최종보고서 별권 1(TBM 연속굴착 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 (1세부)	국문	TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 기획
	영문	Consecutive Excavation 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
				지방자치단체		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	한국생산 기술연구원	조정우	수석	010-3264-1665	chojw1665 @kitech.re.kr	협동 연구	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>총괄연구개발 식별번호</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="3">-</td><td>연구개발과제번호</td><td colspan="3">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></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명</td><td colspan="6">터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기획</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명
(1세부)</td><td colspan="6">TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 기획</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 12. 05 - 2021. 05. 04(1년 5개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">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>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준(-)
종료시점 목표(-)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [✔] 자유공모 [ ]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">실용화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구
개발
목표
및
내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">연속적 굴착이 가능한 혁신기술 개발을 통해 TBM의 굴진율 30% 향상</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">
(요약)
○ TBM의 굴진과 세그먼트 설치를 동시에 수행할 수 있는 연속굴착 기술을 개발
- 연속굴착 기술이란 TBM 굴진 추진잭이 세그먼트 설치 작업을 방해하지 않아 TBM 정지 없이 연속적으로 설치가 가능한 나선모양의 세그먼트 및 이에 적합한 TBM을 의미
· 설치 중인 1 Seg를 제외한 부분에 추력을 가할 수 있어, 연속굴착이 가능
· 더블 쉴드 TBM 대비 폭넓은 환경에 적용 가능
- 굴진과 세그먼트 설치 작업을 병행하여 일반 세그먼트보다 굴진속도를 혁신적으로 증대
· TBM 굴진과 세그먼트 설치 작업을 병행하여 연속적으로 TBM 굴진 가능
· 일반 세그먼트를 사용하는 기술 대비 터널굴착장비(TBM)의 굴진율을 기존 평균 굴진율 대비 약 30% 증대
- 굴진의 중단이 없어 소모비용 절감 및 굴진관리를 용이하게 만드는 기술
· 장비 중단 후 재가동에 필요한 장비 가동 에너지 소모 절감 및 장비 부하 감소
· 장비 중단 없이 TBM이 굴진함에 따라 막장압 관리 및 지반침하 관리에 용이하며 EPB TBM의 경우 그라우팅 작업을 연속적으로 수행하는 것이 가능
(핵심·구성기술 개발 내용)
○ 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술 개발
- 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술
- 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술
- 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술
</td></tr>
</table>

		– 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술 – 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술 ○ 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술 개발 – 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술 – 연속굴착형 TBM 시공 통합관제 시스템 기술 ○ 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술 개발 – 연속굴착형 TBM 유지관리 기술 – 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술 – 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

연구개발성과	○ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 기획연구보고서 ○ 전략계획서 ○ 차년도 사업예산요구 대응 관련 작성 자료
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○ 'TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술 연구'에 대한 정부투자의 당위성과 사업계획의 타당성 검토자료로 활용 ○ 'TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업'의 사업예산요구를 위한 선제적 대응 자료로 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	연속굴착	효율성	성능검증
영문핵심어 (5개 이내)	Land, Infrastructure and Transport	Tunnel Boring Machine	Consecutive Excavation	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 ····· 20

1) 사업의 추진 근거 ····· 20

2) 사업 기획의 추진체계 및 경과 ····· 24

3) 대내외 환경분석 ····· 29

4) 국내 R&D 역량분석 ····· 52

5) 사업설계를 위한 조사분석 ····· 76

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 91

1) 연구수행 결과 ····· 91

(1) 사업 추진계획(안) ····· 91

(2) 핵심기술 개발(안) ····· 119

(3) 사업 운영관리계획(안) ····· 236

2) 목표 달성 수준 ····· 254

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 254

5. 연구개발성과 관리 및 활용 계획 ····· 254

별첨자료 ····· 255

1. 연구개발과제의 개요

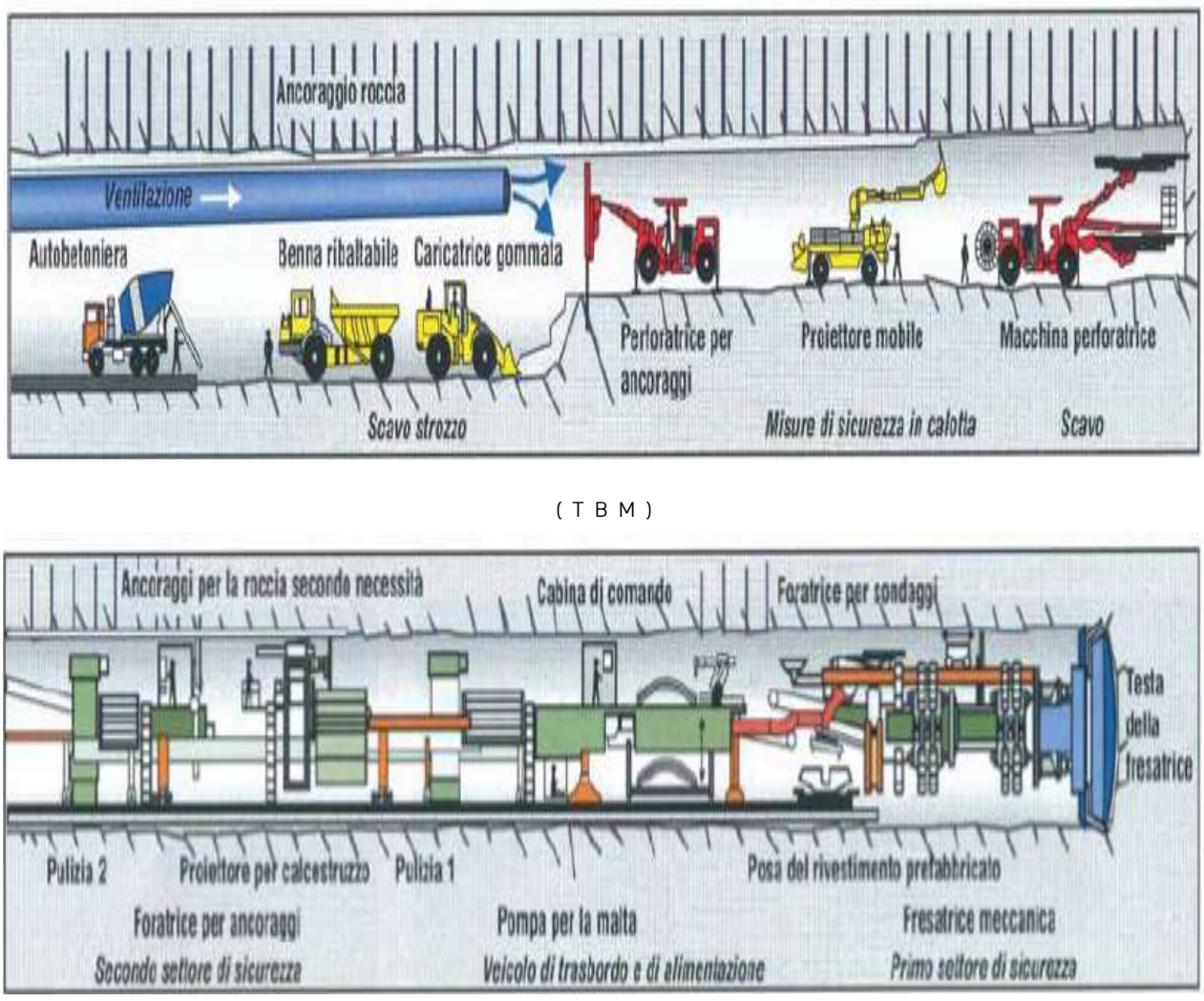
1) 사업의 개념 및 범위

(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

[그림 1-1] NATM 및 TBM 시공 개요도



※ 출처 : Pelizza. (2005).

- 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)

○ 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

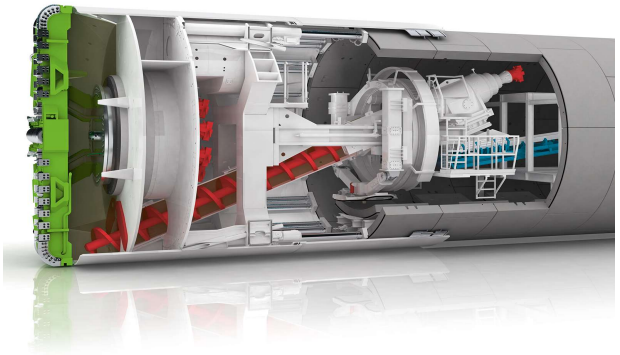
- 현재 잘 사용되고 있지는 않으나 NATM 공법과 유사한 NMT(Norwegian Method of Tunnelling) 공법 및 재래식의 A.S.S.M(American Steel Support Method) 공법도 존재

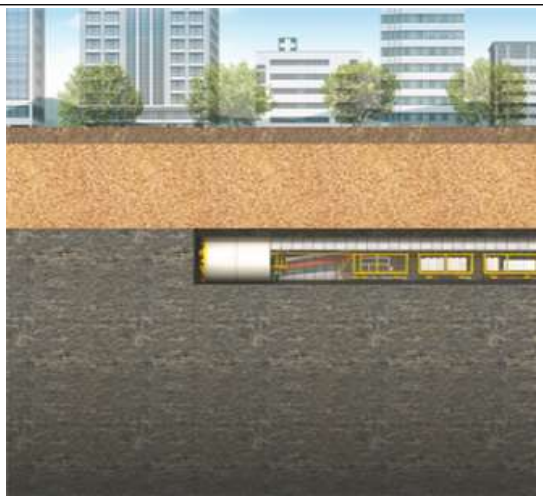
□ TBM(Tunnel Boring Machine, 터널굴착장비)

○ 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, 굴착암반·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



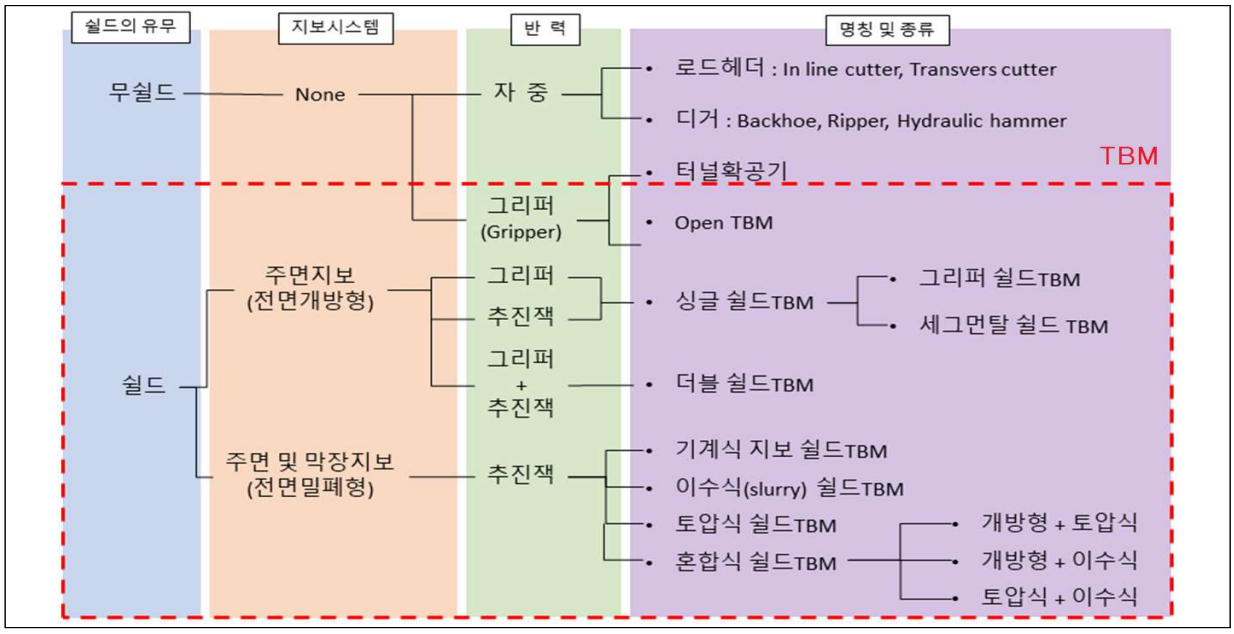


※ 출처 : Herrenknecht 및 동일기술공사 홈페이지. (2020).

○ 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, 추진반력을 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 위하여 회전식의 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



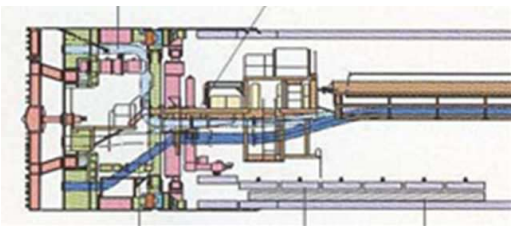
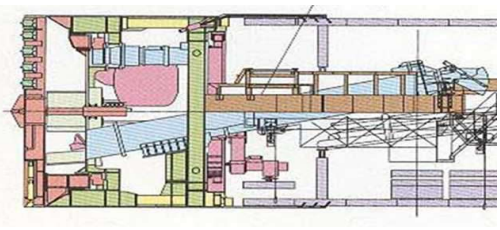
- 이수형(Slurry)

  • (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 전달되어야하기에 소성유동화한 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	△	○

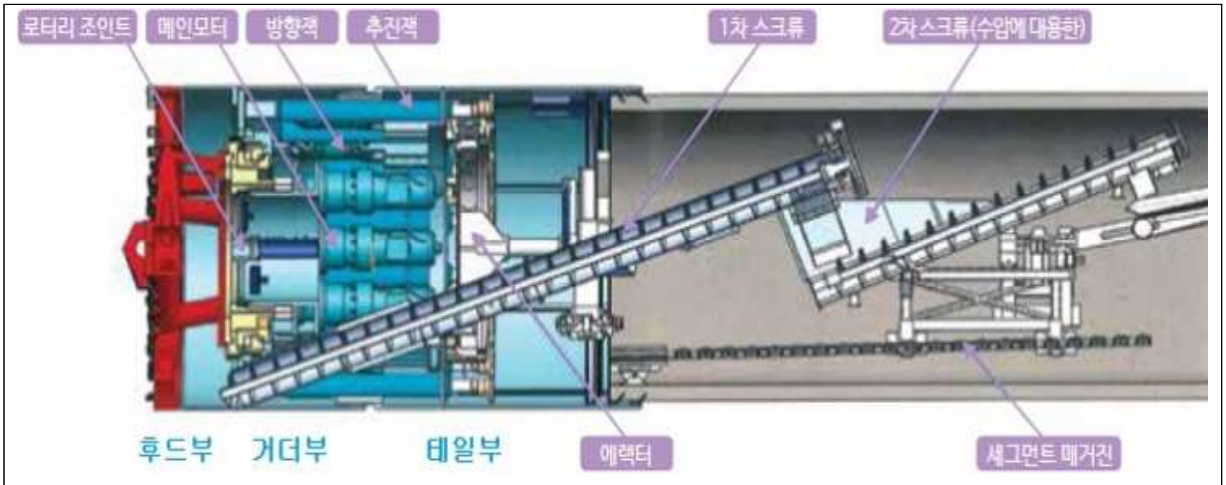
※ 출처: 한국시설안전공단. (2013.12). 특수굴착터널(쉴드터널) 성능평가기준 및 유지관리 매뉴얼 개발

□ 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 입게 되기 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 지지압력을 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·버력 처리 제어, 기계·전기 제어, 냉각·환기 제어, 세그먼트 설치 및 제어 등과 관련된 장치로 구성

□ TBM 연속굴착 기술

○ 연속굴착 기술이란 TBM 굴진 추진잭이 세그먼트 설치 작업을 방해하지 않아 TBM 정지 없이 연속적으로 설치가 가능한 나선모양의 세그먼트 및 이에 적합한 TBM을 의미

- 설치 중인 1 Seg를 제외한 부분에 추력을 가할 수 있어, 연속굴착이 가능
- 더블 쉴드 TBM 대비 폭넓은 환경에 적용 가능

○ 굴진과 세그먼트 설치 작업을 병행하여 일반 세그먼트보다 굴진속도를 혁신적으로 증대

- TBM 굴진과 세그먼트 설치 작업을 병행하여 연속적으로 TBM 굴진 가능
- 일반 세그먼트 사용 대비 TBM 굴진속도를 혁신적으로 향상 시키는 것이 가능한 기술
  - 터널굴착장비(TBM)의 굴진율을 기존 평균 굴진율 대비 약 30% 증대

○ 굴진의 중단이 없어 소모비용 절감 및 굴진관리를 용이하게 만드는 기술

- 장비 중단 후 재가동에 필요한 장비 가동 에너지 소모 절감 및 장비 부하 감소
- 장비 중단 없이 TBM이 굴진함에 따라 막장압 관리 및 지반침하 관리에 용이하며 EPB TBM의 경우 그라우팅 작업을 연속적으로 수행하는 것이 가능

[그림 1-5] TBM 연속굴착 기술의 개념



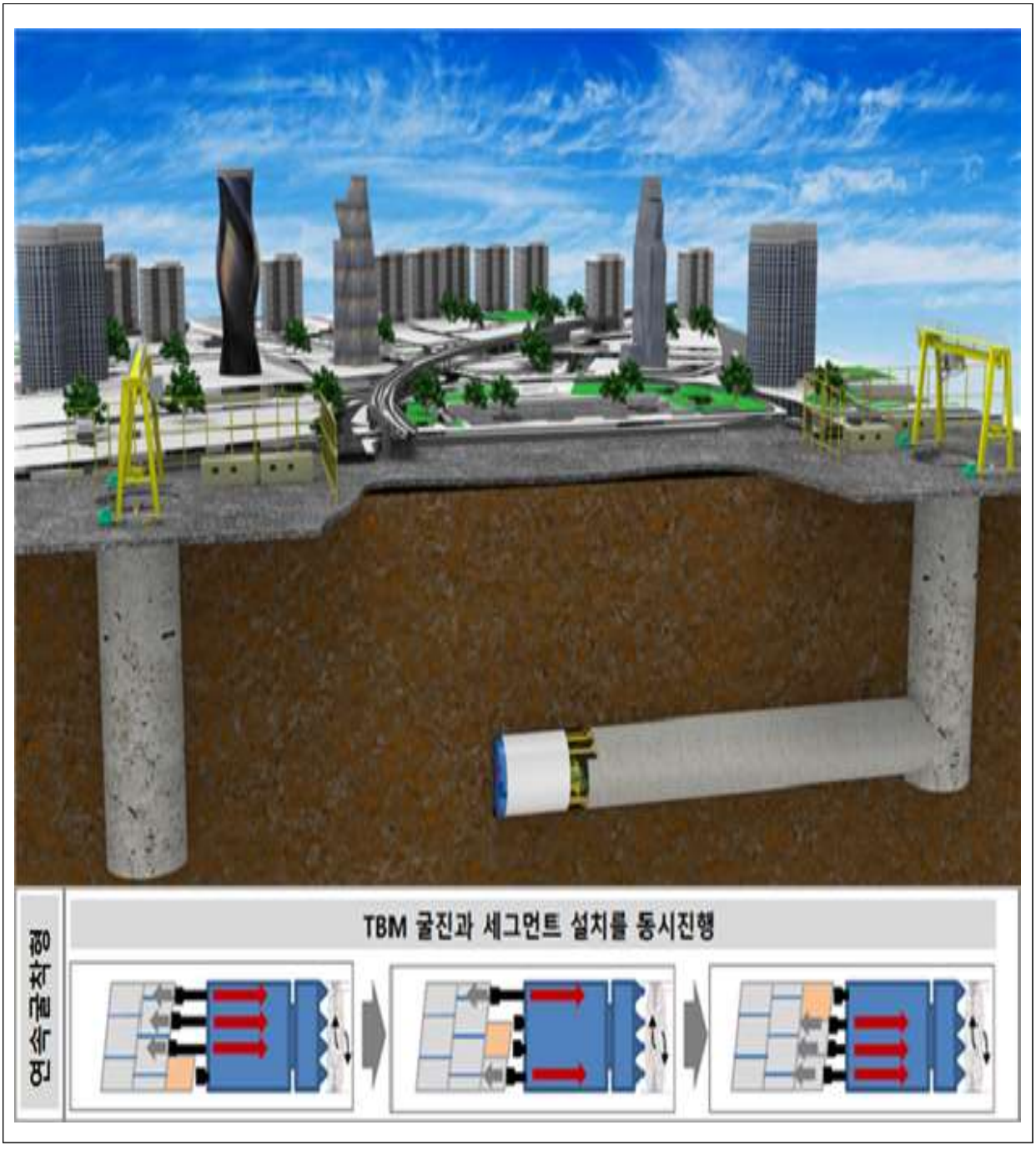
(2) 본 사업의 범위

□ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업의 범위

○ TBM 연속굴착 기술개발사업은 TBM 공법으로 터널 건설 시 적용 가능한 연속굴착형으로의 TBM 개조 기술과 운영 기술 및 연속굴착에 적합한 세그먼트 개발·실증을 수행

- 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술 개발
- 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술 개발
- 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술 개발

[그림 1-6] 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 67.1조km에 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 1-7] 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 교통혼잡 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 지하화 하여 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 굴진율 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 1-8] 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

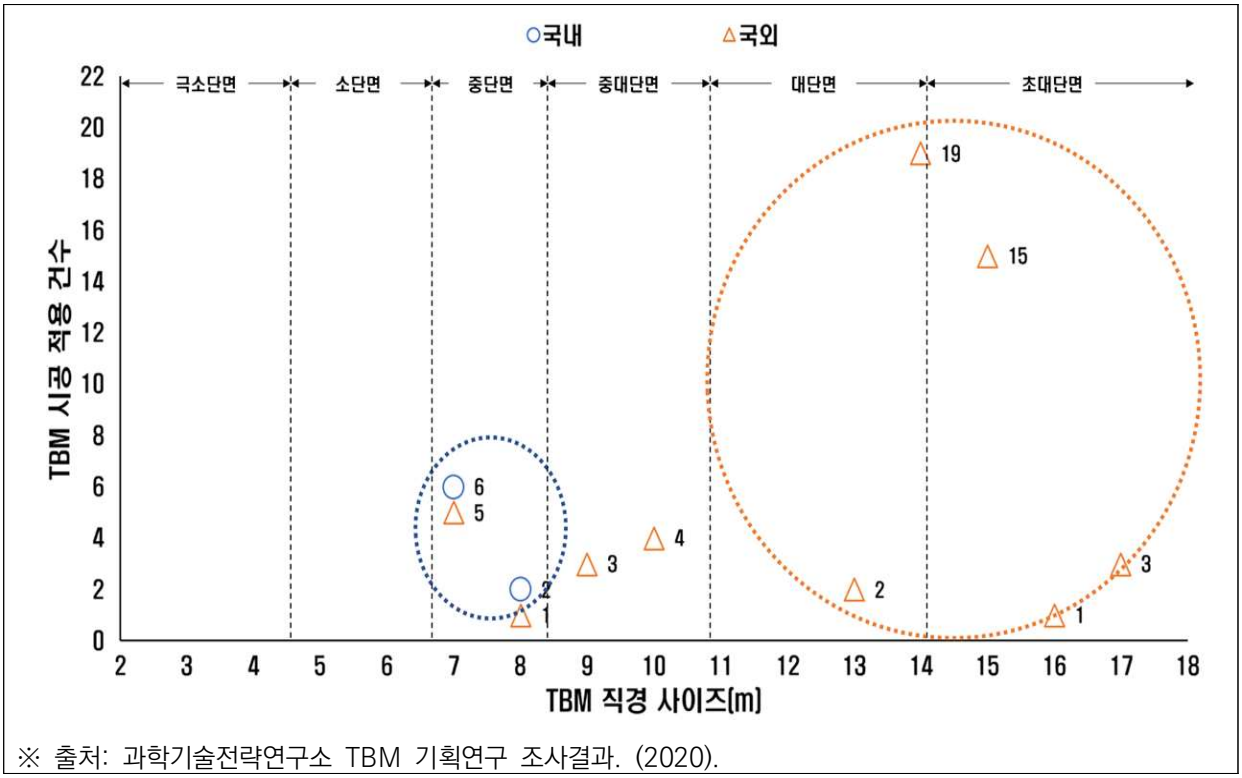
〈표 1-5〉 '00년 이후 국외 터널공사의 TBM 적용 주요실적 현황

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 1-9] '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	

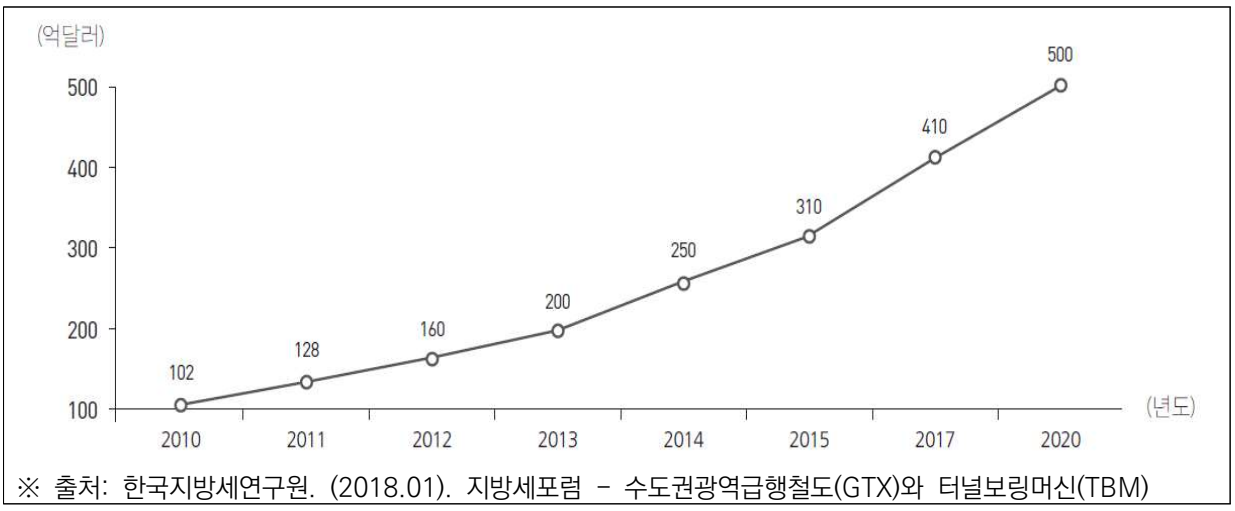
※ 출처 : 과학기술전략연구소 TBM 기획연구 조사결과. (2020).

□ **최근 10년간 평균적으로 매년 20%씩 세계 TBM 시장의 규모가 늘어나고 있을 만큼 TBM 공법을 활용한 터널 건설은 급격하게 증가 중**

○ 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

[그림1-10] 세계 TBM 시장규모



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

□ **향후 도심지 터널들의 TBM 공법 적용 필요성이 증대되는 것에 반해 해외 소수 국가가 자국의 장비 기술력 및 시공기술력을 기반으로 글로벌 TBM 터널 시장을 주도 중**

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

○ 독일은 세계 TBM 시장의 40%를 차지하는 규모와 기술 등 모든 면에서 독보적 1위 기업유지

- 기술력을 기반으로 TBM의 대형화, 고속화를 추진하고 있으며 전 세계 판로를 통해 TBM 시장 석권

○ 중국은 다양한 시공 경험 및 기술력으로 외국기업 유치 및 자국 TBM 회사 설립이 활발히 진행되고 있는 중

- 자국 내 도시 간 고속도로 사업으로 하저, 해저터널 및 산악터널 공사가 대량으로 발주
- 중국의 세계 TBM 점유율은 이미 40%에 육박하고 있는 상황

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

○ 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

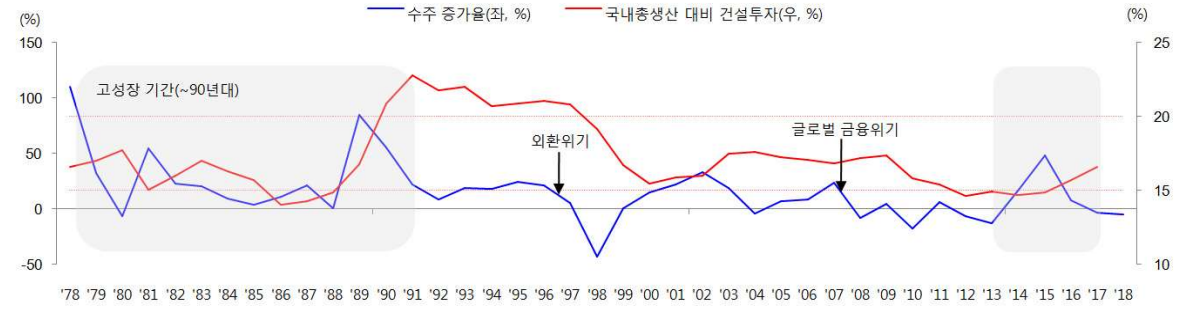
□ **건설산업은 국내총생산에서 차지하는 비중이 15%에 달하는 중요 산업 분야이나, 현재 건설산업의 노동생산성은 급격한 하락세인 상황**

○ 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



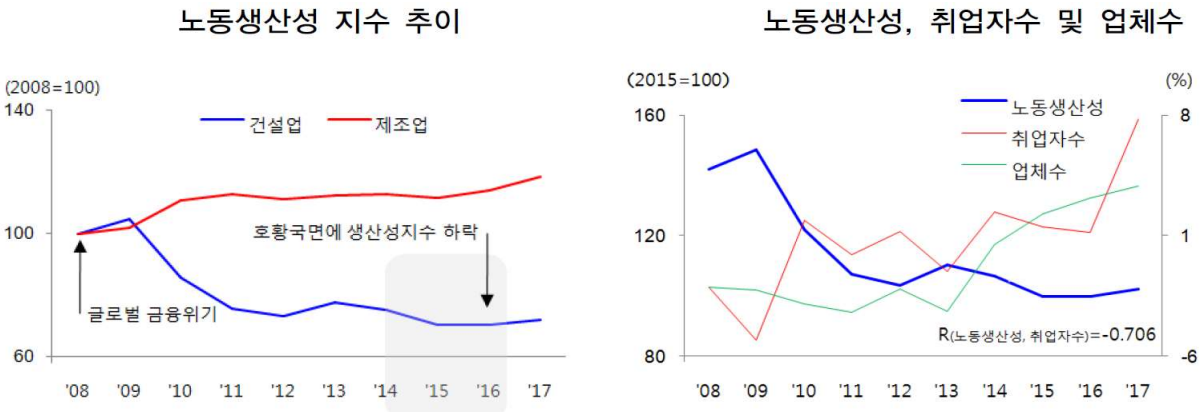
※출처 : 한국은행·통계청. (2019). 국내 건설경기 추이

○ 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

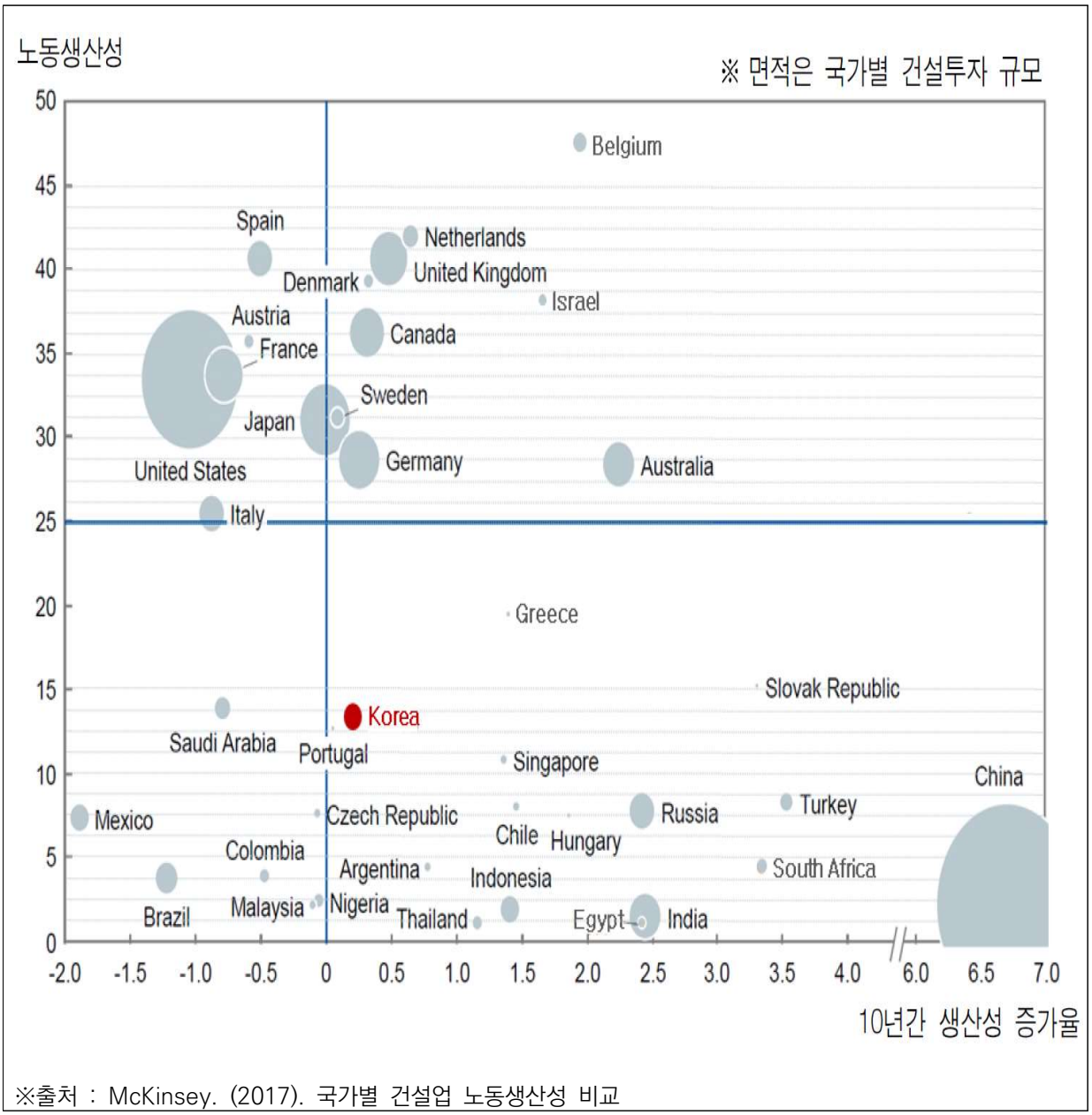


※출처 : 한국생산성본부 및 대한건설협회. (2018). 건설산업 노동생산성 추이

○ 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

□ 국내 TBM 공법의 생산성 및 기술력 제고에 기여할 수 있는 핵심기술 개발 필요

○ TBM 공사비 절감 및 기술력 향상을 위해 굴진율 향상, 시공/운영관리 고도화 등 생산성에 직결되는 시공 분야 기술개발 요구되고 있는 상황

○ TBM 장비의 높은 기술장벽과 국내 TBM 제조인프라* 한계 등을 고려하여 공사비 절감 등 국내 현실에 맞는 기계화시공 분야의 신규기술 개발이 필요

* 주요부품과 완성차량의 성능과 품질 시험·검증시설 절대 부족한 상황으로 KAIST에서 유일한 테스트 시설 보유하고 있으나, 소단면(3.5m급) TBM 테스트만 가능

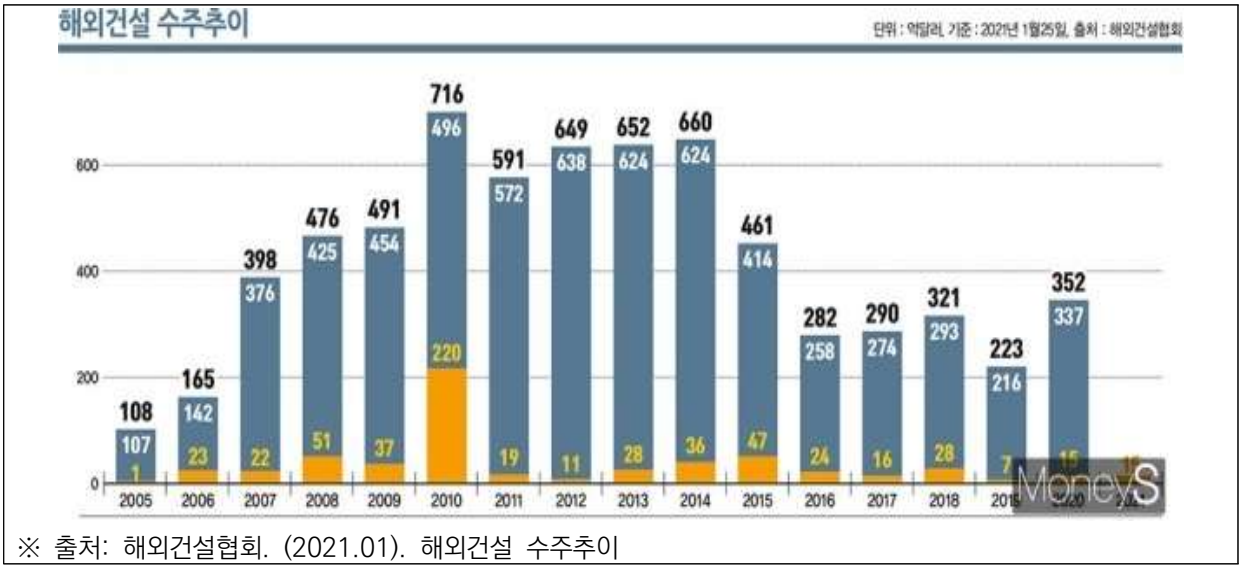
□ **후발 주자인 우리나라는 TBM 관련 기술 개발 시 기존 TBM 분야 선도국의 기술력을 극복할 수 있는 '게임 체인저' 성격의 혁신적 기술 개발이 필요**

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

- 후발 주자였던 중국도 적극적 정부투자로 빠르게 기술력을 성장시켜 현재 독일과 함께 TBM 관련 시장을 과점 중

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

[그림 1-14] 전반적 감소 추세에 있는 국내 기업의 해외건설 수주



※ 출처: 해외건설협회. (2021.01). 해외건설 수주추이

○ 터널 건설 분야의 경우 긴 시공 기간을 요구하기 때문에 굴진율을 높여 공기를 단축하는 것이 TBM 시공 영역 경쟁력의 핵심으로, 굴진율을 높일 수 있는 혁신적 관점에서의 기술 개발이 향후 터널 건설 산업 및 관련 장비 산업의 주도권 요소

- 전 세계적으로 터널 건설의 패러다임이 변화하고 있고, 후발 주자로서 글로벌 시장에서 경쟁 중인 우리나라에는 혁신적 '게임 체인저' 기술이 필요한 상황

□ **기존의 굴진율 개선 기술은 한정적 환경에서만 적용 가능하며 장비 가격 대비 굴진율 증가 부분이 취약하여 새로운 방식의 신 패러다임 기술 개발이 필요**

○ 생산성 제고를 위해 굴진과 세그먼트 조립을 최대한 동시에 수행하고자 더블 쉴드 TBM 시공기술이 제시되었으나 이는 경암반에서만 사용이 가능하여 실효성 부족

○ 더블 쉴드 TBM의 경우 장비가격이 일반 쉴드 TBM 장비의 150%~170%에 달하는 고가이나 굴진율의 증가는 20% 정도로 큰 장점이 없어 널리 사용되지 못하는 중

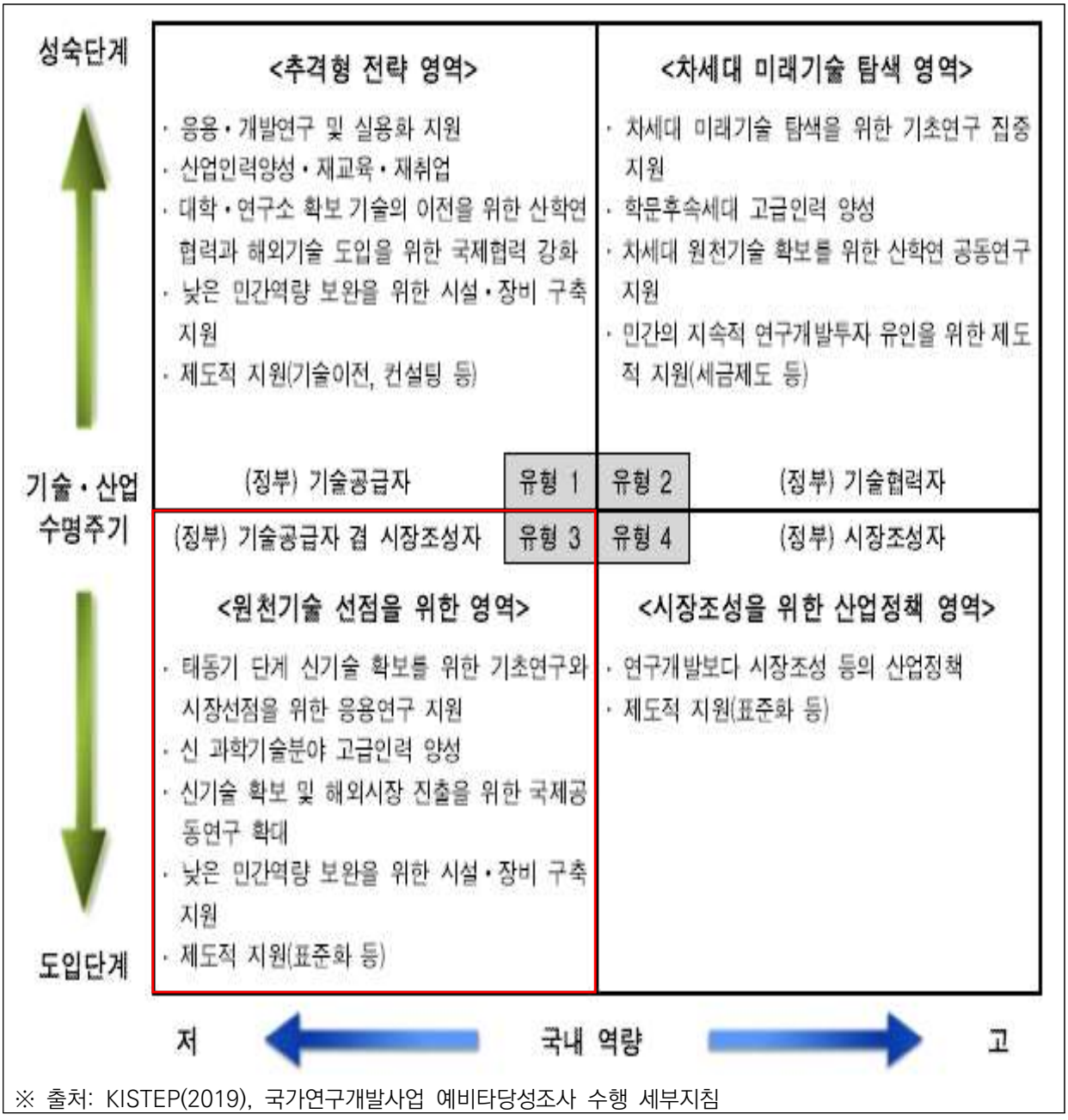
- 또한, 굴진과 세그먼트 조립을 동시에 수행하려면 부등하중과 편심하중이 작용하게 되는데 기존 시험장치에서는 이런 현상을 모사하는 것이 어려운 상황

○ 더블 쉴드 TBM의 단점을 극복하며 더 높은 굴진율 증가를 확보 할 수 있는 혁신적 연속 굴착 기술이 개발될 경우 터널 산업 생태계에 새로운 패러다임을 제시 가능

(3) 국고지원의 적절성

□ 정부 R&D 역할모델 유형으로 본 정부지원의 타당성

[그림 1-15] 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 주력산업을 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 신규 취업자 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 연속굴착 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 건설기술개발 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

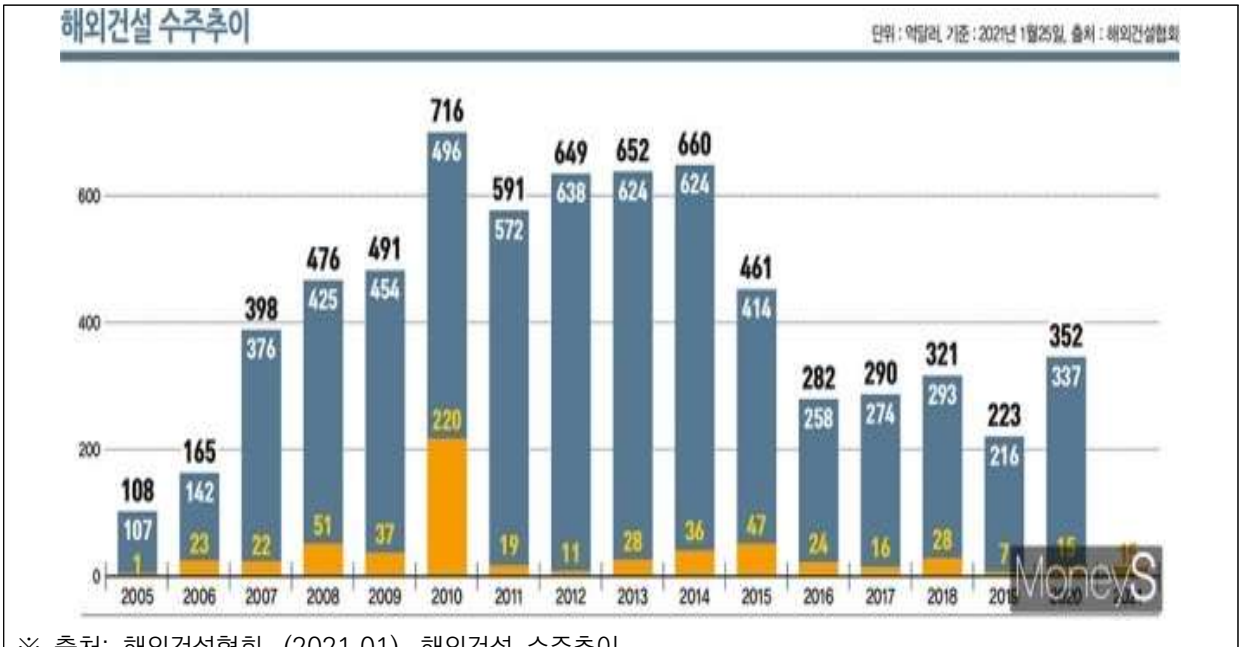
※ 출처: McKinsey. (2017). 국가별 건설업 노동생산성 비교

□ **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 1-16] 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 법적근거를 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

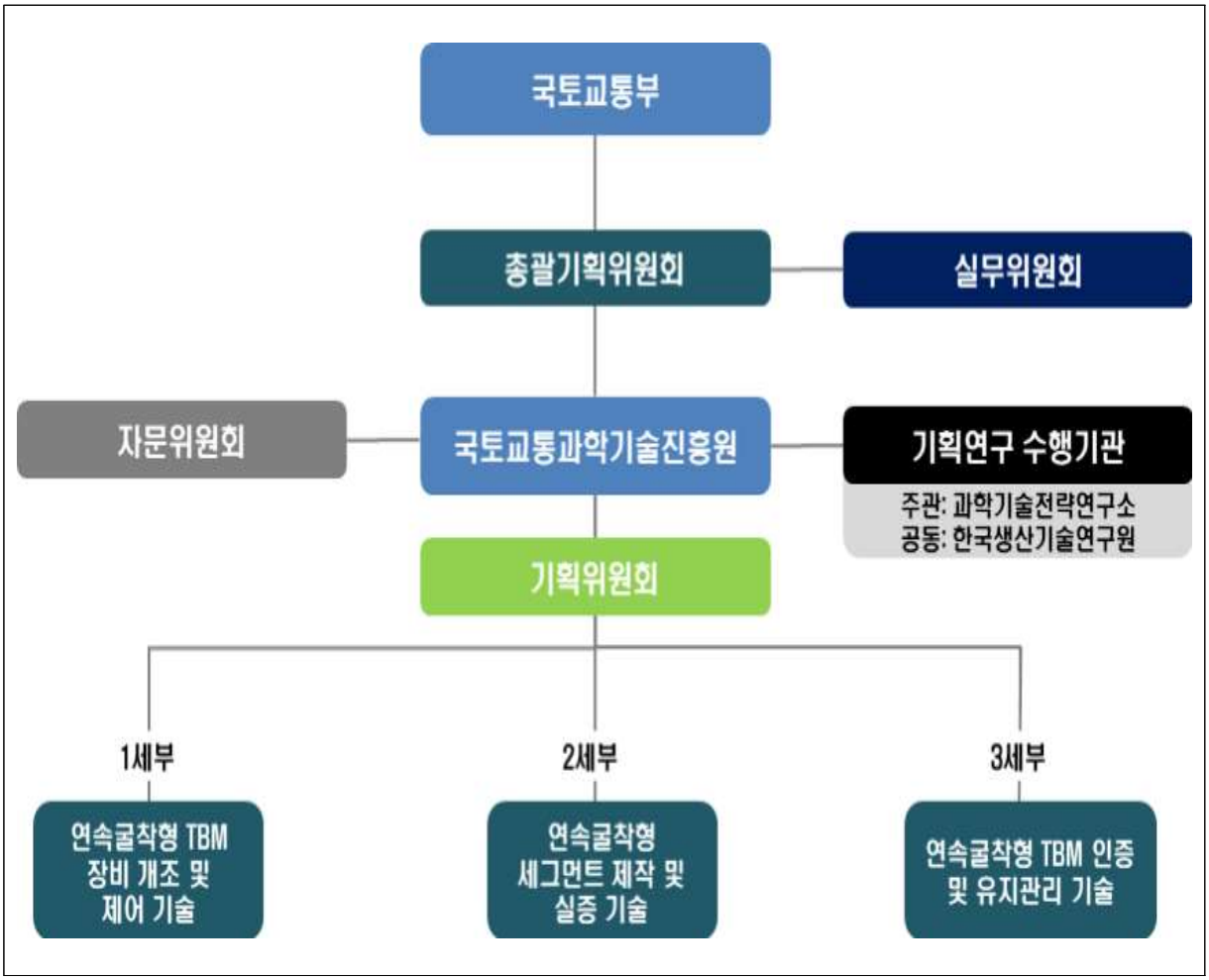
계획명	주요 내용	소관부처
제5차 국토종합계획 ['20~'40]	○ 기간교통망의 효율화와 대도시권 혼잡 해소 ○ 인프라의 전략적 운영과 포용적 교통정책 추진 ○ 미래형 혁신 교통체계 구축	국토교통부
제6차 건설기술진흥기본계획 ['18~'22]	○ 4대 추진전략 : ① 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상② 해외 수요 대응형 건설기술 개발 ③분야 간 융·복합을 통한 경쟁력 강화 ④ 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성 ○ 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신사업 육성	국토교통부
제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획['18~'27]	○ 혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통을 위한 4대 추진전략(추진전략2, 기술융합을 위한 새로운 가치창출) : 해외건설 수주시 수익율이 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

□ **TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 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) 위원장(1명)을 포함하여 TBM 분야 산·학·연 전문가 13명으로 구성

〈표 2-6〉 기획위원회 구성

구분	성명	소속	직위/직책	기관분류	비고
1	김대영	현대건설㈜	부장	산 (위원장)	2세부
2	김성환	KC산업	상무	산	1세부
3	고성일	㈜서하기술단	대표	산	1세부
4	이원일	이엠코리아㈜	과장	산	1세부
5	이홍성	현대건설㈜	부장	산	2세부
6	이종백	㈜동아지질	이사	산	3세부
7	김영근	건화엔지니어링	부사장	산	1세부
8	박동철	㈜위드엠텍	사장	산	1세부
9	김영훈	㈜동아지질	과장	산	3세부
10	김범주	동국대학교	교수	학	3세부
11	송한림	신안산대학교	교수	학	2세부
12	손무락	대구대학교	교수	학	1세부
13	사공명	한국철도기술연구원	팀장	연	3세부

○ (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. : TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 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

Design	Innovative processes
• new computational methods for prediction • new numerical simulation software • coupled DEM-FEM-BEM techniques • new material models for rock and soil • knowledge based systems (AI-techniques) • fuzzy logic techniques	• new seismic probing systems for TBMs • tunnel face scanner • mobile multi sensor systems for inspection • new low cost 3d-deformation laser scanners • TBM steering optimization software • decision support system for cyclic tunneling • Underground Construction Information System • new data visualizations, Virtual Reality, ...
Innovative technologies	**Maintenance and service**
• very big diameter TBM's (> 15m) - decreased dependency on ground - new disc cutters, tool wear monitoring, ... • intelligent road headers (steering software,...) • automation of shotcreting (robots,...) • new shotcretes, new concrete segments • new types of additives, foams, explosives, ... • new safety concepts (sensor networks)	• new sensors for structural state monitoring - non-destructive, automated, longterm stability - minimal interference with operation • new mobile data recording systems • new robots for inspection and service (IRIS) • ESITml (Europ. Stand. Integrity of Tunnels-ml) • maintenance management tools

※ 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). 국토교통 R&D 동향조사 시설물분야

【중국】

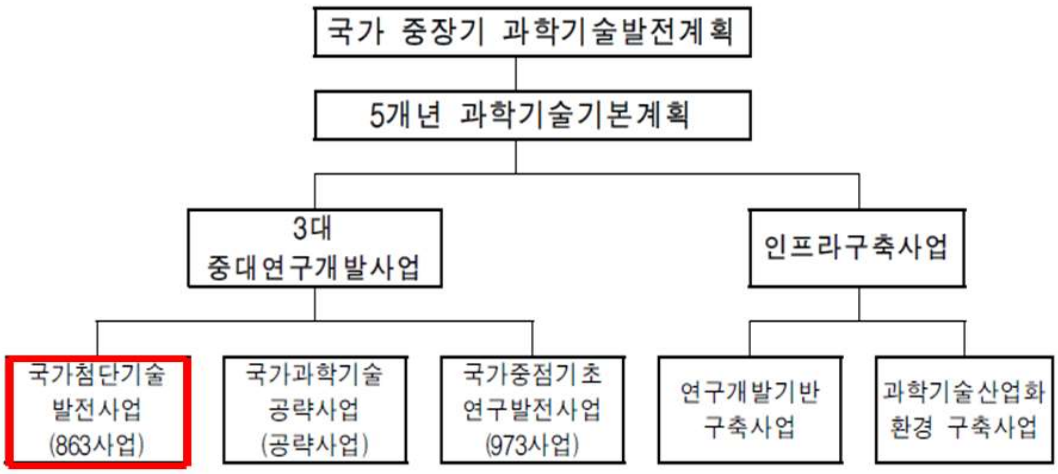
□ '02년부터 '국가 863 계획 사업*'을 통해 정부 주도하에 TBM 연구개발 지원 및 시장 확대를 추진

* 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 건설 사업에 자국 TBM 장비를 적극적으로 투입 추진

[그림 2-3] 중국의 중장기 과학기술발전계획



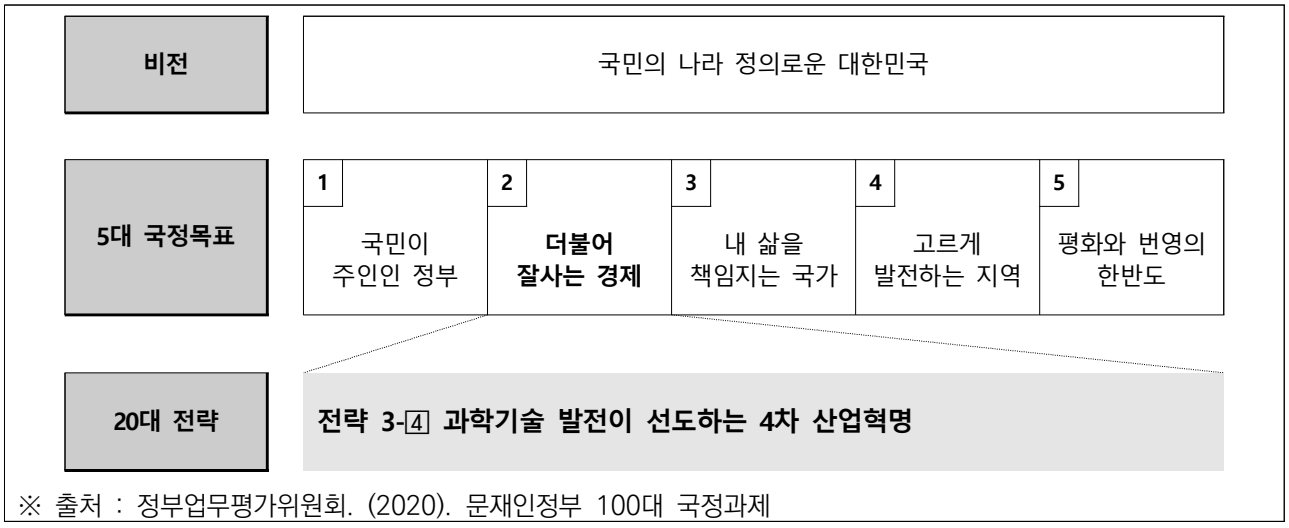
※ 출처 : 건설경제. (2019.05). TBM에 인색한 韓…글로벌 굴착시장서 후진국 신세

【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

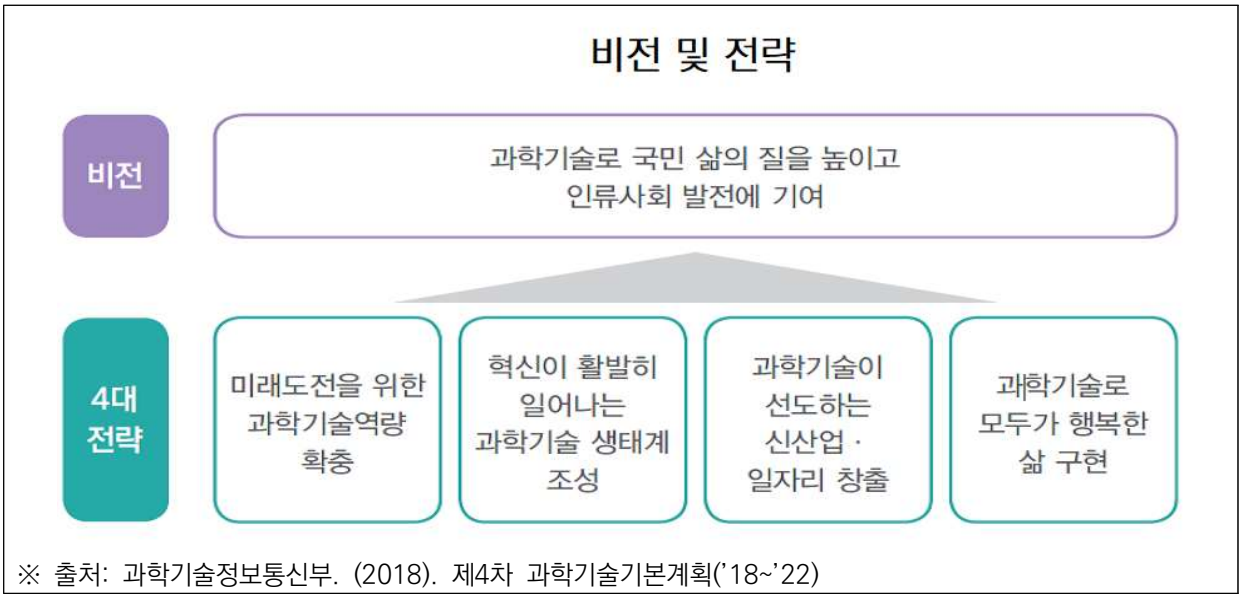
  • 건설산업을 양질의 일자리로 전환하고 건설산업 경쟁력을 강화하기 위해 4차 산업혁명에 따른 기술을 확보하고 관련 유망분야를 육성

- '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 자능화'를 포함시켜 광역대중교통 혁신을 계획하고 이를 통한 대도시권 교통혼잡 문제 해소 추진을 제시

○ 대도시권의 주요 거점을 연결하는 광역철도망을 구축하고, 도로 네트워크 강화를 통한 도로의 간선 기능 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)

(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 121조 원으로 조사*

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

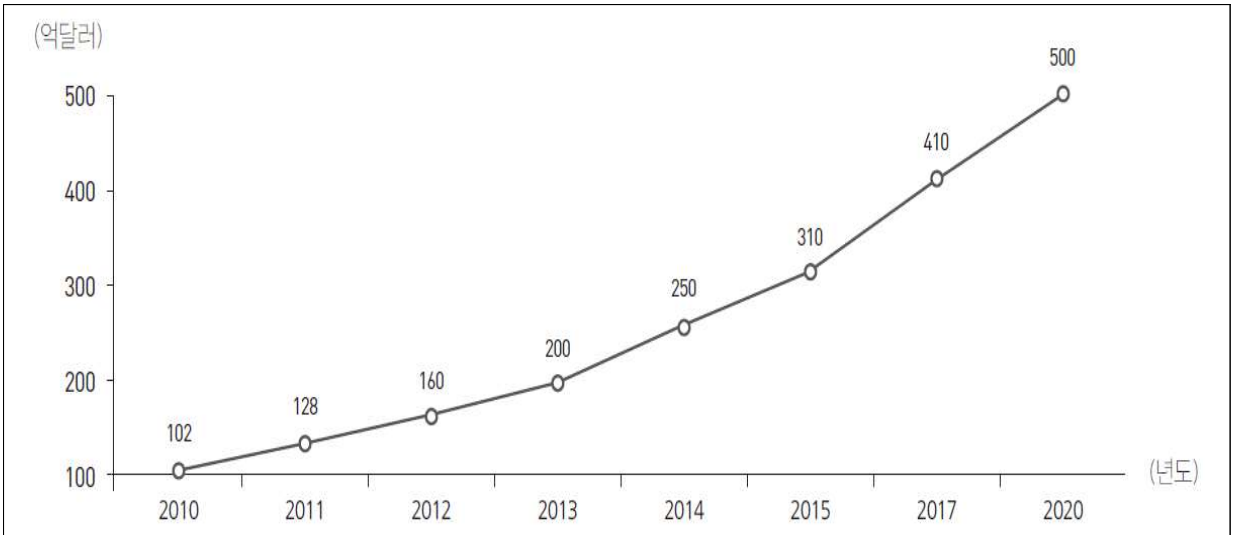
- 국가별로는 영국이 205조 원으로 터널 프로젝트에 가장 많은 예산을 투자하고 있으며 2위는 중국으로 181조 원을 투자

※ 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

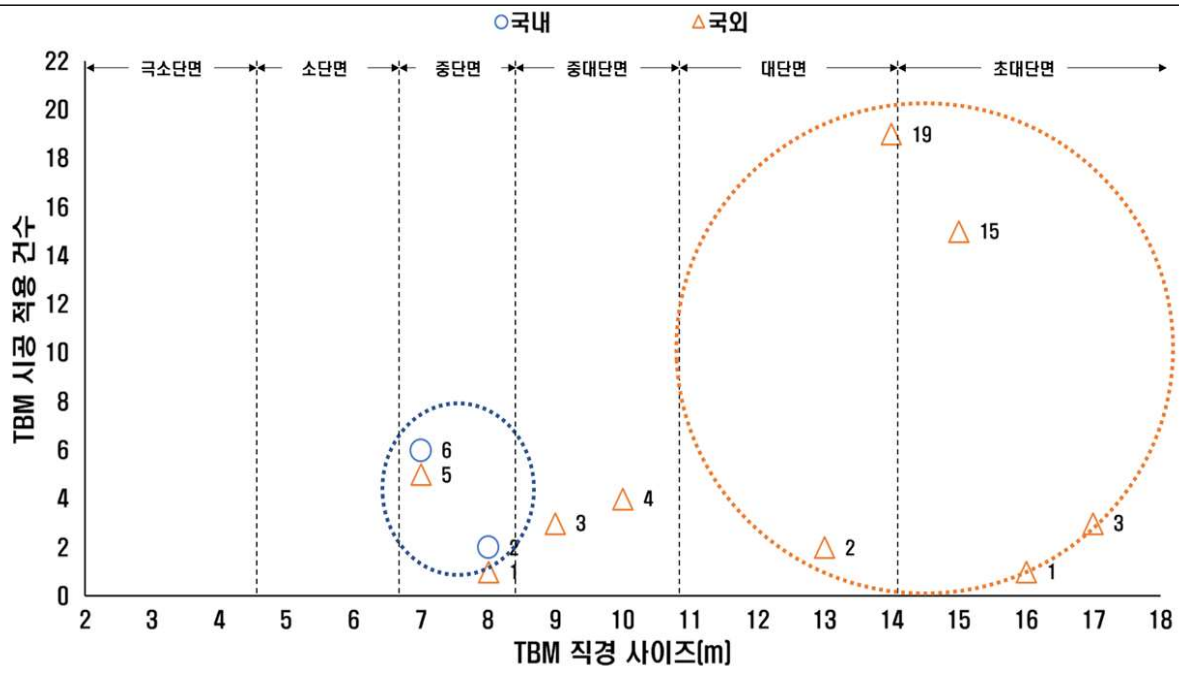
□ TBM 기술을 통한 지하교통 터널 건설의 장점 인식이 확산되며 전 세계적으로 터널 건설 시장에서 TBM 기술 수요가 증가 중인 추세

○ 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).

〈표 2-9〉 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

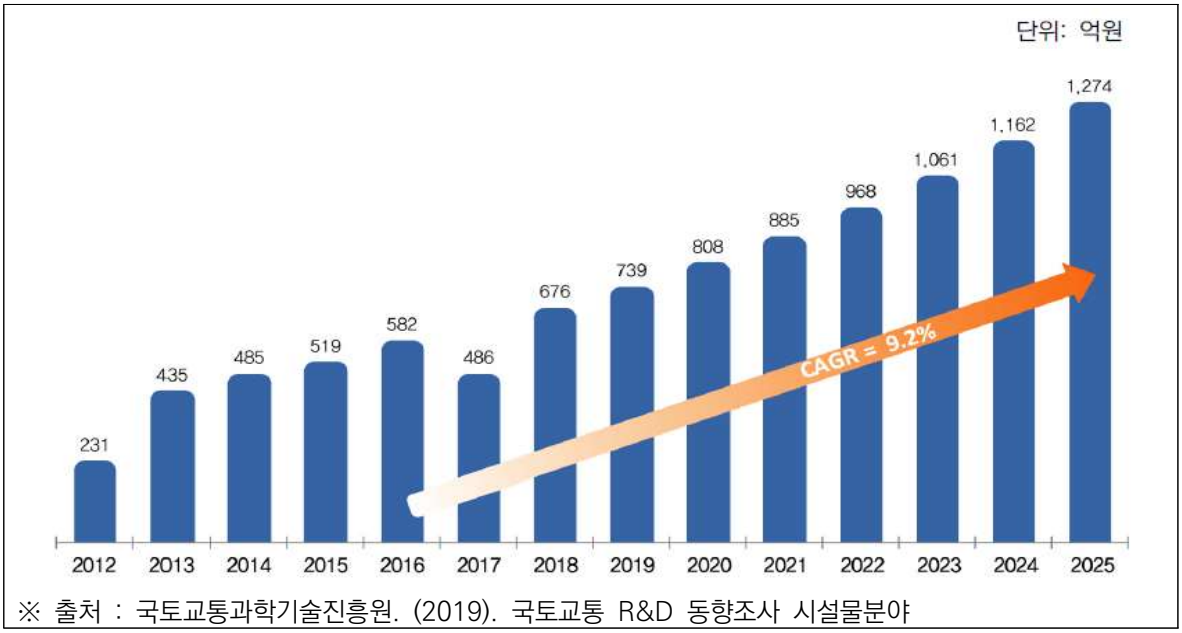
□ 국내 터널시장을 공사수주 실적으로 예측한 결과, '25년 기준 신규건설 수주규모가 1,274억으로 예상되며 지속적으로 성장 중

○ 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 2-10〉 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 증가하였고 이에 따른 심각한 교통 혼잡이 사회적 문제로 대두**

○ '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

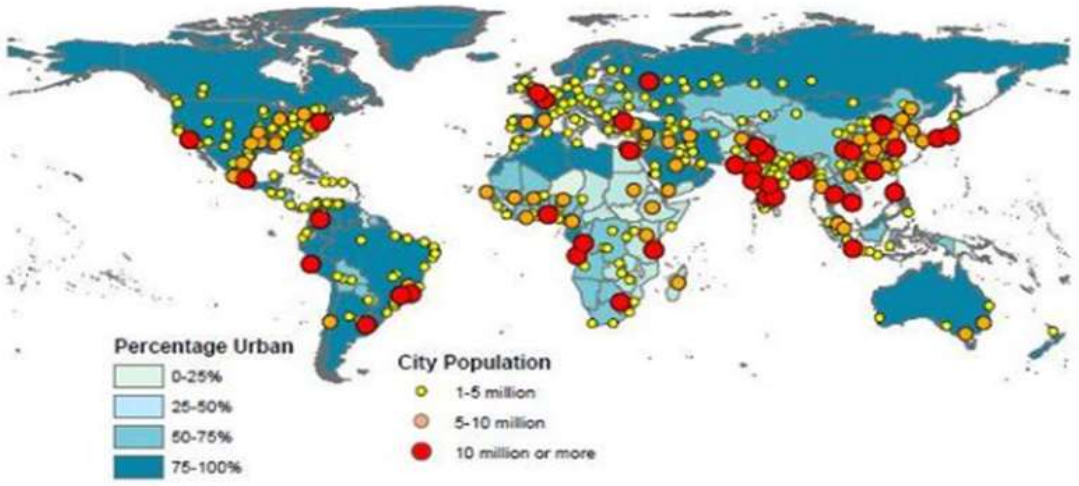
- 전 세계 인구가 '60년부터 이후 50년간 233% 증가한 반면 도시 인구는 350% 증가

〈표 2-11〉 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



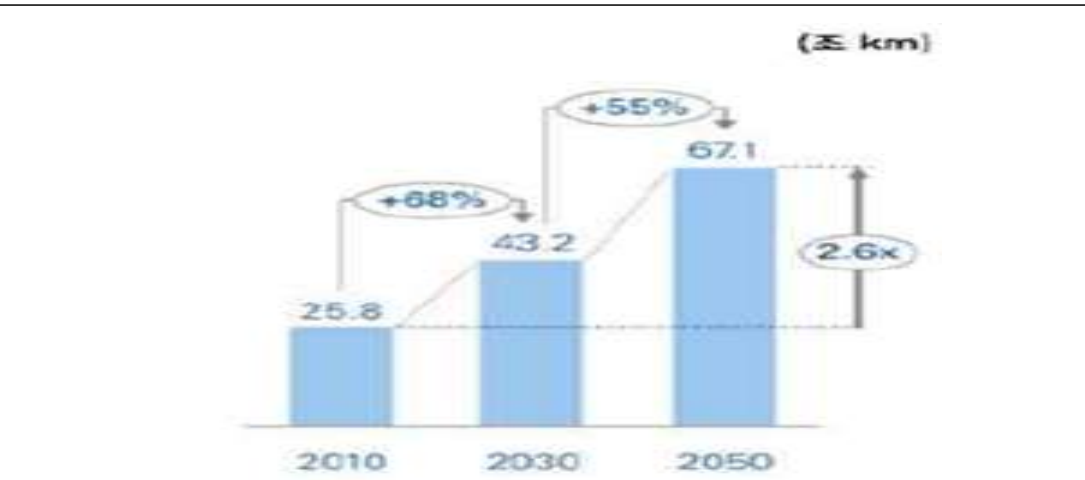
※ 출처 : 경제IT. (2014.07.17). 2050년 세계 인구 셋 중 둘은 도시인

○ 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

【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 터널 굴착 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

□ 발파 방식의 터널굴착 공사로 인해 주변 지역의 지반·건축물 안전 위험 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 발파 진동으로 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

【글로벌】

□ '04년 일본의 카지마건설사에서는 굴진과 조립을 동시에 실시함으로써 공사기간 단축 및 비용을 절감하고자 하였으며, 이러한 목적 하에 더블 잭 식 동시굴진 공법을 개발

○ 일반 TBM 공법에서는 불가능한 굴진·조립을 동시에 실시함으로써 공사기간을 단축하고 비용을 절감하고자 더블 잭 방식의 공법을 개발하였고 실제 적용에 성공

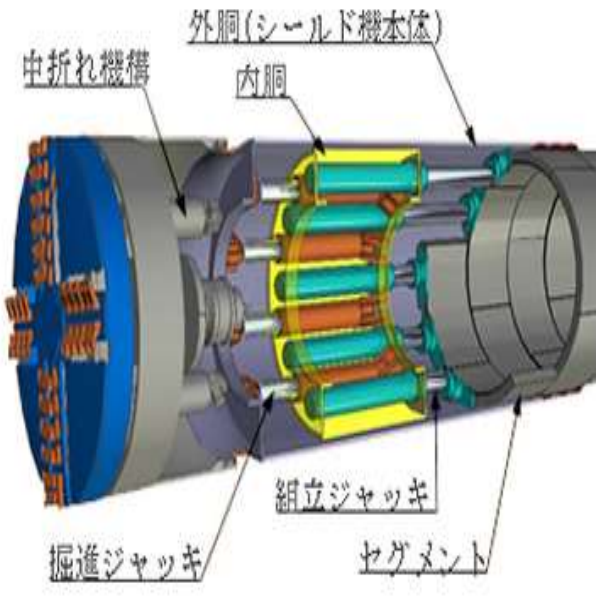
- 일반 쉴드 공법에서는 굴진 작업과 세그먼트 조립 작업을 병행 작업으로 할 수 없어 사이클 타임 단축에 어려움이 있음
- 굴진 전용 잭과 세그먼트 조립 전용 잭의 2종류의 잭을 장비함으로써 굴진과 동시에 세그먼트를 조립하는 '더블 잭 동시 굴진공법'을 개발
- '04년 8월 도쿄도 하치오지시~마치다시 구간(쉴드 외경 2,486mm, 굴진연장 1,220m)에 대한 '다마 구릉 간선' 터널 건설에 실제 해당 TBM 공법이 적용

○ 기본 개념 측면에서 연속굴착 기술과는 상당히 다르나, 동시굴진을 목표로 한다는 측면에서는 일부 유사성이 있으며 그에 따른 특징이 존재

- 쉴드기 외통과 내통의 이중 구조로 별도의 지수가 필요 없음
- 굴진용과 세그먼트 조립용 2종류의 전용 잭을 장비
- 내통의 전면부 굴진 에리어와 내통 후면부 조립 에리어를 별도로 두어 각각 작업의 안전성 확보

[그림 2-17] 더블 잭 방식의 동시굴진 TBM





※ 출처: 카지마건설 홈페이지. (2021.03).

□ **굴진과 세그먼트 조립을 최대한 동시에 수행하고자 독일의 헤렌크네히트사 역시 더블 쉴드 TBM 공법(텔레스코픽 쉴드 공법)을 개발하였으나 단점이 존재**

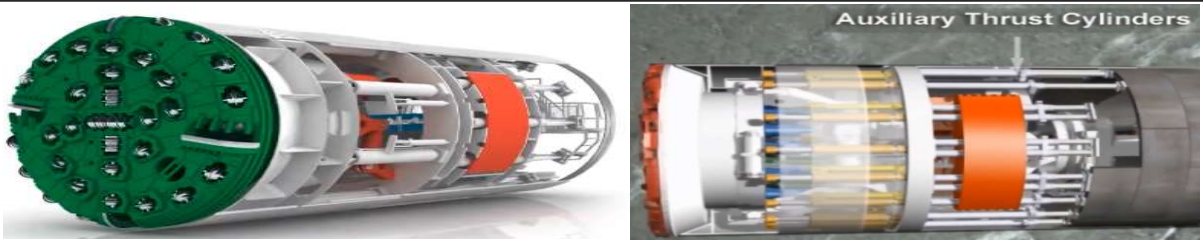
○ 그리퍼와 싱글 쉴드 TBM의 기능적 원리를 하나로 통합하여 각 기술 적용 방법을 조합

- 커터그리퍼와 싱글 쉴드 TBM에 대한 핵심 원리를 통합하여 각 기술 특징 조합으로 굴진과 동시에 세그먼트를 설치하고 높은 터널링 성능을 구현
- 커터헤드, 메인 드라이브가 있는 전면 쉴드와 그리핑 유닛, 보조 추진잭 및 테일 케이싱이 있는 그리퍼 쉴드의 두 가지 주요 구성 요소로 구성되며, 주 추력 실린더는 쉴드의 두 부분을 연결

○ 긴 TBM 본체를 텔레스코픽 쉴드로 보호하여 굴진을 진행하나, 안정적인 지질 조건에서만 사용이 가능하다는 단점이 존재하여 제한적으로만 사용 가능

- 전면 및 그리퍼 쉴드의 케이싱이 겹쳐지는 부분은 텔레스코픽 쉴드로 보호
- 그러나 안정적인 지질 조건에서만 사용 가능하다는 단점으로 인해 실제 건설에서는 적용 가능한 터널이 제한적

[그림 2-18] 더블 쉴드 TBM



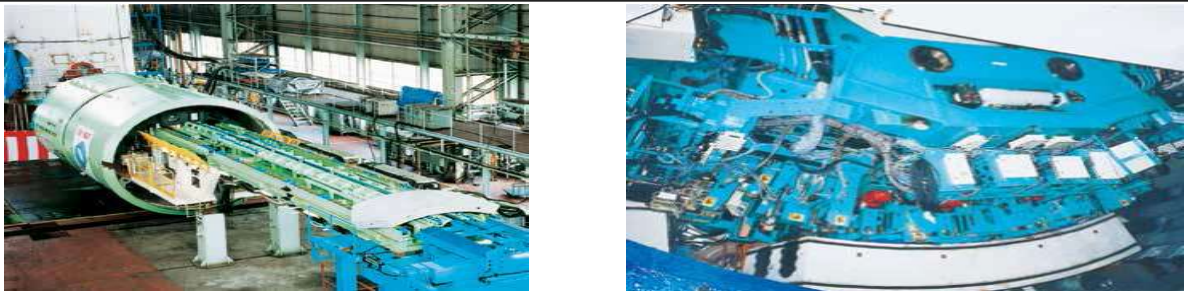
※ 출처: 헤렌크네히트 홈페이지. (2021.03).

