

과제
번호

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호()

2020년 국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D / 2020-연구기획

미래환경변화 대응

도로인프라

혁신기술개발

기획

최종보고서

2020

국토교통과학기술진흥원

미래환경변화 대응 도로인프라 혁신기술개발 기획 [중점분야3] 최종보고서

2020. 12 . 01.

주관연구기관/ (주)리디자인엑스
협동연구기관/ 국토연구원
한국교통연구원

국토교통부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

‘미래환경변화 대응 도로인프라 혁신기술개발 기획’(연구개발 기간 : 2019. 12. 02~ 2020. 12. 01)
과제의 최종보고서를 제출합니다.

2020. 12. 01.

주관연구기관명 : (주)리디자인엑스	(대표자) 김 지 영(인)
협동연구기관명 : 국토연구원	(대표자) 강 현 수(인)
협동연구기관명 : 한국교통연구원	(대표자) 오 재 학(인)

주관연구기관책임자:	김	지	영
협동연구기관책임자:	김	준	기
협동연구기관책임자:	우	승	국

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호		해당 단계 연구 기간	2019.12.02 -2020.12.01 (12개월)	단계구분	1차년도/1차년도						
연구사업명	중사업명	국토교통연구기획사업									
	세부사업명										
연구과제명	대과제명	미래 환경변화 대응 도로인프라 혁신기술 개발 기획									
	세부과제명										
연구책임자	김 지 영	해당단계 참여연구원 수	총 : 10 명 내부: 10 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 200,000천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:200,000천원						
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 10 명 내부: 10 명 외부: 명	총연구비	정부: 200,000천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:200,000천원						
연구기관명 및 소속 부서명	(주)리디자인엑스 국토연구원 한국교통연구원			참여기업명							
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:							
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:							
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음											
연구개발성과의 보안등급 및 사유											
9대 성과 등록·기탁번호											
구분	논문	특허	보고 서 원문	연구시설·장 비	기술요 약 정보	소프 트 웨어	화합 물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호			○								
국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황											
구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월 일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호			
요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)								보고서 면수 [중점분야3] 248			

요약문

연구의 목적 및 내용	▪ 본 연구의 목적은 미래환경 변화에 대응한 새로운 도로를 구현하기 위해 첨단기술과 융복합하여 도로인프라의 가치 제고 및 성능을 향상하는 도로인프라 혁신기술개발 사업을 기획하는 것으로, 도로인프라 R&D 관련 대내외 환경분석을 기반으로 사업설계 및 중점추진과제를 기획하고, 사전타당성 조사를 수행함				
연구 개발 성과	▪ 미래환경변화 대응 도로인프라 혁신기술개발 사업 총괄기획보고서 - 도로인프라 관련 대내외 환경분석 (STEEP분석, 현안분석, 정책니즈 분석) - 국내외 도로인프라 부문의 정책, 시장, 연구개발동향 조사 - 국내 도로인프라 부문의 R&D 역량 진단, 기술수준 조사 - 국내외 도로인프라 부문의 특허분석 - 국내 도로인프라 관련 기술수요조사 및 분석 - Top-down 및 Bottom-up 종합분석 기반의 본 사업의 중점분야 도출 - 본 사업의 비전-목표 체계 도출 - 중점분야별 핵심과제 도출 및 과제제안요구서(RFP) 도출 - 전체 총괄 과제 로드맵 - 본 사업의 추진체계 및 사업관리 절차 도출 - 사업의 사전타당성 조사 (정책적, 기술적, 경제적) ▪ 3대 중점분야별 기획보고서 - 중점분야별 정책, 연구개발 동향 조사 - 중점분야별 핵심과제 및 과제별 목표, 성과 도출 - 과제제안요구서(RFP) 도출 - 기대효과				
연구개발성 과의 활용계획 (기대효과)	▪ 본 연구결과는 「미래환경변화 대응 도로인프라 혁신기술개발」 사업 시행의 중장기적 R&D 예산 확보를 위한 근거자료로 활용 ▪ 국내외 도로인프라 R&D 관련 대내외 환경분석 및 국내외 현황조사 결과를 기반으로 미래지향적인 도로인프라 R&D 사업/과제의 포트폴리오 수립에 활용 가능 ▪ 국내 도로인프라 관련 대형 R&D사업 기획결과에서 정립된 도로인프라 R&D의 개념/범위, 중점연구분야 등은 이후 도로인프라 산업발전 및 인력양성 수립의 기초자료로 활용 가능 ▪ 본 연구결과에서 정립된 로드맵 등 시나리오 기반 시각화 산출물은 도로인프라 분야 R&D사업 결과물의 산업적응에 대한 기본 정책자료로 사용함으로써 미래 도로인프라 R&D 비전/목표 등 대한 공감대 형성에 활용				
국문핵심어 (5개 이내)	도로인프라	도로혁신	스마트도로	4차 산업혁명	예비타당성
영문핵심어 (5개 이내)	Road Infra	Road Innovation	Smart Road	4 th Industrial Revolution	Feasibility

목 차

I. 첨단기술 기반 고기능 포장	1
1. 연구배경 및 필요성	1
2. 국내외 현황조사	8
2-1. 국내외 정책동향	8
2-2. 국내외 기술/시장 동향	17
2-3. 특허분석	42
3. 연구목표 및 범위	54
3-1. 기본개념 및 범위	54
3-2. 연구개발 목표	55
3-3. 연구과제 전체구성 및 연계	57
3-4. 타 과제 유사/관련과제의 차별성 및 연계성	58
4. 핵심과제 구성 및 내용	61
4-1. [핵심과제8] 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장	61
4-2. [핵심과제9] 첨단소재 활용 도로사고 저감기술개발	65
4-3. [핵심과제10] 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술개발	71
5. 연구추진 로드맵	75
6. 소요예산	81

6-1. 연도별 소요예산	81
6-2. 예산항목별 소요예산	84
7. 위험요인 및 해결방안	86
8. 기대 및 파급효과	88
8-1. 과학기술적 측면	88
8-2. 사회경제적 측면	88
9. RFP	90

II. 도로인프라 예측-진단-관리 135

1. 연구배경 및 필요성	135
2. 국내외 현황조사	144
2-1. 국내외 정책동향	144
2-2. 국내외 기술/시장 동향	149
2-3. 특허분석	162
3. 연구목표 및 범위	170
3-1. 기본개념 및 범위	170
3-2. 연구개발 목표	172
3-3. 연구과제 전체구성 및 연계	174
3-4. 타 과제 유사/관련과제의 차별성 및 연계성	176
4. 핵심과제 구성 및 내용	177
4-1. [핵심과제11] 도로인프라 장기빅데이터 기반의 최적 유지관리 시스템 개발	177

5. 연구추진 로드맵	205
6. 소요예산	210
6-1. 연도별 소요예산	210
6-2. 예산항목별 소요예산	210
7. 위험요인 및 해결방안	211
8. 기대 및 파급효과	212
8-1. 과학기술적 측면	212
8-2. 사회경제적 측면	213
9. RFP	214

표 목 차

[표 1-1] 친환경 상품 구매실적	4
[표 1-2] FHWA의 R&T 프로그램 연구영역	9
[표 1-3] FHWA R&T : 인프라 영역의 상세연구주제	10
[표 1-4] 미국의 2045년 교통이슈와 트렌드 및 정책방향	11
[표 1-5] 국내 도로연장 및 포장율 ('15-'19)	18
[표 1-6] 국내 교량 및 터널 연장 ('15-'19)	18
[표 1-7] 노면파손 정보 제공에 따른 국내 예측 시장규모	19
[표 1-8] 자가치유 세계시장 전망	21
[표 1-9] 노면파손 정보 제공에 따른 해외(영국) 예측 시장규모	22
[표 1-10] PROS에서 제시한 미래도로의 교통안전을 위한 주요 기술개발 과제	25
[표 1-11] 일반적으로 적용되고 있는 융설 및 결빙방지 시스템	29
[표 1-12] 도로 현황측정 및 위험인프라 진단을 위한 계측센서 기술	38
[표 1-13] 고감도 자기비파괴검사를 통한 구조물 손상 및 결함 검출	39
[표 1-14] 「도로인프라 혁신형 - 첨단기술 융복합 도로안전 고성능화 기술」의 중점 및 세부분야	56
[표 1-15] 「첨단기술 기반 고기능 포장」 주요 연구분야 및 내용	57
[표 1-16] 핵심과제 8: 타 유사과제 차별성 및 연계방안 검토	58
[표 1-17] 핵심과제 9: 타 유사과제 차별성 및 연계방안 검토	58
[표 1-18] 핵심과제 10: 타 유사과제 차별성 및 연계방안 검토	59
[표 1-19] 핵심과제 8: 기술개발목표	62
[표 1-20] 핵심과제 8: 기술별/연차별 개발내용	63
[표 1-21] 핵심과제 8: 기술별 최종성과물	64
[표 1-22] 핵심과제 9: 기술개발목표	67
[표 1-23] 핵심과제 9: 기술별/연차별 개발내용	68
[표 1-24] 핵심과제 9: 기술별 최종성과물	69
[표 1-25] 핵심과제 10: 기술개발목표	71
[표 1-26] 핵심과제 10: 기술별/연차별 개발내용	72
[표 1-27] 핵심과제 10: 기술별 최종성과물	74
[표 1-28] 핵심과제 8: 세부기술별 연구추진 로드맵	75

[표 I-29] 세부기술 8-1 연구추진 로드맵	75
[표 I-30] 세부기술 8-2 연구추진 로드맵	75
[표 I-31] 세부기술 8-3 연구추진 로드맵	76
[표 I-32] 핵심과제 9: 세부기술별 연구추진 로드맵	76
[표 I-33] 세부기술 9-1 연구추진 로드맵	77
[표 I-34] 세부기술 9-2 연구추진 로드맵	77
[표 I-35] 세부기술 9-3 연구추진 로드맵	78
[표 I-36] 세부기술 9-4 연구추진 로드맵	78
[표 I-37] 핵심과제 10 연구추진 로드맵	79
[표 I-38] 세부기술 10-1 연구추진 로드맵	79
[표 I-39] 세부기술 10-2 연구추진 로드맵	80
[표 I-40] 핵심과제 8: 세부기술별 연차별 소요예산	81
[표 I-41] 핵심과제 8: 세세부기술별 소요예산	81
[표 I-42] 핵심과제 9: 세부기술별 연차별 소요예산	82
[표 I-43] 핵심과제 9: 세세부기술별 소요예산	82
[표 I-44] 핵심과제 10: 세세부기술별 소요예산	83
[표 I-45] 핵심과제 10: 세부기술별 연차별 소요예산	83
[표 I-46] 핵심과제 8: 예산항목별 소요예산	84
[표 I-47] 핵심과제 9: 예산항목별 소요예산	84
[표 I-48] 핵심과제 10: 예산항목별 소요예산	85
[표 I-49] 핵심과제 8 RFP	90
[표 I-50] 세부기술 8-1 RFP	95
[표 I-51] 세부기술 8-2 RFP	98
[표 I-52] 세부기술 8-3 RFP	101
[표 I-53] 핵심과제 9 RFP	105
[표 I-54] 세부기술 9-1 RFP	109
[표 I-55] 세부기술 9-2 RFP	113
[표 I-56] 핵심과제 10 RFP	117
[표 I-57] 세부기술 10-1 RFP	124
[표 I-58] 세부기술 10-2 RFP	129
[표 II-1] 연도별 도로연장 현황	135
[표 II-2] 도로시설물의 경과연수 현황(2019년 9월 30일 기준)	137
[표 II-3] 제1,2,3종 시설물별 경과연수 현황	138

[표 II-4] 시설물 안전등급 기준	138
[표 II-5] 도로시설물의 안전등급 현황	139
[표 II-6] 국내 지진재난 및 시설물 유지관리 관련 라이브러리	141
[표 II-7] 도로분야 기술개발전략('20-'30) 핵심분야 및 핵심기술 中	145
[표 II-8] 미국의 인프라 마스터플랜_MAP-21 US Road Facilities Maintenance	147
[표 II-9] 일본 <도로기술회의> 연구개발 프로젝트(2017~2019) 中	148
[표 II-10] 국내 도로연장 및 포장율 ('15-'19)	150
[표 II-11] 국내 교량 및 터널 연장 ('15-'19)	150
[표 II-12] 노면파손 정보 제공에 따른 국내 예측 시장규모	153
[표 II-13] 미국 노후화 및 문제 교량	156
[표 II-14] 노면파손 정보 제공에 따른 해외(영국) 예측 시장규모	156
[표 II-15] 도로 현황측정 및 위험인프라 진단을 위한 계측센서 기술	158
[표 II-16] 고감도 자기비파괴검사를 통한 구조물 손상 및 결함 검출	159
[표 II-17] 핵심과제 11: 타 유사과제 차별성 및 연계방안 검토	176
[표 II-18] 고속국도 포장상태 조사항목	177
[표 II-19] 교량점검을 위한 과학적 점검장비	177
[표 II-20] HPMS D/B 구성요소	179
[표 II-21] 교량 유지관리 시스템(HBMS) 모듈	179
[표 II-22] 세부기술 11-1 개발내용	182
[표 II-23] 콘크리트 포장 주요 보수공법	186
[표 II-24] 아스팔트 포장 주요 보수공법	187
[표 II-25] 교량 주요 결함사항	188
[표 II-26] 포장형식별 공용성 예측모형(고속국도, 예시)	190
[표 II-27] 공법별 공용성 모형(일반국도)	191
[표 II-28] 중장기 유지관리 비용분석 결과(일반국도)	191
[표 II-29] 세부기술 11-2 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발	193
[표 II-30] 특수포장 공법별 연도별 적용 현황	199
[표 II-31] 세부기술 11-3 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 알고리즘 개발	201
[표 II-32] 핵심과제 11: 세부기술 및 세세부기술별 연구추진 로드맵	205
[표 II-33] 핵심과제 11: 연도별 소요예산	210
[표 II-34] 핵심과제 11: 세부기술별, 연도별 소요예산	210
[표 II-35] 핵심과제 11: 예산항목별 소요예산	210
[표 II-36] 세부기술 11-1 RFP	214
[표 II-37] 세부기술 11-2 RFP	219
[표 II-38] 세부기술 11-3 RFP	224

그림 목 차

[그림 1-1] 국내 도로연장 및 포장율 ('15-'19)	17
[그림 1-2] 국내 교량 연장 ('15-'19)	18
[그림 1-3] 국내 터널 연장 ('15-'19)	18
[그림 1-4] 30년 이상 교량 현황 (2019 전국 교량/터널 현황조사)	19
[그림 1-5] 30년 이상 터널 현황 (2019 전국 교량/터널 현황조사)	19
[그림 1-6] 미국 유지보수 시장 현황 및 전망	20
[그림 1-7] 세계 도로건설 시장 전망	21
[그림 1-8] 세계 고속도로 및 교량건설 시장현황 및 전망	21
[그림 1-9] 3M사의 Diamond Grade Cybed DG	22
[그림 1-10] 노면표시용 열변색 적용 사례	23
[그림 1-11] 열변색 안료 적용 아스팔트 사례	23
[그림 1-12] 와이오밍 교통부의 사업용 차량을 이용한 도로정보 수집 개념도	24
[그림 1-13] 외부자극을 고려한 도로교통 안전향상 기술	25
[그림 1-14] 사업용 차량을 이용한 위험정보수집 수집 및 활용	26
[그림 1-15] ACT-58 확률론적 성능평가 절차	27
[그림 1-16] Cool Pavement 프로그램(Cool LA's Neighborhoods)	27
[그림 1-17] 도로 함몰위험도 평가 및 대응기술 개발	28
[그림 1-18] 지하안전 위험도 평가 핵심기술	29
[그림 1-19] IoT 이미지 머신러닝 기반 하중 실태파악	30
[그림 1-20] ELM 개념도	31
[그림 1-21] Delft의 박테리아 담체화 연구	32
[그림 1-22] HEALROAD project 개념도	32
[그림 1-23] 내부식성 보강재를 활용한 SEACON 시공사례	32
[그림 1-24] PCM이 적용된 아스팔트 혼합물의 온도 특성	33
[그림 1-25] EnDurCrete의 개요도	34
[그림 1-26] INNO-PAVE Deckschicht system	35

[그림 I-27] ALTERPAVE의 테스트트베드 실증	35
[그림 I-28] PLASTICROAD project (Netherlands)	36
[그림 I-29] AAM의 반응 및 내구성에 대한 이론적 접근	36
[그림 I-30] SHAPE Box 설치 및 교량 강도변화 예측	39
[그림 I-31] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 연도별 특허동향	42
[그림 I-32] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 국가별 출원 동향 및 점유율	43
[그림 I-33] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 국가별* 기술 성장 단계	44
[그림 I-34] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)의 세부기술 특허현황	45
[그림 I-35] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)의 세부기술 구간별 특허동향	46
[그림 I-36] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 기술별* 기술 성장 단계	47
[그림 I-37] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 세부 분류별 상위 출원인 TOP10	48
[그림 I-38] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 상위 출원인 TOP10 현황 및 국가별 특허현황	49
[그림 I-39] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 상위 출원인 TOP10 구간별 특허동향	50
[그림 I-40] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 상위 출원인 TOP10 기술별 특허현황	50
[그림 I-41] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 국가별 최신 특허동향	51
[그림 I-42] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 기술별 최신 특허동향	52
[그림 I-43] 도로 노면 결빙(블랙아이스) 개념도 겨울철 노면 결빙 현상	65
[그림 I-44] 도로 노면 결빙으로 인한 교통사고 사례 언론 보도(2019.12.14., 연합뉴스)	66
[그림 II-1] 연도별 교량 증가 현황	136
[그림 II-2] 도로 유형별 유지보수비	140
[그림 II-3] 도로 유지보수 투자전망	140
[그림 II-4] 국내 도로연장 및 포장율 ('15-'19)	149
[그림 II-5] 국내 교량 연장 ('15-'19)	150
[그림 II-6] 국내 터널 연장 ('15-'19)	150
[그림 II-7] 30년 이상 교량 현황	151
[그림 II-8] 30년 이상 터널 현황	151
[그림 II-9] 국내 신규 교량건설 시장 전망	152
[그림 II-10] 국내 교량 유지보수 시장 전망	152
[그림 II-11] 국내 신규 터널건설 시장 전망	153
[그림 II-12] 국내 터널 유지보수 시장 전망	153
[그림 II-13] 미국 유지보수 시장 현황 및 전망	154
[그림 II-14] 세계 도로건설 시장 전망	154

[그림 II-15] 세계 고속도로 및 교량 시장현황 및 전망	154
[그림 II-16] 구조적 취약 등급을 받은 미국 교량 현황	155
[그림 II-17] 노후시설물 내진성능 진단·평가기술 개발 개요도	157
[그림 II-18] 드론을 활용한 도로 현황 측정 기술	157
[그림 II-19] 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발	158
[그림 II-20] SHAPE Box 설치 및 교량 강도변화 예측	159
[그림 II-21] SUREBRIDGE의 LAB test 개념도 및 실증 교량 모델 분석	160
[그림 II-22] SeeBridge 시스템 컨셉	161
[그림 II-23] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 연도별 특허동향	162
[그림 II-24] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 국가별 특허 동향 및 점유율	163
[그림 II-25] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 국가별* 기술 성장 단계	164
[그림 II-26] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 기술별(IPC) 특허현황	166
[그림 II-27] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 기술별(IPC) 구간별 특허동향	167
[그림 II-28] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 상위 출원인 TOP10 현황 및 국가별 특허현황	167
[그림 II-29] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)상위 출원인 TOP10 구간별 특허동향	168
[그림 II-30] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 국가별 최신 특허동향	169
[그림 II-31] 연구과제 전체구성 및 세부기술별 연계방안	175
[그림 II-32] 일반국도 포장자료관리시스템(PDMS) 개념도	179
[그림 II-33] Do Nothing 시나리오 적용 시 포장상태지수의 변화(고속국도, 예시)	191
[그림 II-34] 관리기준(HPCI : 3.5) 시나리오에 따른 평균 포장상태지수 변화(고속국도, 예시)	191
[그림 II-35] 도로 포장 예방적 유지보수로 인한 비용 절감	197
[그림 II-36] 교량의 시간경과에 따른 성능 저하	198
[그림 II-37] 중장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발 로드맵	207
[그림 II-38] 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발 로드맵	208
[그림 II-39] 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발 로드맵	209

I. 첨단기술 기반 고기능 포장

1. 연구배경 및 필요성

■ [도로 성능 고도화 요구] 도로의 노후화 구간 증대로 인한 안전 문제 지속

- 도로의 노후화의 빠른 진행과 안전등급 하락, 특히 일반국도의 사면은 장기적 계획이 필요한 III등급 이하가 40%를 차지하고 있어 안전사고 발생 위험 급증이 우려되고 있음
 - 노후도로 증가 및 공용성능 부족으로 인한 도로포장 생애주기 감소 및 파손도로에 대한 보수 예산이 지속적으로 증가하고 있는데, 예를 들어 아스팔트 포장 평균 공용연수의 경우 고속도로 6.8년 및 국도 7.9년, 서울시 5.8년으로 추정되고 있으며 도로유지보수예산은 5,347억원('17년) → 6,084('18년) → 6,926억원('19년) 지속적으로 증가하고 있음 이 국토해양부 관리도로의 비용으로 고속도로와 지자체 관리도로를 합산할 경우 상당한 규모의 예산이 도로 유지관리에 사용되고 있음
 - 2019년 9월 기준, 건설된 지 30년 이상인 도로교량은 15% 수준으로 노후화가 심각하지 않다고 볼 수 있지만, 10년과 20년 후에는 각각 46%와 87%까지 증가할 것으로 예측되며, 2020년부터는 노후 시설물에 투입되는 비용이 점차 증가하여 기존 투입 규모보다 큰 규모의 비용이 투입되어야 할 것으로 예상되고 있음¹⁾
- 화물차로 인한 도로충격과 피로하중, 진동, 주변오염 등 도로파손 증가함에 따라 도로수명의 증가를 위해 적재 중량을 초과한 과적 화물차의 단속, 관리가 시급함
 - 도로공사 연구 결과에 따르면, 적재중량을 초과한 과적 화물차는 도로의 수명을 많게는 절반 가까이 단축²⁾ 가능할 것으로 분석, 실제 축하중 화물차 1대가 도로에 미치는 영향은 10t일 때, 승용차 7만대, 15t일 때, 39만 대와 유사한 것으로 분석함
 - 도로이용 통행수요 및 물류량 증가로 반복적 도로파손 발생하고 있는데, 도로 통행 수요는 '20년까지 7.8% 증가되었으며, 도로 물동량 : 1,673백만톤('13년) → 1,920백만톤('20년) → ('25년) 2,027백만톤으로 증가할 것으로 예상됨

1) 국내 교통 인프라 유지보수 투자의 향후 변화 추이, (한국건설산업연구원, 2016.12)

2) Autoherald, [특집 1] 불법 부추기는 '가변축'-도로의 무법자'과적',
<<http://www.autoherald.co.kr/news/articleView.html?idxno=32993>> (검색일: 2020.4.6.)

- 사회기반 시설물에 대한 유지관리의 중요성이 증대됨에 따라 유지관리비용 절감 방안 정책이 강조되고 있음
 - 잦은 재포장공사는 유지보수 비용과 교통통제에 따른 사회적 비용의 증가 뿐 아니라 포장재료의 생산과 시공과정에서 발생하는 온실가스로 인해 국가적 온실가스 저감 정책에 부합하기 위해서는 도로포장의 유지보수 분야에서도 온실가스 저감을 위한 새로운 개념의 기술 개발이 시급함
 - 파손된 도로는 교통사고의 직접적인 원인을 제공하고 있으며 자동차 1만 대당 교통사고 사망자수('16년)는 1.7명 (OECD 평균 1.0명) 교통사고로 인한 사회적 손실('16년)은 265,725억원 이 발생하고 있음

■ [환경변화에 대한 대응 필요성] 미래 사회·경제적 환경변화에 따른 도로인프라의 혁신 기회 및 수요 확대

- 도로인프라 관점에서 기후변화로 인한 지구온난화 및 기후변동성 증가로 인해 재난재해의 빈도수 뿐 아니라 피해 강도 및 규모가 뚜렷하게 증가하고 있으며 이는 앞으로도 지속될 것으로 예측됨에 따라 도로인프라의 특성을 고려한 안전관리 및 안전체계 구축 수요증가하고 있음
 - 우리나라는 기후변화로 인한 폭우, 폭설과 같은 자연재해가 빈번하게 발생하여 도로 시설물의 용량저하, 혼잡발생 및 사고 증가 등으로 인적·물적 피해가 빠르게 증가 중임
 - 온도변화, 폭우, 강설 등으로 인한 도로파손으로 도로이용자의 안전성 확보 부족 및 이동성 저하로 불편이 발생하고 있는데, 기후 변화에 영향을 크게 받는 것으로 알려진 포트홀 발생건수의 경우 252,132건('14년) → 434,330건('17년)으로 크게 증가하고 있음
 - 최근 10년간 이러한 폭염(이상고온)과 열대야, 한파(이상저온), 호우태풍, 대설, 가뭄의 빈도와 강도가 뚜렷하게 증가하고 있으며, 이로 인해 노후취약기반 시설에서의 일시적이고 국지적인 피해 발생이 증가하고 있음
- * 이상기후현상의 대표적 예 : (2015~2017) 장기적으로 가뭄 발생, (2018) 여름철 폭염/열대야 일수 각각 31.4/17.7일로 최다, (2019) 연 영향 태풍수 7개로 (1950, 1959년과 공동 1위), 가을 영향 태풍수 3개로 최다 1위
- 교통사고 발생량은 지속적으로 감소하고 있으나 결빙 및 서리 등으로 인한 빙판길 사고는 2016~2018년 연평균 9.1% 증가하고 있음
 - 결빙 시 노면마찰력 감소로 차량의 제동 및 조향이 어려워져, 전도 및 이탈사고 발생 위험이 증가하며, 결빙구간에서의 과속은 치명적인 사고로 연결되곤 하며, 특히 서리, 결빙으로 인한 교통사고는 치사율이 적설로 인한 교통사고보다 2.84배 높음
- 환경 변화뿐만 아니라 인프라 시설에 의하여 발생할 수 있는 문제에 대한 국민들의 우려 증대
 - 2010년 소음 및 진동 민원은 53,718건으로 2009년 대비 26.7% 증가하였으며 환경

관련 민원 중 약 36%를 차지하고 있음 (수도권 지역에서 가장 높으며 최근 6년간 85.6%가 증가하였음)

- 서울시의 경우 도로변 주거지역의 주야간 도로교통소음은 2015년 기준 주간 69dB(A), 야간 66dB(A)로 환경기준인 주간 65dB(A), 야간 55dB(A)을 초과하여 서울의 심각한 환경문제로 인식되고 있음

- 지속가능한 환경을 유지하기 위한 각국의 관심도 증가

- 전 세계적으로 이상기후로 인한 재난·재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이를 근본적으로 예방하기 위한 온실가스 감축이 국제적 이슈로 부상
- 온실가스 감축 이외에도 도심지 불투수면적 증가로 인한 도심홍수, 열섬현상, 물순환 왜곡 등의 환경문제는 국민의 안전과 삶의 질 향상에 직간접적으로 연관되어 있는 중요한 요소로 이에 대한 다각적인 대책마련이 시급한 상황
- 급속한 산업화 및 경제발전에 따라 각종 산업군에서 폐기물 발생은 꾸준히 증가하고 있음. 건설산업에서 폐기물(산업부산물)의 활용은 천연자원의 고갈, 매립지 및 처리장 부족 등의 환경적 문제를 해소할 수 있으며, 국가적 정책인 친환경 정책에도 부합함

- 기후변화에 따른 환경변화, 노후화로 인한 산업수요, 기술경쟁력 확보를 위한 정책수요 등 도로 인프라의 포장·재료 부문에의 혁신 수요 증가(새로운 성능 개념의 기술개발 요구)

- 도로포장 인프라는 자동화, 디지털화에 대한 수요가 증가 중
- 교통량 증가 및 기후변화 등의 환경변화에 의한 교통공해(미세먼지, 소음 등)로 친환경 산업에 대한 산업관심이 높아지면서 친환경 기술개발에 대한 수요가 빠르게 증가

- 저비용, 고성능, 장수명, 친환경 도로인프라의 혁신 포장·재료 혁신 기술개발로 차세대 도로인프라 기술경쟁력 확보 및 사회적·환경적 문제 대응 필요

■ [국민 의식 향상 및 친환경 수요 증가] 환경에 대한 책임의식 확대와 삶의 질생활 쾌적성에 대한 수요 증가

- 환경위기 및 기후변화 인식 확대로 국민의 환경에 대한 인식 증가하면서 친환경 제품에 대한 소비자의 구매 수요와 환경오염을 줄이기 위한 개인과 기업의 노력도 증가
- 최근 '친환경 생활에 대한 인식과 현황'에 대한 설문조사에서는 응답자의 75.4%가 친환경 생활이 필수라고 답했고, 응답자의 연령이 낮을수록 필수라고 답한 비중이 높게 나타남³⁾
- 자신의 건강을 지키고 환경에 대한 책임 의식을 갖는 친환경·자연주의 제품에 대한 수요가 증가함에 따라 “必환경”이 소비시장 주요 트렌드로 자리매김

3) 성인 75.4% "친환경 생활 필수" (파이낸셜뉴스)

[표 1-1] 친환경 상품 구매실적

(단위 : 억원)

구분	2015	2016	2017	2018	2019
구매실적	20,907	27,440	30,682	26,763	31,736
전년대비 증가율(%)	4.8%	31.2%	11.8%	-12.8%	18.6%

[자료] 조달청

- 대기오염과 소음공해 등의 주범이자 생산적이지 못한 공간 등 부정적으로 인식되는 도로의 비환경적 이미지 개선 요구에 따라 단순히 이동과 통행목적의 공간이었던 도로가 쾌적한 삶을 위한 공간으로의 변화의 필요성 증대
 - (체험·경험 제공) 도로이용자들이 도로를 즐겁게 이용하면서 도로와 연계된 자연, 경관, 역사, 문화 자원 등을 체험하며 심리적 만족감을 느낄 수 있도록 기회를 제공⁴⁾
 - (미관이 우수한 도로 설계) 자연경관과 어우러진 아름다운 도로설계를 통해 운전자와 탑승자들이 즐겁고 편안한 이동을 할 수 있도록 함, 일본·미국·노르웨이에서는 국가적으로 ‘경관도로’의 활성화를 장려
 - (다양한 인간활동의 기반) 트레킹, 올레길 걷기, 순례길 걷기, 마라톤, 자전거대화 등의 스포츠활동과 월드컵 거리응원 등의 거리축제 추진

■ [주요국의 선제적 대응] 주요국들은 인프라 혁신을 위한 정책추진 활발

- (미국) 「DOT Strategic Plan for FY2018-2022」은 美 교통부(DOT)의 ‘18-’22 회계연도 전략계획으로 이에서 부처의 전반적인 전략적 방향을 정하며 해당 년도 동안에는 ① 안전 ② 인프라 ③ 혁신 ④ 책무성(Accountability)의 4개의 영역별 전략목표에 따라 각각 하위 프로그램 및 이니셔티브를 제공
- (독일) 교통인프라의 효율성 개선을 위해 도로안전, 환경보호, 기후변화, 에너지절약 등의 관점에서 혁신의 필요성을 고려하며 연구 프로그램 「Road in the 21st Century – Innovative Road Construction in Germany」(21세기의 도로 – 독일의 혁신도로건설)를 개발

4) 도로의 가치를 생각한다(한국도로학회 세미나)(조남건, 2018)

[참고] 「Road in the 21st Century」 중점연구테마별 내용

- A. 안전한 도로 : 적재중량의 강화, 도로유지보수시스템, 첨단도로공사 및 사고관리시스템, 도로 및 차량정보의 시스템 통합, 차내안전 시스템 간 통신 등
- B. 지능형 도로 : 지능형 건설방식 활용 및 혁신적인 정보시스템 구축, 교통환경 모니터링에 적합한 센서기술 지정, 도로용 ITS 프레임워크 아키텍처 개발, 수리하기 쉬운 도로 설계 등
- C. 에너지효율 도로 : 도로 운영 에너지 획득(풍력, 태양열, 지열 등), 에너지 소비가 낮은 교통설비 확충, 사용자재의 제조 및 폐기 과정 중 Co2 배출 최소화 등
- D. 저배기 도로 : 도로의 오염물질로부터 건설자재 및 구조물을 보존하는 배치, 대기오염 방지 조치, 오염물질의 분해기술
- E. 국민의 생활환경으로써의 도로 : 교통취약계층을 위한 도로, 인간생활 및 자연과의 통합, 사회담론의 장으로써의 도로, 다양한 유형의 이용자를 위한 도로
- F. 지속가능한 도로 : 종합 인프라 관리 시스템, 효율적인 철거 전략, 미사용 물질의 친환경적 재활용 전략, 인프라의 수명 주기 접근법의 개발 등
- G. 혁신주체로써의 도로 : 기술혁신을 위한 시험트랙의 구축, 시뮬레이션 절차와 평가방법의 통합, 오픈 인터페이스 개발 등

- (유럽) 유럽 30여개 국가와 호주, 미국, 이스라엘의 비영리 연구기관 협회 FEHRL은 '09년 「Forever Open Road」라는 공동연구 프로그램을 개발, 혁신적인 기술과 시스템이 더해진 차세대 도로 인프라를 계획. 궁극적으로 유럽의 공통 표준과 사양을 확보하는 것이 목적임

[참고] 「FOR(Forever Open Road)」 세가지 연구분야별 세부내용

- Adaptable Road : 도로의 건설과 유지보수를 빠르고 효율적으로 하는 방안에 대한 연구
- Automated Road : 차량, 서비스, 운전자(operator)가 모두 도로를 플랫폼으로 하여 통합되고 센서와 통신기술을 활용하여 상황에 맞는 안내를 제공할 수 있도록 시스템을 구축함
- Resilient Road : 기후, 소음, 오염물질 등의 외부환경으로부터 도로의 손상을 완화하는 동시에 지역에서 사용할 수 있는 열과 전력을 생산/수집함

- [일본] 국토교통성은 국토교통행정 관련 기술개발 등을 포함한 기술정책의 기본적 지침으로 '21년까지 유효한 새로운 「제4기 국토교통성기술기본계획(2017)」을 책정, 인간중심의 IoT, AI, 빅데이터 활용, 사회경제적 과제에 대한 대응, 선순환을 실현하는 기술정책 추진을 중심으로, 효과적이고 효율적인 R&D를 추진하는 것을 목표로 함

■ **[정책적 목표 실현] 국토교통과학기술연구개발종합계획의 정책적 목표 실현**

- 「제1차 국가도로종합계획(2016~2020)」 및 「국토교통과학기술연구개발종합계획(2018~2027)」의 정책적 목표의 효과적 실현을 위한 도로인프라 연구개발 사업 추진 필요
 - 제1차 국가도로종합계획에서는 「경제활성화를 지원하고, 미래를 준비하는 도로」라는 비전하에 효율적인 투자, 안전강화, 체감서비스 제고, 첨단도로 구축 등 추진과제를 마련
 - 국토교통과학기술연구개발종합계획(2018~2027)에서는 “혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통”을 비전으로 혁신성장동력(국가경쟁력), 국토교통 관련 삶의 질 만족도, 연구 환경 만족도 향상을 중점 목표로 제시

■ [위상 재정립] 미래 환경변화에 대응한 도로인프라 산업의 위상 재정립 필요

- 미래 사회·경제적 환경변화에 따라 도로 본연의 역할 뿐 아니라 새로운 공공서비스 및 가치창출을 위한 공간으로써의 역할 확대가 필요
 - 도로는 사람과 사람, 사회와 사회를 연결하는 이동공간으로, 수송 및 운송산업 발전의 기반으로써 국가경제발전과 지역균형발전을 촉진하는 기반시설로써의 중요한 역할을 수행하였으며, 도시화 확산의 가속화 및 교통의 복잡성 증대로 이러한 도로의 본 역할의 국가경제에 미치는 영향은 증가할 전망
 - 최근 미국, 유럽, 일본 등에서는 경제발전 및 산업경쟁력 확보에 도로 인프라의 공공 서비스 향상이 중요한 요소임을 인지하고, 안전, 인간중심, 친환경, 에너지, 스마트, 재난 재해 대응 등 미래 환경변화에 대응하기 위하여 도로와 관련된 혁신기술과 개념을 융합한 새로운 세대개념의 도로체계를 설계·구현하기 위한 R&D 연구를 체계적으로 지원중임
 - 이에 우리 경제가 직면한 성장한계를 극복하고, 도로인프라의 혁신역량 제고와 새로운 시장을 창출하기 위한 정부의 투자확대 및 여건조성이 시급한 실정임
 - 이에, 미래 교통 및 이동성 형성에 고려해야 하는 상호연결된 복잡한 문제를 감안하여, 실제 도로부문이 직면한 사회적 도전과제를 새로운 기술을 기반으로 해결하기 위해서는 국민·이해관계자 참여기반의 연구를 통해, 도로인프라 혁신의 사회적실현을 위한 체계적인 사업설계가 필요
 - 미래 더 많은 교통문제와 불균형한 용량 등 도로시스템의 빠른 변화가 운송 자체를 넘어서는 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 감안, 미래 부정적인 영향(산업발전 저해, 또 다른 불평등 등)은 최소화하고 긍정적인 영향력을 극대화하기 위한 인간/사회 이해를 기반으로 한, 정밀한 사업추진을 위한 설계가 중요

■ 새로운 도로인프라 R&D사업의 long-term Framework 필요

- 미래 환경변화에 대응하고, 그간의 도로분야 R&D사업의 [영역·분야] + [기획·운영] + [성과·수용성] 등에의 한계를 극복하여 정부 R&D사업 투자의 효과성 및 효율성 제고를 위한 도로 인프라 R&D의 장기적 프레임기반의 신규 사업설계 필요
 - 그간 도로부문의 R&D는 대부분 '교통·안전 분야'의 정부 및 연구기관 요청에 의한 '공급자 중심'의 '단발성'의 '과제 단위'에서의 '수동적' 방식의 R&D중심으로 추진하여, 중장기적 관점에서의 국가/국민적 수요 반영, 다양한 이해관계자의 능동적 참여, 관련 분야를 고려한 통합적 관점 반영 등에 한계

- (도로인프라 R&D의 Re-Positioning) 기술·경제·사회적 환경변화 하에서, 도로인프라의 타 산업과의 융합·연계를 통한 파급효과를 고려할 때, 도로인프라 및 기반조성의 주체로서 국토부의 역할 및 도로인프라 R&D 영역의 새로운 Positioning 확립 필요
 - * 그간 국토부의 도로부문 R&D는 안전/교통분야 위주의 좁은 범위에 한하여 추진되어온 바, 기존 지원영역과 연계한 도로인프라 융합혁신을 위한 기술개발 영역으로 확대 필요
- (체계적 사업설계) 그간 도로부문 R&D 사업의 한계 극복을 위해서는, 경제성장 뿐 아니라 국민의 안전성 및 삶의질 향상 등 경제·사회적 목표를 달성하기 위한 사업, R&D성과의 사회적 수용성을 높이기 위한 사업운영/관리 체계의 변화 필요

2. 국내외 현황조사

2-1. 국내외 정책동향

■ [PIARC] PIARC는 도로운영관리, 모빌리티, 안전성과 지속가능성, 회복력 있는 인프라의 4개 전략테마를 기반으로 4개년 전략계획을 수립·지원

* PIARC(Permanent International Association for Road Congresses : 도로 및 도로교통 관련 문제에 대한 국제 협력과 교류를 목적으로 하는 비영리단체로 120개국의 정부, 지역당국 등의 기관과 단체/개인이 회원으로 활동중

- PIARC에서는 내·외부 이해관계자뿐만 아니라 기술위원회 등의 협의를 통해 4개년 전략계획을 수립하고 세계 도로 및 도로교통을 개선을 통한 여객·화물의 지속가능한 접근성 향상을 목표로 회원국들의 전문지식을 모아 4개 전략테마를 중심으로 전략계획을 수립
 - 4개 전략테마는 아래와 같이 [전략테마1] 도로운영관리, [전략테마2] 모빌리티, [전략테마3] 안전성과 지속가능성, [전략테마4] 회복력있는 인프라 등으로 구분

■ [FOR(Forever Open Road)] FOR에서는 Adaptable Road, Automated Road, Resilient Road의 세가지 영역 기반의 차세대 공동연구 프로그램을 개발·지원

* FOR(Forever Open Road) : 유럽연합 국가들과 호주, 미국, 이스라엘이 소속된 비영리 연구기관 협회 FEHRL(Forum of European National Highway Research Laboratories)은 혁신적인 기술과 시스템이 더해진 차세대 도로 인프라를 계획하고 유럽 공통의 표준과 사양을 확보하고자 2009년 공동연구 프로그램을 개발

- 이들 중 관련성이 높은 Adaptable Road는 미래 교통 수요의 변화에 대처할 수 있는 유연하고 비용 효율적인 도로 인프라 시스템을 개발하는 것이 주요 목표, 「FOR program」의 다른 연구분야들을 지원하면서 여러 파트너 국가의 자매 프로그램들과 협력·교류를 진행
 - 4개의 국가에서 진행되고 있는 다음과 같은 자매 프로그램이 있음 ① Route 5ème Génération(프랑스), ② Stra ime Im 21. Jahrhundert(독일) ③ the E39 Coastal Highway Route(노르웨이) ④ EAR : the Exploratory Advanced Research Program(미국)
 - 프리랩 또는 모듈러 방식 기반의 디자인, 안전한 도로로서 self-explaining 및 Forgiving 인프라로서의 도로 개념설계, 저탄소 및 저전력 자재 및 부속, 수재해/얼음 방재 포장, 터널 및 교량, Transport Infra. Integrated with Land Use Planning(TIILUP), 고수명 포장재, 포장·교량·터널·구조물의 신소재, 내장형 무선센서, 저전력 조명 및 전광판, 전력공급(전기차 대중화를 위한 전기도로시스템 구현이 필수), 빠른 유지보수, 자동검사 및 측량기법 자산관리 등에 대한 연구로 구성

■ [FHWA R&T 프로그램] 미국 교통부 산하에 도로를 중점적으로 관리하는 기관인 FHWA(the Federal Highway Administration)가 운영하는 연구개발 프로그램으로 미국 교통부의 미션을 달성하기 위한 장관의 우선순위를 지원함

* ① Safety : 교통 관련 사망자와 중상자를 감소시킴 ② Infrastructure : 이동성과 접근성을 보장하여 미국 근로자와 기업의 경제적 성장, 생산성, 경쟁력을 촉진하기 위해 투자함 ③ Innovation : 국가 교통 시스템의 안전성과 성능을 향상시키는 혁신적 기술의 개발 및 실증을 선도함 ④ Accountability(책무성) : 규제의 부담을 줄이고 효율성, 효과성 및 책무성을 높여 국가에 기여함

- 도로기술연구에 대한 미연방의 투자가치를 최대화하기 위해 효과적인 파트너십을 구축하고 국가적 단위에서 중요한 도로의 과제를 식별 해결하여 현재와 미래의 교통수요를 충족시키는 것이 목표임
- (기능) 현안과 미래과제를 해결하고 도로·교통부문의 효율성을 창출하며 정책결정에 필요한 정보를 제공, 선진·응용적인 연구 및 연구기관의 전국적·국제적 협력을 통해 도로·교통 수요를 해결할 수 있는 솔루션의 개발 및 제공
- (특징) 주제선정부터 연구개발실행, 기술시험 및 평가, 시장적용을 위한 실증 및 평가까지 혁신의 전 주기를 커버
- 핵심 R&D 프로그램은 안전을 증진하고 혼잡을 감소시키고 인프라 설계 및 건설을 개선하며 교통분야 의사결정자에게 데이터 및 분석 결과를 제공⁵⁾

[표 1-2] FHWA의 R&T 프로그램 연구영역

연구영역	상세설명
안전	도로설계, 건설 및 유지보수와 관련하여 사망과 부상에 대한 영향요인을 다루며, 교통 전문가가 이러한 영향요인을 비용효율적인 대책과 연결할 수 있도록 강력한 데이터 분석 도구를 개발한다
인프라	안전/내구성/복원력/환경지속가능성/자산관리를 지원하는 미래적 연구를 지원함, 연구성과로는 이동성과 접근성 향상을 통한 경제성장/생산성/경쟁력 촉진
운영	도로국 및 지역 파트너들이 도로시스템의 효율성과 신뢰성을 관리하고 개선하는 방법에 대한 시스템 전반의 개선을 이끄는 혁신적인 기술과 프로세스를 개발함
정책	종합적인 품질 데이터를 제공하고 광범위한 정책옵션의 영향을 평가하며, 교통 프로젝트의 규제 및 허용 방식/교통 시스템의 구성, 운영 및 유지관리에 영향을 미치는 새로운 이슈 분석
계획 및 환경	개인/지역사회/경제 및 환경 간의 복잡한 관계를 고려한 새로운 도구 및 프로세스를 평가하여 보다 나은 의사결정을 가능하게 하고 개선된 결과를 도출한다
EAR*	Exploratory Advanced Research, 위 분야(1~5)에서 장기적이고 위험도가 높은 연구를 수행함, 교통분야에서 극적인 혁신을 일으킬 수 있는 잠재력이 있는 연구 제품임

5) <https://highways.dot.gov/research/about/strategic-goals-and-plans>

[표 1-3] FHWA R&T : 인프라 영역의 상세연구주제

주제	상세설명
건설 및 프로젝트 관리 Construction and Project Management	· 도로 건설 및 프로젝트 관리 관행을 개선하기 위한 최신 정책 지원(support) · 도로 건설 가속화, 건설 품질(내구성) 향상, 프로젝트 효율·효과적 관리
자산관리, 유지보수 Asset Management, Preservation, and Maintenance	· 교통성능관리(Transportation Performance Management), 자산관리(Asset Management) · 도로 인프라 및 시스템 성능의 효과적인 관리를 위한 지침 및 정책 개발 · TPM 향상을 위한 전략, AM 및 유지보수 업무의 개선, TPM&AM 관련 교육, 기술이전 및 기반 이니셔티브의 개발
지반공학 Geotechnical Engineering	· 도로교통시스템의 지반기술 및 유압성능(안전성, 효율성, 내구성, 회복탄력성, 비용효율성) 향상을 위한 연구
유압·수력학 Hydraulics	- (지반공학) 암반공사, 지반개선, 지반조사, 기초구조, 지질위험 등 - (유압·수력학) 수문(수문관), 도로배수, 교량과 지하배수로, 연안공학 등 · (예시) 산사태의 충격을 완화하기 위한 사면 안정성과 지반공학적 특성 연구 및 배수 최적화
장기 인프라 성능 Long-Term Infrastructure Performance	· 기존에 각각 독립적으로 진행되어온 LTPP/LTBP 연구방식을 통합하여 접근하는 것으로 전환 - Long-term Pavement Performance/Bridge Performance · 성능 모니터링 및 설계 개선을 위해 수집된 데이터는 웹 기반 포털을 통해 공개 및 활용 가능
포장재 및 재료 Pavement and Materials	· 포장재 및 재료 연구개발 프로그램과 AIDPT(Accelerated Implementation and Deployment Technologies) 프로그램으로 구성 · 골재·암석기술(petrographic), 바인더, 아스팔트 혼합재, 화학, 코팅·부식, 콘크리트, 포장재 시험설 등의 다양한 세부분야로 구성
구조물 Structures	· 고성능 재료(UHPC, Ultra-High Performance Concrete)의 비용효율적 활용, 교량성능 개선, 비파괴평가 기술의 연구개발을 지원 · 도로인프라의 지속가능성을 향상하고 교량, 터널 등의 구조물의 보수상태를 유지함

- [NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)] 주요 도로(Highway)는 지역적인 관점을 바탕으로 주(州) 당국이 주 내 대학 및 연구기관과 협력하는 것이 가장 적합하다는 의견 아래 FHWA와 AASHTO 위원회가 연구주제를 발굴하고 관련 연구 프로젝트를 NCHRP가 선정⁶⁾

[NCHRP 20-59(54)]	Transportation System Resilience
[NCHRP 20-112]	Transportation and Public Health
[NCHRP 20-114]	Multinational Freight Transportation
[NCHRP 20-122]	Rural Transportation Issues
[NCHRP 20-24(98)]	Connected/Automated Vehicle Research Roadmap
[NCHRP 20-102]	Impact of Connected Vehicles and Automated Vehicles on State and Local Transportation Agencies
[NCHRP 20-113]	Transportational Technologies

- [Beyond Traffic 2045] 2017년 미국교통부는 미국 내 현안 분석결과를 토대로 설정한 30년간의 장기 정책비전과 액션플랜이 담긴 Beyond Traffic 2045 보고서를 발간⁷⁾

6) <http://www.trb.org/NCHRP/NCHRP.aspx>

7) 손유진, 미국 「Beyond Traffic 2045」주요내용 및 시사점, 도로정책리포트 06; U.S. Department of Transportation, Beyond Traffic 2045, 2017.

- 30년 후 교통부문에 예상되는 통행, 물류, 기후변화 대응, 기술혁신과 발전, 평등, 예산확보와 투자 등 6개의 이슈로 구분하고 이슈별 트렌드를 분석하고 정책방향을 제시
 - 통행, 물류, 기후변화 대응, 기술혁신과 발전, 평등, 예산확보와 투자 등과 관련된 여건의 변화가 이용자의 통행방법 및 유형선택에 어떠한 영향을 미칠 것인지 파악
 - 교통 문제 해결의 관건은 데이터에 기반한 장기적인 트렌드와 해결해야 할 문제에 대한 우선순위를 파악하는 것임을 강조

[표 1-4] 미국의 2045년 교통이슈와 트렌드 및 정책방향

6대 이슈	트렌드	정책방향
기후변화 대응	· 기온상승, 평균해수면 상승 및기후재해 빈번화 등으로 모든 교통수단의 피해 급격히 증가 · 2025년 연방정부 석유경제 기준이 1갤런당 54.5미일로 상향조정 · 하이브리드차 또는 플러그인 전기차 증가로 배기가스 감축	· 대체연료 사용확대와 에너지 효율성 개선으로 배기가스 방출 감소 · 지속가능한 발전과 관련 연구활동을 장려하는 인센티브 및 재정적 지원방안 마련 · 태풍, 해수면 상승, 홍수 등에 강한 교통인프라 구축 · 기후변화에 취약한 지역에 개발활동 감소
기술혁신과 발전	· 기술변화와 혁신으로 교통수단과 서비스에 큰 변화 · 새로운 통행자료의 활용가능성 확대 · 자동화와 로봇틱스의 발전으로 신교통수단등장, 교통인프라 유지방법 변화, 통행안전 확대 및 주요 간선망 무인자동차 이용확대	· 규제장벽 완화, 기술개발 인프라, 표준 마련을 통한 신기술 개발과 적용 확대 · 자료에 기반한 투자 의사 결정 · 기술개발과 적용 지원 · 교통안전 강화
예산확보와 투자	· 늘어나는 교통 인프라 유지, 보수비 및 확충비와 부족한 공공부문 예산 · 도로의 절반이상이 유지상태가 열악하고 25%의 교량이 보수가 필요한 상태 · 연방정부의 유류세수 감소 · 고속도로 및 대중교통 운영수익 부족과 안정적인 연방 정부 자금화로 부재	· 가장 중요한 수요를 충족시키기 위해 필요한 공공 부문 세수 확보방안 마련 · 지출감소와 그에 따른 문제해결 · 성과위주의 투자 우선시 · 민관 역할 재정립

[자료] 박정호, 미국 교통부보고서: 2045 미래교통을 넘어, 국토, 제428호, 2017. 6.

- 2045년까지 6가지 이슈의 대응에 실패했을 때를 가정하여 나타나는 상황을 기술
 - 주요 대도시 도로의 혼잡 심화, 항공편 지연으로 상품과 인간의 지역간 이동에 소요되는 시간과 비용 증가
 - 물류수송비용 증가로 수출 경쟁력은 하락하고 기후변화로 인한 재난재해의 영향으로 인프라 유지비용 증가 예상
 - * 현재(2017년) 교통정체로 인해 평균적인 근로자의 경우, 1년 중 1주일을 교통정체로 도로위에서 보내고 연료손실량은 매년 1,600억 달러(약 190조원)에 달함
- 수요 트렌드와 교통과제에 대응하기 위한 방안으로 3대 전략을 제시
 - 현재 교통시스템 대한 유지관리방안 개선
 - 과거의 교통모델에 따른 수요가 아닌 미래의 수요전망에 따른 새로운 프로젝트에 우선순위를 두고 예산을 지원
 - 기존 교통자원의 활용도를 최대화할 수 있는 기술과 설계법의 개선 및 적용

■ [CEDR(Conference of European Directors of Roads)] 유럽의 지속가능한 도로 시스템과 기반시설에 대한 협력과 개선 목표로 하는 도로 운영기관들의 플랫폼으로 회원 대부분은 국가의 도로 당국이며 국가 또는 국제수준에서 다뤄지는 도로·교통 시스템에 대한 결정에 지원 및 조언을 제공함

- 회원들의 기부금으로 자금을 마련하여 유럽 내 공동 프로젝트를 진행하거나 자원을 공유하고 전문가 네트워크를 구축하는 등 지식과 모범사례 교류를 통해 국가 간 도로당국들을 통합하는 역할을 수행함
- (TRP(Transnational Research Programme)) CEDR 회원들이 함께 구현할 수 있는 연구결과들을 활용하여 유럽 전역의 안전하고 효율적인 도로망을 구축하는데 기여할 수 있도록 함
 - TRP는 “ENR(ERA-NET ROAD)” 프로그램이 재편된 것임, ENR 프로그램은 유럽위원회(EC)가 유럽지역 도로연구를 지원하는 사업으로 기후변화(‘08), 안전(‘09), 자산관리(‘10), 디자인·모빌리티·에너지(‘11)와 같은 연구주제를 선정하였음
 - 매년 말에 게시되는 공모 연구주제(call)는 회원들의 협의를 통해 도출하고 다음 해 3월까지 연구 프로젝트를 모집하여 선정함

[참고] 2019년 TRP 프로그램 공모주제

① Renewable Energy in Road Infrastructure : 도로 인프라에서의 재생에너지

- (목표) 도로당국의 자산에 기존 재생에너지 발전을 응용하는 것을 더 잘 이해하여 도로당국이 에너지 전환에 대한 의사 결정을 할 때 정보를 기반으로 비용효율적인 판단을 할 수 있도록 도움
- (서브테마) ① 도로당국의 유형(분류)과 자산의 다양성에 따른 재생에너지 응용의 전반,
② 비즈니스 케이스와 일반적인 응용에 대한 분석,
③ 도로당국의 자산 및 토지에서의 재생에너지 관련 조직적·법적 이슈, 거버넌스 등

② Safe Smart Highways : 안전한 스마트 하이웨이

- (목표) 정차차량과 주요도로 capacity에 대한 도로당국의 기존 절차들을 고려하여 실시간으로 차로에 정차한 차량과의 충돌을 예방하고 주요도로의 capacity를 개선함

③ Soils : 토양

- (목표) 토양에 대한 국가 도로 프로젝트의 영향을 평가하고 정량화하기 위한 규범적 방법론을 개발하고, 이러한 영향들을 최소화하기 위한 실질적인 조치에 대한 대략적인 조치를 제시함

- (CEDR TRP 프로그램의 중점분야)

- ① Digitalisation and Innovation : 디지털화와 혁신
- ② Environment and Resilience : 환경과 회복탄력성
- ③ Safety, Operations, Mobility and Performance : 안전, 운영, 모빌리티 그리고 성능
- ④ Resources and Asset Management : 자원과 자산 관리
- ⑤ Regulation and Harmonization : 규제와 화합

- [Roads in the 21st century] 교통인프라의 효율성 개선을 위해 도로안전, 환경보호, 기후변화, 에너지 절약 등의 관점에서 혁신의 필요성을 고려하며 연구 프로그램인 「Road in the 21st Century – Innovative Road Construction in Germany」 (21세기의 도로 – 독일의 혁신도로 건설)를 개발
- 독일은 교통을 경제와 사회의 근간이며 삶의 질을 결정하는 이동권 수단으로 보고 지속가능한 도로체계 구현을 위하여 7개 부문별 중장기적인 연구개발을 지원중
 - 단기-중기-장기로 구분된 접근방식에 따라 첫 번째 단계에서는 청사진 작성 및 방법 개발과 시스템별 절차분석을 진행하고 두 번째 단계에서는 시험적용 및 서브시스템 통합을 진행, 세 번째 단계에서는 완전한 시스템 통합 및 실례 배치 전략 개발
 - 인구변화, 기후변화, 기술변화, 글로벌화, 화석연료의 지속가능성의 현재와 미래의 요구사항을 파악하여 7개의 중점연구테마를 선정
 - ① Safe and Reliable Roads : 적재중량의 강화, 도로유지보수시스템, 첨단도로공사 및 사고관리시스템, 도로 및 차량 정보의 시스템 통합, 차내안전 시스템 간 통신 등
 - ② Intelligent Roads : 지능형 건설방식 활용 및 혁신적인 정보시스템 구축, 교통환경 모니터링에 적합한 센서기술 지정, 도로용 ITS 프레임워크 아키텍처 개발, 수리하기 쉬운 도로 설계 등
 - ③ Energy-efficient Roads : 도로 운영 에너지 획득(풍력, 태양열, 지열 등), 에너지 소비가 낮은 교통설비 확충, 사용 자재의 제조 및 폐기 과정 중 Co2 배출 최소화 등
 - ④ Low-emission Roads : 도로의 오염물질로부터 건설자재 및 구조물을 보존하는 배치, 대기오염 방지 조치, 오염물질의 분해기술
 - ⑤ Roads as part of people's living environment(국민의 생활환경으로써의 도로) : 교통취약계층을 위한 도로, 인간생활 및 자연과의 통합, 사회담론의 장으로써의 도로, 다양한 유형의 이용자를 위한 도로
 - ⑥ Sustainable Roads : 종합 인프라 관리 시스템, 효율적인 철거 전략, 미사용 물질의 친환경적 재활용 전략, 인프라의 수명주기 접근법의 개발 등
 - ⑦ Roads as Innovation(혁신주체로서의 도로) : 기술혁신을 위한 시험트랙 구축, 시물레이션 절차와 평가방법의 통합, 오픈 인터페이스 개발 등
- [Safe and reliable roads] 기후변화, 도로상태, 첨단기술 발전 등에 대응하여 도로의 안전(유지관리 및 사고예방) 및 효율성 확보를 위해 적재 중량의 강화, 도로 유지보수 시스템, 첨단 도로공사 및 사고관리시스템, 도로 및 차량정보의 시스템 통합, 차내안전 시스템 간 통신 등의 연구개발 수행

- (구조유지관리) 도로망의 연령구조 감안, 타 교통수단 붕괴에 따른 이동량 증가에 대비하여 첨단 도로공사 기술, 분석시스템 및 사고관리 시스템을 통한 미래 교통대란 사전예방
- (도로정보관리) 차량 및 인프라, 도로정보 등의 관리시스템 통합을 통한 도로 인프라 전반의 종합적인 안전관리체계를 구축하여, 도로이용자의 정보요구를 충족하고 교통의 효율적 흐름을 촉진
- (2030년 목표) 안전하고 신뢰할 수 있는 도로전략의 연방간선 도로망에 실행, 안전 강화 조치의 전국적 실시, 교량과 터널 지속적 안전관리, 각 경로는 연결 품질에 따른 개별 정보에 대한 요건 충족, 차내 안전 시스템 적극 지원, 모든 주요 경로는 기후변화 영향으로부터 보호
- **[Intelligent roads]** 교통관리 및 구조적 도로 유지관리 분야에서 보다 전략적 의사결정(조건)을 생성/지원하기 위해, 도로/교통 상태 모니터링에 필요한 센서기술, 지능형 재료와 유지 보수가 쉬운 도로 설계, 지능형 도로 관련분야(건설, 교통관리, 구조적 유지관리)의 통합, 시너지 창출을 위한 연구개발 및 실증 등을 지원
 - (도로 데이터 수집 및 분석) 다양한 정보통신 시스템의 지원을 통한 데이터의 수집분석으로 도로운영자 측면에서는 운영 효율성 향상 및 리스크 최소화, 비용 절감 및 도로 안전 및 전체 도로망의 효율성 향상 효과를 기대
 - (지능적인 재료와 설계) 건설 자재와 공정 엔지니어링의 발전을 통해 외부충격 등의 정보 측정분석 및 자체치유가 가능한 건설재료를 개발하고, 통합센서를 활용한 혁신적인 도로 설계를 추진
 - (2030년 목표) 지능형 도로 하위 시스템 통합, 다양한 기록정보 시스템간의 시너지, 지능형 도로의 연방 간선 도로 네트워크에서의 활용 가능, 연방 간선 도로망의 도로 및 구조물의 계획/건설/구조유지보수/관리 규정 및 절차에 통합 등
- **[Energy-efficient roads]** 도로 관련 모든 영역(설계, 건설, 운영)에서 에너지 소비 최적화 및 재생에너지 생성/공급(도로 전기시스템, 지열, 풍력, 에너지 등) 촉진을 위한 R&D를 추진
 - * Sustainable roads 영역과 밀접한 연결
 - (친환경·재생에너지 활용) 압전발전기, 지열·태양열 발전, 풍력터빈 등을 활용하여 도로 운영에 필요한 에너지 일부를 공급할 수 있는 방안에 대한 연구 추진
 - (에너지효율 향상) 건설자재 개발→도로인프라 시공→노후자재 철거의 전단계에 걸쳐 탄소배출량 저감 및 낮은 에너지 소비에 초점을 맞춘 연구개발 및 시범 프로젝트 진행
 - (2030년 목표) 건설자재, 건설 및 운영 공정의 유형, 도로의 수명주기 접근방식이 있으며, 특히 에너지 소비와 Co2 배출량 측면에서 도로가 최적화됨, 도로는 재생가능한 에너지원에서 전기를 생산, 도로는 에너지 소비량의 상당부분을 생성

- **[Low-emission roads]** 최적화된 포장도로 설계로 교통소음 저감 및 운송에 의한 배출량 최소화를 위한 R&D를 지원(오염통제(공해방지) 요건과 도로/교통의 양립(compatibility)은 사람들의 motorized road transport 수용에 결정적 요인임)

* Sustainable roads 영역과 밀접한 연결

- (도로설계 최적화) 교통소음 발생 저감, 오염물질 분해기술, 도로유출물로부터의 구조물 보존 기술 등을 적용한 새롭고 최적화된 포장도로 설계·적용을 통해 도로운송으로 인한 탄소배출량 최소화
- (2030년 목표) 최적화된 시공 표준 유형을 기반으로 실제 교통 소음의 큰 폭 감소, 수요기반 소음공해 통제조치 전국적용, 규제 및 표준 건설 유형에서 통합 열화/보전 기술을 구현하여 운송으로 인한 오염물질 배출 최소화, courses 및 structures내 모든 목표값의 공통분류는 상황의 요구사항을 충족하도록 최적화된 시공유형을 선택가능하도록 함

- **[Roads as part of people's living environment]** 이동경로 및 수단으로서의 도로 이외에 국민이 다양한 목적으로 이용하는 사회적 포용 공간(놀이공간, 모험공간, 자전거공간, 보행공간 등)으로서 도로의 영향을 고려하고, 편의성 및 삶의 질 향상을 위한 혁신인프라 솔루션을 실험

- (주변환경에 대한 도로인프라의 영향분석) 국민 생활환경의 일부로서 도로의 건설·설계·운영이 자연경관에 미치는 영향을 고려한 생태적/경제적 평가, 시범적용 및 도시기후 영향 평가 등에 관한 연구진행
- (교통약자의 원활한 도로이용을 위한 연구) 도로교통 이용자를 보호하고, 도로이용유형의 스펙트럼을 확대하여 도로이용에 있어 취약계층이 발생하지 않는 혁신적인 교통인프라 계획을 수립·실행하기위한 연구진행
- (2030년 목표) 도로망은 경관 통합 측면에서 최적화, 오염 통제측면에서 최적화된 교통통제 시스템의 전국설치, 도로기반시설의 도시기후 개선에 기여 등

- **[Sustainable roads]** 사회의 이동성을 보호하기 위해서는 교통인프라 생애주기에서 경제적/생태적/사회적 측면을 고려해야 하며, 이를 위해 환경친화적 재활용 전략에 초점을 둔 연구를 추진

* Low emission roads 및 Energy efficient roads 영역과 밀접한 연결

- (도로 생애주기 고려) 건설사업의 계획 및 입찰시 지속가능성 측면에 대한 고려, 건설자재 및 사용방법의 신중한 선택, 종합적인 기반시설 관리체계의 일환으로 지속가능한 기반시설 관리, 마지막으로 효율적인 철거전략 등을 포함하는 연구개발 진행
- (환경친화적 대안 창출) 미사용 물질의 친환경적 재활용 전략 및 화석자원의 대안 개발, 재활용 건설자재에 대한 적합성 및 사용여부 판단, 2차물질의 처리와 재사용을 통한 폐기비용 절감방안 등의 연구를 통해 도로인프라의 요구사항 충족 및 기반구조 관리에 대한 접근법 개발

- (2030년 목표) 도로건설시 대체 및 대체 건설자재의 높은 배치율, 100% 아스팔트 재활용, 일상적인 유지보수 폐기물의 환경 친화적 재활용 보장, 생태 시멘트(ecological cement)의 실용적 배치, 계획/제조/유지보수 프로세스에 대한 절차 구현, 종합적인 인프라 관리시스템 제공 및 통합, 연방 교통 인프라 계획 및 프로젝트 계획에 지속가능성 측면을 충분한 고려 등
- **[Roads as innovators]** 최근 자동차 산업에서 진행되고 있는 대규모 혁신에 대응하여 미래 차량에 적합한 인프라를 제공하고, 도로가 교통인프라로서 뿐만 아니라 혁신 주체로 확립되고 독일과 유럽에서 긍정적인 혁신 분위기를 만들기 위해 필수적인 연구테마
 - (시장기반 프레임워크) 도로혁신에 대한 프레임워크는 기술적·경제적으로 실행가능한 계획을 포함하며, 저렴한 가격의 혁신적인 건설자재 및 시공법의 개발에 초점을 두어 과학적으로 건전한 시험절차와 평가방법의 확립을 위한 혁신 도로인프라 기술 및 체계를 구축
 - 시험인프라 구축, 건설자재 기증 및 경제지표의 설정, 시뮬레이션 절차 개발, 프레임워크 아키텍처 개발 및 차량간 연결 인터페이스 등에 집중
 - (2030년 목표) 혁신주체로서의 도로가 사회에 자리매김함, 계약체계를 전체 사용기간 동안 비용이 덜 들고 혁신적인 건설 자재 및 시공법을 장려함, 혁신적인 건설 자재 및 시공법, 도로 퍼니처 등의 요소들은 빠르게 종합적으로 평가함, 오픈 인터페이스를 통해 다양한 차량 및 인프라의 수명주기 일관성 구현

■ 코로나19 팬데믹에 대응하기 위한 ‘디지털 뉴딜’과 ‘그린 뉴딜’

- 코로나19에 따른 각국의 강도 높은 봉쇄조치 과정에서 세계경제는 대공황 이후 최악의 경기 침체 및 일자리 충격에 직면함 OECD 에서는 이번 위기로 '21년 말까지 대공황 이후 가장 큰 소득 손실 발생 예상하고 있음. 일자리를 지키고 내수를 뒷받침하기 위한 버팀목 역할이 없을 경우 ‘소득감소→수요위축→대량실업’의 악순환이 우려됨
- 이에 따라 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜 정책이 추진되고 있음. ‘디지털 뉴딜’은 세계최고 수준의 전자정부 인프라·서비스 등 우리 강점인 ICT 기반으로 디지털 초격차 확대하는 것을 골자로 하고 ‘그린 뉴딜’은 친환경·저탄소 등 그린경제로의 전환 가속화 → 탄소중립(Net-Zero)을 지향하고 경제기반을 저탄소·친환경으로 전환하려고 함

2-2. 국내외 기술/시장 동향

■ 국내 건설시장은 2030년까지 현재 규모를 유지하며 성숙기를 지속할 것으로 예측되나, 사회 기반시설의 보수보강 및 재개축 등과 관련된 유지보수 수요가 급증할 것으로 전망⁸⁾

- 시설물 안전 및 유지관리와 관련된 공공부문 유지관리 비용은 8년간 연간 8.7%가 상승

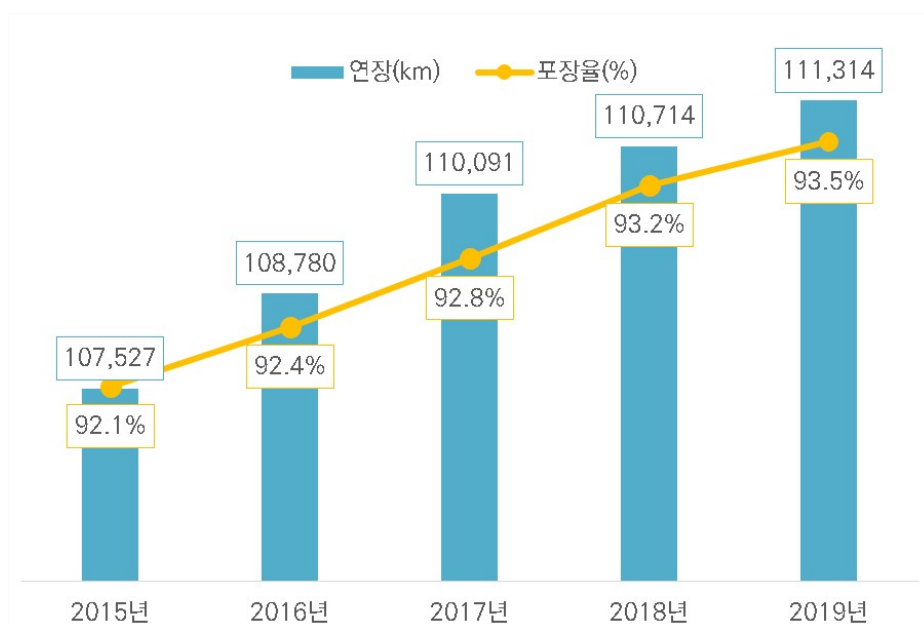
* '07년 1조 3,207 억원 → '15년 2조 5,432억원 (95% 상승)

- 준공후 20년 이상 경과된 교통관련 SOC 분야(교량, 터널 등)의 유지관리 예산은 10~20년이 경과한 구조물에 비해 도로 관련 시설물은 2.5배수준으로 증가함에 따라, 2030년 유지관련 예산은 현재 대비 3.5배로 증가할 것으로 전망

* 국토교통부 소관 시설물에 대한 안전 및 유지관리 예산(시설개량 포함)은 '09년 8,467억원에서 '15년 도로구조물 기능 개선사업 확대를 기점으로 '18년 2조 3,724억원으로 180% 수준 상승

■ [도로건설] '19년 기준 국내 도로 연장은 총 111,314km이며, 고속도로가 4,767km, 일반국도 14,030km⁹⁾

- 개통된 도로 103,192km 중 포장된 구간은 96,456km, 미포장된 구간은 6,736km로 도로의 포장률은 93.5%로 도로의 포장률은 꾸준히 증가



[그림 1-1] 국내 도로연장 및 포장율 ('15-'19)

8) 자가치유형 콘크리트 개발 최종보고서, 2020.04

9) 국가통계포털, 도로현황

[표 1-5] 국내 도로연장 및 포장율 ('15-'19)

(단위 : km, %)

연도	총계	소계			포장률
		개통도로	포장도로	미포장도로	
2015년	107,527	99,025	91,195	7,830	92.1%
2016년	108,780	100,428	92,826	7,602	92.4%
2017년	110,091	101,869	94,549	7,320	92.8%
2018년	110,714	102,465	95,524	6,941	93.2%
2019년	111,314	103,192	96,456	6,736	93.5%

[자료]: 국토교통 통계누리 도로현황(Road Statistics)

■ [교량/터널] 국내 도로 교량 및 터널의 개수와 연장 길이가 꾸준히 증가

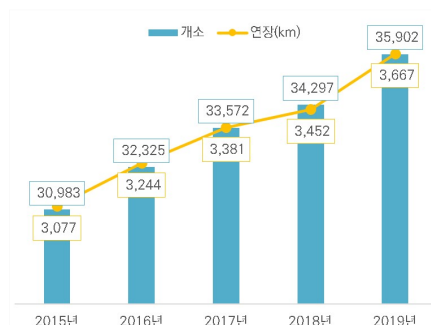
- 전국 도로교량은 '15년 30,983개소에서 '19년 35,902개소로 증가 같은 기간 도로연장은 3,077km에서 3,667km로 증가
- 전국 도로터널은 '15년 1,944개소에서 '19년 2,682개소로 증가, 같은 기간 터널연장도 1,293km에서 2,077km로 증가

[표 1-6] 국내 교량 및 터널 연장 ('15-'19)

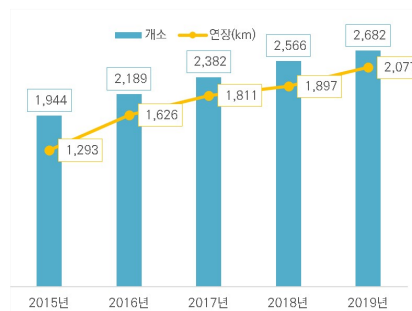
(단위 : 개소, km)

연도	교량 합계		터널 합계	
	개소	연장	개소	연장
2015년	30,983	3,077	1,944	1,293
2016년	32,325	3,244	2,189	1,626
2017년	33,572	3,381	2,382	1,811
2018년	34,297	3,452	2,566	1,897
2019년	35,902	3,667	2,682	2,077

[자료] 국토교통 통계누리 도로교량 및 터널현황(Road Bridge and Tunnel Statistics)



[그림 1-2] 국내 교량 연장 ('15-'19)

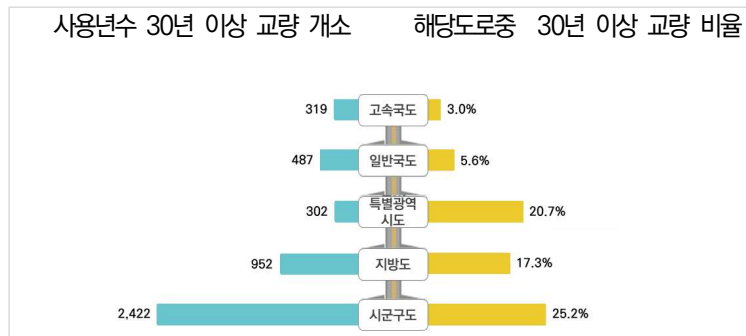


[그림 1-3] 국내 터널 연장 ('15-'19)

■ [교량/터널] 국내 도로 교량 및 터널의 평균 사용연수의 증가와 노후화 비율이 증가함에 따라 유지관리·보수 시장이 확대될 것으로 전망¹⁰⁾

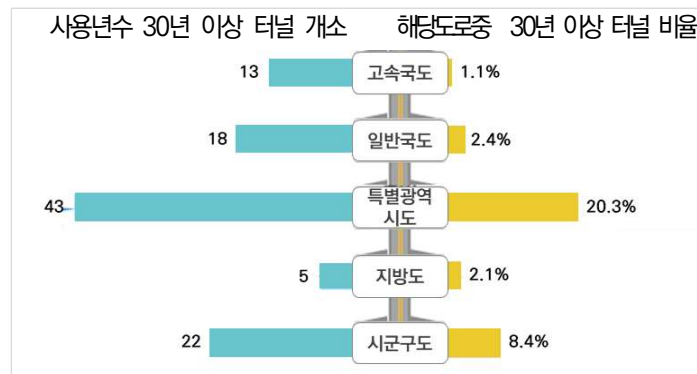
10) 「2019 전국 교량/터널 현황조사」에서 참고

- 교량의 평균 사용연수는 17.8년, 30년 이상의 노후화 비율은 12.5%로 지자체 관리도로 (시군구도, 특별광역시도, 지방도 등)가 국토교통부 관리도로 대비 높은 비중을 차지



[그림 1-4] 30년 이상 교량 현황 (2019 전국 교량/터널 현황조사)

- 터널의 평균 사용연수는 11.6년, 30년 이상 노후화 비율은 3.8%로 특별광역시도·시군구도 비율이 국토교통부 관리도로 대비 높은 비중을 차지



[그림 1-5] 30년 이상 터널 현황 (2019 전국 교량/터널 현황조사)

■ [노면파손] '10년 이후 노면파손에 의한 교통사고 건수 및 보수비용은 꾸준히 증가 추세¹¹⁾

- 2010년 이후 포트홀 등의 노면파손 관련 사고발생현황은 연간평균 861건에 이르고 있으며, 노면파손 관련사고 감소를 통한 사회적 편익은 연간 102.4억원으로 추산됨

[표 1-7] 노면파손 정보 제공에 따른 국내 예측 시장규모

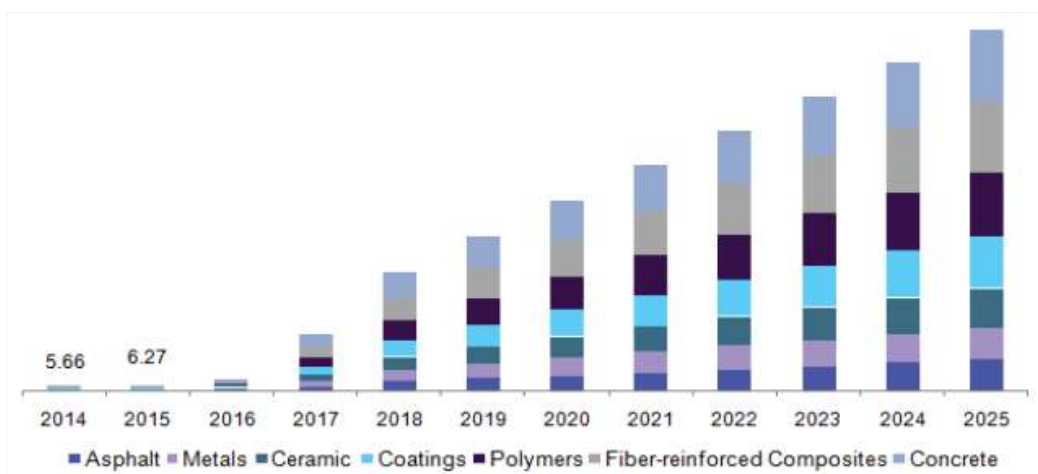
구분	세부내용
국내시장	연간 도로교통사고 감소 편익 = $12.8\text{조원} \times 0.4\% \times 20\% \approx 102.4\text{억원}$ - 12.8조원 : 2011년 기준 연간 도로교통사고 비용 - 0.4% : 전체 교통사고 중 노면파손 관련사고 비율 (최근 3년의 연간 노면파손사고 861건, 교통사고 224,082건) - 20% : 노면파손 관련사고 감소 비율(추정치)
	도로 노면파손의 스마트 탐지관리시스템 데이터 셋 및 장비: 359.8억원 효과 - 노면파손 등 도로교통정보에 대한 분석 모델링 정보제공 = 98,000만원/년 - 9개 자동차보험 $\times 10,000\text{만원(데이터 셋)}/\text{년} \times 70\%(\text{재구입율}) = 63,000\text{만원}/\text{년}$ - 5개 네비게이션 $\times 10,000\text{만원(데이터 셋)}/\text{년} \times 70\%(\text{재구입율}) = 35,000\text{만원}/\text{년}$

[자료] 사업용차량을 이용한 도로교통상황 정보수집 및 활용 기술개발 기획보고서, 2018

11) 사업용 차량을 이용한 도로교통상황 정보수집 및 활용 기술개발 기획보고서, 2018

■ 해외 주요국의 건설시장은 세계 경제 저성장이 장기화됨에 따라 사회기반 시설의 신규 조성보다는 기존 시설의 체계적인 유지보수를 통한 사용성 및 내구성 증진을 도모¹²⁾

- 일본의 공공시설물 보전 시장은 '13년 기준 2,012억 엔 규모를 기록하였고, 사회자본 투자 총액이 예년과 유사한 수준으로 유지될 경우, 2037년에는 유지관리 및 보수비가 투자총액을 상회할 것으로 예측
- 미국은 기존의 시설물 유지관리 정책을 보완하여 '20년까지 3,830조원의 예산을 추가 투입하고, 서유럽 또한 전체 SOC 투자 금액 중 약 30%를 유지·보수에 활용하는 등 유지·보수 시장의 규모는 지속적으로 확대될 것으로 전망



[그림 1-6] 미국 유지보수 시장 현황 및 전망

■ [도로건설] 도로교통 인프라 부문의 세계시장 규모는 동남아, 중앙아시아, 남미 지역의 도로 건설 투자 확대에 따라 최근 10년간 2배 이상 성장

- 동남아시아, 중앙아시아, 남미 개도국의 내수·수출 수증지원을 위한 도로건설 투자확대에 기인하여 '10년 1조 409억 달러에서 '20년 2조 4,876억 달러로 2배 이상 성장¹³⁾

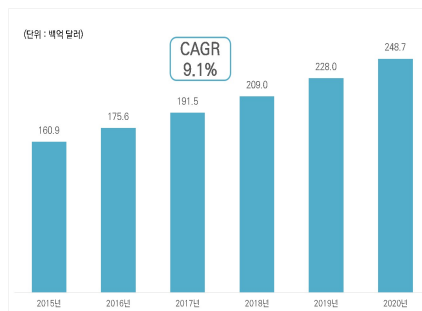
■ [도로/교량] 세계 고속도로 및 교량 건설시장은 '17년 1.5조 달러에서 연 8.4%로 성장, '22년 2.2조 달러 규모로 성장할 것으로 예상¹⁴⁾

- 세계 고속도로 및 교량건설 시장이 아시아-태평양을 중심으로 성장할 것으로 예측
- (아시아-태평양) '17년 9,920억 달러→'22년 1.5조 달러(연 9.0% 성장)
- (북미) '17년 1,820억 달러→'22년 2,218억 달러(연 3.2% 성장)

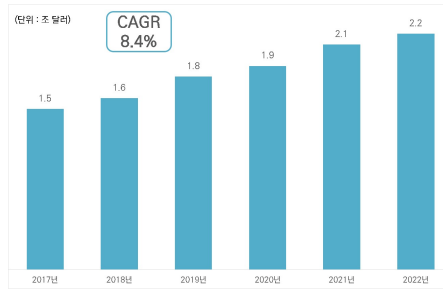
12) 자가치유형 친환경 콘크리트 기술개발 최종보고서, 2020.04

13) 건설경제, 25번째 도로의 날, 세계 도로시장 규모는, 2016

14) BCC Research, Highway, Street and Bridge Construction: Global Market to 2022, 2018



[그림 1-7] 세계 도로건설 시장 전망



[그림 1-8] 세계 고속도로 및 교량건설 시장현황 및 전망

■ [노면 파손] 파손된 도로에 의한 피해보상 금액 및 도로 유지관리 예산은 지속적으로 증가 추세¹⁵⁾

- 영국 아스팔트 협회(AIA)의 조사자료에 따르면, '13년 지방정부에서 보상한 노면파손 등 불량한 도로로 인한 피해보상금액은 2,380만 파운드(415억 원), 노면파손 등 도로유지관리 예산은 연간 약 9.76억 파운드(1.7조원)
- '15년 최소 5백만~최대 15백만 달러, '27년에는 최소 93.2백만~최대 509.2백만 달러로 추산하고, 이를 토대로 2050년까지 시장전망을 추정한 결과 '50년에는 자가치유물질 시장의 규모를 최소 27,242.39백만~최대 148,839.33백만 달러로 추산

[표 1-8] 자가치유 세계시장 전망

년도	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	CAGR ('15~'50)
최소	5.00	20.00	60.00	195.45	61.58	2,307.52	7,928.58	27,242.39	27%
최대	15.00	60.00	32.00	1,067.87	3,669.17	12,607.18	43,317.95	148,839.33	25%

[자료] Future Markets, Inc.(2017), 나노기술을 활용한 다기능경량 하이퍼 콘크리트 기술개발사업 최종보고서, 2019

■ 교통사고 예방을 위해 사고의 인적환경적 원인을 고려한 도로인프라에 대한 설계·자재 등의 기술개발 및 정보수집·진단·예측 기반 서비스 관련 연구개발이 활발히 진행중

- 해외 주요 국가에서는 도로의 시인성 확보를 위해 공공기관 외에 연구소 및 민간기업 등을 중심으로 다양한 첨가물이 함유된 도로노면표시 재료개발 및 실적용이 진행되고 있음
- (미국의 3M 社) 도로의 역반사 성능을 높여 재귀반사 능력을 향상시킨 제품인 Diamond Grade DG을 개발하여 도로에 적용하여 운전자의 도로 노면표시에 대한 야간 시인성을 향상시켜 교통안전 향상 및 교통사고 발생 감소 효과를 창출

15) 사업용 차량을 이용한 도로교통상황 정보수집 및 활용 기술개발 기획보고서, 2018.



