정보서비스, NTIS(2020.02)

[그림 2-32] 부처별 TBM 관련 분야 R&D 연도별 투자 비중



※ 출처 : 국가과학기술지식정보서비스, NTIS(2020.02)

○ 국토교통부 및 산업통상자원부는 타 부처에 비해 대형 R&D 과제 위주로 투자

- 국토교통부는 총 212억 원의 15개 과제를 지원하고 있으며 과제당 평균 연구비는 13억 원 수준
- 과학기술정보통신부는 총 4억 원의 2개 과제, 교육부는 총 4억 원의 6개 과제, 산업통상자원부는 총 9억 원의 1개 과제를 지원

○ '16년부터 '20년까지 국토교통부가 가장 많이 TBM 관련 분야 정부 연구비와 과제수를 투자하였고, 과제당 평균 연구비도 높게 나타남

〈표 2-25〉 부처별 TBM 관련 분야 R&D 과제당 평균 연구비 현황

(단위: 백만 원, 건)

구분	정부 연구비	과제수	과제당 평균 연구비
국토교통부	21,209	15	1,326
과학기술정보통신부	448	2	224
교육부	407	6	68
산업통상자원부	900	1	900

※ 과제 수 상위 4개 부처의 정부 연구비, 과제 수를 분석

※ 출처 : 국가과학기술지식정보서비스, NTIS(2020.02)

□ 연구단계별 투자 동향

○ '16~'20년의 기간 동안 개발연구 단계의 R&D에 가장 많은 투자가 이루어져 왔으며, 그 뒤로 기초연구, 응용연구 단계 순으로 투자

〈표 2-26〉 터널굴착장비 관련 분야 연구단계별 R&D 예산 투자 현황

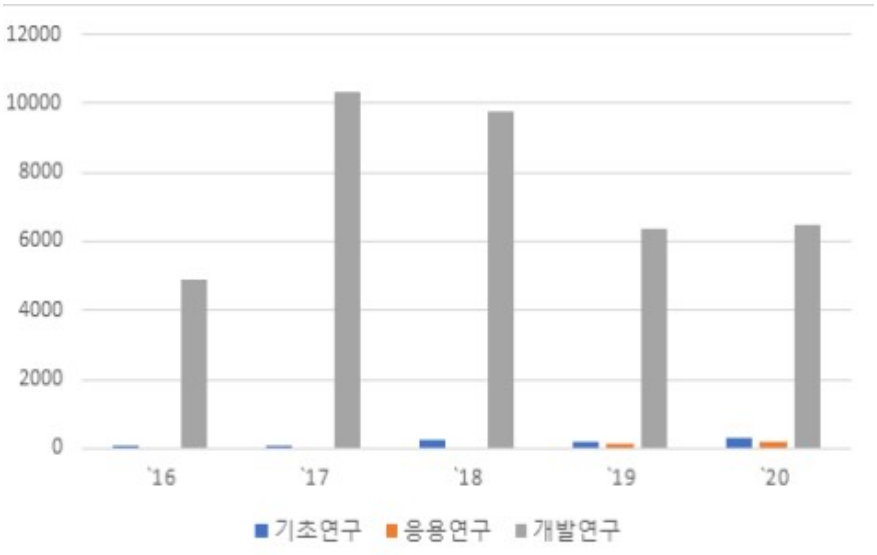
(단위: 백만 원)

구분	`16	`17	`18	`19	`20	합 계
기초연구	34	27	243	197	324	825
응용연구	-	-	-	160	200	360
개발연구	4,894	10,353	9,737	6,344	6,504	37,832
합 계	4,928	10,380	9,980	6,701	7,028	39,017

※ 출처 : 국가과학기술지식정보서비스, NTIS(2020.02)

[그림 2-32] 연구단계에 따른 터널굴착장비 관련 분야 R&D 예산 투자 현황

(단위: 백만 원)



※ 출처 : 국가과학기술지식정보서비스, NTIS(2020.02)

○ 국토교통부의 투자에서는 개발연구의 비중이 높고, 일부 응용연구에도 투자가 되었으며, 산업통상자원부는 개발연구 분야 투자, 과학기술정보통신부는 기초연구 위주로 TBM 분야에 투자 해왔던 것으로 분석

- 교육부 또한 TBM 분야 기초연구에 예산을 투자한 것을 확인

〈표 2-27〉 부처별 연구단계에 따른 관련 분야 R&D 예산 투자 현황

(단위: 백만 원)

구분	기초연구	응용연구	개발연구
국토교통부	-	360	36,417
과학기술정보통신부	378	-	70
교육부	447	-	-
산업통상자원부	-	-	1,346
합 계	825	360	37,832

※ 출처 : 국가과학기술지식정보서비스, NTIS(2020.02)

□ 연구수행주체별 투자 동향

○ 산업체 49.9%, 출연연 46.78%, 대학 3.32% 순으로 투자 비중을 차지하였으며, 최근부터 산업체에 대한 투자는 감소하고 대학은 꾸준하게 증가하고 있는 것을 확인

〈표 2-28〉 수행기관별 TBM 관련 분야 R&D 투자 현황

(단위: 백만 원, %)

구분	`16	`17	`18	`19	`20	합 계	비 중
대학	34	40	270	427	524	1,295	3.32
출연연	1,659	5,194	3,377	4,130	3,899	18,259	46.78
산업체	3,235	5,159	6,360	2,144	2,605	19,503	49.90
합 계	4,928	10,393	10,007	6,701	7,028	39,057	100

※ 출처 : 국가과학기술지식정보서비스, NTIS(2020.02)

□ **최근 5년간('16~'20) 부처별 TBM 관련 추진 사업별 과제의 세부현황은 다음과 같이 과제를 진행한 것을 확인**

○ [산업통상자원부]

순번	사업명	내역사업명	과제명	기준년도	정부예산 (백만원)	수행 주체	개발 단계
1	소재부품 기술개발	융복합소재부투자	75kW급 TBM Cutter Head 구동용 유성감속기 개발	2017	450	이엠 코리아	개발 연구
2		자연계형 기술개발품 개발		2016	450	이엠 코리아	개발 연구

○ [교육부]

순번	사업명	내역사업명	과제명	기준년도	정부예산 (백만원)	수행 주체	개발 단계
1	이공학학술 연구 기반구축	이공분야 학문후속세대양성 (박사 후 국내연수)	고수압조건에서 TBM 디스크 커터의 암석절삭에 관한 연구	2016	34	서울 대학교	기초 연구
2			현지응력을 고려한 TBM 디스크 커터의 암석절삭 성능평가 및 기계굴착 효율 최적화연구	2018	45	서울 대학교	기초 연구
3			TBM 시공 시 지반, 시공, 장비특성에 따른 지반손실률 및 지반침하 특성 D/B구축	2018	27	한양 대학교	기초 연구
4		학문후속세대양성		2017	13	한양 대학교	기초 연구
5	개인기초연구	기본연구지원사업 (SGER)	머신러닝 기법을 이용한 쉴드 TBM 디스크 커터 수명 예측 모델 개발	2018	50	동국 대학교	기초 연구
6				2019	100	동국 대학교	기초 연구
7		기본연구(1년~3년)	TBM터널공사 중 실시간 기계데이터 모니터링 시스템의 개발	2020	38	경북대 학교	기초 연구
8		기본연구지원사업	머신러닝 기법을 이용한 쉴드 TBM 디스크 커터 수명 예측 모델 개발	2020	100	동국대 학교	기초 연구

○ [과학기술정보통신부]

순번	사업명	내역사업명	과제명	기준년도	정부예산 (백만원)	수행 주체	개발 단계
1	개인기초연구	중견연구 (총연구비 0.5억 이상~3억 이하)	쉴드 TBM 챔버 배토처리 향상을 위한 Soil Conditioning 기술 개발	2020	96	호서 대학교	기초 연구
2				2019	97	호서 대학교	기초 연구
3				2018	95	호서 대학교	기초 연구
4		(유형1-1)중견연구	터널 막장면 수압 및 유입수 저감을 위한 쉴드 TBM 챔버 그라우팅 기술개발	2020	90	건국 대학교	기초 연구
5				2019	70	건국 대학교	개발 연구

○ [국토교통부]

순번	사업명	내역사업명	과제명	기준년도	정부예산 (백만원)	수행 주체	개발 단계
1	건설기술연구	시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축기술	초장대 해저터널 계획을 위한 최적 지질/지반조사 기술 개발	2017	820	서울 대학교	개발 연구
2				2016	515	서울 대학교	개발 연구
3			해저터널 설계/시공 시 안정성 평가 기술 개발	2017	660	건국 대학교	개발 연구
4				2016	380	건국 대학교	개발 연구
5			해저터널 설계/시공을 위한 핵심 요소기술 개발	2017	2,486	고려 대학교	개발 연구
6				2016	1,754	고려 대학교	개발 연구
7		건설재료 개발 및 활용 기술	TBM 구동부 및 후방설비의 시스템 엔지니어링 기술개발	2017	530	이엠 코리아	개발 연구
8			TBM 운전·제어 시스템 및 커터헤드의 최적화 설계 기술 개발	2020	2,030	건설 기술 연구원	개발 연구
9				2017	426	건설 기술 연구원	개발 연구
10		건설기술연구	TBM 구동부 및 후방설비의 시스템 엔지니어링 기술 개발	2018	1,237	이엠 코리아	개발 연구

순번	사업명	내역사업명	과제명	기준년도	정부예산 (백만원)	수행 주체	개발 단계
11			TBM 운전·제어 시스템 및 커터헤드의 최적화 설계기술 개발	2018	1,011	건설 기술 연구원	개발 연구
15			TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어시스템 개발	2019	1,606	건설 기술 연구원	개발 연구
16			초장대 해저터널 계획을 위한 최적 지질/지반조사 기술 개발	2018	490	서울 대학교	개발 연구
17			해저터널 설계/시공 시 안정성 평가 기술개발	2018	380	건국 대학교	개발 연구
18			해저터널 설계/시공을 위한 핵심요소 기술 개발	2018	2,050	고려 대학교	개발 연구
			방호쉴드(TBM piolt NATM 확폭의 병행굴착)를 이용한 장대터널의 고속굴진 기술개발	2020	508	강릉 건설 (주)	개발 연구
			도심지 소단면 터널식 공동구 굴진율 예측기법과 급곡구간/특수지반 급속 시공기술 개발	2020	2,097	한국 전력 공사	개발 연구
			도로구조물 원격·자동화 시공 기술 개발	2020	1,869	건설 기술 연구원	개발 연구
19	국토교통기술 촉진연구	국토교통기술촉진 연구사업	언터커팅을 적용한 암반굴착장비의 기반기술개발	2020	200	서울 대학교	응용 연구
				2019	160	서울 대학교	응용 연구

구분	과제수행 건수	구분	과제수행 건수
기초	12건	부품기술	7건
응용	2건	운영기술	8건
개발	21건	분석기술	10건
계	35건	예측기술	10건
		계	35건

(3) TBM 관련 기술역량 분석

【 특허 현황 종합 】

ㅇ 국외 기업들은 본체 핵심 기술에 대한 특허를 잘 내지 않고 철저하게 비공개로 기술을 보유하고 있는 상황

ㅇ 국내에서는 TBM 본체의 직접 제작수준을 높이기 보다는 국외 수입에 전적으로 의지 중

ㅇ 국내 특허로는 크게 시공방법, 예측시스템, 장치개발, 설계방법, 커터개발, 부품개발로 구분 가능하며 그 중에서 시공방법에 대한 특허가 많이 등록 되어있는 것을 확인하였고, 장치개발과 예측시스템도 상당 수준 특허를 보유하고 있기 때문에 위와 같은 분야에서는 역량이 충분한 것을 확인

ㅇ TBM 관련 기술 분야 중 시공 분야의 국산 기술을 개발하여 TBM 선진국과의 기술 격차를 극복하고 시장에서의 경쟁력 확보 필요

□ 특허 동향 분석

○ 국내 TBM 기술 관련 특허

- 국내 TBM 관련 특허는 크게 시공방법, 예측시스템, 장치개발, 설계방법, 커터개발, 부품개발로 구분 가능
- 국내 TBM기술 관련 특허 중 시공방법이 전체의 38%로 가장 많이 있으므로 역량 가능성을 확인
- 국내에서 TBM 장비를 제작하기보다는 국외 수입을 통한 시공이 더욱 활발하게 이루어지고 있으며, 국외의 기술이 철저하게 비공개로 진행되어 벤치마킹을 통한 특허 출원이 어려움
- TBM 장비의 설계·제작이 가능한 국내 제작사는 4개업체 정도에 불과하지만, 시공사의 경우 대기업의 건설사가 다수 포진되어 특허의 비중은 시공방법에 중심적인 것으로 추정

○ 분석 배경

- 글로벌 TBM 관련 시장은 '10년 대비 '20년은 약 5배로 매년 20%씩 고성장 되어 온 주목 받는 시장이며, TBM 관련 산업은 복합기술의 고부가가치산업으로 파급효과 또한 높은 분야이나 국내 TBM 관련 시장은 외국 TBM 관련 기술과 본체 수입에만 의존하는 상황
- 기술개발과 국부 유출 심화를 막기 위해 기존 TBM 선도국의 기술력과 가격 경쟁력을 극복할 수 있는 국산화 기술 개발의 혁신이 필요한 상황

○ 분석 목적

- 본 특허동향조사는 국내 TBM 관련 기술의 지속 성장을 유도하기 위한 전략적 기획의 일환이며, TBM 관련 기술에 대한 국내외 기술 수준 및 연구개발 동향 파악 목적의 분석을 실행
- 우리나라의 기술 수준 및 연구개발 현황을 분석하여 본 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 객관적인 정보를 제공하고자함

□ 특허검색 분류 및 키워드

○ 국내 특허를 대상으로 기술분류별 R&D 키워드들을 통해 KIPRIS 특허검색서비스의 특허 DB를 이용하여 TBM 관련 등록된 특허를 조사 및 분석

- 특허 검색 시 공통키워드는 기본적으로 포함하되, 키워드를 차별화하여 특허를 검색하였으나, 동일 특허가 공통적으로 검색되는 경우가 존재하였으며, 이러한 경우 중복을 인정하여 다음의 분석을 수행
- 키워드 TBM, 굴착, 굴진, 터널, Tunnel, boring machine, 공동구, EPB, Slurry, EPB TBM, Slurry TBM를 활용

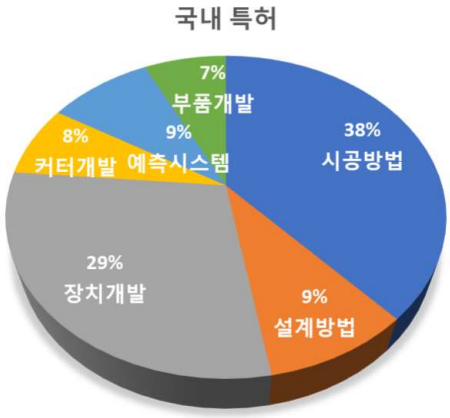
○ 국내 특허 등록일 기준으로 2013년부터 2020년까지 8년간의 특허를 조사

〈표 2-29〉 TBM기술 관련 국내 특허 현황

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
합계	11	2	7	9	9	7	7	2

[그림 2-33] TBM 관련 국내 특허 현황





분류	특허 수
시공방법	21
예측시스템	5
장치개발	16
설계방법	5
커터개발	4
부품개발	4
총계	55
※ 검색 Keyword : TBM, Tunnel Boring Machine	

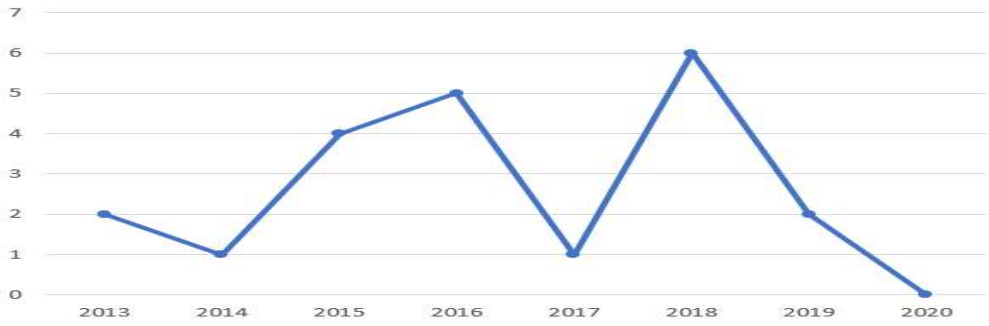
□ TBM 시공방법

○ 등록된 기준일로 최근 8년간의 TBM 시공방법 관련 국내 특허는 연도별로 차이가 다소 존재하기는 하나, 다수의 특허들이 꾸준히 등록되고 있는 것을 확인

〈표 2-30〉 TBM 시공방법 관련 국내 특허 현황

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
합계	2	1	4	5	1	6	2	0

[그림 2-34] TBM 시공방법 관련 국내 특허 현황



※ 출처: KIPRIS 특허검색서비스(2020.04)

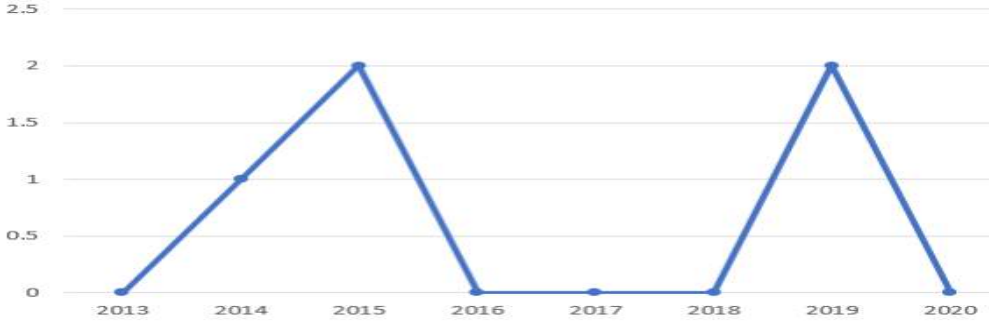
□ TBM 예측시스템

○ TBM 예측시스템 관련 국내 특허가 '15년도와 '19년도에 2건으로 종종 특허가 개발이 되어 창출되는 것으로 조사

〈표 2-31〉 TBM 예측시스템 관련 국내 특허 현황

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
합계	0	1	2	0	0	0	2	0

[그림 2-35] TBM 예측시스템 관련 국내 특허 현황



※ 출처: KIPRIS 특허검색서비스(2020.04)

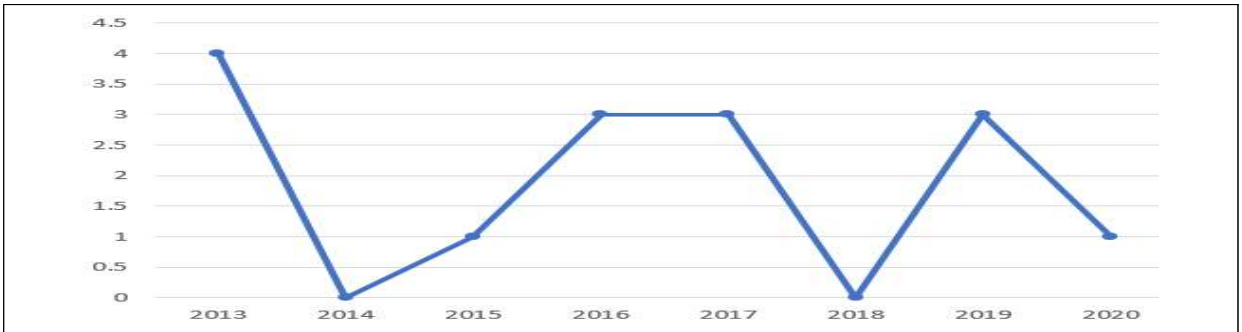
□ TBM 장치개발

○ TBM 장치개발분야가 '13년 국내에서 특허가 많았으나, '14년과 '18년를 제외한 매년 특허 등록이 꾸준하게 되고 있는 상황

〈표 2-32〉 TBM 장치개발 관련 국내 특허 현황

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
합계	4	0	1	3	3	0	3	1

[그림 2-36] TBM 장치개발 관련 국내 특허 현황



※ 출처: KIPRIS 특허검색서비스(2020.04)

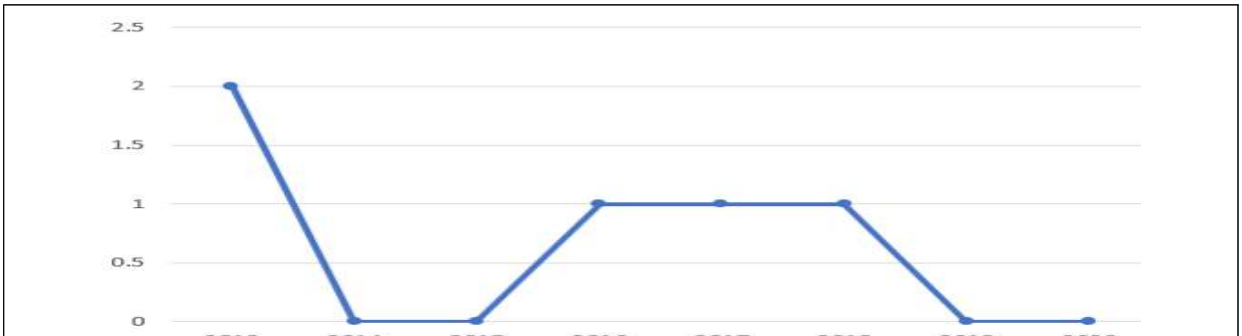
□ TBM 설계방법

○ TBM 설계방법 관련 특허의 경우, 매년 다수의 특허가 등록되어 왔던 것은 아니나 비교적 꾸준히 등록되어 왔던 것을 확인

〈표 2-33〉 TBM 설계방법 관련 국내 특허 현황

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
합계	2	0	0	1	1	1	0	0

[그림 2-37] TBM 설계방법 관련 국내 특허 현황



※ 출처: KIPRIS 특허검색서비스(2020.04)

□ 국내 TBM 관련 논문 현황

【 논문 현황 종합 】

- ㅇ 전반적으로 시공과 장치개발에 대해 많이 진행이 되어있으며, 예측시스템에 대한 연구도 일부 수행되어 관련 역량이 향상되고 있는 상황
- ㅇ 국내뿐만 아니라, 국외에서도 동일하게 시공방법과 예측시스템 위주로 개발이 되어 있는 것을 확인
- ㅇ 국내 및 국외 모두 전반적으로 TBM 시공방법 관련 특허가 많은 비중을 차지
- ㅇ TBM 관련 국산 기술을 개발하여 시장에서 기술력과 이에 따른 경쟁력을 인정받고, 현재의 기술 격차를 극복 수 있는 계기 마련이 필요

○ 국내·외 TBM 기술 관련 논문

※ 국내논문은 국내저자가 국내학술지에 게재한 논문을 의미하고, 국외논문은 국외학술지에 게재된 논문을 의미

- '10년 이후 TBM 관련 국내논문은 총 147건으로 이중 연간 20건 이하로 나타났으며, 국외논문은 총 33건으로 연간 10건 미만으로 나타남
- 국내외 TBM 관련 논문은 크게 시공방법, 예측시스템, 장치개발, 설계방법, 커터개발, 부품개발로 구분 가능
- TBM 관련한 국내·외 논문은 시공방법에 대한 주제가 가장 많은 것으로 파악되었으며, TBM 장비의 굴착을 위한 예측시스템 관련 기술, 커터헤드 제작을 위한 설계·개발기술 등이 주요 주제로 나타남
- 국내와 국외의 TBM 기술 관련 논문 중 TBM 시공방법이 각각 45%와 56%를 차지하며, 가장 비중 있게 다뤄지고 있음을 확인
- 국내 논문의 경우, 시공방법·예측시스템·장치개발 중심으로 진행이 되었으며, 이에 따라 해당 분야의 기술 역량은 충분히 확보되었을 것으로 추정

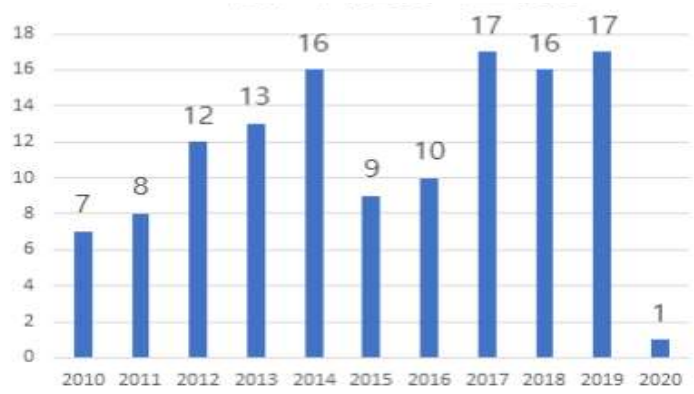
□ 논문검색 분류 및 키워드

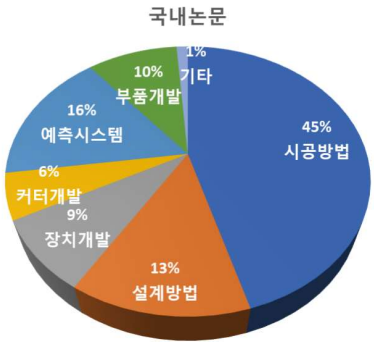
○ 국내외 논문을 대상으로 기술분류별 R&D 키워드들을 통해 NTIS, Science direct 검색 서비스를 이용하여 TBM 관련 등록된 논문을 조사 및 분석

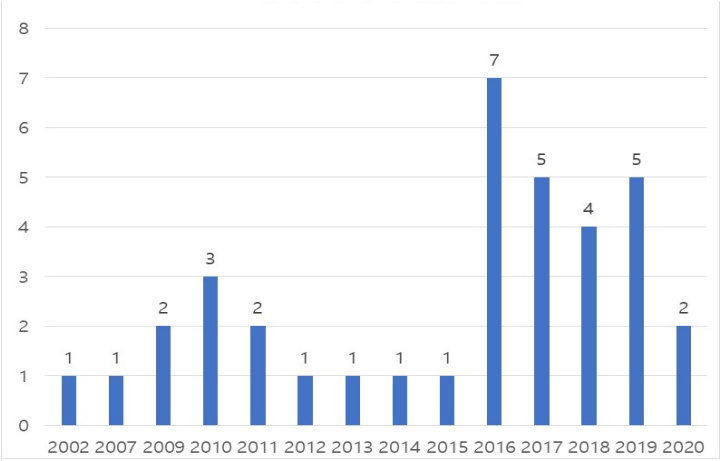
- 특허 검색 시 공통키워드는 기본적으로 포함하되, 키워드를 차별화하여 검색하였으나, 공통적으로 검색되는 경우가 존재하였으며, 이러한 경우 중복을 인정하여 다음의 분석을 수행
- 키워드 TBM, 굴착, 굴진, 터널, Tunnel, boring machine, 공동구, EPB, Slurry, EPB TBM, Slurry TBM를 활용하여 검색

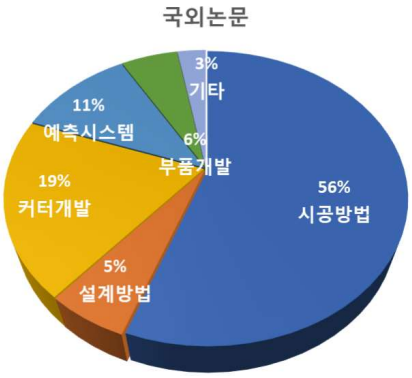
○ 국내 논문 등록일 기준으로 2010년부터 2020년까지 10년간의 논문을 조사하였고, 국외 논문 등록일 기준으로는 2002년부터 2020년까지의 18년간의 논문을 조사

[그림 2-38] TBM 관련 국내 논문 현황과 국외 논문 현황









분류	국내논문	국외논문
시공방법	75	20
예측시스템	27	4
장치개발	14	0
설계방법	22	2
커터개발	9	7
부품개발	16	2
기타	2	1
총계	147	33

※ 검색 Keyword : TBM, Tunnel Boring Machine

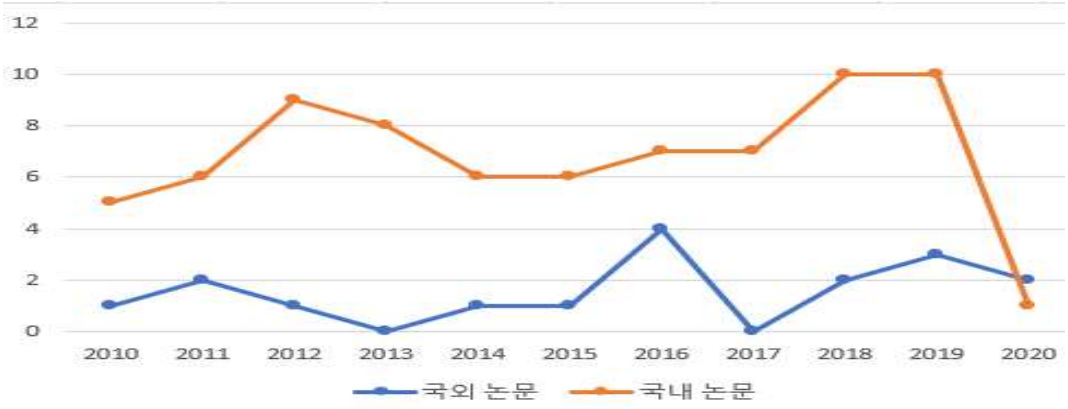
□ TBM 시공방법

○ 최근 10년간 국외보단 국내에서 활발하게 논문이 증가하는 추세를 보면, 국내에서 '18년, '19년에서 10건으로 많은 논문들이 있고, 국외에서는 다소 적은 것으로 확인

〈표 2-34〉 TBM 시공방법 관련 논문 현황

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
국외	1	2	1	0	1	1	4	0	2	3	2
국내	5	6	9	8	6	6	7	7	10	10	1
합계	6	8	10	8	7	7	11	7	12	13	3

[그림 2-39] TBM 시공방법 관련 국내 논문 현황과 국외 논문 현황



※ 출처: NTIS 국가과학기술지식정보서비스(2020.04)

□ TBM 예측시스템

○ 국외 TBM 예측시스템 관련 논문을 보면, ’16년도, ’17년도에 2건씩 있는 것으로 확인하였고, 국내 TBM 예측시스템 관련 논문을 보면, 꾸준하게 논문이 등록되는 것으로 파악

〈표 2-35〉 TBM 예측시스템 관련 논문 현황

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
국외	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0
국내	1	3	2	2	3	0	4	2	5	5	0
합계	1	3	2	2	3	0	6	4	5	5	0

[그림 2-40] TBM 예측시스템 관련 국내 논문 현황과 국외 논문 현황



※ 출처: NTIS 국가과학기술지식정보서비스(2020.04)

□ TBM 장치개발

○ TBM 장치개발 관련 국외에서는 논문이 나타나지 않았고, 국내에서는 '14년부터 '19년을 보면, 최근까지 지속적으로 논문 발표가 이루어지며 연구 역량이 향상 중인 분야

〈표 2-36〉 TBM 장치개발 관련 논문 현황

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
국외	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
국내	0	0	0	0	2	3	1	4	3	1	0
합계	0	0	0	0	2	3	1	4	3	1	0

[그림 2-41] TBM 장치개발 관련 국내 논문 현황과 국외 논문 현황



※ 출처: NTIS 국가과학기술지식정보서비스(2020.04)

□ TBM 설계방법

○ TBM 설계방법 관련 논문 중에서 국외에서는 작성된 논문이 거의 없으나, 국내에서는 많지 않은 수이지만 꾸준하게 연구되고 있는 것으로 조사

〈표 2-37〉 TBM 설계방법 관련 논문 현황

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
국외	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
국내	2	1	0	2	2	3	4	7	0	1	0
합계	2	1	0	2	2	3	4	7	0	2	0

[그림 2-42] TBM 설계방법 관련 국내 논문 현황과 국외 논문 현황



※ 출처: NTIS 국가과학기술지식정보서비스(2020.04)

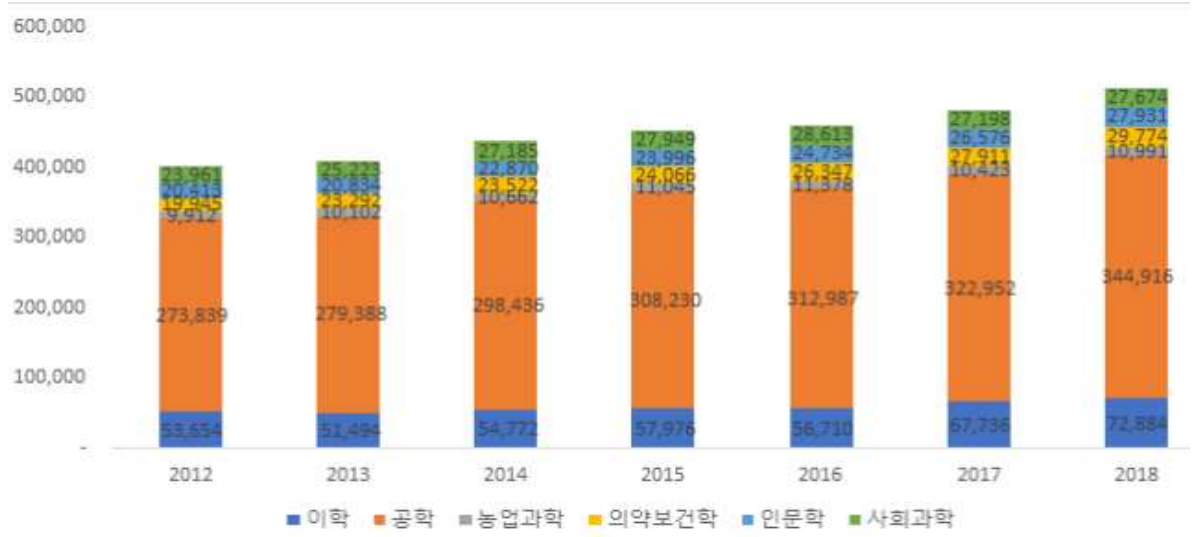
(4) R&D 인프라 현황

□ TBM관련 연구인력 현황

○ 국내 연구개발 인력(514,170명) 중 TBM 분야와 관련이 있는 이학(71,884명) 공학(344,916명) 전공자 비중은 전체의 81.1%를 차지

- 「KISTEP의 2018년 연구개발활동조사」 분석을 통해 국내의 TBM 기술개발이 가능한 인력 현황분석

[그림 2-43] 우리나라 전공별 연구원 수 추이 (명)



※ 출처 : KISTEP. (2018). 2018년 연구개발활동조사

〈표 2-38〉 우리나라 전공별 연구원 수

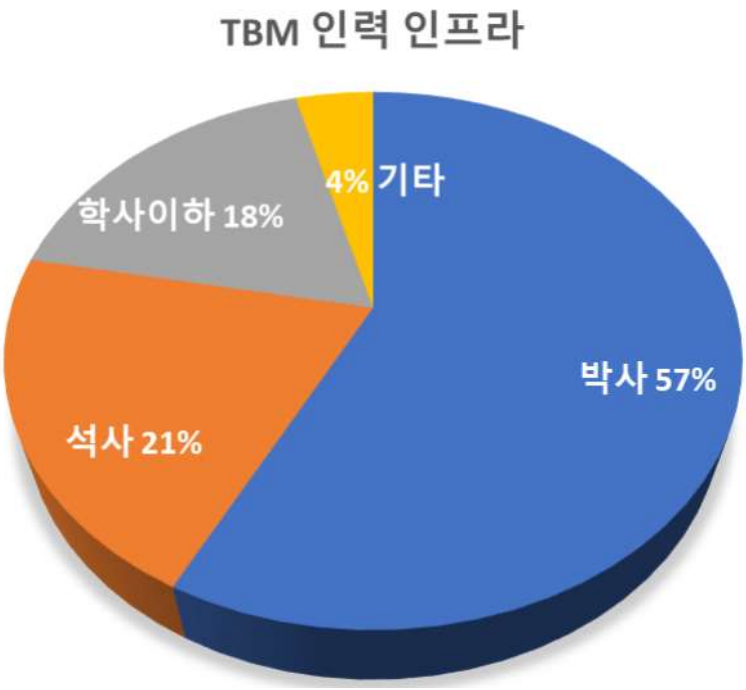
(단위 : 명, %)

구분		2012	2013	2014	2015	2016	2017
이학	연구원 수	51,494	54,772	57,976	56,710	67,736	83,995
	비중	12.5	12.5	12.8	12.3	14.0	14.2
공학	연구원 수	279,388	298.436	308,230	312,987	322,952	344,916
	비중	68.1	68.2	68.0	67.9	66.9	67.1
의약보건학	연구원 수	23,292	23,522	24,066	26,347	27,911	29,774
	비중	5.7	5.4	5.3	5.7	5.8	5.8
농림수산학	연구원 수	10,102	10,662	11,045	11,378	10,423	10,991
	비중	2,5	2,4	2,4	2,5	2,2	2,1
인문학	연구원 수	20,834	22,870	23,996	24,734	26,576	27,931
	비중	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.4
사회과학	연구원 수	25,223	27.185	27,949	28.613	27,198	27,674
	비중	6.1	6.2	6.2	6.2	5.6	5.4
총계	연구원 수	410,333	437,447	453,262	460,769	482,796	514.170
	비중	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

○ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 활용하여 국내 TBM 연구개발 참여 인력현황을 도출한 결과, 사업을 추진하기에 필요한 인력이 충분

- “TMB”, “Tunnel boring machine”의 키워드를 활용하여 도출
- TBM 관련 연구를 기수행한 인력현황은 총 141명으로 이중 박사급은 83명, 석사급은 32명, 학사급은 26명으로 파악

[그림 2-44] TBM기술 관련 국내 연구인력 현황



연구인력 학위	인원 수(명)
박사	83
석사	32
학사이하	26
기타(분류없음)	5
전체 연구인력 합계	141

□ 다수의 산·학·연 기관에서 TBM, 터널, 지하공간에 대한 연구를 수행 중

○ 국내에서는 약 20개의 TBM 분야와 관련된 연구기관에서 다양한 연구를 진행하고 있으며, 터널 굴착 연구 수행을 위한 인프라가 갖추어져 있음

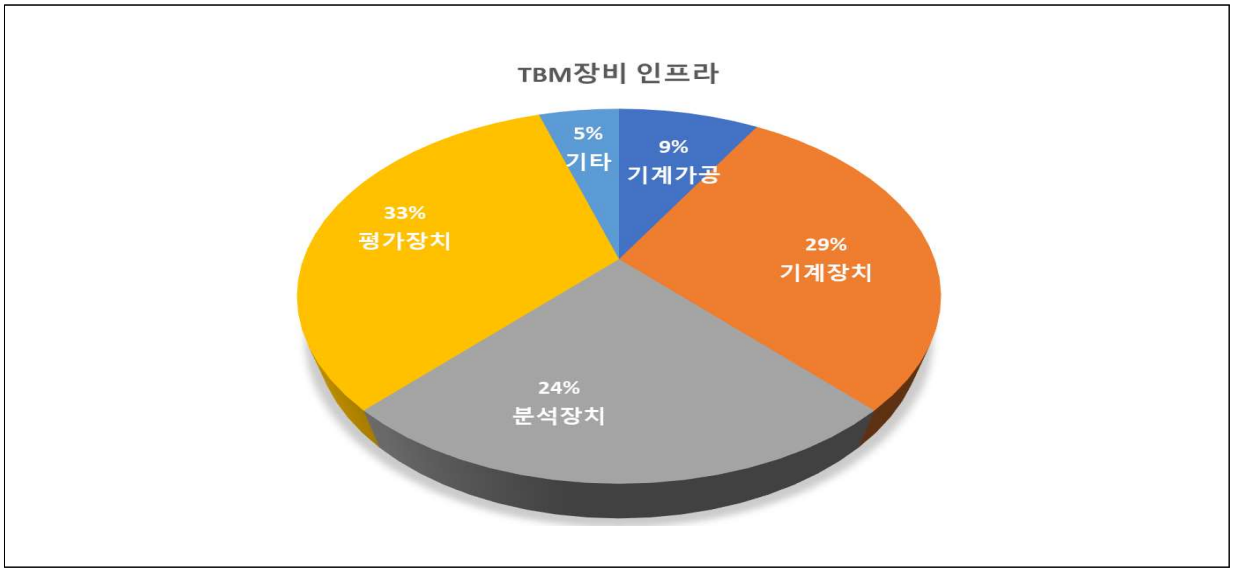
- 다수의 산·학·연 기관에서 지하공간, 지반상태, 토질, TBM 적용 환경 등에 대한 연구를 지속적으로 수행 중

〈표 2-39〉 주요 TBM 관련 연구기관

유관 연구기관		
KAIST 지오시스템 연구실	동국대학교 연구실	현대건설(주) 기술연구원
고려대학교지반시스템 연구실	대구대학교 연구실	KC산업 기술연구소
고려대학교지하공간 연구실	강원대학교 연구실	㈜서하기술단
아주대학교 지반공학연구실	동아지질	강릉건설(주)
인하대학교 터널 암반공학 연구실	아주지오텍 기술연구소	이엠코리아(주) 기술연구소
한양대학교 지반공학 연구실	한국생산기술연구원	건화엔지니어링
한국건설기술연구원	-	-

□ **TBM 통합관리 기술 관련 인프라는 기존 R&D사업을 통하여, 구축이 된 것으로 확인이 되며, 기계가공, 기계장치, 분석장치, 평가장치 분야가 연구시설·장비를 통해 향후 연구개발 수행에 따른 인프라로 적정한 것으로 판단**

[그림 2-45] TBM기술 관련 국내 연구인력 현황



○ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 활용하여 TBM 관련 키워드 검색을 통한 기구축 장비 도출

○ “TBM”, “터널시공”, “커터헤드”, “굴착”, “배토”, “터널레일” 키워드를 활용하여 82개 장비 도출 및 기구축 TBM 관련 장비인프라는 기계가공, 기계장치, 분석장치, 평가장치, 기타로 분류하여 활용가능

- (기계가공)은 수직밀링머신, 3차원조각기, 삼축압축 셀, 절삭 기구 등 TBM장비를 제작함에 있어 가공을 위한 기계적 가공장치
- (기계장치)는 입형펌프, 자가동력시추기, 차륜굴착기, 그라우팅 펌프, 베토역류방지장치 등 터널굴착에 필요한 기계적 장치

- (분석장치)는 전파측정기, 방사선 밀도계, 진도레벨측정기, 탄성파탐사기, 3차원측량장비, 터널구조간격게이지 등 터널굴착에 필요한 지반 분석장치
- (평가장치)는 세그먼트 실물 성능평가 시스템, 자동화락볼트인발시험기, 숏크리트 타설 기본시스템 등 터널굴착과 관련한 부품 및 장치 평가장치

○ 주요 연구개발 기관의 공정 시설 및 계측장비 외에 각 연구기관과 대학 및 민간기업이 보유하고 있는 인프라, 시설 장비를 고려할 경우 더 많은 시설과 장비가 존재하는 것으로 확인

□ 시설 및 장비 활용계획

○ 기존 R&D 사업을 통하여 구축한 연구시설·장비 중 TBM 통합관리 시스템 관련 기술 개발에 대해 활용 가능

○ 기존 연구·시설 장비를 최대한 활용하되 현재 보유하지 못한 연구개발 장비, 활용도가 높아 전용 장비의 구축이 필요한 경우, 기존 시설 장비의 노후화로 과제 목표를 위하여 신규 시설 장비의 구축이 필요한 경우에 한하여 구축을 추진

〈표 2-40〉 TBM 관련 기술개발사업 수행을 위한 주요 시설·장비 현황 및 활용가능 분야

순번	보유 기관명	시설 및 장비명	취득 일자	수량	활용가능분야
1	한국전력공사 전력연구원	개발장비EPB Shield TBM Φ3540mm	2018	1	기계장치
2	비츠로밀텍	복합소재 필름 압출 성형기	2016	1	기계가공
3	광주과학기술원	자축힘센서	2016	1	분석장치
4	세명이엔시(주)	지중경사계 측정기	2016	1	분석장치
5	공항시설관리(주)	지열히트펌프	2016	1	기계장치
6	한국원자력연구원	방사성토양 소형 분산장치 제작 및 설치	2016	1	기계장치
7	(주)환경과학기술	트랜처 ROV용 워터 제팅 펌프	2016	1	기계장치
8	고려대학교 산학협력단	삼축압축 프레임	2015	1	기계가공
9	고려대학교 산학협력단	삼축압축 셀	2015	1	기계가공
10	금오공과대학교	수직밀링머신	2015	1	기계가공
11	(주)오이코스	실험실규모 건조장치	2015	1	평가장치
12	한국철도기술연구원	탄성파탐사기(Geode)	2015	1	분석장치
13	한국건설기술연구원	그라우팅 펌프	2015	1	기계장치
14	한국건설기술연구원	세그먼트 성능평가 실험용 유압펌프 제작과 LCM 하부구조 및 이송장치 보강	2014	1	평가장치

순번	보유 기관명	시설 및 장비명	취득 일자	수량	활용가능분야
15	오송첨단의료산업진흥재단	측정용공구현미경	2014	1	분석장치
16	국립산림과학원	차륜형굴삭기	2014	1	기계장치
17	(주)오이코스	Pilot 수처리장치	2014	1	평가장치
18	삼표건설(주)	세그먼트 몰드	2013	1	기계장치
19	한국건설기술연구원	배수 쉴드터널 수압/토압 모형실험장치	2013	1	평가장치
20	고려대학교 산학협력단	전파측정기	2013	1	분석장치
21	한국표준과학연구원	압력증강기	2013	1	평가장치
22	고려대학교 산학협력단	전파측정기	2013	1	분석장치
23	금오공과대학교	코어드릴	2013	1	기계가공
24	한국원자력연구원	PVC 튜브를 이용한 이중 패커시스템과 PA선	2013	1	평가장치
25	한국건설기술연구원	선형절삭시험장비 업그레이드 제작	2012	1	기계가공
26	삼표건설(주)	세그먼트 몰드	2012	1	기계장치
27	한국건설기술연구원	세그먼트 실물 성능평가 시스템	2012	1	평가장치
28	넥스지오	데이터베이스 관리 시스템	2012	1	평가장치
29	전남대학교 산학협력단	공내지반영상환경검층시스템	2012	1	분석장치
30	한국건설기술연구원	실물절삭시험용 동적 데이터로거	2012	1	평가장치
31	한국표준과학연구원	라만분광기	2012	1	분석장치
32	(사)한국건설가설협회	진동레벨측정기	2012	1	분석장치
33	국립농업과학원	차륜굴착기	2012	1	기계장치
34	블루그린링크(주)	멤브레인 오탁수 처리 시설	2012	1	평가장치
35	신라대학교	토양분리혼합기	2012	1	기계장치
36	넥스지오	터널 공사비 산출 시스템 모듈	2011	1	분석장치
37	한서대학교 산학협력단	플로터	2011	1	기타
38	서울테크노파크	표면실장기술 장비	2011	1	평가장치
39	젠트로	입형펌프	2011	1	기계장치

순번	보유 기관명	시설 및 장비명	취득 일자	수량	활용가능분야
40	젠트로	입형펌프	2011	1	기계장치
41	젠트로	입형펌프	2011	1	기계장치
42	젠트로	입형펌프	2011	1	기계장치
43	한국원자력연구원	다단계 윈치 및 소형 윈치	2011	1	기계장치
44	한국원자력연구원	다항목 수질검층기	2011	1	분석장치
45	젠트로	입형펌프	2011	1	기계장치
46	(주)나노	배토역류방지장치	2011	1	기계장치
47	한국원자력연구원	트랙터	2011	1	기계장치
48	(주)코오롱건설	터널공사용 습식집진기 시작품	2010	1	기타
49	한국원자력연구원	다중 패커 시스템	2010	1	분석장치
50	인하대학교	레이저센서시스템 시작품	2010	1	평가장치
51	한국지질자원연구원	시추공 투수 및 투기시험 제어장치	2010	1	평가장치
52	(주)코오롱건설	터널 라이닝폼의 마감부 기계장치 시작품	2010	1	기계장치
53	(주)오에치케이	토양개량기	2010	1	분석장치
54	한국철도기술연구원	전차선로-집전계 주행시험기	2010	1	평가장치
55	한국건설기술연구원	유압 천공장비 데이터 분석장치	2009	1	분석장치
56	현대건설(주)	방사선 밀도계	2009	1	분석장치
57	(주)오이코스	VOC 오존수 정화장치	2009	1	평가장치
58	(주)오이코스	압력주입장치	2009	1	기계장치
59	경상공업고등학교	범세계적위치결정시스템	2008	1	평가장치
60	한국건설기술연구원	모르타르 타설시험기	2008	1	평가장치
61	강원대학교 춘천캠퍼스 산학협력단	플로터	2008	1	기타
62	한국건설기술연구원	Boring Machine 자료수집장치	2008	1	분석장치
63	한국철도기술연구원	AE 시스템 8 채널 추가(부속장비)	2008	1	평가장치
64	한국철도기술연구원	음향방출시스템	2008	1	분석장치

순번	보유 기관명	시설 및 장비명	취득 일자	수량	활용가능분야
65	우송대학교	터널구조간격게이지	2008	1	분석장치
66	한국건설기술연구원	다목적 대형믹서	2007	1	기타
67	한국건설기술연구원	자동화락볼트인발시험기	2007	1	평가장치
68	한국건설기술연구원	숏크리트타설기본시스템보완	2007	1	평가장치
69	(재)철원플라즈마산업기술연구원	초고압펄스플라즈마발생기시스템Ⅱ-펄스플라즈마발생기	2007	1	평가장치
70	한국건설기술연구원	숏크리트 타설 기본시스템	2006	1	평가장치
71	에스케이건설	4D 시공시물레이션 U-CPM	2006	1	평가장치
72	인하대학교	고전압플라즈마발생장치	2006	1	평가장치
73	충남대학교	양산시추공	2006	1	기계장치
74	한국건설기술연구원	선형절삭시험장비 관련 부대장비	2006	1	기계장치
75	경북대학교	농업용 인양장비	2005	1	평가장치
76	한경대학교	자가동력시추기	2005	1	기계장치
77	한국건설기술연구원	선형절삭시험장비	2004	1	기계장치
78	한국건설기술연구원	데이터로거	2004	1	평가장치
79	한국철도기술연구원	3차원 측량장비	2004	1	분석장치
80	공주대학교	3차원조각기	2003	1	기계가공
81	한국철도기술연구원	측량장비	1996	1	분석장치
82	한국지질자원연구원	현지암반수압파쇄시험장치	1992	1	평가장치

〈표 2-41〉 TBM 기술 개발 관련 국내 장비 현황

분류	장비 수
기계가공	7
기계장치	24
분석장치	20
평가장치	27
기타	4
합계	82

(5) 법·제도적 현황

□ TBM 개발과 시공에 있어서 R&D가 진행되고 있으므로 제도상 제약이 없음

5) 사업설계를 위한 조사분석

(1) 기술수요 조사

(가) 조사목적

□ 산·학·연 전문가를 대상으로 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술 수요 발굴

○ TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업의 구성기술 선정 근거로 활용

○ TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발 분야의 구성기술 선정에 있어 산·학·연 전문가의 다양한 의견수렴 및 반영

- 기술목표 수립을 위해 전문가로부터 대상 기술을 체계적으로 분류, 분석, 예측하여 향후 비교우위를 가질 수 있는 중점기술과 분야의 수요를 조사함

(나) 조사개요

〈표 2-42〉 기술수요조사 개요

조사명칭	조사주체	조사대상	조사시기
터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기술수요조사	국토교통과학기술진흥원	산·학·연 전문가	2020년 11월 26일 ~ 12월 21일(26일간)

□ 산·학·연 전문가 대상의 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술수요조사 개요

○ 조사목적: TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템을 위한 기술 구현을 위해 현장에서 요구되는 기술개발 조사

○ 조사대상: TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발 분야 관련 종사자 및 연구자

○ 조사기간: 2020.11.26.(목)~2020.12.21.(월), 26일간

○ 조사방법: 공문발송을 통한 이메일 회신

○ 조사내용

- TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 관련 기술 확보를 위해 개발되어야 하는 기술 수요

○ 기술수요조사 결과

- 총 66건의 기술수요를 회신

〈표 2-43〉 기술수요조사 회신 결과

번호	과제명
1	TBM 연속 작업 성능 향상과 관리 비용 절감을 위한 핵심부품 및 모듈의 운용 신뢰성 확보 기술
2	급속시공 및 파쇄대 대응 TBM(EPB or SLURRY TYPE) 핵심기술 개발
3	헬리컬(HELICAL) 세그먼트를 적용한 TBM 굴진속도 향상 기술
4	연속굴착이 가능한 나선형 세그멘탈 TBM의 유지관리 기술 개발

번호	과제명
5	TBM 세그먼트 조립공정 무인화를 위한 AI 비전기반 이렉터 협동로봇 개발
6	Shield TBM 굴진 자동화
7	중대형 TBM의 회전체 부품의 내구시험방법 및 실규모시험장비 개발
8	중대단면(7-8m) TBM용 150kW급 유압 모터 국산화 개발
9	연속굴착을 위한 쉴드 굴진과 세그먼트 조립 동시 시공 장치 기술 개발
10	TBM 안정성 향상을 위한 고강도 고내구성 세그먼트 재료 개발
11	시공 및 운영 단계에서의 TBM 세그먼트 배면의 상태 평가 기술
12	연속굴착형 세그먼트의 곡선부 설치 대응기술
13	연속굴착형 세그먼트의 구조보강 대응기술
14	연속굴착형 세그먼트의 체결방식 효율화 및 성능향상 기술
15	동시 굴진 시스템
16	TBM 구동부(Drive Unit)시스템 국산화 기술 개발
17	TBM 기어박스 시제품 개발
18	워터젯을 활용한 고효율 TBM 굴진 기술
19	연속적인 굴착이 가능하도록 저비용 급속 커터교체를 위한 막장면 안정화 기술 개발
20	고강성 실드잭 개발 및 다각도 슈패드 개발
21	연속굴착 이렉터 및 굴진 동조시스템 개발
22	연속굴착형 TBM 터널의 굴착시뮬레이션 SW 및 통합관제센터
23	17인치 TBM 디스크커터 베어링 및 실링부품 개발
24	소단면(3m) TBM 메인베어링 시제품 개발
25	쉴드 굴진 mode가 변경 가능한 Hybrid TBM(EPB mode ↔ SPB mode) 기술개발
26	TBM 헬리컬 세그먼트 신뢰성시험평가 및 실증연구
27	세그먼트 라이닝 자동화 조립 시스템 개발
28	섬유보강 FRC Segment 개발(Fibre Reinforced Concrete Lining 지보재)
29	TBM 기술인증 및 재활용방안 연구
30	TBM 장비 발주 방법 및 TBM 등록시스템 개선 연구
31	고내구성, 고수명 TBM 디스크 커터 WC소재 개발
32	TBM 안전성 평가 및 인증 검사 기술
33	TBM 기계데이터를 이용한 실시간 전방지질 예측 및 지질 대응 최적화 굴진 및 자율 운행 시스템
34	도심 터널 굴착 공사 중 주변 시설물 거동 이상 발생 모니터링 시스템

번호	과제명
35	국내 TBM 기술자 훈련 방식 연구
36	국내 쉴드TBM 활성화 및 선진화를 위한 제도화 연구
37	Shield TBM Segment Ring Building 작업 자동화
38	BIM 기반의 디지털 모델을 활용한 TBM 전방 지질 예측 시스템 개발
39	TBM 전방 지반 예측을 통한 안전 사고 예방 기술
40	고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리 및 운반을 위한 갱내 운반대차의 개발 및 제작
41	쉴드 TBM 시공(세그먼트 라이닝) 품질향상을 위한 BIM도입 연구
42	연신콘베어
43	EPB 쉴드 세그먼트 배면 뒷채움 품질 평가 기술 개발
44	디스크커터 최적 설계기술 개발
45	굴진면 전방 예측 및 지반평가 기법 개발
46	TBM 예지보전을 위한 근접센서 및 네트워크 제어시스템 개발
47	TBM 전력시스템 안정화를 위한 기술 개발
48	내구성을 확보한 친환경 무기계 백필용 그라우팅재료 및 시공기술개발
49	머신러닝을 이용한 TBM 터널굴진중 침하량 예측
50	한국의 암반특성을 고려한 TBM 굴착지반 위험관리 기법 개발
51	실시간 TBM 시공·안전 통합관제 시스템
52	AI 머신러닝 기반 TBM 굴진율 예측모델의 개발
53	친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 핵심 기술 개발
54	무선통신 음영지역 해결을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 개발
55	실시간 위치추적을 위한 측위 기술개발
56	EPB-TBM 시공효율 증진을 위한 챔버 내 친환경 쏘일 컨디셔닝 재료 및 공법 개발
57	소단면 TBM 실대형 성능검증 시설을 활용한 재활용 TBM 성능검증 기술 개발
58	자율주행이 가능한 AI TBM
59	TBM 직접 현장 조립 및 신제작 방안연구: OSDA(On Site Direct Assembly)
60	핵TBM 기초개발연구(타당성 조사)
61	EPB-Type TBM 시공성·안정성 향상을 위한 굴착토 개량기술(soil conditioning)
62	EPB-Type TBM 버력 배토 최적화를 위한 빅데이터(big data) 활용 토량·토질 평가기술
63	TBM 터널 현장 무인관제 미세먼지 억제 기술(FOG Sys.)
64	TBM 터널현장 중장비 차바퀴 세륜물 에어건조 장치
65	중단면(5m 이상) TBM 탑재 전방지반(20m 이상) 예측기술 및 소프트웨어 개발
66	쉴드TBM 실시간 통합연계형 지반침하 예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발

(다) 응답자 현황

○ 터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기술수요조사와 관련하여 산업체, 대학, 연구기관 등에서 총 66명이 응답

- 산·학·연 별 수요조사 실시 대상자 수는 산업체 43명(65%), 학계 15명(23%), 연구기관 8명(12%)으로 구성
- 응답자 66명 중 산업체가 43명으로 가장 높았으며, 학계 15명, 연구기관 8명 순으로 나타나는 것을 확인

〈표 2-44〉 기술 제안기관별 응답자 현황

(단위 : 명, %)

구분	산업체		학계		연구기관		합계	
	인원	비중	인원	비중	인원	비중	인원	비중
응답자	43	65	15	23	8	12	66	100

(2) 관련기관 의견수렴

(가) 인터뷰 및 자문회의를 통한 의견수렴

□ 조사기간 및 목적

○ 조사기간: 2020.03.05.(목) ~ 2020.07.14.(화)

○ 회의목적: 터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기획 관련 의견수렴

〈표 2-45〉 인터뷰 의견수렴 개요

조사대상	조사내용	조사기간
터널굴착장비(TBM) 관련 국내 산·학·연 연구자 16명	① 국내 TBM 적용 현황	2020.03.05.(목) ~ 2020.07.14.(화)
	② 국내 TBM 적용 활성화를 위한 개선방안	
	③ TBM 국제 기술협력 한계점 및 해결방안	

① 국내 TBM 적용 현황 의견수렴 결과

- 현재 국내의 터널포함 지하공간 굴착은 주로 NATM 공법을 적용하고 있으나, 최근 NATM공법 적용 시 매연·분진·소음·진동 등으로 민원이 다수 발생되어 도심지에 NATM 공법을 적용하는데 다소 어려움 발생
- 상기 민원 문제해결과 시공 효율성을 위해 시공사들은 기계화 된 굴착방식(TBM)을 도입하는 추세이나, 사업 예산 부족으로 전체 시공에 TBM을 적용할 수 없는 실정임이므로 TBM+NATM공법을 혼용하여 시공하는 경우가 많음
- 현재 국내의 연구과제는 기존 TBM 기술을 그대로 쫓아가기만 하는 경향이 보이고, 새로운 기술로 선도하기 보다는 이미 진행되고 있는 것을 바탕으로 따라하는 수준이기 때문에 진일보한 기술 및 굴진속도 증대가 매우 중요한 기술이며, 국산화 개발이 필요
- 현재 TBM 장비의 전세계 동향으로는 미국, 프랑스 캐나다, 일본, 이탈리아 등이 제작을 중단한 상태이며, 독일과 중국이 과점하여 생산하고 있는 상황
- 국내 TBM 시공과 관련하여 호반산업, 현대건설, SK건설, 삼성물산, GS건설, 대우건설, 두산건설, 삼환기업 등이 전문시공사로 알려져 있으므로 국내 TBM 관련 공동 연구 과제를 수행한다면, 보다 빠르게 진행이 가능할 것으로 보임
- 향후 TBM 공사비는 발파를 기반으로 하는 NATM공사비의 진동, 소음에 따른 민원발생, 친환경적인 공법 적용, 공사기간의 단축, 유지보수의 유리함 등 편익부분의 산정이 필요
- 발주 당시부터 일부공사(특수구간 포함)는 TBM 공사로의 발주가 필요함. 국가별 예를 들면, 싱가폴의 경우 지반적인 이유도 있지만, 전 구간 TBM이거나 전 구간 개착 공법으로 발주되고. 중국의 경우도 TBM 굴착의 발주형태가 매우 다수임

② 국내 TBM 적용 활성화를 위한 개선방안 의견수렴 결과

- TBM 관련 장비제작사와 시공사의 입장은 다르고, 이로 인해 관련 장비 및 인력 수급의 문제 등이 발생하는 실정이기 때문에 이에 대한 대책마련이 필요
- 국내 터널공사에 TBM 활성화를 위한 정책적인 부분을 개선하기 위해서는 발주문화를 개선하는 것과, NATM과 편익 비교 시 사회적 비용을 고려하여 산정, 표준단면의 통일, 터널 하부공간의 활용 방안 마련 등이 필요
- 연약지반에서는 침하 발생가능하며, 침하발생을 완전 없애는 것은 기술적으로 어려움에 따라 침하방지를 위해서는 다른 공법이 필요
- 가장 중요한 것은 공사 중 사고방지가 중요하며, 함몰이나 지반침하*를 고려하면서 공사해야하고 운영을 통해 지반침하를 최소화 할 수 있다고 생각

* TBM 공법도 진동이 전혀 없는 것은 아님

- 전방예측기술은 상당히 어려운 기술이며, 현재는 드릴링을 통해 유추하고 있지만 이러한 방식은 정확도 측면에서 한계점이 발생
- 소프트웨어 적용을 통해 일부 전방 예측이 가능은 하지만, 책임소지의 문제가 있을 수 있어 제작사에서는 부정적 인식이 강함

국내 터널공사에 TBM 활성화를 위한 정책적 개선점
○ 발주문화의 개선
○ NATM 대비 편익 부분의 산정 - 소음, 진동, 민원발생, 비배수에 따른 유지보수, 환경적인 요인, 공사기간의 단축, 수직구 절감에 따른 교통체증 유발의 감소 등
○ 표준단면의 통일 필요 - 지하철, 철도, 광역철도, 고속철도, 도로터널 등, TBM 장비의 경우 고가의 오더메이드 제품으로 장비의 직경이 상이하면 M당 단위 공사비 상승을 가져옴
○ 터널 연장의 장대화가 필요하고, TBM 공사의 경제성은 3~4km 이상에서 NATM과 유사하게 비교됨
○ 터널 하부공간의 개발이 필요함, TBM의 경우 커터헤드 형상에 따른 하부 무효공간이 많이 발생하고, 현재 단순한 공간으로 활용하고 있음 ○ 해외의 경우 하부공간을 긴급시설이나 기타 용도로 사용하고 있는 상황

③ TBM 국제 기술협력 한계점 및 해결방안 의견수렴 결과

- 장비제작사는 시공사와 다방면에서 협력하고자 하나, 장비 제작 기술 부분에 대해서는 기술유출 우려로 협력을 지양하고, 거부하고 있는 상황
- 한국 TBM시장의 계속적인 수요증가로 해외 제작사들은 국내시장에 많은 관심을 표명
- 해외 기업과의 협력이 쉽지는 않으나 협력을 할 수 있게 된다면 그때는 기회가 될 수 있음
- Herrenknecht(독일)와 호반산업, 현대건설, GS건설, SK건설, 동아지질 등이 기술교류 관계로 알려져 있음
- 해외 제작사가 국내 업체와 기술교류가 되어 있는 것은 수요, 공급의 원칙에 따른 것으로 판단되며, 국내 연구단이 해외 제작사와 협력을 통한 관계 생성은 필요충분의 조건이 필요
- 국내연구를 통한 TBM장비 제작은 현실적으로 많은 어려움이 따르므로, 해외 장비 제작사의 협력은 국내 TBM 생산의 대안이 될 수 있음
- 협력을 통한 장비 제작 후 발주 및 수요에 대한 사전 검토가 필요
- 헤렌크네히트는 협조에 대한 대화가 어려워 공동연구 불가할 것
- 일본은 재료 선정, 운영방법에 대해서 양사가 검토 및 협의를 통해 진행되는 부분이 있으므로 공동연구나 업무협조 요청 시 가능할 것으로 보임

(3) 관련 사업 추진현황 및 중복성 검토

(가) 유사사업 현황 및 중복성 검토

□ '10년~현재까지 TBM 관련 국토교통 R&D 추진 현황

○ TBM 1단계 : TBM 핵심 설계/부품기술 및 TBM터널의 최적건설기술 개발('10~'15, 정부 114억원, 한국건설기술연구원)

○ TBM 2단계 : TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전/제어시스템 개발('17~'21, 정부 70억원, 한국건설기술연구원)

○ 공동구 : 도심지 소단면(3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발('15~'20, 정부 192억원, KAIST)

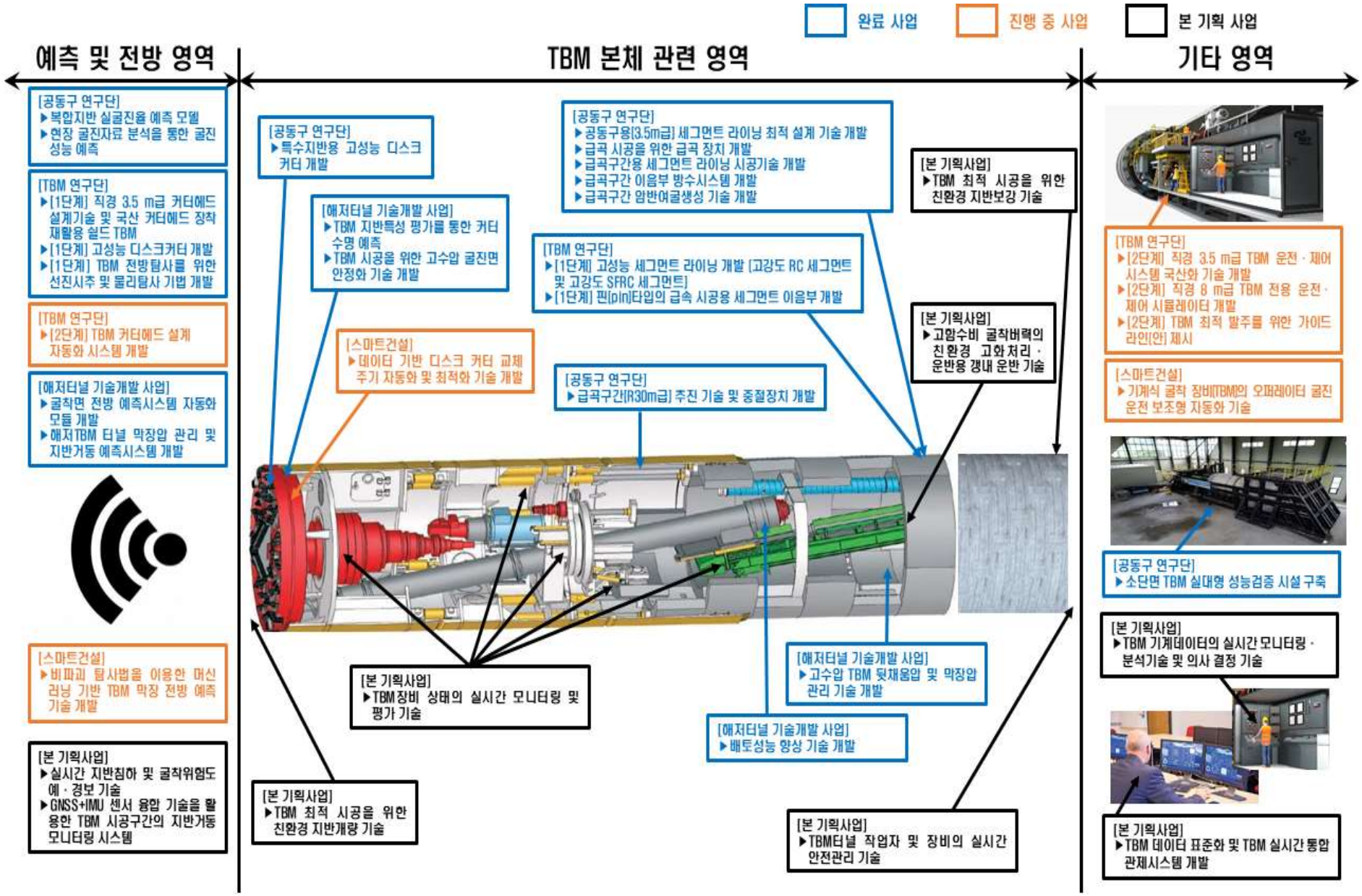
○ 해저터널 : 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발('13~'18, 정부 258억원, 고려대학교)

○ 스마트건설 : 스마트 건설기술 개발사업 내 세세부과제 '머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술'('20~'25, 43억원, 고려대학교/동아지질/두나정보기술)

[그림 2-46] 부처별 유사사업과의 차별성



□ 기존 TBM 관련 국가 연구개발사업을 분석하여 차별성 제시 및 기존 사업과의 기술수준을 비교



1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사 결정 기술

성능지표	국내 기존 사업	개발 목표 스펙
실시간 모니터링·분석 대상 핵심 파라미터의 개수[1)]	-	≥ 20개
핵심 기계데이터 생성시간부터 분석까지의 소요시간[2)]	≥ 1일	≤ 1분
TBM 생성 기계데이터의 실시간 저장·처리 능력[3)]	-	5백만개/일
실시간 의사결정을 위한 최적 운전조건 파라미터 항목[4)]	-	≥ 5개

1) 현재 TBM 운전자가 파악할 수 있는 기계데이터(파라미터)의 개수는 3~4개 미만에 불과하며, 국내에서 실시간 분석 기술은 없으며, 외국의 경우, 자세한 자료가 공개되어 있지 않으나 20개 내외로 파악

2) 국내에서 굴진일보(수기 작성) 또는 엑셀파일로 저장되는 기계데이터들은 즉각적인 분석이 이루어지지 않고 단순 저장만 되고 있는 상황 및 외국 일부 선진시스템의 경우, 실시간에 가깝게 분석이 이루어지고 있는 것으로 보이나 상세 자료가 공개되어 있지 않아 파악 불가

3) 기술동향 조사 결과, TBM에서 생성되는 기계데이터는 5백만개/일에 달하나 아직까지 국내에서는 관련 실시간 저장·처리가 이루어지지 않고 있는 상황, 외국의 경우에도 정확한 스펙을 파악하기는 어려우나, 기술동향 조사 결과에 따라 5백만개/일을 세계 최고 수준으로 가정

4) TBM 운전 최적화와 관련된 실시간 의사결정용 핵심 파라미터를 추력, 토크, RPM, 동력, 유압잭 스트로크 등으로 설정하며, 외국에서도 실시간 의사결정 지원 체계는 연구 초기단계인 관계로 최고 수준 스펙 파악 불가

1-2. TBM장비 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술

성능지표	국내 기존 사업	개발 목표 스펙
열화상태/수명 예측 정확도[1)]	-	85%
부품구동 추정데이터 측정오차[2)]	-	≤1
챔버환경 밀폐시험시스템(shield packaging system) 내열성[3)]	-	≥80 ℃
챔버환경 밀폐시험시스템 내진동성[4)]	-	≥15 m/s^2
챔버환경 밀폐시험시스템 내압성[4)]	-	≥400 kPa

1) 실제 유효 수명에 대한 예측 유효 수명의 정확도

2) 실측 데이터에 대한 추정치의 오차

3) 쉴드패키징 외기온도에 대한 내성(고온 기준)

4) 쉴드패키징 외부진동에 대한 내성

5) 쉴드패키징 압력환경에 대한 내성

1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발

성능지표	국내 기존 사업	개발 목표 스펙
디지털정보 국제표준 부합성	70%	100%
DB 동시접속 회선 수[1)]	-	100회선 이상
누적 데이터 수 (프로젝트 단위)[2)]	-	15개 이상
시스템 신뢰도[3)]	-	SW품질 인증
시스템 반응시간(delay)[4)]	-	1 sec 이내
액세스 솔루션의 다양성	3종	5종 이상

1) TBM DB는 내부망으로 구축되는 것이 일반적이며, 데이터센터로 활용하기 위해 동시접속 회선 설정이 필요, 1개 현장당 5회선으로 설정하고 최대 20개 현장 설정 가능하도록 목표 설정

2) TBM 데이터는 관련 회사별 보안자료로 구분되어 확인하기 어려움

3) TBM 통합시스템에 대한 신뢰도를 검증한 사례 없음. SW기반으로 시스템이 구성되므로 이에 대한 SW품질 인증을 목표로 설정

4) TBM 통합시스템에 대한 반응시간 역시 알려진 바 없음. 위험요소 등에 대한 대응시간을 고려하여 실시간을 초 단위로 가정하여 설정

2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술

성능지표	국내 기존 사업	개발 목표 스펙
레이저 방식 3D 라인 스캐너 측정횟수[1)]	-	100 회/초
침하량 예측 정확도[2)] -MAE(mean absolute error)	-	1.50mm 이하
침하량 예측 재현율 -결정계수(R^2)	-	0.75 이상
Safety Integrity Level[3)]	-	1/10000 ≤ SIL 〈 1/1000

1) 국내는 장비가 없으므로 (-)로 표시, 일본 Enzan 사 레이저 굴착토 체적 측정장치의 스캐닝 주기는 20~100Hz 임

2) 현재 최고기술 수준(해외)은 Prediction of shield tunneling-induced ground settlement using machine learning techniques(Renpeng CHEN 등, Front, Struct, Civ. Eng, 2019, 13(6):1363-1378) 참고.

3) 터널위험도 분석에 대한 국내외 스펙이 없으므로 (-)로 표시하고 전자 안전 관리 시스템의 기능 안전에 대한 국제 표준인 IEC 61508 기준에서 제시하는 안전 무결성 수준(SIL: Safety Integrity Level, 고장율)을 평가지표로 활용, 시스템의 오작동/불량을 SIL 로 정의하고 SIL 3 수준을 목표 설정

2-2. TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술

성능지표	국내 기존 사업	개발 목표 스펙
작업자 위치 확인 정밀도[1)]	최대 10m	최대 5m
TBM 터널 안전관리 기술 관리 항목 개수[2)]	-	5

1) 지하 광산 적용 사례를 통해 최대 2m 위치 정밀도(독일 광산), 국내 사용 중인 무선통신 측위 기술의 최대 오차는 10m이므로 소프트웨어적인 접근을 통해 최대 5m로 개선

2) TBM 터널 현장에 적용된 사례는 없으며 작업자 위치, 환경 모니터링, 작업 공정 모니터링, 위험 알람 등 항목 관리의 개수

2-3. GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 시스템

성능지표	국내 기존 사업	개발 목표 스펙
융합 센서 기술의 계측 속도 (주기)[1)]	50Hz	100Hz
융합 센서 기술의 계측 정확도[1)]	수평 : 5cm 수직 : 10cm	수평 : 2cm 수직 : 5cm
TBM 시공구간의 지반 거동의 실시간 가시화 성능(지연시간)[2)]	-	2초 이내

1) 센서 융합해의 경우, 사용하는 센서의 성능에 따른 다양한 결과가 나올 수 있음. 현재 최고 기술 수준 및 개발 목표 스펙은 고가의 장비가 아닌 경제성을 고려한 장비의 스펙을 기준으로 작성함

2) 기거동 실시간 가시화 성능은 구성된 하드웨어 및 통신 방식에 따라 달라질 수 있으므로, 정확한 성능 지표를 나타낼 수 없음, 다만, 본 연구에서는 연구 개발 종료 단계에서 5G 정도의 통신 환경을 고려하여 설정함

3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술

성능지표	국내 기존 사업	개발 목표 스펙
굴착토 개량 평가/관리 시스템[1)]	20%	굴착토 개량 평가/관리 시스템 정립 및 현장적용
첨가제 주입/교반 장치[2)]	20%	첨가제 주입/교반 장치의 개발 및 현장적용
친환경 첨가제[3)]	0%	친환경 첨가제의 개발, 상용화
세그먼트 뒤채움 관리기준 및 평가 장치	60%	뒤채움 표준 관리기준(강도), 주입 품질 평가 시스템 (시험속도: 10ring/hour)
친환경 무기계 뒤채움 그라우트	40%	무기계 그라우트 개발/성능평가 및 현장적용

1) 현재 일본에서 개발된 것으로 파악되며 실제 현장에 적용되었으나 보편화 되지는 않음

2) 세계 각지 TBM 장비회사를 중심으로 개발 및 적용 중

3) 현재 세계적으로 EPB-Type TBM 전용 친환경 첨가제는 개발되지 않았음

3-2. 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

성능지표	국내 기존 사업	개발 목표 스펙
고화처리 가능한 굴착토/버력 운반차량 제작[1)]	10%	굴착토/버력을 운반중 고화처리 가능한 운반차량 개발/제작/현장실증
친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 기술[2)]	10%	굴착토 버력을 급속 탈수·안정화 가능한 바이오신소재 개발 및 적용 공법 제시

1) 대용량화에 집중되어 있는 운반차량은 고화처리 기능이 병행되어 개발되지 않았음

2) 아직 굴착토 버력의 굴착직후 급속 탈수·안정화 실용화 기술이 없음

□ TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발 관련 유사사업·과제를 조사 및 분석하여 차별성 및 연계방안을 제시

○ ‘TBM’, ‘굴진’, ‘터널’, ‘EPB’, ‘Slurry TBM’, ‘Boring Machine’, ‘EPB TBM’, ‘Slurry’, ‘Tunnel’, ‘공동구’, ‘굴착’의 키워드를 활용

〈표 2-46〉 타사업과의 중복성 검토

사업명	(TBM 1단계) TBM 핵심 설계 · 부품기술 및 TBM터널의 최적건설기술 개발	(TBM 2단계) TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어시스템 개발	(공동구) 도심지 소단면(3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발	(해저터널) 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발	(스마트건설) 머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술개발
소관부처	국토교통부	국토교통부	국토교통부	국토교통부	국토교통부
관리기관	국토교통과학 기술진흥원	국토교통과학 기술진흥원	국토교통과학 기술진흥원	국토교통과학 기술진흥원	국토교통과학 기술진흥원
사업기간	2010 ~ 2015년	2017 ~ 2021년	2015 ~ 2020년	2013 ~ 2018년	2020 ~ 2025년
예산	114억 원	70억 원	192억 원	258억 원	22억 원* * 스마트건설 기술개발 내 머신러닝 기반 기계화 터널 시공 자동화 기술개발 예산
사업목적	TBM의 독자 설계·제작을 위해 필수적인 복합지반용 쉴드 TBM 커터헤드 설계 기술개발	TBM 커터헤드의 설계자동화에 의한 최적화 설계 기술 및 TBM 운전·제어시스템과 시뮬레이터 개발을 통한 TBM의 최적 활용 기술 개발	도심지내 지하매설 사회기반시설의 경제성 향상을 위한 필수 기술개발	국내 기술이 대륙간, 도서간, 연육간을 연결하는 해저지반 지하에 건설되는 초장대 고수압을 받는 해저터널 건설에 필요한 지질조사, 설계 및 시공, 방재 및 유지관리 등에 망라하는 핵심 설계 및 시공 요소에 대한 국내 기술 확보	데이터와 머신러닝 기술을 활용하여 TBM장비 운전을 자동화하고 전방예측 및 TBM 시공리스크를 분석함으로써 TBM시공 중 발생하는 오퍼레이터의 저숙련, 굴진면 전방 불확실성 등 리스크를 축소

사업명	(TBM 1단계) TBM 핵심 설계 · 부품기술 및 TBM터널의 최적건설기술 개발	(TBM 2단계) TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어시스템 개발	(공동구) 도심지 소단면(3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발	(해저터널) 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발	(스마트건설) 머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술개발
사업내용	TBM 커터헤드 최적 설계기술 및 고성능 디스크커터 개발 고성능 세그먼트 라이닝의 개발 TBM 터널의 설계와 시공 리스크 최소화 및 최적 활용 기반 기술 개발	TBM 커터헤드의 설계자동화에 의한 최적화 설계 기술 및 TBM 운전·제어시스템과 시뮬레이터 개발을 통한 TBM의 최적 활용 기술 개발을 위해, 커터헤드 설계에 대한 핵심 원천기술을 확보하고, 최적 활용과 전문 인력 양성을 위한 시뮬레이터 개발 수행	도심지 터널식 공동구 최적 설계용량 산정 및 글로벌 표준화 설계기술 개발 도심지 소단면 터널식 공동구 굴진율 예측기법과 급곡구간/특수지반 급속 시공기술 개발 공동구용 수직구 급속시공을 위한 저소음/무진동 시공시스템, 보강/차수 기술 개발	고섬도 고수압 조건을 반영할 수 있는 초장대 해저터널 최적 지질/지반조사 기술 확보 미흡한 국내 해저터널 건설 기술 수준을 개선할 수 있는 해저터널 설계/시공을 위한 핵심 요소 기술 개발 내진 설계 기술, 굴진면 안정화 기술 개발 등을 통한 안정성 평가기술 개발 공기압 제어 기술 확보와 화재 진압 및 내화 시스템 개발, 고정압 축류팬 개발을 통한 해저터널의 화재 및 유지관리 기술	시공에서 얻어지는 지반정보와 굴진정보를 기반으로 지반에 따른 TBM 운전 경험 데이터를 사전 처리하여 머신러닝 기법으로 학습시키고 최종적으로 최적의 운전 방법을 도출해 내기 위한 기술 개발 장비 특성 상 확인이 어려운 TBM 전방 지반정보를 비파괴 기법에 의한 데이터를 학습시켜 전방을 예측하는 기술과 TBM 시공 중 발생하는 리스크를 수집 및 분류하고 그 데이터를 머신러닝으로 학습시켜 시공 리스크를 제시하는 기술 개발
차별성	해당 사업은 커터헤드 설계 기술을 개발하는 사업으로 실시간 시공 관리 시스템을 개발하는 본 사업과는 대상 측면에서 차별성 존재	해당 사업은 설계 자동화를 위한 최적화 기술 등에 대한 사업으로 TBM을 실시간 통합 관리하는 본 사업과는 차별성 존재	해당 사업은 소단면 일반 TBM 기술과 수직구용 시공 기술에 대한 사업으로 실시간 시공·안전 통합 관리시스템을 개발하는 본 사업과는 대상과 목적에서 차별성 존재	해당 사업은 해저터널 건설을 위한 최적화 기술개발 사업으로 실시간 TBM 통합 관리 시스템을 개발하는 본 사업과는 차별성 존재	해당 사업은 데이터 학습 기반 머신러닝을 활용하여 TBM 리스크 최소화를 목적으로 추진한 사업으로, TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 구축을 목표로 하는 본 사업과 차별성 존재
연계성	고성능 세그먼트 라이닝 등 일부 기술은 TBM 주요부품 상태의 평가 기술개발사업과 연계하여 활용 가능	운전·제어시스템 및 시뮬레이터 등의 일부 기술은 TBM 실시간 통합시스템 (HW 및 SW) 개발사업과 연계하여 활용 가능	급곡구간·특수지반 등 일부 시공 현장 정보는 본 사업의 기술 개발시 터널 지반 데이터베이스로 연계하여 활용 가능	해저터널 및 하저터널 건설 기술자립을 위해 개발된 기술은 본 사업의 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술로 연계 추진 가능	본 사업에서 개발하는 실시간 시공 통합관제 시스템 개발 시 전방예측 및 TBM 시공 환경에 대한 데이터 활용기술과 연계하여 활용 가능

○ ‘TBM’, ‘굴진’, ‘터널’, ‘EPB’, ‘Slurry TBM’, ‘Boring Machine’, ‘EPB TBM’, ‘Slurry’, ‘Tunnel’, ‘공동구’, ‘굴착’의 키워드를 활용

〈표 2-47〉 유사 과제 중복성 검토

본 사업		유사 과제			차별성	연계성
구성기술명	내용	기술명	내용	예산 (단위: 백만원)		
1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석 및 의사결정 기술	• TBM 굴진데이터를 활용한 의사결정 시스템 개발 • 실시간으로 분석된 TBM 기계데이터를 기반으로 TBM 최적 운전조건 제시 및 문제 발생 시 의사결정 판단근거로 활용 가능한 시스템 개발	〈스마트건설〉 머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술	• 데이터와 머신러닝 기술을 활용하여 TBM 운전을 자동화하고 TBM 시공 리스크를 분석하는 기술	4,298 (‘20~’25)	• 기존 사업은 TBM 데이터와 머신러닝을 활용하여 오퍼레이터의 작업을 대체 또는 보조하는 자동화 기술 개발과 시공 중 발생하는 리스크 분석·관리 기술에 중점을 두었고, 본 사업은 오퍼레이터의 굴진 작업(프로세스)을 포괄하는 공정 전체의 관점에서 운전조건의 조정을 최적화하는 기술 개발과 문제발생 시 대처에 대한 의사결정시스템을 구축하는 점에서 차별화 하고자 함	• 기존 사업에서 개발한 오퍼레이터의 작업을 대체 또는 보조하는 자동화 기술은 본 사업에 포함되어 활용될 수 있음
		TBM 운전·제어 시스템 및 커터헤드 최적화 설계 기술 개발	• TBM 운전·제어 시스템 개발 및 시뮬레이터 개발을 통한 TBM 최적 활용 기술 개발	1,915 (’17~’21)	• 본 사업은 TBM 기계데이터를 실시간으로 모니터링하고 TBM 시공 오류 최소화를 목적으로 하는 반면, 기존 사업은 TBM 운전·제어 시스템의 국산화 사업이므로 본 사업과 차별성 존재	• 본 사업의 실시간 모니터링·분석 및 의사결정 기술은 기존 과제를 통해 개발된 운전·제어 시스템과 연계 가능

본 사업		유사 과제			차별성	연계성
구성기술명	내용	기술명	내용	예산 (단위: 백만원)		
1-2. TBM 부품·파트 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술	• TBM 핵심모듈과 부품들에 대한 실시간 자가진단(self-diagnosis) 및 잔존수명 예지 • TBM 극한환경 센싱 및 시험평가기술(부하, 온도, 압력 등 TBM 챔버 내 극한환경 구현) 개발 • TBM 극한환경 시험평가 방법(등가부하, 등가온도, 등가압력) 개발	머신러닝 기법을 이용한 쉴드 TBM 디스크 커터 수명 예측 모델 개발	• TBM 디스크 커터의 수명을 예측하기 위해 AI 기반 머신러닝 알고리즘을 적용하는 연구	250 ('18~'21)	• 기존 사업은 디스크커터에 대해서만 수명 예측 모델을 제안 • 본 사업은 TBM에 장착된 디스크 커터를 포함한 주요부품과 모듈에 대한 실시간 모니터링과 머신러닝을 수행하여 핵심모듈의 전반에 수명 예측을 수행. 데이터 계측을 통한 예측기술은 기존과 차별성이 큼	• 기존 사업에서 진행한 디스크 커터의 수명 판정기술은 본 사업에서 수행하는 TBM 장치 수명 예지 기술의 벡데이터로 사용될 예정
		TBM 커터헤드 최적 설계기술 및 고성능 디스크커터 개발	• 현재 국내에서 쉴드 TBM의 적용성이 높은 직경 7m급 이상 철도/지하철을 대상으로 TBM 커터헤드 최적설계 기술 및 디스크커터 개발	10,148 ('10~'15)	• 기존 사업에서는 TBM 부품 분야 중 커터헤드 및 고성능 디스크 커터를 개발했지만, 본 사업은 핵심부품과 모듈에 대한 자가진단 및 수명예측 기술을 개발하므로 기술적용 대상 및 범위가 대폭 확대되며 중복성이 전혀 없음 • 연구대상과 개발 결과물에서 많은 차별성이 존재	• 기존연구의 커터헤드 및 고성능 디스크커터 개발 시 수집된 주요 데이터 및 정보를 레퍼런스 데이터로 활용하고, 본 사업의 극한환경 구현 및 시험평가시 참고하여 잔존수명 예지모델로 응용 개발할 예정

본 사업		유사 과제			차별성	연계성
구성기술명	내용	기술명	내용	예산 (단위: 백만원)		
1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제 시스템 개발	• 현장에서 생성되는 다양한 TBM 데이터들을 표준화하여 해당 데이터를 분류·저장하는 데이터센터 구축	-	-	-	-	-
	• TBM 굴진 과정에서 운전자의 숙련도와 상관없이 다양한 알림과 경고 기능 등을 사용하여 효율적으로 관리 및 운용 가능	-	-	-	-	-

본 사업		유사 과제			차별성	연계성
구성기술명	내용	기술명	내용	예산 (단위: 백만원)		
2-1. 실시간 지하침하 및 굴착 위험도 예·경보 기술	• 지반조건 및 TBM 굴진 데이터를 기반으로 머신러닝 기반 침하량 예측 알고리즘 개발 및 굴착 위험도 평가시스템 개발	TBM터널의 설계/시공 리스크 최소화를 위한 기술 개발	• 설계 및 시공단계에서 TBM 공사 트러블(붕괴, 붕락, 굴진정지 등)을 방지하기 위해 굴진면 전방 사전 조사 기술 개발	6,305 ('10~'15)	• 기존 기술은 인력을 투입하고 지하 현장에 센서를 매립하여 전기비저항측정을 기반으로 하는 막장면 안정성이 주요 대상 • 본 사업은 인력 투입 없이 머신러닝을 활용하여 위험도 평가를 수행하며, 막장면 안정을 포함하는 지반침하가 주요 연구대상으로 차별성이 존재	• 기존 매립형 방식을 통해 축적된 데이터를 활용하여 본 사업의 위험도 평가 기준 설정 시 참고
		터널 시공 중 안전관리를 위한 리스크 관리 체계 구축	• 터널 사고 사례(183개소, 200건)를 수집하여 리스크 요인/리스크 사건을 분류하고 인과관계 분석을 실시하여 리스크 등록부, 리스크 대책공법 관리대장을 구축	120 ('17)	• 이 연구는 NATM 터널에 대한 것으로 TBM 현장은 굴착특성, 작업특성에 대한 요소가 다름 • 본 연구에서 제시하는 굴착 위험도 평가 시스템의 알고리듬은 AI를 바탕으로 하므로 차별화 됨	• 사고사례 중 공통적으로 활용이 가능한 자료를 리스크 분석에 활용이 가능

본 사업		유사 과제			차별성	연계성
구성기술명	내용	기술명	내용	예산 (단위: 백만원)		
2-2. TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 시스템	• 통신음영 지역에서 터널 내부의 작업자 또는 지상 관리자와의 통신을 위한 기술 • 터널 내 작업자 및 장비에 대한 신속한 위험요인 탐지 및 실시간 추적·관리 기술	해저터널 설계/시공 시 안정성 평가 기술 개발	• 해저터널 내부의 통신 네트워크 기술 개발 완료 • 통신 데이터량 20 Mbps 이상, 무선 이격 거리 500m 이상, 유/무선 이중 통신방식 기능을 탑재한 AP, Router 3종 장비 개발 완료	4,071 ('13~'18)	• 기존 사업에서 지하 통신 신뢰도 100% 네트워크를 구축한 사례가 있으나 본 사업에서는 통신 네트워크 구축과는 별개로 TBM 현장 내 움직이는 물체(인력, 자재 등)의 위치를 TBM 공정을 고려하여 반영하고 TBM 구간내 위험구간, 작업자 안전 관리 등이 가능하도록 관제 시스템과 연계하여 반영할 예정이므로 기존 연구와는 차별됨	• 기존에 개발된 지하 무선 통신 네트워크 기술은 데이터 전송량, 통신 방식, 통신 거리 등을 고려하여 연구에 활용 • 본 연구 기획에서 말하는 TBM 장비 내에서 통신 네트워크 구축은 데이터 전송, 인력·장비 및 자재의 이동 추적, 터널내 인력간 통신, 인력의 TBM 위험구간 진입 구분 및 알람, 자재 반입 등 원할한 무선통신 네트워크 구축을 통해 인력 및 장비의 안전을 도모하고 이를 지상에서 실시간 관리할 수 있는 시스템 개발에 있음 • 연구에서 고려하는 작업자 위치 추적 기술은 저전력 블루투스 통신 기반으로 소형 부착 장비와 중계 네트워크를 구축하는 것을 목표로 함
2-3. GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반 거동 모니터링 시스템	• 지반조건과 TBM의 굴진에 따라 주변 지반의 거동을 실시간으로 모니터링하기 위한 GNSS 및 IMU 센서를 활용	해저터널 설계/시공을 위한 핵심 요소기술 개발	• 지반정보 기반 역해석(예측) 프로그램 개발	16,469 ('13~'18)	• 본 사업은 실시간으로 시공 구간 전체의 지반 거동을 예측하기 위한 기술이지만, 기존 사업은 시공 전방만 예측하는 기술로 측정 범위에 있어서 차별성 존재. 특히 GNSS 및 IMU센터를 활용하는 모니터링 시스템은 기존 사업에서 수행되지 않은 부분으로서 최신 첨단기술을 활용하는 내용	• 기존 사업에서 지반 거동 예측시 사용한 주요 인자를 본 사업에 참고하여 예측 정확도 향상 연구에 활용

본 사업		유사 과제			차별성	연계성
구성기술명	내용	기술명	내용	예산 (단위: 백만원)		
3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술	• 개량 굴착토 평가 및 친환경 첨가제 주입, 굴착토 분리 공정안 제시	터널 막장면 수압 및 유입수 저감을 위한 쉴드 TBM 챔버 그라우팅 기술 개발	• 챔버 그라우팅 기술을 활용하여 쉴드TBM 커터 교체 시 적용 가능한 기술 개발	160 ('19~'23)	• 기존 사업에서 사용한 세그먼트 배면 뒷채움 그라우트는 강알칼리성 재료를 사용하여 알칼리 용출 및 내구성 저하 우려가 있었지만, 본 사업은 무기계 재료의 적용을 통해 친환경적이고 장기적인 내구성을 보유하며, 뒷채움 상태를 점검할 수 있으므로 차별성 존재	• 기존 사업의 그라우팅 개발 기술을 기반으로 본 사업의 친환경 기술을 개발, 신속하게 상태를 모니터링할 수 있는 기술
3-2. 고함수비 굴착 버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내운반 기술	• 굴착버력의 친환경 고화처리와 고화처리용 운반대차 등 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 다양한 강도와 두께의 세그먼트에 범용적으로 적용 가능한 주입 품질 평가 기술을 개발	쉴드 TBM 챔버 배토처리 향상을 위한 Soil Conditioning	• 현장자료를 통하여 배토처리에 영향을 주는 Soil conditioning system의 문제점을 분석 및 거동모델 확립 후 TBM 챔버와 배토시스템과 상호 연계 거동을 검토	288 ('18~'21)	• 기존 굴착토의 갱내 운반기술은 단순히 지상으로 운반하고, 별도의 지상 고화처리설비를 운영해야 하는 2~3단계로 분리된 기술 • 본 사업에서는 운반 과정에서 친환경 소재를 이용한 고화처리를 통해 간소하게 수행할 수 있는 기술로서 차별성 존재	• 기존 사업의 배토처리 향상을 위한 Soil Conditioning system의 구조 연구에 본 사업의 친환경 소재를 이용한 굴착토의 후처리 간소화 및 건설 재료화 기술에 연계 가능

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 사업 추진계획(안)

