

최종보고서										보안등급		
										일반[✓], 보안[]		
중앙행정기관명		국토교통부		사업명		사업명		국토교통연구기획사업				
전문기관명(해당 시 작성)		국토교통과학기술진흥원		내역사업명								
공고번호		재공고 제-30호		총괄연구개발 식별번호		-						
				연구개발과제번호		21RDPP-C164443-01						
국가과학기술 표준분류		철도시스템 안전방재 (EI0605)	60%	자연재해 저감기술 (EI1105)	20%	시설물 소방안전관리기술 (EI1104)	20%					
총괄연구개발명		국문	-									
		영문	-									
연구개발과제명		국문	대심도 장대터널 (GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 개발 기획									
		영문	A development plan for the complex training center in anticipation of disasters in Deep-underground Super-long Tunnels									
주관연구개발기관		기관명	한국철도기술연구원		사업자등록번호		138-82-02013					
		주소	(16105) 경기 의왕시 철도박물관로 176		법인등록번호		135221-0000076					
연구책임자		성명	이일화		직위		책임연구원					
		연락처	직장전화	031-460-5000	휴대전화		010-4506-1650					
			전자우편	iwlee@krri.re.kr	국가연구자번호		1013-3343					
연구개발기간		전체		2021.04.01 - 2022.01.31(10개월)								
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		100,000	-	-	-	-	-	-	100,000	-	100,000	-
1단계	1년차	100,000	-	-	-	-	-	-	100,000	-	100,000	-
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자		직위		휴대전화		전자우편		비고	
											역할	
											기관유형	
공동연구개발기관		도시생명네트워크	송우승		연구위원		010-6353-7812		songws@urbanlife.or.kr		공동 사단법인	
위탁연구개발기관												
연구개발기관 외 기관												
연구개발담당자 실무담당자		성명	유민택		직위		선임연구원					
		연락처	직장전화	031-460-5490	휴대전화		010-7411-2261					
			전자우편	thezes03@krri.re.kr	국가연구자번호		1117-4025					

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

2022 년 5 월 13 일

연구책임자: 이 일 화 (인)

주관연구개발기관의 장: 한 석 윤 (직인)

공동연구개발기관의 장: 김 종 욱 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	국토교통연구기획사업				총괄연구개발 식별번호				-					
내역사업명					연구개발과제번호				21RDPP-C164443-01					
국가과학기술 표준분류	철도시스템 안전방재 (EI0605)		60%	자연재해 저감기술 (EI1105)		20%	시설물 소방안전관리기술 (EI1104)		20%					
총괄연구개발명	-													
연구개발과제명	대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 개발 기획													
전체 연구개발기간	2021.04.01. - 2022.01.31 (0년 10개월)													
총 연구개발비	총 100,000천원 (정부지원연구개발비: 100,000 천원, 기관부담연구개발비 : 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)													
연구개발단계	기초[] 응용[☒] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]				기술성숙도 (해당 시 기재)				착수시점 기준(2) 종료시점 목표(6)					
연구개발과제 유형	지정공모 [] 자유공모 [☒]													
연구개발과제 특성	실용화													
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		대심도 터널 등 재난 발생 시 대규모 사회적 피해가 발생할 수 있는 국가 교통 시설의 재난대응 복합훈련장을 개발하기 위한 기반기술 개 발 및 활용 체계 구축 기획											
	전체 내용		- 대심도 터널 재난대응 복합 훈련장 개발 및 구축에 대한 기획안 도출 - 대심도터널 내 발생 가능한 재해에 대한 리스크 진단 및 대응 모델 기술 개발 기획 - 대심도터널 내 발생 가능한 재해에 대한 리스크 진단 및 대응 모델 기술 개발											
연구개발성과	터널 및 지하공간 국토교통시설 재난대응 복합훈련장 인프라 활용을 통한 유관기관 종사자 및 공공대응력의 지하공간 특화 재난대응능력 향상 및 인명안전 제고 효과 달성													
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	- 대규모 특수 교육훈련시설 확보를 통한 국내외 재난대응 교육훈련 전문성 확보 및 사회 안전 분야 국가경쟁력 확보 - 국내외 우수 재난대응 교육훈련시설과의 연계를 통한 공공대응력 재난현장 대응능력 향 상 및 전문성 제고 및 국가 재난대응 역량 강화 - 국토교통시설물 안전기준 실증 및 재난대응성능 제고를 위한 복합활용													
연구개발성과의 비공개여부 및 사 유	해당없음													
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시 설·장 비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원 생명 정보		생물 자원	화합물	신품종 정보		실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설· 장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	복합훈련장			대심도터널		재난대응		진단모델						
영문핵심어 (5개 이내)	Complex Training Center			Very Long and Deep Tunnel		Countermeasuring Disaster		Diagnosis Model						

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
1) 연구개발 배경 및 필요성	1
2) 기술의 정의 및 분류체계	4
3) 국내외 동향 및 환경 분석	6
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	70
1) 연구개발과제 도출 과정	70
2) SWOT분석	79
3) 비전 및 목표 설정	81
4) 기술개발에 따른 미래상 (As-Is VS To-Be)	82
5) 핵심기술별 주요내용 및 추진전략	83
6) 연구 추진 체계	97
7) 연구개발추진일정	99
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	100
1) 연구수행 결과	100
2) 목표 달성 수준	144
4. 목표 미달 시 원인분석	144
1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용	144
2) 자체 보완활동	144
3) 연구개발 과정의 성실성	144
5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	145
6. 연구개발성과의 관리 및 활용계획	147
1) 연구성과 총괄	147
2) 연구개발성과의 향후 5년간(활용보고서 제출기간) 성과활용 목표·계획	149
■ 별첨자료	151
세부과제별 과제제안 요구서(RFP)	151
별첨 1. 연차별 예상연구개발비 산출근거	162

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발 배경 및 필요성

(1) 추진 배경 및 현황

- 전국 대도시권 지하철도 및 차도 이용자수(서울기준 2018년 1월 지하철 평균수송인원 약 780만명)가 매우 높은 수준이며 지속적으로 증가하고 있는 상황임. 또한, 도시공간의 포화로 인한 지하공간 개발이 적극적으로 추진되고 있는 실정임.(세계 3대 최장 철도터널인 SRT 율터널, 대심도 GTX 건설, 도심통과 장거리 지하차도 건설, 영동대로 지하화 통합개발 등 터널 및 지하공간 국토교통시설의 비약적 증가 추세)
- 대구 지하철 사고(2003) 등의 사례에서 알려져 있듯이 지하공간에 위치한 국토교통시설에서 발생한 대규모 재난시(화재 및 터널 재해) 적절한 초기대응이 어려우며, 소방대를 비롯한 공공대응력의 출동 및 현장접근 제약으로 인한 대규모 인명피해 발생 가능성이 매우 높음.
- 하지만, 현재 국내에는 지하공간 국토교통시설물 재난상황에 대응하기 위한 전문교육훈련시설이 전무한 실정으로 국토교통시설물 운영·감독기관을 비롯한 지자체·소방·경찰 등의 공공대응력의 지하공간 재난현장 대응능력이 매우 미미한 수준에서 벗어나지 못하고 있으며, 대국민 안전교육의 경우 이와 같은 특수 재난상황에 대한 교육훈련 도입이 원천적으로 불가능한 상황임.
- 장대터널 및 대규모 지하공간 국토교통시설물의 비약적 증가에도 불구하고 이에 대한 안전대책의 마련 및 공공대응력의 현장대응능력 확보는 극히 제한적인 상황으로 당해 시설물에서의 재난발생시 대규모 인명피해 발생의 가능성이 높아 이에 대한 시급한 개선이 요구되는 상황임.
- 철도구조물 중 상당수가 30년 이상 경과되어 노후화에 따른 급격한 성능저하가 유발되는 반면 운행속도, 통과톤수, 재해빈도 등은 증가.
- 국가철도 전체 시설물의 성능평가등급은 평균 'C등급'이며, 'C등급'이하 시설물 비중은 33.7%임.
 - '20년 1월 기준 국가철도 운영기관(한국철도공사)에서 작성한 교량, 터널 등 철도구조물 성능평가등급 조사결과에 따르면 'C등급' 이하 구조물은 전체 6,994개소 중 2,051개소로 29.3% 차지.
 - 국가철도 시설물의 종합성능평가지수는 '17년 평균 3.29(C등급)에서 '20년 평균 3.93(C등급)으로 낮아짐.

(2) 정부지원의 필요성

- ☐ 이에 터널 및 지하공간 국토교통시설물에서의 복합재난 대응능력 향상을 위한 전문교육훈련 인프라구축 및 전문교육훈련 프로그램 개발을 위한 적극적 연구개발 노력이 요구됨.
- ☐ 대구 지하철 사고(2003)를 계기로 대구시민안전테마파크 등에 지하철 안전체험 훈련시설을 구성하여 운영 중이나 재난환경 모사 및 교육훈련 효과달성에 한계를 지님.
- ☐ 터널 및 지하공간 화재발생시 접근경로의 제한 및 유독가스 발생 등으로 효과적 대응을 위한 초기접근이 용이하지 않으며, 이에 대한 전문적이고 구체적인 대응전략 등이 개발되어 있지 못한 실정으로 재난발생시 대규모 인명피해 발생이 우려되는 상황으로 현장대응 능력의 확보 및 전문역량 강화가 절실한 상황임.
- ☐ 터널 및 지하공간 국토시설물 관련 지진 및 화재 등 복합 재난대응과 관련된 전문 교육훈련 인프라 및 프로그램 개발이 전무한 실정.
- ☐ 터널 및 지하공간 국토교통시설물의 경우 지상시설과 달리 재난발생의 양상과 피해발생 메커니즘이 상이하며, 외부 공공대응력의 접근 및 구조활동 투입 등의 제약이 발생할 수 있는 특수환경으로 전문적인 대응능력의 확보 및 역량강화가 매우 절실함.
- ☐ 국내의 경우, 당해 시설에 대한 재난대응을 위한 전문교육훈련 인프라 및 프로그램이 전무한 실정으로 이에 대한 적극적 연구개발 투자 및 시설확보가 요구되는 상황임.
- ☐ 본 철도 장대터널 고위험 재난 대응 기술 개발 과제의 목적은
 - ① 지하철 역사 및 선로, 지하도로(터널 포함) 등의 국토교통시설물에서의 복합적 재난상황(지진 및 화재) 발생에 따른 재현성 높은 재난환경 모사 인프라 구축을 통하여,
 - ② 유관기관(철도 및 도로 등 시설운영기관) 및 공공대응력(지자체, 경찰, 소방 등)의 효과적인 재난대응 활동전개 및 전문역량 강화를 도모하고자 하며,
 - ③ 이와 동시에 대국민 안전교육 활용을 통하여 안전의식 고취 및 재난상황에서 스스로의 안전을 확보할 수 있는 능력을 배양하는 것으로,
- ☐ 이를 통하여 터널 및 지하공간에서의 지진 및 화재 발생시 인명피해를 효과적으로 저감하고, 나아가 사회적 안전성의 향상을 도모하고자 하는 것임.
- ☐ 국토교통시설물의 안전관리 강화 및 국가 재난안전 성능향상을 위하여 시급한 투자가 요구됨.

- 전국 대도시권 지하철도 및 차도 이용자수(서울기준 2018년 1일 지하철 평균수송인원 약 780만명)가 매우 높은 수준이며 지속적으로 증가하고 있는 상황임. 또한, 도시공간의 포화로 인한 지하공간 개발이 적극적으로 추진되고 있는 실정임.(세계 3대 최장 철도터널인 SRT 율현터널, 대심도 GTX 건설, 도심통과 장거리 지하차도 건설, 영동대로 지하화 통합개발 등 터널 및 지하공간 국토교통시설의 비약적 증가 추세)
- 대구 지하철 사고(2003) 등의 사례에서 알려져 있듯이 지하공간에 위치한 국토교통시설에서 발생한 대규모 재난시(화재 및 터널 재해) 적절한 초기대응이 어려우며, 소방대를 비롯한 공공대응력의 출동 및 현장접근 제약으로 인한 대규모 인명피해 발생 가능성이 매우 높음.
- 하지만, 현재 국내에는 지하공간 국토교통시설물 재난상황에 대응하기 위한 전문교육훈련시설이 전무한 실정으로 국토교통시설물 운영·감독기관을 비롯한 지자체·소방·경찰 등의 공공대응력의 지하공간 재난현장 대응능력이 매우 미미한 수준에서 벗어나지 못하고 있으며, 대국민 안전교육의 경우 이와 같은 특수 재난상황에 대한 교육훈련 도입이 원천적으로 불가능한 상황임.
- 이에 터널 및 지하공간 국토교통시설물에서의 복합재난 대응능력 향상을 위한 전문교육훈련 인프라구축 및 전문교육훈련 프로그램 개발을 위한 적극적 연구개발 노력이 요구됨.(당해 전문교육훈련 인프라는 터널 및 지하공간 국토교통시설물의 재난현장 특수성 및 재현성을 충분히 확보하여야 하며, 공공대응력 및 대국민 안전교육에 다목적으로 활용될 수 있도록 전문연구가 추진되어야 함.)

2) 기술의 정의 및 분류체계

(1) 연구개발 기술의 정의 및 범위

가) 용어의 정의

□ 재난 대응 기술 검증시험장

- 재난 대응 기술 검증은 재난관리책임기관이 재난상황에서 수행해야 할 제반상황을 사전에 계획하고 준비하여 재난 대응능력을 제고시켜 나가는 재난대비활동 중 하나로서 조직원 내부 구성원과 관련 인적자원을 대상으로 재난대응 절차와 조치 등 관련 상황을 숙지 및 숙달하기 위해 실시하는 것이다. 이에 재난 대응 기술 검증 시험장은 한 공간에서 각 방재 시설의 시험, 연구, 검증은 물론 방재관계인의 교육과 훈련, 민간인들의 체험학습을 모두 수행하게 된다.

(2) 기술 분류 체계

□ 본 연구과제에서 개발하고자 하는 연구내용의 기술 분류는 아래 표 부분과 같다.

표 1-1 기술 분류

대분류(6)	중분류(12)	소분류(40)
예측	위험예측	위해요인 식별 및 관리 기술 위험 예측 모델링 시뮬레이션 시나리오 개발 및 분석·평가기술
	피해예측	재난·안전 취약성평가기술 피해규모 및 확산 예측기술
예방	위험감시	위해요인 감지 및 탐지 기술 위해요인 분석 및 판단기술 위해요인 완화 및 제거기술
	생활안전	생활안전 정보 관리기술 생활안전 공공서비스 기술 사회 취약요소 관리기술 생활안전 교육·콘텐츠 기술
대비	대비체계	재난대비역량진단·분석기술 매뉴얼 활용 및 관리기술 공공서비스 기능 유지 관리기술 국제공조·공유체계 재난대비교육·훈련시스템
	정보관리	재난정보 빅데이터 재난통신 인프라 재난 예·경보인프라 민방위경보 인프라
	자원관리	재난자원관리 시설·장비·제품 개발 재난자원관리 및 동원 기술
대응	상황관리	상황정보 전달체계 통합적 의사결정 지원시스템 재난현장 지휘통제 체계 대국민 긴급상황 전파

	대응체계	재난피해 확산 방지기술
		재난유형별 대피·생존기술
		공공인프라 기능 긴급 복구기술
		재난현장 지원기술
복구	복구기술	복구활동 장비·제품개발
		위험환경처리·제거기술
	구호기술	피해 지원 및 관리 서비스 기술
		이재민 생활안정 지원기술
		재난·안전사고 심리회복 지원기술
조사 분석	사고조사·평가	재난·안전사고 데이터 관리 및 통계적 분석 기술
		재난·안전사고 원인요소 도출·평가 기술
		현장조사 장비 및 시스템
		재난·안전 표준 플랫폼

3) 국내외 동향 및 환경 분석

(1) 국내외 정책동향

가) 국내 법제도

- 최근 시설물의 안전에 대한 중요도가 제기되어 기존 이원화 되어있던 시설물의 안전관리 체계를 국토교통부로 일원화
 - 기존 국토교통부는 「시설물의 안전관리에 관한 법률」에 따라 1종, 2종 시설물을 관리하고 국민안전처는 「재난 및 안전관리 기본법」상의 특정관리대상시설을 관리하여 이원화 되었음
 - 이를 국토교통부 소관법령인 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에 국토교통부로 일원화 하여 2018.1.18. 시행
 - 그 결과, 시설물의 중요도 및 안전취약도 등을 고려하여 안전점검 등의 안전관리체계를 정비 등 시설물의 안전 체계를 강화

- 이에 따라 국토교통부의 안전관리(안전 및 유지관리)에 대한 역할 변화로 철도시설의 유지관리에 대한 중요성 또한 강조되어 현행 「철도건설법」에서 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」으로 개정 (2018.3.13.일부개정 및 2019.3.14. 시행)
 - (주요 개정이유) 현행 「철도건설법」에는 완공된 철도시설의 유지관리에 관한 사항을 규정하지 않고 있으며 철도운영기관별 독자적인 규정을 운영하여 관리함
 - 이에 따라 철도시설의 노후화에 대한 시기적절한 대응이 부족하여 노후화가 점차 심각해지고 있는 상황으로 판단

나) 국내 정책

- 국토교통R&D 중장기전략(2014-2023) : 국토교통부는 국토교통 산업을 기술·지식 중심의 신성장동력으로 전환하기 위해 ‘국토교통R&D 중장기전략(’14-’23)’ 수립, 중장기전략에는 특히 ICT 등 타분야 기술과 국토교통기술의 창조적 융·복합을 통해 새로운 기반시설 및 신시장 창출 기반을 조성하기 위한 내용 포함
- 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2017 ~ 2028) : 재난재해 예방 등 안전 기술 개발이 주요 연구 계획에 있음.

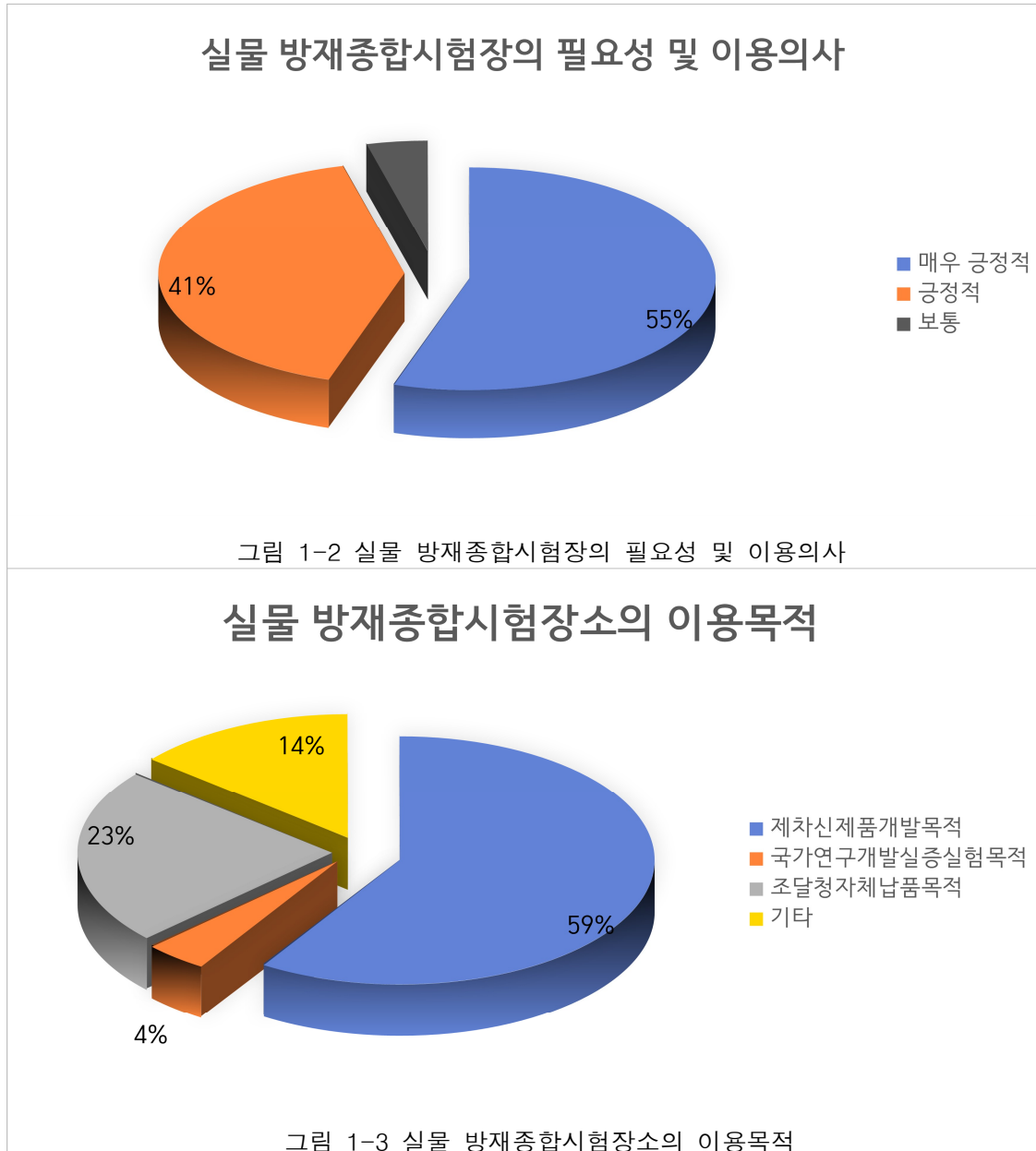


그림 1-1 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획

(2) 국내외 시장 동향 및 전망

가) 국내 시장 동향

(a) 전체 설문조사 답변에 관한 결과



실물 방재종합시험장의 필요성 및 이용의사는 전체 업체들 중 96%가 필요하다고 판단하였고, 이용할 의사가 있다고 답변하였다. 이와 더불어 이용 시 주목적은 신제품개발목적(59%)로 방재 시설 제작, 제조업체들은 그동안 개발된 기술을 실제로 실험해 볼 수 있는 시험장에 대한 욕구가 큰 것으로 분석되어 방재종합시험장은 이에 대한 기반시설 역시 필요한 것으로 판단된다.

(b) 기계설비업체에 대한 설문조사 답변에 관한 결과

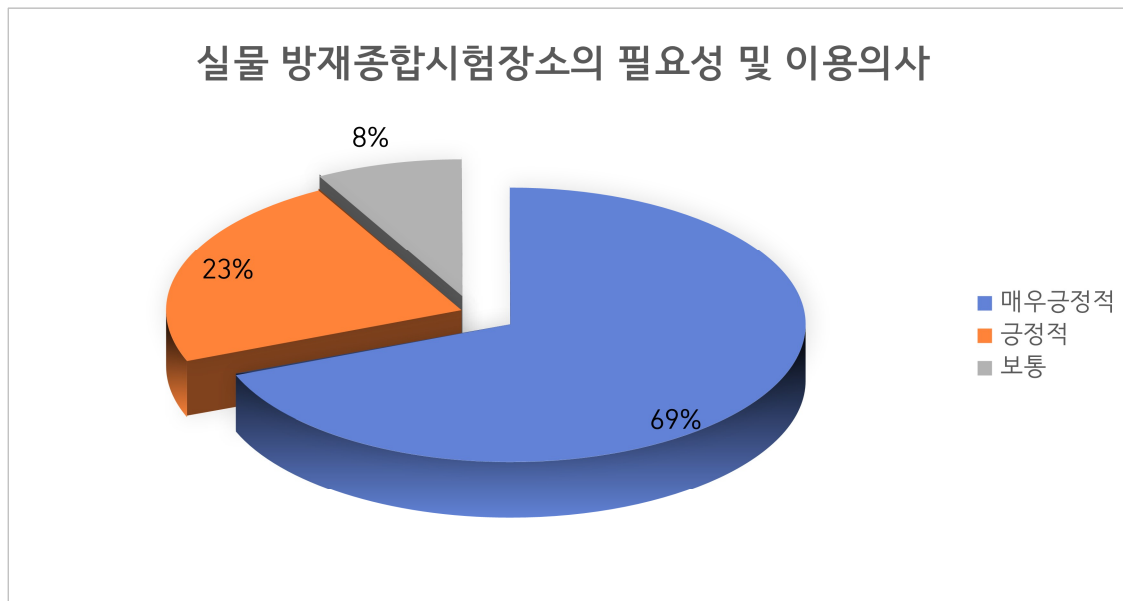


그림 1-4 실물 방재종합시험장소의 필요성 및 이용의사(기계설비업체)

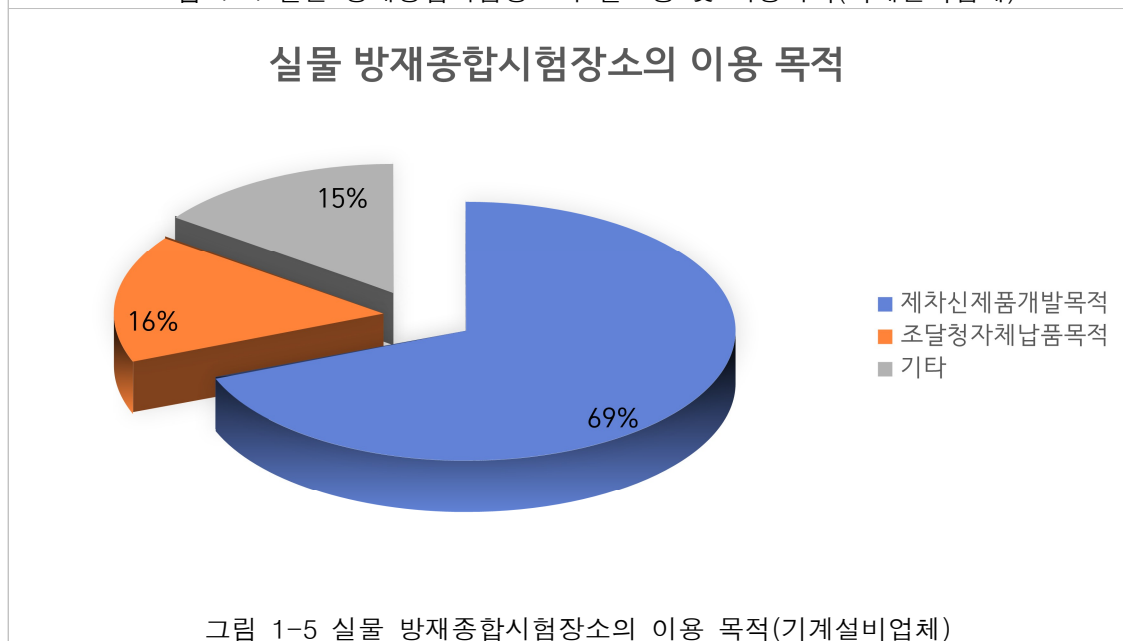


그림 1-5 실물 방재종합시험장소의 이용 목적(기계설비업체)

실물 방재종합시험장의 필요성 및 이용의사는 전체 업체들 중 92%가 필요하다고 판단하였고, 이용할 의사가 있다고 답변하였다. 이와 더불어 이용 시 주목적은 신제품개발목적(69%)로 기계설비업체들은 그동안 개발된 기술을 실제로 실험해 볼 수 있는 시험장에 대한 욕구가 매우 큰 것으로 분석되어 방재종합시험장은 이에 대한 기반시설 역시 필요한 것으로 판단된다.

(c) 전기설비업체에 대한 설문조사 답변에 관한 결과

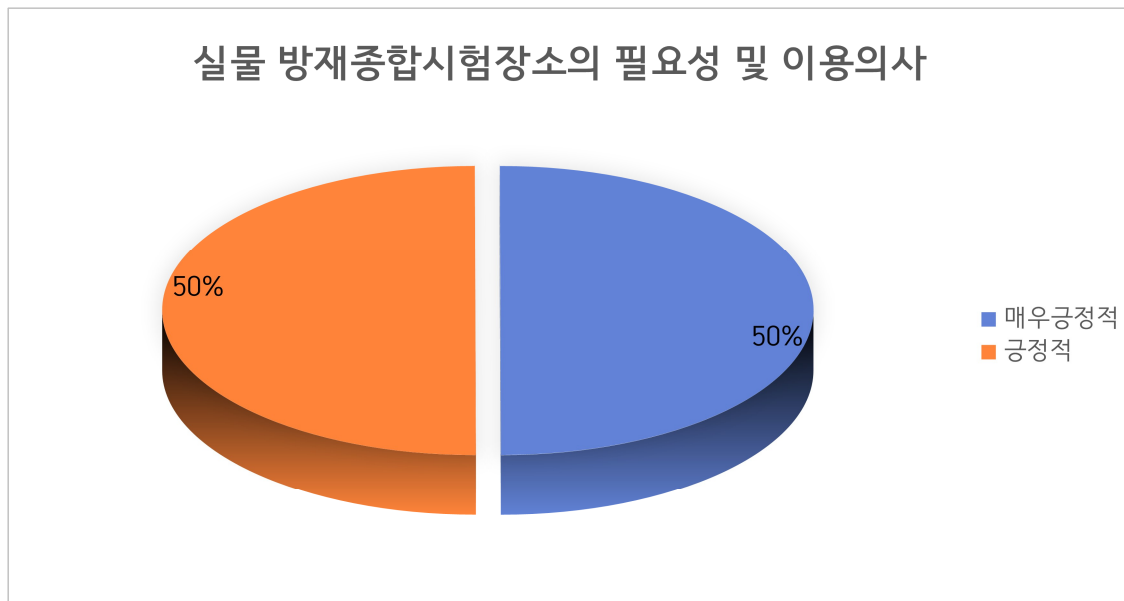


그림 1-6 실물 방재종합시험장소의 필요성 및 이용의사(전기설비업체)

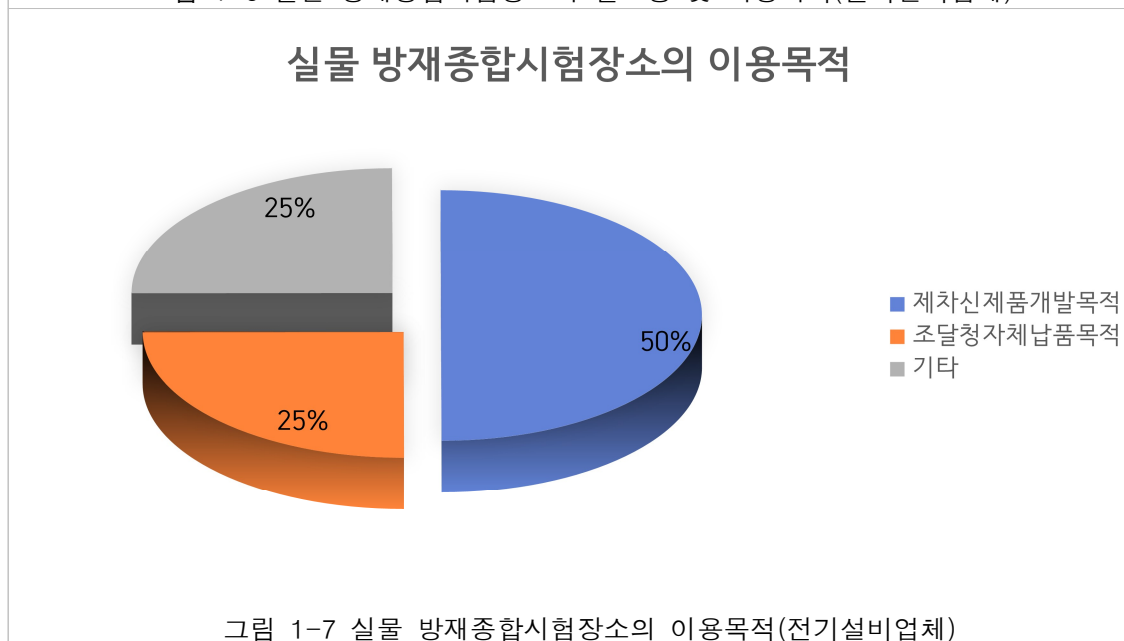
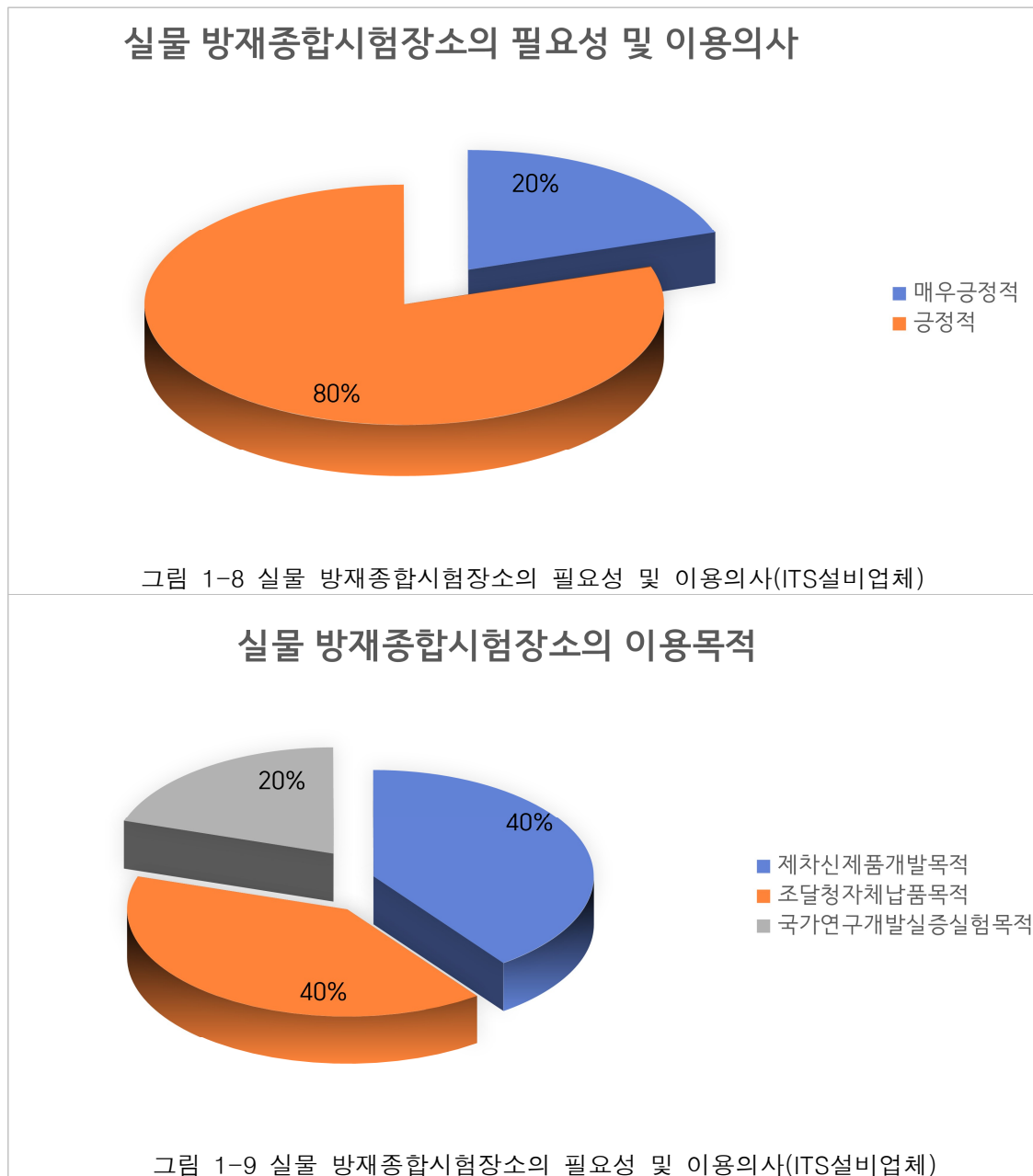


그림 1-7 실물 방재종합시험장소의 이용목적(전기설비업체)

실물 방재종합시험장의 필요성 및 이용의사는 전체 업체들 중 100%가 필요하다고 판단하였고, 이용할 의사가 있다고 답변하였다. 이와 더불어 이용 시 주목적은 신제품개발목적(50%)로 전기설비업체들은 그동안 개발된 기술을 실제로 실험해 볼 수 있는 시험장에 대한 욕구가 큰 것으로 분석되어 방재종합시험장은 이에 대한 기반시설 역시 필요한 것으로 판단된다.

(d) ITS설비업체에 대한 설문조사 답변에 관한 결과



실물 방재종합시험장의 필요성 및 이용의사는 전체 업체들 중 100%가 필요하다고 판단하였고, 이용할 의사가 있다고 답변한 것이라 판단된다. 이와 더불어 이용 시 주목적은 신제품개발목적(40%), 조달청자체 납품목적(40%)로 방재종합시험장은 이에 대한 기반시설 역시 필요한 것으로 분석되었다.

(3) 국내외 기술 동향

가) 국내 기술개발 동향

- 대구 지하철 사고(2003)를 계기로 대구시민안전테마파크 등에 지하철 안전체험 훈련시설을 구성하여 운영 중이나 재난환경 모사 및 교육훈련 효과달성에 한계를 지님.
- 터널 및 지하공간 화재발생시 접근경로의 제한 및 유독가스 발생 등으로 효과적 대응을 위한 초기접근이 용이하지 않으며, 이에 대한 전문적이고 구체적인 대응전략 등이 개발되어 있지 못한 실정으로 재난발생시 대규모 인명피해 발생이 우려되는 상황으로 현장대응 능력의 확보 및 전문역량 강화가 절실한 상황임.
- 터널 및 지하공간 국토시설물 관련 지진 및 화재 등 복합 재난대응과 관련된 전문 교육훈련 인프라 및 프로그램 개발이 전무한 실정.

(a) 한국건설기술연구원 터널 실험동

- 경기도 화성시에 위치한 한국건설기술연구원에는 실규모 화재를 실험할 수 있는 터널 실험동을 보유 및 운영을 하고 있다. 터널은 길이 40m, 높이 7m, 폭 10m이며, 터널내 자동화 재탐지설비, 소화기 및 내화성능평가 등의 실규모 화재 실험을 수행할 수 있는 실험공간이다.

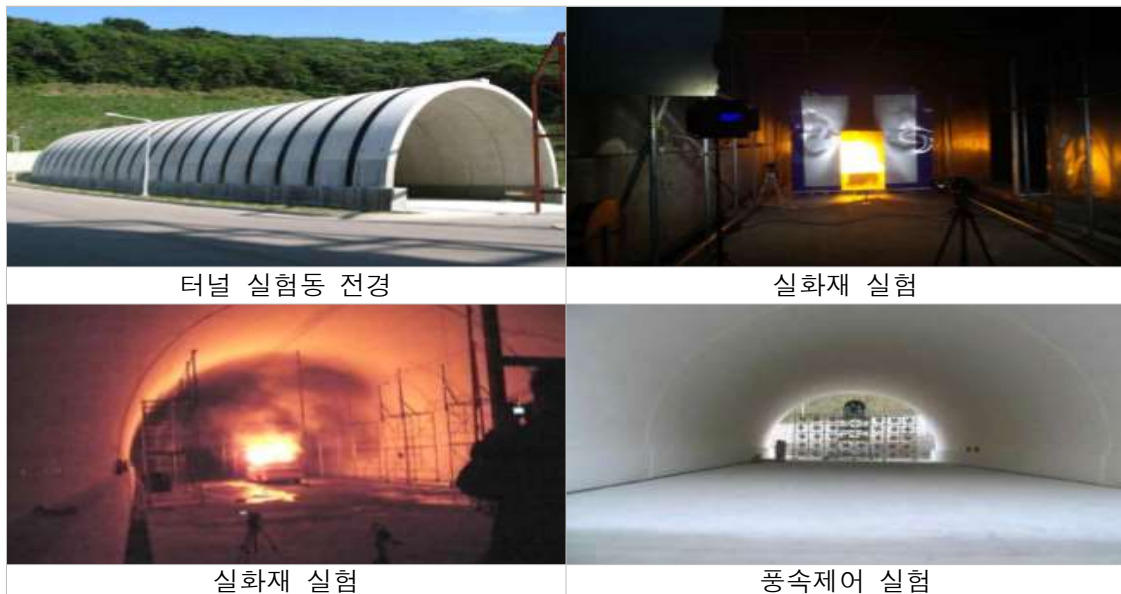


그림 1-10 한국건설기술연구원 터널 실험동 시설 개요

(b) 한국도로공사 구)진주터널

- 진주~마산간 확장구간에서 발생한 구)진주터널(폐터널)은 연장 550m로서, 이중 약 300m는 터널조명 시험장으로 구축하여 운영하여 새로운 조명 제품에 대한 성능실험 및 기술개발에 활용하고 있다.
- 잔여 공간은 간이 소방시설을 설치하여 내부직원의 역량 향상뿐 아니라 이용객의 안전의식 고취를 통하여 2차사고 방지 및 안전한 도로 주행환경 조성을 위한 간이체험관으로 운영되고 있다.
- 구)진주터널 내부에는 시설 현황판, 전시관, 제트팬, 각종 계측기, 소화전 및 터널 조명설비에 대한 Test Bed가 구비되어있다.
- 구)진주터널은 터널 관련 종사자들의 역량 강화를 위한 현장 교육 및 체험장과 터널 이용객 대상 소방시설 견학 및 전시관으로 활용 중이지만, 교육 및 체험장으로서는 그 규모와 설치시설물들이 다소 부족한 상태이다.
- 구)진주터널은 터널 LED 조명 적용에 따른 성능평가를 위하여 구축된만큼 실제 터널을 대상으로 등기구를 실물실험을 진행할 수 있다는 장점이 있다. 이곳에서 측정이 가능한 항목은 노면 및 벽면 휘도, 정합균제도, 차선축균 제도, 임계치증분 등을 측정 할 수 있다.
- 간단한 현장 교육과 등기구를 대상으로 실시되는 전문 실험을 통하여 터널 유지관리 종사자들의 역량 강화로 초기대응 능력 향상과 이에 따른 2차사고 방지 및 인명, 재산 피해를 최소화하고 미래잠재 고객을 대상으로 소방시설 체험 및 홍보를 통하여 한국도로공사의 이미지를 제고하는 효과를 기대하고 있다.



그림 1-11 한국도로공사 구)진주터널 시설 개요

(c) 경기소방학교

- 경기도 용인시에 위치한 경기소방학교는 경기도 내 배치될 소방인력의 기초업무 수행능력을 비롯한 현장대응능력을 교육시키는 곳으로서, 이론 강의시스템은 물론 실무능력을 함께 교육하는 장소이다. 현재 경기소방학교는 경기도의 지원을 받아 ‘GFSA’이라는 전문소방육성단체를 조직하여 이론과 현장대응능력을 교육하고 있다.
- 경기소방학교는 본관동에 이론교육을 실시할 수 있도록 강의실, 전산교육장, 소방 설비 시뮬레이터 등이 설치되어 있고, 종합훈련장에는 공기호흡기숙달시설, 공장화재시설, 일반건물화재시설, 특수화재시설, 위험물화재시설 등 화재장소에 따른 현장 대응능력을 교육함으로써 전문소방인력 양성을 하고 있다.



그림 1-12 경기소방학교 시설 개요

(d) 지방자치단체 안전체험관

i. 광나루 안전체험관

- 서울시에 위치한 광나루 안전체험관은 평상시 가상재난 체험을 통해 각종 사고의 위험성을 사전에 예방하고 시민들의 재난대처능력 향상에 목적을 두고 있다.
- 1999년 발생한 화성 씨랜드 및 인천 히트노래방 참사를 통하여 재난안전관리와 국 민대상 교육의 중요성이 부각됨에 따라 이를 계기로, 2003년 3월 어린이대공원 옆에 우리나라 최초의 종합 재난안전체험관이 건립되었다.
- 주요 시설로 화재, 지진, 풍수해, 응급처치, 소화기 사용법 등 20여종의 체험코너를 설치하여 40~50명의 참여인원이 가상재난상황에서 각종 사고를 사전에 예방하고 대처하는 방법을 체험하고 학습할 수 있다.
- 지하1층에는 움직이는 의자에 앉아서 사이버 세계에서 펼쳐지는 미래의 소방차와 소방관을 경험할 수 있는 라이드 영상관이 있고, 1층은 지진 체험장, 풍수해 체험장, 방재문답, 오리엔테이션장 등이 위치해 있다. 또한 2층은 연기피난체험장, 소화기체험장, 응급체험장으로 구성되어 있고, 3층은 영상관이 있어 각종 재해현장에서 활동하는 소방관들의 활동 모습을 영상으로 볼 수 있으며, 서울에서 발생했던 5대 대형재난사례와 소방활동 명장면을 볼 수 있는 전시관이 있다.
- 화재대피체험은 실제상황과 유사하게 운영하고 있어 교육의 효과가 높고 지리적 위치로 서울의 중심지와 다소 거리가 있으나 지하철 7호선, 버스정류장 등이 있어 접근성이 우수하며, 서울대공원이 입지하고 있어 가족 단위의 오락을 겸비한 교육이 가능하다. 또한 최근 서울을 방문하는 외국인 대상 패키지 관광코스로 개발하여 해외 관광객의 방문도 증가 추세에 있다.
- 어린이를 주 대상으로 하고 있어, 청소년 이상의 전문체험장의 경우 15시 이후 1회 운영으로 사용시간이 제한되어있고, 내용면에서도 심폐소생술과 자동제세 동기에 국한되어 있어 종합시설로의 기능은 다소 미흡한 것이 취약점이다.



