

보고서 요약서

과제 고유번호	RS-2023-00260689	해 당 단 계 연구 기 간	2023.05.30.~ 2025.05.29	단 계 구 분	-
연구 사업명	중 사업명	국토교통연구기획사업			
	세부 사업명	-			
연구 과제명	대 과제명	국토의 입체적 활용을 위한 K-지하고속도로 인프라 기술개발 기획			
	세부 과제명	-			
연구기관명 및 소속 부서명	와이젠글로벌(주) / 기업부설연구소			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

[요약]

- 도심지 등의 극심한 교통 지·정체 문제 해결 및 상부공간 활용을 위한 초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술개발 사업 기획을 최종목표로 함
- 기술개발 범위
 - 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발
 - 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증
 - 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증
 - 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발
 - 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증
 - 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증

보고서 면수: 255 페이지

색인어 (각 5개 이상)	한글	지하고속도로, 터널, 대단면 터널, 초장대 터널, 대심도 터널
	영어	Underground Expressway, Tunnel, Large Section Tunnel, Long Span Tunnel, Deep Tunnel

[공 란]

목 차

제1장. 사업개요	1
제1절. 사업개념	1
제2절. 추진배경 및 필요성	4
제3절. 사업 추진근거	12
제2장. 대내외 환경 분석	19
제1절. 정책동향	19
제2절. 시장·산업동향	31
제3절. 사회·환경동향	36
제4절. 기술동향	42
제5절. 시사점	55
제3장. 사업 추진여건 분석	59
제1절. 지하고속도로 국내 기술수준 분석	59
제2절. 지하고속도로 관련 연구역량 분석	74
제3절. 시사점	83
제4장. 사업 추진전략	84
제1절. 핵심 문제/이슈 도출	84
제2절. 사업 기본방향 설정	86
제3절. 사업 구성	100
제5장. 사업 추진계획	106
제1절. 사업추진 개요	106
제2절. (핵심기술1) 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	108
제3절. (핵심기술2) 지하고속도로 환경 개선 및 편의 향상 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	172
제6장. 사업 운영계획	234
제1절. 사업 추진체계	234
제2절. 사업 운영·관리 계획	235
제3절. 예산 및 인력 투입 계획	246
제7장. 타당성 및 기대효과	248
제1절. 정책적 타당성	248
제2절. 기술적 타당성	257
제3절. 경제적 타당성	263
제4절. 기대효과	271
[부록1] 제안요청서(RFP)	272
[부록2] 국가연구개발사업 전략계획서	282

[공 란]

< 표 차 례 >

<표 1-1> 전 세계 초장대 도로터널(연장 20km 내외 및 초과) 현황	4
<표 1-2> 지하고속도로(전 차종) 차로 수에 따른 터널 단면 변화 비교	5
<표 1-3> 터널 굴착공법의 산악터널 및 도심지 터널 대상 현재 기술수준	7
<표 1-4> 국내 친환경차 보급 누적 현황 및 계획(국토부, 2021.2./2022.7.)	8
<표 1-5> 기획위원회 구성 및 운영 방식	15
<표 1-6> 총괄기획위원회 위원 명단	16
<표 1-7> 분과위원회 위원 명단	17
<표 2-1> 기반시설의 종류	20
<표 2-2> 시설물의 종류	21
<표 2-3> 국토교통과학기술의 범위	22
<표 2-4> 도로망 종합계획상 도로관련 연구 및 기술개발	24
<표 2-5> 5차 기본계획 중점 추진과제	25
<표 2-6> 8대 혁신성장동력	26
<표 2-7> 지하고속도로 프로젝트	33
<표 2-8> 교통수단별 수송분담률	37
<표 2-9> 국가별 교통수단별 수송분담률	37
<표 2-10> 고속도로 교통량통계	37
<표 2-11> 서울 시내 철거 고가명 및 사유	38
<표 2-12> 친환경차 등록(누적) 추이	41
<표 2-13> 터널, 지하도로, 지하고속도로의 차이점	44
<표 2-14> 터널 굴착공법 비교	46
<표 2-15> 도로터널(지하도로 및 지하고속도로 포함) 연장등급 및 방재등급별 기준	48
<표 2-16> 해외지하도로(장대터널) 교통제어 및 적용 사례 요약	49
<표 2-17> 세부과제 1 : 복층터널 최적화 설계 기술 개발 요소기술	51
<표 2-18> 세부과제 2 : 효율적인 복층터널 시공기술 개발 요소기술	52
<표 2-19> 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발 사업 세부과제 및 요소기술	53
<표 3-1> 해저/대심도 터널 분야 주요국 기술수준	59
<표 3-2> 국내 해저/대심도 터널 분야의 강점과 약점	59
<표 3-3> 주요국의 해저/대심도 터널 기술 연구단계별 기술역량	59
<표 3-4> 지하 대공간 분야 주요국 기술수준	60
<표 3-5> 지하대공간 분야 기술의 강점과 약점	60
<표 3-6> 주요국의 지하대공간 기술 연구단계별 기술역량	60
<표 3-7> 도로설계/시공/유지관리 주요국 기술수준	61
<표 3-8> 도로설계/시공/유지관리 기술의 강점과 약점	61
<표 3-9> 주요국의 도로 설계/시공/유지관리 연구단계별 기술역량	61
<표 3-10> 도로 안전/운영시설 주요국 기술수준	62
<표 3-11> 도로 안전/운영시설 기술 강점과 약점	62
<표 3-12> 주요국의 도로 안전/운영시설 연구단계별 기술역량	62
<표 3-13> 주요국 특허경쟁력 평가	63
<표 3-14> 주요 특허 출원 기관(세계/한국)	64
<표 3-15> 연도별 특허 현황	66

<표 3-16> 국가별 특허 건수, 점유율 변화 및 증가율	67
<표 3-17> 국가별 IP3 점유율	68
<표 3-18> 국가별 논문경쟁력	69
<표 3-19> 주요 논문 게재 기관(세계/한국)	70
<표 3-20> 터널/지하공간 분야 논문 수	71
<표 3-21> 터널/지하공간 분야 논문 인용수	71
<표 3-22> 국가별 논문 건수, 점유율 변화 및 증가율	72
<표 3-23> 주요국별 논문 피인용지수(국가별 논문 건당 피인용건수)	73
<표 3-24> 우리나라 전공별 연구원 수	74
<표 3-25> 지하고속도로 관련 전문분야 전문가 수	75
<표 3-26> 주요 연구실별 연구 내용	76
<표 3-27> 주요 정부출연연구소와 연구 내용	77
<표 3-28> 대형 건설사와 연구개발 내용	78
<표 3-29> 기존유사사업에서 구축한 시설·장비 현황	79
<표 3-30> 지하고속도로 관련 장비 현황	79
<표 4-1> 기술개발에 따른 동 사업 분야의 미래상	90
<표 4-2> 성과목표 및 지표 총괄표	93
<표 4-3> (구성기술 1) 수요조사 결과 및 채택 결과	101
<표 4-4> (구성기술 2) 수요조사 결과 및 채택 결과	102
<표 4-5> (구성기술 3) 수요조사 결과 및 채택 결과	103
<표 4-6> (기타) 수요조사 결과 및 채택 결과	103
<표 4-7> 핵심기술 및 세부기술	104
<표 5-1> 전체 사업 구성(안)	106
<표 5-2> 국외 주요 지하도로 사업 및 투자 규모	110
<표 5-3> 연장 10km 이상의 해외 도로터널 현황	110
<표 5-4> 지하공간 개발 관련 정부 R&D 투자규모	111
<표 5-5> 국내 주요 지하도로 사업 및 투자 규모	111
<표 5-6> 터널진입차단시설 주요지침	118
<표 5-7> 비상주차대 주요지침 (국내)	118
<표 5-8> 비상주차대 주요지침 (국외)	119
<표 5-9> 제2차 국가도로망 종합계획('21~'30) 상 도로관련 연구 및 기술개발	120
<표 5-10> 국내 고속도로터널 화재사고 현황('04~'20)	122
<표 5-11> 정량적 위험도 평가 필수 수행 조건	124
<표 5-12> 지하고속도로 운영방안 수립의 고려조건	127
<표 5-13> 지하고속도로 운영방안 수립의 고려조건	128
<표 5-14> 국내외 지하차도 침수피해 사례	132
<표 5-15> 친환경차 누적보급대수 확대 목표	139
<표 5-16> 전국 지하차도 현황	141
<표 5-17> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안	142
<표 5-18> 성과목표 및 지표, 목표치	155
<표 5-19> 구성기술 1 세부 구성기술(안)	157
<표 5-20> (세부기술 1) 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증	167
<표 5-21> (세부기술 2) 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증	169
<표 5-22> 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	171
<표 5-23> 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	171
<표 5-24> 우리나라와 일본의 터널환기방식 비교	174
<표 5-25> 지하도로 환기소 설치 간격	175

<표 5-26> 전 세계 유형별 전기·수소차 판매 추이(만대)	181
<표 5-27> 전 세계 EV·PHEV 판매 전망(만대)	181
<표 5-28> 기존 실내 위치정보 제공 기술 비교	187
<표 5-29> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안(핵심기술2)	198
<표 5-30> 성과목표 및 지표, 목표치	217
<표 5-31> 구성기술 2 세부 구성기술(안)	219
<표 5-32> (세부기술 1) 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증 ..	230
<표 5-33> (세부기술 2) 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증 ..	231
<표 5-34> 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	233
<표 5-35> 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	233
<표 6-1> 추진체계 구성주체별 역할	234
<표 6-2> 사업추진절차 및 일정 상세일정	235
<표 6-3> 초장대 k-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술개발의 연구개발비 계상기준	237
<표 6-4> 초장대 k-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술개발의 위기요소 일람표	238
<표 6-5> 선정평가 기준항목	240
<표 6-6> 연차별 총 사업비 투입 계획	246
<표 6-7> 세부과제별 사업비 투입 계획	246
<표 6-8> 본 사업의 인력 투입 계획	247
<표 7-1> 상위계획과의 부합성 검토 결과	250
<표 7-2> 정부정책 및 상위계획과 부합성 검토 내용	251
<표 7-3> 최근 5년 간 국토교통R&D 예산운용 추이	255
<표 7-4> 향후 5년 간 국토교통R&D 예산운용 추이	255
<표 7-5> 동 사업의 예산 소요	255
<표 7-6> 기획연구를 위한 위원회별 역할 및 운영 원칙	258
<표 7-7> 중복성 검토 대상 사업/과제 목록	261
<표 7-8> 기존 사업과의 중복성 검토 결과	262
<표 7-9> 사업의 비용 추정 결과	264
<표 7-10> 핵심기술에 따른 편익 항목 도출 결과	265
<표 7-11> 동 사업의 편익 정의 및 산식	266
<표 7-12> 본 사업의 기여율 산출 결과	267
<표 7-13> 동 사업의 편익산정 기준 및 지표	268
<표 7-14> K-지하고속도로 인프라 및 시스템 시장 규모	268
<표 7-15> (가정1) 편익 분석결과	269
<표 7-16> (가정2) 편익 분석결과	269
<표 7-17> 본 사업의 비용편익 분석(B/C Ratio) 결과	270

< 그림 차례 >

[그림 1-1] K-지하고속도로 인프라 기술개발 사업 개념도	1
[그림 1-2] K-지하고속도로 인프라 기술개발 사업 사업범위 및 성과활용 시나리오	2
[그림 1-3] K-지하고속도로 인프라 기술개발 사업의 비전·목표 체계도	2
[그림 1-4] 지하고속도로(재정사업) 신규 사업 위치도 및 사업별 개요	4
[그림 1-5] 국내 초근접 병렬터널, 광폭터널 및 지하도로 분기부 설계·시공 사례	5
[그림 1-6] 도시지역 수직구 공사 관련 시위 및 에어돔 설치 사례	6
[그림 1-7] 수직구 시공 중 지반침하 문제 발생 사례(부곡공단)	6
[그림 1-8] 지하고속도로와 유사한 폐쇄형 구조물(터널 및 방음터널) 내 대형 화재 사례	8
[그림 1-9] 현재 기술수준에서 전기 자동차 화재진압 방법	9
[그림 1-10] 지하고속도로 교통운영시스템의 현재 기술수준과 미래상 비교	9
[그림 1-11] 진행 중인 지하고속도로 사업과 동사업의 연계 방안	10
[그림 1-12] 사업 기획 추진체계	14
[그림 1-13] 기획위원회 구분 및 역할 도식도	15
[그림 2-1] 지하고속도로 주요 재정사업 구간 사업 전·후 교통여건 변화 예상	27
[그림 2-2] 보스턴 시 BIG DIG 사업 전(좌), 사업 후(우)	29
[그림 2-3] 스페인 M30 사업 전(좌), 사업 후(우)	30
[그림 2-4] 함부르크 A7 조감도	30
[그림 2-5] 글로벌 터널 자동화 시장 전망	31
[그림 2-6] 글로벌 터널 모니터링 시장 성장 전망	32
[그림 2-7] 지하고속도로 시장 규모 및 전망	33
[그림 2-8] 신월여의지하차도 입구(좌), 내부(우)	34
[그림 2-9] 서부간선지하도로 방재 시스템	35
[그림 2-10] 프랑스 A86 Duplex, 미국 Boston Big Dig, 일본 Yamate 터널	35
[그림 2-11] 연도별 지가변동률	36
[그림 2-12] 고속도로 교통량통계	37
[그림 2-13] 주거지 아래의 대심도 터널의 장단점에 대한 공개 설문 조사 결과	38
[그림 2-14] 대심도 터널 공사 관련 민원인 조사결과	39
[그림 2-15] 연도별 지가변동률	39
[그림 2-16] '21년 월별 전기차 등록 현황(좌), 연도별 전기차 누적 등록(우)	40
[그림 2-17] 자동차 등록 대수(좌), 친환경차 누적 등록 대수(우)	40
[그림 2-18] 전기차에 5미터 안전거리를 유지하며 직사주수 소화(좌) / 화재 전기차용 수조 컨테이너(우)	41
[그림 2-19] 지하도로 또는 지하고속도로의 사업 유형	44
[그림 2-20] 지하도로 또는 지하고속도로의 주요 특징	45
[그림 2-21] 해외 저소음, 저진동, 지하수위 저감 방지형 수직구 건설기술	47
[그림 2-22] 국내 도로터널 및 지하도로 주요 방재시설 기술 현황	48
[그림 2-23] 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발 사업 세부과제 및 요소기술	50
[그림 2-24] 세부과제 1 주요 성과	51
[그림 2-25] 세부과제 2 주요 성과	52
[그림 2-26] 세부과제 3 주요 성과	53
[그림 2-27] 연구단 과제 구성 및 항목간 연계도	54

[그림 2-28] 도심 지하 교통 인프라 연구단 주요 예상 성과	54
[그림 3-1] 터널/지하공간 분야 특허경쟁력	63
[그림 3-2] 연도별 특허 동향(전체)	65
[그림 3-3] 연도별 특허 동향(주요국별)	65
[그림 3-4] 국가별 특허 건수, 점유율 변화 및 증가율	67
[그림 3-5] 국가별 IP3 점유율(각 국가별 주요국(미국, EU, 일본)에 동시 출원한 특허 비율)	68
[그림 3-6] 국가별 터널/지하공간 분야 논문경쟁력	69
[그림 3-7] 국가별 논문 건수, 점유율 변화 및 증가율	72
[그림 3-8] 주요국별 논문 피인용지수(국가별 논문 건당 피인용건수)	73
[그림 3-9] 우리나라 전공별 연구원 수 추이	74
[그림 4-1] 사업 추진상의 핵심 문제/이슈 도출 프로세스	84
[그림 4-2] K-지하고속도로 인프라 기술개발 사업의 비전·목표 체계도	88
[그림 5-1] 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발 개념도	108
[그림 5-2] 전 세계 교통관리시장 동향	112
[그림 5-3] 한국 ITS 시장 규모	112
[그림 5-4] 보스턴 빅딕 프로젝트	113
[그림 5-5] 미국 시애틀 Alaskan 프로젝트	113
[그림 5-6] 스페인 마드리드M30 도로	114
[그림 5-7] 말레이시아 쿠알라룸푸르의 SMART	114
[그림 5-8] 프랑스 파리 듀플렉스A86	115
[그림 5-9] 국내 도로 종류에 따른 터널 수 변화 추이	115
[그림 5-10] 서부간선지하도로	116
[그림 5-11] 보령 해저터널(총 연장 6,927m)	116
[그림 5-12] 수소연료전지자동차(FCEV) 보급 전망 및 증가 추세(산업통상자원부, 2021)	116
[그림 5-13] 국내 친환경차량 증가 추이 및 전체 차량대비 비중	117
[그림 5-14] 연도별 설치된 도로시설 연장 추이	117
[그림 5-15] 터널입구(좌) 터널 내부 비상주차대(우)	119
[그림 5-16] 국내 전기차·수소차 화재사고 사례	123
[그림 5-17] 마제형 터널 내 폭발에 의한 터널 라이닝 구조물의 안정성 검토 해석 사례	125
[그림 5-18] 지하고속도로 교통운영의 고려조건	127
[그림 5-19] 국내 터널진입 차단시설	128
[그림 5-20] 일본 터널진입 차단시설	128
[그림 5-21] 국외 터널진입 차단시설	129
[그림 5-22] Humes segmental shafts 공법(Humes(호주), 2015)	130
[그림 5-23] Segmental Shaft(캐나다, 2021)	131
[그림 5-24] VSM(Vertical Shaft Sinking Machine)(독일)	131
[그림 5-25] 터널 형태에 따른 단면 비교	134
[그림 5-26] 콘크리트 구조물에 대한 폭발 실험 및 슬래브 구조물 사고 사례	134
[그림 5-27] 터널진입차단시설 작동 후 차량 터널진입 및 차량 미통제에 따른 터널내 차량 밀집	135
[그림 5-28] 해외의 PC 구조물을 이용한 하향식 시공 공법	135
[그림 5-29] 6~9월 호우 중 집중호우의 비율(출처: 기상청 장마백서)	136
[그림 5-30] 한반도 5년 연평균 강수량(1912년~2008년)(출처:국립기상연구소)	136
[그림 5-31] 게릴라성 집중호우 침수 사례	137
[그림 5-32] 캐나다 Golder사의 세그먼트 활용(시공품질 확보 가능)	140
[그림 5-33] 1시간 최대 50mm 이상 및 1일 최대 300mm 이상의 집중호우 발생 횟수(2011년, 환경부) ·	140
[그림 5-34] 지하차도 설계빈도 현황(2021년 기준)	141
[그림 5-35] 지하고속도로 환경 개선 및 편의 향상 기술 개발 개념도	172

[그림 5-36] 연도별 도로터널 건설수 추이	175
[그림 5-37] 엘파킹(주) 시공실적	177
[그림 5-38] 국내 전기차 교육 추이 및 비중 추이(한국무역협회 무역통계)	177
[그림 5-39] '22년 아태지역 주요산업별 AR/VR 진출	178
[그림 5-40] 가상 도시 및 아바타들	179
[그림 5-41] MWC23에서 AR 시현	179
[그림 5-42] MWC23에서 디지털 트윈 시현	180
[그림 5-43] 글로벌 전기차 판매량 추이 및 판매 비중	181
[그림 5-44] 미국 교통부 전기차 충전소 확대 프로그램(DOT)	183
[그림 5-45] 컨베이어 시스템(Toni Rappersberger 사례)	186
[그림 5-46] 캡슐형 광차 사례 (Sumitomo Metal Industries, Ltd.)	186
[그림 5-47] 완전자동 암버력 처리 시스템 사례 (Kajima construction co.)	186
[그림 5-48] 지하도로 접속·분기부 계획 사례	188
[그림 5-49] 지하철 터널(단선) 지보패턴 계획 사례	188
[그림 5-50] 분·합류부 터널의 경험적 굴착 및 보강계획 사례	189
[그림 5-51] 도심지 대심도 터널의 기하학적 특징	192
[그림 5-52] 도심지 대심도 터널의 기하학적 특징	192
[그림 5-53] 분할굴착공법과 터널의 응력-변형거동 특성	192
[그림 5-54] 터널 내 변형의 지상·지하 인근구조물 영향	196
[그림 5-55] 도시지역 수직구 공사 관련 시위 및 에어돔 설치 사례	201
[그림 5-56] 경험적 암반분류법 적용의 한계	203
[그림 5-57] 경험적 표준지보패턴의 한계	204
[그림 5-58] 대심도 터널 조건에서 경험적 터널기술 적용의 한계	204
[그림 5-59] 지하고속도로 내의 차량 대피소 모식도	205
[그림 5-60] 댐퍼 개도율에 따른 연장별 풍량 검토 예시	207
[그림 5-61] 부스터팬 설치에 따른 축류팬의 정압최대도달거리 분석 예시	207
[그림 5-62] 물리 현상을 기반으로 구축된 셰이딩 예시	208
[그림 5-63] 포토 리얼리스틱 기법의 예시	209
[그림 5-64] 논리적 암반분류 체계 사례 (Russo, 2008, 2014)	209
[그림 5-65] 터널 내 변형제어 기술	209
[그림 5-66] 지하고속도로 내 휴게시설 및 주차장 모식도 예시	210
[그림 5-67] 지하고속도로 내 주차장 도면 예시	210
[그림 5-68] 지하고속도로-지상 휴게실 3차원 입체(수평·수직) 이동수단 모식도	210
[그림 5-69] 가우스의 법칙 활용(예)	212
[그림 6-1] 초장대 k-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술개발 추진체계	234
[그림 6-2] 국토교통과학기술연구개발사업 추진체계 및 절차	236
[그림 6-3] 신청서 접수 및 처리 절차	239
[그림 6-4] 선정평가 프로세스	239
[그림 6-5] 단계평가 프로세스	241
[그림 6-6] 최종평가 프로세스	242
[그림 7-1] 초장대 K-지하고속도로 인프라 구축 기술 개발 추진체계	254
[그림 7-2] 동 사업의 기획과정	257
[그림 7-3] 동 사업의 기획위원회 기능 및 역할 정의	258
[그림 7-4] 동 사업의 목표체계도	260
[그림 7-5] 사업추진 로드맵	261
[그림 7-6] 시장수요접근법 개념의 편익 수식화	265
[그림 7-7] (가정 1)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과	270
[그림 7-8] (가정 2)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과	270

[공 란]

제1장. 사업개요

제1절. 사업개념

1. 사업 개념 및 범위

□ 사업의 개념

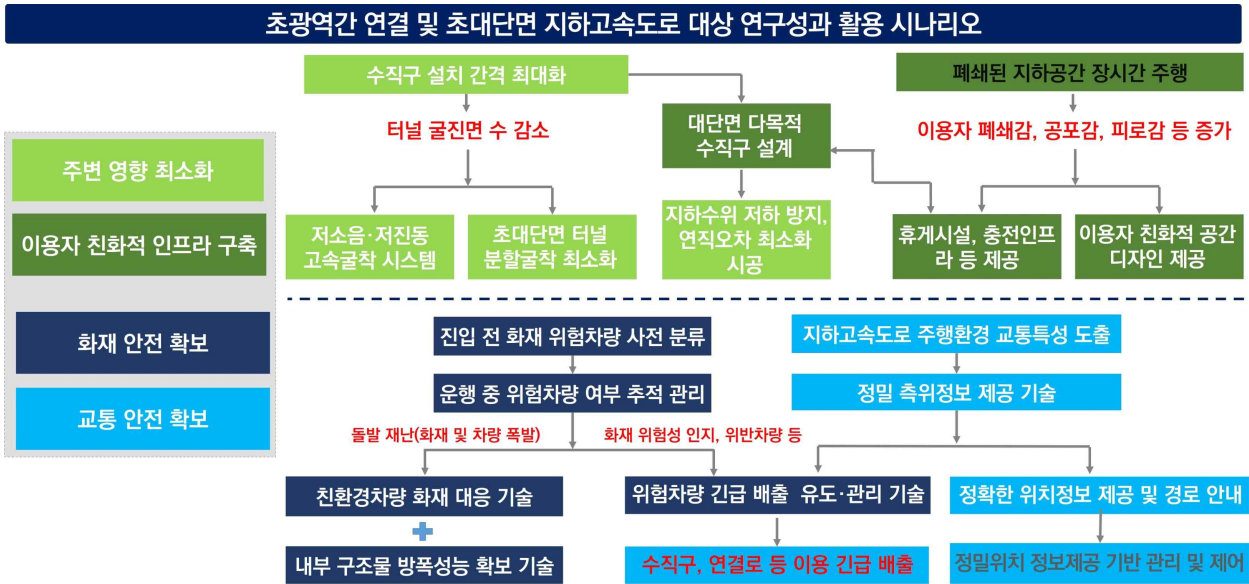
- 도심지 등의 극심한 교통 지·정체 문제 해결 및 상부공간 활용을 위한 초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술개발 사업



[그림 1-1] K-지하고속도로 인프라 기술개발 사업 개념도

□ 사업의 범위

- **(적용 대상)** K-지하고속도로 구축을 위한 인프라 기술과 화재 안전 및 교통 안전 확보를 위한 이용자 안전·편의 향상 기술을 기술개발 적용 대상으로 설정
- **(기술적 범위)** 지하고속도로 이용자 안전 기술은 재난 대응 기술과 선제적 재난 방지·관리기술, 이용자 편의 및 교통·운영 효율화 기술은 대기환경, 공간디자인, 교통·운영 기술 등을 개발하며, 각각 실증을 포함
 - **(범위 1) 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발**
 - 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증
 - 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증
 - **(범위 2) 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발**
 - 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증
 - 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증



[그림 1-2] K-지하고속도로 인프라 기술개발 사업 사업범위 및 성과활용 시나리오

2. 사업 개요

사업 비전	글로벌 선도 K-메가(MEGA) 지하고속도로 인프라 핵심기술 확보로 인간친화적 입체공간 활용 기반 조성		
사업 목표	초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술 개발		
성과 목표 및 성과 지표	구분	화재, 침수, 교통사고 등 재난에 안전하고 이용자 친화적 지하고속도로 인프라 기술 개발	
		1단계(기술확보) ('24~'26)	2단계(성능검증) ('27~'28)
	이용자 안전 확보	- 지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응 체계 구축 :: 화재 위험 차량 사전분류 정확도 95% 이상 확보(외부전문기관 성능확인서) :: 친환경차 조건이 고려된 QRA 기법 수립 및 화재 확산 방지를 위한 대응 기술의 적정성 검증(외부전문기관 성능확인서) - 지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보 :: 폭발 하중별 내부 구조물 구조 거동 시뮬레이션을 통한 최적 설계(안) 및 대응(규제) 방안 제시 - 지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리 :: 위험상황종류 및 발생단계를 고려한 교통류 해석 및 교통혼잡 추정기법 개발 :: 교통차단시설 인지 성능 향상(10%) 시제품 제작 및 시나리오별 방재시설 자동운영 시스템 설계 - 초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보 :: 200m² 이상의 초대단면 터널 분할굴착 최소화 기술의 수치해석 및 모형실험을 통한 결과 검증 *현 최고터널 단면적(편도 4차로 터널: 약 150m² 내외)	- 지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응 체계 구축 :: 화재 위험 차량 관리기술(사전감지/추적/긴급배출) 및 친환경 차량 화재 대응 기술 유사한장 적용 2건 이상 :: 지하고속도로 내 화재 위험 분류 및 대응 가이드라인 1건 개발 - 지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보 :: 지하고속도로 모델 기반 폭발 축소모형실험 및 시뮬레이션을 통한 설계기준 제·개정 - 지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리 :: 지하고속도로 교통처리 평가지표/방법 개발 및 현장 적용을 통한 성능 검증 :: 재난 대응 교통차단시설 및 도로설계도서 제시 - 초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보 :: 초대단면 터널 분할굴착 최소화 기술의 건설기준 또는 자침 반영 1건 :: 현장 실증 1건 적용을 통한 수직편차 5mm/m 이하 확보 검증

	:: 지하수위 저하 방지형 대단면·대심도 수직구의 수직편차 5mm/m 이하 제어 *현기술수준 15~20mm/m 수직편차 제어 - 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화 :: 침수시 누설전류 제한(10mA 이하)을 통한 펌프기동반 정상작동 시제품 :: 지하고속도로 대피 시간 20분 확보가 가능한 분산형 집수·저류 시설 및 배수시설 설계 메뉴얼	- 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화 :: 침수시 펌프기동반 정상작동 시제품 및 관제시스템 (무선 관제 100%) 현장 적용을 통한 성능 검증 :: 지하고속도로 대피 시간 20분 확보가 가능한 분산형 집수·저류 시설 및 배수시설 시공 메뉴얼
환경 개선 및 교통 운영 효율화	- 환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보 :: 환기소(수직구) 설치간격 최대 7km/10km (전차중/소형차 전용) 적용 기술 확보 *현기술수준 전차중 3km 내외, 소형차 전용 5km 이하 :: 첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술 적용으로 기존 대비 굴착량 향상(3.0m/cycle→4.5m/cycle) :: 가스상(기체상) 유해물질 제거효율 70% 확보 가능한 도로터널 유해물질 처리 기술 확보 *현기술수준 도로터널용 가스상오존, 일산화탄소, 질산화물 유해물질 처리 기술 대비 - 지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상 :: 100km/h 주행 시 1m 오차 이내의 네비게이션 서비스 제공 가능한 정밀 측위기술 - 지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발 :: VR·AR·주행 시뮬레이터를 이용한 지하고속도로 최적화 공간 디자인(색상·패턴·조명)에 대한이용자 만족도(기존 디자인 대비 긍정 반응) 80% 이상 확보 - 지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보 :: 지하 이용자 편의 향상 인프라(전기 충전소, 출음터, 주차장, 지상 휴게실 입체연결 시스템) 설계 적정성(90점 이상) 확보	- 환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보 :: 환기소 설치간격 증대 기술 설계자침 반영 1건 :: 현장 실증(2개소)을 통한 저소음·저진동 고속굴착 시스템 검증 및 DB화 :: 굴착 효율 향상을 위한 저소음·저진동 고속굴착 시스템 메뉴얼 1건 개발 :: 공용 중인 유사현장 적용을 통한 유해물질 저감시설 성능검증 1건 - 지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상 :: 유사현장 적용을 통한 정밀위치 정보제공 기술의 성능검증 1건 - 지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보 :: 지하 이용자 안전 및 편의 향상 인프라 기술(공간 디자인, 첨단 누설전류 방지 시스템 등) 유사 현장 적용을 통한 성능검증 2개소 이상 :: 승강기 운행자침 등 지침 제·개정 1건

산출

추진 전략

미래 환경변화에 대응한
화재·침수·교통
안전 확보

공간디자인, 휴게시설
등 이용자 친화적
인프라 구축

주변 영향 최소화 및
지하고속도로 대응
교통·운영 효율 향상

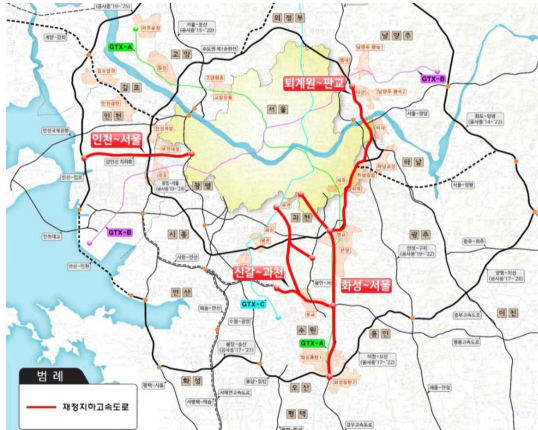
사업구성

1. 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	2. 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발
1-1. 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증	2-1. 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증
1-2. 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증	2-2. 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증

[그림 1-3] K-지하고속도로 인프라 기술개발 사업의 비전·목표 체계도

제2절. 추진배경 및 필요성

- (연구개발 필요성1) 터널구간 연장 20km 내외, 길게는 30km 이상 초장대, 대단면, 대심도 지하 고속도로 출현 대비가 필요하며, 지하고속도로 인프라 관련 기술은 세계적 기술 선도 가능 분야
- 기운영 또는 시공 중인 지하도로 사업 10km 내외, 고속도로의 경우 국내 최장 고속도로터널 (인제양양터널) 연장은 약 11km이므로 연장 20km가 넘는 지하고속도로 특성을 고려한 연구개발 필요
 - 최근 발표('22.02.)된 「제2차 고속도로 건설계획(2021~2025)」 중점사업 3개노선(인천~서울, 화성~서울, 퇴계원~판교) 모두 연장 20km 내외
 - 현재 진행 중인 사상~해운대 고속도로 민간투자사업 연장 22.8km('22.9. 제3자 제안공고)



[인천-서울(경인고속도로 지하화)]	
· 노선	남청라IC ~ 서인천IC ~ 신월IC
· 연장	19.3km(4~6차로), 사업비 약 2.86조원(추정)
[화성-서울(경부고속도로 입체화)]	
· 노선	기흥IC ~ 서울TG ~ 양재IC
· 연장	26.1km(4~6차로), 사업비 약 3.84조원(추정)
[퇴계원-판교(수도권제1순환고속도로 입체화)]	
· 노선	퇴계원IC ~ 판교Jct
· 연장	35.1km(4~6차로), 사업비 약 4조원(추정)

[그림 1-4] 지하고속도로(재정사업) 신규 사업 위치도 및 사업별 개요

- 대심도·대단면·초장대 지하고속도로 특성을 고려한 인프라 최적화 설계 및 시공 관련 기술은 세계적 기술 선도 가능
 - 연장 18km 이상 도로터널은 전 세계 7개 사례, 특히 국내 지하고속도로 유사 사업(고속주행, 도심지 대심도, 지하 분합류 등)은 3개 사례 불과(운영 중 1개, 시공 중 2개)
 - 전 세계적으로도 초장대 지하고속도로 인프라 구축 기술, 위험차량 감지 및 추적, 방재 및 통합 운영 관리 등 기술 및 노하우 부족한 실정

<표 1-1> 전 세계 초장대 도로터널(연장 20km 내외 및 초과) 현황

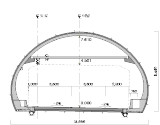
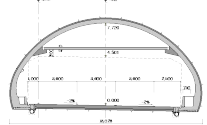
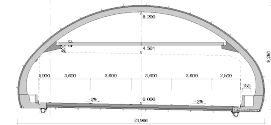
사업명	Rogfast 프로젝트	Lærdal (레르달)터널	Tianshan Shengli 터널	Westconnex 프로젝트	Yamate (야마테)터널	E4 bypass 프로젝트
국 가	노르웨이	노르웨이	중국	호주	일본	스웨덴
구분 (공법)	해저터널 (발파굴착)	산악터널 (발파굴착)	산악터널 (발파굴착+TBM)	지하도로 (발파굴착+로드헤더)	지하도로 (TBM)	지하도로 (발파굴착)
터널 연장 (km)	27.0 (완공시 세계 최장 도로터널)	24.5 (현 세계 최장 도로터널)	22.1 (완공시 세계 최장 고속도로터널)	19.0 (5.5(New M4)+9.0 (M8)+7.5(M4-M5 링크))	18.2 (9.8(신주쿠선)+8.4(시나가와선))	18.0
속도 (km/h)	110(설계)	80(운영)	100(설계)	90(설계)/80(운영)	60 (운영)	80~100 (설계)
현 황	시공중 ('33 완공 목표)	공용중 ('00 완공)	시공중 ('25 완공 목표)	시공중(일부 공용중) ('23 완공 목표)	공용중 ('15 완공)	시공중 ('30 완공 목표)

* 상기 표에 제시된 사례 외 중국 Zhongnanshan(중남산)터널이 있음(L=18.0km, 산악터널(발파굴착), 공용중(80km/h)).

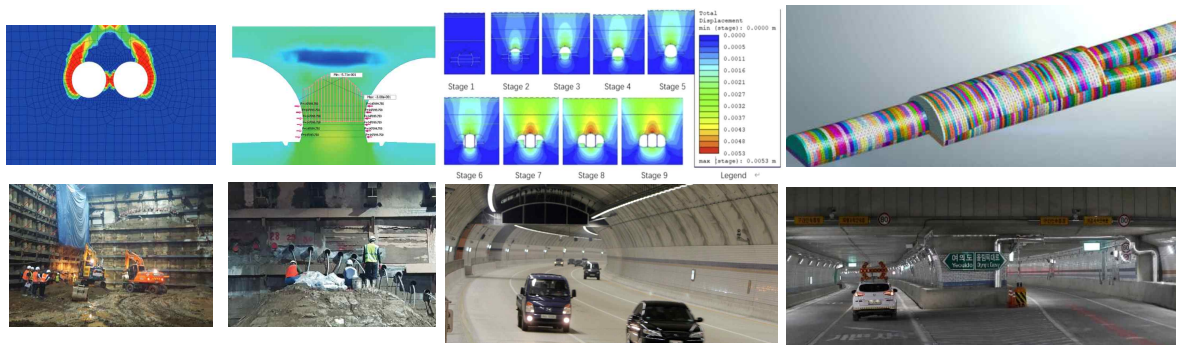
□ (연구개발 필요성2) 지하고속도로는 초장대, 대단면화가 요구될 뿐만 아니라 다수 지하 유출입부(ramp) 설치에 따른 광폭·대단면의 변단면 터널 건설 필요하나 관련 경험 미비

- 대심도 분기터널 설계·시공은 신월여의지하도로(소형차, 편도 2차로+연결로 1차로)가 유일하며, 지하고속도로는 더 큰 규모의 변단면 터널 설계·시공 기술력이 요구됨
- 예를 들어 ‘본선 편도 3차로+연결로 1차로’ 구성 시 본선 4.5~5차로 규모의 초대단면 변단면 터널 발생 가능

<표 1-2> 지하고속도로(전 차종) 차로 수에 따른 터널 단면 변화 비교

구분	본선 2차로	본선 3차로	본선 4차로
단면도			
도로폭원(m)	1.0+3.60+3.60+2.5=10.7	1.0+3.60+3.60+3.60+2.5=14.3	1.0+3.60+3.60+3.60+3.60+2.5=17.9
굴착 단면적(㎡)	103	126	164

- 국내의 경우 고속도로 광폭터널(편도 4차로) 시공사례가 존재하기는 하지만 터널 내 분·합류부가 존재하지 않는 사례이므로 초장대 지하고속도로 내 분합류 구간 변단면 확폭에 따른 편도 4차로 초과 광폭터널 굴착, 지보, 안정성 평가기술 미비
- 대단면 터널 굴착과 근접 병설터널 연구 및 시공 사례 존재하나 비교적 단거리·중대단면 산악 터널 대상이며, 차량 분합류부 대심도 광폭 변단면 사례 및 연구는 거의 없는 실정
- 또한 신월여의지하도로는 국내 최초 대심도 지하공간 내 분/합류부가 존재하는 지하도로이며 분/합류부 변단면 터널이 존재하지만 편도 2차로 소형차 전용 터널의 조건이므로 본 기획연구에서 대상으로하는 지하고속도로 규모 대비 매우 작은 수준(소형차 전용 3~3.5차로 정도 규모)

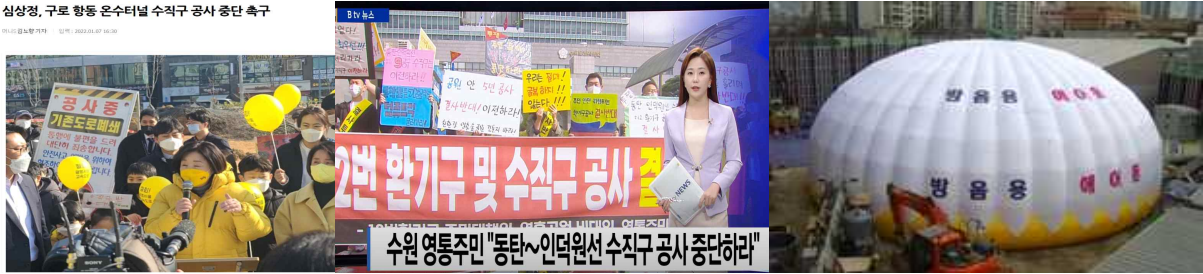


(a) 방아다리터널(시공중) (b) 사패산터널(운영중) (c) 신월여의지하도로(운영중)

[그림 1-5] 국내 초근접 병렬터널, 광폭터널 및 지하도로 분기부 설계·시공 사례

□ (연구개발 필요성3) 지하도로 수직구는 환기, 배연(화재 발생시), 비상탈출 경로 확보 등을 위한 필수 구조물이나 도시지역 내(또는 주변) 수직구는 공사 중 민원발생 주요 요인

- 수직구는 민원사례가 빈번한 설치 기피시설이므로 민원에 따른 공기 지연 우려가 높음
- 원활한 사업 추진과 계획 일정에 맞는 적기 개통을 위해서는 설치 최소화 및 안전 우려에 대한 불식이 가능한 기술개발 필요
 - 진동·소음 민원 저감 위해 일부 현장은 에어돔 등을 적용하여 발파과정 중 주변 피해 최소화를 도모하고 있으나 공기 지연, 화재 시 안전성 저하 등 문제 상존



(a) 항동지구 온수터널1)

(b) 동탄-인덕원선2)

(c) 부산 만덕-센텀 지하도로

[그림 1-6] 도시지역 수직구 공사 관련 시위 및 에어돔 설치 사례

- 최근 GTX-A, 전력구 등 공사 중 수직구 시공에 따른 지하수 저하 및 지반침하 발생에 대한 분쟁사례 등 보고됨에 따라 이에 대한 예방, 관리 기술 필요
 - 당진시 부곡공단 전력구 공사(한국전력공사, '17.8. 착공) 중 지반침하 발생('19.12.23. 기준 27.25cm)하였으며, 과도한 지하수 유출(2,030톤/일) 등이 주요 원인인 것으로 보고

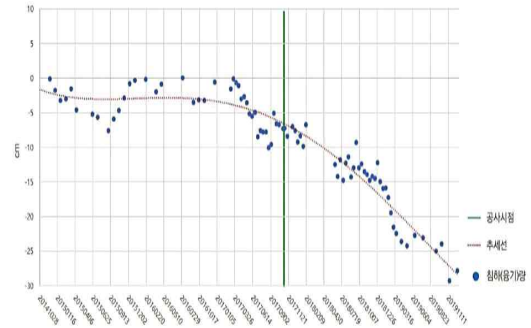
시한폭탄 된 당진 부곡공단 '누구 하나 죽어야 하나'

출처: 연합뉴스 | 2020.07.31 16:00 | 1인 1화 1화 | 1인 1화



[취재 후] 멈추지 않는 부곡공단의 시한폭탄

출처: 연합뉴스 | 2020.07.31 16:00 | 1인 1화 1화 | 1인 1화



(a) 부곡공단 침하문제 관련 보도3)

(b) 부곡공단 A공장 지반침하 발생 추이

[그림 1-7] 수직구 시공 중 지반침하 문제 발생 사례(부곡공단)

- 수직구 설치 최소화를 통해 공사비 절감 가능
 - 도시지역 수직구 공사비 약 63억/개소(기존 사례기반 간접비 등 제외한 직공비 추정, D=12.5m 기준)
- 위험물 적재, 과적 차량 등 진입 불가 차량 오진입 시 긴급 유출 경로로 활용하는 등 단순한 환기 및 비상경로 제공 외 설치 필요성과 타당성 제고를 위한 활용성 다변화와 함께 관련 기술 필요
- 해외에서는 지하수위 저하에 따른 주변 지반 침하 및 구조물 변위 등 예방이 가능한 수직구 기계화 시공기술, 프리캐스트 라이닝(PC) 시공기술 등이 상용화 단계임
- 국내에서도 수직구 라이닝 급속 시공기술, 친환경·저소음 시공기술(소단면 공동구용) 등이 개발된 바 있으나 수직구의 다목적 활용을 위해서 필요한 대구경 수직구 시공 및 지하수위 관리 대응 기술은 아직까지 미흡한 실정임
- 세계적으로도 수직구를 위험 또는 오진입 차량의 긴급 유출 경로로 활용한 사례는 없으므로 이러한 기술 구현을 위한 인프라 설계·시공 및 교통처리 기술력 확보가 요구됨

1) 출처 : 머니S, '22.01.07.

2) 출처 : Btv뉴스, '22.10.05.

3) 출처 : 당진신문, '22.07.31., '23.1.7.

- 지하고속도로의 수직구 설치 최소화 시 굴진면 감소에 대한 공정지연 효과를 최소화 할 수 있는 터널 급속 시공 기술 필요
 - 20km 이상 연장의 터널 구간이 대부분인 지하고속도로 사업에서 터널 굴착 공정기간은 전체 사업기간과 밀접한 상관관계가 존재하며, 터널에서 수직구, 경사터널 등은 터널 굴착을 위한 굴진면(막장) 개소수와 연관성을 갖기 때문에 수직구 감소에 대한 대응 기술 확보 필요
 - 지하고속도로 굴착은 단면 크기, 연장, 다수 분합류부 존재 등 조건과 국내 TBM 기술 수준 등을 고려할 때 NATM 공법 적용일 일반적일 것으로 예상되나, 도시지역에서 NATM 공법을 적용시 진동/소음에 대한 기준은 엄격히 관리될 필요성이 높으며 이러한 조건을 만족함과 동시에 굴진장을 높이는 것은 현재 기술수준에서 한계 존재
 - 따라서 4IR 기술 융복합을 통해 도시지역 터널 굴착 중 진동/소음에 대한 엄격한 관리 기준을 만족하면서도 굴진장 및 Cycle time을 최대로 확보할 수 있는 기술 확보 필요

<표 1-3> 터널 굴착공법의 산악터널 및 도심지 터널 대상 현재 기술수준

구분		산악터널	도심지 터널
굴진장	최대	4.0m	3.0m
	특성	- 최대 4.0m 굴진으로 설계 - 1발파당 평균 3.0m 굴진	- 도심지 3.0m 굴진이 최대 - 평균 굴진속도 2.5m/일 수준
진동/소음	특성	- 민원지역이 적어 허용기준을 0.5~1cm/sec 수준으로 높임 - 고찰 등 문화재 인접구간에서 허용기준 초과 우려	- 허용기준 0.2cm/sec로 엄격히 관리 - 민원대상 구조물 계측관리 병행 - 무진동 등 특수공법 병행 : 선대구경, 전자되관, 분산장약
시공관련 사항		- 장공 발파가 가능하지만, 4.0m 한계 - 여굴의 과다발생으로 경제성 저하 : 대괴 처리, Shotcrete 증가	- 제어발파(구간분할)로 작업시간 증가 및 굴진효율 저하
작업시간 (Cycle time)		- 다량의 버력발생, 처리시간이 증가 - 천공, 버력처리등으로 1일 2cycle이 어려운 경우가 자주 발생함 - 대괴 발생에 의한 2차작업과 여굴에 의한 추가작업 시간 소요 발생	- 천공작업/버력처리 시간이 감소하나 강지보, 숏크리트로 1일 2Cycle유지 - 보조공법(인버트, Forepolling) 등 추가 작업시간 소요

□ (연구개발 필요성4) 초장대·대심도 특성을 가진 지하고속도로에서 이용자 안전 최우선 확보, 편의성 증대를 위한 방재기술 및 부대시설 설치 기술이 요구

- 지하고속도로는 초장대, 대심도 터널일 뿐만 아니라 교통량(이용자)이 매우 많고 폐쇄된 공간 구조를 갖는 구조물이므로 이러한 조건을 고려한 이용자 안전확보 시설, 설비 강화가 요구됨
 - 지하고속도로(터널) 등 폐쇄된 공간 구조를 갖는 구조물 내에서의 화재발생은 막대한 인명피해 및 재산피해를 야기할 우려 존재
 - 몽블랑 터널 화재(1999년) : 39명 사망, 약 189백만 유로(약 2,600억원) 피해 발생
 - 사매2터널(순천-완주고속도로) 화재('20.2.17.) : 5명 사망, 40여명 부상, 약 1달간 터널 폐쇄
 - 방음터널(제2경인고속도로) 화재('22.12.29.) : 5명 사망, 41명 부상, 21.9km 구간 폐쇄 (~현재)
 - 따라서 이용자 안전 확보 위한 화재발생 후 대응체계뿐만 아니라 화재발생 요인을 사전에 제어·차단 및 모니터링할 수 있는 선제적 대응기술 확보 필요



(a) 몽블랑터널(프랑스-이탈리아)



(b) 사매2터널⁴⁾



(c) 제2경인 방음터널⁵⁾

[그림 1-8] 지하고속도로와 유사한 폐쇄형 구조물(터널 및 방음터널) 내 대형 화재 사례

- 또한 「도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침」, 「지하도로 설계지침」 등 현재 준용 중인 지하도로 방재관련 정량적 위험도 평가(QRA)는 일반 도로터널과 도심지 터널 특성만 고려된 정량적 위험도 평가 기법을 규정하고 있기 때문에 초장대, 대심도, 네트워크 터널의 특성을 갖는 지하고속도로의 정량적 위험도 평가(QRA) 기술 개발이 요구
- 지하고속도로를 20km 이상 주행하는 이용자의 편의성 증진, 주행안전성 확보에 필요한 휴게 시설(휴게소 또는 졸음쉼터 등) 제공 방안 및 구축기술 부족
 - 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설(국토부, 2020)에 의하면 휴게시설 상호 간 15~25km 이내 설치 바람직하며, 도로설계요령(한국도로공사, 2020)에서는 모든 휴게시설 상호 간 일반 구간은 15~20 km 간격으로 하도록 규정함
 - 따라서 아직까지 도로터널, 지하도로에서 연장 조건(약 10km 내외) 등에 따라 설치 필요성이 낮아 고민하지 못했던 휴게시설 등 인프라 건설뿐만 아니라 친환경차(전기차, 수소차 등) 충전 인프라 설계 및 시공기술 등 지하고속도로 환경 조건을 고려한 부대시설의 건설 기술력 확보 필요

□ (연구개발 필요성5) 국가 계획에 따라 지하고속도로 내 친환경차(전기차, 수소차 등) 이용 비율 증가는 필연적이나 이를 고려한 환기·방재 및 부대시설의 설계·시공기술 미비

- 정부는 제4차 친환경자동차 기본계획(2021~2025)(관계부처 합동, 2021.2.)을 통해 '25년 연간 신차판매의 50%, '30년 80% 이상을 친환경차로 전환할 계획을 수립함

<표 1-4> 국내 친환경차 보급 누적 현황 및 계획(국토부, 2021.2./2022.7.)

기준	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2025년	2030년
친환경차* 보급 대수(만대)	24	33	46	60	82	283	785
전체 차량 중 비중(%)	1.1	1.5	2.0	2.5	3.4	11.0	30.0

* 전기차, 하이브리드차, 플러그인 하이브리드차, 수소차

- 반면, 환기·방재(소화설비, 제연설비, 수방재설비 등)시설 설계 시 관련 연구 부족 등 이유로 친환경차조건을 반영하고 있지 못하는 실정이며 친환경차 대응 방재설비 기술도 걸음마 단계임
- 전통적 내연차량 대상 터널 방재기술은 국내를 비롯해 세계적으로도 고도화된 상황이나, 선제적 대응 기술 및 친환경 차량 대응 기술은 아직 발전기 단계임
- 현재 기술수준에서 대표적인 친환경차량인 전기차 화재 대응 방법은 소방대원에 의한 질식 소화용 내화 덮개, 침수 소화용 간이 구조, 특수 관창 사용 등이 전부임

4) 출처 : 아주경제, '20.02.18.

5) 출처 : 동아일보, '22.12.29.

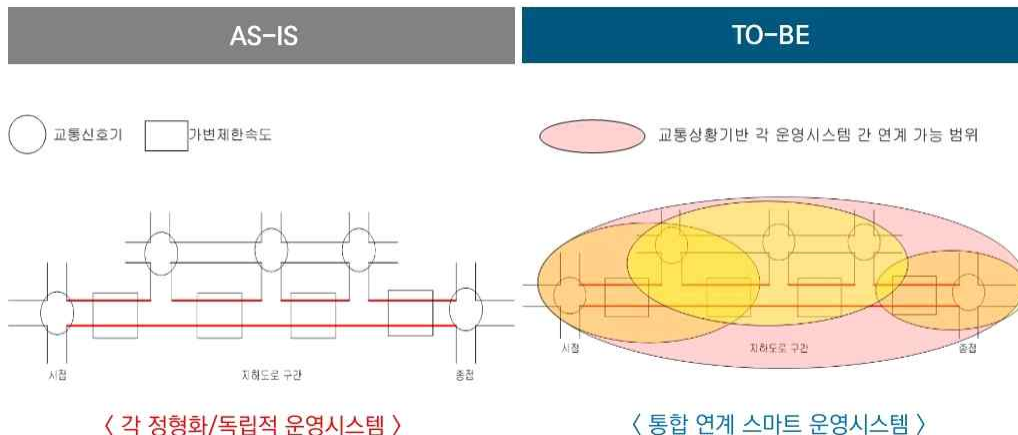


[그림 1-9] 현재 기술수준에서 전기 자동차 화재진압 방법

- 따라서 지하고속도로 내 화재 예방 및 위험요인을 사전에 관리할 수 있는 선제적 대응 기술 및 인프라 측면의 친환경 차량 화재 대응 기술은 연구개발 시급성이 높음
- 또한 정량적 위험도 평가(QRA) 기술과 관련해서도 현재는 가솔린과 디젤인 내연기관에 대한 구분으로 총 8종에 대한 차종(승용차(가솔린, 디젤), 버스(소형, 대형), 트럭(소형, 중형, 대형, 특수)만 적용 중이므로 친환경차량(전기차량, 수소차량 등)에 대한 영향인자가 고려된 정량적 위험도 평가(QRA) 기술 개발 필요

□ (연구개발 필요성6) 지하고속도로의 특성 고려와 함께 교통상황기반 운영시스템 간 연계 가능한 기술 확보 및 시스템 구축 필요

- 긴 폐쇄된 공간, 연속류와 단속류 구간 혼재 등 지하도로의 특수 환경이 고려된 교통운영 기술 확보가 요구되며, 교통망의 원활한 운영을 위해서는 통합 연계가 가능한 스마트 운영시스템 구축 및 운영이 필요



[그림 1-10] 지하고속도로 교통운영시스템의 현재 기술수준과 미래상 비교

- 경로 및 교통정보 등의 안내체계 정비필요
 - 지하고속도로에서는 지점 개념의 교통정보제공이 아니라 선 개념 정보제공 필요
 - 선 개념 정보제공을 위해서는 지연 없는 실시간 교통 정보 제공이 필요하나 현재 일반적으로 적용되고 있는 ‘현장-센터-현장’의 방식은 실시간 정보제공이 어려운 한계가 존재함
 - 따라서 현장에서 바로 정보생성 후 이용자에게 즉시 정보를 제공할 수 있는 교통정보 제공 기술 및 시스템 구축 필요

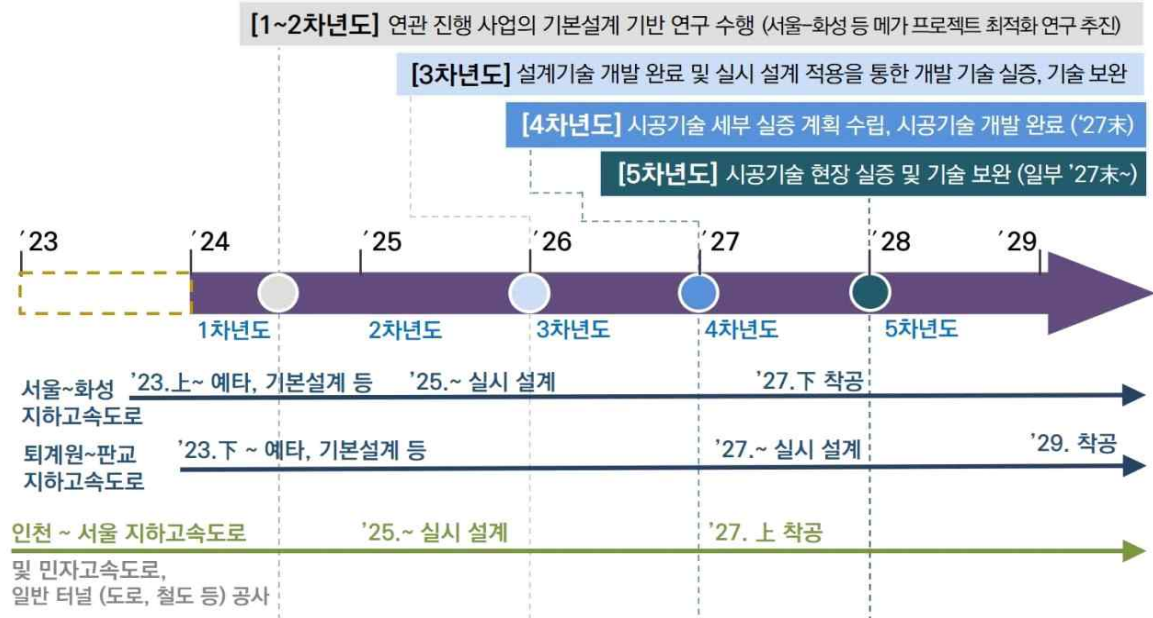
6) 출처 : 세이프투데이, 21.11.10.

7) 출처 : 소방방재신문, 22.07.11.

8) 출처 : 연합뉴스, 22.08.31.

□ (연구개발 시급성 1) 現정부 국정과제 및 국가계획에 따라 재정사업으로 추진 중인 지하고속도로 사업(경부선, 경인선 지하화)에 연구성과 반영을 위해 기술 개발 시급

- 지하고속도로 사업은 연장 20km 이상 구간의 초장대 터널건설이 요구되므로 개통지연 방지 및 조기개통을 위해서는 기술개발 시급
- 국내에서 최초로 추진하는 초장대, 대단면, 대심도 지하고속도로 건설과 운영 중 안전성과 경제성 등을 고려한 설계·시공 기술 개발 시급



[그림 1-11] 진행 중인 지하고속도로 사업과 동사업의 연계 방안

□ (연구개발 시급성 2) 우리나라 지하고속도로 인프라 안정성 및 이용자 안전·편의를 확보하기 위한 기술개발 시급

- 우리나라는 「제2차 고속도로 건설계획(2021~2025)」에서 중점사업 3개노선을 발표하고, 만성적인 교통체증을 해결하기 위한 대대적인 국가 인프라 혁신을 주도할 계획
 - 기존 대비 짧은 시공 기간을 충족하기 위한 급속시공 기술 도입, 저소음·저진동 공법 및 수직구 최소화 등 기술 도입에 따른 주변 영향 최소화에 대한 중요성도 높아지고 있으며, 예상되는 문제점을 해결하기 위한 신기술 개발 수요도 높은 상황
 - 특히, 이번 지하고속도로 관련 계획은 서울시와 경기도 주요 도시들을 관통하는 지하고속도로 구축으로 지하고속도로 관련 기술수요가 매우 높을 것으로 예상
- 따라서, 해외 유사 지하고속도로 사례, 국내 우수 사례 등의 벤치마킹 및 성과연계를 통해 앞으로 우리나라가 구축하는 지하고속도로 인프라의 안전성 확보를 위한 기술개발 시급
 - (E4 bypass) 스웨덴의 지하도로의 연장은 18km로 주행시 피로감 및 폐쇄감 저감 등을 위해 터널 내 공간디자인을 적용, 이에 대한 벤치마킹 필요
 - (Lærdals 터널) 현세계 최장 도로터널인 노르웨이 레르달 터널은 3곳의 줄임쉼터가 있으나, 쉼터 공간이 협소하여 현재는 운용하지 않고 있어, 휴게시설에 대한 개선사항으로 벤치마킹 필요
 - (Westconnex 프로젝트) 호주 최대의 인프라 사업으로 교통부문/환경부문/도시부문 등 다양한 정책적 효과를 검증하고 있어, 지하고속도로 기술개발 사업의 효과분석 등에 활용
 - (친환경차 화재) 친환경차의 배터리 화재에 대한 다양한 대응방안이 개발되고 있으며, 이와 연계하여 지하고속도로 내 선제적 화재 대응체계를 구축하는데 활용

□ (정부지원 필요성 1) 지하시설물의 안전한 구축 및 관리·운영은 정부의 역할

- 지하안전관리에 관한 특별법 제3조(국가 등의 책무), 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 제3조(국가 등의 책무) 등
- 교통 인프라의 지하화는 공공의 목적으로 사용 가능한 지하 대심도 공간에서 진행되고 있고, 이는 정부가 지하공간 활용 등 종합적인 로드맵 구축을 통한 관리 필요

□ (정부지원 필요성 2) 정부·민간 이해관계(공사효율성·환경 및 안전성) 차이에 따른 정부지원 필요

- 지하고속도로 건설 및 상부공간 활용에 있어 정부와 민간의 이해관계 차이로 인한 시장실패 발생 가능성이 높아 정부 개입을 통한 연구개발이 필요한 영역
 - (시장실패) 공공재 개발을 위한 시공효율과 주변영향 최소화(민원 등)에 대한 정부·민간의 이해관계 차이로 인하여 민간은 적극적인 연구개발을 시도하지 않는 문제가 발생 가능
 - 기업은 이윤을 추구하는 특성상 규정/규제에 의한 최소한의 안전수준을 지키면서 효율적인 시공기술 개발에 집중하고 있으나, 이에 따른 소음, 진동, 분진 등의 문제로 각종 민원이 발생
 - 정부는 최상의 안전을 확보하면서도 환경 영향은 최소화하기 위해 노력하나, 이는 결국 민간의 시공효율성 저하로 이어져 민간의 적극적인 기술개발을 유인하는데 한계 존재
 - (기술개발 방향) K-지하고속도로 인프라 기술개발 사업은 민원을 최소화하면서 시공효율성을 향상시킬 수 있는 기술을 확보하여 정부-민간의 이해관계 차이를 극복
 - 민원 발생의 주요 원인인 수직구를 최소화하고, 굴착면이 줄어드는 만큼 공사기간을 혁신적으로 단축할 수 있는 기술을 확보
 - 또한, 저소음·저진동 굴착기술을 개발함으로써 도심지 내에서 주변 영향을 최소화

제3절. 사업 추진근거

1. 법적 근거

□ 국토교통과학기술 육성법 제8조(연구개발사업의 추진)

제8조(연구개발사업의 추진)

- ① 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업(이하 “연구개발사업”이라 한다)을 할 수 있다.

□ 지하안전관리에 대한 특별법 제3조(국가 등의 책무)

제3조(국가 등의 책무)

- ① 국가 및 지방자치단체는 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위하여 지반침하 예방 및 지하안전관리에 관한 종합적인 시책을 수립·시행하여야 한다.
- ② 지하개발사업자 및 지하시설물관리자는 지하개발 또는 지하시설물 이용으로 인한 지반침하를 예방하고 지하안전을 확보하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.
- ③ 국민은 국가와 지방자치단체의 지반침하 예방 및 지하안전관리를 위한 활동에 적극 협조하여야 하며, 자기가 소유하거나 이용하는 지하시설물로부터 지반침하가 발생하지 아니하도록 노력하여야 한다.

□ 국토기본법 제10조(국토종합계획의 내용)

제10조(국토종합계획의 내용) 국토종합계획에는 다음 각 호의 사항에 대한 기본적이고 장기적인 정책방향이 포함되어야 한다.

1. 국토의 현황 및 여건 변화 전망에 관한 사항
2. 국토발전의 기본 이념 및 바람직한 국토 미래상의 정립에 관한 사항
- 2의2. 교통, 물류, 공간정보 등에 관한 신기술의 개발과 활용을 통한 국토의 효율적인 발전 방향과 혁신 기반 조성에 관한 사항
3. 국토의 공간구조의 정비 및 지역별 기능 분담 방향에 관한 사항
4. 국토의 균형발전을 위한 시책 및 지역산업 육성에 관한 사항
5. 국가경쟁력 향상 및 국민생활의 기반이 되는 국토 기간 시설의 확충에 관한 사항
6. 토지, 수자원, 산림자원, 해양수산자원 등 국토자원의 효율적 이용 및 관리에 관한 사항
7. 주택, 상하수도 등 생활 여건의 조성 및 삶의 질 개선에 관한 사항
8. 수해, 풍해(風害), 그 밖의 재해의 방제(防除)에 관한 사항
9. 지하 공간의 합리적 이용 및 관리에 관한 사항
10. 지속가능한 국토 발전을 위한 국토 환경의 보전 및 개선에 관한 사항
11. 그 밖에 제1호부터 제10호까지에 부수(附隨)되는 사항

2. 유관 정책 및 계획

- 「제5차 국토종합계획(’20~’40)」 「인프라의 효율적 운영과 국토 지능화」 전략 내 「네트워크형 교통망의 효율화와 대도시권 혼잡 해소」에 정책과제에 부합
 - 네트워크형 교통망의 효율화와 대도시권 혼잡 해소를 위해 국가 간선망의 효율화를 통해 전국을 2시간대로 연결하고, 대심도 지하도로를 추진, 자율주행차와 개인용 이동수단 등에 대비한 미래형 교통체계 개편을 검토 등 정책과제가 동 사업의 개발목표 및 범위에 부합
- 「제2차 국가도로망종합계획(’21~’30)」 「적재적소에 투자하여 경제 재도약 지원」 정책과제 내 도로 산업 육성·연구개발 방안으로 도심지 초고속 지하도로를 제시
 - 4차 산업혁명 기술의 인프라 접목을 위해 도로분야 연구개발을 추진하고, 도로관련 R&D 핵심 기술(분야) ②편리한도로에 도심지 초고속 지하도로 구축/지상·지하 연계 입체적 도로망 구축 및 운영 기술을 반영하여 동 사업의 개발목표 및 범위에 부합
- 「제2차 고속도로 건설계획(’21~’25)」 중점사업 3개 노선, 일반사업 1개 노선 지하고속도로 건설 계획 수립
 - 주변 도심개발 등으로 수평적 확장이 어려운 구간은 지하도로 등 입체적 활용을 통해 교통혼잡 해소를 위한 중점사업으로 퇴계원-판교(수도권 제1순환 혼잡해소), 화성-서울(경부선 혼잡해소), 인천-서울(경인선 혼잡해소), 신갈-과천(영동선 혼잡해소) 사업 계획하고 있어, 동 사업의 적용 대상범위에 부합
- “윤석열 정부 120대 국정과제” 「[39] 빠르고 편리한 교통 혁신」 내 「(수도권 30분 출퇴근 시대) 경부·경인 등 주요 고속도로 지하에 대심도 고속도로를 건설하여 상습정체 해소」에 부합
- “광역교통비전 2030(’19.10)” 「세계적 수준의 급행 광역교통망 구축」 전략 내 「네트워크 강화를 통한 도로의 간선기능 회복」 과제에 대심도 지하도로 신설이라는 추진방안에 부합
 - 도로의 간선기능 회복을 위해 수도권 동서횡단축 등 주요 간선도로(연구용역 중), 부산·울산권 사상~해운대(민자적격성 조사 중) 등에 지하부는 자동차, 지상부는 BRT·중앙버스차로 등 대중교통 차로로 활용하는 대심도 지하도로 신설을 검토를 제시하고 있어 동 사업의 적용 대상범위에 부합
- “국토부 2023 주요업무 추진계획(’23.01)” 지하고속도로 사업에 대해 「現정부 임기 내 경인 착공(’27.上), 경부 설계완료(’27.上), 수도권1순환선 설계 착수」 등 계획 제시

제4절. 사업 추진경위

1. 기획 추진체계

□ 사업기획 주관부처인 국토교통부 하에 전문기관인 국토교통과학기술진흥원에서 과제를 담당

- (컨소시엄) 주관연구기관인 와이젠글로벌(주)과 공동연구기관인 한국건설기술연구원이 컨소시엄 형태로 연구를 수행

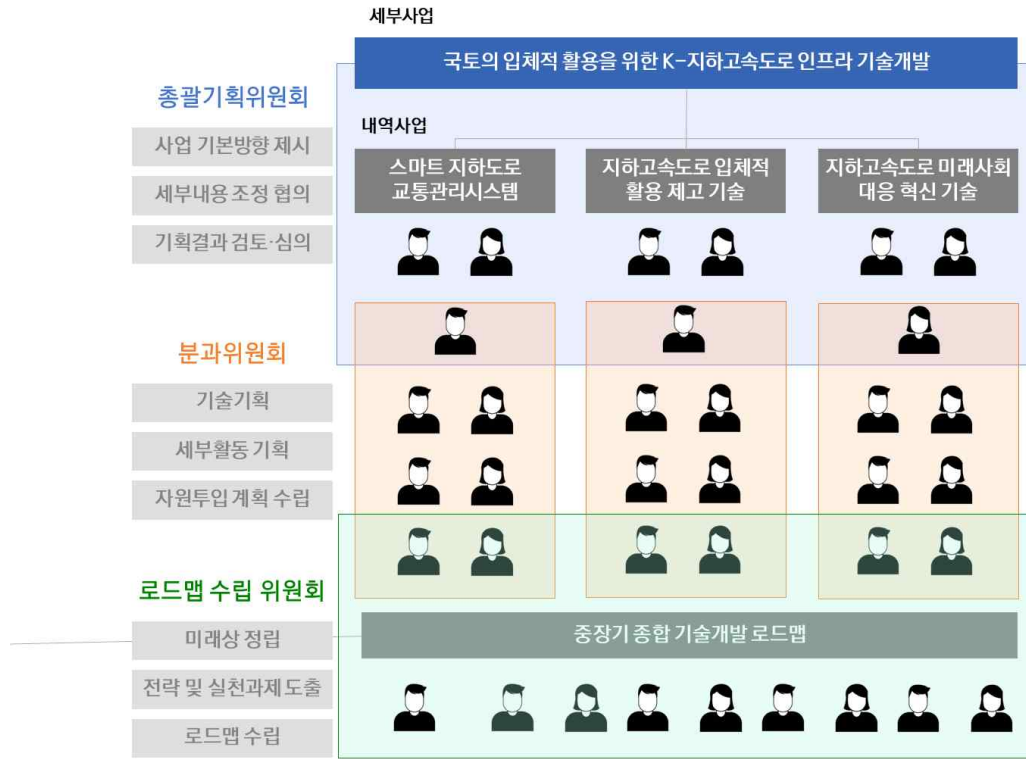


[그림 1-12] 사업 기획 추진체계

- (전문가 참여형 사업 기획) 사업 기획 전문성 강화 및 절차적 타당성 확보를 통한 기획 완성도 제고를 위해, 기획위원회의 기능 및 역할에 따라 ①총괄기획위원회, ②분과위원회 구성 및 운영
 - (운영기간) 2023. 2 ~ 2023. 04
 - (운영주체) 기획연구진(와이젠글로벌, 한국건설기술연구원)

□ 사업 추진주체별 주요 업무 분장

- (주관연구기관) 사업 기획을 위한 세부 계획 수립, 사업 전반에 대한 기획보고서 작성 및 사업 기획을 위한 기획위원회 구성 및 운영 등
- (기획위원회) 사업 기본방향 제시, 기획결과 검토·심의, 상세 기술 기획 등을 담당
 - (총괄위원회) 사업 기획 관련 기획위원회 총괄, 기획방향 및 절차에 대한 전문 자문 등 추진과정 전반에 대한 최종 검토
 - (분과위원회) 중점 추진분야 선정, 전략/세부과제 도출, 자원배분 계획 수립, 기술개발 로드맵 구성 등



[그림 1-13] 기획위원회 구분 및 역할 도식도

<표 1-5> 기획위원회 구성 및 운영 방식

구분	목적	구성	운영
총괄기획 위원회	사업 전체 기획방향 및 절차에 대한 전문성 제고, 다양한 이해 관계자의 의견수렴을 통한 합리적인 사업 기획 수행	터널, 지하도로 등 기술전문성 및 기획 및 정책 전문성을 갖춘 산학연 전문가	<3~4회 운영> - 사업 기본방향 검토 - 내역사업별 기본방향 및 세부활동 기획 결과 검토 - 기획보고서 심의
분과별 위원회	내역사업 구성 및 중점 추진분야에 따른 세부 분야별 동향조사 분석, 연구개발 목표체계 수립, 세부활동 기획 등 전문 콘텐츠 작성	내역사업/중점분야별 전문성을 갖춘 산학연 전문가로 각 분야에 대한 실질적인 기획 및 콘텐츠 작성이 가능한 전문가	<2~3회 운영> - 분과위 구성 및 운영계획 검토 - 내역사업별 기본방향 및 세부활동 기획 중간결과 검토 - 내역사업별 세부활동 기획 중간결과 2차 검토 - 세부활동 기획 최종결과 검토
로드맵 수립 위원회	K-지하고속도로의 미래상을 도출하고 이를 실현하기 위한 전략 및 실천과제 구성 및 중장기적 투자 계획 마련	지하고속도로(설계, 시공, 유지관리), 방재, 환경, 안전 등 지하고속도로 관련 분야의 전문성을 갖춘 전문가로서 정책 및 기획 경험자 우선	<3~4회 운영> - K-지하고속도로 핵심가치 및 미래상 도출 - 핵심전략 및 실천과제에 대한 우선순위 평가 - 실천과제별 로드맵 수립

□ 총괄기획위원회 위원 명단

○ 총 10명(관 2명, 산 3명, 학 3명, 연 2명)

<표 1-6> 총괄기획위원회 위원 명단

연번	구분	성명	소속	직위	비고
1	관	이종현	국토교통부 지하고속도로팀	팀장	
2		유호인	국토교통부 지하고속도로팀	차장	도로공사 → 국토부 파견
3	산	조형제	범창종합기술	사장	환기/방재
4		송하중	한화건설	소장	시공
5		황정순	두산건설	부장	시공
6	학	김도경	서울시립대학교	교수	도로/교통
7		문준식	경북대학교	교수	지반/터널
8		류지오	신한대학교	교수	환기/방재
9	연	김창용	한국건설기술연구원	선임 연구위원	지반/터널
10		조한선	한국교통연구원	본부장	도로/교통

□ 분과위원회 위원 명단

○ 총 21명(산 10, 학 5, 연6)

<표 1-7> 분과위원회 위원 명단

연번	구분		성명	소속	직위	비고
1	1 분과	산	김태복	보임정보통신	이사	방재(시스템)
2			김태균	홍지	대표	구조
3			이원우	도로공사 도로교통연구원	수석 연구원	도로/교통
4		학	이동민	서울시립대학교	교수	도로/교통
5			조상호	전북대학교	교수	방폭
6		연	유용호	한국건설기술연구원	선임 연구위원	환기/방재
7			양충헌	한국건설기술연구원	연구위원	도로/교통
8	2 분과	산	김효규	주성지앤비	대표	환기/방재
9			박일건	평화엔지니어링	이사	환기
10			최상길	비전테크	부대표	설비
11		학	박인준	한서대학교	교수	지반/터널
12			이동민	서울시립대학교	교수	도로/교통
13		연	정진범	한국자동차부품연구원	수석 연구원	부대시설
14			김문경	한국건설기술연구원	박사후 연구원	구조/재료
15	3 분과	산	이호성	지윤이앤씨	대표	지반/터널
16			정재호	지오엑스퍼트그룹	대표	지반/터널
17			고염식	네오시티	대표	구조
18			이석진	롯데건설	부장	시공
19		학	고태영	강원대학교	교수	지반/터널
20		연	정재형	한국건설기술연구원	연구위원	지반/환경
21			오세욱	지질자원연구원	선임 연구원	암반

2. 기획 추진경위

- '19.12.31. : 도로분야 기술개발 전략('21~'30) 수립 (국토부)
 - R&D 로드맵 수립 기획연구 용역(건기연, 국토연, 교통연)을 통해 도로 분야 시장·기술동향 조사·분석 및 기술 수요조사 실시
 - 「도로 혼잡구간 30% 해소」를 목표로 중점 추진분야 中 “편리한 도로”의 핵심 기술로 “지상·지하 연계 입체적 도로망 구축 및 운영”, “도심지 초고속 지하도로 구축” 연구
- '20.04.07. : “도심 지하 교통인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구” R&D 추진
 - (주관연구기관) 한국건설기술연구원
 - (연구기간) '20.4~'23.12
 - (주요 연구내용) 지하교통 인프라 건설에 따른 지반 및 구조물 상호위험도 평가기술, 지하교통 인프라 통합안전 모니터링 플랫폼, 고효율 무진동 암파쇄 기술 등
- '22.12.05. : 국토부 도로국 도로정책과 내 지하고속도로팀 신설
- '22.12.26. : 지하고속도로 R&D 기술수요조사
 - (수요조사명) 안전하고 편리한 K-입체 지하고속도로 모빌리티 인프라 기술 개발(국토부 제안)
- '23.01.~3 . : 지하고속도로 R&D 기획을 위한 관계 기관 회의 시행
 - (참여기관) 국토교통과학기술진흥원(KAIA)(주최), 국토교통부, 한국도로공사, 한국건설기술연구원, 범창종합기술, 유원컨설팅, 경북대학교, 에스코컨설팅, 두산건설, 한화 등
 - (주요 논의사항)
 - 지하고속도로 사업관련 계획, 설계, 시공 및 운영 관련 이슈 및 기술적 애로사항 논의
 - 미래 네트워크화 지하고속도로 시대 대비를 위한 필요기술 및 추진 방안 논의
 - 지하고속도로 기획사업 목표, 추진 방향, 주요 도출 성과(예상) 등 논의
 - 지하고속도로 기획사업 등 활용을 위한 국내 분야별 전문가 pool 구성
- '23.03.15. : 국토교통연구 기획사업 과제(중·장기과제 발굴 등) 공고
 - (과제명) 국토의 입체적 이용을 위한 K-지하고속도로 인프라 기술개발 기획('23~'25)
- '23.03.27. : 지하고속도로 R&D 관련 기술수요조사(KAIA)
 - (대상기관) 지하고속도로 관련 산학 연관 전문가, 조사기간('23.3.27~4.7)
 - (기술수요조사 결과)
 - 3개 구성기술 관련 총 40건 기술수요 접수

제2장. 대내외 환경 분석

제1절. 정책동향

1. 국내 지하고속도로 관련 정책동향

1) 법 현황

(1) 국토기본법

□ 국토기본법은 국토에 관한 계획 및 정책의 수립·시행에 관한 기본법으로 지하 공간의 합리적 이용과 관리에 대한 내용을 포함하여 계획을 수립하도록 규정

○ 국토기본법은 국토에 관한 계획 및 정책의 수립·시행에 관한 기본적인 사항을 정한 기본법으로, 국토의 균형있는 발전, 경쟁력 있는 국토 여건, 국민의 삶의 질 향상, 환경친화적 개발을 고려하여 국토를 개발하도록 방향을 제시

- 국토의 균형있는 발전을 위해 각 지역이 특성에 따라 개성 있게 발전하고 자립적인 경쟁력을 갖추게 개발하도록 규정

- 경쟁력 있는 국토여건의 조성을 위해 국토의 기간시설 등을 체계적으로 확충하도록 규정

- 국민의 삶의 질 향상을 위한 국토 여건 조성을 위해 국민 모두가 생활에 필요한 적절한 수준의 서비스를 제공받을 수 있는 국토 여건을 조성하도록 규정

- 환경친화적 국토관리를 위하여 자연환경과 생활환경에 미치는 영향을 검토하도록 규정

○ 국토기본법에서는 효율적인 국토의 발전을 위해 국토계획을 5년마다 수립하도록 하여 국토를 개발과 이용에 있어 미래의 경제적, 사회적 변동에 대응하여 지향하여야 할 방향을 설정하고 있으며, 지하공간의 합리적인 이용 및 관리에 관한 내용을 포함하도록 명시

- 국토기본법에 의해 수립되는 계획은 국토종합계획, 초광역권계획, 도종합계획, 시·군종합계획, 지역계획, 부문별 계획으로 구성되며 각 계획은 국토종합계획과 조화를 이루도록 설정

• (국토종합계획) 국토 전역을 대상으로 하여 국토의 장기적인 발전 방향을 제시하는 종합계획

• (초광역권계획) 지역의 경제 및 생활권역의 발전에 필요한 연계·협력사업 추진을 위하여 초광역권*을 대상으로 하여 해당 지역의 장기적인 발전 방향을 제시하는 계획

※ 2개 이상의 지방자치단체가 상호 협의하여 설정하거나 「지방자치법」 제199조의 특별지방자치단체가 설정한 권역으로, 특별시·광역시·특별자치시 및 도·특별자치도의 행정구역을 넘어서는 권역

• (도종합계획) 도 또는 특별자치도의 관할구역을 대상으로 하여 해당 지역의 장기적인 발전 방향을 제시하는 종합계획

• (시·군종합계획) 특별시·광역시·특별자치시·시 또는 군의 관할구역을 대상으로 하여 해당 지역의 기본적인 공간구조와 장기 발전 방향을 제시하고, 토지이용, 교통, 환경, 안전, 산업, 정보통신, 보건, 후생, 문화 등에 관하여 수립하는 계획

• (지역계획) 특정 지역을 대상으로 특별한 정책목적을 달성하기 위하여 수립하는 계획

• (부문별 계획) 국토 전역을 대상으로 하여 특정 부문에 대한 장기적인 발전 방향을 제시하는 계획

- 국토종합계획에는 국토의 현황 및 여건 변화 전망에 관한 사항 및 지하 공간의 합리적 이용에 관한 사항 등에 관련된 내용을 포함하여 수립하도록 규정하고 있음

(2) 지속가능한 기반시설 관리 기본법

□ 지속가능한 기반시설 관리 기본법은 기반시설의 체계적인 유지관리와 성능개선을 위하여 기반시설 관리에 필요한 기술의 연구·개발 계획을 등을 포함한 계획을 수립하도록 규정

○ 지속가능한 기반시설 관리 기본법(이하 '기반시설관리법')에서는 기반시설의 체계적인 유지관리와

성능개선을 위해서 규율 대상이 되는 기반시설의 정의와 그 관리를 위한 내용들을 규정

- 기반시설이란 교통시설, 공간시설, 공급시설, 공공·문화체육시설, 방재시설, 보건위생시설, 환경기초시설 중 대통령령으로 정하는 시설들을 의미

<표 2-1> 기반시설의 종류

종류	유형
교통시설	도로, 철도, 항만, 공항, 주차장, 자동차정류장, 궤도, 차량 검사 및 면허시설
공간시설	광장, 공원, 녹지, 유원지, 공공공지
공공·문화체육시설	학교, 공공청사, 문화시설, 공공필요성이 인정되는 체육시설, 연구시설, 사회복지시설, 공공직업훈련시설, 청소년수련시설
방재시설	하천, 유수지, 저수지, 방화설비, 방풍설비, 방수설비, 사방설비, 방조설비
보건위생시설	장사시설, 도축장, 종합의료시설
환경기초시설	하수도, 폐기물처리 및 재활용시설, 빗물저장 및 이용시설, 수질오염 방지시설, 폐차장

출처 : 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령 제2조 제1항

- 다만 동법에서 규정하고 있는 기반시설은 관리주체가 관리하며, 체계적인 관리와 예산의 지원이 필요한 기반시설로 구체적인 종류와 세부기준은 별도로 규정

- 도로의 경우 도로법 제2조제1호*에 따른 도로를 의미

※ 차도, 보도(歩道), 자전거도로, 측도(側道), 터널, 교량, 육교 등 대통령령으로 정하는 시설로 구성된 것으로서 제10조에 열거된 것을 말하며, 도로의 부속물을 포함한 것

- 기반시설관리법에서는 기반시설의 유지관리 및 성능개선을 위해 5년마다 기반시설 관리에 관한 기본계획을 수립하고 시행하도록 규정

- 기반시설 관리 기본계획에는 기반시설의 현황, 여건변화 및 미래 전망에 관한 사항, 법령정비, 필요한 기술의 연구·개발 및 인력의 양성 등의 내용을 포함하도록 방향 제시

(3) 지하안전관리에 관한 특별법

□ 지하안전관리에 관한 특별법에서는 지하안전관리를 위한 정책 및 기술 등의 연구·개발을 포함하여 지반침하를 예방하기 위한 계획을 수립하도록 규정

- 지하안전관리에 관한 특별법은 지하를 안전하게 개발하고 이용하기 위한 안전관리체계를 확립하기 위해 제정된 법률로, 지하와 지하시설물, 지하개발 등에 대한 안전을 규정

- 동법의 적용을 위한 기본 개념으로 지하와 지하개발 등을 규정

- 지하란 개발·이용 관리의 대상이 되는 지표면 아래를 의미
- 지하개발이란 지반형태를 변형시키는 굴착, 매설, 양수 등의 행위

- 동법에서 규정하는 지하시설물이란 상수도, 하수도, 전력시설물, 정신통신설비, 가스공급시설, 공동구, 지하차도, 지하철 등 지하를 개발·이용하는 시설물로서 대통령령으로 정하는 시설물을 의미

- 지하안전관리에 관한 특별법 시행령에서는 도로법의 도로, 시설물안전법상의 지하도상가 등 다양한 범위의 시설들을 규정

- 지하안전관리에 관한 특별법에서는 국가지하안전관리 기본계획을 5년마다 수립하도록하여, 지하안전관리를 위한 정책 및 기술 등의 연구·개발을 포함하여 지반침하를 예방하기위한 방향을 제시

- 국가지하안전관리 기본계획에는 지하안전관리에 관한 법령, 제도의 개선 및 이를 위한 정책 및 기술 등의 연구·개발에 관한 사항 등을 기본계획에 포함하도록 규정

(4) 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법

□ 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법

○ 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(이하 '시설물안전법')

- 시설물이란 건설공사를 통해서 만들어진 교량, 터널, 항만, 댐, 건축물 등 구조물과 그 부대시설로 제1종, 제2종, 제3종시설물로 구분

<표 2-2> 시설물의 종류

종류	유형
공중의 이용편의와 안전을 도모하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있거나 구조상 안전 및 유지관리에 고도의 기술이 필요한 대규모 시설물	
제1종시설물	고속철도 교량, 연장 500미터 이상의 도로 및 철도 교량
	고속철도 및 도시철도 터널, 연장 1000미터 이상의 도로 및 철도 터널
	갑문시설 및 연장 1000미터 이상의 방파제
	다목적댐, 발전용댐, 홍수전용댐 및 총저수용량 1천만톤 이상의 용수전용댐
	21층 이상 또는 연면적 5만제곱미터 이상의 건축물
	하구둑, 포용저수량 8천만톤 이상의 방조제
	광역상수도, 공업용수도, 1일 공급능력 3만톤 이상의 지방상수도
제1종시설물 외에 사회기반시설 등 재난이 발생할 위험이 높거나 재난을 예방하기 위하여 계속적으로 관리할 필요가 있는 시설물	
제2종시설물	연장 100미터 이상의 도로 및 철도 교량
	고속국도, 일반국도, 특별시도 및 광역시도 도로터널 및 특별시 또는 광역시에 있는 철도터널
	고속국도, 일반국도, 특별시도 및 광역시도 도로터널 및 특별시 또는 광역시에 있는 철도터널
	지방상수도 전용댐 및 총저수용량 1백만톤 이상의 용수전용댐
	16층 이상 또는 연면적 3만제곱미터 이상의 건축물
	포용저수량 1천만톤 이상의 방조제
	1일 공급능력 3만톤 미만의 지방상수도
제1종시설물 및 제2종시설물 외에 안전관리가 필요한 소규모 시설물로 규정한 것	
제3종시설물	각 중앙행정기관 및 지방자치단체에서 지정

- 지하도로는 터널 중 도로터널에 해당하며, 도로터널의 시설물안전법에 따른 분류는 이하와 같이 구분
 - (제1종 시설물) 터널구간의 연장이 500미터 이상인 지하차도
 - (제2종 시설물) 제1종 시설물에 해당하지 않는 지하차도로서 터널구간의 연장이 100미터 이상인 지하차도

○ 시설물안전법에서는 시설물이 안전하게 유지관리될 수 있도록 5년마다 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 기본계획을 수립하도록 규정

- 기본계획에서는 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 관리체계의 개발, 구축 및 운영에 관한 것과 필요한 기술의 연구·개발에 관한 사항 등의 내용을 포함하여 수립하도록 하여 방향 제시

(5) 국토교통과학기술 육성법

□ 국토교통과학기술 육성법은 국토교통과학기술 육성을 위한 기반을 조성하여 산업의 경쟁력을 강화하기 위한 법으로 지하안전 관리에 대한 기술 개발의 근거를 제시

○ 국토교통과학기술 육성법(이하 ‘국토교통과학기술법’)에서는 국토교통과학기술 육성을 위한 기반을 조성하여 산업경쟁력을 강화하기 위해 제정된 법률

- 국토교통과학기술법에서 육성하고자 하는 국토교통과학기술이란 미래 성장동력 창출 및 국민의 삶의 질 향상을 위하여 필요한 국토교통분야 산업의 발전에 관한 과학기술을 의미
 - 국토교통과학기술 진흥법에서는 건설산업, 건축, 교통, 철도 등의 관련 기술들을 포함하며, 해당 기술들의 구체적인 범위는 각 개별법상의 정의를 따르도록 규정하고 있으며, 지하안전관리에 대한 기술 또한 국토교통과학기술에 포함

<표 2-3> 국토교통과학기술의 범위

기술 종류	내용
건설산업 관련 기술	• 건설기술 진흥법 제2조에 따른 건설산업 관련 기술 • 건설산업기본법 제2조에 따른 건설산업 관련 기술 • 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 제2조에 따른 건설산업 관련 기술 • 해외건설 촉진법 제2조에 따른 건설산업 관련 기술
건축·도시·공간 관련 기술	• 건축기본법 제3조에 따른 건축·도시·공간 관련 기술 • 공간정보산업 진흥법 제13조에 따른 건축·도시·공간 관련 기술 • 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제2조에 따른 건축·도시·공간 관련 기술
교통·물류·항공 관련 기술	• 국가통합교통체계효율화법 제2조에 따른 교통·물류·항공 관련 기술 • 교통안전법 제2조에 따른 교통·물류·항공 관련 기술 • 물류정책기본법 제2조에 따른 교통·물류·항공 관련 기술 • 항공법 제2조에 따른 교통·물류·항공 관련 기술
철도 관련 기술	• 철도산업발전기본법 제3조에 따른 철도 관련 기술 • 철도 안전법 제68조에 따른 철도 관련 기술 • 도시철도법 제2조에 따른 철도 관련 기술
그 밖의 기술	• 지하안전관리에 관한 특별법 제13조에 따른 지하안전에 관한 기술 • 산업융합촉진법 제2조제1호에 따른 국토교통분야의 산업융합 관련 기술 • 그 밖에 국토교통분야 산업의 발전을 위하여 국토교통부장관이 필요하다고 인정하는 기술

출처 : 국토교통과학기술 육성법 제2조

○ 국토교통과학기술법에서는 5년마다 국토교통과학기술의 효율적·체계적인 육성을 위해 10년 단위의 국토교통과학기술 연구개발 종합계획을 수립하고 시행하도록 규정

- 국토교통과학기술 연구개발 종합계획은 국토교통과학기술의 육성 기본목표 및 추진방향 설정 및 중점기술 개발 전략, 국토교통과학기술의 융·복합 연구개발 등의 내용을 포함하여 수립

2) 계획

(1) 윤석열 정부 120대 국정과제

□ 윤석열 정부에서는 국정비전을 달성하기 위한 120개의 국정과제를 설정

○ 윤석열 정부에서는 “다시 도약하는 대한민국, 함께 잘 사는 국민의 나라” 국정비전 하에 6개의 국정목표와 23개의 국정전략, 120개의 국정과제로 구성하고 있으며, 국정전략을 국민께 드리는 약속으로 명칭을 변경

- (국정목표1) “상식이 회복된 반듯한 나라” 실현을 위해 3개의 전략으로 구성
- (국정목표2) “민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제” 실현을 위해 8개의 전략으로 구성
- (국정목표3) “따뜻한 동행, 모두가 행복한 사회” 실현을 위해 5개의 전략으로 구성
- (국정목표4) “자율과 창의로 만드는 담대한 미래” 실현을 위해 4개의 전략으로 구성
- (국정목표5) “자유, 평화, 번영에 기여하는 글로벌 중추국가” 실현을 위해 3개의 전략으로 구성
- (국정목표6) “대한민국 어디서나 살기 좋은 지방시대” 실현을 위해 3개의 전략으로 구성

- **국정목표2 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제에서는 주요 고속도로의 지하에 대심도 고속도로를 건설하여 상습정체를 해소하고자 명시**
 - 국정목표2의 [약속8] “하늘·땅·바다를 잇는 성장인프라를 구축합니다”에서는 빠르고 편리한 교통혁신 과제에서 GTX 내지 순환도로망 확충을 통해서 지역 간 이동을 원활하게 하고, 경제 활성화를 도모
 - GTX, 순환도로망 확충과 더불어서 경부·경인 등 주요 고속도로 지하에 대심도 고속도로를 건설하여 상습정체 해소 제시
- (2) 제5차 국토종합계획('21~'40)
 - **국토종합계획은 국토기본법에 근거하여 군사에 관한 계획을 제외하고는 다른 법령에 따른 국토에 관한 계획에 우선하는 기본계획으로 대심도 지하도로의 추진을 명시**
 - 인프라의 효율적 운영과 국토지능화 과제에서는 네트워크형 교통망의 효율화와 대도시권의 혼잡 해소를 위해, 국가 간선망을 효율화하는 광역철도망 및 대심도 지하도로의 추진을 명시
 - 수도권 외곽 순환고속도로망 조기완성으로 도심 교통량 분산을 촉진하고, 주요 간선 상습정체 구간 해소를 위한 대심도 지하도로 신설 검토
- (3) 제2차 국가기간 교통망 계획('21~'40)
 - **제2차 국가기간 교통망 계획에서는 대도시권 혼잡을 완화하기 위해 대도시권 대심도 지하도로 건설을 추진하여 국가 간선도로망 완성을 목표**
 - 국가기간 교통망의 확충을 위한 세부과제로 “국토균형발전을 위한 교통망 완성”을 제시하고 있으며, 이러한 교통망 완성을 하기 위해, 고속 국가철도망, 국가간선도로망 완성 및 경제 성장을 지원하는 공항 인프라 구축 등의 과제를 제시
 - 특히 국가 간선도로망 완성을 위하여 수도권 외곽순환 고속도로망 조기완성, 대도시권 대심도 지하도로 건설을 통한 도심내 도로 혼잡도 해소 등 대도시권 혼잡완화를 위한 내용을 강조
- (4) 제2차 국가도로망 종합계획('21~'30)
 - **제2차 국가도로망 종합계획에서는 4차 산업혁명 기술의 인프라 접목을 위해 도심지 초고속 지하도로 등 도로분야 연구개발 추진을 명시**
 - 제2차 국가도로망 종합계획('21~'30)은 14년 도로법 개정에 따른 도로망 건설과 효율적 관리 및 사회적·경제적 여건변화를 고려한 도로분야 최상위 법정계획
 - 국가도로망종합계획은 「국토기본법」에 따른 국토종합계획과 「국가통합교통체계효율화법」에 따른 국가기간교통망계획과 연계되며, 하위계획으로는 각 도로관리청이 5년 마다 수립되는 도로건설관리계획으로 구성
 - 제2차 국가도로망종합계획은 ‘사람, 사회, 경제, 미래를 이어주는 다(多)연결 도로’ 비전하에 경제 재도약, 포용, 안전, 혁신성장 등 주요 추진과제 수립
 - (추진과제1) 적재적소 투자를 통한 경제 재도약 지원은 국가간선도로망 구축·정비, 국토균형발전 지원, 투자 효율화, 도로산업 육성·연구개발 등으로 구성
 - (추진과제2) 사람중심의 포용적 교통서비스 제공은 도로 공공성강화, 사람중심도로 구축, 도로 이용자 편의 제고, 교통운영·관리 효율화 등 세부 과제로 구성
 - (추진과제3) 안전한 도로환경 조성은 도로교통 안전 시설 확충, 구조물 안전관리, 재난대응 역량 강화, 유지관리 자동화·무인화 등 세부 과제로 구성
 - (추진과제4) 혁신성장을 선도하는 미래도로 구축은 디지털·스마트도로, 친환경·탄소중립 도로, 글로벌 도로망 구축 등 세부 과제로 구성

- 제2차 국가도로망 종합계획에서는 “적재적소에 투자하여 경제 재도약 지원”과제에서 도로산업을 육성·연구개발을 하도록 명시
- 동 추진과제에서는 4차 산업혁명 기술의 인프라 접목을 위해 도로분야 연구개발을 추진하도록 명시하고 있으며, 도로 관련 연구 및 기술 개발 분야로 안전한 도로, 편리한 도로, 경제적 도로, 친환경 도로 등 4가지 분야를 제시
 - 편리한 도로 분야에서는 지상-지하를 연계한 입체적 도로망 구축 및 운영과 도심지 초고속 지하도로 구축 등 지하도로의 구축에 관한 기술개발을 지원할 것을 명시

<표 2-4> 도로망 종합계획상 도로관련 연구 및 기술개발

분야	핵심기술(안)
안전한 도로	스마트 도로 안전 모니터링 및 사고 저감 시스템
	초대형 재난대응 도로 운영 및 신속복구 시스템
편리한 도로	지상-지하 연계 입체적 도로망 구축 및 운영
	도심지 초고속 지하도로 구축
경제적 도로	디지털 트윈 기반 도로 유지관리 기술
	차세대 맞춤형 프리캐스트 기반 포장 기술
친환경 도로	스마트 에너지 생산 및 실시간 고속 전기차량 충전 인프라
	거주 친화적 도로환경 조성 기술

(5) 제2차 고속도로 건설계획('21~'25)

□ 제2차 고속도로 건설계획에서는 수평적 확장이 어려운 구간에 대해서 지하도로 등 입체적 활용을 통해 교통혼잡 해소를 계획

- 대도시권 등 상습적인 교통 혼잡을 해소하고 증가한 교통수요에 대응하기 위하여 간선망을 강화하여 국민의 이동편의를 제고
- 주변의 도심개발 등으로 인해서 수평적 확장이 어려운 경우 지하도로 건설을 통해 공간의 입체적으로 활용하여 교통혼잡 해소를 제시
 - (퇴계원-판교) 수도권 제1순환선의 혼잡해소
 - (화성-서울) 경부선 수도권 구간의 극심한 교통혼잡 해소
 - (인천-서울) 도로용량을 초과한 경인선의 극심한 교통정체 개선
 - (신갈-과천) 수도권 남부지역의 경부선에 집중된 교통량 우회·분산처리하고, 3기 신도시 과천지구의 광역교통 개선대책 지원
- 사업규모가 큰 지하도로 사업 등은 추진 과정에서 민자투자방식사업 방식 병행 검토

(6) 제6차 건설기술진흥기본계획

□ 「건설기술진흥법」 제3조에 근거 건설기술 수준 향상과 경쟁력 제고를 위해 수립되는 5년 단위 계획으로 현재까지 발주제도, CM 등의 내용으로 확대

- 제5차 건설기술진흥기본계획에서는 BIM 기반 설계·공사 관리체계 구축, 기술력 중심 발주제도 활성화 및 국가 기준 글로벌화 등을 중점 과제로 추진
- 건설공사 시 활용 및 관리를 위한 BIM, CALS, ICT 등의 과제가 연계성 없이 추진되었으며, GDP 대비 토목건설투자비중의 감소 및 건설생산성 하락 등의 이유로 신성장동력 발굴 필요

<표 2-5> 5차 기본계획 중점 추진과제

전략	중점추진과제	
1. 건설기술 경쟁력 기반 구축	기술인력	- 글로벌 산업환경에 맞는 기술인력 관리 - 시장 친화·미래형 교육훈련 확대
	건설정보	- 건설정보표준화 및 ICT융복합 연구 촉진 - 건설정보체계 공유·확산 및 환류 강화
	R&D·신기술	- Green&Smart 건설기술 개발 - 건설기술 실용화 촉진
2. 건설단계별 '소프트'역량 강화	계획·설계	- 기술력 중심 발주·심의제도 강화 - Global·User 지향 설계·시공기준 정비
	시공 관리	- 현장 밀착형 건설 품질·안전관리 - 녹색체질이 강화된 건설공사 구현
	유지 관리	- LC기반의 시설물 유지관리 확립 - 선제적·국민체감형 시설물 안전관리
3. 글로벌 시장을 겨냥한 역량 결집	전방위적 건설 Eng 해외진출 지원체계 구축	

- 제6차 건설기술진흥기본계획은 'Smart Contruction 2025' 비전하에 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성, 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선 등과 같은 전략들로 구성
 - (전략1) 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상을 위해 기술개발, 고부가 산업 육성, 건설 안전 강화 분야별 중점 추진과제 추진
 - (전략2) 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선을 위해 산업개편·육성, 건설인력·교육, 기준·제도 분야별 중점 추진과제 추진

□ 제6차 건설기술진흥기본계획에서는 지하시설물 관리 기술에 대하여 지원을 명시

- 건설 안전·환경 관리에서는 시설물 유지관리의 패러다임이 선제적·예방적 유지관리로 전환 중임에 따라 이에 대해 스마트 건설 관리 체계의 구축을 명시
 - 스마트 관리체계는 4차 산업혁명 기술을 활용하는 '스마트 건설기술' 개발 등으로 시스템·장비 기반의 안전체계 구축 및 활용 촉진을 추진하며, 그 중 지하시설물* 관리 기술 개발을 명시
- ※ 지하시설물 안전관리에 관한 법률에 따르면 지하도로도 지하시설물에 포함
 - 지하시설물을 비개착 방식으로 건설하고 유지·관리할 수 있는 장비 기술 개발로 국민 편의 증진을 계획('19~'25년)

(7) 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획

□ 「국토교통과학기술 육성법」에 근거 국토교통 R&D분야 종합적 정책 방향 및 중장기 투자계획을 설정하기 위한 최상위 법정 종합계획

- 스마트시티, 자율주행차 등 4차 산업혁명 대응을 통한 삶의 질 향상 등 사회적 요구에 효과적으로 대응할 수 있는 기술개발 전략 수립 필요성 증대에 따라 동 계획 수립
 - '혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통' 비전 아래 4차 산업혁명 대응 혁신성장동력 육성, 기술융합을 통한 새로운 가치창출, 사람중심의 국토교통 기술, 미래지향적 R&D시스템 도입 등 4대 추진 전략 수립
 - (추진전략1) 4차 산업혁명 대응 혁신성장동력 육성을 위해 초연결 도시 구현 기술개발, 무인이동체 자율주행 기술 개발, 디지털 기반 국토정보 기술 고도화 등 실천 과제 제시
 - (추진전략2) 기술융합을 통한 새로운 가치창출을 위해 융합기술을 통한 건설 지능화 실현, 고부가가치 건설기술 창출, 기존 수송시스템 혁신기술 도입 등 실천 과제 제시
 - (추진전략3) 사람 중심의 국토교통기술 개발을 위해 재난·재해 예방 등 안전 기술 개발, 친환경 생활공간 조성 기술 개발, 사회이슈 해결형 기술 개발 등 실천 과제 제시
 - (추진전략4) 미래지향적 R&D시스템 도입을 위해 국토교통 R&D관리체계 혁신, 국토교통 연구개발 기반 강화, 연구개발 성과와 산업간 연결고리 강화 등 실천 과제 제시

- 종합계획 비전 및 목표 외, 전문가평가 및 정책분석을 통해 스마트시티, 자율주행차, 드론 등 차기 국토교통 8대 혁신성장동력 선정
- 정부의 집중 지원이 필요한 프로젝트를 국토부 8대 혁신성장동력으로 선정하였으며, 정책적·제도적으로 통합 지원이 필요한 분야별로 중요 기술들을 패키지화하여 프로젝트 단위로 구체화*
- ※ 다이나믹 공간정보기술과 디지털 트윈 생산기술의 경우 가상국토공간으로 패키지화

<표 2-6> 8대 혁신성장동력

혁신성장동력	개념
스마트시티	• 도시를 센서, 네트워크로 연결하고 플랫폼을 통해 데이터를 통합관리하여 삶의 질 향상 및 지속가능한 도시서비스 제공
자율주행차	• 차량·도로 정보공유 인프라 기술, 자율주행 통합제어 기술 등 자율주행이 가능한 도로환경을 구축하고 고성능·다기능성 협력주행 시스템 개발
드론	• 드론 산업 육성을 위해 드론 안전운항기술과 교통 관리체계를 개발
건설자동화	• 건설산업의 생산성 향상을 위해 재료·시공·유지보수·해체 등 건설 쏜공정 자동화
제로에너지건축	• 기후 변화에 따른 온실가스 감축과 에너지 사용 저감을 위해 에너지 자립형 건축물 개발
가상국토공간	• 공간정보를 기반으로 각종 현실정보를 연계하여 가상세계에서 분석·예측·현실제어 까지 가능한 사이버물리시스템 구현
스마트물류	• 화물의 운송·환적·하역·이송·분류·보관·포장·배송 등 전 물류체계 자동화
지능형철도	• 철도 용량 증대 등을 위하여 친환경 초고속 철도와 무인자율 운영 등 지능형 철도 체계 개발

□ 전략2 “기술융합을 통한 새로운 가치창출”에서는 지하공간 구축 기술과 지하 라이프라인의 건설·유지관리 기술 개발 등을 통한 도시공간 효율 증대를 명시

- 기술융합을 통한 새로운 가치창출 전략 내의 “고부가가치 건설기술 창출”에서는 지하 공간 구축 기술과 지하 라이프라인의 건설·유지 관리 기술 개발을 통해 도시공간 효율 증대를 목표
- 지하공간의 구축에는 교통시설, 상업·공연시설 등이 복합된 대심도 지하입체 대공간 구축·유지 관리 기술과 지중 인프라 및 인접 구조물 피해 방지 기술을 개발할 것을 명시

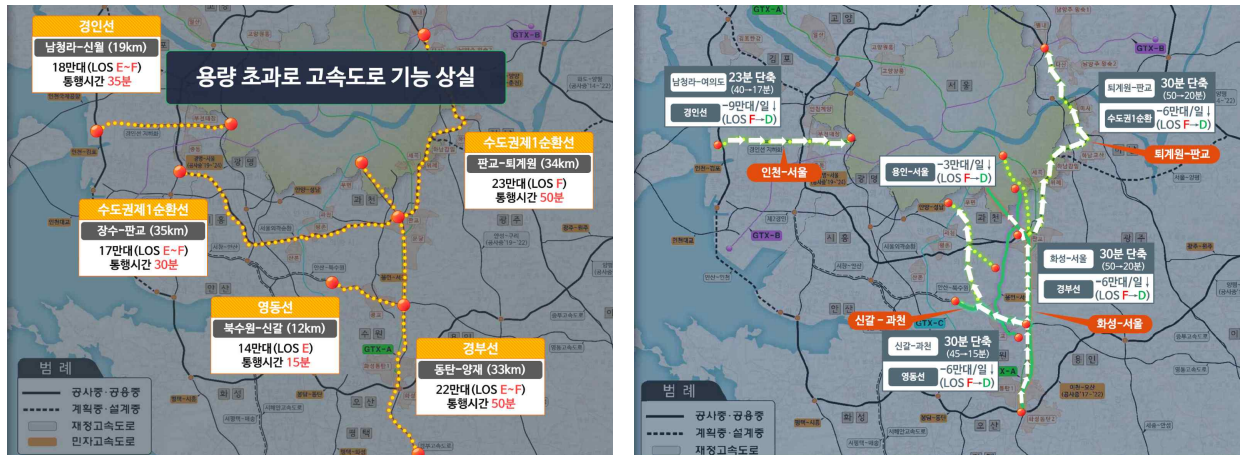
(8) 광역교통비전2030

□ 광역교통비전2030은 광역교통망의 확충을 목표로하는 법정계획으로 대심도 지하도로의 구축 검토를 명시

- 광역교통3비전은 “경계를 넘어 권역의 상생발전을 이끄는 빠르고 편리한 광역교통”이라는 비전 하에서 인프라 강화, 운영개선, 제도혁신, 미래 대비 등 4가지의 분야의 추진과제를 통해 광역교통망의 구축을 목표
- 광역교통비전2030의 인프라 강화 추진과제 내의 세부과제 “네트워크 강화를 통한 도로의 간선 기능 회복”에서는 수도권 순환고속도로망 조기완성 및 대심도 지하도로 신설을 통하여 도심교통량 분산/ 상습정체구간 해소를 검토 명시
- 서울 동서 횡단축 등 주요 간선도로 중 대상 노선 검토 및 부산 사상~해운대 노선 검토 중
- 대심도 지하도로의 지하부는 자동차 도로로 운용하며, 지상부는 BRT·중앙 버스차로 등 각종 대중교통 이용차로로 활용 계획

3) 사업

- 정부에서는 도로의 입체개발을 통한 대도시권 혼잡 완화를 위해 다수의 지하고속도로사업을 추진 중
 - 도로기능 개선과 도심단절 해소, 원도심재생 활성화 및 정주여건 개선을 목적으로 다수의 고속도로 및 순환선들을 지하화 연구 실시
 - 경인고속도로 인천기점~서인천IC에 이르기 까지 10.45km의 구간을 지하화 예정
 - 수도권제1순환선 판교~퇴계원 구간 34km 지하화 예정
 - 경부선의 동탄~양재 구간 34km를 지하화 예정
 - 그 외 기타 영동선 등 다수의 도로를 지하화 예정 중



[그림 2-1] 지하고속도로 주요 재정사업 구간 사업 전·후 교통여건 변화 예상

2. 해외 지하철도로 관련 정책

1) 해외 법 동향

□ 해외에서는 국토의 입체적 활용을 위한 법이나 지침 정립을 통해 지하공간 개발 추진

- (캐나다) 캐나다에서는 도심 지하에 시민보행 체계를 도입하는 ‘지하보행자 시스템 설계가이드라인’을 수립하여 총 11개의 지침사항을 선정
 - 지하공간 내에서 입구-건물-이정표의 접근성, 보행자도로, 공공 공간, 조명·환기·미관의 쾌적성 및 시민의 안전과 보안성을 제공
- (일본) ’01년 시행된 「대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법」을 통해 지하구조물 건설 기술의 혁신을 촉진하였고, 중앙정부 차원의 ‘지하의 공공적 이용 기본계획’을 근거로 개별 지방자치단체 ‘지하이용 가이드플랜’을 규정W
 - 대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법에 따른 대심도는 “건축물의 지하실 및 그 건설을 위해 통상 사용하지 않는 지하의 깊이로서 정령이 지정한 깊이(지표로부터 40m), 또는 해당 지하를 사용하는 지점에서 통상의 건축물의 기초를 지지하는 것이 가능한 지반으로서 정령에서 지정하는 것 중 깊은 쪽의 지하(10m)”를 의미
 - 또한 이러한 대심도법의 대상지역은 인구 집중도 등을 감안하여 3대 도시권(수도권, 긴키권, 추부권)의 일부분이 지정되어있는 것으로 확인
 - 대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법을 기반으로 도쿄 지역에서는 지하의 보행도로·차도·철도 및 기반시설 간 조정을 도모하고, 오사카 지역에서는 역사 주변지구 지하이용기본계획 수립
 - ※ ①지하공간이용의 배경 및 필요성, ②지하이용계획의 필요성과 방향, ③지하공간의 층별 이용원칙, ④ 지하이용계획지구 선정 등 내용 포함
- (싱가포르) 지하공간 활용에 대한 기본정책 방향(’18~’30)을 통해 지하공간 개발에 대한 기본정책 방향을 설정
 - 싱가포르에서 추구하는 지하공간의 활용은 저심도와 고심도로 나누어서 활용
 - 저심도 지하공간은 시민들의 활동 및 지상과의 연결망 확충을 위해 활용하며, 고심도 지하공간은 저장·물류 등 사회기반시설을 설치하기 위한 장소로 활용할 것을 명시
 - ’19년까지 중기계획 상 모의개발지역 및 해당 지역의 지하공간 3차원 청사진을 제시하고, 20만km2의 “Underground Science City”를 정부 주도로 구상
- (중국) 중국에서는 베이징과 그 인간의 과도한 인구 밀집에 따른 지가상승, 환경문제 등을 완화하기 위한 목적으로 승시안, 룽청, 안신 등을 승안신구(Xiongan Zone)로 지정하고, 해당 지역의 지하를 대규모로 개발하는 전략을 발표, 지하를 대규모로 개발하는 전략을 발표
 - 동 전략에 따르면, 개발 착수 후 범위를 점진적으로 확대시켜 최종적으로는 서울시의 약 3.3배 면적을 개발할 예정
 - 또한 지하에 저장, 쇼핑, 엔터테인먼트 콤플렉스를 조성할 계획

□ 해외에서는 도로에 대한 방재기준을 최저기준을 설정하는 방식과 터널 특성을 반영하여 시설별 규모를 설정할 수 있도록 하는 유형 등으로 구분되어 있음

- 터널의 연장마다 방재의 최소기준을 정하고 해당 터널의 교통량에 따라 방재등급을 유동적으로 적용하도록 규정하고 있는 유형
 - (일본) 일본의 방재등급 기준은 터널 최소연장 500m를 기준으로 AA, A, B, C, D 5개의 등급으로 구분하고 있으며, 교통량을 고려해 등급을 변경
 - 일본에서는 최소연장 100m이상의 터널을 대상으로 적용 중

- (영국) 터널의 연장과 교통량을 고려하여 방재등급을 산정한다는 점에서 일본과 유사한 등급제도로 보이나, 구체적인 터널의 등급 부여 기준에서 차이가 존재
 - 영국에서는 최소연장 100m이상의 터널을 대상으로 적용 중
- 실제 발생한 사고사례분석과 터널의 특성을 고려하여 방재시설별로 방재기준을 결정하도록 규정하는 유형
 - (독일) 터널의 방재에 대한 기준을 터널 종류의 구분과 화재강도의 산정, 교통량, 터널연장 등을 고려하여 세부적인 설치 기준을 산정
 - (터널의 연장) 400, 600, 900m로 구분하여 규정
 - (터널 구분) 양방향 터널과 일방향 터널로 나누며, 일방향 터널의 경우 정체 빈도에 따라 추가 분류
 - (화재강도의 산정) 대형차의 통과대수(혼입률)에 따라 15% 이상과 이하로 구분
 - (프랑스) 도로터널 방재등급 기준은 도로의 특성에 따라 시설별로 기준을 강화하여 적용하며 특성을 분류하는 기준은 통행방식과 교통량, 지역 등을 고려
 - 프랑스의 고속도로 및 국도 중 300m이상의 터널을 적용대상으로 규정
 - 적용기준으로 통행방식(양방향, 일방향), 교통량(매우 적음, 적음, 많음), 지역(도시, 지방)을 두고 있으며, 교통량의 경우 자세한 등급은 고려하지 않음
- 터널 내 방재시설의 설치기준을 규정하고 있으나, 자세한 설치기준 및 방재등급을 위한 기준이 없는 경우가 있음(미국)

2) 사업

□ 해외에서도 도로를 지하화하는 프로젝트를 통해 도심재생과 국토의 입체적 활용을 실시

- (미국) 미국 보스턴시는 '91년~ '07년까지 big dig project를 통해서 보스턴 시의 주요 간선도로를 지하화하여 교통체증을 줄이고 대형 공원 조성을 통해 노후 도심 활성화
 - 보스턴시는 기존의 93번 도로 지하에 차도를 건설하고 상부에는 공원을 조성하였고 이를 통해 교통체증을 획기적으로 줄이고 인근 지역의 단절, 소음, 환경오염 등을 해결
 - 특히 81만 제곱미터 규모의 대형공원의 조성으로 노후도심의 활성화에 큰 기여



[BEFORE]



[AFTER]

[그림 2-2] 보스턴 시 BIG DIG 사업 전(좌), 사업 후(우)

- (스페인) 스페인 마드리드 도심을 순환하는 M30 도로를 지하화하여 마드리드 M30 터널을 건설하고 상부를 공원화하여 도심 재생에 기여

- 총 길이 43km의 도로로 지하화 이전에는 M30 도로로 인해서 마드리드 동쪽과 남쪽은 도심이 고속도로로 양분되었으며, 도시의 발전이 저해되었고 환경오염도 심각
- 이에 마드리드시는 39억유로로 예산을 책정하여 2004년 9월부터 2007년까지 4개의 터널 구간을 뚫어 지하화를 실시하였고, 상부공간은 공원화하여 시민에게 환원
 - 아르간수엘라 도교 등 관광명소가 되는 등 시민들의 공간으로 새롭게 단장
 - 대기오염도 하루 지하터널을 이용하는 차량 20만대의 오염물질 중 90%를 제거하는 등 환경오염에 대한 효과도 뛰어났을뿐더러 교통체증도 크게 저감



[BEFORE]



[AFTER]

[그림 2-3] 스페인 M30 사업 전(좌), 사업 후(우)

- (독일) 독일에서는 Hamburger Deckel 사업을 통해서 함부르크 노드웨스트에서 스텔링겐 구간
의 교통량 초과 문제를 해결하기 위하여 기존 노선을 확장 및 지하화 실시
 - 동 사업은 '14년 착공하여 '28년 완공 예정이며, 터널의 길이는 3.5KM로 예정되었고 사업비는 8,230억원으로 책정
 - 터널 상부는 공원으로 조성할 계획으로, 환경오염 감소와 교통체증 감소 기대

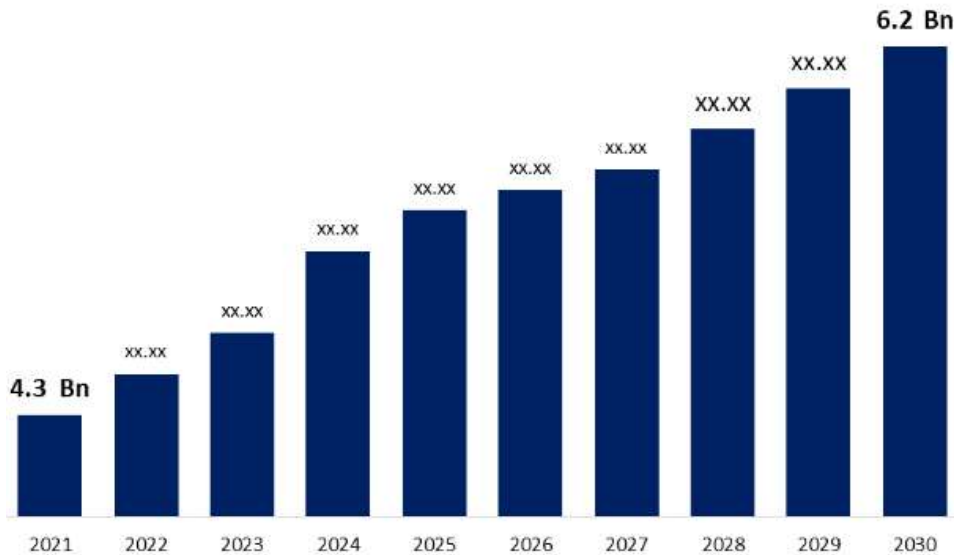


[그림 2-4] 함부르크 A7 조감도

제2절. 시장·산업동향

1. 시장 동향

- 터널의 환기, 조명, 시스템 등을 포함하는 터널 자동화 시장은 연평균 7.7%로 지속적으로 성장 중
 - SPHERICAL insights의 분석에 따르면 글로벌 터널 자동화 시장은 '21년 43억 달러에서 2030년 62억 달러까지 지속적으로 성장할 것으로 예상
 - 글로벌 터널 자동화 시장은 '22년부터 연평균 7.7%의 성장률(CAGR)로 '30년까지 62억 달러까지 성장할 것으로 전망
 - 터널 자동화 시장에는 터널에 사용되는 환기 시스템, 조명 시스템, 속도 제한 표시기 및 전력 및 교통 통제를 위한 관리 수단 및 사고를 피하기 위한 방법 등이 포함
 - 터널의 안정성, 정부 규제 교통사고, 보안 강화 등의 분야 또한 포함
 - 터널 자동화는 정부 규제, IoT 등의 기술 발달 등의 요인으로 인해 성장할 것으로 예상
 - 다양한 정부의 터널 관련 규제도 터널 자동화 솔루션의 사용을 장려하는 하나의 요인
 - 자동화 솔루션과 IoT, 클라우드 등의 통합 증가로 시장 성장이 가속화
 - 사고 건수 증가, 프로젝트 수 증가, 노후화된 터널 등이 활발한 성장 요인으로 작용
 - 높은 투자 비용과 관련 숙련 인력 부족이 가장 큰 저해 요인으로 예상



SPHERICAL insights(2022), Global Tunnel Automation market(<https://www.sphericalinsights.com/reports/tunnel-automation-market>)

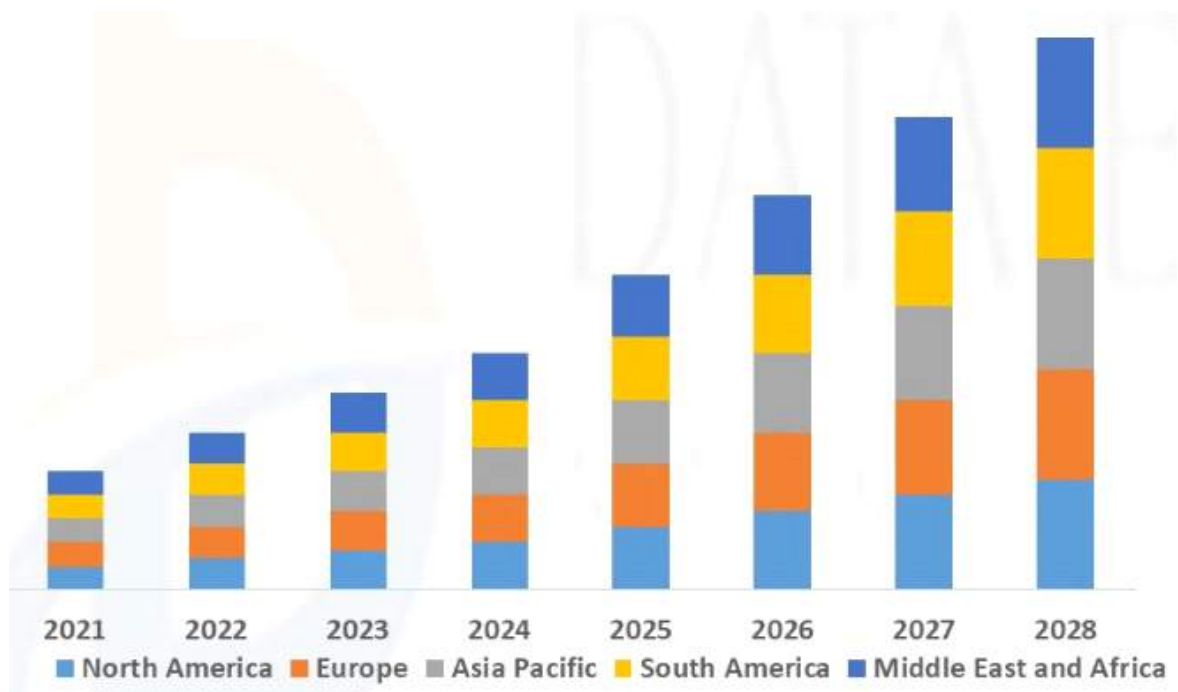
[그림 2-5] 글로벌 터널 자동화 시장 전망

- 터널 자동화 분야 중 HVAC(Heating, Ventilating, and Air Conditioning) 분야가 가장 큰 점유율을 차지할 것으로 예상
 - HVAC 분야는 난방, 환기, 공기 조절 등을 의미하며, 터널에서는 자연적 환기가 불가능하기에 내부에 강제 환기 시스템이 필수적
 - 터널 내부의 HVAC 시스템을 통해 승객과 작업자에게 신선한 공기 공급, 유해 가스 제거, 지하철 및 기차 하위 구성 요소에서 발생하는 열 제거, 누수 등으로 인한 습기 방지 등 다양한 역할을 수행
- 서비스 제공 부문이 예측 기간 동안 가장 큰 CAGR을 기록할 것으로 예상
 - 터널 자동화 분야는 하드웨어, 소프트웨어, 서비스 분야로 분류되는데 HVAC, 전기 및 조명, 소방 및 기타 시스템을 포함하는 서비스 분야가 높은 성장률을 기록할 것으로 예상

- 지역별로는 아시아 시장이 가장 큰 점유율을 차지하며, 성장률은 유럽이 가장 높을 것으로 전망
 - 중국과 인도 시장에 의해 아시아 시장이 가장 큰 점유율을 차지
 - 아시아의 인구 증가, 급속한 도시화 등으로 인해 고속도로 및 철도의 수요가 증가하며, 이로 인해 터널 수요도 늘어날 것으로 전망
 - 유럽 시장의 성장에 따라 유럽의 여러 나라에서 터널 건설이 증가했고, 다수의 프로젝트가 진행 중이거나 계획 단계

□ 터널 인프라 관리에 사용되는 모니터링 장치, 센서 및 기타 요소 등을 포함하는 터널 모니터링 시장은 지속적으로 성장중

- 여러 기관의 보고서에 따르면 글로벌 터널 모니터링 시장은 지속적으로 성장 중인 것으로 조사
 - MarketWatch의 조사에 따르면 터널 모니터링 시장은 '22년 3억 5742만 달러에서 CAGR 9.83%로 성장하여 '28년 6억 2738만 달러에 이를 것으로 전망
 - DataBridge의 조사에 따르면 터널 모니터링 시스템 시장은 '21년에서 '28년까지 10.93%의 CAGR로 성장할 것으로 전망
- 세계적인 터널 인프라 개발의 급속한 증가로 인해 시장의 성장을 주도
 - 터널 인프라 개발 증가 및 터널의 문제 발생으로 인한 손실 우려가 시장 성장을 주도
 - 센서의 비용, 다양한 규정 및 규제, 막대한 재정적 비용 등이 시장의 제약 요소