□ **'98년 일본의 JIMT사에서는 연속굴착 기술에 필요한 세그먼트 조립 시스템과 역할·기능적 측면에서 유사한 세그먼트 자동 조립 시스템을 개발**

○ JIMT사는 세그먼트 전자동·반자동 조립 시스템 적용한 TBM 공법으로 일찍부터 터널을 건설하였으며 이를 통해 기술이 안전하고 정밀함을 검증

- TBM 공법의 자동화에 반드시 필요한 세그먼트 자동조립장치 1호기를 세계 최초로 개발하여 가나가와 공동구 공사의 이수식 TBM에 장착하고 전 구간을 순조롭게 자동 조립
- 동경만 횡단도로용 이수식 TBM에도 적용되어 터널 건설에 활용하였으며, 세그먼트 운송에서 파지, 위치결정, 볼트 체결까지의 조립 작업을 안전하고 정밀하게 시공

[그림 2-19] 최초의 세그먼트 자동 조립 시스템



※ 출처: JIMT 카달로그

○ 그러나 기존의 일본 자동 조립 시스템은 기술 홍보를 위해 만들었던 복잡한 구조의 시스템으로써 현대적 기술 기준에서는 실용성이 낮은 상황

- 현재 일본의 자동 조립 시스템은 버블경제기에 일본의 TBM 관련 업체들이 기술 홍보를 위해 완성한 기술로 복잡한 구조와 시스템을 가지고 있어 현대적 기준에서의 실용성은 낮음
- 이에 따라 각 TBM 관련 기업 및 연구 기관들은 현재의 기술력을 바탕으로 효율성이 높은 세그먼트 이렉터 로봇을 개발하여 굴진 효율성을 높이고자 연구 중

□ 국외 생산업체 및 연구기관은 자체적으로 내구시험, 신뢰성 시험을 할 수 있는 방법을 보유하고 있으며, 시험·평가·인증을 업체·기관에서 자체 시행 후 납품

○ 국외 생산업체·연구기관은 자체적 내구시험, 신뢰성시험 방법*을 보유하고 있으며, 시험·평가·인증을 업체·기관에서 시행 중

* Abbas, 2014, Structural and Durability Performance of Precast Segmental Tunnel Linings, The School of Graduate and Postdoctoral Studies The University of Western Ontario London, Ontario, Canada.

ITA Working group 2, 2016, Twenty years of FRC tunnel segments practice: lessons learnt and proposed design principles, ITA report No. 16, April 2016.

○ 해외 제작업체는 자체 신뢰성시험을 통해 세그먼트 제품을 시험인증 후 납품

- '한계상태설계법'에 의거하여 설계·제작된 세그먼트에 대해 휨인장력과 추력 방향의 압축시험을 수행
- 압축시험과 내구시험을 통해 세그먼트의 한계하중 및 피로성능을 검증

□ 연속굴착에 대한 개념은 1974년 최초 제시되었고 일부 관련 기술이 존재하기는 하지만, 본래 개념에 가까운 나선 형상의 세그먼트 기반 연속굴착 세부기술은 전무

○ 연속굴착 세그먼트 개념은 1974년 캐나다에서 특허로 등록된 후 공개 특허로 전환되었고, 2019년 미국에서 세그먼트 체결기술 관련 PCT 출원

- 국외에서 특허가 처음 출원된 후 연속굴착형 세그먼트의 구조적 설계와 제작 및 이를 위한 TBM 장비 설계까지의 상용화 단계 현장적용 사례는 없는 상태
- 국외에서 이루어진 특허출원 건은 실제 시공에 사용하기에는 일부 부적합하여 상용화가 되지 못하였고, 상용화를 위해서는 이러한 부분을 극복하면서 차별화된 새로운 구조형식이 필요

○ 연속굴착과 관련된 개념으로 연구된 세그먼트는 일본의 Honey Comb가 있으나, 나선 형상으로 이루어진 연속굴착 세그먼트는 기본 개념 외 관련 세부기술이 전무

- Honey Comb 형상은 일본에서 개발되었으며 설계 및 시공사례가 존재
  - Honey Comb(육각형) 형상의 세그먼트의 경우 일본에서 개발되어 굴착에 사용되었지만 여러가지 문제점이 일본 내에서 대두되고 있는 상황

- 나선 형상의 세그먼트는 미국 및 캐나다에서 특허*로 출원되어 있으나 설계 및 시공사례가 전무함에 따라 세부기술이 없는 상태

* (국제특허) Spiroll Corporation, 1974, METHOD OF FORMING SPIRAL OR HELICAL TUNNELS AND SECTIONS THEREFOR, US patents.

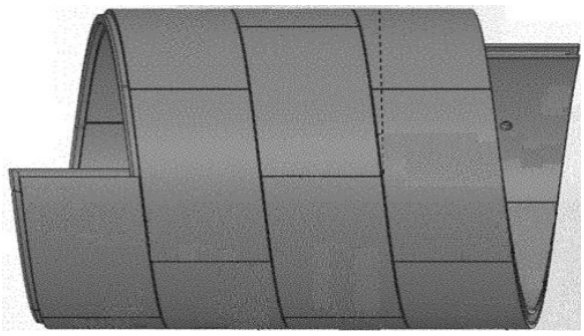
(국제특허) TOPENG INC., JAMAL ROSTAMI ENGINEERING SERVICES, 2019, HELICAL SEGMENTAL LINING, World Intellectual property organization.

[그림 2-20] Honey Comb 및 나선 형상 세그먼트

Honey Comb 형상 세그먼트



나선 형상 세그먼트



□ 연속굴착형 TBM 본체 관련 기술뿐만 아니라, 연속굴착형 세그먼트 제작기술 또한 아직 적용 사례가 없어 연속굴착이 실제 상용화 된다면 이는 세계 최초

○ 세계적으로 연속굴착형 세그먼트는 개발 및 적용 사례가 없는데, 이는 일반 세그먼트와 단순히 형상만 다르면 되는 것이 아니라 구성 재질 또한 달라야하기 때문

○ 연속굴착형 세그먼트는 곡선 굴착 시 직선과 상이한 회전각 발생이 예상되기에 실제 상용화를 위해서는 이에 대한 연구가 필요

- 회전되는 세그먼트의 형상 및 3차원 변화치수를 정밀하게 측정·제작할 수 있는 기술 부재
- 나선형 세그먼트 체결 시 유연하게 대응할 수 있는 변곡형 세그먼트 제작 기술 부재
- 변곡형 세그먼트의 가변형 몰드 제작, 타설, 양생, 야적, 운반 등에 대한 노하우를 적립하지 못한 상황

【대한민국】

□ 고성능 세그먼트 제작에 투입될 수 있는 재료와 관련한 연구가 진행 중이며, 일부 기관에서 나선형 세그먼트에 대한 기본적 연구를 수행

○ 국내의 세그먼트는 철근보강 콘크리트(RC) 재료를 사용하는 것이 대부분이지만, 최근에는 강섬유가 혼입된 세그먼트(SFRC)*의 적용을 위한 연구도 수행

* TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술 연구단, 2011~2015

문도영 외, 2013, TBM 터널 세그먼트용 60 MPa급 강섬유보강콘크리트의 휨성능 평가, J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 15(3)175-186(2013)

- SFRC 적용을 위한 설계 및 시방기준이 재정립되는 단계에 있는 상황

[그림 2-21] 단면변화형 세그먼트 몰드

단면변화형 세그먼트 몰드	변단면 제작용 몰드필러
	

○ 공식적으로 완성된 설계 자료나 보고서가 현재까지 발표된 바는 없으나, 나선형 세그먼트에 대한 설계 기술을 TBM 관련 일부 기관에서 사전 연구 개념으로 수행

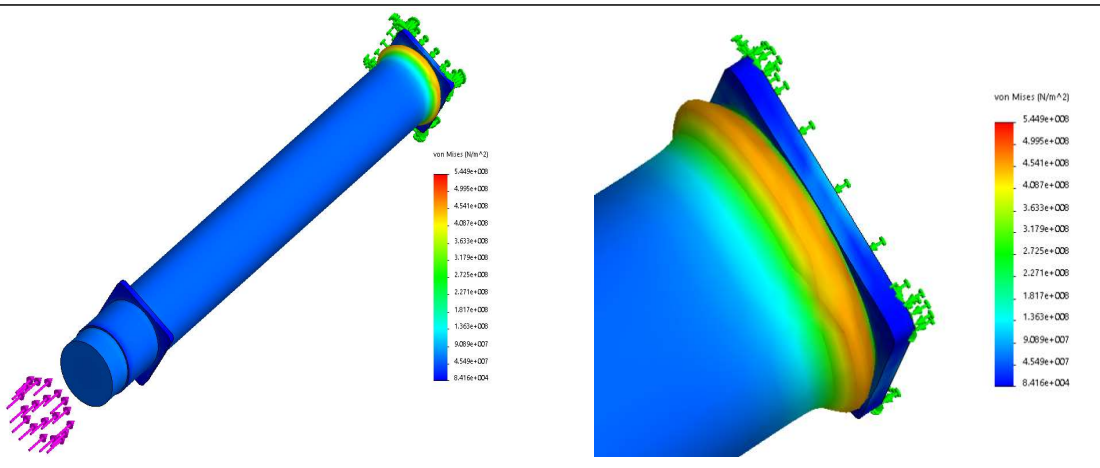
□ 연속굴착형 TBM 기술개발에도 활용 가능한 쉴드 TBM 추진 잭 선정·해석 기술이 개발되어 현재 현장에서 일반 TBM에 적용 중

○ 경암지반 굴진을 위한 쉴드 TBM 추진 잭의 성능 선정 및 응력 해석 기술* 상용화

* 국내 기업 이엠코리아 개발

- TBM은 유압 추진 잭을 통해 전방으로 전진하는데, TBM 굴진 시 사용되는 추진 잭의 크기 선정 및 좌굴 해석을 진행하여 그 타당성을 검증

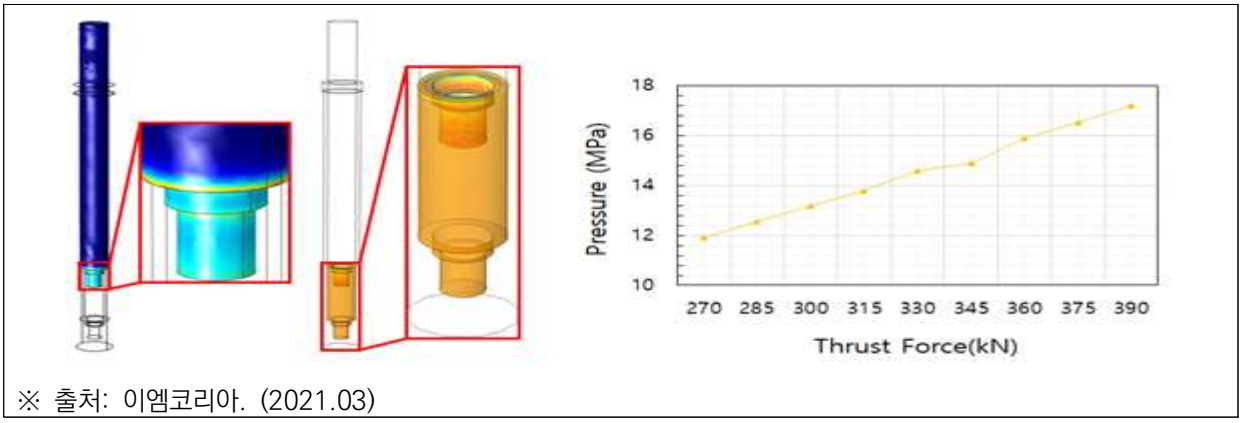
[그림 2-22] Result of Simulation



※ 출처: 이엠코리아. (2021.03)

- 기존 유압잭은 경사하중 및 비틀림 하중에 대한 해석 및 설계가 연속굴착형 고강도 추진 잭에 바로 적용할 수 있는 수준은 아니기에 이에 대한 기술 보완은 필요한 상황

[그림 2-23] Analysis result & according to thrust force



※ 출처: 이엠코리아. (2021.03)

□ **TBM 굴진관리 시스템 설계·제어와 관련하여, TBM 유압시스템은 국내에서 개발이 되었으며, EPB 타입의 TBM 유압시스템 설계 기술까지는 확보가 된 상황**

○ 개별 디스크 커터 회전수를 측정하는 시스템은 김포-파주간 하저터널 TBM에 채택

○ 커터헤드 전체에 작용하는 하중 측정시스템은 아직 존재하지 않으나, 쉴드 TBM 추진 잭의 성능 선정, 응력 해석, 일반 링타입 세그먼트와 관련된 연구는 진행이 된 상황

○ 싱글 쉴드와 싱글잭을 사용한 연속굴착 방식은 개념만 존재하기에 국내뿐만 아니라 국외에서도 시도된 적이 없는 기술

- 비교적 난이도가 낮은 더블 쉴드 방식의 굴진·조립 동시 진행은 국외에서 시도가 되었으나, 싱글 쉴드와 싱글잭을 사용한 나선형의 연속굴착 방식은 아직 국외에서도 시도가 되지 않은 기술

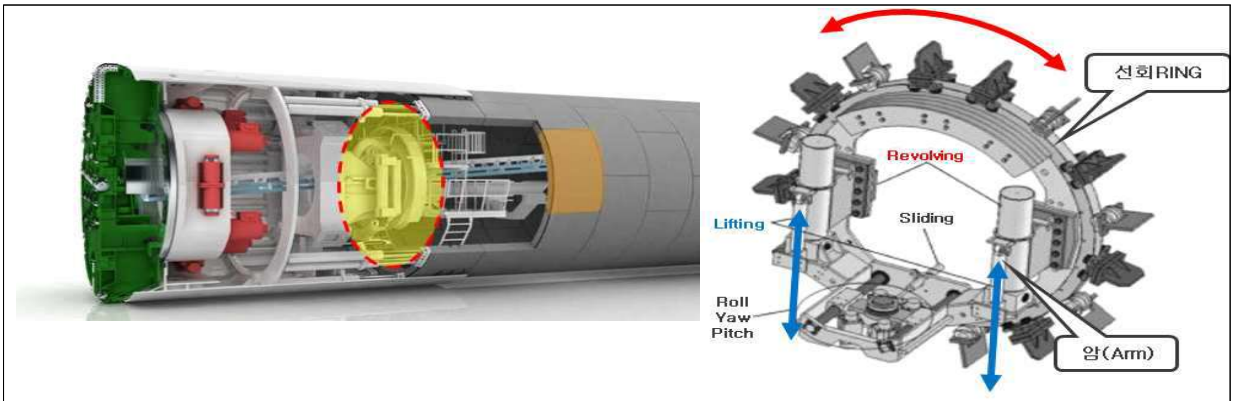
□ **세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술과 관련하여, 국내 기업의 경우 이렉터 설계·제작에 관한 기본 기술이 확립된 상황**

○ TBM 세그먼트 이렉터 시스템 설계 기술*은 국내 기업이 개발하여 확보 중

* 국내 기업 이엠코리아 개발

○ 이렉터 제작에 관련된 기본 기술은 확보가 되었으나 현재는 일반 세그먼트 조립에만 대응이 가능하기에, 나선형 세그먼트에 적용이 가능하도록 하려면 관련 연구가 추가적으로 필요

[그림 2-24] 이렉터 작동 구조



※ 출처: 이엠코리아. (2021.03)

□ **연구기관을 중심으로 세그먼트 시험·평가 관련 연구가 지속적으로 진행**

○ 최대강도가 더 강해지면서 경제적으로 저렴해진 SFRC 세그먼트에 대한 연구가 진행되었고, 터널현장 적용성이 평가된 사례 존재

○ 기존방식 세그먼트의 최대강도 규명*과 내화성능에 대해 초점을 맞춘 연구를 진행

* 문도영 외, 2014, 대형보 실험을 통한 TBM 터널 세그먼트용 강섬유보강콘크리트 성능평가, J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 16(3)287-298(2014).

□ **TBM 굴착 중 실시간 발생되는 데이터를 모니터링을 통해 굴진상황을 파악하고 이에 기반하여 향후의 굴진율을 예측하고 검증하는 시스템은 부재**

○ 굴착, 세그먼트 조립, 버력이송의 전 과정을 시뮬레이션하는 프로그램 및 TBM 굴진의 최적화 기술 검증 부재

○ 시공 중 발생하는 데이터를 수집하여 분석하고 굴착 효율화 방안을 제시하는 중앙관제 시스템 또한 부재

□ **국내 세그먼트는 현재 콘크리트 구조 설계기준에 따라 생산되고 있으며, 최근에는 세그먼트의 경제성 향상을 위해 강섬유보강콘트리트(SFRC)로 제작 재료가 옮겨가는 추세**

○ 국내에서 제작되는 세그먼트는 콘크리트 구조 설계기준에 따라 생산 및 납품 중

- 국내 세그먼트 관련 연구는 최근 경제성에 조금 더 집중하여 기존 철근배근 대신 강섬유보강콘트리트(SFRC)*로 개발대상 재료가 옮겨가는 추세

* 문도영 외, 2014, 대형보 실험을 통한 TBM 터널 세그먼트용 강섬유보강콘크리트 성능평가, J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 16(3)287-298(2014).

○ 세그먼트 시험·평가기술 현황으로는, 휨방향·추력방향 압축시험이 시행되고 있으며 피로시험·내수시험·환경시험에 대한 신뢰성 평가연구는 부재

※ 출처: 한국건설기술연구원. (2016.12). 실대형 지반구조물 시험장비 선진화 사업

□ **TBM 및 세그먼트의 유지관리에 대한 심도 있는 연구는 아직 진행되지 않고 있으며, 유지관리 매뉴얼을 장비제조사에서 제시한 기준으로 설정하는 수준**

○ 국내 TBM 유지관리 기준은 장비제조사(Herrenknecht, Kawasaki)에서 제시한 기준으로 작성한 매뉴얼을 사용 중

- 장비마다 비교적 관리 기준 및 소모품 교체일정은 비슷하나 매뉴얼 표준화는 되지 않음

○ 현재 국내에서는 라이닝 및 배면 공동, 라이닝 두께 확인, 지보재 확인 등을 위해 정밀안전진단에 GPR 시험법을 사용하도록 되어 있으나, 이에 대한 심도 있는 연구가 진행된 바 없으며, 전문 시행 업체의 경험 기반으로 적용하는 수준

○ 특히 TBM 터널 배면의 공동 및 그라우팅 상태, 누수 등을 검측할 수 있는 GPR 및 IR을 이용한 비파괴 시험 연구는 거의 이루어진 바 없으며, 접촉 방식의 진단 방식에 대한 연구 사례도 없는 상황

(4) 종합분석(PEST)

〈표 2-13〉 PEST 분석결과 요약

PEST	환경분석	시사점
정책 동향	○ (국외) 해외 터널건설분야에 대한 선진국가의 경우 시공·설계기술 강화를 위해 장비를 통한 연구개발 추진하거나 사전에 위험요인을 예방할 수 있는 체계 구축 등을 추진 - (EU) 지하교통 터널 건설 기술의 고도화를 위해 11개국, 41개 산·학·연 기관이 모여 EU Frame work Project 내 'TUNCONSTRUCT('04~'08) 프로젝트'를 추진 - (중국)'02년부터 '국가 863 계획 사업'을 통해 정부 주도하에 TBM 연구개발 지원 및 시장 확대를 추진 ○ (국내) 국내 연속굴착형TBM기술개발을 하여, 노동생산성과 편의성 향상을 위해 적극적인 계획 수립 및 추진 - 「100대 국정과제」에 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명을 20대 전략으로 수립하고 교통망 강화와 신산업 발굴을 추진 - 「제4차 과학기술기본계획('18~'22)」은 국가 R&D 시스템을 창의·선도형 시스템으로 전환하기 위한 과제 발굴을 중점적으로 추진 -「제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)」을 통해 건설기술 선진화와 연구개발 촉진을 통한 경쟁력 제고 및 노동집약적 건설산업의 기술 고도화를 추진	■ 국가 주도로 TBM 분야 기술력을 향상하고 있는 국외 현황을 고려하여, 보다 적극적으로 산업 경쟁력 확보를 위한 R&D 추진 필요 ■ 정부의 정책적 방향 및 계획에서 필요로 하는 기술개발 및 제도개선 필요 - 숙련인력 감소 대응 및 해외 수주 경쟁력을 높이기 위해 건설장비 혁신 기술, 고도화된 시공기술 및 안전기술 확보 등의 기술 개발 추진 필요 - 4차 산업혁명 시대에 대응 가능한 건설산업 생태계 구성 필요 - TBM 공법을 적용하는 공사를 위한 발주제도 개선 및 터널건설산업의 안전성 향상을 위한 인증 제도 도입, 유지관리 매뉴얼 마련 등 터널건설산업의 발전을 위한 제도 개선 필요
경제 동향	○ (국외) TBM 기술을 통한 지하교통 터널 건설의 장점 인식이 확산되며 전 세계적으로 터널건설 시장에서 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 - 현재의 TBM 관련 기술 시장은 높은 시장 진압장벽이 존재하는 과점 시장 ○ (국내) 타 국토교통 연구개발분야에 비해 TBM에 대한 인식이 낮아 관련 연구개발에 대한 투자는 낮은 수준 - 국내 단거리 발주로 TBM 공법 적용에 제약 존재 - 고성장 중인 국외와 달리 국내 TBM 적용률이 낮은 상태 ○ 일반 TBM 공법의 경우 세그먼트 조립과 굴진이 개별수행 되기 때문에 여전히 시간과 비용이 상당 수준으로 소요 ○ 건설산업 노동생산성은 급격한 하락세를 보이는 실정	■ 해외 시장에서 도로 · 교통 및 건축분야는 발주가 많고 높은 수익성을 낼 수 있는 분야이므로 국내 기업의 경쟁력 향상 필요 ■ 해외 시장에서의 경쟁력을 높이기 위해서는 건설 인프라 및 역량부문에서의 경쟁력 향상을 위한 투자 필요 ■ 세계 시장에서의 경쟁력 확보 및 점유율 상승을 위해 첨단기술 기반의 혁신공법 개발 필요 ■ 국내 건설산업의 노동생산성 향상을 위한 기술 개발 필요 - 터널건설산업의 공기 단축 및 생산성 증대를 위한 자동화 터널건설장비 고도화 및 로봇 기술 개발 필요

PEST	환경분석	시사점
사회 동향	○ 기존 NATM공법을 적용한 터널굴착의 경우 발파과정을 포함하는 특정상 안전사고 및 환경오염 발생 - 시공 작업 중 발생한 낙석과 연마석 파편으로 인해 심각한 인명 피해가 빈번하게 발생 - 발파진동으로 인한 주변의 노후 건물 균열과 가스관과 같은 위험시설에 파손 등 유발 - 지속적인 진동과 소음으로 인해 공사 지역 인근의 동식물에 악영향	■ 터널건설 수행 시 안전문제와 환경오염에 따른 사회적 비용을 최소화할 수 있는 기술개발 필요
	○ 국내 도심에서 다수의 터널 굴착 공사가 지속적으로 진행함에 교통체증 유발 - 발파 및 긴 공사기간에 따라 오랜 기간 통제와 사회적 비용 발생	■ 터널공사 기간 단축을 위한 터널 자동화 건설장비 및 시공의 고도화 기술개발 필요 - 노동집약적 터널건설 방식에서 자동화 터널굴착 장비로의 전환유인책이 될 수 있는 고도화된 TBM 기술개발 필요
기술 동향	○ 국외 생산업체 및 연구기관은 자체적으로 내구시험, 신뢰성 시험을 할 수 있는 방법을 보유하고 있으며, 시험·평가·인증을 업체·기관에서 자체 시행 후 납품 - 해외 제작업체는 자체 신뢰성시험을 통해 세그먼트 제품을 시험인증 후 납품	■ 자체적으로 시험·평가·인증을 수행하기 어려운 국내의 영세한 기업 여건 상 국가 주도로 시험·평가·인증 수행 추진이 필요
	○ 고성능 세그먼트 제작에 투입될 수 있는 재료와 관련한 연구가 진행 중이며, 일부 기관에서 나선형 세그먼트에 대한 기초적 연구를 수행 - 국내의 세그먼트는 철근보강 콘크리트(RC) 재료를 사용하는 것이 대부분이지만, 최근에는 강섬유가 혼입된 세그먼트(SFRC)의 적용을 위한 연구도 수행	■ 기존 TBM 공법 및 이에 사용되는 세그먼트 보다 경쟁력을 대폭 향상시킨 기술개발 필요
	○ TBM 굴진관리 시스템 설계·제어와 관련하여, TBM 유압시스템은 국내에서 개발이 되었으며, EPB 타입의 TBM 유압시스템 설계 기술까지는 확보가 된 상황 - 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술과 관련하여, 국내 기업의 경우 이렉터 설계와 제작에 관한 기본 기술 확보	■ 국내에서 확보된 TBM 관련 기술을 적극적으로 활용하여 이를 극대화 할 수 있는 종합적 TBM 혁신 기술 분야 육성 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

[그림 2-25] 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 2-26] 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 2-27] 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

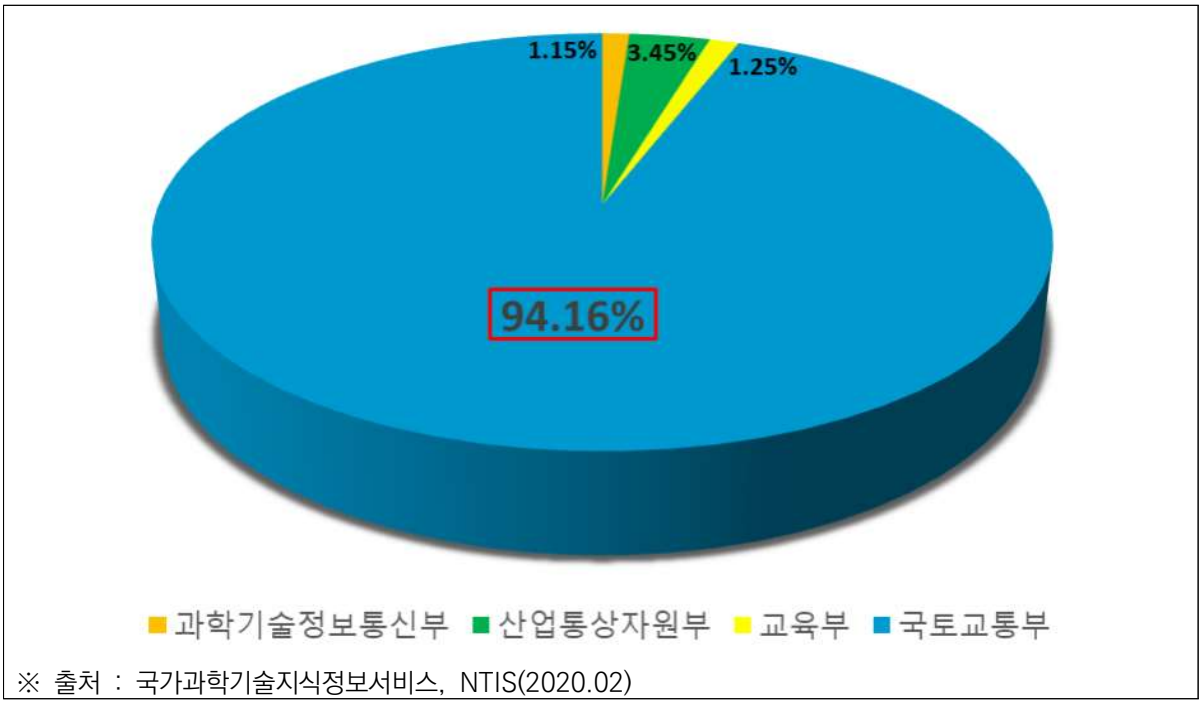
〈표 2-14〉 부처별 TBM 관련 분야 R&D 예산 투자 현황

(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 2-28] 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 2-15〉 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 2-16〉 터널굴착장비 관련 분야 연구단계별 R&D 예산 투자 현황

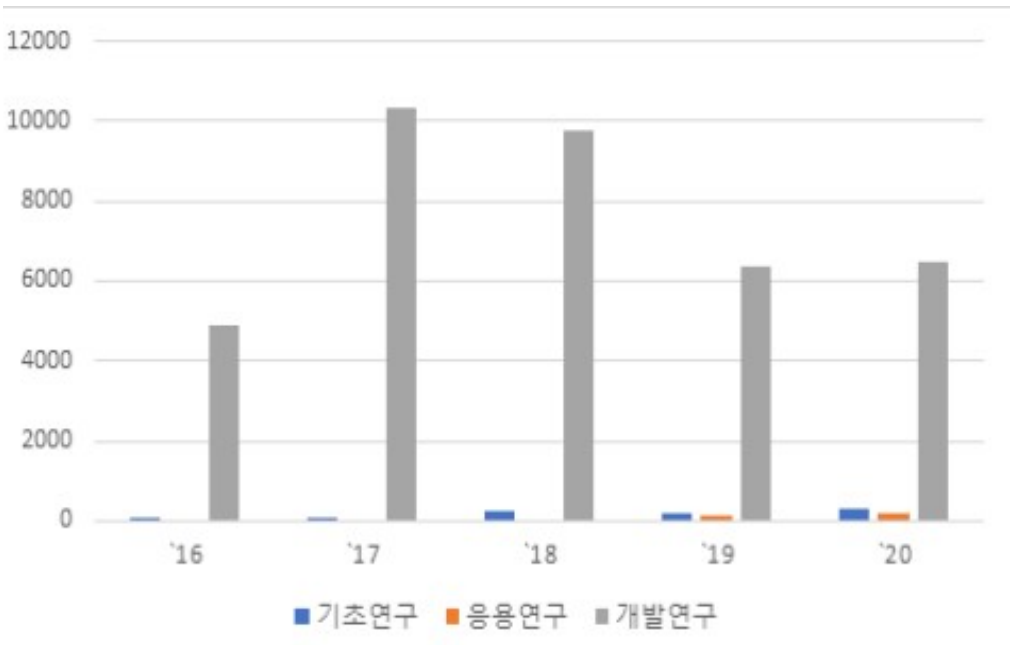
(단위: 백만 원)

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 2-29] 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 2-17〉 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 2-18〉 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

순번	사업명	내역사업명	과제명	기준년도	정부예산 (백만원)	수행 주체	개발 단계
10		건설기술연구	TBM 구동부 및 후방설비의 시스템 엔지니어링 기술 개발	2018	1,237	이엠 코리아	개발 연구
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, 설계방법과 장치개발도 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, 설계방법, 장치개발, 커터개발, 예측시스템, 부품개발로 구분 가능
- 국내 TBM기술 관련 특허 중 시공방법이 전체의 38%로 가장 많이 있음을 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 특허DB를 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

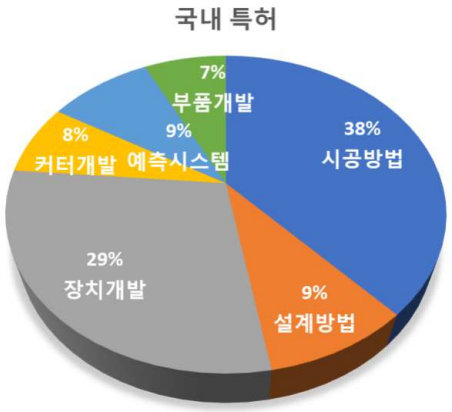
○ 국내 특허 등록일 기준으로 2013년부터 2020년까지 8년간의 특허를 조사

〈표 2-19〉 TBM기술 관련 국내 특허 현황

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

[그림 2-30] TBM 관련 국내 특허 현황





분류	특허 수
시공방법	21
설계방법	5
장치개발	16
커터개발	4
예측시스템	5
부품개발	4
총계	55

※ 검색 Keyword : TBM, Tunnel Boring Machine

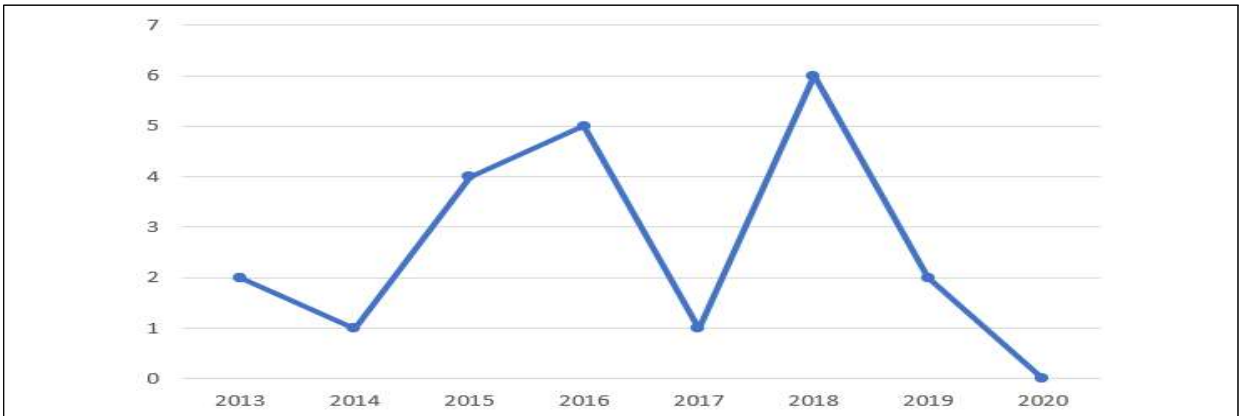
□ TBM 시공방법

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

〈표 2-20〉 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 2-31] TBM 시공방법 관련 국내 특허 현황



※ 출처: KIPRIS 특허검색서비스(2020.04)

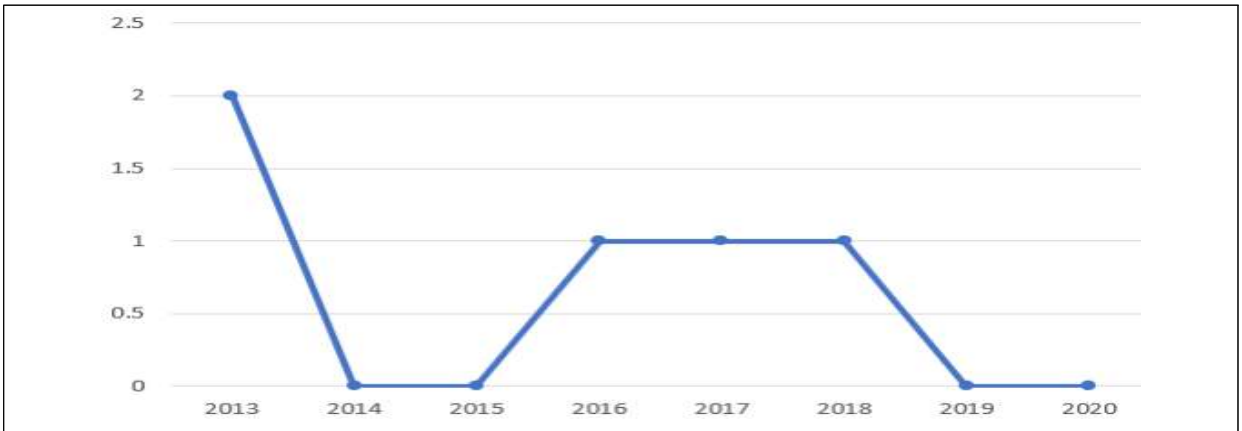
□ TBM 설계방법

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

〈표 2-21〉 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 2-32] TBM 설계방법 관련 국내 특허 현황



※ 출처: KIPRIS 특허검색서비스(2020.04)

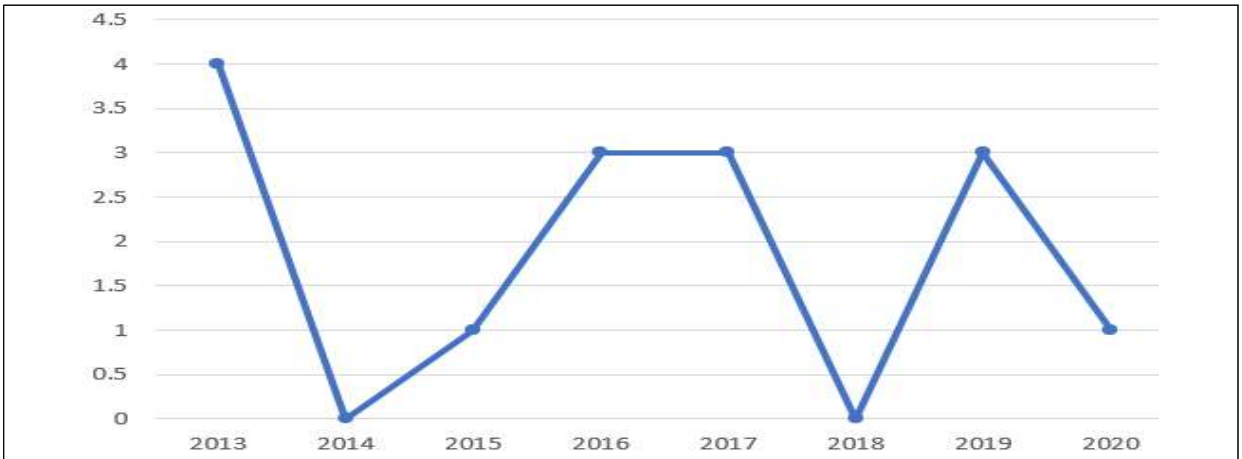
□ TBM 장치개발

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

〈표 2-22〉 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 2-33] TBM 장치개발 관련 국내 특허 현황



※ 출처: KIPRIS 특허검색서비스(2020.04)

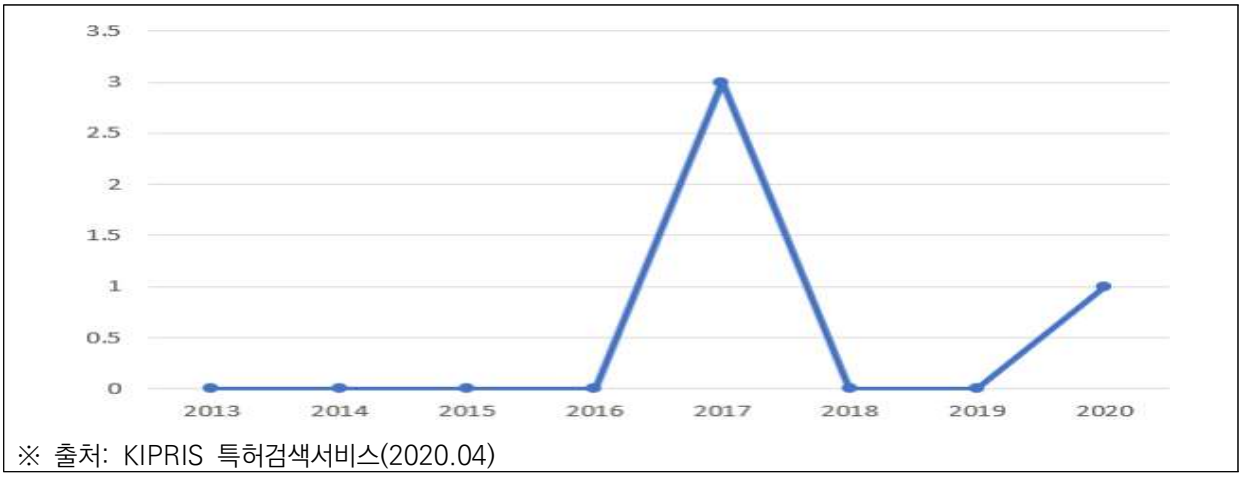
□ TBM 부품개발

○ 국내 TBM 부품개발 특허는 많지 않으나, 간혹 관련 특허가 등록이 되고 있는 실정

〈표 2-23〉 TBM 부품개발 관련 국내 특허 현황

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

[그림 2-34] TBM 부품개발 관련 국내 특허 현황



※ 출처: KIPRIS 특허검색서비스(2020.04)

□ 국내 TBM 관련 논문 현황

【 논문 현황 종합 】

- ㅇ 전반적으로 시공과 설계방법 중심으로 많이 진행이 되어있으며, 장치개발에 대한 연구도 일부 수행되어 관련 역량이 향상되고 있는 상황
- ㅇ 국내뿐만 아니라, 국외에서도 동일하게 시공방법과 설계방법 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 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, 설계방법, 장치개발, 커터개발, 예측시스템, 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·설계방법·장치개발 중심으로 진행이 되었으며, 이에 따라 해당 분야의 기술 역량은 충분히 확보되었을 것으로 보여짐

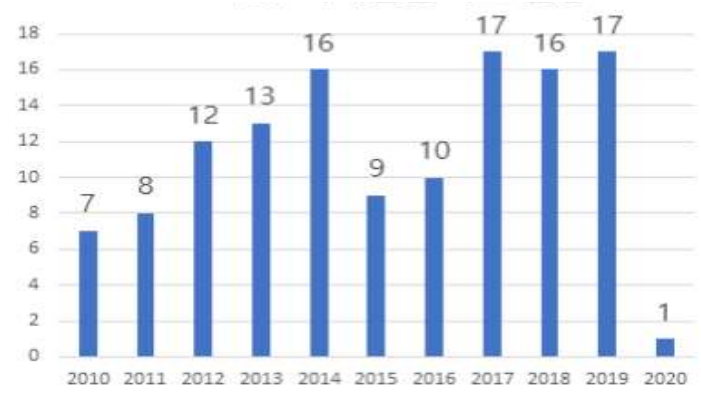
□ 논문검색 분류 및 키워드

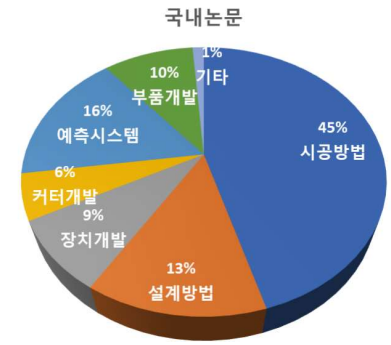
○ 국내외 논문을 대상으로 기술분류별 R&D 키워드들을 통해 NTIS, Science direct 검색서비스를 이용하여 TBM 관련 등록된 논문을 조사 및 분석

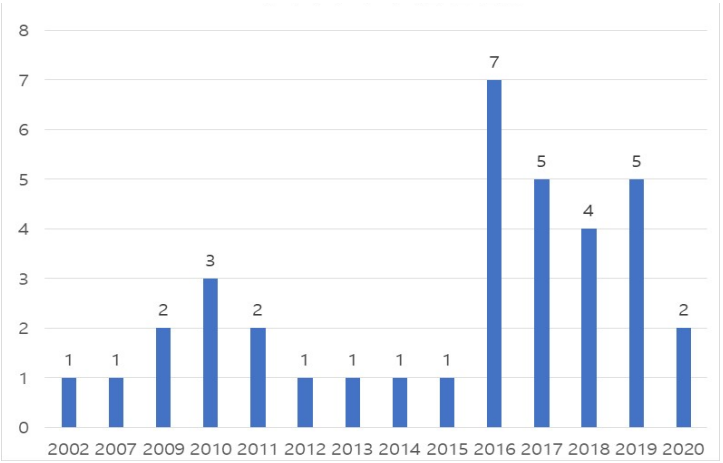
- 특허 검색 시 공통키워드는 기본적으로 포함하되, 키워드를 차별화하여 검색하였으나, 공통적으로 검색되는 경우가 존재하였으며, 이러한 경우 중복을 인정하여 다음의 분석을 수행
- 키워드 TBM, 굴착, 굴진, 터널, Tunnel, boring machine, 공동구, EPB, Slurry, EPB TBM, Slurry TBM를 활용하여 검색

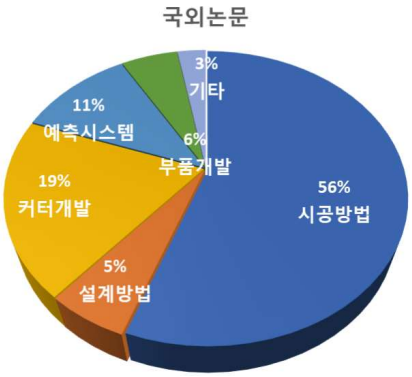
○ 국내 논문 등록일 기준으로 2010년부터 2020년까지 10년간의 논문을 조사하였고, 국외 논문 등록일 기준으로는 2002년부터 2020년까지의 18년간의 논문을 조사

[그림 2-35] TBM 관련 국내 논문 현황과 국외 논문 현황









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

※ 검색 Keyword : TBM, Tunnel Boring Machine

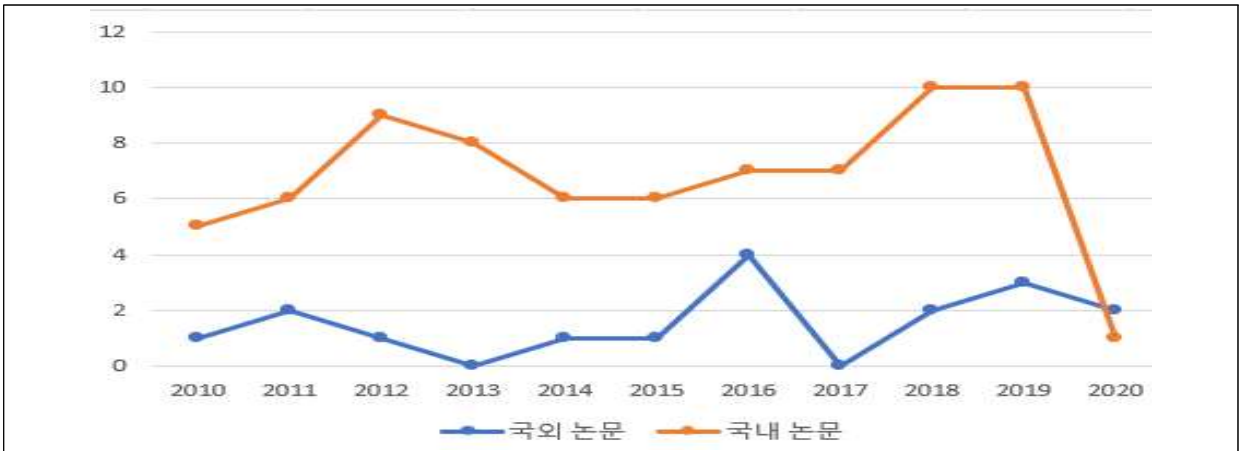
□ TBM 시공방법

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

〈표 2-24〉 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 2-36] TBM 시공방법 관련 국내 논문 현황과 국외 논문 현황



※ 출처: NTIS 국가과학기술지식정보서비스(2020.04)

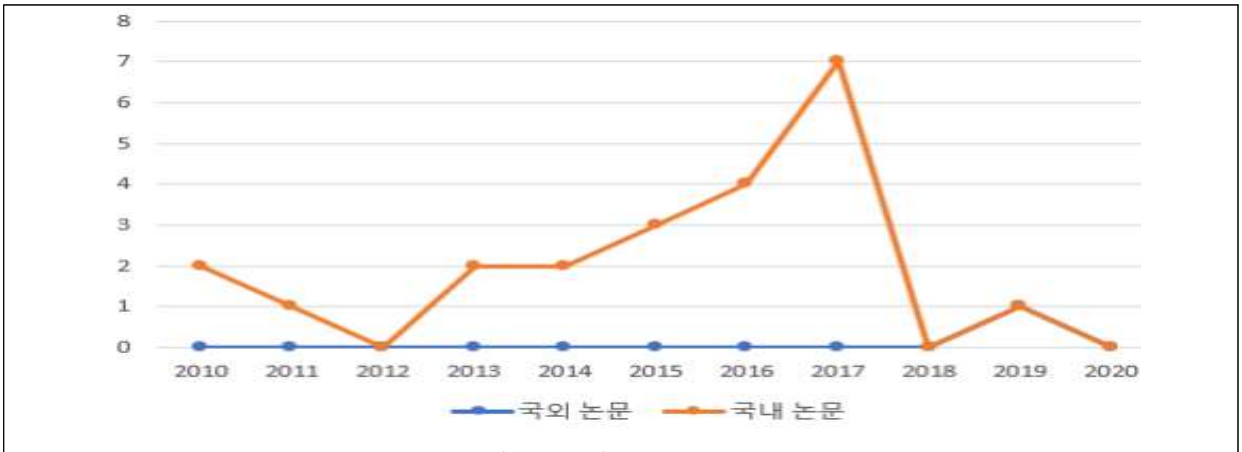
□ TBM 설계방법

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

〈표 2-25〉 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 2-37] TBM 설계방법 관련 국내 논문 현황과 국외 논문 현황



※ 출처: NTIS 국가과학기술지식정보서비스(2020.04)

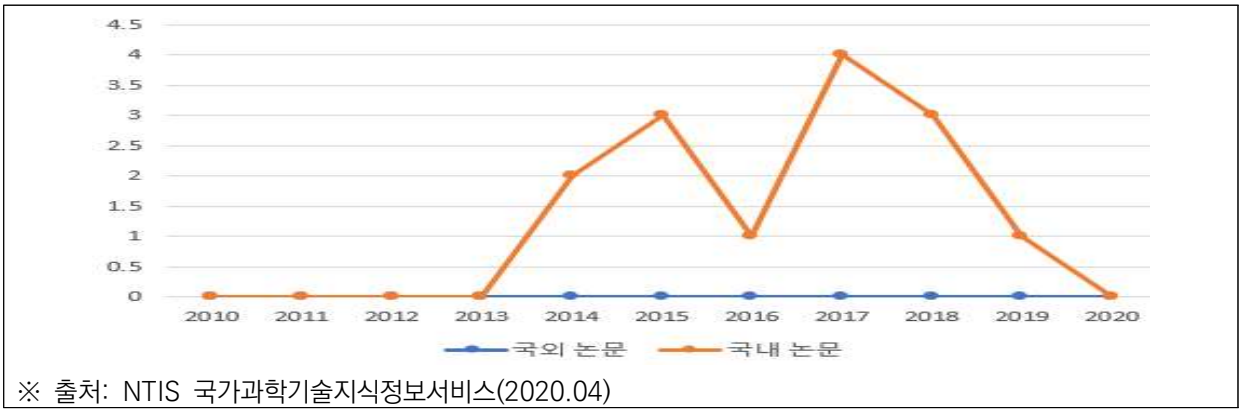
□ TBM 장치개발

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

〈표 2-26〉 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 2-38] TBM 장치개발 관련 국내 논문 현황과 국외 논문 현황



※ 출처: NTIS 국가과학기술지식정보서비스(2020.04)

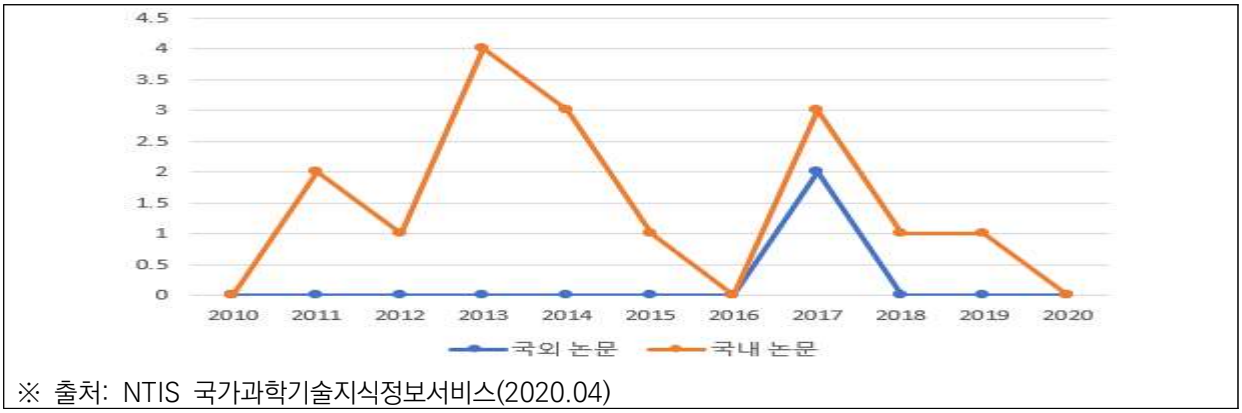
□ TBM 부품국외에서는 개발

○ '17년에 TBM 부품개발분야 논문이 2건외에는 나온 논문이 없으나, 국내에서는 '10년, '16년, '20년을 제외한 기간에 국외보다 꾸준하게 논문이 있는 것으로 확인

〈표 2-27〉 TBM 부품개발 관련 논문 현황

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

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



※ 출처: NTIS 국가과학기술지식정보서비스(2020.04)

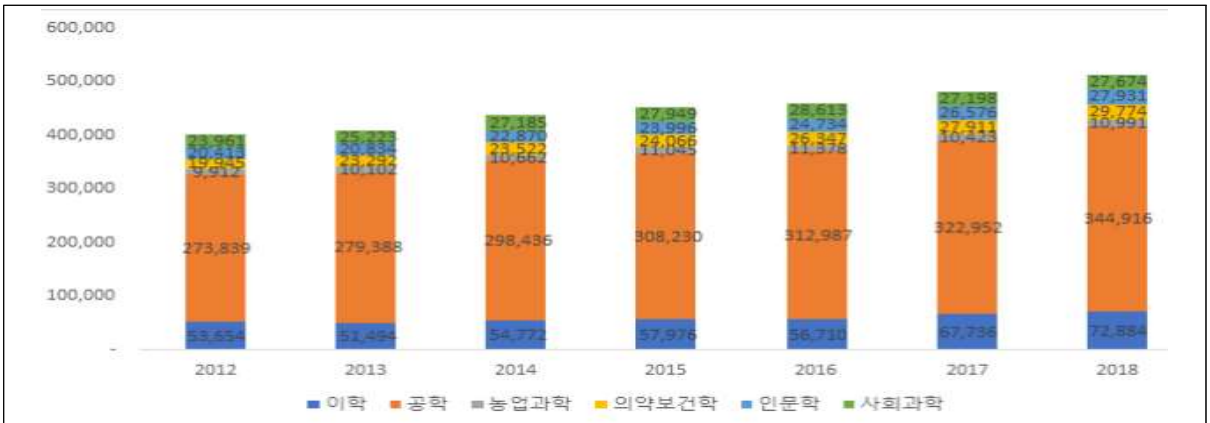
(4) R&D 인프라 현황

□ TBM 관련 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 2-40] 우리나라 전공별 연구원 수 추이 (명)



※ 출처 : KISTEP. (2018). 2018년 연구개발활동조사

〈표 2-28〉 우리나라 전공별 연구원 수

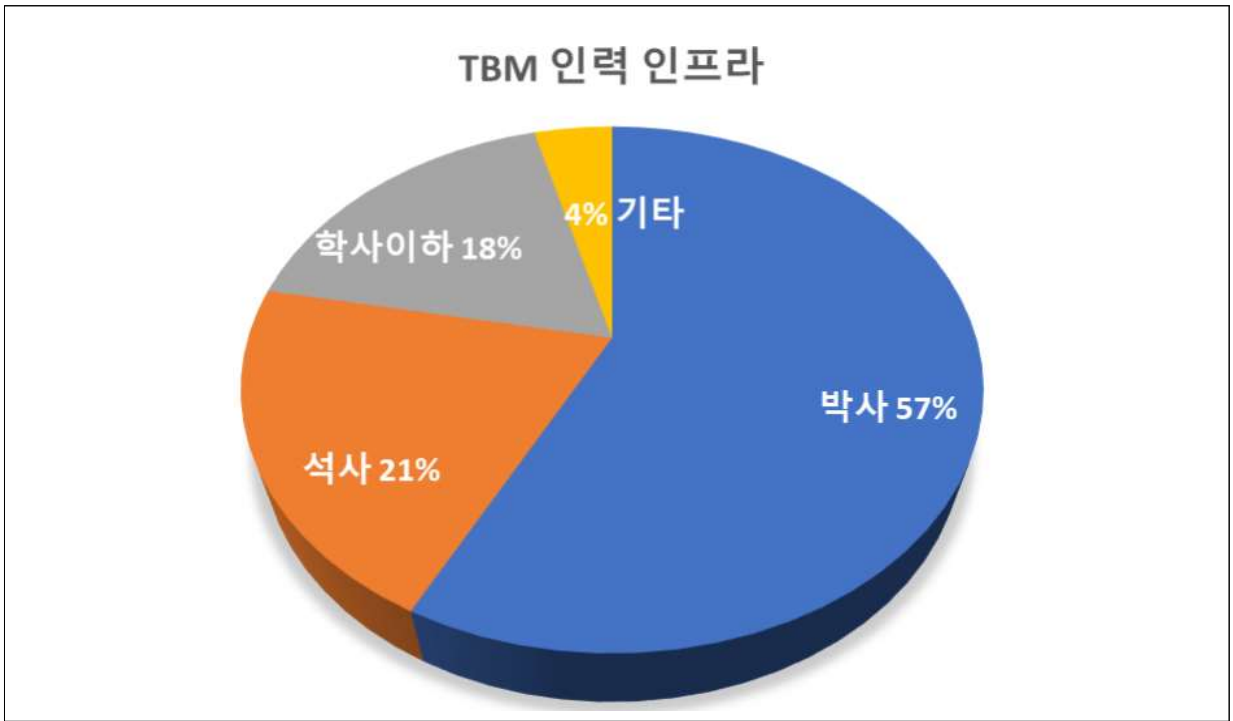
(단위 : 명, %)

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 2-41] 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

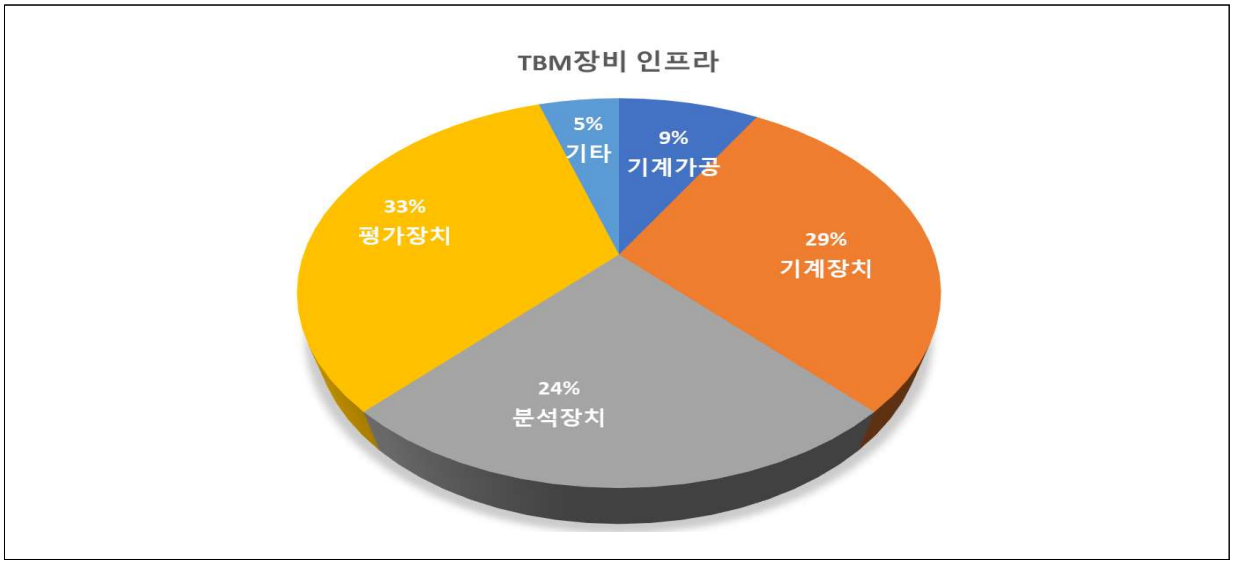
- 다수의 산·학·연 기관에서 지하공간, 지반상태, 토질, TBM 적용 환경 등에 대한 연구를 지속적으로 수행 중

〈표 2-29〉 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 연속굴착형 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 2-42] 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 연속굴착형 TBM 관련 기술개발에 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 2-30〉 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 2-31〉 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 연속굴착 기술 수요 발굴

○ TBM 연속굴착 기술개발사업의 구성기술 선정 근거로 활용

○ TBM 연속굴착 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 2-32〉 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 연속굴착 기술수요조사 개요

○ 조사목적: TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술 구현을 위해 현장에서 요구되는 기술개발 조사

○ 조사대상: TBM 연속굴착 기술개발 분야 관련 종사자 및 연구자

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

○ 조사방법: 공문발송을 통한 이메일 회신

○ 조사내용

- TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술 확보를 위해 개발되어야 하는 기술 수요

○ 기술수요조사 결과

- 총 66건의 기술수요를 회신

〈표 2-33〉 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 시스템(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 2-34〉 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 2-35〉 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 TBM 국산화 개발 시 국내 적용가능성	
	③ 국내 TBM 적용 활성화를 위한 개선방안	
	④ TBM 국산화 개발 시 현장 검증 및 신뢰성 확보 방안	
	⑤ TBM 국산화 기술개발 방안	
	⑥ 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 개착공법으로 발주되고. 중국의 경우도 TBM 굴착의 발주형태가 매우 다수임

② TBM 국산화 개발 시 국내 적용가능성 의견수렴 결과

- 현재 국내의 TBM 기술수준은 낮은 편이고, 국외 선진사 기술을 도입하더라도 장비의 운영사항이나 장비 자체 내의 신뢰성 보장이 어려운 상황이기 때문에 현 시점에서의 TBM 본체 국산화에 대한 접근은 신중할 필요
- TBM 장비를 국산화하여 개발한다고 해도 품질이며, 가격적인 부분에 있어서 품질은 독일 제조사만큼, 가격은 중국 제조사만큼을 맞춰야 시장경쟁력 가능성 예상
- 중국 TBM 제작사는 직접 개발한 것이 아닌 인수합병 또는 기술이전을 통해 기반을 마련한 것이며, 국내도 단순 개발이 아닌 국내 수준 및 현황을 정확히 파악 후 진행할 필요가 있다고 판단
- 만약 기술이전 시 주도할 수 있는 기업이 있을지 의문이며, TBM 본체 개발이 정답이 될 수 있을지도 의문

③ 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

④ TBM 국산화 개발 시 현장 검증 및 신뢰성 확보 방안 의견수렴 결과

- 현재 국내에서 TBM 개발 시 장비검증이 필요하지만, 검증자체가 어려운 실정이고, 기 개발 된 장비의 실증이 없어서 검증의 신뢰성 판단에 어려움이 따르기 때문에 구체적으로 어떤 문제인지 파악하기가 어려운 상황이며, 시공사와 제조사의 협력 검증 추진도 필요
- 검증을 위한 법제도 보완이 추가적으로 검토
- 경험부족에 의한 허들 극복이 어려울 것으로 생각되며, 시공사 입장에서는 품질에 대한 Risk 극복을 하지 못하면 불가능 함

- TBM의 경우 단순제품이 아닌 복합장치의 통합공정시스템이며, 본체(굴착)→이렉터(Segment 조립)→컨베이어나 트럭(버럭반출)+(배전설비+공조설비)→환경설비(분리 정화 배출)가 포함
- 따라서 개발된 장비의 성능검증이 필요하지만 제작사에서는 본체의 전 시스템에 대한 성능검증은 어려워 공사현장에서 현장 실증과 성능검증을 위해서는 시공사와 제조사가 협력하여 검증 필요
- TBM은 대형설비로 제작이 완료되어 제작사에서 자체 검사를 완료한 후 현장실증시험과 성능검증을 위해서는 장비를 분해하여 현장으로 운송 후 다시 조립하여 성능검사를 한 후에 해체하여 다시 운송
- 현장시험과 성능검증은 별도의 과제로 진행하거나 개발과 동시에 추진하기 위해 별도 예산 필요하고 추가적인 예산에 따라서도 필요한 실정
- 따라서 현장시험과 성능검증은 별도의 과제로 진행하거나 개발과 동시에 추진하기 위해서는 별도의 예산필요
- 트러블이 생겼을 때의 책임소재 : 장비자체의 문제인지, 운영상의 문제인지 검증 필요

⑤ TBM 국산화 기술개발 방안 의견수렴 결과

- 현재 세그먼트 자체가 공사 비중을 20~30% 차지하는 고가부품이므로 가격 인하가 필수이고, 세그먼트 가격을 낮출 수 있는 기술 개발 필요
- 굴진속도, 굴진율 향상, 소모품 사용량 최소화 방안 마련이 시급하며, 이를 위한 운전기술이 반드시 필요
- 세그먼트 자체가 고가부품으로 가격인하가 필수이며, 굴진속도와 굴진율 향상 등 소모품 사용량 최소화 방안 마련 시급과 운전기술과 시스템 개발이 반드시 필요
- 영향이 크게 미치는 것을 고려하여 장비의 타입선정 고려
- 소재의 경우 디스크커터의 마모성이 덜한 소재(내마모성 소재)와 소모품 등의 기술개발 필요
- 소모품에서 폴리머 계통과 안티클로깅 쪽 기술 개발이 필요하고, 실제 국산화가 상당부분 진행되었으나, 추가적인 연구를 통해 해외에서도 사용할 수 있을 정도까지 기술확보 필요한 상황
- 동시에 소프트웨어, 운영기술이 필요한 상황이며, 국산 장비개발을 통한 소프트웨어 기술 적용과 활용부분에 있어서 기술 개발이 필요
- 국내 내수시장이 받쳐주면 대기업도 충분히 도전 가능하지만, 시장이 없어 기술 개발에 대한 리스크가 크고, TBM 소프트웨어는 같은 타입이면 크기에 관계없이 적용이 가능함. 일부 조정만 필요함

- 세그먼트 설치 시 굴착을 못하여 상당한 시공 시간이 소요되므로 시공효율성이 떨어지고 세그먼트 설치와 굴착을 동시에 진행가능 한 기술개발 연구를 현대건설에서 진행하고 있으며, 장비업체와 논의 중에 있음
- TBM 사업의 경우 시장상황을 극복해야함. 개발을 한다면 누가 할 것인지, 장비제작사 입장에서 필요기술을 국산화하고 납품하는 것은 어떻게 진행 할 것인지 등에 대한 방향성이 제시 필요
- TBM 공법의 최대 장점은 빠르고 안전한 것임. 다만 그 과정에서 발생할 수 있는 요소기술 개발에 대한 방향성을 정하고 그에 따른 목표설정을 할 필요가 있음
- 장비자체의 개발이라는 부분 보다는 제조사에서 아직 개발되지 않은 부분이나 기업에서 필요로 하는 특화기술을 개발하는 것이 필요
- 개발에 대한 방향성을 정하고 그에 따른 목표설정 추진이 필요

방향성에 따른 목표설정 예
○ 굴착시간 - 디스크커터의 개발 외에 시간을 단축할 수 있는 획기적인 기술 개발방안
○ 링설치시간 - 현재 세그먼트 조립시 발생되는 소요시간 단축 방안
○ 다운타임(그 외의 모든 시간) - 예를 들어, 커터교체시간 단축 방안마련(현재 커터교체 1개 교체 시 일주일 소요) 등의 아이디어를 바탕으로 요소기술을 포함하는 장비를 개발한다면 가능성이 있을 것이라 생각

- Safety 측면에서 TBM 운영의 경우 여러 데이터 확보가 가능함. 다만 그 부분을 주도하는 곳이 없으며, Machine data의 활용과 어떤 의미를 요구하는지에 대한 연구도 필요할 것, 4차 산업에 대응하기 위한 기계적 활용방안
- 작업자 이슈 : 배토 시 버력을 싣는 과정에서 분진 발생, 분진의 미세먼지를 방지할 수 있는 아이템은 어떤 것이 있을지 고민필요
- 에너지 활용측면 : TBM장비의 경우 대규모 전력이 소모됨. 에너지 절감방안은 어떤 것이 있을지 고민와 실제로 격오지의 경우 주요항목이기에 고려
- 장비의 잔존수명 예측, 장비의 상태 예측은 어떻게 할 것인지 고민 필요
- 장비사가 사용할 수밖에 없는 기술을 만드는 전략이 필요. 장비사의 Pain Point를 파악하고, 국내 IT 기술과 접목할 수 있는 부분이 있는지 봐야하며, 현재로선 정확한 판단은 어려움

- TBM은 굴착장비본체의 굴착, 굴착된 토사의 운반설비와 운반된 토사를 처리하는 환경설비가 결합된 통합 공정 시스템 산업이므로 이에 대한 개발사업 추진은 단순한 기계제작이 아닌 기계와 엔지니어링 기술이 함께 필요한 사업인 동시에 고가의 수주생산 장비의 개발

• 따라서 일반 대량 생산 장비와는 다른 방식에서 접근 필요

- 규격별 표준장비 개발

• 주요 규격별 표준장비의 개발로 TBM 제작회사들이 각각 조금씩 다른 장비를 개발하는데 따른 과도한 개발비용절감 및 개발기간을 단축하여 TBM 산업경쟁력 강화 필요

• 발주기관이나 설계 및 시공사에서도 가능하면 표준설계를 이용토록 유도할 필요가 있음(조선산업에서 컨테이너선 등에 표준선을 개발·활용하여 설계 및 납기단축, 건조비용 절감, 부품 국산화 등에 좋은 결과를 가져와 단기간 내에 세계 1위가 가능해짐)

- 표준형 TBM 개발로 개발비용중 민간부담금 감면 방안 검토

• TBM 개발은 대형 프로젝트로 중소·중견기업이 주관기관으로 참여시 민간부담금으로 수백억 원을 부담하는 것은 어려우므로 표준형 TBM으로 개발하는 경우 주관기관이나 참여기업의 부담금은 감면

• 타사가 이를 활용하여 TBM제작 시 로열티를 부담하고 쉽게 설계 변경하여 활용할 수 있게 하는 방식으로 국책과제로 개발하는 주관기관의 민간부담금을 대폭 감액해주는 방안 검토 가능

• 개발제품의 생산에 참여하는 업체들의 로열티 수입을 감안할 시 감면 부분을 초과 가능

- 이행 보증 보험비 지원 방안

• 대형TBM은 수백억원, 초대형은 1000억원이 넘는 경우도 있으므로 중소·중견기업이 생산·제작 시 고객사는 장비품질에 대한 문제발생시 보상문제 등을 대비하여 품질·성능이나 판매가격에 불구하고 기피하는 경향이 있으므로 국책과제로 개발하는 TBM은 이행보증보험으로 제품보증할 수 있도록 지원 필요

• 현재는 시공전문회사들이 장비를 조달해야하므로 자금문제로 장비조달에 애로사항이 있어 부득이 성능이 떨어지는 외국산중고장비로 구매하는 경우들이 많음

- 해외 전문 업체와 협력체계 구축

• 국내 중견기업등과 해외 전문 업체와 협력 체제를 구축하여 상생 발전방안을 강구하고 공동 개발하는 방안 필요

• 중소·중견 제조사가 TBM의 개발, 제작, 생산을 담당하고 대기업이 TBM의 마케팅, 판매 등의 관리를 담당하는 OEM 방식의 TBM 개발전략으로 시장 진출 시 제작사의 판매능력 부족에 따른 TBM 산업 발전의 한계를 어느 정도 극복하여 세계시장에 진출할 수 있으나 이는 상호협력과 상생의 원칙에 따른 업무와 역할 분담을 하느냐에 달려있고 기존 제품과는 다르게 TBM 전담 영업마케팅팀을 구성하여 Project 초기부터 밀착 영업 추진 및 업체 관리 필요

• 제작사와 A/S팀원으로 구성된 신속기술지원팀으로 고객사를 신속하게 지원 필요

- 중소·중견 제작사와 중소·중견 장비수출전문회사를 이용하거나 제작사와 시공사, 정부투자금, 수출전문회사 또는 대기업이 TBM 판매전문 합작사를 설립하는 방법 강구 필요
- TBM이나 대형크레인 등 고가장비를 전문으로 취급하는 대형 Rental사를 설립하거나 기존 Rental사에 TBM Rental 전문팀을 구성하여 영업지원 방안 수립 필요
- 현재는 TBM전문 교육기관이 없어 전문인력이 절대적으로 필요하면 지능정보통신(ICBM+AI)과 4차산업의 혁신적인 신기술들을 접목한 신제품을 개발하면 후발주자이지만 경쟁력을 갖춘 산업이 가능

- 설계 및 시공자문 경험을 바탕으로 봤을 땐, 커터교체의 문제가 큼. 커터헤드가 원형 구조이므로 게이지, 페이스 및 센터의 궤적이 다르고 이에 따라 교체주기가 달라서 교체주기 산정이 어려운 부분이 있음
- 예를 들어, 한강 밑이 될 경우 수상 그라우팅공법을 적용해야하며, 이에 대한 공사비용 증대가 불가피함으로 교체기술이 매우 중요하며, 이 기술은 장비 본체와 상관없이 필요하기때문에. 국내 기술로 해결방안을 찾을 필요가 있음
- 해외의 경우 회전수, 온도, 하중에 따라 커터교체주기의 산정방식을 개발완료 하였거나 개발 중
- 또한, 지반이 균질하지 않을 경우(호박돌 출현 등) 해당 구간에서 굴진할 수 있는 기술 개발이 필요
- TBM의 트러스트 RPM, 토크 등 수십가지 인자 데이터에 대한 축적을 통해 TBM 운영 자동화 시스템 개발이 필요
- 세그먼트의 경우 지반에 따라 철근감소 방안의 연구도 필요
- EPB TBM 타입에서 Soil Conditioning 전문 연구가 필요하며, 챔버 안의 상황을 통해 교반 및 배출방법이 중요함. 헤렌크네히트의 경우 카메라를 설치하여 참고 관리함
- 전방예측기술은 상당히 어려운 기술이며, 현재는 드릴링을 통해 유추하고 있지만 한계점이 있음
- 소프트웨어 적용을 통해 예측 가능하지만, 제작사에서 책임소지의 문제로 부정적 인식이 강함
- 미래 지하공간 개발, 수도권 GTX, 지하철 등 도심지에서는 개착한계가 있으므로 TBM으로 지하공간을 개발하는 추세는 맞는 것 같음
- TBM은 대상지층별로 적용 type 분류 가능 하며, OPEN, EPB, Slurry, 압송 Type으로 분류할 수 있음
- 현재 적용 중인 TBM 단면은 3.5m급, 7~8m급(지하철, 단순병렬형), 김포-파주의 14m급(도로 왕복4차 선급 및 복수도로급)이 있음
- 국내 시장여건 상, 7~8m급인 지하철 급으로 바로 국산화하기엔 어려울 것으로 보이며, 시공사 입장에서 개발 중인 장비를 현장에 바로 적용하는 것이 리스크가 크기 때문에 TBM은 고장 시 시간소요 및 비용 증대가 불가피한 실정
- TBM 국산화 방향은 작은 단면 및 단일지층용(연약층, 암반층)부터 먼저 개발 후 대단면 또는 복합지층형을 개발하는 단계적 추진이 적절해 보임

- 개발해야하는 주요 분야 중 TBM본체(커터헤드, Front/Middle body)가 핵심이며, 커터헤드를 개발할 경우는 개발된 장비가 있다면 부분적으로 적용이 가능할 것
- 지반 침하 방지를 위해서는 백필그라우팅 기술이 중요하며, 기술 개발의 필요성이 높음
- 주입포트는 TBM 제작사가 만듬. 주입펌프, 전기, 모티터링 장비 등은 아웃소싱제작
- 백필그라우팅은 테일부에서 주입포트를 만들어 굴착한 만큼 주입재료를 실시간으로 투입
- 과거 전력구 또는 암반 지반, 하저 등에서는 백필그라우팅을 실시간으로 하지 않고 모아서 하는 경우가 있었고, 이럴 경우 빈공간이 생김에 따라 물이 전방으로 넘어오는 경우가 생겨 공사지연이 불가피한 경우도 발생
- 그라우팅의 재료나 주입공법에서 대해서 개발할 필요가 있음
- 실시간 주입을 위해서는 테일부에 스킨과 세그먼트가 접촉하는 곳에 주입설비가 있어야 하는데 그 부분은 TBM 제작사에서 본딩 및 모니터링, 주입펌프, 전기 신호 등 종합적으로 업체를 지정하여 관리함
- 종합적인 관리는 제작사가 주로 맡아서 진행
- 지상에서 배합하는 설비, 주입재료는 제작사가 관여하지 않음
- 실리카 계열로 배합하며, 플렌트 시멘트를 사용하지 않고 특허품으로 개발 중이고, 주입재료는 현장 설계에 따라 다름
- 공사비측면에서 TBM 자체의 금액은 비슷하지만 Slurry의 경우 지상의 굴착돌 처리(STP, 이수처리 플렌트) 가격이 높음으로 종합적으로 EPB보다 공사비가 높음
- Slurry Type이 안전성 면에서 장점이 있지만 STP 공간이 별도로 필요하다는 단점이 있기도 함

⑥ 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)

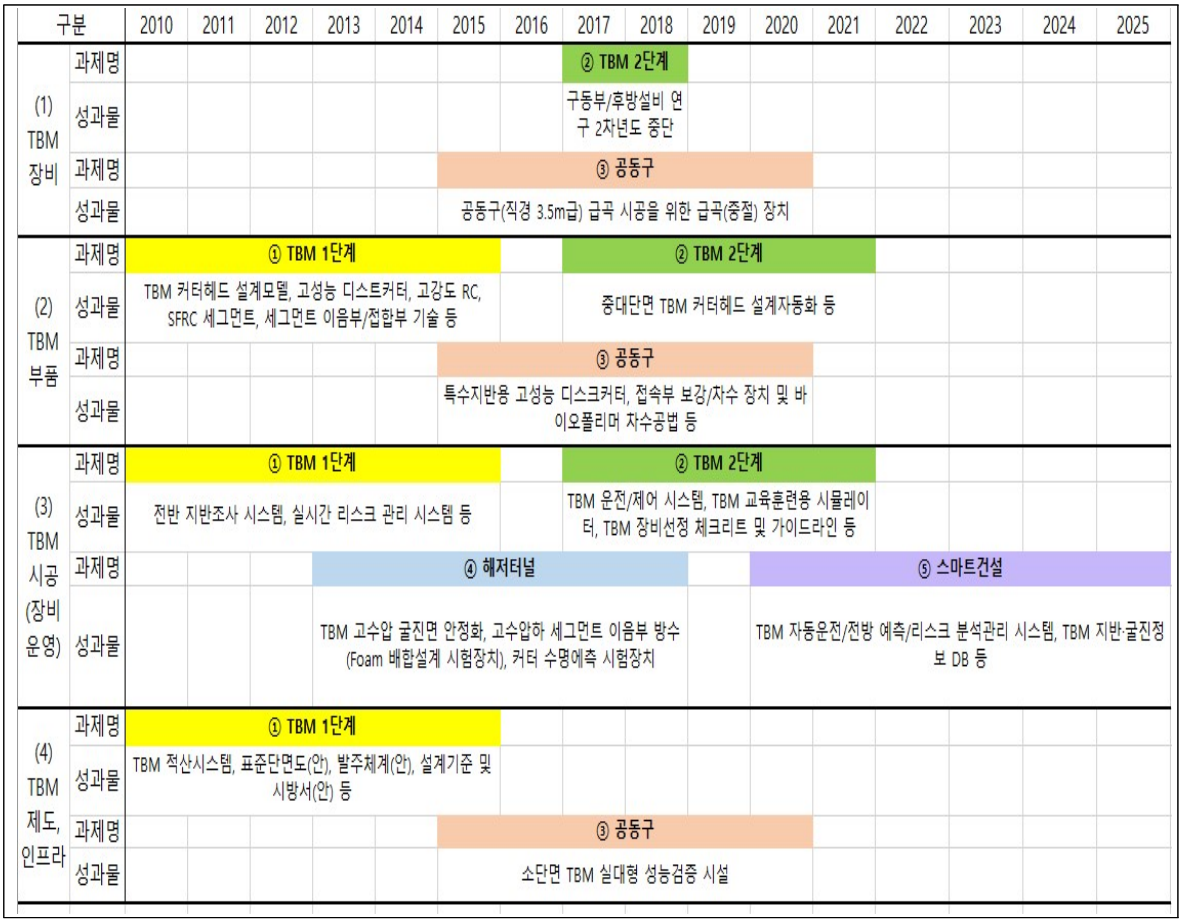
○ TBM 2단계 : TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전/제어시스템 개발('17~'21, 정부 70억원, 한국건설기술연구원)