[그림 1-9] 3M사의 Diamond Grade Cybed DG

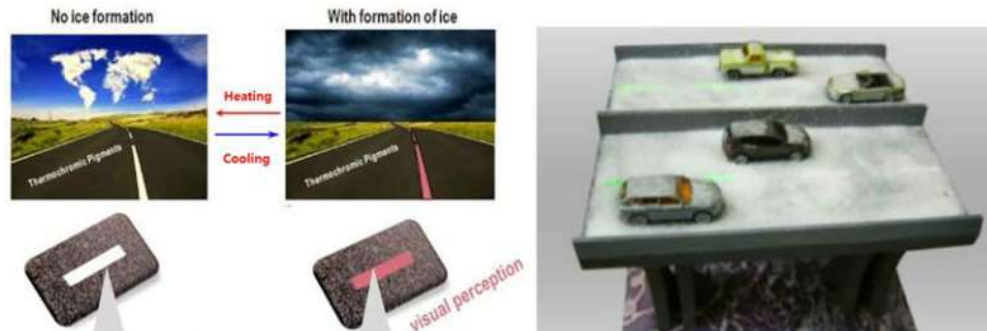
- (포르투갈의 UMinho 大) 나노파티클이 적용된 열변색도료를 개발·적용하여 0℃ 이하에서 차선의 색상을 변경시켜 운전자가 노면온도를 인지하여 사고율을 낮추는 연구를 추진

[표 1-9] 노면파손 정보 제공에 따른 해외(영국) 예측 시장규모

구분	세부내용
해외시장 (영국)	· 도로 노면파손의 탐지 데이터 셋 및 장비: 116억원/연 효과 · 연간 도로관리 비용 감소 편익 → $(415\text{억원} \times 20\%) + (10.2\text{조원} \times 0.05\%) \approx 583\text{억원}/5\text{년}$ - 노면파손 등 불량한 도로로 인한 피해보상금액 : 2,380만 파운드(415억 원) - 5년간 도로 유지관리 비용 : 약 58억 파운드(10.2조원) - 0.05% : 조기진단을 통한 유지관리 비용 감소비율 - 20% : 노면파손 자동 사전관리를 통한 관련사고 감소 비율(추정치)

[자료] 사업용차량을 이용한 도로교통상황 정보수집 및 활용 기술개발 기획보고서, 2018

- [첨단인프라건설재료] Future Markets, Inc.(2017)에서는 '15~25년까지 세계 자가치유 물질 및 재료를 위한 세계시장을 추정, 향후 2050년까지 시장규모가 급격하게 증가할 것으로 전망¹⁶⁾



[그림 1-10] 노면표시용 열변색 적용 사례

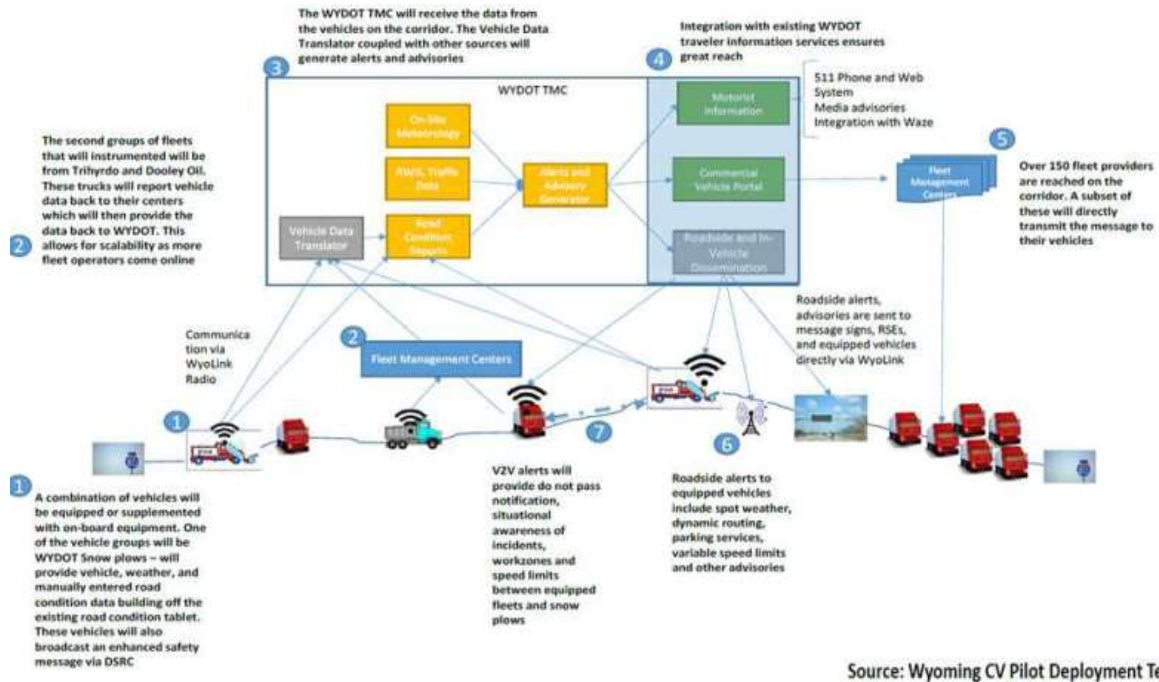
- (Shell 社) 아스팔트 바인더에 열변색 안료를 첨가하여, 0℃ 이하에서 도로노면의 색상이 분홍색으로 변하게 하는 아스팔트 조성물 특허를 등록하고, 열변색 안료가 포함된 도로 표지는 탈락 등 내구성의 문제로 아스팔트 자체에 열변색 안료를 적용

	Aging	Appearance at ambient temperature	Appearance below 0℃
Sample 1	No aging	No colour	Pink colour
Sample 1	24 hours in UV light in air	No colour	Pink colour
Sample 1	24 hours in UV light in water	Slightly pink	Pink colour
Sample 1	72 hours in UV light in air	Slightly pink	Slightly pink
Sample 1	72 hours in UV light in water	No colour	Pink colour
Sample 2	No aging	No colour	Pink colour
Sample 2	24 hours in UV light in air	No colour	Pink colour
Sample 2	24 hours in UV light in water	No colour	Pink colour
Sample 2	72 hours in UV light in air	Slightly pink	Slightly pink
Sample 2	72 hours in UV light in water	No colour	No colour
Sample 3	No aging	No colour	Slightly pink
Sample 3	24 hours in UV light in air	No colour	No colour
Sample 3	24 hours in UV light in water	No colour	No colour
Sample 4	No aging	No colour	Pink colour
Sample 4	24 hours in UV light in air	No colour	Pink colour
Sample 4	24 hours in UV light in water	No colour	Pink colour
Sample 4	72 hours in UV light in air	No colour	Pink colour
Sample 4	72 hours in UV light in water	No colour	Pink colour

[그림 1-11] 열변색 안료 적용 아스팔트 사례

- 미국 와이오밍 교통부는 도로제설 효율화 및 실시간 노면상태 정보 제공을 통해 도로상의 위험요소를 감지하고 교통사고 예방에 대응하기 위해 도로관리청이 운영하는 제설차량과 민간 물류회사 운영차량을 이용하여 노면상태 정보를 수집하는 기술을 CV-Pilot 프로젝트의 일환으로 개발

16) 나노기술을 활용한 다기능경량 하이퍼콘크리트 기술개발사업 최종보고서, 2019.12



[그림 1-12] 와이오밍 교통부의 사업용 차량을 이용한 도로정보 수집 개념도

- 미국 FHWA에서는 도로의 안전성 향상을 위해 도로 및 운전자의 행동특성에 의한 충돌위험을 식별할 수 있는 기술과 충돌 회피를 위한 운전자 역량을 향상시키기 위한 관점에서의 안전한 도로 설계 및 관련 기술을 개발중
 - 도로 및 행동적 특성에 의한 충돌위험을 명확하게 예측, 분석하기 위한 데이터 기반의 분석기술 및 충돌을 회피하기 위해 운전자의 능력을 향상시키는 기술 등을 개발하여 안전한 도로 설계를 촉진하고 있음
 - 이에 STAC(Safety Training and Analysis Center) 설립, NDS(Naturalistic Driving Study)와 RID(Roadway Information Database)의 데이터 분석 및 연구 수행하고 있으며, 인적 요인기술과 방법론을 적용하여 Midblock 건널목에서의 보행자 사망 및 부상을 줄이기 위한 도로 처리 및 안전전략 개발 연구 등을 수행중
 - 또한 「차량기반기술이 도로이탈사고에 미치는 영향」연구를 통해 도로이탈사고를 줄일 수 있는 기술이나 커넥티드 차량과 V2I 프로그램을 지원할 수 있는 방법을 개발중임
- 유럽 Horizon2020에서는 유럽 도로안전 연구 우선순위 책정을 위한 연구과제인 PROS*를 통해 교통안전이슈를 4가지 분야(인간, 차량, 도로인프라, 교통안전분석 및 평가)로 구분하고, 각 분야별 주요 이슈, 기술개발 과제의 도출 및 관련 연구의 우선순위 설정 필요성 등을 강조
 - 도로인프라 분야의 경우, 도로상태 분석 및 경고를 통한 운전자의 안전주행을 유도하는 기술개발을 위해 차선, 표지판 등의 도로시설물에 대한 새로운 개념의 디자인 도입을 요구함

* Priorities for Road Safety Research in Europe

[표 1-10] PROS에서 제시한 미래도로의 교통안전을 위한 주요 기술개발 과제

인간 (Human)	· 교통약자 중신 도로설계 및 개인별 특성에 기반한 안전기구 개발
차량 (Vehicle)	· 자동운전 기술확대를 위한 도로와 차량의 상호작용 기술
도로인프라 (Infrastructure, traffic system & communication services)	· 도로상태 분석 및 경고를 통한 안전주행 유도기술
교통안전 분석·평가 (Traffic safety analysis & assessment)	· 사고 모니터링 감지 및 실제 사고원인 분석 기술 · 자동화 차량과 실제 운전자간의 영향분석 연구

- (국내) 교통사고 발생을 저감 및 예방을 위해 도로정보의 시인성 향상을 목적으로 노면 표시 기술 및 도로 위험정보의 수집·활용·제공에 대한 기술 등의 연구개발을 진행중
 - 도로의 시인성 확보 및 도로정보의 시각화·주행안전성 개선 등 교통사고의 예방과, 도로 교통 분야 산업과의 연계를 위해 외부자극 감응 재료를 활용한 스마트 소재 원천기술 도출과 시공·유지관리·실증화 방안 마련 등을 포함하는 기술을 개발

[참고] 외부자극 및 통행차량의 특성을 고려한 도로교통 안전향상 기술개발

- '19.04~'22.12, 주관(자)한국건설생활환경시험연구원
- (주요 연구내용) ① 외부자극 감응 자체 발광형 도로 노면표시 재료 및 제조 기술개발,
② 외부자극 감응형 도로교통안전시설용 재료 제조 및 성능개선 기술개발
③ 통계분석기법을 통한 통행차량 평가체계 개발
- (활용방안) 도로 취약구간에서의 시인성·보행 안전성 등 이용자의 직접적인 니즈를 반영한 새로운 신규 제품화 기술, 첨단도로 고도화 기술을 적용한 지능형 도로 인프라 구축 등

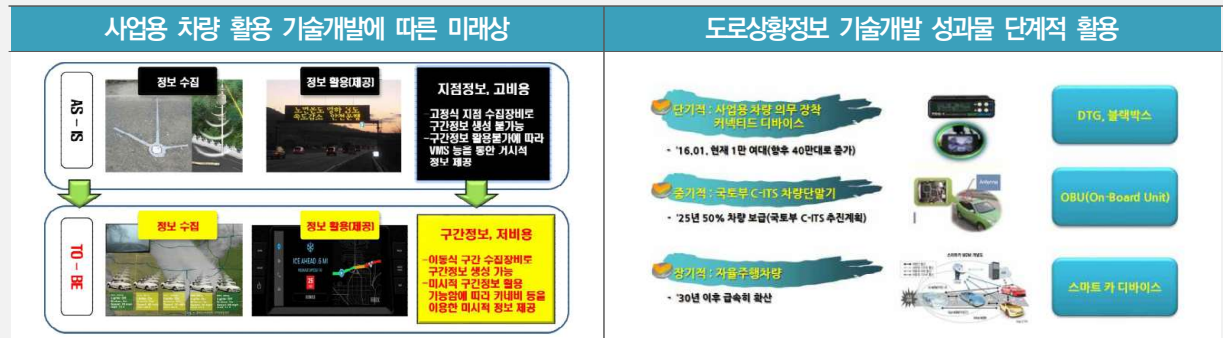
광자극 자체발광형 노면표지기술	외부자극 도로정보 시각화기술	외부자극 제품화 및 실용화기술	실증테스트 및 성능기준
야간 시인성, 보행안전	실시간 도로정보 시각화	적용성검증, CAV연계	기후환경 모사 성능평가
			

[그림 1-13] 외부자극을 고려한 도로교통 안전향상 기술

- 선제적 교통사고 대응이 가능한 도로·교통안전정보의 수집 및 서비스 제공을 통해 교통 안전 향상 및 비용절감을 목표로 사업용 차량 환경센서를 활용한 교통상황의 정보수집과 안개·결빙·노면파손 등 도로정보 수집기술 및 활용기술을 개발함

[참고] 사업용 차량을 이용한 도로·교통상황 정보수집 및 활용 기술개발

- '18.07~'20.12, 주관한국건설기술연구원
- (주요 연구내용) 안개·결빙·노면파손 등의 정보수집 및 활용기술, 영상정보 해석 및 정보산출기술, 도로·교통상황정보의 융합 및 활용기술 등에 대한 ① 요소기술 개발, ② 응용·융합 기술개발, ③ 실용화 기술개발
- (활용방안) 기존의 지점 검지방식의 수집방식에서 탈피하여 공간적으로 단절 없는 정보수집이 가능한 이동식 프로브차량을 이용한 교통상황 정보수집과 활용기술의 개발 및 도로 위험정보의 수집·활용제공을 통한 도로 노후화 사전예방과 유지보수 비용의 절감 등



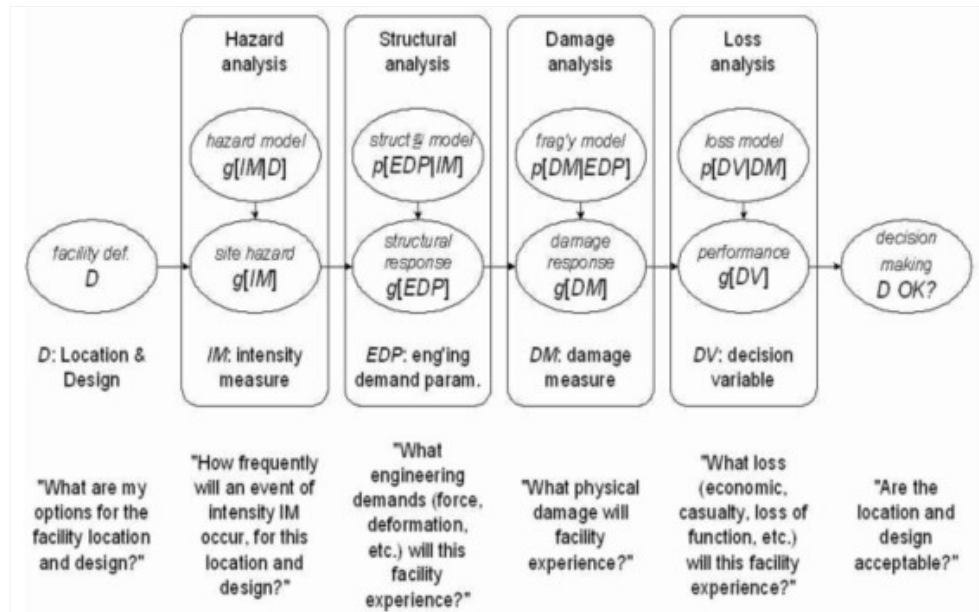
[그림 1-14] 사업용 차량을 이용한 위험정보수집 수집 및 활용

● 인적·환경적 요인에 의한 교통사고 예방을 위한 도로기술 개발이 필요

- 결빙·안개 등 다양한 취약환경에서의 영향감소를 위한 설계, 재료 및 시공기술의 개발

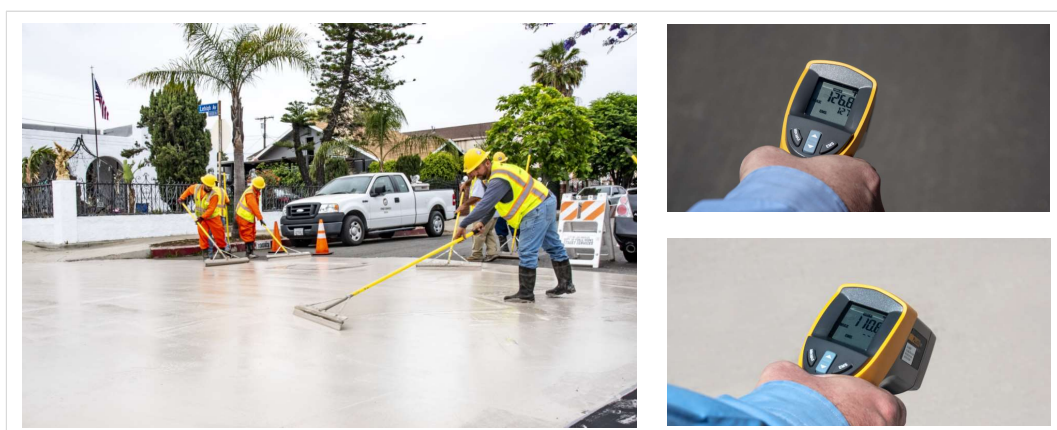
■ 사후관리 측면에 집중된 기존의 재난재해 관리기술에서, 피해경감 및 예방을 위한 선제적 대응방안 수립에 대한 필요성이 증가하여 이와 관련된 연구개발을 추진

- FEHRL(유럽도로연구기관포럼)에서는 혁신기술과 시스템 기반의 차세대 도로 인프라 계획을 위한 공동연구 프로그램인 FOR(Forever Open Road)에서는 극단의 기후조건에 대한 모니터링 및 기후조건의 변화에 따라 통합된 배수시스템, 자동가열 및 냉각시스템을 활용하여 기후변화에 의한 도로사용의 장애를 완화하기 위하여 복원력이 강한 도로(Resilient Road)를 위한 연구개발을 수행
- 미국은 기존 및 신규 건축물·도로인프라의 내진성능 평가를 위해 Vision 2000, ATC-58 project 등을 통해 성능기반형 내진설계와 관련한 손상도 평가기준을 제시
 - (Vision 2000) 구조물의 성능매트릭스를 이용하여 각 하중의 크기에 대하여 건축물의 성능레벨 만족여부를 확인하고, 위험인프라의 진단 및 복원계획 수립이 가능하도록 구조·비구조 부재의 내진성능레벨에 따른 손상도를 제시
 - (ACT-58 project) 구조물의 내진성능을 확률적 방법에 의해 평가하며, 부재 및 구조 시스템 전체의 하중변형 관계에 근거한 목표성능레벨과 내진보수성능지표(보수비용, 사상자수, 사용불가능 일수 등)와의 관계를 제시



[그림 I-15] ACT-58 확률론적 성능평가 절차

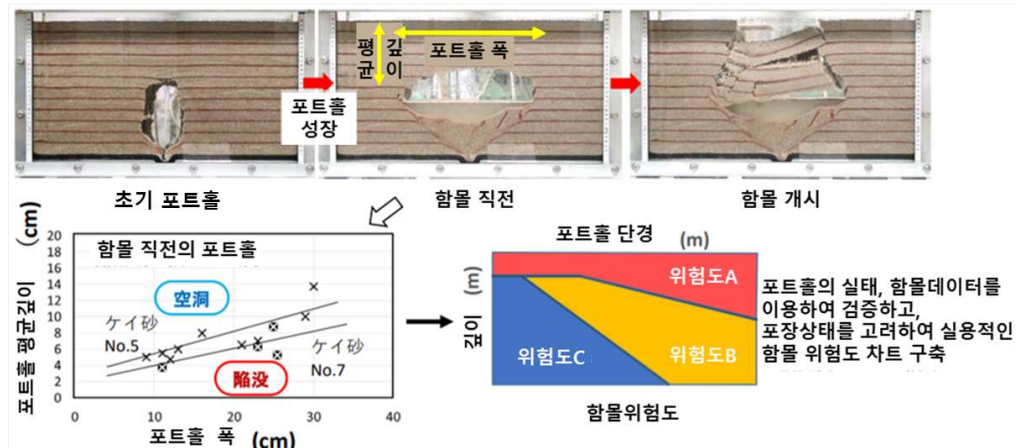
- 미국의 FHWA에서는 지속가능한 포장도로 프로그램(Sustainable Pavement Program)을 통해 포장도로의 장수명화를 지속적으로 추진하고 있으며, 이 프로그램은 지구 온난화로 인한 열섬현상, 이상기후에 관한 아스팔트 포장 성능 개선 연구를 포함
- 또한, 도로이용자의 안전과 이동성을 확보할 수 있도록 도로상의 기상현황을 센싱하고, 이상기후 및 동절기에 대한 도로인프라 유지관리 및 보수·보강 대응방안을 제시하는 「유지보수결정지원 시스템(MDSS, Maintenance Decision Support System)」을 구축하여 활용
- 미국의 도심지 및 기온이 높은 지역에서는 열섬현상 완화를 위한 반사도로포장(White Pavement) 개발 및 차열성포장(Cool Pavement) 프로그램을 시행



[그림 I-16] Cool Pavement 프로그램(Cool LA's Neighborhoods)

- 일본 도로기술회의에서는 「도로구조 및 포트홀 특성이 반영된 함몰위험도 평가 및 합리적인 포트홀 대책 연구개발」 과제를 통해 포트홀 생성 요인·확대 과정·함몰 위험도를 규명하고, 포트홀

- 탐사의 고도화, 특성에 따른 적절한 보수방안 등에 관련한 기술 및 도로관리자를 위한 프로세스를 개발



[그림 1-17] 도로 함몰위험도 평가 및 대응기술 개발

- 한국을 포함한 주요국가에서는 도로 주변 사면 및 옹벽의 지진안정성 확보를 위한 연구개발을 지속적으로 추진하고 있으며, 사면 거동 및 옹벽 배면 내 기하학형상 조사진단을 위한 평가기술의 필요성이 강조됨¹⁷⁾
 - (도로사면) 지진에 대한 사면의 재해위험지도 작성, 토목 합성재료(Geosynthetics)로 보강된 사면의 지진안정성 평가, 지진운동성능에 기초한 사면안정성 결정 모델 개발 등의 연구 수행
 - (옹벽) 콘크리트 옹벽의 지진여유도 평가, 내진해석을 통한 보강토옹벽의 파괴면 특성 및 취약도 평가, 도로옹벽 긴급안전진단 관련 연구 등 내진성능 확보 및 안전기준 수립과 관련한 평가기술 개발을 진행
- (국내) 급격한 기후변화 및 환경변화로 인해 도로포장 파손, 우천, 도로살얼음 등으로 인한 사고 발생이 증가하고 피해가 대형화 됨에 따라, 재난재해에 대비한 예측저감대응 체계 수립 및 관련 기술개발에 대한 연구개발 진행
 - 빗길에서의 교통사고 유발 감소와 비점오염 저감 등 사회적 문제점을 해소하고 도로 이용자의 안전성과 편의성 제공을 목표로 원활한 배수기능을 확보한 도로 배수 구조체 및 관련 기술 개발 수행

[참고] 도로 침수예방 및 비점오염 저감을 위한 배수 구조체 개발

- '19.04~'21.12, 주관경희대학교 산학협력단
- (주요 연구내용) ① 배수시간 단축 및 통수단면 추가 확보를 통한 배수기능-초기우수처리 향상 및 홍수유출 저감기술 개발
② 비점오염물질을 측구 하부(필터층)로 신속하게 운반하여 자연적으로 여과하는 유도기술 개발
- (활용방안) 도로의 산설 유지관리에 있어 배수시설로의 신속한 유출 효과, 집중호우 시 도로침수 예방과 토사 이물질로 인한 배수기능 저하 예방으로 빗길 교통사고 유발 감소, 비점오염 저감 등을 통한 도로이용자의 안전성 및 편의성 제공에 활용 기대

17) 노후인프라 내진수준진단 관리체계구축 기획보고서, 2019.12

- 굴착공사 중 도로인프라를 포함하는 주변환경의 지반함몰 및 액상화로 인한 붕괴사고
- 대응을 위하여 지반 움직임 측정을 통해 위험징후를 조기 감지하여 위험여부를 판단하고, 보수·보강 및 구조체의 품질 확보를 위한 연구개발을 수행

[참고] 지반함몰 및 액상화에 관한 지하안전 위험도 평가 고도화 기술 개발

- '19.04~'22.12, 주관한국건설기술연구원
- (주요 연구내용) ① 도심지 흙막이 굴착 시공 중 굴착 배면 및 인접 지반 변위 예측의 고도화
② 지반 보강체의 품질 확인 기술의 고도화
③ 액상화 기준 개정 및 보수보강 매뉴얼 개발
- (활용방안) 지하안전관리에 관한 특별법에 명시된 지하안전영향평가 등에 필요한 안전성 평가 기술 제공 및 최적 액상화 설계 기준을 정립하여 국내 주요시설물(철도, 교량, 제방, 건축물)별 액상화 피해 평가 및 대책 매뉴얼 제시에 활용 등



[그림 I-18] 지하안전 위험도 평가 핵심기술

- (국내) 기존의 도로포장 융설 및 결빙 방지 시스템은 대부분 소재 및 재료적인 측면보다 시설 및 인프라에 매설하는 등의 시공법 중심으로 개발되어 초기 투자 및 유지관리 비용이 높고, 온도 및 교통량 등의 환경하중에 따른 파손이 빈번함

[표 I-11] 일반적으로 적용되고 있는 융설 및 결빙방지 시스템

구분	전기발열선	지열(지하수)	제설제
개요도			
공법 설명	· 도로포장 기층 상단에 전기 발열선 포설 및 덧씌우기 포장으로, 하단의 발열선의 열을 이용하는 방식	· 지역 인근 지하수를 히트펌프 등을 통해 약 30℃로 데운 후, 포장 내부 매설 배관을 통해 순환하는 방식	· 염수 또는 염화칼슘용액 저장탱크, 분사펌프, 배관, 노즐 등을 도로변에 설치하여 용액을 도로표면에 분사 방식
장점	· 시공 용이 · 타 공법 대비 저렴 · 융설 보조설비 불필요	· 신재생에너지원 활용 · 전열발열선 대비 전원 공급 75%	· 강설시 초기단계 대처능력 우수 · 넓은 시공면적에 적용 용이
단점	· 예열시간 장시간 필요 · 막대한 전력량 소모	· 예열시간 장시간 필요 · 시공비과다 및 지하수 공급 취역지역 시공 곤란	· 수질 및 환경오염 과다 · 차량부식 및 도로시설 구조물 수명 단축
경제성	· 유지관리비(下)	· 유지관리비(中)	· 유지관리비(中)

- 한국도로공사에서는 도로살얼음 예측시스템 연구를 통하여 노면상태 측정시스템(RWIS)

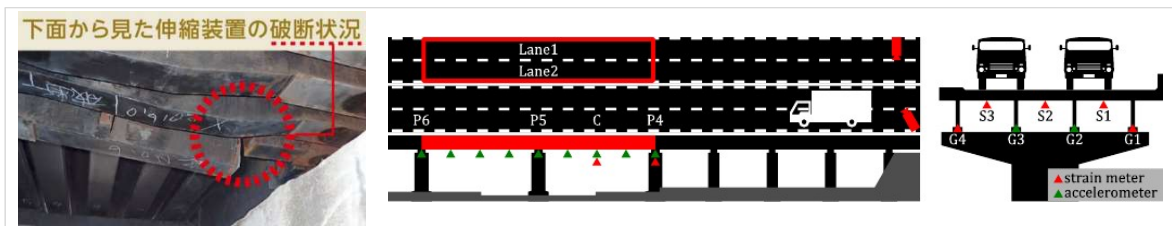
구축 및 제설시점/과다살포방지 등을 파악하고자 하였으나, 1지점당 0.5~1억원이 소요되어 현실적으로 난이하며, 결빙방지를 위한 결빙방지재*의 적용이 일반적임

* Grikol(러시아), Mafilon(독일), WinterPave(이탈리아), Verglimit(스위스) 등이 있으나, 염화물함량이 높아 도로포장 및 구조물 열화 가속화와 미끄럼 저항 감소에 대한 지속적인 문제 제기

- 기타 도로살얼음 방지대책 중 하나로 제시되는 표면 홈파기 시공법(Grooving)은 미국 NCHRP에서 미끄럼 저항 20%향상을 보고하고 있으나, 국내에서는 시공방법 및 효과성, 적용성 등에 대한 검증 없이 도입·적용하고 있는 실정
- 국내 도로환경에 맞는 자재개발 및 공법의 개발, 성능 평가방법 및 체계의 구축에 대한 연구개발 필요성이 확대되는 추세

■ 화물차 과적단속 및 도로포장 손상을 감소시키기 위한 예방·관리·평가체계 등과 관련한 연구개발의 필요성이 증가

- 해외에서는 화물차의 과적이 도로기반시설의 수명단축 및 교통사고를 증가의 주요원인으로 규정하고, 안전에 미치는 영향과 차량적재정책의 수립을 위한 정보수집 및 평가기술 등의 개발을 진행하고 있음
- (일본의 도쿄 大) IoT와 이미지 머신러닝 기술을 활용하여 고속도로와 일반도로의 교량 노선 등에서의 실증을 목적으로 노면·접합부·바닥면에 작용하는 정적·동적 차량의 하중에 대한 광범위한 파악 및 평가기술의 개발을 진행하였으며, 이를 통해 도로인프라 장치의 실태하중 및 응력의 상세한 검토를 통한 충격하중의 영향 실태조사, 주변에 발생한 손상의 조기발견을 위한 모니터링 기술개발에 활용 기대



[그림 I-19] IoT 이미지 머신러닝 기반 하중 실태파악

- (브라질의 리우데자네이루 연방 大) 화물차량이 도로인프라에 미치는 경제·환경적 영향을 5가지 유형으로 분류*하고, 시스템 다이내믹스 모델(SDmodel)을 사용하여 도로운송에서 과적과 운송비용, 사고예방 및 도로인프라 유지보수와 관련된 항목간의 관계를 평가하기위한 연구개발을 진행

* ① 도로 운영비용(에너지 및 인건비), ② 도로 기반시설 손상에 따른 유지관리비용, ③ 교통혼잡으로 인해 도로 이용자에게 부과되는 지연비용, ④ 소음·수질·토양·대기오염 등의 환경비용 ⑤ 물질 및 제품손상으로 인한 사고비용

■ 기존 도로인프라의 문제점(노후화·부식) 등을 보완하기 위한 첨단재료 기반의 고기능 도로 포장재의 연구개발을 진행

- 해외 주요국에서는 나노스케일 접근방식을 채택하여 바이오 원자재 등을 이용한 도로인프라의 내구성 향상기술 (내부식성·내염기성·내마모성 등) 및 자기치유 콘크리트의 기술개발과 구조물 실적용을 위한 제품개발을 추진
- 미국 EAR프로그램의 혁신재료과학연구(Breakthrough Concepts in Materials Science) 영역에서는 구조물의 부식방지를 위한 나노스케일 접근방식을 통한 친환경 교량 코팅기술, 무기폴리머를 이용한 운송인프라용 시멘트 및 차세대 시멘트 대체재료 개발등의 연구를 지원
- (미국의 ELM*) 미국의 DARPA(국방고등연구계획국)에서는 ELM 프로그램을 통해 빠른 성장능력을 포함한 전통적인 건축자재의 구조적 특성과 생물학적시스템의 속성을 결합한 생활바이오소재를 개발함으로써, 구조물의 균열 등을 단순히 치유하는 기술수준을 넘어서 자기치유·재생산·자가 조직화 및 성장 등이 가능한 ‘살아있는 건설재료’를 목표로 기술개발

* Engineered Living Materials



[그림 I-20] ELM 개념도

- 유럽에서는 HealCON 프로젝트 등을 통해 콘크리트의 자기치유에 활용할 수 있는 박테리아의 선정·배양 기술, 박테리아의 생존 및 영양소 공급을 위한 담체의 선정·담체화 기술*, 콘크리트 적용 기술로 세분화하여 연구 진행¹⁸⁾

* 담체화 기술 : 배양된 미생물 및 배양액을 용해성이 뛰어나고, 미생물 생육에 필요한 영양성분이 함유된 고체상태의 단일·복합 미생물 제제의 입상 형태로 제조하는 기술

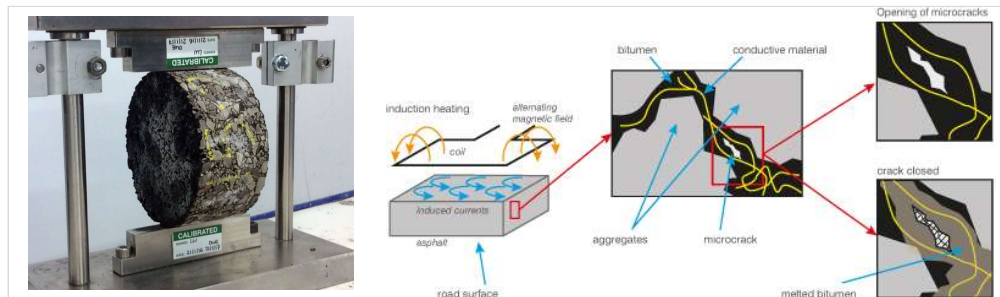
- (TU Delft 大) 박테리아를 자기치유 기술에 활용하기 위해 생체광물 작용을 통한 방해석 (탄산칼슘의 가장 안정적인 동질이상)를 석출하여 균열을 치유하고 콘크리트 환경(강알칼리성)에서 생존가능한 내염기성박테리아균 포자형성 기술에 대한 연구와, 박테리아 선정 이후 콘크리트에 적합한 저비용·역학적 성능이 확보된 담체화 기술을 개발

18) 자기치유형 친환경콘크리트 기술개발 최종보고서, 2020.04



[그림 1-21] Delft의 박테리아 담체화 연구

- Infravation에서는 첨단시스템·도로인프라기술 및 재료분야의 혁신 연구개발을 촉진을 통해 도로인프라 건설 및 유지보수에 있어 비용효율적인 시스템·재료·기술개발을 추진중임
- (HealROAD) 자가치유 아스팔트 개념의 산업화를 목표로 아스팔트 혼합물의 유도 가열을 통해 도로 표면의 마이크로 크랙을 치유하는 기술을 개발하였으며, 도로인프라 구축 및 유지보수에 있어 약 30%의 자재수명 연장 및 비용절감 효과를 기대



[그림 1-22] HEALROAD project 개념도

- (SEACON) 해수, 염분이 많은 골재, 비부식 보강재(유리섬유·스테인리스강·현무암 등)를 사용한 지속 가능한 콘크리트를 생산하여 조립식 콘크리트로 구성된 부두 및 다리 등 여러 프로젝트에 적용하고 있음

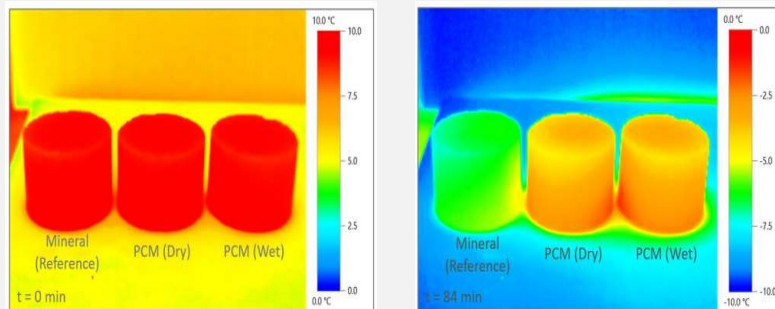


[그림 1-23] 내부식성 보강재를 활용한 SEACON 시공사례

- (ECLIPS) 상변화 시스템을 통한 기반구조에서의 콘크리트 수명향상 기술을 개발하며, 적절한 상변화 온도·엔탈피·콘크리트 분산도를 갖는 상변화물질(PCM)을 통합하는 접근법을 채택하여 콘크리트의 용도별 PCM타입 개발, 기후조건에 따른 타입 및 용량 선택, 인프라콘크리트의 성능이해, 라이프사이클 프레임워크 개발등을 수행

[참고] PCM(상변화물질, Phase Change Materials)

- (정의) PCM은 주변의 온도변화에 따라 고체에서 액체 또는 액체에서 고체로 상(Phase)이 변할 때, 온도변화 없이 잠열(Latent Heat)의 형태로 자발적으로 열을 저장방출할 수 있는 에너지 저장 물질을 의미
 - * 상변화물질을 건축재료에 적용하는 경우 잠열형태로 열을 저장하며, 상변화특성이 없는 일반 건축재료에 비해 약 20배 이상 열 저장능력 가짐
- (연구진행경과)
 - ① 과거 40년 동안 PCM 물질은 건축물 열저장 매체로 활용하는 연구로서 진행되어 왔으며, 건물에너지 성능을 증가시키는 결과를 확보함. 다만, 초기비용, 상전이 능력 열화, 부식성 등 부정적인 문제로 인한 시장 형성 어려움이 있으나 에너지 절감 효과 극대화를 위한 연구개발 추진 중
 - ② 현재 PCM 물질은 시멘트 콘크리트 건설자재에 적용된 연구 및 사례는 존재하나 아스팔트 도로포장에 적용된 사례 및 포장체 내에서의 잠열 효과(효율성 등)에 대한 연구는 초기 단계임
- (향후 개발방향) 아스팔트 도로포장용 저가용 PCM 원천소재 개발 및 포장체 내에서의 효율성 극대화를 위한 요소기술 개발이 필요



[그림 1-24] PCM이 적용된 아스팔트 혼합물의 온도 특성

- 미국, 유럽, 중국 등 해외 주요국에서 그래핀(Graphene) 첨가 아스팔트의 기술개발 및 현장 적용중이며, '18년 중국 광시의 난닝대교는 그래핀첨가 합성고무 개질 아스팔트를 개발·적용하여 노면 온도를 효과적으로 감소시켜 노면의 고온 동적 안정성, 저온 균열 내성, 노면 접착 강도, 내노화성이 크게 향상되는 효과를 창출

[참고] 그래핀(Graphene)

- (정의) 탄소 동소체 중 하나로 직경과 구조에 따라 다양한 물성을 가지는 신소재
 - 전기전도도 조절 가능 → 구리 대비 전기전도도 약 1,000배, 열전도도 10배 이상 우수
- (연구진행경과)
 - ① 건설분야 활용에 대한 연구는 강도증진, 전기적, 열적 기능 부여 여부에 대한 초기 연구가 실시되었으나, 대부분 실내 실험 단계임
 - ② Graphene을 콘크리트에 적용하여 자기발열 및 응결 시스템 구축에 대한 연구가 국내에서 수행된 바 있으나, 아스팔트 혼합물에 적용된 실적은 없음
 - ③ 국외에서는 Graphene을 적용한 아스팔트 혼합물에 대한 내구성능 향상이 확인된 바 있으며, 그 외에도 열전도성 물질로 아스팔트 혼합물에 적용 가능성을 확인
- (향후 개발방향) 도로포장용 저가형 Graphene 소재 개발 및 포장체 내에서의 효율성 극대화를 위한 요소기술 개발이 필요

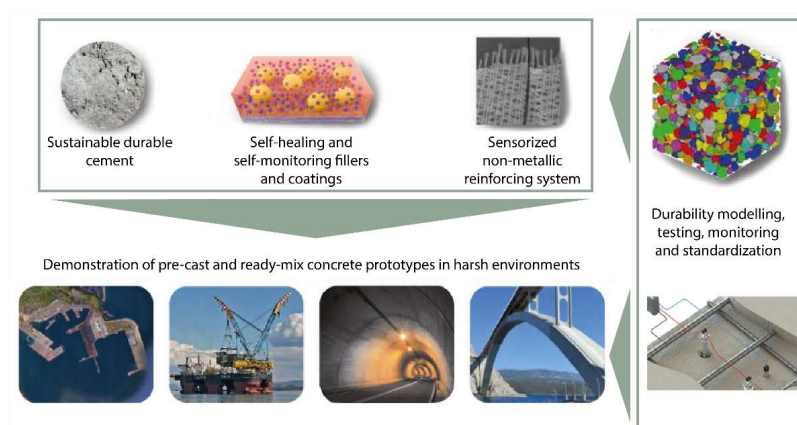
- (유럽의 Horizon 2020) 산업리더십 강화를 위한 지원영역 중 환경과 자원소비에 미치는 영향력 최소화 및 경쟁력 있고 안전한 제품, 새로운 기능과 서비스 성능을 갖춘 소재의 연구 개발을 지원하고 있으며, 인프라 건설재료 분야에는 「ReSHEALience」, 「EnDurCrete」, 「LoRCEnIS」의 프로젝트를 지원중
 - (ReSHEALience*) 산화, 염해, 저온 등의 극단적인 환경에 노출된 인프라의 내구성을

향상시키고 장기적인 성능을 향상하기 위한 UHDC(Ultra High Durability Concrete)와 DAD(Durability Assessment-based Design) 방법론을 개발

* 'Rethinking coastal defence and Green-Energy Service infrastructures through enHancEd-durAbiLlty high-performance fiber reinforced cement-based materials'의 약식 명칭

- (EnDurCrete^{*}) 고부가가치 산업부산물(by-products), 低 클링커 시멘트, 나노新 마이크로, 하이브리드 시스템 기술 등의 활용을 통해 고 내구성, 고 부가가치의 지속가능한 철근 콘크리트 기술을 개발

* 'New Environmental friendly and Durable conCrete, integrating industrial by-products and hybrid systems, for civil, industrial and offshore applications'의 약식 명칭



[그림 I-25] EnDurCrete의 개요도

- (LoRCEnIS^{*}) 심해 및 극지방, 해상, 고온, 콘크리트 산성화 등의 극단적인 환경조건에서 운영되는 에너지 인프라 가용 연한을 최대 100%까지 연장할 수 있는 철근 콘크리트 (reinforced concrete) 연구개발

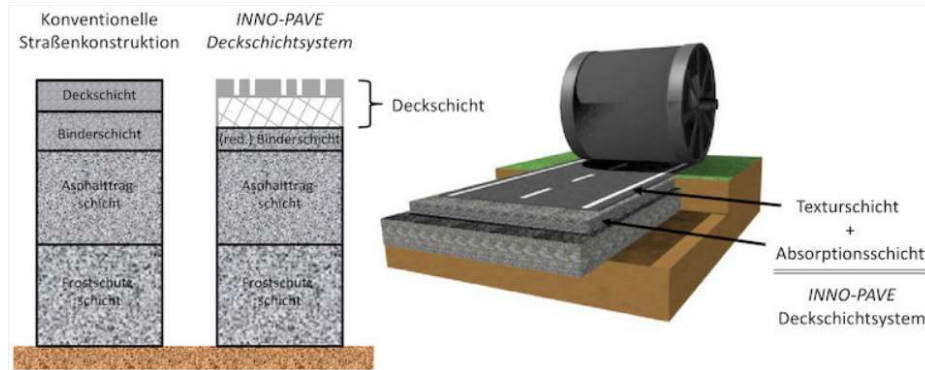
* 'Long Lasting Reinforced Concrete for Energy Infrastructure under Severe Operating Conditions'의 약식 명칭

■ 대기환경 개선, 미세먼지 저감 및 도시열섬 등의 환경변화에 대응하기 위한 도로 오염·소음 저감기술 및 친환경 포장기술의 개발을 추진

- 독일 Roads in the 21st century의 Low-emission영역에서는 최적화된 포장도로 설계를 통해 실제 교통소음을 크게 감소 시키며, 적절한 오염물질의 분해 및 보존기술을 표준 건설 유형에 통합하여 운송에 의한 배출량을 최소화하기 위한 연구개발을 지원
- (독일의 duraBAST¹⁹⁾) 독일 연방고속도로연구소(BAST)는 화물 교통량 증가·기후 변화 등의 문제에 대비하기 위한 도로인프라 여건을 조성하는 역할을 수행하며, 시연·조사·참조영역을 수행하는 duraBAST에서는 도로인프라를 안전하고 안정적으로 구축하고, 지속가능한 운영 및 탄소배출량 등을 낮추기 위한 연구를 수행

19) https://www.bast.de/durabast/EN/Home/home_node.html

- (Inno-Pave) 기존 도로마감재 소음감소 노면층의 음향특성을 초과하여 영구적인 소음 감소효과를 달성하는 것을 목표로 폴리머 기반 섬유소재를 사용하여 다층노면 레이어를 구현, 일정한 조건에서 생산 가능한 포장재를 개발



[그림 I-26] INNO-PAVE Deckschicht system

- Infracore에서는 재활용 원료를 활용 및 바이오 리사이클링 기술을 활용한 도로포장재의 기술개발을 위한 프로젝트를 진행
 - (ALTERPAVE) 기반시설의 전체 수명주기를 고려한 도로의 지속가능한 건설을 위한 혁신적이고 통합된 접근방식의 실증을 위해 대체 재료의 비용효율적인 사용 및 친환경 자재로 개발된 도로에 대한 재활용성 확보, 지역산업에서 생산되는 실제 부산물과 폐기물을 활용하여 ‘순환경제 접근방식’을 구현



[그림 I-27] ALTERPAVE의 테스트베드 실증

- (BioReparation) 재생 가능한 바이오매스의 대체 바인더를 사용하여 재활용이 가능한 아스팔트 기술에 대한 평가를 통해 노후 아스팔트에 대한 포장 재활용 혁신을 도모하며, SYLVAROAD·BIOPHALT·Epoxidized Methyl Soyate*의 3가지 대안에 대한 검증 실시

* SYLVAROAD : 목재산업의 부산물(소나무)을 첨가하여 현재 재활용 아스팔트(RA)의 약 70%를 차지
 BIOPHALT : 90% 이상의 식물 재료 첨가제를 혼합하여 사용하며, 2004년 이후 네덜란드에서 사용
 Epoxidized Methyl Soyate : 넓은 온도범위에서 자체 강성을 유지할 수 있는 첨가제를 혼합, 에너지효율적이고 가격 경쟁력이 높음

- 네덜란드에서는 PLASTICROAD project를 통해 플라스틱의 경량·고강도 물성을 이용하여 자원재활용·공사비 절감·도로 내구성 향상 등을 위한 도로포장재를 개발하였으며, 재활용플라스틱이 70% 이상 함유된 조립식(=모듈식) 공장제작도로판 소재를 자전거도로 등에 설치

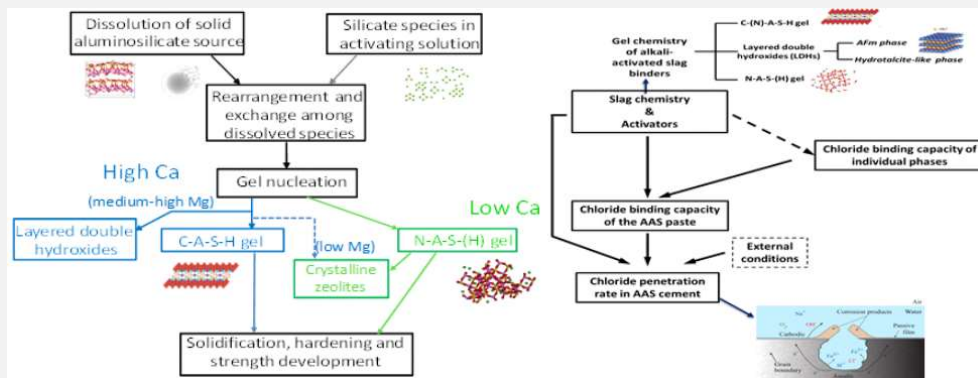


[그림 1-28] PLASTICROAD project (Netherlands)

- 호주·미국·유럽·한국 등 주요 구각에서는 인프라 구조물의 주요 자재인 시멘트 대체를 위한 연구가 진행되고 있으며, 특히 영국 Sheffield 대에서 무시멘트 콘크리트 기술*의 이론적 기반을 마련하고 실용화 확대를 위한 연구를 진행²⁰⁾

[참고] 무시멘트 콘크리트 기술

- 알칼리 용액에 의한 규산-칼슘-알루미나계 무기물질의 반응을 기본으로 하는 알칼리활성물질(Alkali Activated Materials, AAMs)의 개발 및 적용·실용화 연구 중심
- (장점) ① 저발열성 ② 내황산염·내알칼리골재반응성 우수, ③ 염소침투 저항성 우수 ④ 낮은 pH 용출량 등
- (단점) ① 낮은 내탄산화·내동결융해저항성, ② 낮은 마모저항성, ③ 큰 수축량 등
- (활용방향) 내황산염계 지반개선탄·방수성 그라우트재료·기초보강재 및 P.C 호판 재료 개발 등에 활용이 가능하며, 단점 극복을 위한 연구를 동시에 진행



[그림 1-29] AAM의 반응 및 내구성에 대한 이론적 접근

- (국내) 4차산업기술이 접목된 미래 도로상 구현을 위해 「도로기술개발전략안」 수립(국토교통부, '19.10월)과 안전·편라·경제·친환경의 4대 중점분야*를 설정하여 관련 기술개발을 추진하고 있으며,

20) 자기치유형 친환경콘크리트 기술개발 최종보고서, 2020.04

- 도로포장 오염물질 흡착·자가분해기술 등을 통해 오염물질로부터 피해를 감소하기 위한 기술 개발을 진행중

* ① 안전한 도로 : 교통사고 사망자 수 30% 감축지원, ② 편리한 도로 : 도로 혼잡구간 30% 해소, ③ 경제적 도로 : 도로 유지관리비용 30% 절감, ④ 친환경 도로 : 도로소음 20%, 미세먼지 등 유해물질 15% 감축

- 도로 대기환경 개선과 미세먼지 저감을 위해 교통조건에 따른 도심부도로 미세먼지 추정 가능한 비산먼지 농도추정모델 외에 도로변 미세먼지 평가저감 기술의 개발 및 건설공사 단계별 도로노면 비산먼지 저감기술 개발

[참고 도로 미세먼지 저감기술 및 관리시스템 개발]

- '19.04~'23.12, 주관환경대학교 산학협력단
- (주요 연구내용) ① 기능성 건설자재를 활용한 취약지점 도로변 미세먼지 저감 기술 개발
② 도로노면 비산먼지 저감 기술 개발
- (활용방안) 도로변 미세먼지 저감을 위한 건설자재기술 등의 확보로 비산먼지 감소와 사고예방의 효과 창출, 도로변 미세먼지 최적화 시스템을 구축하여 스마트시티 연동사업 추진에 활용 등

- 미세먼지 등의 유해물질로부터 안전하고 쾌적한 생활환경을 조성하기 위해 광촉매 재료 원천기술 및 광촉매를 활용한 도로시설물용 건설자재·적용기술을 개발²¹⁾

[참고 저비용 고성능 광촉매를 활용한 미세먼지 저감 건설기술 개발]

- '18.06.~'23.03, 주관한국건설기술연구원
- (주요 연구내용) ① 저비용 고성능 광촉매 생산기술 개발
② 도로시설물, 주거 및 다중이용시설물 광촉매 건설자재 및 적용기술 개발
③ 광촉매 재료 및 자재 표준화 기술 개발
- (활용방안) 대기오염미세먼지 저감 도로시설물 건설자재 및 Hot-spot 오염지역 집중 공기청정 시스템 활용, 대기오염 및 미세먼지 저감 위한 도로부속시설물에 적용하는 2차제품 건설자재 활용, 터널 및 지하공간 공기질 개선 건설자재 시스템 활용

- 서울시에서는 미세먼지, 도시열섬 등 기후·환경변화에 대응하기 위해 '19.3월 '친환경 도로포장 종합대책'을 발표, 노후포장 정비공사에 중온*·광촉매·소음저감·차열성·재생아스콘 포장 등 서울형 친환경 포장기술 확보 방침을 수립 및 추진중

* 중온포장 : 일반 아스팔트보다 약 30℃ 낮게 시공하는 방식으로 질소산화물 등의 오염물질 발생 저감 효과가 있으며, '27년부터는 서울시내 모든 노후 포장의 정비공사에 중온포장 적용 계획

- (국내) 도로 소음을 저감을 위해 일반적으로 많이 사용되는 방음벽의 단점(도시 미관 저해, 고층 소음저감 효과 낮음 등)을 극복하기 위한 저소음 도로포장 기술을 개발²²⁾

- '19년 RSBS 복층 저소음 배수성 포장기술*이 도로교통 소음을 일반도로 대비 평균 10dB 이상 저감하는 것으로 확인

* 복층 저소음 포장 기술 : 상부에 8mm의 작은 골재, 하부에 13mm의 큰 골재를 포설해 복층 구조를 만드는 기술로, 일반 아스팔트 도로 포장에 비해 높은 공극률(내부 입자 사이의 빈 공간 비율)로 소음을 감소시키는 효과

- 첨단재료 기반 도로포장 재료에 대한 기술 및 도로인프라 내구성 증진을 위한 연구개발 필요 (아스팔트 혼합재, 화학재, 코팅·부식, 콘크리트, 포장재 시험 등)

21) 저비용 고성능 광촉매를 활용한 미세먼지 저감 건설기술 개발기획 최종보고서, 2016

22) 「2019 국토교통 R&D 동향조사」에서 참조

- 도로변 비산먼지 및 소음 저감을 위한 내구성있는 자재와 공법개발이 필요
 - 재비산먼지를 포함한 도로 미세먼지 저감을 위한 친환경재활용 도로포장재 및 시공 기술 개발
 - 소음저감 도로포장재의 내구성 향상을 위한 연구개발

■ **인프라의 노후화 정도 및 위험도 측정을 통해 구조물의 상태를 진단하고, 재생·복원을 위한 기술 및 평가방법 개발에 대한 연구가 이루어지는 추세임**

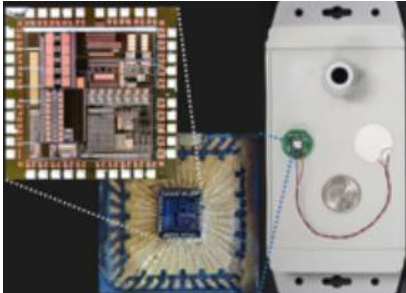
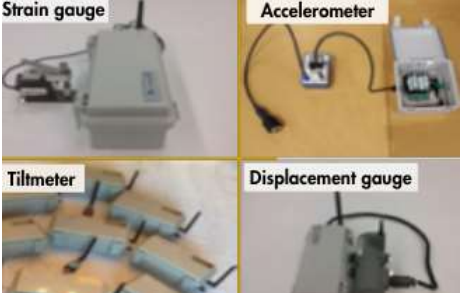
- 미국은 FHWA의 자금 지원 아래 환경적으로 안전하고 건전한 교통시스템 구축을 목표로 도로 및 교량 등의 구조평가를 위한 연구 등을 포함하는 장기-고위험 혁신 연구를 지원하는 프로그램인 EAR(Exploratory Advanced Research)을 운영

- (미국 주요도로 교량의 구조적 상태평가 연구) FHWA에서 2년마다 실시하는 교량의 육안점사 외에 구조물 상태의 정확한 모니터링을 위한 무선 센서기술 개발 및 관리 시스템을 구축하는 연구로, 배터리가 없고 비용효율적인 소형 무선센서를 활용하여 데이터를 효율적으로 수집·전송하고, 예측값에 대한 시스템 배포 및 신속한 평가대응설정을 통해 기준 데이터와 실제 구조조건을 비교하는 연구를 진행

* 미국 주요도로 교량 구조적 상태평가 : 모니터링 및 손상감지를 위한 무선 센서 시스템, 2017
Assessing the Structural Health of America's Highway Bridges : Effective Wireless Sensor Systems to Monitor Structural Health and Detect Damage)

- 교량 및 기타 토목인프라의 시스템상태에 대한 저비용으로 지속적인 모니터링이 가능하며, 심각한 구조적 손상에 대한 조기경보 시스템 역할을 수행할 것으로 기대

[표 1-12] 도로 현황측정 및 위험인프라 진단을 위한 계측센서 기술

배터리 없는 PFG 칩셋 탑재 프로토타입 센서 보드 (Washington University in St. Louis)	계측기 센서 및 시스템 무선 변환 (Drexel University)
	Strain gauge Accelerometer Tiltmeter Displacement gauge 

- Infravation에서는 첨단시스템·도로인프라기술 및 재료분야의 혁신 연구개발을 촉진을 통해 도로인프라 건설 및 유지보수에 있어 비용효율적인 시스템·재료·기술개발을 추진중임

* Infravation은 구조물의 위험 감지 및 유지보수를 위한 모니터링 기술 외에 친환경·첨단기술 적용 도로마감재 및 BIM 적용기술 등에 대한 프로젝트를 진행

- (SHAPE) 교량구조의 장기 모니터링을 위한 중앙 집중식 데이터관리 및 분석 시스템을 제공하는 클라우드 기반 접근방식을 채택하여 계측기(SHAPE Box)를 교량 하부에 장착하여 주파수 이동 관찰을 통해 구조적 손상 및 강도변화를 예측하여 교량의 손상에 대한 조기감지를 위한 기술을 개발



[그림 I-30] SHAPE Box 설치 및 교량 강도변화 예측

- (FASSTbridge) 강교량의 수명연장에 대한 신뢰성 있는 예방, 비용효율적이고 지속가능한 솔루션을 제공하여 유럽과 미국의 강교량 재고 소유에 따른 경제적 및 환경적 비용을 획기적으로 절감하기 위한 기술을 개발
- 일본 국토교통성 산하 도로기술회의에서는 고감도 자기비파괴검사를 통해 육안 확인이 불가능한 강철 구조물의 손상(부식, 파손 등) 및 결함을 검출하는 기술에 대한 연구개발이 진행
- 교량의 수중부에 부착된 생물을 떼어내지 않고 두께를 측정하거나 조명·표지판·기초 콘크리트 매설부분·구조물 내부의 부식 검출, 용접불량 및 결함 검출 등 내부의 불량이나 결함을 검출하는 방법에 대한 기술 개발

[표 I-13] 고감도 자기비파괴검사를 통한 구조물 손상 및 결함 검출

수중부 손상 검출	기초 매설부위, 폐쇄단면 내부손상, 앵커볼트 부식 검출	용접부 불량 및 결함 검출

■ (스위스 응용과학기술연구소(EMPA)) 도로표면 결빙방지 리서치 프로젝트(ICEPHOBIC ROAD SURFACES)를 진행함²³⁾

- (목표) 역청(Bitumen) 기반의 도로표면의 본질적인 결빙방지를 위한 리서치 프로젝트를 진행, 이는 도로 표면에서의 얼음 형성 및 고착에 대한 기본 지식을 발전시키고, 도로 표면의 과학 기반을 개발하는 것이 연구의 목적임

23) <https://www.empa.ch/web/s301/icephobic-road-surfaces>

- 역청의 변형과 그 표면에서의 얼음의 형성 및 얼음 형성이 지연되는 현상에 대한 기본적인 연구를 수행하고 내구성/안정성/친환경을 고려한 다양한 복합물에 대해 연구함
- (펀딩) 스위스 국립 과학 재단 (SNF)의 지원을 받음 (펀딩규모 미공개)
- (참여기관) EMPA 도로공학연구실과 취리히 대학 공동연구
- (기간) 2017/05/01 ~ 2020/01/30
- (연구내용) 마이크로캡슐화 상변화물질(PCM)*을 활용한 아스팔트 혼합물 연구개발중으로 관련 논문을 게재함²⁴⁾

* 상변화물질(PCM)은 주변의 온도가 상승하면 열을 흡수하고, 낮아지면 열을 방출하는 축열, 발열의 특성을 나타내는 물질로, 열을 흡수하고, 방출하며 주변 온도에 영향을 주는 물질임

- 상변화물질은 아스팔트가 저온상태에서 균열 발생을 방지하기 위한 노면 온도를 조절하는데 사용가능함, 이를 위해 다양한 아스팔트 혼합물을 마이크로캡슐화한 상변화물질(테트라 데카인)과 혼합하여 위상변화 과정 중 열적 편익을 평가함

■ (Horizon2020 SNOWLESS) 포장도로에서의 실시간/자율적/에너지효율적 해빙기술 개발²⁵⁾

- (목표) 동절기 도로교통사고 예방을 위해 도로의 빙판 상태 정보를 실시간 수집하고, 도로상의 눈과 얼음을 15분이내에 녹임
- (기간) 2018/11/01 ~ 2021/08/31²⁶⁾
- (예산) €3,296,963 (약 44.16억원)
- (기술내용) 아스팔트나 콘크리트 표면에 금속 리본을 이용하여 자동으로 포장도로의 눈과 얼음을 녹이는 방식이며, 센서를 통해 도로 표면의 온도 변화를 모니터링하고, 기상예측 정보와 금속 리본을 가열하기 위한 전력정보를 종합하여 필요시 자동으로 시스템을 동작하여 도로에 얼음과 눈이 형성되는 것을 방지하거나 빠르게 제거 가능함
- (기대효과) 장기적으로 염분 등 유해 제빙 물질의 대체 가능함
- (시제품) 캐나다에서 -50°C까지 낮은 온도에서 동작이 확인됨

24) Modification of asphalt mixtures for cold regions using microencapsulated phase change materials(2019/12, Scientific reports)

25) <https://horizon-magazine.eu/article/under-road-heating-system-keep-europe-s-highways-ice-free.html>

26) <https://cordis.europa.eu/project/id/831120>

■ (이탈리아 ITERCHIMICA社) Winterpave® 항동결 아스팔트/콘크리트 첨가제²⁷⁾²⁸⁾

- (기술내용) 아스팔트 및 콘크리트에 첨가하여 영하 8도까지 노면 결빙을 방지함, 도로 표면과 접촉하는 물의 동결 온도를 낮추어 얼음 결정 형성을 방해하는 방식으로, 얼음이 아스팔트 노면에 달라붙지 않게 하는 효과가 있음, 활성 요소가 점진적으로 아스팔트 피복 밖으로 전이되며 시간이 지나도 지속적인 효과를 유지함
 - 첨가물은 탄산염, 질화염, 알칼리 금속염, 규산염 등의 무기염과 유기산 다공질성 암석질²⁹⁾ 재료를 혼합하는 방식으로 구성됨
- (특징) 부식성 또는 환경적으로 유해한 물질을 방출하지 않으며, 염화물을 포함하지 않음
 - * 일반적으로 염화나트륨(소금)을 도로에 살포하여 눈과 얼음을 녹이는 방식이 상대적으로 저렴한 문제해결 방법이나, 전 세계적으로 생산되는 소금의 25%이상은 도로의 얼음을 제거하는 데 사용되고 있음, 염화나트륨의 대체제는 염화칼슘이 있음, 하지만, 도로에 뿌려진 염화물은 사라지지 않고 물에 녹아 주변 들판이나 강으로 흘러들어 농업 등 환경에 부정적인 영향을 미치고 있음

27) <https://iterchimica.it/en/tipologie/anti-freezing-additives/>

28) <https://www.worldhighways.com/wh6/feature/new-additive-self-de-icing-asphalt-mixture-roads-winter>

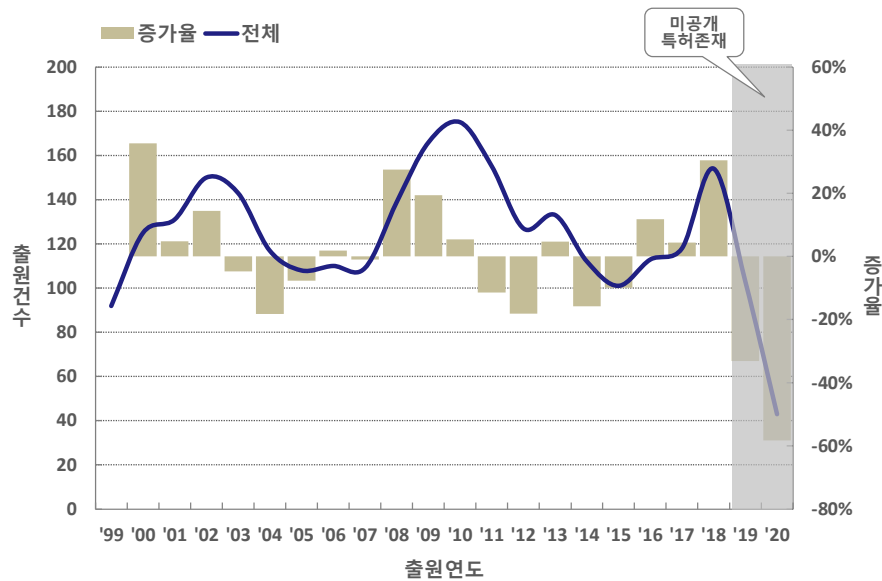
29) <https://www.aoneroad.com/winter-pave-1>

2-3. 특허분석

2-3-1. 국가별 특허분석

■ 전체 특허동향

- (전체 연도별 특허동향) 출원연도를 기준으로 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)에 대한 출원건수 현황과 출원 증가율을 통해 출원 증감 추이를 살펴봄



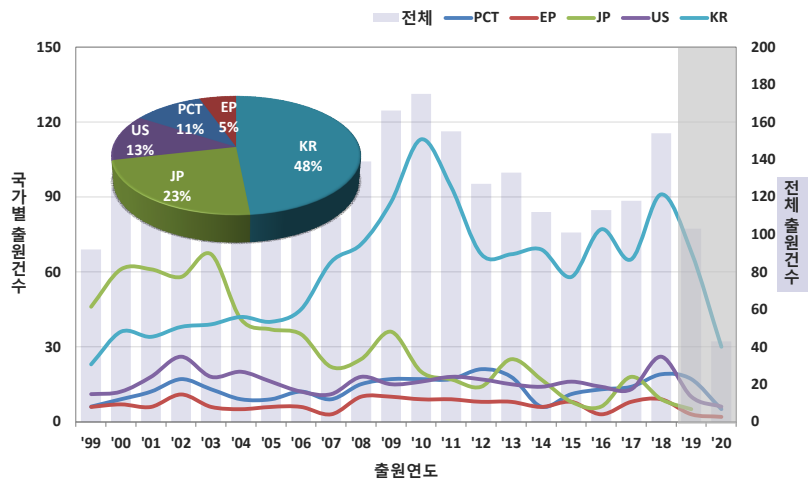
[그림 I-31] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 연도별 특허동향

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야 특허 2,724건에 대한 출원연도별 특허동향*을 살펴보면, 1999년 92건의 출원을 시작으로, 증가, 감소를 반복하고 있으며, 2010년 175건의 가장 많은 특허를 출원한 이후 점차 감소하는 추이를 보이다가 2016년부터는 다시 증가하는 것으로 분석됨

* 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있어, 2019~2020년 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로, 2018년까지의 유효데이터를 기준으로 의미를 파악함

■ 출원국 특허동향

- (출원국 연도별 특허동향 및 국가별 점유율) 출원연도를 기준으로 각국에서의 특허 출원건수 현황을 통해 출원 증감 추이와 국가별 점유율을 파악하고자 함

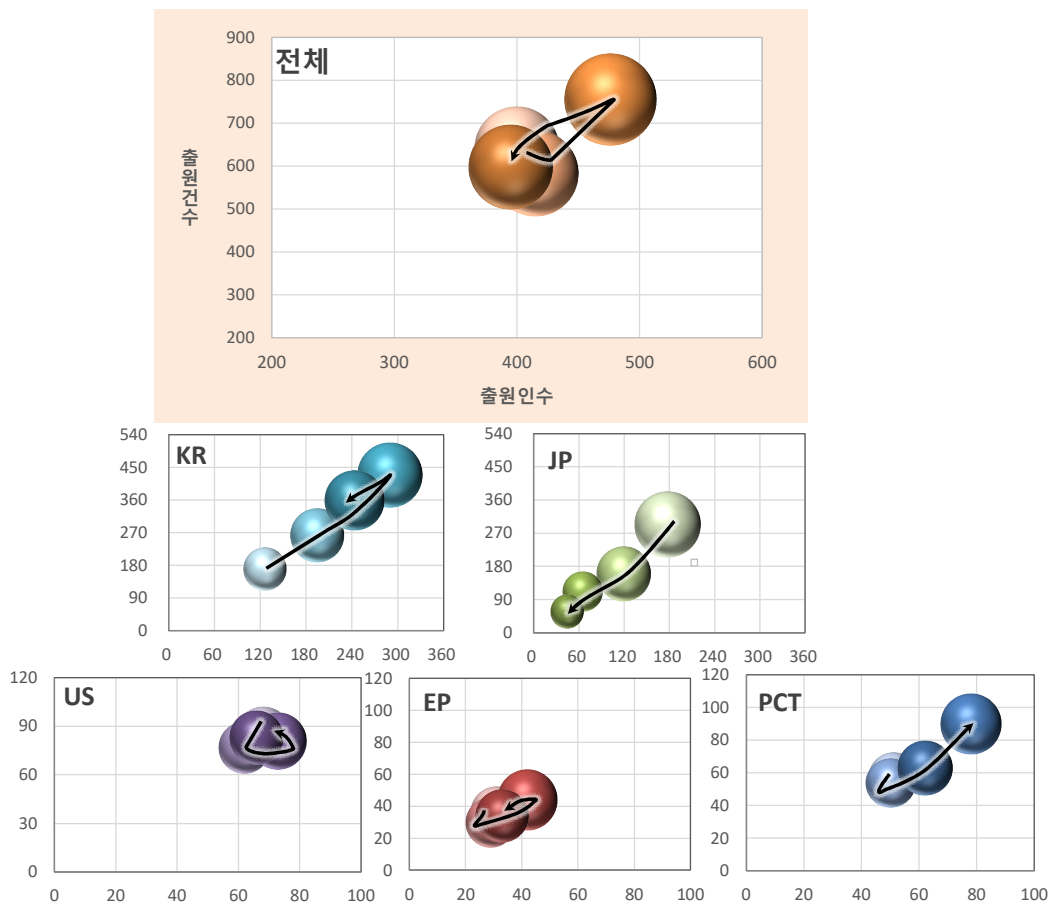


[그림 1-32] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 국가별 출원 동향 및 점유율

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야의 국가별 점유율에 있어, 한국이 48%로 관련 특허를 가장 많이 보유하고 있으며, 다음으로, 일본이 23%, 미국이 13%, PCT 11%, EP가 5%의 순으로 점유율을 기록하고 있음
- 출원연도별 특허동향에서 가장 많은 출원을 나타낸 한국의 경우, 2010년까지 급증하여 가장 많은 특허출원을 진행한 이후, 점차 감소하다가 최근 다시 증가하기 시작하는 것으로 분석됨
 - 일본은 2000년대 초반에 활발하게 특허출원이 진행되었으나, 이후부터 점차 감소한 것으로 분석되고, 미국, EP, PCT 3개국은 연간 20건 내외의 출원을 나타내며, 증가 감소를 반복하고 있는 것으로 나타남

■ 국가별 기술성장 단계

- (기술 성장단계) 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 전체 및 국가별 특허 포트폴리오를 통해 기술 위치를 분석한 것으로, 전체 출원연도를 구간별(4구간)로 나누어, 구간별 특허 출원 건수 및 출원인 수 변화를 통해 기술성장단계를 분석함



구간	1구간	2구간	3구간	4구간
출원연도	1999~2003	2004~2008	2009~2013	2014~2018

* 출원건수와 출원인수의 규모의 차이로, 한국, 일본 2개국과 미국, EP, PCT 3개국에 대해 스케일을 다르게 적용하였으므로, 해석시 유의

[그림 1-33] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 국가별* 기술 성장 단계

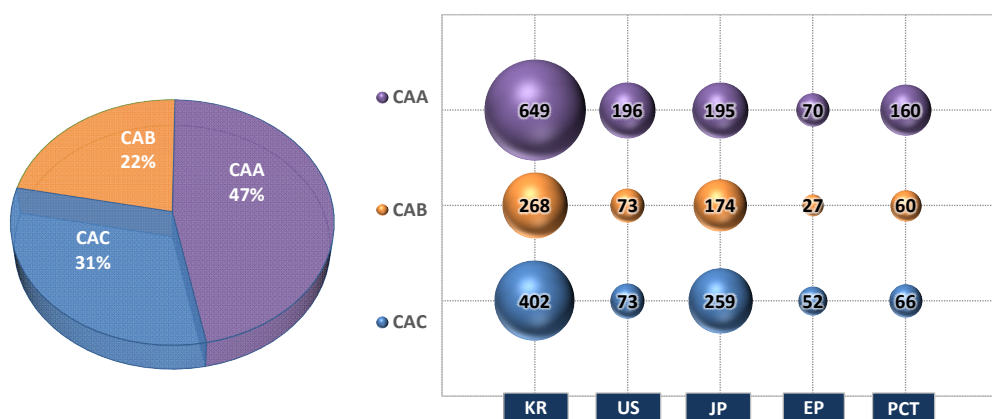
- (전체) 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야 전체 특히 포트폴리오로 분석한 기술성장 단계는 1구간에서 2구간까지 출원 건수와 출원인 수의 정체를 보이다가 3구간에서는 증가한 후, 4구간에서는 출원 건수와 출원인 수가 다소 감소하고 있어, “성숙” 단계인 것으로 분석됨
 - 가장 많은 특허를 보유하는 한국특허와 일본특허로 인해 구간별로 출원 건수와 출원인 수가 감소하는 것으로 분석됨
- (한국) 한국특허의 포트폴리오를 분석한 결과, 1구간부터 3구간까지 출원 건수와 출원인 수가 모두 증가하다가 4구간에서 감소하기 시작하는 것으로 나타나, “성장” 단계를 지나 “성숙”단계로 접어든 것으로 분석됨
- (일본) 일본특허의 포트폴리오를 분석한 결과, 1구간부터 4구간까지 출원 건수와 출원인 수 모두 감소하는 것으로 분석되어, “쇠퇴” 단계인 것으로 분석됨

- (미국) 미국특허의 포트폴리오를 분석한 결과, 1구간부터 4구간까지 출원 건수와 출원인 수 모두 정체를 나타내고 있어, “성숙”단계에 해당하는 것으로 분석됨
- (EP) EP특허의 포트폴리오 분석결과, 1구간부터 4구간까지 출원 건수와 출원인 수 모두 정체를 나타내고 있어, “성숙” 단계에 해당하는 것으로 분석됨
- (PCT) PCT특허의 포트폴리오 분석결과, 1구간부터 2구간까지 출원 건수와 출원인 수가 정체하다가 3구간, 4구간 모두 증가하는 것으로 나타나 “성장” 단계로 분석됨

2-3-2. 세부기술 특허분석

■ 세부기술 특허현황

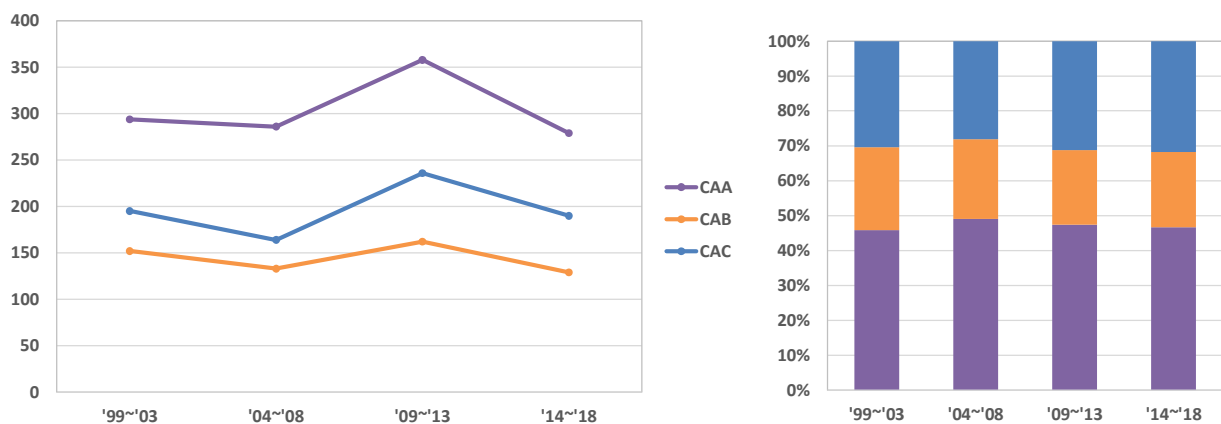
- (세부기술 특허현황) 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)의 세부기술 분석을 통해, 세부기술의 현황 및 국가별, 구간별 특허동향을 파악함
- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야는 3개의 세부기술을 포함하며, 점유율에 있어 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA)이 47%로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC)이 31%, 첨단소재 활용 도로사고 저감 기술(CAB)이 22%를 기록함
 - 국가별 세부기술의 특허현황을 살펴보면, 한국, 미국, EP, PCT에서는 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA)이 가장 많은 특허출원을 나타내고 있는 반면, 일본은 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC)에 대한 특허에 가장 집중하여 출원한 것으로 분석됨



분류코드	세부기술
CAA	재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술
CAB	첨단소재 활용 도로사고 저감 기술
CAC	친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술

[그림 1-34] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)의 세부기술 특허현황

- 세부기술에 따른 국가별 특허현황을 살펴보면, 3개의 세부기술 모두 한국 특허출원이 가장 많은 것으로 분석됨
 - 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA)은 한국특허가 가장 많으며, 다음으로 미국, 일본, PCT, EP 순으로 나타남
 - 첨단소재 활용 도로사고 저감 기술(CAB)은 한국특허 출원이 가장 활발하고, 다음으로 일본, 미국, PCT, EP의 순으로 나타남
 - 환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC)은 한국특허가 가장 많은 출원 건수를 나타내고 있으며, 다음으로 일본, 미국, PCT, EP 순으로 나타남

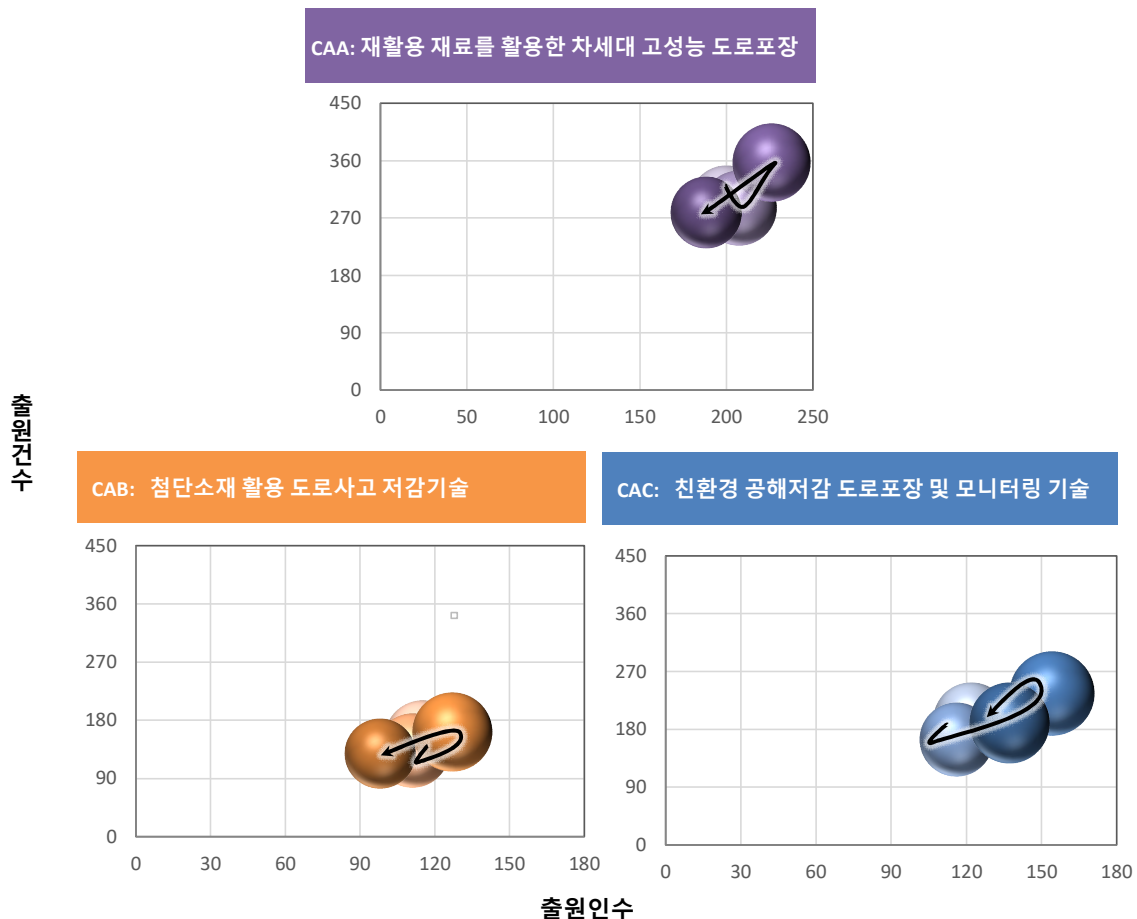


[그림 1-35] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)의 세부기술 구간별 특허동향

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야에서 세부기술의 출원구간에 따른 출원동향을 살펴보면, 세부기술 모두 큰 폭의 감소 및 증가를 나타내고 있지는 않으나, '14~'18구간에서는 출원이 감소하고 있으며, 구간별 점유율에서도 큰 변동은 없는 것으로 분석됨

■ 세부기술 기술성장 단계

- (세부기술 기술성장 단계) 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)의 세부기술별 특허 포트폴리오를 통해 기술 위치를 분석한 것으로, 전체 출원연도를 구간별(4구간)로 나누어, 구간별 특허출원 건수 및 출원인 수 변화를 통해 기술성장단계를 분석함



구간	1구간	2구간	3구간	4구간
출원연도	1999~2003	2004~2008	2009~2013	2014~2018

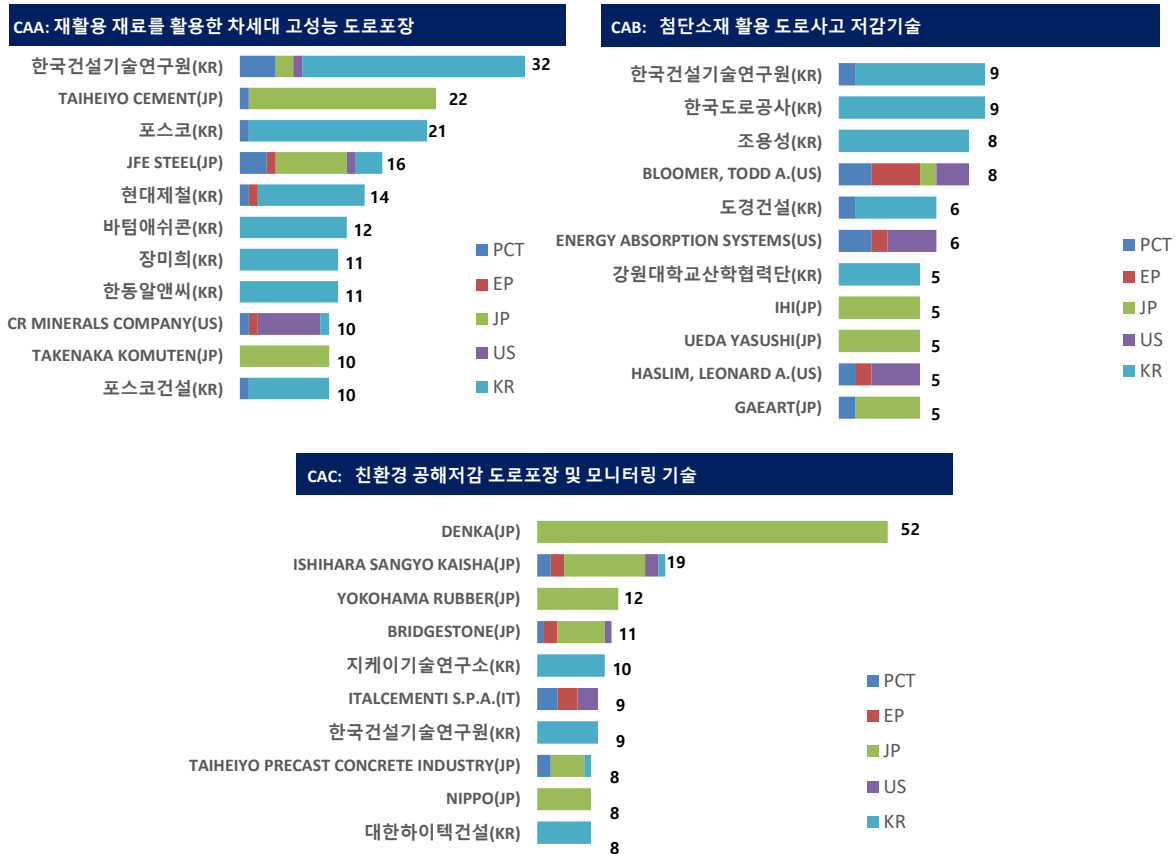
* 출원건수와 출원인수의 규모의 차이로, CAA는 CAB와 CAC의 출원인수 스케일을 다르게 적용하였으므로, 해석시 유의

[그림 1-36] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 기술별* 기술 성장 단계

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야의 세부기술들로 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA), 첨단소재 활용 도로사고 저감 기술(CAB), 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC) 모두, 1구간에서 4구간까지 출원인 수와 출원 건수의 정체를 나타내고 있어 모두 “성숙” 단계로 분석됨

■ 세부기술 주요출원인 TOP10

- (세부기술 주요출원인 TOP10) 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야의 세부기술별 상위 출원인 10위까지 현황을 통해, 세부기술들의 주요 경쟁자를 파악함



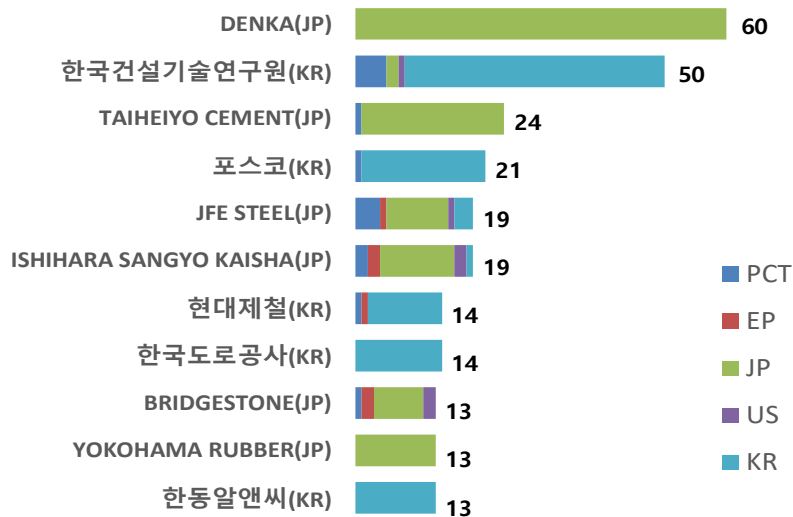
[그림 1-37] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 세부 분류별 상위 출원인 TOP10