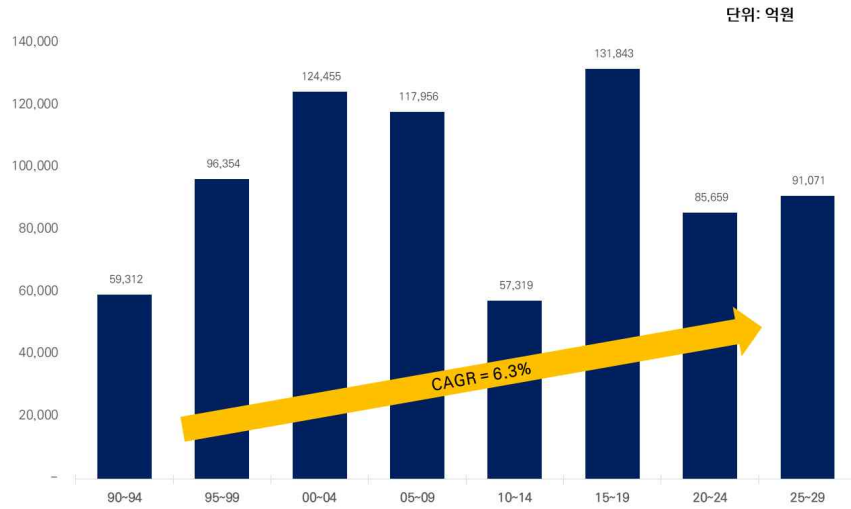


DataBridge(2021), Global Tunnel Monitoring System Market – Industry Trends and Forecast to 2028

[그림 2-6] 글로벌 터널 모니터링 시장 성장 전망

□ 글로벌 지하고속도로 프로젝트 규모를 바탕으로 시장 규모를 추정한 결과 글로벌 지하고속도로 분야 시장은 지속적으로 증가하는 것으로 추정

- 지하고속도로 시장은 '90~'95년 5조 9,312억원에서 '25~'29년 9조 1,071억원으로 연평균 6.8%로 성장할 전망 (출처: 각 지하고속도로 프로젝트의 사업비를 공사기간으로 나누어 추정)
 - 지하고속도로 사업은 '90년부터 시작하여 지속적으로 증가하여 '15~'19년 가장 큰 시장 규모를 달성하였으며, 이후 소폭 감소하였지만 지속적으로 증가하는 추세



[그림 2-7] 지하고속도로 시장 규모 및 전망

<표 2-7> 지하고속도로 프로젝트

사업명	A86 복층터널	마드리드 M30	Soder Lanken	보스턴 Big Dig	시애틀 SR99	Yamate 터널
사업위치	파리(프랑스)	마드리드(스페인)	스톡홀름(스웨덴)	보스턴(미국)	시애틀(미국)	동경(일본)
사업비	3.1조원	5.5조원	1조원	17조원	4.2조원	15.5조원
연장	10km	48km	4.5km	12.0km	2.7km	18.2km
차로수	왕복4차로	왕복6~8차로	왕복4차로	왕복8~10차로	왕복4차로	왕복4차로
사업현황	'97년 착공 '11년 완공	'04년 착공 '07년 완공	'90년 착공 '04년 완공	'91년 착공 '06년 완공	'11년 착공 '19년 완공	'93년 착공 '15년 완공

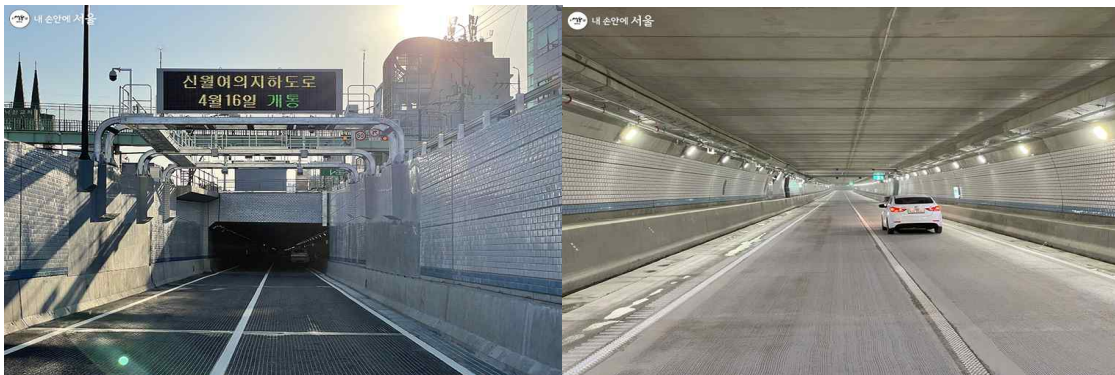
사업명	Smart 터널	KPE	함부르크 A7	바이패스 프로젝트	웨스트캐넥스 프로젝트	
사업위치	쿠알라룸푸르(말레이시아)	싱가포르	함부르크(독일)	스톡홀름(스웨덴)	시드니(호주)	
사업비	0.6조원	1.56조원	0.82조원	5.13조원	14.5조원	
연장	4.0km	8.5km	3.5km	18.0km	19.0km	
차로수	왕복4차로	왕복4~6차로	왕복6~10차로	왕복6차로	왕복4~8차로	
사업현황	'03년 착공 '07년 완공	'01년 착공 '08년 완공	'14년 착공 '28년 완공	'15년 착공 '30년 완공	'15년 착공 '23년 완공	

2. 산업 동향

(1) 국내 산업 동향

□ 일부 민자사업으로 건설된 지하도로들이 운영 중이거나 현재 시공 중

- **(신월여의지하도로)** 신월IC와 여의도동 여의대로·올림픽대로를 직접 연결하는 왕복 4차로, 총연장 7.53km의 지하도로로, '21년 4월 16일 5년 6개월의 공사 끝에 개통
 - 국회대로 하부 지하 50~70m에 건설되었으며 출퇴근 시간대 기존 32분의 통행시간을 8분으로 줄이는 등 교통체증 해소에 도움
 - 기존의 국회대로 이용자들의 불편을 최소화하기 위해 개착공법으로 시공하지 않고 발파·굴착으로 터널을 뚫고 벽에 콘크리트를 뿌려 굳히는 NATM(New Austrian Tunneling Method) 공법으로 시공
 - 국내 최초로 무인으로 요금을 징수하는 스마트톨링(smart tolling) 시스템을 도입해 기존 하이패스 등의 단말 외에 차량 번호 인식을 통해 요금을 자동으로 납부하는 사전 영상약정 서비스 제공
 - 화재 등 만일의 사고나 비상상황 발생에 대비해 방재 등급 1등급 이상 수준으로 설계되었으며, 피난시설은 대인전용 25개소(200m 간격), 차량겸용 15개소(600m간격) 등 총 40개소의 피난소와 옥내소화전, 소화기, 연결송수구, 물분무설비, 재연설비, 피난연락궤문 등의 방재시설이 설치
 - 최초 시공시 환기구 설치로 인한 지상구간의 미세먼지 증가가 논란이 되었으며, 최종적으로 환기구 대신에 미세먼지와 유해가스를 터널 안에서 정화하고 배출하지 않는 바이패스 환기 방식을 도입
 - 차량검지기, 교통정보표지, 대기경고표지, 차로이용규제시스템 등 최신 교통관리시스템이 도입되어 대심도 운전자들의 편의를 향상시켰으며, 종합관제실에서 실시간 모니터링을 통해 운영
 - 본 지하도로 위로 국회대로 지하차로가 조성되며, 지상부는 친환경 선형공원과 생활도로가 조성



출처: 내 손안의 서울 뉴스(2021), "신월~여의나루 8분만에...신월여의지하도로 16일 개통"

[그림 2-8] 신월여의지하차도 입구(좌), 내부(우)

- **(서부간선지하도로)** 안양천변을 따라 건설된 서부간선도로의 지하 80m에 건설된 대심도 지하 터널로 영등포구 양평동에서 금천구 독산동까지 연결되는 10.33km의 왕복 4차선 도로
 - 고속 주행 중 차량번호 인식이 가능한 다차로 하이패스 시스템 도입
 - 화재 등 사고나 비상상황에 대비하고 이용자의 안전을 지키기 위해 방재등급 1등급 이상 수준으로 설계
 - 대인용 24개소(250m간격), 차량용 16개소(750m 간격) 등 총 40개소의 피난통로가 설치되 화재 발생시 진입차량 통제 후 반대 차로로 신속하게 대피 가능
 - 화재경보 발생시 화재 발생국역을 관제실에서 실시간으로 확인하며 방수구역을 선택해 소화펌프를 가동, 5m 간격으로 설치된 물분무 노즐에서 방수돼 화재가 진압
 - 전용소방차 5대가 상시 배치되어 화재진압과 구조구난이 즉각 가능하며, 특수장비인 압축 공기포가 탑재되어 전기차 화재에도 대응이 가능
 - 기존 지상도로는 자동차전용도로가 해제되고 횡단보도, 평면교차로, 녹지조성 등 친환경 공간 조성 예정



출처: 내 손안의 서울 뉴스(2021), "서부간선지하도로·월드컵대교 9월 1일 12시 개통"

[그림 2-9] 서부간선지하도로 방재 시스템

(2) 해외 기술 동향

□ 다수의 대심도 지하고속도로 시공 사례가 존재

- **(프랑스 A86 Duplex)** 프랑스 파리 외곽에 위치한 말메종에서 베르사유 남부지역 Pont-Colbert 까지 연결하는 터널로 베르사유궁전 등 문화재 보호를 위해 지하로 건설
 - 2층 구조로 상/하행이 각각 통행하는 형태로 건설되어 duplex 터널로 불리며, 2m 높이의 소형차만 통행이 가능
 - 총 연장 약 10km, 터널심도 20~90m
- **(보스턴 big dig)** 보스턴 로건 국제 공항에서 보스턴 메인 해협 아래를 관통하는 테드 윌리엄스 터널 구간, 그리고 보스턴 다운타운 지하를 관통하여 레너드 P.자킴 벙커 힐 대교까지 이어지는 총연장 12km의 대심도 지하 터널
 - 기존의 고가도로 구간의 교통 정체 해결을 위해 왕복 8~10차로의 도로를 지하화하여 건설
 - 개통 구간의 차량 통행시간 62% 감소, 연간 1억 6600만 달러의 비용 절감, 일산화탄소 배출 12% 감소의 효과가 발생하였으며, 고가 철거로 지상 주변 지역 개발 또한 활발
 - 공사비가 예상보다 많은 146억 달러가 지출되었고, 공기도 약 10년 정도 지연되는 등의 문제도 존재
- **(일본 Yamate 터널)** 일본 수도고속도로 주오환상선의 다카마쓰 나들목과 오이 분기점 사이 지하 구간에 총 연장 18.2km의 터널
 - 왕복 4차로의 병렬터널로 세계에서 2번째로 긴 터널
 - 100m 단위의 비상 전화와 카메라, 50m 간격의 스프링클러 등의 뛰어난 안전 설비로 유명



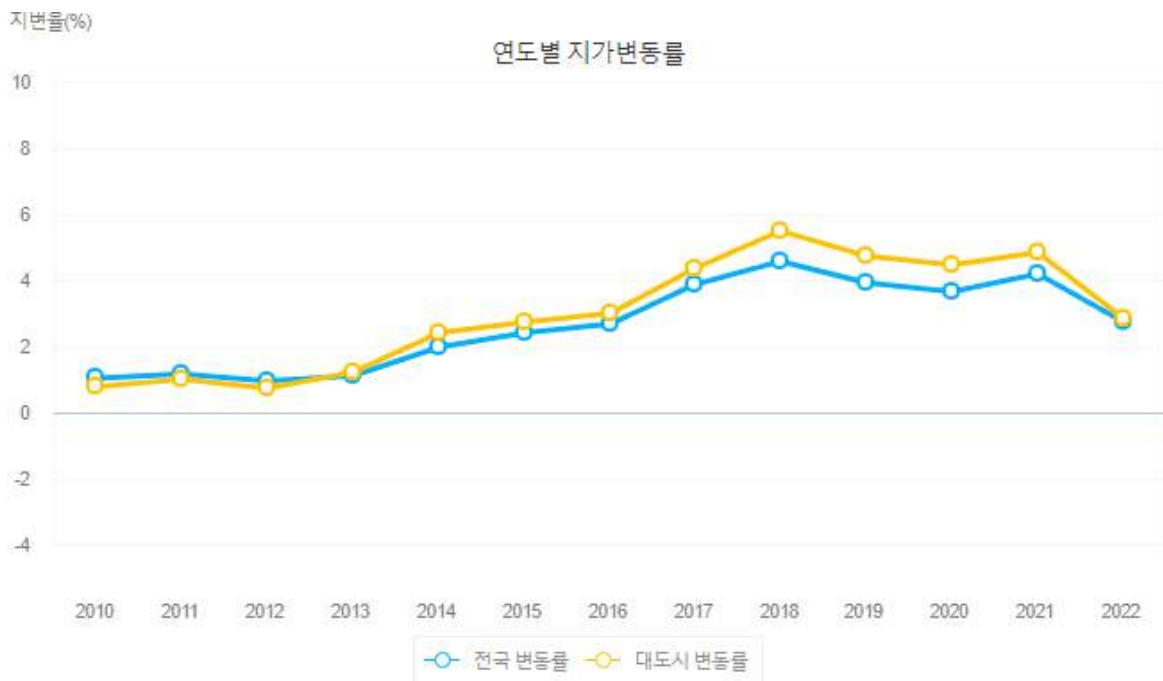
[그림 2-10] 프랑스 A86 Duplex, 미국 Boston Big Dig, 일본 Yamate 터널

제3절. 사회·환경 동향

1. 지하고속도로 시공 관련 사회·환경 동향

□ 지가의 지속적인 상승으로 인해 고속도로 건설 비용도 증가 추세

- 국내 지가는 '14년 이후로 물가상승률을 상회하며 급격히 상승 중
 - '13년까지 1% 내외로 물가상승률과 비슷한 수준으로 상승하던 지가는 '14년 1.9%로 물가상승률을 훨씬 상회하는 상승 이후로 지속적으로 높은 상승률을 기록 중
 - '17년 이후에는 4% 이상의 높은 상승률을 기록
 - 대도시로 한정시키면 '18년 최대 5.4%의 상승률을 기록하는 등 전국 평균보다 높은 상승률을 지속적으로 보이는 추세
 - 신규 도로 건설시 도로 구간에 대한 토지 수용이 필수적인데, 지가의 지속적인 상승으로 토지 수용의 경제적 부담이 증가하며, 도심지에서는 해당 부담이 특히 심화



[그림 2-11] 연도별 지가변동률

□ 여러 교통 수요 조사 결과, 도로의 공급이 수요를 따라가지 못하는 상황(교통수단 부담률, 도로 교통혼잡비용, 교통수요전망)

- 교통수단별 수송분담률 조사 결과, 승용차의 수송분담률은 지속적으로 높은 수준을 유지
 - 전국의 승용차 수송분담률은 '07년부터 지속적으로 50% 이상으로 운송 수단 중 가장 높은 수송분담률을 기록
 - '20년에는 69.5%로 승용차의 수송분담률이 15% 이상 크게 증가하였는데, 코로나 19로 인한 대중교통 이용 감소가 그 원인으로 판단
- 대한민국의 대중교통 수송 분담률은 타 OECD 국가에 비해 매우 높은 편
 - '01~'19년 대한민국의 대중교통 수송분담률은 평균 39.3% 수준으로 40.7%의 튀르키예를 제외하면 20% 미만의 수송분담률을 기록중인 다른 대부분의 OECD 국가들에 비해 매우 높은 편
 - 이미 세계 최고 수준의 대중교통 수송분담으로 인해 미래에 대중교통보다는 승용차의 부담률이 늘어날 것으로 예상

○ 국내 고속도로 교통량은 지속적으로 증가하는 추세

- 국내 고속도로 교통량은 '20년 코로나 19로 인해 잠시 주춤하였으나, '17년 15.8억 대에서 '21년 16.9억대로 지속적으로 증가하는 추세

<표 2-8> 교통수단별 수송분담률

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
대중교통	38.8	42.2	40.3	41.9	39.6	41.5	42.0	40.3	41.3	43.9	43.2	42.9	43.0	27.8
철도	14.4	16.3	15.8	16.3	15.5	16.7	15.5	15.8	15.1	18.2	18.6	18.7	20.0	12.8
버스	24.3	25.9	24.5	25.5	24.1	24.9	26.5	24.5	26.2	25.7	24.6	24.1	23.0	15.0
택시	6.6	4.0	4.3	3.7	3.6	3.3	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.6	2.8	2.7
승용차	54.7	53.8	55.3	54.4	56.8	55.2	54.7	56.5	55.8	53.3	54.0	54.6	54.1	69.5

출처: 국가지표체계(2022), "대중교통수송분담률"

<표 2-9> 국가별 교통수단별 수송분담률

대한민국	호주	영국	네덜란드	독일	프랑스	튀르키예
39.25	11.41	12.75	13.55	14.97	15.12	40.65

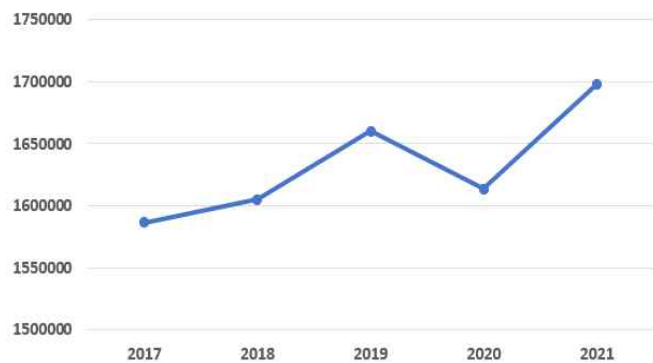
출처: 국가지표체계(2022), "대중교통수송분담률"

<표 2-10> 고속도로 교통량통계

연도	교통량(단위 : 천 대)
2017	1,586,589
2018	1,605,066
2019	1,660,064
2020	1,613,614
2021	1,698,097

출처: 한국도로공사(2022), "고속도로 교통량통계"

고속도로 연간 교통량



출처: 한국도로공사(2022), "고속도로 교통량통계"

[그림 2-12] 고속도로 교통량통계

□ 최근 도시공간 단절, 소음, 환경, 기존 도로의 노후화 등 다양한 이유로 고가도로 등 다수의 기존 지상 도로의 철거가 진행되는 추세

○ 서울시는 최근 '70~'80년대 건설된 다수의 고가도로들을 철거하거나 공원 등으로 활용하는 추세

- '70년대 이후 경제성장 시기의 원활한 차량 소통 유지를 위해 지어진 고가도로들은 교통 완화를 위해 주로 구 도심에 건설되어 현재는 도시 미관을 저해하는 등의 문제가 발생
- 건설후 30~40년이 지나 도로망의 변화, 교통체계 변경, 구도심의 쇠퇴 등으로 인해 필요성이 낮아진 고가도로들에 대해 '03년 청계고가로 시작으로 철거에 대한 검토가 시작
- 그 외 중앙버스전용차로 설치의 어려움, 교각 주위의 상권 붕괴 및 슬럼화, 시설물 노후화,

지하철 건설공사 방해, 교통흐름 방해 등 다양한 이유로 고가 철거를 추진

- 서울역고가 노후한 본선을 철거하는 대신 서울로 7017 프로젝트를 통해 고가도로를 도심공원으로 활용

○ 고가의 철거로 긍정적인 효과가 다수이나 대체 도로 없는 철거로 인한 교통 혼잡 문제 등 부정적 영향도 존재

- 실제 통행량이 많았던 서울역고가의 경우 폐쇄 후 기존에 5분이 소요되던 구간이 25분으로 늘어나는 등 교통 대란이 발생하였으며, 상당한 시간이 지나고 나서도 기존에 비해 교통 정체가 심해지는 문제가 발생

<표 2-11> 서울 시내 철거 고가명 및 사유

이름	준공시기	철거일자	철거사유
청계고가	1969년	2003년 9월	청계천 복원
한강대로북단고가	1968년	2009년 9월	한강경관 개선, 교통흐름 방해
아현고가	1968년	2014년 3월	중앙버스전용차로 단절, 교통흐름 방해
서울역고가(본선)	1970년	2015년 12월	안전성 문제, 노후화, 서울로 7017 프로젝트
선유도고가	1991년	2022년 12월	제물포터널 건설 (국회대로 지하화도화) 연계

출처: 서울정책 아카이브(2017), "도시환경 개선: 고가도로 철거 사업"

□ 설문조사 결과 도심지 대심도 터널 공사에 대해 찬성하는 의견이 반대보다 높은 편

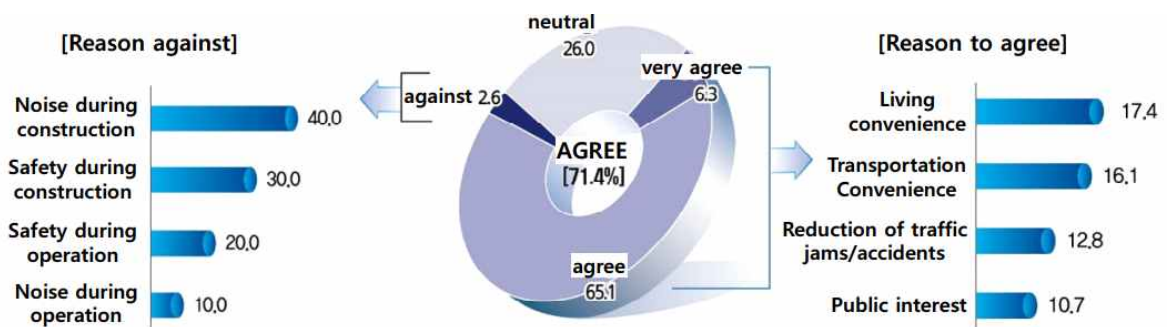
○ 2021년 실시된 설문조사 결과에 따르면, 거주지 지하에 단순 통과하는 대심도 터널 건설의 수용 의사 조사 결과 찬성이 71.4%로 대부분으로 조사

- 찬성의 주요 사유는 생활의 편리성, 교통 편리성, 교통체증 및 사고감소 등 터널 완공 후 기대할 수 있는 편익사항으로 조사

- 생활의 편리성 17.4%, 교통의 편리성 16.1%, 교통체증 및 사고감소 12.8%, 공익 10.7% 순

- 반대의 주요 원인으로는 공사중 소음, 공사중 안전, 운영 중 안전, 운영 중 소음 으로 조사

- 공사중 소음 40.0%, 공사중 안전 30.0%, 운영 중 안전 20.0%, 운영 중 소음 10.0% 순



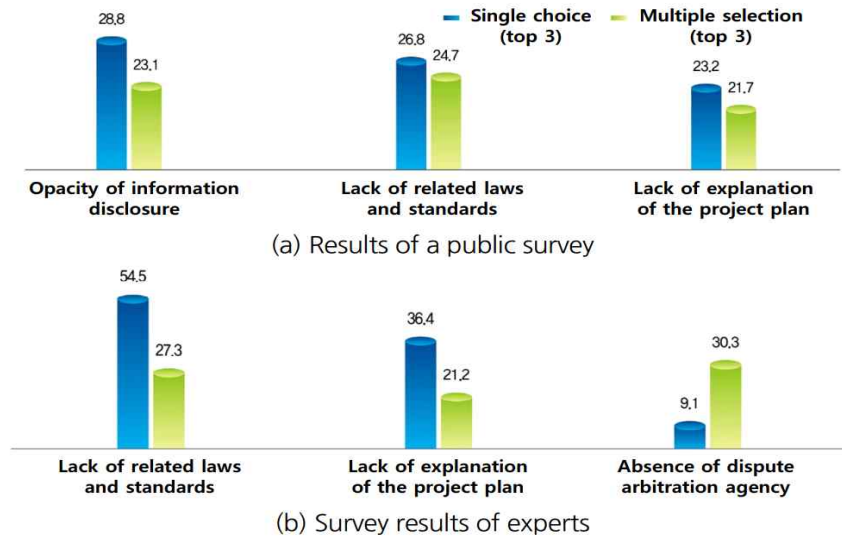
출처: 한국터널지하공간학회 논문집(2021), 도심지 대심도 터널건설에 따른 갈등분석 및 대책

[그림 2-13] 주거지 아래의 대심도 터널의 장단점에 대한 공개 설문 조사 결과

○ 대심도 지하도로 건설에서 민원 발생의 원인은 사업 추진과 관련한 정보에 대한 접근성 부족으로 인한 피해 우려가 원인으로 파악

- 주요 민원 발생 원인으로는 불투명한 정보공개, 관련법·관련기준 미비, 사업계획 홍보 및 설명 부족 등 세가지 항목의 비슷한 비율의 의견이 제시

- 전문가들은 민원 주요 원인으로 관련법·관련기준 미비, 사업계획 홍보 미 설명 부족, 분쟁중재 기관의 부재를 제시

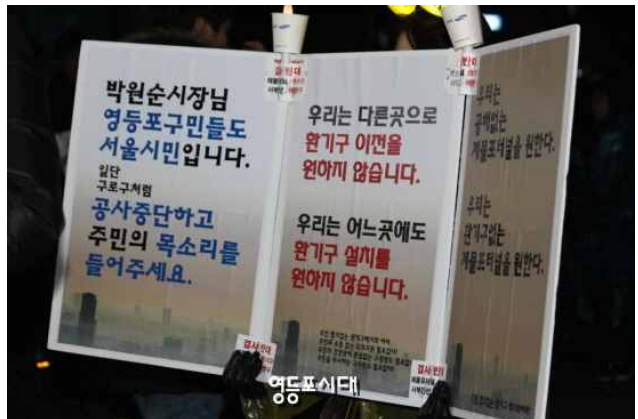


출처: 한국터널지하공간학회 논문집(2021), 도심지 대심도 터널건설에 따른 갈등분석 및 대책

[그림 2-14] 대심도 터널 공사 관련 민원인 조사결과

□ 실제 대심도 지하도로 공사 사례에서 진동, 소음, 환경 등에 대한 인근 주민들의 민원 발생으로 공기 및 공사비 증가 등의 문제 발생

- 현재 진행중인 부산 만덕~센텀 도시고속화도로(대심도) 공사에서는 소음 관련 민원만 170건에 달하는 등 인근 주민들의 불만이 심각한 상황
 - 최근 3년간 소음 민원만 170여 건이 제기되었고, 시공사들은 여러 차례 법적 소음 기준을 초과해 과태료를 부과받는 등 공사에 대한 다수의 불만이 제기
 - '23년 현재는 민원이 많이 줄어들었으나 '21년 발파 작업이 본격적으로 진행될 때에는 관련 민원 및 문제 제기가 매우 심각해 국민권익위원회 중재를 통해 해결
- 현재 개통중인 서울의 신월여의지하도로 및 서부간선도로 지하화 사업은 시공 당시 공기정화시설 문제로 시설 인근 주민들의 불만이 제기되어 수개월간 공사가 중단되는 등의 문제 발생
- 원 계획은 터널내 매연을 모아 환기구(수직구)로 빼내는 방식이었으나, 환기구 인근 주민들의 반대로 인해 터널안 먼지와 유해가스를 필터로 정화해 다시 터널로 내보내는 식의 바이패스(by-pass) 방식으로 변경
 - 환기 방식 변경으로 인해 공사가 중단, 정화를 위한 비싼 외국 설비 구매, 공기순환용 미니 터널 신규 굴착 등으로 인해 수백억원의 공사비가 추가로 지출



출처: 국토교통부(2023), 지가동향 / 영등포시대(2017), [긴급현안 인터뷰] 제물포·서부간선 환기구 주민 비상대책위원회 위원장

[그림 2-15] 연도별 지가변동을

2. 지하고속도로 안전 관련 사회·환경 동향

□ 전체 차량에서 친환경 차량이 차지하는 비중은 지속적으로 증가 중이며, 이에 따라 화재 등

친환경차 관련 문제도 발생

- 국내 자동차 등록 대수는 '21년 2,491만 대로 지속적으로 증가하는 추세
 - 자동차 등록대수는 '16년 2,180만 대에서 '21년 2,491만 대로 증가하였으며 전년 대비 2.2%(+55만대) 증가하는 등 지속적으로 증가하는 추세
- 전체 등록 차량 중 친환경차의 비율은 '21년 말 4.7%(116만대) 까지 증가
 - 친환경 차량은 '18년 46만 대(2%)에서 지속적으로 증가하는 추세이며, '21년에는 20년 대비 41.3%(+33만 9천대)가 증가한 116만대를 기록하여 100만 대를 돌파
 - 전기차는 전년 대비 71.5%(+9만 6천대) 증가하여 총 231,443대가 되어 '18년 대비 4.2배로 증가
 - 지역별 전기차 보조금이나 전기 화물차 영업용 번호판 발급총량 예외 정책 등으로 전기차 등록이 크게 증가
 - 전기 화물차는 '19년 말 1,100여대에서 '21년 말 4만 3천여대로 대폭 증가



국토교통부 보도자료(2022), 21년말기준 자동차 등록대수 2,491만 대... 전기차 신규등록 10만대 돌파

[그림 2-16] '21년 월별 전기차 등록 현황(좌), 연도별 전기차 누적 등록(우)

- 수소차는 전년 대비 77.9%(+8,498대) 증가하여 총 19,404대를 기록하였으며 하이브리드 차량은 전년 대비 34.7%(+23만 4천대) 증가하여 총 90만 8천대로 증가
- 휘발유차는 전년 대비 3.1%(+34만 9천대) 증가하였으며, 경유차는 '21년 처음으로 1.2% (-12만대) 감소



국토교통부 보도자료(2022), 21년말기준 자동차 등록대수 2,491만 대... 전기차 신규등록 10만대 돌파

[그림 2-17] 자동차 등록 대수(좌), 친환경차 누적 등록 대수(우)

<표 2-12> 친환경차 등록(누적) 추이

구 분		‘14말	‘15말	‘16말	‘17말	‘18말	‘19말	‘20말	‘21말
전체자동차		20,117,955	20,989,885	21,803,351	22,528,295	23,202,555	23,677,366	24,365,979	24,911,101
친 환 경 차	소계	140,297	180,361	244,158	339,134	461,733	601,048	820,329	1,159,087
	하 이브리드	137,522	174,620	233,216	313,856	405,084	506,047	674,461	908,240
	전기차	2,775	5,712	10,855	25,108	55,756	89,918	134,962	231,443
	수소차	-	29	87	170	893	5,083	10,906	19,404
친환경차 등록비중(%)		0.7	0.9	1.1	1.5	2.0	2.5	3.4	4.7

국토교통부 보도자료(2022), 21년말기준 자동차 등록대수 2,491만 대... 전기차 신규등록 10만대 돌파

○ 친환경 차량의 증가로 전기차 화재가 3년새 3배로 증가하는 등 관련 이슈 대두

- 전기차의 화재 사고는 '20년 11건에서 '21년 24건, '22년 44건으로 매해 2배 가량 증가하는 추세
 - 화재 사유는 전기적 요인이 18건으로 가장 높은 비율을 차지하였고 이어 부주의(15건), 교통사고(9건), 기계적 요인(4건) 순
 - 화재가 일어난 장소는 일반 도로가 34건으로 가장 많았고, 주차장은 29건, 고속도로는 6건을 기록
- 전기차는 핵심 부품인 배터리의 불안전성으로 내연기관차보다 폭발·화재 위험이 높은 편
 - 전기차의 경우 배터리가 차량 하부에 장착되어 있고, 노면으로부터 차량 하부까지의 높이가 높지 않아 과속 방지턱, 비포장 도로 등 주행 환경에 따라 배터리 손상 가능성 존재
 - 전기차 배터리의 주 원료인 리튬이온은 불안정해 온도 변화에 민감하고 고전압, 과충전 시 발열로 폭발·화재 등의 위험이 존재
- 전기차 화재는 주로 리튬 이온 배터리의 문제로 발생하는데, 화재의 소화가 일반 차량 화재에 비해 어렵고, 관련 인프라도 부족
 - 전기차 화재 진압은 내연 기관 화재 진압에 비해 물의 양이 90배가량 더 필요하며, 배터리 덮개로 인해 소화약도 잘 먹지 않고 불씨가 몇시간가량 살아나는 등의 특징 존재
- 전기차 화재의 소화에 3~4시간이 소요되기 때문에 각 지역 소방서에 관련 특수 장비가 필수 적이나 현재는 매우 부족한 실정
 - '20년 기준으로 화재 진압을 위한 특수 소화조가 전국적으로 2대 밖에 구비되지 않은 상황으로 관련 인프라는 매우 부족
 - 질식소화덮개는 전국 137개가 구비되어있으나, 전남에 42개, 경북에 0개 보유하는 등 지역별로 원활히 보급되지 않은 상황



소방누리(2021), 전기차 시장이 커지고 있다 하지만 전기차 화재 진압은?

[그림 2-18] 전기차에 5미터 안전거리를 유지하며 직사주수 소화(좌) / 화재 전기차용 수조 컨테이너(우)

제4절. 기술동향

1. 터널 VS 지하도로 VS 지하고속도로의 차이점

(1) 터널

□ ‘터널’의 사전적 정의

- 터널은 지표하에 축조되는 도로나 공간으로 이용하는 지하구조물로 단면적이 2m² 이상인 것을 말하며, 이보다 작은 직경은 제외됨. 터널은 위치에 따라 산악, 지하, 해저, 하저터널로 분류되고 용도에 따라 교통용, 수송용, 지하실 터널로 분류⁹⁾
- 산, 바다, 강 밑을 뚫어 만든 굴 형태의 철도 및 도로 등의 통로¹⁰⁾

□ 국가 기준 및 관리측면에서 ‘터널’의 정의(또는 적용 범위)

- 터널설계기준(KDS 27 00 00), 철도설계기준(KDS 47 00 00)의 터널편(KDS 47 10 70) 등은 지반을 개착하지 않고 굴착하여 시공하는 터널공사를 대상
- 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(국토교통부예규 제285호)에서는 적용대상인 도로터널을 폭 넓게 정의
 - 지반을 굴착하여 지하에 건설한 구조물, 개착공법으로 지중에 건설한 구조물(BOX형 지하차도 등), 기타 특수공법(침매공법 등)으로 하저에 건설한 구조물(침매터널 등)과 지상에 건설한 터널형 방음 시설과 같은 폐쇄된 공간구조를 갖는 구조물(방음터널 등)
- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 등에 의거 1, 2, 3종 시설물의 안전 및 유지관리 정보를 통합관리하는 시설물통합정보관리시스템(Facility Management System, FMS)에서는 피암터널도 터널구조물로 분류하여 관리 중
 - FMS 시스템 정보 현황 및 ‘시설물의 안전관리에 관한 특별법 질의응답 사례집(국토해양부/한국시설안전공단, 2010.2)’ 참조

□ ‘터널’의 공학적 정의

- 인공적으로 지반을 굴착하거나 구조물 시공 등을 통해 만들어진 굴 형태의 시설물이며, 일반 구조물에 비하여 지형, 지질 등의 지반조건이나 시공 방법에 영향을 크게 받는 구조물
- 사용목적에 따라서 도로터널, 철도터널, 수로터널 등으로 구분할 수 있으며, 시공방법에 따라 다음과 같이 다양하게 구분 가능함
 - 개착식(Cut and cover) 터널 : 지표면에서부터 굴착하고 터널식 구조물을 완성한 후 다시 매립한 터널, Bottom-up 공법과 Top-down 공법 등으로 구분
 - 굴착 터널 : 지중의 지반을 기계굴착, 발파굴착 방법 등을 이용하여 건설, 대표적으로 TBM 터널(기계굴착), NATM 터널(발파굴착) 등으로 구분
 - 침매터널 : 강이나 해협을 저면 아래로 연결하는 터널로서 해저 지반 등에 지상에서 미리 제작한 구조물(침매함)을 설치하여 건설한 터널
 - 기타터널

9) 출처 : 대한토목학회 토목용어사전, https://dic.ksce.or.kr/SearchResult_Public.asp

10) 출처: 한국민족문화대백과사전, http://encykorea.aks.ac.kr/Contents/Index?contents_id=E0059141

(2) 지하도로

□ ‘지하도로의’의 사전적 정의

- 땅속에 사람, 차 따위가 잘 다닐 수 있도록 만든 길¹¹⁾
- 지하도로는 도시 내부의 각 지역을 빠르게 잇기 위한 도시고속도로의 역할과 기존 도로망의 교통량을 분산시키기 위한 목적으로 건설. 그러나 이미 개발된 도심지에서는 도로를 새로 건설하기 위한 용지를 매수하기가 극히 어려우므로 아예 도심도로 도심의 지하를 통과하는 도로를 건설할 수 있으며, 용량 증대(도로 폭 확장)를 할 수 없는 경우에도 지하도로로 건설을 통해 용량 부족을 해소¹²⁾

□ 국가 기준 및 관리측면에서 ‘지하도로’의 정의(또는 적용 범위)

- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률(약칭: 국토계획법)」 제2조(정의), 6. “기반시설”이란 다음 각 목의 시설로서 대통령령으로 정하는 시설을 말한다., 가. 도로·철도·항만·공항·주차장 등 교통시설
- 동법 시행령 제2조(기반시설) 제②항에서는 기반시설 중 도로를 다음 각 호와 같이 세분화하여 정의
 - 가. 일반도로, 나. 자동차전용도로, 다. 보행자전용도로, 라. 보행자우선도로, 마. 자전거전용도로, 바. 고가도로, 사. 지하도로
- 동법 시행규칙 「도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」 제9조(도로의 구분)에서 ‘지하도로’를 다음과 같이 정의
 - 사. 지하도로 : 시·군내 주요지역을 연결하거나 시·군 상호간을 연결하는 도로로서 지상교통의 원활한 소통을 위하여 지하에 설치하는 도로(도로·광장 등의 지하에 설치된 지하공공보도시설을 포함한다). 다만, 입체교차를 목적으로 지하에 도로를 설치하는 경우를 제외한다.
- 「지하도로 설계지침(국토교통부, 2023.2.)」에서는 지하도로를 ‘국토의 효율적인 활용차원에서 지상부 도로의 교통체증 문제해소, 대기오염·소음 저감 등 환경개선 및 도시재생 등을 목적으로 지하공간에 건설되는 도로’로 정의
 - 가. 일반도로, 나. 자동차전용도로, 다. 보행자전용도로, 라. 보행자우선도로, 마. 자전거전용도로, 바. 고가도로, 사. 지하도로 선형개선을 통한 통행거리 단축, 지장물 우회 등의 이동성을 주목적으로 건설되는 일반적인 터널과 교차부의 교통흐름 개선을 위하여 입체교차를 목적으로 지하에 설치하는 지하차도(Underpass)는 본 지침의 적용 범위에서 제외함을 원칙

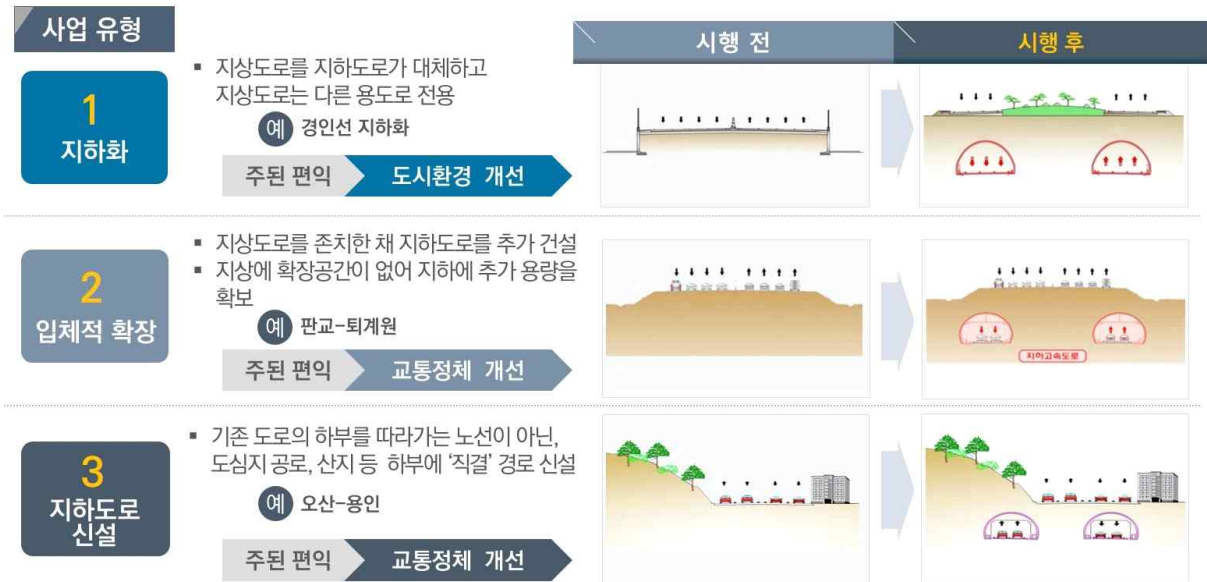
(3) 고속도로

□ 국가 기준 및 관리측면에서 ‘지하고속도로(국도)’의 정의(또는 적용 범위)

- 도로법 제10조(도로의 종류와 등급)에 따라 도로의 종류와 등급은 다음의 각 호 및 각 호에 열거한 순서와 같음
 - 1. 고속국도(고속국도의 지선 포함), 2. 일반국도(일반국도의 지선 포함), 3. 특별시도(特別市道)·광역시도(廣域市道), 4. 지방도, 5. 시도, 6. 군도, 7. 구도
- 「지하도로 설계지침(국토교통부, 2023.2.)」에서는 ‘제12장 고속국도편’의 적용범위를 「도로법」 제10조에 따른 도로 중 ‘1. 고속국도(고속국도의 지선 포함)’를 지하도로 형태로 계획 및 설계하는 경우에 한하여 적용하는 것으로 명시

11) 출처: 네이버 국어사전, <https://ko.dict.naver.com/#/entry/koko/8188912e4e154a00b2569d876942ca98>

12) 출처: 나무위키, <https://namu.wiki/w/%EC%A7%80%ED%95%98%EB%8F%84%EB%A1%9C>



[그림 2-19] 지하도로 또는 지하고속도로의 사업 유형

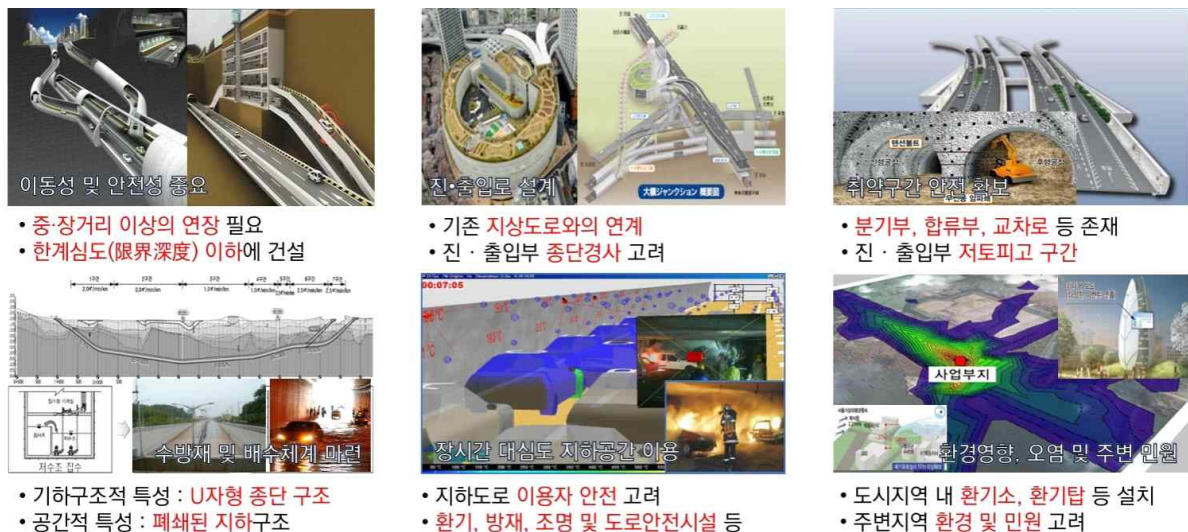
□ 일반적인 ‘터널(도로)’과 ‘지하도로’의 차별성(공학적 관점을 위주로)

○ 터널, 지하도로, 지하고속도로의 차별성

<표 2-13> 터널, 지하도로, 지하고속도로의 차이점

	터널(도로)	지하도로	지하고속도로
주요 건설 목적	이동성 개선(선형개선을 통한 통행거리 단축, 지장물 우회 등의)	지상부 도로의 교통체증 문제해소, 대기오염·소음 저감 등 환경개선 및 도시재생 등	
구조적 형태	· 일반적으로 점과 점을 연결하는 선형적 구조 · 종단선형 상 시점부-본선부-종점부의 고저차가 크지 않음	· 지상 도로망과 유사하게 다수 분·합류부 존재 · 종단선형 상 시점부-본선부-종점부의 고저차가 큰 형태로 U 또는 V자 형태의 종단선형 보유 · 진출입구간(시점부와 종점부)에 큰 종단경사 존재	
기능별 구분에 따른 주요 건설 대상 도로 및 연장 특성	‘주간선도로~국지도로’ 등 필요에 따라 다양한 도로를 대상으로 건설되며 짧게는 수백m ~ 길게는 약 10km	도시지역 내 주요 지역을 연결하는 도로(일반적으로 주간선도로(고속국도 제외), 보조간선도로 등)를 대상으로 건설되므로 일반적으로 10km 내외	광역간 연결이 요구되는 주간선도로(고속국도)를 대상으로 건설되므로 광역간 연결이 가능한 20km 이상 초장대 터널로 건설 필요
설계 속도	건설되는 도로의 기능별 구분에 따라 50km/h~110km/h	도시지역 지하도로 80km/h 이하	지하고속국도 100km/h 이상
이용자 수 및 단면 크기 (차로 수 고려)	건설되는 도로의 등급 및 용량에 따라 방향별 1~4차로	방향별 2차로	방향별 2~3차로 이상 (지하도로 대비 이용자 수 많고 대단면화)
분/합류부 변단면 발생	일반적으로 점과 점을 연결하는 선형적 구조이기 때문에 터널 내 분/합류부 발생 사례 거의 없음	다수 분·합류부 존재로 인하여 분·합류부 구간에서 대단면 형태의 변단면 터널 발생	
건설 지역의 위치적 특징	지방 또는 도시지역 내 산악지역	도시지역 내 지상공간 하부 (심도 40m 이상)	도시지역 내 및 도시-도시 간 지상공간 하부 (심도 40m 이상)

- 지하도로 및 지하고속도로는 일반적인 도로터널과 비교해 다음과 같은 주요 특징의 고려 필요¹³⁾
- 지하도로는 **중·장거리 이상의 연장이 필요**하고 경제성을 고려하여 **한계심도(限界深度) 이하**에 건설될 수 있으므로 **이동성 및 안전성 중요**
 - 주로 도시지역 지하에 건설되는 특성을 고려할 때 **기존의 철도, 전기, 가스, 전기통신, 상하수도 등 지하구조물 또는 매설물 등에 대한 조사 및 영향검토**
 - 기존 지상도로와의 **연계 및 종단경사를 고려한 진출입로 설계**
 - 네트워크화된 도로망 구조에서 **분기부, 합류부 등에 대한 고려 및 취약구간 안전 확보 문제 검토**
 - U자형(또는 V자형) 종단선형을 갖는 도로구조, 폐쇄된 지하구조의 특성 등을 고려한 **수방 배수체계**에 대한 대책 마련
 - 지하공간 이용자의 안전을 위한 **환기, 방재, 안전시설 및 유지관리 비용 등에 대한 철저한 대책 마련**
 - 환기소, 환기탑 등 설치 시 주변지역에 대한 **환경영향 평가 및 환경오염에 대한 대책 마련**
 - 장시간을 지하공간에 머무르는 도로의 특성을 고려한 **조명 및 안전, 부대시설 마련**



[그림 2-20] 지하도로 또는 지하고속도로의 주요 특징

- 지하도로 대비 지하고속도로에서 고려가 필요한 특성 : 지하고속도로는 일반 지하도로에 비해 고 규격, 초 장대 특성의 반영 필요
- 100km/h 이상의 설계속도에 적합한 인프라 설계, 시공 및 운영
 - 교통량(이용자)이 매우 많은 여건을 고려하여 이용자 안전확보를 위한 시설, 설비 강화가 요구
 - 최고등급 유료도로이며, 20km 이상 지하공간을 계속적으로 주행하는 여건을 고려하여 주행쾌적성 및 교통안전성 담보가 가능한 안전시설, 부대시설 등 제공이 요구

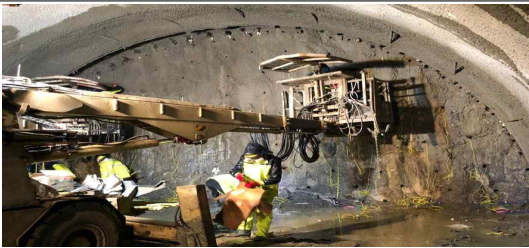
13) 출처 : 지하도로 설계지침(국토교통부, 2023.02.)

2. 기존 지하고속도로 건설에서 쓰이는 공법과 기술

□ 도로터널, 지하도로 및 지하고속도로 시공을 위한 터널 굴착공법

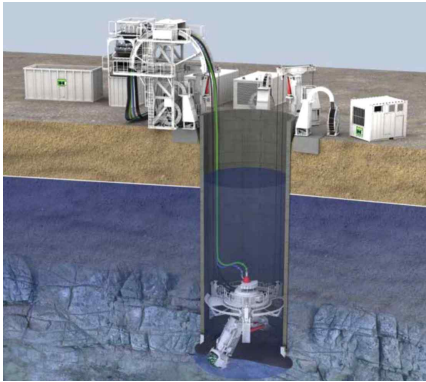
- 국내에서 적용 중인 터널 굴착공법은 NATM, TBM이 일반적이며, 특히 지하도로와 지하고속도로를 포함한 도로터널에는 NATM 공법 적용이 일반적임
- 한편, 도로터널은 철도(지하철 포함)터널 대비 큰 단면이 요구되는 관계로 아직까지 TBM 적용 사례가 극히 드물며 최근 제2순환고속도로의 김포-파주 간 고속도로 하저구간에 직경 14m급 TBM 장비가 적용됨
- 국내에서는 쉴드TBM 장비 반입 및 후방 운영시설 부지확보와 지반특성(다수의 단층대 통과/지질변화 등), 종단 선형 등에 따른 시공성 및 경제성 등을 고려하여 하저통과구간 등 비배수 터널 시공 필요 구간 외 대부분의 터널에서 NATM공법 적용이 일반적

<표 2-14> 터널 굴착공법 비교

구 분	NATM	TBM (Shield)
개요도		
공 법 개 요	· 터널에서 가장 일반적인 굴착방법으로 천공 및 발파후 슛크리트, 록볼트 및 보조공법 등의 지보를 시행하며 굴착하는 방법	· 커터헤드가 장착된 강제원통 내에 버력처리를 위한 컨베이어 시스템을 갖추고 후방에서 세그먼트를 조립하며 터널을 축조하는 방법
지반 적용성	· 모든 지반에 적용가능하며 시공장비가 소규모 · 굴착시 지반변화에 신속 대응 가능 · 주변 여건에 따라 진동 및 소음제어 가능	· 연약한 토사 및 풍화암 터널에서 효율적 · 단층파쇄대 및 암종경계부 구간에서 굴진을 저하 · 경암반지역 대단면 적용성 떨어짐
장 점	· 숙련된 국내 기술진 및 대단면 시공실적 다수 보유 · 시공 오류가 적고, 경제성 측면 양호 · 지반 및 단면 변화에 탄력적 대응 유리 · 평면 및 종단선형 변화 대응 용이 · 시공장비 간단, 작업공간 최소화 가능	· 기계굴착으로 소음 및 진동문제가 적음 · 여굴 발생이 적음 · 토사지반의 경우 굴착속도 빠름 · 굴착 후 Segment를 이용, 단면을 폐합시키므로 안정성 증대 · 비배수 터널로 굴착시 주변 지하수 유동영향 거의 없음
단 점	· 공정이 다소 복잡 · 여굴 발생이 많음 · 발파시 충격에 의한 이완영역의 증대 · 발파시 소음 및 진동에 의한 민원발생 · 발파 후 가스 및 분진에 의한 갱내 작업조건 불량 · 철저한 막장관리 및 계측이 요구됨 · 배수 터널(또는 부분 배수)로 공사 중 근접 구간 지하수위 저하에 대한 별도 관리 필요	· 일반적으로 사용되는 원형 단면의 경우 불필요 공간 발생 · 발진작업을 위한 수직구, 발진대 등 필요 · 지장물 등 조우시 대처가 용이하지 않음 · 기계고장시 공기지연의 원인 · 연장이 짧을 경우 경제성 저하 · 연·경암의 경우 굴착효율 저하 · 아직까지 국내 숙련 기술자 부족, 국내 시공경험 미흡(특히 대단면 TBM) · 지상설비를 위한 대규모 부지 필요

□ 도로터널, 지하도로 및 지하고속도로의 수직구 건설기술

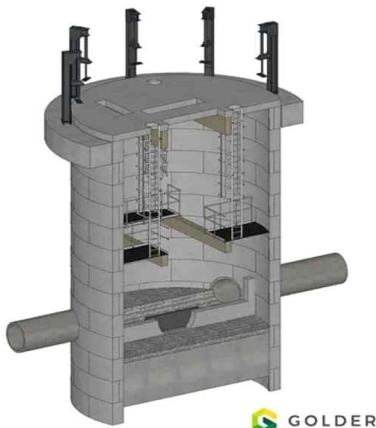
- 국내에서는 발파 및 굴착, 현장타설 라이닝 시공에 의한 수직구를 건설하는 방법이 일반적으로 적용 중
- 해외의 경우에는 기계식 굴착 및 프리캐스트 세그먼트 라이닝 시공을 이용하여 시공 중 발파, 진동 및 지하수위 저감 등 환경피해 최소화를 위한 공법 적용 및 개발을 활발히 진행 중
 - VSM(Vertical Shaft Sinking Machine) 공법 : 독일 Herrenknecht社は 수직구의 안전하고 신속한 굴착과 프리캐스트 세그먼트 라이닝의 one-step 시공을 위해 기계식 굴착공법과 세그먼트 시공을 일체화한 VSM(Vertical Shaft Sinking Machine) 기술 개발(적용 가능한 수직구 직경은 4m~18m 범위)
 - Humes segmental shafts 공법 : 호주 Humes(2015)社は 일반 굴삭기를 이용하여 지반 굴착과 동시에 지상 precast concrete 세그먼트를 조립하는 하향식 수직구 구축 기술 개발. 지반 변위 및 지하수위 변화 제어 등에 용이하며 지상부 유압장치를 이용하여 세그먼트를 조립하고 최대 직경 약 9m, 최대 시공 깊이는 약 30m
 - Watertight Segmental Shaft(방수 세그먼트 샤프트) : 캐나다 Golder(2020)社は 수직구 시공 중 지하수위 저하 방지를 통해 시공 중 지반 침하 및 인접 구조물 변위 발생 위험성을 저감할 수 있는 공법 개발(최대 직경 약 24m, 최대 심도 약 70m 시공 가능)
 - Segmental Shafts : 캐나다 DECAST(2021)社は 터널 수직구(환기, TBM 시공을 위한 발전장, 지중 구조물 연결부) 시공을 위한 Segmental Shafts 공법 개발(지중 30m까지 심도에 최적화)



(a) VSM



(b) Humes segmental shafts



(c) Watertight Segmental Shaft



(d) Segmental Shafts

출처 : <https://www.herrenknecht.com/de/>, <https://www.golder.com>, <https://www.holcim.com.au>, <https://decastltd.com>

[그림 2-21] 해외 저소음, 저진동, 지하수위 저감 방지형 수직구 건설기술

□ 도로터널, 지하도로 및 지하고속도로의 환기 및 화재안전 기술

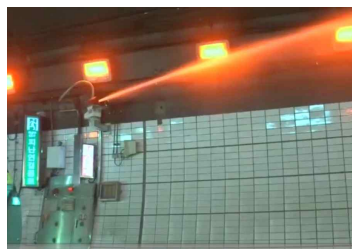
- 환기, 방재(배연) 측면에서 수직구 설치 간격은 축류팬 성능, 덕트 슬래브 및 배연댐퍼 누기율, 배연댐퍼의 개도를 등에 대한 현재 기술수준을 고려하여 제한
 - 횡류식 환기방식의 적용연장은 약 3,000m 내외로 적용하는 것을 추천(도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2021))
 - 환기 및 방재(배연) 조건 모두를 고려하여 최대 간격 5,000m를 넘지 않도록 규정(지하도로 설계지침(국토교통부, 2023))
- 도로터널 관련 방재시설 기준(도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2021) 외)은 정량적 위험도 평가(QRA, Quantitative Risk Assessment)를 기초로 하고 기준으로 적용
 - 현행 정량적 위험도 평가기술에서의 차종 구분은 8종(승용차(가솔린, 디젤), 버스(소형, 대형), 트럭(소형, 중형, 대형, 특수)으로 연료에 대한 구분은 가솔린과 디젤인 내연기관에 대한 구분으로 적용
 - 일반도로터널과 도심지 터널에 대한 정량적 위험도 평가 기법만을 규정
- 도로터널 관련 방재시설 기준(도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2021))에 서는 연장기준과 위험지수(X) 기준(방재등급)에 따라 1등급~4등급으로 등급을 구분하고 등급별로 설치가 필요한 방재시설 설치기준을 제시
 - 내연차량 대상 국내 터널 내 방재시설 기준, 기술은 세계 최고 수준임
 - 특히, 대부분의 지하도로 및 지하고속도로 등급에 해당할 것으로 예상되는 1등급 도로터널에 설치가 필요한 방재시설은 해외 터널 및 지하도로와 비교하더라도 최고 수준의 방재설비를 보유
 - 지하도로 설계지침(국토교통부, 2023)에서는 초장대, 대심도 지하고속도로 특성을 고려하여 연장 10km 이상 또는 터널 내 합류/분류가 5개소 이상 있는 지하고속도로는 별도의 위원회(안전 TF)를 구성해 간이소방서 등 9종의 추가 방재시설 설치 필요여부 검토

<표 2-15> 도로터널(지하도로 및 지하고속도로 포함) 연장등급 및 방재등급별 기준

등급	지하도로연장(L) 기준	위험도지수(X) 기준
1	3,000m 이상 ($L \geq 3,000m$)	$X > 29$
2	1,000m 이상, 3,000m 미만 ($1,000 \leq L < 3,000m$)	$19 < X \leq 29$
3	500m 이상, 1,000m 미만 ($500 \leq L < 1,000m$)	$14 < X \leq 19$
4	연장 500 미만 ($L < 500m$)	$X \leq 14$



(a)물분무설비



(b)원격자동소화설비



(c)영상유고감지설비



(d)집중 배연 설비 개념도

[그림 2-22] 국내 도로터널 및 지하도로 주요 방재시설 기술 현황

□ 도로터널, 지하도로 및 지하고속도로의 교통안전 기술

- 최근 스마트 터널 교통안전관리 개념이 한국도로공사 중심으로 추진되고 있으나, 아직까지는 기존 터널시스템 기반의 적용으로 효과에 한계가 존재
 - 대심도 등의 조건은 기존 터널과는 다른 환경을 제공하고 그에 따른 교통사고의 위험 및 유형 등이 다를 수 있기 때문에 지하도로 및 지하고속도로를 대상으로 효과적인 대처방안 필요
 - 해외사례 검토결과¹⁴⁾ 터널 내부에는 도로전광표지, 교통안전표지, 각종 안전시설, 대피시설 등은 예외 없이 설치·운영됨
 - 교통수요제어는 일부 국가(미국, 스웨덴, 싱가포르)에서 운영하고 있고, 일본, 프랑스와 미국 보스턴 Big Dig의 경우, 교통신호를 통해 터널로의 진입(Toll 운영 포함) 조절
 - 또한 차로제어(Lane Control System)가 적용되며, 속도제어는 일반적으로 제한속도를 통해 운영
 - 일부 과속단속시스템이 설치되어 있으나 선제적이고 적극적인 형태의 속도제어기법은 없음
- 최종적으로 다음과 같이 해외사례고찰을 통해 도출된 각종 교통제어를 요약 가능

<표 2-16> 해외지하도로(장대터널) 교통제어 및 적용 사례 요약

구분	프랑스	일본	스페인	말레이시아	보스턴	시애틀	스웨덴	싱가포르
속도제어 (속도 제한)	70km/h	60km/h 단, 분기점 40km/h	70km/h 단, 분기점 50km/h, 30km/h	60km/h	65km/h 최저 30km/h	70km/h	70km/h	80km/h
차로제어	○	일부	○	○	○	○	일부	○
수요제어	○ (Toll)	○ (신호)	일부	일부	○ (신호)	×	×	×
시설제어	○	○	○	○	○	○	○	○

*시설제어에는 도로안전시설과 교통관리시설을 모두 포함하는데 전자는 시선유도시설, 충격흡수시설, 조명시설이 포함되고, 후자는 도로안전표지, 교통노면표시, 도로표지, 도로전광표지가 포함

14) 출처 : 도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구 사업 연차 보고서(1차년도, 2020.11.)

3. 주요 연구 동향

(1) 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발 사업('14~'20)

- **(목표)** 지상 도로를 지하화하여 교통 혼잡비용을 30% 절감하기 위한 안전하고 경제적인 대단면 복층터널 건설 기술 개발
 - 병렬 터널 대비 공사비 15%절감, 이용자의 100% 안전확보를 목표
 - 도심지 대심도에 건설되는 다목적 복층터널을 건설하고 운용하는데 필요한 설계 및 시공, 환기 및 화재안전의 핵심 기술을 국내기술로 확보
 - 이를 위하여 ①네트워크 지하도로망 구축 및 다목적 기능의 복층터널 설계 기술 확보, ② 확폭, 분기부 등을 효율적으로 구축하고 경제적으로 최적화된 복층터널을 시공하는 기술을 확보, ③지하 네트워크의 환기 및 화재 안전에 대응하고 복층터널 구조체의 손상평가 기술 개발
- **(연구기간)** '14.12~'20.06(5년 7개월)
- **(연구내용)** 복층 터널 최적화 설계 기술 개발, 효율적인 복층터널 시공기술 개발, 복층터널 환기 및 화재안전 기술 개발



한국건설기술연구원(2020), 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술 개발 최종보고서

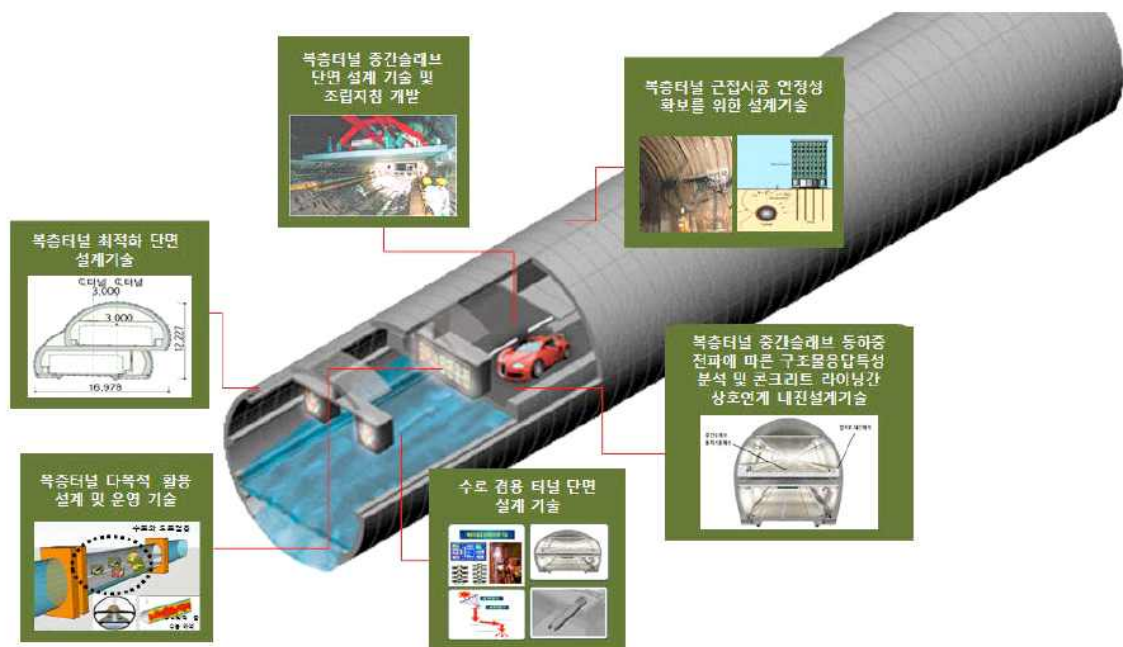
[그림 2-23] 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발 사업 세부과제 및 요소기술

- **([1세부]복층터널 최적화 설계 기술 개발)** 복층터널 분기부 기하구조, 경제성 및 안정성을 갖춘 특수 중간 슬래브 구조체 설계 등 최적단면 설계 가이드라인, 공간 활용성을 향상시킬 수 있는 방수로 겸용의 다목적 복층터널 설계 기술 개발
 - 요소기술 1 : 복층터널 최적화 단면 설계 기술
 - 경제성, 안정성 등을 고려한 복층터널 분기구간 계획 및 다목적 활용 방안에 대한 최적화 단면 설계 방안 마련
 - 지하 IC/JCT 연결로 유출입 접속부 및 노즈부 설계기술 개발과 상하층 분리구조 설계 및 초대형 단면 분리 설계 기술 개발 등
 - 요소기술 2 : 복층터널 구조체 설계 및 성능 평가 기술
 - 중간슬래브 단면 설계기술 및 프리캐스트 중간슬래브 조립지침 개발
 - 슬래브 구조물 응답특성 분석 및 슬래브 구조와 라이닝간 상호 연계 내진설계 등

- 요소기술 3 : 복층터널 근접시공 안전선 확보를 위한 설계기술
 - 대심도 복층터널의 지층조건, 시공현황 등을 반영한 지보 및 보강 설계기술 개발
 - 인접구조물과 영향 및 상호작용 평가 연구, 근접시공 안전도 평가 연구 등
- 요소기술 4 : 복층터널 내부시설 운전자 친화 설계 기술개발 및 가상 프로젝트
 - 운전자의 사전사고예방 도모를 위한 복층터널 단면 최적 표지 및 조명시스템 개발, 복층터널 내부 타일 대체용 친환경 불연도료 개발 등
 - 가상 프로젝트에 대한 설계 및 시공 시뮬레이션 수행
- 요소기술 5 : 복층터널 다목적 활용 설계 및 운용 기술
 - 다목적 복층터널의 복원력 증진 기술 개발
 - 복층터널 수재해 관련 대책 마련을 위한 복층터널 수방 가이드라인 제시 등

<표 2-17> 세부과제 1 : 복층터널 최적화 설계 기술 개발 요소기술

세부과제	요소기술
복층터널 최적화 설계 기술 개발	복층터널 최적화 단면 설계기술
	복층터널 구조체 설계 및 성능 평가 기술
	복층터널 근접시공 안전선 확보를 위한 설계기술
	복층터널 내부시설 운전자 친화 설계 기술개발 및 가상 프로젝트
	복층터널 다목적 활용 설계 및 운용 기술



한국건설기술연구원(2020), 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술 개발 최종보고서

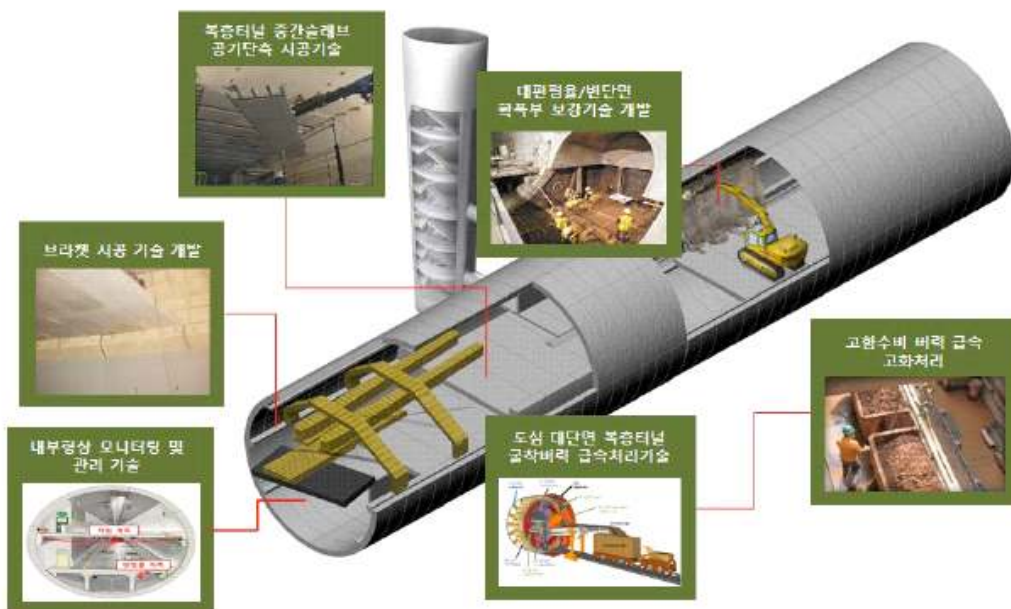
[그림 2-24] 세부과제 1 주요 성과

- ([2세부]효율적인 복층터널 시공기술 개발) 종래의 일반적인 터널과 달리 복층구조의 특수성과 지하도로 네트워크성으로 인한 분·합류부/중간슬래브 등의 특수 시공기술 개발
 - 요소기술 1 : 복층터널 최적화 시공을 위한 굴착·보강, 구조체의 유지관리 기술개발과 test-bed
 - 확폭·분기부 굴착장비 설계기술 및 굴착장비 제작기술 개발
 - 확폭·분기부 세그먼트의 시공/설계 단순화를 위한 세그먼트 개발
 - 21MPa 이상 고강도 발현이 가능하고 급결성능을 확보할 수 있는 그라우트 기술개발
 - 중간슬래브 구축 공기 단축을 위한 제작기술, 가설기술 및 장비 개발
 - 복층터널 슬래브를 고려한 고성능 복합 터널 라이닝 기술 등

- 요소기술 2 : 도심 대심도 수직구의 친환경 시공기술 개발
 - 수직구 벽체 구조물 1일 상승속도가 4m 이상 가능한 히팅 슬립폼장치 개발
 - 수직구 내브 슬래브 및 계단, 브라켓 조립공법 개발
 - 도심 대심도 수직구 작업자 운송장치 개발
- 요소기술 3 : 도심 대단면 복층터널 고탄수비 굴착버력 친환경 급속처리 기술 개발
 - 도심지에서 시공하는 대단면 복층터널의 고탄수비 굴착버력의 워커빌리티 개선을 위한 굴착버력 친환경 급속처리기술 개발

<표 2-18> 세부과제 2 : 효율적인 복층터널 시공기술 개발 요소기술

세부과제	요소기술
효율적인 복층터널 시공기술 개발	복층터널 최적화 시공을 위한 굴착·보강, 구조체 유지관리 기술개발과 test-bed
	도심 대심도 수직구의 친환경 시공기술 개발
	도심 대단면 복층터널 고탄수비 굴착버력 친환경 급속처리 기술 개발



한국건설기술연구원(2020), 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술 개발 최종보고서

[그림 2-25] 세부과제 2 주요 성과

- ([3세부]복층터널 환기 및 화재안전 설계 기술 개발) 연장이 길며 슬래브로 단면이 구분된 복층터널의 특성을 고려한 운영 중 최적 환기 시스템/오염물질 확산 방지 시스템 개발과 더불어, 화재 사고발생 시에 이용자의 안전을 확보하기 위한 화재 확산제어/내화확보 기술 개발
 - 요소기술 1 : 복층터널 네트워크형 환기설계 및 해석 기술 개발
 - 복층 네트워크형 터널의 최적 환기설계를 위한 인자 도출, 사례연구 및 환기설계 지침 제시
 - 환기시스템 성능 예측, 적절한 설계 사항을 공학적으로 해석할 수 있는 알고리즘 및 소프트웨어 개발
 - 요소기술 2 : 복층터널 오염물질 확산 예측 및 외부 배출 방지 기술
 - 차종별 오염물질 배출량 기준 및 환기량 산정방안 제시
 - 대형화 가능성이 높은 환기기 운전동력 최소화를 위한 운전단계 산정방안 및 운전제어로직 개발
 - 요소기술 3 : 복층터널 화재확산 제어 및 내화 성능 향상 기술
 - 화재 및 연기 확산 제어 기술 개발, 화재시 복층터널 중간슬래브의 내화 성능 확보 방안 및 화재후 손상 평가/보수 보강 기술
 - 회전이 가능한 초기 화재진압장치 및 원격 구동 가능한 복층터널용 원격 자동 소화설비

- 요소기술 4 : 복층터널 화재안전 평가 및 관리시스템 구축

- 복층터널 위험요인 및 터널 사고결과분석을 통한 화재 시나리오 정립 및 운영방안 수립
- 무선 측위가 가능한 스마트 피난 경보 시스템 개발
- 고화질 실시간 CCTV 영상 분석 및 통합 관제 시스템 등

<표 2-19> 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발 사업 세부과제 및 요소기술

세부과제	요소기술
복층터널 환기 및 화재안전 설계 기술 개발	복층터널 네트워크형 환기설계 및 해석 기술 개발
	복층터널 오염물질 확산 예측 및 외부 배출 방지 기술
	복층터널 화재확산 제어 및 내화 성능 향상 기술
	복층터널 화재안전 평가 및 관리시스템 구축



한국건설기술연구원(2020), 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술 개발 최종보고서

[그림 2-26] 세부과제 3 주요 성과

(2) 도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구 사업('20~'23)

- **(목표)** 지하 교통 인프라 건설 및 운영기술 고도화를 통한 사고발생 50% 저감 및 국민 100% 안심 안전 인프라 구축 실현
 - **(1핵심 목표)** 국민이 안심하고 편하게 이용할 수 있는 도심 지하도로 구축 통합 안전관리 솔루션
 - **(2핵심 목표)** 지하 교통 인프라 설계 및 시공 고도화의 핵심 기술 개발 및 지하-지상, 지하-지하 연계 기술
- **(연구기간)** '20.04~'23.12(3년 9개월)
- **(연구내용)** 지반 조사 및 계측 고도화, 도심 안전 영향 평가 고도화, 지하수 관리 기술 고도화, 지상 영향 최소화 굴착기술 고도화, 지하 교통인프라 설계·운영·검증 기술, 통합 안전 모니터링 플랫폼, 테스트베드 현장 적용 및 제도 개선
 - **(지반 조사 및 계측 고도화)** 도심 터널 굴착용 지반 위험 산정 기법, 정밀계측기기 검증 장치 개발 및 계측 신뢰성 향상을 위한 제도 개선
 - **(도심 안전 영향 평가 고도화)** 지하 교통 인프라 건설로 인한 도심 안전 영향 평가 고도화 기술
 - **(지하수 관리 기술 고도화)** 지하 교통 인프라 안전 시공 운영 및 운영을 위한 지하수 관리 기술

- (지상 영향 최소화 굴착기술 고도화) 발파진동 세부 기준정립, 무장약공을 이용한 전방탐사 및 무진동 굴착 기술 고도화
- (지하 교통인프라 설계·운영·검증 기술) 지하 교통 인프라 설계·운영·검증 기술
- (통합 안전 모니터링 플랫폼) 지하 교통 인프라 통합 안전 모니터링 플랫폼
- (테스트베드 현장 적용 및 제도 개선) 지하 교통 인프라 구축 안전기반 수립 및 제도 개선



KTA 정기총회 및 학술발표대회(2023), 지하고속도로 기준 기술 현황 및 향후 과제

[그림 2-27] 연구단 과제 구성 및 항목간 연계도



KTA 정기총회 및 학술발표대회(2023), 지하고속도로 기준 기술 현황 및 향후 과제

[그림 2-28] 도심 지하 교통 인프라 연구단 주요 예상 성과

제5절. 시사점

1. 정책동향 시사점

□ 각 국가에서는 국토의 입체적 개발을 위해 지하공간 활용에 대한 정책 실행 중

- 국외 각국에서는 국토의 입체적 활용을 위해 지하공간 활용에 대한 계획을 발표
 - (캐나다) 도심 지하에 시민보행 체계를 도입하는 ‘지하보행자 시스템 설계가이드라인’을 수립하여 총 11개의 지침사항을 선정
 - (일본) ’01년 시행된 「대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법」을 통해 지하구조물 건설 기술의 혁신을 촉진하였고, 중앙정부 차원의 ‘지하의 공공적 이용 기본계획’을 근거로 개별 지방자치단체 ‘지하이용 가이드플랜’을 규정
 - (싱가포르) 지하공간 활용에 대한 기본정책 방향(’18~’30)을 통해 지하공간 개발에 대한 기본정책 방향을 설정
 - (중국) 승시안, 룽청, 안신 등을 승안신구(Xiongan Zone)로 지정하고, 해당 지역의 지하를 대규모로 개발하는 전략을 발표, 지하를 대규모로 개발하는 전략을 발표
- 국내에서도 국토의 개발 및 건설 등에 관한 계획을 지하공간에 대한 내용을 포함하여 수립 중
 - 윤석열 정부 120대 국정계획에서는 민간이 끌고 정부가 미치는 역동적 경제에서는 주요 고속도로의 지하에 대심도 고속도로를 건설하여 상습정체를 해소하고자 명시
 - 제5차 국토종합계획에서는 대심도 지하도로의 추진을 명시
 - 제2차 국가기간 교통망 계획에서는 대도시권 대심도 지하도로 건설 추진을 통해 국가 간선도로망 완성을 목표
 - 제2차 국가도로망 종합계획에서는 4차 산업혁명 기술의 인프라 접목을 위해 도심지 초고속 지하도로 등 도로 분야 연구개발 추진을 명시
 - 기타 다수의 계획들에서도 지하공간의 개발과 지하고속도로 구축 및 기술개발에 대한 내용을 명시하고 있는 것으로 확인

□ 국내외로 도로를 지하화하는 사업들이 곳곳에서 진행 중

- 국외에서는 이미 오래 전부터 간선도로를 지하화하여 교통체증을 줄이고 상부공간을 공원으로 활용하는 사업을 실시하고 있는 것으로 확인
 - (미국) 미국 보스턴시는 ’91년~ ’07년까지 big dig project를 통해서 보스턴 시의 주요 간선도로를 지하화하여 교통체증을 줄이고 대형 공원 조성을 통해 노후 도심 활성화
 - (스페인) 스페인 마드리드 도심을 순환하는 M30 도로를 지하화하여 마드리드 M30 터널을 건설하고 상부를 공원화하여 도심 재생에 기여
 - (독일) 독일에서는 Hamburger Deckel 사업을 통해서 함부르크 노드웨스트에서 스텔링겐 구간의 교통량 초과 문제를 해결하기 위하여 기존 노선을 확장 및 지하화 실시
- 국내에서도 도심간 소통 단절, 환경오염, 교통정체 등을 해결하기 위해서 주요 도로의 지하화를 추진 중
 - 경인고속도로 인천기점~서인천IC에 이르기 까지 10.45km의 구간을 지하화 예정
 - 수도권제1순환선 판교-퇴계원 구간 34km 지하화 예정
 - 경부선의 동탄-양재 구간 34km를 지하화 예정
 - 그 외 기타 영동선 등 다수의 도로를 지하화 예정 중

2. 시장·산업 동향 시사점

(1) 시장 동향

□ 각 기관에서 조사한 지하고속도로 관련 분야 글로벌 동향 조사 결과에 따르면 지하고속도로 분야는 지속적으로 성장할 것으로 전망

- 터널의 환기, 조명, 시스템 등을 포함하는 터널 자동화 시장은 연평균 7.7% 성장률로 지속적으로 성장할 것으로 전망
 - SPHERICAL Insights의 분석에 따르면 글로벌 터널 자동화 시장은 '21년 43억 달러에서 '30년 62억 달러까지 CAGR 7.7%로 지속적으로 성장할 것으로 전망
 - 터널 자동화 분야는 정부 규제, IoT 및 자동화 솔루션의 발달, 사고 건수 증가, 프로젝트 수 증가, 터널의 노후화 등 다양한 성장 요인이 존재
 - 터널 자동화 분야 중 HVAC(Heating, Ventilating, and Air Conditioning) 분야가 가장 큰 점유율을 차지할 것으로 예상
- 터널 인프라 관리에 사용되는 모니터링 장치, 센서 및 기타 요소 등을 포함하는 터널 모니터링 시장은 지속적으로 성장중
 - MarketWatch의 조사에 따르면 터널 모니터링 시장은 '22년 3억 5742만 달러에서 CAGR 9.83%로 성장하여 '28년 6억 2738만 달러에 이를 것으로 전망
 - DataBridge의 조사에 따르면 터널 모니터링 시스템 시장은 '21년에서 '28년까지 10.93%의 CAGR로 성장할 것으로 전망
- 글로벌 지하고속도로 프로젝트 규모를 바탕으로 시장 규모를 추정한 결과 글로벌 지하고속도로 분야 시장은 지속적으로 증가하는 것으로 추정
 - 지하고속도로 프로젝트들의 사업비와 공사기간으로 추정 결과 지하고속도로 시장은 '90~'95년 5조 9,312억원에서 '25~'29년 9조 1,071억원으로 연평균 6.8%로 성장할 전망

(2) 산업 동향

□ 국내외 여러 지하도로 및 지하고속도로들이 운영 중이거나 현재 시공 중

- 국내에는 신월여의지하차도 및 서부간선지하도로가 민자사업으로 건설되어 운영 중
 - 신월여의지하차도는 신월IC와 여의도동 여의대로·올림픽대로를 직접 연결하는 왕복 4차로, 총 연장 7.53km의 지하도로로, '21년 4월 16일 5년 6개월의 공사 끝에 개통
 - 국내 최초로 무인으로 요금을 징수하는 스마트톨링(smart tolling) 시스템, 환기구 대신에 미세먼지와 유해가스를 터널 안에서 정화하고 배출하지 않는 바이패스 환기 방식을 도입
 - 서부간선지하도로는 안양천변을 따라 건설된 서부간선도로의 지하 80m에 건설된 대심도 지하 터널로 영등포구 양평동에서 금천구 독산동까지 연결되는 10.33km의 왕복 4차선 도로
 - 다차로 하이패스 시스템, 1등급 방재 수준 및 각종 화재 대응 시스템 등 도입
- 해외에는 다수의 지하 고속도로 시공 및 운영 사례가 존재
 - 프랑스 A86 duplex, 보스턴 big dig, 일본 yamate 터널 등 다수의 지하도로 및 지하고속도로 사례 존재

3. 사회·환경 동향 시사점

□ 지가 상승, 교통 수요 증가로 인한 도로 부족 등의 문제 대두

- 지가의 지속적인 상승으로 고속도로 건설 비용은 증가하는 추세
 - 국내 지가는 '14년 이후 물가상승률을 상회하며 급격히 상승 중
 - 신규 도로 건설시 도로 구간에 대한 토지 수용이 필수적인데, 지가의 지속적 상승으로 토지 수용의 경제적 부담이 증가하며, 도심지에서는 해당 부담이 특히 심화
- 여러 교통 수요 조사 결과, 도로의 공급이 수요를 따라가지 못하는 상황
 - 교통수단별 수송분담률 조사 결과, 승용차의 수송분담률은 지속적으로 높은 수준을 유지
 - 승용차의 수송분담률은 '07년 이후부터 지속적으로 50% 이상의 높은 비율을 유지
 - 대한민국의 대중교통 수송분담률은 타 OECD 국가에 비해 매우 높은 편으로 미래에 대중교통 보다는 승용차의 분담률이 늘어날 것으로 예상
 - 국내 고속도로 교통량은 '17년 15.8억 대에서 '21년 16.9억 대로 지속적으로 증가하는 추세

□ 최근 도시공간 단절, 소음, 환경, 기존 도로의 노후화 등 다양한 이유로 고가도로 등 다수의 기존 지상 도로의 철거가 진행되는 추세

- 서울시는 최근 '70~'80년대 건설된 다수의 고가도로들을 철거하거나 공원 등으로 활용하는 추세
 - 청계고가, 아현고가, 서울역고가 등의 노후 고가도로를 경과 개선, 안전성문제, 교통흐름 방해 등 다양한 이유로 철거

□ 지하고속도로에 대한 긍정적인 인식이 높은 편이나, 실제 현장 인근 주민들의 민원 문제도 존재

- 설문조사 결과 도심지 대심도 터널 공사에 대해 찬성하는 의견이 반대보다 높은 편
 - 2021년 실시된 설문조사 결과에 따르면, 거주지 지하에 단순 통과하는 대심도 터널 건설의 수용 의사 조사 결과 찬성이 71.4%로 대부분으로 조사
 - 대심도 지하도로 건설에서 민원 발생의 원인은 사업 추진과 관련한 정보에 대한 접근성 부족으로 인한 피해 우려가 원인으로 파악
- 실제 대심도 지하도로 공사 사례에서 진동, 소음, 환경 등에 대한 인근 주민들의 민원 발생으로 공기 및 공사비 증가 등의 문제 발생
 - 현재 진행중인 부산 만덕~센텀 도시고속화도로(대심도) 공사에서는 소음 관련 민원만 170건에 달하는 등 인근 주민들의 불만이 심각한 상황
 - 현재 개통중인 서울의 신월여의지하도로 및 서부간선도로 지하화 사업은 시공 당시 공기정화 시설 문제로 시설 인근 주민들의 불만이 제기되어 수개월간 공사가 중단되는 등의 문제 발생

□ 친환경차의 비율은 지속적으로 증가하고 있으며, 이로 인한 화재 문제 등에 대한 대비 필요

- 국내 자동차 등록 대수는 '21년 2,491만 대로 지속적으로 증가하는 추세이며, 전체 등록 차량 중 친환경차의 비율은 '21년 말 4.7%(116만대) 까지 증가
- 친환경 차량의 증가로 전기차 화재가 3년새 3배로 증가 하는 등 문제 발생
 - 전기차의 증가에 따라 전기차 화재 사고는 '20년 11건에서 '21년 24건, '22년 44건으로 매 해 2배가량씩 증가하는 추세
 - 전기차는 핵심 부품인 배터리의 불안전성으로 내연기관차보다 폭발·화재 위험이 높은 편
 - 전기차 화재의 주요 원인인 리튬 이온 배터리는 소화가 어려운 문제가 있으며, 관련 인프라도 매우 부족한 실정

4. 기술동향

- 터널, 지하도로, 지하고속도로는 목적, 구조적 형태, 도로연장, 설계속도, 단면 등에서 차별성 존재
 - 지하도로 및 지하고속도로는 일반적인 도로터널과 비교해 다음과 같은 주요 특징이 존재
 - 지하도로는 중·장거리 이상의 연장이 필요하고 경제성을 고려하여 한계심도(限界深度) 이하에 건설될 수 있으므로 이동성 및 안전성 중요
 - 주로 도시지역 지하에 건설되는 특성을 고려할 때 기존의 철도, 전기, 가스, 전기통신, 상하수도 등 지하구조물 또는 매설물 등에 대한 조사 및 영향검토
 - 기존 지상도로와의 연계 및 종단경사를 고려한 진출입로 설계
 - 네트워크화된 도로망 구조에서 분기부, 합류부 등에 대한 고려 및 취약구간 안전 확보 문제 검토
 - U자형(또는 V자형) 종단선형을 갖는 도로구조, 폐쇄된 지하구조의 특성 등을 고려한 수방 배수체계에 대한 대책 마련
 - 지하공간 이용자의 안전을 위한 환기, 방재, 안전시설 및 유지관리 비용 등에 대한 철저한 대책 마련
 - 환기소, 환기탑 등 설치 시 주변지역에 대한 환경영향 평가 및 환경오염에 대한 대책 마련
 - 장시간을 지하공간에 머무르는 도로의 특성을 고려한 조명 및 안전, 부대시설 마련
 - 지하도로 대비 지하고속도로에서 고려가 필요한 특성 : 지하고속도로는 일반 지하도로에 비해 고 규격, 초 장대 특성의 반영 필요
 - 100km/h 이상의 설계속도에 적합한 인프라 설계, 시공 및 운영
 - 교통량(이용자)이 매우 많은 여건을 고려하여 이용자 안전확보를 위한 시설, 설비 강화가 요구
 - 최고등급 유료도로이며, 20km 이상 지하공간을 계속적으로 주행하는 여건을 고려하여 주행쾌적성 및 교통안전성 담보가 가능한 안전시설, 부대시설 등 제공이 요구
- 기존에 지하고속도로 건설을 위한 다양한 공법 및 기술이 존재
 - 지하도로 및 지하고속도로 시공을 위해 NATM, TBM과 같은 굴착 공법이 존재
 - 수직구 건설은 국내에서는 발파 및 굴착, 현장타설 라이닝 시공에 의한 건설 방법이 일반적이거나, 해외에서는 기계식 굴착 및 프리캐스트 세그먼트 라이닝 시공을 이용한 시공 중 발파, 진동 및 지하수위 저감 등 환경 피해 최소화를 위한 공법 적용 및 개발이 활발히 진행 중
 - 도로터널, 지하도로 및 지하고속도로에는 다양한 환기 및 화재안전 기술, 지침 등이 존재
 - 환기, 방재(배연) 측면에서 수직구 설치 간격은 축류팬 성능, 덕트 슬래브 및 배연댐퍼 누기율, 배연댐퍼의 개도율 등에 대한 현재 기술수준을 고려하여 제한
 - 도로터널 관련 방재시설 기준(도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2021)은 정량적 위험도 평가(QRA, Quantitative Risk Assessment)를 기초로 하고 기준으로 적용
 - 지하고속도로 교통안전 기술은 최근 스마트 터널 교통안전관리 개념이 한국도로공사 중심으로 추진되고 있으나, 아직까지는 기존 터널시스템 기반의 적용으로 효과에 한계가 존재
- 국내 관련 분야 연구 사례가 존재
 - 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술 개발 사업이 '14년부터 '20년까지 수행
 - 지상 도로를 지하화하여 교통 혼잡비용 30% 절감하기 위한 안전하고 경제적인 대단면 복층터널 건설 기술 개발을 목표로 터널 최적화 설계 기술, 시공기술, 환기 및 화재안전 기술 등을 개발
 - 도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구 사업이 '20년부터 '23년까지 수행 예정
 - 지하 교통 인프라 건설 및 운영기술 고도화를 통한 사고발생 50% 저감 및 국민 100% 안심 안전 인프라 구축 실현을 목표로 연구 수행 중

제3장. 사업 추진여건 분석

제1절. 지하고속도로 국내 기술수준 분석

1. 국토교통 기술수준분석

1) 터널/지하공간

□ 국내 터널/지하공간 분야 중 해저/대심도 터널 분야의 기술수준은 최고기술국 대비 91.5%로 우수한 편

○ 국토교통과학기술원에서 실시한 국토교통 기술수준분석에 따르면 국내 해저/대심도 터널 분야의 기술수준은 최고기술국인 일본 대비 91.5% 정도이며, 기술 격차는 3.5년으로 조사

- 세계 주요국 기술수준을 비교하면 일본 > 미국 > 독일 > 프랑스 > 한국 > 영국 > 중국 순으로 조사
<표 3-1> 해저/대심도 터널 분야 주요국 기술수준

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차
해저/대심도	91.5	3.0	100.0	0.0	96.5	1.3	85.0	5.0	95.0	2.0	91.3	2.0	91.5	2.3
	5위		1위		2위		7위		3위		6위		4위	

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

- 국내 해저/대심도 터널 분야는 최근 다수의 국내외 해저/대심도 터널 기술개발 사업참여 및 최근 다수가 설계·시공되어 비약적인 기술발전이 이루어지고 있으나 해저터널 사업이 없고 발파 기술에 의존하며 건설경험과 엔지니어링 수준의 미흡, 각종 기술지침이 없는 것과 기계화시공 기술의 미흡 등의 근거로 판단

○ 국내 해저/대심도 터널 분야는 최근 사업 관심 증대와 같은 강점이 있지만, 설계기술 미흡 등의 약점도 존재

- 국내 해저/대심도 터널 기술 분야의 강점과 약점은 이하의 <표 2>와 같음

<표 3-2> 국내 해저/대심도 터널 분야의 강점과 약점

국가	강점 분야	약점분야
한국	- 최근 해저, 대심도 터널 사업 보편화 - 해저 대심도 터널에 대한 관심과 새로운 SOC 사업에 대한 기대와 기술요구가 높음 - 국내외 자료의 수집 및 축적으로 인한 경험치 향상 - 해저/대심도 터널에 대한 수요 증가 - 최근 대심도 GTX 시장 확대에 관심 고조	- 설계요소기술수준이 아직 미흡하며, 법, 제도적 뒷받침과 실제 사업의 선순환이 필요함 - 시험 및 시공관련 자료의 공유기능 부족 - 정부주도 R&D 투자 부족, 기계식 장비 제작을 국외에 의존

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

○ 국내의 해저/대심도 터널 기술 분야의 단계별 연구역량은 대체로 우수한 것으로 조사

- 국내 콘크리트 교량 기술은 기초연구, 응용개발연구 모두 우수하며, 연구 개발활동도 상승 중인 것으로 분석

<표 3-3> 주요국의 해저/대심도 터널 기술 연구단계별 기술역량

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구
해저/대심도	우수	우수	탁월	탁월	우수	우수	우수	우수	우수	우수	우수	우수	우수	우수

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

□ 국내 터널/지하공간 분야 중 지하 대공간 분야의 주요국 기술수준은 최고기술국 대비 90%로 우수한 편

○ 국내 지하 대공간 분야 기술은 최고기술보유국인 일본 대비 90% 정도이며, 기술격차는 5.0년 정도의 차이를 보이고 있는 것으로 조사

- 세계 주요국 기술수준을 비교하면 일본 > 미국 > 독일 > 한국 > 영국, 프랑스 > 중국 순으로 조사

<표 3-4> 지하 대공간 분야 주요국 기술수준

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차
지하 대공간	90.0	5.0	100.0	0.0	98.8	0.3	85.0	5.0	95.0	3.0	90.0	3.0	90.0	3.0
	4위		1위		2위		7위		3위		5위		5위	

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

- 국내 지하 대공간 분야 기술은 연구개발기술능력의 노하우가 축적되어 있으며, 대규모 복합환승센터 개발 등을 통해 비약적으로 기술이 발전하였으나 사업 부족에 따라 기술 축적이 부재하며, 극히 제한적인 용도로 건설/활용되고 있으며 법, 제도적 기반이 미흡하고 기술수준이 낮으며, 자체 실험자료 및 연구 의지가 부족하고 개착식 지하대공간 구축에 한계가 있는 것으로 판단

○ 국내 지하대공간 분야 기술은 최근 수요 및 관심 증대 등의 강점이 있으나, 시공·설계 등 원천 기술 미흡 등의 단점이 있는 것으로 조사

- 국내 지하대공간 분야 기술의 강점과 약점은 이하의 표와 같음

<표 3-5> 지하대공간 분야 기술의 강점과 약점

국가	강점 분야	약점분야
한국	- 최근 지하공간 개발 수요 발생 - 활용 관심이 높고, 관련 인프라 건설이 증가 추세 - 대규모 사업 발주로 지하공간 개발에 대한 수요 확산 - 정수장, LNG 캐번 등 수요 증가 - 최근 GTX 시장 확대	- 지하공간 개발 실적이 많지 않고, 시공·설계 원천기술이 미흡 - 법·제도적 뒷받침이 미흡 - 기초자료에 대한 연구 부족, 외국의 기초 연구결과에 대한 답습 - 불리한 지반 조건, 정부 R&D 투자 부족, 전문가 부족 - 고준위 방사성 폐기물 처분 관련 URL 경험이 전무

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

○ 국내 지하대공간 기술의 단계별 연구역량은 우수한 것으로 조사

- 국내 지하대공간 기술은 기초연구, 응용개발연구 모두 우수하며, 연구 개발활동도 상승 중인 것으로 분석

<표 3-6> 주요국의 지하대공간 기술 연구단계별 기술역량

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구
지하 대공간	우수	우수	우수	우수	우수	우수	보통	우수	우수	우수	우수	우수	우수	우수

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

2) 도로교통 인프라

□ 국내 도로교통 인프라 중 도로설계/시공/유지관리 기술수준은 최고기술보유국 대비 80%로 대체로 양호한 편으로 조사

○ 국내 도로 설계/시공/유지관리는 최고기술보유국인 미국 대비 80% 정도이며, 기술격차는 3.0년 정도의 차이를 보이고 있는 것으로 조사

- 세계 주요국 기술수준을 비교하면 미국 > 독일 > 영국, 프랑스 > 한국 > 중국으로 조사

<표 3-7> 도로설계/시공/유지관리 주요국 기술수준

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차
도로 설계/시공/유지관리	80.0	3.0	85.0	3.0	100	0.0	70.0	7.0	97.0	1.0	90.0	2.0	90.0	2.0
	6위		5위		1위		7위		2위		3위		3위	

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

- 스마트시티 구축에 필요한 도로인프라 개발을 계속 진행하고 있으며, 대규모 SOC 투자와 지속적인 기술발전을 하고 있으나, 원천기술 또는 경험적 토대가 강하지 않아 발전속도에 가속도가 붙지 못하고 있는 것으로 판단

○ 국내 도로설계/시공/유지관리 기술은 정부 주도로 투자를 하고 있다는 강점이 있으나, 현장 적용의 어려움 등의 단점들이 있는 것으로 조사

- 국내 도로설계/시공/유지관리 기술의 강점과 약점은 이하의 표와 같음

<표 3-8> 도로설계/시공/유지관리 기술의 강점과 약점

국가	강점 분야	약점분야
한국	- 정부주도 스마트시티, 4차산업 기술 - 도로설계, 시공 분야 고급인력 보유 - 도로운영 첨단화 경험축적 - ICT 기술발전과 연계하여 BIM, 디지털 트윈 등의 설계 및 관련분야가 활발히 진행	- 연구결과 원활한 현장적용 어렵무 - 안전문제에 대한 업계 전반의 이식이 미약 - 법·제도적 문제 - 건설된 도로 인프라의 노후화 가속화

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

○ 한국의 도로 설계/시공/유지관리의 단계별 연구역량은 대체로 양호한 것으로 조사

- 국내 도로 설계/시공/유지관리 기술의 기초연구는 보통 수준, 개발연구는 우수하며, 연구 개발 활동도 상승 중인 것으로 분석

<표 3-9> 주요국의 도로 설계/시공/유지관리 연구단계별 기술역량

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구
도로 설계/시공/유지관리	보통	우수	우수	우수	탁월	탁월	보통	보통	우수	우수	우수	우수	우수	우수

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

□ 국내 도로교통 인프라 중 도로 안전/운영시설 기술수준은 최고기술보유국 대비 85%로 대체로 양호한 편으로 조사

○ 국내 도로 안전/운영시설 분야는 최고기술보유국인 미국 대비 85% 정도이며, 기술격차는 3.0년 정도의 차이를 보이고 있는 것으로 조사

- 세계 주요국 기술수준을 비교하면 미국 > 독일 > 영국 > 일본 > 프랑스 > 한국 > 중국 순으로 조사

<표 3-10> 도로 안전/운영시설 주요국 기술수준

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차
도로 안전/운영시설	85.0	3.0	90.0	1.5	100.0	0.0	75.0	5.0	95.0	1.0	90.0	1.5	90.0	2.0
	6위		4위		1위		7위		2위		3위		5위	

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

- 초보적 단계의 도로안전 확보 연구 수준을 보유하고 있으며, 도로시설 운영은 상대적으로 양호하며, 스마트시티 및 뉴딜 정책에 따른 개선이 기대되나 스마트 기술의 적용이 아직 극히 일부 지역에서 매우 실험적으로 적용되는 것으로 판단

○ 국내 도로 안전/운영시설 ICT 기술 적용이 빠른 등의 장점이 있으나 안전보다 시스템 운용 효율화 분야에 관심이 있는 등의 약점도 존재

- 국내 도로 안전/운영시설 기술의 강점과 약점은 이하의 표와 같음

<표 3-11> 도로 안전/운영시설 기술 강점과 약점

국가	강점 분야	약점분야
한국	- ICT 기술의 적용이 빠른 - 신규 사업에 적극적인 지원 - 도로 안전 향상을 위한 정책, 제도, 기술 측면 모두에서 투자 활발 - 도로분야 RD 기능 수행 조직 역량 보유 - IT 기술과 접목으로 시너지 효과 창출 가능성 높음	- 안전보다는 시스템 운용의 효율화 분야에 집중 관심 - 기술개발 관련 시설 및 인프라 부족 - 중소기업 위주의 생태계 - 한정된 인적자원과 기술개발 관련 시설 및 인프라가 부족 - 운전자 및 보행자의 교통문화, 안전 의식에 대한 수준이 낮음 - 시험인증체계 부재

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

○ 한국의 도로 안전/운영시설 단계별 연구역량은 대체로 양호한 것으로 조사

- 국내 도로 안전/운영시설 기술의 기초연구는 보통 수준, 개발연구는 우수하며, 연구 개발활동도 상승 중인 것으로 분석

<표 3-12> 주요국의 도로 안전/운영시설 연구단계별 기술역량

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구	기초연구	응용개발연구
도로 안전/운영시설	보통	우수	우수	우수	탁월	우수	보통	보통	우수	우수	우수	우수	우수	우수

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

2. 지하고속도로 특허·논문동향

1) 특허경쟁력

□ 터널/지하공간 분야의 특허 활동도와 특허집중도는 한국이 높은 수준으로 평가되었으나, 특허시장력과 특허영향력은 타 국가대비 낮은 수준으로 평가

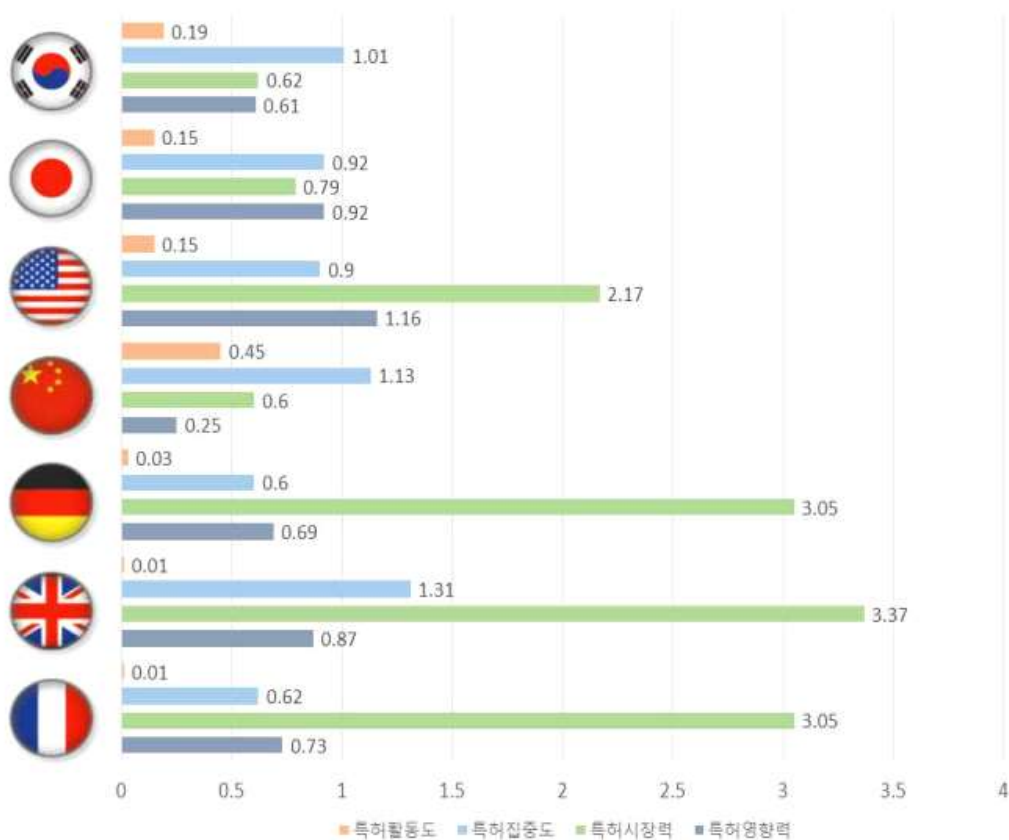
○ 터널/지하공간 분야의 특허활동도는 중국 > 한국 > 일본 = 미국 순이었으며, 특허집중도는 영국 > 중국 > 한국 순으로 평가

○ 특허시장력의 경우, 영국 > 독일 = 프랑스 > 미국 순이었으며, 특허영향력은 미국 > 일본 > 영국순으로 평가

<표 3-13> 주요국 특허경쟁력 평가

평가지표	한국	일본	미국	중국	독일	영국	프랑스
특허활동도	0.19	0.15	0.15	0.45	0.03	0.01	0.01
특허집중도	1.01	0.92	0.90	1.13	0.60	1.31	0.62
특허시장력	0.62	0.79	2.17	0.60	3.05	3.37	3.05
특허영향력	0.61	0.92	1.16	0.25	0.69	0.87	0.73

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

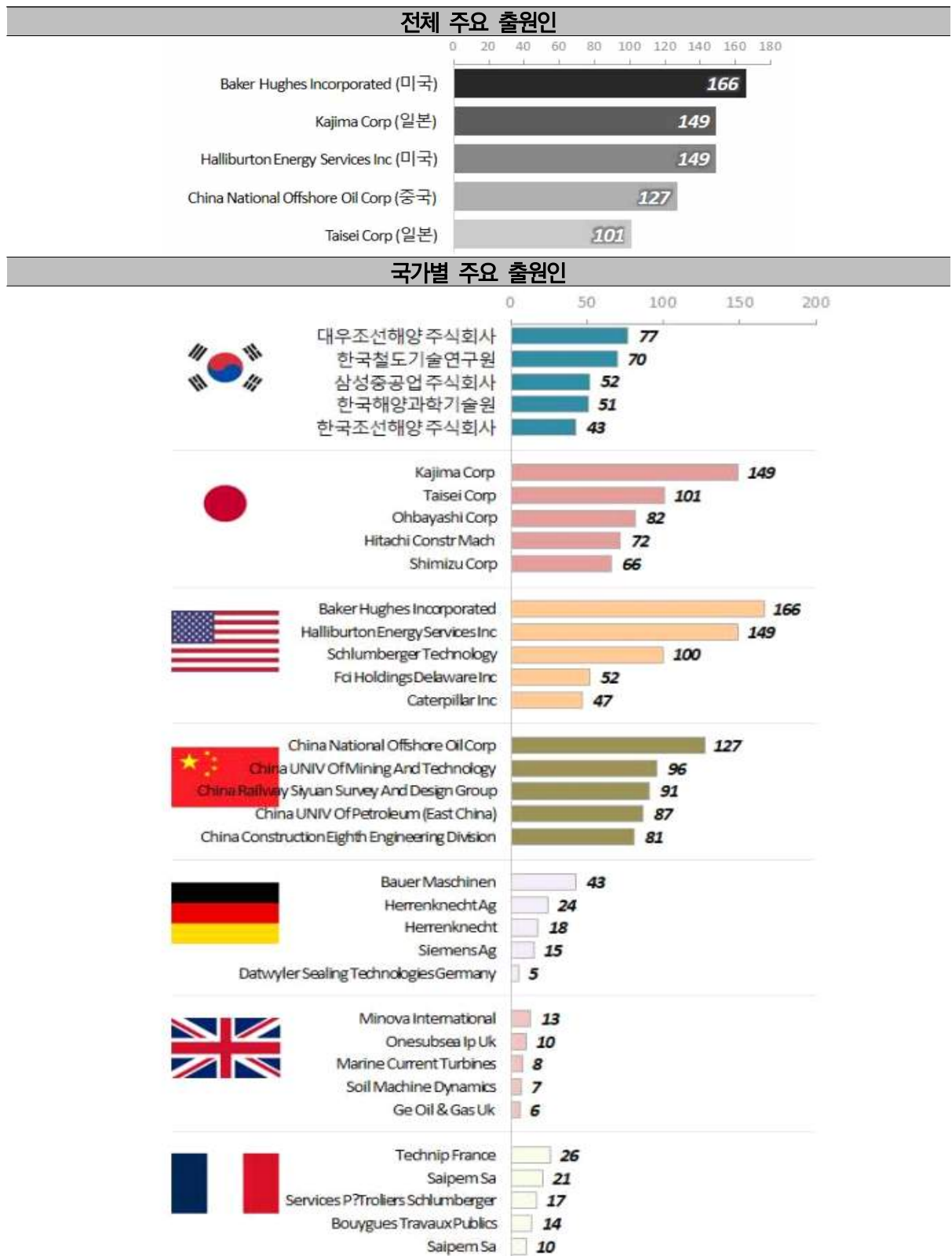


출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

[그림 3-1] 터널/지하공간 분야 특허경쟁력

2) 주요 특허 출원 기관(세계/한국)

<표 3-14> 주요 특허 출원 기관(세계/한국)

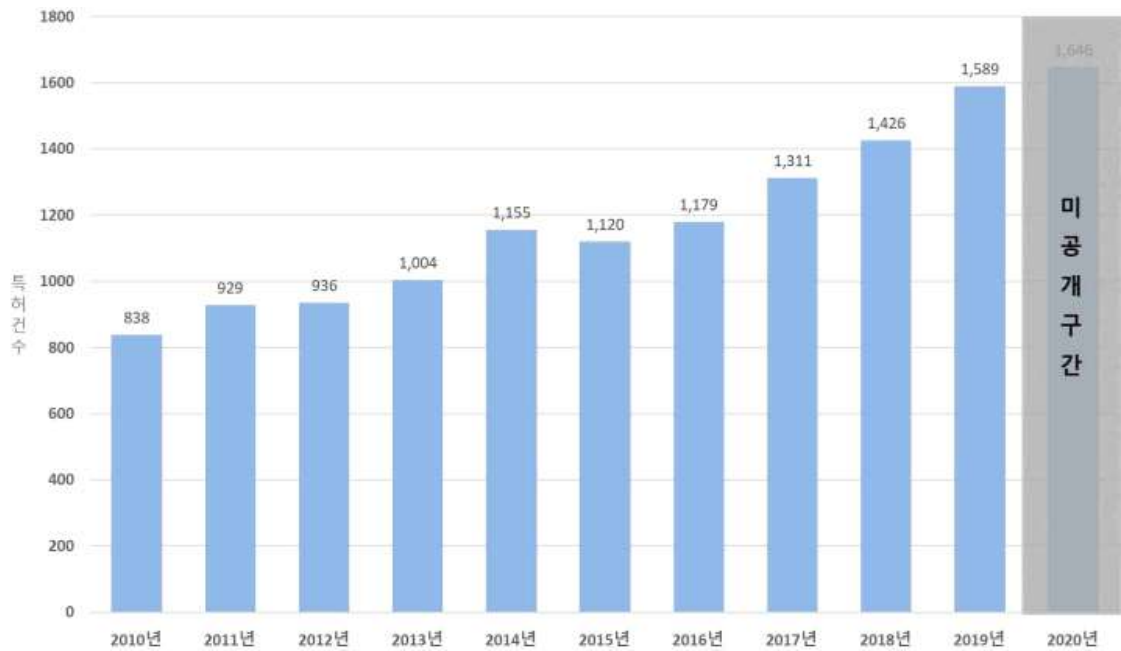


출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

3) 특허 현황

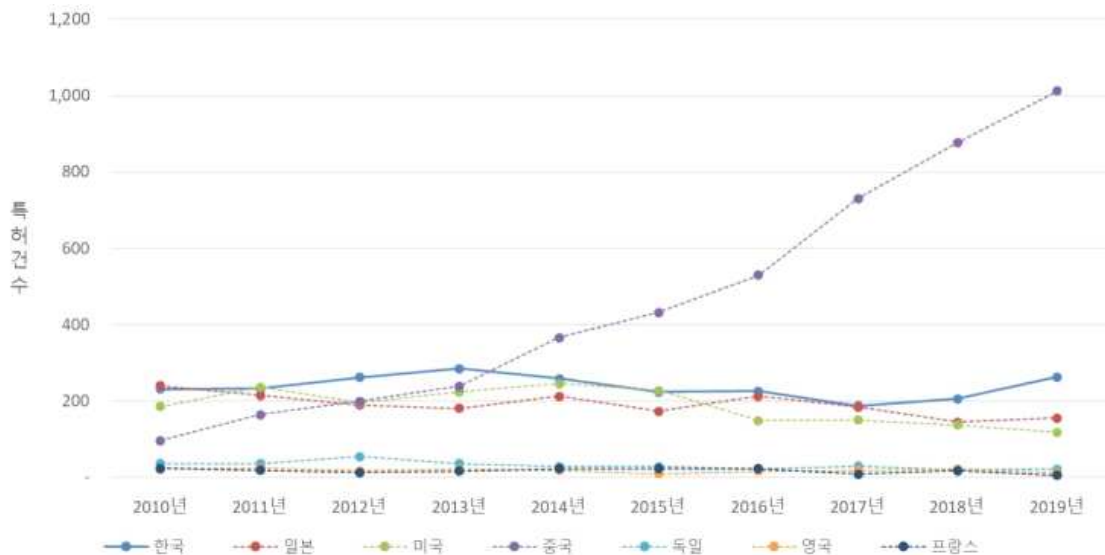
□ 연도별 특허 현황

- 터널 분야 관련 특허 건수는 2010년부터 2019년까지 지속적으로 증가하는 추세를(2020년은 일부 특허 미공개)



출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

[그림 3-2] 연도별 특허 동향(전체)



출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

[그림 3-3] 연도별 특허 동향(주요국별)

<표 3-15> 연도별 특허 현황

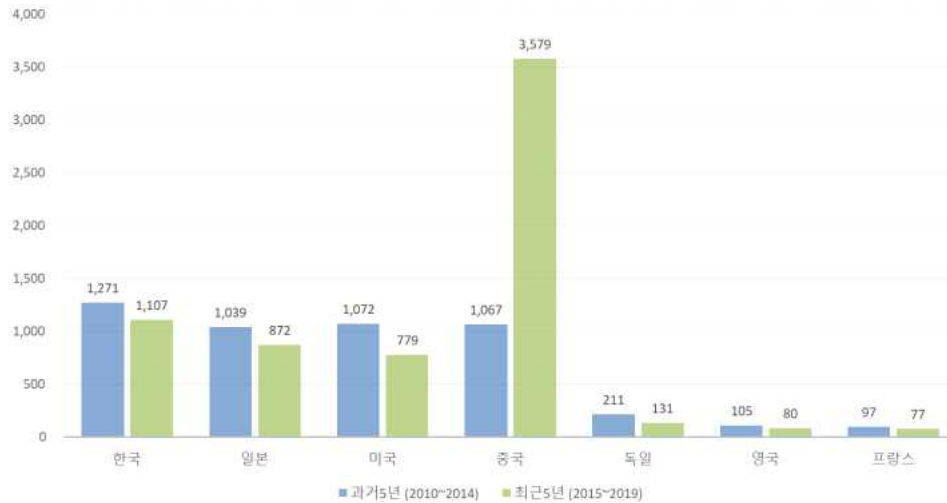
항목	국가	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	합계
특허출원건수	한	232	233	262	285	259	224	226	188	206	263	161	2,539
	일	240	215	190	181	213	174	213	184	145	156	69	1,980
	미	186	237	197	224	246	228	149	151	137	119	86	1,960
	중	97	165	200	239	366	432	529	730	877	1,011	1,317	5,963
	독	36	36	55	36	29	29	22	30	21	22	5	321
	영	22	24	18	22	19	10	17	19	22	12	3	188
	프	25	19	14	17	23	23	23	9	18	6	5	182
	계	838	929	936	1,004	1,155	1,120	1,179	1,311	1,426	1,589	1,646	13,133
패밀리특허국가수	한	301	299	336	330	368	280	269	205	221	296	192	3,097
	일	400	312	352	266	380	252	355	310	198	200	77	3,102
	미	871	1,282	882	1,116	1,091	864	662	539	549	390	237	8,483
	중	116	188	272	304	422	525	636	904	1,079	1,188	1,408	7,042
	독	205	166	311	238	203	194	109	172	139	133	16	1,886
	영	154	220	150	145	145	81	99	100	96	56	6	1,252
	프	205	94	98	105	156	144	112	55	83	22	17	1,091
	계	2,252	2,561	2,401	2,504	2,765	2,340	2,242	2,285	2,365	2,285	1,953	25,953
상대특허수	한	4	-	1	3	6	1	-	-	-	-	-	15
	일	6	11	15	6	12	5	9	11	3	3	-	81
	미	4	9	5	3	6	6	8	2	4	-	2	49
	중	1	1	1	-	2	2	2	4	5	2	-	20
	독	1	2	3	3	6	2	3	1	-	3	-	24
	영	2	4	3	3	1	1	5	1	1	1	-	22
	프	4	-	-	2	3	2	-	1	1	-	-	13
	계	22	27	28	20	36	19	27	20	14	9	2	224
피인용특허수	한	889	757	749	616	435	434	345	186	169	79	37	4,696
	일	534	378	285	270	232	165	117	61	17	4	1	2,064
	미	1,469	1,265	1,236	983	724	574	212	181	229	33	15	6,921
	중	251	330	379	339	338	356	356	321	251	122	28	3,071
	독	164	164	95	28	21	28	6	6	5	1	0	518
	영	69	37	42	44	40	21	25	4	2	0	0	284
	프	62	57	22	49	9	20	11	2	0	0	0	232
	계	3,438	2,988	2,808	2,329	1,799	1,598	1,072	761	673	239	81	17,786
출원인국전별특허건수	한	-	4	4	1	6	2	4	2	2	-	-	25
	일	12	2	12	8	14	4	11	10	5	2	-	80
	미	101	124	120	132	158	157	86	101	81	64	26	1,150
	중	3	5	6	8	11	11	18	29	32	31	17	171
	독	12	5	14	6	7	9	5	7	5	2	1	73
	영	3	5	6	5	4	5	4	8	7	3	-	50
	프	6	6	6	5	6	8	7	1	5	-	1	51
	계	137	151	168	165	206	196	135	158	137	102	45	1,600

*출원인국전별등록건수는 미국특허 기준

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

□ 주요국별 특허 건수, 점유율 변화 및 증가율

- 과거 구간에서는 한국의 특허 건수가 가장 많았으나, 최근 구간에서는 중국의 특허 건수가 가장 많은 것으로 조사
 - 한국의 경우 전체 2,378건을 출원하여 7개 국가 중 2위에 랭크되었으며, 과거 구간 대비 최근 구간의 특허 증가율은 -12.9%인 것으로 조사
- 중국의 경우 전체 특허의 40.4%의 점유율을 차지하고 있으며, 그 뒤를 이어 한국, 일본, 미국, 독일, 영국, 프랑스 순으로 확인
 - 한국은 과거 구간에서 26.1%의 점유율을 차지하여 7개 국가 중 1위에 랭크되었으나, 최근 구간에서는 9.4%p 하락하여 16.7%의 점유율을 차지



출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

[그림 3-4] 국가별 특허 건수, 점유율 변화 및 증가율

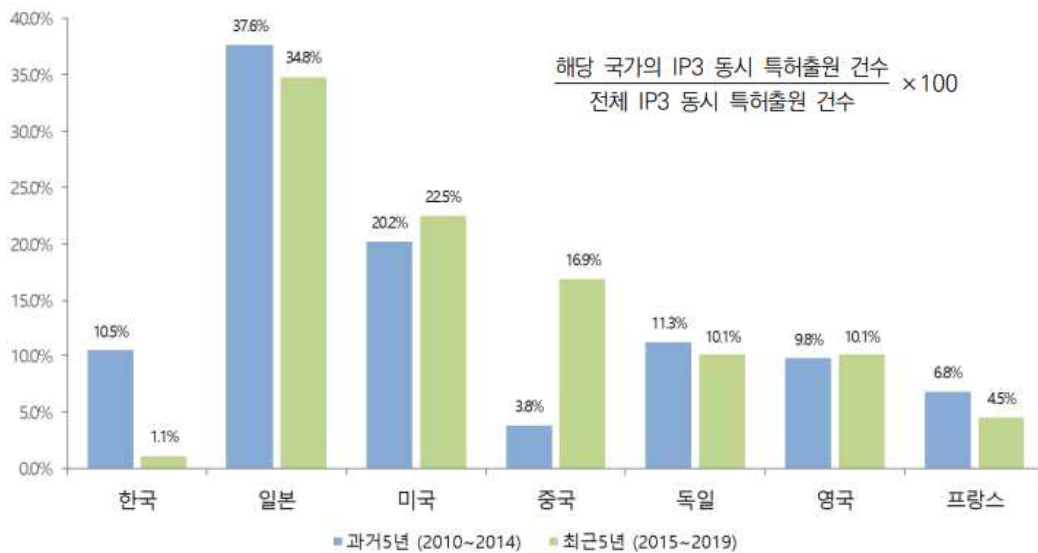
<표 3-16> 국가별 특허 건수, 점유율 변화 및 증가율

국가	전체구간 건수 (점유율)	특허 건수(점유율)		점유율 변화(%)	특허 증가율(%)
		과거 구간('10년~'14년)	최근 구간('15년~'19년)		
한국	2,378 (20.7%)	1,271 (26.1%)	1,107 (16.7%)	-9.4	-12.9
일본	1,911(16.6%)	1,039 (21.4%)	872 (13.2%)	-8.2	-16.1
미국	1,851 (16.2%)	1,072 (22.1%)	779 (11.7%)	-10.4	-27.3
중국	4,646 (40.4%)	1,067 (21.9%)	3,579 (54.0%)	+32.1	+235.4
독일	342 (3.0%)	211 (4.3%)	131 (2.0%)	-2.3	-37.9
영국	185 (1.6%)	105 (2.2%)	80 (1.2%)	-1.0	-23.8
프랑스	174 (1.5%)	97 (2.0%)	77 (1.2%)	-0.8	-20.6
전체	11,487 (100.0%)	4,862 (100.0%)	6,625 (100.0%)	-	36.3

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

□ 주요국별 IP3 점유율

- 전체 특허 11,487건 중에서 IP3 특허는 222건으로 조사
- IP3 특허 비율은 일본이 36.2%로 가장 높게 조사
 - 전체 구간('10년~'19년)에 대한 한국의 IP3 특허 비율은 6.7%로 7개 국가 중 6위를 차지
- 일본의 IP3 특허 비율은 과거 구간에서 37.6%, 최근 구간 34.8%로 가장 높게 조사
 - 한국의 경우 과거 구간의 IP3 특허 비율은 10.5%로 7개 국가 중 4위에 랭크되었고, 최근 구간의 IP3 특허비율은 1.1%로 7개 국가 중 7위에 랭크



출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

[그림 3-5] 국가별 IP3 점유율(각 국가별 주요국(미국, EU, 일본)에 동시 출원한 특허 비율

<표 3-17> 국가별 IP3 점유율

단위 : %

국가	전체구간	IP3 점유율		변화
		과거 구간('10년~'14년)	최근 구간('15년~'19년)	
한국	6.7	10.5	1.1	-9.4
일본	36.2	37.6	34.8	-2.8
미국	21.9	20.2	22.5	2.3
중국	8.9	3.8	16.9	13.1
독일	10.7	11.3	10.1	-1.2
영국	9.8	9.8	10.1	0.3
프랑스	5.8	6.8	4.5	-2.3

