

최종보고서(총괄용)										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									
연구개발 과제명	1	국문	TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 기획									
		영문	Consecutive Excavation Technological Development Project of Tunnel Boring Machine									
	2	국문	인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획									
		영문	Intelligent Integrated Management Technological Development Project of Tunnel Boring Machine									
주관연구기관		기관명	(주)과학기술전략연구소				사업자등록번호	399-81-00379				
		주소	(우)30152 세종특별자치시 대평로 75 해비치빌딩 801호, 802호				법인등록번호	160111-0421357				
주관연구책임자		성명	원동규				직위	부대표이사				
		연락처	직장전화	044-868-8612				휴대전화	010-9263-7229			
			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	
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물		합계
총계		300,000	-	-	-	-	-	-	300,000	-	300,000	-
1단계		300,000	-	-	-	-	-	-	300,000	-	300,000	-
협동 연구기관		기관명	책임자		직위	휴대전화		전자우편		비고		
										역할	기관유형	
협동 연구기관		한국생산 기술연구원	조정우		수석	010-3264-1665		chojw1665@kitech.re.kr		협동 연구	정부출연연	
연구개발담당자 실무담당자		성명	최권락				직위		전무			
		연락처	직장전화	044-868-8612				휴대전화		010-5437-6248		
			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



주관연구기관의 장 :

(주)과학기술전략연구소

유 경 만

(직인)



국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국토교통연구기획사업		총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명		-		연구개발과제번호		19RDPP-C155074-01	
국가과학기술 표준분류		EI0204	80%	EI0205	20%	-	%
총괄연구개발명		터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기획					
연구개발 과제명	1세부	TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 기획					
	2세부	인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획					
전체 연구개발기간		2019. 12. 05 - 2021. 05. 04(1년 5개월)					
총 연구개발비		총 300,000천원 (정부지원연구개발비 : 300,000천원, 기관부담연구개발비 : - 지방자치단체 : - 그 외 지원금 : -)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도		착수시점 기준(-) 종료시점 목표(-)	
연구개발과제 유형		지정공모 [☒] 자유공모 []					
연구개발과제 특성		실용화					
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표	터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기획 과제에 대한 2개의 기술개발사업 기획보고서 및 전략계획서 마련으로 사업예산 요구의 체계적 대응 지원					
	전체 내용	○ 전략목표 및 성과목표 설정 - 기술개발사업을 통해 해결하고자 하는 전략적으로 지향하는 미래상을 제시함으로써 중점추진분야를 설정하고, 이에 대한 성과목표 등 사업의 목표를 제시 ○ 사업추진(운영)체계 도출 - 사업목표에 부합하는 사업내용, 추진방법, 기대효과 및 파급효과, 연구개발 기간 및 소요예산, 성과목표 도출 및 설계 등 ○ 중점추진분야 도출 - 목적·목표 달성을 위해 반드시 개발 및 확보가 필요한 기술들을 묶어 중점추진분야를 지정할 수 있도록 다양한 분석기법을 통해 도출 - 중점추진분야별 동향 조사·분석 : 국내외 시장·산업, 기술, 논문·특허, 인프라(장비, 연구시설 및 인력 등)에 대한 종합분석 - 기술역량 분석 : 중점추진분야별 대상기술에 대한 상대적 기술역량 분석 ○ 확보전략 - 내·외부 역량(인력 및 연구인프라 등), 외부환경에 의한 기회나 위협 등을 분석하여 투자우선순위, 영역 간 역할분담 등 핵심기술(추진분야) 확보전략을 도출 - 기존 사업(과제)과의 연계 방안 및 중복성 검토 ○ 소요 예산 : 기술적 난이도에 따른 연구기간, 투입인력 등을 분석하여 사업별 연구 개발비 소요예산을 산출					

연구개발성과	○ 사업별 기획연구보고서(2건) ○ 사업별 전략계획서(2건) ○ 차년도 사업예산요구 대응 관련 작성 자료											
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○ ‘TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술 연구’ 및 ‘인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술 연구’에 대한 정부투자자의 당위성과 사업계획의 타당성 검토자료로 활용 ○ ‘TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업’ 및 ‘인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업’의 사업예산요구를 위한 선제적 대응자료로 활용 ○ 사업관리, 성과관리, 성과 활용·확산 활성화 계획 수립을 위한 자료로 활용											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		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		통합관리		성능검증			
영문핵심어 (5개 이내)	Land, Infrastructure and Transport		Tunnel Boring Machine		Consecutive Excavation		Integrated Management		Performance Verification			

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	01
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	02
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	12
4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	45
5. 연구개발성과 관리 및 활용 계획	45

- ☐ 과제명: 터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 기획
- ☐ 과제 기간: 2019.12.5 ~ 2021.5.4 (17개월)
- ☐ 예산: 3억 원
- ☐ 연구기관: (주)과학기술전략연구소(주관) / 한국생산기술연구원(공동)
- ☐ 연구주체별 중점 목표

연구기관	기관명	중점 연구목표
주관연구기관	과학기술전략 연구소	○ 본 사업의 전체 기획보고서 작성을 수행 - 대내외 환경분석 및 R&D 역량분석을 통한 중점분야 도출 - 사업 비전 및 목표 설정, 정의·범위 정립 - 분야별 세부과제 구성 및 기획, 사업관리체계 마련 - 예산요구대응
공동연구기관	한국생산기술 연구원	○ TBM 관련 기술적 전문성 관점에서 기획내용 보완·검토 수행 - 핵심기술 도출, 기술분류, 세부기획 내용에 대한 검토·보완

- 주요 성과: • TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 예산 확보('22~'26년)
• 최종보고서 및 전략계획서·소명자료 등 8건

인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리
시스템 기술개발사업 기획 보고서 (1건)

	〈 목 차 〉	
	제1장 사업 개요	13
	제1호 사업 및 범위	15
	1. 본 사업의 관료 주요 사항	15
	2. 사업의 범위	21
	제2호 사업의 추진 배경 및 필요성	22
	1. 사업의 배경	22
	2. 사업추진상의 필요성	26
	3. 대표사업의 저출생	31
	제3호 추진 근거	34
	1. 법적 근거	34
	2. 사실관계 근거	37
	3. 행정계획 근거	37
	4. 부속계획 근거	38
	제4호 사업의 추진배경 및 필요	39
	1. 시책 추진배경	39
	2. 기획재정부 추경절차	43
	제2장 대외의 환경분석	45
	제1호 정책의 환경분석	47
	제2호 정책의 환경분석	48
	제3호 사업의 환경분석	57
	제4호 사업의 환경분석	62
	제5호 환경영향(EI/ET)	71

《 목 차 》	
제1장 사업 개요	6
제1절 사업의 필요성.....	8
1. 본 사업의 필요성.....	8
2. 본 사업의 범위.....	14
제2절 사업의 주요 내용 및 필요성.....	15
1. 사업의 배경.....	15
2. 사업의 필요성.....	19
3. 사업의 기대 효과.....	24
제3절 사업의 추진 근거.....	25
1. 법·규정.....	25
2. 지역현황.....	29
3. 국가정책.....	30
4. 투자계획.....	31
제4절 기획회의 추진체계 및 절차.....	35
1. 기획 추진체계.....	35
2. 기획회의 추진절차.....	43
제2장 내외부 환경분석	60
제1절 내부적 환경분석.....	67
제2절 경제적 환경분석.....	73
제3절 사회적 환경분석.....	77
제4절 기술적 환경분석.....	77
제5절 종합환경분석.....	79

예산요구 대응을 위한
추가 자료 (4건)

사업명: TBM 굴삭장성형 위한 원천기술 기술개발사업						사업명: 인접타설의 TBM 실감인 시공·인접 동행 관리 시스템 기술개발사업						
영역	영역 부서	소속연구자	이름	직책	CCO/연구책임자(주요) 한정현 / e-mail	영역	영역 부서	소속연구자	이름	직책	CCO/연구책임자(주요) 한정현 / e-mail	
	영역 책임자	이영준	OOO	영역 상무이사 영역장	OOO/영역 CCO/영역장 한정현 / e-mail		영역 책임자	이영준	OOO	영역 상무이사 영역장	OOO/영역 CCO/영역장 한정현 / e-mail	
1. 사업 개요						1. 사업 개요						
① 사업명						① 사업명						
시 사 영역	인접타설의 TBM 실감인 시공·인접 동행 관리 시스템 기술개발사업					시 사 영역	인접타설의 TBM 실감인 시공·인접 동행 관리 시스템 기술개발사업					
	인접타설의 TBM 실감인 시공·인접 동행 관리 시스템 기술개발사업						인접타설의 TBM 실감인 시공·인접 동행 관리 시스템 기술개발사업					
② 사업 목적						② 사업 목적						
사업목적	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보 및 인접동행 관리 시스템 기술개발사업					사업목적	TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보 및 인접동행 관리 시스템 기술개발사업					
③ 사업 추진 순경						③ 사업 추진 순경						
목적 구현	○ TBM 굴삭장성형 위한 원천기술 개발사업의 추진					목적 구현	○ TBM 굴삭장성형 위한 원천기술 개발사업의 추진					
	○ TBM 굴삭장성형 위한 원천기술 개발사업의 추진						○ TBM 굴삭장성형 위한 원천기술 개발사업의 추진					
주요 구현	○ 세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					주요 구현	○ 세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					
	○ 세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						○ 세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					
	○ 세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						○ 세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					
	○ 세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						○ 세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					
④ 사업 성과						④ 사업 성과						
사업성과	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					사업성과	TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
사업성과	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					사업성과	TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
⑤ 사업 예산						⑤ 사업 예산						
사업예산	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					사업예산	TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
사업예산	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					사업예산	TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
⑥ 사업 예산						⑥ 사업 예산						
사업예산	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					사업예산	TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
사업예산	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보					사업예산	TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					
	세계 최초 인접타설의 TBM 시공 확보						TBM 실감인 동행인 시공·인접 동행 관리 시스템 확보					

『미래7개 키워드 중심으로 사업 설명 자료』 2021. 04. 국토교통과학기술진흥원	『R&D 예산 요구 - 사업 요약, 자료』 2021. 04. 국토교통과학기술진흥원
『사업 설명 자료』 7개 항목 15페이지 분량 『공통·추가 질의 사항, 답변 자료』 2021. 04. 국토교통과학기술진흥원	『R&D 예산 요구 -사업 요약 자료』 11개 항목 6페이지 분량 『전문위 심의 행정, 답변 자료』 2021. 05. 국토교통과학기술진흥원

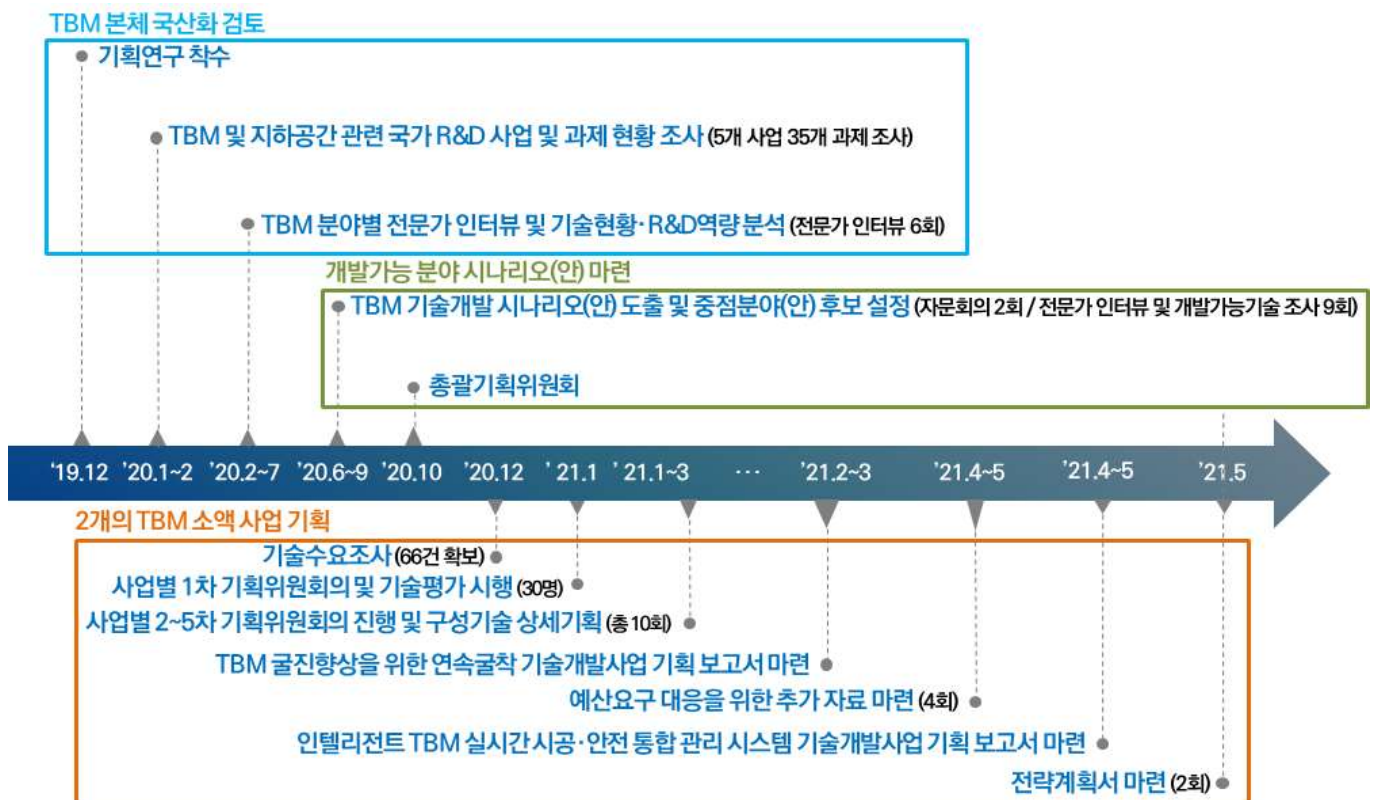
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 기획연구 추진경과

□ TBM 분야 국산 기술 R&D 기획 방향성 도출을 위해 전문가 인터뷰, 자문회의, 개발가능 기술 조사 등 총 17회의 의견수렴 절차를 착실히 수행

○ 의견수렴 절차 수행을 통해 TBM 본체 국산화의 필요성과 가능성을 분석하고, 그 결과에 기반한 시나리오 도출 및 2개의 TBM 시공기술 분야 소액사업을 기획

[그림] 본 기획연구의 추진경과



□ 본 기획연구는 4단계의 절차를 통해 기획의 방향을 수립하고 상세기획을 추진

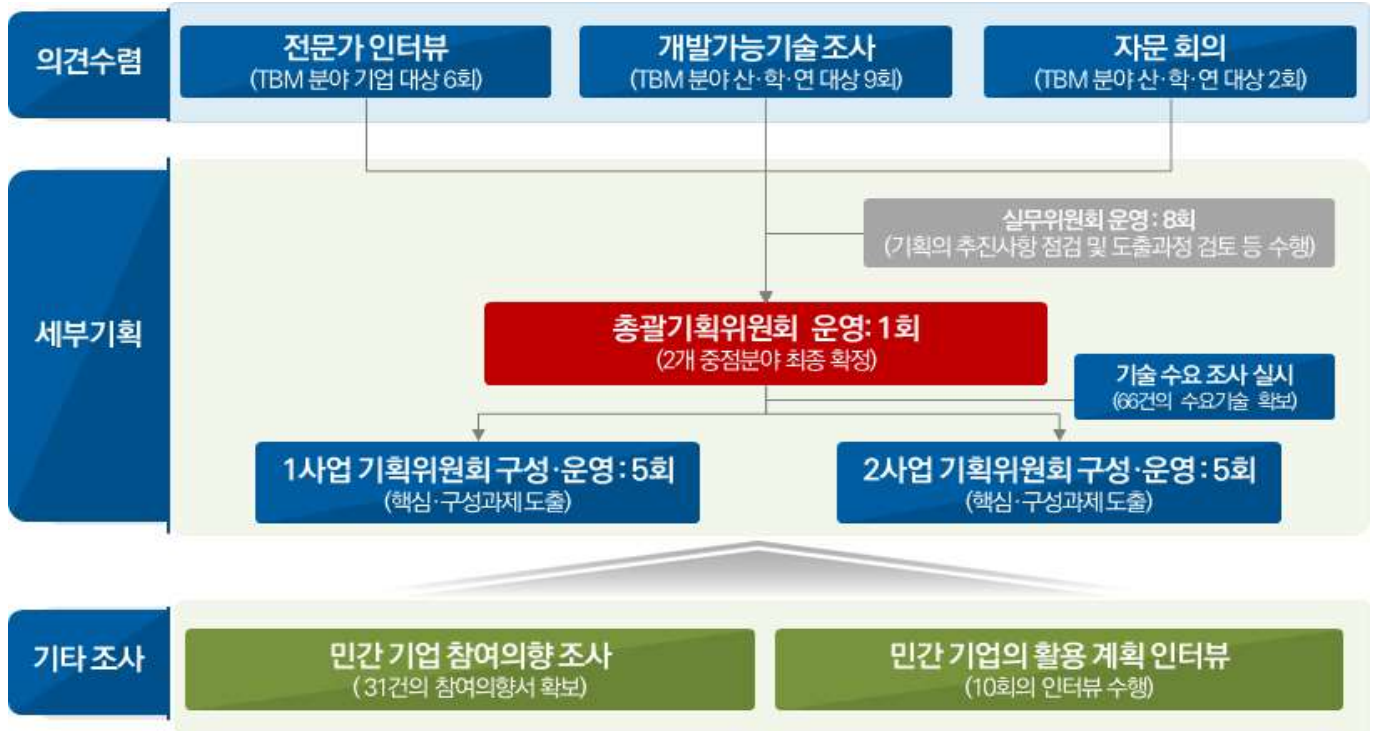
구분	수행내용
Phase 1	[TBM 국산화 필요성과 가능성 분석] ○ TBM 및 지하공간 관련 국가 R&D 사업 및 과제 현황 조사 ○ TBM 분야별 전문가 인터뷰 및 기술현황·R&D역량 분석
Phase 2	[기획의 방향성 전환] ○ TBM 기술개발 시나리오(안) 도출 ○ 총괄기획위원회의를 통한 신규 중점분야(안) 확정
Phase 3	[2개 소액사업에 대한 상세기획 수행] ○ 기술수요조사 시행 ○ 사업별 기획위원회의 개최 및 구성기술 상세기획 ○ 기술평가 시행 ○ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 기획 보고서 작성 ○ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획 보고서 작성
Phase 4	[예산 대응 지원] ○ 예산요구 대응을 위한 자료 작성 ○ 전략계획서 작성