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야의 세부기술별 상위 출원인 분석 결과, 상위 출원인 국적을 살펴보면 한국과 일본 국적 출원인들이 우세한 것으로 분석됨
 - 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA)에서는 한국 국적의 한국건설기술연구원이 32건의 출원 건수를 보이며 가장 많은 특허를 보유하고 있으며, 해당 출원인은 첨단소재 활용 도로사고 저감 기술(CAB)에서도 가장 많은 특허를 출원한 것으로 분석됨
 - 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA)의 출원인들은 대부분 철강 및 건설, 토목 관련 기업들로, 슬래그, 건설폐기물 및 비산회 등과 같은 산업폐기물을 재활용하는 관련 기술들을 보유하고 있기 때문으로 파악됨
 - 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC)에서는 일본국적의 DENKA가 52건으로 압도적으로 많은 특허를 보유한 것으로 분석됨

2-3-3. 주요 출원인 특허분석

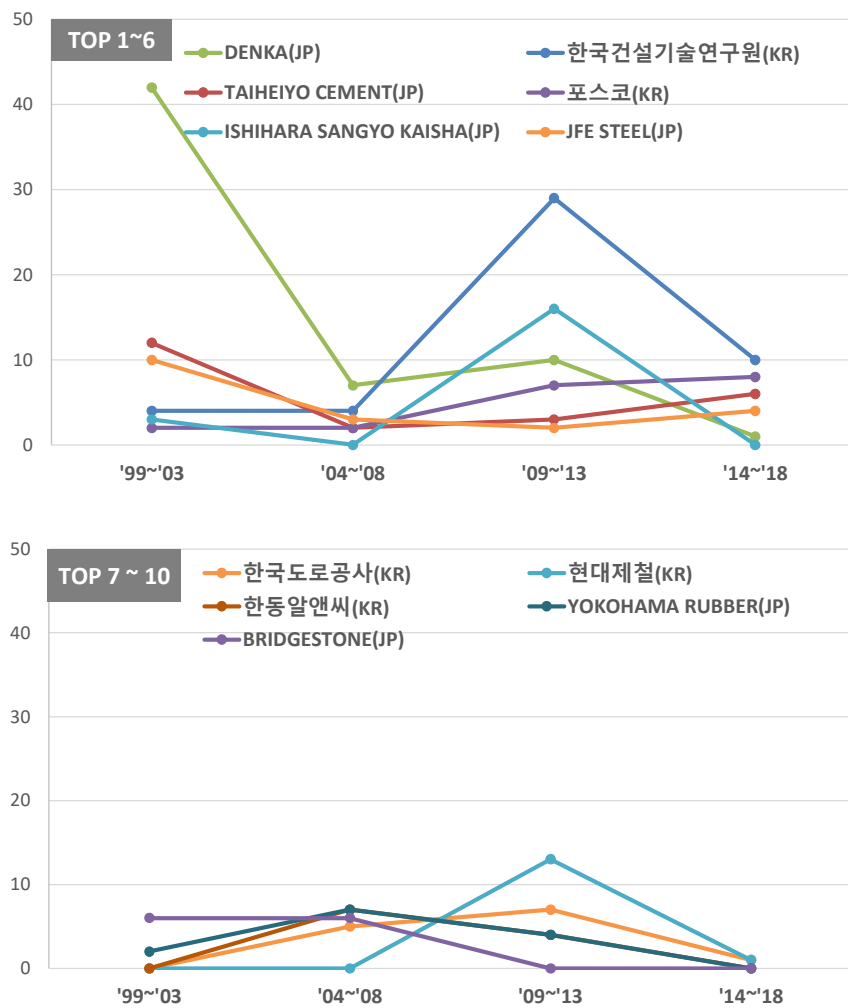
■ 상위 출원인 TOP10 특허동향

- [상위 출원인 TOP 10] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야의 상위 출원인 10위까지를 선정하여, 해당 출원인들의 국가별, 기술별 출원현황을 분석함

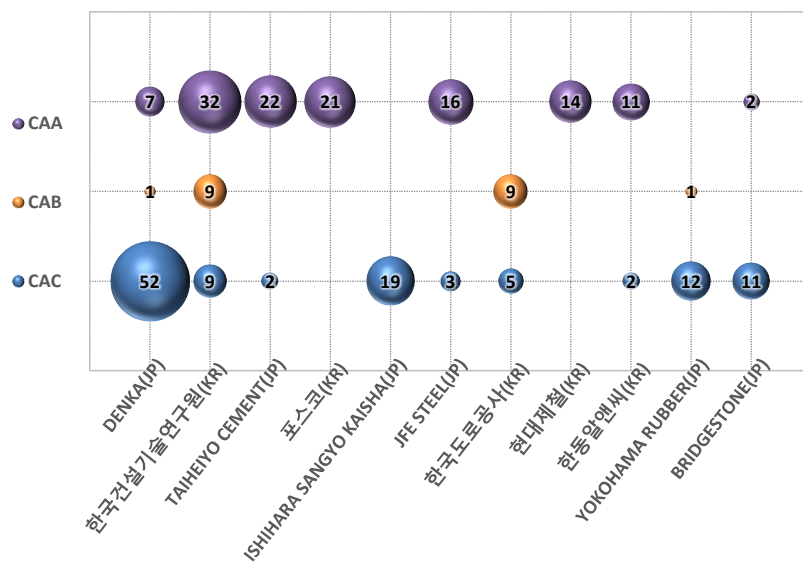


[그림 1-38] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 상위 출원인 TOP10 현황 및 국가별 특허현황

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야의 전체 특허에 대해 출원 건수를 기반으로 상위 출원인 10위까지를 선정한 결과, 10위 출원인들 모두 일본 국적과 한국 국적 출원인들로 나타남
- 상위 출원인 TOP10의 현황을 살펴보면, DENKA가 가장 많은 특허를 보유한 것으로 분석되어 1위를 차지하고 있으며, 다음으로는 2위 한국건설기술연구원, 3위 TAIHEIYO CEMENT, 4위 포스코, 공동 5위 JFE STEEL과 ISHIHARA SANGYO KAISHA, 공동 7위로는 현대제철과 한국도로공사, 공동 9위로는 RIDGESTONE, YOKOHAMA RUBBER, 한동알앤씨가 위치하고 있는 것으로 분석됨
- 상위 10위 출원인들의 국가별 특허출원 건수를 살펴보면, 대부분 자국내 출원에 집중되어 있는 것으로 분석됨
- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야 상위 출원인 TOP10의 출원구간별 특허동향을 분석한 결과, 최신 '14~'18 출원구간에 특허출원 증가 추이를 나타내는 출원인은 없는 것으로 분석되며, 대부분 해당 출원구간에서 감소하는 추이를 나타냄



[그림 I-39] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 상위 출원인 TOP10 구간별 특허동향



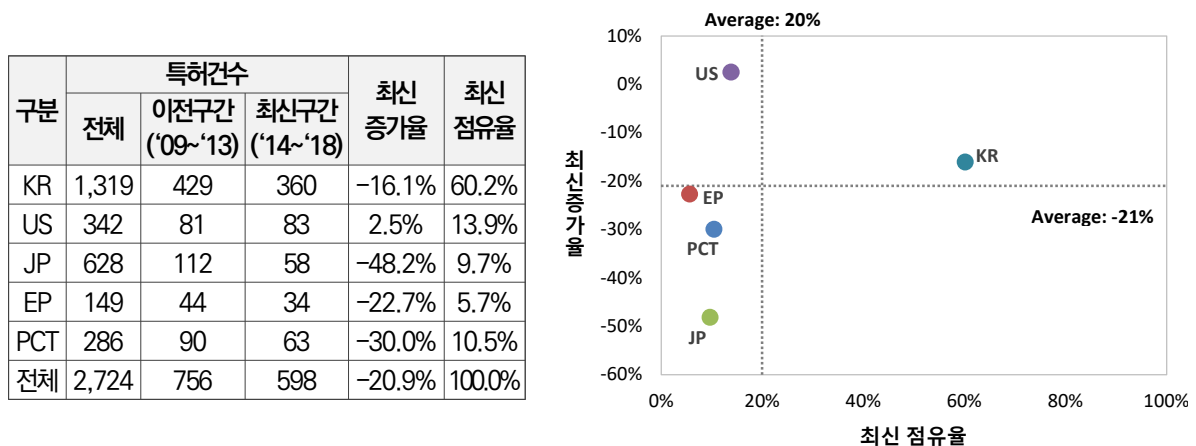
[그림 I-40] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 상위 출원인 TOP10 기술별 특허현황

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 분야 상위 출원인 TOP10의 기술별 특허현황을 살펴보면, 1위 DENKA와 공동 5위의 ISHIHARA SANGYO KAISHA, 공동 9위의 BRIDGESTONE, YOKOHAMA RUBBER는 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC) 분야에 집중적으로 특허출원을 보유하고 있으며, 한국 국적 출원인들은 주로 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA) 분야에 집중하여 특허출원이 진행된 것으로 분석됨
- 첨단소재 활용 도로사고 저감 기술(CAB) 분야에서는 한국건설기술연구원과 한국 도로공사가 특허출원이 집중되어 있는 것으로 분석되었으며, 한국건설기술연구원은 세부기술 분야 모두에 대한 특허를 보유하고 있고, 한국도로공사는 첨단소재 활용 도로사고 저감 기술(CAB)과 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC) 분야 특허를 보유하고 있는 것으로 분석됨

2-3-4. 최신 특허분석

■ 국가별 최신 특허동향

- (국가별 최신 특허동향) 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)특허를 국가별로, 이전구간('09~'13) 특허대비 최신구간('14~'18)의 증가율과 최신 구간의 점유율을 종합적으로 분석하여, IP부상국가와 최근 시장주도 국가를 파악함



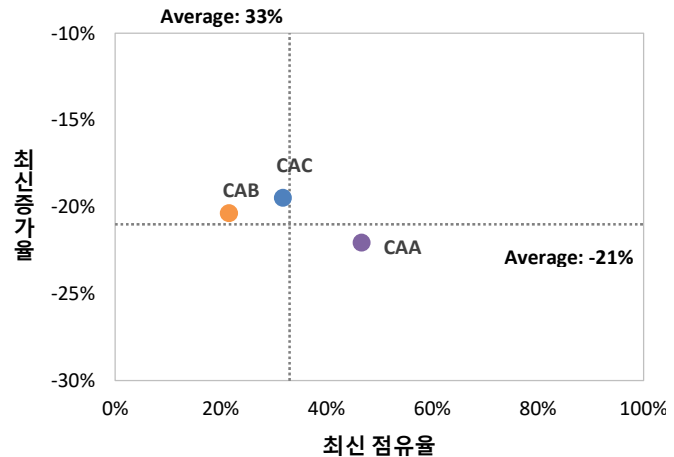
[그림 1-41] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 국가별 최신 특허동향

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)의 국가별로 알아본 최신 특허동향 분석결과, 한국이 최신 점유율과 최신 증가율 모두 평균 이상으로 최신 시장을 주도하고 있는 것을 분석됨
- 최신 증가율은 미국이 가장 높은 것으로 분석되며, 다음으로는 한국, EP, PCT, JP 순으로 나타나며, 한국을 제외하고는 최신 점유율에서 모두 평균 이하로 나타남
- 일본과 EP, PCT특허는 최신증가율과 최신 점유율 모두 평균값 이하인 것으로 파악됨

■ 기술별 최신 특허동향

- [기술별 최신 특허동향] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)특허를 기술별로, 이전구간('09~'13) 대비 최신구간('14~'18)의 증가율과 최신 구간의 점유율을 종합적으로 분석하여, IP부상기술과 최신 시장주도 기술을 파악함

구분	특허건수			최신 증가율	최신 점유율
	전체	이전구간('09~'13)	최신구간('14~'18)		
CAA	1270	358	279	-22.1%	46.7%
CAB	602	162	129	-20.4%	21.6%
CAC	852	236	190	-19.5%	31.8%
전체	2724	756	598	-20.9%	100%



[그림 1-42] 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 기술별 최신 특허동향

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA)의 세부기술별로 알아본 최신 특허동향 분석결과, 최신 증가율과 최신 점유율 모두 평균값 이상으로 나온 세부기술은 없는 것으로 나타나 최신 시장을 주도하는 기술 분야는 없는 것으로 분석됨
 - 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC)이 상대적으로 최신 증가율이 가장 높은 것으로 분석되나, 최신 점유율에서는 평균보다 낮게 나타나며, 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA)은 최신 점유율은 상대적으로 가장 높지만, 최신 증가율에서는 평균 이하인 것으로 분석됨

2-3-5. 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 특허분석 결론

- 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 특허 2,724건에 대한 특허분석 결과, 2010년 가장 많은 특허 출원 이후 연도별로 점차 감소하다 최근 다시 증가하는 것으로 분석되며, 기술성장 단계에서 “성숙” 단계로 분석되어, 향후 출원이 큰 폭으로 증가하지는 않으나 꾸준히 이어나갈 것으로 전망됨
- 국가별 분석 결과, 한국이 48%로 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 관련 특허를 가장 많이 보유하고 있으며, 다음으로는 일본, 미국, PCT, EP 순으로 나타남

- 국가별 성장단계분석에서는 한국, 미국, EP는 “성숙”단계, 일본은 출원 전수와 출원인 수가 전구간에 걸쳐 감소하고 있어 “쇠퇴” 단계로 분석되며, PCT는 “성장”단계로 나타남
- 기술별 분석결과, 첨단기술 기반 고기능 포장 기술(CA) 특허는 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA)의 점유율이 가장 높으며, 한국 국적 출원인들이 강세를 나타내는데, 주로 철강 및 건설관련 기업들의 산업부산물을 재활용하는 기술들에 대한 특허출원이 주를 이루고 있기 때문으로 분석됨
- 국가별 세부기술의 특허현황을 살펴보면, 한국, 미국, EP, PCT특허에서는 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 기술(CAA)이 가장 많은 특허출원을 나타내고 있는 반면, 일본은 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC)에 대한 특허에 가장 집중하여 출원한 것으로 분석됨
 - 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC)에서는 일본국적의 DENKA가 52건으로 압도적으로 많은 특허를 보유한 것으로 분석됨
- 상위 출원인 10위까지의 분석결과, 한국과 일본 국적 출원인이 강세를 보이며, 자국 출원에 집중되어 있는 것으로 분석되며, 최근 ‘14~‘18 출원구간에 출원이 감소하고 있음
- 상위 출원인 TOP10으로는 1위 DENKA, 2위 한국건설기술연구원, 3위 TAIHEIYO CEMENT, 4위 포스코, 공동 5위 JFE STEEL과 ISHIHARA SANGYO KAISHA, 공동 7위로는 현대제철과 한국도로공사, 공동 9위로는 RIDGESTONE, YOKOHAMA RUBBER, 한동알앤씨가 위치하고 있는 것으로 분석됨
- 최신 특허동향에서는 한국이 최신 점유율과 최신 증가율 모두 평균 이상으로 최신 시장을 주도하고 있는 것을 분석되며, 세부기술에서는 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술(CAC)은 최신 점유율은 낮으나 최신 증가율이 높아 부상 기술로 분석되므로, 해당 기술에 대한 특허 확보가 요구됨

3. 연구목표 및 범위

3-1. 기본개념 및 범위

■ '첨단기술 기반 고기능 도로포장' 기본개념

- 「첨단기술 기반 고기능 도로포장」은 여러 분야의 첨단기술을 융복합하여 도로성능을 향상시키고 안전을 도모하는 동시에 환경에 대한 지속성을 확보할 수 있는 도로포장을 의미
- 「첨단기술 기반 고기능 도로포장」은 사용자의 안전에서부터 환경의 지속성까지 확보할 수 있는 고성능 인프라 구조물을 모두 포함하며, 특히 제로 카본 시대 지향에 따른 친환경 도로포장으로 사용자에게 안전한 운행과 주변 거주자에게도 건강한 거주를 가능하게 하는 도로포장 관련 기술까지 모두 포함
 - 고성능 도로포장재는 도로포장의 성능과 기능을 효과적으로 증대시킬 수 있는 재료와 재료를 활용하는 시공 방법 및 시공 장비를 포함하며, 관련된 연구에서는 실질적인 성능 규명을 위하여 재료의 현장 검증을 중심으로 진행하되, 실험실 검증 및 이론적 검증이 동시에 진행됨
 - 또한 고성능 도로포장은 소재분야의 원천기술과의 융합을 통하여 도로 위에서 사고 발생 가능성을 낮추어 안전성을 향상시키며, 이를 통하여 안전에 소요되는 반복적 유지보수 비용을 절감하는 기술을 포함
 - 친환경 도로포장재는 정부에서 선언한 2050년 목표한 탄소 중립 목표를 달성에 기여할 수 있도록 산업부산물 및 폐기물을 활용한 도로포장 재료를 활용하여 자원 활용을 극대화하는 기술 개발이 포함
 - 도로포장을 위하여 재료를 생산, 시공 및 운영하면서 발생하는 다양한 공해 요인은 기반 시설이 환경적으로 부정적인 영향이 크다는 선입견을 발생시키고 있으므로, 이미 진행되고 있는 미세먼지를 제외하고 운전자 또는 사용자들에게 가해질 수 있는 물리적인 스트레스를 최소화할 수 있는 소음, 열섬현상 등의 공해유발 요인을 저감하거나 관리할 수 있는 기술을 포함
 - 공해 모니터링 기술은 포장재료의 생산, 시공 그리고 도로운영에서 발생하는 공해에 대한 표준 지표를 수립에서 부터 센서, 엣지컴퓨팅, IoT, 클라우드 등의 기술을 활용한 모니터링 및 분석을 포함
 - 또한 열섬과 소음으로 인한 공해 저감을 위한 불연속 포장시스템(DPS, Discrete Pavement System), 디지털트윈 기반의 열섬 시뮬레이션 기술 및 고성능 포장재료 기술을 포함
- 「첨단기술 기반 고기능 도로포장」은 위의 개념을 포함할 수 있는 첨단 소재, 도로포장 재료, 생산 시설, 도로포장의 형식, 설계법, 시공방법, 시공장비 및 시방서를 모두 포함하며, 사회적 요구에 응답할 수 있는 응용연구 및 개발 연구에 집중하되 응용연구의 기반을 지속적이고 실질적으로 확장할 수 있는 일부 기초 연구를 포함

3-2. 연구개발 목표

■ 연구개발 목표

- 본 기획 연구에서는 1) 기술혁신 기반의 도로의 현안 문제 해결, 2) 미래 교통환경 변화에 대응하는 협력기반의 도로인프라 기술개발로 주변산업의 혁신 가속화, 3) 도로 본 기능 강화를 위한 고부가가치 도로인프라 혁신기술 개발을 목표로 설정하고, 이를 평가하기 위한 지표로 1) 도로이용자 안전개선, 2) 도로인프라 안전개선, 3) 기술경쟁력 확보, 4) 산업·사회 혁신에 기여를 지표로 설정하였음

목 표			
도로인프라의 변화확대된 역할을 수용하여, 국민의 안전 확보를 위한 도로인프라 혁신기술개발			
▶ 기술혁신 기반의 도로의 현안 및 문제 해결 ▶ 미래 교통환경 변화에 대응하는 협력기반의 도로인프라 기술개발로 주변산업의 혁신 가속화 ▶ 도로 본 기능 강화를 위한 고부가가치 도로인프라 혁신기술 개발			
[도로이용자 안전개선 교통사고 감소]	[도로인프라 안전개선 도로 재난재해 사고감소]	[도로 기술경쟁력 확보 도로부문 기술수준 향상]	[산업사회 혁신 기여 융합 서비스솔루션 시범 추진]

- 이에 따라「첨단기술 기반 고기능 포장」은 중점분야「도로인프라 혁신형 - 첨단기술 융복합 도로 안전 고성능화 기술」의 세부 연구 분야 중 하나의 분야로 도로포장 분야에서 기획연구의 기술 목표를 달성하기 위하여 구성
 - 국내·외에서 연구개발의 수요가 급증하고 있는 재활용 또는 첨단 소재와 부재를 활용한 기능성 프리팹(pre-fabrication) 기술을 활용하여, 성능이 향상되고 기능이 확장된 도로 포장을 개발하고 이를 통하여 차세대를 위한 미래지향형 도로포장 재료와 구조를 제시
 - 또한 최첨단 소재를 활용하여 도로에서 발생하는 빈번한 사고를 획기적으로 저감하는 동시에 예측성 부족으로 비효율적으로 적용되는 유지보수에 대한 부담을 최소화할 수 있는 기술 개발
 - 한편 도로포장의 생산, 시공 및 운영을 포함하는 전주기에 관련된 공해 모니터링 기술을 개발하여 도로 산업에 연계되어 발생할 수 있는 다양한 형태의 공해를 정량적으로 관리하기 위한 시스템을 구축하는 동시에, 이와 같은 기술을 열섬현상 감소 및 소음 저감과 같은 실증형 기술 개발과 접목하여 실용적 기술 확보
 - 빅데이터 기반의 도로포장 전주기 모니터링 기술과 고성능 포장재료 개발에 따라 도출된 시뮬레이션 및 역학적 분석 기술을 연계하여 디지털트윈을 구축하며, 도로의 공해 관련 특성을 95% 디지털화 하여 실시간으로 가시화

- 또한 5개 데이터종류 이상의 API를 제공할 수 있으며 수립된 공해지표 기준으로 도로 운영 과정에서 발생하는 공해를 15% 이상 저감할 수 있는 포장기술을 개발
- 열섬과 소음을 각각 20% 저감할 수 있는 포장기술을 개발함과 동시에 DPS의 자동화시공률 80% 달성
- 관련기술의 지속적인 개발을 통하여 도심지 재설계 등이 요구되는 개발도상국에 대한 기술 지원으로 국가 도로포장 기술 확대에 선도적 역할 수행

[표 1-14] 「도로인프라 혁신형 - 첨단기술 융복합 도로안전 고성능화 기술」의 중점 및 세부분야

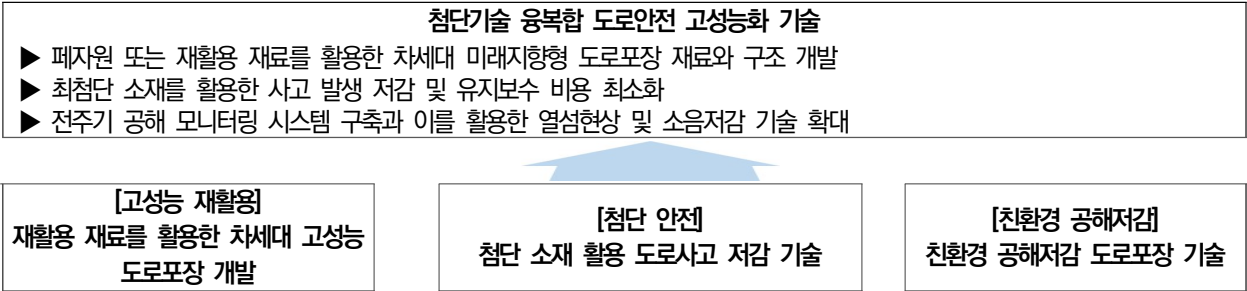
중점분야 및 세부분야	중점분야	세부연구분야
	[현안해결형] 1. 도로안전 현안대응 혁신기반 솔루션	[1-1] 교통사고 예방을 위한 도로기술 [1-2] 도로 수재해 예측-저감-대응
	[미래변화대응형] 2. 교통산업 혁신연계 안전지원 기술	[2-1] 화물차 안전운행 기술개발 [2-2] 미래 교통환경 대응 인프라 설계운영
	[도로인프라 혁신형] 3. 첨단기술 융복합 도로안전 고성능화 기술	[3-1] 첨단기술 기반 고기능 포장 [3-2] 도로인프라 예측-진단-관리

- 또한 「첨단기술 기반 고기능 포장」은 첨단 소재와 적용되지 않은 미래지향적 기능을 포함한 도로포장 형식을 제안하여 관련 분야 산업 활성화와 환경적 문제 해결에 기여할 수 있도록 구성
 - 도로포장에 활용되는 직경 4.75mm 이상 굵은 골재에 대하여 중량대비 60%이상 대체 함으로써, 물류 운송이 급격하게 증가하면서 국내 지자체뿐만 아니라 국가적인 분쟁의 가능성이 있는 플라스틱의 재활용에 관련된 환경적 문제를 해소
 - 모듈러형 도로포장을 활용하여 도심에서 발생하는 열섬현상의 강도를 20%이상 저감하여, 기후변화에 따른 도심지 거주 환경을 개선
- 「첨단기술 기반 고기능 포장」을 통하여 경제성 확보
 - 경량 모듈러형 도로포장을 활용함에 따라서 도로이용자비용과 사회·환경 비용을 70% 수준으로 절감하며, 모듈 교체형식 기술을 활용하여 도로 건설 및 유지보수 시간을 70% 수준으로 단축시켜 비용 절감

3-3. 연구과제 전체구성 및 연계

■ 주요연구분야

- 주요 연구분야는 고성능 재활용, 첨단 안전, 친환경 공해저감의 3가지 세부로 구성되며, 각각 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장, 첨단 소재를 활용한 도로 사고 저감 기술, 도로주변 공해 유발인자 저감 기능성 도로포장으로 표현될 수 있음



[표 1-15] 「첨단기술 기반 고기능 포장」 주요 연구분야 및 내용

주요연구분야	주요 내용
[고성능 재활용] 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 개발	· 폐자원 또는 재활용 자원을 활용한 도로포장 골재 개발 기술 · 인공 골재 양산 체계 및 생산 기준 및 가이드라인 · 폐자원 활용 모듈러형 도로포장 부재 및 설계법 · 폐자원 활용 모듈러형 배수성 또는 투수성 포장 설계법 · 폐자원 활용 모듈러형 도로포장을 위한 장비 개선 및 개발 · 폐자원 활용 포장 성능 지표 및 성능 기준 · 인공골재 및 모듈러형 도로포장의 환경 영향성 평가 기법
[첨단 안전] 첨단 소재 활용 도로 사고 저감 기술 개발	· 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발 · 건설 신소재를 활용한 결빙 방지 도로포장 적용 기법 개발 · 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계, 시공, 운영 및 유지관리 기술 · 도로노면 결빙 방지 성능 평가를 위한 테스트베드 구축 및 실증
[친환경 공해저감] 친환경 공해저감 도로포장 기술	· 포장 재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼 및 모니터링 기술 · 첨단 시공기술 기반 열섬저감 포장 개발 · 도로포장 열섬 현상 영향 분석 기술 개발 · 고성능 도로포장 재료 기반 저소음 도로 기술

3-4. 타 과제 유사/관련과제의 차별성 및 연계성

- 본 기획연구에서는 기존 연구과제의 연구분야, 범위 및 특징 등에 대한 중복성 검토를 통하여 연구주제에 대한 차별성을 확보하였으며, 기존의 성공적인 성과에 대한 연계를 지속하여 기술 개발의 완성도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨
 - 중복성 조사에서는 NTIS 자료, 각 부처 R&D 기획 및 보고서 등을 활용하여 검토
 - 유사과제에 대한 검토를 통하여 형식적 유사성과 실질적 유사성을 확인하였으며, 실질적으로 중복성이 최소화된 내용에 대한 주제에 대하여 연구 기획을 수행하면서 차별적 요소가 부각되어 중복성의 우려가 없도록 수행
- 본 기획연구의 3개 핵심과제에 대한 중복성 검토 결과는 다음과 같으며, 이에 다른 연계 및 차별화 방안은 다음과 같음
 - (핵심과제 8) 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 개발

[표 1-16] 핵심과제 8: 타 유사과제 차별성 및 연계방안 검토

기존 연구과제			검토결과
선행과제명 수행기관	지원기관	주요연구내용	본 연구의 차별성 및 연계방안
교통지체 최소화를 위한 쾌속 도로포장 시공 및 유지보수 공법 개발 기획 한국건설기술연구원	국토교통부	· 기존 아스팔트 및 콘크리트 포장의 물리적/역학적 장점을 최대한 반영한 조립형 도로 포장 시스템 구축으로 100% 이상의 도로 포장 계획 내구 수명을 확보할 수 있는 도로, 유지관리가 최소화 되는 도로, 품질관리가 용이하며 파괴를 예측할 수 있는 안전하고 쾌적한 주행성능을 발휘하는 공장생산형 롤러블 표층 카펫 포장 시스템 및 조립식 강성기초 패널 도로포장 시스템첨단 도로 포장체 생산, 단면설계, 구조해석, 쾌속시공 및 유지 관리 기술을 개발	· 선행된 기획연구에서의 기술 개발 절차 및 방법 등에 대하여 연계를 수행하고 폐자원 활용 및 열섬효과 평가 등에 대하여 차별성을 확보
건설폐기물 재활용 기술 개발 한국토지주택공사	국토교통부	· 여 건설폐기물의 발생단계에서 최종 처리단계까지의 과정에서 실용적으로 가능한 건설폐기물의 재활용 기술을 개발	· 선행된 연구에서 건설폐기물을 활용하는 요소기술에 대해서 검토를 수행할 수 있으나, 전체적으로는 제안 과제에서는 플라스틱을 포함한 폐자원을 활용하므로 이에 대한 차별성의 요소가 매우 큼
순환골재를 재활용한 친환경 지반개량공법 개발 ㈜평원엔지니어링	국토교통부	· 본 연구개발의 최종목표는 천연자원의 고갈에 대처함과 동시에 기존의 지반개량공법의 치명적인 공학적 및 기능적 단점을 보완하기 위하여 순환 골재를 재활용한 친환경 지반개량공법을 개발	· 선행된 연구에서 순환골재를 활용하는 기술에 대하여 참고할 수 있으나, 전체적으로는 제안 과제에서는 플라스틱을 포함한 폐자원을 활용하므로 이에 대한 차별성의 요소가 매우 큼

- (핵심과제 9) 첨단 소재 활용 도로 사고 저감 기술 개발

[표 1-17] 핵심과제 9: 타 유사과제 차별성 및 연계방안 검토

기존 연구과제			검토결과
선행과제명/수행기관	지원기관	주요연구내용	본 연구의 차별성 및 연계방안
블랙 아이스 발생을 영하 5도 지연시키기 위한 환경감응 상변화 아스팔트 포장 개발 군산대학교	국토교통부	· 환경에 반응하는 상변화물질을 아스팔트 혼합물에 적용 가능하도록 개발	· 상변화물질의 원천기술을 확보하여 국산화하고 이에 따른 잠열량 확보를 통한 지속가능 시간 확보 등 상변화물질 개발 및 대량생산 공정 확보
상변화물질을 이용한 친환경 제설시스템 개발 (주) 동일기술공사	국토교통부	· 상변화물질 축열탱크 설계 및 제작을 통하여 제설염수 가열 시스템 개발 및 이를 이용한 도로 히팅 시스템 개발	· 상변화물질을 나노 캡슐화하여 도로포장 신소재로서 활용하는 것은 축열탱크를 이용하여 물을 가열하고 기존 용설포장과 유사하게 관을 삽입하는 점과 차이점을 나타냄
탄소섬유복합재를 활용한 고기능성 도로포장시스템 개발 한국건설기술연구원	한국건설기술연구원	· 부도체인 아스팔트 포장에 저가 및 고전도성 건설용 탄소섬유복합재를 활용한 고기능성 용설 포장시스템 개발	· 발열체 및 전도체 구성을 하는데 있어 친환경 에너지를 사용하고 발열 및 전도체 등 핵심소재 기술을 국산화하는 것이 차별성이 있음
나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼 콘크리트 기술개발 한국건설생활환경시험연구원	국토교통부	· 나노 콘크리트 안전성 및 성능평가 기술 확보 · 나노소재 활용 시멘트복합체 제조기술 및 건설용 Low-Cost 벌크 나노소재 제조기술 확보 · 경량, 고강도, 고내구성 나노 콘크리트 제조기술 확보	· 본 연구는 도로노면 결빙 방지를 위한 첨단소재 개발에 대한 과제이므로 선행연구와 중복성 없음
자기치유형 친환경 콘크리트 기술개발 성균관대학교 산학협력단	국토교통부	· 균열제어형, 반응제어형 자기치유 콘크리트 기술개발 · 자기치유 콘크리트 성능평가 표준화 기술 및 실용화 전략, 기술개발 · 자기치유 콘크리트 실용화 기반 마련 및 실증 시험 수행	· 본 연구는 도로노면 결빙 방지를 위한 첨단소재 개발에 대한 과제이므로 선행연구와 중복성 없음

- (핵심과제 10) 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술개발

[표 1-18] 핵심과제 10: 타 유사과제 차별성 및 연계방안 검토

기존 연구과제			검토결과
선행과제명/수행기관	지원기관	주요연구내용	본 연구의 차별성 및 연계방안
친환경 저비용 에코 아스팔트 도로포장 기술 한국건설기술연구원	국토교통부	· 환경친화형 중온 현장 표층 재활용 포장 공법 개발, 저비용 상온 재활용 아스팔트 포장 공법 개발, 긴급 도로보수용 상온 현장 재활용 유지보수 공법 개발저비용 고성능 중온 박층 덧씌우기 포장 공법 개발	· 도로의 전주기 공해발생을 모니터링하고, 공해를 저감할 수 있는 포장재료 기술개발은 도로의 재활용 포장공법 기술과 차별성이 있음
터널 내 미세먼지 및 유해가스 처리용 촉매필터시스템 개발 아주대학교	국토교통부	· 도로 터널 내 미세먼지 및 유해가스 처리 장치 개발	· 도로의 전주기 공해발생을 모니터링하고, 공해를 저감할 수 있는 포장재료 기술개발은 미세먼지 저감 요소기술과는 차별성이 있으나 미세먼지 저감을 도로공해저감의 요소기술로 연계할 수 있음
경관도로 정비에 의한 경관개선 및 열섬 완화 모델 개발 부산대학교	교육부	· 경관도로의 유형별 특성을 분석하고, 에너지 시뮬레이션 결과 값과 교차분석을 통해 도시의 경관개선 및 열섬현상을 완화시킬 수 있는 경관도로 모델 개발	· 열섬을 해석하기 위한 에너지 시뮬레이션 방법을 벤치마킹하여 열섬현상을 분석하고 가시화 하는데 연계하여 활용
도로의 환경 개선을 위한	미래창조	· 소음과 분진저감 기술 개발, 도로소음	· 도로부의 소음 모델링 연구부분을 벤치

기존 연구과제			검토결과
선행과제명 수행기관	지원기관	주요연구내용	본 연구의 차별성 및 연계방안
소음과 분진저감 기술 개발 한국건설기술연구원	과학부	모델링 및 도로 위치별 소음저감 기술 개발	마킹하여 소음 분석 및 가시화 연구를 수행할 수 있음. 해당연구는 포장 재료에 의한 소음저감 방법이나 소음 해석을 통한 가시화 연구는 다루지 않음
저소음 포장도로 소음저감 효과 산정 및 검증을 위한 평가기법 개발 국립환경과학원	환경부	· 저소음포장도로 기술현황 및 성능평가방법 조사, 국제 측정방법을 적용한 일반 및 저소음포장도로 소음 성능 지수 구축, 소음성능 차이에 대한 현장 영향 조사	· 단순한 일반포장과 저소음 포장의 소음 저감성능 비교 연구이므로 차이가 있음. 국제 측정방법을 벤치마킹 하여 소음 모니터링에 활용 할 수 있음
원가절감형 무기 결합재의 개발 및 이를 이용한 빗물투수 및 저류가 가능한 포장블록 및 시스템 개발 (주)대웅	중소기업청	· 도심 환경의 빗물유출 및 표면 온도상승에 의한 환경부화요인 저감을 위한 빗물 투수, 보습, 저류, 차열, 정화 기능을 가지는 블록 포장 개발	· 선행연구를 통해 블록의 성능평가 및 설계 방법을 벤치마킹 하여 구조적 기능적으로 우수한 DPS를 개발 할 수 있음
투수블록포장의 하부층에 지지력 확보와 물순환 기능을 갖는 투수기층블록개발 및 이를 활용한 저영향개발(LID) 시스템 구축 (주)더지엘	중소벤처 기업부	· 기층침투블록(BLDB : Base Layer Drainage Block) 제품개발 및 이를 활용한 도로하부구조시스템 적용에 대한 기술개발	· 해당 연구는 블록구조물을 기층구조로 활용하는 내용이므로 차이가 있으나 투수블록이 갖는 열섬 저감 효과를 벤치마킹 할 수 있음
IoT 기반 건설현장 미세먼지 예측 관리 통합 플랫폼 개발 한양대학교	국토교통부	· 현장 측정을 통한 미세먼지 평가기술과 건설현장의 미세먼지 노출에 따른 미세먼지 계측 모듈 및 계측기술을 기반으로 하여, 건설현장 미세먼지를 평가 및 관리가 가능한 IoT 기반 건설현장 미세먼지 예측 관리 통합 플랫폼 개발	· 건설 현장의 특성을 고려한 IoT기반의 데이터 수집 방법과 플랫폼의 아키텍처 설계 등을 벤치마킹함
친환경 무기계복합소재 및 시공기술을 적용한 취약지점 도로변 미세먼지 저감기술 개발 한경대학교 산학협력단	국토교통부	· 기능성 건설자재를 활용한 취약지점 도로변 미세먼지 저감 기술 개발 · 도로노면 비산먼지 저감 기술 개발	· 본 연구는 포장재료에서 발생하는 공해를 저감하기 위한 모니터링 기술과제이므로 선행연구와 중복성 없음
저비용 고성능 광촉매를 활용한 미세먼지 저감 건설기술 개발 한국건설기술연구원	국토교통부	· 저비용 고성능 광촉매 생산기술 개발 · 도로시설물, 주거 및 다중이용시설물 광촉매 건설자재 및 적용기술 개발 · 광촉매 재료 및 자재 표준화 기술개발	· 본 연구는 포장재료에서 발생하는 공해를 저감하기 위한 모니터링 기술과제이므로 선행연구와 중복성 없음

4. 핵심과제 구성 및 내용

4-1. [핵심과제8] 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장

■ 기술개발 목적 및 필요성

- 세계적으로 이상기후로 인한 재난·재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이를 근본적으로 예방하기 위한 온실가스 감축이 국제적 이슈로 부상
- 우리나라의 온실가스 배출량순위는 세계 11위이며 온실가스 배출량 증가율은 세계 1위로 온실가스 증가에 큰 영향을 미치고 있으며 국제사회의 환경 규제가 증가함에 따라 2050년까지 탄소중립 선언한 바 있음
- 이를 위해서는 탄소 배출 과다 업종인 철강, 석유화학, 자동차, 시멘트 등의 분야에서의 산업 전환이 필요하며, 새로운 자원의 생산보다 재활용에 대한 관심이 필요한 시점
- 온실가스 감축 이외에도 도심지 불투수면적 증가로 인한 도심홍수, 열섬현상, 물순환 왜곡 등의 환경문제는 국민의 안전과 삶의 질 향상에 직간접적으로 연관되어 있는 중요한 요소로 이에 대한 다각적인 대책마련이 시급한 상황
- 최근 중국은 자국 내 환경오염 방지 대책의 일환으로 2017년 말부터 폐플라스틱을 포함한 고체 폐자재의 수입을 금지
 - 이로 인해 국내에서 수거된 재활용 폐플라스틱과 기타 폐자재에 대한 재활용 및 처리문제가 심각한 문제로 부상
 - 폐자원을 지속적으로 소비할 수 있는 재활용 분야를 개척하고, 이와 관련된 핵심요소 기술개발이 필요
- 지속적이면서 재활용 규모가 큰 도로포장이 문제를 해결할 수 있는 대상이 될 수 있으며, 특히 도로포장의 주재료인 골재(특히 고품질 골재), 골재를 접착하는 바인더, 층간 점착제 등 대부분의 원료를 대체할 수 있는 차세대 도로 원료로 활용하기 위한 기술개발이 필요
- 산업부산물의 활용은 제한적이고 매립 등의 처리에 상당한 비용이 소요됨. 또한 친환경 도로 포장 재료 및 공법의 개발은 국제적 정책 흐름으로써 선진국의 활발한 연구 주제
- 친환경 건설기술 개발은 필수적이며 국내 기술의 선진화를 통해 기술의 수출 및 친환경 도로 포장 기술의 선두그룹 진입이 가능
- 재활용을 극대화하여 물 자원 순환, 열섬현상 방지, 하부 공간 활용 등의 친환경 기능을 확대할 수 있는 도로포장 기술 개발하는 것을 목적으로 하며, 여기에는 폐자재를 활용한 인공골재

생산, 도로구조를 구성하는 부재 제작, 교통과 환경 하중에 대한 구조적 설계법, 부재의 생산, 시공, 유지관리를 위한 가이드를 개발하는 것을 주요 기술개발의 목적으로 함

■ 기술개발 목표

- 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장 과제에서는 전략적인 기술개발과 효율적인 진행을 위하여 다음 3개의 세세부로 구분

[표 1-19] 핵심과제 8: 기술개발목표

세부기술	세세부기술	기술 개발 목표	설정근거
8-1. 재활용 재료 활용 도로포장용 인공골재 상용화 기술	8-1-1. 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 재료	99% 이상의 재활용 재료로 구성된 인공골재 생산	도로포장에 소요되는 천연골재 90% 이상 절감
	8-1-2. 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 상용화 양산 기술	환경적 비용을 고려하여 기존 골재 비용 대비 100%이하 수준	실질적 활용을 위하여 천연 골재와 유사한 수준의 비용 유지 필요
8-2. 재활용 재료활용 가능성 모듈러 포장 부재 생산 기술	8-2-1. 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 부재 재료	50% 이상의 재활용 재료로 구성된 도로구조 재료	도로포장 분야에서 실질적인 환경기여
	8-2-2. 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료 상용화 기술	환경적 기능적 비용을 고려하여 기존 기능성 아스팔트 포장 비용 대비 100% 수준	실질적 활용을 위하여 기능성 아스팔트 포장과 유사한 수준의 비용 유지 필요
8-3. 재활용 재료 활용 모듈러 포장 설계 및 시공 기술	8-3-1. 모듈러형 페플라ستيك 도로 구조 설계 기반 기술 개발	기존 도로 대비 25% 수준의 경량화 및 70% 수준의 시공 기간	프리팸 및 모듈러 개념을 상용으로 적용하기 위한 적정 중량 및 기간
	8-3-2. 도로포장 구간 열섬현상 감소를 위한 특화 구조기술	기존 도로포장 대비 열섬현상 강도 0.5℃ 이상 저감	도심 열섬현상의 강도는 평균 2.5℃이며, 특성을 반영한 도로포장을 통하여 0.5℃이상 변화가 가능
	8-3-3. 모듈러형 페플라ستيك 도로포장 시공기술	기존 도로포장 설계법과 동등한 수준의 시방 제시	실질적 현장 적용을 위한 장비, 시공절차 및 지침 관련 반영 필요

■ 기술별·연차별 개발내용

- 재활용 재료를 활용한 다기능 경량 도로포장 분야는 1세부 2개, 2세부 2개, 3세부 3개의 구성 기술로 구분되었으며, 각 세부는 5개, 4개, 8개의 세부구성 기술로 구성되었음
 - 도로포장용 인공골재 개발에 집중된 1세부는 인공골재 재료를 개발하는 기술과 상용화를 위한 양산 기술연구로 구분되며 1세부 성과를 달성을 통하여 도로포장의 다양한 방면에 활용될 수 있음
 - 다기능 경량 도로포장을 실질적으로 설계 및 시공하는데 활용되는 재활용 재료 활용 부재 개발 연구가 수행되는 2세부에서는 모듈러형 도로포장 구조의 부재 개발과 상용화를 위한 양산 기술로 구분되며, 2세부의 성과는 3세부의 성과달성을 위하여 활용됨

- 재료 및 부재 개발 이외의 설계, 시공, 장비, 시방서 등 대부분의 기술 연구가 포함되어 있는 3세부에서는 경량 모듈러형 포장 이외에 공간 활용을 위한 기능과 열섬현상 저감을 위한 다양한 기술 개발이 포함되어 있음

[표 1-20] 핵심과제 8: 기술별/연차별 개발내용

세부기술	세세부기술	세세부 구성 기술 및 주요 연구 내용	연구연차
8-1. 재활용 재료 활용 도로포장용 인공골재 상용화 기술	8-1-1. 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 기술	(1) 재활용 재료를 활용한 인공골재 재료	1
		- 폐플라스틱 또는 산업부산물 등의 재활용 재료를 활용하여 직경 4.75mm 초과 굵은 골재를 대체할 수 있는 인공골재 재료 개발	2
		(2) 고성능 배수성 도로포장용 인공골재 생산을 위한 역학적 평가 기술	3
		- 도로포장용 골재로서 인공골재의 내구성 및 강도 평가 연구	4
		(3) 인공골재의 바인더 친화성 및 구조적 기능성 평가	5
		- 도로포장용 골재로서 인공골재의 바인더에 대한 접합강도 및 작업성 평가	
	8-1-2. 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 상용화 양산 기술	(1) 재활용 재료를 활용한 인공골재의 입도별 양산 체계안 도출	1
		- 직경 4.75mm 초과 굵은 인공골재에 대한 입도별 양산 체계 또는 생산 인공골재에 대한 선별 방법 연구	2
		(2) 인공골재 활용 및 생산 기준 가이드	3
		- 생산된 인공골재에 대한 활용 범위 및 방법에 대한 체계적 가이드 제공	4
			5
8-2. 재활용 재료활용 기능성 모듈러 포장 부재 생산 기술	8-2-1. 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 부재 재료	(1) 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 재료의 역학적 물성 평가 기법	1
		- 현장 도로포장에 작용하는 다양한 형태에 대한 하중에 대한 역학적 물성 평가 기법 제시	2
		(2) 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 재료의 환경적 영향 평가 기법	3
		- 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료의 장기간 활용에 따른 환경 호르몬 또는 분진 발생 등 다양한 조건에 대한 평가 기법	4
			5
	8-2-2. 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료 상용화 기술	(1) 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 부재의 기능적 활용을 고려한 부재 생산 표준화	1
		- 구조 부재의 용도와 구성에 따른 생산 형태 및 물성 표준화	2
		(2) 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 부재의 양산을 위한 생산 체계 개발	3
		- 구조 부재의 프리캐스트를 위한 비용효과적 생산 체계 연구	4
			5
8-3. 재활용 재료 활용 모듈러 포장 설계 및 시공 기술	8-3-1. 모듈러형 폐플라스틱 도로 구조 설계 기반 기술 개발	(1) 자전거 도로 및 지하중 도로를 위한 구조설계 기술	1
		- 하중조건에 따른 표준 및 하부층의 구조적 지지력을 고려한 설계법 개발 연구	2
		(2) 물순환 개선을 위한 배수성 및 투수성 향상을 위한 기능 설계 기술	3
		- 모듈러형 포장 구조의 기능을 고려한 설계법 개발 연구	4
			5
	8-3-2. 도로포장 구간 열섬현상 감소를 위한 특화 구조기술	(1) 도로포장 구간 열섬현상 감소를 위한 특화 구조기술	1
		- 모듈러 도로포장의 열섬현상 평가 및 정량적 저감을 위한 구조적 개선 방향 연구	2
			3
			4
			5
	8-3-3. 모듈러형 폐플라스틱 도로포장 시공기술	(1) 시공기간 단축을 위한 모듈러 프리캐스트 기술	1
		- 부재와 모듈의 사전 제작을 위한 공장 생산 기술 연구	2
		(2) 모듈러 부재의 양산 체계안 도출	3
		- 모듈러 부재의 양산을 위한 필수요소 도출 및 표준화 연구	4
		(3) 현장 적용성 및 시공 효율성 확보를 위한 현장 시공 절차서 개발	5
		- 현장 적용을 위한 시공 절차 및 방법에 대한 상세 가이드라인 제시	1
		(4) 현장 적용을 위한 자동화 시공 장비 및 시공법 개발	2
		- 모듈러 도로포장의 효과적인 시공을 위한 장비 개발 또는 개선 관련 연구	3
		(5) 시험시공 및 추적조사를 통한 재활용 재료 활용 도로 포장 공용수명 평가 계획	4
		- 재활용 재료를 활용한 모듈러 포장의 시공후 성능 및 공용성 평가를 위한 평가 기법 연구	5

■ 기술별 최종성과물

- 각 기술은 재활용 재료를 활용한 모듈러형 경량 도로포장 기술의 실용화를 위한 연구 성과를 도출하기 위하여 세부 구성기술 별 성과 목표를 다음과 같이 설정하였으며, 특허를 포함하여 성능평가 보고서, 규격, 설계법, 성능평가서, 매뉴얼, 시작품 등을 모두 포함하여 개발 기술이 상용 수준에 이를 수 있도록 구성

[표 1-21] 핵심과제 8: 기술별 최종성과물

세부	세세부기술	최종 성과물	성과지표
8-1. 재활용 재료 활용 도로포장용 인공골재 상용화 기술	8-1-1. 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 재료	도로포장용 인공골재	· 특허 · 성능평가 보고서
	8-1-2. 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 상용화 양산 기술	도로포장용 인공 골재 양산 방안 보고서	· 실용화 보고서 · 설비 설치/운영 규격
8-2. 재활용 재료활용 가능성 모듈러 포장 부재 생산 기술	8-2-1. 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 부재 재료	모듈러형 경량 도로포장용 구조 부재	· 등록 특허 · 성능평가 보고서
	8-2-2. 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료 상용화 기술	모듈러형 경량 도로포장 구조 부재 양산 방안 보고서	· 실용화 보고서 · 설비 설치/운영 규격
8-3. 재활용 재료 활용 모듈러 포장 설계 및 시공 기술	8-3-1. 모듈러형 폐플라스틱 도로 구조 설계 기반 기술 개발	결빙 방지 저가형 신소재(신소재)	· 등록특허 · 설계법
	8-3-2. 도로포장 구간 열섬현상 감소를 위한 특화 구조기술	결빙 방지 저가형 신소재(신소재)	· 성능평가서
	8-3-3. 모듈러형 폐플라스틱 도로포장 시공기술	결빙 방지 저가형 신소재(신소재)	· 시방서 · 시공 관리 매뉴얼 · 시작품 · 특허

4-2. [핵심과제9] 첨단소재 활용 도로사고 저감기술개발

■ 기술개발 목적 및 필요성

- 도로 살얼음(Black Ice)는 도로 표면에 발생하는 얇은 얼음 막으로 정의
 - 단순히 도로가 젖어 있는 것처럼 보이거나, 도로 노면 색이 그대로 투영되어 운전자가 육안으로 인식하기 어려워 ‘블랙 아이스’라고도 하며, 교량, 산기슭, 터널 입출부 등 그늘이 많이 형성되는 곳에 주로 발생



[그림 1-43] 도로 노면 결빙(블랙아이스) 개념도 겨울철 노면 결빙 현상

- 도로 노면 결빙(Black Ice)로 인한 사고는 최근 5년 간('14~'18년) 약 66백 건
 - 눈 길로 인한 사고보다 약 1.8배, 사망자 약 3배에 달함(도로교통공단)
- (주요 사고 사례) 2019.12월 상주-영천 민자고속도로에서 도로 노면 결빙으로 인해 2곳에서 동시에 대형 사고가 발생하여 사상자 39명(사망 7명, 부상 32명) 발생
 - (사고원인) 사고발생 당시 현지기상(기온 2℃, 강수량 0.7㎜)과 사고위치(터널·교량 인접) 고려 시, 도로 살 얼음 및 운전부주의 추정
- 도로 노면 결빙 구간은 차량 제동이 쉽지 않고, 예측치 못한 차량회전 등 핸들 조작이 어려우며, 제동거리※가 길어져, 연쇄 추돌사고 발생 가능성 높음
 - ※ (승용차) 결빙도로 48m > 마른도로 11m, (화물차) 결빙도로 110m > 마른도로 15m
- 또한, 건조한 도로 교통사고에 비해 치사율이 1.5배※ 높은 것으로 집계
 - ※ 도로 교통사고 치사율: 마른도로 1.79%, 결빙 3% (교통안전공단)

상주-영천고속도 '블랙아이스' 다중추돌 아수라장(종합)

송고시간 | 2019-12-14 08:17

비슷한 시각 2곳서 발생...사망 5명 부상 25명
차 6~7대 불타...양방향 교통 통제



[그림 1-44] 도로 노면 결빙으로 인한 교통사고 사례 언론 보도(2019.12.14., 연합뉴스)

- 국토교통부는 2019년 “도로 살얼음 사고예방 특별대책” 등 정부차원에서 도로노면 결빙 사고 방지를 위한 정책 드라이브 중
- 특히, 교량, 터널 진출입부는 도로노면 결빙에 매우 취약한 구간으로 도로노면 결빙 방지를 위한 근본대책 마련이 시급하며,
- 정부차원에서 교통사고 관리 사각지대로 방치되고 있는 도로노면 결빙에 의한 사고 예방을 위해 근본적 해결방안 마련 필요
- 국토교통부는 도로노면 결빙으로 인한 사고 예방을 위해 취약구간을 확대 지정(기존 193개소 →403개소)하고 위험구간에 대한 순찰 및 제설제 살포 강화하는 등 도로노면 결빙으로 인한 사고 방지를 위해 노력 중
- 도로노면 결빙 방지를 위해 사용되고 있는 제설제는 주로 염화물 성분으로 도로 구조물 손상, 미끄럼 저항성 약화, 주변 농지의 농작물 염화피해 등 문제점 내포
- 현재 도로 노면 결빙 방지를 위한 제설제 살포 기준은 기상청 기상 정보*를 기반으로 시행되고 있어, 노면 도로 결빙 방지 예방에 불확실성 내포
 - * 대기온도 2℃이하, 비가 내리기 시작할 때, 어느 비(지표의 온도가 0℃이하일 때 내리는 비)가 내릴 때로 지정
- 도로노면 결빙으로 인한 사고 방지를 위해서는 능동/상시적 결빙 방지 포장 시스템 구축 시급
- 그간 도로노면 결빙에 대한 연구는 도로 살 얼음 형성 메커니즘, 취약구간 특성, 노면 결빙 구간 정보 취득 방법을 중심으로 이루어졌으며, 도로노면 결빙 방지에 대한 근본적인 대책과 관련된 연구는 미진한 실정

■ 기술개발 목표

- 동 연구는 겨울철 도로 노면 결빙 방지 근본대책 마련을 위해 동절기 도로 노면 온도를 영상 (0℃ 이상)으로 유지시킬 수 있는 도로 건설 신소재 및 도로 포장 시스템, 실/검증 기술 개발을 목표로 함
- (최종 목표) 도로노면 온도 0℃ 이상 유지 8시간 이상 확보 및 단위면적(m²) 당 제설비용 10% 저감
- 대기온도 영하 10℃ 기준 도로 노면 0℃ 이상 8시간 유지
- 도로포장 평균 수명(아스팔트 10년, 콘크리트 20년) 기준 단위 면적당 제설 비용 10% 저감
- 도로 결빙으로 인한 사고 방지(예방) 솔루션(소재, 설계, 시공, 운영 기술) 제시

[표 1-22] 핵심과제 9: 기술개발목표

세부기술	세세부기술	기술 개발 목표	설정근거
9-1. 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발	9-1-1. 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발	① 단위면적 당 6,600kJ 열량을 유지할 수 있는 건설 신소재 개발 ② 도로노면 살얼음 융해 효율 10% 향상이 가능한 결빙 신속대응 비염화 제설 신소재 개발	① 도로노면 온도 5℃ 이상 유지를 위해 필요한 열량으로 산정 (3cm 적설시 필요한 융해열) ② 융해효율 향상을 통한 신속 제설 및 이를 통한 제설비용 절감 必
	9-1-2. 저가형 도로노면 결빙 방지 신소재 제조 기술 개발	③ 저가형 도로노면 결빙 방지 재료 100% 국산화	③ 도로노면 결빙 방지 신소재의 경제성 및 기술경쟁력 제고를 위해 100% 국산화 必
9-2. 건설신소재 활용 결빙 방지 도로포장 적용 기법 및 성능평가 기술 개발	9-2-1. 건설 신소재를 활용한 결빙 방지 도로포장 적용 기법 개발	① 도로 노면 0℃ 이상 가능한 결빙방지 신소재 적용 기법 개발	① 동 연구의 최종 목표인 영하 10℃ 환경에서의 도로노면 0℃이상, 8시간 유지 가능한 적용 기법 개발 必
	9-2-2. 결빙 방지 도로포장 적용 기법별 성능평가 기술 개발	② 결빙방지 신소재 적용 도로포장 재료의 국토교통부 품질 기준 100% 만족 ③ 적용 기법별 최적 성능 평가 기준 제시	② 국내 도로 적용을 위해서는 국토교통부 품질기준 만족 必 ③ 도로노면 결빙 방지재료 적용 기법에 따른 적정 평가 방법 수립을 통해 성능 및 효과 검증 필요
9-3. 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계, 시공, 운영 및 유지관리 기술 개발	9-3-1. 도로노면 결빙 방지 시스템 설계 기술개발	① 결빙 취약 지점(도로 시설물)별 결빙 방지 도로시스템 최적 설계(안) 마련 ※ 국토교통부 지침 개정 가능 수준으로 작성	① 도로 노면 결빙 방지 재료 적용 방식에 따라 최적 설계 및 시공 방안 필요
	9-3-3. 도로노면 결빙 방지 시스템 시공 및 운영 기술개발	② 결빙 취약지점(도로 시설물)별 결빙 방지 시스템 시공(안) 마련 ※ 국토교통부 지침 개정 가능 수준으로 작성 ③ 도로 결빙 방지 시스템 별 도로 노면 0℃ 이상, 8시간 이상 유지 가능한 운영	② 국가 공공재로 활용되는 신재료 및 신공법 적용을 위해서는 국토교통부 지침 제개정이 필요하며, 시공방안이 포함되어야 함 ③ 효율적인 도로노면 결빙 방지 시스템 운영을 통한 제설 비용 10% 절감

		방안 마련(결빙 취약지점 특성 중심)	
9-4. 도로노면 결빙 방지 시스템 성능평가를 위한 테스트베드 구축 및 실/검증	9-4-1. 도로노면 결빙 방지 성능 평가 테스트 베드 구축 및 실/검증	도로 노면 결빙 발생 환경 모사가 가능한 실/검증 Test Bed 구축 및 검증	실질적 검증을 위해서는 기상환경 조건을 갖춘 실험형 Test Bed 필요

■ 기술별·연차별 개발내용

[표 1-23] 핵심과제 9: 기술별/연차별 개발내용

세부	구성기술	세부 구성 기술 및 주요 연구 내용	연구 연차
9-1. 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발	9-1-1. 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발	· 도로노면 결빙 방지 신소재 기본 특성 조사/분석	1
		· 기존 도로노면 결빙 방지 재료의 물리/화학적 특성 분석 및 목표 성능 도출 ※ 상변화물질 (Phase Change Material, PCM), 액상형 그래핀, 비염화 결빙 억제제 등	2
		· 도로노면 결빙 방지 신소재 잠열, 열전도율 등 열역학적 성능 평가	3
		· 도로노면 결빙 방지 신소재 시제품 개발	4
		· 도로노면 결빙 방지 신소재 성능 개선 및 시제품 개발	5
		· 도로노면 결빙 방지 신소재 성능 기준(안) 개발	
		· 도로노면 결빙 방지 신소재 비즈니스 모델 및 전략(안) 도출	
	9-1-2. 저가형 도로노면 결빙 방지 신소재 제조 기술 개발	· 국내외 도로노면 결빙 방지 재료 현황 및 반응 메커니즘 조사/분석	1
		· 도로노면 결빙 방지 신소재 개발을 위한 융합합성 기술 개발	2
		· 결빙 방지 신소재 제조를 위한 파일럿 생산 설비 설계	3
		· 결빙 방지 신소재 제조를 위한 파일럿 생산 설비 제작	4
		· 보급형(저가형) 결빙방지 신소재 국산화 및 최적화 기술 개발	5
9-2. 건설신소재 활용 결빙 방지 도로포장 적용 기법 및 성능평가 기술 개발	9-2-1. 건설 신소재를 활용한 결빙 방지 도로포장 적용 기법 개발	· 국내외 도로노면 결빙 방지 기술 현황 조사/분석	1
		· 도로포장 형식별 저가형 결빙 방지 신소재 적용 방안 마련 ※ PCM을 활용한 축열 혼합물, 열전도성 포장 재료, 내열화성 비염화 도로포장 재료	2
		· 결빙 방지 신소재 적용 도로포장 재료의 열역학적 특성 및 내열화성 평가/분석	3
		· 결빙 방지 신소재 적용 도로포장 재료의 역학적 물성 평가	4
		· 결빙 방지 효과 극대화를 위한 신소재의 최적 배합 비율 도출	5
	9-2-2. 결빙 방지 도로포장 적용 기법별 성능평가 기술 개발	· 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 및 적용 기법(시스템) 시제품 개발	1
		· 국내외 도로노면 결빙 방지 평가 체계 조사/분석	2
		· 도로노면 결빙 방지 성능 평가 시스템 설계 및 구축	3
		· 도로노면 결빙 방지 성능 평가 및 최적화	4
		· 도로노면 결빙 방지 포장 재료 미끄럼 저항 등 안정성 평가	5
		· 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 공용성능 평가	
		· 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 품질기준(안) 및 평가방안 수립	
9-3. 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계,	9-3-1. 도로노면 결빙 방지 시스템 설계 기술개발	· 국내외 도로노면 결빙 취약지점 및 관리 방안 현황 조사	1
		· 국내외 도로노면 결빙 설계 기법 및 현황 조사/분석	2
		· 결빙 취약 지점(교량, 터널진 출입부 등)별 결빙 방지 포장 형식 결정 로직 개발	3
		· 결빙 취약 지점 별 적용 기술에 따른 결빙 방지 효과 검증 및 평가	4
		· 결빙 방지 효과 극대화를 위한 적용 기술 최적화	

시공, 운영 및 유지관리 기술 개발		· 결빙 취약 지점별 온도 및 지속시간 확보를 위한 결빙 방지 시스템 최적 설계(안) 개발	5
	9-3-3. 도로노면 결빙 방지 시스템 시공 및 운영 기술개발	· 국내외 결빙방지 포장 시공 현황 조사/분석 · 결빙 취약 지점별 결빙 방지 통합 도로시스템 기술 개발 및 성능 평가 · 장기성능 확보를 위한 도로노면 결빙 방지 시스템 운영(안) 도출 · 효과적 결빙 방지 시스템 운영을 위한 경제성 분석 · 결빙 취약 지점 별 시스템 구축 및 유지관리 가이드라인(안) 개발	1
			2
			3
			4
9-4. 도로노면 결빙 방지 시스템 성능평가 를 위한 테스트베 드 구축 및 실/검증	9-4-1. 도로노면 결빙 방지 성능 평가 테스트 베드 구축 및 실/검증	· 도로노면 결빙 방지 시스템의 성능 및 안전성 평가(안) 도출 · 도로노면 결빙 방지 시스템의 성능 및 안전성 평가를 위한 실검증 테스트 베드 설계 방안 도출 · 도로노면 결빙 방지 시스템의 성능 및 안전성 평가를 위한 실험형 테스트 베드 구축 (1차) · 도로노면 결빙 방지 시스템의 성능 및 안전성 평가를 위한 실험형 테스트 베드 구축 (2차) · 도로노면 살얼음 환경모사 시스템 및 실증 시설 구축(1차) · 도로노면 살얼음 환경모사 시스템 및 실증 시설 구축(2차) · 결빙 취약 지점별 최적 결빙 방지 시스템 실/검증 테스트 베드 운영	1
			2
			3
			4
			5

■ 기술별 최종성과물

[표 1-24] 핵심과제 9: 기술별 최종성과물

세부	세세부기술	최종 성과물	성과지표
9-1. 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발	9-1-1. 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발	· 저가형 도로노면 결빙 방지 건설 신소재 ※PCM, 액상형그래핀, 비염화 결빙 억제제 등 · 도로노면 결빙 방지 신소재 성능 기준(안) 개발	① 단위면적 당 6,600kJ 열량을 유지할 수 있는 건설 신소재 개발 (특히, 성능평가 보고서) ② 도로노면 살얼음 용해 효율 10% 항상이 가능한 결빙 신속대응 비염화 제설 신소재 개발 (특히, 경제성 및 성능 평가 보고서)
	9-1-2. 저가형 도로노면 결빙 방지 신소재 제조 기술 개발	· 저가형 도로노면 결빙 방지 건설 신소재 제조 파일럿 설비	① 100% 국내기술을 활용한 결빙방지 신소재 제조 가능 여부 (파일럿 설비(시제품) 및 운영 매뉴얼, 설비 개발 보고서)
9-2. 건설신소재 활용 결빙 방지 도로포장 적용 기법 및 성능평가 기술 개발	9-2-1. 건설 신소재를 활용한 결빙 방지 도로포장 적용 기법 개발	· 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 및 공법 ※PCM 도로포장 공법, 열전도성 포 장 공법, 도로노면 결빙 방지 비염 화 살포 공법 등 · 도로노면 결빙 장비 도로포장 품질 기준(안)	① 결빙방지 신소재를 적용한 재료의 국토교통부 도로포장 재료 품질 기준 100% 만족 여부 (특히, 평가보고서, 공인성적서) ② 도로 노면 0℃ 이상 가능한 결빙방지 신소재 적용 기법 개발 (매뉴얼, 특히, 평가보고서)

	9-2-2. 결빙 방지 도로포장 적용 기법별 성능평가 기술 개발	· 도로노면 결빙 방지 공법 성능 평가 기준(안)	① 적용 기법별 성능 평가 방법 및 기준 제시 여부 (기준/규격)
9-3. 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계, 시공, 운영 및 유지관리 기술 개발	9-3-1. 도로노면 결빙 방지 시스템 설계 기술개발	· 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계(안) · 취약지점별 결빙 방지 시스템 설계 기술 ※ 취약지점별 결빙 방지 최적 시스템 (PCM+비염화, PCM+열전도성 등) 구축	① 결빙 취약 지점(도로 시설물)별 결빙 방지 도로시스템 최적 설계(안) 제시 여부(기준/규격, 특허)
	9-3-3. 도로노면 결빙 방지 시스템 시공 및 운영 기술개발	· 도로노면 결빙 방지 도로포장 시공(안) · 결빙 취약 지점별 시스템 구축 및 유지관리 가이드라인(안)	② 결빙 취약지점(도로 시설물)별 결빙 방지 시스템 시공(안) 제시 여부 (기준/규격, 특허) ※ 국토교통부 지침 개정 가능 수준으로 작성 ③ 도로 결빙 방지 시스템 별 도로 노면 0℃ 이상, 8시간 이상 유지 가능한 운영 방안 제시 여부 (결빙 취약지점 특성 중심) (기준/규격, 특허)
9-4. 도로노면 결빙 방지 시스템 성능평가를 위한 테스트베드 구축 및 실/검증	9-4-1. 도로노면 결빙 방지 성능 평가 테스트 베드 구축 및 실/검증	· 도로노면 결빙 방지 시스템 성능 평가를 위한 실/검증 Test-bed 구축	도로 노면 결빙 환경 모사가 가능한 실/검증 Test Bed 구축 및 검증 (실증시설)

4-3. [핵심과제10] 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술개발

■ 기술개발 목적 및 필요성

- 코로나19 팬데믹에 대응하기 위해 “디지털 뉴딜”과 “그린 뉴딜” 정책을 추진하여 도로포장 부문에서의 디지털과 그린관련 혁신 수요 증가
 - 도로는 가장 전통적인 토목의 한 분야로 디지털화에 가장 뒤쳐져있음. 디지털트윈 및 빅데이터 등 디지털화로의 전환에 따른 효과 및 변화폭이 가장 클 수 있는 분야로 인프라의 전반적인 성장동력이 될 수 있음
 - 또한 탄소중립을 지향하고 친환경의 경제기반을 마련하는 것에는 도로포장의 저공해화가 핵심임

■ 기술개발 목표

- 본 연구의 비전은 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술개발 을 제공 하는 것으로, 전세계적으로 이슈가 되고 있는 4차산업 혁명 기술의 접목을 통해 국내 도로 포장 기술의 발전 및 도로 산업의 해외 진출 활성화를 유도하기 위함. 본 비전은 “과학기술발전이 선도하는 4차산업혁명”과 국토교통부의 제6차 건설기술진흥기본계획의 “Smart Construction 2025” 그리고 국토교통과학기술 연구 개발 종합계획의 전략 1 “4차산업혁명 대응 혁신 성장동력 육성”과 그 맥을 같이함. 또한 코로나19로 팬데믹으로 인해 발표된 “디지털 뉴딜”과 “그린 뉴딜”의 융·복합 혁신을 근거로함

[표 1-25] 핵심과제 10: 기술개발목표

세부	세세부기술	기술개발목표	설정근거
10-1. 빅데이터 기반의 포장 전주기 공해발생 모니터링 기술 개발	10-1-1. 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼	모니터링 정확도 95% API 제공 5개 이상	모니터링의 신뢰도를 확보하기 위해서 정확도를 설정함 데이터 전송 및 원활한 서비스 제공을 위해서 API 제공이 필요함
	10-1-2. 지점방식(SPB) 도로변 공해의 모니터링 기술	도로변 공해 지표 수립 시간적 공해 95% 가시화	도로변 공해 지표는 다양한 분야의 전문가의 검토 필요 가시화된 공해정보의 신뢰도를 확보하기 위해서 정확도를 설정함
	10-1-3. 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술	이동형 공해 수집 지표 수립 공간적 공해 95% 가시화	이동형 공해 수집 지표는 다양한 분야의 전문가의 검토 필요 가시화된 공해정보의 신뢰도를 확보하기 위해서 정확도를 설정함
	10-1-4. 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술	생산·시공 공해 지표 수립	생산·시공 공해 지표는 다양한 분야의 전문가의 검토 필요
10-2. 도로에서 발생하는	10-2-1. 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS(Discrete Pavement System)	열섬저감 효과 20% DPS 80% 자동화 시공	일반 구간과 비교가 요구됨 기존시공 대비 인력 1/5만 투입

공해를 저감하기 위한 디지털 트윈도로포 장 기술 개발	10-2-2. 디지털 트윈 기반의 도로포장의 열섬현상 영향분석방법 개발	열섬 95% 가시화 플랫폼 연계 100%	가시화된 열섬정보의 신뢰도를 확보하기 위해서 정확도를 설정함 데이터 전송 및 원활한 서비스 제공을 위해서 플랫폼과 연계해야함
	10-2-3. 고성능 도로포장재료 기반의 저소음 도로기술 개발	소음 20% 저감 소음 95% 가시화	일반 구간과 비교가 요구됨 가시화된 소음정보의 신뢰도를 확보하기 위해서 정확도를 설정함

■ 기술별·연차별 개발내용

● 연구목표별 연구내용

[표 1-26] 핵심과제 10: 기술별·연차별 개발내용

세부	세세부기술	세부 구성 기술 및 주요 연구 내용	연구 연차
10-1. 빅데이터 기반의 포장 전주기 공해발생 모니터링 기술 개발	10-1-1. 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼	(1) 포장재료의 공해의 모니터링 플랫폼의 로드맵 수립 - 국내외 연구 및 기술동향 분석 - 생산 플랜트, 시공현장 및 운영중인 도로와 연계 방안 마련 - 전문가 협의체 구성	1
		(2) 포장재료에 기반한 공해의 모니터링용 엣지 컴퓨팅 디바이스 개발 - 수집 데이터 선정(P.M, VOC, 열섬, 소음 등) - 통신프로토콜 등 플랫폼과 연계 - 데이터 수집/전송 소프트웨어 및 하드웨어 개발 - 유즈케이스별(지점, 차량, 플랜트) 디바이스 설계	2
		(3) 클라우드 기반 포장 전주기 공해 모니터링 플랫폼 설계 - 공해 모니터링 플랫폼 아키텍처 설계 - 공해 빅데이터 분산처리 기술 개발 - 데이터 API 설계 - 관리자용 및 사용자용 대시보드 설계	3
		(4) 공해 모니터링 플랫폼 테스트베드 구축 및 실증 - 도로포장 공해 저감 기술의 효과 검증 및 모니터링 - 공해 모니터링 플랫폼 운영 가이드라인 개발	4
			5
	10-1-2. 지점방식(SPB) 도로변 공해의 모니터링 기술	(1)도로변 공해 모니터링 기술 동향 분석 - 국내외 연구 및 기술동향 분석 - SPB 방법의 데이터 수집 및 분석 방법 - 고정형 데이터 수집 시스템 관련 기술 분석	1
		(2)지점방식 모니터링의 공해 분석 알고리즘 개발 - 도로변 공해 특성 정의(P.M, VOC, 열섬, 소음 등) - 모니터링의 활용 시나리오 수립 - 지점간 정보 연계 방법 - 지점방식의 공해 지표 개발	2
		(3) 도로변 공해 모니터링의 실증구간 구축 - 기후 관련 인자 보정 기술 개발 - 도로변 공해 데이터셋 제작 및 배포 - 수집 음영구간 보완 방법 마련	3
			4
			5
	10-1-3. 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술	(1)프로브카 방식의 도로 공해 모니터링 기술 동향 분석 - 국내외 연구 및 기술동향 분석 - 도로 형태, 구간별 공해 관련 특성 도출 - 이동형 데이터 수집 시스템 관련 기술 분석	1
		(2)프로브카 방식으로 수집한 데이터의 도로공해 분석 알고리즘 개발 - 활용 시나리오 수립	2
			3

10-2. 도로에서 발생하는 공해를 저감하기 위한 디지털 트윈도로포장 기술 개발		- 데이터 분석 알고리즘 개발 - 프로브카 방식의 공해 지표 개발 - 데이터와 공간의 매핑기술 개발	4
		(3) 프로브카 프로토타입 제작 및 실증 - 주행조건 자동 Calibration 기술 개발 - 프로브카 기반 데이터셋 제작 및 배포 - 결측데이터 처리방법 마련	5
	10-1-4. 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술	(1)포장재료 생산 및 도로시공현장의 공해 모니터링 관련 기술 동향 분석 - 국내외 연구 및 기술동향 분석	1
		(2)플랜트발생 공해의 모니터링 전략 수립 - 플랜트발생 공해의 정의 및 공해 물질 선정 - 재료생산의 공해지표 설정 - 데이터 이상치 분석 기술 개발	2
		(3)포장건설현장의 공해 모니터링 전략 수립 - 시공시 발생 공해의 정의 및 공해 물질 선정 - 포장시공의 공해지표 설정	3
		(4)플랜트의 공해 모니터링 실증 - 플랜트의 공해 모니터링 지침 개발	4
		(5)포장건설현장의 공해 모니터링 실증 - 건설 현장의 공해 가시화 기술개발 - 건설 현장의 공해 모니터링 가이드라인 개발	5
	10-2-1. 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS(Discrete Pavement System)	(1) DPS 설계 및 시공 기본 방침 제정 - DPS 구조 설계 지침 개발(투수성, 불투수성) - 투수성 DPS 수문학적 역할 분석 및 적용 - DPS 설계, 시공, 유지보수 가이드라인 작성	1
		(2)DPS 포장 구성 요소별 관련 기술 개발 - DPS 설치장소 및 규격에 대한 정의 - DPS 포장 불연속면 맞물림 효과 향상을 위한 기술 개발 - 저속유도용 DPS 포장기술 개발 및 효과 검증 인자 도출 - 유실 방지를 위한 받침 및 충전재, 틈새 재료 관련 기술 개발 - 다공성 및 재활용 기층재료를 이용한 DPS 포장 배수성능 개선 및 설계 기술 개발 - 포장설치 장소의 현황 및 시인성, 주목성을 고려한 표면디자인 개발	2
		(3) Smart 생산, Zero Delay 시공 및 유지관리 기술 구축 - DPS 포장 Smart 생산 기술 개발 - DPS 포장 쾌속 시공 방법 및 기계화 시공 Packing system, 자동화 시공장비 개발 - DPS 포장 상태지수 및 유지관리기준 개발	3
		(4)안정성 향상을 위한 DPS 포장 설계 기법 개발 - DPS 포장 시스템 설계 방법 개발 - DPS 포장의 장기공용성(LTPP) 및 효과 분석을 위한 Test-bed 운영	4
		(1)도로포장의 열섬현상 분석 개발을 위한 로드맵 수립 - 도로포장의 열역학적 물성과 도심 환경 조건의 표준화 - 열섬현상에 대한 도로포장 재료와 형식의 영향 평가를 위한 표준 도심 조건 제시	1
		(2) 도로포장의 열섬현상 수치해석 모형 개발 - 표준화 조건에서의 열섬현상 시뮬레이션을 위한 수치해석 모형 - 단순화된 조건에서의 도로포장 재료와 형식의 열섬현상 지배인자 평가 - 전도, 대류, 복사 및 공극률 및 도로포장 배수 특성 등을 반영한 다물리 기반 수치해석 모형 개발	2
		(3) 디지털 트윈 기반의 도로포장 열섬현상 분석 시뮬레이션 개발 - 실제 도로정보 기반의 열섬현상 시뮬레이션 알고리즘 - 디지털트윈 시스템 아키텍처 설계	3
			4
			5

		- BIM-열섬 시뮬레이션 연계 정보 제공 기술 개발 - 열섬 데이터 시각화 및 분석 기술 고도화 (4) 도로포장의 열섬현상 저감 효과 평가 - 실증 테스트베드구간 선정을 통한 도심부 열섬현상 분석 - 열섬 저감을 위한 도로포장 구조와 형식별 비교 평가 - 전형적 도심부 모형에 대한 열섬현상 저감 도로의 영향의 정량적 평가	
	10-2-3. 고성능 도로포장재료 기반의 저소음 도로기술 개발	(1) 저소음 도로기술 관련 연구동향 분석	1
		- 국내외 연구 및 기술동향 분석	2
		(2)도로 소음 3D 분석 및 시뮬레이션 기술 개발	3
		- 한국형 3D 소음시뮬레이션 소음 예측 모델 개발	4
		- 능동형 소음제어(ANC) 고도화 기술 개발	5
		(3)초경량 저비용 도로시설물 개발	
		- 초경량, 저비용 방음벽 및 방음터널 기술 개발	
		- 소음 저감형 흡음 도로시설물 개발	
		(4)고내구성 저소음포장재료 개발	
		- 고내구성 바인더 개발	
		- 저소음 골재배합설계 기술 개발	
		- 설계유지관리 가이드라인 개발	
		(5) 도로소음 통합 솔루션 제공	
		- 소음대책 시설의 단장기 성능평가 및 인증 시스템 개발	
		- 도로소음 통합솔루션 가이드라인 개발	

■ 기술별 최종성과물

[표 1-27] 핵심과제 10: 기술별 최종성과물

세부	구성기술	최종성과물	성과지표
10-1. 빅데이터 기반의 포장 전주기 공해발생 모니터링 기술 개발	10-1-1. 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼	· 모니터링 디바이스 · 클라우드기반 플랫폼	· 지적재산권, 시제품
	10-1-2. 지점방식(SPB) 도로변 공해의 모니터링 기술	· 지점방식 모니터링 알고리즘	· 지적재산권, 보고서
	10-1-3. 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술	· 프로브카 방식 알고리즘	· 지적재산권, 보고서
	10-1-4. 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술	· 생산 시공 오염 지표	· 가이드라인
10-2. 도로에서 발생하는 공해를 저감하기 위한 디지털 트윈도로포장 기술 개발	10-2-1. 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS(Discrete Pavement System)	· DPS 재료 및 시공법	· 지적재산권
	10-2-2. 디지털 트윈 기반의 도로포장의 열섬현상 영향분석방법 개발	· 수치해석 시뮬레이션	· 소프트웨어
	10-2-3. 고성능 도로포장재료 기반의 저소음 도로기술 개발	· 소음저감형 포장재료	· 지적재산권

5. 연구추진 로드맵

■ [핵심과제 8|총괄] 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장

[표 1-28] 핵심과제 8: 세부기술별 연구추진 로드맵

세부 기술	차년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
8-1	[1-1] 재활용 재료 활용 도로포장 인공골재 개발																				
	[1-2] 재활용 재료 활용 도로포장 인공골재 양산																				
8-2	[2-1] 재활용 재료 활용 도로포장 구조 부재 재료																				
	[2-2] 재활용 재료 활용 도로포장 구조 재료 상용화																				
8-3	[3-1] 모듈러형 폐플라스틱 구조설계 기반 기술																				
	[3-2] 도로포장 열섬 현상 감소 특화 기술																				
	[3-3] 모듈러형 폐플라스틱 도로포장 시공 기술																				

● (핵심과제 8|세부기술 8-1) 폐자원 활용 도로포장용 인공골재 상용화 기술

[표 1-29] 세부기술 8-1 연구추진 로드맵

세부 기술	차년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
8-1	[1-1](1) 재활용 재료를 활용한 인공골재 재료																				
	[1-1](2) 고성능 배수성 도로포장용 인공골재 역학적 평가																				
	[1-1](3) 인공골재의 바인더 친화성 및 구조적 기능성 평가																				
	[2-1](1) 재활용 재료를 활용한 인공골재의 입도별 양산 체계안																				
	[2-2](2) 인공골재 활용 및 생산 기준 및 가이드																				

● [핵심과제 8|세부기술 8-2] 폐자원 활용 기능성 모듈러 포장 부재 생산 기술

[표 1-30] 세부기술 8-2 연구추진 로드맵

세부 기술	차년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
8-2	[2-1](1) 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 재료의 역학적 물성 평가																				
	[2-1](2) 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 재료의 환경적 영향 평가																				
	[2-2](1) 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 부재 생산 표준화																				
	[2-2](2) 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 부재의 양산을 위한 생산체계																				

● [핵심과제 8]세부기술 8-3] 폐자원 활용 모듈러 포장 설계 및 시공기술

[표 1-31] 세부기술 8-3 연구추진 로드맵

세부 기술	차년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
8-3	[3-1](1) 자전거 도로 및 저하중 도로 구조설계 기술																				
	[3-1](2) 물순환 개선을 위한 배수성 및 투수성 기능 설계 기술																				
	[3-2]((1) 도로포장 구간 열섬현상 감소를 위한 특화 구조기술																				
	[3-3](1) 시공기간 단축을 위한 모듈러 프리패브 기술																				
	[3-3](2) 모듈러 부재의 양산 체계안 연구																				
	[3-3](3) 현장 적용성 및 시공 효율성 확보를 위한 시공 절차서																				
	[3-3](4) 현장 적용을 위한 자동화 시공 장비 및 시공법																				
	[3-3](5) 시험시공 및 추적조사를 통한 폐자재 활용 도로포장 공용수명 평가																				

■ [핵심과제 9]총괄] 첨단소재 활용 도로사고 저감 기술 개발

[표 1-32] 핵심과제 9: 세부기술별 연구추진 로드맵

세부 기술	차년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
9-1	[1-1] 도로노면 결빙방지를 위한 저가형 건설신소재 개발																				
	[1-2] 저가형 도로노면 결빙 방지 신소재 제조기술 개발																				
9-2	[2-1] 건설신소재를 활용한 결빙 방지 도로포장 적용 기법 개발																				
	[2-2] 결빙 방지 도로포장 적용 기법별 성능평가 기술 개발																				
9-3	[3-1] 도로노면 결빙 방지 시스템 설계 기술 개발																				
	[3-2] 도로노면 결빙 방지 시스템 시공 및 운영기술 개발																				
9-4	[4-1] 도로노면 결빙 방지 성능 평가 테스트 베드 구축 및 실/검증																				

● [핵심과제 9]세부기술 9-1] 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설신소재 개발

[표 1-33] 세부기술 9-1 연구추진 로드맵

세부 기술	차년도	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
	분기	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
9-1	[1-1](1) 도로노면 결빙 방지 신소재 기본 특성 조사/분석																				
	[1-1](2) 도로노면 결빙 방지 신소재 잠열, 열전도율 등 열역학적 성능 평가																				
	[1-1](3) 도로노면 결빙 방지 신소재 시작품/시제품 개발																				
	[1-1](4) 도로노면 결빙 방지 신소재 성능 기준(안) 개발																				
	[1-2](1) 결빙 방지 재료 및 반응 메커니즘 조사/분석																				
	[1-2](2) 도로노면 결빙 방지 신소재 개발을 위한 융합/합성 기술 개발																				
	[1-2](3) 결빙 방지 신소재 제조를 위한 생산 설비 설계 및 제작																				
	[1-2](4) 보급형(저가형) 결빙방지 신소재 국산화 및 최적화 기술 개발																				

● [핵심과제 9]세부기술 9-2] 건설신소재 활용 결빙 방지 도로포장 적용 기법 및 성능평가 기술 개발

[표 1-34] 세부기술 9-2 연구추진 로드맵

세부 기술	차년도	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
	분기	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
9-2	[2-1](1) 도로포장 형식별 저가형 결빙 방지 신소재 적용방안 마련																				
	[2-1](2) 결빙방지 신소재 적용 도로포장 재료의 열역학적 특성 및 내열화성 평가																				
	[2-1](3) 결빙방지 효과 극대화를 위한 신소재 최적화																				
	[2-1](4) 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 및 적용 시작품 개발																				
	[2-2](1) 도로노면 결빙 방지 성능 평가 및 최적화																				
	[2-2](2) 도로노면 결빙 방지 포장 재료 미끄럼 저항 등 안정성 및 공용성능 평가																				
	[2-2](3) 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 품질기준(안) 및 평가방안 수립																				

● [핵심과제 9]세부기술 9-3] 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계, 시공, 운영 및 유지관리 기술 개발

[표 1-35] 세부기술 9-3 연구추진 로드맵

세부 기술	차년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
9-3	[3-1](1) 결빙 취약 지점(교량, 터널진 출입부 등)별 결빙 방지 포장 형식 결정 로직 개발																				
	[3-1](2) 결빙 방지 효과 극대화를 위한 적용 기술 최적화																				
	[3-1](3) 결빙 취약 지점별 온도 및 지속시간 확보를 위한 결빙 방지 시스템 최적 설계(안) 개발																				
	[3-2](1) 결빙 취약 지점별 결빙 방지 통합 도로시스템 기술 개발 및 성능 평가																				
	[3-2](2) 장기성능 확보를 위한 도로노면 결빙 방지 통합 도로시스템 운영(안) 도출																				
	[3-2](3) 효과적 결빙 방지 시스템 운영을 위한 경제성 분석																				
	[3-2](4) 결빙 취약 지점 별 시스템 구축 및 유지관리 가이드라인(안) 개발																				