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

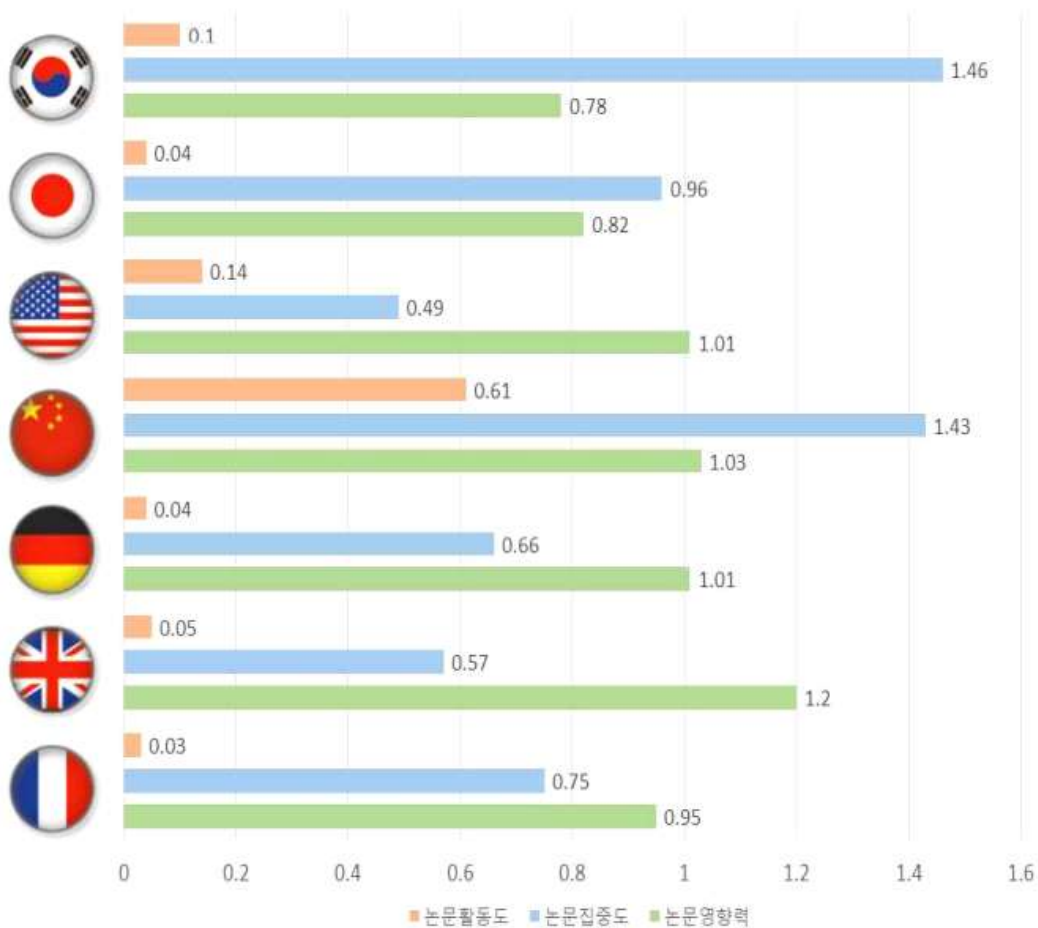
4) 논문경쟁력

- 터널/지하공간 분야의 논문활동도와 논문집중도는 한국이 높은 수준으로 평가되었으나, 논문영향력의 경우는 낮은 수준으로 평가
- 터널/지하공간 분야의 논문활동도는 중국 > 미국 > 한국 순이었으며, 논문집중도의 경우 한국 > 중국 > 일본 순, 논문영향력은 영국 > 중국 > 미국 = 독일 순으로 평가

<표 3-18> 국가별 논문경쟁력

평가지표	한국	일본	미국	중국	독일	영국	프랑스
논문활동도	0.1	0.04	0.14	0.61	0.04	0.05	0.03
논문집중도	1.46	0.96	0.49	1.43	0.66	0.527	0.75
논문영향력	0.78	0.82	1.01	1.03	1.01	1.20	0.95

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

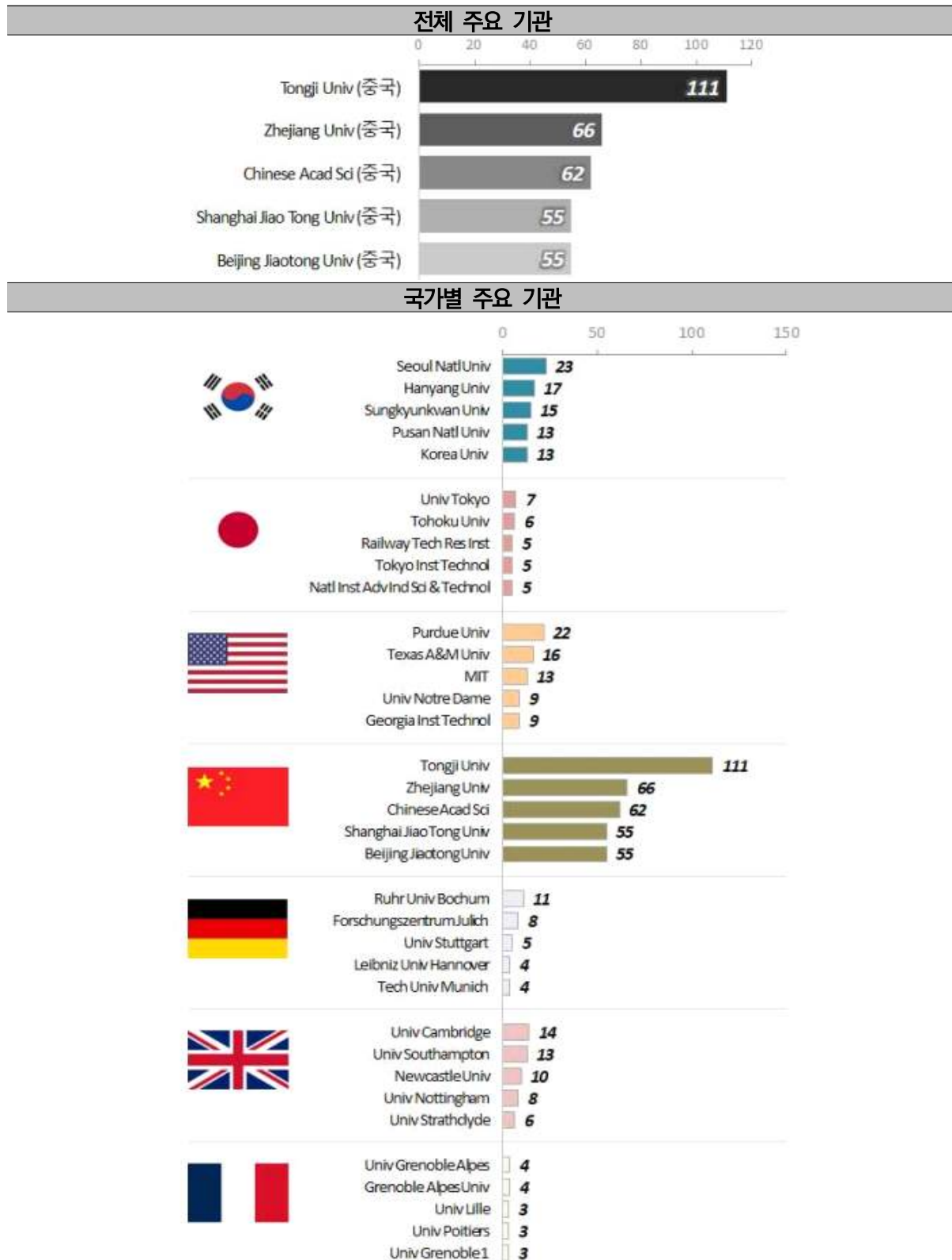


출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

[그림 3-6] 국가별 터널/지하공간 분야 논문경쟁력

5) 주요 논문 게재 기관(세계/한국)

<표 3-19> 주요 논문 게재 기관(세계/한국)



출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

6) 논문 현황

<표 3-20> 터널/지하공간 분야 논문 수

구분	한국	일본	미국	중국	독일	영국	프랑스	계
'10	7	5	36	24	2	8	11	93
'11	13	8	31	34	6	8	7	107
'12	21	4	35	36	5	8	8	117
'13	26	6	29	57	5	14	5	142
'14	28	12	31	77	7	9	5	169
'15	21	9	36	116	8	16	7	213
'16	25	10	40	155	16	7	3	256
'17	31	11	41	196	14	15	4	312
'18	27	11	34	278	11	22	8	391
'19	30	11	33	320	14	18	5	431
'20	49	11	41	384	12	18	7	522
계	278	98	387	1,677	100	143	70	2,753

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

<표 3-21> 터널/지하공간 분야 논문 인용수

구분	한국	일본	미국	중국	독일	영국	프랑스	계
'10	141	163	1,025	537	29	229	233	2,357
'11	266	150	631	738	197	161	215	2,358
'12	373	83	867	767	115	261	183	2,649
'13	522	72	811	1,443	62	378	123	3,411
'14	640	339	793	2,065	191	402	101	4,531
'15	440	158	949	2,934	266	454	193	5,394
'16	546	241	1,220	3,912	425	251	95	6,690
'17	606	248	1,450	6,060	531	507	74	9,476
'18	696	238	1,212	9,077	312	626	304	12,465
'19	788	325	1,353	10,411	502	622	210	14,211
'20	1,489	387	1,488	13,956	393	1,250	263	19,226
계	6,507	2,404	11,799	51,900	3,023	5,141	1,994	82,768

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

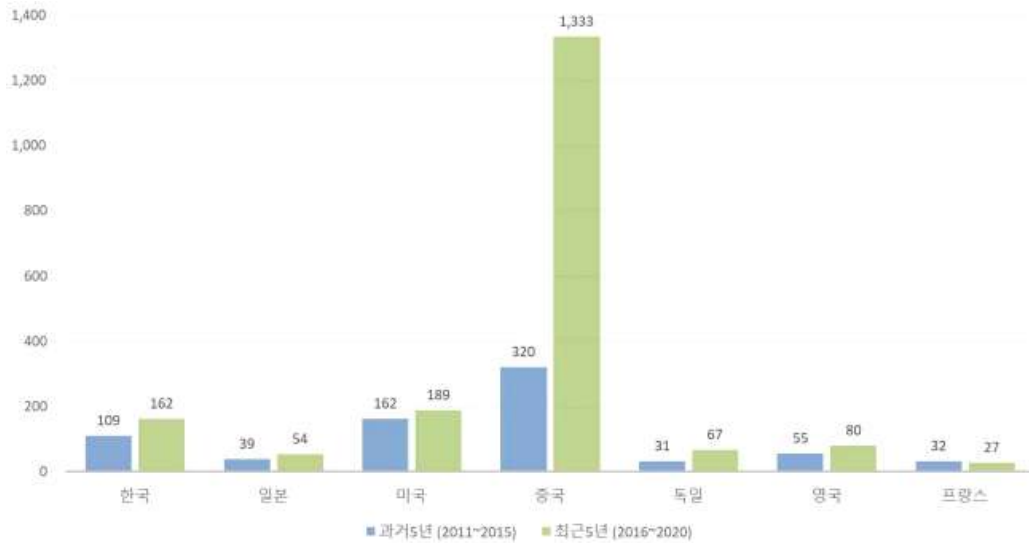
□ 주요국별 논문 건수, 점유율 변화 및 증가율

○ 과거 구간과 최근 구간 모두 미국이 논문 건수가 가장 많은 것으로 조사

- 중국의 경우 전체 1,653건을 발행하여 7개 국가 중 1위에 랭크되었으며, 과거 구간 대비 최근 구간의 논문 증가율은 316.6%로 가장 높은 증가율
- 한국의 경우 전체 271건을 발행하여 7개 국가 중 3위에 랭크되었으며, 과거 구간 대비 최근 구간의 논문 증가율은 48.6%인 것으로 조사

○ 중국의 논문이 7개 국가의 전체 논문 중 62.1%의 점유율을 차지하고 있으며, 그 뒤를 이어 미국, 한국, 영국, 독일, 일본, 프랑스 순으로 조사

- 한국은 과거 구간에서 14.6%의 점유율을 차지하였으나, 최근 구간에서는 6.1%p 하락하여 8.5%의 점유율을 차지



출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

[그림 3-7] 국가별 논문 건수, 점유율 변화 및 증가율

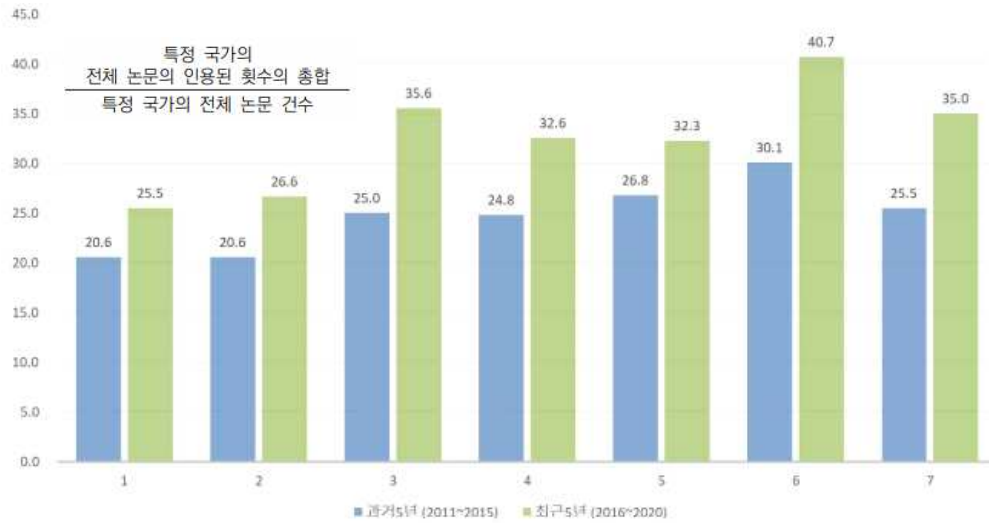
<표 3-22> 국가별 논문 건수, 점유율 변화 및 증가율

국가	전체구간 건수 (점유율: %)	특허 건수(점유율: %)		점유율 변화(%)	특허 증가율(%)
		과거구간 (‘10년~‘14년)	최근 구간 (‘15년~‘19년)		
한국	271 (10.2)	109 (14.6)	162 (8.5)	-6.1	48.6
일본	93.5 (3.5)	39 (5.2)	54 (2.8)	-2.4	38.5
미국	351 (13.2)	162 (21.7)	189 (9.9)	-11.8	16.7
중국	1,653 (62.1)	32- (42.7)	1,333 (69.7)	+27.0	316.6
독일	98 (3.7)	31 (4.1)	67 (3.5)	-0.6	116.1
영국	135 (5.1)	55 (7.4)	80 (4.2)	-3.2	45.5
프랑스	59 (2.2)	32 (4.3)	27 (1.4)	-2.9	-15.6
전체	2,660 (100.0)	748 (100.0)	1,912 (100.0)	-	155.6

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

□ 주요국별 논문 피인용지수

- 논문 피인용지수는 영국이 36.0으로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국의 논문 피인용지수는 23.4로 7위를 차지
- 영국의 논문 피인용지수는 과거 구간에서 30.1로 가장 높았으며, 최근 구간의 논문 피인용지수도 40.7로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국의 경우 과거 구간의 논문 피인용지수는 20.6으로 7개 국가 중 6위에 랭크되었고, 최근 구간의 논문 피인용지수는 25.5로 7개 국가 중 7위에 랭크
- 한국의 논문 피인용지수는 과거 구간과 최근 구간 모두 평균보다 낮은 것으로 조사



출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

[그림 3-8] 주요국별 논문 피인용지수(국가별 논문 건당 피인용건수)

<표 3-23> 주요국별 논문 피인용지수(국가별 논문 건당 피인용건수)

국가	전체구간	IP3 점유율		변화
		과거 구간('10년~'14년)	최근 구간('15년~'19년)	
한국	23.41	20.6	25.5	4.9
일본	24.5	20.6	26.6	6.1
미국	30.52	25.0	35.6	10.6
중국	30.9	24.8	32.6	7.7
독일	30.2	26.8	32.3	5.5
영국	36.0	30.1	40.7	10.6
프랑스	28.5	25.5	35.0	9.6
평균	30.1	24.5	32.5	-

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

제2절. 지하고속도로 관련 연구역량 분석

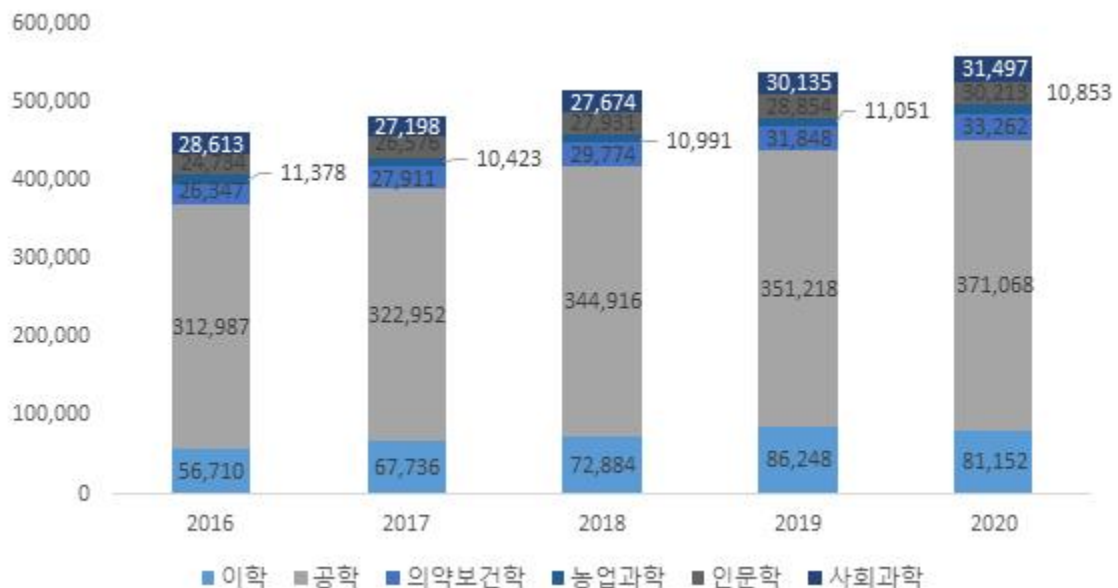
1. 국내 연구인력 및 연구기관 현황

1) 연구인력 현황

□ 우리나라의 공학연구 인력은 충분한 것으로 판단되며, 관련 분야 연구인력 또한 충분한 것을 확인

○ 2020년 우리나라 공학 분야 전공자 수는 371,068명(66.5%)으로 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 확인

– 과학기술 분야(이학, 공학, 의약보건학, 농업과학)의 비중은 전체의 88.9%로 국내 연구개발인력의 대부분을 차지하고 있음



[그림 3-9] 우리나라 전공별 연구원 수 추이

<표 3-24> 우리나라 전공별 연구원 수

구분		2016	2017	2018	2019	2020
이학	연구원 수	56,710	67,736	72,884	86,248	81,152
	비중	12.3	14.0	14.2	16.0	14.5
공학	연구원 수	312,987	322,952	344,916	351,218	371,068
	비중	67.9	66.9	67.1	65.1	66.5
의약보건학	연구원 수	26,347	27,911	29,774	31,848	33,262
	비중	5.7	5.8	5.8	5.9	6.0
농업과학	연구원 수	11,378	10,423	10,991	11,051	10,853
	비중	2.5	2.2	2.1	2.0	1.9
인문학	연구원 수	24,734	26,576	27,931	28,854	30,213
	비중	5.4	5.5	5.4	5.3	5.4
사회과학	연구원 수	28,613	27,198	27,674	30,135	31,497
	비중	6.2	5.6	5.4	5.6	5.6
총계		460,769	482,796	514,170	539,354	558,045
		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

출처 : KISTEP(2021), 2020년도 연구개발활동조사보고서

□ 지하고속도로 관련 전문분야를 가진 전문가는 최소 340여명 이상으로 충분한 것으로 판단

- NTIS에서 대단면, 대심도, 지하고속도로, 터널 키워드로 조사한 결과 총 검색된 4,362건 중 정보가 확인된 관련 전공자들은 342명으로 확인
 - 구체적인 내용을 확인하면 지반구조/터널이 82명으로 제일 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 확인되며, 그 다음으로 토목시공기술(57명), 자연재해 저감기술(35명), 시설물점검/진단기술(26) 등 다양한 전공이 있는 것으로 확인
 - 정보를 비공개하고 있는 전문가가 3,137명인 것을 고려하면 관련 전문가의 숫자는 실제로는 340명을 초과할 것으로 추정

<표 3-25> 지하고속도로 관련 전문분야 전문가 수

전문분야	인원 수	비율%
지반구조/터널	82	23.98
토목시공기술	57	16.67
자연재해 저감기술	35	10.23
시설물점검/진단기술	26	7.60
지하대공간	22	6.43
구조물 보수/보강기술	19	5.56
건설구조재료	17	4.97
에너지/환경 제어설비	15	4.39
궤도토목기술	14	4.09
선형개발/성능해석기술	14	4.09
친환경 토목시설물 설계/시공/관리 기술	12	3.51
설계 정보화기술	11	3.22
건설시공관리기술	9	2.63
교통시설기반기술	9	2.63
계	342	100

2) 연구기관

□ 국내 구조공학, 지반 연구는 건설 관련 학과를 중심으로 다양한 연구가 진행되고 있음

- 각 대학별로 콘크리트 구조와, 교량 연구, 지반에 대한 연구실이 있으며, 구조, 재료, 해석 등 지하도로 및 터널관련된 연구를 수행할 수 있는 상황
- 지하고속도로 관련 기술을 연구하기 위한 대학의 국내 연구 인프라는 이미 충분히 잘 갖추어져 있어 R&D 투자를 통해 원천기술 개발과 기초연구가 가능

<표 3-26> 주요 연구실별 연구 내용

대학명	연구실명	연구내용
서울대학교	구조 설계 연구실	- 위험평가 및 데이터 인텔리전스 - 풍력 공학 및 교량 공기 역학 - 새로운 구조시스템 - 교량 수명 평가 및 유지관리
	구조 연구실	- 극한 하중 - 신건설기술 - 신재료 - 실험적 기술
	구조동역학 연구실	- Real-Time Hybrid Simulation (RTHS) 기법 개발 및 응용 - 구조물 내진성능 평가 및 향상 기법 연구 - 진동제어 및 저감 기술 개발 - 역동적인 움직임이 가능한 2축 및 4축 보행 로봇 개발
고려대학교	구조해석 연구실	- 구조해석에서의 확률론적 방법 - 생명전주기 기반 신뢰성 - 시스템의 최적화 및 설계 - 구조거동에 대한 FEM 해석
	응용구조 연구실	- 응용역학을 적용한 다양한 스케일의 구조시스템의 개발과 분석 - 구조시스템의 스케일에 따라 구조물, 부재, 재료 범위도 확장
연세대학교	콘크리트 구조공학 연구실	- 친환경 저에너지 시멘트 소재 개발 - 성능기반 설계 구축 - 공기 단축을 위한 구조 시스템 개발 - 충격, 충격, 내하중 구조시스템 개발 - RC 및 PSC 부재의 구조해석 및 시험 - 첨단기술 기반 RC, PSC 및 하이브리드 교량 시스템의 설계 및 평가
	지속가능한 인프라를 위한 전산 및 실험 역학 연구실	- 골절, 단편화 및 피로와 관련된 비선형 문제에 대한 계산 역학 - 콘크리트와 같은 준취성 재료의 파단거동 - 다양한 길이 및 시간 척도를 포함하는 다중 척도 분석 - 구조 상태 모니터링 및 개축 기술
	기초시스템 연구실	- 산사태 관리 및 조기에보를 위한 산사태 모니터링 시스템 - TBM 발굴 - 기초 및 파일 - 해양 “Jacket” 구조물 기초의 내진 해석
한양대학교	지반시스템 공학	- 지하 구조물의 내진성능 - 고층건물-지하 상호작용 - 지진현장 증폭 및 지반 응답분석 - 물리적 및 수치적 절차를 통한 액상화 평가 - 사면의 지진응답 등

3) 정부출연연구소

□ 한국건설기술연구원에서는 지하고속도로에 대해서 연구할 수 있는 인프라를 가지고 있음

- 국내 유일한 건설 연구기관인 한국건설기술연구원에서는 구조, 지반연구, 스마트건설연구 등 다양한 건설 관련 연구와 건설정책연구를 실시
 - 한국건설기술연구원에서는 지반연구 뿐만 아니라, 재난 재해 대응형 인프라 건설 등 문제해결형 기술을 개발하기 위해 적극적으로 연구 수행 중
- 지하고속도로 연구를 수행하기 위한 국내 연구기관의 인력 및 장비가 갖추어져있어, 향후 관련 연구를 수행하기 위한 중추적인 역할 수행이 가능하다고 기대
 - (한국건설기술연구원) 한국건설기술연구원에서는 지반과 구조에 대해 연구할 수 있는 인력과 시설 등을 갖추고 있음

<표 3-27> 주요 정부출연연구소와 연구 내용

기관명	연구조직	연구내용
한국건설기술연구원	구조본부	- 인프라구조물 안전성 향상 - 지속가능한 국민생활환경 확보 - 재난, 재해 대응 인프라 건설 - 미래건설산업 선도
	지반연구본부	- 지하 공간 정보 정확도 개선 및 매설관 안전관리 연구 - 인공지능을 활용한 도심도 지하 대공간의 스마트 복합 솔루션 개발 - 액상화 위험지도 및 설계 기준 고도화 연구 - 디지털 기반 도로건설장비 자동화 기술 개발 - 지역 현안 해결 및 해외 현지화 기술 개발
	미래 스마트건설 연구본부	- 스마트 건설정보화 및 공간정보 기반의 융복합 기술 연구 - 국토교통 빅데이터 및 스마트시티 연구 - 극한의 특수환경 조건에 대응한 건설기술 연구 - 디지털 트윈 기반 건설자동화를 위한 BIM, 가상건설, 3D 프린팅 기술 연구
	건설정책 연구소	- 국가 공사비산정기준 관리 및 운영 - 사회현안 해결 및 기술혁신 대응을 위한 건설공사비 연구 및 정책 지원 - 국가건설정책 플랫폼 구현 - 기반시설 자산관리 지식체계 선도 - 건설공사 사후평가 관리 및 운영

4) 민간기업

□ 국내 대형 건설사에서는 건설현장에서 수요가 높은 기술에 대해 집중적으로 기술개발

○ 대형 건설사 연구개발은 대부분 사업화를 위한 연구개발에 집중되어 있는 것으로 확인

- 시공자동화, BIM 등 스마트건설 대한 기술개발이 점차 증가하고 있으며, 굴착 기술과 관련하여서도 기술 개발을 지속적으로 하고 있는 것으로 확인
- 대형건설사들은 자체적으로 기술개발 실증을 위하여 실증센터 및 연구시설들을 구축하여 활용 중

<표 3-28> 대형 건설사와 연구개발 내용

기업명	연구 개발내용		
대우건설	[차세대 교량]		[지반기술]
	완전조립식 교량 초장대교량 구조해석 및 시공관리 기술 강재절감형 조립식 충전강관 연속교		산업부산물 활용 고품질 지반조성 프리캐스트 모듈러 옹벽 기술 고성능 쏫크리트
DL E&C	[구조물 기초분야]	[지하공간/터널]	
	기초 설계 최적화 기술 기초 지지력 평가 기술 말뚝기초 지지력 보강 기술	지하공간/ 터널 시공 관리 기술 TBM터널 설계/ 시공 기술 NATM 터널 발파진동 제어술	굴착 안정성 및 시공 단계 해석 기술 NATM 터널 급속 시공 기술 강섬유 세그먼트 라이닝 기술
GS건설	[터널&지하공간]		
	TBM 운용 및 세그먼트 설계 기술 - TSP 전방 예측 기술 - SAV-CUT - 장공발파 기술 - 고성능 쏫크리트 기술 - 급속시공 강관 그라우팅 기술	NATM 지반 보강, 굴착 기술 - TBM 운용 및 시공성 향상기술 - 고성능 세그먼트 설계 기술	지하공간 환기/방재 및 유지관리 기술 - 터널 단면적 최적화 - 터널 화재 위험성 평가 - 터널 고성능 방수 기술
삼성물산	[지반]		[환경]
	터널 환기 기술 3차원 지반구조물 해석 기술 3차원 정밀 지층 가시화 기술		실내공기질 측정 및 평가기술 환경소음 영향 평가 기술
포스코 건설	[철도]		
	대심도 철도 수직구 연직도 SMART 시공관리 시스템		

5) 국내 주요 시험 인프라

□ 지하고속도로 관련 인프라는 기존 R&D사업을 통하여 구축된 것으로 확인되며, 연구개발 수행을 위한 인프라로는 충분하다고 판단

○ 기존 R&D 사업을 통하여 구축한 연구시설·장비 중 동사업 관련 장비는 총 98건으로 파악

– ‘건설’ 키워드로 연구장비종합 포털(www.zeus.go.kr)에 등록된 모든 연구시설·장비 검색 후 유사·관련 사업으로 구축된 장비를 스크리닝*

※ 총 3211건 중 동 사업과 관련 없는 사업으로 구축된 장비들과 단독활용 장비를 제외

<표 3-29> 기존유사사업에서 구축한 시설·장비 현황

구분	3천만원 이상	3천만원 미만	합계
수량(점)	84	14	98

□ 시설 및 장비 목록

<표 3-30> 지하고속도로 관련 장비 현황

순번	보유기관	시설 및 장비명	취득연도	수량
1	이에스이(주)	영상 저장 서버	2021	
2	한국건설기술연구원	지반 열 진공 챔버	2019	
3	한국생산기술연구원	대형급 1자유도 내구시험기	2019	
4	한국건설기술연구원	수직드릴형 시추장비 다목적 평가 시작품	2018	
5	한국건설기술연구원	전자기적 특성 분석 장비 및 재료 측정 패키지	2018	
6	한국건설기술연구원	인공월면토 대량 생산 시스템	2017	
7	명지대학교 산학협력단	20MN 동적만능재료시험시스템	2017	
8	전남대학교 여수캠퍼스 산학협력단	2차원, 3차원 조파수조 바람발생장치 및 흐름발생장치	2017	
9	명지대학교 산학협력단	오버헤드크레인(200kN)	2017	
10	부산대학교	고성능 10g급 6자유도 진동대 시스템	2017	
11	(재)한국건설생활환경 시험연구원	볼트시험장비 (비디오신율계 및 프로그램)	2016	
12	대구대학교 산학협력단	3차원 프린터	2015	
13	(재)한국건설생활환경 시험연구원	대형염수분무시험기 업그레이드	2015	

순번	보유기관	시설 및 장비명	취득연도	수량
14	한국생산기술연구원	음향파워 측정 시스템	2015	
15	한국생산기술연구원	소음원 추적시스템	2015	
16	한국생산기술연구원	동작분석카메라 시스템	2015	
17	(재)한국건설생활환경 시험연구원	X선 회절 분석기	2015	
18	한국생산기술연구원	인장시험기	2015	
19	한국생산기술연구원	경도 시험기	2015	
20	한국생산기술연구원	잔류응력측정기	2014	
21	한국생산기술연구원	유량 유압 측정 시스템	2014	
22	한국생산기술연구원	광학현미경	2014	
23	한국생산기술연구원	실차 NVH 분석 시스템	2014	
24	한국생산기술연구원	폴리싱머신	2014	
25	한국생산기술연구원	형상공차측정기	2014	
26	한국생산기술연구원	광대역 3차원 스캐너	2014	
27	한국생산기술연구원	온도 측정 시스템	2014	
28	한국생산기술연구원	레이저 3차원 형상측정기	2014	
29	(재)한국건설생활환경 시험연구원	시차열분석기	2014	
30	한국건설기술연구원	500kN 만능시험기	2013	
31	삼표건설(주)	세그먼트 몰드	2013	
32	(주)서영엔지니어링	페스트 데이터 로거	2012	
33	삼표건설(주)	세그먼트 몰드	2012	
34	한국건설기술연구원	세그먼트 실물 성능평가 시스템	2012	
35	한국건설기술연구원	선형절삭시험장비 업그레이드 제작	2012	
36	전남대학교 여수캠퍼스 산학협력단	2차원 중형조파수조2	2011	
37	넥스지오	터널 공사비 산출 시스템 모듈	2011	
38	전남대학교 여수캠퍼스 산학협력단	사면계시스템	2011	
39	(재)한국건설생활환경 시험연구원	고온 적외선 열화상 카메라 시스템	2011	
40	전남대학교 여수캠퍼스 산학협력단	디지털파고계	2011	
41	전남대학교 여수캠퍼스 산학협력단	3차원 조파수조	2010	

순번	보유기관	시설 및 장비명	취득연도	수량
42	전남대학교 여수캠퍼스 산학협력단	2차원대형파-흐름-조석 복합수조	2010	
43	전남대학교 여수캠퍼스 산학협력단	3차원 조파수조2	2010	
44	전남대학교 여수캠퍼스 산학협력단	2차원 중형조파수조1	2010	
45	동국대학교 산학협력단	유압프레스	2010	
46	(재)한국건설생활환경 시험연구원	콘크리트 단열온도상승 시험장비	2010	
47	계명대학교	수화열측정기	2009	
48	계명대학교	동결융해시험기	2009	
49	계명대학교 산학협력단	크리프 시험기	2009	
50	계명대학교 산학협력단	크리프 시험기	2009	
51	계명대학교 산학협력단	크리프시험기	2009	
52	계명대학교	온도조절식수조	2009	
53	계명대학교	광섬유센스계측장치	2009	
54	부산대학교	토조시스템	2009	
55	계명대학교	음향방출비파괴시험기	2009	
56	부산대학교	동적재료시험기와 정적가력시스템	2009	
57	계명대학교	5MN 압축시험기	2009	
58	계명대학교	5MN 대형구조재료시험기	2009	
59	계명대학교 산학협력단	항온항습기	2009	
60	계명대학교	가변형 항온항습실	2009	
61	계명대학교	항온항습실	2009	
62	전북대학교 산학협력단	대형풍동실험시설	2009	
63	(재)한국건설생활환경 시험연구원	재료열화화상분석기	2008	
64	명지대학교 산학협력단	반력벽시스템	2008	
65	명지대학교 산학협력단	반력바닥시스템	2008	
66	계명대학교	엑스선 회절 측정기	2008	
67	계명대학교	엑스선 분광분석 장치	2008	
68	계명대학교	250kN 피로시험기	2008	
69	계명대학교	기공분포측정기	2008	

순번	보유기관	시설 및 장비명	취득연도	수량
70	계명대학교	500kN 피로시험기	2008	
71	명지대학교 산학협력단	동적변형률측정시스템 #5	2008	
72	한국도로공사 도로교통연구원	현장 B/P 수분센서	2008	
73	명지대학교 산학협력단	정적변형률측정시스템 #1	2008	
74	명지대학교 산학협력단	정적변형률측정시스템 #2	2008	
75	명지대학교 산학협력단	동적변형률측정시스템 #1	2008	
76	명지대학교 산학협력단	동적변형률측정시스템 #2	2008	
77	명지대학교 산학협력단	동적변형률측정시스템 #4	2008	
78	명지대학교 산학협력단	하이브리드계측시스템	2008	
79	명지대학교 산학협력단	동적변형률측정시스템 #3	2007	
80	(재)한국건설생활환경 시험연구원	기공률 측정기	2007	
81	명지대학교 산학협력단	5,000kN 정적만능재료시험기	2007	
82	명지대학교 산학협력단	5,000kN 정적유압가력시스템 #1	2007	
83	명지대학교 산학협력단	5,000kN 정적유압가력시스템 #2	2007	
84	명지대학교 산학협력단	2,000kN 동적유압가력시스템 #2	2007	
85	명지대학교 산학협력단	2,000kN 동적유압가력시스템 #1	2007	
86	명지대학교 산학협력단	250kN 동적유압가력시스템 #2	2007	
87	명지대학교 산학협력단	250kN 동적유압가력시스템 #1	2007	
88	명지대학교 산학협력단	1,000kN 동적유압가력시스템 #2	2007	
89	명지대학교 산학협력단	1,000kN 동적유압가력시스템 #1	2007	
90	계명대학교 산학협력단	5KN 만능재료시험기	2007	
91	(재)한국건설생활환경 시험연구원	진공건조오븐	2007	
92	부산대학교	공진주/비틀전단 시험기	2007	
93	(주)석탑엔지니어링	피로균열측정기	2007	
94	부산대학교	동적 단순 전단시험기	2007	
95	한국도로공사 도로교통연구원	데이터 로거 및 스위칭 박스	2006	
96	교하환경(주)	샌드플렉스 장치 및 부대장치	2006	
97	한국건설기술연구원	대구경 샘플러 및 압밀시험기	2006	
98	전남대학교 여수캠퍼스 산학협력단	무선파고계	2005	

제3절. 시사점

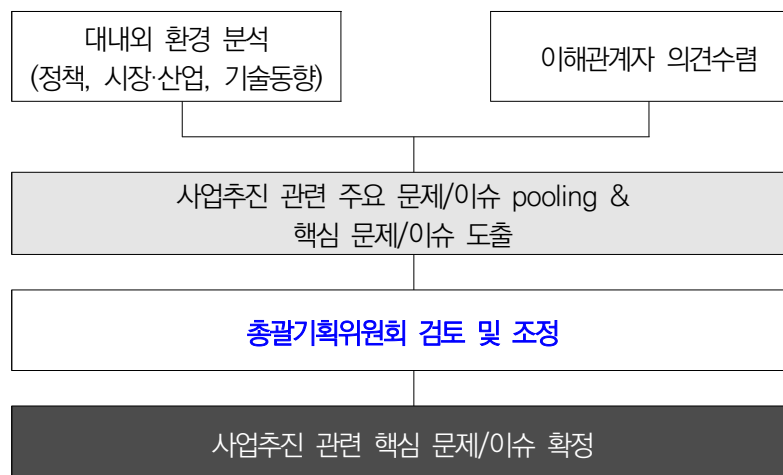
- 국내 기술수준과 인프라를 고려했을 때 지하고속도로를 연구할 수 있는 역량과 인프라는 갖추어져 있다고 판단됨
 - 국내 터널/지하공간 분야는 최고기술국 대비 90% 이상으로 우수한 편
 - 국내 터널/지하공간 분야 중 해저/대심도 터널 분야의 기술수준은 최고기술국 대비 91.5%로 우수한 편
 - 국내 터널/지하공간 분야 중 지하 대공간 분야의 주요국 기술수준은 최고기술국 대비 90%로 우수한 편
 - 국내 도로교통 인프라는 최고기술보유국 대비 80% 이상으로 양호한 편
 - 국내 도로교통 인프라 중 도로설계/시공/유지관리 기술수준은 최고기술보유국 대비 80%로 대체로 양호한 편으로 조사
 - 국내 도로교통 인프라 중 도로 안전/운영시설 기술수준은 최고기술보유국 대비 85%로 대체로 양호한 편으로 조사
 - 터널 및 지하공간 분야의 경우 특허와 논문 활동도 및 집중도는 높은 수준이나 영향력은 낮은 수준으로 평가됨
 - 터널/지하공간 분야의 특허 활동도와 특허집중도는 한국이 높은 수준으로 평가되었으나, 특허 시장력과 특허영향력은 타 국가대비 낮은 수준으로 평가
 - 터널/지하공간 분야의 논문활동도와 논문집중도는 한국이 높은 수준으로 평가되었으나, 논문영향력의 경우는 낮은 수준으로 평가
 - 국내 기술수준과 별도로 국내 인프라 수준은 충분한 것으로 판단
 - 우리나라의 공학연구 인력은 충분한 것으로 판단되며, 관련 분야 연구인력 또한 충분한 것을 확인
 - 국내 구조공학, 지반 연구는 건설 관련 학과를 중심으로 다양한 연구가 진행되고 있음
 - 국내 건설 기술에 대한 정부출연연구소인 한국건설기술연구원에서는 지하고속도로에 대해서 연구할 수 있는 인프라를 가지고 있음
 - 국내 대형 건설사에서는 건설현장에서 수요가 높은 기술에 대해 집중적으로 기술개발
 - 지하고속도로 관련 인프라는 기존 R&D사업을 통하여 구축된 것으로 확인되며, 연구개발 수행을 위한 인프라로는 충분하다고 판단

제4장. 사업 추진전략

제1절. 핵심 문제/이슈 도출

(1) 핵심 문제/이슈 도출 프로세스

- 지하고속도로 관련 정책동향, 시장·산업 동향, 기술개발 동향, 사회 동향 및 수요 등을 고려하여, 국가 차원의 문제/이슈를 해결하기 위해 본 사업에서 해결하고자 하는 핵심 문제/이슈를 도출하고, 총괄위원회의 검토를 거쳐 확정
- **(핵심 이슈/문제 도출)** 지하고속도로와 관련된 대내외 환경분석(정책/산업/시장/기술) 및 이해관계자 의견수렴으로부터 주요 이슈/문제를 발굴 및 pooling하고 구조화
 - **(대내외 환경 분석을 통한 이슈/문제 발굴)** 국내외 지하고속도로 관련 추진 정책 및 법·제도 마련 현황, 지하고속도로 산업적 특성 및 시장 전망, 주요기업들의 기술개발 현황 및 계획을 조사 및 분석하여 주요 이슈 및 문제 발굴
 - **(이해관계자 의견수렴을 통한 이슈/문제 발굴)** 관련 기업 전문가 인터뷰를 수행하여, 지하고속도로 인프라 및 이용자 안전·편의 관련 기술의 문제점 및 애로사항, 기술개발 시 고려해야할 점 및 기술개발 수요 등을 파악
- **(핵심 이슈/문제 확정)** 총괄기획위원회는 정리된 핵심 문제/이슈를 검토하고 조정 및 확정
 - **(핵심 문제/이슈1)** 20km 이상의 장대터널을 건설·운영해야하는 지하고속도로 특성을 고려해 강화된 방재·소방 기준 적용을 면밀히 검토하고 선제적 대응 체계 구축 필요
 - **(핵심 문제/이슈2)** 지하고속도로를 오랫동안 주행하면 폐쇄감이 발생할 수 있다는 우려가 있어 폐쇄공포·공황장애 등에 대한 문제를 해결할 수 있는 이용자 안전·편의 향상 필요
 - **(핵심 문제/이슈3)** 소음, 분진 등 민원발생의 주요원인인 수직구를 최소화하고 대단면 지하고속도로의 주변 영향을 최소화할 수 있는 기술적 해결방안 마련 필요



[그림 4-1] 사업 추진상의 핵심 문제/이슈 도출 프로세스

(2) 핵심 문제/이슈 도출 결과

정책동향
○ 각 국가에서는 국토의 입체적 개발을 위해 지하공간 활용에 대한 정책 시행 중 - 국외 각국에서는 국토의 입체적 활용을 위해 지하공간 활용에 대한 계획 발표 * 일본, 캐나다, 싱가포르 등 다수의 국가에서 지침, 가이드라인, 개발전략 등을 제시 - 국내에서도 국토의 개발 및 건설 등에 관한 지하공간에 대한 내용이 포함 * 윤석열 정부 120대 국정과제, 제5차 국토종합계획, 제2차 국가기간 교통망계획, 제2차 국가도로망 종합계획 등 ○ 국내외로 도로 지하화 사업들이 진행 중 - 미국, 스페인, 독일 등 국외에서는 이미 오래 전부터 간선도로의 지하화 작업이 수행 중 - 국내에서도 경인고속도로, 수도권 제1순환선, 경부선 등 다양한 도로의 지하화 예정

산업여건
○ 국내외 여러 지하도로 및 지하고속도로들이 운영 중이거나 현재 시공 중 - 국내에는 신월여의지하차도 및 서부간선지하도로가 민자사업으로 건설되어 운영 중 * 바이패스 환기 방식, 스마트터널링 요구 징수 시스템, 1등급 방재 수준 및 각종 화재 대응 시스템 등의 기술 도입 ○ 해외에는 다수의 지하고속도로의 시공 및 운영 사례 존재 - 프랑스의 A86 duplex, 미국 보스턴 big dig, 일본 Yamate 터널 등 다수의 지하도로 및 지하고속도로 시공 및 운영 사례 존재

사회동향
○ 지가 상승, 교통 수요 등으로 인한 관련 문제 대두 - 지가의 상승으로 고속도로 건설 비용 증가 - 도로의 공급이 교통 수요를 따라가지 못하는 상황 ○ 최근 다양한 이유로 고가도로 등 기존의 지상 도로의 철거가 진행되는 추세 - 도시공간 단절, 소음, 환경, 도로의 노후화 등 ○ 지하고속도로에 대한 긍정적 인식이 높은 편이나, 실제 현장 근처 주민들의 민원 문제도 존재 - 설문조사 결과 도심지 대심도 터널 공사에 대해서는 찬성 의견이 다수이나 실제 공사시에는 민원으로 인한 공기 지연 등의 문제 발생 ○ 친환경차의 비율은 지속적으로 증가하고 있으며, 이로 인한 화재 문제 등에 대한 대비가 필요 - 친환경차는 화재 위험성이 높고 진화가 어려운 특징이 있으나, 소화를 위한 인프라는 매우 부족

시장동향
○ 각 기관에서 조사한 지하고속도로 글로벌 동향 보고서에 따르면 해당 분야는 지속적으로 성장 중 - 터널 자동화 시장은 연평균 7.7%의 성장률로 지속적으로 성장중 * 시장 규모는 '21년 43억 달러에서 '30년 62억 달러까지 성장할 것으로 전망 * 터널 자동화 분야는 IoT 및 자동화 솔루션의 발달, 사고 건수 증가, 프로젝트 증가 등 다양한 성장 요인이 존재 - 터널 모니터링 시장은 약 10% 내외의 연평균 성장률을 기록할 것으로 전망 * 글로벌 터널 모니터링 시장은 '22년 3억 5742만 달러에서 '28년 6억 2738만 달러까지 성장할 것으로 전망 - 지하고속도로 프로젝트 규모를 바탕으로 시장을 추정해본 결과 해당 분야는 지속적으로 성장 중 * 사업비와 공사기간으로 추측 결과 연 6.8%로 성장 중

기술동향
○ 터널, 지하도로, 지하고속도로는 목적, 구조적 형태, 도로연장, 설계속도, 단면 등에서 차별성이 존재 - 지하고속도로는 일반 지하도로에 비해 규모, 초장대 특성의 반영이 필요 * 100km/h 이상의 설계속도에 적합한 인프라 설계, 시공 및 운영, 교통량이 많은 경우를 고려한 안전 확보 시설/설비 강화 필요, 주행쾌적성 및 교통안전성 확보 등 ○ 기존에 지하고속도로 건설을 위한 다양한 공법 및 기술이 존재 - NATM, TBM과 같은 굴착 공법, 수직구 건설 공법, 화재 안전 관련 기술 등

연구역량
○ 대심도 복층터널, 도심 지하 교통 인프라 등 다양한 유관 과제를 통해 지하고속도로 관련 기술력을 축적 - 관련 연구를 통해 국내 터널/지하공간 분야 기술수준은 최고기술국 대비 90% 이상으로 매우 우수 - 도로교통 인프라 분야 기술수준은 최고기술국 대비 80% 이상으로 양호 - 특허/논문 활동도 및 집중도도 매우 높은 수준 ○ 광폭/대단면의 변단면 터널 건설 관련 경험은 미비하나 지하고속도로 역량과 인프라는 갖추어져 있어 연구개발 성공가능성이 매우 높다고 판단 - 우리나라는 그간의 R&D 성과를 통해 구조공학, 지반, 터널 연구 관련 다양한 인프라를 보유 - 건설 관련 학과에서 다양한 연구를 진행하고 있어 터널/지반 분야 기초원천 기술뿐만 아니라 관련 분야 우수한 연구인력도 보유

국가차원의 문제/이슈
○ 최근 다수 고속도로 지하화사업 추진에 따라 초장대/대단면/대심도 지하고속도로 출현 대비 필요 ○ 지하고속도로는 다수 지하 유출입부 설치에 따른 광폭/대단면의 변단면 터널 건설이 필요하나 관련 경험 미비 ○ 지하도로 수직구는 환기, 배연, 비상탈출 경로 확보 등을 위한 필수 구조물이나 도시지역 내 수직구는 공사 중 민원 발생 주요 원인 ○ 초장대·대심도 특성을 가진 지하고속도로에서 이용자 안전 확보와 편의성 증대를 위한 방재 및 부대시설 설치 기술 필요

동 사업의 필요성 (사업차원에서 해결해야할 문제/이슈)		
20km 이상의 장대터널을 건설·운영해야하는 지하고속도로 특성을 고려해 강화된 방재·소방 기준 적용을 면밀히 검토하고 선제적 대응 체계 구축 필요	지하고속도로를 오랫동안 주행하면 폐쇄감이 발생할 수 있다는 우려가 있어 폐쇄공포·피로감·대기오염 등에 대한 문제를 해결할 수 있는 이용자 안전·편의 향상 필요	초장대 K-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술개발사업
소음, 분진 등 민원발생의 주요원인인 수직구를 최소화하고 지하고속도로 대심도·초장대·대단면 특성을 반영한 교통·운영 효율화 방안 마련 필요		

분야별 기술개발 필요성 (세부활동 수준의 문제/이슈)		
	문제/이슈	기술개발 방향(목표)
지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	- 터널 내 친환경차량 화재사고에 대한 대응 기술 요구	- 친환경차량 등 터널 내부 화재사고에 대한 선제적 대응체계 개발
	- 기존 터널 내 차량화재사고는 사후대응체계로 한계 명확	- 친환경차량 폭발, 제트화염 등에 대한 내부구조물의 방폭성능 확보
지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	- 대단면 터널 내 내부구조물에 대한 폭발 성능에 대한 연구 미흡	- 침수 발생시 인프라 안정성 문제 해결 및 대피시간 확보를 위한 집·배수 기술 적용
	- 극한호우 발생시 지하고속도로 침수에 대한 대응·방지 기술 미흡	- 환기소 설치간격 최소화 및 유해물질 제거 효율향상 기술 확보
지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	- 초장대 터널에 대한 유해물질 처리 기술 및 설비 미비	- 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 공간디자인 제시
	- 대피소 및 줄음쉼터 등의 실효성에 대한 의문 제기	- 이용자 안전·편의를 확보할 수 있는 실효성 있는 휴게시설 확보
지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	- 도심지 민원발생 주요원인인 수직구 최소화 수요 발생	- 다목적 수직구에 대한 설계/시공 기술 개발 및 고속시공 기술 개발
	- 지하고속도로 특성에 따른 교통·운영 연구사례 부족	- 지하고속도로에 특화된 안전하고 효율적인 교통 서비스 제공

제2절. 사업 기본방향 설정

1. 추진 목표 설정

- 사업추진 관련 핵심 문제/이슈를 해결하기 위한 기술적 요구사항과 예상 효과를 파악하여 본 사업의 추진 목적 및 추진 목표를 설정
 - (핵심 문제/이슈 해결을 위한 기술적 요구사항) 1)미래 환경변화에 대응하는 터널 내 화재/침수/폭발사고 등에 대한 선제적 대응 체계 및 기술 확보, 2)지하고속도로 공간 및 주행특성을 고려한 폐쇄공포·피로감·대기오염 등 해결하는 이용자 안전·편의 향상 기술 확보, 3)대단면/대심도 굴착단면 대응 및 수직구 최소화, 저소음·저진동 고속굴착 등이 가능한 인프라 기술 확보 개발
 - (사업 목표) 초광역간 연결 및 초대단면 지하고속도로 인프라 기술 개발을 통한 이용자 안전 및 편의 향상
 - ※ (사업 목적) 도심지 등의 극심한 교통 지·정체 문제 해결 및 상부공간 활용을 위한 K-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술 개발

핵심 문제/이슈	핵심 문제/이슈 해결을 위한 기술적 요구사항	예상 효과
[핵심 문제/이슈 1] 20km 이상의 장대터널을 건설·운영해야하는 지하고속도로 특성을 고려해 강화된 방재·소방 기준 적용을 면밀히 검토하고 선제적 대응 체계 구축 필요	미래 환경변화에 대응하는 터널 내 화재/침수/폭발사고 등에 대한 선제적 대응 체계 및 기술 확보	지하고속도로 재난 대응 및 선제적 재난 방지·관리를 통한 이용 안전 확보
[핵심 문제/이슈 2] 지하고속도로를 오랫동안 주행하면 폐쇄감이 발생할 수 있다는 우려가 있어 폐쇄공포·피로감·대기오염 등에 대한 문제를 해결할 수 있는 이용자 안전·편의 향상 필요	지하고속도로 공간 및 주행특성을 고려한 폐쇄공포·피로감·대기오염 등 해결하는 이용자 안전·편의 향상 기술 확보	공간디자인, 휴게시설 등 지하고속도로 이용자 친화적 인프라 구축
[핵심 문제/이슈 3] 소음, 분진 등 민원발생의 주요원인인 수직구를 최소화하고 지하고속도로 대심도·초장대·대단면 특성을 반영한 교통·운영 효율화 방안 마련 필요	민원 주요발생 요인인 수직구 최소화 및 지하고속도로 특성을 반영한 안전하고 효율적인 교통 서비스 제공 기술 확보	지하고속도로 주변 영향 최소화 및 지하고속도로 대응 교통·운영 효율 향상

사업 추진목표

초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술 개발

2. 사업 추진 논리 도출

1. 이슈 / 문제
• 최근 다수 고속도로 지하화사업 추진에 따라 초장대/대단면/대심도 지하고속도로 출현 대비 필요 - 「제2차 고속도로 건설계획」 중점사업 3개노선 모두 단일노선 연장 20km 내외이며, '고양~양재 대심도 고속도로'의 적격성 조사 통과로 '화성~서울' 재정사업과 직결노선을 추진하면 총 연장 약 60km 예상 • 지하고속도로는 다수 지하 유출입부 설치에 따른 광폭/대단면의 변단면 터널 건설이 필요하나 관련 경험 미비 - 지하고속도로의 분기터널은 본선 2차로+연결로 1차로 예상되며, 이는 본선 4.5~5차로 규모(약 200m²)로 큰 규모의 변단면 터널 설계·시공 기술력이 요구되나, 현재는 신원여의지하도로(편도 2차로+연결로 1차로) 설계·시공 경험이 유일 • 지하도로 수직구는 환기, 배연, 비상탈출 경로 확보 등을 위한 필수 구조물이나 도시지역 내 수직구는 공사 중 민원 발생 주요 원인 - 수직구는 민원 사례가 빈번한 설치 기피시설로 민원에 따른 공기지연 우려가 높으나, 초장대 지하고속도로는 수직구 설치가 불가하므로 철거 최소화, 수직구 활용 다목적화 등의 기술적 요구 증가 • 초장대·대심도 특성을 가진 지하고속도로에서 이용자 안전 확보와 편의성 증대를 위한 방재 및 부대시설 설치 기술 필요 - 지하고속도로는 폐쇄된 공간구조를 구조물로 내부에서 사고, 화재, 폭발 등은 막대한 인명 및 재산피해를 야기하므로 사고 예방 및 대응 기술 확보 필요 - 또한, 주행환경 및 구조 특성 상 이용자의 피로감 및 폐쇄감을 야기하여 이용자의 안전 및 편의성을 증진할 필요가 있으며, 법적*으로 휴게시설 제공방안 등을 필수적으로 고려 * 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(해설국토부, 2020) : 휴게시설 상호 간 15~25km 이내 설치 바람직 - 도로설계요령(한국도로공사, 2020) : 모든 휴게시설 상호 간 일반 구간은 15~20km 간격으로 함 - 지하고속도로 내 친환경차 이용 비율 증가가 예상되나 이를 고려한 시설 설계·시공기술은 미비하며, 친환경차를 고려한 환기·방재 인프라 기술은 사후대응체계*로 한계가 명확 * 친환경차 환기·방재 現기술수준 : 소방대원에 의한 질식 소화용 내화덮개, 침수 소화용 간이 수조, 특수 관창 사용 방법 등

2. 목표	3. 이해자
초광역간 연결 및 초대단면 지하고속도로 인프라 기술 개발을 통한 이용자 안전 및 편의 향상	- 지하고속도로 관련 기업(설계/시공/운영 등) - 지하고속도로 이용자

4. 투입	5. 활동	6. 산출	7. 성과 / 영향
- 예산 294억 원 :: 정부 220억 원 :: 민간 74억 원	- 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발 - 지하고속도로 환경 개선 및 교통운영 효율 향상 기술 개발	- 선제적 화재 위험 관리 대응체계 구축 - 지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보 - 지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리 - 초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대단면 수직구 수직도 확보 - 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화 - 환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보 - 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상 - 지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 작성성 확보	- 성과(Outcome) :: 논문/특허 :: 기술이전 및 현장 적용 :: 법/지침 개정 :: 건설기준 제·개정 - 영향(Impact) :: 지하고속도로 내 재난안전 강화 :: 지하고속도로 내 교통안전 확보 :: 지하고속도로 이용자 편의 향상 :: 지하고속도로 주변 영향 최소화

8. 가정
- 지하고속도로사업에 대한 지속적인 정부의 추진의지 - 계획한 연구개발성과 활용방안에 대한 지하고속도로사업(인프라 기술) 및 유사사업(운영기술)에 설계반영 및 기술적용 여부 - 민간기업의 적극적인 기술개발사업 참여 및 사업화 성공의지 - K-지하고속도로 인프라 기술개발 및 이용자 안전·편의 향상을 위한 예산 확보로 안정적인 연구개발 가능

3. 비전 및 목표체계

사업 비전

글로벌 선도 K-메가(MEGA) 지하고속도로 인프라 핵심기술 확보로
인간친화적 입체공간 활용 기반 조성

사업 목표

초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의
이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술 개발

성과 목표 및 성과 지표

구분	화재, 침수, 교통사고 등 재난에 안전하고 이용자 친화적 지하고속도로 인프라 기술 개발	
	1단계(기술확보) ('24~'26)	2단계(성능검증) ('27~'28)
이용자 안전 확보	- 지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응 체계 구축 :: 화재 위험 차량 사전분류 정확도 95% 이상 확보(외부전문기관 성능확인서) :: 친환경차 조건이 고려된 QRA 기법 수립 및 화재 확산 방지를 위한 대응 기술의 적정성 검증(외부전문기관 성능확인서) - 지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보 :: 폭발 하중별 내부 구조물 구조 거동 시뮬레이션을 통한 최적 설계(안) 및 대응(규제) 방안 제시 - 지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리 :: 위험상황종류 및 발생단계를 고려한 교통류 해석 및 교통혼잡 추정기법 개발 :: 교통차단시설 인지 성능 향상(10%) 시제품 제작 및 시나리오별 방재시설 자동운영 시스템 설계 - 초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보 :: 200m² 이상⁸의 초대단면 터널 분할굴착 최소화 기술의 수차해석 및 모형실험을 통한 결과 검증 *⁸현 최고터널 단면적(면적 4차로 터널: 약 150m² 내외) :: 지하수위 지하 방지형 대단면·대심도 수직구의 수직편차 5mm/m 이하 제어 *⁹기술수준: 15~20mm/m 수직편차 제어 - 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화 :: 침수시 누설전류 제한(10mA 이하)을 통한 펌프기동반 정상작동 시제품 :: 지하고속도로 대피 시간 20분 확보가 가능한 분산형 집수·저류 시설 및 배수시설 설계 매뉴얼	- 지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응 체계 구축 :: 화재 위험 차량 관리기술(사전감지/추적/긴급배출) 및 친환경차량 화재 대응 기술 유사현장 적용 2건 이상 :: 지하고속도로 내 화재 위험 분류 및 대응 가이드라인 1건 개발 - 지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보 :: 지하고속도로 모델 기반 폭발 축소모형실험 및 시뮬레이션을 통한 설계기준 제·개정 - 지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리 :: 지하고속도로 교통처리 평가지표/방법 개발 및 현장 적용을 통한 성능 검증 :: 재난 대응 교통차단시설 및 도로설계도서 제시 - 초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보 :: 초대단면 터널 분할굴착 최소화 기술의 건설기준 또는 지침 반영 1건 :: 현장 실증 1건 적용을 통한 수직편차 5mm/m 이하 확보 검증 - 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화 :: 침수시 펌프기동반 정상작동 시제품 및 관제시스템 (무선 관제 100%) 현장 적용을 통한 성능 검증 :: 지하고속도로 대피 시간 20분 확보가 가능한 분산형 집수·저류 시설 및 배수시설 시공 매뉴얼
환경 개선 및 교통 운영 효율화	- 환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보 :: 환기소(수직구) 설치간격 최대 7km/10km (전차중/소형차 전용) 적용 기술 확보 *¹⁰기술수준: 전차중 3km 내외, 소형차 전용 5km 이하 :: 첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술 적용으로 기존 대비 굴진장 향상(3.0m/cycle→4.5m/cycle) :: 가스상(기체상) 유해물질 제거효율 70% 확보 가능한 도로터널 유해물질 처리 기술 확보 *¹¹기술수준: 도로터널용 가스상오존 일산화탄소, 질소산화물 유해물질 처리 기술 마비	- 환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보 :: 환기소 설치간격 증대 기술 설계지침 반영 1건 :: 현장 실증(2개소)을 통한 저소음·저진동 고속굴착 시스템 검증 및 DB화 :: 굴착 효율 향상을 위한 저소음·저진동 고속굴착 시스템 매뉴얼 1건 개발 :: 공용 중인 유사현장 적용을 통한 유해물질 저감시설 성능검증 1건

	- 지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상 :: 100km/h 주행 시 1m 오차 이내의 네비게이션 서비스 제공 가능한 정밀 측위기술 - 지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발 :: VR·AR·주행 시뮬레이터를 이용한 지하고속도로 최적화 공간 디자인(색상·패턴·조명)에 대한 이용자 만족도(기존 디자인 대비 긍정 반응) 80% 이상 확보 - 지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보 :: 지하 이용자 편의 향상 인프라(전기 충전소, 줄음쉼터, 주차장, 지상 휴게실 입체연결 시스템) 설계 적정성(90점 이상) 확보	- 지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상 :: 유사현장 적용을 통한 정밀위치 정보제공 기술의 성능검증 1건 - 지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보 :: 지하 이용자 안전 및 편의 향상 인프라 기술(공간 디자인, 침단 누설전류 방지 시스템 등) 유사 현장 적용을 통한 성능검증 2개소 이상 :: 승강기 운행지침 등 지침 제·개정 1건

산출

추진 전략	미래 환경변화에 대응한 화재·침수·교통 안전 확보	공간디자인, 휴게시설 등 이용자 친화적 인프라 구축	주변 영향 최소화 및 지하고속도로 대응 교통·운영 효율 향상

사업구성

1. 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	2. 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발
1-1. 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증	2-1. 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증
1-2. 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증	2-2. 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증

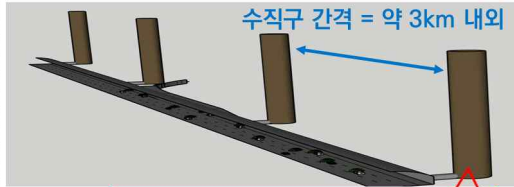
[그림 4-2] K-지하고속도로 인프라 기술개발 사업의 비전·목표 체계도

<표 4-1> 기술개발에 따른 동 사업 분야의 미래상

핵심 항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'24년 수준	최종 목표수준	
		'24	'28(종료년도)	
지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	- 터널, 지하도로 등 화재 안전 기술은 사후 대응 체계에 국한되어 있으며, 친환경차 화재 대응 설비 기술 부재 - 일반도로터널 내 방폭에 대한 기초 연구 단계 - 위험상황(화재, 침수, 교통사고) 발생에 대한 교통관리자의 주관적 판단에 의한 대응체계 - 대단면 수직구 시공 중 수직편차 발생으로 구조물 안정성 저하 우려 - 수직구 시공 수직편차 15~20mm/m 발생 극한호우에 의한 지하고속도로 대응 시나리오 부재 및 대응 기술 부족 - 지하시설 설비의 잦은 누전으로 누전 차단기 미설치 상태이며 상시 감전 위험 내재로 누전 대책 미흡	화재 위험 차량 감지 및 추적배출 요소기술 정립 및 친환경차 화재 요인별 위험 특성 분석 - 지하구조 교통상황, 화재 요인 등 지하고속도로 위험 특성 분석 폭발 시나리오 도출 및 시뮬레이션 설계 - 도로 기하구조 조건, 실시간 교통수요만을 고려한 교통혼잡 발생 가능성 판단 기술 대단면 수직구 구축 기술의 개선방향 정립 극한호우에 의한 지하고속도로 침수 시나리오 분석 및 분산형 집수저류 및 배수 기술의 적용 가능성 평가 - 현장 실태 조사를 누설전류 근원 파악 및 누설전류를 통한 감전 요인별 위험 분석 및 IOT기술을 통한 항목별 관리 개발	화재 위험 차량 관리 (감지/추적/배출) 시스템 및 친환경차 화재 대응 기술 실증 경제성, 방폭성능을 확보한 내부구조물 최적설계 및 규제 기준 마련 - 도로 기하구조 조건, 실시간 교통수요, 위험상황을 고려한 교통혼잡 완화 및 모니터링 기술 개발 비배수형 대심도 대단면 수직구 수직편차 최소화 구축기술 개발 및 실증 - 수직편차 5mm/m 이하 제어 분산형 집수·저류 및 배수 기술 적용된 지하고속도로의 극한 호우 시 침수에 대한 성능 실증 - 침수위험도 평가기준 제시 및 EAP 도출 - 지하차도 재난시 설비의 정상 가동화와 감전예방 및 IOT 관리를 통한 재난 선제적 대응	- 지하고속도로 선제적 화재 위험 관리체계 구축 및 친환경차 화재 대응 설비 기술 확보로 이용자 안전 증대 - 폭발 등 재난상황으로부터 2차사고 예방 및 안전한 지하고속도로 구축 지하와 지상을 동시에 고려한 교통 최적화 운영관리전략 구축 - 비배수형 대심도 대단면 수직구의 수직도 확보로 지하 고속도로 인프라 안정성 증대 - 분산형 집수·저류 및 배수 기술 적용된 지하고속도로의 설계 및 시공을 통한 침수 피해 제로화 - 지하고속도로의 선제적 감전예방 기술확보로 이용자 및 관리자 안전 증대
지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	짧은 환기소 설치 간격(지하도로 약 3km 내외), 지하터널 내 다중·고효율 유해물질 처리 기술 미비 - 도로터널 내 정밀 네비게이션 서비스 제공 불가	모빌리티 변화를 고려한 소요환기량 분석 및 유해물질 최적 처리 기술 설계 - 지하고속도로 정밀 측위 서비스 제공을 위한 개발방향 정립	환기소 설치간격 증대 기술 및 다중·고효율 유해물질 처리 기술 확보 - 환기소 설치간격 전차종 7km, 소형차전용 10km 증대 - 미세먼지 90%, 오존 90%, 질소산화물 50%, 일산화탄소 50% 처리 효율 확보 정밀도 1m 이하 위치정보 제공	환기소(수직구) 설치 간격 증대에 따른 수직구 시공비 절감, 대기오염 등 환경 피해 및 민원 최소화 기여 - 정밀 측위 정보 제공으로 안전한 주행 환경 구축

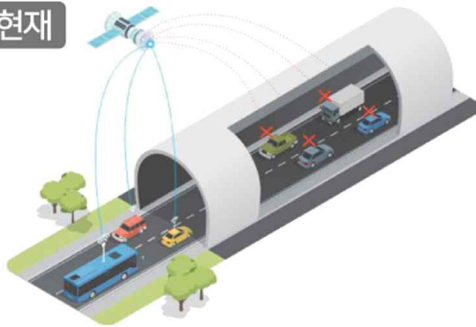
■ 지하도로, 장대터널 등 이용자의 폐쇄감 및 피로감이 지속 보고되고 있으나 적절한 대응 기술 미흡 ■ 평균 3.0m/cycle이 現기술수준 굴진 효율의 한계 - 인력작업, 정형화된 발파 패턴에 의존하는 사공관행과 작업인력의 경험에 전적으로 의존 ■ 초대단면 도로터널 굴착 경험 미흡으로 구조물 안정성 저하 우려 - 200m² 초대단면(철도정거장) 약 9분할 굴착	■ 지하고속도로 폐쇄감 및 피로감 최소화를 위한 필요기술 정립 - 공간디자인 개념 및 색상·패턴·조명 생성 - 지하 휴게시설 설치 간격 및 공간 설계조사 및 정립 ■ 장악 작업을 기계화하여 인력작업을 대체하는 정밀시공 기술 개발 - 고속굴진 발파 표준화로 휴먼에러 제거 ■ 초대단면 터널 분할 굴착 기술의 개선 방향 정립	■ 이용자 만족도 80% 이상 확보가 가능한 최적 공간 디자인 (색상·패턴·조명) 및 이용자 편의 향상 인프라 기술 확보 - 개발기술 유사 현장 적용 ■ 실시간 현장맞춤형 지하고속도로 저소음 저진동 고속굴착 시스템 2개 현장 적용 - 고속굴착 시스템은 평균 4.5m/cycle의 굴진효율 확보 ■ 초대단면 터널 분할 최소화 굴착 기술 개발 및 실증 - 단면 분할 수 50% 이상 감소	■ 지하고속도로 내 공간 디자인 및 휴게 시설 설치로 운전자 폐쇄감 및 피로감 해소로 교통안전 증대 기여 ■ 고속굴착 시스템 실용화로 굴착공기 30% 이상 단축 및 굴착공사비 30% 절감* 기여 * 굴착공사비 단가분석을 통한 추정치 ■ 초대단면 터널 분할 최소화로 지하고속도로 인프라 안정성 증대
개념도	As-is  〈터널, 지하도로 등 차량 화재 사후대응체계〉  〈교통관리자의 주관적 판단에 의한 대응체계〉	To-be  〈지하고속도로 내 차량 화재 위험 선제적 관리〉  〈지하고속도로 위험상황별 맞춤형 교통대응 기술〉	

As-is



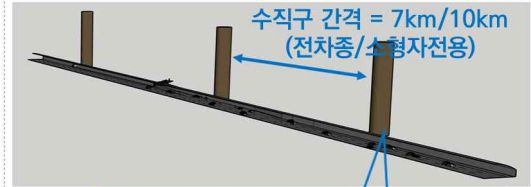
〈도로터널용 다중 유해물질 처리기술 미비〉

현재



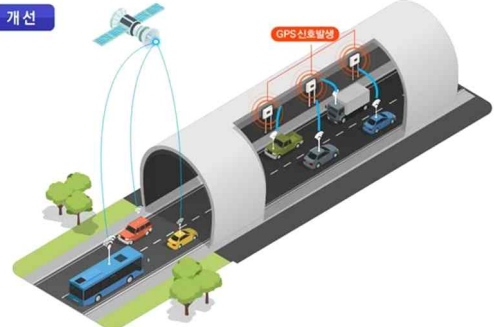
〈도로터널 내 정밀 네비게이션 서비스 불가〉

To-be



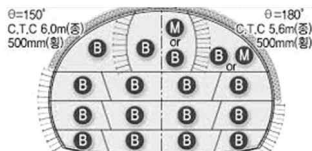
〈터널 내 다중 유해물질 제거효율 70% 확보〉

개선

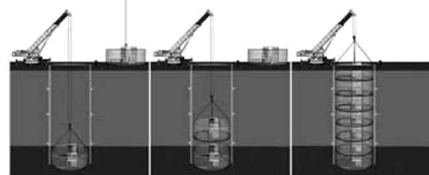


〈정밀도 1m 이하 네비게이션 서비스 제공〉

As-is



〈초대단면 도로터널 굴착 경험 미흡(9부할)〉

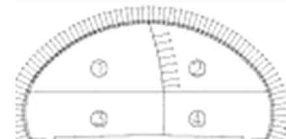


〈수직구 시공 중 수직편차 발생(15~20mm/m)〉



〈인력작업, 정형화된 발파패턴으로 효율 한계〉

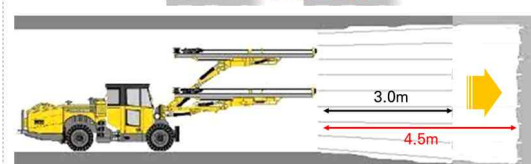
To-be



〈초대단면 터널 분할 최소화 굴착(4분할)〉



〈수직구 수직편차 최소화 기술(5mm/m 이하)〉



〈실시간 현장맞춤형 고속 발파 시스템〉

4. 성과목표/지표

(1) 성과목표 및 지표 총괄표

<표 4-2> 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술 개발			
(최종) 성과목표	화재, 침수, 교통사고 등 재난에 안전하고* 이용자 친화적 지하고속도로 인프라 기술** 개발			
	* 지하고속도로 내 차량 화재 위험 선제 관리(위험차량 사전검지 정확도 95% 이상) 시스템을 구축 하고, 200년 빈도 강우 발생 침수에도 인프라 사용성 유지 및 이용자 완전대피 시간 20분 확보가 가능한 기술 개발 ** 수직도를 확보한(수직편차 5mm/m 이하 제어) 대단면 다목적 수직구(환기소) 최소 설치(기존 설치 간격 대비 2배) 및 정밀측위정보(100km/h 주행 시 1m 오차 이내) 제공 기술 개발			
단계별 성과목표 및 지표	24년도~28년도			
	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응체계 구축	0.10	위험차량 사전 감지 분류 정확도	질
		0.05	친환경차 화재 대응 설비 차량 종류	질
	지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보	0.05	폭발 규모별 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준 제시	질
	지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리	0.05	지하고속도로 교통처리 평가지표 및 평가방법의 적정성	질
		0.05	재난 대응 교통차단시설 인지 성능	질
	초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보	0.05	기존 공법 대비 단면 분할 감소율	질
		0.10	수직편차	질
	극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화	0.05	침수시 펌피기동반 정상작동을 위한 누설전류 제한	질
		0.10	지하고속도로 침수 시 대피시간 확보	질
	환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보	0.10	환기소 설치간격	질
		0.05	가스상 유해물질 제거효율	질
	지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상	0.10	100km/h 주행 시 네비게이션 서비스 측위 정밀도	질
	지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발	0.05	공간 디자인 이용자 만족도 확보	질
	지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보	0.05	설계 공정률	질
	첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술로 굴착 효율 향상	0.05	단위 공정당 굴착거리	질

(2) 성과지표 및 목표치

성과목표명	가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치					지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
				연도	2024	2025	2026	2027	2028			
지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응체계 구축	0.1	위험차량 사전 감지 분류 정확도	%	목표	-	-	70	95	현장 적용	결과	질	선제적 화재 위험 대응을 위하여 화재위험차량의 감지 분류 정확도를 최종목표로 설정
				실적								
	0.05	친환경차 화재 대응 설비 차량 종류	종	목표	-	-	1 (수소)	1 (전기)	현장 적용	결과	질	터널 내 친환경차 화재 대응 설비 기술 부재에 따라 해당 기술 확보를 최종목표로 설정
				실적								
지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보	0.05	폭발 규모별 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준 제시	차량 종류	목표	-	소형화물	중형화물	대형화물 및 수소차량	지침 제개정	결과	질	지하고속도로는 덕트 슬래브 등 내부구조물이 빈번하게 설치될 것으로 예상되며, 폭발사고 발생시 구조물의 탈락 및 붕괴로부터 이용자 안전을 확보하기 위해 최종목표를 설정
				실적								
지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리	0.05	지하고속도로 교통처리 평가지표 및 평가방법의 적정성	%	목표	-	-	70	80	현장 적용	결과	질	위험상황종류 및 발생단계를 고려한 시뮬레이션 기반 지하고속도로 내 위험상황에 대응한 교통처리 평가지표 및 평가방법의 효과를 평가하여 개발한 지표와 방법의 적정성을 최종목표로 설정
				실적								
	0.05	재난 대응 교통차단시설 인지 성능	%	목표	-	-	5	10	현장 적용	결과	질	침수 등 재난 발생 시 터널 진입차량 운전자가 통제/우회정보를 인지할 수 있는 거리를 성능으로 검증하여 최종목표로 설정
				실적								
초대 단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보	0.05	기존 공법 대비 단면 분할 감소율	%	목표	-	-	35	50	지침 제개정	결과	질	초대 단면 터널 굴착의 단면 분할 수를 최소화하면서도 안정성을 확보하는 것을 최종목표로 설정
				실적								
	0.10	수직편차	mm/ m	목표	-	-	10	5	지침 제개정	결과	질	수직구 굴착의 안정성 확보 및 다목적 활용을 위해 수직도 확보가 필요하여 수직편차 최소화를 최종목표로 설정
				실적								

극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화	0.05	침수시 펌프기동반 정상작동을 위한 누설전류 제한	mA	목표	-	-	10	5	현장 적용	결과	질	침수 시 전력계통의 정상작동을 위해 누설전류를 제한하는 것을 최종목표로 설정	
				실적									
	0.10	지하고속도로 침수 시 대피시간 확보	분	목표	-	-	20 (설계)	20 (시공)	현장 적용	결과	질	침수 시 분산형 집·배수 시설을 통해 이용자가 완전히 대피할 수 있는 시간을 최종목표로 설정	
				실적									
환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보	0.10	환기소 설치간격	km	목표	-	전차종			지침 제개정	결과	질	現기술 수준(전차종 3km, 소형차 전용 5km이하)을 고려하여 최종목표 설정	
						5	6	7					
						소형자전용							
						8	9	10					
				실적									
	0.05	가스상 유해물질 제거효율	%	목표	-	50	60	70	현장 적용				결과
실적													
지하고속도로 정밀측위체공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상	0.10	100km/h 주행 시 네비게이션 서비스 측위 정밀도	m	목표	-	10	3	1	현장 적용	결과	질	초장대·다수 분합류가 존재하는 지하고속도로의 안전·교통서비스 제공을 위해 필요한 측위 정밀도를 최종목표로 설정	
				실적									
지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발	0.05	공간 디자인 이용자 만족도 확보	%	목표	-	60	70	80	현장 적용	결과	질	이용자 폐쇄감 및 피로감을 최소화할 수 있는 공간 디자인을 확보하여 이용자 만족도를 향상시키는 것을 최종목표로 설정	
				실적									
지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보	0.05	설계 공정률	%	목표	30	70	90	100	지침 제개정	과정	질	초광역 연결 지하고속도로 출현시대 대비 휴게시설 등 편의시설에 대한 기술 부재로 해당 기술을 확보하는 것으로 최종목표 설정	
				실적									
첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술로 굴착 효율 향상	0.05	단위 공정당 굴착거리	m/ cycle	목표	-	-	4.0	4.5	실증	결과	질	기존 공법과 동일한 굴착 공정(싸이클) 확보 조건에서 굴착 효율 향상 가능하도록 최종목표 설정 (수직구 개소 감소→굴진면 감소→공기지연→굴착 효율 향상 필요)	
				실적									
계													

(3) 성과지표의 측정 방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처												
위험차량 사전 감지 분류 정확도	■설정방법 : 전체 감지되는 위험 차량 중 실제 위험 차량의 비율인 감지율을 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>70</td><td>95</td><td>현장 적용</td></tr></table> ■설정근거 : 선제적 화재 위험 대응을 위하여 화재위험차량의 감지 분류 정확도를 최종목표로 설정	'25	'26	'27	70	95	현장 적용	□ 측정산식 - $\Sigma(\text{정확한 위험 차량 감지 대수}) / \Sigma(\text{전체 감지 수}) * 100$ □ 측정방법 - 외부 기관의 입회하에 성능 검증 실험 수행 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서						
'25	'26	'27													
70	95	현장 적용													
친환경차 화재 대응 설비 차량 종류	■설정방법 : 주요 친환경 차량 종류인 수소차와 전기차에 대한 대응 설비 확보를 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>1(수소)</td><td>1(전기)</td><td>현장 적용</td></tr></table> ■설정근거 : 터널 내 친환경차 화재 대응 설비 기술 부재에 따라 해당 기술 확보를 최종목표로 설정	'25	'26	'27	1(수소)	1(전기)	현장 적용	□ 측정방법 - 개발된 대응 기술에 대한 화재 및 방재 전문가 평가 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서						
'25	'26	'27													
1(수소)	1(전기)	현장 적용													
폭발 규모별 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준 제시	■설정방법 : 내부 구조물의 방폭 성능 확보나 규제를 결정하기 위한 각 하중별 폭발시 구조 거동을 측정 <table><tr><td>'24</td><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>소형화물</td><td>중형화물</td><td>대형화물</td><td>지침 재개정</td></tr></table> ■설정근거 : 지하고속도로는 덕트 슬래브 등 내부구조물이 빈번하게 설치될 것으로 예상되며, 폭발사고 발생시 구조물의 탈락 및 붕괴로부터 이용자 안전을 확보하기 위해 최종목표를 설정	'24	'25	'26	'27	소형화물	중형화물	대형화물	지침 재개정	□ 측정방법 - 하중별 거동 시뮬레이션 + 축소 모형 실험 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 지침 제·개정 : 사업 종료 시점까지('27년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서				
'24	'25	'26	'27												
소형화물	중형화물	대형화물	지침 재개정												
지하고속도로 교통처리 평가지표 및 평가방법의 적정성	■설정방법 : 위험상황 발생시 교통처리를 위한 평가지표와 방법에 대한 적정성을 주요 지표로 설정 <table><tr><th>점수</th><th>기준</th></tr><tr><td>90~100</td><td>탁월</td></tr><tr><td>80~90</td><td>우수</td></tr><tr><td>70~80</td><td>보통</td></tr><tr><td>60~70</td><td>미흡</td></tr><tr><td>60점 미만</td><td>불량</td></tr></table>	점수	기준	90~100	탁월	80~90	우수	70~80	보통	60~70	미흡	60점 미만	불량	□ 측정방법 - 개발된 평가지표 및 평가방법에 대한 교통/운영 전문가 평가를 바탕으로 적정성을 도출 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서
점수	기준														
90~100	탁월														
80~90	우수														
70~80	보통														
60~70	미흡														
60점 미만	불량														

	▪설정근거 : 지하고속도로 내 위험 종류 및 단계에 따라 교통처리 평가 방안에 대한 연구사례 부족으로 이에 대한 개발과 적정성 평가를 최종목표로 설정								
재난 대응 교통차단시설 인지 성능	▪설정방법 : 터널 진입 차량 운전 자가 통제/우회정보를 인지할 수 있는 거리를 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>5%</td><td>10%</td><td>현장적용</td></tr></table> ▪설정근거 : 현재 교통차단시설의 한계를 극복하기 위해 인지성능 향상을 최종목표로 설정	'25	'26	'27	5%	10%	현장적용	☐ 측정산식 : ((개발 제품 인지거리)-(기존 제품 인지 거리))/100 ☐ 측정방법 - 실험규모 도로터널 Test Bed에 시제품을 설치하여 정보 인지거리를 측정하여 기존 제품과 비교 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서
'25	'26	'27							
5%	10%	현장적용							
기존 공법 대비 단면 분할 감소율	▪설정방법 : 개발한 단면분할에 대한 전문가평가를 통해 설계의 타당 성을 검증하고 관련 기술논문/보 고서를 추가로 고려 *전문가: 지반 및 기초 기술사, 발파 전문가 등 검토의견서 3건 제시 ▪설정근거 : 전문가평가를 통한 기술 달성 목표 설정	☐ 측정산식 : ((기존 기술의 단면 분할 수) -(당해연도 확보된 기술의 단면 분할 수))/100 ☐ 측정방법 - 당해연도 확보한 기술의 기존 공법 대비 단면 분할 감소율을 측정 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서						
수직구 수직편차	▪설정방법 : 현재 수직편차 기술에 대한전문가평가를 통해 설계의 타당성을 검증하고 관련 기술논 문/보고서를 추가로 고려 *전문가: 지반 및 기초 기술사, 발파 전문가 등 검토의견서 3건 제시 ▪설정근거 : 전문가평가를 통한 기술 달성 목표 설정	☐ 측정산식 : 당해연도 확보한 기술의 수직편차(mm)/m ☐ 측정방법 - 당해연도 확보한 기술의 m당 수직편차를 mm단위로 측정 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서						
침수시 펌프기동반 정상작동을 위한 누설전류 제한	▪설정방법 : 화재, 감전사고 등의 주요원인이 되는 누설전류 제한을 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>10mA</td><td>5mA</td><td>현장적용</td></tr></table> ▪설정근거 : 침수 시 전력계통 정상 작동을 위해 누설전류를 제한하는 것을 최종목표로 설정	'25	'26	'27	10mA	5mA	현장적용	☐ 측정방법 - 개발제품의 공인시험기관을 통한 성능 테스트 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서
'25	'26	'27							
10mA	5mA	현장적용							

지하고속도로 침수 시 대피시간 확보	■ 설정방법 : 침수 시 진입한 차량이 운전하여 나갈 수 있는 시간을 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>20분</td><td>20분</td><td>현장적용</td></tr></table> ■ 설정근거 : 침수 시 분산형 집·배수 시설을 통해 이용자가 완전히 대피할 수 있는 시간을 최종목표로 설정	'25	'26	'27	20분	20분	현장적용	□ 측정방법 - 분산형 집·배수 시설이 적용된 지하고속도로 이용자 대피 시뮬레이션을 통해 대피시간을 측정(램프를 빠져나가는 거리를 10km, 속도를 30km/h로 가정) □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서									
'25	'26	'27																
20분	20분	현장적용																
환기소 설치간격	■ 설정방법 : 소형차와 전차종을 구분하여 각 조건을 만족하는 환기소 설치 간격을 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'24</td><td>'25</td><td>'26</td></tr><tr><td colspan="3">전차종</td></tr><tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td colspan="3">소형차 전용</td></tr><tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr></table> ■ 설정근거 : 現기술 수준(전차종 3km, 소형차 전용 5km이하)을 고려하여 최종목표 설정	'24	'25	'26	전차종			5	6	7	소형차 전용			8	9	10	□ 측정방법 - 관련 전문가 입회하에 기존 대비 간격 증대가 가능한 환기소 성능 측정 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 지침 제·개정 : 사업 종료 시점까지('27년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서
'24	'25	'26																
전차종																		
5	6	7																
소형차 전용																		
8	9	10																
가스상 유해물질 제거효율	■ 설정방법 : 기술개발 완료시점에서 도로터널용 가스상(오존, 일산화탄소, 질소산화물) 유해물질 고효율 처리기술 확보를 최종목표로 설정 <table><tr><td>'24</td><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>현장적용</td></tr></table> ■ 설정근거 : 現기술수준에서 도로터널용 가스상 유해물질 처리 기술이 미비하여 해당 내용을 목표로 설정	'24	'25	'26	'27	50	60	70	현장적용	□ 측정산식 - $\frac{\sum(\text{정화 후 유해물질})}{\sum(\text{정화 전 터널 내 유해물질})} \times 100 < 30$ □ 측정방법 - 외부 인증기관 입회하에 성능 검증 수행 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서							
'24	'25	'26	'27															
50	60	70	현장적용															
100km/h 주행 시 네비게이션 서비스 측위 정밀도	■ 설정방법 : 지하고속도로 내 100km/h 주행 환경에서 네비게이션의 정밀도를 측정 <table><tr><td>'24</td><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>10</td><td>3</td><td>1</td><td>현장적용</td></tr></table> ■ 설정근거 : 초장대·다수 분합류가 존재하는 지하고속도로의 안전·교통 서비스 제공을 위해 필요한 측위 정밀도를 최종목표로 설정	'24	'25	'26	'27	10	3	1	현장적용	□ 측정산식 - $\frac{\sum(\text{실험별 측정 정밀도})}{\text{실험수}}$ □ 측정방법 - 실제 주행 환경에서의 성능 평가 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서							
'24	'25	'26	'27															
10	3	1	현장적용															

공간 디자인 이용자 만족도 확보	■설정방법 :타 기관 고객만족도 조사의 등급분류 기준을 참고하여 목표치로 설정 <table><tr><th>점수</th><th>기준</th></tr><tr><td>90~100</td><td>탁월</td></tr><tr><td>80~90</td><td>우수</td></tr><tr><td>70~80</td><td>보통</td></tr><tr><td>60~70</td><td>미흡</td></tr><tr><td>60점 미만</td><td>불량</td></tr></table> ■설정근거 : '27년은 최종적으로 우수등급을 달성하기 위해 80로 설정	점수	기준	90~100	탁월	80~90	우수	70~80	보통	60~70	미흡	60점 미만	불량	□ 측정산식 :설문조사 대상으로 5점 척도로 조사한 후 100점 만점 기준으로 환산 □ 측정방법 - (측정대상) - (측정방법) 시뮬레이션으로 공간 디자인에 대한 만족도를 리커트 5점 척도의 설문조사로 조사 - (조사내용) 폐쇄감, 피로감 개선 등 - (평정부여 방식) 리커트 5점척도(전혀 그렇지 않다 : 1점, 조금 그렇다 : 2점, 보통: 3점, 그렇다 : 4점, 매우 그렇다 : 5점) □ 측정시기 - (측정기간) 당해연도 1.1 ~ 12.31	설문조사 외부 용역사업을 통한 공간 디자인 이용자 만족도 조사 결과보고서 활용
점수	기준														
90~100	탁월														
80~90	우수														
70~80	보통														
60~70	미흡														
60점 미만	불량														
설계 공정률	■설정방법 : 인프라 설계의 적정성 확보를 위한 설계의 공정률로 '27년 설계 완성을 목표로 설정 ■설정근거 : 목표한 연도까지 전체 설계를 달성하기 위한 당해연도까지의 누적 설계 공정율을 목표로 정함	□ 측정산식 : ((당해년도 설계 누적 달성량)/(전체 설계 목표량))X100 □ 측정방법 - 설계에 대한 정성평가 및 건수 측정 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서												
단위 공정당 굴착거리	■설정방법 : 현재 굴착기술에 대한 전문가평가를 통해 설계의 타당성을 검증하고 관련 기술논문/보고서를 추가로 고려 *전문가: 지반 및 기초 기술사, 발파 전문가 등 검토의견서 3건 제시 ■설정근거 : 전문가평가를 통한 기술 달성 목표 설정	□ 측정산식 : 당해연도 확보의 굴착거리(m)/공정 □ 측정방법 - 당해연도 확보한 기술의 한 굴착거리를 m단위로 측정 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서												

제3절. 사업 구성

1. 사업 구성을 위한 수요조사

□ 기술수요조사 개요

- (목 적) ‘초장대 K-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술개발 사업’ 기획을 위한 세부 연구과제 발굴, 사업추진 당위성 확보
- (대 상) 지하고속도로 관련 산·학·연·관 전문가
- (기 간) 2023년 3월 27일(월) ~ 4월 7일(금) 약 2주간
- (내 용) 기획단계에서 설정된 4개 중점분야에 해당하는 기술로서, 국가연구개발 추진이 필요한 기술 및 연구 사항 조사

□ 조사결과

- (접수현황) 총 40건
 - [구성기술1] 16건, [구성기술2] 13건, [구성기술3] 15건, [기타] 1건
 - * 구성기술 간 중복을 허용

□ 검토사항

- (검토방향) 사업방향, 분과별 방향과 연계성 / 필요성, 실용성, 사업성
 - * 사업추진 및 기술개발 방향에 부합 여부, 국가R&D지원 필요성 등
- (채택여부) 완전채택/미채택/부분채택 결정
 - * 미채택 : 방향성이 맞지 않음, 기 연구된 사항 또는 중복
- (공백기술) 본 기획 완성도·정합성을 위해 공백기술 제안
- (분과위원) 채택된 기술제안자 기술분과위원 추가 섭외 여부
- (과제구성) 사업추진방향, 분과별 연구방향성, 수요조사 검토 결과, 공백기술 추가사항 반영, 분과별 과제구성(안) 도출

□ 구성기술 선정 결과 : 총 40건

○ 구성기술1: 지하고속도로 이용 안전 및 비상 대응 기술 개발

<표 4-3> (구성기술 1) 수요조사 결과 및 채택 결과

번호	제안기술명	제안자 소속	연구비/연구기간	채택여부
1	지하도로 도로교통 정보 수집·점검용 레일기반 AI Multi-Device 개발	(주)내일이엔시	30억 / 4년	미채택
2	지하고속도로 내 실시간 교통 모니터링을 위한 정밀 측위정보 제공 기술	한국도로공사	26억 / 5년	채택
3	지하 고속도로 내 폭발 상황에 따른 콘크리트 구조체의 안정성 평가	전북대학교 산학협력단	10억 / 5년	채택
4	지하 고속도로 내 테러 발생에 따른 터널 라이닝의 안정성 영향 평가	한양대학교	7억 / 4년	미채택
5	지하고속도로용 전기차 충전시설 및 충전인프라 최적화 기술 개발	한국자동차연구원	23억 / 5년	채택
6	지하고속도로용 전기차 충전인프라 최적화 구축 및 관제기술 개발	한국전자기술연구원	20억 / 4년	미채택
7	다중 라이더-열영상 센서 기반의 AI 화재발생 위험 차량 사전 감지 기술	한밭대학교	25억 / 5년	채택
8	터널 상용화 및 유지보수 시 터널 내 공급전력 안정화 기술	인하공업전문대학	7억 / 5년	미채택
9	누설전류 제한 침수조 공법 개발 및 전력 유지관리와 공급의 안정화 기술	(주)비전테크	7억 / 5년	부분채택
10	초장대 대심도 도로터널의 정량적 위험도 평가기술 개발	(주)주성지앤비	6억 / 3년	채택
11	위험차량 감지 및 추적 모니터링 시스템 기술 개발	제이에스시솔루션	30억 / 5년	채택
12	지하고속도로내 친환경차(전기차·수소차) 특성이 고려된 방재시설 검토 및 화재 대응 가이드라인	범창종합기술	50억 / 5년	부분채택
13	지하고속도로내 친환경차(전기차·수소차)에 대한 화재 대응 기술	동일기술공사	15억 / 5년	부분채택
14	친환경차(수소차, 전기차 등), 초장대 터널 등 조건이 고려된 화재시 정량적 위험도 평가(QRA) 기준, 친환경차 화재 대응 방재시설 및 대응 프로세스 개발	신한대학교	12억 / 5년	채택
15	지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 운전자 행태 순응형 교통시스템 적용 기술 개발	(주)포럼에이트코리아	6억 / 4년	채택
16	엣지컴퓨팅을 활용한 실시간 지하고속도로 스마트 교통안전체계 구축	(주)포럼에이트코리아	7억 / 4년	부분채택
17	K-지하고속도로의 효율적인 차량통제를 위한 재난대응형 3-MIX기반 터널진입차단시설 및 도로설계기술 개발	동일기술공사	12억 / 5년	채택
18	극한호우 시 지하고속도로 침수 인명피해 제로화를 위한 분산형 집수·저류공간 창출 및 배수기술 개발	한화건설	9억 / 5년	채택

○ 구성기술2: 지하고속도로 환경 개선 및 편의 향상 기술 개발

<표 4-4> (구성기술 2) 수요조사 결과 및 채택 결과

번호	제안기술명	제안자 소속	연구비/연구기간	채택여부
1	지하고속도로형 전기차 충전시설 및 충전인프라 최적화 기술 개발	한국자동차연구원	23억 / 5년	채택
2	CO2 Capture가 가능한 콘크리트 개발	(주)렉스코	3억 / 2년	미채택
3	미세먼지 저감용 콘크리트 개발	(주)홍지	2억 / 2년	미채택
4	운전 편의성을 향상시켜주는 패턴을 벽면 LED와 조명을 활용하기 위한 VR 가상 시뮬레이션 기술, AR을 활용한 차량 적용 기술 개발	(주)씨앤티인사이드	9억 / 5년	부분채택
5	터널 상용화 및 유지보수 시 터널 내 공급전력 안정화 기술	인하공업전문대학	7억 / 5년	미채택
6	지하고속도로 내 휴게시설(졸음쉼터) 구축 및 이동 인프라 구축 기술	경북대학교	7억 / 5년	부분채택
7	지하고속도로 내 지하 휴게소(졸음쉼터) 구축 및 지상 휴게시설 연결 인프라 구축 기술 개발	한서대학교	9억 / 5년	채택
8	누설전류 제한 침수조 공법 개발 및 전력 유지관리와 공급의 안정화 기술	(주)비전테크	7억 / 5년	부분채택
9	운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 벽면 공간 설계 최적화 기술 개발	홍익대학교	9억 / 5년	부분채택
10	능동형 급·배기 화재연기 배연 시스템을 이용한 지하고속도로 환기구 설치간격 증대 기술 개발	(주)이음이앤지	6억 / 3년	미채택
11	부스터팬을 이용한 수직구 설치간격 증대 기술 개발	(주)주성지앤비	7억 / 3년	채택
12	지하고속도로 내 대기 중 유해물질 저감 및 통합모니터링 시스템 개발	한국건설기술연구원	20억 / 5년	부분채택
13	지하고속도로 내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감/관리 및 모니터링 기술 개발	(주)정담에코텍	20억 / 4년	채택
14	지하고속도로 교통류 실시간 모니터링 기반 Dynamic 차로운영 기술 개발 및 실증	현대건설	15억 / 5년	미채택

○ 구성기술3: 지하고속도로 건설 안전 및 효율 제고 기술 개발

<표 4-5> (구성기술 3) 수요조사 결과 및 채택 결과

번호	제안기술명	제안자 소속	연구비/연구기간	채택여부
1	지하·지상 고속도로간 연결 등 분기부 최적 설계 및 지상·지하 인근 구조물 영향 최소화 기술	(주)유신	25억/5년	미채택
2	가상현실(VR)기반 지하도로 환기 및 방재 담당자 훈련 시스템 개발	(주)포럼에이트 코리아	7억 / 3년	미채택
3	지하고속도로 고속굴착을 위한 부분단면 기계화 시공법 개발	강원대학교	40억 / 4년	미채택
4	부분단면 확폭을 위한 급속동결공법	강원대학교	40억 / 5년	미채택
5	지하고속도로형 전기차 충전시설 및 충전인프라 최적화 기술 개발	한국자동차 연구원	23억 / 5년	채택
6	지하고속도로용 전기차 충전인프라 최적화 구축 및 관제기술 개발	한국전자기술 연구원	20억 / 4년	미채택
7	다양한 암반조건 등을 고려한 최적 지보설계 및 최적 분할 굴착 설계기술	(주)유신	58억 / 5년	부분채택
8	BIM기법을 활용한 여굴 보강량 최적화 산정 및 보강 기술 개발	DTCE	15억 / 5년	미채택
9	굴착버력 신속 처리를 위한 대차 시스템	디피에스글로벌	20억 / 5년	미채택
10	매립형 지능형 IoT-EM 센서 기반 수직구 락볼트 긴장력 실시간 모니터링 시공 기술 개발	성균관대학교 산학협력단	15억 / 5년	부분채택
11	AI 반자동화를 통한 굴착 사이클 향상 버력 처리 시스템 개발	한국건설기술 연구원	22억 / 5년	채택
12	과립형 저진동 폭약을 이용한 도심지 발파공법	엠에스 솔루션 기술사사무소	20억 / 4년	미채택
13	초장대 지하고속도로 급속시공 및 첨단기술 융·복합형 터널발파 시스템 개발	(주)지윤이앤씨	30억 / 5년	채택
14	지상고속도로, 지하고속도로간 최적 연결부 설계 등 설계 특화기술 개발	(주)포럼에이트 코리아	6억 / 4년	부분채택
15	NATM 터널의 굴진장 증가를 위하여 암반 Type에 따른 무지보 가능 굴진장 최대 확보 가능방안 강구(Arch 형상 구조의 터널 막장면 굴착 및 지보시스템 개선)	롯데건설	5억 / 4년	채택

○ 기타 : 양식이 맞지 않거나 분류를 작성하지 않은 경우

<표 4-6> (기타) 수요조사 결과 및 채택 결과

번호	제안기술명	제안자 소속	연구비/연구기간	채택여부
1	K-입체 지하고속도로 환경을 고려한 복합측위 기반 자율주행 흐름 제어 인프라 기술개발	(주)유원지리 정보시스템	1300억 / 5년	미채택

2. 사업 구성

- 본 사업의 최종목표를 달성하기 위해, 핵심 문제/이슈 해결 관점에서 연구개발이 필요한 핵심 기술을 2개 (세부과제)로 구성하고, 핵심기술의 목표 달성 및 최종성과물 완성을 위해 연구개발이 필요한 기술을 4개 세부기술로 구성함

<표 4-7> 핵심기술 및 세부기술

핵심 기술명	목표	세부기술명	목표 성능	최종성과물
지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	화재, 침수, 교통사고 등 재난 대응 및 선제적 재난 방지·관리 기술 및 인프라 확보를 통한 이용자 안전 증대	지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증	2종(수소차, 전기차) 화재 대응 설비	터널 내 재난 대응체계 개발
			규모별(소형/중형/대형 화물 및 수소차량) 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준	
			재난 발생 시 교통차단을 위한 인지 성능 10% 향상 교통차단시설	
		지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증	화재 위험차량 사전 감지 분류 정확도 95%	선제적 재난 방지·관리체계 개발
			200년 빈도 강우 발생 침수에도 인프라 사용성 유지 및 이용자 대피시간 20분 확보	
			대단면 다목적 수직구 수직편차 15~20→5mm/m	
지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	초광역 연결 초장대 지하고속도로 맞춤형 인프라 기술 확보를 통한 이용자 편의성 및 교통·운영 효율 향상	환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증	환기소(수직구) 최소 설치(전차종 7km, 소형차전용 10km) 간격	환기소 최소 대기환경 개선 시스템 개발
			수직구 설치간격 증가에 대응한 단위 공정당 굴착거리 3.0→4.5m/cycle	
			다종 가스상 유해물질 제거율 70%	
		지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증	기존 터널 디자인 대비 공간디자인 이용자 만족도 80%	터널 공간디자인 및 이용자 편의시설 구축
			기존 공법 대비 단면 분할 감소 (9분할→4분할)	
			이용자 편의향상 인프라 설계(안)	

○ (핵심기술1) 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발

- (세부기술 1-1) 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증
 - 친환경차량(전기차량 및 수소차량)을 고려한 지하고속도로(터널) 내 정량적 위험도 평가(QRA) 기준 개발·수립 및 친환경차량 화재시 초기 소화·확산 방지 기술
 - 차량 등 폭발 시 내부 구조물(덕트 슬래브 등) 안정성 검토 시뮬레이션 및 대응 기술
 - 지하고속도로 내 위험상황(화재, 침수, 사고 등)을 고려한 맞춤형 교통처리 및 관리 기술
 - 재난 발생시 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통안전 시설물 고도화 기술
- (세부기술 1-2) 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증
 - 첨단 ICT 기술 기반의 화재 위험차량 통합 대응 시스템(사전 감지, 진입 제한, 터널내 추적 모티터링)
 - 차량(화재위험차량, 사고차량, 과적차량 등) 긴급 배출을 위한 대단면 다목적 수직구 설계·시공 및 안정성 모니터링 기술
 - 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 침수시 안정적 전력 공급 설비(누전사고 및 전력차단 방지 등) 및 분산형 집·배수 기술

○ (핵심기술 2) 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발

- (세부기술 2-1) 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증
 - 수직구 간격 증대를 위한 환기 기준 재정비·설비 고도화 및 수직구 개소수(굴진면) 감소 영향을 고려한 공기지연 최소화 설계·시공기술
 - 지하고속도로 내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감, 관리 및 모니터링 기술
- (세부기술 2-2) 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증
 - 안전하고 효율적인 교통 서비스 제공을 위한 실시간 정밀위치 정보제공 기술
 - 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 지하고속도로 내부 공간(벽면 디자인, 조명, 적정 시 설한계 등) 최적화 설계 기술
 - 지하고속도로 최적화 부대시설(휴게시설, 충전인프라 등) 설계 및 공간 구축을 위한 초대 단면(굴착면적 200m² 이상) 터널 안정성 증대 기술
 - 지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로 안내 및 교통안전시설 설계 기술

제5장. 사업 추진계획

제1절. 사업추진 개요

□ 사업 구성

<표 5-1> 전체 사업 구성(안)

(사업명) 초장대 K-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술 개발 (R&D)				
(사업목표) 초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술 개발				
핵심기술	전략목표	세부기술	예산 (백만원)	
1. 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	화재, 침수, 교통사고 등 재난 대응 및 선제적 재난 방지·관리 기술 및 인프라 확보를 통한 이용자 안전 증대	(1-1) 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증 - 친환경차량(전기차량 및 수소차량)을 고려한 지하고속도로(터널) 내 정량적 위험도 평가(QRA) 기준 개발·수립 및 친환경차량 화재시 초기 소화·확산 방지 기술 - 차량 등 폭발 시 내부 구조물(덕트 슬래브 등) 안정성 검토 시뮬레이션 및 대응 기술 - 지하고속도로 내 위험상황(화재, 침수, 사고 등)을 고려한 맞춤형 교통처리 및 관리 기술 - 재난 발생시 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통안전 시설물 고도화 기술	5,000	11,900
		(1-2) 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증 - 첨단 ICT 기술 기반의 화재 위험차량 통합 대응 시스템(사전 감지, 진입 제한, 터널내 추적 모니터링) - 차량(화재위험차량, 사고차량, 과적차량 등) 긴급 배출을 위한 대단면 다목적 수직구 설계·시공 및 안정성 모니터링 기술 - 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 침수시 안정적 전력 공급 설비(누전사고 및 전력차단 방지 등) 및 분산형 집·배수 기술	6,900	
2. 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	초광역 연결 초장대 지하고속도로 맞춤형 인프라 기술 확보를 통한 이용자 편의성 및 교통·운영 효율 향상	(2-1) 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증 - 수직구 간격 증대를 위한 환기 기준 재정비·설비 고도화 및 수직구 개소수(굴진면) 감소 영향을 고려한 공기지연 최소화 설계·시공기술 - 내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감, 관리 및 모니터링 기술	3,700	10,100
		(2-2) 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증 - 안전하고 효율적인 교통 서비스 제공을 위한 실시간 정밀위치 정보제공 기술 - 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 지하고속도로 내부 공간(벽면 디자인, 조명, 적정 시선헌계 등) 최적화 설계 기술 - 지하고속도로 최적화 부대시설(휴게시설, 충전인프라 등) 설계 및 공간 구축을 위한 초대단면(굴착면적 200m² 이상) 터널 안정성 증대 기술 - 지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술	6,400	

□ 구성기술별 기술개발 로드맵

○ 구성기술 및 세부기술의 단계, 실용화 시점 등을 고려하여 구성기술별 기술개발 로드맵을 작성

		1단계 : 기술 확보 단계			2단계 : 검증, 실증 및 제도화 단계			개발 기술 상용화 및 사업화
		'24.04	'25.01	'26.01	'27.01	'28.01	'28.12	
구성기술		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		주요 최종 성과물 형태
(핵심기술1) 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증		전기차 화재특성 및 화재성장곡선 규명, 수소차 화재 및 폭발 해석기법 도출 친환경차 화재 대응 소화설비, 감시 모니터링 시스템 시작품 제작, 실험 및 설계 소형 화물 폭발시 방폭성능 설계기준(안) 중형 화물 폭발시 방폭성능 설계기준(안) 위험상황별 단계(전·중·후) 진단·평가 알고리즘 개발 위험상황별 교통류 해석 및 교통혼잡 분석 터널 내외부 차량 진입통제 및 우회를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 시작품 제작 및 성능검증		친환경차 특성 고려된 정량적 화재 위험도 평가(QRA) 기법 정립 및 기준화 소화설비-화재 감시 모니터링 시스템 통합 후 유사사업 시범설치를 통한 성능 검증 대형 화물, 수소차량 폭발시 방폭성능 설계기준(안) 위험차량 진입제한, 방폭성능 기준 제도화 위험상황별 맞춤형 교통처리 평가 지표 및 방법론 개발, 현장 적용을 통한 성능 평가 실규모 도로터널 대상 설치 및 성능검증 상용화 시제품 제작 및 매뉴얼 도출			정량적 위험도 평가(QRA) 기준 제품(소화설비), S/W, 시스템 기준, 지침 S/W위험상황 단계 진단·평가 알고리즘) 제품, 시스템
	지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증		첨단 ICT 기술 기반 화재 위험 요인 판단, 내부 추적 모니터링 및 유도기술 개발 및 설계 대단면 다목적 수직구 모놀로 급속 사공장치 설계 시공장치 제작 및 성능 시험 다목적 수직구 용도별 승강장치 연결 구조물 설계 승강장치 연결 구조물 제작 및 고강도 성능시험 분산형 집수·저류 및 배수시설 개념설계 및 최적화 / 지하고속도로 침수시나리오 수립 지하고속도로 침수시에도 정상작동하는 분전반 시작품 제작		장비 제작, 시스템 구축 및 유사사업 시범설치를 통한 성능 검증, 경제성 분석 사공장치 기술 보완 및 시험시공, 웹기반 수직구 유지관리 모니터링 시스템 구축 현장 실증을 통한 기술 검증, 매뉴얼 개발 분산형 집수·저류 및 배수시설 설계·시공 매뉴얼 제작 및 현장 실증 공인시험기관 검증 및 침수 대응 기술 성능 검증 및 현장 실증			장비, S/W, 시스템 시스템, S/W, 공법, 매뉴얼 공법, 매뉴얼 제품, S/W, 시스템
(핵심기술2) 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증		친환경차 조건 반영 지하고속도로 소요환기량 기준, 풍량 불균형 해결을 위한 댐퍼 개도를 최적화 기법 AI기반 3D 터널발파 설계프로그램(S/W) 제작 유해물질 제거용 흡착제 시제품 제작 및 실내 검증 확산 모델링 알고리즘 설계, IoT 기반 센싱 data 통합관리시스템 연계 및 구현	풍도내 부스터팬 상세 설치방안 도출 → 수직구 간격 최대화 설치(안) 터널발파 전문가시스템 구축 및 저소음·저진동 고속굴착 공법/기준(안) 유사현장 시험적용 및 성능평가	모형실험을 통한 기술 검증 현장 실증을 통한 시스템 및 공법 검증 Test Bed 시공 및 경제적 타당성 분석 유해물질 통합관리 모니터링 시스템 구축, 유사현장 적용 및 성능평가			기준, 지침, S/W S/W, 시스템, 공법, 기준 제품(유해물질 저감 설비) S/W, 시스템, 기준
	지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증		정밀 실내 GNSS 위성측위 시제품 제작, 성능시험, 유사현장 실증 및 성능평가 공간(벽면 조명 및 색상·패턴)설계 S/W, VR 터널 가상화 시뮬레이터(S/W, H/W) 제작 지하 휴게공간 설계기술 지하고속도로 충전인프라 기능/성능 기술기준(초안) 변형제어 기반 초대단면 터널 설계 기술 정립	지하-지상 휴게시설 입체연결 인프라 설계기술 FMEA(고장형태 및 영향분석) 수행 → 충전인프라 기능/성능 기술기준(안) 유사현장 적용을 통한 기술 검증 및 보완	성능 평가 결과를 반영한 기술 고도화, 시스템 안정화 및 최종 성능 검증 이용자 만족도 조사 및 운전자 반응 DB 구축 디자인 표준(안) 및 VR 시뮬레이터 고도화 시뮬레이션을 통한 현장 시험적용, 개발 기술의 경제적 타당성 분석, 설계기준(안) 충전인프라 기능/성능 기술기준(안) 전기차 충전인프라 최적 설계(안) 현장 실증, 설계 및 시방기준(안)			장비, S/W, 시스템 H/W, S/W, 기준(표준) 기준, 지침 기준, 최적 설계(안) 기준, 최적 설계(안)

제2절. (핵심기술1) 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발

1. 개요

1) 개념

- 동 기술은 초장대, 대심도 특성을 갖는 지하고속도로 이용자의 안전한 교통서비스를 제공하기 위해 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증과 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증



[그림 5-1] 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발 개념도

2) 범위

- 지하고속도로 및 친환경차(수소차, 전기차 등) 조건에서의 화재 위험이 고려된 정량적 위험도 평가(QRA) 기법 및 화재 대응 기술 개발
 - 친환경차량의 사고(화재 및 폭발) 시나리오 및 인명피해와 경제적 피해 추정 방법 도출
 - 친환경차 사고 및 주요 방재시설(소화, 제연 및 피난대피설비) 설치에 따른 QRA 기준 제시
 - 친환경차 사고 시 현장 상황(열폭주, 수소 누출, 제트화염, 폭발 여부 등) 모니터링 시스템, 신속 대응 가능 원격 소화 기술 개발 및 화재 대응 프로세스 수립
- 지하고속도로 내 이동체 등 폭발 상황에 따른 슬래브 구조물 안정성 확보 기술 개발
 - 축소규모 실험 및 시뮬레이션 기반 폭발 시나리오별 슬래브 구조물(복층터널, (반)횡류식 환기 터널 등)별 취약 구간, 손상 유무, 파쇄 범위 등 폭발 영향 분석 및 폭발 대응 설계안 도출
 - 극한 상황을 고려한 지하고속도로 내 재난 상황 사전 방지를 위한 차량 진입 제어 관련 기준/가이드라인 검토
- 지하고속도로 내 위험상황을 고려한 교통혼잡 완화 및 교통 모니터링 기술 개발
 - 위험상황 발생 시 최적 교통처리 전략 수립 및 교통혼잡 완화 기술 개발
 - 위험상황 발생 시 맞춤형 교통 모니터링 기술 개발

- 재난 발생시 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통안전 시설물 고도화 기술 개발
 - 인지효율 증대하기 위한 물리적, 시각적, 청각적인 요소를 고려하여 초기 인지 및 대응이 가능한 터널진입차단기술 정립
 - 터널 내 분기부 및 합류부 차량 긴급 우회를 할 수 있는 상황별 터널진입차단 시설 시나리오별, 변관 방재시설 자동제어 기술 정립
 - 화재위험 및 터널 주행 차량이 효율적인 교통제어를 위한 다양한 인자(차량속도, 인지 및 제동 거리 등)를 고려한 터널내외부 교통안전시설 도로 설계기준 정립
- 지하고속도로 화재발생 위험차량 사전 감지, 진입 제한, 추적 모니터링 및 배출 유도 기술 개발
 - 라이다 및 열화상 등 다중 센서 이용 차량 온도 검사 장치 및 AI기반 위험성 판단 SW 개발
 - 화재 위험 차량 검사 시스템 및 내부 추적 모니터링 기술 판정에 따른 실시간 내부 차량 진입 제한·운행 정지·배출 유도 기술 개발
- 차량을 긴급배출할 수 있는 대단면 다목적 수직구 설계·시공 및 안정성 모니터링 기술
 - 락볼트 긴장력 모니터링을 통한 장기거동 특성 분석 및 이를 고려한 체계적인 품질관리와 효율적인 유지관리가 가능한 실시간 모니터링 기술
 - 수직구 현장타설 공법 대비 시공시간 단축 가능한 대단면 다목적 수직구 설계·시공 공법 개발
 - 지상구간 환경 개선(수직구 설치 간격 최대화) 및 이용자 편의시설 확보를 위한 대단면 다목적 수직구의 안전한 구축 기술
 - 대단면 다목적 수직구 시공 및 수직편차 최소화 구축기술
- 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 침수시 안정적 전력 공급설비 및 분산형 집·배수 기술
 - 극한호우 조건, 지하고속도로 기하조건, 유입부 침수심 조건, 교통조건 변화에 따른 지하고속도로 침수시나리오 수립, 침수위험도 평가기준 제시 및 Emergency Action Plan 개발
 - 예측불가의 이머전시(Emergency) 극한호우 발령으로 인해 지하고속도로로 유입되는 강우로 인한 침수에 긴급 대응하면서 인명 피해를 막고 지하고속도로 진입차량의 탈출 시간을 확보하기 위한 분산형 집수·저류공간 및 신속배수 시설 조성기술 개발
 - 극한호우 조건에 따른 침수량상 분석을 통해 지하고속도로로 진입된 차량의 침수를 원천적으로 막기 위한 중·소규모의 지하집수·저류공간의 위치와 규모의 설정이 중요하며 이들 공간과 연결되는 배수시설의 조성방법 등 관련 설계 및 시공 매뉴얼 개발
 - 지하고속도로 및 전력시설 조건에서 습기, 누수, 침수, 결로 현상등으로 발생하는 전기 화재, 전기 감전등의 정량적 위험도 평가(QRA) 기법 및 재난안전(화재,감전) 대응기술

2. 국내외 관련 동향

(1) 시장 동향

□ 지하 교통 인프라 시장 동향

- 전 세계적으로 도심지 혼잡화 및 이동 시간 지연 등을 최소화하기 위한 지하 교통 인프라 증가
 - 최근 세계 터널 건설 시장에 대한 연구 결과에 따르면 '22년 세계 터널 건설 시장의 가치는 약 USD 890억 달러 (USD 88648.3 million)에 달했으며, '28년까지 약 1400억 달러(USD 135934 million)을 달성할 것으로 전망(CAGR: 7.56%)(출처: Global Tunnel Construction Market Research Report 2023)
 - '18년 인구 1,000만명 이상, 총 인구 5억명 이상의 메가시티는 33곳으로, '30년까지 전 세계 인구의 60%가 도심지에 거주할 것으로 추정, 500만명 이상의 인구를 가진 도시가 100개

이상이 될 것으로 예상되며, 이러한 도시의 성장 추세는 지속될 것으로 전망

- 도심지의 혼잡화 및 이동 시간 지연 등을 최소화하기 위해 더 효율적인 교통 인프라 확충이 필요하며, 포화된 지상공간으로 인해 지하공간을 활용한 교통 인프라 수요는 지속적으로 증가할 것으로 전망

<표 5-2> 국외 주요 지하도로 사업 및 투자 규모

사업 시행 국가	사업명	투자 규모
미국	The Central Artery/Tunnel Project(Big-Dig Project)	\$15 billion
	Alaskan way Viaduct and Seawall Replacement Project	\$2 billion
싱가포르	Kallang / Paya Lebar Expressway Proejct	\$100 million
스웨덴	Södra Länken	\$77 million
스페인	M30 South Project(By-pass Sur)	€ 429 million
프랑스	A86 West Project	€ 223 million

- '21년 기준, 전체 35개의 터널 중 14개의 터널이 중국에서 운영 중이며, 6개의 터널이 노르웨이에서 운영 중

<표 5-3> 연장 10km 이상의 해외 도로터널 현황

순번	국가	터널명	튜브수	연장(km)	개통년도
1	노르웨이	Lærdal	1	24.51	2000
2	일본	YamateTunnel	2	18.2	2015
3	중국	ZhongnanshanTunnel	2	18.04	2007
4	중국	Jinpingshan	2	17.54	2011
5	스위스	St.Gotthard	1	16.918	1980
6	중국	Tiantaishan	2	15.56	2021
7	노르웨이	Ryfylketunnel	2	14.459	2019
8	터키	MountOvitTunnel	2	14.346	2018
9	오스트리아	Arlberg	1	13.972	1978
10	중국	Micangshan	2	13.833	2018
11	중국	Xishan	2	13.654	2012
12	중국	Erlangshan	2	13.433	2017
13	중국	Shiziping	2	13.156	2020
14	중국	Hongtiguang	2	13.122	2013
15	대만	Hsuehshan	2	12.942	2006
16	프랑스-이탈리아	Fréjus	1	12.895	1980
17	싱가포르	KPE&MCEExpresswayTunnel	1	12.46	2013
18	중국	Maijishan	2	12.29	2009
19	프랑스-이탈리아	Mt.Blanc	1	11.611	1965
20	중국	Laoying	2	11.515	2021
21	노르웨이	Gudvangen	1	11.428	1991
22	중국	Yunshan	2	11.408	2014
23	페로스 제도	Eysturoyartunnlin	1	11.24	2020
24	중국	Baojiashan	2	11.2	2009
25	일본	Kan-EtsuTunnel	2	11.055	1985
26	노르웨이	Folgefonna	1	11.15	2001
28	노르웨이	Toven	1	10.655	2014
29	중국	BaotashanTunnel	2	10.48	2012
30	이탈리아	GranSassod'Italia	2	10.176	1984
31	오스트리아	PlabutschTunnel	2	10.085	1987
32	일본	Hida	1	10.71	2008
33	중국	NibashanTunnel	2	10.007	2012
34	노르웨이	JondalTunnel	1	10.05	2012
35	프랑스	Duplex	1	10	2011

- 국내의 경우 도심을 주변으로 지상부 포화와 교통 혼잡 해소를 위해 지하공간을 이용한 도로 교통 인프라 관련 예산 편성 중
- '17년 도로 터널은 총 2,382개소에서 '21년 3,645개소로 약 53% 증가, 총 연장은 1,811km에서 2,452km로 35.37% 증가하였으며 지속적인 증가 양상을 보일 것으로 추정(출처: 국토교통부)
 - '14년부터 '18년까지 5년간 국내 지하공간 개발에 정부가 투자한 총 연구개발비 규모는 3,300억 원으로 정부 연구개발 이자 총액의 0.35% 수준
 - '18년 지하공간개발 관련 과제 예산은 681억 원으로 5년간 연평균 2.6% 증가
 - 지하공간개발기술 관련 투자는 국토부 비중이 가장 높고('18년 기준 42.9%) 전반적으로 증가 추세이나 대형과제 투자현황 변화로 2018년 투자는 전년대비 4.3% 감소함
 - 국토교통부는 '14년 188억 → '16년 202억 → '18년 292억 (연평균 11.5% 증가)
 - 과기정통부는 지하공간에 적용할 수 있는 ICT 기술을 개발하였고, 환경부는 환경관리 기술을 개발하였으나 최근 5년간 투자가 감소함(과학기술부△7.3%, 환경부△19.8%)

<표 5-4> 지하공간 개발 관련 정부 R&D 투자규모

(단위: 백만원, %)

부처별 과제 금액	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	합계
국토교통부	18,916	21,855	19,972	30,534	29,210	120,487
과학기술정보통신부	20,043	16,298	21,989	22,881	14,821	96,032
환경부	9,219	8,631	9,838	6,030	3,810	37,526
산업통상자원부	7,833	7,352	4,621	8,262	8,647	36,715
중소벤처기업부	2,878	3,362	2,447	2,395	3,796	14,877
국민안전처	910	2,775	3,270	-	-	6,955
교육부	597	531	617	820	1,923	4,488
소방청	-	-	-	2,953	1,150	4,103
기상청	46	49	63	152	3,100	3,410
농촌진흥청	367	340	372	460	955	2,494
농림축산식품부	170	263	137	288	396	1,254
해양수산부	148	100	200	200	180	828
국무조정실	181	100	-	-	139	420
식품의약품안전처/ 산림청/문화재청	139	50	50	200	-	439
합계 (총 연구개발비 대비 비중)	61,446 (0.35%)	61,705 (0.33%)	63,575 (0.33%)	75,175 (0.39%)	68,126 (0.34%)	330,028 (0.35%)

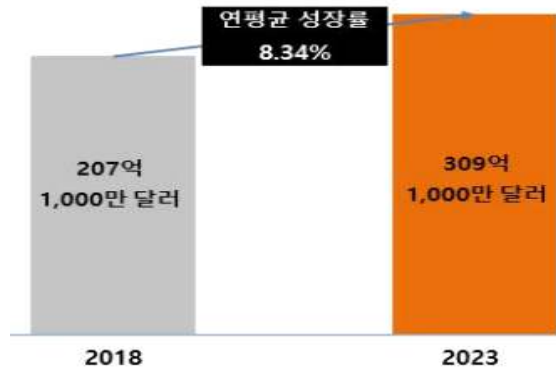
- 지하고속도로 건설 사업을 지속적으로 진행하고 있으며, 최근 개통한 노선을 비롯하여 지하도로 건설계획 수립 중

<표 5-5> 국내 주요 지하도로 사업 및 투자 규모

노선명	투자 규모(백억 원)	진행상황
서부간선지하도로	52.8	준공
신월여의지하차도	28.1	준공
사상~해운대 지하고속도로	201.9	우선협상대상자 지정
경인지하고속도로	208.6	예비타당성조사 중
경부고속도로 화성~서울 구간 지하고속도로	384.4	예비타당성조사 중

□ 교통제어기술 시장

- 터널의 교통제어기술(Traffic control technology)시장은 기존업계와 더불어 많은 신형업계의 등장으로 인해 경쟁이 치열함
- 기본적으로 지능형교통체계를 갖추고 있으며, 교통관리시장은 전 세계적으로 '18년 207억 1,000만 달러에서 연평균 성장률 8.34%로 증가하여,'23년에는 309억 1,000만 달러에 이를 것으로 전망됨



[그림 5-2] 전 세계 교통관리시장 동향

출처: Technavio, Global Integrated Traffic Systems Market(2020)

- 지역시장 측면에서 아시아-태평양 지역은 도시화 증가, 도로터널 수 증가, 보다 효율적인 교통 관리 및 안전 조치의 필요성으로 인해 터널교통제어 기술시장에서 상당한 성장을 경험할 것으로 예상됨
- Markets and Markets의 보고서에 따르면 터널 모니터링 및 제어 시스템의 세계 시장은 '19년부터 '24년까지 연평균 8.12% 성장할 것으로 예상하였음
- 교통제어에 핵심적인 지능형교통체계(Intelligent Transport System, ITS)는 국내에 경우, 1999년도에 '국가교통체계 효율화법' 제정 이후 활발히 진행됨



[그림 5-3] 한국 ITS 시장 규모

출처: 한국지능형교통체계협회 공공지원센터 2023

□ 교통차단시설 및 도로설계기술 관련 시장동향

- 국내에서는 지하 교통인프라 시장 규모가 점진적으로 증가하고 있으며 터널의 장대화로 이에 대한 터널 방재등급이 높아(2등급 이상)지고 있으며, 방재 지침에 따른 방재시설(교통차단시설 포함) 설치요구가 증대되고 있어 교통차단시설등의 방재시설 시장규모 역시 증가되고 있는 추세

□ 이동체 개발 및 교통 인프라 구축 기술의 첨단화에도 지속적 사고 발생

- 전기차, 수소차, 자율 주행차 등 이동체의 급격한 발전에도 불구하고 운전자의 부주의로 인한 사고는 지속적으로 발생되고 있으며, 첨단 기술 기반의 이동체 개발로 전기차 배터리 화재 등 새로운 형태의 위험 요인 증가