2) 연구수행 절차 및 전문가 활용의 적절성

가. 전문가 의견수렴의 적정성

- TBM 관련 전문가 및 활용 분야(기관·기업 등)의 의견수렴 40회를 통한 세부 내용 기획을 수행

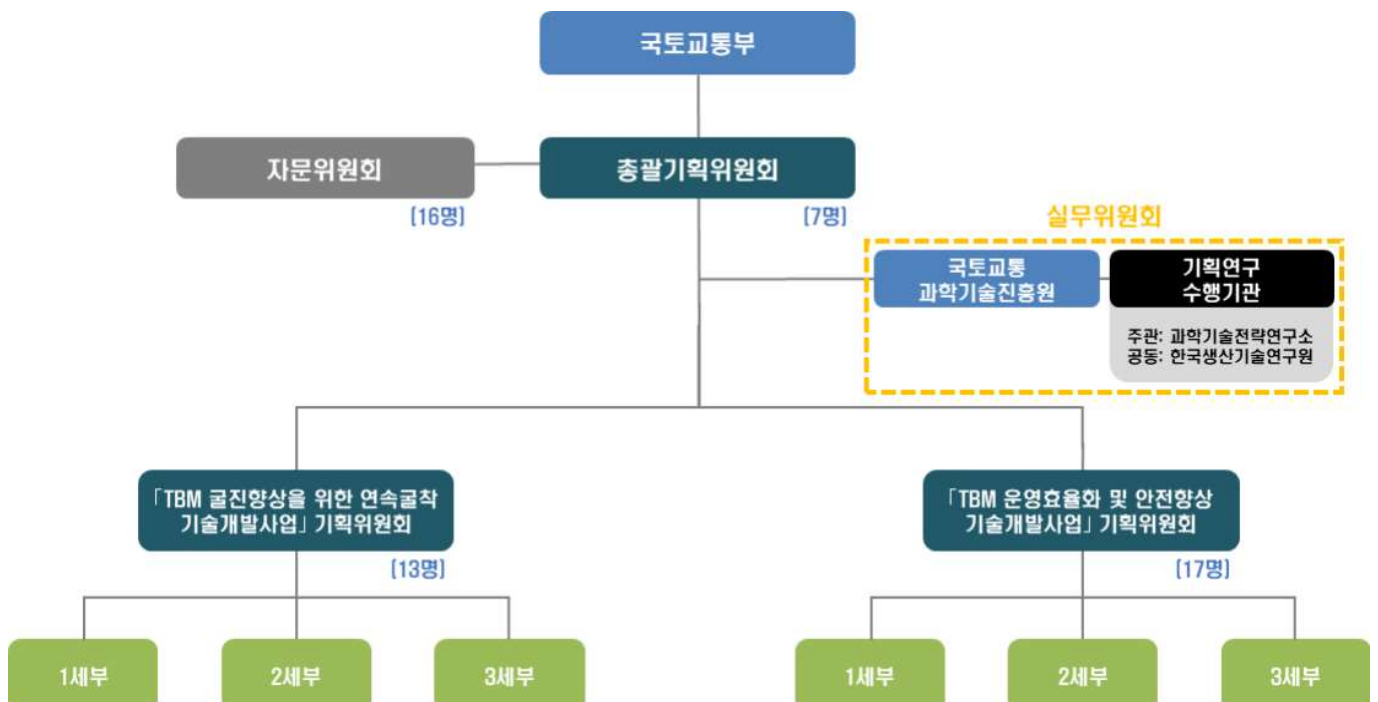
[그림] 본 기획연구의 전문가 활용



나. 전문가 활용의 적정성

- 기획의 추진체계를 마련하고 분야별 산·학·연 전문가(53명)의 참여를 통해 체계적인 기획을 수행

[그림] 본 기획연구의 추진체계

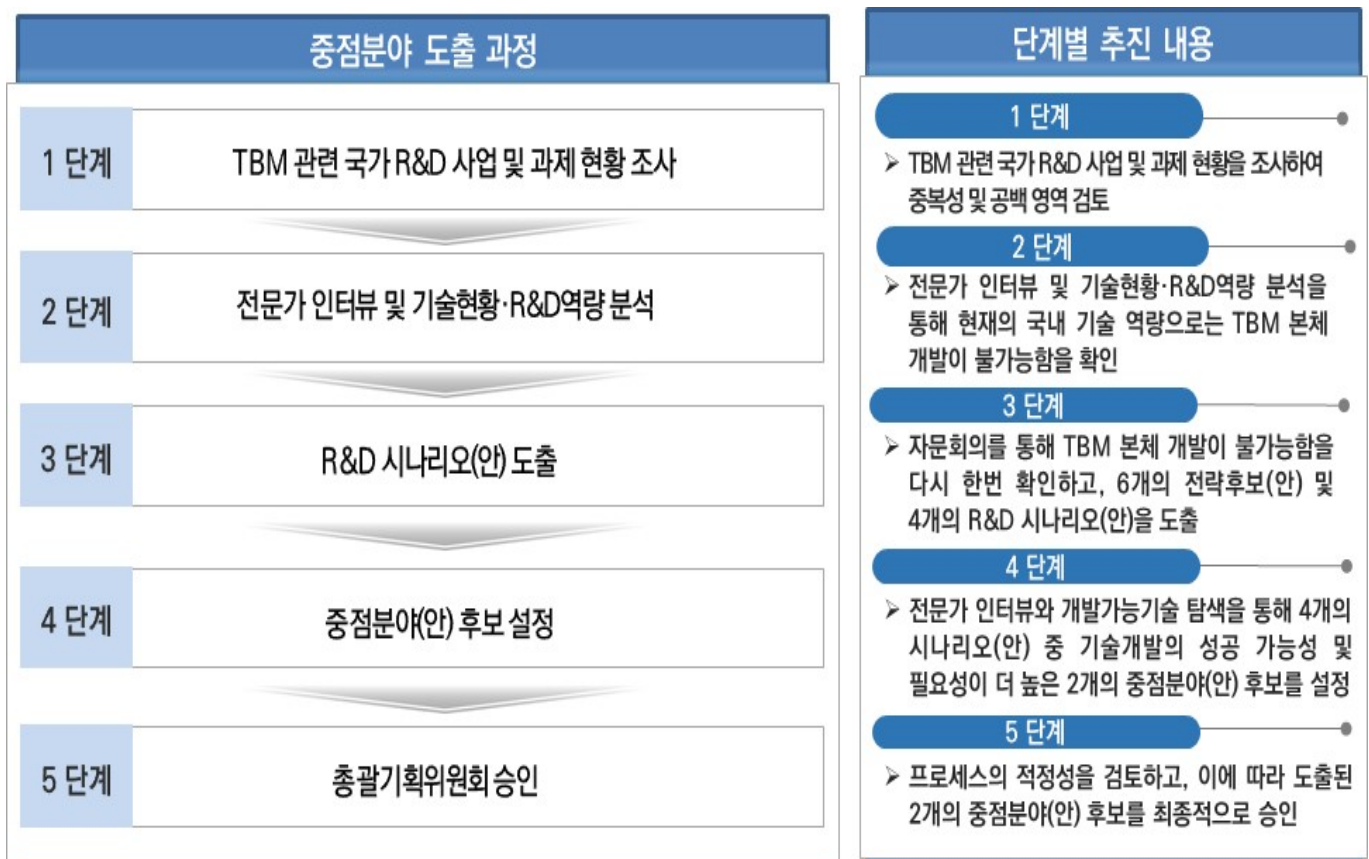


- (국토교통부) 주관부처로서 사업추진계획(안) 수립 및 총괄관리, 총괄기획위원회 조정의견 등을 종합·검토 등 수행
- (총괄기획위원회) 분야별 전문가로 구성하여 사업 기획 방향 제시 및 추진 전략, 타당성 검토 등 수행
※ 산업계 3명, 학계 2명, 연구계 1명, 관계 1명 등 총 7명으로 구성
- (기획위원회) 사업에 대한 기술적 관점에서 전문적으로 검토하여 기획대상 기술에 대한 기획결과(안) 도출
※ 연속굴착 기술개발사업: 13명 / 운영효율 기술개발사업: 17명 등 총 30명 구성
- (전문기관) 사업단 공모 및 협약, 평가, 성과 관리 등 관계 법령에 따른 역할 수행
- (기획연구 수행기관) 사업 기획 수행을 위탁받아 자료 분석, 정보제공, 기획위원회 운영 지원 등 사업 기획의 실무적 역할 수행
- (실무위원회) 관계기관 중심으로 구성되어 추진사항 점검 및 방향 논의 등 실무에 대한 의사결정
- (자문위원회) 산·학·연 등 관련 분야 전문가를 중심으로 과제 기획 방향 등을 자문

다. 연구수행 절차의 적정성

- 본 기획연구 과제에서는 전문가 인터뷰, 기술현황 조사, 자문회의를 통해 Bottom-up (상향식) 방식으로 중점분야(2개 사업)를 도출

[그림] 본 연구의 중점분야 도출 과정



- 확정된 중점분야(안)에 따라 ‘TBM 연속굴착 기술개발사업’과 ‘TBM 통합관리 기술개발사업’을 체계적인 프로세스에 맞추어 기획

[그림] 본 연구의 사업 기획 프로세스



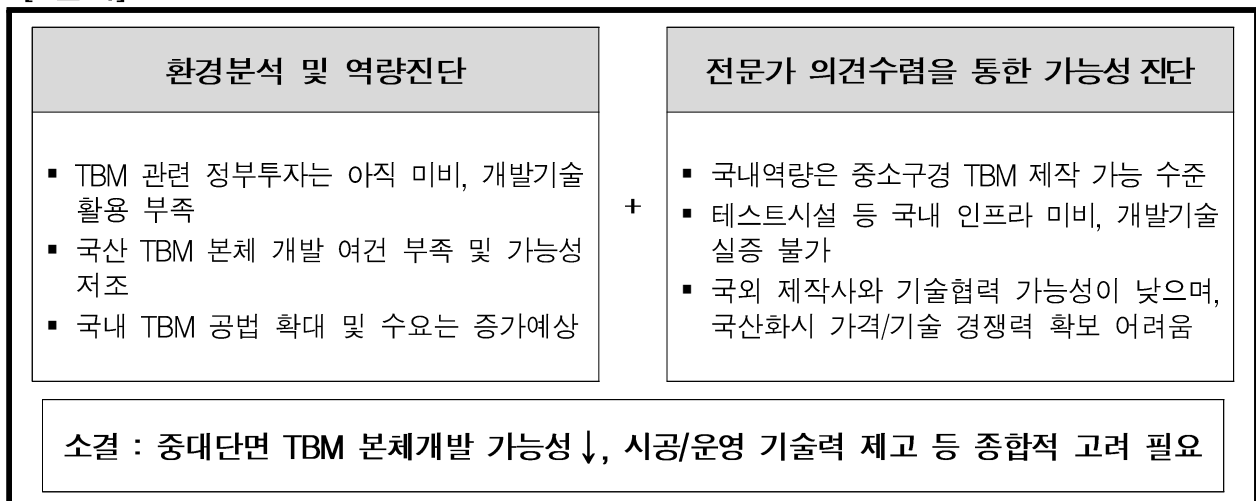
3) 기술 동향조사 및 분석의 구체성·신뢰성

가. 중점분야(2개 사업) 도출 과정

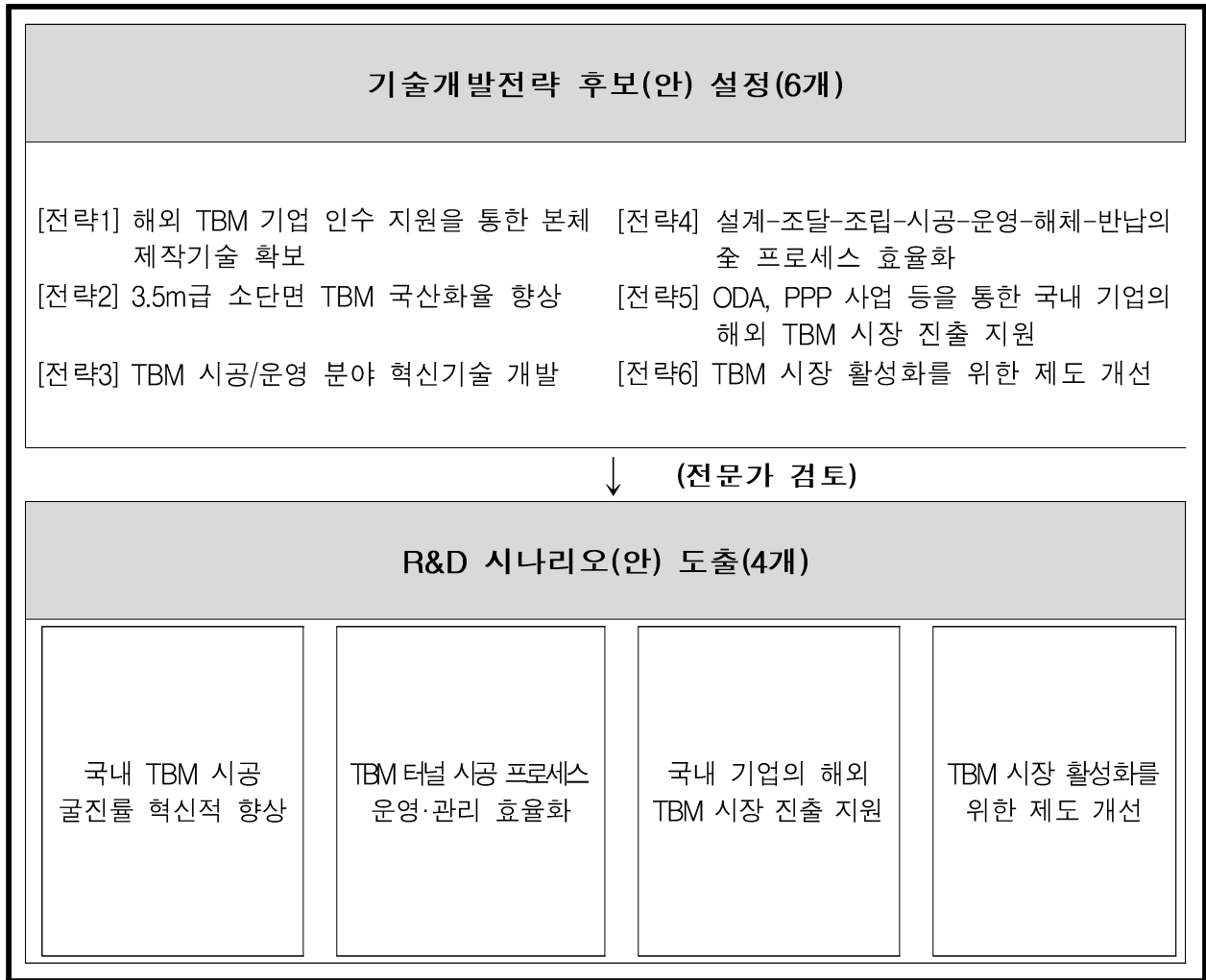
- 본 기획연구에서는 3단계의 과정을 거쳐 중점분야(2개 사업)를 도출

[그림] 중점분야(2개 사업) 도출 프로세스

[1단계]



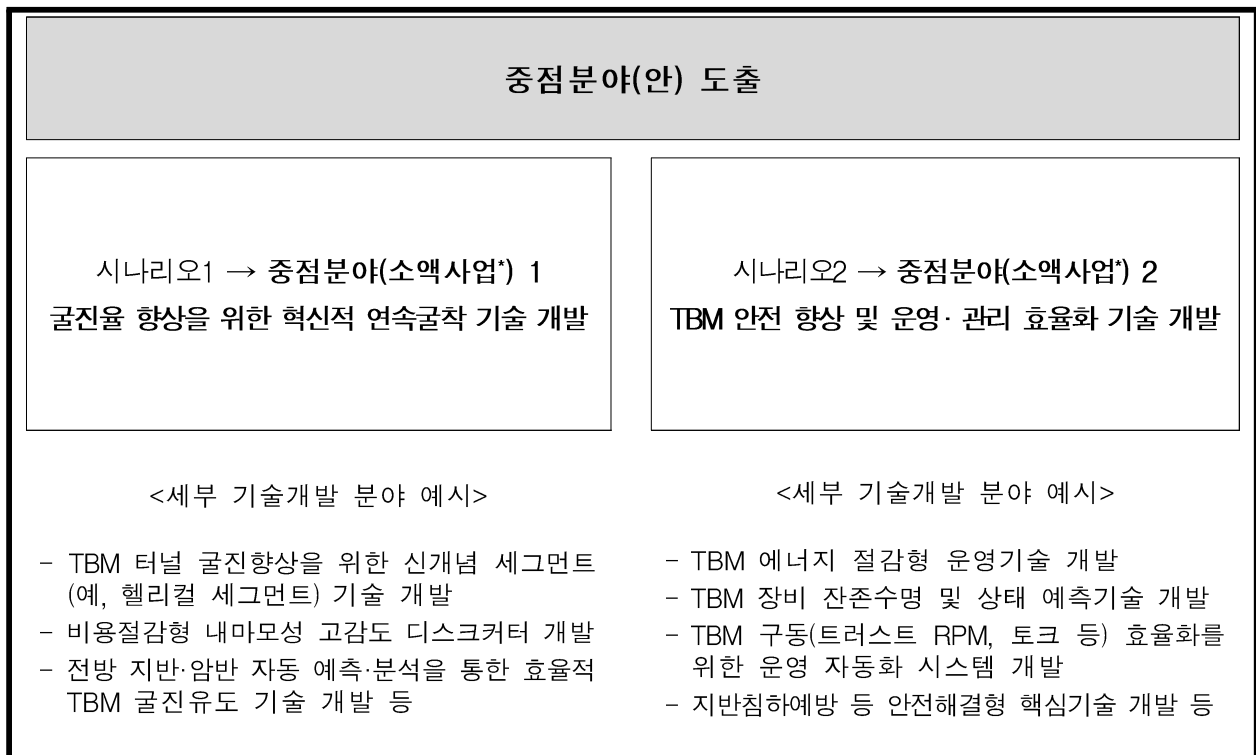
[2단계]



[3단계]

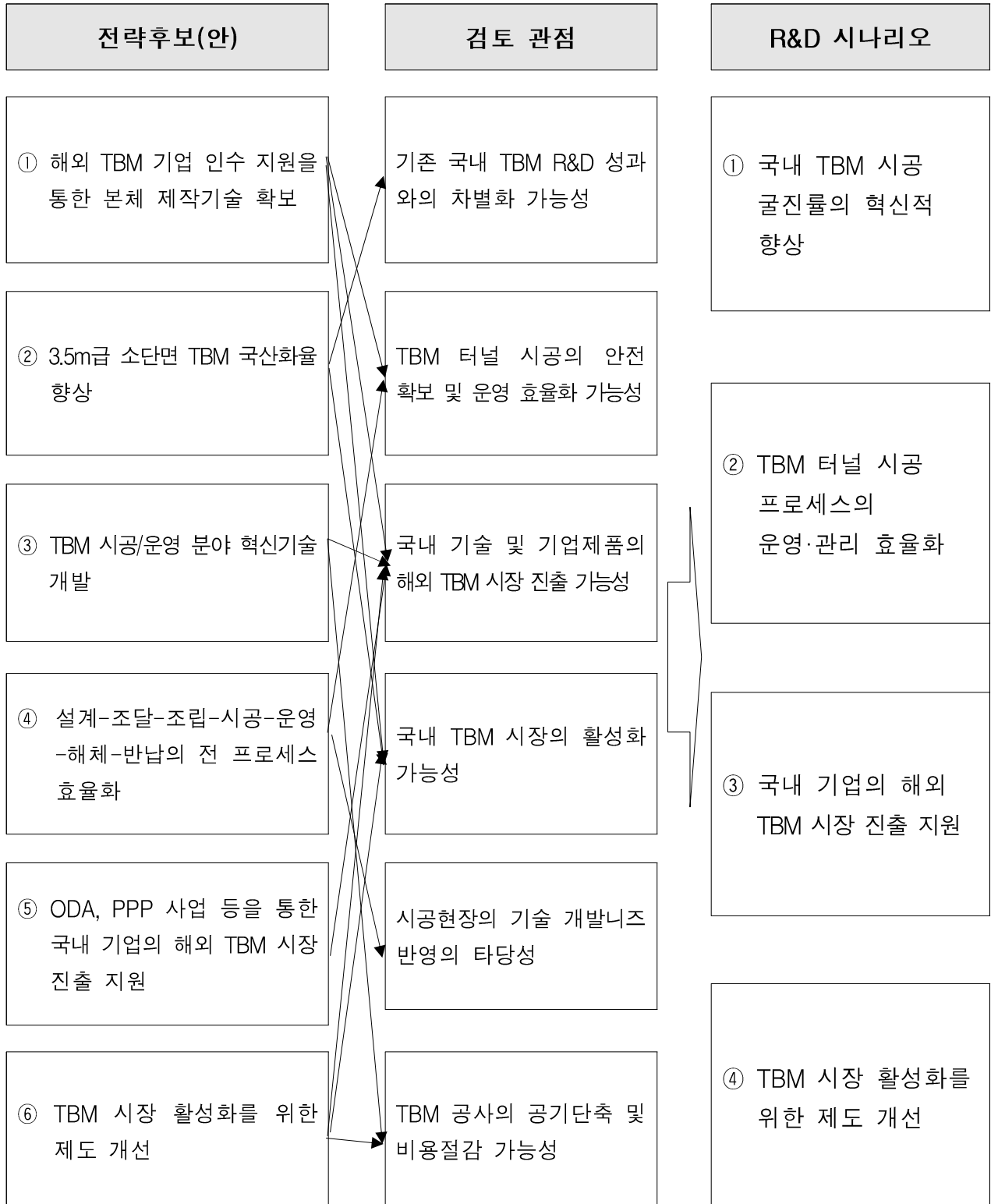


(전문가 인터뷰, 개발가능기술 탐색)



- 자문회의를 통해 기존에 추진하였던 자체적인 TBM 본체 국산화 방향이 아닌 새로운 TBM 분야 기술개발 방향 도출 프로세스를 수행
 - 1차 자문회의를 통해 국내 환경에서 추진 가능한 6개의 전략후보(안)을 도출
 - 마련된 전략후보(안)을 대상으로 2차 자문회의를 진행하여 6가지 핵심 관점에서의 심층 검토를 수행하고 4개의 R&D 시나리오를 도출

[그림] R&D 추진 시나리오 도출 연계도



라. 기술개발 영역의 탐색

- TBM 분야 산·학·연 전문가를 대상으로 9회에 걸친 전문가 인터뷰 및 개발가능기술 조사를 수행하여 장비국산화 및 설계·시공 등 분야별 국내현황 및 기술개발 가능성을 검토

