

RS-2022
-001559
71

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개(), 발간등록번호(11-B552989-001054-01)
국토교통기획사업 2024 연도 최종보고서

R&D / RS-2022-00155971

탄소중립
건설재료
기반
건설
전주기
혁신기술
개발사업
기획

최
종
보
고
서

2024

국토
교통
과학기술
진흥
위원회

탄소중립 건설재료 기반 건설 전주기 혁신기술 개발사업 기획

최종보고서

2024. 7. 8.

주관연구기관 / 와이젠글로벌(주)

공동연구기관 / 한국건설기술연구원

한국건설생활환경시험연구원

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

[공 란]

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'탄소중립 건설재료 기반 건설 전주기 혁신기술 개발사업 기획'
(연구개발 기간 : 2022. 05. 09 ~ 2024. 05. 08) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2024. 07. 08

주관연구기관명 : 와이젠글로벌(주)

(대표자) 조 경 민



공동연구기관명 : 한국건설기술연구원

(대표자) 김 병 석



공동연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원 (대표자) 조 영 태



주관연구기관책임자: 홍성표

공동연구기관책임자: 곽종원, 김주형

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제37조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

[공 란]

< 요약 문 >

사업명		국토교통연구기획(R&D)				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)		국토교통연구기획				연구개발과제번호		RS-2022-00155971
기술 분 류	국가과학기술 표준분류	1순위 토목시공기술	60 %	2순위 건설구조재료	20 %	3순위 친환경/재생건설재료	20 %	
	부처기술분류 (해당 시 작성)	-	%	-	%	-	%	
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		-						
연구개발과제명		탄소중립 건설재료 기반 건설 전주기 혁신기술 개발사업 기획						
전체 연구개발기간		2022. 05. 09 - 2024. 05. 08(2년 개월)						
총 연구개발비		총 250,000 천원 (정부지원연구개발비: 250,000 천원, 기관부담연구개발비 : 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[☒]			기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)		-						
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)		-						
연구개발 목표 및 내용		최종 목표	동 기획은 탄소다배출 산업인 건설산업을 탄소를 저감하는 산업으로 패러다임을 전환하기 위한 국가연구개발 사업을 기획하는 과제이며, 건설재료 분야의 혁신 기술을 개발하는 신규 국개연구개발사업을 추진하기 위한 체계적인 기획을 목표로 함					
		전체 내용	- [1단계] 조사·분석을 위한 분류체계 도출 :: 탄소중립 건설재료 관련 조사·분석을 위한 분류체계를 도출하고 분류체계를 바탕으로 사업 추진방향을 정립 - [2단계] 사업추진 방향 정립 :: (이슈 및 니즈 분석) 탄소중립 건설재료 분야에 대한 핵심기술 개발 관련 동향 및 환경분석을 통해 핵심 이슈와 문제, 이의 해결 대안을 제시 (국내외 시장, 정책, 기술, 환경, 특허, 논문 동향 분석, 국토교통 R&D 관련 산업 생태계 및 환경 분석, 유관 사업 및 과제 분석 등 수행) :: (기술의 정의 및 범위 설정) 탄소중립 건설을 위한 재료, 설계, 시공 분야별 핵심기술의 정의 및 연구개발 사업 범위 제시 :: (사업추진방향 정립) 과학기술부문 상위계획과 국토교통 관련 정부 정책과의 관련성 및 연계성을 분석하고, 미래이슈 및 니즈, 정부정책과의 부합성 등을 토대로 이슈 해결을 위한 사업추진방향 및 타당성 제시 - [3단계] 사업 기본설계 :: (비전 및 목표 설정) 사업을 통해 달성하고자 하는 미래 비전을 제시함으로써 중점 추진분야를 설정하고 성과목표 등 사업의 목표를 제시 :: (사업추진체계 도출) 사업목표에 부합하는 추진방법, 연구개발 기간 및 소요 예산, 성과목표 관리체계 등을 수립하고 지속가능한 생태계 조성 전략 도출 :: (내역사업 도출) 목적·목표 달성을 위해 반드시 개발 및 확보가 필요한 내역 사업을 적합한 분석기법을 통해 도출 :: (확보전략) 내·외부 역량(인력 및 연구인프라 등), 외부환경에 의한 기회, 위협 등을 분석하여 투자우선순위, 영역간 역할분담 등 연구성과 확보전략을 도출 - [4단계] 사업 상세설계 :: (세부 목표 및 범위 설정) 탄소중립 건설재료, 설계, 시공 기술 개발을 위한 세부 목표 및 기술개발 로드맵 작성 :: (과제 구성 및 내용 설정) 사업 목표 달성을 위한 최적의 세부과제 구성을 설계 하고, 세부과제별 연구개발 내용, 세부과제간 연계 방안 등을 설계					

		- [5단계] 기획 결과의 검증 :: (정책적 타당성) 국가 전략적 중요성, 상위계획과의 부합성, 연구개발 추진상의 위험요인과 대응방안 등에 대한 검토 :: (기술적 타당성) 기존 연구개발과의 중복성, 기술개발 계획의 우수성, 기술 수준 및 개발 성공 가능성 등에 대한 검토 :: (경제적 타당성) 경제성 분석, 경제·사회적 파급효과, 과학 기술적 파급효과 등에 대한 검토										
연구개발성과	- 탄소중립 건설재료 3종(고강도 무시멘트 콘크리트, 탄소저장 콘크리트, 탄소저감형 도로포장) 설계·시공 기술 개발에 대한 신규 국가연구개발 사업 추진을 위한 기획보고서 및 상세 자료											
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	- 신규 R&D사업 예산 확보를 위한 기초자료로 활용 :: 본 기획 연구는 신규 사업 추진을 위한 ‘기획보고서’ 및 ‘사업 설명자료’와 그 외 사업 추진의 타당성을 입증할 수 있는 각종 근거 및 증빙자료를 결과물로 도출할 계획 :: 연구 결과물은 신규 R&D 사업 예산 확보를 위한 예비타당성조사 신청 시, 필수로 제출하는 기초자료로 활용하며, 관련 절차 및 예타 조사지침에 따른 평가항목의 적합 여부를 판별할 수 있는 근거자료로 활용할 예정											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유												
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호		
국문핵심어 (5개 이내)	탄소중립		건설재료혁신		무시멘트콘크리트		무가열도로포장		탄소저장콘크리트			
영문핵심어 (5개 이내)	carbon neutrality		Construction materia linnovation		Cement-Free Concrete		Non-Heated RoadPaving		Carbon-Storing Concrete			

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
1.1. 기획 배경 및 필요성	1
1.2. 기획 추진체계	9
1.3. 기획 추진절차 및 경과	12
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	21
2.1. 기획의 범위	21
2.2. 국내외 환경 분석	21
2.2.1. 정책적 환경 분석	21
2.2.2. 기술적 환경 분석	53
2.2.3. 산업·시장적 환경 분석	72
2.2.4. 주요 시사점	84
2.3. 국내외 연구개발 현황 분석	88
2.3.1. 연구개발 투자 현황 분석	88
2.3.2. 기술수준분석	93
2.3.3. 논문·특허 분석	96
2.3.4. 연구개발 인프라 현황 분석	106
2.3.5. 연구개발 성과 및 한계 분석	112
2.3.6. 주요 시사점	121
2.4. 종합분석	123
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	127
3.1. 신규 연구개발사업 추진전략(3개 사업)	127
3.1.1. 사업 추진방향 및 범위	127
3.1.2. 사업 추진 필요성(정부지원 필요성, 사업 추진 시급성 등)	133
3.1.3. 사업 비전 및 목표	137
3.1.4. 사업 중점 추진분야	148
3.2. 중점 추진분야별 기술개발 내용	158
3.3. 소요예산 및 자원 투입계획	277
3.4. 사전타당성 분석	280
4. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	342
4.1. 기술별 최종 연구개발성과물	342
4.2. 단계별·연차별 성과목표 및 지표	344
4.3. 기대(파급)효과	352

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	355
5.1. 연구개발성과물 검증 및 관리 방안(테스트베드 구축 등)	355
5.2. 연구개발성과물 활용 방안	355
5.3. 사업 운영계획	356
5.4. 제안요청서(안)	389
5.5. 전략계획서(안)	468

1. 연구개발과제의 개요

1.1. 기획 배경 및 필요성

- 전 세계는 탄소중립 선언(138개국) 등 기후위기 대응을 위해 노력하고 있으나 탄소배출량과 평균 온도 증가 폭은 매년 최고치를 경신
- 기후위기가 현실화되면서 국제사회는 기후변화 대응을 위해 “2050 탄소중립” 등의 목표를 수립
 - 기후행동 정상회의('19.09), 제25차 기후변화대응 당사국총회('19.11), 신기후체제인 파리기후협약 발효('21.01), 미국의 체제 복귀 등을 계기로 탄소중립 관련 논의가 세계적으로 재 확산
 - 온실가스 배출량 증가 등에 대한 세계적인 논의 확산에 따라 주요국은 탄소중립을 선언하고, 탄소중립을 위해 NDC 상향
 - '97년 교토의정서 체제에서 각국은 온실가스 감축을 위해 노력하였으나, '18년 기준 세계 온실가스 총배출량은 553억 톤으로 최고치 경신
 - 기존 교토의정서 체제의 한계를 극복하고 선진국과 개발도상국이 모두 참여하는 새로운 기후 변화체제로서 파리협정을 채택, 지구 평균온도 1.5℃ 이내로 억제하기 위한 NDC 상향

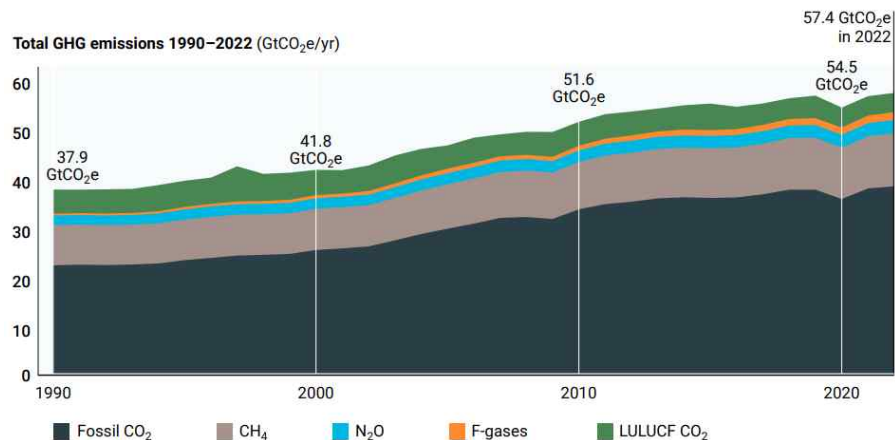


출처: EARTH-ORG(2021), "What Do Countries Need to Do to Reach Net-Zero Emissions?"

[그림 1-1] 탄소중립 선언 국가 현황

- 그림에도 불구하고, 유엔환경계획(United Nations Environment Programme)의 ‘온실가스 격차 보고서’에 따르면 '22년 세계 탄소배출량은 약 574억 톤으로 전년 대비 1.2% 증가, 평균온도는 1.43도 상승하여 연간 기온상승 최고치를 기록

※ 출처: UNEP, Emissions Gap Report 2023



출처: UNEP, Emissions Gap Report 2023

[그림 1-2] 전세계 탄소배출량 추이(1990–2022)

□ [참고] 기후변화협약(UNFCCC)의 체결과 파리협정 채택 경과 및 의의

- '38년 영국의 공학자 캘런더가 화석연료로부터 발생하는 이산화탄소가 온실효과를 발생시킨다고 처음 주장한 이래로, 과학자와 NGO를 중심으로 기후변화 문제에 대한 심각성이 확대되어 논의
- 이후 '88년 지구온난화의 측정 및 분석에 대한 과학적 합의를 마련하고자 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)가 창설되고, '90년 종합평가보고서를 통해 기후변화에 대한 중요 사실을 보고
 - 1차 평가보고서의 주요내용으로 대기 중 온실가스 농도는 주로 인류의 활동에 의해 증가하고, 온실가스 배출의 지속적인 증가는 지표면의 평균 기온의 상당한 증가를 초래할 것으로 전망
- 이후 지구온난화 대응에 대해 결별 국가의 노력을 넘어서 전 지구적 의제로 다루기 위해 '92년 브라질 리우데자네이루에서 세계 정상들이 모인 가운데 기후변화협약을 체결
- '97년 채택된 교토의정서의 감축대상 온실가스에 대하여 감축 부담 국가별 구체적인 감축량을 규정하고 있으나, 온실가스 다배출국가(미국, 캐나다, 중국, 인도 등)들이 탈퇴하거나, 개발도상국이라는 이유로 포함되지 않아 기후변화를 적극적으로 대응하는데 한계
- 따라서, '15년 UNFCCC 제21차 당사국총회에서 채택된 파리협정은 산업화 이전 수준과 비교하여 지구의 평균온도가 2℃ 이상(1.5℃ 달성 노력) 상승되지 않도록 목표를 설정하고 모든 당사국에 분야별로 취할 노력을 스스로 결정(NDC)하여 제출하도록 협의
 - 파리협정에 따른 신기후체제는 '21년부터 출범하여 파리협정 당사국총회는 '23년부터 국가별 NDC를 5년마다 검토하고, 당사국은 이행점검 결과에 따라 이전보다 높은 수준의 새로운 NDC를 제출하도록 협의
 - 그러나 파리협정은 NDC의 내용이 아닌 NDC 제출 및 점검 등 관련 절차에 구속력을 부여하고 있기 때문에, 파리협정의 실질적 효과는 모든 당사국들이 기후위기에 대한 심각성을 함께 인식하고 대응함과 동시에, 특히 선진국들이 적극적이고 진정한 기후리더십을 발휘하여 경제, 사회, 제도 등 전반적인 시스템을 대전환하기 위한 노력을 보여주는 것이 중요