- 터널 구조물의 설계, 시공, 운영 및 유지관리 기술 등 다양한 분야의 급속한 기술개발로 이용자의 편의 및 안전 확보가 지속적으로 개선되고 있으나, 새로운 형태의 터널 구조물과 지속적인 사고 등으로 인한 터널에서의 안전 확보에 대한 시장은 지속적으로 증가할 것으로 전망

□ 누전사고 및 전력차단 방지 시장

- 기후변화로 인한 극한호우 발생빈도 증가와 함께 인구 및 주요 기반시설이 밀집된 도시화 특성에 따라 대규모의 도시침수 피해가 발생하고 있고, 그에 따라 침수 피해를 저감 시키거나 저감능력을 갖춘 인프라 필요성이 대두되고 있음
- 22년8월 수도권 침수사태시 신월대심도 빗물터널의 유효성이 재조명 되었고, 서울 상습 침수구역에 대한 빗물터널 건설이 재추진되고 있음
- 오송지하차도 참사를 계기로 지하차도 또는 지하도로의 침수 대응을 위한 관련 정책 및 기술이 활발히 연구되고 있고 많은 투자가 이뤄질 것으로 판단됨

(2) 산업 동향

□ 지하 교통 인프라 산업 동향

- 미국, 유럽 등에서는 지상 도로교통 혼잡을 완화하고, 지상 공간의 창출을 위해 도심부의 도로를 지하화하는 사업을 진행 및 완공
 - 미국 보스턴에서는 The Central Artery/Tunnel Project, 일명 빅딕(Big-Dig) 프로젝트를 진행하여 고가도로를 철거하고 지하도로를 건설



(a) 프로젝트 개요



(b) 프로젝트 전



(c) 프로젝트 후

[그림 5-4] 보스턴 빅딕 프로젝트

- 미국 시애틀에서는 도로주변 환경 피해와 교통흐름 저해 방지를 위해 Alaskan way Viaduct and Seawell Replacement 프로젝트를 수행하였으며, 이를 통해 지하터널을 건설



[그림 5-5] 미국 시애틀 Alaskan 프로젝트

- 스페인의 마드리드M30 도로는 교통체증과 교통사고를 예방하기 위해 건설

- 일당 약 20만 대의 차량에서 내뿜는 오염물질의 90%를 제거
- 향후 30년간 7억 8백만 통행시간 단축, 교통사고 발생률 약 45% 감소, 1백만㎡ 이상의 공원 부지를 창출할 것으로 기대



[그림 5-6] 스페인 마드리드M30 도로

- 말레이시아는 쿠알라룸푸르에서 Stormwater Management And Road Tunnel(SMART) 프로젝트를 진행하였으며, 이를 통해 홍수 피해 방지와 급증하는 교통량을 해결할 수 있는 다용도 지하터널을 건설
 - 재해 정도에 따라 모드를 3가지로 구분하여 운영
 - 모드1: 평상시
 - 모드2: 보통 수준의 홍수 발생 시
 - 모드3: 대규모 홍수 발생 시



(a) 도로 굴착 현황



(b) 지하도로-하수터널 이중 구조

[그림 5-7] 말레이시아 쿠알라룸푸르의 SMART

- 영국은 런던의 실버타운지역과 그리니치 지역을 연결하는 지하터널 사업을 착수하였으며, 영국에서 가장 큰 도로 터널이 될 것으로 전망
 - 2.4마일의 왕복 6차로 자동차터널을 건설할 계획

□ 교통제어 기술 산업 동향

- 교통제어 기술 분야는 도시와 교통 기관이 안전을 개선하고 혼잡을 줄이며 이동성을 향상시키려고 노력함에 따라 빠르게 발전하고 있음
- 글로벌 ITS는 2023년 약 478억 달러에서 2028년까지 672억 달러에 달할 것으로 예상되며, 2023년부터 2028년까지 연평균 7% 성장할 것임 (출처: Intelligent Transportation System Market : Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trend, and Forecast 2019-2027)
 - 지능형 교통 시스템(ITS): 센서, 카메라, 통신 네트워크와 같은 기술을 사용하여 교통 흐름을 개선하고 혼잡을 줄이는 고급 시스템임. ITS에는 차량이 서로 통신하고 교통 인프라와 통신하여 안전성과 효율성을 향상시키는 커넥티드 차량 기술도 포함됨
 - 데이터 기반 교통 관리: 교통 통제 시스템은 교통 흐름에 대한 실시간 결정을 내리기 위해 점점 더 데이터에 의존하고 있음. 데이터는 교통 센서, 카메라 및 모바일 장치와 같은 소스에서 가져올 수 있으며 교통 신호 타이밍, 차선 폐쇄 및 기타 교통 관리 전략에 대한 결정을 알리는 데 사용됨

- 인공 지능(AI) 사용: AI 기반 교통 제어 시스템은 교통 상황을 실시간으로 모니터링하고 교통 관리에 대한 지능적인 의사결정이 가능함(예: AI는 교통 신호를 최적화하여 원활한 교통 흐름을 보장하고 혼잡을 줄일 수 있음)
- 전 세계 교통 관리 시장에서 주요 기업은 Cisco(미국), IBM(미국), Siemens(독일), SWARCO(오스트리아), Kapsch TrafficCom(오스트리아) 등이 있음

□ 교통차단시설 및 도로설계기술 관련 산업동향

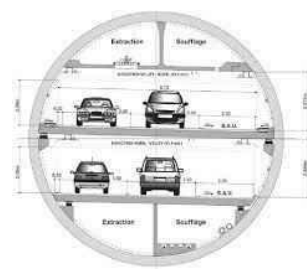
- 국내에서는 첨단 지하 교통인프라 구축을 통하여 도심지 극심한 교통정체에 따른 다양한 사회적 손실(교통혼잡비용 등)에 대한 해결을 목적으로 대규모 지하공간을 활용한 교통인프라 산업은 지속적으로 추진(재정사업, 민자사업 등)하고 있어, 이러한 인프라 구축에 따른 방재시설(교통 차단시설 포함) 및 방재(화재, 침수등)안전 도로설계가 요구되고 있음

□ 다목적 터널 산업 동향

- 전 세계적으로 교통 혼잡 해소 및 지하 공간의 효율적 활용을 위해 다목적 터널 건설 시공 사례 증가
 - 지하 교통 인프라 건설로 인한 지반함몰 등 지상부 영향 최소화, 도심 지하공간 이용 경제성 및 효율 극대화, 단면 효율화, 시공/유지비용의 절감 등을 위해 복층형 터널 시공 사례 증가
 - 프랑스 파리 A86 터널, 스페인 마드리드 M30 터널, 말레이시아 SMART 터널, 터키 이스탄불 Strait 터널, 미국 시애틀 Alaskan Way 터널, 중국 Fuxing Donglu Road 터널 등 다목적 활용을 위한 복층터널 적용 사례 다수
 - 프랑스 파리의 외곽 순환도로 듀플렉스 A86는 대규모 녹지와 베르사유 궁전 인근 역사 유적지등 주변 문화재의 보존을 위해 대형차와 소형차의 화재 강도를 고려하여 복층으로 설계
 - 국내의 경우 복층 터널 연구단을 통해 시공 기술, 환기 및 화재 안전 설계 기술 등에 대한 연구 개발 완료단계이며, 아직 복층터널의 적용 사례가 없으나, 이수-과천 복합터널이 올해 하반기 착공 예정으로 우리나라 최초 다목적 터널 출현 예정



(a) 듀플렉스A86 입구부

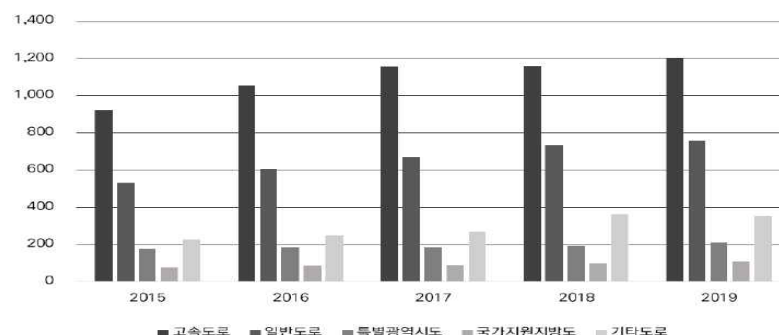


(b) 듀플렉스A86 횡단면

[그림 5-8] 프랑스 파리 듀플렉스A86

□ 국내 도로 터널 산업 동향

- 국내 도로터널 수는 '15년부터 '19년 까지 지속적으로 증가하고 있으며, '19년 12월 기준 2,641개소(튜브 수 기준)가 건설됨



[그림 5-9] 국내 도로 종류에 따른 터널 수 변화 추이

- 최근 국내에서는 도로관련 법정계획에서 지하도로 구축을 도로관련 연구의 핵심기술로 선정하는 등 지하도로에 관해 관심이 커지고 있으며, 그에 따라 지하도로 관련 사업을 진행
 - 서울특별시에 위치하는 서부간선도로는 최근 왕복 4차로, 연장 10.33km의 장대 터널로 개통
 - 서부간선도로의 상습적 정체 문제, 인근 주민들의 소음 및 환경문제를 해결하고자 계획



(a) 서부간선지하도로 노선도



(b) 서부간선지하도로 내부 모습

[그림 5-10] 서부간선지하도로

- 지하도로 외에도 지하도로와 유사한 주행환경을 갖는 장대터널도 건설되었으며, 그 대표적인 예로 충청남도 보령시에는 보령시 대천항과 오천면 원산도를 잇는 국내 최장터널이 최근 개통



(a) 보령 해저터널 노선도



(a) 보령 해저터널 내부 모습

[그림 5-11] 보령 해저터널(총 연장 6,927m)

□ 친환경차 산업 동향

- 친환경 정책 「수소 경제 활성화 로드맵(2019, 정부)」 및 「제1차 수소경제 이행 기본계획(2021, 산업통상자원부)」을 통해 '50년까지 수소자동차 500만 대 이상 보급 전망
 - 수소경제 활성화 로드맵 발표('19.1) 이후 최근 3년간('18~'21) 수소차 보급 규모 17배 성장
 - 차종 다양화 및 생산능력(승용차 연10만대, 상용차 연2천대) 확보를 통한 보급 확대 추진



[그림 5-12] 수소연료전지자동차(FCEV) 보급 전망 및 증가 추세(산업통상자원부, 2021)

- '20년 전 세계 전기차 누적 보급대수는 전년 대비 43% 증가하여 1천만 대를 웃돌았으며, 現정책 유지 시나리오(Stated Policies Scenario, STEPS)에서는 '30년까지 전 세계 전기차 보급대수가 연간 30% 성장하여, '30년 누적 보급대수가 1억 4,500만 대에 달할 것으로 전망
- 지속가능개발 시나리오(Sustainable Development Scenario, SDS)에서는 전 세계 전기차 누적 보급대수가 '25년에 7,000만 대, '30년에는 2억 3,000만 대에 달해 총 자동차 보급대수의 12%를 차지할 것으로 전망
 - 유럽의 경우 '35년부터는 내연기관 자동차를 판매 금지하는 등, 친환경 자동차가 확실한 미래의 이동수단으로 자리 잡았음



출처 : 국토교통부 보도자료(2022)

[그림 5-13] 국내 친환경차량 증가 추이 및 전체 차량대비 비중

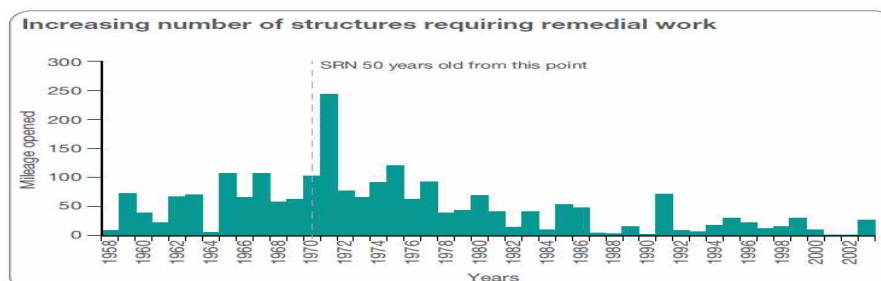
□ 누전사고 및 전략차단 방지 산업

- 도심지 내 빗물 터널 관련 설계 및 시공분야에 대한 연구는 활발히 진행되고 있음
 - 선진 6개국(독일, 일본, 미국, 캐나다, 이탈리아, 중국) 정도만 TBM 설계, 제작 원천기술 및 노하우 확보하고 성능을 고도화 하고 있음
 - 일본은 2000년대 후반부터 지하방수로 대심도 터널 유입구에 대한 설계 및 공기트랩에 대한 연구 수행, 도쿄 대심도 터널에도 압력 조절을 위한 설비 설계

(3) 정책 동향

□ 지하 교통 인프라 정책 동향

- 영국은 전략도로망(Strategic Road Network, SRN) 개발에 필요한 중장기계획과 투자재원 확보를 위한 계획을 수립하였으며, '20~'25년 동안 약 12억 파운드의 예산을 투자할 도로부문 분야를 제시
 - 도로부문 투자 예산에 지하도로를 비롯한 도로시설의 유지관리 및 교체에 관한 내용도 포함
 - 교량, 지하도로, 옹벽 등의 구조물의 개선
 - 도로시설물의 생애주기에 맞춰 광범위한 개선 작업 수행
 - 도로 안전시설물의 효과가 유효하도록 교체 및 관리
 - 노면상태가 불량한 포장재 교체



[그림 5-14] 연도별 설치된 도로시설 연장 추이

- 일본은 '01년 시행된 「대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법」을 통해 지하구조물 건설 기술의 혁신을 촉진하였고, 중앙정부 차원의 '지하의 공공적 이용 기본계획'을 근거로 개별 지방자치단체 '지하이용 가이드플랜'을 규정
 - 도쿄 지역에서는 지하의 보행도로·차도·철도 및 기반시설 간 조정을 도모하고, 오사카 지역에서는 역사 주변지구 지하이용기본계획을 수립
 - 지하공간이용의 배경 및 필요성, 지하이용계획의 필요성과 방향, 지하공간의 층별 이용원칙, 지하이용계획지구 선정 등 내용 포함
- 싱가포르는 '지하공간 활용에 대한 기본정책 방향('18~'30)'을 제시하고, '중기 도시개발기본계획'에 종합적인 지하공간개발 계획을 포함
 - 저심도 지하공간은 시민들의 활동 및 지상과의 연결망 확충을 위해 활용하며, 고심도 지하 공간은 저장·물류 등 사회기반시설을 설치하기 위한 장소로 활용할 것을 명시
 - '19년까지 중기계획에 따른 모의개발지역과 해당 지역의 지하공간 3차원 청사진을 제시하고, 정부 주도로 약 20만km²의 "Underground Science City"를 구성

□ 교통차단시설 및 도로설계기술 관련 산업동향

- 국내에서 교통차단시설에 대해서는 터널의 진출입을 막는 경보설비로서 정보표지판 형태의 '터널 진입차단시설'로 규정되어 있음
- 국내외 지침을 조사한 결과 국내에서는 터널진입차단시설 설치기준은 방재등급 기준으로 방재 2등급 및 터널 전방 500m이내와 합류되는 분기터널 100m이내로 설치규정이 되어 있으며, 국외지침은 특별한 설치기준은 없는 것으로 조사됨

<표 5-6> 터널진입차단시설 주요지침

방재시설 방재지침	국토부 지침('21.12.)		한국도로공사		서울시 소방재난본부 지하시설물('21. 9.)	
	등급	설치기준	등급	설치기준	등급	설치기준
진입차단설비	방재 2등급	터널 전방 : 500m 이내 (일반, 소형차) 합류되는 분기터널 : 100m이내 (소형차)	연장/방재 2등급	지침	방재 2등급	-

- 화재위험이 높은 차량이 터널에 진입할 경우, 화재위험차량 사전 감지 모니터링 기술을 통하여 비상주차대 등과 같이 긴급제동을 위한 공간적인 설계기술이 요구되나, 국내외적으로 아직까지 다양한 위험시나리오에 대한 세부적인 도로터널 설계기준 및 구는 아직까지 없는 것으로 조사
- 또한, 지침상에서도 긴급제동을 위한 비상주차대의 경우 방재등급 및 터널 입구로부터의 설치거리 정도만 제시하고 있으며 국외에서는 입출구 필요시에만 설치를 하는 형태로 다양한 화재 발생 시나리오에 따른 해당 시설의 세부적인 연구 및 상세 지침 제시는 없는 것으로 조사
- 현재 국내에서는 터널 진입전 화재차량의 터널 진입 방지 및 긴급 제동을 통하여 본선차로에서 벗어날 수 있는 비상주차대가 없는 상황이며, 터널 내부에만 750m간격으로 설치되어 있는 상황

<표 5-7 > 비상주차대 주요지침 (국내)

방재시설 방재지침	국토부 지침('21.12.)		한국도로공사		서울시 소방재난본부 지하시설물('21. 9.)	
	등급	설치기준	등급	설치기준	등급	설치기준
비상주차대	방재 2등급	길어깨, 대면 양측 750m 간격 (비상차로, 3차로 설치시 생략)	연장/방재 2등급	지침	방재 2등급	지침 (추가:소화기설치)

<표 5-8> 비상주차대 주요지침 (국외)

방재시설 방재지침	해외사례							
	프랑스(2000)		독일(2002)		일본(1998)		영국(1998)	
	연장	설치기준	연장	설치기준	연장	설치기준	연장	설치기준
비상주차대	-	입출구	-	-	-	-	필요시 입출구 부	-



[그림 5-15] 터널입구(좌) 터널 내부 비상주차대(우)

□ 교통제어 정책 동향

- 인구증가와 더불어 도시화가 빠르게 진행 중인 동아시아 국가의 지하 도로 및 터널 비용은 특정 프로젝트 및 위치에 따라 상이하나, 일반적으로 지하도로 및 터널 건설은 막대한 자원을 필요로 하는 주요 인프라 투자임
- EU는 경제성장, 경쟁력 및 사회적 결속을 촉진하는 데 있어 교통인프라 개발을 핵심 우선순위이며, 이를 위해 터널 또는 지하도로는 교통혼잡을 줄이고 이동성을 개선할 수 있는 잠재적 솔루션으로 고려됨
 - EU가 자금을 지원하는 SMARTI ETN 프로젝트는 지하도를 포함한 지하 교통시스템을 위한 새로운 기술과 혁신을 모색하고 있음 (European Commission 2017)
 - 연구개발 외에도 EU는 TEN-T(Trans-European Transport Network) 프로그램을 통해 지하도로 건설 및 기타 교통인프라 프로젝트를 위한 자금을 지원함
- 미국은 교통사고와 도로정체 해소 방안으로 정부주도하에 ITS 관련 프로젝트 추진하는데, 이미 1991년부터 육상교통효율화법을 통해 83개의 시범사업 수행함
- 2003년 대규모 ITS 프로젝트인 VII(Vehicle Infrastructure Integration)를 시작으로, 2020년까지 Connected Vehicle의 상용화 목표를 설정함 [출처: SPRI, 2016]
 - 차량과 운전자의 안정성 및 이동성, 환경개선 등을 목적으로 V2X(7) 통신시스템 및 인프라를 구축
 - 미국 내 6개의 테스트베드에서 운전자 clinic을 수행하며 V2X 서비스에 대한 실효성 검증

□ 국내 지하도로 관련 정책 동향

- 우리나라에서는 인프라의 효율적 운영과 국토 지능화 및 대도시권 혼잡 해소 방안으로 지하도로 신설을 지속적으로 검토 중
- 최근 수립된 「제2차 국가도로망 종합계획(’21~’30)」에서는 도로관련 연구 및 기술개발의 핵심 기술로 지하도로에 관련된 내용을 포함

분야	핵심기술(안)
안전한 도로	• 스마트 도로 안전 모니터링 및 사고 저감 시스템
	• 초대형 재난대응 도로 운영 및 신속복구 시스템
편리한 도로	• 지상-지하 연계 입체적 도로망 구축 및 운영
	• 도심지 초고속 지하도로 구축
경제적 도로	• 디지털 트윈 기반 도로 유지관리 기술
	• 차세대 맞춤형 프리캐스트 기반 포장 기술
친환경 도로	• 스마트 에너지 생산 및 실시간 고속 전기차량 충전 인프라
	• 거주 친화적 도로환경 조성기술

- 국토부에서는 “헌 정부 120대 국정과제”와 “국토부 2023 주요업무 추진계획” 등을 수립하여 지하고속도로 사업을 추진을 시사하며, “지하도로 설계지침(2023) 개정으로 본격적인 지하도로 사업에 앞서 기준을 강화
 - “헌 정부 120대 국정과제”에 수립된 30분 출퇴근 시대 실천과제를 위해 경부·경인 지하 고속도로 예비타당성조사 착수를 추진
 - “국토부 2023 주요업무 추진계획” 내 국토의 입체적 개발을 통한 국가 경쟁력 제고를 위한 2조 856억원 규모의 경인고속도로 지하화 사업을 추진 중
 - “지하도로 설계지침(2023)” 개정안은 100km/h에 적합한 터널 단면을 규정, 주행 안전성 향상을 위한 도로선형 기준강화, 도로의 안전시설 등 부대시설 기준 제시, 수해·화재 대비 방재시설 설치기준 강화를 위한 주요 규정을 포함
- 우리나라에서는 지하도로 관련 규칙과 특별법을 지정하여, 지하도로 관련 안전규정과 시설설치 등의 기준을 마련 중
 - 중앙·지방 정부는 “지하안전관리에 관한 특별법”에 따라 지하안전관리에 관한 기본계획 및 관리계획을 수립하고 각 지역 실정에 맞는 지하안전관리계획을 수립·시행할 계획
 - “지하도로시설기준에 관한 규칙”은 “도시계획시설기준에관한규칙”제 15조의 2의 규정에 따라 지하도로의 설치가 필요한 지역 및 위치와 지하도로의 구조 및 설치 등에 관한 사항 정립

□ 터널 내 화재 사고 등 정책 동향

- 전 세계적으로 초장대 터널 내 화재 등에 대한 사고에 대응하기 위한 기준 마련
 - 국제철도연맹(UIC)는 철도 기반시설의 관리 및 운영에 대한 안전수칙 등을 UIC-779-9R (Safety in railway tunnels, 2002)로 제시하고 있으며, UN/ECE에서는 도로에서 뿐만 아니라 철도터널에서도 안전규제기준이 필요하다는 인식하에 '03년에 일련의 국제적 권장사항 제정, 이후 EU-TSI에서 '05년에 UN/ECE 회원국들에서 권장사항의 실무적인 대책 중에서 선택해야 만하는 구체적인 업무지침을 규정, 우리나라의 방재 기준은 위에 언급된 UIC-779-9R, UN/ECE, EU-TSI 내용을 참조
 - 우리나라는 대심도·하저터널 등 고위험도 터널 설계 시 내화공법을 필수적으로 검토하도록 하고, 대피시간 동안 터널 성능을 유지할 수 있도록 하기 위해 국제터널협회(ITA)의 한계 온도 도입 (국토교통부, 2021)
 - 고온의 대형화재 지속될 경우, 이용자의 피난·대피와 소화·구조를 원활히 하고, 터널의 붕괴 방지 및 손상을 최소화해 복구공사 기간 중 통행불편 및 안정성 등을 확보하기 위해 제정
 - 소형차, 대형차(유조차 등)의 차량 유형과 화재가 지반에 미치는 영향 등을 고려한 화재 조건에 따라 충분한 대피 시간 동안 터널의 성능이 유지될 수 있도록 세계적으로 통용되고 있는 한계온도 도입하였으나, 급격한 고온·고압이 발생하는 폭발 상황에 대한 가이드라인 등 부재

- 우리나라에서는 지하도로 설계지침('23) 개정을 통해 이용자의 편의성과 안정성 확보 기반 마련
 - 지하도로 설계지침(12장 지하고속국도)에 따르면, 연장등급 또는 방재등급이 1등급인 지하고속국도는 횡류방식 또는 반횡류식 제연방식의 적용을 우선 검토함을 원칙으로 하고 있음
 - (반)횡류식 터널의 경우 풍도 슬래브의 존재로 인해 이동체와의 이격거리 감소 및 밀폐도 증가로 인해 폭발 상황에 따른 안정성 검토 필요
- 국토교통부에서는 '22년 12월 지하 고속도로 사업의 본격적인 추진에 앞서 강화된 안전 기준 마련을 위해 「도시지역 지하도로 설계지침」 개정
 - 「도시지역 지하도로 설계지침」 개정안의 주요 내용 중 하나인 '교통안전을 위한 도로의 안전시설 등'에 대하여 터널 내 차량 측위 시스템 설치에 관한 내용 제시
 - 이번 지침 개정은 기존에 없던 100km/h 속도의 지하도로 건설 시 적용할 수 있는 설계 기준 마련을 위한 것으로, 개정안은 12월 중 개정될 예정
 - 지하 고속국도 내에서 내비게이션과 ITS(혹은 C-ITS)서비스를 제공하기 위한 차량의 측위 필요
 - 공간의 한계로 GPS 수신이 불가하므로 위치정보를 제공하기 위한 별도의 시설물 설치가 필요
 - GPS 신호 발신 장치, 비콘(Beacon), 블루투스 방식 등 다양한 측위 제공 방식을 제시

□ 누전사고 및 전력차단 방지 정책 동향

- 미국 연방재난관리청은 도시의 대규모 수해피해 방지를 위해 대심도 터널 구축 등을 통한 우수 유출저감, 수자원 관련 인프라 시설을 적극 활용한 것을 규정하였고, 시카고는 홍수저감·제어 위한 대규모 대심도터널(TARP)를 구축
- 중국은 14.5 계획을 통해 신형 인프라 및 도시화, 중대 프로젝트 구축을 통해 등 홍수 및 재해 대비 투자확대, 수해방어능력 제고 위한 기초인프라 건설
- 또한 도시지역의 투수면적을 확보해 빗물을 저장하여 도시침수를 예방하는 '스펀지도시 조성사업' 추진, 빗물침투-저장-이송 등 포괄적인 수해예방을 위해 계획, 설계, 시공 및 유지관리 전주기 기술 활용
- 말레이시아에서는 홍수조절을 위한 방수로와 도로를 겸하는 SMART(Stormwater Management And Road Tunnel) 4km 다목적 터널 구축
- 태국의 경우 터널내 도로침수 방지를 위해 수직구형 저류지를 터널 내 저류공간과 연계함
- 국내에서는 2020년 7월 부산시 초량 제1지하차도 침수 사고 이후 국민권익위원회에서 전국의 모든 지하차도 침수위험 평가하도록 행안부와 국토교통부에 권고하였으나, 2023년 오송지하차도 침수피해를 막을 수 없었음
- 이에, 정부는 통상적인 홍수관리 대책만으로 도시하천 유역에 대한 수해를 예방하기 어렵다는 판단하에 23년7월 '도시하천유역 침수피해방지대책법'을 제정하는 등 침수피해 관련 노력을 기울이고 있음

(4) 기술 동향

□ 도로터널 정량적 위험도 평가 기술 동향

- 도로터널 내 화재사고의 위험성 및 도로터널 정량적 위험도 평가 기술 현황
 - 상기와 같이 위험성을 지닌 차량이 도로터널 내에서 화재 시 다음의 특성을 가짐
 - 터널 내부는 단열성이 좋아, 일반화재보다 높은 온도로 상승하는 축열 효과가 쉽게 발생
 - 화재로부터의 열방출률이 커서, 열에 노출된 구조물이 심각한 손상을 입음
 - 발생빈도는 낮으나, 만의 하나 발생 시 많은 인명피해가 발생
 - 대부분 유기 가연물로 이루어진 차량 내장재로부터 다량의 유독가스가 발생하는데, 반 밀폐공간인 특성에 따라 터널 내부 인원에게 심각한 위해를 가함. 특히, 환기가 제한되어 불완전연소에 의한 일산화탄소(CO)가 다량 발생

- 유독가스에 의해 시야가 상당부분 제한되어 안전지대로의 대피가 어려움
- 복구를 위한 터널 폐쇄 시, 물류비용 등의 직·간접적인 사회적 손실이 불가피

○ 국내 고속도로터널의 화재사고 현황

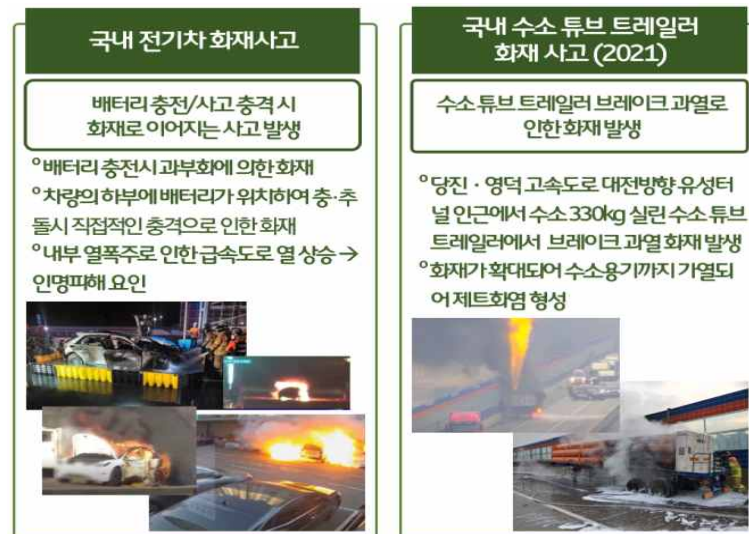
- 이 기간 동안 터널 내 화재 발생 건수는 183건이며, 차량에 의해 발생한 화재 건수는 181건, 연평균 화재사고 발생건수는 약 13건으로 분석됨. 표에서 다중으로 표기한 항목 중 승용차는 승용차에서 승용차로 확산된 화재이며, 화물은 화물차에서 화물차 또는 화물차에서 승용차로 화재가 확산된 건수를 별도로 표기한 것임. 승용차로 인해 발생한 화재는 92건이며, 화물차로 인해 발생한 화재는 73건으로 조사됨
- 이처럼 도로터널에서의 화재사고는 비교적 빈번히 꾸준히 발생하고 있으며, 이에 대한 인적·물적 피해를 최소화하기 위하여 다양한 방재시설이 운영 및 관리 되고 있는 실정임

<표 5-10> 국내 고속도로터널 화재사고 현황('04~'20)

년도	총건수	승용차		버스		화물차			
		단독	다중	승합	버스	소형	중형	대형	다중
2004	2	1				1			
2005	5	2		1		1		1	
2006	4	2		1				1	
2007	10	4		2	1	2			1
2008	9	8				1			
2009	12	6		4		2			
2010	10	4				4	1		
2011	10	7				1	2		
2012	20	8	1	2	2	3	2	1	1
2013	9	4	1			3	1		
2014	11	6			1	1		2	
2015	17	5	1			8		3	
2016	15	9	2			1		2	1
2017	16	9				3	2	2	
2018	12	7					2	2	1
2019	18	5		2		1	1	5	4
2020	3	-					1	2	
합계	183	87	5	12	4	32	12	21	8

○ 국내 친환경차 화재 사고 사례

- 전기 차량의 경우 배터리 화재에 적응성이 있는 소화약제나 화재진압 방법은 물(수조) 이외에 개발된 바 없어, 화재 차량에서 더 이상 화재 전파가 일어나지 않도록 저지하는 것이 최선인 상황임
- 수소 차량의 경우 압력조절밸브가 부착된 고압의 수소 실린더가 장착되어 있으나, 고열량의 화재 복사업에 노출될 경우 그 안전을 완전히 담보하기 어려운 상황이며, 이미 LPG 승용차 가스누출 폭발사고는 높은 위험성을 내포하고 있음은 주지의 사실임



[그림 5-16] 국내 전기차·수소차 화재사고 사례

○ 유럽국가의 도로터널 정량적 위험도 평가

- '01~'99년 유럽에서 몽블랑(39명 사망), 타우에른(12명 사망), 생고타드 터널(11명 사망) 등 비극적인 사건이 발생한 이후, 터널의 위험에 대해서 인식하고 Directive 54/2004/EC (minimum safety requirements for tunnels in the trans-European road network)을 공포함
- 이 지침에서는 500m 이상의 터널에 대한 최소안전요구사항을 규정하고 최소한의 안전 요구 사항을 준수하는 것이 현실적으로 불가능한 경우, 위험 감소 추정을 위해 정량적 위험도 평가를 수행하도록 하고 있으며, 분석 방법론 및 허용 기준의 정의는 회원국에 맡기고 있는 실정임
- 향후 QRAM모델을 개발하여 각국에서 이를 적용하도록 하고 있음

○ 유럽국가의 도로터널 정량적 위험도 평가프로그램

- '00년초부터 정량적 위험도 평가를 도입하고 있으며, 유럽의 각국에서는 이를 자국의 특성에 맞도록 수정하여 적용하고 있음
- 유럽국가의 도로터널에 대한 정량적 위험도 평가 모델은 오스트리아의 TuRisMo 모델, 네덜란드의 TUNPRIM 모델, 이탈리아의 위험 분석 모델, OECD/PIARC 모델, 싱가포르의 도로 터널에 대한 정량적 위험 평가(QRAFT) 모델 등이 있음
- PIARC는 '95에 도로터널에서 위험물 운송에 따른 위험도를 평가 프로그램을 개발하기 위한 프로젝트를 후원하여 PIARC/OECD/EU QRA 모델(QRAM)이 개발함. 이 모델은 13개의 위험한 시나리오로 구성되며, 스프레드시트 기반 소프트웨어로 구현됨. QRAM 모델의 검증은 오스트리아, 프랑스, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴 및 스위스에 의해서 연구되었으며 QRAM 소프트웨어를 사용하여 다양한 위험 감소 조치가 검토되었음
- QRAM은 위험물질을 수송을 대상으로 하고 있으며, 위험물의 누출 및 폭발을 주 평가대상으로 하고 있고 차량의 일반화재에 대해서는 적용성이 떨어짐

○ 최근 수소운송에 따른 시나리오 및 위험도 평가

- Ciro Caliendo는 액화수소 수송에 따른 위험도를 정량적 위험도 평가기법에 의해서 예측하고 있고, 사고시나리오는 PIARC/OECD/EU QRA 모델에 제시된 13개 시나리오에 액화수소의 Fireball, 가연성구름의 폭발, 일반 화재시나리오를 추가하여 확률론적으로 사고의 결과를 예측하여 위험도 평가를 수행함
- Mohammad(2018)은 수소차량의 수소 저장탱크에 대한 위험평가 방법에 관한 논문에서 수소탱크의 사고시나리오를 TPRD의 고장으로 인한 폭발 및 fire ball현상의 발생으로 전개하고 있으며, 각 사건시 위험거리를 제시하고 있음

- Sandia(2017)연구소의 도로터널에서 수소가스사고에 대한 정량적 위험도 평가를 위한 시나리오는 도로터널에서 일반사고를 최초의 사건으로 하여 수소누출 및 TPRD오작동으로 인한 제트화염, Fire ball현상, 수소폭발로 전개하고 있음. 그러가 각 사고시나리오로 인한 인명 및 재산피해산정 방법은 제시되지 않음

○ 국내 도로터널 정량적 위험도 평가의 수행 근거 및 필수 수행 사항

- 국내 도로터널은 “도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침”에 의거하여 방재등급과 연장등급으로 구분되어 등급에 맞는 방재설비를 설치하도록 규정하고 있음
- 설치된 방재시설의 적정성을 판단하기 위해서 동일 기준에서 “정량적 위험도 평가”를 통해 도로터널의 위험도를 정량적으로 분석하고 성능설계를 위한 자료로 활용 중임
 - “도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침”에 따르면 터널방재설비의 성능위주설계를 위해 터널방재설비를 계획하는 경우 정량적 위험도 평가를 수행할 것을 권고하고 있으며, 아래의 경우에는 정량적 위험도 평가를 반드시 수행하도록 규제하고 있음
 - 이처럼 정량적 위험도 평가는 방재시설의 설치 유무와 설치 적정성 등 사실상 도로터널의 계획하는 경우 모든 터널이 수행하도록 권장 또는 필수되고 있는 상황임

<표 5-11> 정량적 위험도 평가 필수 수행 조건

구분	정량적 위험도 평가 수행
권고사항	- 터널 방재설비의 성능위주설계를 위해 터널 방재설비를 계획하는 경우
필수사항	- 내공단면적 및 시설한계가 표준단면과 현저한 차이가 있는 특수공법의 터널은 본 지침의 적용을 예외로 할 수 있다. 다만, 본 지침에서 정하는 방재시설(소화설비, 경보설비, 피난대피설비, 소화활동설비, 비상전원설비)의 설치를 계획하여야 하며, 시설별 설치여부 및 시설별 세부설치기준은 개별 터널별로 수치해석, 모형실험, 정량적 위험도평가 등을 수행하여 계획한다.
	- 방재등급은 연장등급에 대해서 다음과 같이 상향 또는 하향하여 적용한다. ① 연장등급이 3등급 이상인 터널의 방재등급이 연장등급보다 1단계 이상 높으면 1단계 상위등급으로 적용하고 1단계 이상 낮으면 1단계 하위등급을 적용한다. ② ①항에 따라 방재등급이 연장등급보다 하위등급이 되는 경우에는 정량적 위험도 평가를 실시하여 터널의 안전성이 확보가 되는 경우에 1단계 하위등급으로 적용할 수 있다.
	- 피난연결통로가 설치되는 도로터널 나. 최대피난거리가 250m를 초과하는 연장 4등급 터널로 정량적 위험도 평가결과, 위험도가 사회적 위험도 평가기준을 만족하지 못하는 터널
	- 제연설비가 설치되는 도로터널 ③ 대면통행터널 및 정체빈도가 높을 것으로 예상되는 일방통행터널은 횡류(또는 반횡류)식을 적용하는 것을 권장하며, 종류식의 적용은 정량적 위험도 평가를 수행하여 안전성을 검증한 후에 적용함을 원칙으로 한다.
	- 제연설비를 추가하는 도로터널 ④ 제연보조설비의 설치개소 및 간격은 제작사 사양 기준에 의한다. 다만, 시뮬레이션이나 모형실험 및 정량적 위험도평가에 의해서 피난 안전성 확보 결과를 제시하여야 한다.

※자료출처 : 도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2021) 중 일부 재구성

○ 국내의 수소사고 시나리오

- 한국표준과학연구원은 신기술융합형성장 동력사업의 일환으로 수행된 액화수소용기에 대한 건전성 평가 및 안전기술 개발 연구에서 액체수소 액화 및 저장 시스템의 사고를 탱크누출, 탱크파열, RV(Relief Valve)작동, RD(Rupture Disc)로 구분한 4개의 시나리오를 제시하고 있으며, 사고의 결과를 폭발, Fire ball, VCE, 일반화재로 구분하여 정성적으로 평가하고 있음
- 호서대의 “수소가스 사고 및 위험성에 대한 안전관리 기술개발”연구에서는 수소가스 누출시 사고시나리오를 공간적 특성, 즉시점화, 지연점화여부를 고려하여 제시하고 사고의 결과를 폭발,

제트화연, 일반화재로 구분하여 정성적으로 기술하고 있음

- 안전보건공단은 미국 환경보호청(EPA) 및 해양대기국(NOAA)가 공동개발한 피해예측 프로그램 ALOHA를 사용하여 저장탱크, 배관 등에서 누출 및 화재 폭발 시나리오를 Event Tree기법에 의해 전개함. 저장탱크에서 누출을 액체와 기체 상태로 구분하고 액체의 경우에는 누출즉시 착화되는 경우에는 pool fire, 탱크의 가열을 수반하는 경우에는 BLEVE로 발전하는 것으로 전개하고 있으며, 기체 상태로 누출되는 경우, 즉시 점화되는 경우에는 jet fire로 전개하고 증기에 점화되는 경우에는 폭발(VCE) 또는 flash fire로 전개하고 있음

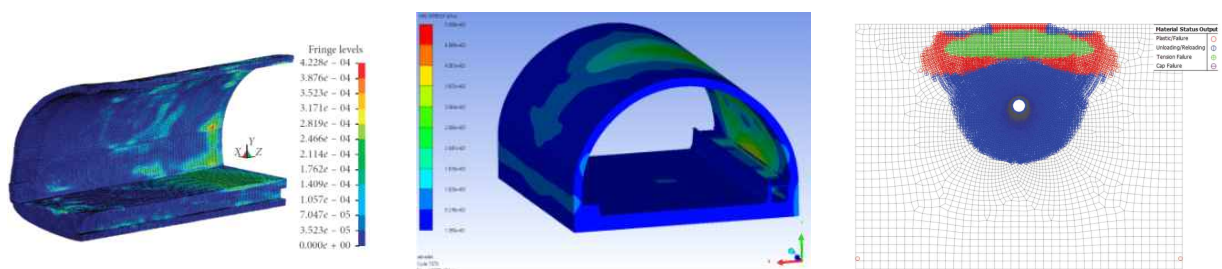
□ 터널 내 폭발 사고 대응 기술 동향

○ 전 세계적으로 폭발물로 인한 재난급 사고 발생에 따른 연구 급증

- 미국의 911 테러 사건 이후 출입구가 적은 폐쇄 구조물의 재난 및 안전에 대한 인식 강화
 - '01년 발생한 911테러는 약 3천명 이상의 인명피해와 300억 달러 규모의 물리적 피해 초래
 - 전 세계 어디서나 테러로부터 안전지대일 수 없으며, 각 국에서 구조물 내 폭발물 테러에 따른 안정성 검토에 대한 연구 급증
- 독일은 화재 및 폭발 하중을 받는 건물의 안정성 확보를 위한 연구 지속 수행
 - 교량 및 터널과 같은 기반시설은 위험물 운송사고 또는 고의적인 행동에 의해 발생하는 화재나 폭발에 대한 잠재적 재해 영향을 최소화하기 위해 섬유 함량이 높은 분사형 콘크리트 개발

○ 터널 화재 및 폭발 사고로 인한 폐쇄 구조물 내 안전에 대한 우려 증가

- 터널 내 치명적 재해가 발생하기 전 까지는 터널 내 폭발 재해 관련 연구의 필요성과 대중의 관심을 끌지 못하였던 것이 사실이나, 39명의 사망자를 낸 '99년의 MonteBlanc Tunnel(프랑스/이탈리아), 12명의 사상자를 낸 Tauern Tunnel(1999년 오스트리아), 1명의 사상자를 낸 St-Gotthard Tunnel(2001년 스위스), 155명의 사상자를 낸 Kitzsteinhorn(2000년 오스트리아)를 넘어 한국의 대구 지하철 방화사고(198명 사망, 2003년)로 인해 터널 안전대책에 대한 관심 증폭
- 특히 프랑스와 이탈리아를 잇는 몽블랑 터널에서 트럭 폭발로 인한 화재 발생으로 대규모 인명 피해가 발생하였는데, 이 때 화재로 인한 1000℃ 이상의 고온으로 인해 약 900m의 콘크리트가 훼손, 차도의 아스팔트가 녹아 철근 노출 등 구조적 안전 위협
- '15년 상주터널에서도 시너통을 적재한 카고 트럭의 사고로 인해 폭발 및 화재 사고 발생, 이에 따라 터널 내 안전에 대한 인식이 증가하고 있으며, 대부분 연구의 경우 일반적인 마제형 터널에 대한 폭발 시뮬레이션을 통해 라이닝 구조물의 안정성을 검토하는데 집중



(a) 터널 내 폭발에 따른 터널 라이닝 내 유효응력 검토 (Li et al., 2018)

(b) 터널 내 폭발물 위치에 따른 라이닝 안정성 검토 (심재원 등, 2020)

(c) 터널 내 폭발에 따른 지표 변위 분석(박훈, 2020)

[그림 5-17] 마제형 터널 내 폭발에 의한 터널 라이닝 구조물의 안정성 검토 해석 사례

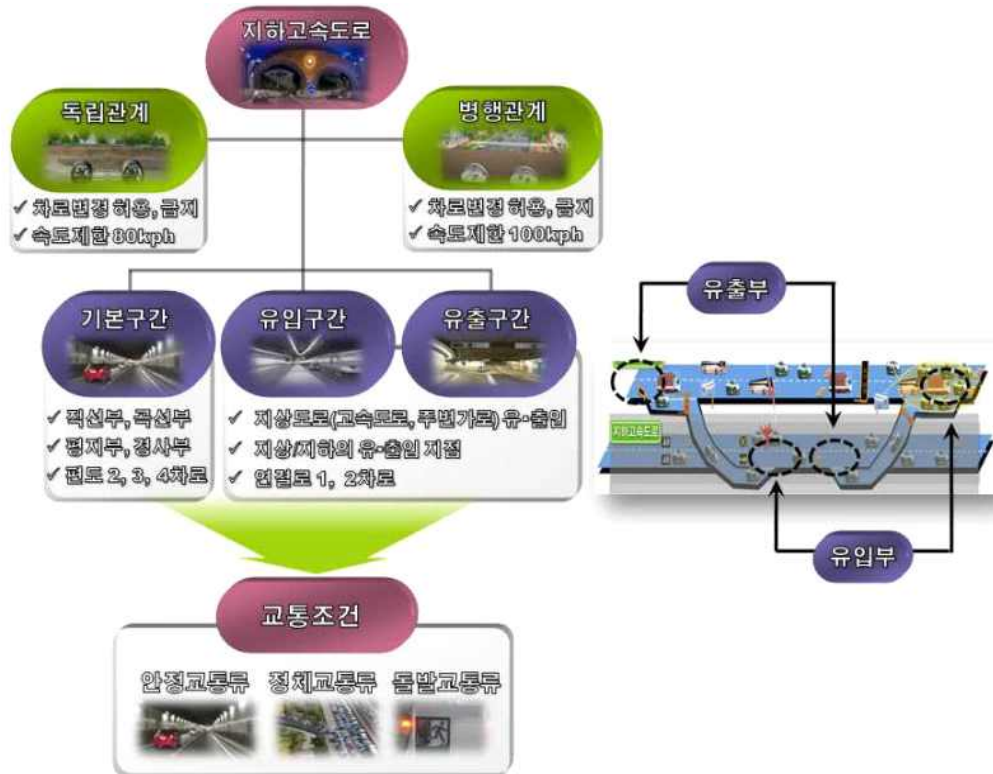
- 도심지 초장대 지하고속도로 출현에 따라 효율적인 지하공간 활용을 위해 복층터널, (반)횡류식 환기 터널 등 다양한 형태의 터널 구조물이 적용될 수 있어 이에 대한 폭발에 대한 동적 거동 검토 필요

□ 지하고속도로 교통운영 관련 기술 동향

- 교통 시뮬레이션 기술의 개발 및 마케팅에서는 Siemens, PTV Group, Aimsun, Cubic Corporation 및 Transport Solutions가 활발히 활동 중임
 - 이러한 회사는 기본 모델링 도구에서 고급 실시간 교통 관리 시스템에 이르기까지 광범위한 교통 시뮬레이션 솔루션을 제공함
 - UNECE WP29 VMAD(Validation Method for Automated Driving)에서는 자율주행 시뮬레이션과 관련된 연구를 진행하고 있음 (출처 : AEM (<https://www.autoelectronics.co.kr>)
 - 시뮬레이션 센서의 정합성, 시뮬레이션 방법론, 시뮬레이션이 필요한 이유 등 다양한 분야에 대해 연구 중임. 또한 ISO 21448, TR 4804, TS 5083, ISO 34502와 같은 표준이 마련됐으며, 이런 표준에는 개발 방법론과 관련 예시 등이 포함되어 있음
 - 시뮬레이션 핵심 구성요소는 크게 두 가지로 환경 모델, 센서 모델이 있으며, 환경 모델은 정밀도로 지도, 3차원 공간정보 데이터 등의 GIS 데이터들을 활용하여 실도로 주행 환경을 가상화하고 시간대, 날씨, 교통량 등을 재현하는 것을 의미함
- 한국도로공사 도로교통연구원은 지하고속도로 계획 및 운영방안에 관해 연구하였으며, 지하고속도로의 원활한 교통흐름과 안전성 확보 등을 위해 지하고속도로 교통운영시스템 구축의 5대 목표를 수립하고, 교통운영 방안 수립의 고려사항을 제시
 - (목표1) 지하고속도로 교통와해(breakdown) 제로화 - 미터링, 차로운영, 요금징수
 - 지하고속도로의 진입교통량 < (용량×허용확률)
 - 허용확률은 교통와해 발생 가능성 최소화를 위한 수치로서, 교통운영 목표에 따라 정해지는 수치(85%, 90% 등)
 - (목표2) 지하고속도로 교통류 속도편차 최소화 - 속도관리
 - 지하고속도로 내 주행속도를 제한속도보다 낮고, 용량에 해당되는 임계속도의 일정 배수보다 높은 속도편차 이내로 속도관리 필요
 - (임계속도×1.1) < 주행속도 < 제한속도(설계속도)
 - (주행속도 - 임계속도) < 5% 이내, (제한속도 - 주행속도) < 5% 이내
 - (목표3) 지하고속도로 교통사고 발생 제로화 - 위반차량 및 차로위반 규제
 - 터널 내 차종별 교통사고 분석 결과, 교통량 수준 대비 화물차의 교통사고 비중이 가장 높으므로, 화물차 진입금지 및 운행 시 관련 시스템으로 집중 관리 필요
 - 터널 내 사고유형별 교통사고 분석 결과, 차대 시설물 사고가 42.2%로 가장 높으며, 이는 차로운영, 속도관리, 교통정보 시스템 활용으로 위험구간의 집중적인 교통안전관리 및 신뢰성 있는 운전자 제공 필요
 - (목표4) 지하고속도로 운전자 편의(Convenience) 최대화 - 교통정보 제공
 - 필요한 지점 및 구간에서 시기적절한 교통정보 제공
 - 운전자 중심의 교통안내체계 구축(VMS, 교통표지, 노면표시)
 - 운전자 시지각에 적합한 조명시설 및 교통안전시설 보강 설치
 - (목표5) 지하고속도로 돌발 상황 영향 최소화 - 방재예방, 돌발 상황 대응
 - 효율적이고 최적화된 교통규제 및 운영시스템 설계로 돌발 상황 예방
 - 화재발생과 관련된 돌발 상황 여건 제거 및 최소화
 - 효율적인 돌발 상황 대응으로 교통사고 영향 최소화
 - 지하고속도로 교통운영 방안 수립 시 고려사항
 - 지하고속도로 개별단위 시스템의 필요 및 고려조건을 7가지로 분류하고, 세부 운영방안을 제시

<표 5-12> 지하고속도로 운영방안 수립의 고려조건

구분			내용
도로종류			지하도로, 지상+지하도로
지하도로 기능			독립관계, 병행관계
허용차량			전차종, 소형차, 그린카
도로 조건	차로수	본선	편도 2차로, 편도 3차로, 편도4차로
		연결로	1차로, 2차로
	구간		기본구간, 진출입구간
	선형	평면	직선부, 곡선부
		종단	평지부, 경사부
	교통조건		
제어 조건	속도제한		80kph, 100kph
	차로변경		허용, 금지
IT 환경			ITS, u-T



[그림 5-18] 지하고속도로 교통운영의 고려조건

- 한국건설연구원 지반연구실은 도심지 대심도 지하도로 건설을 위한 핵심기술을 세 가지로 구분 하였으며, 운전자를 고려한 기술에 관한 내용도 포함
 - 도심지 대심도 지하도로 건설을 위한 핵심기술

<표 5-13> 지하고속도로 운영방안 수립의 고려조건

기술 구분	내용	
녹색 전략 기술	• 녹색 지하공간 건설기술 - Net-Zero Energy, 터널 기술 - IT 기반의 친환경 환기/방재 기술 - 환경영향저감 설계/시공 기술	• 인간중심의 공간 활용기술 - 감성공학적 Green Design 기술 - 지하도로-도심지 연계 활용 기술 - 도심지 친환경 녹색공간 개발 기술
첨단 응용 기술	• IT 기반 교통제어 기술 - 지하도로 교통제어 및 관리 시스템 개발 기술 - 지능형 교통시스템(ITS) 구축 기술 • K-SMART 터널 기술 - 대심도 터널 물 순환 시스템 기술 - 지하도로 다목적 활용 기술	• 차세대 도심지 친환경 고속/안전 굴진 기술 - 지하공간 굴착장비 개발 및 생산 기술 - 복합지반 대응형 TBM 설계/운영 기술 - 차세대 도심지 굴착 기술
핵심 기반 기술	• 지하도로 통합 설계/시공 기술 - 지하도로 표준화 기술 - 도심지 대심도 지하공간 조사/탐사 기술 - 도심지 지하도로 입체시설 안전 설계/시공 기술	• 대단면 복층터널 설계/시공기술 - 복층터널 설계/시공 기술 - 복층터널 시공 및 유지관리 장비 개발 기술

○ 프랑스 Syntony GNSS의 몽블랑 터널 설치사례

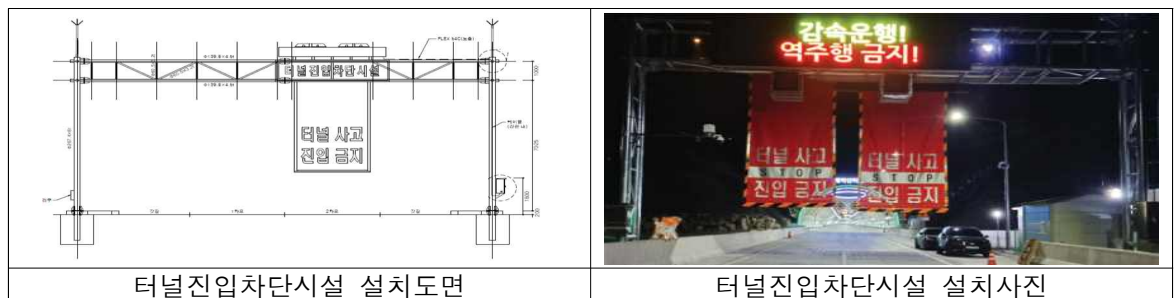
- 트럭 군집 주행을 테스트하기 위한 GNSS 발생시스템을 몽블랑 터널 구간에 설치

- 터널 사용자(기술자, 운전자 등)에게 위치정보를 제공하였으며 자율주행 차량에 활용 가능성 테스트

※ 터널 운영자인 GEIE-TMB(몽블랑 터널의 유럽 경제 이익 그룹)는 지하 환경에서 군집 주행 테스트를 수행하기 위해 SubWAVE™ Continuous 기술을 사용/자율주행 트럭에 실제 주행 테스트를 위한 GPS 신호를 제공

□ 교통차단시설 및 도로설계기술 관련 기술동향

- 국내 터널진입 차단시설은 아래의 그림과 같이 Steel Frame 사각형태로 상황 발생시 경보 및 터널사고 진입금지 문구가 적힌 대형천막이 내려와 차량진입을 막는 형태로 설치적용되고 있음.



[그림 5-19] 국내 터널진입 차단시설

- 국외에서는 다양한 목적과 형태로 터널진입차단 시설을 설치 적용하고 있음.



[그림 5-20] 일본 터널진입 차단시설



[그림 5-21] 국외 터널진입 차단시설

- 또한 화재위험차량에 대한 사전 모니터링 및 효율적인 우회/통제 기술은 단순 LED LCS를 통한 정보를 제공하는 형태로만 적용되고 있으며, 국내외적으로 화재 또는 재난대응을 위한 터널 진입 초기 및 터널내 진출입로에 효율적인 교통통제 및 우회유도를 위한 개선된 방재기술 및 도로설계 기술 연구는 없는 것으로 조사됨

□ 국내외 수직구 시공 기술 동향

- 지중연계구조물 라이닝 공법 맞춤형 급속 굴착기술
 - 지상에서 조립 모듈화한 지중연계구조물용 플랜지 파형강판을 이용하는 지중연계구조물 시공 기술이 건설신기술 804호로 지정받은 사례가 있음(평산에스아이(주))
 - 공동구 연구단에서 공동구용 지중연계구조물 저소음/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발을 위한 연구를 수행하여 지반변위와 지하수 유출을 방지하는 지중연계구조물 외 주면 급속굴착 기술과 장비를 개발한 사례가 있음
 - 공동구 연구단에서 암반지반을 대상으로 저소음/저진동 급속굴착 장비 및 기술을 개발한 사례 있음
 - 한국전력연구원에서 고강도 암반구간을 대상으로 워터제트를 이용하여 굴착효율을 향상시키는 연구를 수행하고 있음
- 지상부 지하연계 모듈과 구축기술
 - 지상부 연결된 철도 지중연계구조물 시공은 지하 횡갱터널 연결된 지하공간 바닥에서 지중연계 구조물 내부 계단실을 지상부 돌출된 출입연결 대피통로 지중연계구조물 연결 구조물을 현장 타설 공법으로 시공 중
 - 지하와 지상부가 연결된 환기구 시설은 지하 환기구 구조물 공간으로 직사각형이나 다각형 구조물로 설치되고 있으며 대부분 개착식 구조물 시공으로 현장타설공법으로 지상부 하단부에 출입통로 및 환기 기계설비 구조물을 구축 중
- 고수압 대응 모듈형 PC 제작 및 생산기술
 - 고수압 조건의 Composite 및 Anchor type EPDM Gasket 개발을 2013년 6월~2018년 12월 초장대 해저터널 연구단 중 대륙공업(주)에서 해저터널 SHied TBM PC 세그먼트 연결 부위의 20~25Bar 가압 시 누수방지 Gasket 개발함

- PC 세그먼트 코너부분의 고정을 위한 EPDM Gasket의 코너용접 고정방식 개발
- 지중연계구조물 원형벽 구조물에 레미콘에 방수액체를 혼합하여 현장타설 공법으로 시공한 사례가 있었으나 시공 후 누수 발생으로 인해 추가적인 보수비용과 공사기간 증가
- 현재 현장에서 쉬트 방수작업 후 지중연계구조물 원형벽 구조물을 현장타설 시공법과 PC 세그먼트 조립 설치 공법을 하고 있으나 검측확인이 어렵고 심도가 깊은 구조물의 고수압 현장에서 누수 현상발생은 개구부 구간 및 시공 이음부, PC 설치 연결부에서 다양하게 발생

○ 모듈형 PC 하향식 급속 조립기술

- 하향식 세그먼트 지중연계구조물 구조물 정밀 시공방법(10-2176930) 명칭으로 '20년 06월24일 특허출원 후 '20년 11월04일에 특허등록 받은 기술은 경사 PC 제작하여 조립하는 설치하는 방법이며 연결부 방식은 '20년 이전부터 오래된 영국의 fpmccann PC 전문기업에서 보유하고 있는 방식과 매우 유사 또는 동일한 제작과 설치방법에 해당됨
※ (주요 특허 용어 : 사다리꼴 세그먼트, 역사다리꼴 세그먼트, 세그 패스너(프라스틱 재질 체결매설 연결 부재 대비 외국기업 부재 TUNNEL LOCK Plastic Tunnel Lining Connection 표기)
- 공동구용 지중연계구조물 하향식 라이닝 현타 급속(1m/day이상) 시공기술 및 장비개발 연구를 '16년부터 '20년 5월까지 실시하였으며 원형 지중연계구조물 내경 8.0m 직경에 내부 구조물 벽이 전혀 없는 형태로 현타식 중공 PC 세그먼트로 연구개발

○ 하향식 모듈형 PC 선단부 안전화 제어기술

- 하향식 PC 세그먼트 조립공법은 국내에 도입되어 실시하는 초기 단계에 있으며 연약지반과 암반 굴착 조건에 있어서 지중연계구조물 선단부 강재 받침 부재를 설치한 연구 및 현장 적용
- 지하공간의 다양한 지반 조건과 내부 구조물이 지상부와 연결된 구조물과 관련하여 굴착과 병행시 발생하는 문제점을 개발한 사례는 국내에 없음

○ 락볼트 긴장력 모니터링 기술개발 사례

- 호주 TOP ROCK TECHNOLOGIES社의 락볼트 긴장력 모니터링을 위한 BEM(Bolt Extension Monitor) 시스템 개발
- TECHNOLOGIES社는 아래 사진과 같이 락볼트의 긴장력을 모니터링을 위한 락볼트 장착형 변형률 계측 센서를 개발함
- 변형률 센서는 락볼트의 바깥쪽에 장착하는 형식이며 외부 하중에 의해 파손될 가능성이 있기 때문에 아래 그림과 같이 보호 튜브를 함께 설치하여, 센서의 크기 및 무게가 크다는 단점이 존재

○ Humes segmental shafts(Humes(호주), 2015)

- 공법 개요 : 일반 굴삭기를 사용하여 지반 굴착과 동시에 지상 프리캐스트 콘크리트 세그먼트를 조립하는 하향식 공법으로서 지상부 유압장치를 이용하여 세그먼트를 조립하는 방식이며 최대직경은 내부 9m, 외부 9.5m로서 최대 깊이는 30m 시공이 가능함
- 공법 특징 : 프리캐스트 벽체는 내부에 연결된 홀을 통해 볼트 방식으로 결합하며 상부 벽체를 지지하는 구조물을 통해 아래로 내려가며 벽체가 조립, 프리캐스트 벽체 하부의 굴착된 공간에서 조립이 되는 방식, 내려온 프리캐스트 벽체는 특수 조립 장치를 통해 매달리며 조립되는 형식, 굴착은 재래식 방법으로서 암반 굴착이 어려워 발파를 해야 하므로 도심지 등에서는 매우 불리



[그림 5-22] Humes segmental shafts 공법(Humes(호주), 2015)

○ Mitigating Groundwater Risk with Watertight Segmental Shaft Construction(Golder(캐나다), 2020)

- 공법 개요 : 방수 세그먼트 샤프트 구조는 매우 통제된 방식으로 좋지 않은 지반 조건에서도 위험을 보다 잘 관리하고 완화할 수 있는 특징을 가지고 있음. 임시 및 영구 작업 시 결합한 단일 패스 샤프트 라이너를 구성하면 위험을 완화하는 것 외에도 시간과 비용 절약이 가능함. 표면의 매우 제한된 작업 현장에서 적절한 지면 조건에서, 이 구조를 사용하여 최대 80ft 직경의 샤프트를 최대 230ft 깊이로 구성할 수 있음

- 시공특징 : 샤프트 건설을 위한 임시 및 영구 지반 지지대와 "수밀성"을 결합하는 방법

○ Segmental Shaft(Decast(캐나다), 2021)

- 공법 개요 : Segmental Shaft는 하수구, 환기 및 터널링 발사 및 회수 지중연계구조물을 위한 영구 및 임시 지중연계구조물 건설을 위한 안전하고 효율적인 시공을 제공함
- 공법 특징 : 즉각적인 방수와 간단한 조립으로 우수한 설치 효율성을 가지고 있고 비용이 저렴하며 안전한 작업 환경을 보장하여 환경에 최소한의 영향을 미침. 해머링이 필요하지 않으므로 접지 및 소음 진동 저감효과가 있고 표준 설계는 최대 30m의 지중연계구조물 깊이에 적합



(a) 세그먼트



(b) 지중연계구조물 내부 전경



(c) 세그먼트 조립 전경

[그림 5-23] Segmental Shaft(캐나다, 2021)

○ VSM(Vertical Shaft Sinking Machine)(독일)

- 공법 개요 : 로드헤더로 샤프트 바닥의 흙을 굴착하는 동시에 링 모양의 콘크리트 기초에 견고하게 부착하고, 강철 케이블로 샤프트 고조의 하부 콘크리트 베이스 링에 부착함. 샤프트 싱킹 공정 샤프트에 물을 채운 후 바닥에서 토양을 굴착하고 벤토나이트 윤활을 주입하여 마찰력을 감소시켜 세그먼트 링이 아래로 침하시키는 방식 굴착이 완료되면 VSM을 제거하고 샤프트 바닥은 수중 콘크리트 플러그로 밀봉한 후 물을 제거 하고 양 끝에 철근으로 고정을 시켜 완공시킴
- 공법 특징 : VSM의 경우 굴착과 동시에 위에서 콘크리트 세그먼트를 링 모양으로 완성 시켜 세그먼트를 아래로 내리는 형식이고 직경범위는 최대 12m이고 최대 깊이는 150m까지 가능



[그림 5-24] VSM(Vertical Shaft Sinking Machine)(독일)

○ 모듈형 PC 하향식 급속 조립기술

- PC세그먼트를 지중연계구조물 지상에서 지하로 운반하여 설치하는 가설장치가 있으며 TBM처럼 수직으로 굴착하는 장비를 사용하면서 PC 세그먼트를 조립하는 굴착 및 구조물 시공 기술도 있음
- 지반이 연약지반이나 토사 지반에 사용하는 굴착과 구조물 시공법도 별도 있음

○ 하향식 모듈형 PC 선단부 안전화 제어기술

- 독일 VSM 지반이 연약지반이나 토사 지반에 사용하는 굴착과 PC 구조물을 상부 수직 인양부재에서 다수의 와이어를 고정시켜 전체 PC 수직벽 하중을 지지하여 하향 시공하는 장비와 장치가 있음

○ 모듈화 PC 구조물 및 선단부 연결 굴착 연계 시공기술

- 외국에서는 굴착과 함께 하향식으로 VAM 굴착장비와 연결시켜 TOP DOWN PC 세그먼트 공법을 사용하여 굴착과 병행 PC 조립하는 시공하는 독일 회사 있음
- 외국에서는 일반 지하 굴착 장비와 병행하여 수직구 하향식 PC 세그먼트로 설계하여 조립 시공하는 시공법을 독일, 영국, 호주 등 외국에서는 시공한 경험을 다수 보유하고 있음
- 지반 조건에 따른 차이와 지하 교통시설, 지하 전력시설 등 지하 연계시설에 따라 시공법에 따른 기술을 채택하고 있는 것으로 판단됨

□ 지하도로 침수피해 방지 기술

○ 지하도로 침수피해 방지를 위한 기술 현황

- 국내외 지하도로 침수 방지를 위한 기술에는 극한호우에 의한 지하도로 강우 유입시 도로의 저류 및 배수 용량을 늘리는 기술, 지하도로로의 강우 유입 차단 기술, 지하도로 진입 차단기술 등이 있음
- 지하도로의 저류 및 배수능력 향상에는 이수과천 복합터널, 말레이시아 SMART터널과 같이 터널의 하부공간을 활용한 지하도로의 저류 및 배수능력을 향상시키는 기술이 있음
- 지하도로로의 강우 유입 차단 기술에는 차수판, 방수문 등의 기술이 있으며, 서부간선 지하도로에는 스윙식 차수판, 신월-여의 지하도로에는 라이징 스윙게이트가 설치되었고, 대부분의 지하도로에는 적용 실적이 없음
- 지하도로 진입차단기술에는 비상상황 발생시 각 지자체 재난종합상황실 및 CCTV 관제센터와 연동하여 신속하게 지하도로로의 진입을 차단하는 기술이 있음

○ 국내외 지하도로 침수피해 현황

- 국내 지하도로 침수피해 건수는 2010년 이후 3건이며, 이로 인한 인명피해는 19명 이었으며, 해외 지하도로 사례로는 중국 징광터널로 무려 247대의 차량이 피해를 입었으며, 6명의 사망자가 발생함
- 설계기준을 상회하는 극한호우 및 입출구부 침수심 발생으로 인한 다량의 강우 유입으로 도로 내부에 있던 차량이 미처 탈출하지 못하여 발생함

<표 5-14> 국내외 지하차도 침수피해 사례

년도	장소	차량피해	인명피해	비고
2014	우장춘로 지하차도	1대	2명 사망	시간당 130mm 강우
2020	부산 초량제1지하차도	6대	3명 사망, 4명 부상	시간당 최대 81.6mm 강우
2021	중국 징광터널(도로)	247대	6명	침수심 30cm 발생
2023	청주 궁평 제2지하차도	15대	14명 사망	3일간 500mm 이상 강우, 미호강 범람

3. 기술개발 필요성 및 시급성

□ 필요성1: 수도권 내 대규모 지하고속도로 개발 계획 가시화

- 교통 혼잡 해소 및 녹지화 조성 등 도심지 환경 개선 계획에 따라 수도권 내 특정 도로 구간을 대상으로 다수의 지하고속도로 개발 사업 추진
 - 지하고속도로는 도심지의 기개발지에 도로의 수평 확장이 불리한 조건에 고려되고 있으며, 대상 구간의 조건에 따라 지하 20~30m의 중심도나 40~80m에 이르는 대심도에 연장 20Km 내외의 초장대·대단면 형태의 터널로 계획되고 있는 추세
 - 서울특별시 및 국토교통부에서는 광역교통망 형성을 위해 「인천~서울(경인고속도로, 19.3km)」, 「화성~서울(경부고속도로, 32.3km)」, 「퇴계원~판교(수도권 제1순환고속도로, 31.5km)」, 「고양~양재(자유로 및 강변북로, 15km)」를 계획하고 중장기 안에 착공하기 위해 추진
- ※ 현행 주요 지하도로는 「서부간선도로 지하도로(10.3km)」, 「신월여의지하도로(7.5km)」이 '21년에 개통·운영

□ 필요성2: 지하고속도로 통행 예상되는 친환경차량 비중 급격히 증가

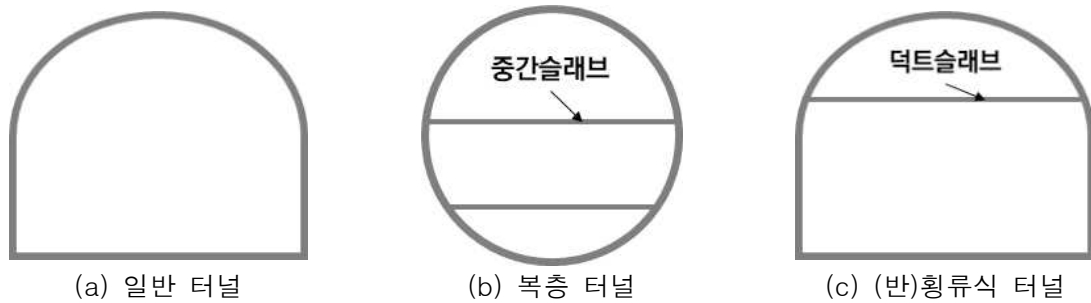
- 환경 문제 이슈로 변화되고 있는 에너지 산업 및 정책에 따라 국내외 완성자동차 시장도 친환경 차량 위주로 급변하고 있는 추세
 - 전기·수소차가 본격적으로 보급되기 시작한 '14년도(수소차는 '17년)부터 현재까지 해마다 지속적으로 보급이 증가하고 있으며, 정부의 정책적 전략을 기반으로 하여 '19년도를 기준으로 보다 급격하게 비중 상승
 - '22년 3분기 기준 국내의 자동차 전체 누적등록 대수는 2,535만대이며, 친환경차 (전기·수소 및 하이브리드차량 포함)는 147.8만대로 전체 자동차 중 5.8%의 비중 차지

□ 필요성3: 친환경차량(수소차, 전기차)의 사고를 포함하는 정량적 위험도 평가기법 수요 확대

- 지하고속도로 및 터널에서 수소차 및 전기차를 포함하는 도로터널 정량적 위험도 평가를 위한 사고 시나리오 및 피해 예측 기법 필요성 증대
 - 도로터널에서 터널 내 수소차 사고에 따른 위험은 가스누출에 따른 일반화재와 가연성가스구름의 폭발, 제트화염, 수소탱크의 폭발 등으로 구분할 수 있음
 - 도로터널의 정량적 위험도를 평가하기 위해서 전술한 위험을 포함하는 사고시나리오를 작성
 - 도로터널에서 전술한 위험이 발생할 사고확률에 대한 조사 및 분석
 - 수소 누출 시 가연성가스구름의 폭발에 따른 인명 및 재산피해 예측방법
 - 수소차 폭발에 따른 폭발압, 위험거리, 인명 및 재산피해 예측방법

□ 필요성4: 지하고속도로 내 폭발에 따른 슬래브 구조물 안정성 확보 기술

- 지하고속도로 형태별 폭발 상황 발생에 따른 슬래브 구조물의 안정성 검토 필요
 - 도심 지하의 효율적 활용과 설계 및 시공의 효율성을 위한 지하고속도로의 표준 단면이 확정되지 않음에 따라 대심도, 초장대, 초대단면 특성을 갖는 지하고속도로에 적용 가능한 다양한 형태의 터널 구조물의 폭발에 대한 안정성 검토 필요
 - 초근접 병렬 터널, 광폭 터널, 다목적 복층 터널 등 도심지 하부의 효율적인 지하 교통 인프라 건설을 위한 다양한 형태의 터널 구조물 개발 중
 - 특히, (반)횡류식 터널의 환기용 덕트 슬래브는 지반을 지지하는 구조적 기능보다는 터널 내 환기를 목적으로 활용되고, 복층 터널의 중간 슬래브는 터널 내 차선 증가를 목적으로 기존의 일반적인 터널 구조물과 상이
 - 터널 내부의 덕트 슬래브 및 중간 슬래브 등은 일반적인 터널과 비교했을 때 이동체-터널 상부 간 이격거리를 현저히 감소시키기 때문에 이동체 등 폭발 시 콘크리트 슬래브에 미치는 영향이 훨씬 더 클 것으로 예상되어 슬래브 구조물의 국부적 손상에 의한 탈락 및 광범위 손상으로 인한 붕괴 등 가능성 등을 검토 필요



[그림 5-25] 터널 형태에 따른 단면 비교

○ 터널 내 폭발 상황에 대응 가능한 슬래브 구조물의 보완 설계 방안 미비

- 터널 내 화재 발생 등에 의한 터널 구조물의 안정성 확보를 위한 연구 개발은 많이 이루어졌으나 발생 빈도가 현저히 낮은 폭발 상황에 대한 연구 미비
 - 폭발에 노출된 콘크리트 슬래브 구조물의 전면으로부터 전달된 압축 충격파는 후면의 자유면에 도달해 반사 인장파를 발생시키고, 인장에 취약한 콘크리트 재료는 후면으로부터 인장 파괴 발생
 - 콘크리트 구조물에 보강된 내부 철근으로 인해 폭발 발생에 따라 슬래브 구조물 자체가 붕괴할 가능성은 낮으나, 국부적 파쇄로부터 발생된 콘크리트 파편 등의 낙석 발생은 인명 손실을 야기할 수 있으며, 손상된 구조물은 초기의 구조적 성능을 손실 가능
 - 또한, 극한 폭발 상황 등으로 인한 강한 폭발 압력에 따라 콘크리트 부재의 파괴가 발생 가능하며, 최악의 경우 슬래브 구조물의 붕괴로 인한 2차사고 유발 가능



(a) 콘크리트 슬래브 폭발 실험 결과
(Gotz Vollmann, 2015)



(b) 콘크리트 슬래브 낙하로 인한 사고 사례
(Boston BigDig Tunnel)

[그림 5-26] 콘크리트 구조물에 대한 폭발 실험 및 슬래브 구조물 사고 사례

□ 필요성5: 지하고속도로 내 위험상황(화재, 침수, 사고 등) 발생 시 정상 교통류가 불안정 교통류로 전이되는 상황 또는 불안정 교통류가 정상 교통류로 전이되는 상황을 객관적으로 진단·평가 할 수 있는 기술 부재

- 화재, 사고, 침수 등 지하고속도로에서 발생할 수 있는 주요 유고와 그 단계에서 수집되는 교통 데이터를 기반으로 진단·구분·평가함으로써, 관리자가 상황별로 적합한 교통운영전략을 적용할 수 있도록 해줌
 - 지하고속도로에서 다양한 위험상황에 따른 교통혼잡 발생 시 교통류 안정성이 최대한 확보될 수 있도록 하는 최적 교통처리 방안 마련 필요 (예: 지하에서의 차량 대기행렬 등 고려)
- 지하고속도로 내 위험상황 발생시 위험상황의 유형별 교통혼잡의 정도를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 기술 부재
 - 도로 기하구조 조건, 실시간 교통수요, 위험상황의 유형별 실시간 교통혼잡 모니터링 필요

□ 필요성6 : 터널진입차단 시설의 물리적/시각적/청각적인 인지효율 증대의 필요성

- 도로터널 방재설계 지침 상 2등급 이상의 도로터널은 터널진입 차단시설이 설치되어 있으나, 터널내 상황 발생시 터널진입금지 문구가 표기된 넓은 차단막이 내려와 교통통제를 유도하는 방식이나 상당수의 차량이 이를 무시하고 통과하여 터널 내 화재시에도 차량이 진입하기 때문에 터널에 더 큰 인명사고가 발생하는 환경을 제공하여 이를 위한 방재시설의 개선이 필요함.
- 기존 터널진입차단시설은 천막형태의 차단막으로 차량의 충격을 최소화 할 수 있는 천막재질형태이나 차단 위치가 1면 평면이기 때문에 고속으로 주행하는 운전자가 순식간에 지나갈 수 있는 확률이 높으며(내려오는 중, 내려와도 그냥 무시) 주변에 강한 바람이 지속될 경우, 차단막이 휘날려 운전자가 정확한 상황 인지가 어려워 이러한 단점을 개선할 수 있는 방재시설 개선이 필요



[그림 5-27] 터널진입차단시설 작동 후 차량 터널진입 및 차량 미통제에 따른 터널내 차량 밀집

□ 필요성7: 지하 내 교통안전에 위험상황이 발생 할 때 적용 가능한 교통처리 전략 부재

- 화재, 사고, 침수, 과열차량 등 위험상황 발생 시 신속한 차량 및 인명 대피를 위해 외부 탈출 및 구호가 가능한 최적 교통처리 전략 필요
 - 현재는 지하공간의 시설한계에 따라 과열차량 통행 등 위험상황 시 대형소방차 또는 응급차의 진입이 불가하여 긴급 사고에 즉각적으로 대처하기 어려움
 - 이러한 다양한 위험상황에 따른 지하에서의 교통 혼잡 발생 시 신속한 대피 및 교통류 안정성을 최대한 확보될 수 있도록 하는 최적 교통처리 방안 마련 필요

□ 필요성8: 개소수 축소가 요구되는 수직구 구조물의 대단면 다목적 활용을 위한 안전 확보

- 모듈형 PC 하향식 급속 조립 및 선단부 안정화 제어기술
 - 대심도 지하 교통인프라 구축에 따른 대단면 대심도 굴착 시 수직편차가 15mm/m 이상 발생되고 있어, 수직이동 인프라(엘리베이터 등)의 설치에 어려움이 있음
 - 수직편차로 인한 누수현상 등의 발생으로 구조물의 장기안전성 확보에 어려움이 있음
 - 지하 공간별 개구부 및 연계 터널의 원형, 내벽 등 다양한 형태에 규격이 있으며 최적의 안전성을 고려한 누수 방지 모듈형 PC 제작 및 모듈화 생산 기술로 개선할 수 있음
 - 지중작업이 신속 가능한 작업자 수직이송 운송장치 및 편리한 모듈형 PC 운송 조립기술로 급속 시공 개선이 가능함
 - 지하 모듈화 PC 구조물의 굴착 중 발생하는 침하 및 편심과 균열발생을 억제하기 위한 선단부 굴착 시 침하방지 안정화 제어장치 기술로 개선이 가능함



(a) 독일 기계굴착 & PC Wall (VSM)

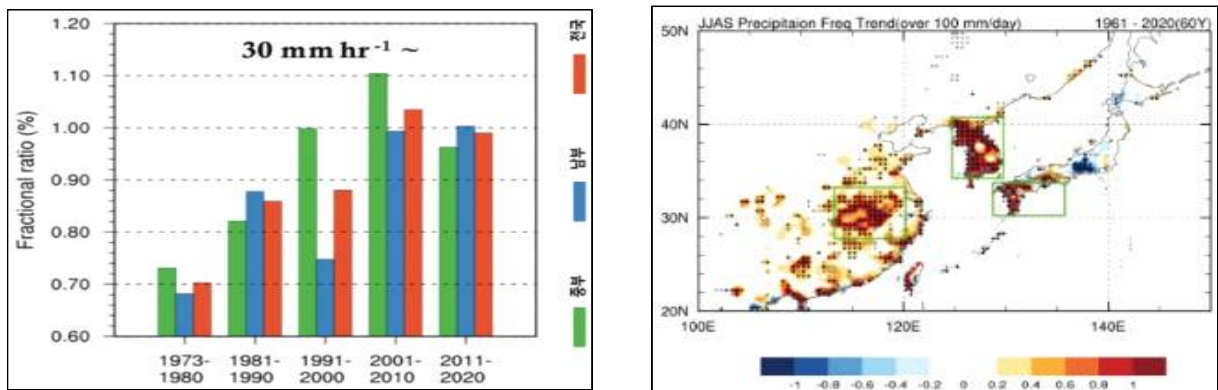


(b) 영국 PC Segment 하향식 공법

[그림 5-28] 해외의 PC 구조물을 이용한 하향식 시공 공법

□ 필요성9: 기후변화·극한호우로 인한 지하고속도로 침수로 대형 인명피해 위험도 증가

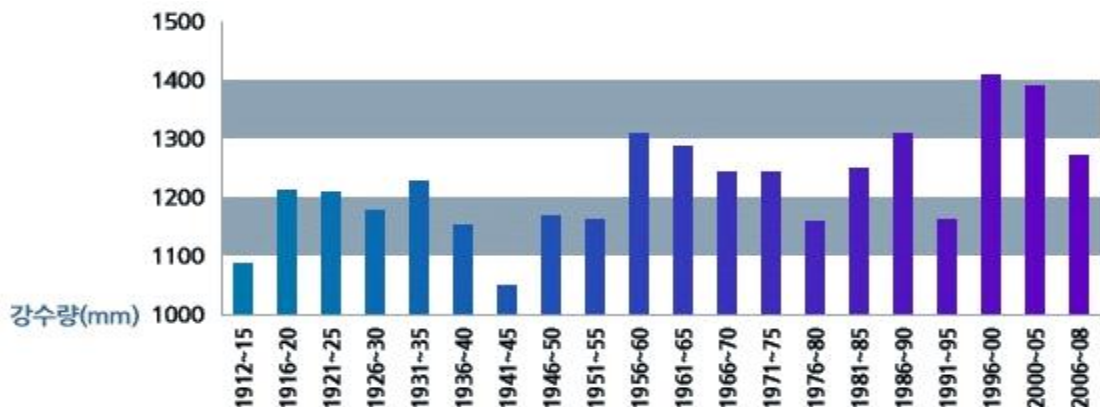
- 급변하는 기후변화로 설계빈도 이상의 극한호우가 빈번히 발생하고 있으며, 궁평 제2지하차도 참사 등 국내외에서 지하차도 침수피해 사례가 보고되고 있음
- K-지하고속도로는 대심도(지하50m 이상), 초장대(연장20km 이상) 터널로 계획되며, 교통량이 매우 많은 시설로, 이러한 시설의 극한호우로 인한 침수 발생시 대형 인명피해가 발생할 것으로 예상됨
- 설계기준을 상회하는 급작스런 극한호우 발생시 초장대 지하고속도로 내부로 진입해 있는 차량이 지상으로 빠져나가는데 필요한 시간은 많게는 20분 이상 소요되어, 차수판 또는 차수문 작동전에 강우 및 지표수 유입에 의한 침수 용량을 초과하여 침수심이 발생하고 이로 인한 차량 침수 및 인명피해가 발생할 수 있음
 - 왼쪽은 1973~2020년 전국 56개 관측소에서 6~9월 기록한 호우 가운데 집중호우의 비율
 - 오른쪽은 6~9월 집중호우가 내린 횟수를 바탕으로 100년에 몇 회 집중호우가 내리는지 선형 장기추세(회/100년)를 구해 그 분포를 표시



[그림 5-29] 6~9월 호우 중 집중호우의 비율(출처: 기상청 장마백서)

□ 필요성10: 기후변화로 인한 이상기후가 빈번해지면서 자연재해가 사회적 재난으로 급증

- 기후환경 변화로 인한 이상기후가 빈번해지면서 재난위험이 일상화되고 위험수위가 높아지는 추세
- 강수량 : 우리 나라의 연평균 강수량은 해에 따라 편차가 크게 나타나고 있으나 장기적으로는 증가 추세를 나타내고 있음
- 1912 ~ 2008년까지 지난 98년간 강수량변화는 강릉(3.4mm/년), 서울(2.1mm/년), 부산(1.9mm/년), 대구(1.7mm/년), 목포(1.3mm/년)에서 모두 증가하였다. 1912 ~ 2008년 분석 기간 동안 기간별 강수량 변동은 나타나지만 최근 강수량 증가 세가 뚜렷하게 나타남



[그림 5-30] 한반도 5년 연평균 강수량(1912년~2008년)(출처:국립기상연구소)

- 집중호우 : 최근 50년간(1954~2008년) 14개 관측지점(강릉, 서울, 인천, 울릉도, 추풍령, 포항, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 목포, 여수, 제주)에 대한 강수일수는 점차 감소하는 추세이나, 80mm 이상의 집중호우 일수는 증가하는 추세에 있다.
- 최근 연구에 따르면, 2010~2019년 발생한 시간당 강수량 50mm 이상의 집중호우 발생 빈도가 1973~2009년에 비해 약 1.5배 증가했다. 지역에 따라서는 최대 6.4배 이상 집중호우 빈도가 증가하기도 했다. 특히 동아시아 다른 지역에 비해 한반도에서 집중호우의 빈도가 두드러지게 증가하고 있다.

□ 필요성11: 주요 도로의 지하차도 조성사업은 많으나 도로 지하화가 향후 발생할 재난 대응 측면에서 취약함

- 지하차도는 그동안 교통 체증과 소음 및 분진, 지역 단절 등의 문제를 해결할 수 있는 장점이 부각되어 최근 국내 주요 도로들의 대규모 지하차도 조성사업이 활발하게 추진되고 있으나 도로 지하화가 향후 발생할 재난 대응 측면에서 취약
- 집중호우 등 기상 이변으로 연례행사처럼 반복되는 지하차도 침수사고는 기존의 방재 대책으로는 안전을 보장할 수 없음
- 지하차도가 여러 장점에도 불구하고 침수나 화재 등 사고 발생 시 대형 인명피해로 이어질 수 있어 보다 적극적인 침수대책기술이 필요



충북 오송읍 궁평2지하차도('23.7.15)
충북 시간당 30~60mm



부산 초량 제1지하차도('20.7.23)
부산 시간당 80mm



부산시 우장춘로 지하차도('14.8.26.)
부산 시간당 130mm



광주시 송정지하차도('09.7.7.)
광주 시간당 60mm

[그림 5-31] 게릴라성 집중호우 침수 사례

□ 필요성12: 설계기준(설계빈도 100년) 이상의 극한호우에 대응가능한 시설을 위해서는 비효율적인 시설 규모 필요

- 극한호우에 대응 가능한 지하도로를 위해서는 집수정의 개수가 증가 되어야 하나 도심지 수직구 설치 반대 민원으로 인해 집수정의 규모가 매우 비대해지고 막대한 사업비의 증가가 발생함

- 효율적인 중소 규모의 분산형 집수, 저류 공간 창출을 통한 이상 극한호우시 지하도로의 침수를 방지하고 지하고속도로 내부 진입차량의 탈출 시간을 확보함으로써 침수로 인명피해를 예방할 필요가 있음

□ 필요성13: 다양한 기상조건, 지하고속도로 기하조건, 유입부 침수심 조건, 교통조건 변화에 따른 지하고속도로의 침수경향이 매우 다르므로, 그에 맞는 침수시나리오 수립 및 침수위험도 평가기준 제시하고 그에 따른 EAP 필요

- 지역별 기상조건과 지하고속도로 기하조건에 따른 유입부 침수심 발생조건이 상이하고 침수 발생시 지하고속도로 내부의 교통상황이 상이 하므로 모든 조건에 대응 가능한 시설을 구축하기 위해서는 많은 예산이 소요됨
 - 경제적인 지하고속도로 건설을 위해서는 다양한 조건별 침수시나리오 분석 및 위험도 평가기준 제시가 필요하며, 그에 따른 Emergency Action Plan 수립을 통한 시설의 최적화 검증, 인명 제로화 계획이 필요함

□ 시급성1: 초장대 지하고속도로의 친환경 차량통과에 따른 안전기술 확보

- 현재 경부고속도로 등 도심구간의 지하화가 계획 및 친환경 차량 보급증가에 따른 도로터널의 위험요소 변화에 맞춰 현 “도로터널 방재시설 설치 및 관리지침”의 개정 필요
 - 기존의 개정을 위해 친환경 차량의 터널통과로 인해 추가되는 위험을 포함하는 정량적 위험도 평가기준의 정립필요
 - 위험평가를 통해 강화하거나 보완해야 하는 방재시설의 종류 및 적정규모 평가
 - ※ 경인고속도로 지하화(11.6km), 동부고속도로지하화(12.8km), 부산지하고속도로(87.8km), 부산사상-해운대 고속도로(22km)

□ 시급성2: 전기차 및 수소차에 내재된 화재 위험 특성으로 인해 지하고속도로 내 위험 가중

- 배터리 탑재 및 수소연료 사용으로 인해 차량 화재 사고 시 배터리 열폭주 및 수소 폭발, 제트 화염 등으로 이어질 수 있는 위험요인이 내재되어 있으며, 지하고속도로 및 터널에서는 구조적 특성으로 인해 위험 증가
 - 전기차에 사용되고 있는 리튬이온 배터리는 충/방전 시 내부 이상 반응 및 외부 물리적 요인에 의해 자체발열이 발생할 수 있고, 열폭주로 이어져 단시간에 큰 피해 야기
 - 수소 차량은 폭발 특성을 가지는 수소를 주 연료로 사용하기 때문에 비상시 누출에 의한 제트 화염, VCE폭발, 안전장치 미 작동으로 인한 탱크폭발 등의 위험 초래

□ 시급성3: 대심도·초장대·입체화되고 있는 터널(지하도로) 형태 및 친환경차량 통행 증가 등 변화하고 있는 내부 환경 특성이 고려된 화재 위험 대응 기술 확보 시급

- 정부 주도로 계획 중인 수도권 지하 고속도로는 최대 80m 지하의 대심도, 20km 내외의 초장대 연장, 지하철 및 지상, 타 지하도로와 복잡하게 연계된 입체화된 터널 형태로 내부에서의 화재 사고 시 소방대의 접근, 소화 활동, 재실자의 피난, 발생 연기의 제·배연 등 여러 측면에서 불리한 단점을 가져 위험 확대
 - 지하고속도로는 대부분 도심지를 관통하며, 많은 양의 교통량을 소화하므로 화재 사고 시 대규모 인명 피해를 초래할 수 있음. 최근에 급격히 보급 증가되고 있는 전기차 및 수소차와 같은 친환경차가 포함될 경우 피해는 현저히 늘어날 수 있음
 - 화재에 대한 위험으로부터 지하고속도로 내부의 화재 위험도를 선제적으로 줄일 수 있는 위험 차량 감지 및 진입/주행 관리, 배출 유도 기술 등의 적용 필요

□ 시급성4: 지하고속도로 내 폭발에 따른 슬래브 구조물 안정성 확보 기술

- 지하 고속도로 사업 수요의 급격한 증가로 폭발 상황에 따른 슬래브 구조물의 안정성 검토 시급

- 지하 고속도로 사업 수요의 급격한 증가로 폭발에 대한 슬래브 구조물의 보완 설계(안) 반영을 위해 신속한 연구 필요
 - 현 정부 임기 내 경인 고속도로 착공, 경부 고속도로 설계 완료, 수도권1순환선 설계 착수 등의 목표를 가지고 있으며, 서울-화성, 퇴계원-판교, 인천-서울 지하고속도로 등 다수의 지하고속도로 사업 출현
 - 따라서 지하고속도로 내 발생 가능한 다양한 폭발 시나리오와 이에 대응 가능한 슬래브 구조물의 설계 방법 기술 연구를 통해 지하고속도로 설계 시 반영 필요

○ 지하고속도로 내 모빌리티 수단의 급격한 변화에 따른 슬래브 구조물의 폭발 영향 검토 필요

- 지하고속도로 내 전기차, 수소차 등 친환경 차량의 이용 비율 증가 예상
 - 친환경차 개발·보급 중장기('21~'25) 기본계획에 따르면, '25년까지 연간 신차판매의 50%, 2030년까지 80% 이상 친환경차 전환 목표
 - 지하고속도로 내 이동체의 전환으로 인한 다양한 형태의 사고와 재난 상황이 발생할 수 있으며, 극한 상황을 고려한 슬래브 구조물의 손상영역과 안정성 검토 및 이에 대응 가능한 기술 개발 필요

<표 5-15> 친환경차 누적보급대수 확대 목표

구분	2020년	2025년	2030년
친환경차	82만대	283만대	785만대
전기차	13.5만대	113만대	300만대
수소차	11.1만대	20만대	85만대
하이브리드	67.4만대	150만대	400만대
전체차량 중 비중	3%	11%	30%

□ 시급성5: 실제 운영을 앞둔 지하고속도로에서의 발생 가능한 주요 유고상황의 특징과 영향을 고려한 구체적인 대응 방안 미흡

- 현재 지하고속도로에서 고장차, 사고 발생 시 교통관리 대응체계 및 교통처리의 일관성이 미흡한 실정임
 - 향후 지하고속도로의 경우 연장이 20km 이상, 편도 3차로 이상, 전 차종 통행이 가능한 형태로 건설 예정임
 - 따라서 지하고속도로의 도로 기하구조 조건·실시간 교통 수요·위험상황을 고려한 맞춤형 교통처리 전략 마련과 이에 따른 효과평가 기술 개발이 시급히 요구됨

□ 시급성6: 화재발생시 터널 내외부 차량 통제 효율화를 통한 화재위험성 저감기술 필요

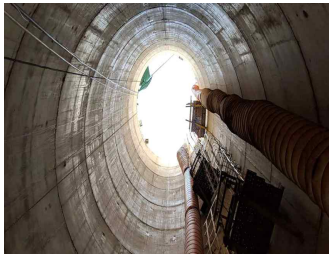
- 터널진입전 친환경 전기차 등 화재발생 차량이 터널내 사전에 진입을 차단할 수 있는 효율적인 통제 기술 및 현 지침의 개정 필요.
 - 터널진입차단시설의 경우, 지침상 터널과 일정 간격 거리에 설치하는 내용외에 특별한 세부 지침이 없으며, 기존 시설은 정보표지판 개념의 시설물로 단순 시각적인 형태로만 제시하고 외부영향으로 인한 인지효율이 낮을 수 있어 이러한 기존 시설개선이 필요함.
 - 터널 진입 전 긴급 차량(화재, 급발진 등)이 바로 정차나 멈출 수 있도록 터널입구 주변 공간적인 정차구역 및 충격완충시설 등이 없어 인근 차량과의 추돌 및 소방차가 신속하게 진입 할 수 있는 공간적인 설계기준이 없어 이러한 설계기준의 개선이 필요함.

□ 시급성7: 지하도로 교통안전에 위험상황이 발생 시 대응 미흡

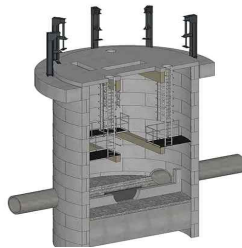
- 현재 지하도로에서 고장차, 사고 발생 시 교통관리 대응체계가 미흡하며 처리의 일관성도 미흡함
 - 향후 지하고속도로의 경우 연장이 20km 이상, 편도 3차로 이상, 전 차종 통행이 가능한 형태로 건설 예정임 (다수의 환기구 시설 포함)
 - 따라서 지하고속도로의 도로교통조건·환기구 활용을 고려한 맞춤형 교통처리전략 마련과 이에 따른 효과 평가 기술 개발이 시급히 요구됨

□ 시급성8: 도시지역 시공에 따른 주민불편(교통정체 등) 및 상부 인구밀집 구조물의 안정성 확보

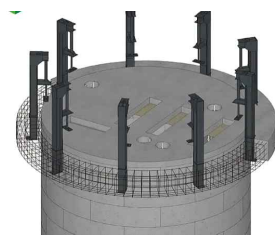
- 기존 현장타설 공법 적용 시 시공품질 저하 및 안전성 확보 어려움
 - 현재 수직구 구조물의 시공은 대부분 강재 거푸집과 동바리를 이용한 현장타설 단계별 상승공법을 적용하고 있음
 - 공법의 특성상 거푸집 설치 및 해체가 고소작업으로 반복적으로 이루어져 안전사고가 빈번하게 발생되고 있음
 - 현장타설 공법으로 시공 시 매 슬래브 마다 시공이음이 다수 발생할 수밖에 없어 시공품질의 확보가 어렵고 이음부 누수로 인한 구조물 내구성 저하 및 유지관리 비용이 증가됨



(a) 시공전경



(b) 지중연계구조물 내부 전경

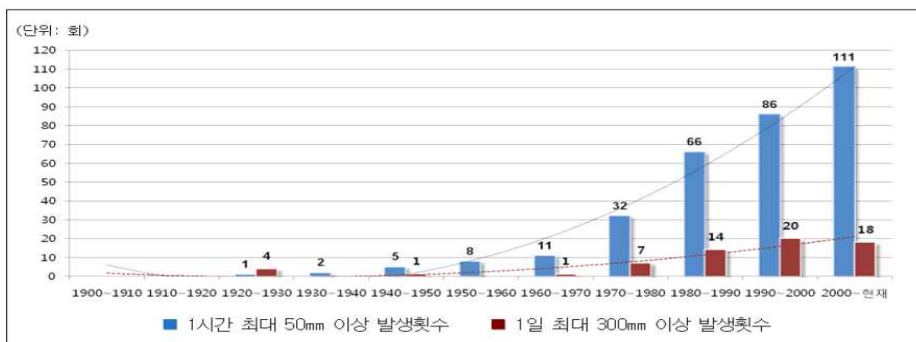


(c) 지중연계구조물 윗면 전경

[그림 5-32] 캐나다 Golder사의 세그먼트 활용(시공품질 확보 가능)

□ 시급성9: 국지성 집중호우 증가로 인한 도시 침수피해 지속적 발생

- 세계적인 기후변화 등으로 국지성 집중호우가 자주 발생하고 있고, 도시화에 따른 불투수 면적 증가 등으로 홍수량이 많아지고 있으나 이를 처리할 도시의 하천과 하수도 등 배수시설은 그 처리용량이 부족해 침수피해가 지속적으로 발생하고 있다.
 - 연 평균 강수량의 경우 2000년대에는 1,350mm로 약 22% 증가했고, 기후변화 시나리오에 따르면 강수량이 지속적으로 증가하여 2000년 대비 2050년에는 15%, 2100년에는 17% 정도 증가할 것으로 전망하고 있다.
 - 또한, 전국 기상청 76개 강우측정지점의 1시간 최대 50mm 이상 및 1일 최대 300mm 이상의 집중호우 발생횟수(1900~2011년)를 보더라도 아래와 같이 집중호우 발생 빈도는 집중적으로 증가하고 있다.



[그림 5-33] 1시간 최대 50mm 이상 및 1일 최대 300mm 이상의 집중호우 발생 횟수(2011년, 환경부)

□ 시급성10: 집중호우로 인한 지하차도 침수사고가 사회적 중대재해로 급격히 증가

○ 대도시권에서 지하차도의 침수 피해 지속적으로 증가 추세.

- 지하차도 침수사고 발생 건수는 2015년 3건, 2016년 8건, 2017년 24건, 2018년 10건으로 집계(1~7월 기준, 감사원 조사내용).
- 침수우려 지하차도 전국 145개소(행정안전부 2020년 조사자료)
- 침수이력 지하차도 전국 91개소(최근 5년간 침수가 발생한 지하차도)
- 2021년 기준 전국 지하차도 수는 총 925개, 서울시 내 지하차도는 총 164개.

<표 5-16> 전국 지하차도 현황

관리기관		개소	비 고
지방자치단체		783	※ 침수이력 : 91개소 ※ 침수우려 : 145개소
국토교통부	지방국토관리청	57	
	민자고속도로 주식회사	23	
공공기관	한국철도공사	27	
	한국도로공사	2	
	한국공항공사	6	
	인천국제공항공사	7	
	한국토지주택공사	20	
계		925	

○ 전국 지하차도는 기상이변으로 증가하는 집중호우를 감안하지 못한 설계빈도로 침수위험.

- 전국 지하차도 중 설계빈도가 50년 이상인 지하차도는 6개소 뿐임. (설계빈도가 50년인 지하차도는 50년 동안 가장 많은 비가 내린 하루를 견딜 수 있도록 설계한 지하차도를 말함)
- 설계빈도가 10년 미만인 지하차도는 전국 55개소, 30년 미만인 지하차도는 전국 192개소.

지하차도 설계빈도 현황 2021년 기준							
관리주체	설계						
	집수유역면적 재검토		설계빈도				
	0	X	모름	~10년	11년~30년	31년~50년	51년~
지자체	17	766	577	40	107	53	6
국토부	2	78	46	15	16	3	0
공공기관	0	62	35	0	14	13	0
계	19	906	658	55	137	69	6

KBS 자료 국민권익위원회

[그림 5-34] 지하차도 설계빈도 현황(2021년 기준)

□ 시급성11: 극한호우로 인한 초장대 지하고속도로의 침수피해 안전성 확보

○ 이상기후에 의한 극한호우로 설계 기준 이상의 집중호우가 빈번히 발생하고 있으며, 대심도 지하고속도로의 경우 침수피해가 발생할 가능성이 매우 높음

- 장래 예정돼 있는 경인고속도로 지하화 사업 및 경부고속도로 지하화 사업 등은 초장대 대심도 터널로 계획되어 있어, 극한호우에 대비한 시설계획이 반드시 수립되어야 함
- 이를 위해서는 극한호우 조건, 지하고속도로 기하조건, 침수심 발생조건, 교통상황 등에 따른 지하고속도로 침수시나리오 등이 확정되어야 하고, 그에 따른 EAP가 설정되어야 함

4. 기존기술의 한계와 극복방안

<표 5-17> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
지하고속도로 및 친환경차(수소차, 전기차 등) 조건에서의 화재가 고려된 정량적 위험도 평가(QRA) 기술	- 현재 국내는 도로터널에 화재사고에 대한 정량적 위험도 평가기술은 정립단계로 사망자수를 추정하나 화재 사고에 국한되어 있는 한계점이 있으며, 친환경차량의 위험 요소는 고려되지 않음 - 미국(sandia연구소) 및 유럽 등 주요국에서는 친환경차 (전기차·수소차)에 대한 터널 화재 시나리오와 안전 거리등을 제시하고 전반적인 안전 기술을 선도하고 있는 추세	- 수소차 및 전기차에 특정된 사고 시나리오 정립하고, 기존 도로터널 화재사고 시나리오와 규합 - 지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차) 사고 위험 요인별 해석 기법 수립 - 지하고속도로 내 주요 방재시설(소화설비, 제연설비, 피난대피설비 등) 설치 여부 및 친환경차(전기차·수소차) 사고에 대한 정량적 위험도 평가기준 제시
지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차)에 대한 화재 대응 기술 개발	- 내연기관차에서 친환경차로 전환되고 있는 시점으로 아직 국내외 모두 친환경 차량에 대한 명확한 방재기준이 적용되어 있지 않은 상황 - 국내는 「도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침」에 따라 방재 등급별 시설이 설치되어 체계적으로 운영되고 있으나, 친환경차(전기차·수소차)에 대한 위험 요인은 고려되지 않음 - 배터리 열폭주 및 수소 누출·제트화염·폭발 등이 고려된 화재 대응 기술 적용 필요	- 지하고속도로 특성에 적합한 친환경차(전기차·수소차) 화재사고 대응 기술 선별 - 지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차) 사고 위험 식별 및 상황 모니터링 기술 개발을 통한 명확한 정보 제공 및 실시간 감시 - 친환경차(전기차·수소차) 사고 시 즉각적인 대응이 가능한 원격 자동 소화 기술 개발
3차원 폭발 시뮬레이션을 통한 터널 형태별 슬래브 구조물의 안정성 검토	- 이동체 등 터널 내 폭발 발생 사례가 거의 없고, 실험적 접근에 많은 제약 사항이 있어 관련 연구 매우 미흡 - 해외의 경우 터널 내부 테러와 관련하여 일부 연구 사례는 있으나 일반적인 터널 형태에 한정되어 있음	- 3차원 동적 시뮬레이션을 이용해 터널 구조물의 다양한 형태별 폭발 상황을 고려한 슬래브 구조물의 영향 분석을 통해 위험도 도출
폭발 상황을 고려한 터널 형태별 슬래브 구조물의 안정성 확보 설계 방안 도출	- 터널 내 폭발 상황을 고려한 터널 내 슬래브 구조물 관련 연구의 부재로 설계 시 미고려	- 폭발 시뮬레이션 및 축소규모 실험기반 슬래브 구조물의 취약부 및 손상 영향 도출을 통해 폭발 대응 및 안정성 확보가 가능한 설계(안) 도출
지하고속도로 위험상황시 위험상황을 단계(발생 전·중·후)로 진단·구분 기술	- 위험상황 발생시 지하고속도로 진입 전 차량을 차단하는 기술은 이미 있으며, 최고기술 보유국(미국)과 국내 차이는 미비함 - 지하고속도로 내 실시간 교통위험 상황별로 적용할 수 있는 교통완화 기술 부재함	- 지하고속도로 내 실시간 교통데이터를 기반으로 위험상황 발생 단계를 정확히 진단하여 교통운영과 안전에 미치는 부정적 영향을 최소화하기 위한 전략을 개발함
지하고속도로 맞춤형 교통류 모니터링 기술 개발	- 일반도로와 달리 지하고속도로 관련 모니터링 기술 관련 연구 미비 - 지하고속도로 내 위험상황 발생시 위험상황을 고려한 시뮬레이션 기반 시나리오 구축 및 평가 기술 부재	- 지하고속도로 내 위험상황 및 위험상황 단계(발생 전·중·후) 교통처리 전략을 평가하기 위한 관리자용 객관적 평가지표 및 방법론 개발

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
인지효율향상 터널진입차단시설 및 교통안전 시설물 고도화 기술	- 터널진입차단시설은 정보표지판 형태의 차단막 타입으로 차량 정지를 위한 기존 시설의 차단효율이 낮으며 외부영향(바람 등)을 많이 받으며, 터널내부의 경우, 화재 차량으로 인한 교통 우회/정지와 같은 방재시설이 없음. - 위험 및 주행 차량의 터널입구부 등과 같은 긴급 제동 및 정차를 할 수 있는 공간 및 관련 설계기준 부족	- 인지효율을 증대하기 위한 물리적, 시각적, 청각적인 요소를 고려한 터널진입차단기술 개선 - 터널 내 분기부 및 합류부 차량 긴급 우회를 할 수 있는 상황별 터널진입차단 시설 시나리오별 자동제어 기술 정립 - 위험 및 주행 차량이 효율적인 제어를 위해 여러 요소(차량속도, 인지 및 제동거리 등)를 고려한 터널외부 비상주차대 설계기준 정립
화재 발생 위험차량 사전 감지 및 추적 모니터링	- 국내는 IR 카메라 사용 과열차량의 상세 정보 제공 결여 - 국외의 경우 주로 화물차량 대상 3D Scanner에 의해 차량의 과열 위치에 대한 상세정보가 제공되나 검지를 위해 저속 운행이 불가피	- 다중 라이다 및 열영상 센서 기반의 인식 기술과 AI기반 화재 위험 판단 알고리즘을 적용하여 차량의 운행 속도를 최대화하고 획득 정보의 정밀도는 증대 - 위험 차량에 대한 추적 모니터링을 통해 지속적인 위험 관리
화재 발생 위험차량 진입제한 및 차량 배출 유도	- 과적차량에 대해서는 도로법 등에 근거하여 검문소를 통해 단속 - (일상) 화재 위험성에 기반하여 통행을 제한하거나 운행 정지·배출 시킬 수 있는 기술·제도 전무 - (화재 시) 진입 차단설비 가동 전면 출입 제한 및 피난연결통로 이용 차량 회차 유도 등	- 차량 온도 기반 위험 등급 분류 기준 및 기술적 제반 확보 - 위험 기준에 따라 특정 차량의 진입 제한·운행정지·지상으로의 배출 유도 등 제도적 기반 확립 추진
지하고속도로 내 위험물 차량 등 진입 규제	- 지하고속도로의 최초 출현으로 위험물 차량 등 잠재적 위험요인을 지닌 이동체의 진입 등 관련 기준 미흡	- 축소규모 실험 및 폭발 시뮬레이션 기반의 슬래브 구조물 설계(안) 도출을 통해 고위험 차량 등에 대한 진입 기준 마련
대단면 다목적 수직구 인프라 구축 및 안정성 모니터링	- 현장타설 적용 시 긴 공기로 주민 피해 발생 - 대심도 시공 시 시공이음 등이 다수 발생할 수밖에 없어 시공품질의 확보가 어렵고 이음부 누수로 인한 구조물 내구성 저하 발생 - 대단면 대심도 굴착 시 수직편차가 15mm/m 이상 발생되고 있어, 수직이동 인프라(엘리베이터 등)의 설치에 어려움	- 대단면 표준설계 등을 통한 공기 단축으로 주민불편 해소 - 대심도 지하수 대응을 위한 방수기능 등이 융합된 PC 수직구 구조물 구축 기술 확보 - 대단면 대심도 하향식 구축 기술의 수직편차 5mm/m 이하 확보
지하차도 전기설비 침수 시 누설전류를 제한하여 감전사고를 예방하는 기술	- 지하 전기설비는 설치 장소의 여건상 결로, 습기, 누수, 침수 등으로부터 취약한 현실에 있으며, 집중호우로 인해 지하 전기설비 침수 시 감전사고 예방은 한계점이 있음 - 지하차도의 전기설비는 대부분 지하에 설치되어 있어 침수 시 감전사고로 인한 인명피해 발생	- 누설전류 제한기술 및 구조체 개발을 통해 감전사고 예방 - IoT기술을 적용한 누설전류 검출장치를 개발하여 실시간 감전위험 모니터링 및 지하차도 안전성 확보

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
지하차도 전기설비가 침수 시에도 배수펌프가 작동하는 기술	- 게릴라성 집중호우로 지하차도 전기 설비 침수시 전력 차단으로 배수펌프 가동 정지 - 배수펌프 가동정지로 지하차도 침수 및 2차 재난 발생으로 대규모 인명 피해, 재산피해 발생 - 국외 주요국에서는 침수 방지 방안으로 전력시설물 방수벽 설치 또는 전력시설물을 침수 수위 위로 설치	- 침수에도 작동 가능한 누설전류 제한 펌프기동반(분전반) 기술개발 - 습기, 누수, 침수 등의 상황에서 발생한 누설전류를 제한하여 전기공급이 정상인 신기술 개발 - IoT기능의 누설전류 제한 펌프기동반(분전반)을 개발하여 지하차도 침수 시 골든 타임 확보
노면유출수 처리능력 및 이용자 탈출시간 확보	- 지하용출수 : 집수정+펌프 - 노면유출수 : 집수정+펌프 - 극한호우 대응가능 설계시 집수정 용량의 비대화, 노면수 처리 지연 등의 문제, 탈출시간 미확보로 인명피해 가능성	- 지하용출수 : 집수정+펌프 - 노면유출수 : 분산형저류공간+펌프 - 분산형저류공간을 활용한 경제적 단면구성, 탈출시간 확보로 인명피해 제로화
지하고속도로 침수시 탈출시나리오 분석	- 설계강우 및 예상침수고에 의한 침수 위험도 평가	- 극한강우강도 및 도로기하조건, 침수 심조건, 교통량 조건 전체를 고려한 침수시나리오 수립 및 위험도 평가 기준 제시, 그에 따른 EAP 수립

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

□ 한계점 및 주요이슈1: 지하고속도로 내 친환경차량 통행 시 위험 분석 및 방재시설 강화 필요성

- 도로터널의 정량적 위험도 평가기술은 일반 화재에 국한하고 있어 친환경차량 사고 시 발생될 수 있는 위험 요인을 고려해야 하며, 이에 따라 타당한 방재시설 강화 대책 필요
 - 친환경 차량의 통행이 늘어남에 따라 전기차 배터리 열폭주 및 수소차 수소누출·제트화염·폭발에 대한 위험이 증대되고 있어 안전 확보를 위해서는 요인별 위험도 분석이 필수
 - 내연기관차에서 친환경차로 급격히 전환되고 있는 시점에 국내외 모두 친환경차량에 대한 명확한 방재기준 적용이 미흡한 상황으로 위험도 평가 기반 방재지침 타당성 검증 필요

□ 한계점 및 주요이슈2: 친환경차(전기차·수소차) 화재 사고에 적합한 대응 기술 요구

- 배터리 탑재 및 수소연료 사용으로 인해 차량 화재 사고 시 배터리 열폭주 및 수소 폭발, 제트 화염 등으로 이어질 수 있는 위험요인이 내재되어 있으며, 지하고속도로 및 터널에서는 구조적 특성으로 인해 위험 증가
 - 전기차에 사용되고 있는 리튬이온 배터리는 충/방전시 내부 이상 반응 및 외부 물리적 요인에 의해 자체발열이 발생할 수 있고, 열폭주로 이어져 단시간에 큰 피해 야기
 - 수소 차량은 폭발 특성을 가지는 수소를 주 연료로 사용하기 때문에 비상시 누출에 의한 제트 화염, VCE폭발, 안전장치 미 작동으로 인한 탱크폭발 등의 위험 초래

□ 한계점 및 주요이슈3: 화재발생 위험차량 사전 감지 조건 및 정확도

- 지하고속도로의 특성상 일정 속도 이상의 고속주행을 요하므로, 차량의 고속주행상태에서 높은 정밀도의 감지 기술 확보 필요
 - 국내에 유일하게 OO터널에 적용되고 있는 기술은 IR 카메라를 사용하여 고속 주행에서 검사가 가능하나 정밀도가 낮고, 국외에 적용되고 있는 3D Scan 기술은 정밀도는 높은 수준이나 저속 운행이 불가피함

□ 한계점 및 주요이슈4: 화재발생 위험차량 감지에 따른 위험 관리 기술 및 제도 부재

- 화재발생 위험차량 사전 감지 기술에 의해 위험이 감지된 후 위험차량을 진입제한·운행정지·지상 배출 유도 등 제어할 수 있는 기술 및 제도적 기반 마련 필수
- 과적차량에 대한 단속, 터널 내 화재 시 진입 차담 및 회차 유도 등의 사례는 있으나 일상 조건에서 차량의 온도를 기반으로 진입을 제한하고, 운행을 정지시키거나 지상으로 차량으로 내보내는 기술 및 제도는 전무

□ 한계점 및 주요이슈5: 화재발생 위험차량 진입에 따른 대응 체계 부재

- 화재발생 위험차량 사전 감지 기술에 의해 위험이 감지된 후 위험차량을 진입제한·운행정지·지상 배출 유도 등 제어할 수 있는 기술 및 제도적 기반 마련 필수
- 국토교통부의 “지하도로 설계지침(2023.2)”에 의하면, 지하도로로 진입하는 위험차량의 온도(엔진 과열여부 등)를 사전에 측정하여 화재 발생 등 위험 여부를 판단하고 선제적 대응이 가능한 과열차량 알람 시스템 설치·운영 권장하고 있음
- 現기술수준으로 선제적으로 위험차량 모니터링 및 검지는 가능하지만, 선제적 경고에 준수하지 않고 지하고속도로로 진입한 위험차량 배출하기 위한 능동적 대응체계 부재

□ 한계점 및 주요이슈6: 다양한 형태의 터널 구조물의 폭발 상황 발생에 따른 슬래브 구조물의 안정성 검토 부재

- 복층 터널 등 도심지 지하 공간의 효율적 활용을 위해 다양한 형태의 터널 구조물 출현 가능
- (반)횡류식 터널과 복층 터널 등 슬래브 구조물이 있는 새로운 형태의 터널 출현으로 차량과 천단부의 이격거리 대폭 감소
- 슬래브 구조물의 존재에 따라 터널 내 밀폐도를 증가시켜 폭발 상황 발생 시 더 많은 인명 피해가 예상되고 터널 내 슬래브 구조물에 더 큰 영향을 미쳐 2차 피해 유발 가능
- 터널 내 폭발 상황에 따른 슬래브 구조물의 손상 정도(국부적 및 광역적 파괴), 붕괴 가능성에 대한 검토 부족

□ 한계점 및 주요이슈7: 지하고속도로 내 폭발 상황에 따른 슬래브 구조물 대응 기술 부족

- 발생 가능성이 현저히 낮은 터널 내 폭발 상황에 따른 슬래브 구조물의 안정성 검토 방안 부재
- 터널 내 폭발 상황에 따른 슬래브 구조물의 손상 영향 검토 부족으로 인해 폭발에 대응 가능한 슬래브 구조물의 설계 및 보강 방안 미비
- 폭발 상황에 대응 가능한 슬래브 구조물의 설계 방안 연구 미비
- 슬래브 구조물의 국부적 손상과 광역적 손상에 따른 붕괴 등에 대응 가능한 보강 방안 부족

□ 한계점 및 주요이슈8: 돌발상황 발생 시 우회도로 사용이 제한적으로 신속 대응이 불가능

- 많은 접속도로가 연결된 지상도로에서는 각종 위험 발생 시 접속도로를 우회도로로 활용하여 효과적으로 대처할 수 있는 대응 체계를 구축한 반면, 지하에서는 우회도로로 활용 가능한 접속도로가 매우 제한적이기 때문에 신속 대응이 불가능함
- 지상도로에서는 돌발상황 발생 시 교통흐름에 부정적 영향이 확대되는 것을 최소화하기 위해 교통정보 제공과 교통통제를 통해 주변 접속도로를 이용하여 우회를 유도하는 전략이 존재함
- 지하고속도로 내 돌발상황 발생 시 현장에 출동한 지하고속도로 교통운영 관리자(교통경찰 포함)의 주관적인 판단(교통통제 및 우회 유도 전략 등)에 의존하는 경향이 많기 때문에 신속성 및 일관성이 부족하여 교통 운영과 안전에 부정적인 영향을 미칠 것으로 판단됨
- 지하고속도로 내에서 수집된 교통속도만을 가지고 유고 발생 여부 및 교통혼잡 유·무를 판단하기 어려움

□ 한계점 및 주요이슈9: 차량진입제한을 위한 설비 및 설계에 대한 세부적인 지침기준 미흡

- 효율적인 위험/주행 차량을 통제하는 터널진입차단시설 또는 관련설계 연구 및 시설개발 부족
 - 터널 진입차단시설에 대한 설치거리 기준이외에 세부적인 인지효율증대 및 외부영향으로 인한 진입여부에 대한 인지효율 부족 및 개선연구사례 부족
 - 위험차량의 터널진입여부에 대한 위험성 및 초기대응 개선 연구/개발사례 부족

□ 한계점 및 주요이슈10: 대단면 다목적 수직구 인프라 구축 및 안정성 모니터링

- 도시지역 시공 중 피해 최소화를 위한 공기단축 및 수직편차 최소화
 - 현장타설 적용 시 긴 공기로 주민 피해 발생
 - 대심도 시공 시 시공이음 등이 다수 발생할 수밖에 없어 시공품질의 확보가 어렵고 이음부 누수로 인한 구조물 내구성 저하 발생
 - 대단면 대심도 굴착 시 수직편차가 15mm/m 이상 발생되고 있어, 수직이동 인프라(엘리베이터 등)의 설치에 어려움

□ 한계점 및 주요이슈11: 지하차도 전기설비 침수 시 감전사고로 인한 인명피해 예방 필요성

- 세계적인 기후변화 등으로 국지성 집중호우가 자주 발생하고 있고, 연례행사처럼 반복되는 지하차도 침수사고로부터 전기재해 예방 강화 대책 필요.
 - 지하 전기설비는 설치장소의 여건상 결로, 습기, 누수, 침수 등으로부터 취약하여 집중호우시 누전으로 인한 전기재해가 항상 내재되어 있어 감전사고 위험 초래.
 - 지하차도의 전기설비는 대부분 지하에 설치되어 있어 집중호우로 인한 지하차도 침수사고 발생시 배수설비 가동중단 및 침수 전기설비의 감전사고로 인한 인명피해가 속출하므로 대책강화 필요
 - 지하차도 집수정으로 누설되는 누설전류는 상시 위험한 상황이 구현되고 있으며 누설전류의 근원지조차 알 수가 없고, 폭우나 장마 발생 시 관리자들도 감전 위험 때문에 지하시설 진입을 꺼려 함.
 - 누설전류가 흐르는 근원지 및 제어할 방법도 없으며 확인할 수조차 없는 환경

□ 한계점 및 주요이슈12: 지하차도 전기설비 침수 시 배수펌프 가동불가로 발생하는 중대재해 대응 기술 요구

- 지하차도에는 배수펌프가 설치되어 있으나 배수펌프를 가동하는 전기설비가 집중호우로 침수되면 전력설비가 차단되어 배수설비가 마비되고 사회적 재난사고를 초래하므로 이를 극복할 수 있는 대응 기술이 필요
 - 기후변화 등 이상기후로 태풍을 동반한 게릴라성 집중호우가 자주 발생하고, 재난 발생의 결정적 요인은 시간당 강수량이며, 배수설계기준 10년 단위 최고강수량(서울시 시간당 75mm) 기준의 기존 지하차도 배수펌프 용량은 시간당 게릴라성 집중호우를 감당하기 곤란한 실정
 - 전기설비는 결로, 습기, 누수, 침수 등으로부터 취약하므로 집중호우시 위험 증가
 - 지하차도는 전기설비의 침수로 배수설비가 마비되면 급속도로 침수되어 통행 차량들이 순식간에 물에 잠기는 등 단시간에 대규모 인명·재산피해 유발 상존
 - 전기설비 지상화 시 부지 확보 어려움 및 고비용 발생, 도시미관 훼손

□ 한계점 및 주요이슈13: 집중형 집배수 시스템으로 인한 시설 규모의 비대화 및 탈출시간 미확보 문제

- 현 설계는 노면유출수를 집수정에서 저류 및 펌프에 의한 배수 처리하고 있으나, 설계기준 이상의 극한호우로 인한 지하고속도로 내 강우유입시 이에 대한 대응을 위해서는 집수정이 매우 비대해 지거나 집수정의 개소수가 증가해야 하며, 유입수 처리 지연에 따른 탈출시간 미확보로 인명피해 가능성이 높음

- **한계점 및 주요이슈14: 다양한 강우조건, 예상침수고, 고속도로 기하조건, 교통량 조건 등을 반영하지 못한 설계로 EAP 설정의 부적절성**

- 다양한 극한강우 강도 또는 침수고 발생시, 지하도로 침수 발생에 따른 지하고속도로 이용자의 탈출의 용이성을 확보하는 지에 대한 검토가 충분하지 않아 장래 극한호우에 의한 지하고속도로 침수발생 시 탈출 시간 미확보로 인명피해 발생 가능성이 있음

(2) 기술적 한계의 극복방안

- **극복방안1: 지하고속도로 및 친환경차(전기차·수소차) 조건에서의 화재가 고려된 정량적 위험도 평가(QRA) 기법 개발**

- 지하고속도로에서 발생 가능한 사고시나리오를 친환경차(전기차·수소차) 위험 특성을 포함하여 수립하고, 각 시나리오별 사고 발생 확률, 인명 및 재산상의 손해 추정 등 위험도 평가 기법 개발하여 티당한 위험도 정량화 기술 확보
 - 수소차 및 전기차에 특정된 사고 시나리오 정립하고, 기존 도로터널 화재사고 시나리오와 규합
 - 지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차) 사고 위험 요인별 해석 기법 수립
 - 지하고속도로 내 주요 방재시설(소화설비, 제연설비, 피난대피설비 등) 설치 여부 및 친환경차(전기차·수소차) 사고에 대한 정량적 위험도 평가기준 제시

- **극복방안2: 지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차)에 대한 화재 대응 기술 확보**

- 지하고속도로 내에서 발생될 수 있는 친환경차(전기차·수소차) 화재 사고 시 인력의 직접적인 투입 없이 신속하고 효율적인 대응이 가능한 소화 및 모니터링 기술 개발
 - 지하고속도로 특성에 적합한 친환경차(전기차·수소차) 화재사고 대응 기술 선별
 - 지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차) 사고 위험 식별 및 상황 모니터링 기술 개발을 통한 명확한 정보 제공 및 실시간 감시
 - 친환경차(전기차·수소차) 사고 시 즉각적인 대응이 가능한 원격 자동 소화 기술 개발

- **극복방안3: 다중 라이다 및 열영상 센서 기반의 AI 화재 발생 위험 차량 사전 감시 기술 개발**

- 다중 라이다 및 열영상 센서 기반의 인식 기술과 AI기반 화재 위험 판단 알고리즘을 적용하여 차량의 운행 속도를 최대화하고 획득 정보의 정밀도는 증대
 - 라이다 및 열화상 데이터를 사용하여 3D 복원을 통해 시각화하고 차량 종류 분류 및 부품 탐지 인공지능 모델을 활용하여 고열 부품의 유무를 판단하는 구조로 설계
 - 상대적으로 저 위험군의 차량 통행 시 내부 추적 모니터링을 통해 지속적인 위험 관리

- **극복방안4: 화재 발생 위험차량에 진입제한 및 차량 배출 유도 시스템 확보**

- 화재발생 위험차량 감지에 따른 위험 관리 기술 및 제도 수립
 - 차량 온도 기반 위험 등급 분류 기준 및 기술적 제반 확보
 - 위험 기준에 따라 특정 차량의 진입 제한·운행정지·지상으로의 배출 유도 등 제도적 기반 확립 추진