□ 도출 방법 및 내용

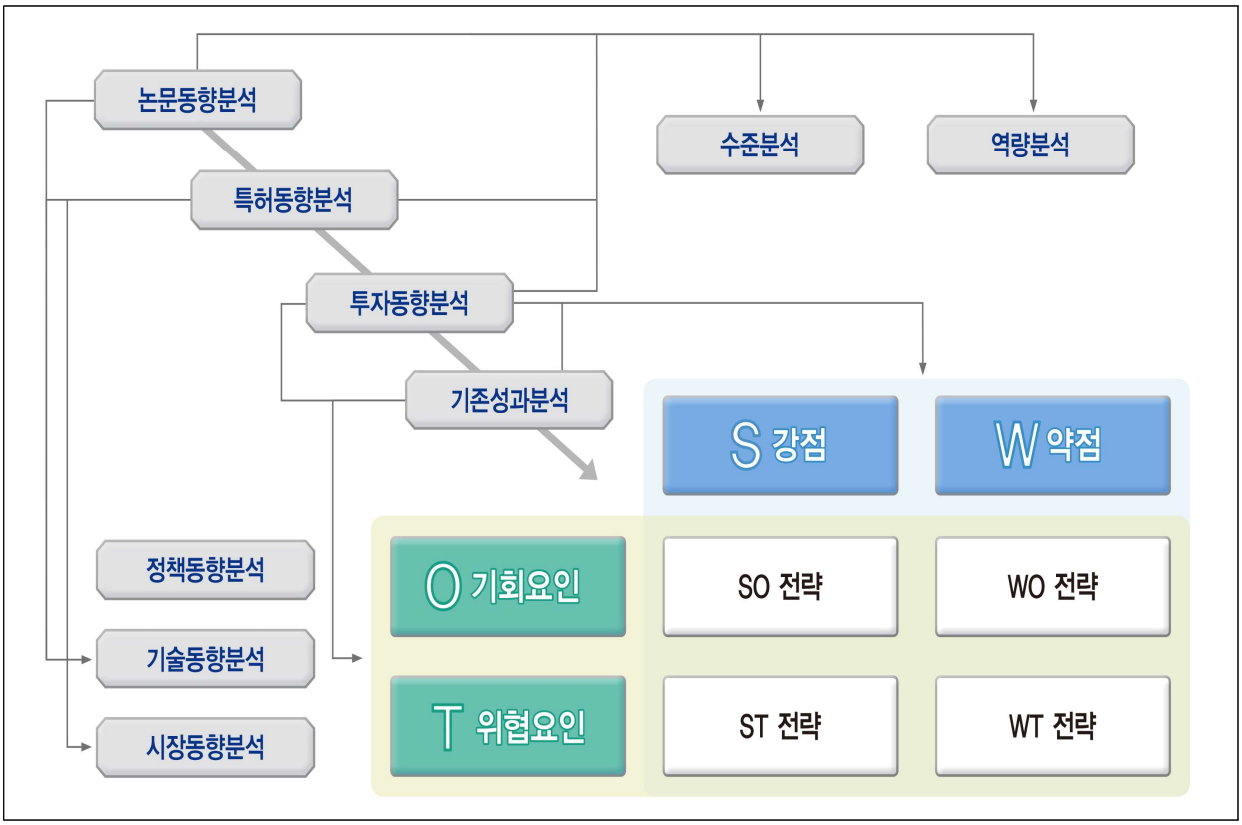
○ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 관련 R&D 수준 및 역량 시점을 '내부환경'으로, 정책, 연구개발, 시장 약점을 '외부환경'으로 조사하여 SWOT-Matrix 분석 시행

- 내부환경은 강점과 약점(SW)으로 외부환경은 기회요인과 위협요인(OT)으로 반영
- 논문 동향과 특허 동향은 외부환경인 연구개발 동향 분석과 시장동향 분석, 내부환경인 수준 분석과 역량분석에 연계반영
- 투자 동향 분석과 기존성과분석 결과는 내외부 구분 없이 적용하되, 투자 동향은 역량 분석에도 연계반영

○ SWOT 분석은 1단계로 대내외 환경변화와 R&D 역량분석, 2단계로 역량 기회요인과 위협 요인, 강점과 약점의 도출, 3단계로 이러한 4개의 요인을 이용한 SWOT matrix 분석을 통한 기술개발 전략 도출 절차로 진행

- SO는 강점을 활용한 성장 전략, WO는 약점극복을 통한 기회 대응 전략, ST는 강점 확산으로 위협 최소화 전략, WT는 약점보완을 통한 생존전략 관점에서 기술

[그림 3-1] R&D 추진방향 도출 방법



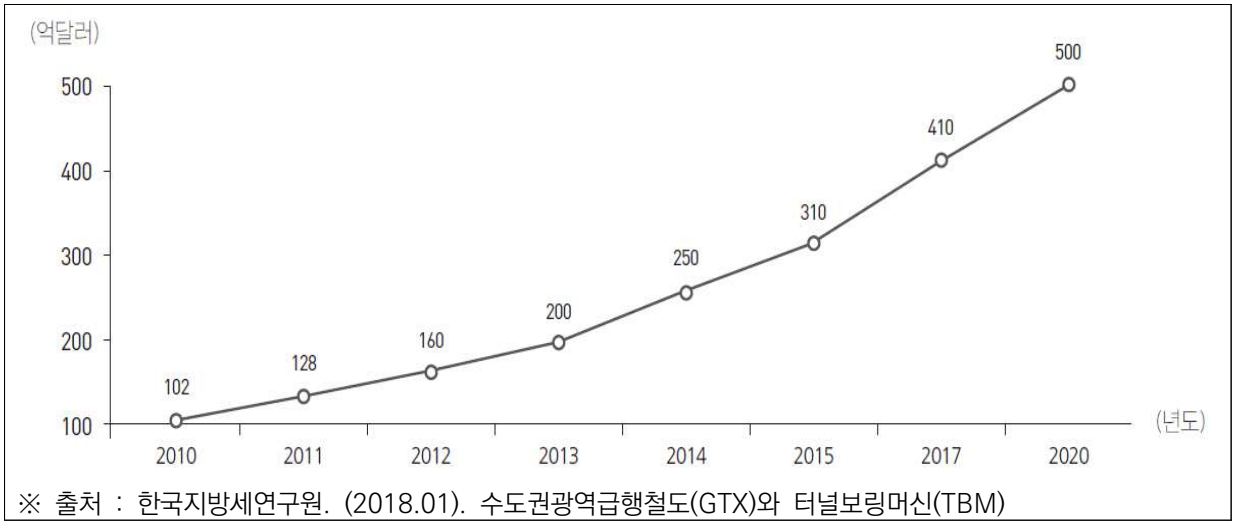
(2) 종합분석(SWOT)

(가) 외부환경: 기회와 위협

□ (기회 1) TBM 세계 시장 규모가 10년 만에 11조에서 56조 원으로 큰 폭으로 지속 성장 중

○ 유라시아 해저터널과 같이 세계적으로 도심지 터널, 하·해저터널, 장대 산악터널 등에서 친환경적이고 경제적인 터널 공법으로서 TBM의 적용이 확대되고 있는 상황

[그림 3-2] 세계 TBM장비 시장규모



※ 출처 : 한국지방세연구원. (2018.01). 수도권광역급행철도(GTX)와 터널보링머신(TBM)

○ 세계 TBM장비 시장규모는 매년 20%씩 고성장중이며 도심지에서 중요하게 요구되는 환경성·안전성 및 경제성 향상을 위한 최적의 터널공법으로 주목

- 발파공법과 비교할 때 시공시간의 단축으로 고효율의 급속시공이 가능하다는 장점이 부각
- 또한 소음·진동 등의 저감효과 뿐만 아니라 낙반 등의 위험요소가 적어 이러한 문제들에 의해 발생하였던 사회적 비용 감소

□ (기회 2) 주요국에서는 터널공사에 대한 리스크관리 지침 제정 및 지반 조건에 의한 위험 요소가 제시되고 있으나 시스템에 관한 연구의 진척도는 낮은 상황

○ TBM 시공에 관해 리스크관리 및 지반관리에 대한 위험요소를 제시

- 미국에서는 2012년 UCA(미국지하공간협회)를 중심으로 터널 및 지하 건설공사에서의 개선된 리스크관리 지침이 제정되어 일반 터널 프로젝트에 적용하도록 하고 있음 (김영근, 2019)
- Sousa and Einstein(2011)은 미국의 지하철 프로젝트에 베이시안 네트워크(Bayesian Networks)를 활용한 리스크 분석을 수행한 바 있으며, 지질예측 모델을 기반으로 하여 리스크를 최소화하는 시공전략 결정 모델을(Construction strategy decision model) 제안

○ TBM 리스크관리 시스템에 관한 연구 진척도는 낮은 상황

- 지하터널 공사에 대한 리스크관리 시스템은 BTS(영국터널학회)와 ABI(영국보험자협회)에 의해 제안되었으나 공사 현장에 접목하기엔 제한적인 부분이 많음

[그림 3-3] Guidelines for Improved Risk Management on Tunnel and Underground Construction Projects(UCA, 2012)



□ (기회 3) 「제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)」을 통해 건설기술 선진화와 연구개발 촉진을 통한 경쟁력 제고 및 Big data 기반 건설산업의 기술 고도화를 추진

○ 건설기술 및 관련 정책·제도 선진화와 연구개발 촉진을 통해 경쟁력을 제고하고 4차 산업혁명 시대에 대응 가능한 건설산업 생태계를 구성

○ 현재 노동집약적인 건설 산업을 고도화된 기술이 적용되는 미래 산업으로 육성하여 고부가 일자리 확보, 노동 생산성 향상, 안전한 근로 환경 조성을 추진

- 경험 중심의 노동집약적 건설 산업을 선진화하여 노동생산성 40% 향상, 사망자 수 30% 감소, 근로시간 20% 단축, 건설엔지니어링 해외수주 100% 확대 목표를 제시

[그림 3-4] 제6차 건설기술진흥기본계획의 전략

전략 Ⅰ 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성

분 야	중점 추진 과제
기술개발	① 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상 ② 해외 수요 대응형 건설기술 개발
고부가 산업 육성	③ 분야간 융·복합을 통한 경쟁력 강화 ④ 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성
건설 안전 강화	⑤ 건설의 안전·환경 관리

전략 Ⅱ 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선

분 야	중점 추진 과제
산업 개편·육성	① Eng.의 역량 강화 및 해외진출 지원 ② 국제 기준에 부합하는 제도 구축
건설인력·교육	③ 글로벌기준에 맞는 경력 관리체계 구축 ④ 국제경쟁력을 갖춘 기술인력 육성
기준·제도	⑤ 기술력 중심의 발주·심의 강화

※ 출처 : 국토교통부. (2017). 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)

□ **(기회 4) 「제1차 자원순환기본계획('18~'27)」을 통해 '폐기물 발생량 감축' 및 '순환이용률 향상'이 포함되어 폐기물 처리에 소비되는 시간 단축 예정**

○ 국내에서 연간 발생하는 건설 폐토석은 약 200만 톤 수준으로 이중 15% 정도가 TBM 굴착과 관련있는 상태

- TBM 굴착토는 고함수비, 중금속/오염물 흡착, 낮은 pH등과 같은 특성에 의해 대부분 건설폐기물로 취급되어 사토장에 매립 또는 폐기되는 실정
- 최근 건설폐기물 및 지하건설 관련 굴착토 발생량 증가와 이에 따른 매립지 포화 등 사회적 이슈로 대두
- 국내 건설폐기물 순환이용률 79.5% 대비 9.4% 증가하여 88.9%에 해당하는 이용률 달성 목표
- 폐기물처리비용의 지자체 간 격차 해소 및 전국 단위 통합관리체계 마련을 위한 '폐기물 처리시설 최적화 전략' 추진 중('11~)

□ **(위협 1) PHM 및 AI를 활용한 기술을 선점하고자 미국 Colorado School of Mines에서 굴진 자동화 및 굴진율 예측에 관한 연구 수행**

○ 센서로 유입되는 정량적인 데이터에 의존하는 것이 아닌 AI를 활용하여 TBM 작업환경에 대한 상호작용, PHM 활용 예측, 분석을 수행

- CSM에서는 AI를 이용한 굴진 자동화에 대한 연구 수행중: TBM-지반 상호작용 과정을 이해하기 위한 데이터 패턴 인식 연구(오퍼레이터-입력, 장비성능-출력)
- 이산사건 시뮬레이션(Discrete evenet simulation) 모델 기반의 굴진율 예측에 관한 연구 수행

□ **(위협 2) 발파식 터널굴착 공사로 인해 싱크홀, 교통체증, 동식물 서식지 훼손, 건물 균열, 문화재 손상 등을 예측하지 못하고 사후 대응해야 하는 상황 발생**

○ NATM과 같은 발파식 공법은 인근 지역의 지반침하를 유발시키고 지하수를 유출시켜 주변 지역의 대규모 싱크홀 발생으로 이어지는 등 지반 안전 문제를 유발

[그림 3-5] 발파 방식의 터널굴착 공사로 인한 싱크홀 발생 사례

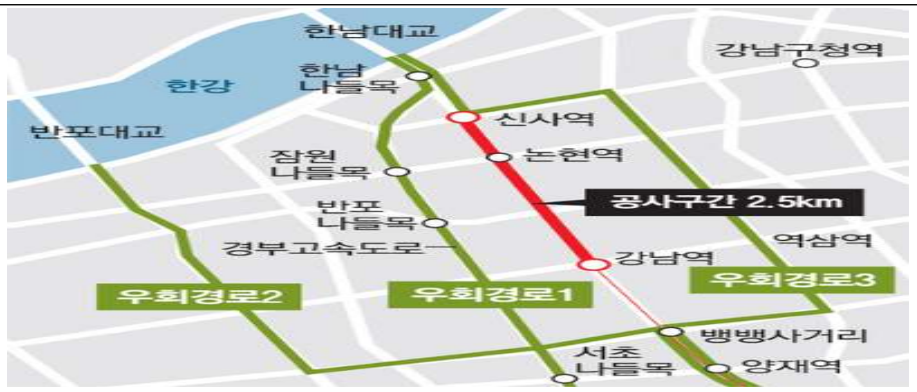


※ 출처 : 동아닷컴. (2016.04.05.). 인천 송현동 싱크홀 원인은 지하차도 발파공사

○ 우리나라 터널굴착 공사 방식의 대부분을 차지하고 있는 발파 방식의 'NATM 공법'은 긴 기간 지속적으로 교통체증을 유발하는 등의 사회적 비용을 야기

- NATM 공법의 경우 천공작업, 발파, 환기, 버력제거, 보재시공이라는 많은 단계를 거쳐야만 작업이 가능하여 진행 속도가 1일 2회 기준으로 약 '4~6m/일'에 불과
- 발파 및 긴 공기에 따라 터널 건설 현장 주변 지역이 오랜 기간 통제되고 지속적인 교통체증이 유발되는 등의 사회적 비용 발생

[그림 3-6] 신분당선 연장공사('17~'22년)로 인한 교통 문제



※ 출처 : 동아일보. (2017.03.10.). 상습정체 강남대로, 3월말부터 더 지옥

○ 야간에도 진행되는 터널 발파 작업으로 인해 멸종위기 동식물들의 서식 환경에 문제가 발생

※ 출처: 한겨레. (2018.10.02.). 백두대간 야간 발파로 멸종위기 삵·수달 기절하겠네

○ 단순 경제적 가치로 환산할 수 없는 오래된 중요 건축 문화재들이 터널 굴착 공사에 따른 발파진동으로 인해 손상되고 있어 문제가 제기되고 있는 상황

- 11년간 진행되어 최근 완공된 울산의 율리-삼동 간 도로 건설사업의 경우, 현장 인근에 있어 장기간의 진동에 노출된 '보물 제382호 청송사지 삼층석탑'에 균열이 발생

※ 출처: MBC (2018.05.04.) 터널 발파 작업에 가옥·보물까지 균열…주민들 '불안'

□ (위협 3) TBM 시장이 과점형태가 되면서 기술진입장벽이 높아지는 추세

○ TBM은 건설장비 중 기술집약도 및 최적화 필요성이 높은 장비이기 때문에 관련 핵심기술은 소수의 제작사만이 보유하고 있으며, 이에 따라 진입장벽이 높은 상황

- 중대단면급 이상의 TBM은 현재 국외 선도 제작사로부터 100% 수입되고 있는 상황

○ 세계 TBM 시장은 독일·중국 제조사의 점유율이 대부분인 상황으로, 지속적인 점유율 증가 추세에 따라 독일·중국 양강구도 형태로 굳혀지고 있는 실정

- 독일의 헤렌크네히트사가 '08년까지 세계시장의 약 40%를 점유하며 독보적으로 시장을 이끌어가던 시기에는 그 외 다수의 TBM 관련 기업이 존재하였었으나, 이후 공격적 기업인수를 통해 중국의 CRCHI 및 CRTE가 급성장하며 독일·중국 양강 과점 구도로 시장은 재편
- 독일은 품질로 중국은 가격 경쟁력으로 최근 시장 점유율을 공고히 하여, 독일과 중국 외 제조사들은 인수되거나 TBM 생산을 멈춘 상황이고 일본 정도만이 소규모로 제작 중

※ 출처 : 건설경제 (2019.11.04). 세계 TBM 생산 1위 CRCHI를 가다

(나) 내부환경: 강점와 약점

□ **(강점 1) '20년 국가연구개발사업의 예산은 24조 2,195억 원으로 전년 대비 약 18.0%가 증가했고, 연구개발을 통해 지속가능한 성장기반 강화 및 핵심기술 자립화 추진 중**

○ 소재·부품·장비 분야에 집중투자(1조 7,206억 원) 하여 소재·부품·장비 분야 핵심 품목의 특정 국가 의존도를 낮추고, 제품 국산화를 촉진하기 위한 기술개발-인프라 전주기 지원을 강화

- 소재·부품·장비 분야에 대해서는 「장·단기 기술개발→시제품 제작→성능·양산평가→ 설비 투자 자금 공급」의 전주기 지원 및 대기업 등 수요기업과 협력 개발을 지원하여, 상용화를 앞당기고 판로 지원

○ 건설·교통·안전 분야 R&D에는 지난 5년간 매년 7~8천억 원가량의 예산이 꾸준히 투자되고 있는 상황

○ '20년 국토교통 R&D는 국가연구개발사업 총예산의 약 2.2%로 5,247억 원의 예산이 투자되었으며 매년 지속 증가 추세

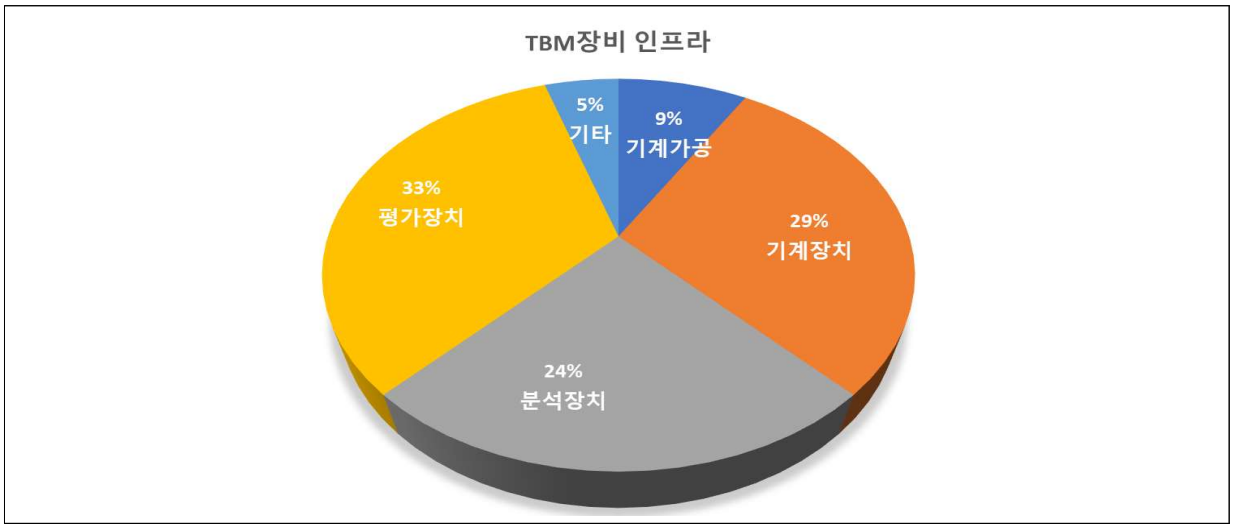
[표 3-1] 국가연구개발사업과 국토교통 R&D 사업의 투자 동향

구분	국가 R&D	건설·교통·안전 R&D	국토교통 R&D
2016	190,942	7,649	4,075
2017	194,615	7,663	4,329
2018	196,681	8,209	4,667
2019	205,328	7,388	4,822
2020	242,195	7,540	5,247

※ 출처 : 한국과학기술기획평가원. (2020). 2020년도 정부연구개발예산 현황분석, 국토교통과학기술진흥원, 연도별 국토교통연구개발사업 시행계획 참고하여 재가공

□ **(강점 2) TBM 통합관리형 기술 관련 인프라는 기존 R&D사업을 통하여 구축된 것으로 확인되며, 향후 TBM 연구개발 수행에 따른 인프라로 적정한 것으로 판단**

[그림 3-7] TBM기술 관련 국내 연구인력 현황



○ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 활용하여 TBM 관련 키워드 검색을 통한 기구축 장비 도출

○ “TBM”, “터널시공”, “커터헤드”, “굴착”, “배토”, “터널레일” 키워드를 활용하여 82개 장비 도출 및 기구축 TBM 관련 장비 인프라는 기계가공, 기계장치, 분석장치, 평가장치, 기타로 분류하여 활용 가능

- (기계가공)은 수직밀링머신, 3차원조각기, 삼축압축 셀, 절삭 기구 등 TBM장비를 제작함에 있어 가공을 위한 기계적 가공 장치
- (기계장치)는 입형펌프, 자가 동력시추기, 차륜굴착기, 그라우팅 펌프, 베토역류방지장치 등 터널 굴착에 필요한 기계적 장치
- (분석장치)는 전파측정기, 방사선 밀도계, 진도레벨측정기, 탄성파탐사기, 3차원측량장비, 터널 구조 간격 게이지 등 터널 굴착에 필요한 지반 분석장치
- (평가장치)는 세그먼트 실물 성능평가 시스템, 자동화락볼트인발시험기, 숏크리트 타설 기본시스템 등 터널굴착과 관련한 부품 및 장치 평가장치

○ 주요 연구개발 기관의 공정 시설 및 계측장비 외에 각 연구기관과 대학 및 민간기업이 보유하고 있는 인프라, 시설 장비를 고려할 경우 더 많은 시설과 장비가 존재하는 것으로 확인

□ (강점 3) 국내 신규 터널 건설 구간을 테스트베드로 활용 가능

○ 수도권 광역 급행철도 C노선 민간투자사업 노선(GTX-C)

- 희망 노선: 경기 수원 ~ 정부과천청사 ~ 서울시 ~ 의정부시 ~ 경기도 양주시 덕정

○ 서울도시철도 9호선 4단계 연장사업

- 희망 노선: 서울시 강동구 둔촌동 ~ 고덕동

□ (강점 4) 「제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)」 및 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27)」에 따라 고부가가치형 인프라 건설 및 건설산업의 디지털화 추진

○ 건설기술 및 관련 정책·제도 선진화와 연구개발 촉진을 통해 경쟁력을 제고하고 4차 산업혁명 시대에 대응 가능한 건설산업 생태계를 구성

○ 국내 핵심* 산업인 국토교통 분야에 대한 새로운 부가가치 창출 요구에 따라 기존 산업의 첨단화, 효율화 등을 이끌어 지속적인 기술경쟁력 제고 추진을 제시

* '15.3/4 ~ '16.2/4분기 GDP 성장률(3%) 중 건설투자의 기여율은 40.1%('16, 한국은행)

- 추격형 기술개발 전략에서 벗어나, 기술수준을 획기적으로 향상시킬 수 있는 세계 선도 기술 개발에 대한 과감한 투자를 이끌 계획

□ (강점 5) 국내 기업은 TBM 시공 방법에 대한 우수한 기술력을 갖추고 있음

○ 한국건설기술연구원에서 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발 연구 수행 중

- 데이터와 머신러닝 기술을 활용하여 시공과정 및 주변 환경에 대한 불확실성의 리스크를 감소시키는 기술 개발 진행

○ 현대건설에서 지반에 따라 굴착속도 향상 위한 최적운전 지원 시스템 연구 수행 중

- 각기 다른 지층, 암층의 상황에 적합하게 운전하여 최고의 굴착속도를 낼 수 있는 최적운전시스템(TADAS, TBM Advanced Driving Assistance System)을 자체 개발

○ SK건설에서 지질 및 암반 강도 예측 시스템 연구 수행 및 TBM 제어파라미터 결정 방법을 보유하고 있음

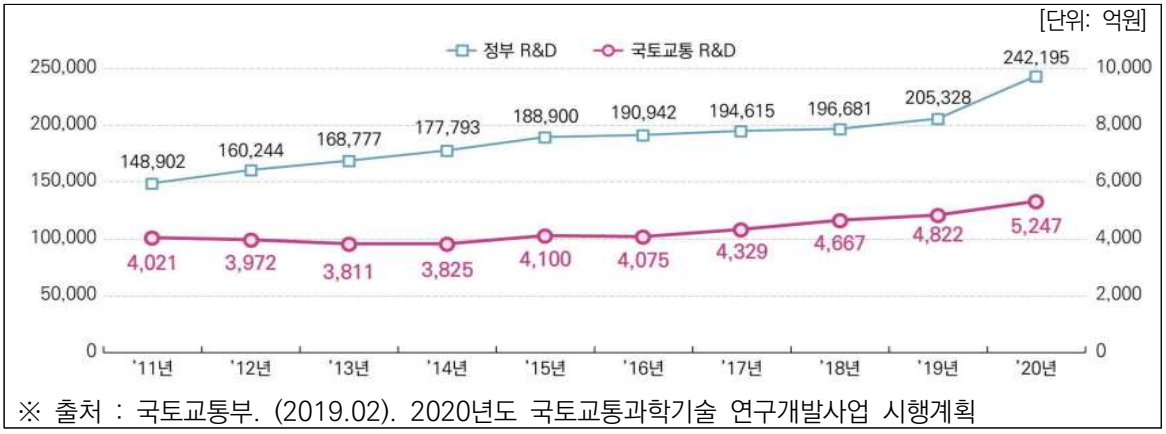
- TBM 기계데이터를 이용한 실시간 전방 지질 예측 및 굴진 면 암반의 강도를 유추하는 기초 연구 수행
- TBM 사양 및 운전자 이력을 고려한 최적 운전 파라미터 도출 수행

□ (약점 1) TBM 관련 정부 R&D 예산 비중이 매우 낮은 상황

○ '20년도 정부 R&D 예산(24조 2,000억원) 중 국토교통 R&D 사업 예산은 5,247억원으로 2.2%를 차지하고 있으나, TBM 관련 기술 개발에 대한 투자액은 43억원으로 0.02%*에 불과

* 정부 R&D예산 중 TBM 관련 기술 개발 투자 비중은 0.0178% 차지함

[그림 3-8] 연차별 정부 및 국토교통 R&D 투자 규모



※ 출처 : 국토교통부. (2019.02). 2020년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획

- 국토교통 R&D 중 최근 10년간('11년~'20년) 투자비중은 교통(46%), 국토(37%), 기반구축(17%) 순으로 투자

[그림 3-9] 분야별 투자비중 및 분야별 투자추이



※ 출처 : 국토교통부. (2019.02). 2020년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획

- 국토분야, 교통분야 및 기반구축분야의 핵심 기술 개발에 꾸준히 투자하였으나, TBM 관련 기술에 대한 투자는 전반적으로 미흡

□ **(약점 2) TBM장비의 및 손상 위치 파악이 시공 지연 기간의 70~90% 차지**

○ TBM 장비의 파손/손상을 육안으로 식별하는 것이 매우 어렵기 때문에, 진단과 위치파악에 상당한 시간이 소요됨

○ TBM장비에 파손/고장이 발생하면 인력에 의해 그 위치와 원인을 육안으로 확인·파악하는 사후정비 방식의 수동체계로서 TBM 시공지연의 주된 요인으로 지적

□ **(약점 3) 배출되는 토사 내 중금속 및 건설폐기물 처리로 인한 공사 비용 증가 발생**

○ TBM 굴착을 통해 배출되는 버력 및 배토는 현재 중금속/오염물의 흡착, 열화, 저pH 그리고 높은 함수비로 인해 대부분 사토장에 매립 또는 폐기되는 실정으로 이를 처리하기 위한 비용이 증가하는 추세

- 작업장 계획시 대형 고화처리설비를 위한 공간이 필요하고, 지상에서 일정시간을 건조시킨 후 반출해야 하므로 적치공간도 충분한 여유를 확보하여야 하는 문제점이 발생
- 경제성과 더불어 전 세계적으로 환경 문제에 관심이 급증하고 있어 건설분야에서도 친환경적인 시공 방법이 제안되는 실정

□ **(약점 4) 현재의 단거리 발주 제도하에서는 기존 NATM 공법이 경제성에서 우위를 가지고 있기 때문에 국내 TBM 공법 적용 활성화가 어려운 상황**

○ TBM 공법으로 대체되기 위해서는 TBM 공법 운영의 효율화와 작업자·국민 안전성 측면 향상을 통한 경쟁력 확보가 필요

□ **(약점 5) TBM에서 생성되는 기계데이터의 종류는 수백 개에 달하지만 TBM 오퍼레이터가 이해하고 제어할 수 있는 변수는 극히 일부에 불과**

○ 일반적인 TBM 오퍼레이터들이 즉각적으로 제어할 수 있는 변수는 3~4개 미만에 불과

※ 출처: Engineering News-Record 홈페이지 (https://www.enr.com/)

○ TBM에서 생성되는 기계데이터는 오퍼레이터가 수기로 작성하는 굴진일보 또는 엑셀파일 형태로 단순 저장됨으로 인해, 기계데이터의 신속하고 신뢰적인 분석이 이루어지지 않고 있으며 후속 시공사이클에 피드백(feedback)되는데 기술적인 한계가 존재

○ 현장에서 취득된 굴진데이터는 그 양과 종류가 방대하고, 운전원의 경험으로만 분석하기에는 한계가 있으며, 데이터 간의 상호 관계나 해석을 실시간으로 수행하는데 어려움이 있음

○ TBM 시공트러블이 발생할 경우, 공사지연의 만회를 위해 최적의 TBM 운전조건을 후속 공정에 피드백 할 수 있어야 하나, 대부분 과거 굴착자료나 통계적 접근법에 의존함으로 인해 최적화를 위한 대안 제시에 한계 존재

(3) SWOT 분석결과

□ TBM 통합관리 기술개발 관련 외부환경의 이슈와 국내 내부역량을 고려한 SWOT 분석을 통해 추진방향 도출

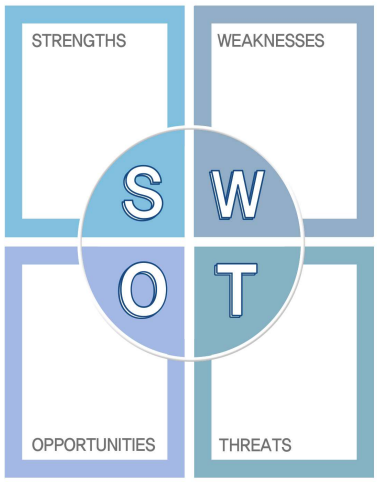
〈표 3-2〉 SWOT 요약

본 사업이 대응해야 하는 외부환경의 이슈	
O	T
S	W
본 사업이 고려해야 하는 내부역량	

· (기회 1) TBM 세계 시장 규모가 10년 만에 11조에서 56조 원으로 큰 폭으로 지속 성장 중 · (기회 2) 해외 주요국들도 데이터에 기반한 TBM 시공 시스템에 관한 연구의 진척도는 낮은 상황 · (기회 3) 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)을 통해 해외 수주 확대 및 Big data 기반 신사업 육성 · (기회 4) 「제1차 자원순환기본계획('18~'27)」을 통해 '폐기물 발생량 감축' 및 '순환이용률 향상'이 포함되어 폐기물 처리에 소비되는 시간 단축 예정	· (위협 1) TBM 시장이 과점형태가 되면서 기술진입 장벽이 높아지는 추세 · (위협 2) PHM 및 AI를 활용한 기술을 선점하고자 미국 Colorado School of Mines에서 굴진 자동화 및 굴진율 측정에 관한 연구 수행 · (위협 3) TBM 터널 건설 주변 지역의 피해를 예측하지 못해 민원 발생 후 사후 대응해야 하는 상황 발생
· (강점 1) '20년 국가연구개발사업 예산이 전년 대비 약 18% 증가한 24조 원으로 핵심기술 자립화 추진 중 · (강점 2) 기존 R&D사업을 통하여 지하공간 및 지반 연구에 대한 인프라를 갖추고 있음 · (강점 3) 국내 신규 터널 건설 구간을 테스트베드로 활용 가능 · (강점 4) 제도적으로 건설산업의 디지털화를 추구함에 따라 원활한 사업 추진 가능 · (강점 5) 국내 기업은 TBM 시공 방법에 대한 우수한 기술력을 갖추고 있음	· (약점 1) TBM 관련 정부 R&D 예산 비중이 매우 낮은 상황 · (약점 2) TBM 장비진단 및 손상 위치 파악이 시공 지연 기간의 70~90% 차지 · (약점 3) 배출되는 토사 내 중금속 및 건설폐기물 처리로 인한 공사 비용 증가 발생 · (약점 4) 일부 제도가 TBM 적용에 따른 경제적 측면에서 저해 요인으로 작용 되고 있음 · (약점 5) 시공 현장에서 얻은 정보가 Excel 기반의 산발적인 데이터로써 체계적이지 않은 상태로 저장되고 있음

(4) SWOT 분석을 통한 사업의 전략 도출

□ TBM 통합관리 기술개발과 관련한 현황 및 역량을 종합적으로 고려하여 사업의 전략을 도출

<table>
<tr><td> 
</td><td><u>Strengths(강점)</u>
▪ ‘20년 국가연구개발사업 예산이 전년 대비 약 18% 증가한 24조 원으로 핵심기술 자립화 추진 중
▪ 기존 R&D사업을 통하여 지하공간 및 지반 연구에 대한 인프라를 갖추고 있음
▪ 국내 신규 터널 건설 구간을 테스트베드로 활용 가능
▪ 제도적으로 건설산업의 디지털화를 추구함에 따라 원활한 사업 추진 가능
▪ 국내 기업은 TBM 시공 방법에 대한 우수한 기술력을 갖추고 있음</td><td><u>Weaknesses(약점)</u>
▪ TBM 관련 정부 R&D 예산 비중이 매우 낮은 상황
▪ TBM 장비진단 및 손상 위치 파악이 시공 지연 기간의 70-90% 차지
▪ 배출되는 토사 내 중금속 및 건설폐기물 처리로 인한 공사 비용 증가 발생
▪ 일부 제도가 TBM 적용에 따른 경제적 측면에서 저해 요인으로 작용 되고 있음
▪ 시공 현장에서 얻은 정보가 Excel 기반의 산발적인 데이터로써 체계적이지 않은 상태로 저장되고 있음</td></tr>
<tr><td rowspan="2"><u>Opportunities(기회)</u>
▪ TBM 시공 관련 세계 시장 규모가 10년 만에 11조에서 56조 원으로 빠르게 확대되고 있는 시장
▪ 해외 주요국들도 데이터에 기반한 TBM 시공 시스템에 관한 연구의 진척도는 낮은 상황
▪ 제6차 건설기술진흥기본계획(‘18~’22)을 통해 해외 수주 확대 및 Big data 기반 신사업 육성
▪ 제1차 자원순환기본계획(‘18~’27)을 통해 국내 건설폐기물의 10% 감축을 목표로 추진</td><td>SO 전략</td><td>WO 전략</td></tr>
<tr><td>▪ SO1. 해외 수주 확대를 목표하는 정부 기조에 맞춰 국제적으로 성장하고 있는 TBM 분야에 정부 R&D 예산 투자
▪ SO2. 국내 신규 터널 건설 구간을 테스트베드로 활용하여 개발기술의 실증 수행</td><td>▪ WO1. 건설폐기물의 친환경 동시 처리 기술 개발로 시공 비용 및 기간 단축
▪ WO2. TBM 건설현장의 Big data를 활용할 수 있도록 수집/표준화하는 통합관리시스템 운영</td></tr>
<tr><td rowspan="2"><u>Threats(위협)</u>
▪ PHM 및 AI를 활용한 기술을 선점하고자 미국 Colorado School of Mines에서 굴진 자동화 및 굴진율 측정에 관한 연구 수행
▪ TBM 터널 건설 주변 지역의 피해를 예측하지 못해 민원 발생 후 사후 대응해야 하는 상황 발생
▪ TBM 관련 시장이 과점형태가 되면서 기술진입장벽이 높아지는 추세</td><td>ST 전략</td><td>WT 전략</td></tr>
<tr><td>▪ ST1. 기존의 우수한 인프라(인력, 장비) 및 국가적 지원을 통해 시공 주변환경 피해를 예측할 수 있는 AI 기술을 개발하여 사회적 문제를 해결
▪ ST2. 역량이 높은 국내 TBM 시공 분야 기반의 기술개발을 통해, 진입장벽이 높은 글로벌 기술시장에서의 경쟁력 확보</td><td>▪ WT1. TBM 공법의 경제적 효용성 향상을 위해 기존 터널 발주제도 개선에 대한 연구 수행
▪ WT2. AI 기반 TBM 장비 수명 진단 기술개발을 통해 시공기간 단축으로 공정 혁신 확보</td></tr>
</table>

(5) 사업(안) 선정 및 추진과제 도출

□ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 도출 과정

○ TBM 분야 환경분석 및 역량진단과 전문가 의견수렴을 통한 가능성 진단을 통해 기술개발전략 후보(안)을 설정하고, 이후 두 단계에 걸친 전문가 검토 및 기술 역량 조사를 통해 TBM 분야 기술개발사업(안)을 구체화

- 환경분석 및 역량진단을 통해 6개의 기술개발전략 후보 설정
- 6개의 기술개발전략 후보에 대한 전문가 검토를 통해 4개의 시나리오(안) 으로 압축
- 4개의 시나리오(안)에 대한 기술개발 가능성 검토 프로세스 수행을 통해 최종 사업(안)을 도출

〈표 3-3〉 TBM 분야 기술개발사업(안) 도출 과정

[1단계]

환경분석 및 역량진단	+	전문가 의견수렴을 통한 가능성 진단
소결: 중대단면 TBM 본체개발 가능성↓, 시공/운영 기술력 제고 등 종합적 고려 필요		

⇩

[2단계]

기술개발전략 후보(안) 설정(6개)

[전략1] 해외 TBM 기업 인수 지원을 통한 본체 제작 기술 확보	[전략4] 설계-조달-조립-시공-운영-해체-반납의 TBM 공법 全 프로세스 효율화
[전략2] 3.5m급 소단면 TBM 국산화율 향상	[전략5] ODA, PPP 사업 등을 통한 국내 기업의 해외 TBM 시장 진출 지원
[전략3] TBM 시공/운영 분야 혁신기술 개발	[전략6] TBM 시장 활성화를 위한 제도 개선

↓ **(전문가 검토)**

R&D 시나리오(안) 도출(4개)

[시나리오1]	[시나리오2]	[시나리오3]	[시나리오4]
국내 TBM 시공 굴진율 혁신적 향상	TBM 터널 시공 프로세스 운영·관리 효율화	국내 기업의 해외 TBM 시장 진출 지원	TBM 시장 활성화를 위한 제도 개선

⇩ **(전문가 인터뷰, 기술개발 검토)**

[3단계]

사업(안) 도출

시나리오2 → **사업(안)**

인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업

○ 기술수요조사 및 관련 동향 분석을 통해 후보과제를 도출하고, 내부 연구진 회의, 외부 전문가 자문회의, 기획위원회 검토를 거쳐 연구개발과제를 도출

〈표 3-4〉 연구개발 과제 도출 과정

순서	진행사항	일시	주요 내용	
1	기술 수요조사 실시 및 후보과제 도출	2020. 11.~ 12.	목적	· 기술수요조사 및 후보과제 도출
			내용	· 산·학·연 전문가 대상의 TBM 분야 기술수요조사 - 기술수요조사 실시: 2020. 11. 26. ~ 2020. 12. 21 · 기술수요조사 결과 취합하여 후보과제 목록 도출
▼				
2	연구개발 과제(안) 우선순위 도출	2021. 1.	목적	· 연구개발과제(안) 검토와 우선순위 도출
			내용	· 국가 연구개발과제로 추진해야할 필요성에 대한 논의 · 기획위원 대상 설문조사 실시로 과제 선정

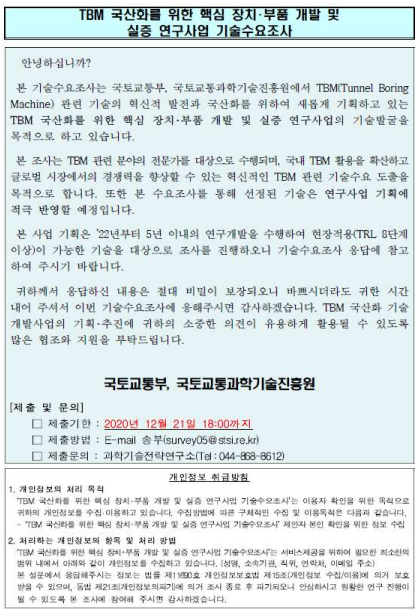
기술수요조사 개요

❑ 조사방법
- 기술수요조사: 서면 자문
- 기술정의서 및 기술분류체계 검토: 자문회의 개최

❑ 수요조사 대상
- 참여 연구기관 및 산, 학, 연, 관의 관련 전문가 대상(한국터널지하공간학회, 한국암반공학회 및 유관 기업)

❑ 조사 양식
- 기술수요조사를 위해 국토교통부 소관 연구개발사업의 신규과제 선정 등에 관한 지침의 별지 제1호 서식을 응용

[그림 3-10] 기술수요조사 양식



TBM 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기술수요조사

안녕하십니까?

본 기술수요조사는 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원에서 TBM(Tunnel Boring Machine) 관련 기술의 혁신적 발전과 국산화를 위하여 새롭게 기획하고 있는 TBM 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업의 기술발굴을 목적으로 하고 있습니다.

본 조사는 TBM 관련 분야의 전문가를 대상으로 수행되며, 국내 TBM 활용을 확산하고 글로벌 시장에서의 경쟁력을 향상할 수 있는 혁신적인 TBM 관련 기술수요 도출을 목적으로 합니다. 또한 본 수요조사를 통해 선정된 기술은 연구사업 기획에 적극 반영할 예정입니다.

본 사업 기획은 '22년부터 5년 이내의 연구개발을 수행하여 현장적용(TRL 8단계 이상)이 가능한 기술을 대상으로 조사를 진행하오니 기술수요조사 응답에 참고하여 주시기 바랍니다.

귀하께서 응답하신 내용은 절대 비밀이 보장되오니 바쁘시더라도 귀한 시간 내어 주셔서 이번 기술수요조사에 응해주시면 감사하겠습니다. TBM 국산화 기술개발사업의 기획·추진에 귀하의 소중한 의견이 유용하게 활용될 수 있도록 많은 협조와 지원을 부탁드립니다.

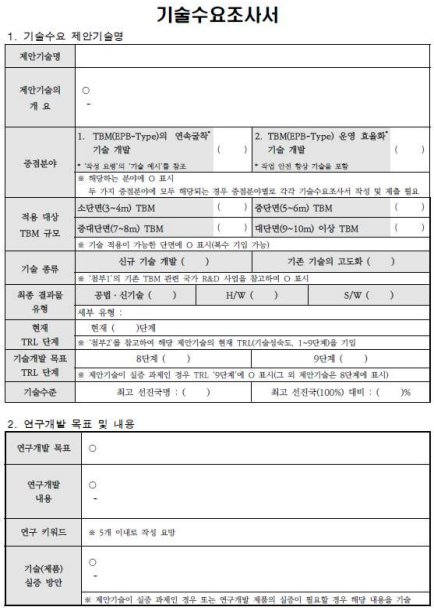
국토교통부, 국토교통과학기술진흥원

[제출 및 문의]
☐ 제출기한 : 2020년 12월 21일 18:00까지
☐ 제출방법 : E-mail 송부(survey05@stsi.re.kr)
☐ 제출문의 : 과학기술전략연구소(Tel : 044-868-8612)

개인정보 취급방침

1. 개인정보의 처리 목적
"TBM 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기술수요조사"는 이용자 확인을 위한 목적으로 귀하의 개인정보를 수집·이용하고 있습니다. 수집방법에 따른 구체적인 수집 및 이용목적은 다음과 같습니다.
- "TBM 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기술수요조사" 제안자 본인 확인을 위한 정보 수집

2. 처리하는 개인정보의 항목 및 처리 방법
"TBM 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기술수요조사"는 서비스제공을 위하여 필요한 최소한의 범위 내에서 아래와 같이 개인정보를 수집하고 있습니다. (성명, 소속기관, 직위, 연락처, 이메일 주소)
본 설문에서 응답해주시는 정보는 법률 제19호(표 개인정보보호법 제15조(개인정보 수집·이용)에 의거 보호받을 수 있으며, 동법 제21조(개인정보의파기)에 의거 조사 종료 후 파기되오니 안심하시고 원활한 연구 진행이 될 수 있도록 본 조사에 참여해 주시면 감사하겠습니다.



기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명			
제안기술의 개 요	○ -		
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요		
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM ( )
	중대단면(7~8m) TBM ( )		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)		
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 ( )
	※ '참부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시		
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W ( )	S/W ( )
	세부 유형 :		
현재 TRL 단계	현재 ( )단계		
	※ '참부2'을 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입		
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 ( )
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)		
기술수준	최고 선진국명 : ( )		최고 선진국(100%) 대비 : ( )%

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○
연구개발 내용	○ -
연구 키워드	※ 5개 이내로 작성 요망
기술(제품) 실증 방안	○ - ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

〈표 3-5〉 후보과제 목록

번호	과제명
1	TBM 연속 작업 성능 향상과 관리 비용 절감을 위한 핵심부품 및 모듈의 운용 신뢰성 확보 기술
2	급속시공 및 파쇄대 대응 TBM(EPB or SLURRY TYPE) 핵심기술 개발
3	헬리컬(HELICAL) 세그먼트를 적용한 TBM 굴진속도 향상 기술
4	연속굴착이 가능한 나선형 세그멘탈 TBM의 유지관리 기술 개발
5	TBM 세그먼트 조립공정 무인화를 위한 AI 비전기반 이렉터 협동로봇 개발
6	Shield TBM 굴진 자동화
7	중대형 TBM의 회전체 부품의 내구시험방법 및 실규모시험장비 개발
8	중대단면(7-8m) TBM용 150kW급 유압 모터 국산화 개발
9	연속굴착을 위한 쉴드 굴진과 세그먼트 조립 동시 시공 장치 기술 개발
10	TBM 안정성 향상을 위한 고강도 고내구성 세그먼트 재료 개발
11	시공 및 운영 단계에서의 TBM 세그먼트 배면의 상태 평가 기술
12	연속굴착형 세그먼트의 곡선부 설치 대응기술
13	연속굴착형 세그먼트의 구조보강 대응기술
14	연속굴착형 세그먼트의 체결방식 효율화 및 성능향상 기술
15	동시 굴진 시스템
16	TBM 구동부(Drive Unit)시스템 국산화 기술 개발
17	TBM 기어박스 시제품 개발
18	워터젯을 활용한 고효율 TBM 굴진 기술
19	연속적인 굴착이 가능하도록 저비용 급속 커터교체를 위한 막장면 안정화 기술 개발
20	고강성 실드잭 개발 및 다각도 슈패드 개발
21	연속굴착 이렉터 및 굴진 동조시스템 개발
22	연속굴착형 TBM 터널의 굴착시뮬레이션 SW 및 통합관제센터
23	17인치 TBM 디스크커터 베어링 및 실링부품 개발
24	소단면(3m) TBM 메인베어링 시제품 개발
25	쉴드 굴진 mode가 변경 가능한 Hybrid TBM(EPB mode ↔ SPB mode) 기술개발
26	TBM 헬리컬 세그먼트 신뢰성시험평가 및 실증연구
27	세그먼트 라이닝 자동화 조립 시스템 개발
28	섬유보강 FRC Segment 개발(Fibre Reinforced Concrete Lining 지보재)
29	TBM 기술인증 및 재활용방안 연구
30	TBM 장비 발주 방법 및 TBM 등록시스템 개선 연구

번호	과제명
31	고내구성, 고수명 TBM 디스크 커터 WC소재 개발
32	TBM 안전성 평가 및 인증 검사 기술
33	TBM 기계데이터를 이용한 실시간 전방지질 예측 및 지질 대응 최적화 굴진 및 자율 운행 시스템
34	도심 터널 굴착 공사 중 주변 시설물 거동 이상 발생 모니터링 시스템
35	국내 TBM 기술자 훈련 방식 연구
36	국내 쉴드TBM 활성화 및 선진화를 위한 제도화 연구
37	Shield TBM Segment Ring Building 작업 자동화
38	BIM 기반의 디지털 모델을 활용한 TBM 전방 지질 예측 시스템 개발
39	TBM 전방 지반 예측을 통한 안전 사고 예방 기술
40	고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리 및 운반을 위한 갱내 운반대차의 개발 및 제작
41	쉴드 TBM 시공(세그먼트 라이닝) 품질향상을 위한 BIM도입 연구
42	연신콘베어
43	EPB 쉴드 세그먼트 배면 뒷채움 품질 평가 기술 개발
44	디스크커터 최적 설계기술 개발
45	굴진면 전방 예측 및 지반평가 기법 개발
46	TBM 예지보전을 위한 근접센서 및 네트워크 제어시스템 개발
47	TBM 전력시스템 안정화를 위한 기술 개발
48	내구성을 확보한 친환경 무기계 백필용 그라우팅재료 및 시공기술개발
49	머신러닝을 이용한 TBM 터널굴진중 침하량 예측
50	한국의 암반특성을 고려한 TBM 굴착지반 위험관리 기법 개발
51	실시간 TBM 시공·안전 통합관제 시스템
52	AI 머신러닝 기반 TBM 굴진율 예측모델의 개발
53	친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 핵심 기술 개발
54	무선통신 음영지역 해결을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 개발
55	실시간 위치추적을 위한 측위 기술개발
56	EPB-TBM 시공효율 증진을 위한 챔버 내 친환경 쏘일 컨디셔닝 재료 및 공법 개발
57	소단면 TBM 실대형 성능검증 시설을 활용한 재활용 TBM 성능검증 기술 개발
58	자율주행이 가능한 AI TBM
59	TBM 직접 현장 조립 및 신제작 방안연구: OSDA(On Site Direct Assembly)
60	핵TBM 기초개발연구(타당성 조사)

번호	과제명
61	EPB-Type TBM 시공성·안정성 향상을 위한 굴착토 개량기술(soil conditioning)
62	EPB-Type TBM 버력 배토 최적화를 위한 빅데이터(big data) 활용 토량·토질 평가기술
63	TBM 터널 현장 무인관제 미세먼지 억제 기술(FOG Sys.)
64	TBM 터널현장 중장비 차바퀴 세륜물 에어건조 장치
65	중단면(5m 이상) TBM 탑재 전방지반(20m 이상) 예측기술 및 소프트웨어 개발
66	쉴드TBM 실시간 통합연계형 지반침하 예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발

○ 우선순위 도출

- 후보과제 목록에 대해 기획위원을 대상으로 설문을 실시하여 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 관련 연구개발 과제(안)의 우선순위를 종합적으로 평가
- 기술성공 가능성, 기술파급효과, 전략적 중요성, 실행 용이성에 대하여 각 연구개발 과제를 평가항목으로 구성

〈표 3-6〉 과제 우선순위 평가항목

평가 항목		평가 내용
매력도 (50%)	기술성공 가능성 (25%)	해당 기술의 추진을 통하여 목표한 성과달성이 가능한가?
	기술파급 효과 (25%)	기술이 완성되었을 경우 과학적, 사회·경제적 파급효과가 높은 기술인가?
적합도 (50%)	전략적 중요성 (25%)	국가차원에서 전략적으로 추진이 필요한 기술인가?
	실행 용이성 (25%)	기술개발의 추진 및 활용단계에서 장애요인이 낮고, 자원(인적, 물적)의 투입이 원활한 등 그 실행이 용이한가?

○ 우선순위에 따라 도출된 최종 후보과제를 활용하여 본 사업의 기술체계를 구성

- 기술 성공 가능성, 기술파급 효과, 전략적 중요성, 실행 용이성의 평가 항목을 각각 5점 척도로 평가하여 평균 3.7점 이상의 기술을 본 사업의 최종 후보과제로 도출
- 최종 후보과제를 활용하여 기획위원회에서는 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리에 적합한 시스템 개발 기술체계를 구성

〈표 3-7〉 평균 3.7점 이상의 최종 후보과제

번호	과제명	점수
1	TBM 연속 작업 성능 향상과 관리 비용 절감을 위한 핵심부품 및 모듈의 운용 신뢰성 확보 기술	3.7
2	TBM 안전성 평가 및 인증 검사 기술	3.7
3	TBM 기계데이터를 이용한 실시간 전방지질 예측 및 지질 대응 최적화 굴진 및 자율 운행 시스템	4.0
4	국내 TBM 기술자 훈련 방식 연구	3.7
5	국내 쉴드TBM 활성화 및 선진화를 위한 제도화 연구	3.9
6	Shield TBM 굴진 자동화	3.7
7	TBM 전방 지반 예측을 통한 안전 사고 예방 기술	3.8
8	고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리 및 운반을 위한 갱내 운반대차의 개발 및 제작	4.0
9	시공 및 운영 단계에서의 TBM 세그먼트 배면의 상태 평가 기술	3.9
10	EPB 쉴드 세그먼트 배면 뒷채움 품질 평가 기술 개발	3.9
11	굴진면 전방 예측 및 지반평가 기법 개발	3.8
12	내구성을 확보한 친환경 무기계 백필용 그라우팅재료 및 시공기술개발	3.9
13	머신러닝을 이용한 TBM 터널굴진중 침하량 예측	3.9
14	연속굴착형 TBM 터널의 굴착시뮬레이션 SW 및 통합관제센터	3.7
15	실시간 TBM 시공·안전 통합관제 시스템	4.4
16	AI 머신러닝 기반 TBM 굴진율 예측모델의 개발	4.1
17	친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 핵심 기술 개발	3.8
18	무선통신 음영지역 해결을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 개발	3.7
19	EPB-TBM 시공효율 증진을 위한 챔버 내 친환경 쏘일 컨디셔닝 재료 및 공법 개발	4.0
20	자율주행이 가능한 AI TBM	3.7
21	EPB-Type TBM 시공성·안정성 향상을 위한 굴착토 개량기술(soil conditioning)	4.0
22	EPB-Type TBM 버력 배토 최적화를 위한 빅데이터(big data) 활용 토량·토질 평가기술	3.7
23	중단면(5m 이상) TBM 탑재 전방지반(20m 이상) 예측기술 및 소프트웨어 개발	3.7
24	쉴드TBM 실시간 통합연계형 지반침하 예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발	4.3
25	도심 터널 굴착 공사 중 주변 시설물 거동 이상 발생 모니터링 시스템	4.3

(6) 단계별 성과목표 및 지표

(가) 전략목표

전략목표	○ 인텔리전트 TBM 시공관리 기술개발을 통해 안전하고 친환경적인 건설환경 조성
도출 근거	○ 법적 근거 - 「건설기술 진흥법」에 따라 국토교통부장관은 건설기술의 공동연구 및 정보 교환 등 기술개발을 위한 투자 권고 및 기술정보의 효율적 활용과 선진기술 획득을 위해 관계 중앙행정기관의 장과 공동연구를 추진하거나 건설기술연구기관의 건설기술 연구·개발에 대해 지원 가능 - 그 외 「과학기술기본법」, 「국토교통과학기술 육성법」, 「산업기술혁신촉진법」 등으로 터널 분야 건설기술 연구 지원가능 ○ 상위 계획 - 과학기술정보통신분야 「제4차 국가과학기술기본계획」('18~'22): 과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출을 위해 혁신적인 기술·서비스의 시장출시를 지원하고 국토인프라 선진화를 위해 최첨단 인프라구조물 및 복합지하 대공간 건설기술 R&D 육성을 지원 ○ 부처 계획 - 「제6차 건설기술진흥기본계획」('18~'22): 건설기술 선진화와 연구개발 촉진을 통해 경쟁력을 제고하고, 기존의 노동집약적인 건설 산업을 고도화된 기술이 적용되는 미래 산업으로 육성하여 고부가 일자리 확보, 노동 생산성 향상, 안전한 근로 환경 조성을 추진 - 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획」('18~'27): 신형식 메가스트럭처 개발 및 엔지니어링 기술 국산화 등을 통해 건설시장의 주력상품인 터널, 교량 분야 경쟁력 지속 확보 추진을 제시하였고, 국내 핵심 산업인 국토교통 분야에 대한 새로운 부가가치 창출 요구에 따라 기존 산업의 첨단화, 효율화 등을 이끌어 지속적인 기술경쟁력 제고 추진을 제시

(나) 1단계 성과목표 및 지표

□ 단계별 성과목표

단계(평가주기)		1단계		기간		’23~’25년
단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표 ①	TBM 운영 프로세스의 효율화	**가중치**	0.5	**설정 근거**	- TBM 시공 정보 분석의 정확도 향상과 실시간화를 통해 시공 과정의 운영 효율화를 달성 - TBM 시공 과정을 총괄하여 모니터링 할 수 있는 시스템 개발을 통해 효율성 증진	1. TBM 시공 정보의 실시간 분석 및 최적 의사 결정 기술
성과목표 ②	TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상	**가중치**	0.3	**설정 근거**	- TBM 시공 현장 인근 지상에서 발생할 수 있는 위험 예측과 지하 굴착 현장에서 발생할 수 있는 위험 예측을 통해 안전을 향상	2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술
성과목표 ③	친환경 처리의 공정 혁신	**가중치**	0.2	**설정 근거**	- 굴착 과정에서 발생하는 건설폐기물의 처리 시간을 줄여 전체 공사 기간을 단축할 수 있는 친환경 기술로 TBM 공법을 친환경화	3. 친환경 TBM 시공 지원 기술

□ 성과지표

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">단계별 성과목표명</th><th rowspan="2">가중치</th><th rowspan="2">성과지표명</th><th rowspan="2">단위</th><th>구분</th><th colspan="3">실적 및 목표치</th><th rowspan="2">지표 유형</th><th rowspan="2">질적 지표</th></tr>
<tr><th>연도</th><th>'23</th><th>'24</th><th>'25</th></tr>
<tr><td rowspan="3">성과목표①</td><td rowspan="3">TBM 운영프로세스의 효율화</td><td rowspan="3">0.5</td><td rowspan="2">시공단축지원기술 달성도</td><td>%</td><td>목표</td><td>-</td><td>-</td><td>50</td><td rowspan="2">질</td><td rowspan="2">✓</td></tr>
<tr><td>건</td><td>실적</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>설정근거</td><td colspan="7">• 본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정</td></tr>
<tr><td rowspan="3">성과목표②</td><td rowspan="3">TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상</td><td rowspan="3">0.3</td><td rowspan="2">예측 정확도</td><td>%</td><td>목표</td><td>-</td><td>-</td><td>80</td><td rowspan="2">질</td><td rowspan="2">✓</td></tr>
<tr><td>건</td><td>실적</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>설정근거</td><td colspan="7">• 사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 예측 정확도 80%를 확보하는 것을 목표치로 설정</td></tr>
<tr><td rowspan="6">성과목표 ③</td><td rowspan="6">친환경 처리의 공정 혁신</td><td rowspan="6">0.2</td><td rowspan="3">0.1</td><td rowspan="2">사이클타임 단축도</td><td>%</td><td>목표</td><td>-</td><td>-</td><td>27</td><td rowspan="2">질</td><td rowspan="2">✓</td></tr>
<tr><td>건</td><td>실적</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>설정근거</td><td colspan="7">• 사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 목표를 27%로 설정</td></tr>
<tr><td rowspan="3">0.1</td><td rowspan="2">자원 변환율</td><td>%</td><td>목표</td><td>-</td><td>-</td><td>50</td><td rowspan="2">질</td><td rowspan="2">✓</td></tr>
<tr><td>건</td><td>실적</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>설정근거</td><td colspan="7">• 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 비율을 1단계에서는 사업 초기임을 감안하여 50%로 설정</td></tr>
<tr><td colspan="3">계</td><td colspan="8"></td></tr>
</table>

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
시공단축지원기술 달성도	• 본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정	• (측정산식) = 성능목표치 달성 건수 / 총 성능목표 수 × 100 • (측정방법) 총 성능목표 중에서 목표치를 달성한 건수 측정	• 국토교통 R&D 사업관리 시스템 • 연차별 실적 보고서
예측 정확도	• 사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 예측 정확도 80%를 확보하는 것을 목표치로 설정	• (측정산식) 예측 성공 수 / 예측 시도 수 × 100 • (측정방법) 굴진 시 발생할 수 있는 지상 및 지하에 대한 위험 예측을 시도하고 이에 대한 예측 성공률을 측정	• 연차별 실적 보고서
자원 변환율	• 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 비율을 1단계에서는 사업 초기임을 감안하여 50%로 설정	• (측정산식) 50 = 재활용 가능한 폐토석량 / 굴착을 통해 발생한 총 폐토석량 × 100 • (측정방법) 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 양의 비율을 측정	• 연차별 실적 보고서
사이클타임 단축도	• 사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 목표를 27%로 설정	• (측정산식) 0.27 ≦ {기존 사이클타임 - χ(본 사업 기술의 사이클타임)} / 기존 사이클타임* * 기존 사이클타임은 110분 • (측정방법) 개발하는 기술의 사이클타임을 기존 사이클타임인 110분과 비교하여 단축 비율을 측정	• 연차별 실적 보고서

(다) 2단계 성과목표 및 지표

□ 단계별 성과목표

단계(평가주기)		2단계		기간		’26~’27년
단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표 ①	TBM 운영프로세스의 효율화	**가중치**	0.5	**설정 근거**	- TBM 시공 정보 분석의 정확도 향상과 실시간화를 통해 시공 과정의 운영 효율화를 달성 - TBM 시공 과정을 총괄하여 모니터링 할 수 있는 시스템 개발을 통해 효율성 증진	1. TBM 시공 정보의 실시간 분석 및 최적 의사 결정 기술
성과목표 ②	TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상	**가중치**	0.3	**설정 근거**	- TBM 시공 현장 인근 지상에서 발생할 수 있는 위험 예측과 지하 굴착 현장에서 발생할 수 있는 위험 예측을 통해 안전을 향상	2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술
성과목표 ③	친환경 처리의 공정 혁신	**가중치**	0.2	**설정 근거**	- 굴착 과정에서 발생하는 건설 폐기물의 처리 시간을 줄여 전체 공사 기간을 단축할 수 있는 친환경 기술로 TBM 공법을 친환경화	3. 친환경 TBM 시공 지원 기술

□ 성과지표

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">단계별 성과목표명</th><th rowspan="2">가중치</th><th rowspan="2">성과지표명</th><th rowspan="2">단위</th><th>구분</th><th colspan="2">실적 및 목표치</th><th rowspan="2">지표 유형</th><th rowspan="2">질적 지표</th></tr>
<tr><th>연도</th><th>'26</th><th>'27</th></tr>
<tr><td rowspan="3">성과목표①</td><td rowspan="3">TBM 운영프로세스의 효율화</td><td rowspan="3">0.5</td><td rowspan="2">시공단축지원기술 달성도</td><td>%</td><td>목표</td><td>75</td><td>100</td><td rowspan="2">질</td><td rowspan="2">✓</td></tr>
<tr><td>건</td><td>실적</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>설정근거</td><td colspan="6">• 본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정</td></tr>
<tr><td rowspan="3">성과목표②</td><td rowspan="3">TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상</td><td rowspan="3">0.3</td><td rowspan="2">예측 정확도</td><td>%</td><td>목표</td><td>85</td><td>95</td><td rowspan="2">질</td><td rowspan="2">✓</td></tr>
<tr><td>건</td><td>실적</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>설정근거</td><td colspan="6">• 예측의 실효성이 있는 수준인 95%까지 정확도를 달성하는 것을 최종목표로 하여 단계별로 달성 가능한 수치 제시</td></tr>
<tr><td rowspan="5">성과목표 ③</td><td rowspan="5">친환경 처리의 공정 혁신</td><td rowspan="5">0.2</td><td rowspan="3">0.1</td><td rowspan="2">사이클타임 단축도</td><td>%</td><td>목표</td><td>37</td><td>54</td><td rowspan="2">질</td><td rowspan="2">✓</td></tr>
<tr><td>건</td><td>실적</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>설정근거</td><td colspan="6">• 본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 54%를 단계별로 달성 가능한 수준으로 제시</td></tr>
<tr><td rowspan="3">0.1</td><td rowspan="2">자원 변환율</td><td>%</td><td>목표</td><td>70</td><td>95</td><td rowspan="2">질</td><td rowspan="2">✓</td></tr>
<tr><td>건</td><td>실적</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>설정근거</td><td colspan="6">• 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 대부분 변환되는 것을 목표로 제시</td></tr>
<tr><td colspan="3">계</td><td colspan="6"></td></tr>
</table>

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
시공단축 지원기술 달성도	• 본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능 목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정	• (측정산식) = 성능목표치 달성 건수 / 총 성능목표 수 × 100 • (측정방법) 총 성능목표 중에서 목표치를 달성한 건수 측정	• 국토교통 R&D 사업관리 시스템 • 연차별 실적 보고서
예측 정확도	• 예측의 실효성이 있는 수준인 95%까지 정확도를 달성하는 것을 최종목표로 하여 단계별로 달성 가능한 수치 제시	• (측정산식) 예측 성공 수 / 예측 시도 수 × 100 • (측정방법) 굴진 시 발생할 수 있는 지상 및 지하에 대한 위험 예측을 시도하고 이에 대한 예측 성공률을 측정	• 연차별 실적 보고서
자원 변환율	• 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 대부분 변환되는 것을 목표로 제시	• (측정산식) = 재활용 가능한 폐토석량 / 굴착을 통해 발생한 총 폐토석량 × 100 • (측정방법) 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 양의 비율을 측정	• 연차별 실적 보고서
사이클타임 단축도	• 본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 54%를 단계별로 달성 가능한 수준으로 제시	• (측정산식) $0.54 \leqq \{$기존 사이클타임 − χ(본 사업 기술의 사이클타임$)$ / 기존 사이클타임* * 기존 사이클타임은 110분 • (측정방법) 개발하는 기술의 사이클타임을 기존 사이클타임인 110분과 비교하여 단축 비율을 측정	• 연차별 실적 보고서

참고 **시공단축지원기술 달성도 측정 항목**

지연원인	해결기술 연결	기술의 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
			국내	해외	
굴진 데이터의 현장 분석 부재		실시간 모니터링·분석 대상 핵심 파라미터의 개수	-	20개 내외	≥ 20개
		핵심 기계데이터 생성시간부터 분석까지의 소요시간	≥ 1일	-	≤ 1분
		TBM 생성 기계데이터의 실시간 저장·처리 능력	-	5백만개/일	5백만개/일
		실시간 의사결정을 위한 최적 운전조건 파라미터 항목	-	-	≥ 5개
인력 중심의 고장 원인 파악		부품구동 추정데이터 측정오차	≤ 5%	≤ 0.2%	≤ 1%
		챔버환경 밀폐시험시스템 (shield packaging system) 내열성	≥60℃	≥80℃	≥80 ℃
부품 교체 주기 파악의 어려움		열화상태/수명 예측 정확도	70%	85%	85%
지상 관리자와 지하 작업현장과의 실시간 정보 공유 방안 부재		시스템 반응시간(delay)	-	-	1 sec 이내
박데이터 축적 부재로 참고 사례 부족		디지털정보 국제표준 부합성	70%	95%이상	100%
		DB 동시접속 회선 수	-	-	100회선 이상
		시스템 신뢰도	-	-	SW품질 인증
		엑세스 솔루션의 다양성	3종	3종	5종 이상

(7) 이슈와 사업목표 간 연계도



* 목표설정 근거: Moreno, P. et al.(2015), TBM Process Data Management System, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol., 7, No. 5, pp. 432-437.「TBM 통합관제로 인한 주요 성과(국외 Reference)」

(8) 사업 논리모형 설정

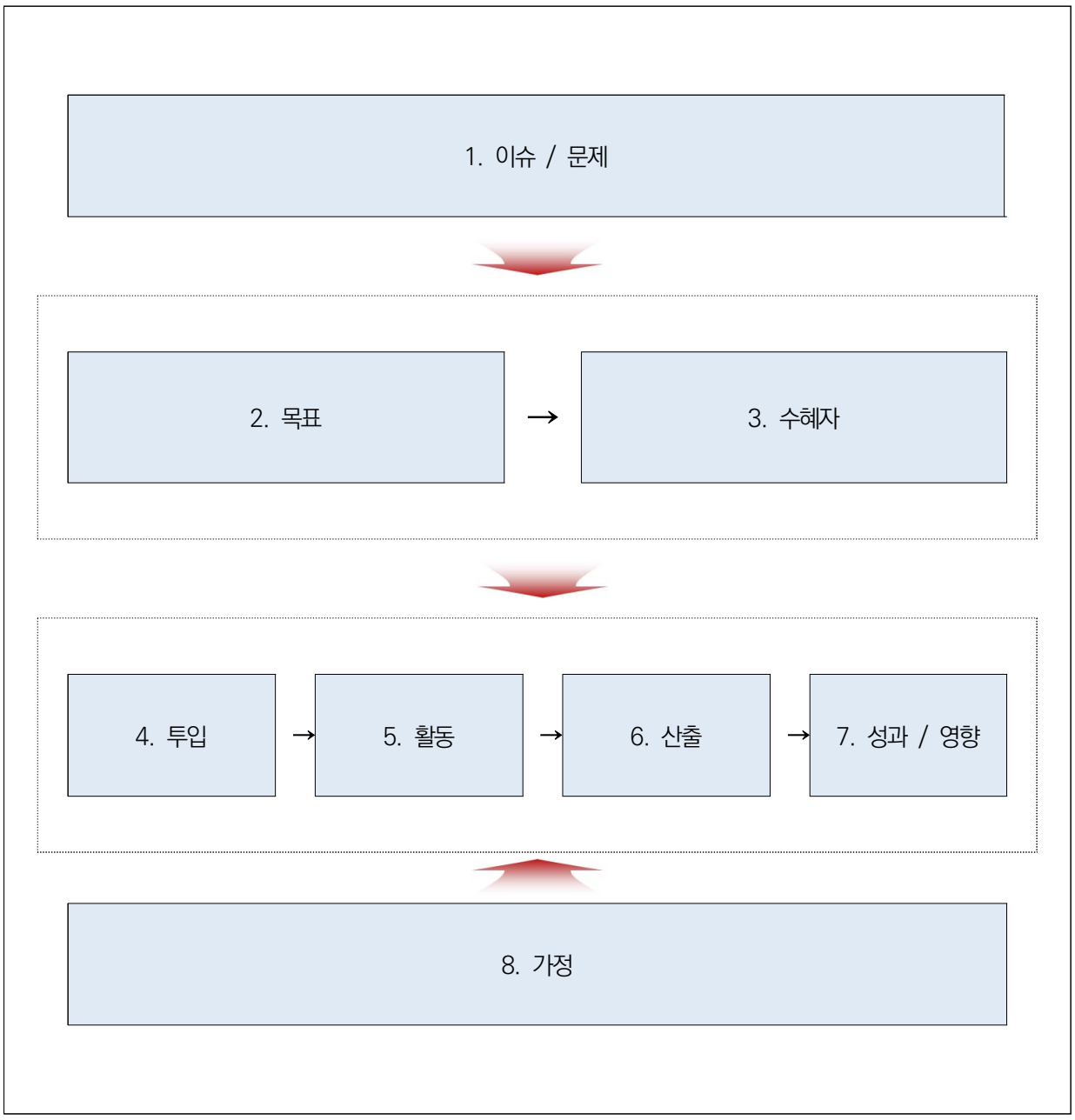
□ 대내외 환경과 사업추진 여건 및 수요에 대한 조사분석 결과를 토대로 논리모형을 활용하여 사업 내용을 설계

○ 논리모형에 따라 주요이슈와 해결하고자 하는 문제를 정의하고, 문제가 해결되었을 경우 달성할 수 있는 사업의 목표와 문제해결의 수혜자를 정의

- SWOT 분석을 통해 도출된 추진전략에 따라 사업의 내용을 구성하고, 예산투입규모를 확정하고 구체적인 사업의 성과목표를 도출
- 국내 R&D 역량 분석과 토론회, 전문가 자문회의를 통해 사업과 직·간접적으로 연관된 산업계의 수요와 현황에 대해서 작성

※ 출처 : KISTEP. (2016). 국가연구개발사업의 기획 및 사전평가에 유용한 논리모형

[그림 3-11] 논리모형의 기본구조



[그림 3-12] 본 사업의 논리모형

1. 이슈 / 문제

- 현재는 굴진 중 발생할 수 있는 TBM 기계데이터 가운데 극히 일부 데이터 항목만이 모니터링 되고 있어 굴진 문제 발생 시 파악에 장기간이 소요
- 데이터와 시스템을 통한 판단이 아닌 오퍼레이터(운전원)의 경험에 전적으로 의존하여 현재 TBM 시공이 진행되고 있어, 오퍼레이터의 판단이 부정확할 경우 공기지연 발생 불가피
- TBM 시공 역량 향상을 위해서는 굴진 과정에서 발생하는 데이터의 축적과 분석이 필요하지만, 현재의 데이터 축적 방식은 개별 데이터의 단순 저장에 머물러 있어 유의미한 통합 분석이 불가능
- TBM 시공 중 수천 개의 센서로부터 개별적인 데이터가 계속 생성되지만 오퍼레이터(운전자) 1~2인이 이를 참고하여 작업하는 것은 불가능하기 때문에 객관적 데이터는 현장의 시공·안전 관리에 전혀 활용되지 못하고 있는 상황
- 현재는 공사 관리자 또는 장비 운영자의 노하우에 의지하여 시공 위험을 판단하고 있어, 시공 중 예상치 못한 지반상태 조우, TBM의 결함 등으로 인해 안전 문제가 발생 중
- TBM 터널건설 구간에 대한 주변 지반 실시간 모니터링 체계가 없어 전체 공사구간에 대한 합리적인 정보 전달방법이 부재하며, 이로 인해 민원이 발생한 이후에야 사후 대응하는 상황
- 터널굴착 시 발생하는 건설폐기물인 굴착토는 고함수비 상태로 배토되는 경우가 많아 고화처리에 오랜 시간이 소요되며, 환경문제 및 사회·경제적 처리비용 부담이 막대
- TBM 진입로와 터널내부의 미세먼지와 중금속으로 인한 인체 유해성이 심각하나 현재 관리의 사각지대에 놓여 있는 실정

2. 목표

- 실시간 TBM 통합 관제 실현을 통한 운영효율성 증진으로 공사기간 10% 단축 및 유지관리비용 15% 절감

3. 수혜자

- 1차 수혜자 : TBM 관련 부품 제작 기업
- 2차 수혜자 : TBM 공법을 활용하여 터널 건설을 추진하는 시공 기업
- 3차 수혜자 : 사용자

4. 투입

- 319억원
  - 국비 238억원
  - 민자 81억원
- 456명 연구인 (산·학·연 연구자)
  - 연평균 91명

5. 활동

- TBM 시공 정보의 실시간 분석 및 최적 의사 결정 기술
- 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술
- 친환경 TBM 시공 지원 기술

6. 산출

- 시공단축지원기술 달성도
- 예측 정확도
- 사이클타임 단축도
- 자원 변환율

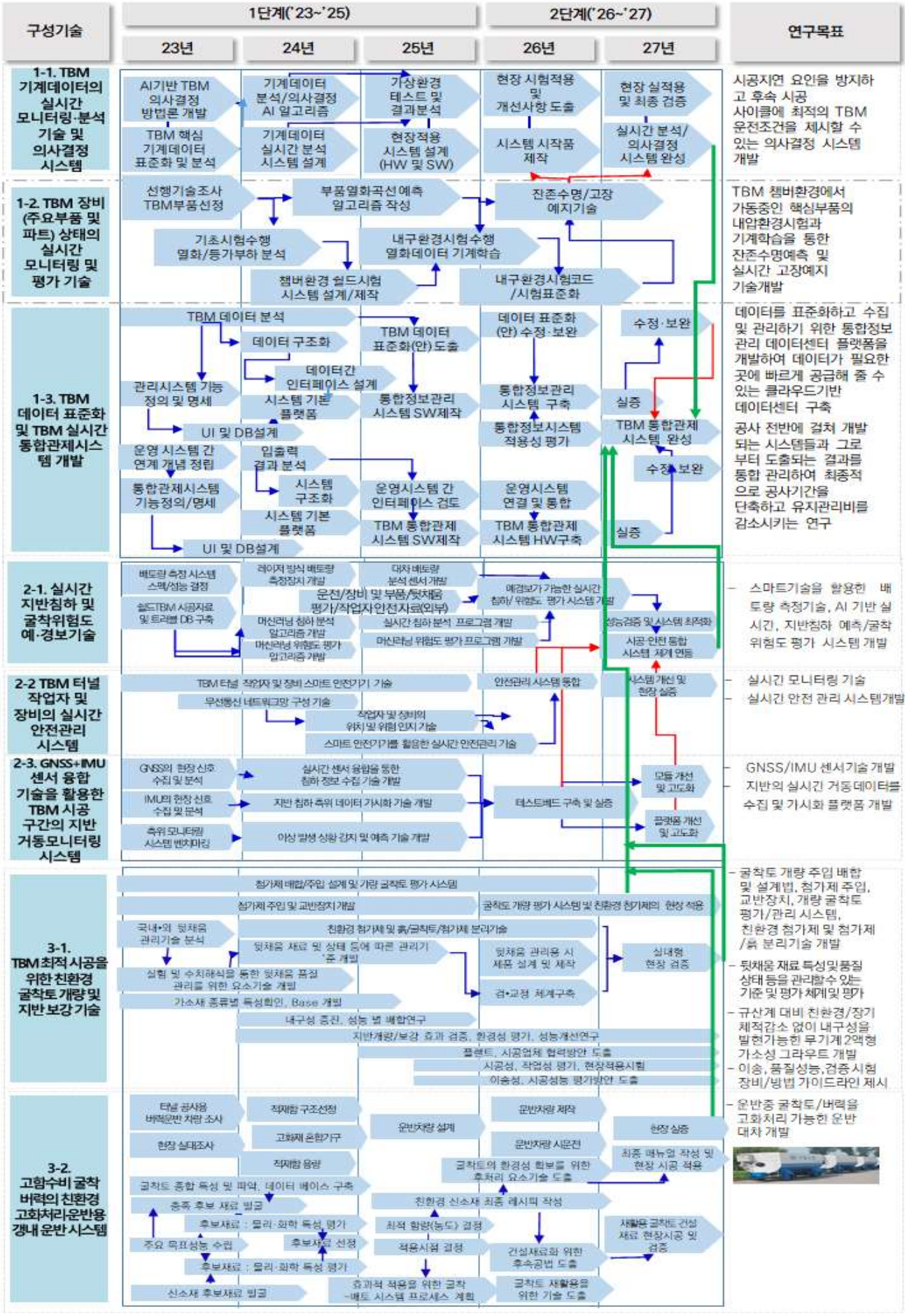
7. 성과 / 영향

- TBM 운영프로세스의 효율화
- 성능TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상
- 친환경 처리의 공정 혁신

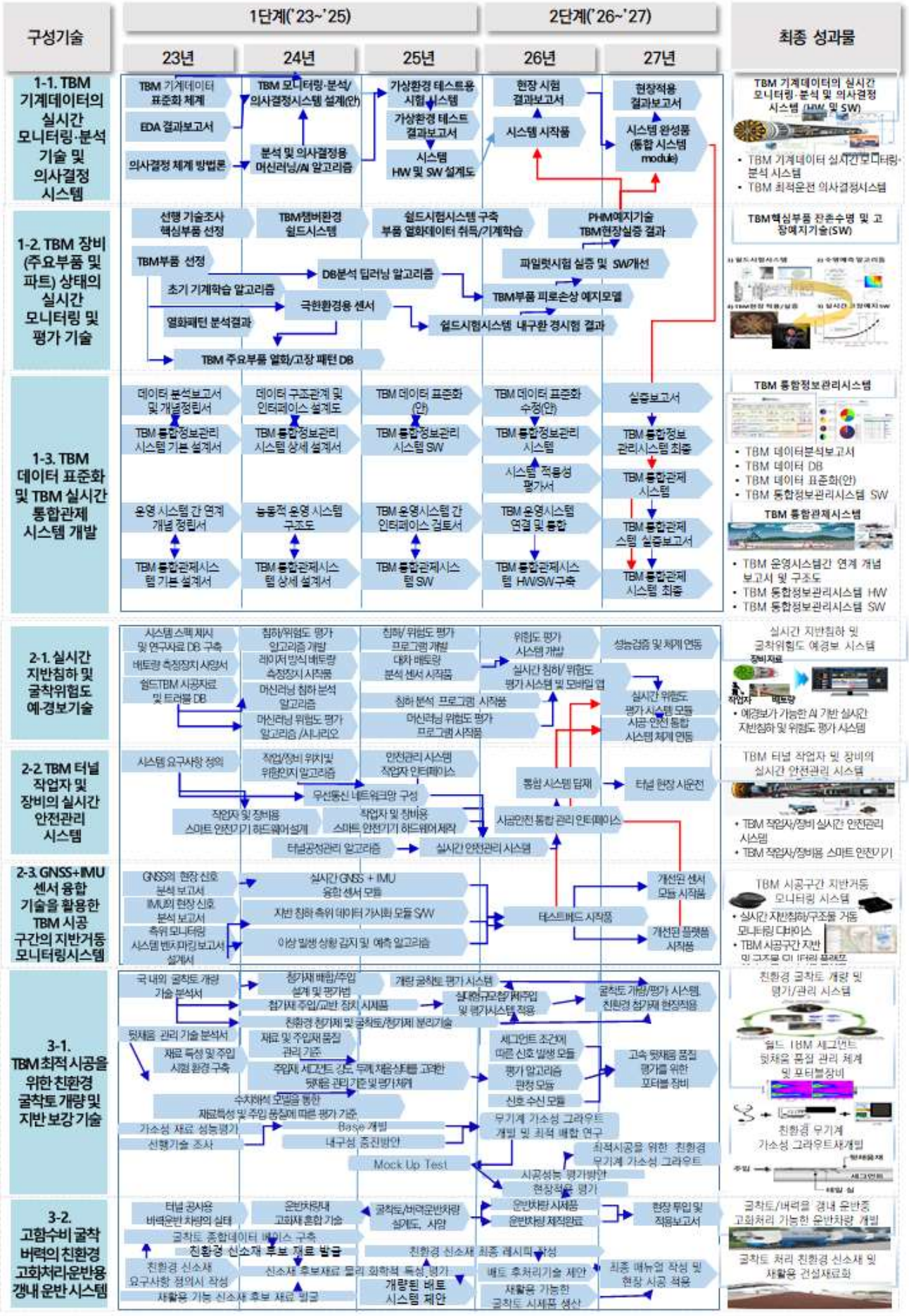
8. 가정

- 국내 TBM 활용 시공 기업들의 적극적 TBM 통합 관리 시스템 도입 및 활용
- TBM 관련 국내 인증체계의 확립
- 터널 건설 발주 시 TBM의 경제성이 실현될 수 있는 길이의 연장으로 건설을 발주
- 발주 과정에서, 터널 건설 중 발생할 수 있는 사회적 비용을 고려한 건설 공법 선정

(9) 추진 총괄로드맵


구성기술
1단계('23~'25)
2단계('26~'27)
23년
24년
25년
26년
27년
연구목표
1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석 기술 및 의사결정 시스템
AI기반 TBM 의사결정 방법론 개발
기계데이터 분석/의사결정 AI 알고리즘
가상환경 테스트 및 결과분석
현장 시험적용 및 개선사항 도출
현장 실적용 및 최종 검증
TBM 핵심 기계데이터 표준화 및 분석
기계데이터 실시간 분석 시스템 설계
현장적용 시스템 설계 (HW 및 SW)
시스템 시작품 제작
실시간 분석/ 의사결정 시스템 완성
시공지연 요인을 방지하고 후속 시공 사이클에 최적의 TBM 운전조건을 제시할 수 있는 의사결정 시스템 개발
1-2. TBM 장비 (주요부품 및 파트) 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술
선행기술조사 TBM부품선정
부품열화곡선예측 알고리즘 작성
잔존수명/고장 예지기술
기초시험수행 열화/등가부하 분석
내구환경시험수행 열화데이터 기계학습
챔버환경 실드시험 시스템 설계/제작
내구환경시험코드 /시험표준화
TBM 챔버환경에서 가동중인 핵심부품의 내압환경시험과 기계학습을 통한 잔존수명예측 및 실시간 고장예지 기술개발
1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발
TBM 데이터 분석
데이터 구조화
TBM 데이터 표준화(안) 도출
데이터 표준화 (안) 수정·보완
수정·보완
데이터간 인터페이스 설계
관리시스템 기능 정의 및 명세
시스템 기본 플랫폼
통합정보관리 시스템 SW제작
통합정보관리 시스템 구축
실증
UI 및 DB설계
통합정보시스템 적용성 평가
TBM 통합관제 시스템 완성
운영 시스템 간 연계 개념 정립
입출력 결과 분석
수정·보완
시스템 구조화
운영시스템 간 인터페이스 검토
운영시스템 연결 및 통합
통합관제시스템 기능정의/명세
시스템 기본 플랫폼
TBM 통합관제 시스템 SW제작
TBM 통합관제 시스템 HW구축
실증
UI 및 DB설계
데이터를 표준화하고 수집 및 관리하기 위한 통합정보관리 데이터센터 플랫폼을 개발하여 데이터가 필요한 곳에 빠르게 공급해 줄 수 있는 클라우드기반 데이터센터 구축
공사 전반에 걸쳐 개발되는 시스템들과 그로부터 도출되는 결과를 통합 관리하여 최종적으로 공사기간을 단축하고 유지관리비를 감소시키는 연구
2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술
배토량 측정 시스템 스펙/성능 결정
레이저 방식 배토량 측정장치 개발
대차 배토량 분석 센서 개발
예경보가 가능한 실시간 침하/ 위험도 평가 시스템 개발
쉴드TBM 시공자료 및 트래블 DB 구축
운전/장비 및 부품/뒷채움 평가/작업자안전자료(외부)
머신러닝 침하 분석 알고리즘 개발
실시간 침하 분석 프로그램 개발
성능검증 및 시스템 최적화
머신러닝 위험도 평가 알고리즘 개발
머신러닝 위험도 평가 프로그램 개발
시공·안전 통합 시스템 체계 연동
스마트기술을 활용한 배토량 측정기술, AI 기반 실시간, 지반침하 예측/굴착위험도 평가 시스템 개발
2-2 TBM 터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 시스템
TBM 터널 작업자 및 장비 스마트 안전기기 기술
안전관리 시스템 통합
시스템 개선 및 현장 실증
무선통신 네트워크망 구성 기술
작업자 및 장비의 위치 및 위험 인지 기술
스마트 안전기기를 활용한 실시간 안전관리 기술
실시간 모니터링 기술
실시간 안전 관리 시스템개발
2-3. GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공 구간의 지반 거동모니터링 시스템
GNSS의 현장 신호 수집 및 분석
실시간 센서 융합을 통한 침하 정보 수집 기술 개발
모듈 개선 및 고도화
IMU의 현장 신호 수집 및 분석
지반 침하 측위 데이터 가시화 기술 개발
테스트베드 구축 및 실증
측위 모니터링 시스템 벤치마킹
이상 발생 상황 감지 및 예측 기술 개발
플랫폼 개선 및 고도화
GNSS/IMU 센서기술 개발
지반의 실시간 거동데이터를 수집 및 가시화 플랫폼 개발
3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술
첨가제 배합/주입 설계 및 개량 굴착토 평가 시스템
첨가제 주입 및 교반장치 개발
굴착토 개량 평가 시스템 및 친환경 첨가제의 현장 적용
국내·외 뒷채움 관리기술 분석
친환경 첨가제 및 흙/굴착토/첨가제 분리기술
뒷채움 재료 및 상태 등에 따른 관리기준 개발
뒷채움 관리용 시제품 설계 및 제작
실내형 현장 검증
실험 및 수치해석을 통한 뒷채움 품질 관리를 위한 요소기술 개발
검·교정 체계구축
가소재 종류별 특성확인, Base 개발
내구성 증진, 성능 별 배합연구
지반개량/보강 효과 검증, 환경성 평가, 성능개선연구
플랜트, 시공업체 협력방안 도출
시공성, 작업성 평가, 현장적용시험
이송성, 시공성능 평가방안 도출
굴착토 개량 주입 배합 및 설계법, 첨가제 주입, 교반장치, 개량 굴착토 평가/관리 시스템, 친환경 첨가제 및 첨가제/흙 분리기술 개발
뒷채움 재료 특성및품질 상태 등을 관리할수 있는 기준 및 평가 체계및 평가
규산계 대비 친환경/장기 체적감소 없이 내구성을 발현가능한 무기계 2액형 가소성 그라우트 개발
이송, 품질성능,검증시험 장비/방법 가이드라인 제시
3-2. 고함수비 굴착 버력의 친환경 고화처리운반용 갱내 운반 시스템
터널 공사용 버력운반 차량 조사
적재함 구조선정
운반차량 제작
운반차량 설계
현장 실증
현장 실태조사
고화제 혼합기구
운반차량 시운전
최종 매뉴얼 작성 및 현장 시공 적용
적재함 용량
굴착토의 환경성 확보를 위한 후처리 요소기술 도출
굴착토 종합 특성 및 파악, 데이터 베이스 구축
친환경 신소재 최종 레시피 작성
후보재료 : 물리·화학 특성 평가
최적 함량(농도) 결정
재활용 굴착토 건설재료 현장시공 및 검증
주요 목표성능 수립
후보재료 선정
적용시험 결정
건설재료화 위한 후속공법 도출
후보재료 : 물리·화학 특성 평가
효과적 적용을 위한 굴착 -배토 시스템 프로세스 개획
굴착토 재활용을 위한 기술 도출
운반중 굴착토/버력을 고화처리 가능한 운반 대차 개발

(10) 성과 총괄로드맵


구성기술
1단계('23~'25)
2단계('26~'27)
최종 성과물
23년
24년
25년
26년
27년
1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석 기술 및 의사결정 시스템
TBM 기계데이터 표준화 체계
TBM 모니터링·분석/의사결정시스템 설계(안)
가상환경 테스트용 시험 시스템
현장 시험 결과보고서
현장적용 결과보고서
EDA 결과보고서
가상환경 테스트 결과보고서
시스템 시작품
시스템 완성품 (통합 시스템 module)
의사결정 체계 방법론
분석 및 의사결정용 머신러닝/AI 알고리즘
시스템 HW 및 SW 설계도
TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석 및 의사결정 시스템 (HW 및 SW)
• TBM 기계데이터 실시간 모니터링·분석 시스템
• TBM 최적운전 의사결정시스템
1-2. TBM 장비 (주요부품 및 파트) 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술
선행 기술조사 핵심부품 선정
TBM챔버환경 쉴드시스템
쉴드시험시스템 구축 부품 열화데이터 취득/기계학습
PHM예지기술 TBM현장실증 결과
TBM부품 선정
DB분석 딥러닝 알고리즘
파일럿시험 실증 및 SW개선
초기 기계학습 알고리즘
극한환경용 센서
TBM부품 피로손상 예지모델
열화패턴 분석결과
쉴드시험시스템 내구환 경시험 결과
TBM 주요부품 열화/고장 패턴 DB
TBM핵심부품 잔존수명 및 고장예지기술(SW)
1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제 시스템 개발
데이터 분석보고서 및 개념정립서
데이터 구조관계 및 인터페이스 설계도
TBM 데이터 표준화 (안)
TBM 데이터 표준화 수정(안)
실증보고서
TBM 통합정보관리 시스템 기본 설계서
TBM 통합정보관리 시스템 상세 설계서
TBM 통합정보관리 시스템 SW
TBM 통합정보관리 시스템
TBM 통합정보 관리시스템 최종
시스템 적용성 평가서
TBM 통합관제 시스템
운영 시스템 간 연계 개념 정립서
능동적 운영 시스템 구조도
TBM 운영시스템 간 인터페이스 검토서
TBM 운영시스템 연결 및 통합
TBM 통합관제 스템 실증보고서
TBM 통합관제시스템 기본 설계서
TBM 통합관제시스템 상세 설계서
TBM 통합관제시스템 SW
TBM 통합관제시스템 HW/SW구축
TBM 통합관제 시스템 최종
TBM 통합정보관리시스템
• TBM 데이터분석보고서
• TBM 데이터 DB
• TBM 데이터 표준화(안)
• TBM 통합정보관리시스템 SW
TBM 통합관제시스템
• TBM 운영시스템간 연계 개념 보고서 및 구조도
• TBM 통합정보관리시스템 HW
• TBM 통합정보관리시스템 SW
2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술
시스템 스펙 제시 및 연구자료 DB 구축
침하/위험도 평가 알고리즘 개발
침하/ 위험도 평가 프로그램 개발
위험도 평가 시스템 개발
성능검증 및 체계 연동
베트랑 측정장치 사양서
레이저 방식 베트랑 측정장치 시작품
대차 배트랑 분석 센서 시작품
실시간 침하/ 위험도 평가 시스템 및 모바일 앱
쉴드TBM 시공자료 및 트러블 DB
머신러닝 침하 분석 알고리즘
침하 분석 프로그램 시작품
실시간 위험도 평가 시스템 모듈
머신러닝 위험도 평가 알고리즘 /시나리오
머신러닝 위험도 평가 프로그램 시작품
시공 안전 통합 시스템 체계 연동
실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 시스템
장비자료
작업자
베트랑
• 예·경보가 가능한 AI 기반 실시간 지반침하 및 위험도 평가 시스템
2-2. TBM 터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 시스템
시스템 요구사항 정의
작업/장비 위치 및 위험인지 알고리즘
안전관리 시스템 작업자 인터페이스
통합 시스템 탑재
터널 현장 시운전
무선통신 네트워크망 구성
작업자 및 장비용 스마트 안전기기 하드웨어설계
작업자 및 장비용 스마트 안전기기 하드웨어제작
시공안전 통합 관리 인터페이스
터널공정관리 알고리즘
실시간 안전관리 시스템
TBM 터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 시스템
• TBM 작업자/장비 실시간 안전관리 시스템
• TBM 작업자/장비용 스마트 안전기기
2-3. GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공 구간의 지반거동 모니터링시스템
GNSS의 현장 신호 분석 보고서
실시간 GNSS + IMU 융합 센서 모듈
개선된 센서 모듈 시작품
IMU의 현장 신호 분석 보고서
지반 침하 측위 데이터 가시화 모듈 S/W
테스트베드 시작품
측위 모니터링 시스템 벤치마킹보고서 설계서
이상 발생 상황 감지 및 예측 알고리즘
개선된 플랫폼 시작품
TBM 시공구간 지반거동 모니터링 시스템
• 실시간 지반침하/구조물 거동 모니터링 대비스
• TBM 시공구간 지반
3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술
국 내외 굴착토 개량 기술 분석서
첨가재 배합/주입 설계 및 평가법
개량 굴착토 평가 시스템
굴착토 개량/평가 시스템, 친환경 첨가재 현장적용
첨가재 주입/교반 장치 시제품
실환경조건 첨가재 주입 및 평가시스템 적용
친환경 첨가재 및 굴착토/첨가재 분리기술
뒷채움 관리 기술 분석서
재료 및 주입재 품질 관리 기준
세그먼트 조건에 따른 신호 발생 모듈
고속 뒷채움 품질 평가를 위한 포터블 장비
재료 특성 및 주입 시험 환경 구축
주입재, 세그먼트 강도, 두께 차등 상태를 고려한 뒷채움 관리 기준 및 평가 체계
평가 알고리즘 완성 모듈
수치해석 모델을 통한 재료특성 및 주입 품질에 따른 평가 기준
신호 수신 모듈
가소성 재료 성능평가
Base 개발
무기계 가소성 그라우트 개발 및 최적 배합 연구
신형기술 조사
내구성 증진방안
최적시공을 위한 친환경 무기계 가소성 그라우트
Mock Up Test
시공성능 평가방안
현장적용 평가
친환경 굴착토 개량 및 평가/관리 시스템
쉴드 TBM 세그먼트 뒷채움 품질 관리 체계 및 포터블장비
친환경 무기계 가소성 그라우트재개발
3-2. 고함수비 굴착 버력의 친환경 고화처리운반용 갱내 운반 시스템
터널 공사용 버력운반 차량의 실태
운반차량내 고화재 혼합 기술
굴착토/버력운반차량 설계도, 사양
운반차량 시제품
운반차량 제작완료
현장 투입 및 적용보고서
굴착토 종합데이터 베이스 구축
친환경 신소재 후보 재료 발굴
친환경 신소재 최종 레시피 작성
굴착토/버력을 갱내 운반중 고화처리 가능한 운반차량 개발
친환경 신소재 요구사항 정의서 작성
신소재 후보재료 물리 화학적 특성 평가
배트 후처리기술 제안
최종 매뉴얼 작성 및 현장 시공 적용
재활용 가능 신소재 후보 재료 발굴
개량된 배트 시스템 제안
재활용 가능한 굴착토 시제품 생산
굴착토 처리 친환경 신소재 및 재활용 건설재료화

(2) 핵심기술 개발(안)

(가) (핵심기술 1) TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술

핵심기술의 As is - To be 개요

【 기존 】

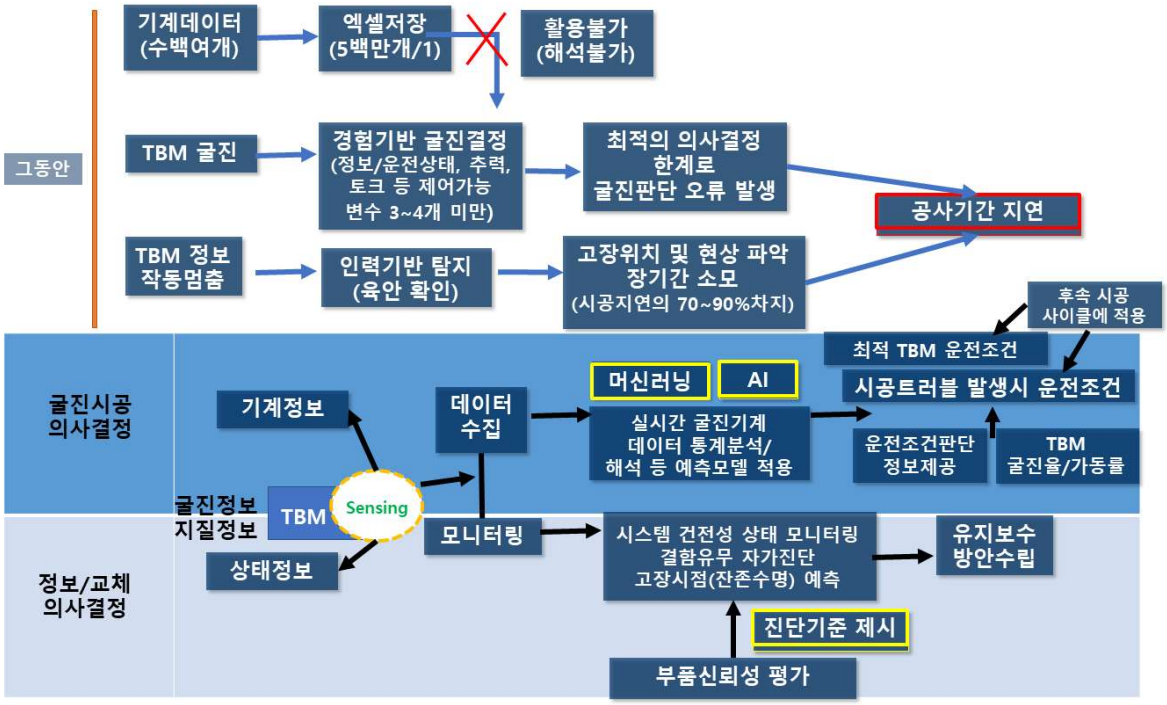
- TBM 굴진 중 취득된 기계데이터를 정제·분석하는 기술의 부재로 굴진 데이터가 실시간으로 활용·피드백되지 못하고, 오퍼레이터(운전원)의 경험에 전적으로 의존 중
- TBM 장비의 파손·손상은 육안 식별이 불가능하여, 파손·고장 위치와 현상 파악에만 공사지연(다운타임, Downtime)의 70~90%가 소요
  - 문제가 발생한 후 TBM 고장을 인지하는 사후정비 방식인 관계로, 고장이 발생된 부분과 관련된 모듈·부품들의 추가적인 파손·고장 위험 또한 존재
- TBM 시공의 전반적인 프로세스를 중앙에서 관리할 수 있는 통합 관제 기술의 부재로 유기적인 굴착 프로세스 진행 불가 및 시공지연 발생
- 국내에서는 데이터의 체계적인 수집 및 분류가 이루어지고 있지 않아 기존 사례(빅데이터) 분석에 기반한 효율적 굴착 수행이 불가
  - 기존 TBM 데이터 수집은 Excel 기반의 산발적 데이터로 처리시간 부족 및 복잡성이 높아 실제 TBM 시공에 활용 불가

【 본 과제 】

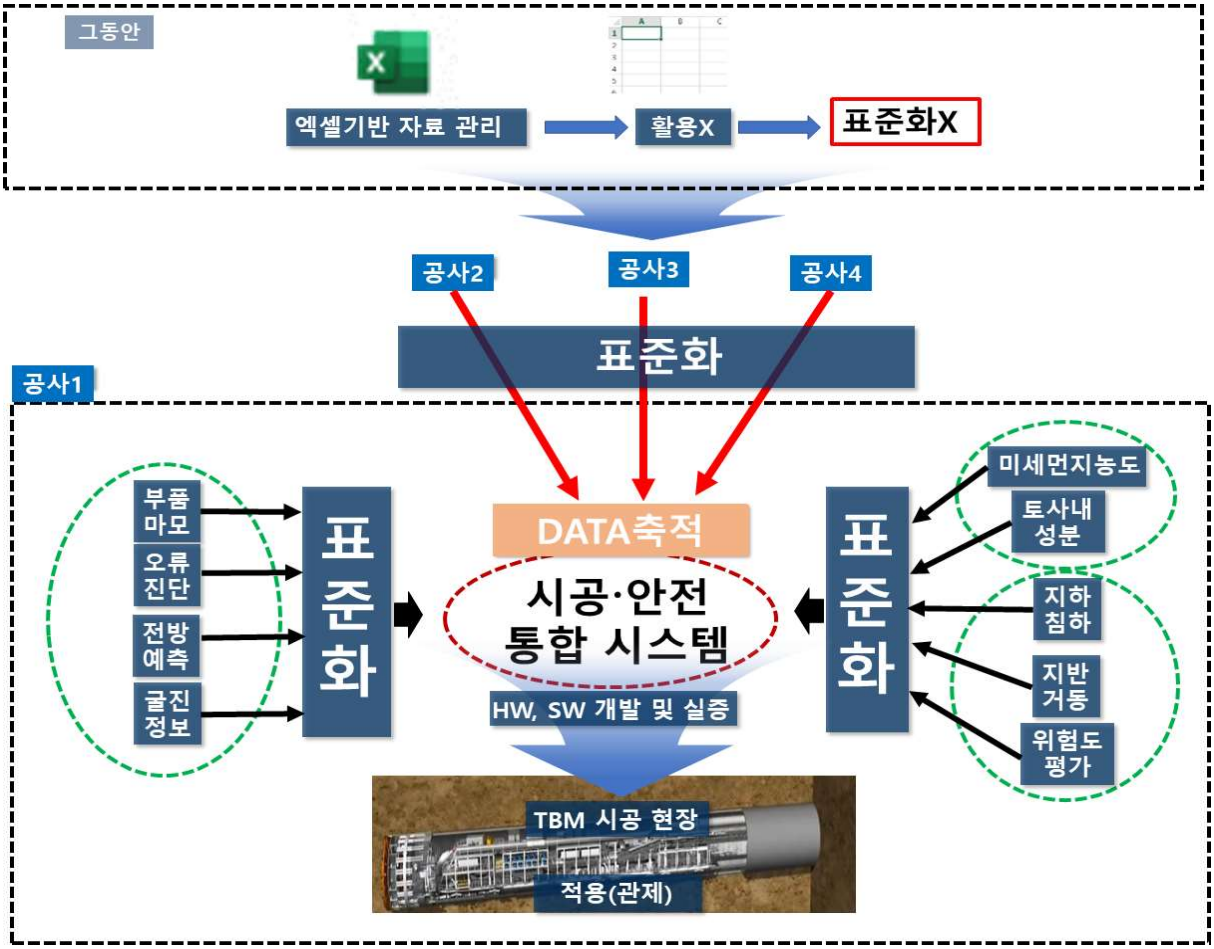
- TBM 굴진 데이터 기반 실시간 분석 및 예측기술 적용을 통하여 후속 시공단계에서 최적의 의사결정 및 공기만회 방안 수립 지원
- 센싱기술을 활용하여 TBM 부품들에 대한 실시간 자가진단(Self-diagnosis) 및 잔존수명 예지를 수행하고, 이를 통해 다운타임 최소화 목적 달성
- TBM에서 실시간으로 획득·분석된 시공정보·장비정보·위험도 등의 다양한 데이터들을 표준화하고 빅데이터화
  - 장비사양에 따라 상이한 데이터항목들의 표준화 → 데이터를 표준화·분류·저장하여 필요로 하는 현장·기관에 전송하는 데이터센터 구축
- TBM 실시간 시공·안전 통합시스템(HW 및 SW) 개발 및 실증
  - 핵심기술 2~3을 통합하는 클라우드 서버 기반의 통합 관제시스템 개발 및 실증

[그림 3-13] 핵심기술 1의 기술개발 방향

Part 1.