[그림] TBM 기술개발 가능성 매트릭스 분석

EPB TBM 국내 기술 분류 및 필요성 분석					기술개발 필요성	필요	기술개발 불필요	
적정								
구분	소단면(3~3.5m급)				중단면(7~8m급)		대단면(10~11m급)/초대면(13~14m급)	
적용대상	광동(구/전해, 동진, 수도, 난방 등)				단선 지하철(철도) 터널, 일반도로 터널		복선 지하철(철도) 터널/왕복 4차로 이상 고속도로 터널	
국내 TBM 적용 수요시장 증분성	- 소단면은 전역구 터널 등에 이미 많이 사용되어 왔으며 향후에도 신설 광동구 터널 등 수요는 증분할 것으로 예상				- 기존 지하철(철도) 연장, 신철이나 지하도로 신설 등 수요가 조금씩 증가하고 있으며, 향후 수요시장은 증분할 것으로 예상함		- 대단면의 경우 시작 단계이며, 특수한 조건을 제외하면 경제성 문제로 인한 시장발전 가능성 낮음	
대분류	모듈별	중분류	필요성	필요성 설정근거	필요성	필요성 설정근거	필요성	필요성 설정근거
TBM 본체 설계/제작기술	커터헤드	커터헤드		▶ 소단면급 커터헤드 설계 및 제작이 국산화로 개발되어 있으나 내구성 및 성능평가, 재료에 대한 기술의 개 선(고도화)이 필요	▶ 중단면 TBM 커터헤드의 경우 국내 설계 및 제작 이 가능하지만, 설계분야에서의 DB확충에 의한 고 도와 및 용접 및 분할에 대한 기술 고도화가 필요		▶ 대단면 이상 TBM에 대한 설계 및 제작기술의 경 험부족으로 성공가능성이 낮음.	
	후드부	벨크레드		▶ 소단면급 벨크레드 설계 및 제작이 국산화로 개 발되어 있으나 내구성 및 성능평가, 재료에 대한 기술의 개선(고도화)이 필요	▶ 중단면 TBM의 경우 소단면과 유사하며 벨크레드 의 설계 및 제작을 수행한 경험이 있어 기술개발이 필요한 것으로 판단되며, Manlock 및 Material lock, 스크류컨베이어, 미싱바, 내부 camera 설치 기술 등이 병행되어야 함		▶ 대단면 이상 TBM의 경우 중단면 이하와 다른 설 계 및 제작기술이 필요, 경험부족으로 성공가능성이 낮음.	
		구동부		▶ 소단면급 구동부에 대한 설계 및 제작기술은 확 보되었으나 고성능 메인베어링 제작 및 설계기술 등의 주요부품에 대한 추가적인 기술확보와 개 선이 필요	▶ 중단면 TBM의 경우 구동부의 설계 및 제작을 수행 한 경험이 있어 기술개발이 필요한 것으로 판단되 며, 소단면 외주와 기술개발로 중단면급 Mainbearing, Maindrive displacement, 모터, 감속기, Bearing seal 등 개발이 병행되어야 함		▶ 장기적으로는 개발이 가능하겠지만 대용량 구동부 의 품질확보와 검증이 어려울 것으로 판단됨.	
		유압재		▶ 소단면급 구동부에 대한 설계 및 제작기술은 확 보되었으나 추가적인 국산화 및 개선 필요	▶ 중단면 TBM의 경우 유압재의 설계 및 제작기술이 확보되었으나 구동부에 필요한 주요부품의 개발 및 기술고도가 필요		▶ 대단면도 중소단면과 유사하여 유압재의 설계 및 제작기술을 확보한 것으로 판단되나 국내 심치이 저의 없고 대용량 유압재 구동에 따른 품질확보와 검증이 어려울 것 으로 판단됨.	
	저터부	스크류 컨베이어		▶ 소단면급 구동부에 대한 설계 및 제작이 국산화 가 이뤄졌으나 배포 형식에 따른 타입별 기술 확보와 개선이 필요	▶ 중단면 TBM의 경우 컨베이어의 설계 및 제작기술 을 확보한 것으로 판단되나 EPB에서 스크류 컨베 이어는 단순히 버퍼의 배출만을 위한 장치라 아니 라 장비의 주력과 상관되는 매우 중요한 장치로 반출능력배선성, 구동방식 선정, 게이트, 플러그온의 유량, 적정회전수 등 병행의 개발이 필요		▶ 대단면도 중소단면과 유사하여 유압재의 설계 및 제작기술을 확보한 것으로 판단됨.	
		실드		▶ 소단면급 실드 설계 및 제작이 국산화로 개발되 어져 있으나 내구성 및 성능평가, 재료에 대한 기술의 개선이 필요	▶ 중단면 TBM의 경우 실드의 설계 및 제작기술을 확보한 것으로 판단되나, 중단면이상의 단면일 경우 실드의 두께는 Jamming 방지 등의 이유로 변화 가 필요하며, 윤반, 조립, 해체 등을 감안한 분할이 계산되어야 하고 전방보강 장치를 위한 구조개발이 필요		▶ 중소단면의 기술을 활용한 기술개선이 필요하나 제 작시공과 규모를 고려할 때 가능성이 낮음.	
		그리퍼		▶ 소단면 TBM 그리퍼의 설계 및 제작기술을 확보 한 것으로 판단되나 설계노하우 부족으로 설계 기술의 개선이 필요	▶ 물량방직용 그리퍼는 중단면에서 아직 없고 물량 방직용 이외의 용도로 사용 할 수 있는 기술 개발 이 필요하며, 그리퍼는 기초기술이므로 고도화를 등 한 개발이 가능		▶ 중소단면의 기술을 활용한 기술 개선이 필요하나 대단면 이상 TBM에 대한 설계 및 제작기술의 경 험부족으로 성공가능성이 낮음.	
		주입장치		▶ 기존 소규모 국산화에서 동시주입장치와 테일필 충진관 설비, 그라우팅분리는 동시주입시스템 등 의 기술이 있으나 충전시스템 및 제작기술에 대 한 기술의(고도화) 필요	▶ 기존 소규모 국산화에서 동시주입장치와 테일필 충진관 설비, 충전시스템 등에 대한 기술개선포함하 며, 동시주입을 위한 실드의 구조 변경 및 주입방 법(원재 배관을 통한 주입)의 변경을 위한 기술 개 발이 필요		▶ 중소단면의 기술을 활용한 기술 개선 및 개발이 필요하며, 대단면 TBM의 주입장치는 중소단면과 유사하여 기존 기술활용 가능	
	테일부	이렉터		▶ 조립장치설비제작으로 생산이 가능한 부분이며, 인양장치 신축 객 등에 대한 기술 보완, 제이의 정확성, 전공인양방식 개발등이 필요하고 전공방 식의 이렉터 사용이 증가하므로 이에 대한 개선 필요	▶ 중단면 TBM의 경우 이렉터의 설계 및 제작기술을 확보하였지만, 작업정밀도의 고도화가 필요한 것으 로 판단되며, 제이의 정확성, 전공인양방식등의 개 발이 필요		▶ 중소단면의 기술고도화를 통한 제이의 정확성, 전공 인양방식, 인양장치 신축 객등의 개발 가능	
		락볼트		▶ 소단면급 락볼트 설계 및 제작이 국산화로 개발 되어 있으나 내구성 및 성능평가, 재료에 대한 기술의 개선(고도화)이 필요하고, 전방보강 장치는 설치가 용이하고 효율성이 높은 기술 개발이 필 요	▶ 소단면급 후방락트 설계 및 제작이 국산화로 개발 되어 있어 중단면도 가능하나 추가적인 내구성 및 성 능평가에 대한 기술의 개선이 필요하며, 설치시 보강고도, 보강 연장 등을 고려한 장치의 개발이 필요			

마. 중점분야(안) 설정

- 전문가 인터뷰와 개발가능기술 탐색 결과에 따라 기술개발의 성공 가능성 및 필요성이 더 높은 중점분야(안) 후보를 설정

- 기술격차 해소, 국내 기술수요 등에 적기 대응하기 위해 예타사업보다는 중단기적으로 추진 가능한 2개의 소액사업으로 최종 시나리오 및 이에 따른 중점분야(안) 후보를 설정

[그림] 전문가 인터뷰 및 개발가능기술 탐색 수행을 통한 중점분야(안) 후보 설정

최종 시나리오	① 국내 TBM 시공 굴진률의 혁신적 향상	② TBM 터널 시공 프로세스의 운영·관리 효율화
중점 분야(안) 후보 설정	① 굴진률 향상을 위한 혁신적 연속굴착 기술 개발	② TBM 안전 향상 및 운영·관리 효율화 기술 개발

<표> TBM 분야 기술개발 가능영역 탐색 결과

TBM 분류 및 직경별 개발 가능영역								개발이 가능한 영역			
								개발 가능성이 모호한 영역			
								개발이 불가능한 영역			
직경			소단면(3~3.5m급)			중단면(7~8m급)			대단면(10~11m급)/ 초대단면(13~14m급)		
대분류	중분류	소분류	가능성	기술개발유형		가능성	기술개발유형		가능성	기술개발유형	
				고도화	신규		고도화	신규		고도화	신규
TBM 본체 기술	커터헤드	커터헤드	○	○		○		○	X		
	후드부	벌크헤드	○	○		○		○	X		
	거더부	구동부	○	○		○		○	X		
		유압잭	○	○		△		○	X		
		스크류컨베이어	○	○		X			X		
		송배너시스템	○		○	X			X		
		실드	X			X			X		
		그리퍼	○	○		○		○	X		
		주입장치	○	○		○		○	△		○
	테일부	이렉터	○	○		○	○		△		○
		락볼트	○		○	○		○	△		○
		후방덕트	○	○		○	○		△		○
		TBM 후방 설비 기술	동력	제어 설비	○	○		○		○	○
유압 설비	○			○		○	○		○		○
전기 설비	○			○		○	○		○		○
유지관리	윤활 설비		○	○		○	○		○		○
	공조 설비		○	○		○	○		○		○
	용수 설비		○	○		△	○		△		○
	배토처리 설비		○	○		○		○	○		○
세그먼트	세그먼트		○		○	○		○	○		○
TBM 시스템/ SW기술	SW/ 프로그램	네비게이션	○		○	○		○	○		○
		전기/유압	○	○		○		○	○		○
		통합모니터링	○		○	○		○	○		○
		TBM 운영/ 관리 기술	운영/관리	오퍼레이션	○	○		○	○		○
예측기법	○	○			△		○		○		
유지보수	○	○			○		○		○		
TBM 장비 시험/ 평가 기술	재료/부품	핵심부품 신뢰성평가	○		○	○		○	○		○
		소모품 내구시험	○	○		○	○		○	○	
		지보재 신뢰성시험	○	○		X			○	○	
		첨가주입재 성능시험	○		○	○		○	○		○

□ 총괄기획위원회에서는 R&D 기획 내용과 프로세스의 적정성을 검토하고, 이에 따라 도출된 2개의 중점분야(안) 후보를 최종적으로 승인

[그림] 총괄기획위원회를 통해 최종 확정된 중점분야(안)

중점분야	중점분야(안) 1		중점분야(안) 2	
	굴진율 향상을 위한 혁신적 연속굴착 기술 개발		TBM 안전 향상 및 운영·관리 효율화 기술 개발	
세부 기술개발 분야 예시	- TBM 터널 시공 비용 절감 및 굴진율 향상을 위한 신개념 세그먼트 기술 개발 - 장기 사용이 가능한 비용절감형 내마모성 고감도 디스크커터 개발 - 전방 지반·암반 자동 예측·분석을 통한 효율적 TBM 굴진유도 기술 개발		- TBM 에너지 절감형 운영기술 개발 - TBM 장비 잔존수명 및 상태 예측 기술 개발 - TBM 구동(트러스트 RPM, 토크 등) 효율화를 위한 운영 자동화 시스템 개발 - 지반 침하 등의 안전문제 해소를 위한 핵심기술 개발	

4) 대내외 환경분석

- 중점분야(2개 사업)별 정책, 경제, 사회, 기술 동향조사를 통해 PEST 분석을 수행 하였으며, 이에 기반한 시사점을 제시

[그림] PEST 분석과 이에 기반한 시사점 제시

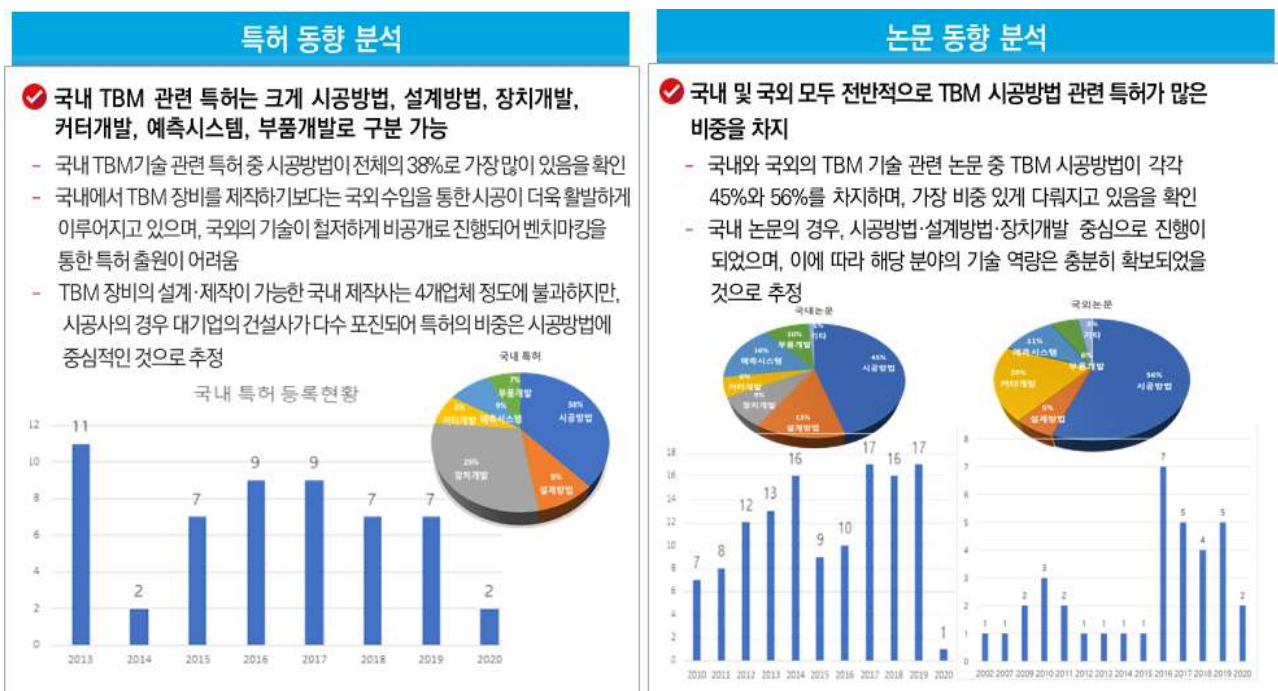
(4) 종합분석(PEST)

(표 2-13) PEST 분석결과 요약				
PE ST	환경분석	시사점	환경분석	
경제 동향	○ (국외) 해외 타블건설분야에 대한 선진 국가의 경우 시공·설계기술 강화를 위해 정부를 통한 연구개발 추진하거나 사안에 위험요인을 예방할 수 있는 체계 구축 등을 추진 - (EU) 제10차 EU 기술 개발 프로그램(2014-2020) 4차 산학연 기금(4차)에 EU Framework Project 내 TUNCONSTRUCT(04-2020) 프로젝트를 추진 - (중국) 02년부터 '국가 863 계획 사업'을 통해 정부 주도하여 TBM 연구개발 지원 및 시장 확대를 추진 ○ (국내) 국내 연속굴착TBM기술개발을 위해 적극적인 계획 수립 및 추진 - 「100대 국정과제」에 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명을 20대 전략으로 수립하고 교통망 강화와 산업발달을 추진 - 「제4차 과학기술기본계획(18-22)」은 국가 R&D 시스템형 전략·산동형 시스템으로 전환하기 위한 과제 발굴을 중점적으로 추진 - 제5차 건설기술진흥기본계획(18-22)을 통해 건설기술 진흥에 연구개발 육진을 통한 경쟁력 제고 및 노동생산성 향상, 건설기술 고도화를 추진	■ 국가 주도로 TBM 분야 기술력을 향상하고 있는 국외 현황을 고려하여, 보다 적극적으로 산업 경쟁력 확보를 위한 R&D 추진 필요	○ 기존 NATM공법을 적용한 타블굴착의 경우 발파과정을 포함하는 특성상 안전 사고 및 환경오염 발생 - 시공 작업 중 발생한 낙석과 연마시 파편으로 인해 심각한 인명 피해가 빈번하게 발생 - 발파진동으로 인한 주변 노후 건물 균열과 가스관과 같은 위험시설에 파손 등 유발 - 지속적인 진동과 소음으로 인해 공사 지역 인근의 주민들에 불편함	
	○ (국내) 국내 연속굴착TBM기술개발을 위해 적극적인 계획 수립 및 추진 - 「100대 국정과제」에 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명을 20대 전략으로 수립하고 교통망 강화와 산업발달을 추진 - 「제4차 과학기술기본계획(18-22)」은 국가 R&D 시스템형 전략·산동형 시스템으로 전환하기 위한 과제 발굴을 중점적으로 추진 - 제5차 건설기술진흥기본계획(18-22)을 통해 건설기술 진흥에 연구개발 육진을 통한 경쟁력 제고 및 노동생산성 향상, 건설기술 고도화를 추진	■ 정부의 정책적 방향 및 계획에서 필요로 하는 기술개발 및 제도개선 필요 - 숙련인력 감소 대응 및 해외 우수 경쟁력을 유치하기 위해 건설기술 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 타블건설산업의 안전성 향상을 위한 인종 제도 도입, 유지관리 매뉴얼 마련 등 타블건설산업의 발전을 위한 제도 개선 필요	○ 국내 도상에서 다수의 타블 굴착 공사가 지속적으로 진행됨에 따라 교통, 안전, 환경, 사회적 비용 발생	■ 타블공사 기간 단축을 위한 타블 자동화 건설 장비 및 시공의 고도화 기술개발 필요 - 노동집약적 타블건설 방식에서 자동화 타블 굴착 장비로의 전환을 위한 기술 개발 필요 - 고도화된 TBM 기술개발 필요
경제 동향	○ (국외) TBM 기술을 통한 지하공간을 타블 건설의 경쟁 인식이 확산되며 전 세계적으로 타블건설 시장에서 TBM 기술 수요가 증가 중인 추세 - 전 세계 타블 프로젝트 예산은 '13년부터 '16년까지 2.3%가 증가되었으며, 현재 진행 및 계획 중인 전 세계 프로젝트는 1,527조 원 규모로 추정 - 현재의 TBM 관련 기술 시장은 높은 시장 성장세가 지속되는 과열 시장 ○ (국내) 국내 교통 인프라 연구개발분야에 비해 TBM에 대한 인식이 낮아 관련 연구개발에 대한 투자는 낮은 수준 - 국내 단기적 발주로 TBM 공법 적용에 제약 존재 - 고성능 중진 국외와 달리 국내 TBM 적용률이 낮은 상태 ○ 일반 TBM 공법의 경우 세그먼트 조립과 공법이 개발수준 차이가 크며 이에 따라 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 인력 및 역량부족에서의 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 - 타블건설산업의 공기 단축 및 생산성 증대를 위한 자동화 타블건설 장비 고도화 및 로봇 기술 개발 필요	○ 국외 생산업체 및 연구기관은 자체적으로 내구시험, 실험실 시험을 할 수 있는 방법을 보유하고 있으며, 시험 평가-인증을 업체-기관에서 자체 시험 후 진행 - 해외 생산업체는 자체 실험시설을 통해 세그먼트 제품을 시험인증 후 수출 ○ 고성능 세그먼트 제작에 투입할 수 있는 재료와 관련한 연구가 진행 중이며, 일부 기업에서 내산형 세그먼트에 대한 기초적인 연구를 수행 - 국내의 세그먼트는 철근보강 콘크리트(RC) 재료를 사용하는 것이 대부분이지만, 최근에는 강섬유가 혼입된 세그먼트(SFRC)의 개발을 위한 연구도 진행 ○ TBM 굴착시간 시스템 설계-제어의 관련 하여, TBM 유압시스템은 국내에서 개발이 되었으며, EFB 타입의 TBM 유압시스템 설계 기술까지는 확보가 된 상황 - 세그먼트 이터너리 콘크리트 기술과 관련하여, 국내 기업의 경우 이터너리 설계와 제작에 관한 기술 확보	■ 자체적으로 시험 평가-인증을 수행하기 어려운 국내의 영세한 기업 여건 상 국가 주도로 시험-평가-인증 수행 추진이 필요 ■ 기존 TBM 공법 및 이에 사용되는 세그먼트 보다 경쟁력을 대폭 향상시킬 기술개발 필요 ■ 국내에서 확보한 TBM 관련 기술을 적극적으로 활용하여 이를 국내에 할 수 있는 종합적 TBM 혁신 기술 분야 육성 필요

5) R&D 역량 분석

- 중점분야(2개 사업)별 TBM 분야 특허/논문 분석을 수행하여 국내 기술 수준을 제시

[그림] 본 과제의 특허/논문 분석



3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업

가. 비전 및 목표 설정의 적절성

① 전략목표

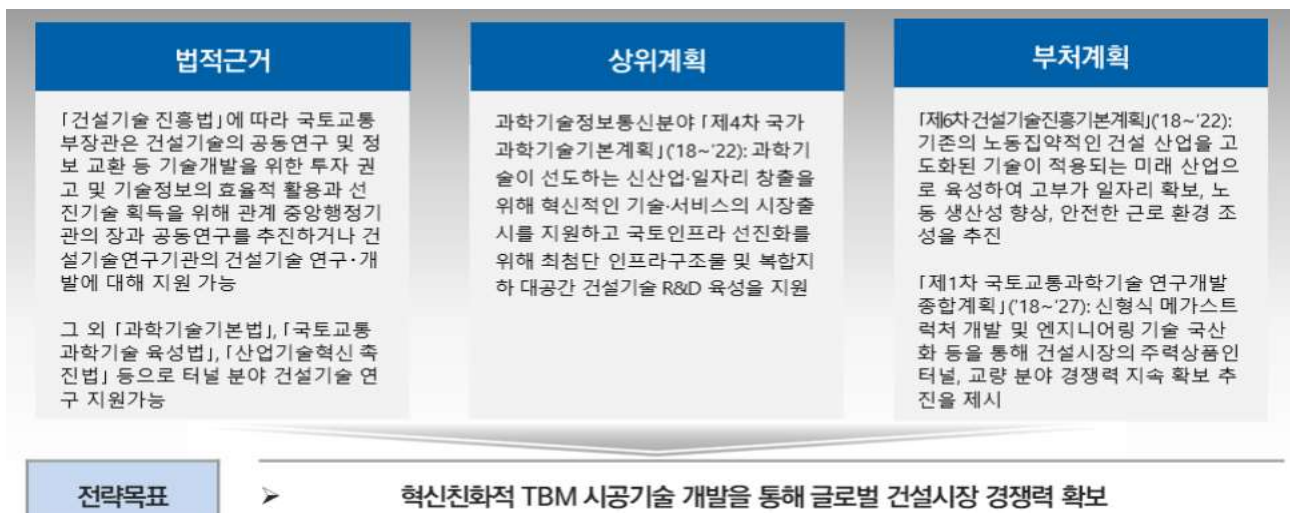
□ 유기적으로 연계되도록 전략목표, 성과목표, 성과지표, 핵심과제를 설정

[그림] 본 사업의 전략목표 체계도



□ 법적근거, 상위계획, 부처계획 내용을 종합적으로 분석하여 본 사업의 전략목표를 설정

[그림] 본 사업의 전략목표 도출 근거



② 성과목표

□ 본 사업의 목표달성을 위해 각 성과목표·지표별 설정근거, 측정방법 및 산식 등을 구체적으로 제시

[그림] 성과지표의 설정과 측정산식 제시

[1단계 성과지표]

성과목표(18개) 달성도 40%		연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련 3건	
설정 근거	본 사업에서 제시한 총 18개의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)을 목표치로 설정	설정 근거	연속굴착형 TBM 운영, 관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정
측정 산식	$\frac{\text{성능목표치 달성 건수}}{\text{총 성능목표 수}} \times 100$	측정 산식	$\frac{\text{성능목표치 달성 건수}}{\text{총 매뉴얼 목표 수}} \times 100$

[2단계 성과지표]

성과목표(18개) 달성도 100%		특허등록 2건	
설정 근거	본 사업에서 제시한 총 18개의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)을 목표치로 설정	설정 근거	본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 2개의 특허를 등록하는 것으로 목표치를 설정
측정 산식	$\frac{\text{성능목표치 달성 건수}}{\text{총 성능목표 수}} \times 100$	측정 산식	$\Sigma(\text{특허출원 건수})$
굴진율 향상 30%		TBM 검사·인증기준 및 방법론 개발 3건	
설정 근거	장비의 운영이 최초인 점을 감안하여 실증초기에는 굴진율 향상을 15%, 최종실증은 30%로 목표치 설정	설정 근거	본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 3개의 연속굴착형 TBM 검사인증기준 및 방법론 건수를 목표치(누적)로 설정
측정 산식	$0.3 \leq ((\text{연속굴착형 TBM의 1일당 굴진거리}) - 6.4\text{m}) / 6.4\text{m}$	측정 산식	$\Sigma(\text{검사인증기준 및 방법론 건수})$
연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련 7건			
설정 근거	연속굴착형 TBM 운영, 관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정		
측정 산식	$\frac{\text{성능목표치 달성 건수}}{\text{총 매뉴얼 목표 수}} \times 100$		

□ 사업목표를 달성하기 위해 질적지표를 중심으로 성과목표·지표를 설정하여 제시

[그림] 질적지표 중심의 성과목표·지표

성과목표	TBM 시공 효율성 증대		
	연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보		
단계별 성과목표	1단계(2022~2023)		
	- 성과목표 달성도(40%) - 연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련(3건)		
성과지표 및 가중치	2단계(2024~2026)		
	- 성과목표 달성도(60%→90%→100%) - 굴진율 향상 (15%→30%) - 특허등록(2%) - TBM 검사/인증 기준 및 방법론 개발(2건→3건) - 연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련(4건→7건)		
성과지표 및 가중치	지표명	지표 구분	가중치
	성과목표 달성도	질적	0.7
	연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	양적	0.3
	합계	-	1.0
	지표명	지표 구분	가중치
	굴진율 향상	질적	0.3
성과지표 및 가중치	특허등록	양적	0.1
	TBM 검사/인증 기준 및 방법론 개발	양적	0.1
	연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	양적	0.2
	합계	-	1.0