- **극복방안5: 위험차량 배출용 수직구 시설 운영을 위한 교통관리전략 개발**

- 위험차량의 위험수준, 발생위치, 주변 교통상황 등을 고려한 지상부 긴급 배출 전략 수립

- **극복방안6: 축소규모 폭발 실험을 통한 손상 영향 검토**

- 축소규모 콘크리트 슬래브 구조물의 폭발 실험을 통한 안정성 검토
 - 실규모 이동체 폭발 실험은 수많은 위험 요소가 존재하고, 실제 터널 환경을 조성하는데 비용적인 한계가 있어 축소규모의 폭발 실험 수행

- 산업용 폭약과 콘크리트 슬래브 구조물 타설 등 축소규모의 폭발 실험을 통해 슬래브 구조물의 손상 유무, 파괴 패턴, 붕괴 등 확인

□ **극복방안7: 다양한 형태의 터널 구조물에 대한 폭발 시뮬레이션 수행**

- 광폭 터널, 초근접 병렬터널, 복층 터널, (반)횡류식 환기 터널 등 다양한 형태의 터널 구조물에 대한 폭발 시뮬레이션을 수행
 - 1차적으로 수행된 폭발 시뮬레이션을 통해 축소규모 실험 조건 도출
 - 축소규모 폭발 실험 결과를 바탕으로 시뮬레이션 결과와 비교 및 물성 변경을 통한 최적화
 - 다양한 형태의 터널 구조물에 대한 폭발 시뮬레이션 수행을 통해 터널 형태별 터널 및 슬래브 구조물의 안정성 검토
 - 시뮬레이션을 통해 안전 확보 가능한 이동체와의 이격거리, 슬래브 구조물의 두께 등 검토

□ **극복방안8: 지하고속도로 내 위험상황의 유형 및 단계를 과학적으로 진단·평가할 수 있는 실시간 교통운영 모니터링 기술 개발**

- 지하고속도로내 위험상황에 선제적으로 대응하기 위해 도로 지하구조, 교통수요, 위험상황을 종합적으로 고려한 교통운영 전략 수립 필요
 - 많은 접속도로와 연결된 지상도로와 달리, 지하고속도로의 경우 유출입 지점이 매우 제한적이기 때문에 지하고속도로의 교통 운영과 안전에 미치는 영향을 최소화하며 효율적으로 위험상황 대응이 가능한 객관적이며 일관적인 대응 전략 마련 필요
- 지하고속도로는 기·종점 도로교통 조건, 접속부 조건 등 다양한 도로교통 및 환경조건이 고려되어야 하므로 위험상황 발생 시 이를 고려한 지하고속도로 맞춤형 모니터링 기술 필요

□ **극복방안9: 재난 발생(화재 등)시 내·외부 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 도로 설계기술 개발**

- 지하고속도로에서 재난상황(화재, 침수 등)시 위험 및 주행 차량의 효율적인 차단 통제를 위한 기존 시설성능 및 도로터널 설계기술 개선
 - 터널진입차단시설 인지효율 증대를 목적으로 물리적, 시각적, 청각적인 요소를 고려한 터널진입 차단기술 정립
 - 터널 내 분기부 및 합류부 차량 긴급 우회를 할 수 있는 재난 상황별 터널진입차단 시설 시나리오별 자동제어 기술 정립
 - 위험 및 주행 차량이 효율적인 교통제어를 위해 여러 요소(차량속도, 인지 및 제동거리 등)를 고려한 터널외부 비상주차대 등 교통안전시설 설계기준 정립

□ **극복방안10: 대단면 다목적 수직구 인프라 구축 및 안정성 모니터링**

- (대단면 수직구 표준 설계) 기존공법 대비 시공기간 20% 이상 단축 가능한 수직구 내경 20m 이상 급 대단면 다목적 수직구 개발
- 대단면 대심도 하향식 수직구 PC 공법의 수직편차를 5mm/m 이하로 관리

□ **극복방안11: 지하차도 전기설비 침수 시 감전사고를 예방할 수 있는 누설전류 제한기술 개발**

- 국지성 집중호우로 인한 지하차도 전기설비 침수 시 발생 가능한 감전사고 시나리오를 수립하고, 인체 감전을 초래하는 누설전류를 감전 위험이 없는 정도로 감소시키는 기술개발
 - 누설전류가 저항이 낮은 곳으로 흐르는 원리를 이용하여 소재의 전도성과 물의 저항 및 인체의 저항을 분석하여 낮은 누설전류의 흐름을 유도하는 저항의 소재 및 구조체를 개발하여 전기의 정상작동과 침수 공간으로 전류를 흐르지 않도록 구성하여 인체를 보호하는 기술개발
 - IoT 기술을 접목하여 누설전류를 검출하여 관리자의 모바일과 통합관제실의 PC로 실시간 전송

및 관제상황실에 LED바 등을 활용하여 안전과 위험의 관리를 효율화 구현

□ **극복방안12: 극한 호우 시 지하차도 침수에 의한 재산피해 및 인명피해 제로화를 위한 안정적 전기공급 기술개발**

- 지하차도 배수펌프 기동반을 침수에도 작동 가능한 누설전류 제한 펌프기동반 개발
- 침수시 작동 가능한 기술 및 구조체로 개발하여 지하차도 재난 극복
 - 누설전류제한 펌프기동반(분전반)을 신기술 제품으로 개발하여 습기, 누수, 침수, 결로현상 등의 상황에서 발생한 누설전류가 N상(회귀선)으로 회귀함으로서 펌프기동반의 정상가동 확보
 - 펌프기동반(분전반)의 정상가동은 침수의 수위를 지속적으로 낮추면서 침수로 인한 2차 피해와 감전사고를 예방할 수 있는 재난대응 방안
 - 대부분의 지하차도 집수정은 중.소량의 누설전류가 발생하지만 확인이 불가하고, 정상가동하던 수중모터가 폭우시 고장 등의 발생으로 시설관리의 어려움이 발생하는 문제를 IoT기술을 통하여 지하차도의 전력현황을 실시간 모니터링이 가능한 시스템 구축

□ **극복방안13: 분산형 저류공간을 활용한 집수·저류 공간을 활용한 극한호우에 의한 지하고속도로 침수에 대응 및 지하고속도로 이용객의 탈출 시간 확보**

- 설계기준 이상의 극한호우 발생시 지하고속도로 내부에 설치된 분산형 집수·저류 공간에서 단계적인 저류를 통한 침수 지연으로 지하고속도로 내부 진입차량의 인명피해를 제로화

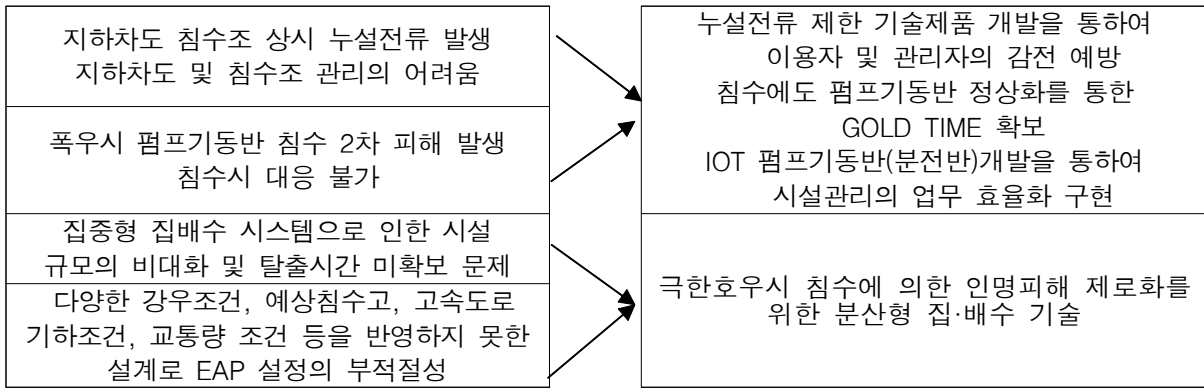
□ **극복방안14: 극한강우에 의한 강우유입 조건, 침수심 발생조건, 지하고속도로 기하구조, 지하고속도로 내부 교통 조건 등을 고려한 고속도로 침수발생 시나리오 수립 및 그에 따른 EAP 계획 수립**

- 극한강우 발생시 도로로 유입되는 강우 뿐만 아니라 도로 주변 여건에 의한 침수심 발생조건, 도로의 기하구조에 의한 침수 발생 시나리오 및 위험도를 평가하고, 그에 따른 지하고속도로 내부 진입차량의 탈출 시나리오 계획을 수립하여 인명피해 제로화 구현

5. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출

기술적 한계 및 주요 이슈	추진전략
지하고속도로내 친환경차량 통행시 위험 분석 및 방재시설 강화 필요성	친환경차량(수소차, 전기차 등) 화재 등 사고 대응 방재시설 및 대응 프로세스
친환경차(전기차·수소차) 화재 특성이 고려된 최적 대응 요구	
터널 내 폭발 상황에 따른 슬래브 구조물의 안정성 검토 및 대응 가능 설계 기술 부재	축소규모 실험 및 3차원 시뮬레이션을 통한 폭발에 따른 슬래브 구조물의 동적 거동 및 손상 영향 검토를 통한 슬래브 구조물 적정 설계 가이드라인 제시
지하고속도로 내 사고 발생 시 재난 상황 유발 가능한 위험물 차량의 진입 규제 등 적정 가이드라인 부재	
지하고속도로내 위험상황을 선제적 대응하기 위한 교통운영 전략 수립 필요	지하고속도로 내 위험상황(화재 및 침수 등)을 고려한 맞춤형 교통대응 기술 개발
지하고속도로 도로교통 및 환경조건이 고려된 지하고속도로 맞춤형 모니터링 기술 필요	
기존시설 위험/주행차량 효율적인 교통통행 제한/우회유도를 위한 인지/대응 효율이 높은 교통안전시설 및 설계기준 연구/개발 사례부족	기존 위험/주행차량 효율적 통행제한/ 우회 유도를 위한 인지성능 개선을 목적으로 시각적, 청각적, 물리적 형태의 개선을 목적으로 다양한 실험을 통한 기존 진입차단 시설개선과 관련 방재시설의 자동연동 시스템 구축, 재난발생에 따른 효율적인 초기 대응을 위한 도로인프라 및 시설 설계개선
화재발생 위험차량 사전 감지 조건 및 정확도	첨단 ICT 기술 기반의 화재 위험차량 통합 대응 시스템(사전 감지, 진입제한, 터널 내 추적 모니터링)
화재발생 위험차량 감지에 따른 위험 관리 기술 및 제도 부재	
락볼트 인발시험을 통해 시공 안정성을 평가하고 있으나 매년 터널 및 지하굴착 공사 관련 사고가 계속 발생하고 있음	차량(화재위험차량, 사고차량, 과적차량 등) 긴급배출을 위한 대단면 다목적 수직구 설계·시공 및 안정성 모니터링 기술
시공이 끝난 후에는 변위 발생 시 락볼트의 축력 측정을 의무화하고 있지만, 인력 및 재정 상황에 따라 주기적인 측정이 현실적으로 어려우며, 대부분의 경우 시공 후 별도의 유지관리가 없이 방치되고 있음	
현장타설 적용 시 긴 공기로 주민 피해 발생	
대심도 시공 시 시공이음 등이 다수 발생할 수 밖에 없어 시공품질의 확보가 어렵고 이음부 누수로 인한 구조물 내구성 저하 발생	
대단면 대심도 굴착 시 수직편차가 15mm/m 이상 발생되고 있어, 수직이동 인프라(엘리베이터 등)의 설치에 어려움	



□ 전략1 : 친환경차량(수소차, 전기차 등) 화재 등 사고 대응 방재시설 및 대응 프로세스

- 지하고속도로 및 친환경차(수소차·전기차 등) 조건에서의 화재 위험이 고려된 정량적 위험도 평가 기법 및 신속 대응이 가능한 원격 소화·상황 모니터링 기술 확보
 - 지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차)를 포함하는 사고 시나리오 구축 및 사고발생을 산정
 - 지하고속도로 내 주요 방재시설(소화설비, 제연설비, 피난대피설비 등) 설치 여부 및 친환경차(전기차·수소차) 사고에 대한 정량적 위험도 평가기준 제시
 - 친환경 차량 통과로 인한 추가위험에 따른 추가·보완방재시설 설치기준 도출
 - 대심도 및 장대화의 특성을 가지는 지하고속도로 내 전기차 사고로 인한 배터리 화재에 대한 신속한 소화활동이 가능한 원격 소화 기술에 대한 제어 프로그램 및 장치 개발
 - 지하고속도로 내 수소차 사고 시 현장 상황(수소 누출 및 제트화염·폭발 여부) 모니터링 프로그램 및 장치 개발

□ 전략2 : 3차원 시뮬레이션 기법을 활용한 지하고속도로 내 폭발에 따른 슬래브 구조물의 손상 영향 평가

- 지하고속도로 내 이동체의 폭발에 따른 슬래브 구조물의 안정성 평가를 위한 실규모 폭발 실험은 다수의 위험요인과 다양한 제약사항이 존재
 - 방폭 성능을 갖춘 폭발 실험 공간 혹은 폭발에도 주변 환경에 영향을 주지 않는 넓은 대지 확보 등의 공간적 제약이 따름
 - 실제 차량 폭발과 실규모 터널 구조물의 구현을 위해서는 많은 경제적 제약이 존재하며, 대형 폭발에 따른 주변 환경 및 연구진들의 안전 확보에도 많은 위험요인 존재
- 3차원 동적 시뮬레이션을 이용해 폭발 실험 시 존재하는 다양한 위험 요인 해결 가능
 - 축소규모 폭발 실험을 통해 폭발에 따른 슬래브 구조물의 동적 거동을 파악하고, 이를 바탕으로 3차원 시뮬레이션 결과를 최적화한 후, 실규모 폭발 시뮬레이션을 통해 이동체 폭발에 따른 터널 슬래브 구조물의 동적 거동 분석

□ 전략3 : 지하고속도로 내 위험상황(화재 및 침수 등)을 고려한 맞춤형 교통대응 기술 개발

- 지하고속도로 내 도로 기하구조, 실시간 교통수요, 위험상황을 고려한 교통처리 및 관리 기술 확보
 - 지하고속도로 수집 데이터 기반 위험상황 단계(발생 전·중·후) 진단·구분 알고리즘
 - 지하고속도로 내 위험상황 발생 시 교통상황의 객관적 평가가 가능한 관리자용 평가지표 및 방법론 개발
 - 현재의 교통운영 모니터링 시스템과의 연계, 현장 적용 및 평가를 통한 상용화

□ 전략4 : 내·외부 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통안전 시설물 고도화 기술 개발

- 기존 위험/주행차량 효율적 통제제한/ 우회 유도를 위한 인지성능 개선을 목적으로 다양한 실험을 통한 기존 진입차단 시설개선과 관련 방재시설의 자동연동 시스템 구축, 재난발생에 따른 효율적인 초기 대응을 위한 도로인프라 및 시설 설계개선

- 인지효율을 증대하기 위한 물리적, 시각적, 청각적인 요소를 고려하여 초기 인지 및 대응이 가능한 터널진입차단기술 정립
- 터널 내 분기부 및 합류부 차량 긴급 우회를 할 수 있는 상황별 터널진입차단 시설 시나리오별, 연관 방재시설 자동제어 기술 정립
- 화재위험 및 터널 주행 차량이 효율적인 교통제어를 위한 다양한 인자(차량속도, 인지 및 제동거리 등)를 고려한 터널내외부 교통안전시설 도로 설계기준 정립

□ 전략5 : 첨단 IC 기술 기반의 통합 대응 시스템 기술 개발

- 지하고속도로에 진입되는 차량을 대상으로 화재 위험 차량을 감지하고 터널 진입 전에 조치하여 터널 내 차량의 화재발생을 사전에 방지하는 기술로 잠재된 화재 위험에 대한 사전감지/추적 모니터링/차량 긴급 배출
 - 정확한 차량의 파악을 위해 다중 라이다를 사용하고, 차량의 열 발생 정보를 측정하기 위해 열다중 열화상 카메라 이용하여 데이터를 융합하여 복합적인 차량 정보의 정밀도 확보
 - AI기반 위험 판단 알고리즘을 적용하여 다중 라이다 및 열화상 카메라로부터 얻은 데이터를 실시간 통신 및 처리 기술을 이용하여 3D화하여 위험 판단
 - 번호판 인식 기술 및 터널 내부 CCTV 영상 감지 기술을 접목하여 내부 운행 시 위험여부를 지속적인 추적 모니터링
 - 지하고속도로 화재 위험 차량 검사 시스템 및 내부 추적 모니터링 기술 판정에 따른 내부 차량 진입 제한·운행 정지·배출 유도 기술 개발
 - 지하고속도로 내 화재발생 위험차량 감지에 따른 위험 관리 기준안 작성 및 정책 제언

□ 전략6 : IOT기능의 누설전류 제한 펌프기동반(분전반)

- 전략에 대한 설명을 간단히 정리
 - 누설전류제한 펌프기동반(분전반)을 신기술 제품으로 개발하여 습기, 누수, 침수, 결로현상등의 상황에서 누설전류가 발생하여도 정상적으로 전류가 N상(회귀선)으로 회귀함으로서 이용자와 관리자의 재난안전사고 대응책 마련
 - 지하시설의 폭우시 분전반 침수로 인한 전기공급의 중단 및 감전의 우려 발생과 침수로 인한 2차 피해가 발생함에 침수에도 펌프기동반(분전반)의 정상가동은 침수의 수위를 지속적으로 낮추면서 감전과 2차 피해를 대응 할 수 있는 시스템 마련
 - 전국 대부분의 지하시설은 중.소량의 누설전류가 발생하고 있음에도 실시간 확인이 불가하고, 평소에 정상가동하던 수중모터가 폭우시 고장등의 발생으로 인하여 시설관리의 어려움이 발생하는 문제를 IOT기술을 통하여 수중모터 및 비상 발전기등의 수명을 예측함과 동시에 지하시설의 모든 전력을 분석하여 관리자에게 모바일과 통합관제실의 모니터링을 통하여 CROOS CHECK 및 시설 관리 및 업무의 효율적인 시스템을 구축

□ 전략7 : 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 분산형 집·배수 기술

- 극한호우시 침수에 의한 인명피해 방지를 위한 분산형 집수·저류 공간 창출 및 배수 기술과 이를 구현하기 위한 다양한 조건에서의 침수시나리오와 위험도 평가기준 제시 및 Emergency Action Plan 개발
 - 극한호우로 인한 지하고속도로 침수시 지하고속도로 내부 차량의 탈출 시간 확보를 위한 분산형 집수·저류 및 배수 기술의 제원, 규모 등에 대한 검토
 - 극한호우 조건, 침수심발생조건, 지하고속도로 기하구조, 교통조건 변화에 따른 침수 발생 시나리오 도출 및 침수위험도 평가기준 제시
 - 분산형 집수·저류 및 배수 기술을 적용한 지하고속도로의 침수 시나리오에 따른 EAP 수립

(2) 기술개발의 최종 목표

□ 최종 목표

**화재, 침수, 교통사고 등 재난 대응 및 선제적 재난 방지·관리 기술
및 인프라 확보를 통한 이용자 안전 증대**

□ 최종 산출물

- 산출물명 1 : 친환경차량 특성 고려 지하고속도로 대상 화재시 정량적 위험도 평가 기준
 - 지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차)를 포함하는 사고 시나리오 구축 및 사고발생률 산정
 - 지하고속도로 내 주요 방재시설(소화설비, 제연설비, 피난대피설비 등) 설치 여부 및 친환경차 사고에 대한 정량적 위험도 평가기준 제시
 - 친환경 차량 통과로 인한 추가위험에 따른 추가·보완방재시설 설치기준 도출
- 산출물명 2 : 지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차) 화재 대응용 원격 소화 및 상황 모니터링 기술
 - 대심도 및 장대화의 특성을 가지는 지하고속도로 내 전기차 사고로 인한 배터리 화재에 대한 신속한 소화활동이 가능한 원격 소화 기술에 대한 제어 프로그램 및 장치 개발
 - 지하고속도로 내 수소차 사고 시 현장 상황(수소 누출 및 제트화염·폭발 여부) 모니터링 프로그램 및 장치 개발
- 산출물명 3 : 폭발 상황을 고려한 터널 내 슬래브 구조물의 안정성 검토 및 폭발 대응 설계(안)
 - 터널 내 폭발 상황에 따른 풍도(덕트) 슬래브, 중간 슬래브(복층터널) 등 다양한 터널 형태에 존재하는 슬래브 구조물의 손상 영향 평가 및 안정성 검토
 - 터널 내 슬래브 구조물의 폭발 대응 및 안정성 확보 가능 보완 설계 기술 확보
- 산출물명 4 : 지하고속도로 내 위험물 차량 진입 제어 가이드라인 검토
 - 지하고속도로 내 폭발 실험 및 시뮬레이션 기반 슬래브 구조물 설계(안)을 기반으로 고위험 차량에 대한 진입 제어 등 관련 가이드라인, 기준 등 검토
- 산출물명 5: 지하고속도로 내 위험상황을 단계별로 진단·구분한 알고리즘과 적용평가 보고서
- 산출물명 6: 지하고속도로 내 위험상황 발생 시 도로 기하구조 조건(지하고속도로 내), 실시간 교통수요, 위험상황을 고려한 맞춤형 교통 모니터링 평가 지표 및 방법론 개발 및 위험상황별 교통혼잡 분석 보고서
- 산출물명 7 : 지하고속도로 이용차량 재난 대응(통제/우회)을 위한 교통차단시설 기술
 - 시각적/청각적/물리적 정보제공을 통한 터널 이용 차량의 효율적 차단/우회 기술
 - 화재 위험차량 탐지 시스템 등 차량 제어 방재시설 자동 연동 시스템 구현 기술
- 산출물명 8 : 지하고속도로 재난 대응 방재시설 및 도로설계기술
 - 재난대응(진출입부, 램프부 등) 차량 통제/우회제어를 위한 방재시설 설계기술
 - 화재 위험차량 긴급 정차를 위한 비상주차대 등 안전시설 도로설계기술
- 산출물명 9 : 화재발생 위험차량 사전 감지 및 추적 모니터링
 - 정확한 차량의 파악을 위해 다중 라이다를 사용하고, 차량의 열 발생 정보를 측정하기 위해 열다중 열화상 카메라 이용하여 데이터를 융합하여 복합적인 차량 정보의 정밀도 확보
 - AI기반 위험 판단 알고리즘을 적용하여 다중 라이다 및 열화상 카메라로부터 얻은 데이터를 실시간 통신 및 처리 기술을 이용하여 3D화하여 위험 판단

- 번호판 인식 기술 및 터널 내부 CCTV 영상 감지 기술을 접목하여 내부 운행 시 위험여부를 지속적인 추적 모니터링
- 산출물명 10 : 화재발생 위험차량 진입제한 및 차량 배출 유도
 - 지하고속도로 화재 위험 차량 검사 시스템 및 내부 추적 모니터링 기술 판정에 따른 내부 차량 진입 제한·운행 정지·배출 유도 기술 개발
 - 지하고속도로 내 화재발생 위험차량 감지에 따른 위험 관리 기준안 작성 및 정책 제언
- 산출물명 11 : 지하수위 저하 방지형 대단면 다목적 수직구 설계·시공 기술
 - 수직구 현장타설 공법 대비 시공시간 20% 이상 단축 가능 수직구 시공법 개발
 - 수직구 긴장력 모니터링 센서 시제품 및 시공 가이드라인
- 산출물명 12 : 수직구 다용도 활용을 위한 인프라 구축 기술
 - 지하수위 저하 방지형 대단면·대심도 수직구의 수직편차 5mm/m 이하 제어 기술
 - 대단면 다목적 수직구 표준 설계(안)
- 산출물명 13 : 지하고속도로의 침수 및 전력 설비 환경조사를 통한 정량적 위험도 평가 기준
 - 기후변화에 따른 지하고속도로의 습기, 누수, 결로, 침수등에 따른 사고 시나리오 구축 및 사고 발생률 산정
 - 습기, 누수, 결로, 침수 등으로 인한 전기설비의 감전 발생률에 대한 정량적 평가 기준 제시
 - 전기설비의 전력 분석등을 통한 설비 수명 예측 기준 마련
 - 효율적 관리업무를 위한 프로세스 기준 마련
- 산출물명 14 : 누설전류 제한 펌프기동반(분전반) 개발
 - 지하시설의 최대 문제점 중 습기, 누수, 결로, 침수 등으로 인한 전기적 문제를 해결
 - 문제 해결을 통한 전기 설비의 정상적 동작
 - 문제 해결을 통한 인체 감전 예방
- 산출물명 15 : 누설전류 제한 펌프 기동반(분전반) IOT 통합관제시스템 개발
 - 평상시 지하 침수조등의 누설전류 발생시 관리의 어려움
 - 수중모터 등 수명예측의 어려움과 필요시 고장으로 인하여 문제 발생
 - 분전반의 IOT 전력분석을 통한 설비의 수명예측과 누설전류의 현황 및 관리자의 모바일과
 - 통합관제실의 모니터링을 통하여 재난안전의 효율적 선제 대응 시스템 구축
- 산출물명 16 : 극한호우시 지하고속도로 침수 방지를 위한 분산형 집수·저류 및 배수 기술
 - 극한호우시 국내 지하고속도로 침수 수치모의를 통한 현 집수 및 배수 시설 한계 연구
 - 분산형 집수·저류 및 배수시설 설계 매뉴얼
 - 분산형 집수·저류 및 배수시설 시공 매뉴얼
- 산출물명 17 : 다양한 조건을 고려한 지하고속도로 침수 발생 시나리오 도출 및 침수위험도 평가 기준 제시
 - 극한호우조건, 침수심발생조건, 지하고속도로 기하조건, 지하고속도로내 교통조건 등을 고려한 지하고속도로 침수 시나리오 수립
 - 침수시나리오에 따른 침수위험도 평가 및 위험도 평가기준 제시
- 산출물명 18 : 분산형 집수·저류 및 배수 기술 적용 조건을 고려한 침수발생 시 EAP 수립
 - 분산형 집수·저류 및 배수시설이 적용된 지하고속도로의 침수시나리오에 따른 EAP 수립

□ 성과지표 및 목표

<표 5-18> 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
친환경차량(수소차, 전기차 등) 화재 등 사고 대응 방재시설 및 대응 프로세스	지하고속도로 대상 화재 시 정량적 위험도 평가 기준	친환경차 특성 포함 여부(수소탱크폭발, 위험 물질의 누출, 전기차량의 화재 등)
	지하고속도로 내 친환경차 (전기차·수소차) 화재 대응용 원격 소화 및 상황 모니터링 기술	소화 범위 20m 이상, 상황 정보 인지 정확도 95% 이상
	논문	2건
지하고속도로 내 폭발에 따른 슬래브 구조물 안정성 확보 기술	폭발 시나리오별 슬래브 구조물 안정성 확보 설계 가이드라인	1건
	극한 상황을 고려한 위험물 차량의 지하고속도로 진입 규제 가이드라인	1건
	논문	3건
지하고속도로 내 위험상황(화재 및 침수 등)을 고려한 맞춤형 교통대응 기술 개발	개발기술의 현장적용	1건
	기술이전	1건
	지하고속도로 내 위험상황을 단계별로 진단·구분한 알고리즘(S/W)	1건
	지하고속도로 내 위험상황 발생 시 도로 지하구조 조건(지하고속도로 내), 실시간 교통수요, 위험상황을 고려한 맞춤형 교통 모니터링 평가 지표 및 방법론 개발 및 위험상황별 교통혼잡 분석 보고서	1건
	특허 등록	3건
	논문	5건
재난발생시 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통안전시설물 고도화 기술 개발	터널 진입차량 통제/우회정보 운전자 인지성능 개선	차단 및 우회 정보 인지거리 : 10%이상 단축
	재난 대응 방재기술 연동시스템 구현	교통통제 방재기술 시나리오별 자동운영시스템 구현 0건 → 1건

	재난대응 방재시설 및 교통안전 도로설계기술 구현	0건 → 1건
	특허	2건
	논문	2건
첨단 ICT 기술 기반의 화재 위험차량 통합 대응 시스템(사전 감지, 진입제한, 추적 모니터링)	화재발생 위험차량 사전 감지 및 추적 모니터링	화재 위험차량 분류 정확도 95%이상
	화재발생 위험차량 진입제한 및 차량 배출 유도	화재위험 차량 분류 가이드라인 1건
	논문	2건
차량(화재위험차량, 사고차량, 과적차량 등) 긴급 배출을 위한 대단면 다목적 수직구 설계·시공 및 안정성 모니터링 기술	수직구 긴장력 관리 관련 특허 및 논문	특허 2건, 논문 4건
	수직구 현장타설 공법 대비 시공 시간 단축	20% 이상 단축
	락볼트 긴장력 계측 센서 시제품 및 시공 가이드라인	1건
	수직편차	5mm/m
	대단면 다목적 수직구 표준 설계(안)	1건
침수 시 펌프기동반 정상작동 및 누설전류 제한	누설전류 10 mA 이하	5 mA 이하
	외함 외측 누설전류 5 mA 이하	0 mA 이하
IOT 통합관제시스템	무선 성공률 97% 이상	100% 이상
	현장 항목분석	분석 후 기록
지하고속도로 침수방지 분산형 집수·저류 및 배수시설 개발	분산형 집수·저류 및 배수시설 설계매뉴얼	설계매뉴얼 1건 작성
	분산형 집수·저류 및 배수시설 시공매뉴얼	시공매뉴얼 1건 작성
다양한 조건을 고려한 지하고속도로 침수발생 시나리오 작성, 위험도 평가 및 EAP 수립	침수발생 시나리오 및 위험도 평가기준 제시	침수위험도 평가기준
	침수발생 시 EAP 수립	시나리오에 따른 EAP

6. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

<표 5-19> 구성기술 1 세부 구성기술(안)

세부기술명	세세부기술명
지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응기술 개발 및 실증	1-1 친환경차량(수소차, 전기차 등) 화재 등 사고 대응 방재시설 및 대응 프로세스
	1-2 폭발 상황에 따른 지하 고속도로 내부 슬래브 구조물 안정성 검토 시뮬레이션 및 대응 기술
	1-3 지하고속도로 내 위험상황(화재 및 침수 등)을 고려한 맞춤형 교통 대응 기술
	1-4 재난 발생시 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통 안전시설물 고도화 기술
지하고속도로 성내적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증	1-5 첨단 ICT 기반의 화재 위험차량 통합 대응 시스템(사전 감지, 진 입제한, 추적 모니터링)
	1-6 차량(화재위험차량, 사고차량, 과적차량 등) 긴급배출을 위한 대단 면 다목적 수직구 설계·시공 및 안전성 모니터링 기술
	1-7 극한호우 시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 침수시 안정적 전력 공급 설비(누전사고 및 전력차단 방지 등) 분산형 집·배수 기술

□ 세세부기술1: 친환경차량(수소차, 전기차 등) 화재 등 사고 대응 방재시설 및 대응 프로세스

○ 기술개발 필요성

- 환경 문제 이슈로 변화되고 있는 에너지 산업 및 정책에 따라 국내외 완성자동차 시장도 친환경 차량 위주로 급변하고 있는 추세
- 배터리 탑재 및 수소연료 사용으로 인해 차량 화재 사고 시 배터리 열폭주 및 수소 폭발, 제트 화염 등으로 이어질 수 있는 위험요인이 내재되어 있으며, 지하고속도로 및 터널에서는 구조적 특성으로 인해 위험 증가
- 전기차에 사용되고 있는 리튬이온 배터리는 충/방전 시 내부 이상 반응 및 외부 물리적 요인에 의해 자체발열이 발생될 수 있고, 열폭주로 이어져 단시간에 큰 피해 야기
- 수소 차량은 폭발 특성을 가지는 수소를 주 연료로 사용하기 때문에 비상시 누출에 의한 제트 화염, VCE폭발, 안전장치 미 작동으로 인한 탱크폭발 등의 위험 초래

○ 기술동향

- 현재 국내는 도로터널에 화재사고에 대한 정량적 위험도 평가기술은 정립단계로 사망자수를 추정하나 화재 사고에 국한되어 있는 한계점이 있으며, 친환경차량의 위험 요소는 고려되지 않음
- 미국(sandia연구소) 및 유럽 등 주요국에서는 친환경차 (전기차·수소차)에 대한 터널 화재 시 나리오와 안전 거리등을 제시하고 전반적인 안전 기술을 선도하고 있는 추세
- 내연기관차에서 친환경차로 전환되고 있는 시점으로 아직 국내외 모두 친환경차량에 대한 명확한 방재기준이 적용되어 있지 않은 상황
- 국내는 「도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침」에 따라 방재 등급별 시설이 설치되어 체계적으로 운영되고 있으나, 친환경차(전기차·수소차)에 대한 위험 요인은 고려되지 않음

- 배터리 열폭주 및 수소 누출·제트화염·폭발 등이 고려된 화재 대응 기술 적용 필요

○ 주요 연구개발 내용

- 지하고속도로 및 친환경차(수소차, 전기차 등) 조건에서의 화재 위험이 고려된 정량적 위험도 평가(QRA) 기법 개발
- 지하고속도로 내 친환경차(전기차·수소차)에 대한 화재 대응 기술 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 지하고속도로 내 친환경차 위험요인 분석 및 사고 시나리오 수립
 - 친환경 차량의 위험을 포함하는 도로터널 사고시나리오 개발
 - 초장대 지하고속도로 내 친환경 차량 화재 요인별 위험 분석
- (2차년도) 친환경차 화재 특성 분석 및 대응 기술 개발
 - 전기차 화재특성 및 시나리오에 따른 화재성장곡선 도출
 - 초장대 지하고속도로 내 친환경 차량 화재 특성이 고려된 화재 대응 기술 고안 및 화재 대응 시작품 제작
- (3차년도) 사고 시나리오별 위험도 해석 기법 및 현장 상황 모니터링 기술 개발
 - 친환경차(전기차·수소차) 요인별 위험도 해석 기법 개발
 - 초장대 지하고속도로 내 친환경 차량 사고에 의한 화재 위험 감시 모니터링 기술 고안 및 시작품 제작
- (4차년도) 사고 시나리오 위험도 정량화 및 화재 대응 기술 고도화
 - 친환경차(전기차·수소차) 위험 시나리오에 따른 사망자수 추정방법 도출
 - 친환경차량 및 초장대 지하고속도로 조건이 고려된 화재 사고 대응 기술 고도화
- (5차년도) 지하고속도로에 적합한 위험도 평가 기준 제시 및 화재대응 기술 성능 검증
 - 수소차 및 전기차 사고시나리오를 포함하는 위험도 평가방법 제시
 - 지하고속도로에 적합한 친환경 차량 화재 대응 기술 성능 검증 및 경제성 분석

□ 세세부기술2: 폭발 상황에 따른 지하 고속도로 내부 슬래브 구조물 안정성 검토 시뮬레이션 및 대응 기술

○ 기술개발 필요성

- 지하고속도로와 같은 초장대 터널 구조물은 대도시지역에서 매우 중요한 공공 교통수단으로, 이러한 폐쇄적 공간에서의 화재로 인한 2차 폭발, 자동차 충돌 등에 의한 직접 폭발, 운반물 운반 중 폭발 등에 대한 폭발 사고와 더 나아가서는 폭발물 테러 등에 의한 대형 재난 발생 등으로 인해 터널 구조물 및 슬래브 구조물의 손상 및 안정성 검토 필요
- 도심 하부 지하공간을 활용한 지하 고속도로의 효율적인 설계를 위해서 복층터널, 광폭 터널 등 다양한 터널 형태가 고려될 수 있으며, 덕트 슬래브를 활용한 (반)횡류식 환기 방식을 적용한 터널 형태 고려 가능
- 해외의 경우 실제 복층 터널을 활용한 지하 교통 인프라 시공 및 운영 사례 다수 존재(프랑스 파리 A86 터널, 스페인 마드리드 M30 터널, 말레이시아 SMART 터널 등)하며, 국내에는 아직 복층형 터널 구조물은 없으나, 복층 터널 설계·시공·운영 기술에 대한 연구 종료 완료 단계로 복층 터널 이용 지하 교통 인프라 설계 사례 증가 기대, 이 경우 차로수 증가를 위한 중간 슬래브가 존재하게 되는데, 이동체와 상부 콘크리트의 구조물 간 이격거리를 현저히 감소시키기 때문에 폭발 상황 발생 시 더 밀폐되어 위험도 증가 우려
- 초장대 지하고속도로 내 화재 등에 따른 효율적인 배연을 위해서는 반(횡류식) 환기 방식의 터널이 설계될 수 있으며, 환기를 위한 덕트 슬래브의 존재로 인해 밀폐도가 더 증가해 폭발 발생 시 콘크리트 구조물의 국부적 손상에 의한 탈락 혹은 대규모 손상으로 인한 붕괴 등 2차 재난 상황 발생 가능성에 대한 검토 필요

○ 기술동향

- 해외의 경우 비교적 빈번한 폭발물 테러 등으로 인해 폭발에 따른 콘크리트 구조물의 손상 영향 평가와 관련된 연구 사례 존재, 또한 몽블랑 터널 등 터널 내부 화재 및 폭발 등 대형 재난 발생으로 인한 터널 라이닝 등에 대한 안전 확보 관련 연구 사례 존재
- 전 세계적으로 터널 내 화재 발생 등에 대비하여 터널 내화 설계 관련 연구 및 설계 가이드라인·기준·지침 등 다양한 사례가 존재하나, 비교적 발생률이 현저히 적은 터널 내 폭발 사고에 대한 연구는 매우 부족한 실정이며, 특히 일반적인 터널 대비 밀폐도를 증가시키는 슬래브 구조물이 있는 특수 형태의 터널 구조물에서의 폭발 상황에 따른 터널 및 슬래브 구조물의 안정성 평가 연구 부재

○ 주요 연구개발 내용

- 3차원 폭발 시뮬레이션을 이용한 터널 내 슬래브 구조물의 손상영역 및 안정성 검토
- 터널 내 폭발 상황에 대응 가능한 슬래브 구조물의 설계(안) 도출

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 지하고속도로 가상 설계(안) 및 폭발 시나리오 도출
 - 지하고속도로 내 발생 가능한 폭발 시나리오 도출
 - 지하고속도로에 적용 가능한 다양한 설계 단면을 적용한 가상 설계(안) 도출
 - 3차원 폭발 시뮬레이션을 통한 슬래브 구조물의 손상 영향 사전 검토 및 실험 계획 수립
- (2차년도) 축소규모 폭발 실험 및 동적 시뮬레이션을 통한 슬래브 구조물의 안정성 검토
 - 축소규모 폭발 실험을 통한 슬래브 구조물의 손상 영향 평가
 - 3차원 폭발 시뮬레이션을 통한 슬래브 구조물의 손상 영향 평가
 - 축소규모 실험 결과를 바탕으로 최적화 폭발 시뮬레이션 물성 도출 및 최적화
- (3차년도) 소·중형 화물 차량의 폭발 대응 슬래브 구조물 설계(안) 도출
 - 소·중형 화물 차량 폭발 시뮬레이션 및 슬래브 구조물의 손상 영향 검토
 - 소·중형 화물 차량 폭발 시뮬레이션 기반 폭발 대응 가능 슬래브 구조물 설계(안) 도출
- (4차년도) 대형 화물·수소차량 폭발 대응 슬래브 구조물 설계(안) 도출
 - 대형 화물·수소차량 폭발 시뮬레이션 및 슬래브 구조물의 손상 영향 검토
 - 대형 화물·수소차량 폭발 시뮬레이션 기반 폭발 대응 가능 슬래브 구조물 설계(안) 도출
- (5차년도) 다양한 폭발 시나리오 기반 지하고속도로 진입 규제 등 안전 확보 기준 제시
 - 폭발 시나리오별 폭발 대응 가능 슬래브 구조물 설계(안)의 경제성 분석 및 극한 상황을 고려한 지하고속도로 내 위험물 차량(대형 화물 등) 진입 규제 검토

□ 세세부기술3: 지하고속도로 내 위험상황(화재 및 침수 등)을 고려한 맞춤형 교통대응 기술 개발

○ 화재, 사고, 침수 등 위험상황을 파악하여 실시간으로 위험상황의 유형 및 단계를 파악할 수 있는 기술 필요

- 지하고속도로에서 다양한 위험상황 유형 및 위험상황 단계(발생 전·중·후)에 따른 교통혼잡 발생 시 교통류 안정성이 최대한 확보될 수 있도록 하는 최적 교통처리 방안 마련 필요 (예: 지하고속도로에서의 차량 대기행렬에 따른 위험요인 등 고려)
- 지하고속도로 내 위험상황 발생시 위험상황별 교통혼잡의 정도를 실시간으로 모니터링할 수 있는 기술 부재
- 도로 기하구조 조건, 실시간 교통수요, 위험상황별 실시간 교통혼잡 모니터링 필요

○ 주요 연구개발 내용

- 화재, 사고, 침수 관련 수집 데이터 기반 위험상황을 단계별(발생 전·중·후)로 구분하고 진단·평가할 수 있는 교통운영기법 개발

- 위험상황별 교통혼잡 정도를 분석할 수 있는 맞춤형 교통 평가 지표 및 방법론 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 지하고속도로 위험상황을 고려한 교통처리 및 운영 관련 국내외 기술 동향
 - 국내외 지하고속도로 위험상황을 고려한 교통처리 기술 동향
 - 국내외 지하고속도로 위험상황을 고려한 교통운영 기술 동향
- (2차년도) 지하고속도로 위험상황 단계 판별 기술 개발
 - 수집 데이터 기반 위험상황별 단계(전·중·후) 진단·평가 알고리즘 개발
 - 시뮬레이션 기반 위험상황별 단계(전·중·후) 진단·평가 알고리즘 검증
- (3차년도) 지하고속도로 위험상황별 교통혼잡 분석 기술 개발
 - 위험상황종류 및 발생 단계를 고려한 교통류 해석 기법 개발
 - 위험상황종류 및 발생 단계를 고려한 따른 교통혼잡추정 기술 개발
- (4차년도) 지하고속도로 위험상황을 고려한 교통혼잡 모니터링 기술 개발
 - 위험상황별 맞춤형 교통처리 평가 지표 및 방법론 개발
 - 방법론 효과 평가
- (5차년도) 현장 적용을 통한 성능 평가
 - 현장 적용을 위한 성능평가 방법 제시
 - 현장 적용을 위한 성능평가 검증

□ 세세부기술4: 재난 발생시 내·외부 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통안전 시설물 고도화 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 도로터널 방재설계 지침 상 2등급 이상의 도로터널은 터널진입 차단시설이 설치되어 있으나, 터널내 상황 발생시 터널진입금지 문구를 포함한 넓은 차단막이 내려오는 방식이나 상당수의 차량이 이를 무시하고 통과하여 더 큰 화재사고 및 인명사고가 발생하는 환경을 제공하여 이를 위한 방재시설의 개선이 필요함.
- 기존 터널진입차단시설 정보표시를 위한 천재질의 차단막의 경우 차량의 충격을 최소화 할 수 있는 차단 위치가 단순 1면이기 때문에 고속으로 주행하는 운전자가 순식간에 지나갈 수 있는 확률이 높으며(내려오는 중, 내려와도 그냥 무시) 주변에 외부 풍속에 의하여 차단막이 휘날려 운전자가 정확한 상황 인지가 어려워 이러한 기존 시설의 개선이 필요함.
- 터널진입차단시설의 경우, 지침상 터널과 일정 간격 거리에 설치하는 내용외에 특별한 세부 지침이 없으며, 기존 시설은 정보표지판 개념의 시설물로 단순 시각적인 형태로만 제시하고 외부영향으로 인한 인지효율이 낮을 수 있어 이러한 기존 시설개선이 필요함.
- 터널 진입 전 긴급 차량(화재, 급발진 등)이 바로 정차나 멈출 수 있도록 터널입구 주변 공간적인 정차구역 및 충격완충시설 등이 없어 인근 차량과의 충돌 및 소방차가 신속하게 진입 할 수 있는 공간적인 설계기준이 없어 이러한 설계기준의 개선이 필요함.

○ 기술동향

- 국내 터널진입차단시설은 아래의 그림과 같이 Steel Frame 사각형태로 상황 발생시 경보 및 터널 사고 진입금지 문구가 적힌 대형천막 형태의 차단막이 내려와 차량진입을 막는 형태로 설치적용되고 있음.
- 국외에서는 다양한 목적과 형태로 터널진입차단 시설을 설치 적용하고 있음.
- 국내외적으로 재난(화재, 침수 등)대응을 위한 터널 진입 초기 및 터널내 진출입로에 효율적인 교통 정지/우회유도를 위한 특별한 도로설계기술 연구 및 개발은 부족한 것으로 조사됨.

○ 주요 연구개발 내용

- 지하고속도로 효율적 차량통제를 위한 적용방안 연구
- 요소기술별 Lab Test 성능검증 연구
- 1차 시작품 성능검증 및 도로설계 적용방안 연구
- 상용화 제품 Test Bed 및 성능검증 연구
- 현장적용 실증을 통한 실용화 방안 연구

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 지하고속도로 효율적 차량통제를 위한 적용방안 연구
 - 국내외 교통차단시설 및 도로설계 관련 국내외 기술조사
 - 터널 내외부 효율적인 음향/시각/물리적 전달을 위한 적용방안 연구
 - 요소기술별 시작품 제작 및 Lab Test 연구
 - 터널 내외부 차량 진입통제 및 우회를 위한 시설 및 설계적용방안 연구
- (2차년도) 요소기술별 Lab Test 성능검증 연구
 - 터널 내외부 차량 진입통제 및 우회를 위한 교통차단시설 1차 시작품 제작
 - 효율적인 음향/시각/물리적 전달을 위한 요소기술 시작품 제작
 - 운전자 주행시험(인지시간, 제동거리 등)에 따른 효과 및 개선방안 연구
 - 교통차단시설 및 긴급 제동정차를 위한 도로설계방안 연구
 - 재난 상황별 교통차단시설 운영 시나리오 운영 및 자동제어방안 연구
- (3차년도) 1차 시작품 성능검증 및 도로설계 적용방안 연구
 - 터널내외부 1차 교통차단시설 제작 및 실험방안 연구
 - 상황별 주행시험에 따른 결과 수집 및 분석
 - 위험차량 감지 시스템 외 기타 방재시설 연계/자동연동방안 연구
 - 상용화 시제품 설계방안 연구
- (4차년도) 상용화 제품 Test Bed 및 성능검증 연구
 - 유사 실규모 도로터널 Test Bed 계획 및 설계방안 연구
 - 실규모 도로터널 Test Bed 설치 및 성능검증
 - 기존기술대비 경제성 분석방안 연구
 - 터널 타입별 교통차단시설 및 도로설계 적용방안 연구 (1차)
 - 설계/시공/유지관리 매뉴얼 연구 (1차)
- (5차년도) 현장적용 실증을 통한 실용화 방안 연구
 - 현장적용 대상지 협의 및 상용화 시제품 제작
 - 시제품 설계도서 및 현장 시설물/자동제어시스템 설치
 - 터널 타입별 교통차단시설 및 도로설계 적용방안 연구 (2차)
 - 최종 상용화 시제품 설계/시공/유지관리 매뉴얼 연구 (2차)

□ 세세부기술5: 첨단 ICT 기반의 화재 위험차량 통합 대응 시스템 (사전 감지, 진입제한, 추적 모니터링)

○ 기술개발 필요성

- 지하 고속도로에서는 구조 및 운영 특성으로 인해 화재 발생 시 심각한 인명피해 및 재산 피해 초래
- 지하 고속도로에서의 차량 화재는 차량의 연료 누출, 유증발, 전기적 결함, 마찰과 같은 차량의 고열로 인해 발생하기 때문에 해당 문제가 있는 위험 차량을 사전에 감지하여 화재를 예방하거나 진입을 제한하기 위한 선제적 위험 절감 방법이 절실
- 화재, 사고, 침수, 과열차량 등 위험상황 발생 시 신속한 차량 및 인명 대피를 위해 지상부 탈출 및 구호가 가능한 최적 교통처리전략 필요

○ 기술동향

- 온도 기반 위험차량 개발 기술은 국내의 경우 00터널에 유일하게 적용되어 있으나, IR카메라에만 의존한 기술로 차량 온도 정보에 대한 정밀도가 낮아 거의 활용되지 않고 있음
- 국외에는 스위스 고타드 도로터널(IMeng.) 적용된 Themo Portal이 있으며, 산악 터널을 통행하는 화물차를 대상으로 다중 레이저 스캐너를 이용한 3D 모델링을 통해 엔진 및 타이어의 온도를 측정(저속 주행 불가피)

○ 주요 연구개발 내용

- 화재발생 위험차량 사전 감지 및 추적 모니터링
- 화재발생 위험차량 진입제한 및 차량 배출 유도
- 위험차량 배출 우선순위를 고려한 최적 교통처리전략

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 지하고속도로 내 화재 위험차량 사전감지/추적 모니터링/배출 유도 시스템 기술 현황 분석 및 적용 기술 구성 검토
 - 지하고속도로 통행 조건에 적합한 차량 온도 검사 기법 및 장치, AI 기반 위험 분석(위험 기준 정립 및 판단 알고리즘), 차량 인식 기법 및 실시간 통신 기법 등 시스템 구성을 위한 각 요소별 기술을 문헌 및 선행연구 조사를 통해 검토·분석하고 최적 개념 설계 제시
 - 환기구 시설 위치·설계 특성 파악을 통한 위험차량 긴급 배출 최적화 방법론 도출
- (2차년도) 지하고속도로 내 화재발생 위험차량 사전 감지 기술 개발(차량 온도 스캐닝 장치 및 AI기반 위험 판단 SW 개발)
 - 라이다 및 열화상 등 다중 센서를 이용한 차량 온도 검사 장치 및 AI기반 위험 판단 SW 개발
 - 차량 표면 온도 범위에 따른 위험성 평가 및 분류
 - 위험차량 긴급 배출 시 최적 교통처리 알고리즘 개발
- (3차년도) 위험차량 감지 기술 고도화 및 지하고속도로 내 위험차량 추적 모니터링 기술 확보(성능 확인 실증 실험 및 고도화 / 모니터링 장치 및 운영 SW 개발)
 - 다중 센서 간 동기화 기술 및 캘리브레이션, 3차원 객체 복원·정보 정합 기술 고도화
 - 위험차량 종류 인식 범위 확장 및 주요 부품 특징 추가 등 시스템 위험 인지 성능 향상을 위한 탐지 모델 개선
 - 위험 판단 알고리즘 및 추적 모니터링 기술 등 실시간 처리 최적화
 - 최적 교통처리 알고리즘 성능 평가
- (4차년도) 화재 위험 차량 감지 및 추적 모니터링 기술 연동 시스템화 및 위험 수준별 차량 배출 유도 기술 개발(시제품 제작 및 성능 실험)
 - 지하고속도로 화재 위험 차량 검사 시스템 및 내부 추적 모니터링 기술 연동 최적화(SW 기능)
 - 지하고속도로 화재 위험 차량 검사 시스템 및 내부 추적 모니터링 기술 판정에 따른 내부 차량 진입 제한·운행 정지·배출 유도 기술 개발
 - 지하고속도로 내 화재발생 위험차량 감지에 따른 위험 관리 기준안 작성 및 정책 제안
 - 운전자 주행형태와 시뮬레이션 연계 위험차량 배출 최적화 기법 성능 평가 및 고도화
- (5차년도) Test Bed내 시제품 설치를 통한 성능검증 및 개발 기술의 경제성 분석
 - 지하고속도로 유사 현장 선정 및 시범 설치를 통한 성능 검증
 - 지하고속도로 내 실용화 촉진을 위한 실시 설계 경제성 분석
 - 테스트베드 기반 위험차량 긴급 배출 시 최적화 기법 적용 및 성능 검증

□ 세세부기술6: 차량(화재위험차량, 사고차량, 과적차량 등) 긴급배출을 위한 대단면 다목적 수직구 설계·시공 및 안전성 모니터링 기술

○ 기술개발 필요성

- 대심도 터널은 기존 지하철 터널에 비해 심도 증가, 연장 증가
- 광역지질학적으로 총적층에 해당하는 도심지 지질특성 상, 대규모 단층파쇄대 및 심층풍화대 출현 빈번
- 경험보다 약 3~5배 증가한 굴착유발응력에 대응할 수 있는 굴착·지보계획 필요
- 변형을 허용하는 대신 안정성을 확보하는 재래식 분할굴착 방법과 선행변형 억제를 위한 강관 다단그라우팅공법을 병행하는 논리적 불일치
- 대단면 대심도 굴착 시 수직편차가 15mm/m 이상 발생으로 다목적 시설(엘리베이터 등) 설치 어려움
- 현장타설 적용 시 긴 공기로 주민 피해 발생
- 현장타설 공법으로 시공 시, 매 슬래브 마다 시공이음이 다수 발생할 수밖에 없어 시공품질의 확보가 어렵고 이음부 누수로 인한 구조물 내구성 저하

○ 기술동향

(국내동향)

- 대부분 지하철인 기존 도심지 터널경험은 터널심도 및 지반조건 변화가 많지 않아, NATM 도입 시기에 습득한 표준화 지보계획 기술을 반복적으로 적용
- 한국도로공사에서는 기존 경험적 지보패턴이 5가지의 RMR 등급으로 분류하던 것을 9단계의 RMR 등급으로 세분화함으로써 현장 지반조건 변화 대응성 개선 시도
- 터널 분·합류부 대단면 터널의 경험적 터널기술로서 다분할 굴착 및 정성적 보강공법 적용
- PC구조물을 활용한 하향식 수직구 구축에 대한 기술을 확보하고 있으나, 10m이하 소형단면에 국한됨

(국외동향)

- 터널의 파괴메커니즘이 주변지반의 응력-변형거동에 지배되는 경우와 주변지반 내 불연속면의 지질구조적 거동에 의해 지배되는 경우로 구분
- 터널 인접 구조물 영향 배제를 위해 대부분의 도심지 터널의 경우 터널 내 변형량 제어를 고려할 수 있는 TBM 공법 적용 중
- 일반 굴착 또는 전용 장비(VSM 등)를 활용하여 하향식 수직구 구축 기술을 보유

○ 주요 연구개발 내용

- 논리적 암반분류체계 제안
- 분석적 터널설계기법 제안
- 지보재 공칭강도 설정방안 제시
- 터널 내 변형제어기술 설계·시공기법
- 대단면 다목적 수직구 표준 설계 제시
- PC 구조물을 활용하여 차수가 가능한 하향식 수직구 구축 기술

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도)
 - 최적 분할굴착 및 지보설계 기술 개발을 위한 기존 기술 개선방향 도출
 - 초대단면 변형제어개념 정립 및 사전변형특성 모형실험
 - 대단면 다목적 수직구의 표준설계(안) 도출

- (2차년도)
 - 다양한 터널 역학거동에 대한 모형실험 및 이론적 개념정립
 - 굴착(발파 등) 전 사전변형 계측장치 개발
 - 수직구 탑승용(사람 및 차량) 승강장치 연결 고강도 구조물 개발
- (3차년도)
 - 터널 역학거동에 대한 실 계측 결과 분석을 통한 개발기술 보완
 - 개발 계측장치를 활용한 계측 및 역학거동 검토
 - 개구부 누수 차단용 PC 구조체 개발
- (4차년도)
 - Test Bed 적용을 위한 설계, 경제성 분석 및 설계기법 제안(분할굴착, 지보, 사전변형)
 - 대심도 수직구 적용을 위한 수직편차 최소화 구축 기술 개발
- (5차년도)
 - Test Bed를 이용한 기술검증 및 개발 기술 타당성 분석(분할굴착, 지보, 사전변형)
 - 대단면 다목적 수직구의 실 현장 또는 유사현장 적용을 통한 기술 검증

□ **세세부기술7: 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 침수시 안정적 전력 공급 설비(누전사고 및 전력차단 방지 등) 및 분산형 집·배수 기술**

○ 기술개발 필요성

- 전 세계가 최근 극한 기후에 의한 재난으로 막대한 피해를 체감하고 있다.
- 기후재난은 기후패턴 변화, 극단적인 기상현상, 바다수온 상승 등의 여러 원인 등으로 한계를 넘어선 극한 강도로 빈번하게 발생하는 재난을 말한다.
- 이러한 극한의 기후재난은 꺼지지 않는 산불, 사막의 폭우, 국가적 가뭄, 재앙적 토네이도, 남·북극의 해빙 등 언어적 모순이라고 생각할 정도의 키워드로 표현되고 있으나, 실제 존재하는 재난으로 확인할 수 있다.
- 때문에 현재 국가적으로 구축된 기존 하드웨어와 소프트웨어적 재난관리 시스템은 극한 기후 재난 대응에 한계에 봉착하였다.
- 특히 게릴라성 폭우로 인한 오송 지하차도와 같은 피해는 향후 지속적으로 일어 날 수 대표적 인 재난안전 사고라고 할 수 있다.

○ 기술동향

- 현재 국가적으로 구축된 기존 하드웨어와 소프트웨어적 재난관리 시스템은 극한 기후재난 대응에 한계에 봉착
- 재난양상의 변화속도는 초격차기술개발을 추월함에 따라, 기존의 재난관리체계는 생소한 경험 에 혼란
- 국내 상황 역시 크게 다르지 않다. 이미 10여년 전 부터 전조현상이 나타나고 있던 기후재난 은 팬데믹(Pandemic) 시국을 기점으로 격변하기 시작
- 2020년부터 여름철 풍수해는 상습피해지역, 집중관리지역 등 한정된 예상지역이 아닌 전국 단 위 피해 확산으로 범위가 넓어졌음
- 2023년 현재까지 4회의 여름동안 한번도 빠짐없이 수십명의 사망자와 수백억원 단위 재산피해를 발생
- 그러나 명확한 선제적 대응책은 전무 한 상태이며, 후속적인 조치만 이루어 지고 있는 상황
- 때문에 과거기록을 기반으로 변화 추이를 고려하고, 현재의 동향분석과 시나리오 기반의 미래 예측을 통해 최적화된 시설물을 설치
- 이를 위해 정부는 행정안전부를 중심으로 ‘제4차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획’과 ‘국가안전시스템 개편 종합대책’을 통해 새로운 위협의 미래재난 시나리오와 위험기상 예측 등의 기술개발을 추진

- 연계사업으로 미래 대형재난 발생 시나리오 다양화와 빅데이터 및 인공지능 기술 기반의 '피해 예측 범위 확대사업'을 도모
- 또한 대규모 재난 및 안전사고 발생시 중앙정부와 지자체의 재난관리체계 및 역할 불균형을 개선하기 위해 지자체 재난안전관리 기능 및 역량 강화를 추진
- 그러나 정부의 하드웨어 및 소프트웨어적인 개선 노력에도 불구하고, 직관적으로 국민이 체감하는 변화는 아직 요연

○ 주요 연구개발 내용

- 지하차도 전력 분석과 침수 및 배수 환경에 대한 정량적 위험도 분석 기준 정립 및 기법 개발
- 지하차도 내 침수 시 환경분석을 통한 누설전류 제한 펌프 기동반(분전반) 개발
- 지하차도 전력 공급의 위험요소 분석과 관리자의 효율적인 관리를 위한 맞춤형 IOT 통합관리 시스템 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 지하고속도로 내 침수 시 위험요인 분석 및 사고 시나리오 수립
 - 침수 시 재난안전사고 시나리오 개발
 - 초장대 지하고속도로 내 펌프기동반(분전반) 위험요소 분석
- (2차년도) 습기, 누수, 결로, 침수등으로 인한 감전 사고 특성 분석 및 대응 기술 개발
 - 지하 침수조 감전사고 특성 및 효율적 설비 관리 시나리오에 따른 데이터 도출
 - 초장대 지하고속도로 내 감전사고 특성이 고려된 감전 대응 분석 및 침수시에도 정상 작동하는 분전반 시작품 제작
- (3차년도) 사고 시나리오별 위험도 해석 기법 및 현장 상황 모니터링 기술 개발
 - 지하고속도로 감전사고 및 배수시설 현황에 따른 맞춤형 분배전반 및 웹 개발
 - 초장대 지하고속도로 내 폭우로 인한 재난안전 대응 감시 모니터링 기술 개발 및 시작품 제작
- (4차년도) 개발제품의 공인시험기관의 검증 작업 및 실증 작업
 - 개발제품의 공인시험기관을 통한 성능 테스트 및 관련 법령 검토
 - 현장 실증을 통한 피드백 및 효율적인 개선작업 추진
- (5차년도) 지하고속도로에 적합한 위험도 평가 기준 제시 및 감전 대응 기술 성능 검증
 - 피드백을 통한 공인시험기관의 신뢰성 확보 및 GS인증(소프트웨어인증) 추진
 - 지하고속도로에 적합한 침수 대응 기술 성능 검증 및 현장 실증 사업을 통한 경제성, 사회성 등 분석

□ 세세부기술8: 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 분산형 집·배수 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 급변하는 기후변화로 설계빈도 이상의 극한호우가 빈번히 발생하고 있으며, 초장대, 대심도 지하고속도의 침수시 심각한 인명피해가 발생할 가능성이 높음
- 극한호우 발생시 초장대 지하고속도로 내부로 진입해 있는 차량이 지상으로 빠져나가는데 필요한 시간은 많게는 20분 이상 소요되어, 차수판 또는 차수문 작동전에 강우 및 지표수 유입에 의한 집수 용량을 초과하여 침수심이 발생하고 이로 인한 차량 침수 및 인명피해가 발생할 수 있음
- 극한호우에 대응 가능한 지하도로를 위해서는 집수정의 개수가 증가 되어야 하나 도심지 수직구 설치 반대 민원으로 인해 집수정의 규모가 매우 비대해지고 막대한 사업비의 증가가 발생함
- 따라서, 효율적인 중소 규모의 분산형 집수, 저류 공간 창출을 통한 이상 극한호우시 지하도로의 침수를 방지하고 지하고속도로 내부 진입차량의 탈출 시간을 확보함으로써 침수로 인명피해를 예방할 필요가 있음

- 경제적인 지하고속도로 건설을 위해서는 다양한 조건별 침수시나리오 분석 및 위험도 평가과정이 필요하며, 그에 따른 Emergency Action Plan 수립을 통한 시설의 최적화 검증, 인명 제로화 계획이 필요함

○ 기술동향

- 국내외 지하도로 침수 방지를 위한 기술에는 극한호우에 의한 지하도로 강우 유입시 도로의 저류 및 배수 용량을 늘리는 기술, 지하도로로의 강우 유입 차단 기술, 지하도로 진입 차단기술 등이 있음
- 지하도로의 저류 및 배수능력 향상에는 이수과천 복합터널, 말레이시아 SMART터널과 같이 터널의 하부공간을 활용한 지하도로의 저류 및 배수능력을 향상시키는 기술이 있음
- 지하도로의 강우 유입 차단 기술에는 차수판, 방수문 등의 기술이 있으며, 서부간선 지하도로에는 스윙식 차수판, 신월-여의 지하도로에는 라이징 스윙게이트가 설치되었고, 대부분의 지하도로에는 적용 실적이 없음
- 지하도로 진입차단기술에는 비상상황 발생시 각 지자체 재난종합상황실 및 CCTV 관제센터와 연동하여 신속하게 지하도로로의 진입을 차단하는 기술이 있음

○ 주요 연구개발 내용

- 극한호우 조건, 지하고속도로 기하조건, 유입부 침수심 조건, 교통조건 변화에 따른 지하고속도로 침수시나리오와 위험도 평가 및 Emergency Action Plan 개발
- 예측불가의 이머전시(Emergency) 극한호우 발령으로 인해 지하고속도로로 유입되는 강우로 인한 침수에 긴급 대응하면서 인명 피해를 막고 지하고속도로 진입차량의 탈출 시간을 확보하기 위한 분산형 집수·저류공간 및 신속배수 시설 조성기술 개발
- 극한호우 조건에 따른 침수양상 분석을 통해 지하고속도로로 진입된 차량의 침수를 원천적으로 막기 위한 중·소규모의 지하집수·저류공간의 위치와 규모의 설정이 중요하며 이들 공간과 연결되는 배수시설의 조성방법 등 관련 설계 및 시공 매뉴얼 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 극한호우시 국내 지하고속도로 침수 위험도 분석 및 분산형 집수·저류 및 배수 기술 개념 설계
 - 국내·외 지하도로 침수 사례 및 인명 피해조사 분석
 - 지하도로 침수 방지를 위한 기술개발 동향 파악
 - 극한호우시 국내 지하고속도로 침수 수치모의를 통한 現집수 및 배수시설 한계 연구
 - 극한호우시, 지하고속도로 침수 및 인명 피해 방지를 위한 분산형 집수·저류 및 배수 시설 개념 설계
 - 극한호우 발생시 지하고속도로 침수 영향 인자 도출
- (2차년도) 분산형 집수·저류 및 배수시스템 최적화 및 침수 시나리오 도출
 - 극한호우 조건, 침수심 발생조건, 지하고속도로 기하구조 변화에 따른 침수 시나리오 수립
 - 지하고속도로 집수·저류 및 배수시설 케이스 분석 및 최적화 연구
- (3차년도) 분산형 집수·저류 및 배수시스템 침수위험도 평가 및 설계 매뉴얼 개발
 - 지하고속도로에 대한 분산형 집수·저류 및 배수시설 적용 및 침수 위험도 분석 연구
 - 지하고속도로 분산형 집수·저류 공간 및 배수시설 설계 매뉴얼 개발
- (4차년도) 침수발생시 EAP 수립 및 시공 매뉴얼 개발
 - 극한호우에 의한 지하고속도로 침수 발생시 EAP 수립
 - 지하고속도로 분산형 집수·저류 공간 및 배수시설 시공 매뉴얼 개발
- (5차년도) 분산형 집수·저류 및 배수 기술의 사업화
 - 현장 테스트베드 실시설계 기술 적용(당사 입찰 T/K PJ 등) 및 분석 연구
 - 기술사업화 실적 확보

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 5-20> (세부기술 1) 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증

세부기술명	세세부기술명	산출물					추진기술 목표	구성기술 목표
		'24	'25	'26	'27	'28		
1-1. 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증	친환경차량(수소차, 전기차 등) 화재 등 사고 대응 방재시설 및 대응 프로세스	-친환경차 특성 기반 사고 시나리오 수립	-수소차 및 전기차 사고 사례 분석 -전기차 화재특성 및 시나리오에 따른 화재 성장곡선	-수소차 제트화염 및 수소폭발해석 기법 -전기차 화재(열폭주) 해석기법	-사고 시나리오별 수치해석을 통한 위험 특성 분석 -친환경차 위험 특성에 따른 사망자수 추정 방법 도출	-지하고속도로 대상 정량적 화재 위험도 평가 기준(친환경차 특성 고려)	친환경차 특성 포함 여부(수소탱크폭 발, 위험 물질의 누출, 전기차량의 화재 등)	지하고속도로 내 친환경 차량을 고려한 화재 대응 기술 확보 및 재난 발생 시 교통관리 및 차단시설 개발을 통한 재난 대응 체계 구축
		-친환경차 화재 요인별 위험 분석	-지하고속도로 /친환경차 특성 기반 원격 소화기술 고안(시작품 제작 및 작동 실험)	-친환경차 사소기 현장상황 감시 모니터링 기술(시작품 제작 및 작동 실험)	-원격 소화기술 및 현장상황 감시 모니터링 시스템화 및 시제품 제작, 성능실험	-유사 현장 선정 및 친환경차 화재 대응 기술 현장 적용	소화 범위 20m 이상, 상황 정보 인지 정확도 95% 이상	
	폭발 상황에 따른 지하 고속도로 내부 슬래브 구조물의 안전성 검토 시뮬레이션 및 대응 기술	-폭발 시나리오 도출 보고서	-3차원 폭발 시뮬레이션을 통한 슬래브 안전성 평가 보고서	-소·중형 화물 등 폭발에 따른 슬래브 안전성 평가 보고서	-대형 화물 및 수소차 등 폭발에 따른 슬래브 안전성 평가 보고서	-지하고속도로 위험 차량 진입 규제 기준 제시	3차원 동해석 기반 폭발에 따른 슬래브 구조물의 안전성 검토	
		-지하고속도로 가상 설계 보고서	-축소규모 폭발 실험에 따른 슬래브 안전성 평가 보고서	-소·중형 화물 등 폭발 대응 가능 슬래브 설계(안) 제시	-대형 화물 및 수소차 등 폭발 대응 가능 슬래브 설계(안) 제시		축소규모 폭발 실험 및 시뮬레이션 기반 폭발 대응 가능 슬래브 구조물 설계	

세부기술명	세세부기술명	산출물					추진기술 목표	구성기술 목표
		‘24	‘25	‘26	‘27	‘28		
	지하고속도로 내 위험상황(화재 및 침수 등)을 고려한 맞춤형 교통대응 기술 개발	-국내외 기술동향 보고서	-수집 데이터 기반 위험상황 단계 진단·평가 알고리즘	-위험상황종류 및 발생 단계를 고려한 교통류 해석 및 교통혼잡추정 기법	-시뮬레이션 기반 지하고속도로 내 위험상황을 고려한 교통처리 평가 지표 및 방법 효과 평가 보고서	-현장 검증을 통한 성능 평가	지하고속도로 내 위험상황(화재 및 침수 등)을 고려한 맞춤형 교통처리 및 관리 기술 개발	
	재난 발생(화재, 침수 등)시 내·외부 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통안전 시설물 고도화 기술 개발	-교통차단시설 기술조사	-음향/시각/물리적 요소 기술별 인지 향상 실험보고서	-요소기술별 제품 시제품	-터널내외부 교통차단시설 시제품	-터널내외부 교통차단시설 시제품 및 현장적용 보고서	재난(화재, 침수) 발생시 효율적인 차량 통제/우회를 구현하기 위한 기존 방재시설 개선기술 및 도로설계기술 개발	
		-도로터널 방재시설 운영시스템 기술조사		-시나리오별 방재시설 연동형자동 운영시스템 설계도서	-시나리오별 방재시설 연동형자동 운영시스템	-지하고속 도로방재시설 자동운영시스템 매뉴얼		
		-국내외 교통제어 도로설계 기술조사	-대피우회 도로설계방안 보고서	-상황별 대피우회 교통시뮬레이션 보고서	-재난대응 교통차단시설 및 도로 설계도서	-재난대응 교통차단시설 및 도로설계도서		

<표 5-21> (세부기술 2) 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증

세부기술명	세세부기술명	산출물					추진기술 목표	구성기술 목표
		‘24	‘25	‘26	‘27	‘28		
1-2. 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증	첨단 ICT 기반의 화재 위험차량 통합 대응 시스템	-시스템 구성을 위한 요소기술 검토 -최적개념 설계(안)	-다중 라이다 및 열화상 센서 이용 차량 온도 검사 기술 -AI기반 위험 판단 SW	-차량 온도 감지 및 위험 판단 기술 고도화 -내부 추적 모니터링 기술 확보	-차량검사 및 내부 추적 모니터링 기술 연동 최적화 및 성능 실험	-유사 현장 선정 및 친환경차 화재 대응 기술 현장 적용	화재 위험차량 분류 정확도 95%이상	지하고속도로 내 차량 화재 위험 선제 관리(위험차량 사전검지 정확도 95% 이상) 시스템을 구축 하고, 200년 빈도 강우 발생 침수에도 인프라 사용성 유지 및 이용자 완전대피 시간 20분 확보가 가능한 기술 개발
		-위험차량 긴급 배출 최적화 방법론 도출	-차량 온도 범위에 따른 위험성 평가 및 분류 방안 -위험차량 긴급 배출 시 최적 교통처리 알고리즘 개발	-위험 차량 최적 교통처리 알고리즘 성능 평가	-위험차량 배출 최적화 기법 성능 평가 및 고도화 -화재 발생 위험차량 관리 기준(안)	-실시 설계를 통한 경제성 분석 -현장기술적용 정책 제언	화재위험 차량 분류 가이드라인 1건	
	차량(화재 위험차량, 사고차량, 과적차량 등) 긴급 배출을 위한 대단면 다목적 수직구 설계·시공 및 안정성 모니터링 기술	-대단면 다목적 수직구의 표준 설계(안)	-차수용 방수기능 재료	-개구부 누수 차단용 PC 구조체	-대단면 다목적 수직구 시공 매뉴얼	-Test Bed 적용성과 보고서	대단면 다목적 수직구 구축을 위한 하향식 PC 구조체 개발	
		-락볼트 긴장력 계측이 가능한 센서 헤드	-매립 가능한 IoT-EM 센서 및 계측기	-실시간 계측 SW 개발 및 Test Bed 설계	-IoT-EM 센싱 기반 시공기술 매뉴얼	-수직구 락볼트 긴장력 실시간 모니터링 시공 기술	매립형 지능형 IoT 센서 기반 수직구 락볼트 긴장력 실시간 모니터링 시공 기술 개발	
		-다목적 수직구 표준 단면 검토보고서	-수직구 탑승용 승강장치 연결 구조물	-다목적 수직구 내부 구조물 (브라켓 등)	-수직편차 최소화 구축기술 매뉴얼	-Test Bed 적용성과 보고서	다용도 활용을 위한 고강도 및 수직편차 확보 기술 개발	

세부기술명	세세기술명	산출물					추진기술 목표	구성기술 목표
		‘24	‘25	‘26	‘27	‘28		
	극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 침수시 안정적 전력 공급 설비(누전사고 및 전력차단 방지 등) 및 분산형 집·배수 기술 개발	-침수 시 재난안전사고 시나리오 개발 -초창대 지하고속도로 내 펌프기동반 위험요소 분석	-지하 침수조 감전사고 특성 및 효율적 설비 관리 시나리오에 따른 데이터 도출 -초창대 지하고속도로 내 감전사고 특성이 고려된 감전 대응 분석 및 침수시에도 정상 작동하는 분전반 시작품 제작	-지하고속도로 감전사고 및 배수시설 현황에 따른 맞춤형 분배전반 및 웹 개발 - 초창대 지하고속도로 내 폭우로 인한 재난안전 대응 가시 모니터링 기술 개발 및 시작품 제작	-개발제품의 공인 시험기관을 통한 성능 테스트 및 관련 법령 검토 -현장 실증을 통한 피드백 및 효율적인 개선작업 추진	-피드백을 통한 공인시험기관의 신뢰성 확보 및 GS인증 추진 -지하고속도로에 적합한 침수 대응 기술 성능 검증 및 현장 실증사업을 통한 경제성, 사회성 등 분석	지하고속도로의 침수시에도 분전반의 정상작동을 통하여 수중모터설비의 원활한 배수확보와 물에 의한 감전사고 예방 평소 전력분석을 통한 수중모터 외 수명 예측과 IoT 통합관제시스템을 통하여 효율적인 관리시스템 확보	
		- 분산형 집수·저류 및 배수시설 개념설계	-지하고속도로 집수·저류 및 배수시설 케이스 분석 및 최적화	-지하고속도로 분산형 집수·저류 공간 및 배수시설 설계 매뉴얼	-지하고속도로 분산형 집수·저류 공간 및 배수시설 시공 매뉴얼	-기술실증 및 사업화	극한호우시 지하고속도로 침수에 대응가능한 분산형 집수·저류 및 배수 시설 개발	
		-지하고속도로 침수 영향 인자 도출	-다양한 조건 변화에 따른 지하고속도로 침수시나리오 수립	-극한호우에 의한 지하고속도로 침수위험도 분석	-극한호우에 의한 지하고속도로 침수발생시 EAP수립	-기술실증 및 사업화	다양한 침수 조건별 침수 시나리오 분석, 위험도 평가 및 EAP 수립	

7. 자원 투입 계획

(1) 연차별 예산 소요 계획

<표 5-22> 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발

(단위: 억원)

No	세부기술명		‘24	‘25	‘26	‘27	‘28	합계
1	지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증	정 부	6.10	9.65	12.20	13.45	8.60	50.00
		민간	2.05	3.24	4.09	4.51	2.89	16.78
2	지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증	정 부	6.00	12.00	17.75	23.45	9.80	69.00
		민간	2.02	4.02	5.95	7.86	3.28	23.13
소계		정부	12.10	21.65	29.95	36.90	18.40	119.00
		민간	4.07	7.26	10.04	12.37	6.17	39.91
총계			16.17	28.91	39.99	49.27	24.57	158.91

(2) 연차별 인력 투입 계획

<표 5-23> 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발

(단위: 명)

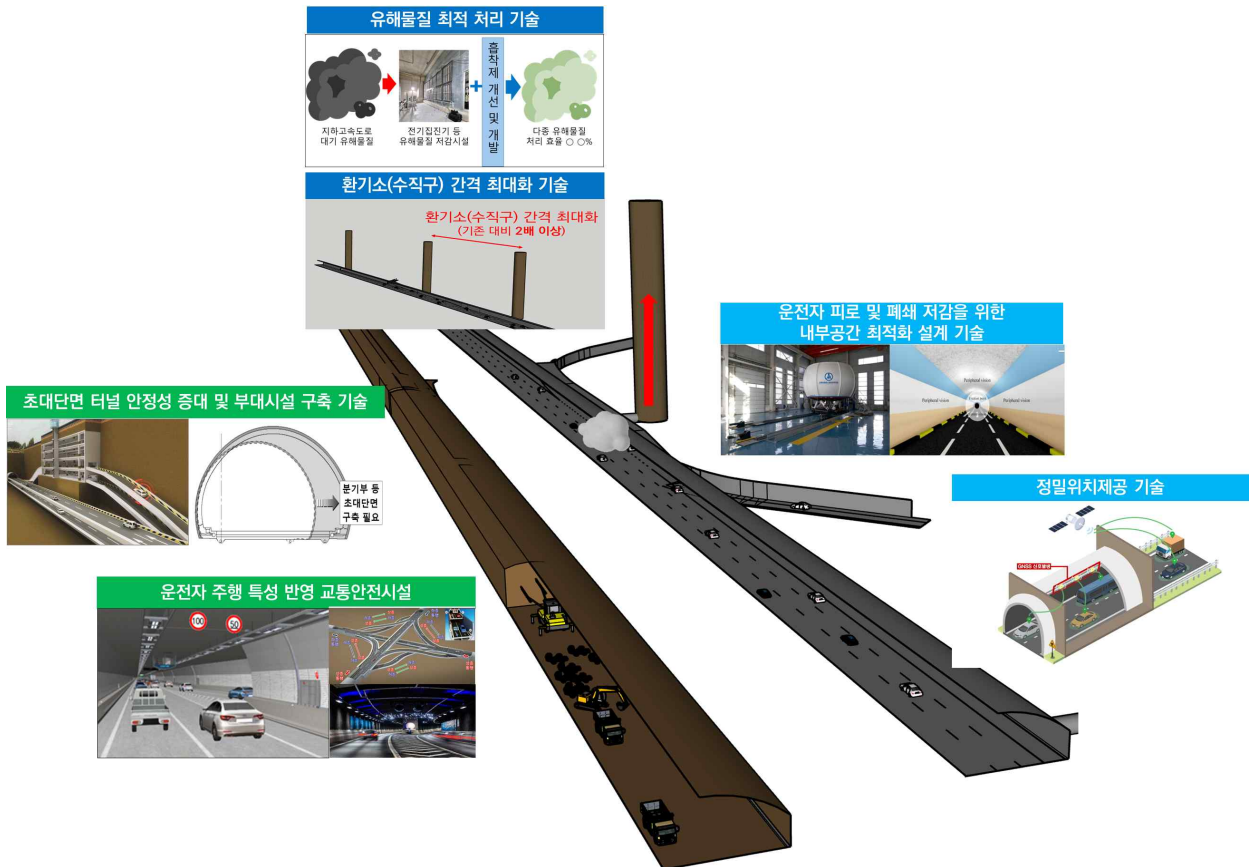
No	구성기술	구분	‘24	‘25	‘26	‘27	‘28	합계
1	잠재적 차량 화재 위험 선제 관리 및 친환경차량 화재 대응 기술 개발 및 실증	책임연구원	13	18	18	18	16	83
		연구원	26	39	40	44	29	178
		연구보조원	21	32	32	37	24	146
총계			60	89	90	99	69	407

제3절. (핵심기술2) 지하고속도로 환경 개선 및 편의 향상 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발

1. 개요

1) 개념

- 동 기술은 지하고속도로 환경 개선 및 편의 향상을 위해 요구되는 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증과 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증을 위한 핵심기술



[그림 5-35] 지하고속도로 환경 개선 및 편의 향상 기술 개발 개념도

2) 범위

- 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증
 - K-고속도로 적용 소요환기량 개선 및 환기소(수직구) 설치간격 증대 방안 마련
 - 지하고속도로 내 및 주변지역(환기소, 진출입부)의 대기 중 유해물질 관리기술
 - 복합환경 유해인자를 실시간으로 모니터링하여 유해물질의 확산 모델링을 통한 주변지역의 피해도 예측/분석 및 통합관리를 위한 시스템 구축
- AI 기반 터널굴착 설계S/W, IoT 센싱, 전문가 시스템 기반 고속굴착 공법 개발
 - 굴진 효율 증대를 위한 벌크형 폭약 자동 장약 시스템 활용
 - IoT 센서 기반 천공 네비게이션 및 천공 결과 3차원 모델링을 통한 실시간 작업관리 시스템
 - 굴착면 스캐닝, 천공 패턴, 장약 설계, 지연 시차 등의 재구성(디지털트윈)에 의한 결과 시뮬레이션과 최적 자동화 굴착설계 기술
 - 터널굴착 설계·결과 데이터의 인공지능 학습 기반 통합 터널굴착 전문가 시스템

-
- 지하고속도로 내 정밀위치 정보 제공 기술 개발
 - 초장대 지하고속도로 내 존재하는 차량, 작업자, 기구물, 시설물 등을 대상으로 GPS 음영구간 환경에서 24시간 사용 가능한 위치 측위 기술 개발
 - 대단면 터널 안정성 증대를 위한 최적 분할굴착 및 지보 기술
 - 대심도 구간의 분·합류부(지하 인터체인지) 등을 포함하는 초대단면 지하고속도로 건설에 따른 지반침하 예방과 대변형 터널 거동을 고려한 최적 굴착 설계 기술
 - 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증
 - 지하고속도로 연장, 굴곡, 높이 등 다양한 환경 조건에서 운전자의 운전능력 저하, 상승, 상태 등 확인·평가 기법 및 기술
 - 지하고속도로 운전자 피로 및 폐쇄감 저감에 기여할 수 있는 터널 공간 설계 및 조명 최적화 설계 기술
 - 지하고속도로의 공간적, 환경적, 기술적 제약 및 한계를 고려한 졸음쉼터 등 휴게시설 최적 적용 방안 및 인프라 구축 기술
 - 초광역 연결 초장대 지하고속도로에 요구되는 전기차 충전인프라(지하) 구축 및 이용자 안전확보를 위한 인프라 결함 최소화(누설전류 제로화) 기술
 - 지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술
 - 가상주행환경(Virtual Reality) 기반의 지하고속도로 세부 구간별 운전자 주행 특성 도출
 - 지하고속도로 본선 및 분·합류부 구간의 안전성 향상을 위한 교통정보제공 기술 개발
 - 지하고속도로에 적용 가능한 도로안내 및 교통안전시설의 시스템화로 교통안전체계의 수립 및 효과 분석

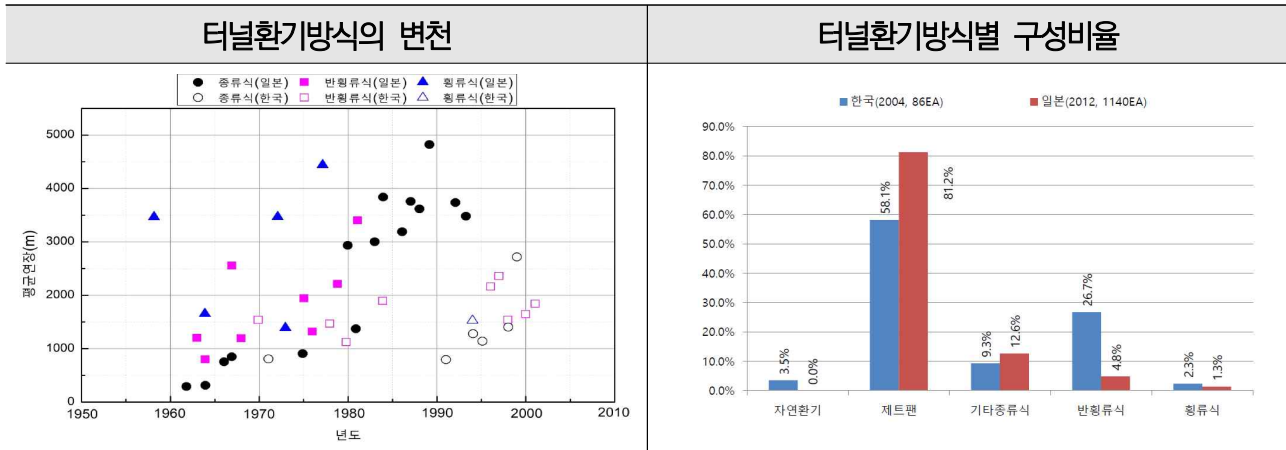
2. 국내외 관련 동향

(1) 지하고속도로 환경 개선 및 편의 향상 기술 국내 동향

□ 우리나라와 일본의 도로터널 환기방식에 대한 통계 비교분석 결과 종류식의 경우 국내는 67%, 일본은 83% 수준이며, 횡류식의 경우 국내 29%, 일본 6% 내외로 대부분 종류식 환기방식을 채택하고 있음

○ 이는 비교적 과거의 통계자료(국내 2004년, 일본 2012년)으로써 현재의 통계자료를 분석할 경우 도심지 터널 및 장대화 터널 시공, 설계사례 증대로 횡류식의 비율이 보다 증가 할 것으로 예상

<표 5-24> 우리나라와 일본의 터널환기방식 비교



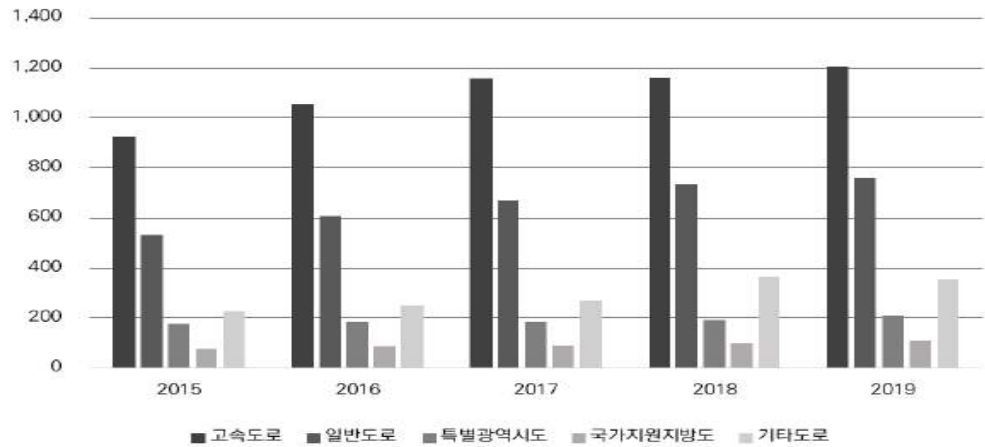
□ 국내 도로터널 수의 지속적 증대

○ '15년부터 '22년까지 도로터널의 수는 지속적으로 증가 중이며, 2022년 12월 기준 2,755개소 (튜브수 기준)이 건설되어 운영중인 것으로 분석됨

- 도로의 종류에 따른 연장등급 분류

- 고속국도의 경우 총 1,238개소 중 1등급 45개소(4%), 2등급 287개소(23%), 3등급 404개소(33%) 4등급 502개소(41%)로 분석되어지며, (반)횡류식을 채택하는 도로터널의 개소수는 확인할 수 는 없으나, 약 15% 정도는 (반)횡류식으로 환기 및 제연방식을 채택할 것으로 추측됨
- 일반국도의 경우 총 798개소 중 1등급 7개소(1%), 2등급 141개소(18%), 3등급 291개소(37%) 4등급 353개소(45%)로 분석되어지며, (반)횡류식을 채택하는 도로터널의 개소수는 확인할 수 는 없으나, 약 10% 정도는 (반)횡류식으로 환기 및 제연방식을 채택할 것으로 추측됨
- 특별광역시도의 경우 총 231개소 중 1등급 10개소(4%), 2등급 51개소(22%), 3등급 40개소(17%) 4등급 130개소(56%)로 분석되어지며, (반)횡류식을 채택하는 도로터널의 개소수는 확인할 수 는 없으나, 약 5% 정도는 (반)횡류식으로 환기 및 제연방식을 채택할 것으로 추측됨
- 국가지원지방도의 경우 총 110개소 중 1등급 6개소(5%), 2등급 19개소(17%), 3등급 42개소(38%) 4등급 43개소(39%)로 분석되어지며, (반)횡류식을 채택하는 도로터널의 개소수는 확인할 수 는 없으나, 약 5% 정도는 (반)횡류식으로 환기 및 제연방식을 채택할 것으로 추측됨

○ 이와 같이 최근 도심지 장대화 터널의 설계 및 시공, 운영사례 증대로 (반)횡류식 환기방식을 채택하는 터널의 수는 지속적으로 증가될 것으로 전망



[그림 5-36] 연도별 도로터널 건설수 추이

□ 소형차 전용 지하도로의 환기소 최대설치간격 마련

○ 환기측면

- 오염물질 배출량 기준의 현행화 및 소형차 전용 지하도로의 높은 교통환기력을 고려하여 수직구의 적정간격은 최대 5km으로 산출됨
 - 주행속도별 CO 농도변화 검토결과 터널내 CO농도는 주행속도 20km/h시 가장 높게 나타남
 - CO 70ppm을 허용기준으로 하는 경우 약 5,845m, 50ppm을 허용기준으로 하는 경우 약 4,185m 정도에 환기소를 이용한 급기 필요

○ 방재측면

- 집중배기방식을 적용하는 경우, 배연목적의 최대배연구간 거리는 2.5km으로 총 5km의 적정 수직구 간격으로 검토됨
 - 설치 가능한 축류팬 정압(3~4kPa)에 따른 최대풍도연장 검토
 - 댐퍼구간 손실은 50m 간격으로 개방된 댐퍼(1.0m×1.5m, 11개소)를 통해서 배연풍량을 흡입하는 경우에 발생하는 압력손실
 - 배연용 환기소에서 댐퍼 및 터널 내 풍도손실을 제외한 압력손실 고려 (평균 652.8Pa → 700Pa)
 - 직관손실은 축류팬 정압에서 댐퍼손실과 부차적 손실을 제외한 손실로 풍도에서 발생하는 압력손실

<표 5-25> 지하도로 환기소 설치 간격

축류팬 정압(Pa) (ΔP_F)	배연계통의 압력손실(Pa)				총 풍도연장 (L, m) (Damper구간포함)
	댐퍼구간손실 (ΔP_D)	부차적손실 (ΔP_S)	직관풍도손실 (ΔP_L)	풍도직관연장 (L2)	
3,000	350	700	1,950	1,444.4	1,944.4
3,500	350	700	2,450	1,814.8	2,314.8
4,000	350	700	2,950	2,185.2	2,685.2

※자료출처 : 지하고속도로 설계기준

□ 측위 기술 시장 현황

- 실내측위 및 내비게이션 시스템 시장 규모는 '22에서 '27년 사이 525억 달러 성장할 전망 (CAGR: 34%)
 - 시장조사기관 TechNavio에 따르면 실내 측위 및 실내 내비게이션(Indoor Positioning and

Navigation System) 시장은 '22년에서 '27년 사이에 34.07%의 CAGR로 성장하며, 시장 규모는 525억 346만 달러 증가할 것으로 예상

- 시장 크기는 북미지역이 전 세계 시장의 40%를 차지하며 그다음으로 아시아 태평양지역이 큰 규모를 차지할 것으로 예상

- 전 세계 C-ITS 세계시장 규모는 '20년 23억 불이며, 이후 '31년 82억 불을 기록할 것으로 전망
 - 글로벌 리서치사 Insight Slice의 C-ITS 세계시장 동향(시장 C-ITS시장 개요 및 트렌드)의 보고서에 따르면 C-ITS 구성요소는 하드웨어, 소프트웨어, 서비스로 구분
 - 실내 측위와 관련한 하드웨어 인프라 분야는 센서, 통신 장비, 인터페이스 보드, 서버 구성품 등 C-ITS시스템 운영을 위한 구성요소로 이루어짐
 - 하드웨어 시장은 '20년 45%의 점유율로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, '31년까지 38.7%로 여전히 높은 점유율을 차지할 것으로 전망

□ 지하 교통 인프라 유해물질 처리

- 물질 처리 분야에서는 다양한 기술들이 연구되고 있으며, 특히 효율적인 처리와 확산 모델링 기술의 개발에 관심이 높아지고 있는데 세계적으로는 유해물질 처리 분야에서 발생하는 새로운 기술 및 솔루션에 대한 수요가 증가하고 있으며, 새로운 장비 및 기술 개발을 통한 경제적이고 효율적인 유해물질 처리 솔루션에 대한 수요도 높아지고 있음
- 미국 로우라인 프로젝트(Low Line)의 경우 버려진 지하철 공간을 공공 휴식공간으로 재생하고 유리 렌즈와 광섬유튜브 등을 이용한 고밀도 자연광 원격 채광·집광 기술과 태양열 집열 장치들을 통해 빛과 열을 지하 6.1m까지 유도하고, 지하 식생·녹화를 통해 친환경 녹지공원 조성하였는데 이를 통하여 공기질 개선, 자연광 빛 환경 조성 기술 등 적용하고 도심 속 문화 및 휴식 공간으로 탈바꿈함
- 세계적으로는 유해물질 처리 분야에서 발생하는 새로운 기술 및 솔루션에 대한 수요가 증가하고 있으며, 새로운 장비 및 기술 개발을 통한 경제적이고 효율적인 유해물질 처리 솔루션에 대한 수요도 높아지고 있음
- 스마트시티와 같은 도시정보화 추진에 따라 IoT 기반 유해물질 모니터링 및 데이터 분석 솔루션에 대한 수요도 높아지고 있음

□ 지하고속도로 줄임셈터 등 휴게시설 확보를 위한 수직 이동 기술

- 국외 신규설치 승객용 엘리베이터는 2016년 약 1,224,000대로 2014년 대비 36% 이상 증가하였으며, 누적 설치는 약 16,100,000대로 2014년 대비 14% 증가한 수치. 승강기 유지관리 매출 및 신규설치 매출액은 약 690억 달러로 추정됨
 - 전 세계 시장에서 아시아, 태평양지역이 차지하는 비중이 지속적으로 증가하고 있으며, 수직 이동수단으로써 엘리베이터가 전체의 90% 이상 차지하고 있음
 - 건물의 고층화 및 대형화로 승강기 의존도가 높아지고 그에 따른 안전사고도 증가함에 따라 각 국가에서는 승강기 관련 안전규제를 강화하는 추세에 있음. 이 문제가 세계 승강기 시장에 변수로 작용할 것으로 예상 됨
 - 승강기에 대한 고객 요구가 다양화되면서 타 산업과 융·복합을 통한 신규시장이 지속적으로 창출되고 있음
 - 지하고속도로에 적용 가능하고 3차원 입체(수평·수직)이동 이며 차량 및 운전자 동시 운송이 가능한 엘리베이터 관련 기술은 보유하고 있지 않은 것으로 조사됨
- 대기업 중 현대엘리베이터는 2008년 1080m/min으로 운행되는 초고속 승강기의 자체 기술개발력을 기반으로 대용량의 권상기 개발기술, 구동 제어기술, 종/횡 진동 제어기술, 기압제어기술 및 대용량의 유선형 Cage 개발 등의 기술을 보유하고 있음

- 국내 중소기업 중 엘파킹(주)에서 본 연구를 통해서 구현하고 자 하는 기술은 일부 보유하고 있음
 - 기계식 주차설비 기술을 보유하고 있으며 많은 누적 시공 실적(80,000대)도 보유하고 있음.



롯데호텔주차타워



푸르델생명 사옥



SK텔레콤 둔산 사옥



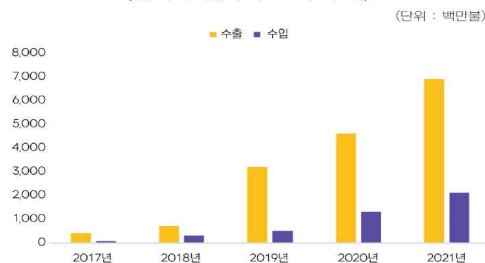
영등포 현대카드 사옥

[그림 5-37] 엘파킹(주) 시공실적

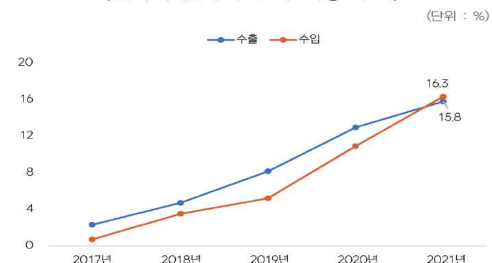
□ 지하고속도로 충전 인프라(지하) 구축 및 누설전류 제로화를 통한 안전성 확보기술

- 우리나라 전기차 시장은 '22년 16.3 만대에서 '30년에는 44만대까지 성장할 전망
 - 코로나 기간('19년~'21년) 자동차 수출 9.5%, 수입 16.4% 증가한 반면, 전기차 수출은 112.2%, 수입은 264.5%로 급등하면서 국내 자동차 시장에서 새로운 주력 상품으로서의 가능성을 제시
 - 국내 자동차 생산/판매 시장은 국내 생산 후 국내 판매보다 수출을 통한 해외시장 판매가 더 큰 비중을 차지하고 있는 상황으로, '21년 자동차 수출 시장의 미국, 캐나다, 러시아가 많은 부분을 차지한 반면, 전기차 주요 수출 대상국은 미국이 1위이며 유럽의 독일, 영국 등 7개국이 포함되는 등 자동차 전체 시장과 전기차 수출 시장이 다소 상이

〈한국의 전기차 교역 추이〉



〈한국의 전기차 교역 비중 추이〉



[그림 5-38] 국내 전기차 교역 추이 및 비중 추이(한국무역협회 무역통계)

- 우리나라는 전기차 확대와 더불어 충전소 구축 확대를 추진 중
 - 2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 상향 안('21.10.18)에 따르면, '30년 전체 차량 약 2,700만대 중 전기차 362만대, 수소차 88만대, 하이브리드 400만대로 구성되는 것이 목표
 - 전기차 보급확대 정책은 보조금 지원정책이 대표적으로, 보조금은 차량 성능(연비, 주행거리), 대기환경 개선 효과 등에 따라 차량별로 차등 지급
 - 지방보조금은 국고보조금 외 추가로 지방자치단체에서 지원하는 보조금으로 관할자치단체 내 거주 등 자격조건이 부여되며 지자체별로 상이 한 금액이 지원
- 정부의 전기차 충전 인프라 보급 계획은 '25년 기준 누적 51.7만기로 거주지·직장 등 생활거점 중심으로 50만기, 휴게소 등 이동거점 중심으로 1.7만기를 목표로 함
 - (생활거점) 충전기(급속·완속충전기, 콘센트) 의무설치비율 확대를 통해 '25년까지 거주지·직장 중심 50만기 이상 구축
 - (신축건물) 충전기 의무설치비율 : '20년 0.5% → '22년 5% → '25년 10%
 - * 의무구축대상: 100세대 이상 아파트, 다중이용시설, 공용주차장 등
 - (기축건물) 충전기 설치의무 신규 부과 : '20년 0% → '22년 공공건물 2% → '23~'25년 민간건물 2%로 대상 확대
 - (이동거점) 민관협력을 통해 급속충전 중심으로 '25년까지 이동경로·고속도로에 1.7만기 구축
 - 접근성이 우수한 주유소·LPG충전소 內 전기차 충전기를 복합설치하는 “하이브리드 스테

이선”을 ’25년까지 630개소 이상 구축

- 고속도로별 교통량 등을 고려하여 휴게소(전국 197개)에 초급속충전기(350kW) 등을 설치하여 장거리 여행 불편 최소화
 - * 고속도로 휴게소(197개) 1개소당 배치: ’20년 2.5기 → ’22년 8기 → ’25년 15기
- 민간충전사업자에게 급속충전기 설치비용의 50% 이내에서 보조금을 교부하여 ’25년 누적 2,651기 구축 예정
 - * (~’20년 누적) 1,248기, (’23년) 300기, (’24년) 272기, (’25년) 272기

(2) 지하고속도로 환경 개선 및 편의 향상 기술 국외 동향

□ 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 벽면 조명 및 색상·패턴 최적화 기술 개발

○ 공간디자인 개념의 다양한 터널 벽면 색상·패턴 및 안내표시판 시장 규모

- 운전자의 폐쇄공포감을 최소화할 수 있는 공간디자인 개념을 도입한 색상·패턴 및 안내표시판에 대한 시장은 현재까지는 적용 사례가 적음

○ VR 시뮬레이션 시장 규모 및 기대

- ‘글로벌데이터’가 제시한 ‘VR 시장 규모·점유율 경향 분석 보고서’에 따르면, VR 시장 규모는 지난 ’21년 69억 달러(약 8조9000억 원)에서 연평균 25.1%씩 성장할 전망
- 한국 IDC는 ‘전 세계 증강/가상현실(AR/VR) 지출 가이드’를 발간하고, 아태지역의 AR/VR 시장이 ’26년 166억 달러 규모를 형성할 것으로 전망. 이 기간 연평균 성장률 42.4%를 기록



출처: (<https://www.itbiznews.com/news/articleView.html?idxno=73262>)

[그림 5-39] ’22년 아태지역 주요산업별 AR/VR 진출

○ 공간디자인 개념을 도입한 색상·패턴을 이용한 운전자 피로감소 및 폐쇄공포감 감소

- 현재 관련 정책은 아직 없는걸로 조사됨

○ 공간디자인의 개념을 도입한 색상·패턴을 이용하여 운전자의 피로감이나 폐쇄공포감을 줄이는 산업에 대해서는 없는걸로 보임

□ 지하고속도로 줄임턱터 등 휴게시설 확보기술 개발

○ 승강기는 운송의 양적, 질적 향상을 위한 운송기술(Technology for transport)과 IT 기술 융합을 통한 편의성(Technology for comfort) 2가지 방향으로 기술 개발을 수행하고 있음.

- 수직 이동수단이라는 엘리베이터의 고정관념을 깨고, 로프가 없이 수직·수평 어느 구간으로든 이동이 가능한 엘리베이터 기술이 독일 티센크루프 엘리베이터에서 개발되어 상용화 단계에 있음
- 에스컬레이터 운송능력을 높이기 위하여 승강장에서는 에스컬레이터의 스텝이 접힌 상태로 저속으로 운전하다가 중간에 스텝이 펼쳐지면서 고속으로 운전하는 기술이 개발됨
- 건물 내부 개인 이동 관리시스템과 자체개발 앱 연동하여 스마트폰으로 엘리베이터를 호출하는 이용자 편의기술이 개발됨
- 환경규제 및 고유가 등으로 친환경 고효율 기술이 개발되고 있으며, 승강기에 사용되는 전동기 방식이 유도전동기에서 동기전동기 체계로 변화 중임

○ 본 연구에 적용 가능한 승강기 관련 제도 등의 개선 필요성

- 운전자가 탑승한 차량을 승강기로 이동할 수 없는 법상의 문제로 본 연구목표 달성 후 현실화 가능성에 문제가 있으므로 이를 해결하기 위한 제도 개선이 필요함

□ 지하고속도로 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 터널 공간설계 및 조명 최적화 기술

○ 인간이 행동하는 장면을 생성하는 AI 학습 시뮬레이터 'Dimension' 개발

- 일본의 쿠거(CEO 이시이 아츠시, Couger)가 거리 또는 상업 시설 등 인간이 행동하는 장소에서 인간이 행동하는 장면을 생성해 인공지능(AI)을 학습시키는 3DCG(3-Dimensional Computer Graphics, 3차원 그래픽스) 시뮬레이터 '디멘션(Dimension)'을 출시
- 기본 활용 기능
 - 머신러닝을 위한 학습 데이터 생성(RGB 이미지 세분화 이미지 깊이 이미지, LIDAR 점군 데이터), 배경 이미지 합성(모든 이미지에 인물 등의 3D 모델을 합성)
 - 3D 모델 배경 자산(도시 데이터), 연속 데이터 생성(인물 · 자동차·카메라를 임의로 움직여 연속 데이터를 생성하고 시계열 데이터를 만듦)
 - 행동 시나리오 도구(행동의 연속 데이터를 생성하기 위한 시나리오 도구)
 - 인물 제어 AI(충돌 방지, 도로 인식)
 - 사람·환경 랜덤 생성 배치(조명 등의 환경, 사람을 무작위로 생성, 배치하여 데이터를 대량 생산), 인물 사용자 정의 기능(인물의 체형 머리카락 색·옷 색깔·피부색의 정의)
 - 인물 수화물 가방(가방 등 수화물의 색상 모양의 사용자 정의)
 - 다채로운 인물용 모션 등



출처: 인공지능신문(<https://www.aitimes.kr>)

[그림 5-40] 가상 도시 및 아바타들

○ MWC23은 '리얼리티 플러스(실재감)'를 주요 의제. 가상현실(VR), AR, 확장현실(XR), 메타버스 등 미래 기술이 만드는 새로운 세계를 의미하며, 전세계 기업들이 관련 기술과 콘텐츠를 선보임



[그림 5-41] MWC23에서 AR 시현

- 유럽 통신사 보다폰은 전시관에서 VR헤드셋을 두고 산업용 디지털 트윈 솔루션 체험을 진행함
- 실제 공간과 똑같이 만든 가상 세계를 구현하고 작업장 온도·습도 등 상태 확인, 경보 울림 등을 실현



[그림 5-42] MWC23에서 디지털 트윈 시현

□ 지하고속도로 줄임셈터 등 휴게시설 확보기술 개발

- (미국) 보링 컴퍼니는 미국 라스베이거스 LVCC 지하에 길이 2.7km, 깊이 12m의 터널을 뚫어 라스베이거스 루프를 제작·운영함.
 - 향후 도심 지하 48km 정도를 51개 역을 만들어 베이거스 루프로 연결할 계획이라고 함
 - 본 연구를 통해서 구현하고자 하는 기술인 지상역에서 지하로 운전자 및 차량을 동시 이동이 가능하도록 하는 운영체계 및 시스템 개발 계획이 있음이 조사 됨.
- (미국) 지상과 연계된 3차원 이동시스템 구축기술 분야의 각국 주요 경쟁자는 지상과 연계된 보행자 3차원 수직 피난 시설 구축기술과 지상과 연계된 3차원 이동시스템 구축기술 및 3차원 이동수단의 운영기술을 주력 기술분야로 하고 있는 것으로 나타났음
- 지상과 연계된 3차원 이동시스템 구축기술의 각국의 주요 경쟁자는 3차원 이동수단의 운영기술, 지상과 연계된 보행자 3차원 수직 피난 시설 구축기술 및 지상과 연계된 3차원 이동시스템 구축 기술에 주력하고 있는 것으로 나타났음.
- 국외의 엘리베이터 관련 기술선도기업인 MITSUBISHI ELECTRIC CORP, TOSHIBA ELEVATOR CO LTD, OTIS ELEVATOR CO 등이 지상과 연계된 3차원 이동시스템 구축기술 분야의 연구개발 활동을 활발하게 수행하는 것으로 판단됨에 따라, 해당 분야의 국내 연구개발 과정에서 외국의 기술 선도기업의 특허에 대한 주기적인 모니터링이 필요한 것으로 판단됨

□ 지하고속도로 충전 인프라(지하) 구축 및 누설전류 제로화를 통한 안전성 확보기술

- 로벌 전기차(EV) 시장은 '22년 769만대에서 '28년 3,759만대로 성장할 전망이며, 충전 인프라도 지속 구축될 전망
 - SNE Research에 따르면 외부에서 배터리 충전용 전기에너지 공급이 필요한 전기차(EV) 및 플러그인 하이브리드차(PHEV)의 시장은 '28년 약 4천만대 수준으로 성장할 전망(EV 3,759만대, PHEV 241만대)
 - 전체 자동차 시장은 COVID19에 따른 기저효과에도 불구하고 기대에 못 미치는 회복세를 보이고 있으나 전기·수소차 시장은 큰 폭으로 성장하고 있어 이와 관련된 충전 인프라 시장도 지속 성장 중
 - '20년 기저효과(전년 대비 15.5% 감소)에도 불구하고 글로벌 반도체부품의 공급 차질과 COVID-19 재유행에 따른 생산 차질이 원인이 되어, '21년 세계 자동차 생산은 7,978만 대로 전년 대비 2.0% 수준만 증가
 - 글로벌 전기·수소차 시장은 주요국 탄소중립 관련 정책, 보조금 지급, 배터리 가격 인하, 신차 출시 등에 힘입어 큰 폭의 성장세를 지속
 - 주요 시장의 환경규제 강화, 각국 정부의 적극적인 지원정책, 제작사의 생산 확대 등으로

판매량이 전년 대비('20) 110.7% 증가한 666만대로, 역대 최대 기록

- 유형별로 BEV는 전년 대비 119.1% 증가한 473만대, PHEV는 92.6% 증가한 192만대, FCEV (수소차)는 86.3% 증가한 1.6만대가 판매

<표 5-26> 전 세계 유형별 전기·수소차 판매 추이(만대)

	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	증감률 (21년/20년)(%)
BEV	74.5	128.9	151.6	215.9	473.1	119.1
PHEV	36.9	58.4	52.1	99.5	191.7	92.6
FCEV	0.3	0.4	0.8	0.8	1.6	86.3
합계	111.7	187.7	203.9	316.2	666.3	110.7
자동차 총계	9,857.0	9,791.3	9,368.8	8,109.1	8,455.2	4.3
전기·수소차 비중(%)	1.1	1.9	2.2	3.9	7.9	-

출처 : KAMA, 2021년 주요국 전기동력차보급현황 분석, 2022 수정

<글로벌 전기차 판매량 추이>



주 : 2021년 판매량은 잠정치

출처: KAMA 자료, 한국무역협회 작성('22.9)

<글로벌 전기차 판매 비중>



[그림 5-43] 글로벌 전기차 판매량 추이 및 판매 비중

<표 5-27> 전 세계 EV·PHEV 판매 전망(만대)

		2022년	2023년	2024년	2025년	2026년	2027년	2028년
승용차	BEV	725	1,043	1,402	1,813	2,248	2,762	3,366
	BEV(픽업)	12	29	45	64	87	114	145
	PHEV	217	234	246	252	252	249	241
버스	BEV	8.4	11.7	15.9	21.3	27	33.1	38
	PHEV	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
트럭	BEV	24	38	58	85.2	118.4	158.5	210.1

출처 : SNE Research(2022.2), 2022.1H Global 전기 자동차 시장 및 Battery 수급 전망 (~2030년)

- 전기차 선도기업인 테슬라의 점유율은 감소하고 글로벌 완성차 업체의 점유율이 증가하는 추세이며, 전기차 충전시설도 구축 본격화
 - 테슬라사는 '20년 대비 '21년 점유율이 감소하는 등 판매량은 증가하는 추세이나 전체 시장에서 차지하는 점유율은 감소하는 추세
 - 테슬라의 '20년 대비 '21년에 두 배 더 판매하였으나 점유율은 줄어들었음
 - 미국과 중국 간 무역분쟁이 격화됨에 따라 '21년 중국 상하이 기가팩토리 확장이 중단되기도 하였으나 상하이 공장의 생산비용이 캘리포니아 공장 대비 65% 수준으로 중국 내 생산이 본격화되면 중국시장에서의 테슬라 경쟁력이 높아질 전망
 - 중국 내 전기차 시장 점유율을 토대로 중국계열 브랜드들은 글로벌 전기차 업체로 성장 중

- 독일 다임러 그룹과 협력 관계를 가진 중국 지리 자동차는 50:50의 지분구조로 중국 내 합작법인을 설립
- 배터리, 모터, ECU 등을 모두 자체 조달 가능한 BYD는 승용차뿐만 아니라 전기버스, 전기 트럭 등 상용차 부문 기술 개발도 활발
- BMW는 '25년까지 친환경 차 판매량 비중을 25%까지 늘릴 계획
 - 하이브리드 포함 전기차를 '25년까지 25종 출시할 계획으로, 내연기관 및 전기차에 활용 가능한 신규 플랫폼을 '25년까지 완성할 계획
- 전기차 충전 인프라는 전기차 선도업체인 테슬라가 미국, 중국, 유럽 등지에 슈퍼차저를 구축하여 운영하고 있는 상황
- ChargePoint(NYSE: CHPT)는 미국 내 135,000개 이상의 충전소를 운영하고 있는 1위 기업 (73% 점유율)으로 2위와 큰 격차를 보이고 있음
 - 충전을 직접 판매하며 하드웨어를 제공할 뿐만 아니라 고객에게 충전시설 정보를 공유하는 클라우드 기반의 소프트웨어 기술을 보유
 - 문제 발생 시 수리까지 가능한 서비스도 제공하고 있으며, Fortune 50 기업들 중 약 62%가 회사 사무실에 동사의 충전소를 사용 중
- EVBox는 유럽 1위 사업자로 20만 개 수준의 충전소를 보유하고 있으며, Blink Charging는 미국 내 2위 사업자로 McDonald's, Facebook 등과 파트너십을 체결하고 있으며, 미국 외에도 유럽과 중동까지 사업을 확장
- ABB, BTC Power, Siemens 등의 기존/신규 업체들이 하드웨어와 소프트웨어, 서비스 등 다양한 분야에서 충전산업에 진출
- 미국은 바이든 정부 취임 이후 전기차와 충전소 시설 확보를 추진
- 충전소는 현재 11만 개에서 '30년까지 50만 개로 확대하는 것이 목표이며, 1.2조 달러로 초기 계획보다 규모가 감소한 인프라 법안에도 충전소 건설비용은 75억 달러가 책정되어 있음
- 환경개선뿐만 아니라 충전소 설치와 이후 유지관리를 위한 양질의 일자리 창출도 가능성에 따라 정부 차원의 추가적인 지원도 가능하다고 판단
- 충전시설 확보를 위해 교통부는 충전소 건설과 설치, 운영을 위한 인력 개발 등을 위한 보조금과 프로그램을 제시하였고, FHWA에서도 기존 충전기 정보를 제공하고, 연방 자금을 사용하여 미국 내 주요 고속도로와 국도에 고속 충전소를 도입할 예정
- 에너지부에서도 고속충전을 필두로 충전기 관련 연구 및 개발을 위한 지원계획을 발표

LEGEND

Construction and installation of EV charging infrastructure including parking facilities and utilities.	Workforce development and training related to EV infrastructure.	EV acquisitions and engine conversions - cars or trucks.	Planning for EV charging infrastructure and related projects.	Construction and installation of EV charging infrastructure to support operational, resilience, national energy security, environmental, and community goals for freight transportation.	Installation of EV charging infrastructure as part of transit capital projects eligible under chapter 53 of title 49 United States Code.

	FY 2021 AMOUNT						
FORMULA PROGRAMS							
National Highway Performance Program (NHPP)	\$23.1 B						
Surface Transportation Block Grant Program (STBG)	\$10.2 B						
Congestion Mitigation & Air Quality Improvement Program (CMAQ)	\$2.4 B						
National Highway Freight Program (NHFP)	\$1.5 B						
State Planning and Research (SPR)	\$641.5 M						
Metropolitan Planning (PL)	\$357.9 M						
DISCRETIONARY PROGRAMS							
Rebuilding American Infrastructure with Sustainability and Equity (RAISE) (formerly known as BUILD)	\$1.0 B						
Infrastructure for Rebuilding America (INFRA) Grant Program	\$889.0 M						
Advanced Transportation and Congestion Management Technologies Deployment (ATCMTD)	\$53.3 M						
OTHER ALLOCATED PROGRAMS							
Federal Lands and Tribal Transportation Program (FLTTP)	\$1.0 B						
Highway Infrastructure Program (HIP) (other than for bridges)	\$644.0 M						
Puerto Rico Highway Program (PRHP)	\$74.9 M						
Territorial Highway Program (THP)	\$37.3 M						
INNOVATIVE FINANCE PROGRAMS							
State Infrastructure Banks (SIBs)	Varies						
Transportation Infrastructure Financing and Innovation Act (TIFIA)	Varies						

[그림 5-44] 미국 교통부 전기차 충전소 확대 프로그램(DOT)

- 유럽도 전기차 보급확대와 더불어 적극적인 충전 인프라 구축 확대를 계획 중
 - 유럽 집행위원회는 '30년에는 유럽 전역에서 판매되는 신차 중 전기·수소차의 비중을 35% 이상으로 의무화하고, '35년부터는 내연기관 신차 판매를 전면 금지
 - 공공 충전 인프라 확대를 위한 정책수단인 대체연료 인프라 지침(Alternative Fuel Infrastructure Directive)에 따라 충전소를 구축할 예정
 - 전기차 확산을 위해 '20년 기준으로 약 22.5 만개 수준인 공공 전기차 충전소가 '24년까지 100만, 2029년까지 300만 곳이 필요하다고 발표
 - 범유럽 네트워크 프로젝트를 통해 주요 도로 50km당 급속 충전소를 설치하는 것을 목표로, 유럽연결 프로젝트에서는 주요국가 고속도로에 120km마다 급속충전기를 설치하는 등의 전반적인 충전 인프라를 구축하는 방안이 주요 내용
 - 국가별로도 충전기를 설치했을 경우, 영국은 보조금을 지급하고, 프랑스는 세금공제를 하고 있고, 노르웨이, 네덜란드 등에서는 투자를 통하여 충전시설을 제공하는 등 충전 인프라를 확대하기 위한 지원책을 펼치고 있음
- 중국은 에너지 및 신에너지 자동차 발전 계획에 의거 '10~'20년 1,000억 위안(한화 18.5조)을 전기차 개발 및 보급에 지원하였으며, 완성차 업체에 판매량 대비 일정 비율을 전기차 판매로 책임을 부여하는 친환경 차 의무판매제를 시행해 친환경 차 보급을 확대
 - 글로벌 1위 자동차 시장인 중국도 신에너지 자동차 충전 인프라 구축 장려정책 및 신에너지 자동차 보급확대 강화에 관한 통지에 따라 충전 인프라 보조금 정책을 추진 중
 - '신 인프라 행동계획 2020-2022'에서 전기차 충전소 설립을 5G 이동통신과 빅데이터 등과 함께 중점 지원 분야 중 하나로 선정하였고, 친환경 차에 지급하던 보조금을 축소하는 대신에 충전 인프라를 확대하고 있음
 - 주 정부 및 지방 단위에서 건물 소유주가 전기차 충전설비를 제공하는 경우 인센티브를 지급
 - 중국 국영 전력회사들도 전기 자동차 충전 인프라 개발을 촉진하기 위한 프로그램을 발표
 - 민간에서도 '14년부터 중국 국가 전력망 공사에서 민간자본에 전기차 충전기 시장을 개방

(3) 국내외 터널 고속굴착 기술 동향

□ 터널 고속굴착 기술 국내 동향

- 스마트 건설기술은 정부 120대 국정과제에 포함된 “국토교통 산업의 미래 전략산업화”에 부합하는 분야로 제4차 경제규제 혁신 태스크 포스트회의(‘23.2.10)에서 건설 산업 현장의 구체적인 추진과제를 발표
 - 국토부는 건설 산업의 혁신을 선도할 수 있는 스마트건설의 조기 현장안착을 위해 관련 규제 개선을 추진
 - 머신 가이드스(MG), 머신 컨트롤(MC) 시공기준 등 스마트 건설기술 관련 기준을 표준시방서에 수시 반영
 - 건설 자동화 관련 시공, 안전관리 공통기준을 '23년 말까지 마련
 - 발주자가 적정비용을 총사업비에 반영할 수 있도록 스마트 건설기술에 대한 원가산정기준 마련
- 국내에서는 건설현장의 공사 관리에서 안전사고 조기경보 기능 등 안전사고 대응과 예방에 중점(건설동향브리핑 669호, 2018)
 - 주요 내용
 - 건설업 재해, 정책 및 제도수립과 함께 현실적인 공사수행 여건 개선 우선
 - 정책수립과 함께 공사 전체기간동안 모니터링하는 조기경보 기능 확보
- 한국 터널 공사 시장은 2019년 7조 5,600억 원(약 67억 달러) 규모, 2020년부터 2027년까지 연평균 6.18% 성장 예상
 - Research And Markets의 보고서에 따르면 한국 터널 공사 시장은 2019년 7조 5,600억 원(약 67억 달러) 규모였으며, 2020년부터 2027년까지 연평균 6.18% 성장할 것으로 예상
 - 특히 고속철도 네트워크 및 도로 터널과 같은 교통 인프라 프로젝트에 대한 국가 수요 반영
- 터널용 벌크에멀전 등 해외 선진기술을 모방, 제품화 시도
 - 국내 화약제조사인 한화는 실용성이 우수한 전자뇌관(HiTRONIC-II)을 출시(‘19.7)
 - 해외 Top-tier 전자뇌관의 기술력(완전무선, 제품 다양성)에 미치지 못함
 - Webzen(완전무선 전자뇌관), Ranger(Dyno nobel, 원거리 무선 발파시스템)
 - 터널용 벌크 에멀전 자동장전 장비의 미비
 - 시장확대 지연, 인력감축 불가, 무인/원격운전 등 추가 기술개발 불가
 - Charmec 605(Normet), JWL-DXRH(King), EC3(MacLean)
- 발파설계의 편의성 제공을 위한 다양한 제품이 개발, 판매중임
 - S/W 전문기업의 Stand-alone 프로그램, 화약제조사의 서비스용 등 다양한 제품이 사용됨
 - 대부분 2D-base의 설계도면 작성을 위한 프로그램임
 - Shotplus(ORICA), Daveytronic 2D(Eneax), BlastAZ4.0/Turn-design(국내업체)
 - 3D기반 프로그램 : O-Pit blast, EagleDesigner 2종 모두 노천현장용 설계프로그램
- Sensing 기술에 의한 실시간 작업관리 및 측정 시스템이 개발, 보급중임
 - Drill 제조업체를 중심으로 천공중 데이터수집 시스템(MWD)이 고급옵션으로 출시
 - GNSS(위치인식 시스템)은 Trimble社/Leica社에 의존
 - Non-Option Drill/Analogue식 Drill은 센서 Kit와 데이터 변환모듈 추가장착
 - DAT Instrument社(Italy), ㈜싸이텍(국내업체)
- 우리나라 산업용 화약시장의 규모는 1,700억 원(’21), 벌크형 폭약의 시장비중은 55%이나, 대부분 노천공사에 집중되고 터널공사 장비의 미비로 터널발파에 사용되지 못하고 있음
 - 기계식 자동장전 설비의 일반적인 장점 이외에도 다양한 방식의 발파공법 적용이 가능함
 - 현장 예감화(SSE) 설비, 원가절감형 화약, 현장 제조형 Mobile 장비 등

- 국내 대표기업으로는 현대자동차, 두산인프라 등이 있으며, 주로 원격조정, 사물 및 지형인식 등의 사고예방과 작업안전에 집중되어 있음
 - 한화는 노천현장용 발파공사 플랫폼을 개발하여 출시('22.6)
 - GPS/라이다 지형 모델링, 로컬 통신망, 장비통제, 효율관리 등 소프트웨어 연계로 플랫폼화
 - 국내는 벌크화약의 성능검증을 위한 시제품 수준의 장비 개발
 - 터널식 지하채광 현장에서 벌크ANFO 장전장비가 수입, 사용되고 있지만, ANFO의 내수성 문제로 벌크 에멀전으로 전환 요구가 많음
 - 화약제조업체의 자동 장전장비에 대한 기술적 한계로 보급, 확대가 지연

□ 터널 고속굴착 기술 국외 동향

- 해외의 건설업체는 사업기획, 설계에서부터 공사, 원가, 클레임 관리에 이르기까지 프로젝트 관리 분야의 국제표준을 준수하고 역량확보에 우선적으로 노력
 - PMI(美, Project Management Institute), APM(英, Association for Project management), 세계 프로젝트경영협회(IPMA)는 프로젝트를 수행하는 기업의 역량증진을 위해 수행, 기술, 지원의 3개분야 표준지식체계를 제시함
 - 기존의 경험기반 수행방식에서 벗어나 표준관리체계에서 분야별 절차와 시스템을 준수하고 전체 프로젝트관리를 디지털화하도록 주문하고, 지원함
- 기계식 자동 장전장비는 ORICA社, Dyno社 등 화약제조업체를 중심으로 개발되어 보급
 - 장약장비와 벌크화약을 번들(Bundle)화하여 수익성을 높이는 전략 : 장비 활용도가 높지 않음
 - 중터널용 벌크장약 장비는 Normet(유럽), KING(중국) 등 중소규모의 제작사가 있음
- 스마트 솔루션 선도 기업은 Trimble, Catapillar 등으로 Digital화된 작업관리, 센서와 정확도, 현장운용 기술 등에 집중하여 토탈 솔루션보다 특화기술 차별화에 중점을 두고 있음
 - ABB와 Epiroc社는 친환경 Heavy-duty용 전기차량 개발('21~)
 - 스마트솔루션의 선도기업 ABB와 터널용 천공장비 1위 기업 Epiroc이 협업
- 스마트 건설/마이닝 시장규모는 8억달러('18)에서 200억 달러까지('26) 성장(CAGR: 12.3%)
 - Allied market research(2020)에 따르면, 스마트 건설시장의 유형인 자동화 장비, 기기부품 및 Software 모두 10% 이상의 성장세를 보이고 있음
 - 스마트 건설/마이닝 시스템은 환경문제 억제와 위험발생 최소화(Reduce risk)에 집중
 - 기작업 효율성과 비용절감에 대한 객관적인 자료확보의 문제로 시장형성이 지연
- 산업용 화약의 시장규모는 18억 달러('22)로 23억 달러까지('28) 소폭 성장할 전망(CAGR: 4%)
 - Chemical economic handbook(S&P Global)에 따르면 전세계 화약시장의 대부분은 벌크형태의 화약이며, 기계식 장전설비를 장착한 차량으로 운송과 장약을 겸함
 - 호주 시장에서 벌크 화약의 비중은 78%로 장약작업이 완전 기계화되어 있음
 - 기계식 장전설비는 인력작업을 최소화하여 안전사고 예방 및 작업시간 단축
 - 전자뇌관의 시장은 현재 2천억원(2천만발)수준으로 연평균 13.4%로 크게 성장할 것
 - 전체 뇌관시장의 2%('19)에서 환경규제, digitalization 확대에 시장성장
- 해외의 버력/운반처리 시스템은 자율화, 체계화로 비용절감 및 사고예방
 - 미국은 일반적으로 컨베이어 시스템을 사용하여 암버력을 터널에서 적재 구역으로 운반하는 시스템을 적용함. 이러한 시스템은 일정한 속도로 암석을 미리 정해진 경로를 따라 운반하면서 자율적으로 작동하도록 개발 (Toni Rappersberger 사례)



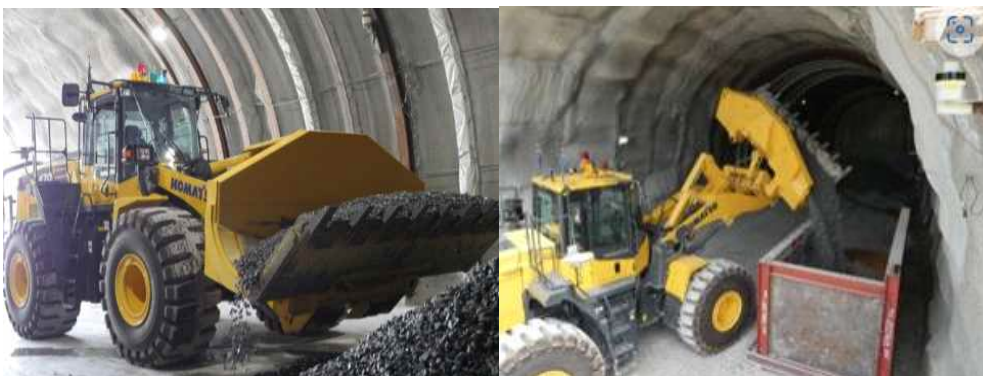
[그림 5-45] 컨베이어 시스템(Toni Rappersberger 사례)

- 일본은 광산의 광차 개념과 파이프라인 압송기술을 접목하여 신속하게 암버력을 반출할 수 있도록 개발 및 적용. 석회암 지대 통과 터널 건설에 적용 사례 있음 (Akami Tunnel)



[그림 5-46] 캡슐형 광차 사례 (Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

- 전반적으로 터널 폭파 + 숏크리트 작업 프로세스를 자동화하는 토털 시스템을 개발하여 효율성 및 생산성을 극대화 함. 그리고 인력을 절감하고 사고와 부상 위험을 최소화할 수 있도록 인공지능 학습시켜, 완전 자동 암버력 처리 시스템의 개발 및 적용 (Kajima Construction)



[그림 5-47] 완전자동 암버력 처리 시스템 사례 (Kajima construction co.)