그림 1-13 광나루 안전체험관 시설 개요

표 1-2 광나루 안전체험관의 주요 시설 및 프로그램

시설명	관련사진	관련내용
지진체험장		지진발생시 행동요령을 배울 수 있다. 건물이 흔들리면 화재예방을 위해 전기나 가스를 차단하고, 낙하물로부터 머리를 보호하기 위해 식탁이나 책상 밑으로 대피하여 머리를 보호하도록 교육한다.
풍수해체험장		비와 바람의 세기를 느껴볼 수 있는 체험장으로서 태풍시 많이 발생하는 사고사례를 통해 미리 사고 예방대책에 대하여 교육한다.
연기피난체험장		화재발생시 어둡고 연기가 가득한 실내에서 피난할 때의 행동요령을 교육한다.
소화기체험장		우리 주위에 흔히 볼 수 있는 소화기의 사용법을 교육한다.
응급체험장		사고발생 시 응급처치를 배우는 곳이며, 심장정지 환자 발생시 실시하는 심폐소생술을 교육한다.

ii. 보라매 안전체험관

- 서울시에 위치한 보라매 안전체험관은 광나루 안전체험관과 동일한 목적으로 평상시 가상 재난 체험을 통해 각종 사고의 위험성을 사전에 예방하고 시민들의 재난대처능력 향상에 목적을 두고 있다.
- 광나루 안전체험관의 시민호응도가 매우 높아 서울특별시는 안전체험교육의 대기 수요를 해결하고 전문적인 재난체험교육을 담당하고자 보라매공원 일원에 총 340억 원의 사업비를 투자하여 2010년 5월에 제2안전체험관인 보라매 안전체험관을 건립 하였다.
- 보라매 안전체험관은 연면적 8,020.77㎡ 규모로 지하1층부터 지상3층까지 총 4개층으로 구성되어 있으며 1일 최대체험인원은 240명이다. 교육프로그램은 재난체험, 전문체험 및 자유관람으로 구성되어 있으며 재난체험은 60명의 인원이 지진, 태풍, 화재, 교통사고 등 주요 재난현황을 가상 시뮬레이션으로 체험할 수 있다.
- 전문체험으로는 심폐소생술 실습과 소방시설에 대한 이론교육으로 구성되어 있으며, 30명의 인원이 약 1시간 동안 교육받을 수 있다. 자유관람으로 어린이 안전관람장과 소방역사 박물관이 운영되고 있는데 어린이를 대상으로 한 각종 안전교육과 소방의 역사적 변천사를 전시하고 있다.



그림 1-14 보라매 안전체험관 시설 개요

iii. 부산광역시 안전체험관

- 부산시 동래구에 위치한 부산광역시 안전체험관은 지진, 태풍, 화재, 교통사고체험과 4D 영상관 시청이 가능한 재난체험과 심폐소생술, 소방시설체험이 가능한 전문체험, 자유관람 등의 시설들이 마련되어 있다.
- 부산의 지역특성을 감안한 태풍, 지진, 원전체험실등의 체험시설과 전국 최초의 전기안전 체험박물관을 포함하여 22개의 체험코너가 마련되어 있다. 또한 오리엔테이션홀, 재난역사 전시관, 응급처치 체험관, 연기체험관, 생활안전전시관, 소화기체험관, 지진체험관의 7개의 전시관을 개설하여 다양한 안전체험을 제공하고 있다.



그림 1-15 부산광역시 안전체험관 시설 개요

표 1-3 부산광역시 안전체험관의 전시관

전시관	교육내용
오리엔테이션홀	입장객들은 재난 안전 체험관에 들어서면 먼저 '오리엔테이션 홀'에서 재난의 종류에 대해 비디오 학습을 하게 된다. 태풍, 홍수, 지진, 해일, 산불 등의 자연 재난과 화재 폭발 붕괴 등 각종 사고 등에 대해 동영상을 통해 배우게 된다.
재난역사전시관	국내외의 대표적인 재난의 피해와 교훈에 대해 패널을 통해 배울 수 있다. 중국 쓰촨성 지진, 구포열차전복사고, 삼풍백화점 붕괴사고, 911테러, 대구 지하철 화재사고 등의 끔찍한 참사현장을 현장 사진과 함께 할 수 있다.
응급처치 체험관	응급처치의 중요성, 응급상황 시 행동요령 등을 숙지할 수 있으며, 심폐소생훈련용 '인형'을 통해 심폐소생술을 직접 체험해볼 수 있다. 전문 강사가 직접 지도하여 생생한 체험이 될 수 있게 해 주며 이밖에 불에 데었을 때, 팔다리가 부러졌을 때 등의 응급상황에 대한 대비 요령도 배울 수 있다.
연기체험관	이곳에서는 화재현장과 같은 상황을 만든 다음, 출구를 찾아 탈출하는 요령을 직접 배울 수 있도록 만들었다. 체험관 내부는 꼬불꼬불한 미로 형태로 만들어졌으며 화재가 발생 하여 모든 전등이 꺼져 캄캄한 내부에 연기발생기에서 뿜어져 나오는 연기가 미로를 채우게 되면 입장객들은 피난 유도등을 따라 출구를 찾아 대피하는 체험을 할 수 있다.
생활안전전시관	일상 생활공간에서 흔히 일어날 수 있는 안전사고에 대한 예방법을 패널을 통해 학습할 수 있는 공간이다. 수영장이나 집 안에서의 안전사고는 물론 전기나 가스, 승강기 안전사고에 이르기까지 각종 유형의 사고에 대한 유형과 대비법을 배울 수 있다.
소화기체험관	직접 소화기를 사용해 볼 수 있도록 구성된 공간이다. 대형스크린 상에 화재발생현장을 화면으로 재현하면 불이 난 곳을 향해 분말 대신 물이 발사되는 소화기를 직접 작동시켜볼 수 있다. 소화기는 실제분말소화기처럼 안전핀을 뽑아야 물이 발사된다.
지진체험관	지진시뮬레이터를 이용하여 실제 지진 발생시의 흔들림을 체험할 수 있다. 부엌을 형상화한 공간에 직접 들어가 상하좌우로 흔들리는 지진을 1분가량 직접 체험하며 지진발생시 행동요령(탁자 밑 대피 등) 등을 익힐 수 있도록 구성되어 있다.

iv. 충청남도 안전체험관

- 충청남도 천안시에 위치한 충청남도 안전체험관은 화재나 지진, 수난사고 등 각종재난 상황을 가상으로 설정하여 어린이·청소년뿐만 아니라 일반인들까지 직접 체험하면서 일상 속에서 안전의 소중함과 위기대처 능력을 배울 수 있는 최첨단 가상 체험 시설을 갖춘 중부권 최초의 재난 안전 체험관이다.
- 그동안 우리는 참혹한 재난을 겪으면서 많은 교훈을 얻었지만, 그러한 재난 위기 상황속에서 소중한 생명을 지킬 수 있는 생존 방법에 대한 체험 및 학습 시설이 부족한 것 또한 현실이다.
- 이러한 현실을 극복하기 위해 2016년 3월14일 개관한 충청남도 안전체험관은 지상4층 연면적 5,795㎡ 규모로써, 지상1층은 상설 전시관과 어린이 체험관으로 구성되어 있으며, 지상 2층은 재난 체험장으로 4D 영상관 · 고층 화재 체험관(하) · 도시철도 사고 체험관으로 구성되어 있다.
- 지상 3층은 태풍 · 수난 · 실내화재 · 교통사고 체험관으로 구성되어 있으며, 4층은 전문 체험관으로 심폐소생술 실습관 · 소방시설 실습관 등으로 구성되어, 주변의 각종사고의 위험성을 사전에 예방 및 대처하는 요령을 쉽고 재미있게 체험하는 시설이다.

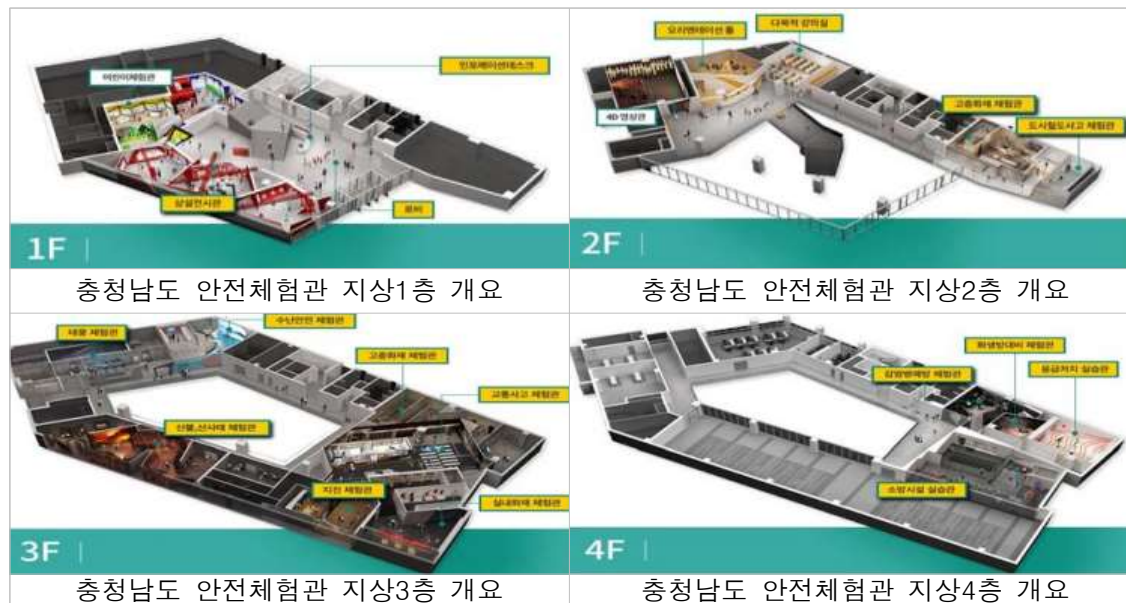


그림 1-16 충청남도 안전체험관 시설 개요

v. 365세이프 타운

- 강원도 태백시에 위치한 365세이프타운은 광산지역의 특성을 살린 체험교육을 받을 수 있으며, 각종 재난에 대한 가상체험과 교육, 엔터테인먼트, 휴양과 레저 기능을 접목시킨 국내 최대 규모의 재난안전체험관으로서 태백시에서 직접 운영하고 있다.
- 주요 시설로는 청소년 안전체험관(장성지구), 강원도 소방학교(철암지구), 챌린지 시설(중앙지구)로 구성되어 있다. 청소년 안전체험관은 시뮬레이터와 3D영상을 이용한 산불 체험관, 설해 체험관, 풍수해 체험관, 지진 체험관 및 대테러 체험관과 전시관람시설로 이루어져 있다.
- 강원도 소방학교에는 이색안전체험, 소방안전교육, 특수훈련센터가 있다. 이색안전체험은 화재탈출체험인 농연체험장, 암벽등반장 및 15종의 구난구조체험으로 구성된 종합훈련장으로 구성되어 있고 소방안전교육을 위하여 초기 화재진압체험과 화재 발생 시 대피교육 등의 소화기 시뮬레이터, 응급처치실, 소방시설 실습장이 있다.
- 특수훈련센터에는 항공기화재진압, 수난구조훈련, 주택화재진압 등으로 시연하고 있다. 소방안전교육은 학습의 질을 높이기 위해 참여인원을 25~30명으로 제한하여 운영하고 있다.
- 챌린지 시설로 트리트랙, 곤돌라 승강장, 쥘라인 등 있으며 곤돌라로 이동하면서 이상의 주요 3지구 안전체험시설을 두루 이용할 수 있도록 대규모로 조성되어 있다.



그림 1-17 365세이프 타운 시설 개요

vi. 대구 시민안전테마파크

- 대구광역시 1995년 대구 상인동 가스 폭발사고와 2003년 2.18 지하철 참사를 계기로 2008년에 시민들의 안전의식과 재난 대응역량을 함양하기 위하여 주요 재난사고 유발요인 분석을 토대로 실질적인 체험교육이 가능한 대구시민안전테마파크를 건립하였다.
- 이 체험관의 강점을 살펴보면, 각종 재난 현장 경험을 가진 16명의 소방공무원들이 체험안내를 담당하고 있고 화재, 교통사고, 지진, 태풍, 지하철사고 등의 체험학습이 가능하며 체험교육의 참여인원을 20명 이하로 제한하여 학습의 질을 높이고 있다. 특히 지하철안전체험관은 화재 발생현장을 그대로 옮겨온 듯한 모습을 갖추고 있어 체험자가 직접 2003년 발생한 지하철 참사를 가상으로 체험할 수 있다.
- 반면에 취약점은 주요 프로그램이 유아와 학생을 대상으로 한 단체관광과 소방관련 의무교육생을 대상으로 구성된 점이다. 오전에는 어린이, 오후에는 성인 위주로 운영하고 있어 향후 다양한 연령층이 이용할 수 있도록 교육의 범위를 확대해야 한다. 또한, 시가지 외곽에 입지하여 버스, 지하철 등 대중교통과 연계성 부족으로 인해 개인이 이용하는데 불편한 점도 있다.
- 전시관은 총 5개의 전시관으로 구성되어 있다. 지하철안전전시관은 3개 층으로 구성, 지하철 안전체험 할 수 있는 특화된 공간이며, 생활안전전시관은 풍수해, 산악안전, 지진, 화재, 응급처치 등의 일상생활에서 발생할 수 있는 여러 재난 상황을 구분하여 체험하고 학습할 수 있는 전시공간이다.
- 미래안전영상관은 3D입체라이드 영상관으로 미래도시에 갑작스레 찾아온 재난을 해결하는 119대원의 활약상을 담은 애니메이션을 상영한다. 방재미래관은 2.18 지하철사고 정보제공과 재난의 시대적 변천, 세계의 재난 그리고 방재미래를 보여주는 전시 공간이다.



그림 1-18 대구 시민안전테마파크 시설 개요

vii. 전북 119 안전체험관

- 전북 119안전체험관은 2013년 4월 임실군에 총 98,000㎡의 부지에 개관하였으며 재난종합체험동, 위기탈출체험동, 어린이안전마을 등으로 구성되어 있다.
- 이 시설의 강점은 교육, 체험, 놀이를 결합한 종합 에듀테인먼트가 가능하며, 각종 재난안전사고에 대한 대응방법을 가상 체험을 통하여 현장감있게 학습할 수 있다는 점이다.
- 또한 우리 생활 주변에서 발생 가능한 다양한 가상 재난상황을 시뮬레이션 게임 형식으로 재미있게 구성하여 어린이 등 이용자의 흥미를 유도하고 있다는 점도 장점이다.
- 주요 시설로 재난종합 체험동은 총 11종의 전시 및 체험시설로 구성되어있는데, 각종재난 및 일상생활에서 겪을 수 있는 위기상황에서 자신과 가족의 생명을 지키기 위한 화재진압 및 대피체험, 교통안전체험, 태풍체험, 생활안전체험, 방사능 대피시설체험, 안전퀴즈 119 심폐소생술 실습이 가능`하다.
- 위기탈출체험동은 화재 등 재난상황을 부여하고 미션을 해결하는 체험시설로서, 체험을 병행한 체력단련, 총 6종의 피난기구를 통한 건물탈출, 2종의 고공횡단 담력 강화체험 및 안전영웅 서바이벌 체험, 소방헬기 등을 활용한 산악사고 인명구조체험, 소방차량을 탑승하고 출동하여 화재진압 임무를 완수하는 실전 코스 등도 체험할 수 있다.
- 어린이 안전마을은 어린이들의 눈높이에 맞도록 실물 2/3크기 축소형 건축물 9개동과 야외 체험시설이 있어 어린이들이 안전마을의 실내 체험시설인 꼬꼬마119(어린이 소방서), 바위산 및 언덕 오르기 체험, 화재대피 체험, 생활안전체험, 태풍체험, 물놀이안전 체험,지진체험과 야외 체험시설인 징검다리 건너기, 구름다리 건너기, 돌담 길 걷기, 신호등 건너기, 동굴 길 체험 등을 통해 각종 재난 시 올바르게 대응하는 방법을 체험으로 익힐 수 있다.
- 반면에 취약점은 체험교육의 참여인원이 100~150명으로 많기 때문에 체험학습의 체험교육을 통해 대처방법을 충분히 숙지하지 못할 우려가 있다는 것이다. 그리고 지리적으로도 전북 임실에 입지하여 대중교통을 이용하기 어려워 접근성이 부족하다.



그림 1-19 전북 119안전체험관 시설 개요

viii. 기타 지하공간 시험시설

□ 한국지질자원연구원 LNG 지하저장 Pilot 플랜트

- 한국지질자원연구원에서 보유중인 LNG 지하저장 Pilot 플랜트는 심지층활용연구 센터의 지하공간연구실에서 운영하고 있다.
- 110m³의 규모를 통하여 Cavern 온도와 압력, 기밀성 시험과 콘크리트, 암반 온도 측정, 주변 암반 지하수 변화 측정, 콘크리트, 암반 거동 측정, 기화열 측정 및 Cavern 주변 N₂ 감지 등의 시험을 진행하고 있다. 이를 통하여 지하공동 저장기술과 LNG 내조시스템을 결합하여 극저온의 물질을 지하에 저장하기 위한 기술을 개발하고 있다.



그림 1-20 한국지질자연연구원 내 LNG Pilot Cavern 실증시험장 개요

□ 현대건설 연구개발본부 터널실험실

- 용인에 위치한 현대건설 연구개발본부는 구조실험동, 환경실험동, 연구동의 연구동 3개와 구조실험실, 풍동실험실, 재료실험실, 터널실험실의 실험실 4개를 보유하고 있다.
- 이중 터널실험실은 터널(일반터널, 초장대터널, 해저터널 등) 및 지하 에너지 저장시설, 특수 터널 공법(비개착 공법) 등과 같은 요소기술과 공법개발 업무를 비롯하여 지하공간 설계 및 안정성검토, 지하공간 현장조사 및 계측, 지하공간 건설을 위한 실증실험, 암석 절리면 전단시험 등의 업무를 수행하고 있다.



그림 1-21 현대건설 연구개발본부 개요



그림 1-22 현대건설 연구개발본부 토목연구개발실 연구시설



그림 1-23 터널실험실 주요 장비

나) 국외 기술개발 동향

(a) V-S-H(VersuchsStollen Hagerbach)

- VersuchsStollen Hagerbach(V-S-H)는 1970년 설립 이후 지속적으로 인프라를 구축하여 터널, 동굴, 실험 분야, 실험실 및 세미나실을 갖추었다. 갖춰진 인프라는 연구, 개발, 테스트, 실규모 시험 등 다양한 분야에 장소를 제공한다.

- 1970 ● 광산 엔지니어인 Dr. Rudolf Amberg가 Eichbuel 기술에 터널 건설 연구 및 개발 시설로 Hagerbach Test Gallery를 설립
- 1974 ● 폭발물 기술 테스트와 안전 훈련에 중점을 두어 빌파 시설과 챔버가 건설
공기 순환을 위한 두번째 입구 건설
- 1979 ● Gallery 시설 내 매점 개점
- 1980 ● 대포의 기계적 성질을 조사하기 위한 사격장 건설
- 1984 ● 건축 자재 시험을 위한 연구소 건설
- 1994 ● SAS(Swiss Accreditation System) 인증
- 1995 ● 콘크리트 주입 테스트를 위한 공장 건설 및 특수 교육 및 훈련 과정 개발

그림 1-24 V-S-H 연혁

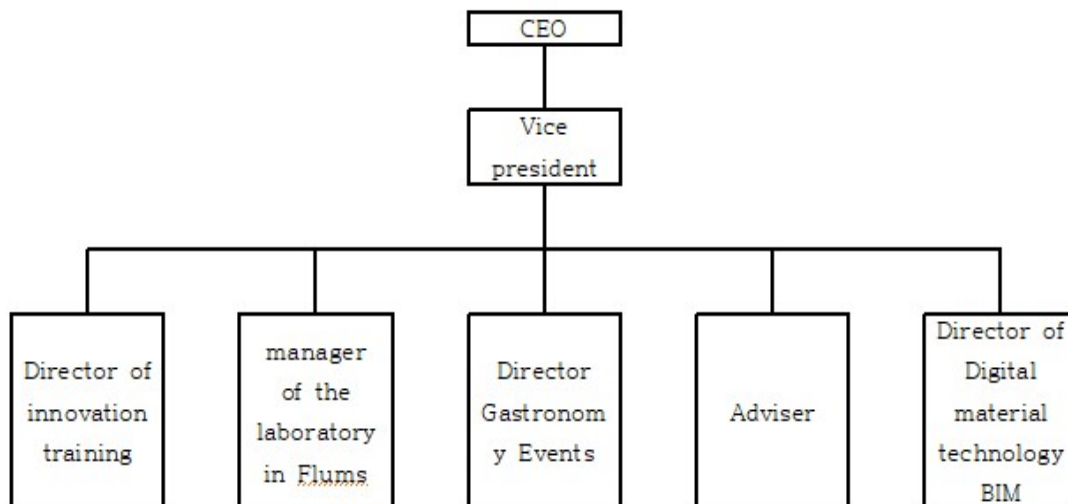


그림 1-25 V-S-H 조직도

i. 연구소 시설

☐ BIM Center

- BIM 센터는 엔지니어들이 실제 터널의 조건에 대해 최적으로 BIM모델을 생성하고 데이터를 건설 현장으로 가져온다. 터널 운영자는 초기 단계의 터널부터 시각화된 자료로 볼 수 있으며 VR로도 볼 수 있다.

☐ Control & Training Center

- 실제 건물에서 수행되는 터널 제어 시스템 테스트가 가능하다. SCADA WinCC OA 시스템을 이용해서 제어 및 모니터링

☐ Simulation Center

- 환기 시스템, 터널 게이트와 같은 시스템을 시뮬레이션하는데 필요한 프로그램을 테스트할 수 있다. 공정 최적화 시뮬레이션, 시나리오별, 기능별로 조합, 또는 개별적 테스트가 가능하다

☐ Cloud Center

- 클라우드 기반의 개방형 IoT 운영체제를 이용하여 제품, 공장, 시스템 및 기계를 연동하고 광범위한 분석을 통해 사물 인터넷의 모든 데이터를 활용 할 수 있도록 한다. 온도, 습도, 압력 및 진동과 같은 다양한 작동 데이터를 대시보드로 표시하고 평가할 수 있다.

ii. 연구소 수행업무

☐ 연구개발 항목

○ Tunneling / Mining

- Flums 근처 Eichbuel 기슭에 위치하고 있으며 훈련 및 훈련시설 역할을 한다. 터널의 총 길이는 5km지만, 230m 길이만 연구 및 훈련 목적으로 화재 훈련 터널을 운영 중이다.



그림 1-26 Tunneling / Mining

○ Digitalization

- 디지털 테스트 갤러리를 구축하여 신기술 개발과 테스트를 위한 여건 조성
- 모니터링, 데이터분석, 지질 모델링, AR/VR 유지보수 예측 등 다양한 Digital 연구 수행 중



그림 1-27 Digitalization

○ Product Development

- 쏫크리트(Shotcrete)

섬유콘크리트, 방화콘크리트 등 광범위한 쏫크리트 유형을 개발 중이다. 쏫크리트와 관련된 연구 결과에 대한 다양한 출판물뿐만 아니라 교육 세션과 세미나를 개최하고 있다.

- 주입기(Injection)

다양한 기판의 주입 기술과 거동을 조사하여 훈련 참가자들은 균열이 있는 암석과 조립식 콘크리트에 대해 주입 매체의 강도, 작업성 및 시스템 거동에 대해 교육 받을 수 있으며, 특성들을 시험해 볼 기회를 제공한다.

- 섬유콘크리트(Fibre concrete)

혼합 설계의 최적화, 섬유 콘크리트의 작업 가능성, 내하중 용량 및 내화성 시험 등을 진행하여 교육 훈련 및 시험에 적용하여 제공한다.

- 굴착방법(Excavation Methods)

무른 슬레이트질 점판암에서부터 단단한 규산석회암까지 광범위한 지질학적 상황에 따른 굴착방법을 연구하여 성능을 최적화한다.

- 밀봉(Sealing)

Sealing 시스템의 적용 및 테스트를 위한 장소를 제공하며, 스프레이로 도포된 막의 배수 시스템 및 누출 테스트까지 다양한 실험을 진행했다.

○ Sewerage Systems

- 폐수 관리를 위한 하수도 구조물 및 홍수 여수로 유지관리를 위해 실대형 사이즈의 훈련 장소를 제공하고 있다.

- 실대형 사이즈의 훈련장은 안전한 하수도 접근 훈련, 파이프라인 수리와 배관의 흐름에 관한 훈련, 하수도 상태의 탐지 훈련, 비좁은 환경에서의 작업 훈련 등을 실시

- 빠른 교육이 가능하며, 안전교육(PPE, 경고장치, 인명구조 등), CSE 교육, 교육용 파이프라인 구성, 보수 공사 등 다양한 훈련등이 마련되어 있다.

□ 훈련 코스 구성

○ 하이브리드 교육 및 과정 개요

- 주입훈련, 슛크리트 훈련, 방수 훈련, 암석 지지대 설치 훈련, 보건 및 안전교육, 건설 기계 및 장비의 가상 시운전, 가상 유지보수 및 시운전으로 구성되어 있다.



그림 1-28 하이브리드 교육 및 과정

○ 교육 모듈

터널의 개입 및 구조를 위한 안전한 측면 위주의 교육 훈련과 화재 시나리오별 대처, 터널 내 화재 진압 훈련 등을 모듈화하여 훈련을 진행

- 작은 화재의 진화 훈련

냉방, 화재처리, 소방관 보안, 인명구조 등을 교육

- 다수의 작은 화재의 진화 훈련

앞선 교육훈련의 세부 교육

- 사고 상황 확인 훈련

사고 상황, 부상자 수, 위험물 확인 절차 교육

- 연기 확산 상황에서의 훈련

터널입구에 연기 응축 및 확산 방지 훈련

- 환기 훈련

수동/자동 환기 방식

- 연기 덮인 터널에서의 인명구조 훈련

계단 통행, 소방관 안전, 통신 훈련

- 터널 사고

터널 내 다중화재 발생 시 위 훈련 내용을 포함한 실제 사고 시뮬레이션 훈련

- 대형터널사고

대형 터널 화재 시 모든 훈련 내용을 포함한 최종 훈련



그림 1-29 화재 진압 훈련

□ 건축 자재 시험(Test)

- 훈련 뿐만 아니라 콘크리트, 건축자재 재활용, 인장강도시험, 내화성시험 등 건축자재에 대한 검사와 서비스를 제공한다.
- 콘크리트 시험
 - 콘크리트의 사용성을 보장하기 위해 콘크리트 강도, 내수성, 내서리, 제빙 저항, 내화학적 및 마모강도 등의 특성을 특정 값을 달성해야 한다. 일관성, 물함량, 콘크리트 밀도 및 공기 함량과 같은 경화콘크리트의 특성을 파악하여 달성값을 도출한다.
- 건축 자재
 - 체질 분석, 단편화에 대한 내성시험, CBR 계수, 감독관 테스트, 건설 현장에서 판 베어링 테스트 등의 자재 시험을 제공한다.
- 바위
 - 단축 및 삼축 전단 시험, E 계수 및 변형 계수, 인장시험, 접합면에 대한 직접 전단시험 등을 제공한다.
- 구성요소 테스트
 - 정적 모델 확인, 최적화 가능성 평가, 기존 제품에 대한 수정 테스트, 펀칭 전단시험 등을 제공한다.
- 내화성 시험
 - 내화성 테스트, 콘크리트 내화성 시험, 소방 전문지식 등을 제공한다.

□ 교육 훈련 외 활용

○ 연회장 장소

- 교육 훈련 스케줄이 없는 시기에는 훈련장을 연회 장소로 대여하는 식으로 공간을 낭비하지 않고 활용하고 있다.



그림 1-30 연회 장소 대여

○ 시회, 박람회

- 터널 안전분야, 기계분야 등 다양한 박람회들을 개최하여 정보를 공유한다.



그림 1-31 박람회 개최

(b) 국제 화재 훈련장(IFA)

□ 지하 운송 시설에 대한 교육 및 훈련을 수행하는 소방 아카데미이며 스위스에 위치하고 있다. 소방아카데미의 중심에는 터널스위스 balsthal 및 Lungern 마을에 위치하고 있어 학생들도 쉽게 체험이 가능하다.

- 1999 ● Chamonix와 Aosta 사이의 Mont-Blanc 도로 터널에서 화재 발생 이후 Swiss Federal Roads Office(FEDRO) 국장의 태스크포스를 구성하고 훈련시설의 필요성을 언급
- 2001 ● Balsthal에 위치한 Intercantonal Fire Brigade Training Center를 훈련시설을 기반으로 예비 연구 및 개발 작업 착수
- 2005 ● FEDRO는 Gasser Felstechnik AG사와 협력, 소방대 운영 교육과정을 개발
- 2009 ● 2006년 연습용 터널 건설을 시작으로 2009년 Balsthal과 Lungern 지역 사이에 훈련용 터널이 개통 International Fire Academy(IFA)가 독립 회사로 설립
- 2012 ● 스위스 소방대 조사관 회의는 IFA에서 개발된 도로 터널 개입을 위한 운영 교육 승인 추후 모든 소방서에 대한 훈련의 기초로 채택되어 교과서 출판
- 2015 ● 도로 터널 뿐만 아니라 철도 터널에 대한 교육 훈련을 위한 교육개발팀 구성
- 2018 ● 교육 인프라의 확장으로 교육 과정이 확대, 다양한 시나리오별 교육 훈련 제공

그림 1-32 국제 화재 훈련장(IFA) 연혁

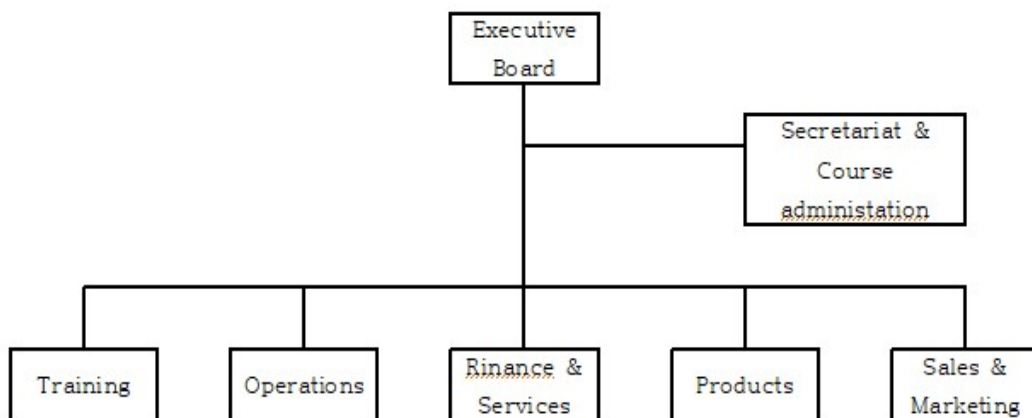


그림 1-33 국제 화재 훈련장(IFA) 조직도



그림 1-34 국제 화재 훈련장(IFA)

□ 소방 교육 및 훈련

- 소방관들을 위한 전문 교육 훈련과 학생, 일반인들을 위한 일반 교육을 구분 지어 프로그램이 구성되어 있다.
- 가스폭발 화재, 고층 화재, 산업화재, 산불 진압, 지하 화재, 광산화재, 소방용 드론 사용법, 원유 폭발 등 화재 상황별 대처 교육과 홍수, 유해물질, 허리케인, 열차 탈선, 교통사고, 테러와 같은 자연재해 및 인재 상황에 대응 교육도 실시하고 있다.
- Cantonal 코스
 - IFA의 교육 구성은 훈련 신청자에 따라 세부적인 훈련 코스를 맞춤형으로 제공한다. 교육 컨설턴트를 배치하여 훈련 신청자의 요구사항을 분석하고 개별 교육을 계획한다.
- National 코스
 - 스위스 소방 협회(SFSA)와 스위스 소방 조정 기관(FSCS)의 국가적 차원의 훈련 코스로 제공한다.
- ① SFSA

호흡 보호 모듈 3(작동), 대체 주행이 가능한 차량 코스(탈출), 이동식 환기(특별) 등 3가지 코스를 제공한다.
- ② FSCS

소방관들을 대상으로 진행하는 교육 프로그램이며, 현직 소방관들을 위한 과정이다. 호흡기 보호 관련 교육(호흡기 보호 장비 사용법, 호흡기 보호용 안전 규정, 사용 중 돌발 상황에 대한 교육 등), NBC 방어 분야의 소방 훈련 등을 제공한다.



그림 1-35 IFA 소방 교육 및 훈련

○ 모듈별 교육 훈련

- 세부 교육에서는 다양한 화재 사건에 대한 올바른 절차를 교육하고 실습한다. 주거용 건물 및 상업시설의 화재부터, 지하 주차장 차량 화재까지 다양하며, 다양한 소화 장치의 사용법을 훈련할 수 있다.

- 사고 발생시 운용 훈련

- 대심도에서의 전술 소방 훈련, 화재 발생 시 터널시설물의 절차 및 상태 파악, SCBA의 장기간 작업 훈련
- 화재 및 연기에 대한 이론적 훈련

- 소방 훈련

호스 관리, 냉방/소화, 소방대원 관리 및 조정, 열화상 카메라 사용법 훈련

- 인명구조 훈련

열 화상 카메라, 표시등, 운송보조장치 사용법, 수색 및 구조활동 관리 훈련



그림 1-36 모듈별 교육 훈련

□ 훈련 시설

○ 터널훈련시설

- 도로, 철도, 대심도 등 다양한 훈련 터널 시설이 구비되어 있으며 각 터널별로 세부적인 훈련 구성이 가능하다

① 도로 훈련 터널

1:1 비율로 도로 터널의 운영 세부 사항을 묘사한다. 교육생들은 운전 가능한 교차 통로, 과압 환기 측면 터널 및 계단을 통해 터널 안으로 진입이 가능하며, 5개의 화재 모형이 통합되어 있다. 또한 승용차, 유조차, 버스 등 최대 50여대의 차량이 소품으로 활용되며, 연기가 차단된 최대 100m 길이의 터널을 훈련에 사용이 가능하다.



그림 1-37 도로 터널 훈련

② 대심도 훈련 터널

대심도, 경사 등 열악한 환경의 터널에서의 화재 훈련을 위해 제공되는 훈련 터널이다. 소방 연습을 위해 트럭과 자동차 모형이 구비되어있으며, 2001년 Gotthard 도로 터널에서 발생한 화재 사건을 기반으로 시나리오를 구성한다.



그림 1-38 대심도 훈련 터널

③ 철도 훈련 터널

철도 훈련용 터널에서는 화재 초기부터 전체 화재까지의 관련 운용 상황을 다양한 변수로 재현할 수 있다. 4대의 차량 중 2개의 차량에는 총 16개의 가스 연료 화재 모형이 설치되어 있다. 역사와 연계되어 훈련을 진행할 수 있으며, 터널에서 열차의 탈선 시뮬레이션 또한 가능하다.

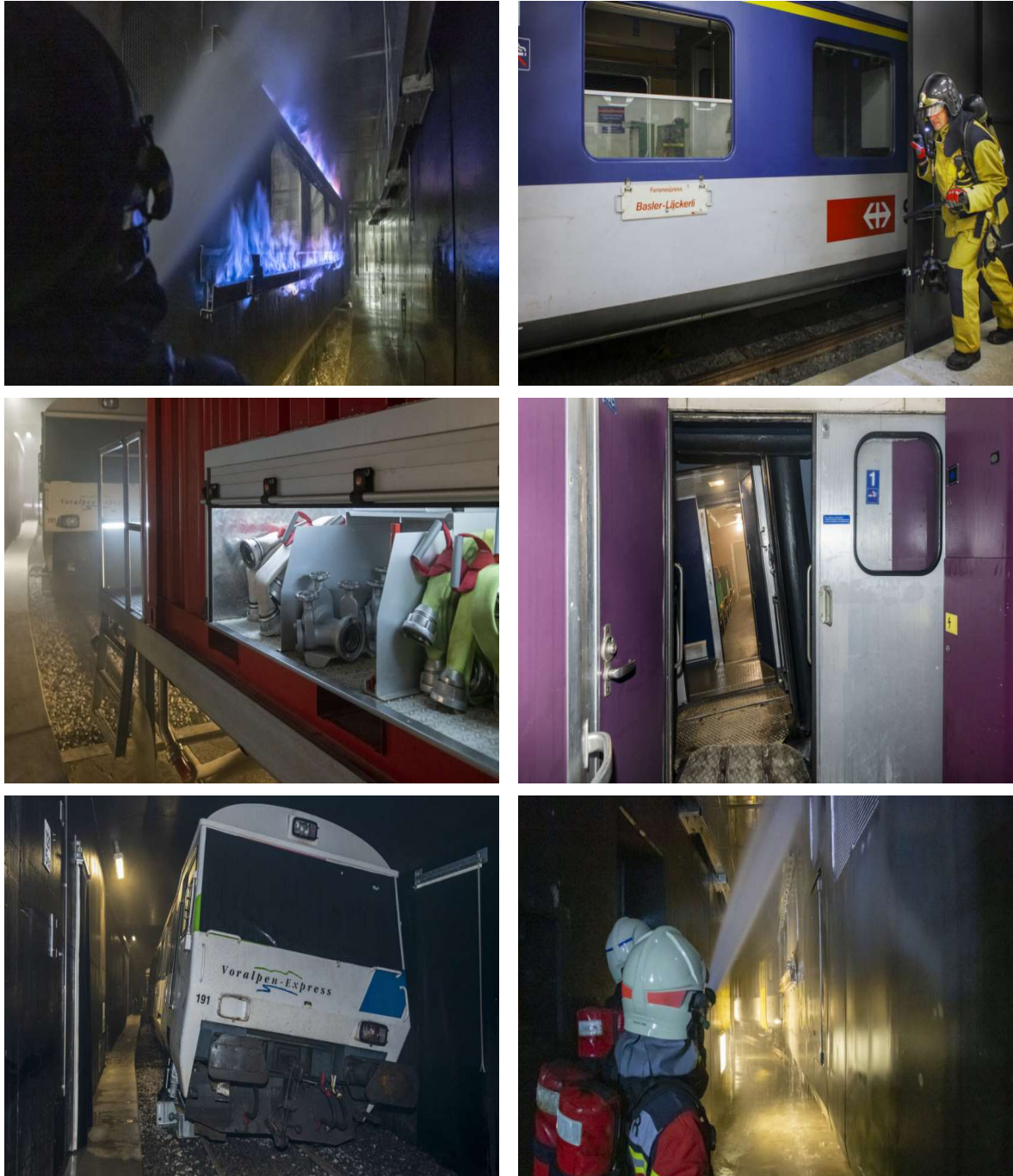


그림 1-39 철도 훈련 터널

④ 철도 훈련장

터널 밖에서도 일어나는 철도사고에 대한 교육 훈련 지역을 구성하여 터널 외의 철도 사고를 예방하기 위한 훈련지역을 구성했다. 이곳에서는 전복된 철도 차량에서의 인명구조와 사고지역 접근, 부상자 수송 등에 대한 훈련을 목적으로 운영 중이다.



그림 1-40 철도 훈련장

□ 간행물

○ 간행물 발행

- 훈련, 교육 및 훈련 장소 제공 외에 스위스 전역의 의무 교육 기반으로 인정한 내용들을 토대로 전문 간행물을 발행하고 게시하고 있다.



그림 1-41 IFA 간행물 사진

(c) Tunnel safety testing S.A.

- 2005년 스페인에서 설립된 Applus+ TST 회사에서 테스트 센터로 운영중이며, 터널의 화재 및 환기는 테스트 터널에서 실규모 테스트를 진행할 수 있으며, 터널 및 기타 시설은 별도로 지어진 실험실에서 테스트를 진행할 수 있다.

- 2003 ● Applus+ 바르셀로나에 설립된 일반 시험 및 연구 연구소(Laboratori General d'Assaigs Investigacions) 설립
- 2004 ● 환경 및 유지관리 요구 사항에 대응하기 위해 관련 연구소인 Norcontrol을 인수
- 2008 ● 벤더 검사 및 인증 전문 기업인 Velosi를 포함하여 20개의 회사를 인수하고 테스트 및 기술 직원을 채용
- 2017 ● 전 세계 70개 이상의 국가에 테스트, 검사 및 인증을 위한 센터 구축, 23,000명 이상의 전문가들을 보유

그림 42 Tunnel safety testing S.A. 연혁

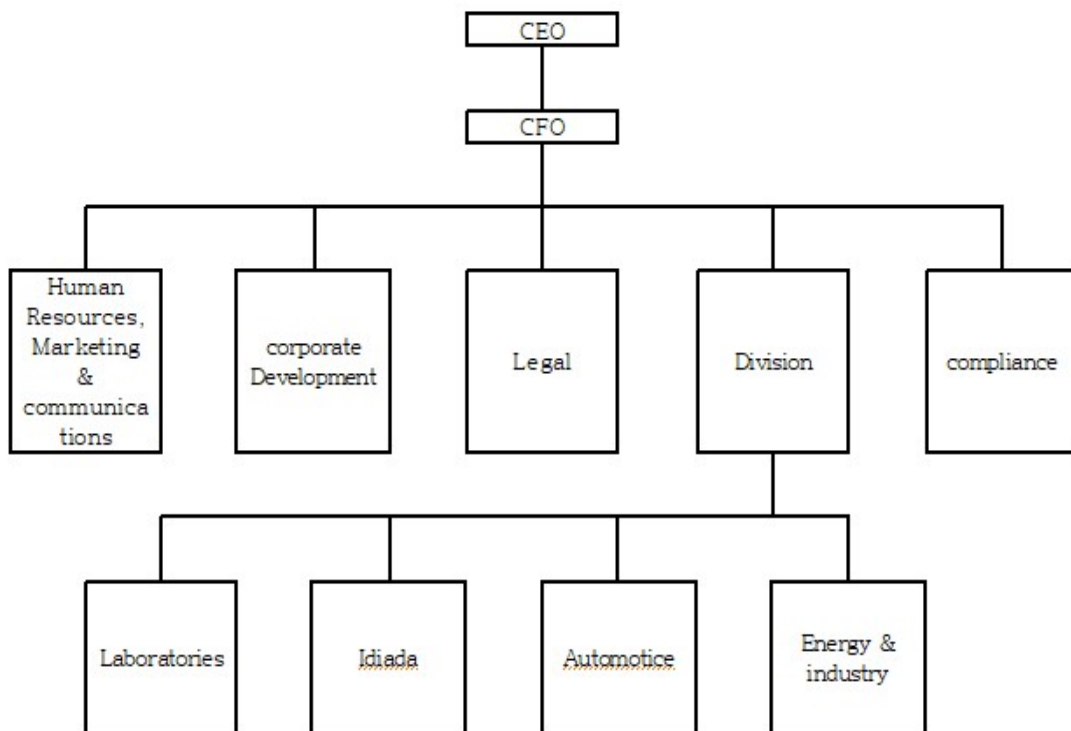


그림 43 Tunnel safety testing S.A. 조직도

i. 연구소 시설

□ 테스트 터널

표 1-4 테스트 터널 제원

구분	내용
길이	600m
바닥 폭	9.50m
최대 높이	8.12m
단면(가천장 제외)	66m ²
단면(가천장 포함)	44m ²
최소 곡률 반경	400m
세로 경사	1%
횡경사	2%
비상터널	폭 4m, 높이 2.5m
비상구	3개(150M 마다)

○ 환기 시스템

- 현대 터널에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 다양한 환기 시스템을 설치, 테스트가 가능하다.

- ① 세로 환기
- ② 반횡방향 환기
- ③ 혼합 세로/반 가로 시스템
- ④ “사카도”시스템

○ 화재에 대한 상시 보호 시스템

- 터널은 5cm의 난연성 콘크리트 층으로 구성되어 화재에 대한 상시 시스템이 구축되어 있다
- 터널 중앙 구역에 위치하고 있으며, 200mW 이상의 열출력 화재에도 보호가 가능하다

○ 장비

- 터널에는 다음과 같은 추가 장비도 포함되어 있다
- ① 최대 600m³의 저수탱크
 - ② 터널 외부의 직경 150mm 압력 파이프(최대 압력 4bar, 용량 180m³/h의 압력 발생기)
 - ③ 터널 내부에 직경 100mm의 압력 파이프, 50m마다 소화전 설치
 - ④ 50m³ 경사 분리기가 있는 유출 수거 시스템
 - ⑤ 15m마다 양쪽 벽에 250W 조명 설치

□ 데이터 및 수집 제어 시스템

○ 구조

- 40~50m간격으로 배치된 13개의 모니터링 및 제어 스테이션과 환기 스테이션을 제어하는 2개의 장치를 기반으로 하는 분산시스템
- 폐쇄형 광섬유 루프를 통해 중앙 제어 스테이션과 통신

○ 데이터 전송

- 모니터링 및 제어 스테이션은 100Mbps, TCP/IP MODBUS 프로토콜의 폐쇄 루프를 통해 통신한다.