Part 2.



① 기본 개념 및 범위

㉮ 기본 개념

□ TBM 운전자(오퍼레이터)의 경험에 전적으로 의존하고 있는 TBM 운전조건과 시공조건의 실시간 분석을 통한 시공 최적화 및 시공 지연요인 최소화 연구

○ TBM에서 생성되는 수백 개 종류에 달하는 방대한 기계데이터를 실시간 모니터링·분석할 수 있는 시스템 개발을 통해, 사전에 TBM 시공지연 요인을 방지하고 후속 시공사이클에 최적의 TBM 운전조건을 제시할 수 있는 의사결정 기술 개발

○ 실시간으로 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측을 수행하고 후속 시공사이클에 분석결과를 피드백하여 실제적으로 공사기간 손실을 만회할 수 있는 기술적 방안 제시

□ TBM장비의 파손/고장이 발생하면 그 위치와 원인을 육안으로 확인하는 현재의 사후 정비 방식을 실시간 능동형 TBM 상태기반 정비 체계로 전환하는 연구

○ 지하터널을 굴착하는 극한환경 조건에서 TBM의 핵심모듈과 부품들에 대한 실시간 자가진단(self-diagnosis) 및 잔존수명의 예지기술 개발

○ 인력에 의한 현행 사후정비 방식의 수동체계에서 사전 능동예측 시스템으로의 획기적 전환

□ TBM에서 실시간 획득·분석된 시공정보/장비정보/위험도 등의 다양한 데이터들을 표준화하고 빅데이터化하기 위한 시스템 연구(TBM 데이터센터)

○ 현장에서 생성되는 다양한 TBM 데이터 확보의 문제점을 해결하기 위해, TBM 데이터 전송이 실시간으로 이루어질 수 있음

○ 각 TBM 제작사 장비사양에 따라 상이한 데이터항목들의 표준화 → 데이터를 표준화/분류/저장하여 필요로 하는 현장·기관에 전송하는 데이터센터 구축

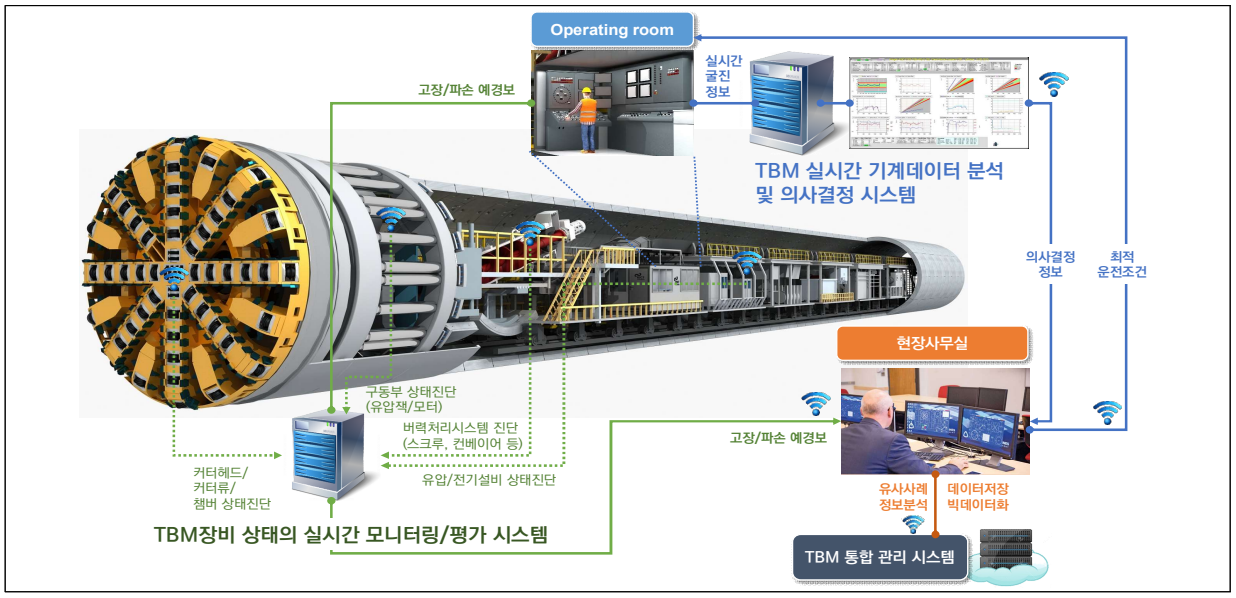
□ 인텔리전트 TBM 실시간 시공 · 안전 통합 관제시스템(HW 및 SW) 개발 및 실증

○ 현장에서 발생한 TBM 굴진 중 시공트러블 상황에서 운전자의 숙련도가 낮더라도 다양한 알림/경고 기능 등을 사용하여 안정적인 관리를 수행

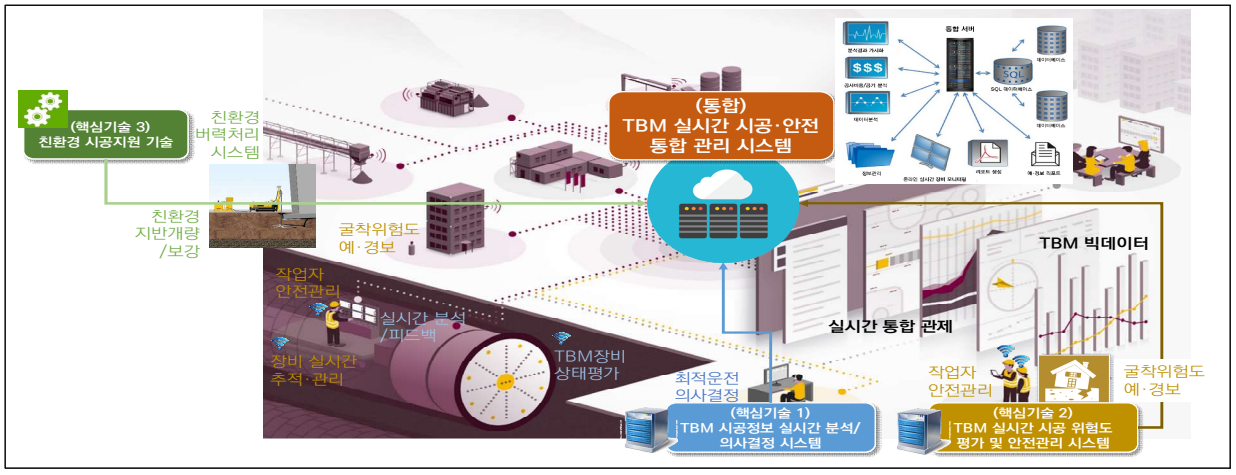
○ TBM터널 공사로 인한 굴착위험도와 작업자 안전의 실시간 관리를 통한 효율적인 TBM 운용 기술

○ 핵심기술 1~3을 통합하는 클라우드 서버 기반의 통합 관제시스템 개발 및 실증

[그림 3-14] TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술(핵심기술 1) 개념도



[그림 3-15] 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관제시스템(핵심기술 1~3 통합)의 개념도



② 기술 범위

□ (구성기술 1-1) TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정 기술

○ 머신러닝·AI기반의 TBM 기계데이터 실시간 모니터링 및 분석기술 개발

- TBM 굴진 중에 획득된 기계데이터들의 상호관련성과 최적의 TBM 굴착 운전조건을 판단할 수 있는 정보 제공을 머신러닝·AI의 기법을 이용하여 실시간으로 수행

○ TBM 굴진데이터의 분석을 이용한 의사결정 기술 개발

- 실시간으로 분석된 TBM 기계데이터 결과를 기반으로 TBM의 최적 운전조건 제시 및 문제 발생시에 신속하고 신뢰적인 의사결정의 판단근거로 사용할 수 있는 의사결정 기술 개발

○ 실시간 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측 기술

- 실시간으로 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측을 수행하고 후속 시공사이클에 분석결과를 피드백하여 실제적으로 공기만회를 할 수 있는 방안 제시

□ (구성기술 1-2) TBM 장비(주요부품 및 파트)상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술

○ TBM 극한환경(예: 커터헤드 챔버) 센싱 및 시험평가기술

- TBM 챔버내 극한환경(부하, 온도, 압력) 구현 및 쉴드패키징 테스트베드 구축
- TBM 극한환경 부품신뢰성 시험평가 방법(등가부하, 등가온도, 등가압력) 개발

○ TBM 핵심모듈과 부품들에 대한 실시간 자가진단(self-diagnosis) 및 잔존수명 예지기술

- TBM 핵심모듈 및 부품의 현재상태를 모니터링하고 실시간 진단
- 과거 학습된 데이터를 기반으로 미래시점의 고장시간을 예지

□ (구성기술 1-3) TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발

○ TBM 데이터 표준화와 TBM 통합정보관리 데이터센터 플랫폼 구축

- TBM 데이터 표준화 방법론 개발 및 데이터 구조화를 통한 데이터베이스 설계
- 데이터 수집/저장/분류/접근/보안을 고려한 TBM 통합정보관리 플랫폼 설계 및 구축
- TBM 통합정보관리플랫폼(데이터센터) 활용방안 도출

○ 안전하고 효율적인 TBM 시공을 위한 최적화 관리가 가능한 통합관제시스템 개발

- TBM 운영 효율화를 위해 핵심기술별로 개발되는 각 시스템들의 통합·연계방안 도출
- 능동적인 관제를 위한 시스템 구조화 및 TBM 통합관제시스템 설계/구축/현장실증

〈표 3-8〉 핵심기술 1의 구성

핵심 기술	구성 기술	관련 기술
(1) TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술	(1-1) TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정 기술	• 실시간 통계분석 • 실시간 머신러닝/AI • 실시간 시공사이클 분석 • 의사결정 기법 • 최적 TBM 운전조건 분석기술 • 빅데이터 기반 TBM 굴진율/가동율 예측모델
	(1-2) TBM장비 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술	• TBM 자가진단 기술: 센싱기술, 트리거 설정 등 • TBM 부품신뢰성 시험평가 • TBM 장비/부품 상태 모니터링 • TBM 건전성 평가 기술 • 잔존수명 예지기술
	(1-3) TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발	• 데이터/보고서 프레임워크 및 표준화 • 클라우드 서버/미러링 서버 • 데이터 센터 및 DB • 통합 정보관리플랫폼
		• 통합관제시스템(알람, 예경고 기능 등 포함) • PLC(Programmable Logic Controller) • 로컬 데이터관리 • 현장 통신/데이터 전송 시스템 • 작업자/장비용 스마트기기

(나) 추진배경 및 필요성

① 추진배경

□ TBM에서 생성되는 기계데이터의 종류는 수백 개에 달하지만 TBM 오퍼레이터가 이해하고 제어할 수 있는 변수는 극히 일부에 불과

○ 일반적인 TBM 오퍼레이터들이 즉각적으로 제어할 수 있는 변수는 3~4개 미만에 불과

※ 출처: Engineering News-Record 홈페이지 (https://www.enr.com/)

○ TBM에서 생성되는 기계데이터는 오퍼레이터가 수기로 작성하는 굴진일보 또는 엑셀파일 형태로 단순 저장됨으로 인해, 기계데이터의 신속하고 신뢰적인 분석이 이루어지지 않고 있으며 후속 시공사이클에 피드백(feedback)되는데 기술적인 한계가 존재

○ 현장에서 취득된 굴진데이터는 그 양과 종류가 방대하고, 운전원의 경험으로만 분석하기에는 한계가 있으며, 데이터 간의 상호 관계나 해석을 실시간으로 수행하는데 어려움이 있음

○ TBM 시공트러블이 발생할 경우, 공사지연의 만회를 위해 최적의 TBM 운전조건을 후속 공정에 피드백 할 수 있어야 하나, 대부분 과거 굴착자료나 통계적 접근법에 의존함으로 인해 최적화를 위한 대안 제시에 한계 존재

□ TBM장비의 파손/고장이 발생하면 그 위치와 원인을 육안으로 확인·평가함으로 인한 시공 지연

○ TBM 장비의 파손/손상을 육안으로 식별하는 것이 매우 어렵기 때문에, 진단과 위치파악에 시공 지연시간(downtime)의 70~90%가 소요

- 일부 현장에서는 TBM에 사용되는 커터 소모비용과 교체시간이 전체공사의 각각 30% 및 20~40%를 차지

※ 출처: Li, J. et al.(2019), Application and outlook of information and intelligence technology for safe and efficient TBM construction, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol., 93, 103097

○ 그럼에도 불구하고 TBM장비에 파손/고장이 발생하면 인력에 의해 그 위치와 원인을 육안으로 확인·파악하는 사후정비 방식의 수동체계로서 TBM 시공지연의 주된 요인으로 지적

□ 국내·외 산업전반에서 데이터의 수집/활용은 거스를 수 없는 대세이며, 국내에서도 TBM 데이터 축적이 시작되었지만 데이터의 체계적인 수집/분류가 이루어지고 있지 않음

○ TBM 데이터에는 기계데이터를 포함하는 굴진정보뿐만 아니라 지반정보 및 기타 다양한 시공정보가 포함되지만, 통합적인 데이터 수집이 이루어지고 있지 않음

○ 현재 TBM 데이터 수집은 TBM시공이 완료되는 시기에 맞춰 최종적인 누적 데이터를 확보해야 하지만, 현장 관계자들은 데이터 수집의 필요성이 낮고 처리시간이 부족하여 실제 시공에 활용할 수 있는 데이터 확보가 어려운 실정

○ TBM 데이터의 중요성을 인식하고 데이터를 확보하더라도 각 제작사별로 제공되는 형식에 따라 단순 저장하는 정도에 머물러 있으며, 지반정보, 굴진정보 등이 개별적으로 저장·관리되어 실제 활용하기가 어려움

○ 현재 TBM에서 생성되는 방대한 양의 데이터를 저장하고 처리하기 위한 시스템이 없는 상황이며, 건설 주체(발주처/시공사/제작사)별로 필요로 하는 정보의 차이가 있지만 이를 제공할 수 있는 시스템의 부재

□ 건설분야의 숙련인력 감소로 숙련된 TBM 운전자를 확보하기 어려운 문제로 인해, 선진국에서는 TBM장비를 비롯한 현장전반을 관리할 수 있는 관제시스템의 개발이 이루어지고 있음

○ TBM에서는 수천 개의 센서로부터 데이터가 계속 생성되고 있지만 TBM을 제어하는 운전자(operator) 1~2인이 다루기에는 정보가 너무 방대

○ 선진외국에서는 기존 TBM현장들의 시공정보로부터 얻을 수 있는 방대한 정보와 사고로 인한 교훈을 다른 시공 현장에까지 적용하기 위한 정보관리플랫폼의 개발이 시작되어, 운전자 개인의 경험이 적더라도 이를 보완할 수 있는 기술개발을 착수

○ 현재는 TBM장비와 현장에서 모니터링되는 정보들을 단순 축적하는 수준에 머물러 있어, 현장에서 발생되는 시공트러블에 대해 즉각적인 판단과 대응이 이루어지지 못하고 있음

○ 현장의 작업인원 및 장비의 점검을 위해 RFID 등을 이용한 태깅(tagging)과 같은 아날로그적인 방법의 적용과 터널 내의 통신음영으로 인해 작업자와의 연결이 원활하지 않은 상황

② 추진 필요성

□ 방대한 TBM 생성 기계데이터의 실시간 처리·분석을 통해, TBM 시공트러블에 사전에 대응하고 최적의 TBM 운전조건을 설정하기 위한 신속 의사결정 체계가 필요(빅데이터化 포함)

○ TBM에서 생성되는 데이터량은 약 500~1,000개/초로서 약 5백만개/일의 빅데이터가 생성되므로 즉각적인 데이터 처리·분석이 이루어지지 않으면 데이터의 효용가치가 저하

※ 출처: IRIS 홈페이지 (https://iris.itc-engineering.com/)

○ TBM 기계데이터는 시공사별로 단순 보관하고 있으며, 일부 외국산 TBM의 경우에는 데이터의 접근도 기술적으로 제한되어 있어 국가적인 빅데이터化가 시급

○ TBM 기계데이터의 실시간 처리·분석을 통해 이상치(anomalies)가 발생하게 되면 즉각적인 대응을 할 수 있는 실시간 모니터링/평가 기반의 최적 의사결정 기술이 필요

○ 전문가라도 방대한 양의 굴진데이터를 통계분석 하는데 상당한 시간이 소요되므로 이는 결국 공기 지연의 원인이 될 수 있고 예상하지 못한 리스크를 야기할 수 있음

○ 전문가나 오퍼레이터의 의사결정을 지원할 수 있는 판단근거를 실시간에 가깝게 처리하고 제시할 수 있는 기법이 필요

□ **TBM장비의 파손/고장 위치와 원인을 예·경보할 수 있는 실시간 능동형 TBM 상태기반 정비 신기술 개발이 필요**

○ TBM의 주요 모듈과 핵심부품의 파손이나 고장이 발생하게 되면, 해당 위치와 원인을 즉각적으로 예·경보하기 위한 실시간 능동형 TBM 상태기반 정비 체계의 개발이 필요

○ 상태기반(condition-based) 정비방식은 가장 합리적인 형태로 고장예측 서비스를 제공할 수 있기 때문에, TBM 장비수명 연장, 관리비용 절감, 굴진율 향상 등의 기대 가능

○ 즉, TBM 핵심모듈 및 부품의 현재상태를 모니터링하고 실시간 진단하고 과거에 학습된 데이터를 기반으로 미래시점의 고장시간을 예지할 수 있는 능동형 상태 평가기술이 필요

□ **굴착면 전방을 확인할 수 없는 지하에서 다양한 지반조건을 TBM으로 안전하게 굴착하기 위해서는 TBM 시공 중에 발생하는 데이터들의 축적과 표준화를 통한 분석이 필요**

○ 인프라분야에서 BIM이 확대적용됨에 따라 국제표준화기구(BSI)에서는 IFC(Industry Foundation Classes) 표준개발을 진행하여 건설데이터의 상호운용성 생태계 구축을 추진

○ IFC는 BIM적용이 수월한 도로와 교량 위주로 진행되고 있지만 데이터의 표준화를 통한 상호운용성을 목표로 한다는 점을 고려

- TBM의 특수성을 고려하더라도 데이터 표준화의 필요성은 필수적

○ 데이터의 중복과 업무/시스템별 데이터의 불일치로 인한 데이터 의미 파악, 정보제공의 적시성 결여 등의 문제를 해결하기 위해 데이터의 표준화가 필수적

○ TBM 기계데이터의 경우 데이터량이 방대하기 때문에, 데이터 저장/통합/유지보수를 위한 표준화 필요

○ TBM 전용 통합정보관리플랫폼을 구축하여 지반정보/굴진정보/시공정보를 포괄하는 표준화된 TBM 빅데이터의 축적(데이터센터)이 필요

- 방대한 TBM 데이터를 수집하고 저장하기 위해 통합적인 정보관리플랫폼이 필요하고 플랫폼 내에서 정보의 분류를 통해 데이터의 활용성을 높일 필요가 있음
- 발주처/시공사/제작사가 서로 필요로 하는 정보가 상이하기 때문에 DB로부터 필요한 정보를 쉽게 필터링하여 제공할 필요가 있으나, 현재까지 데이터 표준관리 도구 부재

□ **굴진관리와 침하관리와 같은 TBM시공 전반의 정보를 통합·관리하여 즉각적인 판단과 대응이 가능한 통합관제시스템은 TBM의 안전하고 효율적인 시공을 위해 필수적인 선결조건**

○ TBM 장비를 제어하는 운전자가 다루어야 하는 데이터가 과도한 점과 장비상태 및 지반침하 등을 고려한 장비운전은 숙련된 운전자에게도 어려운 작업

○ 정보관리시스템 등을 통해 지속적인 TBM시공정보를 축적하고 이를 구현할 수 있는 관리

- 제어시스템을 구성하여 일반적인 굴진상황에서의 시공효율 향상뿐만 아니라 시공트러블 상황에서 과학적인 의사결정에 따른 판단과 즉각적인 통제 대응이 필요

○ 현장의 안전을 보다 효과적으로 향상시키기 위해 현재 개발된 IoT기술과 통신기술을 폭넓게 적용 필요

(다) 현황 및 개선방안

① 현황 및 문제점

□ TBM 굴진 중에 현장에서는 취득된 기계데이터 가운데 극히 일부 데이터 항목만을 선정하여 모니터링을 하고 있으나, 실시간으로 활용/피드백되지 못하고 오퍼레이터(운전원)의 경험에 전적으로 의존 중

○ 현장에서 취득된 굴진데이터는 그 양과 종류가 방대하고, 운전원의 경험으로만 분석하기에는 한계가 있으며, 데이터 간의 상호 관계나 해석을 실시간으로 수행하는 데 어려움이 있음

- 현재 TBM 모니터링은 Enzan(日), VMT(獨) 등의 TBM 관련 장비사에서 제공한 데이터 관리 프로그램을 통하여, 현재의 TBM 운전 상태에 대한 정보와 추력, 토크 등에 대한 단순 자료(미리 설정한 최대·최소 범위 파악 수준)에만 의존
- 시공 중에 발생하는 다양한 문제를 해결하기 위해서는 TBM 굴진 중에 획득된 굴진데이터의 실시간 분석을 통해 문제의 원인을 파악하고 원인에 적합한 대책을 마련해야 하나, 방대한 데이터의 양에 의해 즉각적인 데이터 분석을 통한 원인 규명과 그 해결책 규명이 어려움

□ TBM 굴진 중에 문제가 발생할 경우에 이를 신속히 해결하고 후속 시공사이클에 적합한 운전조건을 제시할 수 있어야 하나, 현재는 이를 위한 신뢰적이고 체계적인 기술과 시스템이 없는 관계로 공기지연의 원인이 되고 있음

○ 최적의 TBM 시공조건에 대한 의사결정을 내리기 위한 판단근거의 제공이 필요

- 시공트러블이 발생할 경우, 공기 만회를 위한 최적의 TBM 운전조건을 후속 공정에 피드백할 수 있어야 하나, 대부분 과거 굴착자료나 통계적 접근법에 의존함으로 인해 최적화를 위한 대안 제시에 한계 존재 (대부분 과거의 경험치에 근거하여 추세선 확장에 의한 공기 산정)
- 전문가라도 방대한 양의 굴진데이터를 통계분석 하는데 상당한 시간이 소요되므로 이는 결국 공기지연의 원인이 될 수 있고 예상하지 못한 리스크를 야기할 수 있으므로,
- 전문가나 오퍼레이터의 의사결정을 지원할 수 있는 판단근거를 실시간에 가깝게 처리하고 제시할 수 있는 기법이 필요

□ TBM터널 시공은 TBM 장비에 전적으로 의존하기 때문에, TBM 장비에 파손/고장이 발생할 경우에 원인파악, 장비 보수·수리 등으로 인한 공사지연 발생 불가피

○ TBM 장비의 파손/손상은 육안 식별이 불가능하여, 파손/고장 위치와 현상 파악에만 공사지연(다운타임, downtime)의 70~90%가 소요(Li et al., 2019)

- 현재까지 문제가 발생한 후에 TBM 고장을 인지하는 사후정비 방식인 관계로, 이는 공기지연 및 고장이 발생된 부분과 관련된 모듈/부품들의 추가적인 파손/고장으로 이어질 수 있는 위험성 존재
- 따라서 공사 중에 TBM 장비의 파손/손상을 자동적으로 파악하고 예·경보하기 위한 시스템 필요

□ **TBM 분야뿐만 아니라 국내·외 산업전반에서 데이터의 수집/활용은 거스를 수 없는 대세이며 국내에서도 TBM 데이터 축적이 시작되었지만, 데이터의 체계적인 수집 및 분류가 이루어지고 있지 않음**

○ 외국 TBM제작사들에서는 원격으로 현장의 TBM 기계데이터를 수집하고 있음. 특히, TBM 데이터에는 기계데이터를 포함하는 굴진정보뿐만 아니라 지반정보, 기타 시공정보 등이 포함되지만 아직까지 이에 대한 통합적인 데이터 수집이 이루어지고 있지 않음

○ 현재 TBM 데이터 수집은 TBM 시공이 완료되는 시기에 맞춰 최종적인 누적 데이터를 확보해야 하지만, 현장 관계자들은 데이터 수집의 필요성이 낮고 처리시간이 부족하여 실제 시공에 활용할 수 있는 데이터 확보가 어려운 실정

○ TBM 데이터의 중요성을 인식하여 데이터를 확보하더라도 각 제작사별로 제공되는 형식에 따라 단순 저장하는 정도에 머물러 있으며, 지반정보, 굴진정보 등이 개별적으로 저장 관리되어 실제 활용하기가 어려움

○ 현재 TBM에서 생성되는 방대한 양의 데이터를 저장하고 처리하기 위한 시스템이 없는 상황이며, 건설 주체(발주처/시공사/제작사)별로 필요로 하는 정보의 차이가 있지만 이를 제공할 수 있는 통합 시스템의 부재

□ **수천 개의 센서로부터 데이터가 계속 생성되고 있지만 TBM을 제어하는 운전자(operator)를 다루기에는 정보가 많고, 숙련된 운전자를 확보하기 어려운 상황으로서 선진외국은 TBM 장비를 비롯한 현장전반을 관리할 수 있는 관제시스템의 개발 진행**

○ TBM에서 생성되는 수백 개의 변수들이 있지만, 운전자가 지질상황과 굴진상태를 이해하는 데 여전히 한계가 존재하므로 TBM은 운전자의 경험에 매우 크게 의존

○ 기존 TBM현장들의 시공정보로부터 얻을 수 있는 방대한 정보와 사고로 인한 교훈을 다른 시공 현장에까지 적용하기 위한 정보관리플랫폼의 개발이 이루어지고 있어, 운전자 개인의 TBM 경험이 적더라도 이를 보완할 수 있는 기술개발이 착수

○ 현재는 TBM장비 및 현장에서 모니터링되는 정보를 단순 축적하는 수준에 머물러 있어 현장에서 발생되는 시공트러블에 대해 즉각적인 판단과 대응이 이루어지지 못하고 있음

○ 현장의 작업인원 및 장비의 점검을 위해 RFID 등을 이용한 태깅(tagging)과 같은 아날로그적인 방법의 적용과 터널 내의 통신음영으로 인해 작업자와의 연결이 원활하지 않은 상황

② 개선방안

□ **TBM 굴진 중에 획득되는 기계데이터의 실시간 모니터링 및 최적 TBM 운전조건에 대한 의사결정 기술 개발**

○ 굴진 중 획득한 기계데이터의 실시간 모니터링 및 분석을 통해 단순한 통계처리나 출력이 아닌 다양한 TBM 기계데이터들의 상호관련성과 최적의 TBM 운전조건을 판단할 수 있는 정보 제공을 머신러닝·AI 등의 첨단 기법을 이용하여 실시간으로 수행

○ 실시간 TBM 기계데이터 분석결과를 바탕으로, TBM의 최적 운전조건과 시공트러블 발생 시에 최적 의사결정의 판단근거로 사용할 수 있는 의사결정 기술의 개발 필요

□ 실시간 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측 기술

○ 기 굴착한 구간의 굴착 데이터와 유사 지반조건에서의 굴착 데이터를 머신러닝·AI의 기법을 이용한 예측 모델을 생성하여, 실시간으로 TBM 굴진율/가동율 분석예측을 수행하고 후속 시공사이클에 분석결과를 피드백하여 실제적으로 공기만회를 할 수 있는 방안 제시 필요

□ TBM 고장예지 및 건전성 관리기술(Prognostics and Health Management, PHM)

○ TBM 파손/고장에 대한 사후정비 방식의 수동체계에서 사전 능동예측 시스템으로의 전환 필요

- 고장예지 및 건전성 관리를 위한 PHM기술은 진단-예지-관리 3가지 기술로 구성
  - Monitoring: 시스템의 건전성 상태를 모니터링하는 기술
  - Prognostics: 모니터링 데이터를 통해 결함 유무를 판단·진단하고, 시스템의 고장시점을 예측하는 예지기술
  - Health Management: 이를 토대로 유지보수 전략을 수립 건전성을 관리하는 기술

○ 능동형 TBM 상태기반정비 시스템 개발 필요

- 기존의 사후(corrective) 정비방식은 평소에 유지관리 비용이 적을지라도, 1회 고장만 발생하더라도 관련 비용 리스크가 매우 큼
- 첨단분야의 예방(Preventive) 정비방식은 장비 수명과 관계없이 사전 점검/교체가 이루어지므로 비경제적
- 상태기반(condition-based) 정비방식은 가장 합리적인 형태의 고장예측 서비스를 제공할 수 있기 때문에, TBM 장비수명 연장, 관리비용 절감, 굴진율 향상 등의 기대 가능

〈표 3-9〉 TBM 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정 기술의 As-is와 To-be

AS-IS	TO-BE
○ TBM 시공은 오퍼레이터의 경험에 전적으로 의존되며 굴진데이터의 실시간 분석 미흡 - 굴진데이터를 이용한 해석이나 추론 등은 실시간으로 활용되지 못하며, 운전원의 경험에 전적으로 의존 ○ TBM 시공트러블 발생 시에 신속한 원인분석 및 후속 의사결정 체계 부재 - 시공트러블이 발생할 경우, 공기 만회를 위한 최적의 TBM 운전조건을 피드백하기 위한 신뢰적인 기술 및 관련 의사결정 체계 부재 ○ TBM 굴진율/가동율은 과거의 유사 경험에 의존하여 설정 - 공기단축을 위한 굴진 향상은 과거 굴착 자료나 단순한 통계적 접근에 의존하여 진행	○ 머신러닝·AI기반의 TBM 기계데이터의 실시간 모니터링 및 분석기술 - 굴진 중 획득한 기계데이터의 상호관련성과 굴착 운전 조건을 판단할 수 있는 정보를 실시간으로 제공 ○ TBM 굴진데이터의 실시간 분석결과에 기반한 의사결정 기술 - TBM의 후속 최적 운전 조건 제시 및 문제 발생 시에 의사결정의 판단근거로 사용할 수 있는 의사결정 기술의 개발 ○ 실시간 TBM 굴진율/가동율 분석·예측 기술 - 실시간으로 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측을 수행 - 후속 시공사이클에 분석결과를 피드백하여 실제적으로 공기만회를 할 수 있는 방안 제시

〈표 3-10〉 TBM 장비 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술의 As-is와 To-be

AS-IS	TO-BE
○ TBM 사후정비 시스템 (Corrective Maintenance) - 측정센서 기반 인력 모니터링 - 부품고장 사후 수동형 정비/관리 - 다운타임 및 공기 증가	○ TBM 상태기반정비 시스템 (Condition-based Maintenance) - 백데이터를 통한 열화 기계학습 - TBM 가동 시 진단/예측/능동관리 - 다운타임 최소화/시공경제성 향상

□ 국외에 비해 TBM 데이터 수집/활용이 뒤처진 상황이므로, 데이터 수집방법을 표준화하고 지반정보와 굴진정보를 통합하는 데이터센터를 구축하여 TBM데이터의 활용성 향상 필요

○ 실제 현장에서 발생하는 TBM 기계데이터 확보의 문제점을 해결하기 위해, TBM의 데이터 전송이 실시간으로 이루어지고 각 TBM 제작사별 또는 장비크기/사양에 따라 상이한 데이터 항목들을 표준화하는 것이 필요

○ 전송된 TBM 데이터를 표준화하고 분류/저장하여 데이터를 필요로 하는 현장 또는 관련기관에 데이터를 전송하고 출력하는 역할을 하는 TBM 통합 데이터센터 구축 필요

○ TBM 데이터센터를 위한 통합정보관리플랫폼을 구축하여 지반정보/굴진정보/시공정보를 포괄하는 표준화된 데이터의 축적뿐만 아니라, 이에 대한 분류/처리를 통한 관리기능으로 TBM 정보를 대상에게 적합한 데이터를 공급해주는 역할 담당하는 시스템 구축

□ 통합관제시스템의 개발은 시공트러블 상황에서 운전자의 숙련도가 낮더라도 알림·경고 기능 등을 사용하여 TBM 굴진에 대한 안정적인 관리를 수행할 수 있고, 지반침하, 터널 내부 작업인력 관리 등을 통해 효율적인 현장의 운용을 가능하게 할 수 있음

○ 건설산업 전반에서 나타나고 있는 숙련인력 감소에 의해 발생하는 TBM 운전자의 경험 부족과 지질조건 및 상황에 의해 나타나는 시공트러블을 TBM 기계데이터의 실시간 모니터링과 의사결정시스템, 침하 예측 통해 부족한 경험을 보완하여 굴진작업이 가능

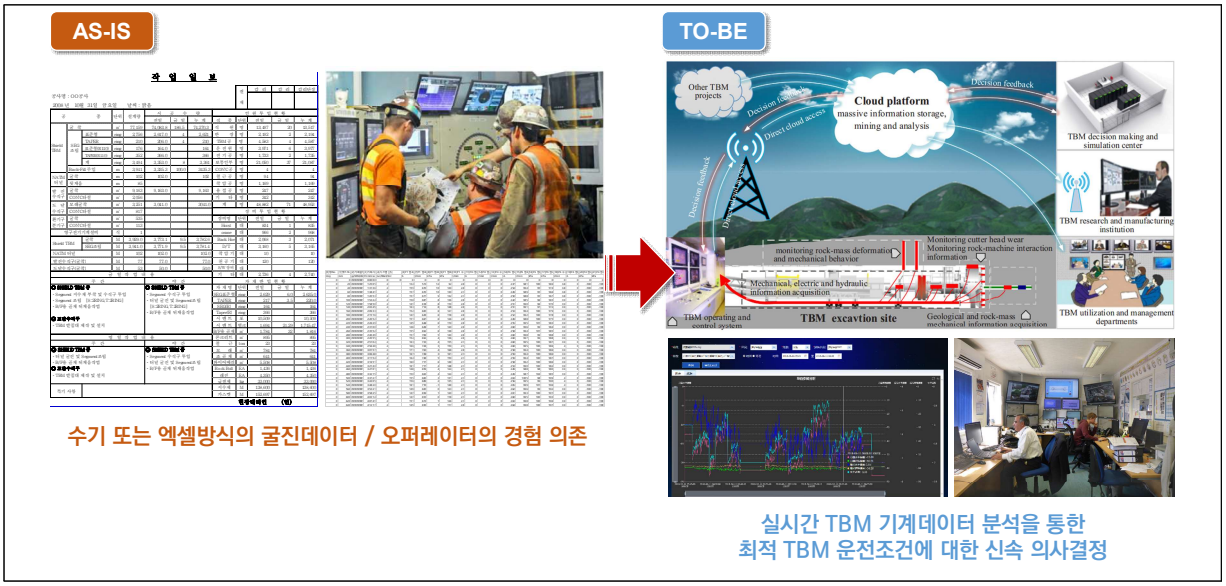
○ TBM 굴진면 전방뿐만 아니라 침하 관리, 지반보강, 장비상태 평가 등 공사 전반에 대한 통합적인 관리를 통해 공사기간 및 유지관리비 절감 가능

○ 터널과 같은 통신음영 조건에서 첨단 통신기술을 활용한 현장작업자 및 장비들의 작업 위치에 대한 파악과 관리를 통해 TBM터널공사의 능동적·선제적 안전관리 가능

〈표 3-11〉 TBM 시공·안전 통합 시스템의 As-Is와 To-Be

AS-IS	TO-BE
○ 각 현장별로 방대한 TBM 데이터가 생성되고 있으나, 체계적인 데이터 수집/분석 및 축적 기반 부재 - 현장에서 TBM 데이터의 중요성 인식 부족 - 방대한 데이터 처리에 상당한 시간 소요 - 건설 주체별 데이터 용도/형식에 차이	○ TBM 제작사/형식/사양 등을 고려한 합리적인 데이터 항목 및 수집방법의 표준화 - 실시간 데이터항목들을 표준화 - 표준화된 데이터들을 축적·전송·출력하는 TBM 데이터센터 구축 ○ 안전하고 효율적인 TBM 시공을 위한 TBM 전용 통합관제시스템 구축·운영 - TBM시공 전반의 정보를 통합·관리하여 즉각적인 판단과 대응 - TBM 오퍼레이터의 경험과 육안관찰에 의존하던 방식에서 탈피하여, 실시간 통합관제 및 신속한 의사결정 지원

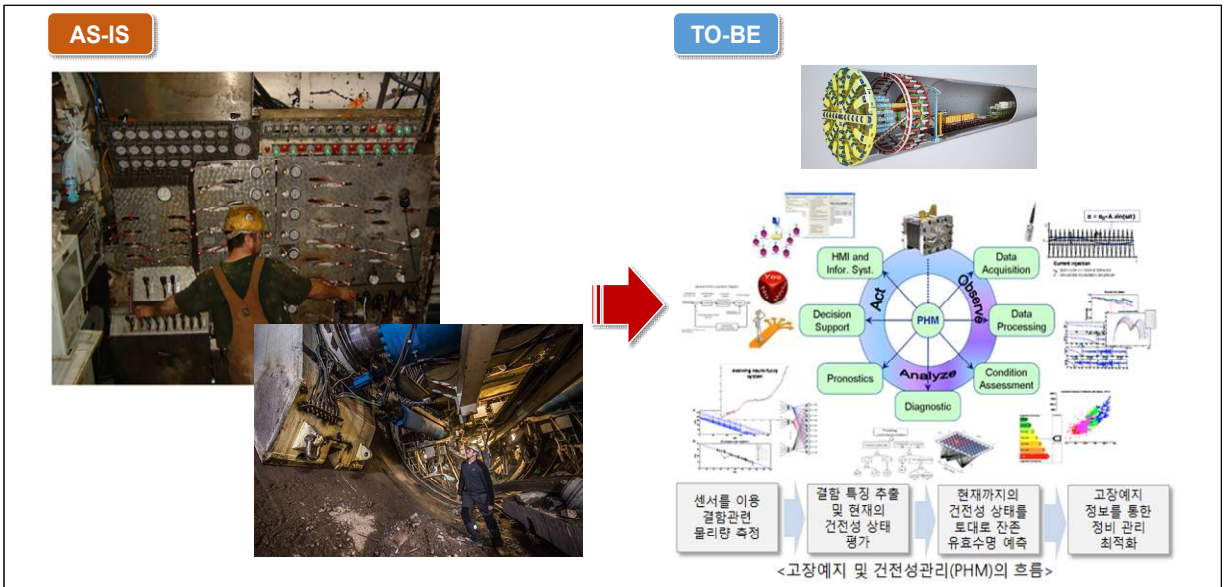
[그림 3-16] TBM 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정 기술의 As-is와 To-be



수기 또는 엑셀방식의 굴진데이터 / 오퍼레이터의 경험 의존

실시간 TBM 기계데이터 분석을 통한
최적 TBM 운전조건에 대한 신속 의사결정

[그림 3-17] TBM 장비 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술의 As-is와 To-be

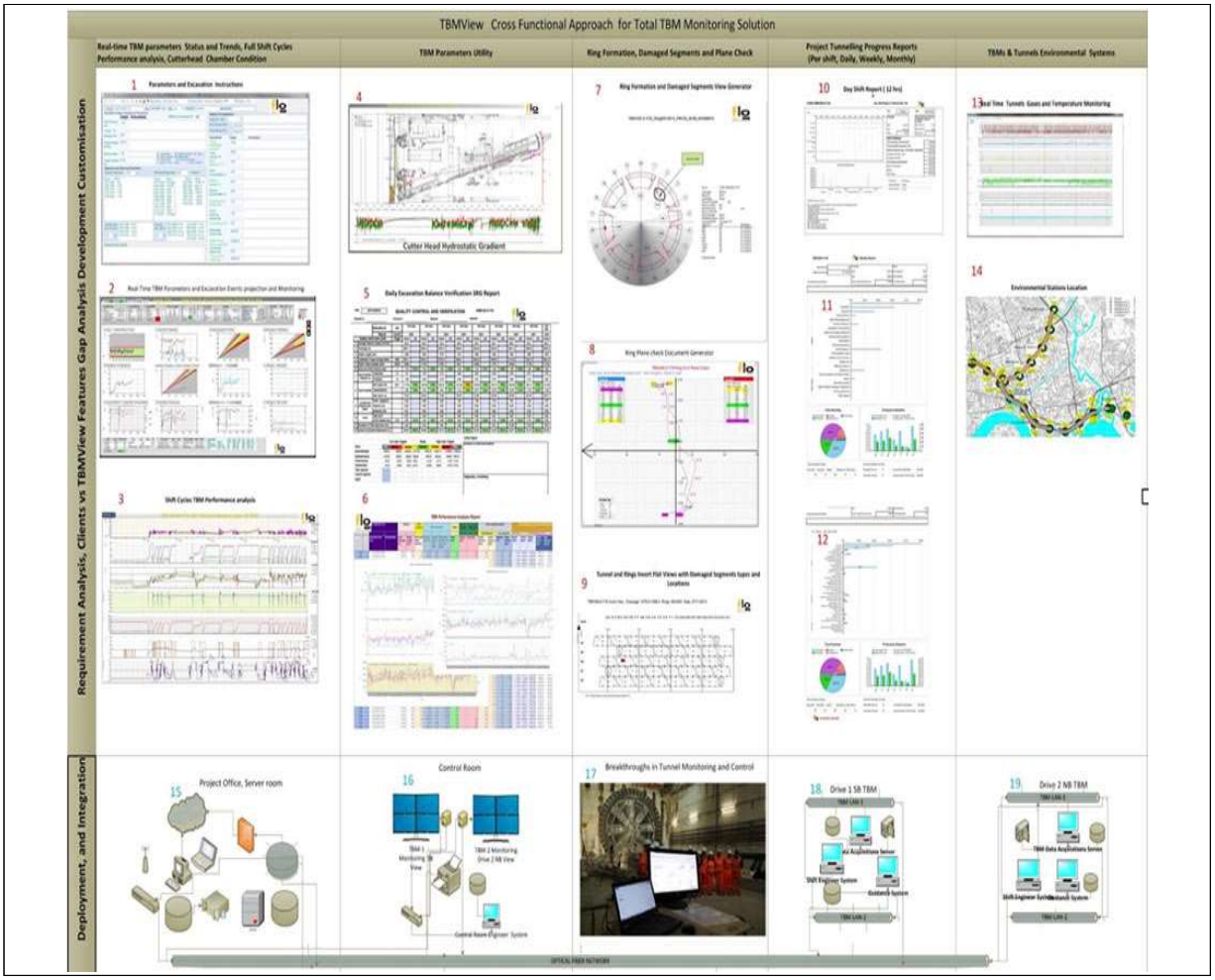


<고장예지 및 건전성관리(PHM)의 흐름>

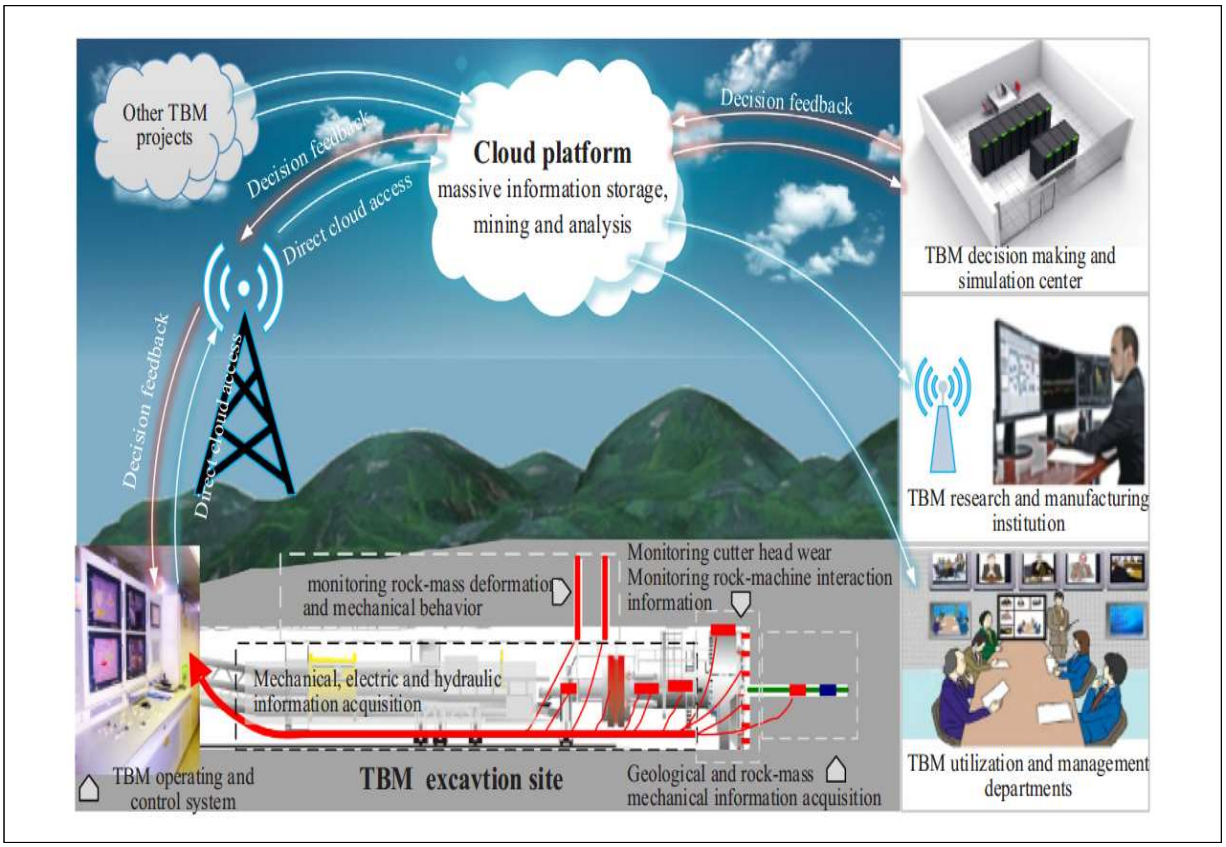
사후방식의 고장/파손 부위 육안파악

상태기반 방식의 TBM 실시간 고장예지 및 건전성관리

[그림 3-18] (영국사례) 교차기능 접근법에 의한 TBM 토탈 모니터링 솔루션 개념도(To-Be)



[그림 3-19] (중국사례) 첨단 정보기술 기반의 TBM 인텔리전트 통합관제플랫폼 개념도(To-Be)



(라) 기술개발 개요

① 기술개발 정의

○ 머신러닝·AI기반의 TBM 기계데이터의 실시간 모니터링 및 분석기술 개발

- TBM 굴진 중에 획득된 기계데이터들의 상호관련성과 최적의 TBM 굴착 운전조건을 판단할 수 있는 정보 제공을 머신러닝·AI기법을 이용하여 실시간으로 수행

○ TBM 굴진데이터의 분석을 이용한 의사결정 기술 개발

- 실시간으로 분석된 TBM 기계데이터 결과를 기반으로 TBM의 최적 운전조건 제시 및 문제 발생 시에 신속하고 신뢰적인 의사결정의 판단근거로 사용할 수 있는 의사결정 기술 개발

○ 실시간 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측 기술

- 실시간으로 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측을 수행하고 후속 시공사이클에 분석결과를 피드백하여 실제적으로 공기만회를 할 수 있는 방안 제시

○ TBM 핵심부품/모듈 실시간 고장예지 및 건전성 관리기술

- 실시간으로 TBM 핵심모듈과 부품들에 대한 실시간 자가진단(self-diagnosis) 및 잔존수명 예지기술
  - TBM 핵심모듈 및 부품의 현재상태를 모니터링하고 실시간 진단
  - 과거 학습된 데이터를 기반으로 미래시점의 고장시간을 예지

○ TBM터널공사 시에 운영·관리의 효율화를 위해 공사 시 발생하는 데이터를 표준화하고 수집 및 관리하기 위한 TBM 통합정보관리 데이터센터 플랫폼을 개발하는 연구

- TBM은 터널굴착을 위한 기계굴착 장비로서 지반정보/굴진정보/시공정보를 포함하여 다량의 데이터가 생성되며, 이러한 데이터를 해당 현장뿐만 아니라 타 현장에서도 효율적으로 활용하기 위한 기술개발
- TBM 데이터를 활용하기 쉽도록 표준화하고 저장·분류하여 TBM 데이터가 필요한 곳에 빠르게 공급해 줄 수 있는 클라우드 기반 통합정보관리플랫폼이 탑재된 데이터센터 구축

○ TBM터널공사의 운영·관리 효율화를 위해 굴진관리/침하관리/지반보강/장비관리/안전관리 등과 같이 공사 전반에 걸쳐 개발되는 시스템들과 그로부터 도출되는 결과를 통합 관리하여 최종적으로 TBM 공사기간을 단축하고 유지관리비를 감소시키는 연구

- 각 핵심기술에서 개발되는 TBM 운영 효율화 기술을 통합·관제하여 정상조건과 위험조건에 대해 안전하고 효율적인 TBM 시공을 위한 최적화 관리가 가능한 통합관제시스템 개발

② 기술개발 목표

○ 머신러닝·AI기반의 TBM 기계데이터 실시간 모니터링 및 분석기술 개발

- TBM 굴진 중에 획득된 기계데이터를 머신러닝·AI 기법을 이용하여 실시간 분석하고 이를 TBM 오퍼레이터 및 현장관리사무소(통합시스템)에 실시간 정보 제공

- TBM 굴착이 이루어지고 있는 지반조건 및 TBM 핵심 운전 정보 제공

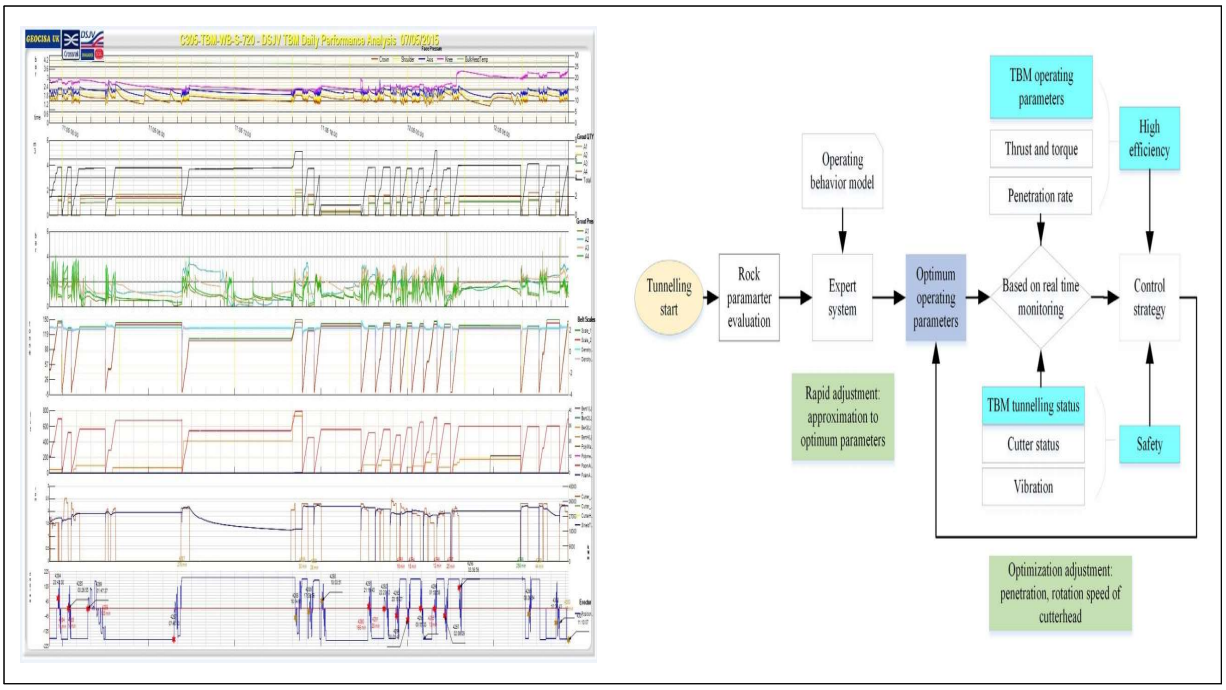
○ TBM 굴진데이터의 분석을 이용한 의사결정 기술 개발

- 유사 지반 굴진데이터 및 굴진 중 획득한 기계데이터를 통합한 AI 모델 구축
- AI 모델에 의한 TBM 최적 운전조건 제시
- TBM 굴진율 향상과 신속한 문제해결을 위한 의사결정 기술 개발

○ 실시간 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측 기술

- TBM 굴진 중에 발생한 문제 등으로 인한 공기지연과 굴진조건 등을 실시간으로 반영한 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측 시스템 구축
- 후속 시공사이클에 분석결과를 피드백하여 TBM 굴진율 향상 등의 대안 제시

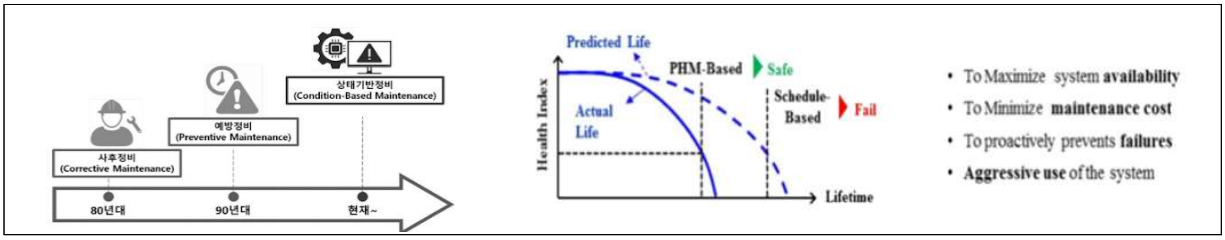
[그림 3-20] TBM 기계데이터의 연속 모니터링(英TBMView) 및 실시간 인텔리전트 모니터링 개념도 사례



○ TBM 챔버 내부의 극한환경 적용이 가능한 상태진단 및 잔존수명 예지기술

- TBM 극한환경 센싱 및 시험평가기술
  - TBM 챔버내 극한환경 (부하, 온도, 압력) 구현 및 쉴드패키징 테스트베드 구축
  - TBM 극한환경 부품신뢰성 시험평가 방법(등가부하, 등가온도, 등가압력) 개발
- TBM 핵심부품 상태 모니터링 기술
  - 극한환경용 센서 개발 및 데이터 취득기술
  - 측정데이터/열화곡선 모델 생성을 위한 딥러닝 알고리듬 구축
- TBM 장비/부품 자가진단 기술(self-diagnosis) 및 건전성 평가 기술
  - 기계학습 기반 부품/모듈별 열화모델 개발
  - 실시간 상태진단 알고리듬 개발 및 시험검증
  - 실수명예측을 위한 열화촉진/잔존수명 예지 시스템 개발

[그림 3-21] 기계분야의 상태진단 기술발전 단계와 상태기반 예지기술(PHM)의 개념



○ TBM 데이터 표준화와 TBM 통합정보관리 데이터센터 플랫폼 구축

- TBM 데이터 표준화 방법론 개발 및 데이터 구조화를 통한 데이터베이스 설계
- 데이터 수집/저장/분류/접근/보안을 고려한 TBM 통합정보관리 플랫폼 설계 및 구축
- TBM 통합정보관리플랫폼(데이터센터) 활용 방안

○ 안전하고 효율적인 TBM 시공을 위해 최적화 관리가 가능한 통합관제시스템 개발

- TBM 운영 효율화를 위해 각 핵심기술에서 도출되는 시스템들의 연계·통합
- 능동적인 관제를 위한 시스템 구조화
- TBM 통합관제시스템 설계·구축 및 실증

○ TBM 공사 활성화를 위한 국내 발주방식 및 시공품질 확보를 위한 방안 제시

- 발주자가 직접 조달하는 해외 발주제도, 건설사가 직접 조달하는 해외 발주제도 등 국내 여건과 산업 활성화 의한 TBM 발주방안
- TBM 현장 관리를 위한 항목 및 오퍼레이터 양성을 위한 방안
- 국내 현실에 적합한 TBM 관리 및 활용을 위한 제도 방안

(마) 국내외 기술개발 동향

① 해외 동향

〈표 3-12〉 해외의 TBM 실시간 모니터링·분석기술 현황 사례

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
TBM 운전 의사결정 기술	중국	CREG	Intelligent Decision System	지반 평가 및 최적 운전 위한 의사결정 기술 관련 기초 연구
모니터링 및 유지관리 시스템	스페인	ACCIONA	TBM Control data Center (TCC)	TBM 관련 자체 모니터링 및 피드백 시스템 개발
TBM 운전조건 도출 시스템	미국	Colorado School of Mines	-	지반 평가 및 굴진율 향상 위한 운전 파라미터 도출 시스템 개발 연구
TBM 장비상태의 모니터링 및 평가	중국	CREG 외	-	디스크커터 상태 모니터링 및 TBM 장비 건전성 관리 관련 기초 연구

○ 중국 국가핵심연구실(State Key Laboratories, SKLs)

- SKL of Shield TBM and Boring Technology(2010년 설립, 중국 CREG社)
- 시스템 통합기술: (1) TBM 장비 통합 및 제어 기술(integration and control), (2) 원격 자동진단시스템(remote automatic diagnosis system), (3) 인텔리전트 의사결정시스템(intelligent decision system) 등에 대한 연구 수행

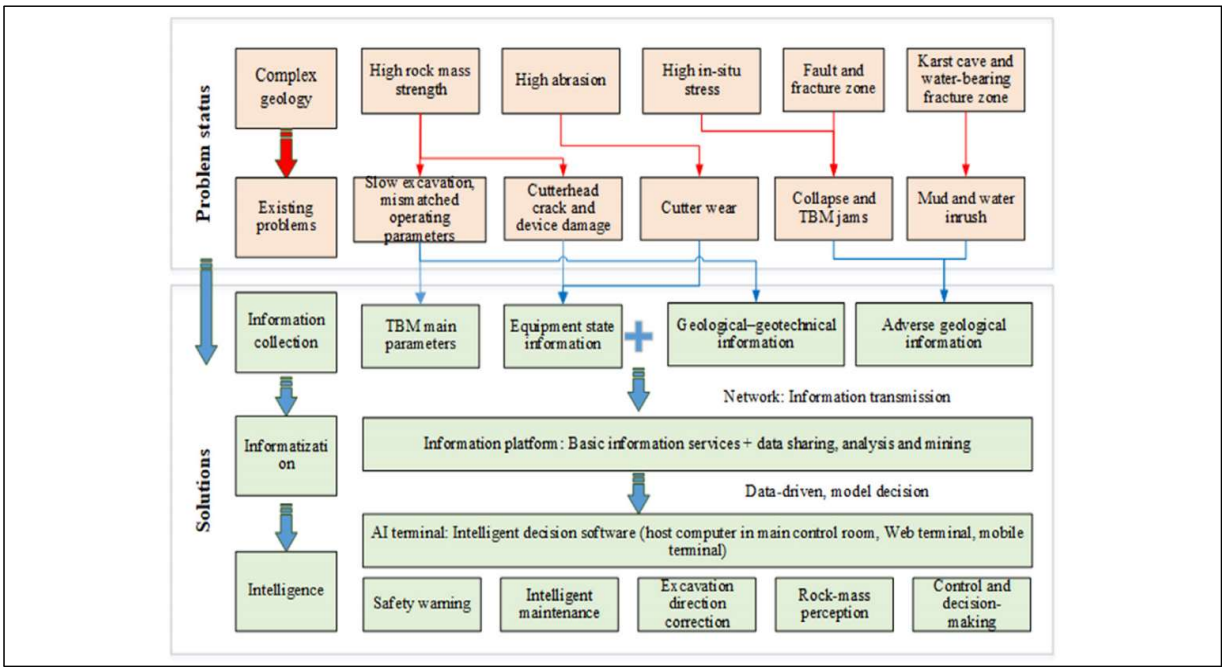
[그림 3-22] 중국 CREG사의 TBM현장 인텔리전트 빅데이터 플랫폼(Zhang et al., 2018)]



○ 중국 인텔리전트 TBM 터널링(National key basic research program)

- 안전하고 효율적인 TBM 시공을 위한 정보기술 적용 시스템
- TBM 시공을 위해 정보기술이 통합된 생태학적 프레임워크
- TBM 굴착대상 지반의 역학적 정보를 실시간 평가
- TBM 장비상태의 모니터링 및 평가
- TBM 시공정보 관리 통합 플랫폼

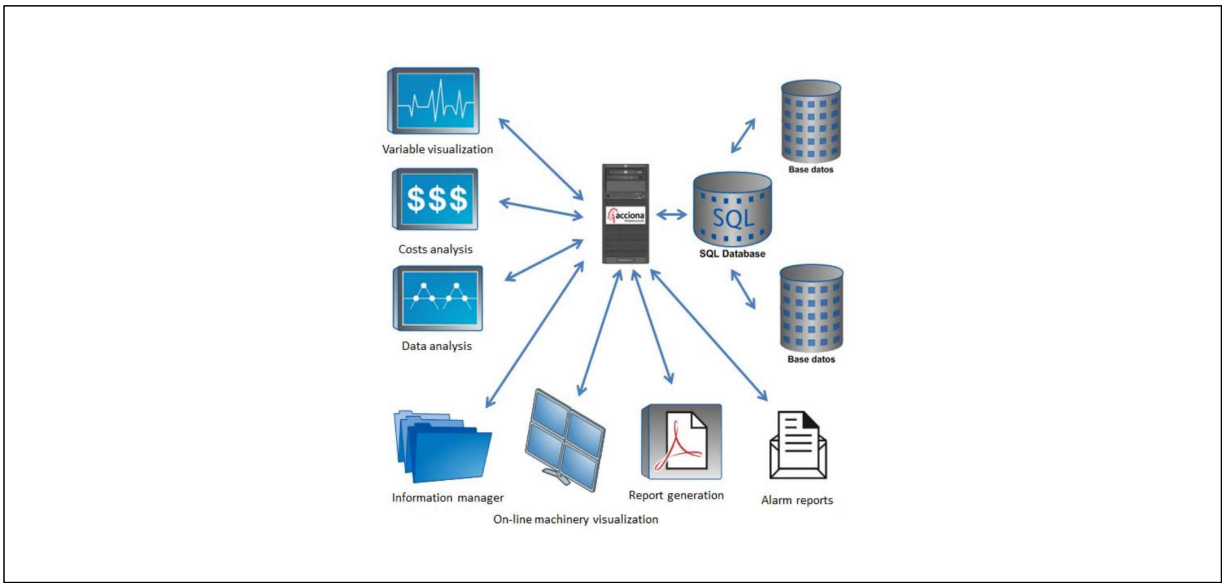
[그림 3-23] 중국 인텔리전트 TBM터널링 시스템의 개념도



○ 유럽(스페인 ACCIONA社)

- TBM 컨트롤 데이터센터(TBM Control data Center, TCC) 개념 연구
- 인텔리전트 자가진단 도구(intelligent self-monitoring tool): 모든 시공 프로세스에 포함된 개별 관리 시스템들을 포함
- (1) 굴진 데이터: 토크, 추력, 굴진율, 커터헤드 회전속도 등
- (2) 지질조건: 암반등급, 지반공학적 특성 등
- (3) 장비 유지관리(machinery maintenance): 커터 마모, 첨가제 소모량, 파손, 보수 등
- (4) 실행계획(logistics) 및 품질: 세그먼트 잔고/설치/이력 감시 등의 업무를 수행
- 주요 모니터링 항목은 다음과 같음
  - 굴진 데이터: 토크, 추력, 굴진율, 커터헤드 회전속도 등
  - 지질조건: 암반등급, 지반공학적 특성 등
  - 장비 유지관리(machinery maintenance): 커터 마모, 첨가제 소모량, 파손, 보수 등
  - 실행계획(logistics) 및 품질: 세그먼트 잔고/설치/이력 감시 등
- TCC의 주요기능은 다음과 같음.
  - 지질정보 제공 및 수집된 정보의 가시화
  - 기준치를 넘는 특정 변수에 대한 알람 기능 및 예측 알고리즘
  - 실시간 굴진데이터 수집, 데이터 중앙화, 데이터베이스 형성, 시뮬레이션/예측모델 형성

[그림 3-24] TBM 컨트롤 데이터센터 시스템의 구성개념



※ 출처: Moreno, P. et al.(2015), TBM Process Data Management System, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 7, No. 5, pp. 432-437.

○ 영국 터널정보관리시스템(Tunnel Information Management, TIM)

- TIM은 터널 시공/자산 관리를 위한 웹기반 정보관리시스템으로 다수의 사용자들을 대상으로 실시간 제어 접속을 제공하고, 시공트러블과 같은 중요 이슈에 대해 즉각적인 알림과 더불어 부정적인 경향을 보이는 항목에 대한 자동 경고가 가능

- BIM모델과 통합하여 다양한 터널 정보(생산, 품질, 플랜트, 환경/지반변형 모니터링)를 생성하고 최신 정보로 의사결정이 가능케 하는 리포팅(reporting)이 가능
- 터널 굴착 전에 수치해석 및 분석을 통해 사전에 지반과 구조물에 대한 리스크를 검토할 수 있도록 하였고, 지반특성을 고려한 최적 TBM 제작 사양 도출
- 시공 전 정보 제공과 더불어, 시공 중 지질/지하수 조건, 지반변형, 구조물 손상 등의 예측과 실제 결과의 모니터링 기능을 포함하며, TBM 운전 변수들에 대한 필요조건의 설정과 최적 성능발현을 위한 TBM 운전변수들의 조건을 제안하는 기능을 가짐
- 시스템을 모듈 형태로 구성하여 프로젝트별로 맞춤형으로 판매가 가능

[그림 3-25] 영국 TIM 시스템의 결과 리포팅(예)



※ 출처: Tunnel Information management (http://www.mytimapp.com)

○ 미국(Colorado School of Mines)

- CSM에서는 AI를 이용한 굴진 자동화에 대한 연구 진행 중: TBM-지반 상호작용 과정을 이해하기 위한 데이터 패턴 인식 연구(오퍼레이터-입력, 장비성능-출력)
- 이산사건 시뮬레이션(discrete event simulation) 모델 기반의 굴진율 예측에 관한 연구 수행

○ TBM 분야의 장비상태 실시간 모니터링 및 건전도 평가 기술은 중국을 중심으로 기초 연구가 진행되고 있는 반면, 기계 관련 외국 선진사들은 소재부품, ICT, 인공지능 등이 융합된 기술형태로 R&D를 진화시키고 있음

- 기계 부품의 성능, 안전, 수명예측 등이 종합적으로 고려된 상태진단/예측(PHM) 기술 확보에 주력하고 있음
- 제조업 생산장비의 고장진단/예측 알고리즘 개발로 시작됐으나, 점차 일반기계장비 자동차, 건설기계 분야로 확대되는 추세임
  - 미국 : 장비/시스템의 건전성, 고장진단, 예측 알고리즘을 개발완료함. 항공기, 전자장비, 배터리의 고장메커니즘 및 예측분석기법 연구개발 중
  - 프랑스: 센서 데이터 처리, 상태진단/예측, 의사결정에 관한 인공지능 기법 연구중, 항공우주, 플랜트 분야에서 개발기술 제공
  - 중국: TBM, 철도시스템 등에 대한 실시간 센싱, 진단, 전송기술 개발 완료. 핵심부품 결함예측 알고리즘 개발에 주력 중

② 국내 동향

〈표 3-13〉 국내의 TBM 실시간 모니터링·분석기술 현황 사례

개발방향	기업명	제품명	특징
TBM 자동 운전 시스템	한국건설기술 연구원	-	머신러닝 기반 TBM 운전 자동화와 시공리스크 분석을 위한 연구개발
TBM 최적 운전 지원 시스템	현대건설	TBM Advanced Driving Assistance System (TADAS)	지반에 따라 굴착속도 향상 위한 최적운전 지원시스템
굴착지반 평가 / TBM 굴진면 제어파라미터	SK건설	-	TBM 전방 지질 및 암반강도 실시간 예측 시스템 (연구개발), 전방지질상태 예측에 기반한 TBM 제어파라미터 결정방법(특허)

○ 머신러닝 기반 터널 기계화 시공(TBM) 자동화 기술 개발

- 데이터(TBM 지반/굴진데이터)와 머신러닝 기술을 활용하여 TBM장비 운전을 자동화하고 전방예측 및 TBM 시공 리스크를 분석함으로써, TBM 시공 중 발생하는 오퍼레이터의 저숙련, 굴진면 전방 불확실성 등 리스크를 감소시키는 기술 개발 진행

○ 현대건설

- 각기 다른 지층, 암층의 상황에 적합하게 운전해 최고의 굴착속도를 낼 수 있는 최적 운전시스템(TADAS·TBM Advanced Driving Assistance System)을 자체 개발

○ SK건설

- TBM 기계데이터를 이용한 실시간 전방지질 예측 및 굴진면 암반의 강도를 유추하는 기초연구 수행
- 실시간 TBM 기계데이터 기반 터널 굴진면의 지반을 예측하고 TBM 사양 및 운전자 이력을 고려한 최적 운전 파라미터 도출(특허). 다양한 장비운영 데이터 자동 업데이트 및 장비사별 범용화를 위한 추가적인 표준화/모듈화 개선 필요

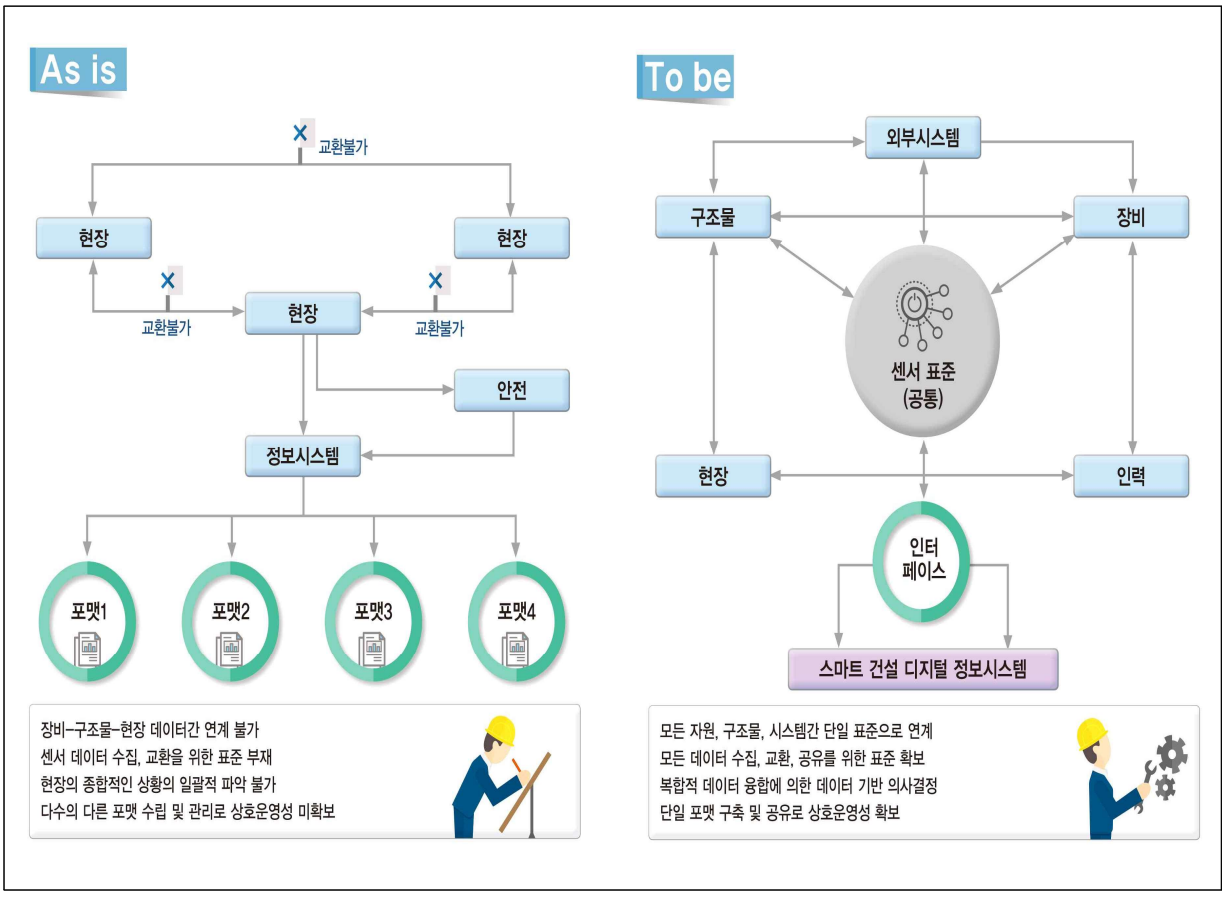
○ 제품 생산공정 라인에 적용하기 위한 고장진단 프로그램 연구가 추진된 바 있음

- 주로 전자/기계/항공/조선분야에서 PHM 연구개발이 진행중
- TBM 및 건설기계 분야는 초기단계로 아직 적용된 기술은 없는 실정
  - 서울대: 배터리, 자동차, 항공기, 플랜트 부품 등의 고장진단 프로그램 연구개발 중
  - 항공대: 항공기 동체균열, 감속기/베어링 등 기계부품 결함/열화에 대하여 PHM연구중
  - 부경대: 회전계 부품의 결함진단/예지연구 추진
  - 이마린: 조선해양 기술개발의 일환으로 고장예측진단 기반 선박설비 유지보수 기술개발 수행된 바 있음

○ [스마트건설기술사업] 도로분야 디지털 정보표준 기반 건설 생산 프로세스 통합 관리 기술

- 도로 인프라의 객체, 공정, 인력과 장비, 참여주체에 부여되는 정보를 교환 가능한 형태의 표준화된 디지털 정보로 정의하고 이를 저장, 관리, 분석, 활용, 갱신하며, 스마트 건설 생산과정을 협업적으로 지원하는 스마트 통합관리 기술
- 건설자원 센서 데이터의 정보통합(수집, 연계, 관리, 협업, 공유)을 위한 디지털 표준화 기술
  - 도로 자동화시공의 지식정보 생성을 위한 Linked Data기반 지식 및 문서표준화 기술
  - 시공 장비운영 및 BIM 성과품의 AI기반 스마트 품질검증(코드체킹) 기술
- 모듈러 공정의 승인·저장·납품·관리를 위한 디지털 통합 정보환경 구축 기술
  - 모듈러 공정의 건설자원 흐름관리 지능형 최적 알고리즘 및 의사결정 기술
  - 모듈러 공정지원을 위한 통합 Supply Chain 운영 기술
- 도로 자동화시공 지원을 위한 스마트 건설지식 및 디지털 문서 자동생성 기술
  - 건설안전 지식정보 제공을 위한 모바일 AI-챗봇(Chatbot) 및 지식 검색 기술
  - 건설안전 스마트 지식관리 시각화 도구 및 대쉬보드 기술

[그림 3-26] 스마트건설사업 디지털 데이터 통합 표준화 및 검증 기술



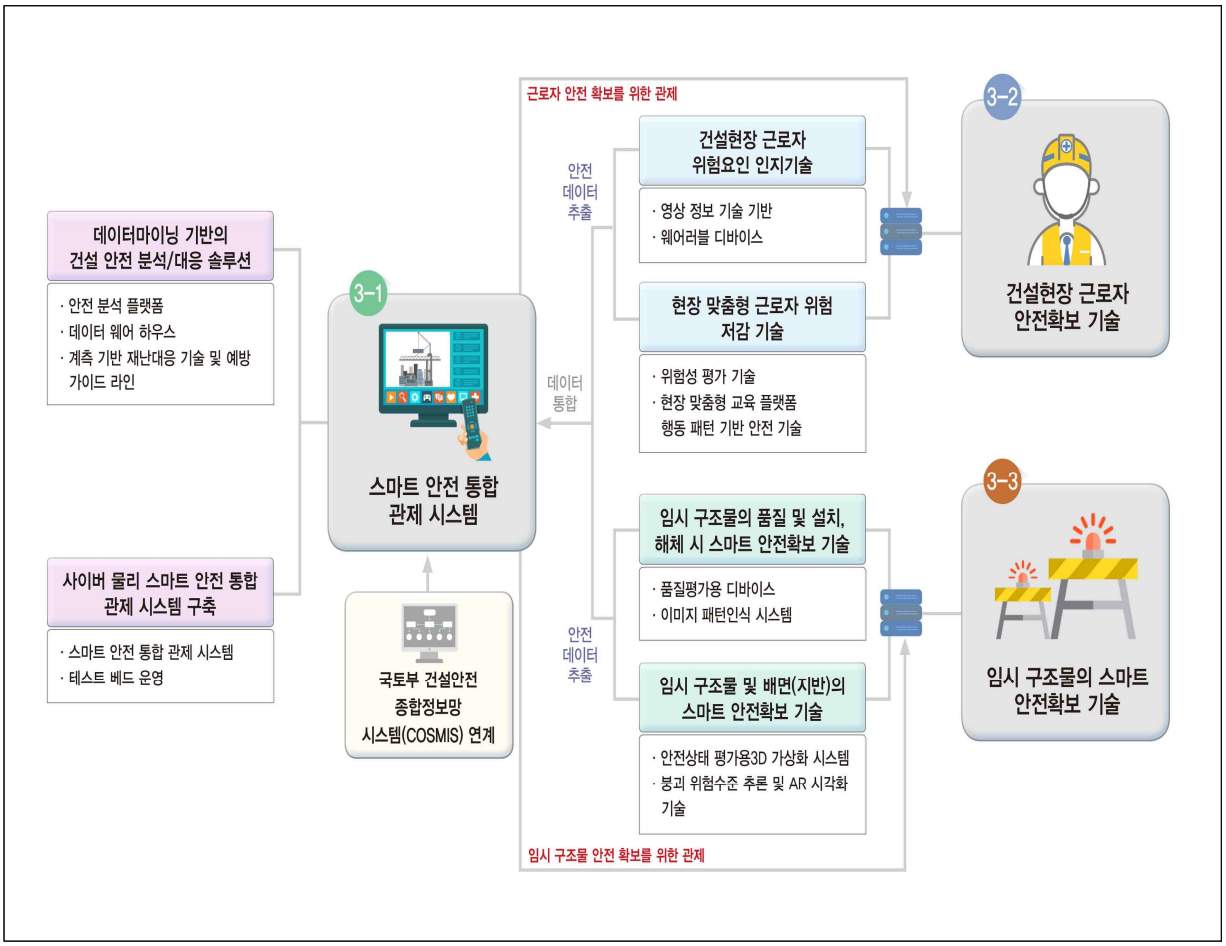
※ 출처: 공고용 스마트 건설기술 개발사업 기획보고서(2018.11)

○ [스마트건설기술사업] 스마트 안전 통합 관제 시스템

- 높은 재해율을 나타내는 열악한 건설현장의 인력-장비-가시설-구조물에 대한 맞춤형 센싱 및 모션 분석 기술과 현장-발주기관-통합관제 센터의 각 주체별 권한 및 책임을 고려한 통합 안전관제 및 지원 시스템을 개발

- CPS 기반의 스마트 안전 통합 관제 시스템 구축 및 운영
  - 빅데이터 분석을 통한 CPS 기반의 예측지원 스마트 안전 통합 관제 시스템 구축
  - AI기반 스마트 안전 통합 관제시스템의 성능 검증을 위한 안전취약 중소현장 및 도로공사 현장 테스트베드 운영

[그림 3-27] 스마트 안전 통합 관제 시스템 개요



(바) 해외 및 국내 기술 수준 비교

○ 머신러닝·AI기반 TBM 기계데이터의 실시간 모니터링 및 분석기술 개발

- 국외에서는 머신러닝·AI기반의 TBM 기계데이터 실시간 모니터링 및 분석기술 개발이 국가, 기업, 대학 등에서 활발하게 연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 일부 대학과 기업에서 Pilot 수준의 연구가 진행되고 있으며 아직 상용화된 사례는 없음

○ TBM 굴진데이터의 분석을 이용한 의사결정 기술 개발

- 국외에서는 머신러닝·AI기반 TBM 굴진데이터의 분석을 이용한 자율운전 TBM의 Pilot 연구가 이루어지고 있으나, 국내에서는 일부 기업에서 굴진 최적화 관련 연구가 진행되고 있을 뿐 아직 상용화된 사례는 없음

○ 실시간 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측 기술

- 국내·외 모두 TBM 터널 계획·설계 단계에서 활용하기 위한 TBM 굴진율/가동율 예측 관련 연구는 다수 수행되었으나 실시간 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측 기술은 아직 전무

○ 장비상태 실시간 모니터링/건전도 평가 기술은 주로 에너지/플랜트/조선 분야에 집중

- TBM 선진국(독일 등)은 실시간 모니터링 및 부하센싱 시스템을 도입 중이며, 사업화 단계인 TRL 7-8단계에 도달한 것으로 추정
- 현재 국내의 관련 기술수준은 실험실 환경에서 데이터를 축적하는 단계로서 TRL 4단계 이하로 추정

〈표 3-14〉 TBM 실시간 모니터링·분석 기술 관련 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	중국 4개 현장에서 성능검증이 이루어지는 현장평가 단계 고장진단/예측 정확도 80%를 달성한 상태로서, 대상 시스템에 장착되어 사용되는 시제품 상용화 단계로 추정	일부 대학 및 기업에서 Pilot 수준의 연구를 수행하는 단계로 상용화된 사례 없음 장비 모니터링 관련 기술은 실험실 환경에서 데이터를 축적하는 연구초기 단계이고, 현장적용이 제한적	유사환경에서 성능평가를 완료하고, 실시간 통합 모니터링/분석 시스템을 현장에 시범적용 및 상용화 출시
TRL 단계	7	4	8
기술성숙도	실제 환경 성능평가 단계	연구실 규모의 성능평가 단계	실제 환경 성능평가 단계
주요성능	최적운전에 필요한 운전파라미터를 TBM 운전원에게 대시보드 형태로 제공하여 효율성 검증 부품별 효율맵과 열화곡선 모델을 생성하고 정확도를 실증함	소규모 기계데이터 또는 실험데이터를 활용하여 예측 정확도 평가	현장에 시범적으로 적용하여 시스템의 효율성 검증

○ TBM 데이터 수집/저장과 통합정보관리 분야는 터널공사가 많은 유럽과 중국이 앞서가고 있으며, 터널 정보관리를 위한 다양한 시스템을 구축하고 이를 통합하여 관리하여 사업화단계로 나가고 있음

○ 국내에서는 TBM 시공사에서 개별적으로 데이터 수집·저장이 이루어지고 있는 상황이지만, 최근 들어 체계적으로 데이터를 축적하려는 움직임을 보이고 있는 단계

○ TBM 시공정보의 통합관제시스템 분야는 자국 내 발주되는 많은 터널공사를 기반으로 IT기술을 선제적으로 적용하고 있는 중국이 앞서가고 있으며, 터널 시공정보 전반에 대한 모니터링과 제어하는 시스템을 개발하고 현장 적용

○ 국내는 개별적인 TBM 굴진정보의 단순 모니터링 수준에 머물고 있고, RFID 등을 이용한 작업자 관리가 이루어지고 있는 상황으로 통합관제시스템이 필요

〈표 3-15〉 TBM 데이터 표준화 및 데이터센터 관련 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	100	30	90
TRL 단계	8	3	8
기술성숙도	실용화단계	실험단계	실용화단계
주요성능	실시간 데이터 수집 및 저장, 정보관리통합	데이터수집, 별도 저장, 데이터 분석	실시간 데이터 수집 및 저장, 통합정보관리

〈표 3-16〉 TBM 통합관제시스템 관련 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	100	40	95
TRL 단계	8	4	8
기술성숙도	실용화 단계	실험단계	실용화 단계
주요성능	지반정보, 굴진정보, 장비상태 모니터링 및 평가	굴진정보 모니터링	지반정보, 굴진정보, 장비상태, 안전관리 모니터링 및 평가

(사) 세부개발 내용

(구성기술 1-1) TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ TBM 굴진데이터를 이용한 해석이나 추론 등은 실시간으로 활용되지 못하며, 운전원의 경험에 의해 판단하여 굴진	■ 굴진 중 획득한 기계데이터의 상호 관련성과 굴착 운전조건을 판단할 수 있는 정보 제공 ■ 머신러닝·AI의 기법을 이용하여 실시간으로 수행
■ 굴진데이터의 단순한 통계적 분석에 운전자의 경험에 전적으로 의존	■ 머신러닝·AI의 기법을 이용하여 실시간으로 수행한 TBM 기계데이터 분석으로부터 TBM의 최적 운전 조건 제시 ■ 문제발생시 의사결정의 판단근거로 사용할 수 있는 의사결정 기술을 개발
■ 공기단축을 위한 굴진 향상은 과거 굴착 자료나 통계적 접근에 의존하여 진행	■ 실시간으로 TBM 굴진율/가동율 분석 및 예측을 수행 ■ 후속 시공사이클에 분석결과를 피드백 하여 실제적으로 공기만회를 할 수 있는 방안 제시

연구 필요성

○ TBM은 굴진 중 실시간으로 기계데이터를 생성하지만 표준화된 기준이 없어 제조사 및 장비 타입에 따라 다르게 생성

- 이 중 필요한 데이터들을 몇 개 선정하여 모니터링을 하며 굴착을 하나, 이러한 데이터를 이용한 해석이나 추론 등은 실시간으로 활용되지 못하고 있으며, 운전원의 경험과 판단에 전적으로 의존하여 굴진을 하고 있음
- 현장에서 취득된 굴진데이터는 그 양이 방대하고, 운전원의 경험으로만 분석하기에는 한계가 있음
- 굴진 중 획득한 기계데이터의 상호관련성과 굴착 운전 조건을 판단할 수 있는 정보 제공
- 머신러닝·AI의 기법을 이용하여 실시간으로 수행

○ 통계분석을 통해 굴진데이터를 분석하여 상관관계나 해석을 제시하더라도 이를 전적으로 의지하여 운전하기에는 예상치 못한 리스크를 야기할 수 있으므로, 경험이 많은 운전원이나 전문가의 확인이나 의사결정이 필요함

- 전문가라도 방대한 양의 굴진데이터 통계분석에는 상당한 시간이 소요되고 이렇게 소요된 시간은 결국 공기 지연의 원인이 되며, 단순한 통계분석을 전적으로 의존하여 운전할 경우에는 또다른 문제를 야기
- 전문가나 경험 많은 운전자의 의사결정을 지원할 수 있는 판단근거를 실시간에 가깝게 처리하고 제시할 수 있는 기법이 필요
- 머신러닝·AI의 기법을 이용하여 실시간으로 수행한 TBM 기계데이터 분석으로부터 TBM의 최적 운전 조건 제시 및 문제발생시 의사결정의 판단근거로 사용할 수 있는 의사결정 기술을 개발

(구성기술 1-1) TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정 기술

연구내용

○ TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정 기술

- 연차별 목표 및 연구 성과

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2023	▪ **(연구목표)** - TBM 기계데이터 정보 표준화 및 의사결정 방법론 도출 ▪ **(연구내용)** - TBM 기계데이터 표준화 방안/핵심 파라미터 분석 - 기존 기계데이터 수집·분석 및 표준화 적용 - 기계데이터/지질정보간 상관관계 분석 - AI학습용 기계데이터 수집·분석 - AI활용 TBM 의사결정 방법론 연구	▪ 선행기술 조사보고서 ▪ TBM 기계데이터 표준화 체계 ▪ EDA(exploratory data analysis) 결과보고서 ▪ 의사결정 체계 방법론
2024	▪ **(연구목표)** - TBM 굴진조건 분석 및 의사결정 기술의 AI 알고리즘 고도화 ▪ **(연구내용)** - TBM 굴진 파라미터 및 지반조건 정보를 적용한 AI 알고리즘 고도화 - TBM 기계데이터 실시간 모니터링·분석 체계 및 시스템 설계 - 최적 굴진속도 확보를 위한 의사결정 기술 및 문제발생 대응 AI 알고리즘 고도화 - TBM 굴진율/가동률 예측 AI 알고리즘 고도화	▪ TBM 기계데이터 모니터링·분석 및 의사결정 기술 설계(안) ▪ TBM 굴진 의사결정 지원용 머신러닝·AI 알고리즘 코드
2025	▪ **(연구목표)** - 가상환경 테스트 및 현장적용 준비 ▪ **(연구내용)** - 현장의 실제 TBM 시공정보 및 AI에 의해 예측된 결과의 비교·분석 및 알고리즘/시스템 보완 - TBM 현장적용을 위한 H/W 및 S/W 환경 설계 (Edge Server 및 Cloud 환경)	▪ 가상환경 테스트 결과보고서 ▪ TBM 현장적용용 시스템 설계도
2026	▪ **(연구목표)** - 실시간 TBM 모니터링·분석/의사결정 기술 시작품 제작 및 적용성 평가 ▪ **(연구내용)** - TBM 모니터링·분석 시스템의 시작품 제작 - 제작된 시작품의 TBM 현장 시험적용 및 평가 - 시작품 개선사항 도출	▪ TBM 실시간 모니터링·분석 시스템 시작품 ▪ 현장 시험적용 결과 보고서
2027	▪ **(연구목표)** - 실시간 TBM 모니터링·분석/의사결정 기술의 완성 및 통합화 ▪ **(연구내용)** - TBM 모니터링·분석 시스템의 완성품 제작 및 인텔리전트 관리 시스템과의 통합 - 실제 TBM 현장적용을 통한 최종 검증	▪ TBM 실시간 모니터링·분석 시스템 완성품 ▪ TBM 현장적용 결과보고서 (최종)
최종 성과물	▪ **TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석 및 의사결정 기술(SW 및 HW 포함)**	

(구성기술 1-1) TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
실시간 모니터링·분석 대상 핵심 파라미터의 개수[1)]	-	20개 내외	≥ 20개
핵심 기계데이터 생성시간부터 분석까지의 소요시간[2)]	≥ 1일	-	≤ 1분
TBM 생성 기계데이터의 실시간 저장·처리 능력[3)]	-	5백만개/일	5백만개/일
실시간 의사결정을 위한 최적 운전조건 파라미터 항목[4)]	-	-	≥ 5개

1) 현재 TBM 운전자가 파악할 수 있는 기계데이터(파라미터)의 개수는 3~4개 미만에 불과하며, 국내에서 실시간 분석 기술은 없으며, 외국의 경우, 자세한 자료가 공개되어 있지 않으나 20개 내외로 파악

2) 국내에서 굴진일보(수기 작성) 또는 엑셀파일로 저장되는 기계데이터들은 즉각적인 분석이 이루어지지 않고 단순 저장만 되고 있는 상황 및 외국 일부 선진시스템의 경우, 실시간에 가깝게 분석이 이루어지고 있는 것으로 보이나 상세 자료가 공개되어 있지 않아 파악 불가