(4) 국내외 실내 측위 기술 동향

□ 실내 측위 기술 동향

- 다양한 실내측위 기술이 있으나 시장 지배적인 기술은 아직 등장하지 않음
 - 실내 측위 관련 기술은 오래전부터 연구되던 분야이며 다양한 시도가 존재
 - 현재 실내 측위 기술의 가장 큰 문제점은 범용성이 낮으며 보행자 중심의 저속 이동체에 대한 측위 기술에 집중되어 있음
 - 특정 솔루션을 위해서 H/W나 S/W를 설치해야 하는 등의 기술적 독립성이 떨어짐
 - 고속 이동 차량, 로봇 혹은 드론 등 이동 수단에 대한 측위는 어려운 실정임

○ 자기장을 활용한 측위 기술

- 한국과학기술연구원 연구진은 스마트폰의 자기 센서를 이용하여 터널 내부의 차량 위치를 추정하는 방법을 제안
- 자기장 데이터베이스와 서브시퀀스 동적 시간 워핑 등의 기술을 활용하여 터널 내비게이션을 적절하게 전달할 수 있음을 확인

<표 5-28> 기존 실내 위치정보 제공 기술 비교

기술		사용 가능 신호	DB 필요 여부	발산 여부 (오차누적)	프로세싱 파워	LoS 영향	사용자 단말 제약	비용	고속 연속 측위
삼각 측량	Timing 기반 Ranging	RF, 초음파 등	필요 없음	해당 없음	낮음	매우 높음	높음	높음 (동시 수신 신호 3개 이상 필요)	가능
	Received Signal Strength 기반 Ranging				낮음		낮음		불가능
	Angle of Arrival				보통		높음		부정확
핑거프린팅 (Finger Printing)		RF, 초음파 등	필요	해당 없음	보통	낮음	낮음	보통	부정확
추측항법 (Dead Reckoning)		필요 없음	필요 없음	시간에 따라 오차가 커짐	낮음	해당 없음	낮음	낮음	부정확
이미지 매칭		필요 없음	필요	해당 없음	높음	해당 없음	높음	높음	가능

○ 국·내외 터널 내 차량 측위 시스템 실증사례

- 서울시 서울기술연구원에서는 2022년 6월 남산 1호 터널 내 GPS기반 신호 발신 기술 검증을 시작으로 향후 서울시 지하도로 사업에 도입하기로 계획
 - 무선평면 전송 기술(SDR)을 이용한 가상 GPS 신호 생성 기술 개발 및 실증 완료
- ※ 잠실 광역환승센터 버스 도착 정보 개선(실증)
- ※ 남산 1호 터널 내 GPS 정보 기술 제공

○ 해외사례로 WestConnex(호주) 등 전 세계 약 260km 시공 완료, 보스턴 Big Dig(미국), SMART터널, (말레이시아) 등 도입 확정 제공

○ 프랑스 Syntony GNSS의 몽블랑 터널 설치사례

- 트럭 군집 주행을 테스트하기 위한 GNSS 발생시스템을 몽블랑 터널 구간에 설치
 - 터널 사용자(기술자, 운전자 등)에게 위치정보를 제공하였으며 자율주행 차량에 활용 가능성 테스트
- ※ 터널 운영자인 GEIE-TMB(몽블랑 터널의 유럽 경제 이익 그룹)는 지하 환경에서 군집 주행 테스트를 수행하기 위해 SubWAVE™ Continuous 기술을 사용
- ※ 자율주행 트럭에 실제 주행 테스트를 위한 GPS 신호를 제공

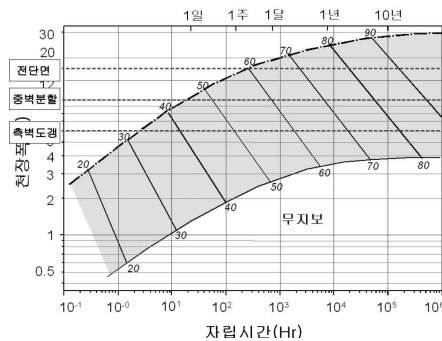
(5) 초대단면 터널 안정성 증대 기술 동향

□ 지하고속도로 인프라 안정성 및 효율 제고 기술의 국내 동향

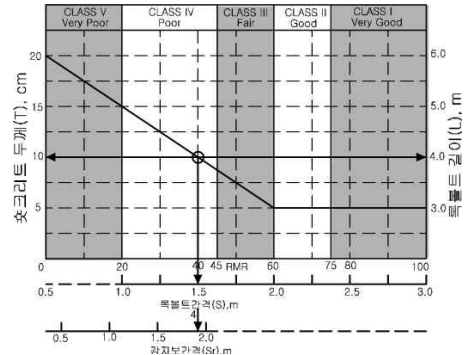
○ 굴착계획 수립을 위한 암반분류체계 등 국내 경험적 기술 관행

- '70~80년대 NATM 도입 시기에 경험한 RMR(Rock Mass Rating) 기반 표준지보패턴을 세분화하고 상세 시행방침을 정하는 등 사업관리 효율성을 증진하는 방향으로 기술발전
- (경험적 암반분류법의 반복시행) 대부분 지하철인 기존 도심지 터널경험은 터널심도 및 지반조건 변화가 많지 않아, NATM 도입 시기에 습득한 표준화 차보계획 기술을 반복적으로 적용함이 사업관리에 유리

- ※ 터널 심도, 지질조건 및 암반강도에 따라 다양하게 변화하는 역학적 거동특성을 고려할 수 없는 RMR에 기반하고 있어, 암질특성만을 고려한 경험적 굴착계획 시행
- (경험적 암반분류에 의한 터널자보계획) 다양한 터널의 역학거동에 따른 파괴메커니즘을 고려하지 않고, RMR에 근거한 경험적 굴착계획을 터널사업별 현황과 관계없이 동일하게 적용
- ※ RMR 구간을 5가지 등급으로 구분하고 구간별 대표 RMR 값을 입력치로 하여 경험적 산정식 및 규칙에 의한 지보량 설정



(a) 경험적 암반분류에 의한 굴착계획

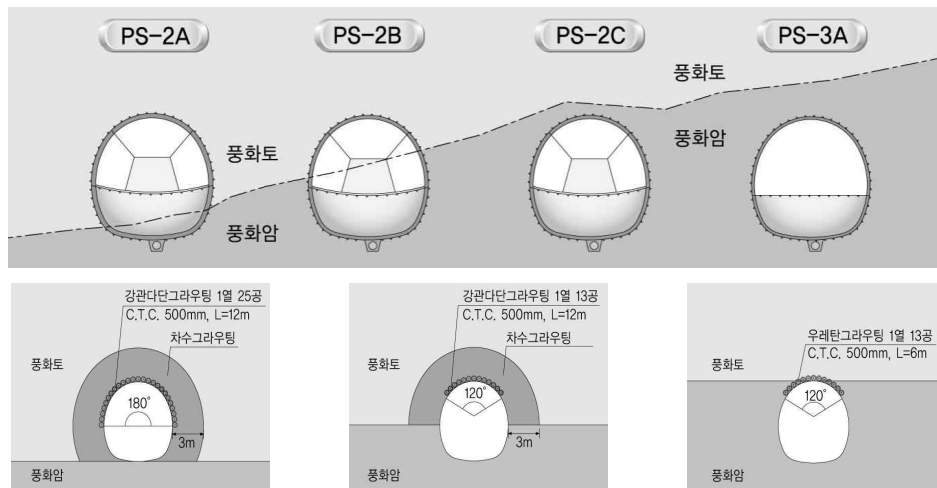


(b) 경험적 암반분류에 의한 지보계획

[그림 5-48] 지하도로 접속·분기부 계획 사례

○ 경험적 지보량 표준화로 인한 지보패턴 계획의 경직성

- NATM 도입 초창기에 습득한 경험적 지보계획을 발주기관별로 표준화하여 다양한 터널 사업에 동일하게 적용토록 권고하는 방법으로 사업관리의 효율성 확보
- 지반조사를 충분히 시행하여 계획단계에서 공사예정가격을 확정하며, 이와 관련하여 지층분포에 따라 각 표준지보패턴 적용 연장이 변화하는 정도만 허용되는 경직된 터널설계 관행 형성 → 표준지보패턴의 규모 및 범위가 변화되어야 하는 대심도 터널 대응성 부족



[그림 5-49] 지하철 터널(단선) 지보패턴 계획 사례

○ 도로터널의 최근 터널 설계기술 동향

- 한국도로공사는 새로운 터널 설계 및 시공관리방안으로 고속도로 터널공법(Ex-TM, 2015)을 발표하고 관할 사업의 실무관리지침으로 활용
- (경직성 완화) 설계단계에서 다양한 표준지보패턴을 제시하고, 시공단계에서 현장기술자의 판단에 따라 적합한 표준지보패턴을 결정하여 시공한 후, 공사비를 정산할 수 있도록 공사비 내역체계 및 시공자료 관리방법 개선
- (표준지보패턴) 기존 경험적 표준지보패턴이 5가지의 RMR등급으로 분류하던 것을 9단계의 RMR 등급으로 세분화함으로써 현장 지반조건 변화 대응성 개선 시도

○ 지하도로 접속·분기부 계획

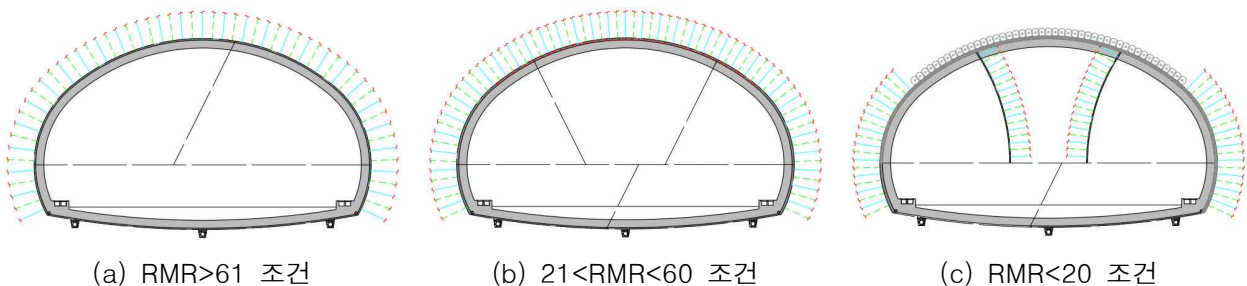
- 도심지 지하도로 계획 시, 주요 거점별 교통수요에 부응하기 위해 도심도 본선터널 구간에 접속되는 Up-Down Ramp 계획 사례 빈번
- 본선-Ramp 접속구간은 도로의 기하구조적 특성 상, 일정한 접속거리 내에서 점진적으로 가·감속 차로를 확보하는 평면선형 계획 수립. 따라서 본선-Ramp 접속구간에서는 본선터널과 Ramp터널이 입체적으로 근접하게 되는 영역이 발생하며, 매우 근접한 지점에서는 대단면 터널 계획 수립이 불가피 함
- 본선터널-Ramp터널 이격거리에 따라 다양한 터널 형상 계획
 - 접속구간에 진입하기 전, 본선터널의 확폭 단면 형성 → 진출입차로 평면선형에 따라 분기부 대단면 터널 형성 → 본선터널-Ramp터널 최소이격거리 확보 전까지 초대단면 또는 2-arch터널 형성

○ 지하도로 접속·분기부 대단면 터널 현황

- 지하도로 접속·분기구간 내 다양한 형상계획에 따른 대단면 터널 크기
 - 확폭부 터널 : 진·출입용 가·감속차로 확보를 위한 3차로 확폭 터널, $A \approx 142m^2$, $B \approx 17m$
 - 분기부 대단면 터널 : 진·출입용 가·감속차로가 본선터널 차로와 점진적으로 이격되는 구간의 확폭 터널, $A \approx 194m^2$, $B \approx 22m$
 - 분기부 2-Arch터널 : 특히, 암반조건이 불량하거나 편평율이 매우 낮은 형상의 우려가 있는 경우 적용하는 확폭 터널, $A \approx 241m^2$, $B \approx 28m$
- 경험적 터널기술의 지하도로 접속·분기구간 내 터널 굴착계획
 - 대단면 터널 다분할 굴착, 근접터널 구간 진동제어 발파 등 주로 시공방법 관련 대책

○ 분·합류부 터널의 경험적 굴착 및 보강

- 경험적 터널기술의 굴착 및 보강 설계·시공
 - 경험적 암반분류법에 기초한 표준화 굴착·보강자보계획 및 수치해석적 안정성 검증
 - 설계 예측사항의 현장 확인·조정 시행을 위한 변형관리 기준 부재 → 과거의 경험적 표준지 보패턴 답습 → 경험과 다른 역학조건의 터널건설시 안전성 및 시공성 문제 발생 우려
- 터널 분·합류부 대단면 터널의 경험적 터널기술로서 다분할 굴착 및 정성적 보강공법 적용



[그림 5-50] 분·합류부 터널의 경험적 굴착 및 보강계획 사례

○ 지중연계구조물 라이닝 공법 맞춤형 급속 굴착기술

- 지상에서 조립 모듈화한 지중연계구조물용 플랜지 파형강판을 이용하는 지중연계구조물 시공 기술이 건설신기술 804호로 지정받은 사례가 있음(평산에스아이(주))
- 공동구 연구단에서 공동구용 지중연계구조물 저소음/무진동 급속굴착(1m/day 이상) 시공기술 및 장비 개발을 위한 연구를 수행하여 지반변위와 지하수 유출을 방지하는 지중연계구조물 외주면 급속굴착 기술과 장비를 개발한 사례가 있음
- 공동구 연구단에서 암반지반을 대상으로 저소음/저진동 급속굴착 장비 및 기술을 개발한 사례 있음
- 한국전력연구원에서 고강도 암반구간을 대상으로 워터제트를 이용하여 굴착효율을 향상시키는 연구를 수행하고 있음

○ 지상부 지하연계 모듈과 구축기술

- 지상부 연결된 철도 지중연계구조물 시공은 지하 횡갱터널 연결된 지하공간 바닥에서 지중연계 구조물 내부 계단실을 지상부 돌출된 출입연결 대피통로 지중연계구조물 연결 구조물을 현장 타설 공법으로 시공 중
- 지하와 지상부가 연결된 환기구 시설은 지하 환기구 구조물 공간으로 직사각형이나 다각형 구조물로 설치되고 있으며 대부분 개착식 구조물 시공으로 현장타설공법으로 지상부 하단부에 출입통로 및 환기 기계설비 구조물을 구축 중

3. 기술개발 필요성 및 시급성

□ 필요성1: 도로터널 환기 관련 소요환기량 최적화를 통한 수직구 설치간격 재정립 필요

○ 기준배출량 관련 기준 변화에 따른 소요환기량 검토

- 기준배출량 관련 기준 변화에 따른 소요환기량 최적화 검토 및 최적화 필요
 - 제작차 허용 배출량 기준(환경부) 변화
 - 속도·경사 보정계수 등 소요환기량 관련 보정계수(도로터널 환기·방재설비 설치 및 관리 기준, 국토교통부) 갱신

○ 현행 관련 지침에 따른 환기구 권장 설치 간격의 재검토 필요

- 최근 고정압팬(4kPa 급) 개발 및 횡류환기방식 개선에 따른 환기구 설치 간격 검토
 - 기존 횡류 환기방식에 채용되는 축류팬의 한계 및 신기술 등에 따른 환기구 설치 간격 도출
- 최적 환기구 설치 간격 도출을 위한 정량적 검토 필요
 - 모형시험 및 수치해석을 통한 환기구 적정 설치간격 검토

□ 필요성2: 터널굴착공사의 설계와 결과의 상관성에 근거한 통합 전문가 시스템 필요

○ 터널 굴착 시 결과에 대한 평가가 없고, 설계와 결과의 인과성이 정립되지 않아 공사·관리가 단편적

- 발파공사는 2차적인 피해와 슛크리트 등 보강공사의 주요한 원인을 제공함
 - 발파로 인한 소음진동의 발생에 대한 관리 부재(비정규적 소음진동 측정관리에 의존)
 - 슛크리트 시공량과 비용의 증가 원인을 암반의 불규칙성 탓으로 돌림
- 발파공사의 실적에 대한 과학적인 접근 없이 시공 기술자의 경험에 의존
 - 실적관리에 대한 기준과 평가의 항상성이 없음

○ 터널 굴착 시 굴착결과와 정량적인 평가항목과 평가기법을 정립하고, 설계와 결과의 상관성을 규명하는 통합 전문가 시스템을 수립하여 공사 관리에 활용

□ 필요성3: 굴착설계의 Digital화 및 실제막장 모델링에 의한 Simulation으로 오류 개선

○ 터널굴착 설계는 2D의 장약 및 시차계획 작성에 중점을 두고 있어서 실질적인 굴착효율의 개선이 미진하고 시공단계에서의 활용도가 떨어짐

- 실제 막장의 이미지를 모델링하여 사전에 천공, 장약, 시차를 Simulation함으로써 발파결과를 예측하고, 비교분석을 통해 설계를 수정하며, Database화하여 활용 가능함
 - 막장 Face mapping등 이미지 자료를 이용하여 발파대상 막장을 모델링
 - 발파설계를 변경하면서 최적의 결과를 도출하는 설계를 선택

○ 발파설계 도면과 천공장비의 연동화로 공사 관리에 효율성 증대 가능

□ 필요성4: 굴착 사이클 향상을 위한 신속한 지하고속도로 버력처리 및 지보 시스템 개발

○ 굴진장 증대하기 위해서는 굴착 사이클 개선이 가능한 버력처리/지보 시스템 개발 필요

○ 터널 내부공간에서의 소형 백호, 로우더, 덤프트럭의 반출은 처리효율 낮음

□ 필요성5: 도로내부·지상구간의 환경개선을 위한 흡착제 효율 개선 및 IOT 기술 활용

- 기존 흡착제의 경우 유해물질 처리 효율 성능 저하
 - 새로운 연구 및 소재를 활용한 처리 기술 도입하여 유해물질 처리 최적 기술 개발 필요
- IoT 기술과 대기 환경 문제와의 결합
 - IoT 기술은 센서 데이터를 실시간으로 수집하여 분석하고, 이를 활용하여 통합관리 시스템을 구축하는 데 활용도가 높음
 - 유해물질 센싱과 데이터 구축 및 분석을 위한 IoT 기술의 활용 확대가 필요

□ 필요성6: 지하고속도로 내 정밀위치 정보 제공 기술

- 터널 내 네비게이션 서비스 제약 극복
 - GPS는 하늘이 보이는 곳에서만 작동하는 데 하늘이 보이지 않는 곳에서는 GPS가 원활히 작동하지 않게 되며, 이런 구간을 GPS 음영 구간이라 함. 그러나 최근 터널 연장 및 지하 고속도로 건설계획 등으로 위성 측위 통신 음영 구간이 증가하고 있으며, 향후 더욱 늘어날 것으로 예상
 - 현대인의 운전 특성상 네비게이션에 의존하도록 발전해 왔으며, 실외에서는 원활한 서비스를 제공받고 있음. 하지만, 터널에 진입하는 순간 서비스 불능 구간이 되고, 이에 따라 운전자를 판단에 혼란을 주며, 교통 혼잡 및 교통사고 등으로 이어질 수 있는 급격한 차선 변경으로 이어져 사회적 비용을 발생시킴
- 자율주행 시대에 대비한 정확한 위치정보 서비스
 - 자율주행 서비스를 위한 차량의 위치결정 시스템에 정확한 정보를 제공하여야 하는데, GPS음영 지역에 진입하게 되면, GPS 서비스 불가로 인해 위치 정확도 등에 대한 정밀도가 현저히 낮아짐. 이로 인해 수동운전 모드로 진입하게 되는 터널모드 등으로 전환되어 자율주행 서비스의 서비스지역을 제한함

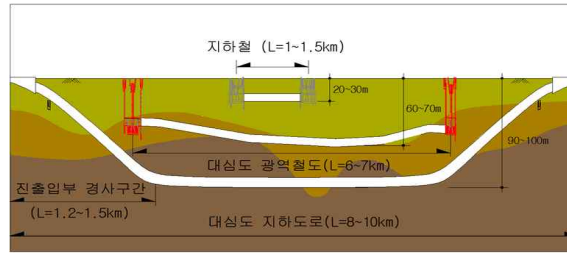
□ 필요성7: 지하 밀폐공간에서의 폐쇄공포·공황장애 등에 대한 심리적 문제 해결 필요

- 지하고속도로 내 20Km 이상 주행 시 밀폐공간 폐쇄감이 발생할 수 있다는 우려가 있어 폐쇄 공포·공황장애 등에 대한 세밀한 검토가 필요
 - 경인·경부 고속도로의 대심도 고속도로 지하화 사업을 추진하기 위해 지반, 터널, 도로교통, 방재, 소방, 심리·정신 등 6개 분야의 42명 전문가로 구성된 대심도 지하고속도로 추진 자문위원회 구성
 - 본 위원회 및 지하차도 관련 연구보고서 및 운전자 등으로부터 대심도 장대 지하고속도로에서 운전자에게 가장 우려되는 문제는 밀폐공간 내 폐쇄감이 발생할 수 있다는 점이었음
 - 따라서 본 연구에서는 운전자가 느낄 폐쇄공포 및 공황장애에 대한 대처방안으로 운전자의 폐쇄 공포감을 최소화할 수 있는 공간디자인 개념의 터널 벽면 색상·패턴을 최적화(운전자의 폐쇄 공포감을 최소화해 최적화) 및 지상 휴게시설을 개발함과 동시에 차량에서 운전자의 조작 없이 수직·수평 3차원 입체이동이 가능한 이동수단을 개발하는 연구가 필요함

□ 필요성8: 기존 경험과 다른 대심도 지하도로 접속부 대단면 터널 형성

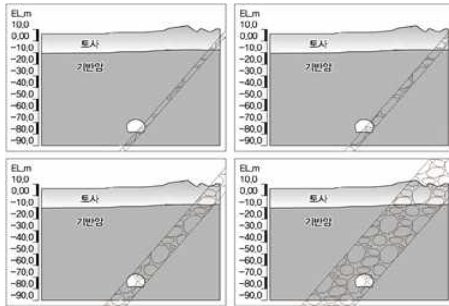
- 경험적 터널기술의 토대가 된 기존 도심지 터널인 지하철 터널과 도심지 대심도 터널(광역철도, 지하도로 및 지하고속도로)의 상이한 기하학적 특성
 - (기하학적 특성) 대심도 터널은 기존 지하철 터널에 비해 심도 증가, 연장 증가
 - 기존 도심지 터널(지하철 터널) : 심도 약 20m 내외, 정거장 간격 1~1.5km
 - 대심도 광역철도 : 심도 약 60~70m, 정거장 간격 약 6~7km
 - 대심도 지하도로 : 심도 약 90~100m, 연장 약 8~10km
 - (지반조건) 광역지질학적으로 층적층에 해당하는 도심지 지질특성 상, 대규모 단층파쇄대 및 심층풍화대의 빈번한 출현

- (굴착유발응력) 경험보다 약 3~5배 증가한 굴착유발응력에 대응할 수 있는 굴착·지보계획 필요

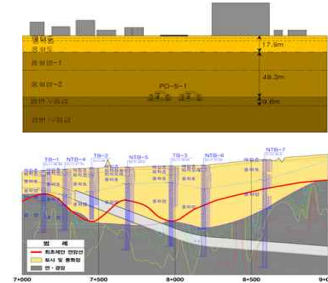


[그림 5-51] 도심지 대심도 터널의 기하학적 특징

- 도심지 대심도 터널건설 시, 기존 지하철 터널 및 산악터널의 경험과 다른 대규모 단층파쇄대 및 심층풍화대 출현 가능성 증가
 - (심층풍화대) 토사·풍화암층이 심도 50~60m까지 분포하는 심층풍화대 출현 빈번
 - (단층파쇄대) 도심지의 광역지질학적 특성 상, 대규모 단층파쇄대 출현
 - 지반조사 결과, 단층파쇄대 등 불량 암반(IV~V등급)으로 분류된 구간이 산악터널에서 대부분 소규모 파쇄대로 나타나는 것과 달리 대규모로 분포하여 터널의 대변형 거동 유발



(a) 심층풍화대 사례

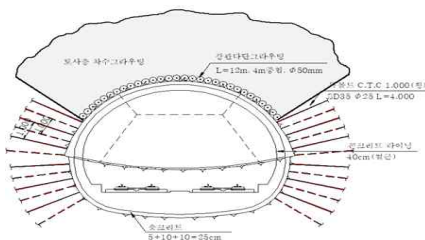


(b) 단층파쇄대 사례

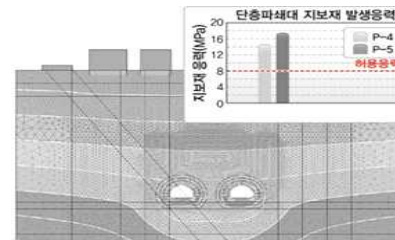
[그림 5-52] 도심지 대심도 터널의 기하학적 특징

□ 필요성9: 경험적 표준지보패턴 적용성 한계

- 경험적 표준지보패턴의 건설관리목표 부재
 - (경험적 굴착 및 지보계획의 불안정) 변형을 허용하는 대신 안정성을 확보하는 재래식 분할굴착 방법과 선행변형 억제제를 위한 강관다단그라우팅공법을 병행하는 논리적 불일치 계획



(a) 도심지 터널 표준지보패턴의 분할굴착



(b) 대심도 불량암반 터널 지보 불안정

[그림 5-53] 분할굴착공법과 터널의 응력-변형거동 특성

□ 필요성10: 초광역 연결 지하고속도로 대응 안전 충전 인프라 구축 기술 필요

- 기존 전기차 충전시설과는 다른 특수한 환경 조건을 갖는 지하고속도로 환경에서의 사용자 및 전기차의 안전성과 충전 편의성 확보가 가능한 전기차 충전 인프라 요구사항 도출과 분석 필요
 - 지하고속도로는 고속도로 이용자의 전기차 운용 중 발생 가능한 충전요구에 적극 대응하고, 최적화 된 인프라 접근성과 편의성을 제공할 수 있어야 함
 - 전기차 충전 인프라에 대한 요구사항은 이용자 측면, 충전시설 측면, 휴게소 운영 측면 등 다양한 측면에서 종합고려하여 도출이 필요함

- 기존 전기차 충전 인프라 구축 사례 분석과 지하고속도로 환경의 특수성에 따른 사용자 및 전기차 충전 인프라 운용 효율성 확보방안을 수립하여 미래 지향적인 지하고속도로형 전기차 충전 인프라용 충전시설 인증 또는 기술기준을 도출할 필요성이 큼
 - 기존 전기차 충전시설의 IP등급은 IP44 또는 IP54 수준으로, 지하고속도로에서의 침수나 고습 환경에 대한 대응이 어려울 수 있는 수준
 - 전기차 충전시설에 대한 인증 및 시험 기준은 일반적인 사용환경을 기준으로 설정되어 있어 지하고속도로와 같은 공간 밀폐성이 크고 대기 순환이 제한적이며 먼지/수분 환경에 노출될 가능성이 큰 충전시설에 대한 시험방법 보완 필요
 - 평시 점검 및 유지보수가 어려운 시설과 전력공급설비에 대한 제한적 공간만이 허용된 점을 고려하여 충분한 여유도와 내구성을 갖는 충전시설로의 요구사항 정립 필요
- ※ KSC IEC 61851-x 표준과 KC 인증기준에 대한 지하고속도로형 충전시설에의 적용 가능성 검토 필수
- 지하고속도로는 충전시설 유지보수가 용이하지 않는 환경에 속하며, 저비용의 충전 인프라 운용을 위해서는 FMEA 수행 및 고장/오동작에 대한 대응 기술기준 정의가 필수적
 - 지하고속도로에 설치되는 충전기는 고장 또는 수명종료 대응을 위한 빈번한 유지보수나 재설치 공사를 수행하는 것이 용이치 않기 때문에, 교체가 용이한 장수명 파워 모듈이나 제어부품을 적용한 고내구성 특화형 충전기로 설계하는 것이 중요
 - 고내구성 충전기로 설계하여 적용하더라도 고장/오동작 상황이 발생할 가능성이 크게 존재하므로, 이에 대한 순시적인 모니터링 감시나 자체적인 자가진단 기능을 통한 고장/오동작 상황의 대응 방안을 기술기준으로 정립하여 제시할 필요가 있음
 - 현 전기차 충전기는 제한적인 SW적 자가진단 기능만 존재
 - 평상시에도 관리업체 인력을 활용한 주기적이고 반복적인 충전기 점검이 쉽지 않은 점을 고려하여, 충전기 내부 부품의 작동상태와 전기차 연결 시의 충전케이블/커넥터 정상 동작 여부 및 프로세스 정상 진행 가능성까지 종합적으로 모사 검증 가능한 충전기 진단 기능을 구비 하도록 하고, 실제 상황에서 발생 가능한 문제점에 대한 FMEA 수행을 통해 추가적인 충전기 및 인프라 요구사항 정립이 필요

□ 필요성11: 터널 내부 습기, 누수 및 침수 등에 대응 가능한 전기 인프라 안전 확보 필요

- 지하고속도로 터널의 시공 중 및 상업 운영 시 집중 호우에 의한 침수피해가 발생할 수 있으며 침수피해 시 터널 내 각종 장비, 조명, 설비 등의 전력공급계통에 문제가 발생할 가능성이 높음
- 터널 내부의 높은 습도로 인한 전기차 충전 시 감전 및 화재 등의 문제 발생 소지가 매우 높음으로서 차량통행 편의성과 안정성이 현저히 저감 됨
- 지하차도의 결로현상 및 노후화에 따른 배선선로 연계계통의 누설전류 위험성과 누설전류량의 예측 불허에 따른 위험성이 상시 내포되어 있음
- 따라서 전력공급 차질에 대한 대응체계 구축 및 누전 예방을 위한 신기술 개발 및 적용이 절실함
- 높은 습도와 누수 및 침수 등으로 인한 전기충전의 감전 위험이 높으며 특히 화재 다발생에 따른 인명 피해가 예상 됨
- 시공 및 운영 등으로 인한 누전 시 감전에 의한 인명 피해 발생 가능성 매우 높음
- 운영 시 전력설비 노후화에 따른 누전 발생 및 인명 피해 연계사고 발생 가능
- K-고속도로 터널 내 효율적인 관리 및 감전 방지를 위한 근본적 대책 수립 필요

□ 필요성12: 지하고속도로의 운전자 주행 특성을 고려한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술

- 기존 주행환경과 다른 지하고속도로만의 운전자 주행 특성 도출 필요
 - 일반적인 터널 구간의 운전자 행태 측면의 연구는 지속적으로 연구된 바 있으나, 초장대 규모 지하터널 공간인 지하고속도로 운전자 행태 관련 연구는 전세계적으로도 거의 없는 상황

- 지상고속도로와 달리 폐쇄적인 지하터널 공간에서 장거리 고속 주행으로 나타날 수 있는 운전자 심리적 요인 변화에 기반한 주행 특성 도출 필요
- 통행거리 단축과 같이 이동성 확보를 위하여 산지 등의 지형적 장애물을 관통하는 비교적 짧은 구간의 터널은 일반적으로 차로변경이 제한된 본선 주행 위주
- 반면, 지하고속도로는 장거리 통행의 본선 주행과 더불어 지상고속도로 연결 또는 지하고속도로간 연결을 위하여 분·합류 교통특성이 나타나는 진출·입 시설이 포함되고, 이러한 주행환경에서의 종합적인 운전자 주행 특성 도출 필요
- 또한, 지하고속도로는 도심형 지하도로 대비 본선-연결로간 설계속도 차이가 크기 때문에 지하공간 내 변화하는 주행환경에 대한 운전자 행태 측면의 고려가 더욱 요구됨

○ 지하고속도로 특성, 운전자 주행 특성을 고려한 교통안전시설 설계 기술 개발 필요

- 국내에서는 추진 중인 도심도 지하도로에 대하여 전반적으로 지상부 도로의 설계기준 및 관리지침을 준용하고 기 추진된 지하도로 설계사례를 바탕으로 지하도로 설계지침을 정립·개정하는 방향을 취하고 있어 지하고속도로에서 나타날 수 있는 운전자 주행 특성을 충분히 고려하지 못하고 공학적 근거가 미흡한 한계점 존재
- 본선 및 분·합류의 교통특성을 갖는 지하고속도로 연결로 접속부에서 운전자가 본선과 연결로를 진출·입하기 위하여 차로를 변경하거나 감·가속 주행을 하는데 있어 운전자 주행 특성에 맞는 적절한 정보제공 및 안내 필요
- 운전자 주행 특성 반영이 미흡한 설계는 지하터널 내 운전자에게 혼란 가중 및 사고 위험성이 높은 주행환경을 제공하는 결과로 이어질 수 있음
- 지상고속도로 환경과 차별화된 운전자 주행 특성을 고려한 교통정보제공 방식 및 도로안내시설의 규격, 배치 등의 종합적인 교통안전체계를 포함하는 교통안전시설 설계 기술이 필요

□ 시급성1: 도심도 수직구 설치위치 선정 시 민원 등 해소를 위한 설치간격 재정립

○ 현행 관련 기준에서 권고하고 있는 수직구의 간격 적용시 민가밀접지역(아파트 등), 정온시설(학교, 상업단지 등)등 에게확상 수직구가 설치가 강제될 경우 민원 발생 우려

- 수직구 설치간격의 확대로 수직구 위치에 따라 발생될 수 있는 민원에 대한 원천적 해소 필요
 - 도심지 내 수직구 계획 최소화 검토

○ 수직구 설치간격 재정립

- 수직구 설치간격의 능동적 검토를 통해 도심지 초장대 터널에 대한 조건을 고려하여 적정간격 검토 필요
 - 환기 및 배연계통의 압력손실 분석
 - 도심지의 경우 소형차 전용으로 통행될 가능성이 높은 추세에 따라 소형차 전용 터널의 특성(단면, 터널 높이 등)을 고려한 수직구 적정간격 분석

□ 시급성2: 터널 굴착공사의 실시간 공사 관리

○ 터널굴착 공사는 일련의 작업과정을 거치는 것으로 천공작업의 정확도가 여굴, 버력처리, 보강공사 등에 영향이 크기 때문에 정확한 관리방법이 시급히 요구됨

- 천공작업의 정밀도는 굴착결과에 성패를 좌우
 - 천공장의 불일치, 천공각도 유지 등 숙련도, 공 막힘 등의 관리문제 발생
 - 외곽공의 초과천공과 간격유지 역시 터널의 안정성에도 영향

○ 천공작업 진행과 함께 작업의 정확도를 높일 수 있도록 관리하는 체계가 필요

- MWD(Management while drilling) 기술이 개발, 적용되고 있으나 가격이 높고 활용이 어려움
- RTK(Real time kinetic) 통신기술로 작업 상황을 모니터링하고 즉시 대응할 수 있는 체계가 구축되어 천공작업후의 보완이 아닌 작업의 정확도를 높임

- 천공장비 제작업체(Epiroc/Sandvik)의 MWD는 작업의 결과만 확인가능
- 천공장의 불일치 상황을 확인하는 것이 아니라 일치시키도록 작업 중 관리가 시급함

□ 시급성3: 기계장비, 측정기술을 활용하여 터널의 고속굴착 실현

- 인력작업을 배제하고 기계장비, 정밀 측정기술로 단위발파당 굴진장을 향상시켜 고속 굴착함으로써 공사기간과 비용을 절감함
 - 굴착공사는 천공장치를 제외하면 전반적으로 인력작업에 의존
 - 자동 장약설비를 탑재한 기계식 장약작업, 정밀센서에 의한 작업관리로 휴먼에러 제거
 - 정밀시공에 의한 여굴 제어, 소음진동 억제 등 2차적인 손해 예방
- 단위발파 당 굴진장을 3.5m/발파에서 4.5m/발파로 개선하면 공사기간 33% 단축가능

□ 시급성4: 인력에 전적으로 의존하는 기존 방법의 위험성 해소 필요

- 터널내부 시계불량으로 안전사고 위험 높으며, 현장 작업인원 안전문제 상존
- 인력으로 작동하는 기존의 수송시스템의 효율성 개선 필요
- 좁은 지하 작업장의 발파, 슛크리트, 라이닝 설치 등 간섭으로 전체 공정에 영향

□ 시급성5: 지하도로·수직구 인근 지역의 환경 문제 해결을 통한 민원 해소

- 지하고속도로 내 유해물질이 인체 건강에 미치는 영향과 환경파괴 등의 문제는 지속적으로 대두
 - 지하 고속도로가 확장 및 건설됨으로 인해 인근 유해물질이 환경 및 인체에 미치는 문제점이 대두될것으로 예상
 - 이러한 문제 해결을 위하여 지하도로의 유해물질 최적처리 기술과 통합관리 시스템이 필요함
- 유해물질 확산 모델 예측을 통한 도로 안전 및 재난 대비
 - 유해물질의 확산 모델을 예측하여 주변 지역의 피해도를 예측/분석하는 것은 재난 대비 및 안전 관리에 매우 중요하므로 따라서 이를 위한 모델링 기술 개발이 필요함

□ 시급성6: 30km이상의 지하고속도로 계획에 따른 구축 시 이용자 안전 확보 기술 적용 필요

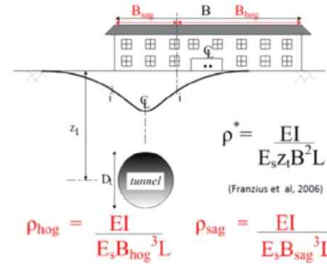
- 오는 2027년 착공을 목표로 추진 중인 경인고속도로 및 경부고속도로 지하화 사업 등의 운전자가 운전 시 발생할 수 있는 심리적인 요소(폐쇄공포, 공황장애)를 해결할 수 있는 기술의 개발이 시공전 완료되어 2027년 착공 시 적용될 필요가 있음

□ 시급성7: 터널 건설시 인접 구조물 안정 및 지반침하 등 도시 주민 안전 확보

- 경험적 기술의 터널 내 변형 허용으로 유발된 지중변형이 지중구조물에 미치는 영향 최소화
 - 터널 내에 발생하는 변형은 굴착면 주변지반의 변형을 유발하며, 이는 지중에 건설되어 운영 중인 각종 라이프라인의 변형 및 손상 유발의 원인으로 작용
 - 또한, Lombardi(1970)와 Lunardi(2000)는 굴진면의 응력-변형 거동특성을 분석하고, 건설 중 굴진면을 분할하여 굴착하는 방법이 최종 변형량을 증가시키는 원인임을 제시
 - 대심도 터널의 역학거동조건을 고려한 표준지보패턴의 다변화 필요
- 터널 내 변형으로 인한 지중변형이 지상구조물에 미치는 영향 최소화
 - 다양한 연구자들이 터널 건설로 인한 지반침하에 관해 분석한 결과, 터널 내에 발생하는 변형이 지반침하가 유발됨을 제시
 - 지반침하와 관련하여 지반손실 개념을 도입(Peck, 1969)한 이래로 지표면 지반손실과 터널 내 지반손실과 직접적 관계를 이용한 다양한 연구 진행



(a) 터널 내 변형으로 인한 지중구조물 손상



(b) 터널 내 변형과 지반침하 및 건물손상

[그림 5-54] 터널 내 변형의 지상·지하 인근구조물 영향

□ 시급성8: 초광역 연결 지하고속도로 운용을 위한 충전(주유소, 충전소 등) 인프라 구축 필요

- 전기차 충전 인프라는 지하고속도로 건설 이전에 충분한 안전성과 효율성을 담보할 수 있는 형태로 미리 설계/검토되어야만 전기차 충전의 안전성을 담보할 수 있음
- 전기차 운행/충전/주차 중 지속적인 안전성을 담보할 수 있고 안정적인 인프라 운영이 가능하도록 지하고속도로에 최적화된 충전 인프라를 구축하는 것이 중요하며, 지하고속도로에 적합한 충전 인프라에 대한 요구사항이나 기술기준이 미흡한 실정이므로 지하고속도로 건설계획 수립 이전 시점부터 전용의 전기차 충전 인프라 구축 관련 연구수행이 선행되어야 함

□ 시급성9: 전기차 충전 시 감전사고 발생 및 터널 내 누설전류에 의한 인명 피해 발생 가능

- 청주시 흥덕구 지역에서 전기차 충전 과정에서 감전사고 사례가 처음으로 발생(2018년 4월)한 이후 충전 시 감전 문제 대두
- 전기차 전력 공급 장치인 배터리와 각종 전장 부품은 상호 연계하여 작동하므로 충전 시 전기적 문제 발생 시 전체 충전시스템 및 자동차 고장으로 확산될 수 있음.
- 충전 시 낙뢰를 동반한 호우에서 야외 충전에 대한 사고위험 상존
- 충전시설 이용 방법 및 안전수칙에 대한 일반 사용자 및 관리직원의 교육, 안내 부족으로 안전 불감증이 만연하는 실정임
- 터널 내 높은 습도 및 누설전류로 인한 조명 꺼짐 등 설비 미작동에 의한 인명 피해 발생 가능
- 터널 운용 중 전기설비 노후화 및 밀집 전선관의 피복 박리에 의한 누전 발생 가능
- 누설전기에 의한 감전 시 고압전류에 의한 사망사고 발생 가능성이 높아 시급한 기술개선이 절실

□ 시급성9: 지하고속도로의 운전자 주행 특성을 고려한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술

- 국내 수도권 지역을 중심으로 초장대 지하고속도로 계획이 활발히 추진
 - 국내에서 가장 긴 장대터널은 서울~양양 간 고속도로의 인제터널(약 11km)이나 현재 계획 중인 경부고속도로 서울~화성 고속도로와 양재~고양 민자 고속도로가 연결되면 초장대 지하 간선도로축은 약 60km 이르는 수준임
 - 하지만, 초장대 대심도 지하고속도로 계획·설계 시 적용하는 현행 지하도로 설계지침 및 관련 교통안전 관리기법은 대부분 지상도로 설계기준과 교통안전체계를 준용하고, 지상 대비 폐쇄적이고 제한적인 주행환경에서 나타날 수 있는 인적 특성의 고려와 공학적 근거가 미흡한 상황
 - 이러한 부분에서 지하고속도로의 사고 위험성은 항상 존재하며, 결국 이용자의 불안감을 해소시킬 수 없음
 - 지하고속도로에 대한 정부주도하의 국가상위계획 수립과 일관된 도로 정책기조가 지속되고 있고 수도권 내 주요 지하고속도로 건설사업들이 예비타당성 조사 단계를 거치고 있는 과정으로 볼 때, 지하고속도로의 완성 이후 안전한 주행환경을 보장하기 위한 관련 연구가 시급

○ 수직구 설치간격 재정립

- 수직구 설치간격의 능동적 검토를 통해 도심지 초장대 터널에 대한 조건을 고려하여 적정간격 검토 필요
 - 환기 및 배연계통의 압력손실 분석
 - 도심지의 경우 소형차 전용으로 통행될 가능성이 높은 추세에 따라 소형차 전용 터널의 특성(단면, 터널 높이 등)을 고려한 수직구 적정간격 분석

□ 시급성2: 지하도로·수직구 인근 지역의 환경 문제 해결을 통한 민원 해소

- 지하고속도로 내 유해물질이 인체 건강에 미치는 영향과 환경파괴 등의 문제는 지속적으로 대두
 - 지하 고속도로가 확장 및 건설됨으로 인해 인근 유해물질이 환경 및 인체에 미치는 문제점이 대두될것으로 예상
 - 이러한 문제 해결을 위하여 지하도로의 유해물질 최적처리 기술과 통합관리 시스템이 필요함
- 유해물질 확산 모델 예측을 통한 도로 안전 및 재난 대비
 - 유해물질의 확산 모델을 예측하여 주변 지역의 피해도를 예측/분석하는 것은 재난 대비 및 안전관리에 매우 중요하므로 따라서 이를 위한 모델링 기술 개발이 필요함

□ 시급성3: 30km이상의 지하고속도로 계획에 따른 구축 시 이용자 안전 확보 기술 적용 필요

- 오는 2027년 착공을 목표로 추진 중인 경인고속도로 및 경부고속도로 지하화 사업 등의 운전자가 운전 시 발생할 수 있는 심리적인 요소(폐쇄공포, 공황장애)를 해결할 수 있는 기술의 개발이 시공전 완료되어 2020년 착공 시 적용될 필요가 있음

□ 시급성4: 초광역 연결 지하고속도로 운용을 위한 충전(주유소, 충전소 등) 인프라 구축 필요

- 전기차 충전 인프라는 지하고속도로 건설 이전에 충분한 안전성과 효율성을 담보할 수 있는 형태로 미리 설계/검토되어야만 전기차 충전의 안전성을 담보할 수 있음
- 전기차 운행/충전/주차 중 지속적인 안전성을 담보할 수 있고 안정적인 인프라 운영이 가능하도록 지하고속도로에 최적화된 충전 인프라를 구축하는 것이 중요하며, 지하고속도로에 적합한 충전 인프라에 대한 요구사항이나 기술기준이 미흡한 실정이므로 지하고속도로 건설계획 수립 이전 시점부터 전용의 전기차 충전 인프라 구축 관련 연구수행이 선행되어야 함

□ 시급성5: 전기차 충전 시 감전사고 발생 및 터널 내 누설전류에 의한 인명 피해 발생 가능

- 청주시 흥덕구 지역에서 전기차 충전 과정에서 감전사고 사례가 처음으로 발생(2018년 4월)한 이후 충전 시 감전 문제 대두
- 전기차 전력 공급 장치인 배터리와 각종 전장 부품은 상호 연계하여 작동하므로 충전 시 전기적 문제 발생 시 전체 충전시스템 및 자동차 고장으로 확산될 수 있음.
- 충전 시 낙뢰를 동반한 호우에서 야외 충전에 대한 사고위험 상존
- 충전시설 이용 방법 및 안전수칙에 대한 일반 사용자 및 관리직원의 교육, 안내 부족으로 안전불감증이 만연하는 실정임
- 터널 내 높은 습도 및 누설전류로 인한 조명 꺼짐 등 설비 미작동에 의한 인명 피해 발생 가능
- 터널 운용 중 전기설비 노후화 및 밀집 전선관의 피복 박리에 의한 누전 발생 가능
- 누설전기에 의한 감전 시 고압전류에 의한 사망사고 발생 가능성이 높아 시급한 기술개선이 절실

4. 기존기술의 한계와 극복방안

<표 5-29> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안(핵심기술2)

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
환기소(수직구) 설치간격 증대를 위한 환기량 설계 (소요환기량 산정)	- 환기설계시 기초가 되는 소요환기량 산정 시 차종에 따른 오염물질별 기준배출량 적용 - 차종은 승용차, 버스, 트럭으로 구분되며 사용 연료와 관련해서는 휘발유와 경유로만 구분 가능 - 現 기술수준, 기준 등 적용시 친환경차 이용조건에 대한 고려 불가	- 친환경차 등 보급률 확대를 고려한 소요환기량 산정을 위해 차종 구분 세분화 기준 정립 - 노후 경유차, 대형화물차 운행제한 등 고려된 지하고속도로 통행 차종비 적용에 따른 실효성 높은 소요환기량 산정 방안 제시 및 적용
환기소(수직구) 설치간격 증대를 위한 설비 개선 및 최적화	- 現 기술수준에서 국내/해외 환기소(수직구) 설치간격은 전차종 통행 터널 3km, 소형차 전용 지하고속도로 5km 이내 - 설치간격 증대를 위한 고정압팬 등 설비 기술은 개발 단계 - 기존 설비(축류팬) 이용 기반 설치간격 증대 기술 부재	- 기존 설비(축류팬) 활용 기반 기술 개발을 통해 실효성, 현장적용성 높은 설치간격 증대 기술 확보 - 댐퍼의 개도율 최적화를 통해 구간별 풍량 균등화 방안 마련 - 풍도(덕트)내 부스터팬 설치를 통한 정압 최대도달거리 증대효과 규명 - 풍도내 부스터팬 최적 설치방안 제시 및 결과 검증(모형실험 및 수치해석 등)
고속굴착 공법	- 현재 벌크 에멀전은 대규모 노천발파 현장에만 국한됨 : 터널용 자동장악 장비의 미비 - 화약업체의 장비개발로 성능이 제한적 - 기존발파공법으로 단위발파 당 굴진장을 증가시키기 어려움 : 평균 굴진장 3.0m/발파 - 고속굴착을 위한 장공천공에 적합한 발파공법 개발 필요	- 벌크 에멀전 기계식 장악장비의 개발/국산화 - MWD시스템 구축으로 천공장 균일화 등 천공 정확도 향상 - 저비중 벌크 에멀전과 3단 분산 발파공법으로 굴진장 증대 : 단위발파 당 굴진장 4.5m 확보
3D 발파설계 프로그램	- 발파설계는 암질의 경연에 따라 전형적인 패턴(Type-1 등)을 확정 적용 : 막장변화, 이전발파 결과 대응 못함 - 중앙부와 바닥부의 막장면은 2m이상 차이가 나기도 함 - 발파공사의 기록관리가 전형적 패턴만으로 되어있어 기술개발과 우수기술의 보급이 어려움 - 국·내외 발파설계 프로그램은 2D-base의 도면작성 용도임	- 발파대상 막장상태를 이미지로 모델링하고 UPS 좌표체계에서 천공, 장악, 시차를 설계하고 결과를 Simulation - : 3D-base 설계 시행 - 굴진장, 여굴 등 측정된 결과를 반영하여 설계를 조정, 굴진을 상승 기대 : 굴진을 저하의 주요인 파악 - 여굴 억제방안 도출 가능
IoT 센싱 실시간 굴착작업관리	- 터널발파 패턴에 따라 천공작업 정확도와 발파공 상태를 장악작업 직전에 확인, 대응조치 : 전체 작업cycle 운영상 재 천공 또는 추가 천공이 불가능함 - 발파공의 상태와 무관하게 설계패턴에 따라 장악작업이 진행되며, 관리자의 경험에 의존	- IoT 센싱으로 천공작업을 진행하면서 작업 상황을 3D이미지로 확인(실시간 작업관리) : 천공상황에 따라 발파설계 변경 - 통합 터널발파 전문가 시스템과 연동하여 굴진장, 여굴, 진동소음 등을 예측하고 최적 발파결과를 도출하는 설계로 즉시 변경
통합 터널굴착 전문가 시스템	- 굴착결과 평가시스템 없음 : 1발파 당 굴진장 등 단편적인 결과 기록만 관리 - 정량적인 발파결과와 평가법이 정립되어있지 않음 : 관리자의 경험에 의존 - 2차적인 피해(여굴, 진동소음)의 진단이 어려움	- Input data(Digital mapping, 설계, 천공작업 상태 등)와 Output(굴진율, 여굴량, 버력 등)을 정량화하여 상관성 분석 - 설계, 시공, 결과를 연결한 통합 터널발파 전문가 시스템 : 최적 발파결과와 도출 유도
버력 상차 시스템 개발	- 터널내부 시계불량으로 안전사고 위험 높으며, 현장 작업인원 안전문제 상존 - 인력으로 작동하는 기존의 수송시스템의 효율성 개선 필요	- 버력 처리량 등의 정확한 예측으로 버력처리 효율성 확보 / 반자동화 버력 처리 시스템 도입

IOT 기술을 활용한 자동 버력 물량 추정 및 운반 계획	- 좁은 지하 작업장의 발파, 숏크리트, 라이닝 설치 등 간섭으로 전체 공정 에 영향	- IOT 기술을 활용한 자동 버력 물량 추정 및 운반 계획 수립 / 어두운 환경에서 물량 측정 정밀도 향상
도로터널 내 미세먼지 및 유해물질 처리	- 전기집진기, 제진필터 등 이용한 미세먼지 저감 설비 상용화 - 터널 내부 오염물질(CO, NOx, 매연(가시거리)) 모니터링 및 오염물질 농도에 따른 설비 운전에 국한 - 터널 내부-외부 대기질을 모니터링 하여 통합 관리하는 시스템 부재	- IoT 센서를 통한 모니터링 및 유해물질 처리 설비 연계를 통해 터널 내부 및 외부 대기질 통합 관리가 가능한 스마트 통합 관리 시스템 구축
유해물질 저감을 위한 촉매필터 시스템	- 터널에서 발생하는 오염물질(미세먼지, CO, VOC 등)을 동시에 복합적으로 처리 가능 - 캔들필터에 상온 촉매를 코팅하여 입자상-물질상 복합처리 가능 - 상온에서의 처리효율이 낮고 질소산화물은 처리 불가	- 질소산화물, 휘발성유기화합물, 먼지 등 지하고속도로 내 유해물질을 고효율로 처리할 수 있는 흡착 소재 개발을 통해 기술 고도화
측위를 위한 컴퓨터 비전 기술	- 신호등 위치 등 지리적 특징점 또는 비주얼 태그 이용, 컴퓨터 비전을 통해 위치 파악 - 영상을 통해 GPS 없이도 위치 파악이 가능하며, 향후 자율주행 기술과도 연계 가능 - 외부 요인에 민감하며 환경 세팅이 변경되게 되면 (예를 들어 건물의 외벽이 변경되거나 페인팅이 새로 될 경우) 데이터 재학습 필요	- 기술을 이용함과 동시에 데이터 획득도 함께하여, 최신의 데이터를 항상 유지하도록 하는 방법 - 데이터를 서로 공유할 수 있도록 설계하여 최신의 데이터가 서로 공유되도록 하는 방법 - 다양한 제조사의 존재로 인해 절대적인 시장 우위가 있는 기업만이 할 수 있음. 데이터 공유는 단일 플랫폼 내에서만 가능한 한계점
비콘 기반 측위 기술	- 비콘과의 통신을 통해 비콘 위치를 현 위치로 파악 - 기술적 완성도가 높으며 비교적 단순 - 비콘 수신을 위한 센서들이 요구	- 신호발생기의 단가를 낮추고 신호발생기의 강도를 높여 소수의 설치만으로 작동하도록 설계하는 방법 - 단말제조사와의 비콘 제조사의 협업으로 생태계를 조성하고 협업하여야만 생존 가능
측위를 위한 맵매칭기술 (Map-matching)	- 길 안내 정보, 구간 통과 차량들의 속도 등을 고려하여 현 위치를 유추 - 소프트웨어적인 접근법으로 추가적인 하드웨어 설치 필요 없음 - 장시간 GPS 수신에 불가능한 경우 측위 오차 증가	- 소프트웨어의 고도화를 통해 극복해야 하나 불확실성을 예측하는 방법에 한계가 있음, 추가적인 정보를 제공받아 오류 적산을 방지해야 함
공간 디자인 개념의 다양한 터널 벽면 색상패턴 추출	- 터널 내부 조명 및 색상·패턴에 따른 운전자의 심리상태 연구가 진행되는 정도임	- 본 연구에서도 터널내부 조명 색상·패턴에 따른 운전자의 심리상태 연구를 기반으로 운전자의 폐쇄공포감 및 피로감을 저감하는 조명 및 장식 색상패턴 추출
VR 터널 가상화 시뮬레이터	- VR콘텐츠의 경우 HMD(Head mounted Display)의 지원 fps에 따르는 형태로 개발되나 현재는 60fps가 주류임	- HMD 적용 조건을 고려하여 90fps 이상 지원 퍼포먼스 구현(물리기반 셰이딩, UDIM, 7단계의 LoD 등 지원)
지하고속도로 내 휴게시설	- 지하고속도로 또는 장대터널 내 차량 대피소 및 터널 비상구만 존재함	- 지하고속도로 내 지하휴게소 설치 간격 및 공간 설계 기준 및 지침을 마련하여 새로운 휴게공간 마련
도심지 도심도 특성을 고려한 논리적 암반분류체계	- 터널 심도, 지질조건 및 암반강도에 따라 다양하게 변화하는 역학적 거동 특성을 고려할 수 없는 RMR에 기반하고 있어, 암질 특성만을 고려한 경험적 굴착계획 시행	- 도심도 터널의 새로운 역학조건을 고려할 수 있는 변수를 경험적 암반분류법에 조합하여 문제 해결 - RMR 기준 각 암반등급에 해당하는 터널의 응력-변형 거동특성 고려

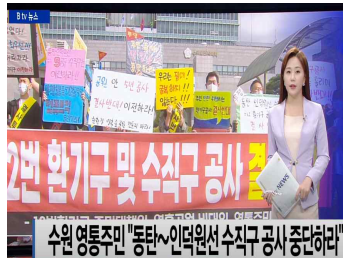
안정성 및 사용성을 확보한 최적 굴착 및 지보 설계	- 경험적 지보계획을 발주기관별로 표준화하여 다양한 터널 사업에 동일하게 적용하는 경직된 굴착설계 관행 - 안정성(지지력)과 사용성(변형)을 동시에 만족하지 못하는 경험적 표준지보패턴의 굴착 - 대심도 터널 안정성과 도심안전 확보 요구에 대응 가능한 굴착계획 필요	- 논리적 암반분류체계에 분류된 터널 파괴메커니즘에 따른 굴착 설계기법 도입 - 예상되는 터널 파괴메커니즘에 따라 터널 내 변형 관리 목표 설정 - 터널 내 허용 변형량을 만족하는 분석적 굴착
3차원 입체(수평·수직) 이동수단	- 미국 Boring Company社의 3차원 터널 네트워크 프로젝트에 카리프트 이동 계획을 발표했으나 실제 사업에 적용된 사례 없음 - 평면-수직 연계 입체 이동이 가능한 차량 승강기 시스템에 대한 기술 미비	- 지하고속도로 이용 시 운전자의 피로감을 해결하기 위해 지상 휴게시설로 운전자의 간섭 없이 3차원 입체(수평·수직) 이동이 가능한 인프라 시스템 구축기술 확보
지하고속도로 충전 인프라용 충전시설 기술기준	- IEC 및 KS 표준에 따른 전기차 충전장치는 일반적인 환경 조건에 국한된 사양과 기능을 주로 요구 - 지하고속도로는 침수 및 고습 환경에 노출될 우려가 있고, 빈번한 점검 및 유지보수가 어려운 상황 - 지하고속도로에 적합한 충전시설에 대한 기술기준 미흡	- 지하고속도로 환경에 대한 상세조사 및 위해요소 분석 수행 - 표준 또는 KC인증 기준에 대한 전문가 검토와 제조/서비스 업체 요구사항 상세분석 - 지하고속도로 환경에서의 FMEA 수행을 통한 전기차 충전시설의 기능 및 성능 요구 기술기준 수립 - 지하고속도로 전용 충전시설의 KC인증기준 수립 사전 대비
지하고속도로 충전 인프라 요구사항 분석기술	- 국내 고속도로형 전기차 충전 인프라는 지상설치 위주로 구축 - 지하고속도로 환경에서 전기차 충전시 발생 가능한 문제점 검토 및 상세 분석 미흡 - 해외 선진국도 대부분 지상설치 형태로, 지하고속도로에 대한 요구사항 분석 사례 없음	- 지하고속도로 건설계획을 고려한 국내 전문가/업체/사용자가 공동 참여한 지하고속도로형 전기차 충전 인프라 요구사항 도출 - 지하고속도로 환경에 대한 상세분석을 기반으로 이에 적합한 전기차 충전 인프라 설계 방안 마련
전기차 충전기 누설전류 포집 기술	- 現 기술수준에서 누설전류의 감지 기술 및 관련 시스템 기술 존재 - 반면, 전기차 충전인프라의 누설전류 포집 기술 및 관련 시스템 기술은 국내/국외 부재	- 전기차 충전 시 발생 가능한 감전사고 예방을 위하여 누설전류 감지 및 포집 통합 관리시스템 개발 및 구축 - 국내 NEP신기술 획득을 통한 응용 어플리케이션 개발
배전선로 연계 누설전류 포집 제품	- 누설전류의 포집이 가능한 배전선로 기술은 국내/국외 부재	- 지하고속도로의 침수, 누수(지하수 유출 등) 등 발생시에도 감전사고를 예방할 수 있는 전기 배전선로의 누설전류 제한기술 개발을 통한 방지 제품 개발
지하고속도로 운전자 주행 특성 도출	- 장대터널의 운전자 주행행태 분석 사례는 있으나, 지하고속도로 사례는 국내·외 찾기 어려운 상황 - 지하터널의 실차실험을 통한 운전자 행태 분석은 현실적으로 어려움	- 계획·추진 중인 지하고속도로 환경에 대한 가상주행실험을 수행하여 구간별 운전자 주행 특성 도출
운전자 주행 특성을 고려한 지하고속도로 교통안전시설 설계 기술	- 지상부 도로의 적용기법을 준용, 운전자 주행행태 고려 미흡	- 지하고속도로 본선 및 분·합류부의 안전성 향상을 위한 교통정보제공 기술 개발 - 운전자 주행 특성을 고려한 최적의 지하고속도로 교통안전체계 수립

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

□ 한계점 및 주요이슈1: 환기소(수직구) 설치간격 증대를 위한 환기량 설계(소요환기량 산정)

- 국가 계획에 따라 지하고속도로 내 친환경차(전기차, 수소차 등) 이용 비율 증가는 필연적이거나 이를 고려한 환기시설 설계기술 미비로 미래 차량 이용 수요를 고려한 인프라 구축 한계
 - 제4차 친환경자동차 기본계획(2021~2025)(관계부처 합동, 2021.2.)에 따르면 2025년 연간 신차판매의 50%, 2030년 80% 이상을 친환경차로 전환추진
 - 환기설계시 기초가 되는 소요환기량 산정 시 차종에 따른 오염물질별 기준배출량을 적용 중이나 친환경차 이용조건에 대한 고려가 전무한 실정
 - 소요환기량 산정을 위한 차종에 따른 오염물질별 기준배출량과 비엔진 입자상물질 발생량에 대한 차량 속도 및 차종별 기준발생량에 따라 적용 중이지만 차종은 승용차, 버스, 트럭으로 구분되며 사용 연료와 관련해서는 휘발유와 경유로만 구분 가능
 - 지하고속도로의 환기설비 규모는 소요환기량 크기 변화에 민감하여 소요환기량이 증가할 경우에는 환기설비 규모 및 비용 증가의 원인이 됨
 - 현재 기술수준에 근거하여 지하고속도로 환기설비를 계획 및 설계한다면 지하고속도로가 개통되어 이용 가능할 것으로 예상되는 2030년대 초반 시점에서의 오염물질 발생량 대비 과다한 인프라 구축 및 불필요한 예산 지출 불가피
- 환기소 설치간격 확대를 통해 수직구 설치 개소수를 최소화할 필요성 존재
 - 지하고속도로의 환기소 역할을 수행하는 수직구의 건설은 도시지역 내(또는 주변) 지상 여유부지 부족, 수직구 건설 및 운영 중 대기오염 심화 우려에 대한 민원 등 사회적 갈등 요인으로 작용할 우려가 높음
 - 수직구 설치간격 증대시 필요 수직구의 개소수 감소에 따른 예산 절감(굴착비용, 설비 비용, 향후 유지관리 비용 등) 가능

실상정, 구로항동 온수터널 수직구 공사 중단 촉구



항동지구 온수터널(머니S, '22.01.07.) 동탄-인덕원선(Btv뉴스, '22.10.05.) 만덕-센텀 지하도로 수직구 에어돔

[그림 5-55] 도시지역 수직구 공사 관련 시위 및 에어돔 설치 사례

□ 한계점 및 주요이슈2: 환기소(수직구) 설치간격 증대를 위한 설비 개선 및 최적화

- 환기소(수직구) 설치간격 증대를 위해서는 미래 차량 이용수요(친환경 차량 이용 비율 등)를 고려한 소요환기량 산정과 함께 환기설비 개선 및 최적화 필요
 - 現 기술수준에서 국내/해외 환기소(수직구) 설치간격은 전차종 통행 터널 3km, 소형차 전용 지하고속도로 5km 이내이며, 수직구 설치간격 증대에 용이한 고정압팬 등 설비 기술은 개발 단계
 - 기존 설비(축류팬)를 이용하는 조건에서 경제성, 효율성 및 현장 적용성 등에 최적화된 설치간격 증대 기술 부재

□ 한계점 및 주요이슈3: 고속굴착 공법을 구현할 자동 장악장비의 미비

- 현재 벌크 에멀전 자동장악 장비를 제작, 판매하는 국내업체는 없으나 해외에는 다양한 기술과 특성을 보유한 제작업체가 있음(Normet社, King explorer社 등)

- 범용장비가 아닌 장악작업을 위한 특수차량인 관계로 비교적 고가(US\$ 70만/대 내외)의 투자가 필요한 상황임
- 국내의 화약제조업체인 (주)한화에서 차량 탑재형 자동장악 장비를 개발, 시험단계를 거쳤으나 작업 편의성 등의 개선점이 다량 도출된 상태임

□ 한계점 및 주요이슈4: 전형적으로 패턴화된 굴착설계

- 굴착설계는 암질의 상태에 따라 Type-1에서 Type-6까지 정형화된 형식이 있음
- 실제 막장은 단면이 일정한 평면이 아니며, 전회 발파의 영향으로 과굴착 또는 미굴착된 상태로 기존 발파패턴을 그대로 적용하기가 어렵기 때문에 기술자의 경험과 능력에 의존
- 국내외 판매중인 발파설계 프로그램은 2D-base의 도면작성용 프로그램

□ 한계점 및 주요이슈5: 천공작업의 실시간 관리와 피드백의 문제점

- 자동화 모듈이 탑재된 터널용 천공장비(Computerized jumbo drill)에서도 천공작업의 정확도는 드릴 기사 등 작업 인력의 숙련도에 의존
- 전회 발파에 의한 막장면의 형성은 중앙부의 심발공 위치에서 가장 깊고, 터널 하단의 바닥공 위치가 가장 돌출된 상태로서 천공 로깅 데이터(Drill profile)로 확인이 가능함
- 단위발파 당 굴진장을 증가시키기 위해서는 천공의 끝부분인 공저부의 위치를 균일하게 두는 것이 무엇보다 중요하지만, 이를 정확하게 제어하는 것이 어려우며 전체적으로 작업 인력의 숙련도와 집중력에 의존함

□ 한계점 및 주요이슈6: 막장 공간에서 백호 및 로우더 이용하고, 덤프트럭으로 반출하여 운반효율을 낮음

- 터널 내 시계불량으로 안전사고 위험 높으며, 현장 작업인원 안전문제 상존
- 인력으로 작동하는 기존의 수송시스템의 효율성 개선 필요
- 좁은 공사현장으로 발파, 슛크리트 타설 작업, 라이닝 설치 작업과 간섭 발생하여, 전체 공정 영향 주는 사례 발생
 - 버력 반출 때문에 발생하는 전체 공정 지연은 돌발적으로 발생하여 예측이 어려울 수 있음. 체계적인 공정관리가 이루어 지지 않으면, 인력 및 장비의 대기시간 예측도 어려움

□ 한계점 및 주요이슈7: 도로터널 내 미세먼지 및 유해물질 처리

- 지하도로 관리 측면에서 대기 중 유해물질 발생원인 파악, 대책 및 환기 배출 개념으로 제한적 접근에 대한 해소방안 필요
 - 지하 고속도로 내 대기 유해물질의 발생 원인을 파악하고, 발생량과 농도를 측정하는 측정기기가 필요
 - 이를 바탕으로 대기 중 유해물질을 저감시키기 위한 대책을 수립하고, 이를 효과적으로 시행하는 기술 개발이 절실한 상황임
 - 통행 차량에 의해 배출되는 오염물질을 정화처리 하지 않고 환기구를 통해 그대로 배출
 - 대부분 지하고속도로 건설이 주요 도심지역을 중심으로 추진되고 있음
 - 오염물질 확산에 의한 피해비용 증가 및 주변지역 민원 다수 발생

□ 한계점 및 주요이슈8: 유해물질 저감을 위한 촉매필터 시스템

- 터널 내 오염물질을 처리할 수 있는 기술은 확보되어 상용화된 상태이나 기술 개선 및 고도화 필요
 - 터널에서 발생하는 오염물질을 동시에 복합적으로 처리할 수 있는 기술은 개발된 상태
 - 미세먼지 제거를 위해 캔들필터를 사용하였고 캔들필터에 상온 촉매를 코팅하여 입자상-물질상 복합처리 기술을 개발

- 하지만 기존 기술의 경우 상온에서의 처리효율이 낮고 질소산화물(연료를 태울 때 배출되거나 자동차 배출가스에 포함된 대기오염물질로 주로 이산화질소(NO₂) 형태로 존재하며 인체에 유해하고 고농도 아래에서는 만성 기관지염, 폐렴, 폐출혈, 폐수종 등 호흡기 질환의 원인이 됨)은 처리가 불가능한 단점이 존재하므로 이러한 기술적 한계 및 문제점 개선이 가능한 기술개발 필요

□ 한계점 및 주요이슈9: 초장대 지하고속도로 내 이용자의 정밀 위치 제공 기술 미흡

- 진입 및 진출부만 존재하는 일반적인 터널구조물과는 달리 다수의 분·합류부 출현으로 운전자에게 혼란 야기 가능
- 지하고속도로에서 운전자의 현 위치 정보 및 목적지로 이동하기 위한 네비게이션 기능 제공이 필요하며 향후 자율주행 차량 이용 시에도 필수적으로 필요한 기술임

□ 한계점 및 주요이슈10: 공간 디자인 개념의 다양한 터널 벽면 색상패턴 축출

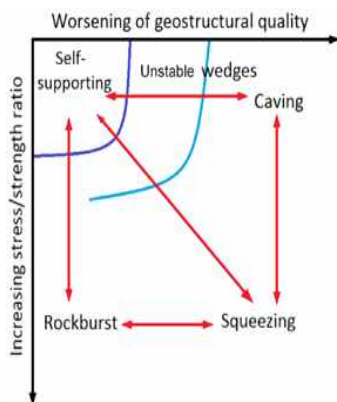
- 터널 내부 조명 및 색상·패턴과 운전자의 심리상태에 대한 연구 자체가 미흡한 실정이므로 터널 내부 조명 및 색상·패턴이 운전자의 피로감과 폐쇄공포감 저감에 미치는 영향 등 규명 필요

□ 한계점 및 주요이슈11: VR 터널 가상화 시뮬레이터

- 터널 내 공간 및 주행환경 조건을 구현하여 시뮬레이션하기 위한 VR 콘텐츠의 경우 HMD의 지원 fps에 따르는 형태로 개발되나 현재는 60fps가 주류인 상황으로 S/W 기술수준이 H/W의 기술수준에 못미치고 있는 실정임

□ 한계점 및 주요이슈12: 도심지 대심도 터널의 역학적 특성을 반영할 수 없는 경험적 암반분류

- 새로운 역학적 조건이 형성되는 대심도 터널에서 경험적 암반분류법 적용의 한계
 - (터널의 역학거동 특성) 터널 건설시, 암질특성 뿐만 아니라, 굴착유발응력-암반강도 특성이 복합적으로 작용하여 다양한 역학거동 발생
 - (경험적 암반분류법) RMR의 국내·외적 변성
 - NATM 발표(Rabcewiz, 1965) 이후, 다양한 암반분류법 중, 경험적 암질지수의 크기를 지보패턴과 연계하여 제시한 RMR(Bieniawski, 1973)을 대다수 터널에서 채택
 - (RMR의 한계) 암질지수만을 고려하는 RMR의 적용성 한계
 - 오스트리아 광산의 연암지반 굴착에 관한 제한적인 자료에 기반하여 제시된 RMR은 유사한 조건의 터널에서 유효하게 터널심도와 암반강도가 변하는 다양한 터널사업에 신뢰도 저하
 - 즉, RMR에 근거하여 분류된 암반등급별 표준지보패턴은 성공적으로 적용되었던 제한된 사례에서 동일하게 적용할 수 있으나, 도심지 대심도 터널과 같이 지질조건과 응력조건이 변화하여 새로운 조건이 형성되는 경우 도심안전 및 터널안정에 불확실성 내포



(a) 터널의 다양한 역학거동 특성

RMR SYSTEM (Bieniawski 1973, 1989)

$$RMR=a+b+c+d+e+f$$

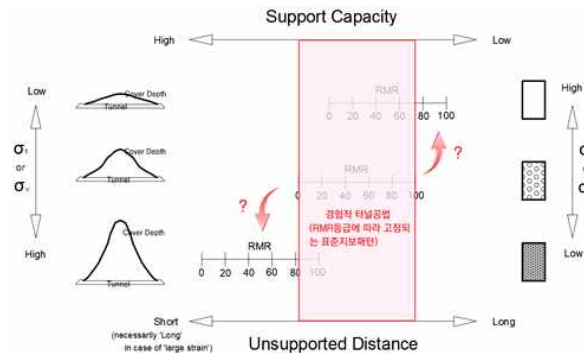
a	intact rock compressive strength
b	RQD
c	Spacing of discontinuities
d	Condition of discontinuities
e	Ground water
f	Adjustment for discontinuity orientation

(b) 암질특성만을 고려하는 RMR의 한계

[그림 5-56] 경험적 암반분류법 적용의 한계

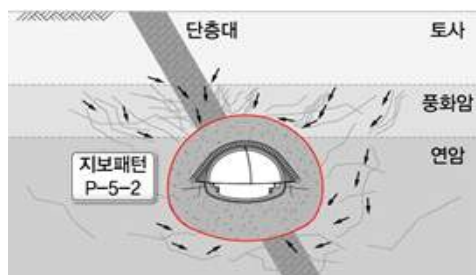
□ 한계점 및 주요이슈13: 경험적 표준지보패턴 계획

- (경험적 표준화 기술의 한계) 과거의 제한적 성공사례에 기반한 경험적 표준지보패턴 적용으로, 대심도·대단면 터널에서 발생하는 대변형 및 굴착유발응력 과다문제에 대응능력 부재
- (최근 개선된 표준지보패턴) 고속도로 터널공법 및 철도 터널설계 선진화 영역은 표준지보패턴을 세분화하여 현장 조건변화에 대응성을 향상시키려는 시도
 - 터널의 역학적 거동과 지보량을 다루고 있지 않아, 도심지 대심도 터널의 지질조건 및 응력조건을 고려할 수 없는 한계 내포
- (분석적 지보 설계기법) 기존 경험과 다른 도심지 대심도 터널의 역학거동에 따른 파괴메커니즘을 고려한 지보 설계기법 도입 필요

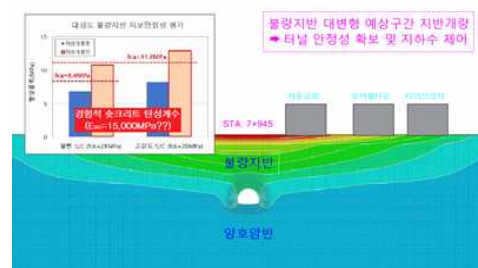


[그림 5-57] 경험적 표준지보패턴의 한계

- 도심지 대심도 터널에서 경험적 지보패턴을 적용하는 경우, 지보/구조물 안정성에 문제 발생
- (대심도 불량 암반 터널의 역학적 거동특성) 대심도 불량 암반구간을 통과하는 터널에서는 파괴 규준을 초과한 응력상태에서 대변형 거동 발생 가능



(a) 대심도 터널의 대변형 거동사례



(b) 터널 내 총 변형량 측정의 한계

[그림 5-58] 대심도 터널 조건에서 경험적 터널기술 적용의 한계

- (지보재 공학적 특성 및 공칭강도 부재) 상기한 결과는 지보재의 공학적 특성과 공칭강도 특성 부재로 인해 논리적으로 오류가 있는 터널 안정검토 기법 적용사례에 해당
 - 현재 국내의 지보설계 관행은 경험적 표준지보패턴을 수치해석적으로 검증하는 방법으로 안정성 평가. 부족한 기준 적용 또는 검토항목 평가가 아니어서 안정성 검토 신뢰도 저하

□ 한계점 및 주요이슈14: 지하고속도로 내 휴게시설

- 지하고속도로뿐만 아니라 도로터널 및 지하도로 대상 지하 휴게시설 등 관련 기준 및 기술 등 미비
- 지하고속도로 또는 장대터널 내 차량 대피소 및 터널 비상구만 존재
- 지하고속도로 내 지하휴게소 설치 간격 또는 공간설계 기준 및 지침 미비
- 단일 노선 20km~30km 내외, 두 개 이상 노선 연결시 50km 이상 주행이 요구되는 지하고속도로의 경우에는 장시간 운전이 요구되는 운전자 편의시설 제공이 요구됨
- 따라서 지하고속도로 내 휴게시설의 설치를 위한 단면 설계 및 관련 지침 등 필요



[그림 5-59] 지하고속도로 내의 차량 대피소 모식도

□ 한계점 및 주요이슈15: 3차원 입체(수평·수직) 이동수단

- 3차원 입체 이동시스템의 운영 효율성이 극대화될 수 있는 엘리베이터 (카리프트)의 관리 제어와 관련된 기술은 아직 소규모 단위의 운영 방식을 적용하고 있으며 대규모의 관리 제어는 아직 국내외에서 시도된 바 없음
- 화재나 비상상황 시 승객을 안전하게 이동하기 위한 피난 승강기만 존재하며 장거리 지하고속도로 이용 시 운전자가 느끼는 폐쇄감 및 피로감을 해소시킬 지상 휴게시설로의 이동이 불가능한 실정임

□ 한계점 및 주요이슈16: 지하고속도로 충전 인프라용 충전시설 기술기준

- 기존 고속도로형 전기차 충전기의 KC 인증기준에 대한 지하고속도로 환경 적용성 검토 필요
 - IEC 및 KS 표준을 고려하여 수립된 전기차 충전기에 대한 국내 KC 인증기준에, 지하고속도로 환경에 설치/운영되는 충전기에서 발생 가능한 위험 상황을 고려한 필수 기능이나 성능 요구 사항에 대한 고려가 미흡
- 전기차 충전 인프라에 대한 주기적인 점검 및 유지보수가 제한적이고 비용 문제 고려 필요
 - 지하고속도로에 설치되는 전기차 충전 인프라는 주기적인 점검과 고장 시 빠른 유지보수 대처가 제한적으로 수행됨으로 전기차 사용자의 불편성이 커지고 충전 불가에 따른 전기차 운행 중단이나 충전 중 사용자/전기차 위험증대 사고 등이 발생할 우려가 큼
 - 안정적인 충전 인프라 운용을 위해서는 유지보수 인력의 지속적이고 주기적인 관리가 필요하나 상주 인력을 두거나 빈번한 인력 투입은 충전 인프라 운영비용을 증가시키는 요인으로 작용

□ 한계점 및 주요이슈17: 지하고속도로 충전 인프라 요구사항 분석기술

- 고속도로에 주로 설치되는 직류 급속충전기는 지상에 설치한 업체가 대다수로 지하고속도로용으로 설치한 경험이 전무
 - 직류 급속충전기와 같은 대용량 충전시설을 공동주택이나 공공시설의 지하주차장 이외의 지하고속도로와 같은 환경에 설치/운영해본 경험이 있는 업체가 없음
 - 지하고속도로에 설치한 사례가 없어 지하 환경에 적합한 전기차 충전 인프라에 대한 요구사항을 검토해본 경험이 없고, 해외에서도 지하고속도로에 대한 전기차 충전 인프라 사례가 현재까지는 확인된 바 없어 충전 인프라 구축 설계에 대한 기준 수립이 어려움

- 기존 고속도로 전기차 충전 인프라는 충전기 대수와 충전용량만 고려하여 안전성과 편의성에 대한 고려가 미흡
 - 일반 고속도로에 설치된 전기차 충전기는 직류 급속충전기가 대부분으로 휴게시간 동안 충전할 수 있는 50kW급 이상의 충전용량과 사용 빈도를 고려한 충전기 대수에만 중점을 두고 충전 인프라 구축 계획을 수립
 - 지하고속도로의 특성상, 휴게공간이더라도 전기차 충전 중 발생 가능한 위험 상황에 대한 대응 방안 수립이 필수적이나 기존 충전 인프라는 이에 대한 검토가 미흡한 것이 현실
 - 점진적인 전기차 보급확대는 교통약자의 전기차 활용을 증가시키고 있음에도 기존 전기차 충전 인프라는 교통약자의 충전시설 접근성을 제한하는 측면이 있고, 교통약자의 편의성 증대를 위한 자동충전시스템 등에 대한 고려는 미흡한 실정
- 지하고속도로 전용 전기차 충전서비스를 위한 원격관리 및 유지보수 기준 수립 필요
 - 기존 전기차 충전서비스 체계로는 지하고속도로 휴게소용으로 적용하기에는 미흡

□ 한계점 및 주요이슈18: 전기차 충전기 누설전류 포집 기술

- 습기가 많은 지하 및 누수, 침수 및 비가 오는 날에는 전기자동차 충전 시 누설전류 다발생에 따른 감전사고가 빈번하게 발생
 - 습기가 많은 경우 전기차 충전 시 누설전류로 인한 감전 및 화재의 위험이 있으며, 특히 습도가 높은 지하시설에서 주의 필요
- 충전기 자체의 누설전류 발생에 대하여 기술적 한계로 누설전류를 제어할 수 없는 상황 발생
 - 전기차량의 충전 시 화재폭발 원인은 과충전과 누설전류로 인한 원인으로 분석되고 있음
 - 설비의 누설전류 현황을 검증하는 시스템 부재로 감전사고 대응책이 미비한 실정임

□ 한계점 및 주요이슈19: 배전선로 연계 누설전류 포집 제품

- K-지하고속도로 운영 시 예상되는 배전선로 연계계통의 누설전류 위험성
 - 배전 선로 노후화에 따라 감전사고 위험 수치의 누설전류가 필연적으로 발생함
 - 현재 상태에서는 기술적 한계에 따라 매년 감전 사고의 발생률이 높아 가는 실정임

□ 한계점 및 주요이슈20: 운전자 행태 측면에서 지하고속도로 주행 특성을 도출한 관련 연구 사례 부재

- 운전자 행태 측면의 장대터널 설계 관련 연구는 일부 진행된 바 있으나, 연장길이가 길고 지하 공간에서 분·합류 및 차로변경이 불가피한 지하고속도로 관련 연구는 거의 없는 상황
 - VDS와 같은 검지기 자료 또는 영상검지기를 통한 교통류 측면의 연구 사례는 있으나, 이러한 데이터로 폐쇄적인 공간에서의 Human factor 측면에서 지하고속도로 특성을 공학적으로 뒷받침하기에는 한계가 있음

□ 한계점 및 주요이슈21: 지하고속도로의 안전한 진출·입을 위한 교통안전체계 적용의 한계

- 지하고속도로는 일반적인 터널과 달리 진출·입을 위한 시설(나들목/분기점)이 존재하기 때문에 경로 안내를 위한 표지체계가 중요하나 지상도로 적용 기법과 유사
 - 차로변경이 필수적으로 이루어지는 지하고속도로에서 나타날 수 있는 사고를 최소화하기 위한 교통안전시설물의 적절한 배치가 중요하나, 지하고속도로에 적용 가능한 교통안전체계의 표준 모델 수립을 위한 연구사례 또한 미흡
 - 기존 지상고속도로에 적용하는 기법에 일반적으로 알려진 운전자 시지각 특성을 고려하여 터널 환경 개선에 초점을 맞춘 방안보다는 초장대 지하고속도로 환경에서 운전자 행태를 반영한 실효성이 있는 교통안전체계 모델 필요

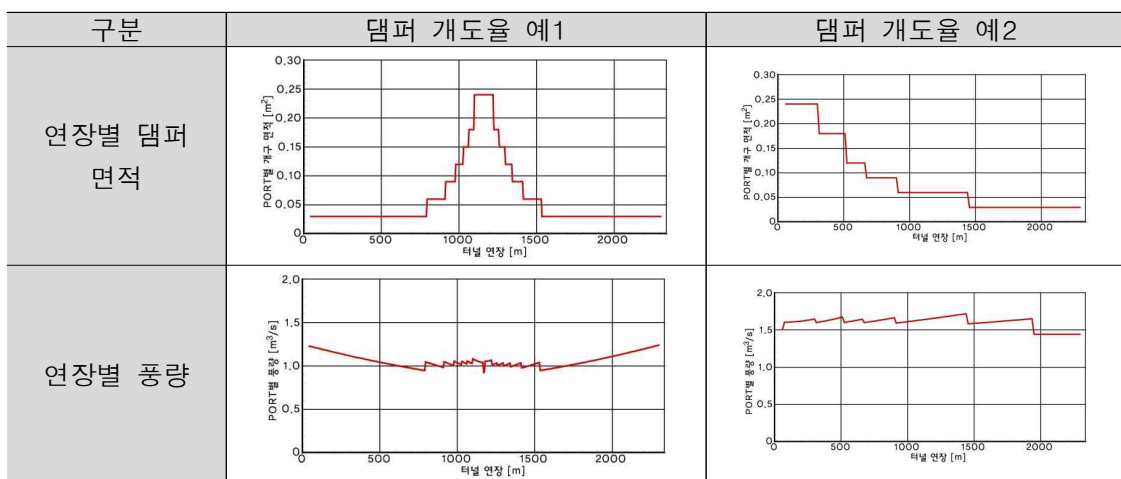
(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안1: 환기소(수직구) 설치간격 증대를 위한 환기량 설계(소요환기량 산정)

- 무공해자동차 보급 대수 증가에 따른 차량 구분 세분화 연구
 - 기존 내연기관 자동차뿐 아닌 무공해자동차 보급률 확대에 따른 소요환기량 산정을 위한 차종 구분 연구
- 노후 경유차 운행제한에 따른 실질적 소요환기량 연구
 - 노후 경유차 운행제한에 따른 도심지 도로터널 예상 통행 차종비에 따른 실질적 소요환기량 연구를 통해 예상 소요환기량 검토

□ 극복방안2: 환기소(수직구) 설치간격 증대를 위한 설비 개선 및 최적화

- 횡류식 환기방식 적용시 댐퍼의 개도율 최적화 방안 마련
 - 댐퍼 개도율 최적화를 통해 수직구 1개 구간의 풍량 균등화 방안 마련



[그림 5-60] 댐퍼 개도율에 따른 연장별 풍량 검토 예시

- 풍도 내 부스터팬 설치에 따른 축류팬의 정압최대도달 거리 분석 및 최적방안 마련
 - 풍도내 부스터팬 설치 적정 설치방안 마련에 따른 축류팬의 정압 최대 도달거리 분석
 - 모형실험 및 수치해석을 통해 풍도 내 부스터팬의 설치방안 마련 및 검증



[그림 5-61] 부스터팬 설치에 따른 축류팬의 정압최대도달거리 분석 예시

□ 극복방안3: 터널용 벌크 에멀전 자동장약 장비의 도입

- 고속굴착 공법의 실현과 Test bed에서의 현장검증을 통해 자동장약 장비의 도입을 유도
- 벌크 에멀전과 기계식 자동장약 장비의 활용성을 증명

□ 극복방안4: 3-D 발파설계 프로그램의 개발

- 굴착면을 프로그램 내에서 모델링함으로써 Digital twin 구현
- 3차원 좌표체계를 구축함으로써 천공, 장약, 시차를 설계하고 발파결과를 Simulation함

□ **극복방안5: IoT 센싱에 의한 실시간 굴착작업 관리**

- 천공장비에 IoT 시스템을 장착하여 실시간으로 작업 상황을 공유
- IoT 센싱으로 천공작업을 진행하면서 작업 상황을 3D 이미지로 확인
- 통합 터널굴착 전문가 시스템과 연동하여 굴진장, 여굴, 진동소음 등을 예측하고 최적발파결과를 도출하여 발파설계를 즉시 변경 적용함

□ **극복방안6: 도로터널 내 미세먼지 및 유해물질 처리**

- 터널 내 발생 되는 미세먼지 및 유해물질을 처리하는 시스템, 복합환경 유해인자를 실시간으로 모니터링하여 유해물질의 확산 모델링을 통한 주변지역의 피해도 예측/분석, IoT 기반 유해물질 센싱을 통한 data 구축 및 분석을 통한 통합관리 모니터링 시스템을 통합하여 지하고속도로 내 및 주변지역(환기소, 진출입부)의 대기 중 유해물질 관리기술 및 통합모니터링 시스템 개발

□ **극복방안7: 유해물질 저감을 위한 촉매필터 시스템**

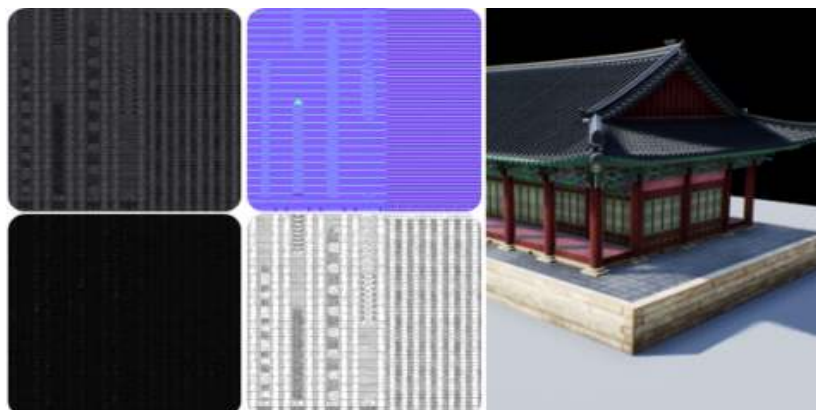
- 기존 기술이 갖고 있는 한계(상온에서의 처리효율이 낮고 질소산화물은 처리 불가)를 극복하여 지하고속도로 내 유해물질 중 질소산화물, 휘발성유기화합물, 먼지 등 다종 유해물질의 처리가 가능하면서도 고효율 유해물질 처리가 가능한 지하고속도로 유해물질 최적 처리기술 확보

□ **극복방안8: 공간 디자인 개념의 다양한 터널 벽면 색상패턴 추출**

- 다양한 조건의 조명 및 색상·패턴에서 운전자의 피로감 및 폐쇄공포감 저감 시뮬레이션을 통해 조명 및 색상·패턴 DB 구축

□ **극복방안9: VR 터널 가상화 시뮬레이터**

- ‘편집 도구’와 ‘VR 시뮬레이터’의 두 가지 형태로 개발하고 맵의 형태로 터널을 연동함
 - ‘편집 도구’와 ‘VR 시뮬레이터’의 두 가지 형태의 실행 파일로 최종 산출물 개발
- 레코딩 형태의 관리자 모드 접속을 통해 맵의 옵션을 변경하여 실시간 개입이 가능하도록 개발
 - 레코딩 형태로 관리자가 테스트의 환경에 진입할 수 있도록 에디팅 모드 개발
- 물리 기반 셰이딩
 - 물리 기반 셰이딩 기준안 마련을 통해 물리 현상을 기반으로 구축된 셰이딩 기법 적용, 현재 까지 나와 있는 셰이더에서 생략된 물리 현상들을 다양하게 구현, 적은 텍스처 리소스와 셰이더 하나로 거의 모든 재질을 표현, 다양한 조명 환경에서도 안정적으로 결과물 생성

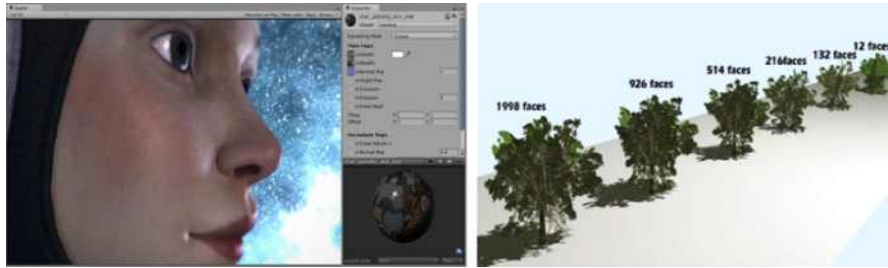


[그림 5-62] 물리 현상을 기반으로 구축된 셰이딩 예시

○ LoD 7단계

- 국가 공간정보와 동일한 LoD 4단계에 포토리얼리스트틱 기법으로 제작된 3단계를 포함해서 총 7단계의 LoD로 구축하여 사실감과 퍼포먼스를 확보

- 언리얼, 유니티 등에서 기본 적용되는 맵의 활용방안 결정, LoD의 단계를 7단계 이상 구축을 통해 퀄리티와 퍼포먼스 확보



[그림 5-63] 포토 리얼리스틱 기법의 예시

○ UDIM 텍스처

- 활용 텍스처를 가로세로가 동일한 정방형 형태로 개발함
- 제작되는 텍스처를 콘텐츠 플레이시 로드 하면서 UDIM 형태의 아틀라스 구조로 실시간 조합

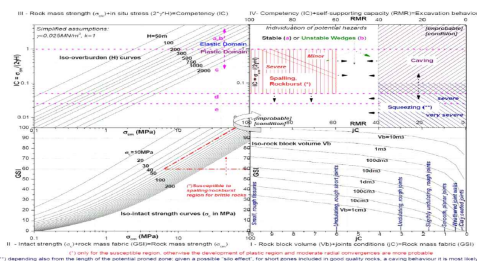
□ 극복방안10: 논리적 암반분류체계 도입

○ 논리적 암반분류체계

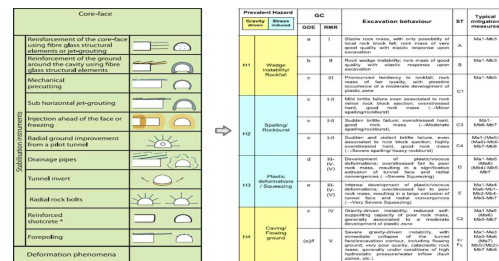
- 우리나라 도심지 대심도 터널의 역학거동특성을 반영할 수 있는 암반분류체계 개발

○ 논리적 암반분류에 의한 표준지보패턴 계획

- 논리적 암반분류체계에 연계된 지보패턴 계획으로 도심지 대심도 터널의 다양한 역학거동에 대응성과 정량적 건설관리목표가 설정된 굴착 및 지보 계획



(a) 논리적으로 도식화된 암반분류 도표

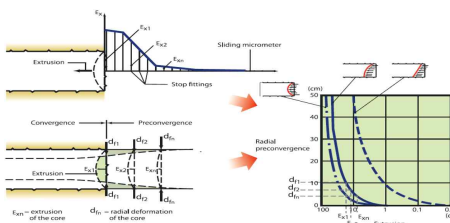


(b) 논리적 암반분류체계에 기반한 지보패턴

[그림 5-64] 논리적 암반분류 체계 사례 (Russo, 2008, 2014)

□ 극복방안11: 분석적 지보설계기법 및 보강기술 최적화

- (터널 역학거동 메커니즘) 논리적 암반분류체계에 근거하여 터널역학거동특성을 반영하는 굴착
 - 역학적 분석을 통해 지보설치시기 및 지보량을 계획하거나, 굴진면의 거동특성을 포함한 터널 굴착과정 전체의 변형관리 목표를 설정한 후, 선행보강 및 굴착방법을 계획하는 분석적 설계기법 도입
- (최적 굴착계획) 터널 변형거동특성에 따른 굴착계획으로 경험적 다분할 굴착 방법 적용으로 인한 총 변형량 증가, 굴진속도 저하 등 안정성 및 시공성 관련 문제 개선
- (최적 보강계획) 터널 내 변형제어 목표에 부합하는 보강계획으로 안정성 및 시공성 확보



(a) 터널 내 변형제어 개념(Lunardi, 2000)



(b) 변형제어이론에 기반한 전단면 굴착 사례

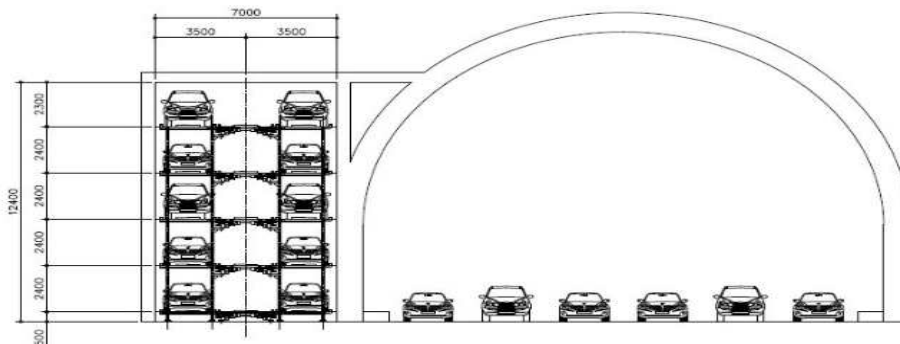
[그림 5-65] 터널 내 변형제어 기술

□ 극복방안12: 지하고속도로 내 휴게시설

- 지하고속도로 내 지하 휴게소 설치 간격 및 공간설계 기준 및 지침을 마련하여 운전자의 피로 저감을 위한 공간 구축방안 제시
 - 휴게시설 진·출입 방법에 대한 설계 기준 및 지침을 마련하여 Test-Bed에 적용
 - 지하 휴게시설 내에 운전자 최소 개입을 통한 자동 주차시스템 개발



[그림 5-66] 지하고속도로 내 휴게시설 및 주차장 모식도 예시



[그림 5-67] 지하고속도로 내 주차장 도면 예시

□ 극복방안13: 3차원 입체(수평·수직) 이동수단

- 지하고속도로 이용 시 운전자가 느낄 심리·신체적인 문제(폐쇄공포, 피로감 등)를 해결하기 위해 지상 휴게시설로 차량을 운전자의 개입 없이 지상으로 이동하는 3차원 입체이동 시스템 개발을 통한 운전자의 심리적·신체적인 문제 해결
- 터널 내 응급환자 발생 시 지상 이동 신속 제공 및 터널 수직 통로 활용을 통한 피난 통로 확보 및 제공



[그림 5-68] 지하고속도로-지상 휴게실 3차원 입체(수평·수직) 이동수단 모식도

□ 극복방안14: 지하고속도로 충전 인프라용 충전시설 기술기준

- 지하고속도로 환경 및 요구사항을 반영한 전기차 충전시설 기술기준(안) 수립을 통한 지하고속도로 건설계획 수립 전 충전시설 연구개발 및 최적 인프라 구축 지원
 - 기존 국제/국내 표준과 KC 인증의 시험항목에 대한 연구소/시험기관/제조업체 전문가의 상세 분석을 통해 지하고속도로 환경에 적용 가능한지를 분석하고, 해당 분석내용을 반영한 지하고속도로용 전기차 충전장치에 대한 기술적 요구사항과 기능을 정의
 - 충전기 제조업체/관리업체/서비스업체 및 전기차 사용자가 참여하는 FMEA 수행을 통해 충전기 기능 및 성능 요구사항에 대한 기준(안) 수립
 - 전기차 충전장치 KC 인증을 담당하는 시험기관에서의 지하고속도로 충전시설에 대한 시험항목별 평가환경 및 시험방법 구현 가능성 사전검토

□ 극복방안15: 지하고속도로 충전 인프라 요구사항 분석기술

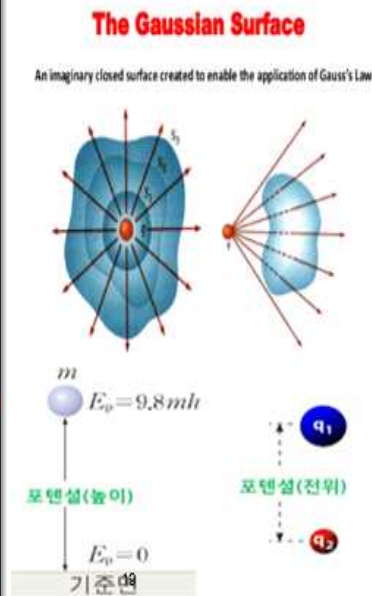
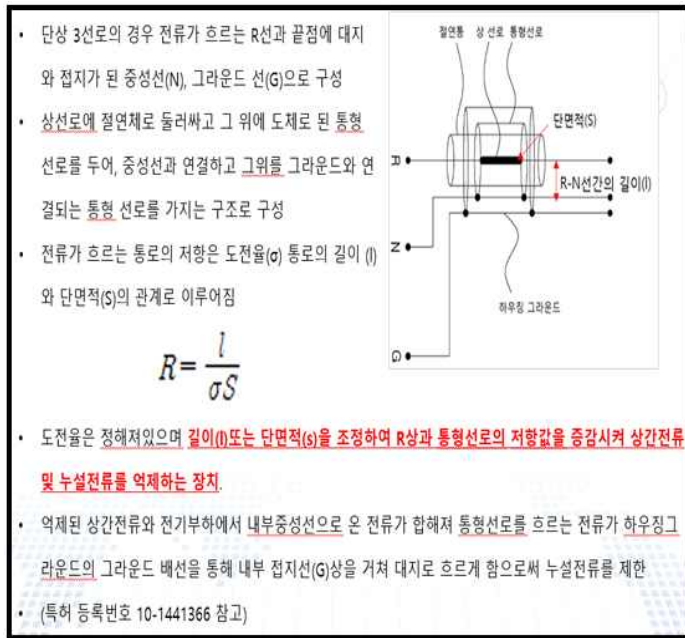
- 복수의 기업/기관 전문가와 전기차 사용자가 직접 참여한 위원회 운영으로 지하고속도로 전기차 충전 인프라 요구사항 정립
 - 지하고속도로 건설 계획과 지하고속도로의 특성을 인지하고 있는 전문가가 참여하고, 전기차 충전장치를 제조하는 기업의 전문가, 충전서비스 기업 전문가, 유지보수 기업/기관 전문가, 연구소 또는 대학의 전기차 및 충전장치 연구 전문가 등이 모두 참여하는 전기차 충전 인프라 검토위원회 구성 및 운영
 - 기존 전기차 충전 인프라를 지하고속도로에 적용하는 상황에서 우려되는 사항과 지하고속도로의 통행량 사전분석 결과, 고속도로에서의 전기차 충전기 운영상태, 지하고속도로 환경에 대한 상세 분석 등을 토대로 지하고속도로에 적합한 전기차 충전 인프라 설계 시 반영해야 하는 항목 및 내용 도출
- 지하고속도로 전기차 충전 인프라 운영사례 도출 및 실 환경 적용성 검토를 위한 실증방안 제안
 - 국내 최초의 지하고속도로 전기차 충전 인프라 운영사례 도출을 고려하여 지하고속도로 모의 공간에서의 실 환경 적용성 검토 및 운영성 실증방안을 제시
 - 실 환경 모사 공간에서의 트랙 레코드(Track Record) 수집을 통한 전기차 충전 인프라 안전성 및 편의성 개선점 도출 방안 제안
- 전기차 충전 인프라의 안전성과 편의성 확보를 위한 타 세부기술과의 연계방안 수립 및 지원
 - 전기차 충전 인프라에 대한 원격 모니터링 및 관리기술 기반의 관제 시스템 구축을 위해 타 세부기술인 지하고속도로 인프라 유지관리 기술과 연계된 관제 시스템 구축방안 도출
 - 전기차 충전 인프라에서 발생 가능한 전기차 및 사용자 유해상황을 고려하여 타 세부기술인 지하고속도로 비상 대응 기술과 연계한 지하고속도로 충전 인프라 구축 및 운용방안 도출, 관제 시스템의 기술적 요구사항을 반영한 충전 인프라 최적 설계안을 정립

□ 극복방안16: 배전선로 연계 누설전류 포집 제품

- 전기차 충전기 배전선로 연계 누설전류 포집 제품 개발
 - 전기 배선이 노후화에도 누설전류가 발생하지 않는 새로운 패러다임의 전기배선 개발
 - 환경 분석에 따른 누설전류 제한 배선 개발

□ 극복방안17: 전기차 충전기 누설전류 포집 기술

- 전기차 충전기 누설전류 포집 시스템 및 감지시스템 개발을 통해 터널 내 습기, 누수 및 침수 등 조건에서도 안정적 전기차 충전전력 공급
 - 가우스의 법칙, 키르키호프의 법칙, 전위의 법칙 등을 이용한 충전기 누설전류 포집 및 감지시스템 개발을 통해 안정적인 전기차 충전기술 확보



[그림 5-69] 가우스의 법칙 활용(예)

□ **극복방안18: 가상주행환경(Virtual Reality) 기반의 지하고속도로 세부 구간별 운전자 주행 특성 도출**

- 가상주행실험을 수행하여 지하고속도로 본선, 분·합류부의 세부 구간별 운전자 주행행태 분석
 - 지하고속도로에 적용할 운전자 주행행태 분석지표 정의
 - 현재 추진 중인 초장대 대심도 지하고속도로 모델 기반 가상주행환경 및 동일 기하구조 선형의 지상고속도로 가상주행환경 구축
 - 가상주행환경 내 교통상황 설계를 통한 시나리오 설정
 - 선·후행 차량간 간격, 선행차량 감·가속에 대한 후행차량 운전자 반응도, 차로변경시의 감·가속도 및 안전거리 유지, 차량편측위치 등의 다양한 주행행태 데이터를 산출할 수 있도록 가상주행 실험 설계
 - 지하고속도로 본선, 분·합류 시설의 유의미한 분석 결과 도출을 위한 충분한 피실험자 대상의 가상주행실험 수행 및 분석지표를 활용한 운전자 주행 및 시각행태 특성 비교 분석

□ **극복방안19: 지하고속도로 분·합류부 구간 안전성 향상을 위한 교통정보제공 기술 개발**

- 가상주행실험을 기반의 분·합류부 구간 교통정보제공 기술 개발 및 효과 도출
 - 유출연결로 분류부 차로변경허용구간에서 운전자의 원활한 차로변경이 이루어질 수 있도록 교통류 상황별 차로변경 정보제공 방안 기술 개발
 - 유입연결로 합류부에서 연결로 주행 운전자가 노즈부 터널벽체 이후 본선 접근차량 인지 부족에 의한 사고 예방을 위하여 본선 접속차로 및 연결로 주행 운전자에게 적정 안전속도 및 감속 및 주의 정보제공 방안 기술 개발

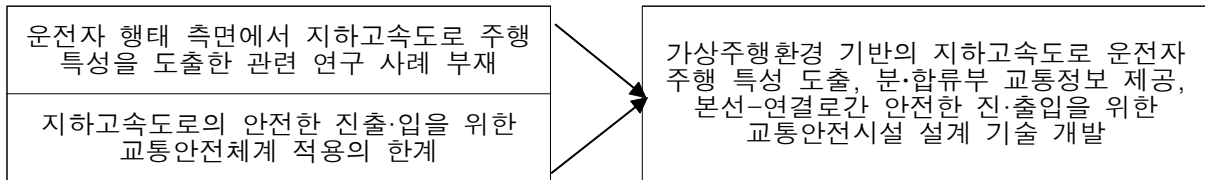
□ **극복방안20: 지하고속도로에 적용 가능한 도로안내시설 및 교통안전시설의 시스템화로 교통안전 체계의 수립 및 효과 분석**

- 전차종 또는 소형차 전용 지하고속도로 환경의 운전자 주행 및 시각행태 특성을 고려한 지하고속도로 교통안전체계 표준모델 대안 설정 및 효과 분석
 - 표준모델 대안에 대한 일반 운전자 인식조사(SP) / 전문가 대상 초점집단인터뷰(FGI)를 수행하여 최적 대안 선정
 - 특히, 3.0m 이상 시설한계가 적용되는 소형차 전용 터널환경에서는 교통안전시설물에 대한 운전자 시인성을 높일 수 있도록 시설물의 형태, 배치 등 대안 설정 후 VR 실험을 수행하여 최적 대안 선정

5. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출

기술적 한계 및 주요 이슈	추진전략(=새부기술)
환기소(수직구) 설치간격 증대 - 친환경차 이용조건에 대한 고려가 가능한 환기량 설계기술 적용 필요 - 환기설비 개선 및 최적화 필요	환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증
현재 굴진수준의 한계 (평균 3.0m/cycle)	지하고속도로 수직구 설치 최소화를 위한 환기 설비 및 최적 설계기술
작업공간 문제, 공정별 동시 작업 불가	지하고속도로 내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감, 관리 및 모니터링 기술
지하고속도로 내부 및 주변 유해물질 관리 - 터널 내부-외부 대기질을 모니터링하여 통합 관리하는 시스템 부재 - 상온에서의 처리효율이 낮고 질소산화물은 처리 불가능한 유해물질 저감 기술 고도화 필요	실시간 현장맞춤형 지하고속도로 저소음·저진동 고속굴착 시스템 개발 및 실증
장시간·장거리 지하고속도로 주행여건에서 운전자 피로감 및 폐쇄감 저감 - 터널 내부 조명 및 색상·패턴에 따른 운전자의 심리상태 연구 및 DB 구축 필요 - 지하고속도로 공간 조건 시뮬레이션을 통해 이용자 영향을 사전에 분석·대응할 수 있는 기술 필요	지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증
초광역간 연결 초장대 지하고속도로에 요구되는 휴게시설 인프라 구축 - 지하고속도로 내 지하휴게소 설치 간격 및 공간 설계 기준 및 지침 등 부재 - 평면-수직 연계 입체 이동이 가능한 차량 승강기 시스템에 대한 기술 미비	- 지하고속도로 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 터널 공간 설계 및 조명 최적화 기술 - 지하고속도로 졸음쉼터 등 휴게시설 확보 기술
초광역간 연결 초장대 지하고속도로내 친환경차량(전기차)을 위한 충전인프라 구축 - 지하고속도로 충전 인프라용 충전시설 기술기준 부재 - 지하고속도로 충전 인프라 요구사항 분석기술 필요 - 전기차 충전 시 발생 가능한 감전사고 예방을 위하여 누설전류 감지 및 포집 등 가능한 시스템 구축 필요	- 지하고속도로 충전인프라(지하) 구축 및 누설전류 제로화를 통한 안전성 확보 기술
초장대 지하고속도로 내 이용자의 정밀 위치 제공 어려움	정밀 실내 위성측위 및 실내측위 보완 기술 개발과 디지털트윈 시뮬레이션을 통해 최적 센서 배치 설계 기술 개발
새로운 역학적 조건이 형성되는 도심도 터널에서 경험적 암반분류법 적용의 한계	초대단면 터널 안정성 증대(대변형 변위발생 예방)를 위한 최적 분할굴착 기술
과거의 제한적 성공사례에 기반한 경험적 표준지보패턴 적용으로, 도심도·대단면 터널에서 발생하는 대변형 및 굴착유발응력 과다문제에 대응능력 부재	
도심지 도심도 터널에서 경험적 지보패턴을 적용하는 경우, 지반침하 관련 도심안전 확보에 문제 발생	



□ 전략1 : 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증

- 지하고속도로 수직구 설치 최소화를 위한 환기 설비 및 최적 설계기술
 - 친환경차량 이용 수요를 고려한 K-고속도로 맞춤형 소요환기량 적용방안 도출
 - 환기설비 효율 증대를 위한 횡류식 환기방식 댐퍼 개도율 최적화 방안 마련
 - 기존 환기설비 성능 극대화 및 효율 최적화를 위한 풍도내 부스터팬 이용 수직구 설치간격 증대 방안 마련
- 지하고속도로 내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감, 관리 및 모니터링 기술
 - 지하고속도로 내 유해물질 중 질소산화물, 휘발성유기화합물, 먼지 등 다종 유해물질 고효율 처리가 가능한 지하고속도로유해물질 최적처리기술 개발
 - 복합환경 유해인자를 실시간으로 모니터링하여 유해물질의 확산 모델링을 통한 주변지역의 피해도 예측/분석기술 개발
 - IoT 기반 유해물질 센싱 이용 data 구축 및 분석이 가능한 유해물질 통합관리 모니터링 시스템 구축

□ 전략2 : 실시간 현장맞춤형 지하고속도로 저소음·저진동 고속굴착 시스템 개발 및 실증

- 지하고속도로 고속굴착이 가능한 저소음, 저진동 발파공법 개발
 - 단위공정 당 굴착거리 향상(4.5m/cycle)으로 고속굴착
- 발파공법 최적화를 통해 굴착 사이클 개선이 가능한 버력처리 및 지보공법 개발
 - 신개념 지보시스템으로 굴착 후속 공정속도 향상

□ 전략3 : 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증

- 지하고속도로 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 터널 공간 설계 및 조명 최적화 기술
 - 다양한 조명 및 색상·패턴이 적용된 가상 터널 VR 시뮬레이터 개발
 - AI 학습을 통한 최적 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 DB(지하고속도로 운전자 심리상태) 구축
- 지하고속도로 졸음쉼터 등 휴게시설 확보 기술
 - 지하고속도로 이용 시 운전자의 피로를 저감하기 위한 한정된 지하 공간 내에서 휴게공간(졸음쉼터) 구축기술 개발
 - 지하고속도로 내에서 주차장 구축기술 및 자율주차 설계기법 개발
 - 지하고속도로 내에서 지상 휴게시설로 차량 및 운전자 동시 이동이 가능한 3차원 입체(수평·수직) 이동수단(승강기, 엘리베이터, 카리프트) 구축기술 개발
- 지하고속도로 충전인프라(지하) 구축 및 누설전류 제로화를 통한 안전성 확보 기술
 - 지하고속도로 최적화 전기차 충전 인프라 설계기술 확보 및 기준 정립
 - 고속도로의 편의성 개선과 전력설비의 안전하고 효율적인 운영을 위한 전기차 충전 인프라 누설 전류 방지 시스템 개발

□ 전략4 : 지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로 안내 및 교통안전시설 설계 기술

- 현재 실존하지 않는 지하고속도로의 주행 특성 분석을 통한 시사점 도출

- 초장대, 다수 분·합류 구간 등 새로운 교통환경 특성을 갖는 지하고속도로 출현으로 인해 발생될 수 있는 안전 관련 이슈에 대하여 운전자 행태 측면에서 특성 도출 가능
- 지하고속도로 운전자 주행 특성을 고려한 종합적인 교통안전시설 설계 기술 개발
 - 지하고속도로 분·합류부 구간 안전성 향상을 위한 교통정보제공 기술 개발
 - 지하고속도로에 적용 가능한 교통안전체계의 수립 및 종합적인 교통안전시설 설계 기술 개발 및 효과 분석

(2) 기술개발의 최종 목표

□ 최종 목표

**초광역 연결 초장대 지하고속도로 맞춤형 인프라 기술 확보를 통한
이용자 편의성 및 교통·운영 효율 향상**

□ 최종 산출물

- 산출물명 1 : 기준배출량 변화에 따른 K-고속도로 적용 소요환기량 기준
 - K-고속도로 환기설계를 위한 예상 소요환기량 제시
 - 무공해자동차의 보급률 증대, 노후 경유차 운행제한에 따른 경유 승용차 통행량 감소 등 운행차종비와 기준배출량 변화에 따른 K-고속도로 적용 소요환기량 기준 정립
- 산출물명 2 : 풍도내 부스터팬 최적 설치를 통한 환기소(수직구) 최대 설치 간격 기준
 - 수직구 설치간격 증대를 위해 축류팬 정압도달거리 최대화를 위한 풍도내 부스터팬 최적 설비 구축 방법
 - 수치해석을 통한 풍도내 부스터팬 설치 가이드라인(설치위치, 댐퍼와의 관계를 고려 등)
 - 모형실험을 통한 풍도내 부스터팬 최적 설치 방안 및 수직구 설치간격 증대(전 차종 7km, 소형차 전용 10km) 기술 검증
- 산출물명 3 : 3D 터널굴착 설계S/W, AI기반 통합 터널굴착 전문가 시스템
 - 실제 막장 모델링 기반 디지털트윈 구현을 통해 설계 및 굴착결과를 시뮬레이션 예측
- 산출물명 4 : MWD와 IoT 시스템, 실시간 통신
 - 실시간 발파작업을 관리하고 굴착결과에 예측에 따라 설계를 즉시 변경하여 작업함
- 산출물명 5 : 터널공사 원가절감
 - 천공 및 장약작업의 정밀도 향상으로 발파공사비 20%절감 및 슛크리트 30% 절감
- 산출물명 6 : 신개념 터널전방 Arch 지보 시스템
 - 지반보강 작업시간 10%이상 절감
- 산출물명 7 : 지하고속도로 유해물질 최적 처리 장치 시제품
 - 지하고속도로 내 유해물질 중 질소산화물, 휘발성유기화합물, 먼지 등 처리 가능한 처리 장치 시제품 개발
 - 유해물질 최적 처리 장치 시제품 개발을 통해 다종 가스상 유해물질 제거효율 70% 이상 확보
- 산출물명 8 : 유해물질 확산 모델 예측 S/W, 유해물질 통합관리모니터링 시스템
 - 복합환경 유해인자를 실시간으로 모니터링하여 유해물질의 확산 모델링을 통한 주변지역의 피해도 예측/분석
 - 확산 모델 정확도 오차범위 $\pm 5\%$ (측정값 및 예측값 비교)

- IoT 기반 유해물질 센싱을 통한 data 구축 및 분석을 통한 유해물질 통합관리 모니터링
- 산출물명 9 : 정밀 실내 GNSS 위성측위 기술
 - GNSS 신호 동기화 정밀도 및 배치에 간격 따라 중계기 핸드오버 성능이 영향을 받음.
 - 동기화 정밀도 향상과 중계기 배치 최적화를 통해 약 100km/h 이동속도에서 측위 정밀도 1m 이하의 수신 성능 향상 가능
- 산출물명 10 : 정밀 UWB/BLE/RADAR/영상 실내측위 보완 기술
 - 100km/h 이상의 고속 이동 시 위성측위 1m 이하의 측위 정밀도 커질 수 있음
 - 고속 이동 시에도 1m 이하의 위치 정보를 제공할 수 있는 실내 GNSS 위성측위 대체 가능한 실내 전파 측위기술
 - UWB/BLE/RADAR 센서 및 영상분석을 이용한 하이브리드 기술을 이용하여 고속 이동체의 위성 측위 정보와 실내 측위 정보를 비교·판단하는 방식으로 1m이하의 측위 정밀도
- 산출물명 11 : 디지털 트윈DB구축과 전파 음영구간 분석 및 측위 센서 배치 시뮬레이션 설계 기술
 - 센서 설치 후 전파 음영구간 개선 방식으로 고강도 터널/지하도로 적용 불가
 - 설치 및 측정 평가를 통해 배치 최적화 방식은 측정 평가 음영 구간이 발생
 - 디지털 트윈 DB구축을 구축 활용을 통해 선행 전파시뮬레이션 예측 및 최적화 설계 구현
 - 3D 전파 해석 기술을 이용하여 전 구간에 대한 전파 커버리지 분석 평가 가능
 - 센서별 GNSS/UWB/BLE/RADAR 센서 송수신기의 특성을 반영하여 전파 음영구간 예측 설계 및 비용 대비 성능 최적화 설계
- 산출물명 12 : 다양한 조명 및 색상·패턴이 적용된 가상 터널 VR 시뮬레이터, AI학습 기반 최적 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 DB 구축
 - 제작된 터널, 색상정보, 정보표출 도구가 적용된 환경조건에서 운전자의 주행환경에 대한 영향에 대한 테스트를 안정적으로 수행할 수 있도록 VR 시뮬레이터 개발
 - 터널의 길이, 조명 및 색상·패턴의 변화, 차량의 속도에 따른 운전능력을 분석하는 자료를 활용하기 위하여 차량의 지하고속도로 상 위치 정보 수집, 테스트 조건(지하고속도로 환경 조건)에 대한 운전자 심리상태 빅데이터 구축
- 산출물명 13 : 초대단면 터널 안정성 증대 가능 최적 분할굴착 및-저보 기술
 - $200m^2$ 이상의 초대단면 터널 분할단면 최소화 굴착 및-저보 기술
 - 초대단면 터널 분할굴착 최소화 기술의 건설기준/지침 제안
- 산출물명 14 : 지하고속도로의 운전자 휴게 및 편의시설 설계(안) 및 설계 지침서
 - 지하고속도로 이용 시 운전자의 피로를 저감하기 위해 제공이 필요한 지하 공간 내 휴게공간(졸음쉼터) 설계(안) 및 설계 지침
 - 지하고속도로 내 주차장 설치 및 자율주차 설계 기술
 - 지하고속도로에서 지상 휴게시설로 차량 및 운전자 동시 이동이 가능한 3차원 입체(수평·수직) 이동수단(승강기, 엘리베이터, 카리프트) 설계 기술
- 산출물명 15: 지하고속도로 전기차 충전 인프라 기능 및 성능 기술기준
 - 지하고속도로 전기차 충전 인프라 요구사항 분석결과서
 - 지하고속도로 전기차 충전 인프라 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis) 수행 결과서
 - 지하고속도로 환경에 적용 가능한 전기차 충전장치 기능 및 성능 요구사항, 기술적 요구사항 정의, 시험방법 및 판단 기준 등을 포함한 기술기준(안)
- 산출물명 16 : 전기차 충전인프라 누설전류 감지 및 포집 시스템, 배선선로 연계 누설전류 포집시제품

- 충전인프라 발생 누설전류를 감지, 실시간 통합관제 및 통보(알림) 등 가능한 시스템 구축
- 인체 감전을 원천 차단할 수 있는 누설전류 제한 충전기 손잡이 시제품 개발
- 습기나 누수, 침수 등의 환경과 노후화 및 전기 배선의 일부 탈피에도 누설전류가 발생하지 않는 누설전류 제한기술이 적용된 전기 배선 개발