● [핵심과제 9]세부기술 9-4] 도로노면 결빙 방지 시스템 성능 평가를 위한 테스트베드 구축 및 실/검증

[표 1-36] 세부기술 9-4 연구추진 로드맵

세부 기술	차년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
9-4	[4-1](1) 결빙 취약 지점별 결빙 방지 도로 시스템 성능 및 안전성 평가(안) 도출																				
	[4-1](2) 결빙 방지 도로시스템 별 결빙 방지 시스템 성능 평가를 위한 실/검증 구축 및 설계 방안 도출																				
	[4-1](3) 도로노면 살얼음 형성 및 미끄럼 저항 성능 평가를 위한 테스트베드 구축(1차)																				
	[4-1](4) 도로노면 살얼음 환경모사 시스템 및 실증 시설 구축(2차)																				
	[4-1](5) 결빙 취약 지점별 최적 결빙 방지 시스템 실/검증 테스트 베드 구축 및 운영																				

■ [핵심 과제 10|총괄] 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술개발

[표 1-37] 핵심과제 10 연구추진 로드맵

세부 기술	년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
10-1	[1-1] 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼																				
	[1-2] 지점방식(SPB) 도로변 공해의 모니터링 기술																				
	[1-3] 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술																				
	[1-4] 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술																				
10-2	[2-1] 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS(Discrete Pavement System)																				
	[2-2] 디지털 트윈 기반의 도로포장의 열섬현상 영향분석방법 개발																				
	[2-3] 고성능 도로포장재료 기반의 저소음 도로기술 개발																				

● [핵심과제 10|세부기술 10-1] 빅데이터 기반의 포장 전주기 공해발생 모니터링 기술 개발

[표 1-38] 세부기술 10-1 연구추진 로드맵

세부 기술	년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
10-1	[1-1](1) 포장재료의 공해의 모니터링 플랫폼의 로드맵 수립																				
	[1-1](2) 포장재료에 공해의 모니터링용 엣지 컴퓨팅 디바이스 개발																				
	[1-1](3) 클라우드 기반 포장 전주기 공해 모니터링 플랫폼 설계																				
	[1-1](4) 공해 모니터링 플랫폼 테스트베드 구축 및 실증																				
	[1-2](1) 도로변 공해 모니터링 기술 동향 분석																				
	[1-2](2) 지점방식 모니터링의 공해 분석 알고리즘 개발																				
	[1-2](3) 도로변 공해 모니터링의 실증구간 구축																				
	[1-3](1) 프로브카 방식의 도로 공해 모니터링 기술 동향 분석																				
	[1-3](2) 프로브카 방식으로 수집한 데이터의 도로공해 분석 알고리즘 개발																				
	[1-3](3) 프로브카 프로토타입 제작 및 실증																				
	[1-4](1) 포장재료 생산 및 시공현장의 공해 모니터링 관련 기술 동향 분석																				
	[1-4](2) 플랜트발생 공해의 모니터링 전략 수립																				
	[1-4](3) 포장건설현장의 공해 모니터링 전략 수립																				
	[1-4](4) 플랜트의 공해 모니터링 실증																				
	[1-4](5) 포장건설현장의 공해 모니터링 실증																				

● [핵심과제 10|세부기술 10-2] 도로에서 발생하는 공해를 저감하기 위한 디지털 트윈 도로 포장기술 개발

[표 1-39] 세부기술 10-2 연구추진 로드맵

세부 기술	년도 분기	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
10-2	[2-1](1) DPS 설계 및 시공 기본 방침 제정																				
	[2-1](2) DPS 포장 구성 요소별 관련 기술 개발																				
	[2-1](3) Smart 생산, Zero Delay 시공 및 유지관리 기술 구축																				
	[2-1](4) 안정성 향상을 위한 DPS 포장 설계 기법 개발																				
	[2-2](1) 도로포장의 열섬현상 분석 개발을 위한 로드맵 수립																				
	[2-2](2) 도로포장의 열섬현상 수치해석 모형 개발																				
	[2-2](3) 디지털 트윈 기반의 도로포장 열섬현상 분석 시뮬레이션 개발																				
	[2-2](4) 도로포장의 열섬현상 저감 효과 평가																				
	[2-3](1) 저소음 도로기술 관련 연구동향 분석																				
	[2-3](2) 도로 소음 3D 분석 및 시뮬레이션 기술 개발																				
	[2-3](3) 초경량 저비용 도로시설물 개발																				
	[2-3](4) 고내구성 저소음포장재료 개발																				
	[2-3](5) 도로소음 통합 솔루션 제공																				

6. 소요예산

6-1. 연도별 소요예산

■ [핵심과제 8] 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장

[표 1-40] 핵심과제 8: 세부기술별 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부기술	구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
8-1. 재활용 재료 활용 도로포장용 인공골재 상용화 기술	정부	600	800	800	1000	800	4,000
	민간	300	400	500	500	300	2,000
8-2. 재활용 재료활용 기능성 모듈러 포장 부재 생산 기술	정부	500	600	700	600	600	3,000
	민간	300	400	500	400	400	2,000
8-3. 재활용 재료 활용 모듈러 포장 설계 및 시공 기술	정부	1,000	1,200	1,400	1,400	1,000	6,000
	민간	800	1,000	1,200	1,200	800	5,000
총 계		3,122	4,757	5,351	4,757	4,014	22,000

[표 1-41] 핵심과제 8: 세세부기술별 소요예산

세부기술	세세부기술	소요예산(백만원)
8-1. 재활용 재료 활용 도로포장용 인공골재 상용화 기술	8-1-1. 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 재료	2,000
	8-1-2. 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 상용화 양산 기술	4,000
8-2. 재활용 재료활용 기능성 모듈러 포장 부재 생산 기술	8-2-1. 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 부재 재료	2,000
	8-2-2. 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료 상용화 기술	3,000
8-3. 재활용 재료 활용 모듈러 포장 설계 및 시공 기술	8-3-1. 모듈러형 폐플라스틱 도로 구조 설계 기반 기술 개발	3,000
	8-3-2. 도로포장 구간 열섬현상 감소를 위한 특화 구조기술	2,000
	8-3-3. 모듈러형 폐플라스틱 도로포장 시공기술	6,000
합계 (억원)		22,000

■ [핵심과제 9] 첨단소재 활용 도로사고 저감기술 개발

[표 1-42] 핵심과제 9: 세부기술별 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부기술	구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
9-1. 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발	정부	1,500	1,500	1,000	500	500	5,000
	민간	500	500	340	170	170	1,680
9-2. 건설 신소재를 활용한 결빙 방지 도로포장 적용 기법 개발	정부	500	1,000	2,000	2,000	1,500	7,000
	민간	167	340	670	670	500	2,347
9-3. 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계, 시공, 운영 및 유지관리 기술 개발	정부		2,000	2,000	3,000	3,000	10,000
	민간		670	670	1,000	1,000	3,340
9-4. 도로노면 결빙 방지 성능 평가를 위한 테스트 베드 구축 및 실/검증	정부		500	500	2,500	1,500	5,000
	민간						
총 계		2,667	6,510	7,180	9,840	8,170	34,367

[표 1-43] 핵심과제 9: 세세부기술별 소요예산

세부	세세부기술	소요예산(백만원)
9-1. 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발	9-1-1. 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발 · 도로노면 결빙 방지 신소재 기본 특성 조사/분석 · 기존 도로노면 결빙 방지 재료의 물리/화학적 특성 분석 및 목표 성능 도출 ※ 상변화물질 (Phase Change Material, PCM), 액상형 그래핀, 비염화 결빙 억제제 등 · 도로노면 결빙 방지 신소재 잠열, 열전도율 등 열역학적 성능 평가 · 도로노면 결빙 방지 신소재 시제품 개발 · 도로노면 결빙 방지 신소재 성능 개선 및 시제품 개발 · 도로노면 결빙 방지 신소재 성능 기준(안) 개발 · 도로노면 결빙 방지 신소재 비즈니스 모델 및 전략(안) 도출	2,000
	9-1-2. 저가형 도로노면 결빙 방지 신소재 제조 기술 개발 · 국내외 도로노면 결빙 방지 재료 현황 및 반응 메커니즘 조사/분석 · 도로노면 결빙 방지 신소재 개발을 위한 융합·합성 기술 개발 · 결빙 방지 신소재 제조를 위한 파일럿 생산 설비 설계 · 결빙 방지 신소재 제조를 위한 파일럿 생산 설비 제작 · 보급형(저가형) 결빙방지 신소재 국산화 및 최적화 기술 개발	3,000
9-2. 건설신소재 활용 결빙 방지 도로포장 적용 기법 및 성능평가 기술 개발	9-2-1. 건설 신소재를 활용한 결빙 방지 도로포장 적용 기법 개발 · 국내외 도로노면 결빙 방지 기술 현황 조사/분석 · 도로포장 형식별 저가형 결빙 방지 신소재 적용 방안 마련 ※ PCM을 활용한 축열 혼합물, 열전도성 포장 재료, 내열화성 비염화 도로포장 재료 · 결빙 방지 신소재 적용 도로포장 재료의 열역학적 특성 및 내열화성 평가/분석 · 결빙 방지 신소재 적용 도로포장 재료의 역학적 물성 평가 · 결빙 방지 효과 극대화를 위한 신소재의 최적 배합 비율 도출 · 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 및 적용 기법(시스템) 시제품 개발	2,500
	9-2-2. 결빙 방지 도로포장 적용 기법별 성능평가 기술 개발 · 국내외 도로노면 결빙 방지 평가 체계 조사/분석 · 도로노면 결빙 방지 성능 평가 시스템 설계 및 구축 · 도로노면 결빙 방지 성능 평가 및 최적화 · 도로노면 결빙 방지 포장 재료 미끄럼 저항 등 안정성 평가 · 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 공용성능 평가 · 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 품질기준(안) 및 평가방안 수립	4,500
9-3. 도로노면 결빙	9-3-1. 도로노면 결빙 방지 시스템 설계 기술개발 · 국내외 도로노면 결빙 취약지점 및 관리 방안 현황 조사	3,000

방지 도로포장 설계, 시공, 운영 및 유지관리 기술 개발	· 국내외 도로노면 결빙 설계 기법 및 현황 조사/분석 · 결빙 취약 지점(교량, 터널진 출입부 등)별 결빙 방지 포장 형식 결정 로직 개발 · 결빙 취약 지점 별 적용 기술에 따른 결빙 방지 효과 검증 및 평가 · 결빙 방지 효과 극대화를 위한 적용 기술 최적화 · 결빙 취약 지점별 온도 및 지속시간 확보를 위한 결빙 방지 시스템 최적 설계(안) 개발	
	9-3-3. 도로노면 결빙 방지 시스템 시공 및 운영 기술개발 · 국내외 결빙방지 포장 시공 현황 조사/분석 · 결빙 취약 지점별 결빙 방지 통합 도로시스템 기술 개발 및 성능 평가 · 장기성능 확보를 위한 도로노면 결빙 방지 시스템 운영(안) 도출 · 효과적 결빙 방지 시스템 운영을 위한 경제성 분석 · 결빙 취약 지점 별 시스템 구축 및 유지관리 가이드라인(안) 개발	7,000
9-4. 도로노면 결빙 방지 시스템 성능평가를 위한테스트베드 구축 및 실/검증	9-4-1. 도로노면 결빙 방지 성능 평가 테스트 베드 구축 및 실/검증 · 도로노면 결빙 방지 시스템의 성능 및 안전성 평가(안) 도출 · 도로노면 결빙 방지 시스템의 성능 및 안전성 평가를 위한 실검증 테스트베드 설계 방안 도출 · 도로노면 결빙 방지 시스템의 성능 및 안전성 평가를 위한 실험형 테스트베드 구축 (1차) · 도로노면 결빙 방지 시스템의 성능 및 안전성 평가를 위한 실험형 테스트베드 구축 (2차) · 도로노면 살얼음 환경모사 시스템 및 실증 시설 구축(1차) · 도로노면 살얼음 환경모사 시스템 및 실증 시설 구축(2차) · 결빙 취약 지점별 최적 결빙 방지 시스템 실/검증 테스트 베드 운영	5,000
합 계		27,000

■ [핵심과제 10] 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술개발

[표 1-45] 핵심과제 10: 세부기술별 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부기술	구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
10-1. 빅데이터 기반의 포장 전주기 공해 발생 모니터링 기술 개발	정부	1,050	1,600	1,800	1,400	1,350	7,200
	민간	263	400	450	350	338	1,800
10-2. 도로에서 발생하는 공해를 저감하기 위한 디지털 트윈 도로포장 기술 개발	정부	1,050	1,600	1,800	1,800	1,350	7,600
	민간	263	400	450	450	338	1,900
총 계		2,625	4,000	4,500	4,000	3,375	18,500

[표 1-44] 핵심과제 10: 세세부기술별 소요예산

세부	구성기술	소요예산(백만원)
10-1. 빅데이터 기반의 포장 전주기 공해발생 모니터링 기술 개발	10-1-1. 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼	3,000
	10-1-2. 지점방식(SPB) 도로변 공해의 모니터링 기술	2,000
	10-1-3. 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술	2,000
	10-1-4. 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술	2,000
10-2. 도로에서 발생하는 공해를 저감하기 위한 디지털 트윈도로포장 기술 개발	10-2-1. 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS(Discrete Pavement System)	4,000
	10-2-2. 디지털 트윈 기반의 도로포장의 열섬현상 영향분석방법 개발	2,000
	10-2-3. 고성능 도로포장재료 기반의 저소음 도로기술 개발	3,500
합 계		18,500

6-2. 예산항목별 소요예산

■ [핵심과제 8] 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장

[표 1-46] 핵심과제 8: 예산항목별 소요예산

예산항목	세부항목	예산항목						비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계	
인 건 비	책임연구원	328	499	562	499	421	2,310	11
	연구원	437	666	749	666	562	3,080	14
	연구보조원	328	499	562	499	421	2,310	11
	보조원	-	-	-	-	-	-	-
	소계	1,093	1,665	1,873	4,665	1,405	7,700	35
직 접 비	연구장비재료비	780	1,189	1,338	1,189	1,003	5,500	25
	연구활동비	406	618	696	618	522	2,860	13
	연구수당	219	333	375	333	281	1,540	7
	소계	1,405	2,141	2,408	2,141	1,806	9,900	45
간접비		1002	596	818	1296	690	4402	20
합계		3,500	4,400	5,100	5,100	3,900	22000	100

■ [핵심과제 9] 첨단소재 활용 도로사고 저감기술 개발

[표 1-47] 핵심과제 9: 예산항목별 소요예산

예산항목	세부항목	예산항목						비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계	
인 건 비	책임연구원	100	400	500	600	500	2,100	6
	연구원	200	500	600	700	500	2,500	7
	연구보조원	100	500	600	750	500	2,450	7
	보조원	100	500	600	800	500	2,500	7
	소계	500	1,900	2,300	2,850	2,000	9,550	28
직 접 비	연구장비재료비	2,000	3,900	4,000	5,920	5,270	21,090	61
	연구활동비	67	330	420	500	500	1,817	5
	연구수당	100	380	460	570	400	1,910	6
	소계	2,167	4,610	4,880	6,990	6,170	24,817	72
간접비		-	-	-	-	-	-	-
합계		2,667	6,510	7,180	9,840	8,170	34,367	100.0

■ [핵심과제 10] 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술개발

[표 1-48] 핵심과제 10: 예산항목별 소요예산

예산항목	세부항목	예산항목						비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계	
인 건 비	책임연구원	276	420	473	420	354	1,943	11
	연구원	368	560	630	560	473	2,590	14
	연구보조원	276	420	473	420	354	1,943	11
	보조원							
	소계	919	1,400	1,575	1,400	1,181	6,475	35
직 접 비	연구장비재료비	656	1,000	1,125	1,000	844	4,625	25
	연구활동비	341	520	585	520	439	2,405	13
	연구수당	184	280	315	280	236	1,295	7
	소계	1,181	1,800	2,025	1,800	1,519	8,325	45
간접비		525	800	900	800	675	3,700	20
합계		2,625	4,000	4,500	4,000	3,375	18,500	100

7. 위험요인 및 해결방안

- 재활용 재료를 활용한 재료 및 부재 개발과 모듈러 경량 도로포장의 설계와 시공이 연계되어 재료 및 부재 개발이 연구 과제 전체의 성패에 직접적인 영향을 미치므로 재료 개발의 완결성에 대한 위험 관리가 필요
 - 해외 사례를 철저히 검토하고 해당 분야 전문가 참여를 통하여 구조적으로 안정성을 확보할 수 있는 재활용 재료 활용 재료 개발 일정에 차질이 발생하지 않도록 준비
 - 재활용 재료를 활용한 인공골재 및 도로포장 부재에 대하여 화학 또는 환경 분야의 전문가 참여를 통하여 안정성 평가를 동시에 진행하여 연구개발 중 문제점을 상시 평가
- 재활용 재료 활용 인공골재 또는 모듈러 형식의 도로포장에 대한 지적 재산권 회피
 - 플라스틱을 활용한 인공골재는 과거 관련 연구들이 다양한 방법으로 진행된 바가 있으므로, 이에 대한 지적재산권 회피가 필요한 상황
 - 기존 지적재산권을 회피할 수 있는 독창적인 특허를 출원할 수 있도록 하되, 필요한 경우 기존의 지적재산권을 활용하는 방법도 대안으로 고려할 수 있음
 - 특히 생산 시설이나 양산 방법, 장비 등에 대한 지적재산권 확보를 통하여 실질적인 적용 분야에서 지적재산권을 확보할 수 있도록 준비
- 국제적 경쟁력 및 시장성 확보를 위하여 해외에서 앞서 수행하고 있는 기관 또는 단체와의 기술적 또는 기능적 차별성 확보 필요
 - 우선적으로 국내 환경적 특성과 기능적 특성을 만족시키는 것을 목적으로 연구를 진행 하되, 추가적인 확장이 가능하도록 개발 초기에서부터 해외 조건을 고려하여 진행
- 재활용 재료를 도로포장 재료로 활용하는 것과 기능 확장이 비교적 원활한 모듈러 형식의 도로 포장을 개발하는 것에는 이의가 없으나, 실질적인 현장 적용을 위해서는 경제성을 포함한 시 공성 뿐만 아니라 사용자 관점에서의 주행성 및 공용성이 확보될 필요가 있음
 - 시공성 및 주행성에 대한 평가가 가능하고 관련된 생산 및 시공 장비 개선 및 개발에 기여할 수 있는 기관 또는 단체의 참여를 통하여 적용성 확보
 - 장기적인 포장 구조의 공용성을 평가하기 위한 세부기술을 포함하여 단순한 기술 및 장비 개발 뿐만 아니라 장기적 성능 평가가 가능하도록 구성
- 기후변화에 따른 환경변화, 노후화로 인한 산업수요, 기술경쟁력 확보를 위한 정책수요 등 도로 인프라의 포장·재료 부문에의 혁신 수요 증가(새로운 성능 개념의 기술개발 요구)

- 노후화로 인한 사회적 비용부담 증가로 미래 도로인프라 시장은 점차 관라보수보강 시장으로 전환될 것으로 전망되고, 도로인프라 재료분야 가치 상승을 위한 첨단소재 및 고성능 소재
- 최근 건설 선진국의 경우, 나노기술 등 신소재 기술의 적용으로, 건설산업 패러다임이 전환되고 있으며, 건설분야에서는 첨단나노 기술과 건설재료의 융합을 통한 차세대 건설재료 연구개발이 2000년대 중반부터 시작되고 있으나, 초기단계 수준으로 해외 기술에 비해 매우 낮은 수준임
- 일본 수출 규제 품목 등 미래사회변화를 선도할 국가차원의 소재개발 및 건설분야 응용 육성 정책을 드라이브하고 있으나, 현재까지는 건설분야 적용에 필요한 신소재 개발 및 국산화하는데 기술적 한계가 있음
 - PCM, 그래핀, 탄소소재 등 다양한 신소재 분야에서 건설분야 적용을 위한 저가형 소재 개발 부문과 국산화하기 위한 중소·중견기업의 기술적 한계가 있음
 - 특히, 상변화물질의 경우에는 건축재료에 적용하는 경우 잠열형태로 열을 저장하며, 약 20배 이상 열저장능력을 가지지만 현재까지 도로포장 부분에 적용된 사례가 없음
 - 現, 한국과학기술연구원 등 정부 출연연 기관을 중심으로 소재 개발이 이뤄지고 활용 분야가 확대 중에 있으며, 특히 소부장(소재, 부품, 장비) 특별법 시행 및 정부 지원 확대를 통해 저가형 건설 분야 적용 소재 및 기술 개발이 가능할 것으로 판단
- 도로포장분야의 특성을 이해할 수 있도록 풍부한 연구경험과 역량을 갖춘 출연(연), 대학, 관련 민간 기업체를 기술개발주체로 컨소시엄을 구성하여 위험요인을 최소화해야함
- 민간 기술개발업체의 경우, 기업 내 R&D부서의 유무 및 연구 수행 실적을 참여기준으로 적용해야함
- 해외의 관련 기술 보유 기관과의 네트워크를 활용하여 기술교류를 통해 위험요인을 제거해야함
- 국내의 환경조건, 품질관리의 열악함으로 인해 최종 결과물에서 파손을 비롯하여 민원 제기 및 이용자 안전에 위험이 될 수 있으므로, 품질관리의 선진화를 통해 관리 수준의 향상 및 이용자 안전을 향상 시켜야함
- 클라우드, 디지털트윈, 플랫폼 및 엣지 컴퓨팅 기술 등을 원활하게 적용시키기 위해서 상당히 발전된 국내의 IT 관련 전문업체와 적극 협력하여 추진해야함.
- 새로운 기법의 현장 적용은 매우 어려움이 현실임. 그렇지만 국토교통부 등 발주기관과 적극 협력하여, 관련 기준(시방서 및 설계기준)을 개정하고, 관련 설계도서의 개정 그리고 교육을 통해 실용화를 마련해야함

8. 기대 및 파급효과

8-1. 과학기술적 측면

- 건설분야 복합신소재 국산화 및 저가형 소재 개발을 통한 미래사회변화를 선도할 국가차원의 소재개발 및 건설분야 응용 기술 확대
 - 핵심 소재에 대한 원천기술 확보를 통해 해외기술 의존도 해소 및 세계 최고수준의 기술 경쟁력 확보
 - 다양한 원천소재 기반 국산화를 통하여 도로포장 결빙 방지 포장 분야 기술 선도를 위한 발판 마련
- 첨단기술기반 공해저감 도로포장 기술 개발의 최종 목표는 도로포장의 전주기에서 발생하는 다양한 공해(P.M, VOC, 소음, 열섬 등)를 95% 이상 정량적으로 모니터링 할 수 있는 기술을 확보하게됨. 모니터링 기술과 공해 지표가 수립되면 도로운영 과정에서 발생하는 공해를 저감하는 기술개발이 활성화 될 수 있음
- 열섬과 소음으로 국한된 도로포장분야에 디지털 트윈이 적용되어 실제 시뮬레이션 기반의 가시화가 성공적으로 운영되게되면 구조-설계 분야까지 확장 하는 초석이 될 수 있음. 이에 따라 도로포장의 설계, 시공, 재료생산 등의 기준과 시방의 향상을 유도할 수 있음

8-2. 사회경제적 측면

- 모듈 교체형식의 기술로 인해 도로 건설 및 유지보수시간이 70% 수준으로 빨라지면서 공사기간 단축
- 경제적 관점에서 도로이용자비용과 사회·환경 비용도 70%수준으로 절감된다는 가정이 가능하며, 도로이용자가 느끼는 도로서비스 수준도 동시에 개선
- 폐플라스틱을 주원료로 하는 도로구조체 기술을 개발함으로써, 최근 중국의 고체폐기물 수입 금지 조치로 인해 매립 또는 소각에 의존하고 있는 국내 폐플라스틱의 지속가능한 활용 및 순환체계 마련이 가능
- 고품질 골재의 대량양산 기술을 통해 국가예산 절감을 기대할 수 있으며, 나아가 다양한 기능성 포장(투수성, 저소음 등)의 활성화를 통해 국민의 안전과 생활의 질 개선이 기대
- 도심지 투수면적 확보를 통한 도심홍수 저감, 열섬현상 저감, 물순환 왜곡 방지 등 저영향 개발(Low Impact Development)의 핵심 수단으로 활용
- 도로포장 결빙 온도를 0~2℃에서 5℃이상으로 올려 노면 결빙 Zero화로 인한 교통사고를 현저히 저감

- 겨울철 노면 결빙으로 인한 사고 예방을 통한 운전자 주행 안전성 제고 및 차량 재해 사고 예방 측면에서 효과 우수
- 도로 결빙 방지 포장 시스템 구축을 통한 공용수명 확보 및 공용수명 동안 제설제 사용량 10% 감소로 인한 국가 예산 절감 및 국민 안전 실현
- 도로 결빙 방지로 인한 겨울철 미끄럼 저항 향상으로 교통사고 예방이 가능하며, 온도 균열 저감을 통한 포장 유지관리 비용 감소 및 국가 예산 절감 효과 증대
- 기존 도로 결빙 방지 포장 공법 대비 공용수명 10% 향상 및 친환경 비염화물 결빙방지제 사용으로 도로포장 수명 20% 증대로 유지관리 비용 감소
- 기존 기술들은 대부분 소재 및 재료적인 측면보다는 시설 및 인프라 중심으로 개발되어 막대한 초기 시공비가 투입되며, 매설하는 공법으로 환경하중(온도, 교통량 등)에 따른 파손 빈번
- 노면상태 측정 시스템(RWIS) 구축 및 제설시점/과다살포방지 등을 파악하고자 하였으나, 1지점당 0.5~1억 원이 소요되어 현실적으로 구축 어려움
- 러시아, 독일, 스위스, 이탈리아 등 국제적으로 결빙방지재를 적용하고 있으나, 염화물 함량이 높아 도로포장 및 구조물 열화 가속화, 미끄럼 저항 감소 문제 발생
- 정량적으로 모니터링하고 공해지표를 수립하여 친환경 정책을 지원함과 동시에 정보 부족에 따른 산업의 위축을 미연에 방지할 수 있음 또한 도로의 공해 모니터링 시스템 구축과 고성능 재료의 도입을 통해, 디지털 뉴딜과 그린뉴딜을 모두 만족할 수 있도록 함. 수요 지자체 규모에 따라 다르지만 각 지자체별로 2,000억원 이상의 직접적인 디지털뉴딜 및 그린뉴딜 투자 규모를 기대할 수 있음
- 도로 포장의 공해 수준을 저감하고 모니터링하는 연구는 국가적으로 관리자(감리, 감독, 원청 등)에게 공해를 가시화 하여 제공할 수 있으며, 일반국도와 고속국도, 각 지자체의 지방도 및 도심부 도로에 확산될 것임. 또한 공해의 주범이라는 도로의 부정적인 이미지를 개선하여 사용자들에게 인프라 시설에 대한 인식을 바꿀 수 있음

9. RFP

■ [핵심과제 8] 재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장

[표 I-49] 핵심과제 8 RFP

과제명	재활용 재료를 활용한 차세대 고성능 도로포장
1. 연구목표	· 재활용 재료 99% 이상으로 구성된 도로포장용 인공골재 기술 개발 · 재활용 재료 활용 모듈러 도로포장의 부재 물성 및 생산 기술 개발 · 재활용 재료 활용 모듈러형 투수성 다기능 폐플라스틱 도로포장의 구조 설계 및 시공 기술 개발 · 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 재료의 환경 영향 평가 및 열섬 저감효과 평가 기준 개발
2. 연구 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발의 필요성 · 전 세계적으로 이상기후로 인한 재난·재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이를 근본적으로 예방하기 위한 온실가스 감축이 국제적 이슈로 부상 · 우리나라의 온실가스 배출량순위는 세계 11위이며 온실가스 배출량 증가율은 세계 1위로 온실가스 증가에 큰 영향을 미치고 있으며 국제사회의 환경 규제가 증가함에 따라 2050년까지 탄소중립 선언한 바 있음 · 이를 위해서는 탄소 배출 과다 업종인 철강, 석유화학, 자동차, 시멘트 등의 분야에서 산업 전환이 필요하며, 새로운 자원의 생산보다 재활용에 대한 관심이 필요한 시점 · 온실가스 감축 이외에도 도심지 불투수면적 증가로 인한 도심홍수, 열섬현상, 물순환 왜곡 등의 환경문제는 국민의 안전과 삶의 질 향상에 직간접적으로 연관되어 있는 중요한 요소로 이에 대한 다각적인 대책마련이 시급한 상황 · 최근 중국은 자국 내 환경오염 방지 대책의 일환으로 2017년 말부터 폐플라스틱을 포함한 고체 폐자재의 수입을 금지 - 이로 인해 국내에서 수거된 재활용 폐플라스틱과 기타 폐자재에 대한 재활용 및 처리문제가 심각한 문제로 부상 - 재활용 재료를 지속적으로 소비할 수 있는 재활용 분야를 개척하고, 이와 관련된 핵심요소 기술개발이 필요 · 지속적이면서 재활용 규모가 큰 도로포장이 문제를 해결할 수 있는 대상이 될 수 있으며, 특히 도로포장의 주재료인 골재(특히 고품질 골재), 골재를 접착하는 바인더, 충전 점착제 등 대부분의 원료를 대체할 수 있는 차세대 도로 원료로 활용하기 위한 기술개발이 필요 · 산업부산물의 활용은 제한적이고 매립 등의 처리에 상당한 비용이 소요됨. 또한 친환경 도로 포장 재료 및 공법의 개발은 국제적 정책 흐름으로써 선진국의 활발한 연구 테마임 · 친환경 건설기술 개발은 필수적이며 국내 기술의 선진화를 통해 기술의 수출 및 친환경 도로포장 기술의 선두그룹 진입이 가능 ☐ 기술동향 <국내 기술동향>

- 국내에서도 폐유리 또는 폐플라스틱을 이용한 인공골재 개발 연구가 다수 진행된 바 있으나, 실질적인 경제성을 확보하는데 어려움이 있었으며 생산에 대한 필요성이 주목받지 못하여 개발에 제약이 많았음
- 규사, 소다회, 탄산석회 등의 혼합물로 생산되는 폐유리를 활용하여 건설자재로 활용하고자 하는 연구는 2000년대 전후로 지속적으로 진행되었으나, 경제성과 양산을 위한 기술력 확보의 문제로 인하여 완성되지 못했음
- 폐유리분말과 재생골재를 동시에 활용하거나 폴리머를 추가적으로 활용하는 콘크리트 재료 개발에 대한 연구도 국내에서 지속적으로 진행되었으나, 폐유리분말의 활용도가 높지 않아 실질적인 상용화로 이루어지지는 못하고 있음
- SiO₂의 성분이 높아 기존 혼화재인 플라이애시나 고로슬래그 보다 높은 실리카 성분으로 콘크리트의 포졸란 반응을 높일 수 있을 것으로 기대되는 LCD 폐유리 미분말을 활용하여 고성능 콘크리트를 개발하기 위한 연구가 2018년 등에 진행된 바 있으나, 여러 가지 한계점으로 인하여 상용성 확보 단계에 이르지 못하는 못하였음
- 2013년에는 농업용 비닐을 재활용하여 아스팔트 혼합물을 생산하는 연구가 진행된 바 있으나, 기초 연구에서 크게 벗어나지는 못함
- 2018년도 PET와 PP를 활용한 연구가 국내에서 진행된 바 있으며, 후속 연구부재에 따른 기술 확장 한계로 인하여 가시적인 성과를 나타내는데 한계를 나타냄
- 폐지재를 활용하거나 폐플라스틱을 활용하는 기술 일부는 상용화 전 단계까지 이르는 수준으로 진행되기도 하였으나, 대부분 기초 연구 수준으로 이러한 기술의 고도화 및 상용화할 수 있는 기술 개발이 필요한 상황
- 폐플라스틱을 이용한 인공골재, 도로설계 플랫폼 개발 연구가 도로의 차세대 패러다임으로 재활용 재료활용, 물순환, 장수명, 모듈러를 키워드로 하는 “플라스틱 도로”로 제안된 바 있으나, 아직 개념 구상 수준으로 기술성숙도가 매우 낮고, 필요한 요소기술과 성능수준, 예상되는 문제와 해결방안에 대한 연구는 미흡한 상황
- 과거 급속시공을 위한 모듈러 포장 형식이 R&D로 기획된 바 있으나, 실질적으로 과제로 이어지지는 못하였음
- 국내 설계사 또는 일부 연구기관에서 콘크리트 기반 급속시공 포장 형식에 대한 개념 특허 등이 출원된 바 있으나, 실질적인 적용을 위한 지적재산권과는 다소의 거리가 있음

〈국외 기술동향〉

- 미국에서는 프리스트레스 공법을 적용한 PPCP(Precast prestressed concrete pavement), Fort Miller사의 Super-Slab, Kwik Slab, Roman Stone system 등 다양한 프리캐스트 제품이 생산되고 있다. 프리스트레스 방식은 시험포장 형식으로 일부 적용되었으며 대부분의 경우 무근 프리캐스트형식이 사용되고 있으며 특히 교차로 및 도심지 급속시공 요구구간에 적용되고 있다.
- 네덜란드의 경우 연약지반을 대상으로 하는 파일(pile) 시공형 프리캐스트 슬래브, 가로보 형태의 프리캐스트 슬래브, 지반 부착형 프리캐스트 슬래브 등의 다양한 형태의 모듈형 기술이 개발되었으며, 특히 굵은 골재를 사용한 투수 콘크리트 층을 표층으로 활용한 고기능성 프리캐스트 슬래브 기술은 주목할 만한 기술로 평가됨
- 일본의 경우 공항 계류장, 항만의 컨테이너 야적장, 터널 포장 등에 프리캐스트 슬래브를 많이 사용하고 있으며, 코타식 조인트라는 새로운 형태의 수평-강결형 조인트를 개발하여 적용한 사례도 확인할 수 있었다. 프리캐스트 연성포장의 경우 고무입자와 단입도 골재 및 전용 바인더(폴리우레탄 계열)의 적용으로 공극률을 30% 이상 확보 가능하여 배수 및 소음저감 성능이 우수한 것으로 평가되나, 내구성 부분

에 대해서는 지속적인 연구가 필요한 것으로 조사됨

- 프랑스의 경우 육각형 형태의 사전 제작 무근 프리캐스트 슬래브를 현장 적용한 사례가 있으며 러시아에서도 슬래브 측면에 강재형 부재를 용접하는 형태의 슬래브가 개발되어 현장 적용된 사례가 있으나 활발히 적용되고 있지는 않음
- 롤러블 연성 포장체는 네덜란드에서 개발한 Rollpave가 최고수준 기술이나, 현재 시험시공 단계에 있고 가격이 비싼 단점이 있어, 고인성 저비용 고분자 소재를 활용한 기술개발로 경쟁력이 있으며, 환경친화적 기술로 사용성이 대폭 확대될 것으로 예측 됨
- 사전제작 (Precast) 콘크리트 슬래브는 미국의 PPCP 또는 Superslab 가 대표적이며, 2000년 초부터 현장적용을 하고 있으며, 국내의 경우, 적용가능성 평가 연구를 수행한 바가 있음
- 네덜란드의 도로국은 1998년부터 'Roads for the Future' 라는 슬로건 아래, 혁신적인 포장 기술 개발을 시작하였다. 그 중 하나가 바로 모듈러 형식을 지닌 ModieSlab 이며, 2001년 A50 고속도로에 처음으로 시공됨
- 일본에서는 1970년대부터 콘테이너 아적장과 공항에 프리캐스트 슬래브를 적용하였고, 1990년대부터 도로에 적용하기 위한 연구가 진행되었다. 초기에는 철근 콘크리트 형태의 슬래브를 주로 생산하였지만, 최근에는 프리스트레스 공법을 도입한 슬래브를 생산하고 있음
- 미국에서는 다우 케미컬(Dow Chemical)에서 플라스틱 문제를 해결하기 위하여 많은 해양 플라스틱 오염을 유발하는 것으로 알려진 인도네시아에 플라스틱을 재활용하여 도로를 건설하는 연구를 2017년부터 진행한 바 있으며, 미국 내에도 0.8톤의 플라스틱을 재활용하여 도로를 시공한 바 있음
- 네덜란드 기업 KWS에서는 2018년 9월에는 네덜란드 즈볼러(Zwolle)시에 30m 길이의 자전거 도로를 218,000개의 플라스틱 컵의 양에 맞먹는 플라스틱을 활용하여 도로를 건설하였으며, 2018년 11월에는 히트호른(Giethoorn)에도 시공하였으며, 주차장에도 활용할 예정
- 폐기물 플라스틱을 펠렛으로 만들어 일반 아스팔트 바인더를 20%까지 대체하는 형태의 연구가 진행되어 현장 시공이 진행된 바 있으며, 이는 기존 도로에 비하여 강성이 66% 향상되어 1톤의 플라스틱을 활용하였음 아래 인도
- 인도에서는 맥리버 플라스틱 로드 컴퍼니를 설립하여, 도로용 플라스틱 펠렛을 활용하여 캐나다, 호주, 뉴질랜드 및 영국 등에 공급하고 있음

3. 연구내용

[세부기술 1]

- 폐플라스틱 및 재활용 플라스틱 등을 포함한 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 기술 고도화
- 재활용 재료를 활용한 인공골재 재료 개발
- 고성능 배수성 도로포장용 인공골재 생산을 위한 역학적 평가 기술 개발
- 인공골재의 바인더 친화성 및 구조적 기능성 평가 기술 개발
- 인공골재의 입도별 생산 기술 개발
- 인공골재의 환경 영향성 평가 기법 개발
- 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 상용화 기술 개발
- 인공골재의 입도별 양산 체계안 도출
- 인공골재를 활용 및 생산 기준 및 가이드 작성

[세부기술 2]

	· 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 재료 개발 · 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 재료의 역학적 물성 평가 기법 개발 · 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 재료의 환경적 영향 평가 기법 개발 · 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 재료 상용화 기술 개발 · 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 부재의 기능적 활용을 고려한 부재 생산 표준화 연구 · 재활용 재료를 활용한 모듈러형 도로포장 구조 부재의 양산을 위한 생산 체계 개발 [세부기술 3] · 모듈러형 폐플라스틱 도로포장 구조 설계 기술 개발 · 자전거 도로 및 저하중 도로를 위한 구조설계 기술 · 물순환 개선을 위한 배수성 및 투수성 향상을 위한 기능 설계 기술 · 도로포장 구간 열섬현상 감소를 위한 특화구조 기술 개발 · 모듈러형 폐플라스틱 도로포장 시공기술 개발 · 시공시간 단축을 위한 모듈러 프리패브 기술 개발 · 모듈러 부재의 양산 체계안 도출 · 현장 적용성 및 시공 효율성 확보를 위한 현장 시공 절차서 개발 · 현장 적용을 위한 자동화 시공 장비 및 시공법 개발 · 시공 프로세스 별 품질관리 방안 개발 · 시험시공 및 추적조사를 통한 산업부산물 활용 도로 포장 공용수명 평가 계획 수립
4. 연구 추진방법	
☐ 추진전략	· 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영 · 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항 - 환경적, 생물학적 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 구조적 안정성과 모듈러의 현장 기능성 및 주행성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 재료의 원활한 수급을 위한 재활용 또는 폐기물 분야 산업 종사자의 참여 · 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등 · 진행되었거나 진행되고 있는 국내외 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립 - 인공골재와 폐플라스틱 모듈러에 대하여 경제적 타당성과 환경적 영향성에 대한 구체적 비교분석 수행 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 현장의 실질적 적용을 위한 재료개발, 설계방법, 시공방법 및 유지보수를 포함하는 모든 단계의 요소 기술 및 절차 확보계획 수립 · 현장 적용을 위한 실험실 검증 및 실규모 스케일에서의 검증을 통하여 신뢰성 확보 · 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진 · 탄소저감 및 폐자재 감소를 통한 환경영향을 지표화하여 UN 및 국내 환경관련 목표에 대한 기여도 평가 - 개발되는 재료의 환경에 대한 긍정적 영향을 국내외 지표를 활용하여 평가
☐ 추진체계	· 본 중형급 연구는 원천기술·응용 및 실용화 기술 등이 포함되어 있으므로, 산·학·연 사이의 유연한 조직체계 및 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 책임자가 필요

	· 본 연구과제는 산·학·연 공동 연구를 기본으로 구성함 · 본 연구과제는 국내 도로포장 및 재활용 소재 분야 전문가로 구성하되, 필요에 따라 해외 주요기관 및 전문가와 공동연구를 수행할 수도 있음 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 참여 연구기관 사이의 협력을 통하여, 과제 사이의 긴밀한 연계성과 협력체계 구축이 구상되어야 하며, 도로포장뿐만 아니라 다양한 분야의 전문가 연계를 통한 협동연구가 필요				
5. 최종 성과물	[세부기술 1] · 도로포장용 폐플라스틱 및 재활용 플라스틱 등을 포함한 재활용 재료 활용 인공골재 소재 · 도로포장용 인공 골재의 물성 기준(안) · 인공골재 양산 체계(안) · 인공골재 생산 기준 및 가이드라인 · 인공골재의 환경 평가 기준 및 가이드라인 [세부기술 2] · 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 재료의 물성 기준(안) · 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 부재의 생산 기준 및 가이드라인 · 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 재료의 환경 영향 평가 기준 및 가이드라인 [세부기술 3] · 재활용 재료 활용 모듈러형 자전거 도로포장 구조 설계법 · 재활용 재료 활용 모듈러형 배수성 또는 투수성 포장 설계법 · 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장의 열섬현상 저감 평가 가이드라인 · 재활용 재료 활용 모듈러형 포장 성능 지표 및 성능기준(안) · 재활용 재료 활용 도로포장 시공 기준 · 재활용 재료 활용 도로포장 시공 및 관리 메뉴얼				
6. 활용방안 및 기대효과	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="186 1373 395 1541"> ☐ 활용방안 </td><td data-bbox="395 1373 1418 1541"> · 도로포장 분야의 탄소제로화 기여를 위한 핵심 요소로 활용 · 도로포장 분야의 재활용을 통한 친환경 원천기술로서 활용 · 도심지 투수면적 확보를 통한 도심홍수 저감, 열섬현상 저감, 물순환 왜곡 방지 등 저영향 개발(Low Impact Development)의 핵심 수단으로 활용 </td></tr> <tr> <td data-bbox="186 1552 395 1937"> ☐ 기대효과 </td><td data-bbox="395 1552 1418 1937"> · 폐플라스틱을 주원료로 하는 도로구조체 기술을 개발함으로써, 최근 중국의 고체폐기물 수입금지 조치로 인해 매립 또는 소각에 의존하고 있는 국내 폐플라스틱의 지속가능한 활용 및 순환체계 마련이 가능 · 고품질 골재의 대량양산 기술을 통해 국가예산 절감을 기대할 수 있으며, 나아가 다양한 기능성 포장(투수성, 저소음 등)의 활성화를 통해 국민의 안전과 생활의 질 개선이 기대 · 모듈 교체형식의 기술로 인해 도로 건설 및 유지보수시간이 70% 수준으로 빨라지면서 공사기간 단축 · 경제적 관점에서 도로이용자비용과 사회·환경 비용도 70%수준으로 절감된다는 가정이 가능하며, 도로이용자가 느끼는 도로서비스 수준도 동시에 개선 </td></tr> </table>	☐ 활용방안	· 도로포장 분야의 탄소제로화 기여를 위한 핵심 요소로 활용 · 도로포장 분야의 재활용을 통한 친환경 원천기술로서 활용 · 도심지 투수면적 확보를 통한 도심홍수 저감, 열섬현상 저감, 물순환 왜곡 방지 등 저영향 개발(Low Impact Development)의 핵심 수단으로 활용	☐ 기대효과	· 폐플라스틱을 주원료로 하는 도로구조체 기술을 개발함으로써, 최근 중국의 고체폐기물 수입금지 조치로 인해 매립 또는 소각에 의존하고 있는 국내 폐플라스틱의 지속가능한 활용 및 순환체계 마련이 가능 · 고품질 골재의 대량양산 기술을 통해 국가예산 절감을 기대할 수 있으며, 나아가 다양한 기능성 포장(투수성, 저소음 등)의 활성화를 통해 국민의 안전과 생활의 질 개선이 기대 · 모듈 교체형식의 기술로 인해 도로 건설 및 유지보수시간이 70% 수준으로 빨라지면서 공사기간 단축 · 경제적 관점에서 도로이용자비용과 사회·환경 비용도 70%수준으로 절감된다는 가정이 가능하며, 도로이용자가 느끼는 도로서비스 수준도 동시에 개선
☐ 활용방안	· 도로포장 분야의 탄소제로화 기여를 위한 핵심 요소로 활용 · 도로포장 분야의 재활용을 통한 친환경 원천기술로서 활용 · 도심지 투수면적 확보를 통한 도심홍수 저감, 열섬현상 저감, 물순환 왜곡 방지 등 저영향 개발(Low Impact Development)의 핵심 수단으로 활용				
☐ 기대효과	· 폐플라스틱을 주원료로 하는 도로구조체 기술을 개발함으로써, 최근 중국의 고체폐기물 수입금지 조치로 인해 매립 또는 소각에 의존하고 있는 국내 폐플라스틱의 지속가능한 활용 및 순환체계 마련이 가능 · 고품질 골재의 대량양산 기술을 통해 국가예산 절감을 기대할 수 있으며, 나아가 다양한 기능성 포장(투수성, 저소음 등)의 활성화를 통해 국민의 안전과 생활의 질 개선이 기대 · 모듈 교체형식의 기술로 인해 도로 건설 및 유지보수시간이 70% 수준으로 빨라지면서 공사기간 단축 · 경제적 관점에서 도로이용자비용과 사회·환경 비용도 70%수준으로 절감된다는 가정이 가능하며, 도로이용자가 느끼는 도로서비스 수준도 동시에 개선				

7. 연구기간 및 소요예산	
· 5년 220억	
8. 기타	

● [세부기술 8-1] 재활용 재료 활용 도로포장용 인공골재 상용화 기술

[표 I-50] 세부기술 8-1 RFP

과제명	재활용 재료 활용 도로포장용 인공골재 상용화 기술
1. 연구목표	· 재활용 재료 99% 이상으로 구성된 도로포장용 인공골재 기술 개발 - 도로포장용 인공골재의 물성 기준 - 도로포장용 인공골재 생산 기술 - 인공골재 생산 기준 및 가이드라인 - 인공골재의 환경 평가 기준 및 가이드라인
2. 연구 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 · 전 세계적으로 이상기후로 인한 재난·재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이를 근본적으로 예방하기 위한 온실가스 감축이 국제적 이슈로 부상 · 최근 중국은 자국 내 환경오염 방지 대책의 일환으로 2017년 말부터 폐플라스틱을 포함한 고체 폐자재의 수입을 금지 - 이로 인해 국내에서 수거된 재활용 폐플라스틱과 기타 폐자재에 대한 재활용 및 처리문제가 심각한 문제로 부상 - 재활용 재료를 지속적으로 소비할 수 있는 재활용 분야를 개척하고, 이와 관련된 핵심요소 기술개발이 필요 · 지속적이면서 재활용 규모가 큰 도로포장이 문제를 해결할 수 있는 대상이 될 수 있으며, 특히 도로포장의 주재료인 골재(특히 고품질 골재), 골재를 접착하는 바인더, 충전 점착제 등 대부분의 원료를 대체할 수 있는 차세대 도로 원료로 활용하기 위한 기술개발이 필요 · 산업부산물의 활용은 제한적이고 매립 등의 처리에 상당한 비용이 소요됨. 또한 친환경 도로 포장 재료 및 공법의 개발은 국제적 정책 흐름으로써 선진국의 활발한 연구 테마임 · 친환경 건설기술 개발은 필수적이며 국내 기술의 선진화를 통해 기술의 수출 및 친환경 도로포장 기술의 선두그룹 진입이 가능 □ 기술동향 〈국내 기술동향〉 · 국내에서도 폐유리 또는 폐플라스틱을 이용한 인공골재 개발 연구가 다수 진행되나, 실질적인 경제성을 확보하는데 어려움이 있었으며 생산에 대한 필요성이 주목받지 못하여 개발에 제약이 많았음 · 규사, 소다회, 탄산석회 등의 혼합물로 생산되는 폐유리를 활용하여 건설자재로 활용하고자 하는 연구는 2000년대 전후로 지속적으로 진행되었으나, 경제성과 양산을

위한 기술력 확보의 문제로 인하여 완성되지 못했음

- 폐유리분말과 재생골재를 동시에 활용하거나 폴리머를 추가적으로 활용하는 콘크리트 재료 개발에 대한 연구도 국내에서 지속적으로 진행되었으나, 폐유리분말의 활용도가 높지 않아 실질적인 상용화로 이루어지지는 못하고 있음
- SiO₂의 성분이 높아 기존 혼화재인 플라이애시나 고로슬래그 보다 높은 실리카 성분으로 콘크리트의 포졸란 반응을 높일 수 있을 것으로 기대되는 LCD 폐유리 미분말을 활용하여 고성능 콘크리트를 개발하기 위한 연구가 2018년 등에 진행된 바 있으나, 여러 가지 한계점으로 인하여 상용성 확보 단계에 이르지지는 못하였음
- 2013년에는 농업용 비닐을 재활용하여 아스팔트 혼합물을 생산하는 연구가 진행된 바 있으나, 기초 연구에서 크게 벗어나지는 못함
- 2018년도 PET와 PP를 활용한 연구가 국내에서 진행된 바 있으며, 후속 연구부재에 따른 기술 확장 한계로 인하여 가시적인 성과를 나타내는데 한계를 나타냄
- 폐지재를 활용하거나 폐플라스틱을 활용하는 기술 일부는 상용화 전 단계까지 이르는 수준으로 진행되기도 하였으나, 대부분 기초 연구 수준으로 이러한 기술의 고도화 및 상용화할 수 있는 기술 개발이 필요한 상황

〈국외 기술동향〉

- 미국에서는 다우 케미컬(Dow Chemical)에서 플라스틱 문제를 해결하기 위하여 많은 해양 플라스틱 오염을 유발하는 것으로 알려진 인도네시아에 플라스틱을 재활용하여 도로를 건설하는 연구를 2017년부터 진행한 바 있으며, 미국 내에도 0.8톤의 플라스틱을 재활용하여 도로를 시공한 바 있음
- 네덜란드 기업 KWS에서는 2018년 9월에는 네덜란드 즈볼러(Zwolle)시에 30m 길이의 자전거 도로를 218,000개의 플라스틱 컵의 양에 맞먹는 플라스틱을 활용하여 도로를 건설하였으며, 2018년 11월에는 히트호른(Giethoorn)에도 시공하였으며, 주차장에도 활용할 예정
- 폐기물 플라스틱을 펠렛으로 만들어 일반 아스팔트 바인더를 20%까지 대체하는 형태의 연구가 진행되어 현장 시공이 진행된 바 있으며, 이는 기존 도로에 비하여 강성이 66% 향상되어 1톤의 플라스틱을 활용하였음 아래 인도
- 인도에서는 맥리버 플라스틱 로드 컴퍼니를 설립하여, 도로용 플라스틱 펠렛을 활용하여 캐나다, 호주, 뉴질랜드 및 영국 등에 공급하고 있음

3. 연구내용

- 폐플라스틱 및 재활용 플라스틱 등을 포함한 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 기술 고도화
 - 재활용 재료를 활용한 인공골재 재료 개발
 - 산업부산물을 활용한 인공골재 또는 바인더의 활용가능성 평가
 - 고성능 배수성 도로포장용 인공골재 생산을 위한 역학적 평가 기술 개발
 - 인공골재의 바인더 친화성 및 구조적 기능성 평가 기술 개발
 - 인공골재의 입도별 생산 기술 개발
 - 인공골재의 환경 영향성 평가 기법 개발
- 재활용 재료를 활용한 도로포장용 인공골재 상용화 기술 개발
 - 인공골재의 입도별 양산 체계안 도출
 - 인공골재를 활용 및 생산 기준 및 가이드 작성

4. 연구 추진방법

☐ 추진전략	· 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영 · 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항 - 환경적, 생물학적 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 구조적 안정성과 모듈러의 현장 기능성 및 주행성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 재료의 원활한 수급을 위한 재활용 또는 폐기물 분야 산업 종사자의 참여 · 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등 · 진행되었거나 진행되고 있는 국내외 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립 - 인공골재와 폐플라스틱 모듈러에 대하여 경제적 타당성과 환경적 영향성에 대한 구체적 비교분석 수행 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 현장 적용을 위한 실험실 검증 및 실규모 스케일에서의 검증을 통하여 신뢰성 확보 · 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진 · 탄소저감 및 폐자재 감소를 통한 환경영향을 지표화하여 UN 및 국내 환경관련 목표에 대한 기여도 평가 - 개발되는 재료의 환경에 대한 긍정적 영향을 국내외 지표를 활용하여 평가
☐ 추진체계	· 본 연구과제는 산·학·연 공동 연구를 기본으로 구성함 · 본 연구과제는 국내 도로포장 및 재활용 소재 분야 전문가로 구성하되, 필요에 따라 해외 주요기관 및 전문가와 공동연구를 수행할 수도 있음 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 참여 연구기관 사이의 협력을 통하여, 과제 사이의 긴밀한 연계성과 협력체계 구축이 구상되어야 하며, 도로포장뿐만 아니라 다양한 분야의 전문가 연계를 통한 협동연구가 필요
5. 최종 성과물	
	· 도로포장용 폐플라스틱 및 재활용 플라스틱 등을 포함한 재활용 재료 활용 인공골재 소재 · 도로포장용 인공 골재의 물성 기준(안) · 인공골재 양산 체계(안) · 인공골재 생산 기준 및 가이드라인 · 인공골재의 환경 평가 기준 및 가이드라인
6. 활용방안 및 기대효과	
☐ 활용방안	· 도로포장 분야의 탄소제로화 기여를 위한 핵심 요소로 활용 · 도심지 투수면적 확보를 통한 도심홍수 저감, 열섬현상 저감, 물순환 왜곡 방지 등 저영향 개발(Low Impact Development)의 핵심 수단으로 활용
☐ 기대효과	· 고품질 골재의 대량양산 기술을 통해 국가예산 절감을 기대할 수 있으며, 나아가 다양한 기능성 포장(투수성, 저소음 등)의 활성화를 통해 국민의 안전과 생활의 질 개선이 기대 · 폐플라스틱을 주원료로 하는 도로구조체 기술을 개발함으로써, 최근 중국의 고체폐기물 수입금지 조치로 인해 매립 또는 소각에 의존하고 있는 국내 폐플라스틱의 지

속가능한 활용 및 순환체계 마련이 가능	
7. 연구기간 및 소요예산	
· 5년 60억	
8. 기타	

● [세부기술 8-2] 재활용 재료 활용 기능성 모듈러 포장 부재 생산 기술

[표 I-51] 세부기술 8-2 RFP

과제명	재활용 재료 활용 기능성 모듈러 포장 부재 생산 기술
1. 연구목표	· 재활용 재료 활용 모듈러 도로포장의 부재 물성 및 생산 기술 - 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 부재 구성 재료 원천 기술 및 물성 기준 - 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 부재 생산 기준 - 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 재료의 환경 영향 평가 기준 및 가이드라인
2. 연구 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 · 우리나라의 온실가스 배출량순위는 세계 11위이며 온실가스 배출량 증가율은 세계 1위로 온실가스 증가에 큰 영향을 미치고 있으며 국제사회의 환경 규제가 증가함에 따라 2050년까지 탄소중립 선언한 바 있음 · 이를 위해서는 탄소 배출 과다 업종인 철강, 석유화학, 자동차, 시멘트 등의 분야에서 산업 전환이 필요하며, 새로운 자원의 생산보다 재활용에 대한 관심이 필요한 시점 · 온실가스 감축 이외에도 도심지 불투수면적 증가로 인한 도심홍수, 열섬현상, 물순환 왜곡 등의 환경문제는 국민의 안전과 삶의 질 향상에 직간접적으로 연관되어 있는 중요한 요소로 이에 대한 다각적인 대책마련이 시급한 상황 · 지속적이면서 재활용 규모가 큰 도로포장이 문제를 해결할 수 있는 대상이 될 수 있으며, 특히 도로포장의 주재료인 골재(특히 고품질 골재), 골재를 접착하는 바인더, 층간 점착제 등 대부분의 원료를 대체할 수 있는 차세대 도로 원료로 활용하기 위한 기술개발이 필요 · 산업부산물의 활용은 제한적이고 매립 등의 처리에 상당한 비용이 소요됨. 또한 친환경 도로 포장 재료 및 공법의 개발은 국제적 정책 흐름으로써 선진국의 활발한 연구 테마임 □ 기술동향 〈국내 기술동향〉 · 폐자재를 활용하거나 폐플라스틱을 활용하는 기술 일부는 상용화 전 단계까지 이르는 수준으로 진행되기도 하였으나, 대부분 기초 연구 수준으로 이러한 기술의 고도화 및 상용화할 수 있는 기술 개발이 필요한 상황 · 폐플라스틱을 이용한 인공골재, 도로설계 플랫폼 개발 연구가 도로의 차세대 패러다임으로 재활용 재료활용, 물순환, 장수명, 모듈러를 키워드로 하는 “플라스틱 도로”

로 제안된 바 있으나, 아직 개념 구상 수준으로 기술성숙도가 매우 낮고, 필요한 요소기술과 성능수준, 예상되는 문제와 해결방안에 대한 연구는 미흡한 상황

〈국외 기술동향〉

- 미국에서는 프리스트레스 공법을 적용한 PPCP(Precast prestressed concrete pavement), Fort Miller사의 Super-Slab, Kwik Slab, Roman Stone system 등 다양한 프리캐스트 제품이 생산되고 있다. 프리스트레스 방식은 시험포장 형식으로 일부 적용되었으며 대부분의 경우 무근 프리캐스트형식이 사용되고 있으며 특히 교차로 및 도심지 급속시공 요구구간에 적용되고 있다.
- 네덜란드의 경우 연약지반을 대상으로 하는 파일(pile) 시공형 프리캐스트 슬래브, 가로보 형태의 프리캐스트 슬래브, 지반 부착형 프리캐스트 슬래브 등의 다양한 형태의 모듈형 기술이 개발되었으며, 특히 굵은 골재를 사용한 투수 콘크리트 층을 표층으로 활용한 고기능성 프리캐스트 슬래브 기술은 주목할 만한 기술로 평가됨
- 일본의 경우 공항 계류장, 항만의 컨테이너 야적장, 터널 포장 등에 프리캐스트 슬래브를 많이 사용하고 있으며, 코타식 조인트라는 새로운 형태의 수평-강결형 조인트를 개발하여 적용한 사례도 확인할 수 있었다. 프리캐스트 연성포장의 경우 고무입자와 단입도 골재 및 전용 바이너(폴리우레탄 계열)의 적용으로 공극률을 30% 이상 확보 가능하여 배수 및 소음저감 성능이 우수한 것으로 평가되나, 내구성 부분에 대해서는 지속적인 연구가 필요한 것으로 조사됨
- 프랑스의 경우 육각형 형태의 사전 제작 무근 프리캐스트 슬래브를 현장 적용한 사례가 있으며 러시아에서도 슬래브 측면에 강재형 부재를 용접하는 형태의 슬래브가 개발되어 현장 적용된 사례가 있으나 활발히 적용되고 있지는 않음
- 롤러블 연성 포장체는 네덜란드에서 개발한 Rollpave가 최고수준 기술이나, 현재 시험시공 단계에 있고 가격이 비싼 단점이 있어, 고인성 저비용 고분자 소재를 활용한 기술개발로 경쟁력이 있으며, 환경친화적 기술로 사용성이 대폭 확대될 것으로 예측됨
- 사전제작 (Precast) 콘크리트 슬래브는 미국의 PPCP 또는 Superslab 가 대표적이며, 2000년 초부터 현장적용을 하고 있으며, 국내의 경우, 적용가능성 평가 연구를 수행한 바가 있음
- 네덜란드의 도로국은 1998년부터 'Roads for the Future' 라는 슬로건 아래, 혁신적인 포장 기술 개발을 시작하였다. 그 중 하나가 바로 모듈러 형식을 지닌 ModieSlab 이며, 2001년 A50 고속도로에 처음으로 시공됨
- 일본에서는 1970년대부터 컨테이너 야적장과 공항에 프리캐스트 슬래브를 적용하였고, 1990년대부터 도로에 적용하기 위한 연구가 진행되었다. 초기에는 철근 콘크리트 형태의 슬래브를 주로 생산하였지만, 최근에는 프리스트레스 공법을 도입한 슬래브를 생산하고 있음

3. 연구내용

- 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료 개발
- 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료의 역학적 물성 평가 기법 개발
- 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료의 환경적 영향 평가 기법 개발
- 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 부재의 생산 기술 개발
- 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료 상용화 기술 개발
- 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료의 역학적 물성 평가 기법 개발
- 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 재료의 환경적 영향 평가 기법 개발
- 재활용 재료를 활용한 도로포장 구조 부재의 생산 기술 개발

4. 연구 추진방법	
□ 추진전략	· 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영 · 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항 - 환경적, 생물학적 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 구조적 안정성과 모듈러의 현장 기능성 및 주행성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 재료의 원활한 공급을 위한 재활용 또는 폐기물 분야 산업 종사자의 참여 · 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진
□ 추진체계	· 본 중형급 연구는 원천기술·응용 및 실용화 기술 등이 포함되어 있으므로, 산·학·연 사이의 유연한 조직체계 및 객관적 관리가 가능한 연구관 및 총괄 책임자가 필요 · 본 연구과제는 산·학·연 공동 연구를 기본으로 구성함 · 본 연구과제는 국내 도로포장 및 재활용 소재 분야 전문가로 구성하되, 필요에 따라 해외 주요기관 및 전문가와 공동연구를 수행할 수도 있음 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 참여 연구기관 사이의 협력을 통하여, 과제 사이의 긴밀한 연계성과 협력체계 구축이 구상되어야 하며, 도로포장뿐만 아니라 다양한 분야의 전문가 연계를 통한 협동연구가 필요
5. 최종 성과물	
	· 재활용 재료 활용 모듈러형 자전거 도로포장 구조 설계법 · 재활용 재료 활용 모듈러형 배수성 또는 투수성 포장 설계법 · 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장의 열섬현상 저감 평가 가이드라인 · 재활용 재료 활용 모듈러형 포장 성능 지표 및 성능기준(안) · 재활용 재료 활용 도로포장 시공 기준 · 재활용 재료 활용 도로포장 시공 및 관리 메뉴얼
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	· 도로포장 분야의 탄소제로화 기여를 위한 핵심 요소로 활용 · 도심지 투수면적 확보를 통한 도심홍수 저감, 열섬현상 저감, 물순환 왜곡 방지 등 저영향 개발(Low Impact Development)의 핵심 수단으로 활용
□ 기대효과	· 고품질 골재의 대량양산 기술을 통해 국가예산 절감을 기대할 수 있으며, 나아가 다양한 기능성 포장(투수성, 저소음 등)의 활성화를 통해 국민의 안전과 생활의 질 개선이 기대 · 폐플라스틱을 주원료로 하는 도로구조체 기술을 개발함으로써, 최근 중국의 고체폐기물 수입금지 조치로 인해 매립 또는 소각에 의존하고 있는 국내 폐플라스틱의 지속가능한 활용 및 순환체계 마련이 가능 · 모듈 교체형식의 기술로 인해 도로 건설 및 유지보수시간이 70% 수준으로 빨라지면서 공사구간 발생시간도 짧아짐. 경제적 관점에서 도로이용자비용과 사회 환경 비

용도 70%수준으로 절감된다는 가정이 가능하며, 도로이용자가 느끼는 도로서비스 수준도 동시에 개선	
7. 연구기간 및 소요예산	
· 5년 110억	
8. 기타	

● [세부기술 8-3] 재활용 재료 활용 모듈러 포장 설계 및 시공 기술

[표 1-52] 세부기술 8-3 RFP

과제명	재활용 재료 활용 모듈러 포장 설계 및 시공 기술
1. 연구목표	· 재활용 재료 활용 모듈러형 투수성 다기능 폐플라스틱 도로포장의 구조 설계 및 시공 기술 개발 - 자전거 도로포장 구조 설계법 - 배수성 또는 투수성 기능 반영 포장 설계법 - 재활용 재료 활용 도로포장 시공 기준 및 유지 관리 메뉴얼 · 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장 구조 재료의 환경 영향 평가 및 열섬 저감효과 평가 기준 개발 - 모듈러형 도로포장 구조의 열섬저감효과 평가 가이드라인
2. 연구 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	· 우리나라의 온실가스 배출량순위는 세계 11위이며 온실가스 배출량 증가율은 세계 1위로 온실가스 증가에 큰 영향을 미치고 있으며 국제사회의 환경 규제가 증가함에 따라 2050년까지 탄소중립 선언한 바 있음 · 이를 위해서는 탄소 배출 과다 업종인 철강, 석유화학, 자동차, 시멘트 등의 분야에서의 산업 전환이 필요하며, 새로운 자원의 생산보다 재활용에 대한 관심이 필요한 시점 · 온실가스 감축 이외에도 도심지 불투수면적 증가로 인한 도심홍수, 열섬현상, 물순환 왜곡 등의 환경문제는 국민의 안전과 삶의 질 향상에 직간접적으로 연관되어 있는 중요한 요소로 이에 대한 다각적인 대책마련이 시급한 상황 · 최근 중국은 자국 내 환경오염 방지 대책의 일환으로 2017년 말부터 폐플라스틱을 포함한 고체 폐자재의 수입을 금지 - 이로 인해 국내에서 수거된 재활용 폐플라스틱과 기타 폐자재에 대한 재활용 및 처리문제가 심각한 문제로 부상 - 재활용 재료를 지속적으로 소비할 수 있는 재활용 분야를 개척하고, 이와 관련된 핵심요소 기술개발이 필요 · 지속적이면서 재활용 규모가 큰 도로포장이 문제를 해결할 수 있는 대상이 될 수 있으며, 특히 도로포장의 주재료인 골재(특히 고품질 골재), 골재를 접착하는 바인더, 층간 점착제 등 대부분의 원료를 대체할 수 있는 차세대 도로 원료로 활용하기 위

한 기술개발이 필요

- 산업부산물의 활용은 제한적이고 매립 등의 처리에 상당한 비용이 소요됨. 또한 친환경 도로 포장 재료 및 공법의 개발은 국제적 정책 흐름으로써 선진국의 활발한 연구 테마임
- 친환경 건설기술 개발은 필수적이며 국내 기술의 선진화를 통해 기술의 수출 및 친환경 도로포장 기술의 선두그룹 진입이 가능

□ 기술동향

〈국내 기술동향〉

- 국내에서도 폐유리 또는 폐플라스틱을 이용한 인공골재 개발 연구가 다수 진행되나, 실질적인 경제성을 확보하는데 어려움이 있었으며 생산에 대한 필요성이 주목받지 못하여 개발에 제약이 많았음
- 폐자재를 활용하거나 폐플라스틱을 활용하는 기술 일부는 상용화 전 단계까지 이르는 수준으로 진행되기도 하였으나, 대부분 기초 연구 수준으로 이러한 기술의 고도화 및 상용화할 수 있는 기술 개발이 필요한 상황
- 폐플라스틱을 이용한 인공골재, 도로설계 플랫폼 개발 연구가 도로의 차세대 패러다임으로 재활용 재료활용, 물순환, 장수명, 모듈러를 키워드로 하는 “플라스틱 도로”로 제안된 바 있으나, 아직 개념 구상 수준으로 기술성숙도가 매우 낮고, 필요한 요소기술과 성능수준, 예상되는 문제와 해결방안에 대한 연구는 미흡한 상황
- 과거 급속시공을 위한 모듈러 포장 형식이 R&D로 기획된 바 있으나, 실질적으로 과제로 이어지지는 못하였음
- 국내 설계사 또는 일부 연구기관에서 콘크리트 기반 급속시공 포장 형식에 대한 개념 특허 등이 출원된 바 있으나, 실질적인 적용을 위한 지적재산권과는 다소의 거리가 있음

〈국외 기술동향〉

- 미국에서는 프리스트레스 공법을 적용한 PPCP(Precast prestressed concrete pavement), Fort Miller사의 Super-Slab, Kwik Slab, Roman Stone system 등 다양한 프리캐스트 제품이 생산되고 있다. 프리스트레스 방식은 시험포장 형식으로 일부 적용되었으며 대부분의 경우 무근 프리캐스트형식이 사용되고 있으며 특히 교차로 및 도심지 급속시공 요구구간에 적용되고 있다.
- 네덜란드의 경우 연약지반을 대상으로 하는 파일(pile) 시공형 프리캐스트 슬래브, 가로보 형태의 프리캐스트 슬래브, 지반 부착형 프리캐스트 슬래브 등의 다양한 형태의 모듈형 기술이 개발되었으며, 특히 굵은 골재를 사용한 투수 콘크리트 층을 표층으로 활용한 고기능성 프리캐스트 슬래브 기술은 주목할 만한 기술로 평가됨
- 네덜란드의 도로국은 1998년부터 ‘Roads for the Future’ 라는 슬로건 아래, 혁신적인 포장 기술 개발을 시작하였다. 그 중 하나가 바로 모듈러 형식을 지닌 ModieSlab 이며, 2001년 A50 고속도로에 처음으로 시공됨
- 일본에서는 1970년대부터 콘테이너 야적장과 공항에 프리캐스트 슬래브를 적용하였고, 1990년대부터 도로에 적용하기 위한 연구가 진행되었다. 초기에는 철근 콘크리트 형태의 슬래브를 주로 생산하였지만, 최근에는 프리스트레스 공법을 도입한 슬래브를 생산하고 있음
- 미국에서는 다우 케미컬(Dow Chemical)에서 플라스틱 문제를 해결하기 위하여 많은 해양 플라스틱 오염을 유발하는 것으로 알려진 인도네시아에 플라스틱을 재활용하여 도로를 건설하는 연구를 2017년부터 진행한 바 있으며, 미국 내에도 0.8톤의 플라스틱을 재활용하여 도로를 시공한 바 있음
- 네덜란드 기업 KWS에서는 2018년 9월에는 네덜란드 즈볼러(Zwolle)시에 30m 길

	이의 자전거 도로를 218,000개의 플라스틱 컵의 양에 맞먹는 플라스틱을 활용하여 도로를 건설하였으며, 2018년 11월에는 히트호른(Giethoorn)에도 시공하였으며, 주차장에도 활용할 예정 - 폐기물 플라스틱을 펠릿으로 만들어 일반 아스팔트 바인더를 20%까지 대체하는 형태의 연구가 진행되어 현장 시공이 진행된 바 있으며, 이는 기존 도로에 비하여 강성이 66% 향상되어 1톤의 플라스틱을 활용하였음 아래 인도 - 인도에서는 맥리버 플라스틱 로드 컴퍼니를 설립하여, 도로용 플라스틱 펠릿을 활용하여 캐나다, 호주, 뉴질랜드 및 영국 등에 공급하고 있음
3. 연구내용	
	- 모듈러형 폐플라스틱 도로 구조 설계 기술 개발 - 자전거 도로 및 지하중 도로를 위한 구조설계 기술 - 물순환 개선을 위한 배수성 및 투수성 향상을 위한 기능 설계 기술 - 도로포장 구간 열섬현상 감소를 위한 특화구조 기술 개발 - 모듈러형 폐플라스틱 도로 시공기술 개발 - 시공시간 단축을 위한 모듈러 프리캐스트 기술 개발 - 모듈러 부재의 양산 체계안 도출 - 현장 적용성 및 시공 효율성 확보를 위한 현장 시공 절차서 개발 - 현장 적용을 위한 자동화 시공 장비 및 시공법 개발 - 시공 프로세스 별 품질관리 방안 개발 - 시험시공 및 추적조사를 통한 산업부산물 활용 도로 포장 공용수명 평가 계획 수립
4. 연구 추진방법	
□ 추진전략	- 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영 - 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항 - 환경적, 생물학적 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 구조적 안정성과 모듈러의 현장 기능성 및 주행성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 재료의 원활한 수급을 위한 재활용 또는 폐기물 분야 산업 종사자의 참여 - 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등 - 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 - 현장의 실질적 적용을 위한 재료개발, 설계방법, 시공방법 및 유지보수를 포함하는 모든 단계의 요소 기술 및 절차 확보계획 수립 - 현장 적용을 위한 실험실 검증 및 실규모 스케일에서의 검증을 통하여 신뢰성 확보 - 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진
□ 추진체계	- 본 중형급 연구는 원천기술·응용 및 실용화 기술 등이 포함되어 있으므로, 산·학·연 사이의 유연한 조직체계 및 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 책임자가 필요 - 본 연구과제는 산·학·연 공동 연구를 기본으로 구성함 - 본 연구과제는 국내 도로포장 및 재활용 소재 분야 전문가로 구성하되, 필요에 따

라 해외 주요기관 및 전문가와 공동연구를 수행할 수도 있음 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 참여 연구기관 사이의 협력을 통하여, 과제 사이의 긴밀한 연계성과 협력체계 구축이 구상되어야 하며, 도로포장뿐만 아니라 다양한 분야의 전문가 연계를 통한 협동연구가 필요	
5. 최종 성과물	· 재활용 재료 활용 모듈러형 자전거 도로포장 구조 설계법 · 재활용 재료 활용 모듈러형 배수성 또는 투수성 포장 설계법 · 재활용 재료 활용 모듈러형 도로포장의 열섬현상 저감 평가 가이드라인 · 재활용 재료 활용 모듈러형 포장 성능 지표 및 성능기준(안) · 재활용 재료 활용 도로포장 시공 기준 · 재활용 재료 활용 도로포장 시공 및 관리 메뉴얼
6. 활용방안 및 기대효과	☐ 활용방안 · 도로포장 분야의 탄소제로화 기여를 위한 핵심 요소로 활용 · 도심지 투수면적 확보를 통한 도심홍수 저감, 열섬현상 저감, 물순환 왜곡 방지 등 저영향 개발(Low Impact Development)의 핵심 수단으로 활용 ☐ 기대효과 · 고품질 골재의 대량양산 기술을 통해 국가예산 절감을 기대할 수 있으며, 나아가 다양한 기능성 포장(투수성, 저소음 등)의 활성화를 통해 국민의 안전과 생활의 질 개선이 기대 · 폐플라스틱을 주원료로 하는 도로구조체 기술을 개발함으로써, 최근 중국의 고체폐기물 수입금지 조치로 인해 매립 또는 소각에 의존하고 있는 국내 폐플라스틱의 지속가능한 활용 및 순환체계 마련이 가능 · 모듈 교체형식의 기술로 인해 도로 건설 및 유지보수시간이 70% 수준으로 빨라지면서 공사구간 발생시간도 짧아짐. 경제적 관점에서 도로이용자비용과 사회 환경 비용도 70%수준으로 절감된다는 가정이 가능하며, 도로이용자가 느끼는 도로서비스 수준도 동시에 개선
7. 연구기간 및 소요예산	· 5년 110억
8. 기타	

■ [핵심과제 9] 첨단소재 활용 도로사고 저감기술개발

[표 I-53] 핵심과제 9 RFP

과제명	첨단소재 활용 도로사고 저감기술개발
1. 연구목표	· 도로노면 온도 0℃ 이상 유지 8시간 이상 확보 및 단위면적(㎡) 당 제설비용 10% 저감 · 저가형 도로노면 결빙 장비 건설 신소재 개발 · 도로노면 결빙 방지 신소재 성능 기준(안) 개발 · 저가형 도로노면 결빙 방지 건설신소재 제조 설비 개발 · 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 및 공법 · 도로노면 결빙 장비 도로포장 품질기준(안) · 도로노면 결빙 방지 공법 성능 평가 기준(안) · 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계 및 시공(안) · 결빙 취약지점별 결빙방지 도로시스템 설계 및 시공기술 개발 · 취약지점별 결빙방지 도로시스템 구축 및 유지관리 가이드라인(안) · 도로노면 결빙 방지 시스템 성능 평가를 위한 실/검증 Test-bed 구축
2. 연구 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 · 전 세계적으로 이상기후로 인한 재난·재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이를 근본적으로 예방하기 위한 온실가스 감축이 국제적 이슈로 부상 도로는 정부 및 지자체에서 건설, 운영, 관리하는 대표적인 SOC 시설물로, 도로노면 결빙에 의한 사고는 도로이용자(국민)의 안전을 위협하는 요소 · 2019년 “도로 살얼음 사고예방 특별대책” 등 정부차원에서 도로노면 결빙 사고 방지를 위한 정책 드라이브 중 · 특히, 교량, 터널 진출입부는 도로노면 결빙에 매우 취약한 구간으로 도로노면 결빙 방지를 위한 근본대책 마련이 시급하며, · 정부차원에서 교통사고 관리 사각지대로 방치되고 있는 도로노면 결빙에 의한 사고 예방을 위해 근본적 해결방안 마련 필요 · 2019년 상주-영천 민자고속도로 사고(사상자 39명) 등 도로노면 결빙으로 인한 교통사고가 급증하고 있으며, 도로노면 결빙으로 인한 치사율(일반도로 1.79%, 결빙 구간 3%, 교통안전공단)은 일반도로에 비하여 치사율이 현저히 높은 실정 · 도로노면 결빙에 의한 사고는 최근 5년간 약 66백 건에 달하며, 눈길 사고 보다 1.8 배 높으며, 사망자도 약 3배에 달하는 실정 · 국토교통부는 도로노면 결빙으로 인한 사고 예방을 위해 취약구간을 확대 지정(기존 193개소→403개소)하고 위험구간에 대한 순찰 및 제설제 살포 강화하는 등 도로노면 결빙으로 인한 사고 방지를 위해 노력 중 · 도로노면 결빙 방지를 위해 사용되고 있는 제설제는 주로 염화물 성분으로 도로 구조물 손상, 미끄럼 저항성 약화, 주변 농지의 농작물 염화피해 등 문제점 내포 · 현재 도로 노면 결빙 방지를 위한 제설제 살포 기준은 기상청 기상 정보※를 기반으로 시행되고 있어, 노면 도로 결빙 방지 예방에 불확실성 내포 ※ 대기온도 2℃이하, 비가 내리기 시작할 때, 어는 비(지표의 온도가 0℃이하일 때 내리는 비)가 내릴 때로 지정

- 도로노면 결빙으로 인한 사고 방지를 위해서는 능동/수동적 결빙 방지 포장 시스템 구축 시급
- 그간 도로노면 결빙에 대한 연구는 도로 살 얼음 형성 메커니즘, 취약구간 특성, 노면 결빙 구간 정보 취득 방법을 중심으로 이루어졌으며, 도로노면 결빙 방지에 대한 근본적인 대책과 관련된 연구는 미진한 실정

□ 기술동향

〈국내 기술 및 정책 동향〉

- 도로포장 융설 및 결빙 방지 시스템은 전기나 지열에너지를 이용하는 방법, 제설제를 이용하는 방법 등으로 구분될 수 있으나, 대부분 포장재료의 열전도율 등을 고려하지 않을 뿐만 아니라 유지관리비용(전력량)이 큼
 - 기존 기술들은 대부분 소재 및 재료적인 측면보다는 시설 및 인프라 중심으로 개발되어 막대한 초기 시공비가 투입되며, 매설하는 공법으로 환경하중(온도, 교통량 등)에 따른 파손 빈번하게 발생됨
 - 한국도로공사에서는 도로살얼음 예측 시스템 연구를 통하여 노면상태 측정 시스템(RMS) 구축 및 제설시점/과다살포방지 등을 파악하고자 하였으나, 1지점당 0.5~1억 원이 소요되어 현실적으로 구축 어려움
- 국내 노면 흙 파기 시공법은 국내 환경에서의 실검증 없이 해외 기법을 도입, 적용하고 있는 실정으로, 노면 흙파기 시공방법의 효과성 및 국내 적용성 평가가 필요
- 여타 결빙 방지 공법의 경우, 외부의 전기를 활용하는 기법이 주로 사용되고 있으나, 전기 사용량 급증에 따른 적용성에 대한 문제가 제기되고 있어 도로 주변의 환경에 맞는 방안 마련 필요
- 국토부에서는 「도로살얼음 사고예방 특별대책(2019.12.18.)」을 수립하기 위해 단계별 대책 마련을 추진 중에 있으며, 신속대책, 단기대책, 중장기 대책으로 추진 중에 있음
 - 단기 대책으로는 제설제 예비살포기준 강화, 취약구간 조명안내표시, 도로표면 흙파기 시공, 과속단속카메라 확충, 도로열선 시범설치운영을 실시하고 중장기 대책으로는 자동 염수분사장치 확대, 도로살얼음 발생정보 자동 수집기술 개발 등을 추진 중

〈해외 기술동향〉

- Grikol(러시아), Mafilon(독일), WinterPave(이탈리아), Verglimit(스위스) 등에서는 결빙방지를 위하여 활용되는 결빙방지재를 활용하고 있으나 염화물함량이 높아 도로 포장 및 구조물 열화 가속화와 미끄럼 저항 감소에 대한 문제 제기
- 최근 건설 선진국의 경우, 나노기술 등 신소재 기술의 적용으로, 건설산업 패러다임이 전환되고 있으며, 건설분야에서는 첨단나노 기술과 건설재료의 융합을 통한 차세대 건설재료 연구개발이 2000년대 중반부터 시작되고 있으나, 초기단계 수준으로 해외 기술에 비해 매우 낮은 수준
- 상변화 물질(Phase Change Material; PCM)은 주변의 온도변화에 따라 고체에서 액체 또는 액체에서 고체로 상(Phase)이 변할 때, 온도의 변화 없이 잠열(Latent Heat)의 형태로 자발적으로 열을 저장방출할 수 있는 에너지 저장 물질로서 노면 결빙을 예방할 수 있는 재료 활용될 가능성이 높아 관심을 받고 있음
 - 현재까지 PCM 물질은 건축물 열저장 매체로 활용하는 연구로서 과거 40년 동안 진행되어 왔으며, 건물에너지 성능을 증가시키는 결과를 확보함. 다만, 초기비용, 상전이 능력 열화, 부식성 등 부정적인 문제로 인한 시장 형성 어려움이 있으나 에너지 절감 효과 극대화를 위한 연구개발 추진 중
 - 상변화물질을 건축재료에 적용하는 경우 잠열형태로 열을 저장하며, 상변화특성이 없는 일반 건축재료에 비해 약 20배 이상 열 저장능력 가짐
 - PCM 물질은 시멘트 콘크리트 건설자재에 적용된 연구 및 사례는 존재하나 아스팔트 도로포장에 적용된 사례 및 포장체 내에서의 잠열 효과(효율성 등)에 대한

	연구는 초기 단계임 - Graphene 소재의 건설분야 활용에 대한 연구는 강도증진, 전기적, 열적 기능 부여 여부에 대한 초기 연구가 실시되었으나, 대부분 실내 실험 단계 머무르고 있음 - Graphene 소재는 우수한 물리적 특성으로 자동차 외장재, 반도체, 태양전지, 스마트 폰 등 다양한 분야에 적용되고 있음 - Graphene은 탄소계열의 소재로 직경과 구조에 따라 반도체에서 도체까지 전기전도도의 조절이 가능 - 최근에는 Graphene을 콘크리트에 적용하여 자기발열 및 응설 시스템 구축에 대한 연구가 국내에서 수행된 바 있으나, 아스팔트 혼합물에 적용된 실적은 없음 - 국외에서는 Graphene을 적용한 아스팔트 혼합물에 대한 내구성능 향상이 확인된 바 있으며, 그 외에도 열전도성 물질로 아스팔트 혼합물에 적용 가능성이 확인됨 - 다만 Graphene의 경우, 대부분 고가의 소재로 인해 저가형의 Graphene 개발이 필요하며, 최근에는 페플라ست릭, 음식물 등에서 저가형 Graphene 개발이 주목받고 있음
3. 연구내용	[세부기술 1] - 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발 - 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재(이하 결빙 방지 신소재) 후보군 도출 - 결빙 방지 신소재별 물리적 및 화학적 특성을 분석하고 목표성능 도출을 통한 건설전분야 및 도로분야 적용을 위하여 저가형 결빙 방지 신소재 제조 및 가공 원천기술(국산화) 개발 - 저가형 결빙 방지 신소재의 잠열, 열전도율 등 열물성 평가 및 최적화 - 현장 적용 활성화를 위한 양산 체계안 도출 [세부기술 2] - 건설 신소재를 활용한 결빙 방지 도로포장 적용 기법 개발 - 도로포장 형식별 저가형 결빙 방지 신소재 적용 방안 마련 - 결빙 방지 신소재별 적용을 위한 최적 배합 비율 도출 - 결빙 방지 신소재가 적용된 도로포장 재료 성능 평가(국토교통부 기준 적용) - 도로노면 결빙 방지 도로포장 품질 및 관리 기준 수립 [세부기술 3] - 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계, 시공, 운영 및 유지관리 기술 개발 - 결빙 취약 지점(교량, 터널진 출입부 등)별 결빙 방지 포장 형식 결정 로직 개발 - 결빙 취약 지점별 결빙 방지 도로시스템 최적 설계 및 시공 기술 개발 - 효율성 및 경제성, 내구성 확보를 위한 결빙 방지 도로시스템 운영시스템 개발 - 결빙 취약 지점별 결빙 방지 도로시스템 유지관리 가이드라인(안) 개발 [세부기술 4] - 도로노면 결빙 방지 성능 평가를 위한 테스트 베드 구축 및 실/검증 - 도로노면 결빙 방지 성능 평가 및 실/검증 방안 개발 - 도로노면 살얼음 형성 및 미끄럼 저항 성능 평가를 위한 테스트베드 구축 - 도로노면 살얼음 환경모사 시스템 및 실증 시설 구축
4. 연구 추진방법	☐ 추진전략 - 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영 - 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기