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

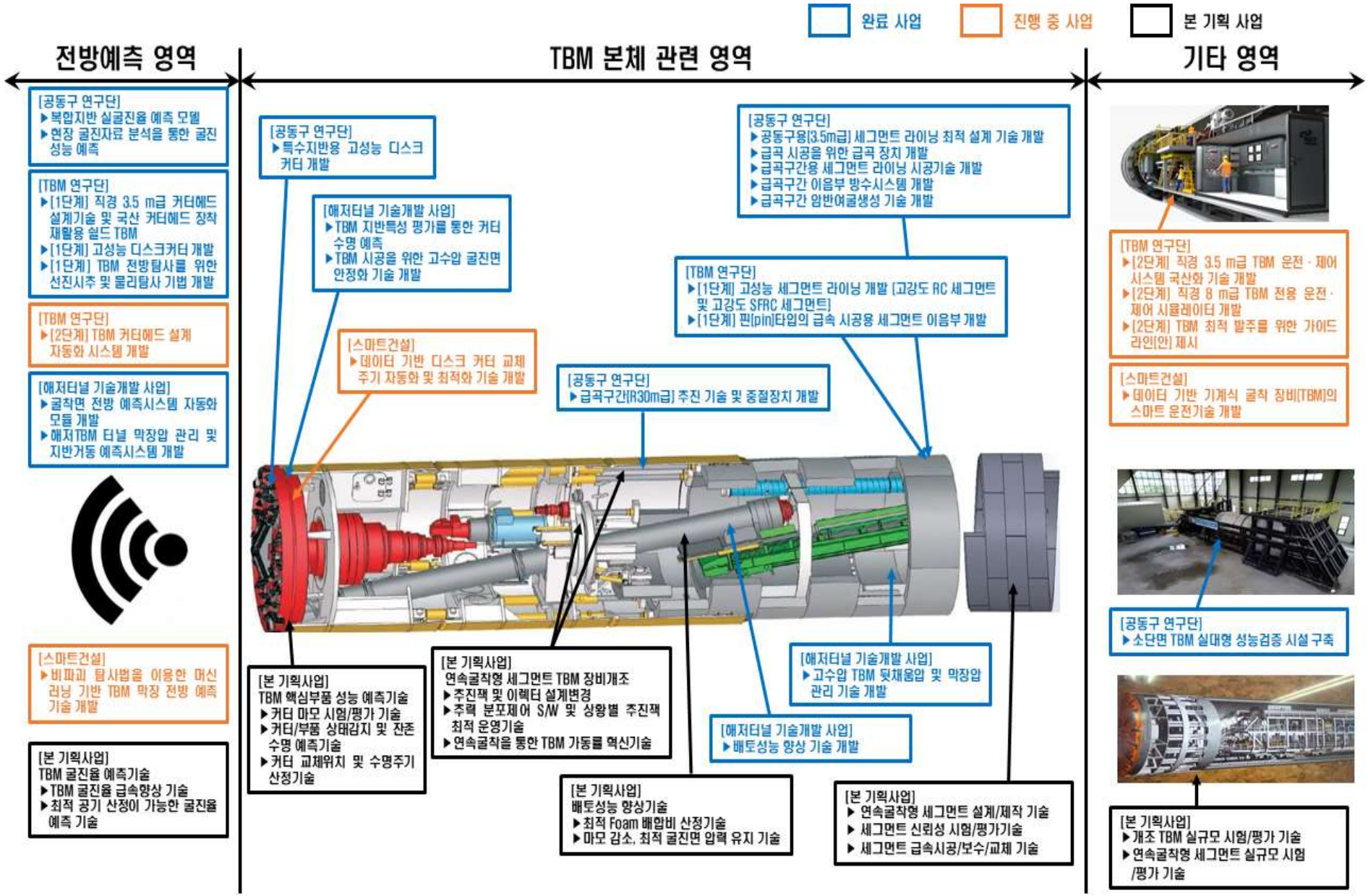
○ 해저터널 : 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발('13~'18, 정부 258억원, 고려대학교)

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

[그림 2-43] 부처별 유사사업과의 차별성



□ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발 관련 유사사업을 분석하여 차별성 및 연계방안을 제시



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

〈표 2-36〉 국외 터널공사의 TBM 적용 주요실적 현황

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	43억 원* * 스마트건설 기술개발 내 머신러닝 기반 기계화 터널 시공 자동화 기술개발 예산
사업목적	TBM의 독자 설계·제작을 위해 필수적인 복합지반용 쉴드 TBM 커터헤드 설계기술개발	TBM 커터헤드의 설계자동화에 의한최적화 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 등에망라하는 핵심 설계 및 시공요소에 대한 국내 기술 확보	데이터와 머신러닝 기술을 활용하여 TBM장비 운전을 자동화하고 전방예측 및 TBM 시공리스크를 분석함으로써 TBM 시공 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 유지 관리 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 특성상 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 연속굴착 시공기술을 개발하는 본 사업과는 차별성이 존재	해당 사업은 커터헤드 설계 자동화 등에 대한 사업으로 본체 개조 기술 및 후방 세그먼트를 개발하는 본 사업과는 차별성이 존재	해당 사업은 소단면 일반 TBM 기술과 수직구용 시공 기술에 대한 사업으로 연속 굴착형 TBM과 세그먼트를 개발하는 본 사업과는 대상과 목적에서 차별성이 존재	해당 사업은 해저터널 건설을 위한 최적화 기술개발 사업으로 연속굴착형 TBM 및 세그먼트를 개발하는 본 사업과는 개발하고자 하는 기술의 종류에서 차별성이 존재	기존 일반 TBM 제어 기술의 스마트화를 추진한 사업으로, 연속굴착 기술을 개발하는 본 사업과는 차별성이 존재
연계성	고성능 세그먼트 라이닝 등의 일부 기술은 본 기술개발 사업과 연계하여 활용이 가능	운전·제어 시스템 및 시뮬레이터 등의 일부 기술은 본 기술개발 사업과 연계하여 활용이 가능	급곡구간·특수지반 등의 일부 시공기술들은 향후 본 사업의 기술개발시 연계하여 활용이 가능	TBM 공법은 해저터널 및 하저터널 건설 시에도 장점이 큰 기술로, 본 사업의 기술개발시 해저터널에서의 적용 가능성을 고려하여 기술 간 연계 추진이 가능	본 사업에서 개발하는 연속굴착형 TBM의 제어 시스템 및 중앙관제 시스템 개발시 스마트 TBM 기술과 연계하여 활용이 가능

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 사업 추진계획(안)

□ 도출 방법 및 내용

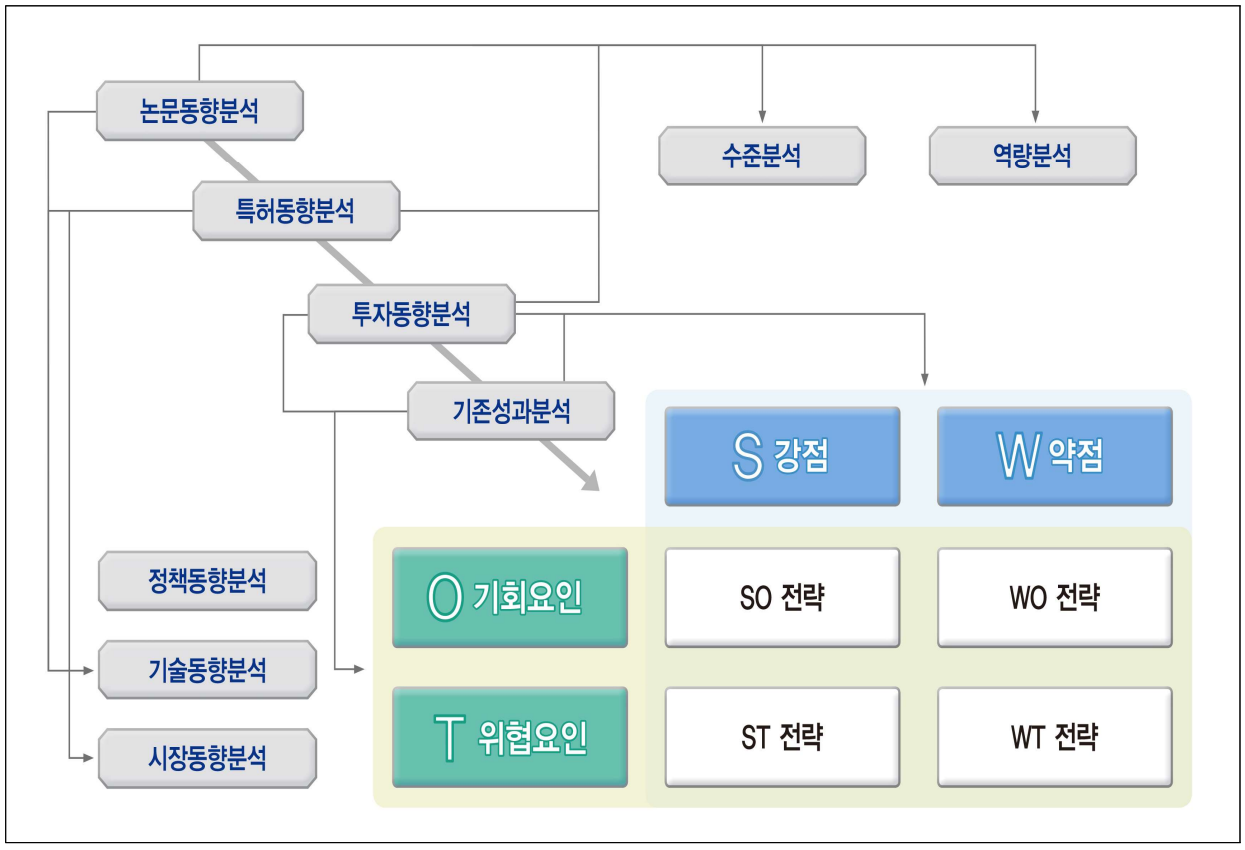
○ 국내 연속굴착형 TBM 기술 관련 R&D 수준 및 역량 시점을 '내부환경'으로, 정책, 연구개발, 시장 약점을 '외부환경'으로 조사하여 SWOT-Matrix 분석 시행

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



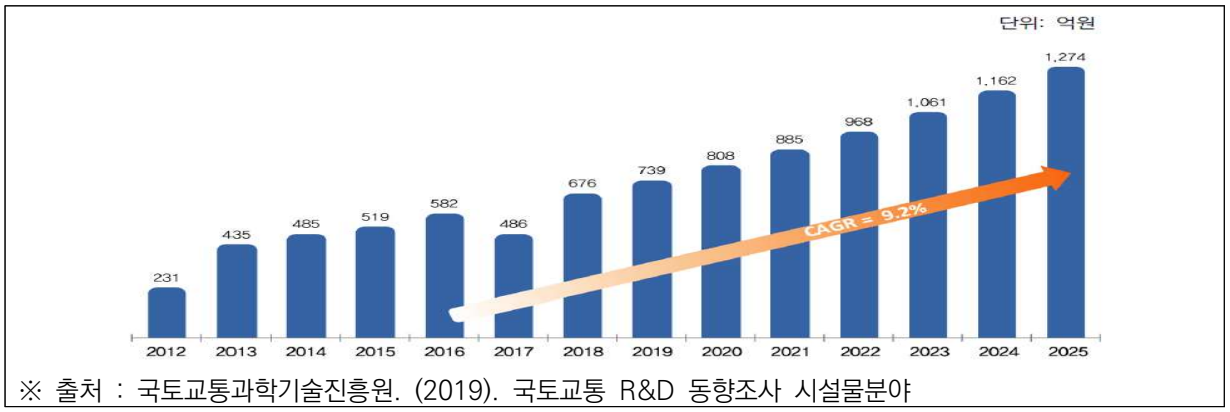
(2) 종합분석(SWOT)

(가) 외부환경: 기회와 위협

□ (기회 1) 국내 터널건설 시장을 공사수주 실적으로 예측한 결과, 큰 폭으로 지속 성장 중

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

[그림 3-2] 국내 신규 터널건설 시장 전망



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

○ 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

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

□ (기회 2) 교통망 강화와 신산업 발굴에 대한 정부의 추진의지가 강하며, 국토교통분야 종합계획들을 통해 터널교통 및 TBM 관련 정책안을 제시

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

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

- '국정과제'에서는 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력을 강화를 설정

○ 「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

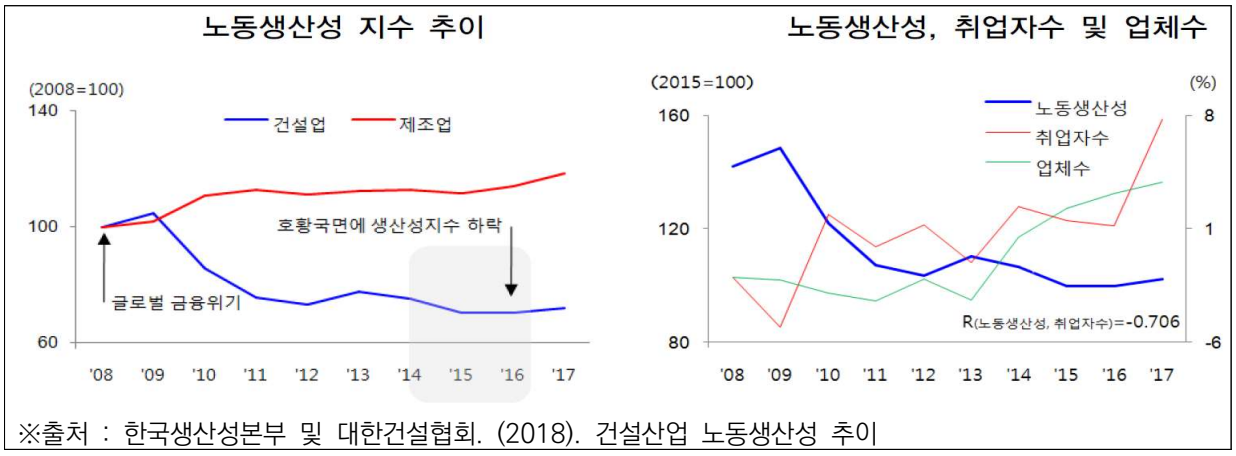
□ (기회 3) 국내의 낮은 건설 생산성을 개선하고자 산업계의 첨단화 전환의지가 강한 상황

○ 건설산업 노동생산성이 급격한 하락세를 보이며, 최근 10년 동안 27.9% 감소함에 따라 생산성 향상을 위한 산업계의 건설기술 첨단화 전환의지가 높은 상황

- 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 취업자수가 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 3-3] 국내 건설산업 노동생산성



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

□ (기회 4) 기존 NATM 공법의 안전성 문제에 따라 TBM 공법이 대안으로 주목받고 수요가 증가하는 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 3-1〉 '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
- 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

□ **(위협 1) TBM 관련 기술 시장은 국외 소수 TBM 제조사가 글로벌 시장을 점유하고 있는 상황으로 높은 시장 진입장벽이 존재**

○ 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

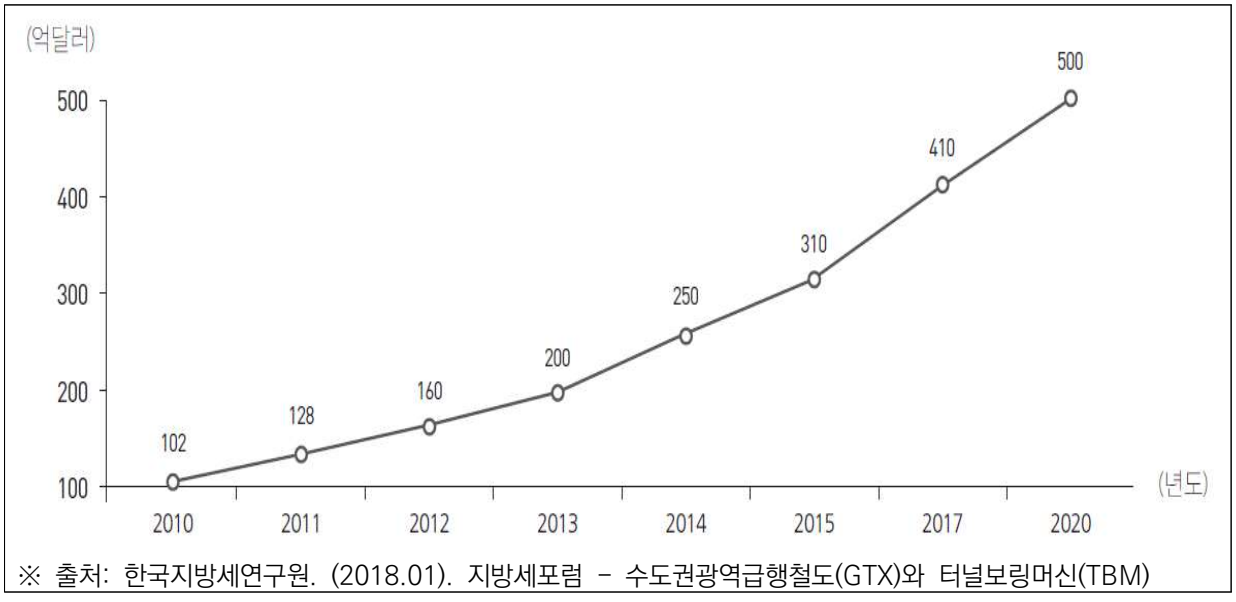
- 독일은 품질로 중국은 가격 경쟁력으로 최근 시장 점유율을 공고히 하여, 독일과 중국 외 제조사들은 인수되거나 TBM 생산을 멈춘 상황이고 일본 정도만이 소규모로 제작 중

□ **(위협 2) 고성장 중인 국외 상황과 달리 국내에서는 TBM 적용률이 1%에 불과할 정도로 TBM 활용에 대한 수용성이 낮은 수준**

○ 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 3-4] 세계 TBM 시장규모



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

○ 주요국들의 TBM 적용률은 유럽(80%), 일본(60%), 미국(50%), 중국(40%), 대만(30%)에 달하나, 국내 터널의 TBM 적용율은 1%에 그치고 있는 상황

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

□ **(위협 3) 기존 NATM 공법을 적용한 터널굴착의 경우 발파과정을 포함하는 특정상 안전사고 및 환경오염이 발생**

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

○ 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

○ 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

□ **(위협 4) 기존 TBM 공법의 경우 세그먼트조립과 굴진이 개별수행이 되어 비효율적으로 터널건설 작업이 진행**

○ TBM 굴진 추진잭이 세그먼트 설치 작업을 방해하여, TBM 정지 없이 연속적으로 설치가 불가능하기 때문에 굴진 속도가 느리고 이에 따른 많은 비용이 소요

- 기존 TBM 공법의 경우 세그먼트 조립과 굴진의 동시 진행이 불가능
- 이에 따라 장거리 굴착이 아닐 경우, NATM 공법 대비 경제성을 확보하는데 한계가 존재

○ 굴진의 중단이 있어 소모비용이 많고, 굴진관리가 용이하지 않은 상황

- 세그먼트 조립을 위해 굴진을 중단한 후 재가동하기 때문에 장비 가동 에너지 소모 및 장비 부하가 높음
- 굴진 중단과 재개의 반복에 따라 막장압 관리 및 지반침하 관리에 어려움이 존재

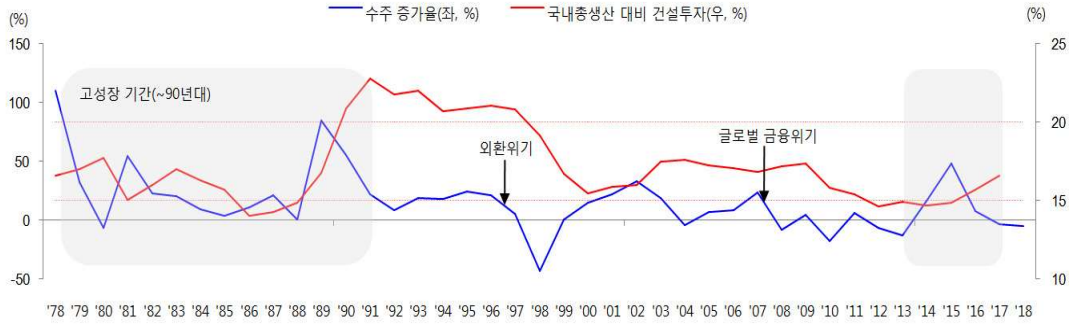
□ **(위협 5) 국내 건설산업은 최근 몇 년간 저성장 국면이 지속되고 있는 상황**

○ 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 3-5] 저성장이 지속되고 있는 국내 건설산업



※출처 : 한국은행·통계청. (2019). 국내 건설경기 추이

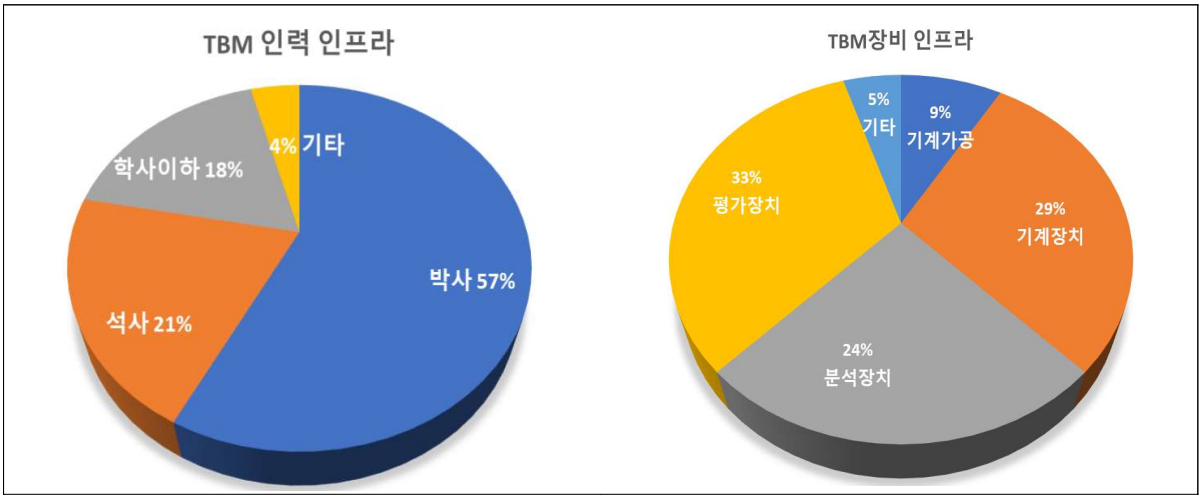
(나) 내부환경: 강점과 약점

□ (강점 1) 충분한 전문연구인력과 다양한 산·학·연 연구기관 등 국내의 R&D 수행 역량이 높음

○ 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 3-6] TBM기술 관련 국내 연구인력 현황



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

○ 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 3-2〉 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	-	-

□ (강점 2) 기존의 선행 TBM 관련 연구개발을 통해 본 사업에 필요한 시설·장비는 확보된 상태

○ “TBM”, “터널시공”, “커터헤드”, “굴착”, “배토”, “터널레일” 키워드를 활용하여 NTIS에서 검색을 수행한 결과 82개의 장비를 도출

- (기계가공) 수직밀링머신, 3차원조각기, 삼축압축 셀, 절삭 기구 등 TBM장비를 제작함에 있어 가공을 위한 기계적 가공장치

- (기계장치) 입형펌프, 자가동력시추기, 차륜굴착기, 그라우팅 펌프, 베토역류방지장치 등 터널굴착에 필요한 기계적 장치
- (분석장치) 전파측정기, 방사선 밀도계, 진도레벨측정기, 탄성파탐사기, 3차원측량장비, 터널 구조간격게이지 등 터널굴착에 필요한 지반 분석장치
- (평가장치) 세그먼트 실물 성능평가 시스템, 자동화락볼트인발시험기, 숏크리트 타설 기본 시스템 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 존재

□ (강점 3) 국내의 산·학·연에서 본 사업과 관련성이 높은 시공 기술들에 대한 연구들을 기 수행하여 연속굴착 기술개발에 필요한 직접적 연구 역량이 높은 상태

○ 고성능 세그먼트 제작에 투입될 수 있는 재료와 관련한 연구가 진행 중이며, 일부 기관에서 나선형 세그먼트에 대한 기본적 연구를 수행

○ 연속굴착형 TBM 기술개발에도 활용 가능한 쉴드 TBM 추진 잭 선정·해석 기술이 개발되어 현재 현장에서 일반 TBM에 적용 중

○ TBM 굴진관리 시스템 설계·제어와 관련하여, TBM 유압시스템은 국내에서 개발이 되었으며, EPB 타입의 TBM 유압시스템 설계 기술까지는 확보가 된 상황

○ 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술과 관련하여, 국내 기업의 경우 이렉터 설계·제작에 관한 기본 기술이 확립된 상황

□ (강점 4) 건설현장에서 TBM은 이미 운영되고 있는 상황으로 개발하고자하는 TBM 시공 기술 적용에 있어 법·제도적 제약사항이 없음

○ TBM은 현재 국내 터널건설을 위한 공사현장에서 사용되고 있는 건설 장비

○ 본 사업은 기존에 사용되고 있는 건설장비의 핵심적 시공 개선 기술을 개발하고자 하는 사업으로, 기술 적용에 있어 법·제도적 제약이 없는 상황

□ (강점 5) 대규모 테스트베드를 제공할 수 있는 국내기업들*이 존재하여 원활한 기술 실증이 가능

* KC산업, 현대건설 등

○ 본 사업에서 개발하고자하는 기술은 산업계에서 오랫동안 관심을 보이고 있던 유망 기술

○ 해외 시장에서의 경쟁력 향상 및 수출 증대를 목표로하는 국내의 터널 건설 관련 기업들로부터 적극적인 테스트베드 협조를 받을 수 있어 원활한 실증 추진이 가능

□ **(약점 1) 국내 타 국토교통 연구개발분야에 비해 TBM에 대한 인식이 낮아 TBM 관련 연구개발에 대한 투자는 낮은 수준**

○ '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

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

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

□ **(약점 2) 우리나라의 단거리 발주 제도로 인해 대형공사를 제외한 터널건설에서는 TBM 공법 적용에 제약이 존재**

○ 국내 고속도로, 고속철도, 도시철도 중 최초의 TBM공법 적용은 1989년 연장 1450M의 부산도시철도 1호선이며, 1999년대까지 TBM 공법의 적용 실적은 단 1건에 불과

○ TBM공법의 년도별 적용 실적은 2018년까지 총 18건으로 39,804M이며, 1999년대 1건 2000년대 6건, 2010년대 11건으로 타 공법 대비 상대적 낮은 수준의 실적을 보유

○ TBM 공법 적용의 저해요소로 산업계에서는 단거리 발주 제도를 지적

□ **(약점 3) 국외의 TBM 기술들은 철저하게 비공개 되어있어 유관기술 개발 시 참고가 어려움**

○ 국내는 TBM 본체 개발을 위한 설계·제작에 대한 원천기술이 전무

- 선진 6개국(독일, 일본, 미국, 캐나다, 이탈리아, 중국)만 TBM 설계, 제작 원천기술 및 노하우를 비공개 보유

○ 국내 TBM 제조사는 국외 제조사의 기술제휴를 통해 소단면급 TBM 조립·제작

- 일본, 중국 TBM 제조사의 기술제휴*를 바탕으로 구동부 등의 핵심부품을 수입하여 소단면급을 조립·제작 생산중이며, 현재까지 중·대단면급 이상의 독자 제작경험은 없음

* (이엠코리아) 타이코 텍스, JIMT(이상 일본)와 기술제휴로 중소구경 TBM 제작, (강릉건설) IESEKI(일본), CRCHI(중국)와 기술제휴로 실드 TBM 10기 제작

□ **(약점 4) 협소한 영역만을 다루었던 기존 국내 TBM 연구개발 분야로 인해 시공사들의 국산기술에 대한 신뢰도가 높지는 않은 상황**

○ 기존에 수행되었던 TBM 관련 연구개발은 산업계 니즈의 반영이 불충분

- 산업계에서는 공사비용을 줄일 수 있는 기술에 대한 니즈가 높은 상황

○ 국산 기술의 활용 사례가 충분히 축적되지 않아 시공사들의 국산 기술에 대한 신뢰도가 높지는 않은 상황

(3) SWOT 분석결과

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

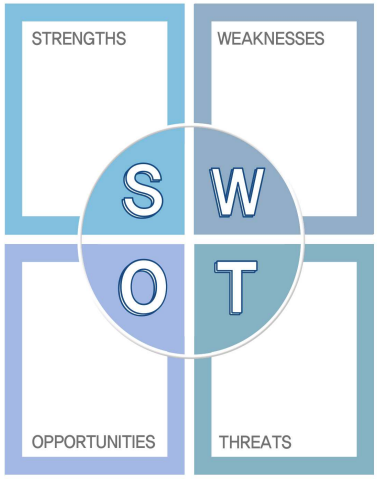
〈표 3-3〉 SWOT 요약

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

• (기회 1) 국내 터널건설 시장을 공사수주 실적으로 예측한 결과, 큰 폭으로 지속 성장 중 • (기회 2) 교통망 강화와 산산업 발굴에 대한 정부의 추진의지가 강하며, 국토교통분야 종합계획들을 통해 터널교통 및 TBM 관련 정책안을 제시 • (기회 3) 국내의 낮은 건설 생산성을 개선하고자 산업계의 첨단화 전환의지가 강한 상황 • (기회 4) 기존 NATM 공법의 안전성 문제에 따라 TBM 공법이 대안으로 주목받고 수요가 증가하는 추세	• (위협 1) TBM 관련 기술 시장은 국외 소수 TBM 제조사가 글로벌 시장을 점유하고 있는 상황으로 높은 시장 진입장벽이 존재 • (위협 2) 고성장 중인 국외 상황과 달리 국내에서는 TBM 적용률이 1%에 불과할 정도로 TBM 활용에 대한 수용성이 낮은 수준 • (위협 3) 기존 NATM 공법을 적용한 터널굴착의 경우 발파과정을 포함하는 특정상 안전사고 및 환경오염이 발생 • (위협 4) 기존 TBM 공법의 경우 세그먼트조립과 굴진이 개별수행이 되어 비효율적으로 터널건설 작업이 진행 • (위협 5) 국내 건설산업은 최근 몇 년간 저성장 국면이 지속되고 있는 상황
• (강점 1) 충분한 전문연구인력과 다양한 산·학·연 연구기관 등 국내의 R&D 수행 역량이 높음 • (강점 2) 기존의 선행 TBM 관련 연구개발을 통해 본 사업에 필요한 시설·장비는 확보된 상태 • (강점 3) 국내의 산·학·연에서 본 사업과 관련성이 높은 시공 기술들에 대한 연구들을 기 수행하여 연속굴착 기술개발에 필요한 직접적 연구 역량이 높은 상태 • (강점 4) 건설현장에서 TBM은 이미 운영되고 있는 상황으로 개발하고자하는 TBM 시공기술 적용에 있어 법·제도적 제약사항이 없음 • (강점 5) 대규모 테스트베드를 제공할 수 있는 국내기업들*이 존재하여 원활한 기술 실증이 가능 * KC산업, 현대건설 등	• (약점 1) 국내 타 국토교통 연구개발분야에 비해 TBM에 대한 인식이 낮아 TBM 관련 연구개발에 대한 투자는 낮은 수준 • (약점 2) 우리나라의 단거리 발주 제도로 인해 대형공사를 제외한 터널건설에서는 TBM 공법 적용에 제약이 존재 • (약점 3) 국외의 TBM 기술들은 철저하게 비공개 되어있어 유관기술 개발시 참고가 어려움 • (약점 4) 협소한 영역만을 다루었던 기존 국내 TBM 연구개발 분야로 인해 시공사들의 국산기술에 대한 신뢰도가 높지는 않은 상황

(4) SWOT 분석을 통한 사업의 전략 도출

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

	**Strengths(강점)** ▪ 전문인력과 다양한 연구기관 등 국내의 R&D 수행 역량이 충분 ▪ 선행 TBM 연구개발을 통해 본 사업에 필요한 시설·장비가 다수 구축 ▪ 본 사업과 관련성이 높은 시공 기술들에 대한 연구들을 다수 수행되어 기술 개발에 필요한 직접적 연구 역량이 높음 ▪ 개발하고자하는 기술을 적용함에 있어 법 및 제도 제약이 없으므로 원활한 사업추진 가능 ▪ 대규모 테스트베드를 제공할 수 있는 국내기업들이 존재	**Weaknesses(약점)** ▪ 국내 타 국토교통 연구개발분야에 비해 TBM 관련 연구개발에 대한 투자는 낮은 수준 ▪ 국내 단거리 발주 제도로 대형공사를 제외한 TBM 공법 적용에 제약 존재 ▪ 국외의 TBM 기술들을 철저하게 비공개로 되어 유관기술 개발시 참고가 어려움 ▪ 협소한 영역만을 다루었던 기존 국내 TBM 연구개발 분야로 인해 시공사들의 국산기술에 대한 신뢰도가 높지는 않은 상황
Opportunities(기회) ▪ 국내 터널건설 시장을 공사수주 실적으로 예측한 결과, 큰 폭으로 지속 성장 중 ▪ 교통망 강화와 신산업 발굴에 대한 정부의 추진의지가 강하여, 국토교통 분야 종합계획들을 통해 TBM 관련 정책안 제시 ▪ 국내의 낮은 건설 생산성을 개선하고자 산업계의 첨단화 전환의지가 강한 상황 ▪ 기존 NATM 공법의 안전성 문제에 따라 TBM공법 대안으로 주목받아 수요가 증가	**SO 전략** ▪ SO1. 연속굴착과 관련성 높인 기존 TBM 시공기술 연구들을 활용 ▪ SO2. 지속 성장하고 있는 국내 터널 건설 시장에 쓰일 수 있으며, 제도상 제약이 없는 혁신적 시공기술을 개발 ▪ SO3. 충분한 역량의 국내 TBM 관련 인력으로 연구개발 추진 ▪ SO4. 대규모 테스트베드 활용을 통한 실증을 수행하여 연구개발 산출물의 높은 완성도를 확보	**WO 전략** ▪ WO1. 국외 TBM 기술을 참고하기 어려운 상황이기에 적극적인 투자로 연구개발 수행 ▪ WO2. 소규모의 산발적인 투자가 아닌, 혁신을 이끌 수 있는 게임 체인저 성격의 TBM 핵심 기술을 개발 ▪ WO3. TBM 관련 국산 기술에 대한 낮은 신뢰도를 극복하기 위해 R&D사업에 실증연구를 포함하여 판로를 개척하고 기술의 신뢰성을 확보
Threats(위협) ▪ TBM 관련 기술 시장은 국외 소수 TBM 제조사가 시장을 점유하고 있는 상황으로 진입장벽이 존재 ▪ 고성장 중인 국외 상황과 달리 국내 TBM적용률이 1%에 불과할 정도로 TBM 활용에 대한 수용성이 낮은 수준 ▪ 기존 NATM공법을 적용한 터널굴착의 경우 발파과정을 포함하는 특정상 안전사고 및 환경오염이 발생 ▪ 기존 TBM 공법의 경우 세그먼트조립과 굴진이 개별수행이 되어 비효율적으로 터널건설 작업이 진행 ▪ 국내 건설산업은 최근 몇 년간 저성장 국면이 지속되고 있는 상황	**ST 전략** ▪ ST1. TBM 공법 활성화를 위한 국산 시공 혁신 기술마련으로 TBM 분야 외산의존도 저감 ▪ ST2. TBM은 이미 현장에서 운영되고 있어 법·제도적으로 제약사항이 없기에 산출물을 빠르게 실용화 ▪ ST3. 기존 TBM 공법의 단점을 보완하여 확연하게 작업 효율성을 높일 수 있는 기술을 개발 ▪ ST4. 진입장벽이 높은 글로벌 TBM 기술 시장에서 경쟁 가능한 공백 기술을 개발	**WT 전략** ▪ WT1. 국내 건설 산업의 저성장 추세 극복을 위해 TBM 굴진율을 혁신적으로 높일 수 있는 기술개발 ▪ WT2. 경제성이 높은 국산 TBM 시공 기술을 개발하여 국내의 낮은 TBM 수용성을 높이고, 시공사들이 신뢰할 수 있는 체계적 실증을 진행 ▪ WT3. 터널건설 시 안전사고 및 환경오염이 발생하는 기존 NATM 방식을 확실하게 대체할 수 있도록 높은 경제성을 확보한 기술을 개발

(5) 사업(안) 선정 및 추진과제 도출

□ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 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
[전략2] 3.5m급 소단면 TBM 국산화율 향상
[전략3] TBM 시공/운영 분야 혁신기술 개발
[전략4] 설계-조달-조립-시공-운영-해체-반납의 TBM 공법 全 프로세스 효율화
[전략5] ODA, PPP 사업 등을 통한 국내 기업의 해외 TBM 시장 진출 지원
[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

[3단계] ⇩ **(전문가 인터뷰, 기술개발 검토)**

사업(안) 도출

시나리오1 → 사업(안)
TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 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 3-7] 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 기획을 '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 제11690호 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 ○ 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 ( )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	○
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
31	고내구성, 고수명 TBM 디스크 커터 WC소재 개발
32	TBM 안전성 평가 및 인증 검사 기술

번호	과제명
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)
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 시스템(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 연속굴착 관련 연구개발 과제(안)의 우선순위를 종합적으로 평가
- 기술성공 가능성, 기술파급효과, 전략적 중요성, 실행 용이성에 대하여 각 연구개발 과제를 평가 항목으로 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

- 기술성공 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 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발에 적합한 연속굴착 개발 기술체계를 구성

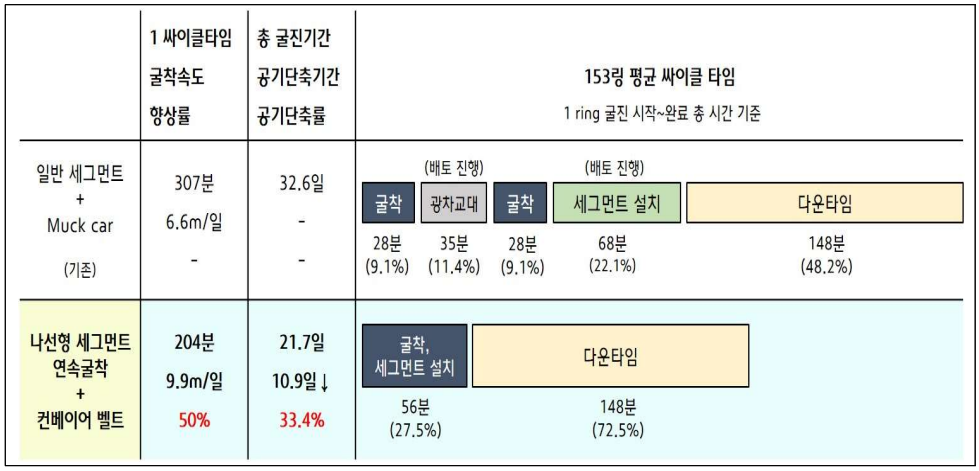
〈표 3-7〉 평균 3.7점 이상의 최종 후보과제

번호	과제명	점수
1	TBM 연속 작업 성능 향상과 관리 비용 절감을 위한 핵심부품 및 모듈의 운용 신뢰성 확보 기술	4.0
2	TBM 안전성 평가 및 인증 검사 기술	3.9
3	헬리컬(HELICAL) 세그먼트를 적용한 TBM 굴진속도 향상 기술	4.3
4	연속굴착이 가능한 나선형 세그멘탈 TBM의 유지관리 기술 개발	4.2
5	TBM 세그먼트 조립공정 무인화를 위한 AI 비전기반 이렉터 협동로봇 개발	4.0
6	Shield TBM Segment Ring Building 작업 자동화	4.2
7	Shield TBM 굴진 자동화	3.9
8	쉴드 TBM 시공(세그먼트 라이닝) 품질향상을 위한 BIM도입 연구	3.8
9	연속굴착을 위한 쉴드 굴진과 세그먼트 조립 동시 시공 장치 기술 개발	4.2
10	TBM 안정성 향상을 위한 고강도 고내구성 세그먼트 재료 개발	4.0
11	시공 및 운영 단계에서의 TBM 세그먼트 배면의 상태 평가 기술	4.2
12	연속굴착형 세그먼트의 곡선부 설치 대응기술	4.4
13	연속굴착형 세그먼트의 구조보강 대응기술	4.2
14	연속굴착형 세그먼트의 체결방식 효율화 및 성능향상 기술	4.2
15	EPB 쉴드 세그먼트 배면 뒷채움 품질 평가 기술 개발	3.7
16	동시 굴진 시스템	4.0
17	고강성 실드잭 개발 및 다각도 슈패드 개발	4.2
18	연속굴착 이렉터 및 굴진 동조시스템 개발	4.0
19	연속굴착형 TBM 터널의 굴착시뮬레이션 SW 및 통합관제센터	4.1
20	실시간 TBM 시공·안전 통합관제 시스템	3.7
21	TBM 헬리컬 세그먼트 신뢰성시험평가 및 실증연구	4.3
22	세그먼트 라이닝 자동화 조립 시스템 개발	4.2
23	TBM 기술인증 및 재활용방안 연구	3.8

(6) 단계별 성과목표 및 지표

(가) 전략목표

전략목표	○ 혁신친화적 TBM 시공기술 개발을 통해 글로벌 건설시장 경쟁력 확보
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」, 「산업기술혁신 촉진법」 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 건설산업을 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

사업목표	○ 연속적 굴착이 가능한 혁신기술 개발을 통해 TBM의 굴진율 30% 향상
사업목표 설정의 근거	○ 일반 TBM 굴착 현장의 굴진 싸이클타임 분석을 통해 공사기간 단축 효과 예측 - 분석대상 거리: 214.2m(총 153링, 1링 굴진거리 = 1.4m) - 총 굴진기간: 32.6일 - 1회 싸이클타임 평균: 307분 - 굴진율: 6.6m/일 ※ 출처: 싱가포르 TBM 터널 굴착 현장 사례(현대건설 제공)
목표 설정 세부 내용	**[그림] 일반 TBM과 연속굴착 TBM의 굴진 속도 비교**  ○ 일반 TBM의 경우 1회의 싸이클타임이 307분이며, 연속굴착 기술을 적용할 경우 1회의 싸이클타임은 204분으로 축소 - 일반 TBM은 싸이클타임 중 광차교대에 35분, 세그먼트 설치에 68분을 소요 - 연속굴착 기술은 광차교대와 세그먼트 설치 시간이 별도로 필요하지 않아 103분을 단축 가능 ○ 일반 TBM의 싸이클타임에서는 1일당 6.6m를 굴진할 수 있으며, 연속굴착형 TBM의 싸이클타임에서는 1일당 9.9m의 굴진이 가능하기에 굴진율 향상은 최대 50%로 분석
굴진율 향상과 공사기간 단축의 상관 관계	○ 일반 TBM이 214.2m를 굴착하는데 소요되는 기간은 32.6일이며, 연속굴착 기술을 통해 동일한 거리를 굴착하는데 소요되는 기간은 21.7일로 33.4% 단축 효과 발생 - 6.6m/일의 굴진율로 214.2m를 굴착할 경우 소요되는 공사기간은 32.6일 ※ 214.2 / 6.6 = 32.6 - 9.9m/일의 굴진율로 214.2m를 굴착할 경우 소요되는 공사기간은 21.7일로 기존 대비 33.4%를 단축 ※ 214.2 / 9.9 = 21.7
비고	○ 기존 사례와의 비교 결과 연속굴착 기술 적용시 굴진율 증대가 최대 50%로 나타났으며, 이때의 공기단축률은 33.4% ○ 실제 증가되는 굴진율을 보수적으로 보아 약 30%(본 사업의 목표)로 설정하였을 때, 확보 가능한 공기단축률은 20.04% ○ 이에 따라, 본 연속굴착 기술개발사업 추진을 통해 단축 가능한 TBM 공법 적용 터널의 공사기간은 약 20%로 분석

(나) 1단계 성과목표 및 지표

□ 단계별 성과목표

단계(평가주기)		1단계		기간		’22~’23년
단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표 ①	TBM 시공 효율성 증대	가중치	0.7	설정 근거	- 연속굴착형 TBM 개조·운영 기술 및 세그먼트 제작 기술을 획득함으로써 기존의 TBM 시공방식보다 효율성을 증대	1. 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술 2. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술
성과목표 ②	연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	가중치	0.3	설정 근거	- TBM 시공 분야에서의 기술 적용 활성화를 위해 연속굴착형 TBM 및 세그먼트의 검사인증 기준 및 방법론과 운영 매뉴얼 개발을 통한 안전성 확보	3. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술

□ 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표
					연도	’22	’23		
성과목표①	TBM 시공 효율성 증대	0.7	성능목표 달성도	%	목표	-	40	질	✓
				건	실적	-	-		
			설정근거	• 본 사업에서 제시한 총 18개의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정					
성과목표②	연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	0.3	연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	%	목표	-	-	양	
				건	실적	-	3		
			설정근거	• 연속굴착형 TBM 운영·관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정					
계									

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
성능목표 달성도	• 본 사업에서 제시한 총 18개의 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
연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	• 연속굴착형 TBM 운영·관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정	• (측정산식) = 달성 건수 / 총 매뉴얼 목표 수 × 100 • (측정방법) 전체 매뉴얼 중에서 완성된 매뉴얼 건수 측정	• 본 사업에서 제시한 매뉴얼

(다) 2단계 성과목표 및 지표

□ 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계		기간		’24~’26년
단계별 성과목표					관련 내역사업명
성과목표 ①	TBM 시공 효율성 증대	가중치	0.7	설정 근거	- 연속굴착형 TBM 개조·운영 기술 및 세그먼트 제작 기술을 획득함으로써 기존의 TBM 시공방식보다 효율성을 증대	1. 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술 2. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술
성과목표 ②	연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	가중치	0.3	설정 근거	- TBM 시공 분야에서의 기술 적용 활성화를 위해 연속굴착형 TBM 및 세그먼트의 검사·인증 기준 및 방법론과 운영 매뉴얼 개발을 통한 안전성 확보	3. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술

□ 성과지표

단계별 성과목표명		가중치		성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표
						연도	'24	'25	'26		
성과목표①	TBM 시공 효율성 증대	0.7	0.3	성능목표 달성도	%	목표	60	90	100	질	✓
					건	실적	-	-	-		
				설정근거	• 본 사업에서 제시한 총 18개의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정						
			0.3	굴진율 향상	%	목표	-	15	30	질	✓
					건	실적	-	-	-		
				설정근거	• 장비의 운영이 최초인 점을 감안하여 실증초기에는 굴진율 향상을 15%로, 최종실증은 30%로 목표치 설정						
			0.1	특허등록	%	목표	2	-	-	양	
					건	실적	-	-	-		
				설정근거	• 본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 2개의 특허를 등록하는 것으로 목표치를 설정						
성과목표②	연속굴착 TBM의 안전성 확보	0.3	0.1	TBM 검사·인증 기준 및 방법론 개발	건	목표	-	-	-	양	
					건	실적	-	2	3		
				설정근거	• 본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 3개의 연속굴착형 TBM 검사·인증기준 및 방법론 건수를 목표치(누적)로 설정						
			0.2	연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	%	목표	-	-	-	양	
					건	실적	4	-	7		
				설정근거	• 연속굴착형 TBM 운영·관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정						
계											

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
성능목표 달성도	• 본 사업에서 제시한 총 18개의 개발성능 목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정	• (측정산식) = 성능목표치 달성 건수 / 총 성능목표 수 × 100 • (측정방법) 총 성능목표 중에서 목표치에 맞게 달성한 건수 측정	• 국토교통 R&D 사업관리 시스템 • 연차별 실적 보고서
굴진율 향상	• 장비의 운영이 최초인 점을 감안하여 실증 초기에는 굴진율 향상을 15%로, 최종실증은 30%로 목표치 설정	• (측정산식) 0.3 ≦ {χ(연속굴착형 TBM의 1일당 굴진 거리) - 6.4m} / 6.4m* * 일반 TBM의 1일당 굴진 거리 • (측정방법) 실증용 연속굴착형 TBM 개발 후 테스트 베드 터널굴착을 통해 굴진율이 30% 이상 증대되는 경우 목표달성으로 판정	• 연차별 실적 보고서
특허등록	• 본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 2개의 특허를 등록하는 것으로 목표치를 설정	• (측정산식) = Σ(특허출원 건수) • (측정방법) 본 사업을 통해 등록된 TBM 특허 건수(누적)를 측정	• 특허정보진흥센터
TBM 검사·인증 기준 및 방법론 개발	• 본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 3개의 연속굴착형 TBM 검사·인증 기준 및 방법론 건수를 목표치(누적)로 설정	• (측정산식) = Σ(검사·인증기준 및 방법론 건수) • (측정방법) 본 사업을 통해 개발된 TBM 검사·인증 기준 및 방법론 건수(누적)를 측정	• 연차별 실적 보고서
연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	• 연속굴착형 TBM 운영·관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정	• (측정산식) = 달성 건수 / 총 매뉴얼 목표 수 × 100 • (측정방법) 전체 매뉴얼 중에서 완성된 매뉴얼 건수 측정	• 연차별 실적 보고서

(7) 이슈와 사업목표 간 연계도



(8) 사업 논리모형 설정

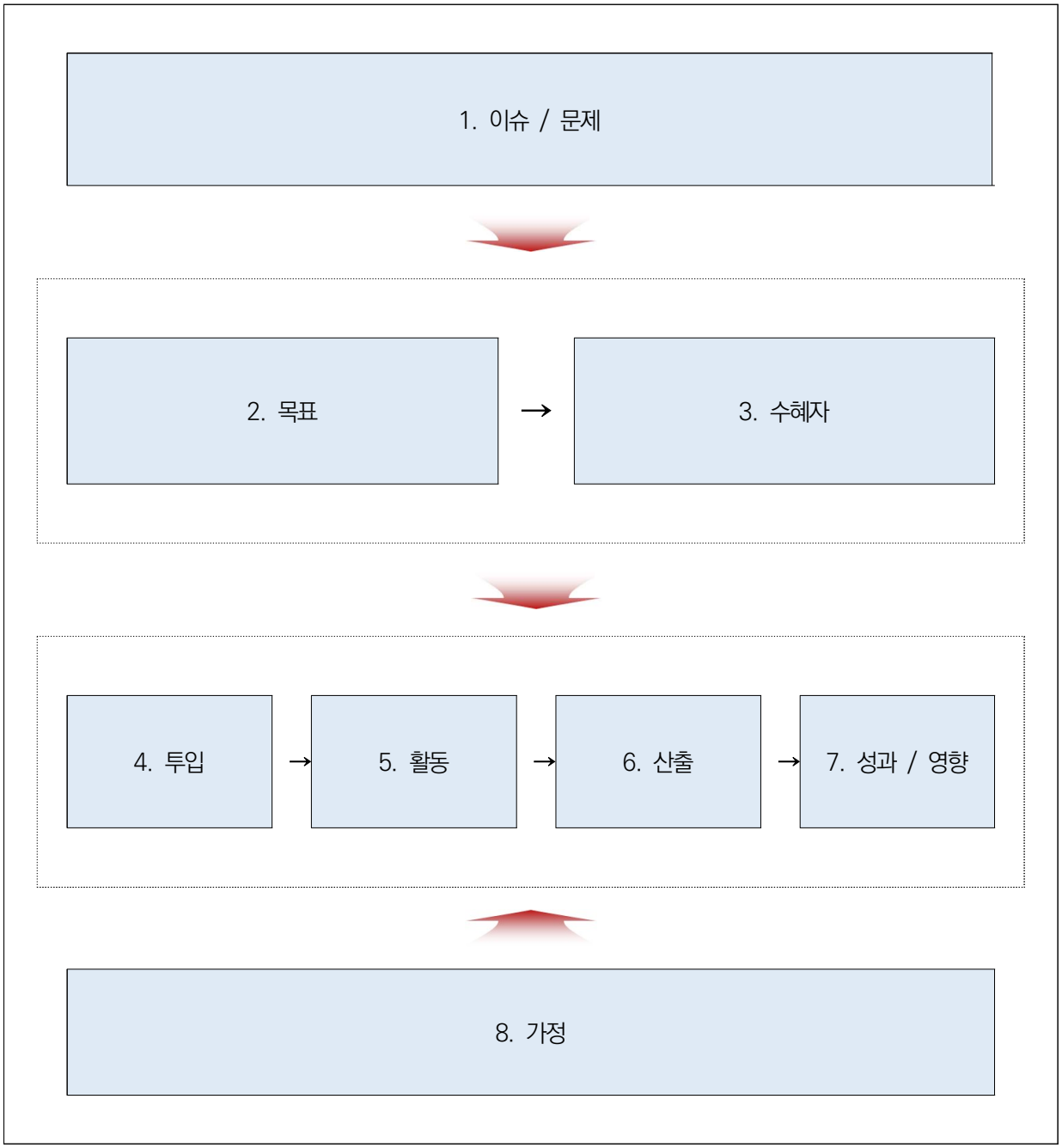
□ 대내외 환경과 사업추진 여건 및 수요에 대한 조사분석 결과를 토대로 논리모형을 활용하여 사업 내용을 설계

○ 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 작간접적으로 연관된 산업계의 수요와 현황에 대해서 작성

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

[그림 3-8] 논리모형의 기본구조



[그림 3-9] 본 사업의 논리모형

1. 이슈 / 문제

- 개별적으로 수행되는 굴진과 세그먼트 조립에 따른 시공시간 증가로 TBM 공법의 시공비용 확대
- 굴진과 세그먼트 조립의 개별 수행에 따른 시간 증가를 최소화하고자 다양한 본체 및 기술이 개발되었으나 제한적 사용 조건에 따라 시공 현장에서의 실질 활용도는 저조
- 일반 세그먼트의 형상으로는 아무리 TBM 본체에 대한 기술을 개발하여도 굴진 속도 증대에 한계가 존재
- 기존의 일반 세그먼트 제작에 투입되는 재료로는 강도 높은 세그먼트 제작이 불가
- TBM 관련 기술은 국외 소수 기업들이 압도적인 기술격차로 이끌어가고 있는 분야이기에 국내 기술에 대한 신뢰도가 낮음
- TBM은 터널굴착 과정 중간에 다른 장비로 교체가 불가능하기에 신규 기술의 완성도가 증명되지 않으면 현장 적용이 불가
- TBM 장비·부품의 신규개발 및 개조 시 검사·인증과 관련한 표준규정·규칙 미비로 인하여 사고를 예방하기 어렵고 사고발생 시 책임소재가 불분명
- TBM 장비의 스마트화에 따라 유압모듈/전자통신/원격제어/인공지능/AI-무인운전 등의 신기술 적용은 확대되고 있으나 관련 관리기준 규칙은 2008년 제정이후, 현재까지 단순 물리량 측정과 육안 검사 체계에 의존

2. 목표

- 연속적 굴착이 가능한 혁신기술 개발을 통해 TBM의 굴진율 30% 향상

3. 수혜자

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

4. 투입

- 360억원
  - 국비 269억원
  - 민자 91억원
- 851명 연구인 (산·학·연 연구자)
  - 연평균 170명

5. 활동

- 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술 개발
- 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술 개발
- 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술 개발

6. 산출

- 성능목표 달성도
- 연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼
- 굴진율 향상
- 특허등록
- TBM 검사·인증 기준 및 방법론 개발

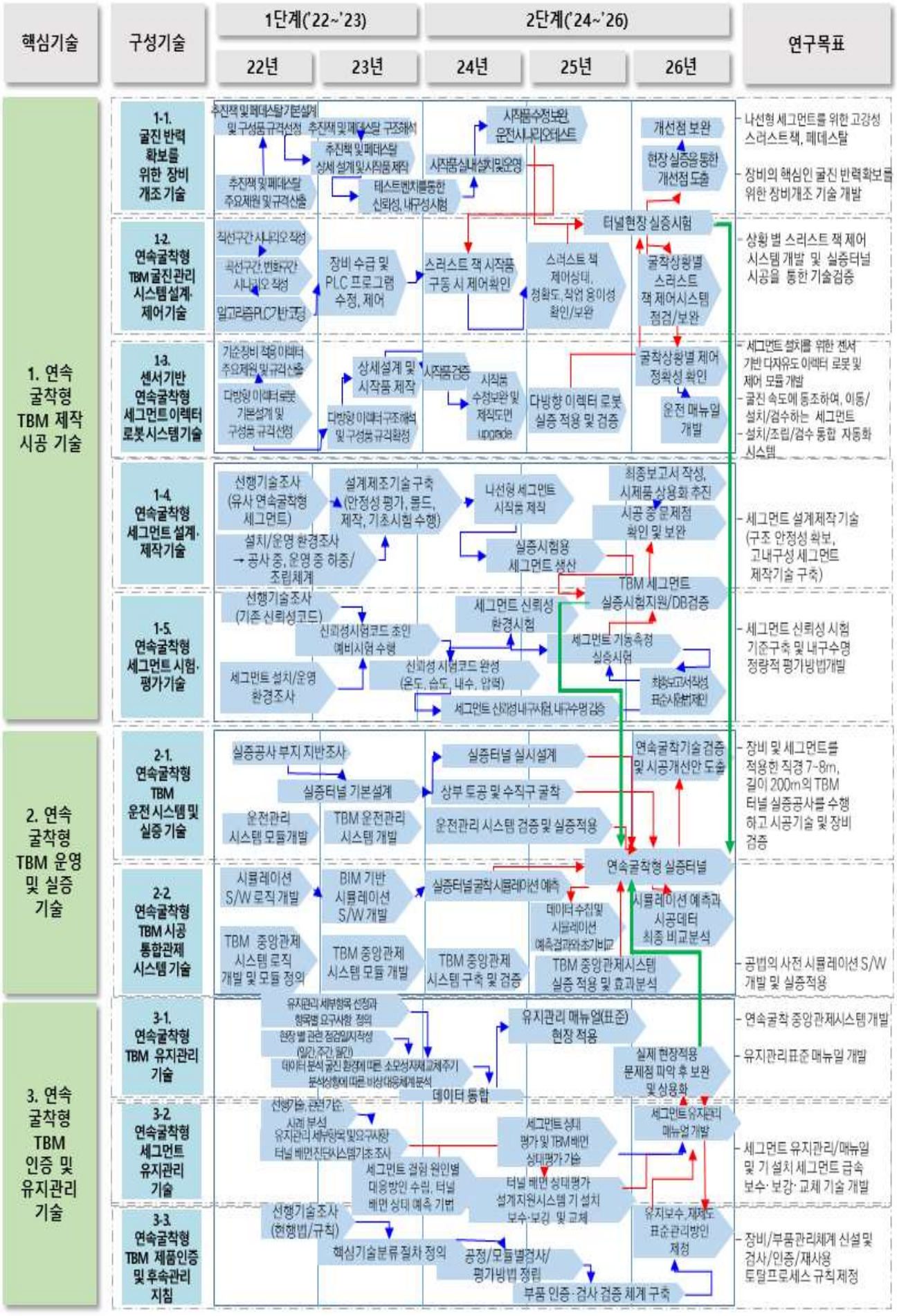
7. 성과 / 영향

- TBM 시공 효율성 증대
- 연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보

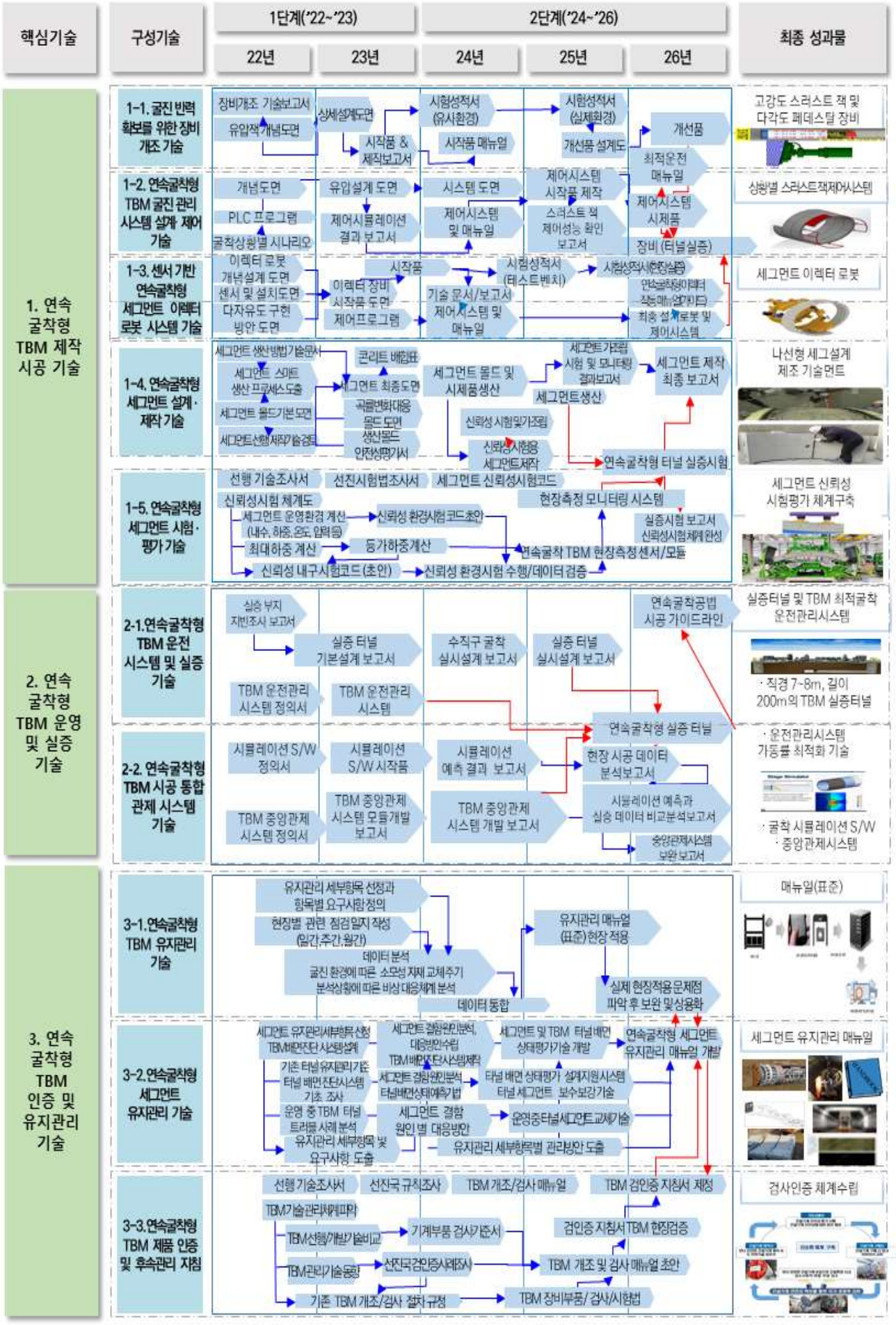
8. 가정

- 국내 TBM 활용 시공 기업들의 적극적 연속굴착형 TBM 기술 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


핵심기술
구성기술
1단계('22~'23)
2단계('24~'26)
22년
23년
24년
25년
26년
연구목표
1. 연속 굴착형 TBM 제작 시공 기술
1-1. 굴진 반력 확보를 위한 장비 개조 기술
추진잭 및 폐대스탈 기본설계 및 구성품 규격선정
추진잭 및 폐대스탈 주요제원 및 규격산출
추진잭 및 폐대스탈 상세 설계 및 시작품 제작
테스트벤치를 통한 신뢰성, 내구성시험
시작품 수정보완, 운전시나리오테스트
시작품 실내설치 및 운영
개선점 보완
현장 실증을 통한 개선점 도출
나선형 세그먼트를 위한 고강성 스러스트 책, 폐대스탈
장비의 핵심인 굴진 반력확보를 위한 장비개조 기술 개발
1-2. 연속굴착형 TBM 굴진관리 시스템설계· 제어기술
직선구간 시나리오 작성
곡선구간, 변화구간 시나리오 작성
알고리즘 PLC 기반 조성
장비 수급 및 PLC 프로그램 수정, 제어
스러스트 잭 시작품 구동 시 제어확인
터널현장 실증시험
스러스트 잭 제어성능, 정확도, 작업 용이성 확인/보완
굴착상황별 스러스트 잭 제어시스템 점검/보완
상황 별 스러스트 잭 제어 시스템 개발 및 실증터널 시공을 통한 기술검증
1-3. 센서기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇시스템기술
기준장비 적용 이렉터 주요제원 및 규격산출
다방향 이렉터 로봇 기본설계 및 구성품 규격선정
상세설계 및 시작품 제작
다방향 이렉터 구조해석 및 구성품 규격확정
시작품검증
시작품 수정보완 및 제작도면 upgrade
다방향 이렉터 로봇 실증 적용 및 검증
굴착상황별 제어 정확성 확인
운전 매뉴얼 개발
세그먼트 설치를 위한 센서 기반 다자유도 이렉터 로봇 및 제어 모듈 개발
굴진 속도에 동조하여, 이동/설치/검수하는 세그먼트 설치/조립/검수 통합 자동화 시스템
1-4. 연속굴착형 세그먼트 설계· 제작기술
선행기술조사 (유사 연속굴착형 세그먼트)
설계제조기술 구축 (안정성 평가, 몰드, 제작, 기초시험 수행)
나선형 세그먼트 시작품 제작
최종보고서 작성, 시제품 상용화 추진
시공 중 문제점 확인 및 보완
설치/운영 환경조사 → 공사 중, 운영 중 하중/조립체계
실증시험용 세그먼트 생산
세그먼트 설계제작 기술 (구조 안정성 확보, 고내구성 세그먼트 제작기술 구축)
1-5. 연속굴착형 세그먼트 시험· 평가기술
선행기술조사 (기존 신뢰성코드)
신뢰성시험코드 초안 예비시험 수행
세그먼트 신뢰성 환경시험
TBM 세그먼트 실증시험지원/DB검증
세그먼트 기능측정 실증시험
세그먼트 설치/운영 환경조사
신뢰성 시험코드 완성 (온도, 습도, 내수, 압력)
최종보고서작성 표준시험법제안
세그먼트 신뢰성 시험 기준구축 및 내구수명 정량적 평가방법개발
세그먼트 신뢰성 내구시험, 내구수명 검증
2. 연속 굴착형 TBM 운영 및 실증 기술
2-1. 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술
실증공사 부지 지반조사
실증터널 실시설계
연속굴착기술 검증 및 시공개선안 도출
실증터널 기본설계
상부 토공 및 수직구 굴착
운전관리 시스템 모듈개발
TBM 운전관리 시스템 개발
운전관리 시스템 검증 및 실증적용
장비 및 세그먼트를 적용한 직경 7~8m, 길이 200m의 TBM 터널 실증공사를 수행하고 시공기술 및 장비 검증
2-2. 연속굴착형 TBM 시공 통합관제 시스템 기술
연속굴착형 실증터널
시뮬레이션 S/W 로직 개발
BIM 기반 시뮬레이션 S/W 개발
실증터널 굴착시뮬레이션 예측
데이터 수집 및 시뮬레이션 예측결과와 초기비교
시뮬레이션 예측과 시공데이터 최종 비교분석
TBM 중앙관제 시스템 로직 개발 및 모듈 정의
TBM 중앙관제 시스템 모듈 개발
TBM 중앙관제 시스템 구축 및 검증
TBM 중앙관제시스템 실증 적용 및 효과분석
공법의 사전 시뮬레이션 S/W 개발 및 실증적용
3. 연속 굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술
3-1. 연속굴착형 TBM 유지관리 기술
유지관리 세부항목 선정과 항목별 요구사항 정의
현장 별 관련 점검일지작성 (일간, 주간, 월간)
데이터 분석 굴진 환경에 따른 소모성자재 교체주기 분석성향에 따른 비상대응체계분석
데이터 통합
유지관리 매뉴얼(표준) 현장 적용
실제 현장적용 문제점 파악 후 보완 및 상용화
연속굴착 중앙관제시스템 개발
유지관리표준 매뉴얼 개발
3-2. 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술
선행기술, 관련기술, 사례 분석
유지관리 세부항목 및 요구사항
터널 배면진단시스템기초 조사
세그먼트 상태 평가 및 TBM배면 상태평가 기술
세그먼트 유지관리 매뉴얼 개발
세그먼트 결함 원인별 대응방안 수립, 터널 배면 상태 예측 기법
터널 배면 상태평가 설계지원시스템 기 설치 보수·보강 및 교체
세그먼트 유지관리/매뉴얼 및 기 설치 세그먼트 급속 보수·보강·교체 기술 개발
3-3. 연속굴착형 TBM 제품인증 및 후속관리 지침
선행기술조사 (현행법/규칙)
핵심기술분류 절차 정의
공정/모듈별검사/ 평가방법 정립
부품 인증·검사 검증 체계 구축
유지보수, 재제도 표준관리방안 제정
장비/부품관리체계 신설 및 검사/인증/재사용 토털프로세스 규칙제정

(10) 성과 총괄로드맵


핵심기술
구성기술
1단계('22~'23)
2단계('24~'26)
22년
23년
24년
25년
26년
최종 성과물
1. 연속 굴착형 TBM 제작 시공 기술
1-1. 굴진 반력 확보를 위한 장비 개조 기술
장비개조 기술보고서
유압잭 개념도면
상세설계도면
시작품 & 제작보고서
시험성적서 (유사환경)
시작품 매뉴얼
시험성적서 (실제환경)
개선품 설계도
개선품
최적운전 매뉴얼
고강도 스러스트 잭 및 다각도 페데스탈 장비
1-2. 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계 제어 기술
개념도면
유압설계 도면
시스템 도면
제어시스템 시작품 제작
제어시스템 시제품
PLC 프로그램
굴착상황별 시나리오
제어시뮬레이션 결과 보고서
제어시스템 및 매뉴얼
스러스트 잭 제어성능 확인 보고서
장비 (터널실증)
상황별 스러스트잭제어시스템
1-3. 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술
이렉터 로봇 개념설계 도면
센서 및 설치도면
다자유도 구현 방안 도면
시작품
이렉터 장비 시작품 도면
제어프로그램
시험성적서 (테스트벤치)
기술 문서/보고서
제어시스템 및 매뉴얼
연속굴착형이렉터 성능매뉴얼(최종)
최종 설계도면 및 제어시스템
세그먼트 이렉터 로봇
1-4. 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술
세그먼트 생산방법 기술문서
세그먼트 스마트 생산 프로세스 도출
세그먼트 몰드기본 도면
세그먼트 선행제작 및 결함
콘리트 배합표
세그먼트 최종도면
곡률변화대응 몰드 도면
생산몰드 안전성평가서
세그먼트 몰드 및 시제품생산
세그먼트 가요성 시험 및 모니터링 결과보고서
세그먼트 제작 최종 보고서
세그먼트생산
신뢰성 시험및가조립
신뢰성시험용 세그먼트제작
연속굴착형 터널 실증시험
나선형 세그설계 제조 기술먼트
1-5. 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술
선행 기술조사서
선진시험법조사서
세그먼트 신뢰성시험코드
신뢰성시험 체계도
세그먼트 운영환경 계산 (내수, 하중, 온도, 압력등)
최대하중 계산
신뢰성 내구시험코드(초안)
신뢰성 시험환경코드초안
등가하중계산
신뢰성 환경시험 수행/데이터 검증
현장측정 모니터링 시스템
연속굴착 TBM 현장측정 센서/모듈
실증시험 보고서 신뢰성시험체계 완성
세그먼트 신뢰성 시험평가 체계구축
2. 연속 굴착형 TBM 운영 및 실증 기술
2-1.연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술
실증 부지 지반조사 보고서
실증 터널 기본설계 보고서
수직구 굴착 실시설계 보고서
실증 터널 실시설계 보고서
연속굴착공법 시공 가이드라인
TBM 운전관리 시스템 정의서
TBM 운전관리 시스템
연속굴착형 실증 터널
실증터널 및 TBM 최적굴착 운전관리시스템
· 직경 7~8m, 길이 200m의 TBM 실증터널
2-2. 연속굴착형 TBM 시공 통합 관제 시스템 기술
시뮬레이션 S/W 정의서
시뮬레이션 S/W 시작품
시뮬레이션 예측 결과 보고서
현장 시공 데이터 분석보고서
TBM 중앙관제 시스템 정의서
TBM 중앙관제 시스템 모듈개발 보고서
TBM 중앙관제 시스템 개발 보고서
시뮬레이션 예측과 실증 데이터 비교분석보고서
중앙관제시스템 보완 보고서
· 운전관리시스템 가동률 최적화 기술
· 굴착 시뮬레이션 S/W
· 중앙관제시스템
3. 연속 굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술
3-1.연속굴착형 TBM 유지관리 기술
유지관리 세부항목 선정과 항목별 요구사항정의
현장별 관련 점검일지 작성 (일간,주간,월간)
데이터 분석
굴진 환경에 따른 소모성 자재 교체주기
분석상황에 따른 비상 대응체계 분석
데이터 통합
유지관리 매뉴얼 (표준)현장 적용
실제 현장적용 문제점 파악 후 보완 및상용화
매뉴얼(표준)
3-2.연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술
세그먼트 유지관리세부항목 선정
TBM배면잔단 시스템설계
기존 터널 유지관리기준 터널 배면 잔단시스템 기초 조사
운영 중 TBM 터널 트러블 사례 분석
유지관리 세부항목 및 요구사항 도출
세그먼트 결함원인분석, 대응방안수립
TBM배면잔단시스템제작
세그먼트 결함원인분석 터널배면상태예측기법
세그먼트 결함 원인 별 대응방안
세그먼트 및 TBM 터널배면 상태평가기술 개발
터널 배면 상태평가 설계지원시스템
터널 세그먼트 보수보강기술
운영중터널세그먼트교체기술
유지관리 세부항목별 관리방안 도출
연속굴착형 세그먼트 유지관리 매뉴얼 개발
세그먼트 유지관리 매뉴얼
3-3.연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침
선행 기술조사서
선진국 규칙조사
TBM 개조/검사 매뉴얼
TBM 검인증 지침서 제정
TBM기술관리체계마련
TBM선행개발기술비교
TBM관리기술동향
기계부품 검사기준서
선진국검인증사례조사
기존 TBM 개조/검사 절차 규정
검인증 지침서TBM 현장검증
TBM 개조 및 검사 매뉴얼 초안
TBM 장비부품/ 검사/시험법
검사인증 체계수립

(2) 핵심기술 개발(안)

(가) (핵심기술 1) 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술

① 기본 개념 및 범위

㉮ 기본 개념

□ (구성기술 1-1) 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

○ 터널굴진율을 혁신적으로 향상시키기 위하여 세그먼트 조립과 동시에 터널굴착을 진행할 수 있도록 TBM 장비를 설계하거나 기존 TBM 장비를 개조하는 기술

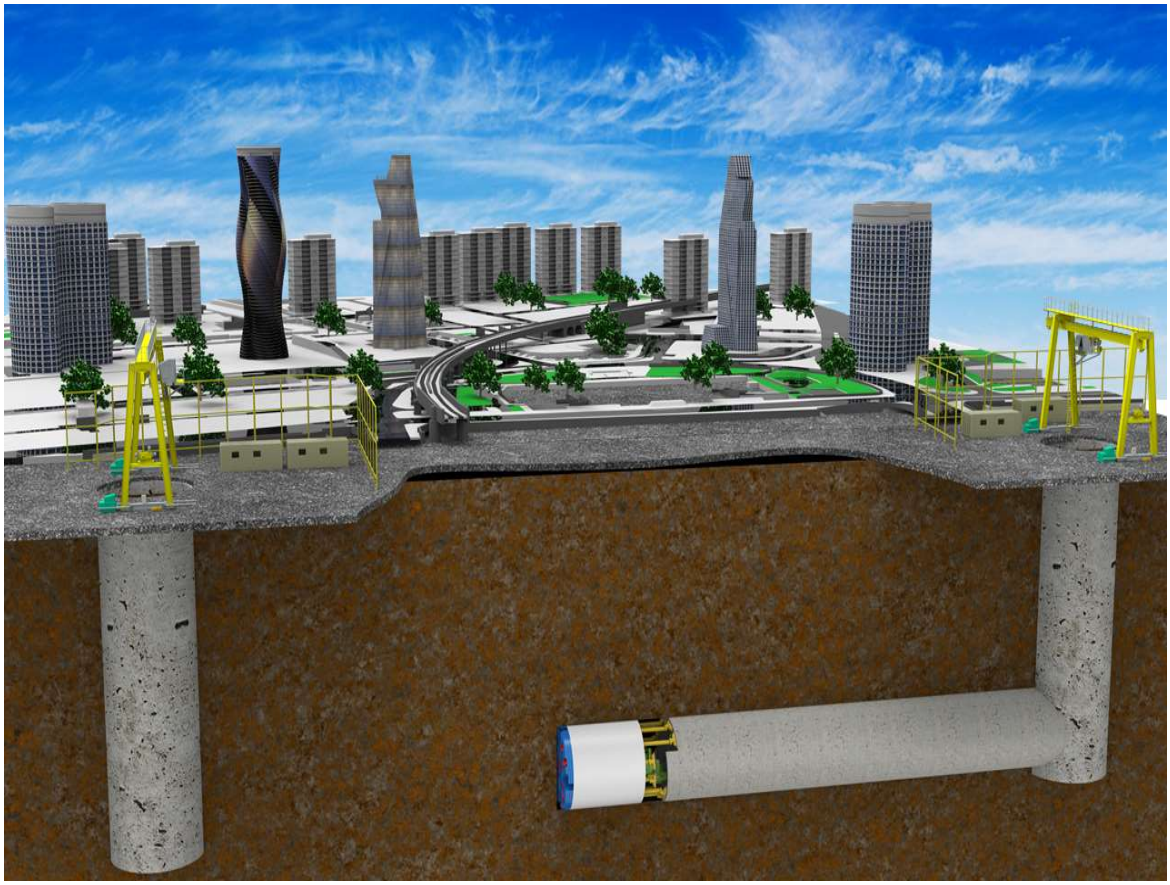
○ 순차적인 각각의 세그먼트 설치 중에 가력과 비가력을 구현하여 굴착이 가능한 TBM 구조를 설계하여 제작하는 연구