□ 해외 주요국에서는 탄소중립 관련 정책, 제도 마련 및 기술개발을 활발히 추진 중이며, 우리나라도 탄소중립 관련 계획 및 전략 등을 발표하고 2050 탄소중립의 미래상을 구체화 중

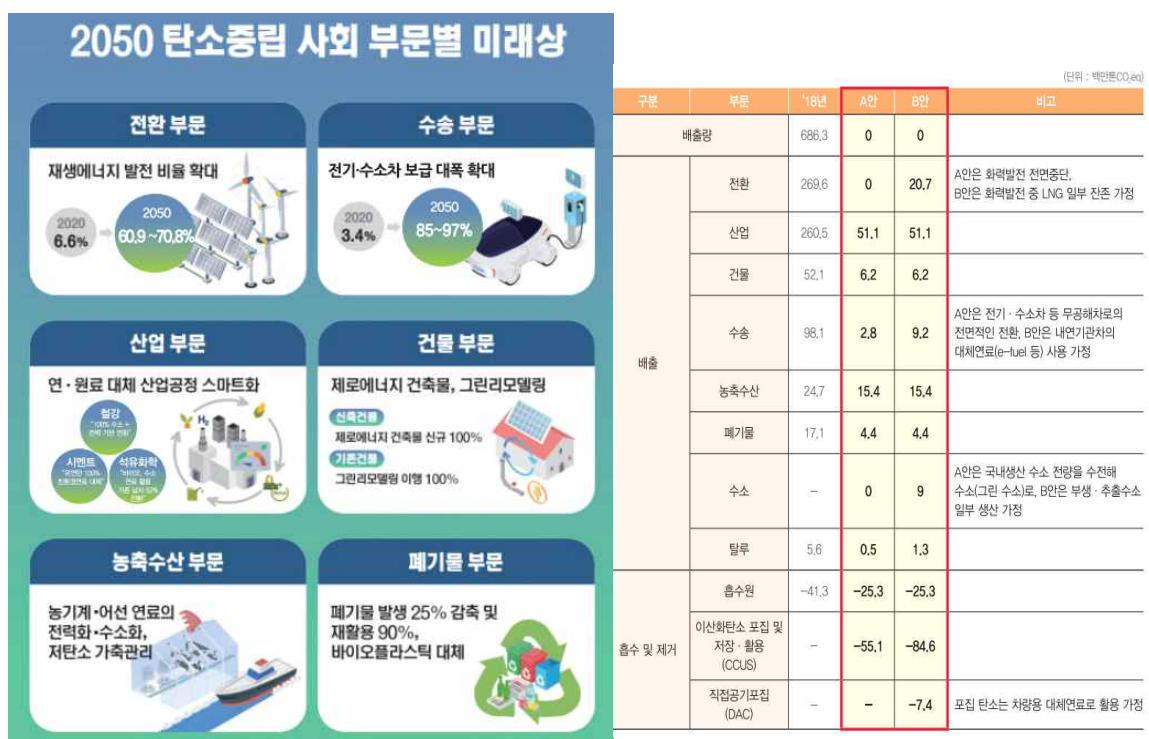
- 유럽 등 해외 주요국에서는 탄소중립을 위해 로드맵 등 관련 정책, 제도 마련 및 기술개발을 활발히 추진 중

<표 1-1> 탄소중립 관련 해외 정책 현황

구분	내용
EU	- '유럽그린딜(European Green Deal, '19)' 전략으로 기후변화 대응을 산업 전략화하는 방식으로 탄소중립 추진 - 다국가 프로젝트 관련 회원국 지원, 저탄소 기술·공정에 대한 연구혁신 자금 지원
미국	- '30년까지 '05년 比 배출량 50~52% 감축이라는 새로운 온실가스 감축 목표 발표 - '35년까지 에너지 절약, 청정에너지, 이차전지 등에 대규모 투자 공약
독일	- 정부는 탄소중립 목표를 '50년에서 '45년으로 5년 앞당기면서 적극적인 기후대책 추진
영국	- 공공건물과 산업의 온실가스 배출량 감축 및 저탄소 산업 조성을 위한 청사진 제시 - '35년까지 '18년 배출량 대비 67%, '50년까지 90% 감축 방침
일본	- 2050년 탄소중립에 수반된 녹색성장전략('20.12)' 발표 - 에너지, 수송·제조, 가정·사무실 등 중점 산업분야별 목표, 연구개발과 실증, 규제개혁, 표준화 등의 제도 정비, 국제 협력 등을 포함한 실행계획 수립

- 해외 주요국에서는 탄소중립 관련 정책, 제도 마련 및 기술개발을 활발히 추진 중
 - **(미국)** '21년 신규 출범한 기후첨단프로젝트사무국은 다수부처가 예산을 출연하여 주요 10대 기후혁신 기술을 선정하여 R&D 추진
 - **(일본)** 신에너지산업기술종합개발기구에 그린이노베이션기금 2조엔을 조성('21)하여 향후 10여 년간 주요 14개 산업분야의 기술개발 추진

- (독일) 「기후행동프로그램 2030」('19) 내 연구개발 및 혁신에 대한 24개 분야 중점기술을 제시하고 기술개발 추진
- (영국) 10억 파운드 규모의 「탄소중립 혁신 포트폴리오」 수립을 통해 주요 10개 분야를 제시하고 12개 프로젝트 추진('21)
- 우리나라도 파리협정 당사국으로 기후위기 대응이 늦어질 경우 국가 경쟁력 하락이 불가피함에 따라, 탄소중립 관련 계획 및 전략 등을 발표하고 2050 탄소중립의 미래상을 구체화 중
 - 무역의존도가 주요국 대비 높아, 글로벌 경제·시장 질서의 변화에 큰 영향을 받게 되는 구조로 질서의 변화에 큰 영향을 받게 되므로 신속 대응 노력 중
 - 정부는 국제사회의 노력에 발맞추어 '2050 탄소중립 시나리오'를 작성하고, 발전·에너지·건물·수송·폐기물 등 부문별 정책방향을 수립
 - '30년까지 '18년 온실가스 배출량 대비 40% 감축, '50년까지 탄소중립을 목표로 부문별 감축량과 감축수단 제시



출처: 탄소중립녹색성장위원회(2021), "2050 탄소중립 시나리오"

[그림 1-3] 2050 탄소중립 사회 부문별 미래상 및 목표 감축량

- 2050 탄소중립 실현을 위해 국가전략 및 부처별 탄소중립 이행계획 마련
 - 범부처 「2050 탄소중립 추진전략」('20.12), 「2050 탄소중립 기술혁신 전략」('21.3)을 통해 10대 핵심기술* 도출 및 전환·수송분야** 집중 투자
 - * ①태양광 및 풍력, ②수소, ③바이오에너지, ④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑦수송 효율, ⑧건물 효율, ⑨디지털화, ⑩CCUS
 - ** 전환(신재생, 원자력, 전력망 등), 수송(전기차, 이차전지 등)
 - 부처별 탄소중립 이행을 위한 계획 수립, 온실가스 감축을 위한 부문별 감축 전략 마련* 및 R&D 기획 중
 - * (환경부) 「탄소중립 이행계획」('21.3), (과기부) 「이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵」, (산업부) 「에너지 탄소중립 혁신전략」, 「탄소중립 산업·에너지 R&D 전략」('21.11) 등
 - (국토교통부) 「국토교통 탄소중립 로드맵」('21. 12.)을 수립하여 건물 에너지와 교통 부문의 탄소중립 방안을 마련



출처: 국토교통부(2021), “디지털 기반 탄소중립도시 기술개발·실증사업 보고서”

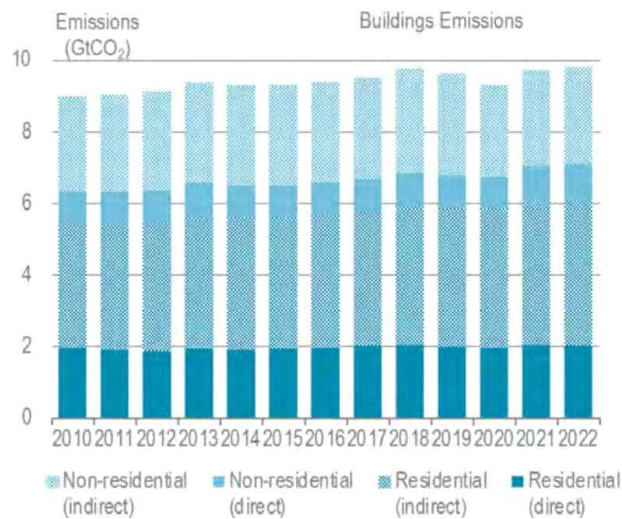
[그림 1-4] 부처별 탄소중립 계획 및 전략



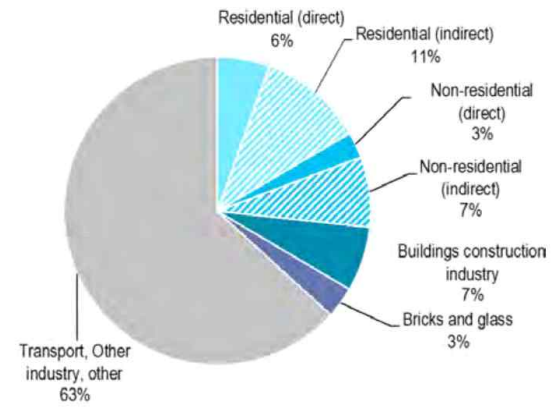
출처: 국토교통부(2021), “국토교통 2050 탄소중립 로드맵”

[그림 1-5] 국토교통 2050 탄소중립 로드맵

- 건설산업의 탄소배출량은 전체의 37%를 차지하고 있으며, 건물 부문은 감소하고 있으나 건설재료 부문은 지속적으로 증가 추세로 이에 대한 대책 마련이 시급
 - 전세계 분야별 탄소배출량('22년 기준) 중 건설산업의 탄소배출량이 약 37%를 차지하고 있으며, 그 외 63%는 수송 및 기타 산업이 차지
 - ※ 출처: UNEP(2023), Global Status Report for Buildings and Construction
 - 건물(Buildings) 관련 에너지 수요로 인한 탄소배출량은 2022년 전세계 총 탄소배출량의 약 27%*를 차지, 그 외 건축자재(콘크리트, 강철, 알루미늄, 유리 및 벽돌) 제조로 인한 탄소배출량은 전체의 10%**를 차지
 - * 거주용 건물 운영(Residential) 17%, 비거주용 건물 운영(non-residential) 10%
 - ** 건설재료(buildings construction industry; concrete, steel, aluminium, 기타재료) 7%, 벽돌·유리(bricks and glass) 6%
 - '22년 건물운영으로 인한 탄소배출량(10GtCO₂, 100%)에서 직접 배출량은 3GtCO₂(30%)로 소폭 감소하였으나, 건설재료 생산은 2.5GtCO₂(25%), 벽돌·유리생산은 1.2GtCO₂(12%)로 증가



Emissions by sector 2022

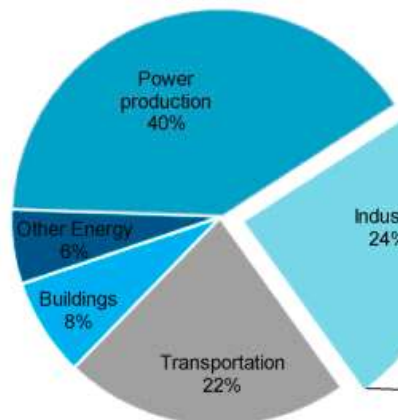


출처: UNEP(2023), Global Status Report for Buildings and Construction

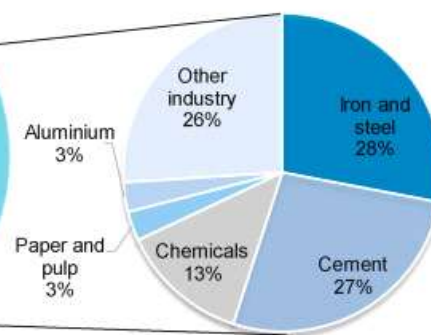
[그림 1-6] 건설산업의 탄소배출 추이 및 전체 산업에서 차지하는 비중('22)

- 특히, 전 세계 시멘트 산업의 탄소배출량은 26억 톤으로, 총 탄소배출량의 7%를 차지하고 있으며, 국내에서는 3.9백만 톤으로 산업 전체의 6.8%를 차지

Global CO₂ emissions by economic sector



Direct industrial CO₂ emissions

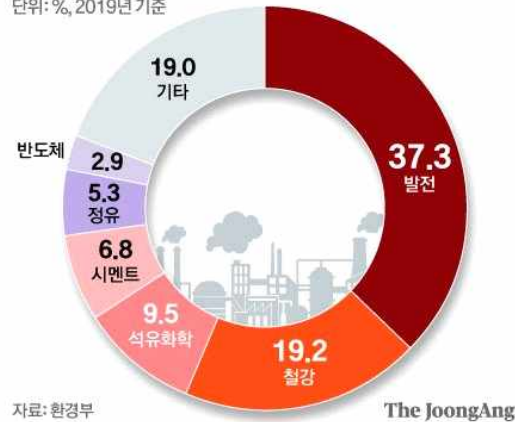


출처: YANG. F.(2021), Carbon capture and biomass in industry: A techno-economic analysis and comparison of negative emission options, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 144