3) 기술동향 조사 결과, TBM에서 생성되는 기계데이터는 5백만개/일에 달하나 아직까지 국내에서는 관련 실시간 저장·처리가 이루어지지 않고 있는 상황, 외국의 경우에도 정확한 스펙을 파악하기는 어려우나, 기술동향 조사 결과에 따라 5백만개/일을 세계 최고 수준으로 가정

4) TBM 운전 최적화와 관련된 실시간 의사결정용 핵심 파라미터를 추력, 토크, RPM, 동력, 유압잭 스트로크 등으로 설정하며, 외국에서도 실시간 의사결정 지원 체계는 연구 초기단계인 관계로 최고 수준 스펙 파악 불가

최종 성과물

○ TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석 및 의사결정 기술(SW 및 HW 포함)

- TBM 굴진조건 분석, 굴진율/가동율 예측, 의사결정 기술 머신러닝·AI 알고리즘 코드
- Edge Server 및 Cloud환경에서 구축된 시스템
- TBM 모니터링·분석 시스템의 완성품 제작 및 인텔리전트 통합관리 시스템과의 통합

(구성기술 1-2) TBM 장비(주요부품 및 파트) 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ TBM 핵심부품 고장/파손으로 인해 굴진율 저하 및 다운타임 증가	■ TBM 부품 파손/교체시기를 정확히 예측하여 다운타임 최소화 및 TBM 굴진 공정 최적화
■ 인력/육안에 의존하여 TBM 부품 구동 상태를 모니터링. 한계상태 기준 부재	■ TBM 기계데이터 자동취득/분석 무인화 시스템 개발
■ 지반에 따른 다양한 데이터 취득/분석에 애로사항 존재	■ 기계학습법을 적용한 TBM 전용 센싱/임계상태 분석기법 개발 및 잔존수명 예지 프로그램 개발

연구 필요성

○ 건설기계 분야에서 기계진단/모니터링, 엔진 보수시점 등의 국내·외 기술개발 사례 존재
- 중국 TBM 제작사들은 글로벌 모니터링 시스템을 구축하여 본사에서 모든 터널현장 데이터를 실시간 수집/분석하는 시스템을 가동 중임
- 독일 TBM 제작사들은 자사의 방대한 데이터베이스를 기반으로 부품 이상상태 감지기법을 적용하여 굴진시 실시간 센싱/모니터링 작업을 무인화하고 있음
- 선진국과의 기술격차 축소를 위해 TBM 부품의 체계적 중장기적 연구 및 기술지원이 필요함

○ TBM분야에서 기계학습기반의 PHM 예측기법 및 잔존수명 예측을 통한 장비운영 최적화연구는 수행된 바 없음
- 국내 TBM 현장에서는 인력에 의한 모니터링 및 관리자의 주관적 판단에 의존하여 부품의 수명과 교체시기를 판단하고 있음. 이는 관리자의 숙련도에 따라 TBM 가동효율에 큰 차이가 발생
- TBM의 이상상태를 정의하기 위한 실험실 환경 및 실제환경의 TBM 기계데이터(하중, 압력, 진동, 온도 등) 학습과정이 선행되어야 하며, 이를 통해 부품별 센싱 트리거 및 한계조건에 대한 규명이 이루어져야 함
- TBM 시공에서는 가동율 제고를 통한 굴진율 향상이 터널공사의 성패를 좌우하는 핵심 목표임. 이를 위해서 소모성 공구/핵심부품의 상태를 관리하고, 부품교체 시기를 최적화하는 기술이 반드시 필요

(구성기술 1-2) TBM 장비(주요부품 및 파트) 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술

연구내용

○ TBM 부품 상태 실시간 모니터링 평가기술

- 연차별 목표 및 연구성과

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2023	▪ **(연구목표)** - TBM 핵심부품별 기계데이터 분류 및 초기학습 알고리즘 생성 ▪ **(연구내용)** - 모니터링 평가 선행기술 조사 - TBM데이터취득용 핵심부품 우선순위 선정 - 주요부품의 스펙정리 및 열화 패턴분석 - 현장/시험데이터 수집을 통한 DB생성	▪ 선행기술 조사보고서 ▪ TBM 기계데이터 학습 알고리즘 초기코드 ▪ TBM 주요부품의 열화/고장 패턴 DB
2024	▪ **(연구목표)** - TBM챔버 극한환경 시험을 위한 쉴드패키징 테스트베드 설계/제작 ▪ **(연구내용)** - TBM 운영변수 및 열화결과의 입출력 변수 상관관계 설정 - 입출력 DB간 상관관계 분석용 딥러닝 알고리즘 개발 - TBM 부품별 등가운영조건(하중, 온도, 압력, 진동, 습도 등) 결정 및 신뢰성 시험코드 초안 작성	▪ TBM 부품시험용 테스트베드 설계도 ▪ 딥러닝 알고리즘 코드 ▪ 신뢰성시험 코드 초안 ▪ 극한환경용 센서(온도, 압력, 진동 등) 및 쉴드 패키징 설계도
2025	▪ **(연구목표)** - 극한환경 테스트베드 구축 및 시험수행 ▪ **(연구내용)** - TBM챔버환경 구현 극한환경 부품시험 테스트베드 - 신뢰성시험 코드 제작 - 실내시험 수행 및 부품 열화데이터 취득 - 입력데이터(구동조건/환경)와 출력데이터(고장/열화패턴) 간의 상관관계 분석 및 열화/파손 모델 개발	▪ PHM 테스트베드 제작 ▪ TBM 극한환경용 센서/쉴드패키징 제작 ▪ TBM 부품별 피로손상 모델 및 열화 DB ▪ 신뢰성 시험코드/매뉴얼
2026	▪ **(연구목표)** - 잔존수명 예측코드 TBM 현장적용 ▪ **(연구내용)** - TBM 주요부품별 잔존수명 예측모델 및 프로그램 시작품 개발 - TBM 완성차 탑재 및 예비가동/데이터 취득시험 - 제작된 프로그램 시작품의 TBM 현장적용/적용성 평가 - 시작품 개선사항 도출	▪ TBM 극한환경 시험방법 표준화 제안 ▪ 실시간 상태/잔존수명 예지 프로그램 코드 ▪ 현장적용 결과보고서
2027	▪ **(연구목표)** - 잔존수명 예측코드 탑재 TBM 장비상태 실시간 모니터링/평가 시스템 완성 ▪ **(연구내용)** - 제작된 완성 시스템의 실제 TBM 현장적용 - 실제 TBM 굴진데이터 및 부품 손상정도 비교평가 수행 - 개발 시스템의 예측 정확도 현장실증	▪ TBM 주요부품 모니터링/예지 시스템 완성품 ▪ 현장적용 결과보고서(최종)
최종 성과물	▪ **TBM 주요부품 상태진단/수명 예지코드 및 H/W 시스템**	

(구성기술 1-2) TBM 장비(주요부품 및 파트) 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
열화상태/수명 예측 정확도[1]	70%	85%	85%
부품구동 추정데이터 측정오차[2]	≤5%	≤0.2%	≤1
챔버환경 밀폐시험시스템(shield packaging system) 내열성[3]	≥60℃	≥80℃	≥80 ℃
챔버환경 밀폐시험시스템 내진동성[4]	-	≥15 m/s^2	≥15 m/s^2
챔버환경 밀폐시험시스템 내압성[4]	-	360 kPa	≥400 kPa

1) 실제 유효 수명에 대한 예측 유효 수명의 정확도
2) 실측 데이터에 대한 추정치의 오차
3) 쉴드패키징 외기온도에 대한 내성(고온 기준)
4) 쉴드패키징 외부진동에 대한 내성
5) 쉴드패키징 압력환경에 대한 내성

최종 성과물

○ 잔존유효 수명 예측기술
- 기계학습기반 실시간 상태 진단 및 잔존수명 예측 알고리듬
- 실시간 센싱/모니터링을 통한 잔존수명 예측 프로그램(SW)

○ TBM 챔버환경 구현 쉴드패키징 시험시스템
- 쉴드 패키징 시험시스템 설계도
- TBM 챔버환경 내환경 밀폐시험시스템
- TBM부품 내환경 시험 절차서(시험코드)

<table>
<tr><th colspan="2">(구성기술 1-3) TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발</th></tr>
<tr><td>연구 방향</td><td>
<table>
<tr><th>한계점</th><th>기술개발방향</th></tr>
<tr><td>■ 서버 또는 클라우드를 이용한 데이터의 수집과 저장
■ 통합정보관리플랫폼은 데이터의 주도권을 가진다는 점에서 각국의 경쟁이 치열</td><td>■ TBM 데이터의 표준화와 통합정보관리 데이터센터를 구축하여 국내의 데이터 주권을 우선적으로 확보하는 연구 진행</td></tr>
<tr><td>■ 사업단위에서 개발하는 시공정보,시공위험도, 안전을 포괄하는 시스템 부재</td><td>■ TBM 기계데이터의 실시간 모니터링 결과와 의사결정시스템, 굴착위험도 예·경보, 작업자/장비 추적 및 뒷채움 평가 등과 같은 TBM의 전반적인 시공 안전을 포괄하는 시스템을 구축</td></tr>
<tr><td>■ 현장 전반을 관리하기 위한 관제시스템의 개발이 진행되고 있는 상황에서 국내 상황에 맞는 통합관제시스템의 필요</td><td>■ 모니터링 및 관제제어는 각국의 상황에 맞게 개발될 필요가 있으며, 본 사업에서 개발하는 기존에 없거나 향상된 시스템을 통합하여 한국형 통합관제시스템을 개발</td></tr>
<tr><td>■ 국외에서 개발된 정보기술시스템은 개발이 완성된 것이 아닌 진행형이고 의사결정과정이 개입되는 시스템 등에서 그 결정과정 등을 파악할 수 없어 국내 기술의 향상에도 도움이 되지 않음</td><td>■ TBM장비분야는 국외에 비해 뒤처져 있지만, 현재 통합관제시스템 등은 IT기술 개발에 따라 빠르게 변화하면서 적용되고 있는 상황이므로, 관련 기술의 개발을 통해 국내 기술개발 향상이 필요</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>연구
필요성</td><td>
○ 전방을 확인할 수 없는 지하에서 다양한 지반조건을 TBM으로 안전하게 굴착하기 위해서는 TBM 시공 중 발생하는 데이터들의 축적과 표준화를 통한 분석이 필요
- 국제표준화기구(BSI)에서는 인프라분야에서 BIM이 확대적용 됨에 따라 IFC(Industry Foundation Classes) 표준개발을 진행하여 건설데이터의 상호운용성 생태계 구축을 추진
- IFC는 BIM적용이 수월한 도로와 교량 위주로 진행되고 있고 TBM터널 분야는 특수성을 가지지만, 데이터의 표준화를 통한 상호운용성을 목표로 한다는 점을 고려할 때, TBM 데이터 표준화의 필요성은 자명
- 데이터의 중복 및 업무 및 시스템별 데이터의 불일치로 인한 데이터 의미 파악 및 정보제공의 적시성 결여 등의 문제를 해결하기 위해 데이터의 표준화
- TBM 기계데이터의 경우 데이터량이 크기 때문에 데이터 저장과 통합, 그리고 유지보수를 위해 표준화가 필요

○ TBM 데이터센터를 위한 통합정보관리플랫폼을 구축하여 지반정보/굴진정보/시공정보를 포괄하는 표준화된 데이터의 축적이 필요
- 방대한 TBM 데이터를 수집하고 저장하기 위해 통합적인 정보관리플랫폼이 필요하고 플랫폼 내에서 정보의 분류를 통해 데이터의 활용성을 높일 필요가 있음
- 발주처/시공사/공급자와 같이 건설공사에 참여하는 주체에 따라 서로 필요로 하는 정보가 상이하기 때문에 DB로부터 필요한 정보를 쉽게 필터링하여 제공할 필요가 있음
- 데이터 표준 관리 도구 부재

○ TBM 장비를 제어하는 운전자가 다루어야 하는 데이터가 과도한 점과 장비상태 및 지반침하 등을 고려한 장비운전은 숙련된 운전자에게도 어려운 작업임. 굴진관리와 침하관리와 같은 TBM 시공 전반의 정보를 통합하여 관리하고 즉각적인 판단과 대응할 수 있는 통합관제시스템은 TBM의 안전하고 효율적인 시공을 위해 필요한 상황
- 건설분야는 숙련인력 부족 현상이 크게 나타나는 산업분야이고 TBM분야도 마찬가지임. 운전자의 경험부족을 보강하여 효율적으로 시공할 수 있는 시스템 보완이 필요
- 정보관리시스템 등을 통해 지속적인 TBM시공정보를 축적하고 이를 구현할 수 있는 관리·제어 시스템을 구성하여 일반적인 굴진상황에서의 시공 효율 향상뿐만 아니라 시공트러블 상황에서 과학적인 의사결정에 따른 판단과 즉각적인 통제 대응이 필요
- 현장의 안전을 보다 효과적으로 향상시키기 위해 현재 개발된 IoT기술과 통신기술을 폭넓게 적용할 필요가 있음
</td></tr>
</table>

(구성기술 1-3) TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발

연구내용

○ TBM 데이터 표준화 및 데이터센터 구축

- 연차별 목표 및 연구 성과

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2023	▪ **(연구목표)** - TBM 데이터 표준화 및 통합관제시스템의 세부 시스템간 연계방안 정립 ▪ **(연구내용)** - TBM 데이터 표준화를 위한 데이터 분석 및 개념정립 - TBM 통합정보관리시스템 기본 설계 - TBM 운영효율화를 위한 각 시스템간 연계에 대한 개념정립 - TBM 통합관제시스템 기본 설계	▪ TBM 데이터 표준화를 위한 데이터 분석 보고서 ▪ TBM 운영효율화 시스템간의 연계 개념정립 보고서
2024	▪ **(연구목표)** - 데이터 구조화를 통한 데이터베이스 설계 및 능동적 관제를 위한 시스템 구조화 ▪ **(연구내용)** - TBM 데이터 구조화 및 인터페이스 설계 - TBM 통합정보관리시스템 상세 설계 - TBM 시공 전반의 능동적인 관제를 위한 시스템 구조화 - TBM 통합관제시스템 상세 설계	▪ TBM 통합정보관리 시스템 상세 설계 보고서 ▪ TBM 통합관제시스템 상세 설계 보고서
2025	▪ **(연구목표)** - TBM 데이터 표준화(안) 도출, 세부 시스템간의 인터페이스 검토 및 플랫폼 구축 ▪ **(연구내용)** - TBM 데이터 표준화(안) 도출 - 통합정보관리시스템 SW 제작 - 세부 시스템간의 인터페이스 검토 - 통합정보관리시스템 SW 제작	▪ TBM 데이터 표준화(안) ▪ 통합정보관리시스템 SW
2026	▪ **(연구목표)** - TBM 통합관제시스템 및 통합정보관리시스템 시작품 구축 ▪ **(연구내용)** - TBM 데이터 표준화(안) 수정 · 보완 - TBM 통합정보관리시스템 구축 - 시험적용을 통한 적용성 평가	▪ TBM 통합정보관리 시스템 시작품 ▪ TBM 통합관제시스템 시작품 ▪ 시험적용 보고서
2027	▪ **(연구목표)** - TBM 통합관제시스템 및 통합정보관리시스템 완성 ▪ **(연구내용)** - TBM 통합관제시스템 및 통합정보관리시스템의 수정 · 보완 - TBM 통합관제시스템 실증	▪ TBM 통합관제시스템 완성품 ▪ TBM 통합정보관리 시스템 완성품 ▪ 실증보고서
최종 성과물	▪ **TBM 통합정보관리시스템**	

(구성기술 1-3) TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
디지털정보 국제표준 부합성	70%	95%이상	100%
DB 동시접속 회선 수[1]	-	-	100회선 이상
누적 데이터 수 (프로젝트 단위)[2]	-	-	15개 이상
시스템 신뢰도[3]	-	-	SW품질 인증
시스템 반응시간(delay)[4]	-	-	1 sec 이내
액세스 솔루션의 다양성	3종	3종	5종 이상

1) TBM DB는 내부망으로 구축되는 것이 일반적이며, 데이터센터로 활용하기 위해 동시접속 회선 설정이 필요, 1개 현장당 5회선으로 설정하고 최대 20개 현장 설정 가능하도록 목표 설정

2) TBM 데이터는 관련 회사별 보안자료로 구분되어 확인하기 어려움

3) TBM 통합시스템에 대한 신뢰도를 검증한 사례 없음. SW기반으로 시스템이 구성되므로 이에 대한 SW품질 인증을 목표로 설정

4) TBM 통합시스템에 대한 반응시간 역시 알려진 바 없음. 위험요소 등에 대한 대응시간을 고려하여 실시간을 초 단위로 가정하여 설정

최종 성과물

○ TBM 데이터 표준화(안)
- TBM DB
- 데이터 구조관계도 및 인터페이스

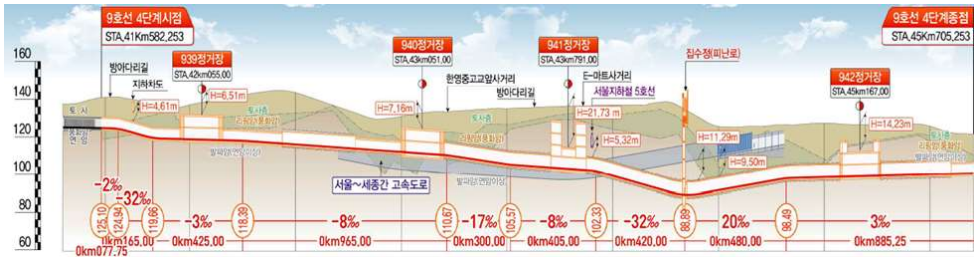
○ TBM 통합정보관리시스템
- TBM 통합정보관리시스템 SW 및 시작품/완성품
- TBM 통합정보관리시스템 SW 설계서

○ TBM 통합관제시스템
- TBM 통합관제시스템 SW
- TBM 통합관제시스템 HW
- TBM 통합관제시스템 SW 설계서
- 능동적 운영 시스템 구조도 및 인터페이스

[테스트베드 후보(안) 1]

희망 실증지역	○ 수도권 광역 급행철도 C노선 민간투자사업 노선(GTX-C) (경기 수원 ~ 정부과천청사 ~ 서울시 ~ 의정부시 ~ 경기 양주시 덕정)
실증지역 선정사유	○ 대도시 인구밀집지역을 고속(영업속도 180km/hr)으로 통과하는 대심도 터널로서, 서울과 수도권을 관통하는 노선인 관계로 주거/상업 밀집지역의 통과 불가피 ○ 연장이 약 75 km에 달하며 한강 하저구간을 관통해야 하므로, 기존 유사 프로젝트(예: GTX-A 노선, 별내선 등)들의 사례를 비춰볼 때 **적어도 1개소 이상의 TBM터널구간** 존재 예상 ○ 한강 하저구간 등 중요 구간에 TBM의 적용이 예상되므로, TBM 시공리스크 저감, TBM 시공 최적화 및 TBM 안전관리를 위하여 개발될 **인텔리전트 통합관제시스템의 적용성이 매우 높음** 
테스트 베드 요건	○ 대도시의 대심도 및 한강 하저통과 사업으로서, 미래 잠재 리스크를 규명/대응해야 하는 지역 ○ 다양한 지질조건이 예상되므로 TBM 운영 중에 신속한 의사결정이 필요한 지역 ○ TBM 굴진 시, 각종 실시간 계측 등을 통해 도심지 안정성을 확보하면서 시공해야 하는 지역 ○ 한강 통과구간으로 친환경 재료나 자재를 고려하고, 함수비가 높은 버력처리 환경을 고려할 지역 ○ 도심지 주요 거주 지역 통과구간으로서 비산먼지나 소음/진동 저감 대책 수립이 필요한 지역 ○ 다수의 TBM이 투입될 것으로 예상되며 사업단이 총괄관리를 할 것으로 예상되므로, 전구간 통합관제시스템의 적용이 가능하고 공구별 상호 피드백으로 Good Impact가 기대되는 지역
테스트 베드 규모	○ **총 연장 L= 74.8km (신설 37.7 km, 공용 37.1 km)** ○ 정거장 10개소 (기존: 수원, 금정, 의정부, 덕정 (4개소) / 신설: 정부과천청사, 양재, 삼성, 청량리, 광운대, 창동 (6개소)) ○ 차량기지 1개소 (양주시 일원)
적용가능 시기	○ 연구기간 3~5년차('25~'27)에 3년간 시범적용부터 최종 테스트베드까지 적용 추진 - **GTX-C노선 예상 사업기간: '22년 1분기 ~ '27년 1분기** * 사업자 선정 및 실시협약 체결: '21년말(목표)
기타 필요사항	○ 테스트베드 적용을 위한 주무관청, 지자체, 사업단, 시공사 등의 적극적 지원과 협조가 요구됨 단, TBM 제작사로부터 데이터획득에 대한 협조만 이루어진다면, TBM 시스템을 대대적으로 변경/개조하는 것이 아니므로 적용에 있어서 큰 어려움은 없을 것으로 예상

[테스트베드 후보(안) 2]

희망 실증지역	○ 서울도시철도 **9호선 4단계 연장사업** (서울시 강동구 둔촌동 ~ 고덕동)
실증지역 선정사유	○ 서울시의 높은 인구밀도/밀집지역 조건으로 인하여 터널공사 시 환경공해에 대한 우려가 큼 ○ 서울시의 주거/상업 밀집지역을 통과하므로, 기존 유사 프로젝트(예: 서울도시철도 9호선 3단계 등)들의 사례를 비춰볼 때 **적어도 1개 공구 이상에서 TBM터널구간** 존재 예상 (서울시의 쉴드TBM 적용 의지도 높음) ○ 민원 저감, 밀집 도심 구간에서의 TBM 최적 안전시공을 위하여 **인텔리전트 통합관제시스템의 적용성이 매우 높음** 
테스트 베드 요건	○ 도심지 지하철 공사로 주변 이해관계자의 안전과 시공품질을 모두 고려해야 하는 지역 ○ TBM 적용 시, 굴착과 Volume loss로 인한 지반침하를 기준에 맞게 시공해야 하는 지역 ○ 한강 인근 지역으로 친환경 재료나 자재를 고려할 수 있는 지역 ○ 도심지 거주 지역 통과로 비산먼지나 소음/진동 저감 대책 수립이 필요한 지역 
테스트 베드 규모	○ **총 연장 4.123km** (3개 공구로 구성 예정) (터널 2,392m, 개착 882m, 정거장660m, 환기구149m, 비개착20m, 집수정 20m) ○ 정거장 4개소, 본선환기구 8개소
적용가능 시기	○ **연구기간 3~5년차('25~'27)에 3년간 시범적용부터 최종 테스트베드까지 적용** 추진 - 실시설계적격자 선정 : '21년 6월 (실시설계 8개월) - **착공예정 : '22년 3월** (공사기간 : 80개월) - **준공예정 : '28년 10월**
기타 필요사항	○ 테스트베드를 적용할 지자체, 설계사, 시공사의 적극적인 행정지원과 협조 필요. 단, TBM 제작사로부터 데이터획득에 대한 협조만 이루어진다면, TBM 시스템을 대대적으로 변경/개조하는 것이 아니므로 적용에 있어서 큰 어려움은 없을 것으로 예상

[테스트베드 확보 및 실용화 전략]

테스트베드 확보 전략	○ 본 통합 관리 기술은 시공 방법 자체에 대한 기술개발이 아니므로 발주처의 영향을 받지 않기 때문에, 테스트베드에 대한 협의를 사전에 시공사들과 집중적으로 추진
	○ 통합 관리 시스템은 TBM 장비에 많은 변경을 가하는 개조가 들어가지 않기 때문에, TBM 장비 구입시 제조사와 warranty 부분에 대한 문제가 없도록 협상을 진행함으로써 안정적으로 테스트베드를 확보를 추진
	○ 상대적으로 warranty 부분에서 자유로운, 재활용 TBM 장비를 사용할 예정에 있는 시공사와 테스트베드 협의를 진행하는 방안도 고려
실용화 (수요 연계) 전략	○ 사전 협의를 통해 연구 과제 컨소시엄에 TBM 전문시공사들을 포함시킴으로써 참여 기업에게 본 사업을 통해 개발되는 통합 관리 기술을 이전하고 실용화 추진 - 국내에는 5개의 전문시공사가 존재하며 본 사업의 주관연구기관에서는 이 5개의 전문 시공사와 사전에 접촉 및 협의하여 컨소시엄을 구성
	○ 본 통합 관리 기술의 경우, TBM 단면의 크기에 크게 영향을 받지 않으므로 상대적으로 시공에 부담이 적고 수요가 많은 소단면 TBM 현장부터 적용하여 점진적인 확대를 추진

(아) 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

□ TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정 기술

〈표 3-17〉 TBM 기계데이터 실시간 분석/의사결정 관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어 시스템 개발	국토교통 과학진흥원 (2017~2021)	TBM 커터헤드의 설계자동화 시스템, TBM 운전·제어 시스템 및 TBM 운전 시뮬레이터 개발	〈차별점〉 - 본 연구는 TBM에서 생성되는 수많은 기계데이터들을 실시간 모니터링·분석하고, 후속 시공사이클의 최적 운전에 반영하기 위한 의사결정 기술 개발 내용으로서 중복성이 없음 - 선행과제에서 국내 최초로 TBM 운전·제어시스템을 개발하는데 성공하였기 때문에, 기계데이터의 수집·전송 등에 대한 기술 활용/연계 기대
스마트건설기술개발사업	국토교통 과학진흥원 (2020~2025)	데이터(TBM 지반/굴진데이터)와 머신러닝 기술을 활용하여 TBM장비 운전을 자동화하고 전방예측 및 TBM 시공 리스크를 분석함으로써, TBM 시공 중 발생하는 오퍼레이터의 저숙련, 굴진면 전방 불확실성 등 리스크를 감소시키는 기술 개발	〈차별점〉 - 머신러닝 기술을 활용하는 점에서는 유사하나 선행과제에서는 TBM 운전자동화와 전방예측/시공 리스크 분석에 연구개발 목표를 설정 〈연계방안〉 - 기 개발된 머신러닝 기법의 장단점을 분석하여, 의사결정에 더 최적화된 기술로 연계/ 발전시킬 예정
도심지 소단면(ϕ3.5급 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술개발	국토교통 과학진흥원 (2015~2020)	TBM 순굴진율 예측을 위하여 머신러닝 기반의 알고리즘 및 프로그램을 개발하고, 소단면 TBM 통계분석을 기반으로 최적운전조건을 도출하는 기술 개발	〈차별점〉 - 선행과제에서는 소단면 TBM에 국한되며 가동율 예측은 포함되지 않음 〈연계방안〉 - 기 개발된 기술의 장단점을 분석하여, 본 구성기술의 차별화를 부각할 수 있는 방향으로 기술 개발 예정

□ TBM 장비(주요부품 및 파트) 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술

〈표 3-18〉 수명예측기술(PHM) 관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
극한환경 데이터계측 및 기계학습기반 전기식 건설기계 부품의 실시간 상태 진단 및 잔존유효수명 예측기술	과기정통부 ('17.1~'19.12)	기계학습기반 실시간 효율 열화 곡선 업데이트 알고리즘 및 열화상태 진단 및 잔존유효수명 예측 기술 최종안 도출 및 적용 전기식 굴착기의 선회감속기 부품의 열화상태와 수명을 예측하기 위한 연구 진행	〈차별점〉 - 감속기 부품의 열화현상 대한 예측기술을 적용하여 단순한 기계학습법의 회귀예측식이 개발됨 - 본 사업은 TBM 챔버 내압 환경에서의 부품과 공구의 수명과 고장시점을 예지하기 위한 연구로서 연구대상이 다르고, 시험시스템의 수준이 TBM챔버 환경으로 더욱 높아짐 〈연계방안〉 - 기존 개발된 기계학습법 개발 알고리즘을 단점/한계점을 분석하고 신규 예지 알고리즘(딥러닝, 순환신경망)으로 연계/발전시킬 예정
고장예측진단 기반 선박설비 유지보수를 위한 스마트 RMS SW 개발	미래창조과학부 ('16.10~'17.3)	미래창조과학부 ICT 융합 Industry 4.0 조선해양 기술개발의 일환으로서 이마린(주)의 총괄로 2016년 10월부터 4년간 36억원 예산 투입으로 '고장예측진단 기반 선박설비 유지보수를 위한 스마트 RMS SW 개발' 수행	〈차별점〉 - 선박 대용량 데이터, 위성데이터 등을 빅데이터로 수집/분석하여 장비 고장을 사전예측하는 것으로서 선박부품에 대한 유지보수적인 관점으로 연구가 진행하고, 건설장비 TBM의 가혹한 환경과 조선운항 환경의 큰 차이점으로 연구 관련성이 적음

□ TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발

〈표 3-19〉 본 구성기술관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
[스마트건설기술사업] 도로분야 디지털 정보표준 기반 건설 생산 프로세스 통합 관리 기술	국토교통과학 기술진흥원 (2020.04~2025.12)	- 건설자원 센서 데이터의 정보 통합(수집, 연계, 관리, 협업, 공유)을 위한 디지털 표준화 기술 - 모듈러 공정의 승인·저장·납품·관리를 위한 디지털 통합 정보환경 구축 기술 - 도로 자동화시공 지원을 위한 스마트 건설지식 및 디지털 문서 자동생성 기술	〈차별점〉 - 선행과제는 도로분야에서 발생하는 디지털 정보를 수집하고 관리하는 기술로서, 주로 토공사 자동화 시공과 교량공사 모듈러 BIM 등에 집중 - 본 연구에서 생산되는 TBM 데이터와 터널 내 작업데이터와는 별개의 디지털 정보라고 할 수 있으며, 생성 데이터 차이에 따른 수집 및 관리방법이 달라 차별성을 가짐 〈연계방안〉 - TBM 터널도 도로의 일부로 시공되고 있고 디지털 정보 구축환경을 보완적으로 구축할 필요가 있으므로 이러한 점을 고려하여 연계 수행
[스마트건설기술사업] 스마트 안전 통합 관제 시스템	국토교통과학 기술진흥원 (2020.04~2025.12)	- 빅데이터 분석을 통한 CPS 기반의 예측지원 스마트 안전 통합 관제 시스템 구축 - AI기반 스마트 안전 통합 관제시스템의 성능 검증을 위한 안전취약 중소현장 및 도로공사 현장 테스트베드 운영	〈차별점〉 - 선행과제는 주로 토공사, 교량공사, 임시 구조물, 구조물 이동 등 지상에서 이루어지는 건설공사 전반에 대해 영상 및 웨어러블 디바이스의 학습과 빅데이터 분석을 이용한 위험 인지 및 저감을 수행하는 과제로서 지하에서 수행되는 터널작업, 특히 TBM을 이용하는 터널작업의 특성과는 차이가 존재 - 터널의 굴착에 따른 침하관리 및 굴착안정성을 포함하여 지하 작업 시 시공과 안전관리의 특수성을 고려할 필요가 있으며, TBM장비의 운영효율화 측면에서의 관제를 포함하므로 차별성을 가짐 〈연계방안〉 - 지상과 지하 작업의 안전관리 공통사항에 대한 관리방안과 웨어러블 디바이스를 이용한 작업자의 안전관리 방법에 대해 개발된 기술의 장점을 서로 상호 보완할 필요

(자) 민간기술과의 차별성·연계성

□ 민간기술과의 차별성 조사

○ 국내 대기업 시공사 일부에서 TBM 기계데이터 분석 기반의 시공 최적화를 위한 기초 연구를 수행한 바 있음

- 국내에서 TBM 시공실적을 다수 보유한 현대건설과 SK건설에서 관련 기초연구 진행
- 본 사업 진행시 기 개발된 기술과의 차별성 및 연계성을 가질 수 있는 항목을 도출

〈표 3-20〉 TBM 기계데이터 실시간 분석/의사결정 관련 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	TBM 굴진 데이터의 분석을 이용한 의사결정 기술	현대건설	각기 다른 지층/암층의 상황에 적합하게 운전해 최대 굴진속도를 낼 수 있는 최적운전시스템(TBM Advances Driving Assistance System, TADAS)을 개발	〈차별점〉 - TBM 시스템에서 예측되는 UCS 추정값과 버력암편으로부터 점하중 시험결과를 비교예측하고 추력, RPM 등을 조절하여 굴진 향상하는 시스템으로서 머신러닝·AI 기법을 적용하지 않은 단순한 통계적 상관관계를 이용하는 기초단계의 시스템 〈연계방안〉 - 선행기술조사/분석을 통해 본 구성기술의 차별성을 부각할 수 있는 방향으로 개발
2	머신러닝·AI 기반의 TBM 기계데이터의 실시간 모니터링 및 분석기술	SK건설	TBM 기계데이터를 이용한 실시간 전방지질 예측 및 굴진면 암반의 강도를 유추	〈차별점〉 - 머신러닝·AI 기법을 적용하여 전방 지질 및 암반강도를 예측하나 굴진 파라미터와 같은 운전정보는 제공하지 않음 〈연계방안〉 - 기 적용된 머신러닝·AI 기법의 장단점을 분석하여 본 구성기술의 차별성을 부각할 수 있는 방향으로 개발

○ 건설기계의 자가진단과 관련된 국내·외 대기업의 관련 기술 조사

- 국외 2개사(미국, 일본), 국내 2개사(현대, 두산)의 현황정보를 조사하고, 본 구성기술과의 차별성을 설명
- 추후 본 사업 진행시 현재 기술의 트렌드를 고려하여 추진하도록 기본 전략을 수립

〈표 3-21〉 TBM 장비상태의 실시간 모니터링/평가 관련 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	건설기계의 상태 모니터링 및 정비 계획 지원 Solution	미국 Caterpillar	건설기계의 상태 모니터링을 통해 사전 대응 정보를 제공하고 포괄적인 정비 계획 지원 Solution 개발. 가속도계와 패턴 인식기법을 활용한 휠로더 변속기의 기계적 결함상태 검출 및 구동체 고장진단 기법 개발	〈차별점〉 - 일반 건설기계의 원격지원 솔루션을 위한 기법으로서 TBM과 같은 챔버내 극한 환경에 관한 기술이 아님 〈연계방안〉 - 기계 결함상태 검출 및 진단 기법은 선행기술조사/분석을 통해 차별성이 부각되도록 개발
2	장비추적시스템 (Komtrax)	일본 코마츠	장비추적시스템(Komtrax)는 장비 모니터와 웹 기술의 융합형 종합 장비관리시스템으로 장비이력 관리 및 제어기능 추가 가능. 엔진의 보수시점 예측 기술 개발 적용	〈차별점〉 - 일반 건설기계 구동모듈(엔진, 구동부품)에 관한 보수시점을 예측하기 위한 것으로서 TBM의 부품환경과 다름 〈연계방안〉 - 챔버내 극한환경 센서를 통해 기계 데이터의 수집과 기계적 반복학습을 통해 잔존수명을 예측하여 TBM의 최적 관리가 가능하도록 개발 추진
3	굴삭기 원격 관리 시스템 '하이메이트'	현대중공업	GPS를 토대로 장비의 실시간 모니터링 및 원격서비스 가능	
4	GPS기반 장비운행 모니터링	두산인프라코어	GPS를 토대로 건설기계의 위치를 파악해 장비 운행 현황을 알려주는 서비스 운행	〈차별점〉 - GPS를 토대로 한 기계 진단 및 모니터링 기능 부여, 엔진의 보수시점 예측 등의 기술개발이 진행됨 〈연계방안〉 - TBM 유지관리 최적화, 학습기반형 SW기술로 발전시킬 필요 있음

○ TBM 데이터는 표준화된 바 없으며, 관련하여 일부 민간기업(TBM 전문시공사)에서는 데이터를 축적하여 분석을 수행하고 있는 상황이지만, 데이터센터 수준으로 구축된 사례 전무

○ 민간에서는 데이터 표준화를 주도하지 않고 있으며, 데이터센터를 구축하는 민간기술은 KT, LG유플러스, 네이버, 삼성SDS, LG CNS 등 다수의 데이터센터 사업자에 의해 수행

- 데이터 표준화는 공공에서 민간에게 제시
- 민간 데이터센터에 구축된 데이터에 대해 공공에서 구매하여 사용하는 방안을 고려하기 위해 데이터 표준화, 분석모델 검증, 데이터기반 행정참여 등에 민간의 참여를 독려

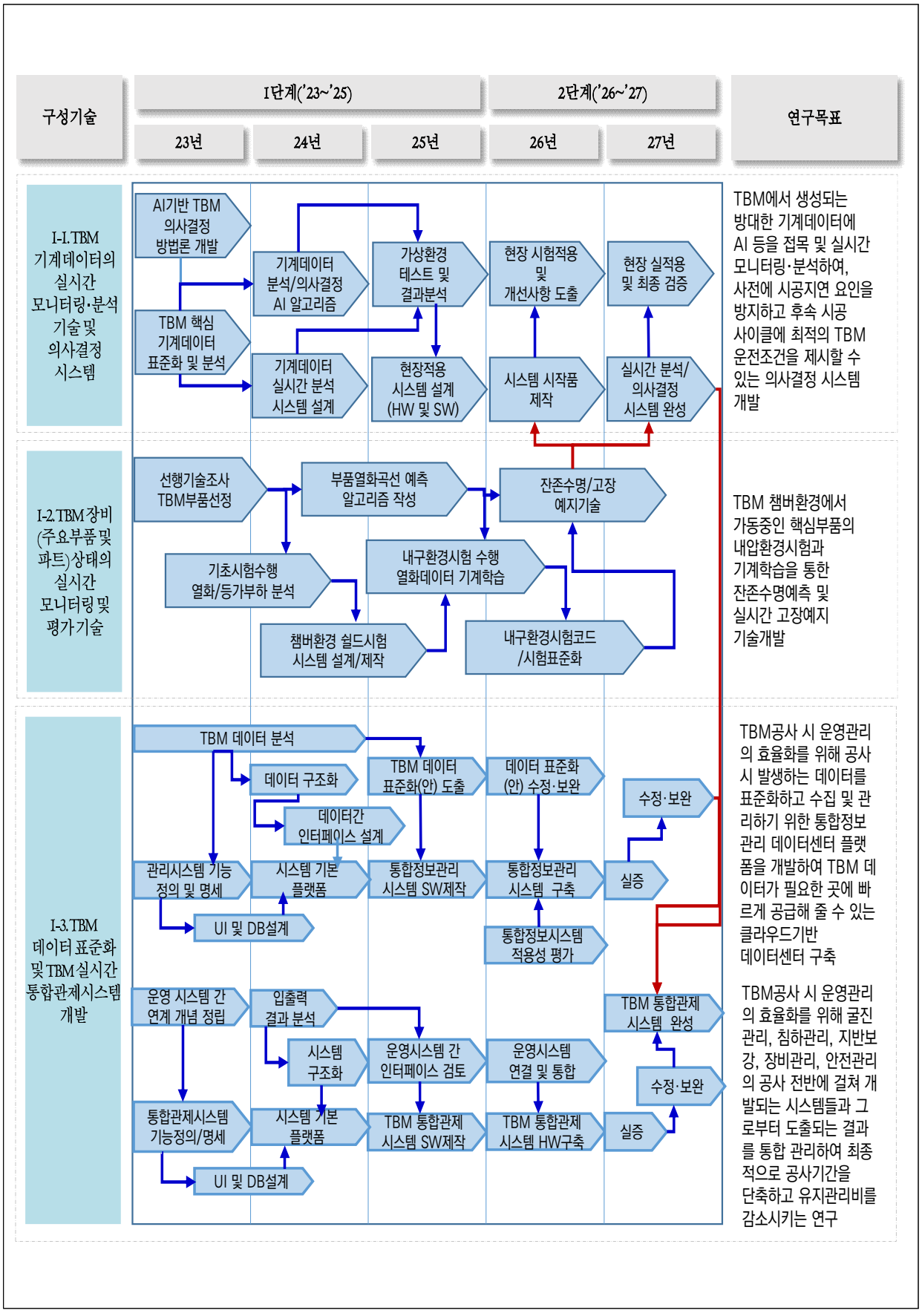
○ 민간의 일반 건설장비에 대한 관제시스템으로 두산인프라코어의 “Concept-X”가 있음

〈표 3-22〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

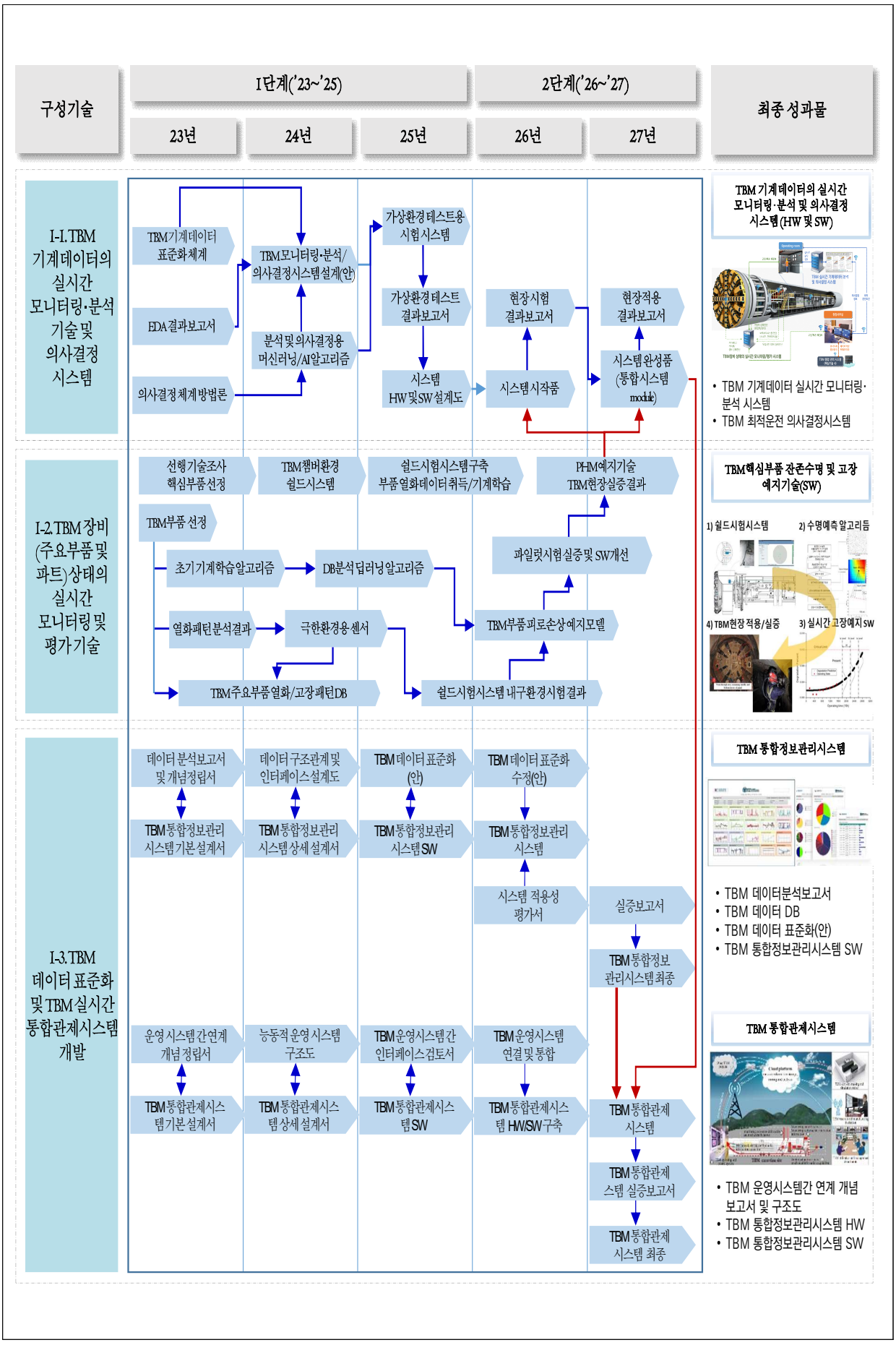
순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	건설현장종합관제 솔루션 ‘Concept-X’	두산 인프라코어	Concept-X는 드론을 통한 지형 측량, 지형 데이터의 자동 분석 및 공사계획 수립, 무인 건설기계와 관제센터 운용 등 일련의 공사 과정 전체를 아우르는 종합 관제 솔루션	〈차별점〉 - 드론을 통해 지형데이터를 분석하여 공사계획을 수립하고 자동화된 굴착기와 로더를 이용한 시공 전체를 종합관제하는 솔루션 - TBM과 굴착방식에 있어 차이가 절대적이며, BIMGi라는 GPS기반 기술을 활용하고 있어 지하에서 사용 불가 - 지상장비와 주변 작업자 위주의 관제시스템으로 구성되어 차별성 존재 〈연계방안〉 - 관제 대상이 유압, 동력, 이동 등인 점과 유지관리측면을 고려하는 점에서는 지향점이 같으므로 해당 사항의 검토/반영 필요 있음

(차) 구성기술 로드맵

[그림 3-28] TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술(핵심기술 1)의 추진로드맵



[그림 3-29] TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술(핵심기술 1)의 성과로드맵



(카) 소요예산 및 장비 구축 계획

① 연도별 소요예산

○ 총액 147억 원, 국고 보조금 110억 원, 민간 자본금 37억 원으로 구성

〈표 3-24〉 핵심기술 1의 구성기술별 예상 소요예산

(단위: 백만 원)

구성기술	구분	'23	'24	'25	'26	'27	계
1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정시스템	정부	340	425	595	600	425	2,385
	민간	116	145	202	204	145	811
	소계	456	570	797	804	570	3,196
1-2. TBM 주요부품·파트 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술	정부	300	594	2,200	1,720	300	5,114
	민간	102	202	748	585	102	1,739
	소계	402	796	2,948	2,305	402	6,853
1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발	정부	340	500	510	723	1,450	3,523
	민간	116	170	173	246	493	1,198
	소계	456	670	683	969	1,943	4,721
합계	정부	980	1,519	3,305	3,043	2,175	11,022
	민간	334	517	1,123	1,035	740	3,748
	소계	1,314	2,036	4,428	4,078	2,915	14,770

○ 직접비

(단위: 백만 원)

구분	’23	’24	’25	’26	’27	계
인건비	431	779	1810	1,602	1,128	5,750
연구활동비	311	353	203	72	219	1,158
연구재료비	133	150	86	31	93	493
연구시설장비비	-	100	1,030	1,200	600	2,930
연구수당	66	75	43	15	47	246
합계	941	1,457	3,172	2,920	2,087	10,577

○ 간접비

(단위: 백만 원)

구분	’23	’24	’25	’26	’27	계
간접비	39	61	132	122	87	441

○ 소요 인력

(단위: 명)

구성기술	구분	'23	'24	'25	'26	'27	계
1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정시스템	책임급	1	1	2	2	1	7
	선임급	1	2	3	3	2	11
	원급	4	5	7	7	5	28
	소계	6	8	12	12	8	46
1-2. TBM 주요부품·파트 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술	책임급	1	2	8	6	1	18
	선임급	1	3	12	9	1	26
	원급	3	7	26	20	3	59
	소계	5	12	46	35	5	103
1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발	책임급	1	2	2	2	5	12
	선임급	1	2	2	3	7	15
	원급	4	6	6	8	17	41
	소계	6	10	10	13	29	68
합계		17	30	68	60	42	217

② 연구장비 및 시제품

○ 연구장비 내역

〈표 3-25〉 핵심기술 1의 연구장비 및 시제품 내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)	연도	해당 구성 기술
1	TBM 굴진조건 분석/의사결정 알고리즘 시작품 (S/W)	수집된 TBM 기계데이터를 바탕으로 현재 및 향후 굴진조건을 실시간 분석하고 의사결정에 활용될 수 있는 데이터를 제공하는 핵심 알고리즘	150	1	150	2025	1-1
2	TBM 기계데이터 수집장치 (DAQ)	TBM 기계데이터의 모니터링 · 분석을 위한 DAQ시스템 구입	50	2	100	2024	1-1
3	TBM 실시간 모니터링 · 분석 시스템 시제품 (H/W 및 S/W)	통합관제시스템과 연동 · 통합되는 시제품으로서, TBM에서 발생되는 각종 기계데이터를 실시간으로 분석/가시화하는 관제 및 모니터링용 시스템	250	1	250	2026	1-1
4	TBM 핵심부품 내압밀폐(shield packaging)시험 시스템	EPB TBM의 챔버환경을 구현할 수 있는 내압/내진동/내열 챔버구축 및 챔버환경에서 구동할 수 있는 시험 시스템 개발과 내환경시험 수행	880	1	880	2025	1-2
5	TBM 부품 열화 (마모, 파손) 상태 측정시스템	1) TBM 디스크 커터의 열화/마모/파손 상태를 연속적으로 측정하기 위한 마모 시험시스템 2) TBM 핵심유압부품(e.g. 베어링, 기어, 실 등)의 작동중 열화상태 측정/기록을 위한 유압내구시험시스템	350	2	700	2026	1-2
6	통합시스템용 서버 시스템	수집된 각종 TBM 시공 데이터들의 원격 저장 · 처리를 위한 서버 시스템	50	2	100	2026	1-3
7	통합정보관리 데이터센터 플랫폼 시제품	데이터수집/저장/분류/접근/보안을 고려한 TBM 통합정보관리 플랫폼 설계 및 구축	150	1	150	2026	1-3
8	TBM 통합관제 시스템 시제품 (H/W 및 S/W)	각종 TBM 시공 데이터들의 통합 관제 시스템의 H/W 및 S/W 시제품 제작 (Test-Bed 및 시범적용)	300	2	600	2027	1-3
합계					2,930		

(타) 기대 및 파급효과

① 과학기술적 측면

□ TBM 굴진데이터의 빅데이터化 및 세계 최고 수준의 실시간 처리·분석 가능

○ 하루에 5백만개에 달하는 TBM 생성 기계데이터들을 실제 활용하기 못하고 시공사별로 단순 저장하고 있는 상황에서, 국가적인 TBM 빅데이터 구축과 활용이 가능

- 숙련된 TBM 운전자도 파악할 수 있는 기계데이터의 개수는 3~4개 미만에 불과하나, 실시간 모니터링·분석을 통해 후속 시공과정 또는 유사 시공환경에의 피드백 가능
- TBM 운전 최적화를 위한 추력, 토크, RPM 등의 핵심 운전 파라미터들에 대한 실시간 의사결정 제공이 가능한 세계 최고 수준의 시공 지원시스템 → 1분 이내에 20개 이상의 TBM 핵심 파라미터의 모니터링·분석 (5백만개/일 데이터 처리 능력 보유)
- 장대 터널, 대심도 터널, 하·해저 터널 등 시공 중 리스크의 발현이 높은 터널 등에 적용하여 잠재적인 위험도를 감소하고, 안정성이 확보되는 터널 시공 기술 획득
- 머신러닝·AI기반의 TBM 기계데이터 실시간 모니터링 및 분석기술 개발로 최적의 TBM 굴착 운전조건을 판단할 수 있는 정보 제공 및 문제 발생 시에 신속하고 신뢰적인 의사결정의 판단근거를 제공하여 신속한 터널 시공이 가능하도록 함
- 선진외국에서도 TBM 굴진데이터의 빅데이터화와 실시간 처리·분석 시도가 이루어지고 있으나, 아직까지 개발 초기단계이며 일부 파라미터들에 집중되어 있고 통합화가 되어 있지는 않은 관계로 관련 분야의 선도 시스템으로서 활용 기대 가능 (핵심기술 1로의 전체 통합)

□ TBM 데이터 계측기술을 최신 IoT-Big Data기술과 연계

○ 데이터 계측/모니터링 및 예측/예지기술 신뢰성 확보

- 기계학습 기반 TBM 가동상태 진단 및 잔존수명 정확한 예측기술 확보 및 TBM 터널현장 스마트 운용기술로 발전. 세계적으로 TBM S/W분야 선진기술 개발 가능
- TBM부품의 상태진단을 위한 시험평가방법 확립 및 표준화 진행
- TBM분야의 체계적인 실시간 장비 모니터링/평가기술 개발은 세계 최초/최고 수준

○ IoT-빅데이터와 연계하여 PC 및 다양한 모바일 기기에서 TBM의 실시간 상태모니터링

- TBM 가동상태, 부품가동 성능, 현재수준 및 잔존수명 예측과 관련한 모든 데이터를 지상에서 측정/수집/제어/예측하고 시공자와 설계자 간의 실시간 네트워크 구축
- Big Data와의 연계를 통한 진단 결과 및 잔존수명예측결과의 관련기업 간 공유
- 인간이 인지하거나 예측하지 못하는 운영상의 효율저하 요인을 기계학습을 통해 규명, 향후 TBM 가동/운용방법에 대한 개선기술을 지속적으로 발굴 가능

□ TBM 데이터 부족, 의미파악의 어려움, 데이터 중복 등을 해결하여 정보의 활용 증대 및 정보 제공의 적시성 부족을 해결

○ 데이터 표준화/통일화로 인한 TBM터널에서의 명확한 의사소통의 증대

○ 일관된 데이터 형식 및 규칙의 적용으로 분석 데이터의 품질 향상

○ 실시간 TBM 시공 데이터의 수집 및 제공에 대한 기술적 환경 제시 (시스템 반응시간 1초 이내 달성 목표)

○ 타 산업에 비해 부족한 TBM 정보서비스 활용수준 증대

□ TBM 시공현장 전반의 관제를 통한 안전 및 운영 효율 증대와 설비수명 연장

○ 현장 기술자의 정성적인 판단이 아닌 데이터분석에 기반한 의사결정 문화나 프로세스 정착

○ 예방중심의 사전대응체계 구축 및 위험상황 대응시간 감소

○ 정보 융합을 통해 데이터를 구축하여 효율적인 장애이력 통계분석과 현장 상황을 추이 분석하여 장비 및 시설 트러블 발생의 사전예방에 도움

② 사회경제적 측면

□ 실시간 TBM 분석·상태예측을 통한 TBM 가동율 및 굴진율 향상

○ 시공조건에 부적합한 TBM 운전으로 인해 시공 지연시간(downtime) 및 시공 트러블(trouble)이 발생되고 있는 상황에서, 시공지연과 시공 트러블의 예방/최소화에 기여

- TBM 실시간 모니터링·분석을 통해, TBM 가동율 및 굴진율 10% 이상 향상 기여
- 난공사 또는 취약지역 통과구간에서 발생할 수 있는 TBM 시공트러블의 발생확률 20% 이상 절감에 기여
- 중앙화한 의사결정시스템 도입으로 다수의 터널 시공을 중앙에서 관리함으로써 TBM터널의 생산성 향상에 기여
- 도심지에서 발파굴착이 한계에 도달한 상황으로서 TBM의 적용 확대가 예상되고 있는 상황에서, 발주처/민원인 등을 대상으로 실시간 공사 데이터의 제공이 가능하여 신뢰적이고 안전한 TBM터널 공사에 기여
- 실시간 모니터링·분석결과를 바탕으로, 도심지 지반침하/지반함몰 등의 예후를 사전에 감지 또는 예측하여 TBM 공사사고를 미연에 방지하는데 기여
- 경험이 충분하지 않은 운전원도 의사결정 기술의 도움을 통해, TBM 운전에 대한 역량을 향상하고 숙련된 운전원으로 성장할 수 있는 기반 마련

○ TBM 장비의 파손/손상을 육안으로 식별하는 것이 매우 어렵기 때문에, 진단과 위치파악에 시공 지연시간의 70~90%가 소요되고 있는 상황에서 실시간 상태 예측을 통한 지연시간 및 관련 복구비용 최소화

- TBM 부품의 열화상태 모니터링 및 고장전 교체로 다운타임 10%이상 감축 가능을 통한, TBM터널 공사비용의 10억원/km 이상 절감에 기여
- 열화상태 인지기술 적용으로 커터 및 핵심공구 최적상태 관리, 지반 굴착성능/속도 향상
- TBM 운용 데이터를 기반으로 현장별 설계/선정 업무시간 단축, TBM 개선에 소요되는 비용 획기적 절감

□ TBM 데이터의 체계적인 관리로 검색 및 활용 능력 향상

○ 필요한 데이터들에 대한 검색·분석·의사결정에 소요되는 시간 및 노력 감소

○ 정보시스템 간 데이터 인터페이스 시 데이터 변환 비용 감소

□ 실시간 능동적 관제를 통한 작업현장의 사고 감소 및 건설안전 대민 서비스

○ 근로자 안전확보 최우선 사고방지 및 사고 파급효과 최소화와 사고 시 현장 통제/지시 사고의 빠른 복구

○ 안전 및 시공현황과 관련된 실시간 정보공개를 통한 대민 서비스의 질과 신뢰도 향상

○ TBM 장비고장의 선 감지를 통한 사전 장애발생 저감 및 유지보수 비용 절감

(2) (핵심기술 2) 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술

핵심기술의 As is - To be 개요

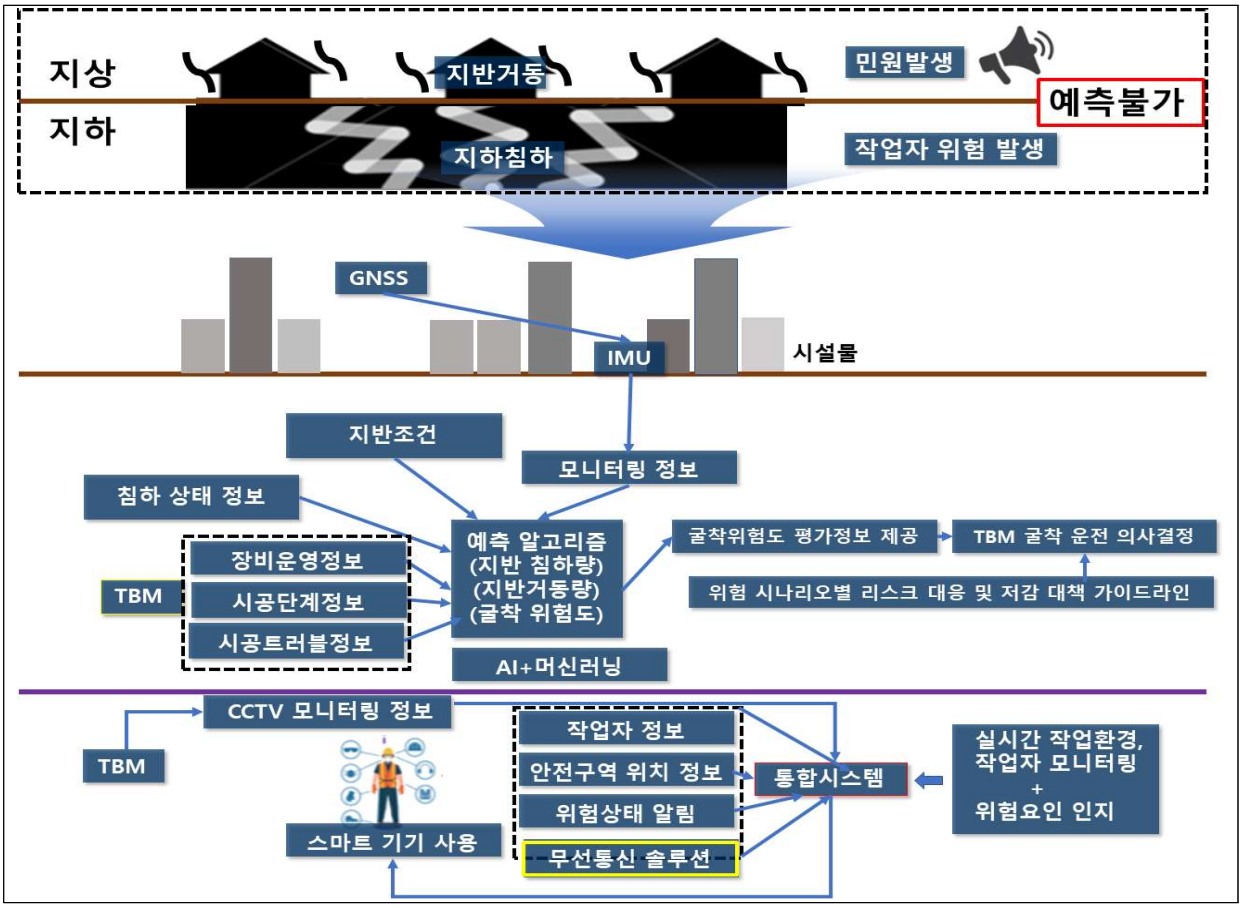
【 기존 】

- 공사구간에 대한 모니터링이 실시간으로 이루어지고 있지 않아 민원이 발생하기 전까지 지반침하·거동 파악이 불가
- 지하 시공 현장에서 작업자의 실시간 위치 파악 및 정보 공유의 부재, 통신음영 지역에 대한 원거리 소통의 한계점 도달

【 본 과제 】

- 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술을 통해 지반침하·거동을 사전에 방지하고 위험 발생 시 실시간으로 전달·대처
  - 굴착토량 측정, 지반침하 영향인자와 실측 침하량에 대한 알고리즘 분석 수행
- 무선통신기술과 스마트기기를 활용한 실시간 위험성 평가, 장비운영 데이터의 실시간 공유, 안전사고 발생 시 실시간 소통을 통해 즉각적으로 대처
  - 통신음영 지역 무선통신 기술 및 AR·핸드프리·음성제어 기술을 활용하여 인력을 관리하고, 작업자에게 터널용 스마트 안전기기를 제공하여 위치 추적과 위험인자를 확인

[그림 3-30] 핵심기술 2의 기술개발 방향



(가) 기본 개념 및 범위

① 기본 개념

□ 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술

○ 지반 물성치와 TBM 운전 중 생성되는 시계열 기계 데이터 (빅데이터)를 기본으로, 순환 인공신경망(Recurrent Neural Network) 등의 머신러닝 기법을 적용하여 지반 침하량과 굴착위험도를 예측하는 알고리즘을 개발하여 굴착위험도를 선제적으로 예방하기 위한 연구

- TBM 굴진 중 지반침하는 시공단계, 지반조건 및 장비운전 조건에 따라 다양한 양상을 보임
- 현장 지반조건, 현장 계측자료 및 시공자료(굴진율, 장비/부품 실시간 모니터링, 현장 계측자료)를 통합 분석하여 TBM 공사 중의 지반침하를 실시간으로 예측하는 AI 기반 알고리즘 개발
- 현장 지반조건, 실시간 지반침하 예측자료, 시공자료, 시공트러블 및 작업자 현황을 종합적으로 고려하는 AI 기반 실시간 굴착위험도 평가 알고리즘을 개발하고, 위험 시나리오별 리스크(위험도) 대응방안과 저감대책의 수립 가이드라인을 제시하는 위험도 평가시스템 개발

[그림 3-31] 실시간 지반침하 및 굴착기술 예·경보 기술 개요

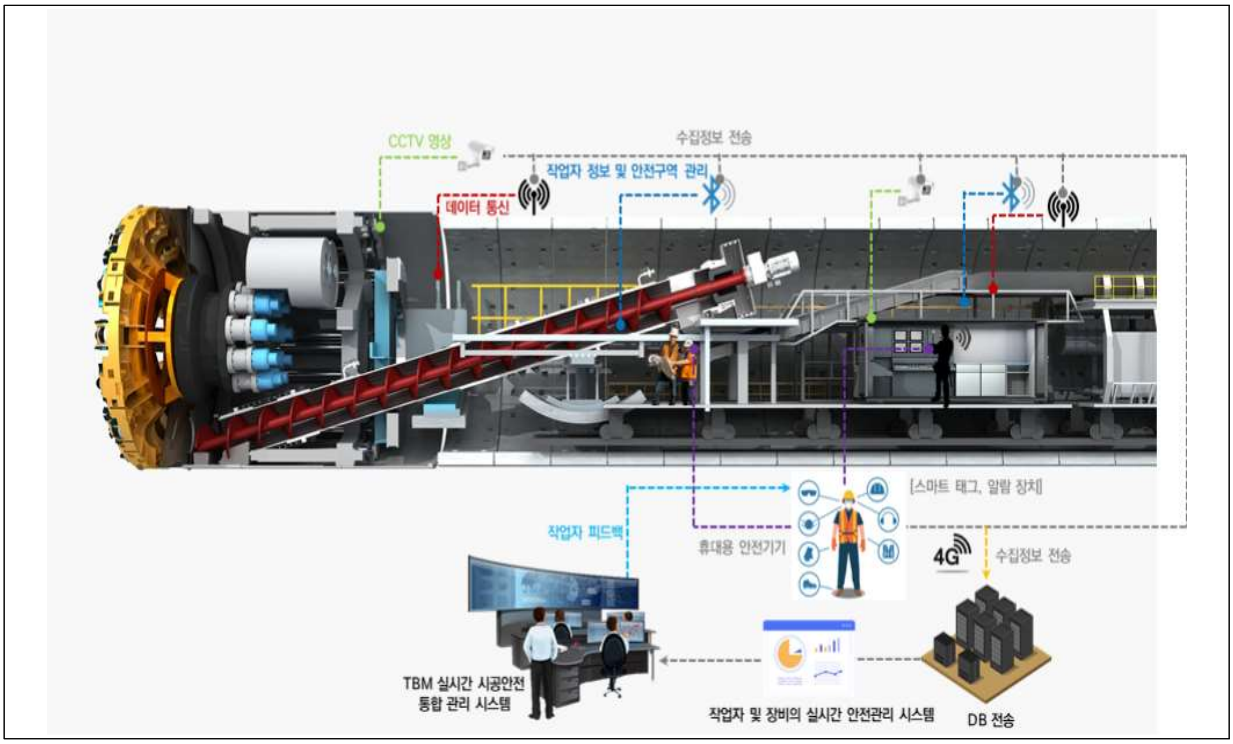


□ TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술

○ TBM터널 건설현장에서 장비운영자의 경험과 판단에 의지하여 관리되는 문제점을 해결하기 위하여, 무선통신 네트워크망을 통해 작업자와 지상 안전관리자간의 통신을 원활하게 하여 인력/장비 및 굴착 공정을 실시간 관리할 수 있는 시스템을 개발하는 기술

- 일반적으로 장대터널인 TBM터널 작업공간에서 안전관리자의 신속한 위험요인 인지 및 작업환경 모니터링을 지원하기 위한 무선통신 기술

[그림 3-32] TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 개념도

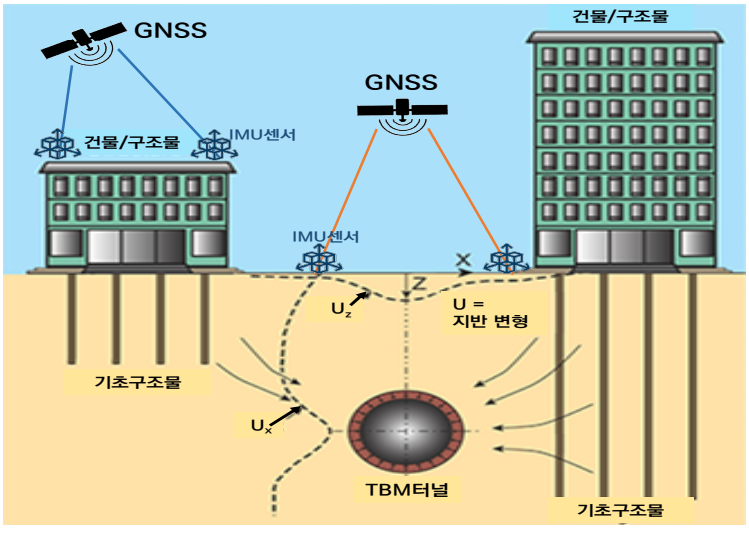


□ GNSS+IMU센서 융합기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

○ TBM 굴착에 의한 지반의 거동과 변형을 모니터링하기 위하여 GNSS(Global Navigation Satellite System)와 IMU(Inertial Measurement Unit) 융합 센서기술을 활용

- 측위 정보를 취득하고 가시화 기능이 포함된 플랫폼을 통하여 건설현장 안전을 확보하고 민원을 최소화 할 수 있는 시스템을 개발
- TBM터널 건설과정에 따라 발생하는 주변 지반의 거동을 모니터링하고 가시화 할 수 있는 기술

[그림 3-33] TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술 개념도



② 기술 범위

□ (구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술

○ 지반조건과 TBM 굴진 데이터를 연계된 지반침하량을 예측하는 머신러닝 최적 모델을 개발하고 지반침하와 현장 지반조건 등을 고려하는 굴착위험도 평가 시스템을 개발하는 연구

○ 스마트 기술을 활용한 실시간 굴착토량 측정기술, 지반침하 영향인자와 실측 침하량의 인공신경망 모델, 머신러닝 기계학습을 통한 침하량 예측 알고리즘 및 위험도평가 알고리즘, 실시간 지반침하 예측 및 굴착위험도 평가시스템을 개발

○ TBM 시공·안전 통합 시스템과 연동하는 기술 포함

□ (구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술

○ TBM터널에서 안전관리자의 신속한 위험요인 인지 및 작업환경 모니터링을 지원하기 위한 무선통신 기반 기술

○ 통신음영 지역이 존재하는 터널 내부의 작업자간 또는 지상 관리자와의 통신을 원활하게 하기 위한 무선통신 솔루션을 개발하는 기술, 터널 내 작업자 및 장비에 대한 신속한 위험요인 탐지 및 판단을 유도할 수 있는 터널용 스마트 안전관리 기기와 음성제어, 실시간 추적관리 기술 포함

□ (구성기술 2-3) GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

○ 지반조건과 TBM의 굴진에 따라 주변 지반의 거동을 실시간(50Hz)으로 모니터링하기 위한 대표적인 측위 기술인 RTK-GNSS에 IMU센서의 현장신호를 분석

○ 융합센서모듈을 개발하는 연구로서, 실시간 GNSS+IMU 융합 센서모듈의 시작품 개발과 테스트베드 실증을 통한 고도화 내용이 포함

○ 특히, TBM 굴착에 따른 지반의 실시간 거동 데이터 분석을 통한 이상 발생상황 감자예측 기술 및 이상거동 발생 시에 작업 중인 TBM 제어를 위한 연계기술 개발과 지반 거동 가시화 플랫폼을 포함

[표 3-26] 핵심기술 2의 구성

핵심기술	구성기술	관련 기술
(2) 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술	(2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술	지반침하 예측 알고리즘 계측결과 활용 기술 버력처리 분석 기술 위험도분석/굴착위험도평가기술
	(2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	통신음영 지역 무선통신 기술 터널용 스마트 안전관리 기기 AR/핸드프리/음성제어 등 TBM터널 내부 작업자/장비의 실시간 추적·관리 기술
	(2-3) GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 시스템	GNSS/IMU 현장 신호 분석 실시간 융합 센서 모듈 TBM 굴진에 따른 지반의 거동 데이터 수집 기술 이상치 감지 및 예측 기술

(나) 추진배경 및 필요성

① 추진배경

□ 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술

○ TBM 터널굴착 시 기계데이터와 지반데이터 등을 유기적으로 검토하지 못하고 TBM 장비운영자의 숙련도에 의존하게 되어, 시공 중 예상하지 못한 여러 가지 문제로 트러블이 발생하나 즉각적인 대응의 한계로 인하여 작업자의 안전과 지반침하 문제 및 심각한 시공리스크를 야기

- TBM 장비의 기계데이터는 약 700여개에 달하며 이 중 침하와 직접적인 연관성이 있을 것으로 예상되는 데이터는 배토량, 굴진속도, 챔버압, 토크, 추력 등 이지만, 이외에도 많은 기계데이터가 직·간접적으로 영향을 줄 수 있음
- 국내 TBM 장비운영자의 숙련도 수준의 편차가 매우 크고, 소수의 전문업체 장비운영자를 제외하면 대부분 경험이 미흡하고 숙련도가 낮은 수준
- 지반침하에 가장 큰 영향을 주는 배토량 측정은 거의 이루어지지 않고 있으며, 관련 기술의 수준이 낮아 지반침하 징후를 시간이 지나도 거의 파악하지 못하는 실정
- 최근 설계안전성 검토(DFS)를 통하여 TBM 시공 중 위험도분석을 수행하고는 있으나 아직 정착되지 못한 상태로서, 현장 지반조건, 실시간 지반침하 예측자료, 시공자료, 시공트러블, 작업자 현황을 종합적으로 고려하여 실시간으로 굴착위험도 평가하는 기술이 필요

□ TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술

○ TBM터널 건설현장에서 인력 관리/운영, 자재운반, 트러블관리, 안전관리 등과 관련하여 공사관리자, 안전관리자, 장비운영자 간의 실시간 통신과 신속한 작업 정보공유 등이 이루어져야 함

○ 상대적으로 연장이 긴 대부분의 TBM 현장에서는 무선통신 기술이 충분히 활용되지 못하여 장비운영자의 주관적인 경험과 판단에 의지하여 결정되고 있음

- TBM 장비의 운영, 현장투입 인력, 자재 투입 등이 공사 관리자와 장비 운영자의 주관적 판단에서 이루어지는 경우가 많고 데이터베이스화를 통한 관리가 어려워 작업 정보의 공유/활용 등에서 한계
- TBM 시공 중의 트러블이나 사고 발생 시에 지상과 신속한 연락/소통을 취하는 데 어려움이 있는 반면, 지상에서는 CCTV 등의 모니터링에만 의존하고 있는 상황으로서 구체적인 인력관리 데이터 수집이나 상황 전파가 어려운 실정

□ GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

○ 도시 인구 과밀화에 따른 교통불편 감소와 지하공간의 효율적 활용을 위해 TBM터널의 굴착공사가 많이 진행되고 있으나, 지하 굴착 공사에 따라 발생하는 지반침하, 시설물 변형/균열 등의 모니터링은 미흡하여 다양한 민원에 대응이 어려움

- 도심 시설물의 노후화, 고층화 등으로 인해 관련 민원은 더욱 심화될 것으로 예상되어, 향후 야기될 민원발생 대응 및 주변 시설물의 안전성 관리 측면에서 공사 현장 주변 시설물의 거동을 체계적으로 관리·분석할 필요가 있음

- 현재 시설물의 거동 모니터링을 위해서는 주로 고가의 고정밀 GNSS 센서를 이용하고 있어, 실제 필요한 시설물에 장기적으로 설치하기에 경제적으로 불리하고, 1초 이하의 짧은 시간에 발생하는 실시간 거동을 분석하는데 한계가 있음
- 현재 기술의 문제점을 극복하고 많은 시설물에 설치할 수 있고 단기간의 변위를 분석할 수 있는 센서와 수집 기술이 필요

② 추진 필요성

□ 현재 TBM 굴진 중 침하관리를 위해 일정한 간격의 지표 침하계와 특정구간의 지중 침하계를 수동방식으로 측정하고 있으나, 대부분의 터널굴착이 기존도로 하부에 이루어지는 경우가 많기 때문에 침하계의 관리가 어렵고 실효성이 매우 떨어짐

○ 침하량이 수동계측으로 확인될 정도로 커진 경우는 이미 지중에 공동이 발생하거나 터널에 영향을 줄 정도로 상황이 진척된 상황으로서, 보강 등의 후속처리에 상당한 어려움이 따름

○ 따라서 도로나 상·하수도관 배면 지반의 침하를 방지하기 위해서 지반조건과 연계한 TBM 장비의 운전조건에 따른 침하량을 예측할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요

□ 국내 TBM 장비운영자의 숙련도 수준에 있어서 편차가 매우 크고, 숙련도가 높은 장비운영자라 하더라도 수많은 기계 데이터를 분석하면서 조작하는 것이 불가능하여 본인의 경험과 판단에 의존하여 배토량 등 소수 데이터만 관리하는 실정

○ 침하량 예측 알고리즘을 이용하여 관리기준치 이내로 유지할 수 있는 배토량, 굴진속도, 챔버압, 토크 및 추력 등에 대한 안전 굴진관리 가이드라인을 제시함으로써, 장비운영자의 인위적 조작에 의한 과다침하를 사전에 방지하는 것이 중요

○ 국내 TBM 현장의 지반침하량의 체계적인 관리를 위해 시공조건에 따른 기계데이터 관리기준치를 제시함으로서, TBM 굴착 중에 실시간으로 관리기준치를 초과하는 침하량이 발생할 수 있는 조건이 되면 자동경보하는 시스템을 구축하는 것이 필요

□ TBM터널 작업자의 효율적 관리/안전, 실시간 위험성 평가 등을 위해서는 무선통신기술과 스마트기기를 활용한 인력추적, 장비운영 데이터의 실시간 공유, 안전사고/트러블 발생 시의 실시간 소통을 통한 즉각적인 대처가 필요

○ 무선통신 네트워크 망을 활용하여 인력을 관리하고 작업자는 스마트 안전기기를 착용하여 위치 추적과 위험인자를 인지하고 작업자가 정보를 송수신하는 등 적절한 안전관리가 중요

○ 무선통신 네트워크를 이용한 인력/자재/장비의 실시간 관리 및 모니터링을 통해 굴착공정의 효율성이 증대되고 위험도 평가를 통해 안전성 향상이 가능

□ TBM 굴진 시에 발생하는 지반의 거동 정보를 실시간으로 제공하여 TBM장비 제어에 활용할 수 있도록 하여, 지반 침하에 따른 피해를 최소화하고 향후 건설장비의 자율 운영화를 위한 기반을 마련

○ TBM터널 건설공사에서 민원에 의해 공사 중단 등의 상황이 발생하게 될 경우, 실시간 거동 모니터링을 통해 민원 대응자료 활용이 가능하며 문제에 대한 사전 대응을 통해 민원 발생을 최소화하여 공사를 원활하게 진행 가능

(다) 현황 및 개선방안

① 현황 및 문제점

□ TBM 시공 트러블에 의한 안전문제 발생

○ 시공중 여러 가지 문제(예상치 못한 지반상태 조우, 실드TBM 장비의 결함, 부적절한 장비의 선택 등)로 트러블이 발생하나 적절하고 즉각적인 대응의 한계로 인하여 안전 문제가 종종 발생

- 주요 트러블 요인으로는 크게 지질적 요인과 기계적 요인으로 나눌 수 있으며, 대부분(86% 이상*) 지질적 요인에 의하여 사고/트러블이 발생하는 것으로 보임

  * (사)일본전력건설업협회(2001)

- 쉴드 TBM 시공방식은 시공중 막장면 관찰과 및 접근의 한계로 인하여 사고/트러블의 발생 초기에 즉각적인 대처가 불가능하여 시공 프로세스와 시공 중 작업자의 안전에 심각한 리스크를 발생 가능

- 부분적인 지반함몰, 전반적인 주변 지반의 침하, 민원과 같은 주변 환경에 대한 문제의 발생 가능성이 상존

[표 3-27] 최근 발생된 TBM 시공중 사고 사례

공사명	OOO-OOO 공사 (2012)	OOO 공사 (2012 ~ 2013)	OO-OO 공사 (2016)	OO-OO 해저가스관 (2015 ~ 2016)
원인	파쇄대 및 대수층 존재 주요 부품 수압 고려 없음	토사배출이 어려웠으며, 1차 그라우팅이 늦어짐 주요 부품 수압 고려 없음 단층대 존재	대상지반 면판설계 無 석회암 공동구간 조우	고수압(9bar) 발생 주요부품의 설계수압 < 발생수압
사고 개요	지하수 과다 유출에 따른 지반 침하(공동) 발생	지하수 과다 유출 토사유입으로 막장 붕락 상부지반 침하	지하수위 저하로 인한 지반 침하로 주변 건물 균열	장비 내 지하수 유입 장비 부품 교체 → 6개월간 굴착 중지

□ TBM터널 현장에서 투입 인력, 운영, 자재 운반 등은 공사 관리자 또는 장비 운영자의 노하우에 의지하여 결정되고 있음. 특히, 투입되는 인력의 통제는 TBM 운영자에 전적으로 의지하고 있으며 지상과의 통신은 원활하지 못한 경우가 많음

○ TBM 장비의 운영은 숙련자에 의해 이뤄지며 현장에 투입되는 인력이나 장비 운영, 자재 투입 등은 공사 관리자와 장비 운영자의 주관적 판단에서 이루어지는 경우가 많고 데이터베이스화 되어 관리되기 어렵기 때문에 작업 정보의 공유, 활용 등에서 한계

- TBM 터널 건설의 특징 상, 장비 운영 중 사고가 발생할 경우 지정된 장소에서 지상과 연락을 취해야하는 어려움이 있으며 지상에서는 CCTV 등의 모니터링에 의존하고 있는 상황으로 구체적인 인력관리 데이터 수집이나 상황 전파가 어려운 실정

- 도로터널이나 철도터널 중 구간이 비교적 짧은 현장에서는 무선통신 기술을 활용한 작업 관리가 이루어지고 있는 실정

- 구간이 상대적으로 긴 TBM 현장의 경우, 추가 설치에 따른 경제적인 이유로 기존의 무선통신 기술을 활용하기 어렵기 때문에 반드시 필요한 정보교환 수준의 저렴한 네트워크 구성과 이를 통한 작업관리 기술이 요구

□ 첨단기술을 활용한 TBM 시공구간의 실시간 지반거동 모니터링 체계 구축 필요

○ 현재까지 TBM터널 굴진구간에 대한 주변 지반의 실시간 모니터링 체계가 제공되고 있지 않으며, 이로 인해 전체 공사구간에 대한 합리적인 정보 전달방법이 없는 관계로 민원이 발생한 이후에 사후 대응하는 상황에 머물러 있음

○ 고정밀 GNSS 센서가 대안이 될 수 있으나, 현재까지 가격이 비싸고 실시간 데이터 활용이 불가능하다는 기술적인 한계를 가지고 있음

② 개선방안

□ (구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술

○ 쉴드TBM 굴착에 의한 배토량을 정확히 파악하기 위한 스마트기술을 활용하는 측정기술 개발

○ 현장 지반조건, 현장 계측자료, 시공자료를 통합 분석하고 쉴드TBM 지반침하를 실시간 예측하는 AI 기반 알고리즘 개발

○ 실시간 지반침하 예측자료, 현장 지반조건, 시공자료, 시공 트러블, 작업자 현황을 종합적으로 고려하는 쉴드TBM 실시간 굴착위험도 평가 알고리즘 개발 및 위험 시나리오별 리스크 대응방안과 저감대책의 수립

○ 지반침하/굴착위험도 실시간 분석 알고리즘 탑재 평가시스템 및 위험도/대응방안 공유·전파 시스템 개발과 테스트베드를 통한 개발 시스템의 성능검증

□ (구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 개발

○ 통신음영 지역 해소를 위한 무선통신 네트워크 망을 활용하여 인력 및 장비, 굴착 공정을 실시간 관리하는 기술

- 무선통신 기술(WiFi, Bluetooth, LTE 등)을 활용하여 인력을 관리하고 작업자는 스마트 안전기기를 착용하여 위치 추적, 위험인자 인지, 작업자가 정보 송수신 등 적절한 안전관리 대책 수립
- TBM 터널 건설 현장에 적합한 내구성 및 활동성이 우수한 웨어러블 또는 휴대용 스마트 안전기기 개발
- TBM터널 내부 작업자/장비의 실시간 위치 추적 및 모니터링 시스템 개발
- 설계 굴착공정 대비 작업공정 비교 등 공사 공정관리와 연계된 관리기술 개발

□ (구성기술 2-3)GNSS+IMU 융합기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

○ 시설물 거동 모니터링을 위한 GNSS+IMU 센서 융합 기술 개발

- 시설물의 거동을 실시간(50Hz)으로 모니터링 하기 위해 대표적인 측위 기술인 RTK-GNSS에 IMU 센서를 융합한 시설물 거동 모니터링 기술 개발

○ 거동 모니터링 결과 분석을 통한 거동 이상 감지 및 TBM과의 연계기술 개발

- 실시간 시설물 거동 데이터 수집 기술 개발
- 실시간 시설물 거동 데이터 분석을 통한 이상 발생 상황 감지 및 예측 기술 개발
- 이상거동 발생 시에 작업 중인 TBM 제어를 위한 연계 기술 개발

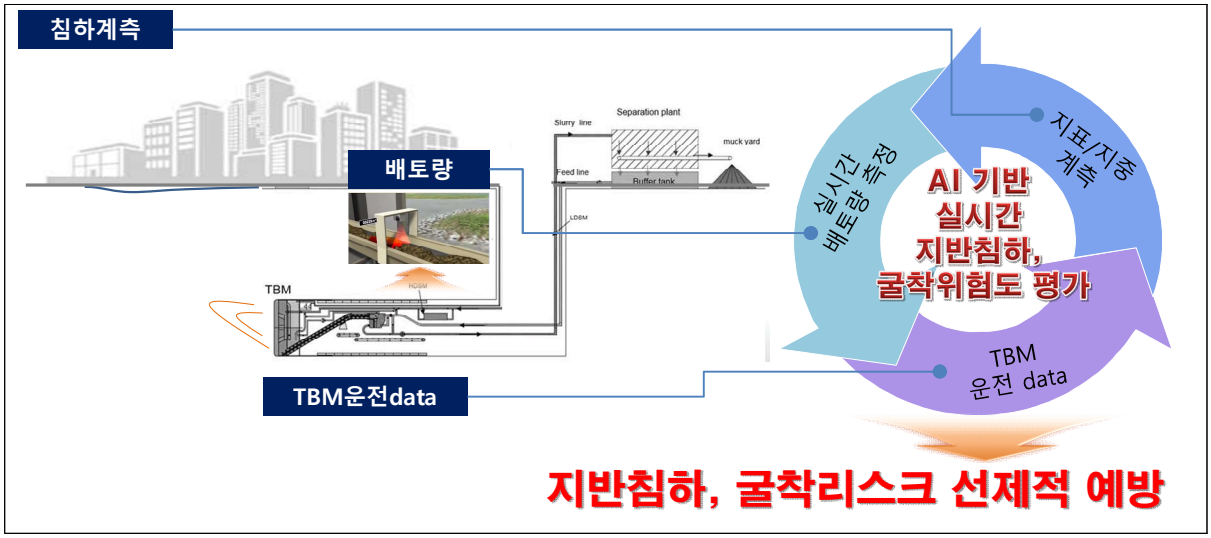
[표 3-28] TBM 지반침하 실시간 예측/굴착위험도 평가시스템의 구성기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ TBM 배토량 측정기술 부족으로 지반침하 징후 포착 불가 ○ 지반 계측, TBM 굴진, 배토량 측정센서 데이터 통합 분석에 의한 실시간 지반침하 예측기술 부재로 지반침하 빈발 ○ 계측정보 및 쉴드 TBM의 시공정보가 결합된 종합적인 굴착위험도 모니터링 및 평가/전파 시스템이 부재로 안전문제 발생	○ TBM 배토량 측정장비 국산화로 지반침하 사전 감지 ○ 지반 계측, TBM 굴진, 배토량 측정센서 데이터 통합 분석과 AI 기반 실시간 지반침하 예측 및 굴착위험도 평가 ○ 정확하고 신속한 위험 인지 및 게시로 지반침하와 굴착리스크 선제적 예방

[그림 3-34] TBM 시공중 지반침하 리스크 빈발 (As-is)



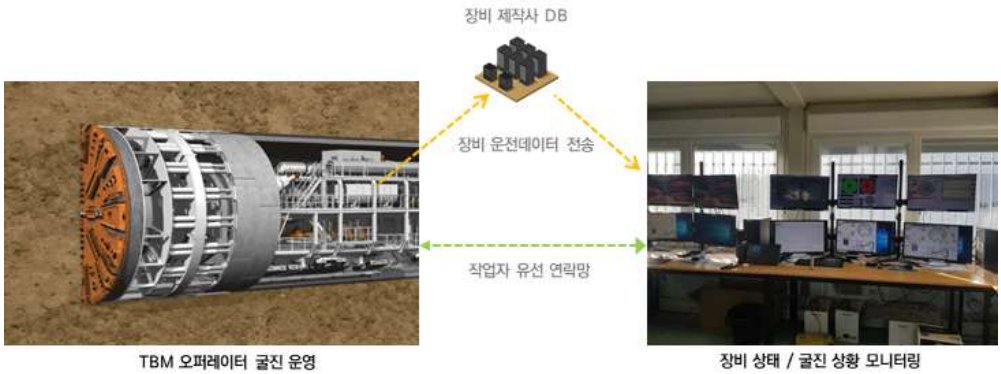
[그림 3-35] TBM 지반침하 예측/굴착위험도 평가 예시 (To-be)



[표 3-29] TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 구성기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 주로 CCTV와 장비 상태를 활용한 관리 화면으로 사각지대가 존재할 수 있으며 인력의 이동이나 자재의 이동 파악이 어렵고 공사가 진행됨에 따라 추가 설치 시 비용이 높게 발생 ○ 작업자와 관리자간 정보 송수신 한계로 안전사고나 위험인자 발생 시 즉각 대처가 어려움 ○ 작업자 및 장비 이동과 관련한 데이터베이스 확보 어려움	○ 무선통신 네트워크망을 이용한 인력 및 장비의 추적, 이동 이력 등 효율성 증대 ○ 스마트 안전기기를 활용한 안전사고 즉각 대처 및 지상과 정보 송수신 가능 ○ TBM 건설 정보 축적에 의한 미래 굴착 공정 효율성 증대 및 위험성 평가와 안전성 향상

[그림 3-36] 현행 TBM 모니터링 시스템(As-Is)



- CCTV와 장비 상태 모니터링을 통한 관리
- 작업자와 관리자간 정보 송수신 한계
- 인력 및 장비 이동, 공정 관리 관련한 데이터 확보 어려움

[그림 3-37] 실시간 TBM 터널 안전관리 기술(To-be)



- 무선통신 기술을 활용한 인력 및 장비 실시간 추적
- 스마트 안전기기를 활용한 작업자 안전사고 대처 및 현장 연락망 구성
- 인력 및 장비 이동, 공정관리 데이터 자체 확보 및 활용

[표 3-30] GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술(As-is To-be)

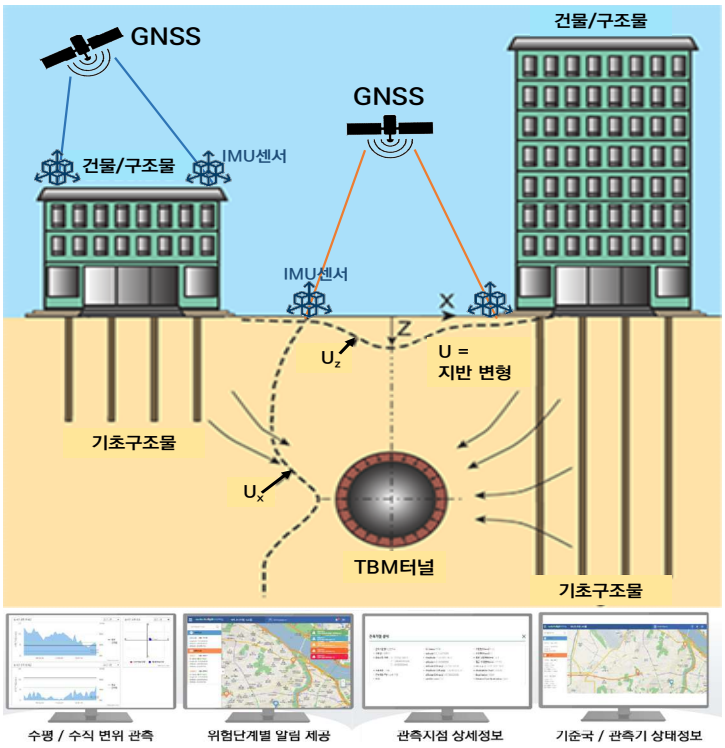
AS-IS	TO-BE
○ TBM 굴진 구간의 실시간 모니터링 제공 안됨 ○ 전제 공사 구간에 대한 합리적인 전달 방법 부재로 인하여 민원 발생 이후 대응 ○ 고정밀 GNSS 센서의 경우 가격이 비싸고 실시간 데이터 활용 불가능	○ GNSS와 IMU의 융합 센서기술을 통해 실시간 데이터 수집하도록 함 ○ 지반 거동을 가시화 하여 안전 현황과 민원에 대응할 수 있는 플랫폼을 제공

[그림 3-38] 지반 모니터링 시스템의 부재(As-is)



- 모니터링 시스템의 부재로 사고 발생 이후에야 지반의 위험상황을 알 수 있음

[그림 3-39] 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술 예시 (To-be)



- 융합 센서기술을 활용한 실시간 모니터링 기반 가시화 플랫폼으로 지반 거동 정보를 제공

(라) 기술개발 개요

① 기술개발 정의

□ (구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술

○ 스마트기술을 활용한 배토량 측정기술 개발

- 레이저 스캐닝에 의한 이토압식 쉴드TBM 배토량 측정센서 국산화 및 블루투스 기반 터널 내 대차(locomotive) 사이클 분석을 통한 배토상황 교차분석기술 개발

○ AI 기반 쉴드TBM 실시간 지반침하 예측 알고리즘 개발

- 지반조건, 시공자료(TBM 굴진량, 배토량, 백필특성)에 의한 지반침하 특성의 분석기술(이론적, 수치해석적) 개발
- AI(머신러닝 등)에 의한 현장 지반조건, 현장 계측자료, 시공자료(TBM 굴진, 배토량 측정센서 데이터, 세그먼트 뒷채움 평가자료) 통합 분석에 의한 지반침하 예측 알고리즘 개발

○ 쉴드TBM 실시간 굴착위험도 평가 알고리즘 개발

- 현장 지반조건, 실시간 지반침하 예측자료, 시공자료(굴진율, 장비/부품 실시간 모니터링, 현장 계측자료), 시공 트러블, 작업자 현황을 종합적으로 고려하는 AI 기반 실시간 굴착위험도 평가 알고리즘 개발
- 위험 시나리오 개발 및 위험 시나리오별 리스크 대응방안 및 저감대책 수립

○ 지반침하 실시간 예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발 및 실증

- 지반침하/굴착위험도 실시간 분석 알고리즘 탑재 평가시스템 및 위험도/대응방안 공유·전파 시스템 개발
- 테스트베드를 통한 개발시스템의 성능검증

□ (구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 개발

○ TBM 터널 작업공간에서 안전관리자의 신속한 위험요인 인지 및 작업환경 모니터링을 지원하기 위한 무선통신 기술을 적용한 안전관리 기술로서,

○ 통신음영 지역이 존재하는 터널 내부의 작업자간 또는 지상 관리자와의 통신을 원활하게 하기 위한 무선통신 솔루션을 개발하는 기술

○ 터널 내 작업자 및 장비에 대한 신속한 위험요인 탐지 및 판단을 유도할 수 있는 터널용 스마트 안전관리 기기와 음성제어, 실시간 추적 및 관리 기술

- 제안하는 기술의 특징은 1) 무선통신의 측위 기술을 이용한 작업 현장의 위험요인 인지, 2) 작업현장의 위험요인 발생 상황의 신속한 전파 및 모니터링, 3) TBM 터널 작업 공정 계획에 따른 실시간 현장 공정 진행 및 관리 모니터링
- TBM 터널의 통신음영 지역 해소와 공간 확장성을 고려한 무선통신 메쉬 네트워크(Mesh Network) 구성 기술 개발

* WiFi, Bluetooth, LTE 등 데이터 전달 목적 및 정보량에 적합한 무선통신 기술 활용

- TBM 작업자, 장비의 위험요인 모니터링에 따른 상황 전파 및 상호 통신을 위한 웨어러블 또는 휴대용 스마트 안전관리 기기 개발
- TBM 작업자 및 장비의 실시간 위치 추적과 이를 통한 TBM 작업 공정 모니터링 기술 개발
- TBM 실시간 통합 관리 시스템과 연계된 안전관리 기술 개발

□ (구성기술 2-3) GNSS+IMU 융합기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

○ 시설물 거동 모니터링을 위한 GNSS+IMU 센서 융합 기술 개발

- 시설물의 거동을 실시간(50Hz)으로 모니터링 하기 위해 대표적인 측위 기술인 RTK-GNSS에 IMU 센서를 융합한 시설물 거동 모니터링 기술 개발

○ 거동 모니터링 결과 분석을 통한 거동 이상 감지 및 TBM과의 연계기술 개발

- 실시간 시설물 거동 데이터 수집 기술 개발
- 실시간 시설물 거동 데이터 분석을 통한 이상 발생 상황 감지 및 예측 기술 개발
- 이상거동 발생 시에 작업 중인 TBM 제어를 위한 연계 기술 개발

② 기술개발 목표

□ (구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술

○ 스마트기술을 활용한 배토량 측정기술 개발

* 레이저스캐닝 방식의 배토량 측정 및 블루투스 기반 터널 내 대차(locomotive) 배토 사이클 분석

○ AI 기반 쉴드TBM 실시간 지반침하 예측 알고리즘 및 굴착위험도 평가 알고리즘 개발

* 머신러닝을 활용한 분석 알고리즘 개발

○ 지반침하 실시간 예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발 및 실증

* 실시간(5분 이내) 굴착위험도 평가 및 대응방안 제시

□ (구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 개발

○ TBM 터널 통신음영 지역 해소를 위한 무선통신 메쉬 네트워크 기술 개발

* TBM 터널 외부는 GPS 기술 활용하여 작업자 및 장비 추적

○ TBM 터널 작업공간/공정별 위험요인 인지 및 알람 송수신 기술 개발

○ TBM 작업자용 스마트 안전관리 기기 개발(작업자/장비 태그, 송수신 장치 등)