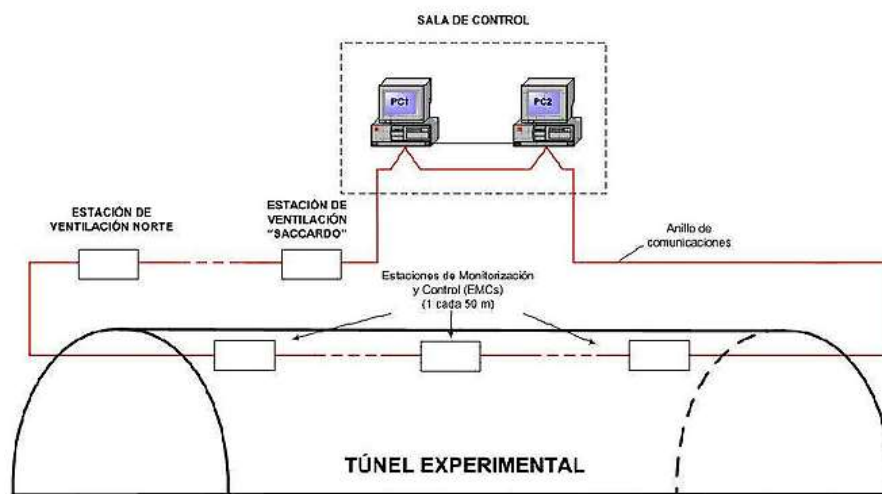


그림 1-44 데이터 전송 시스템

□ 교육 갤러리

표 1-5 교육 갤러리 제원

구분	내용
길이	150m
바닥 폭	2.40m
최대 높이	2.50m
같은 레벨의 입구	2개
위의 입구	2개
아래 입구	1개
비상구	4개 (37,5m마다)
화재구역	5MW 전력의 화재구역 2개



그림 1-45 교육갤러리 전경

□ 고온 팬 연구실

○ 퍼니스 테스트 벤치

- 제트 팬과 같이 모터를 포함한 전체 구조에서 화재가 발생할 경우 고온에 노출되는 팬을 테스트

○ 회로 테스트 벤치

- 횡, 반횡, 사카도 환기 시스템에 사용되는 팬일 경우 뜨거운공기가 블레이드를 통해 통과하면서 주변 공기를 가열시키지 않는 팬을 테스트

○ 제어 시스템

- 연구실 내에 자체 제어 시스템이 존재하여 실험 진행 중에 모든 실험장비를 감독, 제어할 수 있을뿐만 아니라 측정된 수치를 기록

표 1-6 고온팬 최대 기능

구분	내용
전력	최대 1000KW
최대 직경	회로에서 3500mm, 퍼니스에서 2000mm
전원 전압	400 ÷ 6,900V
주파수	50-60Hz



그림 46 고온팬 내부 전경

ii. 연구소 수행업무

□ 실제 규모의 화재 및 환기 테스트

○ 터널 화재 테스트

- 환기 및 연기 추출용 시스템 및 장비, 화재 감지 시스템, 소방 및 제어시스템, 실제 조건에서의 건축 자재의 내화성 시험, 시설 및 차량 화재 대응, 시뮬레이션 및 계산의 CFD 모델 검증 등의 터널 화재에 대한 테스트를 진행 중이다.



그림 1-47 터널 화재 테스트

□ 환기 테스트를 위한 연기 생성 장치

○ 화재 시 발생하는 연기를 모사하는 연기 생성 장치

- 연기 생성 장치는 $380 \sim 500 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 출력으로 최대 70°C 의 온도로 방출되어 실제 화재 발생 시와 유사한 환경을 제공할 수 있다



그림 1-48 환기 테스트를 위한 연기 생성장치

□ 터널 및 갤러리에서 화재 훈련

○ 터널의 화재 및 환기 문제와 관련된 이론·실습 교육 과정

- ① 화재 개입팀(소방관, 시민보호)
- ② 터널 운영자 및 보안 관리자
- ③ 화재 안전 시스템의 엔지니어 및 설계자
- ④ 터널 제어실 운영 직원
- ⑤ 기계 및 철도 차량의 운전수



그림 1-49 터널 화재 및 환기 문제 교육 과정

□ 고온 팬 테스트

○ UNE-EN 12101-3 규정에 따른 고온 팬 테스트 시설

- 건물 및 시설에서 영구적으로 사용되는 모든 열·연기 추출 시스템은 유럽 지침 (89/106/CEE)에 의해 테스트가 의무적으로 진행되어야 한다.
- 실험실은 터널, 건설 및 기타 산업시설에서 일반적으로 사용되는 유형의 축류 및 제트 팬 전체를 테스트 할 수 있다.



그림 1-50 고온 팬 테스트

다) 특허 및 논문 분석

(a) 분석 목적 및 배경

i. 분석 목적

- 본 보고서는 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 기술 개발에 관한 것으로, 대심도 터널 등 재난 발생 시 대규모 사회적 피해가 발생할 수 있는 국가 교통 시설의 재난 대응 기술 검증 시험장을 개발하기 위한 기반 기술에 대해 특허동향을 분석함으로써, 우리나라의 기술 수준, 국가의 연구개발 동향을 파악하고, 추후 연구개발사업의 기획 방향을 판단하는데 근거가 되는 객관적 데이터를 제공하는데 목적이 있음

ii. 분석 배경

- 철도시스템은 대규모 운송수단이자 에너지 효율성이 높고 정시성·안전성이 보장되는 편리한 운송수단으로서의 장점이 큼
- 특히 국토의 70%가 산악지형으로 이루어진 우리나라의 경우, 철도의 특징인 직선화 및 고속화를 위해 최근 대심도 및 장대터널로 건설되는 사례가 점차적으로 증가되고 있음
- 또한 최근에 건설되는 철도 및 지하철 역사는 운수시설 이용 여객의 편의 제공 차원을 넘어 백화점이나 영화관 등 다중이용시설이 입점하거나 아파트와 같은 주거 시설이 입주하는 등 그 지역의 랜드 마크로서 자리 잡고 있기 때문에 화재와 같은 재난사고가 발생하는 경우에는 그 자체의 위험성 및 주변으로의 확대 위험성이 매우 클 것으로 판단됨
- 대심도 및 장대터널 사고 시에도 터널 외부와 고립되는 점이나 피난 이동거리가 긴 점 등으로 재난대응 및 인명구조가 매우 어렵게 될 가능성이 높은 상황에서 최근 GTX 등과 관련한 대심도 복합역사 등 30여 개 철도 사업들이 추진됨에 따라 기존의 지하철 등과 비교해 피난경로는 더욱 멀어지게 될 전망임
- 이에 재난 피해자 수도 기존의 역사와 비교하면 많게는 수십여 배 늘어날 것으로 예상돼 보다 현실적이고 체계적인 철도터널 및 역사 등에 대한 종합적인 안전대책이 요구되고 있음

(b) 분석 범위

i. 특허 분석대상 검색 DB 및 검색범위

□ 분석대상 특허

- 출원일 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2019년 02월부터 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 2019년 1월 31일까지 출원된 특허로 한정함
- 유럽 19개 각국 특허청 : 유럽특허제도는 유럽특허조약의 회원국 사이에서 유효한 유럽특허를 부여하기 위해 만들어진 제도로써 유럽특허조약(EPC : European Patent Convention)에 따라 유럽특허청(EPO)에서 운영함. 유럽특허청(EPO)에 출원함과 관계없이 유럽의 각국 특허청에 출원한 특허를 포함하여 분석함. (DE, FR, GB, AT, BE, CH, DD, DK, ES, FI, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RU, SE, SU)

표 1-7 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	검색구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국 (KIPO)	Keyword	~ 20.07.31	공개 및 등록특허 전체문서
	미국 (USPTO)	Keyword		
	일본 (JPO)	Keyword		
	유럽 (EPO)	Keyword		
	중국 (CN)	Keyword		

ii. 분석대상 기술 및 검색식 도출

□ 기술분류체계

- 본 분석에서는 철도 차량의 하이브리드 에너지 저장 시스템 기술과 관련한 특허를 대상으로 동향분석을 실시함

표 1-8 분석대상 기술의 기술분류체계

대분류	중분류
대심도 장대 터널 재난 대응 복합훈련장 기술	교통사고 대응 기술(AA)
	붕괴 대응 기술(AB)
	침수 대응 기술(AC)
	화재 대응 기술(AD)

□ 기술분류기준

표 1-9 분석대상 기술의 기술분류기준

대분류	중분류	기술분류기준
대심도 장대 터널 재난 대응 복합훈련장 기술	교통사고 대응 기술(AA)	교통사고 관련 재난 예측 및 진단, 재난 대응 기술을 포함
	붕괴 대응 기술(AB)	붕괴 또는 지진 관련 재난 예측 및 진단, 재난 대응 기술을 포함
	침수 대응 기술(AC)	침수 관련 재난 예측 및 진단, 재난 대응 기술을 포함
	화재 대응 기술(AD)	화재 관련 재난 예측 및 진단, 재난 대응 기술을 포함

□ 검색식

표 1-10 검색 키워드

Step	설명	검색식
S1	터널 관련 키워드	대심도터널* 초장대터널* 장대터널* "Transverse tunnel*" Transversetunnel* 터널 * 지하터널* turnnel* tunnel* ((지하도로* 지하공간* 지하* 심도* 대심도* 장대* 초장대* Transvers* under* underground* 언더그라운드* underworld* subterrane* basement*) near2 (교통시설* 터널* turnnel* 차도* 철도* 철도차량 전차* 전철* 지하철* 기차* 열차* 전동차* 전기기관차* 모노레일* 기관차* 전기 동차 전동지하철* 전동전철* 전동열차* (전동 adj 전철*) (전동 adj 지하철*) (전기 adj 기관차*) (철도 adj 차량*) 화차* 트레인 트레인 서브웨이* 레일웨이* 레일로 드* 고속전철* 트렘* 고속열차* 궤도차량* 매트로 메트로 토레인* 모노레일* 모노 레루* 덴사* metro train subway* monorail* locomotive* railroad* freightcar* (railroad adj car) (electric adj locomotive*) railway* (freight adj car*) (railway adj vehicle*) (railroad adj vehicle*) electromotive* (electric adj train*) (rail* adj car*) streetcar* railcar*)) GTX SRT 철도* 철도차량 전차* 전철* 지하철* 기차* 열차* 전동차* 전기기관차* 모노레일* 기관차* 전기동차 전동지하철* 전동전철* 전동열차* (전동 adj 전철*) (전동 adj 지하철*) (전기 adj 기관차*) (철도 adj 차량 *) 화차* 트레인 트레인 서브웨이* 레일웨이* 레일로드* 고속전철* 트렘* 고속열 차* 궤도차량* 매트로 메트로 토레인* 모노레일* 모노레루* 덴사* metro* train* subway* monorail* locomotive* railroad* freightcar* (railroad adj car) (electric adj locomotive*) railway* (freight adj car*) (railway adj vehicle*) (railroad adj vehicle*) electromotive* (electric adj train*) (rail* adj car*) streetcar* railcar*)
S2	재난 관련 키워드	(재난* 사회재난* 복합재난* 재해* 참사* 재앙* 비상* 응급* 긴급* 위급* 조난* 이머전시* 이머전시* 위기* 인명사고* 인명구조* 구출* 긴급구조* 위험* 구급* 대피* 구난* 구호* 사고* 안전사고* 피난* 위난* 리스크* 테러* terror* lifesaving* life-saving* saving* rescue* danger* risk* hazard* "first aid*" first-aid* refuge* evacuat* emergency* disaster* calamity* catastroph* accident* urgent* 화재* 큰불* 방화* 화염* 불길* 불꽃* 진화* 소화* 소방* incendiarism* arson* fire* conflagration* inferno* blaze* blazi* 붕괴* 지진* 무 너* 지반침하* 침하* 파괴* 파손* 균열* 잠식* 크랙* 랜드슬라이스* 랜드슬라이 드* 여진* 어스퀘이크* 흔들려* 흔들* 떠는* 떨림* earthquak* seism* quak* landslid* subsidenc* collaps* "give way*" destruct* tremor* trembl* 침수* 수 몰* 침몰* 홍수* flood* inundat* waterlog* soak* submerge* submersion* overwash* 교통사고* 추돌* 충돌* 사고* 차량사고* 접촉사고* 부딪* 임팩트* 크 래시* 컬리전* 콜리전* 외부충격* impact* collision* "traffic accident*" "traffic trouble*" "traffic mishap*" "road accident*" crash*)

S3	대응 관련 키워드	(훈련장* 훈련* 복합훈련* 실전* 안전교육* 전문교육* 교육* 대응훈련* 트레이닝* 트레이닝* 연습* 수련* 배우* 배움* 단련* 학습* 교습* 스터디* 에듀* 실습* 방재시험* 시험장* training* learn* exercis* study* disciplin* "safety education*" education* 가상훈련* defense* practice* "safety test*" anti-disaster* "anti disaster*" ((anti* prevent* drill*) near (disaster*)) 방재* 대책* 대응* 매뉴얼* 매뉴얼* manual* 지침서* 안내문* 안내서* 가이드북* guidebook* guide* 가이드* 예측* 예상* 감지* 측정* 탐지* 디텍터* 확인* 파악* 체크* 판단* 판별* 평가* 검사* 판독* 식별* 확정* 관측* 계측* 관찰* 검측* 진단* 테스트* 시험* 실험* 분석* 해석* 검토* appraisal* evaluate* evaluation* test* detect* check* confirm* inspect* analysis* observe* measure* perceive* interpretation* construction* examination* examine* study* predict* forecast* estimat* analyz*)
S4	주요 IPC	· B60: 차량 일반 · B61: 철도 · E01: 도로, 철도 또는 교량의 건설 · E21: 터널내의 안전장치 · G01: 측정, 시험 · G08: 신호 · G09: 교육

표 1-11 검색식 조합에 따른 최종 검색 결과(Raw Data)

최종 검색식				
(((대심도터널* 초장대터널* 장대터널* "Transverse tunnel*" Transversetunnel* 터널* 지하터널* tunnel* tunnel* ((지하도로* 지하공간* 지하* 심도* 대심도* 장대* 초장대* Transvers* under* underground* 언더그라운드* underworld* subterrane* basement*) near2 (교통시설* 터널* tunnel* 차도* 철도* 철도차량 전차* 전철* 지하철* 기차* 열차* 전동차* 전기기관차* 모노레일* 기관차* 전기동차 전동지하철* 전동전철* 전동열차* (전동 adj 전철*) (전동 adj 지하철*) (전기 adj 기관차*) (철도 adj 차량*) 화차* 트레인 트레인 서브웨이* 레일웨이* 레일로드* 고속전철* 트램* 고속열차* 궤도차량* 매트로 메트로 토레인* 모노레일* 모노레루* 덴샤* metro train subway* monorail* locomotive* railroad* freightcar* (railroad adj car) (electric adj locomotive*) railway* (freight adj car*) (railway adj vehicle*) (railroad adj vehicle*) electromotive* (electric adj train*) (rail* adj car*) streetcar* railcar*)) GTX SRT 철도* 철도차량 전차* 전철* 지하철* 기차* 열차* 전동차* 전기기관차* 모노레일* 기관차* 전기동차 전동지하철* 전동전철* 전동열차* (전동 adj 전철*) (전동 adj 지하철*) (전기 adj 기관차*) (철도 adj 차량*) 화차* 트레인 트레인 서브웨이* 레일웨이* 레일로드* 고속전철* 트램* 고속열차* 궤도차량* 매트로 메트로 토레인* 모노레일* 모노레루* 덴샤* metro* train* subway* monorail* locomotive* railroad* freightcar* (railroad adj car) (electric adj locomotive*) railway* (freight adj car*) (railway adj vehicle*) (railroad adj vehicle*) electromotive* (electric adj train*) (rail* adj car*) streetcar* railcar*).KEY.) AND ((재난* 사회재난* 복합재난* 재해* 참사* 재앙* 비상* 응급* 긴급* 위급* 조난* 이머전시* 이머전시* 위기* 인명사고* 인명구조* 구출* 긴급구조* 위험* 구급* 대피* 구난* 구호* 사고* 안전사고* 피난* 위난* 리스크* 테러* terror* lifesaving* life-saving* saving* rescue* danger* risk* hazard* "first aid*" first-aid* refuge* evacuat* emergency* disaster* calamity* catastroph* accident* urgent* 화재* 큰불* 방화* 화염* 불길* 불꽃* 진화* 소화* 소방* incendiarism* arson* fire* conflagration* inferno* blaze* blazi* 붕괴* 지진* 무너* 지반침하* 침하* 파괴* 파손* 균열* 잠식* 크랙* 랜드슬라이스* 랜드슬라이드* 여진* 어스퀘이크* 흔들려* 흔들* 떠는* 떨림* earthquak* seism* quak* landslid* subsidenc* collaps* "give way*" destruct* tremor* trembl* 침수* 수몰* 침몰* 홍수* flood* inundat* waterlog* soak* submerge* submersion* overwash* 교통사고* 추돌* 충돌* 사고* 차량사고* 접촉사고* 부딪* 임팩트* 크래시* 컬리전* 콜리전* 외부충격* impact* collision* "traffic accident*" "traffic trouble*" "traffic mishap*" "road accident*" crash*).KEY.) AND ((훈련장* 훈련* 복합훈련* 실전* 안전교육* 전문교육* 교육* 대응훈련* 트레이닝* 트레이닝* 연습* 수련* 배우* 배움* 단련* 학습* 교습* 스터디* 에듀* 실습* 방재시험* 시험장* training* learn* exercis* study* disciplin* "safety education*" education* 가상훈련* defense* practice* "safety test*" anti-disaster* "anti disaster*" ((anti* prevent* drill*) near (disaster*)) 방재* 대책* 대응* 매뉴얼* 매뉴얼* manual* 지침서* 안내문* 안내서* 가이드북* guidebook* guide* 가이드* 예측* 예상* 감지* 측정* 탐지* 디텍터* 확인* 파악* 체크* 판단* 판별* 평가* 검사* 판독* 식별* 확정* 관측* 계측* 관찰* 검측* 진단* 테스트* 시험* 실험* 분석* 해석* 검토* appraisal* evaluate* evaluation* test* detect* check* confirm* inspect* analysis* observe* measure* perceive* interpretation* construction* examination* examine* study* predict* forecast* estimat* analyz*).KEY.) AND ((B60* B61* E* E01* E21* G01* G08* G09*).ipc.))				
검색건수				
한국	일본	미국	유럽	합계
2,341	1,338	2,150	677	6,506

□ 유효특허 선별 기준

- 대심도 장대 터널의 재난 대응 복합훈련장 개발 기술과 관련된 Raw Data에 <표 1-6>과 같은 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용하였으며, 터널 재난 대응과 무관한 기술은 노이즈 제거함

□ 유효특허 선별 결과

- 위의 선별기준을 통하여 유효특허를 선별한 결과 아래의 <표 1-6>과 같이, 606건이 도출되었으며, 기술 분류별 데이터 건수는 하기와 같음

표 1-12 유효특허 선별결과

기술카테고리		유효특허 건수				
		한국	일본	미국	유럽	계
재난 대응 복합훈련장 기술	교통사고 대응 기술(AA)	46	26	36	21	129
	붕괴 대응 기술(AB)	49	45	15	12	121
	침수 대응 기술(AC)	11	9	20	5	45
	화재 대응 기술(AD)	81	121	81	28	311
총 계		187	201	152	66	606

iv. 분석방법

□ 본 분석에서는 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합 훈련장 개발 기술과 관련하여 하기의 내용으로 특허분석을 진행함

□ 특허동향 분석

○ 특허분석에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본, 유럽에서의 주요국가별, 주요출원인별, 기술분류별 출원동향을 분석함

○ 또한, 기술별로 연도별/국가별 기술개발 활동현황을 분석하고 주요 출원인 현황을 분석함

□ 핵심특허 분석

○ 분석주제와 관련도 높은 핵심특허를 선별하고, 핵심특허의 주요내용에 대해 정리 및 검토의견을 제시함

(c) 특허동향

i. 대심도 장대 터널의 재난 대응 복합훈련장 특허동향

□ 출원연도별 특허동향



그림 1-51 전체 출원연도별 특허동향

○ 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술 분야의 전체 연도별 출원 동향을 살펴보면, 1984년을 시작으로 출원이 이루어지고 있으며, 일부 구간에서 출원 증감을 반복하고 있으나 대체적으로 최근까지 꾸준히 출원이 이루어지고 있는 것으로 보임

■ 특허는 특별한 사정이 없는 한 출원 후 1년 6개월이 경과 한 후에 공개되므로 출원과 공개간의 상당한 시간차가 발생하며, 따라서 본 분석의 검토대상은 공개특허를 기준으로 하고 있기 때문에 이미 출원되었으나 미공개된 경우에는 위의 그래프에서 제외되므로 감소하는 경향을 나타내나 실제 특허건수가 감소하는 것이 아니라고 판단되며, 실제건수는 이보다 증가될 것임

□ 주요출원국의 연도별 특허동향

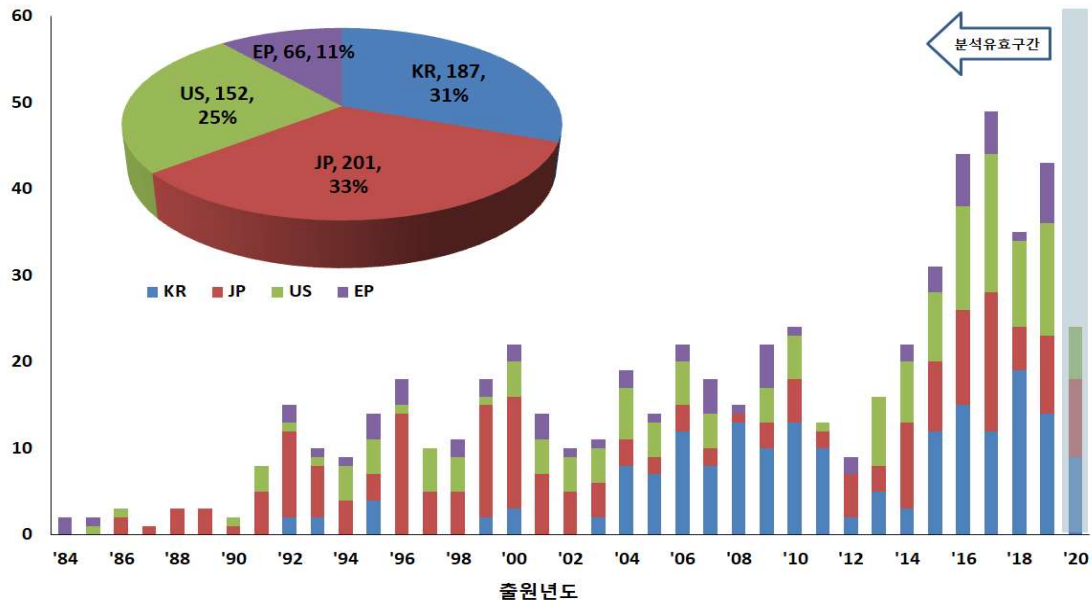


그림 1-52 주요출원국 연도별 특허동향

- 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술 분야의 주요 시장국별 출원 점유율을 살펴보면, 일본이 201건(33%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 한국 187건(31%), 미국 152건(25%), 유럽 66건(11%)의 순인 것으로 나타남
- 본 기술 분야의 경우, 일본 시장이 전반적으로 우위에 있는 것으로 예상할 수 있으며, 주요 시장국 전반에서 2013년 이후 연구개발 활동이 활발하게 진행되고 있는 것으로 예상됨

□ 세부출원국의 연도별 특허동향

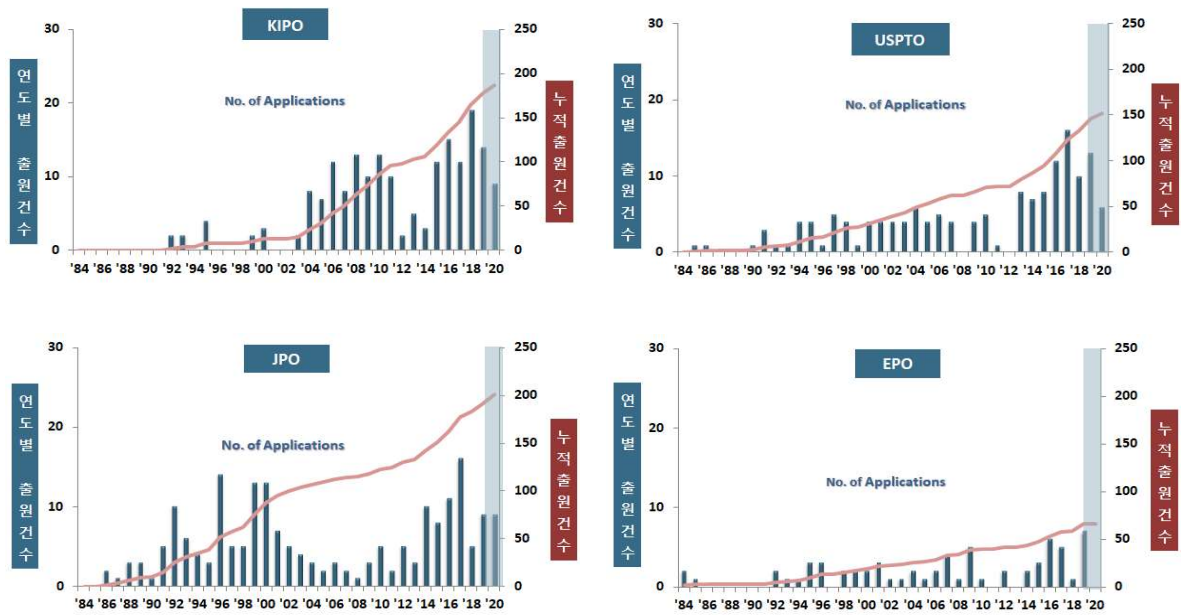


그림 1-53 세부출원국 연도별 특허동향

- 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술 분야의 세부 국가별 연도별 출원 동향을 살펴보면, 일본의 경우 최초 출원 이후로 가장 활발하게 출원 활동을 하다가 2000년대 이후로 감소를 보이고 2010년대 이후로 다시 꾸준히 출원이 증가하고 있음
- 전체 연도별 출원 동향에서 1990년대의 출원 활동은 대부분 일본 출원 활동에 영향을 받은 것으로 확인되며, 또한, 일본 출원 동향을 한국 출원 동향이 따라가는 경향을 보이고 있어, 본 기술 분야에서 일본 시장이 전반적으로 우위에 있을 것으로 예상됨
- 한국 및 미국의 경우, 일부 구간에 출원 증감이 보이지만 전반적으로 꾸준히 출원이 증가되고 있고, 특히 2014년 이후에 들어서면서 활발한 출원 활동을 보이고 있음
- 유럽의 경우, 출원 증감이 반복되고 있으나, 최근까지 꾸준히 출원이 이루어지고 있는 것으로 보임

ii. 기술분류별 특허동향

□ 기술분류별 연도별 특허동향

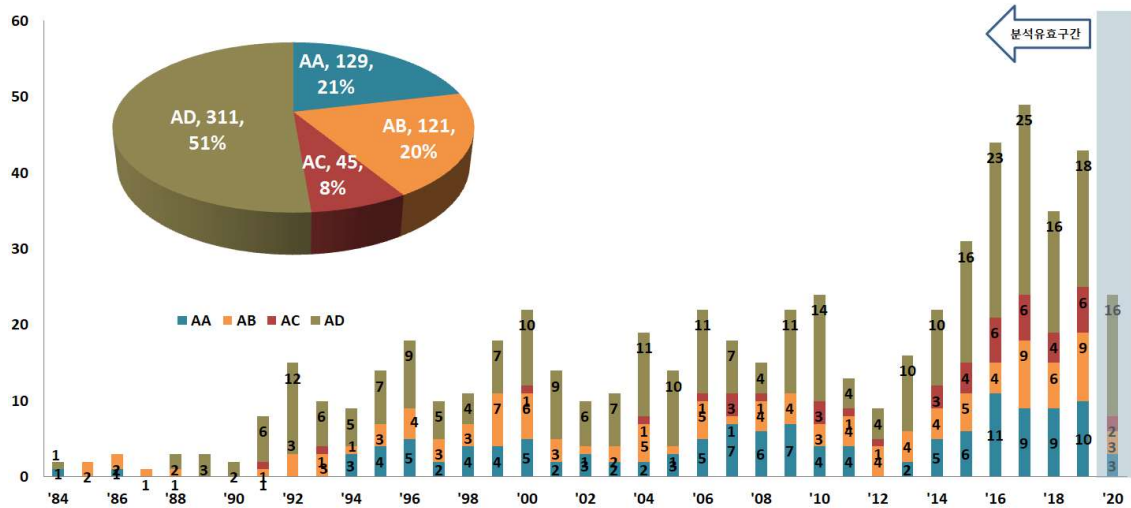


그림 1-54 기술분류 연도별 특허동향

- ※ AA: 교통사고 대응 기술
- ※ AB: 붕괴 대응 기술
- ※ AC: 침수 대응 기술
- ※ AD: 화재 대응 기술

- 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술 분류별 출원 점유율을 살펴보면, 화재 대응 기술(AD)은 311건(51%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 교통사고 대응 기술(AA) 129건(21%), 붕괴 대응 기술(AB)은 121건(20%), 침수 대응 기술(AC)은 45건(8%) 순으로 확인됨
- 화재 대응 기술(AD)의 연도별 출원 동향을 살펴보면, 1984년 출원을 시작으로, 일부 구간에 출원 증감세가 나타나고 있으나, 전반적으로 꾸준한 출원 활동을 보임
- 또한, 교통사고 대응 기술(AA), 붕괴 대응 기술(AB), 침수 대응 기술(AC)의 연도별 출원 동향도 일부 구간에 출원 증감세가 나타나고 있으나, 최근 연구개발 활동이 활발하게 진행되고 있는 것으로 확인됨

□ 기술분류별 주요출원국의 특허동향

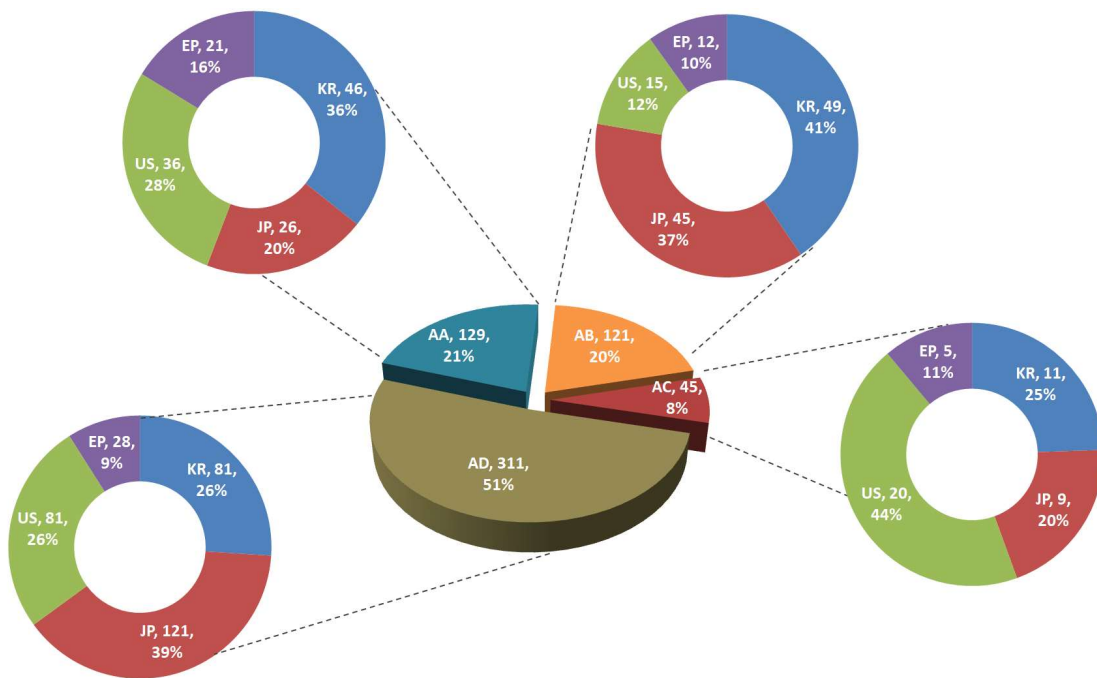


그림1- 55 기술분류별 주요출원국 특허동향

※ AA: 교통사고 대응 기술
 ※ AB: 붕괴 대응 기술
 ※ AC: 침수 대응 기술
 ※ AD: 화재 대응 기술

- 화재 대응 기술(AD)의 주요출원국의 특허동향을 살펴보면, 일본이 121건(39%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 미국 81건(26%) 및 한국 81건(26%), 유럽 28건(9%) 순서로 확인됨
- 교통사고 대응 기술(AA)의 주요출원국의 특허동향을 살펴보면, 한국이 46건(36%), 미국 36건(28%), 일본 26건(20%), 유럽 21건(16%)의 점유율 순서를 보임
- 붕괴 대응 기술(AB)의 주요출원국의 특허동향을 살펴보면, 한국이 49건(41%), 일본 45건(37%), 미국 15건(12%), 유럽 12건(10%)의 점유율 순서를 보임
- 침수 대응 기술(AC)의 주요출원국의 특허동향을 살펴보면, 미국이 20건(44%), 한국 11건(25%) 일본 9건(20%), 유럽 5건(11%) 순서로 확인됨

□ 세부 기술별 IP 출원국 분석

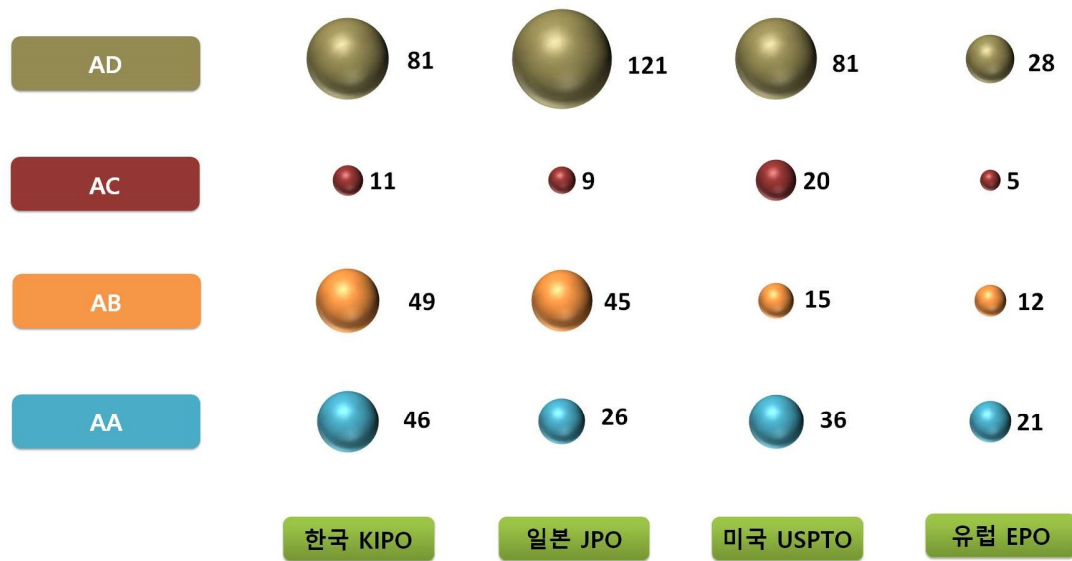


그림 1-56 세부기술별 IP 출원국(버블의 크기: 출원 건수)

- ※ AA: 교통사고 대응 기술
- ※ AB: 붕괴 대응 기술
- ※ AC: 침수 대응 기술
- ※ AD: 화재 대응 기술

- 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술 분야의 기술 분류별 IP 출원국을 살펴보면, 교통사고 대응 기술(AA)은 한국, 일본, 미국에서 활발하게 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 붕괴 대응 기술(AB)은 한국, 일본에서 출원 활동이 활발하고, 침수 대응 기술(AC)은 미국에서 활발하게 출원이 이루어지고 있으며, 화재 대응 기술(AD)은 한국, 일본, 미국에서 출원 활동이 활발하게 진행되고 있음
- 또한, 일본은 화재 대응 기술(AD), 붕괴 대응 기술(AB)에서 집중적으로 출원이 진행되고 있고, 한국은 전반적으로 모든 기술 분야에서 골고루 출원 활동을 진행하고 있는 것으로 나타남

iii. 출원인별 특허동향

□ 주요출원인별 특허동향

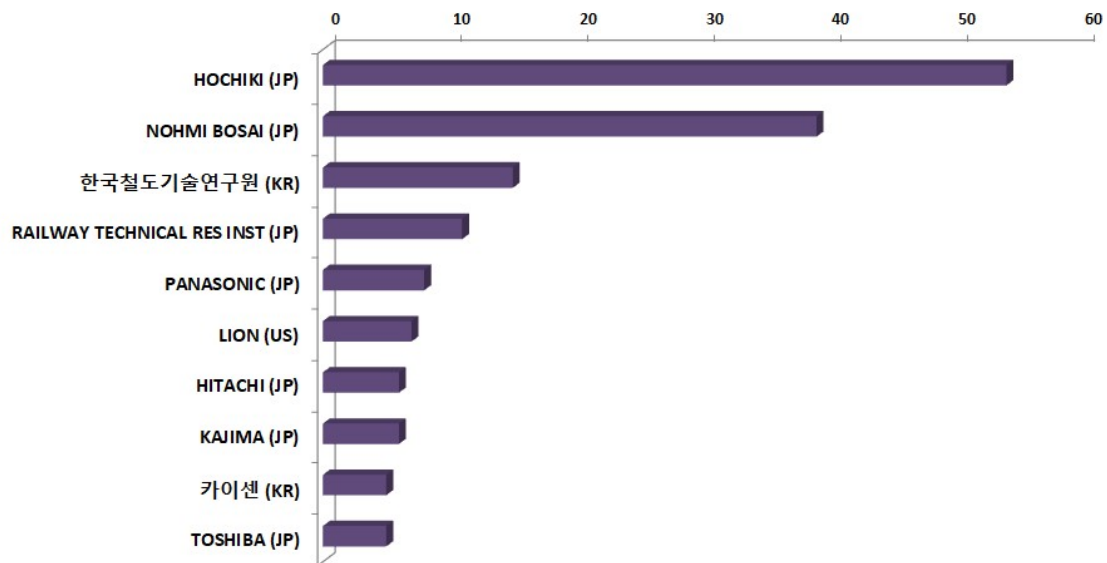


그림 1-57 주요출원인별 특허동향

- 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술 분야의 주요 출원인별 특허 동향을 살펴보면, 일본 국적의 HOCHIKI社가 54건으로 가장 많은 출원을 진행했고, 그 다음으로 NOHMI BOSAI社가 39건을 출원했으며, 한국 국적의 한국철도기술연구원 15건, 그 외에 일본 국적의 RAILWAY TECHNICAL RES INST이 11건, PANASONIC社 8건, 미국 국적의 LION社가 7건으로 조사됨
- 주요 출원인 중 HOCHIKI社, NOHMI BOSAI社, RAILWAY TECHNICAL RES INST, PANASONIC社 등 일본 국적의 출원인이 다수 포함되는 것으로 확인되며, 본 기술 분야는 일본 내에서 연구개발 활동이 활발하게 진행되고 있는 것으로 판단됨

□ 주요출원인의 주요출원국별 특허동향

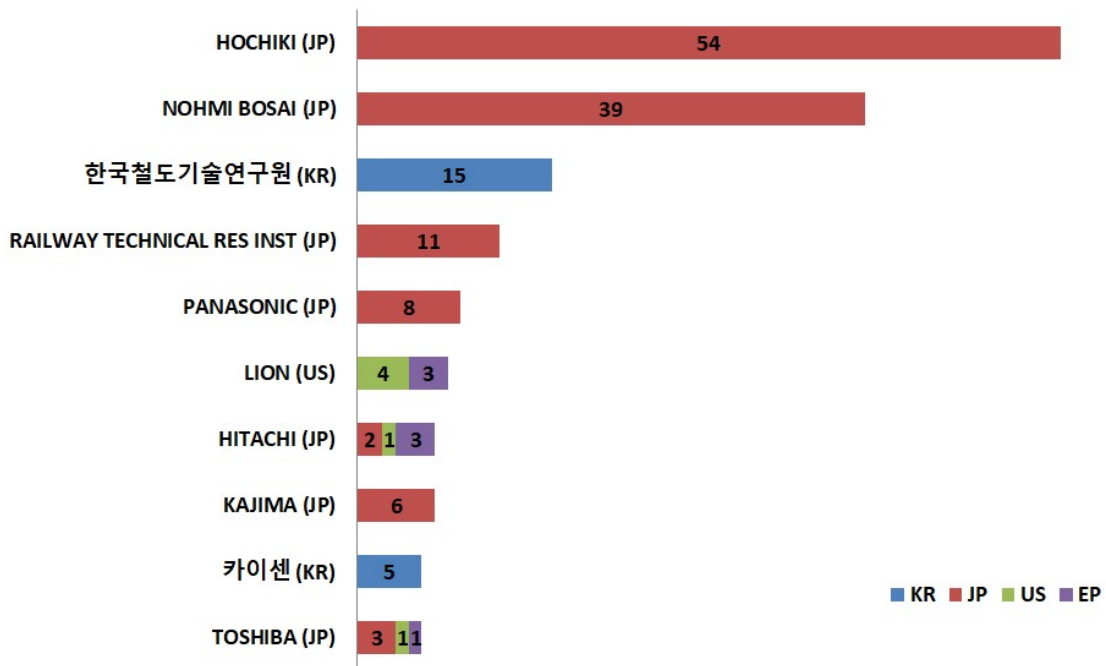


그림 1-58 주요출원인별 주요출원국의 특허동향

- 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술 분야의 주요 출원인별 주요출원국 특허 동향을 살펴보면, 일본 국적의 HOCHIKI社, NOHMI BOSAI社, RAILWAY TECHNICAL RES INST, PANASONIC社는 자국인 일본에 집중적으로 출원 활동을 하고 있으며, 한국 국적의 한국철도기술연구원, 카이센도 자국인 한국을 중심으로 출원 활동을 진행함
- HITACHI社, TOSHIBA社의 경우, 자국인 일본을 중심으로 미국, 유럽에 출원을 진행하고 있으며, 그 외 상위 주요 출원인의 경우, 자국에서 집중적으로 출원함

□ 주요출원인의 기술분야별 특허동향

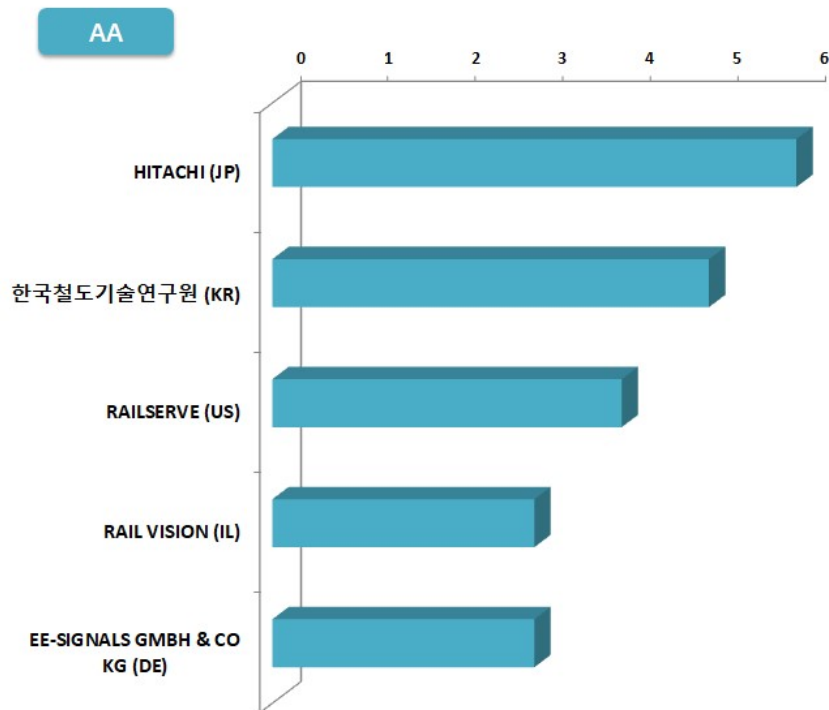


그림 1-59 AA분야 주요출원인별 특허동향

- ※ AA: 교통사고 대응 기술
- ※ AB: 붕괴 대응 기술
- ※ AC: 침수 대응 기술
- ※ AD: 화재 대응 기술

- 교통사고 대응 기술(AA)의 주요 출원인별 특허 동향을 살펴보면, 일본 국적의 HITACHI 社가 6건으로 가장 많은 출원을 진행하였고, 그 다음으로 한국 국적의 한국철도기술연구원 5건, 미국 국적의 RAILSERVE 4건 순서로 조사됨