[그림 1-7] 전 세계 산업 부문별 탄소배출량

산업별 온실가스 배출 비중

단위: %, 2019년 기준



자료: 환경부

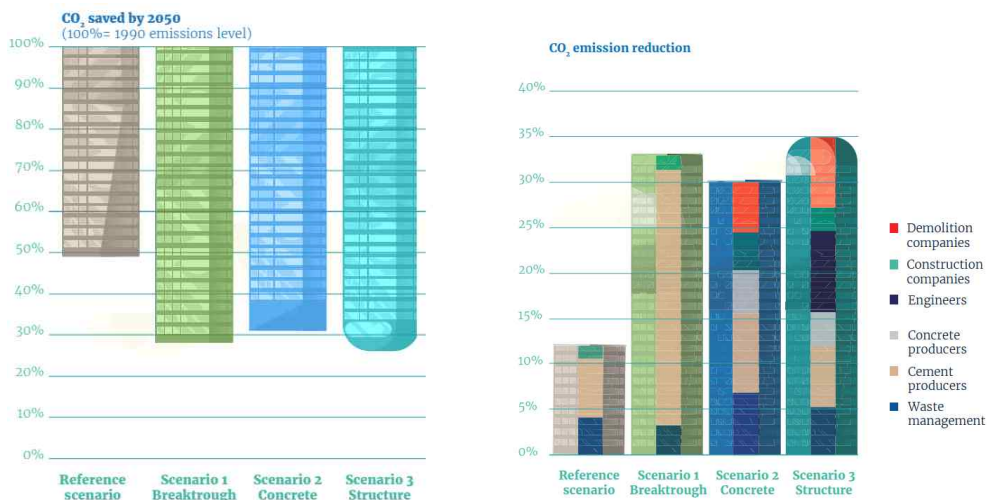
The JoongAng

출처: 중앙일보(2021), "탄소배출 95% 줄여야 할 철강사들 정부 목표 비현실적"

[그림 1-8] 국내 산업별 온실가스 배출 비중

□ 선진국들은 건설산업 탄소배출량을 줄이기 위해 중장기 로드맵을 수립하고 법·규제뿐만 아니라 친환경 시멘트 등 R&D 집중 투자

- (미국) R&D 투자 가속화를 위한 ARPA-C(Advanced Research Projects Agency-Climate) 10대 기술혁신기술에 '철강, 콘크리트, 화학 공정 저탄소화'를 포함
- (일본) 'GX(그린이노베이션) 실현을 위한 기본방침'에서 시멘트 산업의 GX를 위해 향후 10년간 1조 엔 규모의 투자계획을 발표
- (유럽) 시멘트 분야의 탄소중립을 위한 다양한 시나리오를 도출하고, 시멘트 분야 탄소배출 저감을 위한 R&D의 역할 및 목표 등을 제시
 - 시멘트 분야 이해관계자의 관점에서 다양한 단계의 탄소저감이 가능한 10가지 기술(킬른 개선, 탄소 포집 및 저장, 콘크리트 혼합물 설계 등)을 식별하고, 이를 통한 탄소저감 시나리오를 제시
 - ※ 출처: A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry('18, ETH Zurich)
 - 시멘트 생산을 탈탄소화하는데 필요한 획기적인 기술의 적용에 대한 검토하고, 동 기술들의 파일럿, 시연, 최초 출시를 위한 추가적인 R&D 투자가 필요함을 언급
 - ※ 출처: Decarbonisation options for the cement industry('23, European commission)



출처: A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry('18, ETH Zurich)

[그림 1-9] 유럽의 시멘트 분야 탄소중립 저감 시나리오 도출 사례

□ 레미콘은 국내 건설 자재 분야에서 가장 높은 탄소배출량을 기록하고 있으나 관련 탄소감축 대책이 전무해 이에 대한 대책이 필요한 상황

- 한국건설협회는 레미콘, 시멘트, 철강재 등 10대 주요 건설자재*의 수급전망을 발표하고 있으며, 이를 바탕으로 10대 건설재료별 탄소중립 기여 가능성을 분석
 - * 10대 주요 건설자재 : 레미콘, 철강재(철근, 형강), 시멘트, 골재, 원심력콘크리트(파일, 흙관), 타일, 양변기, 아스팔트콘크리트
- 10대 주요 건설재료의 총 탄소배출량을 고려하여 레미콘, 철근, 시멘트, 아스팔트콘크리트 등에 대한 집중적 탄소중립 기술 개발이 필요
 - '20년 기준 총 탄소배출량은 레미콘, 시멘트, 철근 순이며 해당 건설자재의 탄소중립 기술을 개발하는 것이 가장 탄소배출 달성에 가장 크게 기여 가능

<표 1-2> 국내 10대 주요 건설자재 탄소배출량

구분	생산량('20)	탄소 배출계수	총 탄소 배출량 (톤)	순위	비고
레미콘	139,000,000 m³	260 kg-CO2/m³	36,140,000	1	환경성적표지 인증제품 평균
시멘트	47,000,000 톤	747 kg-CO2/톤	35,109,000	2	
철근	10,555,000 톤	451 kg-CO2/톤	4,760,305	3	
형강	5,381,000 톤	514 kg-CO2/톤	2,765,834	5	
파일	5,450,000 톤	215 kg-CO2/톤	1,171,750	7	
타일	133,910,000 m²	3.72 kg-CO2/m²	498,145	9	
흙관	808,266 톤	503 kg-CO2/m³	162,623	10	
아스팔트 콘크리트	17,500,000 톤	243 kg-CO2/톤	4,252,500	4	국가 LCI DB 기준('18) 배출량/생산량 산정
합판	2,027,000 m³	820 kg-CO2/m³	1,662,140	6	건설업 온실가스 배출량 산정 가이드라인
골재	247,118,000 m³	잔골재 3.87 kg-CO2/m³ 굵은골재 7.19 kg-CO2/m³	1,140,450	8	

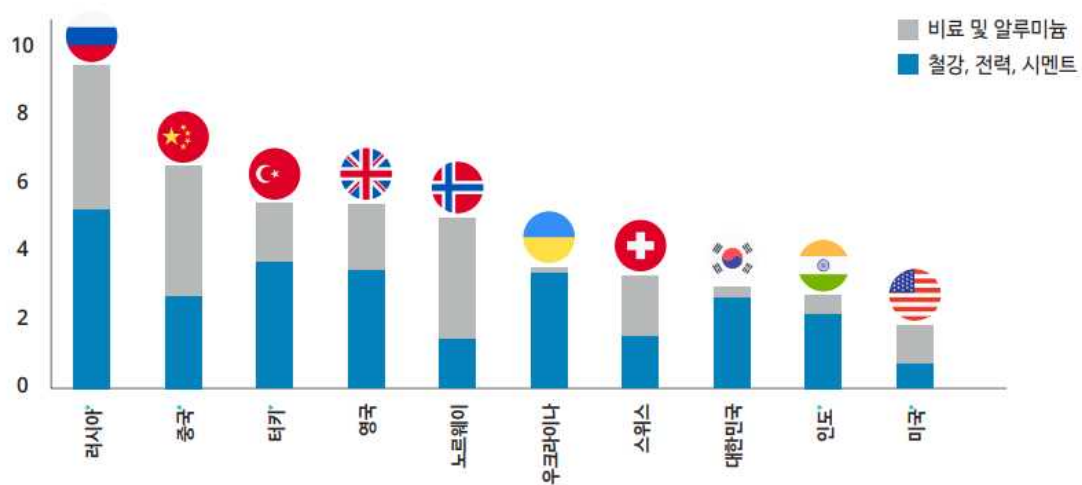
□ EU는 '26년까지 탄소국경세를 본격 도입 예정이며, 미국도 관련 법안이 다수 발의되고 있어, 해외시장 비중이 높은 국내 건설업계 차원에서 이에 대한 대응이 필요

- EU는 '21년 기후대응법안 “Fit for 55”를 발표하며 탄소국경세 도입 관련 내용을 언급하였고, '23년 관련 법안이 의회를 통과
- '23년 4월 “탄소국경조정제도” 법안이 EU의회를 통과해 '23년 10월부터 관련 정책이 시작
 - 유럽 연합 역외 기업들의 철강, 알루미늄, 비료, 전기, 시멘트, 수소제품 등 6개 품목을 유럽으로 수출하는 경우 탄소배출량을 추정해 관세를 부과
 - '23년 10월부터 탄소배출량의 의무적 보고가 필수화되며, '26년부터는 관련 제품에 대한 탄소국경세가 부과될 것으로 예상
- 미국은 아직 시행되는 탄소국경세 관련 법안은 없으나, 관련 법안들이 지속적으로 발의되는 추세
 - 여야를 막론하고 총 15개의 탄소국경세 관련 법안이 과거 발의되었으나, 정식으로 채택되지 않은 상황
 - '21년 7월 19일 미국 민주당 상하원의원은 탄소국경세를 부과하기 위한 “공정한 전환 및 경쟁법” 법안을 발의, '24년 1월 1일 시행을 목표
 - 대상품목은 철강, 알루미늄, 시멘트 등 탄소배출량이 많은 수입품에 우선 적용되며 점차 확대
 - 미국 전체 수입품 중 약 12%에 해당하며, 연간 50~160억 달러 규모의 탄소세가 부과될

것으로 예상

가격 결정	목표 설정	규정 강화
1. 항공 분야 배출권거래제 강화 2. 해운, 육상운송 및 건축물 분야 배출권거래제 신설 3. 에너지조세지침 개정 4. 탄소국경조정제도 도입	5. 노력분담규정 개정 6. 토지이용, 토지이용변화 및 삼림 규정 개정 7. 재생에너지지침 개정 8. 에너지효율지침 개정	9. 승용차 및 승합차 탄소배출 규제 기준 강화 10. 대체연료인프라규정 개정 11. 항공운송 연료 기준 마련 12. 해상운송 연료 기준 마련
지원 대책		
13. 사회기후기금(Social Climate Fund) 신설		

[그림 1-10] 'Fit for 55' 주요 내용



출처: Deloitte(2021), 세계 무역을 재편하는 탄소국경세

[그림 1-11] EU의 에너지집약적 제품 수입 현황(2019)

1.2. 기획 추진체계

□ 사업기획 주관부처인 국토교통부 하에 전문기관인 국토교통과학기술진흥원에서 과제를 담당

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

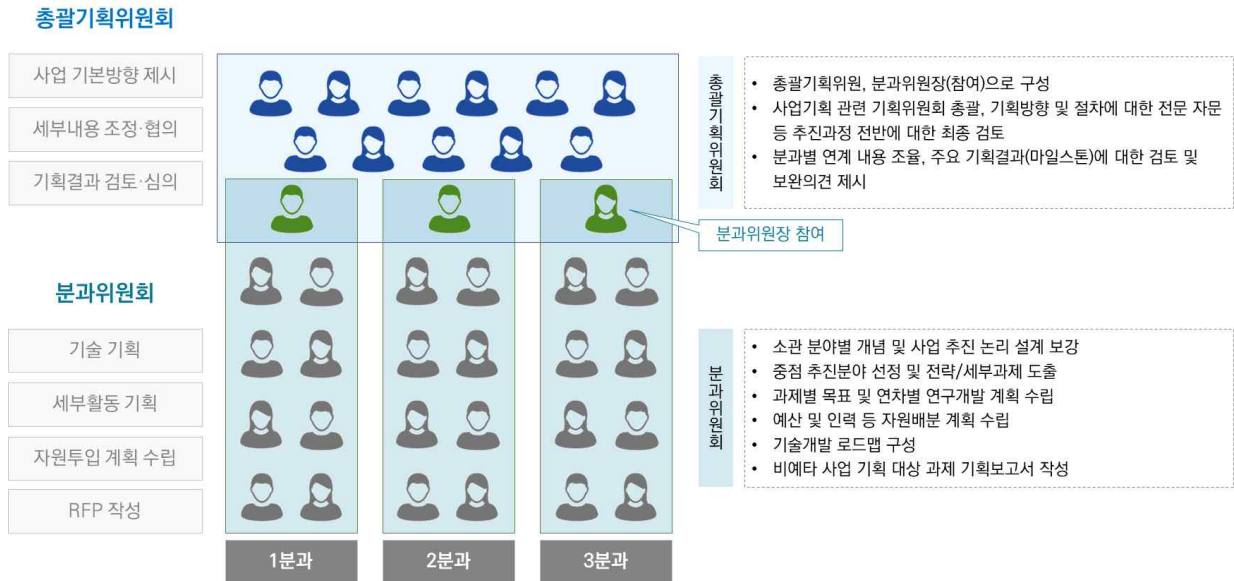


[그림 1-12] 사업 기획 추진체계

- (전문가 참여형 사업 기획) 사업 기획 전문성 강화 및 절차적 타당성 확보를 통한 기획 완성도 제고를 위해, 기획위원회의 기능 및 역할에 따라 ①총괄기획위원회, ②분과위원회 구성 및 운영
 - (운영기간) 2023. 07 ~ 2024. 02.
 - (운영주체) 기획연구진(와이젠글로벌, 한국건설생활환경시험연구원, 한국건설기술연구원)

□ 사업 추진주체별 주요 업무 분장

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



[그림 1-13] 기획위원회 구분 및 역할 도식도

<표 1-3> 기획위원회 구성 및 운영 방식

구분	목적	구성	운영
총괄기획위원회	사업 전체 기획방향 및 절차에 대한 전문성 제고, 다양한 이해 관계자의 의견수렴을 통한 합리적인 사업 기획 수행	건설재료, 콘크리트 구조 등 기술전문성 및 기획 및 정책 전문성을 갖춘 산학연 전문가	<2회 운영> - 사업 기본방향 검토 - 내역사업별 기본방향 및 세부활동 기획 결과 검토 - 기획보고서 심의
분과별위원회	내역사업 구성 및 중점 추진분야에 따른 세부 분야별 동향조사 분석, 연구개발 목표체계 수립, 세부활동 기획 등 전문 콘텐츠 작성	내역사업/중점분야별 전문성을 갖춘 산학연 전문가로 각 분야에 대한 실질적인 기획 및 콘텐츠 작성이 가능한 전문가	<3~4회 운영> - 분과위 구성 및 운영계획 검토 - 내역사업별 기본방향 및 세부활동 기획 중간결과 검토 - 내역사업별 세부활동 기획 중간결과 2차 검토 - 세부활동 기획 최종결과 검토