	관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항 - 환경적, 생물학적 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 재료의 안정성과 차량의 주행 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 재료의 원활한 수급과 생산을 위한 해당 산업 분야 종사자의 참여 · 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등 · 국내외 선행 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립 - 도로 노면 결빙 방지 포장재료, 예방 체계와의 차별성 및 연계성 확보 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 현장의 실질적 적용을 위한 재료개발, 설계방법, 시공방법 및 유지보수를 포함하는 모든 단계의 요소 기술 및 절차 확보계획 수립 · 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진 · 결빙 방지 도로포장의 성능 평가를 위한 현장 또는 테스트 베드 구축을 통하여 실질적 평가 수행 · 프로세스의 완성도를 높이기 위하여 도로포장 설계법 및 생산과 시공 지침에 대하여 이해도가 높은 연구진 참여
□ 추진체계	· 연구과제 유형(연구수행체계) : 연구단 과제 · 산학연 공동연구로 구성, 원천소재 개발, 평가 및 검증기관 등 풍부한 연구경험과 역량을 극대화 할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 민간 기업체를 기술개발 주체로서 구성 · 건설용 저가용 신소재, 도로포장 적용 기법, 현장적용, 법 제도와 등 연구성과 극대화를 위한 세부별 연계성 명확히 제시 · 관계부처 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
5. 최종 성과물	· 저가형 도로노면 결빙 방지 건설신소재 · 도로노면 결빙 방지 신소재 성능 기준(안) 개발 · 도로노면 결빙 방지 도로포장 재료 및 공법 개발 · 도로노면 결빙 장비 도로포장 품질기준(안) · 도로노면 결빙 방지 도로포장 설계 및 시공(안) · 취약지점별 결빙 방지 시스템 설계 및 시공, 운영 기술 개발 · 결빙 취약 지점별 결빙방 방지 도로시스템 구축 및 유지관리 가이드라인(안) · 도로노면 결빙 방지 시스템 성능평가를 위한 실/검증 Test-bed 구축
6. 활용방안 및 기대효과	□ 활용방안 · 도로 노면 결빙 방지를 위한 건설용 저가형 신소재 및 적용 기법, 도로시스템 구축 및 시범사업을 통해 결빙 취약지점별 검증 체계 구축 · 도로노면 방지 도로시스템 겨울철 빈번하게 발생하는 미끄럼 사고를 예방할 수 있는 기술로서 미래 원천기술 확보를 통해 사고 방재(예방) 분야의 활용성 우수 - 도로노면 방지 도로시스템을 통하여 실용화 및 사업화가 체계적으로 이루어진다면 도로 관리 기관의 기술 전파를 통한 사고 예방 방재 기술로 활용 가능 · 다양한 신소재 원천기술 개발을 통하여 도로뿐만 아니라 주택 등 에너지를 활용하는 모든 시설물로 저변 확대 가능

□ 기대효과	· 건설분야 복합신소재 국산화 및 저가형 소재 개발을 통한 미래사회변화를 선도할 국가차원의 소재개발 및 건설분야 응용 기술 확대 · 건설용 핵심소재에 대한 원천기술 확보를 통해 해외기술 의존도 해소 및 세계 최고 수준의 기술 경쟁력 확보 · 다양한 원천소재 기반 국산화를 통하여 도로포장 결빙 방지 포장 분야 기술 선도를 위한 발판 마련 · 도로포장 결빙 온도를 0~2℃에서 5℃이상으로 올려 노면 결빙 Zero화로 인한 교통사고를 현저히 저감 · 도로 결빙 방지 포장 시스템 구축을 통한 공용수명 확보 및 공용수명 동안 제설제 사용량 10% 감소로 인한 국가 예산 절감 및 국민 안전 실현 · 도로 결빙 방지로 인한 겨울철 미끄럼 저항 향상으로 교통사고 예방이 가능하며, 온도 균열 저감을 통한 포장 유지관리 비용 감소 및 국가 예산 절감 효과 증대 · 기존 도로 결빙 방지 포장 공법 대비 공용수명 10% 향상 및 친환경 비염화물 결빙방지제 사용으로 도로포장 수명 20% 증대로 유지관리 비용 감소
7. 연구기간 및 소요예산	
	· 5년 270억
8. 기타	

● [세부기술 9-1] 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설신소재 개발

[표 I-54] 세부기술 9-1 RFP

과제명	도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설신소재 개발
1. 연구목표	
	· 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설신소재 및 제조 기술 개발 - 6,600kJ 열량을 유지할 수 있는 건설 신소재 개발 - 도로노면 실열을 응해 효율 10% 향상이 가능한 결빙 산속대응 비염화 제설 신소재 개발 - 저가형 도로노면 결빙 방지 재료 100% 국산화
2. 연구 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	· 서 건설, 운영, 관리하는 대표적인 SOC 시설물로, 도로노면 결빙에 의한 사고는 도로이용자(국민)의 안전을 위협하는 요소 · 2019년 “도로 살얼음 사고예방 특별대책” 등 정부차원에서 도로노면 결빙 사고 방지를 위한 정책 드라이브 중 · 특히, 교량, 터널 진출입부는 도로노면 결빙에 매우 취약한 구간으로 도로노면 결빙 방지를 위한 근본대책 마련이 시급하며, · 정부차원에서 교통사고 관리 사각지대로 방치되고 있는 도로노면 결빙에 의한 사고 예방을 위해 근본적 해결방안 마련 필요 · 2019년 상주-영천 민자고속도로 사고(사상자 39명) 등 도로노면 결빙으로 인한 교통사고가 급증하고 있으며, 도로노면 결빙으로 인한 치사율(일반도로 1.79%, 결빙

- 구간 3%, 교통안전공단)은 일반도로에 비하여 치사율이 현저히 높은 실정
- 도로노면 결빙에 의한 사고는 최근 5년간 약 66백 건에 달하며, 눈길 사고 보다 1.8 배 높으며, 사망자도 약 3배에 달하는 실정
 - 국토교통부는 도로노면 결빙으로 인한 사고 예방을 위해 취약구간을 확대 지정(기존 193개소→403개소)하고 위험구간에 대한 순찰 및 제설제 살포 강화하는 등 도로노면 결빙으로 인한 사고 방지를 위해 노력 중
 - 도로노면 결빙 방지를 위해 사용되고 있는 제설제는 주로 염화물 성분으로 도로 구조물 손상, 미끄럼 저항성 약화, 주변 농지의 농작물 염화피해 등 문제점 내포
 - 현재 도로 노면 결빙 방지를 위한 제설제 살포 기준은 기상청 기상 정보※를 기반으로 시행되고 있어, 노면 도로 결빙 방지 예방에 불확실성 내포
- ※ 대기온도 2℃이하, 비가 내리기 시작할 때, 어는 비(지표의 온도가 0℃이하일 때 내리는 비)가 내릴 때로 지정
- 도로노면 결빙으로 인한 사고 방지를 위해서는 능동/수동적 결빙 방지 포장 시스템 구축 시급
 - 그간 도로노면 결빙에 대한 연구는 도로 살 얼음 형성 메커니즘, 취약구간 특성, 노면 결빙 구간 정보 취득 방법을 중심으로 이루어졌으며, 도로노면 결빙 방지에 대한 근본적인 대책과 관련된 연구는 미진한 실정

□ 기술동향

〈국내 기술 및 정책 동향〉

- 도로포장 융설 및 결빙 방지 시스템은 전기나 지열에너지를 이용하는 방법, 제설제를 이용하는 방법 등으로 구분될 수 있으나, 대부분 포장재료의 열전도율 등을 고려하지 않을 뿐만 아니라 유지관리비용(전력량)이 큼
 - 기존 기술들은 대부분 소재 및 재료적인 측면보다는 시설 및 인프라 중심으로 개발되어 막대한 초기 시공비가 투입되며, 매설하는 공법으로 환경하중(온도, 교통량 등)에 따른 파손 빈번하게 발생됨
 - 한국도로공사에서는 도로살얼음 예측 시스템을 통하여 노면상태 측정 시스템(RWS) 구축 및 제설시점/과다살포방지 등을 파악하고자 하였으나, 1지점당 0.5~1억 원이 소요되어 현실적으로 구축 어려움
- 국내 노면 흙 파기 시공법은 국내 환경에서의 실검증 없이 해외 기법을 도입, 적용하고 있는 실정으로, 노면 흙파기 시공방법의 효과성 및 국내 적용성 평가가 필요함
- 여타 결빙 방지 공법의 경우, 외부의 전기를 활용하는 기법이 주로 사용되고 있으나, 전기 사용량 급증에 따른 적용성에 대한 문제가 제기되고 있어 도로 주변의 환경에 맞는 방안 마련 필요
- 국토부에서는 「도로살얼음 사고예방 특별대책(2019.12.18.)」을 수립하기 위해 단계별 대책 마련을 추진 중에 있으며, 신속대책, 단기대책, 중장기 대책으로 추진 중에 있음
 - 단기 대책으로는 제설제 예비살포기준 강화, 취약구간 조명안내표시, 도로표면 흙 파기 시공, 과속단속카메라 확충, 도로열선 시범설치운영을 실시하고 중장기 대책으로는 자동 염수분사장치 확대, 도로살얼음 발생정보 자동 수집기술 개발 등을 추진 중 있음

〈국외 기술동향〉

- Grikol(러시아), Mafilon(독일), WinterPave(이탈리아), Verglimit(스위스) 등에서는 결빙방지를 위하여 활용되는 결빙방지재를 활용하고 있으나 염화물함량이 높아 도로 포장 및 구조물 열화 가속화와 미끄럼 저항 감소에 대한 문제 제기
- 최근 건설 선진국의 경우, 나노기술 등 신소재 기술의 적용으로, 건설산업 패러다임이 전환되고 있으며, 건설분야에서는 첨단나노 기술과 건설재료의 융합을 통한 차세대 건설재료 연구개발이 2000년대 중반부터 시작되고 있으나, 초기단계 수준으로 해

	외 기술에 비해 매우 낮은 수준 - 상변화 물질(Phase Change Material; PCM)은 주변의 온도변화에 따라 고체에서 액체 또는 액체에서 고체로 상(Phase)이 변할 때, 온도의 변화 없이 잠열(Latent Heat)의 형태로 자발적으로 열을 저장방출할 수 있는 에너지 저장 물질로서 노면 결빙을 예방할 수 있는 재료 활용될 가능성이 높아 관심을 받고 있음 - 현재까지 PCM 물질은 건축물 열저장 매체로 활용하는 연구로서 과거 40년 동안 진행되어 왔으며, 건물에너지 성능을 증가시키는 결과를 확보함. 다만, 초기비용, 상전이 능력 열화, 부식성 등 부정적인 문제로 인한 시장 형성 어려움이 있으나 에너지 절감 효과 극대화를 위한 연구개발 추진 중 - 상변화물질을 건축재료에 적용하는 경우 잠열형태로 열을 저장하며, 상변화특성이 없는 일반 건축재료에 비해 약 20배 이상 열 저장능력 가짐 - PCM 물질은 시멘트 콘크리트 건설자재에 적용된 연구 및 사례는 존재하나 아스팔트 도로포장에 적용된 사례 및 포장체 내에서의 잠열 효과(효율성 등)에 대한 연구는 초기 단계임 - Graphene 소재의 건설분야 활용에 대한 연구는 강도증진, 전기적, 열적 기능 부여 여부에 대한 초기 연구가 실시되었으나, 대부분 실내 실험 단계 머무르고 있음 - Graphene 소재는 우수한 물리적 특성으로 자동차 외장재, 반도체, 태양전지, 스마트폰 등 다양한 분야에 적용되고 있음 - Graphene은 탄소계열의 소재로 직경과 구조에 따라 반도체에서 도체까지 전기전도도의 조절이 가능 - 최근에는 Graphene을 콘크리트에 적용하여 자기발열 및 융설 시스템 구축에 대한 연구가 국내에서 수행된 바 있으나, 아스팔트 혼합물에 적용된 실적은 없음 - 국외에서는 Graphene을 적용한 아스팔트 혼합물에 대한 내구성능 향상이 확인된 바 있으며, 그 외에도 열전도성 물질로 아스팔트 혼합물에 적용 가능성이 확인됨 - 다만 Graphene의 경우, 대부분 고가의 소재로 인해 저가형의 Graphene 개발이 필요하며, 최근에는 페플라스틱, 음식물 등에서 저가형 Graphene 개발이 주목받고 있음
3. 연구내용	
	[세부기술 1] - 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재 개발 - 도로노면 결빙 방지를 위한 저가형 건설 신소재(이하 결빙 방지 신소재) 후보군 도출 - 결빙 방지 신소재별 물리적 및 화학적 특성을 분석하고 목표성능 도출을 통한 건설 전분야 및 도로분야 적용을 위하여 저가형 결빙 방지 신소재 제조 및 가공 원천기술(국산화) 개발 - 저가형 결빙 방지 신소재의 잠열, 열전도율 등 열물성 평가 및 최적화 - 현장 적용 활성화를 위한 양산 체계(안) 도출
4. 연구 추진방법	
□ 추진전략	- 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영 - 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항 - 환경적, 생물학적 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 재료의 안정성과 차량의 주행 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 재료의 원활한 공급과 생산을 위한 해당 산업 분야 종사자의 참여

	· 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등 · 국내외 선행 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립 - 도로 노면 결빙 방지 포장재료, 예방 체계와의 차별성 및 연계성 확보 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 현장의 실질적 적용을 위한 재료개발, 설계방법, 시공방법 및 유지보수를 포함하는 모든 단계의 요소 기술 및 절차 확보계획 수립 · 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진 · 결빙 방지 도로포장의 성능 평가를 위한 현장 또는 테스트 베드 구축을 통하여 실질적 평가 수행 · 프로세스의 완성도를 높이기 위하여 도로포장 설계법 및 생산과 시공 자침에 대하여 이해도가 높은 연구진 참여
□ 추진체계	· 연구과제 유형(연구수행체계) : 연구단 과제 · 산학연 공동연구로 구성, 원천소재 개발, 평가 및 검증기관 등 풍부한 연구경험과 역량을 극대화 할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 민간 기업체를 기술개발 주체로서 구성 · 건설용 저가용 신소재, 도로포장 적용 기법, 현장적용, 법·제도화 등 연구성과 극대화를 위한 세부별 연계성 명확히 제시 · 관계부처 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
5. 최종 성과물	· 저가형 도로노면 결빙 방지 건설신소재 · 도로노면 결빙 방지 신소재 성능 기준(안) 개발 · 저가형 도로노면 결빙 방지 건설신소재 제조 파일럿 설비 개발
6. 활용방안 및 기대효과	□ 활용방안 · 도로 노면 결빙 방지를 위한 건설용 저가형 신소재 및 적용 기법, 도로시스템 구축 및 시범사업을 통해 결빙 취약지점별 검증 체계 구축 · 도로노면 방지 도로시스템 겨울철 빈번하게 발생하는 미끄럼 사고를 예방할 수 있는 기술로서 미래 원천기술 확보를 통해 사고 방재(예방) 분야의 활용성 우수 - 도로노면 방지 도로시스템을 통하여 실용화 및 사업화가 체계적으로 이루어진다면 도로 관리 기관의 기술 전파를 통한 사고 예방 방재 기술로 활용 가능 · 다양한 신소재 원천기술 개발을 통하여 도로뿐만 아니라 주택 등 에너지원을 활용하는 모든 시설물로 저변 확대 가능 □ 기대효과 · 건설분야 복합신소재 국산화 및 저가형 소재 개발을 통한 미래사회변화를 선도할 국가차원의 소재개발 및 건설분야 응용 기술 확대 · 건설용 핵심소재에 대한 원천기술 확보를 통해 해외기술 의존도 해소 및 세계 최고 수준의 기술 경쟁력 확보 · 다양한 원천소재 기반 국산화를 통하여 도로포장 결빙 방지 포장 분야 기술 선도를 위한 발판 마련 · 도로포장 결빙 온도를 0~2℃에서 5℃이상으로 올려 노면 결빙 Zero화로 인한 교통사고를 현저히 저감 · 도로 결빙 방지 포장 시스템 구축을 통한 공용수명 확보 및 공용수명 동안 제설제 사

용량 10% 감소로 인한 국가 예산 절감 및 국민 안전 실현 • 도로 결빙 방지로 인한 겨울철 미끄럼 저항 향상으로 교통사고 예방이 가능하며, 온 도 균열 저감을 통한 포장 유지관리 비용 감소 및 국가 예산 절감 효과 증대 • 기존 도로 결빙 방지 포장 공법 대비 공용수명 10% 향상 및 친환경 비염화물 결 빙방지제 사용으로 도로포장 수명 20% 증대로 유지관리 비용 감소	
7. 연구기간 및 소요예산	
• 5년 / 50억	
8. 기타	

- [세부기술 9-2] 도로노면 결빙방지 시스템 성능 평가를 위한 테스트베드 구축 및 실/검증

[표 I-55] 세부기술 9-2 RFP

과제명	도로노면 결빙방지 시스템 성능 평가를 위한 테스트베드 구축 및 실/검증
1. 연구목표	• 도로노면 결빙 방지 성능 평가 및 실/검증 방안 개발 • 도로노면 살얼음 형성 및 미끄럼 저항 성능 평가를 위한 테스트베드 구축 • 도로노면 살얼음 환경모사 시스템 및 실증 시설 구축
2. 연구 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	• 전 세계적으로 이상기후로 인한 재난·재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이를 근본적으로 예방하기 위한 온실가스 감축이 국제적 이슈로 부상 도로는 정부 및 지자체에서 건설, 운영, 관리하는 대표적인 SOC 시설물로, 도로노면 결빙에 의한 사고는 도로이용자(국민)의 안전을 위협하는 요소 • 2019년 “도로 살얼음 사고예방 특별대책” 등 정부차원에서 도로노면 결빙 사고 방지를 위한 정책 드라이브 중 • 특히, 교량, 터널 진출입부는 도로노면 결빙에 매우 취약한 구간으로 도로노면 결빙 방지를 위한 근본대책 마련이 시급하며, • 정부차원에서 교통사고 관리 사각지대로 방치되고 있는 도로노면 결빙에 의한 사고 예방을 위해 근본적 해결방안 마련 필요 • 2019년 상주-영천 민자고속도로 사고(사상자 39명) 등 도로노면 결빙으로 인한 교통사고가 급증하고 있으며, 도로노면 결빙으로 인한 치사율(일반도로 1.79%, 결빙 구간 3%, 교통안전공단)은 일반도로에 비하여 치사율이 현저히 높은 실정 • 도로노면 결빙에 의한 사고는 최근 5년간 약 66백 건에 달하며, 눈길 사고 보다 1.8 배 높으며, 사망자도 약 3배에 달하는 실정 • 국토교통부는 도로노면 결빙으로 인한 사고 예방을 위해 취약구간을 확대 지정(기존 193개소→403개소)하고 위험구간에 대한 순찰 및 제설제 살포 강화하는 등 도로노면 결빙으로 인한 사고 방지를 위해 노력 중 • 도로노면 결빙 방지를 위해 사용되고 있는 제설제는 주로 염화물 성분으로 도로 구조물 손상, 미끄럼 저항성 약화, 주변 농지의 농작물 염화피해 등 문제점 내포

- 현재 도로 노면 결빙 방지를 위한 제설제 살포 기준은 기상청 기상 정보※를 기반으로 시행되고 있어, 노면 도로 결빙 방지 예방에 불확실성 내포
※ 대기온도 2℃이하, 비가 내리기 시작할 때, 어는 비(지표의 온도가 0℃이하일 때 내리는 비)가 내릴 때로 지정
- 도로노면 결빙으로 인한 사고 방지를 위해서는 능동/수동적 결빙 방지 포장 시스템 구축 시급
- 그간 도로노면 결빙에 대한 연구는 도로 살 얼음 형성 메커니즘, 취약구간 특성, 노면 결빙 구간 정보 취득 방법을 중심으로 이루어졌으며, 도로노면 결빙 방지에 대한 근본적인 대책과 관련된 연구는 미진한 실정

□ 기술동향

〈국내 기술 및 정책 동향〉

- 도로포장 융설 및 결빙 방지 시스템은 전기나 지열에너지를 이용하는 방법, 제설제를 이용하는 방법 등으로 구분될 수 있으나, 대부분 포장재료의 열전도율 등을 고려하지 않을 뿐만 아니라 유지관리비용(전력량)이 큼
 - 기존 기술들은 대부분 소재 및 재료적인 측면보다는 시설 및 인프라 중심으로 개발되어 막대한 초기 시공비가 투입되며, 매설하는 공법으로 환경하중(온도, 교통량 등)에 따른 파손 빈번하게 발생됨
 - 한국도로공사에서는 도로살얼음 예측 시스템 연구를 통하여 노면상태 측정 시스템(RWIS) 구축 및 제설시점/과다살포방지 등을 파악하고자 하였으나, 1지점당 0.5~1억 원이 소요되어 현실적으로 구축 어려움
- 국내 노면 흙 파기 시공법은 국내 환경에서의 실검증 없이 해외 기법을 도입, 적용하고 있는 실정으로, 노면 흙파기 시공방법의 효과성 및 국내 적용성 평가가 필요함
- 여타 결빙 방지 공법의 경우, 외부의 전기를 활용하는 기법이 주로 사용되고 있으나, 전기 사용량 급증에 따른 적용성에 대한 문제가 제기되고 있어 도로 주변의 환경에 맞는 방안 마련 필요
- 국토부에서는 「도로살얼음 사고예방 특별대책(2019.12.18.)」을 수립하기 위해 단계별 대책 마련을 추진 중에 있으며, 신속대책, 단기대책, 중장기 대책으로 추진 중에 있음
 - 단기 대책으로는 제설제 예비살포기준 강화, 취약구간 조명안내표시, 도로표면 흙파기 시공, 과속단속카메라 확충, 도로열선 시범설치운행을 실시하고 중장기 대책으로는 자동 염수분사장치 확대, 도로살얼음 발생정보 자동 수집기술 개발 등을 추진 중

〈국외 기술동향〉

- Grikol(러시아), Mafilon(독일), WinterPave(이탈리아), Verglimit(스위스) 등에서는 결빙방지를 위하여 활용되는 결빙방지재를 활용하고 있으나 염화물함량이 높아 도로 포장 및 구조물 열화 가속화와 미끄럼 저항 감소에 대한 문제 제기
- 최근 건설 선진국의 경우, 나노기술 등 신소재 기술의 적용으로, 건설산업 패러다임이 전환되고 있으며, 건설분야에서는 첨단나노 기술과 건설재료의 융합을 통한 차세대 건설재료 연구개발이 2000년대 중반부터 시작되고 있으나, 초기단계 수준으로 해외 기술에 비해 매우 낮은 수준
- 상변화 물질(Phase Change Material; PCM)은 주변의 온도변화에 따라 고체에서 액체 또는 액체에서 고체로 상(Phase)이 변할 때, 온도의 변화 없이 잠열(Latent Heat)의 형태로 자발적으로 열을 저장방출할 수 있는 에너지 저장 물질로서 노면 결빙을 예방할 수 있는 재료 활용될 가능성이 높아 관심을 받고 있음
 - 현재까지 PCM 물질은 건축물 열저장 매체로 활용하는 연구로서 과거 40년 동안 진행되어 왔으며, 건물에너지 성능을 증가시키는 결과를 확보함. 다만, 초기비용, 상전이 능력 열화, 부식성 등 부정적인 문제로 인한 시장 형성 어려움이 있으나 에너지 절감 효과 극대화를 위한 연구개발 추진 중

- 상변화물질을 건축재료에 적용하는 경우 잠열형태로 열을 저장하며, 상변화특성이 없는 일반 건축재료에 비해 약 20배 이상 열 저장능력 가짐
- PCM 물질은 시멘트 콘크리트 건설자재에 적용된 연구 및 사례는 존재하나 아스팔트 도로포장에 적용된 사례 및 포장체 내에서의 잠열 효과(효율성 등)에 대한 연구는 초기 단계임
- Graphene 소재의 건설분야 활용에 대한 연구는 강도증진, 전기적, 열적 기능 부여 여부에 대한 초기 연구가 실시되었으나, 대부분 실내 실험 단계 머무르고 있음
- Graphene 소재는 우수한 물리적 특성으로 자동차 외장재, 반도체, 태양전지, 스마트폰 등 다양한 분야에 적용되고 있음
- Graphene은 탄소계열의 소재로 직경과 구조에 따라 반도체에서 도체까지 전기전도도의 조절이 가능
- 최근에는 Graphene을 콘크리트에 적용하여 자기발열 및 융설 시스템 구축에 대한 연구가 국내에서 수행된 바 있으나, 아스팔트 혼합물에 적용된 실적은 없음
- 국외에서는 Graphene을 적용한 아스팔트 혼합물에 대한 내구성능 향상이 확인된 바 있으며, 그 외에도 열전도성 물질로 아스팔트 혼합물에 적용 가능성이 확인됨
- 다만 Graphene의 경우, 대부분 고가의 소재로 인해 저가형의 Graphene 개발이 필요하며, 최근에는 페플라스틱, 음식물 등에서 저가형 Graphene 개발이 주목받고 있음

3. 연구내용

[세부기술 4]

- 도로노면 결빙 방지 성능 평가를 위한 테스트 베드 구축 및 실/검증
- 도로노면 결빙 방지 성능 평가 및 실/검증 방안 개발
- 도로노면 살얼음 형성 및 미끄럼 저항 성능 평가를 위한 테스트베드 구축
- 도로노면 살얼음 환경모사 시스템 및 실증 시설 구축

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

- 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영
- 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항
 - 환경적, 생물학적 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여
 - 재료의 안정성과 차량의 주행 안정성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여
 - 재료의 원활한 공급과 생산을 위한 해당 산업 분야 종사자의 참여
- 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등
- 국내외 선행 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립
 - 도로 노면 결빙 방지 포장재료, 예방 체계와의 차별성 및 연계성 확보
- 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정
- 현장의 실질적 적용을 위한 재료개발, 설계방법, 시공방법 및 유지보수를 포함하는 모든 단계의 요소 기술 및 절차 확보계획 수립
- 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진
- 결빙 방지 도로포장의 성능 평가를 위한 현장 또는 테스트 베드 구축을 통하여 실질적 평가 수행

	프로세스의 완성도를 높이기 위하여 도로포장 설계법 및 생산과 시공 지침에 대하여 이해도가 높은 연구진 참여
□ 추진체계	- 연구과제 유형(연구수행체계) : 연구단 과제 - 산학연 공동연구로 구성, 원천소재 개발, 평가 및 검증기관 등 풍부한 연구경험과 역량을 극대화 할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 민간 기업체를 기술개발 주체로서 구성 - 건설용 저가용 신소재, 도로포장 적용 기법, 현장적용, 법·제도화 등 연구성과 극대화를 위한 세부별 연계성 명확히 제시 - 관계부처 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
5. 최종 성과물	
	도로노면 결빙 방지 시스템 성능평가를 위한 실/검증 Test-bed 구축
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	- 도로 노면 결빙 방지를 위한 건설용 저가형 신소재 및 적용 기법, 도로시스템 구축 및 시범사업을 통해 결빙 취약지점별 검증 체계 구축 - 도로노면 방지 도로시스템 겨울철 빈번하게 발생하는 미끄럼 사고를 예방할 수 있는 기술로서 미래 원천기술 확보를 통해 사고 방재(예방) 분야의 활용성 우수 - 도로노면 방지 도로시스템을 통하여 실용화 및 사업화가 체계적으로 이루어진다면 도로 관리 기관의 기술 전파를 통한 사고 예방 방재 기술로 활용 가능 - 다양한 신소재 원천기술 개발을 통하여 도로뿐만 아니라 주택 등 에너지원을 활용하는 모든 시설물로 저변 확대 가능
□ 기대효과	- 건설분야 복합신소재 국산화 및 저가형 소재 개발을 통한 미래사회변화를 선도할 국가차원의 소재개발 및 건설분야 응용 기술 확대 - 건설용 핵심소재에 대한 원천기술 확보를 통해 해외기술 의존도 해소 및 세계 최고 수준의 기술 경쟁력 확보 - 다양한 원천소재 기반 국산화를 통하여 도로포장 결빙 방지 포장 분야 기술 선도를 위한 발판 마련 - 도로포장 결빙 온도를 0~2℃에서 5℃이상으로 올려 노면 결빙 Zero화로 인한 교통사고를 현저히 저감 - 도로 결빙 방지 포장 시스템 구축을 통한 공용수명 확보 및 공용수명 동안 제설제 사용량 10% 감소로 인한 국가 예산 절감 및 국민 안전 실현 - 도로 결빙 방지로 인한 겨울철 미끄럼 저항 향상으로 교통사고 예방이 가능하며, 온도 균열 저감을 통한 포장 유지관리 비용 감소 및 국가 예산 절감 효과 증대 - 기존 도로 결빙 방지 포장 공법 대비 공용수명 10% 향상 및 친환경 비염화물 결빙방지제 사용으로 도로포장 수명 20% 증대로 유지관리 비용 감소
7. 연구기간 및 소요예산	
	5년 50억
8. 기타	

■ [핵심과제 10] 친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술개발

[표 I-56] 핵심과제 10 RFP

과제명	친환경 공해저감 도로포장 및 모니터링 기술개발
1. 연구목표	· 빅데이터 기반의 도로포장 전주기 공해 모니터링 솔루션 제공 · 열섬현상이 20% 저감되는 디지털트윈 기반의 도로포장 기술 개발 · 소음이 20% 저감되는 도로포장 기술 및 도로시설물 개발
2. 연구 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발의 필요성 · 코로나19 팬데믹에 대응하기 위한 “디지털 뉴딜”과 “그린 뉴딜” 정책이 적극 추진되고 있으며 ICT 기반의 디지털화와 저탄소, 친환경 경제기반으로 전환되고 있음 · 환경에 대한 책임의식 확대와 삶의 질생활 쾌적성에 대한 수요 증가 · 환경위기 및 기후변화 인식 확대로 국민의 환경에 대한 인식 증가하면서 환경오염을 줄이기 위한 개인과 기업의 노력도 증가 · 최근 ‘친환경 생활에 대한 인식과 현황’에 대한 설문조사에서는 응답자의 75.4%가 친환경 생활이 필수라고 답했고, 응답자의 연령이 낮을수록 필수라고 답한 비중이 높게 나타남 · 사회적 비용 저감새로운 부가가치 창출을 위한 ‘환경 친화적인’ 도로포장재료 개발 필요 · 기술경쟁력 확보를 위한 정책수요 등 도로 인프라의 포장재료 부문의 디지털화, 친환경 등 혁신 수요 증가(새로운 성능 개념의 기술개발 요구) · 교통량 증가 및 기후변화 등의 환경변화에 의한 교통공해(미세먼지, 소음 등)로 친환경 산업에 대한 산업관심이 높아지면서 관련 기술개발에 대한 수요가 빠르게 증가 · 환경 친화적 도로 인프라의 혁신과 포장재료 혁신 기술개발로 차세대 도로 인프라의 기술경쟁력 확보 및 사회환경적 문제 대응 필요 · 친환경 도로포장을 제공하기 위한 전략을 마련하려면 우선 도로에서 기인한 공해의 현황을 파악해야 함. 현재는 공해를 정량적으로 모니터링하거나 수준을 나타낼 수 있는 지표가 마련되어 있지 않음 · 다양한 방식으로 도로, 재료생산 플랜트, 시공시 공해를 모니터링하고 수준을 판단하도록 해야함 · 친환경 도로포장을 제공하기 위한 전략을 마련하려면 우선 도로에서 열섬을 저감할 수 있는 기술과 소음을 줄일 수 있는 기술을 개발해야함 · 도로의 공해 중 대표적인 소음 및 열섬을 가시화하고 분석할 수 있는 기술을 마련한다면 다른 형태의 공해도 파급효과를 발휘 할 수 있음 · 개발된 기술을 운영 중인 각 지자체 도로 및 일반국도, 플랜트 등에 구축 하는 것은 현재 추진되고 있는 “디지털 뉴딜”과 “그린 뉴딜”의 한 축이 될 것임. ☐ 기술동향 〈국내외 연구현황〉 · 도로의 포장재료 부문에서는 주로 도로 수명연장 및 환경오염 저감을 위한 다양한 기술개발을 진행 중, 이는 지속적으로 기술적 한계 극복 및 성능향상을 위해 연구해야할 영역 · 도로의 공해 중 미세먼지를 저감하기위해 ‘도로 미세먼지 저감기술개발 및 실증연

구'를 수행중, 도로변 미세먼지 발생 모니터링, 제거를 위한 기능성 재료 및 도로 인프라 적용 기술개발 진행 중, 이와 함께 저비용 고성능 광촉매를 활용한 미세먼지 저감 건설기술 개발(오염이슈)이 진행 중

- 도로의 공해를 지점방식으로 모니터링하고 나타내는 방법은 GIS 보간방법을 활용하는데 IDW(Inverse Distance Weighted)와 Kriging 방법이 대표적이고 다양한 데이터 기반의 공간 예측 방법이 마련되어 있음
- 도로 열섬 공해에 대한 모니터링은 열화상카메라를 활용하여 측정하는 기술에 대해 가능성은 검토되었으나 체계적인 모니터링 시스템에 의해 모니터링된 사례는 아직 없음.
- '19년 'RSBS 복층 저소음 배수성 포장' 기술이 도로 교통 소음을 일반 도로보다 평균 10dB 이상 저감하는 것으로 확인 (복층 저소음 포장 기술은 상부에 8mm의 작은 골재, 하부에 13mm의 큰 골재를 포설해 복층 구조를 만드는 기술. 일반 아스팔트 도로 포장에 비해 높은 공극률로 소음을 감소)
- [독일] Roads in the 21st century의 Low-emission영역에서는 최적화된 포장 도로 설계를 통해 교통소음 감소와 오염물질의 분해 및 보존기술을 표준건설유형에 통합하는 등 운송에 의한 탄소 배출량을 최소화하기 위한 연구개발을 지원함
- [독일] Inno-Pave 프로젝트에서는 기존 도로마감재 소음감소 노면층의 음향특성을 초과하여 영구적인 소음감소 효과를 달성하는 것을 목표로 폴리머 기반 섬유소재를 사용하여 다층노면 레이어를 구현, 일정한 조건에서 생산 가능한 포장재를 개발
- [미국] 도시열섬에 대해서는 주로 알베도(반사율)에 대한 영향평가가 주된 연구임 도로의 반사율을 증가시키는 것과 녹지율을 증가시키는 것의 효과를 비교하였음
- [일본] 도쿄 일대를 대상으로 토지 이용에 따른 열섬의 형성에 대해 수치모델을 이용하여 검토하였고, 열섬저감에 따른 도시 규모에서의 기온 저감 효과에 대해서 평가함

〈국내외 도로 공해 모니터링 정책 동향〉

- 국내 환경정책기본법에서도 총 10개(SO₂, NO₂, O₃, CO, 총먼지, HC, Pb, 벤젠, PM₁₀, PM_{2.5})에 대한 대기환경오염 기준치를 제시하고 대기오염 자동측정망을 구축하여 운영 중
- 환경부에서는 대기오염측정망 설치운영에 관한 지침을 기준으로 도시 및 도로변 대기측정소를 구축하고 에어코리아(www.airkorea.co.kr)에서 모든 데이터를 통합 관리 및 운영중
- 미국 EPA의 청정공기법(Clean Air Act, CAA)에서는 대기오염물질 6개(SO₂, NO₂, O₃, CO, Pb, 부유분진(1997년 PM₁₀, PM_{2.5} 추가))에 대한 연방대기질기준(National Ambient Air Quality Standards, NAAQS)으로 설정
- 세계보건기구[WHO]에서는 일산화탄소, 납, 이산화질소, 오존, 이산화황 에대한 오염기준과 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 등의 공해 기준을 제시하고 있음.
- 영국은 주로 부유물질 및 aerosol에 해당하는 PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0} 집중측정하며, 국내와 같이 도시대기측정소 24개, 도로변대기 8개 구축운영 중임
- 호주는 국내와 동일한 항목을 측정하고 있으며, 신규 건설된 도로, 유지보수한 도로, 유지보수 없는 도로 3개의 타입으로 분류하고 도로변 대기 측정소를 구축운영하고 있다. 유사한 지역의 뉴질랜드에서는 건축물, 터널, 차량으로 분류하여 PM₁₀, PM_{2.5}를 포함한 총먼지(Total Suspended Particulate, TSP)를 측정하고 터널 및 차량(도로)에서는 NO_x와 같이 가스상 전구물질 측정 관리함
- 필리핀에서는 교통량이 많은 구간에 고정식 미세먼지 측정소 설치운영 중에 있으며, PM₁₀~PM₁까지의 미세먼지를 측정·관리하고 있다. 그림 2.6은 필리핀 수도

마닐라의 도로변 대기측정소를 나타내며, 그림에서와 같이 출퇴근 등 차량이 많은 시간대에 미세먼지 발생량이 증가되는 것을 나타냄

- 중국에서는 2012년 대기오염물에 대한 기준 및 항목 구체화하였으며, 교통량이 많은 구간에서는 (초)미세먼지(PM10, PM2.5) 및 NO2, Pb, 벤젠피렌 농도 기준 강화하였다. 중국 상하이에서는 “포스트 엑스포 비산먼지 오염 모니터링 관리 시스템을 구축 운영”하고 있으며, 국내 도로변 대기측정 항목과 측정 기준이 유사함
- 소음에 대한 모니터링 방법은 많은 선행 연구가 수행됨. 1990년대 이후 EU에서는 ERGA-NOISE그룹이 연구를 지속해 왔으며(1992-1995), ISO(ISO/TC 31/WG3)의 초안이 개발되었고, 현재 국제적으로 통용되고 있는 대표적인 도로 교통소음 측정방식으로는 6가지 방식이 있으며, Coast-By (CB), Close-Proximity (CPX), Laboratory Drum (DR), Trailer Coast-By (TCB), Statistical Pass-By (SPB), Controlled Pass-By (CPB)가 여기에 해당함

〈국내외 도로 공해 관련 정책 동향〉

- 과거 90년대 유럽국가와 일본 등은 도로변에 방음벽을 설치하는 방법의 교통소음 정책을 수립하였으나 실질적인 효과가 없었음. 그 후 적극적인 정책을 추진하고 있음. 도로 소음정책은 유럽환경청(EEA, European Environmental Agency) 중심으로 이루어져 구역에 따른 소음 제한(예:주거지역 59/49(낮/밤), 병원 57/47 등) 정책을 펼쳐옴. 장래에는 EU Noise Policy Working Group을 통해 이루어질 것임
- 영국은 경기회복 방안 추진의 일환으로 도로 확장 및 재포장 등에 예산을 확대, 안전, 효율, 지속가능 도로 구현을 위해 RIS(Road Investment Strategy)을 수립 그 중 도로네트워크에서의 소음 피해 90% 이상 감소하는 것이 목표임.

〈국내외 디지털 트윈 관련 동향〉

- 2020년 디지털 트윈 관련 예산 1,199억 증액
- (과기정통부) 5G 기반 디지털 트윈 공공선도 및 5G·AI기반 스마트SOC 프로젝트 160억(신규사업) 인공지능 중심 산업융합 집적단지 조성 626억(신규사업) 증가
- (국토교통부) 디지털 트윈기반의 예측 및 능동대처가 가능한 화재재난지원 통합플랫폼 기술개발(R&D) 8억(신규사업) 증감 및 스마트시티 기반구축(스마트시티 통합플랫폼 기반구축) 185억으로 전년 대비 92억 증가
- (중소벤처기업부) AI기반 고부가 신제품 기술개발로 정부 R&D예산이 155억원, 빅데이터 기반 서비스 개발 65억원이 신규로 증가(2019.12)
- (싱가포르) 버추얼 싱가포르를 추진하기 위해 싱가포르 국립연구재단(NRF)을 중심으로 싱가포르 토지관리국(SLA)과 정보통신개발청(IDA)이 함께 개발하였으며, 총 예산은 3년에 걸쳐 약 1,000억원을 투입하였음

3. 연구내용

[세부기술 1]

- 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼
- 포장재료의 공해의 모니터링 플랫폼의 로드맵 수립
 - 국내외 연구 및 기술동향 분석
 - 생산 플랜트, 시공현장 및 운영중인 도로와 연계 방안 마련
 - 전문가 협의체 구성
- 포장재료에 기인한 공해의 모니터링용 엷지 컴퓨팅 디바이스 개발
 - 수집 데이터 선정(P.M, VOC, 열섬, 소음 등)

- 통신프로토콜 등 플랫폼과 연계- 데이터 수집/전송 소프트웨어 및 하드웨어 개발
- 유즈케이스별(지점, 차량, 플랜트) 디바이스 설계
- 클라우드 기반 포장 전주기 공해 모니터링 플랫폼 설계
 - 공해 모니터링 플랫폼 아키텍처 설계
 - 공해 빅데이터 분산처리 기술 개발
 - 데이터 API 설계
- 관리자용 및 사용자용 대시보드 설계
- 공해 모니터링 플랫폼 테스트베드 구축 및 실증
 - 도로포장 공해 저감 기술의 효과 검증 및 모니터링
 - 공해 모니터링 플랫폼 운영 가이드라인 개발
- 지점방식(SPB) 도로변 공해의 모니터링 기술
- 도로변 공해 모니터링 기술 동향 분석
 - 국내외 연구 및 기술동향 분석
 - SPB 방법의 데이터 수집 및 분석 방법
 - 고정형 데이터 수집 시스템 관련 기술 분석
- 지점방식 모니터링의 공해 분석 알고리즘 개발
 - 도로변 공해 특성 정의(P.M, VOC, 열섬, 소음 등)
 - 모니터링의 활용 시나리오 수립
 - 지점간 정보 연계 방법
 - 지점방식의 공해 지표 개발
- 도로변 공해 모니터링의 실증구간 구축
 - 기후 관련 인자 보정 기술 개발
 - 도로변 공해 데이터셋 제작 및 배포
 - 수집 음영구간 보완 방법 마련
- 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술
- 프로브카 방식의 도로 공해 모니터링 기술 동향 분석
 - 국내외 연구 및 기술동향 분석
 - 도로 형태, 구간별 공해 관련 특성 도출
 - 이동형 데이터 수집 시스템 관련 기술 분석
- 프로브카 방식으로 수집한 데이터의 도로공해 분석 알고리즘 개발
 - 활용 시나리오 수립
 - 데이터 분석 알고리즘 개발
 - 프로브카 방식의 공해 지표 개발
 - 데이터와 공간의 매핑기술 개발
- 프로브카 프로토타입 제작 및 실증
 - 주행조건 자동 Calibration 기술 개발
 - 프로브카 기반 데이터셋 제작 및 배포
 - 결측데이터 처리방법 마련
- 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술
- 포장재료 생산 및 도로시공현장의 공해 모니터링 관련 기술 동향 분석
 - 국내외 연구 및 기술동향 분석
- 플랜트발생 공해의 모니터링 전략 수립
 - 플랜트발생 공해의 정의 및 공해 물질 선정
 - 재료생산의 공해지표 설정
 - 데이터 이상치 분석 기술 개발

- 포장건설현장의 공해 모니터링 전략 수립
 - 시공시 발생 공해의 정의 및 공해 물질 선정
 - 포장시공의 공해지표 설정
- 플랜트의 공해 모니터링 실증
 - 플랜트의 공해 모니터링 지침 개발
- 포장건설현장의 공해 모니터링 실증
 - 건설 현장의 공해 가시화 기술개발
 - 건설 현장의 공해 모니터링 가이드라인 개발

[세부기술 2]

- 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS(Discrete Pavement System)
- DPS 설계 및 시공 기본 방침 제정
 - DPS 구조 설계 지침 개발(투수성, 불투수성)
 - 투수성 DPS 수문학적 역할 분석 및 적용
 - DPS 설계, 시공, 유지보수 가이드라인 작성
- DPS 포장 구성 요소별 관련 기술 개발
 - DPS 설치장소 및 규격에 대한 정의
 - DPS 포장 불연속면 맞물림 효과 향상을 위한 기술 개발
 - 저속유도용 DPS 포장기술 개발 및 효과 검증 인자 도출
 - 유실 방지를 위한 받침 및 충전재, 틈새 재료 관련 기술 개발
 - 다공성 및 재활용 기층재료를 이용한 DPS 포장 배수성능 개선 및 설계 기술 개발
 - 포장설치 장소의 현황 및 시인성, 주목성을 고려한 표면디자인 개발
- Smart 생산, Zero Delay 시공 및 유지관리 기술 구축
 - DPS 포장 Smart 생산 기술 개발
 - DPS 포장 쾌속 시공 방법 및 기계화 시공 Packing system, 자동화 시공장비 개발
 - DPS 포장 상태지수 및 유지관리기준 개발
- 안정성 향상을 위한 DPS 포장 설계 기법 개발
 - DPS 포장 시스템 설계 방법 개발
 - DPS 포장의 장기공용성(LTPP) 및 효과 분석을 위한 Test-bed 운영
- 디지털 트윈 기반의 도로포장의 열섬현상 영향분석방법 개발
- 도로포장의 열섬현상 분석 개발을 위한 로드맵 수립
 - 도로포장의 열역학적 물성과 도심 환경 조건의 표준화
 - 열섬현상에 대한 도로포장 재료와 형식의 영향 평가를 위한 표준 도심 조건 제시
- 도로포장의 열섬현상 수치해석 모형 개발
 - 표준화 조건에서의 열섬현상 시뮬레이션을 위한 수치해석 모형
 - 단순화된 조건에서의 도로포장 재료와 형식의 열섬현상 지배인자 평가
 - 전도, 대류, 복사 및 공극률 및 도로포장 배수 특성 등을 반영한 다물리 기반 수치해석 모형 개발
- 디지털 트윈 기반의 도로포장 열섬현상 분석 시뮬레이션 개발
 - 실제 도로정보 기반의 열섬현상 시뮬레이션 알고리즘
 - 디지털트윈 시스템 아키텍처 설계
 - BIM-열섬 시뮬레이션 연계 정보 제공 기술 개발
 - 열섬 데이터 시각화 및 분석 기술 고도화
- 도로포장의 열섬현상 저감 효과 평가
 - 실증 테스트베드구간 선정을 통한 도심부 열섬현상 분석
 - 열섬 저감을 위한 도로포장 구조와 형식별 비교 평가

- 전형적 도심부 모형에 대한 열섬현상 저감 도로의 영향의 정량적 평가
- 고성능 도로포장재료 기반의 저소음 도로기술 개발
- 저소음 도로기술 관련 연구동향 분석
 - 국내외 연구 및 기술동향 분석
- 도로 소음 3D 분석 및 시뮬레이션 기술 개발
 - 한국형 3D 소음시뮬레이션 소음 예측 모델 개발
 - 능동형 소음제어(ANC) 고도화 기술 개발
- 초경량 저비용 도로시설물 개발
 - 초경량, 저비용 방음벽 및 방음터널 기술 개발
 - 소음 저감형 흡음 도로시설물 개발
- 고내구성 저소음포장재료 개발
 - 고내구성 바인더 개발
 - 저소음 골재배합설계 기술 개발
 - 설계유지관리 가이드라인 개발
- 도로소음 통합 솔루션 제공
 - 소음대책 시설의 단장기 성능평가 및 인증 시스템 개발
 - 도로소음 통합솔루션 가이드라인 개발

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

- 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영
- 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항
 - 모니터링관련 계측 및 클라우드 플랫폼 관련분야 전문가 참여
 - 지표(Index) 의 체계적인 수립을 위해 표준화 전문가 참여
 - 재료의 성능과 내구성성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여
 - 데이터-분석-시뮬레이션-가시화를 연계할 수 있는 디지털트윈 전문가 참여 등
- 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등
- 국내외 선행 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립
 - 클라우드 기반의 플랫폼, 열섬저감기술, 소음저감기술의 차별성 및 연계성 확보
- 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정
- 기술 로드맵 수립 및 WBS(Work Breakdown Structure)에 의한 체계적인 연구수행을 추진
- 현장의 실질적 적용을 위한 재료개발, 설계방법, 시공방법 및 유지보수를 포함하는 모든 단계의 요소 기술 및 절차 확보계획 수립
- 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진
- 오염저감 도로포장의 성능 평가를 위한 현장 또는 테스트 베드 구축을 통하여 실질적 평가 수행
- 프로세스의 완성도를 높이기 위하여 도로포장 설계법 및 생산과 시공 지침에 대하여 이해도가 높은 연구진 참여
- 기술수요자인 고속도로, 국도, 지방자치단체 등의 도로관리자를 섭외하여 기술 개발의 실효성 확보에 주력

□ 추진체계

- 도로의 공해를 저감하는 목표를 달성하기 위해 2개의 세부과제와 7개의 구성기술로 구성된 185억 규모의 사업 특성을 고려하여 산학연 전문가로 구성된 연구단 형태로 추진
- 첨단기술 기반의 모니터링을 통한 지표 수립을 통한 오염 저감 성능의 정량화 및 가시화를 추진하여 국내외 선행 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립
- 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정
- 각 구성기술의 연구진행 내용에 대하여 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회 구축을 통해 연구추진 성과의 정확성을 높임
- 고속도로, 일반국도 등 주요 기판과 긴밀한 협력을 통해 수요자 중심의 기술개발 수행
- 해외 주요 기관 및 전문가와 협력 추진

5. 최종 성과물

[세부기술 1]

- 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼
- 포장재료에 기인한 공해의 모니터링용 엣지 컴퓨팅 디바이스
- 클라우드 기반 포장 전주기 공해 모니터링 플랫폼
- 공해 정보 연계를 위한 API
- 공해 모니터링 플랫폼 운영 가이드라인
- 지점방식(SPB) 도로변 공해의 모니터링 기술
- 지점방식 모니터링의 도로 공해 분석 알고리즘
- 지점방식 도로 공해 지표(Index)
- 도로변 공해 데이터셋
- 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술
- 프로브카 방식의 도로 공해 분석 알고리즘
- 프로브카 프로토타입
- 이동수집형 도로 공해 지표(Index)
- 주행조건에 따른 자동 Calibration 알고리즘
- 프로브카 기반 도로 공해 데이터셋
- 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술
- 재료 생산의 공해 지표(Index)
- 포장 시공의 공해 지표(Index)
- 포장재료 생산 및 시공 현장의 공해 모니터링 가이드라인

[세부기술 2]

- 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS(Discrete Pavement System)
- DPS 설계, 시공 및 유지관리 가이드라인
- DPS 포장 시제품
- DPS 포장용 받침, 충전재 및 틈새재료 시제품
- DPS 포장 기계화 시공 장비 프로토타입
- 디지털 트윈 기반의 도로포장의 열섬현상 영향분석방법 개발
- 도로포장의 열섬현상 시뮬레이션 알고리즘
- 열섬현상 시뮬레이션 소프트웨어
- BIM-열섬 연계 및 가시화 소프트웨어
- 고성능 도로포장재료 기반의 저소음 도로기술 개발
- 도로 소음 3D 분석 알고리즘
- 도로 소음 시뮬레이션 소프트웨어

· 초경량 저비용 방음벽 시제품 · 고내구성 저소음포장재료 프로토타입 · 도로소음 통합 솔루션 가이드라인	
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	· 도로 포장의 전주기 모니터링 플랫폼과 공해지표(Index)를 기반으로 하여 도로에서 기인한 공해를 저감하여 쾌적한 도심지 환경을 만들 수 있도록 활용함 · 구축된 다양한 공해 정보 데이터셋을 공개하여 다양한 분야에 기초 연구자료로 제공 · 도로포장 분야의 저공해 기여를 위한 핵심 요소로 활용 · 도심지의 오염을 저감, 특히 열섬현상과 소음 저감의 핵심 수단으로 활용 · 디지털 트윈으로 가상화된 도로의 공해정보를 활용하여 도로의 쾌적성을 관리할 수 있음
□ 기대효과	· 실도로에 기반한 공해 가시화, 생산-시공 과정에서의 투명한 공해정보 제공을 통해 공해에 대한 경각심에 따른 저감 효과를 기대 · 도로 포장의 전주기 모니터링 플랫폼과 공해지표(Index)를 기반으로 하여 도로에서 기인한 공해를 저감하여 쾌적한 도심지 환경 구축 · 고품질의 도로를 제공하여 국민에게 쾌적한 국토 공간을 제공할 수 있음 · 오염이 저감된 포장기술의 도입을 통해 도심지 및 도로기인한 오염의 저감 효과를 기대 · 도로 운영시 고려해야할 인자로 오염도를 추가하여 정량적으로 관리할 수 있고, 디지털 트윈 기반의 기술을 통한 분석으로 예방적인 대응을 가능하게 함.
7. 연구기간 및 소요예산	
	· 5년 185억
8. 기타	

● [세부기술 10-1] 빅데이터 기반의 포장 전주기 공해발생 모니터링 기술 개발

[표 I-57] 세부기술 10-1 RFP

과제명	빅데이터 기반의 포장 전주기 공해발생 모니터링 기술 개발
1. 연구목표	· 빅데이터 기반의 도로포장 전주기 공해 모니터링 솔루션 제공 - 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼 개발 - 지점방식(SPB) 도로변 공해의 모니터링 기술 개발 - 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술 개발 - 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술 개발
2. 연구 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	· 코로나19 팬데믹에 대응하기 위한 “디지털 뉴딜”과 “그린 뉴딜” 정책이 적극 추진되고 있으며 ICT 기반의 디지털화와 저탄소, 친환경 경제기반으로 전환되고 있음 · 환경에 대한 책임의식 확대와 삶의 질생활 쾌적성에 대한 수요 증가

- 환경위기 및 기후변화 인식 확대로 국민의 환경에 대한 인식 증가하면서 환경오염을 줄이기 위한 개인과 기업의 노력도 증가
- 최근 ‘친환경 생활에 대한 인식과 현황’에 대한 설문조사에서는 응답자의 75.4%가 친환경 생활이 필수라고 답했고, 응답자의 연령이 낮을수록 필수라고 답한 비중이 높게 나타남
- 사회적 비용 저감새로운 부가가치 창출을 위한 ‘환경 친화적인’ 도로포장재료 개발 필요
- 기술경쟁력 확보를 위한 정책수요 등 도로 인프라의 포장재료 부문에의 디지털화, 친환경 등 혁신 수요 증가(새로운 성능 개념의 기술개발 요구)
- 교통량 증가 및 기후변화 등의 환경변화에 의한 교통공해(미세먼지, 소음 등)로 친환경 산업에 대한 산업관심이 높아지면서 관련 기술개발에 대한 수요가 빠르게 증가
- 환경 친화적 도로 인프라의 혁신과 포장재료 혁신 기술개발로 차세대 도로 인프라의 기술경쟁력 확보 및 사회적환경적 문제 대응 필요
- 친환경 도로포장을 제공하기 위한 전략을 마련하려면 우선 도로에서 기인한 공해의 현황을 파악해야 함. 현재는 공해를 정량적으로 모니터링하거나 수준을 나타낼 수 있는 지표가 마련되어 있지 않음.
- 다양한 방식으로 도로, 재료생산 플랜트, 시공시 공해를 모니터링하고 수준을 판단하도록 해야함
- 개발된 기술을 운영 중인 각 지자체 도로 및 일반국도, 플랜트 등에 구축 하는 것은 현재 추진되고 있는 “디지털 뉴딜”의 한 축이 될 것임

□ 기술동향

〈국내외 연구현황〉

- 도로의 포장재료 부문에서는 주로 도로 수명연장 및 환경오염 저감을 위한 다양한 기술개발을 진행 중, 이는 지속적으로 기술적 한계 극복 및 성능향상을 위해 연구해야할 영역
- 도로의 공해 중 미세먼지를 저감하기위해 ‘도로 미세먼지 저감기술개발 및 실증연구’를 수행중, 도로변 미세먼지 발생 모니터링, 제거를 위한 기능성 재료 및 도로 인프라 적용 기술개발 진행 중, 이와 함께 저비용 고성능 광촉매를 활용한 미세먼지 저감 건설기술 개발(오염이슈)이 진행 중
- 도로의 공해를 지점방식으로 모니터링하고 나타내는 방법은 GIS 보간방법을 활용하는데 IDW(Inverse Distance Weighted) 와 Kriging 방법이 대표적이고 다양한 데이터 기반의 공간 예측 방법이 마련되어 있음
- 도로 열섬 공해에 대한 모니터링은 열화상카메라를 활용하여 측정하는 기술에 대해 가능성은 검토되었으나 체계적인 모니터링 시스템에 의해 모니터링된 사례는 아직 없음

〈국내외 도로 공해 모니터링 정책 동향〉

- 국내 환경정책기본법에서도 총 10개(SO₂, NO₂, O₃, CO, 총먼지, HC, Pb, 벤젠, PM₁₀, PM_{2.5})에 대한 대기환경오염 기준치를 제시하고 대기오염 자동측정망을 구축하여 운영 중
- 환경부에서는 대기오염측정망 설치운영에 관한 지침을 기준으로 도시 및 도로변 대기측정소를 구축하고 에어코리아(www.airkorea.co.kr)에서 모든 데이터를 통합 관리 및 운영중
- 미국 EPA의 청정공기법(Clean Air Act, CAA)에서는 대기오염물질 6개(SO₂, NO₂, O₃, CO, Pb, 부유분진(1997년 PM₁₀, PM_{2.5} 추가))에 대한 연방대기질기준

(National Ambient Air Quality Standards, NAAQS)으로 설정

- 세계보건기구[WHO]에서는 일산화탄소, 납, 이산화질소, 오존, 이산화황 에대한 오염기준과 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 등의 공해 기준을 제시하고 있음.
- 영국은 주로 부유물질 및 aerosol에 해당하는 PM10, PM2.5, PM1.0 집중측정하며, 국내와 같이 도시대기측정소 24개, 도로변대기 8개 구축운영 중임
- 호주는 국내와 동일한 항목을 측정하고 있으며, 신규 건설된 도로, 유지보수한 도로, 유지보수 없는 도로 3개의 타입으로 분류하고 도로변 대기 측정소를 구축운영하고 있다. 유사한 지역의 뉴질랜드에서는 건축물, 터널, 차량으로 분류하여 PM10, PM2.5를 포함한 총먼지(Total Suspended Particulate, TSP)를 측정하고 터널 및 차량(도로)에서는 NOx와 같이 가스상 전구물질 측정 관리함
- 필리핀에서는 교통량이 많은 구간에 고정식 미세먼지 측정소 설치운영 중에 있으며, PM10~PM1까지의 미세먼지를 측정·관리하고 있다. 그림 2.6은 필리핀 수도 마닐라의 도로변 대기측정소를 나타내며, 그림에서와 같이 출퇴근 등 차량이 많은 시간대에 미세먼지 발생량이 증가되는 것을 나타냄
- 중국에서는 2012년 대기오염물에 대한 기준 및 항목 구체화하였으며, 교통량이 많은 구간에서는 (초)미세먼지(PM10, PM2.5) 및 NO2, Pb, 벤젠피렌 농도 기준 강화하였다. 중국 상하이에서는 “포스트 엑스포 비산먼지 오염 모니터링 관리 시스템을 구축 운영”하고 있으며, 국내 도로변 대기측정 항목과 측정 기준이 유사함
- 소음에 대한 모니터링 방법은 많은 선행 연구가 수행됨. 1990년대 이후 EU에서는 ERGA-NOISE그룹이 연구를 지속해 왔으며(1992-1995), ISO(ISO/TC 31/WG3)의 초안이 개발되었고, 현재 국제적으로 통용되고 있는 대표적인 도로 교통소음 측정방식으로는 6가지 방식이 있으며, Coast-By (CB), Close-Proximity (CPX), Laboratory Drum (DR), Trailer Coast-By (TCB), Statistical Pass-By (SPB), Controlled Pass-By (CPB)가 여기에 해당함

3. 연구내용

- 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼
 - 포장재료의 공해의 모니터링 플랫폼의 로드맵 수립
 - 국내외 연구 및 기술동향 분석
 - 생산 플랜트, 시공현장 및 운영중인 도로와 연계 방안 마련
 - 전문가 협의체 구성
 - 포장재료에 기인한 공해의 모니터링용 엷지 컴퓨팅 디바이스 개발
 - 수집 데이터 선정(P.M, VOC, 열섬, 소음 등)
 - 통신프로토콜 등 플랫폼과 연계- 데이터 수집/전송 소프트웨어 및 하드웨어 개발
 - 유즈케이스별(지점, 차량, 플랜트) 디바이스 설계
 - 클라우드 기반 포장 전주기 공해 모니터링 플랫폼 설계
 - 공해 모니터링 플랫폼 아키텍처 설계
 - 공해 빅데이터 분산처리 기술 개발
 - 데이터 API 설계
 - 관리자용 및 사용자용 대시보드 설계
 - 공해 모니터링 플랫폼 테스트베드 구축 및 실증
 - 도로포장 공해 저감 기술의 효과 검증 및 모니터링
 - 공해 모니터링 플랫폼 운영 가이드라인 개발
- 지점방식(SPБ) 도로변 공해의 모니터링 기술
 - 도로변 공해 모니터링 기술 동향 분석

- 국내외 연구 및 기술동향 분석
- SPB 방법의 데이터 수집 및 분석 방법
- 고정형 데이터 수집 시스템 관련 기술 분석
- 지점방식 모니터링의 공해 분석 알고리즘 개발
 - 도로변 공해 특성 정의(P.M, VOC, 열섬, 소음 등)
 - 모니터링의 활용 시나리오 수립
 - 지점간 정보 연계 방법
 - 지점방식의 공해 지표 개발
- 도로변 공해 모니터링의 실증구간 구축
 - 기후 관련 인자 보정 기술 개발
 - 도로변 공해 데이터셋 제작 및 배포
 - 수집 음영구간 보완 방법 마련
- 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술
 - 프로브카 방식의 도로 공해 모니터링 기술 동향 분석
 - 국내외 연구 및 기술동향 분석
 - 도로 형태, 구간별 공해 관련 특성 도출
 - 이동형 데이터 수집 시스템 관련 기술 분석
 - 프로브카 방식으로 수집한 데이터의 도로공해 분석 알고리즘 개발
 - 활용 시나리오 수립
 - 데이터 분석 알고리즘 개발
 - 프로브카 방식의 공해 지표 개발
 - 데이터와 공간의 매핑기술 개발
 - 프로브카 프로토타입 제작 및 실증
 - 주행조건 자동 Calibration 기술 개발
 - 프로브카 기반 데이터셋 제작 및 배포
 - 결측데이터 처리방법 마련
- 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술
 - 포장재료 생산 및 도로시공현장의 공해 모니터링 관련 기술 동향 분석
 - 국내외 연구 및 기술동향 분석
 - 플랜트발생 공해의 모니터링 전략 수립
 - 플랜트발생 공해의 정의 및 공해 물질 선정
 - 재료생산의 공해지표 설정
 - 데이터 이상치 분석 기술 개발
 - 포장건설현장의 공해 모니터링 전략 수립
 - 시공시 발생 공해의 정의 및 공해 물질 선정
 - 포장시공의 공해지표 설정
 - 플랜트의 공해 모니터링 실증
 - 플랜트의 공해 모니터링 지침 개발
 - 포장건설현장의 공해 모니터링 실증
 - 건설 현장의 공해 가시화 기술개발
 - 건설 현장의 공해 모니터링 가이드라인 개발

4. 연구 추진방법

- ☐ 추진전략
- 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영
 - 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전

	문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항 - 모니터링관련 계측 및 클라우드 플랫폼 관련분야 전문가 참여 - 지표(Index) 의 체계적인 수립을 위해 표준화 전문가 참여 - 재료의 성능과 내구성성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여 - 데이터-분석-시뮬레이션-가시화를 연계할 수 있는 디지털트윈 전문가 참여 등 • 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보 - 관련 정부부처 및 전문가들과 협의 수행 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등 • 국내외 선행 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립 - 클라우드 기반의 플랫폼, 열섬저감기술, 소음저감기술의 차별성 및 연계성 확보 • 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 • 기술 로드맵 수립 및 WBS(Work Breakdown Structure)에 의한 체계적인 연구수행을 추진 • 현장의 실질적 적용을 위한 재료개발, 설계방법, 시공방법 및 유지보수를 포함하는 모든 단계의 요소 기술 및 절차 확보계획 수립 • 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진 • 오염저감 도로포장의 성능 평가를 위한 현장 또는 테스트 베드 구축을 통하여 실질적 평가 수행 • 프로세스의 완성도를 높이기 위하여 도로포장 설계법 및 생산과 시공 지침에 대하여 이해도가 높은 연구진 참여 • 기술수요자인 고속도로, 국도, 지방자치단체 등의 도로관리자를 섭외하여 기술 개발의 실효성 확보에 주력
□ 추진체계	• 첨단기술 기반의 모니터링을 통한 지표 수립을 통한 오염 저감 성능의 정량화를 추진하여 국내외 선행 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립 • 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 • 각 구성기술의 연구진행 내용에 대하여 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회 구축을 통해 연구추진 성과의 정확성을 높임 • 고속도로, 일반국도 등 수요 기관과 긴밀한 협력을 통해 수요자 중심의 기술개발 수행 • 해외 주요 기관 및 전문가와 협력 추진
5. 최종 성과물	
	○ 포장재료의 전주기 공해 모니터링 플랫폼 • 포장재료에 기인한 공해의 모니터링용 엣지 컴퓨팅 디바이스 • 클라우드 기반 포장 전주기 공해 모니터링 플랫폼 • 공해 정보 연계를 위한 API • 공해 모니터링 플랫폼 운영 가이드라인 ○ 지점방식(SPB) 도로변 공해의 모니터링 기술 • 지점방식 모니터링의 도로 공해 분석 알고리즘 • 지점방식 도로 공해 지표(Index) • 도로변 공해 데이터셋 ○ 프로브카(CPX)의 도로 공해 모니터링 기술 • 프로브카 방식의 도로 공해 분석 알고리즘

· 프로브카 프로토타입 · 이동수집형 도로 공해 지표(Index) · 주행조건에 따른 자동 Calibration 알고리즘 · 프로브카 기반 도로 공해 데이터셋 ○ 도로포장 재료의 생산·시공시 발생 공해 모니터링 기술 · 재료 생산의 공해 지표(Index) · 포장 시공의 공해 지표(Index) · 포장재료 생산 및 시공 현장의 공해 모니터링 가이드라인	
6. 활용방안 및 기대효과	
☐ 활용방안	· 도로 포장의 전주기 모니터링 플랫폼과 공해지표(Index)를 기반으로 하여 도로에서 기인한 공해를 저감하여 쾌적한 도심지 환경을 만들 수 있도록 활용함 · 구축된 다양한 공해 정보 데이터셋을 공개하여 다양한 분야에 기초 연구자료로 제공
☐ 기대효과	· 실도로에 기반한 공해 가시화, 생산-시공 과정에서의 투명한 공해정보 제공을 통해 공해에 대한 경각심에 따른 저감 효과를 기대 · 도로 포장의 전주기 모니터링 플랫폼과 공해지표(Index)를 기반으로 하여 도로에서 기인한 공해를 저감하여 쾌적한 도심지 환경 구축
7. 연구기간 및 소요예산	
	5년 90억
8. 기타	

- [세부기술 10-2] 도로에서 발생하는 공해를 저감하기 위한 디지털트윈 도로포장 기술 개발

[표 I-58] 세부기술 10-2 RFP

과제명	도로에서 발생하는 공해를 저감하기 위한 디지털트윈 도로포장 기술 개발
1. 연구목표	· 열섬현상이 20% 저감되는 디지털트윈 기반의 도로포장 기술 개발 - 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS - 디지털 트윈 기반의 도로포장의 열섬현상 영향분석방법 개발 · 소음이 20% 저감되는 도로포장 기술 및 도로시설물 개발
2. 연구 필요성 및 기술동향	
☐ 연구개발의 필요성	· 코로나19 팬데믹에 대응하기 위한 “디지털 뉴딜”과 “그린 뉴딜” 정책이 적극 추진되고 있으며 ICT 기반의 디지털화와 저탄소, 친환경 경제기반으로 전환되고 있음 · 환경에 대한 책임의식 확대와 삶의 질생활 쾌적성에 대한 수요 증가 · 환경위기 및 기후변화 인식 확대로 국민의 환경에 대한 인식 증가하면서 환경오염을 줄이기 위한 개인과 기업의 노력도 증가 · 최근 ‘친환경 생활에 대한 인식과 현황’에 대한 설문조사에서는 응답자의 75.4%가

친환경 생활이 필수라고 답했고, 응답자의 연령이 낮을수록 필수라고 답한 비중이 높게 나타남

- 사회적 비용 저감새로운 부가가치 창출을 위한 ‘환경 친화적인’ 도로포장재료 개발 필요
- 기술경쟁력 확보를 위한 정책수요 등 도로 인프라의 포장재료 부문에의 디지털화, 친환경 등 혁신 수요 증가(새로운 성능 개념의 기술개발 요구)
- 교통량 증가 및 기후변화 등의 환경변화에 의한 교통공해(미세먼지, 소음 등)로 친환경 산업에 대한 산업관심이 높아지면서 관련 기술개발에 대한 수요가 빠르게 증가
- 환경 친화적 도로 인프라의 혁신과 포장재료 혁신 기술개발로 차세대 도로 인프라의 기술경쟁력 확보 및 사회적환경적 문제 대응 필요
- 친환경 도로포장을 제공하기 위한 전략을 마련하려면 우선 도로에서 기인한 공해의 현황을 파악해야 함. 현재는 공해를 정량적으로 모니터링하거나 수준을 나타낼 수 있는 지표가 마련되어 있지 않음
- 다양한 방식으로 도로, 재료생산 플랜트, 시공시 공해를 모니터링하고 수준을 판단하도록 해야함
- 친환경 도로포장을 제공하기 위한 전략을 마련하려면 우선 도로에서 열섬을 저감할 수 있는 기술과 소음을 줄일 수 있는 기술을 개발해야함
- 도로의 공해 중 대표적인 소음 및 열섬을 가시화하고 분석할 수 있는 기술을 마련한다면 다른 형태의 공해도 파급효과를 발휘 할 수 있음
- 개발된 기술을 운영 중인 각 지자체 도로 및 일반국도, 플랜트 등에 구축 하는 것은 현재 추진되고 있는 “디지털 뉴딜”과 “그린 뉴딜”의 한 축이 될 것임

□ 기술동향

〈국내외 연구현황〉

- 도로의 포장재료 부문에서는 주로 도로 수명연장 및 환경오염 저감을 위한 다양한 기술개발을 진행 중, 이는 지속적으로 기술적 한계 극복 및 성능향상을 위해 연구해야할 영역
- 도로의 공해 중 미세먼지를 저감하기위해 ‘도로 미세먼지 저감기술개발 및 실증연구’를 수행중, 도로변 미세먼지 발생 모니터링, 제거를 위한 기능성 재료 및 도로 인프라 적용 기술개발 진행 중, 이와 함께 저비용 고성능 광촉매를 활용한 미세먼지 저감 건설기술 개발(오염이슈)이 진행 중
- 도로의 공해를 지점방식으로 모니터링하고 나타내는 방법은 GIS 보간방법을 활용하는데 IDW(Inverse Distance Weighted) 와 Kriging 방법이 대표적이고 다양한 데이터 기반의 공간 예측 방법이 마련되어 있음
- 도로 열섬 공해에 대한 모니터링은 열화상카메라를 활용하여 측정하는 기술에 대해 가능성은 검토되었으나 체계적인 모니터링 시스템에 의해 모니터링된 사례는 아직 없음.
- '19년 'RSBS 복층 저소음 배수성 포장' 기술이 도로 교통 소음을 일반 도로보다 평균 10dB 이상 저감하는 것으로 확인 (복층 저소음 포장 기술은 상부에 8mm의 작은 골재, 하부에 13mm의 큰 골재를 포설해 복층 구조를 만드는 기술. 일반 아스팔트 도로 포장에 비해 높은 공극률로 소음을 감소)
- [독일] Roads in the 21st century의 Low-emission영역에서는 최적화된 포장 도로 설계를 통해 교통소음 감소와 오염물질의 분해 및 보존기술을 표준건설유형에 통합하는 등 운송에 의한 탄소 배출량을 최소화하기 위한 연구개발을 지원함
- [독일] Inno-Pave 프로젝트에서는 기존 도로마감재 소음감소 노면층의 음향특성을 초과하여 영구적인 소음감소 효과를 달성하는 것을 목표로 폴리머 기반 섬유소재를 사용하여 다층노면 레이어를 구현, 일정한 조건에서 생산 가능한 포장재를 개발

- [미국] 도시열섬에 대해서는 주로 알베도(반사율)에 대한 영향평가가 주된 연구임 도로의 반사율을 증가시키는 것과 녹지율을 증가시키는 것의 효과를 비교하였음
- [일본] 도쿄 일대를 대상으로 토지 이용에 따른 열섬의 형성에 대해 수치모델을 이용하여 검토하였고, 열섬저감에 따른 도시 규모에서의 기온 저감 효과에 대해서 평가함

〈국내외 도로 공해 모니터링 정책 동향〉

- 국내 환경정책기본법에서도 총 10개(SO₂, NO₂, O₃, CO, 총먼지, HC, Pb, 벤젠, PM₁₀, PM_{2.5})에 대한 대기환경오염 기준치를 제시하고 대기오염 자동측정망을 구축하여 운영 중
- 환경부에서는 대기오염측정망 설치운영에 관한 지침을 기준으로 도시 및 도로변 대기측정소를 구축하고 에어코리아(www.airkorea.co.kr)에서 모든 데이터를 통합 관리 및 운영중
- 미국 EPA의 청정공기법(Clean Air Act, CAA)에서는 대기오염물질 6개(SO₂, NO₂, O₃, CO, Pb, 부유분진(1997년 PM₁₀, PM_{2.5} 추가))에 대한 연방대기질기준(National Ambient Air Quality Standards, NAAQS)으로 설정
- 세계보건기구[WHO]에서는 일산화탄소, 납, 이산화질소, 오존, 이산화황 에대한 오염기준과 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 등의 공해 기준을 제시하고 있음.
- 영국은 주로 부유물질 및 aerosol에 해당하는 PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0} 집중측정하며, 국내와 같이 도시대기측정소 24개, 도로변대기 8개 구축운영 중임
- 호주는 국내와 동일한 항목을 측정하고 있으며, 신규 건설된 도로, 유지보수한 도로, 유지보수 없는 도로 3개의 타입으로 분류하고 도로변 대기 측정소를 구축운영하고 있다. 유사한 지역의 뉴질랜드에서는 건축물, 터널, 차량으로 분류하여 PM₁₀, PM_{2.5}를 포함한 총먼지(Total Suspended Particulate, TSP)를 측정하고 터널 및 차량(도로)에서는 NO_x와 같이 가스상 전구물질 측정 관리함
- 필리핀에서는 교통량이 많은 구간에 고정식 미세먼지 측정소 설치운영 중에 있으며, PM₁₀~PM₁까지의 미세먼지를 측정·관리하고 있다. 그림 2.6은 필리핀 수도 마닐라의 도로변 대기측정소를 나타내며, 그림에서와 같이 출퇴근 등 차량이 많은 시간대에 미세먼지 발생량이 증가되는 것을 나타냄
- 중국에서는 2012년 대기오염물에 대한 기준 및 항목 구체화하였으며, 교통량이 많은 구간에서는 (초)미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 및 NO₂, Pb, 벤젠피렌 농도 기준 강화하였다. 중국 상하이에서는 “포스트 엑스포 비산먼지 오염 모니터링 관리 시스템을 구축 운영”하고 있으며, 국내 도로변 대기측정 항목과 측정 기준이 유사함
- 소음에 대한 모니터링 방법은 많은 선행 연구가 수행됨. 1990년대 이후 EU에서는 ERGA-NOISE그룹이 연구를 지속해 왔으며(1992-1995), ISO(ISO/TC 31/WG3)의 초안이 개발되었고, 현재 국제적으로 통용되고 있는 대표적인 도로 교통소음 측정방식으로는 6가지 방식이 있으며, Coast-By (CB), Close-Proximity (CPX), Laboratory Drum (DR), Trailer Coast-By (TCB), Statistical Pass-By (SPB), Controlled Pass-By (CPB)가 여기에 해당함

〈국내외 디지털 트윈 관련 동향〉

- 2020년 디지털 트윈 관련 예산 1,199억 증액
- (과기정통부) 5G 기반 디지털 트윈 공공선도 및 5G-A기반 스마트SOC 프로젝트 160억(신규사업) 인공지능 중심 산업융합 집적단지 조성 626억(신규사업) 증가
- (국토교통부) 디지털 트윈기반의 예측 및 능동대처가 가능한 화재재난지원 통합플랫폼기술개발(R&D) 8억(신규사업) 증감 및 스마트시티 기반구축(스마트시티 통합플랫폼

- 품 기반구축) 185억으로 전년 대비 92억 증가
- (중소벤처기업부) AI기반 고부가 신제품 기술개발로 정부 R&D예산이 155억원, 빅데이터 기반 서비스 개발 65억원이 신규로 증가(2019.12)
- (싱가포르) 버추얼 싱가포르를 추진하기 위해 싱가포르 국립연구재단(NRF)을 중심으로 싱가포르 토지관리국(SLA)과 정보통신개발청(IDA)이 함께 개발하였으며, 총 예산은 3년에 걸쳐 약 1,000억원을 투입하였음

3. 연구내용

- 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS(Discrete Pavement System)
- DPS 설계 및 시공 기본 방침 제정
 - DPS 구조 설계 지침 개발(투수성, 불투수성)
 - 투수성 DPS 수문학적 역할 분석 및 적용
 - DPS 설계, 시공, 유지보수 가이드라인 작성
- DPS 포장 구성 요소별 관련 기술 개발
 - DPS 설치장소 및 규격에 대한 정의
 - DPS 포장 불연속면 맞물림 효과 향상을 위한 기술 개발
 - 저속유도용 DPS 포장기술 개발 및 효과 검증 인자 도출
 - 유실 방지를 위한 반침 및 충전재, 틈새 재료 관련 기술 개발
 - 다공성 및 재활용 기층재료를 이용한 DPS 포장 배수성능 개선 및 설계 기술 개발
 - 포장설치 장소의 현황 및 시인성, 주목성을 고려한 표면디자인 개발
- Smart 생산, Zero Delay 시공 및 유지관리 기술 구축
 - DPS 포장 Smart 생산 기술 개발
 - DPS 포장 쾌속 시공 방법 및 기계화 시공 Packing system, 자동화 시공장비 개발
 - DPS 포장 상태지수 및 유지관리기준 개발
- 안정성 향상을 위한 DPS 포장 설계 기법 개발
 - DPS 포장 시스템 설계 방법 개발
 - DPS 포장의 장기공용성(LTPP) 및 효과 분석을 위한 Test-bed 운영
- 디지털 트윈 기반의 도로포장의 열섬현상 영향분석방법 개발
- 도로포장의 열섬현상 분석 개발을 위한 로드맵 수립
 - 도로포장의 열역학적 물성과 도심 환경 조건의 표준화
 - 열섬현상에 대한 도로포장 재료와 형식의 영향 평가를 위한 표준 도심 조건 제시
- 도로포장의 열섬현상 수치해석 모형 개발
 - 표준화 조건에서의 열섬현상 시뮬레이션을 위한 수치해석 모형
 - 단순화된 조건에서의 도로포장 재료와 형식의 열섬현상 지배인자 평가
 - 전도, 대류, 복사 및 공극률 및 도로포장 배수 특성 등을 반영한 다물리 기반 수치해석 모형 개발
- 디지털 트윈 기반의 도로포장 열섬현상 분석 시뮬레이션 개발
 - 실제 도로정보 기반의 열섬현상 시뮬레이션 알고리즘
 - 디지털트윈 시스템 아키텍처 설계
 - BIM-열섬 시뮬레이션 연계 정보 제공 기술 개발
 - 열섬 데이터 시각화 및 분석 기술 고도화
- 도로포장의 열섬현상 저감 효과 평가
 - 실증 테스트베드구간 선정을 통한 도심부 열섬현상 분석
 - 열섬 저감을 위한 도로포장 구조와 형식별 비교 평가
 - 전형적 도심부 모형에 대한 열섬현상 저감 도로의 영향의 정량적 평가

- 고성능 도로포장재료 기반의 저소음 도로기술 개발
- 저소음 도로기술 관련 연구동향 분석
 - 국내외 연구 및 기술동향 분석
- 도로 소음 3D 분석 및 시뮬레이션 기술 개발
 - 한국형 3D 소음시뮬레이션 소음 예측 모델 개발
 - 능동형 소음제어(ANC) 고도화 기술 개발
- 초경량 저비용 도로시설물 개발
 - 초경량, 저비용 방음벽 및 방음터널 기술 개발
 - 소음 저감형 흡음 도로시설물 개발
- 고내구성 저소음포장재료 개발
 - 고내구성 바인더 개발
 - 저소음 골재배합설계 기술 개발
 - 설계유지관리 가이드라인 개발
- 도로소음 통합 솔루션 제공
 - 소음대책 시설의 단장기 성능평가 및 인증 시스템 개발
 - 도로소음 통합솔루션 가이드라인 개발

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

- 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영
- 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항
 - 모니터링관련 계측 및 클라우드 플랫폼 관련분야 전문가 참여
 - 지표(Index) 의 체계적인 수립을 위해 표준화 전문가 참여
 - 재료의 성능과 내구성성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여
 - 데이터-분석-시뮬레이션-가시화를 연계할 수 있는 디지털트윈 전문가 참여 등
- 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등
- 국내외 선행 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립
 - 클라우드 기반의 플랫폼, 열섬저감기술, 소음저감기술의 차별성 및 연계성 확보
- 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정
- 기술 로드맵 수립 및 WBS(Work Breakdown Structure)에 의한 체계적인 연구수행을 추진
- 현장의 실질적 적용을 위한 재료개발, 설계방법, 시공방법 및 유지보수를 포함하는 모든 단계의 요소 기술 및 절차 확보계획 수립
- 핵심 아이디어에 대한 실용적 지적 재산권 확보를 추진
- 오염저감 도로포장의 성능 평가를 위한 현장 또는 테스트 베드 구축을 통하여 실질적 평가 수행
- 프로세스의 완성도를 높이기 위하여 도로포장 설계법 및 생산과 시공 자침에 대하여 이해도가 높은 연구진 참여
- 기술수요자인 고속도로, 국도, 지방자치단체 등의 도로관리자를 섭외하여 기술 개발의 실효성 확보에 주력

□ 추진체계	· 디지털 트윈 기반의 가시화를 중심으로, 오염 저감 성능의 정량화와 예방적 분석을 가능하게 하여 국내외 선행 연구에 대한 차별성과 연계성 확립 계획 수립 · 세부과제의 연차별, 단계별 성과목표 및 성과지표를 명확하게 설정 · 각 구성기술의 연구진행 내용에 대하여 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회 구축을 통해 연구추진 성과의 정확성을 높임 · 고속도로, 일반국도 등 수요 기관과 긴밀한 협력을 통해 수요자 중심의 기술개발 수행 · 해외 주요 기관 및 전문가와 협력 추진
5. 최종 성과물	· 첨단 시공기술 기반의 열섬저감 DPS(Discrete Pavement System) · DPS 설계, 시공 및 유지관리 가이드라인 · DPS 포장 시제품 · DPS 포장용 받침, 충전재 및 틈새재료 시제품 · DPS 포장 기계화 시공 장비 프로토타입 · 디지털 트윈 기반의 도로포장의 열섬현상 영향분석방법 개발 · 도로포장의 열섬현상 시뮬레이션 알고리즘 · 열섬현상 시뮬레이션 소프트웨어 · BIM-열섬 연계 및 가시화 소프트웨어 · 고성능 도로포장재료 기반의 저소음 도로기술 개발 · 도로 소음 3D 분석 알고리즘 · 도로 소음 시뮬레이션 소프트웨어 · 초경량 저비용 방음벽 시제품 · 고내구성 저소음포장재료 프로토타입 · 도로소음 통합 솔루션 가이드라인
6. 활용방안 및 기대효과	□ 활용방안 · 도심지의 오염을 저감, 특히 열섬현상과 소음 저감의 핵심 수단으로 활용 · 디지털 트윈으로 가시화된 도로의 공해정보를 활용하여 도로의 쾌적성을 관리할 수 있음 □ 기대효과 · 고품질의 도로를 제공하여 국민에게 쾌적한 국토 공간을 제공할 수 있음 · 오염이 저감된 포장기술의 도입을 통해 도심지 및 도로기인한 오염의 저감 효과를 기대 · 도로 운영시 고려해야할 인자로 오염도를 추가하여 정량적으로 관리할 수 있고, 디지털 트윈 기반의 기술을 통한 분석으로 예방적인 대응을 가능하게 함.
7. 연구기간 및 소요예산	5년 95억
8. 기타	

II. 도로인프라 예측-진단-관리

1. 연구배경 및 필요성

■ 도로인프라의 총 연장 및 개소의 지속적 증가

- 도로인프라(도로 포장, 교량 등)의 총 연장이 지속적으로 증가하고 있으며, 이에 대한 현황 파악 및 분석이 필요
 - 도로의 종류는「도로법」제 10조에 따라 고속국도, 일반국도, 특별·광역시도, 지방도, 시·군·구도로 구분
 - 도로의 총 연장은 지속적으로 증가하고 있으며, 지난 50여년간 전체 도로연장은 약 2.8배 증가, 고속국도와 일반국도는 약 1만 km 연장되었고 특별·광역시도 및 지방도, 시·군·구도는 약 6만 km가 연장되었음
 - 도로가 본격적으로 건설되기 시작한 1970년부터 2018년까지 도로연장의 연평균 증가율은 고속국도와 일반국도가 1.62%, 특별·광역시도 및 지방도, 시·군·구도는 2.25%로 나타남

[표 II-1] 연도별 도로연장 현황

(단위 : km)

연도	고속국도, 일반국도	특별·광역시도, 지방도, 시·군·구도
1970	8,673	31,572
1980	9,456	37,494
1990	13,711	43,003
2000	14,545	74,230
2005	17,192	85,101
2010	17,672	87,893
2011	17,710	88,221
2012	17,810	87,893
2013	17,954	88,459
2014	18,088	87,584
2015	18,141	89,385
2016	18,414	90,365
2017	18,700	91,391
2018	18,751	91,964

[자료] 국토교통부 통계누리, 국회입법조사처, 도로 유지관리 현황 및 과제(2019)

- 도로 교량의 경우 '19년 기준 전년대비 1,605개소 및 215km의 연장이 증가하였으며, 지난 10년간 8,521개소 및 1,049km 이상 증가
- 도로 교량의 총 개소와 연장은 지속적으로 증가하고 있으며, 연도별로 3.1% 이상 증가



[그림 II-1] 연도별 교량 증가 현황

[자료] 국토교통부, 도로 교량 및 터널 현황조사(2020)

■ 도로의 노후화가 빠르게 진행됨에 따라, 유지보수 및 차량운행 비용과 안전사고 발생 증가 우려³⁰⁾

- 도로인프라의 총 연장이 지속적으로 증가하고, 기 조성된 인프라의 노후화가 진행됨에 따라 현황파악 및 유지관리를 위한 인력·시간·안전·자재 등의 투입비용이 증가
 - 국가와 지역의 경제성장을 위해 조성된 우리나라의 도로인프라는 빠른 속도로 노후화가 진행되고 있으며, '17년 기준 도로의 60.1%가 내구연한이 초과된 상태³¹⁾로 최근 5년간 도로관리부문에 대한 투자는 연평균 12.7%의 비율로 증가 추세³²⁾
 - 도로 인프라의 노후화가 10~20년 이상 경과 시점에서 급격하게 심화될 것으로 예상되며 이에 따른 대규모 예산 소요 불가피
 - 도로인프라의 노후화는 유지보수 비용 및 차량운행 비용을 증가시킬 수 있으며, 적기에 적절한 방법으로 유지보수가 이루어지지 않을 경우 안전사고가 발생할 수 있으므로 노후화를 대비한 도로인프라의 지속적인 유지관리 필요³³⁾

30) 도로 유지관리 현황 및 과제-도로 자산관리를 중심으로-(국회입법조사처, 2019.12)

31) 국토교통위원회 김성태 의원실(2017 국감자료)

32) 한국도로협회, 도로의안전 및 유지관리체계 개선방안 마련 연구(2019)

33) 국회입법조사처, 도로 유지관리 현황 및 과제(2019)

- 우리나라의 도로는 1970년대 경제개발계획에 따라 본격적으로 건설되기 시작하여, 건설된 지 30년 이상인 도로의 비중 증가세
 - 도로의 노후화의 빠른 진행과 안전등급 하락, 일반국도의 사면은 장기적 계획이 필요한 III등급 이하가 40%를 차지하고 있어 안전사고 발생 위험 급증이 우려되고 있음
 - 2019년 9월 기준, 건설된 지 30년 이상인 도로교량은 15% 수준으로 노후화가 심각하지 않다고 볼 수 있지만, 10년과 20년 후에는 각각 46%와 87%까지 증가
 - 2020년부터는 노후 시설물에 투입되는 비용이 점차 증가하여 기존 투입 규모보다 더 큰 규모의 비용이 투입되어야 할 것으로 예상³⁴⁾
 - 「시설물안전법」에 따라 구축, 운영되는 FMS에 따르면 도로시설물 중 도로교량의 노후화가 가장 빠르게 진행될 것으로 추정

[표 II-2] 도로시설물의 경과연수 현황(2019년 9월 30일 기준)

(단위 : 개소, %)

구분	도로교량		도로터널		도로옹벽		도로사면	
	개소	비율	개소	비율	개소	비율	개소	비율
10년 미만	3,696	13.6	1,198	48.9	996	72.0	1027	24.5
10~19년	11,006	40.6	924	37.7	298	21.5	2,348	56.0
20~29년	8,507	31.4	241	9.8	55	4.0	525	12.5
30~39년	2,627	9.7	53	2.2	25	1.8	271	6.5
40년 이상	1,281	4.7	32	1.3	9	0.7	24	0.6
전체	27,117	100.0	2,448	100.0	1,383	100.0	4,195	100.0
고령화율	14.4		3.5		2.5		7.0	

*주) 도로교량 및 도로터널은 1,2,3종 시설물을 합한 수치이며, 도로옹벽 및 사면은 모두 2종 시설물임.
고령화율은 전체 시설물수 중 준공된 지 30년 이상 시설물수의 비율을 의미.