○ 산출물명 17 : 가상주행환경(Virtual Reality) 기반의 지하고속도로 운전자 주행 특성 도출

- 지하고속도로만의 운전자 주행 특성을 도출하기 위하여 VR 실험을 수행하고 Human error를 최소화하기 위한 운전자 행태 측면의 시사점 도출

○ 산출물명 18 : 지하고속도로에 적용 가능한 교통정보제공 및 교통안전시설 설계 기술 개발

- 운전자 행태에 부합하는 차로변경 및 경로 안내, 본선-연결로간 차량의 사고 위험성 저감을 위한 교통정보제공 방안 도출
- 지상부 도로 환경과 다른 지하고속도로만의 차별성 있는 교통안전체계 수립 및 종합적인 교통 안전시설 설계 기술 개발

□ 성과지표 및 목표

<표 5-30> 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
환기소 최대 설치간격 및 다종 가스상 유해물질 고효율 처리기술 확보	기준배출량 변화에 따른 K-고속도로 적용 소요환기량 기준	1건
	지하고속도로 환기소(수직구) 최대 설치 간격 기준	1건
	유해물질 최적 처리 장치 시제품	다종 가스상 유해물질 제거효율 70% 이상
	유해물질 확산 모델 예측 S/W (측정값 및 예측값 비교 결과)	정확도 오차범위 ± 5%
	유해물질 통합관리모니터링 시스템	시스템 인증 1건
단위공정당 굴착거리 향상	단위 굴진장 향상	4.5m/cycle
	3-D 터널굴착 설계프로그램 개발	1건
	MWD 및 IoT센싱 실시간 공사 관리	50%이하 원가
	터널굴착공사 원가절감	30% 절감
굴착 후속 공정속도 향상	신지보 시스템으로 작업시간 절감	공정시간 10%절감
지하고속도로 내 정밀위치 정보 제공 기술	위성측위 정밀도 (100km/h / 100km/h 이상 주행)	1m / 3m
	실내측위 정밀도 (100km/h 이상 주행)	0.5m
	1km당 전파음양구간 분석 능력	5일
	측위 센서 배치 최적화	음영구간 10% 미만
	논문	2건

지하고속도로 최적화 공간 디자인 기술 확보	공간디자인 개념 조명 및 색상·패턴의 표준(안)	1건
	터널 벽면 조명 및 색상·패턴 DB 구축	1식
	터널 가상화 편집 도구(S/W)	1건
	VR 터널 가상화 시뮬레이터 (S/W 및 H/W)	1식
	운전자 심리적 상태 테이블 설계서	1건
	운전자 심리적 상태 빅데이터 구축	1식
초대단면 터널 안정성 증대(대변형 변위발생 예방)를 위한 최적 분할굴착 및 지보 기술	기존 공법 대비 단면 분할 감소율	50%
	터널 내 허용변형 관련 건설기준/지침	1건
지하 이용자 편의향상 인프라 설계기술 확보	지하휴게소(졸음쉼터) 설치 간격 및 공간설계 기준 및 지침	1건
	지하휴게소(졸음쉼터) 내의 자율주차 시스템 설계기법 개발	1건
	지하·지상 휴게시설 연결 인프라 구축기술	1건
	전기차 충전 인프라 요구사항 분석결과서	1건
	전기차 충전 인프라 FMEA 수행 결과서	1건
	전기차 충전 인프라 설계 기준(안)	1건
충전 인프라 누설전류 제한 통합관제시스템구축	누설전류 감전예방 100%	누설전류 5mA 이하
	관리자 만족도 90%	앱 성공률 90%이상
전기 배선 연계계통 누설전류 제한	누설전류 감전예방 100%	누설전류 5mA 이하
지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술	가상주행환경 기반 지하고속도로 운전자 주행 특성 도출 실험보고서	2건
	운전자 주행 특성을 고려한 지하고속도로 교통안전시설 적용 가이드라인	1건
	논문	3건

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

<표 5-31> 구성기술 2 세부 구성기술(안)

세부기술명	세세부기술명
2-1. 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증	수직구 간격 증대를 위한 환기 기준 재정비·설비 고도화 및 수직구 개소수(굴진면) 감소 영향을 고려한 공기지연 최소화 설계·시공기술
	내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감, 관리 및 모니터링 기술개발
2-2. 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증	안전하고 효율적인 교통 서비스 제공을 위한 실시간 정밀위치 정보제공 기술
	운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 지하고속도로 내부 공간(벽면 디자인, 조명, 적정 시설편계 등) 최적화 설계 기술
	지하고속도로 최적화 부대시설(휴게시설, 충전인프라 등) 설계 및 공간 구축을 위한 초대단면(굴착면적 200m ² 이상) 터널 안정성 증대 기술
	지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술

□ 세세부기술1: 지하고속도로 수직구 설치 최소화를 위한 환기 설비 및 최적 설계기술개발

○ 기술개발 필요성

- 기존 횡류식 도로터널 수직구 간격의 한계성 극복을 통해 수직구 설치 최소화에 따른 사업비 절감, 민원 발생에 따른 사업 지연 최소화 등 필요

○ 기술동향

- 관련법 상 기준배출량 변화와 무공해자동차 보급률 증대에 따른 실제 소요환기량 변동에 대한 대응 필요
- 현행 도로터널 환기 및 방재 관련 기준에 따라 환기소의 간격은 3km 내외(일반도로터널), 5km 내외 (도심지 지하고속도로)로 설치할 것을 권고함

○ 주요 연구개발 내용

- K-고속도로 적용 소요환기량 적용방안 도출
- 횡류식 환기방식 댐퍼 개도를 최적화 방안 마련
- 풍도내 부스터팬을 이용한 수직구 설치간격 증대방안 마련

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) K-고속도로 통행차량 예측 및 기준배출량 변화에 따른 소요환기량 분석
 - 무공해자동차보급률 증대와 노후 경유차 운행제한에 따른 K-고속도로의 통행량 예측
 - 기준배출량 변화에 따른 소요환기량 비교·분석
- (2차년도) 댐퍼 개도를 최적화를 통한 풍량 불균형 해결 방안 마련
 - 수직구를 이용한 양측 혹은 편측 가압방식의 풍량 불균형 해소를 위한 개도를 조절방안 도출
- (3차년도) 풍도내 부스터팬을 이용한 정압최대도달거리 분석 및 설치 방안 마련
 - 기존 축류팬의 정압최대도달거리와 부스터팬을 이용한 정압최대거리 비교·분석을 통한 설치 방안 마련
- (4차년도) 풍도내 부스터팬을 이용한 수직구의 최적 설치방안 도출
 - 수치해석을 통한 풍도내 부스터팬의 최적 설치방안 도출
- (5차년도) 풍도내 부스터팬을 이용한 수직구 설치 간격 증대 기술 개발
 - 수치해석을 통해 도출된 부스터팬 설치 최적방안에 대하여 모형실험을 통해 수직구 설치

□ 세부기술2: 실시간 현장맞춤형 지하고속도로 저소음·저진동 고속굴착 시스템 개발 및 실증

○ 기술개발 필요성

- 기계장비, 첨단 측정기술을 활용하여 터널굴착의 고속굴착
- 공사 전반의 실시간 공사 관리로 원가절감
- 발파설계의 Digital화 및 실제막장 모델링에 의한 Simulation으로 오류 개선
- 터널굴착공사의 설계와 결과의 상관성에 근거한 통합 전문가 시스템 필요
- 굴진장 증대하기 위한 버력/운반처리 시스템 개발 필요
- 터널 내부 작업 공간에서 백호, 로우더, 덤프트럭의 운반효율이 낮음

○ 기술동향

- 터널용 벌크 에멀전 등 해외 선진 기술을 도입하거나 국산 제품화 시도
- 발파설계의 편의성 제공을 위한 다양한 프로그램과 솔루션이 개발
- Sensing 기술에 의한 실시간 작업관리 및 측정 시스템이 개발
- 지하 작업장에서는 컨베이어 시스템으로 운반하고 자율적으로 작업(Rappersberger 사례)
- 광산의 광차개념과 파이프라인 압송기술로 신속하게 버력 반출(일본 Akami Tunnel)

○ 주요 연구개발 내용

- 터널 고속굴착 공법
- AI기반 터널굴착 설계 프로그램
- MWD와 IoT 센싱에 의한 실시간 발파작업관리
- 통합 터널굴착 전문가 시스템으로 공사비용 절감
- 신개념 터널전방 Arch 지보 시스템으로 작업시간 절감

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) AI기반 터널굴착 발파설계 프로그램 개발착수
 - 터널설계 자동화/SW 기반설계
 - 프로그램 개발/AI활용 데이터 처리기술 개발
 - 버력 처리 현황분석 및 개선안 도출
- (2차년도) 고속굴착 발파공법 현장시험, IoT 센싱 개념설계 및 센서 제작
 - IoT 센서 kit 시제품 제작
 - AI기반 터널굴착 설계
- (3차년도) 통합 터널굴착 전문가 시스템 착수, 반자동화 버력처리 시스템 시제품 제작
 - 고속굴착 공법 설계/평가기준 개발
 - Input/Output database 구축, 상관성 Review
 - AI기반 터널굴착 설계 현장시험
- (4차년도) Test Bed를 이용한 기술검증
 - Test Bed 평가(경제성 분석, 시스템 검증)
 - 신개념 터널전방 Arch 지보 시스템 개발
- (5차년도) 현장 실증화 및 플랫폼 구축
 - Web-base 플랫폼 구축(통합 터널굴착 전문가 시스템)

□ 세부기술3: 지하고속도로 내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감, 관리 및 모니터링 기술개발

○ 기술개발 필요성

- 지하 고속도로 내 및 주변지역에서 대기 중 유해물질이 발생하는 것은 도로 교통량과 주변 산업의 발전으로 인해 증가하고 있음.
- 지하 고속도로 내 대기 유해물질의 발생 원인을 파악하고, 발생량과 농도를 측정하는 측정기기가 필요한데 이를 바탕으로 대기 중 유해물질을 저감시키기 위한 대책을 수립하고, 이를 효과적으로 시행하는 기술 개발이 절실한 상황임
- 최근 미세먼지에 의한 대기오염 심각성이 커지고 이에 대한 국가 차원의 대책 수립의 필요성이 대두되어 정부에서 「미세먼지 관리 특별대책」을 확정 발표하였음.
- 「미세먼지 관리 특별대책」과 관련하여 지자체별로 미세먼지 저감 종합 대책 세부 실천 방안을 마련하여 정부 대책과 보조를 맞추어 진행하고 있으며, 그 중 도로와 관련된 추진사항에 대하여 대책 마련 및 향후 세부적인 추진 계획 수립이 필요한 상황임.
- 통행 차량에 의해 배출되는 오염물질을 정화처리 하지 않고 환기구를 통해 그래도 배출하고 있는 실정으로 대부분 지하고속도로 건설이 주요 도심지역을 중심으로 추진되고 있는 실정으로 오염물질 확산에 의한 피해비용 증가 및 주변지역 민원 다수 발생
- 지하 고속도로와 주변 지역의 대기 중 유해물질 및 확산 패턴이 기존 지역과 다르므로 지하 고속도로에서의 대기오염 물질을 실시간으로 모니터링하고 효과적으로 관리할수 있는 시스템 구축이 필요함

○ 주요 연구개발 내용

- 지하고속도로유해물질 최적처리기술
- 유해물질 확산 모델 예측
- 유해물질 통합관리 모니터링 시스템

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 최적 처리기술 및 예측 모델 알고리즘 설계
 - Lab-scale 규모 처리장치 설계
 - 흡착제 개발 및 성능평가(case by case test)
 - 확산 모델링 알고리즘 설계
- (2차년도) 최적 처리기술 고도화 및 예측 모델 개발 및 IoT 계측 및 통합관리시스템 구축
 - 성능평가를 통한 흡착제 고도화(업스케일링)
 - 오염물질 확산 예측 시스템 개발
 - IoT 기반 센싱 data 통합관리시스템 연계 방안 도출
- (3차년도) 유사현장 시험적용을 통한 기술 검증, 보완 및 Test Bed 구축
 - 최적 처리기술 성능평가(처리효율 80% 이상 구현)
 - 확산 예측 모델을 통한 주변지역 피해 예측 평가 및 저감 방안 도출(최적 처리기술 연계)
 - 통합관리시스템 연계 및 구현
 - 시공 또는 운용 중인 지하고속도로 내 Test Bed 설계
- (4차년도) Test Bed를 이용한 기술검증 및 개발 기술의 경제적 타당성 분석
 - Test Bed 시공
 - 개발 기술의 경제적 타당성 분석
- (5차년도) 개발 기술의 제도화 기반 확보
 - 최적 환기구 설계(안) 도출 및 매뉴얼 개발
 - 지하고속도로 유해물질 관리기준 표준화

□ 세세부기술4: 실시간 위치기반 안전·교통 서비스 제공을 위한 정밀위치 정보제공 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 현대인의 운전엔 절대적인 영향을 미치고 있는 차량용 네비게이션(티맵, 카카오맵, 네이버맵, 아이나비 등)은 터널에 진입하는 순간 정밀도를 잃어버림
- 자율주행 서비스를 위한 차량의 위치결정 시스템에 정확한 정보를 제공하여야 하는데, GPS음영 지역에 진입하게 되면 GPS 서비스 불가로 인해 위치 정확도 등에 대한 정밀도가 현저히 낮아지며 이로 인해 수동운전 모드로 진입하게 되는 터널모드 등으로 전환되어 자율주행 서비스의 서비스지역 제한

○ 기술동향

- 다양한 실내측위 기술이 있으나 시장 지배적인 기술은 아직 등장하지 않음
- 특정 솔루션을 위해서 H/W나 S/W를 설치해야 하는 등의 기술적 독립성이 떨어짐
- 고속 이동차량, 로봇 혹은 드론 등 이동 수단에 대한 측위는 어려운 실정임
- 한국과학기술연구원 연구진은 스마트폰의 자기센서를 이용하여 터널 내부의 차량 위치를 추정하는 방법을 통해 터널 네비게이션을 적절하게 전달할 수 있음을 확인

○ 주요 연구개발 내용

- 정밀 실내 GNSS 위성측위 기술
- 정밀 실내 융합 측위 기술 (UWB/BLE/RADAR/IMU/영상 등)
- 디지털 트윈 DB구축과 전파 음영구간 분석 및 측위 센서배치 시뮬레이션 설계 기술

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 실내측위 시스템 구성방안 도출
 - GNSS, UWB, BLE, Radar, 영상 기술을 이용한 실내 측위 후보 기술 조사 분석
 - 국내외 고속 실내 측위 기술 및 구축 사례 조사 분석
 - 전파 시뮬레이션 설계 방법 조사 분석
- (2차년도) 고속이동 실내 측위 시스템 개발
 - 고속 실내 측위 기술 후보 선정 및 개발
 - 실내 측위 기술 실증 사이트 후보지 구축
 - 실증 사이트 후보지 디지털 트윈과 전파 시뮬레이션 설계 방안 마련
- (3차년도) 실내측위 시스템 실증 사이트 구축 및 실증
 - 실증 사이트 디지털트윈 구축과 시뮬레이션 설계 예측
 - 실증사이트 구축 및 실내 측위 주행 성능 검증 및 DB구축
 - 전파 시뮬레이션 설계 예측도 비교 검증
 - 문제점 분석 및 개선 방안 도출
- (4차년도) 실내 측위 기술 고도화 및 안정화
 - 실내 측위 기술의 위치 정밀도 향상 개발
 - 실내 측위 시스템 24시간 운용 안정성 확보
 - 전파 시뮬레이션 설계 방법의 정확도 향상
 - 개선 방안 적용 및 측위 센서 설치 기준 방안 정립
- (5차년도) 디지털 트윈 DB구축과 신규 터널/지하고속도로 전파 시뮬레이션 설계 예측
 - 신규 건설 초장대 터널/지하고속도로 디지털 트윈 DB구축
 - 디지털 트윈을 활용한 전파 시뮬레이션 설계 예측

□ 세세부기술5: 지하고속도로 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 터널 공간설계 및 조명 최적화 기술

○ 기술개발 필요성

- 지하고속도로에 적합한 조명 및 터널 벽면의 색상·패턴의 표준(안)이 필요함.
- 터널의 길이, 굴곡, 높이, 조명 및 벽면의 색상·패턴 등 다양한 터널의 환경에서 운전자의 운전 능력 저하, 상승, 상태를 확인해 볼 필요가 있음
- 터널 벽면의 컬러와 스트라이프의 방향 및 폭의 경우도 다양한 형태를 자유롭게 적용하여야 운전자의 운전능력 향상 및 저하에 대한 정보를 쉽게 수집하고 분석할 수 있음. 이런 기능을 할 수 있는 VR 편집 툴을 개발할 필요가 있음
- 또한, VR 콘텐츠 개발 과정에서 특별히 고안된 툴을 활용하는 사례는 없으며 통상적으로 Unity, Unreal이라는 콘텐츠 저작 프로그램을 활용하고 있음
- 그러나 이런 제작 도구를 활용하기 위해서는 특별한 지식과 기술을 습득해야 하므로 본 연구 과제에서는 목적에 맞고 사용자가 쉽게 편집할 수 있는 편집 툴을 개발하고자 함
- 스프라이트 패턴과 컬러를 적용한 지하고속도로에서 운전자 사고 유발이 발생할 수 있음으로 VR 터널 가상화 시뮬레이터를 활용하여 실재와 동일한 운전환경을 제공하고 그에 따른 운전자 운전결과를 빅데이터로 구축하여 실제 환경에 적용할 필요가 있음

○ 기술동향

- Unity, Unreal을 제외하고 활용되고 있는 편집 도구는 없음
- 국내 시뮬레이터의 기계적 부분은 최상위층 기술을 보유하고 있으나 경량화 측면에서는 다소 미흡한 상황임, 또한 소프트웨어의 경우 VR에 한정하여 실재와 유사한 고급 퀄리티를 내는 사용자 시뮬레이터 소프트웨어의 출시는 다소 빈약한 편임

○ 주요 연구개발 내용

- 터널 길이, 굴곡, 높이, 조명 및 벽면의 색상·패턴 등 다양한 터널의 환경을 편집하여 시뮬레이터에 테스트 코스로 적용
- 터널 내 정보 표출 도구의 컬러와 표시 방법을 변경할 수 있는 편집 도구
- VR 시뮬레이터 소프트웨어 & 하드웨어 개발
- VR 시뮬레이터를 활용 운전자 반응에 대한 빅데이터 구축

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 편집 도구 기획 및 프로토타입 개발 및 VR 터널 가상화 시뮬레이터 S/W, H/W 기획
 - 터널 조명 및 색상·패턴 편집 도구 기획
 - 공간디자인 개념 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 기획
 - 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 조합 프로토타입 앱
 - 국내외 시뮬레이터 자료 조사 및 검토
 - 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 DB 구축
 - VR 터널 가상화 시뮬레이터 S/W, H/W 기획
- (2차년도) 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 편집 도구 개발 및 터널 맵 제작 및 VR 터널 가상화 시뮬레이터 1차 시험 버전 개발(S/W 프로토타입)
 - 터널 조명 및 색상·패턴 편집 도구 결과물(터널 맵) 출력 프로세스 구축
 - 터널 벽면 조명 및 색상·패턴의 VR 데이터 편집
 - VR 운전자 시뮬레이터 연동
 - 터널 벽면 조명 및 색상·패턴을 마스킹한 VR 터널 가상화 시뮬레이터 기획서
 - VR 터널 가상화 시뮬레이터 1차 시험 버전 개발(S/W 프로토타입)
 - 사용자 검증 및 기획안 보완 및 최종 개발 계획 수립
- (3차년도) 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 편집 도구 고도화 및 터널 맵 제작 및 VR 터널 가상

화 시뮬레이터 최종 버전(S/W, H/W) 개발

- 터널 맵 리소스 확대 개편
- 인게임 상황 터널 맵 개입 프로세스용 구조체 개발
- VR 터널 가상화 시뮬레이터 최종 버전(S/W, H/W) 개발
- 테스트용 터널 맵 병합 빌드제작
- 터널 벽면 조명 및 색상·패턴을 반영한 VR 터널 가상화 시뮬레이터 운전결과 빅데이터 수집 로직 개발

- (4차년도) 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 편집 도구 활용 및 검증 및 VR 터널 가상화 시뮬레이터 빅데이터(운전자 심리적 상태) 구축

- 실시간 조명 및 색상·패턴 편집 적용 및 검증
- 실시간 터널 조명 및 색상·패턴 변경 적용 및 검증
- 터널 벽면 조명 및 색상·패턴을 반영한 VR 터널 가상화 시뮬레이터 빅데이터(운전자 심리적 상태) 수집
- 터널 벽면 조명 및 색상·패턴을 반영한 VR 터널 가상화 시뮬레이터 고도화

- (5차년도) 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 편집 도구 상용화 및 VR 터널 가상화 시뮬레이터 빅데이터(운전자 심리적 상태) 수집 및 시뮬레이터 고도화

- 터널 벽면 조명 및 색상·패턴 편집 도구 상용화 버전 제작
- 공간디자인 개념 조명 및 색상·패턴의 표준(안)
- 터널 벽면 조명 및 색상·패턴을 반영한 VR 터널 가상화 시뮬레이터 빅데이터(운전자 심리적 상태) 수집 및 시뮬레이터 고도화

□ 세부기술6: 지하고속도로의 초대단면 터널 및 다목적 수직구 안정성 확보 기술 개발 및 실증

○ 기술개발 필요성

- 대심도 터널은 기존 지하철 터널에 비해 심도 증가, 연장 증가
- 광역지질학적으로 층적층에 해당하는 도심지 지질특성 상, 대규모 단층파쇄대 및 심층풍화대 출현 빈번
- 경험보다 약 3~5배 증가한 굴착유발응력에 대응할 수 있는 굴착 필요
- 변형을 허용하는 대신 안정성을 확보하는 재래식 분할굴착 방법과 선행변형 억제를 위한 강판 다단그라우팅공법을 병행하는 논리적 불일치
- 대단면 대심도 굴착 시 수직편차가 15mm/m 이상 발생으로 다목적 시설(엘리베이터 등) 설치 어려움
- 현장타설 적용 시 긴 공기로 주민 피해 발생
- 현장타설 공법으로 시공 시, 매 슬래브 마다 시공이음이 다수 발생할 수밖에 없어 시공품질의 확보가 어렵고 이음부 누수로 인한 구조물 내구성 저하

○ 기술동향

(국내동향)

- 대부분 지하철인 기존 도심지 터널경험은 터널심도 및 지반조건 변화가 많지 않아, NATM 도입 시기에 습득한 표준화 지보계획 기술을 반복적으로 적용
- 한국도로공사에서는 기존 경험적 지보패턴이 5가지의 RMR 등급으로 분류하던 것을 9단계의 RMR 등급으로 세분화함으로써 현장 지반조건 변화 대응성 개선 시도
- 터널 분·합류부 대단면 터널의 경험적 터널기술로서 다분할 굴착 및 정성적 보강공법 적용
- PC구조물을 활용한 하향식 수직구 구축에 대한 기술을 확보하고 있으나, 10m이하 소형단면에 국한됨

(국외동향)

- 터널의 파괴메커니즘이 주변지반의 응력-변형거동에 지배되는 경우와 주변지반 내 불연속면의

지질구조적 거동에 의해 지배되는 경우로 구분

- 터널 인접 구조물 영향 배제를 위해 대부분의 도심지 터널의 경우 터널 내 변형량 제어를 고려할 수 있는 TBM 공법 적용 중
- 일반 굴착 또는 전용 장비(VSM 등)를 활용하여 하향식 수직구 구축 기술을 보유

○ 주요 연구개발 내용

- 논리적 암반분류체계 제안
- 터널 내 변형제어기술 설계·시공기법
- 대단면 다목적 수직구 표준 설계 제시
- PC 구조물을 활용하여 차수가 가능한 하향식 수직구 구축 기술

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도)
 - 최적 분할굴착 설계 기술 개발을 위한 기존 기술 개선방향 도출
 - 대단면 다목적 수직구의 표준설계(안) 도출
- (2차년도)
 - 초대단면 변형제어개념 정립 및 사전변형특성 모형실험
 - 굴착(발파 등) 전 사전변형 계측장치 개발
 - 수직구 탑승용(사람 및 차량) 승강장치 연결 고강도 구조물 개발
- (3차년도)
 - 터널 역학거동에 대한 실 계측 결과 분석을 통한 개발기술 보완
 - 개발 계측장치를 활용한 계측 및 역학거동 검토
 - 개구부 누수 차단용 PC 구조체 개발
- (4차년도)
 - Test Bed 적용을 위한 설계, 경제성 분석 및 설계기법 제안(분할굴착, 사전변형)
 - 도심도 수직구 적용을 위한 수직편차 최소화 구축 기술 개발
- (5차년도)
 - Test Bed를 이용한 기술검증 및 개발 기술 타당성 분석(분할굴착, 사전변형)
 - 대단면 다목적 수직구의 실 현장 또는 유사현장 적용을 통한 기술 검증

□ 세세부기술7: 지하고속도로 졸음쉼터 등 휴게시설 확보기술

○ 기술개발 필요성

- 지하고속도로 내 지하휴게소 설치 간격 및 공간설계 기준 및 지침이 필요
- 지하고속도로 내 지하휴게소 진·출입 방법에 대한 설계 기준 및 지침이 필요
- 지하고속도로 내 주차장설치 및 자율주차 설계기법 개발 필요
- 지하고속도로에서 지상 휴게시설로 수직·수평(3차원 입체) 이동이 가능한 입체연결 인프라기술 개발 필요

○ 기술동향

- 지하·지상 연계된 3차원 이동시스템 구축기술 분야의 해외 각국 주요 연구는 지상과 연계된 보행자 3차원 수직 및 수평 피난 시설 구축기술과 지상과 연계된 3차원 이동시스템 구축기술 등이 연구 분야인 것으로 조사됨. 하지만 현재까지 본 연구의 목표인 지상과 연계된 3차원 이동시스템(운전자 및 차량)이 지하고속도로에 적용된 사례는 없음.

○ 주요 연구개발 내용

- 지하고속도로 내 지하 휴게소 설치 간격 및 공간, 진·출입 방법 및 설계 기준·지침 마련

- 지하고속도로 내에서 주차장설치 및 자율주차 설계기법 개발
- 지하고속도로에서 지상 휴게시설로 수직·수평(3차원 입체) 이동이 가능한 이동수단 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 지하휴게소 및 지상 휴게시설 입체연결 인프라 관련 국내외 자료(현장, 도면, 시스템, 프로그램 등) 조사 및 프로젝트별 최적 연계 구축방안 조사
 - 지하고속도로 국내·외 자료 조사 및 현장 답사
 - 지하고속도로 내 지하 휴게시설에 대한 자료 수집
 - 수집한 자료 분석 및 최적 연계 방안 도출
- (2차년도) 지하고속도로 내 지하 휴게시설 설치 간격 및 공간설계, 진·출입 방법 지침 마련 및 자율주차 설계기법 개발
 - 지하고속도로 내 지하 휴게시설 설치 간격 및 공간설계 지침 마련
 - 지하고속도로 내 지하 휴게시설 진·출입 방법 설계 지침 마련
 - 지하고속도로 내에서 주차장설치 및 자율주차 설계기법 개발
- (3차년도) 지하휴게소 및 지상 휴게시설 입체연결 인프라 설계기술 개발
 - 3차원 입체이동 장비 설계기법 개발
- (4차년도) 유사현장 시험적용을 통한 기술 검증보완
 - 시뮬레이션을 통한 현장 시험적용
 - 시뮬레이션을 통한 현장 시험적용 기술검증 및 보완
- (5차년도) 유사현장 이용한 개발기술의 경제적 타당성 분석
 - 개발기술의 경제적 타당성 분석

□ 세세부기술8: 지하고속도로 충전 인프라(지하) 구축 및 누설전류 제로화를 통한 안전성 확보 기술

○ 기술개발 필요성

- K-지하고속도로의 특성상 습기, 누수, 침수 및 결로현상에 따른 누설전류 감전 발생 우려
- 누설전류 시스템 부존재에 따른 감전사고 예방 미흡 및 대책 마련 시급
- 전기차 충전시스템 및 지하 전체 배선선로에 흐르는 누설전류 및 노후화에 따른 누설전류 감전 사고 다발생 예상
- 기존 전기차 충전시설과는 다른 특수한 환경 조건을 갖는 지하고속도로 환경에서의 사용자 및 전기차의 안전성과 충전 편의성 확보가 가능한 전기차 충전 인프라 요구사항 도출과 분석 필요
- 지하고속도로는 충전시설 유지보수가 편리하지 않은 환경에 속하며, 저비용의 충전 인프라 운영을 위해서는 FMEA 수행 및 고장/오동작에 대한 대응 기술기준 정의가 필수적
- 전기차 충전 인프라는 지하고속도로 건설 시작 시점 이전에 충분한 안전성과 효율성을 담보할 수 있는 형태로 미리 설계/검토되어야만 전기차 충전 및 사용자 안전성 담보 가능

○ 기술동향

- 전기차 충전 시장은 전 세계적으로 확대되는 추세이지만 습기, 누수 등에 따른 누설전류 제어 관련 기술은 국내외를 막론하고 거의 개발, 적용되지 못한 상태로 사용자의 감전 위험 노출이 예상
- 전기차 시장 확대에 따라 충전 인프라 확대가 공격적으로 이루어지고 있으나 충전에 따른 리스크 관리와 충전기를 포함한 터널 내 전류의 흐름을 분석하고 효율적인 설비 및 전류 상황을 통합 관리하는 시스템 관련 기술 개발은 거의 전무한 상태임
- 지하고속도로의 배선선로의 연계계통에서 발생 되는 누설전류 및 노후화에 따른 누설전류 감전 위험은 시간이 흐름에 따라 증가하나 대응책은 기술적 한계에 이른 상태임
- 고속도로 전기차 충전 인프라는 350kW급 이상의 초 급속충전 인프라와 같은 충전용량 증대 기술 개발과, 복수의 전기차를 동시에 충전 가능한 분산형 구조의 전력분배기능을 갖는 충전

인프라로 구축기술 개발 방향으로 진행

- 최근 충전 중 전기차 화재 발생과 같은 위험 상황에 대응가능하고 교통약자에 대한 충전 편의성 향상이 가능한 편의·안전 충전 인프라에 대한 사용자 요구가 지속 증대
- 전기차 충전 인프라 관련 전기설비기술기준 및 한국전기설비규정(이하 KEC) 241.17(전기자동차 전원설비)에 대한 기준 정비가 진행되고 있으며, 해당 규정에는 지하에 설치하는 전기차 충전 시설에서의 충전 중 전기차 화재 발생 등을 고려한 다양한 안전시설 요구사항이 포함

○ 주요 연구개발 내용

- 전기차 충전기 내부의 3상 회로 및 단상회로의 구성을 파악하여 중성선(N)상으로 누설전류 흐름을 유도하는 기술 개발 및 저항의 구조체 개발
- 전기차 충전기 내 전력시스템을 분석하여 전류의 흐름을 예측 및 클램프 등을 활용하여 관리자의 설비 효율성을 높이기 위한 네트워크 구성 및 앱 개발을 통한 효율적 대응, 관리시스템 구축
- 습기, 누수 등을 통한 배선선로의 누설전류를 분석하고 전선 노후화에 따른 누설전류량을 분석하여 누설전류가 흐르지 않는 전선 개발
- 지하고속도로 전기차 충전 인프라 요구사항 분석기술
- 지하고속도로 전기차 충전 인프라 FMEA 및 기능/성능 기준도출 기술
- 타 세부기술 연계 지하고속도로용 충전 인프라 최적 설계(안) 수립 기술

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 전기 충전기의 누설전류 분석 및 누설전류 제한 기술 개발 정립 및 노후화 전선의 누설전류 분석 및 지하고속도로 전기차 충전 인프라 요구사항 분석
 - 전기차 충전기 내부의 R.S.T 상의 구조적 분석 및 중성선 N상을 분석하여 누설전류 제한 기술의 방법을 정립
 - 전기차 충전기의 전력분석을 통한 초기값 설정과 계측기 개발 정립
 - 기존 구축된 고속도로 전기차 충전 인프라 구성 조사
 - 고속도로 이용자의 전기차 충전 인프라 요구사항 및 만족도 조사/분석
 - 관련 업체/기관/연구소/대학 전문가가 참여하는 지하고속도로 전기차 충전 인프라 설계 적절성 검토위원회 구성
 - 검토위원회 운영을 통한 지하고속도로 환경에 대한 상세분석과 전기차 충전 인프라 구축 가능 위치별 요구사항 도출
 - 전기차 충전 인프라의 지하고속도로 구축을 위한 요구사항 검토 및 구축 가능성 분석
 - 지하고속도로 전기차 충전 인프라 요구사항 분석결과서 작성
- (2차년도) 전기 충전기 내부의 기술 설계 및 알고리즘 설계 및 지하고속도로 전기차 충전 인프라용 충전설비 요구 기능 및 성능 정의
 - 전기 충전기 내부의 누설전류 제한기술 설계
 - 통신 알고리즘과 환경에 따른 통신 방법 파악 및 앱 개발
 - 전기 전도도와 물성치 설계에 따른 시제품 제작 및 실험 추진
 - 지하고속도로 환경에서의 전기차 충전 인프라 접근성/편의성 요구 달성을 위한 방안 검토
 - 사용자 편의성/접근성, 인프라 운용 효율성 확보를 위한 충전시설 요구 기능/성능 도출
 - 국내외 표준 및 기존 KC 인증에서의 충전설비 시험방법/판단 기준 상세분석
 - 충전설비의 원격관리 및 유지보수 편의성 증대를 위한 기능 요구사항 분석
 - 지하고속도로 전기차 충전 인프라용 충전설비 요구 기능/성능 정의서 작성
 - 충전설비 요구 기능/성능에 대한 검토위원회 전문가 검토 수행
- (3차년도) 누설전류 제한 배선 시제품 제작 및 지하고속도로 전기차 충전 인프라 FMEA 수행

및 기준 정립

- 전기 충전기 내부의 누설전류 제한 시제품 제작 및 충전부 시제품 제작
 - 계측기 시제품 및 앱 개발을 통한 시험 및 피드백을 통한 수정
 - 전기 배선 시제품 개발 및 실험
 - 기구축 된 고속도로 전기차 충전 인프라의 고장 및 유지보수 이력 조사/분석
 - 전기차 충전 인프라에 대한 연구기관/협회/제조업체/서비스업체 전문가와 사용자가 참여하는 기존 전기차 충전 인프라 FMEA 수행
 - 기존 전기차 충전 인프라의 FMEA 수행결과를 고려한 지하고속도로형 전기차 충전 인프라에 대한 FMEA 수행
 - FMEA 수행결과를 반영한 지하고속도로형 전기차 충전 인프라 기능/성능/서비스/관리 요구 기준 정립
 - 정립된 전기차 충전 인프라 기능/성능/서비스/관리 요구기준에 대한 검토위원회에서의 전문가 검토 수행
- (4차년도) 누설전류 제한 개발제품 공인시험기관 신뢰성 확보 및 피드백과 수정 및 지하고속도로 전기차 충전 인프라용 충전설비 기술기준(안) 정립
- 전기 충전기 내부 기술제품과 충전부 기술제품의 공인시험성적서 발행을 통한 데이터 분석 및 수정
 - 전기 충전기 전류 통합 관제시스템 개발제품의 공인시험성적서 발행을 통한 데이터 분석 및 수정
 - 전기 배선 개발제품의 공인시험성적서 발행을 통한 데이터 분석 및 수정
 - 제조업체/관리업체/서비스업체 및 전기차 사용자, 협회/기관 등에서의 전문가가 참여한 검토위원회 운영을 통한 기 작성된 지하고속도로 전기차 충전 인프라 기능/성능/서비스/관리 요구 기준(안) 보완
 - 지하고속도로 전기차 충전 인프라 요구 기준(안)에 부합할 수 있는 충전설비 기술기준 초안 수립
 - 전기차 충전 인프라용 충전설비 시험평가기관과의 협의를 통한 지하고속도로 전용 충전 설비에 대한 시험항목 및 판정기준 검토
 - 지하고속도로 환경과 향후 KC 인증시험에 대한 대비를 고려한 지하고속도로 전용 충전 설비 기술기준(안) 작성
 - 작성된 기술기준(안)에 대한 유관단체 또는 협회 전문가들에 대한 공청회 및 회람 수행
- (5차년도) 테스트베드를 통한 신뢰성 확보 및 타 세부기술 연계 지하고속도로용 충전 인프라 최적 설계(안) 수립
- 전기 충전기 내부 기술제품과 충전부 기술제품의 테스트를 통한 신뢰성 확보
 - 전기 충전기 전류 통합 관제시스템 개발제품의 테스트를 통한 신뢰성 확보
 - 전기 배선 개발제품의 테스트를 통한 신뢰성 확보
 - 지하고속도로 전기차 충전 인프라용 충전설비 기술기준 및 FMEA 수행결과를 고려한 지하 고속도로용 전기차 충전 인프라 최적 설계(안) 도출
 - 타 세부기술(지하고속도로 편의 향상기술)과 연계된 충전 인프라 사용자/전기차/관리자 편의성 극대화 방안 수립
 - 타 세부기술(지하고속도로 비상 대응기술)과 연계된 충전 인프라 비상상황 원격 모니터링 /진단 요구사항 도출 및 구현 가능성 검토
 - 타 세부기술(지하고속도로 인프라 유지관리 기술)과 연계된 전기차 충전 인프라 관제 시스템 구현 및 서비스 운영방안 도출
 - 전기차 충전시스템에 대한 타 세부기술 연계 결과를 고려한 지하고속도로 전기차 충전 인프라 최적 설계(안) 개선
 - 개발된 지하고속도로 전기차 충전 인프라 최적 설계(안)에 대한 공청회 및 검토위원회 운영 후 최종 보완

- 최종 지하고속도로 전기차 충전 인프라 최적 설계(안)에 대한 지하고속도로용 충전시설 시험평가/인증 전문가와 제조/서비스/유지보수 업체의 설계(안) 실효성 분석
- 지하고속도로 전기차 충전 인프라 운영사례 도출 및 실 환경 적용성 검토를 위한 실증방안 제안

□ 세세부기술9: 지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술

○ 기술개발 필요성

- 기존 주행환경과 다른 지하고속도로만의 운전자 주행 특성 도출 필요
- 지하고속도로 특성, 운전자 주행 행태를 고려한 교통안전시설 설계 기술 개발 필요

○ 기술동향

- 국내·외 지하고속도로 관련 연구는 초기 단계 수준이며, 특히 운전자 주행 특성 관련 연구는 찾아보기 어려움
- 장대터널 대상의 교통관리기법에 대한 연구 및 적용 사례는 있으나, 전차중/소형차 전용의 지하터널 환경에 적용 가능한 교통안전시설에 관한 연구 사례는 미흡

○ 주요 연구개발 내용

- 가상주행환경 기반 지하고속도로 운전자 주행 특성 도출
- 지하고속도로 분·합류부 구간 안전성 향상을 위한 교통정보제공 기술 개발
- 지하고속도로에 적용 가능한 도로안내시설 및 교통안전시설의 시스템화, 교통안전체계 수립 및 효과 분석

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 가상주행환경 기반 지하고속도로 주행 특성 도출을 위한 분석 방법론 정립
 - 지하고속도로 통합구간, 세부 구간별 운전자 주행 특성 분석지표 정의
 - 현재 국내 계획 중인 대심도 지하고속도로 가상주행환경 구축 및 실험 설계
- (2차년도) 지하고속도로의 운전자 주행 특성 도출
 - 실험 시나리오별 가상주행실험 수행
 - 지하고속도로 세부 구간별 운전자 주행 특성 도출
- (3차년도) 지하고속도로 본선 및 분·합류부 구간 안전성 향상을 위한 교통정보제공 기술 개발
 - 지하고속도로 운전자 주행 행태를 고려한 실시간 교통정보제공 방안 도출
 - 지하고속도로 실시간 교통정보제공 방안의 효과 분석
- (4차년도) 지하고속도로에 적용 가능한 도로안내시설 및 교통안전시설 설계 기술 개발
 - 지하고속도로 운전자 주행 특성을 고려한 도로안내시설 및 교통안전시설 대안 도출 및 효과 분석
- (5차년도) 교통안전체계 표준모델 및 교통안전시설 설계 가이드라인 정립
 - SP/FGI 인식조사 및 운전자 주행 특성을 반영한 교통안전체계 표준모델 수립

(2) 구성기술별 연구개발 목표

<표 5-32> (세부기술 1) 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증

세부기술명	세세부기술명	산출물					추진기술 목표	구성기술 목표
		‘24	‘25	‘26	‘27	‘28		
2-1. 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증	지하고속도로 수직구 설치 최소화를 위한 환기 설비 및 최적 설계기술개발	K-지하 고속도로 최적 소요환기량 도출	댐퍼 개도율 최적화를 통한 풍량 불균형 해결방안	풍도 내 부스터팬을 이용한 정압최대도 달거리 분석 및 설치방안	풍도 내 부스터팬을 이용한 환기소(수 직구) 최적 설치 기준	모형실험을 통한 개발 기술 검증 결과 보고서	지하고속도로 환기소(수직구) 간격 증대 기술 개발 및 검증	환기소 최대 설치간격 및 다중 가스상 유해물질 고효율 처리기술 확보 저소음·저진동 고속굴착 시스템 구축을 통한 공기지연 방지
	실시간 현장맞춤형 지하고속도로 저소음·저진동 고속굴착 시스템 개발 및 실증	AI기반 자동화 설계 기능정의서	-자동화 터널굴착 설계 S/W	-IoT kit -고속굴착 공법	-통합전문 가 시스템 -설계/시공 매뉴얼	-Web-bas e플랫폼	단위공정 굴착거리 4.5m 실현	
	지하고속도로 내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감, 관리 및 모니터링 기술개발	최적 처리기술 및 예측 모델 알고리즘 설계	유해물질 최적 처리 장치 시제품, 확산 모델 예측 S/W, 통합관리시 스템 구축	유사현장 시험적용을 통한 기술 검증	유사현장 실증 및 경제적 타당성 분석 보고서	지하도로 내 유해물질 관리 기준(표준 화/법제도 등)	지하고속도로 내 및 주변 대기 중 유해물질 관리기술 및 통합모니터링 시스템 개발	

<표 5-33> (세부기술 2) 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증

세부기술명	세세부기술명	산출물					추진기술 목표	구성기술 목표
		‘24	‘25	‘26	‘27	‘28		
2-2 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증	실시간 위치기반 안전·교통 서비스 제공을 위한 정밀위치 정보제공 기술 개발	실내 위성측위 기술 조사	실내 위성측위기 술 개발	실내위성측 위 기술 개발 및 검증	정밀 실내 위성측위 기술 고도화 방법	고도화 기술 검증	정밀 실내 GNSS 위성측위 기술 개발	지하고속도로 내 100km/h 이상 자율주행 차량 측위 정밀도 1m이하 기술 개발
		실내측위 기술 조사	실내 측위기술 개발	실내측위기 술 검증	정밀 실내측위 기술 고도화 방법	고도화 기술 검증	정밀 실내측위 보완 기술 개발	
		-	정밀 디지털트윈 DB화 방법	실증사이트 디지털트윈 시범 구축	AI활용한 디지털 트윈 구축 방법 개발	신규 터널, 지하도로 디지털 트윈 DB구축	디지털 트윈DB 개발	
		시뮬레이션 방법 조사	시뮬레이션 설계 방법	실증사이트 시뮬레이션 분석 및 검증	시뮬레이션 설계 예측도 향상	디지털트윈 DB활용한 시뮬레이션 설계 방법 개발	전파시뮬레이션 설계 기술 개발	
	지하고속도로 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 터널 공간 설계 및 조명 최적화 기술개발	-	터널 벽면 조명 및 색상·패턴 편집 도구 개발 및 터널 맵 제작	터널 벽면 조명 및 색상·패턴 편집 도구 고도화 및 터널 맵 제작	터널 벽면 조명 및 색상·패턴 편집 도구 활용 및 검증	공간디자인 개념 조명 및 색상·패턴 표준(안)	운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 벽면 조명 및 색상·패턴 최적화 기술 확보	지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발, 지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보
		VR 터널 가상화 시뮬레이터 설계	VR 터널 가상화 시뮬레이터 시험버전 S/W 개발	VR 터널 가상화 시뮬레이터 S/W, H/W 개발	VR 터널 가상화 시뮬레이터 기반 운전자 반응 DB 구축	시뮬레이터 고도화, 운전자 반응 DB 분석		
	초대단면 터널 안정성 증대(대변형 변위발생 예방)를 위한 최적 분할굴착 기술	초대단면 터널 내 변형 제어기술 적용 방안 검토보고서	터널 내 변형제어 기술 보고서 및 사전변형 계측장치	터널 내 변형 제어기술의 유사현장 적용·보완 검증·보완 보고서	터널 내 변형 제어기술 설계·시공 기법 제안 및 기준 개선방향 검토보고서	Test Bed 적용성과 보고서	지반침하 및 지중변형 최소화를 위한 대심도 초대단면 터널 최적 굴착설계기술 개발	

	지하고속도로 졸음쉼터 등 휴게시설 확보 기술개발	-	지하고속도 로 내 지하 휴게공간 설계기법	지하 휴게소 및 지상 휴게시설 입체연결 인프라 설계기술	유사현장 시험적용을 통한 기술 검증보완	유사현장 시험적용을 통한 개발기술의 경제적 타당성 분석	지하고속도로 내 지하 휴게시설 개발 및 지하고속도로-지 상 휴게시설 입체연결 인프라 설계기술 확보
	지하고속도로 충전인프라(지하) 구축 및 누설전류 제로화를 통한 안전성 확보 기술개발	충전 인프라 요구사항 분석결과서	충전 인프라 기술기준 (초안)	누설전류 제한 배선 시제품	충전 인프라 기술기준 (최종안), 누설전류 제한 배선 시제품 인증	충전 인프라 최적 설계(안), 시제품 실증 및 신뢰성 검증	이용자 편의향상을 위한 충전 인프라 설계기술 및 안전성 확보
	지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술	가상주행 환 경 실험 설계 보고서	지하고속도 로 운전자 특성 분석 보고서, 논문	지하고속도 로 교통정보제 공 기술 관련 논문	지하고속도 로 교통안전시 설 설계 관련 논문	운전자 주행 특성을 고려한 교통안전시 설 적용 가이드라인	지하고속도로의 운전자 주행 특성 도출, 교통정보제공 및 교통안전시설 설계 기술 개발

7. 자원 투입 계획

(1) 연차별 예산 소요 계획

<표 5-34> 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발

(단위: 억원)

No	세부 구성기술명		‘24	‘25	‘26	‘27	‘28	합계
1	환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증	정부	3.60	7.00	9.45	10.95	6.00	37.00
		민간	1.21	2.35	3.16	3.67	2.01	12.40
2	지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증	정부	7.70	10.75	15.50	19.45	10.60	64.00
		민간	2.59	3.61	5.19	6.51	3.56	21.46
소계		정부	11.30	17.75	24.95	30.40	16.60	101.00
		민간	3.80	5.96	8.35	10.18	5.57	33.86
총계			15.10	23.71	33.30	40.58	22.17	134.86

(2) 연차별 인력 투입 계획

<표 5-35> 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발

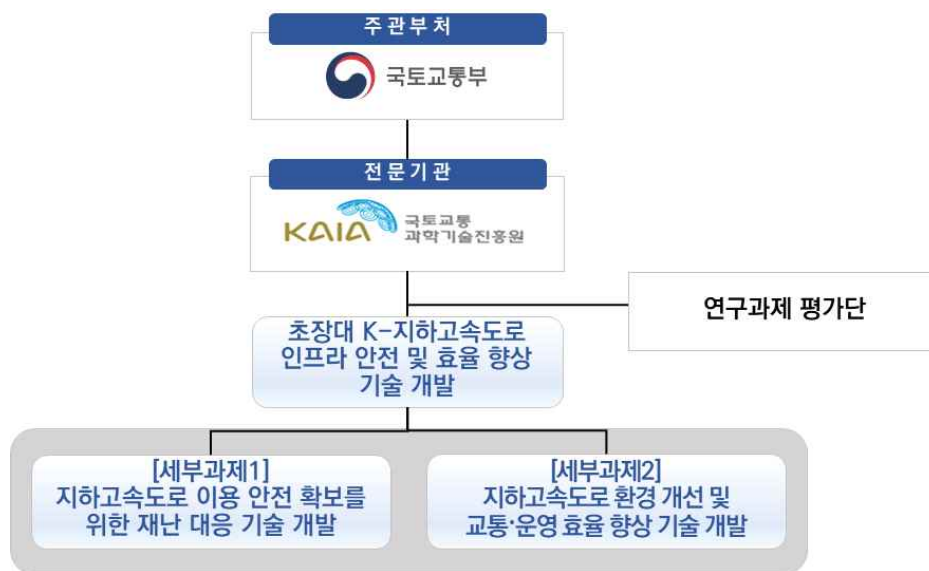
(단위: 명)

No	구성기술	구분	‘24	‘25	‘26	‘27	‘28	합계
1	지하고속도로 환경 개선 및 편의 향상 기술 개발	책임연구원	14	17	17	17	15	80
		연구원	28	35	36	40	30	169
		연구보조원	20	28	38	32	25	143
총계			62	80	91	89	70	392

제6장. 사업 운영계획

제1절. 사업 추진체계

- ‘국토의 입체적 활용을 위한 k-지하고속도로 인프라 기술개발 기획’은 국토부의 총괄 책임하에, 국토교통과학기술진흥원이 사업을 운영·관리하는 체계로 추진하고자 함
- (국토교통부) 동 사업을 종합조정하며, 사업의 기본 방향성을 제시
- (국토교통과학기술진흥원) 사업 관리·운영·점검 주체 역할을 수행하며, 진흥원 내 연구과제 평가단을 구성 및 운영하여 선정평가, 과제평가(진도점검, 결과평가 등)를 실시
- (연구기관) 주관 및 공동연구기관은 사업에 참여하여, 실제 연구과제를 수행



[그림 6-1] 초장대 k-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술개발 추진체계

<표 6-1> 추진체계 구성주체별 역할

주체	역할
국토교통부 (주관부처)	사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업종합조정, 사업 기본시행계획 수립 등 수행
국토교통과학기술진흥원 (전문기관)	사업추진 전담 관리기관으로서, 사업 및 과제 관리·운영·점검 주체
연구과제 평가단	연구과제 선정평가, 과제평가(진도점검, 결과평가 등)를 실시
참여 연구기관	주관/공동 연구기관은 사업에 참여하여, 실제 연구과제를 수행

제2절. 사업 운영·관리 계획

1. 사업 추진 절차 및 일정

- 본 사업은 '23년 예산 편성 후 본격적으로 사업을 추진할 예정이며, '24~'28년까지 총 5년간 추진
 ※ 사업추진 일정은 사업 준비·착수에 따라 변동 가능

<표 6-2> 사업추진절차 및 일정 상세일정

추진일정	추진절차	상세추진일정	내용
기획 단계 ('22~'23)	사전기획	'23년 3월~ '23년 4월	국내외 정책·산업·연구동향조사 사업목적, 사업개념 및 기본계획 등 기획
	중기사업계획 제출	'23년 1월	중기사업계획 제출, 중기사업계획 예산심의 대응
	예산 요구	'23년 5월	예산 요구서 작성 및 제출
	예산 편성	'23년 하반기	최종 사업비 확보
사업 추진 ('24~'28)	과제 공고	'24년 1월	사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 (연구개발과제 신청자격 및 선정절차, 기준 등) 과제별 공고
	과제 제안서 접수	매년 2월	연구개발계획서 등 제안서 접수
	연구과제평가 단 구성 및 평가	매년 2월~3월	과제 선정평가를 위한 연구과제평가단 구성
	과제 평가 및 선정	매년 2월~3월	평가 및 선정
	과제별 협약 및 연구수행	매년 4월 착수	과제별 협약 및 연구수행(매년 4월~차년도 3월)
	과제별 진도관리 및 중간평가	분기별/연차별	진도보고서 제출을 통해 진도관리 해당년도 연차실적계획서를 제출하여 중간평가(모니터링) 및 결과보고 실시
	과제별 최종평가	과제 종료 시점	과제별 최종보고서 제출 및 평가
	사업 종료평가	'28년 11월	사업종료에 따른 최종 평가

2. 사업관리체계

□ 사업관리 계획 수립 및 이행

○ 본 사업은 전문기관이 관계 법령/지침을 준용하여 사업착수 3개월 전 사업관리 계획을 수립하고 이행

- 국토교통부소관 법령 등
 - [법령] 국토교통과학기술육성법, 동 법 시행령 및 시행규칙
 - [행정규칙] 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 등
- 과학기술정보통신부소관 법령 등
 - [법령] 국가연구개발혁신법 동 법 시행령 및 시행규칙
 - [행정규칙] 국가연구개발사업 연구노트 지침, 국가연구개발사업 연구개발비
 - 사용기준, 국가연구개발사업 동시수행 연구개발 과제수



출처: 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(202), 「2023년 국토교통 연구개발 시행계획」

[그림 6-2] 국토교통과학기술연구개발사업 추진체계 및 절차

□ 사업의 원활한 수행을 위한 연구개발관리 주요 활동 수행

- **(연구과제 관리)** 국토교통과학기술진흥원(KAIA)은 연구과제의 원활한 수행과 사업목표 달성을 위해 연구과제의 공고·관리·평가를 계획하며, 이를 위한 실무를 수행
 - 해당 연차의 상반기에 신규과제 공고/선정평가를 실시하며, 연구과제 평가단, KAIA, 국토부를 통해 결정된 사항을 사업에 반영하여 운영
 - KAIA 연구관리시스템을 통해 연구개발과제 공고부터 종료까지 체계적으로 관리
 - 국토교통 R&D 공모·선정시 연구개발 성과목표, 단계별, 연차별 달성목표와 이에 대한 세부 추진전략 및 일정계획 등을 연구개발계획서에 제시하도록 하고, 과제 선정 이후, 해당 과제에 대한 진도점검·관리 및 성과평가의 근거자료로 활용
 - 연구개발내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되며 단계별, 연차별 달성정도를 확인할 수 있는 구체적인 성과평가(안) 제시
 - 연구개발과제의 평가 시기 이외에도 진행현황 파악과 현장점검 등을 실시하며, 필요시 진도보고서를 요청하여 필요한 조치를 취하고 결과를 평가에 반영
- **(일정관리)** 과제별로 연구개발 수명주기 및 프로세스를 기반으로 업무를 세분화(WBS)하고, 세부 업무(WBS)별 수행일정 및 담당자를 할당하여 세부일정 수립(Gantt Chart), 또한 정기적 보고(월간)를 통해 일정 차질에 대한 신속한 파악 및 대응조치 실시
 - ※ WBS : Work Breakdown Structure
- **(기술관리)** 세부업무(WBS)를 기반으로 소요기술 및 핵심기술요소(CTE) 선정, 소요기술별 성능 목표 달성을 위한 주요일정별 진도 관리 수행
 - ※ 필요시 진도점검 및 모니터링 실시, 기술자료 검토 및 검토회의를 실시
- **(회계관리)** 본 사업의 연구비가 사업목적과 사용계획에 맞게 사용되도록 하기 위해, 체계적인 회계 기준을 바탕으로 연구비를 관리하고, 부정집행 등에 대한 조치를 수행
 - 연구비 회계 비목 설정 및 부정집행에 대한 처우 기준은 ‘국가연구개발사업 연구개발비 사용 기준’을 따름

<표 6-3> 초장대 k-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술개발의 연구개발비 계상기준

항목		계상기준
직접비	인건비	참여연구원에게 지급하는 인건비, 비영리기관 연구부서의 연구 지원인력에게 지급하는 인건비
	학생인건비	해당 연구개발과제에 참여하는 소속 학생연구원에게 지급하는 인건비
	연구시설·장비비	해당 연구개발과제 종료 2개월 이전에 도입이 완료되어 해당 연구에 사용할 수 있는 연구시설·장비의 구입·설치비
	연구재료비	시약·재료 구입비 및 전산 처리·관리비, 시험제품·시험설비 제작경비
	연구활동비	출장여비, 과제와 직접 관련 있는 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비, 공공요금, 제세공과금, 우편요금, 택배비 및 수수료, 전문가 활용비, 회의장 사용료, 연구개발서비스 활용비, 회의비, 식대 등
	연구수당	해당 연구개발과제의 연구책임자, 참여연구원의 보상금·장려금 지급을 위한 수당
	위탁연구개발비	연구의 일부를 외부기관에 용역을 주어 위탁 수행하는 데에 드는 경비
간접비	인력지원비	연구지원인력 인건비, 연구개발능률성과급
	연구지원비	기반시설·장비 구축·운영비 및 연구활동지원금, 연구실안전관리비, 연구보안관리비 및 연구윤리활동비 등
	성과활용지원비	과학문화활동비, 지식재산권 출원·등록비, 기술창업 출연·출자금

※ 출처: 국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급·사용 및 관리에 관한 규정, 별표2: 연구비 비목별 계상기준(제6조제1항 관련) (개정 2020.01.28.)

- **(위험요소 관리)** 본 사업의 성공적인 수행을 위해 사업 수행 중 직면할 수 있는 위기요소 일람표를 작성하고, 각 위기 요소별 대응 시나리오를 작성 및 안전관리 대책을 수립하여 활용함
- 위험요소별 발생가능성과 심각성을 Level화하여 우선 관리요소를 설정하고, 주기적인 모니터링을 통해 사전 위기 상황 감지 및 선제적 조치를 수행
 - 위험요소에 대한 위기관리는 위기의 완화(Mitigation), 모니터링(Monitoring), 관리(Management)등 단계별로 요소들에 대응하며, 분기별로 내부 회의를 통해 관리 상황을 공유

<표 6-4> 초장대 k-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술개발의 위기요소 일람표

분류	사업 위험요소	발생 가능성	심각성	대응 시나리오(안)
C1	환경변화에 의한 사업 방향 변화	상	상	• 사업 보완기획을 위한 긴급회의 소집 • 기획위원회 지원 요청
C2	사업예산의 삭감	상	중	• 연구과제 구성, 규모 조정 • 사업목표 또는 연구목표의 조정
C3	사업성과의 부실	중	상	• 주기적인 진도관리 및 모니터링을 통한 성과 달성 가능성 점검 및 과제 조정
C4	세부과제 모집의 실패	중	중	• 국토부 및 산·학·연 협조를 통한 적극 홍보(수요 발굴) • 추가적인 과제 모집 실시
C5	사업성과의 활용도 미흡	중	하	• 성과활용 및 확산을 위한 계획 수립 • 추적평가 실시를 통해 활용처 모색
C6	각종 평가의 정확성, 신뢰성 저하	하	상	• 연구과제평가단 재구성 • 평가단 선정 기준의 강화
C7	사업일정의 지연	하	중	• 운영계획(추진일정)의 조정 • 일정 지연 요소의 파악 및 제거
C8	연구책임자의 과제수행 충실성 부족	하	하	• 연구책임자의 연구의지 함양을 위한 지원혜택 마련 또는 책임자 교체

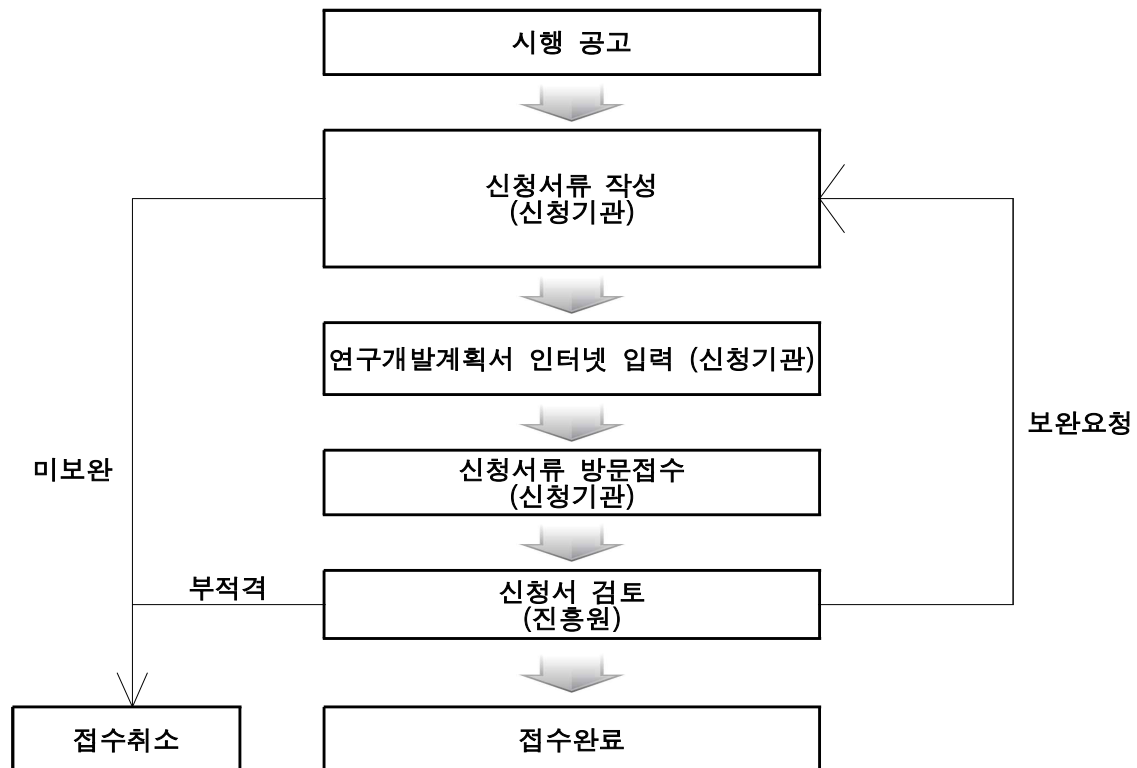
- **(연구개발정보의 관리)** 효율적인 연구관리의 정보화를 위해 과제지원시스템 상에 연구과제 관련 정보를 데이터화하여 관리하고, 3천만원 이상의 장비 또는 3천만원 미만이라도 공동 활용이 가능한 장비는 취득 후 30일 이내 연구시설·장비종합정보시스템에 등록하여 관리
- 연구개발계획서
 - 연차(단계)보고서
 - 연구개발 최종보고서, 요약서
 - 연구개발성과 활용보고서
 - 협약체별 및 협약변경 내역
 - 연구비 사용계획과 집행실적
 - 연구개발 성과 및 실적
 - 연구개발 수행내역
 - 그 밖에 전문기관 장이 필요하다고 인정하는 사항

3. 사업평가체계

(1) 과제 공고 및 선정

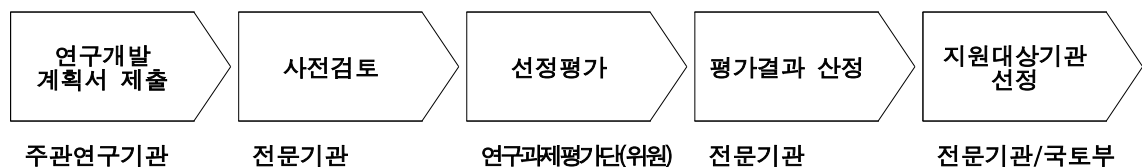
□ 사업공고 및 접수

- 연구개발과제 또는 연구수행기관을 선정하기 위하여 전문기관 홈페이지, 통합정보시스템 등에 30일 이상 공고
- 공고 내용에는 다음의 내용이 포함되며, 공고 안내문, 서식 등 관련문서를 전자 문서화하여 함께 공고
 - 연구개발과제 목적, 지원내용, 지원기간, 과제제안요구서 및 기획연구보고서 등의 관련 사항
 - 연구개발과제 신청자격, 참여기관들의 구성요건·형태 및 참여제한 관련 사항
 - 선정평가 절차 및 방법
 - 과제 수행 및 성과활용 관련 사항(평가절차 등)
 - 그 밖에 필요한 사항(전문기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항 등)



[그림 6-3] 신청서 접수 및 처리 절차

□ 선정평가 및 선정



[그림 6-4] 선정평가 프로세스

- 접수된 연구개발계획서는 사전검토를 거쳐 연구과제평가단의 선정평가를 통해 연구개발과제와 연구기관을 선정
- (사전검토) 신청기관이 제출한 연구개발계획서에 대해 과제제안요구서(RFP)와의 부합성, 타 과제와의 중복성 등 사전검토 자료를 연구과제 평가단에 제공 가능
- (평가방법) 서면/온라인평가, 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시

－ (평가항목 및 배점) 개별 평가계획 수 경구개발과제의 국내·외 연계·협력 가능성

- ※ 연구개발비 및 연구개발기간의 타당성
- ※ 과제목표의 도전성과 적절성
- ※ 성과지표의 적절성
- ※ 그 밖에 필요한 사항

<표 6-5> 선정평가 기준항목

기준항목	세부 평가항목	배점
연구개발 목표 (20점)	최종 연구개발 목표/성과목표(지표)의 명확성, 타당성, 창의성	10
	단계별·연차별 연구개발 목표/성과목표(지표) 설정의 적절성, 구체성	10
연구개발 내용 (20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	연구개발 목표달성을 위한 연구내용·예상성과의 적절성 및 실현가능성	5
	연구개발과제 구성의 타당성 및 연계성	5
	연구개발기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
추진전략 및 계획 (30점)	연구개발 추진전략 및 방법의 적정성, 구체성, 타당성	10
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등) 및 연구진의 전문성	10
	연구개발기관의 연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성, 신규 인력 채용 의지	10
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	연구개발성과 활용 시나리오의 적절성 및 구체성	5
	연구개발성과 실용화 및 정책제안 가능성	10
	개발기술의 기대성과(기술적/경제적) 및 파급효과	5
연구책임자의 연구수행능력(10점)	연구책임자의 연구역량(관련분야 연구경험) 및 관리능력	5
	연구윤리 수준	5
계		100

※ 항목 및 배점의 변경 가능

- － (평가결과의 산정) 종합평가점수 산정시 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조에 따라 과제 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여 가능하며, 이를 반영한 과제별 최종점수로 지원대상 기관 선정

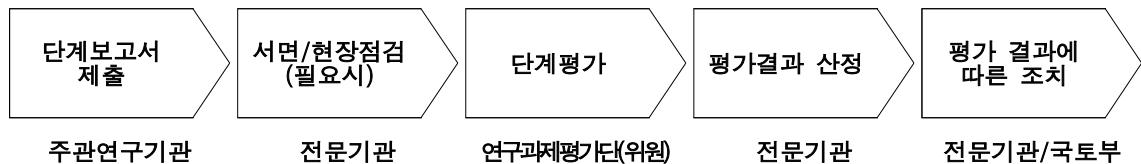
(2) 과제 관리

□ 중간점검

- **(수행 목적 및 추진근거)** 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제34조의1에 따라 연차보고서를 제출해야 하며, 검토과정에서 필요하다고 판단될 경우 제34조2에 따라 연구개발과제의 진도 등을 점검하기 위한 중간점검 실시
- **(수행 절차 및 방법)** 연차보고서를 서면으로 검토하는 것을 원칙으로 하되, 검토과정에서 필요하다고 판단될 경우 진도점검회의 또는 현장실태조사 실시
 - 연구책임자는 100페이지 이내의 연차보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함

□ 단계평가

- **(수행 목적 및 추진근거)** 단계종료 시 연구개발과제의 수행과정, 연구개발성과, 다음 단계의 연구개발 과제 수행계획 등을 단계보고서를 통해 검토 및 확인하고 다음 단계의 계속지원 여부를 결정하기 위해 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제32조에 따라 평가를 실시
- **(수행 절차 및 방법)** 연구개발과제 평가단을 통해 대면(발표)평가, 현장평가, 공개평가 등 적합한 평가방법을 선택하여 실시하고, 필요 시 평가 항목별로 평가방법 등을 달리 정하여 평가 실시



[그림 6-5] 단계평가 프로세스

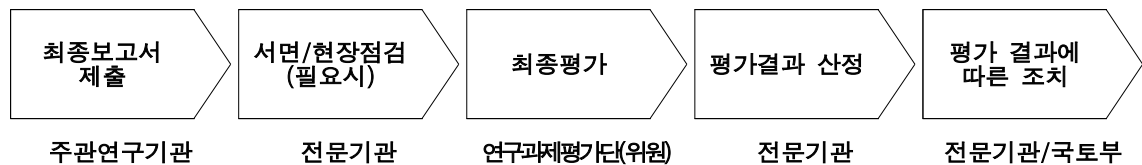
- **(단계보고서 제출)** 연구책임자는 100페이지 이내의 단계보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함
- **(서면 및 현장점검)** 전문기관의 장은 단계평가 실시 전, 연구수행 과정 및 성과확인을 위해 필요한 경우 하기의 사항에 대한 단계보고서의 서면점검, 현장점검 등을 실시 (※단, 필요시)
 - 연구수행 과정 및 수행내용
 - 연구수행 결과 및 목표달성 정도
 - 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여
 - 연구개발과제 수행계획
- **(평가항목)** 과정평가, 성과평가, 계획평가로 구분하고, 과정평가와 성과평가는 점수부여 방식으로 계획평가는 의견제시 방식으로 평가
- **(기본방향)** 원칙적으로 정성평가를 실시하되, 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가
- **(평가결과 산정)** 개인별 과정평가 점수, 성과평가 점수 각각에 대해 최고 및 최저점수를 제외한 산술평균 점수로 각 평가점수를 산정하고, 이를 합한 종합평가 점수를 기반으로 하기와 같이 분류
 - 우수 - 종합평가 결과가 만점의 80% 이상인 경우
 - 보통 - 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만인 경우
 - 미흡 - 종합평가 결과가 만점의 60% 미만인 경우
 - 극히 불량 - 과정평가 점수 및 성과평가 점수가 모두 만점의 40% 미만인 경우
- **(수행 주체)** 평가단 및 평가위원을 구성하고, 평가의 연속성을 유지하기 위해 선정평가 또는 이전 단계평가에 참여한 위원을 우선 선정
- **(평가 조치)** 단계평가 결과에 따라 과제 계속지원 대상 과제와 연차평가 추가실시 대상과제로 구분
 - 단계평가 결과 ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’으로 결정된 과제는 과제의 보완·변경 또는 연구개발비 감액·중액 등을 조정하고, 연구환경 변화, 목표 조기달성 등으로 연구목표 수정 및 과제 중단 결

정을 위한 특별평가가 수반될 수 있음

- ‘극히 불량’ 과제는 지원중단

□ 과제 최종평가

- **(수행 목적 및 추진근거)** 연구 종료 후 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제35조에 따라 최종평가를 실시하여 최종 목표의 달성 여부, 연구수행 과정 등을 종합적으로 평가
- **(수행 절차 및 방법)** 연구개발과제 평가단을 통해 대면(발표)평가, 현장평가, 공개평가 등 적합한 평가방법을 선택하여 실시하고, 필요 시 평가 항목별로 평가방법 등을 달리 정하여 평가 실시



[그림 6-6] 최종평가 프로세스

- **(최종보고서 제출)** 연구책임자는 100페이지 이내의 최종보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함
- **(서면/현장점검)** 단계평가 실시 전, 연구수행 과정 및 성과확인을 위해 필요한 경우 하기의 사항에 대한 최종보고서의 서면점검, 현장점검 등을 실시 (※단, 필요시)
 - 연구수행 과정 및 수행내용
 - 연구수행 결과 및 목표달성 정도
 - 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여
 - 연구개발성과의 관리 및 활용 계획
- **(평가항목)** 과정평가, 성과평가, 계획평가로 구분하고, 과정평가와 성과평가는 점수부여 방식으로 계획평가는 의견제시 방식으로 평가
- **(기본방향)** 단계평가는 원칙적으로 정성평가를 실시하되, 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가
- **(평가결과 산정)** 개인별 과정평가 점수, 성과평가 점수 각각에 대해 최고 및 최저점수를 제외한 산술평균 점수로 각 평가점수를 산정하고, 이를 합한 종합평가 점수를 기반으로 하기와 같이 분류
 - 우수 - 종합평가 결과가 만점의 80% 이상인 경우
 - 보통 - 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만인 경우
 - 미흡 - 종합평가 결과가 만점의 60% 미만인 경우
 - 극히 불량 - 과정평가 점수 및 성과평가 점수가 모두 만점의 40% 미만인 경우
- **(수행 주체)** 평가단 및 평가위원을 구성하고, 평가의 연속성을 유지하기 위해 선정평가 또는 이전 단계평가에 참여한 위원을 우선 선정
- **(평가 조치)** 최종평가 결과에 따라 후속 조치 실시
 - 최종평가 결과 ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’으로 결정된 과제는 최종보고서의 보완·변경 조치계획을 수립하고 평가용 최종보고서 제출일로부터 2개월 이내 평가결과를 반영한 수정·보완된 최종보고서 제출
 - 최종평가 결과 ‘극히 불량’ 과제 또한 최종보고서의 보완·변경 조치계획을 수립하고 평가용 최종보고서 제출일로부터 2개월 이내 평가결과를 반영한 수정·보완된 최종보고서 제출하여야 하며, 이외에도 참여제한 및 제재부가금 부과 등 제재처분에 필요한 사항 검토
- **(활용 방안)** 최종평가 결과에 따라 우수성과에 대한 실용화 지원 등의 후속대책 마련에 활용
 - 최종평가 결과가 우수하고, 하기의 요건을 모두 갖춘 연구개발과제에 대해서는 우수성과에 대한 실용화 지원 등의 후속대책 마련

-
- 최종평가 결과 만점의 90% 이상인 과제(최우수 등급)
 - 연구개발계획서에서 제시한 연구개발목표가 모두 달성된 과제
 - 연구개발 성과의 활용을 통해 해당 분야 기술경쟁력을 높이는 데 현저히 이바지할 수 있다고 평가되는 과제

□ 과제 성과 조사

- (수행 목적 및 추진근거) 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제45조에 따라 계속과제 및 종료 과제의 연구개발기관을 대상으로 연구개발성과 활용조사 실시
- (수행 주기 및 방법) 과제 종료 다음 해부터 5년간 매년 2월 말까지 성과활용보고서를 제출토록 함
 - 조사계획을 수립하여 실시하고, 필요한 경우 반기별, 분기별, 월별 또는 실시간 조사 실시
- (활용 방안) 성과활용실적 평가 결과를 바탕으로 타 사업 선정평가 시 가·감점 부여 및 성과활용보고서 조사·분석을 통해 연구개발성과의 활용 촉진을 위한 추적조사 실시에 활용

4. 성과관리계획

- 국토의 입체적 활용을 위한 K-지하고속도로 인프라 기술개발 기획은 사업목표 달성 및 정부예산 투자의 타당성 입증을 위하여 사업 특성에 맞는 과학기술적, 사회경제적 성과 등의 창출계획을 수립하고 적절한 주기로 이를 모니터링·관리하며 이를 통해 마련된 개선방안을 사업추진에 환류하는 체계를 구축
- **(성과창출계획 수립)** 본 사업의 특성 및 유형을 바탕으로 설계한 성과목표 및 성과지표를 바탕으로, 사업목표 달성을 위해 요구되는 연차별 성과 창출에 대한 계획을 사전에 수립하여 성과지향적 사업관리가 이루어질 수 있도록 함
- **(성과 보고 및 모니터링)** 수립된 성과창출계획에 부합하는 성과들이 잘 발생하고 있는지 주기적으로 모니터링하고, 성과의 체계적 관리를 통해 향후 종합적 성과분석과 예산투자의 타당성 입증의 기반을 구축
 - 성과평가법 개정에 따라 기존 과기정통부의 국가연구개발사업 중간(자체·상위)평가가 폐지되고 부처 자체평가 중심으로 운영하므로, 사업 특성에 따라 평가 시기 및 주기를 부처가 자율적으로 설정하고 주기적 사업성과 모니터링 필요
 - 사업성과 현황에 근거한 성과창출계획의 보완 및 사업관리체계 개선을 위해서는 일관된 기준으로 성과 데이터베이스를 구축하고 관리하는 것이 필수적
- **(성과분석 및 환류)** 사업에서 창출된 성과현황에 대한 심층적이고 종합적인 분석을 실시하고 개선방안을 마련하여 사업의 기획, 관리, 평가 전주기에 반영함으로써 정부 예산 투자 효율성을 강화
 - 본 사업은 사업착수 시 설정한 중간평가(자체평가)를 위해, 해당 기간의 사업 추진 및 성과에 대해 종합적 성과분석을 실시
 - * 성과평가법 개정에 따라 국가연구개발사업의 '전략계획' 수립 제도가 신설되어, 사업 착수 전 전략계획서 수립 시 사업 중간평가 주기를 자율 설정(3년기준 $\pm\alpha$) 하도록 하고, 부처가 중간평가(자체평가)를 실시하도록 함(성과의 목표 연계성, 추진실적, 추진계획 평가)
 - * 자체평가(부처)→시스템 등록 및 공개(부처)→모니터링(혁신본부)
 - 사업목표 달성을 위한 성과창출이 잘 이루어지고 있는지, 만약 그렇지 않다면 사업추진 및 관리 측면에서의 개선점은 무엇인지 등을 종합적 성과분석을 통해 파악하고, 외부로부터의 지적사항 등을 포괄하는 사업관리 개선대책을 마련 및 반영함으로써 사업추진의 효과성과 효율성을 제고

5. 성과 활용·확산 계획

- 본 사업에서 창출된 성과가 1차적인 산출 성과에 머무르지 않고 지하고속도로 건설 현장에 실질적으로 활용되며, 과학기술적/사회경제적 파급효과를 발생시킬 수 있도록 추진
 - 본 사업에서는 대단면·초장대의 지하고속도로 인프라 구축기술과 관련 기술기준 및 지침등이 개정되도록 하여 지하 고속도로 건설현장에서 활용될 수 있도록 함
 - 또한 동 사업의 산출물이 사업기간 내 실증 사업을 통해 개발 기술 문제점 개선 등 기술완성도를 제고하여 개발 기술의 실용화 및 상용화 기반 확보
- 또한, 본사업의 성과 활용 및 확산을 촉진하기 위해, 성과관리활용계획 수립 및 성과 활용·확산 결과 및 파급효과 조사/점검을 실시
 - **(성과관리활용계획 수립)** 사업 종료 단계에서 ‘성과관리활용 계획’을 수립하고, 혁신본부로부터 총실성을 점검받도록 함
 - ※ 절차: 성과관리활용 계획 수립(부처)→총실성점검(혁신본부) →시스템 등록·공개(부처)
 - **(성과 추적조사 및 실태점검)** 사업 전략계획서 수립 시 추적조사 및 실태점검 주기를 자율 설정(5년 기준- α)하고, 사업 종료 시 ‘성과 활용·확산 결과 및 파급효과 조사·점검’을 실시
 - ※ 절차: 추적조사 및 효과성분석(부처)→시스템 등록·공개(부처)→실태점검(혁신본부)

제3절. 예산 및 인력 투입 계획

1. 예산 투입 계획

□ 동 사업 총 사업비는 294억 원이며, 국고 220억원, 민간부담금 74억원

<표 6-6> 연차별 총 사업비 투입 계획

(단위: 백만원)

구 분 (사업기간)	연차별 투자계획					
	'24	'25	'26	'27	'28	합계
국 고	23.40	39.40	54.90	67.30	35.00	220.00
민간매칭 등	7.87	13.22	18.39	22.55	11.74	73.77
합 계	31.27	52.62	73.29	89.85	46.74	293.77

□ 세부과제별 사업비 투자계획

<표 6-7> 세부과제별 사업비 투입 계획

(단위: 백만원)

세부과제 (=핵심기술)	세부기술	구분	'24	'25	'26	'27	'28	합계
지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증	정부	6.10	9.65	12.20	13.45	8.60	50.00
		민간	2.05	3.24	4.09	4.51	2.89	16.78
	지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증	정부	6.00	12.00	17.75	23.45	9.80	69.00
		민간	2.02	4.02	5.95	7.86	3.28	23.13
	소계	국고	12.10	21.65	29.95	36.90	18.40	119.00
		민간	4.07	7.26	10.04	12.37	6.17	39.91
지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증	정부	3.60	7.00	9.45	10.95	6.00	37.00
		민간	1.21	2.35	3.16	3.67	2.01	12.40
	지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증	정부	7.70	10.75	15.50	19.45	10.60	64.00
		민간	2.59	3.61	5.19	6.51	3.56	21.46
	소계	국고	11.30	17.75	24.95	30.40	16.60	101.00
		민간	3.80	5.96	8.35	10.18	5.57	33.86
총합		국고	23.40	39.40	54.90	67.30	35.00	220.00
		민간	7.87	13.22	18.39	22.55	11.74	73.77
		총계	31.27	52.62	73.29	89.85	46.74	293.77

2. 인력 투입 계획

<표 6-8> 본 사업의 인력 투입 계획

(단위: 명)

세부과제(=핵심기술)		구분	‘24	‘25	‘26	‘27	‘28	합계
1	지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	책임연구원	13	18	18	18	16	83
		연구원	26	39	40	44	29	178
		연구보조원	21	32	32	37	24	146
	소계		60	89	90	99	69	407
2	지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	책임연구원	14	17	17	17	15	80
		연구원	28	35	36	40	30	169
		연구보조원	20	28	38	32	25	143
	소계		62	80	91	89	70	392
총계			122	169	181	188	139	799

제1절. 정책적 타당성

1. 관련 법령 부합성

□ 지속가능한 기반시설 관리 기본법

- 동 법령은 기반시설의 체계적인 유지관리와 성능개선을 통하여 국민이 보다 안전하고 편리하게 기반시설을 활용할 수 있도록 하고, 나아가 국가경제 발전에 기여함을 목적으로 제정
 - 동 법 제2조 「정의」에서 기반시설의 정의를 규정하고 있으며, 지하도로 또한 기반시설에 포함
- 동 법령의 정의에 따라 지하도로에 해당하는 지하고속도로는 동 법령이 적용되는 대상으로 관련성이 높음

제5조(국가 등의 책무) ① 국가와 지방자치단체는 국민의 안전하고 편리한 기반시설 이용을 도모하기 위하여 필요한 종합적인 시책을 수립·시행하여야 한다.

② 국가와 지방자치단체는 기반시설의 유지관리와 성능개선에 필요한 예산을 확보하고, 중기재정계획에 반영하여야 한다.

③ 관리주체는 국가와 지방자치단체의 시책에 적극 협력하여야 하며 기반시설의 유지관리와 성능개선에 필요한 재원을 마련하여야 한다.

□ 지하안전관리에 관한 특별법

- 지하안전관리에 관한 특별법은 지하를 안전하게 개발하고 이용하기 위한 안전관리체계를 확립함으로써 지반침하로 인한 위해(危害)를 방지하고 공공의 안전을 확보함을 목적으로 제정
 - 동법 제2조 「정의」에서 지하시설물을, 제3조 「국가 등의 책무」에 의거 정부가 지반침하를 예방하기 위한 시책을 마련하도록 규정
 - 또한 제13조에서 지하안전에 관한 기준에 관한 연구개발사업에 대한 근거를 제공
- 동 사업이 개발하는 지하고속도로의 인프라 구축기술은 지하 환경에서 친환경 차량의 화재·폭발 등의 안전기술을 개발하는 것사업으로 동 법령의 제정 목적과 부합

제2조(정의)

1. “지하시설물”이란 상수도, 하수도, 전력시설물, 전기통신설비, 가스공급시설, 공동구, 지하차도, 지하철 등 지하를 개발·이용하는 시설물로서 대통령령으로 정하는 시설물을 말한다.

제13조(지하안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구·개발사업)

- ① 국토교통부장관은 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 지하안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구·개발사업을 할 수 있다.

□ 시설물 안전관리에 관한 특별법

- 시설물 안전관리에 관한 특별법은 시설물의 안전점검과 적정한 유지관리를 통하여 재해와 재난을 예방하고 시설물의 효용을 증진시킴으로써 공중의 안전을 확보하고 나아가 국민의 복리증진에 기여하려는 목적으로 제정
 - 동법에서 규정하는 시설물의 정의에는 동사업의 지하고속도로가 포함되며, 제5조에서 시설물의 안전 유지를 위하여 안전 및 유지관리에 대한 시책을 수립 및 시행하도록 규정
- 동 사업에서 개발하는 지하고속도로의 인프라 구축기술은 친환경 차량의 화재·폭발 등의 안전기술을 개발하는 것으로 동 법령의 제정 목적과 부합

제2조(정의)

1. “시설물”이란 건설공사를 통하여 만들어진 교량·터널·항만·댐·건축물 등 구조물과 그 부대시설로서 제7조 각 호에 따른 제1종시설물, 제2종시설물 및 제3종시설물을 말한다.

제3조(국가 등의 책무)

- ① 국가 및 지방자치단체는 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위하여 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 종합적인 시책을 수립·시행하여야 한다.
- ② 관리주체는 시설물의 안전을 확보하고 지속적인 이용을 도모하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.
- ③ 모든 국민은 국가 및 지방자치단체, 관리주체가 수행하는 시설물의 안전 및 유지관리 활동에 적극 협조하여야 한다..

□ 국토교통과학기술 육성법

- 국토교통과학기술 육성법은 국토교통과학기술 육성을 위한 기반을 조성하여 산업의 경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 지속적인 발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 제정된 법으로 동 사업과 부합성이 높음
- 동 법 제2조에서 규정한 국토교통과학기술은 미래 성장동력 창출 및 국민의 삶의 질 향상을 위하여 필요한 국토교통분야 산업의 발전에 관한 과학기술을 의미
 - 건설기술진흥법, 건설산업기본법, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 해외건설 촉진법, 건축기본법 등 다양한 건설 관련 법률에 있는 개념들을 포함하고 있음
 - 동 사업은 지하고속도로의 구축과 관련된 기술로 이는 국토교통과학기술에 해당

제8조(연구개발사업의 추진)

- ① 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업 (이하 “연구개발사업”이라 한다)을 할 수 있다.

2. 상위 계획과의 부합성

□ 상위계획과의 부합성 검토 방법

- **(의미)** 상위계획과의 부합성은 정책적 일관성 검토를 통해 동 사업이 국가정책의 실현을 위한 정책적 부합성을 검토 및 평가*
 - ※ 상위계획과의 부합성은 주관부처의 유관 연구개발정책의 일관성 및 쟁점이 되는 여러 정부부처의 기능적 경쟁 및 임무영역 등의 검토를 통해 의미를 도출 (KISTEP, 2020. 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침)
- **(방법)** 범국가적으로 수립 및 추진되고 있는 건설 분야의 국가 주요 정책 및 계획과 주관부처 (국토부)의 중장기 계획의 주요 내용을 본 사업의 목적, 목표, 내용과 비교·분석하여 종합적으로 상위계획과의 부합성을 검토
- **(검토 대상)** 정부 국정과제 및 주요 정책, 연구개발부문의 최상위 계획 및 부처별 상위 계획 등

□ 상위계획과의 부합성 검토 결과

- 본 기획 사업은 국토의 입체적 활용을 목표로하는 정부 정책, 상위계획 등에서 제시한 정책 목표, 추진과제와 부합하며, 정부 정책을 효과적으로 달성할 수 있는 수단으로 판단됨

<표 7-1> 상위계획과의 부합성 검토 결과

구분	계획명	부합성		
		낮음	보통	높음
상위 정책 및 관련 계획	윤석열 정부 120대 국정과제			√
	2023년도 정부연구개발 투자방향 및 기준			√
도로 분야 정책 계획	제1차 국토교통과학기술 연구개발종합계획			√
	제2차 국가기간 교통망 계획('21~'40)			√
	제2차 국가도로망 종합계획('21~'30)			√
	제2차 고속도로 건설계획('21~'25)			√
	제6차 건설기술진흥기본계획			√
	광역교통 비전2030			√

<표 7-2> 정부정책 및 상위계획과 부합성 검토 내용

구분	정책 및 계획명	기획사업 부합성 검토내용
상위 정책	윤석열 정부 120대 국정과제	• (약속8) 하늘·땅·바다를 잇는 성장인프라를 구축합니다 - (국정과제39) “빠르고 편리한 교통 혁신”의 GTX, 순환도로망 확충과 더불어 경부, 경인 등 주요 고속도로 지하에 대심도 고속도로 건설에 부합
	2023년도 정부연구개발 투자방향 및 기준	• (목표) 산업 생태계 활성화 및 신산업 육성을 위해 기술혁신 역량과 산업기반을 확충하고 파급효과가 큰 유망기술 확보에 대한 전략적 투자를 강화 - 건설·교통 분야에서는 혁신성장을 가속화하기 위한 교통체계 지능화 실증 기술에 중점 투자하고, 제도·인프라 개선을 목표로하는 방향으로 연구개발 투자
도로 정책	제1차 국토교통과학기술 연구개발종합계획	• (전략2) 기술융합을 통한 새로운 가치 창출 - (추진과제) 고부가가치 건설기술 창출 - 비정형·고난이도의 프리폼 건축물과 레고 방식의 모듈러 건물·구조물 등 설계자의 상상력을 현실화하는 신개념 건축 구현
	제2차 국가기간 교통망 계획('21~'40)	• (전략1) 국토균형발전을 위한 교통망 완성 - (추진과제) 국가 간선도로망 완성 - 대도시권 혼잡 완화를 위해 대도시권 대심도 지하도로 건설을 통해 도심내 혼잡도 해소
	제2차 국가도로망 종합계획('21~'30)	• (전략1) 적재적소에 투자하여 경제 재도약 지원 - (추진과제) 도로육성 연구개발 - 4차 산업혁명 기술의 인프라 접목을 위해 도심지 초고속 지하도로 기술 개발 등 도로분야 연구개발 추진
	제2차 고속도로 건설계획('21~'25)	• (추진과제) 수평적/입체적 확정으로 교통혼잡 완화 - 혼잡완화를 위한 고속도로 건설 - 주변 도심 개발 등으로 수평적 확장이 어려운 구간을 지하도로 등 입체적 활용을 통해 교통혼잡 해소에 부합
	제6차 건설기술진흥기본 계획	• (추진전략1) 4차 사업혁명에 대응하는 기술개발 신산업 육성 - (추진과제) 건설의 안전 환경관리 - 지하시설물 관리 기술 개발에 부합
	광역교통 비전2030	• 세부과제 “네트워크 강화를 통한 도로의 간선기능 회복” - 수도권 순환고속도로망 조기완성 및 대심도 지하도로 신설을 통하여 도심 교통량 분산/ 상습정체구간 해소

□ **국정목표2 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제에서는 주요 고속도로의 지하에 대심도 고속도로를 건설하여 상습정체를 해소하고자 명시**

○ 국정목표2의 [약속8] “하늘·땅·바다를 잇는 성장인프라를 구축합니다”에서는 빠르고 편리한 교통 혁신 과제에서 GTX 내지 순환도로망 확충을 통해서 지역 간 이동을 원활하게 하고, 경제 활성화를 도모

- GTX, 순환도로망 확충과 더불어서 경부·경인 등 주요 고속도로 지하에 대심도 고속도로를 건설하여 상습정체 해소 제시

□ **국토종합계획은 국토기본법에 근거하여 군사에 관한 계획을 제외하고는 다른 법령에 따른 국토에 관한 계획에 우선하는 기본계획으로 대심도 지하도로의 추진을 명시**

○ 인프라의 효율적 운영과 국토지능화 과제에서는 네트워크형 교통망의 효율화와 대도시권의 혼잡 해소를 위해, 국가 간선망을 효율화하는 광역철도망 및 대심도 지하도로의 추진을 명시

- 수도권 외곽 순환고속도로망 조기완성으로 도심 교통량 분산을 촉진하고, 주요 간선 상습정체 구간 해소를 위한 대심도 지하도로 신설 검토

□ 2023년도 정부연구개발 투자방향 및 기준

- 과기부 「2022년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」(‘21.3)에서는 산업 생태계 활성화 및 신산업 육성을 위해 기술혁신 역량과 산업기반을 확충하고 파급효과가 큰 유망기술 확보에 대한 전략적 투자를 강화할 계획
- 건설·교통 분야에서는 혁신성장을 가속화하기 위한 교통체계 지능화 실증 기술에 중점 투자하고, 제도·인프라 개선을 목표하는 방향으로 연구개발 투자 계획

□ 국토교통과학기술연구개발 종합계획에서는 “기술융합을 통한 새로운 가치창출”에서는 지하공간 구축 기술과 지하 라이프라인의 건설·유지관리 기술 개발 등을 통한 도시공간 효율 증대를 명시

- 기술융합을 통한 새로운 가치창출 전략 내의 “고부가가치 건설기술 창출”에서는 지하 공간 구축 기술과 지하 라이프라인의 건설·유지 관리 기술 개발을 통해 도시공간 효율 증대를 목표
- 지하공간의 구축에는 교통시설, 상업·공연시설 등이 복합된 대심도 지하입체 대공간 구축·유지관리 기술과 지중 인프라 및 인접 구조물 피해 방지 기술을 개발할 것을 명시

□ 제2차 국가기간 교통망 계획에서는 대도시권 혼잡을 완화하기 위해 대도시권 대심도 지하도로 건설을 추진하여 국가 간선도로망 완성을 목표

- 국가기간 교통망의 확충을 위한 세부과제로 “국토균형발전을 위한 교통망 완성”을 제시하고 있으며, 이러한 교통망 완성을 하기 위해, 고속 국가철도망, 국가간선도로망 완성 및 경제 성장을 지원하는 공항 인프라 구축 등의 과제를 제시
- 특히 국가 간선도로망 완성을 위하여 수도권 외곽순환 고속도로망 조기완성, 대도시권 대심도 지하도로 건설을 통한 도심내 도로 혼잡도 해소 등 대도시권 혼잡완화를 위한 내용을 강조

□ 제2차 국가도로망 종합계획에서는 “적재적소에 투자하여 경제 재도약 지원”과제에서 도로산업을 육성·연구개발을 하도록 명시

- 동 추진과제에서는 4차 산업혁명 기술의 인프라 접목을 위해 도로분야 연구개발을 추진하도록 명시하고 있으며, 도로 관련 연구 및 기술 개발 분야로 안전한 도로, 편리한 도로, 경제적 도로, 친환경 도로 등 4가지 분야를 제시
- 편리한 도로 분야에서는 지상-지하를 연계한 입체적 도로망 구축 및 운영과 도심지 초고속 지하도로 구축 등 지하도로의 구축에 관한 기술개발을 지원할 것을 명시

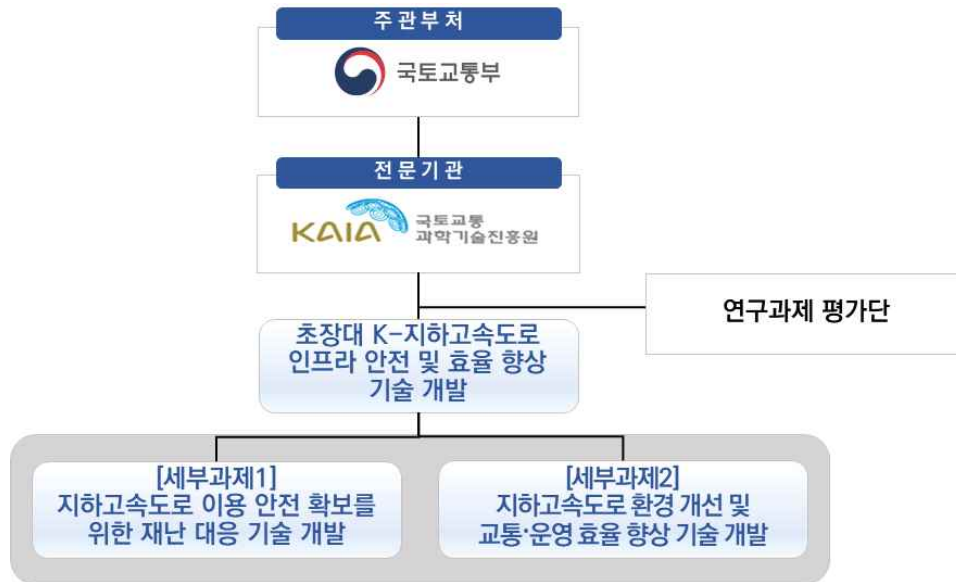
□ 제2차 고속도로 건설계획에서는 수평적 확장이 어려운 구간에 대해서 지하도로 등 입체적 활용을 통해 교통혼잡 해소를 계획

- 대도시권 등 상습적인 교통 혼잡을 해소하고 증가한 교통수요에 대응하기 위하여 간선망을 강화하여 국민의 이동편의를 제고
- 주변의 도심개발 등으로 인해서 수평적 확장이 어려운 경우 지하도로 건설을 통해 공간의 입체적으로 활용하여 교통혼잡 해소를 제시
 - (퇴계원-판교) 수도권 제1순환선의 혼잡해소
 - (화성-서울) 경부선 수도권 구간의 극심한 교통혼잡 해소
 - (인천-서울) 도로용량을 초과한 경인선의 극심한 교통정체 개선
 - (신갈-과천) 수도권 남부지역의 경부선에 집중된 교통량 우회·분산처리하고, 3기 신도시 과천지구의 광역교통 개선대책 지원
- 사업규모가 큰 지하도로 사업 등은 추진 과정에서 민자투자방식사업 방식 병행 검토

-
- 제6차 건설기술진흥기본계획 건설 안전·환경 관리 부문에서는 시설물 유지관리의 패러다임이 선제적·예방적 유지관리로 전환 중임에 따라 이에 대해 스마트 건설 관리 체계의 구축을 명시
- 스마트 관리체계는 4차 산업혁명 기술을 활용하는 ‘스마트 건설기술’ 개발 등으로 시스템·장비 기반의 안전체계 구축 및 활용 촉진을 추진하며, 그 중 지하시설물* 관리 기술 개발을 명시
 - ※ 지하시설물 안전관리에 관한 법률에 따르면 지하도로도 지하시설물에 포함
 - 지하시설물을 비개착 방식으로 건설하고 유지·관리할 수 있는 장비 기술 개발로 국민 편의 증진을 계획(’19~’25년)
- 광역교통비전2030은 광역교통망의 확충을 목표로하는 법정계획으로 대심도 지하도로의 구축 검토를 명시
- 광역교통비전2030의 인프라 강화 추진과제 내의 세부과제 “네트워크 강화를 통한 도로의 간선 기능 회복”에서는 수도권 순환고속도로망 조기완성 및 대심도 지하도로 신설을 통하여 도심 교통량 분산/ 상습정체구간 해소를 검토 명시
 - 서울 동서 횡단축 등 주요 간선도로 중 대상 노선 검토 및 부산 사상~해운대 노선 검토 중
 - 대심도 지하도로의 지하부는 자동차 도로로 운용하며, 지상부는 BRT·중앙 버스차로 등 각종 대중교통 이용차로로 활용 계획

3. 사업추진체계의 적절성

- 본 연구의 수행은 기본적으로 주관 및 공동 연구로 컨소시엄을 구성, 각 세부과제별로 민간업체를 포함한 산·학·연 협동 연구체계로 추진함으로써 사업의 효율성·효과성을 극대화할 수 있는 추진체계로 설계함
- 대심도 대단면 지하고속도로 인프라 기술 개발 및 적용을 위해서는 실증이 필수적이므로 실증과 실제 현장 적용성 확보를 위해 민간 직접 참여가 필수적이며, 이에 따라 동 연구의 수행은 민간기관들과 협동 연구체계로 추진하는게 적합하다고 판단됨



[그림 7-1] 초장대 K-지하고속도로 인프라 구축 기술 개발 추진체계

- 본 사업은 1세부과제가 총괄과제의 역할을 담당하며, 사업의 원활한 추진이 이루어질 수 있도록 연구개발 일정 관리, 진도 및 성과 점검·관리, 각 세부과제의 연구내용 검토 및 방향 논의 등을 실시
- 각 세부과제는 연구범위 및 방향을 세부 과제 간 상호 조율하고, 그에 따른 지속적인 연구개발 및 성과도출에 대해 공유하도록 함
- ※ 다만, 총괄과제는 세부과제의 연구비 조정은 불가

4. 사업 추진상의 위험요인 및 대응방안

1) 재원조달 가능성

- 동 사업 추진 시 정부 및 민간에서의 재원조달 규모, 시점 등을 적시에 투입 가능한지 점검하고, 향후 발생 가능한 재원조달 상의 위험요인을 점검
- **(정부 재원조달 가능성)** 우리나라 정부 R&D 및 국토교통R&D, 교통·물류 분야 R&D 예산은 꾸준히 증가하는 추세에 있으며, 유관 정책계획에 따른 교통·물류 분야의 R&D 투자 강화 계획에 따라 본 사업 추진을 위한 신규 R&D 예산 확보에 대한 위험요인은 없음
- (국토교통 R&D 및 교통물류 분야 R&D 예산 현황) '23년 국토교통 R&D 예산은 6,149억 원으로 최근 5년간 연평균 6.27%로 지속적으로 확대 중이며, 이 중 교통·물류분야가 차지하는 비중도 증가

<표 7-3> 최근 5년 간 국토교통R&D 예산운용 추이

(단위: 억 원, %)

구분	'19	'20	'21	'22	'23	연평균 증가율
① 국토부 R&D 예산	4,822	5,276	6,031	6,396	6,149	6.27
② 교통물류분야 R&D 예산	696	869	982	939	1,146	13.28
비중 (②÷①)	14.4%	16.5%	16.3%	14.7%	18.6%	-

- (국토교통 R&D 및 교통 물류 분야 R&D 예산 전망) 사업 착수시점인 '23년 이후의 예산을 연평균 증가율을 활용하여 추정 시, 동 사업에 소요되는 연차별 평균 예산(약 60억 원)을 크게 상회하여, 동 사업 추진을 위한 재원조달 위험성은 없는 것으로 판단

<표 7-4> 향후 5년 간 국토교통R&D 예산운용 추이

(단위: 억 원, %)

구분	'24	'25	'26	'27	'28	연평균 증가율
① 국토부 R&D 예산	6,534	6,943	7,379	7,841	8,332	6.27
② 교통물류분야 R&D 예산	1,300	1,471	1,666	1,887	2,138	13.28
비중 (②÷①)	19.9%	21.2%	22.6%	24.1%	25.7%	-

- **(민간 재원조달 가능성)** 동 사업은 국내 건설분야 대학, 연구소, 중소기업 중심의 컨소시엄으로 연구가 추진되는 특성상 정부 출연금의 25%를 민간부담금으로 책정하였으며, 이의 규모는 참여기관이 대응할 수 있는 수준으로 판단함
- 2020년 국가연구개발 활동 조사에 따르면 건설업 관련 분야의 민간 R&D 비용은 총 5,864.7 억 원으로 동 사업의 민간부담금은 이의 1.3% 수준으로 재원조달이 가능할 것으로 판단

<표 7-5> 동 사업의 예산 소요

(단위: 억 원, %)

구분	'24	'25	'26	'27	'28	합계
① 총 예산	31.27	52.62	73.29	89.85	46.74	293.77
② 민간부담금	7.87	13.22	18.39	22.55	11.74	73.77
③ 건설업 분야 민간 연구개발비	5,864.7					

2) 법·제도적 위험요인

- **(사업 기획/추진 관련 법·제도 측면)** 국가연구개발사업으로서의 본 사업의 기획/추진/관리에 대한 법적·제도적 위험요인은 없음
 - 동 사업은 과학기술기본법 및 그 하위 법령 체계에 따른 국가연구개발사업의 기획의 건으로 ‘국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정’ 등 관련 법령 및 지침에 준거하여 사업의 기획 및 공고절차, 과제평가 및 선정 등의 절차를 설계하였음
- **(건설 분야 관련 법·제도 측면)** 사업 중 사업 추진에 있어 기존 국내 관련 법령·제도에 따른 위험요인은 일부 존재하나 극복 가능한 것으로 판단
 - (환기소 설치간격 증대 기술 관련 법령·제도) 현행 ‘도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2021)’에서는 도로터널 대상 환기소(수직구) 3km 간격 적용 권고, ‘지하도로 설계지침’에서는 지하고속도로 환기소(수직구)의 최대 설치간격을 최대 5km 이내로 규정
 - ☞ (극복방안) 본 사업에서 기술개발을 통해 적용하고자 하는 환기소(수직구) 최대 간격은 현행 기준을 상회하는 값을 목표로하기 때문에 수치해석, 모형실험 등을 통해 개발기술을 검증하고 관련 기준 개정 추진
 - (지하고속도로 휴게시설 확보 기술 관련 법령·제도) 자동차 수직 입체이동을 위한 시스템은 자동차용 엘리베이터와 기계식 주차장치로 구분되며, 주차장법에 따른 기계식 주차장치의 경우 승객탑승 불가
 - ☞ (극복방안) 본 사업의 지하-지상 연계 입체이동 시스템은 승강기시설 안전관리법에 따른 자동차용 엘리베이터 요구조건에 부합하도록 설계 기준 정립
- **(WTO 보조금 분쟁 가능성)** 동 사업은 국토의 입체적 활용을 위한 대심도·대단면의 지하고속도로 구축 기술개발에 의의를 두고 있으므로, 사업이 시행될 경우 WTO 보조금 협정 저촉으로 인한 국제통상분쟁 제소 가능성은 낮음
 - 동 사업은 인간친화적 입체공간 활용 기반을 조성하기 위해 지하고속도로 인프라 기술을 개발하는 것이고, 이를 위해 지하고속도로 인프라 및 이용자 안전 및 편의 기술 등을 개발하는 것이 목표임
 - 즉, 동 사업은 우리나라의 국토를 입체적으로 활용하기 위한 기술을 개발하기 위한 사업으로 글로벌 시장으로의 진출 등 사업화를 추진하는 사업이 아니므로, WTO 보조금 분쟁 가능성은 낮음
 - 또한 동 사업은 기존에 수입에 의존하던 기술이 아니므로 수입 대체품목으로 보기는 어려움

5. 정부지원의 필요성

- 지하 시설물의 안전한 구축 및 관리·운영은 정부의 역할
 - 지하안전관리에 관한 특별법 제3조(국가 등의 책무), 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 제3조(국가 등의 책무) 등
 - 교통 인프라의 지하화는 공공의 목적으로 사용가능한 지하 대심도 공간에서 진행되고 있고, 이는 중앙정부가 지하공간 활용 등 종합적인 로드맵 구축을 통한 관리 필요
- 초장대 지하고속도로의 경우 장기적 국민 안전 고려해 정부 지원 및 철저한 관리감독이 필요
 - 초장대, 대단면, 대심도 특성을 갖는 지하고속도로는 대규모 투자가 필요하고 경제성이 우선시된 설계·시공 우려
 - 민간에서 자발적으로 고비용의 새로운 기술개발을 기대할 수 없어 세계 최고를 선도하는 과학기술을 위한 투자가 필요함

제2절. 기술적 타당성

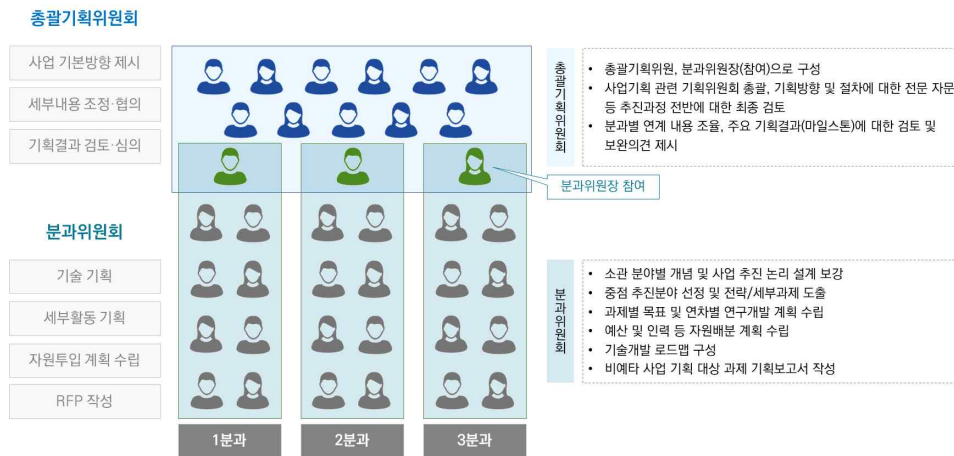
□ 사업 기획 과정의 적절성

- (체계적 조사·분석을 통한 사업 기획 과정) 대내외 환경분석 및 사업 추진여건 분석 등을 통해 해결하고자 하는 핵심 문제/이슈를 도출하였으며, 이를 해결하기 위한 사업 기본방향에 부합하는 목표체계 및 추진전략을 도출하였으므로 기획과정이 적절함

Step I	대내외 환경 분석	• 국내외 정책동향/시장산업 동향/기술동향 조사·분석 • 이해관계자 의견 수렴
Step II	사업 추진여건 분석	• 기술수준 분석 및 역량 진단 • 관련 인프라 현황 분석
Step III	핵심 문제/이슈 도출	• Step I ~ II 단계를 통해 동 사업에서 해결하고자 하는 문제/이슈(필요성)를 도출
Step IV	사업 추진전략 수립	• 기본방향 도출 • 사업추진논리 구성 • 사업의 목표체계 도출 • 사업 구성 및 세부과제별 상세활동 계획
Step V	사업 운영계획 수립	• 사업추진체계 • 사업 운영·관리체계(평가, 성과관리 포함) • 예산 및 인력 투입계획

[그림 7-2] 동 사업의 기획과정

- (기획 전반에 걸쳐 기획위원회 구성·운영) 사업 개념 및 범위, 사업추진논리, 핵심 문제/이슈, 사업 추진전략, 사업추진체계 등의 기획 과정 전반에 전문성 있는 다양한 전문가가 참여함으로써 기획과정과 내용의 객관성 및 신뢰성을 확보2
- (체계성) 기획위원회의 기능 및 역할을 정의하고 이에 따라 총괄기획위원회와 분과위원회로 구분하였으며, 기획위원회 구성·운영계획에 따라 체계적으로 사업 기획 및 세부활동 기획을 실시
- (총괄기획위원회) 기획 연구의 추진방법 및 방향에 대한 검토, 사업 기본방향 및 개념 등 주요 산출물에 대한 심의·자문을 목적으로 총 3회 내외로 소집·운영
 - (분과위원회) 사업구성 및 중점추진분야 선정 결과에 따라 세부 분야별 기술 및 세부활동 상세계획, 자원 투입 계획 수립 등을 위한 분과위 구성 및 운영



[그림 7-3] 동 사업의 기획위원회 기능 및 역할 정의

<표 7-6> 기획연구를 위한 위원회별 역할 및 운영 원칙

회의체	역할	운영
총괄 기획위원회	- 기획연구 추진방법 및 방향 검토 - 사업 기본방향 및 개념 검토 및 자문	- 총 2~3회 대면회의의 수행 (대면회의 불가 시 비대면회의 및 서면회의로 진행 가능) - 각 분과별 위원장이 반드시 참석 - 재적인원의 2/3 이상 참여 가능한 일시에 추진
분과별 기획위원회	- 세부분야별 동향조사 분석, 연구개발 목표체계 수립 - 세부활동 상세 기획 - 자원 투입 계획 수립	- 총 2~3회 대면회의, 서면 작업 수행 - 분과위는 실질적인 원고 작성이 주된 임무로 가능한 서면 검토, 비대면 회의 진행

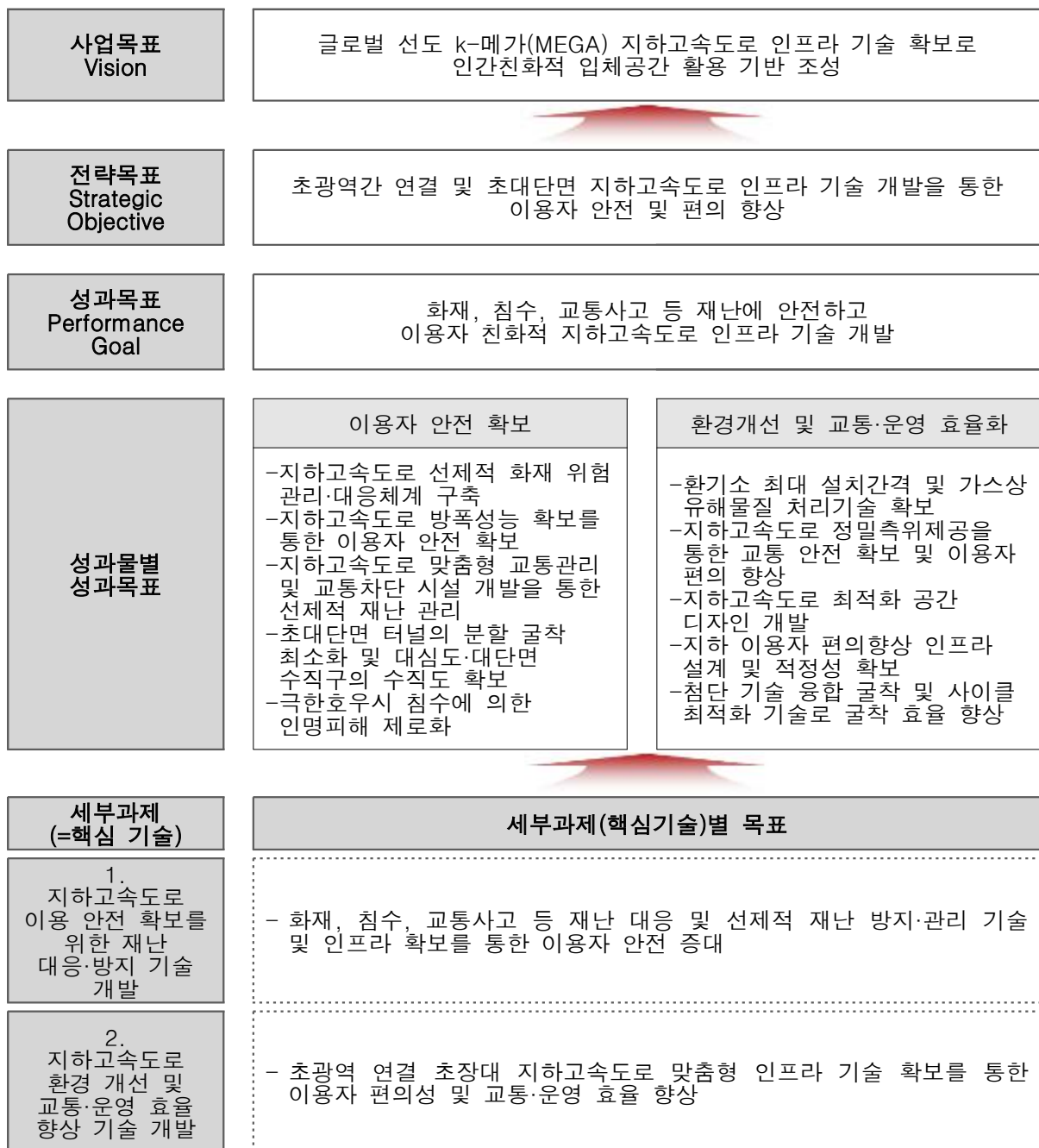
- **(전문성)** 기획위원회는 터널, 지하도로, 방재, 교통 등 지하고속도로 분야의 흐름을 파악하고 변화를 예측할 수 있는 식견이 충분한 전문가들로 구성
- **(포괄성)** 동 사업이 정의한 사업 개념 및 범위를 포괄할 수 있는 전문가로 구성함으로써 최대한 전문성이 결여되는 분야가 존재하지 않도록 함
 - **(총괄기획위원회)** 기획 분야에 대한 전체적인 관점에서의 기획 및 R&D 방향, 사업구성 등 총괄적인 자문이 가능한 시니어급* 전문가 중심으로 구성
 - ※ 유관 경력 15년 이상, 터널, 방재, 교통체계 개발 경험자 우선 섭외
 - **(분과위원회)** 세부분야별 기술 전문성을 갖추고, 동향조사, 목표체계 설계, 세부적인 연구개발 계획 수립이 가능한 실무 전문가 중심으로 구성
 - ※ 유관 경력 15년 미만, 터널, 방재, 교통체계 등 개발 실무자 우선 섭외
- **(균형성)** 기획위원회 전문가는 소속기관, 기술분야 등의 측면에서 균형있게 구성하여 소수의 이해관계자에 집중된 방향이 아닌 국가 차원에서 필요한 사항을 기획하고자 함
 - **(소속기관)** 동 사업의 기획에 참여한 전문가 풀은 산·학·연이 모두 포함되도록 구성
 - ※ (총괄위원) 총 10인 중 관 2인, 산 3인, 학 3인, 연 2인으로 구성
 - ※ (분과위원) 총 21명 중 산 10명, 학 5명, 연 6명으로 구성
 - **(기술분야)** 동 사업 기획에 참여한 전문가들의 세부전공 및 담당 분야를 고려하여, 동 사업의 세부활동(터널, 방재, 교통 등)과 관련한 분야의 전문가들로 균형있게 구성함
- **(기술 수요를 참고한 세부활동 기획)** 국토의 입체적 활용을 위한K-지하고속도로 인프라 기술개발 기획 필요성을 뒷받침하고 기술개발 수요 파악을 통한 세부활동을 기획하기 위해, 산·학·연 전문가를 대상으로 기술개발 수요를 파악함

- 지하고속도로 관련 산·학·연·관 전문가에게 지하고속도로 인프라 안전 및 효율향상 기술개발에 대한 미충족수요 등 의견 수렴
 - ※ (주)내일이엔시, 한국도로공사, 한양대학교, 한국자동차연구원, 한국전자기술연구원, 동일기술공사 등 다양한 산학연 전문가들의 의견 수렴 실시
- **(사업 범위 설정의 적합성)** 현재 지하고속도로 인프라 기술에 대한 이슈를 도출하고 그 이슈를 해결하기 위한 기술들을 사업 범위로 설정하여 적합성을 확보
 - (국가차원의 문제/이슈도출) 동향분석을 통하여 국가차원의 문제/이슈를 도출
 - 다수의 고속도로 지하화사업 추진에 따라 초장대/대단면/대심도 고속도로 출현 대비 필요
 - 지하고속도로는 광폭/대단면의 변단면 터널 건설이 필요하나 관련 경험이 미비
 - 지하도로 수직구는 환기, 배연, 비상탈출 경로 확보 등을 위한 필수구조물이나 도심 내 수직구는 민원 발생이 주요 원인
 - 초장대 및 대심도 특성을 가진 지하고속도로에서 이용자 안전 확보와 편의성 증대를 위해서 방재 및 부대시설의 설치 기술이 필요
 - (사업차원에서 해결해야할 문제/이슈를 도출) 앞서 도출한 문제/이슈 중 사업차원에서 해결해야할 문제와 이슈를 도출
 - 20km 이상의 장대터널을 건설/운영해야하는 지하고속도로의 특성을 고려하여 강화된 방재 및 소방 기준 적용을 검토하고 선제적 대응체계 구축 필요
 - 지하고속도로를 장기간 주행시 폐쇄감 발생할 수 있어 이에 대한 문제를 해결할 수 있는 이용자 안전/편의 향상 필요
 - 소음, 분진 등 민원발생의 주요원인인 수직구를 최소화하고 지하고속도로 대심도·초장대·대단면 특성을 반영한 교통·운영 효율화 방안 마련 필요
 - (세부활동 수준의 문제/이슈도출) 사업차원에서 해결해야할 문제와 이슈에서 이를 해결할 수 있는 기술을 도출하여 사업의 범위로 설정
 - 미래 환경변화에 대응하는 터널 내 화재/침수/폭발사고 등에 대한 선제적 대응 체계 및 기술 확보
 - 지하고속도로 공간 및 주행특성을 고려한 폐쇄공포·피로감·대기오염 등 해결하는 이용자 안전·편의 향상 기술 확보
 - 민원 주요발생 요인인 수직구 최소화 및 지하고속도로 특성을 반영한 안전하고 효율적인 교통 서비스 제공 기술 확보

□ 사업목표의 적절성

- **(사업 목표체계 정립)** 대내외 동향 분석, 사업 추진여건 분석, 핵심 문제/이슈 도출 등에 근거하여 동 사업이 추진되어야 하는 이유와 목표 등 사업추진논리와 추진 당위성을 확보하였으며, 사업 추진을 통해 의도하는 효과가 무엇인지에 대한 논리적으로 설명함
- **(사업목표)** 동 사업을 통해 달성하고자 하는 중장기적 목표로서, “글로벌 선도 k-메가(MEGA) 지하고속도로 인프라 기술 확보로 인간친화적 입체공간 활용 기반 조성”으로 설정
 - 국토의 입체적 활용을 통한 단절 회복 및 지상 공간의 활용성 증가는 향후 달성해야할 국토교통 패러다임에 해당
 - 현재 해외에서도 초장대 고속도로의 예시가 없는 것을 확인되며, 우리나라가 글로벌 선도할 수 있는 기회
 - 이에 따라 동 사업은 , “글로벌 선도 k-메가(MEGA) 지하고속도로 인프라 기술 확보로 인간친화적 입체공간 활용 기반 조성”을 사업 목표로 설정
- **(전략목표 수립)** 사업이 궁극적으로 이루고자 하는 목표로서 중장기적 정책목표를 의미하므로, 상위계획, 사업 목표, 연구성과 활용 등을 고려하여 동 사업이 달성하고자 하는 전략 목표는 “초광역 간 연결 및 초대단면 지하고속도로 인프라 기술 개발을 통한 이용자 안전 및 편의 향상”으로 설정

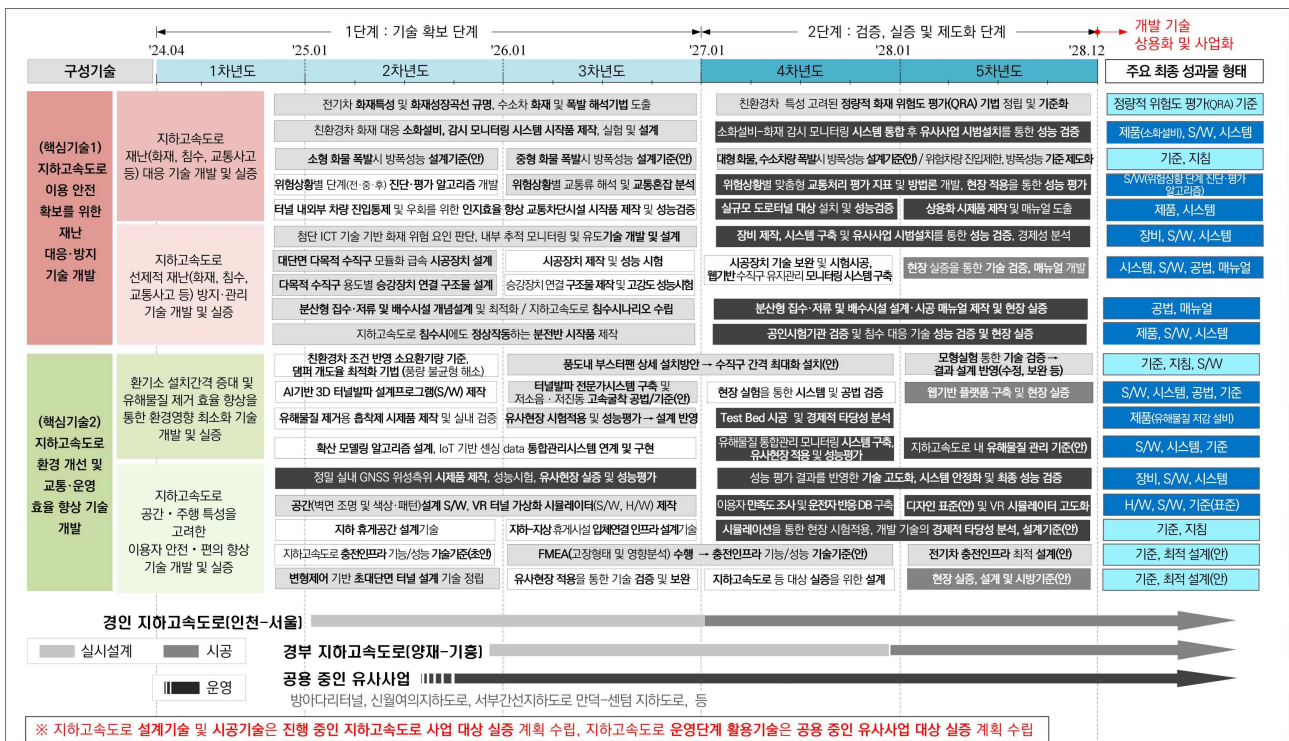
- **(성과목표 설정)** 동 사업의 연구개발을 통해 달성하고자 하는 구체적인 목표로 연차별·단계별 성과목표로 세분화하였으며, 전략목표 달성에 기여할 수 있도록 논리적으로 설정함
 - 사업예산이 집중적으로 투입되는 부문의 성과가 핵심적으로 드러날 수 있도록 설정하고, 구체적이고 명확하게 표현하여 측정이 가능하도록 함
- **(성과목표 및 지표의 설정)** 동 사업이 의도하는 효과의 달성 여부를 측정하고 관리할 수 있도록 양적/질적 성과지표를 개발하고, 사업 기간 및 예산 내 달성 가능한 범위에서 도전적인 목표치를 제시함
 - 동 사업의 성과지표와 목표치에 대해서는 각 항목별로 설정방법과 근거, 측정산식·방법·시기 및 근거자료 출처 등을 포함한 성과지표 명세서를 기록·관리함으로써 성과를 관리하기 위한 현실적인 준비를 갖추
- **(구성기술별 목표 수립)** 동 목표체계에 기반하여 세부과제(구성기술)를 구성하고, 구성기술별 연구활동이나 주요 산출물, 목표 성능 등을 고려하여 각 구성기술별 목표를 타당하게 설정함



[그림 7-4] 동 사업의 목표체계도

□ 사업 구성 및 내용의 적절성

- 동 사업의 세부과제는 각각의 기술개발의 개념, 전략목표, 목표 성능 및 최종성산물 등에서 차이를 가지고 있으며, 명확한 연계구조를 가지고 있어 사업내용이 논리적이고, 사업의 목표달성을 위해 적절하게 구성된 것으로 판단됨
- 세부과제 구성은 사업목표인 “글로벌 선도 k-메가(MEGA) 지하고속도로 인프라 기술 확보로 인간친화적 입체공간 활용 기반 조성” 달성에 필수적인 기술로 구성된 것으로 판단됨
 - 사업 목표 달성을 위해서는 이용자 안전 제고, 편의 향상, 인프라 기술이 필수이며, 동 필수기술들을 2개 세부과제(세부활동)로 구성함
- ※ 동 사업의 2개 세부과제 구성: 1)지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발, 2)지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발
- 또한 인프라 구축에 필수적인 구성기술로 세부과제를 구성하여, 세부과제 간 연계성이 높고 효과적·효율성 측면에서 개별 사업이 아닌 하나의 사업으로 추진이 타당함



[그림 7-5] 사업추진 로드맵

□ 기술개발의 차별성 및 중복성

- 대심도 복층터널, 수직구 등 터널 관련 R&D/정책/정보화 사업 등을 대상으로, 동 사업의 추진 기간, 목적, 연구내용, 지원분야 및 범위 등과의 중복 가능성을 검토하고, 기존 사업과의 차별성 확보 및 연계·협력 방안을 검토하였음

<표 7-7> 중복성 검토 대상 사업/과제 목록

구분	사업/과제명	추진기간	지원부처	주관연구기관
과제	고수암 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발	‘23~’18	국토부	고려대 산학협력단
과제	대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발	’14~’20	국토부	한국건설기술연구원
과제	공동구용 수직구 저소음(60dB(A)/무진동) 급속굴착(1m/day) 시공기술 및 장비 개발	’16~’20	국토부	한국건설기술연구원
과제	도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구	’20~’23	국토부	한국건설기술연구원

- **(중복성)** 검토 결과, 동 사업은 기존사업/과제와의 중복성 이슈는 없으며 기존 사업과의 연계·협력방안 등을 마련할 수 있는 전략을 확보함에 따라, 신규사업 추진이 적절함
- 동 과제는 화재조건이 상이한 환기·방재기술 개발과 대심도·대단면의 수직구를 활용한 인프라 구축 기술을 개발한다는 점에서 기존의 과제들과 차별화가 되고 있음

<표 7-8> 기존 사업과의 중복성 검토 결과

유사사업	분석 결과				중복성 여부
	세부목표	추진체계	지원대상	세부활동	
해당없음	없음	없음	없음	없음	낮음

- **(연계방안)** 대심도, 초장대, 저진동 저소음, 지하 교통 인프라 등 기존에 추진한 사업/과제의 성과물을 고려한 동 사업 활용 계획을 마련할 예정

□ 사업 추진의지

- 국토부는 「2023년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」(‘21.3)에 기반하여, 도심지하 인프라 확충을 바탕으로 국민 교통·생활환경 편익을 증대하기 위한 지하 교통 인프라 건설 운영 기술개발에 지속 투자를 명시하는 등, 강력한 추진의지로 실행 방안을 모색하고 있음
- 과기부 「2022년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」(‘21.3)에서는 산업 생태계 활성화 및 신산업 육성을 위해 기술혁신 역량과 산업기반을 확충하고 파급효과가 큰 유망기술 확보에 대한 전략적 투자를 강화할 계획
 - 건설·교통 분야에서는 혁신성장을 가속화하기 위한 교통체계 지능화 실증 기술에 중점 투자하고, 제도·인프라 개선을 목표하는 방향으로 연구개발 투자 계획
- 또한 동 사업에 대한 부처의 추진 의지가 명확하며, 공공의 목적이 강한 사업으로 인식되어있어 사업비 집행 가능성이 매우 높은 것으로 판단됨

□ 사업 미추진 시 문제점

- (계획에 따른 완공 불가) 현재 지하고속도로 및 GTX 구축 계획은 다수 되어있으나, 소음, 환경오염 등의 문제로 민원이 많아 공사 진행에 차질을 빚고 있는 실정으로, 이러한 문제가 해결되지 않으면 구축에 차질에 생길 위험 존재
- 동 사업은 수직구 안정성 확보기술과 저소음 저진동 고속굴착 시스템을 개발하는 것을 목표 중 하나로 두고 있으며, 이러한 기술들은 현재 민원을 줄여줄 수 있는 기술들로 이를 개발하지 않을 경우 공사 차질이 예상
 - 기존의 기술보다 수직구를 적게 설치하여 민원을 저감할 수 있으며, 수직구가 적어진 만큼 굴착면이 줄어든 부분에 대해서는 고속굴착 시스템으로 보완
- (지하고속도로 이용자들의 안전 확보 미비) 지하고속도로에서 사고가 발생 시 현재의 화재 대응체계로 대응하기에는 한계가 있으며, 지하공간에서 화재가 발생하는 만큼 화재 발생 이전에 선제적 대응이 필요
- 현재의 화재 대응체계는 친환경차의 화재 대응에는 다소 미비한 실정으로, 배터리의 열폭주로 온도가 급상승하며 소화가 난해한 친환경차 화재에 맞는 대응체계 구축이 필요
- 지하공간은 화재가 발생 시의 위험은 일반 도로보다 월등히 높고, 화재 발생 이전에 선제적으로 대응하여 화재 발생을 원천적으로 차단할 필요성이 높음

제3절. 경제적 타당성

1. 비용편익분석의 개념 및 항목

□ 비용편익 분석의 개념

- 경제성 분석은 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고 이를 이용해 비용편익분석(Cost-benefit Analysis)을 이용하여 사업의 타당성을 판단
- 비용편익분석에서 이용되는 기준으로는 순 현재가치(NPV, Net Present Value)/기대 순 현재가치(ENPV, Expected NPV), 편익-비용 비율(B/C ratio) 등 다양한 방법이 있는데 본 분석에서는 비용-편익 비율(B/C ratio)을 이용
- 편익-비용 비율은 편익의 현재가치의 합을 비용의 현재가치의 합으로 나눈 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$\frac{B}{C} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정 기간(일반적으로 현재연도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 현재가치화라고 함
- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 1 이상이면 경제성이 있다고 판단
- 편익/비용 비율은 특정 항목을 편익 또는 비용으로 처리하는가에 따라 값이 달라지는 단점이 있으나, 일반적인 투자심사 기준으로 사용

□ 비용편익분석 항목

- 경제적 타당성 분석의 기본 항목으로는 총 사업비, 총비용, 편익 등으로 구분할 수 있으며, 객관화된 데이터를 기반으로 추정되어야함
- 비용은 사업기간 내 발생하는 총 사업비에 사업완료 후 발생하는 유지·관리 비용, 장비재투자비 등을 모두 더한 후 장비 및 건물의 잔존가치를 제외하여 산정함
- 편익은 해당 세부기술개발과제로 인해 실질적으로 혜택을 받게 되는 수요(기업, 대국민 등)를 추정하여 편익을 추정함
- 분석된 비용과 편익을 현재가치화 시켜 B/C값을 분석하고 B/C값이 1 이상일 경우 사업성이 있는 것으로 판단

2. 본 사업의 비용편익분석

1) 사업의 비용 분석

- 본 사업의 연도별 투자계획을 토대로 총 사업비용 293.8억 원을 현재가치화 하여, 총 255.2억 원의 비용 투자가 발생할 것으로 추정함
- 동 사업은 2개 핵심기술에 대한 상세 사업비용은 총 293.8억 원이며, 사업 종료 후 별도의 운영비 등의 추가 비용 소요가 없는 것으로 가정하여 총 사업비를 기준으로 비용을 추정함
- 즉, 경제적 타당성 분석을 위한 본 사업의 총 비용은 순수 연구개발 비용만을 고려한 293.8억 원이며, 이를 2023년 현재가치로 환산하면 총 255.2억 원임
- ※ 사회적 할인율 및 기준년도를 적용하여 편익을 현재가치로 환산, 사회적 할인율은 ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.01.)’ 제 33조에 따라 기획재정부의 ‘예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.04)’ 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

<표 7-9> 사업의 비용 추정 결과

(단위: 백만 원)

구분	구성기술	'24	'25	'26	'27	'28	합계
총 비용	핵심기술1	1,617	2,891	3,999	4,927	2,457	15,891
	핵심기술2	1,510	2,371	3,330	4,058	2,217	13,486
	합계	3,127	5,262	7,329	8,985	4,674	29,377
총 비용의 현재가치 (NPV)	핵심기술1	1,547	2,647	3,504	4,132	1,972	13,802
	핵심기술2	1,445	2,171	2,918	3,403	1,779	11,716
	합계	2,992	4,819	6,422	7,534	3,751	25,518

2) 사업의 편익 분석

□ 동 사업의 편익 항목 도출

- 동 사업의 편익 항목은 구성기술 및 주요 산출물로 인해 직접적으로 발생하는 가치창출 편익으로서, “K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 매출 효과”로 설정
- 본 사업에서 도출되는 시스템 및 인프라 기술 개발업체 등 기술의 수혜자의 상용화를 지원하여 시장 거래를 통한 부가가치 창출이 가능하므로, 이를 본 사업의 편익으로 도출
 - ※ 가치창출 편익은 연구개발사업의 결과로 소비자의 후생을 향상시키거나 사업의 산출물이 시장을 통해 거래됨으로써 새롭게 부가가치를 창출하는 것을 사업의 목적으로 할 때 반영 할 수 있는 편익항목이며, 성과의 수혜 대상에 따라 소비자 중심 편익과 생산자 중심 편익으로 구분함
 - ※ 생산자 중심 편익은 연구개발사업의 효과가 생산자에게 영향을 미치는 경우에 반영되어야 하며, 생산자 중심 편익의 대표적인 추정 방법으로는 사업을 통해 새롭게 개발된 산출물이 상용화되어 시장에서 거래됨으로써 발생하는 부가가치의 증가분을 바탕으로 편익을 추정하는 시장수요접근법이 대표적임
- 다만, 본 사업의 궁극적 목표는 K-지하고속도로 인프라 기술개발을 통한 이용자 안전·편의 향상으로 본 사업에서 도출되는 다양한 기술 및 시스템을 지하고속도로 사업에 적용하는 상용화 지원이며, 동 기술 및 시스템은 인프라 설계·시공 뿐만 아니라 운영기술을 포함하기 때문에 편익의 범위에 운영 단계를 포함하여 산출함

<표 7-10> 핵심기술에 따른 편익 항목 도출 결과

핵심기술	편익 항목
(핵심기술1) 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 매출 효과
(핵심기술2) 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	

□ 동 사업의 편익 산식 설정을 위한 전제조건

- (편익 산출 방법의 개념) 본 사업의 직접적인 경제적 편익 추정을 위해 KISTEP이 발간한 예비 타당성조사 표준 지침 상에 제시된 R&D 사업의 편익 추정방법인 ‘시장수요접근법’의 개념에 따라 편익 산식을 설정하고, 편익 산출 시 불확실성 등을 반영하기 위해 사업기여율, R&D기여율, R&D 사업화성공률, 부가가치율 등을 적용하여 편익을 추정

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{편익} \\ \hline \end{array}
 =
 \begin{array}{|c|} \hline \text{미래} \\ \text{시장규모} \\ \hline \end{array}
 \times
 \begin{array}{|c|} \hline \text{사업기여율} \\ \hline \end{array}
 \times
 \begin{array}{|c|} \hline \text{R\&D기여율} \\ \hline \end{array}
 \times
 \begin{array}{|c|} \hline \text{사업화성공률} \\ \hline \end{array}
 \times
 \begin{array}{|c|} \hline \text{부가가치율} \\ \hline \end{array}$$

[그림 7-6] 시장수요접근법 개념의 편익 수식화

- (미래 시장규모) 해당 연구개발사업의 결과와 직접적으로 관련된 국내 산업/제품의 미래 총생산액(매출액)을 의미하나, 편익 추정을 위해 활용되는 미래 시장규모는 전체 시장이 아닌 기준선 분석 및 시장점유율의 적용을 통해 도출된 조사 대상사업과 직접적으로 관련된 시장규모만을 의미
- (사업기여율) 새롭게 창출되는 미래 시장이나 매출액의 증가분을 바탕으로 추정되는 연구개발사업의 편익 중 조사 대상 연구개발사업에 의해 창출되는 편익만을 계산하기 위해 적용하는 변수
- (R&D기여율) 연구개발 성과의 상업화를 통한 부가가치가 창출되었을 때, 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분을 나타내는 지표

- (사업화성공률) 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해 필요한 실증 및 상용화 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 고려하는 변수
- (부가가치율) 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 한 편익 추정을 위해 적용하는 변수
- (편익 산출을 위한 기타 변수) 사회적 할인율, 편익회임기간, 기준년도, 편익발생기간 등을 고려하여 최종 편익 산출
 - (사회적 할인율) 미래의 어느 시점 또는 여러 시점에 걸쳐 발생하는 편익을 현재가치로 환산하기 위해 적용하는 할인율
 - (편익회임기간) 연구개발사업에 대한 투자가 이루어진 후, 경제적인 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 의미
 - (기준년도) 편익 산출에 기준이 되는 연도
 - (편익발생기간) 해당 사업을 수행함으로써 편익이 발생할 것으로 기대할 수 있는 기간

□ 동 사업의 편익 정의 및 산식

- (편익 정의) 시장수요접근법에 기반하여 동 사업을 통해 발생할 수 있는 경제적 편익은 개발된 K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 상용화를 통한 판매 매출 예상규모로 정의
- (편익 산식 도출) 편익 추정 산식은 수혜자인 터널 설계·시공업체와 운영 설비·설치 업체들이 참여하여 확보되는 국내 부가가치창출을 고려하여 ‘K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템 매출 예상규모’를 편익으로 추정하고, ‘사업기여율, R&D기여율, R&D 사업화성공률, 부가가치율’을 적용하여 최종 편익 규모를 도출하도록 함

<표 7-11> 동 사업의 편익 정의 및 산식

편익 항목	편익 정의 및 산식	직접적 편익 여부	해당 핵심기술
K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 매출 효과	(정의) 본 사업에서 개발한 K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템을 상용화하여 내수용으로 판매될 경우 발생하는 매출 편익	○	1, 2
	(산식) K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 매출 예상규모(미래시장규모) x 사업기여율 x R&D기여율 x 사업화성공률 x 부가가치율		

- (K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 매출 예상규모) 2가지 가정에 따라 국내 지하고속도로 사업의 미래 국내수요를 예측하여 매출 예상규모를 산출하고, 이를 미래시장규모로 추정
 - (가정1: 유럽 국가의 NATM 공법 채택율) 도심지 내 지상구조물의 포화, 환경보호, 지가 상승 등으로 지하공간의 개발은 불가피하기 때문에 관련 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예측되며, 국내에서도 3개 노선이 지하화하고 있어 해당 시장을 주요 타겟시장으로 설정하고 유럽의 도심지 교통터널에 NATM 공법의 채택율 20%를 매출 예상규모로 설정
 - ※ 유럽의 경우 TBM 기술의 발달과 도심지 터널 공사의 주변 영향 최소화 등의 이유로 도심지 교통터널의 TBM 채택율은 80%로 이르고 있음(스마트 기술 접목한 TBM 터널, 공학저널, 2022.06.20.)
 - (가정2: 미국 및 일본의 NATM 공법 채택율) 가정1과 동일하게 국내 3개 지하화 노선을 타겟시장을 설정하고 미국, 일본, 중국 등의 NATM 공법의 채택율 50%를 매출 예상규모로 설정
 - ※ 미국, 일본, 중국 등은 유럽에 비해 기술력은 떨어지지만, 도심지 교통터널이 장대화, 대심도화되고 있어 해당 수요를 반영하여 TBM 공법 채택율은 50% 수준(스마트 기술 접목한 TBM 터널, 공학저널, 2022.06.20.)