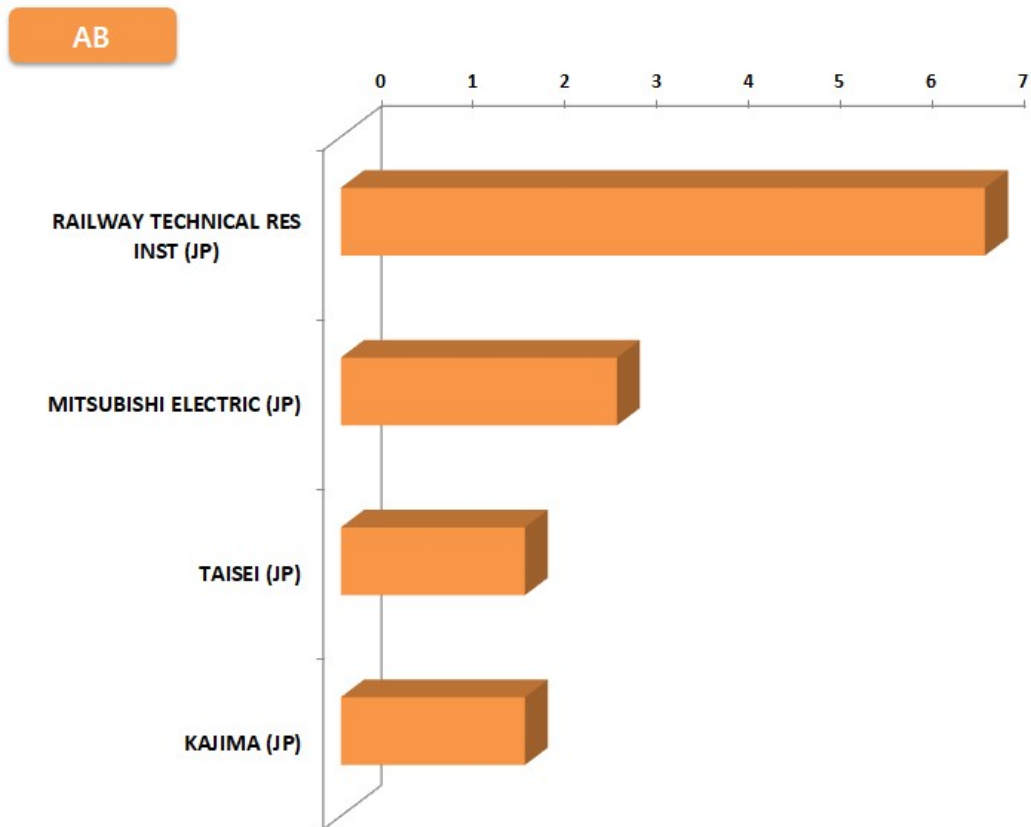


그림 1-60 AB분야 주요출원인별 특허동향

- ※ AA: 교통사고 대응 기술
- ※ AB: 붕괴 대응 기술
- ※ AC: 침수 대응 기술
- ※ AD: 화재 대응 기술

○ 붕괴 대응 기술(AB)의 주요 출원인별 특허 동향을 살펴보면, 일본 국적의 RAILWAY TECHNICAL RES INST社가 7건으로 가장 많은 출원을 진행하였고, MITSUBISHI ELECTRIC社가 3건, TAISEI社 2건 순서로 출원을 진행하였음

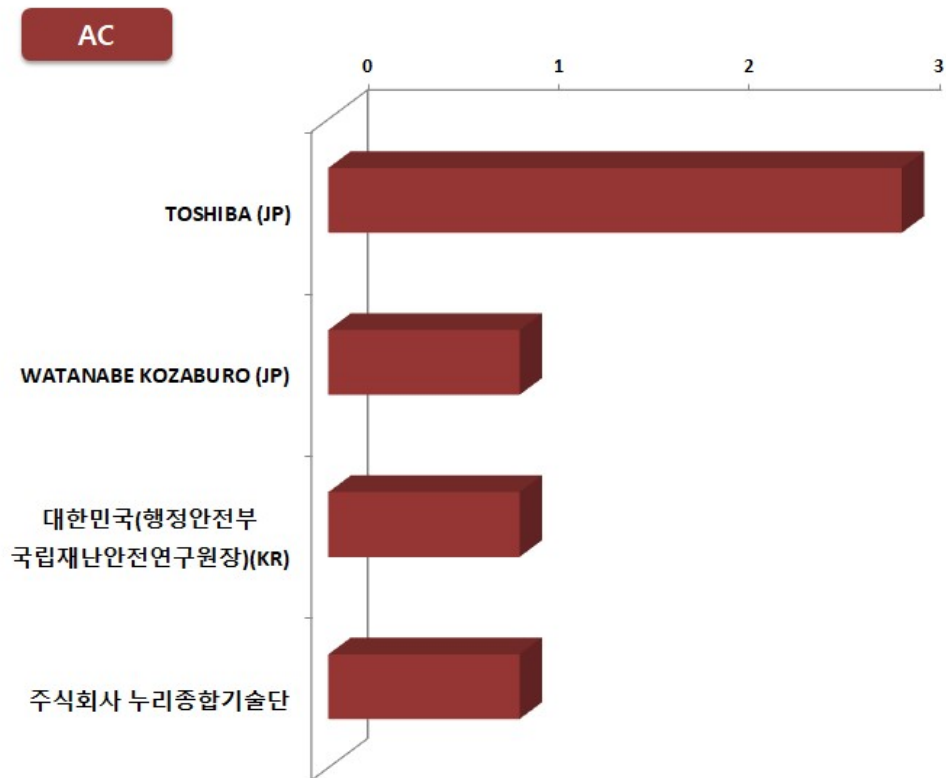


그림 1-61 AC분야 주요출원인별 특허동향

- ※ AA: 교통사고 대응 기술
- ※ AB: 붕괴 대응 기술
- ※ AC: 침수 대응 기술
- ※ AD: 화재 대응 기술

- 침수 대응 기술(AC)의 주요 출원인별 특허 동향을 살펴보면, 일본 국적의 TOSHIBA社가 3건으로 가장 많은 출원을 진행하였고, 침수 대응 기술(AC)은 다른 기술 대비 출원 활동이 적어 다출원인이 뚜렷하게 보이지 않았음

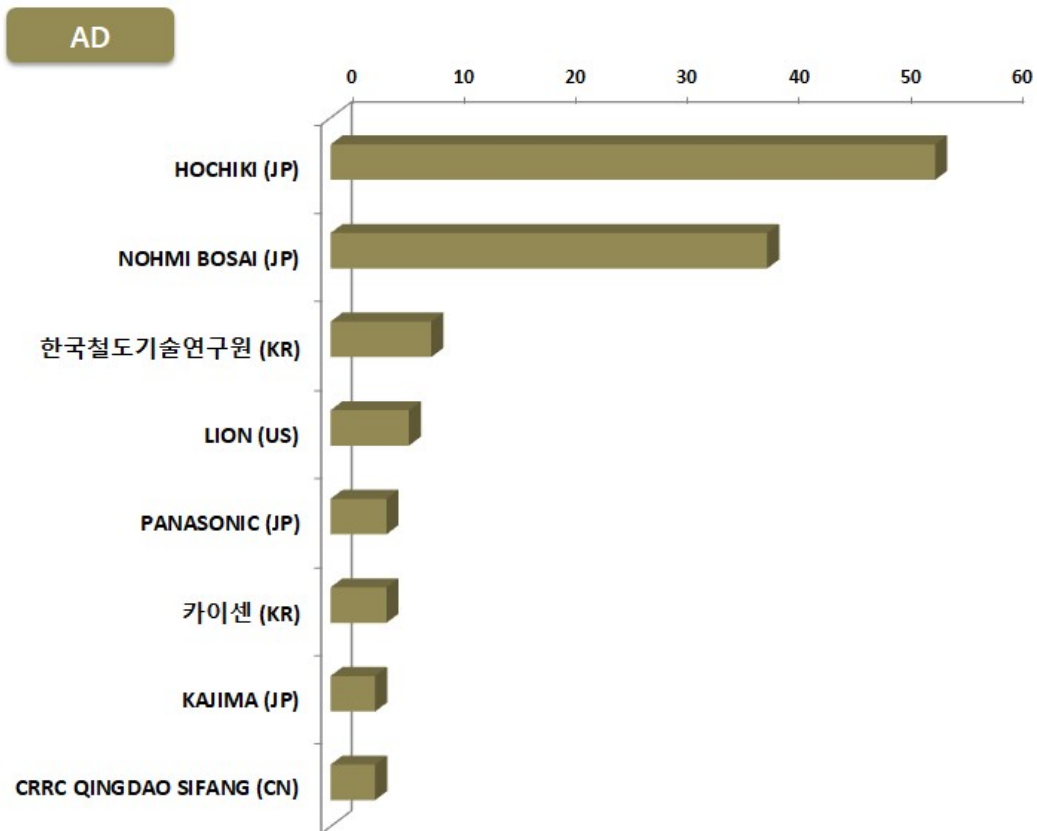


그림 1-62 AD분야 주요출원인별 특허동향

- ※ AA: 교통사고 대응 기술
- ※ AB: 붕괴 대응 기술
- ※ AC: 침수 대응 기술
- ※ AD: 화재 대응 기술

○ 화재 대응 기술(AD)의 주요 출원인별 특허 동향을 살펴보면, 일본 국적의 HOCHIKI社가 54건으로 가장 많은 출원을 진행했고, 그다음으로 NOHMI BOSAI社가 39건을 출원했으며, 한국 국적의 한국철도기술연구원 9건, 미국 국적의 LION社가 7건, 그 외에 일본 국적의 PANASONIC社 5건, KAJIMA社 4건, 한국 국적의 카이센社 5건, 중국 국적의 CRRC QINGDAO SIFANG社 4건으로 조사됨

iii. 기술수명주기(TCT) 분석

□ 기술수명의 산출

- 기술수명주기(TCT, Technical Cycle Time)는 인용정보에 기초하여 해당 기술분야의 발전속도나 특정 국가 또는 기업의 기술혁신 속도를 나타내는 지표이며, 특정 등록특허의 기술수명은 하기의 식에 의해 산출됨

■ 등록특허의 기술수명 산출

$$\text{기술수명} = \text{해당 등록특허의 등록년도} - \text{인용특허 등록년도의 중간값} \\ (\text{중간값이 복수인 경우 그 평균값})$$

- 등록특허에 대한 기술수명의 산출을 통해, 해당 기술분야의 기술의 진보가 얼마나 빠르게 진행되고 있는지 알 수 있으며, 낮은 기술수명주기는 기술혁신 활동의 기반이 최근의 연구성과에 기초한다는 것으로, 높은 기술수명주기는 기술혁신 활동의 기반이 상대적으로 원천기술에 기초한다는 것으로 해석될 수 있음
- 본 보고서에서 기술수명은 국가별 핵심특허를 대상으로 산출하였으며, 각 핵심특허의 기술수명을 계산하여, 국가별 기술수명의 평균값을 기술수명주기로 도출하였음

□ 국가별 기술수명주기

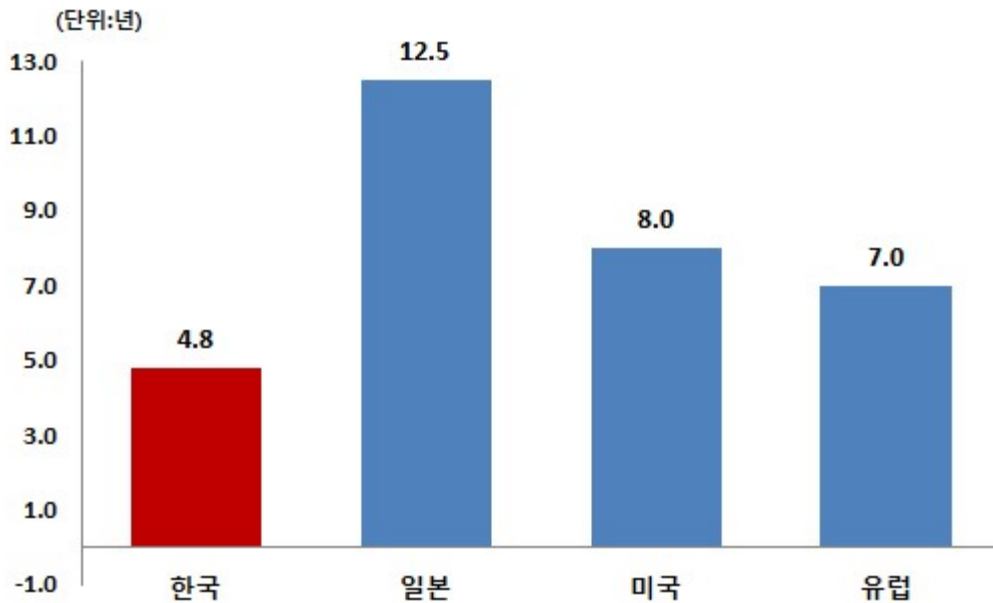


그림 1-63 대심도 장대터널의 재난 대응 복합훈련장 기술 분야 국가별 기술수명

- 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술 분야에 대한 주요 국가별 기술 수명주기를 산출한 결과, 한국이 4.8년으로 가장 낮은 기술수명주기를 보였고, 일본은 12.5년 미국은 8년, 유럽은 7년으로 나타나, 동 기술분야에서 한국의 기술혁신 활동이 가장 활발한 것으로 나타났음
- 한국의 경우, 4.8년으로 기술혁신 활동이 상대적으로 활발하고, 개발된 기술의 수명이 짧은 것으로 조사되었으며, 향후 지속적인 연구 및 투자를 통하여 해당 기술 분야를 선도하도록 유도하고, 고품질의 IP 창출을 통해 핵심 기술을 선점해 나가는 전략이 필요할 것으로 판단됨

iv. 주요 출원인의 사업 동향

□ RAILWAY TECHNICAL RES. INST. (JP)

- 선로 내 유지 보수 작업 중 발생하는 사고로 이어지는 과정을 가상 체험 할 수 있는 가상 현실 교육 자료 STAT-VR (Trackman 안전 훈련원)을 활용한 안전 교육 프로그램을 개발함

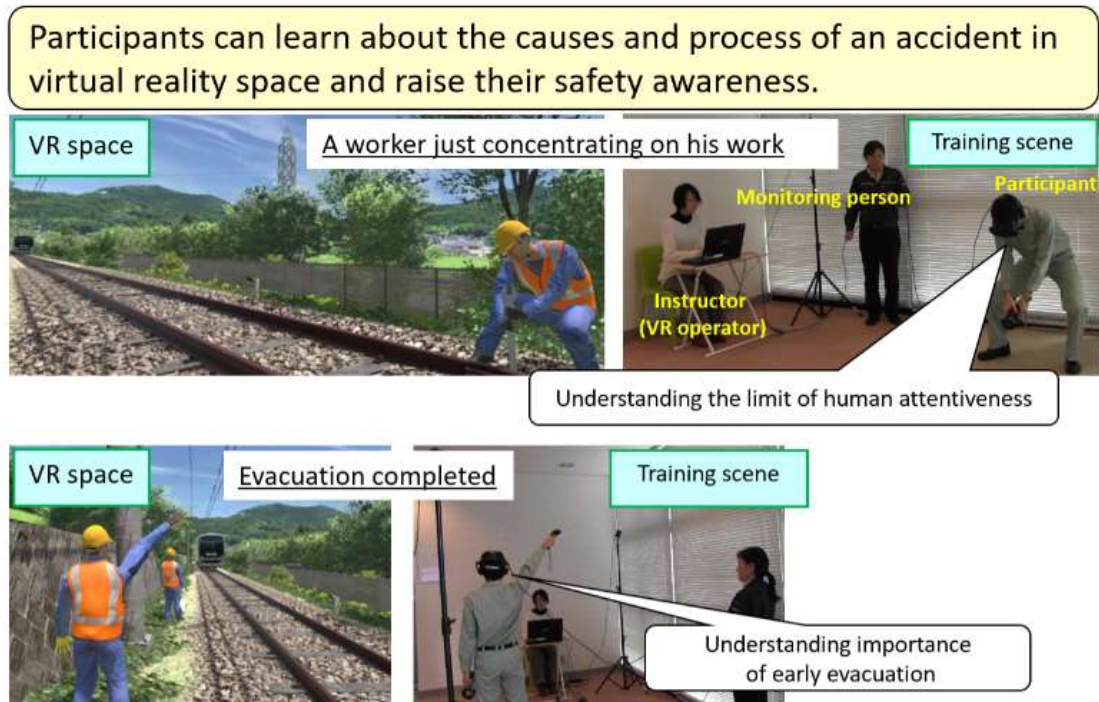


그림 1-64 STAT-VR을 활용한 안전 교육 프로그램

□ LION (US)

- 휴대용 훈련 소품 및 대규모 훈련 단지를 포함하고, 화재를 반복할 수 있도록 하는 지능형 제어 기능이 있어 가동 중지 시간을 줄이고 훈련 시간을 증가함

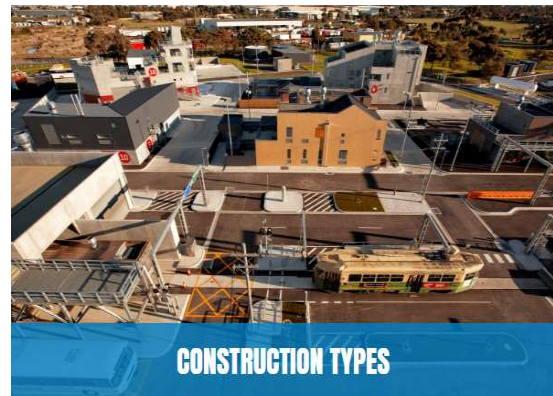


그림 1-65 LION 교육 기관 시스템

(4) 시사점

- 본 보고서는 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 개발 기술에 대한 특허 동향 분석 결과를 제시함
- 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술 분야의 전체 연도별 출원 동향을 살펴보면, 1984년을 시작으로 출원이 이루어지고 있으며, 일부 구간에서 출원 증감을 반복하고 있으나 대체적으로 최근까지 꾸준히 출원이 이루어지고 있는 것으로 보임
- 주요 시장국별 출원 점유율을 살펴보면, 일본이 201건(33%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 한국 187건(31%), 미국 152건(25%), 유럽 66건(11%)의 순인 것으로 나타남
- 또한, 일본 출원 동향을 한국 출원 동향이 따라가는 경향을 보이고 있어, 본 기술 분야에서 일본 시장이 전반적으로 우위에 있을 것으로 예상됨
- 기술분류별 출원 점유율을 살펴보면, 화재 대응 기술(AD)은 311건(51%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 교통사고 대응 기술(AA) 129건(21%), 붕괴 대응 기술(AB)은 121건(20%), 침수 대응 기술(AC)은 45건(8%) 순으로 확인됨
- 주요 출원국 중 일본은 일본은 화재 대응 기술(AD), 붕괴 대응 기술(AB)에서 집중적으로 출원이 진행되고 있고, 한국은 전반적으로 모든 기술 분야에서 골고루 출원 활동을 진행하고 있는 것으로 확인됨
- 주요 출원인별 특허 동향을 살펴보면, 일본 국적의 HOCHIKI社가 54건으로 가장 많은 출원을 진행했고, 그 다음으로 NOHMI BOSAI社가 39건을 출원했으며, 한국 국적의 한국철도기술연구원 15건, 그 외에 일본 국적의 RAILWAY TECHNICAL RES INST이 11건, PANASONIC社 8건, 미국 국적의 LION社가 7건으로 조사됨
- 주요 출원인별 주요 출원국 특허 동향은 전반적으로, 자국 내에서의 출원 활동이 두드러지며, 그 외의 출원국에서는 자국 대비 미비한 출원 활동을 보이고 있음
- 주요 국가별 기술수명주기를 산출한 결과, 한국이 4.8년으로 가장 낮은 기술수명주기를 보이고 있으며, 이는 기술혁신 활동이 상대적으로 활발하고, 개발된 기술의 수명이 짧은 것으로 조사되어, 향후 지속적인 연구 및 투자를 통하여 해당 기술 분야를 선도하도록 유도하고, 핵심 기술 확보 및 고품질의 IP 창출 전략이 필요할 것으로 판단됨
- 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술과 관련된 핵심 특허 22건을 선별하여 요지 분석을 실시하였으며, 교통사고 대응 기술(AA) 분야의 경우, 터널 내 사고 인지 및 예측, 피해 경감에 대한 기술이 확인되고 있으며, 붕괴 대응 기술(AB) 분야에서는 터널 붕괴 감지 기술, 침수 대응 기술(AC) 분야에서는 침수 차단 및 감지 기술, 화재 대응 기술(AD) 분야에서는 화재 감지 및 방재 기술, 가상현실 기반의 터널 화재 시뮬레이션 기술이 확인됨

- 모든 기술 분야에서 전반적으로 재난 감지에 대한 기술은 활발히 출원되고 있는 것으로 보이나, 재난 대응 모델 및 재난 대응 훈련장에 대한 선행 연구는 부족한 것으로 조사되었으므로, 향후 대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 기술에 대해 우위를 선점할 수 있는 IP 창출 전략이 필요할 것으로 판단됨
- IP 창출시 핵심특허의 기술적 내용과 유사한 기술을 포함하게 되는 경우, 상기 핵심 선행 기술보다 효과를 극대화할 수 있는 기술 구성을 통해 차별화된 IP 도출 및 경쟁력 확보가 필요할 것으로 판단되며, 특히 보다 적극적인 해외 권리화를 통해 해외 시장 선점에 대한 노력도 필요할 것으로 판단됨

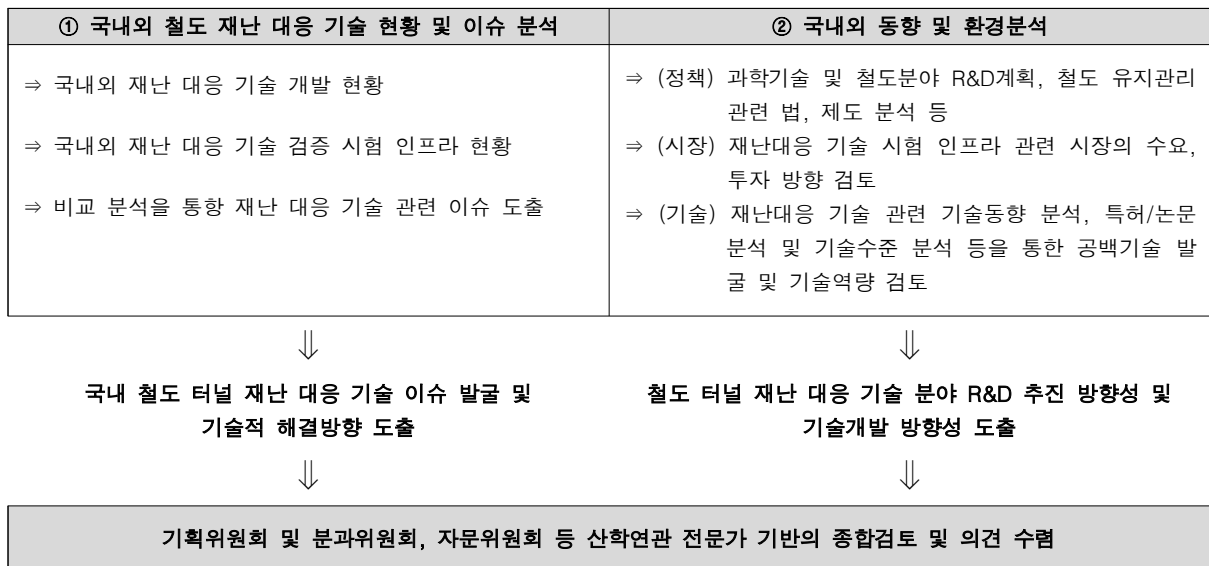
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발과제 도출 과정

(1) 연구개발과제 추진 방향의 설정 과정

- 본 과제의 추진 방향 설정을 위해 국내외 철도 장대터널 재난 대응 기술 및 이슈 분석, 대내외 환경분석(정책, 시장 등) 및 기존 R&D, 국내외 기술동향 등을 종합적으로 고려
- 본 과제의 최종 목적 대상물은 철도 장대터널로 하며, 해당 목적 대상물에서 발생할 수 있는 재난 리스크를 진단/대응할 수 있는 기술을 개발하고, 이를 검증/훈련할 수 있는 시험 인프라를 구축하는 것을 목적으로 함.
- 국내외 철도 장대터널 재난 대응 기술 이슈 분석을 통해 재난 대응 기술과 관련하여 국내에서 해결하지 못한 이슈, 긴급하게 해결해야 하는 이슈 등 발굴하고 기술적 해결방안 마련을 위해 검토
- 대내외 환경 및 동향 분석을 통해 국내외 정책 방향, 시장의 수요, 재난 대응 분야에 요구될 미래 전망을 급격한 변화 등 철도 터널 재난대응 기술을 둘러싸고 있는 환경 및 재난 대응 기술 검증 시험 인프라 관련 R&D, 국내 기술수준 분석 등을 통해 과제 추진 방향성 및 기술개발 방향성 도출

그림 2-1 연구개발과제 추진 방향 도출 과정



(2) 기술수요조사

□ (조사 목적) 기술수요조사를 통한 재난대응 기술 개발 니즈를 파악

○ 「대심도 장대 터널 (GTX 등) 의 재난 대응 복합훈련장 개발」 기획연구 수행을 위하여 아래 3개 중점 분야에 대해 기술수요조사를 통한 기술개발 니즈 파악 수행.

- ① 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발
- ② 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 모델 개발
- ③ 재난대응 복합시험훈련장 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발

○ (조사 대상) 철도학회, 한국도시철도학회 등 관련 학회 및 한국철도공사, 한국철도시설공단 등 철도운영기관, 기타 철도 분야 주요 전문가

○ (조사 기간) 2021년 9월 13일 ~ 2021년 10월 1일 (4 주)

○ (조사 방법) 학회 홈페이지 게재 및 이메일 회신

○ (조사 내용) 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발/철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 모델 개발/재난대응 복합시험훈련장 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발의 3개 중점 분야 별 기술수요조사 실시

그림 2-2 기술수요조사서

□ (조사 결과) 총 31개의 기술수요가 발굴

○ (응답자 회신 결과) 기술수요조사의 회신은 총 31건이었으며, 응답자 소속을 산·학·연으로 구분한 결과, 15건(35%)의 응답자가 산업계(한국철도공사 등 운영기관 포함)였으며, 연구계 13건(42%), 학계 7건(23%)을 회신

표 2-1 기술수요조사 응답자 분석 결과

응답자 소속	회신 건수	비율 (%)
산	11	35
학	7	23
연	13	42
합계	31	100

- 기술수요조사결과 터널 내 화재에 대한 진단/대응 기술, 터널 내 지진에 대한 진단/대응 기술, 터널 내 침수에 대한 진단/대응 기술, 대응 기술 검증을 위한 인프라 구축 등에 대한 기술수요가 도출됨

표 2-2 기술수요조사 제안기술 목록

기술 번호	제안기술명
1	철도 터널 및 지하공간 재난 발생 특성 규명 및 리스크 진단모델 개발 (시나리오기반)
2	철도 터널 돌발 침수재난에 따른 리스크 예측 및 진단기술 개발
3	철도 터널 및 지하공간 지진 리스크 예측 및 관리기술 개발
4	철도 터널 및 지하공간 화재특성 분석 및 실증연구
5	대심도 장대 터널의 재난 발생 리스크 평가 및 대응체계 개발
6	진동 및 소음의 전파특성 및 예측분야에 대한 기술
7	대심도 지하공간의 연돌효과 리스크 예측 및 위험도 평가기법 개발
8	대심도 터널용 수직구 지진재난 리스크 예측 및 진단기술
9	운행 철도 및 기타 기계 진동에 의한 대심도 터널의 안정성 검토 기법
10	지진발생시 2차재난(화재) 발생 메커니즘 연구
11	지하공간 철도시설물 화재시 구조물 피해발생 예측 연구
12	철도 터널 및 지하공간 재난 특성에 따른 대응 모델 개발 (시나리오기반)
13	철도 터널 침수 재난 대응 기술 개발
14	인명안전 중심의 지하철도 정거장 피난기준 개발
15	철도 터널 및 지하공간 지진 재난대응 기술 개발
16	철도 터널 및 지하공간 화재 재난대응 기술 개발
17	터널 내부 레이저 긴급 피난 유도시설
18	지진취약 부위에 지진력 감쇠에 특화된 면진용 seismic joint(가동세그먼트)개발 및 설계
19	장대터널에서 IT를 기반으로 재난대응에 할 수 있는 기술개발
20	철도터널 및 지하공간에서의 화재발생 시나리오별 피난분석
21	철도터널구간 인명피해 저감을 위한 피난기구·장비 개발
22	재난대응 복합훈련장 통합 제어시스템 개발
23	재난대응 복합훈련장 인프라 구축
24	철도터널 및 지하공간 화재 대응훈련설비 구축 연구 (제배연 설비 및 Live Fire 발생 장치 등)
25	철도 터널 침수 및 지진 훈련 설비 구축 연구
26	철도터널 및 지하공간 화재대응·피난 훈련 프로그램 및 VR 교육훈련 시스템 개발
27	사고지점 신속접근이 가능한 경량형 장비운송장치 제작 및 훈련프로그램 개발
28	재난 대응을 위한 복합시험 훈련 방법 고안
29	철도터널 화재발생시 터널 구조물 긴급복구기술 개발
30	철도터널 및 지하공간 긴급배연시스템 개발
31	효과적 교육훈련 실시를 위한 화재-소방 교육훈련 인프라 기준개발

(3) 후보과제 및 우선순위 도출

□ 도출된 후보기술 (안)으로 기획위원회(분과)를 거쳐 후보과제 및 우선순위를 선정함

○ 1,2분과 분과위원회 ('21.12.8.) 및 3분과 분과위원회 ('21.12.9)를 통해 후보기술의 우선순위 결정

□ 1분과 (철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발) 우선순위 도출 결과

표 2-3 1차 분과위원회 후보기술 우선순위 도출 결과

중점 분야	제안기술명	종합 순위	점수 평균
1	철도 터널 및 지하공간 지진 리스크 예측 및 관리기술 개발	1	89.4
1	철도 터널 및 지하공간 화재특성 분석 및 실증연구	2	81.8
1	철도 터널 및 지하공간 재난 발생 특성 규명 및 리스크 진단모델 개발 (시나리오기반)	3	77.3
1	철도 터널 돌발 침수재난에 따른 리스크 예측 및 진단기술 개발	4	71.2
1	대심도 장대 터널의 재난 발생 리스크 평가 및 대응체계 개발	5	51.5
1	지진발생시 2차재난(화재) 발생 메커니즘 연구	6	46.9
1	대심도 터널용 수직구 지진재난 리스크 예측 및 진단기술	7	45.4
1	지하공간 철도시설물 화재시 구조물 피해발생 예측 연구	8	43.9
1	대심도 지하공간의 연돌효과 리스크 예측 및 위험도 평가기법 개발	9	34.8
1	운행 철도 및 기타 기계 진동에 의한 대심도 터널의 안정성 검토 기법	10	30.2
1	진동 및 소음의 전파특성 및 예측분야에 대한 기술	11	27.2

□ 2분과 (대심도장대 등 지하공간 교통시설물에서의 재난 리스크 대응 모델 개발) 우선순위 도출 결과

표 2-4 3차 분과위원회 후보기술 우선순위 도출 결과

중점 분야	제안기술명	종합 순위	점수 평균
2	철도 터널 및 지하공간 지진 재난대응 기술 개발	1	83.3
2	철도 터널 및 지하공간 재난 특성에 따른 대응 모델 개발 (시나리오기반)	2	78.3
2	철도 터널 및 지하공간 화재 재난대응 기술 개발	3	70.0
2	철도 터널 침수 재난 대응 기술 개발	4	66.7
2	철도터널구간 인명피해 저감을 위한 피난기구·장비 개발	5	56.7
2	철도터널 및 지하공간에서의 화재발생 시나리오별 피난분석	6	51.7
2	장대터널에서 IT를 기반하여 재난대응에 할 수 있는 기술개발	7	43.3
2	터널 내부 레이저 긴급 피난 유도시설	8	36.7
2	지진취약 부위에 지진력 감쇠에 탁월한 면진용 seismic joint(가동세그먼트)개발 및 설계	8	36.7
2	인명안전 중심의 지하철도 정거장 피난기준 개발	10	35.0

□ 3분과 (재난대응 복합시험훈련장 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발) 우선순위 도출 결과

표 2-5 3차 분과위원회 후보기술 우선순위 도출 결과

중점 분야	제안기술명	종합 순위	점수 평균
3	재난대응 복합훈련장 인프라 구축	1	97.5
3	재난대응 복합훈련장 통합 제어시스템 개발	2	80.0
3	철도터널 및 지하공간 화재 대응훈련설비 구축 연구 (제배연 설비 및 Live Fire 발생 장치 등)	3	75.0
3	철도터널 및 지하공간 화재대응·피난 훈련 프로그램 및 VR 교육훈련 시스템 개발	3	75.0
3	철도 터널 침수 및 지진 훈련 설비 구축 연구	5	62.5
3	철도터널 및 지하공간 긴급배연시스템 개발	6	45.0
3	사고지점 신속접근이 가능한 경량형 장비운송장치 제작 및 훈련프로그램 개발	7	37.5
3	철도터널 화재발생시 터널 구조물 긴급복구기술 개발	8	35.0
3	재난 대응을 위한 복합시험 훈련 방법 고안	9	25.0
3	효과적 교육훈련 실시를 위한 화재-소방 교육훈련 인프라 기준개발	10	17.5

표 2-6 분과위원회 결과 반영 후보기술 조정(안)

중점분야	세부기술	기술 설명
(1) 철도장대터널 교통 시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발	(1-1) 철도 터널 및 지하공간 지진 리스크 예측 및 관리기술 개발	풍화대 및 단층대 우회 설계가 필요치 않아 터널 선형 확보에 따른 시공비 및 공기 단축
	(1-2) 철도 터널 및 지하공간 화재특성 분석 및 실증연구	화재로 인한 연기발생 및 확산 등 연기거동 위험정보 도출을 통한 철도터널 및 지하공간 화재대응 전문 교육훈련 반영사항 도출·활용
	(1-3) 철도 터널 및 지하공간 재난 발생 특성 규명 및 리스크 진단모델 개발 (시나리오기반)	복합훈련장 인프라 활용을 통한 지하공간 특화 재난대응능력 향상 및 인명안전 제고
	(1-4) 철도 터널 돌발 침수재난에 따른 리스크 예측 및 진단기술 개발	리스크 기반 의사결정 시스템 도입을 통해 침수 재해에 대한 효과적 대응 가능
(2) 대심도장대 등 지하공간 교통시설물에서의 재난 리스크 대응 모델 개발	(2-1) 철도 터널 및 지하공간 지진 재난대응 기술 개발	지진 취약구간 예측기법 개발을 통해, 지진 발생시 취약구간 파악 및 집중 계측 및 보강 등 유지관리 비용 절감효과
	(2-2) 철도 터널 및 지하공간 재난 특성에 따른 대응 모델 개발 (시나리오기반)	발생 가능한 재난 현장에 대한 대응 모델 개발 및 이로 인한 사회적 안전성 향상
	(2-3) 철도 터널 및 지하공간 화재 재난 대응 기술 개발	대심도 철도터널 및 역사용에서 화재 발생 시 인명의 안전한 피난을 위해서는 한정된 피난계단만을 이용하는 방식에는 한계가 있기에 신속한 피난을 위한 피난용 승강기 도입으로 인명의 신속하고 안전한 피난이 가능
	(2-4) 철도 터널 침수 재난 대응 기술 개발	침수 대응훈련 프로그램을 통한 침수상황 가상체험으로 위험구역 사전 인지 및 최단기간 탈출 가능

중점분야	세부기술	기술 설명
(3) 재난대응 복합시험 훈련장 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발	(3-1) 재난대응 복합훈련장 인프라 구축	철도터널 및 지하구간(정거장, 환기구, 본선부 등)에서 발생 가능한 다양한 재난(화재/지진/침수 등) 상황의 재현이 가능한 최첨단 재난대응 복합훈련장의 건립 및 활용이 가능
	(3-2) 재난대응 복합훈련장 통합 제어시스템 개발	철도터널 및 지하구간(정거장, 환기구, 본선부 등) 재난대응 복합훈련장 전체 교육훈련 시설물을 통합 제어하고 교육간 훈련인원의 안전 및 훈련실시 상황을 통합제어 할 수 있는 최첨단 제어 시스템 구축
	(3-3) 철도터널 및 지하공간 화재 대응훈련 설비 구축 연구 (제배연 설비 및 Live Fire 발생 장치 등)	철도터널 및 지하구간(정거장, 환기구, 본선부 등)에서 발생 가능한 화재상황의 재현 및 대응에 따른 변화 확인이 가능한 첨단 훈련설비의 적용을 통한 교육훈련 효과성 향상
	(3-4) 철도터널 및 지하공간 화재대응·피난 훈련 프로그램 및 VR 교육훈련 시스템 개발	신속한 의사결정이 필요한 자연재해 상황에서의 교육 훈련 실시 및 이를 통한 구조물 및 인명피해 저감
	(3-5) 철도 터널 침수 및 지진 훈련 설비 구축 연구	철도터널 및 지하구간(정거장, 환기구, 본선부 등)에서 발생 가능한 침수 사고 등에 대한 종합적 대비 효과성 확인 및 재난발생시 긴급대응 절차 숙달로 인한 재난대응능력 향상

(4) 중점추진과제 선정 및 과제구성

- 중점 추진과제의 핵심 기술에 대해 구축하는 훈련장의 인프라를 훈련 내용만으로 제약하지 않고, 개발된 재난 대응 기술의 검증 시험에 활용할 수 있도록 일부 수정

표 2-7 중점추진과제 구성

핵심기술	세부 연구내용
철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발	· 철도 장대터널 재난발생 특성 규명 및 시나리오 기반 리스크 전략 수립 · 철도 장대터널 지진 리스크 진단 기술 개발 · 철도 장대터널 화재특성 분석 기반 리스크 진단 기술 개발 · 철도 장대터널 돌발침수 리스크 진단 기술 개발
철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 기술 개발	· 철도 장대터널 재난특성에 따른 시나리오 기반 대응 전략 수립 · 철도 장대터널 지진재난 대응기술 개발 · 철도 장대터널 화재재난 대응기술 개발 · 철도 장대터널 침수재난 대응기술 개발
재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발	· 재난대응 복합훈련장 인프라 구축 · 재난대응 복합훈련장 통합 제어시스템 개발 · 철도 장대터널 재난대응·피난훈련 설비구축 연구 (제배연 안전설비 및 Live Fire 발생장치 등 재난환경 모사설비 개발 및 구축) · 철도 장대터널 침수 및 지진훈련 설비 구축 연구 · 철도 장대터널 재난대응·피난훈련 프로그램 및 VR기반 교육훈련 시스템 개발

(5) 성과목표 및 성과지표

- 원천기술개발 및 현장적용 목적의 과제 특성을 고려하여 핵심기술에 대한 특허, 논문, 시제품제작, 성능검증을 위한 현장시험, 상용화를 위한 기술이전 등을 성과지표로 설정

표 2-8 최종성과물 및 성과지표

핵심기술	주요연구내용	최종성과물	성과목표(안)
철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발	철도 장대터널 재난발생 특성 규명 및 시나리오 기반 리스크 전략 수립	·철도 장대터널 재난 진단 전략 보고서 (진단모델 정확도 검증) ·화재 위험도 진단 기술 ·지진 위험도 진단 기술 ·침수 위험도 진단 기술	· 리스크 진단 모델의 정확도 80% 이상 확보 · 정량적 성과목표 - 소프트웨어 또는 프로그램 등록 5건 - 가이드라인 3건 - 논문 게재 10건
	철도 장대터널 지진 리스크 진단 기술 개발		
	철도 장대터널 화재특성 분석 기반 리스크 진단 기술 개발		
	철도 장대터널 돌발침수 리스크 진단 기술 개발		
철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 기술 개발	철도 장대터널 재난특성에 따른 시 나리오 기반 대응 전략 수립	·철도 장대터널 재난 대응 전략 보고서 (기존 대비 인명피해 30% 이상 저감) ·화재 재난 대응 시스템 ·지진 재난 대응 시스템 ·침수 재난 대응 시스템	· 리스크 대응 기술 실증을 통한 검증 수행 (기술검증 인프라 활용) · 정량적 성과목표 - 소프트웨어 또는 프로그램 등록 5건 - 특허 출원/등록 3건 - 논문 게재 10건 - 시제품제작 1건 - 현장시험 및 검증 3건
	철도 장대터널 지진재난 대응기술 개발		
	철도 장대터널 화재재난 대응기술 개발		
	철도 장대터널 침수재난 대응기술 개발		
재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발	재난대응 기술 검증 시험장 인프라 구축	· 터널 구조물을 활용한 재난 대응 기술검증 및 교육훈련 인프라 · 시험/훈련 인프라 통합제어 시스템 · 재난대응 및 피난훈련 프로그램	· 정량적 성과목표 - 특허 출원/등록 10건 - 논문 게재 2건 - 재난 대응 기술 실증 3건 - 시제품제작 5건 - 설계기준, 시방서, 지침 2건 · 실용화 검증 성과목표 - 현장시험 및 검증 1건 - 공공교육훈련 2회(50명)
	재난대응 기술 검증 시험장 통합제어 시스템 개발		
	철도 장대터널 재난대응·피난훈련 설 비구축 연구(제배연 안전설비 및 Live Fire 발생장치 등 재난환경 모사 설비 개발 및 구축)		
	철도 장대터널 침수 및 지진훈련 설 비 구축 연구		
	철도 장대터널 재난대응·피난훈련 프 로그램 및 VR기반 교육훈련 시스템 개발		

2) SWOT분석

(1) SWOT 분석

- 앞서 분석한 내용을 토대로 강점, 약점, 기회, 위협의 4가지 관점의 요인을 도출하고 이에 따른 SWOT 분석을 통한 본 연구개발과제의 전략 방향을 제시
- 국내외 철도 장대터널 위험도 평가 현황 및 이슈 분석, 정책, 시장, 기술 환경 및 동향 분석, 기존 유사과제 분석 등을 통한 SWOT 요인 도출
- 각 요인에 대한 종합 분석 결과 전략 방향 설정

표 2-9 철도 장대 터널 고위험 재난에 대한 이용자 대응 기술 개발 SWOT 분석 결과

구 분		강점(S)	약점(W)
		·철도기술연구사업 등 선행 사업을 통한 과제단위 철도시설 시설물에 대한 다양한 기술 개발 경험	·철도 장대 터널의 리스크 관련된 선행 연구 부족 ·지하 공간의 위험도 평가 모델 및 시험/훈련 시스템 부재
기 회 (O)	·재난/방재 등 국민 안전에 관련된 사회적 요구사항 증대	SO전략(강점-기회)	WO전략(약점-기회)
	·재난 발생 이후 대응 모델 개발 및 구난 훈련 등에 대한 필요성 증대	·기존 철도 시설물 관련 R&D 성과를 재난/방재 분야에 활용할 수 있는 방안 도출 ·리스크 진단-대응으로 연결되는 연구 성과를 기술검증 시험장을 통해 검증 수행	·철도 장대터널에서 발생할 수 있는 실질적인 리스크에 대해 선행연구를 진행하여 국민 안전을 증대할 수 있는 연구성과 도출 ·지하공간 위험도 평가 모델 개발에 산-학-연 전문가를 활용하여 모델 도출
위 협 (T)	·재난 대응 기술 검증에 대한 기술적 타당성 확보에 어려움이 있을 수 있음	ST전략(강점-위협)	WT전략(약점-위협)
	·기술 검증을 위한 시험장 부지 확보에 어려움이 있을 수 있음	·개발한 재난 대응 기술 검증을 위한 인프라 구축 진행 ·기술검증 시험장 부지 확보를 위해 기획단계부터 정부(국토부)-운영기관(공단/공사) 협의 추진	·구축된 재난 대응 기술 검증 시험장의 훈련장 활용을 위한 연구 수행

(2) 연구개발과제 추진 전략 도출

□ 4대 과제 추진 전략 도출

- (SO) 상대적으로 재난에 취약한 지하 시설물에 대한 안전/방재 요구사항이 증대하고 있으나 이에 대한 적절한 대응 기술 개발이 미흡하므로 기존 철도 지하시설물 관련 연구 성과와 결합하여 기술개발 방향 설정 및 추진 필요
- (ST) 개발한 재난 대응 기술에 대한 타당성 검증이 요구되므로 이를 검증할 수 있는 재난 대응 기술 검증을 위한 인프라 구축 추진 필요하며, 부지 확보 등을 위해 과제 기획 단계부터 정부-운영기관과 협의/연계 추진
- (WO) 실효성 있는 재난 대응 기술 개발을 위해 실질적인 리스크에 대한 선행연구 및 산-학-연 전문가 활용을 통한 모델 구축 추진
- (WT) 구축된 재난 대응 기술 검증 시험장의 활용도를 위해 대국민 및 종사자 안전 교육 서비스가 가능한 훈련프로그램 개발 추진

표 2-10 SWOT 분석에 따른 연구개발과제 추진전략 도출

	SWOT 전략	연구개발과제 추진 전략
SO	·기존 철도 시설물 관련 R&D 성과를 재난/방재 분야에 활용할 수 있는 방안 도출 ·리스크 진단-대응으로 연결되는 연구 성과를 기술검증 시험장을 통해 검증 수행	기존 지하공간 철도시설물 연구과제와 성과 연계 추진
ST	·개발한 재난 대응 기술 검증을 위한 인프라 구축 진행 ·기술검증 시험장 부지 확보를 위해 기획단계부터 정부(국토부)-운영기관(공단/공사) 협의 추진	재난대응 기술 개발 성과 검증을 위한 시험 인프라 구축 및 정부-운영기관과 사전 협의 추진
WO	·철도 장대터널에서 발생할 수 있는 실질적인 리스크에 대해 선행연구를 진행하여 국민 안전을 증대할 수 있는 연구성과 도출 ·지하 공간 위험도 평가 모델 개발에 산-학-연 전문가를 활용하여 모델 구축	산-학-연 연계를 통한 신뢰성 있는 재난 대응 기술 개발
WT	·구축된 재난 대응 기술 검증 시험장의 훈련장 활용을 위한 연구 수행	구축된 인프라 활용성 증대를 위한 훈련 프로그램 개발

3) 비전 및 목표 설정

(1) 연구개발의 최종목표

- ☐ 철도 장대터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응 기술 개발

(2) 연구개발 내용 및 범위

- ☐ 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발 (**핵심기술1**)
- ☐ 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 기술 개발 (**핵심기술2**)
- ☐ 재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발 (**핵심기술 3**)

(3) 최종 성과물

- ☐ 철도 장대터널 재난의 효율적 대응 솔루션 개발

4) 기술개발에 따른 미래상 (As-Is VS To-Be)

(1) 미래상 (As-Is VS To-Be)

□ 철도 장대터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응기술 개선수준 및 향후 모습을 다음과 같이 제시함.