* 웨어러블 또는 휴대용, AR·핸즈프리·음성 제어 등 기술 활용

○ TBM 터널 내부 작업자 및 장비의 실시간 추적·관리 기술 개발

□ (구성기술 2-3) GNSS+IMU 융합기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

○ TBM 굴착시공으로 인한 지반 및 주변 시설물의 실시간 거동 모니터링 시스템 개발

* 지반/시설물 거동을 실시간(50Hz)로 모니터링하기 위한 첨단 측위기술 및 센서 활용

○ TBM 통합 관리 시스템 연계 기술 개발

(마) 국내외 기술개발 동향

① 해외 동향

□ (구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술

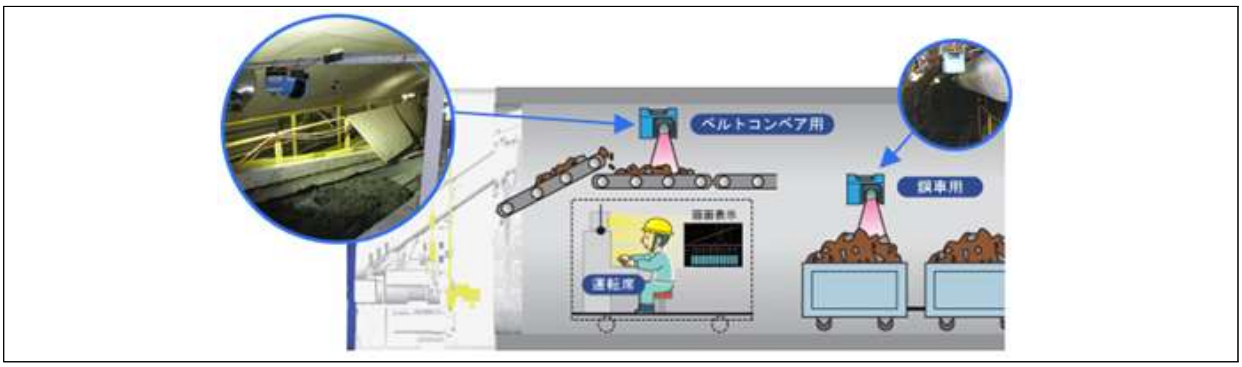
[표 3-31] 배토량 측정 및 인공지능/위험도관리 관련 구축기술 사례

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
비접촉 방식 굴착토 체적 측정	일본	Enzan Koubou	Soil volume measurement system	레이저 스캔에 의한 간접 굴착토 체적측정 시스템
TBM 터널분야의 인공지능 적용	중국	Hunan university	머신 러닝을 이용한 침하량 예측	다양한 머신 러닝 기법의 비교
관련 기관 및 프로젝트 단계별 리스크 관리지침 제시	미국	UCA(미국지하공간협회)	터널 및 지하 건설공사에서의 개선된 리스크 관리 지침	터널 및 지하 건설공사 전반

○ 굴착토의 용적 측량은 레이저와 CCD 카메라를 이용한 방식이 주로 도입되었으며, 주로 일본에서 1990년대부터 다수의 지적재산권 등록 건수가 있음

- 오바야시사는 레이저스캐너를 이용하여 컨베이어로 이송되는 흙과 모래 양을 측정하기 장치를 개발(벨트컨베이어의 반송 토사량 검출장치 및 그 검출방법, JP17220633)
- 가와사키철강에서는 CCD카메라를 이용한 2D 이미지로부터 반송체의 이송체적을 연속적으로 측정할 수 있는 특허를 출원하였음(컨베이어의 반송물량 측정장치, JP11014428)
- 일본의 Enzan Koubou는 이토압식 쉴드TBM의 굴착토 배출량을 측정하고 시공관리에 활용하기 위하여 레이저 측정방식의 Soil volume measurement system을 개발하여 상용화
- 굴착토량 측정자료는 단순 시공관리 수준으로 활용하고 있으며, 지반침하나 리스크와 연계하여 분석한 사례는 거의 없음

[그림 3-40] 이토압식 쉴드TBM의 레이저 스캐너식 굴착토 배출량 측정

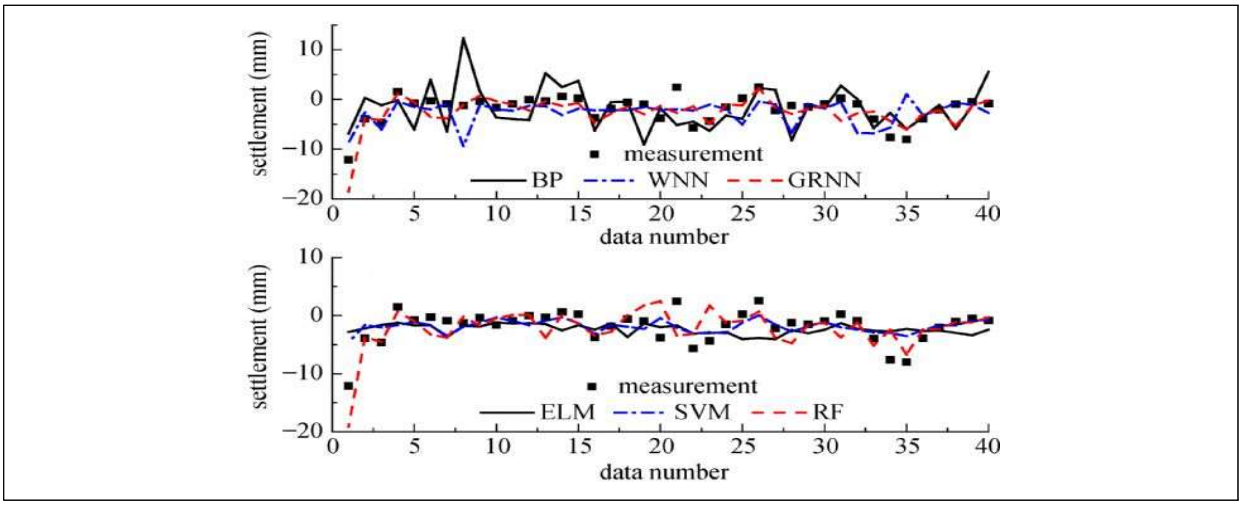


○ 주로 중국을 중심으로 다양한 머신러닝 기법을 적용하여 터널 굴진중 침하량을 예측하는 방법에 대한 연구가 시작되고 있음

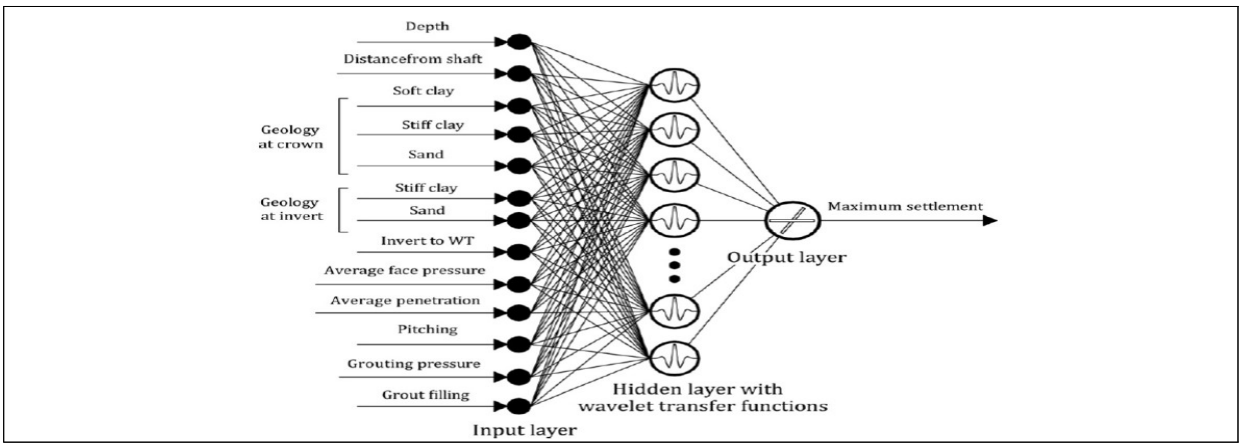
- Pourtaghi and Lotfollahi-Yaghin (2011)은 웨이블릿 이론과(wavelet theory) 인경신경망(Artificial Neural Network, ANN) 이론을 사용하여 지반침하를 추정하려는 시도
- Chen 등 (2019)은 여러 가지 머신러닝 기법을 활용하여 지반 침하량의 예측 정확도 비교 실험 수행하여 각각의 다른 입력변수들이 예측결과에 미치는 영향을 분석

* back propagation neural network, wavelet neural network, random forest 등 사용

[그림 3-41] Results of test set of different ML methods in predicting settlements(Chen et al., 2019)



[그림 3-42] A typical topology sample of wavelet neural network(Pourtaghi and Lotfollahi-Yaghin, 2011)

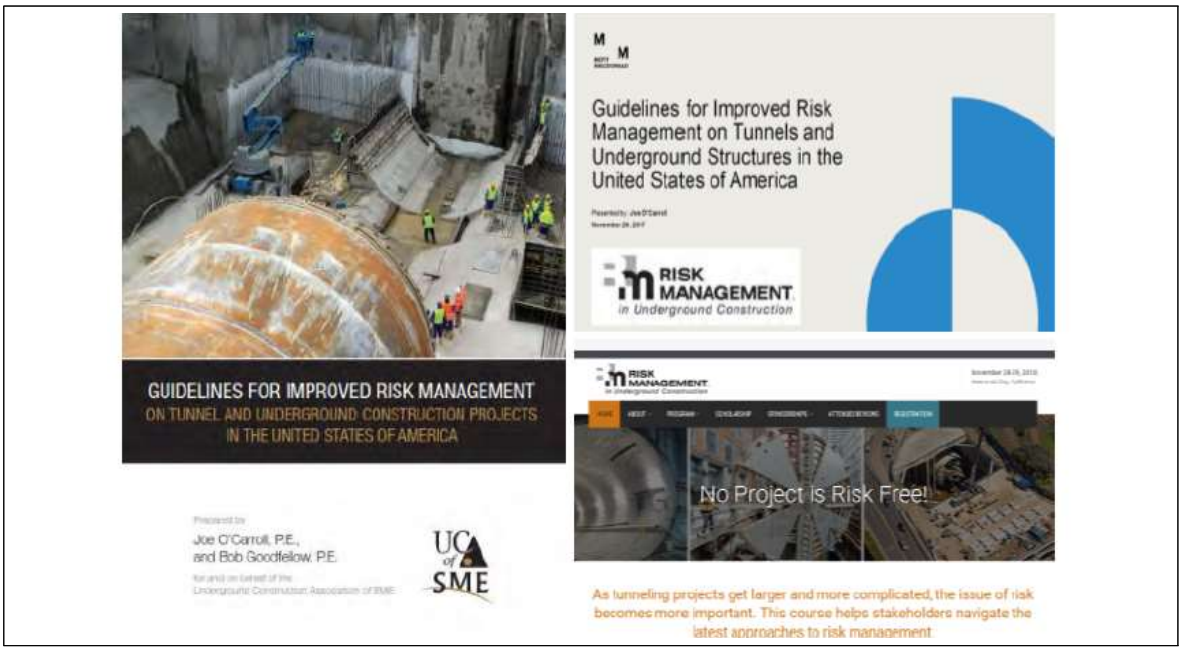


○ 미국 등에서는 터널공사에 대한 리스크관리 지침을 제정하고 있고, 터널의 지반붕괴나 침하사례 연구에서 단편적이고 지역적인 지반조건에 의한 위험요소가 제시되고 있으나 TBM 굴착지반의 침하와 굴착 리스크를 고려하는 통합 시스템에 대한 연구 수준은 낮음

- 지하터널공사에 대한 리스크 관리시스템은 BTS(영국터널학회)와 ABI(영국보험자협회)에 의해 체계화 된 상황
- 미국에서는 2012년 UCA(미국지하공간협회)를 중심으로 터널 및 지하 건설공사에서의 개선된 리스크 관리 지침이 제정되어 일반 터널 프로젝트에 적용하도록 하고 있음(김영근, 2019)
- Sousa and Einstein(2011)은 미국의 지하철 프로젝트에 베이시안 네트워크(Bayesian Networks)를 화용한 리스크 분석을 수행한 바 있으며, 지질예측 모델을 기반으로하여 리스크를 최소화하는 시공전략 결정 모델을(Construction strategy decision model) 제안

□ (구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 개발

[그림 3-43] Guidelines for Improved Risk Management on Tunnel and Underground Construction Projects(UCA, 2012)



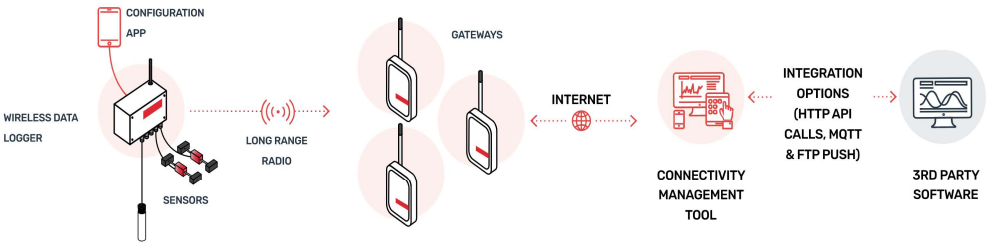
○ 지하공간은 지상에서 사용되는 통신(LTE, WiFi 등)의 사용이 제한되기 때문에 별도의 네트워크망을 구성하여 지상과 연결하고자 하는 노력은 계속되어왔으며 최근에 지하 건설공사에 적요되는 사례가 증가하고 있음

- 무선 통신 기술로 사용되는 방식은 WiFi, LTE, Bluetooth 등 다양한 통신 방식을 사용하여 결과적으로 지하공간에 모니터링을 위한 광역 네트워크 망을 구성
- 지하공간의 특성 상 새로운 무선 장치를 추가하거나 공간 확장에 따른 네트워크 확장이 용이한 기술을 중심으로 발전하고 있음
- 대표적인 적용 사례는 광산과 같이 지하공간이 복잡하게 구성되거나 연장이 상대적으로 긴 형태의 공간에 사용되고 있으며 장비의 이동이 중요하게 여겨지는 현장에서 적용사례가 늘어가는 추세
- WorldSensing社는 건축물, 철도, 터널 등에 무선통신을 이용한 모니터링 시스템을 적용하고 있으며 원격으로 인프라를 연격하고 무선 모니터링 하는 것을 목적으로 하고 있으나 인력과 장비 사이의 위험 요인 분석이나 장비의 상태 점검 등의 활용은 상대적으로 취약

[표 3-32] TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	스페인	Worldsensing	Loadsensing	지하 및 구조 모니터링 솔루션 원격 인프라 모니터링 시스템
	미국	Caterpillar	MINESTAR	광산 작업 인력 및 장비 안전 관리
	미국	GE	CAS	중장비 충돌 방지 시스템
	영국	MST	IMPACT Tracking System	지하 광산 통신, 자동화, 안전 관리 솔루션
	독일	INFSOFT	Tracking System	지상 또는 지하의 장비 및 인력의 위치 추적, 안전관리
	스위스	RealTrac	RealTrac UG	장비와 인력간 충돌 방지
	미국	IWT	SENTINEL	터널내 모니터링 및 통신 시스템 구축

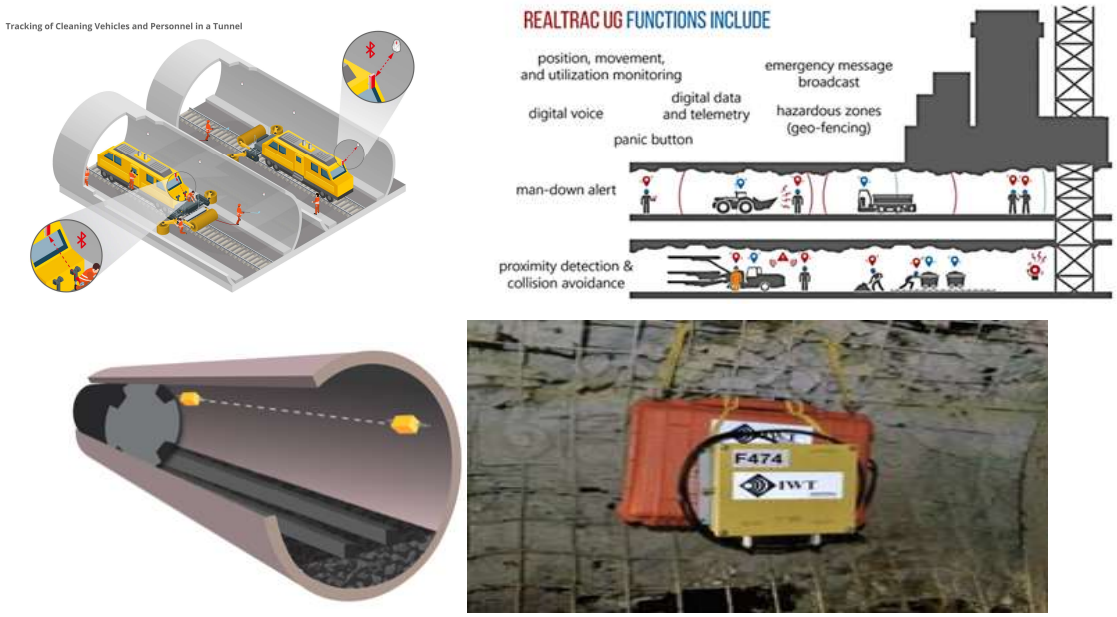
[그림 3-44] Worldsensing社의 모니터링 시스템



※ 출처: Worldsensing 홈페이지(www.worldsensing.com)

- 해외에서는 광산에서 무선통신 기술을 활용한 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술이 상대적으로 활발히 진행
- Caterpillar사는 광산에서 사용되는 장비와 인력을 관리하기 위하여 모니터링 시스템을 구축
- 실시간 사이클 타임, 화물 탑재량, 인력 및 장비의 이동과 개인간 통신, 근접 탐지 시스템을 적용하여 안전사고를 사전에 예방하는 기술을 적용
- 터널에 적용된 사례는 NATM 현장을 중심으로 적용되는 것으로 판단되며 실시간 위치 정보, 자산의 추적, 위험지역 확보, 유해 가스 모니터링 등 작업자나 장비의 위치 판단 등을 통해 빠른 구조 작업을 수행하는 것을 목적
- 특히 터널의 경우는 좁은 지역에서 인력과 장비의 이동이 이루어지기 때문에 상호간 충돌 방지를 위한 시스템을 갖추는데 중점을 두고 적용한 것으로 판단(INSOFT, RealTrac, IWT 등)

[그림 3-45] 모니터링 시스템의 터널 적용 사례



※ 출처: INFSOFT(www.infsoft.com), ReakTrac(real-trac.com), IWT의 SENTINEL(www.iwtwireless.com)

- 해외에 적용된 무선통신 기반 모니터링 시스템과 안전관리 기술은 대부분 광산이나 NATM 터널에서 인력이나 장비의 위치추적, 관리, 충돌 방지, 환경 모니터링 등에 적용

- TBM에 적용된 기술은 기존에 지하에 적용된 기술 중 충돌방지 등 부분적인 도입이 시도된 적이 있으나 장비의 운영, 인력의 이동 및 공정 모니터링 등 TBM 터널에 적용된 연구는 제한적

□ (구성기술 2-3) GNSS+IMU 융합기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

○ 외국에서는 GNSS 기반의 다양한 모니터링 기술을 지진 및 지반 거동 분야에 활용 중에 있으나 실시간으로 TBM 굴진 구간을 모니터링 한 사례는 없음

- 일본의 히타치조선 주식회사는 구조물 자체나 기초 등의 이동 변위를 자체 개발 한 저렴한 정밀 GPS 수신기를 이용한 측정, 감시하는 시스템을 개발하였고, 측정 지점에 GPS 수신기 안테나 및 통신 장비만을 설치하는 것만으로 측정 가능
- 고정 점은 불필요하고, 전자 기준점을 고정 점으로 한 보정 정보를 사용하여 분석
- 빌딩이나 철탑, 교량, 댐 등의 대형 인공 구조물의 유지·감시 건설중인 도로와 노선, 터널 등의 시공시 모니터링, 산사태 등의 재해 등의 지반 변위 및 구조물의 변위를 실시간으로 측정·감시하는 시스템 및 서비스를 제공
- 미국, 일본의 지진해일 방재대책은 개념정립 단계를 지나 기술의 안정화 단계에 도달함. 미국 재난관리청(FEMA)에서 재해경감 사업, 재해예방·대응 및 시설물 복구 등의 전반적인 재해관리를 효율적으로 수행하기 위해 지진 위험도 추정기법(HAZUS)를 개발
- 미국 1992년 캘리포니아 카사디아에서 발생한 지진해일 피해 이후 지진해일의 관측과 예보의 필요성을 인식하게 되면서 국가 지진해일 재해경감 프로그램(NTHMP: National Tsunami Hazard Mitigation Program) 수립(1995년)
- 미국 태평양 해양환경 연구소(PMEL, Pacific Marine Environmental Laboratory)에서 대상 지역과 지진해일의 크기를 선택하여 지진해일을 발생시킬 수 있는 MOST(Method of Splitting Tsunami) 프로그램 개발
- 미국 해양대기청(NOAA)에서 과거 지진해일로 큰 피해를 입었던 인도양지역과 넓은 지진대를 포함하는 태평양의 주요 지역에 대해지형자료 및 지진발생 데이터를 구축
- 미국 지질조사국(USGS)을 주축으로 산사태 재해 프로그램과 국가 산사태 피해저감 프로그램(NLHMS)을 수행하여 자연사면과 절취사면 안정성 확보를 위한 연구를 진행
- 일본 2007년부터 지진 및 지진해일에 의한 재해를 대비하기 위한 공동대응시스템을 구축하고자 지진 및 지진해일 위험도 평가 및 피해예측을 위한 대응시스템(TIPEEZ, Tsunami and Post Earthquake considerations in the External Zone)을 구축하여 활용 중
- 교토대 방재연구소(DPRI), 일본지질조사소(GSJ)는 UNESCO와 공동으로 IGCP-425 프로그램 수행 및 국제 산사태 콘소시움(ILC) 주도
- 캐나다 지질조사소(GSC)에서 지질재해 및 지질환경 프로그램(Geological Hazards and Environmental Geoscience Program)을 구축하여 재해발생 원인이 되는 지질 및 지형적 특징, 재해에 민감한 지질물질의 거동에 대한 특성 파악 수행
- 호주지질조사소(AGSO)를 주관으로 도시지역 자연재난 취약성 평가 과제를 수행하여 도시 주변 산사태 위험도 평가연구 및 호주 전역 산사태 DB 구축연구 수행

- 유럽 EU의 연구개발은 공동투자로서 유럽중기예보센터(ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)를 운영하여 중장기 예보서비스의 생산과 그 기술의 공동개발을 수행

② 국내 동향

□ (구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술

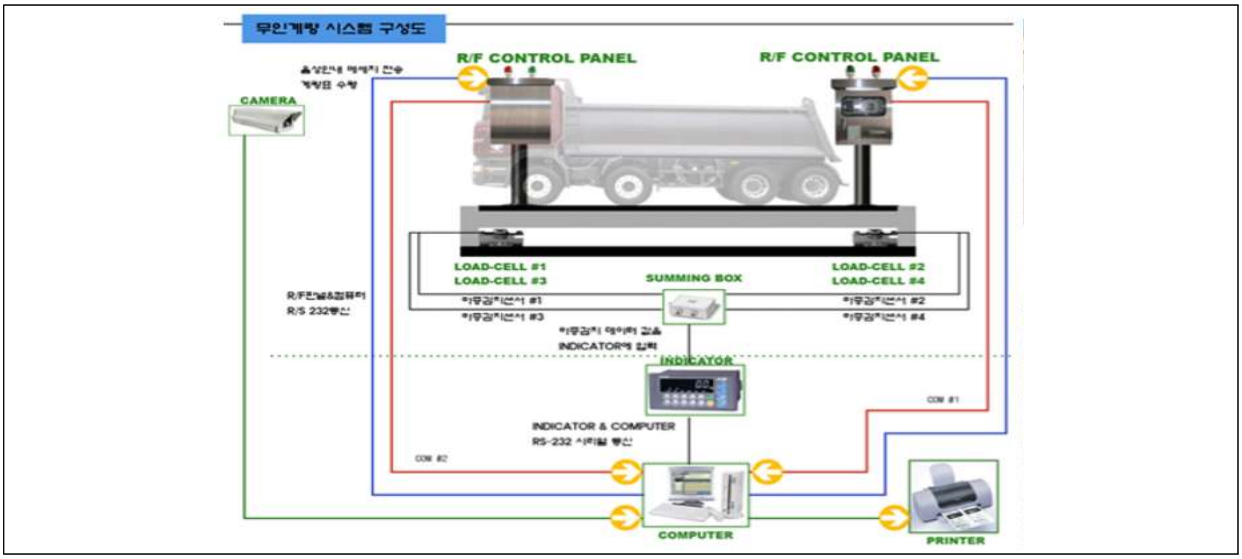
[표 3-33] TBM 위험도관리 시스템 관련 국내 구축기술 사례

개발방향	기업명	제품명	특징
-	00 기업	덤프 반출토 중량 측정	굴착토 반출시 덤프의 반출토 무게 측정 (사고대책 일환)
터널 침하 연구에 뉴럴 네트워크 적용	한양대학교	Neural Network based prediction of ground surface settlements due to tunneling	NATM 터널 대상, 사용된 데이터 수가 제한적이라 방법론적 제시에 머무름
기존 사고사례를 바탕으로 분석	한국도로공사	터널 리스크 관리 프로그램	NATM 터널 대상

○ 국내의 경우 쉴드TBM 현장에서 굴착토의 발생 현황을 고려하여 시공관리를 하거나 안전성 검토를 한 사례가 거의 없었으며, 따라서 관련 센서의 개발도 거의 진행되지 않음

- 00 기업의 경우 이미 TBM 운용중 사고가 발생한 상태에서 추가적인 사고를 방지하고자 굴착토의 부피를 덤프무게와 같이 측정한 바 있으나 덤프에 의한 굴착토 반출시 무게를 측정하여 다시 부피로 환산하는 방법으로 기술수준이 낮고 실시간 굴착토 부피 측정과는 거리가 있음
- 또한 지반침하나 위험도와 연계하여 분석한 사례는 거의 없음

[그림 3-46] 계근대에 의한 굴착토 중량측정 예

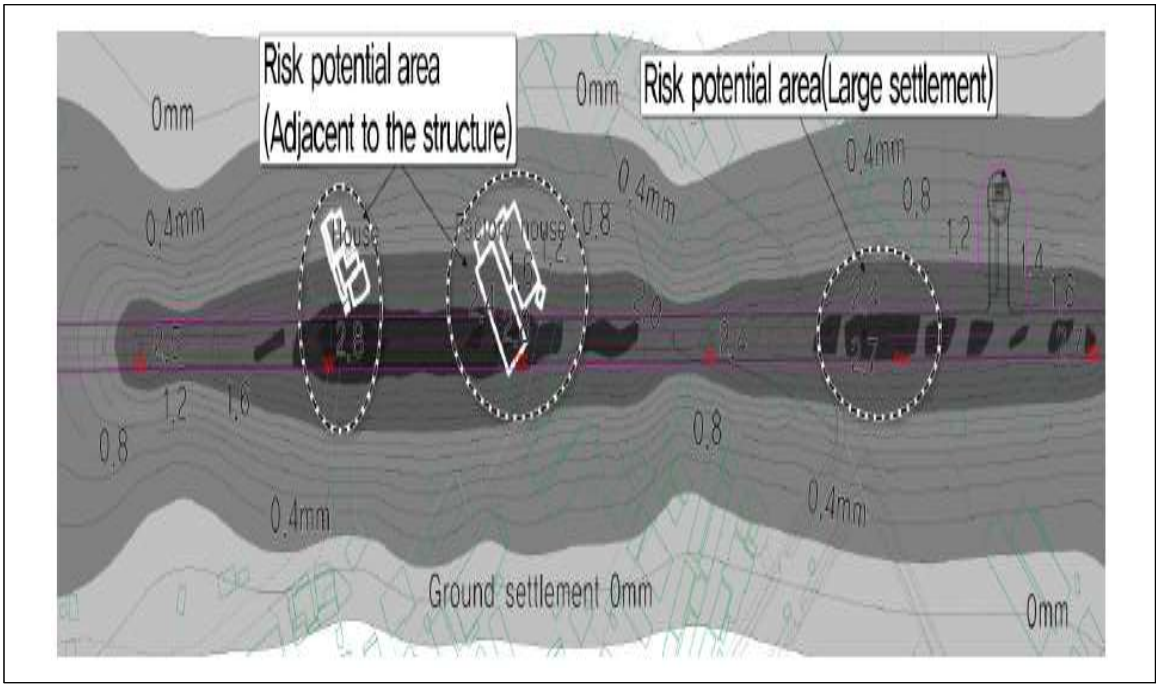


○ 최근 쉴드TBM 굴착에 의한 지반침하에 대한 조사결과 분석, 매개변수 해석 등 다양한 학술적 연구가 진행되었으나 국외에 비하여 연구 저변이 취약

- 서울시는 최근 지반침하를 유발하는 지하 공동을 기존의 5배 속도로 빠르게 탐색하는 AI 기반 공동 자동분석 프로그램을 개발하였으며, GPR(지하레이더)의 측정 결과를 AI기반으로 분석
- 박치면 등(2018)은 지층조건, 지반특성, 토피고(터널심도) 및 터널 중심선으로부터 횡방향 이격거리를 고려한 매개변수해석을 수행하여 침하량 평가도표를 도출하고, 침하발생 경향 및 구조물 현황을 고려한 위험구간 선정이 가능
- Kim et al.,(2001)은 인공신경망(Back Propagation)을 이용한 터널굴진중 지표 침하량 예측을 통하여 NATM 에서의 역전파 알고리즘으로 지표 침하를 예측하는 연구를 진행

* NATM 터널을 대상으로 하며, 데이터가 130여개로 제한적이라 대표성 있는 알고리즘으로 사용하기에는 미흡

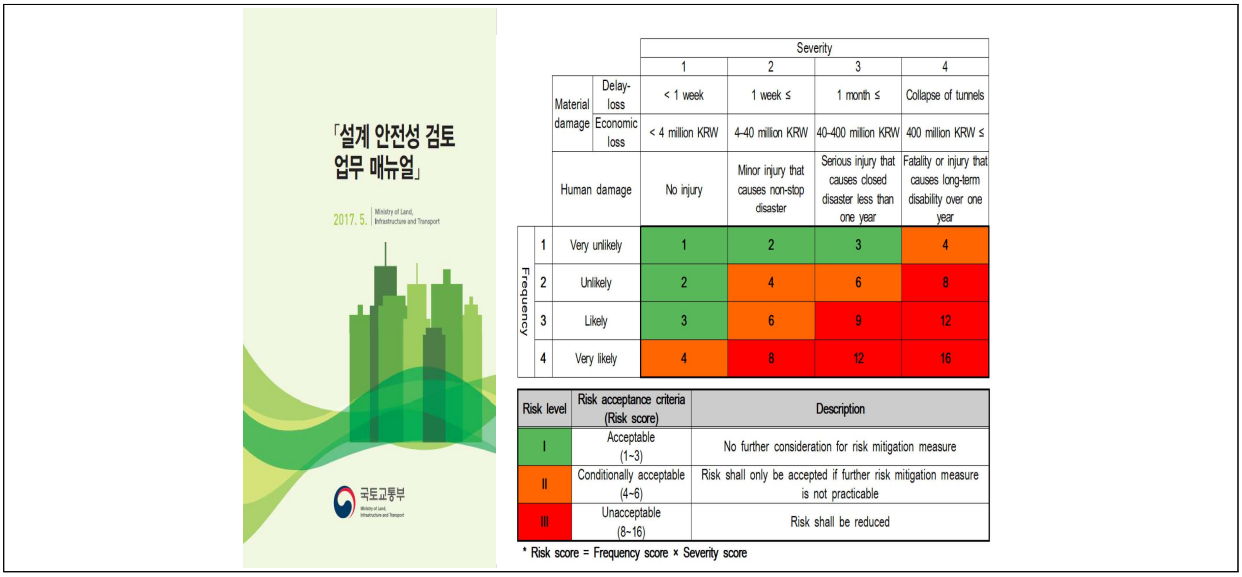
[그림 3-47] Ground settlement evaluation by simplified settlement evaluation chart (박치면 등, '18)



○ 쉴드TBM의 굴착위험도 관련 연구는 국내에서 오히려 활발하나 지반침하 등을 연계하여 종합적으로 굴착리스크를 분석하고 관리하는 시스템은 개발된 바 없음

- 국토교통부는 지반침하를 사전에 예방하고 사고발생 시 체계적이고 신속하게 대응하기 위하여 지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼(2015)을 제시
- 2018년 시행된 지하안전관리특별법을 통해 굴착공사 및 터널공사 시 지하안전영향평가를 수행
- 「건설기술 진흥법 시행령」 제75조의 2(설계의 안전성 검토)에 따라 설계 안전성 검토(Design for Safety, DFS) 매뉴얼(2017)을 배포하여 설계에 반영하고록 하고 있음
- 쉴드TBM의 굴착위험도 관련 연구는 GIS-ANN 기법(유충식 등, 2006), 사건수 기법(홍은수 등, 2009), AHP 기법(박정준 등, 2016) 등 다양한 기법으로 진행
- 현장 지반조건, 실시간 지반침하 예측자료, 시공자료, 시공 트러블, 작업자 현황까지 종합적으로 고려하는 기법이나 시스템은 개발되지 않았음
- '17 한국도로공사는 터널 시공 중 안전관리를 위한 리스크 관리 체계 구축 연구를 통하여 터널 사고 사례 (183개소, 200건)을 수집하고 원인, 붕괴영향 분석 및 대책공법 선정 절차 및 방안을 제시하였으나 주로 NATM 터널을 대상으로하며 쉴드TBM 현장과는 거리가 있음

[그림 3-48] 설계안전성 검토 매뉴얼(국토교통부, 2017) 및 Risk matrix and risk acceptance criteria for risk evaluation(정희영 등, 2020)



			Severity			
			1	2	3	4
Material damage	Delay-loss		< 1 week	1 week ≤	1 month ≤	Collapse of tunnels
	Economic loss		< 4 million KRW	4-40 million KRW	40-400 million KRW	400 million KRW ≤
Human damage			No injury	Minor injury that causes non-stop disaster	Serious injury that causes closed disaster less than one year	Fatality or injury that causes long-term disability over one year
Frequency	1	Very unlikely	1	2	3	4
	2	Unlikely	2	4	6	8
	3	Likely	3	6	9	12
	4	Very likely	4	8	12	16

Risk level	Risk acceptance criteria (Risk score)	Description
I	Acceptable (1~3)	No further consideration for risk mitigation measure
II	Conditionally acceptable (4~6)	Risk shall only be accepted if further risk mitigation measure is not practicable
III	Unacceptable (8~16)	Risk shall be reduced

* Risk score = Frequency score × Severity score

□ (구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 개발

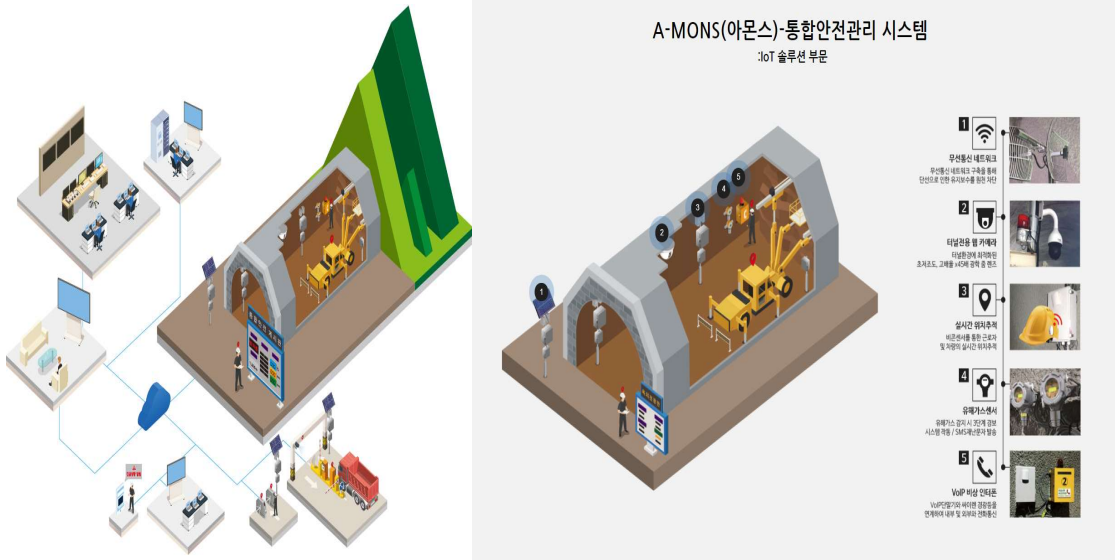
[표 3-34] TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 시스템	유인프라웨이	MWATCHER	현장 모니터링 IoT 솔루션
	㈜엘파코리아	무선통신보조설비	소방용 통신 시스템
	㈜오픈웍스	A-MONS	터널, 교량, 특수구조물 안전관리 통합 시스템
	㈜지에스아이엘	SMS	스마트 안전장비, 모니터링, 안전관리 시스템

○ 광산 분야에서 무선통신 기술을 활용한 인력 및 장비 관리에 관한 기술 수준이 높으며 터널에서는 주로 모니터링과 안전관리 분야에 적용 사례가 많음

- 터널 분야에서는 주로 CCTV와 연계된 모니터링 기술이 주로 사용되고 있으며 건설현장의 안전사고 예방, 안전점검 등을 적용

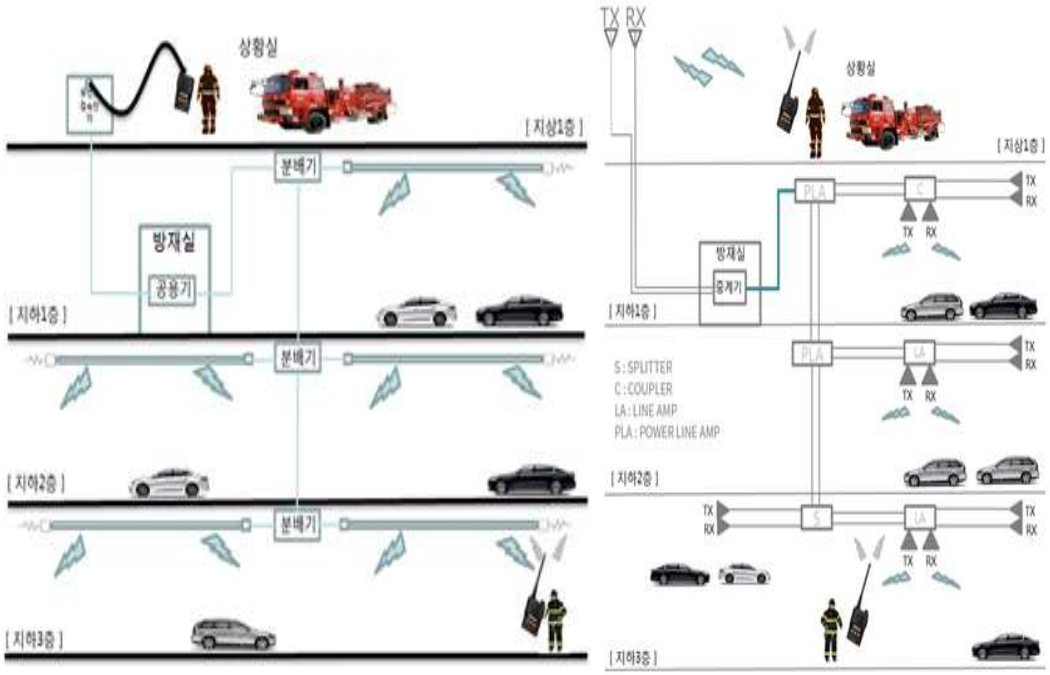
[그림 3-49] 지하공사에서 무선통신 기술을 사용한 사례 ((주)오픈웍스 홈페이지)



※ 출처: ㈜오픈웍스 홈페이지

○ 엘파코리아사는 터널 등 음영지역에서 화재발생 시 신속한 대처를 위한 전용 무선 통신 구축한 사례가 있으며 소방원들과 상황실 사이의 교신에 필요한 솔루션을 제공하고 있으나 상시 인력이나 장비의 이동과는 적용 목적이 다름

[그림 3-50] 엘파코리아社의 화재발생시 무선통신 구축사례 ((주)엘파코리아 홈페이지)



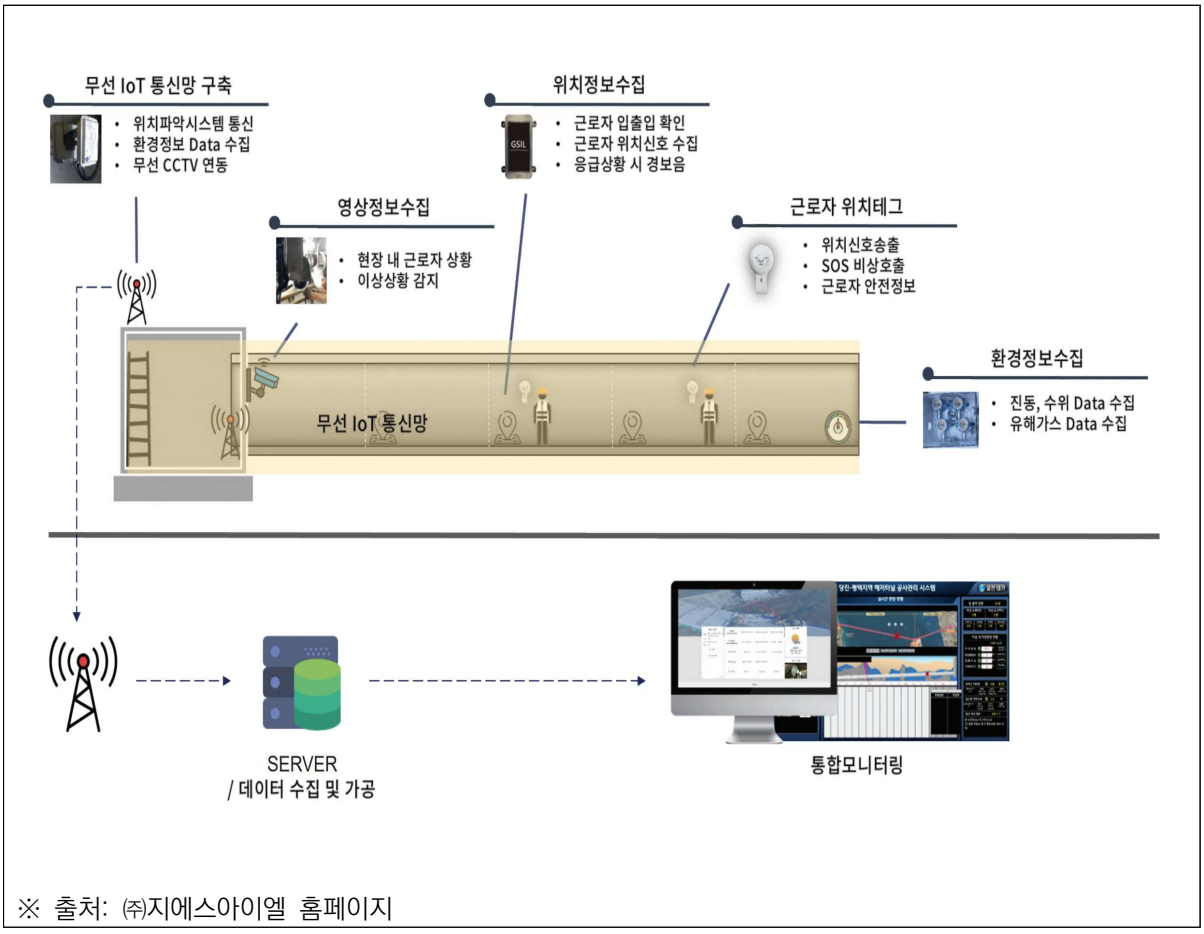
※ 출처: ㈜엘파코리아 홈페이지

○ 오픈웍스사의 아만스는 한국도로공사의 도로터널에 적용되고 있으며 유해가스 센서, 유무선 네트워크, 비콘 센서 등을 이용하여 차량 및 작업자의 실시간 위치추적, 모니터링 등 안전관리에 필요한 통합 안전관리 솔루션을 제공

○ TBM 장비의 작동, 작업자재의 이동, 인력 및 공정 등의 관리와 같은 TBM의 특징을 반영하기 위해서는 별도의 연구가 필요한 상태

○ 지에스아이엘사의 통합 모니터링 시스템의 경우, CCTV를 포함한 구체적인 무선통신 네트워크 망을 구성하여 인력에 대한 모니터링 하는 시스템을 갖추고 있으나 국내 타 기업들과 마찬가지로 안전사고 방지를 위한 모니터링에 집중된 시스템으로 TBM에 적용 사례는 없음

[그림 3-51] 지에스아이엘社의 통합 모니터링 시스템 ((주)지에스아이엘 홈페이지)



※ 출처: ㈜지에스아이엘 홈페이지

○ 국내에 적용된 무선통신 기반 모니터링 및 안전관리 기술은 안전관리 측면에 초점을 두고 개발된 시스템으로 재난 대응, 안전사고, 화재 등 사고 발생 시 신속하게 대응하기 위한 시스템을 주로 구축

○ 상대적으로 구간이 긴 형태인 TBM 터널에서는 경제성이 떨어질 것으로 예상되고 공정관리, 장비 운영과 연계된 시스템은 새롭게 개발되어야 하는 실정

□ (구성기술 2-3) GNSS+IMU 융합기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

○ GNSS를 활용한 구조물의 거동 모니터링 기술의 활용은 활발하나, 지반침하 등을 연계하여 종합적으로 TBM 굴착에 따른 거동을 가시화하고 관리하는 시스템은 개발된 바 없음

- 레이저 스캐닝 좌표정보로부터 회기분석 기법을 이용한 구조물의 변위 계측 및 토목 구조물 계측을 위한 영상기반 변위 측정 시스템이 있음. 국내에서 위성(GNSS)을 이용한 변위계측 사례는 학술논문 등의 이론적 근거를 기반으로 하며, HW 개발 사례는 찾아보기 어려움
- 국내의 경우 재난관리 및 대응 등을 목적으로 요소기술 성격의 연구는 수행된 바 있으나, 중앙정부 주도하에 중장기적인 연구프로그램의 개발은 미흡한 상황
- 한국지질자원연구원은 1996년부터 현재까지 산사태 발생에 대한 정량적 예측과 예측지도 작성, 사태 물질의 확산 범위 예측을 통한 산사태 피해위험도 산정 기술 등을 개발·활용하는 연구를 수행
- 국립방재연구소는 기술적 측면의 연구보다는 국가적 정책 수립을 위한 연구에 초점을 맞추어 수행하고 있으며, 산림과학원의 경우 산림 보존 차원에서의 산사태 조사 및 예측조사를 수행
- 산림청은 산사태 발생 취약지를 집중관리하고, 기상예보에 따른 주의보·경보 등 산사태 사전 예보제 실시를 목적으로 '산사태 위험지 관리시스템' 웹페이지를 구축·운영

(바) 해외 및 국내 기술 수준 비교

□ 스마트기술을 활용한 배토량 측정기술

○ 해외에서는 이토압식의 경우 벨트컨베이어에서 레이저로 굴착토의 부피를 측정하거나 중량을 측정하는 방식이 상용화되어 이용 중

○ 국내의 경우 배토량 측정의 당위성에 대하여 인식을 하고 있으나 아직 현장에 관련 장비가 도입된 것은 아니며, 일부 현장 계근기를 통한 덤프중량 측정 사례가 있는 정도

[표 3-35] 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	레이저 방식, 중량측정 방식 등이 개발	현장 계근기를 통한 덤프 중량 측정 등이 수행 된 바 있음	스마트기술 활용에 의한 기술수준 향상
TRL 단계	9	4	8
기술성숙도	사업화 단계	기술개념 검증 단계	시험평가 및 신뢰성 검증단계
주요성능	비교적 높은 기술 수준으로 상용화 수준	비교적 낮은 기술수준	최고기술 보유국 대비 대등한 기술수준

□ AI 기반 실시간 지반침하 예측 알고리즘

○ 중국과 일부 유럽국가에서 빅데이터 기반 머신러닝으로 침하량 예측을 시도 중이나 국내의 경우 아직 활발한 연구가 이루어지지 않고 있음

○ 시계열 기계 Data 취득은 다소 용이한 것으로 보이나 시공단계와 연결되는 실시간 침하 자료의 수집이 절대적으로 부족하고 계측 자료의 신뢰성 확보가 선결되어야 함

[표 3-36] 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	다양한 머신러닝 기법을 적용하여 지반침하 예측	머신러닝에 의한 지반침하 연구가 시작	머신러닝 기법을 통한 정확한 지반침하 예측
TRL 단계	7	4	8
기술성숙도	시제품 데모 단계	기술개념 검증 단계	시험평가 및 신뢰성 검증단계
주요성능	침하량 예측 오차 높음	침하량 예측 불가 (수치해석으로 대체중)	침하량 예측 오차 낮음

□ 실시간 굴착위험도 예측 및 평가시스템

○ 국외의 경우 대부분의 건설현장에서 위험도 분석이 수행되나 매우 일반적인 수준으로 주로 프로젝트 관리에 치중하는 경향이 있음

○ 국내는 지하안전법의 영향으로 위험도분석이 의무화되어 수행되고 있으나 주로 설계 단계에서 서류상의 검토가 주가 되며 현장 지반조건, 실시간 지반침하 예측자료, 시공자료, 시공 트러블, 작업자 현황까지 종합적으로 고려하는 시스템은 적용하고 있지 않음

[표 3-37] 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	위험도분석이 일반적으로 수준으로 수행	설계안전검토 의무화 따른 위험도 분석이 수행	AI를 활용한 모든 자료를 높은 수준으로 종합 분석
TRL 단계	4	4	8
기술성숙도	연구실환경의 기술검증	연구실환경의 기술검증	시험평가 및 신뢰성 검증단계
주요성능	워크쉬트 방식과 같은 수동 방식	워크쉬트 방식과 같은 수동 방식	위험을 분석하고 전파하는 자동화된 분석 시스템의 구축

□ TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술

○ 해외의 경우 시스템 구성을 완료하여 터널 공정관리, 안전관리 등 적용이 이루어지고 있으며 TBM 터널에도 부분적으로 적용이 되고 있는 상태이나 국내의 경우, 완공된 지하구조물, 광산 일부 등 TBM 터널 현장에 도입 단계까지 이르지는 못함

○ 특히, 국내의 경우 IoT, 무선통신 등 기술적인 기초 기술은 확보하고 있으며 TBM 현장 특성을 고려한 시스템을 구성하지 못하고 있으며 주로 모니터링 측면에서 도입되어 활용

○ 해외 및 국내에서 모두 상대적으로 짧은 일정 구간에 대해서 모니터링이 수행되고 있으며 굴착 공사 중 장비의 운영이나 공정과 연계된 모니터링 시스템은 적용하고 있지 않음

○ 특히 장비의 운영과 공정이 주요하게 다뤄지는 TBM 터널에서는 이러한 실시간 안전관리 기술을 새롭게 제작해야하는 실정이며 TBM 굴착이 진행됨에 따라 신규로 설치해야 하는 추가 네트워크 하드웨어는 경제성 확보가 필수적으로 요구

[표 3-38] 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	시스템을 완성하고 TBM 터널 적용이 이루어진 단계	유사한 상황에서 기본적인 성능 시험이 완료된 상태	TBM 현장 적용
TRL 단계	9	5	8
기술성숙도	제품화	시제품 성능평가	현장 적용
주요성능	높은 인식률과 신속한 위험인자 분석	모니터링 위주의 현장 관리 수준	TBM 실시간 통합 관리 시스템과 연계된 무선통신 시스템 구성

□ GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

○ 국내와 해외 모두 GNSS를 활용한 구조물 모니터링 사례는 많지만 TBM 굴착공사 구간에서 활용된 사례는 없음

○ 이는 GNSS 기반의 모니터링 시스템이 매우 고가이기 때문에 연속적인 구간에 다량의 센서를 설치할 수 없기 때문에 따라서 융합센서 기술을 활용하여 경제성 및 효율성을 확보하는 것이 중요

[표 3-39] 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	각 요소기술들이 활용되고 있으나 TBM 현장 환경에 맞는 시스템은 마련되지 않음	각 요소기술들이 확보된 상태	TBM 현장 적용
TRL 단계	4	4	8
기술성숙도	기술개념 검증단계	기술개념 검증단계	현장 적용
주요성능	-	-	TBM 굴착 공사 구간의 지반 거동 가시화

(사) 세부개발 내용

<table>
<tr><th colspan="2">(구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술</th></tr>
<tr><td>연구
방향</td><td>
<table>
<tr><th>한계점</th><th>기술개발방향</th></tr>
<tr><td>■ 굴착토가 배출되어 컨베이어벨트 또는 수직구에 도달한 이후에 정확한 굴착량의 추정이 가능하여 실시간 측정 한계가있으며, 중량 측정의 경우 부피환산을 하여야 하므로 정밀도가 상대적으로 떨어짐</td><td>■ 1분 이내(굴진거리 15mm = 관입깊이 5mm/회, 3rpm) 측정이 가능한 레이저방식의 굴착토 부피 측정장치</td></tr>
<tr><td>■ 신뢰성 높은 충분한 자료 취득이 어려우며, 개발된 알고리즘의 침하량 예측 정확도가 부족함</td><td>■ 현장 지반조건, 시공자료, 계측자료 등을 모두 고려하며 다양한 머신러닝 기법을 활용한 통합 분석 알고리즘 개발로 정확성 향상</td></tr>
<tr><td>■ 굴착위험도 분석은 지반침하 예측/측정자료 등 여러 자료를 포함하여야 하므로 분석에 시간이 소요되어 문제시 즉각적인 대처가 어려움</td><td>■ 지반침하 예측자료, 현장 지반조건, 시공자료, 시공 트러블, 작업자 현황을 종합적으로 고려하며 실시간(5분 이내) 굴착위험도 평가 알고리즘 및 대응방안 제시가 가능한 시스템 구축</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>연구
필요성</td><td>
○ 지반침하를 정확하게 예측하려면 굴진량 대비 배토량이 적절한가에 대한 검토가 우선되어야 하나 관련기술이 개발되지 않아 이에 관한 기술을 개발하는 것이 필요
- 국내에서는 여러 시공트러블 및 지반침하 사고의 결과로 굴착토 배토량 측정 필요성에 대한 인식이 확산되는 단계이나 국내 관련 기술이 미약하여 일본기술(Enzan)의 도입을 검토하는 사례가 있는 실정
- 굴착토의 부피를 측정하여야 지반침하에 활용할 수 있으나 중량측정 방식의 경우 지;반 특성별로 다른 토량환산계수를 적용하여야 하므로 정확성이 떨어지므로 직접적인 부피측정 방식인 레이저 방식의 축정장치 개발이 필요
○ 지반침하를 예측하는 알고리즘 개발에는 다양하고 충분한 자료와 신뢰성 있는 분석기법의 적용이 필요하며, 머신러닝 등에 의한 방법을 사용하여 개인적인 오차를 줄여 정확도를 높이고 신속한 분석으로 급박한 현장상황에 대처할 필요가 있음
- 기존 쉴드TBM 현장의 운전 자료 및 지반침하 계측자료 등의 자료를 DB화하여 충분한 학습을 수행하여야 하며, 성능검증시 쉴드TBM 현장에서 TBM 초기굴진(100m)에서 지반조건, 시공자료(TBM 굴진량, 배토량, 백필특성) 자료 취득하여 현장조건에 대한 학습을 추가하여 현장특성을 반영하는 것이 필요
- 다양한 머신러닝 기법을(RNN, LSTM, GAN, Random forest) 적용하고 실측자료와 비교 분석하여 정확성이 높은 모델을 선정하고 적용하는 것이 필요
○ 정확한 굴착위험도 분석은 지반침하 예측/측정자료 등 여러 자료를 포함하여야 하며, 많은 자료를 실시간 분석하여 즉각적인 조치를 취할 수 있도록 하는 시스템을 구축할 필요가 있음
- 리스크 분석이 의무화되어 수행되고 있으나 주로 설계중 서류상의 검토가 주가 되므로 현장 지반조건, 실시간 지반침하 예측자료, 시공자료, 시공 트러블, 작업자 현황까지 종합적으로 고려하는 굴착위험도 분석 알고리즘 개발 필요
- 머신러닝 등에 의한 방법으로 정확하고 신속한 분석 알고리즘 개발이 필요
- 지반침하 예측 알고리즘과 자료와 굴착위험도 평가 알고리즘을 바탕으로 실시간(5분 이내)으로 분석하고 대응방안의 제시와 전파가 가능한 시스템 개발 필요
</td></tr>
</table>

(구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술	
연구 내용	○ 스마트기술을 활용한 배토량 측정기술 개발 - 레이저 스캐닝에 의한 이토압식 쉴드TBM 배토량 측정센서 국산화 - 블루투스 기반 터널 내 대차(locomotive) 배토 사이클 분석을 통한 배토량 교차분석기술 개발 ○ AI 기반 쉴드TBM 실시간 지반침하 예측 알고리즘 개발 - 지반조건, 시공자료(TBM 굴진량, 배토량, 백필특성)에 의한 지반침하 특성의 분석기술(이론적, 수치해석적) 개발 및 실제 지반침하 연계 검증 - 현장 지반조건, 현장 계측자료, 시공자료(TBM 굴진, 배토량 측정센서 데이터, 세그먼트 뒷채움 평가자료) 통합 분석에 의한 지반침하 예측 알고리즘 개발 - 침하량 예측 알고리즘은 RNN, LSTM, GAN, Support Vector Machine 등을 사용 ○ 쉴드TBM 실시간 굴착위험도 평가 알고리즘 개발 - 현장 지반조건, 실시간 지반침하 예측자료, 시공자료(굴진율, 장비/부품 실시간 모니터링, 현장 계측자료), 시공 트러블, 작업자 현황을 종합적으로 고려하는 실시간 굴착위험도 평가 알고리즘 및 위험 시나리오 개발 - 머신러닝 기법을 활용한 실시간 굴착위험도 평가 알고리즘 개발 - 위험 시나리오별 리스크 대응방안 및 저감대책 수립 ○ 지반침하 실시간 예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발 및 실증 - 굴착토량 측정 시스템/TBM 운전자료/장비 및 부품 자료/뒷채움 평가자료/작업자 안전자료 - 침하량/위험도 평가 시스템 연동화 및 TBM 시공·안전 통합 시스템과 체계 연동 - 지반침하/굴착위험도 실시간 분석 알고리즘 탑재 평가시스템 개발 - 프로젝트 초기 굴진구간에 시험 적용하여 본굴진을 위한 운전조건 가이드라인 및 관리 침하량을 초과할 것으로 예상되는 운전상황을 경보기능 추가 - 지반침하/굴착위험도를 실시간으로 분석하고 위험도/대응방안 공유·전파기능 추가 - 현장 테스트베드를 통한 개발 시스템의 성능검증

(구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술

연구 내용

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2023	▪ **(연구목표)** - 배토량 측정 시스템 개발 스펙/성능 결정 - 지반침하/굴착위험도 관련 현장 자료 조사 ▪ **(연구내용)** - 국내 굴착토 배토용 컨베이어 운용상황/스펙 조사 및 측정시간, 설치 규격, 메인 시스템 통신 방법 결정 - TBM 머신러닝 활용기법 연구, TBM 시계열 데이터 및 계측자료 DB 구축 - 지반조건, 실시간 지반침하 예측자료, 시공자료, 시공 트러블, 작업자 현황 DB 구축	▪ 이동식 쉴드TBM 배토량 측정장치 사양서 ▪ 굴착에 의한 지반침하, 굴착위험도, TBM 시공 자료 DB
2024	▪ **(연구목표)** - 레이저 방식 배토량 측정장치 시작품 개발 - 머신러닝 모델개발 및 침하 예측 비교 실험 - 굴착위험도 평가 알고리즘 개발 ▪ **(연구내용)** - 레이저 방식 배토량 측정장치 설계 및 제작 - 기계 Data 학습을 통해 예측 알고리즘 개발 및 모델별 결과 비교 실험 - 굴착위험도 분석 알고리즘/위험 시나리오 개발	▪ 레이저 방식 배토량 측정장치 시작품 (1분 이내 측정) ▪ AI 기반 침하량 예측 알고리즘 ▪ AI 기반 굴착위험도 분석 알고리즘 (4분 이내 분석)
2025	▪ **(연구목표)** - 대차 배토량 분석 센서 시작품 개발 - 지반침하량/굴착위험도 평가 프로그램 시작품 개발 ▪ **(연구내용)** - 블루투스 기반 대차 배토량 분석 센서 개발 및 레이저 방식 센서성능 교차검증 - 머신러닝 모델 구성 및 침하량 예측 프로그램 개발 - 위험도 평가 프로그램 및 대응방안 개발	▪ 블루투스 기반 대차 배토량 분석 센서 시작품 ▪ 침하량 산정 프로그램 시작품 ▪ 위험도 평가 프로그램 시작품
2026	▪ **(연구목표)** - 침하량 산정 및 위험도 평가 프로그램 탑재 시스템 개발 ▪ **(연구내용)** - 굴착토량 측정 시스템/TBM 운전자료/장비 및 부품/뒷채움 평가자료 - 침하량/위험도 평가 시스템 연동화 및 체계 통합 - 상황/대응방안 전파를 위한 모바일 앱 개발	▪ 침하량/위험도 평가 시스템(5분 이내 평가 및 상황 전파)
2027	▪ **(연구목표)** - 성능검증(Test Bed) 및 시스템 최적화 ▪ **(연구내용)** - 배토량 측정 및 침하량/위험도 평가 성능검증 - TBM 시공·안전 통합시스템 체계 연동	▪ TBM 시공·안전 통합시스템 내 위험도 평가시스템 모듈
최종 성과물	▪ **레이저방식 컨베이어 배토량 측정장치, 블루투스 방식 대차 배토량 측정장치** ▪ **AI 기반 침하량 예측 프로그램 및 위험도 평가 프로그램/시스템**	

(구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술

연구 목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
레이저 방식 3D 라인 스캐너 측정횟수[1]	-	20~100 회/초	100 회/초
침하량 예측 정확도[2] -MAE(mean absolute error)	-	1.70mm	1.50mm 이하
침하량 예측 재현율 -결정계수(R^2)	-	0.55	0.75 이상
Safety Integrity Level[3]	-	-	1/10000 ≤ SIL 〈 1/1000

1) 국내는 장비가 없으므로 (-)로 표시, 일본 Enzan 사 레이저 굴착토 체적 측정장치의 스캐닝 주기는 20~100Hz 임

2) 현재 최고기술 수준(해외)은 Prediction of shield tunneling-induced ground settlement using machine learning techniques(Renpeng CHEN 등, Front, Struct, Civ. Eng, 2019, 13(6):1363-1378) 참고.

3) 터널위험도 분석에 대한 국내외 스펙이 없으므로 (-)로 표시하고 전자 안전 관리 시스템의 기능 안전에 대한 국제표준인 IEC 61508 기준에서 제시하는 안전 무결성 수준(SIL: Safety Integrity Level, 고장율)을 평가지표로 활용, 시스템의 오작동/불량을 SIL 로 정의하고 SIL 3 수준을 목표 설정

최종 성과물

○ 굴착 배토량 측정장치
- 벨트컨베이어 탑재 레이저 스캐닝 방식 굴착토량 측정장치
- 블루투스 기반 대차 사이클 측정을 통한 굴착토량 측정장치
- 레이저 방식 굴착토량 측정장치와 대차 사이틀 측정결과를 활용한 실시간 배토량 측정 S/W

○ AI 기반 쉴드TBM 실시간 지반침하 예측 S/W
○ AI 기반 쉴드TBM 실시간 굴착위험도 평가 S/W
○ 실시간 위험상황/대응방안 전파 모바일 앱
○ 쉴드TBM 실시간 굴착위험도 평가 시스템(TBM 시공·안전 통합시스템의 모듈)

(구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 개발

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ 모니터링 위주의 시스템 구성으로 인한 공정 및 통합관리 효율 저하	■ TBM 굴진 공정, 인력 이동, 자재 운반 등 통합 관리 시스템과 연계
■ 지속적인 공간 변화에 따른 무선통신 시스템 구성 제한	■ 구간에 따라 저렴하고 설치가 용이한 중계와 데이터 전송용 구간 별도 운영
■ TBM 장비 작동, 공정 반영 등 TBM 터널 특징 반영 제한	■ 통합 관리 시스템과 연계하여 TBM 장비 작동 구간, 인력 이동 공정, 자재 운반 등의 공정을 관리하여 전체 공정 효율성 향상

연구 필요성

○ 국내 TBM 터널 건설 효율성 향상을 위해서는 국외 TBM 장비 제작사에 의해 정보의 접근이 제한되는 실정에서 국내 환경에 적합한 데이터 수집과 관리 등의 방안이 필요

- 국외 TBM 장비 제작사에 의해 TBM 장비 운영 정보 접근의 제한으로 정보의 가공이나 활용이 어려운 상황이며 숙련된 장비 운영자에 의지하는 굴착 공정에 대한 데이터 확보로 미래 TBM 터널 건설 공사의 효율성 증대 필요
- 자재의 투입, 인력의 이동 등이 수기로 이루어지고 지상 관리자에 의해 통제되기 어렵기 때문에 무선통신 기술 등을 활용하여 신속하고 정확한 운영 여건 마련이 필요한 실정

○ 모니터링된 정보를 기반으로 TBM터널의 시공/안전/유지관리 문제에 대한 최적의 판단과 즉각적인 제어관리를 위해 IoT, 데이터 분석, AI, 클라우드와 같은 4차 산업혁명 핵심기술을 활용하여 TBM 터널 시공의 작업효율과 안전향상 도모 필요

- 국내 환경에 적합한 TBM 터널 건설 데이터베이스 확보를 통해 기술의 효율성 향상을 기대할 수 있으므로 수집 정보의 활용 방안에 대한 연구가 병행되어야 함
- 실시간 모니터링과 안전관리, 장비나 인력의 이동 등에 대한 개발이 활발하게 이루어지고 있는 반면 현장 굴착 공정 분석, 투입 현황 비교, 세부 공정 단위 계획 등이 관리자와 운전자에 의해 주관적으로 이루어지고 있는 문제점 발생

(구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 개발

연구내용

○ TBM 터널 작업자 및 장비용 스마트 안전기기 개발
- TBM 터널 작업자 및 장비에 부착할 수 있는 태그형 스마트 안전기기 개발
- 실시간 위치 추적이 가능하며 위험 환경요소(가스, 화재 등) 모니터링이 가능한 하드웨어
- 개발 안전기기 제품화를 위한 신뢰성 확보(반응속도, 정밀도 등)
- 효과적인 안전관리 기술 구축을 위한 무선통신 네트워크 망(mesh)과 관리 시스템 개발

○ TBM 터널 실시간 안전관리 기술
- 작업자 및 장비용 스마트 안전기기를 활용한 안전관리 기술 개발
- 충돌방지, 위험구간 인지, 자재 및 인력 이동 이력 등 굴착공정과 연계된 시공관리 시스템
- TBM 통합 안전관리 기술과 연계할 수 있는 시스템 모듈 개발
- 지상 관리자와 장비 운영 인력간, 투입 인력간의 송수신 기법(음성, 알람, 문자 등) 개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2023	▪ **(연구목표)** - TBM 터널 무선통신 네트워크망 설계 ▪ **(연구내용)** - 스펙 및 요구사항 정의 - 작업자와 자재용 스마트 안전기기 설계	▪ TBM 터널 무선통신 요구사항 정의서 ▪ 작업자 및 자재용 안전기기 설계도
2024	▪ **(연구목표)** - TBM 터널용 무선통신 중계기 구성 ▪ **(연구내용)** - TBM 안전관리 하드웨어 개발 - 위치추적 및 위험인지 알고리즘 개발 - 작업자 및 자재용 스마트 안전기기 시제품 제작	▪ 무선통신 네트워크 설계도 ▪ 스마트 안전기기 시제품
2025	▪ **(연구목표)** - TBM 터널 무선통신 성능평가 ▪ **(연구내용)** - 무선통신 네트워크 시제품 제작 - 통합 안전관리 기술 연계 요구사항 정의	▪ 성능평가 결과 보고서 ▪ 무선통신 네트워크 시제품 ▪ 안전관리 소프트웨어
2026	▪ **(연구목표)** - TBM 터널 안전관리 기술 적용 ▪ **(연구내용)** - 안전관리 기술 및 장비 현장 테스트 - 통합 안전관리 기술 연계 모듈 개발	▪ 현장 테스트 결과 보고서 ▪ 통합 안전관리 기술 연계 모듈
2027	▪ **(연구목표)** - TBM 터널 안전관리 기술 시운전 ▪ **(연구내용)** - 실시간 안전관리 기술 시운전 - TBM 시공/안전 통합 시스템 탑재 및 통합 운영 - TBM 건설 데이터베이스 설계	▪ 실시간 안전관리 기술 운전 보고서 ▪ 안전관리 DB
최종 성과물	■ **무선통신 활용 TBM 터널 작업자 및 장비 실시간 안전관리 기술**	

<table>
<tr><th colspan="2">(구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 개발</th></tr>
<tr><td>연구목표</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">성능지표</th><th colspan="2">현재 최고 기술수준</th><th rowspan="2">개발 목표 스펙</th></tr>
<tr><th>국내</th><th>해외</th></tr>
<tr><td>작업자 위치 확인 정밀도[1)]</td><td>최대 10m</td><td>최대 2m</td><td>최대 5m</td></tr>
<tr><td>TBM 터널 안전관리 기술 관리 항목 개수[2)]</td><td>-</td><td>-</td><td>5</td></tr>
</table>
1) 지하 광산 적용 사례를 통해 최대 2m 위치 정밀도(독일 광산), 국내 사용 중인 무선통신 측위 기술의 최대 오차는 10m이므로 소프트웨어적인 접근을 통해 최대 5m로 개선
2) TBM 터널 현장에 적용된 사례는 없으며 작업자 위치, 환경 모니터링, 작업 공정 모니터링, 위험 알람 등 항목 관리의 개수
</td></tr>
<tr><td>최종
성과물</td><td>
○ 무선통신 활용 TBM 터널 작업자 및 장비 실시간 안전관리 기술
- 무선통신 기반 작업자 및 장비 위치 파악
- 환경 정보 수집, 위험구간 작업자 알람
- TBM 터널 공정 관리
○ TBM 터널 작업자 및 장비용 스마트 안전기기
- 위치 추적 및 환경정보 수집용 작업자 부착형 스마트 안전기기(태그형)
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">(구성기술 2-3) GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술</th></tr>
<tr><td>연구
방향</td><td>
<table>
<tr><th>한계점</th><th>기술개발방향</th></tr>
<tr><td>■ 고정밀 GNSS는 경제적으로 불리하고 실시간 거동을 분석할 수 없음</td><td>■ GNSS와 IMU의 융합 센서기술을 통해 실시간 데이터 수집하도록 함</td></tr>
<tr><td>■ TBM 굴진에 따른 지반 거동에 대한 정보가 부족함</td><td rowspan="2">■ 지반 거동을 가시화 하여 안전 현황과 민원에 대응할 수 있는 플랫폼을 제공</td></tr>
<tr><td>■ 전체 공사 구간에 대한 합리적인 정보 전달 방법의 부재</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>연구
필요성</td><td>○ 도시 인구 과밀화에 따른 교통 불편 감소 및 지하공간의 효율적 활용을 위해 TBM 터널의 굴착 공사가 많이 진행되고 있으나 지하 굴착 공사에 따라 발생하는 지반 침하, 시설물 흔들림, 균열 등의 모니터링은 미흡하여 다양한 민원에 대응이 어려움
- 도심 시설물의 노후화 및 고층화 등으로 인해 더욱 심화될 것으로 예상되어, 향후 야기될 민원 발생 대응 및 주변 시설물의 안전성 관리 측면에서 공사 현장 주변 시설물의 거동을 체계적으로 관리 및 분석할 필요가 있음
- 현재 시설물의 거동 모니터링을 위해서는 주로 고가의 고정밀 GNSS 센서를 이용하고 있어, 실제 필요한 시설물에 장기적으로 설치하기에 경제적으로 불리하고, 1초 이하의 짧은 시간에 발생하는 실시간 거동을 분석하기에 한계가 있음
- 현재 기술의 문제점을 극복하고 많은 시설물에 설치할 수 있고 단기간의 변위를 분석할 수 있는 센서와 수집 기술이 필요
○ TBM 굴진시에 발생하는 지반의 거동을 실시간으로 제공하여 장비 제어 활용할 수 있도록 하여 지반 침하에 따른 피해를 최소화 하고, 향후 건설 장비의 자율 운영화를 위한 기반을 마련해야함
- 실제 건설 공사에서 민원에 의해 공사 중단 등의 상황이 발생하는데 실시간 거동 모니터링을 통한 민원 발생 시 대응 자료 활용 및 문제에 대한 사전 대응을 통해 민원 발생을 최소화하여 공사를 원활하게 진행할 수 있음</td></tr>
</table>

(구성기술 2-3) GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

연구 내용

○ 지반거동 모니터링을 위한 GNSS+IMU 융합 기술
- 지반조건과 TBM의 굴진에 따라 주변 지반의 거동을 실시간(50Hz)으로 모니터링 하기 위한 기술
- 대표적인 측위 기술인 RTK- GNSS와 IMU 센서의 현장신호를 분석
- 융합 센서 모듈 개발
- 실시간 GNSS+IMU 융합 센서모듈의 시작품 개발과 테스트베드 실증을 통한 고도화

○ TBM 터널 실시간 안전관리 기술
- 지반의 거동 데이터를 실시간으로 수집하는 기술 개발
- 실시간 시설물 거동 데이터 분석을 통한 이상 발생 상황 감지 및 예측 기술
- 이상 발생시 작업 중인 TBM 제어를 위한 연계 기술 개발
- 지반의 거동을 가시화하여 나타낼 수 있는 플랫폼

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2023	▪ **(연구목표)** - 측위 센서의 현장신호 특징 도출 ▪ **(연구내용)** - GNSS의 현장신호 수집 및 분석 - IMU의 현장신호 수집 및 분석 - 측위 모니터링 시스템 벤치마킹	▪ GNSS 및 IMU의 현장신호 분석 보고서 ▪ 측위 모니터링 시스템 벤치마킹 보고서 및 설계서
2024	▪ **(연구목표)** - 융합 센서 모듈 개발 ▪ **(연구내용)** - 실시간 측위 알고리즘 개발 - GNSS + IMU 융합 센서 개발	▪ 융합 센싱 알고리즘 ▪ 융합 센서 모듈 시작품
2025	▪ **(연구목표)** - TBM 시공구간 지반 거동 플랫폼 개발 ▪ **(연구내용)** - 지반 침하 측위 데이터 가시화 - 이상 발생 상황 감지 및 예측 방법 개발	▪ 가시화 모듈 소프트웨어 ▪ 이상치 분석 및 예측 알고리즘
2026	▪ **(연구목표)** - TBM 시공구간 지반거동 모니터링 기술 실증 ▪ **(연구내용)** - 안전관리 기술 및 장비 현장 테스트 - 통합 안전관리 기술 연계 모듈 개발	▪ 현장 테스트 결과 보고서 ▪ 지반거동 모니터링 기술 시작품
2027	▪ **(연구목표)** - TBM 시공구간 지반거동 시스템 고도화 ▪ **(연구내용)** - 융합 센서 모듈 개선 - 데이터 수집 및 가시화 플랫폼 개선	▪ 고도화 융합 센서 모듈 시작품 ▪ 고도화 플랫폼 시작품
최종 성과물	▪ **GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술**	

(구성기술 2-3) GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
융합 센서 기술의 계측 속도(주기)[1]	50Hz	100Hz(미국)	100Hz
융합 센서 기술의 계측 정확도[1]	수평 : 5cm 수직 : 10cm	수평 : 2cm 수직 : 5cm	수평 : 2cm 수직 : 5cm
TBM 시공구간의 지반 거동의 실시간 가시화 성능(지연시간)[2]	-	-	2초 이내

1) 센서 융합해의 경우, 사용하는 센서의 성능에 따른 다양한 결과가 나올 수 있음. 현재 최고 기술 수준 및 개발 목표 스펙은 고가의 장비가 아닌 경제성을 고려한 장비의 스펙을 기준으로 작성함

2) 기거동 실시간 가시화 성능은 구성된 하드웨어 및 통신 방식에 따라 달라질 수 있으므로, 정확한 성능 지표를 나타낼 수 없음, 다만, 본 연구에서는 연구 개발 종료 단계에서 5G 정도의 통신 환경을 고려하여 설정함

최종 성과물

○ TBM 굴착으로 인한 실시간 지반침하 및 구조물 거동 모니터링 디바이스
- 정확도 수평 2cm 및 수직 5cm 이내, 계측속도(주기) 100 Hz 이상

○ TBM 시공구간의 지반 및 구조물 모니터링 플랫폼
- 가시화 및 실시간 대시보드 제공(표출 정보: 실시간 거동 정보, 지연시간 2초 이내)

(아) 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

□ (구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술

〈표 3-40〉 본 구성기술관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
Neural Network based prediction of ground surface settlements due to tunneling	한국건설기술연구원, 한양대학교 (2001)	NATM터널을 대상으로 인공신경망 역전파 알고리즘을 이용하여 실측 침하데이터를 학습한후 굴진에 따른 발생 가능한 침하량을 예측하는 알고리즘	〈연계성〉 NATM 터널 대상, 사용된 데이터 수가 제한적이라(113개) 방법론적 제시에 머무름 〈차별점〉 현재까지 Big Data 기반 머신러닝을 이용한 TBM 굴진시 침하량 예측연구는 없음
터널 시공 중 안전관리를 위한 리스크 관리 체계 구축	도로교통 연구원 (2017)	터널 사고 사례(183개소, 200건)를 수집하여 리스크 요인/리스크 사건을 분류하고 인과관계 분석을 실시하여 리스크 등록부, 리스크 대책공법 관리대장을 구축	〈차별점〉 NATM 터널에 대한 것으로 TBM 현장 요소 고려 없음 〈연계방안〉 사고사례 중 공통적으로 활용이 가능한 자료를 리스크분석에 활용

□ (구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술

〈표 3-41〉 TBM 실시간 안전관리 관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
사물인터넷을 활용한 위치 측위 기반의 건설현장 안전관리 기술 개발	산업통상자원부 (15-16)	IoT기반 스마트기기 연동 건설현장의 위치측위 및 안전관리 기술	〈차별점〉 지상 건설현장을 대상으로 진행되었으며 주로 작업자 위치 추적을 중심으로 연구가 진행 〈연계방안〉 측위기술 관련한 기술, 이상작업자 추출로직, 위험/통제구역 진입여부 등 관련 기술 활용
무선거리측정기술을 활용한 산업재해 예방 및 안전관리 기술 개발	중소벤처기업부 (18-19)	산업 중장비에 설치되는 '중장비 모듈' 개발, 안전상태 인지를 위한 머신러닝 학습 모델 개발	〈차별점〉 산업재해를 대상으로 중장비 중심의 연구 진행 〈연계방안〉 위험상태 인지 학습 모듈, 현장 근로자 부착 모듈 제작 기술 활용
Bluetooth Mesh Network을 활용한 지하공간 손쉬운 무선통신 네트워크 구축 및 안전관리시스템 개발	중소벤처기업부 (20-21)	블루투스 메쉬 네트워크 기술을 활용하는 하드웨어 개발, 광산 내 환경정보 수집, 작업자 정보 수징	〈차별점〉 장비, 자재에 대한 적용 미비, 전체 공정 관리 등 시스템 보완 필요 〈연계방안〉 블루투스 메쉬 네트워크 기술 및 하드웨어 제작 기술 활용

□ (구성기술 2-3) GNSS+IMU센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

〈표 3-42〉 지반거동 모니터링 기술 관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
광섬유센서 기반의 지반 거동 모니터링 시스템 개발	중소기업청 (2015)	'광섬유센서 기반의 지반거동 모니터링 기술' 개발에 관한 것으로, 파이프 케이싱에 보호관이 설치된 다수개의 광섬유센서를 설치하고, 상하단과 중간단에만 광섬유 경사계를 설치함으로서, 기존 기술대비 1/2 이하의 가격으로 동일한 목적의 지반거동 모니터링 기술을 개발하는 것	〈차별점〉 광섬유 센서를 활용하는 것이 본 연구와의 차별점 〈연계방안〉 지반의 거동을 광섬유 경사계를 통해 모니터링 하는 것을 벤치마킹하여 IMU를 활용할 수 있는 방법으로 연계할 수 있음
GNSS를 이용한 실시간 울릉도 화산전조 모니터링 연구	기상청 (2018)	다중 GNSS RTK 기법을 이용한 cm 수준 실시간 지표변위 산출, 화산 감시 시스템을 개발 및 설치하고 이를 통해 울릉도 화산활동으로 인한 지표 변형을 기반으로 하여 울릉도 화산활동의 징후 및 특징 등에 대한 평가 및 분석	〈차별점〉 GNSS 만을 활용한 부분과 화산에 따른 거동에 적용한 점이 차별점 〈연계방안〉 다중 GNSS RTK를 지반의 거동분석에 활용한 방법을 벤치마킹하여 본 연구에 연계할 수 있음
멀티 GNSS-R 기반의 해양 고파랑 모니터링 기술 개발 연구	과학기술정보 통신부 (2020)	Multi-GNSS 신호의 반사파의 특성을 이용하여 연안침식과 해안 기반 시설의 재해를 유발하는 동해안 너울성 파랑 및 고 파랑을 관측할 수 있는 해양 관측 시스템 구현 가능성을 검토하고 고파랑 등으로 인한 해안침식의 상태 모니터링을 통한 공간 분석	〈차별점〉 GNSS 만을 활용한 부분과 동해안의 너울성 파랑 및 고 파랑에 따른 거동에 적용한 점이 차별점 〈연계방안〉 다중 GNSS RTK를 지반의 거동분석에 활용한 방법을 벤치마킹하여 본 연구에 연계할 수 있음

(자) 민간기술과의 차별성·연계성

□ (구성기술 2-1) 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술

○ AI 지반침하 예측과 관련하여 상용화된 기술은 거의 없으며, 시계열 TBM 빅데이터를 머신러닝 지도학습 ANN기법과 비지도학습 Clustering을 사용하여 전방암질을 예측하는 기법을 일부 도입이 가능

* A ground condition prediction ahead of tunnel face utilizing time series analysis of shield TBM data in soil(정지희 등, Journal of Korea Tunnelling and Underground Space Association, 21(2)227-242(2019))

○ 굴착위험도 평가와 관련되어 상용화된 민간기술은 거의 없으며, 전자/소프트웨어 분야에서 사용 중인 시스템 검증 기술을 일부 도입 적용이 가능

〈표 3-43〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술	고려대학교	토사터널의 쉴드TBM 데이터 시계열 분석을 통한 막장전방 예측 연구	〈차별점〉 TBM 시계열 데이터 분석을 통해 전방의 암질을 예측한 것으로 침하량 예측을 직접 예측한 것은 아님 〈연계방안〉 시계열 데이터 학습 및 테스트를 위해 머신러닝 ANN과 Clustering을 사용
2	실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술	슈어소프트테크	소프트웨어 안전무결성(SIL) 검증기술	〈차별점〉 일반적인 소프트웨어의 안전무결성 확인 기술로 터널 굴착위험도 평가와 차이가 있음 〈연계방안〉 IEC 61508 안전 무결성 수준 검증 방법 참조

□ (구성기술 2-2) TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술

○ 국내에 TBM 장비와 터널 건설에 활용된 사례는 없으므로 유사한 환경의 건설 공사 환경을 가지는 대상을 중심으로 기존 개발 기술 적극 활용 필요

- NATM 터널, 광산 등 지상의 통신 환경과 다른 조건에서 수행된 기술 중심으로 활용
- WiFi, RFID, Bluetooth, LTE 등 적용 가능한 통신 기술 혼합 활용
- 공장 생산 관리, 산업재해 관리, 공사 관리, 광산 관리 등 기존 관리 시스템 벤치마킹

○ 유사한 무선통신 기술을 사용하여 건설현장에 활용한 업체의 기술 연계

- NATM 터널에 적용된 사례 중심으로 조사, 현장에 적용된 작업자 및 장비 위치 파악 기술 활용
- 광산에 활용된 안전기기 하드웨어, 무선통신 중계기 등 하드웨어 제작 기술 연계

〈표 3-44〉 TBM 실시간 안전관리 관련 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	오픈웍스	NATM터널 안전관리 기술	〈차별점〉 CCTV 모니터링, 계측 선서 현황 등 NATM 터널 공사 현장의 현황과 작업자 위치 파악 목적 〈연계방안〉 현장 모니터링 기술, 작업자 현황 파악, 공정 관리 기술 활용
2	TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	네오스텍	Bluetooth Mesh Network 하드웨어 제작 기술	〈차별점〉 광산현장을 대상으로 BMN 기술을 활용한 하드웨어 및 비콘 제작 〈연계방안〉 하드웨어 제작 기술, 작업자 부착용 안전기기 개발 분야 활용

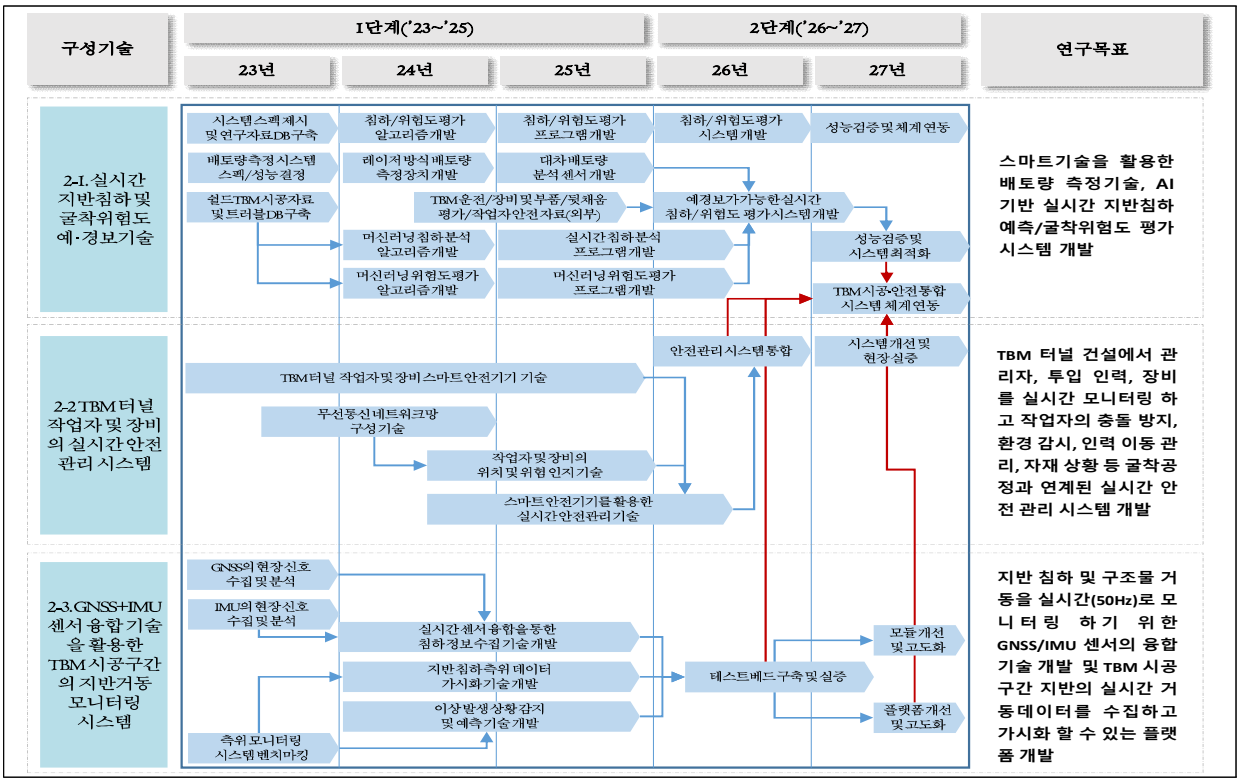
□ (구성기술 2-3) GNSS+IMU센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술

〈표 3-45〉 지반거동 모니터링 기술 관련 민간 보유기술과의 차별성·연계성

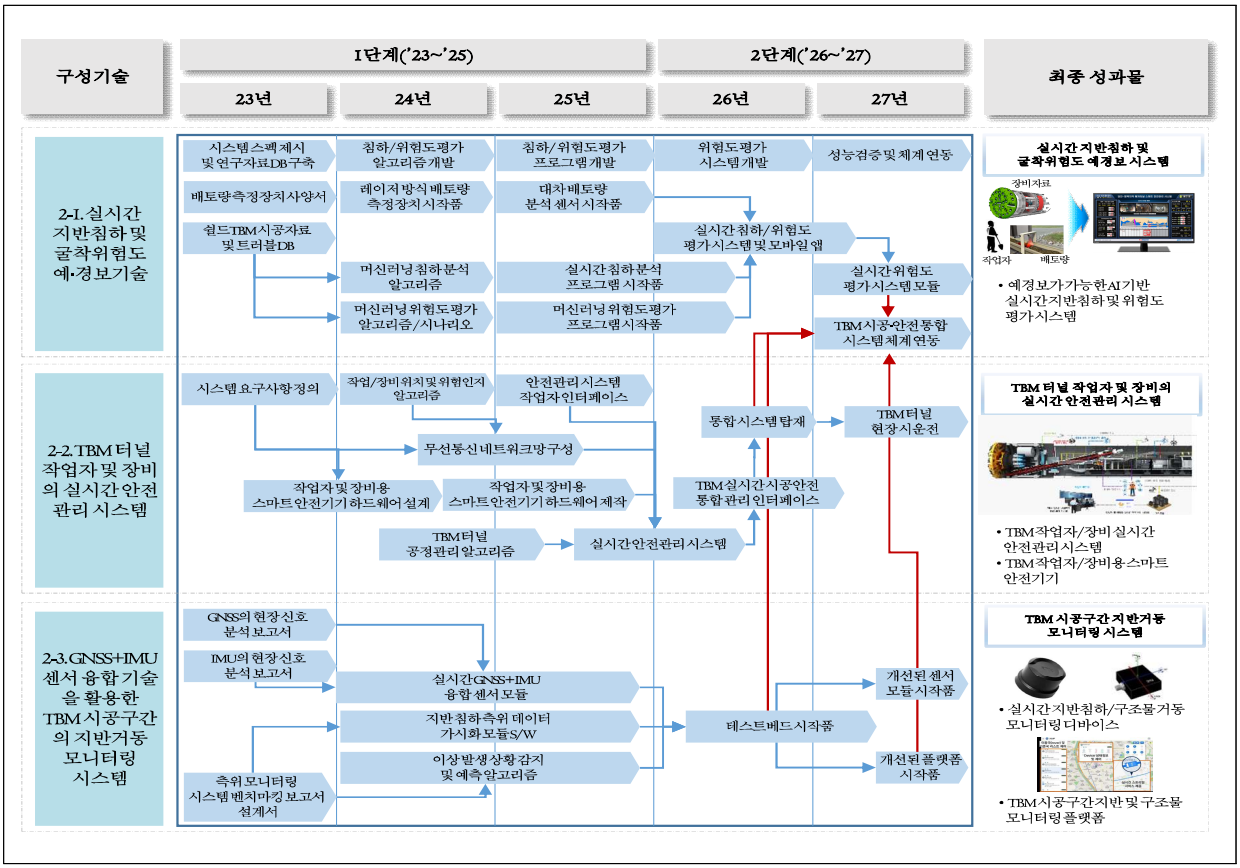
순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	사물 제어유닛을 이용한 IoT기반 재난모니터링 시스템	에이엘주식회사	사물제어유닛을 이용한 IoT기반 재난모니터링 시스템	〈차별점〉 적용 분야와 활용 센서가 차별 〈연계방안〉 재난 상황의 데이터를 생성하고 정보를 제공하는 부분을 벤치마킹하여 연계
2	통신사 기지국을 활용한 고정밀 위치 측정 시스템	에이케이티공간정보 주식회사	GPS를 통한 위치 측정 시 보다 정밀한 위치 정보를 제공하기 위해 위치정보에 대한 보정 값을 산출하고 보정된 위치정보를 제공함에 있어서,기존의 방식에 비해 상대적으로 상호 거리가 짧은 무선통신사업자(통신사)의 기지국을 활용하는 기술	〈차별점〉 본 연구는 GNSS의 한계를 극복하기 위하여 IMU를 활용하는 점 〈연계방안〉 이기종의 센서를 융합하는 기술에 관한 연계

(차) 구성기술 로드맵

[그림 3-52] 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술의 추진로드맵



[그림 3-53] 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술(핵심기술 2)의 성과로드맵



(카) 소요예산 및 장비 구축 계획

① 연도별 소요예산

○ 총액 91억 원, 국고 보조금 68억 원, 민간 자본금 23억 원으로 구성

〈표 3-46〉 핵심기술 2의 구성기술별 예상 소요예산

(단위: 백만 원)

구성기술	구분	'23	'24	'25	'26	'27	계
2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술	정부	383	553	638	553	468	2,593
	민간	130	188	217	188	159	881
	소계	513	741	855	741	627	3,474
2-2. TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	정부	300	553	595	435	410	2,293
	민간	102	188	202	148	139	779
	소계	402	741	797	583	549	3,072
2-3. GNSS+IMU센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술	정부	300	425	425	430	350	1,930
	민간	102	145	145	146	119	656
	소계	402	570	570	576	469	2,586
합계	정부	983	1,531	1,658	1,418	1,228	6,816
	민간	334	521	564	482	417	2,316
	합계	1,317	2,052	2,222	1,900	1,645	9,132

○ 직접비

(단위: 백만 원)

구분	’23	’24	’25	’26	’27	계
인건비	441	790	839	683	554	3,307
연구활동비	307	414	142	17	33	913
연구재료비	131	177	60	7	14	389
연구시설장비비	-	-	520	650	-	1,170
연구수당	65	88	30	4	7	194
합계	944	1,469	1,591	1,361	608	5,973

○ 간접비

(단위: 백만 원)

구분	’23	’24	’25	’26	’27	계
간접비	39	61	66	57	49	272

○ 소요 인력

(단위: 명)

구성기술	구분	'23	'24	'25	'26	'27	계
2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술	책임급	1	2	2	2	1	8
	선임급	2	3	3	2	2	12
	원급	4	6	7	6	5	28
	소계	7	11	12	10	8	48
2-2. TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	책임급	1	2	2	1	1	7
	선임급	1	3	3	2	2	11
	원급	3	6	7	5	4	25
	소계	5	11	12	8	7	43
2-3. GNSS+IMU센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술	책임급	1	1	1	1	1	5
	선임급	1	2	2	2	1	8
	원급	3	5	5	5	4	22
	소계	5	8	8	8	6	35
합계		17	30	32	26	21	126

② 연구장비 및 시제품

○ 연구장비 내역

〈표 3-47〉 핵심기술 2의 연구장비 및 시제품 내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)	연도	해당 구성 기술
1	배토량 측정장치 시작품	레이저 스캐닝에 의한 벨트 컨베이어 탑재 배토량 측정장치	120	1	120	2025	2-1
2	대차 배토량 분석 센서 시작품	블루투스 기반 대차 배토량 분석 센서	70	1	70	2025	2-1
3	침하량 산정 프로그램 시작품	머신러닝 기법을 활용한 실시간 침하 예측 시스템	110	1	110	2026	2-1
4	위험도 평가 프로그램 시작품	머신러닝 기법을 활용한 실시간 굴착위험도 평가 시스템	140	1	140	2026	2-1
5	TBM 터널용 무선통신 중계기	TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	25	6	150	2025	2-2
6	TBM터널 내부 작업자와 자재용 스마트 안전기기	TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	25	8	200	2026	2-2
7	실시간 GNSS+IMU 융합 센서 모듈 시작품	TBM 시공구간 지반거동 모니터링용	5	20	100	2025	2-3
8	GNSS+IMU 기반 이상발생상황 감지/예측 알고리즘(S/W 시작품)	TBM 시공구간 지반거동 모니터링용	80	1	80	2025	2-3
9	GNSS+IMU 기반 지반거동 모니터링 기술 시제품	TEST-BED 및 시범적용용 시제품/시작품 제작 · 활용	100	2	200	2026	2-3
합계					1,170		

(타) 기대 및 파급효과

① 과학기술적 측면

□ 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술 개발에 의한 TBM 시공/운영 분야의 안전해결형 기술 혁신 기여

○ AI를 활용하는 지반침하 기술 개발을 통하여 쉴드TBM 시공중 발생할 수 있는 도심지 지반침하 예방 등 안전해결형 핵심기술 개발로 TBM 시공/운영 분야의 안전해결형 기술 혁신 기여

○ 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예경보 기술 개발로 고부가가치 인프라 건설기술 창출 및 해외 기술격차 해소, 지하안전법 시행 등에 따른 TBM 시공분야 국내 기술수요 등에 적기 대응

○ NATM 터널, 대규모 지하굴착 현장 등 유사 굴착 현장 안전관리 및 리스크 관리 체계 기술 수립 기여

□ 스마트 안전장비 개발에 의한 IoT기반 능동적 안전관리 기술 혁신

○ 무선통신 기술을 활용한 작업자 관리 방안은 비콘(Beacon) 등 저전력 블루투스 기술을 활용한 IoT 기반 능동적 안전관리 기술 등에 적용 가능하며 휴대폰 어플 등 사용자 접근이 용이한 기술과 접목 확대 가능

○ 무선통신 음영지역(지하 공간, 터널 등)에서 기존 지상 무선통신망(5G/LTE)과 연동이 가능한 기술로 스마트건설 기술과 같은 IoT기반 첨단 시스템 확보에 기여