□ 총괄기획위원회 위원 명단

○ 총 12명 (관 1명, 산 4명, 학 2명, 연 3명, 기타 2명)

<표 1-4> 총괄기획위원회 위원 명단

연번	구분	성명	소속	직위	비고
1	관	김명준	국토교통부 기술정책과	팀장	이성훈 → 김명준으로 변경
2	산	정경훈	에스지레일 주식회사	대표	국토교통 정책 전문가
3		장승복	현대건설	상무	시공 전문가
4		조경식	DM엔지니어링	대표	설계 전문가
5		박찬민	코비코리아	대표	교량 설계 전문가
6	학	이명주	명지대학교	교수	탄소중립위원회 녹색생활분과 총괄분과장
7		김진만	공주대학교	교수	시멘트 그린뉴딜위원회 위원장
8	연	정상화	한국건설생활환경시험연구원	본부장	재료 전문가
9		김성욱	한국건설기술연구원	선임 연구위원	재료 전문가
10		권상숙	한국환경산업기술원	수석 연구원	탄소배출 및 제도(LCA)
11	협회	백현식	건설협회	산업 본부장	건설정책 전문가
12	전문 기관	오동훈	산업통상자원 R&D 전략기획단	기술정책 MD	기술정책 전문가

□ 분과위원회 위원 명단

○ 총 6명(산 1, 학 3, 연2)

<표 1-5> 분과위원회 위원 명단

연번	구분	성명	소속	직위	비고
1	학	권승희	명지대학교	교수	분과장
2		표석훈	UNIST	교수	
3		류두열	연세대학교	교수	
4	연	류금성	한국건설기술연구원	연구위원	
5		정연웅	한국건설생활환경시험연구원	책임연구원	
6	산	박찬규	삼성물산	마스터	

1.3. 기획 추진절차 및 경과

1. 추진절차

- '22.09.06. : 착수보고회
 - 기획연구 방향성, 사업목표 및 내용, 추진전략 등 점검
 - R&D 해결 문제 이슈 보완 및 성과목표에 대한 구체적인 달성방안 마련 필요
 - 개발 기술 구체화 및 건설전주기 탄소배출 평가시스템 구체화 필요
- '22.10.26. : 제1차 총괄기획위원회
 - 건설재료 수요분석 및 국내외 동향 등을 고려하여 필요성 보강
 - 건설재료, LCA 등 관련 부처와의 업역 정리 및 범위 제시
 - 건설재료 사용량 저감, 구조최적화, 순환경제 등을 고려한 구성기술 재배치 필요
- '22.06. ~ '23.01. : 예비 기술수요조사 및 기술수요조사
 - 건설전주기 탄소중립에 대한 연구개발 수요는 총 245건으로 건설재료 관련 수요는 전체의 약 52%를 차지, 건설재료 중 무시멘트 콘크리트는 35건으로 약 27%를 차지
- '22.06. ~ '23.02. : 분야별 전문가 인터뷰 및 기술현황 분석
 - 주요 건설사, 전문업체 등 재료·시공·유지관리·LCA 분야 전문가 26명 대상으로 인터뷰 진행
 - 분야별 탄소중립 관련 국내 개발현황 및 기술개발 필요성 등 R&D 수요 분석
- '23.07. ~ '24.01. : 분과위원회 운영
 - 수요조사 결과 검토 및 수요조사 기술을 바탕으로 세부기술 구성(안) 제시
 - 중점분야 구성 및 중점분야의 세부활동 기획 등 전문 콘텐츠 작성
 - 과제카드 작성 및 검토를 통해 연구개발내용 확정, 기획보고서 작성
- '24.02.02 : 제2차 총괄기획위원회
 - 건설전주기 탄소중립 기술개발에 대한 논리 부족 및 에타사업 목표인 국가 NDC 달성 기여는 건설산업 배출량이 정량적으로 판단되지 않아 소액사업으로 변경하여 적기 대응 필요
 - 소액사업으로 진행할 주제는 향후 기획연구진 및 전문가 논의를 통해 결정
 - 기획진 실무회의 및 전문가 검토 결과 3개 사업으로 기획 추진 결정
 - item1. 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발
 - item2. 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발
 - item3. 탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발
- '24.02. ~ '24.03. : 분과위원회 운영 및 최종보고서 작성 방향 수립
- '24.04. ~ '24.05. : 최종보고서 작성 및 수정보완

2. 추진경과 상세내용

1) 착수보고회

□ 회의 개요

- (목적) 기획연구의 방향성, 사업목표·내용, 추진전략 등 보고·점검을 통한 기획 완성도 제고
- (일시/장소) '22.9.14(수), 14:00 ~ 17:00 / 국토교통과학기술진흥원 5층 회의실
- (참석자) 원장, 혁신성장본부장, 전략기획실장, 기획그룹장, 박정순 전문위원, 박래상 실장(이상 국토교통과학기술진흥원), 정상기 대표(SNI 인스티튜트), 이승언 선임연구위원(한국건설기술연구원), 한승환 선임연구위원(한국도로공사 도로교통연구원), 정재동 교수(세종대학교)

□ 검토의견

- R&D 해결 문제 이슈 보완 필요
 - 설계-시공-유지관리-해체-재활용 관련 문제 이슈 구체화 필요
 - 건설재료의 탄소배출량 90%임을 고려하여 사업기획 필요
- 성과목표에 대한 구체적인 달성방안 마련 필요
 - 탄소배출량 성과목표의 달성시기 등을 포함한 달성 로드맵 필요
 - 탄소배출량 성과목표 달성을 위한 제도(인센티브 제공, 발주제도 제안) 등 고려 필요
- 개발 기술 구체화 필요
 - 시멘트, 철강 등 산업부 연계 기술 외 국토부 고유의 건설재료 기술개발 과제 발굴 필요
 - 제시된 세부과제 외 다양한 분야의 기술 발굴 필요
- 건설 전주기 탄소배출 평가시스템 구체화 필요
 - 국제적인 추세에 따라 탄소배출의 범위를 Scope3로 확장하는 것을 고려
 - DB구축, 감축 인증방법 등 평가범위가 방대하여 평가기술의 범위 구체화 필요

2) 1차 총괄기획위원회

□ 회의 개요

- (목적) 사업 전체 기획방향 및 절차에 대한 전문성 제고, 다양한 이해관계자의 의견수렴을 통한 합리적인 사업 기획 수행
- (일시/장소) 2022년 10월 26일 수요일 13:00 ~ 15:30, 서울역 공항철도 회의실 AREX-10
- (참석자) 국토부, 총괄자문위원, KAIA, 기획연구진 등 19명
 - (국토부) 기술정책과 담당 사무관/주무관
 - (자문위원) 정경훈 대표(에스지레일), 이명주 교수(명지대학교), 백현식 본부장(건설협회), 김진만 교수(공주대학교), 장승복 상무(현대건설), 정상화 본부장(KCL), 박찬민 대표(코비코리아), 김성욱 선임연구위원(KICT), 권상숙 수석연구원(한국환경산업기술원), 오동훈 MD(산업통상자원 R&D 전략기획단), 조경식 대표(DM 엔지니어링)
 - (진흥원) 박진희 그룹장, 노승희 선임연구위원(이상 기획1그룹)
 - (연구진) 이상원 수석, 이동현 전임(와이젠글로벌, 주관연구기관), 곽종원·박정준 박사(KICT, 공동수행), 김주형 박사(KCL, 공동수행)

- (안건) ①위원장 선출, ②사업 기본방향 및 컨셉(안) 검토, ③기획위원회 운영계획(안) 검토, ④구성기술 및 분과 구성(안) 검토 등

□ 회의 주요내용

- (사업명, 용어정의) 사업명*에 대한 재검토가 필요하며, 사업·기술 범위를 고려한 용어 정의** 및 대상구조물의 범위*** 제시 필요.
 - * (예시) 저탄소 건설재료 기반 건설 전주기 탄소중립 핵심기술 개발 사업
 - ** 건설재료의 범위(건축 마감재료 등 포함여부 제시 필요), 탄소중립 설계의 정의 등
 - *** 용도에 따른 범위(교량, 도로 등), 재료에 따른 범위(RC/Steel/합성 구조 등) 등
- (필요성) 건설 재료(시멘트·철강 등) 수요 분석, 국내외 정책·경제 동향 등을 고려하여 사업 추진 필요성 논리 보강 필요
 - 수요 측면에서의 탄소중립 중요성을 부각시키고, 시멘트·철강 이외 탄소 다배출 재료(도로 포장, 건축 마감재료 등)에 대한 검토
 - 탄소중립 2050 시나리오 이후 국내외 정책·경제 동향* 및 현정부의 탄소중립 방향성 등을 분석하여 사업 추진 필요성·시급성** 보완
 - * 우크라이나 전쟁, 경기 침체 등에 대한 파악 및 대처방안 마련 필요
 - ** (예) 탄소중립과 에너지 절약 관점으로 접근, 타부문(건물, 수송 등)의 탄소중립 기반을 마련하는 사업, 탄소중립을 준비하는 산업의 부담을 줄여줄 수 있는 사업 등
- (부처 간 협업) 건설재료, LCI DB 등은 관련 부처와의 업역을 정리하여 사업범위를 명확히 제시하고 부처간 업무 협의 필요
 - 산업부 철강·시멘트 부문과의 기술을 구분하여 본 사업의 범위를 제시하고, 개발기술의 선별 절차 마련
 - 환경부 LCI DB 구축사업 현황 분석 후, 부처간 협업 방안 마련
 - * 부처간 역할 구체화 및 사업 성과물을 환경부에 제공하는 방안 등 협의 필요
 - 산업부, 환경부 등 부처 협업 과제로 추진 방안 마련
- (구성기술) 건설재료 사용량 저감, 구조 최적화, 순환 경제 등이 중요하다고 판단되므로, 이를 고려한 구성기술 재배치 필요
 - * (안) 중분류의 유지관리 기술을 업사이클링 기술로 대체 / 구조 최적화는 설계로 이동 등
 - * 건설 전주기에서의 탄소중립 요소기술이 다양하므로, B/U 과제 추가 방안 검토
- (설계·제도 분야) 설계·제도 분야(중점분야3)는 타분야와의 연계, 타부처와의 협업 등에 대한 검토 필요
 - 중점분야 3에서는 중점분야 1, 2에서 개발되는 기술의 탄소 배출·흡수량을 평가하는 기술 등을 포함하여 타분야와의 연계성 강화
 - 개발기술 적용을 위한 정책·제도(설계 VE, 대안입찰 등) 제시 필요



[그림 1-14] 1차 총괄기획위원회 사진

6) 이해관계자 의견수렴

□ 의견수렴 개요

- (목적) 탄소중립 건설재료 사업 기획방향 설정을 위한 탄소중립 현황 파악 및 니즈 조사
- (실시기간) 2022.12.12., 2023. 02.18.
- (조사대상) 건설재료, 설계, 시공 분야 탄소중립 전문가
- (회의목적) 탄소중립 관련 현황 파악 및 기획방향 설정을 위한 자문회의
- (조사내용) 탄소중립 관련 전문가들의 기술현황 및 기획방향에 대한 기술니즈 파악

<표 1-6> 탄소중립 건설재료 관련 전문가 의견수렴 현황

조사대상	구분	일시
대기업 탄소중립 전문가	주요 건설사의 탄소중립 관련 R&D 현황 및 ESG 경영 현황 파악을 위한 건설사 간담회	2022.12.12
시공 분야 전문가	시공 분야 탄소중립 기술 현황 및 기술니즈 조사를 위한 전문가 간담회	2023.02.18

□ 주요 건설사의 탄소중립 관련 R&D 현황 및 ESG 경영 현황 파악을 위한 건설사 간담회

- (일시 및 장소) 2022.12.12. 14:00 ~ 16:00 / 서울역 공항철도 회의실(AREX-8)
- (참석자) 김동현 프로(SK에코플랜트), 이창홍 부장(포스코건설), 박찬규 마스터(삼성물산), 한상묵 책임(GS건설), 정연수 책임, 홍현중 책임(이상 현대건설), 과제담당자 및 기획연구진

○ 회의 주요내용

- 탄소중립에 있어 시멘트가 가장 중요한 역할을 하지만, 제도적 제약이 존재
 - 새로운 시멘트가 개발되어도 법적으로 다음 단계로 넘어가기 어려움
 - 구조설계사도 그러한 이유로 해당 제품을 사용하지 않음
 - KS 규격과 건설 시방에서 한계가 명확한 실정으로 이에 대한 해결이 필요
- 포스코건설 탄소중립 관련 추진 현황
 - 탄소중립 협의체를 운영하며 대표자들이 아이템을 제안
 - 내년 태양광패널 특화기술, 카본프리 스마트시티, 데이터센터 구축 등 계획
 - 고로슬래그 등을 활용할 수 있는 방법에 대해 고민
- SK 에코플랜트 탄소중립 관련 추진 현황
 - 환경사업 위주로 접근 중
 - GFRP와 같은 저탄소 신산업에 대한 친환경적 접근 및 제조/판매를 위해 논의 중
 - 소각재를 활용한 에코시멘트, 탄소배출권 등에 대한 논의도 진행 중
- GS건설 탄소중립 관련 추진 현황
 - 요소기술 위주의 연구 수행 중
 - PC 공장에서 카본큐어와 협업하여 관련 프로젝트 진행 중
 - 비산재를 활용한 시멘트도 연구 중
- 현대건설 탄소중립 관련 추진 현황
 - 포트폴리오의 다양화를 위해 노력 중
 - 풍력발전소 시공 후 운영, 수소, CCUS 등 다양한 분야에 대해 진행 중
 - 무시멘트, 시멘트 활용량 저감, 이산화탄소 저감 등도 진행 중