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'24년 수준 '24	최종 목표수준 '27(종료년도)	
철도 장대터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응 기술	~'22	·대심도 장대터널 재난 위험성 평가 기술 개발 - 대심도 장대터널의 재난리스크 특성 도출 - 대심도 장대터널의 재난 위험도 정량화 ·대심도 장대터널 재난 리스크 예측 및 진단 기술 개발 - 대심도 장대터널 재난예측/ 진단모델 - 리스크 예측/진단 결과 기반 재난대응 시나리오 도출 ·대심도 장대터널 재난발생시 피난안전 확보 기술 개발 - 터널 내 재난 리스크대응을 위한 최적화 알고리즘 - 대심도 장대터널 피난안전 기준(안) 및 시뮬레이션	·철도 장대터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응기술 개발 ·재난대응 대심도 장대터널 실증T/B 구축 및 운영매뉴얼 개발 ·터널 내 재난 리스크 예측 및 진단 모델 대심도 장대터널 실증T/B 적용 ·터널내 재난대응 실증 시나리오 및 검증 프로그램 개발	·재난대응 대비 및 장치 시험 및 안전기준 실증 ·정규화된 대국민 재난대응 훈련 ·종사자 대상 전문대응훈련 ·재난대응훈련 국제기준화 및 인증
	·GTX 등 대심도 장대터널 피난 위험도 급증 ·대심도 장대터널 재난대응에 대한 대책 미비			
목표수준	현재 없음	➡		연장 200m이상의 대심도 장대터널 실증T/B
철도 장대터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응 기술 실증T/B 개요	철도 장대터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응기술 실증T/B Zone I 침수대응기술 실증T/B (30m) Zone II 지진(탈선)대응기술 실증T/B (125m) Zone III 화재대응기술 실증T/B (125m) Zone IV 내화성능을 갖춘 스텝 또는 콘크리트 구조물 실증T/B (125m) Zone V 지하공간(역사 등) 실증T/B (150m) 종합통제실 교육실 / VR 교육실 종합통제실 / 장비 보관실 2F 대합실 및 피난계단 축소모델 1F 지하역사 플랫폼 축소모델 VR 훈련 콘텐츠 개발 신규 구조물 구축부 기존 페터널부 Live Fire 발생장치 및 재난재현설비 (객체내부 화재진압 및 구조구급훈련용) 비상계단/ELEV 환기구 시설물 (재연 및 피난유도) 차수막 물발침수 재현설비 (침수대응 및 배수훈련) 내화성능을 갖춘 스텝 또는 콘크리트 구조물 실증T/B (125m) Live Fire 발생장치 및 재난재현설비 (객체외부 화재진압 및 터널 연기거동-확산/피난 훈련용)			

그림 2-3 철도 장대터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응기술의 미래상 (As-Is vs. To-Be)

5) 핵심기술별 주요내용 및 추진전략

(1) 연구개발 추진전략

☐ 연구 추진 전략

- 본 연구의 과제책임자는 방재, 지진 등 다양한 재난 안전 관련 연구과제를 수행하였으며, 현재 지진 안전 관련 국토교통진흥원의 공동연구 과제책임자를 수행하고 있음.
- 원외 전문가들의 자문 활용을 통해 최신 기술 현황을 파악하고, 자문 내용을 적극적으로 과제 기획에 반영.

(2) 핵심기술별 주요내용

□ 철도 장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발 (핵심기술 1)

- 철도 장대터널 재난발생 특성 규명 및 시나리오 기반 리스크 진단전략 수립
 - 국내 철도장대터널 현황조사 및 유형별 분류를 통한 DB 구축
 - 철도터널 재해 시나리오 수립을 위한 국내외 관련 연구사례 분석
 - 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 발생 특성 규명
 - 재난 유형별 최빈 발생메커니즘, 발생메커니즘 별 피해유형 및 수준 등
 - 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 발생 기본 시나리오 수립
 - 재난 유형별 발생 특성 기반 재해 시나리오 기본설계
 - 시나리오별 주요 리스크 인자 및 리스크 수준 도출 등
 - 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 발생 시나리오 기반 리스크 진단전략 수립
 - 재해 시나리오별 리스크 유형화 및 진단 방법론 도출
 - 재난 유형별 리스크 세부 진단기술 개발을 위한 진단전략 알고리즘화 등
- 철도 장대터널 지진 리스크 진단 기술 개발
 - 지진재해 시나리오별 철도 장대터널 피해 유형 분류
 - 지진재해시 철도장대터널 관련 지진취약도 함수 현황 분석 및 유형별 분류체계 수립
 - 동적 원심모형실험 및 수치모델링 기반의 철도장대터널의 지진 취약도 함수 개선
 - 개선된 지진 취약도 함수를 적용한 철도장대터널의 지진 피해 추정 시뮬레이션 수행
 - 터널벽체의 구조적 안정성, 노반 및 선로의 지반 변형 안정성, 주행 중 열차 탈선에 대한 안정성 등 지진재해시 철도장대터널의 유형별 피해 시나리오 도출
 - 지진재해시 철도장대터널의 피해 유형별 리스크 진단 모델 개발
 - 지진재해시 철도장대터널의 피해 유형별 인명피해 리스크 진단 모델 개발
- 철도 장대터널 화재특성 분석 기반 위험도 진단 기술 개발
 - 국내외 철도터널 및 지하공간 화재 발생현황 및 피해사례 조사·분석
 - 대심도 장대터널 및 지하공간 교통시설물에서의 화재특성에 따른 위험성 조사·분석
 - 대심도 장대터널 및 지하공간 교통시설물 화재 영향요인 분석을 위한 방법론 도출
 - 터널 시설물, 차량의 재료 특성 고려한 화재 실험 데이터 DB 구축
 - 축소실험 또는 실물화재실험 등을 통한 공간적 화재성상에 대한 실험적 실증
 - 열분석 및 실물화재실험을 통한 화재시 시뮬레이션 연구
 - 시설물, 차량별 재료별 화재특성 영향 고려
 - FDS 등 수치해석 기반 화재 시뮬레이션 프로그램을 활용한 분석 및 실물화재 실험을 통한 분석결과 신뢰성 확인

- 철도터널 및 지하공간 실물 화재 훈련을 위한 표준 화재모델 연구
 - 철도터널 및 지하공간 화재특성에 따른 연기거동 및 위험 분석
 - 연기 발생 시나리오 및 화재 강도/가연물별 연기발생 시뮬레이션 분석
 - 열차운행, 방화구획, 환기 및 제연설비 등의 영향성을 고려한 연기거동 모델링
 - 재난대응 기술 검증 시험장 화재 모사설비를 활용한 시뮬레이션에 대한 실증
 - 터널 화재 시나리오별 정성적/정량적 위험도 진단 모델 개발
- 철도 장대터널 돌발침수 리스크 진단 기술 개발
- 국내 철도장대터널 현황조사 및 유형별 분류를 통한 DB 구축
 - 침수재해 시나리오별 철도 장대터널 피해 유형 분류
 - 침수재해 시나리오별 철도 터널 피해 평가 및 강우량 별 침수 피해 함수 개발
 - 침수재해 시나리오별 지진 리스크 진단 모델 개발
 - 침수재해시 철도장대터널의 피해 유형별 인명피해 리스크 진단 모델 개발

□ 철도 장대 터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 기술 개발 (핵심기술 2)

○ 철도 장대터널 재난특성에 따른 시나리오 기반 대응전략 수립

- 철도터널 재해 발생 시 시나리오 기반 대응전략 수립을 위한 기본체계 작성
 - 시나리오별 리스크 진단 결과에 따른 대응방안 스코핑 및 대응전략 유형화 등
- 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 재해 시나리오 기반 효율적 복구를 위한 대응전략 수립
 - 재해 시나리오 피해 유형별 효율적 복구를 위한 필요 기반기술 및 대응전략 도출
 - 재해 시나리오 피해 유형별 최적 구난 방법론 수립을 위한 대응전략 도출 등
- 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 재해 시나리오 기반 인명 피난 시뮬레이션 전략 수립
 - 재해 시나리오별 최적 구난 전략 수립 및 피난 방법 유형화
 - 상황별 구난 전략 기반 인명 피난 시뮬레이션 전략 수립 등
- 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 최적 대응 시나리오 기본설계
 - 재해 시나리오별 대응전략 기반 최적 대응 시나리오 수립 방법론 도출
 - 재난 유형별 대응 시나리오 세부 수립을 위한 대응전략 알고리즘화 등
- 지난 발생에 따른 철도장대터널 이용자별 행동 유형 분석
 - 인지 심리학적 접근 연구 수행
- 철도 장대터널 및 역사용 통합 피난 모니터링 시스템 개발

○ 철도 장대터널 지진 재난 대응기술 개발

- 국내외 사례 분석 및 재난대응 메뉴얼 검토를 통한 지진재해시 철도장대터널 지진 재난 대응 기술 현황 분석
- 터널 벽체의 구조적 피해, 노반 및 선로의 지반 변형, 주행 중 열차 탈선 등 지진재해시 철도장대터널 피해유형 및 피해수준에 따른 대응기술 유형화
- 피난 및 구난 통로 확보 등을 위한 철도장대터널 피해유형 및 피해수준에 따른 긴급 복구 시나리오 도출
- 피난 및 구난을 위한 철도장대터널의 피해 유형 및 피해 수준에 따른 이용자별(종사자, 구조자, 승객 등) 최적의 대응 시나리오 도출
- 통합 피난 대응 교육훈련 프로그램 개발 및 실증을 통한 프로그램 개선

○ 철도 장대터널 화재재난 대응 기술 개발

- 국내외 사례 분석 및 재난대응 메뉴얼 검토를 통한 화재재해시 철도장대터널 지진 재난 대응 기술 현황 분석
- 대심도 철도터널 및 지하 역사의 피난 시스템 기반 피난 시나리오 조사·분석
- 철도터널 및 지하공간 화재에서 발생하는 연기로 인한 이용자 피난 영향성 분석
 - 화재 시뮬레이션 결과와 피난 시뮬레이션에 반영되어 피난행동간 실질적 위험이 발생되

- 는 구간을 도출하는 등의 실질적 피난 영향성 연구
- 화재 시나리오별 연기발생 및 거동에 따른 피난 시뮬레이션 개발 및 피난모델 개발
- 대심도 철도터널 및 대형 복합 시설용 피난 시스템 기반 피난 시나리오 개발
 - 피난용 승강기, 에스컬레이터, 계단 및 피난 안전구역 등을 고려한 시나리오 계획)
- 철도터널 침수재난 대응기술 개발
 - 침수재해 시나리오별 피해발생 수준 및 대응기술 유형화
 - 시나리오별 침수 리스크 대응기술 현황조사 및 유형화
 - 강우 재현 주기 별 터널 내 우수 유입 및 침수에 대한 안전성 검토 및 리스크 수준별 대응 모델 개발
 - 출입구 우수 유입으로 인한 침수 안전성에 대한 리스크 수준별 대응 모델 개발
 - 인명 피해에 대한 지진 리스크 수준별 대응 모델 및 피난 시뮬레이션 모델 개발
 - 침수재해 시나리오별 효율적 대응을 위한 최적 대응 알고리즘 개발
 - 시나리오별 침수 피해 복구 대응 알고리즘 개발
 - 시나리오별 인명 피해 대응 알고리즘 개발

□ 재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발 (핵심기술 3)

○ 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 구축

- 국내·외 재난대응 교육훈련기관 및 연구기관 인프라 구축 조사·분석
- 터널 및 지하공간 교통시설물 특화 전문 교육훈련 인프라 구축을 위한 벤치마킹
- 페터널 등 기존 철도시설물 연계·활용을 통한 경제성 확보방안 도출
- 터널 재난대응·피난훈련의 실시에 요구되는 인프라 성능요구사항 도출
- 재난대응·피난훈련 간 교관 및 피교육생 안전 확보방안 도출(양방향 피난이 가능한 구조 및 방화구획, 조명, 환기, 안전시설·설비 등의 배치·구성 포함)
- 터널 및 지하공간 교통시설물 재난대응 기술 검증 시험장 설계(계획 및 기본설계 / 실시설계)
- 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 구축을 위한 인허가·공사관리
- 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 구축(대심도 터널 대표 복선단면 제공 및 지하공간 교통시설물을 반영한 총연장 200m 이상의 터널 및 환기구, 승강장 확보)
- 터널 및 지하공간 교통시설물에서의 다양한 재난상황을 반영할 수 있는 시설·장비의 구축(화재 열·연기, 지진 진동·탈선, 침수 등 상황별 재현성 확보 및 사전교육·디브리핑·VR 교육훈련 등이 가능한 교육장 및 지원시설 포함)
- 재난대응 기술 검증 시험장 실증실험을 통한 교육훈련 활용성 검증

○ 재난대응 기술 검증 시험장 통합제어시스템 개발

- 재난대응 기술 검증 시험장 교육훈련 상황통제 및 각종 훈련·안전·환경 설비에 대한 원격제어가 가능한 통합 제어시스템 개발
- 재난대응 기술 검증 시험장 내부 통합제어실 구성(종합적 감시 및 제어가 가능한 대형 전광판 및 클라이언트 구성 포함)
- 재난대응 기술 검증 시험장 전 구역 CCTV 관제시스템 구축
- 교육훈련간 비상상황 발생에 따른 긴급정지 기능 구성(통합제어실 및 현장제어가 동시에 가능한 구조 확보)
- 철도운영기관·관리기관을 비롯한 경찰·소방·지자체·한전 등 다양한 유관기관 연계훈련이 가능한 통합제어시스템 연계성 확보
- 재난발생에 따른 신호, 통신, 전력차단 등 철도시설물 재난관리 대응훈련이 가능한 통합 제어시스템 구축
- 시범 교육훈련 실시를 통한 통합제어시스템 실증
- 재난대응 기술 검증 시험장 통합제어시스템 운영 매뉴얼 개발

- 철도터널 재난대응·피난훈련 설비 구축 연구(제배연 안전설비 및 Live Fire 발생장치 등 재난환경 모사설비 개발 및 구축)
 - 터널 및 지하공간 교통시설물 재난대응·피난훈련 설비 구축사례 조사·분석
 - 재난대응·피난훈련 설비 관련 국제기준 조사·분석
 - 최신 기술개발 사례 분석 및 벤치마킹 실시를 통한 최적 설비 선정·구축계획 도출
 - 터널 및 지하공간 교통시설물 환경에서 철도차량 내·외부 재난상황 모사가 가능한 교육훈련 설비의 개발·구축
 - 폐열차 또는 유사모형(실제크기 또는 축소모형 적용) 등을 활용한 철도차량 내·외부에 Live Fire 장치 설치(총 5개소 이상, 관련 국제기준 준수 및 교육훈련간 외부 주수에 의하여 화염이 꺼져 가스가 누출되는 것을 방지하는 구조를 포함하고 화염 발생상황에 대한 상시 모니터링이 가능한 구조)
 - 터널 및 지하공간 교통시설물에서의 다양한 재난발생에 따른 제배연 대응훈련이 가능한 시스템 개발 및 구축(터널·환기구·정거장 등의 시설물 별 제배연 설비 구축을 통한 재난대응 훈련이 가능하도록 구축)
 - 비상상황 긴급 배연시스템 개발 및 구축(비상시 화재실 내부의 연기를 1분 내로 방출할 수 있는 배연설비 구축 및 내화성능 확보)
 - 제배연 안전설비 및 Live Fire 발생장치에 대한 원격제어 시스템 개발(재난대응 기술 검증 시험장 통합제어시스템 연동)
 - 철도터널 및 지하공간 교통시설물 관련 대응인력(관리기관 및 유관기관 등)의 전문 대응훈련이 가능한 교육훈련 설비 구성·구축
- 철도터널 침수 및 지진훈련 설비 구축 연구
 - 지진/침수 재난 관련된 교통 시설물 재난 대응 설비 구축사례 분석
 - 지진 발생시 대응 훈련을 위한 진동모사 장치(이용객 대상) 및 VR 장비(기관사 등 종사자 대상) 구축 - 지진 시 탈선 모델 기반 탈선 열차 시설 구축
 - VR 기반 터널 내 우수 유입 및 침수 발생 상황 모사 장비 구축 (10m 정도 구간을 활용하여 냉방장치, 분무 장치, VR 장비 등을 활용하여 침수 상황 모사)
 - 재난 발생 감지 이후 종사자 및 이용객 위치파악 수행 및 실내 측위 기술 기반 실시간 위치 감지 시스템 구축
 - 실시간 실내측위 위치 감지 시스템을 활용하여 이용자 별 대응 방안 실시간 송출 시스템 개발
 - VR 훈련 시스템을 통해 기관사의 즉각 대응 훈련 수행 및 벽체 붕괴/열차 탈선 모사 환경에서 구난/대응 훈련 프로그램 개발
 - 벽체 붕괴/열차 탈선 모사 환경에서 이용객의 피난 훈련 프로그램 개발
 - 강우량에 따른 침수 리스크 분석 결과를 토대로 침수 차단막 설치 등 침수 방지 훈련 실시 및 침수 사고 발생 시 구난/대응 훈련 프로그램 개발

- 철도터널 재난대응·피난훈련 프로그램 및 VR기반 교육훈련 시스템 개발
 - 재난발생 시나리오에 따른 재난대응·피난훈련 시나리오 개발
 - 재난대응·피난훈련 교육훈련 프로그램 개발
 - 훈련대상 및 훈련인원에 따른 교육훈련 프로그램 개발
 - 운영기관/유관기관/일반국민 대상 교육훈련 프로그램 세분화
 - 대국민 피난훈련 효과성 제고를 위한 디지털트윈 기반 VR 교육훈련 시스템 개발(실제 또는 가상의 터널 및 지하공간 시설물 등을 반영)
 - 동시 훈련인원 5인 이상의 VR기반 교육훈련장 구축
 - 재난대응·피난훈련 교육훈련 실시 매뉴얼 개발
 - 통합 피난 대응 교육훈련 프로그램 실증을 통한 수정·보완 사항 반영 및 프로그램 개선

(3) 과제구성

비전	철도 장대터널 재난의 효율적 대응 솔루션 개발		
최종목표	철도 장대터널 이용자 대상의 고위험 재난 관리 및 대응 기술 개발		
세부목표	핵심기술 1 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발	핵심기술 2 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 모델 개발	핵심기술 3 재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발
주요내용	- 장대터널 리스크 재난 특성 도출 - 재난 리스크 예측모델 개발 - 재난 리스크 진단 시뮬레이션 - 진단/예측 결과 기반 대응 계획 수립	- 리스크 예측/진단 결과 기반 재난 발생 시나리오 도출 - 도출된 시나리오 기반 터널 재난 대응모델 개발 - 재난대응 가상훈련프로그램의 실증 - 재난시 이용자의 인지 및 행동 분석 및 이용자 행태를 고려한 대응 모델 개발	- 리스크 예측/진단/대응 모델 기반 복합시험장 설계 - 터널재난 대응 교육체계 확립 - 철도 폐터널구간을 활용한 다목적 복합 재난대응 시험훈련장 구축

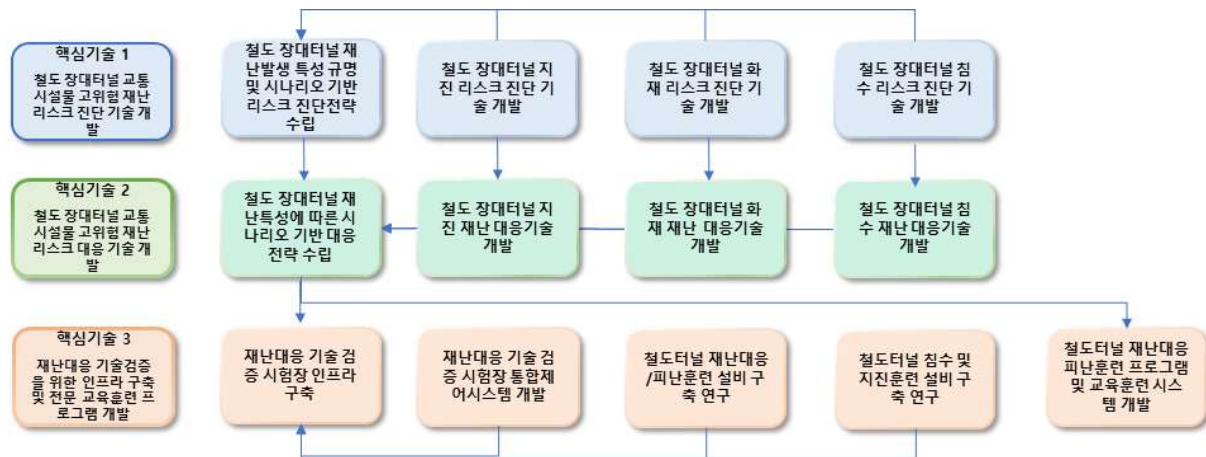


그림 2-4 과제 구성 및 연계성

(4) 세부과제별 주요내용 및 핵심성과

표 2-11 세부과제별 주요 연구 내용

과제명	철도 장대터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응 기술 개발
목표	○ 철도 장대터널 이용자 대상의 고위험 재난관리 및 대응 기술 개발
핵심성과	☐ 철도 장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발 ☐ 철도 장대터널 재난발생 특성 규명 및 시나리오 기반 리스크 전략 수립 ☐ 철도 장대터널 지진 리스크 진단 기술 개발 ☐ 철도 장대터널 화재특성 분석 기반 리스크 진단 기술 개발 ☐ 철도 장대터널 돌발침수 리스크 진단 기술 개발 ☐ 철도 장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 기술 개발 ☐ 철도 장대터널 재난특성에 따른 시나리오 기반 대응 전략 수립 ☐ 철도 장대터널 지진재난 대응기술 개발 ☐ 철도 장대터널 화재재난 대응기술 개발 ☐ 철도 장대터널 침수재난 대응기술 개발 ☐ 재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발 ☐ 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 구축 ☐ 재난대응 기술 검증 시험장 통합 제어시스템 개발 ☐ 철도 장대터널 재난대응·피난훈련 설비구축 연구(제배연 안전설비 및 Live Fire 발생장치 등 재난환경 모사설비 개발 및 구축) ☐ 철도 장대터널 침수 및 지진훈련 설비 구축 연구 ☐ 철도 장대터널 재난대응·피난훈련 프로그램 및 VR기반 교육훈련 시스템 개발

표 2-12 핵심기술 별 핵심성과

연번	핵심기술	기술의 정의	최종 성과유형	TRL 단계	
				전	후
1	철도 장대 터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발	· 화재특성 분석 기반의 위험도 진단 기술 · 지진특성 분석 기반의 위험도 진단 기술 · 침수특성 분석 기반의 위험도 진단 기술	위험도 모델	4	8
2	철도 장대 터널 교통시설물 고위험재난 리스크 대응 기술 개발	· 철도 장대 터널 화재 시 열, 연기(개스) 대응 모델 · 철도 장대 터널 지진/탈선 시 대응 모델 · 철도 장대 터널 침수 시 대응 모델	대응 모델	5	8
3	난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발	· 철도 장대터널 교통시설물 등에서 발생 가능한 다양한 재난상황에 대한 재현이 가능하며, 대응 및 피난 교육훈련이 가능한 인프라 구축 · 재난대응·피난훈련 전문교육훈련 프로그램 개발 및 실증 · 교육훈련 운영 매뉴얼 개발	기술검증 인프라 (훈련장) 교육훈련 프로그램 매뉴얼	4	8

(5) 연구추진 전략

☐ 산/학/연 협동을 통한 연구과제 추진 및 수요처와의 연구 공조

- 본 과제 도출이 가능하도록 국토부, 국토교통진흥원과의 적극적인 의견 교환 및 의견수렴을 진행
- 정부 (국토부) 및 철도 운영기관 (국가철도공단, 한국철도공사)과의 실무자 의견 수렴 진행
 - 재난대응기술 검증 인프라의 구축을 위한 열차 폐선 터널 부지 및 시설확보를 위한 사전 협의 진행
 - 국가철도공단, 한국철도공사 등과의 협의를 통해 재난대응 기술검증 인프라 구축 방안 협의
- 한국건설기술연구원, 한양대학교 등 국내 유수의 연구기관 및 대학과의 연구 공조 합의
- 산/학/연 공동연구 참여를 통한 기관간 역할 분담 및 최적 역량 도출을 유도할 예정이며 원천기술 개발에 관한 사항은 연구원 및 학계에서 주도적으로 진행하며, 재난 대응시스템 및 재난시 대응훈련 프로그램 개발은 산업체를 참여시킬 계획임

☐ 주관연구기관에서의 정기적 공정회의를 통하여 세부 과제간 협의사항을 확인/조정 함으로써 연구의 지속성 및 호환성 확보

☐ 선진 재난 방재 훈련장인 스위스 소방학교 등과의 연구공조

- 스위스 소방학교의 재난 대응훈련에 관한 교육 세미나 및 연구 공조
- 사고 대응훈련과 같은 터널의 전문 특화 교육과정을 통해 교육 훈련 연구개발 공조

☐ 훈련 장비 설비 등의 실제화 추진

- 재난현장 모사 및 효과적 훈련을 위한 훈련 장비, 설비 등을 구축
- 지하철도 시설물 (총연장 75m 이상, 실제 피난 훈련이 가능한 콘크리트 및 강구조) 구축 및 승강장/대합실 등 축소모델 반영

☐ 기존 연구가 진행 중인 과제들과의 연계 추진 및 데이터 연계/공유 등을 통해 시너지 확보

- 기존 연구들의 데이터 연계 및 공유를 통해 보완이 필요한 대응훈련 시스템 확보

☐ 연구 성과 홍보를 통해 기술 확산 노력

(6) 유사과제 분석 결과

유사과제 검색결과

※ 자료 활용 시 유의사항

1. 본 검색결과는 과제요약정보의 주요 텍스트를 비교하여 도출된 중복성 검토 참고자료입니다.

2. 최종적인 중복성 여부는 국가연구개발사업의 관리 등에 대한 규정 제7조에 의거하여 연구관리전문기관의 심의 등을 통해 결정됩니다.

3. 기수행과제 DB는 체결된 과제협약 정보를 반영하여 현행화되므로 검색시점에 따라 기수행과제 검색결과가 달라질 수 있습니다.

검색조건	검색일시	2022/03/21 14:38:30			
	검색년도	2011년 ~ 2022년			
	기준유사도 *등록과제 대비 동일키워드 비중점수로 유사정도가 기준유사도 이상인 문서만 표시	40 점			
결과요약	등록과제수	1 건			
	유사과제	1 건			

세 부 검 색 결 과 (범례

0개

1~4개

5~9개

10개 이상

)

순번	과 제 명	구분	유사과제분포			
1	대심도 장대 터널 (GTX 등) 의 재난 대응 복합훈련장 개발 기획	기수행과제	0	1	0	0
			60점대	70점대	80점대	90점대
		공공R&D과제	0	0	0	0
			60점대	70점대	80점대	90점대

국가과학기술지식정보서비스

National Science & Technology Information Service

주1) 기수행과제 : 국가연구개발사업으로 이미 수행됐거나 수행되고 있는 과제(조사분석 수집 과제+협약과제정보)

주2) 공공R&D과제 : 공공기관에서 수행하는 과제 중 국가 R&D 예산으로 수행된 과제를 제외한 그 외 R&D 과제

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

유사과제 요약정보

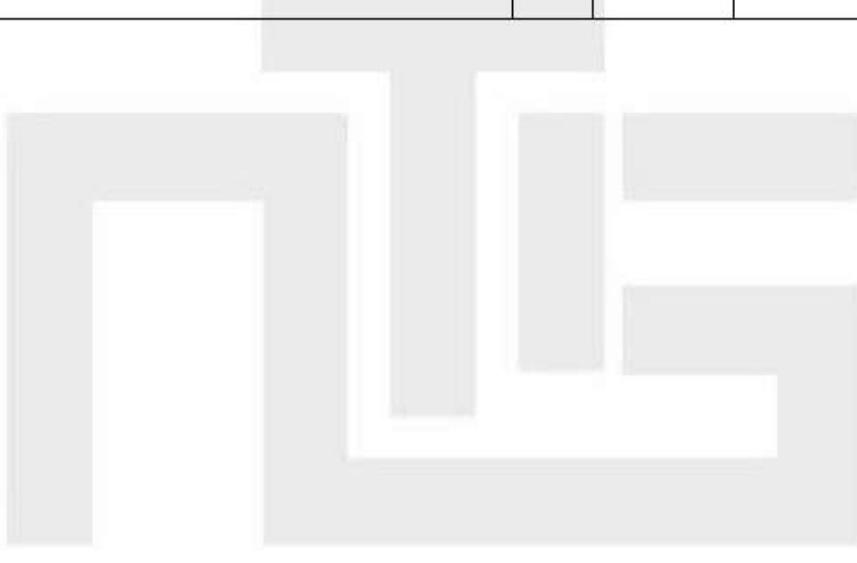
순번	과 제 명	구분	수행년도	연구책임자	유사도
1	기획·기본연구 및 국민안전확보기술개발 운영	수행	2015	오금호	55.57
1	대심도 장대 터널(GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장 개발 기획	수행	2021	이일화	70.72
1	터널 및 지하공간 사고대응을 위한 USN기반 탐색 구조장비 기술개발	수행	2016	김동환	49.82
1	터널 및 지하공간 사고대응을 위한 USN기반 탐색 구조장비 기술개발	수행	2017	김동환	49.82
1	도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구	수행	2020	김창용	47.01
1	연구실 안전 교육훈련사업	수행	2014	최숙정	49.71
1	도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구	수행	2021	김창용	49.61
1	해저터널 기술 기획	수행	2011	김동규	49.12
1	대심도 급행철도 시스템 기술개발 타당성 검토를 위한 사전 기획	수행	2012	조용현	47.47
1	터널 및 지하공간 사고대응을 위한 USN기반 탐색 구조장비 기술개발	수행	2015	김동환	49.82

- 주1) 순번: 관련된 등록과제 순번으로 해당 순번을 가진 등록과제의 유사과제임을 의미
 주2) 구분: 기수행과제(수행)과 공공R&D(공공)를 구분
 주3) 구분: 유사과제로 검출된 연구과제가 실시된 연도(협약일자 기준)
 주4) 유사도: 등록과제와 유사과제 간 동일키워드 비중점수

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

유사과제 요약정보

순번	과 제 명	구분	수행년도	연구책임자	유사도
1	터널 시공 중 안전관리를 위한 리스크 관리 체계구축 연구	공공	2017	이강현	48.35
1	철도안전문화 수준측정을 위한 평가지표 개발에 관한 연구	공공	2017	김현주	41.54
1	지하공간 등록을 위한 탐색적 연구	공공	2019	배상근	43.62


국가과학기술지식정보서비스
 National Science & Technology Information Service

주1) 순번: 관련된 등록과제 순번으로 해당 순번을 가진 등록과제의 유사과제임을 의미
 주2) 구분: 기수행과제(수행)과 공공R&D(공공)를 구분
 주3) 구분: 유사과제로 검출된 연구과제가 실시된 연도(협약일자 기준)
 주4) 유사도: 등록과제와 유사과제 간 동일키워드 비중점수

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

6) 연구 추진 체계

(1) 연구 추진 체계

- 철도 장대터널 고위험 재난 대응 기술 개발의 개발성과물 특성을 고려하여 3개 핵심기술 체계로 구성된 연구단 운영
 - 본 사업 주관은 국토교통부, 전담기관은 국토교통과학기술진흥원으로 함
 - 본 사업은 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」¹⁾에 따라 중형과제로 구분되며, 중형과제를 수행하는 연구조직으로 연구단을 구성하여 운영함
 - 본 사업은 3개의 핵심기술이 기술적으로 연결되어 기술개발 및 현장 실증이 이루어져야 하는 내용으로 하나의 연구과제를 총괄하여 연구성과가 달성됨

□ 각 연구참여 주체별 역할 및 기능은 다음과 같음.

표 2-13 각 연구 참여 주체별 역할 및 기능

주체	역할 및 기능
주관부처 (국토교통부)	○ 사업총괄 부처(최상위 의사결정기관) ○ 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 사업 기본 시행계획 수립, 사업 투자 우선순위 결정 등 역할을 수행
전문기관 (국토교통과학기술 진흥원)	○ 연구단 기획·평가·운영위원회 구성·운영 - 연구단 진도 및 실적 점검 - 연구단 및 세부과제 선정·단계·최종평가 - 기술 확산 및 정책 활용성 검토 등
운영위원회	○ 전문기관이 요청한 사항에 대한 검토·심의·조정 - 사업 세부시행계획 수립에 관한 사항 - 주요 내용변경에 관한 사항 - 지원 우선순위, 연구개발비 규모 등에 관한 사항 ○ 본 사업 및 기술 분야별 이내의 전문가로 구성하며 위원회는 필요시 수시로 개최
운영기관 협의체	○ 철도 운영기관과의 유기적 협조에 관한 사항 - 수요처 요구사항 검토 및 의견제시 - 성능검증을 위한 현장시험 협의 및 협조 창구역할 수행 - 연구성과의 수요처 소개 등 홍보
연구단(연구단장)	○ 사업추진을 위한 컨소시엄 구성 ○ 연구단 구성·운영 ○ 세부과제 선정평가, 진도관리, 정산, 자체평가, 예산조정 및 참여기관 역할분배 ○ 연구성과 관리 및 사업화 지원 ○ 연구성과 보급·확산 및 홍보
연구단 주관연구기관	○ 기술개발 총괄 관리 - 세부과제 기획 연차평가, 진도관리 및 과제간 예산조정, 연구성과 관리 및 사업화 지원 등 수행 ○ 총괄과제 수행
세부과제 수행기관	○ 사업내 세부 과제별로 기술개발을 직접 수행하는 기관 - 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발을 수행

1) 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 [시행 2020. 1. 28.] [국토교통부훈령 제1274호, 2020. 1. 28., 일부개정]

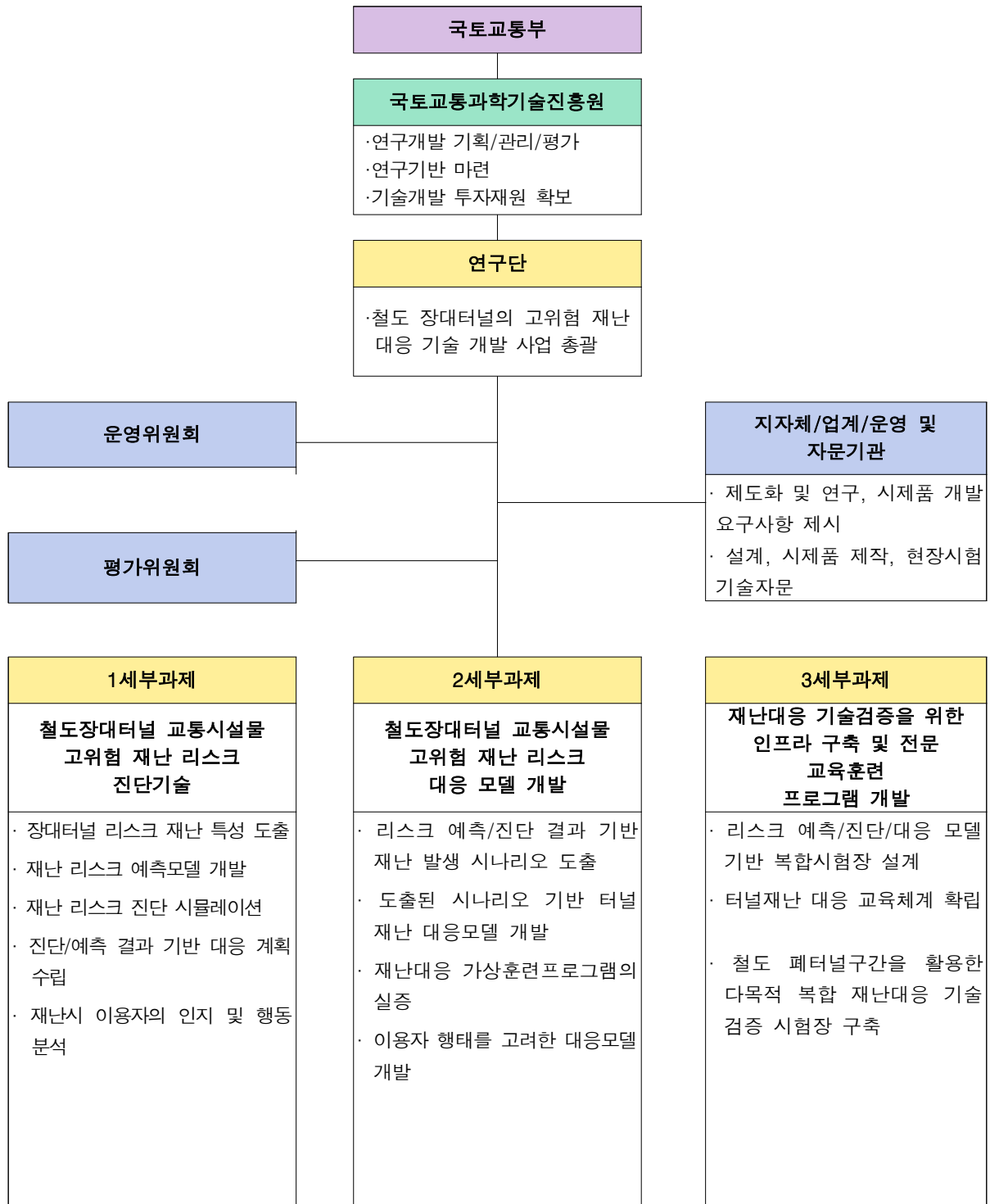


그림 2-5 철도 장대터널 고위험 재난 대응 기술 개발 연구추진체계

7) 연구개발추진일정

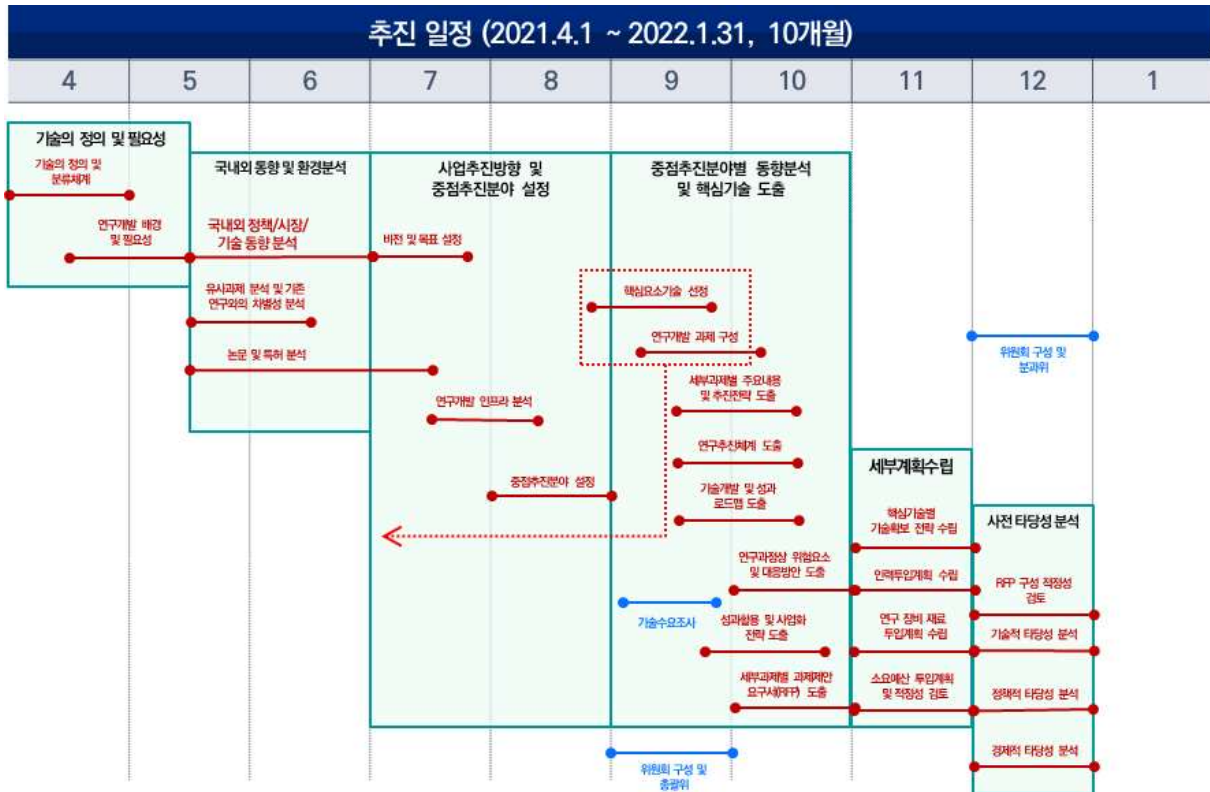


그림 2-6 연차개발 추진 일정

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

가) 기술개발 및 성과 로드맵

세부과제	2022년 1차년도	2023년 2차년도	2024년 3차년도	2025년 4차년도	2026년 5차년도
핵심기술 1 철도장대터널 교통시설 물 고위험 재난 리스크 진단기술	국내외 피해 사례 및 선행연구 사례 조사 철도 장대 터널 내 복합재난 특성 분석	터널 내 붕괴 및 침수에 대한 리스크 예측 및 진단 모델 개발 터널 내 화재에 대한 리스크 예측 및 진단 모델 개발	터널 내 재난 리스크 발생 시나리오 도출 터널 내 재난 리스크 예측 및 진단 모델의 실증 실험	터널 내 재난 리스크 예측 및 진단 모델 검증	터널 내 재난 리스크 예측 및 진단 모델 시험 인프라 적용
핵심기술 2 철도장대터널 교통시설 물 고위험 재난 리스크 대응기술	철도 장대터널 재난 대응 훈련 관련 현황 분석 및 벤치마킹 사항 도출	터널 내 재난 리스크 대응을 위한 최적화 알고리즘 개발 터널 내 재난 발생 시 인명 피난 시뮬레이션 개발	터널 내 재난 발생 시 지하구조물 접근 및 대응 모델 개발 터널 내 재난 리스크 대응 모델 검증	터널 내 재난 리스크 대응 모델 검증	시험 인프라를 활용한 재난 대응 모델 검증
핵심기술 3 재난대응 기술검증을 위 한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발	철도 장대 터널 재난대응기술 시험장 설계 (기본설계) 재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비·장비 선정	철도 장대 터널 재난대응기술 시험장 설계 (실시설계 / 인허가) 철도 장대 터널 재난대응 복합훈련장 구축 (준비공사)	재난대응기술 시험장 재난상황 모사설비 및 훈련설비·장비 개발 (설계 및 개발) 철도 장대 터널 재난대응 복합훈련장 구축 (건축 및 구조물 공사 및 전기/기계/통신/ 소방 등 주요시설 공사)	철도장대터널 재난대응 시나리오 기반 교육훈련 프로그램 개발 재난대응기술 시험장 재난상황 모사설비 및 훈련설비·장비 개발 (제작 및 설치)	철도장대터널 교통시설물 재난대응 복합훈련 시나리오 및 교육훈련 프로그램 개발 재난대응 기술검증 인프라 운영 매뉴얼 개발

그림 3-1 연차별 사업 추진 로드맵

나) 자원투입계획

(a) 인력투입계획

☐ 소요인력 산출 근거

○ 국토교통부의 유사과제를 분석하여 연차별 소요예산 및 소요인력 산출

- 인건비, 직접비(인건비제외), 간접비 비중을 각각 30.3%, 51.7%, 18.0% 수준으로 설정
- 책임급, 선임급, 연구원급 참여 인력의 인건비 비율을 0.3:0.4:0.3을 기준으로 인건비 단가를 고려하여 참여인력(Man-Year)을 산출

표 3-1 소요인력의 직급 구분 기준

직급	기업, 운영기관, 연구기관	대 학
책임급	학사학위 취득 후 12년 이상, 석사학위 취득 후 9년 이상, 박사학위 또는 기술사 취득 후 5년 이상 경력소지자	조교수 이상
선임급	학사학위 취득 후 6년 이상, 석사학위 취득 후 3년 이상 경력 보유자 박사학위 또는 기술사 취득자	전임강사 또는 박사후 과정 연구원
연구원급	대학 이상의 과정 이수자 기타 동등 이상의 경력 소지자	석사과정 재학생 이상

- 인건비는 기획재정부 2020년 학술연구용역 인건비를 기준으로 직급별 참여인원수, 참여율, 참여기간을 고려하여 산정

표 3-2 기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 (2020년 기준)

(단위 : 원)

등급	월 임금 (참여율 100%)
책임연구원	6,459,460
선임연구원	4,953,028
연구원	3,310,932

☐ 전체 인력 투입 계획

○ 총 예상 투입 인력 M/M 는 21 이며 1세부에 12, 2세부에 59, 3세부에 47로 구성되어 있다.