□ 세계 최고수준 보급형 융합 센서의 측위계측 기술을 활용한 실시간 미세 거동 분석 가능

○ GNSS와 IMU 융합 센서의 계측 속도 100Hz 달성

○ 융합 센서의 측위 계측 정확도 2cm(수평), 5cm(수직) 달성 가능

○ 시공구간의 구조물 및 지반 거동 정보를 실시간으로 수집·분석·가시화 할 수 있는 기술 확보

- 지연시간 2초 이내의 현장 정보 수집 체계 구축
- 수집 정보에 대한 실시간 분석을 통한 구조물 및 지반 거동 가시화

② 사회경제적 측면

□ 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술 개발에 의한 국내외 시장 창출 기여

○ 지반침하 예방 등 안전해결형 핵심기술 개발을 통하여 최근 대형 터널 프로젝트가 대부분 TBM으로 발주되는 세계적인 추세에 따른 국내 기업의 해외 건설시장 진출과 ODA 사업 등을 통한 해외 시장 진출을 지원

○ GTX와 같은 장대 도심지 터널사업 지속에 따른 쉴드TBM 시공 증가 시 안전한 시공을 유도하여 국민 불안을 해소하고 안전한 사회 분위기를 조성하며, 잠재적인 민원을 예방하여 시공자의 사업성 확보와 발주자의 원활한 사업 추진에 일조

□ 스마트 안전장비 개발에 따른 건설현장의 안전성 향상 및 건설산업 재해저감

○ 안전보건공단 2016년 산업재해 현황 분포에 따르면 기타 사업을 제외하고 건설업 산업재해가 약 30%로 가장 높게 나타나는 등 산업 특성상 재해 발생 시 사망사고 비율이 높음

○ 2020년 건설기술 진흥법 시행규칙* 개정에 따라 스마트 안전장비 도입 등 첨단기술 활용 근거가 마련

* 건설기술진흥법 시행규칙 제60조제1항제7호

○ 작업자 안전관리, 현장 긴급 재해 대응 등 관련 기술 확대 적용하여 건설산업 재해 저감에 기여

□ TBM 시공구간의 구조물/지반 거동 실시간 분석 및 가시화를 통한 공사재해 예방

○ 건설산업의 재해율은 '08년 0.64%에서 '14년 0.73%로 지속적인 증가세이며, 지반, 비탈면 등의 관련 재해가 큰 비중을 차지함

○ 건설 안전 모니터링 관련 시장 확대에 기여

- 국내 재난안전 사업의 시장규모는 44조원(2019년), 그 중 예방산업은 12조원
- 건설 재난 예방 산업의 시장 창출 가능

(3) (핵심기술 3) 친환경 TBM 시공 지원 기술

핵심기술의 As is - To be 개요

【 기존 】

- 지하공간 TBM 굴착시 발생하는 굴착토는 고함수비 상태로 배토되는 경우가 많아, 고화처리에 오랜 시간이 소요되고, 건설 폐기물로 취급되어 사회·경제적 비용부담이 큰 실정

【 본 과제 】

- 친환경 TBM 전용 첨가제 주입, 최적 배합 설계, 챔버 내 굴착토 교반 장치, 기술적 굴착토-첨가제 분리를 통해 친환경성 확보
  - TBM 굴착토에 대해 친환경 신소재(바이오폴리머 등) 기반 후처리(탈수, 고화, 중금속 제거 등)를 진행하여 건설재료화
- 고함수비 굴착버력의 고화처리·운반용 갱내 운반 기술을 통해 지상 반출 전 지하에서 고화처리 프로세스까지 사전에 수행

[그림 3-54] 핵심기술 3의 기술개발 방향



(가) 기본 개념 및 범위

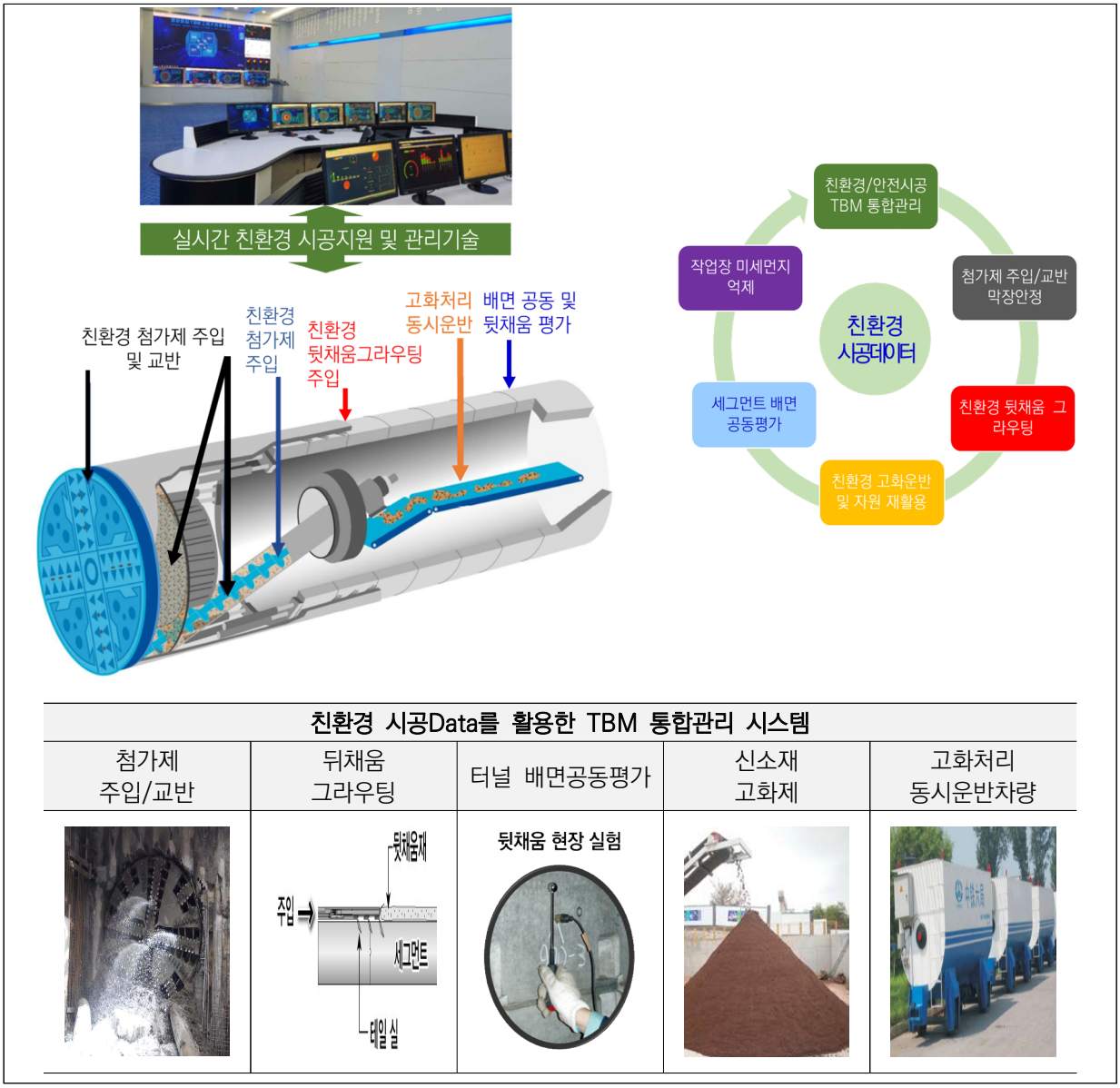
① 기본 개념

□ TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술

○ 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술

- 첨가제 주입 및 교반 장치 개발, 최적 주입 배합 설계를 통해 EPB-Type TBM 굴진 시 굴착토의 역학적·수리학적 물성을 개선시켜 TBM의 시공성 및 안정성을 증진시키는 기술
- TBM 정지 시 터널 굴진면 급속 그라우팅 처리를 통해 일시적으로 굴진면의 안정성을 증진시킴으로써 커터교체 등 고위험 작업들을 원활하게 하여 지속적인 TBM 굴착을 지원하는 기술

[그림 3-55] 친환경 TBM 시공 지원 기술 개념도



○ 친환경적인 뒤채움 그라우트재 개발 및 뒤채움 평가 기술

- 친환경 뒤채움재 재료의 개발 및 뒤채움 상태와 품질을 고속으로 평가하여 단기·장기 안정성을 확보하며 지반침하, 지하수 유입 억제 및 세그먼트 파손 방지에 기여하는 기술

○ 터널 라이닝, TBM 세그먼트를 위한 친환경적인 무기계 뒤채움 그라우트재 개발

- 쉴드TBM 굴진시 필연적으로 세그먼트와 배면지반 사이의 공극(tail void)이 발생하고, 이때 지반침하 등의 가능성을 없애기 위하여 공극을 충전해야 하는 문제가 발생함에 적합한 뒤채움 주입방식을 선정하되, 동시주입을 원칙으로 해야하는 상황
- 동시주입에 적합한 뒤채움 주입재는 유동성이 좋고 재료분리 없이 장거리 압송이 가능해야 하며 주입시 지하수에 의한 희석이 적고 초기에 균일하고 지반강도에 준하는 강도를 가지고 있어야 함

□ 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

○ TBM굴진시 배토되는 굴착토/버력은 지하수 등이 포함되어 고함수비의 상태로 운반되어 지상에 고화처리설비에서 고화제를 혼합한 후 장시간 방치후 외부로 반출되고 있으며, 운반 과정부터 고화제를 혼합, 신속하게 고화, 단시간에 외부로 반출, 건설재료로 재활용

- TBM 굴착을 통해 배출되는 버력 및 배토는 현재 중금속/오염물의 흡착, 열화, 저pH 그리고 높은 함수비로 인해 대부분 사토장에 매립 또는 폐기되는 실정으로 이를 친환경적 처리를 통하여 재활용 가능한 건설재로로써 사용하는 기술 개발을 위한 연구
- 배토되는 굴착버력을 적재시부터 고화제를 혼합하여 갱내 운반하고, 별도의 설비없이 지상 토사적치장에 임시 적치후 짧은 시간만으로 외부에 반출하기 위한 갱내 고화처리 겸용 운반차량(Muck Car)의 개발 연구

② 기술 범위

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술

○ 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술은 최적 첨가제 배합 설계, 개량된 굴착토의 물성 평가/관리 시스템, 첨가제 주입 및 챔버 내 굴착토 교반 장치 개발, 환경 및 성능기준을 만족하는 친환경 TBM 전용 첨가제의 개발, 굴착토-첨가제 분리방안 제시 포함

- 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술은 챔버를 활용, 그라우팅하여 굴진면 전방의 수압을 감소시키는 기술로써 그라우팅 장비 개발, 그라우팅 배합비, 주입압력, 경화시간 등 굴진면 그라우팅 주입공법의 설계방안 제시, 커터헤드 교체 중 유입수 조절 기술 포함

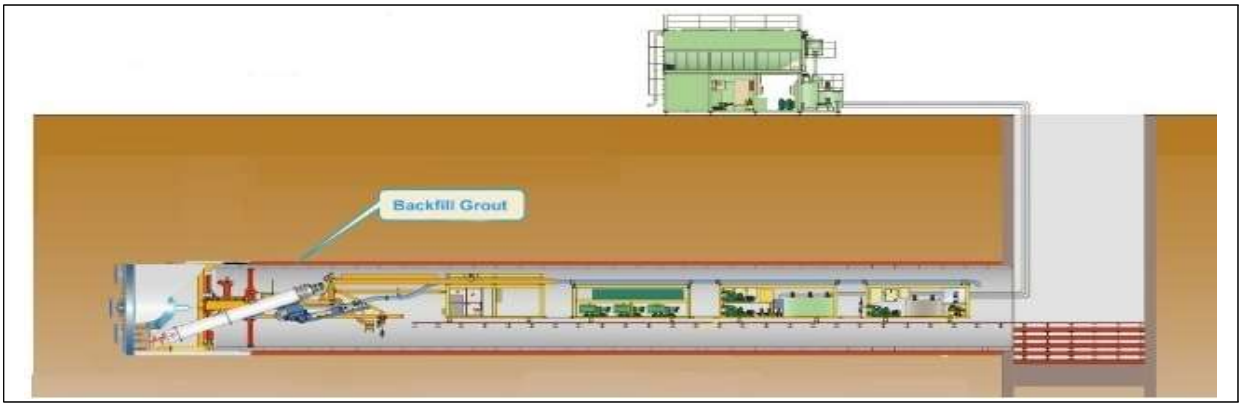
○ 친환경 뒤채움 그라우팅재 개발 및 세그먼트 배면 뒤채움 평가 기술은 뒤채움재 품질을 고속으로 평가할 수 있는 기술로써 그라우팅재 개발, 최적 평가법 선정, 관리기준 개발, 평가 속도 고속화 기술, 그리고 평가 알고리즘 및 포터블(Portable) 장비 개발을 포함

○ 규산소다계에 비해 친환경적인 재료로 알려진 칼슘알루미네이트, 칼슘설포알루미네이트계 광물을 활용하여 이송성능과 강도특성, 장기적인 내구성을 확보하고 적정 수준의 가소성을 발현할 수 있는 2액형 무기계 가소성 그라우트재 개발

- 규산소다계에 비해 친환경적인 재료로 알려진 칼슘알루미네이트, 칼슘설포알루미네이트계 광물을 활용하여 이송성능과 강도특성, 장기적인 내구성을 확보하고 적정 수준의 가소성을 발현할 수 있는 2액형 무기계 가소성 그라우트재 개발

- 주입재료 종류에 따른 특성 및 물리성능을 비교 평가하고 지반조건에 따른 설계 강도에 대응할 수 있으며 지반침하 시 적정 강도를 발현하여 지반을 보강할 수 있는 강도별 최적배합을 마련하는 것을 포함
- 뒤채움 주입재의 주재료로 사용되는 일반OPC 외에 슬래그, 슬래그시멘트 등을 활용하여 장기적인 내구성을 증진시키고 경제성 및 친환경성(CO2 절감)을 증대시키는 기술 포함
- 무기계 가소성 그라우트를 이수식 쉴드TBM에서 이수재로 주로 사용되는 벤토나이트의 대체제로서 활용하는 방안도 병행 검토하여 굴착에 사용되는 재료의 단일화를 꾀하고 부대설비 및 시공을 단순화 하는 기술 개발
- 무기계(칼슘알루미네이트계) 시멘트 고결용 광물은 물과 반응하는 수경성 재료로 이송과정이나 뒤채움 그라우팅이 진행되는 동안 경화를 방지하여 충분한 작업시간 확보가 요구되는 물질로 뒤채움
- 그라우트의 주입시기와 주입방식에 따른 시공성능에 대한 검증 및 평가가 필요
- 뒤채움 그라우트용 플랜트 적용 혹은 시공업체와의 협력을 통해 뒤채움 그라우트의 작업성능(이송성능/혼합성능 등)을 평가할 수 있는 기술 개발 포함

[그림 3-56] 뒤채움 그라우트용 플랜트



□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

○ TBM 굴착토에 대한 친환경 신소재를 활용한 후처리 및 건설재료화 관련 핵심기술 개발

- 국내 TBM 굴착토에 대한 공학적/화학적 특성 파악 및 데이터베이스 구축
- 친환경 신소재 후보재료(바이오폴리머 등)를 적용한 TBM 굴착토의 탈수, 고화, 중금속 제거, 강도, 거동 등에 대한 종합 평가 및 최적 재료 선정
- TBM 배토시스템 상 제시된 신소재의 적용안 설계 및 시뮬레이션
- 굴착토 재활용 건설재료 프로토타입 제시: 성능 평가 및 주요 인증 확보

○ 기존의 단순히 굴착 토사/버력만 운반하는 차량에 고화재 투입부, 혼합기구를 장착하여 갱내 운반 중 고화처리가 가능한 운반차량을 개발

〈표 3-48〉 핵심기술 구성

핵심기술	구성기술	관련 기술
(3) 친환경 TBM 시공 지원 기술	(3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술	• 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술 • TBM 연속 굴착을 위한 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술 • 친환경 뒤채움 그라우팅재 개발 및 세그먼트 배면 뒤채움 평가 기술
	(3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술	• 친환경 소재를 이용한 굴착토의 후처리 및 건설 재료화 기술 • 운반 중 고화처리 가능한 운반차량

(나) 추진배경 및 필요성

① 추진배경

□ EPB-Type TBM을 활용하여 터널 시공 시 최적 굴착토 개량 기술, 그라우팅을 통한 지반보강 기술의 부재로 인해 불필요한 공기 및 공사비가 소요되고 있는 것으로 파악

○ EPB-Type TBM 굴진 중 굴착한 흙은 일반적으로 터널 굴진면을 지보하기 적합하지 않은 물성을 가지며 이를 개선하기 위해 폼, 폴리머 등의 첨가제를 주입하여 굴착토를 개량하나 굴착토의 개량을 정량적으로 평가하고 관리하는 시스템은 현재 존재하지 않음

- 이러한 평가 및 관리 시스템 부재로 굴착토의 개량이 적절하게 이루어지지 않을 경우 토크 및 추력의 증가, 다운타임(Downtime) 발생, 과도한 커터 마모 등으로 인한 TBM 굴진성능 저하로 인해 공기지연이 발생
- 또한, 국외에서 개발되어 상용되는 첨가제의 경우 환경 안정성이 의문

○ 세그먼트 배면 뒤채움 품질은 주입압과 주입량에 의존하고 있는 실정이며, 뒤채움 관리 기준의 부재하여 주입후 채움 상태를 평가하지 않고 있음. 시공 안전 통합 운영을 위해 뒤채움 정보가 지속적으로 반영되어 관리 필요(통합 운영 시스템과의 연계성 확보)

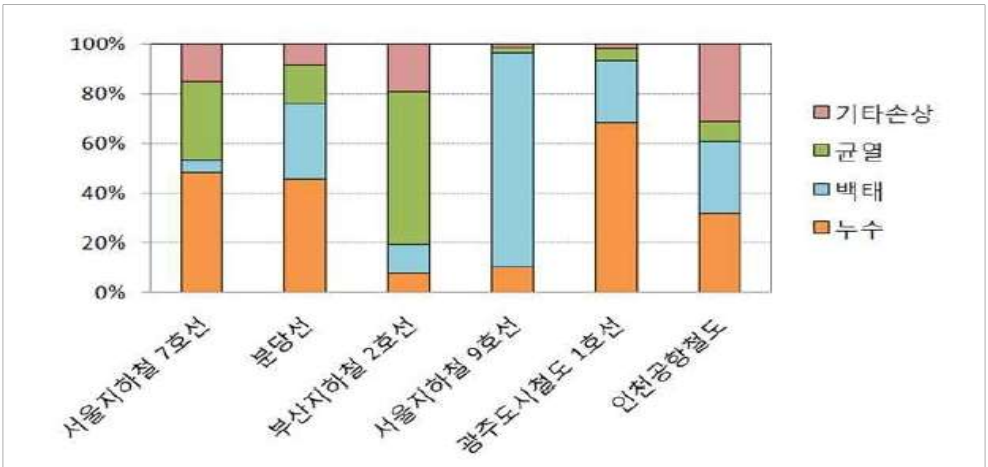
- 해외에서는 충격반향기법(Impact-Echo, IE) 및 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)을 이용하여 뒤채움 상태 평가를 위한 연구가 진행 중
- 일본의 경우 IE를 이용하여 뒤채움 상태를 평가하려는 시도를 하였으나, 자동화된 장비가 없고, 현장에서 실험 후 후처리 작업을 통해 분석 가능
- 다양한 세그먼트 강도 및 두께 등에 따라 분석할 수 있는 기술은 없음
- 중국의 경우 GPR을 이용하여 뒤채움 상태를 평가하고자 하였음. 공동여부는 확인이 가능하나, 자동화 평가는 아직 불가능하여 뒤채움재의 품질을 신속하게 확인하기에는 어려움이 있음
- 국내의 경우, 한국전력공사에서 수행한 IE의 경우 뒤채움 여부를 확인할 수 있으나, 시험 시간이 많이 소요되며, 다양한 두께의 세그먼트에 적용 시 보정이 필요한 실정

- 뒤채움 정보는 터널의 단기·장기 안정성을 확보와 지반침하, 지하수 유입 억제 및 세그먼트 파손 방지에 매우 중요한 요소이므로 시공 안전 통합 운영 시스템을 통해 지속적으로 관리 필요

○ 기존의 연구는 소구경 시공이 대부분이었으며, 최근에 대구경 쉴드 TBM시공이 진행과 관심이 증가하고 있는 추세로 터널굴착 중 지반의 안전성 확보역할과 시공 후 유지관리에도 중요한 인자로 작용하는 세그먼트 뒤채움 재료 분야에 대한 연구는 미미한 수준

- 작업속도가 빠르고 소음 등의 문제가 적은 이유로 각광받고 있는 쉴드 TBM 공법은 지반조건에 따라 시공속도에서 차이가 발생하며, 지하수 등으로 인한 누수, 지반유실 발생시 유지보수 비용 증가
- 대구경 쉴드 TBM은 필연적으로 동시주입방식을 적용해야 하나 1액성 그라우트는 겔화시간이 길고 조기강도가 작기 때문에 동시주입에 의한 지반침하 억제효과를 보기 어려움
- 세그먼트와 암반과의 테일보이드를 채워주는 세그먼트 뒤채움 그라우팅이 시공되고 있으나 국내 기준이나 적정 재료의 부재로 시공 후 지하수 등으로 인한 유실로 지하공동구가 생성되어 문제를 야기하는 경우가 발생

[그림 3-57] 국내 터널 유지보수 사례



□ 지하공간 TBM 굴착시 발생하는 굴착토는 고함수비 상태로 배토되는 경우가 많아, 고화처리에 오랜 시간이 소요되고, 건설 폐기물로 취급되어 사회·경제적 비용부담이 큰 실정

○ 국내에서 연간 발생하는 건설 폐토석은 약 200만 톤 수준으로 이중 15% 정도가 TBM 굴착과 관련있는 상태

- TBM 굴착토는 고함수비, 중금속/오염물 흡착, 낮은 pH등과 같은 특성에 의해 대부분 건설 폐기물로 취급되어 사토장에 매립 또는 폐기되는 실정
- 최근 건설폐기물 및 지하건설 관련 굴착토 발생량 증가와 이에 따른 매립지 포화 등 사회적 이슈로 대두
- 국내 건설폐기물의 10% (약 1만7천 톤/일)을 감축하는 '제2차 건설폐기물 재활용 기본계획'을 시행하고 있으며(국토교통부 2011), 환경부는 '건폐법 제8조(재활용기본계획의 수립)"에 따라 건설폐기물을 친환경적으로 처리하고 재활용함을 적극 권장
- 굴착토의 매립 폐기 비용이 발생하지만 도로 포장 또는 사면 뒤채움 등의 재료로 사용할 수 있다면 경제성을 상당히 확보 가능

- 국내에서 현장발생토를 유동성 뒤채움재, 인공성토재 등으로 활용하는 연구(최희복 등 2011; 김종수 등 2012; 한상재 등 2007)들이 수행되었으나 아직 실용화·상용화된 기술은 없는 수준
- 자체적인 신소재를 개발한 사례가 없고, 국외에서 제시하는 세척/후처리 기술들을 그대로 따르는 수준에 머물러 있어, 굴착토의 재활용 및 건설재료화 추진에 한계가 많은 실정
- 경제성과 더불어 전 세계적으로 환경 문제에 관심이 급증하고 있어 건설분야에서도 친환경적인 시공 방법이 제안되는 실정

○ 고함수비로 배토되는 굴착버력은 갱내에서 고함수비 굴착버력은 갱내에서 운반되어 별도의 지상설비에서 고화재를 혼합하여 고화처리하고 적치장에서 일정시간 건조시킨 후 외부로 반출되므로 시간이 오래걸리고 고가의 설비를 추가로 사용해야 하므로 비효율적·비경제적

- 작업장 계획시 대형 고화처리설비를 위한 공간이 필요하고, 지상에서 일정시간을 건조시킨 후 반출해야 하므로 적치공간도 충분한 여유를 확보하여야 하는 문제점이 발생

② 추진 필요성

□ 국외 TBM 기술과 격차를 빠르게 줄일 수 있는 기술 분야로 평가되는 굴착토 개량 기술 및 그라우팅 기술 분야에서 국내 독자적인 기술의 개발이 필요

○ 굴착토 개량기술을 통해 TBM 시공 리스크 및 공사비를 줄이는 등 시공성과 안정성을 동시에 높일 수 있어 중점적으로 연구·개발 시 경쟁력을 확보할 수 있는 주요 기술로 평가

- 친환경적인 첨가제 개발, 굴착토-첨가제 분리방안 제시 등의 기존 국외 기술과 차별성을 가지는 기술개발로 국내 개발기술의 경쟁력을 확보 가능

○ 국내 세그먼트 뒤채움 평가 기술은 해외에서 상대적으로 미진하며, 국내TBM 기술의 경쟁력 제고를 위해 해당 기술의 확보가 시급한 상황

- 뒤채움의 품질 및 평가 정보는 터널의 단기·장기 안정성을 확보와 지반침하, 지하수 유입 억제 및 세그먼트 파손 방지에 매우 중요한 요소이므로 시공 안전 통합 운영 시스템과 연동하여 지속적으로 관리 필요(통합 운영 시스템과의 연계성 확보)

○ 세그먼트 뒤채움 그라우트로서의 주입효과 및 품질을 향상시키기 위해 가소성 그라우트를 주입하는 추세이나 여전히 시멘트 결합재로 규산소다계를 주로 사용하고 있으며, 유·무기계 그라우트에 대한 연구가 진행되고는 있으나 재료업체 위주의 재료특성에 관한 연구로 진행

- 시멘트 밀크에 벤토나이트, 규산소다를 조합하는 규산계 가소성 그라우트가 주로 사용
- 규산소다계의 경우 이송성, 급결성 등 양호하나 pH14 이상 강알칼리성 물질로 시멘트와 결합력이 약해 장기적으로 알칼리용탈로 지하수 오염 및 체적감소 등, 지반 공동화 현상이 발생할 확률 높아 이로 인한 유지보수 비용이 증가하는 단점 발생
- 규산소다계의 대체재로서 무기계 주입재에 대한 연구가 진행되면서 지반보강 그라우트로서 활용이 증가되고 있는 추세
- 뒤채움 그라우트는 지상 배치플랜트에서 혼합, 세그먼트 조립위치까지 장거리 압송되어야 하므로 이송 중 재료분리에 의한 스켈링 발생과 시간경과에 따른 자체적인 경화를 방지해야 하는 문제 발생

- 세그먼트 배면 뒤채움 기술이 단순 공동 채움재가 아닌, 지반안정화 및 지보재로서의 역할을 수행하게 될수록 장기적인 유지보수에 필요한 사회적, 경제적 비용이 감소할 수 있을 것

〈표 3-49〉 국내·외 강도기준(일본터널공학회, 1996, 서울특별시, 2006)

구 분	일축 압축강도(N/㎟)		
	1시간	1일	28일
TAC(일본)	0.1~0.15	-	2.5
서울지하철	0.1~0.15	0.5	2~3

□ 고함수비로 배토되는 굴착버력을 친환경 고화재료를 첨가하여 갱내 운반부터 고화처리하면서 고화시간을 단축시키고, 재활용 가능한 재료로 개선할 필요 시급

○ 해외 대비 굴착토 처리 및 건설재료로의 재활용 기술이 전무한 수준으로 특히 자체적인 신소재를 개발한 사례가 없고, 국외에서 제시하는 세척/후처리 기술들을 그대로 따르는 수준에 머물러 있어, 굴착토의 재활용 및 건설재료화 추진에 한계가 많은 실정

- 친환경 신소재의 개발을 통해 굴착토를 친환경적이고 효율적으로 안정화시키고, 배토 후 안정화/후처리 과정을 줄여, 건설재료로 재활용할 수 있는 핵심원천 기술을 개발, 국내는 물론 해외 시장 선점이 가능할 것으로 판단되므로 개발이 필요
- TBM 굴착토는 건설폐기물로 취급되어 사회 경제적 비용부담이 큰 실정으로 굴착토의 친환경 처리 및 건설재료화 기술 개발이 필요
- TBM 굴착토를 친환경 건설재료로 활용함으로써 시공성, 경제성, 환경성 등의 지표 상승을 기대

○ 기존의 단순히 버력만 운반하는 차량에 고화재 투입부, 혼합기구를 장착하여 갱내 운반 중 고화처리가 가능한 버력운반차량으로 갱내 운반중부터 고화처리하여 신속하게 외부 반출이 가능한 운반차량의 개발이 필요

(다) 현황 및 개선방안

① 현황 및 문제점

□ TBM 굴진 보조공법인 굴착토 개량, 그라우팅 주입의 관점에서 환경 및 안전을 위협하는 요소가 존재하나 현재까지 이를 만족시킬 만한 뚜렷한 해법이 제시되지 않은 상황

○ 첨가제로 개선된 굴착토의 배합설계, 평가 시스템, 분리방안 등의 종합적인 첨가제 주입 및 관리 시스템이 현재까지 명확히 정립되지 않았고, 국외에서 개발된 화학물질 기반 첨가제가 TBM 굴진에 주로 상용되고 있으나 환경에 대한 영향이 의문시되는 실정

○ 지하수가 존재하는 TBM 현장에서 가장 리스크가 큰 공정은 커터 교체 작업 등의 TBM 정지 시 유지보수 공정임. 현재 수압에 맞추어 커터를 교체하는 방법이 해외에서 제시

- 시간과 공사비가 많이 소요되고 해당 작업을 수행하는 작업자가 고위험에 노출되어 있음

○ 현재 시공되는 쉴드 TBM 터널의 경우, 세그먼트 배면 뒤채움 품질은 주입압과 주입량에 의존하고 있으며 주입후 채움 상태를 평가하지 않고 있으며, 운영중인 터널의 경우에는 뒤채움 상태 평가가 이루어지지 않고 있는 실정

□ 현재 시공되는 쉴드 TBM 터널의 경우, 뒤채움 품질은 관리기준이 부재한 실정이며 주입압과 주입량에 의존하고 있으며 주입후 채움 상태를 평가하지 않고 운영중인 터널의 경우에는 뒤채움 상태 평가가 이루어지지 않고 있는 상황

○ 시공 중 주입압과 주입량을 통해 뒤채움재의 상태를 평가하는 방식은 뒤채움재가 손실되어 뒤채움재의 양이 과도하게 사용되어도 주입압이 증가하지 않는 문제가 있으며, 운영 중인 터널의 경우 뒤채움 상태를 평가가 이루어지지 않고 있음

- 해외에서는 뒤채움 상태를 평가는 자동화된 장비 없고, 현장에서 실험 후 분석하고 있음
- 세그먼트 강도/두께에 따라 분석할 수 있는 기술은 없으며, 공동여부는 확인이 가능하나, 자동화 평가는 아직 불가능하여 뒤채움재의 품질을 신속하게 확인하기에는 어려움이 있음
- 국내의 경우, 한국전력공사에서 수행한 IE의 경우 뒤채움 여부를 확인할 수 있으나, 시험 시간이 많이 소요되며, 다양한 두께의 세그먼트에 적용 시 보정이 필요한 실정

○ 국내의 경우, 품질에 대한 관리기준이 부재한 실정이며 주입상태 확인이 이루어지고 있지 않음

- 관련 시공 정보는 활용되지 못하고 있는 실정으로부터 통합 운영 시스템을 통해 시공정보 및 품질이 정보화되어 보다 효과적으로 활용 필요(통합 운영 시스템과의 연계성 확보)

□ 쉴드TBM 굴착외경과 세그먼트 링 외경의 차이에 의해 공극(테일보이드)이 발생하게 되는데 테일보이드를 충진 없이 방치할 경우 터널 굴착벽면의 응력해방이 진행되어 주변 지반에 변위가 발생하므로 지표면 침하나 근접 구조물의 침하, 경사, 손상 등이 발생

○ 테일보이드에 의한 지반 변형을 미연에 방지하는 것을 시작으로, 주변 지반의 이완/변형을 억제, 터널 구조물을 조기 안정시키고 발생하는 응력이나 변형 저감과 외주부에 불투수층을 형성하여 누수 억제를 목적으로 실시

○ 유동성, 충진성이 우수하고, 재료분리를 일으키지 않으며 조기에 지반강도 이상의 강도를 발휘하여 안전성을 확보할 수 있어야 하고, 주입 후 체적변화가 적고 환경에 악영향을 미치지 않아야 함

- 실제 현장에서는 시멘트 밀크 혹은 규산염계 재료를 주로 사용함에 따라 조기강도가 낮고 장기적인 수축발생 및 지하수에 의한 유실이 발생하여 지반공동화가 발생하는 경우가 빈번한 실정

○ 지반조건과 상관없이 대부분 규산염계를 이용하여 동일한 배합으로 시공됨에 따라 지반조건에 따른 대응이 적절하게 되고 있다고 보기 어려우며 지반보강의 효과가 저하되기 쉬움

- 현재의 뒤채움 공법은 쉴드 TBM 시공이 심층의 지하에서 이루어짐에 따라 시공성 부분에 주된 초점이 맞추어져 있음

□ **지하공간 수요 증대로 인한 굴착토 발생도 증대되고 있으나, 현재 대부분 폐기물로 분류되어 많은 사회·경제적 문제 야기**

○ 현장 굴착토 발생량은 매년 꾸준히 증가되고 있으며, 사토장 매립 시 환경오염, 경관훼손, 민원유발 등 많은 문제를 야기하고 있어 친환경적인 대안기술 제시 필요(박태순 등 2003: 정상섬 등 2006)

- 특히, TBM 터널시공 시 굴착토 처리 관련 비용은 총공사비의 6% 내외를 차지하고 있어 비용을 절감시킬 수 있는 경제적인 대안 기술 요구

〈표 3-50〉 현장별 총공사비 대비 현장 굴착토 처리 비용 수준

현장	총 연장(m)	발생량(m^3)	처리비용(원)	총공사비 대비 현장 굴착토와 버력 처리비용(%)
서울지하철 9공구 ○○공구	1,729.8	451,274	6,135,873,205	4.5
서울지하철 3호선 ○○공구	4,438	364,540	6,179,616,696	5.7
서울지하철 9호선 ○○공구	1,225	380,521	6,155,915,673	6.2

○ 굴착토를 활용하기 위한 다양한 연구가 보고되나, 굴착토의 후처리(세척) 후 대부분 단순 골재로 활용하는 수준

- 친환경 신소재를 활용한 사례가 없고, 콘크리트 골재 이외의 건설재료화 시도가 미미
- 싱가포르 창이 공항의 경우 현장토를 활주로 시공에 활용한 사례는 있으나, 화학제품과 혼합 후 성토한 사례
- 대부분의 현장 굴착토 활용은 계면활성제 또는 화학적 첨가제를 이용한 유동화토로의 활용이 모색되고 있으나, 강도가 충분히 발현되지 않아 공학적 신뢰성이 떨어지는 실정
- 특히, 굴착토를 생화학적으로 처리하는 기술은 보고되어 있지않는 상황

□ **고함수비 굴착버력은 갱내에서 운반되어 별도의 지상설비에서 고화재를 혼합하여 고화처리하고 적치장에서 일정시간 건조시킨 후 외부로 반출되므로 시간이 오래 걸리고 고가의 설비를 추가로 사용해야 하므로 비효율적·비경제적**

○ 작업장 계획시 대형 고화처리설비를 위한 공간이 필요하고, 지상에서 일정시간을 건조시킨 후 반출해야 하므로 적치공간도 충분한 여유를 확보하여야 하는 문제점 발생

② 개선방안

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술

○ 친환경 TBM 첨가제 개발 및 설계방안, 고위험 상황 굴진면 안정 확보, 뒤채움 관리 기술 확보를 통한 국내 TBM 기술의 차별성 및 경쟁력 제고

- 첨가제 주입에 의한 개선된 굴착토 배합 및 설계법, 평가 방안, 주입 및 교반 장치 개발 등을 포함하는 EPB-Type TBM 전용 첨가제 주입 종합 관리 시스템의 개발로 안정성·시공성 증진을 동시에 만족하는 국내 독자적 TBM 기술 확보
  - 또한, 친환경 첨가제의 개발을 통해 TBM 운용 시 첨가제 투입으로 인한 환경 부담을 획기적으로 완화할 수 있으며, 추가적인 굴착토-첨가제 분리 처리기술 개발을 통해 버력 및 첨가제를 타 건설재료로 재활용 가능
- TBM 정지 시 내부의 챔버를 활용, 굴진면에 그라우트를 일시적으로 주입하여 안정화하는 기술을 적용
- 기존 프리 그라우팅 공법에 비해 소요 공기 및 비용을 획기적으로 줄일 수 있으며 커터 교체 등의 공정을 안전하게 수행 가능하게 함으로써 TBM 시공성을 확보할 수 있음

○ 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 다양한 강도와 두께의 세그먼트에 범용적으로 적용 가능한 주입 품질 평가 기술을 개발

- 세그먼트의 조건(강도, 두께 등) 및 뒤채움 조건(완전충전, 부분충전, 미충전 등)을 고려한 최적 평가 기술 개발
- 장비의 휴대성과 시험 시간을 개선하여 뒤채움의 상태를 고속 평가할 수 있는 포터블 장비 개발

□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

○ 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술

- 무기계 급결성 광물의 시멘트와의 반응성을 이용하여 가소성을 발현하고 지하수에 의한 알칼리 용출방지로 환경피해 최소화
- 가소성 그라우트 배합을 체계화 하여 지반조건, 압축강도에 따라 최적의 조건으로 뒤채움재를 제공할 수 있는 동시에 이수재로서의 활용성 검증 연구
- 시멘트와 같은 무기계 재료의 경우 혼합수량에 따라 재료분리가 크게 나타날 수 있으므로 적정 배합연구와 뒤채움 주입방식에 따른 플랜트 설비와의 시공성능을 평가하여 각각의 조건별 시공성능을 검증

○ 갱내 운반중 고화처리 및 신속한 외부반출을 위한 친환경 버력운반 차량(Muck Car) 개발

- 기존의 단순히 버력만 운반하는 차량에 고화재 투입부, 혼합기구를 장착하여 갱내 운반 중 고화처리가 가능한 버력운반차량 개발

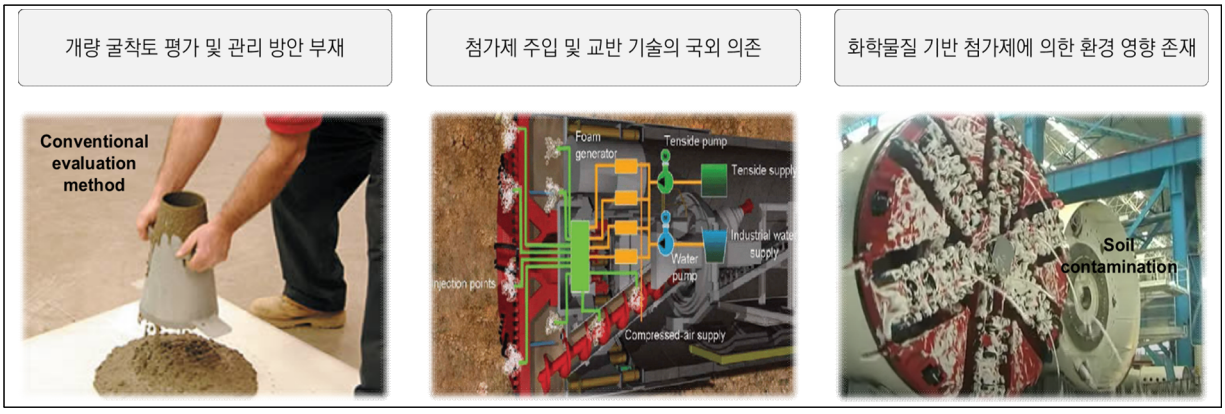
- 친환경 신소재를 이용한 굴착토 처리 및 건설재료화 핵심 기술

- TBM 굴착 시 발생하는 고함수비, 고유기질, 고오염물(중금속 포함) 함유 굴착토를 친환경소재를 이용한 급속 탈수 및 오염원 제거
- 굴착 직후 스크류컨베이어 또는 배토 벨트컨베이어 통과 시 신소재 혼·배합으로 굴착토의 급속안정화, 배토성능 향상, 그리고 작업장 환경 개선 효과 기대
- 배토 후 처리 과정 축소로 현장 관리 비용 절감 및 배토 굴착토의 건설 재료화로 경제성 향상

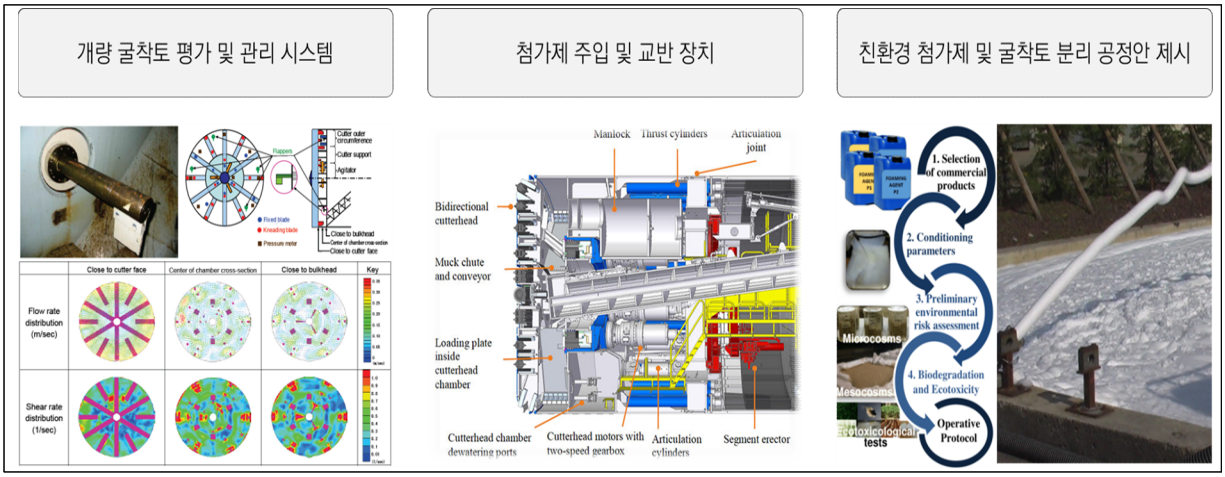
〈표 3-51〉 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 개선된 굴착토의 배합, 주입, 평가/관리 시스템, 처리방안 등의 부재 ○ 굴진면 전방, 챔버, 스크류 컨베이어 내부 첨가제 주입 및 교반 장치기술의 국외 의존 ○ 화학물질 기반 폼, 폴리머 등 첨가제에 의한 환경 영향 존재	○ 최적 첨가제 주입 배합 및 설계안, 평가/관리 등 첨가제 주입 종합 관리 시스템 개발 ○ 국내 개발 EPB-Type TBM 전용 첨가제 주입 및 최적 교반장치 개발 ○ 환경기준 및 성능기준을 만족하는 친환경 첨가제 개발 및 첨가제-굴착토 분리방안 제시

[그림 3-58] 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술(As-is)



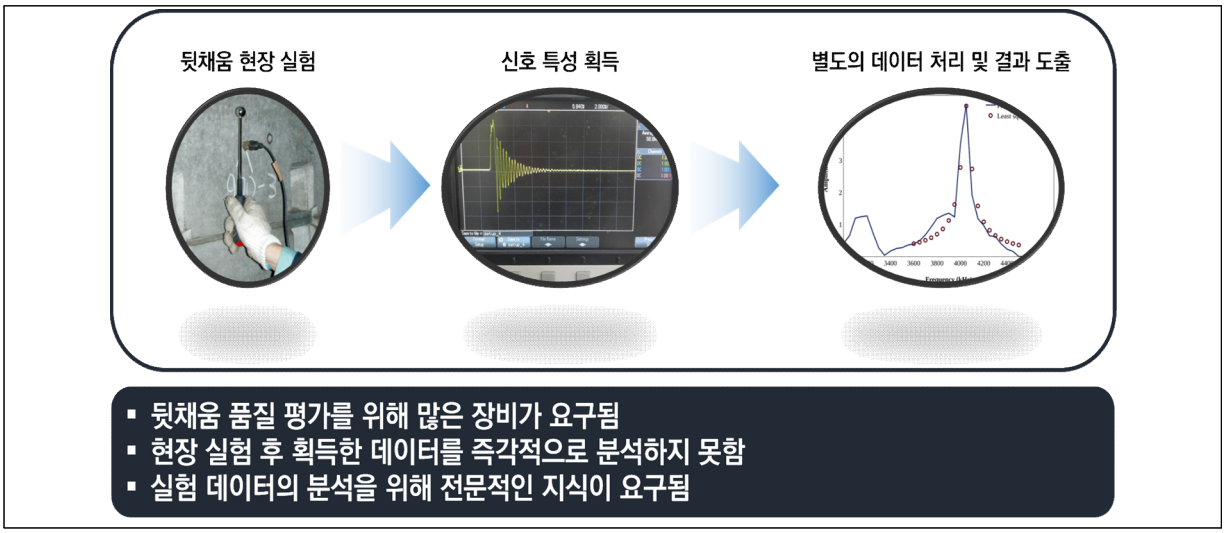
[그림 3-59] 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술(To-be)



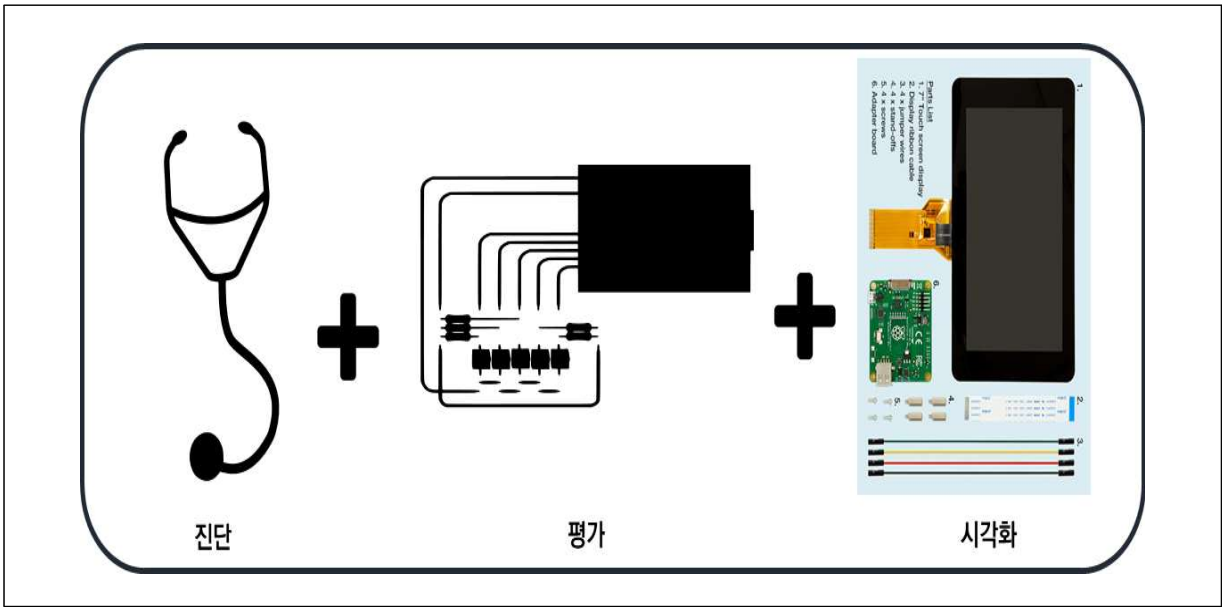
〈표 3-52〉 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 다양한 강도와 두께의 세그먼트에 범용적으로 적용 가능한 품질 평가 기술 개발(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 다양한 강도와 두께의 세그먼트에 범용적으로 적용 가능한 주입 품질 평가 기술 개발 - 뒤채움 상태를 평가 할 수 있는 세그먼트의 조건이 한정 - 장비의 휴대성 및 작업성 부족	○ 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 다양한 강도와 두께의 세그먼트에 범용적으로 적용 가능한 주입 품질 평가 기술 개발 - 다양한 세그먼트의 강도 및 두께에 적용가능하며, 채움상태를 판정할 수 있는 기술 확보 - 고속으로 판별할 수 있는 알고리즘이 탑재된 포터블 장비를 통해 휴대성 및 작업성을 확보

[그림 3-60] 쉴드 TBM 세그먼트 배면 뒤채움 품질 평가 시스템 개발(As-is)



[그림 3-61] 쉴드 TBM 세그먼트 배면 뒤채움 품질 평가 시스템 개발(To-be)



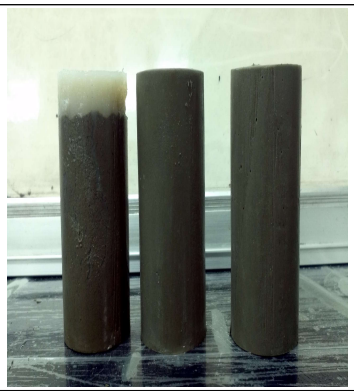
〈표 3-53〉 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술(As-is To-be)

As-IS	○	TO-BE
○ 약액계 그라우트 ○ 강알칼리성의 재료를 사용하여 알칼리용출 및 장기적인 체적감소, 내구성 저하우려 ○ 테일보이드 충전을 위주로 시공 ○ 주입범위 유지 불가능, 투수성 지반 재료 분리 및 유실 발생	○	○ 2액형 무기계 가소성 그라우트 ○ 무기계 재료적용으로 친환경적이고 장기적인 내구성 증진 ○ 테일보이드 충전 및 지반조건, 강도별 배합 체계화로 지반보강 효과 증진 ○ 그라우트 주입완료 후 압력 제거시 가소성 발현으로 주입범위에 밀실한 충전 가능

[그림 3-62] 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술(As-is)



○ 알칼리 용출



○ 불균일 혼합



○ 내구성 저하

[그림 3-63] 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술(To-be)



○ 알칼리 용출 비교



○ 초기 양생



○ 후기 양생

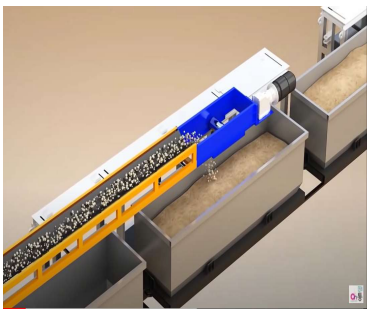
〈표 3-54〉 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리/운반시스템 개발(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 스크류컨베이어를 통해 배토시 고함수비 굴착토/버력 반출되고 있고, 그대로 대차를 이용하여 지상으로 운반 ○ 중~대규모 지상 적치장 필요하고 외부반출까지 장시간 소요	○ 배토시부터 고화재를 혼합가능한 대차 활용, 지상운반과정 중 고화처리 가능 ○ 적치장 면적축소 및 외부반출시간 단축

[그림 3-64] 구축기술(As-is)

고함수비로 반출되는 굴착토/버력	단순 갱내~지상 적치장 운반	중~대규모 지상 적치장 필요
		

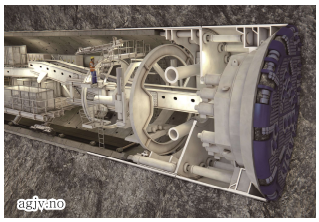
[그림 3-65] 구축기술(To-be)

고화처리 겸용 운반차량 개발	갱내 운반중 고화	지상 적치장 축소 및 신속 반출
		

〈표 3-55〉 친환경 신소재를 이용한 굴착토 건설재료화 기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 국내에서 굴착토는 대부분 폐기물로 분류되어 관련 처리 비용 부담이 큰 실정 ○ 국내·외에서 현장발생토/굴착토의 건설재료화 관련 연구는 주로 콘크리트 골재 활용에 국한 ○ 양질의 굵은 골재 활용에 대한 접근은 많으나 고함수·고유기물·불순물 함유 굴착토양에 대한 처리 및 활용 기술 전무 ○ 굴착토 처리 재료는 대부분 계면활성제 또는 무기화학계 제품에 국한. 친환경 바이오기반 신소재 활용 없음	○ 현장 굴착토의 친환경 처리를 통한 재활용 및 건설재료로의 사용을 통한 친환경 지속가능한 건설 이미지 제고 ○ 현장 굴착토의 이송, 배토, 분류 시스템상에 적용할 수 있는 친환경 신소재 개발 및 적용 ○ 친환경 신소재를 이용한 고함수비 굴착토의 급속 안정화, 이송 효율 극대화, 불순물 제거 등을 통해 배토 후 처리단계 간소화 ○ 친환경 신소재 적용으로 인한 굴착토의 건설재료로의 재활용 가능

[그림 3-66] 구축기술(As-is)

<table>
<tr><th>굴착</th><th>슬러리 이송</th><th>적재 또는 사토</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><th colspan="2">배토 및 탈수</th><th>매립</th></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td>  </td></tr>
</table>

[그림 3-67] 구축기술(To-be)



(라) 기술개발 개요

① 기술개발 정의

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

○ 친환경 굴착토 개량 기술은 TBM 굴진 중 챔버, 스크류 컨베이어 내부에 폼, 폴리머 등의 첨가제를 주입 및 교반함으로써 굴착토의 역학적·수리학적 물성을 크게 개선시키는 것과 관련된 일련의 기술

- 친환경 재료를 첨가제를 제안하고 이를 통해 적정 굴진면압 유지, 클로깅(Clogging) 현상 방지, TBM 하중 및 다운타임(Downtime) 리스크를 감소시킬 수 있어 시공성·안정성을 확보 가능

○ 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술은 TBM 정지 시 굴진면으로 그라우팅을 실시하여 일시적으로 수압을 감소시켜 안정성을 증진시켜 커터 교체 등 막장부근 작업을 저비용·고효율로 안전하게 수행할 수 있는 기술로 다운타임(Downtime) 축소 등 공사비를 획기적으로 저감

○ 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발을 통한 다양한 강도/두께의 세그먼트에 범용적으로 적용 가능한 품질 평가 기술은 시공 직후(단기) 및 운영 중(장기)인 터널에도 지속적으로 건전성을 신속히 평가할 수 있는 기술로 안정성 증대와 통합 운영 시스템과 연동하여 안전 확보 가능

○ 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술은 뒤채움 그라우트의 초기강도를 확보하여 내구성을 증진시켜 장기 유지관리에 필요한 사회적, 경제적 비용 절감과 가소성 확보를 위해 2액형 가소성 그라우트를 개발, 최적 배합 기술 개발로 시공성능을 평가

□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

○ 쉴드TBM에서 배토되는 버력을 적재함에 싣는 과정부터 고화제를 투입 및 혼합하여 고화처리를 시작하고 갱내 운반하는 차량 기술 개발

○ 친환경 신소재를 이용한 굴착토 처리 및 건설 재료화 핵심 기술

- 고함수비, 고유기물/오염원(중금속 포함) 함유 굴착토의 급속 안정화, 오염물 제거 및 배토 효율 증진을 위한 친환경 바이오기반 신소재 개발
- 제안하는 기술의 특징은: 1) 유동학적 특성을 고려한 굴착토의 배토 효율 증대, 2) 친환경 바이오기반 신소재 활용으로 인한 환경/폐기물 우려 저감, 3) 굴착토의 급속 안정화를 통한 시공 효율성 및 환경 개선
- 신소재 처리 굴착토를 건설재료(성토재, 뒤채움재, 충진재 등)로 활용하기 위한 배토 후 개량 기술 및 프로세스 제시

② 기술개발 목표

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

○ 친환경 굴착토 개량 기술은 지반조건 별 첨가제 배합 설계안, 물성 평가 실내 및 현장 시험법 제시, 첨가제 주입 장치 및 교반 장치 개발 등의 종합 관리 시스템, 친환경 첨가제 개발, 분리 처리공정 제시, 실대형 모형시험 및 수치해석 통한 개발기술의 검증을 포함

- 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술은 그라우팅 주입 장비 개발, 그라우팅 배합, 주입압력, 경화시간 등 주입 설계안 제시, 커터 교체를 위한 최적 유입수 조절 방안 제시, 그리고 굴진면 임시 그라우팅 처리 공법의 시방서 작성을 목표

○ 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 다양한 강도와 두께의 세그먼트에 범용적으로 적용 가능한 주입 품질 평가 기술 개발

- 시공 안전을 위한 뒤채움재 관리기준을 제시
- 기준을 만족시킬 수 있는 뒤채움 재료 개발
- 시공 조건에 따른 최적 평가법 선정 및 평가 속도 고속화 방안 개발
- 뒤채움 평가 알고리즘을 반영한 포터블(Portable) 평가 장비 및 솔루션 개발

○ 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술은 지반과의 결합력을 향상시킬 수 있는 재료 및 그라우트 개발, 지반개량/보강 효과 검증 및 그라우트로서의 물리성능 및 품질확보

- 무기계 가소성 그라우트 기술개발 및 최적 배합연구에서는 초기강도 발현이 용이하고 내구성이 증진된 2액형 무기계 가소성 그라우트 개발, 배합기술을 개발
- 무기계 가소성 그라우트 시공성 평가에는 뒤채움 그라우트의 주입시기, 주입방법 별 시공성능 평가 기술 개발

□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

○ TBM 굴착토 친환경 처리를 위한 신소재 개발

- TBM 굴착토 급속 탈수 및 배토 효율을 위한 바이오기반 신소재 개발
- 신소재 적용을 위한 배토 체계 최적화
- 배토 후 안정화를 위한 후처리 핵심 기술 개발

○ 굴착토 재활용 및 건설재료화 핵심요소기술 개발

- 신소재-굴착토 혼합물 건설재료 프로토타입 제시 (공학적 성능평가, 내구성, 환경성 검토 포함)

○ 고화제 혼합기능 탑재된 12~15m3 버력 적재함 기술 개발 및 제품 제작

- 배토되어 운반되는 굴착토/버력의 중량 또는 부피를 센서로 계량, 실시간 시공관리 시스템에 전송

(마) 국내외 기술개발 동향

① 해외 동향

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

○ 미국의 화학회사 BASF는 획기적인 차세대 굴착토 개량(Soil Conditioning) 첨가제를 개발

- 폼(MasterRoc SLF) 및 폴리머(MasterRoc SLP)는 액체 형태의 발포제 및 윤활성 중합체 즉 등급이 낮고 포화된 지반에 특히 유용, 투수성 감소, 커터헤드 및 스크류 컨베이어의 마찰 및 마모성을 낮춰 전력 소비와 도구의 마모를 크게 저감 가능
- 점착력이 큰 점토 지반에서 사용되는 폴리머(MasterRoc ACP)는 안정적인 폼을 생성, 막힘 및 부착 가능성을 줄이기 위해 설계되어 커터 헤드의 클로깅(Clogging) 및 점착(Adhesion)을 감소시키고 커터헤드의 토크를 감소시켜 TBM 굴진 속도를 증가시키는 등의 장점이 있음
- 암반용 MasterRoc ABR5는 디스크 커터 등 마모를 줄이고 분진 발생을 줄여 작업환경을 개선, 전반적인 TBM 굴진 속도를 증진시키고 유지보수 비용을 감소시켜 전체적인 공사비를 크게 감소 가능

○ 핀란드 Normet 사는 최근 향상된 Soil Conditioning 기술을 도입하여 TBM 관련 제품을 지속적으로 개발 및 개선

- Normet의 연구 및 개발팀은 고성능 친환경 폼제(계면활성제) 및 폴리머 등의 전체 제품군의 성능 향상을 위해 기존 TamSoil 첨가제 제품을 중점적으로 연구 개발하여 개선
- 최근 개선된 새로운 TamSoil 제품군은 기존 제품에 비해 TBM 커터 헤드 토크를 효과적으로 감소시킬 수 있어 굴착 도구 및 스크류 컨베이어의 마모를 최소화하고 개량된 굴착토의 유동특성을 크게 개선하여 TBM 시공 효율을 극대화 기대
- 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술은 일본을 중심으로 실제 현장에서 적용된 바 있으나 그 노하우는 일본 외에는 전해지지 않았음

〈표 3-56〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
EPB-Type 전용 각종 첨가제의 상용화	상용화된 EPB-Type TBM 전용 첨가제			
	미국/ 핀란드	BASF/Normet	MasterRoc SLF, SLP, ACP/TamSoil 등	일반적인 EPB-Type TBM 전용 첨가제로 TBM 굴진성능을 향상시킴

○ 시공 중 주입압과 주입량을 통해 뒤채움재의 상태를 평가하는 방식은 뒤채움재가 손실되어 뒤채움재의 양이 과도하게 사용되어도 주입압이 증가하지 않는 문제가 있으며, 운영 중인 터널의 경우 뒤채움 상태를 평가가 이루어지지 않고 있음

- Impact Echo (IE) 및 Ground Penetration Radar (GPR)을 이용하여 뒤채움 상태를 평가한 사례가 있으며, 일본의 경우 통신케이블과 하수관으로 사용되는 길이 2.3km, 직경 5m 터널의 뒤채움 품질 검사에 교토대학교 연구진이 IE 방법을 이용
- 기존의 코어 회수(Core Drilling)을 통한 방법에 비해 측정 횟수 및 위치에 대한 제한이 적으며 비파괴 방법이라는 이점을 가짐. 그러나 자동화된 장비없고, 현장에서 실험 후 후처리 작업이 요구되니. 현재 세그먼트 직경, 두께 등에 따라 분석할 수 있는 기술은 없음
- 중국의 경우 2007년 상하이에서 GPR을 이용하여 뒤채움 상태를 평가하고자 하였고, 20MHz의 주파수가 GPR 검사방법을 이용할 때에 알맞다는 결론을 도출
- 공동여부는 확인이 가능하나 자동화 평가는 불가능한 실정, 뒤채움의 품질을 확인하기에는 여전히 어려움 있음

* 10cm 미만의 UGM(Uncompensate Grout Mortar), 10~30cm 사이의NGM(Normal Grout Mortar), 그리고 30cm 이상의 OGM(Overcompansated Grout Mortar)에 대해 실험을 수행

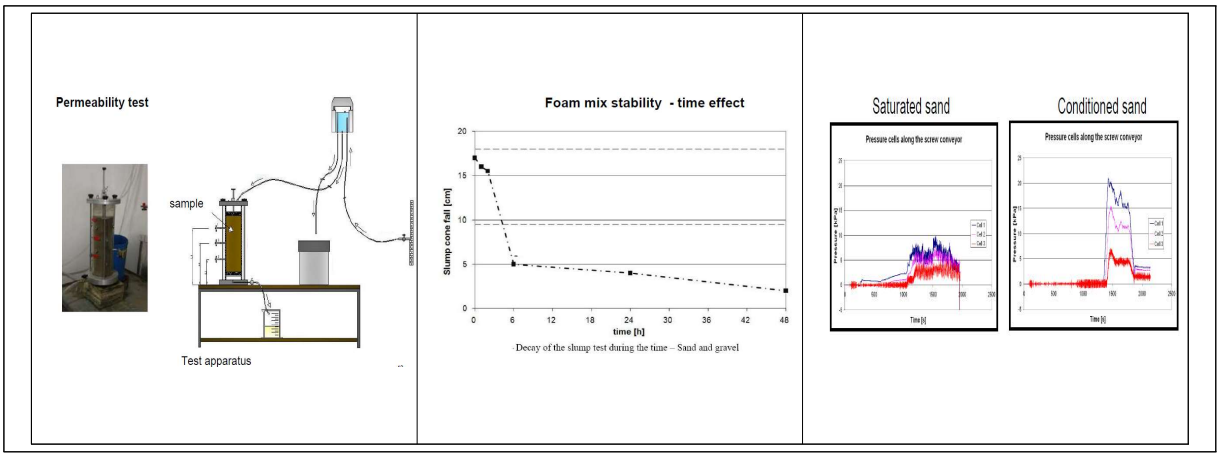
* 라이닝두께(35~100cm)와 그라우트에 대하여 국한된 정보만 연구되었으므로 다양한 지반 조건에 사용하기에는 한계

○ 뒤채움 그라우트재는 일본의 경우 지진 발생이 빈번한 내부 상황으로 지반 안정화 및 장기적인 안전성을 확보하기 위한 다양한 지반보강용 재료 및 시공기술이 발달되어 있고, 최근 중국에서 TBM 기술개발에 정부의 전폭적인 지원으로 상당한 기술력과 경험 축적

- 무기계 가소성 그라우트는 유럽 등 해외의 경우 글로벌 규모의 제조업체에서 주도적으로 연구를 진행하고 있어 시험장비부터 현장적용, 성능평가까지 가능한 수준으로 예상
- 국외의 경우 그라우트로서 시멘트 페이스트계, 모르타르계, 기포제, 굴착토 재활용, 유기계, 규산계 등 다양한 재료 및 시공장비에 대한 기술이 국내에 비해 발달된 상태
- 뒤채움 그라우팅 재료의 성능, 특성 및 주입방법에 따라 주위지반과 세그먼트에 미치는 영향까지 체계적으로 연구되고 있는 것으로 파악

[그림 3-68] 해외 Backfill Grouting 연구





□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

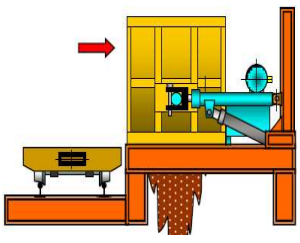
○ EPB TBM 폼(form)제 함유 굴착 슬러리 재활용을 위한 음이온 계면활성제 활용 사례 보고(Caracciolo et al. 2021)

○ 국착토 세척 후 분류하여 자갈질 입자들을 건설 골재로 활용(Voit and Kuschel 2020)하거나 콘크리트 혼합 사례(Voit et al. 2020)가 보고

○ 버력적재함 대용량화, 배토방식의 개발에 주력하고 있는 상황

- 일본의 경우 버력적재함 대용량화, 현장 작업장 조건에 대한 덤핑방식의 다양화에 주력

[그림 3-69] 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

적재함 밑열림 배토식	적재함 분리 배토식	적재함 회전식
		

〈표 3-57〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
적재함 대용량화	적재함 밑열림 배토식, 측면 배토식			
	일본	ACTIO	광차	적재함 및 배토구조

- 유럽의 경우 버력적재함 대용량화에 주력하고 있으며, 시멘트밀크 운반용 소용량 탱크 및 침전방지를 위한 교반장치가 장착

[그림 3-70] 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

적재함 밑열림 배토식	적재함 밑측면 배토식	적재함 회전식
		

〈표 3-58〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
적재함 대용량화	적재함 배토방식, 대용량화		
	독일	MUHLHAUSER	광차

- 중국의 경우 버력적재함 대용량화에 주력하고 있으며, 시멘트밀크 운반용 소용량 탱크 및 침전방지를 위한 교반장치가 장착

[그림 3-71] 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

20m3 이상 대용량 적재함	적재함 회전식	시멘트밀크 운반차량
		

〈표 3-59〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
적재함 대용량화	적재함 배토방식, 대용량화		
	중국	CREG	광차

② 국내 동향

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

○ 국내 연구기관에서 굴착토 개량(Soil Conditioning)에 관련된 연구가 일부 진행 중

- 현대건설과 고려대학교에서는 실험실 규모의 EPB-Type TBM 굴진을 모사한 시험장비를 고안하여 인공 사질토 지반에서 일련의 굴진시험을 통해 폼 주입비(FIR), 폼 팽창비(FER) 등의 폼 주입변수(Foam Injection Parameter)의 영향을 정성적으로 파악
- 고려대학교에서는 실내시험을 통해 화강풍화토 지반에 적합한 폼/폴리머 배합을 제시, 평가하기 위해 간편 시험법 등을 제안과 화강풍화토 시료에 대하여 슬럼프 시험에 의한 슬럼프 치와 낙하 콘 시험에서의 콘 관입 깊이의 높은 상관관계를 제시
- 굴진면 임시 그라우팅 기술은 국내에서 수행된 바가 없음
- 한국전력과 인하대학교가 협력하여 IE를 이용한 터널 외부면 공동 탐사 장치를 개발하여 전력구 터널의 뒤채움 상태를 평가하려는 시도가 있었음
- 시험시간이 길어 효과적으로 현장에 적용하기 어려움 있고, 대구경 세그먼트의 뒤채움 평가에 적용한 사례는 없는 실정

○ 국내의 경우 전력구 등의 소구경 터널적용이 대부분으로 2010년 이후 중점적으로 관련 연구가 시작되었으며 후발주자로써 TBM 커터헤드설계, 제작기술, 디스크커터와 세그먼트 라이닝의 고성능화 기술 등을 확보하고 연구를 지속적으로 수행 중

- 시멘트 페이스트, 규산계 그라우트를 이용하여 시공이 진행되고 있어 지하수에 의한 유실, 장기적 내구성 저하 등의 문제점이 여전히 존재
- 재료, 시공분야의 기업들이 자체적으로 연구를 진행하고 있는 수준으로 데이터 축적이 미미하고 현장적용이 어려움
- 국내의 경우 TBM 시공과 관련해서는 선진국에 비해 낮은 수준으로 시공 후 유지관리 분야보다는 시공분야에 보다 관심이 집중된 상태

□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

○ 터널 굴착 시 발생하는 버력 재활용을 위한 실험 연구(김완영 2006) 또는 EPB TBM 굴착토의 골재 활용을 위한 기술 관련 연구(문성용 등 2008) 사례가 있으나, 확실한 대안 기술 개발이 이루어지지 못함

○ EPB 쉴드TBM 굴착시 발생되는 굴착토/버력을 운반하는 차량의 제조사는 없으며, 광산용 소형(4m3미만) 운반 차량만 제조가능

〈표 3-60〉 고함수비 굴착버력 고화처리/운반기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
국내 전문제조사	해당없음		
	해당없음	해당없음	수입 및 해외 전문제조사 OEM위탁

(바) 해외 및 국내 기술 수준 비교

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

○ 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술

- 해외에서는 관련 학계 및 산업계 연구개발이 국내에 비해 상대적으로 크게 활성화되어 있으며 이에 따라 많은 현장에서의 상용화가 이루어져있고, 국내에서도 마찬가지로 관련 연구가 최근 진행되었으나 아직까지 현장에 적용하기에는 부족한 단계

  * 관련 기술을 중점적으로 개발할 경우 최고 기술 보유국과 TBM 기술격차를 감소시켜 국내·외 터널현장 수주에 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상

- 일본을 중심으로 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술이 적용되고 있으나 그 노하우는 외부에 전수되지 않은 상태. 국내에서는 해당 기술에 대한 연구 및 적용사례가 전무

○ 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 뒤채움 품질 평가 기술

- 해외의 경우 IE 및 GPR을 이용하여 뒤채움 상태를 평가하려는 시도가 있었으나 자동화 된 장비 및 평가 방법이 없고, 현장에서 실험후 후처리 작업이 요구
- 또한 다양한 조건의 뒤채움 평가는 불가능한 것으로 파악

○ 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술

〈표 3-61〉 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	굴착토 개량(Soil Conditioning) 관련 연구가 독일, 프랑스, 미국, 중국, 일본에서 상당 수준 진행되었으며 이에 따른 현장에 적용이 활발함	최근 굴착토개량 (Soil Conditioning)을 실내시험을 통해 평가하는 연구들이 국내에서 수행되고 있으나 아직까지 실험단계에 머물러 있어 현장에 적용되지 못하였음	학술적 연구 뿐만 아니라 현장에서도 적용 가능한 국내 독자적인 굴착토 개량 및 평가 종합 관리 시스템을 보유함
TRL 단계	8단계	4단계	8단계
기술성숙도	실용화 단계	실험 단계	실용화 단계
주요성능	학술적 연구 뿐만아니라 상용화로 여러 현장에 적용되었음	실내실험을 중심으로 한 다양한 연구가 시도되고 있으나 현장에 도입되기에는 무리가 있음	국외 기술 수준을 상회하는 경쟁력을 갖추어 개발기술이 현장에 적용

〈표 3-62〉 세그먼트 뒤채움 품질평가 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	세그먼트 뒤채움 주입 상태 및 품질을 평가할 때 GPR, IE 등을 이용하여 분석을 수행하고 있음	세그먼트 뒤채움의 주입상태는 주입량 및 주입압으로만 관리하며, 유지관리 단계에서 품질평가는 미수행	포터블 장비를 이용하여 시공 중 및 운영 중 터널의 뒤채움재 품질관리를 수행할 수 있음
TRL 단계	8단계	5단계	8단계
기술성숙도	제한된 실제현장 사용성 증명 단계	시제품 성능평가 단계	제한된 실제 현장 사용성 증명 단계
주요성능	뒤채움의 상태 평가가 필요할 시 상용화 되어있는 GPR을 이용하여 뒤채움 상태를 평가	시공 중 터널의 주입량 및 주입압만을 이용하여 뒤채움 품질을 평가하고 있으며,	시공 중 및 운영 중 터널 뒤채움 품질을 고속으로 평가할 수 있음

〈표 3-63〉 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술

구 분	최고기술 보유국	현 국내 수준
기술 수준	가이드라인제시, 지지식 흙막이 공법등으로 사업화가 완료된 단계임	파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되고 있음
TRL 단계	9단계	4단계
기술성숙도	현장적용/사업화단계	연구실 규모의 성능평가
주요 성능	시공안전성 확보, 지반안정화, 내구성 확보 및 검증	국내 외 연구를 활용하여 성능, 효율성 평가

□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

○ 버력 적재함 대용량화 및 작업여건을 고려한 배토방식에 주력하는 실정

- 국내의 경우, 광산용 소형 적재함이 장착된 운반차량을 중국에 OEM제조후 수입

○ 해외에서 굴착토를 건설재료로 활용하는 사례는 다수 보고되나, 단순 세척하거나 무기화학계 재료로 후처리하는 기술이 대부분 확인

○ 국내에서는 아직 굴착토를 건설재료로 적극 활용하지 못하고 있는 실정이며, 친환경 바이오기반 신소재로 굴착토를 처리하는 사례는 없음

〈표 3-64〉 고함수비 굴착토/버력 운반기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	버력 적재함 대용량화 (20m^3 이상)에 주력하고 있음	광산용 소형 (약 4m^3) 버력운반차량 제작하며, 일본, 중국 등 수입에 의존하고 있음	세계 최초 고화처리 겸용 버력적재함 기술 확보
TRL 단계	7단계	1단계	8단계
기술성숙도	응용개념단계	기본단계	사업화단계
주요성능	대용량 적재함 및 운반	소용량 적재함 및 운반	대용량 적재함내 고화처리

〈표 3-65〉 친환경 신소재를 이용한 굴착토 처리 및 건설재료화 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	기술 완성도가 높지 않으나 현장 적용 사례 있음	연구실 실험연구 수준	TBM 현장 굴착에 적용 및 굴착토 건설재료 활용
TRL 단계	8단계	3단계	9단계
기술성숙도	현장 적용	연구실 규모 물성 평가	실용화 완성
주요성능	콘크리트 혼합 골재, 도로 성토재	없음	굴착토 폐기량 50% 이상 저감, 성토 및 뒤채움재 활용

(사) 세부개발 내용

<table>
<tr><th colspan="3">(구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술</th></tr>
<tr><td rowspan="5">연구 방향</td><td>한계점</td><td>기술개발방향</td></tr>
<tr><td>■ 첨가제로 개선된 굴착토의 배합설계, 평가법, 분리 처리 방안 등 첨가제 주입 및 관리 방안, 그리고 그 거동의 해석법이 현재까지 명확히 정립되지 않았으며, 폼, 폴리머 등 국외에서 개발된 화학물질 기반 첨가제가 TBM 굴진에 상용되고 있으나 환경에 대한 영향이 의문시되고 있음</td><td>■ 첨가제 주입에 의한 개선된 굴착토 배합 및 설계법, 평가 방안 및 시스템, 주입 및 교반 장치 개발을 통해 안정성·시공성 증진을 동시에 만족하는 국내 독자적 TBM 기술 확보에 기여할 수 있음. 또한, 친환경 첨가제의 개발을 통해 TBM 운용 시 첨가제 투입으로 인한 환경 부담을 획기적으로 완화할 수 있으며, 굴착토-첨가제 분리 처리 기술을 통해 버력 및 첨가제를 타 건설재료로 재활용할 수 있음</td></tr>
<tr><td>■ 지하수가 존재하는 TBM 현장에서 가장 리스크가 큰 공정은 커터 교체 작업 등의 TBM 정지 시 유지보수 공정임. 현재 수압에 맞추어 커터를 교체하는 방법이 해외에서 제시되어왔지만, 이는 시간과 공사비가 많이 소요되고 해당 작업을 수행하는 작업자가 고위험에 노출되어 있음</td><td>■ TBM 정지 시 내부의 챔버를 활용, 굴진면에 그라우트를 일시적으로 주입하여 안정화하는 기술을 적용하고 기존 프리 그라우팅 공법에 비해 소요 공기 및 비용을 획기적으로 줄일 수 있으며 커터 교체 등의 공정을 안전하게 수행 가능하게 함으로써 TBM 시공성을 확보</td></tr>
<tr><td>■ 시공 중인 쉴드 TBM 터널은 뒤채움재의 주입압력과 주입량을 통해 세그먼트 배면 뒤채움재의 채움상태를 평가하고 있으나 품질 확보에 한계가 있으며 운영 중인 터널에 대한 뒤채움재 건전성 평가방법이 현재로서는 존재하지 않음</td><td>■ 세그먼트 배면 뒤채움 품질을 고속으로 평가할 수 있는 기술을 개발하여 부실 시공된 뒤채움재에 의한 지하수 유입 및 압력 증가로 인한 세그먼트 파손을 사전에 발견, 예방할 수 있음. 또한, TBM 굴진 중, 완공 후 터널 운영 중에도 지속적으로 뒤채움재의 품질을 확인하여 지반침하 및 터널 건전성을 상시 모니터링 할 수 있음</td></tr>
<tr><td>■ 강알칼리성/알칼리용탈에 기인한 인체 및 환경유해성, 지반개량 및 보강 효과 저하, 장기적인 체적감소 및 공동발생</td><td>■ 시멘트와 유사한 수준의 무기계 가소재, 지반조건에 따른 보강효과 증대, 무수축, 장기 내구성 증진</td></tr>
<tr><td>연구
필요성</td><td colspan="2">○ 굴착토 개량기술(Soil Conditioning)은 국외와의 TBM 기술격차를 줄이기 위한 핵심기술 분야로써, TBM 시공 리스크 및 공사비를 줄이는 등 시공성과 안정성을 동시에 높일 수 있어 중점적으로 연구·개발 시 경쟁력을 확보할 수 있는 주요 기술로 평가되고 있음
- 친환경적인 첨가제 개발, 굴착토-첨가제 분리방안 제시 등의 기존 국외 기술과 차별성을 가지는 기술개발로 국내 개발기술의 경쟁력을 확보할 수 있음
- 굴진면 임시 그라우팅 기술은 커터 교체 등을 위한 TBM 정지 시 굴진면 수압을 감소시켜 작업자의 안전을 확보, 작업효율 증대를 통해 TBM 공기를 획기적으로 감소시킬 수 있는 기술로써 국외에서 개발, 적용된 경우가 거의 없어 선제적 기술 확보가 필요한 시점
○ 세그먼트 뒤채움 품질 확보를 위한 평가 기술 또한 해외에서 상대적으로 미진한 것으로 파악되어 국내에서 우선적으로 확보해야 할 주요 기술로 평가되었으므로 국내 TBM 기술의 경쟁력 제고를 위해 해당 기술의 확보가 시급한 상황
○ 기존의 기술이 규산계에 치중되어 있어 보다 친환경적인 재료와 시공기술 개발로 초기 지반안정화와 장기적인 내구성을 확보</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="4">(구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술</th></tr>
<tr><td>연구내용</td><td colspan="3">○ TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술은 다음의 기술을 포함
- 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술
- TBM 연속 굴착을 위한 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술
- 세그먼트 배면 뒤채움 평가 기술
- 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술</td></tr>
<tr><td></td><td>연도</td><td>연구목표 및 연구내용</td><td>주요 성과물</td></tr>
<tr><td></td><td>2023</td><td>▪ (연구목표)
- 국외 굴착토 개량 기술 분석
- 국외 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술 분석
- 국외 세그먼트 뒤채움 관리 및 평가 기술 분석
- TBM 라이닝시공 관련 자료조사 및 현황파악
▪ (연구내용)
- 국내외 기술 수준 분석을 통한 개발 기술 목표 수준 및 범위의 정의</td><td>▪ 각 개발 기술의 분석서
▪ 개발 기술 성능, 평가 지표 제시</td></tr>
<tr><td></td><td>2024</td><td>▪ (연구목표)
- 지반조건 별 첨가제 배합 설계안 및 시험법
- 굴진면 임시 그라우팅 배합, 주입압력 등 주입 성능 지표 및 시험법 제시
- 세그먼트 뒤채움 관리 기준 수립을 위한 요구 성능 분석 및 평가 알고리즘 정립
- 세그먼트 뒤채움용 재료연구
▪ (연구내용)
- 첨가제 배합 설계안 및 평가 시험법 제시, 실험실 규모의 첨가제 주입 및 교반장치 개발
- 실험실 규모의 장치 및 시험법 개발</td><td>▪ 연구논문,특허
▪ 시제품 등</td></tr>
<tr><td></td><td>2025</td><td>▪ (연구목표)
- 첨가제 주입 및 교반 장치 시제품 개발
- 친환경 폼, 폴리머 등 시제품
- 굴착토-첨가제 분리 공정안 제시
- 그라우팅 주입 장비 시제품 개발
- 뒤채움 주입 평가 포터블(Portable) 장비 개발
- 세그먼트 뒤채움용 재료연구
▪ (연구내용)
- 각 기술 적용을 위한 시제품 개발</td><td>▪ 연구논문,특허
▪ 시제품 등</td></tr>
<tr><td></td><td>2026</td><td>▪ (연구목표)
- 실대형 규모의 첨가제 거동 시험 수행, 평가 및 해석법 정립 (종합 관리 시스템 개발) 및 친환경 폼, 폴리머의 개발
- 굴진면 임시 그라우팅의 실대형 규모 검증
- 세그먼트 뒤채움 관리 기술의 현장 적용 및 성능 검증
- Mock up Test, 현장적용으로 시공성 및 최종물성 평가
▪ (연구내용)
- 각 개발 기술의 실대형 규모 시험검증 수행</td><td>▪ 각 개발 기술의 해석적 및 실대형 규모 검증 수행</td></tr>
<tr><td></td><td>2027</td><td>▪ (연구목표)
- 친환경 첨가제 주입 및 관리 종합 시스템의 현장적용 수행 및 분석
- 굴진면 임시 그라우팅의 실대형 규모 검증결과 분석
- 세그먼트 뒤채움 관리 기술의 현장 적용 및 성능 결과분석
- Mock up Test, 현장적용으로 시공성 및 최종 평가분석</td><td>▪ 기술이전
▪ 현장적용 보고서</td></tr>
<tr><td></td><td>최종 성과물</td><td colspan="2">▪ 연구논문, 특허, 시제품, 설계안, 시방서, 기술이전, 현장적용 보고서 등</td></tr>
</table>

(구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
굴착토 개량 평가/관리 시스템[1)]	20%	70%	굴착토 개량 평가/관리 시스템 정립 및 현장적용
첨가제 주입/교반 장치[2)]	20%	90%	첨가제 주입/교반 장치의 개발 및 현장적용
친환경 첨가제[3)]	0%	0%	친환경 첨가제의 개발, 상용화
세그먼트 뒤채움 관리기준 및 평가 장치	60%	80%	뒤채움 표준 관리기준(강도), 주입 품질 평가 시스템 (시험속도: 10ring/hour)
친환경 무기계 뒤채움 그라우트	40%	90%	무기계 그라우트 개발/성능평가 및 현장적용

1) 현재 일본에서 개발된 것으로 파악되며 실제 현장에 적용되었으나 보편화 되지는 않음
2) 세계 각지 TBM 장비회사를 중심으로 개발 및 적용 중
3) 현재 세계적으로 EPB-Type TBM 전용 친환경 첨가제는 개발되지 않았음

최종 성과물

○ 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술
- 굴착토 개량 평가/관리 종합 시스템, 첨가제 주입/교반 장치, 친환경 첨가제

○ TBM 연속 굴착을 위한 굴진면 임시 그라우팅 처리 기술
- 챔버 그라우팅 기술

○ 세그먼트 뒤채움 관리기준 및 품질 평가 시스템
- 친환경 뒤채움재, 뒤채움 품질 관리기준, 평가용 포터블 장비

○ 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술

(구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ 국내 제조사 없어, 해외 전문제조사에 위탁 제조 필요 - 고함수비로 버력운반이 예상되는 과업에 대해서만 적용가능	■ 적재함 구조 제안 및 위탁 제조 ■ 적재함 적정 용량 및 제원 검토를 통한 병행 활용이 가능한 구성
■ 단순 세척 또는 무기화학계 재료를 이용한 굴착토 처리 - 굴착토 배토 후 후처리/안정화에 상당한 시간과 비용 소모 - 굴착토의 건설재료화(재활용) 사례 미미	■ 친환경 바이오기반 신소재 개발 및 적용을 통한 환경성, 시공성, 그리고 경제성 확보 ■ 친환경 신소재의 급속탈수, 중금속 흡착 및 오염원 고정 기능을 통한 후처리 과정 최소화 ■ 굴착토 재활용 및 건설재료화 핵심 실용화 기술 확보로 굴착토 관련 건설폐기물 확기적으로 저감

연구 필요성

○ 고함수비 굴착버력은 갱내에서 고함수비 굴착버력은 갱내에서 운반되어 별도의 지상설비에서 고화재를 혼합하여 고화처리하고 적치장에서 일정시간 건조시킨 후 외부로 반출되므로 시간이 오래걸리고 고가의 설비를 추가로 사용해야 하므로 비효율적·비경제적

- 작업장 계획시 대형 고화처리설비를 위한 공간이 필요하고, 지상에서 일정시간을 건조시킨 후 반출해야 하므로 적치공간도 충분한 여유를 확보하여야 하는 문제점이 있음

고함수비 반출 버력	고화처리 후 버력
	

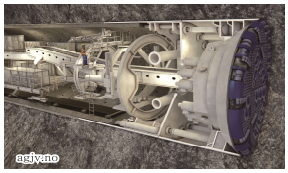
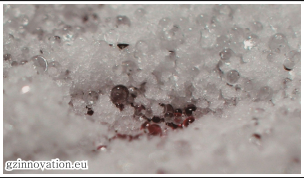
○ 지하공간 TBM 굴착 시 발생하는 굴착토는 현재 건설폐기물로 취급되어 사회·경제적 비용부담이 큰 실정이며, 해외 대비 굴착토 처리 및 건설재료로의 재활용 기술이 전무한 수준

- 최근 건설폐기물 및 지하건설 관련 굴착토 발생량 증가와 이에 따른 매립지 포화 등이 사회적 이슈로 대두되고 있음

- 국내에서 연간 건설 폐토석은 약 200만 톤 수준으로 이중 15% 정도가 TBM 굴착과 관련됨. 하지만 대부분 벤토나이트 또는 무기화학계 슬러리가 섞인 굴착토는 세척/분리가 어려워 대부분 폐기되고 있는 실정으로 배토 폐기 비용과 관련 민원이 많이 발생

- 국내에서 현장 굴착토를 유동성 뒤채움재, 인공성토재 등으로 활용하는 연구들이 수행되었으나 아직 실용화·상용화된 기술은 없는 수준이다. 특히 신소재를 개발한 사례없고, 국외의 단순 세척/후처리 기술들을 그대로 따르는 수준으로 재활용 및 건설재료화 추진에 한계

- 친환경 신소재의 개발을 통해 굴착토를 친환경적이고 효율적으로 안정화시키고, 배토 후 안정화/후처리 과정을 줄이고, 나아가 건설재료로 재활용할 수 있는 핵심원천 기술을 제시하면 국내는 물론 해외 시장 선점이 가능할 것으로 판단

굴착	친환경 신소재 주입	이송(탈수 및 안정화)
		
배토 및 탈수		**건설 재료화**
		

(구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

연구내용

○ 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술
- 고화제 혼합기능 탑재 버력적재함 기술 개발 및 제품 제작
- TBM 굴착토 친환경 처리를 위한 신소재 개발 및 굴착토 재활용·건설재료화 핵심요소기술 개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2023	▪ **(연구목표)** - 국내외 버력운반 차량의 실태 조사 - 굴착토 처리 신소재의 요구사항 정의 ▪ **(연구내용)** - 선행기술 및 고함수비 버력반출 최신 국내 사례 조사 - 굴착토의 물리·화학적 특성 파악, 주요 목표 성능 수립	▪ 보고서 ▪ 보고서
2024	▪ **(연구목표)** - 운반차량내 고화재 혼합 기술개발 - 친환경 신소재 후보재료 선정 및 굴착토 처리 효과 평가 ▪ **(연구내용)** - 고화재 혼합기구 및 적재함의 최적 구조선정 - 신소재 요구사항 충족 후보재료 발굴 후 혼배합 시의 유동학적 특성, 물리·화학적 특성 평가(실내실험)하고 최적 후보재료 선정	▪ 도면, 특허출원 ▪ 보고서
2025	▪ **(연구목표)** - 굴착토/버력 운반차량 설계 - 친환경 신소재 최적 적용 조건 도출 ▪ **(연구내용)** - 굴착토/버력 운반차량 설계 - 신소재의 최적 함량(농도), 적용 시점 결정을 위한 실험연구 고도화로 효과적인 적용을 위한 시스템 프로세스 제시	▪ 도면 ▪ 보고서
2026	▪ **(연구목표)** - 고화제 혼합 겸용 굴착토/버력 운반차량 제작 - 신소재 혼합된 굴착토 배토후 안정화/후처리 요소기술 개발 ▪ **(연구내용)** - 고화제 혼합 겸용 굴착토/버력 운반차량 (시제품) 제작 - 굴착토 재활용 및 환경성 확보를 위한 배토의 후처리 요소기술(세척, pH 등) 도출, 건설재료화를 위한 후속공법 도출	▪ 시제품 ▪ 세제품
2027	▪ **(연구목표)** - 고화제 혼합 겸용 굴착토/버력 운반차량 현장 실증 - 굴착토 건설재료화 기술 완성 - 신제품의 개발 및 설치 ▪ **(연구내용)** - 고화제 혼합 겸용 굴착토/버력 운반차량 현장 실증 - 재활용 굴착토를 이용한 건설재료(성토, 뒤채움) 현장시공	▪ 현장적용 보고서 ▪ 현장적용 보고서
최종 성과물	■ **보고서, 연구논문, 특허, 시제품, 설계안, 시방서, 현장적용 보고서**	

(구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
고화처리 가능한 굴착토/버력 운반차량 제작[1)]	10%	70%	굴착토/버력을 운반중 고화처리 가능한 운반차량 개발/제작/현장실증
친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 기술[2)]	10%	60%	굴착토 버력을 급속 탈수·안정화 가능한 바이오신소재 개발 및 적용 공법 제시

1) 대용량화에 집중되어 있는 운반차량은 고화처리 기능이 병행되어 개발되지 않았음

2) 아직 굴착토 버력의 굴착직후 급속 탈수·안정화 실용화 기술이 없음

최종 성과물

○ 굴착토/버력을 갱내 운반중 고화처리 가능한 운반차량 개발
- 운반차량 제작 및 현장 실증

○ 친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 기술
- 굴착토 처리 친환경 신소재, 굴착토 재활용 건설재료

(아) 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

〈표 3-66〉 본 구성기술관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
TBM 지반특성 평가를 통한 커터수명 예측 및 배토성능 향상기술 개발	국토교통과학 기술진흥원 (2013.06-2018.12)	폼(Foam) 발생장치 개발을 포함한 굴착토 개량에 의한 배토성능 향상을 중점으로 연구 진행(실내시험 위주)	〈차별점〉 현재 추진 중인 연구의 경우 기존 연구와는 다르게 친환경 첨가제를 개발 및 사용하며, 굴착토 개량 배합 설계법, 주입/교반장치, 평가 시스템 등이 실제 EPB-type TBM 현장에 적용되는 것을 목표로 함 〈연계방안〉 기존 연구에 사용된 실내시험 장비 제원의 참고 및 활용

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
쉴드 TBM 뒷채움 평가 기법 선정	한전전력연구원 (2016.10~2018.6)	IE기반의 쉴드 TBM 뒷채움 평가 장치 개발을 위한 수치해석 및 현장실험	〈차별점〉 뒤채움 주입 재료의 품질에 대한 관리기준은 제시되지 않으며 소단면 TBM에 제한적으로 적용될 수 있는 기술로 다양한 직경, 두께, 강도 등에 범용적으로 적용될 수 있는 기술 개발 필요 〈연계방안〉 뒤채움 주입 재료의 품질 관리를 위한 현장의 현행 정보 획득하고 뒤채움 주입 품질 평가 장비의 기본 제원 및 평가 알고리즘을 참고하여 연구 개발에 접목

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
시공장비(기계화시공) 국산화를 위한 핵심요서 기술개발	한국건설교통 기술평가원(2004)	쉴드TBM 뒤채움용 무기계 가소성 그라우트의 공학적 특성 및 현장적용성 평가	〈차별점〉 경화촉진제, 경화보조제, 초기강도 발현제 등 사용되는 재료가 다양하고 사용량이 높은 수준으로 규산계 대비 소요 재료량이 두배 가량 많음 〈연계방안〉 기존 연구에 사용된 실내시험 장비 제원의 참고 및 활용

□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리 · 운반용 갱내 운반 기술

〈표 3-67〉 굴착토/버력을 갱내 운반중 고화처리 가능한 운반차량 개발

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
해당없음	해당없음	해당없음	〈차별점〉 해당없음 〈연계방안〉 친환경 고화제 발굴 및 활용

〈표 3-68〉 친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 기술

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
매입말뚝 천공시 발생하는 굴착토의 현장 재활용 및 폐기물 최소화 기술의 실용화	국토해양부 (2010-09~ 2011-11)	현장발생토의 분리 기술 확립 현장발생토의 재활용을 위한 역학적 특성에 관한 연구 현장발생토의 재활용을 위한 시공 장비의 개선 및 개량	〈차별점〉 TBM EPB 슬러리가 아닌 매입말뚝에서 발생하는 슬러리를 애용 〈연계방안〉 현장발생토의 분리 및 처리와 재활용 부분을 연계

(자) 민간기술과의 차별성·연계성

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

○ 친환경 굴착토 개량기술

〈표 3-69〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
	해당없음	해당없음	해당없음	〈차별점〉 〈연계방안〉

○ 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 뒤채움 품질 평가 기술

- HBC는 쉴드 TBM 터널 세그먼트의 뒤채움재 채움상태 평가 방법 및 이를 이용한 뒤채움재 채움 상태 평가 장치의 특허를 기술이전 받아 전력구 터널 현장에 적용한 사례가 있음

- 뒤채움 재료의 품질 관리 기준은 부재한 실정이며, 기 개발 기술은 평가 소요시간이 과다하여 평가에 어려움을 겪고 있으나 본 연구 개발을 통해 범용적으로 주입 품질 평가가 가능한 평가 시스템을 개발하여 차별화

* 뒤채움 주입 품질 평가 속도 개선 및 뒤채움 주입 품질 평가 알고리즘의 레퍼런스로 활용하고 벤치마킹

〈표 3-70〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
	친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 뒤채움 품질 평가 기술	HBC	쉴드 TBM 터널 세그먼트의 뒤채움재 채움상태 평가 방법 및 이를 이용한 뒤채움재 채움 상태 평가 장치	〈차별점〉 뒤채움 재료의 품질 관리 기준은 부재한 실정 기 개발 기술은 평가 소요시간이 과다하여 평가에 어려움 본 연구 개발은 범용적으로 주입 품질 평가가 가능 〈연계방안〉 뒤채움 주입 품질 평가 속도 개선 및 뒤채움 주입 품질 평가 알고리즘의 레퍼런스로 활용하고 벤치마킹

○ 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술

〈표 3-71〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
	친환경 무기계 뒤채움 그라우트 개발	맥스콘소재	약알칼리성 규산나트륨을 이용한 가소상 그라우트	〈차별점〉 규산소다계 재료 사용 비 규산소다계 급결성 재료개발 〈연계방안〉 해당없음
	친환경 무기계 뒤채움 그라우트 개발	케미우스코리아	산업부산물을 재활용한 속경 고유동채움재	〈차별점〉 하수관 채움재 등으로 활용, 초기강도 및 장기강도가 낮음 초기강도 확보 및 장기내구성을 증진한 무기계 가소상 그라우트개발 〈연계방안〉 해당없음

□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리 · 운반용 갱내 운반 기술

○ 굴착토/버력을 갱내 운반중 고화처리 가능한 운반차량 개발

〈표 3-72〉 굴착토/버력을 갱내 운반중 고화처리 가능한 운반차량 개발

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	해당없음	해당없음	해당없음	〈차별점〉 고화재 투입 및 처리기술 〈연계방안〉 해당없음