나. 연구추진 필요성 및 정부지원 타당성

① 배경 및 필요성

- 세계 주요국들은 인구의 도시 집중화에 대응하기 위하여 안전하고 빠른 이동이 가능한 도심지 지하교통 터널에 주목하고 있으며 TBM 활용을 통해 안전하고 경제적으로 건설 중
- 주요국들은 교통 혼잡 완화 및 지상공간 창출을 위해 지하 도심순환 고속도로 및 도심도 지하 고속철 건설 등 대형 프로젝트를 진행 중

〈표〉 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
스페인	M30 도로	기존 M30도로의 교통량 증대에 따른 교통체증 문제 해결 및 만자나레스강과 주변 지역의 환경 복원을 위함
미국	Big-Dig	교통체증 없고 녹지 가득한 도시로의 변신을 위해 도시를 관통하는 고속도로의 차로를 확장하고 지하화하여 공원과 녹지를 마련하기 위함
	Alaskan way	노후화되고 지진으로 손상된 고가도로를 철거하여 지상교통흐름의 저해와 주변 환경에 대한 피해를 최소화
영국	런던 실버타운	템즈강 하저터널 관통으로 혼잡한 런던의 교통문제 해소하기 위함

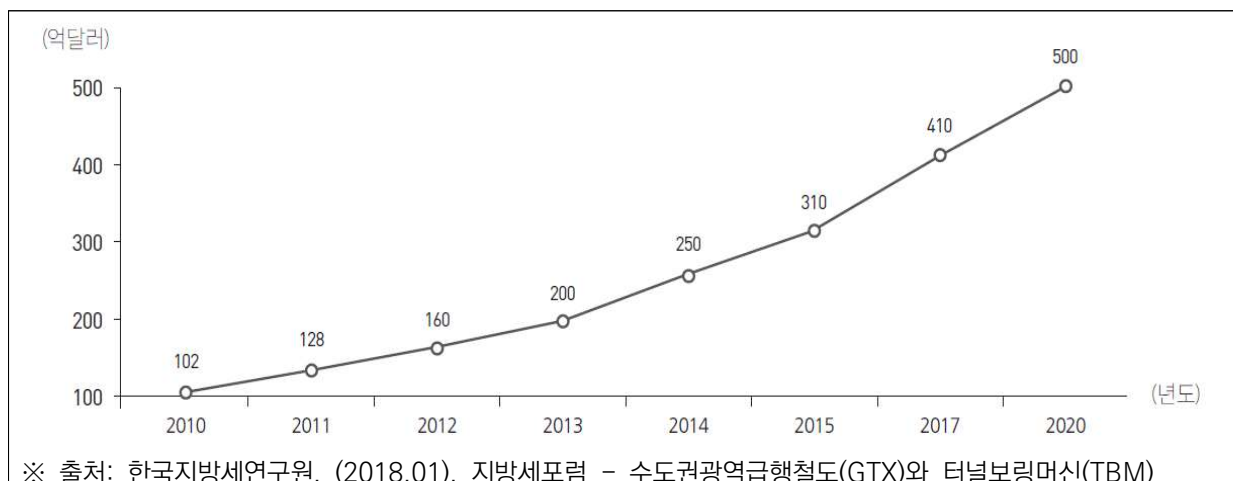
※ 출처: 한국과학기술기획평가원. (2019). 지하공간 개발동향

- 전 세계 10대 초장대 터널 중 5곳의 터널도 TBM 공법을 통해 건설
 - (스위스) '16년 완공된 Gottard Base 터널은 지하 2,000m를 지나는 세계 최장 터널로서
 - (영-프) Chunnel 터널은 굴착속도 향상 위해 11대의 쉴드 TBM을 적용
 - (스페인) Pajares Base 터널은 가장 최근인 2020년 완공된 터널로

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

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

[그림] 세계 TBM 시장규모



□ 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

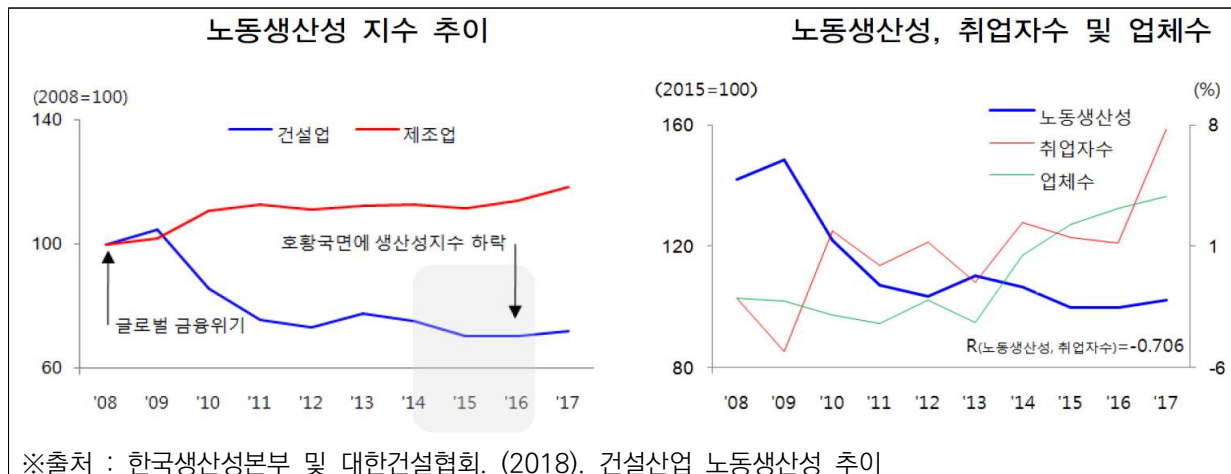
※ 출처 : e대한경제. (2019.05). TBM에 인색한 韓...글로벌 굴착시장서 후진국 신세

□ 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

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

[그림] 국내 건설산업 노동생산성



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

○ TBM 공사비 절감 및 기술력 향상을 위해 굴진을 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

○ 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 굴착 속도 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 쉘드 TBM 시공기술이 제시되었으나 이는 경암반에서만 사용이 가능하여 실효성 부족

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

② **국고지원의 적절성**

□ **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) 원천기술 개발 및 기술 패러다임을 바꾸는 차세대 유망기술 선점에 주력
- (주력산업 고부가가치화) 산업군별로 차별화된 전략 적용 및 핵심 기술 축적을 통해 주력 산업을 고부가가치화

- (테스트베드 확충) 핵심전략품목 기술개발이 생산까지 이어질 수 있도록 수요기업 맞춤형 신뢰성·실증 평가체제 구축·지원

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

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

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

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

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

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

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

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

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

○ TBM 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 건설 기술개발 및 인프라 구축 등을 국정과제로 선정하는 등 정책적 방향 제시

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

□ 건설산업의 생산성 침체를 극복하기 위한 국가 차원의 방안 필요

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

- 국내 건설 생산성은 시간당 18.7달러로 선진국 평균(35.6달러)의 절반 수준

다. 핵심기술 개발 내용

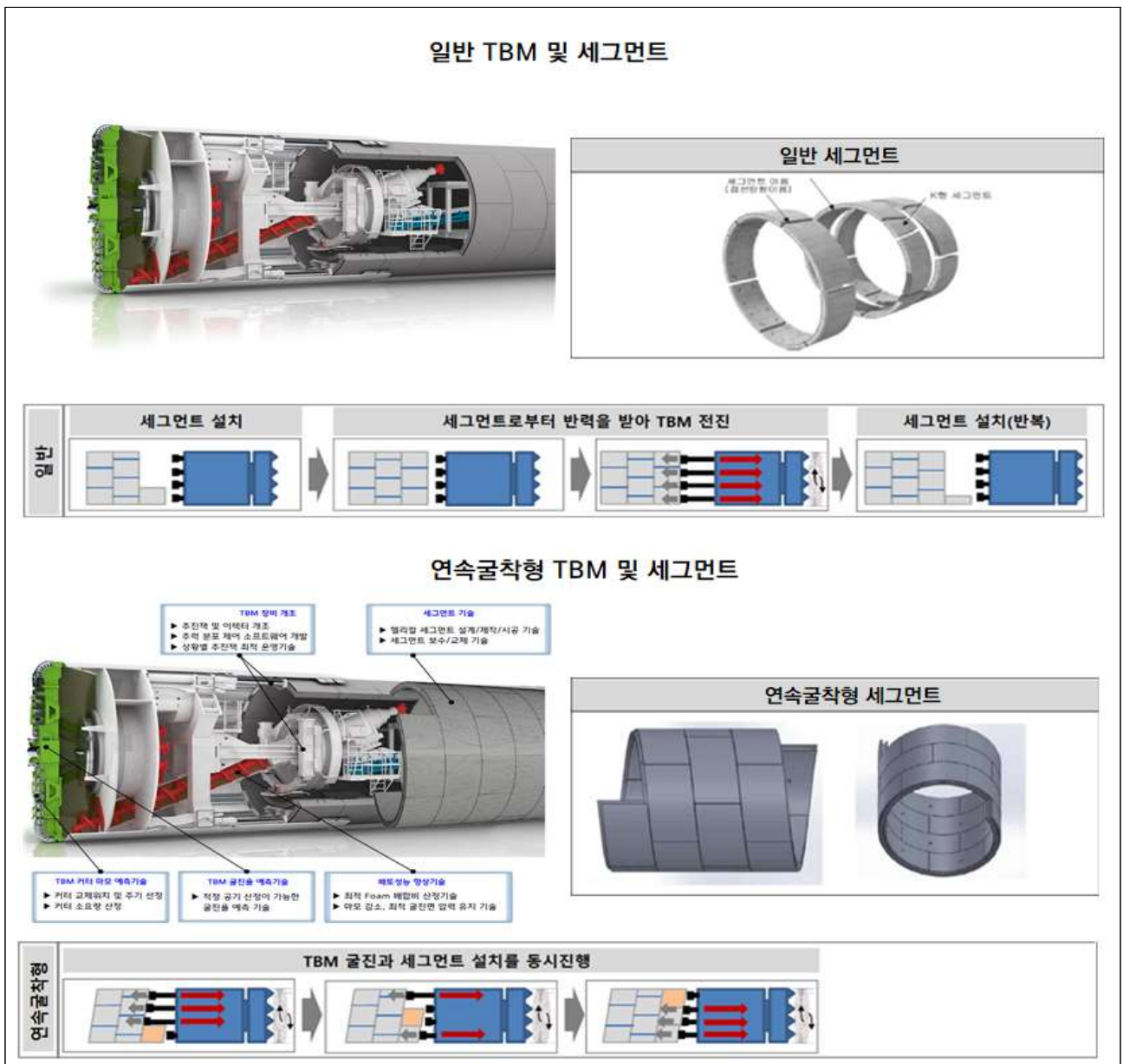
□ 핵심기술[3개]-구성기술[10개]로 구성하였으며, 이에 대한 개발내용을 제시

사업	핵심기술	구성기술
TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업	1. 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
	2. 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	2-1. 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실증 기술
		2-2. 연속굴착형 TBM 시공 통합관제 시스템 기술
	3. 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

□ 본 사업에서는 터널굴착장비(TBM)의 굴진율을 혁신적으로 높일 수 있는 연속굴착 기술 및 세그먼트의 개발과 실증을 수행

- 연속굴착 기술이란 TBM 굴진 추진력이 세그먼트 설치 작업을 방해하지 않아 TBM 정지 없이 연속적으로 설치가 가능한 나선모양의 세그먼트 및 이에 적합한 TBM을 의미
 - TBM 굴진과 세그먼트 설치 작업을 병행하여 연속적으로 TBM 굴진 가능
 - 터널굴착장비(TBM)의 굴진율을 기존 평균 굴진율 대비 약 30% 증대
 - 더블 실드 TBM 대비 폭넓은 환경에 적용 가능

[그림] 기술 개념도



- 굴진의 중단이 없어 소모비용 절감 및 굴진관리를 용이하게 만드는 효과를 포함
 - 장비 중단 후 재가동에 필요한 장비 가동 에너지 소모 절감 및 장비 부하가 감소되며, 막장압 관리 및 지반침하 관리에 용이
- 기술 신뢰도를 확보하기 위하여 200m 내외의 대규모 테스트베드를 통한 실증을 수행

라. 세부 및 단위과제 도출의 합리성 및 과제간 연계성

① 기술수요조사

□ TBM 분야 기술개발사업의 구성기술 선정에 있어 산·학·연 전문가의 다양한 의견수렴 및 반영을 위해 기술수요조사를 시행하고 66건의 수요기술을 확보

○ 기술목표 수립을 위해 전문가로부터 대상 기술을 체계적으로 분류, 분석, 예측하여 향후 비교우위를 가질 수 있는 핵심기술과 분야의 수요를 조사

〈표〉 본 기획연구의 기술수요조사

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

○ 기술수요 대상자를 확대하기 위해 ‘한국터널지하공간학회’와 ‘한국암반공학회’에 협조를 요청

〈표〉 기술 제안기관별 응답자

(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 기술평가

□ 후보기술을 도출하기 위해 기술평가를 실시하고 기술수요조사를 통해 얻은 기술 리스트 중 기술평가에서 높은 점수를 부여받은 기술을 본 사업의 구성기술로 도출

〔그림〕 신규 TBM 분야 기술개발사업 기술평가

순위	점수	기술명	기술개발사업	기술평가
1	5	TBM 연속 작업 성능 향상과 관리 비용 절감을 위한 핵심부품 및 모듈의 운용 신뢰성 확보 기술	5	4
2	3	TBM 안전성 평가 및 안전 검사 기술	3	4
3	3	TBM 기계대리기를 이용한 실시간 진동지침 예측 및 지질 대응 최적화 굴진 및 자율 운항 시스템	3	4
4	4	급속지진 및 화재대 대응 TBM(RPB or SLURRY TYPE) 핵심기술 개발	4	3
5	3	국내 TBM 기술자 훈련 방식 연구	3	4
6	4	국내 실드TBM 활성화 및 선진화를 위한 제도화 연구	4	5
7	5	헬리컬(HELICAL) 세그먼트를 적용한 TBM 굴진속도 향상 기술	5	4
8	4	연속굴착이 가능한 나선형 세그먼트 TBM의 유지관리 기술 개발	4	5
9	5	TBM 세그먼트 조립공장 국산화를 위한 AI 비전기반 이력적 합동로봇 개발	5	4
10	4	Shield TBM Segment Ring Building 적입 자동화	4	5
11	3	Shield TBM 굴진 자동화	3	4
12	3	TBM 진동 지반 예측을 통한 안전 사고 예방 기술	3	4
13	4	고압수비 굴착바닥의 진동성 고화처리 및 운반을 위한 경내 운반대의 개발 및 제작	4	3
14	4	중대형 TBM의 회전체 부품의 내구시험방법 및 실규모시험장치 개발	4	4
15	3	중대형(7.8m) TBM용 150KW급 유압 모터 국산화 개발	3	3
16	3	실드 TBM 시공(세그먼트 라이닝) 품질향상을 위한 BIM도입 연구	3	4
17	5	연속굴착을 위한 실드 굴진과 세그먼트 조립 동시 시공 장치 기술 개발	5	4
18	4	TBM 안정성 향상을 위한 고강도 코너구경 세그먼트 재료 개발	4	4
19	5	시공 및 운영 단계에서의 TBM 세그먼트 배면의 상태 평가 기술	5	4
20	4	연속굴착형 세그먼트의 곡선부 설치 대응기술	4	5
21	5	연속굴착형 세그먼트의 구조보강 대응기술	5	4
22	4	연속굴착형 세그먼트의 체결장치 효율화 및 성능향상 기술	4	5
23	3	연속굴착형 세그먼트의 배면 회전을 통한 평가 기술 개발	3	4
24	4	RPB 실드 세그먼트 배면 회전을 통한 평가 기술 개발	4	5
25	3	디스크커터 최적 설계기술 개발	3	4
26	4	동시 굴진 시스템	4	5
27	3	TBM 구동부(Drive Unit)시스템 국산화 기술 개발	3	3
28	3	TBM 기어박스 시스템 개발	3	3
29	3	터바지를 활용한 고압용 TBM 굴진 기술	3	3
30	4	굴진면 진동 예측 및 지반평가 기법 개발	4	3
31	3	TBM 예지보전을 위한 근접센서 및 네트워크 제어시스템 개발	3	4
32	3	연속적인 굴착이 가능하도록 저비용 급속 커터교체를 위한 막강한 안정화 기술 개발	3	3
33	4	고강도 실드 개발 및 다각도 유래도 개발	4	5

③ 기존 사업과의 차별성·연계성

□ 부처에서 추진 중인 5개의 유사사업과 본 사업과의 차별성 및 연계방안을 분석하여 제시

[그림] NTIS를 활용한 최근 10년간의 유사사업 조사

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

〈표 2-36〉 타사업과의 중복성 검토

사업명	(TBM 1단계) TBM 핵심 설계부품기술 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 머신 러닝 기반 기계화 터널 시공 자동화 기술개발 예산
사업목적	TBM의 독자 설계·제작을 위해 필수적인 복합지반용 섀드 TBM 커터헤드 설계 기술개발	TBM 커터헤드의 설계자동 화에 의한 최적화 설계 기 술 및 TBM 운전-제어시스 템과 시뮬레이터 개발을 통한 TBM의 최적 활용 기 술 개발	도심지내 지하매설 사회기 반시설의 경제성 향상을 위한 필수 기술개발	국내 기술이 대륙간, 도서 간, 연육간을 연결하는 해저 지반지하에 건설되는 초장대 고수압을 받는 해저터널 건 설에 필요한 지질조사, 설계 및 시공, 방재 및 유지관리 등에요망되는 핵심 설계 및 시공요소에 대한 국내 기술 확보	데이터와 머신러닝 기술을 활용하여 TBM장비 운영을 자동화하고 전방예측 및 TBM시공리스크를 분석함으 로써 TBM시공 중 발생하는 오판레이터의 저속런, 굴진 면 전방 불확실성 등 리스 크를 축소

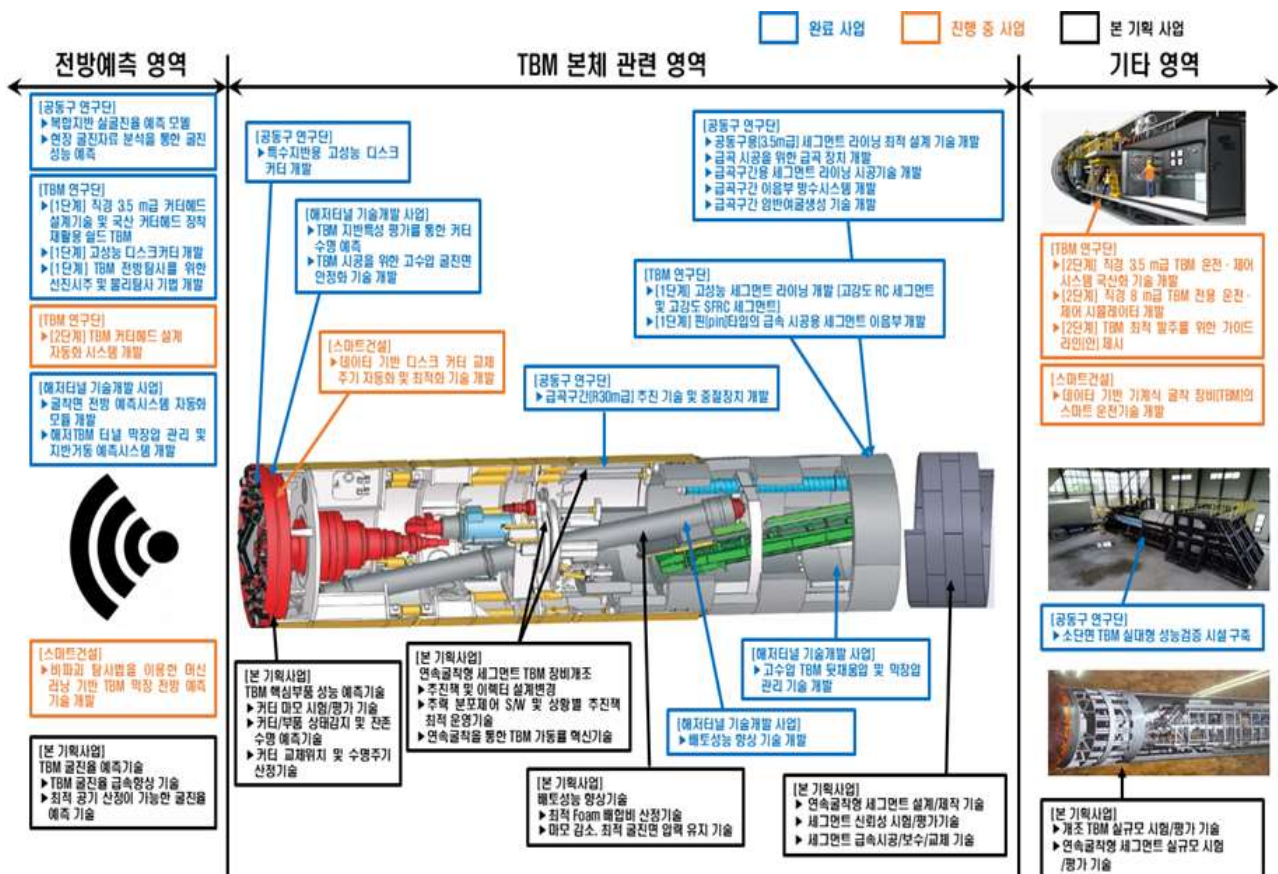
사업명	(TBM 1단계) TBM 핵심 설계부품기술 및 TBM터널의 최적건설기술 개발	(TBM 2단계) TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전-제어시스템 개발	(공동구) 도심지 소단면(3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발	(해저터널) 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발	(스마트건설) 머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술개발
사업내용	- TBM 커터헤드 최적 설 계기술 및 고성능 디스 크커터 개발 - 고성능 세그먼트 라이닝 의 개발 - TBM 터널의 설계와 시 공 리스크 최소화 및 최 적 활용기반 기술 개발	- TBM 커터헤드의 설계자 동화에 의한 최적화 설 계 기술 및 TBM 운전- 제어시스템과 시뮬레이 터 개발을 통한 TBM의 최적 활용 기술 개발을 위해, 커터헤드 설계에 대한 핵심 우너전기술을 확보하고, 최적 활용을 위한 인력 양성을 위한 시뮬레이터 개발 수행	- 도심지 터널식 공동구 최적 설계용량 산정 및 글로벌 표준화 설계기술 개발 - 도심지 소단면 터널식 공동구 굴진율 예측기법 과 급곡구간/특수지반 급속 시공기술 개발 - 공동구용 수직구 급속시 공을 위한 저소음/무진 동 시공시스템, 보강/자 수 기술 개발	- 고심도 고수압 조건을 반영할 수 있는 초장대 해저터널 최적 지질/지반 조사 기술 확보 - 미흡한 국내 해저터널 건설 기술 수준을 개선할 수 있는 해저터널 설계/시공을 위한 핵심 요소 기술 개발 - 내진 설계 기술, 굴진면 안정화 기술 개발 등을 통한 안정성 평가기술 개발 - 공기압 제어 기술 확보와 화재 진압 및 내화 시스템 개발, 고정압 축류팬 개발을 통한 해저터널의 화재 및 유지관리 기술	- 사공에서 얻어지는 지반정보 와 굴진정보를 기반으로 지반 에 따른 TBM 운전 경험 데 이터를 사전 처리하여 머신러 닝 기법으로 학습시키고 최종 적으로 최적의 운전 방법을 도출해 내기 위한 기술 개발 - 정비 특성 상 확인이 어려 운 TBM 전방 지반정보를 비파괴 기법에 의한 데이터 를 학습시켜 전방을 예측하 는 기술과 TBM 시공 중 발생하는 리스크를 수집 및 분류하고 그 데이터를 머신 러닝으로 학습시켜 사공 리 스크를 제시하는 기술 개발
차별성	해당 사업은 커터헤드 설 계기술을 개발하는 사업으 로 연속굴착 시공기술을 개발하는 본 사업과는 차 별성이 존재	해당 사업은 커터헤드 설 계 자동화 등에 대한 사업 으로 본체 개조 기술 및 후방 세그먼트를 개발하는 본 사업과는 차별성이 존 재	해당 사업은 소단면 일반 TBM 기술과 수직구용 시 공 기술에 대한 사업으로 연속굴착형 TBM과 세그먼 트를 개발하는 본 사업과 는 대상과 목적에서 차별 성이 존재	해당 사업은 해저터널 건 설을 위한 최적화 기술개 발 사업으로 연속굴착형 TBM 및 세그먼트를 개발 하는 본 사업과는 개발하 고자하는 기술의 종류에서 차별성이 존재	기존 일반 TBM 제어 기술 의 스마트화를 추진한 사 업으로, 연속굴착 기술을 개발하는 본 사업과는 차 별성이 존재
연계성	고성능 세그먼트 라이닝 등의 일부 기술은 본 기술 개발 사업과 연계하여 활 용이 가능	운전-제어 시스템 및 시뮬 레이터 등의 일부 기술은 본 기술개발 사업과 연계 하여 활용이 가능	급곡구간-특수지반 등의 일부 시공기술들은 향후 본 사업의 기술개발 시 연 계하여 활용이 가능	TBM 공법은 해저터널 및 해저터널 건설 시에도 장 점이 큰 기술로, 본 사업 의 기술개발 시 해저터널 에서의 적용 가능성을 고 려하여 기술 간 연계 추진이 가능	본 사업에서 개발하는 연 속굴착형 TBM의 제어 시 스템 및 중앙관제 시스템 개발 시 스마트 TBM 기술 과 연계하여 활용이 가능