[자료] 한국시설안전공단 제출자료; 국회입법조사처(2019) 재인용.

34) 한국건설산업연구원, 국내 교통 인프라 유지보수 투자의 향후 변화 추이(2016)

- 도로교량과 도로터널을 시설물 유형별로 구분하여 살펴보면, 3종 시설물의 고령화율이 타 유형 대비 높음

[표 II-3] 제1,2,3종 시설물별 경과연수 현황

(단위 : 개소, %)

구분	경과연수	1종	2종	3종
도로교량	전체	3,990	6,527	16,600
	10년 미만	1,429	2,089	178
	10~19년	1,819	2,501	6,686
	20~29년	637	1,361	6,509
	30~39년	84	420	2,123
	40년 이상	21	156	1,104
	고령화율	2.6	8.8	19.4
도로터널	전체	784	1,573	91
	10년 미만	419	776	3
	10~19년	306	565	53
	20~29년	51	168	22
	30~39년	7	40	6
	40년 이상	1	24	7
	고령화율	1.0	4.1	14.3

[자료] 한국시설안전공단 제출자료; 국회입법조사처(2019) 재인용.

● 도로시설물의 경과연수의 증가와 도로시설물의 안전등급은 반비례

- 시설물 안전등급은 A(우수)부터 E(불량)까지 5개로 나뉘며, 2019년 9월 기준 일부 보수가 필요한 수준인 B등급에 해당하는 시설물의 비중이 가장 높음

[표 II-4] 시설물 안전등급 기준

안전등급	시설물 상태
A(우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B(양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C(보통)	주요 부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요 부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D(미흡)	주요 부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수, 보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E(불량)	주요 부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

[자료] 「시설물안전법」 시행령 [별표 8] 시설물의 안전등급 기준.

[표 II-5] 도로시설물의 안전등급 현황

(단위 : 개소, %)

시설물 유형		합계	구분	안전등급					불명
				A	B	C	D	E	
도로교량	30년 미만	23,209	개소	3,284	14,427	1,619	41	-	3,838
			비중	14.1	62.2	7.0	0.2	0.0	16.5
	30년 이상	3,908	개소	184	1637	915	67	7	1098
			비중	4.7	41.9	23.4	1.7	0.2	28.1
	전체	27,117	개소	3,468	16,064	2,534	108	7	4,936
			비중	12.8	59.2	9.3	0.4	0.0	18.2
도로터널	30년 미만	2,363	개소	1,306	999	13	0	0	45
			비중	55.3	42.3	0.6	0.0	0.0	1.9
	30년 이상	85	개소	18	50	14	0	0	3
			비중	21.2	58.8	16.5	0.0	0.0	3.5
	전체	2,448	개소	1,324	1,049	27	-	-	48
			비중	54.1	42.9	1.1	0.0	0.0	2.0
도로옹벽	30년 미만	1,349	개소	1203	93	5	1	0	47
			비중	89.2	6.9	0.4	0.1	0.0	3.5
	30년 이상	34	개소	19	14	0	0	0	1
			비중	55.9	41.2	0.0	0.0	0.0	2.9
	전체	1,383	개소	1,222	107	5	1	-	48
			비중	88.4	7.7	0.4	0.1	0.0	3.5
도로사면	30년 미만	3,900	개소	542	2070	1092	6	0	190
			비중	13.9	53.1	28.0	0.2	0.0	4.9
	30년 이상	295	개소	8	143	129	1	0	14
			비중	2.7	48.5	43.7	0.3	0.0	4.7
	전체	4,195	개소	550	2,213	1,221	7	-	204
			비중	13.1	52.8	29.1	0.2	0.0	4.9

[자료] 한국시설안전공단 제출자료: 국회입법조사처(2019) 재인용

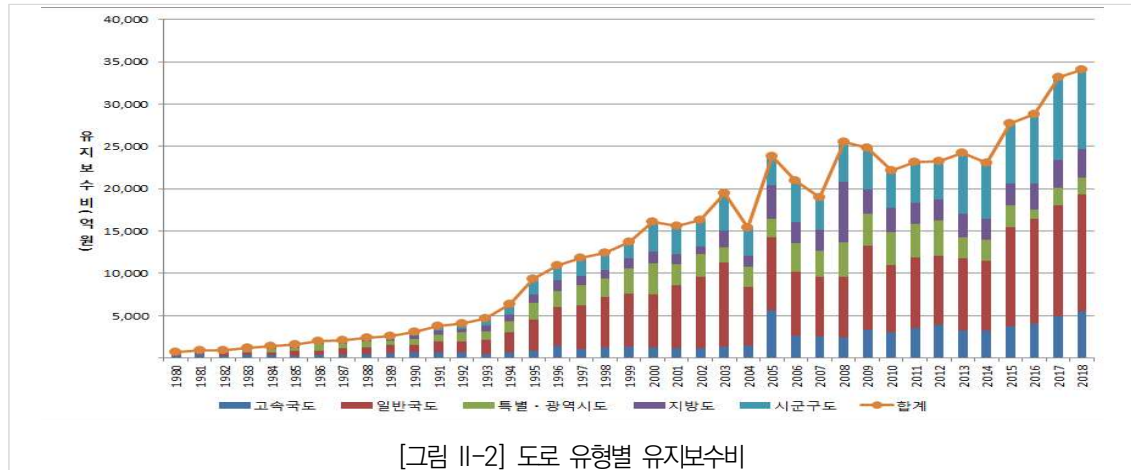
- 그러나 30년 미만 시설물의 경우, A, B 등급이 차지하는 비중이 평균 84.2%였으나, 30년 이상 시설물의 경우, 74.2%에 불과

* 도로교량의 경우, 경과연수가 오래될수록 A 등급의 비중은 35%→13%→7%→5%로 감소하고 C등급의 비중은 1%→4%→13%→23%로 증가 (국회입법조사처, 2019)

● 도로 노후화 및 안전등급 하락으로 유지보수 비용 또한 증가

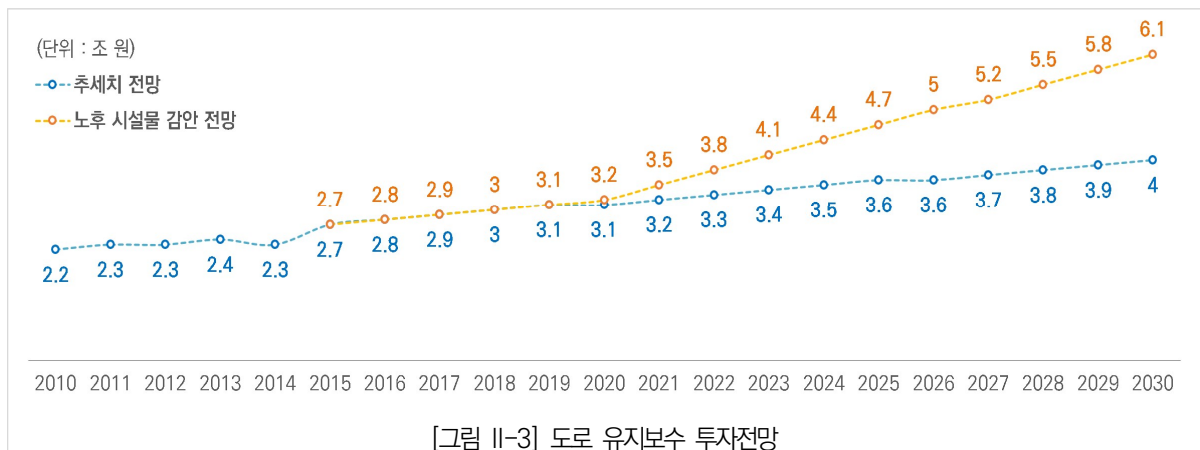
- 도로 유지보수비는 2000년 2.2조원에서 2018년 3.4조원으로 18년 새 1.5배 증가

* 도로 유지보수비에서 일반국도의 유지보수비가 차지하는 비중이 40.6%(약 1.4조원)으로 가장 크고 그다음은 고속국도(16.3%, 5,548억원), 지방도(10.0%, 3,411억원), 특별광역시도(5.6%, 1,915억원) 등의 순



[자료] 국토교통 통계누리; 국회입법조사처(2019) 재인용

- 2020년부터는 노후 시설물에 투입되는 비용이 점차 증가하여 기존 투입 규모보다 큰 규모의 비용이 투입되어야 할 것으로 예상³⁵⁾



*주) 2020년을 기점으로 추세치와 격차가 확대되고 2030년에는 시설물의 노후화를 감안한 유지보수비용은 6.1조원에 달할 전망

- 임계점이 지나면 성능저하가 가속화되며, 성능회복과 복구를 위한 관리비용이 급증하므로 유지보수 관련 투자 지연은 향후 도로관리 예산 소요 급증의 위험성을 내포
 - 1990년대에 집중적으로 건설된 우리나라 도로시설물은 현재 노후화가 급속하게 진행 중
 - * 도로 노후화율 : (현재) 9.3% → (5년 후) 19.0% → (10년 후) 28.7%
 - * 터널 노후화율 : (현재) 3.8% → (5년 후) 6.9% → (10년 후) 10.0%
 - 최근 정부는 도로망의 신설, 확장 위주의 투자를 지양하고 노후기반시설의 안전투자 확대, 신기술을 접목한 편의증진 등으로 투자방향을 전환³⁶⁾
 - 임계점을 지나기 전에 적절한 유지보수를 실시하여 시설성능을 회복해야 성능복구에 소요되는 도로관리 예산 부담 경감 가능

35) 국내 교통 인프라 유지보수 투자의 향후 변화 추이, (한국건설산업연구원, 2016.12)

36) 국토교통부, 도로공공성 강화를 위한 도로관리방안 연구용역, 2019.2.; 기획재정부, 2019~2023년 국가재정운용계획 주요내용, 2019. 8.

■ 도로 및 교량 등에 대한 효율적인 관리를 위해 국토교통부에서 10개 이상의 인프라 유지관리시스템을 개발하여 운영하고 있으나, 단순 DB구축 중심으로 주요 의사결정 지원 및 대처방안에 대한 시스템은 부재³⁷⁾

- 국내 대형교량의 유지관리시스템은 '95년 성수대교 붕괴를 계기로 구조물과 사회기반시설을 관리하는 시설안전기술공단 설치 및 시설물정보통합관리시스템(FMS) 구축 등 교량 유지관리를 위한 모니터링-시스템 개발
 - 그러나 현재 통용되고 있는 교량 유지관리 기법 및 시스템은 단순 현황파악 시스템이 대부분으로 유지관리 공법 및 시기 결정 등 주요 의사결정 지원기능의 수행이 불가
 - 현재 국내 교량은 BMS·WIM·교통환경·재난·재해 등의 관리영역이 분리되어, 이상상황 발생시 신속한 대처 및 콘트롤 타워 역할을 위한 통합안전 관리시스템 기술이 부재하고 네트워크적인 측면에서의 대처방안 기술 또한 부재
- 일반국도 도로는 효율적인 관리를 위해 여러 도로 유지관리 시스템 개발 및 운영하고 있으나, 일부 시스템(포장 및 보수 현황시스템 등)의 경우 단순히 DB수준의 시스템으로 정확한 공법 및 의사결정 지원 기능 부재로 구조물 복원력을 고려한 내진성능관리 의사결정 관련 연구의 필요성이 대두
- 한국도로공사는 도로기상정보시스템을 구축하여 기상청에서 제공하는 폭우·폭설 등의 기상정보를 이용하여 자연재난에 신속하고 정확한 대응체계를 운영 중이나, 지진 등 기타 재난에 대한 대응체계는 고려되어 있지 않으며 네트워크 차원에서의 도로망 관리시스템 또한 부재

[표 II-6] 국내 지진재난 및 시설물 유지관리 관련 라이브러리

구분	기관	내 용
노후화	서울특별시	· 노후 기반시설의 성능개선 및 장수명화 촉진을 위한 실태평가보고서 및 종합관리계획을 5년 단위로 수립 및 갱신
	정부	· 유지관리, 성능개선, 장수명화, 생애주기비용, 잔존수명 등의 용어 정의
	한국시설안전공단	· 시설물정보통합관리시스템(FMS)을 시설물 유지관리 자료 구축
	국토교통부	· 교량통합관리시스템(BMS)으로 교량 통합유지관리 시스템 구축
재난재해	정부	· R&D 분야에서 건설기술진흥기본계획을 통해 지능형 구조물의 재난재해 대응기술개발에 투자를 지속
	국민안전처	· 안전예산 통합관리 권한을 부여받아 재해 취약시설의 안전 점검 후 대대적인 보수/보강에 예산을 대폭 확대
기법	국토교통부	· 10개 이상의 도로유지관리 시스템을 개발하여 운영 중
	한국도로공사	· 도로기상정보시스템을 구축하여 재난에 신속하고 정확한 대응체계를 운영 중
모델	국토교통부	· 지능형교통체계(ITS)를 활용한 효율적인 교통관리 전략 확립
도로망	국토교통부	· 국토간선도로망과 수도권고속도로망을 통합 관리하는 제2차 도로정비계획(2011~2020) 수립

37) '노후도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술개발' 최종보고서

지반	지질자원연구원	· 국가 지질조사를 위해 수행한 시추조사 결과를 DB로 구축하고 있으며, 지질정보시스템을 통하여 지질도, 해저지질도 등의 다양한 주제도를 제공
	국토지반정보 통합DB센터	· 건설현장에서 발생하는 각종 조사·관측자료와 시험자 료의 효율적인 수집/관리 및 활용을 위하여 DB를 구축, 지반정보 활용방안 등을 제공

[자료] 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술개발 최종보고서, 2016

■ 미래 예측기술을 기반으로 능동적이고 효율적인 인프라 정보수집을 통해 선제적이고, 예방적인 노후, 위험인프라의 유지관리 체계의 구축을 위한 기술개발 필요

- 현재 우리나라 도로인프라의 관리 및 평가는 육안검사 중심의 정기점검 모니터링에 대한 의존도가 높으며, 점검자의 기술숙련도 차이 등으로 객관적, 정량적인 평가가 어려움
 - 또한 광범위한 지역 및 접근이 어려운 위치의 시설물에 대한 노후화 및 위험도의 실시간 진단 및 대응, 주기적인 이력관리 및 성능평가자산관리 등이 불가
 - 폭발적인 유지관리 예산 증가에 따른 노후 도로 인프라 대란 방지를 위해 미래 예측 기술에 기반한 선제적/예방적 유지관리 체계 구축 및 전환 필요
 - 도로시설 노후화로 인한 유지보수 비용의 부담이 증가하고 있는 반면, 그간의 SOC에 대한 투자감소로, 도로시설 성능저하와 사회적 비용 증가 예상됨에 따라 도로건설 및 유지보수 효율성 개선을 위한 수요가 증가할 것으로 예상됨
- 도로인프라의 지속적 증가 및 노후화, 도로부문 SOC예산감소에 따른 체계적인 유지관리 수요가 증가하고 있으며, 기반시설물의 파손, 노후화 등 시설물관련 사고를 예방하여 안전성 및 신뢰성 확보가 필요함
 - 도로법과 기반시설관리법 등에서 요구하는 기반시설물의 정확한 자산가치평가와 성능 평가 등에 대한 이론적, 실증적 방법론 부재
 - 기반시설관리법의 시행(2020.1.1)을 계기로 선제적·종합적 관점의 노후 기반시설 관리 체계 구축의 기반은 마련되었으나 노후 기반시설 전반에 대한 총괄관리 상태 점검이 필요한 상황
 - 이에 국가 기반시설에 대한 제원과 유지관리·성능개선 이력, 예산투입 등 관련 정보를 조사·분석해 데이터베이스를 구축을 목적으로 하는 인프라 총 조사 사업이 시행 중
 - 향후 조사 데이터와 연계하여 국가 기반시설 성능 및 유지관리 비용 분석 등 기반시설 관리 의사결정에 필요한 정보를 생산·제공할 수 있는 도로 시설물 자산관리시스템 구축이 필요한 실정

- 미래예측을 위한 노후 도로 인프라의 장기 이력 빅데이터 플랫폼을 구축하고 선제적이고, 예방적인 노후, 위험인프라의 유지관리 체계의 구축을 위한 기술개발이 필요
 - 도로인프라 데이터베이스 구축 방법은 Web을 통해 입력되고 저장되어 있는 데이터를 필요로 하는 경우 접근성의 한계가 존재하며 모니터링, 실시간으로 측정되는 경우 역시 마찬가지로 한계점이 존재함
 - 빅데이터, 인공지능, BIM, 드론, IoT센서, 디지털트윈 등의 기법을 이용하여 오랜 시간동안 주관적인 관점에서 인력중심으로 진행되어 왔던 비효율적 진단 및 점검 요소들을 객관화 및 점검/진단시간 단축 등 획기적으로 효율화 하는 방안의 모색 필요

2. 국내외 현황조사

2-1. 국내외 정책동향

■ [제1차 국가도로종합계획(2016~2020)] 「도로법」제5조에 따른 도로분야 최상위 법정 계획으로 5년마다 타당성 검토 후 재수립하며, 상위계획인 국토종합계획, 국가기간교통망 계획과 연계

- 국가도로종합계획은 도로정책의 방향을 제시하는 중장기 계획으로 4대 추진계획에 따라 효율적인 투자, 안전강화, 체감서비스 제고, 첨단도로 구축 등 추진과제를 마련

- 상위계획인 국토종합계획, 국가기간교통망계획과의 연계를 고려하여, 기존의 제2차 도로 정비기본계획(2011~2020)을 보완하여 2020년까지의 수정계획으로 수립

* 차기 계획부터는 10년 단위로 계획 수립

- (4대 추진계획) 도로현황, 기존계획 평가, 장래전망, 해외 정책사례 등을 토대로 경제, 안전, 행복, 미래를 핵심가치로 하는 4대 추진계획 제시

- ① 효율적인 투자로 경제성장 지원
- ② 철저한 안전관리로 사고예방
- ③ 원활하고 쾌적한 도로서비스 제공
- ④ 다음세대를 준비하는 미래도로 구축

- 4대 추진계획 중 ③ 원활하고 쾌적한 도로서비스 제공을 위해 도로의 효율성 및 안전성 향상과 지속가능 도로 구현을 위해 빅데이터, AI 등 기술을 도로 운영 및 관리에 적용하는 추진과제를 선정 및 추진

- 교통 빅데이터를 활용하여 하이패스 주차장, 도심 주요 시설 실시간 교통 정보 제공 등 다양한 서비스를 제공하고 AI, 로봇 등을 활용하여 유지관리 자동화를 목표

■ [도로분야 기술개발전략(2021~2030)] 빅데이터와 인공지능(AI)과 사물인터넷(IoT) 등 4차 산업기술이 접목된 미래 도로상을 구현하기 위한 전략으로 '국토교통과학기술연구 개발종합계획'을 기반으로 함

- 미국과 일본 등 주요국과 같이 본격적으로 도로기술 연구를 추진하기 위해 4대 핵심분야를 설정하고 2030년까지 추진할 중점 추진기술을 마련

- 미국, 일본 등 주요 선진국은 도로의 장수명화, 입체도로망, 친환경 에너지 생산 등 다방면의 기술개발을 추진 중

* (미국) Beyond Traffic 2045 / (일본) 인프라장수명화계획(2014~2020)

- 이번 도로기술개발전략안에는 8대 중점추진기술을 비롯해 총 100여개 이상의 과제가 포함되어 있으며, 향후 기술의 시급성과 기술간 연계성, 연구개발 사업비 규모 등을 고려하여 기획연구를 추진할 계획

[표 II-7] 도로분야 기술개발전략(‘20-’30) 핵심분야 및 핵심기술 중

핵심분야	핵심기술
경제적 도로	· 디지털 트윈 기반 도로 유지관리 시스템
	· 기존 도로시설물의 2D 데이터 기반 도면·유지관리 정보를 디지털화(BIM, 정형화)하기 위한 스캐닝, 오류 데이터 필터링 기술 * 신설구간은 설계단계부터 BIM 등을 활용해 초기부터 데이터로 관리
	· 가상공간에 실제 지상·지하 도로시스템과 동일한 도로를 구성하고 IoT 센서 등을 활용해 도로 상태를 실시간 연동 표출 기술
	· 유지관리 빅데이터(이력)와 스마트 모니터링·점검·진단 결과를 통해 도로 시설물의 종합 성능을 예측하는 유지관리 의사결정 기술 * 시설물 상태별 최적 보수보강 기법 제시 및 무인 보수보강 기술 개발 병행
	· 가상 도로시스템에서 시뮬레이션을 통한 예방적 유지관리 시스템
	· 개별 관리 시스템 데이터 표준화 및 시스템 간 정보 자동 연계

■ [PIARC] PIARC(세계도로협회)는 도로운영관리, 모빌리티, 안전성과 지속가능성, 회복력 있는 인프라의 4개 전략테마를 기반으로 4개년 전략계획을 수립·지원

* PIACR(Permanent International Association for Road Congresses: 도로 및 도로교통 관련 문제에 대한 국제협력과 교류를 목적으로 하는 비영리단체로 120개국의 정부, 지역당국 등의 기관과 단체/개인이 회원으로 활동중

- (전략계획 2020-2023) 내외부 이해관계자뿐만 아니라 기술위원회 등의 협의를 통해 4개년 전략계획을 수립하고 세계 도로 및 도로교통을 개선을 통한 여객, 화물의 지속가능한 접근성 향상을 목표로 회원국들의 전문지식을 모아 4개 전략테마를 중심으로 전략계획을 수립
 - 4개 전략테마는 [전략테마1] 도로운영관리, [전략테마2] 모빌리티, [전략테마3] 안전성과 지속가능성, [전략테마4] 회복력있는 인프라 등으로 구분
- 상기 4개 전략테마를 기반으로 기술위원회와 TF를 구성하고, 각 지역의 워킹그룹 및 공통(Crosscutting)위원회가 함께 프로젝트를 완수함
 - 안전성과 지속가능성 부문에서는 자산관리, 도로인프라 및 교통의 환경적 지속가능성, 교통보안 부분의 영역을 다룸
 - 회복력 부문에서는 도로포장, 교량, 터널, 지반작업 등의 기능 및 공간에 따라 재난재해에의 대응 및 회복력 향상을 위한 혁신방안을 논의 중

■ [FOR(Forever Open Road)] FOR에서는 Adaptable Road, Automated Road, Resilient Road의 세가지 영역 기반의 차세대 공동연구 프로그램을 개발·지원

* FOR(Forever Open Road) : 유럽연합 국가들과 호주, 미국, 이스라엘이 소속된 비영리 연구기관 협회 FEHRL(Forum of European National Highway Research Laboratories)은 혁신적인 기술과 시스템이 더해진 차세대 도로 인프라를 계획하고 유럽 공통의 표준과 사양을 확보하고자 2009년 공동연구 프로그램을 개발

- 선행연구 단계에서 실현 가능했던 제품 및 서비스가 실제 도로 현장에서 요구되는 관행과 조건에서도 효과적으로 기능하는지 확인하고 연구 및 실증 결과를 DB화한 뒤 정보를 효과적으로 공유함으로써 프로그램 내 중복연구가 없도록 함
- 세가지 영역으로 구분하고 각 영역에서도 하위 주제를 지정하여 개별적으로 연구개발계획을 세워 장기간 연구를 진행함

[참고] 「FOR(Forever Open Road)」 세가지 연구분야별 주요내용

- Adaptable Road : 도로의 건설과 유지보수를 빠르고 효율적으로 하는 방안에 대한 연구
- Automated Road : 차량, 서비스, 운전자(operator)가 모두 도로를 플랫폼으로 하여 통합되고 센서와 통신기술을 활용하여 상황에 맞는 안내를 제공할 수 있도록 시스템을 구축함
- Resilient Road : 기후, 소음, 오염물질 등의 외부환경으로부터 도로의 손상을 완화하는 동시에 지역에서 사용할 수 있는 열과 전력을 생산/수집함

- [The Adaptable Road] 미래 교통 수요의 변화에 대처할 수 있는 유연하고 비용 효율적인 도로 인프라 시스템을 개발하는 것이 주요 목표, 「FOR program」의 다른 연구분야들을 지원하면서 여러 파트너 국가의 자매 프로그램들과 협력·교류를 진행
 - 주요 연구 양상 중 도로 인프라의 노후화 및 유지보수와 관련된 연구 분야는 다음과 같음³⁸⁾
 - 도로 유지보수와 교통 관제에 로봇틱스와 자동화 방법을 활용하여 빠르고 안전하고 효율적인 유지보수 (Fast, safe and effective maintenance using robotised and/or automated methods of on-road maintenance and traffic control)
 - 도로 상태와 성능을 측정하고 살펴보기 위한 통합 센서와 시스템 (Integrated sensors and systems to measure and monitor road condition and performance)
- [U.S. DOT Five-Year RD&T Strategic Plan(FY2017-2021)] 미국 교통부(DOT)에서 향후 5년간 진행할 연구의 우선순위와 이에 따른 부처의 역할을 제시(2016)
 - 2017-2021년도에는 4가지 연구테마(안전성 증진, 이동성 향상, 인프라의 성능향상, 환경보호)를 위한 R&D를 지원하고 있으며 성과의 산업계 확산을 촉진하는 데이터 공유, 정책효과 검증 등을 병행함
 - (연구테마 3 인프라 성능 향상) 장기적 인프라(도로포장 및 교량) 성능 연구, 도로인프라 자산 관리 개선과 설계, 자재, 건설 및 유지보수의 혁신을 통한 고속도로 상태 및 성능 개선에 대한 연구로 구성
 - 빅데이터 및 인프라 유지 - LTBP(Long-Term Bridge Performance) 프로그램의 “브

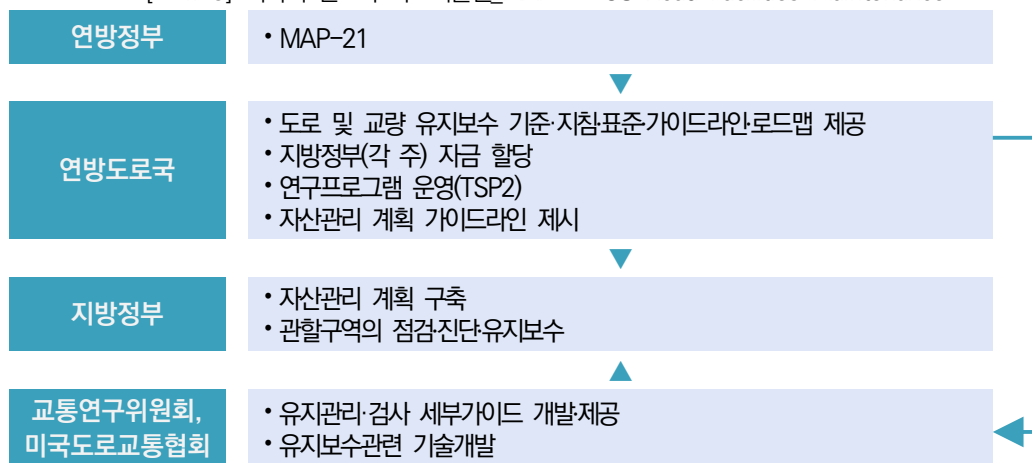
38) [출처] The Automated Road A Roadmap for Research - An Element of the Forever Open Road, 2018

릿지 포털” 웹 기반 데이터 관리 및 비즈니스 인텔리전스 툴로 LTBP 연구에서 수집된 데이터의 저장, 검색, 배포, 분석, 시각화 기능 및 전체적인 교량의 성능 평가 기능 제공³⁹⁾

■ 제112차 US Congress(2012)에서는 연방지원 고속도로·안전 프로그램·대중교통 프로그램 등의 자금승인 법안인 MAP-21(The Moving Ahead for Progress in the 21st Century Act)을 통해 장기적인 도로교통 프로그램 자원을 확대하고, 신규 및 노후화된 인프라 시설물의 유지 관리를 위한 인프라 마스터플랜을 수립⁴⁰⁾

- 정부의 육상교통 투자 정책 방향이나 이와 관련된 제도들의 변화에 따라 육상교통 운영의 능률화 및 성능중심의 평가에 초점을 두어 낙후된 도로인프라 문제를 해결하기 위해 주정부 도로 계획의 개선, 도로인프라 보수 및 성능향상을 위한 투자개선 등을 추진

[표 II-8] 미국의 인프라 마스터플랜_MAP-21 US Road Facilities Maintenance



■ [Austroads] 지역사회·산업·경제의 미래요구에 대응하여 안전성·신뢰성·연결성이 좋은 도로 네트워크를 제공하기 위해 설립된 호주와 뉴질랜드의 도로를 관할하는 도로교통 관리기관

- 현재와 미래의 새로운 문제를 해결할 수 있는 첨단도로·교통 전략연구, 도로 인프라 설계·건설·운영에 대한 가이드 발표, 호주 도로당국의 사업활동 지휘, 국제도로기구와의 협력 촉진, 호주의 교통인증 권한(National Telematics Framework 및 관련 지능화 기술 관리) 보유, NEVDIS*(National Exchange of Vehicle and Driver Information System) 관리 등

* NEVDIS : 자동차 및 운전자 정보의 국제교환 시스템의 주요 운영 목적은 ‘자동차 1대당 1개의 인증번호’, ‘1인당 1개의 운전자면허’ 체계를 보장하고 사고와 절도를 방지하기 위함

39) [출처] U.S. DOT Research, Development and Technology Strategic Plan(FY 2017-2021)

40) [자료] 중소 노후교량의 장수명화를 위한 실증기반 실험검증 특별기고 내용, 외부자금 감응재료 활용한 도로시안성 향상 및 주행안전성 개선기술 개발 기획보고서 발췌

● (프로그램) ① Assets ② Network ③ Safety ④ Future Vehicles and Technology

- (Assets) 도로 시스템 관리자에게 전략적인 정보를 제공하여 수요와 공급이 일치하도록 관리하고 기존 인프라를 유지보수하여 새롭고 선진화된 연결성을 제공할 수 있도록 함

* TF : 자산, 교량, 도로포장, 프로젝트 발주, 터널

■ 「도로기술회의」 기술개발 현황] 최근 3년간 일본의 국토교통성 산하 도로기술회의에서 진행된 R&D 현황은 아래와 같이 10대 영역, 4대 유형으로 구분하여 지원, 주로 도로 구조물 진단 및 유지보수, 교통관리 및 모빌리티 서비스, 도로구조물의 정보화 및 활용 등에 관한 R&D가 진행중임

- 채택된 각 연구과제는 신도로기술회의의 심의에 근거하여 연구내용의 조정을 거쳐 차년도 기술연구개발을 진행하며, 최근 3년 도로구조물 진단 및 유지보수, 교통관리 및 모빌리티 서비스, 도로구조물의 정보화 및 활용 등을 중심으로 R&D 지원 중

[표 II-9] 일본 <도로기술회의> 연구개발 프로젝트(2017~2019) 中

연구테마[정책영역]	연구개요
원격 탐사기술을 활용한 도로토목 구조물의 유지보수 효율화에 관한 연구개발	· 원격탐사기술(SAR)을 활용하여 광범위한 도로토공 구조물의 이상(연약지반, 슬레이킹 자재에 의한 장기침수, 앵커경사-콘크리트 말뚝(深礎杭) 이상, 관리되지 않은 흙사태 등)에 대한 과거-현재 DB화함으로써, 열악해진 도로토공 구조물의 성능과 대비책의 우선도를 평가해 도로 시설의 유지보수 작업의 효율화를 도모함
도로구조 및 포트홀(空洞) 특성이 반영된 함몰위험도 평가 및 합리적인 포트홀 대책 연구개발* 특별과제	· 포트홀 생성 요인이나 확대 과정 및 함몰 위험도를 규명하고 포트홀 탐사의 고도화, 포트홀 특성에 따른 적절한 보수 방안 개발함 · 도로관리자를 위한 도로함몰 예방 솔루션 「조사계획포트홀 탐지/보수와 관련한 합리적 프로세스」를 개발
지자체 도로 유지보수 업무를 위한 도로구조물 관련 정보의 이용/활용방안*특별과제	· 현장의 도로 유지보수 업무와 그 실시 체제, 도로구조물에 대한 다양한 데이터 관리의 현황을 조사하여 과제를 추출함 · 그 후 고비용을 들이지 않고 이와 같은 자료를 집약하여 도로구조물의 점검 진단결과를 지리정보시스템에 DB화 하는 구체적 방안 제시 · 지자체의 도입과 이용/활용의 실검증, 연구성과활용과 실무인재육성에 관한 검토
IoT와 이미지 머신러닝을 활용한 차량의 하중 실태 간이파악 기술 개발	· IoT와 이미지 머신러닝 기술을 활용하여 노면, 접합부, 바닥재에 작용하는 정적/동적 차량의 하중을 간이로 파악하고 평가하는 기술을 개발함 · 고속도로와 일반도로의 교량, 노선에서 실증 진행

*주) FS(타당성조사) 연구로 채택된 과제는 음영처리

[자료] <<http://www.mlit.go.jp/road/tech/shinkiki/kekka.html>> 2019.10.16. 기준

2-2. 국내외 기술/시장 동향

■ 국내 건설시장은 2030년까지 현재 규모를 유지하며 성숙기를 지속할 것으로 예측되나, 사회 기반시설의 보수보강 및 재개축 등과 관련된 유지보수 수요가 급증할 것으로 전망⁴¹⁾

- 시설물 안전 및 유지관리와 관련된 공공부문 유지관리 비용은 8년간 연간 8.7%가 상승

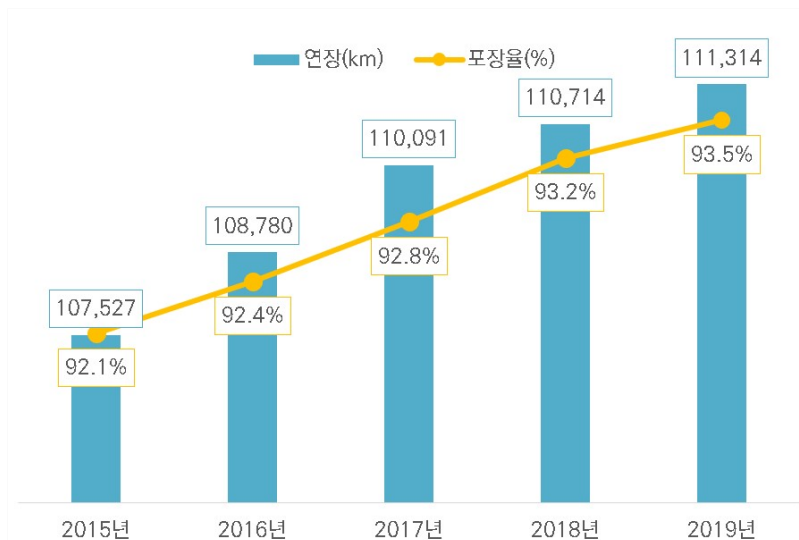
* '07년 1조 3,207 억원 → '15년 2조 5,432억원 (95% 상승)

- 준공후 20년 이상 경과된 교통관련 SOC 분야(교량, 터널 등)의 유지관리 예산은 10~20년이 경과한 구조물에 비해 도로 관련 시설물은 2.5배 수준으로 증가함에 따라, 2030년 유지관련 예산은 현재 대비 3.5배로 증가할 것으로 전망

* 국토교통부 소관 시설물에 대한 안전 및 유지관리 예산(시설개량 포함)은 '09년 8,467억원에서 '15년 도로구조물 기능 개선사업 확대를 기점으로 '18년 2조 3,724억원으로 180% 수준 상승

■ '19년 기준 국내 도로 연장은 총 111,314km이며, 고속도로가 4,767km, 일반국도 14,030km⁴²⁾

- 개통된 도로 103,192km 중 포장된 구간은 96,456km, 미포장된 구간은 6,736km로 도로의 포장률은 93.5%로 도로의 포장률은 꾸준히 증가



[그림 II-4] 국내 도로연장 및 포장율 ('15-'19)

41) 자가치유형 콘크리트 개발 최종보고서, 2020.04

42) 국가통계포털, 도로현황

[표 II-10] 국내 도로연장 및 포장율 ('15-'19)

(단위 : km, %)

연도	총계	소계			포장률
		개통도로	포장도로	미포장도로	
2015년	107,527	99,025	91,195	7,830	92.1%
2016년	108,780	100,428	92,826	7,602	92.4%
2017년	110,091	101,869	94,549	7,320	92.8%
2018년	110,714	102,465	95,524	6,941	93.2%
2019년	111,314	103,192	96,456	6,736	93.5%

[자료] 국토교통 통계누리 도로현황(Road Statistics)

■ 국내 도로 교량 및 터널의 개수와 연장 길이가 꾸준히 증가

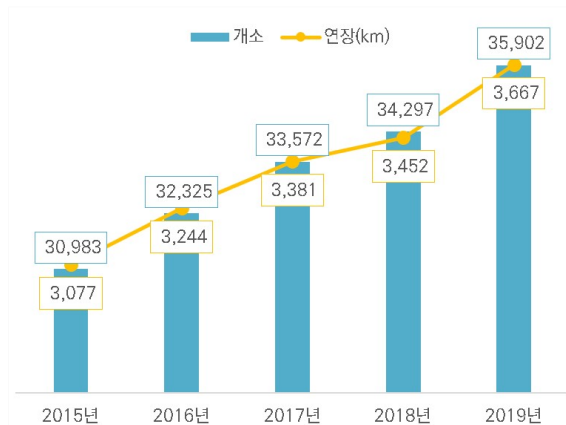
- 전국 도로교량은 '15년 30,983개소에서 '19년 35,902개소로 증가 같은 기간 도로연장은 3,077km에서 3,667km로 증가
- 전국 도로터널은 '15년 1,944개소에서 '19년 2,682개소로 증가, 같은 기간 터널연장도 1,293km에서 2,077km로 증가

[표 II-11] 국내 교량 및 터널 연장 ('15-'19)

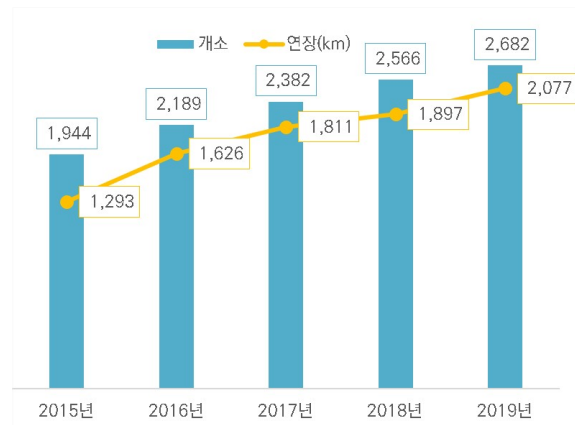
(단위 : 개소, km)

연도	교량 합계		터널 합계	
	개소	연장	개소	연장
2015년	30,983	3,077	1,944	1,293
2016년	32,325	3,244	2,189	1,626
2017년	33,572	3,381	2,382	1,811
2018년	34,297	3,452	2,566	1,897
2019년	35,902	3,667	2,682	2,077

[자료] 국토교통 통계누리 도로교량 및 터널현황(Road Bridge and Tunnel Statistics)



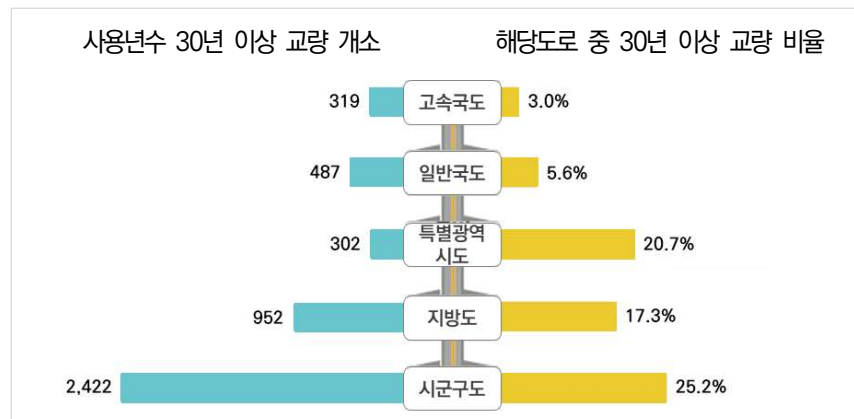
[그림 II-5] 국내 교량 연장 ('15-'19)



[그림 II-6] 국내 터널 연장 ('15-'19)

■ 국내 도로 교량 및 터널의 평균 사용연수의 증가와 노후화 비율이 증가함에 따라 유지 관리·보수 시장이 확대될 것으로 전망⁴³⁾

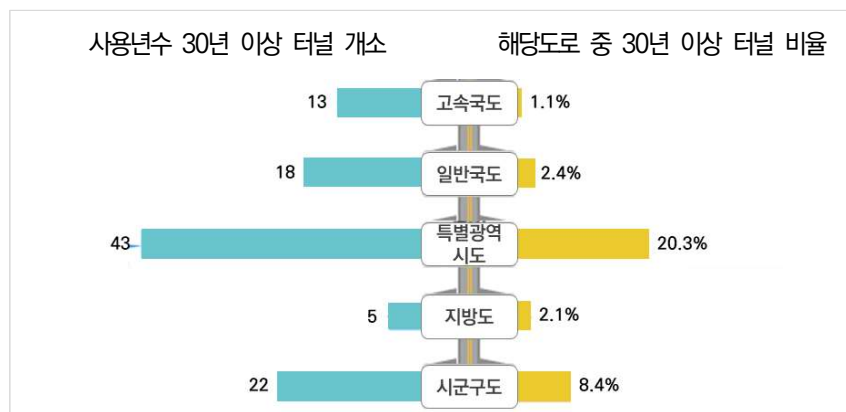
- 교량의 평균 사용연수는 17.8년, 30년 이상의 노후화 비율은 12.5%로 지자체 관리도로(시군구도, 특별광역시도, 지방도 등)가 국토교통부 관리도로 대비 높은 비중을 차지



[그림 II-7] 30년 이상 교량 현황

[자료] 2019 전국 교량/터널 현황조사

- 터널의 평균 사용연수는 11.6년, 30년 이상 노후화 비율은 3.8%로 특별광역시도·시군구도 비율이 국토교통부 관리도로 대비 높은 비중을 차지



[그림 II-8] 30년 이상 터널 현황

[자료] 2019 전국 교량/터널 현황조사

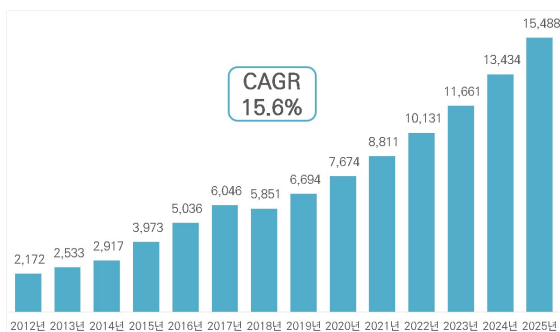
■ 국내 교량시장을 공사수주 실적으로 조사한 결과, '25년 기준 3조 1,011억 규모로 예상되며 유지보수 시장과 신규 건설시장이 비슷해질 것으로 전망⁴⁴⁾

- * 국내기업 건설 수주 금액(신규건설 수주, 유지보수 공사 수주)의 연평균 증가율을 '25년까지 적용하여 시장규모를 추정
- * 신규건설 수주금액은 '12~'18년 대한전문건설협회 통계자료를 이용하였으며, 유지보수 공사 수주금액은 '12~'18년 대한시설물유지관리협회 통계자료를 이용하였으며 각 적용대상별로 연평균 증가율을 계산하여 시장규모를 추정

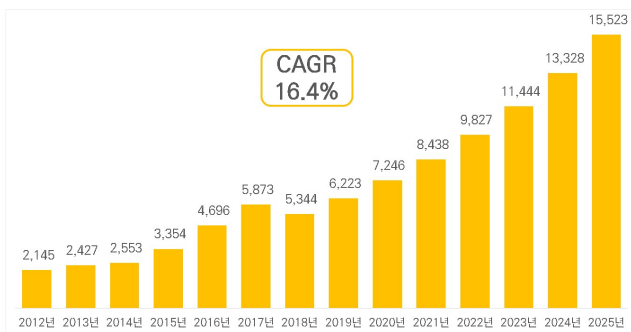
43) 「2019 전국 교량/터널 현황조사」에서 참고

44) 「2019 국토교통R&D 동향조사」에서 참고

- 도로교량 및 철도교량의 신규건설 수주규모는 '12년 2,172억원에서 '18년 연평균 18.0% 증가한 5,851억원으로 조사
 - SOC 예산감소를 반영하여 최근 3년간('15~'18년) 연평균 증가율(15.6%)을 '25년까지 증가한다고 가정하면 교량 신규건설 시장규모는 1조 5,488억원으로 예상
- 도로교량 및 철도교량의 유지보수 공사 수주규모는 '12년 2,145억원에서 연평균 16.4% 증가하여 '18년 5,344억원으로 조사
 - '25년까지 연평균 16.4% 증가한다고 가정시, 교량 유지보수공사 시장규모는 1조 5,523억원으로 예상



[그림 II-9] 국내 신규 교량건설 시장 전망



[그림 II-10] 국내 교량 유지보수 시장 전망

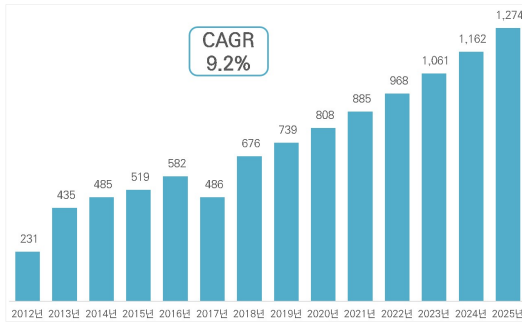
*주) (단위: 억원) [자료] 대한전문건설협회, 전문건설업동계조사 & 대한시설물유지관리협회, 시설물유지관리업조사

■ 국내 터널시장을 공사수주 실적으로 예측한 결과, '25년 기준 2,947억 규모로 예상되며 유지보수 시장이 신규건설 시장보다 커질 것으로 전망⁴⁵⁾

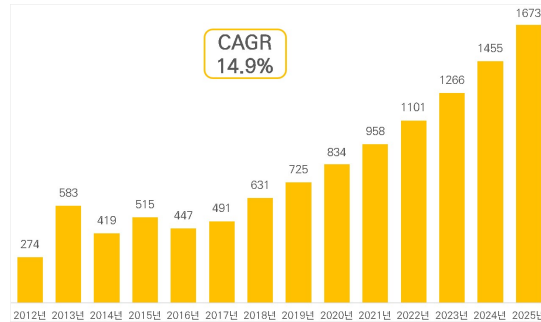
- * 국내기업 건설 수주 금액(신규건설 수주, 유지보수 공사 수주)의 연평균 증가율을 '25년까지 적용하여 시장규모를 추정
- * 신규건설 수주금액은 '12~'18년 대한전문건설협회 통계자료를 이용하였으며, 유지보수 공사 수주금액은 '12~'18년 대한시설물유지관리협회 통계자료를 이용하였으며 각 적용대상별로 연평균 증가율을 계산하여 시장규모를 추정

- 도로터널 및 철도터널 신규건설 수주규모는 '12년 231억원에서 연평균 19.6% 증가하여 '18년 767억원으로 조사
 - SOC예산감소를 반영하여 최근 3년간('15~'18년) 연평균 증가율(9.2%)을 '25년까지 증가한다고 가정하면 터널 신규건설 시장규모는 1,274억원으로 예상
 - 도로터널 및 철도터널의 유지보수 공사 수주규모는 '12년 274억원에서 연평균 14.9% 증가하여 '18년 631억원을 달성
 - '25년까지 연평균 14.3% 증가한다고 가정시, 터널 유지보수 공사 시장규모는 1,673억원으로 예상

45) 「2019 국토교통R&D 동향조사」에서 참고



[그림 II-11] 국내 신규 터널건설 시장 전망



[그림 II-12] 국내 터널 유지보수 시장 전망

*주) (단위 : 억원) [자료] 대한전문건설협회, 전문건설업동계조사 & 대한시설물유지관리협회, 시설물유지관리업조사

■ '10년 이후 노면파손에 의한 교통사고 건수 및 보수비용은 꾸준히 증가 추세⁴⁶⁾

- 2010년 이후 포트홀 등의 노면파손 관련 사고발생현황은 연간평균 861건에 이르고 있으며, 노면파손 관련사고 감소를 통한 사회적 편익은 연간 102.4억원으로 추산됨

[표 II-12] 노면파손 정보 제공에 따른 국내 예측 시장규모

구분	세부내용
국내시장	· 연간 도로교통사고 감소 편익 = 12.8조원×0.4%×20%≒102.4억원 - 12.8조원 : 2011년 기준 연간 도로교통사고 비용 - 0.4% : 전체 교통사고 중 노면파손 관련사고 비율 (최근 3년의 연간 노면파손사고 861건, 교통사고 224,082건) - 20% : 노면파손 관련사고 감소 비율(추정치)
	· 도로 노면파손의 스마트 탐지관리시스템 데이터 셋 및 장비: 359.8억원 효과 - 노면파손 등 도로교통정보에 대한 분석 모델링 정보제공 = 98,000만원/년 - 9개 자동차보험×10,000만원(데이터 셋)/년×70%(재구입율)=63,000만원/년 - 5개 네비게이션×10,000만원(데이터 셋)/년×70%(재구입율)=35,000만원/년

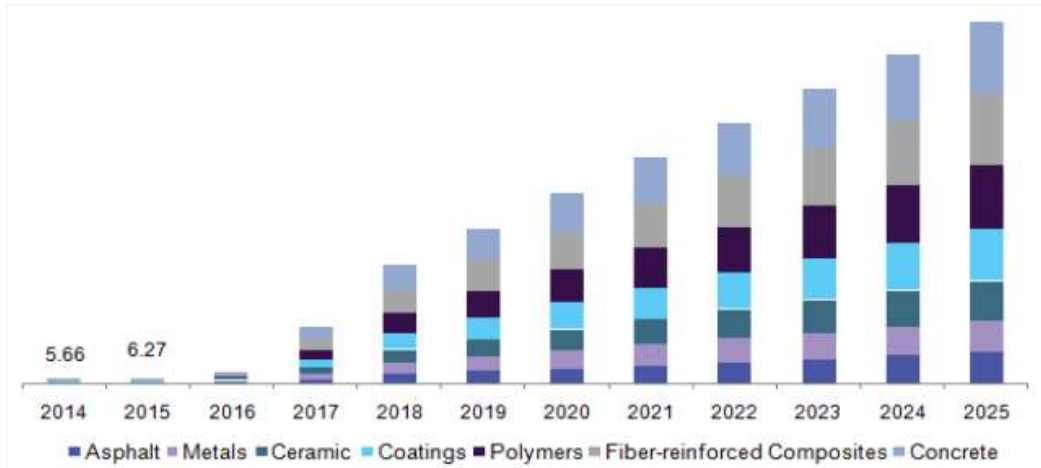
[자료] 사업용 차량을 이용한 도로교통상황 정보수집 및 활용 기술개발 기획보고서, 2018

■ 해외 주요국의 건설시장은 세계 경제 저성장이 장기화됨에 따라 사회기반 시설의 신규 조성보다는 기존 시설의 체계적인 유지·보수를 통한 사용성 및 내구성 증진을 도모⁴⁷⁾

- 일본의 공공시설물 보전 시장은 '13년 기준 2,012억 엔 규모를 기록하였고, 사회자본 투자 총액이 예년과 유사한 수준으로 유지될 경우, 2037년에는 유지관리 및 보수비가 투자총액을 상회할 것으로 예측
- 미국은 기존의 시설물 유지관리 정책을 보완하여 '20년까지 3,830조원의 예산을 추가 투입하고, 서유럽 또한 전체 SOC 투자 금액 중 약 30%를 유지·보수에 활용하는 등 유지·보수 시장의 규모는 지속적으로 확대될 것으로 전망

46) 사업용 차량을 이용한 도로교통상황 정보수집 및 활용 기술개발 기획보고서, 2018

47) 자가치유형 친환경 콘크리트 기술개발 최종보고서, 2020.04



[그림 II-13] 미국 유지보수 시장 현황 및 전망

■ **도로교통 인프라 부문의 세계시장 규모는 동남아, 중앙아시아, 남미 지역의 도로 건설 투자 확대에 따라 최근 10년간 2배 이상 성장**

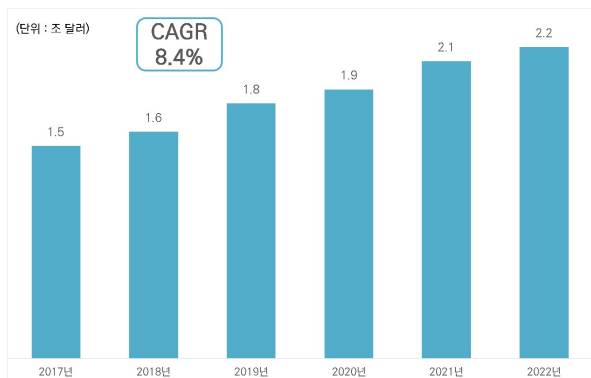
- 동남아시아, 중앙아시아, 남미 개도국의 내수·수출 수종지원을 위한 도로건설 투자확대에 기 인하여 '10년 1조 409억 달러에서 '20년 2조 4,876억 달러로 2배 이상 성장⁴⁸⁾

■ **세계 고속도로 및 교량 건설시장은 '17년 1.5조 달러에서 연 8.4%로 성장, '22년 2.2조 달러 규모로 성장할 것으로 예상⁴⁹⁾**

- 세계 고속도로 및 교량건설 시장이 아시아-태평양을 중심으로 성장할 것으로 예측
- (아시아-태평양) '17년 9,920억 달러→'22년 1.5조 달러(연 9.0% 성장)
- (북미) '17년 1,820억 달러→'22년 2,218억 달러(연 3.2% 성장)



[그림 II-14] 세계 도로건설 시장 전망



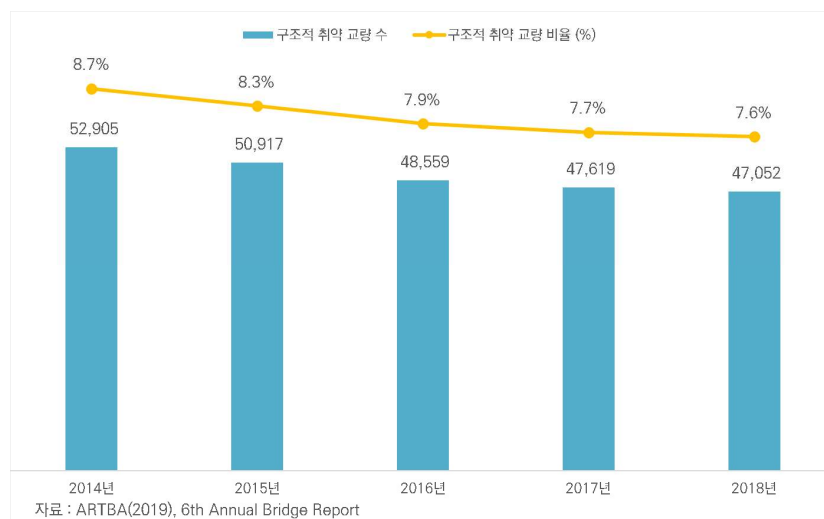
[그림 II-15] 세계 고속도로 및 교량 시장현황 및 전망

48) 건설경제, 25번째 도로의 날, 세계 도로시장 규모는, 2016

49) BCC Research, Highway, Street and Bridge Construction: Global Market to 2022, 2018

■ 미국의 '17년 기준 전체 616,087개의 교량 중에서 47,052개의 교량이 '구조적 취약' 등급 판정으로 긴급 보수 필요

- 미국에서는 구조적 취약 등급을 받은 교량의 평균 공용연수는 62년이고, 건전한 교량의 평균 공용 연수를 42년으로 규정하고 있음
- ARTBA(American Road & Transportation Builders Association)에서는 235,000개의 교량 보수비용으로 1천 710억 달러가 소요될 것으로 예상



[그림 II-16] 구조적 취약 등급을 받은 미국 교량 현황

■ 미국도로교통건축협회(ARTBA)의 데이터 조사에 따르면 미국 교량의 노후화로 인한 교량 보수에 대한 수요 증가로 미국 교량시장은 '17년 193억 달러로 추산

- '17년 기준 중앙 및 지방정부의 교량 관련 계약금액이 193억 달러이며, 이는 전년도 대비 25%인 40억 달러 증가한 규모⁵⁰⁾
 - 버지니아주는 '17년 기준으로 96개의 교량사업이 발주되었으며 그 규모는 22억 달러에 달하며, 주별 평균 교량사업비용은 캔자스주 70만 달러, 버지니아주는 2,270만 달러 수준
- '18년 기준 미국 교량수는 616,096개로, 약 7.6%인 4만7천여 개의 교량이 'Poor' 등급을 받음
 - 교량에 대한 평가는 Good(좋은), Fair(보통), Poor(안좋은)으로 분류
 - 미국도로교통건축협회(ARTBA)는 미국에 있는 교량의 1/3 가량이 중대한 보수가 필요한 상황으로 판단

50) U.S. Bridge Market Outlook, Transportation Builder, 2018

[표 II-13] 미국 노후화 및 문제 교량

연도	'14년	'15년	'16년	'17년	'18년
교량 총계	610,749	611,845	614,386	614,978	616,096
-도시	166,292	168,753	170,776	172,252	174,262
-지방	444,457	443,092	443,610	442,726	441,834
구조적 결함 교량 총계	61,365	58,791	56,007	54,560	-
-도시	11,093	10,660	10,114	9,882	-
-지방	50,272	48,131	45,893	44,678	-
Good Bridge 총계			-	288,011	283,316
-도시			-	82,544	81,282
-지방			-	205,467	202,034
Fair Bridge 총계	-	-	-	279,265	285,676
-도시	-	-	-	80,408	83,557
-지방	-	-	-	198,857	202,119
Poor Bridge 총계	-	-	-	47,619	47,054
-도시	-	-	-	9,281	9,415
-지방	-	-	-	38,338	37,639

[자료] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (<https://www.fhwa.dot.gov>), 2019.11.26.

■ 파손된 도로에 의한 피해보상 금액 및 도로 유지관리 예산은 지속적으로 증가 추세⁵¹⁾

- 영국 아스팔트 협회(AIA)의 조사자료에 따르면, '13년 지방정부에서 보상한 노면파손 등 불량한 도로로 인한 피해보상금액은 2,380만 파운드(415억 원), 노면파손 등 도로유지관리 예산은 연간 약 9.76억 파운드(1.7조원) 투입

[표 II-14] 노면파손 정보 제공에 따른 해외(영국) 예측 시장규모

구분	세부내용
■ 해 외 시 장 (영국)	· 도로 노면파손의 탐지 데이터 셋 및 장비: 116억원/연 효과 · 연간 도로관리 비용 감소 편익 → (415억원 × 20%) + (10.2조원 × 0.05%) ≒ 583억원/5년 - 노면파손 등 불량한 도로로 인한 피해보상금액 2,380만 파운드(415억 원) - 5년간 도로 유지관리 비용 약 58억 파운드(10.2조원) - 0.05% : 조기진단을 통한 유지관리 비용 감소비율 - 20% : 노면파손 자동 사전관리를 통한 관련사고 감소 비율(추정치)

[자료] 사업용차량을 이용한 도로교통상황 정보수집 및 활용 기술개발 기획보고서, 2018

■ 인프라의 노후화 정도 및 위험도 측정을 통해 구조물의 상태를 진단하고, 재생·복원을 위한 기술 및 평가방법 개발에 대한 연구가 이루어지는 추세임

- 국토교통부는 도로교통 위험요소로부터 안전한 도로환경을 구축함으로써 교통사고 사망자를 줄이기 위한 도로인프라 중심의 「도로교통 안전강화 특별대책(‘20~’23)」을 추진하고있으며, 인프라 개선·확충을 통해 위험요소에 대한 선제적 대응 및 대책을 마련
 - 지진에 대한 안전성을 확보하여 국민생활안전을 보장하는 것을 목표로 노후 도로시설물(교량·터널·옹벽·사면 등)을 대상으로 내진성능평가를 통해 효과적인 도로망 내진성능 관리체계를 수립하고 관련기술을 개발함

51) 사업용 차량을 이용한 도로교통상황 정보수집 및 활용 기술개발 기획보고서, 2018.

[참고] 노후도로시설(교량터널사면옹벽)의 내진성능관리 의사결정지원 기술개발

- '18.04~'21.12, 주관인하대학교 산학협력단
- (주요 연구내용) ① 도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가기술 개발
② 도로망의 지진복원력 평가를 통한 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발 및 시범적용
- (활용방안) 노후도 등에 따른 지진취약성 곡선 개발을 통해 내진성능 평가 및 내진설계에 적용하고, 도로시설물의 대표 재료에 대한 노후도 평가 원천기술을 활용하여 대표요소에 대한 보강설계 시기 결정기술에 활용 등



[그림 II-17] 노후시설물 내진성능 진단·평가기술 개발 개요도

- 광범위한 지역에 분포한 도로 비탈면과 도로포장 등에 대한 비용효율적인 조사와, 교통 사고를 유발하는 위험인프라를 진단하고 관리하기 위하여 드론을 활용한 측정기술을 개발

[참고] 드론을 활용한 비탈면 및 도로포장 관리 효율화 기술개발

- '18.04~'20.12, 주관 한국건설기술연구원
- (주요 연구내용) 드론을 활용하여 광범위한 지역에 대한 ① 도로 비탈면 변위 측정, ② 포트홀 탐지, ③ 포장노후화 상태 측정이 가능한 기술을 개발
- (활용방안) 도로 비탈면·도로포장의 변위 측정 및 포트홀 탐지·복구 등 위험인프라에 대한 진단 및 복구를 통하여 교통사고 사전 예방에 따른 사회적 비용 절감, 포장 덧씌우기 우선순위 선정을 통한 예산 투자 효율 향상 등



[그림 II-18] 드론을 활용한 도로 현황 측정 기술

- 도로함몰 위험성 평가를 위하여 도로하부의 공동 발생 유무를 파악하고, 포장의 지지력을 평가할 수 있는 비파괴시험 및 분석 기법 개발 및 Multi-data(지표투과 레이더 연속식 도로 지지력 평가 시스템(RDD))를 활용한 최적의 도로함몰 탐지 시스템 개발⁵²⁾

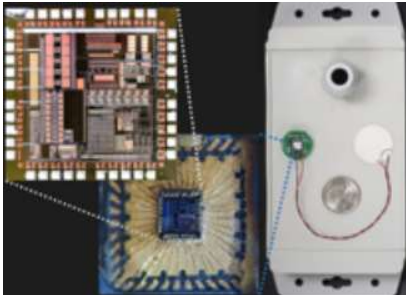
52) 「2019 국토교통 R&D 동향조사」에서 참조



[그림 II-19] 도로함몰 위험도 평가 및 분석기술 개발

- 미국은 FHWA의 자금 지원 아래 환경적으로 안전하고 건전한 교통시스템 구축을 목표로 도로 및 교량 등의 구조평가를 위한 연구 등을 포함하는 장기-고위험 혁신 연구를 지원하는 프로그램인 EAR(Exploratory Advanced Research)을 운영
 - (미국 주요도로 교량의 구조적 상태평가 연구) FHWA에서 2년마다 실시하는 교량의 육안검사 외에 구조물 상태의 정확한 모니터링을 위한 무선 센서기술 개발 및 관리시스템을 구축하는 연구로, 배터리가 없고 비용효율적인 소형 무선센서를 활용하여 데이터를 효율적으로 수집전송하고, 예측값에 대한 시스템 배포 및 신속한 평가대응설정을 통해 기준 데이터와 실제 구조조건을 비교하는 연구를 진행
 - * 미국 주요도로 교량 구조적 상태평가 : 모니터링 및 손상감지를 위한 무선 센서 시스템, 2017
Assessing the Structural Health of America's Highway Bridges : Effective Wireless Sensor Systems to Monitor Structural Health and Detect Damage)
 - 교량 및 기타 토목인프라의 시스템상태에 대한 저비용으로 지속적인 모니터링이 가능하며, 심각한 구조적 손상에 대한 조기경보 시스템 역할을 수행할 것으로 기대

[표 II-15] 도로 현황측정 및 위험인프라 진단을 위한 계측센서 기술

배터리 없는 PFG 칩셋 탑재 프로토타입 센서 보드 (Washington University in St. Louis)	계측기 센서 및 시스템 무선 변환 (Drexel University)
	   

- Infravation에서는 첨단시스템·도로인프라기술 및 재료분야의 혁신 연구개발을 촉진을 통해 도로인프라 건설 및 유지보수에 있어 비용효율적인 시스템·재료·기술개발을 추진중임
 - * Infravation은 구조물의 위험 감지 및 유지보수를 위한 모니터링 기술 외에 친환경·첨단기술 적용 도로마감재 및 BIM 적용기술 등에 대한 프로젝트를 진행
- (SHAPE) 교량구조의 장기 모니터링을 위한 중앙 집중식 데이터관리 및 분석 시스템을

제공하는 클라우드 기반 접근방식을 채택하여 계측기(SHAPE Box)를 교량 하부에 장착하여 주파수 이동 관찰을 통해 구조적 손상 및 강도변화를 예측하여 교량의 손상에 대한 조기감지를 위한 기술을 개발



[그림 II-20] SHAPE Box 설치 및 교량 강도변화 예측

- (FASSTbridge) 강교량의 수명연장에 대한 신뢰성 있는 예방, 비용효율적이고 지속가능한 솔루션을 제공하여 유럽과 미국의 강교량 재고 소유에 따른 경제적 및 환경적 비용을 획기적으로 절감하기 위한 기술을 개발
- 일본 국토교통성 산하 도로기술회의에서는 고감도 자기비파괴검사를 통해 육안 확인이 불가능한 강철 구조물의 손상(부식, 파손 등) 및 결함을 검출하는 기술에 대한 연구개발이 진행
 - 교량의 수중부에 부착된 생물을 떼어내지 않고 두께를 측정하거나 조명·표지판·기초 콘크리트 매설부분·구조물 내부의 부식 검출, 용접불량 및 결함 검출 등 내부의 불량이나
 - 결함을 검출하는 방법에 대한 기술 개발

[표 II-16] 고감도 자기비파괴검사를 통한 구조물 손상 및 결함 검출

수중부 손상 검출	기초 매설부위, 폐쇄단면 내부손상, 앵커볼트 부식 검출	용접부 불량 및 결함 검출
가이드아름 水中 プローブ 自動で移動 付着生物等	プローブ 地際	溶接部の内部欠陥 溶込み不足 プローブ

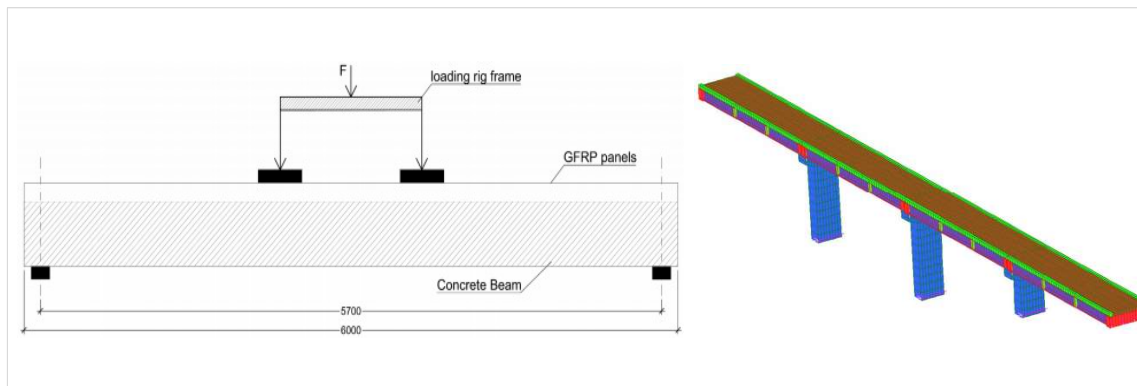
- 도로 등 인프라시설의 건설정보에 대한 운영효율성 확보 및 건설구조물 생애주기에 걸친 예측진단관리를 위한 BIM등의 3D모델링 관리기술 등의 연구개발이 증가
- 일정부분 이상 공공발주 공사에 대한 BIM 적용 의무화 및 민간 인센티브 제공을 통해 단계적으로 BIM 이용을 확대하며, 인프라BIM 표준화를 통한 건설정보 생애주기 정보공유 활용기반의 구축 연구를 수행

- 도로·하천 등의 인프라분야 건설정보 생애주기정보 공유기반 및 활용체계 구축을 목표로 BIM 표준을 개발하고, 데이터를 활용한 통합관리 핵심 운영기술 개발을 위한 실용화 중심 연구개발 진행

[참고] BIM기반 도로·하천 시설물의 건설사업정보 통합관리기술 개발

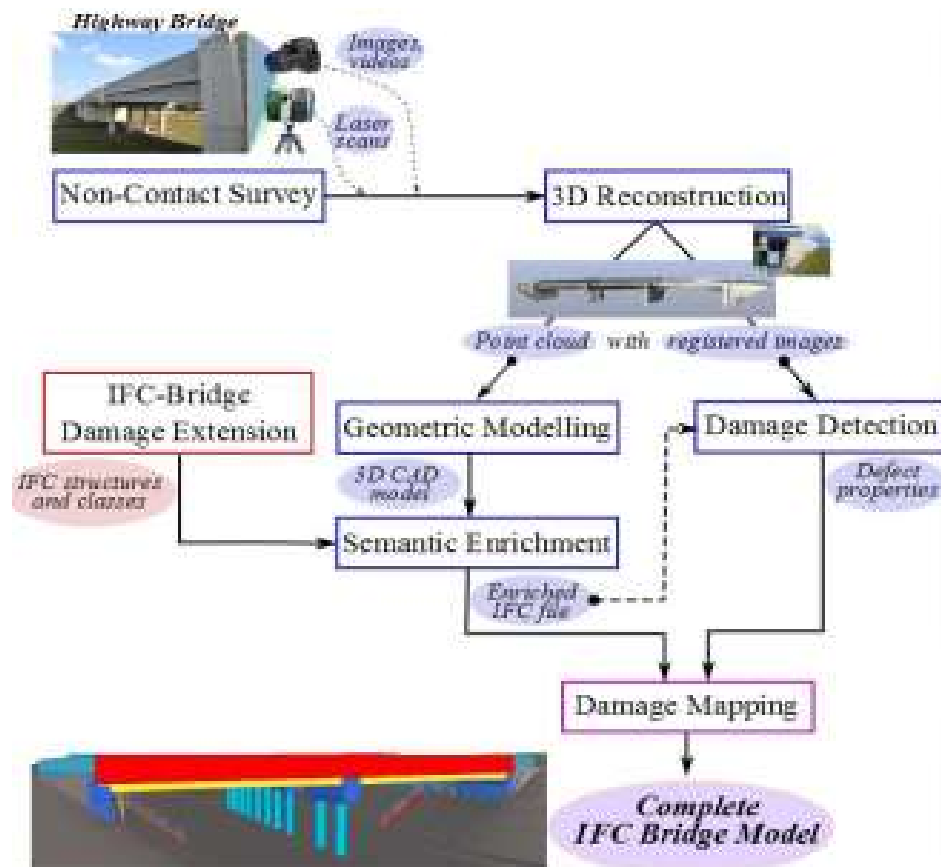
- '16.09~'21.12, 주관한국건설기술연구원
- (주요 연구내용) ① 도로·하천시설을 대상으로 건설 생산성 향상을 위한 객체분류체계, 형상표준 등 인프라BIM 표준체계 확보 및 3차원 성과품 납품체계 개발
- ② 도로·하천시설 생애주기 정보에 대해 공정-공사비 기반 통합관리를 위한 운영플랫폼 개발
- (활용방안) 인프라의 설계단계에서의 간섭검토 등을 통한 설계생산성 향상 프로세스 적용, BIM 정보분류체계 기반 위계 정보구조에 의한 공정관리·공사비관리를 위한 정보자동화 구축, 축적된 생애주기 BIM데이터 기반 건설정보 통합관리 및 운영환경 개선 등에 활용

- Infravation에서는 도로·교량 등에 대한 신속한 조사 및 평가를 위한 종합 솔루션 개발에 대한 기술개발 및 평가모델을 구축하는 연구개발을 진행
- (SUREBRIDGE) 보수보강·개보수 조치를 포함한 교량보수를 가능한 최단시간에 실현하기 위해 FRP(섬유보강 폴리머)재료를 이용한 개보수 기술 및 평가방법을 개발하며, 고도화된 자재 및 시공 공정을 통해 기존 교량의 유지 및 개보수 기술강화



[그림 II-21] SUREBRIDGE의 LAB test 개념도 및 실증 교량 모델 분석

- (SeeBridge) 교량의 신속하고 지능적인 조사 및 평가를 위한 종합 솔루션 개발을 목표로 다양한 첨단원격 감지기술(레이저 스캐닝·비디오·포토그램 측정 등)을 활용하여 교량의 상태를 빠르고 정확하게 모니터링하고, 객체감지SW를 활용한 3D모델링으로 교량의 수리·개조·재건 등의 유지관리를 위한 정보를 제공하는 기술을 개발



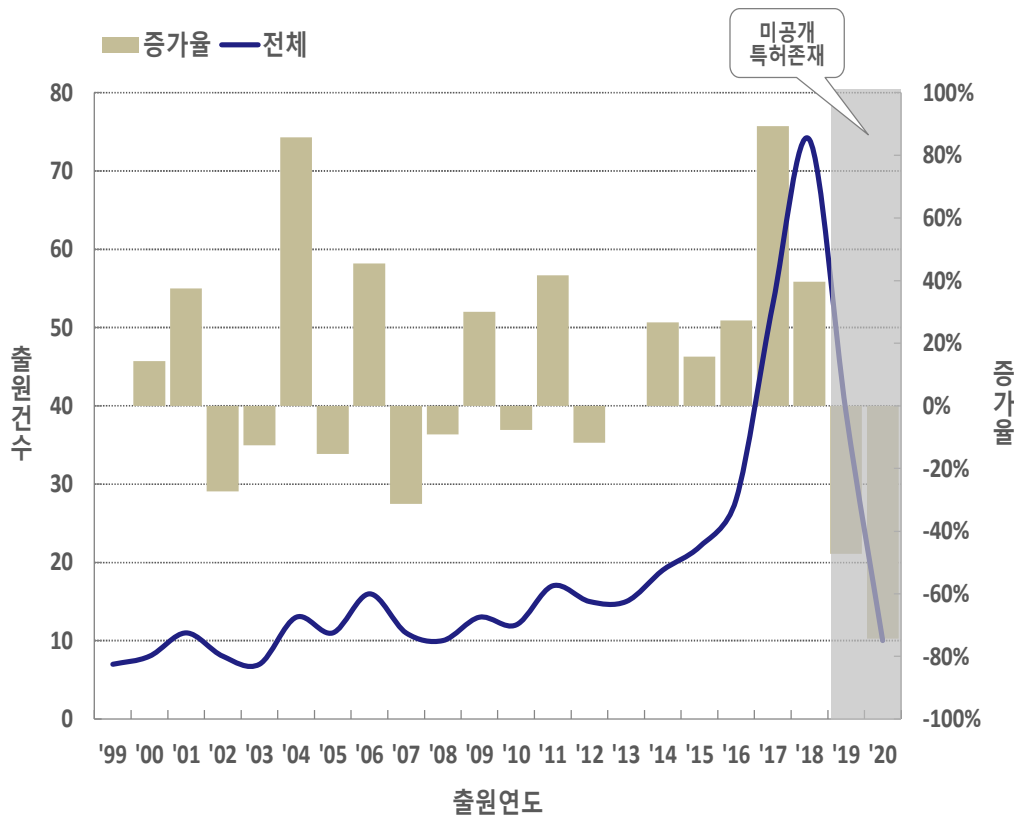
[그림 II-22] SeeBridge 시스템 컨셉

2-3. 특허분석

2-3-1. 국가별 특허분석

■ 전체 특허동향

- (전체 연도별 특허동향) 출원연도를 기준으로 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)에 대한 출원건수 현황과 출원 증가율을 통해 출원 증감 추이를 살펴봄



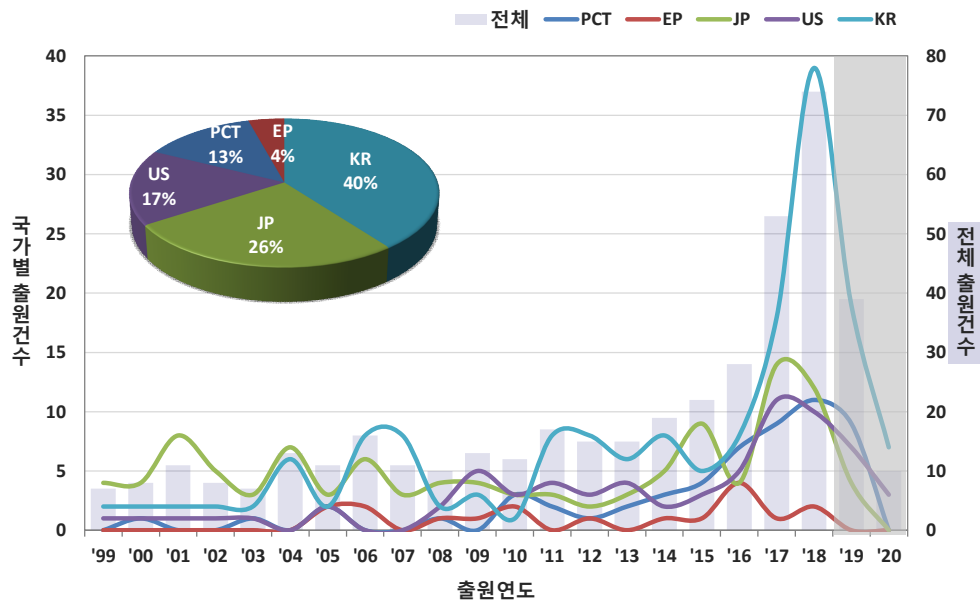
[그림 II-23] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 연도별 특허동향

- 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)분야 특허 419건에 대한 출원연도별 특허동향*을 살펴보면, 전반적으로 증가추이를 보이고 있으며, 특히 2016년부터 2018년까지 급증하고 있는 것으로 나타남

* 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있어, 2019~2020년 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로, 2018년까지의 유효데이터를 기준으로 의미를 파악함

■ 출원국 특허동향

- (출원국 연도별 특허동향 및 국가별 점유율) 출원연도를 기준으로 각국에서의 특허 출원건수 현황을 통해 출원 증감 추이와 국가별 점유율을 파악하고자 함

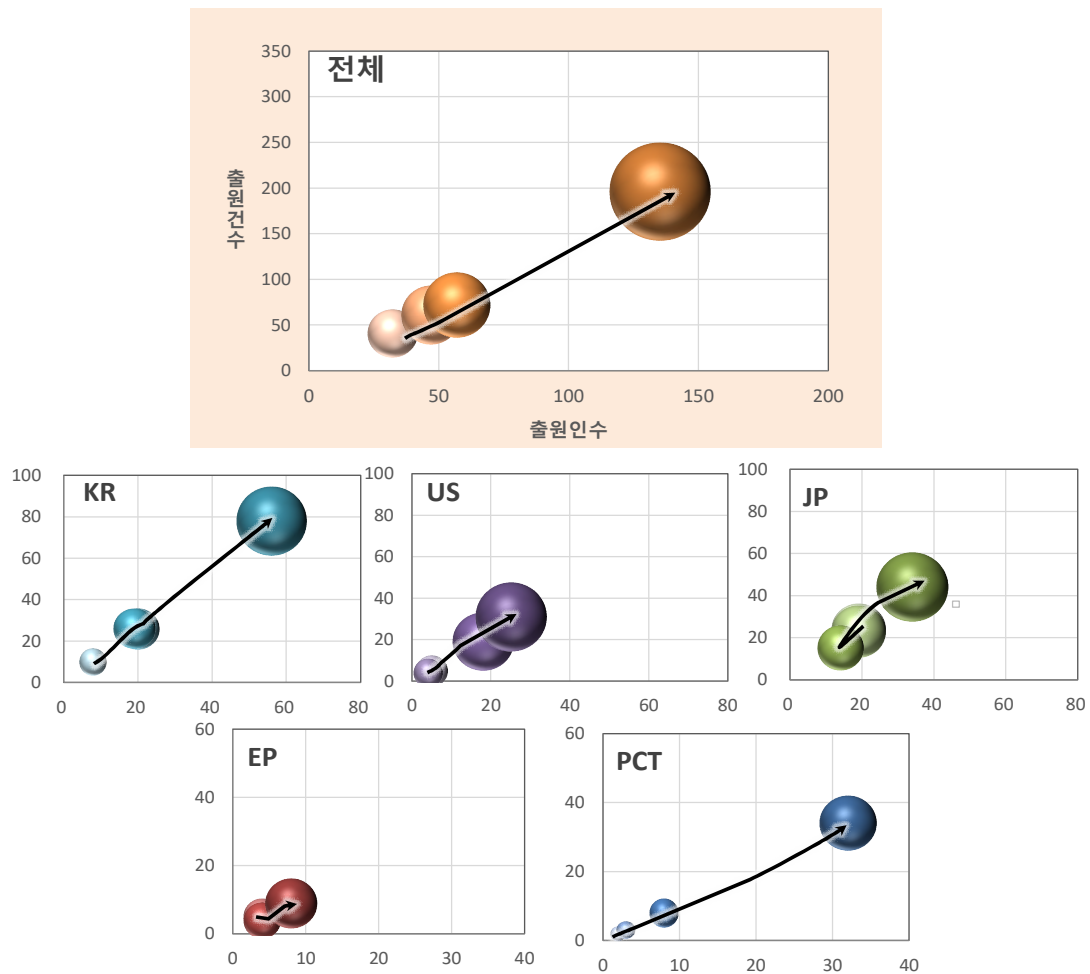


[그림 II-24] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 국가별 특허 동향 및 점유율

- 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)의 국가별 점유율에 있어서는, 한국이 40%로 관련 특허를 가장 많이 보유하고 있으며, 다음으로, 일본이 26%, 미국이 17%, PCT 13%, EP가 4%의 순으로 점유율을 기록하고 있음
- 출원연도별 특허동향에서는 가장 많은 출원을 나타낸 한국의 경우, 2016년부터 2018년까지 급증하고 있음
 - 나머지 4개국은 연간 10건 내외의 출원을 나타내며, 증가 감소를 반복하고 있으며, 일본, 미국, PCT는 2010년대에 들어서면서 점차 출원이 증가하고 있는 것으로 분석

■ 국가별 기술성장 단계

- [기술 성장단계] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)분야 전체 및 각 국가별 포트폴리오를 통해 기술 위치를 분석한 것으로, 전체 출원연도를 구간별(4구간)로 나누어, 구간별 특허 출원건수 및 출원인 수 변화를 통해 기술성장단계를 분석함