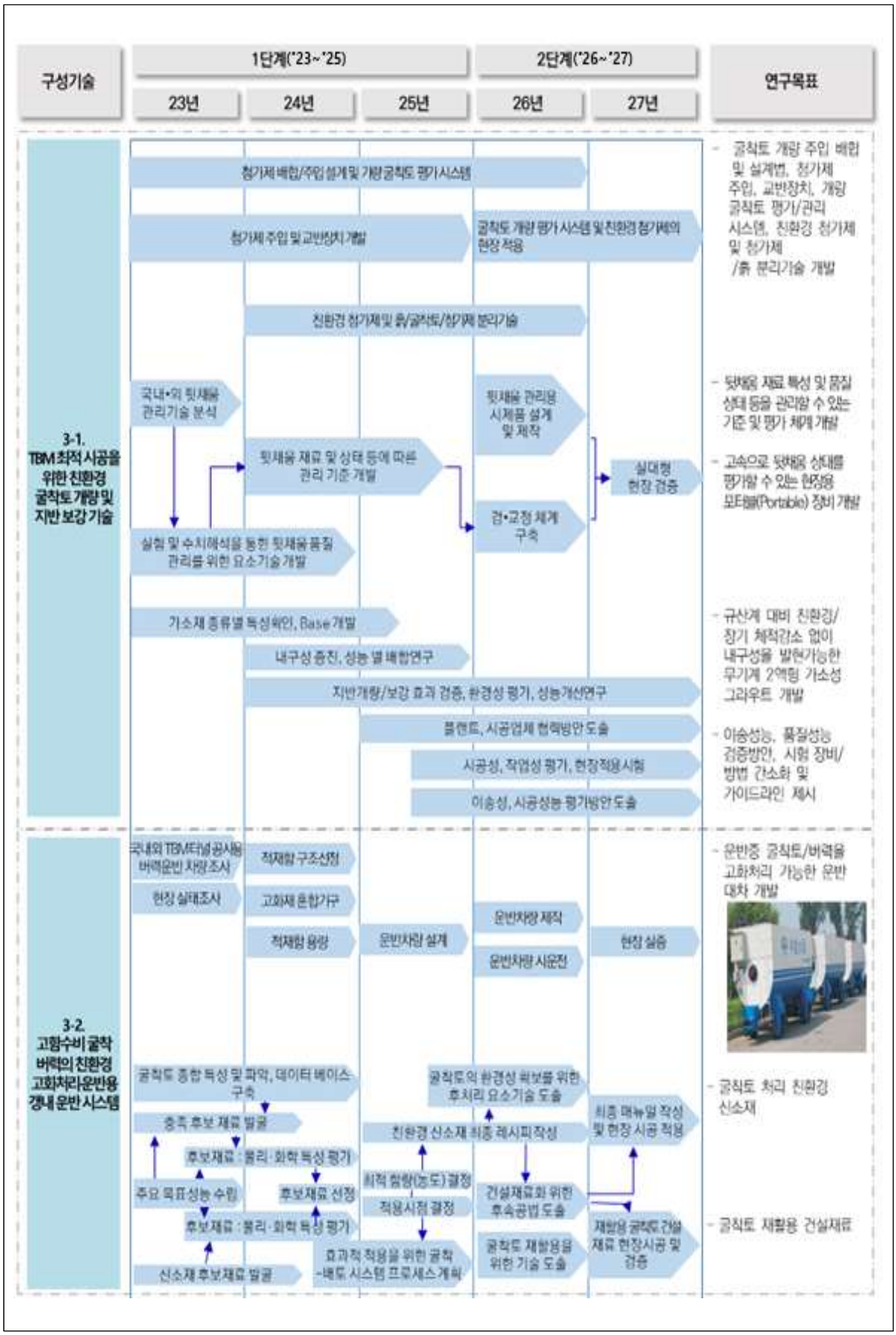
○ TBM 굴착토 친환경 처리를 위한 신소재 개발 및 재활용 건설재료화 기술

〈표 3-73〉 친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 기술

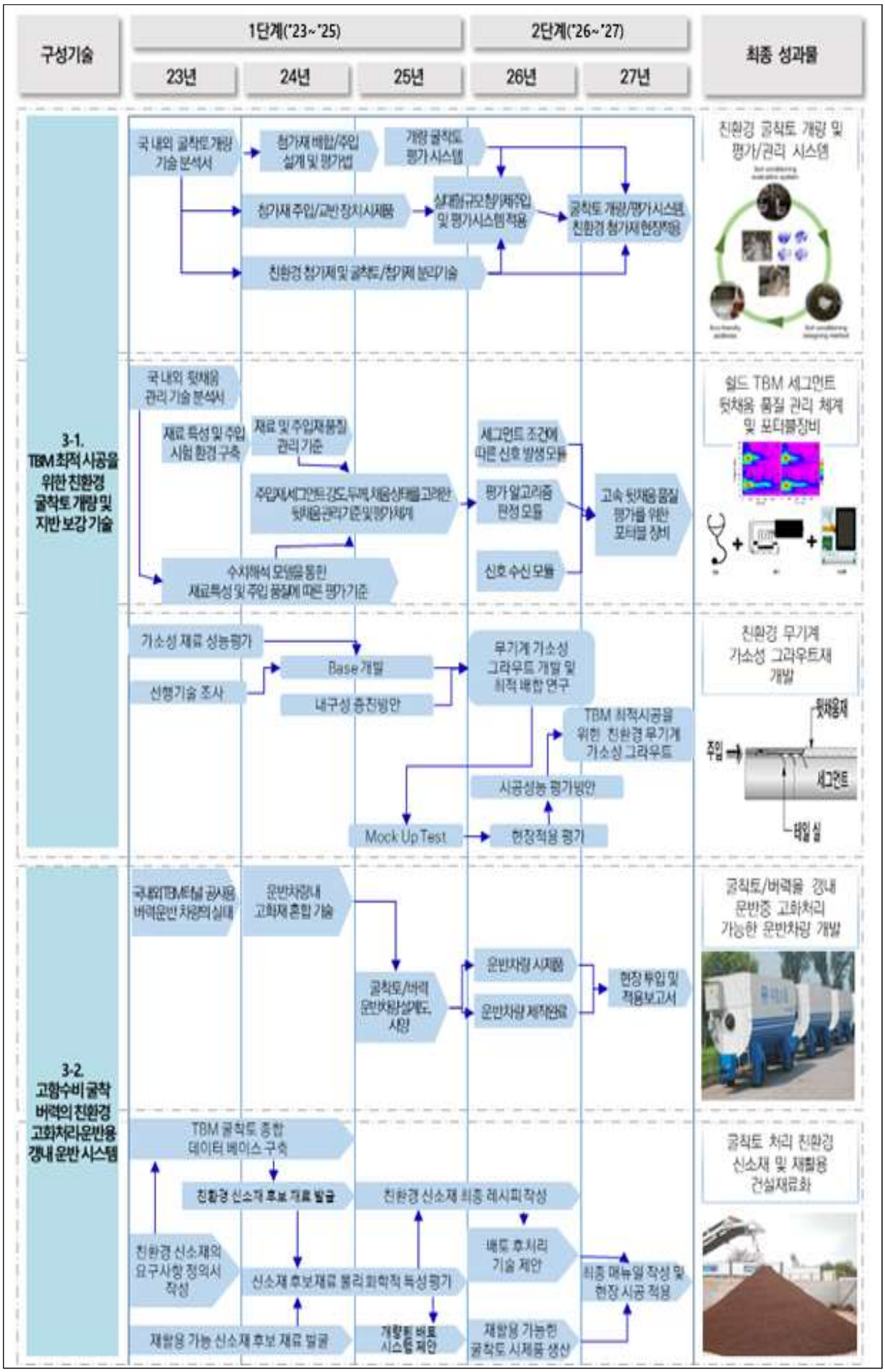
순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	암반용 쉴드 공사에서 발생하는 굴착토를 재 활용할 수 있도록 용도별로 분산 및 응집하는 방법	㈜ 아이렉스	TBM 굴착토의 재활용을 위한 용도별 응집법	〈차별점〉 암반용 쉴드 TBM으로 굴착토에 슬러리의 역할이 매우 미미 〈연계방안〉 재활용을 위한 굴착토의 분산 및 응집법 연계

(차) 구성기술 로드맵

[그림 3-72] 친환경 TBM 시공 지원 기술(핵심기술 3)의 추진로드맵



[그림 3-73] 친환경 TBM 시공 지원 기술(핵심기술 3)의 성과로드맵



(카) 소요예산 및 장비 구축 계획

① 연도별 소요예산

○ 총액 79억 원, 국고 보조금 59억 원, 민간 자본금 20억 원으로 구성

〈표 3-74〉 핵심기술 3의 구성기술별 예상 소요예산

(단위: 백만 원)

구성기술	구분	'23	'24	'25	'26	'27	계
3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술	정부	357	672	688	748	527	2,992
	민간	121	228	234	254	179	1,017
	소계	478	900	922	1,002	706	4,009
3-2. 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 시스템	정부	340	510	510	1,200	410	2,970
	민간	116	173	173	408	139	1,010
	소계	456	683	683	1,608	549	3,980
합계	정부	697	1,182	1,198	1,948	937	5,962
	민간	237	401	407	662	318	2,027
	합계	934	1,583	1,605	2,610	1,255	7,989

○ 직접비

(단위: 백만 원)

구분	’23	’24	’25	’26	’27	계
인건비	301	597	603	1,013	460	2,974
연구활동비	225	261	266	114	24	890
연구재료비	96	111	114	49	10	380
연구시설장비비	-	110	110	670	200	1,090
연구수당	48	56	57	24	5	190
합계	670	1,135	1,150	1,870	699	5,524

○ 간접비

(단위: 백만 원)

구분	’23	’24	’25	’26	’27	계
간접비	28	47	48	78	37	238

○ 소요 인력

(단위: 명)

구성기술	구분	'23	'24	'25	'26	'27	계
3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술	책임급	1	2	2	2	2	9
	선임급	1	3	3	4	2	13
	원급	4	8	8	8	6	34
	소계	6	13	13	14	10	56
3-2. 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술	책임급	1	2	2	4	1	10
	선임급	1	2	2	6	2	13
	원급	4	6	6	14	4	34
	소계	6	10	10	24	7	57
합계		12	23	23	38	17	113

② 연구장비 및 시제품

○ 연구장비 내역

〈표 3-75〉 핵심기술 3의 연구장비 및 시제품 내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)	연도	해당 구성 기술
1	첨가제에 의해 개량된 굴착토 평가시험 장비	친환경 첨가제에 의해 개량된 흙의 유변학적(Rheological) 물성 파악을 위한 중소형 규모의 회전형 동축형 실린더, 베인 등을 포함한 실내 시험장비(Large- scale rheometer)	30	1	30	2024	3-1
2	첨가제 주입 장치, 굴착토 교반 및 평가 장치	상용 EPB-Type TBM과 호환이 가능한 첨가제 주입 장치와 굴착토 교반 및 평가 장치 일체	50	1	50	2025	3-1
3	실대형 TBM 굴착 시스템 (첨가제 주입 실증시험 용)	첨가제 주입 및 평가, 종합 관리 시스템의 검증을 위한 실대형 규모 (또는 mock up) 시험 시스템	120	1	120	2026	3-1
4	뒤채움 주입 상태 평가 지그 및 포터블 장비	고속으로 판별할 수 있는 알고리즘이 탑재된 포터블 장비를 통해 휴대성 및 작업성을 확보	50	1	50	2025	3-1
5	뒤채움 주입재 현장 품질 평가 장비	친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 다양한 강도와 두께의 세그먼트에 범용적으로 적용 가능한 주입재의 품질 평가 장비	200	1	200	2027	3-1
6	친환경 무기계 가소성 그라우트 재	성능평가 및 실대형 시공시험용 재료	1	50	50	2026	3-1
7	주입재 성능 평가용 모형	뒤채움재 주입성능 평가	10	1	10	2025	3-1
8	운반대차	굴착버력 친환경 처리/운반용 운반대차 시제품 제작	100	5	500	2026	3-2

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)	연도	해당 구성 기술
9	RST-SST Touch Rheometer	굴착토-신소재 혼합물의 동점성, 항복점도, 응력 등 평가	18	1	18	2024	3-2
10	Kinexus DSR-III	비뉴턴계 액체인 바이오 신소재의 최적 조건 도출을 위한 유변학적 물성 평가. 재료 개발에 활용	32	1	32	2024	3-2
11	삼축압축시험기	굴착토-신소재의 지반공학적 물성 및 건설재료화 타당성 검토	30	1	30	2024	3-2
합계					1,090		

(타) 기대 및 파급효과

① 과학기술적 측면

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

○ 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술

- 친환경 첨가제의 개발로 토질의 유동성 확보가 필요한 타 건설기술(파이프라인 이송 등)에의 친환경적 접근 가능, 또한 개량된 굴착토의 유변학적 특성 파악 가능. 이는 비뉴턴(Non-newtonian) 특성을 보이는 건설 재료(슬러리 등)의 거동 규명

○ 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 뒤채움 품질 평가 기술

- 관리기준이 부재로 품질 확보가 부족한 실정이나 본 과제 통해 침하 및 침식 최소화, 소요 강도 및 내구성 확보할 수 있는 친환경 뒤채움재 개발이 가능, 수립된 관리기준 바탕으로 신속한 품질 평가 시스템과 통합 관리시스템 연동으로 장단기 안정성 확보 기대

○ 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술

- 세그먼트, 라이닝 뒤채움재료의 적절한 성능 기준 제시
- 뒤채움 그라우트 시공에 대한 기술 확립
- 조강성 발현으로 세그먼트, 라이닝의 초기 지반 안전성을 확보하여 급속시공이 가능하도록 하여 공기단축에 의한 경제성 확보
- 점차 증가하고 있는 대단면 쉴드 TBM 시공에 활용

□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

○ 갱내 운반중 고화처리 및 신속한 외부반출을 위한 친환경 버력운반 차량(Muck Car) 개발

- 기존 운반용량의 대형화 기술대비 고화처리 기능과 중량측정 기능을 추가시켜 세계 최초 운반중 다목적 기능을 수행위한 운반차량의 개발

* 운반용량 15m3/대 (중량측정센서 1기 및 데이터 송신기 1기 포함)

* 국내, 국제 특허출원

○ TBM 굴착토 친환경 처리를 위한 신소재 개발 및 재활용 건설재료화 기술

- 바이오신소재를 이용한 친환경 TBM 굴착토 처리 및 건설재료화 관련 세계 최초의 실용화 기술 개발 기대
- TBM 굴착토 뿐만 아니라 고함수비, 중금속/오염물을 함유하고 있는 재료 또는 지반에서 사용 가능한 기술 개발이 추가적으로 가능할 것으로 기대

② 사회경제적 측면

□ (구성기술 3-1) TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술

○ 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning) 기술

- 첨가제의 환경 안정성을 확보, 토양 및 지하수 오염의 최소화를 통해 환경 보존에 이바지, 첨가제 주입 및 평가 관리 시스템의 국내 및 해외 업체 기술이전을 통한 기술의 수출 및 국내 독자적 터널 시공기술의 경쟁력 확보 및 제고를 위한 기틀 마련

○ 친환경 뒤채움재 및 관리기준 개발 및 뒤채움 품질 평가 기술

- 뒤채움 품질 평가 기술 개발을 통해 쉴드 TBM 터널 및 지반의 장단기 안정성 확보할 수 있고, 이는 지반 침하 및 싱크홀 방지 등 상부 지반 안정성 확보가 가능함을 의미하며, 더불어 터널 내 누수 방지를 통해 운영시 경제성도 확보가 가능

○ 친환경 무기계 가소성 그라우트 기술

- 장기적인 내구성을 확보하여 지하 공동구 발생을 차단하여 유지보수 비용 절감 및 사고발생, 교통차단 등으로 인한 사회적 비용 절감
- 강알칼리성 물질 사용을 배제하고 친환경 재료 사용으로 지하수 및 토양 오염 억제
- 내구성을 확보한 무기계 가소상 그라우트를 지반보강 및 상·하수도관 배면채움재 등으로 활용하여 지반침하를 방지하여 포트홀, 땅꺼짐 등으로 인한 손실 비용 저감

□ (구성기술 3-2) 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리•운반용 갱내 운반 기술

○ 갱내 운반중 고화처리 및 신속한 외부반출을 위한 친환경 버력운반 차량(Muck Car) 개발

- 세계 최초 고화처리 가능한 굴착토/버력 운반차량의 개발로 국내 및 해외의 토압식 쉴드 TBM 공사에 수출기대

* 7m급 토압식 쉴드TBM 1대를 사용하는 현장에서 버력운반 차량 사용시, 8~12대 필요

○ TBM 굴착토 친환경 처리를 위한 신소재 개발 및 재활용 건설재료화 기술

- TBM 굴착토에 대한 친환경 후처리 및 재활용을 통해 시공현장이 발생토 처리비용 저감 및 사토장 관련 사회민원 저감 효과와 굴착토의 건설재료화를 통한 추가 경제성 확보가 기대
- 환경에 대한 문제가 대두되고 있는 현실에서 TBM 굴착토에 대한 친환경 후처리 및 재활용 건설재료 사용을 통해 환경오염 유발 재료 사용을 줄이는 친환경적인 건설 현장이 기대

(3) 사업 운영관리계획(안)

(가) 사업추진체계

① 사업특성을 고려한 추진체계 설계

□ 혁신적 관점에서 작업 환경을 사용자 친화적으로 디지털화 하고 실증 추진을 통해 기술 신뢰성을 확보하는 사업 특성을 고려

○ 핵심기술(세부과제) 간의 연계와 이를 종합한 테스트베드 추진 등 전체적인 사업수행을 총괄하기 위한 주관연구기관을 선정하여 추진

○ 주관연구기관과 세부과제 간 협약을 통해 주관연구기관을 중심으로 과제 간 유기적 협력체계 구축

○ TBM 기술의 급속한 변화와 터널건설 시장의 급속한 성장 등을 고려하여 사업추진 중에도 대내외 환경변화 대응을 위한 체계와 역할 필요

○ 사업 특성에 부합하는 사업관리 체계를 적용하여 '전략수립→사업관리→성과관리' 3단계의 사업관리 체계를 운영

○ 성과활용·확산이 효율적으로 이루어질 수 있도록 기획단계에서부터 평가단계까지의 성과계획·관리를 수행하고, 인프라 지원, 사업화 컨설팅, 시장지출 지원 등의 성과활용과 사업화, 후속지원, 홍보 등 성과확산체계를 마련하여 추진

② 사업추진체계 및 역할

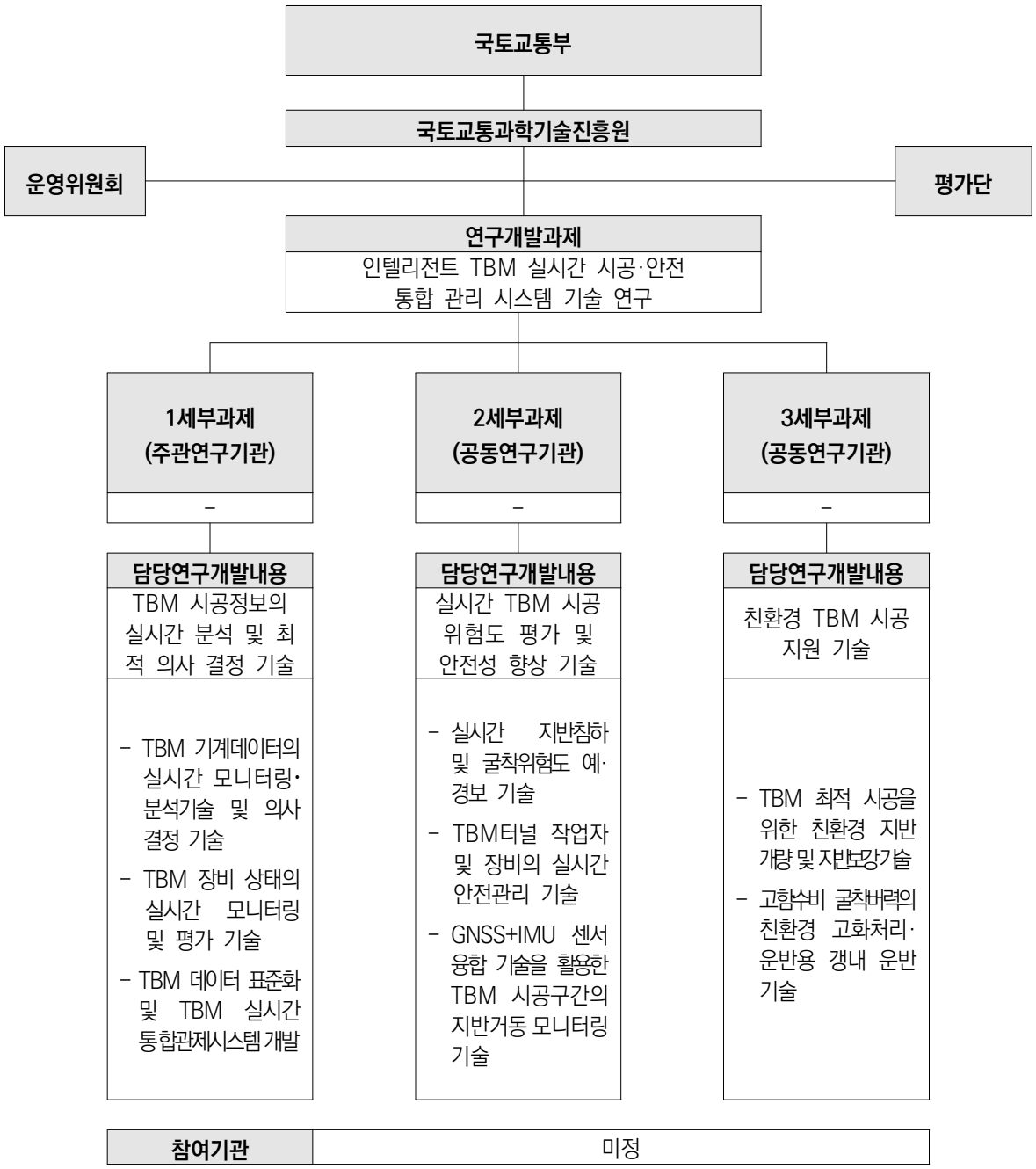
□ 본 사업 주관은 국토교통부, 전담기관은 국토교통과학기술진흥원으로 하며, 사업의 효율적인 운영과 성과 실용화 제고를 위해 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업을 수행하는 주관연구기관과 공동연구기관으로 구성된 과제로 추진

○ 동 사업은 사업의 목적 및 특성 등을 고려하여 단위 요소기술 개발 및 혼합된 R&D 사업으로 설정

○ 사업은 2단계, 총 5년(3년 + 2년)으로, 상용화기술 → 현장 실증 단계별 실용화 전략 사업을 구성

○ 예산은 총 319억 원(국고 238억 원, 민자 81억 원, 민자 비율은 25%)

[그림 3-74] 사업 추진 체계도



○ (국토교통부) 사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업 기본 시행계획 수립, 관련 부처간 협의 등 수행

- 필요시 TBM 실시간 통합 관리 시스템의 현장 도입·적용을 위한 제도개선 및 정책 수립

○ (국토교통과학기술진흥원) 사업추진 전담 관리기관으로 사업 기획·평가·운영위원회를 구성·운영하고, 주관연구기관/세부과제 선정·평가(단계), 진도점검 및 성과확산 지원 등을 수행

○ (운영위원회) 사업 세부시행계획, 주요 변경내용, 지원 우선순위 등 국토부 및 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정 수행

○ (평가단) 이해관계인을 제외한 전문가 중심으로 구성하여 해당 연구개발과제에 대한 객관적 평가를 수행

○ (주관연구기관) 사업수행을 총괄하는 주체로서 세부과제 기획·연차평가, 진도관리 및 과제간 예산조정, 연구성과 관리 및 사업화 지원 등 수행

- 필요시, 진흥원과의 협의를 통해 시장 및 기술 환경변화에 대응하여 TBM 실시간 통합 관리 시스템 기술개발 사업을 조정하는 재기획 추진

○ (공동연구기관) 연구개발과제 내에서 주관연구기관 외 세부과제를 담당하는 기관으로 연구개발과제 목표 달성을 위한 기술개발을 함께 수행

(나) 사업관리방안

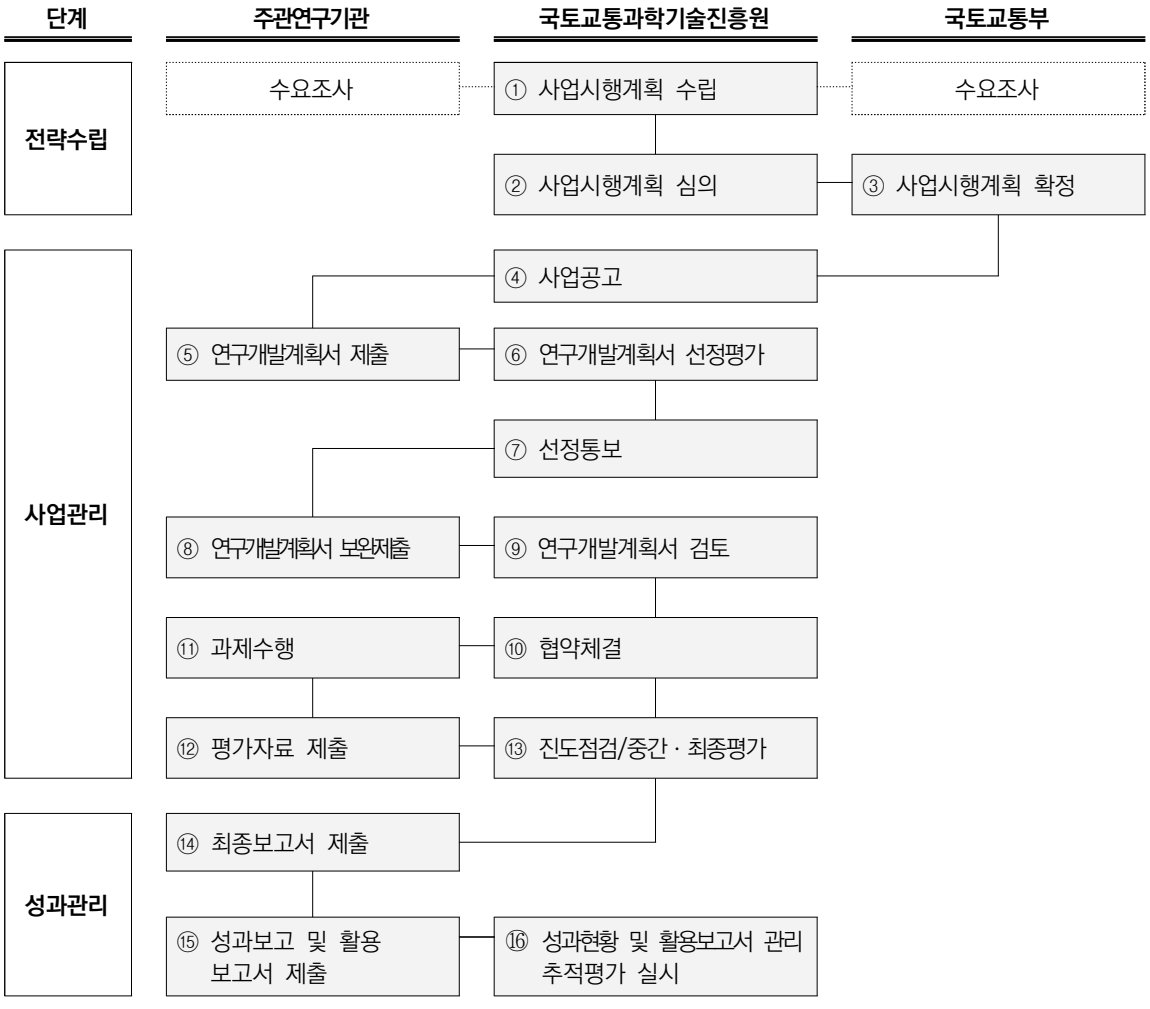
① 사업관리 체계 및 프로세스

□ 본 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 주관연구기관을 중심으로 '전략수립→사업관리→성과관리' 3단계의 사업관리 체계를 구축하여 운영

○ (전략수립) 선행과제와의 중복성 및 차별성 검토를 강화하고 유사과제와의 구체적인 연계·활용방안을 계획함으로써 과제 추진의 목적 지향성을 확보

○ (사업관리) 성과창출 및 활용을 장려하기 위해 주기적인 성과 조사·관리 및 평가와 연동한 과제 진도수행 점검으로 연구성과의 효과성을 강화

○ (성과관리) 연구수행 과정을 평가결과에 반영하고, 단계(연차) 및 최종평가위원회를 구성·운영하여 평가의 내실화와 평가결과 환류체계 등 평가의 실효성 강화



□ 사업기획부터 공고, 선정 및 연구수행, 사후관리까지 세부 프로세스 및 수행주체별 명확한 역할분담을 통한 R&D 전주기적 관리 프로세스 확립



② 단계별 평가/관리 절차 및 기준

□ 선정평가

○ 전문기관인 국토교통과학기술진흥원이 과제 공고에서 최종선정 및 협약까지 전반적인 주관연구기관 선정업무를 수행

- 세부과제 선정 시에는 주관연구기관 연구책임자와 협의하여 공모하고, 세부과제 공모내용 중에는 과제 운영에 필요한 사항이 포함되도록 공고

주요 절차	내 용
신청서류 접수 (전문기관)	연구개발계획서 등 신청서류 접수
⇩	
선정평가 계획수립 (전문기관)	선정평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
사전검토 (전문기관)	과제담당자 사전검토 - 신청서류 적합성, RFP 부합여부, 중복성 조사내용 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
선정평가 실시 (연구과제 평가단)	서면평가, 온라인평가, 발표평가, 현장평가 중 하나 이상의 방법 고가(3천만원 이상) 연구장비 심의
⇩	
평가결과 보고 및 통보 (전문기관)	선정평가 결과 국토부 보고 평가결과 신청기관 통보 및 협약체결 안내
⇩	
협약체결 (전문기관↔주관연구기관)	선정기관은 평가위원 의견을 반영 조치 협약체결

- (사전검토) 신청기관이 제출한 연구개발계획서에 대해 과제제안요구서(RFP)와의 부합성, 타 과제와의 중복성 등 사전검토 자료를 연구과제 평가단에 제공 가능
- (평가방법) 서면평가, 온라인평가, 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시
- (평가항목 및 배점) 개별 평가계획 수립시 「국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음
- (평가결과의 산정) 종합평가점수 산정시 「국토교통 연구개발사업 관리지침」제17조에 따라 과제 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여 가능하며, 이를 반영한 과제별 최종점수로 지원대상 기관 선정
- (평가결과의 조치) 선정평가 결과를 국토교통부장관에게 보고하고, 평가위원의 명단 및 종합의견 등 평가결과를 신청기관에 통보 후 연구과제 평가단 의견 등을 반영 및 보완하여 협약 추진

□ 상시 모니터링 및 마일스톤 점검

○ 본 사업은 국토교통과학기술진흥원의 사업실, 주관연구기관 등을 통해 사업수행과정을 정기적으로 모니터링함으로써 사업 실패 확률을 최소화하여 운영

○ 세부과제별 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 연구 진척도 및 목표달성도에 대한 진도관리와 연구성과를 모니터링하고 이를 평가와 연계

- 과제 진척도와 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템(R&D 사업관리시스템, https://rnd.kaia.re.kr)을 운영

□ 중간평가

○ 중간(연차, 단계)평가는 연구목표 달성도와 차년도(다음단계) 연구계획 적절성을 중심으로 평가

- 주관연구기관 및 세부과제 수행기관은 연차(단계)실적·계획서를 해당연도(단계) 연구개발 종료 1개월 전까지 전문기관에 제출토록 하고, 전문기관은 이를 평가하여 차년도(다음단계) 연구지원 여부 및 지원연구비를 확정
- 연구책임자가 제시한 마일스톤의 목표 달성여부를 확인 및 평가하고, 과제 진척도 및 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템 구축, 운영

주요 절차	내 용
연차(단계)평가 계획수립 (전문기관)	연차(단계)평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
연차(단계)평가 자료 제출	연차(단계)실적계획서, 성과점검기준표 증빙서류 등 평가자료 제출
⇩	
사전검토	과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 연구계획 변경내용 - 실용화 점검결과 반영내용 - 연구비 집행실적 및 이월신청 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
연차(단계)평가 실시 (전문기관)	해당 연도(단계) 실적평가 및 다음 연차(단계) 계획 검토 * 대면(발표)평가, 현장평가 등 적합한 평가방법 선택
⇩	
연차(단계)평가 결과 보고 및 통보 (전문기관)	연차(단계)평가결과 국토부 보고 연차(단계)평가결과 주관기관 통보 및 협약체결 안내
⇩	
협약체결 (전문기관↔주관연구기관)	연차(단계)평가결과를 반영하여 차년도 협약체결

○ (사전검토) 주관연구기관이 제출한 연차(단계)실적·계획서, 성과점검 기준표 등을 전담기관 담당자가 사전검토하고, 검토 내역을 평가단에 제공 가능

○ (평가방법) 세부과제 단위로 평가하고 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시

○ (평가항목 및 배점) 연차(단계) 평가계획 수립시 「국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음

- (기본방향) 원칙적으로 정성평가를 실시하되 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가 실시 가능
- (실적) 당해연차(단계)의 핵심성과 중심의 질적 달성수준을 중심으로 점수평가 실시

- (계획) 최종목표 달성을 위해 수립된 다음 연차(단계) 연구계획의 적정성에 대한 연구과제 평가단의 검토를 통해 “일부보완” 또는 “전면수정” 판정

○ (평가결과의 산정) 종합평가점수 산정시 연구과제 평가단 평가점수(90%) 및 진도관리 평가결과(10%)를 기준으로 종합평가점수를 정하되, 진도관리평가 생략시 평가단 결과만으로 종합평가점수를 정함

○ (평가결과의 조치) 실적 종합평가점수에 따라 과제의 ‘계속지원’(60점 이상) 또는 ‘지원중단’(60점 미만)으로 판정하고, 실적 종합평가점수에 따라 평가단위 과제의 연구수당 지급기준을 차등적용함

- ‘계속지원’ 대상과제는 평가결과 및 종합의견을 통보하고, 보완대비표 및 연차(단계)실적·계획서 등을 수정·보완 요청

□ 최종평가

○ 최종평가는 연구목표 달성도와 연구결과의 우수성을 중심으로 평가하며, 평가지표를 산출/결과지표 위주로 설계하여 평가를 진행

- (연구목표 달성도) 사업 특성을 평가하는 지표와 각 세부과제별 연구목표 달성도를 평가하는 지표를 설계

- (연구결과 우수성) 과학적 성과와 사회경제적 성과를 중심으로 파악하여, TBM 통합관리 기술개발사업의 목적 달성을 통한 사회경제적 기여도를 평가

〈표 3-76〉 최종평가 중점항목 및 평가지표(예시)

평가항목	세부평가항목		가중치
연구목표 달성도	공통	연구목표 달성도	40
		국가 건설기준 반영	
		기술별 가이드라인	
		신기술 인증	
		건설정보 표준	
	개별지표	개별지표 1	10
		개별지표 2	
		개별지표 3	
연구결과의 우수성	과학적 성과	논문	25
		특허	
		기술수준	
		기술 파급효과	
	사회경제적 성과	건설 비용절감 효과	25
		기술이전	
		매출액 유발효과	

주요 절차	내 용
최종평가 자료 제출 (주관연구기관)	최종보고서, 성과점검기준표, 자체평가보고서, 연구개발결과 활용계획서(SMK 포함) 등 평가자료 제출
⇩	
최종평가 계획수립 (전문기관)	최종평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
사전검토 (전문기관)	과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 당초 연구개발계획 대비 수행여부 - 연구성과 활용계획의 적정성 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척
⇩	
최종평가 실시 (연구과제 평가단)	연구개발 목표 달성여부, 연구성과 우수성 등에 대한 평가
⇩	
최종평가 결과 보고 및 통보 (전문기관)	최종평가결과 국토부 보고 최종평가결과 주관기관 통보 및 보완요청
⇩	
최종보고서 발간·배포 (주관연구기관)	최종보고서 보완본 필수배포처 배포

○ 최종평가결과 종합평가점수에 따라 과제의 ‘성공’(60점 이상) 또는 ‘실패’(60점 미만) 판정

- ‘실패’로 판정받은 과제는 연구개발과제 수행실태 등 점검을 통해 성실수행 여부를 확인하고, 그 결과에 따라 참여제한 등 조치

○ 최종평가 후 연구개발결과의 활용 촉진을 위해 연구종료 3년 이내에 연구개발결과의 활용을 위한 추적평가를 실시할 수 있음

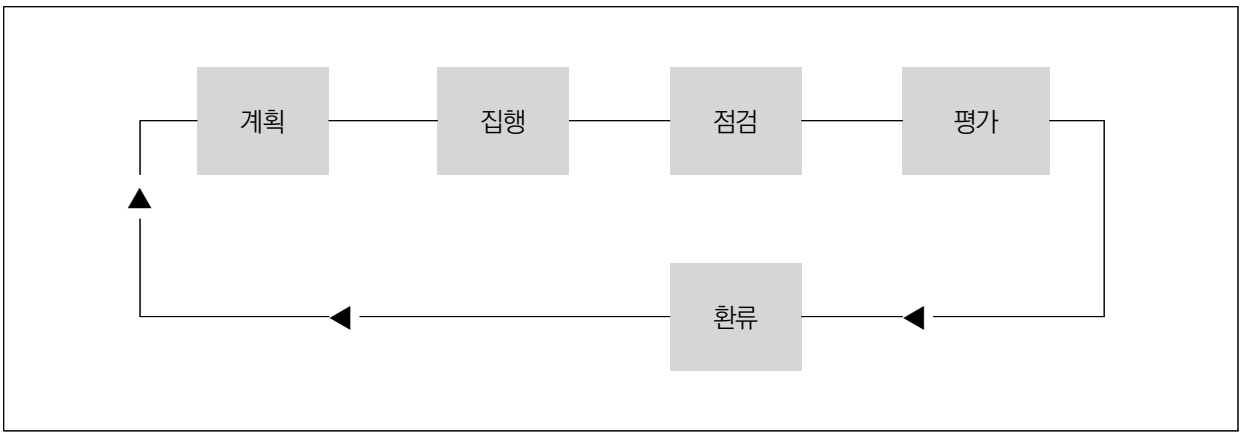
(다) 성과관리계획

□ 사업 성과관리 기본구조

○ 정부업무평가 기본법은 성과관리를 “정부업무를 추진함에 있어 기관의 임무, 중장기 목표, 연도별 목표 및 성과지표를 수립하고 그 집행과정 및 결과를 경제성, 능률성, 효과성의 관점에서 관리하는 일련의 활동을 의미한다”고 정의

- 정부사업의 성과관리 기본구조에 따라 TBM 통합관리 기술개발사업의 성과관리도 계획 → 집행 → 점검 → 평가 → 환류의 기본구조로 이루어짐

[그림 3-75] 성과관리의 기본구조



□ 성과관리 계획 수립 및 연구성과활용 보고

○ TBM 통합관리 기술개발사업은 건설기술의 특성상 2단계 이후와 테스트베드 적용단계에서 성과가 도출되기 때문에 ‘정부업무평가 기본법’의 기본철학에 기반하여 성과관리 계획을 도출

- 국토교통부는 매년 자체적으로 성과계획을 수립하고, 매년 당해 연도 협약종료 1개월 전에 중간(연차)보고서, 주관기관 자체평가 의견서, 세부과제별 연구개발결과 활용계획서(최종연차시)를 제출 받음
- 세부과제별로 연구성과 활용유형 및 성과지표를 설정하여 체계적으로 관리

○ 세부과제 수행기관은 연구개발성과 활용보고서를 연구종료 후 다음 연도부터 최장 5년간 매년 전문기관에 제출

□ 성과분석

○ 성과관리의 주체는 전문기관인 국토교통과학기술진흥원으로 하되, 성과분석기관은 별도로 선정하여 운영

- 성과분석기관은 주관연구기관 및 세부과제 수행기관으로부터 성과자료를 제출받아 확인, 취합하여 성과자료 DB를 구축하고, 이를 활용하여 성과검증 및 분석 수행
- 국토교통과학기술진흥원은 성과분석 결과를 확정하고, 중간 및 최종평가에 이를 활용함으로써 지원유지 여부 결정이나 예산조정 반영 등 사업운영에 피드백

□ 추적평가

○ 성과의 활용 및 확산을 위하여 과제 종료 후 5년간 발생성과에 대한 정기적 추적평가를 실시하여 성과의 사후관리를 수행

- (체계 및 담당기관) R&D 전문기관의 성과활용조사·평가 전문가가 추적(성과)평가 실무를 담당하고, 주관연구기관 및 세부과제 수행기관과 유기적으로 협력하여 평가 실시

(라) 성과 활용 • 확산 활성화 방안

□ 연구성과 활용체계

○ 본 사업의 연구성과 활용은 정부의 「연구성과 관리·활용 기본계획」의 정책기조에 부합토록 활용체계를 운영

- 연구성과의 기술성과 시장성 · 사업성 간의 간극을 간소화하고, 성과활용 중심의 연구개발 혁신과 유기적 협력체제 구축을 통해 일자리 창출 및 경제활성화 견인

○ 성과계획-성과관리-성과평가-활용지원-성과활용 등 기획부터 연구성과 활용까지 연구 전 주기적으로 연구성과 활용체계를 구축 · 운영

- (성과계획) 사업기획시부터 기술개발과제의 최종성과물을 제시하고, 연구책임자는 구체적인 성과지표·목표, 성과도출 마일스톤, 성과활용방안 등을 연구개발계획에 제시하여 연구수행 및 성과를 도출하며, 중간(단계)평가 결과를 반영하여 필요한 경우 성과계획을 수정 보완 실시
- (성과관리) 전문기관 및 주관연구기관은 사업기획시 제시한 사업관리방안에 따라 세부과제별 연구성과 도출 및 진척도 등을 모니터링하고, 진도점검을 실시
- (성과평가) 전문기관은 주관연구기관과 협의하여 중간(연차, 단계) 평가를 통해 성과목표 달성 등 연구목표 달성도와 차년도(다음단계) 연구계획을 평가하고, 연구종료시에는 최종 성과목표 달성 여부를 평가
- (성과활용 지원) 전문기관은 연구성과의 활용촉진 및 확산을 위해 인프라 지원(기술가치평가, 금융연계 지원), 기술사업화 및 기술이전 컨설팅, 시장지출 지원(기술설명회, 공공구매협의체 등) 등 성과활용 지원체계를 운영
- (성과활용) 대학, 연구소, 기업 등 연구에 참여한 기관들은 연구성과를 활용하여 현장적용, 기술사업화 달성, 정책 · 제도 반영, 지식재산권 확보 등 실시

○ 국토교통부와 전문기관은 매년 연구성과 조사 · 분석 · 평가를 통해 연구성과 활용체계 운영을 점검하고, 성과관리 및 평가 개선, 활용지원 체계 확대 등 연구성과 활용체계를 개선하여 성과활용을 촉진

구분	기획	연구수행	성과평가
성과계획	• (전문기관) 사업기획시 연구과제별 최종성과물(안) 제시	• (연구책임자) 성과지표/목표, 성과물, 활용방안 등을 연구개발계획에 제시	• (연구책임자) 중간(단계)평가 결과를 반영하여 성과계획 수정
성과관리	• (전문기관) 사업기획시 성과관리 방안을 제시	• (연구책임자) 마일스톤 등에 따라 성과도출 및 연구개발 관리 • (전문기관/주관연구기관) 사업성과 모니터링 및 진도점검	• (전문기관) 중간(단계), 최종평가를 통해 성과달성 여부 판단

성과활용지원	인프라 지원	사업화 컨설팅 지원	시장진출 지원
지원내용	• 기술가치 평가 지원 • 기술금융 연계 지원(협력 금융기관 7개) • 산업 분석 및 시장정보 제공	• 중소/중견기업 기술사업화 컨설팅 지원 • 연구개발 특허 컨설팅 지원 • 기술수요기업 매칭/기술이전 컨설팅 지원	• 공공구매 협의체 운영 • 발주처 대상 기술설명회 • 기술소개자료 제작 및 홍보 • 해외기술로드쇼 개최

성과활용	Ⅰ 현장적용 및 사업화	Ⅱ 정책·제도 활용	Ⅲ 권리확보
수요처	발주청(처), 기업, 연구기관	국토부, 발주청(처)	연구기관, 기업
활용내용	• 공사현장에 개발기술 적용 및 비용절감 • 기술실시계약, 기술이전	• 개발기술 도입·적용을 위한 법령, 규칙, 기준 등 개선 • 발주기관의 발주제도 개선	• 특허권, S/W, 국제특허 등 국내 및 국외 지식재산권 확보

□ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 이해관계자

○ 본 사업의 범위에 포함된 핵심기술 및 향후 현장 적용을 고려할 때 다음과 같은 이해관계자를 설정할 수 있음

- (정부·지자체) 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술의 건설시장 적용 및 정착을 위한 법령·정책 및 제도 활용 주체인 국토교통부, 조달청, 지자체 등
- (발주기관) 건설생산과정(설계-시공 등)의 자동화 기술, 안전관리 기술 및 건설정보 디지털화 등의 건설공사 발주시 활용과 관리 주체인 한국철도공사, 한국도로공사, 한국시설안전공단 등
- (민간기업) 설계·시공 등에 대한 TBM 통합관리 기술개발과 직접적인 수요처인 설계·감리사, 시공사, 전문건설사, IT/SW/통신사, 건설장비사, 스타트업 등

설계•감리사	시공사	전문건설사	IT/SW/통신사	건설장비사	스타트업
• 엔지니어링 • 건축설계 • 감리 등	• 종합시공 (건설사 등)	• 토공, 포장 • 보링그라우팅	• 설계/해석 SW • 공간정보 • 통신 등	• 건설기계 • 무인이동체 • GIS 등	• 데이터 분석 • AR/VR 등

- (연구기관) 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술의 개발과 인력양성, 창업지원 등의 역할을 수행하는 대학, 출연연, 학회 등
- (수혜자) 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술의 적용을 통해 건설생산과정에서 발생되는 국민 불편 감소, 안전성 제고 등 다양한 혜택의 최종 수혜자로서 일반 국민

□ 성과활용 계획

○ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업의 연구성과는 터널 건설 정책 및 제도, 표준화, 터널건설 생태계 조성(비즈니스모델 창출 등), 사업화 및 해외시장 진출 등에 널리 활용

- 특히, 기존의 노동집약적 터널건설 방식이 자동화·디지털화되고 이를 기반으로 해외 수주 경쟁력이 향상되고, 새로운 비즈니스모델 등 건설 생태계 재편이 가능

활용분야	세부 활용계획	활용처
터널건설 정책 및 제도	· 생산성 향상을 위한 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술의 현장적용 제도화에 활용 – 표준화, 장비 관제 등 실제 공사현장 적용(발주연계 테스트베드) 결과를 제도개선에 활용 · 민간의 TBM 시공기술 활용 촉진을 위한 인센티브 제도화에 활용	국토교통부, 발주기관 (도로공사, LH 등)
표준화	· TBM 활용 터널건설 전주기 표준화 기술 – 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기반 자동화 터널시공의 지식정보 생성을 위한 지식 및 디지털 문서표준화 기술 · 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기반의 건설장비 운영을 위한 기술 표준화 (ICT툴과의 호환 등)	국토교통부, 발주기관, 민간기업
자동화 터널건설 생태계 조성	· 비즈니스 모델 창출을 통한 터널시공 생태계 조성 – 핵심기술/구성기술별 기술개발 결과를 제공·공유함으로써 TBM 관련 산업 육성 지원에 활용 ※ 비즈니스 모델 창출 주요 아이템(예시) • TBM 실시간 통합 관리 시스템 기술 적용에 필요한 관련 부품 제조 • 친환경 기술 적용을 위한 관련 장비 제조 • 디지털 정보를 활용한 설계-시공 협업 솔루션 • 건설현장 안전관리 및 장비 운영 교육 컨설팅 및 운영 • 현장 작업자-로봇 협력형 시공장비 생산 및 운영 · 발주청(기관) 역량강화에 활용 – 지자체, 공공기관 등의 사업관리 직원 대상으로 자동화 터널건설에 대한 워크숍, 자료공유 등을 통해 발주청(기관)의 역량 강화에 활용 · 자동화 터널건설 전문인력 양성 활용 – 인텔리전트 통합 관리 시스템 기술을 터널건설 기술 체계 확장에 활용 – 건설기술교육원의 전문인력 양성 프로그램에 기술개발 및 검증, 현장적용 사례 등을 공유하여 'TBM 터널건설기술, 전문인력 양성 과정' 신설에 활용	국토교통부, 연구기관, (대학, 출연연 등) 민간기업
사업화 및 해외시장 진출	· 디지털 기반의 터널건설 全주기 관리 · TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정시스템 · TBM 주요부품·파트 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술 · 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술 · TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술 · GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술 · TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술 · 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술 · TBM 데이터 표준화 및 데이터센터 구축 기술	발주기관, 민간기업

□ 연구성과 확산 방안

○ (확산체계) ‘제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획’에 따라 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발성과와 터널건설산업간 연결고리가 강화될 수 있도록 사업화-후속지원-연계홍보의 연구성과 확산체계를 구축하여 운영

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

○ (사업화 · 후속지원 사업 연계) 기존의 기술사업화지원사업 및 연구성과활용지원사업과의 연계 등을 통해 연구성과 확산을 극대화

국토교통기술사업화지원사업	국토교통연구성과활용지원사업
• 공공기관 보유기술의 중소기업 이전 및 기술사업화 촉진 • 요소기술 사업화를 위한 후속연구 지원 • ICT 기술 접목 등 기술융합을 통한 사업화 지원	• 국토교통 분야 기술 신뢰성 검증을 위한 기술시험 및 기술가치평가 지원 • 국토교통 분야 연구성과의 시장진출을 위한 홍보 마케팅, 공공기술 이전, 중소기업 투자유치 지원 등

TBM 통합관리 기술 연계활용	■ 단위(요소)기술, 통합 실용화기술 등에 대한 사업화 지원 확산 연계 ■ 실시간 분석기술, 위험도 예보 기술 등에 대한 신기술인증 및 기술가치평가 지원 연계 ■ 터널건설에 따라 발생하는 폐기물들의 친환경적 처리 관련 시장 등의 사업화 지원 연계

○ (유관 사업 · 지원센터 연계) 기 추진 중인 ‘TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어시스템 개발사업’ 등 유관 사업과의 연계를 통해 연구성과 확산 시너지 효과를 창출

- 스마트 건설기술 지원센터(건설기술연구원)와도 연계하여 관련 기술 분야 창업 등 산업 생태계 조성이 될 수 있도록 성과 확산 도모

TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어시스템 개발사업('17~'21)

• TBM 운전·제어시스템 기술을 본 사업의 ‘통합 관리 시스템’ 개발에 연계·활용

☞ (시너지효과) 개별적으로 운영되던 각 시스템들을 보다 발전시키고 통합적으로 운영하여 터널건설의 품질 제고

✚

스마트 건설 지원센터 연계	■ 데이터 분석, IoT 활용 등 본 사업을 통해 개발된 건설기술을 스마트 건설 스타트업 발굴·지원에 활용토록 연계 ■ 창업자(팀)과 본 사업 연구진과의 1:1 연계 등 창업자 육성 및 지원 연계

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

구분		내용
기술 마케팅	사업화 연계실적 조사·검증	• 성과 집중조사기간 운영, 연구자 대상 성과관리 교육 • NTIS 연계한 성과검증 및 사업평가 연계 등 추진
	연구기관 컨설팅 지원	• 기술료 설명회, 중소기업 기술료 상담 등 실시 • 실시계약 미체결 기업 집중 조사 및 실시계약 컨설팅 지원 • 기술료 확대를 위한 부처 훈련 및 매뉴얼 운영
	국내외 시장진출 지원	• 기술소개자료 제작·발주처 배포, 공공구매협의체 기술설명회 개최 • 발주기관 대상 기술설명회 개최 • 해외 기업 대상 연구성과·신기술 홍보활동 추진(해외기술로드쇼 등)
홍보	국토교통 기술대전 개최	• 매년 국토교통 기술대전 개최 – “도슨트 프로그램” 운영 → 청소년 대상 스마트 건설기술 홍보 – 중소기업특별관, 신산업관 등 중소기업 참여
	기관홍보 채널	• 소식지 'KAIA 인사이트' 콘텐츠 강화 • 정부정책 등 반영한 브로슈어 및 동영상 신규 제작·배포
	기사·언론 홍보	• 기관장 활동, 기획기사 등 전략적 기획보도 추진(연중) • 기자간담회·TV방송 등 언론사 홍보

○ (연구성과 공유) 사업성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영

- (성과 · 사업화 정보시스템 운영) 과제별 연구성과, 기술소개 홍보자료(SMK) 등 사업화 정보 및 성과정보 등을 총체적으로 수집하여 제시
- TBM 통합관리 기술개발사업을 포함한 국토교통 R&D 사업의 성과관리를 위하여 종합관리시스템(http://www.kaia.re.kr) 운영

(마) 사업예산

① 총 사업비

□ 5년('23~'27년)간 319억 원(국고 238억 원, 민자 81억 원), 연평균 64억 원 규모로 3개 핵심기술, 8개 구성기술을 선정

〈표 3-77〉 핵심기술별 사업 추진 규모

핵심기술	구성기술	총사업비	국고	민자
1. TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사 결정 기술	1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정시스템	3,196	2,385	811
	1-2. TBM 주요부품·파트 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술	6,853	5,114	1,739
	1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발	4,721	3,523	1,198
	소 계	14,770	11,022	3,748
2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술	2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술	3,474	2,593	881
	2-2. TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	3,072	2,293	779
	2-3. GNSS+IMU센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술	2,586	1,930	656
	소 계	9,132	6,816	2,316
3. 친환경 TBM 시공 지원 기술	3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술	4,009	2,992	1,017
	3-2. 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술	3,980	2,970	1,010
	소 계	7,989	5,962	2,027
합 계		31,889	23,800	8,091

□ 핵심기술별 소요 예산

○ (TBM 시공 정보의 실시간 분석 및 최적 의사 결정 기술) 총 148억 원 (연평균 30억 원) 규모

○ (실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술) 총 91억 원(연평균 18억 원) 규모

○ (친환경 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술) 총 80억 원(연평균 16억 원) 규모

〈표 3-78〉 본 사업의 핵심기술별, 연도별 총사업비

(단위: 백만 원)

핵심기술	구분	2023	2024	2025	2026	2027	합계
1. TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사 결정 기술	국고	980	1,519	3,305	3,043	2,175	11,022
	민자	334	517	1,123	1,035	740	3,749
	소계	1,314	2,036	4,428	4,078	2,915	14,771
2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술	국고	983	1,530	1,658	1,418	1,228	6,817
	민자	334	520	564	482	417	2,317
	소계	1,317	2,050	2,222	1,900	1,645	9,134
3. 친환경 TBM 시공 지원 기술	국고	697	1,182	1,198	1,948	937	5,962
	민자	237	402	407	662	319	2,027
	소계	934	1,584	1,605	2,610	1,256	7,989

□ 구성기술별 예산

〈표 3-79〉 본 사업의 구성기술별, 연도별 총사업비

(단위: 백만 원)

구성 기술	구분	2023	2024	2025	2026	2027	합계
1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정시스템	국고	340	425	595	600	425	2,385
	민자	116	145	202	204	145	812
	소계	456	570	797	804	570	3,197
1-2. TBM 주요부품·파트 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술	국고	300	594	2,200	1,720	300	5,114
	민자	102	202	748	585	102	1,739
	소계	402	796	2,948	2,305	402	6,853
1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발	국고	340	500	510	723	1,450	3,523
	민자	116	170	173	246	493	1,198
	소계	456	670	683	969	1,943	4,721
2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술	국고	383	553	638	553	468	2,595
	민자	130	188	217	188	159	882
	소계	513	741	855	741	627	3,477
2-2. TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	국고	300	553	595	435	410	2,293
	민자	102	188	202	148	139	779
	소계	402	741	797	583	549	3,072
2-3. GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술	국고	300	425	425	430	350	1,930
	민자	102	145	145	146	119	657
	소계	402	570	570	576	469	2,587
3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술	국고	357	672	688	748	527	2,992
	민자	121	228	234	254	179	1,016
	소계	478	900	922	1,002	706	4,008
3-2. 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술	국고	340	510	510	1,200	410	2,970
	민자	116	173	173	408	139	1,009
	소계	456	683	683	1,608	549	3,979
합계	국고	2,660	4,231	6,161	6,409	4,340	23,801
	민자	905	1,439	2,094	2,179	1,476	8,093
	소계	3,565	5,670	8,255	8,588	5,816	31,894

② 소요인력

□ 핵심기술별 소요인력

○ TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 총 소요인력은 456명이며 연평균 91명이 소요

- 책임급 인력은 76명, 선임급 109명, 원급 271명이 소요
- 중소·중견기업은 주로 연구원급, 일부 선·책임급으로 인력 참여 예상
- 출연연구기관 중심으로 선임급, 책임급 인력이 참여 예상

〈표 3-80〉 연도별 소요인력

핵심기술	구분	'23	'24	'25	'26	'27	계
1. TBM 시공 정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술	책임급	3	5	12	10	7	37
	선임급	3	7	17	15	10	52
	연구원	11	18	39	35	25	128
	소계	17	30	68	60	42	217
2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술	책임급	3	5	5	4	3	20
	선임급	4	8	8	6	5	31
	연구원	10	17	19	16	13	75
	소계	17	30	32	26	21	126
3. 친환경 TBM 시공 지원 기술	책임급	2	4	4	6	3	19
	선임급	2	5	5	10	4	26
	연구원	8	14	14	22	10	68
	소계	12	23	23	38	17	113
합 계	책임급	8	14	21	20	13	76
	선임급	9	20	30	31	19	109
	연구원	29	49	72	73	48	271
	소계	46	83	123	124	80	456

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ TBM 안전 향상 및 운영·관리 효율화 기술 개발 기획보고서	○ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획 보고서	○ 100%
○ TBM 안전 향상 및 운영·관리 효율화 기술 개발 전략계획서	○ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 전략계획서	○ 100%

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 터널굴착장비(TBM) 핵심기술 개발 활동을 통해 TBM 시공 기술 확보

- 단순히 기존에 존재하는 기술을 국산화하는 것이 아닌, 선진국 TBM 기술과 경쟁하여 우위를 가질 수 있는 운영 효율성 증대 기술 확보

○ 터널굴착장비(TBM) 시공의 운영 효율성을 증대할 수 있는 기술과 건설산업 특성상 빈번하게 일어나는 안전사고를 방지할 수 있는 기술 및 기술별 운영·유지관리 가이드라인 확보

○ 터널굴착장비(TBM) 핵심 기술 개발을 통한 건설기술 혁신으로 국가 산업 경쟁력 및 건설정보 활용도 제고

- 터널굴착장비(TBM) 혁신기술 개발을 통한 국가 건설기술 고도화에 기여
- 터널굴착장비(TBM) 핵심 기술 개발을 통해 생산성이 향상되어 공사기간이 단축되고 이를 통한 공사비용 절감 및 산업 경쟁력 강화

○ 국내 지하교통 터널 건설에 대한 TBM 공법 적용 확대 유도 및 공법의 고도화를 통해 빠르고 안전하게 공공인프라를 건설

5. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 「인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획 보고서」 마련으로 해당 사업 추진에 대한 사업예산요구의 체계적 대응에 활용

○ TBM 통합관리 기술개발사업 수행시 기준 자료로 활용

○ 체계적 사업성과관리를 위한 기준으로 활용

< 별첨 >

별첨 자료

1. 전략계획서

사업명: 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업
	세부사업	인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업
	내역사업	인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업

2 사업목적

사업목적	TBM 굴착의 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 확보 및 상용화를 위한 테스트베드 실증

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ 국토교통과학기술 육성법 제8조(연구개발사업의 추진) ㅇ 건설기술 진흥법 제7조(건설기술 연구·개발 사업)
	상위계획	ㅇ 제6차 건설기술진흥기본계획('17.12) -「전략1: 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발」내 '해외 수요 대응형 건설기술 개발'을 중점과제로 설정(민간 기술수요 반영 및 R&D 역량 강화, 수요대응형 R&D 강화 등) ㅇ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18.6) -「전략2 : 기술융합을 위한 새로운 가치창출」내 '고부가가치 건설기술 창출' 과제 설정(대형 TBM 제작 · 운영기술 개발 등 대규모 · 고난이도 · 고부가가치형 인프라 기술 확보)

4 사업 현황

사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	해당없음	참여부처 (다부처사업)	해당없음
사업기간	'23년 ~ '27년	총사업비	237.98억원(정부출연금)
사업규모	3개 과제	지원대상	출연(연), 기업, 대학 등
지원형태	출연	지원조건	정부출연 및 민간 매칭
사업시행주체	국토교통부(국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	해당없음		

5 사업추진체계 및 전략

사업수행주체

○ 추진주체 간 역할분담:부처-전문기관-사업단 또는 센터

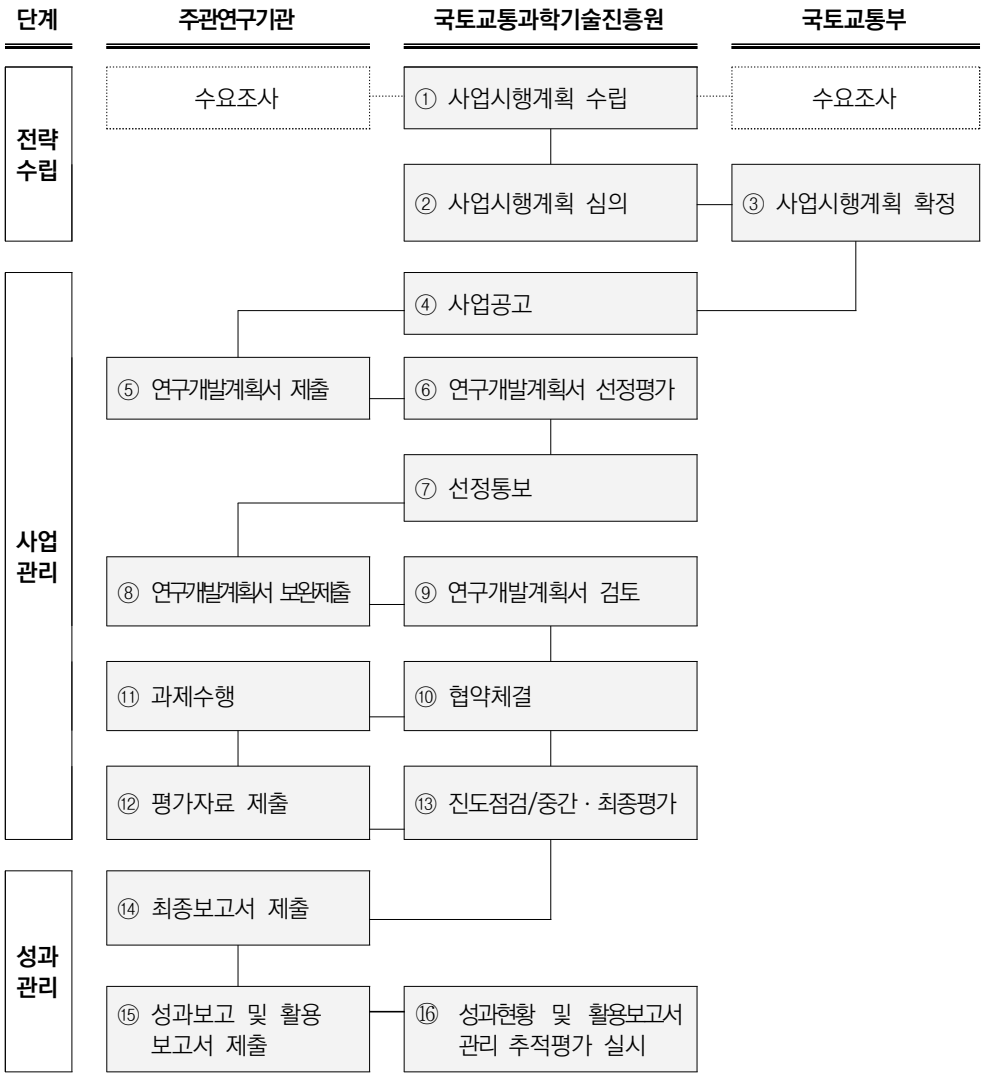
수행주체	역할 세부내용
부처	○ 국토교통부 소관 연구개발사업 총괄 관리
전문기관	○ 국토교통부 소관 연구개발사업의 기획, 관리, 평가 등을 진행
주관기관	○ 연구개발관리를 전담하는 기관으로 연구개발관리 계획을 수립하고 정기적(주간 또는 월간)으로 이행

사업추진전략

추진전략

○ 본 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 주관연구기관을 중심으로 '전략수립→사업관리→성과관리' 3단계의 사업관리 체계를 구축하여 운영

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



R&D 전주기 사업관리 계획

○ 사업기획부터 공고, 선정 및 연구수행, 사후관리까지 세부 프로세스 및 수행주체별 명확한 역할분담을 통한 R&D 전주기적 관리 프로세스 확립



위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
- 민간 기업의 적극적인 연구개발 참여 여부	- 민간 기업 대상의 참여의향서 확보
- 개발 기술의 신뢰성	- 실제 공사 환경과 유사한 테스트베드 실증 수행을 통해 개발 기술의 신뢰성을 확보
- 개발 기술의 상용화	- 해외에 사용 중인 TBM 관리 시스템과 차별성을 가지는 통합적 시공·안전 관리 시스템 개발을 통해 시장 보급 경쟁력 확보

수혜자

○ 1차 수혜자 : TBM 관련 시스템 및 부품 제작 기업
○ 2차 수혜자 : TBM 공법을 활용하여 터널 건설을 추진하는 시공 기업
○ 3차 수혜자 : 사용자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	ㅇ TBM 기술을 기반으로 부가가치가 높을 것으로 예상되는 터널건설 관련 장비 기술개발 활성화 ㅇ TBM 공사 지연 요소를 최소화하는 통합 관리 시스템으로 시공중 발생가능한 리스크 완화 ㅇ 국내 터널건설의 TBM 적용률을 향상시켜 수용성을 높임으로써 관련 연구개발에 대한 투자 증대 유도
사회경제적 기대효과	ㅇ 국내 TBM 관련 기술개발로 TBM 활용에 대한 수용성을 높이고, 해외 터널건설 기술들과 경쟁할 수 있는 역량 확보 ㅇ TBM 기술개발로 인한 새로운 산업 생태계 및 일자리 창출 효과 기대 ㅇ TBM 공법의 국내 활성화에 따라 기존 NATM 공법의 발파 과정으로 인해 발생하였던 자원 소비 및 오염물질 배출 저감 가능

7 사업 내용

예산 규모

〈2023년도 신규사업〉

(백만원)

구분		2023년도 예산	2024년도 예산	2025년도 예산	2026년도 예산	2027년도 예산
□ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업	총 예산	2,660	4,231	6,161	6,409	4,340
■ TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술	총 예산	980	1,519	3,305	3,043	2,175
■ 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술	총 예산	983	1,530	1,658	1,418	1,228
■ 친환경 TBM 시공 지원 기술	총 예산	697	1,182	1,198	1,948	937

* 정부출연금 기준 예산

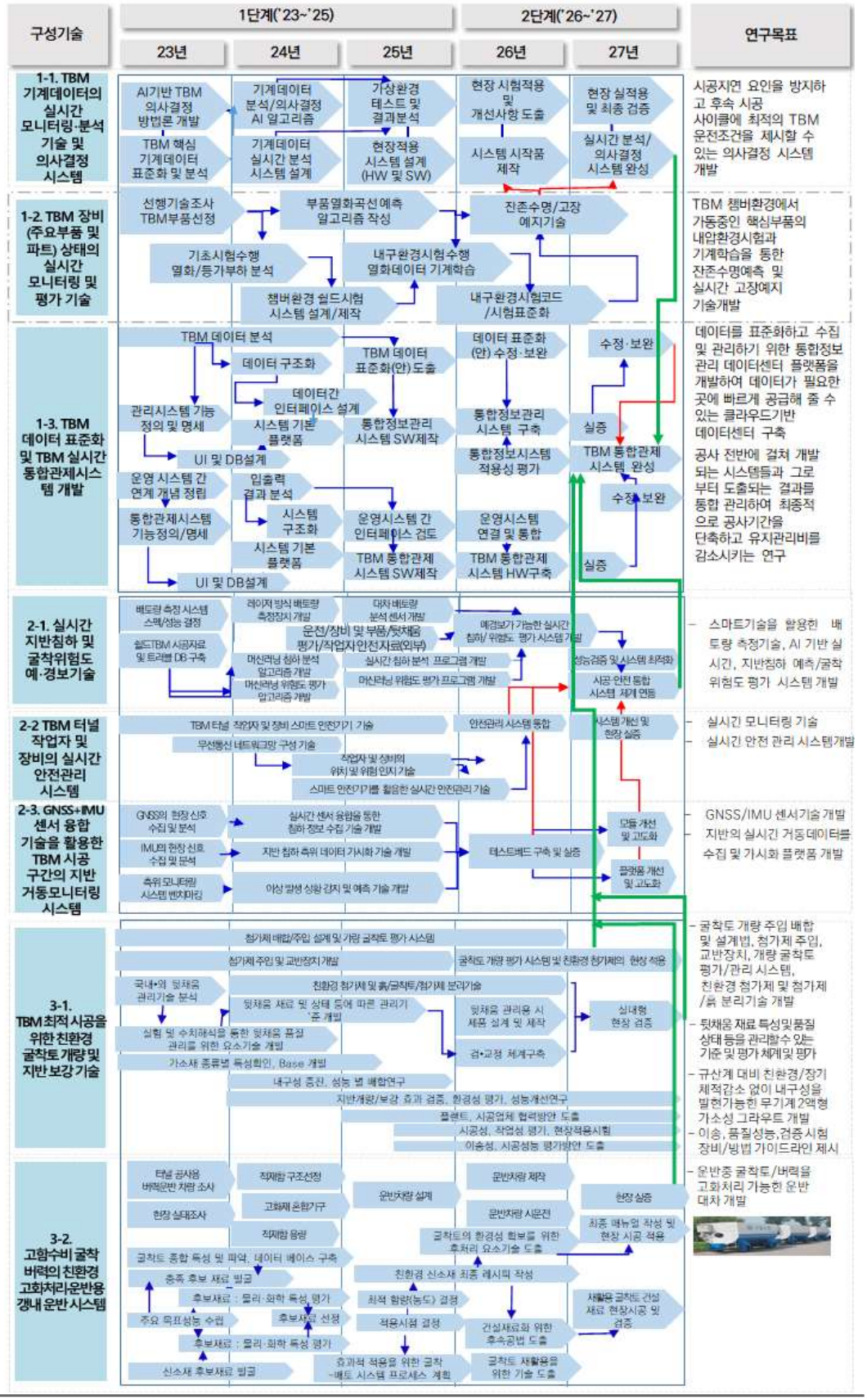
** 기획평가관리비 미포함

세부내용

○ 기술개발

내역사업	주요 내용
TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술	○ TBM 운전자(오퍼레이터)의 경험에 전적으로 의존하고 있는 TBM 운전조건과 시공조건의 실시간 분석을 통한 시공 최적화 및 시공 지연요인 최소화 ○ TBM장비의 파손/고장이 발생하면 그 위치와 원인을 육안으로 확인하는 현재의 사후정비 방식을 실시간 능동형 TBM 상태기반 정비 체계로 전환 ○ TBM에서 실시간 획득·분석된 시공정보/장비정보/위험도 등의 다양한 데이터들을 표준화하고 빅데이터화 ○ 인텔리전트 TBM 실시간 시공 · 안전 통합 관제시스템(HW 및 SW) 개발 및 실증
실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술	○ 지반 물성치와 TBM 운전 중 생성되는 시계열 기계 데이터 (빅데이터)를 기본으로, 순환 인공신경망(Recurrent Neural Network) 등의 머신러닝 기법을 적용하여 지반 침하량과 굴착위험도를 예측하는 알고리즘을 개발하여 굴착위험도를 선제적으로 예방 ○ TBM터널 건설현장에서 장비운영자의 경험과 판단에 의지하여 관리되는 문제점을 해결하기 위하여, 무선통신 네트워크망을 통해 작업자와 지상 안전관리자간의 통신을 원활하게 하여 인력/장비 및 굴착 공정을 실시간 관리할 수 있는 시스템을 개발 ○ TBM 굴착에 의한 지반의 거동과 변형을 모니터링하기 위하여 GNSS(Global Navigation Satellite System)와 IMU(Inertial Measurement Unit) 융합 센서기술을 활용
친환경 TBM 시공 지원 기술	○ 친환경 굴착토 개량(Soil Conditioning), 친환경적인 뒤채움 그라우트재 개발 및 뒤채움 평가, 터널 라이닝, TBM 세그먼트를 위한 친환경적인 무기계 뒤채움 그라우트재 기술 개발 ○ TBM 굴진시 배토되는 굴착토/버력은 지하수 등이 포함된 고함수비의 상태로 운반되어 지상에 고화처리설비에서 고화제를 혼합한 후 장시간 방치후 외부로 반출되고 있는데, 운반과정부터 고화제를 혼합, 신속하게 고화, 단시간에 외부로 반출하는 기술을 개발하여 이를 건설재료로 재활용

연차별 추진내용(로드맵)


구성기술
1단계('23~'25)
2단계('26~'27)
23년
24년
25년
26년
27년
연구목표
1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석 기술 및 의사결정 시스템
AI기반 TBM 의사결정 방법론 개발
기계데이터 분석/의사결정 AI 알고리즘
가상환경 테스트 및 결과분석
현장 시험적용 및 개선사항 도출
현장 실적용 및 최종 검증
TBM 핵심 기계데이터 표준화 및 분석
기계데이터 실시간 분석 시스템 설계
현장적용 시스템 설계 (HW 및 SW)
시스템 시작품 제작
실시간 분석/ 의사결정 시스템 완성
시공지연 요인을 방지하고 후속 시공 사이클에 최적의 TBM 운전조건을 제시할 수 있는 의사결정 시스템 개발
1-2. TBM 장비 (주요부품 및 파트) 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술
선행기술조사 TBM부품선정
부품열화곡선 예측 알고리즘 작성
잔존수명/고장 예지기술
기초시험수행 열화/증가부하 분석
내구환경시험수행 열화데이터 기계학습
챔버환경 쉴드시험 시스템 설계/제작
내구환경시험코드 /시험표준화
TBM 챔버환경에서 가동중인 핵심부품의 내압환경시험과 기계학습을 통한 잔존수명예측 및 실시간 고장예지 기술개발
1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발
TBM 데이터 분석
데이터 구조화
TBM 데이터 표준화(안) 도출
데이터 표준화 (안) 수정·보완
수정·보완
데이터간 인터페이스 설계
관리시스템 기능 정의 및 명세
시스템 기본 플랫폼
통합정보관리 시스템 SW제작
통합정보관리 시스템 구축
실증
UI 및 DB설계
통합정보시스템 적용성 평가
TBM 통합관제 시스템 완성
운영 시스템 간 연계 개념 정립
입출력 결과 분석
수정·보완
시스템 구조화
운영시스템 간 인터페이스 검토
운영시스템 연결 및 통합
통합관제시스템 기능정의/명세
시스템 기본 플랫폼
TBM 통합관제 시스템 SW제작
TBM 통합관제 시스템 HW구축
실증
UI 및 DB설계
공사 전반에 걸쳐 개발되는 시스템들과 그로부터 도출되는 결과를 통합 관리하여 최종적으로 공사기간을 단축하고 유지관리비를 감소시키는 연구
2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술
배토량 측정 시스템 스펙/성능 결정
레이저 방식 배토량 측정장치 개발
대차 배토량 분석 센서 개발
예경보가 가능한 실시간 침하/ 위험도 평가 시스템 개발
쉴드TBM 시공자료 및 트러블 DB 구축
운전/장비 및 부품/뒷채움 평가/작업자안전자료(외부)
머신러닝 침하 분석 알고리즘 개발
실시간 침하 분석 프로그램 개발
성능검증 및 시스템 최적화
머신러닝 위험도 평가 알고리즘 개발
머신러닝 위험도 평가 프로그램 개발
시공 안전 통합 시스템 제어 연동
- 스마트기술을 활용한 배토량 측정기술, AI 기반 실시간, 지반침하 예측/굴착위험도 평가 시스템 개발
2-2 TBM 터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 시스템
TBM 터널 작업자 및 장비 스마트 안전기기 기술
안전관리 시스템 통합
시스템 개선 및 현장 실증
무선통신 네트워크망 구성 기술
작업자 및 장비의 위치 및 위험 인지 기술
스마트 안전기기를 활용한 실시간 안전관리 기술
- 실시간 모니터링 기술
- 실시간 안전 관리 시스템개발
2-3. GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공 구간의 지반 거동모니터링 시스템
GNSS의 현장 신호 수집 및 분석
실시간 센서 융합을 통한 침하 정보 수집 기술 개발
모듈 개선 및 고도화
IMU의 현장 신호 수집 및 분석
지반 침하 측위 데이터 가시화 기술 개발
테스트베드 구축 및 실증
플랫폼 개선 및 고도화
측위 모니터링 시스템 벤치마킹
이상 발생 상황 감지 및 예측 기술 개발
- GNSS/IMU 센서기술 개발
- 지반의 실시간 거동 데이터를 수집 및 가시화 플랫폼 개발
3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 굴착토 개량 및 지반 보강 기술
첨가제 배합/주입 설계 및 개량 굴착토 평가 시스템
첨가제 주입 및 교반장치 개발
굴착토 개량 평가 시스템 및 친환경 첨가제의 현장 적용
국내·외 뒷채움 관리기술 분석
친환경 첨가제 및 혼/굴착토/첨가제 분리기술
뒷채움 재료 및 상태 등에 따른 관리기준 개발
뒷채움 관리용 시제품 설계 및 제작
실내형 현장 검증
실험 및 수치해석을 통한 뒷채움 품질 관리를 위한 요소기술 개발
검·교정 체계구축
가소재 종류별 특성확인, Base 개발
내구성 증진, 성능 별 배합연구
지반개량/보강 효과 검증, 환경성 평가, 성능개선연구
플랜트, 시공업체 협력방안 도출
시공성, 작업성 평가, 현장적용시험
이송성, 시공성능 평가방안 도출
- 굴착토 개량 주입 배합 및 설계법, 첨가제 주입, 교반장치, 개량 굴착토 평가/관리 시스템, 친환경 첨가제 및 첨가제/혼 분리기술 개발
- 뒷채움 재료 특성및품질 상태 등을 관리할수 있는 기준 및 평가 체계 및 평가
- 규산계 대비 친환경/장기 체적감소 없이 내구성을 발현가능한 무기계 2액형 가소성 그라우트 개발
- 이송, 품질성능, 검증시험 장비/방법 가이드라인 제시
3-2. 고함수비 굴착 버력의 친환경 고화처리운반용 갱내 운반 시스템
터널 공사용 버력운반 차량 조사
적재함 구조선정
운반차량 설계
운반차량 제작
현장 실증
현장 실태조사
고화제 혼합기구
운반차량 시운전
최종 매뉴얼 작성 및 현장 시공 적용
적재함 융량
굴착토의 환경성 확보를 위한 후처리 요소기술 도출
굴착토 종합 특성 및 파악, 데이터 베이스 구축
친환경 신소재 최종 레시피 작성
충족 후보 재료 발굴
후보재료 : 물리·화학 특성 평가
최적 함량(농도) 결정
시험용 굴착토 건설재료 현장시공 및 검증
주요 목표성능 수립
후보재료 선정
적용시험 결정
건설재료화 위한 후속공법 도출
후보재료 : 물리·화학 특성 평가
굴착토 재활용을 위한 기술 도출
신소재 후보재료 발굴
효과적 적용을 위한 굴착-배토 시스템 프로세스 개발
- 운반중 굴착토/버력을 고화처리 가능한 운반 대차 개발

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	인텔리전트 TBM 시공관리 기술개발을 통해 안전하고 친환경적인 건설환경 조성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	’23~’25년

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	TBM 운영 프로세스의 효율화	가중치	0.5	설정 근거	- TBM 시공 정보 분석의 정확도 향상과 실시간화를 통해 시공 과정의 운영 효율화를 달성 - TBM 시공 과정을 총괄하여 모니터링 할 수 있는 시스템 개발을 통해 효율성 증진	1. TBM 시공 정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술
성과목표-2	TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상	가중치	0.3	설정 근거	- TBM 시공 현장 인근 지상에서 발생할 수 있는 위험 예측과 지하 굴착 현장에서 발생할 수 있는 위험 예측을 통해 안전을 향상	2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술
성과목표-3	친환경 처리의 공정 혁신	가중치	0.2	설정 근거	- 굴착 과정에서 발생하는 건설폐기물의 처리 시간을 줄여 전체 공사 기간을 단축할 수 있는 친환경 기술로 TBM 공법을 친환경화	3. 친환경 TBM 시공 지원 기술

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치		성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						연도	2023	2024	2025			
성과 목표 -1	TBM 운영 프로세스의 효율화	0.5		시공단축지원 기술 달성도	%	목표	-	-	50	질	✓	본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정
						실적	-	-	-			
성과 목표 -2	TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상	0.3		예측 정확도	%	목표	-	-	80	질	✓	사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 예측 정확도 80%를 확보하는 것을 목표치로 설정
						실적	-	-	-			
성과 목표 -3	친환경 처리의 공정 혁신	0.2	0.1	사이클타임 단축도	%	목표	-	-	27	질	✓	사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 목표를 27%로 설정
						실적	-	-	-			
			0.1	자원 변환율	%	목표	-	-	50	질	✓	지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 비율을 1단계에서는 사업 초기임을 감안하여 50%로 설정
						실적	-	-	-			
계												

4 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
시공단축지원기술 달성도	• 본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능 목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정	• (측정산식) = 성능목표치 달성 건수 / 총 성능목표 수 × 100 • (측정방법) 총 성능목표 중에서 목표치를 달성한 건수 측정	• 국토교통 R&D 사업관리 시스템 • 연차별 실적 보고서
예측 정확도	• 사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 예측 정확도 80%를 확보하는 것을 목표치로 설정	• (측정산식) 예측 성공 수 / 예측 시도 수 × 100 • (측정방법) 굴진 시 발생할 수 있는 지상 및 지하에 대한 위험 예측을 시도하고 이에 대한 예측 성공률을 측정	• 연차별 실적 보고서
자원 변환율	• 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 비율을 1단계에서는 사업 초기임을 감안하여 50%로 설정	• (측정산식) 50 = 재활용 가능한 폐토석량 / 굴착을 통해 발생한 총 폐토석량 × 100 • (측정방법) 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 양의 비율을 측정	• 연차별 실적 보고서
사이클타임 단축도	• 사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 목표를 27%로 설정	• (측정산식) 0.27 ≦ {기존 사이클타임 - χ(본 사업 기술의 사이클타임} / 기존 사이클타임* * 기존 사이클타임은 110분 • (측정방법) 개발하는 기술의 사이클타임을 기존 사이클타임인 110분과 비교하여 단축 비율을 측정	• 연차별 실적 보고서

나. 2단계 성과 목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계	기간	’26~’27년

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	TBM 운영프로세스의 효율화	가중치	0.5	설정 근거	- TBM 시공 정보 분석의 정확도 향상과 실시간화를 통해 시공 과정의 운영 효율화를 달성 - TBM 시공 과정을 총괄하여 모니터링 할 수 있는 시스템 개발을 통해 효율성 증진	1. TBM 시공 정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술
성과목표-2	TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상	가중치	0.3	설정 근거	- TBM 시공 현장 인근 지상에서 발생할 수 있는 위험 예측과 지하 굴착 현장에서 발생할 수 있는 위험 예측을 통해 안전을 향상	2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술
성과목표-3	친환경 처리의 공정 혁신	가중치	0.2	설정 근거	- 굴착 과정에서 발생하는 건설폐기물의 처리 시간을 줄여 전체 공사 기간을 단축할 수 있는 친환경 기술로 TBM 공법을 친환경화	3. 친환경 TBM 시공 지원 기술

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치		성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						연도	2026	2027			
성과 목표 -1	TBM 운영 프로세스의 효율화	0.5		시공단축지원 기술 달성도	%	목표	75	100	질	✓	본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정
						실적	-	-			
성과 목표 -2	TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상	0.3		예측 정확도	%	목표	85	95	질	✓	예측의 실효성이 있는 수준인 95%까지 정확도를 달성하는 것을 최종목표로 하여 단계별로 달성 가능한 수치 제시
						실적	-	-			
성과 목표 -3	친환경 처리의 공정 혁신	0.2	0.1	사이클타임 단축도	%	목표	37	54	질	✓	본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 54%를 단계별로 달성 가능한 수준으로 제시
						실적	-	-			
			0.1	자원 변환율	%	목표	70	95	질	✓	지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 대부분 변환되는 것을 목표로 제시
						실적	-	-			
계											

3 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
시공단축 지원기술 달성도	• 본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능 목표 중 단계별 달성 가능한 성능 목표의 개수(비율)를 목표치로 설정	• (측정산식) = 성능목표치 달성 건수 / 총 성능목표 수 × 100 • (측정방법) 총 성능목표 중에서 목표치를 달성한 건수 측정	• 국토교통 R&D 사업관리 시스템 • 연차별 실적 보고서
예측 정확도	• 예측의 실효성이 있는 수준인 95%까지 정확도를 달성하는 것을 최종목표로 하여 단계별로 달성 가능한 수치 제시	• (측정산식) 예측 성공 수 / 예측 시도 수 × 100 • (측정방법) 굴진 시 발생할 수 있는 지상 및 지하에 대한 위험 예측을 시도하고 이에 대한 예측 성공률을 측정	• 연차별 실적 보고서
자원 변환율	• 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 대부분 변환되는 것을 목표로 제시	• (측정산식) = 재활용 가능한 폐토석량 / 굴착을 통해 발생한 총 폐토석량 × 100 • (측정방법) 지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 양의 비율을 측정	• 연차별 실적 보고서
사이클타임 단축도	• 본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 54%를 단계별로 달성 가능한 수준으로 제시	• (측정산식) 0.54 ≦ {기존 사이클타임 - χ(본 사업 기술의 사이클타임} / 기존 사이클타임* * 기존 사이클타임은 110분 • (측정방법) 개발하는 기술의 사이클타임을 기존 사이클타임인 110분과 비교하여 단축 비율을 측정	• 연차별 실적 보고서

[참고] 시공단축지원기술 달성도 측정 항목

지연원인	해결기술 연결	기술의 성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
			국내	해외	
굴진 데이터의 현장 분석 부재		실시간 모니터링·분석 대상 핵심 파라미터의 개수	-	20개 내외	≥ 20개
		핵심 기계데이터 생성시간부터 분석까지의 소요시간	≥ 1일	-	≤ 1분
		TBM 생성 기계데이터의 실시간 저장·처리 능력	-	5백만개/일	5백만개/일
		실시간 의사결정을 위한 최적 운전조건 파라미터 항목	-	-	≥ 5개
인력 중심의 고장 원인 파악		부품구동 추정데이터 측정오차	≤ 5%	≤ 0.2%	≤ 1%
		챔버환경 밀폐시험시스템 (shield packaging system) 내열성	≥60℃	≥80℃	≥80 ℃
부품 교체 주기 파악의 어려움		열화상태/수명 예측 정확도	70%	85%	85%
지상 관리자와 지하 작업현장과의 실시간 정보 공유 방안 부재		시스템 반응시간(dalay)	-	-	1 sec 이내
빅데이터 축적 부재로 참고 사례 부족		디지털정보 국제표준 부합성	70%	95%이상	100%
		DB 동시접속 회선 수	-	-	100회선 이상
		시스템 신뢰도	-	-	SW품질 인증
		엑세스 솔루션의 다양성	3종	3종	5종 이상

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="4">혁신친화적 TBM 시공관리기술 개발을 통해 글로벌 건설시장 경쟁력 확보</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="4">실시간으로 TBM 시공·안전 관제가 가능한 통합 관리 시스템 확보</td></tr>
<tr><td rowspan="8">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="4">1단계('23년도~'25년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ TBM 운영 프로세스의 효율화</td><td>0.5</td><td>시공단축지원기술 달성도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ TBM 시공 현장의
지상 및 지하 안전 향상</td><td>0.3</td><td>예측 정확도</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 친환경 처리의 공정 혁신</td><td rowspan="2">0.2</td><td>사이클타임 단축도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>자원 변환율</td><td>질</td></tr>
<tr><td colspan="4">2단계('26년도~'27년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ TBM 운영프로세스의 효율화</td><td>0.5</td><td>시공단축지원기술 달성도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ TBM 시공 현장의
지상 및 지하 안전 향상</td><td>0.3</td><td>예측 정확도</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 친환경 처리의 공정 혁신</td><td rowspan="2">0.2</td><td>사이클타임 단축도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>자원 변환율</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2024	2023년도~2024년도 (총3년)/1단계	• TBM 운영 프로세스의 효율화 • TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상 • 친환경 처리의 공정 혁신	통합 관리 시스템 시제품 제작이 완료되는 시점
2027	2025년도~2027년도 (총2년)/2단계	• TBM 운영 프로세스의 효율화 • TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상 • 친환경 처리의 공정 혁신	테스트베드에서 통합 관리 시스템에 대한 시험평가가 완료되는 시점

4. 성과 활용・확산 계획서 제출 계획

사업 종료 연도	성과 활용·확산 계획서 제출 연도
2027	2028

2. 기술수요

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	TBM 안전성 평가 및 인증 검사 기술			
제안기술의 개 요	○ TBM 운용 안전성 확보 기술과 국내 Remanufacturing(이하 리만) 관리 인증 체계 마련 : TBM 안전성 확보 및 관리 기준이 부재한 상황이며, 작업 시공성 향상 대응을 위한 국내 조달, 대응, 대치 가능한 핵심부품에 대한 리만 관리 인증 체계 기술을 개발 하고자 함 - TBM 안전성 평가 및 검증 기법 개발 - TBM 리만 대응 관리 인증 검사 기술 연구			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법 · 신기술 ( )	H/W ( )	S/W (○)	
	세부 유형 : 안전성 평가 기법 및 기준 마련, 리만 검사 기술 연구, 관리 체계 반영을 위한 표준화 추진			
현재 TRL 단계	현재 (3)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (독일, 미국)		최고 선진국(100%) 대비 : (20)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 안전성 평가 및 인증 검사 기술
연구개발 내용	○ TBM 안전성 평가 및 검증 기법 개발 - 국내외 사례 분석 - 핵심 부품 및 시스템 안전성 평가 요구도 마련 - 안전성 확보를 위한 검증 기법 개발 - 관리 제도 개선을 위한 표준화 추진 ○ TBM 리만 대응 관리 인증 검사 기술 연구 - 리만 대상 범위 선정과 검증 방안 연구

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">TBM 연속 작업 성능 향상과 관리 비용 절감을 위한 핵심부품 및 모듈의 운용 신뢰성 확보 기술</td></tr>
<tr><td>제안기술의 개 요</td><td colspan="4">○ TBM 운용 특성을 고려한 신뢰성 확보 및 평가 검증 기술 개발
: TBM은 분진, 고온, 침지, 낙수, 다습 등의 가혹 환경 조건에서 운용이 불가피하여, 운용성 및 작업성 향상을 위해 핵심 부품/모듈의 내구 신뢰성과 내환경 성능확보를 위한 검증 평가 기술을 개발 하고자 함
- 핵심 부품 및 모듈 내구 신뢰성 검증 기술
- 가혹 운용 조건 재현, 핵심부품 내환경성능 확보 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="2">적용 대상 TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td>중단면(5~6m) TBM (○)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td>대단면(9~10m) 이상 TBM ( )</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물 유형</td><td>공법 - 신기술 ( )</td><td>H/W ( )</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : TBM 핵심 부품 내구 신뢰성 및 운용 환경성능 검증 기법 체계, 단체 표준화 추진</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재 TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (3)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표 TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일, 미국)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (50)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 운용 특성을 고려한 신뢰성 확보 및 검증 기술
연구개발 내용	○ 핵심 부품 및 모듈, 내구 신뢰성 평가 기술 - 해외 선진사 TBM 신뢰성 분석 - 고장 모드 분석(FTA, FMEA 등) - 내구 신뢰성 목표 수립과 검증 기법 개발 ○ 가혹 환경 운용 신뢰성 확보를 위한 내환경성능 평가 기술 개발 - 작업 환경 조사 분석, 성능 요구도 수립 - 평가 및 검증 방법, 최소 성능 요구 기준 도출
연구 키워드	TBM신뢰성, TBM내환경성능, 내구신뢰성, 가혹환경, 평가 및 검증 기법

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	TBM 기계데이터를 이용한 실시간 전방지질 예측 및 지질 대응 최적화 굴진 및 자율 운행 시스템			
제안기술의 개 요	○ 별도의 계측장비나 센서를 부착하지 않고 굴진 중 TBM에 저장되는 기계데이터만을 ML/AI 기술을 이용하여 1~2링 전방의 지질상태를 예측하고, 예측된 지질상태에 대해 최적화된 굴진 파라미터를 적용하여 굴진속도의 향상을 가져온다. 이와 함께 지질조건에 맞게 Thrust 실린더의 추력을 자동으로 조절하여 DTA(Designed Tunnel Alignment)를 따라 자율 운행이 가능한 시스템의 개발이다.			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W ( )	S/W (○)	
	세부 유형 :			
현재 TRL 단계	현재 (2)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국)		최고 선진국(100%) 대비 : (50)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 굴진속도 15% 향상을 위한 전방 지질 대응 최적화 굴진 및 자율 운행 시스템 개발
연구개발 내용	○ 별도의 계측장비나 센서를 부착하지 않고 굴진 중 TBM에 저장되는 기계데이터만을 ML/AI 기술을 이용하여 1~2링 전방의 지질상태를 예측 ○ 예측된 지질상태에 대해 Bayesian Optimization 등의 기법을 활용한 최적화된 굴진 파라미터 제안 시스템 개발 ○ 지질조건에 맞게 thrust 실린더의 추력을 자동으로 조절하여 DTA(Designed Tunnel Alignment)를 따라 자율 운행이 가능한 시스템의 개발
연구 키워드	※ 전방지질예측, 자율운행, 기계데이터, 머신러닝, 굴진최적화
기술(제품) 실증 방안	○ 기존의 TBM PJT의 굴진데이터 및 지질자료, Production 자료를 개발된 시스템을 적용한 모사 굴진 시뮬레이션을 통하여 기존의 굴진실적 대비 굴진속도 향상 및 사행오

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	도심 터널 굴착 공사 중 주변 시설물 거동 이상 발생 모니터링 시스템			
제안기술의 개 요	○ 최근 도심 내의 지하철, 지하도시 개발 등을 위해 각종 굴착 공사가 진행되고 있음 ○ 이로 인한 주변 시설물의 균열 및 변형 등의 민원이 많이 발생하고 있어, 공사 기간 중 주변 시설물의 거동 등을 지속적으로 모니터링을 하여 민원 대응 및 안전한 굴착 공사를 위한 기반 마련을 목적으로 함 - 주변 시설물의 거동을 실시간으로 모니터링하여 거동 이상 발생시 TBM과의 연계를 통한 굴착 중지 등의 의사결정 지원체계 및 연계 기술 개발			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조	( )	2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 * 작업 안전 향상 기술을 포함	(○)
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM	(○)	중단면(5~6m) TBM	(○)
	중대단면(7~8m) TBM	(○)	대단면(9~10m) 이상 TBM	(○)
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법 · 신기술 ( )	H/W (○)	S/W (○)	
	세부 유형 : GNSS와 IMU 융합 센서 기술을 활용한 공사 주변 시설물 실시간 거동 모니터링 시스템			
현재 TRL 단계	현재 (5)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국)		최고 선진국(100%) 대비 : (70)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 도심 터널 굴착 공사 중 주변 시설물 거동 이상 발생 모니터링 시스템 개발
연구개발 내용	○ 시설물 거동 모니터링을 위한 GNSS+IMU 센서 융합 기술 개발 - 시설물의 거동을 실시간(50Hz)으로 모니터링 하기 위해 대표적인 측위 기술인 RTK- GNSS에 IMU 센서를 융합한 시설물 거동 모니터링 기술 개발 ○ 거동 모니터링 결과 분석을 통한 거동 이상 감지 및 TBM과의 연계기술 개발 - 실시간 시설물 거동 데이터 수집 기술 개발 - 실시간 시설물 거동 데이터 분석을 통한 이상 발생 상황 감지 및 예측 기술 개발 - 거동 이상 발생시 작업 중인 TBM 제어를 위한 연계 기술 개발
연구 키워드	※ GNSS, IMU, 센서 융합, 실시간 거동 모니터링, 거동 이상