□ **시공 분야 탄소중립 기술 현황 및 기술니즈 조사를 위한 전문가 간담회**

- **(일시 및 장소)** 2023.02.28. 10:00 ~ 12:00 / 서울역 공항철도 회의실(AREX-9)
- **(참석자)** 양인환 교수(군산대학교), 채희훈 책임연구원, 한승철 책임연구원(이상 현대건설), 이준우 프로(SK에코플랜트), 김도학 책임연구원(GS건설), 김동진 부장(DL이앤씨), 과제담당자 및 기획연구진
- **회의 주요내용**
- 건설사 입장에서 시공에 탄소 중립을 적용하기 위한 매력도가 떨어진다고 생각하며, 인센티브나 페널티 등을 통한 장려가 필요
 - 탄소감축의 90%이상이 scope3 에 해당하며, 재료 분야에서 해결할 수 있는 부분이 대부분
 - 하지만 회사에서 직접 수행하기보다는 재료회사가 하고 건설사는 테스트 베드만 제공하는 것이 낫다는 내부 의견이 다수
 - 제도와 엮어서 기술 개발하는 것이 필요
 - 현대건설은 목표관리제 대상으로 현재는 scope 1, 2만 대상이지만 기본적으로 1~3 전체에 대한 관리는 수행 중
 - scope3 해당 기술 개발에 대한 당위성이 부족
 - 회사가 인증 및 방법론을 만들기 어려우니 이러한 부분에서 국가의 역할이 필요
 - 최근 탄소중립 배출권 확보에 대한 고민이 많은데, 인증, 방법론을 직접 만들어야 하는 상황
 - 이러한 부분을 만들면 회사에 귀속되는 자산이 되지 않으므로 회사에서는 수행이 불가
- 유럽에서의 판매를 위해 그룹 차원에서 리사이클이 필수적인 등 관련 요구가 많으나 메리트가 부족하며 인증 및 제도도 부족
 - 리사이클링 없이는 추가 비용이 발생해서 경제적으로 밀리는 상황이기 때문에 그룹 입장에서는 건설사가 이러한 부분을 커버해주길 요구
 - ESG를 한다고 하면 좋은 이미지를 만들 수 있으나, 그룹 내 요구는 다른 계열사의 폐기물을 건설사가 리사이클링 하는 것
 - 현재는 ESG에 대한 메리트는 없고, 각사가 자발적으로 수행하는 것
 - 중공화에서 폐기물이 줄어드는데 인증, 규정이 없어 건설사가 자체적으로 하는 실정
 - 플라스틱도 재활용, 자재감소, 거푸집 세팅 감소, 단면 감소 등 탄소중립과 매우 밀접하나 제도적 지원이 부족
- (GS건설) 연구소, PC공장, 폐기물 저감, 모듈화 등의 연구를 수행 중이며 상당수 기술이 실용화
 - 폐기물 저감, 재활용, 업사이클링 분야에 관한 많은 연구가 진행 중
 - 동절기 양생기술은 이미 개발 완료하여 현장에 보급 중
 - 재료적인 것으로는 CO2 주입 탄산화, 알칼리, 재활용 측면에서 폐플라스틱/소각저감, 카본 발열, 펄핑, 섬유 등에 관한 연구가 수행 중
 - 폐기물 최소화와 재료 저감을 위한 구조물의 중공화에 초점
 - 배터리 몰드 등도 양생에 활용 중
 - 폐플라스틱을 구조체로 활용하는 업사이클링 관련 연구를 수행
 - 단면 두께 10~20% 감소, 철근량 감소 가능(옹벽기준 15%, 지하차도 22% 가능, 서울시 펜스에 100% 재활용 사례 존재)
 - 호주, 유럽, 캐나다 등에서도 많이 활용되며 미국에서는 교량 전체에 적용한 사례도 존재하며 코드도 존재
 - 교량, 건축물, 이동식 주택 등 모듈에 초점을 맞춘 최적화 진행 중

- (SK에코플랜트)해상풍력, 에코바(철근대체), 폐기물 처리 등에 관한 내용을 수행
 - 최근 해외 반도체 자원재활용업체를 인수해 사업 진행 중
 - 에코바는 개발은 완료하였으나 아직은 현장적용이 어려운 실정
 - 설계기준/시방서의 미비가 원인으로 개발한 업체가 스스로 기준을 만들기는 어려워 국가 차원에서 해결이 필요한 상황
 - 주재료보다는 포장 등에 사용처를 찾는 중
 - 폐기물처리는 전처리, 후처리, 수처리 등을 수행하고 있으며, 해상 풍력은 넷제로로 수행 중
- (현대건설) 주로 PC, 모듈러 관련 연구가 주를 이루며 그 외 다양한 연구를 수행
 - PC, 모듈러는 별도의 팀이 있으며, 업체들과 같이 시공, 개발 등을 수행하고 있는 상황
 - 양생 등은 이미 개발이 완료
 - 경량화 콘크리트에 관한 핵심 연구가 진행중인데, 플라이애쉬, 수입제품 등 여러 가지를 고려하였으나 경제성이 부족하여 다른 부분도 고려하는 중
 - 순환골재의 건축물 적용을 고려 중이며, 재료적 측면에서 시멘트를 최소화하기 위한 바인더 개발을 시멘트/레미콘사와 협력해서 수행 중
 - GFRP바, 에코바 등의 적용성 검토, 카본큐어 기술의 시공사 입장에서의 사용성 검토 수행
- (DL이엔씨) 주택, 플랜트, 토목 분야에 대해 탄소 저감 기술 개발 및 적용 중
 - 주택 분야에서는 고객의 에너지 절감 니즈가 존재해 그 부분에 맞추어 타겟
 - 플랜트는 탄소저감 시장이 있기 때문에 탄소포집, 활용 분야의 기술을 개발 중
 - 토목 분야는 니즈가 많지 않아 전기차 사용이나 저탄소 재료 사용 등 낮은 수준만 적용 중
 - 탄소포집 제품의 적용에 대한 숙제가 있어 이에 대한 고민 중
 - 탄산칼슘 활용 콘크리트, 생산 제품을 건설자재로 활용 등에 대한 연구 수행

3) 1차 분과위원회

□ 회의개요

- (목적) 무시멘트 콘크리트 분과위원회 kick-off 회의
- (일시/장소) '23.07.24(월) 15:00~17:00 / 인스파이어 비즈니스센터 8B 회의실
- (참석자) 권승희 교수(분과위원장/명지대학교), 박찬규 마스터(삼성물산), 표석훈 교수(UNIST), 류금성 연구위원(한국건설기술연구원), 류두열 교수(연세대학교), 정연웅 책임연구원(한국건설생활환경시험연구원), 참여연구진

□ 주요 회의내용

- (수요조사 결과검토) 수요조사를 바탕으로 세부기술 구성(안) 제시
 - 기획방향성에 따라 수요조사 결과를 검토, 우선순위가 높은 기술을 발굴하고, 기술개발 관점에서 필요한 기술은 분과위원회 내에서 추가 필요
 - 세부기술 구성(안) 및 세세부 기술에 대한 아이디어 제시 필요
- (컨셉노트) 구성기술(안)을 바탕으로 컨셉노트 작성 필요
 - 미시적 관점에서 기술개발 필요성, 기술현황, 기존 기술의 문제점 및 한계를 분석하여 주요 이슈를 정의
 - 주요 이슈를 해결하는 방향으로 기술개발 방향 정립
- (과제카드) 컨셉노트를 바탕으로 과제카드 작성 필요
 - 주요 이슈 및 해결방안 외 기술개발 내용, 주요 성과물, 성과물의 성능, 연구예산 연구기간 등을 제시
- (기획보고서) 과제카드를 바탕으로 기획보고서 작성 필요
 - 연구진에서 제시한 보고서 목차를 바탕으로 기획보고서 작성(~'24.1.19)

4) 2차 총괄기획위원회

□ 회의 개요

- (목적) 「탄소중립 건설재료 기반 건설 전주기 혁신기술 개발사업 기획」의 진행상황 및 이슈 점검, 사업 추진방식 및 추진체계(안) 등 검토
- (일시/장소) '24. 2. 2.(금) 14:00~17:30, 공향철도 서울역 회의실(AREX B3-10)
- (참석자) 총괄기획위*(5), 기획연구진(6), 국토부·진흥원 담당자(3) 등 14명
 - * 백현식 본부장(건설협회), 장승복 상무(현대건설), 박찬민 대표(코비코리아), 권상숙 수석연구원(환경기술원), 조경식 대표(DM엔지니어링)

□ 회의 주요내용

- 예타 사업으로 추진되던 본 과제를 2~3개의 소액 사업으로 변경하는 건에 대한 의결
 - 건설 전주기 탄소중립 기술개발에 대해서는 논리가 부족한 편
 - 일례로 시공 단계에서는 실제 탄소감축을 위해 적용할 분야가 많지 않은 실정
 - 예타사업의 목표인 국가 NDC 달성 기여는 건설산업의 배출량이 정량적으로 판단되지 않아 적절하지 못하기에 소액사업화를 통해 적절한 목표의 수립이 필요
 - 수년 내 적용될 탄소국경세, 그린발주제도 등 당면 문제에 대응하기 위해서는 소액 사업화를 통한 적기 대응 필요

○ 소액사업으로 진행할 주제들은 향후 기획연구진 및 전문가 논의를 통하여 결정

- 기획진 실무회의 및 전문가 검토 결과 3개 사업으로 기획 추진 결정
 - item1. 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발
 - item2. 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발
 - item3. 탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발

※ 기술수요 부족(설계-시공 최적화), 유사사업 중복성(탄소중립 평가체계, 업사이클링) 등에 따라 일부 기술 개발 주제는 제외하거나, 상기 사업 내 세부 내용으로 조정



[그림 1-15] 제2차 총괄위원회 사진

5) 1차 전문가 자문회의(2차 분과위원회)

□ 회의 개요

○ (목적) 탄소중립 건설재료 기획과제*에서 중점기술 분야로 설정된 분야 중 혁신선도형 사업으로 추진하기로 한 무시멘트 콘크리트 기획내용을 검토하기 위한 전문가 자문회의 개최

* 탄소중립 건설재료 기반 건설 전주기 핵심기술 개발사업 기획('22.5~'24.5, 와이젠글로벌)
3개 주제 중 최우선으로 기획하는 주제에 대해 집중 논의

○ (일시/장소) '24.2.19(월) 15:00~18:00, 국토교통과학기술진흥원 4층 소회의실

○ (참석) 외부전문가*, 기획연구진(4), 진흥원(2) 등 12명

* 권승희 교수(명지대), 박찬규 마스터(삼성물산), 표석훈 교수(UNIST), 류두열 교수(연세대), 정연웅 책임 연구원(한국건설생활환경시험연구원), 류금성 연구위원(한국건설기술연구원)

□ 회의 주요내용

○ 지난 총괄기획위원회 의결사항에 따라 전체 예타과제에서 기술별 소액과제로 전환하기로 결정되어 기술별 기획보고서 작성이 필요

- 기획연구진에서 현재까지 무시멘트 분과에서 작성한 내용을 바탕으로 기획보고서 작성
- 2장 국내외 환경 분석 및 국내외 연구개발 현황 분석, 3장 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 파트의 기획보고서 초안 작성 완료
- 기술별 상세 기획 내용 등에 대한 작성 및 보완 필요

○ 중점분야 및 세부기술 구성은 적절한 편

- 재료 부분을 조금 더 확대하는 것도 고려할 수 있는 사항
- 인증, 제도적 부분에 대한 연구가 가장 시급한데, 해당 내용이 잘 구성
 - 작년 삼성물산에서 무시멘트 관련 인증 진행시 재료 하나에 7억 정도가 소모되어, 일반 중소기업들은 해당 개발이 어려운 실정
 - 제도적으로 구조설계기준상 포틀랜드 시멘트가 아닌 경우 모든 물성치가 포틀랜드 시멘트 이상을 만족해야 하는 현행 제도로 인해 해당 문제가 발생

○ 자극제 개발의 필요성과 방향성에 관한 논의

- 산업부산물의 퀄리티가 지속적으로 하락하고 있기에, 이에 대비한 자극제 개발이 필수적
 - 일례로 슬래그의 염기도는 과거 2.0수준에서 현재 1.7수준으로 하락하였고, 1.6이하면 관련 제도상 사용이 불가능해 이에 대한 대비가 필요
- 현재 자극제를 분말형으로 개발하는 내용이 작성되어있으나, 분말형은 현실성이 떨어지는 편이며, 현재까지의 연구 결과를 보았을 때 액상형을 포함하는 하이브리드형 개발이 바람직

○ 무시멘트 콘크리트의 성능 목표에 관한 논의

- 강도 범위의 설정은 40MPa이 메인이며, 아파트 지하 등은 40~45MPa, 토목구조 암거 등은 35MPa 수준으로 설정
 - 무시멘트 콘크리트는 강도가 낮을수록 불리하며, 탄산화에도 취약해 이에 대한 대비 필요
- 무시멘트 콘크리트가 기존의 시멘트 콘크리트에 비해 가지는 명확한 장점을 부각시킬 필요
 - 수화열, 내화학적성 등 명백한 장점이 존재

○ 무시멘트 콘크리트의 경제성에 관한 논의

- 탄소 관련 비용의 증가를 예상했을 때 경제성이 있을 것으로 기대
 - 민간시장의 탄소크레딧의 증가, 탄소거래세 증가 등
- 인센티브 제도를 통해서 제도화하는 것이 경제성 확보에 가장 쉬운 방법
 - 아파트 시공 등에 일정 비율 의무화 등
- 향후 NOx나 SOx 관리의 강화 등으로 인해 시멘트 가격 상승이 예상되며, 시멘트 가격 상승은 무시멘트 콘크리트의 경제성에 긍정적 요인