□ (구성기술 1-2) 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술

○ 연속굴착형 TBM 운영을 위해 유압제어 시스템을 설계/재편성하는 기술. 기존의 그룹형 제어 방식을 개별 제어 방식으로 변경하고, 통합제어기술을 신규 개발

○ 개발기술은 세그먼트 설치위치별 동작, 직선/곡선/방향전환과 같은 다양한 운전조건별 위치제어 및 하중분산 알고리듬과 제어방법에 대한 연구

[그림 3-10] 연속굴착 TBM 기술 개념도



□ (구성기술 1-3) 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술

○ 연속굴착형 TBM운영중 세그먼트 설치를 위하여 다자유도 이렉터 로봇를 설계하고, 장비-이렉터 간의 정밀제어 인터페이스를 설치/운영하는 기술

○ 세그먼트 설치를 위한 다자유도 이렉터의 정밀제어 로직 및 로봇시스템 및 설치후 자동검수기술

□ (구성기술 1-4) 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

○ 연속굴착형 TBM 추력잭의 다양한 하중조건에서 구조안성성을 유지하기 위한 나선형 세그먼트 구조안정성 분석 및 기본 설계기술

○ 연속굴착 TBM시공조건(직선부 및 곡선부 나선각도와 피치 각도 등)과 터널운용조건이 고려된 세그먼트 최적 설계기술

○ 터널 화재 및 방수설계를 위한 나선형 세그먼트의 내화, 방수시스템 설계기술

○ 터널 곡률 변화에 대응하는 나선형 세그먼트 몰드 3D 최적제조기술

○ 연속굴착형 세그먼트의 나선각과 회전각을 고려한 세그먼트 제작기술

○ 연속굴착형 TBM 추력잭의 편심하중을 고려한 고강도 세그먼트 재료 제작기술

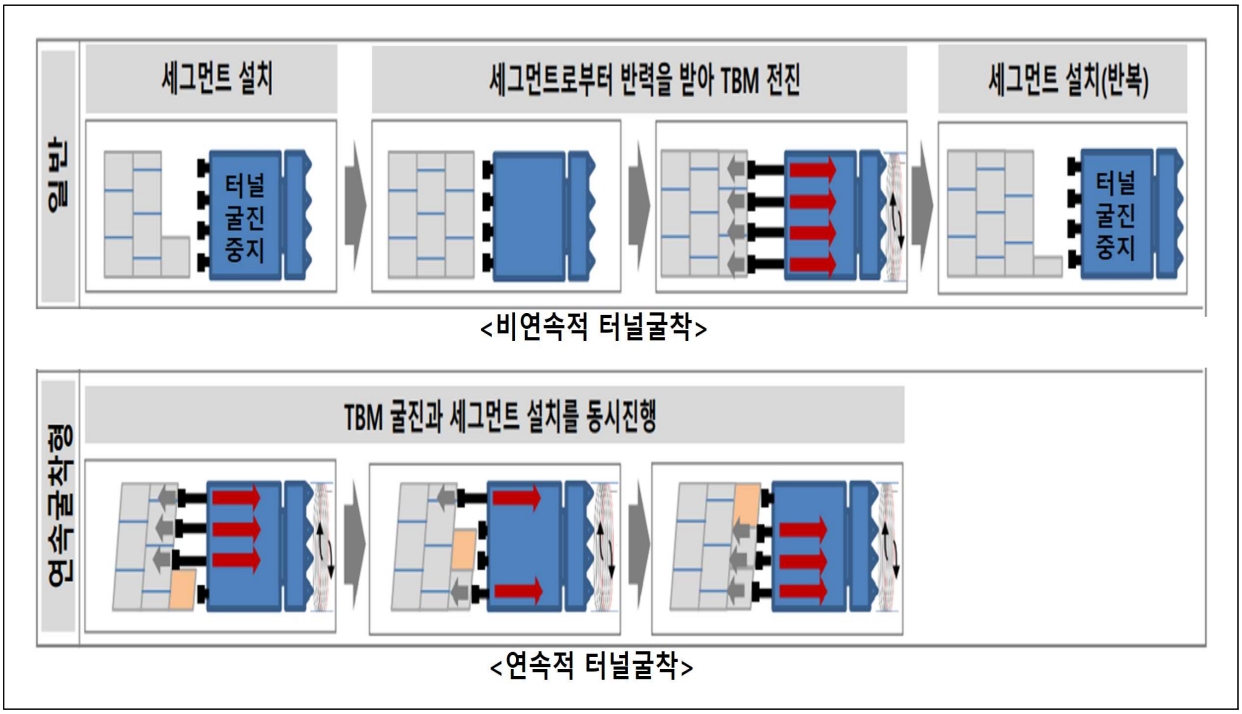
□ (구성기술 1-5) 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 연속굴착형 나선형 세그먼트의 강도규명을 위한 강도시험 및 굴곡시험

○ 연속굴착형 세그먼트의 내구수명 평가를 위한 신뢰성/환경시험기술

○ 연속굴착형 TBM 세그먼트의 시험평가방법 표준화 및 인증연계

[그림 3-11] 연속굴착형 세그먼트 기술 개념도



② 기술 범위

□ (구성기술 1-1) 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

○ 연속굴착형 TBM시공을 구현하기 위한 기존 TBM 장비개조기술

○ 유압잭 제원선정/배열기술, 고강성 유압잭 설계/개조기술, 경사세그먼트 안착을 위한 페데스탈 설계/제작기술, 경사하중 작용 검증을 위한 유압잭 신뢰성평가기술이 포함

□ (구성기술 1-2) 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술

○ 연속굴착형 세그먼트와 연계하여 추진잭을 연동/제어하는 기술

○ 세그먼트 설치위치별 연동작동(grouping) 기술, 운전모드별 하중분포 제어기술, 메인컨트롤밸브(MCV) 유압제어기술, 제어 로직/알고리즘 기술이 포함

□ (구성기술 1-3) 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술

○ 연속굴착형 세그먼트를 설치/시공하는 이렉터의 설계/제조/제어/검수와 관련된 기술

○ 연속굴착형 세그먼트의 설치순서와 방향을 설정하는 위치정보기반 설치로직기술, TBM과 이렉터간에 설치정보를 송수신하는 인터페이스 기술, 다자유도를 가지는 이렉터를 설계/제어하는 기술, 설치된 세그먼트를 자동검수기술 등이 포함

□ (구성기술 1-4) 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

○ 연속굴착형 TBM 추력잭의 다양한 하중조건을 고려한 나선형 세그먼트 구조안정성 분석 및 해석기술

- 상재하중에 대한 해석 및 세그먼트 기본설계기술
- 추력잭의 편심하중에 대한 구조안정성 해석/분석기술 및 철근보강 설계기술

○ 나선형 세그먼트의 최적 터널설계기술

- 직선부 및 곡선부 최적 나선 각도 설계, Pitch 각도에 따른 세그먼트 형상 설계 및 곡선부 조립시 외측부 틈새 이격 최소화 설계기술
- 나선형 세그먼트의 링간 및 세그먼트간 이음방식 및 가스켓 설치시 Offset 최소화를 위한 최적 설계기술

○ 나선형 세그먼트의 내화, 방수시스템 설계기술

- 나선형 세그먼트 화재 시뮬레이션, 내화설계기술
- TBM 터널 지하수 수압해석 및 방수설계기술

○ 터널 곡률 변화에 대응하는 나선형 세그먼트 몰드 최적제조/제작기술

- 회전각에 따른 비대칭 3차원 세그먼트 형상을 구현할 수 있는 몰드 제작기술

○ 연속굴착형 세그먼트의 나선각과 회전각을 고려한 세그먼트 제작기술

- 회전각을 고려한 세그먼트의 거푸집 제작, 최적의 배합 콘크리트 타설, 양생방법, 야적, 운반 기술

○ 연속굴착형 TBM 추력잭의 편심하중을 고려한 고강도 세그먼트 재료 제작기술

- 나선형 세그먼트 고강도·고내구성 재료기술
- 세그먼트 개스킷 지수재 개발 및 이음부 체결 장치 최적화 제작기술

□ (구성기술 1-5) 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 연속굴착형 나선형 세그먼트의 강도규명을 위한 강도시험 및 굴곡시험

- 다양한 하중조건(잭추력/휨/축하중) 압축강도시험 및 3점굴곡시험 기술

○ 연속굴착형 세그먼트의 내구수명 평가를 위한 신뢰성/환경시험기술

- 내구/사용수명 평가을 위한 주기반복 내구시험 방법 개발 및 시험기술
- 재해방지를 위한 내화성능시험 방법 및 내수/방수시험법 개발 및 시험기술

○ 연속굴착형 TBM 세그먼트의 시험평가방법 표준화 및 인증연계

- 세그먼트 시제품에 요구되는 다양한 성능을 시험 및 평가하여 신규 나선형 세그먼트의 시험법의 표준화 및 인증기술 포함

〈표 3-8〉 핵심기술 구성

핵심기술	구성기술
연속굴착형 TBM 제작·시공 기술	1-1. 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술
	1-2. 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술
	1-3. 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술
	1-4. 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술
	1-5. 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

(나) 추진배경 및 필요성

① 추진배경

□ TBM 세계시장 및 기술수준

○ 전 세계 TBM 제작시장은 '15~'20년 33% 증가가 예상*되며, 최근 대형 프로젝트는 대부분 TBM 터널로 발주되는 추세

* (유럽) Chunnel 터널(영-프), Pajares Base 터널(스페인), Gottard Base 터널(스위스) 등

* (아시아) 싱가포르 MRT, 터키 보스포러스 해저터널 등

- 지하교통 터널 건설시 경제적이고 안전한 방법으로 TBM(Tunnel boring machine) 기술을 적극 활용 중

- 선진국(독일, 일본 등)은 40~50년 이상의 TBM 설계·제작 경험을 바탕으로 독자적인 기술을 확보하고, 비공개 및 가격주도 등 독점화 진행중

□ TBM 국내시장 현황 및 기술수준

○ 국내의 경우 GTX, 지하도로 등 지하교통 터널 건설수요는 증가하는 반면, TBM 적용률(국내 2% 수준), 기술수준('15년 기준, 61.9%)은 미흡

- 국내 TBM 적용의 92%는 소단면 유틸리티(utility) 중심이며, 향후 중대단면(7~8m 이상)급 적용 시장은 증가할 것으로 예상

  * GTX-A/B/C, 경부고속 지하화, 서울시 지하도로, 도심지 지하철, 초장대 해저터널 등

- 독일·중국의 제작기술 독과점, 중·대형장비(7~8m 이상, 순장비비 180억~500억) 수요증가 등 국비유출 및 기술종속은 더욱 심화될 전망

○ 국내 TBM 설계/제작 기술은 매우 부족한 실정이며, TBM 기술은 수입에 의존

- 커터헤드 설계자동화 및 운전제어 시스템, 자동운전 등 연구개발이 추진 중이나, 실증 및 적용 부족 등 기술격차 해소에는 한계가 명확

□ 쉴드 TBM 적용성 증대 및 경제성·안정성 확보

○ 쉴드 TBM 적용비율이 높은 유럽지역을 제외하더라도 아시아 지역의 중국, 싱가폴 등지에서 쉴드 TBM의 적용성이 증대

- 중국 : 최근 6년간 TBM 적용 현장은 45개 도시에 1,254개소
  (전세계적으로 압도적인 개소수의 쉴드 TBM 현장 운용중)

- 싱가폴 : NATM 터널은 완전배제하고 터널이 필요한 구간에서는 쉴드 TBM 적용
  (CCL 노선의 경우 총 33.0km 중, 87%가 TBM으로 시공됨)

○ 국내의 경우에도 최근의 서울지하철 919, 920, 921의 3개 공구가 동시발주되어 완공되었으며, 현재 계획중인 서부선, GTX-C등의 민자사업에서 한강 하저 구간의 쉴드 TBM이 설계중임에 따라 쉴드 TBM중 세그먼트의 분야의 기술경쟁력 확보 필요

○ 세그먼트는 전체 공사비의 약 30~40% 정도의 공사비를 차지하는 주요 구조물임과 동시에 공사중 세그먼트 조립시간 동안 장비가 정지됨에 따라 공기 축소에 따른 경제성 확보와 장비 정지 배제를 통한 안정성 확보기술 필요

- 세그먼트 조립시간 : 전체 공사기간의 약 22%
- 연속굴착 시 장비정지 개소가 최소화되어 안정적 챔버압의 지속적인 가압으로 안전한 쉴드 TBM 시공이 가능

□ 연속굴착형 세그먼트 제작 기술 부재

○ 연속굴착형 TBM공법용 세그먼트 설계, 제작기술 부재

- 기존 쉴드 TBM용 세그먼트는 링타입 설치용 직사각형 형태가 가장 일반적으로 사용과 이는 세그먼트 설치기간동안 TBM이 정지되어 굴진율 저하 문제 존재
- 육각형 세그먼트가 연속굴착형 모델로 일본에서 개발된 바 있으나, 시공의 난해함으로 인해 상용화에 실패

○ 현재 해외 개발중인 세그먼트는 사다리꼴, 벌집모양, 헥사고널 등으로 형상이 다양

- 터널곡률에 대응하기 위하여 굉장히 많은 종류의 몰드가 필요하여 제작비용에 대한 우려가 있는 상황

○ TBM 장비의 국내 제작사가 없는 관계로 대부분이 해외기술에 의존하고 있는 실정

② 추진 필요성

□ TBM 국내/해외기술의 기술격차

○ 선진 TBM 제조사와 건설사업 수주를 위한 협력은 가능하나, 기술유출 문제 우려 등으로 공동연구는 쉽지 않은 상황

- 국내 여건상 중대단면 TBM 본체 개발 가능성은 낮으므로 새로운 방식의 TBM 시공 및 운영관리 기술력 제고 등, TBM 터널 사업의 종합적인 면을 고려한 우회전략 필요
- TBM 전체 공사비 절감, 기술력 향상 가능성 등을 고려하여 국내상황에 맞는 기술테마 선정이 필요

○ 국내 TBM 시공의 생산성 및 기술력 제고에 기여할 수 있는 핵심기술 개발 필요

- TBM 공사비 절감 및 기술력 향상을 위해 굴진율 향상, 시공/운영관리 고도화, 안전향상 등 종합적인 시공기술개발 필요
- TBM 장비의 높은 기술장벽과 국내 TBM 제조인프라 한계 등을 고려하여 공사비 절감 등 국내 현실에 맞는 기계화시공 분야의 신규기술 개발이 필요함
  * 주요부품과 완성차량의 성능과 품질 시험 · 검증시설 절대 부족
  * KAIST에서 테스트 시설 보유하고 있으나, 소단면(3.5m급) TBM 테스트만 가능

□ TBM 국내기술 수준에 적합한 혁신적 기술개발 필요

○ 국내 TBM 터널공사의 패러다임을 전환하기 위한 혁신적 기술 개발 필요

- 기존의 TBM 연속굴진은 범용 지반이 경암반에서만 사용가능한 더블쉴드 TBM 공법이 있고 장비가격이 일반 쉴드 TBM 장비의 150%~ 170% 정도 고가이나 굴진율의 증가는 20%~30% 정도로 큰 장점이 없어 널리 사용되지 못함
- 일본에서는 허니콤 세그먼트를 적용하여 연속굴진을 시도한 사례가 있으나 성공적이지 못함

○ 더블쉴드 공법의 대안으로 나선형 세그먼트를 사용한 TBM 연속굴착 공법 개발 필요

- 굴진속도 향상 및 이에 따른 TBM 장비 개조/운영 기술이 동반되는 연속굴착형 세그먼트 개발은 기존 TBM 시장의 게임-체인저 기술이 될 수 있음
- 연속굴착형 TBM 공법은 굴진율을 최대 30% 향상시킬 수 있어, 공사비용 절감으로 이어지는 혁신 기술
- 개발완료시 국내 건설사들의 원천 운영기술 확보로 해외에서 TBM 주도권을 가질 수 있는 기술

□ 세계적으로 설계·시공 사례가 없는 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

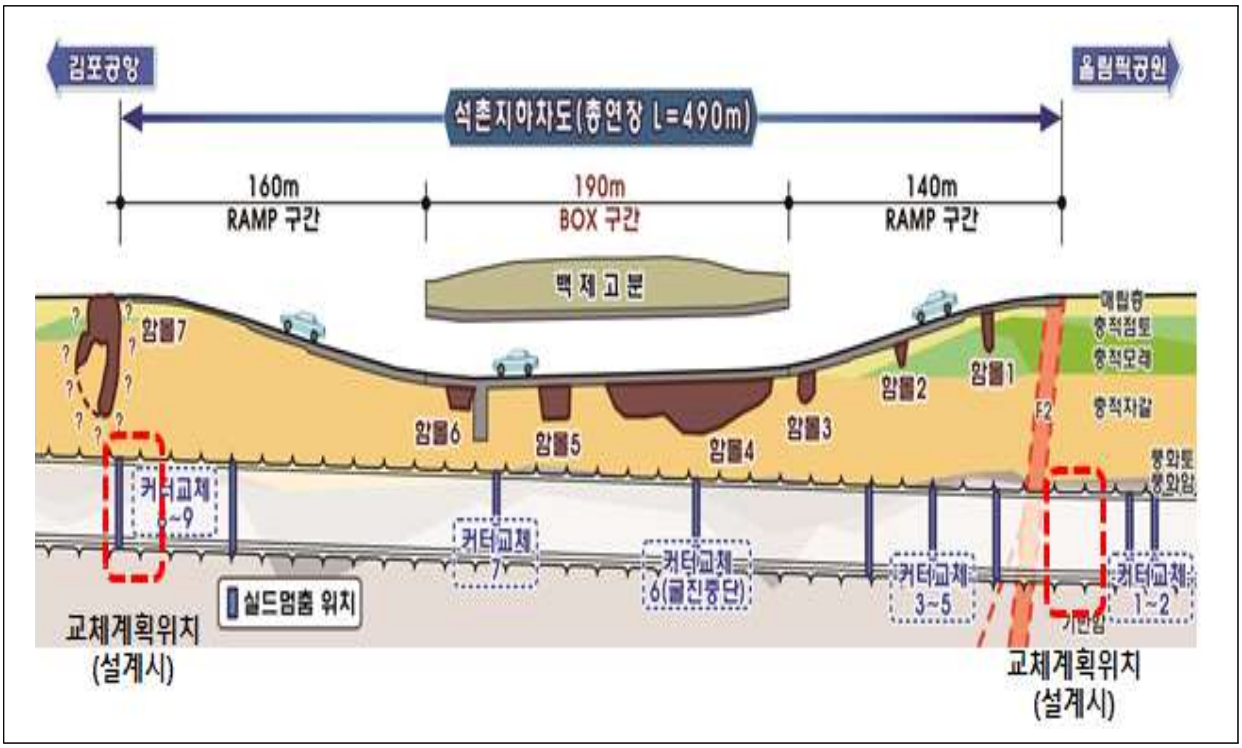
○ 설계 및 시공사례가 전무한 나선형 형상의 세그먼트의 혁신적 세그먼트 기술력 확보로 시공중 Down Time 최소화 및 장비 정지 없이 시공이 되도록 하여 공사중 안정성(특히 씽크홀) 저하 요인 배제

- 세그먼트 제작시간을 배제한 요소기술 개발로 공사기간 단축에 따른 경제성 확보
- 장지 정지 없는 조건의 시공이 가능하도록 계획함에 따라 굴진안정성 증대와 함께 최근 사회적 문제가 되고 있는 도심지 싱크홀 발생 요인 사전 배제

※ 출처: 한국일보, “석촌지하차도 '80m동공'… 그 많은 흙 어디로 갔나”(2014.08)

※ 출처: 서울시, 석촌지하차도 도로함몰·동공 원인조사 결과 및 복구계획 발표(2018.11.08.)

[그림 3-12] 석촌지하차도 싱크홀과 TBM 정지위치 비교그림



○ 나선형 세그먼트 상용화 적용 실적 전무

- 나선형 세그먼트의 설계 및 체결기술에 관해 해외특허만 출원된 바 있으며 아직 시제품이 생산되어 적용된 사례 없음
- 연속굴착형 세그먼트는 곡선 굴착시 직선과 상이한 회전각이 발생이 예상되고 이로 인해 체결시 유연하게 대응할 수 있는 변곡형 세그먼트 제작기술이 필요
- 변곡형 세그먼트의 거푸집(Mould)제작, 콘크리트 타설, 양생, 야적, 운반 기술이 필요

○ 세그먼트의 경우 국내 자체적 제작 노하우 축적되어 기술자립이 가능한 분야

- 연속굴착형 세그먼트의 개발에 성공하면, 쉴드 TBM 세그먼트 분야의 국내 독자적 기술력을 확보하여 해외수출까지 가능
- ICT 기술 및 IoT 기술을 활용한 제작 효율성 증대 및 제작 프로세스 구축으로 세그먼트 제작 경제성 확보 가능

○ 정부 뉴딜정책과 연관하여 세그먼트 제작시 발생하는 CO2 저감을 위한 기술 필요

- 연속굴착형 세그먼트 제작시 알칼리 활성화제, 제강슬래그, 페로니켈 슬래그 등 산업부산물 사용하여 CO2 저감하는 기술이 필요
- 정부 뉴딜정책에 부합하는 친환경 제조기술 개발 가능

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 연속굴착형 세그먼트 시험평가기술 부재

- 연속굴착형 세그먼트는 기존 세그먼트에 비해 경계면이 곡선으로 형성됨. 따라서 기존 세그먼트의 압축시험장치로 시험시 압축, 굴곡시험시 시편거치가 불가능
- 또한, 연속굴착형 추력잭은 부등하중과 편심하중이 작용하게 되는데 기존 시험장치에서 이런 현상을 모사할 수 없음

○ 연속굴착형 세그먼트 신뢰성시험기술 부재

- 현재 세그먼트에 대한 최대압축강도 시험만 존재하고, 내구수명, 사용연한에 대한 명확한 시험기준이 없는 실정
- 연속굴착형 TBM공법 개발시 나선형 세그먼트에 대한 신뢰성시험, 평가방법이 신규 개발, 제안되어야 함
- 나선형 세그먼트 제품의 신뢰성 시험평가 방법의 표준화/인증체계가 필요

(다) 현황 및 개선방안

① 현황 및 문제점

□ 기술개발 현황

○ 국내에서는 연속굴착형 세그먼트 설계, 제작 및 구조 성능검증 시험을 수행하여 사전연구를 수행 중

- 해외에서 특허출원된 후 연속굴착형 세그먼트의 구조적 설계와 제작, 이를 위한 TBM 장비 설계까지의 상용화 단계의 현장적용 사례는 없는 상태
- 해외에서 특허출원 건은 실제 시공에 사용하기에는 부적합하나, 이 한계를 극복하면서 차별화된 새로운 구조형식을 개발해야 함

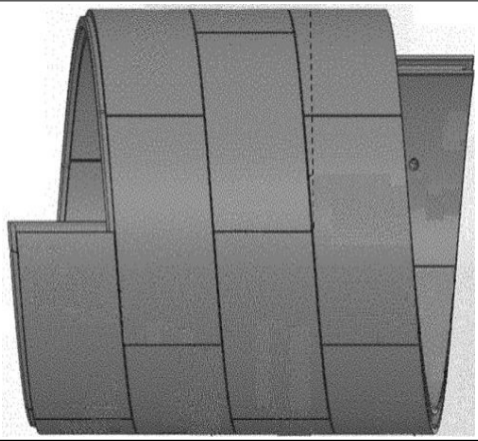
○ 연속굴착형 세그먼트의 설치에는 기존 이렉터의 자유도에 추가적인 자유도가 필요

- 현재 신규 세그먼트 이렉터 로봇장비에 관한 국내 연구는 전무함

○ 세계적으로 연속굴착형 세그먼트는 크게 Helical 및 Honey Comb 형상으로 개발(또는 특허)되어 있음

- 이중 Honey Comb 형상은 일본에서 개발되어 설계·시공사례가 있음
- 나선 형상의 세그먼트는 미국 및 캐나다에서 특허로 출원되어 있으나 설계 및 시공사례가 전무함에 따라 세부기술이 없는 상태
  * (국제특허) Spiroll Corporation, 1974, METHOD OF FORMING SPIRAL OR HELICAL TUNNELS AND SECTIONS THEREFOR, US patents.
  * (국제특허) TOPENG INC., JAMAL ROSTAMI ENGINEERING SERVICES, 2019, HELICAL SEGMENTAL LINING, World Intellectual property organization.
- Honey Comb(육각형) 형상의 세그먼트의 경우 일본에서 개발되어 연속굴착에 사용되었지만 여러 가지 문제점이 일본내에서 대두되고 있는 실정

[그림 3-13] 세그먼트

Helical(나선형) 형상 세그먼트	Honey Comb 형상 세그먼트
	

○ 세계적으로 연속굴착형 세그먼트는 적용 사례가 없으며, 제작시 발생하는 문제점에 대한 연구도 전무한 상태

○ 연속굴착형 세그먼트는 곡선 굴착시 직선과 상이한 회전각이 발생이 예상

- 회전되는 세그먼트의 형상 및 3차원 변화치수를 정밀하게 측정/제작할 수 있는 기술 부재

- 나선형 세그먼트 체결시 유연하게 대응할 수 있는 변곡형 세그먼트 제작 기술 부재
- 변곡형 세그먼트의 가변형 몰드 제작, 타설, 양생, 야적, 운반 등의 실무적 노하우를 적립하지 못한 상황

○ 해외 세그먼트 시험기술 현황

- 해외 제작업체는 자체 신뢰성시험을 통해 세그먼트 제품을 시험인증후 납품
- 한계상태설계법에 의거하여 설계/제작된 세그먼트를 휨인장력과 추력 방향의 압축시험을 수행
- 압축시험과 내구시험을 통해 세그먼트의 한계하중 및 피로성능을 검증
- 해외 생산업체/연구기관은 자체적 내구시험, 신뢰성 시험방법을 보유하고, 시험/평가/인증을 업체/기관에서 시행 중
  * Abbas, 2014, Structural and Durability Performance of Precast Segmental Tunnel Linings, The School of Graduate and Postdoctoral Studies The University of Western Ontario London, Ontario, Canada
  * ITA Working group 2, 2016, Twenty years of FRC tunnel segments practice: lessons learnt and proposed design principles, ITA report No. 16, April 2016.

○ 국내 세그먼트 시험기술 현황

- 국내 제작업체는 콘크리트 구조 설계기준에 따라 세그먼트를 생산/납품
- 국내 연구는 세그먼트의 경제성에 집중하여 철근배근 대신 강섬유보강콘트리트(SFRC)로 개발대상 재료가 옮겨가는 추세
- 휨방향/추력방향 압축시험 시행. 피로시험/내수시험/환경시험에 대한 신뢰성 평가연구는 현재까지 진행된 바 없음
  ※ 출처: 국토교통부, 2015, 고성능 세그먼트 라이닝의 개발 최종보고서, 건설기술연구사업, 한국건설기술연구원, 2015.05.31.
  ※ 출처: 문도영 외, 2014, 대형보 실험을 통한 TBM 터널 세그먼트용 강섬유보강콘크리트 성능평가, J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 16(3)287-298(2014).
  ※ 출처: 한국건설기술연구원, 2016, 실대형 지반구조물 시험장비 선진화 사업, pp. 15-19. (2016.12).

② 개선방안

□ 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

○ 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

- 추진잭(유압잭)은 해외 TBM생산사별로 개발되어왔기 때문에 기 도입된 장비를 연속굴착형 기술로 바로 적용하는 데 어려움이 있음
- 나선형 세그먼트 접지시 경사 하중 및 편심하중에 대한 항복 강도가 높은 고강성 유압잭을 설계, 개조함으로써 장비 성능 확보 가능
- 나선형 세그먼트의 경사면에 대응하고 세그먼트 마찰면을 정확히 지지할 수 있는 경사면 전용 페데스탈 개발을 통해 장비의 안전성을 확보
- 실제 투입 가능성을 고려한 경사 하중 적용 중 추진잭 테스트 벤치를 통해 내구성, 신뢰성 시험 평가 기술 확립 및 적용

□ 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술

○ 굴진 상황별 추력 제어 기술

- 직선구간 굴진시 세그먼트 설치 위치변화에 대한 추진잭 제어기술
- 곡선구간에서 굴진시, 곡선반경, 굴진속도, 세그먼트 위치변화에 다른 추진잭 제어기술
- 시공오차를 고려한 상하좌우의 미소한 변화를 주기위한 연속굴착형 세그먼트의 설치와 관련된 추진잭 제어기술

□ 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술

○ 기 설치된 세그먼트 및 굴진방향 연계 설치위치 센싱기술

- 라이다 기반 기설치 세그먼트 및 신규 세그먼트 측위 연속 측정기술
- 계측된 각 부위 편차와 진행방향를 고려한 (x,y,z,xy,θx,θy,θz,θs)방향 이동로직 및 제어시스템

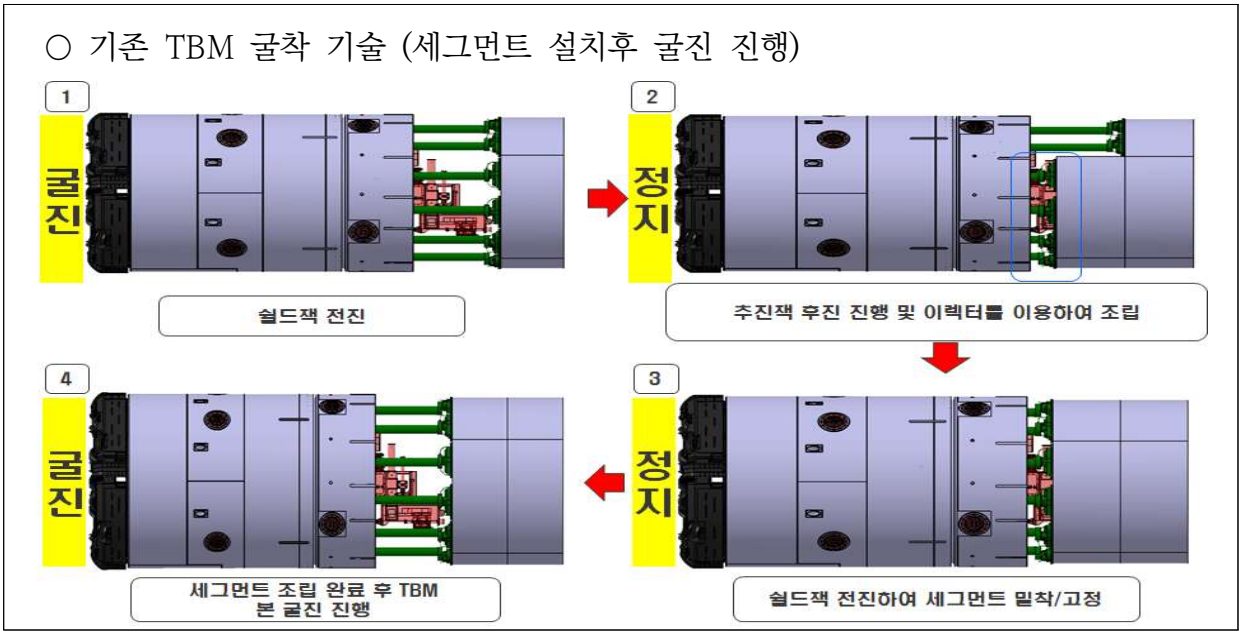
○ 세그먼트 및 굴진방향 연계 설치 제어로직 및 시스템

- TBM 굴착상황 및 추진잭 위치와 연동한 이렉터 로봇 제어 알고리즘
- 세그먼트 설치후 자동검수/평가 시스템

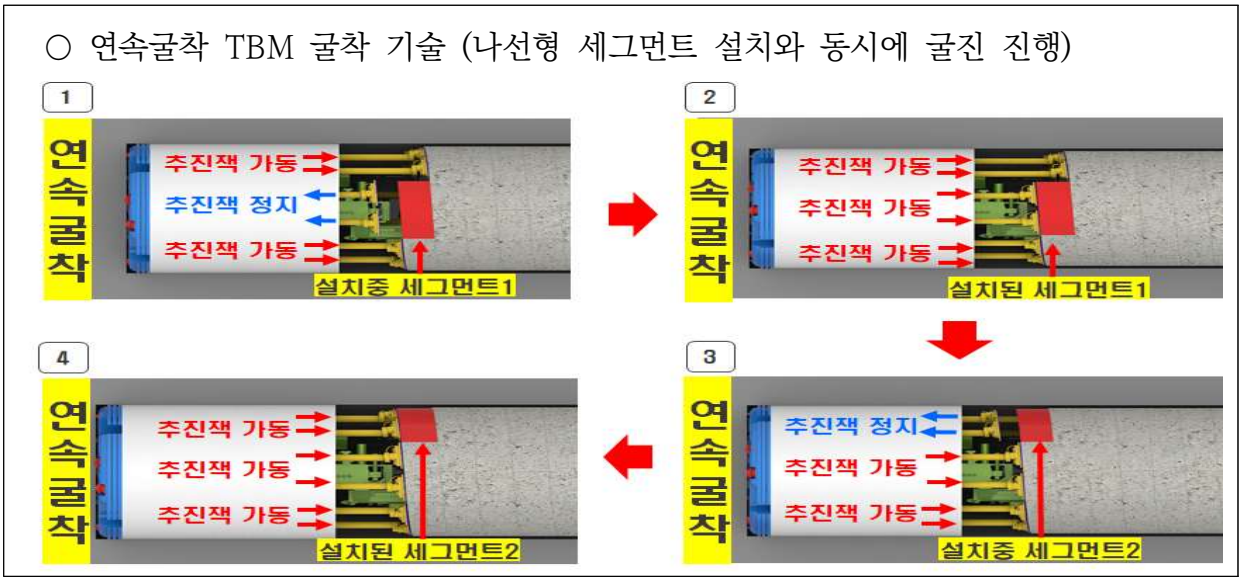
〈표 3-9〉 구성기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ TBM 더블쉴드 연속굴진 공법 - 더블잭-그리퍼 방식 제어 시스템으로 싱글쉴드 머신에 적용불가 - 순차적 세그먼트 설치에 따른 추력제어 불가 - 굴진율 향상효과 미비 ○ 더블쉴드 핵심모듈 및 세그먼트 - 균형적인 추력제어 불가시 세그먼트 파손 및 방향제어 우려 - 경사 및 비틀림 하중에 대한 구조 설계가 미흡하여 장비 성능 확보 우려 - 굴진율 향상효과 미비 ○ 기존 이렉터는 링타입 세그먼트용 원주 방향의 일반적인 움직임 구현가능 - 나선형 세그먼트 조립에 적용 불가	○ 연속굴착형 TBM 공법 - 세그먼트 설치와 동시에 TBM 연속굴착 가능 - 추진잭 제어시스템 - 굴진율 혁신적 향상 ○ 연속굴착형 핵심모듈 및 세그먼트 - 나선형 세그먼트 순차적 설치위치 변화, 직선/곡선구간 대응 제어기술 - 추진잭, 세그먼트 신뢰성평가기술 ○ 연속 굴착을 위한 대각 방향 이동 등 7자유도 센서장착 이렉터로봇 개발 - 세그먼트 자동 설치/조립 이렉터로봇 - AI-비젼기반 자동검수 시스템

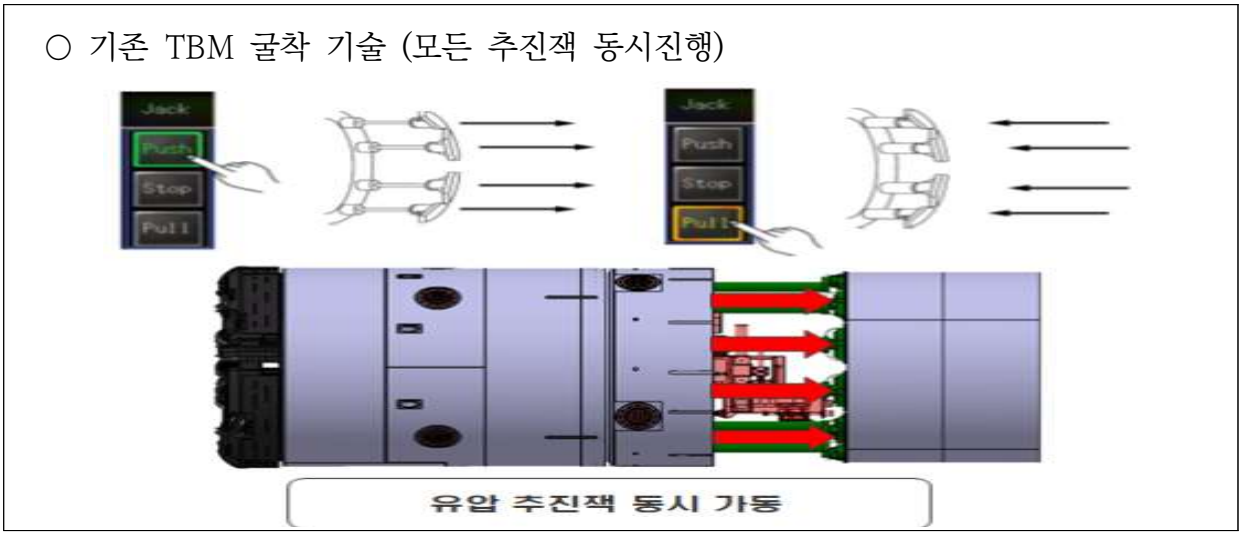
[그림 3-14] 구축기술 1-1(As-is)



[그림 3-15] 구축기술 1-1(To-be)



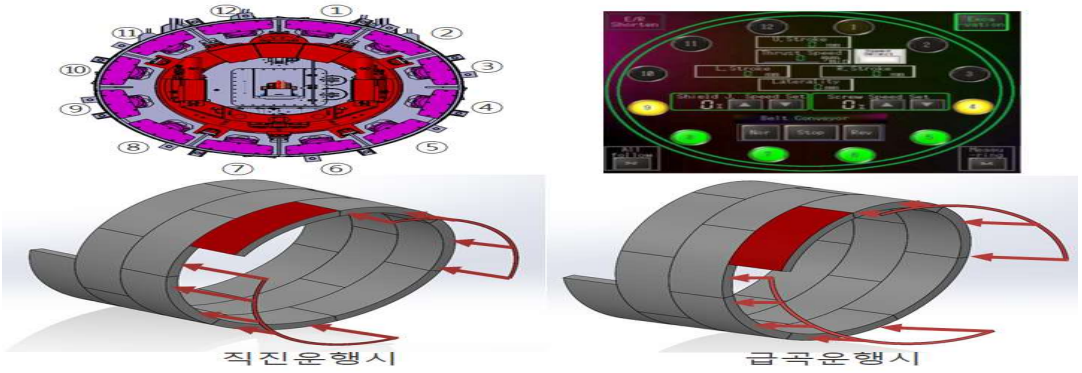
[그림 3-16] 구축기술 1-1(As-is)



[그림 3-17] 구축기술 1-1(To-be)

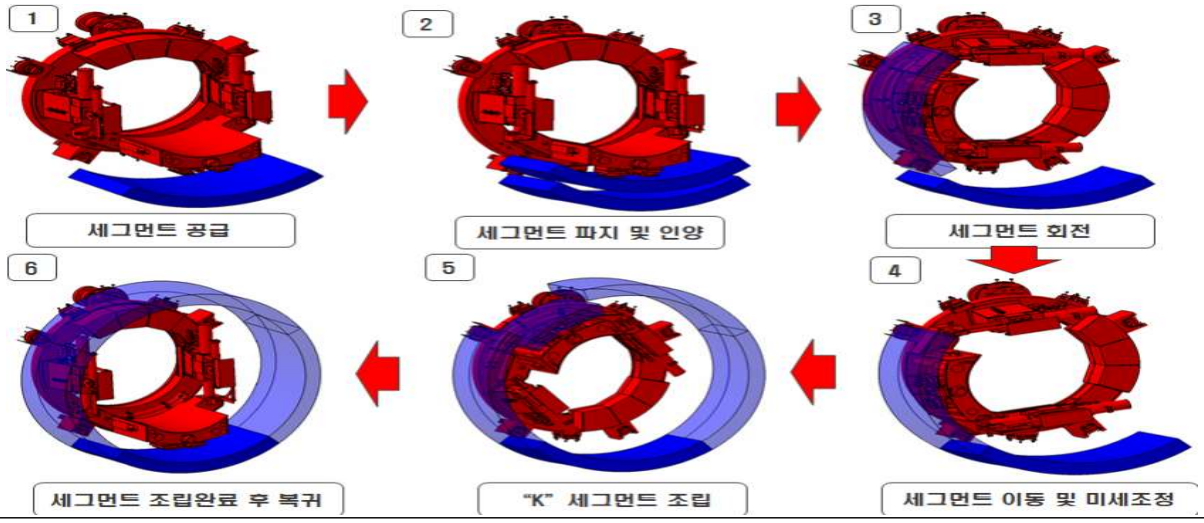
○ 연속굴착 TBM 굴착 기술 (추진잭 모듈화/유압제어시스템)

- 추진잭 작동모드별 자율모듈화 시나리오 수행(직진, 좌우향, 상하향 등 방향제어)



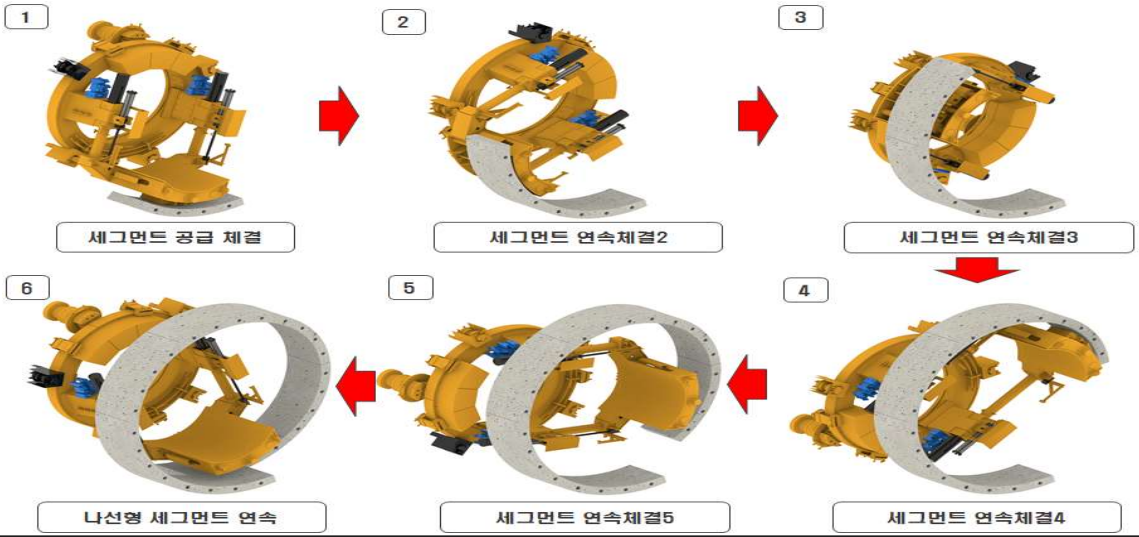
[그림 3-18] 구축기술(As-is)

○ 기존 이렉터 기술 (링타입 세그먼트 설치후 굴진 진행)



[그림 3-19] 구축기술(To-be)

○ 연속굴착 이렉터 로봇기술 (나선형 세그먼트 설치, 연속 설치속도 향상)



□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

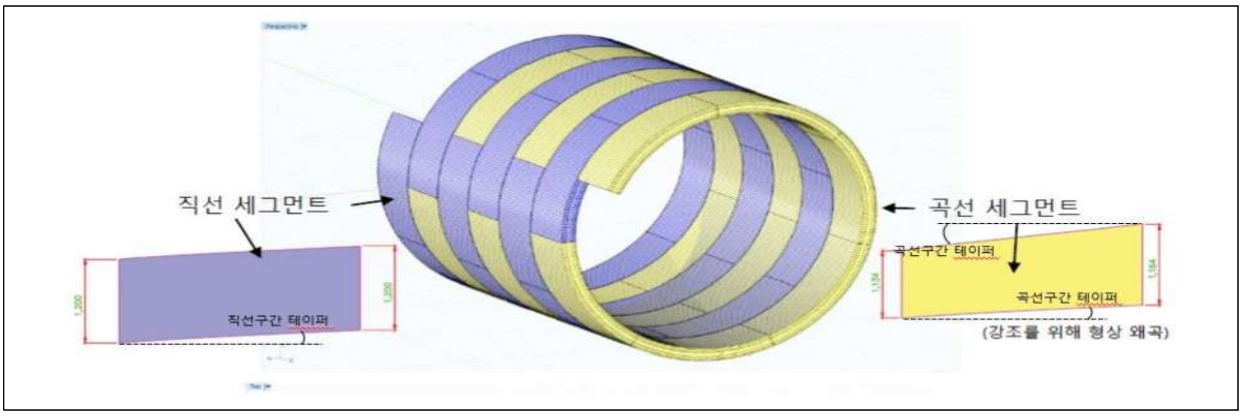
○ 연속굴착형 세그먼트의 안정성 평가기술

- 나선형 세그먼트는 연속적인 세그먼트 조립 시공 조건상 다양한 편심하중 조건하에 있어 기존의 단위 링간 안정성 평가에는 한계
- 기존의 링간 조립 방식에서는 2-Ring Beam에 의해 안정성 평가를 수행함. 연속적인 세그먼트 조립 조건과 다양한 편심하중 조건을 고려한 안정성 평가 기법이 필요

○ 연속굴착형 세그먼트의 최적설계기술

- 시공중 추진잭에 의해 발생되는 최대응력 양 및 발생 위치를 고려한 최적 철근배근 방안을 수립
- 직선부 및 곡선부에서의 터널 직경별 최적 나선각도, Pitch 등과 관련된 최적형상 설계기술 개발로 세그먼트 조립 용이성과 안정성을 확보
- 터널곡선부 시공시 외측부 틈새발생과 소켓부 균열발생 제어기술을 개발

[그림 3-20] 직선부 및 곡선부에서의 연속굴착형 세그먼트 테이퍼 개요도



- 나선형 세그먼트에서 방수재 위치 고정, Offset 최소화를 위하여 가스켓 형상 및 가스켓 설치방법에 대한 솔루션 개발
- 나선형 세그먼트 형상으로 인한 링간 및 세그먼트간 이음부 각도, 이음부 방식에 대한 설계

○ 연속굴착형 세그먼트 몰드제작기술

- 세그먼트 피치각도에 따른 형상변화를 고려한 세그먼트 3D 몰드제작 기술 개발
- 터널곡률 변화에 대응하는 가변형 몰드 최적제조기술 개발 및 세그먼트 경제성 확보

○ 연속굴착형 세그먼트 제작기술

- 나선형 세그먼트 기본 제작기술 및 곡선부 회전 반지름 변화에 적용 가능한 가변형 세그먼트 제작기술 확보
- 곡선부와 직선부 세그먼트 접합시, 결합면의 각도 변화에 따른 체결 부속물 제작기술 개발
- 연속형 굴착방식에 적합한 원터치 핀타입 연결기술 구축

○ 연속굴착형 세그먼트 재료개발기술

- 고강도·고내구성 세그먼트 재료배합기술 개발
- 정부 뉴딜정책에 부합하는 세그먼트 제조시 CO2 저감기술 개발
- 고수명, 친환경 세그먼트 기술개발로 친환경 건설기술 지향

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 연속굴착형 세그먼트 기초 시험기술 응용

- TBM 터널 토압방향 휨하중시험과 TBM 추력방향 하중재하 시험의 연속굴착형 세그먼트에 적용하여 세그먼트의 강도 및 내구성 시험, 측정

○ 연속굴착형 세그먼트 신뢰성 시험평가기술

- 실제환경에서 발생하는 영향을 세그먼트 시제품 출시전에 시험하여 제품 내구수명, 피로수명 등의 제품신뢰성을 사전 검증
- 강도시험, 피로시험, 내수시험, 내화시험 등의 내환경시험 및 평가방법을 구축

○ 연속굴착형 세그먼트 시험평가기술 제안/표준화

- 연속굴착형 세그먼트의 내환경시험(강도시험, 피로시험, 내수시험, 내화시험 등) 제안
- 제안된 시험법의 표준화 진행하여 향후 세그먼트 제조/시공 시방서(매뉴얼) 확보

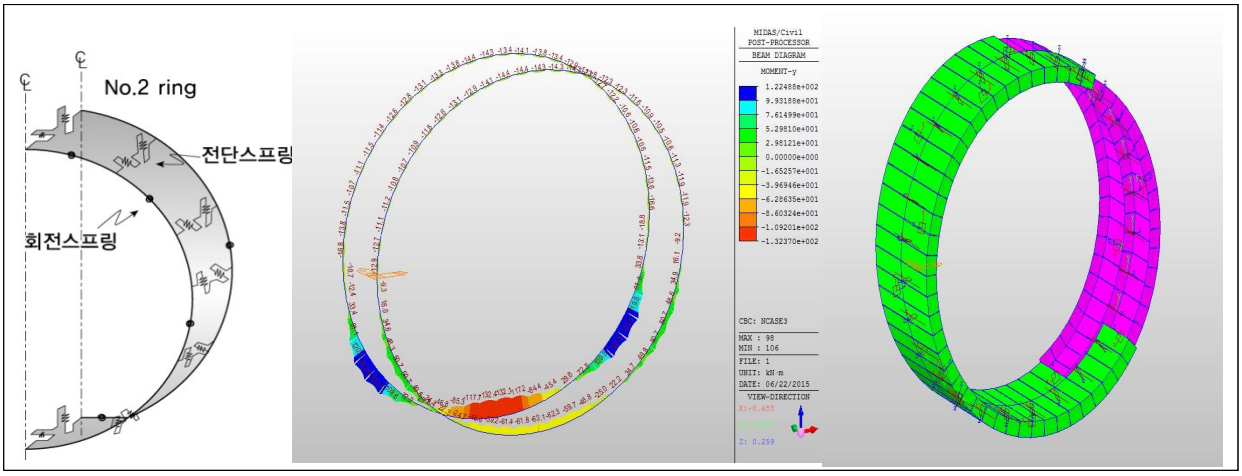
〈표 3-10〉 구성기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 일반 링타입 세그먼트에 대한 안정성 평가 및 설계기술 - 현재 2-Ring Beam에 의한 안정성 평가 및 설계기술 존재 - 다양한 하중조건하의 나선형 세그먼트 안정성 평가 기술 부재 - 직선부 및 곡선부 형상 설계기술 부재 - 최적 방수 시스템 설계기술 부재 - 최적 이음방식에 대한 설계 기술 부재 ○ 세그먼트 제작 - 일반 링타입 세그먼트 몰드제작 진행중 - 세그먼트의 형상변화에 따른 몰드제작 기술 부재 일반 링타입 세그먼트 제조기술 존재 - CFRP 고강도 세그먼트 제조기술 존재 - 친환경 세그먼트 재료기술 부재 ○ 세그먼트 기본 시험평가 기술 - TBM 세그먼트 기본 압축, 휨시험방법 정립되어 최대강도 측정/평가 - 세그먼트 피로시험/내구시험방법 부재 - 국제학회에서 제안된 세그먼트 내화, 내수시험 방법 존재 - 세그먼트의 사용수명 검증시험방법 부재	○ 연속굴착형 세그먼트 설계기술 확보 나선형상을 고려한 Munti Ring-Beam Modelling에 의한 안정성 평가방안 수립 - 최적 나선각도, 곡선부 이음부 형상 개선을 통한 곡선부 틈새제어 기술 확보 - 가스켓 설치방법 및 형상 개선 및 최적 방수설계 모델개발 - 링간 및 세그먼트간 최적 이음방식 설계기술 개발 ○ 나선형 세그먼트몰드 제작기술 확보 - 다양한 형태의 세그먼트 생산을 위한 가변형 몰드 제작기술 개발 - 연속 굴착을 위한 다양한 나선형 형태의 나선형 세그먼트 생산제조기술 확보 - CO2 저감 및 연속굴착을 위한 고강도·고내구성 친환경 세그먼트 재료개발 ○ 세그먼트 신뢰성 시험평가 기술 - 기본 시험방법 나선형 세그먼트 시험법에 응용/적용 - TBM터널 가동/운용 조건이 고려된 세그먼트의 내구 신뢰성시험법 개발/적용 - 내화, 방수시험 등의 내환경시험을 신뢰성시험 방법으로 통합/표준화 진행

□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

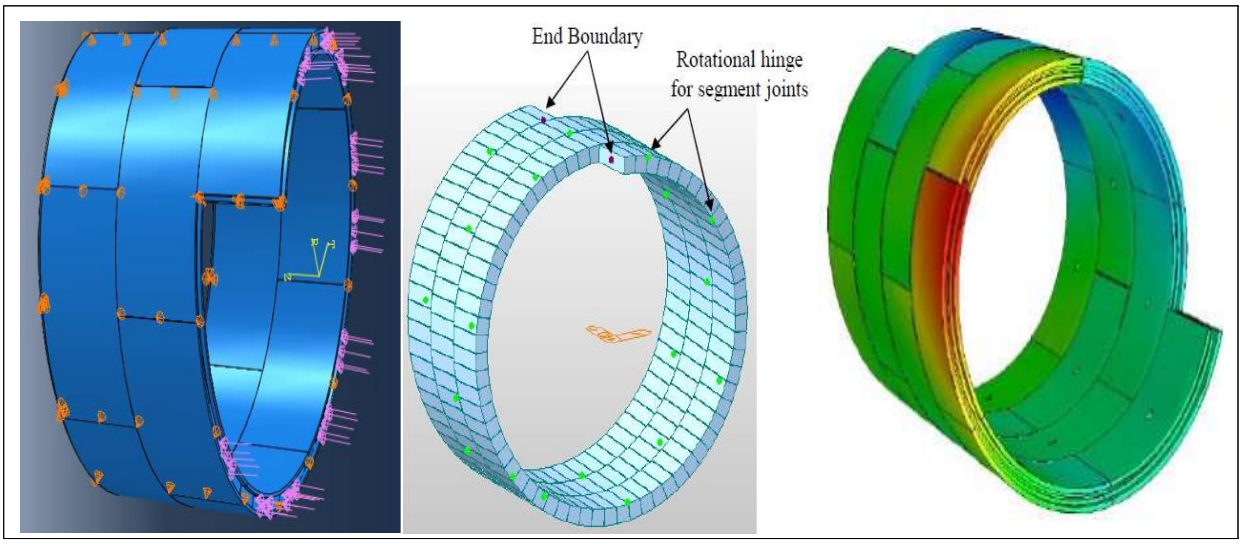
○ 기존의 2-Ring Beam Modelling

[그림 3-21] 구축기술(As-is)



○ 나선형상을 고려한 Multi Ring-Beam Modelling 또는 3D Full Model

[그림 3-22] 구축기술(To-be)

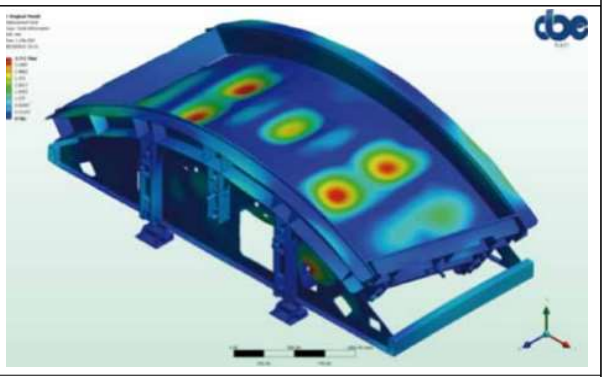


○ 기존방식의 세그먼트 몰드

[그림 3-23] 구축기술(As-is)



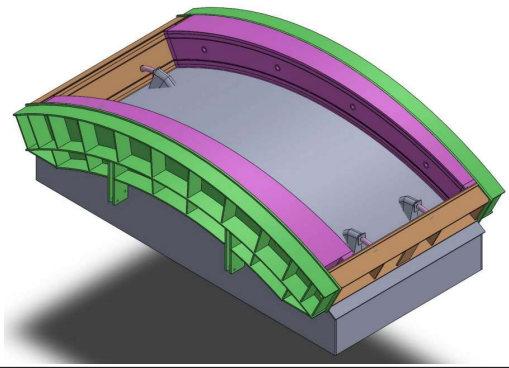
일반 세그먼트 몰드



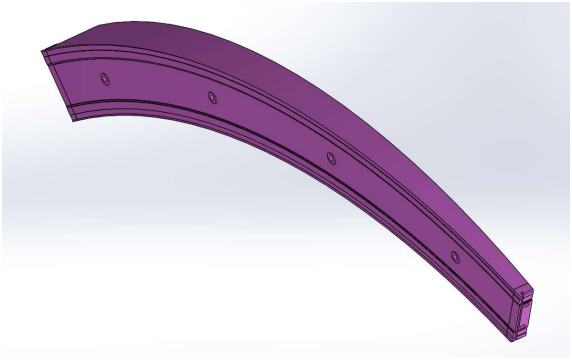
바이브레이팅 중 몰드강도의 컴퓨터 모델링

○ 연속굴착용 세그먼트 연구개발용 몰드 Model

[그림 3-24] 구축기술(To-be)



연속굴착형 세그먼트 몰드(Mould)

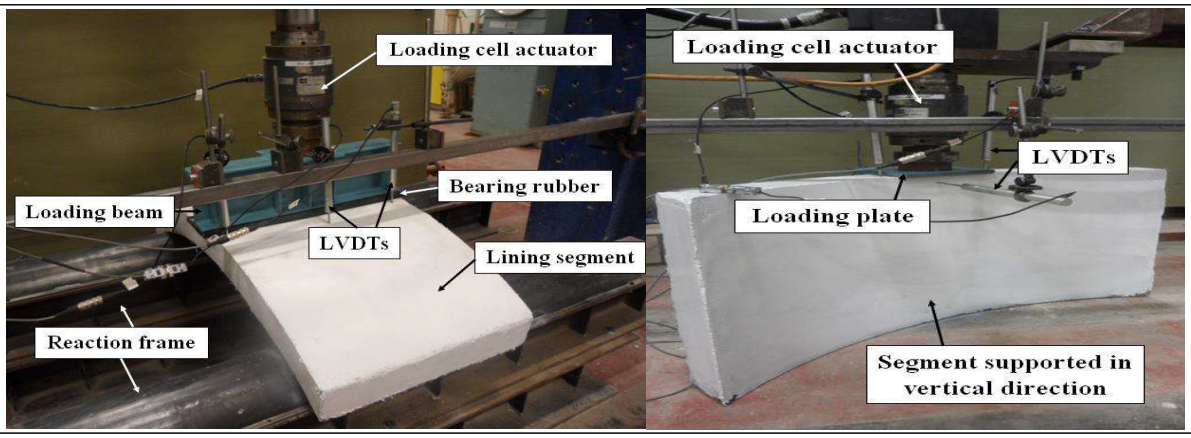


곡선 대응형 제작 가변형 필러(3D 프린트)

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

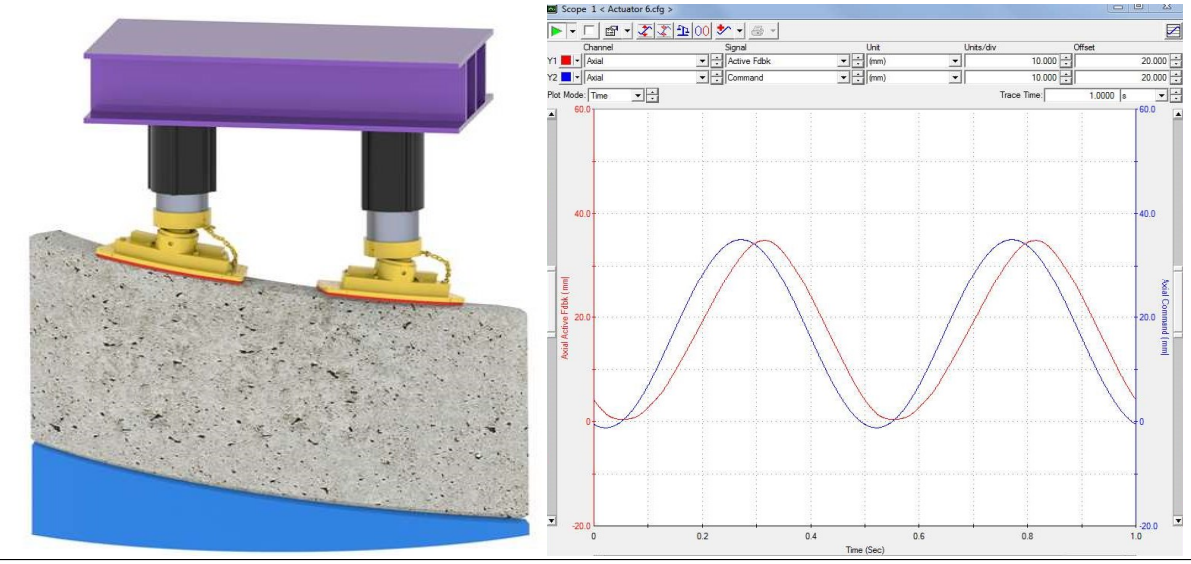
○ 기존의 시험방법

[그림 3-25] 구축기술(As-is)



○ 개발예정 신뢰성시험방법

[그림 3-26] 구축기술(To-be)



(라) 기술개발 개요

① 기술개발 정의

□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

○ 연속굴착형 TBM의 다양한 하중조건에 대응하는 나선형 세그먼트 설계기술

○ 직선부 및 곡선부의 최적 나선각도 설계 및 기존 소켓형상의 세그먼트 이음장치 설계기술

○ 링간 및 세그먼트 간의 경사/비틀림 하중을 반영한 체결부 강건설계 기술

○ 연속굴착형 세그먼트 형상변화를 고려한 세그먼트 3D 몰드제작 기술

○ 연속굴착형 세그먼트 기본 제작기술 및 곡선부 회전 반지름 변화에 적용 가능한 가변형 세그먼트 제작기술

○ 연속굴착형 및 CO2 저감을 위한 고강도·고내구성의 세그먼트의 친환경 생산공정 기술

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 연속굴착형 세그먼트 기초 시험기술 응용

○ 연속굴착형 세그먼트에 대한 강도시험, 피로시험, 내수시험, 내화시험 등의 신뢰성 시험평가기술

○ 연속굴착형 세그먼트 표준시험법 제안 및 시험지침서(매뉴얼) 구축

□ 굴진 반력 확보를 위한 장비 개조 기술

○ 연속 굴착을 위한 설계 및 개조를 위한 데이터를 산정하여 최적운영 추진잭의 개수 및 제원을 도출하는 설정 솔루션

○ 경사 하중 및 비틀림 하중에 대한 설계를 접목한 고강성 유압잭을 설계, 개조하고, 페데스탈을 제작하여 TBM장비 성능 및 안전성을 확보

○ 경사 하중 적용 추진잭 내구성 및 신뢰성시험 평가 기술 확립 및 적용

□ 다양한 굴진 상황에 대응하는 추진잭 통합제어 시스템

○ 굴착중 발생 가능한 다양한 굴착 상황에 대한 시나리오를 구성하고 이에 맞추어 추진잭의 개별제어 및 통합제어가 가능한 알고리즘 개발

□ 설치 세그먼트 및 굴진방향 기반 최적 측위센서 및 다자유도 이렉터 로봇 정밀제어기술

○ 나선형 세그먼트 조립이 가능한 다자유도 이렉터 로봇 개발

○ 세그먼트를 정확한 위치에 이동하여 정밀하게 설치 가능한 세그먼트 고정밀/자동 설치 제어시스템 개발

② 기술개발 목표

□ 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

○ TBM장비 맞춤형 추진잭의 개수 및 제원 최적화 설계기술개발

○ 경사 하중 및 비틀림 하중에 대한 고강성 유압잭 및 경사 페데스탈 설계/개조 기술개발

○ 경사 하중 적용 추진잭 내구성 및 신뢰성시험 평가기술 개발

□ 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술

○ TBM 직경별 연속굴착형 추진잭 최적화 기술

○ 다양한 굴진 상황(직선, 곡선, 지반강도, 세그먼트 위치)에 대응하는 추진잭 제어 알고리즘

□ 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술

○ 다양한 세그먼트 설치 상황에 대응하는 이렉터 제어 알고리즘 및 이렉터 로봇

○ 세그먼트 설치후 검수를 위한 AI-비젼 기반 자동검수 시스템

□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

○ 연속굴착형 TBM의 다양한 하중조건에 대응하는 나선형 세그먼트 설계기술

- 연속굴착형 세그먼트 안정성 평가기술(Multi Ring Beam method) 개발
- 연속굴착형 TBM 추력잭의 경사/비틀림 하중 대응형 세그먼트 설계기술 개발

○ 연속굴착형 세그먼트 최적 나선각도 설계 및 기존 소켓형상의 세그먼트 이음장치 설계기술

- 직선부 및 곡선부의 곡률은 고려한 연속굴착형 세그먼트 최적 설계기술 개발
- 세그먼트 가스켓 설치를 위한 이음부 형상 최적 설계기술 개발

○ 링간 및 세그먼트 간의 경사/비틀림 하중을 반영한 체결부 강건설계 기술

- 나선형 세그먼트의 시공중 경사하중과 비틀림하중 제어를 위한 이음방식 선정
- 링간 및 세그먼트 간의 경사/비틀림 하중을 반영한 체결부 강건설계 기술개발

○ 연속굴착형 세그먼트 형상변화를 고려한 세그먼트 3D 몰드제작 기술

- 나선형 세그먼트 제작를 위한 기본 몰드 설계/제조기술 개발
- 얼라인먼트 조정용 몰드 설계/제작기술 개발
- 형상변화에 따른 가변형 3D 몰드 제작기술 확보

○ 곡선부 회전 반지름 변화에 적용 가능한 세그먼트 제작기술

- 나선형 세그먼트 직선부 기본 제작기술 확보
- 얼라인먼트 조정용 나선형 세그먼트 제작기술 개발
- 곡선부 곡률반경에 경제적 대응이 가능한 가변형 세그먼트 제작기술 개발

○ 고강도·고내구성의 세그먼트의 친환경 생산공정 기술

- 나선형 세그먼트 고강도, 고내구성 재료기술 확대 적용
- 이산화탄소 저감을 위한 친환경 세그먼트 제조기술 개발

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 연속굴착형 세그먼트 기초 시험기술 응용

- 기본 시험방법 나선형 세그먼트 시험법에 응용/적용

○ 연속굴착형 세그먼트에 대한 강도시험, 피로시험, 내수시험, 내화시험 등의 신뢰성 시험평가기술

- TBM터널 가동/운용 조건이 고려된 세그먼트의 내구 신뢰성시험법 개발
- 기존 내수시험, 내화시험을 제품신뢰성 시험방법으로 응용/개발

○ 연속굴착형 세그먼트 표준시험법 제안 및 시험지침서(매뉴얼) 구축

- 재해방지를 위한 내화, 방수시험 등의 기존 시험방법을 신뢰성 환경시험으로 통합
- 연속굴착형 세그먼트 시험방법 제안 및 표준화(매뉴얼, 시방서) 진행

(마) 국내외 기술개발 동향

① 해외 동향

〈표 3-11〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
공기단축	일본	K사	더블잭 TBM	2종류의 잭을 운영, TBM굴진시 세그먼트를 조립하는 '더블잭 굴진공법' 개발 /유압잭 개수 증가와 작업 복잡성으로 범용화 실패
굴진율 향상	독일	H사	더블쉴드 TBM	그리퍼와 쉴드 TBM을 결합하여 세그먼트 조립시 그리퍼로 굴진 /고가로 적용실적 부진
이렉터 자동화	일본	J사	세그먼트 반자동 조립장치	세그먼트 조립속도를 자동화/ 신속화하여 공기단축 /복잡한 구조로 작업난해, 부분적 상용화

□ 더블 잭 식 동시 굴진 공법 (2004년, 일본 K사)

○ 굴진과 조립을 동시에 실시함으로써 공사기간 단축, 비용 절감

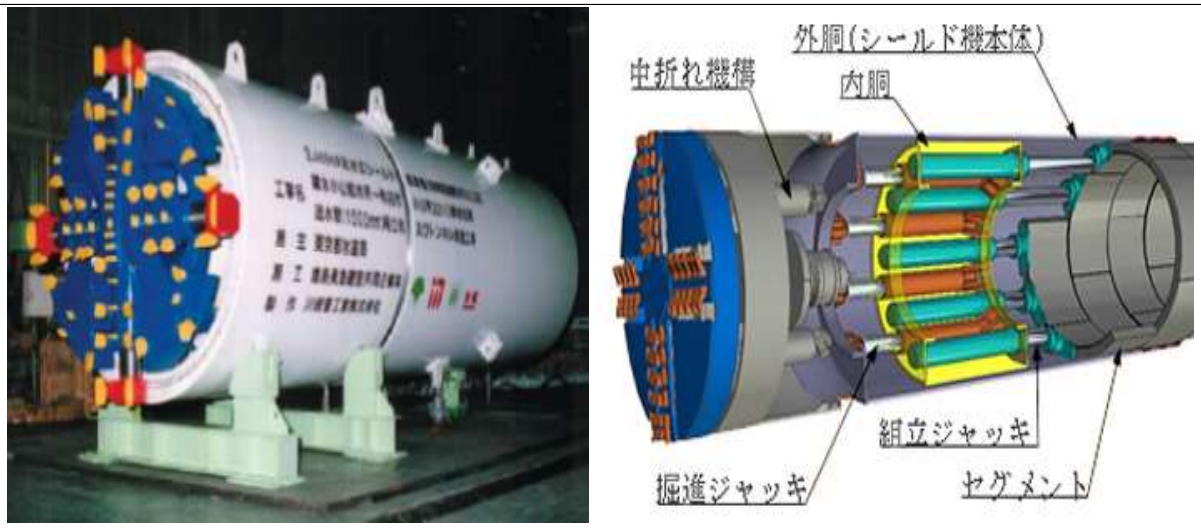
- 일반 쉴드 공법에선 굴진 작업과 세그먼트 조립 작업을 병행 작업으로 할 수 없어 사이클 타임 단축에 어려움이 있음
- 굴진 전용 잭과 세그먼트 조립 전용 잭의 2종류의 잭을 장비함으로써 굴진과 동시에 세그먼트를 조립하는 '더블잭 동시 굴진공법'을 개발

- 기술의 특징은 1) 쉴드기 외통과 내통의 이중 구조로 별도의 지수가 필요 없음

  2) 굴진용과 세그먼트 조립용 2종류의 전용 잭을 장비 3) 내통의 전면부 굴진 에리어와 내통 후면부 조립 에리어를 별도로 두어 각각 작업의 안전성 확보

- 적용 실적 '다마 구릉 간선' 도쿄도 하치오지시~마치다시, 2004년 8월, 쉴드 외경 2,486mm, 굴진연장 1,220m

[그림 3-27] 더블잭 동시 굴진 쉴드기



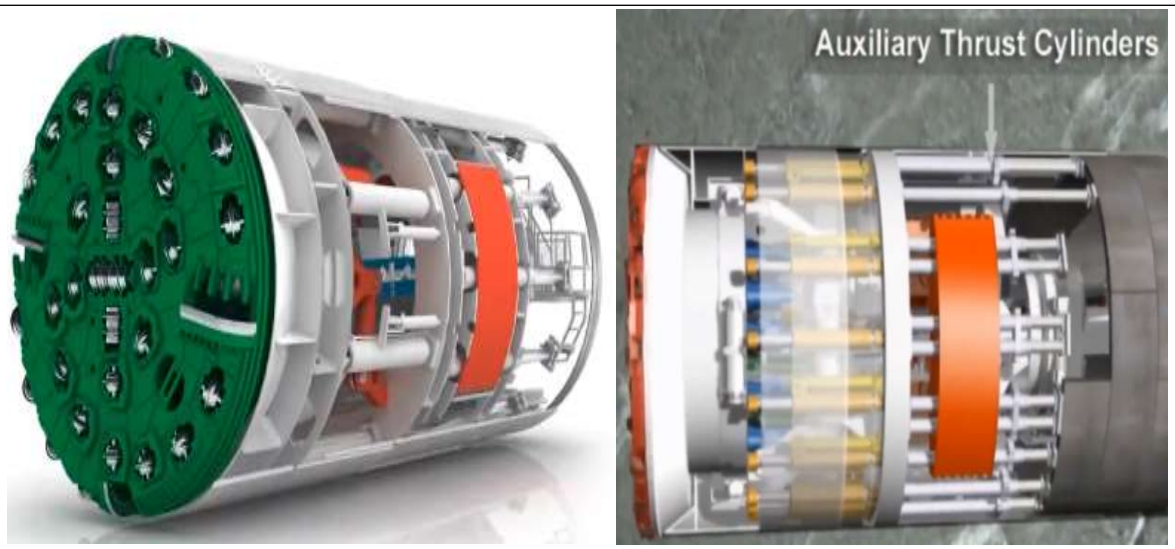
※ 출처: 카지마건설 홈페이지

□ 더블 쉴드 TBM 공법(텔레스코픽 쉴드 공법) (독일 H사)

○ 그리퍼와 싱글 쉴드 TBM의 기능적 원리를 하나로 통합

- 안정적인 지질 조건에서 방법의 조합으로 굴진과 동시 세그먼트를 설치하여 높은 터널링 성능을 구현
- 커터헤드, 메인 드라이브가 있는 전면 쉴드와 그리핑 유닛, 보조 추진잭 및 테일 케이싱이 있는 그리퍼 쉴드의 두 가지 주요 구성 요소로 구성되며, 주 추력 실린더는 쉴드의 두 부분을 연결
- 전면 및 그리퍼 쉴드의 케이싱이 겹쳐지는 부분은 텔레스코픽 쉴드로 보호

[그림 3-28] 더블 쉴드 TBM



※ 출처: herrenknecht 홈페이지

□ 세그먼트 자동 조립 시스템 (1998년, 일본 J사)

○ 세그먼트 전자동, 반자동 조립 시스템 적용

- 쉴드 공사의 자동화에 반드시 필요한 세그먼트 자동조립장치 1호기를 세계 최초로 개발하여 가나가와 공동구 공사의 이수식 쉴드에 장착, 전구간을 순조롭게 자동을 조립 완료 동경만 횡단도로용 이수식 쉴드에도 적용
- 세그먼트 운송에서 파지, 위치결정, 볼트 체결까지의 일련의 조립 작업을 안전하게 고도의 자동화된 정밀도로 시공

[그림 3-29] 세그먼트 자동 조립 시스템





※ 출처: JIMT 카달로그

- 현재 일본의 자동 조립 시스템은 일본 버블경제기에 일본 TBM업체들이 기술 홍보를 위하여 완성한 기술로 복잡한 구조와 시스템을 가지고 있음.
- 국내에서는 현재의 기술력을 바탕으로 효율적으로 세그먼트 이렉터 로봇을 개발하여 연속 굴착을 실현하고 TBM 굴진 향상을 위한 개발을 진행하려고 함

□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

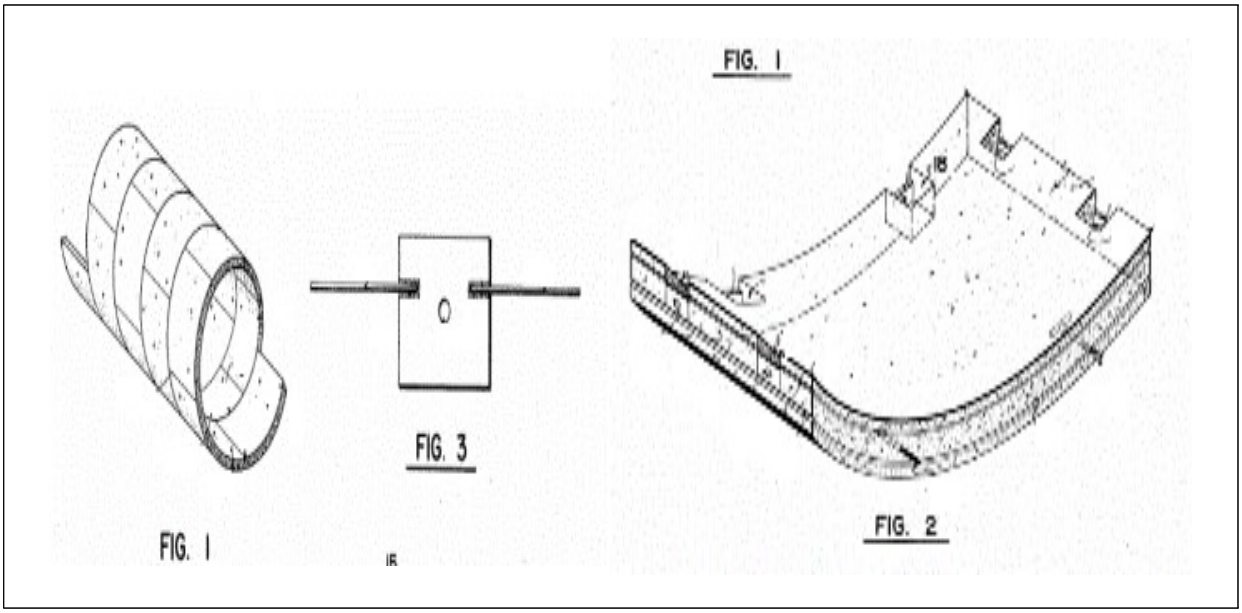
〈표 3-12〉 구성기술 1-4~5 관련 구축기술 사례

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
쉴드 TBM 연속굴착	캐나다	Spiroll Corporation Ltd.,	Helical 세그먼트	헬리컬 세그먼트의 원천 기술 특허 (공개특허로 전환)
미국	TOPEN, JAMAL ROSTAMI ENG. SERVICES	Helical 세그먼트	요철방식 (소켓방식)의 세그먼트 체결 시스템에 대한 권리	-
일본	OKUMURA Corp.	Honey Comb 세그먼트	연속굴착을 위한 벌집모양의 세그먼트 구조체	-

○ 연속굴착을 위한 세그먼트 최초 개념은 1974년 캐나다에서 특허로 등록된 후 1994년이후 공개특허로 전환

*(국제특허) Spiroll Corporation, 1974, METHOD OF FORMING SPIRAL OR HELICAL TUNNELS AND SECTIONS THEREFOR, US patents.