☐ TBM 분야 국가 R&D 과제를 조사하여 유사사업·과제와의 차별성·연계성을 종합적으로 제시

〈표〉 NTIS를 활용한 TBM 관련 국가 R&D 과제 조사

과제명	기준년도	정부예산 (백만원)	수행 주체	개발단계
TBM 구동부 및 후방설비의 시스템 엔지니어링 기술개발	2017	530	이엠 코리아	개발 연구
TBM 운전·제어 시스템 및 커터헤드의 최적화 설계 기술 개발	2020	2,030	건설기술 연구원	개발 연구
	2017	426	건설기술 연구원	개발 연구
TBM 구동부 및 후방설비의 시스템 엔지니어링 기술 개발	2018	1,237	이엠 코리아	개발 연구
TBM 운전·제어 시스템 및 커터헤드의 최적화 설계기술 개발	2018	1,011	건설기술 연구원	개발 연구
TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어시스템 개발	2019	1,606	건설기술 연구원	개발 연구
초장대 해저터널 계획을 위한 최적 지질/지반조사 기술 개발	2018	490	서울 대학교	개발 연구
해저터널 설계/시공 시 안정성 평가 기술개발	2018	380	건국 대학교	개발 연구
해저터널 설계/시공을 위한 핵심요소 기술 개발	2018	2,050	고려 대학교	개발 연구
방호실드(TBM pilot NATM 확폭의 병행굴착)를 이용한 장대터널의 고속굴진 기술개발	2020	508	강릉 건설(주)	개발 연구
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

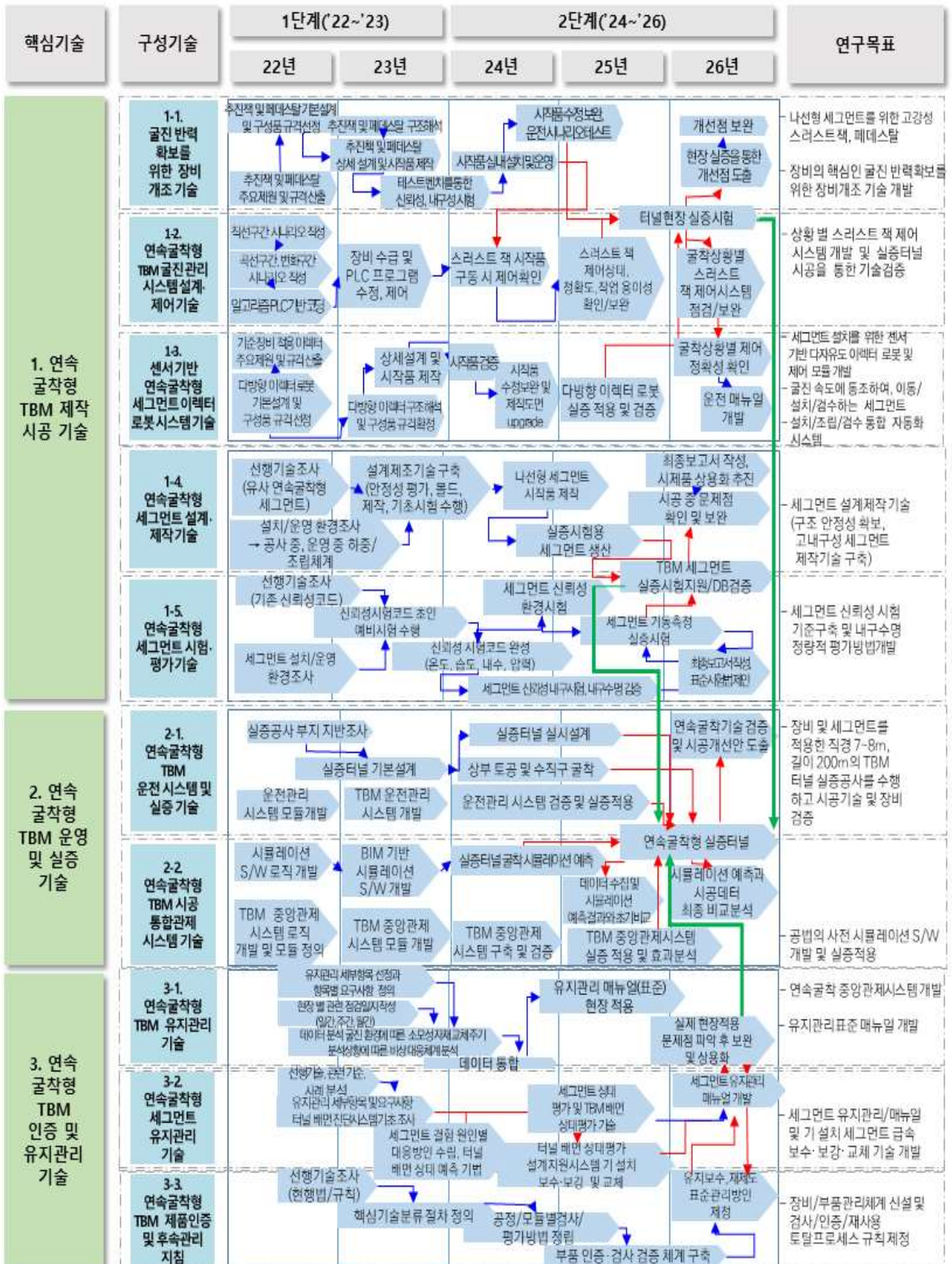
[그림] 유사사업·과제와의 차별성·연계성 분석 결과



④ 핵심·구성기술간 연계

□ 각 핵심기술과 구성기술이 유기적으로 연결되어 사업목표를 달성할 수 있도록 기획

[그림] 본 사업의 핵심·구성기술 총괄로드맵



마. 예산계획의 적절성

- 최근 3년간의 국토교통 R&D 과제 평균을 분석하여 인력, 연구활동비, 연구재료비, 간접비 등을 추정하고 기획위원회를 통해 연구 기간 및 필요 장비 리스트를 도출하여 소요예산 산출

〈표〉 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

[그림] 본 사업의 소요인력 및 필요 장비 리스트

㉔ 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 3-64〉 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

㉔ 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	나산형 세그먼트 실험시험 (원시형 및 척주력 장비)	300	1	300	2023	1-4
2	신축성 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	-	-

바. 성과도출/검증 전략의 구체성 및 타당성

- 기획보고서 내 세부적인 Test-Bed(안)을 제시하였으며, 기술개발 참여 및 Test-Bed 제공 여부 등에 대한 민간 기업의 참여의향 조사를 48건 확보하여 통해 사업 추진 전략 구체화

[그림] Test-Bed(안) 및 민간 기업 참여의향 조사

[테스트베드 및 제조 TBM 확보방안]		붙임 1 TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 참여의향서 양식	
성공지역 확보방안 ○ 연속굴착형 세그먼트 설계 및 제작 분야 참여 의사가 있는 기업의 현물투자를 통해 확보		기업명 대표자 주소	사업자등록번호 입종/업태
제조/제조 TBM 확보방안 ○ 참여기업의 현물투자 - 참여기업이 현장 사용 종료 후 보유중인 중고 장비를 본 사업 실증에 현물투자		기업형태 (√표시) ○ (분류1) 대기업(), 중견기업(), 중소기업(), 기타() ○ (분류2) 시공사(), 전문건설사(), 설계사(), 구조물제작(), IT/SW/통신(), 건설장비제작(), 기타()	
테스트베드 요건 ○ 지반공사 및 지하공사 수행 가능한 충분한 면적의 부지 ○ 수천억원을 갖추어 TBM 장비 가동 등에 필요한 전력공급이 수월한 지역 ○ 공장에서 제작된 세그먼트의 운송에 유리한 지역 ○ 터널공사로 발생한 굴착토 및 폐기를 처리에 유리한 지역 ○ 주위 민원발생 가능성 낮은 지역		기업규모 R&D역량 배출액 R&D투자규모 백만 원 인력규모 명 백만 원 R&D인력 명	
테스트베드 규모 ○ 수직구 : 1~2 es (직경 18m, 깊이 30m) ○ 실증터널 : 직경 7~8m, 길이 200m		TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 핵심기술별 참여의사 중점분야 명 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 ※ 테스트베드 제공이 가능한 기업만 √ 표시
적용가능 시기 ○ 연구개발 1~3년차 TBM 장비제조, 실험실 검증 ○ 연구개발 3, 4년차 지반공사 및 수직구 공사 ○ 연구개발 4, 5년차 제조장비 적용한 터널 굴착		추진 : 국토교통과학기술진흥원 귀하 TBM 연속굴착 기술개발사업 참여 의향 조사를 위와 같이 제출합니다. 2021년 월 일	
		서명 직위/직책 연락처	(서명) (TEL) (FAX) (E-mail)

〈표〉 참여의향 조사 결과

구분	[핵심기술 1] 연속굴착형 제작· 시공 기술	[핵심기술 2] 연속굴착형 TBM 운영 및 실증 기술	[핵심기술 3] 연속굴착형 TBM 인증 및 유지관리 기술
건	21	16	11

- 전략계획서 작성을 통해 기획의도-수행내용-성과 간 연계성이 드러날 수 있도록 사업 추진체계 및 전략, 기대효과, 전략목표, 성과목표, 성과지표 등을 설정하고 제시

[그림] 본 사업의 전략계획서

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 제조-운영 기술 및 세그먼트 제작 기술을 확보함으로써 기존의 TBM 시공량보다 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	지표 유형	집적 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	
성과목표-2 연속굴착 TBM의 운영 안전성 확보	0.3	연속굴착형 TBM 운영 매뉴얼 마련	건	목표	- 3	양	-	연속굴착형 TBM 운영-관리에 필요한 절차서, 평가법 등 총 7개의 매뉴얼 중 단계별 달성 가능한 개수를 목표치로 설정	

사. 연구성과의 파급효과 및 기대효과 구체성 및 타당성

- 핵심기술별로 본 기술개발사업 추진 결과를 통해 예상되는 과학기술적·사회경제적 파급 효과의 구체적인 내용을 제시

[그림] 파급효과에 대한 핵심기술별 제시

핵심기술 1	핵심기술 2
① 과학기술적 측면 □ 연속굴착형 TBM 굴진관리 시스템 설계/제어 기술로 사공중 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 굴진을 향상 기술을 확보할 수 있음. 또한, 실용 공작을 통해 기술을 검증할 수 있어 세계 최고의 연속 굴착 기술 확보가 가능 (TRL 3 → 9) ○ 연속굴착형 TBM 시스템 설계기술 - 연속굴착형 TBM 사공중 발생하는 세그먼트 설치, 자반 반력 상태, 회전반경, 사공 오차 조정 등의 사나리오에 따라 상황을 용이하게 제어할 수 있는 시스템 설계기술 활용 - 각 상황 시간지연에 따른 다운타임 감소와 중대 리스크 사전 대응 가능 ② 사회경제적 측면 □ TBM 기술의 혁신적인 패러다임 전환으로 해외시장 경쟁력 제고 ○ 연속굴착 TBM 장비, 설계, 사공 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 실용 공작을 통한 기술 검증으로 수입 창출 기대 - 세그먼트 이펙터 로봇 시스템 기술 개발로 공사중 안전사고 저감과 도심지 사공시 교통 혼잡 축소, 민원 감소 기여 □ 공기단축을 통한 사회적 비용 감소 ○ TBM 관련 국내 시장규모는 급격하게 팽창 중이며, 이는 향후 10년간 10조원 이상으로 추정. 본 연구를 통해 획득된 기술을 활용할 경우 공사비의 약 5%~5.5천억원/10년간을 절감할 수 있을 것으로 예상 - NATM 공법의 대안이 될 수 있는 영역이 확대되므로 인해 발생하는 TBM 장비분야의 저변확대 ○ 민원저감, 건설안전해제 저감효과 등 간접적 비용 추정액은 500억원으로 추정됨. 따라서 본 연구에서 개발된 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	① 과학기술적 측면 □ BIM 기반 굴착사이클 시뮬레이션으로 리스크 사전제거 ○ 실재사공에 앞서 디지털 사공을 수행하여 굴착위험요소를 사전에 포착하고, 위험요소별 대책이론으로 공기사면이나 비용증가 등의 리스크를 사전에 방지함 □ TBM 운전관리시스템 및 중앙관제시스템 개발로 가동률 최적화 ○ 굴착 중 실시간 사공조건을 반영하는 최적의 장비운행방안을 제시하고, 장비 데이터 등 현장에서 발생하는 다양한 데이터를 수집하여 중앙관제시스템을 개발함으로써 연속굴착 TBM의 가동률 최적화 ② 사회경제적 측면 □ 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/제조 기준을 개발함으로써 국내 연속굴착 사공 활성화에 도움 - TBM 제작 및 부품 관련 중소기업의 신시장 창출에 기여 □ 싱크홀 등 안전 문제를 감소시켜 국민 불안요인 해소하고 산업 부산물 발생을 최소화 ○ TBM 장비 정지 없는 사공능력 확보로 최근 문제가 되었던 싱크홀(ex. 석촌 지하차도) 재발방지와 함께 국민 불안요인 잠식 ○ 3D모형을 통한 계획적이고 체계적인 나선형 세그먼트 제작 기술은 양어 콘리트 및 산업 부산물 발생 최소화로 친환경 건설 시스템 구축 ○ 3차원 세그먼트 볼드제작 기술은 월드 TBM 터널공사 뿐만 아니라 다양한 건설현장의 프라게스트 구조물에 적용 가능 □ TBM 기술의 혁신적인 패러다임 전환으로 해외시장 경쟁력 제고 ○ 연속굴착기술로 기존 TBM터널기술의 획기적인 변화와 함께 국내건설사의 해외 TBM시장 경쟁력 제고 및 시장 확대 ○ TBM 터널사공시 세그먼트 비용 20%절감, 굴진장 km당 10억원 이상 비용 절감

- 「연구성과 관리·활용 기본계획」의 정책기조에 부합토록 활용체계를 구성하고 터널건설 생태계 조성(비즈니스모델 창출 등), 사업화 및 해외시장 진출 등에 활용될 수 있도록 활용방안을 계획

[그림] 본 사업의 성과활용체계 및 성과활용계획

구분	기표	연구성과	성과평가
성과계획	• (전문기관) 사업성과관리체계 수립(연구개발) 제1	• (연구개발자) 성과관리 체계, 성과물, 활용도 등 연구개발계획 제1	• (연구개발자) 중간(연구개발) 결과물 인정하여 성과지표 수립
성과관리	• (전문기관) 사업성과관리체계 수립 제1	• (연구개발자) 핵심성과에 따라 성과지표를 연구개발계획 제1	• (전문기관) 중간(연구개발) 결과물 인정하여 성과지표 세부 관리
성과활용지원	인프라 지원	사업화 전담지원	사업진출 지원
지원내용	• 기술기반 평가 지원 • 기술개발 단계별 자금지원 제1 • 산업은행 및 시정비 제공	• 중·소기업 기술개발 지원 제1 • 연구개발 자금 지원 제1 • 기술사업화 지원(연구개발) 지원 제1	• 공공기관 연계 운영 • 정부지원 자금 지원 제1 • 기술사업화 지원 제1 • 해외기술도입 지원 제1
성과활용	I. 인건비 및 사업비	II. 장비·제도 활용	III. 협력비
수요처	발주처, 기업, 연구기관	국립, 발주처	연구기관, 기업
활용내용	• 공·민간 협력사업 추진 및 비용절감 • 기술사업화 지원 제1	• 개발된 기술·제품을 활용한 제품, 서비스 등 제1 • 정부지원 자금 지원 제1	• 특허권 S/W, 국제특허 등 국내 및 해외 지식재산권 확보

영역분야	세부 활용계획	영역지
터널건설 정책 및 제도	• 생산성 향상을 위한 TBM 연속굴착 기술의 현장 적용 제도에 활용 • 표준화, 장비 관리 등 설계 공사현장 적용(발주처 테스트베드) 결과물 제도개선 활용 • 민간의 TBM 사용기술 활용 촉진을 위한 인센티브 제도에 활용	국토교통부, 발주기관 (도로공사, LH 등)
표준화	• TBM 활용, 터널건설 전주기 표준화 기술 • 연속굴착형 자동차와 터널사공의 지식정보 생성을 위한 지식 및 디지털 문서표준화 기술 • 연속굴착형 건설장비 운영을 위한 기술 표준화 (ICT플랫폼의 호환 등)	국토교통부, 발주기관, 민간기업
자동차 터널건설 생태계 조성	• 비즈니스 모델 창출을 통한 터널사공 생태계 조성 • 핵심기술/구상기술별 기술개발 결과물 제공·공유함으로써 TBM 관련 산업 육성 지원에 활용 ※ 비즈니스 모델 창출 주요 아이템(예시) • 연속굴착형 TBM 개조를 위한 애플리케이션 • 연속굴착형 TBM 부품 제조 • 디지털 장비를 활용한 설계-시공 협업 솔루션 • 건설현장 안전관리 및 장비 운영 교육 컨설팅 및 운영 • 현장 작업자-로봇 협력형 사공장비 생산 및 운영 • 발주처(기업) 역량강화에 활용 • 지자체, 공공기관 등의 사업관리 직원 대상으로 자동차 터널건설에 대한 워크숍, 자문공유 등을 통해 발주처(기업)의 역량 강화에 활용 • 자동차 터널건설 전문인력 양성 활용 • 연속굴착형 사공기술을 터널건설 기술 체계 확장에 활용 • 건설기술교육원의 전문인력 양성 프로그램에 기술개발 및 검증, 현장 적용 사례 등을 공유하여 TBM 터널건설기술, 전문인력 양성 과정 신설에 활용	국토교통부, 연구기관, (대학, 출연연 등) 민간기업
사업화 및 해외시장 진출	• 디지털 기반의 터널건설 솔루션 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 이펙터 로봇 시스템 기술 • 연속굴착형 세그먼트 설계·제작 기술 • 연속굴착형 TBM 운전 시스템 및 실용 기술 • 연속굴착형 TBM 유지관리 기술 • 연속굴착형 세그먼트 유지관리 기술	발주기관, 민간기업