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">급속시공 및 파쇄대 대응 TBM(EPB or SLURRY TYPE) 핵심기술 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM은 타공법 대비 우수한 터널링공법으로 증가추세에 있고, TBM의 굴진속도를 향상시키기 위해서 다양한 연구개발이 이루어지고 있으나, 굴진속도를 개선하기 위해서는 근본적으로 TBM 본체가 급속 추진을 위한 구조체가 되어야만 유의미한 효과가 있기 때문에 TBM 구조체의 기계적인 능력 개선이 필수.
○ TBM 시공중 조우하게 되는 다양한 지층중 파쇄대층의 굴진도 다양한 문제점을 야기시키는 바, 파쇄대에 대응할 수 있는 TBM 구조체 개발.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( )
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 O 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 O 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 ( )</td><td colspan="2">H/W (○)</td><td>S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="5">세부 유형 : TBM MACHINE</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="5">현재 (TRL2~TRL3)단계</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (100)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 굴진 중 다양한 지층에 대응 가능하고 급속으로 시공 가능한 TBM개발
연구개발 내용	○ 굴진속도 개선을 위한 커터헤드, TBM 구동부 및 BODY 강도개선 ○ 굴진 중 다양한 지층변화(파쇄대)에 대응 가능한 커터헤드 및 시스템 개발
연구 키워드	※ 급속시공, 복합지층, TBM
기술(제품) 실증 방안	○ 설계 모델링 및 시뮬레이션 ○ 유사환경 검증 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	- 국내 TBM 기술자 훈련 방식 연구			
제안기술의 개 요	○ 국내 TBM 효율적 적용을 위한 제도화 연구 - TBM 적용을 위한 전문가 훈련 방식 제시 - 장비 발주에 따른 입찰안내서 제시 항목 제시 - 장비 반입 전 장비검수와 현장 조립에 따른 체크항목 정립 - TBM굴착 시공을 위한 제반사항에 대한 가이드 제시			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W ( )	S/W ( )	
	세부유형 : 국내 TBM 시공을 위한 가이드 라인(안) 보고서(발주/장비검수/오퍼레이터/현장 체크)			
현재 TRL 단계	현재 (2)단계			
	※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (유럽/일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (30)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 국내 TBM의 효과적 적용을 위한 가이드 제시
연구개발 내용	○ 국내 쉴드 TBM 효율적 적용을 위한 제도화 - 쉴드TBM 적용을 위한 TBM 운전자 훈련계획 제언 - 장비 발주시 TBM Operator PQ 입찰안내서 제시 항목 정립 - 장비 반입 전 충분한 운전 훈련 수료 등 TBM PQ 체크항목 정립 - TBM Operator 면허 제도 도입 시급, (현행 지게차 등 중기 면허자)
연구 키워드	※ 발주, 장비검수, TBM Operator 면허제도, 국내 TBM Operation 기술 미비
기술(제품) 실증 방안	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	- 국내 쉴드 TBM의 효과적 적용을 위한 제도화 연구 - 국내 쉴드TBM 활성화 및 선진화를 위한 제도화 연구
제안기술의 개 요	○ 국내 쉴드 TBM 효율적 적용을 위한 제도화 연구 - 쉴드TBM 적용을 위한 발주 방식 제시 - 장비 발주에 따른 입찰안내서 제시 항목 제시 - 장비 반입 전 장비검수와 현장 조립에 따른 체크항목 정립 - TBM굴착 시공을 위한 제반사항에 대한 가이드 제시 - 쉴드TBM 활성화를 위한 발주 방식 - 지반리스크를 고려하고 최적 장비제작과 통합관리시스템 구축을 위한 입찰안내서 - 제작 장비의 공장점검과 현장 조립시 기본 체크List 항목 - 안전시공과 통합 관리를 위한 리스크 관리체계 및 산학연 기술협의체 운영에 대한 가이드 제시
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조 2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함 ※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( ) / 중단면(5~6m) TBM (○) 중대단면(7~8m) TBM (○) / 대단면(9~10m) 이상 TBM (○) ※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)
기술 종류	신규 기술 개발 ( ) / 기존 기술의 고도화 (○) ※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( ) / H/W ( ) / S/W ( ) 세부유형 : 국내 쉴드 TBM 시공을 위한 가이드 라인(안) 보고서(발주/장비검수/오퍼레이터/현장 체크)
현재 TRL 단계	현재 (2)단계 ※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○) / 9단계 ( ) ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)
기술수준	최고 선진국명 : (유럽/일본) / 최고 선진국(100%) 대비 : (30)%

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 국내 쉴드 TBM의 효과적 적용을 위한 가이드 제시
연구개발 내용	○ 국내 쉴드 TBM 효율적 적용을 위한 제도화 - 쉴드TBM 적용을 위한 발주 방식 제언 - 장비 발주시 장비타입선정과 입찰안내서 제시 항목 정립 - 장비 반입 전 장비검수와 현장 조립에 따른 체크항목 정립

기술수요조사서

1. 기술수요 제 안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">헬리컬(HELICAL) 세그먼트를 적용한 TBM 굴진속도 향상 기술</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 연속굴착이 가능한 나선모양(헬리컬)의 세그먼트
-설치 중인 1 세그먼트를 제외한 부분에 추력을 가할 수 있어, 중단없이 TBM의 연속굴착을 가능하게 하는 나선모양의 세그먼트
○ 헬리컬 세그먼트 TBM의 추력분포 제어시스템
-설치 중인 세그먼트를 제외한 나머지 세그먼트에 가해지는 추력의 분포를 각각 자동제어함으로써 직선부 및 곡선부 굴착을 수행하게 하는 제어시스템
○ 헬리컬 세그먼트 적용을 위한 TBM 장비 개조
-헬리컬 세그먼트의 설치 및 연속굴진을 위한 이렉터와 추진잭 개조
○ 헬리컬 세그먼트와 개조된 TBM을 적용한 TBM 굴착 운영 기술
-200m 굴착 실증을 통한 연속굴진시 작업 사이클 분석, 시퀀스 최적화 및 후방 설비 조합기술</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( )
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (○)</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 헬리컬 세그먼트 설계/시공법, 헬리컬 세그먼트용 TBM 추진잭 및 이렉터 개조, 추력분포 제어시스템, 연속굴진용 TBM과 최적 후방설비 조합</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (6)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (미국)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (150)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 헬리컬 세그먼트 설계·제작 기술 확보와 7~8m급 TBM 실증을 통해 TBM 터널공사의 경쟁력 강화 및 해외수주 활성화. ○ 국내 TBM 사업 활성화를 통한 TBM 장비제작시장 개척 마중물 역할
연구개발 내용	○ 7m급 헬리컬 세그먼트 설계/제작 - 세그먼트 3차원 모델링 및 구조해석 - 세그먼트 모형제작 및 안정성 검토

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">연속굴착이 가능한 나선형 세그멘탈 TBM의 유지관리 기술 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 연속굴착이 가능한 나선형 세그멘탈 TBM의 굴착 중 장비 시스템의 원활한 작동과 손상 방지, 굴진 효율 등 향상을 위한 유지관리 기술 개발
○ 나선형 세그멘탈 TBM 터널 시공 완료 후에도 터널 운영 중에 체계적인 관리가 가능하도록 유지관리 기술 개발</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( )
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="2">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (○)</td><td colspan="2">H/W (○)</td><td>S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 :</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (5~6)단계
※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td>기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 (○)</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일, 일본)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (60)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

<table>
<tr><td>연구개발 목표</td><td>○ 연속굴착형 TBM 유지관리 매뉴얼 개발</td></tr>
<tr><td>연구개발
내용</td><td>○ 연속굴착이 가능한 나선형 세그멘탈 TBM의 장비 유지관리 매뉴얼 개발
- 연속굴착형 TBM 장비의 올바른 취급에 필요한 모든 설명과 지침
○ 연속굴착이 가능한 나선형 세그멘탈 TBM 터널(세그먼트) 유지관리 매뉴얼 개발
- 연속굴착형 TBM 터널의 (시공완료 후) 운영 중 유지관리 지침, 매뉴얼 등 개발</td></tr>
<tr><td>연구 키워드</td><td>나선형 세그멘탈 TBM, 장비, 유지관리, 지침, 매뉴얼</td></tr>
<tr><td>기술(제품)
실증 방안</td><td>○ 연속굴착형 TBM의 실증 시공 시 유지관리 매뉴얼에 따라 장비 운영관리
※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	TBM 세그먼트 조립공정 무인화를 위한 AI 비전기반 이렉터 협동로봇 개발			
제안기술의 개 요	○ TBM 무인/자율 운용을 위한 AI 비전기반 세그먼트 조립 이렉터 협동로봇 개발 1) TBM 컨베이어 로딩 세그먼트 3차원 형상 인식 및 이송 경로 정렬 기술 2) 세그먼트 조립 머신과 협동이 가능한 세그먼트 자동 로딩 로봇 기술 ① 보조 고정 기구부 자동 가공/조립, ② 석션 위치 정렬 역할 수행 3) 세그먼트 조립 후 검사를 위한 3차원 AI 비전 기반 정렬 검사 로봇 기술			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (O) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM (O)	
	중대단면(7~8m) TBM (O)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (O)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법신기술 ( )	H/W (O)	S/W (O)	
	세부 유형 : 세그먼트 자동조립 협동로봇 및 AI 비전 검사 소프트웨어(S/W)			
현재 TRL 단계	현재 (5)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (O)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (60)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 세그먼트 조립공정 무인화를 위한 AI 비전기반 이렉터 협동로봇 개발
연구개발 내용	1) TBM 컨베이어 로딩 세그먼트 3차원 형상 인식 및 이송 경로 정렬 기술 - 기존의 TBM 세그먼트의 자동 조립 기술이 사용되고 있으나, 컨베이어 이송 과정에서 위치오차 발생으로 세그먼트 자동 조립 머신의 조립 장치 전달 과정에서 2-3인 이상의 작업자의 위치 보정 작업이 필요함 - 본 연구에서는 세그먼트의 컨베이어 이송 종단에 작업자 없이 AI기반의 비전 인식 센서를 탑재하는 협동 매니퓰레이트(manipulator) 로봇을 설치하여 최소한의 위치 오차로 자동 조립 머신으로 세그먼트를 전달하는 기술을 개발 2) 세그먼트 조립 머신과 협동이 가능한 세그먼트 자동 로딩 로봇 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">Shield TBM Segment Ring Building 작업 자동화</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 터널 내 Segment 설치 작업 자동화
- Erector Operator와 몇 명의 작업조가 투입되는 TBM Segment 설치 작업을 로보틱스 솔루션을 통해 자동화 함
- 생산성 및 안전성 향상</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (O)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 O 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM ( )</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM ( )</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (O)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (O)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 ( )</td><td>H/W (O)</td><td colspan="2">S/W (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 기존 TBM Erector H/W Upgrade 및 로보틱스 솔루션 적용</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (2)단계
※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td>기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (O)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : ( )</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : ( )%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM Erector 기능 개선 및 자동운전 S/W 개발
연구개발 내용	○ 라이다와 로보틱스 솔루션을 통한 Segment Ring building 자동화 - Erector에 3D 형상 인식 및 공간 인식을 위한 고정형 라이다 센서를 부착하고 단순 반복 작업인 Ring building 작업 Sequence를 수행하도록 코딩하여 스스로 세그먼트 블럭의 위치와 형상, 조립 위치를 인지하고 Erector를 구동, Ring building 작업 수행.
연구 키워드	※ Erector 자동화, 고정형 라이다, SI(System Integration), 실험 설비, 현장 검증
기술(제품) 실증 방안	○ 기술개발 이후 국내 TBM 적용현장에 Pilot 적용 - 직경 7m 이상급 TBM 적용현장에 Pilot 적용하여 적합성 검증 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	shield TBM 굴진 자동화			
제안기술의 개 요	○ Shield TBM 굴진시 자동화 - 굴진시 암반조건 및 Operator 기량, 작업 방법에 따른 차이가 남. 자동화를 통한 굴진 표준화 및 작업능률 향상			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)	
	* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		* 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM ( )	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (○)	H/W ( )	S/W ( )	
	세부 유형 : TBM 굴진 자동화 프로그램 개발 및 제작			
현재 TRL 단계	현재 (2)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 (○)	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : ( )		최고 선진국(100%) 대비 : ( )%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ shleld TBM 굴진 자동화 S/W 개발
연구개발 내용	○ shleld TBM 굴진 자동화 S/W 개발 - 현장별 지질주상도 및 선형 등, 프로그램 기입하여 굴진시 Operator가 상주하지 않아도 자동화 가능
연구 키워드	※ 굴진 자동화 프로그램, 굴진표준화, 자율운행,
기술(제품) 실증 방안	○ 기술개발 이후 국내 TBM 적용 현장에 신규 적용 - 직경7m 이상급 TBM현장 적용 적합성 검증
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">BIM 기반의 디지털 모델을 활용한 TBM 진방 지질 예측 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 데이터 기반 기계식 굴착 장비(TBM)의 스마트 운전기술 개발
- TBM 굴착공기의 예상이 어려워 공기에 큰 영향을 미치고 있어, 이러한 불확실성을 최소화하기 위하여 BIM기반의 디지털 모델을 생성 및 활용하여 연속굴착을 위한 진방 지질 예측기술을 개발.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( )
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법 · 신기술 ( )</td><td>H/W ( )</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : TBM 진방 지질 예측 소프트웨어</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (TRL 1)단계
※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (10)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

<table>
<tr><td>연구개발 목표</td><td>○ 디지털 모델을 활용한 TBM 진방 지질 예측 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>연구개발
내용</td><td>○ 디지털 모델을 활용한 TBM 진방 지질 예측 시스템 개발
-지질 디지털 모델의 정확성을 위한 보링(boring) 거리, 횟수 기준 검증
-생성된 디지털 모델기반 TBM 굴착 경로의 정확성 검증
- 생성된 디지털 모델기반 TBM 공기예측 및 실증
- 보링 데이터 기반 디지털모델 자동생성기술 개발
- 보링 데이터 기반 디지털모델 자동생성기술을 활용한 TBM 연속굴착 운전기술 개발</td></tr>
<tr><td>연구 키워드</td><td>BIM, TBM, 연속굴착, 지질 예측</td></tr>
<tr><td>기술(제품)
실증 방안</td><td>○ TBM 현장 실증
- TBM이 사용된 현장의 TBM 운용 기록을 기반으로 개발한 예측 프로그램에서 나온 결과값과 비교 및 오차율 분석
※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">TBM 전방 지반 예측 기술</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 굴착시 막장면의 지반조사 결과와 실제현장의 가동 TBM 막장면의 지반 물성치 차이로 인한 급작스런 전방 막장과 인근건물 붕괴 사고예방 기술임.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 ( )</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법신기술 (○)</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 전방 사전예측 기술로 TBM 전면 붕괴 사고 예방</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (4)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>현재 보유한
기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (일본)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (75)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 해당 기술이 현장에서 적용 가능하도록 현장 기술제안
연구개발 내용	○ 설계상 터널 노선의 지반조사와 전방 사전 TSP 조사 결과와 비교분석하여 막장면의 지반상태을 예상하고 TBM 작업시 기계 작동에 반영함.
연구 키워드	※ 지반조사, 막장면 물성치, TSP, SW분석, TBM
기술(제품) 실증 방안	○ TBM 막장면에 부착장치하여 예상된 지반 물성치를 입력하여 사전 비교 분석 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리 및 운반을 위한 갱내 운반대차의 개발 및 제작</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 고함수비로 반출되는 굴착버력의 갱내 운반 중 친환경 고화처리가 가능한 운반대차의 개발 및 제작
- EPB 쉴드TBM 굴착시 반출되는 굴착버력은 고함수비 상태로 배토되며, 운반대차(Muck Car)에 싣고 갱내 운반 및 지상으로 반출되므로 갱내 환경이 불량하며, 별도의 고화처리후 사토장으로 이동되므로 장시간이 소요됨.
- 운반 중 고화처리 가능한 운반대차(Muck Car) 개발, 고가의 지상 고화처리플랜트 설치없이, 신속하게 사토장으로 이동되므로 작업효율 향상, 갱내 환경개선, 비용 절감 가능</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="3">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (○)</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 고화처리 가능한 운반대차(Muck Car)의 개발 및 제작</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (2)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (일본, 중국, 독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (120)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ EPB 쉴드TBM에서 갱내 운반 중 친환경 고화처리 가능한 운반대차(Muck Car) 개발 및 제작
연구개발 내용	○ 굴착버력의 갱내 운반 중 고화처리 가능한 운반대차(Muck Car) 개발 및 제작 - 현재 운반대차(Muck Car)는 배토된 고함수비의 버력을 단순히 싣고 갱외로 운반 - 고함수비 상태로 운반되므로 갱내 환경 불량하고, 고가의 고화처리플랜트 필요 - 갱내 운반 중 고화처리가 가능한 운반대차(Muck Car) 개선 개발
연구 키워드	※ 토압식, 쉴드TBM, 버력, 고화처리, 운반대차
기술(제품)	○ 고화처리 가능한 버력 운반대차(Muck Car)

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	중대형 TBM의 회전체 부품의 내구시험방법 및 실규모시험장비 개발
제안기술의 개 요	○ TBM 공구부품의 내구성능 평가를 위한 내구마모시험장비 및 표준시험법 개발 - 디스크 커터 및 커터비트의 마모시험장비 및 시험법개발 - 중대형 회전식부품(유압, 베어링, 기어 등)의 내구시험방법 개발 - 마모시험 데이터 축적 및 현장시험 결과와 비교/실증
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조 2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (0) * 작업 안전 향상 기술을 포함 ※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (0) / 중단면(5~6m) TBM (0) 중대단면(7~8m) TBM (0) / 대단면(9~10m) 이상 TBM ( ) ※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)
기술 종류	신규 기술 개발 ( ) / 기존 기술의 고도화 (0) ※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시
최종 결과물 유형	공법·신기술 (0) / H/W (0) / S/W ( ) 세부 유형 : 마모내구시험장비 및 시험방법
현재 TRL 단계	현재 (6)단계 ※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( ) / 9단계 (O) ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)
기술수준	최고 선진국명 : (스웨덴, 독일) / 최고 선진국(100%) 대비 : (80)%

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 공구부품의 내구마모시험장비 및 표준시험법 개발
연구개발 내용	○ 디스크 커터 및 커터비트의 마모시험장비 및 시험법개발 - 소모성 공구부품(디스키 커터, 커터비트 등) ○ 중대형 회전식 부품의 내구시험방법 개발 - 중대형 회전부품(베어링, 유압모터, 펌프, 기어) 등의 내구시험방법 개발 - 중형(2인치 ~ 6인치) 롤러 베어링의 시험장비 개발
연구 키워드	텅스텐카바이드, 소결기술, 등방압 성형기술, 고내구성, 디스크 커터
기술(제품) 실증 방안	○ 부품 마모시험 및 TBM현장평가 - 개발소재 표준시험(마모시험, 내구시험) 수행 - TBM 현장시험시 공구/부품수명 비교평가/실증 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	중대단면(7-8m) TBM용 150kW급 유압 모터 국산화 개발			
제안기술의 개 요	○ 중대단면(7-8m)급 TBM용 유압모터 기술 국산화 및 현장실증 기술 개발 - 150kW급 유압 모터 설계 및 핵심부품 개발 - 고내구성 유압 모터 신뢰성 시험/평가 기술 개발 - 중대단면 TBM용 유압모터 장착 실증 기술 개발			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (●) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (●)		중단면(5~6m) TBM (●)	
	중대단면(7~8m) TBM (●)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (●)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (●)	S/W ( )	
	세부 유형 : 디스크 커터 회전용 유압모터			
현재 TRL 단계	현재 (5)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 (●)	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (독일, 일본, 미국)		최고 선진국(100%) 대비 : (80)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 중대단면(7-8m)급 TBM용 유압모터 기술 고도화 및 현장실증 기술 개발
연구개발 내용	○ 150kW급 유압 모터 핵심 부품 개발 ○ 고내구성 유압 모터 신뢰성 시험/평가 기술 개발 ○ 7-8m급 중대단면 TBM용 유압모터 장착 및 현장 실증
연구 키워드	중대단면 TBM , 유압모터, 신뢰성 시험/평가, 실증평가
기술(제품) 실증 방안	○ 유압모터 신뢰성 시험 및 TBM현장실증 - 개발부품 신뢰성 자체평가, 시제품 예비시험 수행/공인성적서 인증 - 유압모터 시제품 TBM장착 및 터널현장 실증평가
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	- 쉴드 TBM 시공(세그먼트 라이닝) 품질향상을 위한 BIM도입 연구
제안기술의 개 요	○ 쉴드 TBM 시공 품질향상을 위한 BIM도입 연구 - 기계화 시공 BIM적용에 따른 기준 정립 - 쉴드TBM 세그먼트 BIM 설계 패밀리(모듈) 개발 - BIM사전 검토를 통한 따른 세그먼트 구조물 시공 품질 향상
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조 2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함 ※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○) / 중단면(5~6m) TBM (○) 중대단면(7~8m) TBM (○) / 대단면(9~10m) 이상 TBM (○) ※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)
기술 종류	신규 기술 개발 ( ) / 기존 기술의 고도화 (○) ※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시
최종 결과물 유형	공통-신기술 ( ) / H/W ( ) / S/W ( ) 세부 유형 : 쉴드 TBM의 시공(세그먼트 라이닝)적용에 따른 패밀리(모듈) 및 적용 가이드(안) 보고서
현재 TRL 단계	현재 (5)단계 ※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○) / 9단계 ( ) ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)
기술수준	최고 선진국명 : (유럽/일본) / 최고 선진국(100%) 대비 : (0)%

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 쉴드 TBM 선형특성을 고려한 BIM 기반의 세그먼트 패밀리(모듈) 개발
연구개발 내용	○ 쉴드TBM 세그먼트 BIM 설계 패밀리(모듈) 개발 - 기계화 시공에서의 BIM 도입에 대한 기준 마련 - 세그먼트 시공품질 향상을 위한 설계단계에서의 세그먼트 BIM 설계 도입
연구 키워드	※ 세그먼트, BIM, 시공품질, 패밀리(모듈)개발
기술(제품) 실증 방안	○ 기계화 시공에서의 BIM 적용 단계 제시 - 세그먼트 라이닝 가상설계에 따른 모듈 제시 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">연속굴착을 위한 쉴드 굴진과 세그먼트 조립 동시 시공 장치 기술 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 제안 기술은 쉴드 굴진 중 세그먼트 조립이 가능하게 하는 기술이다. 굴진 쉴드잭과 세그먼트 조립잭으로 나누어 굴진 쉴드잭으로 굴진 진행과 동시에 세그먼트 졸립잭으로 세그먼트를 조립하여 표준 쉴드공법에서 발생하는 굴진손실시간을 최소화하는 장치이다.
○ 제안 기술의 핵심 기술로는 굴진 및 세그먼트 조립 시 생기는 편심하중을 억제하고 쉴드기 굴진 방향을 안정화 기술이 핵심기술 과제임.</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( )
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (○)</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 동시 굴진 공법 / 동시 시공 장치 시제품 / 동시 시공 제어 프로그램</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (TRL1)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (일본)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (10)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 연속굴착 가능한 세그먼트 조립 및 굴진 병행 장치 시제품 제작 ○ 시제품 실증 모의 시험
연구개발 내용	○ 연속굴착 가능한 세그먼트 조립 및 굴진 병행 쉴드잭 시스템 개발 -. 세그먼트 조립 및 굴진 병행 스킨플레이트 구조 기술 개발 -. 세그먼트 조립 및 굴진 병행 쉴드잭 최적 압력 제어 유압 시스템 개발 -. 세그먼트 조립 및 굴진 병행 동시 시공을 위한 전기 제어 시스템 개발 ○ 연속굴착 가능한 세그먼트 조립 이렉터 장치 시스템 개발 -. 세그먼트 조립 이렉터 장치 개발 -. 세그먼트 조립 이렉터 유압 제어 시스템 기술 개발 -. 세그먼트 조립 이렉터 전기 제어 시스템 기술 개발

기술수요조사서

1. 기술수요 제 안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">TBM 안정성 향상을 위한 고강도 고내구성 세그먼트 재료 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 현황 및 문제점
- TBM 세그먼트의 경우 지하구조에 활용되는 콘크리트로 균열 및 누수에 의한 내구성능 저하로 인해 지속적인 유지관리 수요가 발생함.
- 또한 화재와 같은 재난이 발생할 경우 구조물의 붕괴에 이를 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요함.
○ 개선방안
- TBM 세그먼트용 콘크리트 소재를 고인성, 고강도화 및 고내구화 할 경우 구조물의 유지관리 수요의 억제 및 관련 비용의 절감이 가능함.
- 또한 화재시 콘크리트가 고열에 저항할 수 있도록 재료 설계가 가능하며, 콘크리트 폭렬 현상(Explosive spalling)의 원인이 되는 수증기압의 배출을 위한 최적의 섬유를 혼입하여 피해를 방지할 수 있음.
- 세그먼트용 콘크리트에 활용하는 특수 시멘트를 개발하고, 적정한 배합기술을 도입할 경우 토양 및 지하수에 의한 내구성능 확보가 가능하며, 수분의 침투를 근본적으로 방지할 수 있는 고내구성의 콘크리트 제조가 가능함.
○ TBM 안정성 향상을 위한 고강도 고내구성 세그먼트 재료의 필요성
- TBM 안정성 향상을 위해 세그먼트의 고강도화, 내화성능 확보, 내염해 성능 확보가 요구됨.
- Precast로 제작되는 세그먼트 콘크리트가 고강도화, 내화성능, 내염해 성능 확보를 위해 특수 결합재 및 소재 개발을 통한 세그먼트 전용의 소재 개발 필요.
○ TBM 안정성 향상을 위한 고강도 고내구성 세그먼트 재료의 개발범위
- TBM 세그먼트 콘크리트용 소재 개발
(특수 결합재/특수 혼화제/콘크리트용 배합 개발)
- TBM 세그먼트 콘크리트용 소재 시제품 제작 및 평가
- TBM 세그먼트 시작품 제작 및 평가</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( )
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="2">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM</td><td>(○)</td><td>중단면(5~6m) TBM</td><td>(○)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM</td><td>(○)</td><td>대단면(9~10m) 이상 TBM</td><td>(○)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 ( )</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 (○)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (○)</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 세그먼트 재료 설계 및 시공법, 세그먼트 시제품</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (4)단계</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	시공 및 운영 단계에서의 TBM 세그먼트 배면의 상태 평가 기술			
제안기술의 개 요	○ TBM 시공시 초기누수 탐지 및 세그먼트 배면의 밀실 그라우팅 조사 기술 개발			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 O 표시			
최종 결과물 유형	공법 · 신기술 ( )	H/W (○)	S/W ( )	
	세부 유형 :			
현재 TRL 단계	현재 (3)단계			
	※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (80)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 시공 및 운영 단계에서의 TBM 세그먼트 배면의 상태 평가 기술
연구개발 내용	○ GPR을 이용한 TBM 세그먼트 배면 상태 평가 기술 - GPR 및 머신러닝 기술을 이용한 세그먼트 배면 상태 평가 기술 ○ 이미지 스틱을 이용한 접촉 방식의 배면상태 평가 기술 - 센서 융합을 통한 주입구 삽입형 접촉방식 진단 기술
연구 키워드	백필 세그먼트, GPR, 이미지, 라이다 센서, 세그먼트
기술(제품) 실증 방안	○ 실내 시험 및 수치해석, 현장시험을 통한 성능 검증 - GPR 실대형모형시험, 전자기파 수치해석, 현장 시험을 통한 검증 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	연속굴착형 세그먼트의 곡선부 설치 대응기술			
제안기술의 개 요	○ 연속굴착형 세그먼트의 곡선구간에서 설치하기 위한 기술 - 곡률반경을 가진 곡선부에서의 연속굴착형 세그먼트를 효율적으로 설치하기 위한 기술 - 곡선부에서의 세그먼트간 틈새를 최소화하는 기술			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (○)	H/W ( )	S/W ( )	
	세부 유형 : 공법을 개발하여 신기술로 발전 가능			
현재 TRL 단계	현재 (3)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (캐나다)		최고 선진국(100%) 대비 : (100)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 곡선부에서의 연속적인 TBM 굴진이 가능하도록 연속굴착형 세그먼트를 신속하게 효율적으로 설치하기 위한 기술
연구개발 내용	○ 다양한 곡률반경에 대응하는 세그먼트 최적 테이퍼각 기술개발 ○ 다양한 곡률반경에 대응하는 세그먼트 최적길이 기술개발 ○ 다양한 곡률반경에 대응하는 세그먼트 최적개수 확보기술 개발
연구 키워드	연속굴착, 세그먼트, 곡선부, 곡률반경, 테이퍼각, 세그먼트 길이, 세그먼트 개수
기술(제품) 실증 방안	○ 실대형 실험 수행 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">연속굴착형 세그먼트의 구조보강 대응기술</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 연속굴착형 세그먼트의 구조적 성능을 증가시키기 위한 기술
- TBM 재추력의 불균등하중에 대응토록 세그먼트의 구조적 성능을 향상하는 기술
- 응력에 대한 보강이 필요한 부위에 철근을 보강하는 기술</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 (○)</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (○)</td><td>H/W ( )</td><td colspan="2">S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 공법을 개발하여 신기술로 발전 가능</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (3)단계
※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td>기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="5">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (캐나다)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (100)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

<table>
<tr><td>연구개발 목표</td><td>○ 연속굴착형 세그먼트의 구조적 성능을 증가시킴</td></tr>
<tr><td>연구개발
내용</td><td>○ 다양한 하중조건에 대응하는 구조적 보강방법 개발
○ 다양한 시공조건에 대응하는 구조적 보강방법 개발
○ 다양한 지반조건에 대응하는 구조적 보강방법 개발</td></tr>
<tr><td>연구 키워드</td><td>연속굴착, 세그먼트, 구조보강, 불균등하중, 응력, 하중조건, 시공조건, 지반조건</td></tr>
<tr><td>기술(제품)
실증 방안</td><td>○ 실대형 실험 수행
※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	연속굴착형 세그먼트의 체결방식 효율화 및 성능향상 기술			
제안기술의 개 요	○ 연속굴착형 세그먼트의 링간 세그먼트간 체결방식을 효율화하고 체결성능을 향상시키는 기술 - 원터치 핀타입 방식의 체결방식을 통해 체결을 효율적으로 하는 기술 - 체결부에서의 힘전달이 가능하고 구조적으로 안전한 기술			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (○)	H/W ( )	S/W ( )	
	세부 유형 : 공법을 개발하여 신기술로 발전 가능			
현재 TRL 단계	현재 (4)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국)		최고 선진국(100%) 대비 : (30)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 연속적인 TBM 굴진이 가능하도록 연속굴착형 세그먼트를 사용하고 체결함에 있어서 링간 및 세그먼트간 체결을 효율화하고 성능을 향상시키는 기술개발
연구개발 내용	○ 원터치 핀타입 체결방식의 제작기술 개발 ○ 원터치 핀타입 체결방식의 배치기술 개발 ○ 원터치 핀타이 체결방식의 간편 체결기술 개발 ○ 원터치 핀타이 체결방식의 성능향상 기술개발
연구 키워드	연속굴착, 세그먼트, 원터치, 핀타입, 체결, 효율화, 성능향상,
기술(제품) 실증 방안	○ 실대형 실험 수행 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">연신콘베어</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">터널 내 TBM 공사현장에서 기존의 굴착토사 반출 방법은 Muck-Car를 이용해서 갱외로 반출하였으나, TBM 굴진에 따라 콘베어가 자동으로 연장되는 연신콘베어(Continuous Conveyor)가 선진국(유럽, 미국, 일본 등)에서 적용되고 있다.
이 방법은 공정을 단순화, 안전 그리고 탈매연으로 환경 위생을 Clean화 하고 있다.
특히, 장대터널이나 대형터널에서는 콘베어로 이송함으로 배토관리가 효율적이다.
또 굴진과 동시에 Segment를 조립하는 공법에서는 굴진작업성이 배가 된다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (O)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 O 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM ( )</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (O)</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (O)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (O)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 O 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 ( )</td><td>H/W (O)</td><td colspan="2">S/W (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 :</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (7)단계
※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일, 미국, 일본)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (80)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

<table>
<tr><td>연구개발 목표</td><td>○ Shield TBM용 연신콘베어</td></tr>
<tr><td>연구개발
내용</td><td>○ Shield TBM 현장용으로 고도화를 위해 다양한 지층의 굴착토를 이송하는 Conveyor
○ 굴진에 따른 연신되는 콘베어 장치</td></tr>
<tr><td>연구 키워드</td><td>연신콘베어, Belt Storge, Belt Extension, Main Driver, Booster Driver</td></tr>
<tr><td>기술(제품)
실증 방안</td><td>
※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	EPB 쉴드 세그먼트 배면 뒷채움 품질 평가 기술 개발			
제안기술의 개 요	○ 세그먼트 배면 뒷채움 품질을 고속으로 평가할 수 있는 기술 개발 - 뒷채움 조건에 따른 최적 평가 기술 선정 - 뒷채움 평가 속도 고속화 기술 개발 - 뒷채움 평가 알고리즘 및 평가 장비 개발			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (○)	S/W (○)	
	세부 유형 : 세그먼트 뒷채움 품질 평가 시스템 (평가 알고리즘이 탑재된 평가 장비)			
현재 TRL 단계	현재 (5)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (80)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ EPB 쉴드 세그먼트 배면 뒷채움 품질 평가 기술 개발
연구개발 내용	○ 세그먼트 배면 뒷채움 품질을 고속으로 평가할 수 있는 기술 개발 - 뒷채움 조건에 따른 최적 평가 기술 선정 - 뒷채움 평가 속도 고속화 기술 개발 - 뒷채움 평가 알고리즘 및 포터블 평가 장비 개발
연구 키워드	세그먼트 배면 뒷채움, 고속 평가, 포터블 장비개발, 평가 알고리즘
기술(제품) 실증 방안	○ -
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

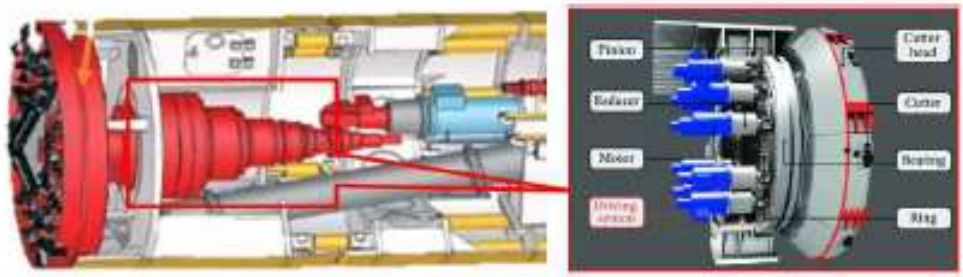
제안기술명	디스크커터 최적 설계기술 개발			
제안기술의 개 요	▪ 국내외 면판설계 기술 현황 정립 ▪ 디스크 커터 간격 최적화 해석 모델 구축 ▪ 디스크 커터 간격 최적화 ▪ 해석 결과의 검증			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 ( )		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (○)	
	* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		* 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (○)	S/W (○)	
	세부 유형 : 디스크커터 최적 설계 기술			
현재 TRL 단계	현재 (5)단계			
	※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국)		최고 선진국(100%) 대비 : (60)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	디스크커터 최적 설계기술 개발
연구개발 내용	▪ 국내외 면판설계 기술 현황 정립 ▪ 디스크 커터 간격 최적화 해석 모델 구축 ▪ 디스크 커터 간격 최적화 ▪ 해석 결과의 검증
연구 키워드	디스크커터, 면판설계, 최적화, 해석 모델
기술(제품) 실증 방안	○ -
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">TBM 구동부(Drive Unit)시스템 국산화 기술 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 구동부(Drive Unit)설계 및 System 국산화 기술 개발
- 구동부는 TBM의 주요 구성품중 가장 핵심 구성품으로 커터헤드를 회전시키기 위한 구동 장치
- 장비 수명이 결정되는 주요 핵심 구성품으로 시공시 구동부 파손은 공사의 성패 여부를 결정짓는 핵심요소
- 국내 구동부 제작 및 자체 개발에 대한 실적이 전무.
- 구동부를 작동하기 위한 주요 시스템 개발 및 설계기술 확보필요.
- 구동부 제작품에 대한 신뢰성 확보 차원의 성능 검증 기술 필요.
 

TBM 구동부(Drive unit)
 
구동부 토크 시험-중국
 
구동부 내압시험-일본</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM ( )</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td>최종 결과물</td><td>공법·신기술 ( )</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W ( )</td></tr>
</table>

기술수요조사서

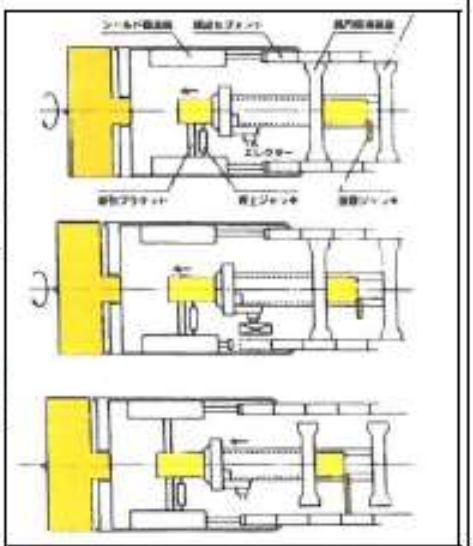
1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">동시 굴진 시스템</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 동시 굴진 시스템

- 현재 주요 TBM 시공사의 세그먼트 시공방식은 "TBM장비의 정지 → 세그먼트 설치 → 재가동 → 굴진 → 장비정지 → 세그먼트의 설치"을 반복적으로 수행하면서 굴진하는 공정으로 진행 되어 진다.

- 이때, 발생하는 down time(굴진 정지)은 시공시간의 약 20~30%에 해당하는 시간이 소요된다.

- 해당 기술 개발시 굴진과 동시에 세그먼트 조립을 진행하며, 그에 따른 downtime을 절감 가능

 
동시굴진 장치 개념도</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 ( )
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td>적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM ( )</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td>최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (○)</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">세부 유형 :</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (2)단계</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td>기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (일본)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (10)%</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">TBM 기어박스 시제품 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 기어박스 개발 및 제작
- Annulus 기어 부품 개발
- 기어 Assy 개발 및 TBM 장착 실증</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (0)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( )
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM ( )</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM ( )</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (0)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 ( )</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 ( )</td><td>H/W (0)</td><td colspan="2">S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 :</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (5)단계
※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (0)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>현재 보유한
기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (80)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 기어박스 시제품 개발
연구개발 내용	○ TBM 기어박스 부품 개발 및 TBM 현장 적용 평가 - 기어박스/베어링 등 부품 단위 기술개발 - Sub Assy 및 개발 제품 예비시험 - 7m 급 TBM 장창 및 터널현장 실증
연구 키워드	중대형 TBM, Annulus 기어, 휠, 베어링, 실증평가
기술(제품) 실증 방안	○ TBM 기어박스 예비 가동 시험 및 TBM현장 실증 - 개발 부품 신뢰성평가, 시제품 예비시험 수행 - 기어박스 시제품 TBM장창 및 터널현장 실증평가 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	워터젯을 활용한 고효율 TBM 굴진 기술			
제안기술의 개 요	○ 쉴드 TBM 지반 굴진시 예상치 못한 호박돌 및 암반지역을 만났을 경우 TBM 굴진 효율이 급격히 떨어짐. 최악의 경우 굴진이 중지됨. 워터젯 기술은 다양한 암반에 절삭이 가능함. 이에 따라 TBM 면판에 워터젯 시스템을 부착하여 굴진면에 자유면을 생성하면 TBM의 다운타임 없이 연속적인 시공이 가능함.			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (0) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (0)		중단면(5~6m) TBM (0)	
	중대단면(7~8m) TBM (0)		대단면(9~10m) 이상 TBM (0)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (0)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법신기술 (0)	H/W ( )	S/W ( )	
	세부 유형 :			
현재 TRL 단계	현재 (3)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (0)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
현재 보유한 기술수준	최고 선진국명 : (독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (20)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 워터젯 파쇄기술을 활용한 쉴드 TBM 굴진기술 개발
연구개발 내용	○ 지반조건에 따른 워터젯 성능 실험 및 분석 ○ 워터젯-커터/비트 혼합 굴진 성능 실험 및 분석 ○ 프로토 타입 굴진 시스템 제작 및 보완 ○ 실대형 굴진 시스템 개발 및 검증 ○ 워터젯 파쇄기술을 활용한 쉴드 TBM 굴진 공법 개발
연구 키워드	워터젯, 암반절삭, 암반파쇄, 굴착 자유면
기술(제품) 실증 방안	○ 진력구 쉴드 TBM 굴착 실증시험센터 활용 검증 (카이스트 보유) - 실대형 굴진 시스템 개발 제품 실대형 실증센터에 적용성 실험 및 장비검증 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	굴진면 진방 예측 및 지반평가 기법 개발			
제안기술의 개 요	○ EPB TBM에 적합한 굴진면 진방 예측 및 지반평가 기법 개발 - 지질학적 리스크(EPB 한정)로 작용할 수 있는 진방 지반 물리탐사 기법 개발 - 기계데이터 및 배토상태(배토량, 배토평가)의 Big-Data 분석에 기반한 지반평가 법 개발 ○ 기계데이터 및 배토상태에 따른 TBM 운전 및 배토 자동조절 시스템 구축			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (○)	H/W ( )	S/W (○)	
	세부 유형 : 장치, 소프트웨어 등			
현재 TRL 단계	현재 (4)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (40)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ EPB TBM에 적합한 막장진방 예측 및 지반평가 기법 개발
연구개발 내용	○ EPB TBM에 적합한 막장진방 예측 물리탐사 기법 개발 - EPB TBM이 주로 적용되는 지반조건 조사 및 분석 - EPB TBM의 시공 중 지질학적 리스크 분석 ○ TBM 기계 데이터 및 배토를 통한 막장진방 지반 평가법 개발 - 기계 데이터 및 스크류 컨베이어 구동자료를 통한 지반 평가법 개발 - 배토량 및 배토상태에 Big-Data분석 - 배토량 및 배토상태를 통한 지반 평가법 개발 ○ 물리탐사 기법과 지반평가법을 통한 상관성 검증 ○ (추가연구)막장진방 예측 및 지반상태 평가에 근거한 TBM 운전 및 배토 자동조절 시스템 개발

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	TBM 예지보전을 위한 근접센서 및 네트워크 제어시스템 개발			
제안기술의 개 요	○ TBM 예지보전을 위한 SoC 근접센서 및 AI 기반 네트워크 제어장치 개발 - EPBTBM 커터헤드 원격 모니터링을 위한 SoC기반 Edge 센서 시스템 개발 - TBM 예지보전을 위한 AI 데이터베이스 및 네트워크 제어시스템 개발 - AI기반 원격 예지보전 네트워크 제어 SW 및 무선 팬던트 단말기 개발			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (O)	
	* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		* 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM	( )	중단면(5~6m) TBM	(O)
	중대단면(7~8m) TBM	(O)	대단면(9~10m) 이상 TBM	( )
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (O)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공통·신기술 ( )	H/W (O)	S/W (O)	
	세부 유형 : 자동 모니터링 장비 및 운영연계 AI 프로그램(S/W)			
현재 TRL 단계	현재 (5)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (O)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (60)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 예지보전을 위한 근접센서 및 네트워크 제어시스템 개발
연구개발 내용	○ EPBTBM 커터헤드 원격 모니터링을 위한 SoC기반 Edge 센서 시스템 개발 - 기존의 TBM 디스크 커터 실시간 모니터링 기술로 회전, 진동, 및 온도 등 시간 도메인의 상태 정보를 운용실로 제공하여 각 각의 디스크 커터 상태 및 교체 필요 유/무 확인 방식 사용 - 본 연구에서는 저 전력 SoC기반의 Edge 센서를 개발하여 디스크 커터 및 스크레퍼의 형상, 동적, 및 온도 정보의 종합적 분석이 가능한 멀티도메인 상태정보의 제공으로, 예지보전의 정밀도 성능을 획기적으로 향상할 수 있는 고 정밀센서 시스템을 개발하고자 함 ○ TBM 예지보전을 위한 AI 데이터베이스 및 네트워크 제어시스템 개발 - 센서 데이터 실시간 분석 및 능동 직접제어 가능한 SoC 제어 인터페이스 개발

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	연속적인 굴착이 가능하도록 저비용 급속 커터교체를 위한 막장면 안정화 기술 개발			
제안기술의 개 요	○ 수압이 작용하는 TBM 터널 굴진 시에 저비용·고효율로 급속으로 커터 교체하는 기술 - TBM 챔버를 이용하여 막장면으로 그라우팅을 실시함으로서 수압 감소 기술 - 일시적으로 감소되 수압 하에서 커터 교환, 장비 수리 등을 수행할 수 있는 환경 조성 기술			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (○)	H/W ( )	S/W ( )	
	세부 유형 : 공법을 개발하여 신기술로 발전 가능			
현재 TRL 단계	현재 (3)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (20)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 연속적인 급속 시공이 가능하도록 TBM 챔버에서 막장면으로 그라우팅을 실시하여 일시적으로 수압을 감소시킴으로써 저비용·고효율로 커터 교체 및 장비 수리를 할 수 있는 기술 개발
연구개발 내용	○ 챔버를 통하여 막장면으로 그라우팅할 수 있는 장비 개발 ○ 그라우팅 배합비, 주입압력, 경화시간 등 그라우팅 기술 개발 ○ 커터 교체를 위한 유입수 조절 기술 개발 ○ 막장압 그라우팅 기술 개발 완료 및 시방서 작성
연구 키워드	막장면 수압, TBM, 커터 교환, 챔버, 그라우팅
기술(제품) 실증 방안	○ 대형 실대형 실험 수행 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	고강성 실드잭 개발 및 다각도 슈페드 개발			
제안기술의 개 요	○ 본 제안 기술은 다양한 세그먼트를 반력대로 장비를 굴진할 수 있는 기술이다. - 기 장비로는 일반 세그먼트만 대응이 가능하여 효율성에 한계가 있음 - 연속 굴착이 가능한 다양한 세그먼트의 다양한 각도에 대응하기 위해 실드잭의 강성을 높이고 슈페드의 회전 반경을 향상 시켜 다용도로 사용			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (O) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (O)		중단면(5~6m) TBM (O)	
	중대단면(7~8m) TBM (O)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (O)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 O 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (O)	H/W (O)	S/W (O)	
	세부 유형 : 고강성 실드잭 / 다각도 슈페드			
현재 TRL 단계	현재 (3)단계			
	※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (O)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (10)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 고강성 실드잭 개발 ○ 다각도 슈페드 개발
연구개발 내용	○ 고강성 실드잭 개발 - 선진사 실드잭 제원 및 사양 파악하여 최적의 규격 파악 - 재질, 성능, 등 해석 프로그램을 통한 고강성 실드잭 설계 - 테스트 벤치를 통한 실 상황 재현으로 내구성 시험 ○ 다각도 슈페드 개발 - 페드의 각도에 따른 지지력 검증 및 피로도 해석 - 테스트 벤치를 통한 실 상황 재현으로 내구성 및 신뢰성 시험
연구 키워드	TBM, 실드잭, 슈페드, 고강성, 내구성 시험
기술(제품) 실증 방안	○ 시제품 제작 및 테스트 벤치 제작으로 모의 시험 실시 - 테스트 벤치에 고강성 실드잭 및 다각도 슈페드를 설치하여 여러 방향의 하중을 가

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	연속 굴착 이렉터 및 굴진 동조 시스템 개발			
제안기술의 개 요	○ 본 제안 기술은 연속 굴착 시 굴진 속도에 맞춰 세그먼트를 원활하고 정확하게 조립이 가능하게 하는 기술이다. - 기 장비로는 공기 단축 및 비용 절감 효과가 있는 연속 굴착이 어려움 - 굴진 속도에 맞춰 동조하여 움직이는 이렉터를 제작하여 저렴한 비용으로 기존 장비의 개조 및 업그레이드 기술이 이 제안의 핵심 기술임			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (O) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (O)		중단면(5~6m) TBM (O)	
	중대단면(7~8m) TBM (O)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (O)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 O 표시			
최종 결과물 유형	공법 · 신기술 (O)	H/W (O)	S/W (O)	
	세부 유형 : 연속 굴착 이렉터 / 굴진 동조 시스템			
현재 TRL 단계	현재 (3)단계			
	※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (O)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (10)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 연속 굴착형 이렉터 설계 및 제작 ○ 굴진 동조 시스템 개발
연구개발 내용	○ 연속 굴착형 이렉터 설계 및 제작 - 연속 굴착형 이렉터 기구 설계 및 제작 - 연속 굴착형 이렉터 최적 압력 제어 유압 시스템 개발 - 연속 굴착형 이렉터 최적 시퀀스 제어 전기 시스템 개발 ○ 굴진 동조 시스템 개발 - 쉴드잭 속도 검증 센서 및 연동 시스템 개발 - 다자 센서를 이용한 세그먼트 위치 파악 시스템 개발
연구 키워드	TBM, 이렉터, 세그먼트, 쉴드잭, 동조 시스템
기술(제품)	○ 시제품 제작 및 테스트 벤치 제작으로 모의 시험 실시

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	TBM 진력시스템 안정화를 위한 기술 개발			
제안기술의 개 요	○ 다양한 굴진 규모에서의 보다 안전하고 효율적인 진력시스템의 기술 개발 - 진동기 출력 안정화 - TBM 주/후방설비의 전기적 결합 최소화			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (○)	S/W ( )	
	세부 유형 : 변전설비~진동기까지의 진력기기(조작 및 보호기기 등) 및 케이블			
현재 TRL 단계	현재 (1)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (30)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○TBM 공법이 세계적으로 인정을 받고, 국내 또한 관련 연구개발 사업에 적극 투자를 하고 있는 상황에서, 국산의 TBM 기술력이 향상됨에 따라 모든 TBM 주/후방설비의 진력공급 및 계통보호에 보다 나은 안정성을 보장하기 위함.
연구개발 내용	○TBM 수배전설비의 효율성 극대화 -기존 국내외 TBM 수배전반 방식 정보수집 및 분석 -진력공급 중 고장발견 및 차단시스템의 정보수집 및 분석 -굴진조건에 따른 TBM 최적 진력기기 선정 및 가이드라인 개발 -효율성, 안전성, 조작간편화를 갖춘 수배전반 개발 및 구현 ○주 설비(커터헤드, 이렉터 등)진동기의 안정된 출력을 위한 기술 개발 -기존 국내외 TBM 총 설비 장비의 사양 및 부하용량 조사 -높은 신뢰성의 속도제어가 필요한 진동기 기동방식(인버터 기동)의 문제점 파악 -진동기 속도제어방식에서 발생하는 각종의 Noise 및 고조파 억제 기술 개발 ○유연한 전기적 분리/결합을 위한 기술 개발

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">내구성을 확보한 친환경 무기계 백필용 그라우팅재료 및 시공기술개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">TBM 세그먼트 백필 그라우트 시공에 있어 국내 여건에 맞는 기준이나 재료의 부재로 인해 현장에 따라 가변적으로 시공되어지는 경우가 많아 시공 후 지하수 등으로 인한 유실로 지하공동구가 생성되어 사회적인 문제를 야기하는 경우가 발생함. 이에 급속시공에 따른 초기 안전성과 장기적인 내구성을 확보할 수 있는 친환경적인 백필용 그라우팅 재료 개발이 요구됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (　　)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (O)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 O 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (O)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (O)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (O)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (　　)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 O 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (　　)</td><td>H/W (O)</td><td colspan="2">S/W (　　)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 :</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (　TRL2　)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (　　)</td><td colspan="2">9단계 (　O　)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (　　)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (　　)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 지하수 및 지반 환경을 보호할 수 있는 친환경적인 쉴드 TBM 세그먼트 뒤채움용 시공재료를 개발하고 시공기술에 요구되는 최소한의 기준마련과 초기 안전성 및 장기 내구성을 확보할 수 있는 친환경적인 무기계 그라우트재 개발 및 시공기술 확립에 있음.
연구개발 내용	○ 유동성, 충진성이 우수하고 재료분리를 일으키지 않으며, 조기에 지반강도 이상의 강도를 발휘하여 안정성을 확보할 수 있는 친환경 재료 개발. - 겔타임 조절로 지하수 용출구간 유실방지 - 조기강도 확보로 주변 지반의 이완과 지반변형을 억제하고, 세그먼트 링을 조기에 안정시켜 잭 추력의 지반에 대한 전달을 용이하게 할 수 있는 기술개발 - 다각적인 평가를 통해 장기적인 내구성을 확보하여 세그먼트, 암반과의 일체화를 이루어 세그먼트의 변형 방지.
연구 키워드	BackFill 그라우팅, 조강성, 내구성, 쉴드터널 세그먼트, 무기계 급결제

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	머신러닝을 이용한 TBM 터널굴진중 침하량 예측			
제안기술의 개 요	○ 머신러닝 학습을 통한 침하량 예측 알고리즘 개발 - 역전파 인공신경망(RNN)을 이용하여 TBM 기계Data와 침하량의 상관성을 분석하여 침하량을 예측하는 알고리즘 개발			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W ( )	S/W (○)	
	세부 유형 :			
현재 TRL 단계	현재 (6)단계 : 지반 침하 등의 안전문제 해소를 위한 핵심기술 개발			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
현재 보유한 기술수준	최고 선진국명 : (중국, 유럽)		최고 선진국(100%) 대비 : (50)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 머신러닝을 이용한 TBM 터널 침하량 예측 알고리즘 개발
연구개발 내용	○ 머신러닝 학습을 통한 침하량 예측 알고리즘 개발 - 역전파 인공신경망(RNN)을 이용하여 TBM 기계Data와 침하량의 상관성을 분석하여 침하량을 예측하는 알고리즘 개발
연구 키워드	※ 인공지능, 머신러닝, Tunnel Boring Machine, 침하량, 기계 data
기술(제품) 실증 방안	○ 개발된 알고리즘을 이용하여 실제 TBM 굴착 프로젝트의 침하량 예측에 적용 -개발된 침하량 예측 알고리즘을 실제 현장에 적용하여 초기 굴진시 기계Data 학습을 통해 본굴진의 침하량 예측 및 굴진관리 가이드 라인으로 사용. ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">연속굴착형 TBM 터널의 굴착시뮬레이션 S/W 및 통합관제센터</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 연속굴착형 TBM 터널의 굴착 시뮬레이션 S/W
- 전방에서의 굴착과 후방에서의 세그먼트 설치가 동시에 이루어지는 기술 특성 상, 각 공종별간 유기적인 상호작용이 필수적임
- 이에 따라, 연속굴착터널 시뮬레이션 S/W를 개발하고 이를 이용한 디지털 굴착을 수행함으로써 시공 중 발생할 수 있는 문제점을 사전 발견하여 대책을 세우고, 굴착 효율을 향상시킬 수 있는 방안 도출이 필요함
- 시뮬레이션 결과는 향후 실제공사 데이터와 비교분석하여 예측의 정확도를 검증하고, 차이가 있는 경우 그 원인을 분석하여 시공기술의 개선안을 도출하는데 사용될 수 있음

○ 연속굴착형 TBM 터널의 통합관제센터
- 터널 시공 중에 수집되는 다양한 장비 데이터는 현재 종합적인 분석없이 단편적으로 오퍼레이터에게 전달되며, 그 내용이나 형식 역시 오퍼레이터 친화적이 아님
- 따라서, 장비 데이터들을 가공하여 오퍼레이터가 직관적으로 이해하기 쉬운 데이터로 제공함으로써 장비 운전의 효율성을 향상시키는 기술이 필요함
- 또한, 최적의 운전조건을 제시해줌으로써 굴진율을 향상시키는 기능도 필요함</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( )
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="2">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td>중단면(5~6m) TBM (○)</td><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td>대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 ( )</td><td>H/W ( )</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 연속굴착형 TBM 터널 굴착 시뮬레이션, 통합관제센터</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (6)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (120)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ BIM 기반 연속굴착, 라이닝시공 버력이송의 전 과정의 TBM 시뮬레이션 프로그램 ○ TBM 통합관제센터 구축

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">한국의 암반특성을 고려한 TBM 굴착지반 위험관리 기법 개발
Development of Techniques for Geotechnical Risk Management at TBM Excavation Considering Korean Rock Characteristics</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 굴착지반 설계 및 시공 시 발생하는 지반침하, 록버스트, 스퀴징, 지하수 용출 및 지하단층에 의한 암반붕괴 등의 지반위험을 예측하고, 대책방안을 제시하는 위험관리 기법의 현장적용 평가도구 개발
– 기존 R&D 중 굴착면 전방 지반거동 예측 시스템 및 전방탐사 결과를 활용
– 한국의 다양하고 지역적인 불균질성 및 이방성 암반특성을 고려
= 심도 50m이하(중심도) 및 50m이상(대심도) 지반의 위험인자 도출
= 인공지능 기반의 TBM 굴착지반 위험 분류 및 등급화
= 현장 실무자가 평가 가능한 TBM 굴착지반 위험예측 및 관리용 모바일 앱 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (O)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 O 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (O)</td><td>중단면(5~6m) TBM (O)</td><td>중대단면(7~8m) TBM (O)</td><td>대단면(9~10m) 이상 TBM (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (O)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (O)</td><td>H/W ( )</td><td colspan="2">S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 예측·관리 기법 및 모바일 앱</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (6)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">3단계 (O)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 3단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (미국)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (95)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 한국의 암반특성을 고려한 TBM 굴착지반 위험을 예측·관리함으로서 국산화 TBM 지반 안전문제를 해소하는 핵심기술 개발
연구개발 내용	○ 국가지하정보시스템을(시추자료) 이용한 TBM 굴착지반 심도의 지하지질도 작성 기법 개발 – 심도별 지하지질도 (종평면도, 종단면도, 횡단면도) 작성 기술 ○ 중심도~대심도 TBM 굴착지반 3차원 변위 및 변형 분석 기술 개발 ○ 인공지능 기반의 한국형 지하단층·이방성 암반을 반영한 TBM 굴착지반 위험예측 및 관리를 위한 위험산정 시트 개발

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	AI/머신러닝 기반 TBM 굴진율 예측모델의 개발			
제안기술의 개 요	○ TBM 굴진율 예측모델의 예측 정확도 향상을 위한 AI/머신러닝 기법 개발 - AI/머신러닝 기법 개발을 위한 굴진율 관련 DB 구축 포함			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 ( )		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (○)	
	* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		* 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM	(○)	중단면(5~6m) TBM	(○)
	중대단면(7~8m) TBM	(○)	대단면(9~10m) 이상 TBM	( )
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W ( )	S/W (○)	
	세부 유형 :			
현재 TRL 단계	현재 (7)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국)		최고 선진국(100%) 대비 : (90)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 굴진율 예측모델의 예측 정확도 향상을 위한 AI/머신러닝 기법 개발
연구개발 내용	○ TBM 굴진율 예측모델 개발을 위한 TBM 현장데이터 및 설계데이터의 수집·분석 ○ AI/머신러닝 및 통계적 기법에 의한 TBM 굴진율 예측모델 개발 ○ 실제 현장의 TBM 굴진율 기록과 비교·검토를 통한 예측 정확성 검증 ○ 사용성 향상을 위한 TBM 굴진율 예측모델 전용 소프트웨어 제작
연구 키워드	TBM, 굴진율, 예측모델, AI, 머신러닝
기술(제품) 실증 방안	○ 다양한 현장에서 수집된 데이터를 바탕으로 예측모델을 도출하고, 학습 및 DB에 포함되지 않은 신규 TBM 현장에의 적용을 통해 예측모델을 실증 및 검증
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">실시간 TBM 시공-안전 통합관제 시스템</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM터널 시공·안전관리의 첨단화
- 안전에 대한 관심과 어려운 시공조건에서의 TBM터널 건설 증가에 따라 안전하고 효율적인 TBM터널 시공 필요.
- 시공 중 발생하는 상황에 대한 통합적인 모니터링 및 즉각적인 대응이 가능한 관제시스템을 위해 IoT, 데이터 분석, AI, 클라우드와 같은 4차 산업혁명 핵심기술을 활용하여 TBM 터널 시공의 작업효율과 안전향상 도모</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td>적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td>최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 ( )</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">세부 유형 : 시스템</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (3)단계</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td>기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명: 유럽(독일, 영국, 스페인 등)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (60)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 터널시공의 작업효율과 안전향상을 위한 실시간 시공안전관제시스템의 개발
연구개발 내용	○ TBM터널 실시간 시공관리 기술 - TBM터널 굴착시공, 안전관리, 장비 유지관리 등의 통합 관제시스템 개발 - AI 등의 첨단기법을 활용한 실시간에 가까운 굴진정보 분석결과에 근거하여, 후속 시공사이클에 즉시 피드백 할 수 있는 시공 예측기법 개발 - 실시간에 가까운 굴진데이터 모니터링 및 측량시스템(위치, 자세)의 국산화(예: ENZAN) - 블루투스 기반 대차(locomotive) 사이클 분석을 통한 시공관리 - 지반함몰 등의 위험상황을 사전에 파악·대응하기 위한 첨단 스캐닝 기술을 활용한 배토관리시스템 개발

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 핵심 기술 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 굴착으로 배출되는 버력 및 배토에 대한 친환경 후처리 및 건설재료(도로 포장재, 성토재 등)화를 위한 핵심 기술 개발
- 기존 버력(배토)은 고함수비, 중금속/오염물 흡착, 열화, 저pH 등으로 인해 사토장에 매립·폐기되는 실정임
- 굴착으로 인해 발생한 버력 및 배토를 친환경적으로 처리하고 건설재료로 재활용하는 기술에 대한 수요가 높아 관련 연구가 필요함</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (○)</td><td>H/W ( )</td><td colspan="2">S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 굴착토 처리 신소재, 신소재 적용 공법, 재활용 건설재료</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (2)단계
※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (유럽)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (40)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 굴착토에 대한 친환경 신소재를 활용한 후처리 및 건설재료화 관련 핵심 기술 개발
연구개발 내용	○ 국내 TBM 굴착토에 대한 공학적/화학적 특성 파악 및 데이터베이스 구축 ○ 친환경 신소재 후보재료(바이오폴리머 등)들을 적용한 TBM 굴착토의 탈수, 고화, 중금속 제거, 강도 거동 등에 대한 종합 평가 및 최적 재료 선정 ○ TBM 배토시스템 상 제시된 신소재의 적용안(단계) 설계 및 시뮬레이션 ○ 굴착토 재활용 건설재료 프로토타입 제시: 성능 평가 및 주요 인증 확보 ○ 대형 모형 실험(대형토조)을 통한 굴착토 처리-건설재료화 All-in-one 시스템 설계 및 검증 ○ TBM 굴착 현장 적용 및 기술 완성
연구 키워드	기계식 굴착(TBM), 버력, 배토, 바이오신소재, 하이드로겔, 재활용, 건설재료, 성토재, 포장재

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">무선통신 음영지역 해결을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 무선통신 음영지역 해결을 위한 Bluetooth Mesh 기반 하드웨어 개발
- TBM 터널 시공 상황과 같은 현장의 경우 LTE와 같은 무선통신에 대한 음영지역으로 외부에서 실시간 안전관리가 어려움
- 유선을 활용한 음영지역 해결의 경우 케이블 등 부자재 설치비용이 발생하며, 통신 네트워크를 구축하는데 유연성이 제한되어있어 네트워크 설비 및 유지관리가 어려움. 또한, TBM 터널 시공과 같은 상황의 경우 지속적인 시공 및 굴착으로 인해 단선 위험과 지속적인 유지보수 비용이 증가
- WiFi를 활용한 음영지역 해결의 경우 원활한 통신을 유지하기 위해 중계기 설치 소요 대수가 늘어나며 설치된 중계기 중 한 대에서 장애가 생긴다면 전체 통신이 단절되는 문제가 존재
- 이러한 이유로 TBM 터널 시공현장과 같은 통신에 취약한 공간의 경우 유연하게 네트워크가 확장 가능하며 중계기 장애 시 우회하여 통신 신뢰성을 보장할 수 있는 Bluetooth Mesh 기반의 네트워크 구축 가능한 하드웨어 개발이 필요</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM ( )</td></tr>
<tr><td colspan="3">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법신기술 ( )</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 시스템</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (3)단계
※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td>기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명: 호주 MST (Mine Site Technologies)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (30)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 터널 시공 공간의 무선통신 음영지역 해결을 위한 Bluetooth Mesh 기반 하드웨어 개발
연구개발 내용	Bluetooth Mesh Network 기반의 무선통신을 활용한 음영지역 해결을 위해서는 중계기의 역할을 하는 로케이터, 네트워크 관리를 위한 게이트웨이, 작업자 및 장비의 위치

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	실시간 위치추적을 위한 측위 기술개발			
제안기술의 개 요	○ Bluetooth Mesh 기반 실시간 위치추적을 위한 측위 기술개발 - TBM 터널 시공 상황과 같은 현장의 경우 작업자의 안전관리를 위해서 실시간으로 작업자의 위치 추적이 필요함 - 현재의 작업자 위치추적의 경우 특정 무선 네트워크 기반의 알고리즘을 활용해 추적이 되는 형태로 네트워크를 구성하는 프로토콜이 바뀌게 되면 위치추적 알고리즘 적용에 어려움이 존재 - TBM 터널 시공의 경우 무선통신 음영지역이 다수 존재하여 이러한 문제 해결을 위해 Bluetooth Mesh 기반으로 해결이 가능하지만, 기존의 위치추적 솔루션의 경우 해당 무선통신에 적용이 어려움 - 또한, 기존의 위치추적 솔루션의 경우 위치 정확도 10M로 낮은 정확도를 가지고 있어, 실시간 안전관리에 문제가 존재 - TBM 터널 시공 현장의 Bluetooth Mesh 기반 네트워크 환경에서 실시간 위치추적을 위한 높은 정확도의 측위 기술개발 필요			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)	
	* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		* 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W ( )	S/W (○)	
	세부 유형 : 시스템			
현재 TRL 단계	현재 (3)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명: 영국 CSR		최고 선진국(100%) 대비 : (40)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ Bluetooth Mesh 기반 실시간 위치추적을 위한 측위 기술개발
연구개발 내용	○ Bluetooth Mesh 기반 로케이터 및 태그를 활용한 Asset Tracking 개발 - 태그에서 주기적으로 발생하는 신호를 2개 이상의 로케이터에서 수집하여 각 중계

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	17인치 TBM 디스크커터 베어링 및 실링부품 개발			
제안기술의 개 요	○ 디스크 커터용 고내구성 롤러베어링 개발 및 현장실증 - 고내구성 롤러 베어링 안착성을 고려한 베어링 설계 기술 개발 - 고내구성 롤러 베어링 열처리 및 표면처리 기술 개발 - 신규 롤러베어링-실링이 장착된 17인치 디스크 커터 개발			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (0) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM ( )	
	중대단면(7~8m) TBM (0)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (0)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (0)	S/W ( )	
	세부 유형 : 디스크 커터 신제품			
현재 TRL 단계	현재 (7)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 (O)	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국, 스웨덴, 독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (85)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 고내구성 롤러베어링 부품 및 디스크 커터 개발
연구개발 내용	○ 고내구성 롤러베어링 부품개발 및 TBM 현장적용 평가 - 롤러 베어링 고하중 하에서 장수명을 위한 최적 설계 기술 개발 -롤러 베어링 수명향상을 위한 열처리 및 표면처리기술 개발 -기밀성 향상을 위한 베어링/실링 어셈블리 개발
연구 키워드	TBM 디스크 커터, 롤러베어링, 실링, 고내구성, 기밀성
기술(제품) 실증 방안	○ 시제품 내구성능 검증 / 소재 마찰마모시험 및 TBM현장실증 - 개발 부품 내구성능시험 시험 - 개발부품 표준시험(마찰마모시험) 수행 - 신제품 TBM 현장적용 및 내구수명 실증평가 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	소단면(3m) TBM 메인베어링 시제품 개발			
제안기술의 개 요	○ TBM 메인베어링 개발 및 현장실증 - 메인 베어링 설계 및 제작 기술 개발 - 베어링-실링 완제품 개발 및 TBM장착 실증/평가			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (0) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 ※ 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (0)		중단면(5~6m) TBM ( )	
	중대단면(7~8m) TBM ( )		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (0)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공통-신기술 ( )	H/W (0)	S/W ( )	
	세부 유형 : 디스크 커터 신제품			
현재 TRL 단계	현재 (5)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (O)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (스웨덴, 독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (85)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 메인베어링 부품 및 시제품 개발
연구개발 내용	○ 메인베어링 부품개발 및 TBM 현장적용 평가 - 메인베어링-메인실 부품단위 설계 및 제조 기술개발 - 베어링/실 완제품 개발 및 예비테스트 - 3m급 TBM 장착 및 터널현장실증
연구 키워드	중소형 TBM , 메인베어링, 실, 예비가동시험, 실증평가
기술(제품) 실증 방안	○ 메인베어링 예비가동시험 및 TBM현장실증 - 개발부품 신뢰성평가, 시제품 예비시험 수행 - 메인베어링 시제품 TBM장착 및 터널현장 실증평가
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	EPB-TBM 시공효율 증진을 위한 챔버 내 친환경 쏘일 컨디셔닝 재료 및 공법 개발			
제안기술의 개 요	○ 친환경 첨가제 기반 쏘일 컨디셔닝 공법 - EPB-TBM 전방 챔버 내 버력의 투수성과 워커빌리티, 강도를 목적에 맞게 변화시켜 굴착 및 배토효율을 증진시키고 막장을 안정시켜 효율적이고 경제적인 시공을 구현함.			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (○)	H/W ( )	S/W ( )	
	세부 유형 : 신공법의 평가기준, 시공과정, 시공 매뉴얼 제시			
현재 TRL 단계	현재 (2)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (유럽/일본/중국)		최고 선진국(100%) 대비 : (50~60)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 연구개발 최종목표: - EPB-TBM 적용 지반에 따른 친환경 첨가제 개발 및 쏘일 컨디셔닝 평가기준 정립 - 친환경 첨가제를 활용한 EPB-TBM 챔버 내 쏘일 컨디셔닝 공법을 개발하여 연속굴착 효율증진 - 친환경 쏘일 컨디셔닝 공법의 적용 방법과 연속시공 중 데이터 계측 방법, 그리고 정량적 평가 기준을 포함한 시공 매뉴얼 도출
연구개발 내용	○ 쏘일 컨디셔닝 성능평가 기준 정립 - EPB-TBM 굴착 시 효율적인 연속굴착을 위한 막장 안정 메커니즘 문헌 조사 - 챔버 내 쏘일 컨디셔닝 공법별 국내외 연구개발 동향 및 현장적용 사례 조사 - 지반 물성에 따른 쏘일 컨디셔닝 공법의 요구성능 정리 - TBM 장비 특성(챔버 용적, 주입 및 교반방법, 스크류 컨베이어 특성)에 따른 쏘일 컨디셔닝 공법의 요구성능 정리 ○ 친환경 첨가제 기반의 쏘일 컨디셔너 개발

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	소단면 TBM 실대형 성능검증 시설을 활용한 재활용 TBM 성능검증 기술 개발			
제안기술의 개 요	○ 실대형 성능검증을 통한 재활용 TBM 실증 기술 개발 - 재활용 TBM 성능검증 시험절차 및 가이드라인 개발 ○ 재활용 TBM 운용 교육 및 실습 프로그램 - 재활용 TBM의 최적 활용과 전문 인력 양성을 위한 프로그램 개발			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM ( )		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (○)	H/W ( )	S/W ( )	
	세부 유형 : EI9999, 달리 분류되지 않는 건설/교통			
현재 TRL 단계	현재 (6)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국,독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (90)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ TBM 장비 재활용을 위한 실대형 성능검증 기술 및 절차 개발
연구개발 내용	○ TBM 장비 재활용 기준 및 절차 조사 - TBM 장비 재제작 및 재보수에 따른 필요 성능 기준 조사 - TBM 장비 및 부품별 재활용 평가 기준 정립 ○ 재활용 TBM 실대형 성능검증 방안 정립 - 재활용 TBM 장비 및 부품 조립 및 필요 성능 시험 절차 정립 - 장비 및 현장별 필요 성능 모사 방법 개발 (지반, 응력조건 등) - 소단면(3~4m) 및 중단면(5~6m) TBM 성능검증 시험 절차 및 가이드라인 개발 ○ 실대형 성능검증을 통한 재활용 TBM 실증 기술 개발 - 성능검증 시험을 통한 재활용 TBM 굴진율 데이터베이스 구축 ○ 재활용 TBM 운용 교육 및 실습 프로그램 개발 - 재활용 TBM 장비 운전·제어 시스템 기술 개발 - 재활용 TBM의 유지보수 가이드라인 개발 - 재활용 TBM의 최적 활용과 전문 인력 양성을 위한 교육 프로그램 개발

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">쉴드 굴진 mode가 변경 가능한 Hybrid TBM(EPB mode ↔ SPB mode) 기술개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ EPB TBM 굴착 중에 예측치 못한 대수층이나 불량지층의 출현시 TBM 굴착 지연 또는 공사중단 등이 발생할 수 있음
○ TBM 굴진 시 다양한 지반 및 지하수 조건에 따른 TBM 굴진모드의 자유롭고 빠른 변환(EPB mode ↔ SPB mode)을 통해 굴진중단 없이 지속적으로 굴진할 수 있는 기술을 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM ( )</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="4">신규 기술 개발 (○) 기존 기술의 고도화 ( )
※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하며 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td colspan="2">공법·신기술 ( )</td><td>H/W (○)</td><td>S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 실규모 시제품(완성차)</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (2~3)단계
※ '첨부2'를 참고하며 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td>기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )
※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>현재 보유한
기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (40)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 쉴드TBM 굴진 중에 EPB 및 SPB(Slurry)로의 상호변환이 가능한 Hybrid TBM(Cross over type) 기술개발
연구개발 내용	○ 쉴드TBM 터널 시공 중에 지반 및 지하수의 갑작스런 변화에 대응하기 위한 Hybrid TBM 기술개발 ○ EPB 쉴드 및 Slurry 쉴드 TBM으로의 상호변환이 가능한 기술장치 개발
연구 키워드	○ Hybrid TBM, EPB TBM, SPB TBM, Cross over type
기술(제품) 실증 방안	○ Hybrid TBM 실대형 테스트베드 구축 – 실규모 TBM 테스트를 통한 실증 및 검증 수행 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	TBM 헬리컬 세그먼트 신뢰성시험평가 및 실증연구			
제안기술의 개 요	○ 헬리컬 세그먼트 신뢰성시험 코드 개발 및 내구시험 수행 - TBM 세그먼트 신뢰성시험코드 개발 및 표준인증화 - 신뢰성 내구시험 수행 및 TBM현장시험 실증평가			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (0) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM ( )	
	중대단면(7~8m) TBM (0)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (0)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (0)	H/W ( )	S/W ( )	
	세부 유형 : 디스크 커터 신제품			
현재 TRL 단계	현재 (6)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 (O)	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국, 독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (70)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 헬리컬 세그먼트 신뢰성시험 및 실증평가
연구개발 내용	○ 헬리컬 세그먼트 신뢰성시험 코드 개발 및 내구시험 실증평가 - 헬리컬 세그먼트의 주기반복 등가하중 도출 - TBM 세그먼트 신뢰성시험코드 개발 및 표준인증화 - 신뢰성 내구시험 수행 및 TBM현장시험 실증평가
연구 키워드	TBM 세그먼트, 헬리컬 세그먼트, 신뢰성시험코드, 내구시험, 실증평가
기술(제품) 실증 방안	○ 신뢰성시험 및 TBM현장실증 - 개발부품 신뢰성 코드 개발 및 내구시험 수행 - 신제품 TBM 현장적용 및 내구수명 실증평가
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	세그먼트 라이닝 자동화 조립 시스템 개발			
제안기술의 개 요	○ 세그먼트 라이닝 조립을 자동화하여 TBM 굴진율 개선 - 세그먼트 라이닝은 TBM을 이용한 터널 굴진에 필수적인 요소임 - TBM 운전원 및 조립공의 숙련도에 따라 조립시간에 차이가 발생 - 자동화를 통한 조립을 수행하여 최적화된 굴진 싸이클 구축			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (○)	S/W ( )	
	세부 유형 : 세그먼트 라이닝 자동화 장비(시스템)			
현재 TRL 단계	현재 (TRL 1)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
현재 보유한 기술수준	최고 선진국명 : (일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (0)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	세그먼트 라이닝 자동화 조립 장비 개발
연구개발 내용	세그먼트 라이닝 자동화 조립 장비 및 시스템 개발 - 세그먼트 라이닝 이렉터 장착 및 이동 자동화 - 세그먼트 라이닝 설치위치/체결위치 이동, 세부조절 자동화
연구 키워드	세그먼트 라이닝, 이렉터
기술(제품) 실증 방안	○ TBM 장비 중 세그먼트 조립부에 장착 및 시연 - 세그먼트 라이닝 자동화 조립 구현(볼트 조립 제외)
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 과제명

<table>
<tr><td>과 제 명</td><td colspan="4">TBM 기술인증 및 재활용방안 연구</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 기술인증 시스템 개발
• TBM 제작 시 성능점검 및 준공처리 기술인증시스템 개발
• 중고 TBM 수리 후 성능 검사 인증시스템 개발
• 기존 사용 TBM 주기적 성능 및 안전점검 시스템 개발
• 국내 TBM 공사의 올바른 정착을 위해서 값비싼 TBM 장비의 재활용도 중요하지만, 제대로 보수 재제작된 TBM 장비의 성능 인증이 반드시 필요한 정책임

○ TBM 재활용방안 연구
• 국내 TBM 공사의 올바른 정착을 위해서 값비싼 TBM 장비의 재활용이 중요하며, 제대로 보수 재제작된 TBM 장비의 보수 및 재제작 방안연구 및 성능 인증 System 개발이 반드시 필요함
• 국내 TBM 공사 현장의 장비 고장률이 높은 것도 원칙에 따라 제대로 제작되거나, 제대로 정비된 TBM 중고 장비의 성능 및 안전성 검증 없이 무분별하게, 제작사 임의대로 제작하거나, 단순히 먼지나 털고, 도색이나 한 중고 TBM의 성능 결함에 그 원인이 있다.

(TBM 장비 국산화에도 걸림돌, 무분별한 중고 TBM의 무원칙한 사용 제제)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 (○)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td>중단면(5~6m) TBM (○)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td>대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (○)</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 세부 유형 : 제작 기술 인증 시스템 개발, 중고 TBM 성능 점검 시스템 개발, TBM 재활용 정비업의 정규산업화, 이에 따른 각종 신기술 및 특허, 제도, 및 법규 수립</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 과제명

<table>
<tr><td>과 제 명</td><td colspan="4">TBM 장비 발주 방법 및 TBM 등록시스템 개선 연구</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 장비 발주 방법 개선 연구
• TBM 장비는 장비 조달(Procurement)이 중요한 EPC 계약 사업으로, 보다 적합한 좋은 장비를 구입하는 것이 TBM 터널 공사에서 공사의 성패를 가름하는 것임
TBM을 이용한 터널 공사는 발파를 이용한 일반적인 토공이라기보다는 Plant 공사에 가까운 터널 현장 조건에 적합한 사양을 갖춘 우수한 TBM 장비 구매 조달이 매우 중요한 사항임.

○ TBM 등록시스템 개발
• TBM의 등록 현실화(부실 TBM 장비 경비)
TBM의 안전하고 투명한 상거래를 위해서, 신규 제작 TBM뿐 아니라, 중고 재활용 TBM의 등록시스템을 개발하여, 이러한 기술적 능력을 지닌, KR (한국선급) 등을 TBM 등록기관으로 정한 후 국내외 사용 모든 TBM을 규정에 맞춰 등록하도록 한다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 (O)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (O)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 O 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (O)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (O)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (O)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (O)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (O)</td><td>H/W (O)</td><td colspan="2">S/W (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : TBM 장비 발주방안 기술 개발, TBM 장비 등록법 개선 및 장비 품질 개선</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (1)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">종료
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (상가폰)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (2)%</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 과제명

과 제 명	TBM 직접 현장 조립 및 신제작 방안연구: OSDA(On Site Direct Assembly)			
제안기술의 개 요	○ TBM 제작 기간의 단축을 위한 OSDA(On Site Direct Assembly) • 타 Plant 공사에 비해 TBM 제작 산업이 뒤처진 분야가 장비제작을 공장에서 1차 제작하고, 시험하고, 분해하여 터널 현장으로 다시 이동하여 재조립하는 번거로운 제작 Process를 갖고 있어, 공장의 First Assembly – On-Load Test – Disassembly 3가지 공장에서의 제작 과정을 생략하는 방법연구 ○ TBM 제작비용의 절감효과 • 제작공정 단순화로 제작 기간 4~5개월 단축 가능 • 중복 공정 배제로 인력 투입 150,000 Man Hour– 200,000 Man Hour 절약 가능 • 공장 제작 공정을 생략하고 현장에서 직접 조립 생산하여, 부품의 이중 택배 운반비용 절약(1Miilion $ – 5Million $) • TBM 제작에 따른 Project Minus Balance 개선 및 TBM 제작 기간 절약으로 Project Balance Plus화 가능			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조	(O)	2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 * 작업 안전 향상 기술을 포함	(O)
	※ 해당하는 분야에 O 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM	(O)	중단면(5~6m) TBM	(O)
	중대단면(7~8m) TBM	(O)	대단면(9~10m) 이상 TBM	(O)
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (O)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 (O)	H/W (O)	S/W (O)	
	세부 유형 : OSDA PM Program 개발, 장비제작 계약 대안 제시, 신TBM장비 제작기술 개발			
현재 TRL 단계	현재 (1)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
종료 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 (O)	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국)		최고 선진국(100%) 대비 : (0)%	

기술수요조사서

1. 기술수요 과제명

<table>
<tr><td>과 제 명</td><td colspan="4">섬유보강 FRC Segment 개발
(Fibre Reinforced Concrete Lining 지보재)</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 강력섬유보강 콘크리트 세그먼트 개발
• FRC 설계 가이드라인 작성연구
• FRC 제작 시방서 작성연구

○ 차세대 경량 지보재의 개발
• 기존의 RC Segment의 단점을 개선한 설계방안 연구
• 기존의 강섬유 SFRC Segment 단점을 개선한 설계 방안연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 (O)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (O)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 O 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (O)</td><td>중단면(5~6m) TBM (O)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (O)</td><td>대단면(9~10m) 이상 TBM (O)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (O)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (O)</td><td>H/W (O)</td><td colspan="2">S/W (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : FRC Segment 시제품개발, FRC Segment 설계기준, FRC Segment 제작 시방</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (1)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">종료
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (2)%</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 과제명

<table>
<tr><td>과 제 명</td><td colspan="4">자율주행이 가능한 AI TBM</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM Operation 개선연구
• TBM Operator의 오각동에 의한 기계 고장률이 축소되어 굴진율 향상에 큰 개선이 가능함
• 국내는 현대 대구경 디지털 TBM의 숙련된 Operator와 TBM Engineer도 부족한 실정으로 국내 상황에 가장 적합한 대안이 될 것이다.

○ TBM 자율주행 시스템의 개발
• 자동운전 (Auto Steering) 연구개발
• 자동굴진 (Auto Advance) 연구개발
• 자동굴착 (Auto Excavation) 연구개발
• 자동버력처리 (Auto Slurry) 연구개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td>(O)</td><td>2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td><td>(O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 O 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM</td><td>(O)</td><td>중단면(5~6m) TBM</td><td>(O)</td></tr>
<tr><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM</td><td>(O)</td><td>대단면(9~10m) 이상 TBM</td><td>(O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (O)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (O)</td><td>H/W (O)</td><td colspan="2">S/W (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : AI TBM Operation System, TBM 자율 주행 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (1)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td>종료</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (O)</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 과제명

<table>
<tr><td>과 제 명</td><td colspan="4">핵TBM 기초개발연구(타당성 조사)</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 동력 System 개선
• 장대 터널(L=50km 이상) 연속굴착 가능
• 친환경적 에너지 System

○ 달나라 TBM 개발 가능
• 달 표면은 중력이 없고, 방사능 때문에 지하기지 개발이 필요한데,
• 달의 기후 상태가 낮에 섭씨 130도, 밤에 120도가 넘어 지구에서 사용하는 유압 장비인 TBM은 윤활유가 얼어 터지거나, 끓게 되어 핵을 이용한 전기식 굴착 방법이 필요
• 혹독한 극한 추위의 남극과 북극에서도 터널 굴착용으로 핵 TBM 개발이 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="2">중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 (O)
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (O)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 O 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (O)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (O)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (O)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (O)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 (O)</td><td>H/W (O)</td><td colspan="2">S/W(O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 핵 TBM, 자율주행 TBM, AI TBM</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (1)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">종료
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 ( )</td><td colspan="2">9단계 (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (없음)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (2)%</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	고내구성, 고수명 TBM 디스크 커터 WC소재 개발			
제안기술의 개 요	○ 자동화 생산공정용 텅스텐계 구상화 조립분말 개발 - 국내 중소기업 프리미엄급 구상화 초경분말 제조기술 개발 - 프리미엄급 초경합금 제조 및 고내구성 TBM 커터링 제품출시 ○ 고내구성, 고수명 텅스텐계 소재개발 - 특화소재 개발로 국내 소재공급기업 대외 경쟁력 강화 - TBM 부품소재산업 활성화 기여			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 (0) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 O 표시 ※ 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM ( )	
	중대단면(7~8m) TBM (0)		대단면(9~10m) 이상 TBM ( )	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 O 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (0)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 O 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (0)	S/W ( )	
	세부 유형 : 텅스텐계 소재 및 부품개발			
현재 TRL 단계	현재 (6)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (O)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 O 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (미국, 스웨덴)		최고 선진국(100%) 대비 : (80)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 텅스텐계 구상화 조립분말 개발 (유동도 : 24sec/50g, 입경 100~150㎛, D50 : >90%, 양산성 : >300kg/batch) ○ 고내구성, 고수명 텅스텐계 소재개발
연구개발 내용	○ 자동화 생산공정용 텅스텐계 구상화 조립분말 개발 - 프리미엄급 구상화 조립분말 개발 ○ 고내구성, 고수명 텅스텐계 소재개발 - 내충격, 내마모 특화 복합구조(Dual Properties Carbide) 소재 개발
연구 키워드	TBM 텅스텐계소재, 복합구조 초경합금, 등방압 소결성형, 구상화 분말, 자동화
기술(제품) 실증 방안	○ 구상화 조립분말 평가 ○ 소재 마모시험 및 TBM현장평가 - 개발소재 표준시험(마모, 충격 성능시험) 수행

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">EPB-Type TBM 버력 배토 최적화를 위한 빅데이터(big data) 활용 토량·토질 평가기술</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ EPB-Type TBM 버력 배토 최적화를 위한 토량·토질 평가기술
- EPB-Type TBM에서 굴진면의 안정은 스크류 컨베이어의 회전속도를 조절하여 배토되는 버력의 양을 제어하며 일반적으로 토압계에서 검출된 챔버 내 토사 압력이 관리 토압 값이 되도록 스크류 컨베이어의 회전수를 제어함
- 이때, 스크류 컨베이어를 통해 계획된 양의 버력 배출을 원활하게 하고 배토되는 버력의 양과 질을 측정하는 것은 TBM 운용 중 원활한 굴진면압의 조절, 배토·굴착량 비교를 통한 굴진에 따른 지반침하 예측, 토질 분석을 통한 현·전방지반 예측 등에 있어 그 활용성이 다양함
- 특히, 배토량을 조절하고 평가하는 것은 EPB-Type TBM 시공관리 측면에서 매우 중요한 부분이나 현재 사용되는 토사의 무게를 재거나 스캐너를 통한 부피 측정방법은 굴진에 따라 <u>예측되는 굴착량과 대부분 일치하지 않는다는 단점</u>을 가지고 있음
- 제안기술에서 개발하는 토량 및 토질 평가기술은 버력 배토정보를 실시간 수집 및 빅데이터(big-data)화 하여 관리함으로써 적정 챔버압 유지와 배토를 원활하게 하며, 토량·토질 평가를 통해 계획된 굴착을 가능하게 하여 TBM <u>시공 안정성을 증가</u>시킴

○ 버력 배토 최적화를 위한 토량·토질 평가기술의 개발범위
- 배토량, 지반종류 구분 CNN(convolution neural network)기반 스캐너 장비 개발
- 지반조건, 굴진조건별 배토량 예측 이론식 제안 및 검증
- 배토된 흙의 간편 시험법 제안을 통한 굴진면 지반상태 확인 및 전방 지반 예측
- 실시간 토크, 챔버압 등 수집된 TBM 기계데이터에 따른 배토 자동조절 시스템</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="3">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td>기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="3">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공법·신기술 ( )</td><td>H/W (○)</td><td>S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="3">세부 유형 : 장치, 소프트웨어 등</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="3">현재 (3)단계</td></tr>
<tr><td colspan="3">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td>9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="3">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일)</td><td>최고 선진국(100%) 대비 : (20)%</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">EPB-Type TBM 시공성·안정성 향상을 위한 굴착토 개량기술(soil conditioning)</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ EPB-Type TBM을 위한 굴착토 개량기술(soil conditioning)
- EPB-Type TBM은 굴착한 지반을 활용하여 챔버 내부를 충진함으로써 굴진면 전방의 토압과 수압을 지보하나, 굴착된 흙(fresh muck)은 TBM을 운용하기에 적합하지 않은 역학적·수리학적 특성을 가지는 것이 일반적임
- 따라서, 워커빌리티(workability), 전단강도, 투수계수 등의 흙의 물성을 폼, 폴리머, 슬러리 등의 첨가제를 커터헤드 전방, 챔버 및 스크류 컨베이어 내부에 주입함으로써 그 물성을 개선시키게 됨
- 굴착토 개량기술을 통해 굴착도구(cutting tools)를 포함한 마모, 추력, 토크 등의 TBM 하중을 감소시킴으로써 다운타임(downtime)을 줄여 <u>시공성을 증가</u>시키고 적정 챔버압 유지와 배토를 원활하게 하여 <u>안정성을 증대</u>시키는 EPB-Type TBM 핵심기술
- 굴착토 개량기술은 기술 선진국 간 기술격차가 크지 않아 중점적으로 기술개발 시 큰 경쟁력을 확보할 수 있는 분야이나 <u>국내 R&D에서는 그 중요성이 저평가</u> 되어왔음

○ 굴착토 개량기술(soil conditioning)의 개발범위
- 국외 성능수준을 만족하는 EPB-Type TBM 전용 첨가제(폼, 폴리머 등)의 개발
- 지반조건 별 최적의 첨가제 배합 및 개량 굴착토 물성 평가 실내실험 기준 제시
- EPB-Type TBM 탑재 첨가제 주입장치, 교반장치 개발
- 실대형 모형시험 또는 수치해석을 활용한 첨가제의 최적 주입위치 결정
- 첨가제 주입을 고려하는 EPB-Type TBM 굴진 해석 모델링 방법 제시
- EPB-Type TBM 운영 시 첨가제 주입 가이드라인 작성 및 국내건설기준 반영</td></tr>
<tr><td>중점분야</td><td colspan="2">1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( )
* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○)
* 작업 안전 향상 기술을 포함</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ 해당하는 분야에 ○ 표시
두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">적용 대상
TBM 규모</td><td>소단면(3~4m) TBM (○)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (○)</td></tr>
<tr><td colspan="3">※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)</td></tr>
<tr><td>기술 종류</td><td colspan="2">신규 기술 개발 (○)</td><td colspan="2">기존 기술의 고도화 ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최종 결과물
유형</td><td>공통·신기술 ( )</td><td>H/W (○)</td><td colspan="2">S/W (○)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 제품, 장치, 소프트웨어 등</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (4)단계</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (○)</td><td colspan="2">9단계 ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)</td></tr>
<tr><td>기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (20)%</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	TBM 터널 현장 투입관계 미세먼지 억제 시스템(FOG Sys.)			
제안기술의 개 요	○지하 TBM 터널 현장 미세먼지에 포함된 중금속으로 인해 인체 유해성이 심각하기 때문에 이를 평가하고 효과적인 대책 마련이 필요한 미세먼지 종합적 관리 강화가 시급한 실정임. 특히 먼지 문제가 심한 도심지 지하철 터널 공사 진입 시점에 유해성이 심각하여 중점적인 관리 및 기준을 설정하기 위한 장치를 구축하여 친환경적인 물 입자와 억제제 약제(이비터)를 희석한 혼합형 FOG 분사로 미세먼지는 물론 중금속 감소와 억제 및 관리 강화가 필요함.			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM	(○)	중단면(5~6m) TBM	(○)
	중대단면(7~8m) TBM	(○)	대단면(9~10m) 이상 TBM	(○)
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (○)	S/W (○)	
	세부 유형 :			
현재 TRL 단계	현재 (1)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 (○)	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
현재 보유한 기술수준	최고 선진국명 : (호주)		최고 선진국(100%) 대비 : (2)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○미세먼지가 특히 심한 도심지 지하철 TBM 터널 공사 현장의 미세먼지 관리기준이 없어서 미세먼지 문제 해결이 시급하며, 서울시가 측정한 서울시 지하철 터널 내의 미세먼지 농도는 2018년 191㎍/㎥로 계속해 증가 추세 임. 지하철 공사 현장 미세먼지 터널은 현장 미세먼지의 주요 원인이고, 2018년 서울시 보건환경연구원 조사에 따르면 운영 중인 지하철 미세먼지 농도가 터널(394㎍/㎥), 승강장(114㎍/㎥), 대합실(32㎍/㎥) 순으로 높고 승강장의 주된 오염원은 외부 터널로부터 유입된 미세먼지로 확인 됨(공사 중이나 공사 후도 미세먼지 관리가 안 되고 있음). 우리나라의 미세먼지 기준은 초미세먼지(PM2.5)의 경우 35㎍/㎥, 미세먼지(PM10)의 경우 100㎍/㎥인 실정임. 이에 미세먼지 농도가 높은 지하철 TBM 터널 공사의 특정 100m 구간 Test Bed를 투입으로 판제할 수 있는 H/W(기계장치)와 S/W(관제 서버)를 FOG Sys. 설치하여 먼지와 중금속을 50% 이상의 감소 및 억제력 기술 개발이 목표치 임.

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	TBM 터널현장 중장비 차바퀴 세륜물 에어건조 장치			
제안기술의 개 요	○TBM 터널현장을 진출입하는 차량에 대해 정화된 물로 좌우 측면과 하부에서 노즐을 통해 차바퀴를 향해 물분사로 세륜하고 세륜후 에어로 건조하여 차바퀴에 묻은 흙이나 먼지 등이 외부에 유출되지 않도록 함 ○쾌적한 도시환경을 조성하며 안전한 운행을 준수하기 위한 장치가 필요함			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (○)	S/W (○)	
	세부 유형 :			
현재 TRL 단계	현재 (1)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 (○)	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
현재 보유한 기술수준	최고 선진국명 : ( )		최고 선진국(100%) 대비 : ( )%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○TBM 터널현장 공사 차량이 현장을 벗어날 경우 차바퀴에 묻은 흙이나 먼지를 Zero화 목표로 세륜후 에어건조를 함으로써 터널 주변이나 주변도로 진입시 2차 미세먼지 발생 등 환경오염 및 안전사고를 미연에 방지하여 환경 및 관리제도를 개선해 감 ○무인관제로 전체 공정을 자동화로 운영 ○덤프트럭을 비롯해 레미콘 차량과 포클레인 같은 중장비 공사 차량은 반드시 신개발 장치를 통해 기본수칙 준수 매뉴얼로 안전중심 경영을 선도 함
연구개발 내용	○세륜후 에어건조 장치에 진입직전 센서인식으로 대기신호등(3색)과 자동작동개시 ○통과시 에어건조 장치 설정시간 가동으로 에어로 차바퀴 물기를 털고 건조시키는 과정 ○건조과정이 끝나면 종료 신호등 표시와 부저 신호로 출차 통과

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	쉴드TBM 실시간 통합연계형 지반침하 예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발			
제안기술의 개 요	○ 통합연계 기반 지반침하예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발 - 현행 TBM운진·배토량·일반계측에 대한 개별적인 단순 관리기준 적용운영에서 탈피 - 통합적인 실시간 연계해석 기반 지반침하예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착 기술 개발 ( ) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화 기술 개발 (○) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM (○)		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 (○)		기존 기술의 고도화 ( )	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법·신기술 ( )	H/W (○)	S/W (○)	
	세부 유형 :			
현재 TRL 단계	현재 (TRL 3)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 (○)		9단계 ( )	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (60)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 실시간 통합연계형 지반침하 예측 및 굴착위험도 평가시스템 개발
연구개발 내용	○ 계측, TBM운진, 배토량 실시간 통합분석기술 및 예경보시스템 개발 - 일반계측, TBM운진 데이터, 배토량측정센서 통합활용 기술 개발 - 운영 조건별 배토량 측정센서와 굴착량 연계분석 기술 개발 - 지반침하 예경보 및 상황 공유·전파 시스템 개발 ○ 쉴드TBM 지반침하 예측 알고리즘 및 굴착위험도 평가시스템 개발 **- 수치해석DB 및 현장측정데이터를 연계한 침하예측 알고리즘 개발** **- 위험 시나리오별 리스크 대응방안 및 저감대책 수립**
연구 키워드	쉴드TBM, 지반침하, 리스크 분석, 통합건설관리시스템
기술(제품) 실증 방안	○ -
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	중단면(5m 이상) TBM 탑재 진방지반(20m 이상) 예측기술 및 소프트웨어 개발			
제안기술의 개 요	○ TBM 탑재 센서 제어 및 이상대 분석 장치 개발 - 압출식 센서 제어 및 이상대 분석 ○ 중단면 TBM 탑재 진방지반 예측 압출식 센서 개발 - 전기장 형성 후 진방지반의 전기비저항 측정 ○ 진방지반 예측기술 개발 - 이상대(지층 급변구간, 충적층, 자갈층, 공동 등) 위치 파악 알고리듬 ○ 진방지반 예측 소프트웨어 개발 - 최소 막장면 진방 20m이상의 이상대 위치 파악			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 (○) * '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 ( ) * 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
적용 대상 TBM 규모	소단면(3~4m) TBM ( )		중단면(5~6m) TBM (○)	
	중대단면(7~8m) TBM (○)		대단면(9~10m) 이상 TBM (○)	
	※ 기술 적용이 가능한 단면에 ○ 표시(복수 기입 가능)			
기술 종류	신규 기술 개발 ( )		기존 기술의 고도화 (○)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공통-신기술 ( )	H/W (○)	S/W (○)	
	세부 유형 : 센서, 알고리듬 및 소프트웨어 개발			
현재 TRL 단계	현재 (6)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 (○)	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
기술수준	최고 선진국명 : (독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (70)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 중단면 TBM 탑재 진방지반 예측기술 및 소프트웨어 개발
연구개발 내용	○ TBM 탑재 센서 제어 및 이상대 분석 장치 개발 - 메인 보드 회로 설계/제작 - TBM 탑재용 장치 설계/제작 - 시스템 보완을 위한 실증 모형 시험 수행 ○ 중단면 TBM 탑재 진방지반 예측 압출식 센서 개발 - 대상 지반/목표 성능 설정

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.