○ 무시멘트 콘크리트의 현장 적용에 관한 논의(현장타설 / PC)

- 해외에 현장 타설 사례가 존재하나 국내 현장 타설은 현실적으로 어려운 실정
 - 호주의 와그너에서 현장 타설을 실시하는 케이스가 존재하나, 호주는 재료수급부터 시공까지 단일 회사가 전체를 총괄하는 시스템으로, 회사 소속의 품질 관리가 가능한 레미콘 기사가 레미콘을 운송하여 현장에서 추가 첨가제를 투입하는 방식으로 진행. 국내에서는 불가
 - 무시멘트 콘크리트는 작업 시간이 짧아 레미콘으로 사용하기에는 현재 어려운 실정
- PC, 모듈러 대상으로는 가능성이 충분하며 관련 국내 연구도 진행 중
- 현장타설 적용 공정으로는 터널 라이닝, 매스콘크리트, 지하외벽, 지하기초 등 부담이 적은 부분에 활용하는 것이 바람직할 것으로 예상

○ 과제 기간 내 실용화에 관한 논의

- 2~3년 내에 실용화 가능성을 현재 과제에서 타진하고 있으나, 조심스럽게 접근할 필요
- 국내 화력발전소 부산물들은 매년 물성치의 편차가 큰 편인데, 개발 재료의 재현성 문제의 해결이 필요

○ 새로운 소재를 기반으로 한 무시멘트 콘크리트에 대한 논의

- 과제 기간내 실용화하는 내용 외에, 고로슬래그 및 플라이애쉬 외 새로운 재료를 활용하는 시험실 레벨의 도전적인 연구도 필요

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2.1. 기획의 범위

□ 본 기획은 건설재료를 기반으로 탄소중립을 구현할 수 있는 혁신 기술개발을 범위로 함

- 탄소배출 규모가 큰 건설재료 중 기존 국가연구개발사업 등에서 다루지 않고 있는 레미콘, 도로 포장을 대상으로 하는 기술개발 사업을 기획
 - 탄소중립을 위한 건설재료 및 설계, 시공 기술과 관련하여, 국내외 기초자료 및 여건 분석, 기술 수요조사 등을 통해 이슈 및 문제를 설정하고, 핵심 이슈의 해결을 위한 문제해결 방향을 바탕으로 중점기술 분야를 설정
- 중점 추진 분야별로 상세 기획을 위한 사업 기본 설계 및 세부활동 기획을 수행하며, 기획 결과에 대하여, 예비 타당성 조사의 검토 항목을 바탕으로 사전 타당성 검토를 수행
 - 중점 추진 분야별로 사업 추진의 필요성 및 시급성, 정부지원의 필요성 등 사업 추진 논리를 설계하고, 이에 대한 사업 비전 및 목표 설정, 사업 구성, 연차별 기술개발 계획, 자원 투입 계획 등을 수립
 - 사업 기획 결과에 대하여, 예비타당성 조사 항목인 기술적·정책적·경제적 타당성 분석을 수행하여 기획 결과의 타당성을 검토

2.2. 국내외 환경 분석

2.2.1. 정책적 환경 분석

1) 탄소중립

- UN은 '92년 기후 변화에 관한 유엔 기본 협약을 시작으로 교토의정서, 파리협정과 같은 탄소중립 관련 정책을 지속적으로 채택
- '92년 UN은 온실 기체에 의해 벌어지는 지구 온난화를 줄이기 위해 기후 변화에 관한 유엔 기본 협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)을 채택
 - 환경 문제에 대한 국제적 관심 증가로 '92년 브라질 리우데자네이루에서 유엔환경개발회의가 개최되었으며, 이 회의에서 기후변화에 관한 유엔 기본 협약이 합의되어 '94년 3월 발효
 - 지구온난화현상에 의한 지구의 재난을 방지하여 인류의 활동과 모든 생물종의 멸종 위기를 사전에 예방하고자 대기중의 온실가스의 농도를 안정화시키는 것을 궁극적 목표로 설정
 - 기후 변화의 예측 및 방지를 위한 예방적 조치의 시행 및 모든 국가의 지속가능한 성장의 보장 등을 기본 원칙으로 구성
 - 우리나라는 '93년 12월 47번째로 가입하였으며, Non-Annex국가로 분류되어 국가보고서 제출 등 공동 의무사항만 수행

<표 2-1> 기후변화협약의 개요

궁극의 목적	온난화 방지를 위한 대기의 온실가스 농도의 안정화
모든 조약국가의 의무	1) 온실가스의 배출 및 흡수의 목록 작성과 정기적 갱신 2) 구체적인 대책을 포함한 계획의 작성 및 실시 3) 목록과 실시한 결과 또는 실시를 예정하고 있는 조치에 관하여 정보를 조약국 회의에 송부
선진국의 의무	온실가스의 배출량을 2000년까지 1990년 수준으로 감축하는 것을 목표로 함 1) 온난화 방지를 위하여 정책 조치를 강구한다. 2) 배출량 등에 관한 정보를 조약국회에 보고한다. 3) 개발도상국으로 자금을 공여하고 기술을 이전한다.
기후변화의 악영향에 대한 대처	개발도상국의 수용과 관심을 만족시키기 위하여 필요한 행위를 검토한다.
개발도상국에 대한 자금 메커니즘	지구환경설비를 개발도상국의 온난화대책에 지원하기 위하여 자금메커니즘으로 하여 지정

출처: 국가기록원 기록정보서비스(2007), 기후변화협약

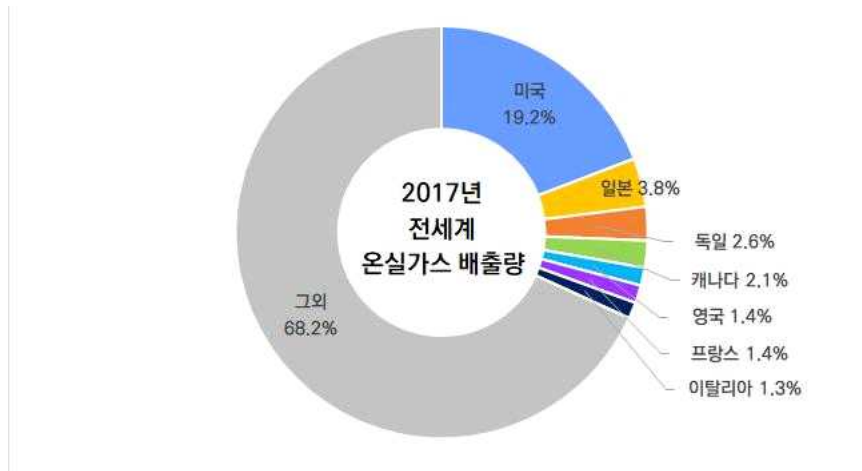
- '97년 12월 일본 교토에서 개최된 지구 온난화 방지 3차 당사국 총회에서는 기후변화협약의 구체적 이행 방안을 담은 기후변화에 관한 “국제 연합 규약의 교토 의정서(이하 교토 의정서)” 채택
 - 기존의 기후변화협약에서의 감축 의무만으로는 부족함을 인식하고, 주요 국가들의 온실가스 배출량 감축을 주 내용으로 하는 교토 의정서를 채택
 - 선진국들에 대해 강제성있는 감축 목표 설정 및 온실가스의 상품 거래의 가능성이 교토의 정서 채택의 주요 의의
 - 교토의정서는 선진국(Annex I)의 구속력있는 감축 목표 설정, 공동이행제도/청정개발체제 및 배출권거래제 등 시장원리에 입각한 새로운 온실가스 감축 수단의 도입, 국가간 연합을 통한 공동 감축목표 달성 허용 등이 주요 내용
 - 감축 목표 설정 수준 및 설정 방식, 공동이행제도, 청정개발체제 및 배출권거래제 도입 여부, 개발도상국의 의무부담문제, 흡수원의 인정 범위 등의 쟁점이 존재
- '15년 지구의 평균 온도가 산업화 이전에 비해 2℃ 이상 상승하지 않게 하는 것을 목표로 선진국뿐 아니라 개도국 등 다수의 국가가 참여하는 파리 협정을 체결
 - '20년 만료되는 기존의 교토의정서를 대체하고, 선진국과 개도국 모두가 참여할 수 있는 합의 체제 마련을 목적으로 발효
 - 산업화 이전 대비 지구 평균 기온 상승을 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지 및 1.5℃ 이하로 제한하기 위한 노력을 촉구
 - 국가별 기여방안(NDC)은 스스로 정하는 방향을 채택하였고, '23년부터 5년단위로 이행 및 장기 목표 달성 가능성 평가를 위한 전지구적 이행점검 등을 실시

<표 2-2> 교토의정서와 파리협정의 차이점

구분	교토의정서	파리협정
목표	온실가스 배출량 감축 (1차 5.2%, 2차 18%)	2℃ 목표, 1.5℃ 목표 달성 노력
범위	주로 온실가스 감축에 초점	온실가스뿐 아니라, 적응, 재원, 기술이전, 역량배양, 투명성 등 포괄
감축 의무국가	선진국(38개국)	모든 당사국(195개국)
목표 설정 방식	하향식	상향식
목표 불이행시 징벌여부	징벌적	비징벌적
목표 설정기준	특별한 언급 없음	진전원칙
지속가능성	공약기간 종료시점에 있어 지속가능성에 대한 의문	종료시점을 규정하지 않아 지속가능한 대응이 가능

□ 전 세계 온실가스 배출량에서 글로벌 경제 강국인 G7 국가가 차지하는 비중은 31.8%로 각국은 탄소중립을 선언하고 탄소중립 달성 경로에 대한 '30년 목표를 제시

○ 전 세계 온실가스 배출량('16년 기준 33,819백만 톤 CO₂eq) 중 G7 국가가 차지하는 비중은 31.8%('17년 기준 10,762백만 톤CO₂eq)로써 매우 높은 비중을 차지



출처: 녹색기술센터(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(II)”

[그림 2-1] G7 국가 포함 전 세계 온실가스 배출량('17년 기준)

<표 2-3> G7 국가 및 전체 탄소배출량('17년 기준)

국가	미국	일본	독일	캐나다	영국	프랑스	이탈리아
온실가스 배출량 (백만톤)	6,488 (19.2%)	1,289 (3.8%)	894 (2.6%)	714 (2.1%)	475 (1.4%)	471 (1.4%)	431 (1.3%)

출처: 녹색기술센터(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(II)”

○ G7 국가는 탄소중립 이행을 위해 탄소중립 목표 연도에 따른 감축목표를 제시

<표 2-4> G7 국가별 탄소중립 목표 달성시기 및 NDC

국가	미국	일본	독일	캐나다	영국	프랑스	이탈리아
탄소중립 목표 달성시기	2050년	2050년 (법제화)	2045년 (법제화)	2050년 (법제화)	2050년 (법제화)	2050년 (법제화)	2050년
'30년 NDC 대비 감축	'05년 대비 50% 감축	'13년 대비 46% 감축	'90년 대비 65% 감축	'05년 대비 45% 감축	'90년 대비 68% 감축	'90년 대비 40% 감축	'90년 대비 60% 감축

출처: 녹색기술센터(2021), “주요국 탄소중립 기술정책 동향(II)”

□ 전 세계적으로 탄소중립을 위한 정책을 추진하며, 특히 유럽과 미국이 적극적으로 참여

○ '21년 7월 EU 집행위는 '30년까지 탄소배출량을 '90년 수준대비 55%로 감축하기 위한 입법안 패키지인 “Fit for 55”를 발표

– '19년 발표된 유럽 그린딜의 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 정책 수단으로 제시

• 2050년까지 탄소중립 목표를 공식화하고 정책 분야별 추진 일정에 따라 계획을 발표·진행 중

– 온실가스 배출권거래제 적용 대상을 확대하고 기준을 강화

• 기존 EU ETS는 철강, 전기, 알루미늄, 화학, 시멘트, 역내 항공 등 온실가스 배출업종을 대상으로 하고 있으며, 2005년 시행 후 온실가스 배출량이 42.8% 감소

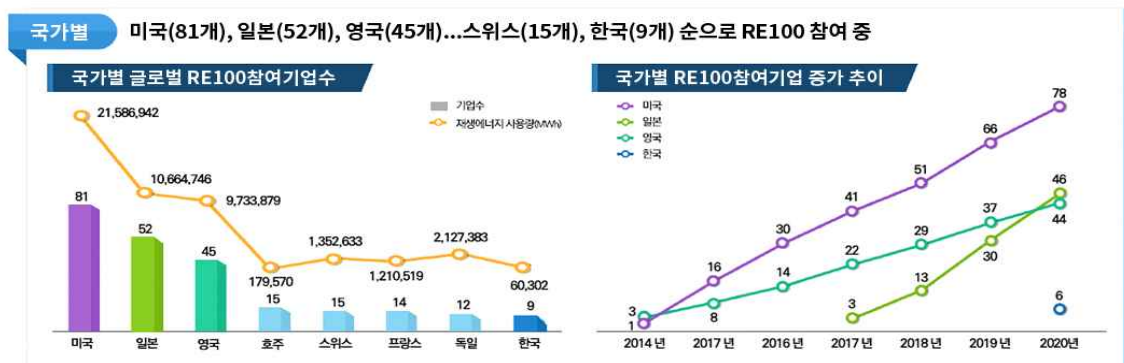
• 역내 단일시장을 보호하는 동시에 녹색전환 지원을 위해 에너지 제품에 대한 조세제도 개정안 제출