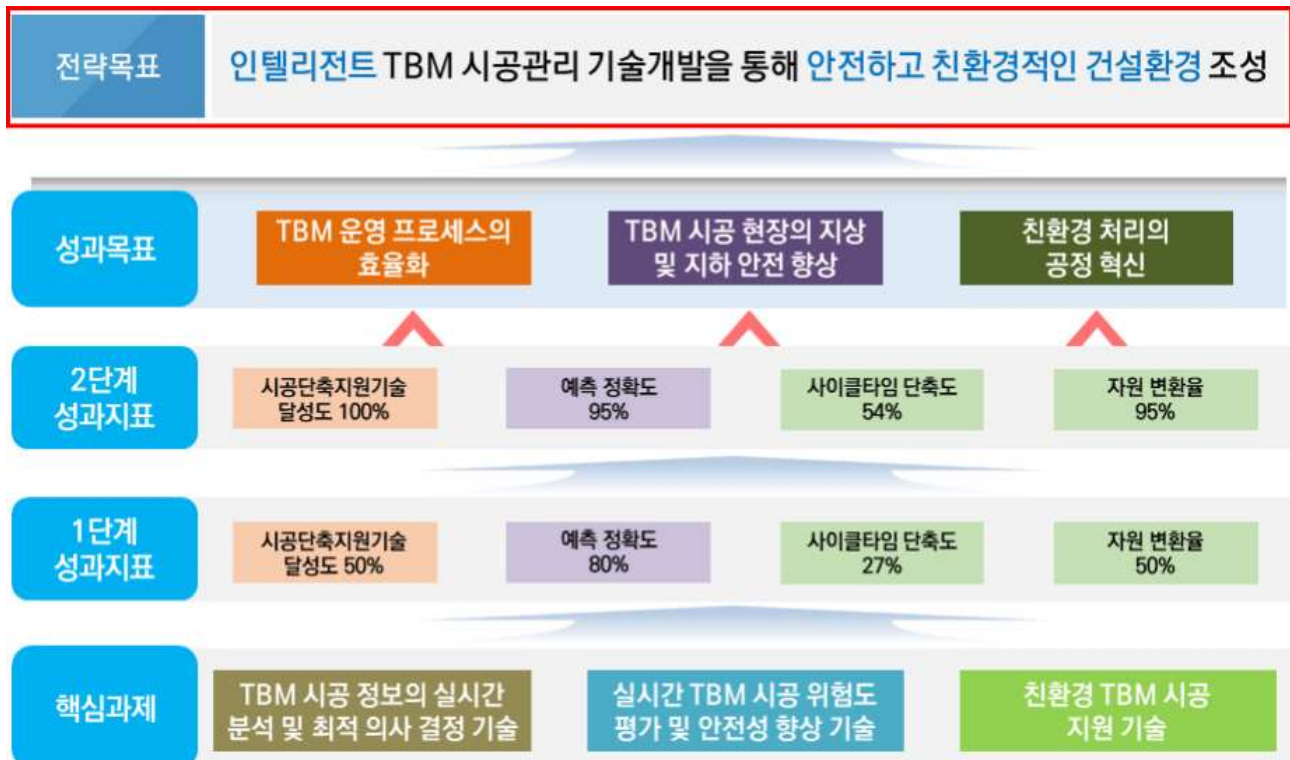
(2) 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업

가. 비전 및 목표 설정의 적절성

① 전략목표

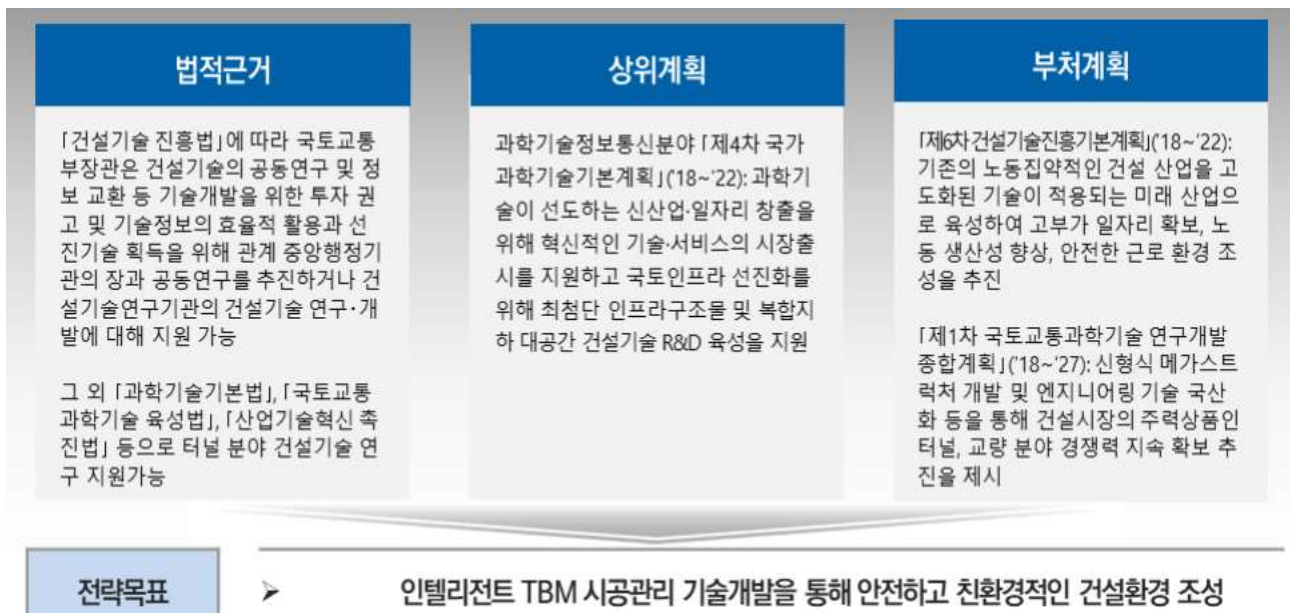
□ 유기적으로 연계되도록 전략목표, 성과목표, 성과지표, 핵심과제를 설정

[그림] 본 사업의 전략목표 체계도



□ 법적근거, 상위계획, 부처계획 내용을 종합적으로 분석하여 본 사업의 전략목표를 설정

[그림] 본 사업의 전략목표 도출 근거



② 성과목표

□ 본 사업의 목표달성을 위해 각 성과목표·지표별 설정근거, 측정방법 및 산식 등을 구체적으로 제시

[그림] 성과지표의 설정과 측정산식 제시

[1단계 성과지표]

시공단축지원기술 달성도 50%		예측 정확도 80%	
설정 근거	본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정	설정 근거	사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 예측 정확도 80%를 확보하는 것을 목표치로 설정
측정 산식	$\frac{\text{성능목표치 달성 건수}}{\text{총 성능목표 수}} \times 100$	측정 산식	$\frac{\text{예측 성공 수}}{\text{예측 시도 수}} \times 100$
폐토석 반출 사이클타임 단축도 27%		자원 변환율 50%	
설정 근거	사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 목표를 27%로 설정	설정 근거	지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 비율을 1단계에서는 사업 초기임을 감안하여 50%로 설정
측정 산식	$0.27 \leq \frac{\text{기존 사이클타임} - x(\text{본 사업 기술의 사이클타임})}{\text{기존 사이클타임}} \times 100$	측정 산식	$50 = \frac{\text{재활용 가능한 폐토석량}}{\text{굴착을 통해 발생한 총 폐토석량}} \times 100$

[2단계 성과지표]

시공단축지원기술 달성도 100%		예측 정확도 95%	
설정 근거	본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정	설정 근거	예측의 실효성이 있는 수준인 95%까지 정확도를 달성하는 것을 최종목표로 하여 단계별로 달성 가능한 수치 제시
측정 산식	$\frac{\text{성능목표치 달성 건수}}{\text{총 성능목표 수}} \times 100$	측정 산식	$\frac{\text{예측 성공 수}}{\text{예측 시도 수}} \times 100$
폐토석 반출 사이클타임 단축도 54%		자원 변환율 95%	
설정 근거	본 사업의 기획연구를 통해 제시하고 있는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 54%를 단계별로 달성 가능한 수준으로 제시	설정 근거	지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 대부분 변환되는 것을 목표로 제시
측정 산식	$0.54 \leq \frac{\text{기존 사이클타임} - x(\text{본 사업 기술의 사이클타임})}{\text{기존 사이클타임}} \times 100$	측정 산식	$\frac{\text{재활용 가능한 폐토석량}}{\text{굴착을 통해 발생한 총 폐토석량}} \times 100$

□ 사업목표를 달성하기 위해 질적지표를 중심으로 성과목표·지표를 설정하여 제시

[그림] 질적지표 중심의 성과목표·지표

성과목표	TBM 운영 프로세스의 효율화		TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상		TBM 친환경 처리의 공정 혁신	
단계별 성과목표	1단계(2023~2025)			2단계(2026~2027)		
	➢ 시공단축지원기술 달성도(50%) ➢ 예측 정확도(80%) ➢ 폐토석 반출 사이클타임 단축도(27%) ➢ 자원 변환율(50%)			➢ 시공단축지원기술 달성도(100%) ➢ 예측 정확도(95%) ➢ 폐토석 반출 사이클타임 단축도(54%) ➢ 자원 변환율(95%)		
성과지표 및 가중치	지표명	지표 구분	가중치	지표명	지표 구분	가중치
	시공 단축지원기술 달성도	질적	0.5	시공 단축지원기술 달성도	질적	0.5
	예측 정확도	질적	0.3	예측 정확도	질적	0.3
	폐토석 반출 사이클타임 단축도	질적	0.1	폐토석 반출 사이클타임 단축도	질적	0.1
	자원 변환율	질적	0.1	자원 변환율	질적	0.1
	합계	-	1.0	합계	-	1.0

나. 연구추진 필요성 및 정부지원 타당성

① 배경 및 필요성

- 세계 주요국들은 인구의 도시 집중화에 대응하기 위하여 안전하고 빠른 이동이 가능한 도심지 지하교통 터널에 주목하고 있으며 TBM 활용을 통해 안전하고 경제적으로 건설 중
- 주요국들은 교통 혼잡 완화 및 지상공간 창출을 위해 지하 도심순환 고속도로 및 도심도 지하 고속철 건설 등 대형 프로젝트를 진행 중

〈표〉 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
스페인	M30 도로	기존 M30도로의 교통량 증대에 따른 교통체증 문제 해결 및 만자나레스강과 주변 지역의 환경 복원을 위함
미국	Big-Dig	교통체증 없고 녹지 가득한 도시로의 변신을 위해 도시를 관통하는 고속도로의 차로를 확장하고 지하화하여 공원과 녹지를 마련하기 위함
	Alaskan way	노후화되고 지진으로 손상된 고가도로를 철거하여 지상교통흐름의 저해와 주변 환경에 대한 피해를 최소화
영국	런던 실버타운	템즈강 하저터널 관통으로 혼잡한 런던의 교통문제 해소하기 위함

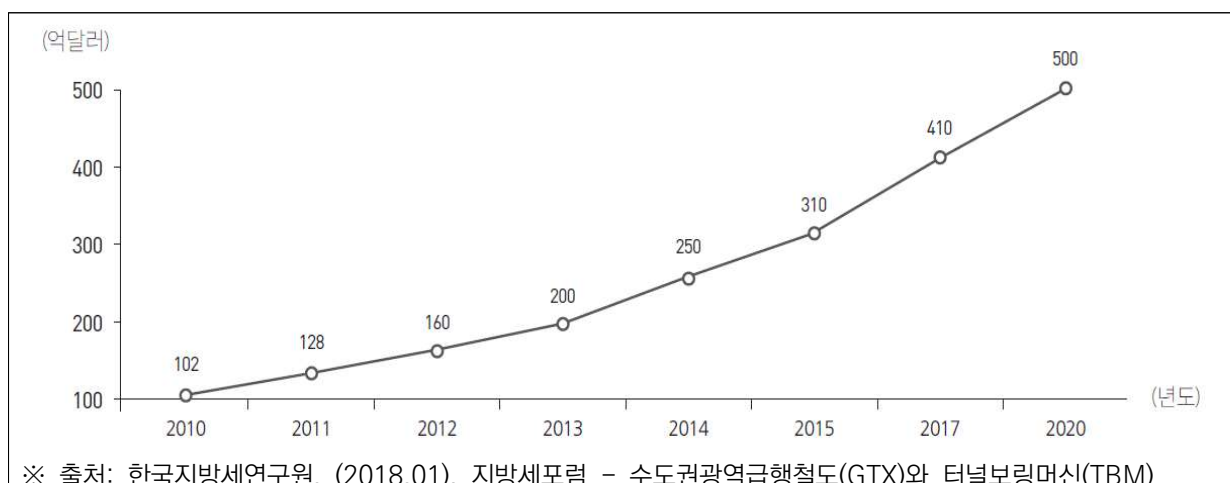
※ 출처: 한국과학기술기획평가원. (2019). 지하공간 개발동향

- 전 세계 10대 초장대 터널 중 5곳의 터널도 TBM 공법을 통해 건설
 - (스위스) '16년 완공된 Gottard Base 터널은 지하 2,000m를 지나는 세계 최장 터널로서
 - (영-프) Chunnel 터널은 굴착속도 향상 위해 11대의 쉴드 TBM을 적용
 - (스페인) Pajares Base 터널은 가장 최근인 2020년 완공된 터널로

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

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

[그림] 세계 TBM 시장규모



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

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

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

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

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

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

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

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

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

- 시스템 도입과 함께 시공모니터링 관련 연구 활성화 및 부가 수익 창출 등의 파급효과를 기대 중

- 시공 중 지질/지하수 조건, 지반변형, 구조물 손상 등 변수들에 대한 방대한 정보를 표준화 하여 제공하는 기능을 포함

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

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

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

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

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

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

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

[그림] 주변 지반 문제를 파악하지 못한 터널 굴착 공사



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

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

- 지하건설 관련 굴착토에 따른 매립지 포화 등이 사회적 문제로 대두되고 있으며, 건설 폐기물 순환이용률을 88.9%까지 높이고자 기본계획을 수립
 - 최근 건설폐기물 및 지하건설 관련 굴착토 발생량 증가와 이에 따른 매립지 포화 등이 사회적 이슈로 대두
 - 국내 건설폐기물 순환이용률은 79.5%로, 수립된 기본계획에서는 9.4% 증가한 88.9%를 달성 목표로 설정
- TBM 굴착을 통해 발생하는 폐토석은 연간 약 30만 톤 수준이며, 이 굴착토는 대부분 건설폐기물로 취급되어 매립·폐기 중
 - 국내에서 연간 발생하는 건설 폐토석은 약 200만 톤 수준으로 이중 15% 정도가 TBM 굴착과 관련 있는 상태
 - TBM 굴착토는 고함수비, 중금속/오염물 흡착, 낮은 pH등과 같은 특성에 의해 대부분 건설 폐기물로 취급되어 사토장에 매립 또는 폐기되는 실정

② 국고지원의 적절성

□ 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) 원천기술 개발 및 기술 패러다임을 바꾸는 차세대 유망기술 선점에 주력

- (주력산업 고부가가치화) 산업군별로 차별화된 전략 적용 및 핵심 기술 축적을 통해 주력 산업을 고부가가치화
- (테스트베드 확충) 핵심전략품목 기술개발이 생산까지 이어질 수 있도록 수요기업 맞춤형 신뢰성·실증 평가체제 구축·지원

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

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

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

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

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

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

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

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

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

○ TBM 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 건설 기술개발 및 인프라 구축 등을 국정과제로 선정하는 등 정책적 방향 제시

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

□ 건설산업의 생산성 침체를 극복하기 위한 국가 차원의 방안 필요

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

- 국내 건설 생산성은 시간당 18.7달러로 선진국 평균(35.6달러)의 절반 수준

다. 핵심기술 개발 내용

□ 핵심기술[3개]-구성기술[8개]로 구성하였으며, 이에 대한 개발내용을 제시

사업	핵심기술	구성기술
인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업	1. TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술	1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사 결정 기술
		1-2. TBM장비 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술
		1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발
	2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술	2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술
		2-2. TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술
		2-3. GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 시스템
	3. 친환경 TBM 시공 지원 기술	3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술
		3-2. 고함수비 굴착버력의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술

□ 실시간 TBM 통합 관제 실현을 통한 운영효율성 증진으로 공사기간 단축 및 유지관리 비용을 절감하는 것을 목표로 기술개발과 실증을 수행

* 사업목표: TBM 공법의 공사기간 10% 단축 및 유지관리비용 15% 절감

(핵심기술 1) TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술

핵심기술의 As is - To be 개요

【 기존 】

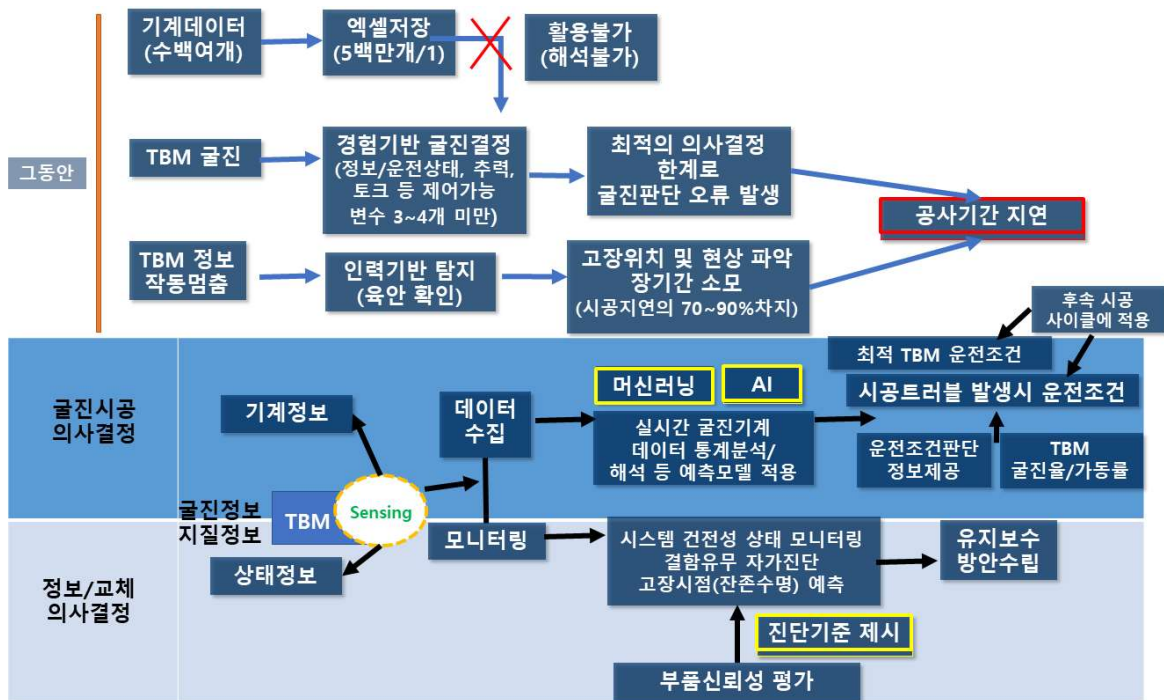
- TBM 굴진 중 취득된 기계데이터를 정제·분석하는 기술의 부재로 굴진 데이터가 실시간으로 활용·피드백되지 못하고, 오퍼레이터(운전원)의 경험에 전적으로 의존 중
- TBM 장비의 파손·손상은 육안 식별이 불가능하여, 파손·고장 위치와 현상 파악에만 공사 지연(다운타임, Downtime)의 70~90%가 소요
 - 문제가 발생한 후 TBM 고장을 인지하는 사후정비 방식인 관계로, 고장이 발생된 부분과 관련된 모듈·부품들의 추가적인 파손·고장 위험 또한 존재
- TBM 시공의 전반적인 프로세스를 중앙에서 관리할 수 있는 통합 관제 기술의 부재로 유기적인 굴착 프로세스 진행 불가 및 시공지연 발생
- 국내에서는 데이터의 체계적인 수집 및 분류가 이루어지고 있지 않아 기존 사례(빅데이터) 분석에 기반한 효율적 굴착 수행이 불가
 - 기존 TBM 데이터 수집은 Excel 기반의 산발적 데이터로 처리시간 부족 및 복잡성이 높아 실제 TBM 시공에 활용 불가

【 본 과제 】

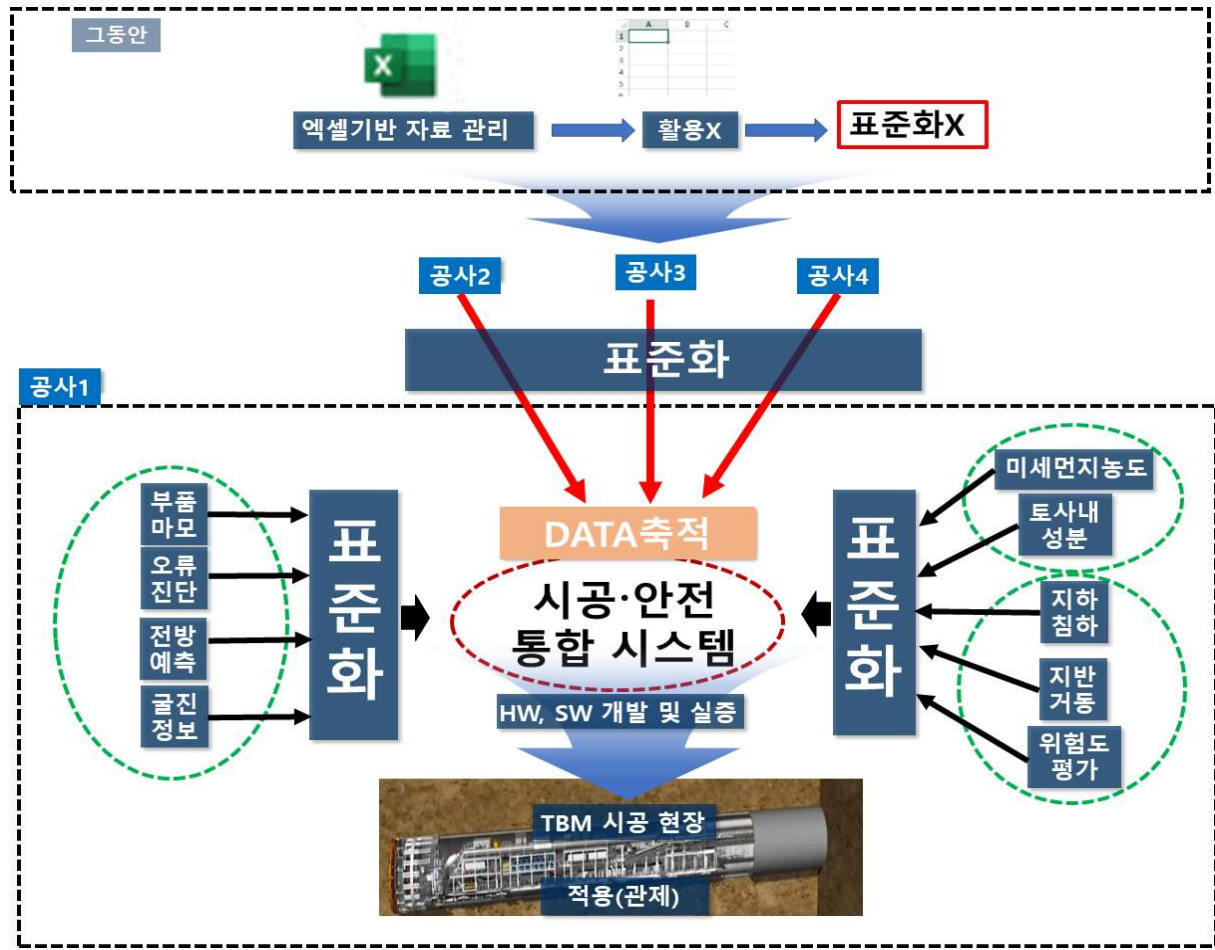
- TBM 굴진 데이터 기반 실시간 분석 및 예측기술 적용을 통하여 후속 시공단계에서 최적의 의사결정 및 공기만회 방안 수립 지원
- 센싱기술을 활용하여 TBM 부품들에 대한 실시간 자가진단(Self-diagnosis) 및 잔존수명 예지를 수행하고, 이를 통해 다운타임 최소화 목적 달성
- TBM에서 실시간으로 획득·분석된 시공정보·장비정보·위험도 등의 다양한 데이터들을 표준화하고 빅데이터화
 - 장비사양에 따라 상이한 데이터항목들의 표준화 → 데이터를 표준화·분류·저장하여 필요로 하는 현장·기관에 전송하는 데이터센터 구축
- TBM 실시간 시공·안전 통합시스템(HW 및 SW) 개발 및 실증
 - 핵심기술 2~3을 통합하는 클라우드 서버 기반의 통합 관제시스템 개발 및 실증

[그림] 핵심기술 1의 기술개발 방향

Part 1.