[그림 3-30] 쉴드 TBM 연속굴착을 위한 헬리컬 세그먼트 개념도 - 1 (Spiroll, 1974)

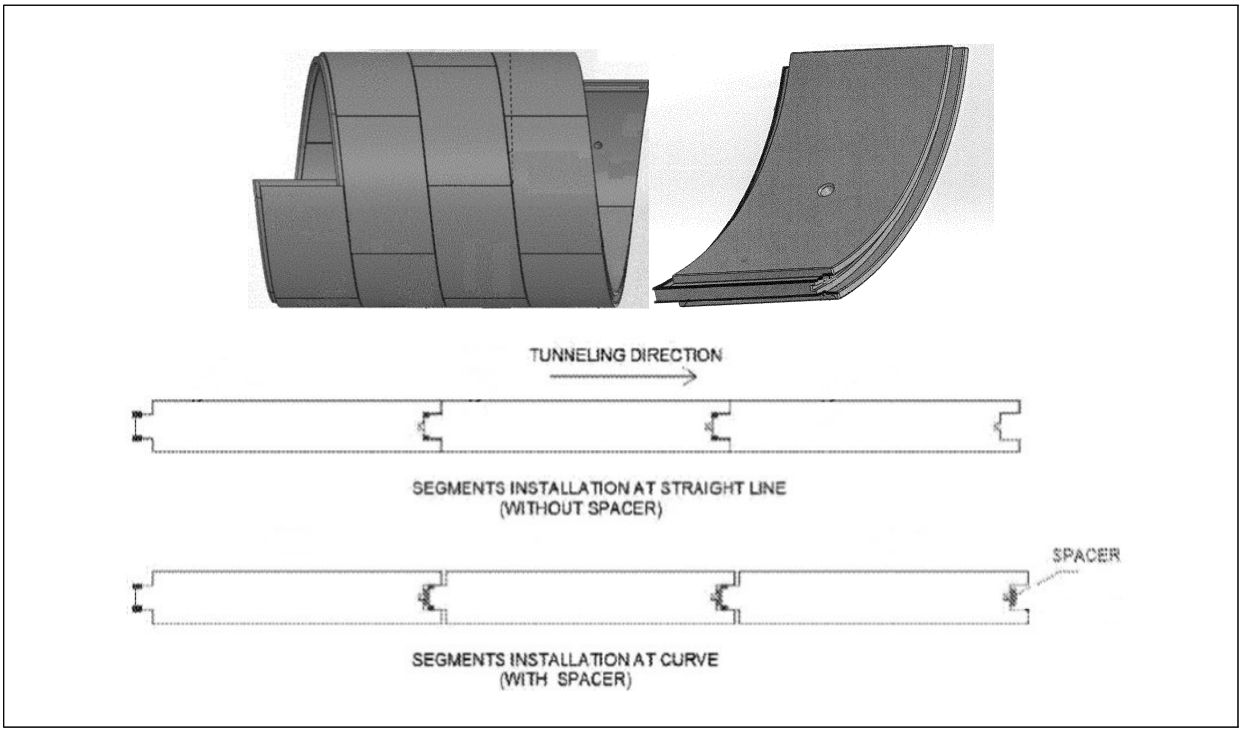


○ 2019년 미국에서 “Helical Segment Lining”으로 PCT(우선권) 출원

- 해당 PCT특허는 요철방식의 세그먼트 체결시스템을 채택
- 구조적으로 불안정하고 지진하중에 취약한 단점이 있으며 세그먼트 파손 시 보수가 불가한 단점을 지님

* (국제특허)TOPENG INC., JAMAL ROSTAMI ENGINEERING SERVICES, 2019, HELICAL SEGMENTAL LINING, World Intellectual property organization.

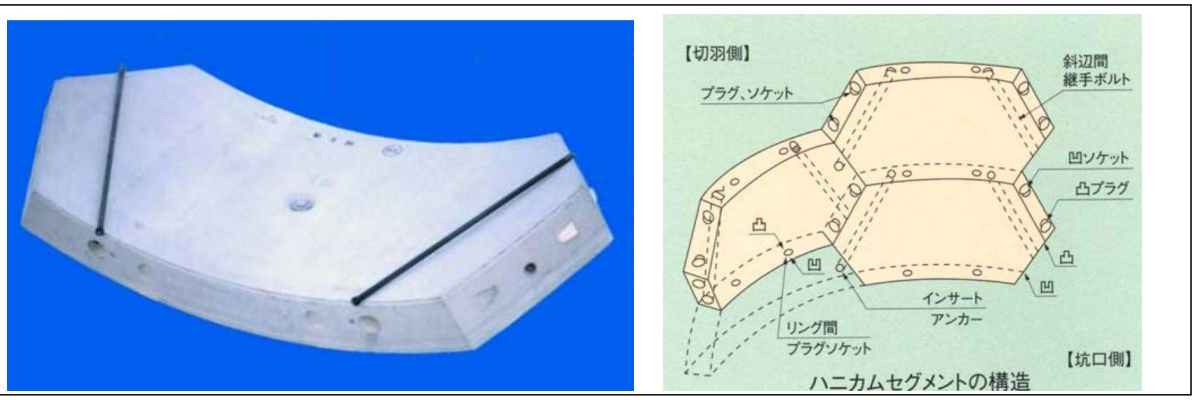
[그림 3-31] 쉴드 TBM 연속굴착을 위한 헬리컬 세그먼트 개념도 (Top eng. 외, 2019)



○ 육각형 세그먼트 기술이 일본에서 개발되어 연속굴착에 사용되었지만 시험중 여러 가지 문제점이 대두되어 상용에 난항을 겪고 있음

- 해당 일본특허는 일본, 한국, 미국에 등록되었고, 미국특허는 수수료 납부 관련으로 권리권이 소멸된 상태

[그림 3-32] 연속굴착을 위한 허니컴 세그먼트 개념도 (엔지케이 인슐레이터, 2009)



* (국내특허)엔지케이 인슐레이터, 2009, 접합체, 허니컴 세그먼트 접합체, 및 그것을 이용한 허니컴 구조체, 대한민국특허청

* (국제특허)NGK Insulators, Ltd., 2007, Honeycomb segment and honeycomb structure using the honeycomb segment, US patents.

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

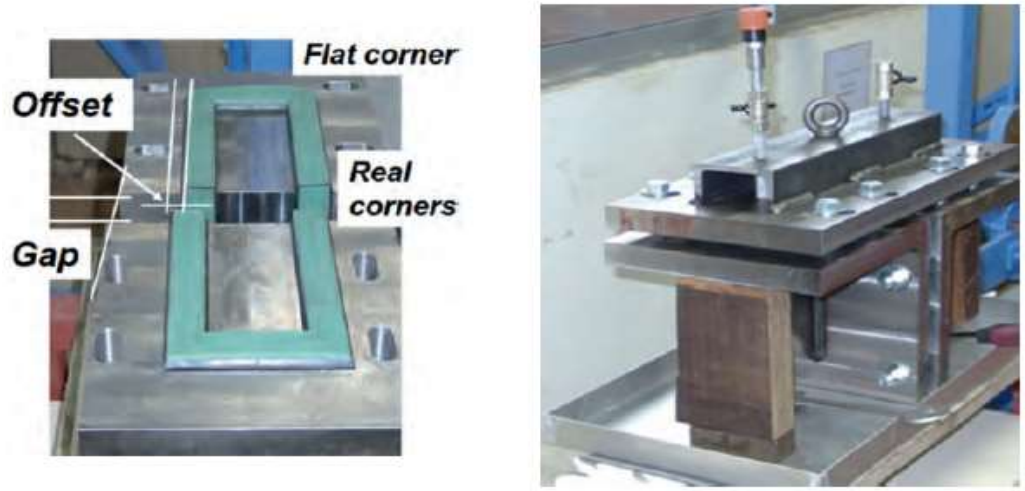
〈표 3-13〉 구성기술 1-5 관련 구축기술 사례

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
신뢰성시험	미국/캐나다/유럽	Robins, herrenknecht	TBM segment product	자체시험평가 기준을 수립

* ITA Working group 2, 2016, Twenty years of FRC tunnel segments practice: lessons learnt and proposed design principles, ITA report No. 16, April 2016.

* ITA Working group 2, 2019, Guidelines for the design of segmnetal tunnel linings, ITA report No.22, April, 2019.

[그림 3-33] 세그먼트 T조인트의 내수시험 제안법 (ITA, 2019)



○ 유럽을 중심으로 세그먼트 표준화 진행

- 유압잭 추력 phase와 설치후 상재하중 phase로 분리하여 한계하중설계법 혹은 서비스허용설계법을 따라 시험법이 설계/제정
- 세그먼트 연결부(개스킷, 바인더)의 내구성능 및 내수성능 시험평가쪽으로 핵심주제가 옮겨가는 추세
- 2010년대까지는 세그먼트 재료, FRC소재가 연구주제였으나, 최근 지하수 환경에서 부식방지, 내수기능, 반복하중에 대한 내구성능 검증 내환경시험기술로 변화하고 있음

② 국내 동향

〈표 3-14〉 구성기술 1-4 관련 구축기술 사례 제시

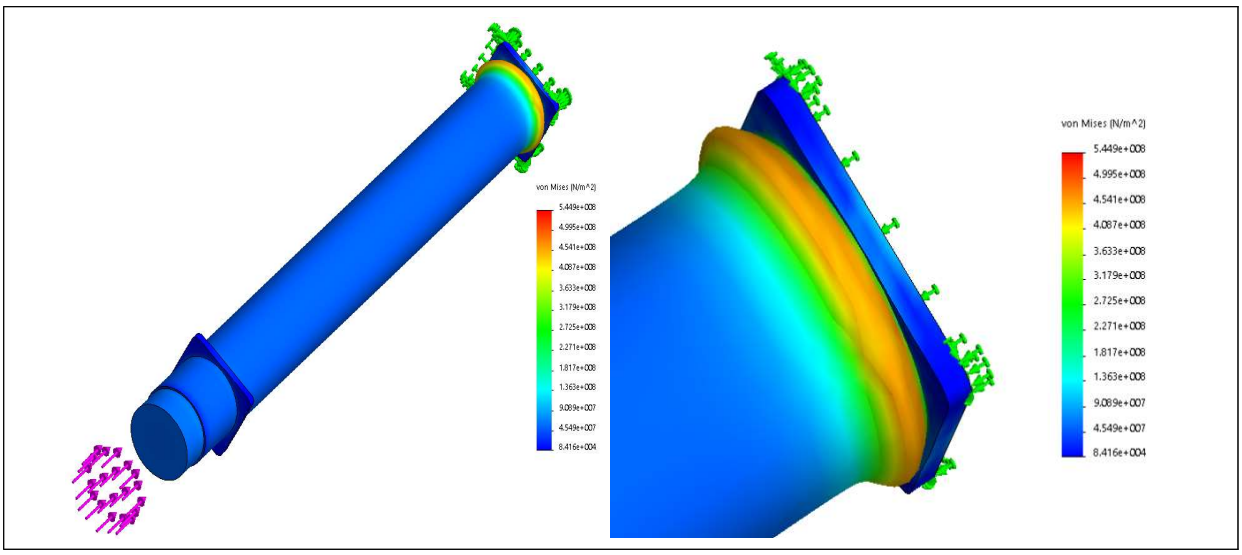
개발방향	기업명	제품명	특징
추진잭 안정성 설계/해석	이엠코리아	쉴드TBM 추진잭	TBM 굴진 시 사용되는 추진잭의 크기 선정 및 좌굴 해석을 진행
유압시스템 설계	이엠코리아	TBM 유압시스템	EPB TBM 유압시스템 설계기술까지 확보
이렉터 제작	이엠코리아	쉴드TBM 이렉터	이렉터 설계/제작에 관한 기본 기술이 확립됨 /이렉터 작업자동화에 관한 연구 전무

□ 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

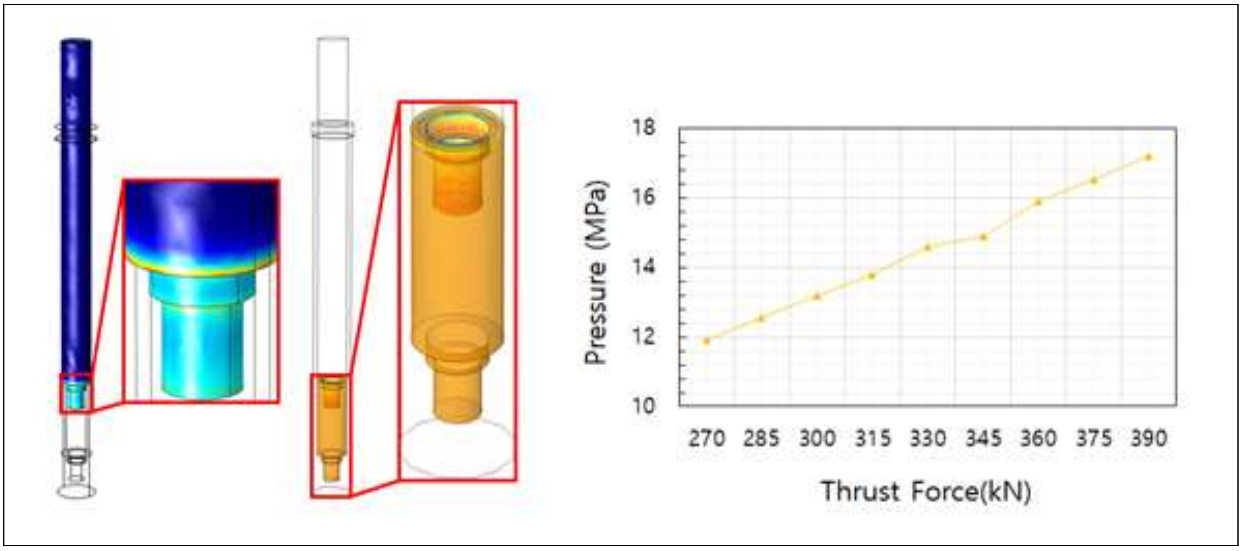
○ 경암지반 굴진을 위한 쉴드TBM 추진잭의 성능 선정 및 응력 해석(E.K.TBM 연구단)

- TBM은 유압 추진 잭을 통해 전방으로 전진함. TBM 굴진 시 사용되는 추진잭의 크기 선정 및 좌굴 해석을 진행하여 그 타당성을 확인
- 기존 유압잭은 경사하중 및 비틀림 하중에 대한 해석 및 설계가 미흡하여 연속 굴착형 고강도 추진잭에는 바로 적용하기 어려울 것으로 예상

[그림 3-34] Result of Simulation



[그림 3-35] Analysis result & according to thrust force



□ 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술

○ 더블쉴드 및 연속굴착형 TBM에 대한 연구는 진행된 바 없음

- 싱글쉴드와 싱글잭을 사용한 연속굴착 방식은 해외 및 국내에서 시도된 적이 없음
- 연속굴착을 위한 TBM 굴진 관리시스템 및 제어기술은 연구되지 않았음

○ 개별 디스크 커터 회전수를 측정하는 시스템은 김포-파주간 하저터널 TBM에 채택

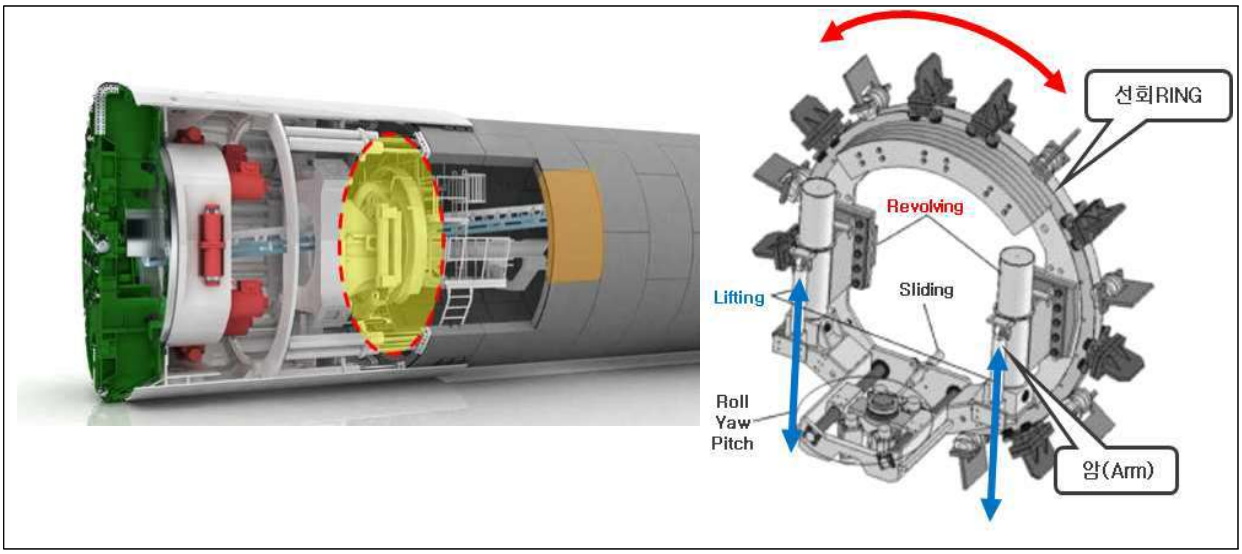
○ 커터헤드 전체에 작용하는 하중 측정시스템은 존재하지 않으며, 쉴드 TBM 추진잭의 성능 선정 및 응력 해석 및 일반 링타입 세그먼트에 대한 연구가 진행

□ 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술

○ TBM 세그먼트 이렉터 시스템 설계 기술 (E.K.TBM연구단)

- 이렉터 제작에 관련된 기본 기술은 확보가 되었으나 일반 세그먼트 조립에만 대응이 가능, 연속 굴착을 위한 나선형 세그먼트에는 적용이 곤란하여 세그먼트 이렉터에 관한 새로운 기술 개발이 필요

[그림 3-36] 이렉터 작동 구조



□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

〈표 3-15〉 구성기술 1-4 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
강섬유 혼합 세그먼트	한국건설기술 연구원	SFRC 세그먼트	세그먼트의 경제성을 위하여 철근보강 콘크리트를 보완하기 위한 강섬유 세그먼트가 개발

○ 국내의 세그먼트는 철근보강 콘크리트(RC) 재료를 사용하는 것이 대부분이며, 최근에는 강섬유가 혼입된 세그먼트(SFRC)의 적용을 위한 연구가 진행

- SFRC 적용을 위한 설계 및 시방기준이 재정립되는 단계에 있음

○ 국내에서는 연속굴착형 세그먼트에 대한 설계기술이 사전 연구 개념으로 수행한 바 있는 상태

- 공식적인 설계자료나 보고서는 현재까지 발표된 바 없음

  * TBM 핵심 설계· 부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술 연구단, 2011~2015

  * 문도영 외, 2013, TBM 터널 세그먼트용 60 MPa급 강섬유보강콘크리트의 휨성능 평가, J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 15(3)175-186(2013).

〈표 3-16〉 구성기술 1-4 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
가변형 세그먼트 몰드 개발단계	현대건설 케이씨산업	단면 변화형 세그먼트	세그먼트 몰드 내에 단면변화용 3D프린팅 기반 고강도 Engineering Plastic 필러를 장착하여 세그먼트 변단면 해소

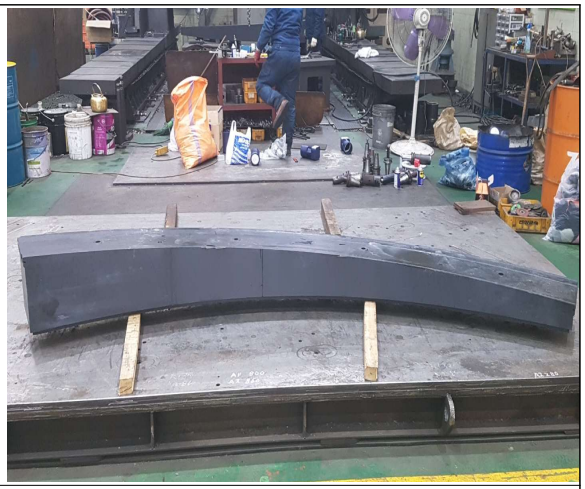
○ 국내에서는 현대건설 자체 연구개발 중이며 시험생산 예정

- TBM장비의 진행 방향으로 세그먼트 길이와 회전각도 변경이 가능한 세그먼트 몰드 제작

[그림 3-37] 단면변화형 세그먼트 몰드



단면변화형 세그먼트 몰드



변단면 제작용 몰드필러

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

〈표 3-17〉 구성기술 1-5 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
한계강도 시험방식	한국건설기술연구원	RC세그먼트 SFRC 세그먼트	고강도, 내화성능이 겸비된 고성능 세그먼트

○ 국내 연구기관을 중심으로 세그먼트 시험/평가 연구가 진행

- 세그먼트 개발 및 시험평가 연구: 최대강도가 더 강해지면서 경제적으로 저렴한 SFRC 세그먼트에 대한 연구가 진행되었고, 터널현장 적용성이 평가된 바 있는 상태
- 기존방식 세그먼트의 최대강도 규명과 내화성능에 대해 연구의 초점이 맞춰짐

* 국토교통부, 2015, 고성능 세그먼트 라이닝의 개발 최종보고서, 건설기술연구사업, 한국건설기술연구원, 2015.05.31.

* 문도영 외, 2014, 대형보 실험을 통한 TBM 터널 세그먼트용 강섬유보강콘크리트 성능평가, J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 16(3)287-298(2014).

(바) 해외 및 국내 기술 수준 비교

□ 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

〈표 3-18〉 굴진 반력 확보를 위한 장비 개조 기술 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	추진잭과 그리퍼 잭의 응용 및 제어 시스템의 정확도를 높여상용화 완료	TBM 굴진 향상을 위한 연구 개발 시작 단계	나선형 세그먼트를 지지할 수 있는 최적의 추진잭 및 시스템 개발, 적용
TRL 단계	9단계	3단계	8단계
기술성숙도	사업화 단계	관련기술 연구개발	현장 사용가능성 증명
주요성능	시공사와 협업하여 연속 굴착 상용화를 마친 상태	일반 추진잭 개발 완료	나선형 세그먼트와 최적의 추진잭과 시스템을 활용한 연속 굴착형 TBM 시연

□ 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술

〈표 3-19〉 연속 굴착형 TBM 장비 및 제어 시스템 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	추진잭을 몇 개의 그룹으로 나누어 제어하며, 방향 전환 등의 세밀한 제어는 오퍼레이터에게 위임	TBM 굴진 향상을 위한 연구 개발 시작 단계	굴착중 여러 가지 상황별 제어모듈을 탑재하여 시공단계별 통합유압제어
TRL 단계	9단계	3단계	9단계
기술성숙도	사업화 단계	관련기술 연구개발	현장 사용가능성 증명
주요성능	시공사와 협업하여 연속굴착 상용화를 마친 상태	일반 추진잭 제어 시스템 개발완료	나선형 세그먼트와 최적의 추진잭과 시스템을 활용한 연속 굴착형 TBM 실증

□ 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술

〈표 3-20〉 연속 굴착형 TBM 장비 및 제어 시스템 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	자동화 수준까지 올라갔으나 숙련자를 대체하기 위해서는 고도화 요구됨	반자동화 완료 단계	나선방향 설치 위해 자유도 추가 및 세그먼트 자동설치 로봇시스템 적용
TRL 단계	9단계	3단계	8단계
기술 성숙도	사업화 단계	관련기술 연구개발	현장 사용가능성 증명
주요성능	세그먼트 공급에서 설치까지 자동화	연구는 완료하였으나 사용 실적 없음	세그먼트 이렉터 로봇과 나선형 세그먼트를 활용한 연속 굴착형 이렉터 개발/실증

□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

○ 연속굴착형 TBM을 위한 세그먼트의 설계제작 기술은 개발된 바 없음

- 나선형 세그먼트 설계 및 몰드제작 기술은 전무하여 현장 적용 성공사례도 발표된 바 없음
- Honey Comb 타입이 일본에서 설계되었으며, 일본, 미국, 한국에서 특허가 등록되었으나, 설계·시공사례가 없어 이에 대한 기술보유 수준이 보통이하 수준으로 판단

〈표 3-21〉 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	낮음	낮음	높음
TRL단계	3	4	9
기술성숙도	낮음	낮음	높음
주요 성능	특허출원에 국한된 기술 (설계·시공사례 없음)	시공을 위한 상세 설계도서 작성 및 시공 후 문제점 보완	나선형 세그먼트의 설계 원천기술 확보

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 국내 기술은 주로 해외기술을 차용하여 적용하는 형태로 개발됨

- 해외기술은 최대강도 시험법이 정립된 상태에서 다양한 신뢰성시험방법이 연구단계에서 접목되고 있음
- 현재 국내의 최대강도 시험 기술수준은 시제품 제작 및 터널환경 평가가 완료된 단계로 TRL 7단계로 평가되고, 강도시험 외의 신뢰성시험방법은 내화시험이 파일롯 규모의 단계에서 시제품성능평가가 이루어진 상태로 TRL 6단계로 평가
- 연속굴착형 세그먼트에 대한 시험방법은 개발된 바 없어 TRL 5단계 이하로 평가
- 개발완료시 선진국 수준의 TRL 8단계로 진입할 수 있을 것으로 예상

〈표 3-22〉 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	TBM 대상 시스템에 장착되어 사용되는 시제품 상용화단계	파일롯 규모의 시제품 제작 및 평가가 완료된 단계	연속굴착형 TBM 시스템에 장착되어 사용되는 시제품 상용화 단계
TRL 단계	8	6	8
기술성숙도	사업화 단계	시제품성능평가	사업화 단계
주요성능	최대강도, 내구성, 내수성능이 검증되어 제품 출시/터널현장 적용	최대강도 시험만 수행되어 제품이 출시	최대강도, 내구성, 내수성능이 연속굴착형 세그먼트 시제품에 적용되어 테스트베드 현장에 적용

(사) 세부개발 내용

(구성기술 1-1) 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ 전 세계 장비 메이커 별로 추진잭의 구경, 성능이 상의하여 일괄적 적용이 어려움	■ 연속 굴착을 위한 장비를 선정하고 그 장비에 맞는 최적의 스러스트 재질, 구경, 성능 등 제원을 도출
■ 일반 세그먼트를 사용하는 추진잭은 전단, 압축 하중에 대한 구조 설계로 경사 및 비틀림 하중에 취약함	■ 나선형 세그먼트에도 대응 가능한 경사 및 비틀림 하중에 견디는 항복 강도가 높은 고강성 유압잭 설계 및 제작
■ 케이싱과 세그먼트 단차에 대한 대응만 되어 있는 일반 페데스탈로 나선형 세그먼트 대응 불가	■ 다각도 대응 및 미끄럼 지지패드가 설치된 경사 페데스탈 설계 및 제작으로 추진잭의 힘을 나선형 세그먼트로 제대로 전달 및 굴진 반력을 확보 기술 개발

연구 필요성

○ 전 세계적으로 기계화 터널 시공이 대두되고 있으며, 국내에서도 매년 증가하는 추세임. 보다 나은 공기 단축 및 비용 절감을 위해 연속 굴착형 TBM 장비 및 제어 시스템 개발 필요

- 외국의 경우 TBM 굴진 향상을 위해서 기존 요소들의 응용 및 제어 시스템 개발로 상용화하여 많은 현장에 적용되었으나 국내에는 전무함

○ 연속 굴착형 TBM 장비 및 제어 시스템 개발의 일환으로 굴진 반력 확보를 위한 장비 개조 기술은 필수 사항

- 국내 도입된 각 메이커별 다양한 장비를 연속 굴착형으로의 설계 및 개조를 하기 위하여 기준 장비를 산정하여 그에 맞는 최적의 추진잭 개수 및 재질, 구경, 성능 등의 제원을 도출하여 효과적으로 적용하여야 함
- 기존의 추진잭의 경우 단순한 전, 후진 역할로 전단 및 압축 하중에 대한 내구성만 갖춰도 되지만 연속 굴착 시 적용할 나선형 세그먼트의 경우 경사 조립 타입으로 추진잭 역시 경사 및 비틀림 하중에도 견딜 수 있는 항복 강도가 높은 고강성으로 설계 및 개조, 제작이 필요한 실정임.
- 케이싱과 일반 세그먼트 단차에만 대응한 페데스탈의 경우도 나선형 세그먼트로 굴진 반력을 제대로 확보하며 연속 굴착을 하기 위해서는 미끄럼지지 패드 및 경사면에 대응이 가능한 다각도 신규 페데스탈이 필요, 기술의 향상을 위해서 설계, 제작이 병행되어야 함
- 테스트 벤치를 통한 경사 하중용 추진잭의 내구성, 신뢰성 시험, 평가 실시. 제품을 확실하게 검증하고 연속 굴착을 위한 굴진 반력 확보 장비 개조 기술을 정립함으로써 TBM 굴진 향상을 위한 기타 기술 개발 병행에 도움을 줌

(구성기술 1-1) 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

연구내용

○ 굴진 반력 확보를 위한 장비 개조 기술 개발

- 기준 장비에 맞는 최적의 추진잭 개수 및 재질, 성능 등의 제원 설정
- 경사, 비틀림 하중에 대한 항복 강도가 높은 고강성 유압잭 설계 및 제작
- 미끄럼지지 패드 및 다각도 경사 대응 페데스탈 설계 및 제작
- 테스트 벤치를 통한 경사하중 스러스트잭 내구성, 신뢰성 시험 및 평가

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** - 기준 장비에 맞는 추진잭 및 페데스탈 주요 규격 산출 및 기본 설계 ▪ **(연구내용)** - 기준 장비 적용 추진잭 및 페데스탈 주요 제원 및 규격 산출 - 추진잭 및 페데스탈 기본 설계 및 구성품 규격 선정	▪ 기술 문서/보고서 : 1건 ▪ 유압잭 개념도면 : 1건
2023	▪ **(연구목표)** - 상세 설계 및 시작품 제작, 테스트 벤치 제작 - 추진잭 및 페데스탈 내구성 시험 ▪ **(연구내용)** - 추진잭 및 페데스탈 구조 해석, 상세 설계 및 시작품 제작 - 테스트벤치를 통한 신뢰성 시험	▪ 상세설계도면 : 1건 ▪ 시작품 : 1건
2024	▪ **(연구목표)** - TBM 완성체로서 추진잭 및 페데스탈 실내 설치 및 운영 ▪ **(연구내용)** - 시작품 실내 설치 및 운영 - 시작품 수정 보완, 운전시나리오 테스트	▪ 시작품 제작보고서: 1건 ▪ 시험성적서(유사환경): 1건 ▪ 시작품 매뉴얼: 1건
2025	▪ **(연구목표)** - TBM 완성체로서 추진잭 및 페데스탈 현장 실증 ▪ **(연구내용)** - 현장 실증을 통한 개선점 도출 - 개선 추진잭 및 페데스탈 운전/유지 보수 매뉴얼 개발	▪ 개선품 설계도: 1건 ▪ 시험성적서(실제환경): 1건 ▪ 개선품 유지보수 매뉴얼: 1건
2026	▪ **(연구목표)** - TBM 완성체로서 추진잭 및 페데스탈 현장 실증 ▪ **(연구내용)** - 현장 실증을 통한 개선점 도출 - 개선점 보완	▪ 시작품 개선품: 1건 ▪ 현장실증시험 계획서: 1건 ▪ 현장실증시험 보고서: 1건
최종 성과물	▪ **고강성 추진잭 및 다각도 경사 지지용 페데스탈**	

(구성기술 1-1) 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
경사하중시 유압잭의 비틀림 모멘트 저항력	-	-	비틀림 모멘트: ≥100 KN*m (비틀림 하중을 저항력)[1]
다각도 경사 대응 페데스탈 설계 최대각도)	0	2~3°[2]	≥5° (나선형 세그먼트에 대응 가능한 다각도 경사 페데스탈 설계)
유압잭 내구(신뢰)수명	-	5000 hr[3]	≥5000 hr (작동시간기준 신뢰성시험평가)

1) 7m급 TBM 유압잭의 수직응력(34 MPa) 가압시 최대모멘트를 측정하여 평가

(출처: http://www.yesemk.com/kor/main/main.html)

2) 연속굴착형 TBM 추진잭의 경사하중으로 제시된 설계사양이 반영되었는지 페데스탈 시작품을 검측

(출처: 일본 JIM Technology; http://www.jimt.co.jp/en/product/05.html

3) TBM장비 유압부품의 내구수명 수치를 신뢰성시험을 통해 시험평가

(출처: Fatigue analysis of helical suspension springs for reciprocating compressors, International Compressor Engineering Conference at Purdue, 2010)

최종 성과물

○ 굴진 반력 확보를 위한 장비 개조 기술

- 국내 도입된 전 세계 메이커별 다양한 장비에 대하여 연속 굴착에 맞는 기준 장비를 선정하고 그 장비에 맞는 최적의 추진잭 개수 및 성능, 구경 등의 제원을 도출함으로써 연속 굴착을 위한 설계 및 개조 기술 기준 확보
- 국내외 추진잭은 압축하중에만 견디게 설계 제작되어 있음. 나선형 세그먼트 조립 시 발생하는 경사 및 비틀림 하중도 견딜 수 있는 고강성 유압잭을 제작하여 연속 굴착형 TBM 유압장비 개조 기술 확보
- 일반 단차 적용이나 편차에 대응하는 2~3° 대응 페데스탈로는 나선형 세그먼트를 정확히 지지하여 굴진 반력을 확보하기 어려움. 이에 높은 성능 달성을 위해 5°이상의 다각도 대응 페데스탈 개발 및 제작 목표 설정
- 유압잭 내구수명을 테스트벤치를 통한 신뢰성 내구시험을 통해 증빙함. 일반적인 유압부품의 설계수명인 5000 hr을 초과하도록 목표 설정
- 나선형 세그먼트에 유압잭 작동시 추력과 측력이 동시 인가됨. 실제 환경을 모사하는 테스트 벤치 시험을 통해 부품의 최대강도/잔류응력 수치를 조사하여 유압잭의 안전율을 검증

(구성기술 1-2) 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ 연속굴착의 다양한 상황에 대한 설정부재	■ 연속 굴착을 위한 다양한 시나리오 도출
■ 다양한 시나리오 별 제어로직 부재	■ 도출된 다양한 굴착 시나리오에 해당하는 단계별 제어로직 시스템 탑재
■ 커터헤드 하중 계측 방법 부재	■ 정확성과 내구성 보장된 센서 타입 결정 및 장착위치 선정

연구 필요성

○ 전 세계적으로 기계화 터널 시공이 대두되고 있으며, 국내에서도 매년 증가하는 추세, 보다 나은 공기 단축 및 비용 절감을 위해 연속 굴착형 TBM 장비 및 제어 시스템 개발 필요

- 외국의 경우 TBM 굴진 향상을 위해서 기존 요소들의 응용 및 제어 시스템 개발로 상용화 하여 많은 현장에 적용되었으나 국내에는 전무

○ 연속 굴착형 TBM 장비 및 제어 시스템 개발의 일환으로 상황별 굴진을 제어하는 시스템 개발은 필수 사항

- 기존의 제어는 방향제어만 하면 문제가 없는 방식 이었으나 연속굴착 형 TBM은 가력관리가 복잡하므로 순차적 세그먼트설치에 따른 가력 추진잭과 비가력 추진잭의 제어를 균형적으로 제어하는 기능을 탑재하여 용이한 가력관리 시스템이 필요한 상황
- 특히 방향전환과 세그먼트 설치위치 변화에 따른 가력위치가 각 세그먼트를 설치할 때마다 변화하므로 굴진과 세그먼트 설치를 고려한 다양한 상황별 추진잭 운영 시나리오를 하중 단계별로 도출하여 모듈화 하여 간편한 조작으로 상황제어가 가능하여야함
- 미세한 상하좌우 방향의 조정은 세그먼트의 형상이나 테이퍼드 패커 등의 설치와 연관되어 추력 제어가 필요

○ 연속 굴착중 디스크 커터의 효율적 사용을 위한 경제적 커터하중 측정센서 및 측정 시스템은 연속굴진의 효과를 증대시키는 필요 기술

(구성기술 1-2) 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술

연구내용

○ 연속굴착형 세그먼트 연계 추진잭 제어 알고리즘 개발

- 직선구간 굴진시 세그먼트 설치위치 변화별 제어 알고리즘
- 곡선구간 굴진시 곡률반경, 지반강도, 세그먼트 설치위치 변화별 제어 알고리즘
- 상하좌우 방향 수정시 세그먼트 설치위치 변화대응 제어 알고리즘
- TBM 재밍 탈출 제어 알고리즘

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** - 추진잭 시스템의 국내외 자료 수집 및 주요 제원 산출 ▪ **(연구내용)** - 직선구간 시나리오 작성 - 곡선구간, 변화구간 시나리오 작성 - 알고리즘 PLC 기반 코딩	▪ 굴착상황별 대응계획서 : 1건 ▪ PLC 기반 프로그램: 1건 ▪ 개념도면: 1건
2023	▪ **(연구목표)** - 알고리즘 추진잭 제어 착수 ▪ **(연구내용)** - 장비 수급 및 PLC 프로그램 수정, 제어	▪ 유압설계 도면: 1건 ▪ 제어시뮬레이션 결과보고서 : 1건 ▪ 수정 프로그램: 1건
2024	▪ **(연구목표)** - 무하중 상태 상황별 추진잭 제어 ▪ **(연구내용)** - 스러스트잭 시작품 구동시 제어상태 확인	▪ 시스템 도면: 1건 ▪ 제어시험 보고서: 1건 ▪ 제어시스템 및 매뉴얼: 1건
2025	▪ **(연구목표)** - 현장 실증 굴착 시 상황별 제어상태 확인 및 보완 ▪ **(연구내용)** - 제어상태, 정확도 작업 용이성 확인, 보완	▪ 유압시스템 시작품: 1건 ▪ 성능 확인 보고서 : 1건 ▪ 유압시스템 개선 보고서: 1건
2026	▪ **(연구목표)** - 굴착상황별 추진잭 제어 시스템 점검 보완 ▪ **(연구내용)** - 굴착상황별 제어 정확성 확인 - 추진잭 제어매뉴얼 개발	▪ 제어시스템 시제품: 1건 ▪ 시제품 제작보고서: 1건 ▪ 추진잭 제어 매뉴얼: 1건
최종 성과물	▪ **연속굴착 상황별 추진잭 제어 시스템**	

(구성기술 1-2) 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
연속굴착형 추진잭 모듈 변위제어[1] 정확도 평균치	95%	99%	≥99% (총 스트로크의 1% 오차율)
연속굴착형 추진잭 모듈 하중제어[1] 정확도 평균치	95%	99%	≥99% (최대하중의 1% 오차율)
추진잭 모듈 하중 응답속도[2]	5 mim.	3 min.	≤3 min. (목표하중 도달시간 3분이내)

1) TBM 추진잭 전체모듈의 명령값과 출력값을 비교/측정하여 정확도를 평가

(출처: Tong Liu 외 4명, Trajectory Control of Tunnel Boring Machine Based on Adaptive Rectifcation Trajectory Planning and Multi-cylinders Coordinated Control, Vol.20, No.11, IJPEM, 2019)

2) 추진잭 전체 모듈의 명령시점으로부터 최종 도달시점까지 시간을 측정하여 평가

(출처: Jinhui Li 외 4명, Advanced prediction of tunnel boring machine performance based on big data, Geoscience Frontiers 12 (2021) 331-338)

최종 성과물

○ 연속굴착 상황별 추진잭 정밀 제어시스템
- 유압제어시스템 및 프로그램
- TBM 유압시스템 가동 매뉴얼(시방서)

(구성기술 1-3) 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ 기존 이렉터의 경우 원주 방향의 일반적인 움직임으로 굴진 향상을 위한 나선형 세그먼트 조립에 적용이 어려움	■ 연속 굴착을 위한 나선형 세그먼트 조립에 대응하기 위하여 대각 방향 이동 등 다자유도 센서 및 정밀 제어 로직 장착 이렉터 로봇 개발
■ 굴진 완료 후 세그먼트 설치, 조립을 실시하여 사이클 타임이 길어지고 효율이 나쁨	■ 굴진 속도에 동조하고 세그먼트를 정확한 위치에 이동시키는 연속 굴착형 세그먼트 자동 설치 조립 제어 기술
■ 정밀도 높은 신속한 센싱기술	■ 정밀 라이다 이용한 위치 센싱 및 처리 속도 확보
■ xy 대각방향 동시이동 제어기술 부재	■ 각도 파악 및 대각 이동제어 로직 및 시스템

연구 필요성

○ TBM 공사는 지속적으로 자동화 되어가는 추세

- 외국의 경우 TBM 세그먼트 설치 자동화 연구가 진행되고 있으나, 국내는 반자동화 수준
- 외국의 경우 TBM 굴진 향상을 위해서 기존 요소들의 응용 및 다량의 센서를 이용한 제어 시스템 개발로 상용화 하여 많은 현장에 적용되었으나 국내에는 전무

○ 연속 굴착형 TBM에서 세그먼트 설치는 속도는 굴진보다 신속해야 연속굴진 가능

- 1자유도를 추가한 수동설치 장비를 개발하여 사용하면, 세그먼트 설치 작업은 쉬는 시간 없이 계속되어야 하므로 작업자에게 육체적 부담이 됨
- 자동과 수동을 선택하여 사용할 수 있는 이렉터 로봇의 경우 작업자의 부담을 덜어줄 수 있으며, 혹시 발생하는 제어 오류에 수동으로 조정할 수 있어 긴급상황 대처가 가능
- 정확, 신속한 세그먼트 설치를 위해서 정밀한 센싱 기술과 7자유도의 이렉터 정밀제어기술에 개한 연구가 필요

○ 연속 굴착형 TBM 장비 및 제어 시스템 개발의 일환으로 센서 기반 연속 굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 개발 기술은 필수 사항

- 국내 도입된 기존의 이렉터 장비로는 원주 방향의 일정한 방향 내의 일반 세그먼트만 조립이 가능하여 연속 굴착을 위한 나선형 세그먼트에 적용이 불가, 대각 방향까지 이동이 가능하며 7자유도 센서를 적용한 정밀 제어 로직을 가진 세그먼트 이렉터 로봇을 개발 필요
- 현재는 장비 굴진 후 세그먼트 조립의 사이클로 2가지 작업을 별개로 보고 진행하여 굴진 사이클 타임이 길며 장비 효율이 좋지 않음, 이 부분을 해결할 연속 굴착을 원활하게 하기 위하여 굴진 속도에 동조하며 굴진 중에 세그먼트를 정확한 위치에 이동 설치할 수 있는 자동 설치 조립 제어 기술 개발이 필요한 실정

(구성기술 1-3) 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술

연구내용

○ 센서 기반 연속 굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 개발
- 다 방향 이동 및 다자 유도 센서를 활용한 정밀 제어 로직 이렉터 및 시스템 개발 및 제작
- 굴진 속도에 동조하고 세그먼트를 정확한 위치로 옮기는 세그먼트 자동 설치 로직 개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** - 기준 장비에 맞는 다 방향 이렉터 주요 규격 산출 및 기본 설계 ▪ **(연구내용)** - 기준 장비 적용 이렉터 주요 제원 및 규격 산출 - 다 방향 이렉터 기본 설계 및 구성품 규격 선정	▪ 개념 설계도 : 1건 ▪ 센서 및 설치도면 : 1건 ▪ 다자유도 구현방안 도면 1건
2023	▪ **(연구목표)** - 다 방향 이렉터 장비 및 시스템 구성품 규격 확정, 상세 설계 및 시작품 제작 ▪ **(연구내용)** - 다 방향 이렉터 구조 해석 및 구성품 규격 확정 - 상세 설계 및 시작품 제작	▪ 시작품 도면 : 1건 ▪ 시작품 : 1건 ▪ 제어 프로그램 : 1건
2024	▪ **(연구목표)** - 다 방향 이렉터 로봇 실험실 검증 ▪ **(연구내용)** - 시작품 실증 - 시작품 수정 보완 및 제작 도면 Upgrade	▪ 기술 문서/보고서 : 1건 ▪ 이렉터 로봇 시작품: 1건 ▪ 제어시스템 및 매뉴얼 : 1건 ▪ 국내 특허 출원 : 1건
2025	▪ **(연구목표)** - 다 방향 이렉터 장비 실증 현장 적용 ▪ **(연구내용)** - 보완/ 개선된 기술 확립 - 다 방향 이렉터 로봇 운전/유지 보수 매뉴얼 개발	▪ 이렉터 로봇 시제품: 1건 ▪ 시험성적서(테스트벤치) : 1건 ▪ 시작품 매뉴얼 : 1건
2026	▪ **(연구목표)** - 세그먼트 설치 상황별 제어시스템 점검 보완 ▪ **(연구내용)** - 굴착상황별 제어 정확성 확인 - 자동 및 수동 작동매뉴얼 개발	▪ 이렉터 로봇 및 제어시스템 : 1건 ▪ 시험 성적서(현장실증): 1건 ▪ 연속굴착형 이렉터 작동 매뉴얼: 1건
최종 성과물	▪ **다 방향 이동 및 정밀 제어가 가능한 연속굴착/자동설치형 이렉터 로봇**	

(구성기술 1-3) 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
이렉터 로봇 제어방향 자유도	6 (θ,x,y,z)	6[1] (θ,x,y,z)	7 자유도 4방향(r,θ,x,y,z,xy)이동/설치 가능한 정밀제어 이렉터 로봇 개발
이렉터 세그먼트 설치속도	18.5 min/ea	8.4 min/ea[2]	8.5 min/ea
세그먼트 설치단차 정확도	±15 mm	±10 mm[3]	±10 mm

1) 이렉터 로봇 시작품에 대해 검수시험을 실시하여 물리적 자유도를 평가

(출처: Li, Gang & Zhu, Lida & Yang, Jian & Wang, Wan. (2012). Modeling and Kinematics Simulation of a Six-DOF Segment Erector for Tunnel Boring Machine Based on Virtual Prototype. Advanced Materials Research. 479-481. 699-702.
Hu, Shi & Guofang, Gong & Yang, Huayong. (2011). Drive system design and error analysis of the 6 degrees of freedom segment erector of shield tunneling machine. Frontiers of Mechanical Engineering. 6. 369-376. 10.1007/s11465-011-0223-1.)

2) 실증시험시 이렉터의 세그먼트 설치속도를 실시간 측정/평가

(출처: https://www.robbinstbm.com/segment-lining,
https://galbiati.it/en/mechinical-machine-engineering-construction/tunnel-boring-machine-segment-erector)

3) 터널의 설계내경과 이렉터 설치후 내경을 비교측정하여 평가

(출처: ITA-AITES, 2019, WG2 - Guidelines for the Design of Segmental Tunnel Linings, WG2 - Guidelines for the Design of Segmental Tunnel Linings, ITA report No. 22, April 2019; about.ita-aites.org)

최종 성과물

○ 센서 기반 연속 굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템

- 국내 도입된 기존의 이렉터 장비로는 원주 방향의 일정한 방향(4방향 : θ,x,y,z)내의 일반 세그먼트만 조립이 가능하여 연속 굴착을 위한 나선형 세그먼트에 적용이 불가, 대각방향 회전까지 이동이 가능(5방향 : r,θ,x,y,z)하며 다자유도 센서를 적용한 정밀 제어 로직을 가진 세그먼트 이렉터 로봇을 개발 필요
- 현재는 장비 굴진 후 세그먼트 조립의 사이클로 2가지 작업을 별개로 보고 진행하여 굴진 사이클 타임이 길며 장비 효율이 좋지 않음, 이 부분을 해결할 연속 굴착을 원활하게 하기 위하여 굴진 속도에 동조하는 동조 실린더를 2개 이상 설치하여 굴진 중에 세그먼트를 정확한 위치에 이동 설치할 수 있는 자동 설치 조립 제어 기술 개발이 필요

(구성기술 1-4) 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ 기존의 링간 단위로 조립되는 세그먼트의 설계기술만 확보 - 2-Ring Beam 모델에 의한 안정성 평가	■ 링간 개념이 없이 나선형으로 설치되는 Helical 세그먼트의 설계기술 확보 - Multi Ring Beam Model 또는 3D Full Model에 의한 구조안정성 확보
■ 기존 Helical 타입의 세그먼트는 단순 특허에 국한되어 있어 설계·시공 기술 미확보 - 기존 일반 세그먼트에 대한 설계제작 기술만 확보된 상황	■ 실증 시공을 위한 설계·시공 기술 확보 세그먼트 형상 선정 기술 확보 - 최적 나선각도 및 곡선부 테이퍼 선정 기술 - 가스켓 또는 지수재 설치 방법 및 형상 개발 - 안정적 이음부 방식 선정
■ 연속굴착형 세그먼트 몰드 제작기술 - 기존 세그먼트 몰드의 제작기술만 확보된 상황 - 시공 선경변경에 따른 세그먼트 몰드의 가변 제작이 불가 - 곡률별 세그먼트 제품 경제성 확보 난해	■ 나선형의 세그먼트 몰드설계·제작 및 세그먼트 제품 생산기술 확보 - 시공중 선형 변경에 따라 직선형 및 곡선형 설치시 부딪히는 시공오차를 줄이고 체결속도를 향상시키기 위해 보다 정밀한 몰드 제작이 필요 - 나선형 세그먼트 몰드설계 및 제작 기술개발
■ 연속굴착을 위해 개발된 세그먼트 제작기술 - 연속굴착형 세그먼트의 고강도 및 고내구성의 미확보 상태 - 기존 제작 및 적용사례는 있으나 연결이음부의 곡선부 시공의 오차 미해결로 답보상태	■ 고강도 세그먼트 제조기술 및 친환경 재료 기술개발 - 고강도·고내구성 세그먼트 재료개발 - 세그먼트 연속/체결부품 매립기술 확보 (가스켓, 그라우트홀, 인양고리 등 설치 방법 및 형상 개발) - 이음부 안정성 확보에 따른 제품개발 및 실증 - 친환경 제품생산을 위한 CO_2 저감 재료공정 개발

연구 필요성

○ 기존 Helical 세그먼트의 경우 설계·시공사례가 없는 아이디어 특허로 현장적용 실적 전무

○ 나선형 세그먼트 안정성 평가 및 실시설계기술, 시공중 위험요인에 대한 내구성 향상 설계기술 확보 필요

○ 연속굴착형 TBM 공법의 개발에 필수적인 세그먼트 제작관련 개발 기술의 검증과 보완 및 개선 필요

○ 세그먼트 설치 시간동안 TBM 장비정지를 최소화하는 설계기술로 발전하여 쉴드 TBM 연속굴착 기술을 완성

(구성기술 1-4) 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

연구내용

○ 연속굴착형 TBM 공법을 위한 나선형 세그먼트 설계제작기술

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** - 선행기술조사, 선행 시공사례 조사 - 몰드 기본 설계 및 생산 프로세스 구축 ▪ **(연구내용)** - 기존 국내외 특허 및 선행 시공사례 분석 - 연속굴착을 위한 세그먼트 몰드 설계 및 세그먼트 스마트 생산 프로세스 도출	▪ 선행기술조사서: 1건 ▪ 몰드 기초설계도: 1건 ▪ 세그먼트 생산 순서도: 1건
2023	▪ **(연구목표)** - 나선형 세그먼트 설계안정성 평가기술 확보 및 기본사양 선정 - 몰드 상세 설계 및 콘크리트 배합 설계 및 기본 시험 ▪ **(연구내용)** - 설계안정성 분석 및 세그먼트 최적설계 - 최적 나선 각도, 세그먼트 이음부 형상 선정 기술 확보 - 몰드 상세 설계(제작 도면 등) - 콘크리트 배합설계 및 재료시험수행	▪ 세그먼트 설계도면(1차): 1건 ▪ 3D 프린팅을 이용한 시작품: 1건 ▪ 몰드 상세 설계도면: 1건 ▪ 배합설계에 따른 콘크리트 내구성 시험결과 보고서: 1건
2024	▪ **(연구목표)** - 실증을 위한 상세 설계 - 몰드 생산계획 수립 및 제작시행 ▪ **(연구내용)** - 세그먼트 향상 및 철근보강 방법 개발 - 최적 이음부 및 가스켓 설치 방법 개발 - 세그먼트 몰드 제작 및 시제품 생산	▪ 세그먼트 상세 설계도면(1차): 1건 ▪ 이음부, 가스켓 설치 매뉴얼: 1건 ▪ 몰드 상세설 계도면(2차): 1건 ▪ 제품 매립용 자재 특허: 1건
2025	▪ **(연구목표)** - 실증시공데이터를 이용한 설계기술 피드백 - 실증용 제품 생산 및 가조립 실시 ▪ **(연구내용)** - 시공중 세그먼트 응력 모니터링 - 연속굴착 세그먼트 설치시간 모니터링	▪ 시공 중 세그먼트 설계/모니터링 결과보고서: 1건 ▪ 세그먼트 가조립 시험 및 모니터링 결과보고서: 1건
2026	▪ **(연구목표)** - 실증을 통한 상세 설계기술 수정보완 - 가변형 세그먼트 검증 및 개선방안 도출 ▪ **(연구내용)** - 실증시험 결과, 이음부 결함여부, 누수여부 등의 문제점 도출시 개선방안 도출 - 세그먼트 외관검사(파손, 크랙발생, 이음부 벌어짐, 누수 여부) 등의 문제점 확인 후 개선방안 도출	▪ 최종 설계도면: 1건 ▪ 기술보고서: 1건 ▪ 나선형 세그먼트 제품검사 매뉴얼: 1건 ▪ 나선형 세그먼트 제품 실증 최종보고서: 1건
최종 성과물	▪ **연속굴착형 세그먼트 설계도(안정성 평가보고서, 설계도면)** ▪ **연속굴착형 세그먼트 몰드제작 및 제품 제작 현장 적용 보고서**	

(구성기술 1-4) 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
나선형 세그먼트 설계 안전율 (시공중)[1)]	1.2	1.2	≥1.5
세그먼트 시제품 추력방향 압축강도[2)]	1500 kN	1500 kN	≥2250 kN
세그먼트 시제품 휨인장강도[3)]	109 kN	100 kN	≥165 kN
세그먼트 시제품 내화시험(120℃)시 손상깊이[4)]	60 mm	51 mm	≤50 mm
세그먼트 연결부(가스캣) 내수압 최대 gap[5)]	10 mm	12 mm	≥12 mm

1) 구조해석을 통해 나선형 세그먼트의 구조안정성 및 안전율을 해석, 평가

2) 세그먼트 시제품의 추력방향 압축시험을 수행하여 최대강도값

3) 세그먼트 시제품의 휨인장시험을 수행하여 최대강도값

4) 세그먼트 시제품의 내화시험시 화재손상영역

5) 세그먼트 시제품(가스켓) 내수시험시 최대허용 gap

*Kwon, K., Shin, H., & Kim, H. (2016). Evaluation of the Damage by a Fire of the Full Scale Concrete Tunnel Lining Exposed to the High Temperature. Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 16(2), 9-15.

*Yan et al., Full-scale fire tests of RC metro shield TBM tunnel linings, Construction and Building Materials 36 (2012)

최종 성과물

○ 나선형 세그먼트 설계기술

- 나선형 세그먼트 구조안정성 보고서
- 나선형 세그먼트 설계도면
- 나선형 세그먼트 설치 메뉴얼

○ 나선형 세그먼트 제조기술

- 나선형 세그먼트 몰드 시제품
- 나선형 세그먼트에 최적화된 이음볼트 및 가스켓 시작품
- 곡률 가변형 세그먼트 시제품
- 강도시험, 휨인장 시험 보고서

(구성기술 1-5) 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
• 신뢰성 시험평가 기술은 일반 건설장비/기계 부품에 대해서 수행되고 있으나, TBM 장비/부품에 대해서 개발/적용된 바 없음	• TBM 장비/부품에 대한 신뢰성시험평가 방법과 국내기준이 제정되어야 함
• 현재 TBM 세그먼트 시험방법으로 국내에서 극한강도(최대하중)시험방법만 적용되고 있음 • 추력방향 시험은 유압잭에 의해 특정지점에 반복하중이 가해지고 이에 대한 제안된 시험방법/표준시험법 부재	• 연속굴착형 세그먼트의 추력하중분포 및 토압수준이 고려된 시험방법으로 변환/개발 • 토압(피로하중) 및 추력(반복하중)에 대한 시험하중(등가하중) 및 신뢰성 시험코드 개발되어야 함
• 내화, 내수(방수), 압력 등 내환경시험 방법에 대한 표준시험법 존재 • 터널 지하환경에 대해 정의하고 이에 대응하여 제품수명을 보증할 수 있는 신뢰성시험 및 평가방법 부재	• 내화, 내수성능에 관한 세그먼트 신뢰성시험 방법이 제안되어야 함 • 여러 환경성능이 통합된 신규 신뢰성시험평가 방법을 차기 사업에서 제안/공표할 필요 있음

연구 필요성

○ 해외 세그먼트 제작업체는 자체적인 시험을 통해 세그먼트 제품을 자체 인증후 생산

- 국제터널공학회(ITA)에 세그먼트 관련 워크샵이 있을 정도로 해외의 시험/평가시험서은 일반화 되어 있음 (ITA-REPORT, 2016)
- 국내의 세그먼트 최대강도 연구는 많으나 세그먼트 신뢰성시험 관련 국내 연구사례는 아직 없음

○ 본 사업에서 개발예정인 연속굴착형 세그먼트에 대한 연구나 시험사례 부재

- 연속굴착형 세그먼트는 세계최초로 개발되는 아이템으로 이에 대한 시험방법이 제안된 바 없음
- 연속굴착형 설계도에 따라 하중재하 위치, 하중분포를 정의하고, 그에 따른 시험방법을 제정해야 함
- 피로하중, 내화, 내수 등 환경적인 요인에 대한 신뢰성시험방법이 제안되지 않은 상황으로, 이에 대한 신뢰성 시험기준 마련이 필요

(구성기술 1-5) 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

연구내용

○ 연속굴착형 세그먼트 최대하중, 신뢰성 시험 및 환경시험방법 개발 및 적용

- 연속굴착형 세그먼트의 추력방향, 연직방향 신뢰성 시험코드 제작 및 시험수행
- 터널굴착 환경이 반영된 환경시험코드 제작 및 세그먼트 환경시험/검증
- 연속굴착형 TBM 현장시험 지원 및 세그먼트 거동 모니터링

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** - TBM 세그먼트 선행기술조사 - 세그먼트 설치/운영 환경조사 ▪ **(연구내용)** - 선행기술, 공인시험법 조사 - 기존 시험데이터 수집 및 D/B축적	▪ 선행기술 조사보고서: 1건 ▪ 기존 시험방법 및 d/B 분석 보고서: 1건
2023	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 세그먼트 신뢰성시험 코드작성 - 신뢰성 시험 수행 및 데이터 분석 ▪ **(연구내용)** - 최대하중(연직, 추력) 시험 수행 - 신뢰성시험코드 초안 작성 - 등가조건 규명 및 신뢰성시험 시스템 구성	▪ 연속굴착형 세그먼트 시험 (최대하중) 보고서: 1건 ▪ 신뢰성시험코드 보고서: 1건 ▪ 연속굴착형 세그먼트 시험 ▪ 시스템: 1 set
2024	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 세그먼트 환경시험 수행 ▪ **(연구내용)** - 신뢰성 환경시험 코드(내화, 내수 등) 개발 - 환경시험시스템 테스트베드 제작 - 신뢰성 환경시험 수행	▪ 신뢰성 환경시험코드(내화, 내수) 제작: 1건 ▪ 환경시험 시스템 테스트 베드: 2 set ▪ 신뢰성 환경시험 보고서: 1건
2025	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 세그먼트 환경시험 코드개발 - TBM 터널실증현장 구축지원 ▪ **(연구내용)** - 경시험시스템 및 테스트베드 제작 - 연속굴착형 TBM 실증용 측정시스템(센싱, DB) 제작	▪ 연속굴착 TBM 현장측정 ▪ 센서/모듈: 1 set ▪ 터널현장 시험지원 보고서: 1건
2026	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 TBM 현장시험 지원 ▪ **(연구내용)** - 연속굴착형 TBM 테스트베드 측정시스템 지원 - TBM굴진시 세그먼트 거동 측정 - 현장시험 분석 및 세그먼트 환경모니터링	▪ 연속굴착 TBM 현장측정 ▪ 모니터링 시스템: 1 set ▪ 연속굴착 세그먼트 거동측정 보고서: 1건 ▪ 공인시험법 제안서: 1건
최종 성과물	▪ **연속굴착형 세그먼트 설치환경이 고려된 신뢰성/환경시험 공인시험법 개발**	

(구성기술 1-5) 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
나선형 세그먼트 내구수명[1]	-	-	5000 hr
신뢰성 내구시험시스템 데이터측정 정확도[2]	≥95%	≥99%	≥99%
내화시험시스템의 내열성[3]	1200℃	1200℃	1500℃
내수시험시스템의 내수압성[4]	30 bar	60 bar	60 bar

1) 주기반복 내구시험시 도출된 나선형 세그먼트 시제품의 내구수명

2) 신뢰성시험 시스템의 측정데이터의 정확도

3) 내화시험시 신뢰성시험 시스템의 온도에 대한 내성

4) 내수시험시 신뢰성시험 시스템의 수압에 대한 내성

최종 성과물

○ 나선형 세그먼트 기본 시험기술

- 세그먼트 재료 압축강도, 인장강도 보고서
- 세그먼트 시제품 최대강도 보고서

○ 나선형 세그먼트 내구수명 신뢰성시험 기술

- 세그먼트 내구수명, 신뢰성시험 보고서
- 내화, 내수 관련 신뢰성시험 보고서

○ 나선형 세그먼트 신뢰성시험 표준화/인증

- 세그먼트 신뢰성시험(내구시험) 제안서(매뉴얼)
- 세그먼트 신뢰성시험(내환경시험) 제안서

(아) 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

□ 기존 국토부 TBM 연구단 사업과 차별성

○ E.K.TBM 연구단 사업인 TBM(Tunnel Boring Machine) 설계·제작 국산화 기술 개발(2017~2021, 수행중)에서는 TBM의 구동부 및 후방설비의 시스템 엔지니어링 기술을 개발하고 운전·제어 시스템 및 커터헤드의 최적화 설계 기술 개발 진행 중

○ TBM 건설기술관련 국내 경쟁력 향상에 기여함. 하지만 TBM 제작 국산화에 국한되어 있고 굴진 향상 기술의 개발이 이루어지지 않은 상황으로서 여전히 선진국 기술수준과 상당한 격차를 보이고 있는 상황

〈표 3-23〉 본 구성기술관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
TBM 설계·제작 국산화 기술 개발	국토교통과학기술진흥원 (‘17.04.28~’21.12.31)	터널의 전단면 굴착이 가능한 중대형 TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 진행	〈차별점〉 중대단면 TBM장비의 국산화 개발에 관한 기술로서 TBM 굴진향상 및 연속굴착에 관한 연구 아이템 〈연계방안〉 연속 굴착형 TBM 장비 개조 시스템에 선행과제 개발기술 접목 및 활용 예정
도심지 소단면(ø3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발	국토교통과학기술진흥원 (‘18.03.01~’20.05.29)	도심지 소단면 터널식 공동구에 대한 1) 최적 설계용량산정 및 글로벌 표준화 설계 기술 개발, 2) 굴진율 예측기법과 급곡구간/특수지반 급속 시공기술 개발, 3) 공동구용 수직구 급속시공을 위한 저소음/무진동 시공시스템, 보강/차수 기술 개발의 3가지 연구가 진행	〈차별점〉 직경3.5m 중소단면 TBM에 관하여 개발된 기술로서 전력구 및 유틸리티 터널기술, 소형 TBM기술은 중대단면 TBM 기술에 난이도가 낮은 편 〈연계방안〉 표준화 설계기술 및 굴진율 예측기법과 관련 하여 개발된 기존 기술을 응용하여 중대형 TBM 사업에서 연계/발전시킬 예정
TBM 터널의 설계·시공 리스크 최소화 및 최적 활용 기반 기술 개발	국토교통과학기술진흥원 (‘10.12.29~’15.05.31)	쉴드 터널 표준단면도 및 발주체계 개선 쉴드 터널의 설계기준 및 시방서 제시 쉴드 터널의 공사비 산출 시스템 개발 쉴드 막장 전방 예측 시스템 개발 쉴드 시공 리스크 관리 기술 개발	〈차별점〉 선행과제는 쉴드 TBM 장비의 설계/운용과 관련된 기술을 개발, 본 연구는 연속굴착형 TBM에 관한 것으로서 기존 쉴드 TBM 운용과 전혀 다른 기술적 개념과 운영 메카니즘을 가지고 있음 〈연계방안〉 막장전방 예측기법 및 TBM 설계기준안, 시방서를 연계하여 연속굴착형 TBM의 매뉴얼, 시방서 개발과정에서 주요 참고 문헌으로 인용/활용할 예정

□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

○ 국내 타 선행과제 검색결과

- 국내 세그먼트 및 TBM에 관한 선행과제를 검색한 결과, 국토부 1건 검색되어 차별성과 연계성에 대해 간략히 설명

〈표 3-24〉 본 구성기술관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
TBM 핵심 설계. 부품기술 및 TBM. 터널의 최적 건설 기술(세부과제 : 고성능 세그먼트 라이닝의 개발)	국토교통부 ('10.12.29.~ '15.05.31)	(1) 고성능 세그먼트 제작 기술 개발 (2) 세그먼트 고속 이음/접합 기술 개발 (3) 세그먼트 라이닝의 합리적 - 경제적 설계 지원 기술 개발 (4) 최적화 설계를 위한 세그먼트 라이닝 해석, 설계자동화 프로그램	〈차별점〉 세그먼트의 설계/제작기술에 관한 것으로서 연속굴착형 세그먼트에 대한 연구는 진행되지 않았으며, 핀타입의 이음재는 개발되었으나, 국내 적용실적이 없으며, 강성확보 여부에 대한 평가가 진행되지 않았음 〈연계방안〉 기존 연구를 통해 확보된 세그먼트 설계방법을 참고하여 연속굴착형 세그먼트에 부합되는 안정성 평가기술과 고차원 설계기술을 개발하고자 함
쉴드터널의 사다리꼴 세그먼트라이닝 배열공법 개선에 대한 연구	한국터널지하 공간학회 (2017년)	사다리꼴 세그먼트라이닝의 설계 제원 및 터널 노선의 선형(직선 혹은 곡선)의 조건을 분석하여 터널선형에 맞는 배열방법을 고안하고 실제 터널내에서 작업자가 활용할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 제작하여 자동으로 배열순서를 결정하는기술을 개발	〈차별점〉 사다리꼴 세그먼트의 설계/제작기술에 관한 것으로서 한가지 타입으로 다양한 터널노선에 맞는 배열기술 개발, 본 연구에서는 나선형 구조로 이음부에 체결장치를 개발하므로 기존 연구와 직접적 연관성이 없음 〈연계방안〉 기존 연구를 통해 확보된 세그먼트 설계방법을 연계/참고하여 연속굴착형 세그먼트 개발을 진행하고자 함

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 국내 타 선행과제 검색결과

- 건설장비 및 TBM 부품에 관해 선행과제를 검색한 결과, 산업자원부 3건, 국토부 1건 검색되어 차별성과 연계성에 대해 간략히 설명

〈표 3-25〉 구성기술 1-5 관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원 기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
공기압 실린더 신뢰성평가 기준 개정 및 형상모수 β값 검증	산업자원부 ('05.6. 1~'06. 5.30)	중기압 실린더 신뢰성 평가기준(RS B 003)을 최신 ISO 규격에 대응할 수 있는 기준 개정 추진. 시험Data를 바탕으로 공기압 실린더의 정확한 형상모수를 확보하여 무고장 시험에 적용	〈차별점〉 공기압 실린더에 대한 시험상수(형상모수)를 규명하여 신뢰성시험 방법을 개정 〈연계방안〉 실린더의 형상모수를 유압 엑츄에이터에 대한 형상모수와 연계하여 본 TBM사업에서 신규 신뢰성시험 기준 수립 가능
(기계류부품 분야) 부품 소재신뢰성 향상기반구축 사업	지식경제부 ('10.5.1. ~ '11.4. 30.)	세계수준의 신뢰성평가 (종합성능, 내구성, 내환경성, 안전성) 시스템을 구축하여 국산 기계류 및 메카트로닉스 부품의 품질향상 및 국제 경쟁력 강화	〈차별점〉 기계부품의 신뢰성평가 기준 및 시험 시스템을 구축/개정하기 위한 사업이고, 모든 기계류(농기계, 공작기계, 가전, 자동차 등)에 대한 시험법을 명시하고 있으나 건설기계나 TBM에 관한 항목은 매우 부족 〈연계방안〉 기 구축된 신뢰성시험의 방법론을 터널/지하환경에 맞춰서 개발/적용하여 TBM부품/세그먼트에 대한 독자적인 시험방법을 정립하고자 함
건설기계용 40톤급 축압식궤도 장력 조절 시스템 기술 개발	산업통상 자원부 ('17.07-'18.12)	20톤급 굴착기의 트랙부품인 텐션실린더에 대한 내구 시험코드를 개발	〈차별점〉 굴착기 실차시험 데이터를 바탕으로 내구 신뢰성시험 코드를 개발하여 해당 부품의 신뢰성을 시험/검증 〈연계방안〉 굴착기 실차시험에 적용한 방법론을 TBM에 차용하여 TBM가동중 추력 및 회전력을 바탕으로 등가하중을 추출하여 본 TBM사업에 적용
TBM 핵심 설계.부품 기술 및 TBM터널의 최적 건설 기술(세부. 과제: 고성능 세그먼트 라이닝의 개발)	국토교통부 ('10.12.29. ~'15.05.31)	(1) 고성능 세그먼트 제작 기술 개발 (2) 세그먼트 고속 이음/접합 기술 개발 (3) 세그먼트 라이닝의 합리적 - 경제적 설계 지원 기술 개발 (4) 최적화 설계를 위한 세그먼트 라이닝 해석. 설계 자동화 프로그램	〈차별점〉 세그먼트의 설계/제작기술에 관한 것으로서 콘크리트 설계를 위한 최대강도 시험방법이 적용과 운용시 내구수명 측정/평가를 위한 세그먼트 신뢰성시험방법에 대한 연구는 진행되지 않음 〈연계방안〉 기존 연구를 통해 확보된 세그먼트 설계방법을 인용하여 TBM가동 및 터널운용시 세그먼트의 등가하중을 각각 규명한 후 연속굴착형 TBM장비부품 및 세그먼트의 신뢰성시험방법을 정립하여 유효 내구수명을 정량적으로 평가하는 기술을 개발

(자) 민간기술과의 차별성·연계성

□ 민간업체의 보유 기술과 차별성 연계성 조사결과

○ 기존 국토부 TBM사업으로부터 개발되어 보유중이 민간업체는 2곳(E사, K사)으로 검색

〈표 3-26〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	중소형 TBM 설계제조기술	이엠코리아	직경 3.5m급 TBM의 커터헤드 및 주요 구동 시스템 설계/제조기술 보유	〈차별점〉 중소형 TBM의 독자적 설계/생산기술 보유중이나 7m급 이상 중대형 TBM은 일본기술에 의존하고 있어 본 사업을 통한 국산기술 개발이 필요 〈연계방안〉 기존 중소형 TBM 제조시 축적된 기술을 중대형 TBM 설계기술로 발전/연계시켜야 함
2	중형 TBM 국산화 기술	강릉건설	일본 ISEKI중공업과 기술제휴를 통해 직경 5.1m 쉴드 TBM장비 국산화 성공과 직경 5m급까지 자체 생산 설비 능력을 갖춤	〈차별점〉 직경 5m급은 유틸리티 터널기술에 속하고, 직경 7m이상의 교통터널용 중대형급 TBM기술은 난이도가 더 높으므로, 국내 독자적인 기술확보가 필요 〈연계방안〉 직경 5m급 TBM의 설계/제작기술이 확보되었으므로, 이를 연계발전하여 중대형 TBM 기술로 발전시켜야 함

□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

○ 국내에서 민간 확보기술 검색되지 않으며, 정출연 확보기술만 검색

〈표 3-27〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	고성능 세그먼트 제작 기술	한국건설기술연구원	CFRP 섬유혼합 콘크리트 재료기술 및 고강도 세그먼트 제작기술	〈차별성〉 기존기술은 편심하중에 대하 구조안정성 확보에 초점을 맞추고 있음. 따라서 강섬유혼합 콘크리트 대신 철근콘크리트를 대상으로 가변 세그먼트 설계제조 기술을 개발하고자 함 〈연계방안〉 기존 기술에서 개발된 최대강도 및 내화, 내수시험 기준은 본 연구에서도 연계/활용할 예정

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 건설기계 분야의 신뢰성 시험평가 기술은 공공기관(한국기계연구원, 건설기계부품연구원)이 주로 보유

- 공공기관 이외는 대기업(현대건설기계, 두산인프라코어)가 신뢰성시험기술을 보유하고 있음

○ 국내 민간기술의 현재기술과 개발기술의 비교

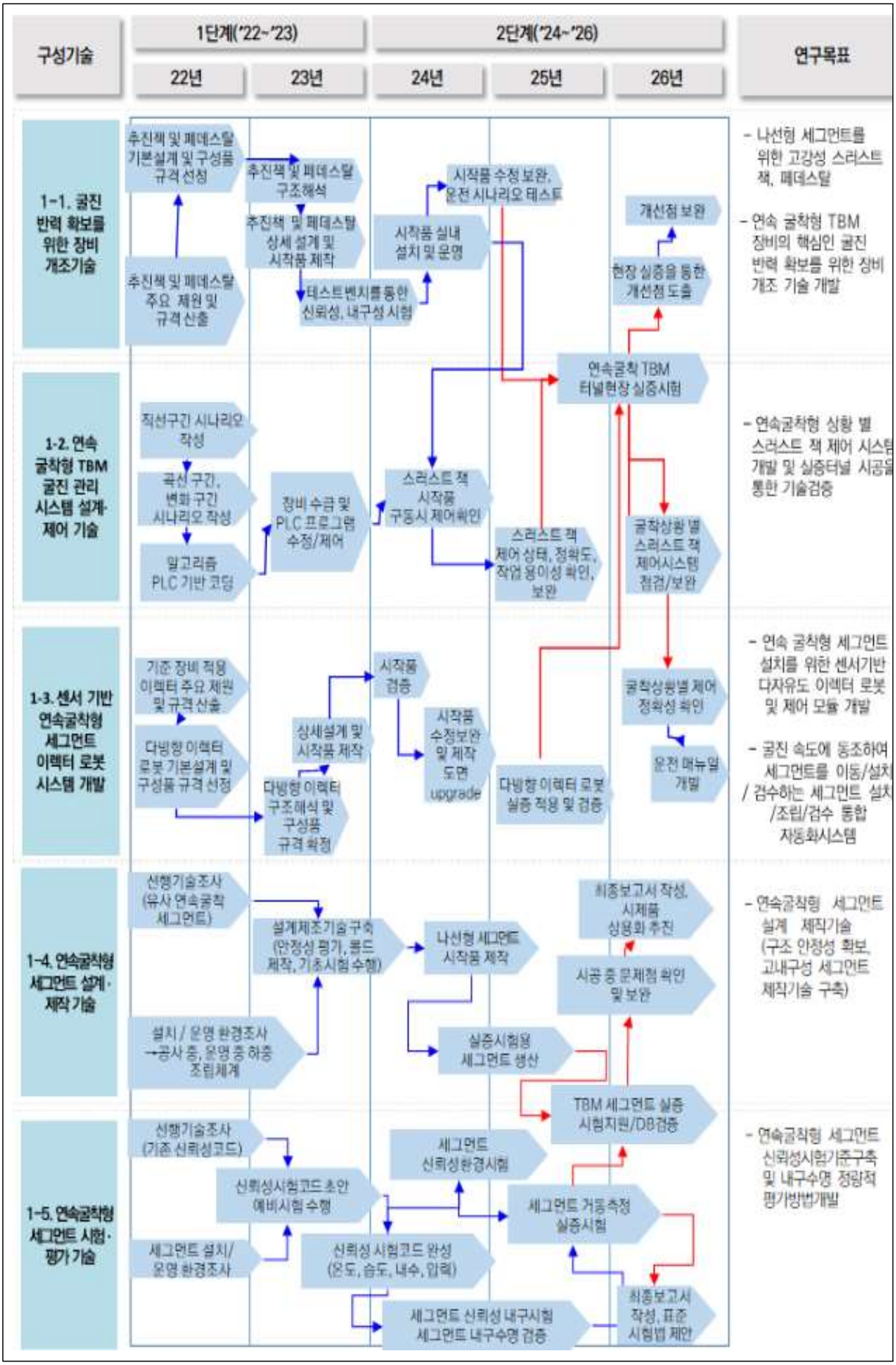
- 건설기계 분야에서 개발/보유중인 신뢰성 시험평가 관련 기존 기술과 현재 TBM 분야 개발 기술과 비교하여 차별성/연계성을 설명