구간	1구간	2구간	3구간	4구간
출원연도	1999~2003	2004~2008	2009~2013	2014~2018

* 출원건수와 출원인수의 규모의 차이로, 한국, 미국, 일본 3개국과 EP, PCT 2개국에 대해 스케일을 다르게 적용하였으므로, 해석시 유의

[그림 II-25] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 국가별* 기술 성장 단계

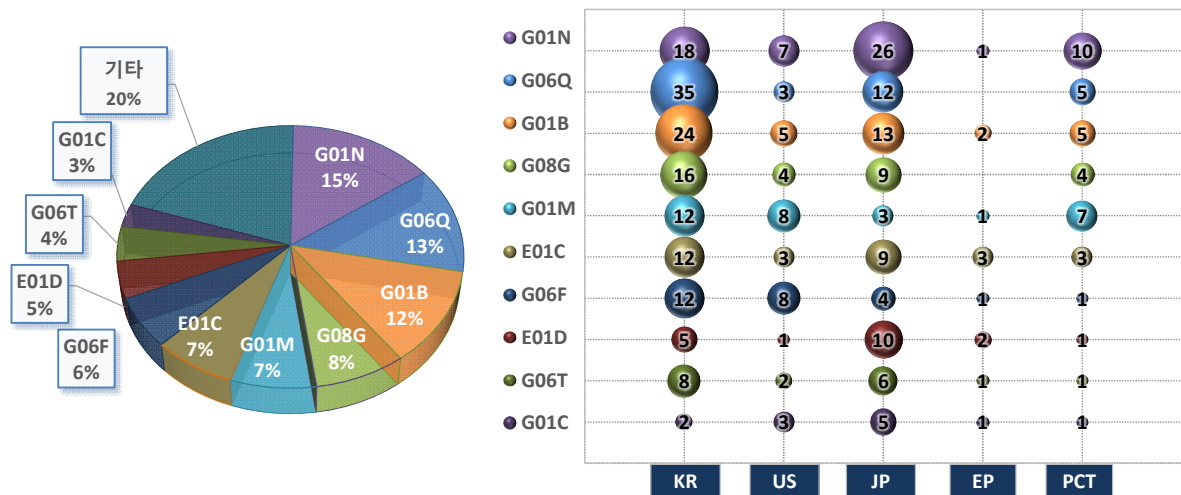
- (전체) 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)분야 전체 포트폴리오 분석결과, 기술성장 단계는 1구간에서 4구간까지 출원 건수와 출원인 수 모두 지속적으로 증가하고 있고, “성장” 단계인 것으로 분석되며, 특히 3구간에서 4구간 사이 급격한 증가를 나타내며 최근 연구개발 및 시장에서의 경쟁자 진입이 활발하게 진행되고 있는 분야인 것으로 파악됨
- (한국) 한국특허의 포트폴리오를 분석한 결과, 1구간부터 4구간까지 출원 건수와 출원인 수 모두 지속적으로 증가하고 있어, “성장” 단계로 분석됨
 - 구간별로 살펴보면, 2구간에서 3구간사이에 출원 건수와 출원인 수가 큰폭으로 증가하고 있는 것으로 나타나며, 3구간에서 4구간 사이는 증가폭이 크지 않은 것으로 나타나, 시장이 안정화 되어 가고 있는 것을 알 수 있음

- (미국) 미국특허의 포트폴리오를 분석한 결과, 1구간부터 4구간까지 출원 건수와 출원인 수 모두 지속적으로 증가하고 있어, “성장” 단계로 분석됨
 - 구간별로 살펴보면, 3구간에서 4구간 사이에 출원 건수와 출원인 수가 대폭 증가하는 것으로 나타나, 시장의 신규 진입자들에 의해 시장 경쟁이 심화되고 있음을 알 수 있음
- (일본) 일본특허의 포트폴리오를 분석한 결과, 1구간에서 2구간은 정체 후 3구간까지 다소 감소한 후, 4구간까지 다시 증가하고 있어, “회복” 단계로 분석됨
- (EP) EP특허의 포트폴리오를 분석한 결과, 출원 건수와 출원인 수 규모 모두 매우 낮은 것으로 나타나 “태동” 단계로 분석됨
- (PCT) PCT특허의 포트폴리오 통해 분석한 결과, 1구간부터 4단계까지 스케일은 작으나 출원 건수와 출원인 수 모두 지속적으로 증가하고 있어, “성장” 단계로 분석됨

2-3-2. 세부기술 특허분석

■ 세부기술 특허현황

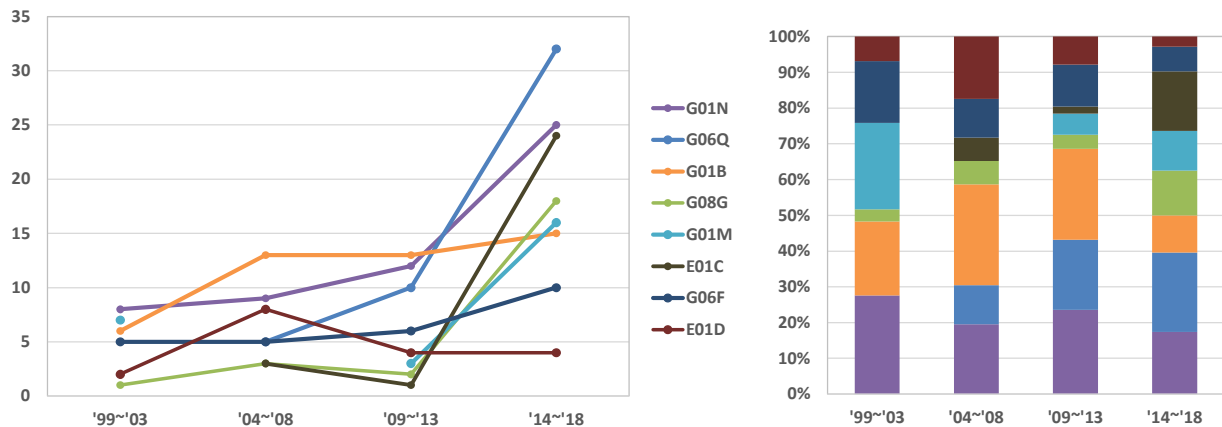
- (세부기술 특허현황) 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)분야의 세부분류는 도로인프라 장기 빅데이터 기반의 최적 유지·관리 시스템 기술(CBA)로 한가지 기술분야인 점을 감안하여, 메인 IPC(국제특허분류 코드) 분석을 통해, 세부 기술의 현황 및 국가별, 구간별 세부기술 분포를 파악함
- 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)분야의 세부분류는 도로인프라 장기 빅데이터 기반의 최적 유지·관리 시스템 기술(CBA)이며, 해당 분류의 IPC 분석을 실시한 결과, G01N 분야가 15%, G06Q가 13%, G01B 12%, G08G 8%, G01M 7%, E01C 7%, G06F가 6%의 순으로 나타나며, 한 분야에 집중되기 보다는 다양한 기술 분야로 이루어져 있는 것으로 분석됨
 - 가장 많은 점유율을 나타낸 G01(G01N, G01B, G01M, G01C) 분야 관련 특허들은 주로 측정 및 시험과 관련된 특허들로, 도로 인프라 진단 관련 기술들에 관련된 것으로 파악되며, G06Q는 도로인프라의 노후화, 내구, 파손 등과 관련한 예측용 데이터 처리 및 시스템에 관련된 기술인 것으로 파악됨



IPC코드	설명
G01N	재료의 화학적 또는 물리적 성질의 검출에 의한 재료의 조사 또는 분석
G06Q	관리용, 상업용, 금융용, 경영용, 감독용 또는 예측용으로 특히 적합한 데이터 처리 시스템 또는 방법; 그 밖에 분류되지 않는 관리용, 상업용, 금융용, 경영용, 감독용 또는 예측용으로 특히 적합한 시스템 또는 방법
G01B	길이, 두께 또는 유사한 직선치의 측정; 각도의 측정; 면적의 측정; 표면 또는 윤곽의 불규칙성 측정
G08G	교통제어시스템
G01M	기계 또는 구조물의 정적 또는 동적 평형시험; 달리 분류되지 않는 구조물 또는 장치의 시험
E01C	도로, 경기장 또는 그와 유사한 것의 건설 또는 그 표면의 시공; 건설 및 보수용 기계 또는 보조 공구
G06F	전기에 의한 디지털 데이터처리
E01D	교량, 다리의 해체
G06T	이미지 데이터 처리 또는 발생, 일반
G01C	거리,수평,방위의측정;측량;항법;자이로스코프기기;사진측량또는영상측량

[그림 II-26] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 기술별(IPC) 특허현황

- 국가별로는 한국은 G06Q가 가장 많으며, 다음으로는 G01B, G01N, G08G의 순이며, 미국은 G01M, G06F, G01N의 순으로 관련 특허를 보유하고 있으며, 일본은 G01N, G01B, G06Q, E01D의 순으로 나타나고, PCT는 G01N, G01M의 순으로 특허출원이 이루어진 것으로 나타남
- IPC별로는 G01N와 E01D, G01C는 일본이 가장 많은 특허를 보유하고 있으며, G06Q, G01B 및 나머지 상위 IPC코드에서는 한국이 우위를 나타내고 있음



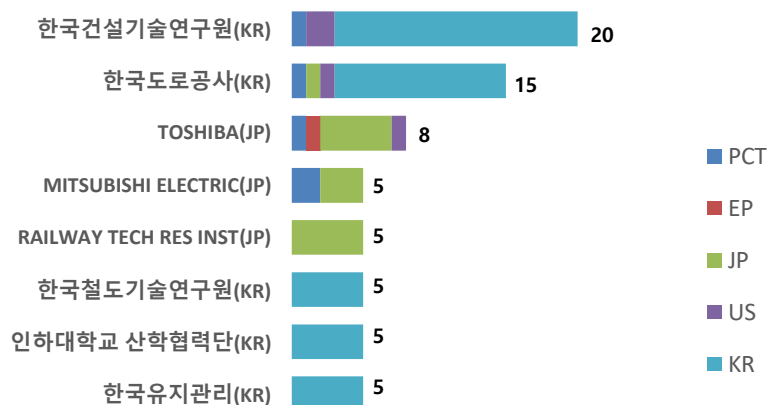
[그림 11-27] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 기술별(IPC) 구간별 특허동향

- 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)분야의 기술별(IPC) 중 5%이상의 점유율을 보이는 IPC의 출원구간에 따른 출원동향을 살펴보면, E01D를 제외한 나머지 기술들은 모두 증가추이를 나타내고 있으며, '14~'18구간의 점유율을 살펴보면, 한 분야에 집중되지 않고 다양한 분야로 나누어져 있는 것으로 분석됨

2-3-3. 주요 출원인 특허분석

■ 상위 출원인 TOP10 특허동향

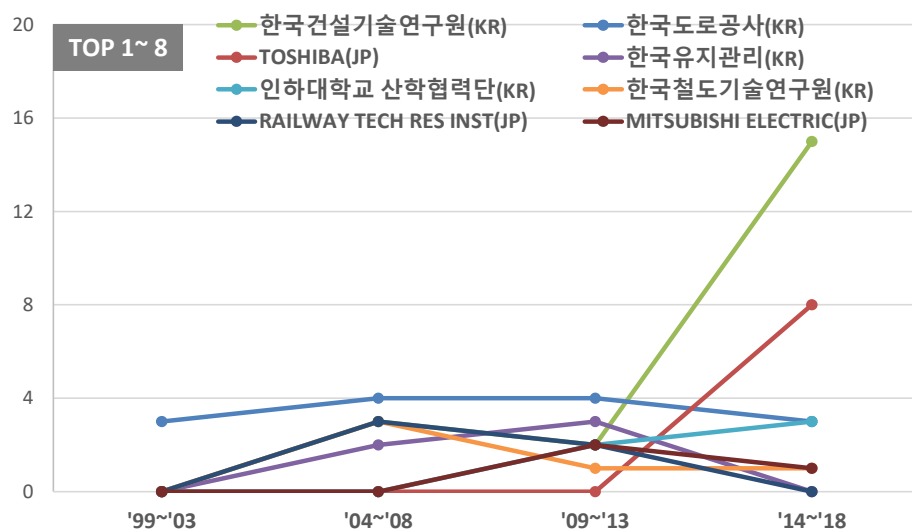
- (상위 출원인 TOP 10) 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)분야의 상위 출원인 10위까지를 선정하여, 해당 출원인들의 국가별, 기술별 출원현황을 분석함



[그림 11-28] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 상위 출원인 TOP10 현황 및 국가별 특허현황

- 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)분야의 전체 특허에 대해 출원 건수를 기반으로 상위
- 출원인 10위까지를 선정한 결과, 5건 이상을 출원한 출원인은 상위 8위까지로 분석되어 상위 8위 까지 분석을 실시함

- 한국 국적의 출원인이 강세를 나타내며, 다음으로 일본 국적 출원인들이 우위를 보이는 것으로 분석됨 한국건설기술연구원이 가장 많은 특허를 출원한 것으로 분석되며, 2위는 한국도로공사, 3위는 TOSHIBA, 공동 4위는 MITSUBISHI ELECTRIC, RAILWAY TECH RES INST, 한국철도기술연구원, 한국유지관리, 인하대학교 산학협력단의 순으로 나타나며, 한국 국적의 출원인이 강세를 보이고 있음
- 한국국적의 출원인들은 주로 산학연 기관들인 것으로 분석되며, 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)분야에 있어 한국은 정부 주도의 연구개발이 활발한 분야로 파악됨



[그림 II-29] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)상위 출원인 TOP10 구간별 특허동향

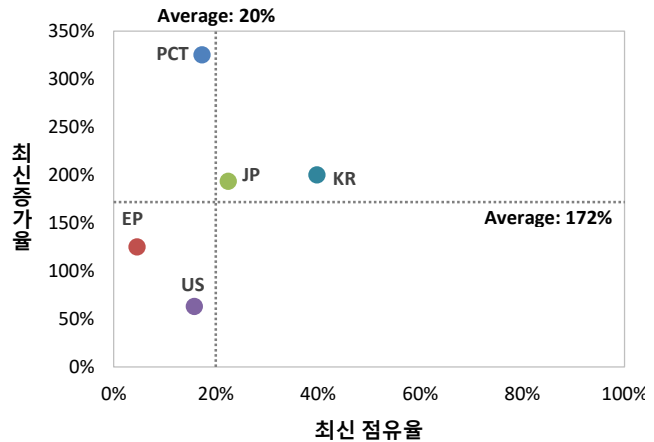
- 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 분야 상위 출원인 TOP10의 출원구간별 특허동향을 분석한 결과, 최근 '14~'18 출원구간에 특허출원증가세가 가장 높은 출원인으로는 1위인 한국건설기술 연구원과 3위를 기록한 TOSHIBA인 것으로 분석됨

2-3-4. 최신 특허분석

■ 국가별 최신 특허동향

- (국가별 최신 특허 동향) 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)의 국가별로 이전 구간에 대비 최신 구간의 증가율과 최근 구간의 점유를 종합적으로 분석하여, 최근 출원부상국가 와 최근 구간의 각 국가별 기술개발 단계를 분석

구분	특허건수			최신 증가율	최신 점유율
	전체	이전구간 (‘09~‘13)	최신구간 (‘14~‘18)		
KR	166	26	78	200.0%	39.8%
US	69	19	31	63.2%	15.8%
JP	110	15	44	193.3%	22.4%
EP	18	4	9	125.0%	4.6%
PCT	56	8	34	325.0%	17.3%
전체	419	72	196	172.2%	100.0%



[그림 II-30] 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 국가별 최신 특허동향

- 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB)에 있어, 국가별 최신 특허동향분석 결과, 최신 점유율과 최신 증가율 모두 평균 이상인 국가는 한국과 일본인 것으로 나타나, 한국과 일본이 최신 기술에 대한 연구와 주도를 집중하고 있는 것으로 분석됨
- IP부상도에 있어서는 PCT가 가장 높은 반면, 미국이 가장 낮은 것으로 나타남

2-3-5. 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 특허분석 결론

- 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 특허 419건에 대한 특허분석 결과, 출원연도에 따라 전반적으로 증가추이를 나타내고 있고, 기술성장 단계에서 “성장” 단계로 분석되어, 향후 꾸준한 출원 증가를 이어 갈 것으로 전망됨
- 국가별 분석 결과, 한국이 40%로 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 관련 특허를 가장 많이 보유하고 있으며, 다음으로는 일본, 미국, PCT, EP 순으로 나타남
- 국가별 성장단계분석에서는 EP는 출원 건수와 출원인 수 모두 낮게 나타나 “태동”단계로 분석되며, 한국, 미국, PCT는 “성장”단계, 일본은 정체 후 증가 경향을 나타내며 “회복” 단계로 분석됨
- 기술별(IPC코드)분석결과, 도로인프라 예측-진단-관리 기술(CB) 특허는 한분야에 집중되어 있지 않고, 측정 및 시험, 예측용 데이터 처리 및 시스템 등과 관련된 다양한 IPC분야의 특허를 보유하고 있는 것으로 분석
- G01N 분야가 15%, G06Q가 13%, G01B 12%, G08G 8%, G01M 7%, E01C 7%, G06F가 6%의 순으로 나타나며, 많은 점유율을 나타낸 G01(G01N, G01B, G01M, G01C) 분야 관련 특허들은 주로 측정 및 시험과 관련된 특허들로, 도로 인프라 진단 관련 기술들에 관련된 것으로 파악되며, G06Q는 도로인프라의 노후화, 내구, 파손 등과 관련한 예측용 데이터 처리 및 시스템에 관련된 기술인 것으로 파악됨

3. 연구목표 및 범위

3-1. 기본개념 및 범위

■ ‘도로인프라’란 「도로법」 제2조(정의)의 ‘도로’를 의미

- "도로"란 차도, 보도(歩道), 자전거도로, 측도(側道), 터널, 교량, 육교 등 대통령령으로 정하는 시설로 구성된 것으로서 도로의 부속물을 포함(도로법 제2조제1호)
- "도로의 부속물"이란 도로관리청이 도로의 편리한 이용과 안전 및 원활한 도로교통의 확보, 그 밖에 도로의 관리를 위하여 설치하는 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설 또는 공작물을 말함(도로법 제2조제2호)
 - 주차장, 버스정류시설, 휴게시설 등 도로이용 지원시설
 - 시선유도표지, 중앙분리대, 과속방지시설 등 도로안전시설
 - 통행료 징수시설, 도로관제시설, 도로관리사업소 등 도로관리시설
 - 도로표지 및 교통량 측정시설 등 교통관리시설
 - 낙석방지시설, 제설시설, 식수대 등 도로에서의 재해 예방 및 구조 활동, 도로환경의 개선·유지 등을 위한 도로부대시설
 - 그 밖에 도로의 기능 유지 등을 위한 시설로서 대통령령으로 정하는 시설

■ “도로인프라 장기 빅데이터 기반의 최적 유지관리 시스템” 정의 및 기본범위

- (정의) 기 조성된 도로인프라의 성능 및 노후도 등에 대한 모니터링과 예측기술 등을 바탕으로 구조물의 성능과 안정성을 항시 일정수준 이상 유지하고 붕괴 등의 위험으로부터 보호할 수 있는 평가·진단기술 및 유지관리 기술의 개발
 - 미래 예측기술을 기반으로 능동적이고 효율적인 인프라 정보수집을 통해 선제적이고 예방적인 노후위험 인프라의 유지관리 체계의 구축을 위한 기술개발
- (기본 범위) 본 사업의 연구범위는 도로법 기반의 ‘물리적 도로’ 중 ‘도로 포장’과 ‘도로 교량’에 한정하여 연구의 기본범위로 설정
 - ‘19년 기준 도로 연장은 총 111,314km로 지난 50여년간 전체 도로 연장은 약 2.8배 증가, 포장률 또한 꾸준히 증가하여 ’19년 기준 93.5%의 도로가 포장되어 있어, 도로 포장을 연구의 기본범위에 포함

- '19년 기준 건설된 지 30년 이상인 도로교량은 15% 수준이지만, 10년과 20년 후에는 각각 46%와 87%까지 증가하며, 시설안전법에 따라 구축, 운영되는 FMS에 따르면 도로 시설물 중 도로 교량의 노후화가 가장 빠르게 진행될 것으로 추정되어 도로 교량을 연구의 기본범위에 포함

3-2. 연구개발 목표

■ 기술적 목표

- 현재 국내 도로교통 인프라 분야(도로포장 설계·시공·유지관리, 도로 안전·운영시설, IT융합 도로인프라)의 기술수준은 최고기술보유국 대비 81.3%, 특허경쟁력과 논문경쟁력은 6위에 머물러 있어 국내 기술수준을 8.7% 상승한 90%, 특허와 논문경쟁력은 3위까지 끌어올려 도로 인프라 분야의 기술경쟁력 확보
 - 도로교통 인프라 분야의 최고기술국은 미국으로서 국내 기술수준은 선진국 대비 낮은 수준으로서 관련 기술경쟁력 확보 및 향상이 필요
 - '10년 기준으로 국내 도로인프라에 투입되는 GDP 대비 유지보수 투자 비중은 0.3%인 선진국 대비 0.26%로서 투입수준이 다소 낮은 것으로 분석
 - 노후 도로인프라에 대한 유지보수 투자 비용이 증가하지 않으면 '20년 이후에는 0.25% 이하의 수준으로 하락할 것으로 전망되며, 증가할 경우 '30년에는 GDP 대비 0.3%로 예상되어 선진국과 비슷한 수준에 이를 것으로 평가
- IoT, AI, 빅데이터, 클라우드 기술 등 4차 산업혁명 기반첨단 기술을 수용·접목하여 융복합함으로써 도로인프라 유지관리 기술의 혁신을 통한 기술력 기반의 국가경쟁력 제고
 - 차세대 도로인프라 유지관리 시스템을 4차 산업혁명 기반의 첨단 기술을 이용하여 개발함으로써 인프라 디지털 관리체계 구축의 기반을 다져 '디지털 뉴딜'과의 시너지 발생을 통한 연관기술의 경쟁력 확보
 - 4차 산업혁명의 주요 기반기술들이 사회적 변화를 일으키고 있으며, 이러한 사회적 변화를 이룰 수 있는 저변에 도로인프라 산업이 존재함을 감안, 주변 산업의 패러다임 변화에 맞춰 도로인프라 역시 첨단기술을 도입하여 다양한 기회를 포착·활용할 필요가 있음

■ 산업적 목표

- 유지관리 대상 도로인프라의 증가에 따른 시장 확대 및 국내 인프라의 고령화로 인한 인프라 유지관리·보수보강·평가를 전문적으로 수행하는 전문 인력 시장의 성장을 통해 연간 약 0.6만명의 일자리를 창출함으로써 10년간 약 6만명 이상의 고용 효과 달성
 - 시설물 안전 및 유지관리와 관련된 공공부문의 유지관리 비용은 '07년 1조 3,207억원에서 '15년 2조 5,432억원으로 8년간 연간 8.7%가 상승
 - 향후 도로 노면 파손, 노후화된 교량 등의 인프라 유지관리 수요 증가에 따라 유지관리

및 보수보강 시장이 크게 성장할 것으로 예측되며, 이로 인해 관련분야 기업 및 일자리 창출이 크게 증가할 것으로 전망

- 관련 기업과의 협력체계 구축으로 도로인프라 유지관리 산업의 고부가가치화를 통한 비즈니스 모델을 개발하여 인프라 유지관리 개념이 상대적으로 미비한 개도국에 관련기술 전수를 통해 연구 성과의 실용화·사업화 가능
 - 도로교통 인프라 부분의 세계시장 규모는 동남아, 중앙아시아, 남미 지역의 도로 건설 투자 확대에 따라 최근 10년간 '10년 1조 409억 달러에서 '20년 2조 4,876억 달러로 2배 이상 성장
 - GDP 대비 SOC 유지보수비 비율은 OECD 회원국은 0.3%, 개발도상국은 1.8%로 파악되어 개도국은 적절한 시기의 유지관리를 실시하기 어려우며 선진국보다 상대적으로 경제적 부담이 큰 상황

■ 경제적 목표

- 국내 도로인프라의 공용성 모형 및 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 구축을 통해 불필요한 인프라 유지관리 예산의 지출을 방지하고 성능 개선을 통한 장수명화를 실현하여 약 30년간 도로인프라 유지관리 비용을 64%까지 절감
 - 도로인프라의 유지관리 예산은 10~20년이 경과한 구조물에 비해 도로 관련 시설물은 2.5배 수준으로 증가함에 따라, 2030년 유지관련 예산은 현재 대비 3.5배로 증가할 것으로 전망
 - 일반국도 도로포장의 평균 공용수명은 약 9.7년으로서 선진국의 공용수명인 15년과 비교하면 낮은 수준으로 조기파손으로 인한 유지보수 비용이 급증하는 추세
 - 도로의 성능이 저하되어 재포장 또는 재시공 작업을 필요로 하는 경우, 예방적 유지보수 작업을 하지 않았다면 6~10배의 보수 비용이 추가로 소요되며 예방적 유지관리에 투자하지 않을 경우, 도로이용자는 차량운행 비용 외에 3배의 비용 추가 지출 필요
- 도로인프라의 노후화 및 파손으로 인해 발생하는 교통사고 예방을 통해 운전자 입장에서의 안전하고 쾌적한 도로인프라를 조성하고, 관련 안전사고를 기존 대비 30% 이상 감소시켜 사회적 비용의 편익을 연간 약 120억원 이상 달성
 - 폭염·태풍·지진 등의 자연재해로 인해 도로포장, 교량의 파손 및 붕괴가 발생할 수 있으며 이러한 도로인프라의 노후화가 적기에 적절한 방법으로 유지보수가 이루어지지 않으면 안전사고의 발생 가능성이 상승
 - 서울시에서의 포트홀로 인한 사고 발생 건수는 '14년 101건에서 '17년 245건으로 2.4배 증가하였으며, '10년 이후 국내에서의 포트홀 등의 노면파손 관련 사고발생현황은 연간 평균 861건에 이르러 꾸준히 증가

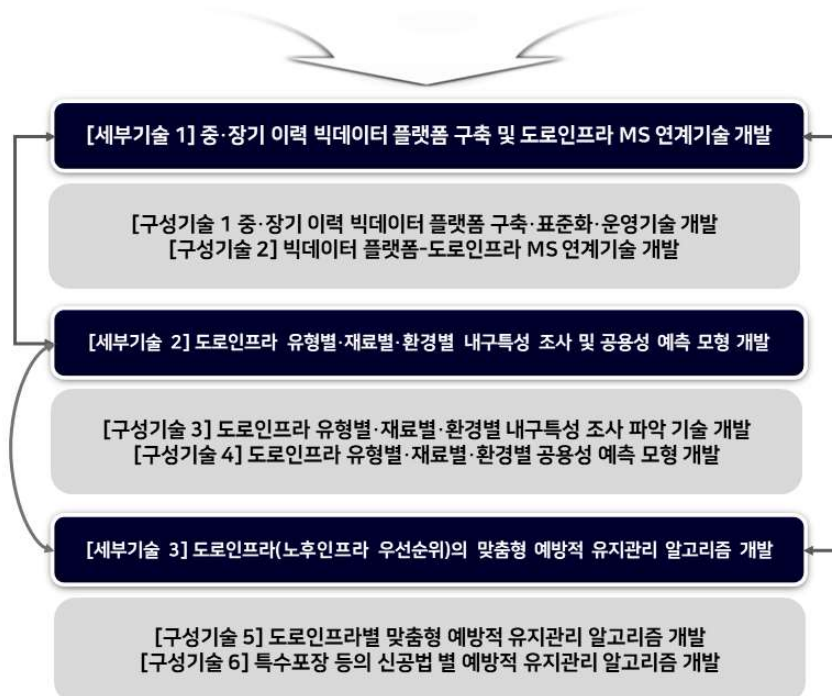
3-3. 연구과제 전체구성 및 연계

■ “도로인프라 장기 빅데이터 기반의 최적 유지관리 시스템 개발” 전체구성

- 기 조성된 도로인프라의 성능 및 변위 등에 대한 모니터링과 예측기술 등을 바탕으로 구조물의 성능과 안전성을 항시 일정수준 이상 유지하고 붕괴 등의 위험으로부터 보호할 수 있는 측정·평가진단기술 및 유지관리 기술의 개발
 - 미래 예측기술을 기반으로 능동적이고 효율적인 인프라 정보수집을 통해 선제적이고 예방적인 노후위험 인프라의 유지관리 체계의 구축을 위한 기술개발이 필요
 - 핵심과제의 세부기술과 구성기술은 다음과 같이 설정
- (세부기술 11-1) 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발
 - (세세부기술 11-1-1) 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축·표준화·운영기술 개발
 - (세세부기술 11-1-2) 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 개발
- (세부기술 11-2) 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발
 - (세세부기술 11-2-1) 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 파악 기술 개발
 - (세세부기술 11-2-2) 도로인프라 유형별·재료별·환경별 공용성 예측 모형 개발
- (세부기술 11-3) 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발
 - (세세부기술 11-3-1) 도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발
 - (세세부기술 11-3-2) 특수포장 등의 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 개발

도로인프라 장기빅데이터 기반의 최적 유지관리 시스템 개발

미래 예측기술을 기반으로 능동적이고 효율적인 도로인프라 정보수집을 통해 선제적이고 예방적인 노후위험 인프라의 유지관리 체계의 구축을 위한 기술개발 필요



[그림 II-31] 연구과제 전체구성 및 세부기술별 연계방안

■ 연구과제 세부기술별 연계방안

- (세부기술 11-1 - 세부기술 11-2, 11-3) 연계방안
 - 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 내의 데이터를 이용하여 도로인프라의 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발이 가능하며, 나아가서 예방적 유지관리 알고리즘 개발에도 활용 가능
 - 이를 통해 개발된 기술들은 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술을 통해 효율적으로 빅데이터 플랫폼 내에 업데이트 및 보관되어 향후 원활한 운영과 이용이 가능
- (세부기술 11-2 - 세부기술 11-3) 연계방안
 - 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사를 통해 체계적으로 국내 인프라의 특성에 맞는 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘을 개발하여 독자적인 기술 확보
 - 인프라별 공용성 모형에 대해 예방적 유지관리 미적용·적용 시의 시나리오를 각각 추가하여 예방적 유지관리 수행으로 인한 공용성 증가 정도 파악이 가능하므로 이를 시범적용에 활용 가능

3-4. 타 과제 유사/관련과제의 차별성 및 연계성

[표 II-17] 핵심과제 11: 타 유사과제 차별성 및 연계방안 검토

기존 연구과제		검토결과
선행과제명 수행기관	주요연구내용	본 연구의 차별성 및 연계방안
디지털트윈기반의 스마트 유지관리기술을 활용한 도로 시설물 자산관리시스템 구축	- IoT, 디지털트윈, 인공지능 등을 활용한 도로인프라별 유지관리 시스템 개발 - 도로인프라별 공용성 예측모델 개발 및 성능예측기반의 도로인프라 관리를 위한 의사결정 알고리즘 개발	- 본 연구에서는 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화운영기술 개발을 통해 체계적으로 적절한 유지관리 공법 및 시기 등의 결정이 가능하고 도로인프라별 최적의 공용성 모형이 구축 가능하기에 위 연구와 차별성을 갖고 있음 - 빅데이터 플랫폼과 도로인프라 MS 연계 방안 수립을 통해 국가와 실무자 차원에서의 의사결정 평가체계 개념도 제시 및 적절한 유지관리 방안 도입과 예산 집행 기능이 가능하기에 위 연구와 차별성을 갖고 있음
소물인터넷(LoRa)기반 노후교량 무선계측 통합 플랫폼 기술개발	- 노후 교량 상태평가 알고리즘 개발 및 교량시설물 유지관리 시스템 개발 - 노후화된 교량에 대해 상태평가 모니터링을 통한 장기계측 DB관리 방안 연구 및 유지보수 체계 방안 연구	- 본 연구에서는 교량 뿐 아니라 도로인프라별 노후화된 시설물에 대해 개선된 유형별재료별환경별 파손모형 파악 및 맞춤형 예방적 유지관리 공법 개발을 개발하므로 위 연구와 차별성을 갖고 있음 - 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화운영기술 개발을 통해 빅데이터 플랫폼을 효율적으로 관리하고 도로인프라별 최적의 공용성 모형이 구축이 가능하기에 위 연구와 차별성 존재
미래 예측 기반 인프라 예방적 유지관리 체계 구현을 위한 장기 빅데이터 플랫폼 구축 및 활용기술 개발	- 도로인프라의 노후도 예측과 유지관리를 위한 빅데이터 플랫폼 구축 및 다양한 유형의 데이터 저장, 관리를 위한 표준화 기술 개발 - 도로인프라 MS와 구축된 빅데이터 플랫폼의 연계 및 개선방안 제시	- 본 연구에서는 국내 도로인프라별 개선된 유형별재료별환경별 파손모형(내구특성) 파악을 통해 효율적인 관리 및 장기적인 유지관리계획 수립이 가능하기에 위 연구와 차별성을 갖고 있으며 이는 향후 도로인프라 설계에 있어서도 큰 도움이 될 것이라 예상 - 국내 도로인프라별(도로포장, 교량, 특수포장 등) 개선된 맞춤형 예방적 유지관리 공법을 개발 및 구축하므로 위 연구와 차별성 존재
딥러닝(Deep learning) 기술을 활용한 SOC구조물 상태평가	- 도로인프라 유지관리를 위한 빅데이터 구축, 정규화 기술 및 관리 기술 개발 - 인공지능, 시간 이력 기반의도로인프라 손상 및 상태 분석 기술 개발	- 본 연구에서는 국내 도로인프라별 개선된 유형별재료별환경별 파손모형(내구특성) 파악을 통해 효율적인 관리 및 장기적인 유지관리계획 수립이 가능하기에 위 연구와 차별성을 갖고 있으며 이는 향후 도로인프라 설계에 있어서도 큰 도움이 될 것이라 예상 - 국내 도로인프라별(도로포장, 교량, 특수포장 등) 개선된 맞춤형 예방적 유지관리 공법을 개발 및 구축하므로 위 연구와 차별성을 갖고 있음
SOC 시설물의 장기 내구특성 조사	- 장기이력의 도로인프라 내구특성 데이터베이스 구축 및 이를 활용한 도로인프라 내구성 평가 기술 개발 - 도로인프라와 기후 등의 환경적 요인과의 상관관계 도출	- 본 연구에서는 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화운영기술 개발을 통해 체계적으로 적절한 유지관리 공법 및 시기 등의 결정이 가능하고 도로인프라별 최적의 공용성 모형이 구축 가능하기에 위 연구와 차별성을 갖고 있음 - 빅데이터 플랫폼과 도로인프라 MS 연계 방안 수립을 통해 국가와 실무자 차원에서의 의사결정 평가체계 개념도 제시 및 적절한 유지관리 방안 도입과 예산 집행 기능이 가능하기에 위 연구와 차별성을 갖고 있음
노후 도로시설(교량, 터널, 사면, 옹벽)의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발 인하대학교 산학협력단	- 도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가기술 개발 - 도로망의 지진복원력 평가를 통한 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술개발 및 시범적용	노후 도로시설의 노후도와 내진보수보강 효과를 고려한 물리적 지진취약도 함수를 개발하고, 이에 대한 DB 및 관련 기초자료들의 라이브러리를 구축하는 과제로 본 연구의 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술에 연계시킬 수 있음

4. 핵심과제 구성 및 내용

4-1. [핵심과제11] 도로인프라 장기빅데이터 기반의 최적 유지관리 시스템 개발

4-1-1. [세부기술 1] 중장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발

■ 기술개발 배경

- 도로인프라 유지관리의 시스템 구축을 위한 관리 대상 인프라 관련 데이터는 현재 Web 기반의 데이터베이스의 형태로 구축하고 있음
- 조사가 이루어져 파악된 정보들은 전산화 작업을 통해 Web 기반의 데이터베이스에 최종적으로 보관되며, 이러한 데이터들을 기반으로 현재 도로인프라가 지니는 가치를 판단하고, 예산 책정 및 유지관리 정책의 근거자료로 활용

[표 II-18] 고속국도 포장상태 조사항목

구분	아스팔트 포장 (12개)		콘크리트 포장 (13개)	
종단평탄성	IRI		IRI	
소성변형	바퀴부 패임량(cm)		-	
표면손상	· 거북등균열 · 블록균열 · 시공이음부 손상 · 반사균열 · 종방향 균열 · 횡방향 균열	· 패칭 · 블리딩 · 포트홀 · 기타	· 우각부균열 · 내구성(D)균열 · 종방향 균열 · 횡방향 균열 · 아스콘 패칭 · 단면보수	· 편치아웃 · 스케일링 · 종방향 스폴링 · 횡방향 스폴링 · 기타
줄눈조사	-		줄눈재 탈리	

[자료] 고속도로 포장상태 조사 및 분석 용역보고서(2014), 한국도로공사

- 도로인프라 데이터베이스 구축을 위한 데이터는 카메라, 레이저센서, 가속도센서 등의 다양한 센서들이 부착된 조사 자동화 장비를 이용하여 조사·수집되고 있음
- 조사기술이 개선됨에 따라 사용되는 점검장비 또한 과학적이고 체계적으로 발전해오고 있으며, 장비를 이용하여 조사 및 수집된 데이터들은 인프라 상태 평가를 위한 평가지수 도출 등에 활용

[표 II-19] 교량점검을 위한 과학적 점검장비

차량탑재형 표면투과 레이더 조사장비 (GPR)	전자파를 레이더 안테나를 통해 교량 바닥판 또는 포장체로 방사 후 구조물의 불균일층에서 반사된 파를 수신하고, 그 파형을 처리분석하여 부재의 두께 및 열화상태를 파악하는 장비 (GPR : Ground Penetrating Radar)	
---------------------------------------	---	--

교량 바닥판 무인 점검차 (U-BIROS)	원격제어 로봇 및 디지털 화상처리 기술을 통해 교량 바닥판 및 거더 하면을 화상 촬영하여 점검하는 장비 (Ubiquitous-Bridge Inspection Robot System)	
스마트 교량 내하력 평가 시스템	상시 통행차량 등에 의해 발생하는 진동(가속도), 동적변형을 측정 후 동적역해석 방법으로 해석모델을 추정하고, 그 모델의 응답을 설계값과 비교하여 공용내하력을 평가하는 기법	
교량 영상관리 시스템 (CCTV)	상시 점검이 필요한 홍수위 미달, 통과높이 부족, 불법점용 교량에 CCTV를 설치하여 지사 상황실에서 실시간 모니터링을 통한 신속한 재난대응 체계 구축	
수중부 교량 기초 초음파 탐사장비	토우피쉬(Towfish)라는 어뢰 모양 개체의 양측면 트랜스듀서(Transducer)에서 방사되는 음파를 통해 영상을 취득하는 장치. 토우피쉬에는 고도센서(Altimeter), 수심센서(Depth Sencer), 동작센서(Motion Sencer)가 부착되어 있으며, 토우피쉬에서 감지되는 자료는 취득된 영상 및 외부 GPS 자료와 함께 컴퓨터 내의 프로그램에 의해 저장되고 분석됨	
폴 카메라	길이를 조절할 수 있는 폴(pole) 단부에 조명이 달린 카메라를 장착하여 구조물 고소부에 위치한 사물을 조사할 수 있도록 하는 기구로, 폴 단부에 장착된 카메라 각도를 원격 조작하여 촬영화면을 확인하고 동영상이나 사진을 저장할 수 있는 장비	
협소부 점검 카메라	구조물의 좁은 틈새로 단부에 소형카메라와 조명이 달린 유연한 케이블(프로브)을 집어넣어 조사할 수 있는 기구로 카메라 단부 각도를 원격조작하여 조사화면을 확인하고 동영상이나 사진 촬영 후 저장할 수 있는 장비	  전경 카메라

[자료] 한국도로공사, 구조물 유지관리 실무자료집(2012)

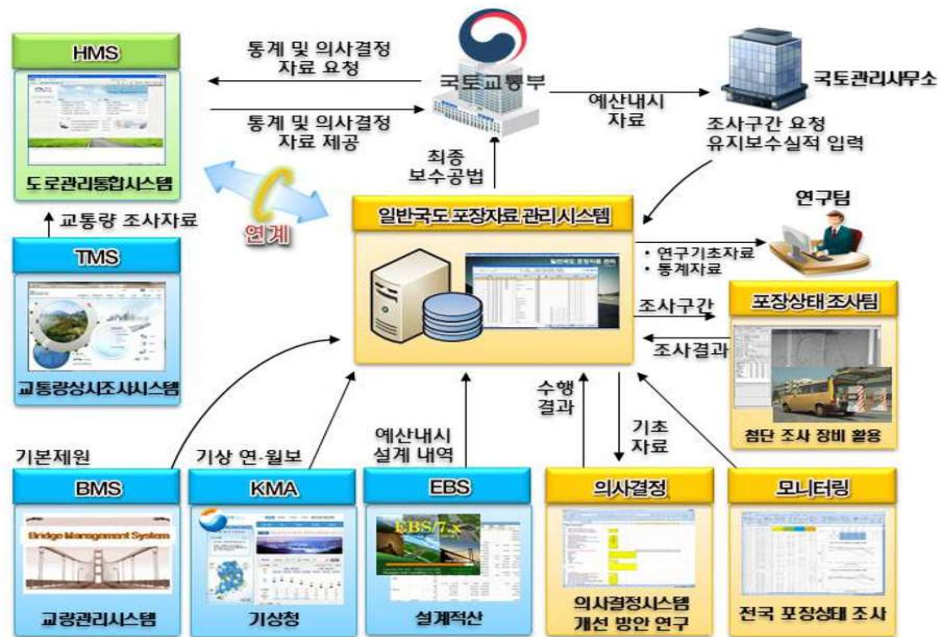
- 국내 도로인프라의 효율적인 관리를 위해 도로포장관리시스템(PMS), 교량관리시스템(BMS) 등이 운영되고 있음

- 한국도로공사는 HPMS D/B를 구축하여 HPMS를 운영하고 있으며, 매년 포장상태 조사 및 분석 데이터의 지속적 축적하고 있으며, 일반국도 포장관리시스템(PDMS)은 일반국도 전체 도로망에 대한 자료를 전산화하여 구축하였으며 현재까지 포장상태조사 및 분석을 통해 데이터를 저장하여 실무에 활용하고 있음

[표 II-20] HPMS D/B 구성요소

HPMS D/B 구성요소	
포장상태 이력	포장상태에 대한 이력관리와 이관현황 제공
포장상태 조사분석 현황	포장상태조사장비를 이용한 조사결과 정보를 제공
줄눈부 상태분석 현황	포장 줄눈부 상태에 대한 정보를 제공
사업우선순위	도로포장상태, 경제성분석 및 교통상태 등을 고려한 포장유지보수 우선순위에 대한 정보를 제공
중장기 투자계획	포장에 대한 중장기 투자계획 정보를 제공
포장노후 예측모델	중장기 투자계획을 수립하기 위해 포장상태에 대한 예측이 필수이며 이를 위한 예측모델 정보 제공
보수현황	포장보수현황 및 이력에 관한 정보를 제공
신공법 도입현황	포장공법에 관한 정보제공

[자료] 국토교통부, “민자고속도로 시설물 이력관리시스템 구축 연구용역”, 2015



[그림 II-32] 일반국도 포장자료관리시스템(PDMS) 개념도

[자료] 국토교통부, “2018 도로포장관리시스템 최종보고서”, 2019

- 고속도로 교량의 경우 구조물 정보시스템 내에 교량 유지관리 시스템(HBMS)에서 교량 관련 정보에 대한 저장 및 조회가 가능하며, 기본모듈, 점검/진단 모듈, 보수/보강 모듈로 구성

[표 II-21] 교량 유지관리 시스템(HBMS) 모듈

구 분	주요 기능
기 본 모 듈	 교량현황  교량조회 • 교량현황 : 통계자료 조회 ※ (기관별·노선별) 일반현황, 설계하중, 상부형식, 공용연한, 종별, 상태등급 • 교량조회 : 교량별 세부현황 조회 ※ 교량대장, 위치, 도면, 외관조사망도, 시설물관리대장, 점검진단현황, 보수등록/조회, 교량형식자료, 부재별 상세자료, 초기점검자료 • 교량통합검색 : 항목별 교량현황 조회 ※ 항목: 기관, 노선, 이점, 교량제원 등 • 교량도면검색 : 해당교량 도면 조회 • 기본입력사항 검증 : 자료 입력현황 및 오류 검증 ※ 항목: 경간/지점구성, 기본자료 입력률 등 • 교량점용조회 : 교량하부 점용실태 조회 • 교량등록 : 신설교량 등록, 관리기관 변경
점 검 진 단	 정기/정밀점검 • 정기/정밀점검 : 점검계획/결과 등록 및 조회 • 특별점검 : 점검계획/결과 등록 및 조회 • 정밀안전진단 : 진단결과 등록 및 조회 • 점검/진단현황조회 : 항목별 현황 조회 ※ 항목: 기관별/등급별/점검종류별/교량별 현황조회, • 누락항목 검증, 상태등급 변화 검증
보 수 보 강	 보수대상 교량조회 • 보수대상 교량조회 - 교량별/부재별 보수 필요 세부현황 조회 • 보수공사 등록/수정 - 교량별/부재별 보수결과 등록 및 수정 • 보수공사 실적조회 - 교량별/부재별 보수공사 결과 조회

[자료] 구조물 정보시스템(2015), 한국도로공사

■ 기술개발 목적

- 도로인프라의 지속적 증가, 노후화, 예산감소에 따른 체계적인 인프라 유지관리 수요가 증가하고 있으며, 정확한 성능·가치 평가 및 총괄 관리 상태·의사결정 등을 생산·제공할 수 있는 자산 관리 시스템 구축
 - 체계적인 도로인프라 유지관리·예측을 위해 다양한 중·장기 이력의 데이터가 포함된 빅데이터 플랫폼을 활용
- 미래예측을 위한 도로인프라의 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼을 구축하고 관리주체의 의사결정 지원을 위한 다양한 유지관리 서비스를 제공하며 도로인프라 MS와의 연계를 위한 기술개발

- 기존 도로인프라 데이터베이스 구축 방법은 Web을 통해 입력되고 각 서버에 저장되어 해당 데이터를 필요로 하는 경우, 접근성의 한계가 존재하며 단순한 DB수준의 시스템으로 운영되는 시스템의 경우에는 정확한 공법 및 주요 의사결정 지원 기능이 부재한 문제점 존재
- 도로인프라 유지관리에 있어서의 빅데이터 플랫폼은 현재 운영되고 있는 도로포장관리시스템(PMS), 교량관리시스템(BMS) 등의 도로인프라 데이터베이스에 포함된 데이터 외에도 인프라 관련 다양한 중·장기 이력의 데이터가 포함되어 구축되어야 함
- 빅데이터 플랫폼 구축에 필요한 데이터는 도로인프라 주변 환경 및 토지이용 정보, 인프라 파손의 유형 및 변동 상황, 인프라 부속시설의 기능적 및 구조적 정보, 교통량 및 차량 통행 패턴, 유지관리 예상 소요예산 및 재정상황, 유지관리 전문가 현황 및 양성 비용, 프로젝트 기간 및 진행률 등의 다양한 모든 정보를 포함

■ 기술개발 필요성

- 미래예측을 위한 다양하고 방대한 도로인프라의 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼을 구축하여 기존 도로인프라 데이터베이스 대비 관리주체의 의사결정 지원을 위한 다양한 유지관리 서비스 제공
- 빅데이터 플랫폼을 활용하여 도로인프라의 노후화 정도를 예측할 수 있으며, 노후된 도로 인프라의 결함과 파손이 시간의 경과에 따라 어떻게 변화할지와 이에 적절한 유지 및 보수를 적용하면 어떻게 상태가 변화할지, 어떠한 수준으로 유지될 수 있는지에 대해 관리자들에게 제시 가능
- 최근 각광받고 있는 AR, VR, 디지털 트윈(Digital Twin) 등의 기술을 도로인프라 데이터 수집·유지관리에 활용하게 된다면 중·장기 이력의 빅데이터 플랫폼이 우선적으로 구축되어야 가능
- 조사·수집된 다양하고 방대한 도로인프라 관련 빅데이터의 체계적인 저장·관리를 위한 표준화 기술 및 향후 관리대상 도로인프라의 증가와 더불어 매년 새로운 데이터 업데이트 및 개선방안 등의 추가·수정이 용이하도록 운영기술 개발 필요
- 또한, 중·장기적 빅데이터 확보 및 관리를 위한 빅데이터 플랫폼 센터 구축 방안을 마련하여 향후 지속적인 빅데이터의 관리가 이루어질 수 있도록 하며 원활한 운영과 이용을 위해 필요 예산·인력 및 메뉴얼 개발 필요
- 도로인프라 관련 빅데이터를 플랫폼을 활용하여 도로인프라 MS 구축에 연계한다면, 정확한 도로인프라의 내구특성 파악과 공용성 예측 모형 구축이 가능해지며 체계적인 예방적 유지관리 시행을 통한 인프라 수명 연장 및 파손 예방 가능

- 단순 데이터베이스 수준의 시스템으로 구성된 기존 도로인프라 MS 대비 현황 파악 외에 최적 유지관리 공법 및 시기 등의 의사결정이 가능해지며, 보다 더 상세한 인프라 보수 시기와 수명예측이 가능하여 조사에 투입되는 인력 및 예산 등을 더욱 절감 가능
- 기존 도로인프라 MS의 경우 저장되어 있는 데이터를 필요로 하는 경우 접근성의 한계가 존재하며 모니터링, 실시간으로 측정되는 데이터 역시 마찬가지로 한계점이 존재
 - 빅데이터 플랫폼과 도로인프라 MS 연계에 활용될 수 있는 IoT 통신 기술 및 클라우드 서버 구축을 통해 자동조사장비 및 비파괴조사장비 등에서 조사된 데이터가 시점별로 즉시 클라우드 서버로 전송되어 도로인프라 MS내 구축된 데이터베이스로서의 접근성 상승 가능
 - 이를 통해, 안정적이고 효율적인 빅데이터 공유·이용이 가능하며 높은 신뢰도를 가진 최신·최적 데이터를 도로인프라 MS 관리자 또는 이용자들에게 제공 가능

■ 기술개발 목표

[표 II-22] 세부기술 11-1 개발내용

세부기술	세세부기술	성과지표(성과물)	개발목표 스펙	설정근거
11-1. 중장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발	11-1-1. 중장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화·운영기술 개발	•중장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 기술	•빅데이터 플랫폼 구축을 위해 필요한 다양한 데이터 목록 정의 •현재 수집 예상되는 데이터 및 향후 수집 필요한 데이터 분류 •데이터 수집을 위해 적절한 조사 장비·방법 •중장기 이력 빅데이터의 보관이 가능한 플랫폼 구축 기술	•도로인프라 유지관리에 있어서 빅데이터 플랫폼은 현재 운영되고 있는도로포장관리시스템(PMS), 교량관리시스템(BMS) 등의 도로인프라 데이터베이스에 포함된 데이터 외에도 인프라 관련 다양한 중장기 이력의 데이터가 포함되어 구축되어야 할 필요성이 존재 •빅데이터 플랫폼 구축에 필요한 다양한 데이터 목록을 정의하고 수집방안을 마련하여 체계적인 구축 기술 개발 필요
		•중장기 이력 빅데이터 플랫폼 표준화 기술	•조사수집된 중장기 이력 빅데이터의 체계적인 저장 관리 기술 •정량화가 요구되는 데이터 분류 및 정량화 기술	•조사·수집된 다양하고 방대한 빅데이터의 중장기적인 보관을 위해서는 체계적인 저장·관리를 위한 표준화 기술 개발 필요 •데이터의 활용성을 높이기 위해서 정량화가 필요한 데이터 분류가 필요하며 해당하는 데이터별 정량화 기술 또한 개발 필요
		•중장기 이력 빅데이터 운영기술	•매년 새로운 데이터 업데이트 및 개선방안 등의 추가·수정이 가능한 운영 기술	•향후 관리대상 도로인프라의 증가와 더불어 효율적이고 중장기적인 관리를 위해서 적절한 운영기술 개발 필요
		•빅데이터 플랫폼 센터 구축 방안	•향후 지속적인 운영을 위한 필요 예산·정책·인력 등의 방안 •관리자·이용자들의 원활	•중장기적인 빅데이터 확보 및 관리를 위해서는 빅데이터 플랫폼 센터의 구축이 필요할 것으로 예상

		•빅데이터 플랫폼 센터 운영 방안	한 운영·이용을 위한 메뉴얼 등의 방안	•플랫폼 센터의 원활한 운영을 위해서는 이를 지원하기 위한 국가적 측면에서의 지원 방안 및 관리자·이용자들을 위한 메뉴얼의 개발이 필요
		•중·장기 이력 빅데이터-도로인프라 MS 연계기술	•도로인프라 MS에 빅데이터 플랫폼의 원활한 적용을 위한 연계기술 •연계기술 개발을 위해 현재 활용 가능한 기술 및 향후 개발이 필요한 기술 목록 정의	•단순 데이터베이스 수준의 시스템으로 구성된 기존 도로인프라 MS 대비 현황 파악 외에 최적 유지관리 공법 및 시기 등의 의사결정이 가능해지며, 보다 더 상세한 인프라 보수 시기와 수명예측이 가능 •따라서, 조사에 투입되는 인력 및 예산 등을 더욱 절감 가능하므로 빅데이터 플랫폼과 도로인프라 MS와의 연계기술 개발 필요 •연계기술 개발을 위한 기술 목록을 정의하여 활용방안 마련 필요
	11-1-2. 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 개발	•효율적인 빅데이터 공유·제공을 위한 기술	•도로인프라 MS 관리자 이용자들에게 안정적이고 효율적인 빅데이터 및 고신뢰도·최신·최적의 빅데이터 공유·제공을 위한 기술	•도로인프라 MS 내에 연계된 빅데이터들을 MS 관리자·이용자들이 원활하게 이용할 수 있도록 기술 개발 필요
		•고신뢰도·최신·최적의 빅데이터 공유·제공을 위한 기술		
		•국가적 측면에서의 시스템 운영을 위한 지원 방안	•안정적이고 지속적인 운영을 위한 국가적 측면에서의 예산 파악, 재정 확보 및 법제도 도입 방안	•원활하고 지속적인 연계 시스템 운영을 위해서는 국가적·실무자 측면에서의 방안 마련 필요
		•실무자측면에서의 시스템 운영을 위한 교육 방안	•효율적인 시스템 운영을 위한 실무자 측면에서의 빅데이터, IoT 등의 첨단 기술 교육 방안	
		•빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 시범 운영 실증	•연계기술 시범운영 실증을 위한 방법론 •시범운영을 통한 기존 기술 대비 우수점	•본 연구에서 개발한 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 시범실증을 통해 원활한 시스템 운영이 가능한지 확인 및 우수점 도출 필요

① [세세부기술 11-1-1] “중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화·운영기술 개발” 연차별 개발내용

● 1년차 개발내용

- 빅데이터 플랫폼 구축을 위해 필요한 도로인프라 노후화·유지관리·예산 등의 다양한 데이터 목록 정의
- 수집 예상되는 도로인프라 관련 데이터 및 향후 빅데이터 플랫폼 구축을 위해 필요한 데이터 목록 정의

- 2년차 개발내용

- 필요한 데이터의 조사 및 수집을 위해 요구되는 조사 장비·방법론 개발
- 정량화가 요구되는 데이터 파악·분류 및 해당 데이터별 정량화 기술 개발

- 3년차 개발내용

- 중·장기 이력 빅데이터의 저장·보관이 가능한 플랫폼 구축 기술 개발

- 4년차 개발내용

- 관리대상 도로인프라에서 조사·수집된 빅데이터의 체계적인 저장·관리를 위한 표준화 기술 개발
- 향후 관리대상 도로인프라의 증가와 더불어 매년 새로운 데이터 업데이트 및 개선방안 등의 추가·수정이 용이하도록 운영기술 개발

- 5년차 개발내용

- 중·장기적 데이터 확보 및 관리를 위한 빅데이터 플랫폼 센터 구축 방안 개발
- 빅데이터 플랫폼 센터의 향후 지속적인 운영을 위한 예산·정책·필요 인력 등의 방안 개발
- 빅데이터 플랫폼 센터 관리자·이용자들의 원활한 운영·이용을 위한 메뉴얼 등의 방안 개발

② [세세부기술 11-1-2] “중·장기 이력 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 개발” 연차별 개발내용

- 1년차 개발내용

- 빅데이터 플랫폼과 도로인프라 MS와의 효율적인 연계기술 개발을 위해 필요한 기술 목록 정의
- 연계기술 개발을 위해 현재 활용 가능한 기술 및 향후 개발이 필요한 기술 목록 정의

- 2년차 개발내용

- 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼을 활용한 도로인프라 MS 연계기술 개발
- 빅데이터 플랫폼을 활용한 도로인프라 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 연계기술 개발
- 빅데이터 플랫폼을 활용한 도로인프라 예방적 유지관리 알고리즘 연계기술 개발

- 3년차 개발내용

- 도로인프라 MS 관리자·이용자들에게 안정적이고 효율적인 빅데이터 공유·제공을 위한 기술 개발

- 도로인프라 MS 관리자·이용자들에게 고신뢰도·최신·최적의 빅데이터 공유·제공을 위한 기술 개발

- 4년차 개발내용

- 안정적이고 지속적인 운영을 위한 국가적 측면에서의 예산 파악, 재정 확보 및 법·제도 도입 방안 개발
- 효율적인 시스템 운영을 위한 실무자 측면에서의 빅데이터, IoT 등의 첨단기술 교육 방안 개발

- 5년차 개발내용

- 시범 운영 실증을 통한 기존 도로인프라 MS 대비 우수점 도출

■ 기술별 최종성과물

- [세세부기술 11-1-1] “중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화·운영기술 개발” 최종성과물

- 빅데이터 플랫폼 구축에 필요한 도로인프라 관련 데이터 목록
- 필요한 데이터의 조사 및 수집을 위해 필요한 조사 장비·방법 및 정량화 기술
- 빅데이터의 체계적인 저장·보관을 위한 플랫폼 구축 및 표준화 기술
- 빅데이터 플랫폼의 효율적인 관리를 위한 운영 기술
- 중·장기적 데이터 확보 및 관리를 위한 빅데이터 플랫폼 센터 구축 및 운영 방안

- [세세부기술 11-1-2] “중·장기 이력 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 개발” 최종성과물

- 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS와의 연계기술 개발을 위해 필요한 기술 목록
- 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼을 활용한 도로인프라 MS 연계기술
- 도로인프라 MS 관리자·이용자들을 위한 빅데이터 공유·제공 기술
- 안정적이고 지속적인 운영을 위한 국가·실무자 측면에서의 행동 지침 방안
- 시범 운영 실증을 통한 기존 도로인프라 MS 대비 우수점

4-1-2. [세부기술 11-2] 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발

■ 기술개발 배경

- 도로 포장에 사용되는 재료는 크게 아스팔트 포장과 콘크리트 포장 두 가지로 분류
 - 고속국도의 경우 60% 이상의 도로가 콘크리트 포장형식을 사용하고 일반국도 및 기타 도로들의 경우 대부분 아스팔트 포장을 사용하며 터널 내 도로 포장의 경우, 터널 내 화재 발생시 아스팔트의 경우 연소로 인한 유독가스 배출 위험이 있으며 습기에 영향을 덜 받는 재료인 콘크리트를 주로 사용
- 아스팔트와 콘크리트 포장의 상이한 재료 특성에 의해 나타나는 파손공법과 이에 따른 보수공법이 다르게 적용되고 있음
 - 콘크리트 포장에서 주로 발생하는 손상은 줄눈부의 스폐링 파손으로, 이는 가로방향 및 세로방향 줄눈 단부에서 포장슬래프가 조각으로 쪼개지면서 파손되는 형태
 - 아스팔트 포장에 대해서는 소성변형, 균열 등의 손상 발생 면적이 전체의 20% 이상 광범위하게 발생한 경우 덧씌우기 공법으로, 국부적인 파손인 경우는 부분적 팻칭으로 유지보수시행

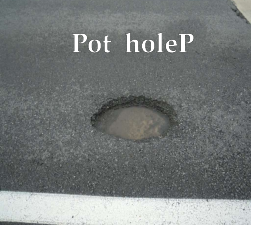
[표 II-23] 콘크리트 포장 주요 보수공법

주요 보수공법	적용위치	
부분단면보수	적용위치 : 줄눈부 스폐링	
		
(절삭)덧씌우기 (T=8~10cm)	적용위치 : 노후화로 전반적 파손	
		
전단면재포장 (T=30cm)	적용위치 : 알칼리골재반응	

	
	적용위치 : 표면마모, 평탄성 불량
다이아몬드 그라인딩	 
	적용위치 : 줄눈재 파손
줄눈재 재설치	 

[자료] 포장관리 및 유지관리 실무편람(2012), 한국도로공사

[표 II-24] 아스팔트 포장 주요 보수공법

주요 보수공법	적용위치
	적용위치 : 전반적 파손 발생부
(절삭)덧씌우기	 
	적용위치 : 소규모 파손 발생부
패칭	 
	적용위치 : 부분 파손 발생부
긴급패칭	  

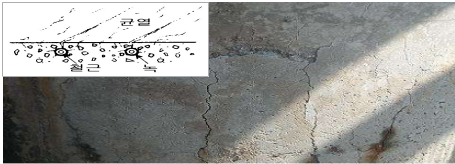
시공이음부 및 균열부 실링	적용위치 : 줄눈 파손부	
		

[자료] 포장관리 및 유지관리 실무편람(2012), 한국도로공사

- 교량은 붕괴의 위험성이 있으며 구조 특성상 여러 재료를 이용하여 설계되었기에 건설 시 사용된 재료별 다양한 결함이 존재

[표 II-25] 교량 주요 결함사항

주요 결함	설명	
결함 (Defect)	계획, 설계 및 시공단계에서 목표와는 다르게 비정상적으로 축조되어 부정적으로 작용하는 불완전한 초기 하자 상태	
손상 (Damage)	구조물에 외적 또는 내적으로 작용하는 물리적인 힘에 의하여 불완전하게 된 상태	
열화 (Deterioration)	자연적 및 인위적 작용을 받는 구조물이 시간이 경과됨에 따라 물리적, 화학적으로 변질, 변형되는 현상	
세굴 (Scour)	흐르는 물에 의해 구조물 주위의 하상 재료가 제거되는 현상 · 국부세굴: 유속증가, 와류에 의해 발생 · 수축세굴: 통수단면 수축, 유속증가로 발생	
알칼리 골재반응	콘크리트내 알칼리성분(NaOH 및 KOH)과 반응성 골재 사이의 화학적 반응에 따른 부피팽창으로 균열 및 박리 등을 유발함	
염해	주로 해수에 포함된 염분이 콘크리트의 모세공이나 공극으로 침투하여 콘크리트의 철근부식을 초래하고, 부식된 철근 체적이 팽창하여 콘크리트 구조물에 균열을 발생시키게 되면서 구조물의 내구성과 수명이 단축되는 피해현상	〈염해피해 개념도〉
소성수축 균열 (Plastic Shrinkage Cracks)	콘크리트 타설 후 발생한 수막이 시간경과에 따라 대기중으로 증발하여 표면이 건조해지면서 수축되는데 이때 내부구속에 의해 인장응력이 발생하여 생기는 균열	

침하 균열 (Settlement Cracks)	콘크리트 타설초기 거푸집의 침하 혹은 다짐불량에 따라 상대적으로 단면이 두꺼운 부분의 철근위치에서 침하량의 차이가 나타나며 발생하는 균열	
건조수축 균열 (Drying Shrinkage Cracks)	콘크리트 양생과정 중 콘크리트 내부의 수분이 대기중으로 증발하게 됨에 따라 불규칙하게 발생하는 균열	
철근부식 균열	콘크리트 내부의 철근부식에 따른 부피팽창으로 콘크리트에 발생하는 균열	
피로 균열	강구조물에 허용응력 이내의 하중이 작용하는 경우 파괴가 일어나지 않으나, 이러한 하중이 반복적으로 작용하는 경우 균열 또는 갑작스런 파괴로 진전될 수 있음	
박리 (Scaling)	콘크리트 표면의 모르타르가 점진적으로 손실되는 현상(콘크리트의 끝손질 및 양생이 부적절할 경우 주로 발생)	
박락 (Spalling)	균열, 폭열 등에 의해 콘크리트의 표면이 원형으로 떨어져나가는 층분리 현상이 심화된 것	
누수 (Leakage)	콘크리트의 균열부나 틈새에서 물이 새는 현상	
층분리 (Delamination)	염화이온(Cl-) 침투, 중성화 등에 의해 철근이 부식되고 이로 인한 부식 팽창압이 철근주변의 콘크리트에 작용하여 콘크리트와 철근을 분리시키는 현상	
백태 (Efflorescence)	콘크리트 속의 수산화석회 등이 물에 녹아 표면에 스며 나오면서 공기중의 탄산가스와 화합하여 고형화된 백색의 결정체. 이는 콘크리트 노후화의 증거이며 심할 경우 고드름 형태의 유리석회 형성	

부식 (Corrosion)	금속이 어떠한 환경에서 화학적 반응에 의해 손상되는 현상 · 부식의 종류 : 건식, 습식 · 환경적 요인, 전류, 누수, 과대 응력, 마모 등에 의해 발생	
----------------	--	--

[자료] 구조물 유지관리 실무자료집(2012), 한국도로공사

● 도로인프라 관점에서 기후변화로 인한 지구온난화 및 기후변동성 증가로 인해 재난재해의 빈도수 뿐 아니라 피해 강도 및 규모가 뚜렷하게 증가

- 우리나라는 기후변화로 인한 폭우, 폭설과 같은 자연재해가 빈번하게 발생하여 도로 시설물의 용량저하, 혼잡발생 및 사고 증가 등으로 인적·물적 피해가 빠르게 증가 중임
- 최근 10년간 이러한 폭염(이상고온)과 열대야, 한파(이상저온), 호우태풍, 대설, 가뭄의 빈도와 강도가 뚜렷하게 증가하고 있으며, 이로 인해 노후취약기반 시설에서의 일시적이고 국지적인 피해 발생이 증가하고 있음

* 이상기후현상의 대표적 예 : (2015~2017) 장기적으로 가뭄 발생, (2018) 여름철 폭염/열대야 일수 각각 31.4/17.7일로 최다, (2019) 연 영향 태풍수 7개로 (1950, 1959년과 공동 1위), 가을 영향 태풍수 3개로 최다 1위

- 기후변화로 인한 재해 발생 양상이 급변하여 도로의 파손으로 이어지면서 인적·물적 피해가 빠르게 증가하고 있어 이에 따른 보수비용 증가 (여름철 폭염으로 도로 융기로 인한 포장 파손이 증가하고 있으며 집중호우로 인한 포트홀, 비탈면 붕괴 등 빈번)

* 도로상 포트홀 발생 건수(전국) : ('14) 252,132건 → ('17) 434,330건⁵³⁾

* 포트홀로 인한 사고 발생 건수(서울) : ('14) 101건 → ('17) 245건⁵⁴⁾

* 도로 재해 복구 비용 : ('14) 424억 원 → ('17) 697억 원⁵⁵⁾

● 고속국도의 경우 한국도로공사에서 수년 간 축적된 포장상태조사 D/B를 바탕으로 동일구간에서 3회 이상 측정된 데이터에 대한 회귀분석을 실시하여 다양한 중장기 시나리오를 설정하여 비교 및 검토를 시행

- (시나리오 #1) 별도의 보수를 수행하지 않는 경우(Do Nothing)
- (시나리오 #2) 관리기준(HPCI 3.5)에 따른 포장 보수방안 수립

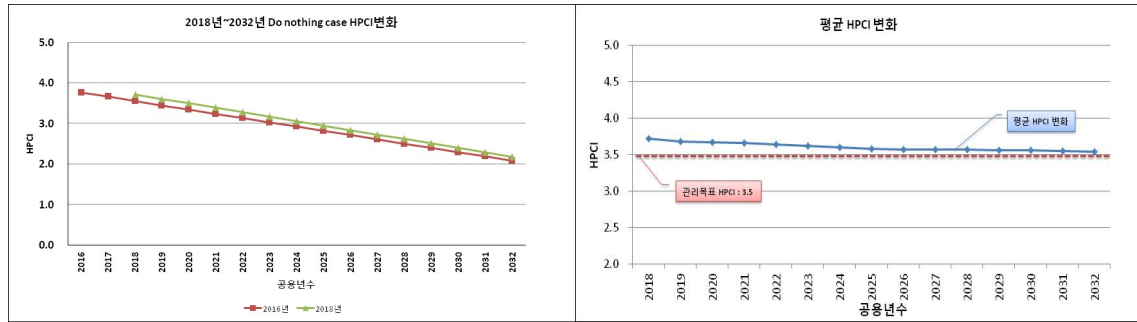
[표 II-26] 포장형식별 공용성 예측모형(고속국도, 예시)

포장형식	공용성 예측 모형
아스팔트 콘크리트 포장	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.139 \times AGE$
시멘트 콘크리트 포장	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.085 \times AGE$

53) 국토교통부 연도별 도로보수현황

54) 서울 포트홀 다합치면 '축구장 7개'... 관련 교통사고 3년새 배로 급증, 조선일보, 2018. 8. 21

55) 국토교통부 연도별 도로보수현황

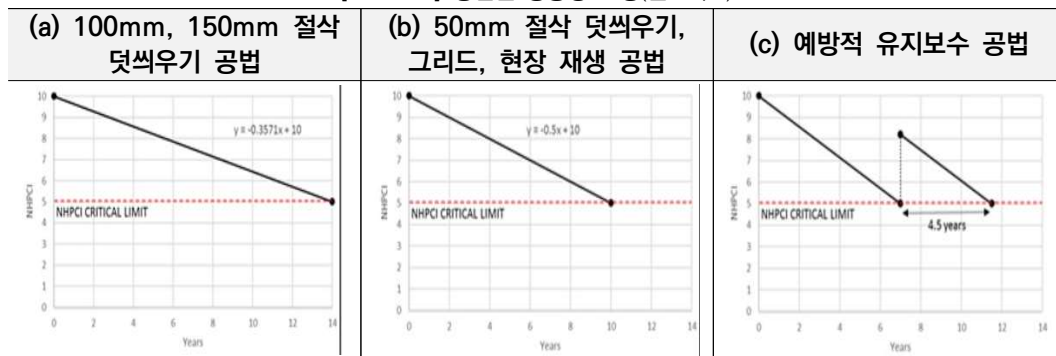


[그림 II-33] Do Nothing 시나리오 적용 시 포장상태지수의 변화(고속국도, 예시)

[그림 II-34] 관리기준(HPCI : 3.5) 시나리오에 따른 평균 포장상태지수 변화(고속국도, 예시)

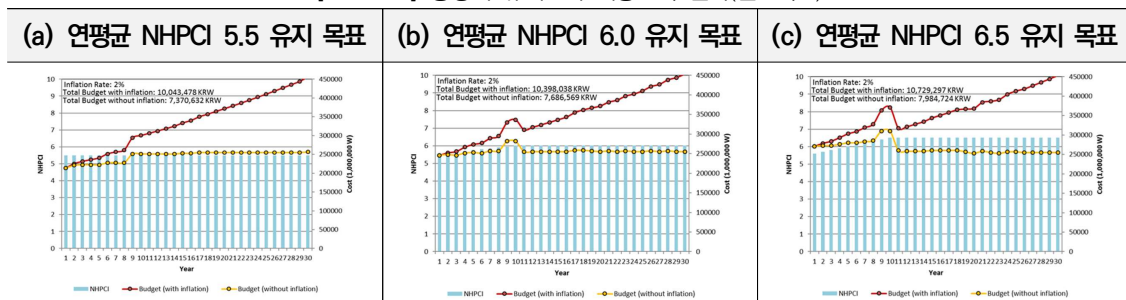
- 일반국도 도로포장관리시스템에서는 30년동안 일반국도 도로포장 유지관리를 위한 중장기 유지관리 비용분석 수행하여 30년 동안 목표 NHPCI를 유지하기 위해 필요한 일반국도 중장기 유지보수 비용 분석

[표 II-27] 공법별 공용성 모형(일반국도)



[자료] 2018 도로포장관리시스템 연구보고서(국토교통부, 2019)

[표 II-28] 중장기 유지관리 비용분석 결과(일반국도)



[자료] 2018 도로포장관리시스템 연구보고서(국토교통부, 2019)

■ 기술개발 목적

- 국내 도로인프라의 총 연장은 지속적으로 증가하고 있으며 적기에 적절한 방법으로 유지보수가 이루어지지 않을 경우, 차량운행 비용 및 현황파악과 유지관리를 위한 인력·시간·안전·자재 등의 투입비용이 증가

- 도로인프라의 유형, 구조물에 사용된 재료, 인프라에 미치는 환경에 따라 노후화, 파손 및 결함 형태 등이 상이하므로 각각의 내구특성 조사가 요구되며, 장기적 보수 계획 수립과 적정보수시기 결정을 위한 인프라 공용성 예측 모형의 개발
- 도로인프라의 유형·재료·환경에 따른 상이한 내구특성을 상세하고 면밀하게 조사하고 이를 바탕으로 공용성 예측 모형을 개발
 - 도로인프라의 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사를 통해 인프라 종류, 사용된 재료, 지반의 특성, 기온의 변화, 강우량 등의 특성과 교통량, 중차량 구성비 등의 다양한 특성에 따른 내구특성 및 파손 파악
 - 도로인프라의 공용성 예측 모형을 개발함으로써 인프라를 효율적으로 관리하고 적절한 보수 공법·시기 및 인프라 수명·기능 향상을 통해 불필요한 유지관리 예산의 지출을 방지

■ 기술개발 필요성

- 도로포장, 교량 등의 도로인프라는 각 유형별로 서로 다른 구조를 가지고 있으며, 목적에 부합하는 다양한 재료를 이용하여 설계되어 구성하는 재료들의 상이한 특성으로 인해 다양한 파손유형이 발생하며, 이를 상세하게 조사 및 분석하여 적절하고 장기적인 보수공법이 시행될 수 있도록 할 필요성 존재
 - 아스팔트 포장의 경우 재료가 유동적이고 탄력이 있어 소음이 상대적으로 적고 주행성이 우수하며 배수성이 좋지만 상대적으로 강도가 낮아 하중에 대해 변형이 쉽게 일어나며 열에 약한 단점이 존재하며, 콘크리트 포장의 경우 큰 하중을 잘 견딜 수 있으며 열에도 강하지만 자재 특성상 유동성과 탄력성이 떨어져 소음이 크며 승차감이 떨어지고 겨울철 도로 표면에 얼음이 다수 생성되는 단점이 존재
 - 교량의 경우에는 포장과는 달리 여러개의 부재로 이루어져 있어 하나의 부재에라도 치명적인 손상이 발생하면 대형 인명사고를 유발할 수 있으므로 사전에 각 부재에 대한 철저한 점검과 이에 따른 평가 및 조치가 요구되며 손상된 여러 부재중 어떤 부재를 우선적으로 보수해야 할지에 대한 기준이 필요하고, 해당 손상부위에 경제적으로 가장 적합한 최적의 유지보수를 적용할 필요가 있음
- 도로인프라는 지반의 특성, 지세, 기온의 변화, 강우량 등의 환경적인 특성과 교통량, 중차량 구성비 등 교통 특성에 따라 매우 다양한 파손을 가지므로 기후가 일정한 환경에서의 인프라 내구성과 기후가 일정하지 않은 환경에서의 내구성은 큰 차이를 나타낼 수 있으며, 교통량이 많은 도로의 경우 포장의 파손이 발생할 시 사용자가 지불해야 할 비용이 그만큼 증가할 수 있음
 - 한국의 기후적 성향으로 인해 겨울에는 소금, 열화칼슘 수용액 등의 제설제를 사용하며

이는 콘크리트 포장을 주로 사용하는 고속도로의 도로포장 및 교면포장과 바닥판의 열화를 심화시킴

- 도로 포장의 파손에 가장 크게 영향을 미치는 인자 중 하나는 교통량으로서 포장에 직접적으로 피로하중을 가해 성능을 저하시키는 가장 큰 요인은 각 차종의 축하중과 상관성이 높으므로 축하중이 큰 대형버스, 대형트럭, 트레일러와 같은 중차량은 승용차, 소형트럭 등과 같이 축하중이 작은 교통량보다 포장에 큰 영향을 미침
- 도로인프라 공용성 예측 모형이란 도로인프라가 공용년수 경과에 따라 변하는 정도를 정량적으로 추정할 수 있는 모형으로서 인프라를 효율적으로 관리하고 장기적인 유지관리계획 수립을 통한 인프라의 수명 및 기능 및 향상을 위해서는 공용성 예측 모형의 개발이 필요
- 도로인프라의 노후화 정도를 예측할 수 있다면 최적 보수 공법을 예측하여 장기적 보수 계획 수립이 가능하고 이를 시행할 수 있는 적정보수시기 및 보수공법의 결정이 가능 하여 불필요한 예산의 지출방지 가능
- 도로인프라의 상이한 유형·재료, 인프라에 미치는 환경을 고려한 공용성 예측 모형 개발을 통해 인프라별 공용성 예측 정확도 상승 및 중·장기적으로 인프라 유지관리 비용의 감소 가능
- 또한, 현황 분석 위주의 기존 도로인프라 데이터베이스를 기반으로 구축된 공용성 예측 모형 대비 빅 데이터 플랫폼을 활용한 공용성 예측 모형 개발을 통해 더욱 다양한 시나리오를 설정하여 비교·분석 가능

■ 기술개발 목표

[표 II-29] 세부기술 11-2 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발

세부기술	세세부기술	성과지표(성과물)	개발목표 스펙	설정근거
11-2. 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발	11-2-1. 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사	•도로인프라 유형별 주요 파손 및 내구특성 조사 기술	•도로인프라유형(도로포장, 교량)별 주요파손 정보 •도로인프라 유형에 따른 내구특성 조사 기술	•도로포장, 교량 등의 도로인프라는 각 유형별로 서로 다른 구조를 가지고 있으며, 목적에 부합하는 다양한 재료를 이용하여 설계되어 구성하는 재료들의 상이한 특성으로 인해 다양한 파손유형이 발생 •이를 상세하게 조사 및 분석하여 적절하고 장기적인 보수공법이 시행될 수 있도록 인프라의 유형·재료별 내구특성을 조사할 필요성 존재
		•도로인프라 재료별 특성 및 내구특성 조사 기술	•도로인프라 재료(아스팔트, 콘크리트 등)별 특성 정보 •설계·유지보수 시 사용되는 재료별 중요도·우선순위 분석기준 •도로인프라 재료에 따른 내구특성 조사 기술	
		•도로인프라 환경별 노후 요인 및 내구특성 조사 기술	•도로인프라 환경적 노후 요인(기후 토지이용 등) •도로인프라 환경에 따른 내구특성 조사 기술	•도로인프라는 지반의 특성, 지세, 기온의 변화, 강우량 등의 환경적인 특성과 교통량, 중차량 구성비 등 교통 특성에 따라 매우 다양한 파손을 가지므로 기후가 일정한 환경에서의 도로인프라의 내구성과 기후가 일정하지 않은 환경에서의 내구성은 큰 차이를 나타낼 수 있으므로 인프라의 환경별 내구특성의 조사 필요

		•중차량 교통량 파악 기술 및 미치는 영향 파악 기술	•도로인프라별 총 교통량 정보 •축하중이 큰 대형버스, 대형트럭, 트레일러와 같은 중차량의 교통량 정보 •축하중과 도로인프라 파손과의 상관관계	•도로 포장의 파손에 가장 크게 영향을 미치는 인자 중 하나는 교통량으로서 포장에 직접적으로 피로하중을 가해 성능을 저하시키는 가장 큰 요인은 각 차종의 축하중과 상관성이 높음 •축하중이 큰 대형버스, 대형트럭, 트레일러와 같은 중차량은 승용차, 소형트럭 등과 같이 축하중이 작은 교통량보다 포장에 큰 영향을 미치므로 축하중과 공용성 사이의 상관관계 파악 필요
		•인프라별 위치정보 및 기상이변에 따른 피해정보 파악 기술	•도로인프라별 위치 정보 및 해당 위치에서의 환경 정보 •국내에서 발생한 폭염, 가뭄, 한파 등의 기상이변 정보 •해당 기상이변과의 도로인프라 파손·노후도와의 상관관계	•폭염, 가뭄, 한파 등의 기상이변 정보는 도로에 직접적으로 파손을 일으킬 뿐더러 한파에서의 예로서, 소금, 염화칼슘 수용액 등의 제설제 사용으로 콘크리트 포장의 열화를 심화시킴 •따라서 도로인프라별 위치 정보를 파악하고 해당 위치에서의 환경적 요인, 기상이변 정보를 파악하여 공용성과의 상관관계를 도출하고 향후 인프라 설계·유지보수에 활용될 수 있도록 할 필요성 존재
	11-2-2. 도로인프라 공용성 예측 모형 개발	•도로인프라 유형별 공용성 예측 모형 개발	•도로인프라 유형(도로포장, 교량)별 공용성 정보 및 상관관계 •도로인프라 유형에 따른 공용성 예측 모형	•도로인프라 공용성 예측 모형이란 도로인프라가 공용년수 경과에 따라 변하는 정도를 정량적으로 추정할 수 있는 모형 •도로인프라의 상이한 유형·재료, 인프라에 미치는 환경을 고려한 공용성 예측 모형 개발을 통해 인프라별 공용성 예측 정확도 상승 및 중·장기적으로 인프라 유지관리 비용의 감소가 가능하므로 공용성과의 상관관계 분석 및 공용성 예측 모형 개발 필요
		•도로인프라 재료별 공용성 예측 모형 개발	•도로인프라 재료(아스팔트, 콘크리트 등)별 공용성 정보 및 상관관계 •도로인프라 재료에 따른 공용성 예측 모형	
		•도로인프라 환경별 공용성 예측 모형 개발	•도로인프라 환경적 요인(기후 토지이용 등)별 공용성 정보 및 상관관계 •도로인프라 환경에 따른 공용성 예측 모형	
		•인프라 설계·시공 시 요구사항과 공용성 사이의 상관관계 파악 기술	•도로인프라 설계·시공 시의 주요 요구사항(재료, 환경 등) 정보 •해당 요구사항과 공용성 사이의 상관관계	•도로인프라 초기 설계·시공 시의 요구사항은 인프라의 공용성에 큰 영향을 끼치므로 공용성과의 상관관계 분석을 통해 향후 인프라 설계·유지보수 시에 활용 가능 •이는 인프라의 유형·사용되는 재료·위치한 환경에 따라 상이하므로 해당 요구사항들과 공용성 사이의 상관관계 분석 필요
		•도로인프라 공용성 예측 모형 시범 운영 실증	•공용성 예측 모형의 시범 운영 실증을 위한 방법론 •모형을 통한 중·장기적인 유지관리 예상 비용	•본 연구에서 개발한 도로인프라 유형·재료·환경·공용성 예측모형의 다양한 시나리오별 시범실증을 통해 모형의 예측 정확도 및 우수점

① [세세부기술 11-2-1] “도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사” 연차별 개발내용

● 1년차 개발내용

- 기존 국내 도로인프라의 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사·분석을 통한 한계점·문제점 파악 및 개선안 도출
- 국외 도로인프라의 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사·분석을 통한 참고 및 활용방안 도출

● 2년차 개발내용

- 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사를 위한 필요 데이터 목록 정의
- 도로인프라 설계·유지보수 시 사용되는 다양한 재료 파악 및 해당 재료별 중요도·우선 순위 분석기준 개발

● 3년차 개발내용

- 도로인프라 위치정보 및 해당 지역에서의 기후·토지이용·제설제 사용 등의 환경적 요인 파악 기술 개발
- 국내에서 발생한 폭염, 가뭄, 한파 등의 기상이변 조사 및 인프라에 미쳤던 영향·피해 정도 분석 기술 개발
- 도로인프라별 총 교통량 정보 및 축하중이 큰 대형버스, 대형트럭, 트레일러와 같은 중차량의 교통량 정보 파악 기술 개발

● 4년차 개발내용

- 도로인프라 유형(도로포장, 교량)에 따른 내구특성 조사
- 도로인프라 재료(아스팔트, 콘크리트 등)에 따른 내구특성 조사
- 도로인프라 환경(기후, 토지이용 등)에 따른 내구특성 조사

● 5년차 개발내용

- 도로인프라 유형(도로포장, 교량, 터널 등)에 따른 내구특성 분석 결과 도출
- 도로인프라 재료(아스팔트, 콘크리트 등)에 따른 내구특성 분석 결과 도출
- 도로인프라 환경(기후, 토지이용 등)에 따른 내구특성 분석 결과 도출

② [세세부기술 11-2-2] “도로인프라 공용성 예측 모형 개발” 연차별 개발내용

● 1년차 개발내용

- 기존 국내 도로인프라 공용성 예측 모형의 조사·분석을 통한 한계점·문제점 파악 및 개선안 도출
- 국외 도로인프라 공용성 예측 모형의 조사·분석을 통한 참고 및 활용방안 도출
- 2년차 개발내용
 - 도로인프라 공용성 예측 모형 개발을 위한 조사장비 및 재료별 시험 장비·방법론 정의 기술 개발
- 3년차 개발내용
 - 도로인프라의 공용성에 미치는 영향 파악을 위해 설계·시공 시 요구사항 및 파손·환경·교통량 등과 공용성 사이의 상관관계 도출
- 4년차 개발내용
 - 도로인프라 유형(도로포장, 교량, 터널 등)에 따른 공용성 예측 모형 개발
 - 도로인프라 재료(아스팔트, 콘크리트 등)에 따른 공용성 예측 모형 개발
 - 도로인프라 환경(기후, 토지이용 등)에 따른 공용성 예측 모형 개발
- 5년차 개발내용
 - 시범 운영 실증을 통한 공용성 예측 정확도 및 중장기 유지관리 예상 비용 등의 분석 결과 도출