표 3-3 전체 인력 투입 계획

구분	1차년도	2차년도	3차년도	소 계
책임연구원	10	10	10	30
선임연구원	10	10	10	30
위촉연구원	10	10	10	30
합 계	30	30	30	90
90명				

□ 세부과제별 인력 투입 계획

○ 핵심기술 1 - 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단기술

표 3-4 1세부과제 인력 투입 계획

구분	1차년도	2차년도	3차년도	소 계
책임연구원	6	6	6	18
선임연구원	6	6	6	18
위촉연구원	6	6	6	18
합 계	18	18	18	54
18명				

○ 핵심기술 2 - 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응기술

표 3-5 2세부과제 인력 투입 계획

구분	1차년도	2차년도	3차년도	소 계
책임연구원	6	6	6	18
선임연구원	6	6	6	18
위촉연구원	6	6	6	18
합 계	18	18	18	54
18명				

○ 핵심기술 3 - 재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발

표 3-6 3세부과제 인력 투입 계획

구분	1차년도	2차년도	3차년도	소 계
책임연구원	6	6	6	18
선임연구원	6	6	6	18
위촉연구원	6	6	6	18
합 계	18	18	18	54
54명				

(b) 연구 시설 및 장비 투입 계획

☐ 연구시설 및 장비 투입계획은 아래 표와 같음

표 3-7 연구시설 및 장비투입계획

핵심기술	장비투입계획
철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단기술	- 리스크 진단 모델 개발을 위한 화재 위험 평가 소프트웨어 - 지진 리스크 진단을 위한 3차원 동적 해석 프로그램
철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응기술	- 피난 시뮬레이션 프로그램
재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발	- VR 가상현실 구축 장비 - 재난대응 시험 인프라 시험 부지

(c) 소요예산 투입계획 및 적정성 검토

☐ 예산 투입 계획

- 총 예상 투입 예산은 29,675 백만원으로 1세부에 5,216 백만원, 2세부에 4,633 백만원, 3세부에 19,826 백만원으로 구성되어 있다.

표 3-8 예산 투입 계획

(단위 : 백만원)						
핵심기술	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계
철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단기술	1,856	1,160	2,740	730	730	7,216
철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응기술	388	1,740	2,740	1,070	695	7,633
재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발	696	4,400	4,610	4,800	1,320	14,826
소 계	2,940	7,300	10,090	6,600	2,745	29,675

다) 사전타당성 분석²⁾

(a) 사업논리모형

- 사업논리모형은 과학기술적 타당성분석에 해당되는 내용이나, 동 과제의 전체적인 방향성 파악을 위해 우선적으로 작성하여 검토함
- (이슈/문제) 대상사업과 관련된 분야에서 어떠한 이슈나 문제가 존재하며, 이를 해결하기 위해 해당 사업을 반드시 추진해야 하는지에 대한 정보가 포함되어야 함
 - 사업 추진의 필요성을 설명할 수 있는 배경요인, 국가적 수요와 도전과제 등 해당 사업을 통해 해결하거나 대처하고자 하는 문제나 이슈
 - 사업을 추진하지 않을 경우 발생할 것으로 예상되는 문제나 잃게 되는 기회는 무엇인지에 대한 검토
- (목표) 해당 사업의 추진을 통해 달성하고자 하는 사업의 핵심 성과임
 - 사업목표는 해당 사업을 통해 이슈와 문제가 어느 정도로 해결될 수 있는지 측정이 가능하도록 정량적으로 제시되어야 함
- (수혜자) 사업으로 인해 직·간접적으로 영향을 받는 이해관계자
- (투입) 연구개발활동에 필요한 모든 자원으로 재정적 자원, 인적자원, 연구시설장비, 연구주체 등 포함
- (활동) 목표의 달성과 산출의 발생을 위해 수행하는 연구개발활동
- (산출) 연구개발활동의 직접적인 결과물을 의미하며 일반적으로 연구개발활동으로 개발된 기술, 정보, 데이터, 제품, 서비스 등이 여기에 해당
- (성과/영향) 성과는 사업의 목표와 밀접한 관련이 있으면서 사업 추진과정에 따른 변화나 산출의 활용이 야기할 것으로 예상되는 의도된 결과이며, 영향은 성과의 확산으로 인해 미래에 발생할 것으로 예상되는 직·간접적 변화 및 파급효과를 의미함
- (가정) 가정은 사업 추진 시 논리모형 항목별로 발생할 상황과 변화에 대한 기대나 예측을 의미하며, 사업의 성공과 직접적으로 관련된 환경 조건, 법, 규정, 원칙, 한계, 믿음, 위험 등의 외부요인들 역시 가정에 포함

2) 사전 타당성 분석은 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2019.1)」에 따라 과학기술적 타당성, 정책적 타당성, 경제적 타당성의 3가지 분석을 따르며, 전체 기획 방향의 틀을 보여주는 사업논리모형을 별도로 제시하여 구성함

이슈 / 문제

· 메가시티화에 따른 대규모 지하교통공간의 확장 가속화

- 전국 대도시의 지하교통의 활용이 확대되면서 지하공간 이용자 수가 급격히 증가
 - ※ 서울기준 연간 도시철도 이용객 수 28억명
 - ※ SRT 율령터널, GTX, 도심 통과 장거리 지하차도 건설 등 50km 이상 장대터널의 비약적 증가

· 지하교통공간에서의 재해 발생 위험도 증가

- 화재, 지진을 비롯하여 침수, 테러, 충돌 등 경험하지 못한 재난에 노출
- 대심도(40m) 장대화(50km)에 따른 재난 발생시 공공대응력의 출동 및 현장접근 제약으로 대규모 인명피해 가능성이 높음
 - ※ 대구 지하철 화재사고(2003) 등 예측 불가한 재난 발생시 적절한 초기대응이 어려움

· 지하공간에서의 재난 발생에 대한 효율적 대안 요구

- 설비 및 장치를 이용하여 재난에 대응하는 기술적 방어는 제한적
- 다양한 위험에 노출되는 대규모 지하교통공간에서의 재난에 대한 효과적인 대응방안 마련 필요



2. 목표

- GTX 등 지하교통공간에서 발생할 수 있는 재난에 대한 예측/진단/대응 기술을 개발하고 이용자 측면에서의 대응과 대피를 실증할 수 있는 시설과 교육 프로그램을 개발



3. 수혜자

- (1차 수혜자)
 - 지하교통공간을 이용하는 승객
- (2차 수혜자)
 - 지하교통시설을 운영하는 교통기관
 - 지하교통시설의 안전관리 종사자
 - 지하교통 안전시설 개발 및 생산 기업

4. 투입

- 연구비: 300억원 이내
- 사업기간: 5년
- 산학연 참여기관 연구인력
- 국가(운영기관) 실증부지



5. 활동

- 지하교통공간에서의 재난 리스크 예측 및 진단기술
- 재난리스크 대응 모델 개발
- 재난대응 복합훈련시설 및 교육프로그램 개발



6. 산출

- 지하교통공간에서의 리스크 예측/진단/대응모델 및 핵심요소기술
- 지하공간 재난대응 훈련시설 및 프로그램
- 철도터널 재난대응 기술 검증 시험장



7. 성과 / 영향

- 국가 재난대응 역량 강화
- 지하공간에서 발생하는 대규모 재난관리 기술
- 시설물운영자/사용자의 안전의식 고취 및 재난 대응능력 향상
- 최고 수준의 재난대응 교육훈련을 통한 글로벌 경쟁력 확보
- 지하 방재시설물 및 안전기준 실증을 위한 복합 활용



8. 가정

- 교육훈련을 통하여 지하공간 이용자/운영자의 불안요소를 억제하고 안전한 교통공간 확보
- 기존 페터널을 활용하는 실증 인프라를 확보함으로써 장대터널의 효과를 재현하고 교육용 방재시설을 배치함으로써 효과적인 대응방안 구축
- 유관기관(공단, 공사, 소방, 경찰) 및 관련분야 전문가의 융복합화를 통한 협업체계 구축
- 최종 수요처의 지속적 지원과 개발 참여(요구사항 제시, 공동 연구, 실증부지 등)
- 위험도가 가장 높은 대심도 장대터널을 대상으로 함으로써 도로터널 및 기타 지하공간에서의 방재대응도 실증
- 세계 최고수준의 터널방재 대상 훈련인프라와 프로그램을 확보함으로써 글로벌마켓에서의 역할 기대

(b) 과학기술적 타당성

i. 과학기술적 타당성 분석 개요

☐ 과학기술적 타당성 분석

- 과학기술적 타당성 분석은 문제/이슈 도출의 적절성, 사업목표의 적절성, 세부 활동 및 추진전략의 적절성에 대한 분석 실시
 - 문제/이슈 도출의 적절성은 사업이 기획된 배경과 경위의 적절성, 문제·이슈 식별과정의 적절성, 과학기술기반 문제해결의 중요성·필요성을 검토
 - 사업목표의 적절성은 식별된 문제·이슈의 연관성, 사업목표 설정의 적절성을 검토
 - 세부활동 및 추진전략의 적절성은 세부활동 구성 및 내용의 구체성과 연계성, 사업목표 달성을 위한 추진전략의 적절성을 검토

ii. 과학기술적 타당성 분석 주요 내용

ii-1. 문제/이슈 도출의 적절성

- ☐ 국가적 차원에서 해결해야 할 문제·이슈를 식별하기 위한 과정과 별도의 사업으로 추진할 필요가 시급히 요구되는지를 분석하는 항목임
- ☐ 동 사업은 환경 분석 및 전문가 검토, SWOT 분석 등 적절한 절차를 걸쳐 해결해야 할 문제/이슈를 식별함
 - 철도 장대터널 내 고위험 재난 리스크에 대한 진단 및 대응 기술의 현황을 조사하여 제시함
 - 국정과제 및 법정계획의 재난 대응 관련 내용, 관련 법·제도를 조사하여 정책 동향을 제시함
 - 재난 대응 및 검증 시험 인프라 등에 대한 수요 등을 조사하여 철도 장대터널 재난 대응과 관련된 기술 시장 동향을 제시함
 - 재난, 리스크, 재난 대응 등 기술 개발에 주로 활용되는 용어에 대해 정의하고, 국내외 재난 대응 검증 시험 인프라 기술 개발 동향, 특허·논문 분석 등 기술 개발 동향을 조사·분석함
 - 현황 조사와 더불어 재난대응 기술 관련 전문가위원회를 개최하여, 관련 분야의 이슈, 기술 현황 등에 대한 검토 및 의견 수렴

ii-2. 사업목표의 적절성

- ☐ 사업의 추진 필요성이 적절히 제시되어 있는지, 문제/이슈의 해결과 사업목표가 잘 부합되는지를 검토
- ☐ 본 과제의 목표로 핵심세부기술의 각 요구되는 목표를 제시함
 - 과제의 비전은 ‘철도 장대터널 재난의 효율적 대응 솔루션 개발’로 해당 비전 달성을 위한 핵심기술별 목표를 제시하였으며, 핵심 기술 들이 유기적으로 연결되어 최종 성과가 달성될 수 있도록 구성되었음

ii-3. 세부활동 및 추진전략의 적절성

- ☐ 연구개발과제로 대변되는 세부활동이 구체적으로 제시되고 효과적이고 유기적으로 서로 연계되어 있는지를 관리 가능성의 관점에서 분석
 - 즉, 사업목표를 효과적으로 달성하기 위한 추진전략 및 추진체계를 적절히 제시하였는지에 대한 분석을 수행
- ☐ 과제의 비전은 ‘철도 장대터널 재난의 효율적 대응 솔루션 개발’로 3가지 철도시설물의 개량 기술개발 목표 방향을 설정하여 도출
 - 철도 장대터널에서 발생할 수 있는 고위험 재난에 대한 진단 기술을 개발하고, 개발된 진단기술을 바탕으로 재난 대응기술 개발 수행
 - 개발된 재난 대응기술의 검증을 위한 인프라를 구축하고 해당 인프라에서 재난 대응기술의 검증 수행

(c) 정책적 타당성

i. 정책적 타당성 분석 개요

- 정책적 타당성 분석은 정책의 일관성 및 추진체제, 사업추진상의 위험 요인에 대한 검토
 - 정책의 일관성 및 추진체제는 상위계획의 부합성과 사업추진체제 및 추진의지로 나뉘는데 상위계획의 부합성에는 정부의 국정과제, 과학기술기본계획 및 국토교통부 중장기계획의 정책 일관성 평가에 있어서 매우 중요하며, 사업추진체제 및 추진의지는 사업 수행 체계와 절차 적절성, 운영방안의 효율성 등의 분석이 필요
 - 사업의 원활한 추진을 위해서는 정부 차원에서 주관부처의 추진 정책과 부합하여야 하며 부처 간의 정책적 합의 역시 선결되어야 하므로 이를 반영하여 ‘상위계획과의 부합성’을 기본 항목으로 포함
 - 성공적인 연구개발 사업목표 달성을 위한 사업 외적인 요인들로서, 타 사업과의 차별성이 명백해야 하며, 적절하고 효율적인 사업 거버넌스 구축 및 사업 참여주체 선정 시의 법·제도 준수 여부의 검토와, 조사대상 사업에 대한 각 참여주체들의 입장과 태도, 그리고 사업 수행을 위한 관련 주체들 모두의 상호 협조가 필요하다는 사회적 합의의 도달에 대한 사전 검토의 측면에서 ‘사업 추진체제 및 추진의지’를 기본항목으로 포함
 - 사업추진 상의 위험요인과 관련해서는 자원조달 가능성과 법제도적 위험요인으로 분류하며 위험요인에 대한 사전 파악 및 정의가 되어 있는지 여부와 그에 대한 별도의 대비책이 제시되어 있는지 여부를 집중 분석
 - 사업 추진과정에서 발생할 수 있는 위험을 구체화했는지, 발생 가능한 피해를 분석하였는지를 포함하여 위험회피 또는 피해 최소화를 위한 대응계획의 수립 가능성까지 고려



그림 3-2 정책적 타당성 분석의 평가항목(1계층, 2계층, 3계층)

ii. 정책적 타당성 분석 주요 내용

ii-1. 정책의 일관성 및 추진체제

ii-1-1. 상위계획과의 부합성

- 동 기획연구와 필수계획 및 선택군 계획을 대상으로 계획별 부합성 여부를 조사한 결과, 상위계획과의 부합도는 적절한 것으로 판단됨
- 필수계획인 「제4차 과학기술 기본계획」과 「제1차 국토교통과학기술연구개발 종합계획」을 포함한 선택군 계획 대상 부합성 정도를 조사한 결과, 동 사업과 부합성이 높은 것으로 조사됨
 - ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2020.1.)에 따라, 과학기술 기본법 기반의 「제4차 과학기술기본계획(2018-2022)」을 필수계획으로 선정해 부합성 조사
 - 철도시설 유지관리 관련 법정계획 등을 선택군 계획으로 선정해 동 사업과의 부합성 조사

표 3-9 상위계획과의 부합성 조사 결과

구분	계획명	부합성		
		낮음	보통	높음
필수계획	제4차 과학기술기본계획(2018-2022)			○
선택군 계획	제1차 국토교통과학기술연구개발 종합계획 (2018-2022)			○
	제4차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2018-2022)			○
	제3차 재난 및 안전관리기술 종합계획 (2018~2022)			○
	재난과학기술개발 10개년 로드맵 (2016~2025)			○

표 3-10 상위계획과의 부합성 평가결과

필수계획 선택군 계획	부합도 낮음	부합도 보통	부합도 높음
부합도 높음	보통	대체로 적절	적절
부합도 보통	대체로 부적절	보통	대체로 적절
부합도 낮음	부적절	대체로 부적절	보통

□ 제4차 과학기술기본계획(2018-2022, 과학기술기본법)

- 동 사업은 「제4차 과학기술기본계획」의 4대 전략 중 ‘전략4. 과학기술로 모두가 행복한 삶 구현’의 중점추진과제인 ‘과제 17. 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현’의 정책 방향과 일부 부합하는 것으로 판단됨
 - 과제 17.의 추진과제 중 ‘재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보’에서 ‘대규모 재해로부터 국민을 지키는 안전확보체계 구축’의 내용인 노후 및 신설 도시 인프라의 지진 취약성 진단, 내진보강기술 개발 및 예방적 유지관리 시스템 개발의 방향과 동 사업목적인 노후화 시설물 급속 교체 또는 보강 등의 개량과 직접적으로 부합됨

□ 제1차 국토교통과학기술연구개발 종합계획(2018-2022, 국토교통과학기술 육성법)

- 동 사업은 「제1차 국토교통 과학기술연구개발 종합계획」의 4대 전략 중 '전략3. 사람 중심의 국토교통 기술개발'에서 실천과제인 '재난·재해 예방 등 안전 기술 개발'의 방향과 부합하는 것으로 판단됨
- '재난·재해 예방 등 안전 기술 개발' 실천과제 중 철도·항공 이용자 보호 시스템의 내용인 노후화된 인프라 급속 개량·교체 장비 등 인프라부문 기술개발로 이용자 보호시스템 구현을 위한 방향과 동 사업목적인 노후화 시설물 급속 교체 또는 보강 등의 개량과 직접적으로 부합됨

□ 제4차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2018-2022, 시설물의 안전관리에 관한 특별법)

- 동 사업은 「제4차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획」의 4대 목표 중 '안전하고 오래 사용하는 시설물'의 방향과 부합하는 것으로 판단됨
- '안전성능, 내구성능, 사용성능 향상에 의한 시설물 안전 확보 및 기대수명 연장'와 동 사업목적인 노후화 시설물의 위험요인 제거를 통한 안전 확보의 방향과 부합됨

□ 제3차 재난 및 안전관리기술 종합계획(2018-2022)

- 동 사업은 「제3차 재난 및 안전관리기술 종합계획」의 3대 추진전략 중 '현장실용화 중심의 안전생태계 구축'의 방향과 부합하는 것으로 판단됨
- '재난안전 전문인력 양성 교육훈련 기술개발'과 동 사업목적인 고위험 재난 대응 기술 개발의 내용과 방향이 부합됨

□ 재난과학기술개발 10개년 로드맵

- 동 사업은 「재난과학기술개발 10개년 로드맵」의 '재난 조기감지, 인명 구조율 향상, 피해복구시간 단축 등 재난안전 핵심기술 개발을 통한 재난대응시스템 혁신'의 방향과 부합하는 것으로 판단됨
- '7대 분야 중 핵심기술(과제)에 대형 교통사고 위험진단·예방 기술, 화재위험 예방/감시 기술 등의 사회재난 예방, 감시 기술을 포함

ii-1-2. 사업 추진체계 및 추진의지

□ 기존 사업 및 연구시설·장비 중복성과 선행사업 성과 활용 여부에 대해 검토

□ 철도 장대터널의 위험 재난대응 기술 개발 추진은 기존에 없는 것으로 조사되었으며, 실제 해당 연구과제에 대한 구체적인 추진체계, 운영방안에 대한 고려 필요

- NTIS에서 검색되지 않는 운영사별 연구과제를 검토한 결과, 유사과제를 확인하였으며, 이에 대한 기술적 차별성을 검토함

□ 3개의 핵심기술로 구성된 연구과제로 추진될 예정으로 연구성과의 실 수요처인 철도운영 기관이 참여하여 추진함에 따라 현장 적용성을 확보하는데 걱정할 것으로 판단

○ (연구단 주관기관) 연구개발을 수행하는 철도관련 정부출연연구기관이 주관을 맡아 대응 기술 개발, 검증, 실용화를 수행

○ (참여기관) 대응기술 검증 시험장 구축을 위한 테스트베드 제공이 가능한 철도 운영기관 등

ii-2. 사업 추진상의 위험요인

ii-2-1. 재원조달 가능성

□ 철도운영기관(산업계, 대기업) 및 중소·중견기업이 참여연구기관으로 참여하게 됨에 따라, 민간부담금에 대한 실제 재원조달 어렵지 않을 것이 예상됨

○ 사업 기간 5년('23~'27년) 총 40,000 백만 원 투입예정이며, 29,675백만 원은 정부출연금, 10,325백만 원은 민간부담금으로 조달 계획

– 민간부담금은 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에 따라 대기업(50%), 중견(40%), 중소(25%), 컨소시엄(복합) 등 각 프로그램별 타겟에 따라 분담비율 적용

– 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」을 참고하여 중소기업이 모두 참여하거나, 중소기업의 비율이 ⅔이상인 경우 정부출연금 비율을 75%이내로 규정되어 있으므로 이에 따라 정부, 민간 비율을 조정

○ 또한 국가재정운용계획 재정운용 방향에 대한 검토 및 기술수요조사 등을 통한 관련 산업체 참여 가능성 등을 검토

– 국가재정운용계획(2017~2021)」 (2017, 기획재정부) 재정운용 기본방향 및 목표, R&D투자방안 등과 연계하여 추진

– 국민들의 안전에 대한 의식수준이 높아지면서 종전보다 높은 수준의 안전 확보를 요구함에 따라 도로, 철도 등 관련 분야의 「안전체계 구축」을 목표로 투자를 지속할 계획

– 「미래 신성장동력 창출」을 위해 관련 R&D를 적극 지원하는 한편 R&D 투자 효율화를 병행

– 미래성장동력을 확충하고, 4차 산업혁명에 전략적으로 대응하기 위한 R&D투자를 지속적으로 확대할 방침

ii-2-2. 법·제도적 위험요인

□ 별도 위험 요인 없음

(d) 경제적 타당성

i. 분석 방안 및 주요 가정

i-1. 경제적 타당성 방법론

□ 개요

- 사회 편익 및 비용을 분석하고 순현재가치(NPV, Net Present Value), 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return), 그리고 비용편익분석(BCR, Benefit Cost Ratio)을 실시하여 본 프로젝트의 경제적 타당성 점검
- 또한 할인율, 운영비용 및 편익 등 주요 변수의 변화에 따라 발생할 수 있는 영향에 대한 민감도 분석 병행

□ 순현재가치(NPV, Net Present Value)

- 순현재가치는 경제적 타당성 분석 시, 가장 널리 사용되는 방법이며 순현재가치는 총 미래 현금 유입의 현재 가치로부터 총 미래 현금 유출의 현재가치를 차감하여 산출
- 순현재가치법에서의 의사결정 기준은 산출된 값이 0보다 높을 시, 타당성이 있다고 판단됨

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_T}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_T}{(1+r)^t}$$

B_T = 편익의 현재가치

C_T = 비용의 현재가치

r = 할인율(보편적으로 물가상승률과 동일하게 산정함)

n = 분석기간

□ 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return)

- 내부수익률은 NPV 방식에서 적용 가능한 할인율을 결정하는데 어려움이 있을 때 사용됨. 내부수익률은 미래 현금 유입의 현재 가치와 미래 현금 유출의 현재 가치를 동일하게 만드는 할인율을 의미함
- 내부수익률 계산은 다음과 같으며, 내부수익률법의 의사결정 기준은 내부수익률이 할인율보다 높으면(사회적 할인율 6.0%를 기준으로 함) 타당성이 있다고 판단됨

$$IRR: \sum_{t=0}^n \frac{B_T}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_T}{(1+r)^t}, \text{ 본 산식을 충족시키는 } r$$

□ 비용편익분석(BCR, Benefit Cost Ratio)

- 비용편익분석(BCR)은 투자 단위당 가치 크기(배수)를 의미함. NPV는 투자 규모를 직접적으로 나타낼 수가 없음에 따라 이를 보완하기 위한 방법으로 사용함
- 계산식은 다음과 같으며, BCR이 1보다 높을 시, 타당하다고 판단됨

$$BCR = \sum_{t=0}^n \frac{B_T}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_T}{(1+r)^t}$$

□ 마. 민감도 분석(Sensitivity Analysis)

- 하나의 사업을 운영하는 과정에는 예기치 못한 변동 상황이 발생하며 각종의 위험이 존재한다. 이는 그만큼 미래의 불확실성이 존재하고 있다는 것을 의미하며, 이와 같은 변동 상황을 미리 고려하여 이것이 사업의 성패에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하고 이 결과를 고려하는 것이 중요
- 이렇게 변동 상황을 고려하는 것은 최종판단에 도움을 줄 뿐 아니라 사업의 성공적 집행을 위한 사전예방조치를 강구하도록 하는 계기를 마련하기 때문이다. 이처럼 미래에 발생할 수 있는 다양한 변동 상황이 사업에 어떤 영향을 미치는가를 분석하는 것을 민감도 분석(Sensitivity Analysis)이라고 함
- 민감도분석을 행하는 데는 대체로 아래의 3가지 접근방법 중의 하나를 선택
- 주관적 예측
 - 주관적 예측이란 장래에 발생할지도 모를 변동 상황을 주관적인 느낌으로 예측하고 판단하는 것으로 가장 신속하고 간편한 접근방법이라고 할 수 있다. 이는 분석자의 경험과 감각에 의존하는 경우가 많음

○ 선택적 민감도 분석

- 앞의 방법이 순전히 주관적인 판단에 맡기는 것이라면, 선택적 민감도분석(Selective Sensitive Analysis)이란 객관적인 검토과정을 거쳐 이루어지는 것으로 여러 가지 가능성 있는 변동 상황 가운데서 중요한 상황들을 선택하고 이들의 변화가 사업의 순현재가치와 내부수익률에 어떻게 영향을 미치는지 밝히는 방법을 말함

○ 일반적 민감도분석

- 일반적 민감도분석(General Sensitive Analysis)은 사업의 순현재가치 또는 내부수익률에 영향을 미칠 수 있는 주요 변수(Key Parameters)들의 변화가 실제로 일어날 수 있는 가능성을 모두 나열하고 이 가능성 하나하나에 대하여 확률을 부여함으로써 장래에 발생하는 여러 가지 상황을 종합적으로 정리 및 분석하는 방법을 말한다. 따라서 일반적 민감도분석은 사업효과에 대한 확률분석(Probability Analysis)이라고 할 수 있으며, 일종의 위험분석(Risk Analysis)이라고 할 수도 있음
- 본 경제적 타당성 분석에서는 상기 3가지 방법 중, 비용과 편익이 증가 또는 감소하게 되는 시나리오 변화를 통해 순현재가치와 내부수익률을 산정하는 '선택적 민감도 분석' 방법을 택하여 추진

i-2. 경제적 타당성 분석의 가정

□ 할인율

- 본 경제적 타당성 분석에서 사용된 할인율 4.5%는 기획재정부 타당성심사과에서 권장하고 있는 할인율 4.5%에 의거 (출처: 예비타당성조사 수행 총괄지침 제50조)

표 3-11 사회적 할인율 적용 근거

제50조(사회적 할인율)

- 예비타당성조사에서 사회적 할인율은 4.5%를 적용한다. 다만, 분석기간이 30년 이상인 철도와 수자원 사업은 운영 30년 동안은 4.5%를 적용하고 이후는 3.5%의 할인율을 적용한다.
- 사회적 할인율은 경제 및 사회여건 변화 등을 고려하여 매3년마다 조정을 검토한다. 단, 중대한 경제·사회적 상황 변화가 발생하거나 긴급한 국가정책적 필요가 있는 경우에는 3년 이내에 사회적 할인율을 조정할 수 있다.

□ 물가상승률

- 산출된 물가상승률 1.03%는 아래와 같이 Statista에서 제공하는 대한민국의 최근 물가상승률 변동을 토대로 산정함. 2016년을 기점으로 2% 이하대의 물가상승률을 기록하고 있어, 2022년의 추정 물가상승률에 대한 평균값을 적용
- 이에 따르면, 2022년의 추정 물가상승률에 대한 평균값은 1.1%에 해당하는 것으로 산출

표 3-12 대한민국의 물가상승률 변화

항목	2016	2017	2018	2019	2020(e)	2021(e)	2022(e)	CAGR
물가상승률	0.97%	1.94%	1.48%	0.38%	0.54%	2.19%	1.65%	9.3%



그림 3-3 대한민국의 물가상승률 변화

□ 임금 상승률

- 산출된 임금 상승률 5.1%는 Trading Economics(tradingeconomics.com)에서 제공하는 최저임금에 대한 2012~2021년에 대한 데이터를 근거로 CAGR값으로 계산됨

표 3-13 대한민국의 최저임금 변화

연도	2012	...	2018	2019	2020	2021	CAGR
최저임금 (원)	4,580	...	7,530	8,350	8,590	8,720	5.1%
최저임금 상승률(%)		...	16.4%	10.9%	2.9%	1.5%	-

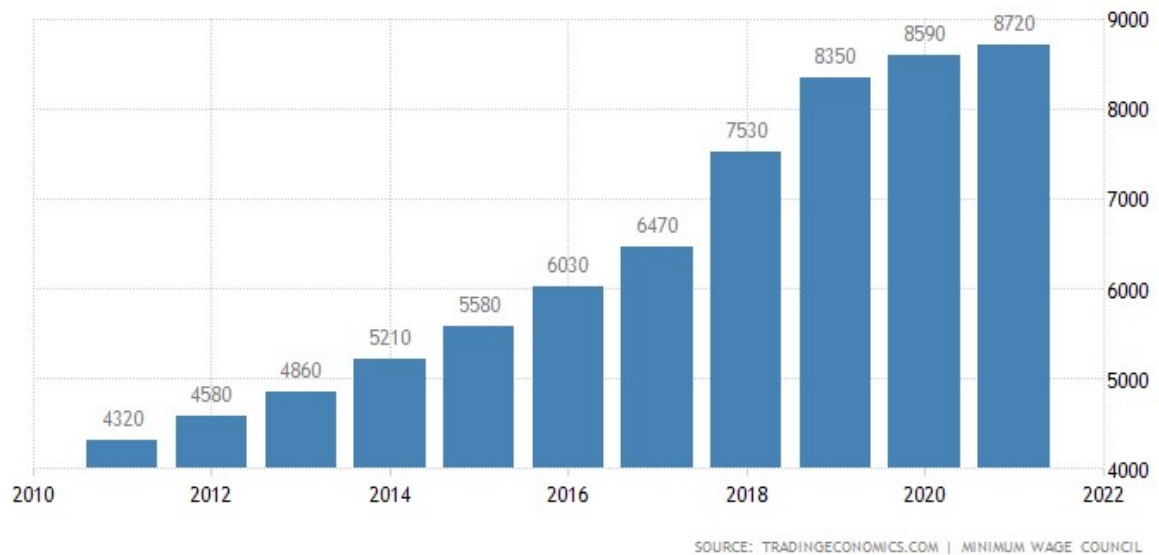


그림 3-4 대한민국의 최저임금 변화

i-3. 본 사업 Business Model 구조

□ 본 사업 추진에 있어 비즈니스모델 관점에서의 대심도 장대터널 재난 대응 기술 검증 시험장의 핵심적인 기능은 현장 R&D, 훈련 프로그램 제작, 이론 및 현장 시뮬레이션 훈련 및 교육이 될 것으로 예상

□ 이와 관련하여 수립된 비즈니스모델은 다음과 같다.

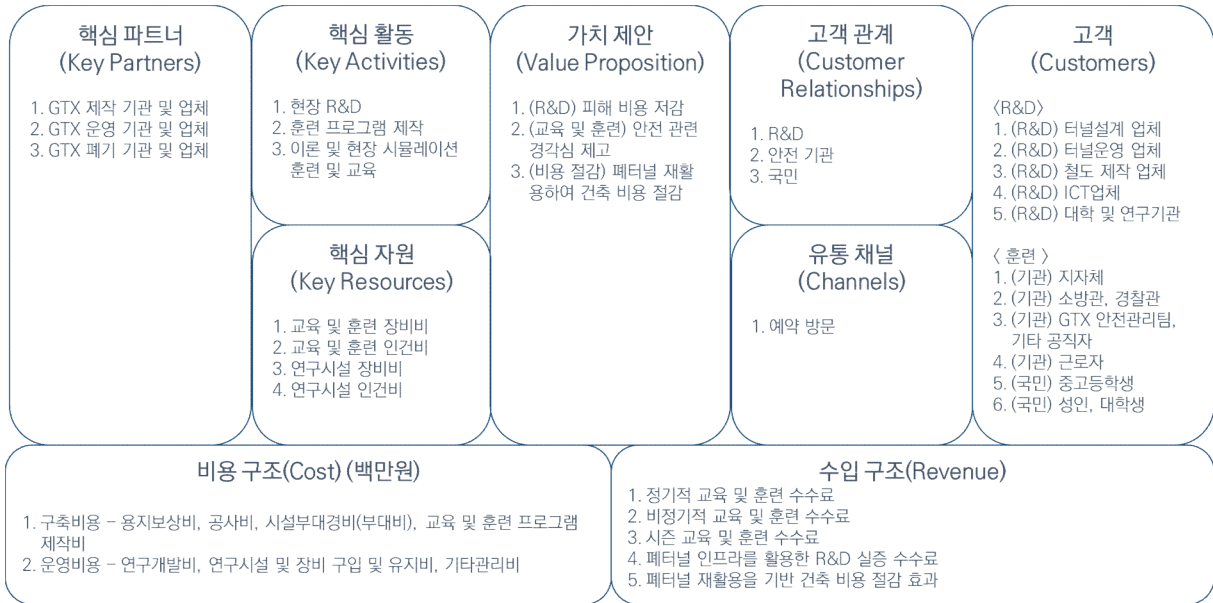


그림 3-5 대심도 장대터널 재난 대응 기술 검증 시험장의 비즈니스모델

□ 본 비즈니스모델에 따르면, 상기한 핵심적인 기능을 수행하기 위해 구축 및 이후 운영에 대한 비용이 전체 비용을 차지할 것으로 예상됨. 또한, 수익창출의 관점에서는 R&D를 위해 훈련장을 활용 가능한 고객군과 훈련을 목적으로 훈련장을 이용하는 고객군을 대상으로, 교육 및 훈련에 대한 수수료나, 페터널 인프라의 특수성을 활용한 각종 산업군의 제품 또는 서비스, 시스템에 대한 R&D 실증 수수료가 발생 가능함

□ 이후 이어지는 편익분석과 비용분석에서는 이러한 초기 구축된 비즈니스모델에서 제시된 비용, 수입 항목을 기준으로 하여 세부 근거기준을 확보하여 타당성을 분석하고, 이를 시나리오화하여 비용과 편익 기준의 민감도 분석 실시

ii. 편익 분석

ii-1. 비용

□ 구축비용

세부과제	2022년 1차년도	2023년 2차년도	2024년 3차년도	2025년 4차년도	2026년 5차년도
1세부 대심도장대 등 지하공간 교통시설물에서의 재난 리스크 예측 및 진단기술	국내외 피해 사례 및 선행연구 사례 조사	터널 내 붕괴 및 침수에 대한 리스크 예측 및 진단 모델 개발	터널 내 재난 리스크 발생 시나리오 도출	터널 내 재난 리스크 예측 및 진단 모델 검증	터널 내 재난 리스크 예측 및 진단 모델 훈련장 적용
	장대 터널 내 복합재난 특성 분석	터널 내 화재에 대한 리스크 예측 및 진단 모델 개발	터널 내 재난 리스크 예측 및 진단 모델의 실증 실험		
2세부 대심도장대 등 지하공간 교통시설물에서의 재난 리스크 대응 모델 개발	대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난 대응 훈련 관련 현황 분석 및 벤치마킹 사항 도출	터널 내 재난 리스크 대응을 위한 최적화 알고리즘 개발	터널 내 재난 발생 시 지하구조물 접근 및 대응 모델 개발	터널 내 재난 리스크 대응 모델 검증	터널 내 재난 리스크 대응 모델 훈련장 적용
3세부 재난대응 복합훈련장 인프라 구축 및 재난 대응 전문 교육훈련 프로 그램 개발	대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대응 복합훈련장 설계 (기본설계)	대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대응 복합훈련장 설계 (실시설계 / 인허가)	재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비·장비 개발 (설계 및 개발)	재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비·장비 개발 (제작 및 설치)	대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대응 복합훈련 시나리오 및 교육훈련 프로그램 개발
	재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비·장비 선정	대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대응 복합훈련장 구축 (준비공사)	대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대응 복합훈련장 구축 (건축 및 구조물 공사 및 전기/기계/통신/ 소방 등 주요시설 공사)	대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대응 시나리오 기반 교육훈련 프로그램 개발	재난대응 복합훈련장 운영 매뉴얼 개발

그림 3-6 세부사업 추진 계획 및 일정

○ 용지보상비

- 용지보상비는 사업지역의 토지 매입 및 보상에 대한 것으로 일반지침에 의거
- 본 사업의 내용에 따르면, 훈련장 구축을 위한 지역적 후보는 계획상 충청북도 옥천읍 삼청리 일대에 해당하나, 훈련장이 폐선지역을 중심으로 형성되어야 하는 점, 기존 폐선 지역의 확보는 유관기관과의 협의를 거쳐 진행하는 점을 감안하여야 함
- 따라서, 기존 폐선지역 중심의 인프라는 최대한 활용하고, 훈련장 인프라를 더한 모델로 구축하고자 하여 토지구입이나 지장물에 대한 보상비는 별도로 책정하지 않도록 한다.

	● 비작업일수 = A + B - C A : 해당 월에 기후여건으로 인해 계획된 공종의 작업이 불가능한 일수 B : 해당 월에 포함된 법정 공휴일수 C : 월별 중복일수(C) = A × B ÷ 달력일수 (소수점 첫째자리에서 반올림) [예시] 1월에 시행되는 토공사 - A : 토공사가 불가능한 강우일수(강수량 10mm/일 이상) = 7일 - B : 법정공휴일수 : 4일(일요일) + 1일(신정) = 5일 - C : 중복일수 : 7일(A) × 5일(B) ÷ 31일(달력일수) ≒ 1.1일(1일 적용) - 1월 비작업일수 = 7일 + 5일 - 1일 = 11일 > 8일 (※ 주 40시간 근무제에 따른 비작업일수 = 8일)
작업일수	- 작업일수는 당해 공사의 공종별 수량을 시공하는데 필요한 총 작업일수를 말함 - 작업일수의 산정은 공종별 표준작업량을 활용하거나 발주청에서 보유하고 있는 과거의 경험치를 활용하여 할 수 있다. - 다만, 현장 여건 및 공사규모, 지질 조건, 기상·기후조건 등에 따라 조정하여 적용이 필요함 - 공사 특성상 주공정(critical path)을 구하기 어려운 경우 실적자료를 기반으로 총작업일수를 활용하는 방법도 고려할 수 있음 - 작업일수 산정 시 건설현장 근로자의 작업조건이 법정 근로시간(1일 8시간, 주 40시간)을 준수하는 것을 원칙으로 함 - 연속 작업이 필요한 경우에는 교대근무 및 주·야간 공사로 구분하여 산정 - 승강기 설치 공사와 같이 작업 중 안전사고의 발생 위험이 높은 공종은관련 협회 및 단체 등이 제시한 작업안전기준을 참고하여 적절한 작업기간이 확보될 수 있도록 함
정리기간	- 정리기간은 공정상 여유기간(buffer)과는 다르며, 공사 규모 및 난이도 등을 고려하여 산정함 - 정리기간은 일반적으로 주요공정이 마무리 된 이후 준공 전 1개월의 범위에서 계상할 수 있음

○ (인프라) 재난 대응 기술 검증 시험장 인프라

- 재난 대응 기술 시험장의 인프라는 대심도장대 등 지하공간의 교통시설물 재난대응 기술 검증 시험장을 설계하는 것으로, 계획 및 기본설계 - 실시설계 / 인허가 - 건축 및 구조물 공사, 주요시설 공사 - 내부 설비 및 인테리어 / 외부 부대공사의 순으로 추진 될 예정이다. 각 단계별로 추진되는 세부 내용은 다음과 같다.
- 계획 및 기본설계
 - 터널 및 지하구조물 재난대응 기술 검증 시험장 기본설계
 - 터널 및 지하구조물 재난대응 기술 검증 시험장 훈련 프로그램 기본 설계
 - 기존 철도시설과 재난대응 기술 검증 시험장 연계방안 설정
 - 연구개발내용을 반영한 실시설계 반영사항 결정
- 시설설계/인허가
 - 재난대응 기술 검증 시험장 실시설계 실시
 - 재난대응 기술 검증 시험장 구축관련 인허가 행정처리
- 준비공사
 - 철도 승강장 및 역사 구조물
 - 도로터널 구조물
 - 교육장/장비보관실/통합제어실
- 주요시설 공사
 - 기술 검증 시험장 내 외부 기계/전기/소방/통신 등 주요 시설 공사
- 내부 설비 및 인테리어 / 외부 부대공사
 - 재난대응 기술 검증 시험장 내화재 설치 및 내부마감 공사
 - 재난대응 기술 검증 시험장 통제실 및 교육장 내부 공사
 - 재난대응 기술 검증 시험장 외부 부대공사
 - 기술 검증 시험장 구축을 위해서는 상기한 바와 같이 공사비용이 산정 되어야하나, 투입 가용 예산에 기준한 연차별 소요비용에 관련 비용이 모두 포함된다고 가정한다면, 기술 검증 시험장 인프라에 구축되는 소요비용은 1차년도부터 4차년도까지 총 4년 간 투입되며, 투입 규모는 총 119억 원인 것으로 파악

○ (인프라) 모사설비(철도 터널)

- 모사설비라 함은 실제 환경과 유사하게 구축되어 각종 기기의 기능을 평가할 수 있도록 하는 인프라 설비적 요소를 말함. 모사설비 인프라 구축을 위해서는 선정 - 설계 및 개발 - 제작 및 설치 - 보완 및 검증의 단계에 단계별 비용이 투입되며, 각 단계별 세부 내용은 다음과 같다.
- 선정
 - 재난상황 모사설비의 요구특성 및 제원 선정 (지진, 화재)

- 설계 및 개발
 - 지진, 화재의 재난 상황에 대비한 기본 설계 수행
 - 재난 특성을 고려한 모사설비 (진동장치, 연기확산 등) 개발
 - 관련 상황 모사 및 훈련 설비 개발
- 제작 및 설치
 - 모사설비 현장설치 및 시운전
 - 상황모사와 훈련 설비의 설치 및 시운전
- 보완 및 검증
 - 지진 모사 설비 및 진동 장치의 지진 하중 입력시스템 보완 및 검증
 - 열차 탈선 발생 상황 모사 장치 및 가상현실 훈련 설비에 대한 보완 및 검증
- 연차별 소요비용 내역에 따르면, 기술 검증 시험장 인프라에 구축되는 소요비용은 2차년도부터 5차년도까지 총 4년 간 투입되며, 투입 규모는 총 63억 원인 것으로 파악됨

○ (설비) 훈련설비 및 장비

- 훈련설비 및 장비는 대심도장대 등 지하공간의 교통시설물 재난 대응에 있어, 개발된 시나리오 및 훈련프로그램의 운영을 보다 원활하게 해줄 수 있는 각종 설비와 장비에 대한 것을 말한다. 이 때, 대심도장대 터널의 특성이 고려되어야 하며, 기술 검증 시험장 내 인프라와 모사설비 인프라 등을 감안한 설비 및 장비 설계가 이루어져야 함
- 훈련설비 및 장비는 구축 4차년도와 5차년도의 총 2개년에 걸쳐 비용이 투입되며, 연차별 소요비용 내역에 따르면 제작 및 설치 과정에 총 9억 원의 비용이 소요되는 것으로 파악됨. 2차년도에 모사설비의 특성 및 제원 선정 등을 위한 비용들이 책정되어 있으나, 모사설비와 함께 비용이 묶여 책정되어있는 점을 감안하여 모사설비에 투입되는 비용으로 편의상 산정하였다.

○ (인프라) 측정 시스템

- 측정 시스템은 기술 검증 시험장을 이용하여 실증실험을 진행할 때, 이를 검증하기 위한 관련 시스템의 구축에 대한 것으로, 진행되는 실증시험의 종류는 다음과 같다.
 - 재난대응 기술 검증 시험장 설치 시스템 시운전 및 종합 테스트 실시
 - 통합제어시스템 성능검증 테스트 실시
 - 재난 시나리오별 모의 교육훈련 실시간 교육훈련 활용 성능검증
 - 상황연출을 통한 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난상황하 피난실험 실시
- 이를 위해 측정시스템의 주요 구성은
 - 각종 센서 설치 및 시스템 연동
 - 다양한 시나리오 구현을 위한 설비연동 제어시스템 및 측정시스템
 - 교육생 위치파악 및 피난상황 모니터링 시스템
 - 테스트베드 활용을 위한 공간배치 및 지원시설

- 연차별 소요비용 내역에 따르면, 시나리오 및 훈련 프로그램에 소요되는 총 비용은 구축과정에서 5차년도에 투입되며, 총 5억 원의 비용이 투입되는 것으로 파악됨.

○ (서면, 인프라) 시나리오 및 훈련 프로그램

- 시나리오 및 훈련 프로그램은 기술 검증 시험장의 기본 사업기획에서 제시된 바와 같이 화재, 지진, 침수, 탈선 등의 각종 재난상황에 대응하는 시나리오 기반 교육 프로그램을 말함. 본 항목에서는 프로그램에 한정된 항목이므로, 프로그램을 실행하여 재난 상황을 구현할 수 있는 하드웨어적 요소는 제외함.
- 연차별 소요비용 내역에 따르면, 시나리오 및 훈련 프로그램에 소요되는 총 비용은 5년간 12억 원이 소요되는 것으로 파악됨.

○ (서면) 운영 매뉴얼

- 운영 매뉴얼은 대심도장대 등 지하공간 교통시설물의 재난대응 기술 검증 시험장을 운영하기 위한 시스템매뉴얼에 대한 것으로, 기술 검증 시험장 설비의 유지관리 및 운영 매뉴얼과 향후 재난대응 기술 검증 시험장의 운영 및 활용방안이 함께 포함됨.
- 연차별 소요비용 내역에 따르면, 운영 매뉴얼에 대한 비용 투입은 5차년도에 이루어지며, 총 2억 원이 소요되는 것으로 파악됨.