〈표 3-28〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

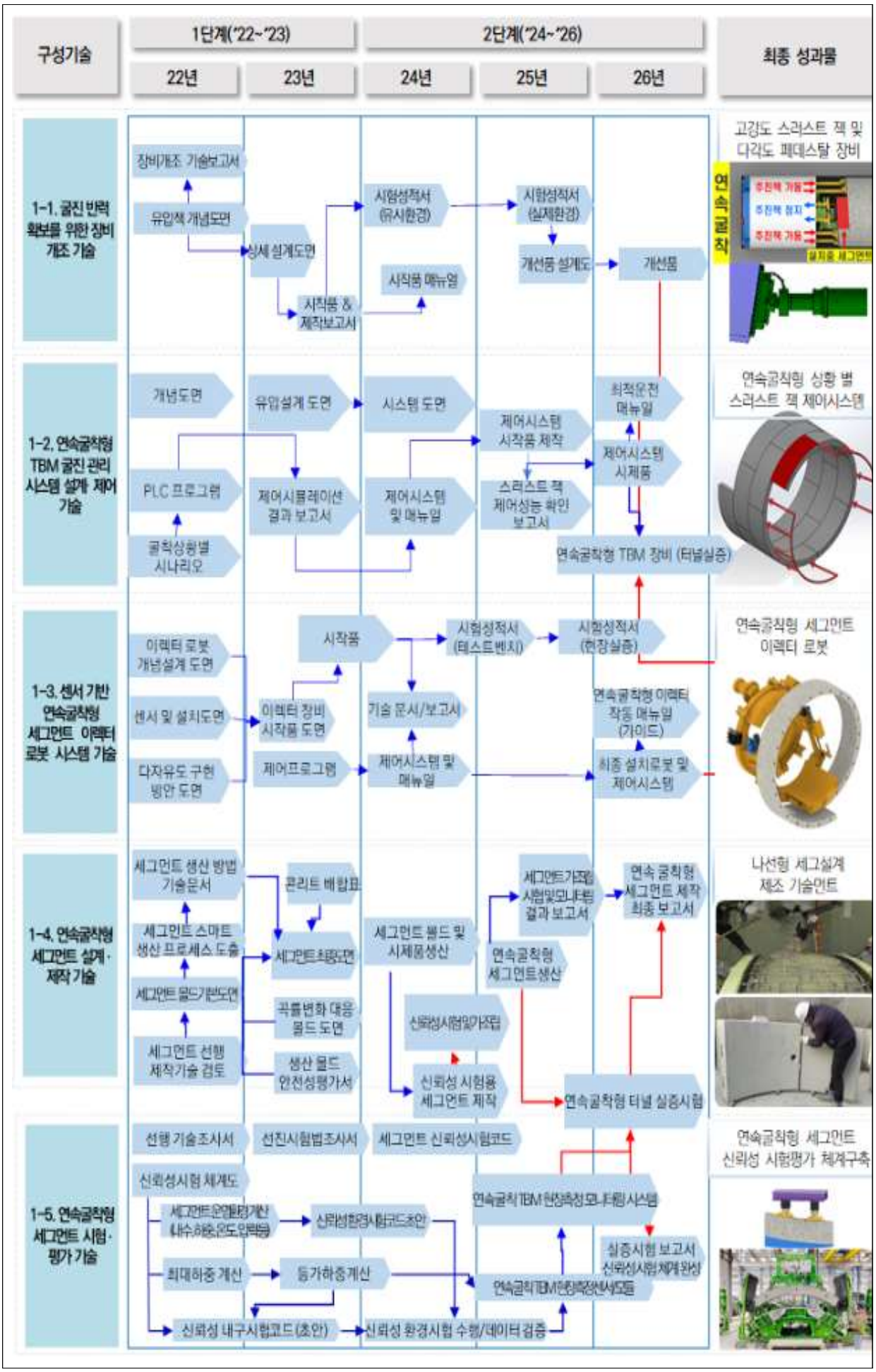
순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	건설기계 어태치먼트의 신뢰성시험평가기술	한국기계연구원	건설기계 어태치먼트 제품의 부품/단품에 대한 신뢰성평가기술 보유중	해당기술은 일반기계/부품에 대한 신뢰성평가 기술에 관한 것임. 건설기계 완성차 및 TBM, 세그먼트과 같은 특수목적 장비/부품에 대한 신뢰성평가 기술은 구축된 바 없어 신규 기술 개발을 통해 신뢰성평가 기법 구축 필요
2	중소형 굴착기 완성차/부품에 대한 신뢰성 시험평가기술	건설기계 부품연구원	중소형 굴착기 및 구성 부품에 대한 신뢰성시험 인프라가 구축	TBM 세그먼트와 같은 토목건설용 재료에 대한 신뢰성시험연구는 수행된 바 없음 세그먼트는 건설토목분야의 연구 아이템이므로 신규 개발하여 신뢰성 시험 기준과 규칙을 신설해야 함
3	일반 건설기계에 대한 신뢰성시험 평가기술	두산인프라코어/현대건설기계	주력 건설기계 3종(굴착기, 지게차, 로더)에 대해 부품 제조단계 부터 완성차 생산단계 까지 신뢰성평가기술이 확립되어 있음. 소량생산인 특수장비/수입장비에 대한 신뢰성 시험기법은 아직 미비한 수준	중대형 TBM 장비/부품은 100% 수입에 의존하고 있으므로, 국내 대기업에서 신뢰성시험기술은 확보하지 못한 실정 TBM 세그먼트도 토목재료용이기 때문에 건설기계 분야에 포함되지 않아 신뢰성분야 연구대상으로 검토된 바 없음

(차) 구성기술 로드맵

[그림 3-38] 추진로드맵



[그림 3-39] 성과로드맵


구성기술
1단계('22~'23)
2단계('24~'26)
22년
23년
24년
25년
26년
최종 성과물
1-1. 굴진 반력 확보를 위한 장비 개조 기술
장비개조 기술보고서
유입책 개념도면
상세 설계도면
시험성적서 (유사환경)
시험성적서 (실제환경)
시작품 & 제작보고서
시작품 매뉴얼
개선품 설계도
개선품
고강도 스러스트 잭 및 다각도 페데스탈 장비
1-2. 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계 제어 기술
개념도면
유입설계 도면
시스템 도면
제어시스템 시작품 제작
최적운전 매뉴얼
제어시스템 시제품
PLC 프로그램
제어시뮬레이션 결과 보고서
제어시스템 및 매뉴얼
스러스트 잭 제어성능 확인 보고서
굴착상황별 시나리오
연속굴착형 TBM 장비 (터널실증)
연속굴착형 상황 별 스러스트 잭 제어시스템
1-3. 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술
이렉터 로봇 개념설계 도면
시작품
시험성적서 (테스트벤치)
시험성적서 (현장실증)
센서 및 설치도면
이렉터 장비 시작품 도면
기술 문서/보고서
연속굴착형 이렉터 작동 매뉴얼 (가이드)
다자유도 구현 방안 도면
제어프로그램
제어시스템 및 매뉴얼
최종 설치로봇 및 제어시스템
연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇
1-4. 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술
세그먼트 생산 방법 기술문서
관리 배합표
세그먼트 스마트 생산 프로세스 도출
세그먼트최종도면
세그먼트 몰드 및 시제품생산
세그먼트 가조립 시험및모니터링 결과 보고서
연속 굴착형 세그먼트 제작 최종 보고서
세그먼트 몰드기본도면
곡률변화 대응 몰드 도면
연속굴착형 세그먼트생산
나선형 세그설계 제조 기술인증
세그먼트 선행 제작기술 검토
생산 몰드 안전성평가서
신뢰성시험및가조립
신뢰성 시험용 세그먼트 제작
연속굴착형 터널 실증시험
1-5. 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술
선행 기술조사서
선진시험법조사서
세그먼트 신뢰성시험코드
신뢰성시험 체계도
연속굴착 TBM 현장측정 모니터링 시스템
연속굴착형 세그먼트 신뢰성 시험평가 체계구축
세그먼트 온라인평가 개선 (내수,하중,온도모니터링)
신뢰성환경시험코드초안
실증시험 보고서 신뢰성시험 체계 완성
최대하중 계산
등가하중계산
연속굴착TBM 현장측정센서모듈
신뢰성 내구시험코드(초안)
신뢰성 환경시험 수행/데이터 검증

(카) 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

① 연도별 소요예산

○ 총액 140억 원, 국고 보조금 104억 원, 민간 자본금 36억 원으로 구성

(단위: 백만 원)

구성기술	구분	'22	'23	'24	'25	'26	계
1-1. 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술	정부	1,441	1,633	384	192	125	3,775
	민간	490	555	131	65	43	1,284
	소계	1,931	2,188	515	257	168	5,059
1-2. 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술	정부	144	432	384	288	63	1,311
	민간	49	147	131	98	21	446
	소계	193	579	515	386	84	1,757
1-3. 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술	정부	192	768	336	192	62	1,550
	민간	65	261	114	65	21	527
	소계	257	1,029	450	257	83	2,077
1-4. 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술	정부	97	720	960	576	115	2,468
	민간	33	245	326	196	39	839
	소계	130	965	1,286	772	154	3,307
1-5. 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술	정부	97	480	384	288	96	1,345
	민간	33	163	131	98	33	457
	소계	130	643	515	386	129	1,802
합계	정부	1,971	4,033	2,448	1,536	461	10,449
	민간	670	1,371	832	522	157	3,552
	합계	2,641	5,404	3,280	2,058	618	14,001

○ 직접비

(단위: 백만 원)

구분	’22	’23	’24	’25	’26	계
인건비	471	2,203	1,276	713	183	4,846
연구활동비	370	303	253	198	68	1,192
연구재료비	867	713	594	464	158	2,796
연구시설장비비	-	500	100	-	-	600
연구수당	184	152	126	99	33	594
합계	1,892	3,871	2,349	1,474	442	10,028

○ 간접비

(단위: 백만 원)

구분	’22	’23	’24	’25	’26	계
간접비	79	161	98	62	18	418

○ 소요 인력

(단위: 명)

구성기술	구분	'22	'23	'24	'25	'26	계
1-1. 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술	책임급	9	11	2	1	-	23
	선임급	3	15	3	1	1	23
	원급	2	33	7	3	2	47
	소계	14	59	12	5	3	93
1-2. 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술	책임급	-	2	2	1	-	5
	선임급	1	3	3	2	1	10
	원급	2	8	7	5	1	23
	소계	3	13	12	8	2	38
1-3. 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술	책임급	1	5	2	1	-	9
	선임급	1	7	3	1	1	13
	원급	3	15	6	3	1	28
	소계	5	27	11	5	2	50
1-4. 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술	책임급	-	4	6	3	-	13
	선임급	1	6	8	5	1	21
	원급	1	14	19	11	2	47
	소계	2	24	33	19	3	81
1-5. 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술	책임급	-	3	2	1	-	6
	선임급	1	4	3	2	1	11
	원급	1	9	7	5	1	23
	소계	2	16	12	8	2	40
합계		26	139	80	45	12	302

② 연구장비 및 시제품

○ 연구장비 내역

〈표 3-29〉 핵심기술 연구장비내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)	연도	해당 구성 기술
1	연속굴착형 세그먼트 시험장비	나선형 세그먼트 실물시험 (휨시험 및 잭추력 장비)	300	1	300	2023	1-4
2	신뢰성 환경시험장비	내수 환경시험 시스템 구축	100	1	100	2024	1-5
3	광대역 3차원스캐너 (Broadband 3D Scanner)	TBM 커터헤드, 핵심모듈, 연속굴착 세그먼트의 시공전후 형상 측정, 비교검사	200	1	200	2023	1-5
합계			600	-	600	-	-

(타) 기대 및 파급효과

① 과학기술적 측면

□ 고하중 편심하중 대응 TBM 추진잭 내구성 향상

○ 국내 TBM 설계, 제작 및 시공 기술의 수준은 선진국 대비 30~70% 수준으로 미흡한 단계에 머물고 있으나, 핵심기술을 획득하게 된다면 세계 최고 수준의 장비 설계 및 연속 시공 기술을 확보하게 될 것으로 기대

○ 굴진 반력 확보를 위한 장비개조 기술

- 고강성 유압잭 설계/개조기술, 페데스탈 설계/제작 기술 개발을 통해 연속굴착형 TBM 시공 구현 및 기존 TBM 장비를 개조 수준을 향상시킬 수 있을 것으로 예상됨. 이를 통해 관련 기술 분야의 발전을 도모할 뿐 아니라 새로운 기술 분야를 개척하는 기반을 마련 가능 (TRL 3 → 8)

○ 최소 150% 증가된 추력과 편심이 작용하는 상태에서의 내구성 있는 TBM 추진잭 기술을 확보하여 비틂하중을 받는 가력시스템에 응용 가능

○ 경사면에도 대응하는 미끄럼 방지 패드를 포함한 고각 회전 대응 페데스탈 기술로 타 산업 분야 응용 가능

□ 연속굴착형 TBM 굴진관리 시스템 설계/제어 기술로 시공중 발생가능한 리스크 완화

○ 연속굴착형 TBM 굴진 관리시스템 제어기술

- 연속굴착형 TBM 굴진 관리시스템 제어기술은 국내 최초로 수행되는 연구로써 세그먼트 연동작동 기술, 운전모드별 하중분포 제어기술 등을 통해 TBM 굴진율 향상 기술을 확보할 수 있음. 또한, 실증 굴착을 통해 기술을 검증할 수 있어 세계 최고의 연속 굴착 기술 확보가 가능 (TRL 3 → 9)

○ 연속굴착형 TBM 시스템 설계기술

- 연속굴착형 TBM 시공중 발생하는 세그먼트 설치, 지반 반력 상태, 회전반경, 시공 오차 조정 등의 시나리오에 따라 상황을 용이하게 제어할 수 있는 시스템 설계기술 활용
- 각 상황 시간지연에 따른 다운타임 감소와 중대 리스크 사전 대응 가능

□ 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술로 세그먼트 설치 정확성 및 속도 향상

○ 센서기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇시스템 기술

- 나선형 세그먼트 사용과 위치정보 기반 설치로직 기술, 7 자유도를 가지는 이렉터 설계/제어 기술을 통하여 최대 30%의 굴진율 향상이 가능할 것으로 예상되며, 개발 완료시 건설사들의 원천 운영 기술 확보로 해외 프로젝트 수주시 기술경쟁력을 확보할 수 있음 (TRL 3 → 8)

○ 세그먼트 설치 정확도 및 신속성 확보

- 나선형 세그먼트 설치 정확도의 증가로 설치중 파손 감소, 접촉면의 편차감소 및 접촉면증가로 추진잭 가력에 의한 세그먼트 파손 감소
- 세그먼트의 설치시간 사이에 짧은 휴지시간이 있지만, 연이은 작업은 작업자의 피로감을 유발하여 인체의 집중력을 저하시킴. 이렉터 로봇의 개발은 이러한 문제를 해결하며, 설치속도를 신속히 진행하여 터널 공기 단축 효과 향상

□ 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술

○ 특허에만 국한된 Helical(나선형) 세그먼트의 시공을 위한 설계기술 구축

○ 기존의 링간 조립방식을 벗어난 연속굴착형 세그먼트의 상세설계기술 핵실기술 확보로 세계 제일의 세그먼트 설계·시공능력의 기반마련

○ 3차원 제작기술 도입으로 정밀한 생산계획이 가능하며, 오차발생 요소를 제거하여 하자 발생을 최소화

○ 고강도 콘크리트 재료를 사용한 세그먼트 제작기술은 나선형 굴착기법으로 증가된 잭 추력에 의한 세그먼트의 파손을 방지하고, 내구성이 우수한 터널 건설에 기여

□ 연속 굴착형 세그먼트 시험·평가 기술

○ 고강도, 고내구성 세그먼트 재료강도 검증

○ 나선형 세그먼트 내구수명 평가를 통해 국내생산 세그먼트 제품 신뢰성 향상

○ 내환경성 신뢰성 시험방법 구축을 통한 세그먼트의 내환경성 입증

○ TBM 세그먼트 시험평가방법 확립 및 국내 공인인증시험 제안

○ 국제저널 게재를 통한 국제 표준화 진행

② 사회경제적 측면

□ 공기단축을 통한 사회적 비용 감소

○ TBM 관련 국내 시장규모는 급격하게 팽창 중이며, 이는 향후 10년간 10조원 이상으로 추정, 본 연구를 통해 획득될 기술을 활용할 경우 공사비의 약 5%이상(5천억원/10년간)을 절감할 수 있을 것으로 예상

- NATM 공법의 대안이 될 수 있는 영역이 확대되므로 인해 발생하는 TBM 장비분야의 저변확대

○ 민원저감, 건설안전재해 저감효과 등 간접적 비용 추정액은 500억원으로 추정됨, 따라서 본 연구에서 개발될 기술로 인해 발생할 전체 경제적 효과는 총 5,500억원에 달할 것으로 추정

- 기존 TBM기술 대비 굴진속도가 향상되어 전체 공기가 단축됨으로써 교통혼잡, 소음/진동/먼지 등으로 인한 민원이 감소하게 되어 사회적 비용 감소

□ 신기술 개발 및 확산을 통한 연관사업 및 일자리 창출

○ 연속굴착기술이 적용되고 널리 보급됨에 따라 TBM 장비, 부대장비, 세그먼트 제작 분야 등에서 새로운 사업과 일자리 창출

- 기존 도입된 TBM장비에 대하여 연속 굴착에 맞는 설계/개조 기준을 개발함으로써 국내 연속굴착 시공 활성화를 도모
- TBM 제작 및 부품 관련 중소기업의 신시장 창출에 기여

□ TBM 기술의 혁신적인 패러다임 전환으로 해외시장 경쟁력 제고

○ 연속굴착 TBM 장비, 설계, 시공 기술 확보로 기존 TBM의 게임 체인저 기술이 될 수 있을 것으로 기대하며, 국내건설사의 해외 TBM 터널 EPC 시장에서의 경쟁력 제고 및 시장 확대

- TBM 기술 자립화로 관련 기술 수입에 따른 국내 자본의 해외 유출을 방지
- TBM 유압장비/부품 분야 국외 장비 대체 효과 및 실증 굴착을 통한 기술 검증으로 수입 창출 기대
- 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술 개발로 공사중 안전사고 저감과 도심지 시공시 교통 혼잡 축소, 민원 감소 기여

□ 연속굴착형 TBM공법용 세그먼트 설계, 제작기술

○ TBM 장비 정지 없는 시공능력 확보로 최근 문제가 되었던 씽크홀(ex, 석촌 지하차도) 재발방지와 함께 국민 불안요인 잠식

○ 3D모델링을 통한 계획적이고 체계적인 나선형 세그먼트 제작 기술은 잉여 콘리트 및 산업부산물 발생 최소화로 친환경 건설 시스템 구축

○ 3차원 세그먼트 몰드제작 기술은 쉴드 TBM 터널공사 뿐만 아니라 다양한 건설현장의 프리케스트 구조물에 적용 가능

□ 연속굴착형 TBM공법용 세그먼트 시험, 평가기술

○ 나선형 세그먼트 사용을 통해 쉴드 TBM 가동율 및 굴진율 10%이상 향상

○ 나선형 세그먼트 실증데이터 모니터링 기술 확립을 통해 세그먼트 최적상태 관리기술로 발전, 국내 TBM/기계화 시공능력 확대

○ TBM 터널시공시 세그먼트 비용 20%절감. 굴진장 km당 10억원 이상 비용 절감

○ 해외 TBM시공기업 세그먼트 기술지원 및 해외수출 신규시장 창출

(2) (핵심기술 2) 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술

(가) 기본 개념 및 범위

① 기본 개념

□ 연속굴착이 가능하도록 개조된 TBM과 연속굴착형 세그먼트를 사용하여 실증터널공사를 수행하며 개발기술을 검증하고 가동률 최적화를 연구하는 기술

○ 굴착-배토-세그먼트 설치 순서로 진행되는 기존 TBM 굴착과 달리 연속굴착형 TBM은 굴착, 배토, 세그먼트 설치가 동시에 진행되어 전체 공기를 단축시킬 수 있는 기술

○ 위와 같은 기술을 구현하기 위해 기존 TBM 장비의 개조 및 시스템, 연속굴착형 세그먼트 개발 및 설치 장비를 개조/개발하는 연구

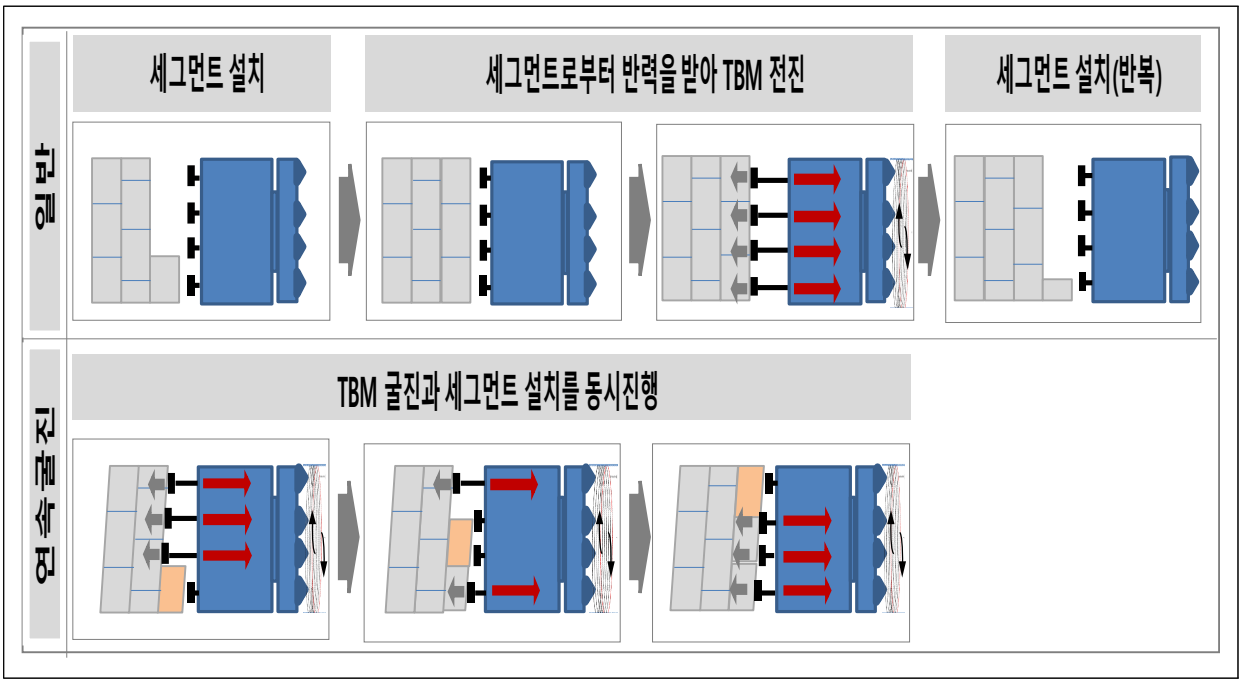
○ 개조 및 개발된 연속굴착형 장비를 실증공사에 적용하고 검증하여 연속굴착형 터널공사 공정의 최적화 방안을 도출하는 연구

○ TBM 장비 데이터를 이용하여 전방지반조건을 파악하고 최적의 운전조건을 제시하는 운전관리 시스템을 개발/검증하는 연구

○ 굴착사이클 시뮬레이션 S/W를 개발하여 연속굴착형 터널공사의 굴착사이클을 사전예측하는 가상시공을 통해 문제점 발견 및 사전제거하고, 향후 실증시공데이터와 비교하여 차이점을 분석한 후 시공개선안을 도출하는 연구

○ TBM 중앙관제시스템의 개발을 통해 각종 데이터를 취합하고 종합적으로 분석함으로써 연속굴착 TBM 터널의 효율성을 강화시키는 연구

[그림 3-40] 기술 개념도



② 기술 범위

□ 연속굴착형 TBM 실증

○ 연속굴착형 TBM 기술을 적용하고 검증할 수 있는 실증공사 설계 및 시공 총괄 수행

○ 타 핵심에서 개발된 장비, 시스템 및 기타 기술을 실증공사에 적용하고 검증한 후 필요시 보완/개선

□ 연속굴착형 TBM 최적 운전관리 기술

○ 지반조건 및 장비상황에 대한 정보를 실시간으로 파악/분석하여 상황에 맞는 최적의 운전조건(추력 및 RPM 등의 증가 혹은 감소)을 오퍼레이터에게 제시해주는 운전관리시스템 개발

□ 연속굴착형 TBM 가동률 최적화 기술

○ TBM 굴착으로 생성되는 모든 데이터를 중앙관제실에서 수신하여 현장상황을 파악하고, 각 공정간 작업이 최적으로 원활하게 수행될 수 있도록 필요한 조치를 현장에 지시하는 등의 기능을 수행하는 연속굴착형 TBM 중앙관제시스템 개발

○ 연속굴착형 TBM 굴착-라이닝-버력이송 공정을 시뮬레이션하는 S/W 개발을 통해, 굴착사이클에 대한 시뮬레이션을 수행하여(가상시공) 공기지연 요소를 사전에 발견하여 제거

○ 실제공사 시작 이후에는 사전 시뮬레이션 예측과 실제 시공결과를 비교 검증하여 차이점에 대한 원인분석을 하고 궁극적으로 최적의 시공개선안 도출

□ 연속굴착용 장비 및 시스템 기술 검증

○ 연속굴착형 터널의 실증을 통해 타 핵심에서 개발된 장비, 시스템 및 시공기술을 검증하고 개선방안을 도출하는 연구

〈표 3-30〉 핵심기술 구성

핵심기술	구성기술
연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술
	연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술

(나) 추진배경 및 필요성

① 추진배경

□ 국내의 TBM 굴진속도는 해외 선진사례에 비교하여 상대적으로 매우 낮은 수준

○ 국내의 시공실적을 조사한 한국건설기술연구원(2010)의 연구 확인

- 국내의 TBM 평균 일굴진장은 최대 17.2m/day (죽령터널, open TBM) 및 9.4m/day (광주 도시철도, EPB Shield)로 나타났으며 (표 1), 이는 해외 선진사례에 비하여 매우 낮은 수준(표 2).
- 2010년 조사자료이므로, 현재수준은 이보다 향상될 것으로 판단되나 여전히 해외수준과는 격차가 있고 개선이 필요

- 굴진속도 향상을 위해서는 장비성능 향상, 운영능력 향상, 다운타임을 최소화하는 굴착사이클의 효율화 등의 다양한 방법이 필요

〈표 3-31〉 국내 대표적인 TBM 시공시 굴진속도기록 (건설기술연구원, 2010)

항목	죽령터널	북악터널 배수지	부산지하철 230공구	광주도시철도 1호선 TK-1	서울지하철 909 공구
연속굴착을 위한 TBM 굴진 효율화 기술	Open TBM	Open TBM	이수식 쉴드 TBM	EPB 쉴드 TBM	이수식 쉴드 TBM
TBM외경 (m)	4.5	5.0	7.3	7.4	7.8
순굴착속도 (m/day)	48~55.2	48.0	14.4~19.0	10.1~25.9	28.1~32.9
평균 일굴진장 (m/day)	16.6~17.2	10.0	1.4~5.2	0.6~9.4	5.6~6.7
가동율(%)	31.2~34.6	20.8	9.7~27.4	5.9~36.3	19.9~20.4

〈표 3-32〉 국외의 TBM 고속굴진기록 (건설기술연구원, 2010)

항목	프로젝트명				
	리버마운틴 터널	블루마운틴 터널	79번가 터널	카디스 급수로	도버해협 터널
위치	미국, 네바다 라스베가스	호주, 뉴사우스웨일즈	미국,일리노이 시카고	스페인, 안다루시아	영불 도버해협
용도	상수도	하수도	상수도	수로	찰더
터널연장 (m)	6,000	13,437	5,700	12,200	18,857
공사기간	1995.5~ 1997.5	1994.3~ 1995.1	1995.9~ 1998.7	1996.10~ 1997.3	1989.3~ 1991.6
TBM 형식	Open TBM	Open TBM	Open TBM	Double shield	EPB shield
TBM외경(m)	4.3	3.4	5.6	4.9	8.8
커터헤드	토크 (kN·m)	1,200	-	-	-
	회전수 (rpm)	12	-	-	-
디스크커터	직경(inch)	17	-	-	-
	개수	29	-	-	-
평균 일굴진장 (m/day)	68.0	45.8	48.0	28.8	22.8
최대 일굴진장 (m/day)	83.2	172.0	98.5	93.6	54.5

○ 굴진속도는 지반조건 및 장비타입별로 상이하기 때문에 직접적인 비교는 곤란하고 참고자료로만 활용하는 것이 바람직. 실제 같은 현장 내에서도 지반조건의 변화에 따라 굴진속도가 크게 차이가 나는 경우가 발생

② 추진 필요성

□ 본 사업에서 개발되는 주요 기술은 이전에 존재하지 않았던 연속굴착형 TBM 기술로 굴진율의 큰 향상이 기대되나 아직까지 실제공사에 적용된 사례가 없음

○ 실제 사업에 적용하기 이전에 실규모의 실증공사를 통해 기술검증을 하고 문제점 파악 후 기술을 개선하는 과정이 필요할 뿐만 아니라, 향후 실제 공사에 적용하기에 앞서 기술검증 및 개선차원에서 실증공사는 필수적임

○ TBM 굴착 및 라이닝 시공의 과정이 동시에 진행되므로 철저한 공정관리와 사전 예측이 필요

○ 사전예측과 실제 시공과정에서의 비교분석을 통하여 후속 공사에서의 생산성 향상을 위한 자료와 경험 축적이 필요

○ 이러한 기술개발과 검증/보완은 실증공사의 수행을 통하지 않고서는 내재화하기 어려움

□ 대부분의 기술은 연속굴착형 TBM 뿐만 아니라 기존의 TBM 효율성 향상에도 적용할 수 있는 기술

○ 중앙관제시스템, TBM 굴착사이클의 시뮬레이션 기술, 굴진율 예측, 운전관리시스템, 로봇을 활용한 세그먼트 설치 기술 등은 기존의 TBM 공사에도 적용 가능

○ 연속굴착형 TBM 실증공사를 통해 그 효과를 검증하고, 기존 방식의 TBM 공사에도 적용하는 전략이 필요

□ 국내의 TBM 기술력을 비약적으로 향상시키고 해외에서의 수주경쟁력을 제고하기 위해서 필요한 기술

○ 기존 기술의 해외선진사와의 차이를 극복하는 것은 follower 전략일 뿐 first mover 전략이 될 수 없음

○ 본 사업은 글로벌 TBM 시장의 game change 할 수 있는 기술을 개발하여 국내의 TBM 관련사가 글로벌 TBM 시장의 강자로 도약할 수 있는 토대를 마련할 수 있는 기회

(다) 현황 및 개선방안

① 현황 및 문제점

□ 연속굴착형 TBM 터널은 새로운 기술개념으로 국내 적용 사례가 없고 해외에서도 부분적 개념이 적용된 소수의 사례만 있음

○ 본 사업에서 개발되는 기술의 상용화/사업화를 위해서는 현장적용이 필수적이나, 기술의 특성상 실제 수행 중인 현장에 적용하기에는 불가능하거나 어려움

○ 기존 TBM 장비나 기술은 연속굴착에 부적합하거나 최적의 기술이 아니므로 연속굴착에 적합하도록 장비개조, 시스템 개발 및 개선, 새로운 기술개발 등이 필요

□ TBM 굴착사이클에 대한 종합적인 사전 분석과 예측없이 굴착작업을 수행

○ 굴착사이클(굴착-배토-세그먼트 설치)에 대한 구체적인 분석과 예측없이 TBM 굴착이 이루어지고 있으며, 이로 인해 예기치 못한 문제점이 발생하였을 경우에는 해결책을 찾을 때까지 작업이 중단되고 이에 따라 공기가 지연되는 경우가 많음

□ TBM 굴착 중 실시간 발생되는 데이터를 모니터링하여 굴진현황과 계획 굴진율 대비 예측하고 검증하는 시스템 부재

○ TBM 연속굴진의 최적화 기술 검증 부재

○ 굴착, 세그먼트 조립, 버력이송의 전 과정을 시뮬레이션하는 프로그램 부재

○ 시공중 발생데이터를 수집하여 분석하고 굴착효율화방안을 제시하는 중앙관제시스템 부재

② 개선방안

(구성기술 2-1) 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술

□ 연속굴착형 TBM 터널실증을 수행하면서 관련 장비 및 기술을 적용하고 검증

○ 타 핵심 개발기술을 3핵심의 실증사업에 적용하여 검증하고 개선

○ 실증과정에서 나타난 문제점을 파악하고 보완 및 개선

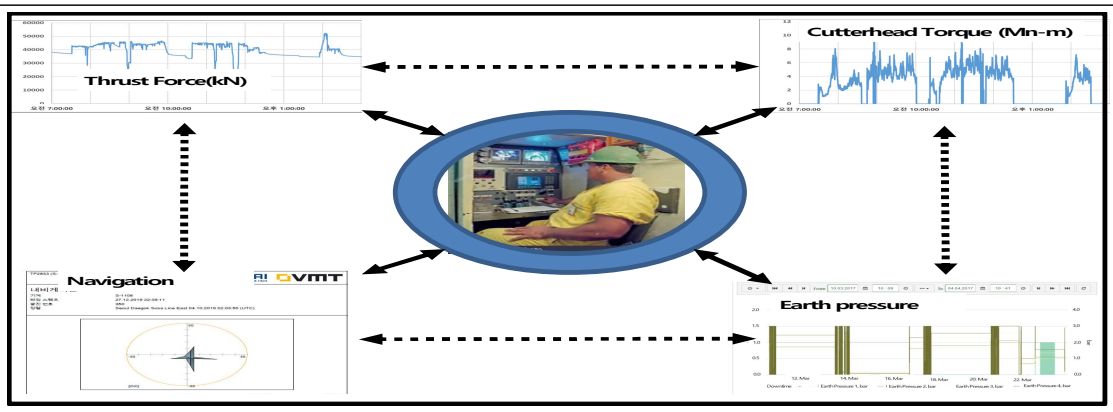
□ 연속굴착형 TBM 운전관리시스템 개발

○ 실시간 시공데이터 기반으로 최적의 운전조건을 제시하는 운전관리시스템 개발

〈표 3-33〉 구성기술(As-is To-be)

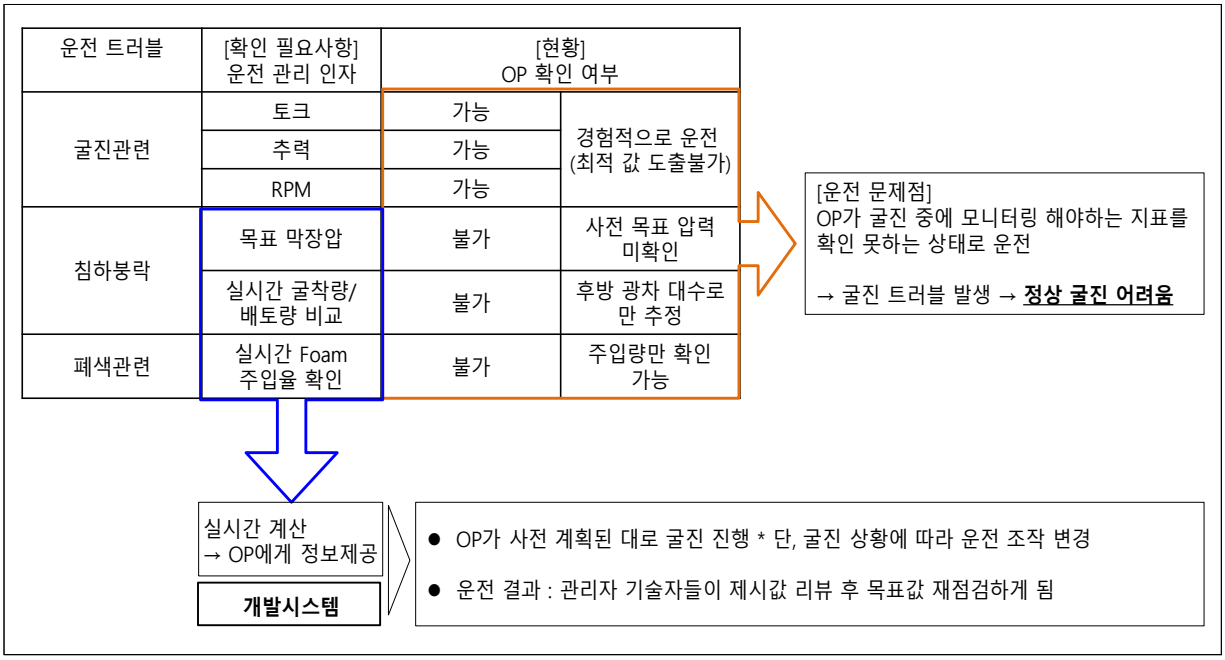
AS-IS	TO-BE
○ 실시간 장비데이터의 종합적이고 체계적인 분석없이 장비운전에 단순참고하여 오퍼레이터의 숙련도에 의해 굴진율에 대한 차이 발생	○ 실시간 시공데이터의 종합적이고 체계적인 분석으로 굴진율을 예측하고 TBM 운전 최적화

[그림 3-41] 구축기술(As-is)



* 굴착데이터가 상호연계되어 통합정보를 제공하지 않고 단편적으로 제공되고 있어, 실제 굴진율 향상에 기여 부족

[그림 3-42] 구축기술(To-be)



(구성기술 2-2) 연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술

□ 굴진과정을 시뮬레이션하는 S/W를 개발하여 시공계획을 사전검증하고, 실증시공 데이터와의 비교로 예측결과를 검증하고 차이점을 분석하여 최적 시공안을 도출하는 기술 (Digital Twin)

○ 연속굴착형 TBM굴착사이클을 사전 가상시공하는 시뮬레이션 S/W 개발

○ 사전 시뮬레이션 결과를 바탕으로 기존 시공안의 문제점을 발견하고 보완 및 개선

○ 사전 예측결과와 시공데이터를 비교하고 차이점을 분석하여 시공개선안 도출

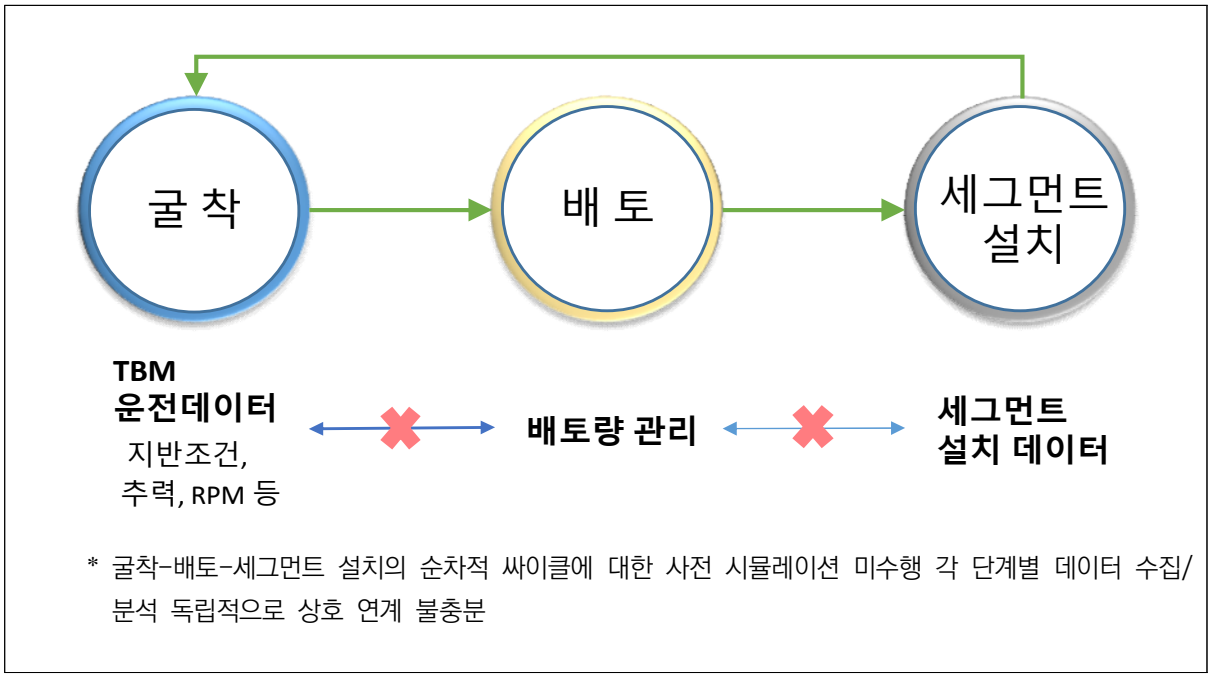
□ 연속굴착 TBM의 모든 시공데이터를 통합관리하고 분석하는 중앙관제시스템 기술

○ 지반데이터, 장비데이터, 운전관리시스템 데이터 등 시공 전반에서 발생하는 주요 데이터를 취합하여 굴착상황을 종합적으로 모니터링 및 분석하고, 이 분석결과를 굴착효율 향상 및 굴진율 개선에 적용하는 시스템 개발

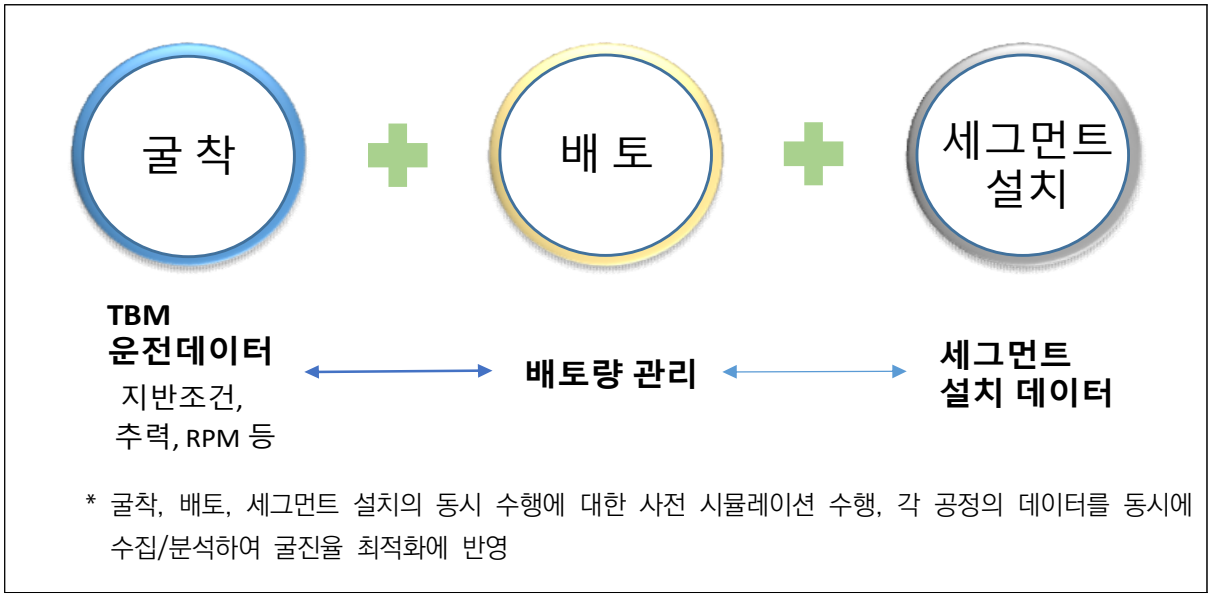
〈표 3-34〉 구성기술(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 굴착 사이클에 대한 사전 시뮬레이션 예측 부재 ○ 연속굴착형 TBM 시공데이터를 종합적으로 모니터링 및 분석하는 중앙관제시스템 부재	○ 굴착-세그먼트 설치과정이 동시에 수행되는 연속굴착형 TBM터널 공사에 대한 사전 시뮬레이션 ○ 연속굴착형 TBM의 주요 시공데이터를 통합 모니터링 및 관리하는 시스템

[그림 3-43] 구축기술(As-is)



[그림 3-44] 구축기술(To-be)



(라) 기술개발 개요

① 기술개발 정의

□ (구성기술 2-1) 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술

○ 연속굴착 터널 실증 설계 및 시공

- 연속굴착, 라이닝시공, 버력이송의 전 과정이 동시 수행되는 점을 고려한 설계, 장비 운영 및 시공관리 필요

○ TBM 연속굴진 최적화 장비 검증 (연속굴착형 TBM 장비, 이렉터 로봇 등)

○ 실증공사 과정에서 기술 검증, 문제점 도출, 개선안 수립

○ TBM 굴착 실시간 데이터를 기반으로 최적의 운전조건을 제시하는 운전관리시스템 개발

- TBM 굴착 실시간 데이터 기반 터널 굴진율 예측 기술

□ (구성기술 2-2) 연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술

○ 연속굴진 시공기술의 BIM 기반 시뮬레이션 프로그램 개발

- 연속굴착, 라이닝시공, 버력이송의 전 과정의 시뮬레이션이 가능한 TBM 시뮬레이션 S/W 개발
- 모든 공정이 동시에 진행되므로 상호간섭없이 최적의 효율을 내는 공정관리 필요
- 사전 시뮬레이션을 통한 공정확인, 문제점 사전 발견 및 제거 등의 작업 필수

○ TBM 굴착 실시간 데이터를 모니터링하여 종합적으로 분석 및 관리하는 중앙관제시스템 개발

- 연속굴착형 TBM 터널 시공관리를 통한 가동률 최적화

② 기술개발 목표

□ (구성기술 2-1) 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술

○ TBM 운전관리시스템 개발

- 실시간 굴착데이터를 분석하여 최적의 운전조건 제시

○ 연속굴착형 TBM 장비 및 기술 검증

- 실증을 통하여 장비 및 기술을 검증하고 문제점 개선

□ (구성기술 2-2) 연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술

○ BIM 기반 연속굴착형 TBM 시뮬레이션 프로그램 개발

- 연속굴착, 라이닝시공, 버력이송 및 기타 부대시설 운영 등 전 공정 시뮬레이션

○ TBM 중앙관제시스템 개발

- 모든 시공정보를 취합하여 종합적으로 모니터링하고 분석하여 가동률 최적화

(마) 국내외 기술개발 동향

① 해외 동향

□ (구성기술 2-1) 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술

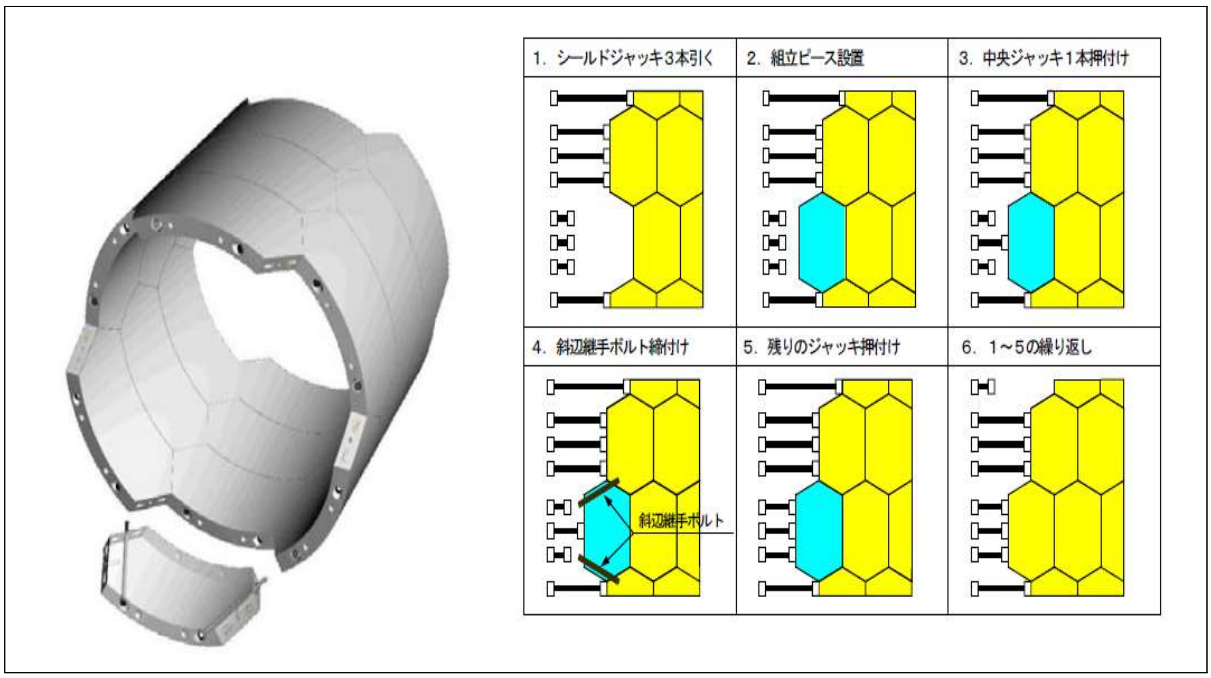
〈표 3-35〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
시공실적 있으나 적용성에 문제점 노출	일본	JTSC	Honeycomb Segment	벌집(6각형) 모양의 연속굴착형 세그먼트 라이닝

○ 연속굴착형 Honeycomb 세그먼트 라이닝

- Honeycomb 세그먼트는 벌집(6각형) 모양의 세그먼트
- 아래 그림에서 보이듯이, 본 공법은 설치되는 세그먼트를 제외한 나머지 기설치된 세그먼트를 반력삼아 굴착을 하는 동안 한 개의 세그먼트가 설치되는 연속굴착형 공법
- 일본 JTSC社가 다수의 시공실적을 보유하고 있는 것으로 조사
- 세그먼트간 연결은 비교적 긴 길이의 직선볼트를 사용

[그림 3-45] 연속굴착형 세그먼트 해외 동향 (일본 Honeycomb 세그먼트)



□ (구성기술 2-2) 연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술

〈표 3-36〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
제조사별 개발로 이미 상용화	독일	VMT	VDMS	실시간 TBM 데이터 수집하여 오퍼레이터에게 제공

○ VDMS (VMT Data Management System)는 기계화터널을 위한 데이터 및 공정관리 시스템

- 굴착데이타, 장비위치 및 현황, 공정관리, 보고서 자동작성 등 다양한 정보 제공
- 연속굴착형 TBM터널에 적용 곤란

[그림 3-46] VDMS (VMT Data Management System)



② 국내 동향

□ (구성기술 2-1) 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술

〈표 3-37〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
현대건설 자체 연구개발 중이며 현장 검증단계	현대건설	TADAS	기존 TBM터널의 굴진율 예측 프로그램
자체연구로 개발 중이며, 시험 생산 및 성능시험 예정	현대건설	나선형 세그먼트	연속굴착형 세그먼트 (설치 시공기술은 미개발)

○ 장비 제원, 굴착데이터 등을 활용하여 굴진율을 예측하고, 운전가이드라인 제시

- 연속굴착형 터널에 적용시에 수정 필요

○ 현대건설 자체적으로 나선형 세그먼트를 개발하고, 구조성능시험 및 가조립 등의 기본적인 연구를 수행할 예정이나, 급속 설치 및 시공기술에 대한 연구는 포함되어 있지 않으며 나선형 세그먼트의 프로젝트 적용사례도 없음

○ 기존 TBM 현장의 세그먼트 설치·시공기술은 대부분 유사. 특이 기술 없음

□ (구성기술 2-2) 연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술

〈표 3-38〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
국내 사례 없음			

(바) 해외 및 국내 기술 수준 비교

□ TBM 최적 운전관리 기술

○ 독일 Herrenknecht社의 계열사인 VMT가 개발한 VDMS가 널리 사용되고 있으며, 다른 주요 장비제조사도 자체 개발한 소프트웨어를 제공하고 있음

○ 장비제조사가 제공하는 프로그램이라 시공사나 설계사가 독자적으로 연관 프로그램을 개발한 사례 미미

〈표 3-39〉 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	높음	중간	높음
TRL 단계	9	6	8
기술성숙도	높음	중간	높음
주요성능	굴착데이타 제공 공정관리 툴 제공 등	굴착데이타 분석자료 제시 최적 굴진율 제시	연속굴착형 터널 굴착 데이터 제공 최적의 운전조건 제시

□ 연속굴착형 TBM 기술

○ 연속굴착형 세그먼트 급속 설치·시공 기술의 개발 및 시공사례는 국내외 모두 없어 비교불가

○ 일본 JTSC사의 Honeycomb 방식에 대해서도 급속 설치·시공 기술에 대한 언급은 별도로 없는 것으로 보아 일반적인 기술을 사용한 것으로 추정

○ 기존의 일반 TBM에서의 세그먼트 설치기술의 일부 자동화는 국내 및 해외에서 개발되어 적용된 사례가 있으며, 현재는 보편적인 기술로 상용화

○ 기타 굴착시뮬레이션 혹은 연속굴착형 TBM 중앙관제시스템 등은 개발사례 없음

〈표 3-40〉 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	연속굴착형 세그먼트 설치기술 보유국가 없음	최초 개발 사례임	중간
TRL 단계	N/A	N/A	8
기술성숙도	N/A	N/A	중간
주요성능	N/A	N/A	연속굴착형 세그먼트 급속시공

(사) 세부개발 내용

(구성기술 2-1) 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ 실시간 장비데이터의 종합적이고 체계적인 분석없이 장비운전에 단순참고하여 오퍼레이터의 숙련도에 의해 굴진율 차이 발생	■ TBM 굴착 실시간 데이터를 기반으로 최적화 운전조건을 제시하는 운전관리시스템
	■ TBM 굴착 실시간 데이터 기반 터널 굴진율 예측 기술
■ 실증공사를 통한 검증과정에서의 적용성 문제	■ TBM 연속굴진 최적화 기술 검증 (스러스트 잭 운영 기술, 추력 및 RPM 제어 기술)
	■ 연속굴착공법의 특성을 고려하여 예상문제를 사전에 충분히 검토하고 해결책을 미리 준비하는 방향으로 기술개발 및 검증

연구 필요성

○ 실증을 통한 개발기술의 검증 및 개선

- 연속굴착 TBM 공법의 개발 및 실증을 위해 장비 개조 및 시스템 개발이 예정되어 있으며, 실제현장 적용에 앞서 실증을 통한 기술의 검증 및 보완/개선이 필수적

○ TBM 연속굴착 운전관리시스템

- TBM 연속굴착의 최적화 기술 필요 (굴진율 예측, 최적 운전조건 제시 등)

(구성기술 2-1) 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술

연구내용

○ 연속굴착 TBM 실증 및 운전관리시스템 개발

– 타핵심 개발 장비 및 기술의 실증 적용을 통한 검증

– TBM 굴착 실시간 데이터 기반 연속굴진 최적화 기술 (스러스트 잭 운영 기술, 추력 및 RPM 제어 기술)

– 최적의 장비운전관리시스템 개발을 통한 굴진효율 최적화

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** – 실증공사 계획 – 연속굴착형 TBM 운전관리시스템 개발 ▪ **(연구내용)** – 실증공사 대상부지 지반조사, 설계 등 사전 작업 수행 – TBM 운전관리시스템 모듈 정의 및 개발	▪ 실증부지 지반조사 보고서 ▪ 운전관리시스템 정의서
2023	▪ **(연구목표)** – 실증공사 세부 계획 ▪ **(연구내용)** – 실증터널 및 부대공사 기본설계 – TBM 운전관리시스템 개발	▪ 실증터널 기본설계 보고서 ▪ TBM 운전관리시스템 ▪ 국내 논문 1건
2024	▪ **(연구목표)** – 터널굴착을 위한 수직구 굴착 ▪ **(연구내용)** – 터널공사를 위한 상부토공 및 수직구 굴착	▪ 수직구 굴착 실시설계 보고서
2025	▪ **(연구목표)** – 연속굴착형 TBM터널 실증공사 ▪ **(연구내용)** – 실증터널 실시설계 – 개발장비의 실증현장 적용 및 분석	▪ 실증터널 실시설계 보고서
2026	▪ **(연구목표)** – 연속굴착형 TBM터널 시공개선 및 가이드라인 수립 ▪ **(연구내용)** – 실증현장 적용결과를 바탕으로 문제점 도출 및 시공개선안 수립	▪ 연속굴착형 TBM터널 시공 가이드라인 ▪ 해외논문 1건
최종 성과물	▪ **연속굴착형 실증터널 및 최적 시공안**	

(구성기술 2-1) 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
TBM 터널 굴진율[1]	-	-	동일조건 (지반, 장비) 하에서 기존 굴진율 대비 20% 향상

1) 지반조건 및 장비 타입별로 굴진율이 상이하여 기존 기술수준과의 단순 정량적 비교 곤란함

최종 성과물

○ 연속굴착형 TBM 터널 실증공사
- 타 핵심 개발기술 (TBM 장비, 이렉터 로봇, 세그먼트 등)의 실증공사 적용 및 검증
- TBM 운전관리시스템 개발을 통한 굴착효율 향상
- 굴착 시뮬레이션 결과와 시공데이터와의 비교/분석을 통한 시공개선안 도출

(구성기술 2-2) 연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ 연속굴착 TBM 시뮬레이션 수행사례 없으며, 관련 소프트웨어 부재	■ BIM 기반 연속굴착, 라이닝시공 버력이송의 전 과정 TBM 시뮬레이션 및 시뮬레이션 프로그램 개발
■ 단편적인 TBM 데이터의 취합이 아니라 굴진율 향상목적의 통합 관리 및 분석 시스템 부재	■ 모든 TBM 정보를 취합하고 종합적으로 분석/관리/제어하는 중앙관제시스템 개발

연구 필요성

○ 연속굴착형 TBM 굴착의 사전 시뮬레이션 기술의 부재

- 굴착, 세그먼트 설치, 버력이송의 전 과정을 시뮬레이션하는 S/W 개발

○ 실시간 발생되는 데이터를 모니터링하여 계획 굴착과 비교하고 검증하는 과정 부재

- 발생데이터를 바탕으로 사전 시뮬레이션하고 실증결과와 비교/분석함으로써 공정 최적화

○ TBM 시공데이터의 단편적인 취합

- 굴착효율 최적화를 위해 모든 시공정보를 종합적으로 모니터링하고 분석하는 시스템 개발

(구성기술 2-2) 연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술

연구내용

○ 연속굴착형 TBM 가동률 최적화 기술개발 및 검증

– BIM 기반 연속굴착, 라이닝시공 버력이송의 전 과정 TBM 시뮬레이션 및 시뮬레이션 S/W 개발

– TBM 실증 중앙관제시스템 개발

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** – 터널 굴착 시뮬레이션 S/W 개발 – TBM 중앙관제시스템 개발 ▪ **(연구내용)** – 터널굴착 시뮬레이션 S/W 로직 개발 – TBM 중앙관제시스템 로직 정의 및 모듈 개발	▪ BIM기반 공정 시뮬레이션 S/W 정의서 ▪ 중앙관제시스템 정의서
2023	▪ **(연구목표)** – 터널 굴착 시뮬레이션 S/W 개발 – TBM 중앙관제시스템 개발 ▪ **(연구내용)** – BIM기반 연속굴착형 시뮬레이션 S/W 개발 – TBM 중앙관제시스템 모듈 개발	▪ 연속굴착 터널 시뮬레이션 S/W 시작품 ▪ 중앙관제시스템 모듈 개발보고서 ▪ 국내 논문 1건
2024	▪ **(연구목표)** – 개발 S/W 활용 터널 굴착 시뮬레이션 수행 – TBM 중앙관제시스템 개발 ▪ **(연구내용)** – 시뮬레이션 S/W를 활용한 터널공사 예측 – TBM 중앙관제시스템 구축 및 검증	▪ 시뮬레이션 예측 결과보고서 ▪ TBM 중앙관제시스템 개발보고서
2025	▪ **(연구목표)** – 시뮬레이션 결과 분석 – TBM 중앙관제시스템 실증 적용 ▪ **(연구내용)** – 시뮬레이션 결과 분석 및 실증데이터 수집 – 중앙관제시스템 실증 적용 및 효과 분석	▪ 시뮬레이션 비교분석을 위한 현장 데이터 분석 보고서 ▪ 중앙관제시스템 실증보고서 ▪ 국내 논문 1건
2026	▪ **(연구목표)** – 연속굴착형 TBM터널 시공개선 및 가이드라인 수립 ▪ **(연구내용)** – 시뮬레이션과 시공데이타 비교 분석 – 중앙관제시스템 보완점 파악 및 upgrade	▪ 시뮬레이션과 시공데이타 비교분석 보고서 ▪ 중앙관제시스템 보완보고서 ▪ 해외논문 1건
최종 성과물	▪ **연속굴착형 TBM 가동률 최적화 기술 (굴착 시뮬레이션 S/W 및 중앙관제시스템)**	

(구성기술 2-2) 연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술

연구목표

성능지표	현재 최고 기술수준		개발 목표 스펙
	국내	해외	
굴착 시뮬레이션 소프트웨어[1)]	-	-	연속굴착 전과정 시뮬레이션 가능 공정별 소요시간, 투입자원 등의 세부정보 제공
연속굴착형 TBM 중앙관제시스템[2)]	-	-	굴진율, 버력량 관리, 막장압 관리 등 터널굴착 전 공정 데이터 모니터링 및 분석을 통한 굴착효율화 향상방안 제시 가능

1) 연속굴착형 터널의 BIM 기반 굴착 시뮬레이션 소프트웨어는 새로이 개발되는 기술임. 기존 소프트웨어와의 직접 비교 어려움
2) 연속굴착형 TBM 공법은 새로이 개발되는 공법임. 기존의 TBM 관제기술을 그대로 도입할 수 없어 현재 최고 기술수준과의 비교 곤란한 상황

최종 성과물

○ 굴착시뮬레이션 S/W 개발

- 시뮬레이션 예측결과와 시공데이터의 비교분석을 통한 시공개선안 도출

○ 중앙관제시스템 개발 및 적용

- 굴진 가동률 최적화

[테스트베드 및 개조 TBM 확보방안]	
실증지역 확보방안	○ 연속굴착형 세그먼트 설계 및 제작 분야 참여 의지가 있는 기관의 현물투자를 통해 확보
개조대상 TBM 확보방안	○ 참여기관의 현물투자 - 참여기관이 현장 사용 종료 후 보유중인 중고 장비를 본 사업 실증에 현물투자
테스트 베드 요건	○ 지상공사 및 지하공사 수행 가능한 충분한 면적의 부지 ○ 수전설비를 갖추어 TBM 장비 가동 등에 필요한 전력공급이 수월한 지역 ○ 공장에서 제작된 세그먼트의 운송에 유리한 지역 ○ 터널공사로 발생한 굴착토 및 폐기물 처리에 유리한 지역 ○ 주위 민원발생 가능성 낮은 지역
테스트 베드 규모	○ 수직구 : 1~2 ea (직경 18m, 깊이 30m) ○ 실증터널 : 직경 7~8m, 길이 200m
적용가능 시기	○ 연구개발 1~3년차 TBM 장비개조, 실험실 검증 ○ 연구개발 3, 4년차 지상공사 및 수직구 공사 ○ 연구개발 4, 5년차 개조장비 적용한 터널 굴착
T/B 적용 효율화 방안	○ 연속굴착형 TBM 개조를 수행하는 공장에서 7~8m급 개조 TBM에 대한 모의 실증을 수행하여 최적화 설정을 완료한 후, 테스트베드 지역으로 이동하여 실제 실증을 수행함으로써 효율적 T/B 적용을 추진

(아) 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

○ 연속굴착형 TBM은 국내 최초로 제안되는 터널기술인 관계로 동일한 분야의 연구과제가 수행된 사례가 없고, 아래와 같이 일반 TBM 분야의 과제만이 수행된 것으로 조사

○ 이외에도 연구단 규모의 연구과제에서 일부 TBM 기술을 다룬 사례도 있으나, 장비나 굴착 기술 등 TBM의 핵심기술을 다룬 연구가 아니어서 본 조사에서는 생략

○ 세그먼트 설치장비의 국산화를 위한 연구가 수행된 바 있으나, 기존 방식의 세그먼트 설치장비에 대한 연구에 국한되었고, 연속굴착형 TBM터널의 세그먼트 설치나 이송장비에 대한 연구사례는 없음

〈표 3-41〉 본 구성기술관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
중·대단면 TBM 국산화 기획	국토교통부 ('14.8.11~ '15.8.10)	중·대단면 TBM 국산화 및 사업화를 위한 연구개발 목표, 개발내용, 추진전략 및 기술로드맵 제시	〈차별점〉 연속굴착이 아닌 기존 굴착방식의 TBM 장비의 국산화에 초점, 기획과제인 상황 〈연계방안〉 본 과제의 세부전략 수립에 기획과제의 내용 참고
TBM 설계·제작 국산화 기술 개발	국토교통부	터널의 전단면 굴착이 가능한 TBM 설계·제작 국산화 기술 개발	〈차별점〉 연속굴착이 아닌 기존의 굴착-세그먼트 설치 기술분야 연구 〈연계방안〉 연속굴착형 TBM 시스템에 선행과제 엔지니어링 기술 활용

(자) 민간기술과의 차별성·연계성

□ TBM 굴진율 예측기술

○ 암석시편에 대한 실내시험(NTNU 모델, LCM 모델, RCM 모델)으로 디스크커터의 마모도 예측을 통한 굴진율 예측

○ 상기 모델은 굴착이전에 실내시험을 통해 커터 마모도 예측을 통해 굴진성능을 예측하는 기술로, 시공 중 실제지반에서의 지반조건 변화에 따른 굴진성능의 변화를 즉각 반영할 수 없다는 단점이 있음

〈표 3-42〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	NTNU 모델	노르웨이 과학기술大	암석절삭시험 기술	〈차별점〉 사전 예측기술임. 시공 중 지반조건 및 시공조건 변화에 즉각 대처 곤란 〈연계방안〉 본 사업에서 개발될 운전관리 시스템의 로직 개발에 참고
2	LCM 모델	Colorado School of Mines	선형절삭시험 기술	〈차별점〉 사전 예측기술임. 시공 중 지반조건 및 시공조건 변화에 즉각 대처 곤란 〈연계방안〉 본 사업에서 개발될 운전관리 시스템의 로직 개발에 참고
3	RCM 모델	현대건설	회전절삭시험 기술	〈차별점〉 사전 예측기술임. 시공 중 지반조건 및 시공조건 변화에 즉각 대처 곤란 〈연계방안〉 본 사업에서 개발될 운전관리 시스템의 로직에 적용

□ TBM 운전관리 시스템

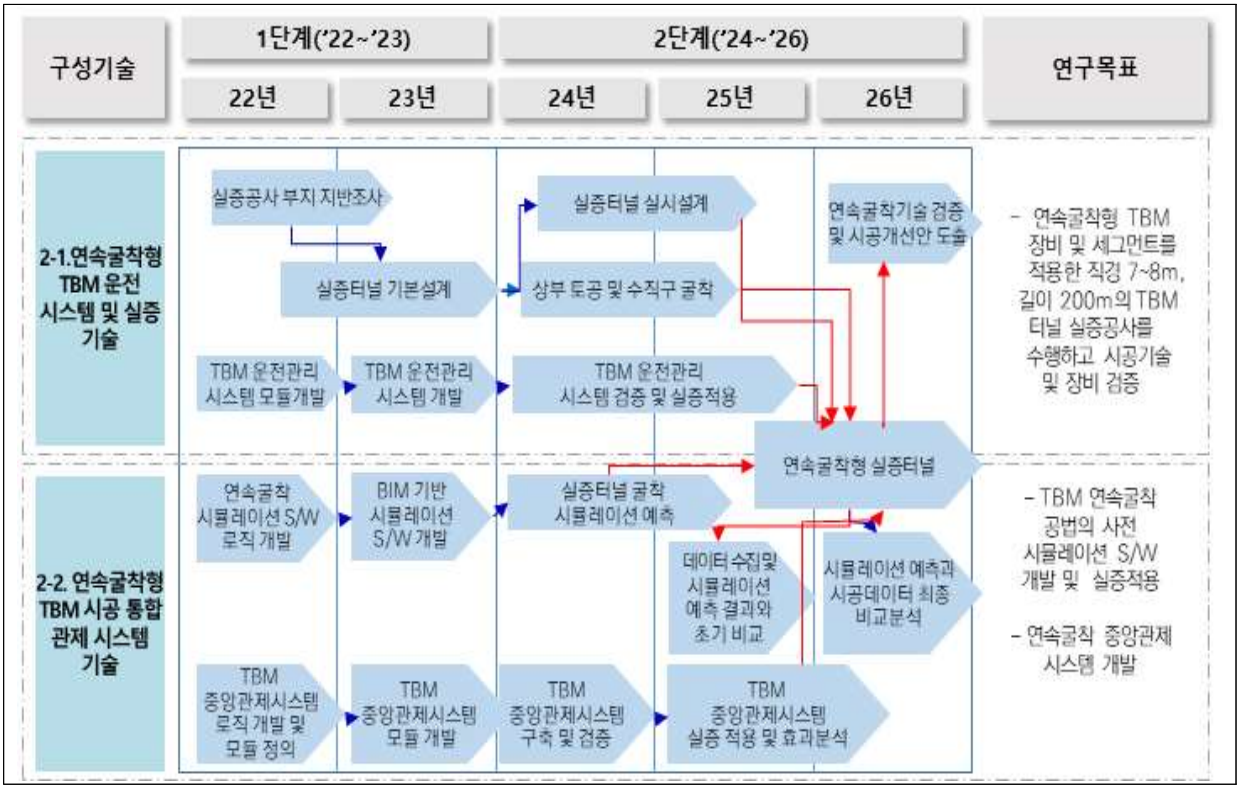
○ 기존 TBM 장비 제작사에서 제공하는 소프트웨어 (VMT社의 VDMS 등)도 시공데이터를 제공함으로써 운전 효율성을 높이고 상황

- 오퍼레이터가 순간 인지하고 운전에 반영하기 어려운 측면이 있으며, 또한 기존 굴착방식에 맞춰 개발된 소프트웨어라 연속굴착형 터널에 적용할 수 없음

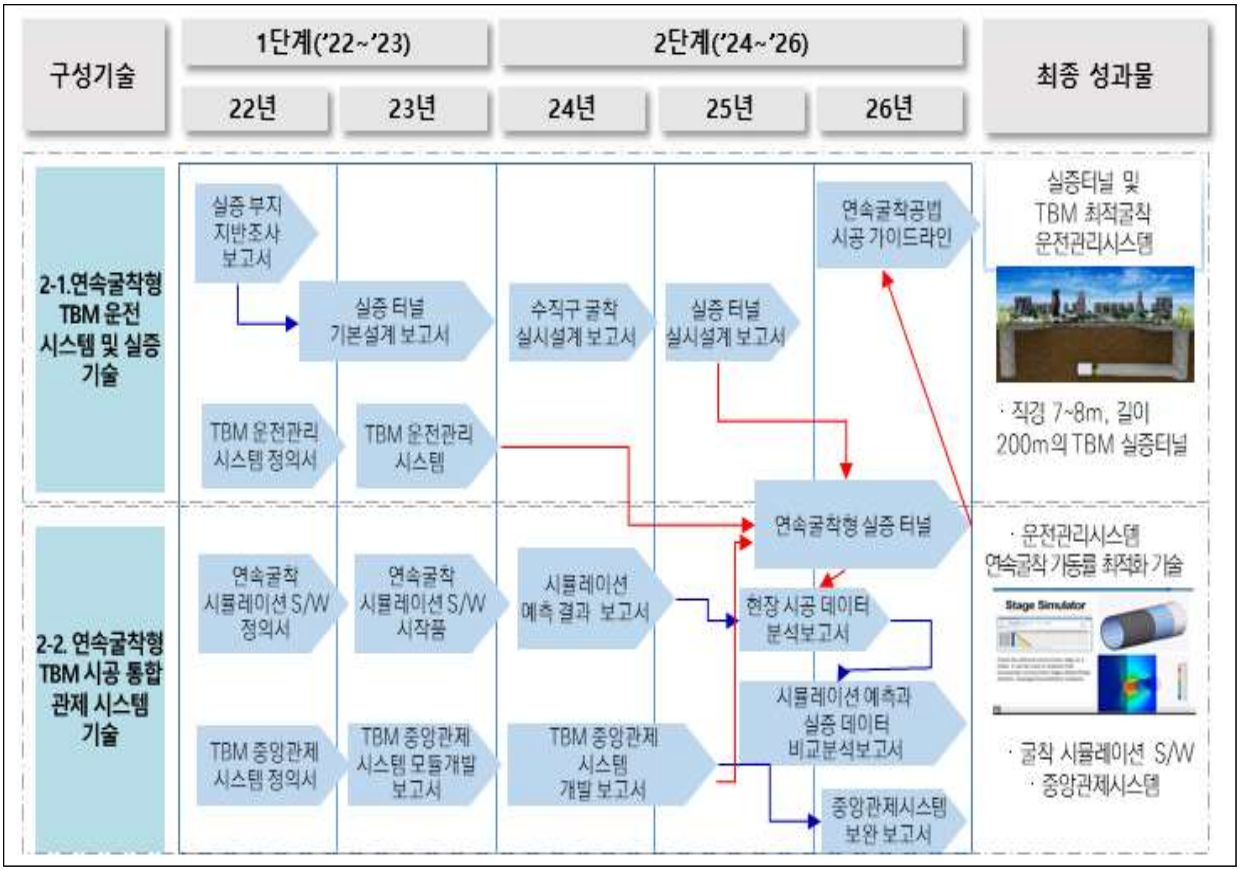
○ 기존 시스템을 참고하여 오퍼레이터에게 친화적이며 유용한 데이터를 제공하는 연속굴착용 시스템의 개발이 필요

(차) 구성기술 로드맵

[그림 3-47] 추진로드맵



[그림 3-48] 성과로드맵



(카) 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

① 연도별 소요예산

○ 총액 182억 원, 국고 보조금 136억 원, 민간 자본금 46억 원으로 구성

(단위: 백만 원)

구성기술	구분	'22	'23	'24	'25	'26	계
2-1. 연속굴착형 TBM 운전시스템 및 실증 기술	정부	384	1,345	4,034	4,658	1,919	12,340
	민간	131	457	1,372	1,584	652	4,196
	소계	515	1,802	5,406	6,242	2,571	16,536
2-2. 연속굴착형 TBM 시공·통합관제 시스템 기술	정부	134	288	384	384	61	1,251
	민간	46	98	131	131	21	425
	소계	180	386	515	515	82	1,676
합계	정부	518	1,633	4,418	5,042	1,980	13,591
	민간	177	555	1,503	1,715	673	4,621
	합계	695	2,188	5,921	6,757	2,653	18,212

○ 직접비

(단위: 백만 원)

구분	’22	’23	’24	’25	’26	계
인건비	299	886	2,509	2,864	1,115	7,673
연구활동비	70	164	450	514	204	1,402
연구재료비	164	385	1,057	1,206	479	3,291
연구시설장비비	-	50	-	-	-	50
연구수당	35	82	225	257	102	701
합계	568	1,567	4,241	4,841	1,900	13,117

○ 간접비

(단위: 백만 원)

구분	’22	’23	’24	’25	’26	계
간접비	21	65	177	202	79	544

○ 소요 인력

(단위: 명)

구성기술	구분	'22	'23	'24	'25	'26	계
2-1. 연속굴착형 TBM 운전시스템 및 실증 기술	책임급	2	9	27	31	12	81
	선임급	3	12	36	41	17	109
	원급	7	27	81	92	37	244
	소계	12	48	144	164	66	434
2-2. 연속굴착형 TBM 시공·중앙관제 시스템 기술	책임급	-	1	2	2	-	5
	선임급	1	2	3	3	1	10
	원급	2	5	7	7	1	22
	소계	3	8	12	12	2	37
합계		15	56	156	176	68	471

② 연구장비 및 시제품

○ 연구장비 내역

〈표 3-43〉 핵심기술 연구장비내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)	연도	해당 구성기술
1	중앙관제시스템	TBM 장비데이타 등 실시간 시공데이타를 취합하여 종합적으로 모니터링하고 분석하는 시스템	50	1	50	2023	2-2
합계			50	-	50	-	-

(타) 기대 및 파급효과

① 과학기술적 측면

□ 연속굴착기술로 TBM터널 굴진속도 향상

○ 굴착과 세그먼트 설치가 동시에 진행됨으로 별도의 세그먼트 설치시간이 불필요해지며 전체적인 굴진속도 20% 향상 목표

- 지반조건 및 장비종류별로 굴진속도 향상율 차이 발생

□ BIM 기반 굴착사이클 시뮬레이션으로 리스크 사전제거

○ 실제시공에 앞서 디지털 시공을 수행하여 굴착위험요소를 사전에 포착하고, 위험요소별 대책마련으로 공기지연이나 비용증가 등의 리스크를 사전에 방지함

□ TBM 운전관리시스템 및 중앙관제시스템 개발로 가동률 최적화

○ 굴착 중 실시간 시공조건을 반영하는 최적의 장비운영방안을 제시하고, 장비 데이터 등 현장에서 발생하는 다양한 데이터를 취합하여 종합관제하는 시스템을 개발함으로써 연속굴착 TBM의 가동률을 최적화

② 사회경제적 측면

□ 공기단축을 통한 사회적 비용 감소

○ 기존 TBM기술 대비 굴진속도가 향상되어 전체 공기가 단축됨으로써 교통혼잡, 소음/진동/먼지 및 각종 민원이 감소하게 되어 사회적 비용 감소

□ 신기술 개발 및 확산을 통한 연관사업 및 일자리 창출

○ 연속굴착기술이 적용되고 널리 보급됨에 따라 TBM 장비, 부대장비, 세그먼트 제작 분야 등에서 새로운 사업과 일자리 창출

□ TBM 기술의 혁신적인 패러다임 전환으로 해외시장 경쟁력 제고

○ 연속굴착기술로 기존 TBM터널기술의 획기적인 변화와 함께 국내건설사의 해외 TBM시장 경쟁력 제고 및 시장 확대

(3) (핵심기술 3) 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술

(가) 기본 개념 및 범위

① 기본 개념

□ 연속굴착형 TBM 터널을 체계적이고 효율적으로 운영·관리하기 위한 연구

○ TBM 굴진 및 세그먼트 설치작업을 동시에 진행하여 연속 굴착이 가능토록 하기 위해 장비의 효율적 운영 및 중점 관리 항목 대상을 선정하여 유지관리 방안을 매뉴얼(표준)화로 수립