Part 2.



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

핵심기술의 As is - To be 개요

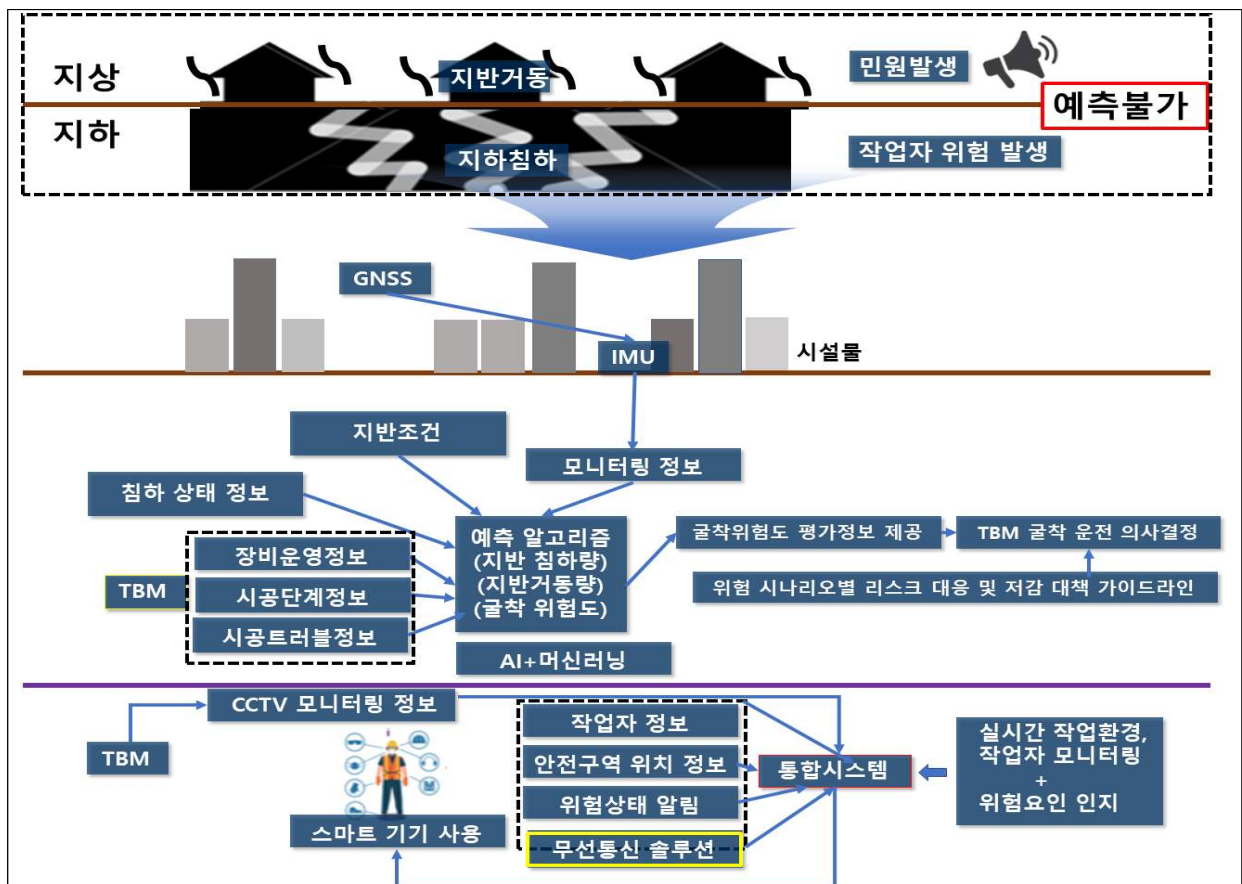
【 기존 】

- 공사구간에 대한 모니터링이 실시간으로 이루어지고 있지 않아 민원이 발생하기 전까지 지반침하·거동 파악이 불가
- 지하 시공 현장에서 작업자의 실시간 위치 파악 및 정보 공유의 부재, 통신음영 지역에 대한 원거리 소통의 한계점 도달

【 본 과제 】

- 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술을 통해 지반침하·거동을 사전에 방지하고 위험 발생 시 실시간으로 전달·대처
- 굴착토량 측정, 지반침하 영향인자와 실측 침하량에 대한 알고리즘 분석 수행
- 무선통신기술과 스마트기기를 활용한 실시간 위험성 평가, 장비운영 데이터의 실시간 공유, 안전사고 발생 시 실시간 소통을 통해 즉각적으로 대처
- 통신음영 지역 무선통신 기술 및 AR·핸드프리·음성제어 기술을 활용하여 인력을 관리하고, 작업자에게 터널용 스마트 안전기기를 제공하여 위치 추적과 위험인자를 확인

[그림 3-30] 핵심기술 2의 기술개발 방향



(핵심기술 3) 친환경 TBM 시공 지원 기술

핵심기술의 As is - To be 개요

【 기존 】

- 지하공간 TBM 굴착시 발생하는 굴착토는 고함수비 상태로 배토되는 경우가 많아, 고화 처리에 오랜 시간이 소요되고, 건설 폐기물로 취급되어 사회·경제적 비용부담이 큰 실정

【 본 과제 】

- 친환경 TBM 전용 첨가제 주입, 최적 배합 설계, 챔버 내 굴착토 교반 장치, 기술적 굴착토-첨가제 분리를 통해 친환경성 확보
- TBM 굴착토에 대해 친환경 신소재(바이오폴리머 등) 기반 후처리(탈수, 고화, 중금속 제거 등)를 진행하여 건설재료화
- 고함수비 굴착토의 고화처리·운반용 갱내 운반 기술을 통해 지상 반출 전 지하에서 고화 처리 프로세스까지 사전에 수행

[그림 3-54] 핵심기술 3의 기술개발 방향



라. 세부 및 단위과제 도출의 합리성 및 과제간 연계성

① 기술수요조사

□ TBM 분야 기술개발사업의 구성기술 선정에 있어 산·학·연 전문가의 다양한 의견수렴 및 반영을 위해 기술수요조사를 시행하고 66건의 수요기술을 확보

○ 기술목표 수립을 위해 전문가로부터 대상 기술을 체계적으로 분류, 분석, 예측하여 향후 비교우위를 가질 수 있는 핵심기술과 분야의 수요를 조사

〈표〉 본 기획연구의 기술수요조사

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

○ 기술수요 대상자를 확대하기 위해 ‘한국터널지하공간학회’와 ‘한국암반공학회’에 협조를 요청

〈표〉 기술 제안기관별 응답자

(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 기술평가

□ 후보기술을 도출하기 위해 기술평가를 실시하고 기술수요조사를 통해 얻은 기술 리스트 중 기술평가에서 높은 점수를 부여받은 기술을 본 사업의 구성기술로 도출

〔그림〕 신규 TBM 분야 기술개발사업 기술평가

	B	C	D	E	F	G
19	1	TBM 연속 작업 성능 향상과 관리 비용 절감을 위한 핵심부품 및 모듈의 혼용 신뢰성 확보 기술	5	4	4	4
20	2	TBM 안전성 평가 및 인공 검사 기술	3	4	4	2
21	3	TBM 기계데이터를 이용한 실시간 진동지침 예측 및 지질 대응 최적화 굴진 및 자율 운항 시스템	3	4	4	4
22	4	굴착시공 및 파쇄대 굴 TBMEPR or SLURRY TYPE) 핵심기술 개발	3	4	4	3
23	5	국내 TBM 기술자 훈련 방식 연구	3	4	3	3
24	6	국내 절도TBM 활성화 및 선진화를 위한 제도화 연구	4	5	5	4
25	7	헬리컬(HELICAL) 세그먼트를 적용한 TBM 굴진속도 향상 기술	5	4	5	4
26	8	연속굴착이 가능한 나선형 세그먼트형 TBM의 유지관리 기술 개발	4	5	5	4
27	9	TBM 세그먼트 조립공정 자동화를 위한 AI 비전기반 이력데이터 활용도별 개발	5	4	5	4
28	10	Shield TBM Segment Ring Building 작업 자동화	5	4	5	4
29	11	Shield TBM 굴진 자동화	3	4	4	3
30	12	TBM 진동 지반 예측을 통한 안전 사고 예방 기술	3	4	4	4
31	13	고압수비 굴착바닥의 진동성 고화처리 및 운반을 위한 장내 운반대차의 개발 및 제작	4	3	4	3
32	14	중대형 TBM의 화인제 유류의 내구시험방법 및 실험요시할장비 개발	4	4	4	2
33	15	중대형(7-8m) TBM용 150KW급 유압 모터 국산화 개발	4	3	3	4
34	16	절도 TBM 시공(세그먼트 라이닝) 품질향상을 위한 BIM도입 연구	3	3	4	3
35	17	연속굴착을 위한 절도 굴진과 세그먼트 조립 동시 시공 장치 기술 개발	4	5	5	4
36	18	TBM 안정성 향상을 위한 고강도 고내구성 세그먼트 재료 개발	4	4	4	5
37	19	시공 및 운영 단계에서의 TBM 세그먼트 배열의 상태 평가 기술	4	4	5	4
38	20	연속굴착형 세그먼트의 국산부 설치 대응기술	5	4	5	5
39	21	연속굴착형 세그먼트의 구조보강 대응기술	5	4	5	5
40	22	연속굴착형 세그먼트의 체결방식 효율화 및 성능향상 기술	4	4	5	5
41	23	연신로베어	3	4	3	3
42	24	EPB 절도 세그먼트 배열 최적화 품질 평가 기술 개발	4	5	3	4
43	25	디스크러터 최적 설계기술 개발	3	4	3	4
44	26	동시 굴진 시스템	4	5	5	5
45	27	TBM 구동부Drive Unit시스템 국산화 기술 개발	3	3	3	3
46	28	TBM 기어박스 자체를 개발	3	2	3	3
47	29	워터젯을 활용한 고로를 TBM 굴진 기술	3	3	3	3
48	30	굴진면 진동 예측 및 지반평가 기법 개발	4	4	3	4
49	31	TBM 예지보전을 위한 근원센서 및 네트워크 제어시스템 개발	3	3	4	3
50	32	연속적인 굴착이 가능하도록 저비용 압축 공기교체를 위한 막장면 안정화 기술 개발	3	3	3	3
51	33	고강성 절도 개발 및 다각도 유래도 개발	4	4	5	5

③ 기존 사업과의 차별성·연계성

□ 부처에서 추진 중인 5개의 유사사업과 본 사업과의 차별성 및 연계방안을 분석하여 제시

[그림] NTIS를 활용한 최근 10년간의 유사사업 조사

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

〈표 2-46〉 타사업과의 중복성 검토

사업명	(TBM 1단계) TBM 핵심 설계 부품기술 및 TBM터널의 최적건설기술 개발	(TBM 2단계) TBM 커터헤드 설계자동화 및 운전·제어시스템 개발	(공동구) 도심지 소단면(3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발	(해저터널) 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발	(스마트건설) 머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술개발
소관부처	국토교통부	국토교통부	국토교통부	국토교통부	국토교통부
관리기관	국토교통과학 기술진흥원	국토교통과학 기술진흥원	국토교통과학 기술진흥원	국토교통과학 기술진흥원	국토교통과학 기술진흥원
사업기간	2010 ~ 2015년	2017 ~ 2021년	2015 ~ 2020년	2013 ~ 2018년	2020 ~ 2025년
예산	114억 원	70억 원	192억 원	258억 원	22억 원* * 스마트건설 기술개발 내 머신 러닝 기반 기계화 터널 시공 자동화 기술개발 예산
사업목적	TBM의 독자 설계·제작을 위해 필수적인 복합지반용 일드 TBM 커터헤드 설계 기술개발	TBM 커터헤드의 설계자동화에 의한 최적화 설계 기술 및 TBM 운전제어시스템과 시뮬레이터 개발을 통한 TBM의 최적 활용 기술 개발	도심지내 지하매설 사회기 반시설의 경제성 향상을 위한 필수 기술개발	국내 기술이 대륙간, 도서간, 연육간을 연결하는 해저터널 지하에 건설되는 초장대 고 수압을 받는 해저터널 건설에 필요한 지질조사, 설계 및 시공, 방재 및 유지관리 등에 필요한 핵심 설계 및 시공요소에 대한 국내 기술 확보	데이터와 머신러닝 기술을 활용하여 TBM장비 운전을 자동화하고 전방예측 및 TBM사공리스크를 분석함으로써 TBM시공 중 발생하는 오퍼 레이터의 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 설계 기술 및 고성능 디스크커터 개발 - 고성능 세그먼트 라이닝의 개발 - TBM 터널의 설계와 시공 리스크 최소화 및 최적 활용기반 기술 개발	- TBM 커터헤드의 설계 자동화에 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 설계 기술 개발 - 도심지 소단면 터널식 공동구 굴진율 예측기법과 급곡구간/특수지반 급속 시공기술 개발 - 공동구용 수직구 급속 시공을 위한 저소음/ 무진동 시공시스템 보강 /차수 기술 개발	- 고성도 고수압 조건을 반영 할 수 있는 초장대 해저터널 최적 지질/자반조사 기술 확보 - 미흡한 국내 해저터널 건설 기술 수준을 개선할 수 있는 해저터널 설계/시공을 위한 핵심 요소 기술 개발 - 내진 설계 기술, 굴진면 안정화 기술 개발 등을 통한 안정성 평가기술 개발 - 공기압 제어 기술 확보와 화재 진압 및 내화 시스템 개발, 고정압 축류팬 개발을 통한 해저터널의 화재 및 유지관리 기술	- 시공에서 얻어지는 지반 정보와 굴진정보를 기반으로 자반에 따른 TBM 운전 경험 데이터를 사전 처리하여 머신 러닝 기법으로 학습시키고 최종적으로 최적의 운전 방법을 도출해 내기 위한 기술 개발 - 장비 특성 상 확인이 어려운 TBM 전방 지반정보를 비 파괴 기법에 의한 데이터를 학습시켜 전방을 예측하는 기술과 TBM 시공 중 발생하는 리스크를 수집 및 분류하고 그 데이터를 머신러닝으로 학습
차별성	본 사업은 커터헤드 설계 기술을 개발하는 사업으로 실시간 시공 관리 시스템을 개발하는 본 사업과는 차별성 존재	해당 사업은 설계 자동화를 위한 최적화 기술 등에 대한 사업으로 TBM을 실시간 통합 관리하는 본 사업과는 차별성 존재	해당 사업은 소단면 일반 TBM 기술과 수직구용 시공 기술에 대한 사업으로 실 시간 시공·안전 통합 관리 시스템을 개발하는 본 사업 과는 대량과 목적에서 차별성 존재	해당 사업은 해저터널 건설을 위한 최적화 기술 개발 사업으로 실시간 TBM 통합 관리 시스템을 개발하는 본 사업과는 차별성 존재	해당 사업은 데이터 학습 기반 머신러닝을 활용하여 TBM 리스크 최소화를 목적으로 추진하는 사업으로, TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 구축을 목표로 하는 본 사업과 차별성 존재
연계성	고성능 세그먼트 라이닝 등 일부 기술은 TBM 주요 부품 상태의 평가 기술개발 사업과 연계하여 활용 가능	운전·제어시스템 및 시 뮬레이터 등의 일부 기 술은 TBM 실시간 통합 시스템 (HW 및 SW) 개발 사업과 연계하여 활용 가능	급곡구간·특수지반 등 일부 시공 현장 정보는 본 사업의 기술개발시 터널 지반 데이터베이스로 연계하여 활용 가능	해저터널 및 하저터널 건설 기술자립을 위해 개발된 기술은 본 사업 의 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술로 연계추진 가능	본 사업에서 개발하는 실시간 시공 통합관리 시스템 개발 시 전방예측 및 TBM 시공 환경에 대한 데이터 활용기술과 연계 하여 활용 가능

□ 본 사업에 포함된 구성기술과 유사한 분야를 다루었던 R&D 과제를 조사하고 이에 대한 차별성과 연계성을 상세하게 제시

[그림] NTIS를 활용한 유사 R&D 과제 조사

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

〈표〉 유사 과제 중복성 검토

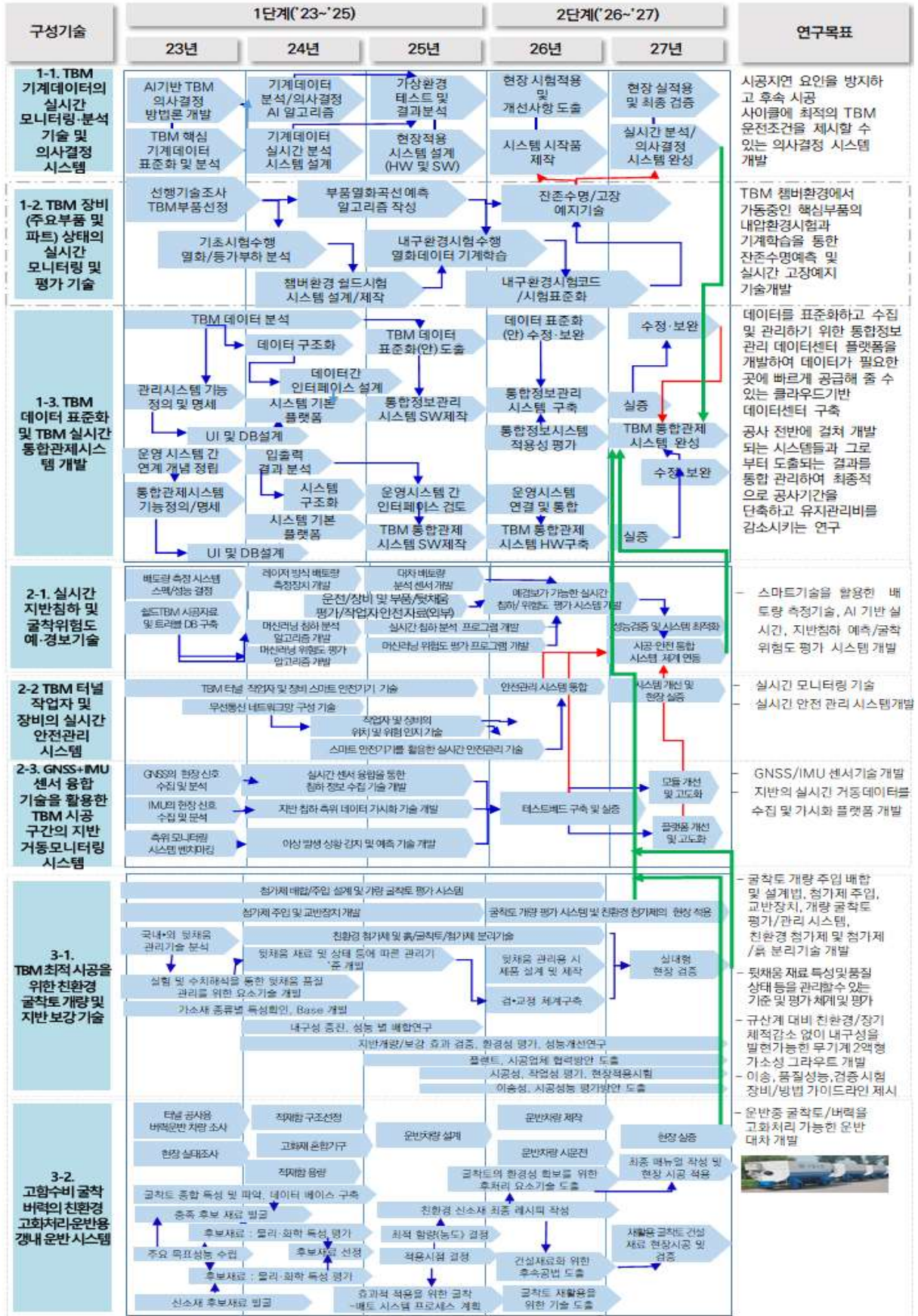
본 사업		유사 과제			차별성	연계성
구성기술명	내용	기술명	내용	예산 (단위: 백만원)		
1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석 및 의사결정 기술	- TBM 굴진데이터를 활용한 의사결정 시스템 개발 - 실시간으로 분석된 TBM 기계데이터를 기반으로 TBM 최적 운전조건 제시 및 문제 발생 시 의사결정 판단근거로 활용 가능한 시스템 개발	〈스마트건설〉 머신러닝 기반 기계화 터널 시공(TBM) 자동화 기술	데이터와 머신러닝 기술을 활용하여 TBM운전을 자동화하고 TBM시공 리스크를 분석하는 기술	4,298 ('20~'25)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

본 사업		유사 과제			차별성	연계성
구성기술명	내용	기술명	내용	예산 (단위: 백만원)		
2-3. GNSS+IMU 센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반 거동 모니터링 시스템	지반조건과 TBM의 굴진에 따라 주변 지반의 거동을 실시간으로 모니터링하기 위한 GNSS 및 IMU센서를 활용	해저터널 설계/시공을 위한 핵심 요소기술 개발	지반정보 기반 역 해석(예측) 프로그램 개발	16,469 ('13~'18)	본 사업은 실시간으로 시공 구간 전체의 지반 거동을 예측하기 위한 기술이지만, 기존 사업은 시공 전방만 예측하는 기술로 측정 범위에 있어서 차별성 존재. 특히 GNSS 및 IMU센서를 활용하는 모니터링 시스템은 기존 사업에서 수행되지 않은 부분으로서 최신 첨단기술을 활용하는 내용임	기존 사업에서 지반 거동 예측 시 사용한 주요 인자를 본 사업에 참고하여 예측 정확도 향상 연구에 활용
3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술	개량 굴착도 평가 및 친환경 첨가제 투입, 굴착도 분리 공정안 제시	터널 막장면 수압 및 유입수 저감을 위한 쉘드 TBM 챔버 그라우팅 기술 개발	챔버 그라우팅 기술을 활용하여 쉘드TBM 커터 교체 시 적용 가능한 기술 개발	160 ('19~'23)	기존 사업에서 사용한 세그먼트 배면 뒷채움 그라우트는 강알칼리성 재료를 사용하여 알칼리 용출 및 내구성 저하 우려가 있었지만, 본 사업은 무기계 재료의 적용을 통해 친환경적이고 장기적인 내구성을 보유하며, 뒷채움 상태를 점검할 수 있으므로 차별성 존재	기존 사업의 그라우팅 개발 기술을 기반으로 본 사업의 친환경 기술을 개발, 신속하게 상태를 모니터링할 수 있는 기술