표 3-15 총 구축비용의 적용기간 및 비용

(단위 : 억 원)

구축 기간				2022	2023	2024	2025	2026	합계
구축비용 (300억 아래)	공사 비	기술 검증 시험장 인프라	기본설계	6					119
			실시설계/인허가		10				
			준비공사		20				
			주요시설 공사			43			
			내부 설비, 인테리어, 외부 부대공사				40		
		모사설비 인프라 (철도 터널)	선정	8					63
			설계 및 개발		12				
			제작 및 설치			41			
			보완 및 검증				2		
		훈련설비 및 장비	제작 및 설치				5	4	9
		측정시스템	시스템 구축					4	4
		시나리오 및 훈련 프로그램	개발	2	5	2		3	12
		운영 매뉴얼	개발					2	2
소계				16	47	86	47	13	209

□ 운영비용

- 운영비용 산정을 위한 기간을 결정하는 데 있어, 본 사업을 통해 확보되는 유형자산에 대한 내용연수 확정이 필요함. 내용연수란, 유형자산이 영업활동에 사용될 수 있는 예상 기간, 즉 자산의 수명을 말하며 유형자산이 사용불능이 되어 폐기할 때까지의 추정연수를 말한다. 내용연수는 반드시 기간적인 의미만 있는 것이 아니라 생산량 또는 활동능력으로 평가될 수도 있으며, 또한 내용연수는 물리적 감가와 기능적 감가를 모두 고려하여 결정되어야 하지만 회계실무에서는 물리적인 요인만 고려하거나 세법의 내용연수표에 따라 내용연수를 정함.

표 3-16 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수범위표(제15조제3항 관련)

구분	기준내용연수 및 내용연수범위 (하한-상한)	구조 또는 자산명
1	5년 (4년~6년)	차량 및 운반구[운수업, 임대업(부동산 제외)에 사용되는 차량 및 운반구를 제외한다], 공구, 기구 및 비품
2	12년 (9년~15년)	선박 및 항공기[어업, 운수업, 임대업(부동산 제외)에 사용되는 선박 및 항공기를 제외한다]
3	20년 (15년~25년)	연와조, 블록조, 콘크리트조, 토조, 토벽조, 목조, 목골모르타르조, 기타조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 건축물
4	40년 (30년~50년)	철골·철근콘크리트조, 철근콘크리트조, 석조, 연와석조, 철골조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 건축물

- 본 사업을 통해 최종 운영하고자하는 대상은 기술 검증 시험장으로, <표 7>에 나타난 건축물 구분 중 3에 해당하여, 총 내용연수 기간은 20년으로 산정
- 유지관리비는 사업의 초기 투자비용 뿐만 아니라 생애주기비용(Life Cycle Cost)까지 고려하기 위해 추가하는 경상운영비 등을 의미한다. 본 과업에서는 시설 및 장비 유지에 사용되는 경상운영비 뿐만 아니라 교육 및 훈련에 사용되는 훈련관리비도 함께 포함
- 훈련관리비는 교육 및 훈련비와 모사설비, 훈련시설 및 장비 유지비로 나누어지며, 세부 항목별 산정 내용은 다음과 같다.

○ 교육 및 훈련비

- 교육 및 훈련비용은 기술 검증 시험장의 구축 이후, 피교육자의 유형에 따라 교육/훈련/체험 프로그램을 운영하기 위해 투입되어야 하는 비용을 말함. 세부적인 비용은 인건비를 제외한 시설장비유지비, 공공요금, 비품 관리비, 일반 관리비 등으로 구성되며, 유사 사례를 기반으로 교육과 훈련, 체험의 운영 과정에서 투입될 것으로 예상되는 비용은 다음과 같다.

표 3-17 대심도 장대터널 재난 대응 - 기술 검증 시험장 체험 비용 예시

(단위 : 원)

구분		시설장비 유지비	공공 요금	비품 관리비	일반 관리비 (5% 이내)	인건비	합계	비고
체험	교육동	50,000	17,600	24,000	34,500	600,000	726,100	
	터널동	250,000	17,600	24,000	44,500	600,000	936,100	

※주 1: 영동터널 방재종합시험장 이용료 참고

※주 2: 공공요금 및 인건비 상승률을 반영한 예측값 적용

연간 교육횟수의 산정에 있어서, 1년 중 일반적인 평일 수는 249일이며, 이를 기준으로 체험이 동일한 횟수로 진행한다고 가정하였을 때, 기존 유사사례에 기반하여 평균적으로 2박 3일 일정으로 교육이 진행된다면 연간 약 15회의 교육이 진행될 것으로 판단됨. 이를 기준으로 연간 예상되는 운영비용은 약 8,040만 원으로 산정

표 3-18 대심도 장대터널 재난 대응 복합 훈련장 체험 비용 예시

(단위 : 원)

구분		클래스 수	횟수	1회 비용	합계	비고
체험	교육동	5	24	726,100	87,132,000	
	터널동	5	24	936,100	112,332,000	
총계					199,464,000	

○ 모사설비, 훈련시설 및 장비 유지비

- 재난 대응 기술 검증 시험장 개발에 대한 사업기획에 따르면, 모사설비와 훈련시설 및 장비는 모두 H/W 유형에 해당. 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침에 따른 유지보수요율을 적용하면 연간 유지보수비는 초기 비용(원)의 유지보수요율(%)에 의해 산정 가능함
- 단, 본 기획과제의 경우에는 현재 구체화된 장비가 모두 도출되지 않았으나, 일반적인 전기·전자장비의 중형급 이상을 기준으로 둔다면, 3.30%의 유지보수요율 적용이 가능함
- 앞서 제시한 비용으로, 4년 간 63억 원의 투입 비용을 기준으로 산정하여야 하나, AR/VR 기반의 훈련프로그램 개발 비용도 포함되어 있으므로, H/W와 S/W의 비중을 9:1 수준으로 가정한다면 연간 1.87억 원의 운영비용이 필요할 것으로 도출됨. 향후 세부적인 시설, 장비 도입 계획이 구분되어 제시된다면 연간 실제 운영비용은 확연히 줄어든 것으로 판단됨
- 한편 AR/VR의 경우 전체 비용의 10% 수준으로 가정하였을 때, 업계 관례상 국산 S/W 기준으로 연간 10%의 유지보수 비용이 책정이 적정 수준으로 알려져있다. 따라서, 이에 기반한 S/W 연간 유지보수 비용을 산정한다면 연간 6,300만 원의 S/W 운영 비용이 발생할 것으로 판단됨

- 상기 운영비용을 총 구축 및 운영기간에 따른 적용 연도를 표시. 상기 도출된 비용 항목은 교육 및 훈련비와 모사설비, 훈련시설 및 장비 유지비에 대한 것으로, 초기 구축이후 지속적으로 발생하는 비용이므로 전 사업기간에 모두 해당되는 것으로 파악됨

표 3-19 초기 구축 이후의 사업기간 내 운영비용 항목별 적용 기간

(단위 : 백만 원)

				2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	합계	
운영비용	훈련관리비	훈련장 리모델링 비용							4,180																4,180
		모사설비, 훈련시설및 장비유지비	S/W 요소의 연간 유지비	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	1,260
			H/W 요소의 연간 유지비	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	3,740
	교육훈련운영비	체험 프로그램 운영비	인건비	144	146	148	150	152	155	157	159	162	164	167	169	172	174	177	180	182	185	188	191	3,329	
			인건비 외	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	55.46	1,109
		소계			449	451	453	456	458	4,640	462	465	467	470	472	475	477	480	482	485	488	490	493	496	34,519
현재가치(PV)			288	277	266	256	246	2,390	228	219	211	203	195	187	180	173	167	161	154	149	143	138	21,383		

ii-2. 편익

□ 편익추정은 우선 편익항목을 식별(identify)하는 작업으로부터 시작함. 특정사업의 편익항목은 사업의 성격과 내용에 따라 매우 다양하므로 해당 부처가 제출하는 사업계획에 따라 편익항목을 구체적으로 세분화하는 작업이 필요함

□ 앞서 제시한 비즈니스모델에 기반하였을 때, 도출 예상 가능한 편익 분석의 모델은 아래 그림과 같다.

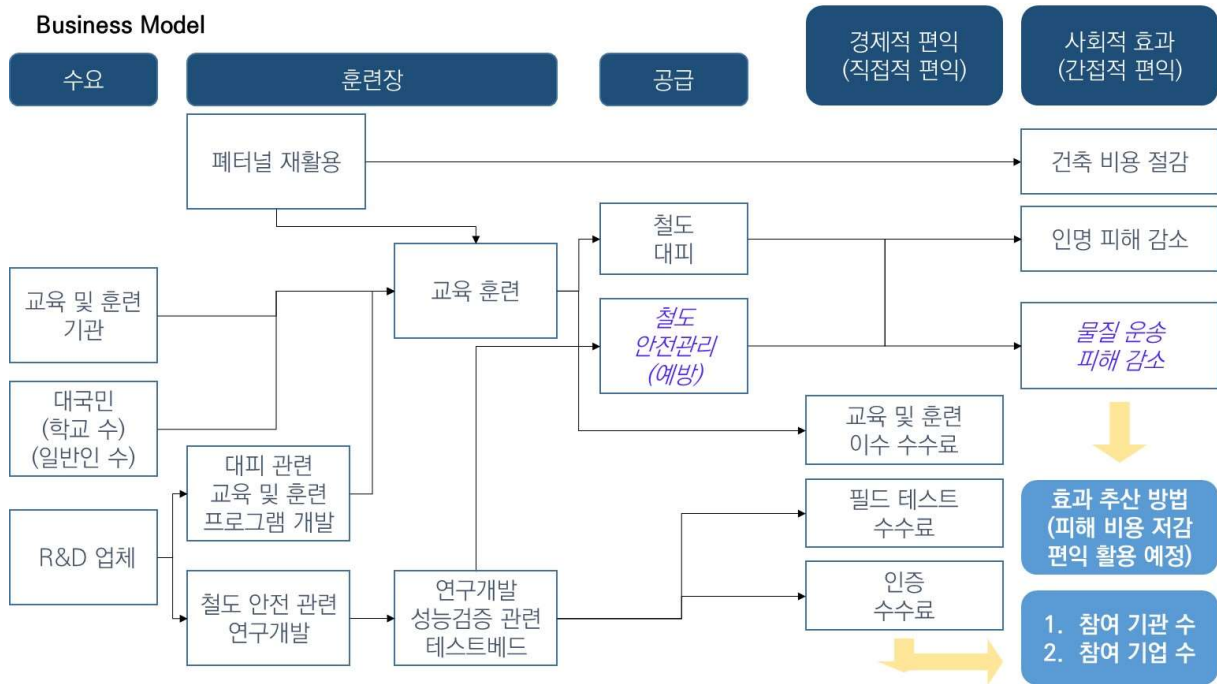


그림 3-8 대심도 장대터널 재난 대응 기술 검증 시험장 개발과 관련된 편익 분석 모델

□ 각종 편익항목들이 식별되고 나면, 항목별로 단위당 기회비용 혹은 가치를 계산하여 편익을 추정하게 됨. 예를 들어 편익항목 i의 단위당 가치가 P_i 라고 하고, 시점 t에서의 수요 추정치가 D_{it} 라고 한다면, 편익 추정치 B_{it} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{it} = P_i \times D_{it}$$

$$B_t = \sum B_{it}$$

P_i : 편익항목 i의 단위당 가치
 D_{it} : 시점 t에서 편익항목 i의 수요 추정치
 B_{it} : 시점 t에서 편익항목 i의 편익 추정치
 B_t : B_t 편익 추정치의 합계

□ 교육 및 훈련 프로그램 활용 수익창출 편익

- 교육 및 훈련비는 대심도 장대 터널에서의 지진, 화재 발생과 관련된 일반/전문 과정에 대한 교육 분야와 훈련, 체험을 위해 훈련 대상자들이 각 목적에 맞는 프로그램 선택으로 지불하는 비용을 말한다.
- 유사 분야의 구축 및 교육훈련 시스템의 정착 사례³⁾를 기반으로, 대심도 장대터널에서의 피교육대상별 예상되는 교육의 개요는 다음과 같다.

표 3-20 피교육대상별 교육의 형태 및 목적

대상	교육형태	세부 대상	목적
공공기관	의무교육	소방/경찰분야	실제 재난상황 사례를 통한 올바른 대응방법 숙지, 시설물 구조 및 특징 이해를 통한 효율적 운영 도모, 재난 발생 시 현장 상황 체험을 통한 대응능력 향상
		터널 운영자	
일반인	시즌교육	초등학생에서 성인까지의 일반 국민	재난상황 초기 소방대 등 도착전 터널 이용객 스스로 상황을 수습하거나, 대피요령에 대해 습득하고 최악상황을 실제 터널에서 경험하여 자기보호 능력 향상
R&D기업	비정기적 교육	터널환경에서의 R&D 실증이 필요한 기업	모사 환경 인프라 시설 활용을 위한 가이드제공 및 기본 철도 시설에 대한 이해도 제고
국외기관	비정기적교육	터널 재난대응 선도사례, 한국형 사례 파악이 필요한 기관	대심도 터널 재난 대응과 관련된 사례 파악 대심도 터널 재난 상황에 대비하기 위한 훈련 프로그램 및 시나리오 벤치마킹 파악

표 3-21 피교육대상별 예상 교육 내용

대상	내용
소방/경찰분야	대심도 터널의 전반적 구조, 방재시설 종류 및 특징, 터널 재난사고 특징과 대응방법, 각종 시설 작동 시연 및 체험 등
터널 운영자	대심도 터널 재난 위험성 및 대응사례, 방재시설 구조 및 특징, 환기 제연설비 설계 및 운영방법, 터널 조명시설 이해, 각종 체험 및 실습
일반인	터널 재난시 행동요령, 소화기(전) 작동체험, 재난상황속 대피체험, 차량 화재 및 정전상황 체험, 차량 탈출, 시나리오 기반 AR/VR 훈련프로그램 체험 등
R&D기업	대심도 터널의 전반적 구조, 각종 시설 작동 시연 및 체험, 기타 모사 인프라 이용 주의사항 및 지원 가능 범위

3) 한국도로공사 터널 방재종합시험장

- 유사 분야의 구축 및 교육훈련 시스템의 정착 사례를 기반으로, 대심도 장대터널에서의 피교육대상별 확보 가능한 수익은 인건비 항목으로, 총 연 4,500만 원의 수익이 발생할 것으로 추정됨

표 3-22 대심도 장대터널 재난 대응 기술 검증 시험장 연간 교육 및 훈련 운영비용 예시

구분		인건비	합계	비고
교육	교육동	9,000,000	9,000,000	각 유형별 연간 15회, 피교육자 30인 기준
	터널동	9,000,000	9,000,000	
훈련	교육동	9,000,000	9,000,000	
	터널동	9,000,000	9,000,000	
총계			36,000,000	

□ 모사설비, 훈련시설 및 장비 사용 수익창출 편익

○ 필드 테스트 수수료

- 재난 대응 기술 검증 시험장의 모사설비, 훈련시설 및 장비 사용을 통한 시험 분야는 일반적으로 장비손료, 공공요금, 인건비, 소모 계측비, 일반 관리비 등으로 구성됨. 기본 이용료의 형태로 산정한 필드테스트의 수수료는 다음과 같다.

표 3-23 재난 대응 기술 검증 시험장 필드 테스트 예상 수수료

구분	시험항목	장비손료 (원)	공공요금 (원)	인건비 (원)	소모 계측비(원)	일반 관리비(5%)	이용료 (원)
환기제연설비 분야	제트팬	250,000	35,000	600,000	26,000	45,500	961,500
	제연 보조설비	250,000	22,000	600,000	26,000	44,900	947,900
피난대피시설	피난 유도등	100,000	4,100	600,000	26,000	36,500	766,600
	차단문	100,000	4,100	600,000	26,000	36,500	766,600
	영상유고	100,000	4,100	600,000	26,000	36,500	766,600
	라디오 재방송설비	100,000	4,100	600,000	26,000	36,500	766,600
수계소화설비	소화전	150,000	19,000	600,000	26,000	39,700	834,700
	물분무	150,000	19,000	600,000	26,000	39,700	834,700
비용 소계		1,200,000	111,400	4,800,000	208,000	315,800	6,345,200
총비용 합계		12,980,400					
예상 수수료 수익		총비용 합계 * (1+10%) = 14,278,440					

※ 주 : 수수료 수익은 총비용의 10% 이상으로 계상

- 상기 '재난 대응 기술 검증 시험장 필드 테스트 예상 수수료'를 기반으로, 대심도 장대터널에서의 피교육대상별 확보 가능한 수익은 상기 비용들의 총계 이상이어야 하므로, 원가의 10%를 수익으로 산정한다고 했을 때, 최소 연 1,427.8만 원의 수익이 발생할 것으로 추정됨.

○ 인증 수수료

- 한국철도기술연구원은 ISO/IEC 17065 요구사항을 만족하는 국제공인 제품인증기관으로 2016년 KAS 공인 제품인증기관으로 인정받아 제품인증업무를 수행하고 있으며, 한국표준산업분류체계 기준 C31201(기관차 및 기타 철도차량 제조업), C31202(철도차량 관련 부품 및 관련 장치물 제조업체) 분야에 대한 인증을 수행하고 있다.

C 제조업	대분류		중분류		소분류		세부분류	
	31	기타 운송장비 제조업	312	철도장비 제조업	3120	철도장비 제조업	31201	기관차 및 기타 철도차량 제조업
							31202	철도차량 관련 부품 및 관련 장치물 제조업체

그림 3-9 한국철도기술연구원에서 수행 중인 인증범위(한국표준산업분류체계 기준)

- 인증 수수료는 철도와 관련을 가지는 제품, 엔지니어링 산업진흥법 제31조 제2항 관련 ‘엔지니어링 사업대가의 기준’을 원칙으로 함
- 인증신청 수수료는 다음과 같은 산출식에 의거하여 비용이 산정됨

■ 인증신청 수수료 비용 산출식

$$\text{인증신청 수수료} = \text{기본수수료} + \text{인증심사비} + \text{제경비} + \text{출장여비}$$

기본수수료 = 건 당 100,000

인증심사비 = 기술등급별 노임단가 × 심사일수(서류 및 현장심사 포함)

제경비 = 인증심사비의 110%

출장여비 = 인증기관 여비기준 준용

- 연간 인증건수가 10건 씩으로 가정하였을 때 연간 수익은 다음과 같다.

$$\{100,000\text{원} + (266,614\text{원/일} \times 5\text{일}) + (266,614\text{원/일} \times 5\text{일} \times 1.1) + 500,000\text{원}\} / \text{건} \times 10\text{건} \\ = 33,994,470$$

- 그 외 교육, 훈련, 체험 등에 대한 별도의 인증서 발급 건과 관련하여, 통상적으로 적용되는 건 당 1,000원 수준으로 책정 시, 연간 2,700건 수준의 인증서 발급이 이루어질 것으로 예상되는 바, 이를 수익으로 환산 시 270만 원의 수익이 연간 발생할 것이므로, 연간 인증 신청 수수료(33,994,470원)와 인증서 발급 수수료(2,700,000원)을 합계하여 약 3,669만 원으로 추정됨

□ 비용저감 편익

○ 생산비용 저감 편익 (부지 확보 비용 저감 편익)

- 생산비용 저감 편익은 초기 훈련장 구축 과정에서 발생한 비용 절감 효과를 말함. 기획 보고서에 따르면, 생산 과정에서 발생 가능할 것으로 판단되는 비용 절감 항목은 초기 훈련장 부지 확보를 위한 폐선로 주변 토지구매와 관련된 비용으로, 초기 1회성 비용에 해당하며 관련 기관과의 협의를 통해 구축하는 것으로 파악된 바 있음. 해당 지역의 최근 거래 내역을 기준으로, 해당 비용을 산출하였을 때, 충청북도 옥천군 옥천읍 삼청리 인근의 거래가는 평 당 17만 원 수준으로, 유사 기능을 가지는 안전체험관을 기준으로 대체적으로 5,000m² 이하 수준임을 감안하였을 때 예상되는 토지매입 비용은 2억 5,700만 원으로 산정됨
- (※ 추가로 20년 간 해당 부지를 지속 확보한다고 가정했을 때, 얻을 수 있는 토지자산 보유 차익을 매년 추가함. [현재 토지매입 비용] - [최초 토지매입 비용] = 토지자산 보유 차익, 이때 현재 토지매입 비용은 최초 토지매입 비용에 물가상승률을 반영함.)

○ 생산비용 저감 편익 (필드테스트용 신규 간이 터널 건축비 저감 편익)

- 두 번째로 생산 가정에서 발생 가능할 것으로 판단되는 비용 절감 항목은 필드테스트용 신규 간이 터널 건축과 관련된 비용으로, 조달청에서 발간한 ‘공사유형별 공사비분석’ 보고서 내 도로·터널 구축 비용을 참고함. 기획보고서에 따르면, 통상 필드테스트용 터널의 길이는 600M이므로, 기관과의 협의를 통해 구축하는 것으로 가정함

구분	공사기간(일)	M당 공사비(원)	연간 M당 공사비(원)
도로·터널 1	2,920	10,766,362	-
도로·터널 2	1,800	11,898,069	-
도로·터널 3	1,825	8,282,515	-
평균	2,182(약 6년)	10,315,648	1,031,564,800

※ 주 1 : 터널연장(2차선) 기준

※ 참고 1 : 조달청, 공사유형별 공사비분석 참고

■ 필드테스트용 신규 간이 터널 건축비 저감 편익 산출식 연간 신규 간이 터널 건축비 저감 편익 = {M당 공사비 × 필드테스트용 터널의 길이(M)} ÷ 공사기간(연도)

- 상기 산출식을 통해 연간 신규 간이 터널 건축비 저감 편익은 6년동안 연간 약 10억 3,156만 원으로 추정된다.

○ 피해비용 저감 편익

- 피해비용 저감 편익은 훈련장에서의 교육 훈련 프로그램을 통해, 다양한 이해관계자들이 재난상황 시 보다 발빠른 대응으로 인해 피해가 최소화됨으로써 얻을 수 있는 비용적 이득을 말함. 이 때 발생 가능한 피해 항목으로는 인적, 물적인 부분으로 나누어 볼 수 있으나, 세부 R&D 기획에 의한 개발 후 효과가 아직 미정인 상태이므로 일반적으로 활용되는 피해비용 저감 편익 산출식은 적용 불가능함. 따라서, 훈련 시스템을 통한 기존 피해비용의 저감 비율을 설정하여 편익을 산정하는 것이 합당
- 본 분석에 활용한 산출식은 다음과 같다.

■ 인적/물적 피해비용 저감 편익 산출식

$$\text{인적/물적 피해비용 저감 편익} = (\text{연간 물적 손실비용} + \text{인적 손실비용}) \times \text{훈련에 의한 예상 사고피해 저감율}$$

- 철도운행 손실비용 저감 편익도 이와 마찬가지로, 훈련 시스템을 통해 기존 사고로 인한 철도 미운행으로 발생하는 운송 수익비용을 저감하는 형태로 산출 가능

■ 철도운행 손실비용 저감 편익 산출식

$$\text{철도이용자 시간손실비용 저감 편익} = \text{연간 관련 차량 사고 건 수} \times \text{GTX 예상요금} \times \text{단일 노선 일 이용객 수} \times \text{정상운행 소요일수} \times \text{훈련에 의한 예상 사고피해 저감율}$$

- 상기 산출식에 따른 피해비용 저감 편익은 다음과 같이 산출 가능

항목	산출내역
인적/물적 피해비용 저감	$(26,778,694\text{원} + 792,340,800\text{원}) \times 10\% = 81,911,949\text{원}$
운행손실 피해비용 저감	$2\text{건} \times 2,719\text{원} \times 2\text{회} \times 60\text{만 명} \times 3\text{일} \times 10\% = 1,957,680,000\text{원}$
합계	2,039,591,949원

- 상기 편익 항목들이 총 사업기간 동안 적용되는 연차범위는 다음과 같다. 생산비용저감에 대한 편익은 2022년부터 2026년까지 적용될 예정이며, 수익창출편익 중 교육 및 훈련프로그램에 대한 부분과 모사설비훈련시설 및 장비에 대한 편익은 2027년부터 2041년까지 적용될 예정임. 한편, 피해비용저감에 대한 편익은 2032년부터 2041년까지 기간으로 적용함

표 3-24 사업기간 내 편익비용 항목별 적용 기간

(단위 : 억 원)

			2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	합계		
편 익	수익 창출 편익	교육 및 훈련 프로그램		4.44	4.48	4.53	4.57	4.61	4.66	4.71	4.75	4.80	4.85	4.90	4.95	5.00	5.05	5.11	5.16	5.21	5.27	5.32	5.38	97.76	
		모사 설비, 훈련 시설 및 장비	필드 테스트 수수료		0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	3.35
		인증 수수료		0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44	0.45	0.45	0.46	0.47	0.47	0.48	8.49	
	비용 저감 편익	부지 확보 비용 절감		2.57																				2.57	
		부지 가격 상승 비용 절감			0.04	0.08	0.12	0.17	0.21	0.26	0.31	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.66	0.71	0.76	0.82	0.88	0.93	8.91	
		필드 테스트용 신규 간이 터널 건축비 절감		10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3															61.89	
		인적/물적피해비용 절감		0.81	0.83	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.93	0.94	0.96	0.98	0.99	1.01	1.03	1.04	1.06	1.08	1.09	1.11	19.22	
		철도 수송운영 피해 저감		19.5	19.8	20.1	20.4	20.7	21.0	21.4	21.7	22.0	22.3	22.7	23.0	23.4	23.7	24.1	24.4	24.8	25.2	25.5	25.9	452.89	
소계			38.23	36.06	36.47	36.88	37.30	37.72	27.84	28.28	28.72	29.18	29.64	30.10	30.57	31.06	31.54	32.04	32.54	33.05	33.57	34.09	654.88		
현재가치(PV)			36.81	33.22	32.15	31.11	30.11	29.15	20.57	20.01	19.45	18.90	18.37	17.86	17.36	16.87	16.40	15.94	15.49	15.05	14.63	14.22	433.76		

iii. 경제타당성 분석 결과

iii-1. 경제적 타당성 분석 결과 개요

- 편익/비용 비율, 순현재가치, 내부수익률에 의한 타당성 유무 판단이 항상 동일한 것은 아님. 우선 순현재가치는 순편익의 흐름을 사업 개시년도의 가치로 평가하였지만 사업규모에 대하여 표준화(normalize)되어 있지 않기 때문에 사업간 비교에는 적당하지 않다는 단점이 있음

iii-1. 3.2 경제적 타당성 분석 결과

- 본 프로젝트의 경제적 타당성을 검증하기 위한 NPV의 값은 '94.1억 원'로 나타나, 0보다 높음. 다만, 이 수치는 전반적인 편익 항목들의 값의 기준을 설정하는데 있어, 유사 분야를 근거로 제시한 시나리오이므로, 타당성이 있으리라 예측됨
- 본 프로젝트의 경제적 타당성을 검증하기 위한 IRR의 값은 '4.117%'로 나타나, 타당성이 있음을 의미하는 값인 할인율 '4.5%'보다 조금 낮으나, 실질이자율보다는 높고, 공공성을 띄고 있다는 점에서 감안할 수 있는 영역으로 확인됨
- 본 프로젝트의 경제적 타당성을 검증하기 위한 BCR의 값은 '1.35'로 나타나, 타당성이 있음을 의미하는 1보다 높음
- 위와 같이 산출된 각 지표의 값을 토대로 최종적으로 본 프로젝트에 대한 타당성을 판단한 요약 결과는 다음과 같음

표 3-25 경제적 타당성 분석 결과 요약

평가 방법	산출 값	판단 기준	분석 결과
NPV(순현재가치)	94.1억 원	> 0	경제적으로 타당함
IRR(내부수익률)	4.117%	< 4.5%	실질이자율, 공공성 감안
BCR(비용편익분석)	1.35	> 1	경제적으로 타당함

□ 민감도 분석 결과

- 할인율 변동에 따른 민감도 분석 결과 타당성 지표인 NPV, BCR의 값은 다음과 같이 산출됨

표 3-26 할인율 변동을 반영한 민감도 분석 결과

할인율	NPV(억 원)	BCR
2.5%	168.6억 원	1.57
3.5%	128.1억 원	1.46
4.5%(기준점)	94.1억 원	1.35
5.5%	65.7억 원	1.26
6.5%	45.8억 원	1.17

- 비용과 편익의 변동에 따른 민감도 분석 결과 타당성 지표인 NPV, BCR, IRR의 값은 다음과 같이 산출됨

표 3-27 편익과 비용의 변동을 반영한 민감도 분석 결과

변수		NPV(억 원)	IRR	BCR
비용 변화 없음	편익 변화 없음	94.1억 원	4.117%	1.35
비용 증가(10%)	편익 변화 없음	67.4억 원	2.777	1.23
비용 증가(20%)	편익 변화 없음	40.7억 원	1.588	1.13
비용 감소(10%)	편익 변화 없음	120.9억 원	5.647	1.50
비용 감소(20%)	편익 변화 없음	147.6억 원	7.428	1.69
비용 변화 없음	편익 증가(10%)	130.3억 원	5.499	1.49
비용 변화 없음	편익 증가(20%)	166.4억 원	6.802	1.62
비용 변화 없음	편익 감소(10%)	58.0억 원	2.639	1.21
비용 변화 없음	편익 감소(20%)	21.8억 원	1.041	1.08
비용 증가(10%)	편익 감소(10%)	31.3억 원	1.341	1.11
비용 증가(20%)	편익 감소(20%)	-31.5억 원	-1.342	0.90
비용 감소(10%)	편익 증가(10%)	157.0억 원	7.082	1.65
비용 감소(20%)	편익 증가(20%)	219.9억 원	10.350	2.03

(2) 정량적 연구개발성과

< 정량적 연구개발성과표(예시) >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명			연도	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾		목표(단계별)					
		실적(누적)					
		목표(단계별)					
		실적(누적)					
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾		목표(단계별)					
		실적(누적)					
		목표(단계별)					
		실적(누적)					
계							

- * 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신물질 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.
- * 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 설계 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

< 연구개발성과 성능지표(예시) >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	
1								
2								

- * 1) 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.
- * 2) 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

(3) 세부 정량적 연구개발성과

(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
-	-	-								

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명

☐ 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

☐ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		

☐ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

☐ 신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

☐ 표준화

○ 국내 표준

번호	인증구분 ¹	인증여부 ²	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³	제안/인증일자

- * 1」 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2」 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3」 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제 표준

번호	표준화단계구분 ¹	표준명	표준기구명 ²	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1」 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2」 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3」 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

☐ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

- * 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

☐ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

☐ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹	사업화 형태 ²	지역 ³	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

- * 1」 기술이전 또는 자기실시
- * 2」 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3」 국내 또는 국외

☐ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
합계					

☐ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수출				

☐ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			yyyy년	yyyy년	
합계					

☐ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

☐ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

☐ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

☐ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

☐ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

☐ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

☐ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

☐ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

- 해당 없음.

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

- 해당 없음.

<참고 1> 연구성과 실적 증빙자료 예시

성과유형	첨부자료 예시
연구논문	논문 사본(저자, 초록, 사사표기)을 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가)
지식재산권	산업재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)
제품개발(시제품)	제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료
기술이전	기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등
사업화 (상품출시, 공정개발)	사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등
품목허가	미국 식품의약국(FDA) / 식품의약품안전처(MFDS) 허가서
임상시험실시	임상시험계획(IND) 승인서

<참고 2> 국가연구개발혁신법 시행령 제33조제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

구분	대상	등록 및 기탁 범위
등록	논문	국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)
	특허	국내외에 출원 또는 등록된 특허정보
	보고서원문	연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문
	연구시설·장비	국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상 (부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동활용이 가능한 모든 연구시설·장비
	기술요약정보	연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보
	생명자원 중 생명정보	서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보
	소프트웨어	창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보
기탁	표준	「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보[소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함한다]
	생명자원 중 생물자원	세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원
	화합물	합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보
	신품종	생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도 (%)
○	○	○
○	○	○

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 해당 없음.

2) 자체 보완활동

- 해당 없음.

3) 연구개발 과정의 성실성

- 해당 없음.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

1) 성과활용 및 사업화 전략

(1) 기대효과

- ☐ 터널 및 지하공간 국토교통시설 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 활용을 통한 유관기관 종사자 및 공공대응력의 지하공간 특화 재난대응능력 향상 및 인명안전 제고 효과 달성.
- ☐ 대국민 재난안전교육 활용을 통한 자발적 시민안전의식 고취 및 실제 재난상황에서의 생존 능력 향상을 통한 인명피해 발생 억제.
- ☐ 대규모 특수 교육훈련시설 확보를 통한 국내외 재난대응 교육훈련 전문성 확보 및 사회안전 분야 국가경쟁력 확보.
- ☐ 국내외 우수 재난대응 교육훈련시설과의 연계를 통한 공공대응력 재난현장 대응능력 향상 및 전문성 제고 및 국가 재난대응 역량 강화.

(2) 성과활용 및 확산 계획

- ☐ 연구결과를 바탕으로 국토교통 진흥원 본 과제의 RFP 도출.
- ☐ 터널 및 지하공간 국토교통시설(철도 및 도로) 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 활용을 통한 유관기관 종사자 및 공공대응력의 지하공간 특화 재난대응능력 향상 및 인명안전 제고 효과 달성.
- ☐ 대국민 재난안전교육 활용을 통한 자발적 시민안전의식 고취 및 실제 재난상황에서의 생존 능력 향상을 통한 인명피해 발생 억제.
- ☐ 대규모 특수 교육훈련시설 확보를 통한 국내외 재난대응 교육훈련 전문성 확보 및 사회안전 분야 국가경쟁력 확보.
- ☐ 국내외 우수 재난대응 교육훈련시설과의 연계를 통한 공공대응력 재난현장 대응능력 향상 및 전문성 제고 및 국가 재난대응 역량 강화.
- ☐ 지하공간 특화 교육훈련 인프라 확보를 통한 국제적 재난대응 전문교육 특화 및 국제교류 프로그램 활성화 등을 통한 국가위상 제고.
- ☐ 타 연구개발 성과품의 지하공간 재난대응 성능확인 및 적용 가능성 확인 실증실험 테스트 베드 활용 가능.
- ☐ 지속적인 재난대응 연구개발 베이스 활용을 통한 신규 연구인력 창출 및 관련 산업진흥 도모.

- 국토교통시설물 안전기준 실증 및 재난대응성능 제고를 위한 복합활용 가능.
- 교관양성 및 교육프로그램 개설, 교육센터 운영 등을 통한 신규 고용창출 효과 및 은퇴자 등 재난대응 관련 유경험자 교관활용을 통한 사회안전 노하우 전수 및 고용창출 효과 창출.
- 터널 및 지하공간 국토교통시설 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 활용을 통한 유관기관 종사자 및 공공대응력의 지하공간 특화 재난대응능력 향상 및 인명안전 제고 효과 달성.
- 대국민 재난안전교육 활용을 통한 자발적 시민안전의식 고취 및 실제 재난상황에서의 생존 능력 향상을 통한 인명피해 발생 억제.
- 대규모 특수 교육훈련시설 확보를 통한 국내외 재난대응 교육훈련 전문성 확보 및 사회안전 분야 국가경쟁력 확보.
- 국내외 우수 재난대응 교육훈련시설과의 연계를 통한 공공대응력 재난현장 대응능력 향상 및 전문성 제고 및 국가 재난대응 역량 강화.

6. 연구개발성과의 관리 및 활용계획

1) 연구성과 총괄

해당 기관명	핵심연구성과	부출연금 (백만원)	민간	실용화 대상 여부*
주관 :	1-가.			대상
	1-나.			대상
공동 :	2-가.			비대상
합 계				

* 실용화 대상여부 :

- 대상 : 기술실시 또는 실용화 대상으로 분류된 연구개발기술로 참여기업 등과 기술실시계약 체결 또는 직접 실시(연구성과 소유기관의 사업화로 인한 매출 발생) 대상이 되는 기술
· 「국가연구개발혁신법」 제18조(기술료의 징수 및 사용) 참조
- 비대상 : 기술실시 또는 실용화 대상으로 분류되지 않은 연구개발기술, 기초연구단계의 연구개발 결과물 등 과제 특성에 따라 기술실시계약이 불필요하다고 전문기관의 장이 인정하는 경우 등

구 분	1-가
성과명	
성과개요	
관련 키워드	
기술 분류	(국가과학기술표준분류체계를 참조하여 세분류를 기재하십시오.)
성과 유형*	☐ 공법/기법 ☐ 장비/장치 ☐ 재료/자재 ☐ SW ☐ 시스템 ☐ 기준/지침 ☐ 기타
기술수명주기**	☐ 기술도입기 ☐ 기술성장기 ☐ 기술성숙기 ☐ 기술쇠퇴기

* 귀 기관의 R&D를 통해 창출된 주요 성과 정보를 작성해 주십시오.

* 핵심연구성과가 2개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(핵심연구성과 수만큼 기재)

* 성과유형 : 참고 3 참조하여 선택

* 기술수명주기 : 참고 4 참조하여 선택

<참고 3. 결과물 유형 >

번호	결과물 유형	내용	예시
1	공법/기법	기존 장비와 자재 등을 활용하되, 새로운 절차 및 방법을 제시	시공방법, 설계기법, 분석/평가기법
2	장비/장치	새로운 기계적 구조나 작동원리를 활용하여 기존 장치와 설비를 대체	기계, 로봇, 부품, 측정장치
3	재료/자재	새로운 원료, 재료를 활용하여 기존의 것을 대체	FRP, 강화 콘크리트, 철강재료
4	S/W	새로운 Data Base, 해석 및 설계 방법을 적용한 컴퓨터 프로그램	설계 프로그램, 사업관리시스템, 데이터베이스
5	시스템	다양한 장치와 S/W가 결합하여 일체로 활용되는 유형	고속철도, 경량전철, 공조시스템
6	기준/지침(안)	각종 법령, 건설공사기준, 지침 등	건설교통 법령, 설계기준, 시공기준 안전기준, 표준
7	기 타	1~6에 해당되지 않는 유형의 성과	인프라구축, 정책기획 등

<참고 4. 기술수명주기 >

번호	기술수명주기	내용
1	기술도입기	기술의 잠재적 가능성만 있는 단계
2	기술성장기	기술개발국 및 일부 선진국에서 활용되고 있는 단계
3	기술성숙기	선진국 사이에서 활발한 기술이전이 일어나며, 기술의 표준화가 되어가는 단계
4	기술쇠퇴기	선진국에서 개도국으로 기술이전이 활발하게 일어나고, 선진국에서는 기술의 가치가 저하되나, 개도국에서는 아직 시장의 가치가 높은 기술

2) 연구개발성과의 향후 5년간(활용보고서 제출기간) 성과활용 목표·계획

구분	1-가	성과명				
1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.						
구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	_____단계					
종료 후 1년	_____단계					
종료 후 2년	_____단계					
종료 후 3년	_____단계					
종료 후 4년	_____단계					
종료 후 5년	_____단계					
* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류 * 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조 ** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조						
2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? ()						
1) 아니오, 필요하지 않습니다.						
2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)						
<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>						
구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용				

* 핵심연구성과가 1개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(핵심연구성과 수만큼 기재)

<참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계 >

단 계	단계명 (R&D 종료시점)	상세 현황	단 계 정 의	주요 활동내용 예시
I	기술 개발 단계	-	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계	예) 연구개발 목표 달성
II	기술 검증·보완 단계	준비 / 진행중 / 완료	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계	예) 실험실에서 Proto-Type을 제작하여 기술호환성을 보완한 후 OO기업과 함께 현장적용 진행
III	실용화 추진 단계 (마케팅)	준비 / 진행중 / 완료	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계	예) OO기업에서 개발기술을 활용·적용한 시스템을 서울시가 발주한 OO공사 사업에 입찰·제안
IV	시장수용 단계	매출발생 초기 / 매출발생 지속	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계	예) 오산시, 기흥시에서 발주한 사업에 낙찰되어 개발시스템을 구축

<참고 6. 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용>

단 계	단계명	주요 활동내용(예정, 기획 등)			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
I	기술 개발 단계	-	-	R&D종료시점	R&D 기간 내 완료
II	기술 검증·보완 단계	AA기업	현장시험/2회	~종료후 1년	AAA 현장에 시험적용 BBB 현장에 시험적용
III	실용화 추진 단계	BB기업	기술실시계약/1회 사업화·제품화/1개	~종료후 3년	연구개발결과 기술이전 도로공사 사업 입찰 추진
IV	시장 수용 단계	AA기업	현장적용 3회	~종료후 4년	A-발주공사(OOO현장) B-발주공사(OOO현장)

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명, 연구성과 실시기관

** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1) 세부과제별 과제제안요구서(RFP)	별첨 1. 연차별 예상연구개발비 산출근거

1) 세부과제별 과제제안 요구서(RFP)

연구과제명	철도 장대 터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응 기술 개발
1. 연구개발 목표	철도 장대 터널의 고위험 재난에 대한 이용자 대응 기술 개발 ☐ 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발 (핵심기술1) ☐ 철도장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 기술 개발 (핵심기술2) ☐ 재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발 (핵심기술 3)
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 □ 복합재난 대응능력 향상을 위한 대응 기술 개발 및 이를 검증하기 위한 시험 시설 인프라구축, 전문교육훈련 프로그램 개발을 위한 적극적 연구개발 노력이 요구 □ 대구 지하철 사고(2003)를 계기로 대구시민안전테마파크 등에 지하철 안전 체험 훈련시설을 구성하여 운영 중이나 재난환경 모사 및 교육훈련 효과달성에 한계를 지님 □ 터널 국토시설물 관련 지진 및 화재 등 복합 재난대응과 관련된 기술개발, 전문 교육훈련 인프라 및 프로그램 개발이 전무한 실정 □ 지상시설과 달리 재난발생의 양상과 피해발생 메커니즘이 상이하며, 외부 공공대응력의 접근 및 구조활동 투입 등의 제약이 발생할 수 있는 특수한 경으로 전문적인 대응능력의 확보 및 역량강화가 매우 절실함 □ 재난대응을 위한 전문교육훈련 인프라 및 프로그램이 전무한 실정으로 이에 대한 적극적 연구개발 투자 및 시설확보가 요구되는 상황 □ 기술동향 [국내 동향] □ 국내 재난 대응 기술 검증 시험 인프라 1) 한국건설기술연구원 터널 실험동 - 실규모 화재를 실험할 수 있는 터널 실험동 - 터널 내 자동화재탐지설비, 소화기 및 내화성능평가 등의 실규모 화재실험을 수행할 수 있는 실험공간 2) 한국도로공사 구)진주터널

- 내부에는 시설 현황판, 전시관, 제트팬, 각종 계측기, 소화전 및 터널 조명설비에 대한 Test Bed가 구비
- 터널 관련 종사자들의 역량 강화를 위한 현장 교육 및 체험장과 터널 이용객 대상 소방시설 견학 및 전시관으로 활용 중

3) 경기소방학교

- 소방인력의 기초 업무수행 능력을 비롯한 전문 현장대응 능력 향상을 위하여 실화재 기반 교육훈련 시설을 운영

4) 지방자치단체 안전체험관

- 광나루 안전체험관, 보라매 안전체험관, 부산광역시 안전체험관, 충청남도 안전체험관, 365세이프 타운, 대구 시민안전테마파크, 전북 119안전체험관 등

5) 기타 지하공간 시험시설

- 한국지질자원연구원 LNG 지하저장 Pilot 플랜트, 현대건설 연구개발본부 터널실험실 등

[국외 동향]

□ 국외 재난 대응 기술 검증 시험 인프라

1) V-S-H(VersuchsStollen Hagerbach)

- 스위스 Hagerbach에 위치하며 초기단계부터 터널 실물실험을 목적으로 설계됨에 따라 다양한 교육훈련이 가능하며 전문성과 방향성이 명확

2) Tunnel Safety Testing S.A.