- **(사업기여율)** 지하고속도로 인프라 기술 및 이용자 안전·편의 향상 기술개발을 위해 추진 중인 유일한 R&D 사업으로 편익 창출을 위한 상용화 추진에 필수적이나, 대심도 터널 및 도심 지하 교통 인프라 관련 타 국가R&D과제를 고려하여 본 사업의 기여율은 37.7%로 설정
 - 지하고속도로 및 대심도/대단면 지하터널 관련 국가연구개발사업 및 과제의 정부지원금 중 본 사업의 정부지원금이 차지하는 비중인 37.7%를 적용

<표 7-12> 본 사업의 기여율 산출 결과

사업/과제명		정부지원금(억원)	
유관 과제	고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발	258	583 (A)
	대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발	191	
	도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구	134	
본 사업	초장대 K-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술 개발	220 (B)	
본사업의 기여율		37.7% (B/A×100)	

- **(R&D기여율)** 연구개발성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도인지를 나타내는 지표로서, 동 사업에서는 '제4차 과학기술 기본계획'에서 제시한 40.2%를 적용
 - **(R&D사업화성공률)** 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화의 과정을 거치게 되는데, 이러한 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 R&D 사업화성공률 42.9%를 적용
 - 한국산업기술평가관리원 국정감사(2021) 자료를 바탕으로 최근 5년간('17~'21.9) R&D 사업화 성공률인 42.9%를 적용
 - **(부가가치율)** 편익은 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 추정되기 때문에 부가가치율을 적용해야하며, 한국은행에서 발간한 「2021년 산업연관표(2022년)」의 건설산업 부가가치율을 인용하여, 35.2%로 적용
- **(편익 산출 시 고려사항)** 편익회임기간, 편익발생기간, 기준년도를 설정하여 편익을 산출하고, 최종편익의 현재가치화 시 사회적 할인율을 적용
- **(회임기간 설정)** 응용 및 개발단계의 연구개발사업의 경우 평균적으로 회임기간을 3년으로 설정하나, 본 사업의 경우 국내 지하고속도로 사업에 적용하는 것을 주요 목적으로 하여 사업 완료 후 비교적 짧은 기간 내 실제 현장적용이 가능함을 고려하여 2년으로 설정
 - **(편익발생 기간 설정)** 본 사업을 통한 편익기간은 지하고속도로 인프라 기술 및 시스템은 회임기간을 걸쳐 현장적용되며, 향후 10년간 활용된 후 쇠퇴기에 접어들어 새로운 기술로 대체될 것으로 가정하여 설정
 - ※ 건설분야는 일반적으로 건설사업이 장기적이고 일회성이어서 다른 분야 기술에 비해 기술수명주기가 길다고 평가되며, 교량/터널 분야 기술은 평균적으로 수명주기가 8~10년정도로 측정
 - **(기준년도)** 사업 착수 예상년도('24)의 전년도인 2023년을 적용
 - **(사회적 할인율)** 총 편익의 현재가치화 시, '국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침('19.01.)' 제 33조에 따라 기획재정부의 '예비타당성조사 수행 총괄지침('19.04)' 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

<표 7-13> 동 사업의 편익산정 기준 및 지표

구분	기준	추정근거
사업기여율	37.7%	대심도 터널 및 도심 지하 인프라 관련 국가연구개발사업 및 과제의 정부연구비 중 본 사업이 차지하는 정부연구비 비중인 37.7%를 적용
R&D 기여율	40.2%	‘제4차 과학기술기본계획’에서 제시한 R&D 기여율을 40.2%로 적용
사업화 성공률	42.9%	최근 5년간(‘17~‘21.9) R&D 사업화 성공률인 42.9%를 적용
부가가치율	35.2%	「2021년 산업연관표(2022년)」의 건설산업 부가가치율을 인용하여, 35.2%로 적용
회임기간	2년	응용 및 개발단계의 연구개발사업의 회임기간은 평균적으로 3년이나, 지하고속도로사업 추진일정을 고려하여 조기 실용화될 수 있음을 고려하여 2년으로 적용
편익발생 기간	10년	사업종료 후 회임기간 이후 최초 편익이 발생하며, 기술수명주기를 고려하여 총 10년으로 설정
기준년도	2023년	사업 착수 예상년도(‘24)의 전년도로 설정
사회적 할인율	4.5%	편익의 현재가치화를 위해, ‘예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.04)’ 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

3) 사업의 비용편익 분석 결과

□ K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 매출 효과

- (매출 예상규모 추정) 2가지 가정에 따라 미래 K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 연도별 예상 매출 규모를 추정함
 - (가정 1) 국내 지하고속도로 사업의 총 사업비는 향후 9년간(‘25~‘33년) 약 10조원으로 예상되며, 유럽의 NATM 공법 채택율 20%를 적용하여 시장 규모를 추정(CAGR 6%)하였으며, 편익 기간동안(‘31~‘40년) 총 2조 6,017억의 매출이 예상됨
 - (가정 2) 국내 지하고속도로 사업의 총 사업비는 향후 9년간(‘25~‘33년) 약 10조원으로 예상되며, 미국/일본/중국의 NATM 공법 채택율 50%를 적용하여 시장 규모를 추정(CAGR 6%)하였으며, 편익기간동안(‘31~‘40년) 총 6조 5,042억의 매출이 예상됨

<표 7-14> K-지하고속도로 인프라 및 시스템 시장 규모

연도	K-지하고속도로 인프라 및 시스템의 매출 효과					
	(가정 1)			(가정 2)		
	국내 지하고속도로 사업비	유럽 NATM공법 채택율	예상 매출 (억 원)	국내 지하고속도로 사업비	미국/일본/중국 NATM공법 채택율	예상 매출 (억 원)
2031	9,869	20	1,974	9,869	50	4,935
2032	10,461	20	2,092	10,461	50	5,231
2033	11,088	20	2,218	11,088	50	5,544
2034	11,754	20	2,351	11,754	50	5,877
2035	12,459	20	2,492	12,459	50	6,230
2036	13,206	20	2,641	13,206	50	6,603
2037	13,999	20	2,800	13,999	50	7,000
2038	14,839	20	2,968	14,839	50	7,420
2039	15,729	20	3,146	15,729	50	7,865
2040	16,673	20	3,335	16,673	50	8,337
합 계	130,077	-	26,017	130,077	-	65,042

- (가정1: 편익 추정) K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 매출 예상규모 추정 값에 분석 지표인 부가가치율, R&D 기여율, 사업화 성공률, 부가가치율, 사업기여율을 적용하여 편익을 추정한 결과, 총 편익규모는 595.41억 원이고 이를 현재가치로 환산하면 338.96억 원으로 추정
<표 7-15> (가정1) 편익 분석결과

(단위 : 억 원)

연도	매출 예상규모	R&D 기여율 (%)	사업화성공률 (%)	부가가치율 (%)	사업기여율 (%)	편익	현재가치
2031	1,974	40.2	42.9	35.2	37.7	45.17	31.76
2032	2,092	40.2	42.9	35.2	37.7	47.88	32.22
2033	2,218	40.2	42.9	35.2	37.7	50.76	32.68
2034	2,351	40.2	42.9	35.2	37.7	53.80	33.15
2035	2,492	40.2	42.9	35.2	37.7	57.03	33.63
2036	2,641	40.2	42.9	35.2	37.7	60.45	34.11
2037	2,800	40.2	42.9	35.2	37.7	64.08	34.60
2038	2,968	40.2	42.9	35.2	37.7	67.92	35.10
2039	3,146	40.2	42.9	35.2	37.7	72.00	35.60
2040	3,335	40.2	42.9	35.2	37.7	76.32	36.11
합 계	22,635.7	-	-	-	-	595.41	338.96

- (가정2: 편익 추정) K-지하고속도로 인프라 기술 및 시스템의 매출 예상규모 추정 값에 분석 지표인 부가가치율, R&D 기여율, 사업화 성공률, 부가가치율, 사업기여율을 적용하여 편익을 추정한 결과, 총 편익규모는 1,488.51억 원이고 이를 현재가치로 환산하면 847.42억 원으로 추정
<표 7-16> (가정2) 편익 분석결과

(단위 : 억 원)

연도	매출 예상규모	R&D 기여율 (%)	사업화성공률 (%)	부가가치율 (%)	사업기여율 (%)	편익	현재가치
2031	4,935	40.2	42.9	35.2	42.9	112.93	79.41
2032	5,231	40.2	42.9	35.2	42.9	119.71	80.55
2033	5,544	40.2	42.9	35.2	42.9	126.89	81.71
2034	5,877	40.2	42.9	35.2	42.9	134.50	82.88
2035	6,230	40.2	42.9	35.2	42.9	142.57	84.07
2036	6,603	40.2	42.9	35.2	42.9	151.13	85.28
2037	7,000	40.2	42.9	35.2	42.9	160.19	86.50
2038	7,420	40.2	42.9	35.2	42.9	169.81	87.74
2039	7,865	40.2	42.9	35.2	42.9	179.99	89.00
2040	8,337	40.2	42.9	35.2	42.9	190.79	90.28
합 계	65,042	-	-	-	-	1,488.51	847.42

4) 경제성(B/C) 분석 결과

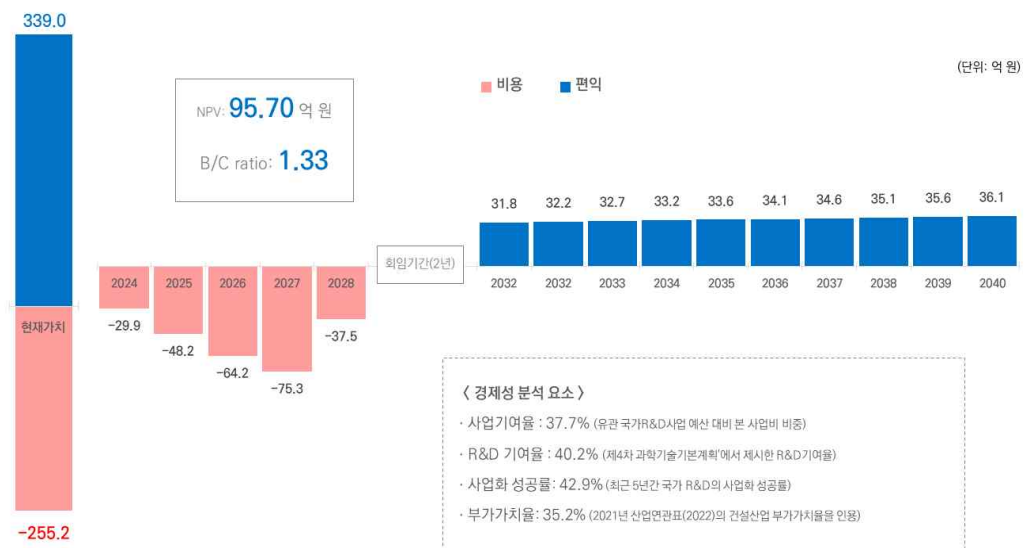
○ 동 사업의 비용 투입 대비 K-지하고속도로 인프라 및 시스템 매출 효과(편익)에 대한 분석을 수행한 결과, B/C Ratio 1.33~3.32로 경제적 타당성을 확보

- 총 사업비를 기준으로 수행한 비용분석 결과 총 293.8.0억 원의 비용이 투입되며, 이를 현재가치화하면 255.2억 원으로 산정

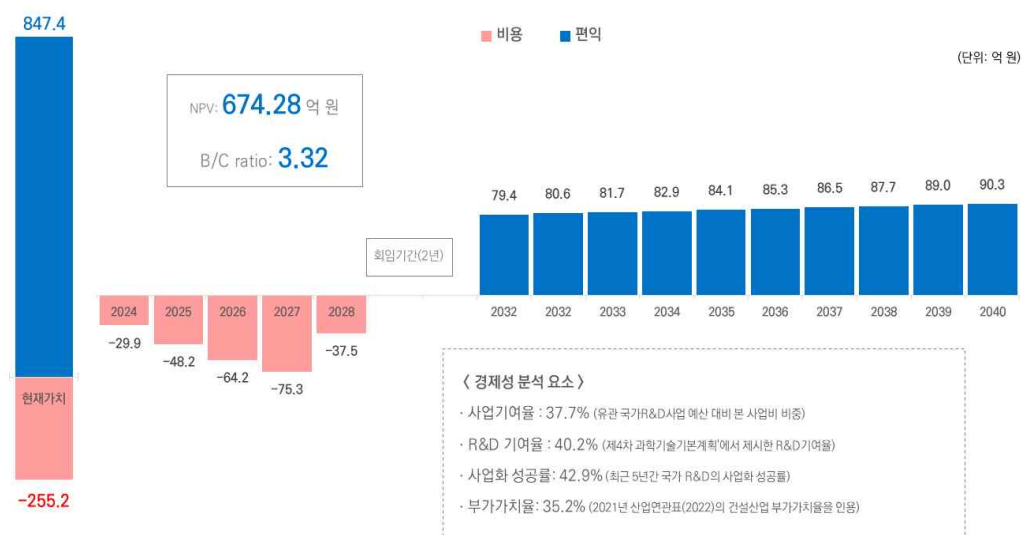
- 편익항목에 대한 총 편익은 677.53/1,693.83억 원이며, 이를 현재가치로 환산하면 385.72/964.30억 원

<표 7-17> 본 사업의 비용편익 분석(B/C Ratio) 결과

구분	(가정1) 산출 결과	(가정2) 산출 결과
비용(NPV)	255.2억 원	255.2억 원
편익(NPV)	338.96억 원	847.42억 원
B/C Ratio	1.33	3.32



[그림 7-7] (가정 1)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과



[그림 7-8] (가정 2)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과

제4절. 기대효과

□ 정책적 기대효과

- 제5차 국토종합계획('20~'40), 제2차 국가도로망종합계획('21~'30), 제2차 고속도로 건설계획('21~'25), 현 정부 국정과제(빠르고 편리한 교통 혁신) 등 고속도로 지하화를 위한 정부 정책 기조 부응

□ 과학기술적 기대효과

- 미래 모빌리티변화(친환경차 이용비율 증가 등)를 고려한 환기 방재 기술의 고도화와 수직구 다용도 활용 기술 개발을 통해 글로벌 선도 초광역간 연결 K-지하고속도로 구축 가능
- 지하고속도로 운전자 대상 정밀측위 정보 제공으로 안전한 주행 환경 구축 및 편의성 증대
- 침수, 화재, 폭발 등 재난상황으로부터 2차사고 예방 및 안전한 지하고속도로 구축

□ 경제적 기대효과

- 지하고속도로 공사기간 단축을 위한 급속 굴착 기술 개발을 통해 기존 공법 대비 굴착공기 30% 이상 단축 및 굴착공사비 30% 절감* 기여
* 굴착공기 단축을 고려하여 굴착공사비 단가분석을 통해 공사비 추정
- 도시지역 내(또는 주변) 토지 보상비 등 증가, 지상 가용 공간 제한적인 상황에서 환기소(수직구) 설치 수 감소를 통해 사업비 절감 기대

□ 사회적 기대효과

- 도심 내 수직구 설치 최소화, 다중·고효율 유해물질 처리 기술 확보를 통해 환경영향 최소화 및 민원 저감 기여
- 친환경 차량 대응 화재안전 확보 및 선제적 대응 기술 기반 대형 재난 예방 체계 구축을 통해 인명 피해 및 경제적 피해 최소화
- 장시간, 장거리 지하고속도로 운전자의 폐쇄감 및 피로감 최소화 기술 적용을 통해 교통안전 증대 기여
- 기존 고속도로의 지하화를 통해 교통혼잡, 국토공간 부족 등 도시문제를 해결하고 환경개선 및 국토의 효율적 운영 기대

[부록 1] 제안요청서(RFP)

1. 통합 제안 요청서

연구과제명	초장대 K-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 도심지 등의 극심한 교통 지·정체 문제 해결 및 상부공간 활용을 위한 K-지하고속도로* 인프라 안전 및 효율 향상 기술 개발 * 국내 지하 환경에서 이용자 안전과 편의성을 증진하고 모빌리티 변화에 대응할 수 있는 초광역간 연결, 초대단면(분합류부 편도 4~5차로 규모) 지하고속도로 - 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응 기술 개발 * (목표) 차량 화재위험 선제 관리 시스템(위험차량 사전검지 정확도 95% 이상) 구축 및 200년 빈도 강우 발생 침수에도 인프라 사용성 유지 및 이용자 완전대피 시간 20분 확보 기술 개발 - 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발 * (목표) 수직도를 확보한(수직편차 5mm/m 이하 제어) 대단면 다목적 수직구(환기소) 최소 설치(기존 설치 간격 대비 2배) 및 정밀측위정보(100km/h 주행 시 1m 오차 이내) 제공 기술 개발 ○ 목표 기술성숙도(TRL) - TRL 유형 : 공법/시스템 - TRL 단계 : 7~8단계(시제품/완제품의 실제현장 사용가능성 증명)
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ (고속도로 지하화 사업 출현) 최근 고속도로 지하화사업 추진에 따라 단일노선 연장 20km 이상, 두 개 노선 연계 50km 이상의 초광역간 연결 초장대, 초대단면, 대심도 지하고속도로 출현 대비 필요 - 「제2차 고속도로 건설계획(2021~2025)('22.02.)」중점사업 3개노선(인천~서울, 화성~서울, 구리~성남) 모두 단일노선 연장 20km 내외 - '고양~양재 대심도 고속도로' 민간투자사업의 민간적격성조사 통과('23.02.)로 '화성-서울' 재정사업과 직결노선(연장 약 60km) 추진 가능 ○ (국민 안전 및 편의 확보 필요) 초장대·대심도 특성을 가진 지하고속도로에서 이용자 안전 확보 및 편의성 증대를 위한 방재 및 부대시설 설치 기술 필요 - 지하고속도로 등 폐쇄된 공간에서의 사고는 막대한 인명 및 재산피해를 야기하므로 사고 예방 및 대응 기술 확보 필요 - 초광역간 연결 초장대 지하고속도로 이용자 편의성 증진 및 주행 안전성 확보에 필요한 인프라 기술 부족 - 지하고속도로 내 친환경차 이용 비율 증가가 예상되나 이를 고려한 시설 설계·시공기술 미비 ○ (수직구 활용성 및 경제성 제고 필요) 지하고속도로 수직구는 환기, 배연, 비상탈출 경로 등 위한 필수 구조물이나 지상 가용부지 부족, 침하 문제

및 환경피해 등 발생 우려에 따른 사회적 갈등 유발 요인으로 작용

- 도시지역 수직구 건설은 사회적 갈등 유발, 공기 지연 등 불필요한 사회적 비용 지출 유발 우려가 높아 설치 필요성 및 타당성 제고 필요
 - 민원에 따라 수직구 설치 간격이 길어지게 되면 환기부 하부·집수정의 규모가 매우 커져야 하며, 막대한 사업비 증가로 연결
 - 초광역간 연결 초장대 지하고속도로에 요구되는 휴게시설*, 주변 거주민 편익 증진을 위한 환승 및 물류거점 등 수직구 활용성 다변화 필요
- ※ 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(국토부) : 휴게시설 상호 간 15-25km 이내 설치 바람직, 도로설계요령(한국도로공사) : 모든 휴게시설 상호 간 일반 구간은 15-20km 간격

- (초장대, 대단면 관련 기술 부족) 지하고속도로는 유출입부 및 휴게시설 설치에 따른 광폭·대단면의 변단면 터널 건설이 필요하나 관련 경험 미비
- 지하고속도로는 유출입부는 본선 4.5~5차로 규모(굴착면적 200m² 이상)의 변단면 터널 설계·시공 기술력이 요구되나, 대심도 분기터널 설계·시공은 신월여의지하도로(편도 2차로+연결로 1차로)가 유일

□ 기술 및 정책 동향 ○ 지하고속도로 화재안전, 침수 등 이용자 안전 확보 기술

- 내연기관 차량 화재 대응 기술은 최고 수준의 국내 기술력을 확보한 것으로 평가 가능하나 친환경차량 화재 대응 정량도 위험도 평가기법(QRA) 및 방재설비 기술 부재
- 지하도로 설계지침에서는 100년 빈도 강우강도를 적용하여 진출입구간 배수 및 수방시설을 설계하고 있으나 최근 인천, 동작구 등 100년 빈도를 넘어선 극한호우 발생이 증가하여 이에 대응한 기술 부재
- 현재 도로터널 및 지하도로 방재기술은 사후대응체계 수준이며, 화재 및 침수 사고를 미연에 방지할 수 있는 선제적 방재기술 미비
- 내부 구조물(덕트 슬래브) 없는 마제형 터널(일반 도로터널) 대상 구조물 방폭 안전성에 대한 기초연구 수준 수행
- 반면, 지하고속도로는 내부 구조물(덕트 슬래브) 필요 환기/제연 방식 적용 대부분이지만 내부 구조물 방폭 안전성 확보 위한 기술 및 연구 미비

○ 지하고속도로 환경 영향 최소화 기술

- 도로터널, 지하도로 등 환기소 설치 최대 간격은 現 기술수준에서 2.5~3.0km, 소형차 전용 도로의 경우에도 5km 이내
- 유해물질 처리기술은 일부 도로터널 및 지하도로에 적용 중이나 처리 효율, 질소산화물 처리 제약 등 측면에서 기술적 한계 존재

○ 지하고속도로 이용자 편의성 증진 기술

- 초장대터널 장시간 주행조건 고려한 주의력 환기 방안으로 졸음 방지 선형 설계, 주의 환기 국부 조명 등 단편적인 기술 적용에 국한
- 다합류, 다분류 초장대 지하고속도로 이용자를 위한 GNSS 기반 정밀 위치정보 제공이 요구되나 지상공간 수준의 서비스 제공 불가

- 폐쇄적인 지하터널 공간에서 장거리 주행으로 나타날 수 있는 운전자 주행행태 및 심리적 요인 변화에 기반한 교통특성 도출 필요

○ 국내 정책 동향(제2차 고속도로 건설계획 상 중점사업 3개 노선)

- 경인고속도로 지하화(인천~서울)
 - ※ 노선 : 남청라IC - 서인천IC - 신월IC
 - ※ 연장 및 사업비: 19.3 km(4-6차로), 약 2.86조원(추정)
- 경부고속도로 입체화(화성~서울)
 - ※ 노선 : 기흥IC - 서울TG - 양재IC
 - ※ 연장 및 사업비: 26.1 km(4-6차로), 약 3.84조원(추정)
- 수도권제1순환고속도로 입체화(구리~성남)
 - ※ 노선 : 퇴계원IC - 판교JCT
 - ※ 연장 및 사업비: 35.1 km(4-6차로), 약 4조원(추정)

○ 국외 정책 동향

- 연장 30km 이상 도로터널은 전세계적으로 사례가 전무하고 연장 18km 이상 도로터널은 전세계 단 7개 사례
- 특히, 연장 18km 이상 K-지하고속도로 유사 사업(고속주행, 도심지 대심도, 지하분합류 등)은 단 3개 사례 불과
 - ※ 호주 Westconnex 프로젝트 : 총 연장 19.0km로 설계속도 90km, '23년 완공 목표, 일본 Yamate 터널 : 총 연장 18.2km로 운영속도 60km, '15년 완공, 스웨덴 E4 bypass 프로젝트 : 총 연장 18.0km, 설계속도 80-100km, '30년 완공 목표

3. 연구개발 내용

○ [핵심기술1] 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발

- 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증
 - 친환경차량(전기차량 및 수소차량)을 고려한 지하고속도로(터널) 내 정량적 위험도 평가(QRA) 기준 개발·수립 및 친환경차량 화재시 초기 소화·확산 방지 기술◇
 - 차량 등 폭발시 내부 구조물(덕트 슬래브 등) 안정성 검토 시뮬레이션 및 대응 기술
 - 지하고속도로 내 위험상황(화재, 침수, 사고 등)을 고려한 맞춤형 교통 처리 및 관리 기술◇
 - 재난 발생시 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통안전 시설물 고도화 기술◇
- 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증
 - 첨단 ICT 기술 기반의 화재 위험차량 통합 대응 시스템(사전 감지, 진입 제한, 터널내 추적 모니터링)◇
 - 차량(화재위험차량, 사고차량, 과적차량 등) 긴급 배출을 위한 대단면 다목적 수직구 설계·시공 및 안정성 모니터링 기술◇

- 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 침수시 안정적 전력 공급 설비(누전사고 및 전력차단 방지 등) 및 분산형 집·배수 기술◇

○ [핵심기술2] 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발

• 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증

- 수직구 간격 증대를 위한 환기 기준 재정비·설비 고도화 및 수직구 개소 수(굴진면) 감소 영향을 고려한 공기지연 최소화 설계·시공기술◇
- 내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감, 관리 및 모니터링 기술◇

• 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증

- 안전하고 효율적인 교통 서비스 제공을 위한 실시간 정밀위치 정보제공 기술◇
- 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 지하고속도로 내부 공간(벽면 디자인, 조명, 적정 시설한계* 등) 최적화 설계 기술◇

* 자동차나 보행자 등의 교통안전을 확보하기 위하여 일정한 폭과 높이 안쪽에는 시설물을 설치하지 못하게 하는 도로 위 공간 확보의 한계

- 지하고속도로 최적화 부대시설(휴게시설, 충전인프라* 등) 설계 및 공간 구축을 위한 초대단면(굴착면적 200m² 이상) 터널 안정성 증대 기술

* 지하공간 환경을 고려한 감전 및 화재사고 방지 충전인프라 기술 포함◇

- 지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술

※ '◇' 표시 기술은 최종성과물의 실제현장 또는 유사환경 대상 실증계획 수립 및 실증 필요

4. 연구개발 추진방법

- 상세한 연구내용은 기획보고서 참고

□ 추진전략

○ 핵심 연구개발성과의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 기술로드맵(TRL 반영)을 제시
- 단계별 및 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법을 명시할 것

- 연구개발계획서 內 연구 목표를 정량적으로 제시

※ (예시) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)는 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 연구개발 성과물의 실용화 및 사업화를 위한 법·제도적 위험요인(예, 최소/최대 기준치와 상충)을 사전에 검토하여야 하며, 법·제도적 위험요인이 존재하거나 발생이 예상되는 성과에 대해서는 관련 법·제도 제·개정(안) 마련과 함께 관련 부처와 협의 필요

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구

개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력 방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 본 과제 연구개발 성과물을 적용할 수 있는 수요처를 먼저 파악하여, 지속적으로 협업하는 체계를 구축하고, 수요처의 요구사항을 반영한 설계 및 시험평가 추진
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행(대심도 터널, 도심 지하 교통 인프라 관련 유관 사업/과제 추진 기관 등)
- 관련 업계 전문가로 구성된 세미나, 포럼 등을 추진하여 대외 의견 수렴

○ 연구개발계획서에 연구개발성과물을 구체적으로 제시

- 연구개발내용 및 성과물은 단계별/연차별로 구분하여 제시
- 수요자 중심으로 연구개발성과물 활용방안 제시
- 개발된 기술 및 성과물의 목표 수준 달성도를 확인할 수 있는 객관적 방안 제시
- 연구개발성과의 보급으로 예상되는 과학기술적·사회경제적 파급효과 및 산출근거 제시

※ 제시한 성과지표가 부족하다고 판단될 경우, 협약시 조정(추가) 될 수 있음

- 성과물의 적용성 및 지속성(유지관리, 업그레이드 등) 확보를 위한 방안 제시

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행, 내부 자체 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

○ 연구개발계획서에 구체적인 연차별 실증 계획 반영 필요

※ ‘3. 연구개발내용’ 상 ‘◇’ 표시 기술은 최종성과물의 실제현장 또는 유사환경 대상 실증계획이 반드시 반영되어야 함

○ 연구개발과제별 기술로드맵 등을 고려하여 본사업 내 국토부 타 연구 개발과제, 타 부처(산업통상자원부, 행정안전부 등) 연구개발과제와의 연계·협력방안, 계획 등을 상세히 제시

○ 연구추진 시 도로 관련 정부 정책을 모니터링하고 이에 부합하여 지속 발전하기 위한 방안 제시 필요

○ 참여주체 간 협업 및 관리체계, 지속적인 발전방향을 고려하여 거버넌스 개발 방안 제시

○ 산업통상자원부, 행정안전부 등 관련 부처와 협업체계를 구성하여 법·제도 개선, 산업 활성화, 시스템 연계 등 연구성과 확대방안 제시 필요

□ 추진체계

- 본 연구개발과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행

- 주관연구개발기관은 개발 기술간 연계·활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성하고 연구개발과제의 총괄 역할을 수행
- 연구책임자는 역할 분담의 필요성 및 명확성 등을 고려하여 공동연구개발 기관과의 협의를 통해 구체적인 연구개발계획을 수립하고, 전체 연구개발 과제를 책임지고 진행·관리
- 컨소시엄 구성 시 과다한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
 - ※ 연구개발기관 구성 시 합리적으로 구성하여야 하며, 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음
- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영
- 연구자의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요
- 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화

5. 최종 연구개발 성과물

- [핵심기술1] 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발
 - 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증
 - 친환경차량 화재조건 고려된 정량적 위험도 평가(QRA) 기준 및 친환경 차량 화재 초기 소화·확산 방지 설비 시제품
 - 차량 폭발시 내부 구조물 방폭성능 설계기준(안)
 - 위험상황 고려 맞춤형 교통처리 모니터링 시스템(S/W, 교통처리 운영·성능 평가 기준(안))
 - 인지효율 향상 지하고속도로 교통차단시설(내·외부) 시제품 및 적용 설계기준·지침(안)
 - 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증
 - 위험차량 사전 감지, 진입제한, 추적 모니터링 시스템(장비, S/W, 운영 시스템)
 - 대단면 다목적 수직구 설계·시공 공법 및 안정성 모니터링 시스템(S/W, H/W)

	- 침수시 안정적 전력 공급/관리 시스템(S/W, H/W) 및 200년 빈도 강우 대응 분산형 집·배수를 위한 집수/저류공간 조성/배수시설 설계(안) ○ [핵심기술2] 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발 ◦ 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증 - 수직구 간격 증대를 위한 지하고속도로 소요환기량 기준(안)/환기설비·시스템 시제품 및 공기지연 최소화 공법 - 유해물질 저감설비(다종 유해물질 제거효율 70% 이상 확보), 내-외부 연계 유해물질 관리·모니터링 시스템 및 관리기준(안) ◦ 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증 - 정밀(지하고속도로 내부 위치오차 1m 이내) 실내 GNSS 위성측위 시스템(S/W, H/W) 및 시스템 설치·성능평가 기준(안) - 최적 공간디자인 표준(안) 및 설계기준(안), 충전인프라 기능/성능 기술기준을 포함한 지하고속도로 충전인프라 최적설계(안) 및 시제품(H/W) - 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로안내 및 교통안전시설의 표준 모델(안) 및 설계·설치 가이드라인
6. 활용방안 및 기대효과 □ 활용방안 □ 기대효과	○ R&D를 통해 개발한 기술은 기술별로 경인 지하고속도로, 경부 지하고속도로 등 지하고속도로 사업 설계 및 시공시 반영 및 실증 - 설계 및 시공 관련 인프라 기술은 지하고속도로 사업의 설계년도인 '27년에 조기 기술개발하여 설계에 반영하고 향후 실증을 통한 현장 적용으로 기술 검증 - 설비 및 운영 기술은 4~5년차에 공용중인 유사사업(방아다리터널, 신월여의지하도로, 부산 만덕-센텀 지하도로 등) 실증을 통한 기술 검증 ○ 제5차 국토종합계획('20~'40), 제2차 국가도로망종합계획('21~'30), 제2차 고속도로 건설계획('21~'25), 현 정부 국정과제(빠르고 편리한 교통 혁신) 등 고속도로 지하화를 위한 정부 정책기조 부응 ○ 미래 모빌리티 변화를 고려한 환기 방재 기술, 지하고속도로 운전자 대상 정밀측위 정보 제공 기술, 극한호우 대응 기술, 폭발 등 2차 사고 예방 등의 기술로 안전한 지하고속도로 구축에 기여 ○ 도심 내 수직구 설치 최소화, 다종 유해물질 처리기술, 지하고속도로 운전자 폐쇄감·피로감 최소화 기술 등으로 이용자 친화적 인프라 구축에 기여
7. 연구개발 기간 및 연구개발비	

○ 총 연구개발기간 : 2024.04.~2028.12. (4년 9개월)

[1단계]

- 1차년도 연구개발기간 : 2024.04.~2024.12. (9개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2025.01.~2025.12. (12개월)

[2단계]

- 3차년도 연구개발기간 : 2026.01.~2026.12. (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2027.01.~2027.12. (12개월)

[3단계]

- 5차년도 연구개발기간 : 2028.01.~2028.12. (12개월)

○ 총 정부지원연구개발비 : 22,000백만원 이내

- 1차년도 정부지원연구개발비 : 2,340백만원 이내

※ 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 연구개발과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP) 및 기획보고서에 제시된 연구개발내용을 참고하여 작성하되, 연구개발목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 연구개발내용을 가감할 수 있으며, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기존 연구와 중복/연계성, 특허 및 논문 정보 등은 ‘국가과학기술지식정보서비스(NTIS)’, ‘국토교통 R&D 포털(www.kaia.re.kr)’, ‘한국특허정보원(www.kipris.or.kr)’을 이용하여 객관적 분석을 실시하여야 함

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 연구개발과제의 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구개발계획에 포함

- 제안된 연구개발내용이 타 유사과제와 연구개발방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구개발 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 핵심연구개발성과별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 구성기술 간 연구개발내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
- ※ (예시) 개발기술 상호간, 연구개발성과물 상호간, 개발기술-연구개발성과물간 연계성
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종 연구개발성과물을 구체화하여 제시
- 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 연구개발 일정계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
- 개발된 기술 및 성과물의 목표 수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
- ※ 연구개발과제 선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
- 연구를 통해 도출되는 최종성과(핵심성과물)를 유형별(사양, 장비/장치, 소프트웨어, 시스템, 정책제도 등)로 나열하고, 세부 설명 제시
- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가 또는 협약시 조정(추가) 가능
- 아래 표를 참고하여 본 연구개발과제와 관련되는 성과지표를 반영하고 그 외 과제특성을 고려한 고유 성과지표도 제안할 수 있음
- ※ 첨부된 기획보고서 內 전략계획서(안)를 참고하여 성과지표 설정 가능
- 성과지표별 목표는 도전적으로 설정해야 하며 목표치 설정근거 제시
- ※ “성과지표 설정의 적정성 및 목표 도전성”은 선정평가 평가항목이며 미흡할 경우 협약시 조정

우선 순위	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목
1 (핵심지표)	특허등급 (지수)	· 특허등급지수 BBB이상 특허등록(건) * 한국발명진흥회 SMART 평가 'BBB' 등급 이상	· 지식재산권 (특허)
2 (핵심지표)	정책활용도 (지수)	· 법제도 제개정(건) · 정책채택(건) · 설계기준·시방서 제·개정(건)	· 법령반영 · 정책활용 · 설계기준 (설 계 기 준 , 표준시방서 등)
3	기술사업화 효과(금액)	· 사업화/제품화(건) * 연구개발성과를 실제 계약한 실적	· 사업화현황 · 매출실적
4	기술실시계약건	· 기술실시(이전)(건)	· 기술실시(이전)
5 (핵심지표)	연구개발성과 현장검증(건)	· 현장시험 및 검증(건) * 연구개발성과 검증을 위해 현장에 시범적용, 시험공 등을 한 성과	-
6	인증(건)	· 기술및제품인증(건) * 형식승인, SIL, ISO, NET 등 인증서	· 신기술지정 · 기술 및 제품 인증
		· 표준화(국내·국제)(건) * KS, KRS, IEC, IRIS 등	· 표준화 (국내 표준) · 표준화 (국제 표준)
7	참여기업의 청년인력 신규 채용(명)	· 청년인력 채용 인원(명) * 채용시점 기준으로 만 15세이상 34세 이하(군 복	· 고용창출

우선 순위	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목
		무기간 고려 최고 만 39세까지), 참여율 100%, 최소 1년 이상 고용 유지 * 목표산출근거 : 총 연구기간의 정부출연금 총액을 기준으로 5억원당 1명 이상의 비율로 청년인력 신규로 채용	
8 (핵심지표)	학술지게재 논문(지수)	· SCI(E) 학술지 게재(건)	· 논문

- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정
기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를
거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등을
구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구개발 추진과정에서 관련기술 환경변화 등에 따라 연구개발내용
(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음
- 연구성과의 현장검증(시험시공), 실용화 및 사업화 추진계획 필히 제시
 - 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과
및 산출근거 제시
 - 현장 실증시험 등을 통한 연구성과의 실용성 검증 및 사업화 추진계획을
필히 제시

사업명: 국토의 입체적 활용을 위한 K-지하고속도로 인프라 기술개발 기획

작성자	작성 부서	도로국 도로정책과	작성 실무자 및 연락처	이종현 서기관/044-201-3904/ ljhjong@korea.kr
	작성 책임자	도로정책과장		국토교통과학기술진흥원 권혁 연구원/ 031-389-6557/hhkwon@kaia.re.kr

1. 사업개요

① 사업명

사업명	단위사업	교통물류연구사업
	세부사업	국토교통연구기획사업
	내역사업	

② 사업목적

사업목적	초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술 개발

③ 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	○ 국토교통과학기술 육성법 제8조(연구개발사업의 추진) ○ 지하안전관리에 대한 특별법 제3조(국가 등의 책무) ○ 국토기본법 제10조(국토종합계획의 내용)
	상위계획	○ 제5차 국토종합계획('20~'40) - '인프라의 효율적 운영과 국토 지능화(전략별 추진계획)' 중 '네트워크형 교통망의 효율화와 대도시권의 혼잡 해소'에 대심도 지하도로 추진 반영 ○ (제2차 국가도로망종합계획('21~'30)) 및 (도로 기술개발 전략안(R&D 로드맵, ('21~'30)) - 도로관련 R&D 핵심기술(분야) ② 편리한도로에 반영 ○ (제2차 고속도로 건설계획('21~'25)) - 중점사업 3개 노선, 일반사업 1개 노선 지하고속도로 건설계획 수립 ○ (現 정부 120대 국정과제) - '[39] 빠르고 편리한 교통 혁신', (수도권 30분 출퇴근 시대) 경부·경인 등 주요 고속도로 지하에 대심도 고속도로를 건설하여 상습정체 해소 ○ (광역교통비전 2030('19.10)) - 대중교통을 활용하는 대심도 지하도로 추진, 대심도 공간의 급행 광역 교통망 추진 ○ (국토부 2023 주요업무 추진계획('23.01)) - 지하고속도로 사업에 대해 '現정부 임기 내 경인 착공('27.上), 경부 설계완료('27.上), 수도권1순환선 설계 착수' 등 계획 제시

④ 사업 현황

사업구분	계속사업 ☐ 기한사업 ☒ ④		
사업추진방식	상향식 ☐ 혼합식 ☐ 하향식 ☒ ⑤		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	-	참여부처 (다부처사업)	-
사업기간	'24. 4 ~ '28. 12 (57개월)	총사업비	294억 원(민간매칭 예상 포함)
사업규모	연구단	지원대상	대학, 기업, 연구기관 등
지원형태	출연	지원조건	출연(과제별 기업참여 시 Matching)
사업시행주체	국토교통부(국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	-		

⑤ 사업추진체계 및 전략

사업수행주체	수행주체	역할 세부내용
	국토교통부	○ 사업정책 총괄, 연도별 시행계획 수립 및 성과평가
	국토교통과학기술진흥원	○ 연구개발 과제사업 기획·관리·평가 등
	자문위원회	○ 기술수요조사 및 기업, 연구소 대학 등 전문가 자문
	연구과제 평가단	○ 연구과제 선정·중간·최종평가
사업추진전략	주관연구기관	○ 연구과제 수행, 성과 및 활용실적 보고
	추진전략	
	□ (핵심 이슈/문제 도출) 지하고속도로와 관련된 대내외 환경 분석(정책/산업/시장/기술) 및 이해관계자 의견수렴으로부터 주요 이슈/문제를 발굴 및 pooling하고 구조화	
	□ (대내외 환경 분석을 통한 이슈/문제 발굴) 국내외 지하고속도로 관련 추진 정책 및 법·제도 마련 현황, 지하고속도로 산업적 특성 및 시장 전망, 주요기업들의 기술개발 현황 및 계획을 조사 및 분석하여 주요 이슈 및 문제 발굴	
	□ (이해관계자 의견수렴을 통한 이슈/문제 발굴) 관련 기업 전문가 인터뷰를 수행하여, 지하고속도로 인프라 및 이용자 안전·편의 관련 기술의 문제점 및 애로사항, 기술개발 시 고려해야할 점 및 기술개발 수요 등을 파악	
	비전 글로벌 선도 K-메가(MEGA) 지하고속도로 인프라 핵심기술 확보로 인간친화적 입체공간 활용 기반 조성	
	추진 목표 초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술 개발	
	추진 전략	
	미래 환경변화에 대응한 화재·침수·교통 안전 확보 공간디자인, 휴게시설 등 이용자 친화적 인프라 구축 주변 영향 최소화 및 지하고속도로 대응 교통·운영 효율 향상	
	전략 과제	
	미래 환경변화에 대응한 화재·침수·교통 안전 확보 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증 공간디자인, 휴게시설 등 이용자 친화적 인프라 구축 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증	
	R&D 전주기 사업관리 계획	
	○ (추진절차) 과제 발굴·기획 → 과제 선정 → 과제 관리 → 과제종료 → 성과활용·확산	
	① (과제 발굴 및 기획) 기술수요조사*를 통해 연구과제를 발굴하고, 필요시 사전 단계로 기획연구 수행(총 연구비 50억원 이상 경우 등)	
	* On-line을 통한 상시 수요조사 및 Off-line을 통한 반기별(매년 1월, 7월) 수요조사 병행 추진	
	※ 국가R&D사업 일몰제 도입에 따른 예타성 대형사업 기획연구 추진 중(KAIA 기획그룹)	
	② (신규과제 선정) 사업담당관(실·국)이 우선순위를 매겨 미래전략일자리담당관에게 제출하면, 별도 선정회의를 통해 예산 편성안에 반영	
	* 과기부(4~7월), 기재부(8월), 국회 예산심의(~12월)를 거쳐 신규 추진여부 확정	

	③ (과제 확정 및 관리) 예산에 반영된 신규과제는 진흥원을 통해 차년도에 연구자 선정을 거쳐 평가·성과 관리 등 과제 관리 진행 ※ 계속사업의 경우, 매년 차년도 투입 예산요구 및 결산, 성과평가 업무 추진 ④ (과제 종료) 최종 평가를 통해 과제의 성공·실패를 결정 ⑤ (성과활용·확산) 성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영, 추적평가, 공모전, 전시회 등 활동을 정기적으로 추진 - 성과 및 사업화정보 시스템 운영 : 국토교통기술촉진연구사업을 포함한 국토교통 R&D 사업의 성과관리를 위하여 국토교통 R&D 사업관리시스템(http://rnd.kaia.re.kr) 운영 - 추적평가 수행 : 성과의 활용 및 확산을 위하여 종료된 R&D 과제를 대상으로 과제 종료 후 5년간 발생성과에 대한 정기적 추적평가를 실시하여 성과의 사후관리를 수행 - 국토교통기술대전 개최 : 매년 국토교통 R&D 성과물에 대한 대국민 홍보와 기술교류 확산을 위해 국토교통 R&D 우수성과 전시 등을 추진 - 국토교통기술 아이디어 공모전 개최 : 국토교통 기술 분야에 대한 국민 관심 증대와 기술저변 확대를 위해 국토교통기술 아이디어를 발굴 - 국토교통 R&D 대표성과 사례집 발간 : 매년 대국민을 대상으로 국토교통 R&D 성과물에 대한 홍보추진을 위해 대표성과 사례집 발간						
위험요인 및 극복방안	<table border="1"> <thead> <tr> <th>위험요인</th><th>극복방안</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○ 현행 '도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2021)'에서는 도로터널 대상 환기소(수직구) 3km 간격 적용 권고, '지하도로 설계지침'에서는 지하고속도로 환기소(수직구)의 최대 설치간격을 최대 5km 이내로 규정</td><td>○ 본 사업에서 기술개발을 통해 적용하고자 하는 환기소(수직구) 최대 간격은 현행 기준을 상회하는 값을 목표로하기 때문에 수치해석, 모형실험 등을 통해 개발기술을 검증하고 관련 기준 개정 추진</td></tr> <tr> <td>○ 자동차 수직 입체이동을 위한 시스템은 자동차용 엘리베이터와 기계식 주차장치로 구분되며, 주차장 법에 따른 기계식 주차장치의 경우 승객탑승 불가</td><td>○ 본 사업의 지하-지상 연계 입체이동 시스템은 승강기시설 안전관리법에 따른 자동차용 엘리베이터 요구조건에 부합하도록 설계 기준 정립</td></tr> </tbody> </table>	위험요인	극복방안	○ 현행 '도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2021)'에서는 도로터널 대상 환기소(수직구) 3km 간격 적용 권고, '지하도로 설계지침'에서는 지하고속도로 환기소(수직구)의 최대 설치간격을 최대 5km 이내로 규정	○ 본 사업에서 기술개발을 통해 적용하고자 하는 환기소(수직구) 최대 간격은 현행 기준을 상회하는 값을 목표로하기 때문에 수치해석, 모형실험 등을 통해 개발기술을 검증하고 관련 기준 개정 추진	○ 자동차 수직 입체이동을 위한 시스템은 자동차용 엘리베이터와 기계식 주차장치로 구분되며, 주차장 법에 따른 기계식 주차장치의 경우 승객탑승 불가	○ 본 사업의 지하-지상 연계 입체이동 시스템은 승강기시설 안전관리법에 따른 자동차용 엘리베이터 요구조건에 부합하도록 설계 기준 정립
위험요인	극복방안						
○ 현행 '도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(국토교통부, 2021)'에서는 도로터널 대상 환기소(수직구) 3km 간격 적용 권고, '지하도로 설계지침'에서는 지하고속도로 환기소(수직구)의 최대 설치간격을 최대 5km 이내로 규정	○ 본 사업에서 기술개발을 통해 적용하고자 하는 환기소(수직구) 최대 간격은 현행 기준을 상회하는 값을 목표로하기 때문에 수치해석, 모형실험 등을 통해 개발기술을 검증하고 관련 기준 개정 추진						
○ 자동차 수직 입체이동을 위한 시스템은 자동차용 엘리베이터와 기계식 주차장치로 구분되며, 주차장 법에 따른 기계식 주차장치의 경우 승객탑승 불가	○ 본 사업의 지하-지상 연계 입체이동 시스템은 승강기시설 안전관리법에 따른 자동차용 엘리베이터 요구조건에 부합하도록 설계 기준 정립						
수혜자	-						

⑥ 사업기대효과

과학기술적 기대효과	☐ 미래 모빌리티변화(친환경차 이용비율 증가 등)를 고려한 환기 방재 기술의 고도화와 수직구 다용도 활용 기술 개발을 통해 글로벌 선도 초광역간 연결 K-지하고속도로 구축 가능 ☐ 지하고속도로 운전자 대상 정밀측위 정보 제공으로 안전한 주행 환경 구축 및 편의성 증대 ☐ 침수, 화재, 폭발 등 재난상황으로부터 2차사고 예방 및 안전한 지하고속도로 구축
사회경제적 기대효과	☐ 지하고속도로 공사기간 단축을 위한 급속 굴착 기술 개발을 통해 기존 공법 대비 굴착공기 30% 이상 단축 및 굴착공사비 30% 절감 기여 ☐ 도시지역 내(또는 주변) 토지 보상비 등 증가, 지상 가용 공간 제한적인 상황에서 환기소(수직구) 설치 수 감소를 통해 사업비 절감 기대 ☐ 도심 내 수직구 설치 최소화, 다중·고효율 유해물질 처리 기술 확보를 통해 환경영향 최소화 및 민원 저감 기여 ☐ 친환경 차량 대응 화재안전 확보 및 선제적 대응 기술 기반 대형 재난 예방 체계 구축을 통해 인명 피해 및 경제적 피해 최소화 ☐ 장시간, 장거리 지하고속도로 운전자의 피로감 및 피로감 최소화 기술 적용을 통해 교통안전 증대 기여 ☐ 기존 고속도로의 지하화를 통해 교통 혼잡, 국토 공간 부족 등 도시문제를 해결하고 환경개선 및 국토의 효율적 운영 기대

7 사업 내용

예산 규모	(2024년도 신규사업)						
	(백만원)						
	구분		2024년도 예산	2025년도 예산	2026년도 예산	2027년도 예산	2028년도 예산
	□ 초장대 K-지하고속도로 인프라 안전 및 효율 향상 기술개발	총 예산	3,127	5,262	7,329	8,985	4,674
	■ 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	총 예산	1,617	2,891	3,999	4,927	2,457
세부내용	■ 지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발	총 예산	1,510	2,371	3,330	4,058	2,217
세부내용	내역사업		주요 내용				
	지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발		○ 지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증 - 친환경차량(전기차량 및 수소차량)을 고려한 지하고속도로(터널) 내 정량적 위험도 평가(QRA) 기준 개발·수립 및 친환경차량 화재시 초기 소화·확산 방지 기술 - 차량 등 폭발 시 내부 구조물(덕트 슬래브 등) 안정성 검토 시뮬레이션 및 대응 기술 - 지하고속도로 내 위험상황(화재, 침수, 사고 등)을 고려한 맞춤형 교통처리 및 관리 기술 - 재난 발생시 차량통제를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 및 교통안전 시설물 고도화 기술 ○ 지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증 - 첨단 ICT 기술 기반의 화재 위험차량 통합 대응 시스템(사전 감지, 진입 제한, 터널내 추적 모티터링) - 차량(화재위험차량, 사고차량, 과적차량 등) 긴급 배출을 위한 대단면 다목적 수직구 설계·시공 및 안정성 모니터링 기술 - 극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화를 위한 침수시 안정적 전력 공급 설비(누전사고 및 전력차단 방지 등) 및 분산형 집·배수 기술				
	지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발		○ 환기소 설치간격 증대 및 유해물질 제거 효율 향상을 통한 환경영향 최소화 기술 개발 및 실증 - 수직구 간격 증대를 위한 환기 기준 재정비·설비 고도화 및 수직구 개소수(굴진면) 감소 영향을 고려한 공기지연 최소화 설계·시공기술 - 내부-외부(주변지역) 연계 공기 중 유해물질 저감, 관리 및 모니터링 기술 ○ 지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증 - 안전하고 효율적인 교통 서비스 제공을 위한 실시간 정밀위치 정보제공 기술 - 운전자 피로 및 폐쇄감 저감을 위한 지하고속도로 내부 공간(벽면 디자인, 조명, 적정 시설한계 등) 최적화 설계 기술 - 지하고속도로 최적화 부대시설(휴게시설, 충전인프라 등) 설계 및 공간 구축을 위한 초대단면(굴착면적 200m ² 이상) 터널 안정성 증대 기술 - 지상고속도로, 터널 등과 차별화되는 지하고속도로 내 운전자 주행 특성을 반영한 도로안내 및 교통안전시설 설계 기술				

연차별 추진내용(로드맵)

		1단계 : 기술 확보 단계			2단계 : 검증, 실증 및 제도화 단계		
		'24.04	'25.01	'26.01	'27.01	'28.01	'28.12
구성기술		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
(핵심기술1) 지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응 방지 기술 개발	지하고속도로 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 대응 기술 개발 및 실증		전기차 화재특성 및 화재성장곡선 규명, 수소차 화재 및 폭발 해석기법 도출 친환경차 화재 대응 소화설비, 감시 모니터링 시스템 시작품 제작, 실험 및 설계 소형 화물 폭발시 방폭성능 설계기준(안) 중형 화물 폭발시 방폭성능 설계기준(안) 위험상황별 단계(전 중 후) 진단 평가 알고리즘 개발 위험상황별 교통류 해석 및 교통혼잡 분석 터널 내부부 차량 진입통제 및 우회를 위한 인지효율 향상 교통차단시설 시작품 제작 및 성능검증		친환경차 특성 고려된 정량적 화재 위험도 평가(QRA) 기법 정립 및 기준화 소화설비-화재 감시 모니터링 시스템 통합 후 유사시험 시범설치를 통한 성능 검증 대형 화물, 수소차량 폭발시 방폭성능 설계기준(안) 위험차량 진입제한, 방폭성능 기준 제도와 위험상황별 맞춤형 교통처리 평가 지표 및 방법론 개발, 현장 적용을 통한 성능 평가		
	지하고속도로 선제적 재난(화재, 침수, 교통사고 등) 방지·관리 기술 개발 및 실증		첨단 ICT 기술 기반 화재 위험 요인 판단, 내부 추적 모니터링 및 유도기술 개발 및 설계 대단면 다목적 수직구 모돌출 급속 시공장치 설계 시공장치 제작 및 성능 시험 다목적 수직구 용도별 승강장치 연결 구조물 설계 승강장치 연결 구조물 제작 및 고도화 성능시험 분산형 침수-저류 및 배수시설 개념설계 및 최적화 / 지하고속도로 침수시나리오 수립		장비 제작, 시스템 구축 및 유사시험 시범설치를 통한 성능 검증, 경제성 분석 시공장치 기술 보완 및 시험시공, 현장 실증을 통한 기술 검증, 매뉴얼 개발 열기반 수직구 용도관리 모니터링 시스템 구축		
(핵심기술2) 지하고속도로 환경 개선 및 교통 운영 효율 향상 기술 개발	환경개선 기술 개발 및 실증		친환경차 조건 반영 지하고속도로 소요환기량 기준 통량 불균형 해결을 위한 덩퍼 개도를 최적화 기법 AI기반 3D 터널발파 설계프로그램(S/W) 제작 터널발파 전문가시스템 구축 및 자소음-진동 고속굴착 공법(기존(안))		모형실험을 통한 기술 검증 현장 실증을 통한 시스템 및 공법 검증 열기반 플랫폼 구축 및 현장 실증		
	지하고속도로 공간·주행 특성을 고려한 이용자 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증		유해물질 제거용 흡착제 시제품 제작 및 실내 검증 유사현장 시험적용 및 성능평가 확산 모델링 알고리즘 설계, IoT 기반 센싱 data 통합관리시스템 연계 및 구현		Test Bed 시공 및 경제성 타당성 분석 유해물질 통합관리 모니터링 시스템 구축, 유사현장 적용 및 성능평가 성능 평가 결과를 반영한 기술 고도화, 시스템 안정화 및 최종 성능 검증		
(핵심기술3) 지하고속도로 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증	지하고속도로 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증		정밀 실내 GNSS 위성측위 시제품 제작, 성능시험, 유사현장 실증 및 성능평가 공간·변형 조정 및 색상·패턴 설계 S/W, VR 터널 가상화 시뮬레이터(S/W, H/W) 제작		이용자 만족도 조사 및 운전자 반응 DB 구축 디자인 표준(안) 및 VR 시뮬레이터 고도화 시뮬레이션을 통한 현장 시험적용, 개발 기술의 경제성 타당성 분석, 설계기준(안)		
	지하고속도로 안전·편의 향상 기술 개발 및 실증		지하 후계공간 설계기술 지하고속도로 충전인프라/기능/성능 기술기준(초안) 변형제어 기반 초대면 터널 설계 기술 정립	지하 후계 후계시설 입체연결 인프라 설계기술 FMEA(고장형태 및 영향분석) 수행 → 충전인프라/기능/성능 기술기준(안) 유사현장 적용을 통한 기술 검증 및 보완		전기차 충전인프라 최적 설계(안) 현장 실증, 설계 및 시방기준(안)	

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
2024년도	초광역 연결, 초대단면 지하고속도로 핵심요소기술 도출	○ 위험차량 감지를 위한 개념설계 및 배출 최적화 방안 도출 ○ 수직구 설치 최소화를 위한 최적 소요환기량 산정 ○ 대단면 다목적 수직구 표준 설계(안)
2025년도	초광역 연결, 초대단면 지하고속도로 핵심요소기술 개발	○ 친환경차량 화재특성·화재성장곡선 도출 및 축소규모 지하고속도로 내부 폭발시험 평가 ○ 유해물질 최적 처리 장치 시작품 제작 및 지하고속도로 내 휴게공간 설계법(안) 도출 ○ 터널 내 변형제어 기술 도입을 위한 굴착 사전변형 계측장치 시작품
2026년도	초광역 연결, 초대단면 지하고속도로 적용 시작품 제작 및 지침(안) 도출	○ 친환경차량 감시모니터링 시작품 및 실내측위 시작품 제작 ○ 풍도내 부스터팬 이용 정압최대도달거리 실험 및 충전인프라 누설전류 제한 배선 시작품 제작 ○ 논리적·분석적 터널설계법의 유사현장 적용 및 개구부 누수 차단용 PC 구조체 시작품 제작
2027년도	지하고속도로 실현장 또는 유사현장 실증을 위한 계획 및 설계	○ 위험차량 모니터링 시스템 성능실험 및 AI를 활용한 실내측위 디지털 트윈 구축 방안 도출 ○ 지하고속도로 내외부 유해물질 모니터링 시스템 실증 및 휴게시설 유사현장 적용 ○ 대단면 다목적 수직구 시공 매뉴얼 및 굴착버력 처리 시스템 시제품
2028년도	지하고속도로 실현장 또는 유사현장 실증	○ 지하고속도로 위험차량 감지관리기준 및 폭발 등 위험차량 진입 규제 기준 제시 ○ 지하고속도로 내 유해물질 관리 기준 및 충전인프라 시작품 실증 ○ 대단면 다목적 수직구 구축 기술 현장 적용 및 저소음·저진동 고속굴착 시스템의 실증

2. 단계별 성과목표 및 지표

① 전략목표

전략목표	초광역간 연결 및 초대단면 K-지하고속도로 인프라 기술 개발을 통한 이용자 안전 및 편의 향상

가. 1단계 성과목표 및 지표

② 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계		기간		2024~2026년	
단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응체계 구축	가중치	0.10	설정 근거	선제적 화재 위험 대응을 위하여 화재위험차량의 감지 분류 정확도를 최종목표로 설정	지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발
		가중치	0.05	설정 근거	터널 내 친환경차 화재 대응 설비 기술 부재에 따라 해당 기술 확보를 최종목표로 설정	
성과목표-2	지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보	가중치	0.05	설정 근거	지하고속도로는 덕트 슬래브 등 내부구조물이 빈번하게 설치될 것으로 예상되며, 폭발사고 발생시 구조물의 탈락 및 붕괴로부터 이용자 안전을 확보하기 위해 최종목표를 설정	
성과목표-3	지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리	가중치	0.05	설정 근거	위험상황종류 및 발생단계를 고려한 시뮬레이션 기반 지하고속도로 내 교통처리 평가지표 및 평가방법의 효과를 평가 개발 기술의 적정성을 최종목표로 설정	
		가중치	0.05	설정 근거	침수 등 재난 발생 시 터널 진입차량 운전자가 통제/우회정보를 인지할 수	

					있는 거리를 성능으로 검증하여 최종목표로 설정	
성과목표-4	초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보	가중치	0.05	설정 근거	초대단면 터널 굴착의 단면 분할 수를 최소화하면서도 안정성을 확보하는 것을 최종목표로 설정	
		가중치	0.10	설정 근거	수직구 굴착의 안정성 확보 및 다목적 활용을 위해 수직도 확보가 필요하여 수직편차 최소화를 최종목표로 설정	
성과목표-5	극한호우시 침수에 대한 인명피해 제로화	가중치	0.05	설정 근거	침수 시 전력계통의 정상작동을 위해 누설전류를 제한하는 것을 최종목표로 설정	
		가중치	0.10	설정 근거	침수 시 분산형 집·배수 시설을 통해 이용자가 완전히 대피할 수 있는 시간을 최종목표로 설정	
성과목표-6	환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보	가중치	0.10	설정 근거	現기술 수준(전차중 3km, 소형차 전용 5km이하)을 고려하여 최종목표 설정	
		가중치	0.05	설정 근거	기술개발 완료시점에서 도로터널용 가스상(오존, 일산화탄소, 질소산화물) 유해물질 고효율 처리기술 확보를 최종목표로 설정	
성과목표-7	지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상	가중치	0.10	설정 근거	초장대·다수 분합류가 존재하는 지하고속도로의 안전·교통서비스 제공을 위해 필요한 측위 정밀도를 최종목표로 설정	지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발
성과목표-8	지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발	가중치	0.05	설정 근거	이용자 폐쇄감 및 피로감을 최소화할 수 있는 공간 디자인을 확보하여 이용자 만족도를 향상시키는 것을	

					최종목표로 설정	
성과목표-9	지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보	가중치	0.05	설정 근거	초광역 연결 지하고속도로 출현시대 대비 휴게시설 등 편의시설에 대한 기술 부재로 해당 기술을 확보하는 것으로 최종목표 설정	
성과목표-10	첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술로 굴착 효율 향상	가중치	0.05	설정 근거	기존 공법과 동일한 굴착 공정(싸이클) 확보 조건에서 굴착 효율 향상 가능하도록 최종목표 설정 (수직구 개소 감소→굴진면 감소→공기지연→굴착 효율 향상 필요)	

③ 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						2024	2025	2026			
성과목 표-1	지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응체계 구축	0.10	위험차량 사전 감지 분류 정확도	%	목표	-	-	70	결과	질	선제적 화재 위험 대응을 위하여 화재위험차량의 감지 분류 정확도를 최종목표로 설정
					실적						
		0.05	친환경차 화재 대응 설비 차량 종류	종	목표	-	-	1 (수소)	결과	질	터널 내 친환경차 화재 대응 설비 기술 부재에 따라 해당 기술 확보를 최종목표로 설정
					실적						
성과목 표-2	지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보	0.05	폭발 규모별 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준 제시	차량 종류	목표	-	소형 화물	중형 화물	결과	질	지하고속도로는 덕트 슬래브 등 내부구조물이 빈번하게 설치될 것으로 예상되며, 폭발사고 발생시 구조물의 탈락 및 붕괴로부터 이용자 안전을 확보하기 위해 최종목표를 설정
					실적						
성과목 표-3	지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리	0.05	지하고속도로 교통처리 평가지표 및 평가방법의 적정성	%	목표	-	-	70	결과	질	위험상황종류 및 발생단계를 고려한 시뮬레이션 기반 지하고속도로 내 교통처리 평가지표 및 평가방법의 효과를 평가 개발 기술의 적정성을 최종목표로 설정
					실적						
		0.05	재난 대응 교통차단시설 인지 성능	%	목표	-	-	5	결과	질	침수 등 재난 발생 시 터널 진입차량 운전자가 통제/우회정보를 인지할 수 있는 거리를 성능으로 검증하여 최종목표로 설정
					실적						
성과 목표 -4	초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보	0.05	기존 공법 대비 단면 분할 감소율	%	목표	-	-	35	결과	질	초대단면 터널 굴착의 단면 분할 수를 최소화하면서도 안정성을 확보하는 것을 최종목표로 설정
					실적						
		0.10	수직편차	mm/ m	목표	-	-	10	결과	질	수직구 굴착의 안정성 확보 및 다목적 활용을 위해 수직도 확보가 필요하여 수직편차 최소화를 최종목표로 설정
					실적						

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유	
						2024	2025	2026				
성과 목표 -5	극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화	0.05	침수시 펌프기동반 정상작동을 위한 누설전류 제한	mA	목표	-	-	10	결과	질	침수 시 전력계통의 정상작동을 위해 누설전류를 제한하는 것을 최종목표로 설정	
					실적							
		0.10	지하고속도로 침수 시 대피시간 확보	분	목표	-	-	20	결과	질		침수 시 분산형 집·배수 시설을 통해 이용자가 완전히 대피할 수 있는 시간을 최종목표로 설정
					실적							
성과 목표 -3	환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보	0.10	환기소 설치간격	km	목표	-	전차종		결과	질	現기술 수준(전차종 3km, 소형차 전용 5km이하)을 고려하여 최종목표 설정	
							5	6				
							소형차전용					
							8	9				
		0.05	가스상 유해물질 제거효율	%	목표	-	50	60	결과	질		기술개발 완료시점에서 도로터널용 가스상(오존, 일산화탄소, 질소산화물) 유해물질 고효율 처리기술 확보를 최종목표로 설정
					실적							
성과목 표-1	지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상	0.10	100km/h 주행 시 네비게이션 서비스 측위 정밀도	m	목표	-	10	3	결과	질	초장대다수 분합류가 존재하는 지하고속도로의 안전·교통서비스 제공을 위해 필요한 측위 정밀도를 최종목표로 설정	
					실적							
성과 목표 -4	지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발	0.05	공간 디자인 이용자 만족도 확보	%	목표	-	60	70	결과	질	이용자 폐쇄감 및 피로감을 최소화할 수 있는 공간 디자인을 확보하여 이용자 만족도를 향상시키는 것을 최종목표로 설정	
					실적							
성과 목표 -5	지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보	0.05	설계 공정률	%	목표	30	70	90	과정	질	초광역 연결 지하고속도로 출현시대 대비 휴게시설 등 편의시설에 대한 기술 부재로 해당 기술을 확보하는 것으로 최종목표 설정	
					실적							
성과 목표 -7	첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술로 굴착 효율 향상	0.05	단위 공정당 굴착거리	m/ cycl e	목표	-	-	4.0	결과	질	기존 공법과 동일한 굴착 공정(싸이클) 확보 조건에서 굴착 효율 향상 가능하도록 최종목표 설정 (수직구 개소 감소→굴진면 감소→공기지원→굴착 효율 향상 필요)	
					실적							
계												

④ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처								
위험차량 사전 감지 분류 정확도	• 설정방법 : 전체 감지되는 위험 차량 중 실제 위험 차량의 비율인 감지율을 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>70</td><td>95</td><td>현장적용</td></tr></table> • 설정근거 : 선제적 화재 위험 대응을 위하여 화재위험차량의 감지 분류 정확도를 최종 목표로 설정	'25	'26	'27	70	95	현장적용	[측정산식] - $\Sigma(\text{정확한 위험 차량 감지 대수}) / \Sigma(\text{전체 감지 수}) * 100$ [측정방법] - 외부 기관의 입회하에 성능 검증 실험 수행 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서		
'25	'26	'27									
70	95	현장적용									
친환경차 화재 대응 설비 차량 종류	• 설정방법 : 주요 친환경 차량 종류인 수소차와 전기차에 대한 대응 설비 확보를 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>1(수소)</td><td>1(전기)</td><td>현장적용</td></tr></table> • 설정근거 : 터널 내 친환경차 화재 대응 설비 기술 부재에 따라 해당 기술 확보를 최종목표로 설정	'25	'26	'27	1(수소)	1(전기)	현장적용	[측정방법] - 개발된 대응 기술에 대한 화재 및 방재 전문가 평가 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서		
'25	'26	'27									
1(수소)	1(전기)	현장적용									
폭발 규모별 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준 제시	• 설정방법 : 내부 구조물의 방폭 성능 확보나 규제를 결정하기 위한 각 하중별 폭발시 구조 거동을 측정 <table><tr><td>'24</td><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>소형화물</td><td>중형화물</td><td>대형화물</td><td>지침 제개정</td></tr></table> • 설정근거 : 지하고속도로는 덕트 슬래브 등 내부구조물이 빈번하게 설치될 것으로 예상되며, 폭발사고 발생시 구조물의 탈락 및 붕괴로부터 이용자 안전을 확보하기 위해 최종목표를 설정	'24	'25	'26	'27	소형화물	중형화물	대형화물	지침 제개정	[측정방법] - 하중별 거동 시뮬레이션 + 축소 모형 실험 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 지침 제·개정 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서
'24	'25	'26	'27								
소형화물	중형화물	대형화물	지침 제개정								

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처												
지하고속도로 교통처리 평가지표 및 평가방법의 적정성	■ 설정방법 : 위험상황 발생시 교통처리를 위한 평가지표와 방법에 대한 적정성을 주요 지표로 설정 <table><tr><th>점수</th><th>기준</th></tr><tr><td>90~100</td><td>탁월</td></tr><tr><td>80~90</td><td>우수</td></tr><tr><td>70~80</td><td>보통</td></tr><tr><td>60~70</td><td>미흡</td></tr><tr><td>60점 미만</td><td>불량</td></tr></table> ■ 설정근거 : 지하고속도로 내 위험종류 및 단계에 따라 교통처리 평가 방안에 대한 연구사례 부족으로 이에 대한 개발과 적정성 평가를 최종목표로 설정	점수	기준	90~100	탁월	80~90	우수	70~80	보통	60~70	미흡	60점 미만	불량	[측정방법] - 개발된 평가지표 및 평가방법에 대한 교통/운영 전문가 평가를 바탕으로 적정성을 도출 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서
점수	기준														
90~100	탁월														
80~90	우수														
70~80	보통														
60~70	미흡														
60점 미만	불량														
재난 대응 교통차단시설 인지 성능	■ 설정방법 : 터널 진입 차량 운전자가 통제/우회정보를 인지할 수 있는 거리를 주요 지표로 설정 <table><tr><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th></tr><tr><td>5%</td><td>10%</td><td>현장적용</td></tr></table> ■ 설정근거 : 현재 교통차단시설의 한계를 극복하기 위해 인지성능 향상을 최종목표로 설정	'25	'26	'27	5%	10%	현장적용	[측정산식] - ((개발 제품 인지거리)-(기존 제품 인지 거리))/100 [측정방법] - 실규모 도로터널 Test Bed에 시제품을 설치하여 정보 인지거리를 측정하여 기존 제품과 비교 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서						
'25	'26	'27													
5%	10%	현장적용													
기존 공법 대비 단면 분할 감소율	• 설정방법 : 개발한 단면분할에 대한 전문가 평가를 통해 설계의 타당성을 검증하고 관련 기술논문/보고서를 추가로 고려 *전문가 : 지반 및 기초 기술사, 발파 전문가 등 검토의견서 3건 제시 • 설정근거 : 전문가평가를 통한 기술달성 목표 설정	[측정산식] - ((기존 기술의 단면 분할 수) -(당해연도 확보된 기술의 단면 분할 수))/100 [측정방법] - 당해연도 확보한 기술의 기존 공법 대비 단면 분할 감소율을 측정 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서												

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처															
수직구 수직편차	• 설정방법 : 현재 수직편차 기술에 대한 전문가 평가를 통해 설계의 타당성을 검증하고 관련 기술논문/보고서를 추가로 고려 *전문가: 지반 및 기초 기술사, 발파 전문가 등 검토의견서 3건 제시 • 설정근거 : 전문가평가를 통한 기술달성 목표 설정	[측정산식] - 당해년도 확보한 기술의 수직편차(mm)/m [측정방법] - 당해년도 확보한 기술의 m당 수직편차를 mm단위로 측정 [측정시기] - 당해년도 실적 : 당해년도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서															
침수시 펌프기동반 정상작동을 위한 누설전류 제한	■ 설정방법 : 화재, 감전사고 등의 주요원인이 되는 누설전류 제한을 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>10mA</td><td>5mA</td><td>현장적용</td></tr></table> ■ 설정근거 : 침수 시 전력계통 정상작동을 위해 누설전류를 제한하는 것을 최종목표로 설정	'25	'26	'27	10mA	5mA	현장적용	[측정방법] - 개발제품의 공인시험기관을 통한 성능 테스트 [측정시기] - 당해년도 실적 : 당해년도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서									
'25	'26	'27																
10mA	5mA	현장적용																
지하고속도로 침수 시 대피시간 확보	■ 설정방법 : 침수 시 진입한 차량이 운전하여 나갈 수 있는 시간을 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>20분</td><td>20분</td><td>현장적용</td></tr></table> ■ 설정근거 : 침수 시 분산형 집·배수 시설을 통해 이용자가 완전히 대피할 수 있는 시간을 최종목표로 설정	'25	'26	'27	20분	20분	현장적용	[측정방법] - 분산형 집·배수 시설이 적용된 지하고속도로 이용자 대피 시뮬레이션을 통해 대피시간을 측정(램프를 빠져나가는 거리를 10km, 속도를 30km/h로 가정) [측정시기] - 당해년도 실적 : 당해년도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서									
'25	'26	'27																
20분	20분	현장적용																
환기소 설치간격	• 설정방법 : 소형차와 전차종을 구분하여 각 조건을 만족하는 환기소 설치 간격을 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'24</td><td>'25</td><td>'26</td></tr><tr><td colspan="3">전차종</td></tr><tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td colspan="3">소형차 전용</td></tr><tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr></table> • 설정근거 : 現기술 수준(전차종 3km, 소형차 전용 5km이하)을 고려하여 최종목표 설정	'24	'25	'26	전차종			5	6	7	소형차 전용			8	9	10	[측정방법] - 관련 전문가 입회 하에 기존 대비 간격 증대가 가능한 환기소 성능 측정 [측정시기] - 당해년도 실적 : 당해년도 말(12월) - 지침 제·개정 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서
'24	'25	'26																
전차종																		
5	6	7																
소형차 전용																		
8	9	10																

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처												
가스상 유해물질 제거효율	• 설정방법 : 기술개발 완료시점에서 도로터널용 가스상(오존, 일산화탄소, 질소산화물) 유해물질 고효율 처리기술 확보를 최종목표로 설정 <table><tr><th>'24</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th></tr><tr><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>현장적용</td></tr></table> • 설정근거 : 現기술수준에서 도로터널용 가스상 유해물질 처리 기술이 미비하여 해당 내용을 목표로 설정	'24	'25	'26	'27	50	60	70	현장적용	[측정산식] - $\Sigma(\text{정화 후 유해물질}) / \Sigma(\text{정화 전 터널 내 유해물질}) * 100 < 30$ [측정방법] - 외부 인증기관 입회하여 성능 검증 수행 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서				
'24	'25	'26	'27												
50	60	70	현장적용												
100km/h 주행 시 네비게이션 서비스 측위 정밀도	• 설정방법 : 지하고속도로 내 100km/h 주행 환경에서 네비게이션의 정밀도를 측정 <table><tr><th>'24</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th></tr><tr><td>10</td><td>3</td><td>1</td><td>현장적용</td></tr></table> • 설정근거 : 초장대다수 분합류가 존재하는 지하고속도로의 안전·교통서비스 제공을 위해 필요한 측위 정밀도를 최종목표로 설정	'24	'25	'26	'27	10	3	1	현장적용	[측정산식] - $\Sigma(\text{실험별 측정 정밀도})/\text{실험수}$ [측정방법] - 실제 주행 환경에서의 성능 평가 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서				
'24	'25	'26	'27												
10	3	1	현장적용												
공간 디자인 이용자 만족도 확보	• 설정방법 : 타 기관 고객만족도 조사의 등급분류 기준을 참고하여 목표치로 설정 <table><tr><th>점수</th><th>기준</th></tr><tr><td>90~100</td><td>탁월</td></tr><tr><td>80~90</td><td>우수</td></tr><tr><td>70~80</td><td>보통</td></tr><tr><td>60~70</td><td>미흡</td></tr><tr><td>60점 미만</td><td>불량</td></tr></table> • 설정근거 : '27년은 최종적으로 우수등급을 달성하기 위해 80로 설정	점수	기준	90~100	탁월	80~90	우수	70~80	보통	60~70	미흡	60점 미만	불량	[측정산식] - 설문조사 대상으로 5점 척도로 조사한 후 100점 만점 기준으로 환산 [측정방법] - (측정대상) - (측정방법) 시뮬레이션으로 공간 디자인에 대한 만족도를 리커트 5점 척도의 설문조사로 조사 - (조사내용) 폐쇄감, 피로감 개선 등 - (평정부여 방식) 리커트 5점척도(전혀 그렇지 않다 : 1점, 조금 그렇지 않다 : 2점, 보통: 3점, 그렇다 : 4점, 매우 그렇다 : 5점) [측정시기] - (측정기간) 당해연도 1.1 ~ 12.31	• 설문조사 외부 용역사업을 통한 공간 디자인 이용자 만족도 조사 결과보고서 활용
점수	기준														
90~100	탁월														
80~90	우수														
70~80	보통														
60~70	미흡														
60점 미만	불량														

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
설계 공정률	• 설정방법 : 인프라 설계의 적정성 확보를 위한 설계의 공정률로 '27년 설계 완성을 목표로 설정 • 설정근거 : 목표한 연도까지 전체 설계를 달성하기 위한 당해연도 까지의 누적 설계 공정율을 목표로 정함	[측정산식] - ((당해년도 설계 누적 달성량)/(전체 설계 목표량))X100 [측정방법] - 설계에 대한 정성평가 및 건수 측정 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서
단위 공정당 굴착거리	• 설정방법 : 현재 굴착기술에 대한 전문가평가를 통해 설계의 타당성을 검증하고 관련 기술 논문/보고서를 추가로 고려 *전문가: 지반 및 기초 기술사, 발파 전문가 등 검토의견서 3건 제시 • 설정근거 : 전문가평가를 통한 기술달성 목표 설정	[측정산식] - 당해연도 확보의 굴착거리(m)/공정 [측정방법] - 당해연도 확보한 기술의 한 굴착거리를 m단위로 측정 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서

나. 2단계 성과 목표 및 지표

① 단계별 성과목표

단계(평가주기)		2단계		기간		2027~2028년	
단계별 성과목표						관련 내역사업명	
성과목표-1	지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응체계 구축	가중치	0.10	설정 근거	선제적 화재 위험 대응을 위하여 화재위험차량의 감지 분류 정확도를 최종목표로 설정	지하고속도로 이용 안전 확보를 위한 재난 대응·방지 기술 개발	
		가중치	0.05	설정 근거	터널 내 친환경차 화재 대응 설비 기술 부재에 따라 해당 기술 확보를 최종목표로 설정		
성과목표-2	지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보	가중치	0.05	설정 근거	지하고속도로는 덕트 슬래브 등 내부구조물이 빈번하게 설치될 것으로 예상되며, 폭발사고 발생시 구조물의 탈락 및 붕괴로부터 이용자 안전을 확보하기 위해 최종목표를 설정		
성과목표-3	지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리	가중치	0.05	설정 근거	위험상황종류 및 발생단계를 고려한 시뮬레이션 기반 지하고속도로 내 교통처리 평가지표 및 평가방법의 효과성을 평가 개발 기술의 적정성을 최종목표로 설정		
		가중치	0.05	설정 근거	침수 등 재난 발생 시 터널 진입차량 운전자가 통제/우회정보를 인지할 수 있는 거리를 성능으로 검증하여 최종목표로 설정		
성과목표-4	초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보	가중치	0.05	설정 근거	초대단면 터널 굴착의 단면 분할 수를 최소화하면서도 안정성을 확보하는 것을 최종목표로 설정		

		가중치	0.10	설정 근거	수직구 굴착의 안정성 확보 및 다목적 활용을 위해 수직도 확보가 필요하여 수직편차 최소화를 최종목표로 설정	
성과목표-5	극한호우시 침수에 대한 인명피해 제로화	가중치	0.05	설정 근거	침수 시 전력계통의 정상작동을 위해 누설전류를 제한하는 것을 최종목표로 설정	
		가중치	0.10	설정 근거	침수 시 분산형 집·배수 시설을 통해 이용자가 완전히 대피할 수 있는 시간을 최종목표로 설정	
성과목표-6	환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보	가중치	0.10	설정 근거	現기술 수준(전차중 3km, 소형차 전용 5km이하)을 고려하여 최종목표 설정	
		가중치	0.05	설정 근거	기술개발 완료시점에서 도로터널용 가스상(오존, 일산화탄소, 질소산화물) 유해물질 고효율 처리기술 확보를 최종목표로 설정	
성과목표-7	지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상	가중치	0.10	설정 근거	초장대·다수 분합류가 존재하는 지하고속도로의 안전·교통서비스 제공을 위해 필요한 측위 정밀도를 최종목표로 설정	
성과목표-8	지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발	가중치	0.05	설정 근거	이용자 폐쇄감 및 피로감을 최소화할 수 있는 공간 디자인을 확보하여 이용자 만족도를 향상시키는 것을 최종목표로 설정	지하고속도로 환경 개선 및 교통·운영 효율 향상 기술 개발
성과목표-9	지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보	가중치	0.05	설정 근거	초광역 연결 지하고속도로 출현시대 대비 휴게시설 등 편의시설에 대한 기술 부재로 해당 기술을 확보하는 것으로 최종목표 설정	
성과목표-10	첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술로 굴착 효율 향상	가중치	0.05	설정 근거	기존 공법과 동일한 굴착 공정(사이클) 확보 조건에서 굴착 효율 향상 가능하도록 최종목표 설정 (수직구 개소 감소→굴진면 감소→공기지연→굴착 효율 향상 필요)	

② 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						2027	2028			
성과목 표-1	지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응체계 구축	0.10	위험차량 사전 감지 분류 정확도	%	목표	95	현장적용	결과	질	선제적 화재 위험 대응을 위하여 화재위험차량의 감지 분류 정확도를 최종목표로 설정
					실적					
		0.05	친환경차 화재 대응 설비 차량 종류	종	목표	1 (전기)	현장적용	결과	질	터널 내 친환경차 화재 대응 설비 기술 부재에 따라 해당 기술 확보를 최종목표로 설정
					실적					
성과목 표-2	지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보	0.05	폭발 규모별 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준 제시	차량 종류	목표	대형화물 및 수소차	지침 제·개정	결과	질	지하고속도로는 덕트 슬래브 등 내부구조물이 빈번하게 설치될 것으로 예상되며, 폭발사고 발생시 구조물의 탈락 및 붕괴로부터 이용자 안전을 확보하기 위해 최종목표를 설정
					실적					
성과목 표-3	지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리	0.05	지하고속도로 교통처리 평가지표 및 평가방법의 적정성	%	목표	80	현장적용	결과	질	위험상황종류 및 발생단계를 고려한 시뮬레이션 기반 지하고속도로 내 교통처리 평가지표 및 평가방법의 효과를 평가 개발 기술의 적정성을 최종목표로 설정
					실적					
		0.05	재난 대응 교통차단시설 인지 성능	%	목표	10	현장적용	결과	질	침수 등 재난 발생 시 터널 진입차량 운전자가 통제/우회정보를 인지할 수 있는 거리를 성능으로 검증하여 최종목표로 설정
					실적					
성과 목표 -4	초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보	0.05	기존 공법 대비 단면 분할 감소율	%	목표	50	지침 제·개정	결과	질	초대단면 터널 굴착의 단면 분할 수를 최소화하면서도 안정성을 확보하는 것을 최종목표로 설정
					실적					
		0.10	수직편차	mm/ m	목표	5	지침 제·개정	결과	질	수직구 굴착의 안정성 확보 및 다목적 활용을 위해 수직도 확보가 필요하여 수직편차 최소화를 최종목표로 설정
					실적					

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2027	2028			
성과 목표 -5	극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화	0.05	침수시 펌프기동반 정상작동을 위한 누설전류 제한	mA	목표	5	현장적용	결과	질	침수 시 전력계통의 정상작동을 위해 누설전류를 제한하는 것을 최종목표로 설정
					실적					
		0.10	지하고속도로 침수 시 대피시간 확보	분	목표	20	현장적용	결과	질	침수 시 분산형 집·배수 시설을 통해 이용자가 완전히 대피할 수 있는 시간을 최종목표로 설정
					실적					
성과 목표 -3	환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보	0.10	환기소 설치간격	km	목표	전차종	지침 제·개정	결과	질	現기술 수준(전차종 3km, 소형차 전용 5km이하)을 고려하여 최종목표 설정
						7				
						소형차전용				
					10					
		0.05	가스상 유해물질 제거효율	%	목표	70	현장적용	결과	질	기술개발 완료시점에서 도로터널용 가스상(오존, 일산화탄소, 질소산화물) 유해물질 고효율 처리기술 확보를 최종목표로 설정
					실적					
성과목 표-1	지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상	0.10	100km/h 주행 시 네비게이션 서비스 측위 정밀도	m	목표	1	현장적용	결과	질	초장대다수 분합류가 존재하는 지하고속도로의 안전·교통서비스 제공을 위해 필요한 측위 정밀도를 최종목표로 설정
					실적					
성과 목표 -4	지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발	0.05	공간 디자인 이용자 만족도 확보	%	목표	80	현장적용	결과	질	이용자 폐쇄감 및 피로감을 최소화할 수 있는 공간 디자인을 확보하여 이용자 만족도를 향상시키는 것을 최종목표로 설정
					실적					
성과 목표 -5	지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보	0.05	설계 공정률	%	목표	100	지침 제·개정	과정	질	초광역 연결 지하고속도로 출현시대 대비 휴게시설 등 편의시설에 대한 기술 부재로 해당 기술을 확보하는 것으로 최종목표 설정
					실적					
성과 목표 -7	첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술로 굴착 효율 향상	0.05	단위 공정당 굴착거리	m/ cycl e	목표	4,5	실증	결과	질	기존 공법과 동일한 굴착 공정(싸이클) 확보 조건에서 굴착 효율 향상 가능하도록 최종목표 설정 (수직구 개소 감소→굴진면 감소→공기지면→굴착 효율 향상 필요)
					실적					
계										

③ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처								
위험차량 사전 감지 분류 정확도	• 설정방법 : 전체 감지되는 위험 차량 중 실제 위험 차량의 비율인 감지율을 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>70</td><td>95</td><td>현장적용</td></tr></table> • 설정근거 : 선제적 화재 위험 대응을 위하여 화재위험차량의 감지 분류 정확도를 최종 목표로 설정	'25	'26	'27	70	95	현장적용	[측정산식] - $\Sigma(\text{정확한 위험 차량 감지 대수}) / \Sigma(\text{전체 감지 수}) * 100$ [측정방법] - 외부 기관의 입회하에 성능 검증 실험 수행 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서		
'25	'26	'27									
70	95	현장적용									
친환경차 화재 대응 설비 차량 종류	• 설정방법 : 주요 친환경 차량 종류인 수소차와 전기차에 대한 대응 설비 확보를 주요 지표로 설정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>1(수소)</td><td>1(전기)</td><td>현장적용</td></tr></table> • 설정근거 : 터널 내 친환경차 화재 대응 설비 기술 부재에 따라 해당 기술 확보를 최종목표로 설정	'25	'26	'27	1(수소)	1(전기)	현장적용	[측정방법] - 개발된 대응 기술에 대한 화재 및 방재 전문가 평가 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서		
'25	'26	'27									
1(수소)	1(전기)	현장적용									
폭발 규모별 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준 제시	• 설정방법 : 내부 구조물의 방폭 성능 확보나 규제를 결정하기 위한 각 하중별 폭발시 구조 거동을 측정 <table><tr><td>'24</td><td>'25</td><td>'26</td><td>'27</td></tr><tr><td>소형화물</td><td>중형화물</td><td>대형화물</td><td>지침 제개정</td></tr></table> • 설정근거 : 지하고속도로는 덕트 슬래브 등 내부구조물이 빈번하게 설치될 것으로 예상되며, 폭발사고 발생시 구조물의 탈락 및 붕괴로부터 이용자 안전을 확보하기 위해 최종목표를 설정	'24	'25	'26	'27	소형화물	중형화물	대형화물	지침 제개정	[측정방법] - 하중별 거동 시뮬레이션 + 축소 모형 실험 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 지침 제·개정 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서
'24	'25	'26	'27								
소형화물	중형화물	대형화물	지침 제개정								

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처												
지하고속도로 교통처리 평가지표 및 평가방법의 적정성	■ 설정방법 : 위험상황 발생시 교통처리를 위한 평가지표와 방법에 대한 적정성을 주요 지표로 설정 <table><tr><th>점수</th><th>기준</th></tr><tr><td>90~100</td><td>탁월</td></tr><tr><td>80~90</td><td>우수</td></tr><tr><td>70~80</td><td>보통</td></tr><tr><td>60~70</td><td>미흡</td></tr><tr><td>60점 미만</td><td>불량</td></tr></table> ■ 설정근거 : 지하고속도로 내 위험종류 및 단계에 따라 교통처리 평가 방안에 대한 연구사례 부족으로 이에 대한 개발과 적정성 평가를 최종목표로 설정	점수	기준	90~100	탁월	80~90	우수	70~80	보통	60~70	미흡	60점 미만	불량	[측정방법] - 개발된 평가지표 및 평가방법에 대한 교통/운영 전문가 평가를 바탕으로 적정성을 도출 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서
점수	기준														
90~100	탁월														
80~90	우수														
70~80	보통														
60~70	미흡														
60점 미만	불량														
재난 대응 교통차단시설 인지 성능	■ 설정방법 : 터널 진입 차량 운전자가 통제/우회정보를 인지할 수 있는 거리를 주요 지표로 설정 <table><tr><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th></tr><tr><td>5%</td><td>10%</td><td>현장적용</td></tr></table> ■ 설정근거 : 현재 교통차단시설의 한계를 극복하기 위해 인지성능 향상을 최종목표로 설정	'25	'26	'27	5%	10%	현장적용	[측정산식] - ((개발 제품 인지거리)-(기존 제품 인지 거리))/100 [측정방법] - 실규모 도로터널 Test Bed에 시제품을 설치하여 정보 인지거리를 측정하여 기존 제품과 비교 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서						
'25	'26	'27													
5%	10%	현장적용													
기존 공법 대비 단면 분할 감소율	• 설정방법 : 개발한 단면분할에 대한 전문가 평가를 통해 설계의 타당성을 검증하고 관련 기술논문/보고서를 추가로 고려 *전문가 : 지반 및 기초 기술사, 발파 전문가 등 검토의견서 3건 제시 • 설정근거 : 전문가평가를 통한 기술달성 목표 설정	[측정산식] - ((기존 기술의 단면 분할 수) -(당해연도 확보된 기술의 단면 분할 수))/100 [측정방법] - 당해연도 확보한 기술의 기존 공법 대비 단면 분할 감소율을 측정 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서												

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처															
수직구 수직편차	• 설정방법 : 현재 수직편차 기술에 대한 전문가 평가를 통해 설계의 타당성을 검증하고 관련 기술논문/보고서를 추가로 고려 *전문가: 지반 및 기초 기술사, 발파 전문가 등 검토의견서 3건 제시 • 설정근거 : 전문가평가를 통한 기술달성 목표 설정	[측정산식] - 당해년도 확보한 기술의 수직편차(mm)/m [측정방법] - 당해년도 확보한 기술의 m당 수직편차를 mm단위로 측정 [측정시기] - 당해년도 실적 : 당해년도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서															
침수시 펌프기동반 정상작동을 위한 누설전류 제한	■ 설정방법 : 화재, 감전사고 등의 주요원인이 되는 누설전류 제한을 주요 지표로 설정<table><tr><td>'25 10mA</td><td>'26 5mA</td><td>'27 현장적용</td></tr></table> ■ 설정근거 : 침수 시 전력계통 정상작동을 위해 누설전류를 제한하는 것을 최종목표로 설정	'25 10mA	'26 5mA	'27 현장적용	[측정방법] - 개발제품의 공인시험기관을 통한 성능 테스트 [측정시기] - 당해년도 실적 : 당해년도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서												
'25 10mA	'26 5mA	'27 현장적용																
지하고속도로 침수 시 대피시간 확보	■ 설정방법 : 침수 시 진입한 차량이 운전하여 나갈 수 있는 시간을 주요 지표로 설정<table><tr><td>'25 20분</td><td>'26 20분</td><td>'27 현장적용</td></tr></table> ■ 설정근거 : 침수 시 분산형 집·배수 시설을 통해 이용자가 완전히 대피할 수 있는 시간을 최종목표로 설정	'25 20분	'26 20분	'27 현장적용	[측정방법] - 분산형 집·배수 시설이 적용된 지하고속도로 이용자 대피 시뮬레이션을 통해 대피시간을 측정(램프를 빠져나가는 거리를 10km, 속도를 30km/h로 가정) [측정시기] - 당해년도 실적 : 당해년도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서												
'25 20분	'26 20분	'27 현장적용																
환기소 설치간격	• 설정방법 : 소형차와 전차종을 구분하여 각 조건을 만족하는 환기소 설치 간격을 주요 지표로 설정<table><tr><td>'24</td><td>'25</td><td>'26</td></tr><tr><td colspan="3">전차종</td></tr><tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td colspan="3">소형차 전용</td></tr><tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr></table> • 설정근거 : 現기술 수준(전차종 3km, 소형차 전용 5km이하)을 고려하여 최종목표 설정	'24	'25	'26	전차종			5	6	7	소형차 전용			8	9	10	[측정방법] - 관련 전문가 입회 하에 기존 대비 간격 증대가 가능한 환기소 성능 측정 [측정시기] - 당해년도 실적 : 당해년도 말(12월) - 지침 제·개정 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서
'24	'25	'26																
전차종																		
5	6	7																
소형차 전용																		
8	9	10																

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처												
가스상 유해물질 제거효율	• 설정방법 : 기술개발 완료시점에서 도로터널용 가스상(오존, 일산화탄소, 질소산화물) 유해물질 고효율 처리기술 확보를 최종목표로 설정 <table><tr><th>'24</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th></tr><tr><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>현장적용</td></tr></table> • 설정근거 : 現기술수준에서 도로터널용 가스상 유해물질 처리 기술이 미비하여 해당 내용을 목표로 설정	'24	'25	'26	'27	50	60	70	현장적용	[측정산식] - $\Sigma(\text{정화 후 유해물질}) / \Sigma(\text{정화 전 터널 내 유해물질}) * 100 < 30$ [측정방법] - 외부 인증기관 입회하여 성능 검증 수행 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서				
'24	'25	'26	'27												
50	60	70	현장적용												
100km/h 주행 시 네비게이션 서비스 측위 정밀도	• 설정방법 : 지하고속도로 내 100km/h 주행 환경에서 네비게이션의 정밀도를 측정 <table><tr><th>'24</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th></tr><tr><td>10</td><td>3</td><td>1</td><td>현장적용</td></tr></table> • 설정근거 : 초장대다수 분합류가 존재하는 지하고속도로의 안전·교통서비스 제공을 위해 필요한 측위 정밀도를 최종목표로 설정	'24	'25	'26	'27	10	3	1	현장적용	[측정산식] - $\Sigma(\text{실험별 측정 정밀도})/\text{실험수}$ [측정방법] - 실제 주행 환경에서의 성능 평가 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('27년)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서				
'24	'25	'26	'27												
10	3	1	현장적용												
공간 디자인 이용자 만족도 확보	• 설정방법 : 타 기관 고객만족도 조사의 등급분류 기준을 참고하여 목표치로 설정 <table><tr><th>점수</th><th>기준</th></tr><tr><td>90~100</td><td>탁월</td></tr><tr><td>80~90</td><td>우수</td></tr><tr><td>70~80</td><td>보통</td></tr><tr><td>60~70</td><td>미흡</td></tr><tr><td>60점 미만</td><td>불량</td></tr></table> • 설정근거 : '27년은 최종적으로 우수등급을 달성하기 위해 80로 설정	점수	기준	90~100	탁월	80~90	우수	70~80	보통	60~70	미흡	60점 미만	불량	[측정산식] - 설문조사 대상으로 5점 척도로 조사한 후 100점 만점 기준으로 환산 [측정방법] - (측정대상) - (측정방법) 시뮬레이션으로 공간 디자인에 대한 만족도를 리커트 5점 척도의 설문조사로 조사 - (조사내용) 폐쇄감, 피로감 개선 등 - (평정부여 방식) 리커트 5점척도(전혀 그렇지 않다 : 1점, 조금 그렇다 : 2점, 보통: 3점, 그렇다 : 4점, 매우 그렇다 : 5점) [측정시기] - (측정기간) 당해연도 1.1 ~ 12.31	• 설문조사 외부 용역사업을 통한 공간 디자인 이용자 만족도 조사 결과보고서 활용
점수	기준														
90~100	탁월														
80~90	우수														
70~80	보통														
60~70	미흡														
60점 미만	불량														

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
설계 공정률	• 설정방법 : 인프라 설계의 적정성 확보를 위한 설계의 공정률로 '27년 설계 완성을 목표로 설정 • 설정근거 : 목표한 연도까지 전체 설계를 달성하기 위한 당해연도 까지의 누적 설계 공정율을 목표로 정함	[측정산식] - ((당해년도 설계 누적 달성량)/(전체 설계 목표량))X100 [측정방법] - 설계에 대한 정성평가 및 건수 측정 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서
단위 공정당 굴착거리	• 설정방법 : 현재 굴착기술에 대한 전문가평가를 통해 설계의 타당성을 검증하고 관련 기술 논문/보고서를 추가로 고려 *전문가: 지반 및 기초 기술사, 발파 전문가 등 검토의견서 3건 제시 • 설정근거 : 전문가평가를 통한 기술달성 목표 설정	[측정산식] - 당해연도 확보의 굴착거리(m)/공정 [측정방법] - 당해연도 확보한 기술의 한 굴착거리를 m단위로 측정 [측정시기] - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	• 국토교통 R&D 사업관리시스템 • 연차별 실적보고서

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내용			
전략목표	초광역간 연결, 초대단면 K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상을 위한 인프라 기술 개발			
(최종) 성과목표	- (1단계, '24~'26) K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상 • 위험차량 분류 정확도 : ('24년) 신규 → ('26년) 70(%) • 친환경차 대응 설비 : ('24년) 신규 → ('26년) 수소차(종) • 방폭성능(차량종류) : ('24년) 신규 → ('26년) 소형화물, 중형화물 • 교통처리 지표 및 방법 적정성 : ('24년) 신규 → ('26년) 70(%) • 교통차단시설 인지 성능 : ('24년) 신규 → ('26년) 5(%) • 초대단면 분할 굴착 감소율 : ('24년) 신규 → ('26년) 35(%) • 수직구 수직편차 : ('24년) 신규 → ('26년) 10(mm/m) • 누설전류 제한 : ('24년) 신규 → ('26년) 10(mA) • 침수시 대피시간 : ('24년) 신규 → ('26년) 20(min) • 환기소 설치간격(km) : ('24년) 신규 → ('26년) 전차종6, 소형차9 • 가스상 유해물질 제거효율 : ('24년) 신규 → ('26년) 60(%) • 측위 정밀도 : ('24년) 신규 → ('26년) 1(m) • 공간 디자인 만족도 : ('24년) 신규 → ('26년) 70(%) • 이용자 편의 설계 공정률 : ('24년) 신규 → ('26년) 90(%) • 단위 공정당 굴착거리 : ('24년) 신규 → ('26년) 4(m/cycle) - (2단계, '27~'28) K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상 • 위험차량 분류 정확도 : ('27년) 70(%) → ('28년) 95(%) • 친환경차 대응 설비 : ('27년) 수소차(종) → ('28년) 수소,전기(종) • 방폭성능(차량종류) : ('27년) 소·중형화물 → ('28년) 대형·수소차량 • 교통처리 지표 및 방법 적정성 : ('27년) 70(%) → ('28년) 80(%) • 교통차단시설 인지 성능 : ('27년) 5(%) → ('28년) 10(%) • 초대단면 분할 굴착 감소율 : ('27년) 35(%) → ('28년) 50(%) • 수직구 수직편차 : ('27년) 10(mm/m) → ('28년) 5(mm/m) • 누설전류 제한 : ('27년) 10(mA) → ('28년) 5(mA) • 침수시 대피시간 : ('27년) 20(설계)(min) → ('28년) 20(시공)(min) • 환기소 설치간격(km) : ('27년) 전차종6, 소형차9 → ('28년) 전차종7, 소형차10 • 가스상 유해물질 제거효율 : ('27년) 60(%) → ('28년) 70(%) • 측위 정밀도 : ('27년) 1(m) → ('28년) 3(m) • 공간 디자인 만족도 : ('27년) 70(%) → ('28년) 80(%) • 이용자 편의 설계 공정률 : ('27년) 90(%) → ('28년) 100(%) • 단위 공정당 굴착거리 : ('27년) 4(m/cycle) → ('28년) 4.5(m/cycle)			
단계별 성과목표 및 지표	1단계(24년도~26년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응체계 구축	0.10	위험차량 사전 감지 분류 정확도	질
		0.05	친환경차 화재 대응 설비 차량 종류	질
	지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보	0.05	폭발 규모별 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준 제시	질
	지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리	0.05	지하고속도로 교통처리 평가지표 및 평가방법의 적정성	질
		0.05	재난 대응 교통차단시설 인지 성능	질

초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보	0.05	기존 공법 대비 단면 분할 감소율	질
	0.10	수직편차	
극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화	0.05	침수시 펌피기동반 정상작동을 위한 누설전류 제한	질
	0.10	지하고속도로 침수 시 대피시간 확보	질
환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보	0.10	환기소 설치간격	질
	0.05	가스상 유해물질 제거효율	질
지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상	0.10	100km/h 주행 시 네비게이션 서비스 측위 정밀도	질
지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발	0.05	공간 디자인 이용자 만족도 확보	질
지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보	0.05	설계 공정률	질
첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술로 굴착 효율 향상	0.05	단위 공정당 굴착거리	질
2단계(27년도~28년도)			
단계별 성과목표	가중치	성과지표	
		지표명	지표 구분
지하고속도로 선제적 화재 위험 관리·대응체계 구축	0.10	위험차량 사전 감지 분류 정확도	질
	0.05	친환경차 화재 대응 설비 차량 종류	질
지하고속도로 방폭성능 확보를 통한 이용자 안전 확보	0.05	폭발 규모별 내부 구조물 방폭성능 및 규제 기준 제시	질
지하고속도로 맞춤형 교통관리 및 교통차단 시설 개발을 통한 선제적 재난 관리	0.05	지하고속도로 교통처리 평가지표 및 평가방법의 적정성	질
	0.05	재난 대응 교통차단시설 인지 성능	
초대단면 터널의 분할 굴착 최소화 및 대심도·대단면 수직구의 수직도 확보	0.05	기존 공법 대비 단면 분할 감소율	질
	0.10	수직편차	질
극한호우시 침수에 의한 인명피해 제로화	0.05	침수시 펌피기동반 정상작동을 위한 누설전류 제한	질
	0.10	지하고속도로 침수 시 대피시간 확보	
환기소 최대 설치간격 및 가스상 유해물질 처리기술 확보	0.10	환기소 설치간격	질
	0.05	가스상 유해물질 제거효율	질
지하고속도로 정밀측위제공을 통한 교통 안전 확보 및 이용자 편의 향상	0.10	100km/h 주행 시 네비게이션 서비스 측위 정밀도	질
지하고속도로 최적화 공간 디자인 개발	0.05	공간 디자인 이용자 만족도 확보	질
지하 이용자 편의향상 인프라 설계 및 적정성 확보	0.05	설계 공정률	질
첨단 기술 융합 굴착 및 사이클 최적화 기술로 굴착 효율 향상	0.05	단위 공정당 굴착거리	질

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2026	2024~2026 (총 3년)/1단계	- K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상 • 위험차량 분류 정확도 : ('24년) 신규 → ('26년) 70(%) • 친환경차 대응 설비 : ('24년) 신규 → ('26년) 수소차(중) • 방폭성능(차량종류) : ('24년) 신규 → ('26년) 소형화물, 중형화물 • 교통처리 지표 및 방법 적정성 : ('24년) 신규 → ('26년) 70(%) • 교통차단시설 인지 성능 : ('24년) 신규 → ('26년) 5(%) • 초대단면 분할 굴착 감소율 : ('24년) 신규 → ('26년) 35(%) • 수직구 수직편차 : ('24년) 신규 → ('26년) 10(mm/m) • 누설전류 제한 : ('24년) 신규 → ('26년) 10(mA) • 침수시 대피시간 : ('24년) 신규 → ('26년) 20(min) • 환기소 설치간격(km) : ('24년) 신규 → ('26년) 전차종6, 소형차9 • 가스상 유해물질 제거효율 : ('24년) 신규 → ('26년) 60(%) • 측위 정밀도 : ('24년) 신규 → ('26년) 1(m) • 공간 디자인 만족도 : ('24년) 신규 → ('26년) 70(%) • 이용자 편의 설계 공정률 : ('24년) 신규 → ('26년) 90(%) • 단위 공정당 굴착거리 : ('24년) 신규 → ('26년) 4(m/cycle)	국가연구개발혁신법에 의해 단계평가로 조정되어 1단계 연구개발 평가
2028	2027~2028 (총 2년)/2단계	- K-지하고속도로의 이용자 안전·편의 향상 • 위험차량 분류 정확도 : ('27년) 70(%) → ('28년) 95(%) • 친환경차 대응 설비 : ('27년) 수소차(중) → ('28년) 수소,전기(중) • 방폭성능(차량종류) : ('27년) 소·중형화물 → ('28년) 대형·수소차량 • 교통처리 지표 및 방법 적정성 : ('27년) 70(%) → ('28년) 80(%) • 교통차단시설 인지 성능 : ('27년) 5(%) → ('28년) 10(%) • 초대단면 분할 굴착 감소율 : ('27년) 35(%) → ('28년) 50(%) • 수직구 수직편차 : ('27년) 10(mm/m) → ('28년) 5(mm/m) • 누설전류 제한 : ('27년) 10(mA) → ('28년) 5(mA) • 침수시 대피시간 : ('27년) 20(설계)(min) → ('28년) 20(시공)(min) • 환기소 설치간격(km) : ('27년) 전차종6, 소형차9 → ('28년) 전차종7, 소형차10 • 가스상 유해물질 제거효율 : ('27년) 60(%) → ('28년) 70(%) • 측위 정밀도 : ('27년) 1(m) → ('28년) 3(m) • 공간 디자인 만족도 : ('27년) 70(%) → ('28년) 80(%) • 이용자 편의 설계 공정률 : ('27년) 90(%) → ('28년) 100(%) • 단위 공정당 굴착거리 : ('27년) 4(m/cycle) → ('28년) 4.5(m/cycle)	국가연구개발혁신법에 의해 단계평가로 조정되어 2단계 연구개발 평가

4. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동(해당하는 경우 추가 작성)

① 사업 내용

지식재산 관련 예산 규모	〈Y연도 신규사업〉						
	(백만원)						
	구분		Y연도 예산	Y+1년도 예산	Y+2년도 예산	Y+3년도 예산	Y+4년도 예산
	☐ 세부사업명	총 예산					
	■ 내역사업명 1	총 예산					
	■ 내역사업명 2	총 예산					
	☐ 비목(합계) ①						
	■ 비목명(특허정보 조사비)						
	■ 비목명(특허자료 구입비)						
	〈기존사업〉						
	(백만원)						
	구분		Y-2년도 예산	Y-1년도 예산	Y연도 예산	Y+1년도 예산	Y+2년도 예산
	☐ 세부사업명	총 예산					
	■ 내역사업명 1	총 예산					
	■ 내역사업명 2	총 예산					
☐ 비목(합계) ①							
■ 비목명(특허정보 조사비)							
■ 비목명(특허자료 구입비)							
지식재산 관련 세부내용	내역사업(전략과제)별 주요 내용						
	○ 지식재산권 개발 / 지식재산 사업화 지원 / 지식재산 기반구축 ②						
	내역사업(전략과제)		주요 내용				
	5G 통신표준 선도		○ (주요 내용 기술) _				
	5G 통신표준 특허개발		○ (주요 내용 기술) _				
	표준특허 해외출원 지원		○ (주요 내용 기술) _				
	지식재산권 개발 계획 ③						
	연도	내역사업명	대표 핵심특허 주요내용		질적 수준 목표		
	Y연도		④		⑤		
	Y+1년도						
	Y+2년도						
	* 해당과제의 신규/기존 사업 여부 및 연차에 맞게 양식을 변경 또는 추가해서 작성						
	⑥ 핵심개발 내용 및 질적 수준 목표의 설정 근거						
	○ (주요 설정 근거 기술) _						
	○ (주요 설정 근거 기술) _						

② 사업추진체계 및 추진전략

사업수행주체

○ 추진주체 간 역할분담: 부처-전문기관-사업단 또는 센터 ①

수행주체	역할 세부내용
부처	○ 지식재산권 개발 / 사업화 지원 / 기반구축 역할 및 업무분장 내용
전문기관	○ 지식재산권 개발 / 사업화 지원 / 기반구축 역할 및 업무분장 내용
사업단 / 센터	○ 지식재산권 개발 / 사업화 지원 / 기반구축 역할 및 업무분장 내용

지식재산
관련
사업추진전략

IP-R&D 추진전략 및 체계 ②

○ 추진전략 개념도, 사업추진의 흐름도 등 제시
○ 사업추진 주체별, 전략별 추진체계 제시
○ 역할 및 수행 주체별 협력 방안 제시

IP-R&D 전주기 사업 및 목표 관리 계획

○ IP-R&D 전주기별 사업 추진 및 관리 계획 ③
○ IP-R&D 활동 및 목표관리 계획 ④

연도	내역 사업명	사업관리 관점의 IP와 R&D 연계 활동 목표			대표성과
		기획(Plan)	연구개발(Do)	평가(See)	
Y년도					
Y+2년도					

* 해당과제의 연 차에 맞게 양식을 추가해서 작성

지식재산
관련
위험요인 및
극복방안

구분	위험요인	극복방안
유사특허 발견	⑤	⑥

5. 성과 활용·확산 계획서 제출 계획(계속사업은 작성 불요)

사업 종료 연도	성과활용·확산 계획서 제출 연도
2028년	2029년