④ 핵심·구성기술간 연계

□ 각 핵심기술과 구성기술이 유기적으로 연결되어 사업목표를 달성할 수 있도록 기획

[그림] 본 사업의 핵심·구성기술 총괄로드맵



마. 예산계획의 적절성

- 최근 3년간의 국토교통 R&D 과제 평균을 분석하여 인력, 연구활동비, 연구재료비, 간접비 등을 추정하고 기획위원회를 통해 연구 기간 및 필요 장비 리스트를 도출하여 소요예산 산출

〈표〉 핵심기술별 사업 추진 규모

핵심기술	구성기술	총사업비	국고	민자
1. TBM 시공정보의 실시간 분석 및 최적 의사 결정 기술	1-1. TBM 기계데이터의 실시간 모니터링·분석기술 및 의사결정시스템	3,196	2,385	811
	1-2. TBM 주요부품·파트 상태의 실시간 모니터링 및 평가 기술	6,853	5,114	1,739
	1-3. TBM 데이터 표준화 및 TBM 실시간 통합관제시스템 개발	4,721	3,523	1,198
	소 계	14,770	11,022	3,748
2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술	2-1. 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보기술	3,474	2,593	881
	2-2. TBM터널 작업자 및 장비의 실시간 안전관리 기술	3,072	2,293	779
	2-3. GNSS+IMU센서 융합 기술을 활용한 TBM 시공구간의 지반거동 모니터링 기술	2,586	1,930	656
	소 계	9,132	6,816	2,316
3. 친환경 TBM 시공 지원 기술	3-1. TBM 최적 시공을 위한 친환경 지반개량 및 지반보강 기술	4,009	2,992	1,017
	3-2. 고함수비 굴착머리의 친환경 고화처리·운반용 갱내 운반 기술	3,980	2,970	1,010
	소 계	7,989	5,962	2,027
합 계		31,889	23,800	8,091

〔그림〕 본 사업의 소요인력 및 필요 장비 리스트

② 소요인력

□ 핵심기술별 소요인력

○ TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 총 소요인력은 456명이며 연 평균 91명이 소요

- 책임급 인력은 76명, 선임급 109명, 원급 271명이 소요
- 중소·중견기업은 주로 연구원급, 일부 선·책임급으로 인력 참여 예상
- 출연연구기관 중심으로 선임급, 책임급 인력이 참여 예상

〈표 3-80〉 연도별 소요인력

핵심기술	구분	'23	'24	'25	'26	'27	계
1. TBM 시공 정보의 실시간 분석 및 최적 의사결정 기술	책임급	3	5	12	10	7	37
	선임급	3	7	17	15	10	52
	연구원	11	18	39	35	25	128
	소계	17	30	68	60	42	217
2. 실시간 TBM 시공 위험도 평가 및 안전성 향상 기술	책임급	3	5	5	4	3	20
	선임급	4	8	8	6	5	31
	연구원	10	17	19	16	13	75
	소계	17	30	32	26	21	126
3. 친환경 TBM 시공 지원 기술	책임급	2	4	4	6	3	19
	선임급	2	5	5	10	4	26
	연구원	8	14	14	22	10	68
	소계	12	23	23	38	17	113
합 계	책임급	8	14	21	20	13	76
	선임급	9	20	30	31	19	109
	연구원	29	49	72	73	48	271
	소계	46	83	123	124	80	456

② 연구장비 및 시제품

○ 연구장비 내역

〈표 3-25〉 핵심기술 1의 연구장비 및 시제품 내역

No	장비	관련 개발내용	단가 (백만원)	수량	금액 (백만원)	연도	해당 구성 기술
1	TBM 굴착면 분석/의사결정 알고리즘 (S/W)	수집된 TBM 기계데이터를 바탕으로 현재 및 향후 굴착조건을 실시간 분석하고 의사결정에 활용될 수 있는 데이터를 제공하는 핵심 알고리즘	150	1	150	2025	1-1
2	TBM 기계데이터 수집장치 (DAQ)	TBM 기계데이터의 모니터링·분석을 위한 DAQ시스템 구입	50	2	100	2024	1-1
3	TBM 실시간 모니터링·분석 시스템 시제품 (H/W 및 S/W)	통합관제시스템과 연동·통합되는 시제품으로서, TBM에서 발생하는 각종 기계데이터를 실시간으로 분석/가시화 하는 관제 및 모니터링용 시스템	250	1	250	2026	1-1
4	TBM 핵심부품 내압밀폐(shield packaging)시험 시스템	EPB TBM의 정비환경을 구현할 수 있는 내압/내진동/내열 정비구축 및 정비환경에서 구동할 수 있는 시험 시스템 개발과 내환경시험 수행	880	1	880	2025	1-2
5	TBM 부품 열화(마모, 파손) 상태 측정시스템	1) TBM 디스크 커파의 열화/마모/파손 상태를 연속적으로 측정하기 위한 마모 시험시스템 2) TBM 핵심유압부품(e.g. 베어링, 기어, 실 등)의 작동중 열화상태 측정/기록을 위한 유압내구시험시스템	350	2	700	2026	1-2
6	통합시스템용 서버 시스템	수집된 각종 TBM 시공 데이터들의 원격 저장·처리를 위한 서버 시스템	50	2	100	2026	1-3
7	통합정보관리 데이터 센터 플랫폼 시제품	데이터수집/저장/분류/접근/보안을 고려한 TBM 통합정보관리 플랫폼 설계 및 구축	150	1	150	2026	1-3
8	TBM 통합관제 시스템 시제품 (H/W 및 S/W)	각종 TBM 시공 데이터들의 통합 관제 시스템의 H/W 및 S/W 시제품 제작 (Test-Bed 및 시범적용)	300	2	600	2027	1-3
합계					2,930		

바. 성과도출/검증 전략의 구체성 및 타당성

- 기획보고서 내 세부적인 Test-Bed(안) 카드를 제시하여 개발 기술이 실제 굴착 중인 터널 건설 현장에서 적용될 수 있도록 사업 추진 전략 구체화

[그림] 본 사업의 Test-Bed(안) 카드

[테스트베드 후보(안) 1]		[테스트베드 후보(안) 2]	
희망 실증지역	○ 수도권 광역 급행철도 C노선 민간투자사업 노선(GTX-C) (경기 수원 ~ 정부과천청사 ~ 서울시 ~ 의정부시 ~ 경기 안주시 역점)	희망 실증지역	○ 서울도시철도 9호선 4단계 연장사업 (서울시 강동구 토촌동 ~ 고덕동)
실증지역 선정사유	○ 대도시 인구밀집지역을 고속(평균속도 180km/hr)으로 통과하는 대상도 터널로시, 서울과 수도권 관통하는 노선인 관계로 추가/상업 밀집지역의 통과 불가피 ○ 연장이 약 75 km에 달하며 한강 하저구간을 관통해야 하므로, 기존 유사 프로젝트(예: GTX-A 노선, 별내선 등)들의 사례를 비추볼 때 적어도 1개소 이상의 TBM터널구간 존재 예상 ○ 한강 하저구간 등 중요 구간에 TBM의 적용이 예상되므로, TBM 시공리스크 저감, TBM 시공 최적화 및 TBM 안전관리를 위하여 개발될 인프라랜드 통합관제시스템의 적용성이 매우 높음 	실증지역 선정사유	○ 서울시의 높은 인구밀도/밀집지역 조건으로 인하여 터널공사 시 환경공해에 대한 우려가 큼 ○ 서울시의 추가/상업 밀집지역을 통과하므로, 기존 유사 프로젝트(예: 서울도시철도 9호선 3단계 등)들의 사례를 비추볼 때 적어도 1개소 이상의 TBM터널구간 존재 예상 (서울시의 철도TBM 적용 의지도 높음) ○ 한원 지점, 밀집 도심 구간에서의 TBM 최적 안전시공을 위하여 인프라랜드 통합관제시스템의 적용성이 매우 높음 
테스트 베드 요건	○ 대도시의 대상도 및 한강 하저 통과 사업으로서, 미래 잠재 리스크를 규명/대응해야 하는 지역 ○ 다양한 지질조건이 예상되므로 TBM 운영 중에 신속한 의사결정이 필요한 지역 ○ TBM 굴진 시, 각종 실시간 계측 등을 통해 도심지 안정성을 확보하면서 시공해야 하는 지역 ○ 한강 하저구간으로 친환경 재료나 자재를 고려하고, 함수비가 높은 배척처리 환경을 고려할 지역 ○ 도심지 주요 거주 지역 통과구간으로서 비산먼지나 소음/진동 저감 대책 수립이 필요한 지역 ○ 다수의 TBM이 투입될 것으로 예상되며 사업단위 총괄관리를 할 것으로 예상되므로, 전구간 통합관제시스템의 적용이 가능하고 공구별 상호 피드백으로 Good Impact가 기대되는 지역	테스트 베드 요건	○ 도심지 지하철 공사로 주변 이해관계자의 안전과 시공품질 모두 고려해야 하는 지역 ○ TBM 적용 시, 굴착과 Volume loss로 인한 지반침하를 기준에 맞게 시공해야 하는 지역 ○ 한강 인근 지역으로 친환경 재료나 자재를 고려할 수 있는 지역 ○ 도심지 거주 지역 통과로 비산먼지나 소음/진동 저감 대책 수립이 필요한 지역 
테스트 베드 규모	○ 총 연장 L= 74.8km (상행 37.7 km, 공용 37.1 km) ○ 정거장 10개소 (7존: 수원, 금정, 의정부, 역점 (4개소) / 산골: 정부과천청사, 양재, 삼성, 청량리, 평온대, 청동 (6개소)) ○ 차량/지 1개소 (안주시 역점)	테스트 베드 규모	○ 총 연장 4.123km (3개 공구로 구성 예정) (터널 2,392m, 개착 882m, 정거장660m, 환기구149m, 비개착20m, 침수정 20m) ○ 정거장 4개소, 분선환기구 8개소
적용가능 시기	○ 연구기간 3-5년차(25~27)에 3년간 시범적용부터 최종 테스트베드까지 적용 추진 ○ GTX-C노선 예상 사업기간: 22년 1분기 ~ 27년 1분기 * 사업자 선정 및 실시협약 체결: '21년말(목표)	적용가능 시기	○ 연구기간 3-5년차(25~27)에 3년간 시범적용부터 최종 테스트베드까지 적용 추진 ○ 실시설계적용자 선정: '21년 6월 (실시설계 8개월) ○ 적용예정: '22년 3월 (공사기간: 80개월) ○ 준공예정: '28년 10월
기타 필요사항	○ 테스트베드 적용을 위한 주무관청, 지자체, 사업단, 시공사 등의 적극적 지원과 협조가 요구됨 단, TBM 제작사로부터 데이터획득에 대한 협조만 이루어진다면, TBM 시스템을 대대적으로 변경/개조하는 것이 아니므로 적용에 있어서 큰 어려움은 없을 것으로 예상	기타 필요사항	○ 테스트베드를 적용할 지자체, 설계사, 시공사의 적극적인 행정지원과 협조 필요. 단, TBM 제작사로부터 데이터획득에 대한 협조만 이루어진다면, TBM 시스템을 대대적으로 변경/개조하는 것이 아니므로 적용에 있어서 큰 어려움은 없을 것으로 예상

- 전략계획서 작성을 통해 기획의도-수행내용-성과 간 연계성이 드러날 수 있도록 사업 추진체계 및 전략, 기대효과, 전략목표, 성과목표, 성과지표 등을 설정하고 제시

[그림] 본 사업의 전략계획서

2. 단계별 성과목표 및 지표

[1] 전략목표

전략목표	혁신친화적 TBM 시공관리기술 개발을 통해 글로벌 건설시장 경쟁력 확보									
------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

가. 1단계 성과목표 및 지표

[2] 단계별 성과목표

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

[3] 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	집적 지표	성과지표 설정 사유
						2023	2024	2025			
성과목표-1	TBM 운영 프로세스의 효율화	0.5	시공단속지원 기술 달성도	%	목표	-	-	50	질	✓	본 사업에서 제시한 TBM 시공 기간 단축 지원이 가능한 기술의 개발성능목표 중 단계별 달성 가능한 성과목표의 개수(비율)를 목표치로 설정
					실적	-	-	-			
성과목표-2	TBM 시공 현장의 지상 및 지하 안전 향상	0.3	예측 정확도	%	목표	-	-	80	질	✓	사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 예측 정확도 80%를 확보하는 것을 목표치로 설정
					실적	-	-	-			
성과목표-3	친환경 처리의 공정 혁신	0.2	사이클타임 단축도	%	목표	-	-	27	질	✓	사업 초기임을 감안하여 1단계에서는 기존 사이클타임 대비 시간 단축 비율 목표를 27%로 설정
					실적	-	-	-			
			자원 변환율	%	목표	-	-	50	질	✓	지하에서 발생한 폐토석이 지상으로 반출되기 전 재활용 가능한 자원으로 변환되는 비율을 1단계에서는 사업 초기임을 감안하여 50%로 설정
					실적	-	-	-			
계											

사. 연구성과의 파급효과 및 기대효과 구체성 및 타당성

□ 핵심기술별로 본 기술개발사업 추진 결과를 통해 예상되는 과학기술적·사회경제적 파급 효과의 구체적인 내용을 제시

[그림] 파급효과에 대한 핵심기술별 제시

핵심기술 1	핵심기술 2
① 과학기술적 측면 □ TBM 굴진데이터의 빅데이터화 및 세계 최고 수준의 실시간 처리·분석 가능 ○ 하루에 5백만개에 달하는 TBM 생성 기계데이터들을 실제 활용하기 못하고 사장상태로 단순 저장하고 있는 상황에서, 국가적인 TBM 빅데이터 구축과 활용이 가능 - 숙련된 TBM 운전자도 파악할 수 있는 기계데이터의 개수는 3~4개 미만에 불과하나 실시간 모니터링·분석을 통해 후속 시공과정 또는 유사 시공환경에서의 파드력 가능 - TBM 운전 최적화를 위한 주력, 토크, RPM 등의 핵심 운전 파라미터들에 대한 실시간 의사결정 제어가 가능한 세계 최고 수준의 시공 지원시스템 → 1분 이내에 20개 이상의 TBM 핵심 파라미터의 모니터링·분석 (5백만개/일 데이터 처리 능력 보유) - 장대 터널, 대심도 터널, 하·해저 터널 등 시공 중 리스크의 발생이 높은 터널 등에 적용하여 잠재적인 위험도를 감소하고, 안정성이 확보되는 터널 시공 기술 확보 - 선진국에서도 TBM 굴진데이터의 빅데이터화와 실시간 처리·분석 시도가 이루어지고 있으나, 아직까지 개발 초기단계이며 일부 파라미터들에 집중되어 있고 통합화가 되어 있지는 않은 관계로 관련 분야의 선도 시스템으로서 활용 기대 가능 (핵심기술 1과의 연계 통합) □ TBM 데이터 부족, 의미파악의 어려움, 데이터 중복 등을 해결하여 정보의 활용 증대 및 정보 제공의 적시성 부족을 해결 ○ 데이터 표준화/통일화로 인한 TBM터널에서의 명확한 의사소통의 증대 ○ 일관된 데이터 형식 및 규칙의 적용으로 분석 데이터의 품질 향상 ② 사회경제적 측면 □ 실시간 능동적 관제를 통한 작업현장의 사고 감소 및 건설안전 대인 서비스 ○ 근도차 안전정보 최우선 사고방지 및 사고 파급효과 최소화와 사고 시 현장 통제/사시 사고의 빠른 복구 ○ 안전 및 시공현황과 관련된 실시간 정보공개를 통한 대인 서비스의 질과 신뢰도 향상 ○ TBM 장비고장 등 선 감지를 통한 사전 장애발생 저감 및 유지보수 비용 절감 □ TBM 시공현장 전반의 관제를 통한 안전 및 운영 효율 증대와 불합수명 연장 ○ 현장 기술자의 정성적인 판단이 아닌 데이터분석에 기반한 의사결정 문화나 프로세스 정착 ○ 예방중심의 사전대응체계 구축 및 위험상황 대응시간 감소 ○ 정보 융합을 통해 데이터를 구축하여 효율적인 장애이력 통계분석과 현장 상황을 추이 분석하여 장비 및 시설 트러블 발생의 사전예방에 도움 □ TBM 데이터의 체계적인 관리로 검색 및 활용 능력 향상 ○ 필요한 데이터들에 대한 검색·분석·의사결정에 소요되는 시간 및 노력 감소 ○ 정보시스템 간 데이터 인터페이스 시 데이터 변환 비용 감소	① 과학기술적 측면 □ 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술 개발에 의한 TBM 시공/운영 분야의 안전 해결형 기술 혁신 기여 ○ 시공 활용하는 지반침하 기술 개발을 통하여 철도TBM 시공중 발생할 수 있는 도심지 지반 침하 예방 등 안전해결형 핵심기술 개발로 TBM 시공/운영 분야의 안전해결형 기술 혁신 기여 ○ 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술 개발로 고부가가치 인프라 건설기술 창출 및 해외 기술력자 확보, 지하안전원인 시정 등에 따른 TBM 시공분야 국내 기술수요 등에 적기 대응 □ 세계 최고수준 보급형 융합 센서의 측위계측 기술을 활용한 실시간 미세 거동 분석 가능 ○ GNSS와 IMU 융합 센서의 계측 속도 100Hz 달성 ○ 융합 센서의 측위 계측 정확도 2cm(수평), 5cm(수직) 달성 가능 ○ 시공구간의 구조물 및 자반 거동 정보를 실시간으로 수집·분석·가시화 할 수 있는 기술 확보 ② 사회경제적 측면 □ 실시간 지반침하 및 굴착위험도 예·경보 기술 개발에 의한 국내의 시장 창출 기여 ○ 지반침하 예방 등 안전해결형 핵심기술 개발을 통하여 최근 대형 터널 프로젝트가 대부분 TBM으로 발주되는 세계적인 추세에 따른 국내 기업의 해외 건설시장 진출과 ODA 사업 등을 통한 해외 시장 진출을 지원 ○ GTX와 같은 장대 도심지 터널사업 저축에 따른 철도TBM 시공 증가 시 안전한 시공을 유도 하여 국민 불안을 해소하고 안전한 사회 분위기를 조성하여, 잠재적인 민원을 예방하여 사공자의 사업성 확보와 발주자의 원만한 사업 추진에 일조 □ 스마트 안전장비 개발에 따른 건설현장의 안전성 향상 및 건설산업 재해저감 ○ 안전보건공단 2016년 산업재해 현황 분포에 따르면 기타 사업을 제외하고 건설업 산업재해가 약 30%로 가장 높게 나타나는 등 산업 특성상 재해 발생 시 사상사고 비율이 높음 ○ 작업자 안전관리, 현장 긴급 재해 대응 등 관련 기술 확대 적용하여 건설산업 재해 저감에 기여 □ TBM 시공구간의 구조물/지반 거동 실시간 분석 및 가시화를 통한 공사재해 예방 ○ 건설산업의 재해율은 '08년 0.64%에서 '14년 0.73%로 지속적인 증가세이며, 지반, 비탈면 등의 관련 재해가 큰 비중을 차지함 ○ 건설 안전 모니터링 관련 시장 확대에 기여 - 국내 재난안전 사업의 시장규모는 44조원(2019년), 그 중 예방산업은 12조원 - 건설 재난 예방 산업의 시장 창출 가능

□ 「연구성과 관리·활용 기본계획」의 정책기조에 부합토록 활용체계를 구성하고 터널건설 생태계 조성(비즈니스모델 창출 등), 사업화 및 해외시장 진출 등에 활용될 수 있도록 활용방안을 계획

[그림] 본 사업의 성과활용체계 및 성과활용계획

구분	기회	민수용	성격가
성과관리	· (연구기관) 사업결과 연구개발 · (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발	· (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발	· (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발
성과관리	· (연구기관) 사업결과 연구개발 · (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발	· (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발	· (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발 · (연구기관) 연구개발
성과활용지원	민수용 지원	사업화·전달 지원	시장진출 지원
지원내용	· 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원	· 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원	· 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원
성과활용	Ⅰ. 연구·개발 및 사업화	Ⅱ. 정책·제도 활용	Ⅲ. 협력·확보
수요처	정부·기업, 대학, 연구기관	국립·민간·기업	연구기관, 기업
활용내용	· 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원	· 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원	· 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원 · 기술/기술 지원

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 굴진을 향상을 위한 혁신적 연속굴착 기술 개발 기획보고서	○ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 기획 보고서	○ 100%
○ 굴진을 향상을 위한 혁신적 연속굴착 기술 개발 전략계획서	○ TBM 굴진향상을 위한 연속굴착 기술개발사업 전략계획서	○ 100%
○ TBM 안전 향상 및 운영·관리 효율화 기술 개발 기획보고서	○ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획 보고서	○ 100%
○ TBM 안전 향상 및 운영·관리 효율화 기술 개발 전략계획서	○ 인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 전략계획서	○ 100%

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 터널굴착장비(TBM) 핵심기술 개발 활동을 통해 TBM 시공 기술 확보
 - 단순히 기존에 존재하는 기술을 국산화하는 것이 아닌, 선진국 TBM 기술과 경쟁하여 우위를 가질 수 있는 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」와 「인텔리전트 TBM 실시간 시공·안전 통합 관리 시스템 기술개발사업 기획 보고서」 마련으로 해당 사업 추진에 대한 사업예산요구의 체계적 대응에 활용
- TBM 연속굴착 기술개발사업 및 통합관리 기술개발사업 수행시 기준 자료로 활용
- 체계적 사업성과관리를 위한 기준으로 활용

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘터널굴착장비(TBM) 국산화를 위한 핵심 장치·부품 개발 및 실증 연구사업 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.