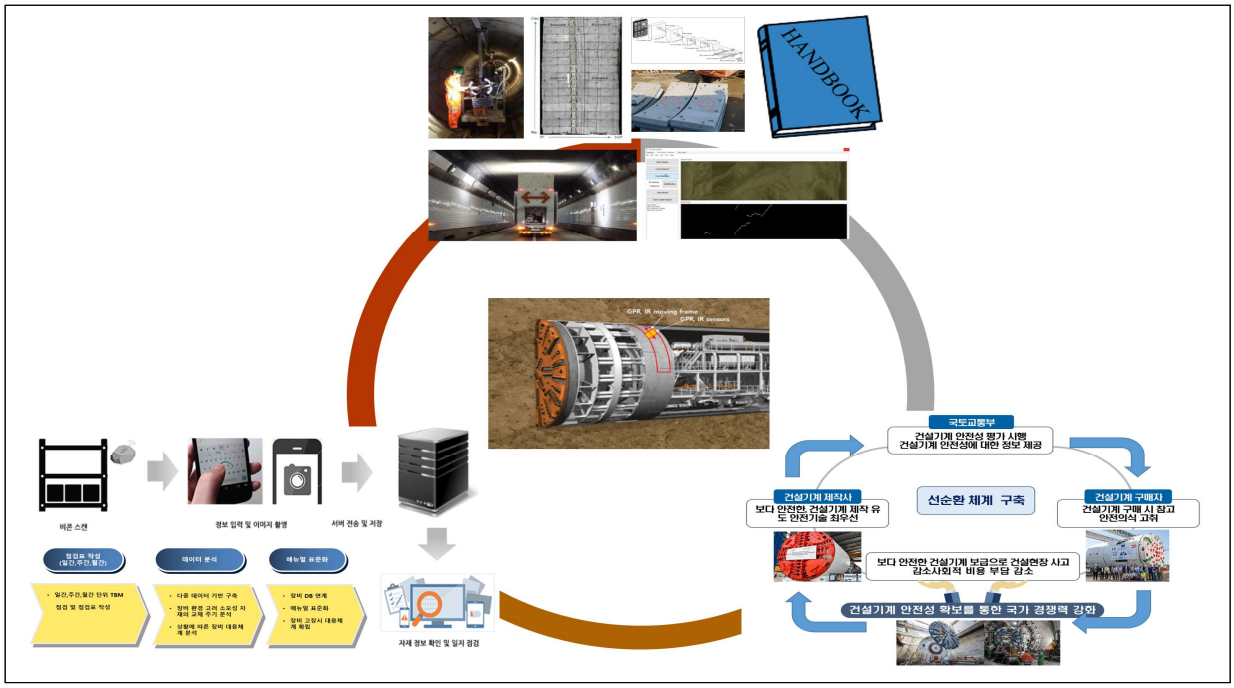
- 매뉴얼 표준화로 연속굴착시 로스타임 발생 저하 및 장비 가동율 증가

○ 쉴드 TBM 터널은 상시 수압을 받는 비배수 조건의 구조물이므로 시공 중에는 세그먼트가 파손되거나 균열이 발생하지 않도록, 그리고 세그먼트 이음부, 볼트공 등에서 누수가 발생하지 않도록 품질관리를 체계화하여 진행

- 시공 중 및 완료 후에도 세그먼트에 누수가 발생하지 않도록 유지관리 하는 것이 매우 중요
- 그럼에도 불구하고 일단 터널 운영 중 세그먼트에 누수 등 결함이 발생하게 되는 경우 안전하고 최소의 비용으로 세그먼트를 보수하거나 교체할 필요가 있으며 이에 관한 기술을 개발하는 연구

○ 연속굴착 TBM 신규장비 개발/개조기술 개발에 따른 검사/인증/관리체계 및 평가기준이 필요하고, TBM 기술적 발전 속도와 건설기계 인증제도의 간격은 점차 벌어지고 있어 이를 해결하기 위한 TBM 운영, 관리, 사후 안전도 평가시험 체계를 구축

[그림 3-49] 기술 개념도



〈표 3-44〉 핵심기술 3의 구성

핵심기술	구성기술
연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	3-1. 연속굴착형 TBM 유지관리 기술
	3-2. 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술
	3-3. 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

② 기술 범위

□ (구성기술 3-1) 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

○ 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

- 연속굴착형 TBM 장비 손상 방지 및 합리적 작동을 위한 효율성에 기여
- 연속굴착형 TBM 장비 시스템의 원활한 작동 및 수명 연장
- 연속굴착형 TBM 장비의 안정적 작동 및 굴진효율 향상

○ 연속굴착형 TBM 유지관리 매뉴얼 개발

- 연속굴착형 TBM 장비의 올바른 취급에 필요한 모든 설명과 지침
- 연속굴착형 TBM 유지보수에 대한 작업 나열 및 개별설치 장치와 기계 구성요소의 작동지침에 대한 매뉴얼 개발 필요

□ (구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

○ 연속굴착형 TBM 세그먼트의 시공 중과 시공 후 유지관리 기술

- 세그먼트 유지관리 매뉴얼 개발

○ 시공 및 운영 단계에서의 TBM 세그먼트 배면의 상태 평가 기술

- GPR, IR 센서 및 머신러닝을 이용한 TBM 세그먼트 배면의 상태 평가기술
- 이미지 스틱을 이용한 접촉 방식의 배면 상태 평가 기술

○ 기존 설치 세그먼트의 보수·교체 기술

- 운영 중 터널의 세그먼트에 결함 발생 시 세그먼트 보수·보강 및 교체 기술 개발

□ (구성기술 3-3) 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

○ 연속굴착공법(신기술) 적용 TBM 안전성 평가방법 및 체계 개발

- 연속굴착형 TBM 및 부품의 인증·검사 검증 체계 구축

※ 연속굴착형 TBM 장치/부품 국제 수준 인증·검사 체계 수립

※ TBM 중고품 및 세그먼트 유지보수, 재제조 절차 및 표준관리방안 마련

(나) 추진배경 및 필요성

① 추진배경

□ 국내에 많은 건설 실적을 보유한 NATM 터널에 대한 유지관리는 체계적으로 이루어지고 있으나 쉴드 TBM 터널에 대해서는 상대적으로 적은 시공 실적과 터널의 구조 및 시공 특성에 대한 이해와 유지관리 기술이 상대적으로 부족

○ 전반적으로 진단, 평가 유지관리에 이르는 과정이 합리적으로 이루어지고 있지 못하고, 더욱이 연속굴착형 TBM의 경우는 시공사례가 전무하므로 시공 중에도 연속굴진이 가능하게 하기 위한 장비 운영과 관리방안이 절대적으로 필요

○ 현재 우리나라는 쉴드 TBM 장비와 부품의 선정·설계와 제작·공급에 대한 해외 의존도가 매우 높고 관련된 기술력이 아직은 미비한 상태

- 국내에 적용된 쉴드 TBM 장비는 대부분 독일이나 일본 등의 국내 대리점(에이젼트)을 통한 주문제작에 의한 수입에 의존해 왔으며, 장비선정 · 설계 등도 국외 제작사의 기술에 의존하는 경우가 많음

  ※ 출처: 한국터널지하공간학회, 2018

- 한국도로공사에서도 최근 김포파주 2공구 한강터널(가칭) 시공 시에 TBM을 활용하여 국내 최초 대단면 도로터널을 굴착할 계획 중이나 현재의 시방서, 설계기준 등의 자료는 가이드라인의 수준은 가능하나, 실무에서 실질적으로 활용할 수 있는 설계기준, 시방서, 품질관리기준 등이 미비한 실정

  ※ 출처: 한국터널지하공간학회, 2020

○ TBM 터널 시공 및 운영중 터널의 상태에 영향을 크게 미치는 요소는 backfill grouting의 밀실도 여부 및 시공중 backfill grouting이 세그먼트와 굴착면 사이에 밀실하게 충전되어 있다면, 상부지반의 침하, 지하수의 누수 등을 사전에 예방 가능

- 이처럼 backfill grouting의 시공품질은 TBM 터널의 시공관리 및 시공품질에 큰 영향을 미침에도 불구하고 backfill grouting의 시공 상황을 확인할 수 있는 선제적인 방법은 없는 상황

○ 연속굴착형 TBM 굴진이 가능하게 하기 위하여 굴진시 장비가 충족해야하는 조건들이 있으며, 장비 관리시 이러한 점검사항들을 충족시키기 위해, 기계 기능을 주의 깊게 관찰할 뿐 아니라 올바른 취급 및 관리로 고장 방지가 필요

□ 연속굴착 TBM 인증 및 후속관리 추진배경

○ 국내외 건설장비 인증/관리 현황

- 안전에 대한 국민의 관심과 기대는 높아지고 있으나 터널시공 중 인명사고 및 지표침하 등의 안전사고가 반복됨에 따라 국민적 불안감이 큰 상황
- 건설장비(건설기계 완성차 및 TBM)는 육안확인 위주 검사로 진행됨. 개발되거나 탑재된 기술수준에 비해 검사수준은 많이 낙후된 상황
- TBM 장비/부품의 신규개발 및 개조시 검사/인증과 관련한 표준규정/규칙 미비로 인하여 사고를 예방하기 어렵고, 사고발생시 책임소재가 불분명

② 추진 필요성

□ 도심지 교통체증 해소나 지상공간 확보를 위해 도심지 터널 공사가 지속적으로 증가하고 있는 추세

○ 발파에 의한 NATM 공법에 비해 굴착 안정성이 우수하고 친환경, 저소음, 저진동 공법이라는 장점 등으로 국내에서는 GTX를 비롯하여 지하도로, 철도공사에 쉴드 TBM 공법이 선호

- 현재까지 그러한 세그먼트를 사용하는 TBM 터널을 대상으로 하는 체계화된 품질/유지관리 문서들은 매우 부족한 상태

○ 국내 터널 공사에서는 NATM 공법이 주로 적용되어 왔으나 작업환경이 열악하고, 시공 중 안전사고 위험이 높음

- 발파로 인한 소음·진동환경피해가 발생함과 동시에 천층터널에서 지표침하 또는 붕괴 등의 안정성 확보가 어려운 점을 감안하여 쉴드 TBM 공법이 계속적으로 증가되고 있는 실정

  ※ 출처: 서울특별시도시기반시설본부, 2015

○ 대부분 국내 터널관리기관은 주로 NATM 터널을 대상으로 유지관리를 수행하고 있으며, 쉴드 TBM 터널에 대해서는 별다른 유지관리 지침이 없는 실정

- 이는 쉴드 TBM 터널이 많이 적용된 선진국에서도 마찬가지이며, NATM 터널 및 쉴드 TBM 터널의 라이닝의 주재료가 콘크리트로 동일하게 간주되기 때문인 것으로 파악
- 한국시설안전공단에서 2013년에 특수굴착터널(쉴드터널) 성능평가기준 및 유지관리 매뉴얼 개발 보고서를 발간한 바 있으나, NATM 터널의 라이닝 재료에 대한 유지관리 내용과 큰 차이가 없는 것으로 파악

※ 출처: 한국터널지하공간학회, 2013

○ 연속굴착형 쉴드 TBM은 나선 형태로 세그먼트를 조립, 설치함에 따라 세그먼트 설치를 위해 굴착을 멈출 필요가 없어 굴진율을 향상시킬 수 있는 장점이 있는 공법이나 현재까지 전 세계적으로 시공 경험이 전무

- 따라서, TBM 장비 점검 누락으로 인한 굴진 中 장비 트러블 발생하거나 TBM 장비의 부적절한 수리 및 관리로 인하여 로스타임(LossTime) 발생 및 기계 손상이 유발되지 않도록 주의
- 시공 기술과 더불어 시공 중 품질관리와 시공 후 유지관리 기술이 반드시 함께 개발되어야만 독자적인 터널건설공법으로서 현장 적용이 가능

○ 시공 중 원활한 시공관리 및 시공 이후 TBM 터널의 장기 내구성을 위해서는 밀실한 backfill grouting이 수행되어야 하며, 이를 확인할 수 있는 기술은 필수적으로 요구

□ TBM 신기술 개발과 현행규칙의 격차 축소 필요

○ 건설기계안전기준에 관한 규칙은 2008년 2월 12일 제정이후, 현재까지 17차례 개정이 이루어졌으나 단순 물리량 측정과 육안 확인 중심 검사체계만 존재

○ TBM장비 스마트화, 첨단화에 따라 유압모듈/전자통신/원격제어/인공지능/AI-무인운전 등 신기술 적용 확대

○ 터널현장에서도 자동화, 기계화, 스마트 기술 적용이 늘어남에 따라 각종 전파적응, 기기 간 상호통신, 간섭 등 통신·전기·전자요소에 대한 검사 및 안전성 확보에 필수적인 요소임에도 항목 전무

○ 작업자 및 국민 안전 확보를 위해 기술개발 변화에 맞추어 관리, 검사제도 현실화/제도화가 요구

(다) 현황 및 개선방안

① 현황 및 문제점

□ 쉴드 TBM 터널 굴착시 안전성을 확보하며 굴진이 원활히 이루어질 수 있도록 시공 중 품질을 적절하게 관리하는 것이 매우 중요

○ 실제 현장에서는 이러한 관리가 체계적으로 이루어지기 보다는 대부분 TBM 운전자와 현장 기술자의 경험과 직관에 의존하게 되는 경우가 많아 시공 중 발생하는 다양한 트러블에 효과적으로 대처하지 못하고 있음

○ TBM 장비 굴착 중 기계 고장으로 인한 로스타임 발생(LossTime) 및 가동율 저하체계적인 점검이 시행되지 않아 굴진 중 로스타임 발생

○ 국내는 물론 TBM 선진국이라 할 수 있는 일본, 유럽의 경우에도 쉴드 TBM 시공 중 많은 트러블 사례가 발생한 이력 존재

- 이러한 트러블은 지질 조건을 포함하여 매우 다양한 요인에 의해 쉴드 TBM 커터헤드와 본체부, 굴착기계와 추진계통, 세그먼트 등 모든 부분에서 발생

※ 출처: 서울특별시도시기반시설본부, 2015

○ 시공 중 굴진 및 배토관리, 챔버압 관리, 뒤채움 주입관리, 계측관리 등 지질 리스크와 지반변위를 최소화하기 위한 시공관리가 필수적

- 기술자의 숙련도와 경험에 의해 시공성와 안전성이 좌우되지 않는 객관화되고 체계적으로 구성된 시공 품질관리 프로그램이 요구

□ 운영 중 쉴드 TBM 터널의 손상 요인으로 균열과 누수 및 그와 동반되는 백태가 가장 큰 비중을 차지

○ 손상 원인과 발생 유형, 손상 정도는 매우 다양하므로 유지관리 시 손상의 정확한 원인 분석과 함께 상태평가 결과에 따른 손상 수준별 체계적 대응 조치가 필요

○ 터널 누수는 대부분 뒤채움 주입공과 세그먼트와 세그먼트 사이에서 많이 발생하고, 균열도 세그먼트 모서리 부분이나 볼트 연결 구간에서 많이 발견

- 박리, 박락이나 파손, 볼트 결함 등 기타 손상도 시공 중이나 운영 중 라이닝 변형으로 인한 변위에 기인해 발생

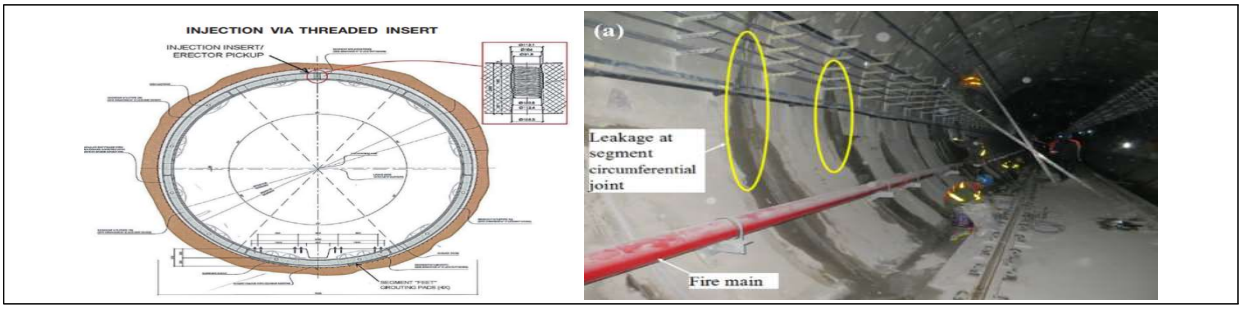
※ 출처: 서울특별시도시기반시설본부, 2015

- 기존 쉴드 TBM 터널의 세그먼트 유지관리는 일반 콘크리트 구조물에서의 콘크리트 유지관리 방법과 특별한 차이가 없음

- 연속굴착형 TBM 세그먼트의 경우 기존 쉴드 TBM 세그먼트와 형상과 연결 형태가 차이가 있을 뿐 아니라 시공 중이나 시공 중 트러블이 운영 중 세그먼트의 손상으로 이어질 수 있다는 점을 고려 시 기존과 차별화된 유지관리 기술의 적용이 요구

○ TBM 터널 시공시 발생하는 굴착면과 라이닝 외면의 갭을 밀실하게 충진하는 것이 터널의 장기적인 운영에 있어 큰 영향을 미침

[그림 3-50] backfill grouting 주입 범위와 세그먼트 누수 현황



○ backfill grouting의 충실도 여부는 기 설치된 세그먼트를 통한 누수뿐만 아니라 backfill grouting 내 미 충진구간이 수로로 연결 될 경우고 지하수위 조건에서는 막장면으로의 유수조건이 형성

- 디스크 커터 교체시기에 지하수 흐름으로 인하여 원활한 작업을 할 수 없는 조건을 형성 가능

[그림 3-51] 면판내 지하수 흐름 현상



□ TBM 인증 및 후속관리 현황

○ 국내외 건설장비 인증/관리 현황

- 건설장비(건설기계 완성차 및 TBM)는 육안확인 위주 검사로 진행됨. 개발되거나 탑재된 기술수준에 비해 검사수준은 많이 낙후된 상황
- 건설기계안전기준에 관한 규칙은 2008년 제정이후, 현재까지 단순 물리량 측정과 육안 검사 체계에 의존
- 검사원의 경험과 역량에 따라 검사결과가 달라지고 주관적 판단으로 신뢰성 문제 발생
- 대부분 건설기계에 대한 관리/인증 규정이 전무하여 초기 승인후 20년 이상 사용하는 것에 법적 제한사항 없음
- 체계적 검사체계나 평가기준이 없는 상황으로 제조사 자체검증에 의존하여 처리

〈표 3-45〉 국내 건설기계 검사내용

NO.	구분	국내 건설기계 검사내용
1	신규 등록검사	건설기계를 신규로 등록 할 때 실시하는 검사
2	정기검사	건설공사용 건설기계로서 3년의 범위에서 검사유효기간이 끝난 후에 계속하여 운행하려는 경우에 실시하는 검사 대기환경보전법 제 62조 및 소음진동 관리법 제 37조에 따른 운행차 정기검사
3	구조변경검사	건설기계 주요 구조를 변경하거나 개조한 경우 실시하는 검사
4	수시검사	성능이 불량하거나 사고가 자주 발생하는 건설기계 안전성 등을 점검하기 위하여 수시로 실시하는 검사 건설기계 소유자의 신청을 받아 실시하는 검사

② 개선방안

(구성기술 3-1) 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

□ 연속굴착형 쉴드 TBM 장비 운영·유지관리를 위한 지침, 매뉴얼 개발

○ TBM 유지관리 매뉴얼화(일간,주간,월간)로 점검 누락으로 인한 트러블 발생 저하 및 장비 가동율 증가 효율 향상

○ 시공 중 예상되는 문제점을 파악하여 그에 따른 대책 방안을 미리 수립해 놓음으로써 트러블 발생을 예방하여 안전하고 경제적인 시공이 가능

〈표 3-46〉 구성기술 3-1(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 월간,일간,주간 장비 점검 매뉴얼(표준)화 - TBM장비 점검 체계화	○ 월간,일간,주간 장비 점검 매뉴얼(표준)화 - PLC 이용 점검 및 일정 스마트 유지관리 - QR 코드 스캔으로 장비,자재 상시 조회

[그림 3-52] 구축기술(As-is)

장비명 : 중기등록번호 및 고유번호 : 현장명 :

일일점검표 2015. . . ~ 2015. . .

점검사항	전격	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1. 유압 오일 Tank 레벨 및 색깔 상태																																
2. 유압 오일 필터 청결 및 막힘 상태																																
3. 유압 펌프 점검(누유, 철, 기타)																																
4. 유압 모터 점검																																
5. 유압 호스 배관 및 결속상태																																
6. 갱내 호이스트 주행, 권상, 권하 작동 상태																																
7. 벨트 콘베이어 감속기 모터 체인 상태 및 기어오일 점검																																
8. 벨트콘베이어 벨트 상태																																
9. 에렉터 작동 상태																																
10. 쉴드잭 작동 상태																																
11. 디젤로코모티브/빗대리카 가동 상태																																
12. 빗대리카 S/W박스 접점 청소 및 접점 구리스 보충																																
13. 디젤로코모티브/ 빗대리카 경음기, 라이트 점검																																
14. Plant 배관 Line 청소																																
15. 배수 펌프 작동 상태																																
16. 배수 펌프 자동 Pannel 점검																																
17. 토사함 견인고리 및 댐핑 고리 균열 점검																																

주간점검기록표

점검사항	1주차	2주차	3주차	4주차	5주차
1. 메인유압펌프 정상 압력 상태 확인					
2. 부스터 펌프 정상상태 확인					
3. 스크류 컨베이어 외부케이싱 마모상태 확인					
4. 후방대차 볼트 및 조인트부 풀림 확인					
5. DC조작회로 점검					
6. 유압호스 피복상태 확인(교체)					
7. 시동 S/W 및 비상 정지 S/W 확인					
8. 메인커터 구동용 유압모터 체크					
9. 벨트컨베이어 롤러 점검					
10. 디젤로코모티브/빗대리카 구동 엔진/모터 오일 점검					
11. 환기 Fan 및 각종 모터 Fan 구리스 주입					

부적합내용

일자	구분	점검번호	내용

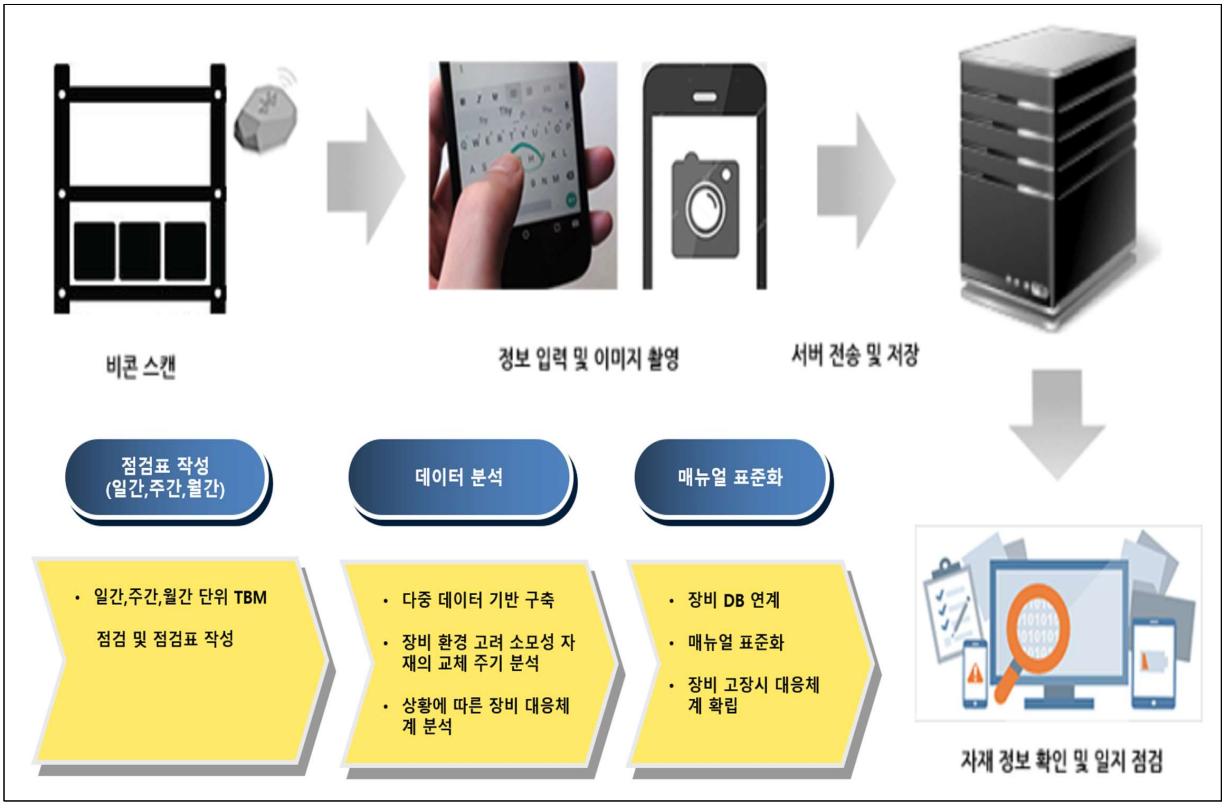
조치내용

일자	구분	점검번호	내용

점검사항	활차	점검사항	활차
1. T/P에서 메인 컨트롤 판넬 전원/전압 확인		7. 후방대차 프레임 변형 점검	
2. 각 실린더 상태 및 오일 누유부분 확인		8. 롤러 커터 및 비트류 마모상태 점검	
3. 벨트 컨베이어 각종 구리스 주입 및 상태 확인		9. 후방대차 청소	
4. 각 구동용 전원 공급장치 누전 테스트		10. 커터 구동용 모터 감속기 오일상태 확인(교체)	
5. 벨트 컨베이어 구동모터 전원 공급장치 누전 점검		11. 오일쿨링 시스템 점검	
6. 오일필터 청소(교체)		O/X : 적합/부적합, 구분 : 일일 · 주간 · 월간 구분 표시	

1주차 점검 확인	2주차 점검 확인	3주차 점검 확인	4주차 점검 확인	5주차 점검 확인
작성: (서명), 소장: (서명)	작성: (서명), 소장: (서명)	작성: (서명), 소장: (서명)	작성: (서명), 소장: (서명)	작성: (서명), 소장: (서명)

[그림 3-53] 구축기술(To-be)



(구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

□ 연속굴착형 쉴드 TBM 세그먼트의 상태와 성능을 평가하고 안전하게 유지관리 할 수 있는 기술을 개발

○ 연속굴착형 쉴드 TBM의 운영 중 세그먼트의 상태를 평가하여 현재 터널의 상태를 평가할 수 있는 성능평가기법을 개발

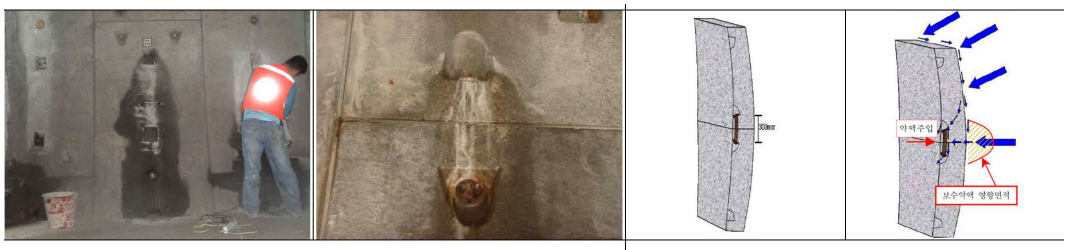
○ 주기적인 터널 성능평가를 통해 유지관리 요구 수준을 결정하고 그에 따른 차별적 관리를 통해 터널 구조물의 성능 수준이 일정하게 유지될 수 있도록 관리가 가능

○ 기 설치된 세그먼트의 상태평가 결과에 따라 보수·보강 혹은 교체가 필요한 경우 터널 운영의 중단 없이 안전성을 확보한 상태로 세그먼트를 보수, 교체하는 기술 개발

〈표 3-47〉 구성기술 3-2(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 연속굴착형 세그먼트 보수·교체 실적 부재 - 부정형(변단면) 세그먼트 보수·교체기술 부족 ○ 연속굴착형 세그먼트 유지관리 매뉴얼 부재 - 부정형(변단면) 세그먼트 유지관리기술 부족	○ 연속굴착형 세그먼트 보수·교체 기술 - 부정형(변단면) 세그먼트 급속 보수·교체 ○ 연속굴착형 세그먼트 유지관리 매뉴얼 - 부정형(변단면) 세그먼트 유지관리

[그림 3-54] 구축기술(As-is)

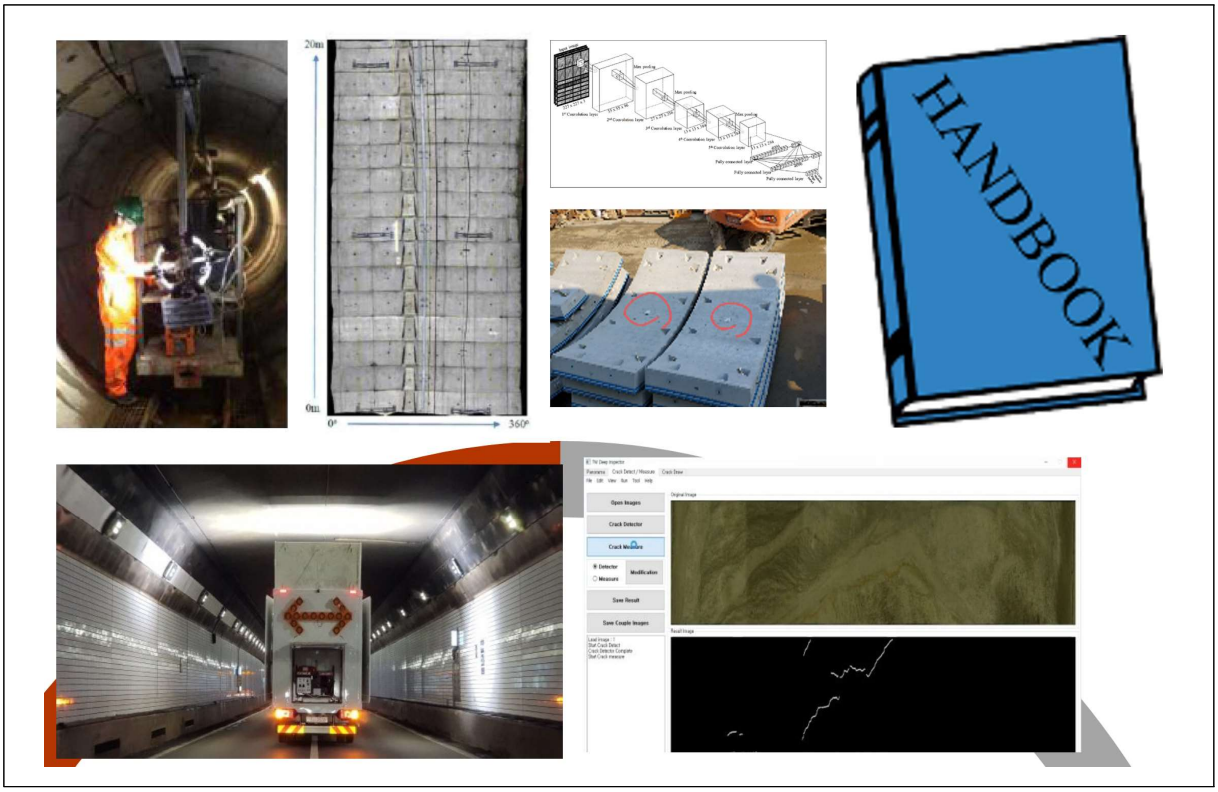


- 세그먼트 배면 뒤채움 충진 부족으로 공동이 존재하며, 이를 통하여 지하수 누수
- 세그먼트 이음부, 볼트부를 통한 지하수 누수

① 구조적으로 해체불가
② 볼트 부식으로 해체 어려움
③ 외부수압으로 약액주입의 한계존재



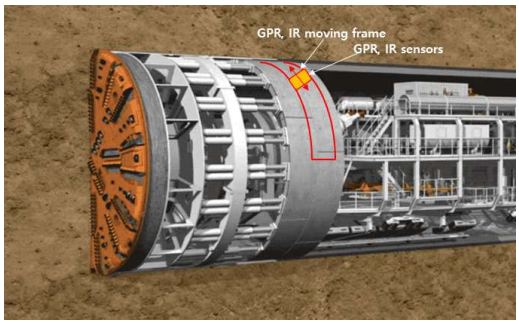
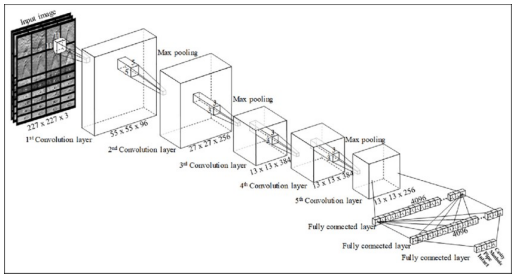
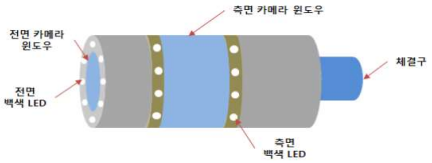
[그림 3-55] 구축기술(To-be)



○ 철근이 배근되 세그먼트 배면의 공극 등 이상상태를 검지할 수 있는 machine learning 기반 GPR 해석기술 개발

○ 주입홀 삽입형의 이미지 스틱(영상 및 레이저 시스템)의 개발을 통한 접촉식 진단 기술의 개발

○ GPR을 통한 넓은 단면에 대한 일차적인 점검 및 이미지스틱으로 주입홀에 직접 삽입을 통한 배면에 대한 실질적인 backfill groutng 수행 정도를 확인

AS-IS	TO-BE
○ 세그먼트 배면 상태 측정 기술의 부재 - 세그먼트 배면에 backfill grouting 수행 상태 여부를 확인할 수 있는 방법은 부재함 - 세그먼트 내측에서의 누수를 통해 간접적으로 확인	○ GPR, IR, 머신러닝, 이미지 스틱을 통한 실질적인 상태평가 기술 확보 - GPR, IR(열화상) 센서를 이용한 backfill grouting 상태평가 및 초기 누수 진단 - 영상 및 라이다 센서 융합의 이미지 스틱을 통한 접촉식 backfill grouting 상태평가  〈시공중 backfill grouting 상태 평가를 위한 GPR, IR 센서 조합〉  〈머신러닝 기법과 A/B 스캔 조합을 통한 backfill grouting 공극 의 규모 산정〉   〈그라우트 주입구 삽입형 이미지(영상+라이다) 스틱을 통한 접촉식 진단 기술〉

(구성기술 3-3) 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

□ 국제 수준 TBM 안전성 평가 체계 정착

○ TBM 신기술 적용 TBM 안전성 평가방법 및 체계 개발

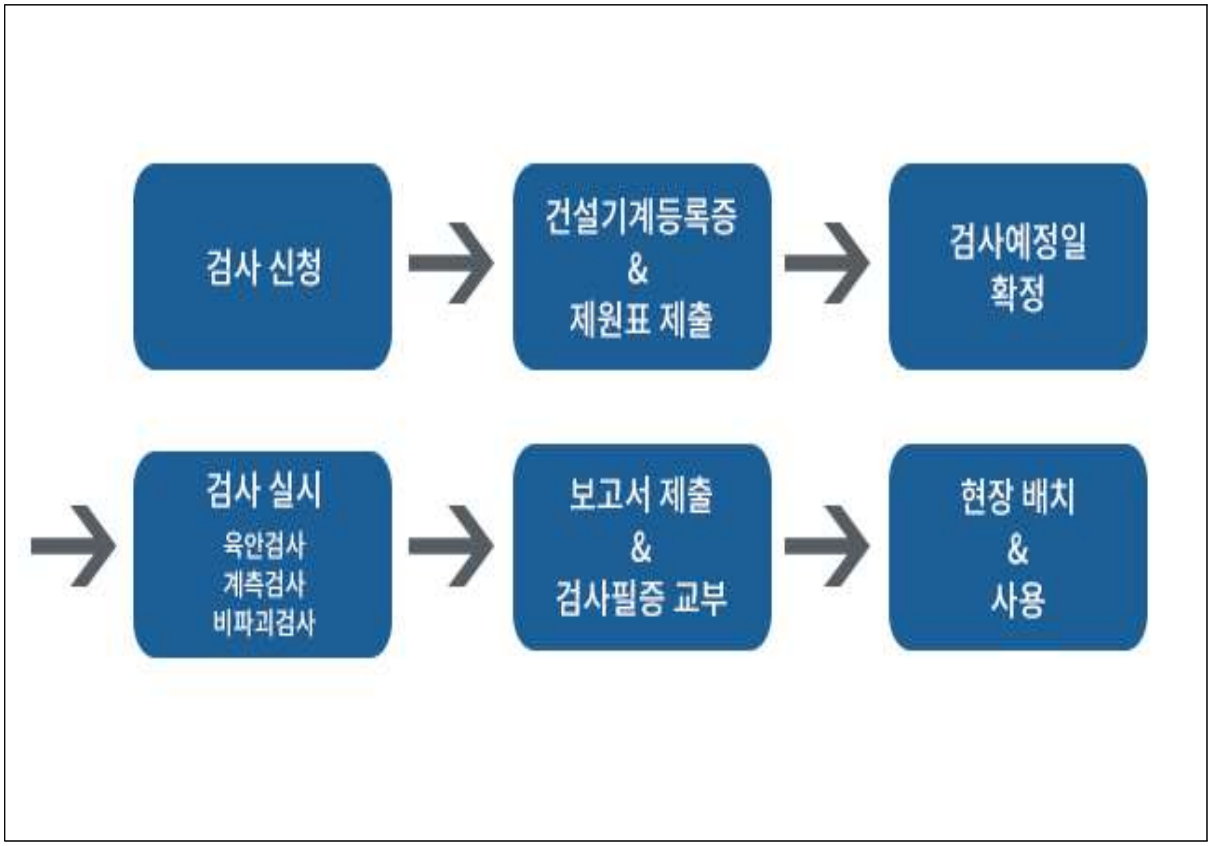
- 기존기술: 체계적 안전성평가제도 부재, 제조사 자체검증에 의존

- 전문적 안전성 평가가 이루어지지 않아 평가의 종류, 수행 내용, 결과 등을 알 수 없는 문제점 발생
- 개선기술: 연속굴착형 TBM 및 부품의 인증·검사 검증 체계 구축
- 연속굴착형 TBM 장치/부품 국제 수준 인증·검사 체계 수립
- TBM 중고품 및 세그먼트 유지보수, 재제조 절차 및 표준관리방안 마련

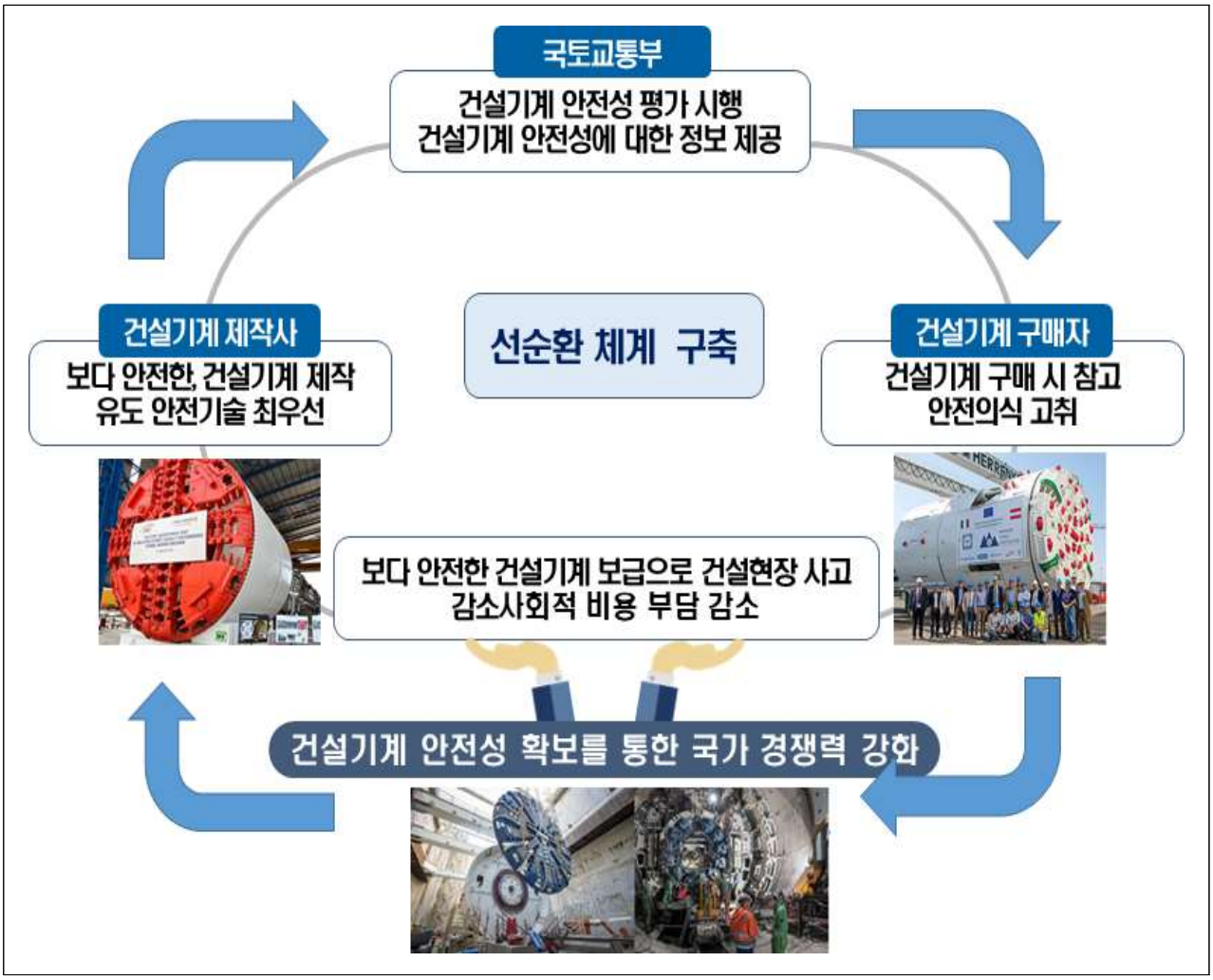
〈표 3-48〉 구성기술 3-3(As-is To-be)

AS-IS	TO-BE
○ 건설장비TBM 공인 측정/검사 기준과 관리 체계 부재 - 단순 물리량 측정과 육안 검사 체계에 의존 - 검사원의 경험과 역량에 따른 주관적 판단으로 장비/부품 신뢰성 문제	○ 연속굴착형 TBM/부품 모듈의 검사/인증/재사용 관리체계 구축 - TBM 장치/부품 국제 수준 인증·검사 체계 및 핵심 부품과 모듈 안전성 확보 - TBM 중고부품/세그먼트 유지보수, 재제조 절차 및 표준관리방안 마련

[그림 3-56] 구축기술(As-is)



[그림 3-57] 구축기술(To-be)



(라) 기술개발 개요

① 기술개발 정의

(구성기술 3-1) 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

□ 연속굴착형 TBM 유지관리 매뉴(표준)얼 개발

○ 굴진 중 TBM 장비의 고장 및 소모품 교체로 인한 로스타임 유형 및 사례 분석으로 유지관리 매뉴얼 개발

(구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

□ 연속굴착형 세그먼트 유지관리 매뉴얼 개발

○ 국내·외 터널(NATM, TBM) 유지관리 기준, TBM 터널 트러블 사례 조사 분석

○ 운영 중 연속굴착형 쉴드 TBM 세그먼트의 급속 보수·보강 및 교체기술 개발

○ 운영 중 연속굴착형 쉴드 TBM 터널의 유지관리 매뉴얼 개발

○ 시공 및 운용중 세그먼트 배면 상태평가를 GPR, IR 기반 검지기술 고도화

(구성기술 3-3) 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

□ 연속굴착형 신규개발 TBM 및 부품의 인증·검사 기준 및 관리체계 개발

○ TBM 신규 개발기술에 대한 안전 요구도 반영 등 안전성 검증시스템 수립

- TBM장치 및 부품의 안전관리 매뉴얼 인프라구축
- 연속굴착 TBM 개조/재사용을 위한 인증·검사 체계 개발

② 기술개발 목표

□ (구성기술 3-1) 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

○ 연속굴착형 TBM 실정에 맞는 매뉴얼 개발

- 연속굴착형 TBM 표준화 매뉴얼 개발

(구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

□ 운영 중 연속굴착형 쉴드 TBM 터널 세그먼트 상태평가 및 유지관리 기술

○ 운영 중 연속굴착형 쉴드 TBM 터널 세그먼트 상태평가 가이드라인 개발

○ 운영 중 연속굴착형 쉴드 TBM 세그먼트의 급속 보수·보강 및 교체기술 개발

○ 연속굴착형 세그먼트 유지관리 매뉴얼 개발

○ 세그먼트 배면 상태평가를 위한 각종 deep learning 기법을 기반으로 공극의 규모 및 지하수 유동상태 등의 예측기법 개발

- Variational AutoEncoder (VAE) 및 A / B-scan 데이터 조합을 통한 공극의 규모 산정기법 개발
- Time-frequency decomposition 기법을 이용한 A-scan 데이터의 분할 및 각종 주파수 변환기법을 적용한 이상 주파수 대역 검지기법 개발 / 공극 연동기술 개발

(구성기술 3-3) 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

□ 연속굴착형 TBM 검사/인증 체계 구축

○ 연속굴착형 TBM 부품 및 모듈 평가 검증 기준과 체계개발

- 선진국 수준의 부품 및 모듈 평가 검증 인프라 구축
- 연속굴착형 TBM 개조/관리 검사 기준 신설

○ 연속굴착형 TBM의 후속관리 매뉴얼 구축

- 신규 개발 TBM (ex. 연속굴착형 TBM) 공인 인증 체계도 마련
- 연속굴착형 TBM 개조/재사용을 위한 TBM 관리 기준 및 국내공인 제도 제안
- 연속굴착형 TBM 정비/검사/인증 매뉴얼 수립

(마) 국내외 기술개발 동향

① 해외 동향

□ (구성기술 3-1) 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

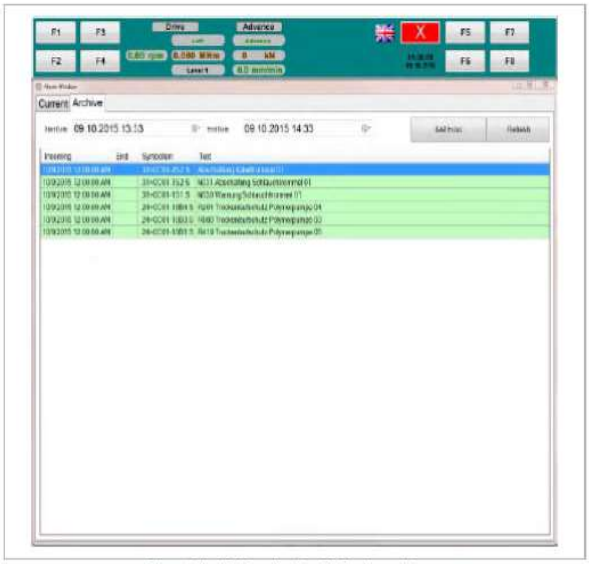
〈표 3-49〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
	독일	Herrenknecht	vmt	TBM 굴진 중 Errorr관련 모니터링 가능. 알람 발생
	일본	Kawasaki	엔쟌	TBM 굴진 중 Errorr관련 모니터링 가능. 알람 발생

○ 장비제조사 TBM 굴진 중 Error발생 실시간 모니터링 가능

- 현재 Error 알람 발생 후 점검 진행하므로 연속굴진이 불가하며, 연속굴착형 TBM에서는 알람 발생 전 소모성 자재 교체 및 상시 점검 필요

[그림 3-58] Herrenknecht와 Kawasaki


Figure VII - 17: Visualization F6 Faults archive



□ (구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

○ 터널 라이닝 및 배면 상태 평가를 위한 GPR 기반의 비파괴 시험법 해외 연구 동향

- 최근 중국에서는 실험실수준에서 GPR 활용으로 일정한 콘크리트 라이닝 두께 및 그라우팅 재료, 배면지반의 유전율을 알고 있는 조건 하에서 그라우팅 두께 평가 가능성이 보임
- 현장에서 라이닝 두께, 그라우팅 재료의 유전율 등이 미지수일 때, 위 항목들을 평가할 수 있는 기술 개발의 필요성을 제안
- 또한 GPR 주파수별로 배면 조건에 따른 안테나 주파수 다른 특징을 제시하였으며, 향후, 데이터 분석 시간을 줄이는 기술 개발 필요성을 제시

- Qi-ming Yu 등(2016)은 그라우팅 두께 추정을 위한 연구로 수치해석 결과를 활용하여 수치해석 결과 활용 가능성 확인 연구 결과 제시
- 향후, GPR과 더불어 열화상기술 등과 같은 다른 NDT 시험방법을 융합해서 해석을 보다 효율적으로 할 수 있게 하는 것이 필요하다는 의견 제시한 바 있음

○ GPR 데이터의 정확도 향상을 위한 심층학습 기법 도입 활성화

- 영국을 중심으로 라이닝내 철근탐지 고도화를 위한 인공신경망 적용기술 도입 중 (Giannakis 등 2021)
- 공극 탐지를 위한 다양한 signal processing 기법이 제안되고 있으나, 공극의 규모를 파악할 수 있는 기법개발은 미흡 (Yang 등, 2020)
- GPR 및 IR을 이용하여 TBM 세그먼트의 backfill 상태 평가에 활용한 사례는 현재까지 없으며 이는 콘크리트-그라우트-공기-지반과 같이 4상계의 유전율이 서로 다른 조건에 대한 조사로서 고전적인 GPR 시스템 및 신호처리 기법으로는 한계
- 따라서, GPR 시스템의 성능 및 머신러닝을 통한 신호처리 분석의 고도화를 통해 backfill 그라우트의 상태를 정확히 평가가 가능

□ (구성기술 3-3) 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

〈표 3-50〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	국가	기업명	제품명	특징
TBM 규격 및 시험방법 전문적 관리제도 운영	EU	EOTC (Europran Organization for Testing and Certification)	EN규격, CE마크 등	사용자 안전기술이 보편화되고 검사/인증 제도가 의무화되는 추세

○ 해외 건설장비 TBM 인증/관리 현황

- 선진국은 건설장비 및 TBM에 대한 규격 및 시험방법을 최신화하고 유통, 사용, 폐기 등 전 주기에 대해 전문적 관리제도 운영중
- 장비의 1차 사용이후 사후관리, 재제조(refurbish) 및 검사, 재사용 공인의 정식 프로세스를 통해 중고품 재제조와 재사용에 대해 체계적인 절차를 따름
- 해외 생산업체/연구기관은 자체적 내구시험, 신뢰성 시험방법을 보유하고, 시험/평가/인증을 업체/기관에서 시행중(Abbas, 2014)

② 국내 동향

□ (구성기술 3-1) 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

○ 국내 TBM 유지관리 기준은 장비제조사(kawasaki, Herrenknecht)에서 제시한 기준으로 작성한 매뉴얼 사용

- 장비마다 비교적 관리 기준 및 소모품 교체일정은 비슷하나 매뉴얼 표준화 되지 않음

□ (구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

○ 현재 국내에서는 NATM 터널의 경우 터널 라이닝 및 배면 공동, 라이닝 두께 확인, 지보재 확인 등을 위해 정밀안전진단에 GPR 시험법을 사용하도록 되어 있는 실정

- 이에 대한 심도 있는 연구가 진행된 바 없으며, 전문 시행 업체의 경험에 기반한 적용되는 수준

○ 특히 TBM 터널 배면의 공동 및 그라우팅 상태, 누수 등을 검측할 수 있는 GPR 및 IR을 이용한 비파괴 시험 연구는 거의 이루어진 바 없으며, 접촉 방식의 진단 방식에 대한 연구 사례도 없음

□ (구성기술 3-3) 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

〈표 3-51〉 구성기술 관련 구축기술 사례 제시

개발방향	기업명	제품명	특징
건설기계장비에 대한 최신 검사장비 도입, 검사체계 고도화, 검사 인력 확충을 통한 검사 내실화 등에 투자 계획 명시	국토 교통부 (2020. 06.18.)	건설기계관리법 및 건설기계관리법 시행규칙 개정안	정비사의 육안검침에 따라 건설기계 형식승인 및 확인검사가 진행 정부의 정책방향만 발표된 상황으로 현재 공인 검사기준 및 관리기준 부재

○ 국내외 건설장비 인증/관리 현황

- 건설장비(건설기계 완성차 및 TBM)는 육안확인 위주 검사로 진행

* 대부분 건설기계에 대한 관리, 재인증 규정이 전무하여 작동만 한다면 20년 이상 사용하는 것에 법적 제한사항 없음

(바) 해외 및 국내 기술 수준 비교

□ (구성기술 3-1) 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

〈표 3-52〉 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	장비사 의존 유지관리	장비사 의존 유지관리	TBM시스템 적용 상용화 단계
TRL 단계	6	6	8
기술성숙도	사업화단계	사업화단계	사업화단계
주요성능	인력 유지관리단계	인력 유지관리 단계	스마트 유지관리 매뉴얼 표준화

○ 기본적 TBM 유지관리는 제조사에서 배포한 기준으로 작성 중이나 연속굴착형 TBM 매뉴얼 확인 필요

□ (구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

〈표 3-53〉 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	다양한 분석 기법 개발 단계	단순 분석 단계	TBM, NATM 시스템에 적용되어 무근/철근 콘크리트 및 배면에 사용되는 상용화단계
TRL 단계	8	5	8
기술성숙도	사업화 단계	단순 분석 단계	사업화 단계
주요성능	-무근 라이닝 두께, 공동, 배면 공동 등 평가 -철근콘크리트 라이닝의 제한적 적용 연구	-무근 라이닝 두께, 공동, 배면 공동의 제한적 추정 평가 -철근콘크리트 라이닝의 철근 배근 위치 평가	-무근, 철근 콘크리트 라이닝 두께, 내부 공동, 배면 공동, 그라우팅 보강 상태 평가 현장 적용 수준

□ (구성기술 3-3) 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

〈표 3-54〉 구성기술의 기술수준 비교

구분	최고 기술 보유국	현 국내 수준	구성기술 개발 이후
기술수준	TBM 대상 시스템에 장착되어 사용되는 상용화단계	기술의 핵심성능만 구현된 단계	TBM 시스템에 적용되어 사용되는 상용화단계
TRL 단계	8	5	8
기술성숙도	사업화 단계	유사환경 모델 검증	사업화 단계
주요성능	공인검사, 인증 표준화 및 중고품 관리체계	공인 검사 체계부재	공인시험 공표 및 중고 TBM 관리체계 구축

○ 국내 기술은 주로 과거 해외(일본)기준과 규칙을 차용하여 적용하는 형태로 개발

- 체계적 안전성평가는 이루어지지 않고 제조사 자체검증에 의존
- 공인 측정/검사방법 부재로 검사의 종류, 내용, 결과인증이 표준화되지 않음
- 공인시험/검사방법 개발완료시 선진국 수준의 TRL: 7-8단계로 진입할 수 있을 것으로 예상

(사) 세부개발 내용

(구성기술 3-1) 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ TBM 장비 운행시 비상사태에 대한 효율적 대처가 어려움. TBM 오퍼레이터의 경험과 직관에 의존하게 되는 경향이 커 시공 중 로스타임(LossTime) 발생	■ TBM 굴진 중 유지관리 대상에 대한 세부 항목별 관리방안을 수립하여 현장에서 체계적인 관리가 이루어질 수 있도록 함
■ 쉴드 TBM의 시공 및 운영 중 장비 고장 요인에 대한 매뉴얼 대응 조치가 미흡	■ TBM 관리시 장비 고장의 정확한 원인 분석과 함께 상태 평가 결과에 따른 체계적 대응 조치 가능

연구 필요성

○ 쉴드 TBM 굴착시 굴진이 원활히 이루어질 수 있도록 TBM 유지관리가 매우 중요하나 실제 현장에서는 이러한 관리가 TBM 오퍼레이터 경험에 의존하게 되는 경우가 많아 시공 중 발생하는 다양한 문제점에 효과적으로 대처하지 못하고 로스타임(Losstime) 발생으로 작업 효율성 저하

○ 쉴드 TBM 운영 중 장비에 발생하는 고장 원인과 유형이 매우 다양하므로 유지관리시 고장의 정확한 원인 분석과 함께 결과에 대한 체계적 대응 조치가 필요하며 연속굴착형 TBM 적용을 위한 지침서나 표준화 매뉴얼은 필요

(구성기술 3-1) 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

연구내용

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 TBM 터널 유지관리 세부항목 선정과 항목별 요구사항 정의 ▪ **(연구내용)** - 국내.외 Shield TBM 터널 장비 점검 List 작성	▪ Shield TBM 점검 List (일간,주간, 월간)
2023	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 TBM 굴착시 기내 기계 유지관리 방안 수립 ▪ **(연구내용)** - 굴진환경 변화에 따른 TBM 소모자재 교체 주기 분석, 비상 대응 방안 수립	▪ 연속굴착형 TBM 굴착시 유지관리 방안 절차서 ▪ 연속굴착형 TBM 비상 정지시 대응 절차서
2024	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 TBM 점검 및 고장,수리시 대응 방안 개발 및 유지관리 항목 선택 및 취합(22~23년 데이터 기준)	▪ 연속굴착형 TBM 유지관리 표준 매뉴얼 스마트화
2025	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 TBM 유지관리 표준매뉴얼 개발 ▪ **(연구내용)** - 연속굴착형 TBM 유지관리 표준매얼 작성	▪ 연속굴착형 TBM 유지관리 표준 매뉴얼
2026	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 TBM 유지관리 표준매뉴얼 검증 ▪ **(연구내용)** - 연속굴착형 TBM 유지관리 표준매뉴얼 현장 적용 및 보완	▪ 연속굴착형 TBM 유지관리 표준 매뉴얼(보완)
최종 성과물	▪ **연속굴착형 TBM 스마트 유지관리 표준 매뉴얼**	

(구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ 쉴드 TBM의 시공 및 운영 중 다양한 손상 요인에 대한 차별적 대응 조치가 미흡	■ TBM 유지관리 시 손상의 정확한 원인 분석과 함께 상태평가 결과에 따른 손상 수준별 체계적 대응 조치 가능
■ 운영 중 연속굴착형 TBM 터널 세그먼트의 급속 보수 및 교체기술 부재	■ 운영 중 연속굴착형 TBM 터널 세그먼트의 급속 보수 및 교체기술 개발
■ 시공 및 운영 중 TBM 터널 세그먼트 배면의 상태파악 미흡	■ GPR, IR, 영상 센서 융합 및 심층학습 기법을 이용한 터널 세그먼트 배면의 비파괴 검사기법 고도화

연구 필요성

○ 운영 중 쉴드 TBM 터널에 손상이 발생하는 원인과 유형, 손상 정도는 매우 다양하므로 유지관리 시 손상의 정확한 원인 분석과 함께 상태평가 결과에 따른 손상 수준별 체계적 대응 조치가 필요하나 연속굴착형 쉴드 TBM 적용을 위한 지침서나 매뉴얼은 부재

- 터널 점검시 유지관리 요구수준에 따라 차별적 관리를 통해 터널 구조물의 성능 수준이 일정하게 유지될 수 있도록 관리하는 체계와 이를 문서화한 지침이나 매뉴얼이 필요
- 또한, 기 설치된 세그먼트의 상태평가 결과에 따라 보수·보강 혹은 교체가 필요한 경우 터널 운영의 중단 없이 안전성을 확보한 상태로 세그먼트를 보수, 교체하는 기술이 필요

○ 세그먼트 설치이후 시행되는 backfill grouting의 시공정밀도는 TBM 터널의 장단기 품질에 큰 영향을 미치는 요소임. 충분한 그라우팅이 시행되지 않은 경우 누수 및 침하의 원인이 될 수 있으며, 시공과정에서 커터의 교체(CHI) 시에도 해당 유로를 통한 지하수의 누수로 원활한 시공과정에 방해가 될 수 있음

○ 따라서 충실함 backfill grouting은 반드시 수행되어야 하며 그 첫 단계로 그라우팅의 상태를 평가할 수 있는 기술의 확보는 반드시 필요

(구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

연구내용

○ 국내·외 터널(NATM, TBM) 유지관리 기준, TBM 터널 트러블 사례 조사 분석

○ 운영 중 연속굴착형 쉴드 TBM 세그먼트 상태평가 가이드라인과 이를 기반으로 세그먼트 유지관리 매뉴얼 개발

- 운영 중 연속굴착형 쉴드 TBM 세그먼트 상태평가 가이드라인 개발
- 연속굴착형 쉴드 TBM 세그먼트 유지관리 매뉴얼 개발

○ 운영 중 연속굴착형 쉴드 TBM 세그먼트의 급속 보수·보강 및 교체기술 개발

○ 국내·외 터널(NATM, TBM) 유지관리를 위한 센서 융합을 통한(GPR, IR, 이미지) TBM 터널 배면 진단 시스템 개발

○ TBM 터널 배면 상태 평가를 위한 심층강화학습기법 기반의 데이터 분석 기술 개발

- 세그먼트별 유지관리 주요인자 결정
- 심층강화학습 (Deep Reinforcement Learning) 도입 및 적용

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 세그먼트 유지관리 세부항목 선정과 항목별 요구사항 정의 - TBM 터널 배면 진단을 위한 시스템 설계 및 기초 실험 ▪ **(연구내용)** - 유지관리 항목 도출 · 국내·외 터널 유지관리 기준, 트러블 사례 조사, 분석 · 세그먼트 유지관리 중점 세부항목 선정 - 세부 관리항목별 요구사항 정의 - GPR, IR, 영상 기반의 TBM 터널 배면 진단 시스템 설계 - 세그먼트 및 배면 상태 평가 기술 개발을 위한 모형시험, 수치해석 등 Data 확보 등 기초 연구 - 심층학습 기반 비파괴 검사결과 고도화 · Variational Autoencoder 적용기법 개발 · Time-frequency decomposition 기법을 이용한 deep learning 기법 고도화	▪ 연속굴착형 세그먼트 유지관리 세부항목 및 항목별 요구사항 정의서
2023	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 세그먼트 상태평가 방안 수립 - TBM 터널 배면 진단을 위한 시스템 제작 및 해석 기법 고도화 ▪ **(연구내용)** - 상태평가 방안 수립 · 운영 중 세그먼트 상태평가 방안 - GPR, IR, 영상 기반의 TBM 터널 배면 진단 시스템 제작 - 세그먼트 및 배면 상태 예측 기법 개발 · hierarchical deep learning 모형개발	▪ 연속굴착형 TBM 터널 상태평가법

(구성기술 3-2) 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술			
연구내용	연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
	2024	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 TBM 터널 운영 중 세그먼트 급속 보수 및 교체기술 개발 - TBM 터널 배면 진단을 위한 시스템 성능 검증 ▪ **(연구내용)** - 운영 중 연속굴착 TBM 세그먼트 급속 보수·보강 및 교체 기술 - TBM 터널 배면 진단을 위한 시스테 및 분석 알고리즘 고도화 - 배면 그라우팅 상태 평가를 위한 deep reinforcement learning 기법 개발 - TBM 터널 배면 상태평가를 위한 decision support system 개발	▪ 세그먼트 급속 보수·보강 및 교체 공법
	2025	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 세그먼트 유지관리 매뉴얼 개발 - TBM 터널 배면 진단을 위한 시스템 성능 고도화 ▪ **(연구내용)** - 연속굴착형 TBM 유지관리 매뉴얼 개발 - TBM 터널 배면 진단을 위한 시스템 업그레이드 및 분석 알고리즘 고도화 - 세그먼트 및 배면 상태 평가 기법 현장 적용 매뉴얼 도출	▪ 연속굴착형 세그먼트 유지관리매뉴얼 ▪ 세그먼트 및 배면 상태 평가 기법 현장 적용 매뉴얼
	2026	▪ **(연구목표)** - 연속굴착형 세그먼트 유지관리 매뉴얼 검증 - TBM 터널 배면 진단을 위한 시스템 현장 적용 및 보완 ▪ **(연구내용)** - 연속굴착형 세그먼트 유지관리 매뉴얼 현장 적용 및 보완 - 세그먼트 및 배면 상태 평가 기법 현장 적용 매뉴얼 검증 보완	▪ 연속굴착형 세그먼트 유지관리매뉴얼(보완) ▪ 세그먼트 및 배면 상태 평가 기법 현장 적용 매뉴얼(보완)
	최종 성과물	▪ **연속굴착형 세그먼트 유지관리 매뉴얼** ▪ **TBM 터널 배면 그라우팅 상태평가를 위한 시스템, 분석기법 및 보수 의사결정 모델**	

(구성기술 3-3) 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

연구 방향

한계점	기술개발방향
■ TBM수입시 체계적 안전성평가는 이루어지지 않고 해외 제조사 자체검증에 의존	■ TBM 입고 및 굴진시 국내 자체 표준기준안 마련 및 검인증 체계 구축
■ TBM 수요가 정체중이어서 노후 TBM 및 건설기계가 증가하고 있으나, 검사, 유지관리, 안정성 평가 체계 미흡으로 재사용이 어려움	■ TBM 신규개발품 및 개조 TBM에 대한 표준검사 및 안전성 평가기준 수립
■ 무인화, 자능화, 스마트화 등 첨단 기능/모듈이 탑재되는 등 기술개발 속도가 빨라지고 있고, 스마트 모듈에 대한 인증, 검사 체계 현행화 요구	■ 자동제어 및 스마트 주행모듈에 대한 별도의 첨단 인증 체계 및 검사/인증 인프라 확립

연구 필요성

○ TBM 및 대형굴착장비는 도심지 대규모 터널공사에 필수 장비

- 기계적 안전요소 확인 미흡, 작업 관리 미흡으로 발생되는 건설기계 사고는 인명피해는 물론 시공사, 사용자 등의 피해 수반
- 공사기간 단축, 인건비 절감 등 시공 효율성을 위하여 TBM 시공지침과 검인증 표준화가 시급

○ 체계적 안전성평가제도 부재, 제조사 자체검증에 의존

- TBM의 공사중 개조, 유지보수, 재활용 인증 등의 사후관리 사업에 대한 지침 및 기준의 확립도 진행
- TBM 중고품 및 세그먼트 유지보수, 재제조 절차 및 표준관리방안 마련
- 사용후 TBM 부품의 검사/인증 및 재활용 지침서 제정

(구성기술 3-3) 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

연구내용

연도	연구목표 및 연구내용	주요 성과물
2022	▪ **(연구목표)** – TBM 선행기술 및 선진국 규격/체계조사 ▪ **(연구내용)** – 해외 안전기준 및 평가·검사 체계 연구 – TBM 및 건설기계 관리기술 동향 파악	▪ 선행기술조사 보고서
2023	▪ **(연구목표)** – TBM 개조 및 재활용 선행사례 조사 ▪ **(연구내용)** – TBM 개조시 선진국 검사/승인 사례조사 – 재활용 TBM 검사규정 및 승인조건 검색	▪ 선진국 TBM 검사/시험 선행문헌 조사서 ▪ 검사/규칙 관련 근거자료 확보
2024	▪ **(연구목표)** – 연속굴착형 TBM 장비/부품 검사기준 제안 ▪ **(연구내용)** – 연속굴착형 TBM 모듈/부품 개조목록 작성 – TBM 부품 검사방법 매뉴얼화	▪ TBM 부품 개조 매뉴얼 ▪ TBM부품 시험/검사 규칙 초안
2025	▪ **(연구목표)** – 연속굴착형 TBM 현장시험 보조 ▪ **(연구내용)** – 연속굴착형 TBM 부품 모니터링	▪ TBM 부품개조 기준시방서 ▪ TBM 모듈/부품 표준시험법 제정
2026	▪ **(연구목표)** – 연속굴착형 TBM 시험검사 지원 ▪ **(연구내용)** – 현장데이터 백업 및 시험규격화 진행	▪ 중고 TBM 검사/인증 지침서
최종 성과물	▪ **연속굴착형 TBM 형식인증체계 수립 및 후속관리 매뉴얼 구축**	

(아) 국내 타 연구과제와의 차별성·연계성

○ TBM 건설장비 검사/인증기술 관련 국내 연구과제는 선행된 바 없음

○ 건설기계 안전기준 시행세칙에 따른 검사기준은 1976년 4월 9일 제정된 이후 육안 검사체계 유지중

○ 대부분 건설기계에 대한 내용연수 규정이 전무하여 작동만 한다면 20년 이상 사용하는 것에 법적 제한사항 없으며, TBM과 같은 건설장비 안전성의 평가에 관한 관계법령과 규정이 전무하여 기술적 발전 속도와 안전문제의 격차가 확대 진행 중

○ 연속굴착형 쉴드 TBM 세그먼트 및 배면 상태 평가 기술 개발

〈표 3-55〉 본 구성기술관련 국내 타 선행과제와의 차별성·연계성

선행과제명	사업지원기관 (연구기간)	주요 연구내용	차별성·연계성
GPR 기반 철도 터널 구조물 및 배면 검측 기술 개발	한국철도기술연구원 (2021.1.1.-2023.12.31.)	-철도 터널 라이닝 및 배면의 공동 유무 및 크기 분석 기법 개발 -콘크리트궤도 하부 공동 및 그라우팅 보수 상태 평가 기법 개발	〈차별점〉 - 선행과제는 무근의 NATM 터널 라이닝 및 무근 콘크리트궤도 대상이며, 본 과제는 철근콘크리트구조의 쉴드터널 세그먼트와 그 배면을 대상 - 선행과제는 GPR 시험 기법에 기반하여 GPR 분석기법 개발이 주요 내용이지만, 본 과제는 GPR을 포함하여 철근콘크리트 세그먼트와 배면 상태 추정의 정확도 제고를 위해 효과적인 비파괴시험법의 융합/병행 기법 및 분석 기술 개발을 목표 〈연계방안〉 - 선행과제는 본과제와 달리 무근콘크리트 라이닝/궤도와 그 배면을 대상으로 하고 있어, 본과제에서 대상으로 하고 있는 철근콘크리트 세그먼트에 비해 전자기파의 간섭이 없는 대상구조물이지만, 기초 시험 DB 활용, 시험체제작, GPR 신호분석, 시험/수치해석을 통한 DB확보, 신호처리방법, Deep Learning network 개발 프로세스 등 연구 데이터 및 노하우의 연계로 보다 효과적인 연구 수행 가능할 것으로 예상

(자) 민간기술과의 차별성·연계성

□ 연속굴착형 TBM 유지관리 기술

○ 연속굴착형 TBM 시공 중 장비 유지관리와 관련하여 선행 연구 및 관련 기술이 부재한 상황

□ 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술

○ 연속굴착형 쉴드 TBM 세그먼트 및 배면 상태 평가 기술 개발

〈표 3-56〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
	GPR 활용 터널 라이닝 및 배면 상태 평가 기술	지우Eng 등 진단업체	- GPR 신호의 반사파 강도에 따른 경계면 위치 파악 - 주변 신호와의 상관성 및 경험을 바탕으로 이상 경계층 추정	〈차별점〉 - 본 연구에서는 단순 반사파 뿐만 아니라, 경계면 종류(공동, 지반, 그라우팅 등), 공동 규모, 그라우팅 범위 등 기존의 반사파 분석에서 확인되지 않았던 전자기파의 신호 특성을 분석 - 다양한 이상상태를 모사하여 모형에 대한 GPR신호, 수치해석 결과 등을 기반으로 주파수 특성 분석, Deep Learning 기법 개발 등 분석 기법 고도화를 통한 신뢰도 높은 실용화 기술 확보 〈연계방안〉 - 현장 시험 방법, 기존 시험 데이터 검토 등을 위해 민간업체의 데이터를 연계 활용하여 보다 효과적인 연구 계획 수립과 수행 가능 - 현장 데이터 분석 경험에 기반하여 신호 처리 시 고려해야 할 노이즈 종류 및 처리방법 등에 대한 경험 공유 - 현장시험 시 필요한 부대장비 관련 및 시험방법 등에 대한 경험 공유

□ 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

○ 건설기계 분야의 검사/인증 기술은 국가, 공인기관이 보유 중

○ EU에서는 유럽의 CE, 미국의 UL, 중국의 CCC인증이 강제되고 있으며, 전 기종이 ISO 규정에 따라 안전을 확보하도록 규제중

- EU 가맹국은 1997년부터 건설기계류에 대한 CE인증을 규격화함. CE인증이 없을 시 EU 지역에 대한 세관 통관을 불허

○ 국내 공인기관의 현존기술과 개발기술의 비교

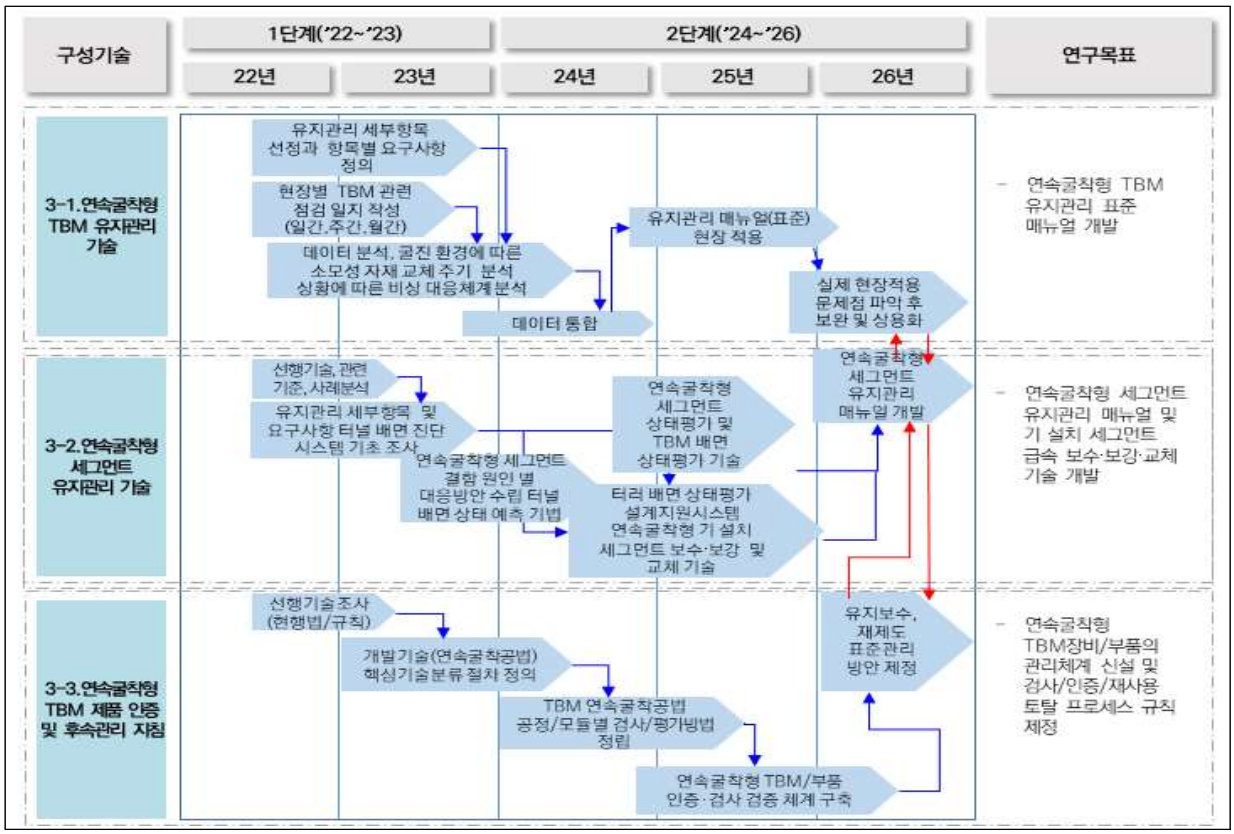
- 건설기계 관련 기존 규칙/기준과 비교하여 차별성/연계성을 설명

〈표 3-57〉 민간 보유기술과의 차별성·연계성

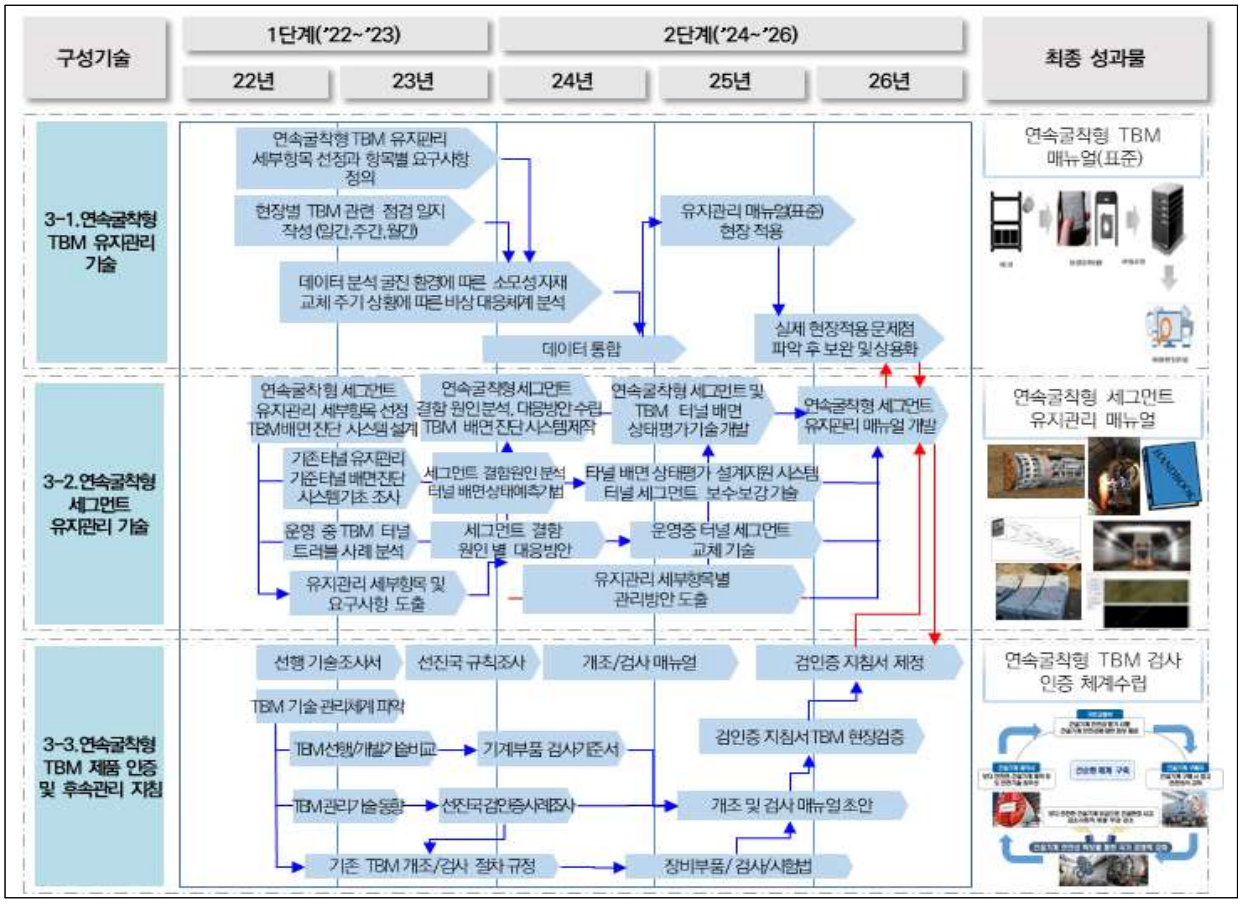
순번	구성기술명	기업명	보유기술	구성기술과의 차별성·연계성
1	건설기계 신규 형식승인 및 개조시 검사 기준/ 지침서	국토교통부	건설기계 관리법(형식승인) 및 건설기계 일반 안전 관련 KS 표준	〈차별점〉 앞서 설명한 바와 같이 육안확인 위주 검사로 진행되고, 명확한 관리기준 부재 〈연계방안〉 건설기계 형식승인 기준을 현재 기술 수준에 맞게 업그레이드하여 TBM 입고 및 굴진시 국내 자체 표준기준안 마련 및 검인증 체계 구축 진행
2	건설기계 운용시 관리기준	환경부	CEN Directive 2000/14/EC 소음진동관리법 등	〈차별점〉 건설기계 운용시 소음진동 관리기준에 관한 것만 존재함. TBM 터널지하 작업환경에서 기계/장비/작업자 관리 기준은 미비 〈연계방안〉 작업자 환경과 연계하여 TBM 운용시 소음진동 관리 기준을 신설 추진
3	건설기계 TBM 자율작업 및 안전관리 가이드라인	한국산업안전 보건공단	건설기계 관리법 및 산업안전보건법	〈차별점〉 산업 안전 기준에 따른 건설기계 작업자/조종사의 안전기준을 제시(KOSHA Guide) 및 본 사업은 개조된 장비의 스마트화/자율작업에 대한 신규 국내 기준을 수립하는 것이므로 차별성이 인정 〈연계방안〉 TBM 스마트시공과 연계하여 작업자의 안전뿐만 아니라 자율운전/ 이렉터 로봇작업 등에 대한 검사규칙을 제안/ 확보 예정