– 청정기술 사용 장려 및 화석연료 사용에 혜택을 주는 세금유예 폐지 예정

- 실제 에너지 함량에 따라 제품 세율이 결정
- EU 역외로 탄소수출을 최소화하기 위한 탄소국경제도 도입하여 '26년 부과 시작 예정
 - 온실가스 감축노력이 미흡한 국가에서 수입되는 제품에 대해 EU ETS와 연계하여 비용을 부담
 - CBAM은 '23년 잠정 발효를 통해 EU 역내 수입품의 온실가스 배출량을 신고하게 할 계획
- 바이든 정부는 취임식 당일 파리협정 복귀('21.1)를 선언하고, 공중보건과 환경보호 및 기후변화 대응을 위한 과학회복, 국내외 기후위기 대처에 대한 행정명령 서명하고 미국 탄소국경세 법안 발의
 - '21년 1월 27일 2050 탄소중립 목표에 대한 내용을 담은 행정명령에 서명함으로써 “기후변화”를 국가안보와 외교정책 중심 아젠다로 공식화
 - 2050 탄소중립 목표 제시 및 기후정상회의 전까지 2050 탄소중립 목표를 포함한 NDC 제출
 - 기후특사, 백악관 국가기후정책실, 국가기후태스크포스 신설
 - '21년 7월 19일 미국 민주당 상하원의원은 탄소국경세를 부과하기 위한 「공정한 전환 및 경쟁법」 법안을 발의, '24년 1월 1일 시행을 목표
 - 대상품목은 철강, 알루미늄, 시멘트 등 탄소배출량이 많은 수입품에 우선 적용되며 점차 확대

□ 전세계 주요기업들은 RE100에 자발적으로 참여하여 필요 전력을 재생에너지로 전환하는 추세

- RE100(Renewable Electricity 100%)은 국제 비영리 환경단체인 The Climate Group과 Carbon Disclosure Project가 연합하여 발족한 글로벌 재생에너지 이니셔티브로 기업이 필요한 전력량의 100%를 친환경 재생에너지원으로 사용하겠다는 기업들의 자발적인 참여를 독려
- RE100참여 기업은 '50년까지 친환경 재생에너지원을 통해 발전된 전력사용 100% 달성을 목표로 하며, 기업들이 자율적으로 목표를 수립하고 기업의 재생에너지 사용실적을 제3기관을 통하여 검증, 및 CDP위원회의 연례보고서를 통해 공개
- RE100 캠페인에 참여하고 있는 기업의 평균 재생에너지 100% 달성 목표 연도는 '28년으로, 주로 풍력과 태양광 중심으로 에너지를 조달하고 있음



출처 : RE100 정보플랫폼 홈페이지, https://www.k-re100.or.kr/doc/sub1_1_1.php

[그림 2] RE100 참여기업 추이

- RE100에 따라 참여기업들은 재생에너지(원자력 제외)로 전환을 해야하며, 기존의 석탄, 석유 등 온실가스를 배출하는 에너지원에서 탈피하고자 노력
- 특히, 대표적인 탄소 다배출산업인 철강과 시멘트산업에서는 고로에서 석탄을 사용하여 탄소 배출이 매우 많은데, 이를 해결하기 위해 기존의 고로를 전기로 방식으로 전환하거나 수소환원 제철 기술개발 등 적극적으로 석탄에서 탈피하고자 노력
 - 특히 철강산업은 철광석에서 철을 추출하는 환원과정에서 코크스가 환원제로 사용되고, 상공정 중 약 67%가 석탄을 환원제로 사용하는 고로 기반으로 생산수준과 온실가스 배출량 사이 양의 상관관계가 매우 높음

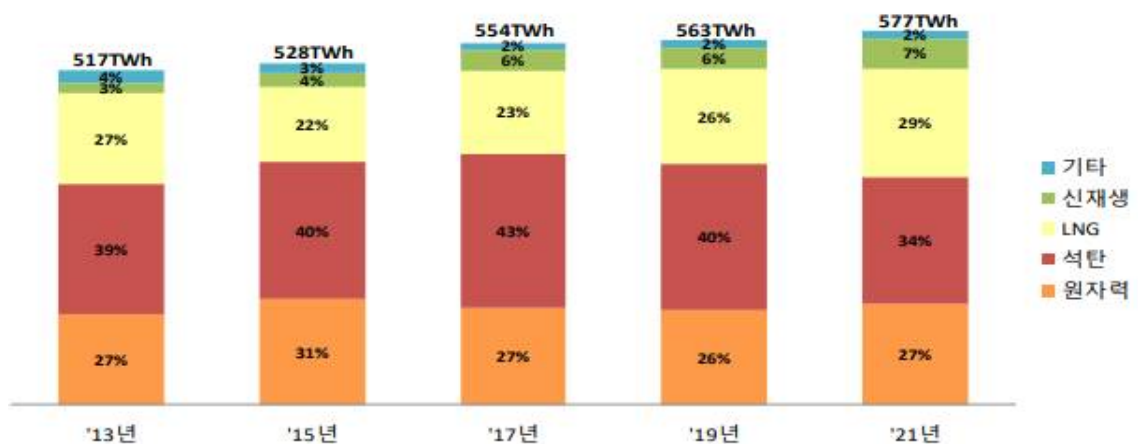
- 철강에서는 수소를 전면활용하여 전기로에서 수소환원제철 공법 개발을 위해 유럽을 선도로 전 세계적으로 다수 프로젝트 추진 중



출처 : 산업연구원(2022), 철강산업의 탄소중립 추진 전략과 정책과제

[그림 3] 용광로 연·원료의 구성

- RE100에서 재생에너지를 요하는 만큼 석탄을 주원료로 사용하고 있는 화력발전소들의 발전 비중을 줄여야 할 필요가 있으며, 우리나라에서도 이러한 비중을 줄이고자 노력 중
- 현재 우리나라의 발전량 비중은 석탄이 34%, LNG 29%, 원전 27%, 신재생 7%로 확인되며 점차 줄어들고 있으나 석탄에 대한 의존이 아직 높은 것으로 확인



출처 : 산업통상자원부(2023), 제10차 전력수급기본계획('22~'36)

[그림 4] 전력원별 전력량 비율

- 현재 우리나라 정부에서도 기존의 화력설비를 활용하여 무탄소 정원인 수소를 활용하는 무탄소 신전원 도입을 추진
 - 기존의 화력 발전·계통설비를 활용하고 LNG복합 발전기에 수소 50% 혼소 발전 및 점차 확대를 통하여 무탄소 신전원 도입
 - 석탄 발전에 암모니아 20% 혼소 발전을 추진하고 그 외 노후 석탄발전 감축 지속과 LNG 발전의 적정 설비규모 확보방안 등 검토

<표 5> 수소·암모니아 발전량 전망

구분	'30년	'36년
수소 발전량(TWh)	6.1	26.5
암모니아 발전량(TWh)	6.9	20.9

출처 : 산업통상자원부(2023), 제10차 전력수급기본계획('22~'36)

2) 콘크리트/시멘트 정책

(1) EU

□ 유럽에서는 '50년까지 짧은 시간내에 시멘트/콘크리트 산업에서의 탈탄소화 성과를 달성하기 위한 4가지 전략을 제시

○ 단기간에 수요를 충족하고 CO2를 감축할 수 있는 2가지 전략과 짧은 시간내에 구현하기 어려운 CCUS 기술 관련 2가지 저탄소 솔루션을 제시

- (시멘트 공장의 에너지 효율 개선을 통한 CO2 감축) 클링커 생산은 에너지 집약적 공정으로 에너지 효율 개선 및 대체연료 사용으로 CO2 감축 가능

- CO2 배출량의 30-40%는 석회석과 점토를 1500℃로 가열하는데 필요한 에너지에서 발생하고 나머지는 탈탄소화 화학 반응에 관련하여 발생
- 폐열을 회수하는 것으로 탄소배출량을 감소시킬 수 있으나 설비 개조를 위한 초기 투자 비용과 전기비용 등의 문제 존재
- 석탄 대신 바이오매스를 사용하여 탄소배출량을 감소시킬 수 있으나, 유기물질의 발열량이 상대적으로 적고 폐기물의 가용성이 지역마다 법률차이, 하수슬러지 사용으로 인산염 증가, 다른 여러 산업에서의 바이오매스 수요 증가로 가격 상승 등 다양한 문제 발생

- (클링커 함량을 줄여 시멘트에서 발생하는 CO2 감축) 현재 클링커 함량 95%를 대체하는 대체물질 사용 및 반응성 향상으로 시멘트 단위에서 CO2 감축 가능

- 클링커 대체를 위해 석회석, 플라이애쉬, 고로슬래그, 천연포졸란, Burnt Shale, 소성 포졸란 등에 대한 가용성을 논의 중
- 다만, 모든 대체물질의 문제점(반응 제한적, 생산량이 적은 확장성, 운송에 따른 물류 문제 등)을 내포하고 있어 그 가용성은 제한적
- 클링커 대체시 낮은 초기 강도 발현이 주요 문제를 이를 해결하기 위해 분쇄가 필요한데 이는 전기 소비의 주요 원인으로 탄소배출량 및 비용 문제 발생

- (시멘트 함량을 줄여 콘크리트에서 발생하는 CO2 감축) 콘크리트 배합설계 개선을 통해 시멘트 사용량 저감으로 콘크리트 단위에서 CO2 감축 가능

- 콘크리트 배합설계 개선으로 시멘트 함량을 줄여 탄소배출량을 감소시킬 수 있으나, 안전성 내구성 등의 문제로 검토 필요
- 골재 분포 최적화, 공극률 감소, 충전제 사용 등을 통해 평균적인 시멘트 사용량 감소가 가능하고, 혼화재 사용으로 물 사용량을 줄여 적은 시멘트로 유사한 작업성과 강도 발현이 가능하기 때문에 다양한 연구가 필요

- (콘크리트 설계 및 재활용을 통한 구조물에서 발생하는 CO2 감축) 구조물의 동일한 성능과 서비스를 제공하면서 필요한 콘크리트 양을 줄이고 재활용을 통한 CO2 감축 가능

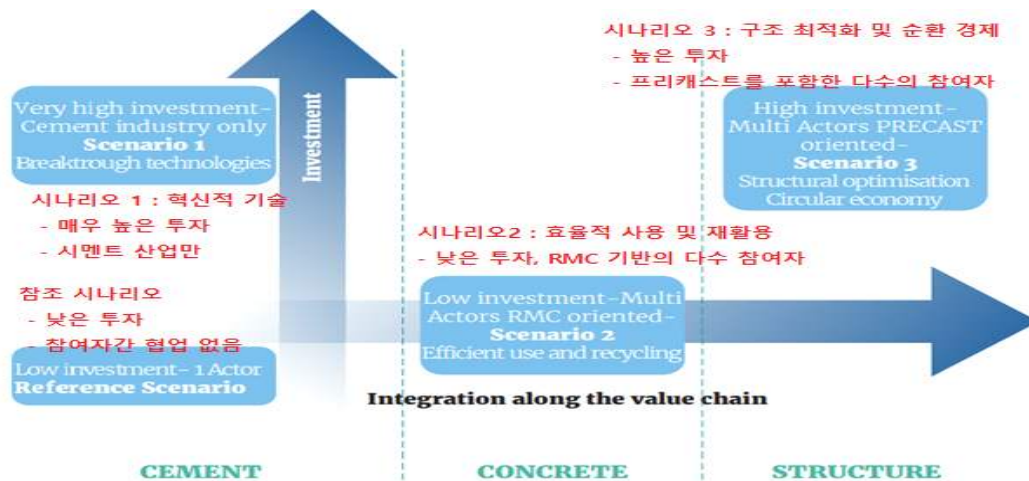
- 구조물의 콘크리트 양은 상당 부분 최적화되어 있으나 구조적 요인 외 운반, 현장사용성, 레미콘 크기 등 다양한 요인이 반영되면 구조적 관점에서 상당량 절감 가능
- 동일한 성능을 확보할 수 있는 다양한 구조적 요소를 개발하여 적용하면 콘크리트 양을 줄일 수 있고, 재활용을 통해 천연 골재 사용량 및 운송거리 등 절감이 가능

□ 보고서에서는 시멘트/콘크리트산업 참여자가 협업이 없고 설비 투자가 낮은 상황인 “참조 시나리오”를 바탕으로 3가지 시나리오를 제시하여 시멘트/콘크리트 산업 CO2 평가를 수행

○ 시나리오는 시멘트업체, 유럽 협회, 시공사 등의 행위와 다음과 같은 가설을 바탕으로 구성

- 건설 현장에서 생산성을 유지하는 것이 매우 중요하며, 낮은 시멘트 생산 비용 및 건축 비용 유지 또한 매우 중요

- 적절한 양의 자원에 접근하는 것이 쉽지 않은 경우가 많으므로 자원의 가용성이 매우 중요
- 성능 기반 표준은 많은 문제를 해결할 수 있지만, 현재는 시행되지 않으며, 시멘트 선택 및 국가 표준과 콘크리트 m3당 시멘트 kg으로는 CO2 감축이 제한적



출처: ETH Zurich(2018), "A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry_Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050"

[그림 2-5] 잠재적 미래 혁신을 위한 4가지 시나리오

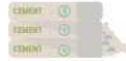
- (참조시나리오) 시멘트 생산업체가 적은 비용의 설비투자만으로 CO2를 감축하는 시나리오로 클링커 생산 설비 개선이 주요 수단
- 클링커 생산 설비의 열 효율 개선이 주요 감축 수단이며, 대체연료 사용 증가 및 시멘트 대체 물질 사용량이 일부 증가하는 시나리오
- '15년 실제 배출량 대비 '50년까지 15% CO2 감축이 예상되며, 실제 클링커 생산 설비 개선은 그 효과가 미미하여 4% 정도 향상할 것으로 예상

REFERENCE SCENARIO	DEGREE OF IMPLEMENTATION			
	2015	2030	2050	SCALE
Efficiency of clinker production 	80%	83%	84%	Clinker scale
Alternative fuels 	33%	40%	60% (No data IEA-CSI at EU level - global 17.5% in RTS - 30% in 2DS)	Clinker scale
Clinker substitution 	23%	30%	35% (No data IEA-CSI at EU level - global 34% in RTS and 40% in 2DS)	Cement Scale
CO₂ savings compared to 1990	40%	45%	55%	