- 스페인 Asturias에 위치하며 다양한 환기방식, 천장 높이 변동가능, 피난 연락갱 및 실험에 대한 편의성 등이 고려되어 전문적인 분석하에 구축된 방재시험시설

3) 스위스 국제소방학교(IFA)

- 철도 및 도로 터널기반의 소방대응 전문 교육훈련시설로 세계 80개국 소방관 및 안전관리자 등을 대상으로 교육훈련 서비스를 제공

3. 연구개발 내용

□ 철도 장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 진단 기술 개발

1) 철도 장대터널 재난발생 특성 규명 및 시나리오 기반 리스크 진단전략 수립

- 국내 철도장대터널 현황조사 및 유형별 분류를 통한 DB 구축
- 철도터널 재해 시나리오 수립을 위한 국내외 관련 연구사례 분석
- 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 발생 특성 규명
- 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 발생 기본 시나리오 수립
- 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 발생 시나리오 기반 리스크 진단 전략 수립

2) 철도 장대터널 지진 리스크 진단 기술 개발

- 지진재해 시나리오별 철도 장대터널 피해 유형 분류
- 지진재해시 철도장대터널 관련 지진취약도 함수 현황 분석 및 유형별 분류체계 수립

- 동적 원심모형실험 및 수치모델링 기반의 철도장대터널의 지진 취약도 함수 개선
- 터널벽체의 구조적 안정성, 노반 및 선로의 지반 변형 안정성, 주행 중 열차 탈선에 대한 안정성 등 지진재해시 철도장대터널의 유형별 피해 시나리오 도출
- 지진재해시 철도장대터널의 피해 유형별 리스크 진단 모델 개발 (인명피해 포함)

3) 철도 장대터널 화재특성 분석 기반 리스크 진단 기술 개발

- 국내외 철도터널 및 지하공간 화재 발생현황 및 피해사례 조사·분석
- 철도 장대터널 화재특성에 따른 위험성 조사·분석
- 철도 장대터널 화재 영향요인 분석을 위한 방법론 도출
- 터널 시설물, 차량의 재료 특성 고려한 화재 실험 데이터 DB 구축
- 열분석 및 실물화재실험을 통한 화재시 시뮬레이션 연구
- 철도 장대터널 실물 화재 훈련을 위한 표준 화재모델 연구
- 철도 장대터널 화재특성에 따른 연기거동 및 위험 분석
- 재난대응 기술 검증 시험장 화재 모사설비를 활용한 시뮬레이션에 대한 실증
- 터널 화재 철도 장대터널의 피해 유형별 리스크 진단 모델 개발 (인명피해 포함)

4) 철도 장대터널 돌발침수 리스크 진단 기술 개발

- 국내 철도장대터널 현황조사 및 유형별 분류를 통한 DB 구축
- 침수재해 시나리오별 철도 장대터널 피해 유형 분류
- 침수재해 시나리오별 철도 터널 피해 평가 및 강우량 별 침수 피해 함수 개발
- 침수재해 시나리오별 지진 리스크 예측 및 평가 모델 개발
- 침수재해시 철도장대터널의 피해 유형별 리스크 진단 모델 개발 (인명피해 포함)

□ 철도 장대터널 교통시설물 고위험 재난 리스크 대응 기술 개발

1) 철도 장대터널 재난특성에 따른 시나리오 기반 대응전략 수립

- 철도터널 재해 발생 시 시나리오 기반 대응전략 수립을 위한 기본체계 작성
- 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 재해 시나리오 기반 효율적 복구를 위한 대응전략 수립
- 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 재해 시나리오 기반 인명피난 시뮬레이션 전략 수립
- 주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 최적 대응 시나리오 기본설계
- 지난 발생에 따른 철도장대터널 이용자별 행동 유형 분석

- 철도 장대터널 및 역사용 통합 피난 모니터링 시스템 개발
 - 2) 철도 장대터널 지진 리스크 대응기술 개발
 - 지진재해시 철도장대터널 지진 재난 대응 기술 현황 분석
 - 터널 벽체의 구조적 피해, 노반 및 선로의 지반 변형, 주행 중 열차 탈선 등 지진재해시 철도장대터널 피해유형 및 피해수준에 따른 대응기술 유형화
 - 피난 및 구난 통로 확보 등을 위한 철도장대터널 피해유형 및 피해수준에 따른 긴급 복구 시나리오 도출
 - 피난 및 구난을 위한 철도장대터널의 피해 유형 및 피해 수준에 따른 이용자별(종사자, 구조자, 승객 등) 최적 대응 시나리오 도출 (지진)
 - 지진재해 시나리오별 효율적 대응을 위한 최적 대응 알고리즘 개발
 - 3) 철도 장대터널 및 지하공간 화재재난 대응 기술 개발
 - 국내외 사례 분석 및 재난대응 메뉴얼 검토를 통한 화재재해시 철도장대터널 지진 재난 대응 기술 현황 분석
 - 철도 장대터널의 피난 시스템 기반 피난 시나리오 조사·분석
 - 철도 장대터널 화재에서 발생하는 연기로 인한 이용자 피난 영향성 분석
 - 화재 시나리오별 연기발생 및 거동에 따른 피난 시뮬레이션 개발 및 피난 모델 개발
 - 철도 장대터널 및 대형 복합 시설용 피난 시스템 기반 피난 시나리오 개발
 - 피난 및 구난을 위한 철도 장대터널의 피해 유형 및 피해 수준에 따른 이용자별(종사자, 구조자, 승객 등) 최적 대응 시나리오 도출 (화재)
 - 화재재해 시나리오별 효율적 대응을 위한 최적 대응 알고리즘 개발
 - 4) 철도 장대터널 침수 리스크 대응 기술 개발
 - 침수재해 시나리오별 피해발생 수준 및 대응기술 유형화
 - 강우 재현 주기 별 터널 내 우수 유입 및 침수에 대한 안전성 검토 및 리스크 수준별 대응 모델 개발
 - 피난 및 구난을 위한 철도 장대터널의 피해 유형 및 피해 수준에 따른 이용자별(종사자, 구조자, 승객 등) 최적 대응 시나리오 도출 (침수)
 - 침수재해 시나리오별 효율적 대응을 위한 최적 대응 알고리즘 개발
- 재난대응 기술검증을 위한 인프라 구축 및 전문 교육훈련 프로그램 개발
- 1) 재난대응 기술검증 시험장 인프라 구축
 - 국내·외 재난대응 교육훈련기관 및 연구기관 인프라 구축 조사·분석
 - 터널 및 지하공간 교통시설물 특화 전문 교육훈련 인프라 구축을 위한 벤치마킹
 - 페터널 등 기존 철도시설물 연계·활용을 통한 경제성 확보방안 도출
 - 터널 재난대응·피난훈련의 실시예 요구되는 인프라 성능요구사항 도출
 - 재난대응·피난훈련 간 교관 및 피교육생 안전 확보방안 도출(양방향 피난이 가능한

- 구조 및 방화구획, 조명, 환기, 안전시설·설비 등의 배치·구성 포함)
 - 터널 및 지하공간 교통시설물 재난대응 기술검증 시험장 설계(계획 및 기본설계 / 실시 설계)
 - 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 구축을 위한 인허가·공사관리
 - 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 구축(대심도 터널 대표 복선단면 제공 및 지하공간
 - 교통시설물을 반영한 총연장 200m 이상의 터널 및 환기구, 승강장 확보)
 - 터널 및 지하공간 교통시설물에서의 다양한 재난상황을 반영할 수 있는 시설·장비
 - 의 구축(화재 열·연기, 지진 진동·탈선, 침수 등 상황별 재현성 확보 및 사전교육·
 - 디브리핑· VR 교육훈련 등이 가능한 교육장 및 지원시설 포함)
 - 재난대응 기술 검증 시험장 실증실험을 통한 교육훈련 활용성 검증
- 2) 재난대응 기술 검증 시험장 통합제어시스템 개발
- 재난대응 기술 검증 시험장 교육훈련 상황통제 및 각종 훈련·안전·환경 설비에 대한 원격
 - 제어가 가능한 통합제어시스템 개발
 - 재난대응 기술 검증 시험장 내부 통합제어실 구성(종합적 감시 및 제어가 가능한 서버, 대형 디스플레이 전광판 및 클라이언트 등 통합제어 상황실 구축 포함)
 - 재난대응 기술 검증 시험장 전 구역 CCTV 관제시스템 구축
 - 교육훈련간 비상상황 발생에 따른 긴급정지 기능 구성(통합제어실 및 현장 제어가
 - 동시에 가능한 구조 확보)
 - 철도운영기관·관리기관을 비롯한 경찰·소방·지자체·한전 등 다양한 유관기관 연계
 - 훈련이 가능한 통합제어시스템 연계성 확보
 - 재난발생에 따른 신호, 통신, 전력차단 등 철도시설물 재난관리 대응훈련이 가능한
 - 통합 제어시스템 구축
 - 시범 교육훈련 실시를 통한 통합제어시스템 실증
 - 재난대응 기술 검증 시험장 통합제어시스템 운영 매뉴얼 개발
- 3) 철도터널 재난대응·피난훈련 설비구축 연구
- 터널 및 지하공간 교통시설물 재난대응·피난훈련 설비 구축사례 조사·분석
 - 재난대응·피난훈련 설비 관련 국제기준 조사·분석
 - 최신 기술개발 사례 분석 및 벤치마킹 실시를 통한 최적 설비 선정·구축 계획 도출
 - 터널 및 지하공간 교통시설물 환경에서 철도차량 내·외부 재난상황 모사가 가능한
 - 교육훈련 설비의 개발·구축

- 폐열차 또는 유사모형(실제크기 또는 축소모형 적용) 등을 활용한 철도차량 내·외
 - 부에 Live Fire 장치 설치(총 5개소 이상, 관련 국제기준 준수 및 교육훈련간 외부
 - 주수에 의하여 화염이 꺼져 가스가 누출되는 것을 방지하는 구조를 포함하고 화염
 - 발생상황에 대한 상시 모니터링이 가능한 구조)
- 터널 및 지하공간 교통시설물에서의 다양한 재난발생에 따른 제배연 대응 훈련이 가
 - 능한 시스템 개발 및 구축(터널·환기구·정거장 등의 시설물 별 제배연 설비 구축을
 - 통한 재난대응 훈련이 가능하도록 구축)
- 비상상황 긴급 배연시스템 개발 및 구축(비상시 화재실 내부의 연기를 1분 내로 방
 - 출할 수 있는 배연설비 구축 및 내화성능 확보)
- 제배연 안전설비 및 Live Fire 발생장치에 대한 원격제어 시스템 개발(재난대응
 - 기술 검증 시험장 통합제어시스템 연동)
- 철도터널 및 지하공간 교통시설물 관련 대응인력(관리기관 및 유관기관 등)의
 - 전문 대응훈련이 가능한 교육훈련 설비 구성·구축

4) 철도터널 침수 및 지진훈련 설비구축 연구

- 지진/침수 재난 관련된 교통 시설물 재난 대응 설비 구축사례 분석
- 지진 발생시 대응 훈련을 위한 진동모사 장치(이용객 대상) 및 VR 장비(기관사 등 종사자 대상) 구축
- 지진 시 탈선 모델 기반 탈선 열차 시설 구축
- VR 기반 터널 내 우수 유입 및 침수 발생 상황 모사 장비 구축 (10m 정도 구간을 활용하여 냉방장치, 분무 장치, VR 장비 등을 활용하여 침수 상황 모사)
- 재난 발생 감지 이후 종사자 및 이용객 위치파악 수행 및 실내 측위 기술 기반 실시간 위치감지 시스템 구축
- 실시간 실내측위 위치 감지 시스템을 활용하여 이용자 별 대응 방안 실시간 송출 시스템 개발
- VR 훈련 시스템을 통해 기관사의 즉각 대응 훈련 수행 및 벽체 붕괴/열차 탈선 모사 환경에서 구난/대응 훈련 프로그램 개발
- 벽체 붕괴/열차 탈선 모사 환경에서 이용객의 피난 훈련 프로그램 개발
- 강우량에 따른 침수 리스크 분석 결과를 토대로 침수 차단막 설치 등 침수 방지 훈련 실시 및 침수 사고 발생 시 구난/대응 훈련 프로그램 개발

5) 철도터널 재난대응·피난훈련 프로그램 및 VR기반 교육훈련 시스템 개발

- 재난발생 시나리오에 따른 재난대응·피난훈련 시나리오 개발
- 재난대응·피난훈련 교육훈련 프로그램 개발 (운영기관/유관기관/일반국민 대상 교육훈련 프로그램 세분화)
- 대국민 피난훈련 효과성 제고를 위한 디지털트윈 기반 VR 교육훈련 시스템 개발
(실제 또는 가상의 터널 및 지하공간 시설물 등을 반영)
- 동시 훈련인원 5인 이상의 VR기반 교육훈련장 구축
- 재난대응·피난훈련 교육훈련 실시 매뉴얼 개발
- 통합 피난 대응 교육훈련 프로그램 실증을 통한 수정·보완 사항 반영 및 프로그램 개선

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - 연구개발기관 및 수요기관 간 정기적인 연구개발 공정회의를 실시하여 세부 과제간 협의사항을 확인·조정하고 현장 요구사항을 연구에 적극적으로 반영함으로써 연구의 지속성 및 목적지향성을 확보
 - 훈련 장비·설비 등의 실제화 추진
 - 1) 재난현장 모사 및 효과적 훈련을 위한 훈련 장비, 설비 등을 구축
 - 2) 지하철도 시설물 (총연장 75m 이상, 실제 피난훈련이 가능한 구조 등) 구축 및 승강장/대합실 등 축소모델 반영
 - 기존 연구가 진행 중인 과제들과의 연계 추진 및 데이터 연계/공유 등을 통해 시너지 확보
 - 1) 기존 연구들의 데이터 연계 및 공유를 통해 보완이 필요한 대응훈련 시스템 확보
 - 연구성과 홍보 및 기술 마케팅을 통해 기술확산 노력
- 추진체계
 - 산/학/연 협동을 통한 연구과제 추진 및 수요처와의 연구 공조
 - 1) 본 과제 도출이 가능하도록 국토부, 국토교통진흥원과의 적극적인 의견 교환 및 의견수렴을 진행
 - 2) 정부 (국토부) 및 철도 운영기관 (국가철도공단, 한국철도공사)과의 실무자 의견 수렴 진행
 - 재난대응기술 검증 인프라의 구축을 위한 열차 폐선 터널 부지 및 시설 확보를 위한 사전 협의 진행
 - 국가철도공단, 한국철도공사 등과의 협의를 통해 재난대응 기술검증 인프라 구축 방안 협의
 - 3) 한국건설기술연구원, 한양대학교 등 국내 유수의 연구기관 및 대학과의 연구 공조 합의
 - 4) 산/학/연 공동연구 참여를 통한 기관간 역할 분담 및 최적 역량 도출을 유도할 예정이며 원천기술 개발에 관한 사항은 연구원 및 학계에서 주도적으로 진행하며, 재난 대응시스템 및 재난시 대응훈련 프로그램 개발은 산업체를 참여시킬 계획임

	☐ 선진 재난 방재 훈련장인 스위스 소방학교 등과의 연구공조 1) 스위스 소방학교의 재난 대응훈련에 관한 교육 세미나 및 연구 공조 2) 사고 대응훈련과 같은 터널의 전문 특화 교육과정을 통해 교육 훈련 연구개발 공조
5. 최종성과물	☐ 주요 최종 성과물 ☐ 철도 장대터널 고위험 재난의 효율적 대응 솔루션 개발
6. 기대효과 및 파급효과	☐ 철도 장대 터널에서 발생가능한 다양한 재난상황에 대한 진단 및 대응기술 확보를 통하여 공공대응력의 재난현장 대응력 향상 및 국가 재난대응역량 강화 ☐ 국내외 우수 재난대응 실험·연구·교육훈련 기관과의 연계 및 벤치마킹을 통한 최첨단 복합 재난대응 인프라 구축 ☐ 타 연구개발 성과품의 철도 장대 터널 및 지하공간 재난대응 성능확인 및 적용성 평가 실증실험 테스트베드 활용 ☐ 국토교통시설물 안전기준 실증 및 재난대응성능 제고를 위한 복합활용 가능. ☐ 철도 운영·관리기관 및 유관기관 재난대응 합동훈련 인프라 구축 및 대국민 안전체험교육 훈련장 활용 ☐ 철도 종사자 직업안전 훈련 실시 및 자격 인증화를 통한 현장 안전업무 전문성 제고 ☐ 국제 교육훈련 프로그램 개설 등을 통한 국제교류협력 기회 확대 및 재난 안전 기술 선도국가 이미지 제고 ☐ 철도 터널 내 재난대응기술 개발 및 실증시험장 확보를 통한 국내외 방재 기술 전문성 확보 및 사회안전분야 국가경쟁력 확보. ☐ 철도 터널 및 지하공간 교통시설물 재난대응 모사설비, 제어시스템, ICT기반 교육훈련시스템 개발을 통한 유관 산업의 진흥 유도 ☐ 재난대응 기술 검증 시험장 인프라 활용을 통한 유관기관 종사자 및 공공대응력의 지하공간 특화 재난대응능력 향상 및 인명안전 제고 효과 달성. ☐ 대국민 재난대응 체험 교육훈련 실시 및 재난 안전의식 고취를 통한 사회적 안전수준의 도약 ☐ 지속적인 재난대응 연구개발 베이스 활용을 통한 신규 연구인력 창출 및 관련 산업진흥 도모 ☐ 재난 대응 기술 실증 시험/교육 인프라 운영을 통한 신규 고용 및 일자리 창출 효과 ☐ 철도 및 재난안전 분야 전문인력(교관, 연구자, 운영자, 관련 유관기관 안전리더 등) 양성을 통한 철도 안전분야 기술수준 도약 및 재교육을 통한 신규 일자리 창출(은퇴자 전문지식 활용, 업무변화에 따른 인원 재배치 등 다양한 솔루션을 통한 조직 HR구성 혁신에 기여)

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 5년
- 총 정부출연금 : 296.75 억원

□ 연차별 연구개발 내용

구분	연구 내용	소요 예산 (백만 원)
2023년 (1차년도)	철도터널 재해 시나리오 수립을 위한 국내외 관련 연구사례 분석	100
	주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 발생 특성 규명	300
	국내 철도장대터널 현황조사 및 유형별 분류를 통한 DB 구축	300
	지진재해 시나리오별 철도 장대터널 피해 유형 분류	300
	국내외 철도터널 및 지하공간 화재 발생현황과 화재특성의 위험성 조사·분석	300
	철도터널 화재 실험 데이터 DB 구축 및 화재 시뮬레이션 수행	300
	철도 장대터널 재난 유형별 대응 기술 현황조사 및 DB 구축	256
	철도터널 재난특성에 따른 시나리오 기반 대응전략 수립을 위한 기본체계 작성	88
	주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 재해 시나리오 기반 최적 복구를 위한 대응전략 수립	100
	주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 재해 시나리오 기반 인명 피난 시뮬레이션 전략 수립	100
	주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 최적 대응 알고리즘 기본설계	100
	국내·외 재난대응 교육훈련기관 및 연구기관 인프라 구축 조사·분석	30
	터널 및 지하공간 국토교통시설물 재난대응·피난 훈련 관련 현황 분석 및 벤치마킹 사항 도출	150
	재난대응 기술 검증 시험장 통합제어시스템 설계	150
	철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 설계 (1) (계획 및 기본설계)	166
	철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 구축 (1) (사전조사 및 가설공사)	150
	지진/침수 재난 관련된 교통 시설물 재난 대응 설비 구축사례 분석	50
	소 계	2,940
2024년 (2차년도)	주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 유형별 재해 시나리오 수립	200
	주요 고위험 재난(지진, 화재, 침수 등) 재해 시나리오 기반 리스크 진단전략 수립	200
	지진재해 시나리오별 철도 터널 피해 평가 및 지진취약도 함수 개선	200
	종합적 화재시나리오 기반의 시뮬레이션 분석 및 검증	200
	도터널 화재특성에 따른 연기거동 및 위험 분석 기반의 표준 화	100

	재/피난모델 연구	
	침수재해 시나리오별 철도 장대터널 피해 유형 분류	100
	침수재해 시나리오별 철도 터널 피해 평가 및 강우량 별 침수 피해 함수 개발	160
	지진재해 시나리오별 피해발생 수준 및 대응기술 유형화	600
	국내외 철도터널의 피난 모니터링 시스템 및 연기 제어 설비 조사·분석	300
	연기 발생 시나리오 및 화재 강도/가연물별 연기발생 시뮬레이션 분석	300
	침수재해 시나리오별 피해발생 수준 및 대응기술 유형화	540
	재난대응 기술시험장 통합제어시스템 기능요소 개발	600
	철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 설계 (2) (실시설계/인허가)	300
	철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 구축 (2) (준비공사/토목공사 등)	1,860
	철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 재난상황 모사설비 및 훈련설비·장비개발 (1) (요구특성별 장비 선정 / 설비·장비별 성능 비교평가 등)	700
	철도 장대 터널 재난대응 복합훈련 시나리오 및 교육훈련 프로그램 개발 (1) (재난대응기술검증·피난교육 시나리오 개발)	600
	철도 장대 터널 재난대응 복합훈련 시나리오 및 교육훈련 프로그램 개발 (2) (VR기반 교육훈련 시스템 설계)	340
	소 계	7,300
2025년 (3차년도)	지진재해 시나리오별 지진 리스크 진단 및 평가 모델 개발	600
	철도 장대터널 화재에서 발생하는 연기로 인한 이용객 피난 영향성 분석	300
	화재 시나리오별 연기발생 및 거동에 따른 피난 시뮬레이션 실시	300
	침수재해 시나리오별 지진 리스크 예측 및 평가 모델 개발	540
	지진재해 시나리오별 철도 터널의 지진 리스크 대응모델 개발 (1)	600
	대심도 철도터널 및 대형 복합 시설용 피난 시스템 기반 피난 시나리오 개발	300
	대심도 철도터널 및 대형 복합 시설용 피난 모니터링 시스템을 위한 성능 기준 및 모듈 개발	300
	강우 재현 주기 별 터널 내 우수 유입 및 침수에 대한 안전성 검토 및 리스크 수준별 대응 모델 개발 (1)	540
	터널 및 지하공간 피난 모니터링 시스템용 모듈 개발 및 성능 검증	200
	재난대응 기술 검증 시험장 통합제어시스템 개발	700
	철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 재난상황 모사설비 및 훈련설비·장비개발 (2) (설계 및 개발)	2,100
	철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 구축 (3) (건축/전기/기계/통신/소방 등)	3,000
	철도 장대 터널 재난대응 복합훈련 시나리오 및 교육훈련 프로그램 개발 (3) (VR기반 교육훈련 시스템 요소기술 개발)	610
	소 계	10,090
2026년 (4차년도)	철도 장대터널 위험도 진단 기술의 인프라 검증	230
	지진재해 시나리오별 철도 터널의 지진 리스크 대응모델 개발 (2)	200
	대심도 철도터널 및 대형 복합 시설용 피난 모니터링 시스템 개발 및 모듈 성능 테스트	170
	강우 재현 주기 별 터널 내 우수 유입 및 침수에 대한 안전성 검토	200

		토 및 리스크 수준별 대응 모델 개발 (2)	
		철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 통합제어시스템 개발 및 설치	700
		철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 재난상황 모사설비 및 훈련설비·장치개발 (3) (제작 및 설치)	2,700
		철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 구축 (4) (내부 설비 및 인테리어 / 외부 부대공사)	1620
		철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 시설 배치 및 교육훈련 지원 설비·장치 구축 (1)	380
		철도 장대 터널 재난대응 복합훈련 시나리오 및 교육훈련 프로그램 개발 (4) (VR기반 교육훈련 시스템 개발 및 설치)	400
		소 계	6,600
	2027년 (5차년도)	철도 장대터널 위험도 대응 기술의 인프라 검증	230
		지진재해 시나리오별 효율적 대응을 위한 최적 대응 알고리즘 개발	60
		대심도 철도터널 및 역사용 통합 피난 모니터링 시스템 제작 및 모듈 테스트	60
		침수재해 시나리오별 효율적 대응을 위한 최적 대응 알고리즘 개발	75
		철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 통합제어시스템 현장 실증	700
		철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 구축 (5) (교육훈련장 구성)	400
		철도 장대 터널 재난대응 기술 검증 시험장 시설 배치 및 교육훈련 지원 설비·장치 구축 (2)	650
		철도 장대 터널 재난대응 복합훈련 시나리오 및 교육훈련 프로그램 개발 (5) (VR기반 교육훈련 시스템 현장실증 및 보완)	350
		교육훈련 매뉴얼 및 훈련장 운영 매뉴얼 개발	220
		소 계	2,745
	총계		29,675

8. 기타	
-------	--

별첨 1. 연차별 예상연구개발비 산출근거

연구연차	연구주제	세부연구내용 및 산출근거	예상연구개발비 (백만원)
1차년도	1. 국내외 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난발생 사례 및 피해분석	1) 국내외 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재해 이력 및 재난 피해 데이터 분석 2) 시사점 및 복합재난대응훈련장 반영사항 도출	50
	2. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난특성 분석	1) 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 고유특성 분석 2) 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난발생 및 진행 메커니즘 분석 3) 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난특성 분석 및 대응방향 설정 (*국제 세미나 개최)	100
	3. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난발생 시나리오별 시뮬레이션 검증	1) 철도 터널 구조물 재난(지진/화재) 발생 시나리오 선정 - 지진 가속도 크기, 지반 조건, 철도 터널 및 지하공간 구조물의 건설조건 등에 따른 지진파 전파 시나리오 선정 - 해당 지진 시나리오에 따른 궤도 시설물 및 열차 차량 영향도 분석 2) 기존 발생 재난사례 시뮬레이션 검증 및 분석 (국내외 사례 지진 및 화재 각 10건 이상)	200
	4. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난 예측 및 진단 모델 개발 ① (모델개발)	1) 터널 내 붕괴 및 침수에 대한 리스크 예측 및 진단 모델 개발 [진단 모델] - 동적 원심모형실험을 활용한 철도 터널 및 지하공간 구조물의 지진취약도 함수 개발 (1) - 동적 수치모델을 활용한 철도 터널 및 지하공간 구조물의 지진취약도 DB 구축(1) - 지진 등으로 인한 철도 터널 및 지하공간 구조물 내 열차 탈선 위험도 평가 모델 개발 (1) (1) - 지진 등 재난 발생 시나리오 별 철도 터널 시설물 및 열차 탈선 피해 평가 (1) - 지진 등 재난 발생 시나리오 별 철도 터널 시설물 내 인명 피해 평가 모델 개발 (1)	1,000
		2) 화재에 대한 리스크 예측 및 진단 모델 개발 - 국도교통시설물(도로 및 철도)에 대한 화재 피해함수 개발 - 화재사례 등을 활용한 시나리오별 대심도장대 등 지하공간 교통시설물(도로 및 철도)의 피해평가모델 개발 - 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 화재시 화재확산 시뮬레이션 모델 개발 - 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 화재시 인명피난 시뮬레이션 모델 개발 - 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 화재시 최적 방재시스템(감지, 연기제어, 파난 설계)모델 개발	500
	5. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난 대응 훈련 관련 현황 분석 및 벤치마킹 사항 도출	1) 국내외 터널 및 지하공간 관련 재난대응 방재 훈련장 인프라 현황 및 특성 분석 (*현장방문 포함) 2) 국내외 터널 및 지하공간 관련 재난 대응 방재 훈련 프로그램 현황 분석 3) 전문교육훈련 인프라 비교 및 재난대응 복합훈련장 벤치마킹 사항 도출	85
	6. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대응 복합훈련장 설계 ① (계획 및 기본설계)	1) 재난대응 복합훈련장 구축 대상 폐선지역 검토 및 유관기관 협의 2) 재난대응 복합훈련장 구축 대상지 선정* 3) 관계 행정기관 협의 (행정절차 진행 및 사전협의 실시 - 폐차량 및 객차 활용 포함) 1) 터널 및 지하구조물 재난대응 복합훈련장 기본설계 실시 (국내외 사례 벤치마킹 내용 적용) 2) 터널 및 지하구조물 재난대응 복합 훈련장 훈련 프로그램 기본 설계 3) 기존 철도시설과 재난대응 복합훈련장 연계방안 설정 4) 연구개발내용을 반영한 실시설계 반영사항 결정	100 500
1차년도 예상 연구개발비(직접비) 합계			2,535
[기타 예상연구비(직접비) 산출내역 예시]			
① 연구인건비(40인) : 책임(10인×12개월×632만원×참여율 50%=379백만원), 연구원(10명×12개월×486만원×참여율 50%=583백만원), 연구보조원(10명×12개월×325만원×참여율 50%=195백만원) 인건비 합계 = 866 백만원 (기획재정부 학술연구용역인건비 기준단가 적용, 단, 연구단 구성 및 인원편성에 따라 연구인건비 총액이 변동될 수 있음.)			
② 연구장비재료비 : 재난대응 복합훈련장 기본설계비 500백만원, 시뮬레이션 장비비 500백만원, 연구재료 및 시약비/전산처리비 등 150백만원			
③ 연구활동비 및 연구과제추진비 : 국내외 출장비, 세미나개최비, 인쇄비, 제세공과금, 공공요금, 전문기활용비, 문헌구입비, 기술정보활동비, 회의비, 기타 연구경비 150백만원			
④ 위탁연구비 : 시뮬레이션 실시분석 등 기타 위탁연구 수행비 200백만원(연구 수행기관 편성에 따라 위탁연구 여부 및 연구비책정 등의 변화가 발생할 수 있음)			
⑤ 연구수당 등 : 연구인건비 20% 계상 173만원			
* 폐선구간 활용 등을 통한 재난대응 복합훈련장 구성 및 경제적 시설확보를 위한 별도의 관계기관 협의가 요구됨.			
간접비 (직접비의 약 16% 계상) *참여 연구기관별 간접비 계상기준에 따라 변동될 수 있음.			405
1차년도 총 예상 연구개발비 합계			2,940

연구연차	연구주제	세부연구내용 및 산출근거	예산연구개발비 (백만원)
2차년도	1. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 리스크 진단 및 예측 모델 개발 ② (모델검증 및 실증실험)	1) 터널 붕괴 및 침수에 대한 리스크 예측 및 진단 모델 개발 [진단 모델] - 동적 원심모형실험을 활용한 철도 터널 및 지하공간 구조물의 지진취약도 함수 개발 (2) - 동적 수치모델을 활용한 철도 터널 및 지하공간 구조물의 지진취약도 DB 구축(2) - 지진 등 철도 터널 및 지하공간 구조물 내 열차 탈선 위험도 평가 모델 개발 (2) - 지진 등 재난 발생 시나리오 별 철도 터널 시설물 및 열차 탈선 피해 평가 (2) - 지진 등 재난 발생 시나리오 별 철도 터널 시설물 내 인명 피해 평가 모델 개발 (2) 2) 화재에 대한 리스크 예측 및 진단 모델 개발 - 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 화재 리스크 평가모델 검증 - 실제 화재상황 실증실험 실시 및 시뮬레이션 결과 비교검증 - 터널 및 지하공간 화재 및 연기확산 실증실험 - 재난대응 복합훈련장 설계를 반영한 화재 리스크 평가모델 시뮬레이션 실시	500
	2. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난 리 스크 대응 모델 개발 ①	[대응모델] - 철도 터널 및 지하공간 구조물의 재난 시 대응을 위한 최적화 알고리즘 개발(1) · 지진 발생 시나리오 별 피해 평가 결과에 따른 대응방안 수립 · 상황 별 대응방안 수립 결과를 바탕으로 최적 알고리즘 초기모델 개발 - 터널 내 재난 발생시 인명 파난 시뮬레이션 모델 개발(1)	1,000
	3. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대 응 시나리오 개발	1) 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 특화 재난대응 복합훈련 시나리오 및 교육훈련 프로그램 개발 - 벤치마킹 요소를 반영한 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대응 복합훈련 시나리오 개발 (지진/화재 구분) - 재난대응 주체별(경찰/소방/지자체 및 유관기관) 전문 교육훈련 프로그램 개발 로드맵 도출 - 대국민 안전교육 프로그램 개발 로드맵 도출 2) 재난대응 복합훈련장 교육훈련 활용성 확보방안 도출 - 교육효과성 확보를 위한 재난대응 복합훈련장 요구조건 도출 - 효과적인 교육훈련 프로그램 실시를 위한 시설설계 반영방안 도출	500
	4. 재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비장비 선정	[지진] 1) 국내외 유사 설비 및 장비 활용현황 조사 및 분석 2) 국내 지진 특성 및 철도 장대 터널 특성을 반영한 지진 모사설비 (진동대) 요구 특성 및 제원 선정 3) 궤도 레일 분기기, 전차선 등 철도 터널 내 시설물을 고려한 복합훈련장 훈련 설비 및 장비 선정 [화재] 1) 재난상황 모사설비의 요구특성 및 제원 선정 2) 국내외 유사 설비 및 장비 활용현황 조사 및 분석 3) 교육훈련 활용성을 확보할 수 있는 복합훈련장 훈련설비장비 성능비교평가 및 선정 [공통] 1) 교육훈련 간 교육효과성 향상 및 안전확보에 요구되는 개발소요 파악 2) 재난대응 복합훈련장 실시설계 반영요소 및 기술요소 분석	800
	5. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대 응 복합훈련장 설계 ② (실시설계 / 인허가)	1) 재난대응 복합훈련장 실시설계 실시 - 시나리오별 국토교통시설물 피해평가모델을 활용한 국토교통시설 복합재난대응훈련장 설계 - 벤치마킹 요소를 반영한 세부단위 훈련장 실시설계 및 훈련장비 선정 - 최적 교육훈련효과 및 안전성능 달성을 위한 재난발생 모사설비 적용방안 도출 - 재난대응 복합훈련장 시설물 실시설계 (승강장 및 역사 구조물 - 전체 3개층 이상 압체구조, 승강기, 파란계단 등 실제 대상 시설물 가능요소를 포함하여 실시설계 반영 도로터널(지하차도) 모사시설 - 편도 3차선 연장 75M 이상 규모 등 요구조건 반영) 2) 재난대응 복합훈련장 구축관련 인허가 행정처리 - 행정협의 및 건축 인허가 실시	1,000
	6. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대 응 복합훈련장 구축 ① (준비공사/토목공사 등)	1) 재난대응 복합훈련장 구축 건설공사 ① - 기존 구조물 활용을 위한 사전 준비공사 실시(철거/폐기물처리/보수공사등) - 재난대응 복합훈련장 대상지 토목공사(대상부지 조성 및 자반처리, 기초공 등) (예산 대상토지 면적 약 15,000㎡ 이상 - 세부 실시설계시 총 면적 및 연면적 변동 가능.)	2,000
	2차년도 예산 연구개발비(직접비) 합계		6,300
간접비 (직접비의 약 16% 계상) *참여 연구기관별 간접비 계상기준에 따라 변동될 수 있음.			1,000
2차년도 총 예산 연구개발비 합계			7,300

연구연차	연구주제	세부연구내용 및 산출근거	예산연구개발비 (백만원)
3차년도	1. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 리스크 진단 및 예측 모델 개발 ③ (실증실험)	1) 터널 재난 리스크 예측 및 진단 모델 개발 [실증 실험] - 재난 발생 시 철도 터널 및 지하공간 구조물 피해평가모델 검증을 위한 실증실험 수행 - 재난 발생 시 열차 차량 탈선 시뮬레이션 모델 검증을 위한 실증실험 수행 - 실험 결과 및 재난대응 복합훈련장 설계를 반영한 지진 리스크 평가모델 최적화	1,500
	2. 터널 붕괴/침수/화재 시 철도터널 및 지하공 간 구조물 리스크 대응 모델 개발 ②	1) 터널 재난 리스크 대응 모델 개발 [대응모델] - 철도 터널 및 지하공간 구조물의 재난 시 대응을 위한 최적화 알고리즘 개발(2) · 지진 발생 시나리오 별 피해 평가 결과에 따른 대응방안 검증 · 상황 별 대응방안 검증 결과를 바탕으로 최적 알고리즘 모델 개발 및 검증 - 지진재난 발생시 인명 피난 시뮬레이션 모델 개발(2) - 지진 발생 시 피해현장에 대한 접근모델 개발 (최초 접근시간 30분 이내)	1,500
	3. 재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비장비 개발 ① (설계 및 개발)	1) 재난대응 복합훈련장 교육훈련용 지진 모사설비 설계 및 개발 - 국내 지진 특성을 반영한 지진 모사설비 (2차원 진동대) 기본 설계 수행 - 자반 증폭 및 궤도 등 자반 및 철도 시설물 특성을 반영한 지진 모사 진동장치 설계 및 개발 (총 2개소 차량이 있는 경우와 없는 경우 모두에서 진동이 가능한 구조로 설계 및 개발) - 탈선 위험도 평가 및 피해모델을 반영한 지진 시 열차 탈선 발생 상황 모사 장치 설계 및 개발 - 가상현실 기술 (VR)을 활용하여 열차 탈선 상황 모사 및 훈련 설비 개발	500
		2) 재난대응 복합훈련장 교육훈련용 화재 모사설비 설계 및 개발 - LP-Gas 기반 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 실험재(Live Fire) 발생설비 설계 및 개발 (총 6개소 - 철도차량 및 일반 차량 탑재 / 화재진압 대응훈련이 가능한 구조로 승강장 및 터널구간 객차 및 지하도로(터널구간) 차량에 탑재되어 대응훈련이 가능한 구조) - LP-Gas 저장 및 공급장치 설계 및 시공훈련장 구조물 구축과 병행 - 터널 및 지하공간 전기/유류화재 재원 설비 및 연기확산 모사설비 개발 - 터널 및 지하공간 교육훈련 안전확보용 긴급대응 배연장치 설계 및 개발	500
		3) 재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비장비 통합 제어시스템 개발 - 훈련상황 통제 시스템 프로그램 개발 / 통합제어실 세부기능 설계 - 훈련 안전확보를 위한 모니터링 시스템 및 긴급안전장치 설계 및 개발	200
	4. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대 응 시나리오 기반 교육훈련 프로그램 개발 ①	1) 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 특화 재난대응 교육훈련 프로그램 개발 - 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 특화 재난대응 교육훈련 시나리오 설계 - 재난대응 주체별 경찰/소방/지자체 및 유관기관 전문교육훈련 프로그램 세부내용 개발 - 대국민 안전교육 프로그램 세부내용 개발 2) 재난대응 복합훈련장 활용 교육훈련 실시 매뉴얼 개발	200
	5. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대 응 복합훈련장 구축 ② (건축 및 구조물 공사 및 전기/기계/통신/ 소방 등 주요시설 공사)	1) 재난대응 복합훈련장 건축 및 구조물 공사 [철도 승강장 및 역사 구조물] - 지하 승강장(45M 이상 동력객차 및 객차(2량) 규모반영) 및 역사 구조물 (3층구조-승강장/ 대합실/상부 진입층/철근콘크리트조) 구축 - 구조물 내부 계단 / 승강기 / 에스컬레이터 등 파란경로 및 각종 설비 포함 - 기존선로 인입구간 공사 실시(실제 차량 활용이 가능한 부대공사) [도로터널(지하차도) 구조물] - 도로터널(지하차도) 구간 75m 이상 신설철도터널의 경우 패터널* 등을 활용하여 구성 - 화재상황 연출이 요구되는 구간은 내화구조로 구성하며, 기타 구간의 경우 외부 빛이 차단되어 터널 및 지하공간으로 연출 가능한 구조를 확보 [교육장/장비보관실/통합제어실] - 이론교육 및 디브리핑시 활용 가능한 교육장(50인 수용 규모) 시설 구축 - 교육훈련용 개인보호장비 보관 및 장비가 가능한 장비보관실 구축 - 재난대응 복합훈련장 전체 시설 및 설비를 통제할 수 있는 통합제어실 구축	4,000
		2) 재난대응 복합훈련장 주요시설 공사 - 훈련장 내외부 기계/전기/소방/통신 등 주요 시설 공사	300
3차년도 예산 연구개발비(작업비) 합계			8,700
간접비 (작업비의 약 16% 계상) *참여 연구기관별 간접비 계상기준에 따라 변동될 수 있음.			1,390
3차년도 총 예산 연구개발비 합계			10,090

연구연차	연구주제	세부연구내용 및 산출근거	예산연구개발비 (백만원)
4차년도	1. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 리스크 진단 및 예측 모델 개발 ④	1) 터널 재난 리스크 예측 및 진단 모델 검증 - 구축되는 재난대응 훈련장에 맞게 재난 리스크 시나리오 도출 및 검증 연구	200
	2. 터널 붕괴/침수/화재 시 철도터널 및 지하공 간 구조물 리스크 대응 모델 개발 ②	1) 터널 재난 리스크 대응 모델 검증 - 철도 터널 및 지하공간 구조물의 재난 시 대응을 위한 최적화 알고리즘 검증 - 지진재난 발생시 인명 피난 시뮬레이션 모델 검증	500
	2. 재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비장비 개발 ② (제작 및 설치)	1) 재난대응 복합훈련장 교육훈련용 지진 모사설비 제작 및 설치 - 지진 리스크 평가모델을 반영한 지진 모사설비 (2차원 진동대) 현장 설치 및 시운전 - 자반 증폭 및 궤도 등 자반 및 철도 시설물 특성을 반영한 지진 모사 진동장치 설치 및 시운전 (총 27개소 차량이 있는 경우와 없는 경우 모두에서 진동이 가능한 구조로 설치 및 시운전) - 탈선 위험도 평가 및 파해모델을 반영한 지진 시 열차 탈선 발생 상황 모사 장치 설치 및 시운전 - 가상현실 기술 (VR)을 활용한 열차 탈선 상황 모사, 훈련 설비 설치 및 시운전	1,600
		2) 재난대응 복합훈련장 교육훈련용 화재 모사설비 개발 및 설치 - LP-Gas 기반 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 화재 모사설비 제작·현장설치 및 시운전 - LP-Gas 저장 및 공급장치 연결·열차 및 차량 등에 설치된 설비와 연결 - 화재진압 및 대응활동의 성과에 따라서 연동되는 훈련통제시스템 개발 및 현장설치 - 터널 및 지하공간 화재 및 연기 확산 모사설비 현장설치 및 시운전(환기/배연설비 연동)	2,000
		3) 재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비장비 통합 제어시스템 개발 - 통합제어실 구축 및 훈련상황 통제시스템 구축 - 훈련 안전확보를 위한 시설 및 인원 대상 관제 및 감시설비 제작 및 설치	500
	3. 재난대응 복합훈련장 시설 배치 및 교육훈련 지원설비장치 구축 ①	1) 철도 차량(폐열차* 또는 모사품) 및 폐차량 시설 배치(재난상황 시뮬레이션 결과에 따른 현장배치) 2) 훈련장 내외부 설비(조명/방송/통신 등) 제작·설치 3) 훈련장 내부 환기설비(제트팬 등) 및 덕트 설치 4) 훈련장 내부 배연덕트 및 환경오염 저감시설(집진 및 저류조정화조 등) 설치 5) 훈련장 내외부 교육훈련용 소방설비(소화전/연결살수설비 등) 설치	500
	4. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대 응 복합훈련장 구축 ③ (내부 설비 및 인테리어 / 외부 부대공사)	1) 재난대응 복합훈련장 내화제 설치 및 내부마감 공사 - 재난대응 복합훈련장 내부 화재방호용 내화제 및 내부마감 공사	180
		2) 재난대응 복합훈련장 통제실 및 교육장 내부 공사 - 통합제어실 내부 설치공사 - 이론교육장 및 장비보관실 내부 설치공사	120
		3) 재난대응 복합훈련장 외부 부대공사 - 훈련장 외부 진입로 및 주차장 등 부대 공사 - 훈련장 내외부 도색 및 관리표식 설치 등	100
	4차년도 예산 연구개발비(직접비) 합계		5,700
	간접비 (직접비의 약 16% 계상) *참여 연구기관별 간접비 계상기준에 따라 변동될 수 있음.		900
	4차년도 총 예산 연구개발비 합계		6,600

연구연차	연구주제	세부연구내용 및 산출근거	예산연구개발비 (백만원)
5차년도	1. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 리스크 진단 및 예측 모델 적용	1) 터널 재난 리스크 예측 및 진단 모델의 훈련장 적용 방안 도출	200
	2. 터널 붕괴/침수/화재 시 철도터널 및 지하공 간 구조물 리스크 대응 모델 적용	1) 터널 재난 리스크 대응 모델의 훈련장 적용 방안 도출	165
	1. 재난대응 복합훈련장 재난상황 모사설비 및 훈련설비장비 개발 ③ (보완 및 검증)	1) 재난대응 복합훈련장 교육훈련용 지진 모사설비 보완 및 검증 - 지진 모사 설비 및 진동 장치의 지진 하중 압력시스템 보완 및 검증 - 열차 탈선 발생 상황 모사 장치 및 가상현실 훈련 설비에 대한 보완 및 검증	200
	2. 재난대응 복합훈련장 시설 배치 및 교육훈련 지원설비장치 구축 ②	1) 훈련안전확보용 긴급정지 시스템 개발 및 설치 2) 이론교육장 및 장비보관실 내부 훈련지원 시스템 및 교육보조설비 설치 3) 훈련장 내외부 각종 안전시설 및 교육훈련 지원설비장치 설치 4) 훈련장 출입통제 시스템 및 모니터링 시스템 개발 설치 5) 훈련장 내부 교육훈련 가차제 운반 및 재배치를 위한 설비 및 장비 구비 6) 기타 복합훈련장 기능확보를 위한 지원설비장치 구축외부 선로인입 인터페이스 설비 등)	400
	3. 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대 응 복합훈련 시나리오 및 교육훈련 프로그램 개발 ③	1) 터널 및 지하공간 특화 공공대응력 전문교육훈련 프로그램 개발 및 훈련 매뉴얼 작성 2) 터널 및 지하공간 특화 유관기관 종사자 안전교육훈련 프로그램 개발 및 훈련 매뉴얼 작성 3) 터널 및 지하공간 대국민 안전체험교육훈련 프로그램 개발 및 훈련 매뉴얼 작성 4) 전문교관 양성교육 프로그램 개발 및 교관교육 실시 5) 공공 재난대응력(경찰/소방/자주체 등) 및 유관기관 종사자 참여 시범 교육훈련 실시	300
	4. 실증실험 실시를 위한 측정시스템 구축	1) 훈련장 내외부 교육훈련 실시를 위한 각종 센서 설치 및 시스템 연동 2) 다양한 재난상황 시나리오 구현이 가능한 실험연동 제어시스템 및 측정시스템 구축 3) CCTV 기반 교육생 위치 파악 및 파란상황 모니터링 시스템 개발 설치 4) 연구개발 성과품 성능 테스트베드 활용을 위한 공간배치 및 지원시설 구비	400
	5. 실증실험 실시	1) 재난대응 복합훈련장 설치 시스템 시운전 및 종합 테스트 실시 2) 통합제어시스템 성능검증 테스트 실시 3) 재난 시나리오별 모의 교육훈련 실시간 교육훈련 활용 성능검증 4) 상황연출을 통한 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난상황하 파란실험 실시 5) 터널 및 지하공간 재난대응 교육훈련 관련 국제 세미나 개최	500
	6. 재난대응 복합훈련장 운영 매뉴얼 개발	1) 대심도장대 등 지하공간 교통시설물 재난대응 복합훈련장 시스템매뉴얼 개발 2) 복합훈련장 설비 유지관리 및 운영매뉴얼 개발 3) 향후 재난대응 복합훈련장 운영 및 활용방안 도출	200
5차년도 예산 연구개발비(직접비) 합계			2,365
간접비 (직접비의 약 17% 계상) *참여 연구기관별 간접비 계상기준에 따라 변동될 수 있음.			380
5차년도 총 예산 연구개발비 합계			2,745

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업 ‘대심도 장대터널 (GTX 등)의 재난 대응 복합훈련장’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.