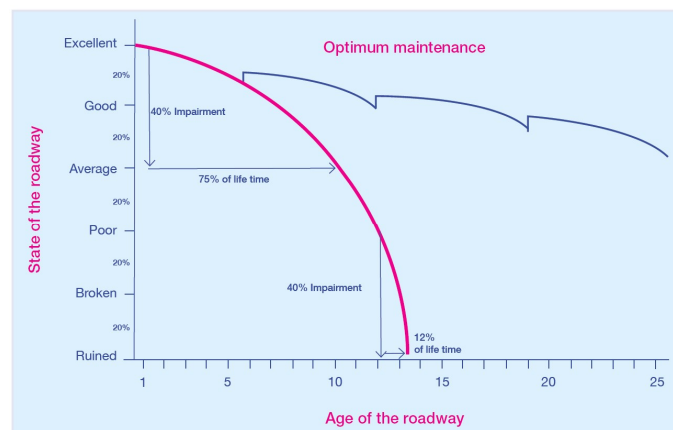
■ 기술별 최종성과물

- (세세부기술 11-2-1) “도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사” 최종성과물
 - 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사를 위한 필요 데이터 목록
 - 도로인프라에 사용된 재료 파악 및 중요도·우선순위 분석 알고리즘 기술
 - 도로인프라 위치정보 및 해당 지역에서의 환경적 요인 파악 기술
 - 총 교통량 정보 및 중차량의 교통량 정보 파악 기술
 - 도로인프라 유형별·재료별·환경 내구특성 조사 및 분석 결과
- (세세부기술 11-2-2) “도로인프라 공용성 예측 모형 개발” 최종성과물
 - 도로인프라 공용성 예측 모형 개발에 필요한 조사·시험장비 및 기술 목록
 - 도로인프라의 파손·환경·교통량 등과 공용성 상관관계 모델 개발
 - 도로인프라 유형별·재료별·환경별 공용성 예측 모형 개발
 - 시범 운영 실증을 통한 공용성 예측 정확도 및 예상 유지관리 비용 분석 결과물

4-1-3. [세부기술 11-3] 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발

■ 기술개발 배경

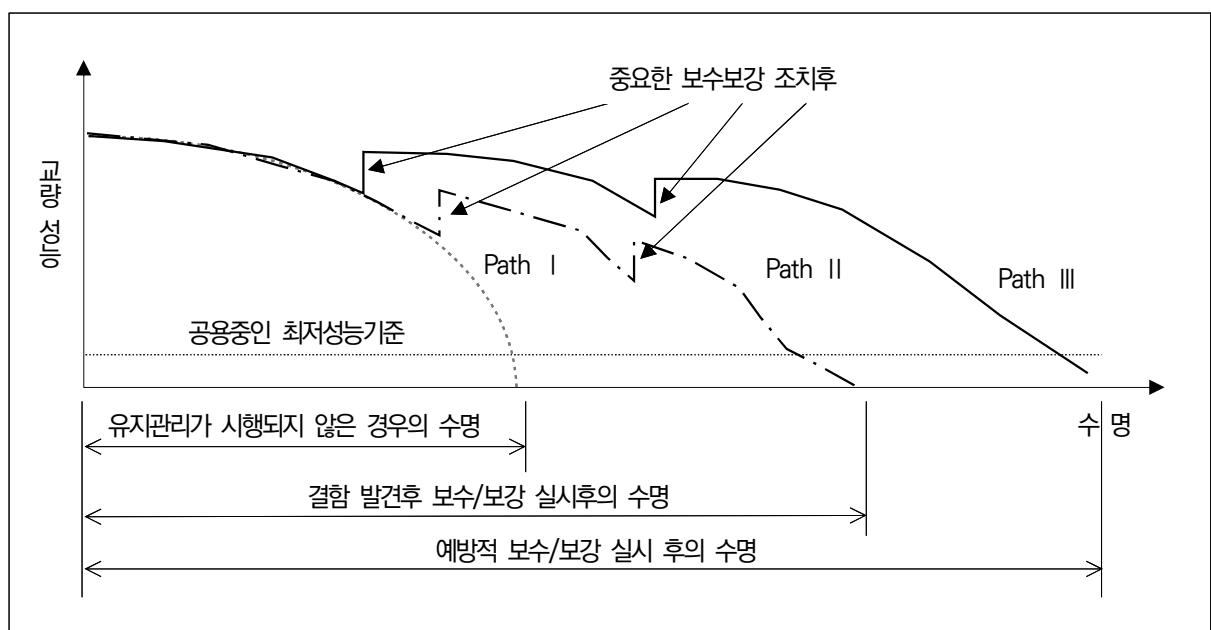
- 예방적 유지관리의 정의는 여러 보고서에서 언급되어 있으나, 미국의 미네소타 교통부에서는 ‘가벼운 손상을 정지하고 점진적인 파괴를 지연시키는 것을 목적으로 하는 전략적 프로그램으로 교량의 내하력을 획기적으로 개선하지는 않지만 사용수명을 연장하고 이용자의 서비스의 수준을 개선하는 행위’로 정의
 - 이미 많은 연구들에서 예방적 유지관리가 장기적으로 전체 비용을 상당히 줄이는 효과를 가져온다는 것을 증명
- 도로 포장에서의 유지관리는 크게 예방적 유지관리(Prenventive Maintenance)와 보수 차원의 유지관리(Corrective Maintenance)로 구분할 수 있음
 - 예방적 유지관리가 전체수명비용(Life Cycle Cost, LCC)분석에 따라 구조적 손상 발생 이전에 포장의 보존 및 기능 저하 방지를 위해 실시하는 것이라면, 보수 차원의 유지관리는 이미 기능적, 구조적으로 손상이 진행된 포장의 파손을 치유하기 위함
- 도로 포장의 성능이 저하되어 재포장 또는 재시공 작업을 필요로 하는 경우, 예방적 유지보수 작업을 하지 않았다면 6~10배의 보수 비용이 추가로 소요
 - 도로 포장이 완전손상상태에 가기 전에 예방적 유지보수를 하는 것이 중·장기적으로 비용을 절감할 수 있으며 도로 포장 수명을 늘릴 수 있음



[그림 II-35] 도로 포장 예방적 유지보수로 인한 비용 절감

[자료] European Union Road Federation, Road asset management, 2018

- 교량의 유지관리는 손상이나 결함이 발생하여 필요시마다 보수·보강을 실시하는 사후 유지관리(Demanded Maintenance)와 여러가지 활동을 통하여 손상 또는 결함의 발생을 사전에 예방하고 발생 시기를 늦추기 위한 예방적 유지관리(Preventive Maintenance)로 구분
 - 교량 특성상 사고 발생 시 수많은 인명피해를 유발할 수 있으므로 이용자의 안전 확보를 위하여 사후 유지관리보다는 예방적 유지관리가 더욱 중요시 되고 있는 실정
 - 대표적인 예로는 한국에서 한강을 횡단하는 성수대교 사고를 들 수 있으며, 교량의 연결부인 이음새 손상으로 상판이 떨어져 17명이 부상하고 32명이 사망하는 엄청난 결과를 초래하였고, 이는 교량의 예방적 유지관리가 얼마나 중요한지를 보여주고 있음



[그림 II-36] 교량의 시간경과에 따른 성능 저하

[자료] 교량 예방적 유지관리 방안 연구(2005), 한국도로공사

- 도로의 교통량·중차량 증가, 여름철 이상 고온 등으로 인한 소성변형 대책마련, 소음·주행성·기능성 향상을 위한 특수포장 공법 등의 신공법이 지속적으로 증가하고 있음
 - 특수공법 포장의 경우 기존의 아스팔트, 콘크리트 포장과 달리 혼합 비율이 서로 상이하며 유리 및 탄소섬유로 직조된 섬유보강재를 이용하기도 함
 - 2008년부터는 도로포장의 구조적 파손을 사전에 방지하여 쾌적한 도로 주행과 예산 절감효과를 기대할 수 있는 유리 및 탄소섬유로 직조된 섬유보강재를 이용하여 도로 노면에 부착 후 표층 시공을 하는 섬유그리드 공법을 시험시공
 - 아스팔트 포장의 경우 소성변형 방지를 위해 국내외에서 개발된 개질아스콘 포장을 적용중이며 최근 10년간 약 27%를 개질아스콘 포장, 재생아스팔트 포장, 섬유그리드 등의 특수포장 공법 적용⁵⁶⁾

[표 II-30] 특수포장 공법별 연도별 적용 현황

(단위 : km)

보수 년도	보수 연장	개질 아스콘	배수성	현장 재생	플랜트 재생	반강성	화이트 타핑	그리드 +5AC	기타
계	4,478.3	3,003.8	308.7	669.2	69.1	6.8	1.5	343.1	76.1
1998	70.7	67.7		3.0					
1999	135.1	129.1	1.0	5.0					
2000	269.1	257.2	7.4		4.5				
2001	244.5	204.4	34.3		5.6	0.2			
2002	191.2	153.1	22.5	8.6	7.0				
2003	326.5	204.8	55.4	55.4	10.9				
2004	337.6	180.7	82.4	51.8	14.3	0.4	0.4		7.6
2005	223.5	101.7	68.5	34.8	12.5				6.0
2006	177.7	101.4	34.3	30.8	10.4	0.4	0.4		
2007	121.8	85.8		31.7	3.9	0.2	0.2		
2008	94.5	43.8	2.9	42.3		1.3	0.5	3.7	
2009	38.0	12.5		13.1				12.4	
2010	105.8	8.5		40.7				51.2	5.4
2011	53.4	14.3		20.9		2.3		10.7	5.2
2012	116.4	67.0		30.5		0.4		14.5	4.0
2013	164.2	100.2		33.4		0.8		23.4	6.4
2014	135.8	63.1		39.5		0.4		25.2	7.6
2015	140.3	48.8		49.4		0.4		33.0	8.7
2016	289.9	211.0		37.7				34.4	6.8
2017	366.4	263.6		39.6				44.8	18.4
2018	471.7	349.0		72.5				50.2	

[자료] 국토교통부, 2018 도로포장관리시스템 최종보고서, 2019

■ 기술개발 목적

- 국가와 지역의 경제성장을 위해 조성된 국내 도로인프라는 급속도로 노후화가 진행 중이며, 도로인프라의 적절한 유지보수 임계점을 지나면 성능저하가 가속화되고 성능회복과 복구를 위한 관리비용이 급증
 - 도로인프라가 완전손상상태에 가기전에 예방적 유지관리를 통해 파손을 예방하고 발생 시기를 늦추어 인프라의 수명의 연장이 가능하므로, 인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발을 통해 향후 발생할 더 큰 국가적 손실을 방지
- 급격하게 노후화가 진행되고 있는 국내 도로인프라에 대해 정확한 평가를 기반으로 한 인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발
 - 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘의 합리적이고 체계적인 의사결정을 통해 도로인프라 연장의 증가로 인해 급증한 유지관리 비용의 감소 및 인프라의 기능적·구조적 성능 저하 방지 가능
- 도로인프라에 사용이 확대되고 있는 특수공법 포장 등의 신공법 별 예방적 유지보수 알고리즘 개발
 - 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 개발을 통해 기존 도로인프라에 사용되는 공법보다 더 큰 예산을 필요로 하는 신공법이 적용된 인프라의 노후화 지연 및 수명연장 가능

■ 기술개발 필요성

- 새로운 도로인프라의 구축은 국가의 이동성을 향상시키고 물류의 흐름을 원활히 함으로써 국가 발전에 큰 영향을 미치며 단기적으로 눈에 띄는 결과를 도출할 수 있으나, 이는 내실을 다지지 못한 채 몸집만 불리는 악영향을 초래할 수 있음
 - 예방적 유지보수가 빠진 무분별한 도로건설은 장기적으로 더 큰 사회적 비용을 야기할 것이며, 전략적이고 예방적인 도로인프라 유지·관리 시스템은 국가 자산을 효율적으로 관리하여 향후 발생할 국가적 손실을 방지
- 적시에 예방적 유지보수를 실시하면 도로인프라의 파손·결함을 지연시킬 수 있으나, 이러한 시기를 놓치게 된다면 노후화의 정도가 심해져 결과적으로 도로 이용자의 차량 운행비용, 관리자의 유지관리 비용 등의 사회적 비용의 증가를 초래
 - 도로인프라의 적극적인 예방적 유지관리는 중·장기적 관점으로 보았을 때, 더욱 예산을 절감할 수 있는 방안으로서 인프라별 유지관리 시기 및 적용공법과 관련된 합리적이고 체계적인 의사결정을 위한 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘의 개발 필요

- 도로인프라에 사용되고 있는 특수포장 등의 신공법 사용 비율이 증가되면서 신공법 별 특성과 현장 상황에 따른 새로운 예방적 유지관리 알고리즘을 개발하여 신공법이 적용된 인프라의 수명 향상 필요
- 신공법의 경우 기존 도로인프라에 이용된 공법 대비 인프라의 기능성 및 내구성을 향상시키기 위해 적용하고 있으나, 이에 맞는 적절한 예방적 유지관리 알고리즘 체계가 구축되지 않는다면 오히려 큰 예산의 낭비가 될 수 있음
- 신공법 각각의 결함, 파손유형이 상이하고 노후화 정도가 다르므로 기존 아스팔트, 콘크리트 포장의 예방적 유지보수 적용 시에는 적절한 유지보수 시기 및 공법과 관련한 정확한 의사결정이 어려운 문제 발생
- 신공법의 종류는 다양하며 현재도 지속해서 개발이 진행 중에 있으므로 인프라별 신공법 적용 비율, 경제성 평가 등을 통해 예방적 유지관리 알고리즘에 우선순위를 부여하여 효율적인 관리 필요

■ 기술개발 목표

[표 II-31] 세부기술 11-3 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 알고리즘 개발

세부기술	세세부기술	성과지표(성과물)	개발목표 스펙	설정근거
11-3. 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발	11-3-1. 도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발	•도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 •도로인프라별 예방적 유지관리 공법 결정 알고리즘	•예방적 유지관리 공법별 평균 비용 정보 및 인프라 노후화 지연정도, 사회적 비용 감소 정도 파악 기술 •도로인프라별 사회적 비용 감소 정도 및 노후화 지연 정도 최대화 가능한 예방적 유지관리 알고리즘 •슬러리실, 마이크로사페이싱 등 도로인프라별 적절한 예방적 유지관리 알고리즘 공법 의사 결정 알고리즘 •도로인프라의 노후화 정도, 공법 시행 주기 등 적절한 예방적 유지관리 시기·노후도 결정 알고리즘	•도로인프라의 적극적인 예방적 유지관리는 중·장기적 관점으로 보았을 때, 더욱 예산을 절감할 수 있는 방안으로서 인프라별 유지관리 시기 및 적용공법과 관련된 합리적이고 체계적인 의사결정을 위한 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘의 개발 필요 •예방적 유지관리에 사용되는 공법의 종류와 공법 시행 주기는 다양하므로, 인프라별 적절한 공법과 시기 파악을 위한 의사결정 알고리즘 개발 필요
		•도로인프라별 예방적 유지관리 시기 결정 알고리즘		
		•실무자 측면에서의 예방적 유지관리 메뉴얼	•예방적 유지관리 공법을 직접적으로 수행하는 실무자들이 체계적이고 효율적인 작업 수행이 가능한 메뉴얼	•원활한 유지관리 공법 수행을 위해서는 실무자 측을 위한 메뉴얼 등의 방안 마련 필요
		•예방적 유지관리 알고리즘 도입으로 인한 위험요인 파악 기술	•단기적인 관점에서의 예방적 유지관리 공법 수행으로 인한 인프라 관리 비용 증가량, 필요 인력 등의 위험 요인 파악 기술 •해당 위험요인으로 인한 이용자들의 세금 증가,	•예방적 유지관리 알고리즘은 중·장기적 관점에서는 예산을 절감할 수 있는 방안이나, 단기적인 공법이 시행되는 것이므로 단기적인 관점에서는 필요 예산과 인력이 증가할 수 있는 위험요인이 존재

			- 도로이용료 증가 등의 위험요인 파악 기술 •국가적 측면에서의 해당 위험요인 최소화 방안	•해당 위험요인의 정량적 평가 기술과 최소화 방안 마련을 통해 도로인프라 이용자들의 쾌적한 인프라 이용 도모 필요
		•도로인프라맞춤형예방적 유지관리 알고리즘 시범 운영 실증	•맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 시범 운영을 위한 방법론 •시범 운영 실증을 통한 인프라 수명연장·파손 예방·사회적 비용 절감 등의 효과 파악 기술 •시범 운영 실증을 통한 예방적 유지관리 미 수행 시 향후 발생할 중장기적 사회적 손실 파악 파악 기술	•본 연구에서 개발한 도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘의 시범 운영 실증을 통해 인프라 수명연장 및 사회적 비용 절감 등의 정량적인 평가 도출 필요
	11-3-2. 도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 개발	•도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 •신공법 별 예방적 유지관리 공법 결정 알고리즘	•특수포장 공법 등의 도로 인프라별 신공법 종류 •현재 사용되고 있는 인프라 별 신공법 및 향후 개발 사용 예정인 신공법 종류 •사회적 비용 감소 정도 및 노후화 지연 정도 최대화 가능한 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 •신공법 별 적절한 예방적 유지관리 알고리즘 공법 의사 결정 알고리즘 •신공법이 시행된 인프라의 노후화 정도, 공법 시행 주기 등 적절한 신공법 별 예방적 유지관리 시기·노후도 결정 알고리즘	•도로인프라에 사용되고 있는 특수포장 등의 신공법 사용 비율이 증가되면서 신공법 별 특성과 현장 상황에 따른 새로운 예방적 유지관리 알고리즘을 개발하여 신공법이 적용된 인프라의 수명 향상 필요 •신공법의 종류는 다양하며 현재도 지속해서 공법 개발이 진행중에 있으므로 신공법 종류 파악을 우선적으로 진행하여 적절한 예방적 유지관리 알고리즘 개발 필요
		•신공법 별 예방적 유지관리 우선순위 결정 알고리즘	•경제성 평가를 통한 신공법 별 중요도·우선순위 결정 알고리즘 •경제성 평가 결과를 기반으로 한 신공법 별 예방적 유지관리 우선순위 결정 알고리즘	•효율적인 예산사용을 위해 국내 도로인프라에 사용된 신공법 사용 비율 파악 및 경제성 파악을 통한 예방적 유지관리가 우선적으로 적용되어야 할 신공법 분석 기술 개발 필요
		•도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 시범 운영 실증	•신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 시범 운영을 위한 방법론 •시범 운영 실증을 통한 신공법 별 예방적 알고리즘 적용의 합당성 •시범 운영 실증을 통한 인프라 수명연장·파손 예방·사회적 비용 절감 등의 효과 파악 기술	•본 연구에서 개발한 도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 시범 운영 실증을 통해 유지관리 알고리즘의 합당성을 우선적으로 도출하고 사회적 비용 감소 등의 정량적인 평가 필요

① [세세부기술 11-3-1] “도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발” 연차별 개발내용

- 1년차 개발내용
 - 기존 국내 도로인프라별 예방적 유지관리 알고리즘 조사·분석을 통한 한계점·문제점 파악 및 개선안 도출
 - 국외 도로인프라별 예방적 유지관리 알고리즘 조사·분석을 통한 참고 및 활용방안 도출
- 2년차 개발내용
 - 국내 도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발
- 3년차 개발내용
 - 도로인프라별 적절한 예방적 유지관리 공법(슬러리실, 마이크로서페이싱 등) 결정 알고리즘 개발
 - 도로인프라별 적절한 예방적 유지관리 시기·노후도 결정 알고리즘 개발
- 4년차 개발내용
 - 체계적인 예방적 유지관리 알고리즘 수행을 위한 실무자 측면에서의 예방적 유지관리 매뉴얼 개발
 - 예방적 유지관리 알고리즘 도입으로 인한 인프라 이용자 측면에서의 사용료·세금 인상 등의 위험요인 파악 기술 개발
- 5년차 개발내용
 - 시범 운영 실증을 통한 인프라 수명연장·파손 예방·사회적 비용 절감 등의 효과 분석
 - 시범 운영 실증을 통한 예방적 유지관리 미 수행 시 향후 발생할 중장기적 국가적 손실 파악

② [세세부기술 11-3-2] “도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 개발” 연차별 개발내용

- 1년차 개발내용
 - 국내 도로인프라에 사용되고 있는 특수포장(개질 아스콘, 재생아스팔트, 배수성, 그리드) 등의 신공법 조사·분석
 - 향후 국내 도로인프라에 시행 예정인 특수포장 등의 신공법 조사·분석
 - 국외 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 조사·분석을 통한 참고 및 활용방안 도출
- 2년차 개발내용
 - 국내 도로인프라 특수포장 등의 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 개발

- 3년차 개발내용

- 신공법 별 적절한 예방적 유지관리 공법 결정 알고리즘 개발
- 신공법 별 적절한 예방적 유지관리 시기·노후도 결정 알고리즘 개발

- 4년차 개발내용

- 효율적인 예방적 유지관리를 위해 국내 도로인프라별 시행된 신공법 사용 비율 파악을 통한 신공법 별 예방적 유지관리 우선순위 결정 알고리즘 개발
- 신공법 별 경제성 평가 알고리즘 개발

- 5년차 개발내용

- 시범 운영 실증을 통한 사회적 비용 절감 등의 효과 분석 및 알고리즘 적용의 합당성 도출

■ 기술별 최종성과물

- [세세부기술 11-3-1] “도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발” 최종성과물

- 중·장기적인 알고리즘 도입을 위한 국가·실무자 측면에서의 행동 지침 방안
- 인프라 이용자 측면에서의 사용료·세금 인상 등의 위험요인 파악 기술
- 국내 도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘
- 도로인프라별 적절한 예방적 유지관리 공법·시기·노후도 결정 알고리즘
- 시범 운영 실증을 통한 인프라 수명연장·파손 예방·사회적 비용 절감 등의 효과 분석

- [세세부기술 11-3-2] “도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 개발” 최종성과물

- 신공법 별 경제성 평가 알고리즘
- 국내 도로인프라 특수포장 등의 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘
- 신공법 별 적절한 예방적 유지관리 공법·시기·노후도 결정 알고리즘
- 신공법 별 예방적 유지관리 우선순위 결정 알고리즘
- 시범 운영 실증을 통한 사회적 비용 절감 등의 효과 분석 및 알고리즘 적용의 합당성

5. 연구추진 로드맵

■ [핵심과제 11] “도로인프라 장기 빅데이터 기반의 최적 유지·관리 시스템 개발 전체구성”

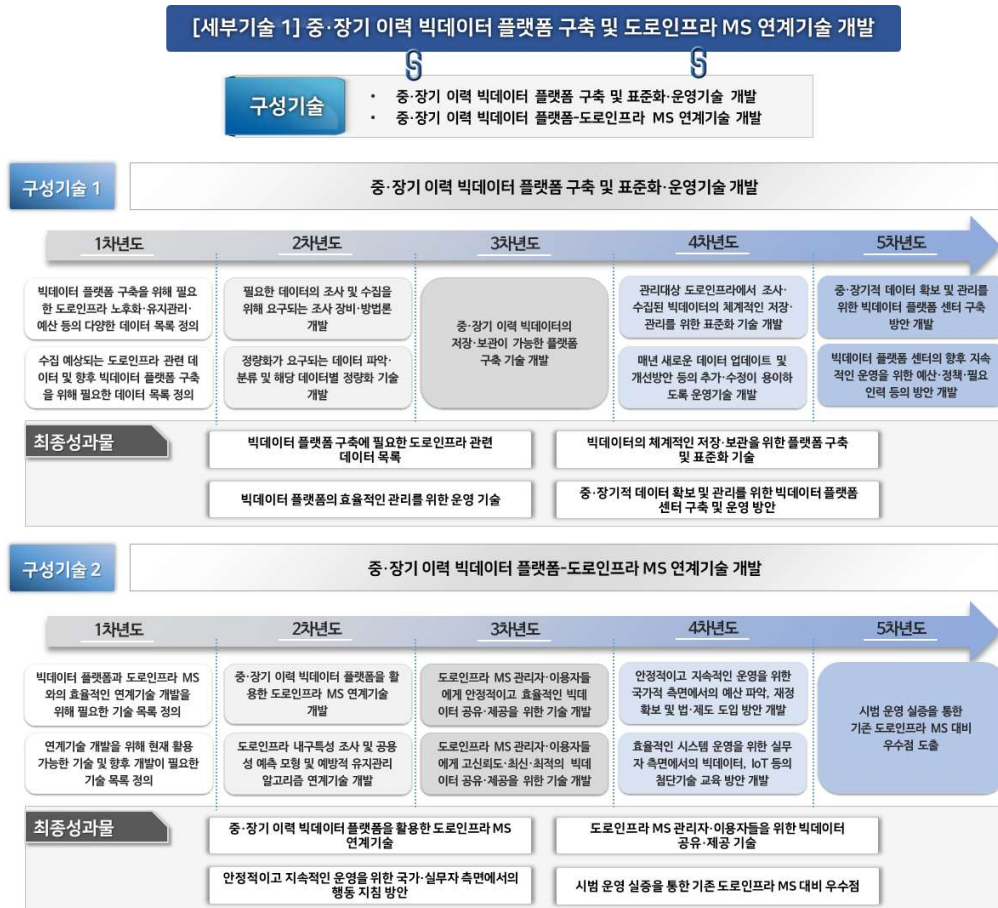
연구추진 로드맵

[표 II-32] 핵심과제 11: 세부기술 및 세세부기술별 연구추진 로드맵

핵심과제	세부기술	1 차 년 도	2 차 년 도	3 차 년 도	4 차 년 도	5 차 년 도	주요연구성과
도로인프라 장기 빅데이터 기반의 최적 유지·관리 시스템 개발 전체구성	11-1. 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발						•중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 기술
							•중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 표준화 기술
							•중·장기 이력 빅데이터 운영기술
							•빅데이터 플랫폼 센터 구축 방안
							•빅데이터 플랫폼 센터 운영 방안
							•중·장기 이력 빅데이터-도로인프라 MS 연계기술
							•효율적인 빅데이터 공유·제공을 위한 기술
							•고신뢰도·최신·최적의 빅데이터 공유·제공을 위한 기술
							•국가적 측면에서의 시스템 운영을 위한 지원 방안
							•실무자 측면에서의 시스템 운영을 위한 교육 방안
							•빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 시범 운영 실증
	11-2. 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발						•도로인프라 유형별 주요파손 및 내구특성 조사 기술
							•도로인프라 재료별 특성 및 내구특성 조사 기술
							•도로인프라 환경별 노후요인 및 내구특성 조사 기술
							•중차량 교통량 파악 기술 및 미치는 영향 파악 기술
							•인프라별 위치정보 및 기상이변에 따른 피해정보 파악 기술
							•도로인프라 유형별 공용성 예측 모형 개발
							•도로인프라 재료별 공용성 예측 모형 개발
							•도로인프라 환경별 공용성 예측 모형 개발
							•인프라 설계·시공 시 요구사항과 공용성 사이의 상관관 계 파악 기술

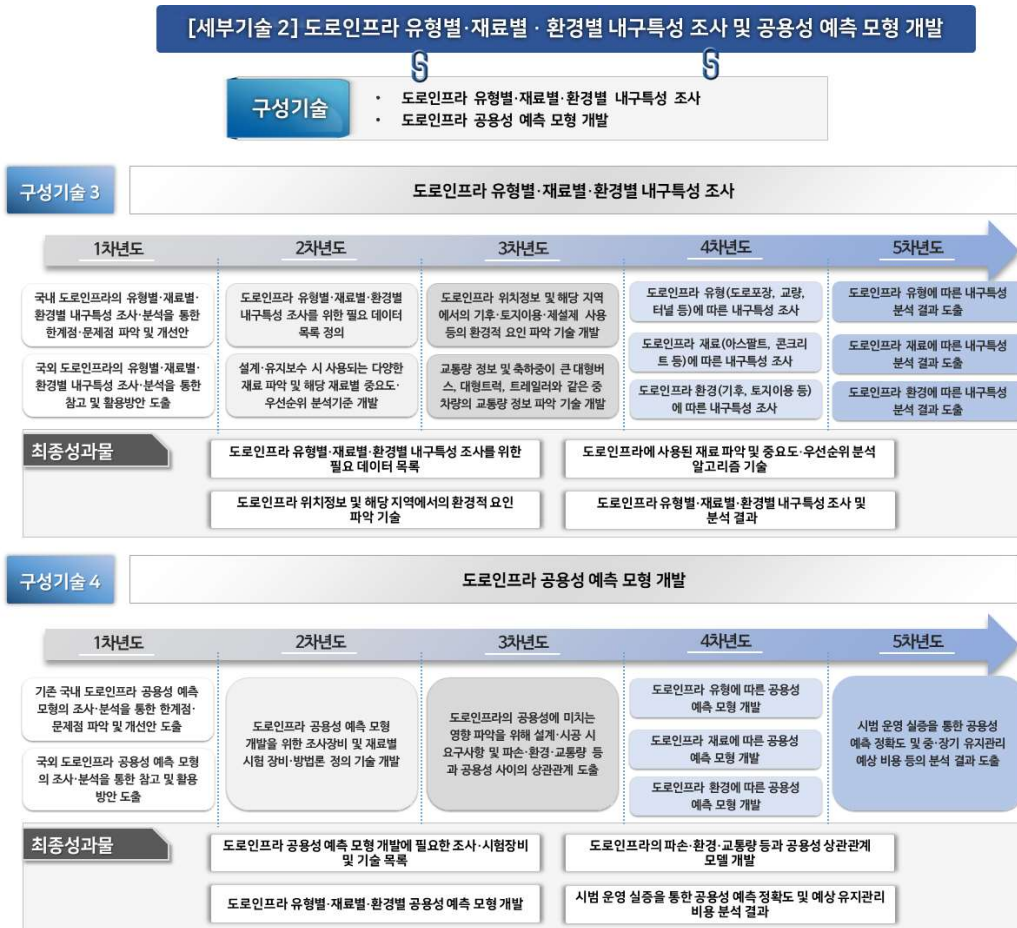
						•도로인프라 공공성 예측 모형 시범 운영 실증
11-3. 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발						•도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘
						•도로인프라별 예방적 유지관리 공법 결정 알고리즘
						•도로인프라별 예방적 유지관리 시기 결정 알고리즘
						•실무자 측면에서의 예방적 유지관리 메뉴얼
						•예방적 유지관리 알고리즘 도입으로 인한 위험요인 파악 기술
						•도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 시범 운영 실증
						•도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘
						•신공법 별 예방적 유지관리 공법 결정 알고리즘
						•신공법 별 예방적 유지관리 시기·노후도 결정 알고리즘
						•신공법 별 예방적 유지관리 우선순위 결정 알고리즘
						•도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 시범 운영 실증

■ [세부기술 11-1] “중장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발” 주요 연구추진 로드맵



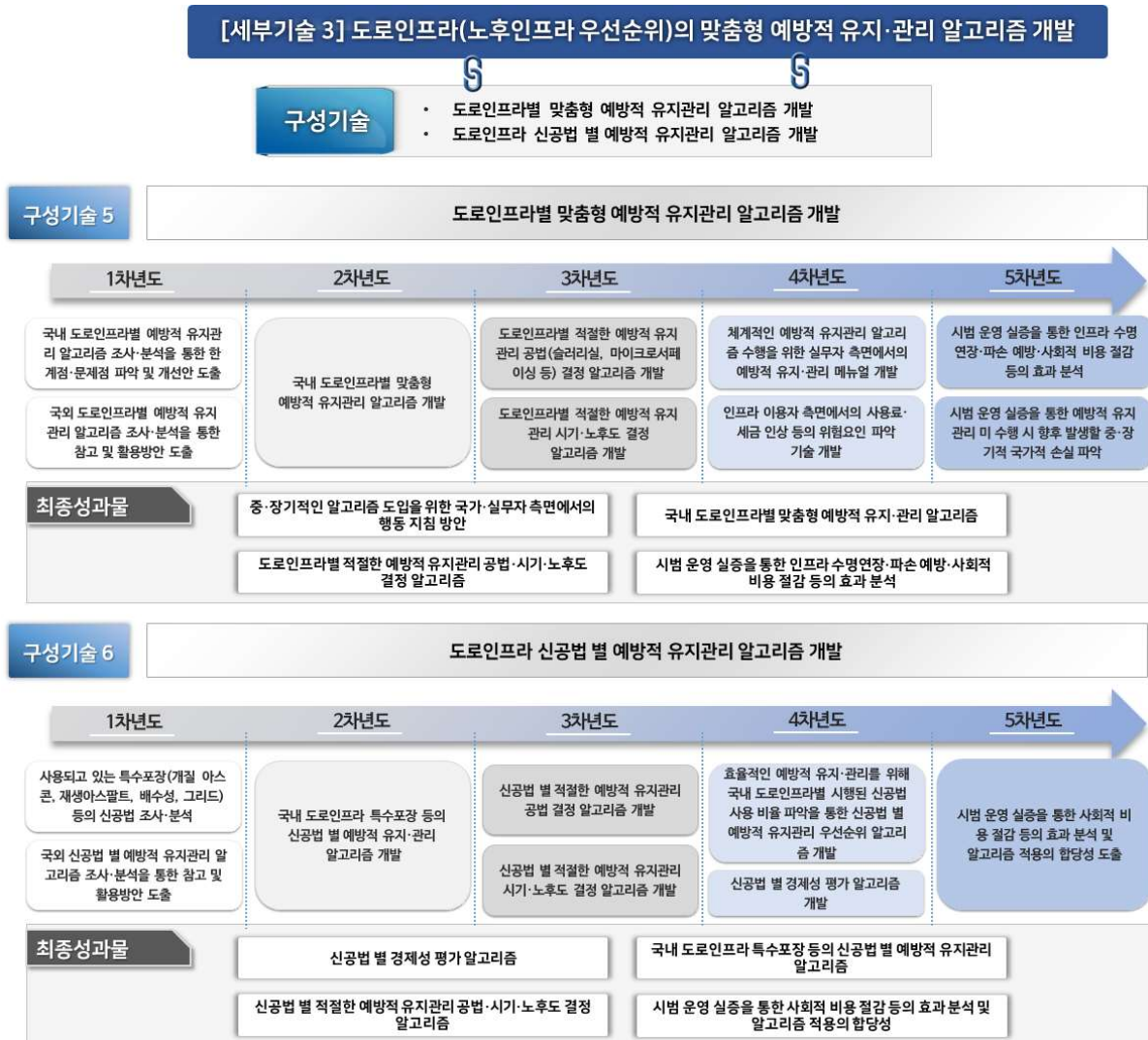
[그림 II-37] 중장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발 로드맵

■ [세부기술 11-2] “도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발” 주요 연구추진 로드맵



[그림 II-38] 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발 로드맵

■ [세부기술 11-3] “도로인프라(노후인프라 우선순위)의 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발”
주요 연구추진 로드맵



[그림 II-39] 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발 로드맵

6. 소요예산

6-1. 연도별 소요예산

[표 II-33] 핵심과제 11: 연도별 소요예산

(단위 : 백만원)

핵심과제	구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
도로인프라 장기 빅데이터 기반의 최적 유지관리 시스템 개발	정부	3,100	3,500	3,000	3,000	3,100	15,700
	민간	2,200	2,300	2,900	2,900	2,000	12,300
총 계		5,300	5,800	5,900	5,900	5,100	28,000

[표 II-34] 핵심과제 11: 세부기술별, 연도별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부기술	구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발	정부	1,200	1,400	1,300	1,200	1,000	6,100
	민간	700	800	900	1,000	900	4,300
도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발	정부	1,000	1,100	950	950	900	4,900
	민간	700	700	900	900	700	3,900
도로인프라(노후인프라 우선순위)의 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발	정부	900	1,000	950	950	850	4,650
	민간	800	800	900	900	750	4,150
총 계		5,300	5,800	5,900	5,900	5,100	28,000

6-2. 예산항목별 소요예산

[표 II-35] 핵심과제 11: 예산항목별 소요예산

(단위 : 백만원)

예산항목	세부항목	예산항목						비율 (%)
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소계	
인건비	책임연구원	1,200	1,200	1,000	1,000	1,200	5,600	20%
	연구원	1,500	1,500	1,250	1,250	1,500	7,000	25%
	연구보조원	500	600	600	600	500	2,800	10%
	보조원	250	300	300	300	250	1,400	5%
	소계	3,450	3,600	3,150	3,150	3,450	16,800	60%
직접비	연구장비재료비	500	500	440	400	400	2,240	8%
	연구활동비	672	672	672	672	672	3,360	12%
	연구수당	280	280	280	280	280	1,400	5%
	소계	1,452	1,452	1,392	1,352	1,352	7,000	25%
간접비		398	748	1358	1398	298	4,200	15%
합계		5,300	5,800	5,900	5,900	5,100	28,000	100%

7. 위험요인 및 해결방안

■ “도로인프라 장가빅데이터 기반의 최적 유지관리 시스템 개발” 위험요인 및 해결방안

- 도로인프라 관련 빅데이터 플랫폼 개발 및 도로인프라 MS와의 연계기술 개발은 국내 도로교통 인프라 분야의 기술경쟁력을 향상시키고, 다양한 유지관리 기술의 발판을 마련할 수 있으나, 인프라 유지관리에 대한 인식과 관심도가 낮아 국가적 측면에서의 지원이 필요한 상황
 - 국내 도로인프라 노후현황과 이를 방지함으로서 증가하는 재건축·재포장 등의 비용과 인프라 이용자 입장에서의 차량운행 비용을 포함한 사회적 비용을 계산하여 인프라 유지관리에 대한 중요성을 인식시킬 필요성 존재
 - 빅데이터, AI 등의 4차 산업혁명 기반의 첨단 기술을 수용하고 접목하여 인프라 디지털 관리체계 구축의 기반을 다질수 있어 ‘디지털 뉴딜’과의 시너지 발생이 기대되므로 연관 기술경쟁력 향상과 빅데이터 플랫폼 및 연계기술 개발에 있어서 성공 가능성이 높을 것으로 판단됨
- 빅데이터 플랫폼이 연계된 도로인프라 MS의 운영 및 예방적 유지관리의 경우 중·장기적인 예산 감소의 효과를 최대화 시키기 위해서는 지속적인 운영이 필요하나, 단기적인 시행만으로 끝날 위험요인 존재
 - 국가적 측면에서의 재정 확보 및 법·제도 마련을 통해 지속적인 운영이 이루어질 수 있도록 지원하며 실무자 측면에서는 시스템 운영과 유지관리를 위한 공법 수행이 원활하게 이루어질 수 있도록 교육 방안 마련 및 메뉴얼 개발을 진행
- 도로인프라의 내구특성 조사와 공용성 예측 모형 구축을 위해 필요한 데이터 중 높은 가격의 실험장비나 규모가 큰 실험을 통해 얻어져야만 하는 데이터가 존재하여 해당 데이터 확보에 어려움이 있을 수 있음
 - 도로유지관리 전문 업체의 협력을 받아 실험을 수행하거나 데이터 요청을 통해 데이터를 확보할 수 있으며, 공용성 예측 모형 구축, 경제성 평가, 사회적 비용 계산 등을 수행할 수 있는 HDM-4 등의 프로그램을 이용하여 객관적이고 현실적인 데이터 확보 가능
- 도로인프라의 지속적인 유지관리를 통해 중·장기적으로 인프라 수명향상, 예산 감소 등이 효과가 있을 수 있으나, 단기적으로는 필요 인력, 공법 수행 예산 증가 등의 위험요인이 존재
 - 정부 주도의 예산 확보 등의 지원이 필요하며, 도로인프라의 예방적 유지보수의 중요성을 각인시키고, 예방적 유지보수 시행에 있어 우선순위 부여 또는 공법 시행 주기에 차등을 두어 단기적으로 늘어나는 예산을 최소화 할 수 있는 방안 마련

8. 기대 및 파급효과

8-1. 과학기술적 측면

■ 국내 도로인프라 유지관리 관련 기술경쟁력 확보

- 국내 도로인프라별 공용성 예측 모형을 개발함으로써 노후 도로인프라 관리 측면에서의 기술 경쟁력 확보
- 도로인프라를 구성하는 다양한 재료별 내구특성을 조사함으로써 향후 도로인프라 설계시 기술 경쟁력 확보 가능
- 국내 도로인프라와 환경요인간의 관계모형을 구축함으로써 향후 도로인프라 건설 시 최적의 위치 검색 및 유지관리 가능
- 도로인프라의 예방적 유지관리 알고리즘의 인프라별로 구축 및 한국 맞춤형 알고리즘을 개발함으로써 기술경쟁력 확보 가능
- 도로인프라 운영 측면에서 운영 효율성 향상, 리스크 최소화, 유지관리 비용절감 및 도로망 전체의 효율성 향상 기대 가능
- 친환경 도로인프라, 신에너지를 이용한 전기 및 수소자동차의 도로인프라의 토대를 마련하고 물류 및 고속도로 관련 산업 뿐 아니라 교통지능화, 자율주행차 등의 산업화 발전 가속화 가능

■ 빅데이터 플랫폼 표준화구축운영 및 타 산업과의 연계 기술경쟁력 확보

- 빅데이터 플랫폼 표준화 기술, 운영기술 및 연계 기술 개발을 통해 향후 도로인프라 뿐 아니라 타 산업에도 적용 가능
- 도로인프라 빅데이터의 잠재적인 가치 발굴을 통해 타 산업과의 빅데이터 플랫폼 설계 및 연계방안의 발판 마련 가능
- 빅데이터 공유 클라우드 플랫폼 구축 및 일원화된 서비스 제공을 통해 도로인프라 정보 공유 및 협동 유지관리 가능
- 본 연구에서 개발된 서비스를 이용하여 향후 AI, 드론, 로봇 등을 활용한 도로인프라 유지관리 자동화의 발판 마련 가능
- IoT, AI, Big Data, 디지털 트윈(Digital Twin) 등 첨단기술을 적극적으로 활용하여 도로 인프라 외의 시설물의 유지관리 고도화 가능

8-2. 사회경제적 측면

■ 국내 도로인프라 관련 사회적 비용 절감 및 경제활성화

- 도로인프라별 공용성 예측 모형을 통한 체계적인 노후도 예측을 통해 장기적 보수 계획 수립과 적정보수시기 및 보수공법 결정이 가능하여 불필요한 인프라 유지관리 예산 지출 방지
- 한국 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 도입을 통해 국내 도로인프라의 포장 보존 및 기능저하를 방지하여 공용성을 증가시키고 향후 발생할 더 큰 국가적 손실 방지
- 도로인프라와 타산업 및 첨단기술의 융·복합을 통한 비즈니스 모델 개발을 통해 고부가가치 산업으로의 전환 또는 산업 발전을 위한 기반 조성
- 도로인프라 관련 산업육성을 통한 매출액 증가 기대 및 일자리 창출로 경제 활성화의 발판 마련
- 향후 도로인프라 유지관리 개념이 상대적으로 미비한 개도국 등에 관련 기술 전수를 통해 국가간의 협력관계 구축

■ 교통사고 예방 및 도로이용자들의 안전 확보

- 도로인프라의 노후화 및 파손으로 인해 발생하는 교통사고 예방을 통해 운전자 입장에서 안전하고 쾌적한 도로인프라 조성 가능
- 도로인프라가 낙후되거나 접근성이 낮은 지역에 위치한 시설물에 대한 진단 및 대응을 통해 지역연결 활성화 및 광범위한 유지관리체계 구축
- 차량 및 도로인프라, 도로정보 등의 관리시스템 통합을 통해 전반적인 안전관리체계를 구축하여, 도로이용자의 정보요구를 충족시키고 교통의 효율적 흐름 촉진 가능
- 도로인프라 부문의 관련 기업과의 협력체계 구축을 통해 본 연구 성과의 실용화 및 사업화 가능
- 객관적이고 정량화된 도로인프라 유지관리 체계를 구축하여 기존 점검자들의 기술 숙련도 및 점검 정확도 상승

9. RFP

■ [핵심과제 11] 도로인프라 장기빅데이터 기반의 최적 유지관리 시스템 개발

- [세부기술 11-1] 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발

[표 II-36] 세부기술 11-1 RFP

과제명	중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발
1. 연구목표	· 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화·운영기술 개발 · 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 개발
2. 연구 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	· 도로인프라의 지속적 증가, 노후화, 예산감소에 따른 체계적인 인프라 유지관리 수요가 증가하고 있으며, 정확한 성능·가치 평가 및 총괄 관리 상태·의사결정 등을 생산·제공할 수 있는 자산관리 시스템 구축이 필요한 실정 · 체계적인 도로인프라 유지관리·예측을 위해 다양한 중·장기 이력의 데이터가 포함된 빅데이터 플랫폼을 활용하여 관리주체의 의사결정 지원을 위한 다양한 유지관리 서비스 제공 및 도로인프라 MS와의 연계를 위한 기술 개발 필요 · 미래예측을 위한 다양하고 방대한 도로인프라의 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼을 구축하여 기존 도로인프라 데이터베이스 대비 관리주체의 의사결정 지원을 위한 다양한 유지관리 서비스 제공 · 빅데이터 플랫폼을 활용하여 도로인프라의 노후화 정도를 예측할 수 있으며, 노후된 도로인프라의 결함과 파손이 시간의 경과에 따라 어떻게 변화할지와 이에 적절한 유지 및 보수를 적용하면 어떻게 상태가 변화할지, 어떠한 수준으로 유지될 수 있는지에 대해 관리자들에게 제시 가능 · 최근 각광받고 있는 AR, VR, 디지털 트윈(Digital Twin) 등의 기술을 도로인프라 데이터 수집·유지관리에 활용하게 된다면 중·장기 이력의 빅데이터 플랫폼이 우선적으로 구축되어야 가능 · 조사·수집된 다양하고 방대한 도로인프라 관련 빅데이터의 체계적인 저장·관리를 위한 표준화 기술 및 향후 관리대상 도로인프라의 증가와 더불어 매년 새로운 데이터 업데이트 및 개선방안 등의 추가·수정이 용이하도록 운영기술 개발 필요 · 또한, 중·장기적 빅데이터 확보 및 관리를 위한 빅데이터 플랫폼 센터 구축 방안을 마련하여 향후 지속적인 빅데이터의 관리가 이루어질 수 있도록 하며 원활한 운영과 이용을 위해 필요 예산·인력 및 메뉴얼 개발 필요 · 도로인프라 관련 빅데이터를 플랫폼을 활용하여 도로인프라 MS 구축에 연계한다면, 정확한 도로인프라의 내구특성 파악과 공용성 예측 모형 구축이 가능해지며 체계적인 예방적 유지관리 시행을 통한 인프라 수명 연장 및 파손 예방 가능 · 단순 데이터베이스 수준의 시스템으로 구성된 기존 도로인프라 MS 대비 현황 파악 외에 최적 유지관리 공법 및 시기 등의 의사결정이 가능해지며, 보다 더 상세한 인프라 보수 시기와 수명예측이 가능하여 조사에 투입되는 인력 및 예산 등을 더욱 절감 가능

	· 기존 도로인프라 MS의 경우 저장되어 있는 데이터를 필요로 하는 경우 접근성의 한계가 존재하며 모니터링, 실시간으로 측정되는 데이터 역시 마찬가지로 한계점이 존재 · 빅데이터 플랫폼과 도로인프라 MS 연계에 활용될 수 있는 IoT 통신 기술 및 클라우드 서버 구축을 통해 자동조사장비 및 비파괴조사장비 등에서 조사된 데이터가 시점별로 즉시 클라우드 서버로 전송되어 도로인프라 MS 내 구축된 데이터베이스로서의 접근성 상승 가능 · 이를 통해, 안정적이고 효율적인 빅데이터 공유·이용이 가능하며 높은 신뢰도를 가진 최신·최적 데이터를 도로인프라 MS 관리자 또는 이용자들에게 제공 가능
□ 기술동향	· 국내 대형교량의 유지관리시스템은 '95년 성수대교 붕괴를 계기로 구조물과 사회기반시설을 관리하는 시설안전기술공단 설치 및 시설물정보통합관리시스템(FMS) 구축 등 교량 유지관리를 위한 모니터링-시스템 개발 · 그러나 현재 통용되고 있는 교량 유지관리 기법 및 시스템은 단순 현황파악 시스템이 대부분으로 유지관리 공법 및 시기 결정 등 주요 의사결정 지원기능의 수행이 불가 · 현재 국내 교량은 BMS·WIM·교통·환경·재난·재해 등의 관리영역이 분리되어, 이상 상황 발생시 신속한 대처 및 콘트롤 타워 역할을 위한 통합안전 관리시스템 기술이 부재하고 네트워크적인 측면에서의 대처방안 기술 또한 부재 · 일반국도 도로는 효율적인 관리를 위해 여러 도로 유지관리 시스템을 개발 및 운영하고 있으나, 일부 시스템(포장 및 보수 현황시스템 등)의 경우 단순히 DB수준의 시스템으로 정확한 공법 및 의사결정 지원 기능 부재로 구조물 복원력을 고려한 내진 성능관리 의사결정 관련 연구의 필요성이 대두 · 한국도로공사는 도로기상정보시스템을 구축하여 기상청에서 제공하는 폭우·폭설 등의 기상정보를 이용하여 자연재난에 신속하고 정확한 대응체계를 운영 중이나, 지진 등 기타 재난에 대한 대응체계는 고려되어 있지 않으며 네트워크 차원에서의 도로망 관리시스템 또한 부재 · 일정부분 이상 공공발주 공사에 대한 BIM 적용 의무화 및 민간 인센티브 제공을 통해 단계적으로 BIM 이용을 확대하며, 인프라BIM 표준화를 통한 건설정보 생태주기 정보공유 활용기반의 구축 연구를 수행 · 도로·하천 등의 인프라분야 건설정보 생태주기정보 공유기반 및 활용체계 구축을 목표로 BIM 표준을 개발하고, 데이터를 활용한 통합관리 핵심 운영기술 개발을 위한 실용화 중심 연구개발 진행 · Infravation에서는 도로·교량 등에 대한 신속한 조사 및 평가를 위한 종합 솔루션 개발에 대한 기술개발 및 평가모델을 구축하는 연구개발을 진행 · (SUREBRIDGE) 보수·보강·개보수 조치를 포함한 교량보수를 가능한 최단시간에 실현하기 위해 FRP(섬유보강 폴리머)재료를 이용한 개보수 기술 및 평가방법을 개발하며, 고도화된 자재 및 시공 공정을 통해 기존 교량의 유지 및 개보수 기술강화 · (SeeBridge) 교량의 신속하고 지능적인 조사 및 평가를 위한 종합 솔루션 개발을 목표로 다양한 첨단원격 감지기술(레이저 스캐닝·비디오·포토그램 측정 등)을 활용하여 교량의 상태를 빠르고 정확하게 모니터링하고, 객체감지SW를 활용한 3D모델링으로 교량의 수리·개조·재건 등의 유지관리를 위한 정보를 제공하는 기술을 개발
3. 연구내용	
	〈세부기술 1〉 · 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화·운영기술 개발 · 빅데이터 플랫폼 구축을 위해 필요한 도로인프라 노후화·유지관리예산 등의 다양한 데이터

목록 정의

- 수집 예상되는 도로인프라 관련 데이터 및 향후 빅데이터 플랫폼 구축을 위해 필요한 데이터 목록 정의
- 필요한 데이터의 조사 및 수집을 위해 요구되는 조사 장비·방법론 개발
- 정량화가 요구되는 데이터 파악·분류 및 해당 데이터별 정량화 기술 개발
- 중·장기 이력 빅데이터의 저장·보관이 가능한 플랫폼 구축 기술 개발
- 관리대상 도로인프라에서 조사·수집된 빅데이터의 체계적인 저장·관리를 위한 표준화 기술 개발
- 향후 관리대상 도로인프라의 증가와 더불어 매년 새로운 데이터 업데이트 및 개선 방안 등의 추가·수정이 용이하도록 운영기술 개발
- 중·장기적 데이터 확보 및 관리를 위한 빅데이터 플랫폼 센터 구축 방안 개발
- 빅데이터 플랫폼 센터 구축 및 향후 지속적인 운영을 위한 예산·정책·필요 인력 등의 방안 개발
- 빅데이터 플랫폼 센터 관리자·이용자들의 원활한 운영·이용을 위한 메뉴얼 등의 방안 개발

〈세부기술 2〉

- 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 개발
- 빅데이터 플랫폼과 도로인프라 MS와의 효율적인 연계기술 개발을 위해 필요한 기술 목록 정의
- 연계기술 개발을 위해 현재 활용 가능한 기술 및 향후 개발이 필요한 기술 목록 정의
- 안정적이고 지속적인 운영을 위한 국가적 측면에서의 예산 파악, 재정 확보 및 법·제도 도입 방안 개발
- 효율적인 시스템 운영을 위한 실무자 측면에서의 빅데이터, IoT 등의 첨단기술 교육 방안 개발
- 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼을 활용한 도로인프라 MS 연계기술 개발
- 빅데이터 플랫폼을 활용한 도로인프라 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 연계기술 개발
- 빅데이터 플랫폼을 활용한 도로인프라 예방적 유지관리 알고리즘 연계기술 개발
- 도로인프라 MS 관리자·이용자들에게 안정적이고 효율적인 빅데이터 공유·제공을 위한 기술 개발
- 도로인프라 MS 관리자·이용자들에게 고신뢰도·최신·최적의 빅데이터 공유·제공을 위한 기술 개발
- 시범 운영 실증을 통한 기존 도로인프라 MS 대비 우수점 도출

4. 연구 추진방법

- 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영
- 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항
- 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등

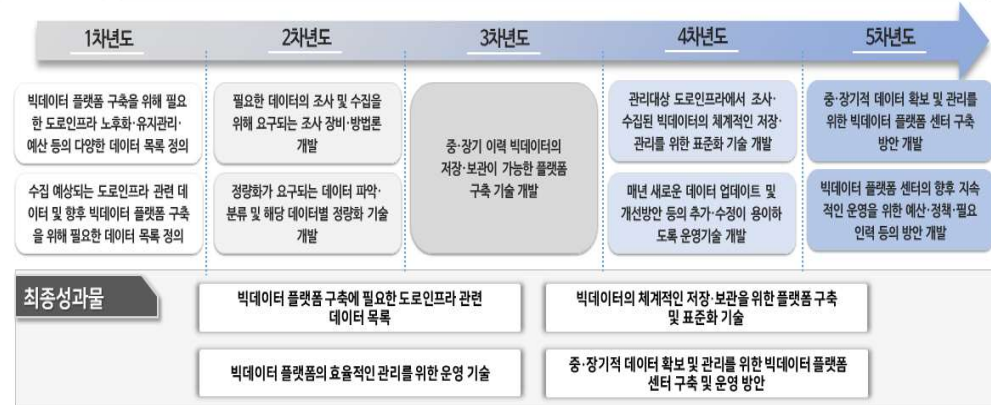
[세부기술 1] 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 도로인프라 MS 연계기술 개발

구성기술

- 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화·운영기술 개발
- 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 개발

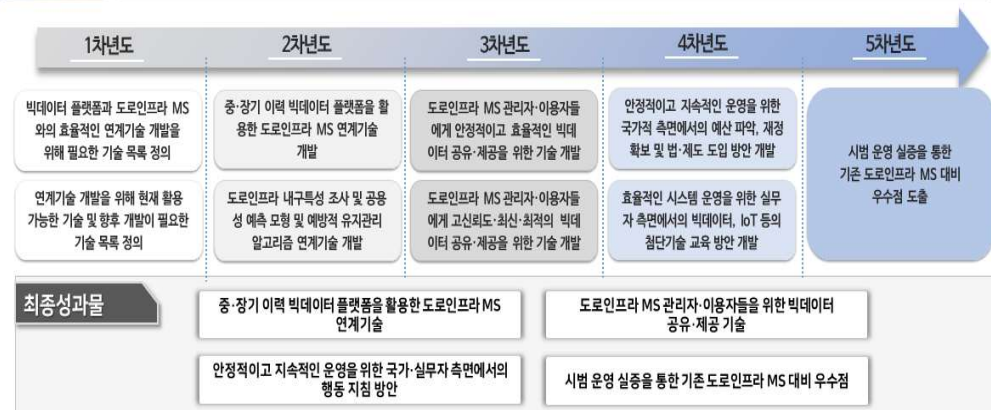
구성기술 1

중·장기 이력 빅데이터 플랫폼 구축 및 표준화·운영기술 개발



구성기술 2

중·장기 이력 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS 연계기술 개발



5. 최종 성과물

<세부기술 1>

- 빅데이터 플랫폼 구축에 필요한 도로인프라 관련 데이터 목록
- 필요한 데이터의 조사 및 수집을 위해 필요한 조사 장비·방법론 및 정량화 기술
- 빅데이터의 체계적인 저장·보관을 위한 플랫폼 구축 및 표준화 기술
- 빅데이터 플랫폼의 효율적인 관리를 위한 운영기술
- 중·장기적 데이터 확보 및 관리를 위한 빅데이터 플랫폼 센터 구축 및 운영 방안

<세부기술 2>

- 빅데이터 플랫폼-도로인프라 MS와의 연계기술 개발을 위해 필요한 기술 목록
- 중·장기 이력 빅데이터 플랫폼을 활용한 도로인프라 MS 연계기술
- 도로인프라 MS 관리자·이용자들을 위한 빅데이터 공유·제공 기술
- 안정적이고 지속적인 운영을 위한 국가·실무자 측면에서의 행동 지침 방안
- 시범 운영 실증을 통한 기존 도로인프라 MS 대비 우수점

6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	· 향후 도로인프라 유지관리 개념이 상대적으로 미비한 개도국 등에 관련 기술 전수를 통해 국가간의 협력관계 구축 · 도로인프라외 타산업 및 첨단기술의 융·복합을 통한 비즈니스 모델 개발을 통해 고부가가치 산업으로의 전환 또는 산업 발전을 위한 기반 조성 · IoT, AI, Big Data, 디지털 트윈(Digital Twin) 등 첨단기술을 적극적으로 활용하여 도로인프라 외의 시설물의 유지관리 고도화 가능 · 빅데이터 플랫폼 표준화 기술, 운영기술 및 연계 기술 개발을 통해 향후 도로인프라 뿐 아니라 타 산업에도 적용 가능 · 도로인프라 빅데이터의 잠재적인 가치 발굴을 통해 타 산업과의 빅데이터 플랫폼 설계 및 연계방안의 발판 마련 가능
□ 기대효과	· 본 연구에서 개발된 서비스를 이용하여 향후 AI, 드론, 로봇 등을 활용한 도로인프라 유지관리 자동화의 발판 마련 가능 · 빅데이터 공유 클라우드 플랫폼 구축 및 일원화된 서비스 제공을 통해 도로인프라 정보 공유 및 협동 유지관리 가능 · 도로인프라 관련 산업육성을 통한 매출액 증가 기대 및 일자리 창출로 경제 활성화의 발판 마련 · 차량 및 도로인프라, 도로정보 등의 관리시스템 통합을 통해 전반적인 안전관리체계를 구축하여, 도로이용자의 정보요구를 충족시키고 교통의 효율적 흐름 촉진 가능 · 도로인프라 부문의 관련 기업과의 협력체계 구축을 통해 본 연구 성과의 실용화 및 사업화 가능 · 객관적이고 정량화된 도로인프라 유지관리 체계를 구축하여 기존 점검자들의 기술 숙련도 및 점검 정확도 상승
7. 연구기간 및 소요예산	
	· 5년 104억
8. 기타	

● [세부기술 11-2] 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발

[표 II-37] 세부기술 11-2 RFP

과제명	도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발
1. 연구목표	
	· 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발 · 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사
2. 연구 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	· 국내 도로인프라의 총 연장은 지속적으로 증가하고 있으며 적기에 적절한 방법으로 유지보수가 이루어지지 않을 경우, 차량운행 비용 및 현행파악과 유지관리를 위한 인력·시간·안전·자재 등의 투입비용이 증가 · 도로인프라의 유형, 구조물에 사용된 재료, 인프라에 미치는 환경에 따라 노후화, 파손 및 결함 형태 등이 상이하므로 각각의 내구특성 조사가 요구되며, 장기적 보수 계획 수립과 적정보수시기 결정을 위해 인프라 공용성 예측 모형의 개발이 필요 · 도로포장, 교량, 터널 등의 도로인프라는 각 유형별로 서로 다른 구조를 가지고 있으며, 목적에 부합하는 다양한 재료를 이용하여 설계되어 구성하는 재료들의 상이한 특성으로 인해 다양한 파손유형이 발생하며, 이를 상세하게 조사 및 분석하여 적절하고 장기적인 보수공법이 시행될 수 있도록 할 필요성 존재 · 아스팔트 포장의 경우 재료가 유동적이고 탄력이 있어 소음이 상대적으로 적고 주행성이 우수하며 배수성이 좋지만 상대적으로 강도가 낮아 하중에 대해 변형이 쉽게 일어나며 열에 약한 단점이 존재하며, 콘크리트 포장의 경우 큰 하중을 잘 견딜 수 있으며 열에도 강하지만 자재 특성상 유동성과 탄력성이 떨어져 소음이 크며 승차감이 떨어지고 겨울철 도로 표면에 얼음이 다수 생성되는 단점이 존재 · 교량의 경우에는 포장과는 달리 여러개의 부재로 이루어져 있어 하나의 부재에라도 치명적인 손상이 발생하면 대형 인명사고를 유발할 수 있으므로 사전에 각 부재에 대한 철저한 점검과 이에 따른 평가 및 조치가 요구되며 손상된 여러 부재중 어떤 부재를 우선적으로 보수해야 할지에 대한 기준이 필요하고, 해당 손상부위에 경제적으로 가장 적합한 최적의 유지보수를 적용할 필요가 있음 · 도로인프라는 지반의 특성, 지세, 기온의 변화, 강우량 등의 환경적인 특성과 교통량, 중차량 구성비 등 교통 특성에 따라 매우 다양한 파손을 가지므로 기후가 일정한 환경에서의 인프라 내구성과 기후가 일정하지 않은 환경에서의 내구성은 큰 차이를 나타낼 수 있으며, 교통량이 많은 도로의 경우 포장의 파손이 발생할 시 사용자가 지 불해야 할 비용이 그만큼 증가할 수 있음 · 한국의 기후적 성향으로 인해 겨울에는 소금, 열화칼슘 수용액 등의 제설제를 사용하며 이는 콘크리트 포장을 주로 사용하는 고속도로의 도로포장 및 교면포장과 바닥판의 열화를 심화시킴 · 도로 포장의 파손에 가장 크게 영향을 미치는 인자 중 하나는 교통량으로서 포장에 직접적으로 피로하중을 가해 성능을 저하시키는 가장 큰 요인은 각 차종의 축하중과 상관성이 높으므로 축하중이 큰 대형버스, 대형트럭, 트레일러와 같은 중차량은 승용차, 소형트럭 등과 같이 축하중이 작은 교통량보다 포장에 큰 영향을 미침 · 도로인프라 공용성 예측 모형이란 도로인프라가 공용연수 경과에 따라 변하는 정도를 정량적으로 추정할 수 있는 모형으로서 인프라를 효율적으로 관리하고 장기적인 유

	자관리계획 수립을 통한 인프라의 수명 및 기능 및 향상을 위해서는 공용성 예측 모형의 개발이 필요 • 도로인프라의 노후화 정도를 예측할 수 있다면 최적 보수 공법을 예측하여 장기적 보수 계획 수립이 가능하고 이를 시행할 수 있는 적정보수시기 및 보수공법의 결정이 가능하여 불필요한 예산의 지출방지 가능 • 도로인프라의 상이한 유형·재료, 인프라에 미치는 환경을 고려한 공용성 예측 모형 개발을 통해 인프라별 공용성 예측 정확도 상승 및 중·장기적으로 인프라 유지관리 비용의 감소 가능 • 또한, 현황 분석 위주의 기존 도로인프라 데이터베이스를 기반으로 구축된 공용성 예측 모형 대비 빅데이터 플랫폼을 활용한 공용성 예측 모형 개발을 통해 더욱 다양한 시나리오를 설정하여 비교·분석 가능
□ 기술동향	• '19년 기준 국내 도로 연장은 총 111,314km이며, 고속도로가 4,767km, 일반도로 14,030km로 파악 • 개통된 도로 103,192km 중 포장된 구간은 96,456km, 미포장된 구간은 6,736km로 도로의 포장률은 93.5%로 도로의 포장률은 꾸준히 증가 • 전국 도로터널은 '15년 1,944개소에서 '19년 2,682개소로 증가, 같은 기간 터널연장도 1,293km에서 2,077km로 증가 • 시설물 안전 및 유지관리와 관련된 공공부문 유지관리 비용은 8년간 연간 8.7%가 상승 • 준공후 20년 이상 경과된 교통관련 SOC 분야(교량 등)의 유지관리 예산은 10~20년이 경과한 구조물에 비해 도로 관련 시설물은 2.5배 수준으로 증가함에 따라, 2030년 유지관련 예산은 현재 대비 3.5배로 증가할 것으로 전망 • 영국 아스팔트 협회(AIA)의 조사자료에 따르면, '13년 지방정부에서 보상한 노면파손 등 불량한 도로로 인한 피해보상금액은 2,380만 파운드(415억 원), 노면파손 등 도로유지관리 예산은 연간 약 9.76억 파운드(1.7조원) 투입 • 도로교통 인프라 부문의 세계시장 규모는 동남아, 중앙아시아, 남미 지역의 도로 건설 투자 확대에 따라 최근 10년간 2배 이상 성장 • 세계 고속도로 및 교량 건설시장은 '17년 1.5조 달러에서 연 8.4%로 성장, '22년 2.2조 달러 규모로 성장할 것으로 예상 • 세계 고속도로 및 교량건설 시장이 아시아-태평양을 중심으로 성장할 것으로 예측 • (아시아-태평양) '17년 9,920억 달러→'22년 1.5조 달러(연 9.0% 성장) • (북미) '17년 1,820억 달러→'22년 2,218억 달러(연 3.2% 성장)
3. 연구내용	
	〈세부기술 1〉 • 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 • 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사를 위한 필요 데이터 목록 정의 • 도로인프라 설계·유지보수 시 사용되는 다양한 재료 파악 및 해당 재료별 중요도·우선순위 분석기준 개발 • 도로인프라 위치정보 및 해당 지역에서의 기후·토지이용·제설제 사용 등의 환경적 요인 파악 기술 개발 • 국내에서 발생한 폭염, 가뭄, 한파 등의 기상이변 조사 및 인프라에 미쳤던 영향·피해 정도 분석 기술 개발 • 도로인프라별 총 교통량 정보 및 축하중이 큰 대형버스, 대형트럭, 트레일러와 같은

중차량의 교통량 정보 파악 기술 개발

- 도로인프라 유형(도로포장, 교량)에 따른 내구특성 조사 및 분석 결과 도출
- 도로인프라 재료(아스팔트, 콘크리트 등)에 따른 내구특성 조사 및 분석 결과 도출
- 도로인프라 환경(기후, 토지이용 등)에 따른 내구특성 조사 및 분석 결과 도출

〈세부기술 2〉

- 도로인프라 공용성 예측 모형 개발
- 도로인프라 공용성 예측 모형 개발을 위한 조사장비 및 재료별 시험 장비·방법론 정의 기술 개발
- 도로인프라의 공용성에 미치는 영향 파악을 위해 설계·시공 시 요구사항 및 파손 환경·교통량 등과 공용성 사이의 상관관계 도출
- 도로인프라 유형(도로포장, 교량)에 따른 공용성 예측 모형 개발
- 도로인프라 재료(아스팔트, 콘크리트 등)에 따른 공용성 예측 모형 개발
- 도로인프라 환경(기후, 토지이용 등)에 따른 공용성 예측 모형 개발
- 시범 운영 실증을 통한 공용성 예측 정확도 및 중장기 유지관리 예상 비용 등의 분석 결과 도출

4. 연구 추진방법

- 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영
- 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항
 - 모니터링관련 계측 및 클라우드 플랫폼 관련분야 전문가 참여
 - 지표(Index) 의 체계적인 수립을 위해 표준화 전문가 참여
 - 재료의 성능과 내구성성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여
 - 데이터-분석-시뮬레이션-가시화를 연계할 수 있는 디지털트윈 전문가 참여 등
- 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등

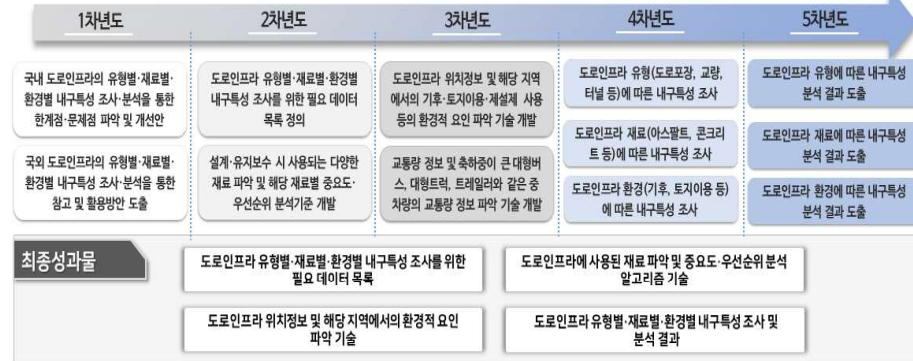
[세부기술 2] 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 공용성 예측 모형 개발

구성기술

- 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사
- 도로인프라 공용성 예측 모형 개발

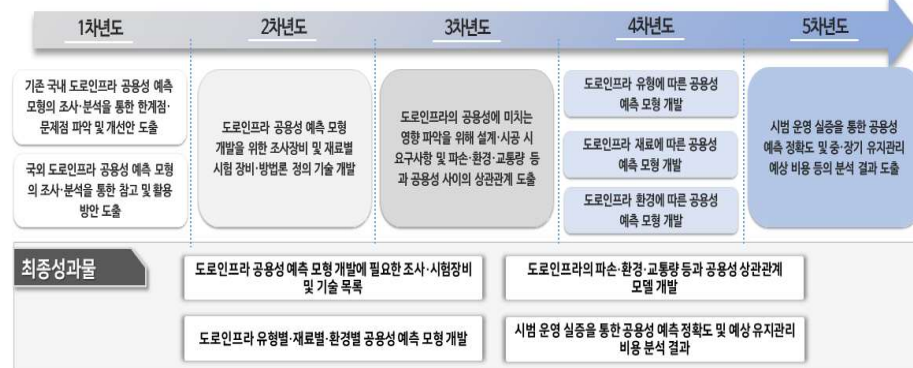
구성기술 3

도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사



구성기술 4

도로인프라 공용성 예측 모형 개발



5. 최종 성과물

〈세부기술 1〉

- 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사를 위한 필요 데이터 목록
- 도로인프라에 사용된 재료 파악 및 중요도·우선순위 분석 알고리즘 기술
- 도로인프라 위치정보 및 해당 지역에서의 환경적 요인 파악 기술
- 총 교통량 정보 및 중차량의 교통량 정보 파악 기술
- 도로인프라 유형별·재료별·환경별 내구특성 조사 및 분석 결과

〈세부기술 2〉

- 도로인프라 공용성 예측 모형 개발에 필요한 조사·시험장비 및 기술 목록
- 도로인프라의 파손·환경·교통량 등과 공용성 상관관계 모델 개발
- 도로인프라 유형별·재료별·환경별 공용성 예측 모형 개발
- 시범 운영 실증을 통한 공용성 예측 정확도 및 예상 유지관리 비용 분석 결과

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안	· 국내 도로인프라와 환경요인간의 관계모형을 구축함으로써 향후 도로인프라 건설 시 최적의 위치 검색 및 유지관리 가능 · 도로인프라와 타산업 및 첨단기술의 융복합을 통한 비즈니스 모델 개발을 통해 고부가가치 산업으로의 전환 또는 산업 발전을 위한 기반 조성 · 친환경 도로인프라, 신에너지를 이용한 전기 및 수소자동차의 도로인프라의 토대를 마련하고 물류 및 고속도로 관련 산업 뿐 아니라 교통지능화, 자율주행차 등의 산업화 발전 가속화 가능 · 도로인프라가 낙후되거나 접근성이 낮은 지역에 위치한 시설물에 대한 진단 및 대응을 통해 지역연결 활성화 및 광범위한 유지관리체계 구축 가능
□ 기대효과	· 국내 도로인프라별 공공성 예측 모형을 개발함으로써 노후 도로인프라 관리 측면에서의 기술경쟁력 확보 · 도로인프라를 구성하는 다양한 재료별 내구특성을 조사함으로써 향후 도로인프라 설계시 기술경쟁력 확보 가능 · 도로인프라별 공공성 예측 모형을 통한 체계적인 노후도 예측을 통해 장기적 보수 계획 수립과 적정보수시기 및 보수공법 결정이 가능하여 불필요한 인프라 유지관리 예산 지출 방지 · 도로인프라 운영 측면에서 운영 효율성 향상, 리스크 최소화, 유지관리 비용절감 및 도로망 전체의 효율성 향상 기대 가능 · 도로인프라의 노후화 및 파손으로 인해 발생하는 교통사고 예방을 통해 운전자 입장에서 안전하고 쾌적한 도로인프라 조성 가능
7. 연구기간 및 소요예산	
	· 5년 88억
8. 기타	

● [세부기술 11-3] 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 예방적 유지·관리 알고리즘 개발

[표 II-38] 세부기술 11-3 RFP

과제명	도로인프라(노후인프라 우선순위)의 예방적 유지·관리 알고리즘 개발
1. 연구목표	· 도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발 · 도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 개발
2. 연구 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 · 국가와 지역의 경제성장을 위해 조성된 국내 도로인프라는 급속도로 노후화가 진행 중이며, 도로인프라의 적절한 유지보수 임계점을 지나면 성능저하가 가속화되고 성능회복과 복구를 위한 관리비용이 급증 · 도로인프라가 완전손상상태에 가기전에 예방적 유지관리를 통해 파손을 예방하고 발생시기를 늦추어 인프라의 수명의 연장이 가능하므로, 인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발을 통해 향후 발생할 더 큰 국가적 손실을 방지 · 새로운 도로인프라의 구축은 국가의 이동성을 향상시키고 물류의 흐름을 원활히 함으로써 국가 발전에 큰 영향을 미치며 단기적으로 눈에 띄는 결과를 도출할 수 있으나, 이는 내실을 다지지 못한 채 몸집만 불리는 악영향을 초래할 수 있음 · 예방적 유지보수가 빠진 무분별한 도로건설은 장기적으로 더 큰 사회적 비용을 야기할 것이며, 전략적이고 예방적인 도로인프라 유지관리 시스템은 국가 자산을 효율적으로 관리하여 향후 발생할 국가적 손실을 방지 · 적시에 예방적 유지관리를 실시하면 도로인프라의 파손·결함을 지연시킬 수 있으나, 이러한 시기를 놓치게 된다면 노후화의 정도가 심해져 결과적으로 도로 이용자의 차량 운행비용, 관리자의 유지관리 비용 등의 사회적 비용의 증가를 초래 · 도로인프라의 적극적인 예방적 유지관리는 중·장기적 관점으로 보았을 때, 더욱 예산을 절감할 수 있는 방안으로서 인프라별 유지관리 시기 및 적용공법과 관련된 합리적이고 체계적인 의사결정을 위한 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘의 개발 필요 · 도로인프라에 사용되고 있는 특수포장 등의 신공법 사용 비율이 증가되면서 신공법별 특성과 현장 상황에 따른 새로운 예방적 유지관리 알고리즘을 개발하여 신공법이 적용된 인프라의 수명 향상 필요 · 신공법의 경우 기존 도로인프라에 이용된 공법 대비 인프라의 기능성 및 내구성을 향상시키기 위해 적용하고 있으나, 이에 맞는 적절한 예방적 유지관리 알고리즘 체계가 구축되지 않는다면 오히려 큰 예산의 낭비가 될 수 있음 · 신공법 각각의 결함, 파손유형이 상이하고 노후화 정도가 다르므로 기존 아스팔트, 콘크리트 포장의 예방적 유지보수 적용 시에는 적절한 유지보수 시기 및 공법과 관련한 정확한 의사결정이 어려운 문제 발생 · 신공법의 종류는 다양하며 현재도 지속해서 개발이 진행 중에 있으므로 인프라별 신공법 적용 비율, 경제성 평가 등을 통해 예방적 유지관리 알고리즘에 우선순위를 부여하여 효율적인 관리 필요 □ 기술동향 · 국가와 지역의 경제성장을 위해 조성된 우리나라의 도로인프라는 빠른 속도로 노후화가 진행되고 있으며, '17년 기준 도로의 60.1%가 내구연한이 초과된 상태 최근 5년간 도로관리부문에 대한 투자는 연평균 12.7%의 비율로 증가 추세

- 도로 인프라의 노후화가 10~20년 이상 경과 시점에서 급격하게 심화될 것으로 예상되며 이에 따른 대규모 예산 소요 불가피
- 도로인프라의 노후화는 유지보수 비용 및 차량운행 비용을 증가시킬 수 있으며, 적기에 적절한 방법으로 유지보수가 이루어지지 않을 경우 안전사고가 발생할 수 있으므로 노후화를 대비한 도로인프라의 지속적인 유지관리 필요
- '19년 9월 기준, 건설된 지 30년 이상인 도로교량은 15% 수준으로 노후화가 심각하지 않다고 볼 수 있지만, 10년과 20년 후에는 각각 46%와 87%까지 증가
- '20년부터는 노후 시설물에 투입되는 비용이 점차 증가하여 기존 투입 규모보다 더 큰 규모의 비용이 투입되어야 할 것으로 예상
- 도로 유지보수비는 '00년 2.2조원에서 '18년 3.4조원으로 '18년 새 1.5배 증가
- '20년부터는 노후 시설물에 투입되는 비용이 점차 증가하여 기존 투입 규모보다 큰 규모의 비용이 투입되어야 할 것으로 예상
- '90년대에 집중적으로 건설된 우리나라 도로시설물은 현재 노후화가 급속하게 진행 중
- 최근 정부는 도로망의 신설, 확장 위주의 투자를 지양하고 노후기반시설의 안전투자 확대, 신기술을 접목한 편의증진 등으로 투자방향을 전환
- 임계점을 지나기 전에 적절한 유지보수를 실시하여 시설성능을 회복해야 성능복구에 소요되는 도로관리 예산 부담 경감 가능

3. 연구내용

〈세부과제1〉

- 도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발
- 중 장기적인 예방적 유지관리 알고리즘 도입을 위한 국가적 측면에서의 예산 파악, 재정 확보 및 법·제도 도입 방안 개발
- 체계적인 예방적 유지관리 알고리즘 수행을 위한 실무자 측면에서의 예방적 유지관리 메뉴얼 개발
- 예방적 유지관리 알고리즘 도입으로 인한 인프라 이용자 측면에서의 사용자·요금 인상 등의 위험요인 파악 기술 개발
- 국내 도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 개발
- 도로인프라별 적절한 예방적 유지관리 공법(슬라시, 마이크로서페이싱 등) 결정 알고리즘 개발
- 도로인프라별 적절한 예방적 유지관리 시기·노후도 결정 알고리즘 개발
- 시범 운영 실증을 통한 인프라 수명연장·파손 예방·사회적 비용 절감 등의 효과 분석
- 시범 운영 실증을 통한 예방적 유지관리 미 수행 시 향후 발생할 중·장기적 국가적 손실 파악

〈세부과제2〉

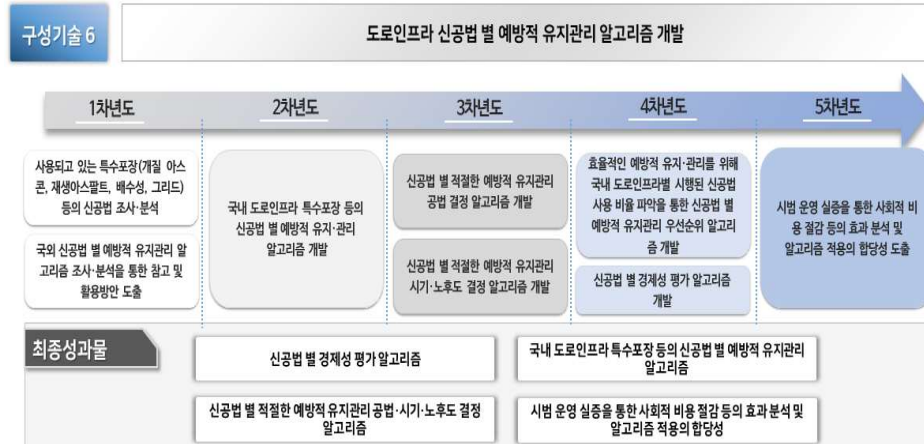
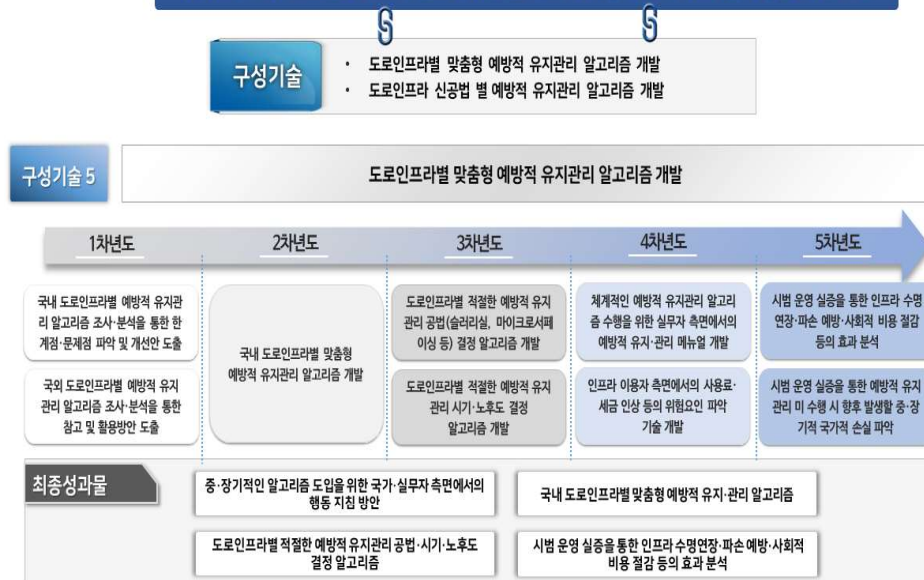
- 도로인프라 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 개발
- 국내 도로인프라에 사용되고 있는 특수포장(개질아스콘, 재생아스팔트, 배수성, 그리드) 등의 신공법 조사·분석
- 향후 국내 도로인프라에 시행 예정인 특수포장 등의 신공법 조사·분석
- 효율적인 예방적 유지관리를 위해 국내 도로인프라별 시행된 신공법 사용 비율 파악을 통한 신공법 별 예방적 유지관리 우선순위 결정 알고리즘 개발
- 국내 도로인프라 특수포장 등의 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 개발
- 신공법 별 적절한 예방적 유지관리 공법 결정 알고리즘 개발
- 신공법 별 적절한 예방적 유지관리 시기·노후도 결정 알고리즘 개발
- 신공법 별 경제성 평가 알고리즘 개발

- 시범 운영 실증을 통한 사회적 비용 절감 등의 효과 분석 및 알고리즘 적용의 합당성 도출

4. 연구 추진방법

- 연구개발 수행 시 각 분야의 다양한 전문가가 참여할 수 있도록 제안서에 반영
- 연구추진체계, 세부연구내용, 참여주체별 역할 및 주요 성과 등에 대하여 단계별 전문적인 검토가 수행될 수 있도록 본 연구관련 각 전문분야별 산업계, 학계, 연구기관, 공공기관 등 다양한 전문가로 구성된 자문단의 구성 및 운영에 관한 사항
 - 모니터링관련 계측 및 클라우드 플랫폼 관련분야 전문가 참여
 - 지표(Index) 의 체계적인 수립을 위해 표준화 전문가 참여
 - 재료의 성능과 내구성성을 평가하기 위한 관련분야 전문가 참여
 - 데이터-분석-시뮬레이션-가시화를 연계할 수 있는 디지털트윈 전문가 참여 등
- 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
 - 관련 업계 전문가로 구성된 위원회 등을 통해 요구사항 파악 등

[세부기술 3] 도로인프라(노후인프라 우선순위)의 맞춤형 예방적 유지·관리 알고리즘 개발



5. 최종 성과물

〈세부과제1〉 · 중 장기적인 알고리즘 도입을 위한 국가·실무자 측면에서의 행동 지침 방안 · 인프라 이용자 측면에서의 사용료·세금 인상 등의 위험요인 파악 기술 · 국내 도로인프라별 맞춤형 예방적 유지관리 알고리즘 · 도로인프라별 적절한 예방적 유지관리 공법·시기·노후도 결정 알고리즘 · 시범 운영 실증을 통한 인프라 수명연장·파손 예방·사회적 비용 절감 등의 효과 분석 〈세부과제2〉 · 신공법 별 경제성 평가 알고리즘 · 국내 도로인프라 특수포장 등의 신공법 별 예방적 유지관리 알고리즘 · 신공법 별 적절한 예방적 유지관리 공법·시기·노후도 결정 알고리즘 · 신공법 별 예방적 유지관리 우선순위 결정 알고리즘 · 시범 운영 실증을 통한 사회적 비용 절감 등의 효과 분석 및 알고리즘 적용의 합당성	
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	· 도로인프라외 타산업 및 첨단기술의 융·복합을 통한 비즈니스 모델 개발을 통해 고부가가치 산업으로의 전환 또는 산업 발전을 위한 기반 조성 · 도로인프라 관련 산업육성을 통한 매출액 증가 기대 및 일자리 창출로 경제 활성화의 발판 마련 · 향후 도로인프라 유지관리 개념이 상대적으로 미비한 개도국 등에 관련 기술 전수를 통해 국가간의 협력관계 구축 · 도로인프라가 낙후되거나 접근성이 낮은 지역에 위치한 시설물에 대한 진단 및 대응을 통해 지역연결 활성화 및 광범위한 유지관리체계 구축
□ 기대효과	· 도로인프라의 예방적 유지관리 알고리즘의 인프라별로 구축 및 한국 맞춤형 알고리즘을 개발함으로써 기술경쟁력 확보 가능 · 차량 및 도로인프라, 도로정보 등의 관리시스템 통합을 통해 전반적인 안전관리체계를 구축하여, 도로이용자의 정보요구를 충족시키고 교통의 효율적 흐름 촉진 가능 · 도로인프라의 노후화 및 파손으로 인해 발생하는 교통사고 예방을 통해 운전자 입장에서 안전하고 쾌적한 도로인프라 조성 가능 · 객관적이고 정량화된 도로인프라 유지관리 체계를 구축하여 기존 점검자들의 기술 숙련도 및 점검 정확도 상승
7. 연구기간 및 소요예산	
	· 5년 88억
8. 기타	

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통 연구기획 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통 연구기획 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.