(차) 구성기술 로드맵

[그림 3-59] 추진로드맵



[그림 3-60] 성과로드맵



(카) 소요예산 및 장비 구축, 인력 계획

① 연도별 소요예산

○ 총액 38억 원, 국고 보조금 29억 원, 민간 자본금 10억 원으로 구성

(단위: 백만 원)

구성기술	구분	'22	'23	'24	'25	'26	계
3-1. 연속굴착형 TBM 유지관리 기술	정부	97	144	192	192	68	693
	민간	33	49	65	65	23	236
	소계	130	193	257	257	91	929
3-2. 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술	정부	192	384	384	240	96	1,296
	민간	65	131	131	82	33	441
	소계	257	515	515	322	129	1,737
3-3. 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침	정부	97	240	240	192	95	864
	민간	33	82	82	65	32	294
	소계	130	322	322	257	127	1,158
합계	정부	386	768	816	624	259	2,853
	민간	131	262	278	212	88	971
	합계	517	1,030	1,094	836	347	3,824

○ 직접비

(단위: 백만 원)

구분	’22	’23	’24	’25	’26	계
인건비	138	340	381	273	95	1,227
연구활동비	60	75	105	85	40	365
연구재료비	142	175	246	199	94	856
연구시설장비비	-	110	-	-	-	110
연구수당	30	37	52	42	20	181
합계	370	737	784	599	249	2,739

○ 간접비

(단위: 백만 원)

구분	’22	’23	’24	’25	’26	계
간접비	15	31	33	25	10	114

○ 소요 인력

(단위: 명)

구성기술	구분	'22	'23	'24	'25	'26	계
3-1. 연속굴착형 TBM 유지관리 기술	책임급	-	-	1	1	-	2
	선임급	1	1	1	1	1	5
	원급	1	2	3	3	1	10
	소계	2	3	5	5	2	17
3-2. 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술	책임급	1	2	2	1	-	6
	선임급	1	3	3	2	1	10
	원급	3	7	7	4	1	22
	소계	5	12	12	7	2	38
3-3. 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침	책임급	-	1	1	1	-	3
	선임급	1	2	2	1	1	7
	원급	1	4	4	3	1	13
	소계	2	7	7	5	2	23
합계		9	22	24	17	6	78

② 연구장비 및 시제품

○ 연구장비 내역

〈표 3-58〉 핵심기술 연구장비내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)	연도	해당 구성 기술
1	배면그라우팅 상태평가를 위한 GPR	기성품 활용 혹은 필요시 개발	110	1	110	2023	3-2
합계			110	-	110	-	-

(타) 기대 및 파급효과

① 과학기술적 측면

□ 스마트 유지관리로 기술력 강화 및 선진국 발돋음 및 다중계 조건에서의 특이상태 평가 기술의 고도화

○ GPR의 특성을 이용하여 콘크리트-유체(그라우트재)-공기 조건으로 형성된 백필 미충진 구간에 대한 평가 기술 개발

- TBM 터널 배면 그라우팅의 상태 평가를 위해서는 조밀하게 철근이 배근된 콘크리트 세그먼트와 시간의 경과에 따라 유변 특성이 변화는 그라우트재 그리고 공기가 존재하는 3 상계의 조건
- 철근이 조밀하게 배근된 조건에서는 GPR에서 발생하는 전자기파의 난 반사로 신호 수신이 미약할 수 있으며, 전자기적 특성이 다른 콘크리트, 그라우트재, 공기에서 반사되는 신호 처리에 있어 고난이도의 해석 기술이 요구
- 본 연구를 통해 시스템의 보강 및 신호처리기술의 고도화를 통하여 GPR 장비의 활용도를 더욱 넓힐 수 있으며 다양한 분야에 적용 가능

□ 연속굴착형 TBM 신규개발 및 현장적용 매뉴얼 수립

○ TBM 장비 검사규칙 수립

- 선진국 수준의 TBM 안전성 평가기술/인프라 확보
- 국가표준검사로 인한 TBM 장비 신뢰성 확보 및 국가인증체계 확립

○ 연속굴착형 TBM장비개조 가이드라인 확보

- TBM 장비개조시 가이드라인 제시
- TBM 관련 산업 국내 표준 및 인증의 국제 수준 공신력 강화

② 사회경제적 측면

□ TBM 공법 경제성 향상으로 사업 물량 증대로 사회적 경쟁력 향상

○ 굴착시 TBM 안전성 확보 및 굴진 향상으로 경제성 증가

□ 배면 그라우팅의 상태 평가를 통하여 TBM 세그먼트의 내구성 강화로 터널유지보수 비용 절감 및 안전성 강화

○ 배면 그라우팅 상태 평가로 유지관리 비용 절감

- 터널 유지관리비용의 증가는 시간 경과에 따른 세그먼트의 노후화 이며, 특히 TBM 터널의 경우 배면 그라우팅이 밀실하게 충진되지 않은 경우 누수 및 침하의 발생확률이 높음
- 누수의 진전에 따라 콘크리트 라이닝의 탄산화의 진행이 가속화되므로 이에 대한 조치가 필요

○ 배면 그라우팅의 밀실한 충진으로 안전성 강화

- 배면 그라우팅이 밀실하지 않은 경우 상부지반의 침하가 발생할 가능성이 있으므로 본 연구개발의 결과를 통해 충진의 밀실도 여부를 파악하고 사전 조치하여 상부 지반의 침하 발생을 사전에 조치 가능

□ TBM 운영자 및 시민 안전 확보

○ 터널 안전사고 발생 가능성 최소화

- R&D 결과물의 국제표준화 따른 작업 안전 평가기술 확보
- TBM 터널환경 안전 규제 대응 방안 수립
- 부적합 건설기계의 확산을 차단함으로써 국내 건설기계 사고와 인명피해 감소

□ TBM 관련 신기술 개발 가속화

○ TBM 신제품 검사부터 TBM개조품 검사/인증 원스톱 시스템 추진

- TBM/건설기계 관련 중고시장 및 대체 부품 산업 활성화
- 국내외 상호인증 체계 교두보 확보를 통한 빠른 해외시장 진출

(3) 사업 운영관리계획(안)

(가) 사업추진체계

① 사업특성을 고려한 추진체계 설계

□ 혁신적 개념을 적용하여 장비 및 공법을 개선하고 이를 빠르게 실용화 할 수 있도록 실증 중심으로 추진 예정인 기술개발사업이라는 특성 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

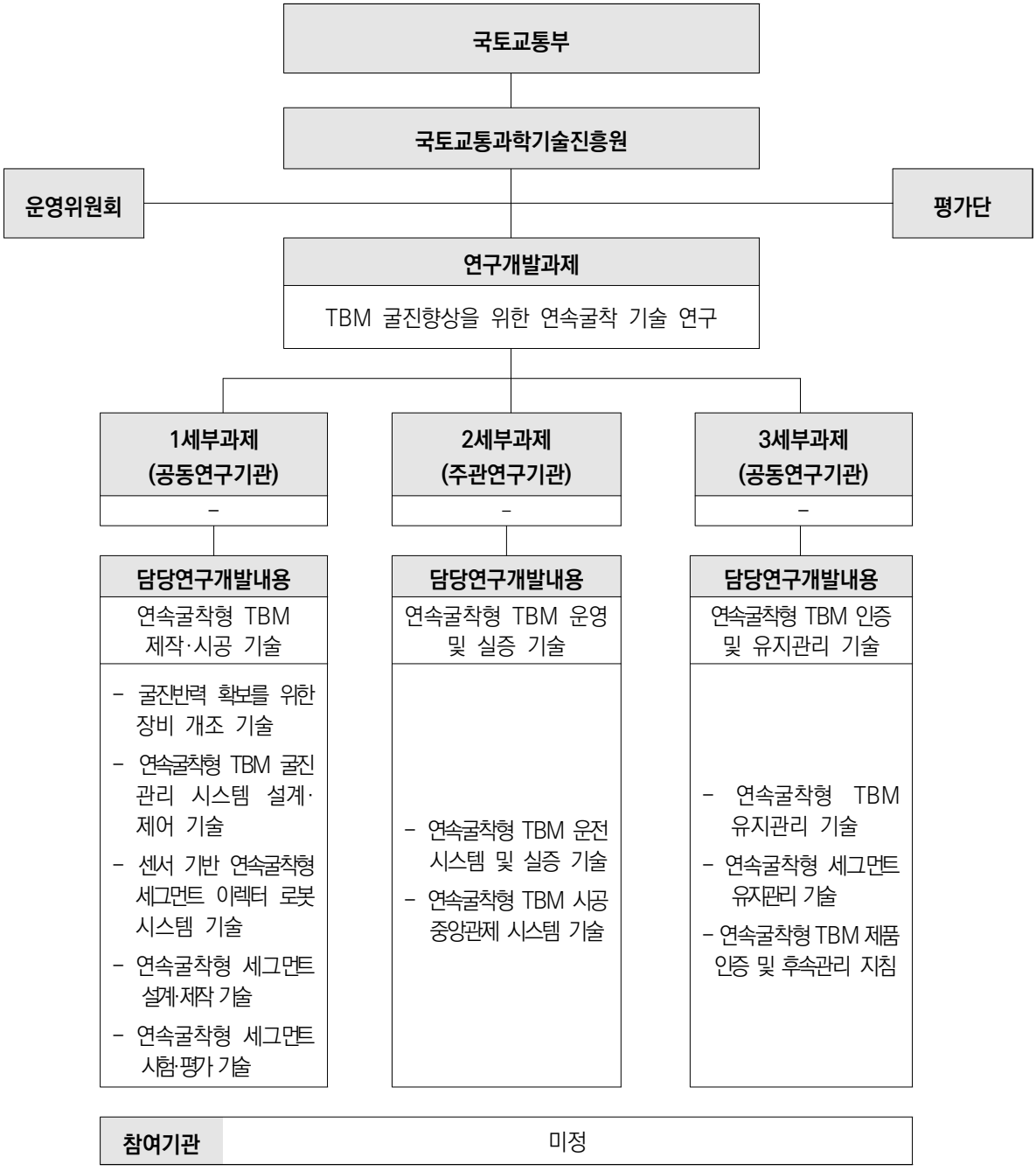
□ 본 사업 주관은 국토교통부, 전담기관은 국토교통과학기술진흥원으로 하며, 사업의 효율적인 운영과 성과 실용화 제고를 위해 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업을 수행하는 주관연구기관과 공동연구기관으로 구성된 과제로 추진

○ 동 사업은 사업의 목적 및 특성 등을 고려하여 단위 요소기술 개발 및 혼합된 R&D 사업으로 설정

○ 사업은 2단계, 총 5년(2년 + 3년)으로, 상용화기술 → 현장 실증 단계별 실용화 전략사업을 구성

○ 예산은 총 360억 원(국고 269억 원, 민자 91억 원, 민자 비율은 25%)

[그림 3-61] 사업 추진 체계도



○ (국토교통부) 사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업 기본 시행계획 수립, 관련 부처간 협의 등 수행

- 필요시 TBM 연속굴착 기술의 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 연속굴착 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 평가 항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목과 배점을 달리할 수 있음

- (기본방향) 원칙적으로 정성평가를 실시하되 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량 평가 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 연속굴착 기술개발사업의 목적 달성을 통한 사회경제적 기여도를 평가

〈표 3-59〉 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

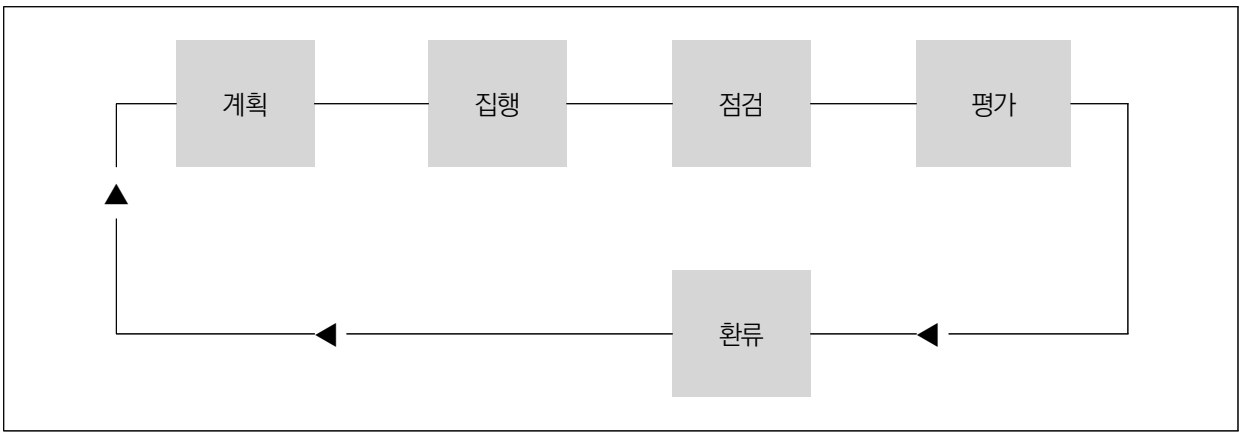
(다) 성과관리계획

□ 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 연속굴착 기술개발사업의 성과관리도 계획 → 집행 → 점검 → 평가 → 환류의 기본구조로 이루어짐

[그림 3-62] 성과관리의 기본구조



□ 성과관리 계획 수립 및 연구성과활용 보고

○ TBM 연속굴착 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

□ TBM 연속굴착 기술개발사업 이해관계자

○ 본 사업의 범위에 포함된 핵심기술 및 향후 현장 적용을 고려할 때 다음과 같은 이해관계자를 설정할 수 있음

- (정부·지자체) TBM 연속굴착 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 연속굴착 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) TBM 연속굴착 기술의 개발과 인력양성, 창업지원 등의 역할을 수행하는 대학, 출연연, 학회 등
- (수혜자) TBM 연속굴착 기술의 적용을 통해 건설생산과정에서 발생되는 국민 불편 감소, 안전성 제고 등 다양한 혜택의 최종 수혜자로서 일반 국민

□ 성과활용 계획

○ TBM 연속굴착 기술개발사업의 연구성과는 터널건설 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 TBM 연속굴착 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 – 연속굴착형 자동화 터널시공의 지식정보 생성을 위한 지식 및 디지털 문서표준화 기술 · 연속굴착형 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) • 연속굴착형 TBM 개조를 위한 애프터마켓 • 연속굴착형 TBM 부품 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 – 연속굴착형 시공기술을 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 · 연속굴착형 터널건설 장비에 대한 지능형 시공 중앙관제 시스템 · 굴진반력 확보를 위한 연속굴착 장비 개조 기술 · 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술 · 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술 · 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술 · 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술 · 연속굴착형 TBM 유지관리 기술 · 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술	발주기관, 민간기업

□ 연구성과 확산 방안

○ (확산체계) ‘제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획’에 따라 TBM 연속굴착 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 기술보유자와 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 연속굴착 기술 연계활용	■ 단위(요소)기술, 통합 실용화기술 등에 대한 사업화 지원 확산 연계 ■ 연속굴착 기술, 관제 시스템 등에 대한 신기술인증 및 기술가치평가 지원 연계 ■ 연속굴착형 TBM 애프터마켓 형성 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 산업생태계 조성이 될 수 있도록 성과 확산 도모

TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어시스템 개발사업('17~'21)

• TBM 운전·제어시스템 기술을 본 사업의 ‘연속굴착형 운전 시스템’ 개발에 연계·활용

☞ (시너지효과) 일반 TBM 및 연속굴착형 TBM에 범용적으로 활용 가능한 기술 개발을 통해 시스템의 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 연속굴착 기술개발사업을 포함한 국토교통 R&D 사업의 성과관리를 위하여 종합관리시스템(http://www.kaia.re.kr) 운영

(마) 사업예산

① 총 사업비

□ **5년('22~'26년)간 360억 원(국고 269억 원, 민자 91억 원), 연평균 72억 원 규모로 3개 핵심기술, 10개 구성기술을 선정**

〈표 3-60〉 핵심기술별 사업 추진 규모

핵심기술	구성기술	총사업비	국고	민자
1. 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술	1-1. 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술	5,059	3,775	1,284
	1-2. 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술	1,757	1,311	446
	1-3. 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술	2,077	1,550	527
	1-4. 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술	3,307	2,468	839
	1-5. 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술	1,802	1,345	457
	소 계	14,002	10,449	3,553
2. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	2-1. 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술	16,536	12,340	4,196
	2-2. 연속굴착형 TBM 시공 중앙관제 시스템 기술	1,676	1,251	425
	소 계	18,212	13,591	4,621
3. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	3-1. 연속굴착형 TBM 유지관리 기술	929	693	236
	3-2. 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술	1,737	1,296	441
	3-3. 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침	1,158	864	294
	소 계	3,824	2,853	971
합 계		36,038	26,893	9,145

□ 핵심기술별 소요 예산

○ (연속굴착형 TBM 제작·시공 기술) 총 140억 원 (연평균 28억 원) 규모

○ (연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술) 총 182억 원(연평균 36억 원) 규모

○ (연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술) 총 38억 원(연평균 8억 원) 규모

〈표 3-61〉 본 사업의 핵심기술별, 연도별 총사업비

(단위: 백만 원)

핵심기술	구분	2022	2023	2024	2025	2026	합계
1. 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술	국고	1,971	4,033	2,448	1,536	461	10,449
	민자	670	1,371	832	522	157	3,552
	소계	2,641	5,404	3,280	2,058	618	14,001
2. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	국고	518	1,633	4,418	5,042	1,980	13,591
	민자	177	555	1,503	1,715	673	4,621
	소계	695	2,188	5,921	6,757	2,653	18,212
3. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	국고	386	768	816	624	259	2,853
	민자	131	262	278	212	88	971
	소계	517	1,030	1,094	836	347	3,824

□ 구성기술별 예산

〈표 3-62〉 본 사업의 구성기술별, 연도별 총사업비

(단위: 백만 원)

구성 기술	구분	2022	2023	2024	2025	2026	합계
1-1. 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술	국고	1,441	1,633	384	192	125	3,775
	민자	490	555	131	65	43	1,284
	소계	1,931	2,188	515	257	168	5,059
1-2. 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술	국고	144	432	384	288	63	1,311
	민자	49	147	131	98	21	446
	소계	193	579	515	386	84	1,757
1-3. 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술	국고	192	768	336	192	62	1,550
	민자	65	261	114	65	21	527
	소계	257	1,029	450	257	83	2,077
1-4. 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술	국고	97	720	960	576	115	2,468
	민자	33	245	326	196	39	839
	소계	130	965	1,286	772	154	3,307
1-5. 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술	국고	97	480	384	288	96	1,345
	민자	33	163	131	98	33	457
	소계	130	643	515	386	129	1,802
2-1. 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술	국고	384	1,345	4,034	4,658	1,919	12,340
	민자	131	457	1,372	1,584	652	4,196
	소계	515	1,802	5,406	6,242	2,571	16,536
2-2. 연속굴착형 TBM 시공 중앙 관제 시스템 기술	국고	134	288	384	384	61	1,251
	민자	46	98	131	131	21	425
	소계	180	386	515	515	82	1,676
3-1. 연속굴착형 TBM 유지관리 기술	국고	97	144	192	192	68	693
	민자	33	49	65	65	23	236
	소계	130	193	257	257	91	929
3-2. 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술	국고	192	384	384	240	96	1,296
	민자	65	131	131	82	33	441
	소계	257	515	515	322	129	1,737
3-3. 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침	국고	97	240	240	192	95	864
	민자	33	82	82	65	32	294
	소계	130	322	322	257	127	1,158
합계	국고	2,875	6,434	7,682	7,202	2,700	26,893
	민자	978	2,188	2,612	2,449	918	9,144
	소계	3,853	8,622	10,294	9,651	3,618	36,037

② 소요인력

□ 핵심기술별 소요인력

○ TBM 연속굴착 기술개발사업 총 소요인력은 851명이며 연 평균 170명이 소요

- 책임급 인력은 153명, 선임급 219명, 원급 479명이 소요
- 중소·중견기업은 주로 연구원급, 일부 선·책임급으로 인력 참여 예상
- 출연연구기관 중심으로 선임급, 책임급 인력이 참여 예상

〈표 3-63〉 연도별 소요인력

핵심기술	구분	'22	'23	'24	'25	'26	계
1. 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술	책임급	10	25	14	7	0	56
	선임급	7	35	20	11	5	78
	연구원	9	79	46	27	7	168
	소계	26	139	80	45	12	302
2. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	책임급	2	10	29	33	12	86
	선임급	4	14	39	44	18	119
	연구원	9	32	88	99	38	266
	소계	15	56	156	176	68	471
3. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	책임급	1	3	4	3	0	11
	선임급	3	6	6	4	3	22
	연구원	5	13	14	10	3	45
	소계	9	22	24	17	6	78
합 계	책임급	13	38	47	43	12	153
	선임급	14	55	65	59	26	219
	연구원	23	124	148	136	48	479
	소계	50	217	260	238	86	851

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 굴진율 향상을 위한 혁신적 연속굴착 기술 개발 기획보고서	○ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 기획 보고서	○ 100%
○ 굴진율 향상을 위한 혁신적 연속굴착 기술 개발 전략계획서	○ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 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 혁신성을 포함한 핵심 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

○ 「TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 기획 보고서」 마련으로 해당 사업 추진에 대한 사업예산요구의 체계적 대응에 활용

○ TBM 연속굴착 기술개발사업 수행시 기준 자료로 활용

○ 체계적 사업성과관리를 위한 기준으로 활용

< 별첨 >

별첨 자료

1. 전략계획서

사업명: TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업
	세부사업	TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업
	내역사업	TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업

2 사업목적

사업목적	세계 최초 연속굴착형 TBM 기술 확보 및 상용화를 위한 7~8m급 TBM 대상 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	'22년 ~ '26년	총사업비	268.93억원(정부출연금)
사업규모	3개 과제	지원대상	기업, 출연(연), 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

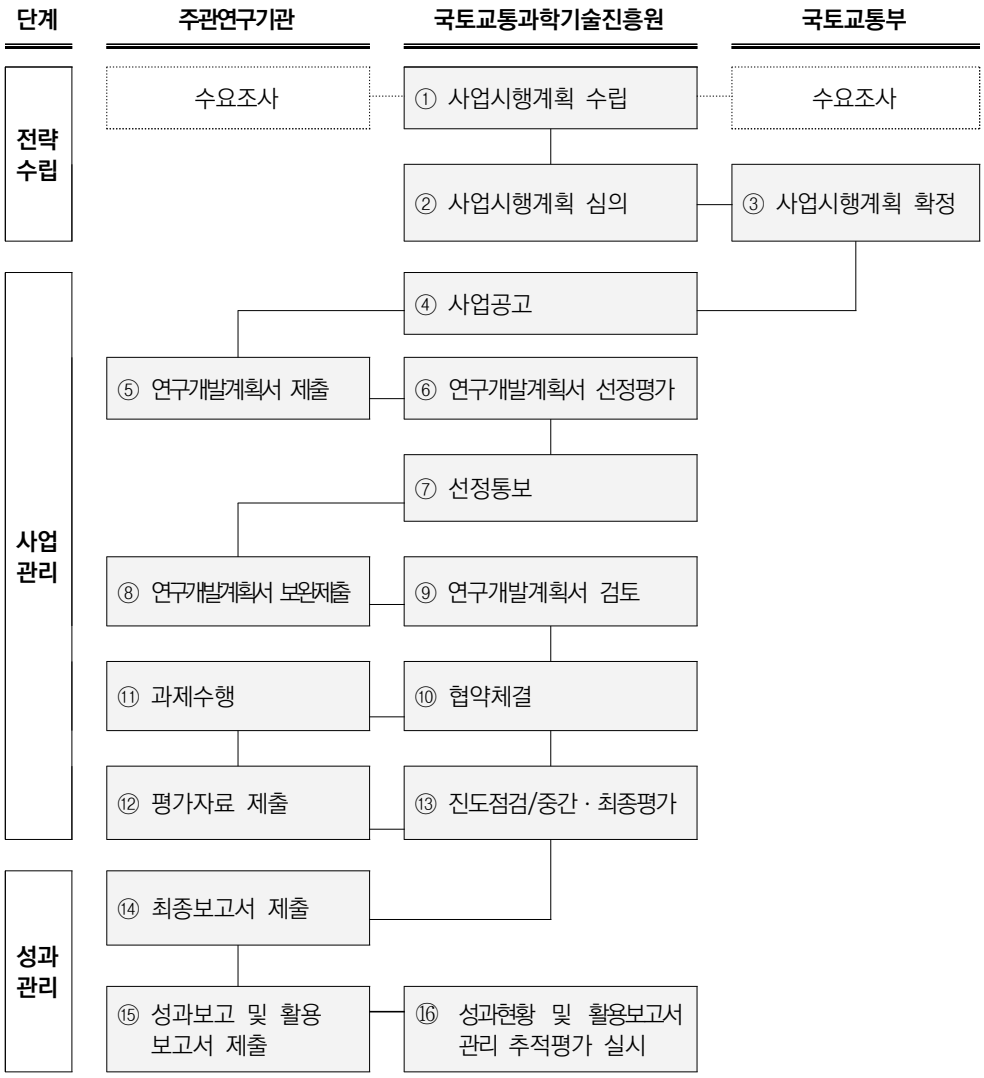
수행주체	역할 세부내용
부처	○ 국토교통부 소관 연구개발사업 총괄 관리
전문기관	○ 국토교통부 소관 연구개발사업의 기획, 관리, 평가 등을 진행
주관기관	○ 연구개발관리를 전담하는 기관으로 연구개발관리 계획을 수립하고 정기적(주간 또는 월간)으로 이행

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	- 사업 참여 기관들의 컨소시엄이 실증지역과 개조대상 TBM을 현물 투자 하도록 함으로써 실제 기술이전 의사를 가진 민간기업의 사업 참여를 확보

수혜자

○ 1차 수혜자 : TBM 관련 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 굴진관리 시스템 설계·제어 기술로 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 비즈니스 모델 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

〈2022년도 신규사업〉

(백만원)

구분		2022년도 예산	2023년도 예산	2024년도 예산	2025년도 예산	2026년도 예산
□ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술 개발사업	총 예산	2,875	6,434	7,682	7,202	2,700
■ 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술	총 예산	1,971	4,033	2,448	1,536	461
■ 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	총 예산	518	1,633	4,418	5,042	1,980
■ 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	총 예산	386	768	816	624	259

* 정부출연금 기준 예산

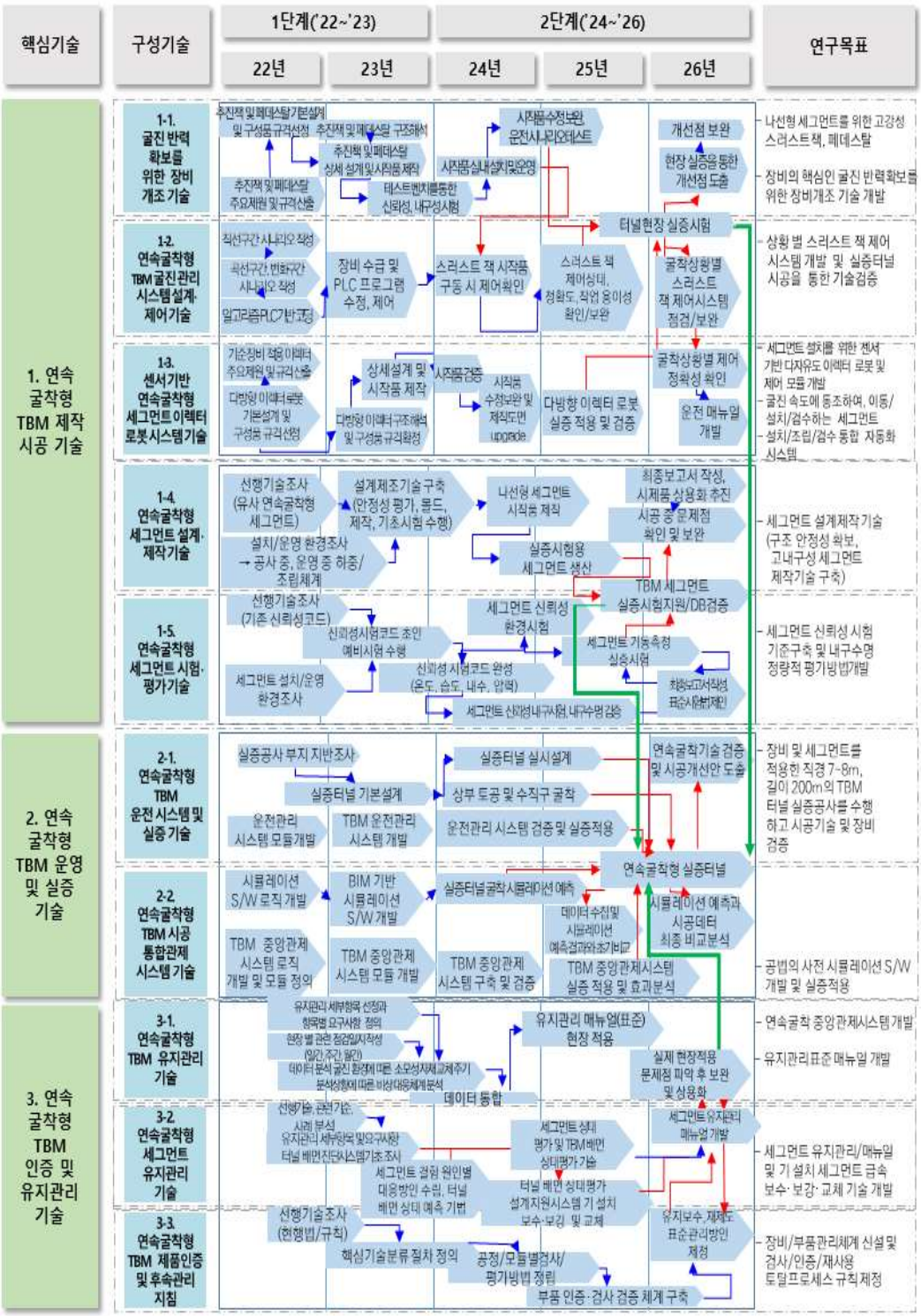
** 기획평가관리비 미포함

세부내용

○ 기술개발

내역사업	주요 내용
연속굴착형 TBM 제작·시공 기술	○ 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어를 위한 설비·세그먼트 설치기술 확보 - 굴진반력 확보를 위한 장비 개조 기술, 연속굴착형 TBM 굴진 관리 시스템 설계·제어 기술, 센서 기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇 시스템 기술 ○ 2250kN 이상의 세그먼트 추력방향 압축강도 확보, 165kN의 세그먼트 휨인장강도 확보, 1500℃의 내화시험시스템 내열성 확보, 60bar의 내수시험시스템 내수압성 확보 - 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술, 연속굴착형 세그먼트 시험·평가 기술
연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	○ 기존 TBM 터널 굴진율 대비 25~30% 향상된 굴진율 확보 및 연속굴착형 운영기술 확보 * 굴착 시뮬레이션 소프트웨어 개발, 연속굴착형 TBM 중앙관제시스템 개발 - 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술, 연속굴착형 TBM 시공 통합관제 시스템 기술
연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	○ 연착굴착형 TBM 인증을 위한 표준화와 유지관리를 위한 세그먼트 보수·보강 및 검증 기준 개발 * 연착굴착형 TBM 표준화 매뉴얼, 세그먼트 상태평가 및 급속 보수·보강・교체 기술, 연속굴착형 TBM 부품・모듈 평가 검증기준, 연속굴착형 TBM 후속관리 매뉴얼 등 - 연속굴착형 TBM 유지관리 기술, 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술, 연속굴착형 TBM 제품 인증 및 후속관리 지침

연차별 추진내용(로드맵)


핵심기술
구성기술
1단계('22~'23)
2단계('24~'26)
22년
23년
24년
25년
26년
연구목표
1. 연속 굴착형 TBM 제작 시공 기술
1-1. 굴진 반력 확보를 위한 장비 개조 기술
추진잭 및 폐데스탈 기본설계 및 구성품 규격선정
추진잭 및 폐데스탈 구조해석
추진잭 및 폐데스탈 상세 설계 및 시작품 제작
추진잭 및 폐데스탈 주요제원 및 규격산출
테스트벤치를 통한 신뢰성, 내구성시험
시작품 수정보완, 운전시나리오테스트
시작품 실내실험 및 운영
개선점 보완
현장 실증을 통한 개선점 도출
나선형 세그먼트를 위한 고강성 스러스트 잭, 폐데스탈
장비의 핵심인 굴진 반력확보를 위한 장비개조 기술 개발
1-2. 연속굴착형 TBM 굴진관리 시스템설계· 제어기술
직선구간 시나리오 작성
곡선구간, 변화구간 시나리오 작성
알고리즘 PLC 기반 구성
장비 수급 및 PLC 프로그램 수정, 제어
스러스트 잭 시작품 구동 시 제어확인
터널현장 실증시험
스러스트 잭 제어성능, 정확도, 작업 용이성 확인/보완
굴착상황별 스러스트 잭 제어시스템 점검/보완
상황 별 스러스트 잭 제어 시스템 개발 및 실증터널 시공을 통한 기술검증
1-3. 센서기반 연속굴착형 세그먼트 이렉터 로봇시스템기술
기존장비 적용 이렉터 주요제원 및 규격산출
다방향 이렉터 로봇 기본설계 및 구성품 규격선정
상세설계 및 시작품 제작
다방향 이렉터 구조해석 및 구성품 규격확정
시작품 검증
시작품 수정보완 및 제작도면 upgrade
다방향 이렉터 로봇 실증 적용 및 검증
굴착상황별 제어 정확성 확인
운전 매뉴얼 개발
세그먼트 설치를 위한 센서 기반 다자유도 이렉터 로봇 및 제어 모듈 개발
굴진 속도에 동조하여, 이동/설치/검수하는 세그먼트 설치/조립/검수 통합 자동화 시스템
1-4. 연속굴착형 세그먼트 설계· 제작기술
선행기술조사 (유사 연속굴착형 세그먼트)
설계제조기술 구축 (안정성 평가, 몰드, 제작, 기초시험 수행)
나선형 세그먼트 시작품 제작
최종보고서 작성, 시제품 상용화 추진
시공 중 문제점 확인 및 보완
설치/운영 환경조사 → 공사 중, 운영 중 하중/조립체계
실증시험용 세그먼트 생산
세그먼트 설계제작 기술 (구조 안정성 확보, 고내구성 세그먼트 제작기술 구축)
1-5. 연속굴착형 세그먼트 시험· 평가기술
선행기술조사 (기존 신뢰성코드)
신뢰성시험코드 초안 예비시험 수행
세그먼트 신뢰성 환경시험
TBM 세그먼트 실증시험지원/DB검증
세그먼트 거동측정 실증시험
세그먼트 설치/운영 환경조사
신뢰성 시험코드 완성 (온도, 습도, 내수, 압력)
최종보고서작성 표준시험법제안
세그먼트 신뢰성 내구시험, 내구수명 검증
세그먼트 신뢰성 시험 기준구축 및 내구수명 정량적 평가방법개발
2. 연속 굴착형 TBM 운영 및 실증 기술
2-1. 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술
실증공사 부지 지반조사
실증터널 기본설계
실증터널 실시설계
상부 토공 및 수직구 굴착
연속굴착기술 검증 및 시공개선안 도출
운전관리 시스템 모듈개발
TBM 운전관리 시스템 개발
운전관리 시스템 검증 및 실증적용
장비 및 세그먼트를 적용한 직경 7~8m, 길이 200m의 TBM 터널 실증공사를 수행하고 시공기술 및 장비 검증
2-2. 연속굴착형 TBM 시공 통합관제 시스템 기술
시뮬레이션 S/W 로직 개발
BIM 기반 시뮬레이션 S/W 개발
실증터널 굴착 시뮬레이션 예측
연속굴착형 실증터널
데이터 수집 및 시뮬레이션 예측결과와 초기비교
시뮬레이션 예측과 시공데이터 최종 비교분석
TBM 중앙관제 시스템 로직 개발 및 모듈 정의
TBM 중앙관제 시스템 모듈 개발
TBM 중앙관제 시스템 구축 및 검증
TBM 중앙관제시스템 실증 적용 및 효과분석
공법의 사전 시뮬레이션 S/W 개발 및 실증적용
3. 연속 굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술
3-1. 연속굴착형 TBM 유지관리 기술
유지관리 세부항목 선정과 항목별 요구사항 정의
현장 별 관련 점검일지작성 (일간, 주간, 월간)
데이터 분석 굴진 환경에 따른 소모성자재 교체주기 분석상황에 따른 비상대응체계 분석
데이터 통합
유지관리 매뉴얼(표준) 현장 적용
실제 현장적용 문제점 파악 후 보완 및 상용화
연속굴착 중앙관제시스템 개발
유지관리표준 매뉴얼 개발
3-2. 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술
선행기술 분석 및 시나리오 분석
유지관리 세부항목 및 요구사항
터널 배면 진단시스템 기초조사
세그먼트 상태 평가 및 TBM 배면 상태평가 기술
세그먼트 유지관리 매뉴얼 개발
세그먼트 결함 원인별 대응방안 수립, 터널 배면 상태 예측 기법
터널 배면 상태평가 설계지원시스템 기 설치 보수·보강 및 교체
세그먼트 유지관리/매뉴얼 및 기 설치 세그먼트 급속 보수·보강· 교체 기술 개발
3-3. 연속굴착형 TBM 제품인증 및 후속관리 지침
선행기술조사 (현행법/규칙)
핵심기술분류 절차 정의
공정/모듈별검사/ 평가방법 정립
부품 인증·검사 검증 체계 구축
유지보수, 재제조 표준관리방안 제정
장비/부품관리체계 신설 및 검사/인증/재사용 토털프로세스 규칙제정

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	혁신친화적 TBM 시공기술 개발을 통해 글로벌 건설시장 경쟁력 확보

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	'22 ~ '23년

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	TBM 시공 효율성 증대	가중치	0.7	설정 근거	- 연속굴착형 TBM 개조·운영 기술 및 세그먼트 제작 기술을 획득함으로써 기존의 TBM 시공방식보다 효율성을 증대	1. 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술 2. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술
성과목표-2	연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	가중치	0.3	설정 근거	- 연속굴착형 TBM 및 세그먼트의 검사·인증 기준 및 방법론과 운영 매뉴얼 개발을 통해 안전성 확보	3. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2022	실적 및 목표치 2023	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	TBM 시공 효율성 증대	0.7	성능목표 달성도	%	목표	-	40	질	✓	본 사업에서 제시한 총 18개의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정
					실적	-	-			
성과목표-2	연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	0.3	연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	건	목표	-	-	양	-	연속굴착형 TBM 운영·관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정
					실적	-	3			
계										

4 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
성능목표 달성도	• 본 사업에서 제시한 총 18개의 개발 성능목표 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
연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	• 연속굴착형 TBM 운영·관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정	• (측정산식) = 달성 건수 / 총 매뉴얼 목표 수 × 100 • (측정방법) 전체 매뉴얼 중에서 완성된 매뉴얼 건수 측정	• 연차별 실적 보고서

나. 2단계 성과 목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계	기간	'24 ~ '26년

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	TBM 시공 효율성 증대	가중치	0.7	설정 근거	- 연속굴착형 TBM 개조·운영 기술 및 세그먼트 제작 기술을 획득함으로써 기존의 TBM 시공방식보다 효율성을 증대	1. 연속굴착형 TBM 제작·시공 기술 2. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술
성과목표-2	연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	가중치	0.3	설정 근거	- 연속굴착형 TBM 및 세그먼트의 검사·인증 기준 및 방법론과 운영 매뉴얼 개발을 통해 안전성 확보	3. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치		성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						연도	2024	2025	2026			
성과목표-1	TBM 시공 효율성 증대	0.7	0.3	성능목표 달성도	%	목표	60	90	100	질	✓	본 사업에서 제시한 총 18개의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정
						실적	-	-	-			
			0.3	굴진율 향상	%	목표	-	15	30	질	✓	장비의 운영이 최초인 점을 감안하여 실증초기에는 굴진율 향상을 15%로, 최종실증은 30%로 목표치 설정
						실적	-	-	-			
			0.1	특허등록	건	목표	-	-	-	양	-	본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 2개의 특허를 등록하는 것으로 목표치를 설정
						실적	2	-	-			
성과목표-2	연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	0.3	0.1	TBM 검사·인증 기준 및 방법론 개발	건	목표	-	-	-	양	-	본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 3개의 연속굴착형 TBM 검사·인증기준 및 방법론 건수를 목표치(누적)로 설정
						실적	-	2	3			
			0.2	연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	건	목표	-	-	-	양	-	연속굴착형 TBM 운영·관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정
						실적	4	-	7			
계												

3 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
성능목표 달성도	• 본 사업에서 제시한 총 18개의 개발 성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정	• (측정산식) = 성능목표치 달성 건수 / 총 성능목표 수 × 100 • (측정방법) 총 성능목표 중에서 목표치에 맞게 달성한 건수 측정	• 국토교통 R&D 사업관리 시스템 • 연차별 실적 보고서
굴진율 향상	• 장비의 운영이 최초인 점을 감안하여 실증초기에는 굴진율 향상을 15%로, 최종실증은 30%로 목표치 설정	• (측정산식) 0.3 ≦ {χ(연속굴착형 TBM의 1일당 굴진 거리) − 6.4m} / 6.4m* * 일반 TBM의 1일당 굴진 거리 • (측정방법) 실증용 연속굴착형 TBM 개발 후 테스트베드 터널굴착을 통해 굴진율이 30% 이상 증대되는 경우 목표달성으로 판정	• 연차별 실적 보고서
특허등록	• 본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 2개의 특허를 등록하는 것으로 목표치를 설정	• (측정산식) = Σ(특허출원 건수) • (측정방법) 본 사업을 통해 등록된 TBM 특허 건수(누적)를 측정	• 특허정보진흥센터
TBM 검사·인증 기준 및 방법론 개발	• 본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 3개의 연속굴착형 TBM 검사·인증기준 및 방법론 건수를 목표치(누적)로 설정	• (측정산식) = Σ(검사·인증기준 및 방법론 건수) • (측정방법) 본 사업을 통해 개발된 TBM 검사·인증기준 및 방법론 건수(누적)를 측정	• 연차별 실적 보고서
연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	• 연속굴착형 TBM 운영·관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정	• (측정산식) = 달성 건수 / 총 매뉴얼 목표 수 × 100 • (측정방법) 전체 매뉴얼 중에서 완성된 매뉴얼 건수 측정	• 연차별 실적 보고서

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="3">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="3">혁신친화적 TBM 시공기술 개발을 통해 글로벌 건설시장 경쟁력 확보</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="3">연속굴착형 TBM 개조 기술 및 세그먼트 제작 기술 확보</td></tr>
<tr><td rowspan="11">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="3">1단계('22년도~'23년도)</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 시공 효율성 증대</td><td>0.7</td><td>성능목표 달성도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보</td><td>0.3</td><td>연속굴착형 TBM
운영 매뉴얼 마련</td><td>양</td></tr>
<tr><td colspan="3">2단계('24년도~'26년도)</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 rowspan="3">▪ TBM 시공 효율성 증대</td><td rowspan="3">0.7</td><td>성능목표 달성도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>굴진율 향상</td><td>질</td></tr>
<tr><td>특허등록</td><td>양</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보</td><td rowspan="2">0.3</td><td>TBM 검사·인증 기준 및 방법론 개발</td><td>양</td></tr>
<tr><td>연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련</td><td>양</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2023	2022년도~2023년도 (총2년)/1단계	• TBM 시공 효율성 증대 • 연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	연속굴착형 TBM 시제품 제작이 완료되는 시점
2026	2024년도~2026년도 (총3년)/2단계	• TBM 시공 효율성 증대 • 연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	테스트베드에서 연속굴착형 TBM에 대한 시험평가가 완료되는 시점

4. 성과 활용・확산 계획서 제출 계획

사업 종료 연도	성과 활용·확산 계획서 제출 연도
2026	2027

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 참고하며 ○ 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 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 : (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 O 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">중대단면(7~8m) TBM (○)
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="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 ( )</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 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 O 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	공법신기술 ( )	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="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 (○)</td><td colspan="2">S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : TBM MACHINE</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (TRL2~TRL3)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 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>H/W (○)</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 (5~6)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

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">TBM 세그먼트 조립공정 무인화를 위한 AI 비전기반 이렉터 협동로봇 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 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</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 colspan="5">※ 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 ( )</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 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>공법신기술 ( )</td><td>H/W (O)</td><td colspan="2">S/W (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 세그먼트 자동조립 협동로봇 및 AI 비전 검사 소프트웨어(S/W)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (5)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 (O)</td><td colspan="2">9단계 ( )</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 : (60)%</td></tr>
</table>

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 (0)
* 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 (0)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (0)</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 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 : 기존 TBM Erector H/W Upgrade 및 로보틱스 솔루션 적용</td></tr>
<tr><td rowspan="2">현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (2)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

<table>
<tr><td>연구개발 목표</td><td>○ TBM Erector 기능 개선 및 자동운전 S/W 개발</td></tr>
<tr><td>연구개발
내용</td><td>○ 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.</td></tr>
<tr><td>연구 키워드</td><td>※ Erector 자동화, 고정형 라이다, SI(System Integration), 실험 설비, 현장 검증</td></tr>
<tr><td>기술(제품)
실증 방안</td><td>○ 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</td></tr>
</table>

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 참고하며 ○ 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 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 : ( )		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

제안기술명	BIM 기반의 디지털 모델을 활용한 TBM 진방 지질 예측 시스템 개발			
제안기술의 개 요	○ 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.			
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 (○)	
	세부 유형 : TBM 진방 지질 예측 소프트웨어			
현재 TRL 단계	현재 (TRL 1)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 : (독일)		최고 선진국(100%) 대비 : (10)%	

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	○ 디지털 모델을 활용한 TBM 진방 지질 예측 시스템 개발
연구개발 내용	○ 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
연구 키워드	BIM, TBM, 연속굴착, 지질 예측
기술(제품) 실증 방안	○ 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

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

제안기술명	TBM 전방 지반 예측 기술			
제안기술의 개 요	○ TBM 굴착시 막장면의 지반조사 결과와 실제현장의 가동 TBM 막장면의 지반 물성치 차이로 인한 급작스런 전방 막장과 인근건물 붕괴 사고예방 기술임.			
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 (0)	
	※ '첨부1'의 기존 TBM 관련 국가 R&D 사업을 참고하여 ○ 표시			
최종 결과물 유형	공법신기술 (0)	H/W (0)	S/W (0)	
	세부 유형 : 전방 사전예측 기술로 TBM 전면 붕괴 사고 예방			
현재 TRL 단계	현재 (4)단계			
	※ '첨부2'를 참고하여 해당 제안기술의 현재 TRL(기술성숙도, 1~9단계)을 기입			
기술개발 목표 TRL 단계	8단계 ( )		9단계 (0)	
	※ 제안기술이 실증 과제인 경우 TRL '9단계'에 ○ 표시(그 외 제안기술은 8단계에 표시)			
현재 보유한 기술수준	최고 선진국명 : (일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (75)%	

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 (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>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 ( )</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 (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 : (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 참고하며 O 표시			
최종 결과물 유형	공통·신기술 (0)	H/W (0)	S/W ( )	
	세부 유형 : 마모내구시험장비 및 시험방법			
현재 TRL 단계	현재 (6)단계			
	※ '첨부2'를 참고하며 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	공법·신기술 ( )	H/W ( )	S/W ( )	
	세부 유형 : 쉴드 TBM의 시공(세그먼트 라이닝)적용에 따른 패밀리(모듈) 및 적용 가이드라인 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

제안기술명	연속굴착을 위한 쉴드 굴진과 세그먼트 조립 동시 시공 장치 기술 개발			
제안기술의 개 요	○ 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.			
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 (○)	
	세부 유형 : 동시 굴진 공법 / 동시 시공 장치 시제품 / 동시 시공 제어 프로그램			
현재 TRL 단계	현재 (TRL1)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 : (일본)		최고 선진국(100%) 대비 : (10)%	

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 제안기술명

<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 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>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>S/W ( )</td></tr>
<tr><td colspan="3">세부 유형 : 세그먼트 재료 설계 및 시공법, 세그먼트 시제품</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="3">현재 (4)단계
※ '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

제안기술명	연속굴착형 세그먼트의 구조보강 대응기술			
제안기술의 개 요	○ 연속굴착형 세그먼트의 구조적 성능을 증가시키기 위한 기술 - TBM 재추력의 불균등하중에 대응토록 세그먼트의 구조적 성능을 향상하는 기술 - 응력에 대한 보강이 필요한 부위에 철근을 보강하는 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	○ 연속굴착형 세그먼트의 구조적 성능을 증가시킴
연구개발 내용	○ 다양한 하중조건에 대응하는 구조적 보강방법 개발 ○ 다양한 시공조건에 대응하는 구조적 보강방법 개발 ○ 다양한 지반조건에 대응하는 구조적 보강방법 개발
연구 키워드	연속굴착, 세그먼트, 구조보강, 불균등하중, 응력, 하중조건, 시공조건, 지반조건
기술(제품) 실증 방안	○ 실대형 실험 수행 ※ 제안기술이 실증 과제인 경우 또는 연구개발 제품의 실증이 필요할 경우 해당 내용을 기술

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>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</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 : (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>O Shield TBM용 연신콘베어</td></tr>
<tr><td>연구개발
내용</td><td>O Shield TBM 현장용으로 고도화를 위해 다양한 지층의 굴착토를 이송하는 Conveyor
O 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

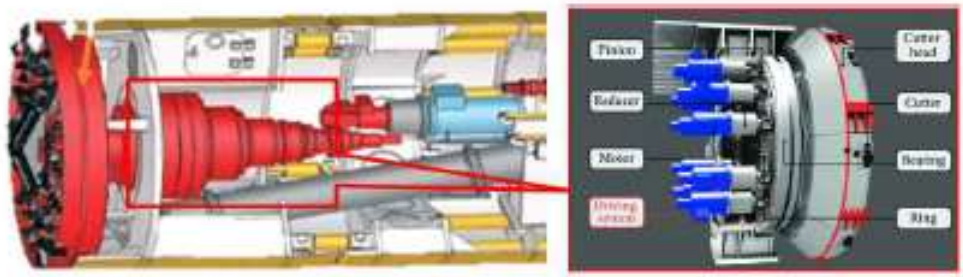
제안기술명	디스크커터 최적 설계기술 개발			
제안기술의 개 요	▪ 국내외 면판설계 기술 현황 정립 ▪ 디스크 커터 간격 최적화 해석 모델 구축 ▪ 디스크 커터 간격 최적화 ▪ 해석 결과의 검증			
중점분야	1. TBM(EPB-Type)의 연속굴착* 기술 개발 ( )		2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발 (○)	
	* '작성 요령'의 '기술 예시'를 참조		* 작업 안전 향상 기술을 포함	
	※ 해당하는 분야에 ○ 표시 두 가지 중점분야에 모두 해당되는 경우 중점분야별로 각각 기술수요조사서 작성 및 제출 필요			
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

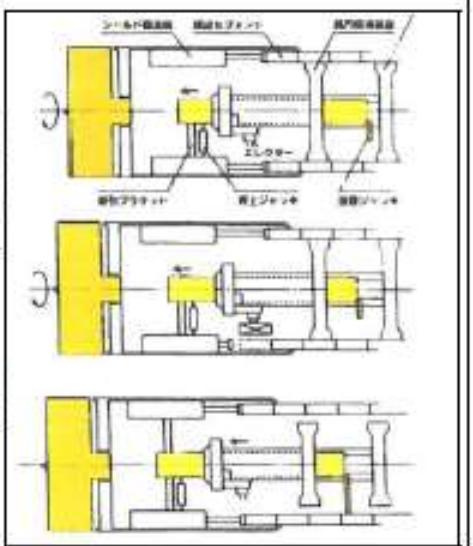
1. 기술수요 제안기술명

<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

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">워터젯을 활용한 고효율 TBM 굴진 기술</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 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.</td></tr>
<tr><td>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></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>적용 대상
TBM 규모</td><td colspan="2">소단면(3~4m) TBM (0)</td><td colspan="2">중단면(5~6m) TBM (0)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">중대단면(7~8m) TBM (0)</td><td colspan="2">대단면(9~10m) 이상 TBM (0)</td></tr>
<tr><td></td><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 (0)</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>최종 결과물
유형</td><td>공법신기술 (0)</td><td colspan="2">H/W ( )</td><td>S/W ( )</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">세부 유형 :</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 (0)</td><td colspan="2">9단계 ( )</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>현재 보유한
기술수준</td><td colspan="2">최고 선진국명 : (독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (20)%</td></tr>
</table>

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 기법 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 ○ 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 : (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

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">고강성 실드잭 개발 및 다각도 슈페드 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 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</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 ( )
* 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 (O)</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 ( )</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 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 (O)</td><td>H/W (O)</td><td colspan="2">S/W (O)</td></tr>
<tr><td colspan="4">세부 유형 : 고강성 실드잭 / 다각도 슈페드</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 rowspan="2">기술개발 목표
TRL 단계</td><td colspan="2">8단계 (O)</td><td colspan="2">9단계 ( )</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 : (일본)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (10)%</td></tr>
</table>

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>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (　TRL2　)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 (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

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">머신러닝을 이용한 TBM 터널굴진중 침하량 예측</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ 머신러닝 학습을 통한 침하량 예측 알고리즘 개발
- 역전파 인공신경망(RNN)을 이용하여 TBM 기계Data와 침하량의 상관성을 분석하여 침하량을 예측하는 알고리즘 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="3">중단면(5~6m) TBM (○)</td></tr>
<tr><td>중대단면(7~8m) TBM (○)</td><td colspan="3">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 ( )</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 (6)단계 : 지반 침하 등의 안전문제 해소를 위한 핵심기술 개발
※ '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 : (중국, 유럽)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (50)%</td></tr>
</table>

2. 연구개발 목표 및 내용

<table>
<tr><td>연구개발 목표</td><td>○ 머신러닝을 이용한 TBM 터널 침하량 예측 알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td>연구개발
내용</td><td>○ 머신러닝 학습을 통한 침하량 예측 알고리즘 개발
- 역전파 인공신경망(RNN)을 이용하여 TBM 기계Data와 침하량의 상관성을 분석하여 침하량을 예측하는 알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td>연구 키워드</td><td>※ 인공지능, 머신러닝, Tunnel Boring Machine, 침하량, 기계 data</td></tr>
<tr><td>기술(제품)
실증 방안</td><td>○ 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</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제 안기술명

제안기술명	연속굴착형 TBM 터널의 굴착시뮬레이션 S/W 및 통합관제센터
제안기술의 개 요	○ 연속굴착형 TBM 터널의 굴착 시뮬레이션 S/W - 진방에서의 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
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 : 연속굴착형 TBM 터널 굴착 시뮬레이션, 통합관제센터
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 : (120)%

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 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 ( )</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	○ 국가지하정보시스템(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

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">AI/머신러닝 기반 TBM 굴진율 예측모델의 개발</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○ TBM 굴진율 예측모델의 예측 정확도 향상을 위한 AI/머신러닝 기법 개발
- AI/머신러닝 기법 개발을 위한 굴진율 관련 DB 구축 포함</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">중대단면(7~8m) TBM (○)
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 참고하여 ○ 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 :</td></tr>
<tr><td>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (7)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 : (미국)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (90)%</td></tr>
</table>

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 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>공법·신기술 ( )</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 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(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

제안기술명	친환경 신소재를 이용한 굴착토 후처리 및 건설재료화 핵심 기술 개발			
제안기술의 개 요	○ 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			
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 : 굴착토 처리 신소재, 신소재 적용 공법, 재활용 건설재료			
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)		최고 선진국(100%) 대비 : (40)%	

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></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: 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	공통·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	공법·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 ( )	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 : 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="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 : 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

<table>
<tr><td>연구개발 목표</td><td>○ 쉴드TBM 굴진 중에 EPB 및 SPB(Slurry)로의 상호변환이 가능한 Hybrid TBM(Cross over type) 기술개발</td></tr>
<tr><td>연구개발
내용</td><td>○ 쉴드TBM 터널 시공 중에 지반 및 지하수의 갑작스런 변화에 대응하기 위한 Hybrid TBM 기술개발
○ EPB 쉴드 및 Slurry 쉴드 TBM으로의 상호변환이 가능한 기술장치 개발</td></tr>
<tr><td>연구 키워드</td><td>○ Hybrid TBM, EPB TBM, SPB TBM, Cross over type</td></tr>
<tr><td>기술(제품)
실증 방안</td><td>○ 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</td></tr>
</table>

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>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 (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 (O) * '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 (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>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>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 (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 (O)</td><td colspan="2">2. TBM(EPB-Type) 운영 효율화* 기술 개발
* 작업 안전 향상 기술을 포함 (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>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 ( )</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>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 (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>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 : 장치, 소프트웨어 등</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 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

<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>공법·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>현재
TRL 단계</td><td colspan="4">현재 (4)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 : (독일)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (20)%</td></tr>
</table>

기술수요조사서

1. 기술수요 제안기술명

<table>
<tr><td>제안기술명</td><td colspan="4">TBM 터널 현장 투입관계 미세먼지 억제 시스템(FOG Sys.)</td></tr>
<tr><td>제안기술의
개 요</td><td colspan="4">○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.</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="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 :</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">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 : (호주)</td><td colspan="2">최고 선진국(100%) 대비 : (2)%</td></tr>
</table>

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

3. 민간기업 참여의향

붙임 1 | **TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식**

기관명	강등건설(주)		**사업자등록번호**	215-81-51527
대표자	김중희, 이준근		**업종/업태**	건설업
주소	서울특별시 송파구 삼전로1길 2(잠실동)			
기업형태 (✓표시)	○ **(분류1)** 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ **(분류2)** 시공사( ), 전문건설사(✓), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	**매출액**	87,290백만 원	**인력규모**	73명
R&D역량	**R&D투자규모**	553백만 원	**R&D인력**	10명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	**중점분야 명**	**※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)**
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	✓
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	**개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공**	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5월 24일

성명	조 광 은		
직위/직책	리더(이사)/팀장		
연락처	(TEL) 02-2050-4232	(H.P)010-4717-1907	choku123@gyeongdo.co.kr

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	(주)건화		사업자등록번호	138-81-01152
대표자	정조화		업종/업태	서비스업/토목엔지니어링 등
주소	경기도 안양시 동안구 홍안대로 427번길 38			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업(○), 중소기업( ), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사(○), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	300,000백만 원	인력규모	1200명
R&D역량	R&D투자규모	3,000백만 원	R&D인력	15명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	√
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	√
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	√
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	√
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 24 일

성명	김영근		
직위/직책	부사장 / 연구소장		
연락처	(TEL) 02-6938-7854	(H.P)010-3322-6749	(E-Mail)babokyg@hanmail.net

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜동성엔지니어링		사업자등록번호	513-81-09001
대표자	이 상 규		업종/업태	기술용역, 서비스
주소	경북 경산시 성암로21길 41			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	64,000백만 원	인력규모	460명
R&D역량	R&D투자규모	3,361백만 원	R&D인력	11명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 계조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	✓
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 05 월 24 일

성명	박 관 철		
직위/직책	부 사 장 / 구조부 부서장		
연락처	(TEL) 02-2041-8591	(H.P) 010-3358-9905	pkc0322@hanmail.net

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜ 동 아 지 질	사업자등록번호	621-81-12675
대표자	최 재 우	업종/업태	건설업/보링 그라우트 공사
주소	부산 광역시 금정구 금생로 347		
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업(√), 중소기업( ), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사(√), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )		

기업규모	매출액	3,146억 4,774만 원	인력규모	328명
R&D역량	R&D투자규모	516,76만 원	R&D인력	6명

※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	√
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5월 22일

성명	이 종 백		(서명)
직위/직책	터널사업부 TBM 국내 담당 임원 / 이 사 (김포-파주 고속도로 2공구 SHIELD TBM 현장소장)		
연락처	(TEL) 070-7595-5938	(H.P) 010-3860-7231	(E-Mail) jblee@dage.co.kr

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜무스마		사업자등록번호	121-86-41068
대표자	신성일		업종/업태	정보서비스업/ 소프트웨어개발
주소	부산시 해운대구 센텀중앙로78, 센텀그린타워 1708			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(√), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신(√), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	677백만 원	인력규모	30명
R&D역량	R&D투자규모	300백만 원	R&D인력	20명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	√
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 21 일

성명	신성일		(서명)
직위/직책	대표이사 / 대표		
연락처	(TEL)070-8670-0812	(H.P)010-9937-2870	(E-Mail) shin@musma.net

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	삼보기술단		사업자등록번호	605-81-24465
대 표 자	신 병 관		업종/업태	서비스
주소	경상북도 경산시 대학로 63(정평동, 7층, 킴스메디빌빌딩)			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(√), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사(√), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	76,790백만 원	인력규모	475명
R&D 역량	R&D 투자규모	1,352백만 원 인건비(1,112) + 연구개발비(239)	R&D인력	12명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택 가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	√
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	√
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5월 24일

성명	문 철 화		
직위/직책	부사장/본부장		
연락처	(TEL)02-3433-3104	(H.P)010-2470-2237	hsleelove@nate.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜심플비트	사업자등록번호	129-86-26547
대표자	장석정	업종/업태	서비스/소프트웨어개발
주소	경기 성남시 중원구 성남대로 985, 스카이프라자 605,606호		
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(√), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신(√), 건설장비제작( ), 기타( )		

기업규모	매출액	740백만 원	인력규모	8명
R&D역량	R&D투자규모	250백만 원	R&D인력	5명

※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	√
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 05월 21일

성명	장석정		(서명)
직위/직책	대표		
연락처	(TEL)070-7736-5577	(H.P)010-4781-5678	(E-Mail)sj.chang@simplebit.co.kr

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜아이엠하이드		사업자등록번호	769-87-00584
대표자	고 인 태		업종/업태	유공압기기/제조
주소	경남 김해시 한림면 안하로264			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	837백만 원	인력규모	3명
R&D역량	R&D투자규모	0백만 원	R&D인력	1명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				
TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명			※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술			✓
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술			
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술			
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술			
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공			
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시			

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 21 일

성명	권대현		
직위/직책	차장 / 설계		
연락처	(TEL) 055-343-3394	(H.P)010-4646-5041	(E-Mail)imhyd@naver.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	(주)에스코컨설턴트		사업자등록번호	214-86-09754
대표자	박치면		업종/업태	서비스/ 건물 및 토목 엔지니어링
주소	서울시 서초구 반포대로14길 71, 엘지서초에클라트 2117호			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	6,941백만 원	인력규모	43명
R&D역량	R&D투자규모	334백만 원	R&D인력	3명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	✓
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 일

성명	김 용 규		(서명)
직위/직책	상무 / 연구소장		
연락처	(TEL) 031-467-4114	(H.P)010-6242-4162	(E-Mail) nanguri2@nate.com

붙임 1 | TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	주식회사 위드엠텍		사업자등록번호	871-86-00425
대표자	박 동 철		업종/업태	제조업 / 연구개발서비스업 (기능성 건설소재)
주소	경기도 수원시 영통구 창룡대로 256번길 91, 에이스광교타워2차 1109호			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타(✓)소재생산			
기업규모	매출액	2,500 백만 원	인력규모	20 명
R&D역량	R&D투자규모	960 백만 원	R&D인력	14 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 제조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	✓
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 일

성명	박 동 철		
직위/직책	대표이사 /		
연락처	(TEL) 031-293-9970	(H.P)010-7304-3119	(E-Mail)oufe2000@naver.com

붙임 1 | TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	(주)위앤아이티		사업자등록번호	107-86-31531
대표자	유 영 학		업종/업태	IT/서비스도소매
주소	서울특별시 구로구 디지털로 306, 1507호(구로동, 대륭포스트타워2차)			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(V), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신(V), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	6,888 백만 원	인력규모	27 명
R&D역량	R&D투자규모	241 백만 원	R&D인력	7 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	V
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5월 21일

성명	유 영 학		(서명)
직위/직책	대 표 / CEO		
연락처	(TEL) 02-2082-0083	(H.P) 010-8954-2358	(E-Mail)johnshin@wenit.co.kr

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	이엠코리아(주)창원지점		사업자등록번호	609 - 85 - 24825
대표자	강 삼 수		업종/업태	공작기계,방산부품,건설기계 장비,전기,전자 기계 및 장비/제조,제조업
주소	경남 창원시 성산구 웅남로 767(남산동)			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(√), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	64,882 백만 원	인력규모	271 명
R&D역량	R&D투자규모	1,152 백만 원	R&D인력	26 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	√
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 21 일

성명	이 원 일		
직위/직책	과 장 / TBM기술팀장		
연락처	(TEL) 055-211-9859	(H.P)010-4604-1147	(E-Mail) wilee@yeoemk.com

붙임 1 | TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜이제이텍		사업자등록번호	229-81-18793
대표자	남순성		업종/업태	토목설계,지반조사,안전진단 용역,소프트웨어개발/서비스
주소	경기도 성남시 분당구 미금로 33번길 10, 석정빌딩			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타(✓)			
기업규모	매출액	24,986백만 원	인력규모	142명
R&D역량	R&D투자규모	156백만 원	R&D인력	9명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	✓
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 05월 21일

성명	김재관		김재관 (서명)
직위/직책	부사장		
연락처	(TEL) 031-711-4880	(H.P)010-9045-4708	(E-Mail) jkkim@ejtech.net

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜인터컨스텍		사업자등록번호	214-86-32463
대표자	민영택		업종/업태	콘크리트제품제조/제조업
주소	서울특별시 마포구 월드컵북로58길 9(상암동, ES타워)			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업(✓), 중소기업( ), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작(✓), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	63,628 백만 원	인력규모	134 명
R&D역량	R&D투자규모	510 백만 원	R&D인력	9 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	✓
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 05월 24일

성명	김동석		서명 김동석.
직위/직책	상무 / 기술연구소장		
연락처	(TEL) 02-6121-4952	(H.P) 010-2254-8609	(E-Mail) dskim.ict@esgroup.net

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜지스코	사업자등록번호	312-81-95471
대표자	강신주	업종/업태	제조 / 비내화모르타르
주소	충남 천안시 서북구 성거읍 망향로 914		
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )		

기업규모	매출액	7,032백만 원	인력규모	13 명
R&D역량	R&D투자규모	354백만 원	R&D인력	5 명

※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	✓
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5월 21 일

성명	강 신 주		
직위/직책	대표이사 / 대표		
연락처	(TEL) 041-552-1120	(H.P) 01086474998	hnkang14@hanmail.net

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜지오메카이엔지		사업자등록번호	215-86-63504
대표자	채 휘 영		업종/업태	서비스/토목엔지니어링
주소	경기도 용인시 수지구 신수로 767, A동 612호 (동천동, 분당수지유타워 지식산업센터)			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타(✓)			
기업규모	매출액	3,188백만 원	인력규모	18명
R&D역량	R&D투자규모	293백만 원	R&D인력	8명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	✓
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 24 일

성명	채 휘 영		H.Y Chae (서명)
직위/직책	대표이사 / 업무총괄		
연락처	(TEL) 031-898-2400	(H.P) 010-8980-6307	(E-Mail) ihgeo@naver.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	지오메엔지니어링(주)		사업자등록번호	105-81-88799
대표자	송 영 수		업종/업태	건설업/토공, 보링그라우팅
주소	경기도 안양시 동안구 엘에스로 76, 414호(호계동, 대우디오밸리)			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사(✓), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	26,039백만 원	인력규모	28명
R&D역량	R&D투자규모	252백만 원	R&D인력	5명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				
TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명			※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술			
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술			
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술			✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술			
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공			
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시			

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5월 21 일

성명	조 충 식		
직위/직책	전무 / 기술연구소장		
연락처	(TEL) 031-479-6610	(H.P) 010-3878-0497	(E-Mail) csjoh@never.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜케미우스코리아		사업자등록번호	113-81-54005
대표자	유 용 선		업종/업태	보링그라우팅/건설업
주소	전라남도 순천시 해룡면 이순로 1286			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(√), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타(√)			
기업규모	매출액	8,233 백만 원	인력규모	14 명
R&D역량	R&D투자규모	312 백만 원	R&D인력	4 명
× 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	√
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	√
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	× 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 24 일

성명	한 진 규		(서명)
직위/직책	이사 / 연구소장		
연락처	(TEL) 031-282-0399	(H.P)010-4656-7757	(E-Mail) hanl1210@empal.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	(주)케이씨산업		사업자등록번호	126-81-22396
대표자	이홍재, 이강주, 박광노		업종/업태	제조업
주소	경기도 여주시 가남읍 가남로 465			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(√), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작(√), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	73383백만 원	인력규모	93명
R&D역량	R&D투자규모	1078백만 원	R&D인력	9명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	√
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	√
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5월 24일

성명	김성환		
직위/직책	기술연구소 / 연구소장		
연락처	(TEL) 02-3490-9980	(H.P) 010-6208-6444	(E-Mail) shkim@kccond.co.kr

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	(주)케이엔알시스템	사업자등록번호	124-81-75112
대표자	김 명 한	업종/업태	제조, 서비스
주소	경기 용인시 처인구 천덕산로 482번길 1		
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(√), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신(√), 건설장비제작( ), 기타( )		

기업규모	매출액	28,641백만 원	인력규모	109 명
R&D역량	R&D투자규모	1,811백만 원	R&D인력	26 명

※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	√
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 24 일

성명	신 철 순		신철순
직위/직책	총괄이사		
연락처	(TEL) 031-330-2567	(H.P) 010-3230-0332	(E-Mail) csshin@knrsys.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	(주)코아텍		사업자등록번호	105-81-62300
대표자	김성모		업종/업태	건설공사관련신기술개발및기술제공/서비스
주소	경기도 의왕시 철도박물관로 176 한국철도기술연구원 신기술실용화센터 기술사업화연구실 314			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(○), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신(○), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	1,768백만 원	인력규모	16명
R&D역량	R&D투자규모	450백만 원	R&D인력	8명
× 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	√
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	× 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5월 21일

성명	김성모		(서명)
직위/직책	대표이사		
연락처	(TEL) 070-7711-7500	(H.P) 010-3217-9466	(E-Mail)kimmo@coretec.co.kr

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	주식회사 코텐		사업자등록번호	697-87-00367
대표자	김은경		업종/업태	전문, 과학 및 기술서비스업
주소	서울특별시 금천구 디지털로9길 46, 5층 501호 (가산동, 이앤씨드림타워7차)			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(√), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타(√)			
기업규모	매출액	1431백만 원	인력규모	5 명
R&D역량	R&D투자규모	218백만 원	R&D인력	4 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	√
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	√
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년05월21일

성명	김재영		(서명)
직위/직책	사장 / 연구개발전담부서장		
연락처	(TEL) 070-8840-7474	(H.P) 010-7353-7474	(E-Mail) jaeyoung.kim@kotem.net

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜태성에스엔아이		사업자등록번호	220-88-31046
대표자	김성훈		업종/업태	토목엔지니어링서비스/ 전문, 과학 및 기술서비스업
주소	서울특별시 강남구 역삼로 8길 15, 홍우빌딩 7층			
기업형태 (√표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(√), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사(√), 구조물제작( ), IT/SW/통신(√), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	7,001백만 원	인력규모	49명
R&D역량	R&D투자규모	1,665백만 원	R&D인력	33명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 √표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	√
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위의 같이 제출합니다.

2021년 5 월 21일

성명	김 성 훈		(서명) 김 성 훈
직위/직책	대표이사		
연락처	(TEL) 02-554-1020	(H.P) 010-8506-0210	(E-Mail) shkim@tssni.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	주식회사 포스리젠		사업자등록번호	605-86-36044
대표자	오범진		업종/업태	시멘트 제조업
주소	전남 광양시 금호로 187-12, 광양창조경제혁신센터			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타(✓)			
기업규모	매출액	480백만 원	인력규모	2 명
R&D역량	R&D투자규모	백만 원	R&D인력	2 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 계조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	✓
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 05월 24일

성명	오 범 진	
직위/직책	대표이사	
연락처	(H.P) 010-5309-6782	(E-Mail) balkema@posregen.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜필립이엔씨		사업자등록번호	220-88-95263
대표자	임해란		업종/업태	서비스/ 소프트웨어개발및공급
주소	서울시 강남구 봉은사로 129, 308호(논현동, 거평타운)			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신(✓), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	7,000백만 원	인력규모	21명
R&D역량	R&D투자규모	400백만 원	R&D인력	6명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	1. 연속굴착형 TBM 장비 제조 및 제어 기술	✓
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	✓
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 일

성명	이재문		(서명)
직위/직책	회장 /		
연락처	(TEL) 02-542-1190	(H.P)010-5244-1190	(E-Mail) antidoteyi@pillipenc.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜하경엔지니어링		사업자등록번호	214-86-19586	
대표자	이 승 수		업종/업태	서비스업 / 토목설계	
주소	서울시 강남구 언주로 538 2층 (역삼동, 대룡빌딩)				
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사(✓), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )				
기업규모	매출액	3,159백만 원		인력규모	24 명
R&D역량	R&D투자규모	200백만 원		R&D인력	3 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성					

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	✓
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 24 일

성명	신 영 완		
직위/직책	터널지반부 사장		
연락처	(TEL) 02-3287-9831	(H.P) 010-6251-2210	(E-Mail) geoeng@daum.net

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	한신산업개발(주)		사업자등록번호	610-81-39941
대표자	최 봉 근		업종/업태	건설업
주소	울산광역시 울주군 범서읍 천상중앙길 51, 3층			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(V), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	36,724 백만 원	인력규모	44 명
R&D역량	R&D투자규모	100 백만 원	R&D인력	2 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 계조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	V
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 05월 21일

성명	김 성 재		
직위/직책	차장 / 관리		
연락처	(TEL) 052-257-4724	(H.P)010-2940-0427	(E-Mail) topo12@naver.com

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	현대건설 (주)		사업자등록번호	101-81-16293
대표자	윤영준		업종/업태	일반토목공사 등 / 건설업 등
주소	서울특별시 종로구 율곡로 75(계동)			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업(✓), 중견기업( ), 중소기업( ), 기타( ) ○ (분류2) 시공사(✓), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	9,320,113 백만원	인력규모	4,130 명
R&D역량	R&D투자규모	149,099 백만원	R&D인력	136 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 계조 및 제어 기술	✓
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	✓
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5 월 24 일

성명	김 대 영		
직위/직책	책임연구원 / 팀 장		
연락처	(TEL) 02-746-0074	(H.P) 010-4517-1907	(E-Mail) dykim@hdec.co.kr

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	(주)호반산업		사업자등록번호	410-86-44723
대표자	김 진 원		업종/업태	토목건축공사/건설
주소	경기도 화성시 동탄오산로 86-11,402호(오산동)			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업(✓), 중견기업( ), 중소기업( ), 기타( ) ○ (분류2) 시공사(✓), 전문건설사( ), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	836,800 백만 원	인력규모	약 400 명
R&D역량	R&D투자규모	- 백만 원	R&D인력	2 명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 05 월 24 일

성명	박 진 수		
직위/직책	부장 / TBM-part 수석		
연락처	(TEL) 02-6177-4817	(H.P)010-8796-2212	(E-Mail)pandango@naver.com

붙임 1 | TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	강릉건설(주)		사업자등록번호	215-81-51527
대표자	김중희, 이준근		업종/업태	건설업
주소	서울특별시 송파구 삼전로1길 2(잠실동)			
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(✓), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사(✓), 설계사( ), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )			
기업규모	매출액	87,290백만 원	인력규모	73명
R&D역량	R&D투자규모	553백만 원	R&D인력	10명
※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성				

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	✓
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 5월 24일

성명	조 광 은		
직위/직책	리더(이사)/팀장		
연락처	(TEL) 02-2050-4232	(H.P)010-4717-1907	choku123@gyeongdo.co.kr

붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식

기관명	㈜서하기술단	사업자등록번호	232-87-01418
대표자	고성일	업종/업태	연구개발업 / 엔지니어링 서비스업
주소	경기도 성남시 수정구 위례광장로 9-9 (위례우남역퍼스트루르지오시티, 310호)		
기업형태 (✓표시)	○ (분류1) 대기업( ), 중견기업( ), 중소기업(○), 기타( ) ○ (분류2) 시공사( ), 전문건설사( ), 설계사(○), 구조물제작( ), IT/SW/통신( ), 건설장비제작( ), 기타( )		

기업규모	매출액	1,900 백만 원	인력규모	10 명
R&D역량	R&D투자규모	30 백만 원	R&D인력	6 명

※ 매출액과 R&D 투자규모는 전년도 기준, 인력규모와 R&D 인력은 당해 연도 기준으로 구분하여 작성

TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사	중점분야 명	※ 참여가능 분야에 ✓표시 (다중선택가능)
	1. 연속굴착형 TBM 장비 개조 및 제어 기술	
	2. 연속굴착형 세그먼트 제작 및 평가 기술	✓
	3. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	✓
	4. 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술	✓
테스트베드 제공	개발기술의 실증을 위한 테스트베드 제공	
	※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 ✓ 표시	

수신 : 국토교통과학기술진흥원 귀하

TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다.

2021년 월 일

성명	고성일		
직위/직책	대표이사		
연락처	(TEL) 031-754-9060	(H.P) 010-4784-9060	(E-Mail) sungyil@empas.com

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 'TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 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.