출처: ETH Zurich(2018), "A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry_Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050"

[그림 2-6] 참조 시나리오에서의 기술별 잠재적 절감량 요약

- (시나리오 1) 공공 또는 민간의 많은 비용의 설비투자만으로 CO2를 감축하는 시나리오로 CCS 기술을 활용할 수 있는 설비 투자가 수요 수단
- CCS 기술과 클링커 대체 기술이 주요 감축 수단이며, CO2에 높은 세금이 부과되어 시멘트 업체가 설비 투자에 집중할 것을 예상
- CCS 25%와 대체 바인더 10%를 사용하면 '15년 실제 배출량 대비 '50년까지 25% CO2 감축이 예상되며, 시멘트업체의 관련 설비 투자가 이루어지면 35%까지 감축이 가능
- CCS 기술은 대규모 단위에서 검증된 기술이 아니고, 실제로 많은 비용의 설비 투자가 이루어져야 하기 때문에 25%까지 달성 여부는 의문

SCENARIO 1: BREAKTHROUGH TECHNOLOGY	DEGREE OF IMPLEMENTATION			
	2015	2030	2050	SCALE
Efficiency of clinker production 	80%	83%	84%	Clinker scale
Alternative fuels 	33%	40%	60%	Clinker scale
Clinker substitution 	23%	30%	35%	Cement
Carbon capture and storage 	0%	0-5%	25-50%	Clinker scale
Alternative binders 	0%	0-12%	10-25%	Cement
CO₂ savings compared to 1990	40%	50%	65-75%	

출처: ETH Zurich(2018), "A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry_Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050"

[그림 2-7] 시나리오1에서의 기술별 잠재적 절감량 요약

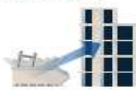
- (시나리오 2) 시멘트 업체, 콘크리트 업체, 폐기물 업체 등 다양한 주체가 분산하여 적정 비용을 투자하여 CO2를 감축하는 시나리오로 폐기물 관리 및 클링커 대체물질 활용이 주요 수단
- 시나리오 1과 달리 대규모 투자가 필요한 CCS 기술은 제외하고 클링커 제조 시 원료로 폐기물 에너지를 사용하거나 시멘트 및 콘크리트 생산시 시멘트 대체물질을 활용하는 것이 주요 수단
- '15년 실제 배출량 대비 '50년까지 25% CO2 감축이 예상되며, 콘크리트 재활용과 폐기물의 연료 재사용 등 폐기물 업체와 협력 가능성과 노력에 의해 결정
- 시멘트량을 줄이면서 기준을 충족시켜야 하는 기술적 어려움이 존재하고 표준 균질화 및 내구성 제약 조건 문제를 해결하면 더 큰 배출량 감소가 가능

SCENARIO 2: EFFICIENT USE AND RECYCLING	DEGREE OF IMPLEMENTATION											
	2015			2030			2050			SCALE		
	BMC	PRECAST	MORTAR	BMC	PRECAST	MORTAR	BMC	PRECAST	MORTAR			
Efficiency of clinker production 	80%			83%			84%					Clinker
Alternative fuels 	33%			40/ 60%			80%					Cement
Alternative raw materials including recycling fines 	3-4%			10%			20%					Clinker
Clinker substitution 	23%			30%	30%	30%	40%	40%	40%			Cement
Binder per m³ of concrete per MPa 	8 kg/ m³/ MPa			5 kg/m³/ MPa	5 kg/m³/ MPa	-	5 kg/m³/ MPa	5 kg/m³/ MPa	-			Concrete
Appropriate use of standards 	300 kg/m³			287- 292 kg/m³	-	-	275- 285 kg/m³	-	-			Concrete
CO ₂ savings compared to 1990	40%			50%			65%					

출처: ETH Zurich(2018), "A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry_Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050"

[그림 2-8] 시나리오2에서의 기술별 잠재적 절감량 요약

- (시나리오 3) 건설산업의 다양한 주체가 분산하여 많은 비용을 투자하고 밸류체인을 통합하여 CO2를 감축하는 시나리오로 시나리오 2의 기술과 프리캐스트 제품 및 구조 최적화를 포함
 - 시나리오 2와 동일한 감축수단에서 성능을 유지하면서 콘크리트 사용량을 줄이는 등의 수단 포함하며, 사용량을 감소시키기 위해 프리캐스트 제품 산업이 밸류체인 내로 통합
 - 시나리오 1에 비해 다양한 주체가 투자를 줄이면서 CO2를 감축하는 가장 유망한 시나리오로 '15년 실제 배출량 대비 '50년까지 30~35% CO2 감축이 예상
 - 구조적 요소 및 재사용 기술, 기존 레미콘 산업에서 사용되는 시멘트를 프리캐스트 제품으로 대체하는 등의 기술이 활성화되면 더 큰 감축 효과를 보일 것으로 기대

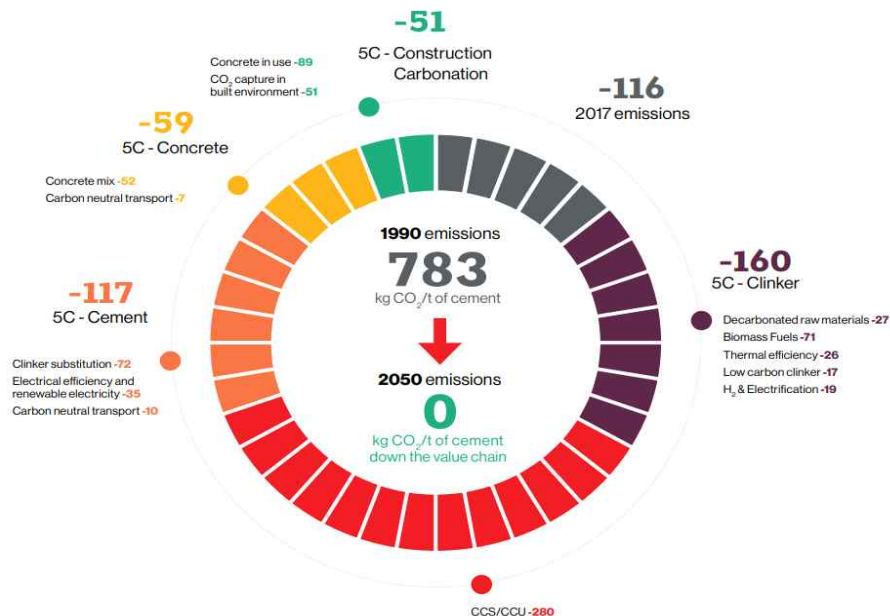
SCENARIO 3: STRUCTURAL OPTIMISATION	DEGREE OF IMPLEMENTATION									
	2015			2030			2050			SCALE
	RMC	PRECAST	MORTAR	RMC	PRECAST	MORTAR	RMC	PRECAST	MORTAR	
Efficiency of clinker production 	80%			83%			84%			Clinker
Alternative fuels 	33%			40-60%			80%			Cement
Alternative raw materials including recycling fines 	3-4%			10%			20%			Clinker
Clinker substitution 	23%			30%	30%	30%	40%	40%	40%	Cement
Binder per m³ of concrete per MPa 	8 kg/m³/MPa			5 kg/m³/MPa	5 kg/m³/MPa	—	5 kg/m³/MPa	5 kg/m³/MPa	—	Concrete
Appropriate use of standards 	300 kg/m³			292 kg/m³	—	—	285 kg/m³	—	—	Concrete
Re-use of cement 	N/A			—	0-10%	—	—	10-20%	—	Structure
Optimization 	N/A			10-20%			20-40%			Structure
CO₂ savings compared to 1990	40%			55%			75%			

출처: ETH Zurich(2018), "A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry_Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050"

[그림 2-9] 시나리오3에서의 기술별 잠재적 절감량 요약

- 유럽 시멘트협회인 CEMBUREAU는 '50년까지 CO₂ 감축 목표를 80%로 설정한 로드맵을 '13년에 구체화하였으며, '18년에 5C 접근방식으로 보완
- 5C접근방식이란 클링커(Clinker), 시멘트(Cement), 콘크리트(Concrete), 건설(Construction), (재)탄산화(Carbonation) 등 시멘트 산업의 가치사슬을 따라 저탄소 비전을 실현하는 접근방식을 통칭
 - 5C 접근방법은 먼저 C에 대한 목표를 정의하고, 각각의 5C에 대한 배출감소 영역과 이를 달성할 수 있는 핵심 기술 및 중추적인 역할을 할 정책수단을 식별하여 탄소중립 목표 달성에 기여

- CEMBUREAU 로드맵은 '25년까지 탄소중립 실현을 위해 '30년 중간 목표지점을 설정하여 시멘트 산업 총 CO2 배출량을 30% 감축하는 것을 제시하여 NDC 달성에 기여
 - '30년까지 클링커(61), 시멘트(35), 콘크리트(28), 건설 및 탄산화(71)을 달성하여 '90년 대비 25% 탄소배출량을 절감하는 것을 목표
 - '50년까지 추가적인 노력을 통해 클링커(160), 시멘트(117), 콘크리트(59), 건설 및 탄산화(51) 외에 CCUS 기술(280)을 적용하여 '90년 대비 탄소중립을 이행하는 것을 목표



출처 : CEMBUREAU(2020), Cementing the European Green Deal

[그림 2-10] 5C 2050 탄소저감 로드맵

- 시멘트 산업 탄소중립 이행을 위한 구체적인 방안으로 5C 접근방법을 제시
 - (클링커) 대체 탈탄소 원료의 개발, 연료대체 및 제로 연료 개발, 새로운 클링커 및 광물화제 사용, 열효율 증가, CCUS 기술 개발 및 적용 등으로 시멘트 산업에서 가장 배출량이 많은 클링커* 부문 탄소배출량을 감소
 - ※ 분쇄한 석회석과 기타 재료의 혼합물을 가열하여 생성되는 클링커는 소성과정에서 시멘트 제조의 60~65%의 탄소가 배출되며, 생산설비를 가열하는데 나머지가 탄소가 배출
 - (대체 탈탄소 원료 개발) 탄소 배출의 가장 큰 비중을 차지하는 원료를 탈탄소 원료로 바꾸는 것으로 철거 폐기물, 공랭식 슬래그, 폐석회에서 재활용된 시멘트 반죽 등이 일부 대체 가능하며, '30년까지 최대 3.5%, '50년까지 최대 8% 감축 목표
 - (연료대체 및 제로 연료 개발) 시멘트를 생산할 때 에너지를 재활용하고 다양한 폐기물에서 광물을 재활용한 바이오매스를 사용하여 '30년까지 연료를 60% 대체, '50년까지 연료를 90% 대체 목표
 - (새로운 클링커 및 광물화제 사용) 포틀랜드 시멘트 클링커와 화학적 구조가 다른 시멘트 클링커를 개발하여 석회석량을 줄이는 등 '30년까지 2%, '50년까지 5% 감축 목표
 - (열효율 증가) 가마의 냉각기에서 열을 회수하여 시멘트 공장에서 필요한 전기의 최대 20%까지 생산할 수 있는 가마로 개선하여 '30년까지 열효율 4%, '50년까지 14% 향상 목표
 - (CCUS 기술 개발) 시멘트 공장에서 CO2 배출량을 감축하는 핵심기술로 포집한 CO2는 고갈된 가스전 등에 영구저장하거나 재활용 콘크리트 골재와 광물 사용 등으로 활용하며, '50년까지 CCUS 기술을 사용하여 42% 탄소 배출량 감축 목표

- **(시멘트)** 클링커 저함량 시멘트 개발, 새로운 유형의 시멘트 개발, 전기 에너지 절감, 수송 절감 등으로 시멘트* 부문 탄소배출량을 감소
 - * 클링커가 생산되면 석고 및 클링커 대체물과 혼합한 다음 정확한 분말도로 분쇄하는데 분쇄 및 혼합에 전기가 사용되며, 들어가는 재료와 최종 시멘트 제품이 운송되면서 탄소가 배출
 - (클링커 저함량 시멘트 개발) '17년 기준 클링커 대 시멘트 비율은 77%로 23%는 수재 슬래그 및 비산회 등이며 천연 포졸란, 석회석, 실리카 등의 새로운 대체물질을 개발하여 '30년까지 클링커 비율을 77%에서 65%까지 감소시키는 것을 목표
 - (새로운 유형의 시멘트 개발) 칼슘 알루미네이트 시멘트, 소성 점토 석회석 시멘트 등 새로운 유형의 시멘트가 개발되었으며, Celitement 등을 포함하여 다른 유형의 비시멘트 기반 바인더도 연구 중으로 보통 포틀랜드 시멘트보다 탄소발자국이 20~30% 낮은 시멘트를 개발
 - (전기 에너지 절감) 가마의 예열기 설계 변경 및 분쇄를 개선하여 전기 효율을 개선하고 기존의 전기에너지를 재생에너지로 전환하여 '50년까지 6% 탄소 배출량 감소
 - (수송절감) 시멘트 제조에서 전체 배출량의 1.5%를 차지하는 수송에서 바이오디젤, 수소, 하이브리드 차량 등으로 전환하여 '50년까지 수송 부문 탄소배출량 0를 목표
- **(콘크리트)** 향상된 혼합설계 및 새로운 혼합물 개발, 저탄소 시멘트 및 시멘트 대체재 사용, 수송 절감 등으로 콘크리트* 부문 탄소배출량을 감소
 - * 콘크리트의 직접적인 CO2 배출은 대부분 시멘트 생산과정에서 배출되고 간접적인 CO2 배출은 콘크리트를 최종 사용자에게 운송하는 과정에서 발생
 - (향상된 혼합설계 및 새로운 혼합물 개발) 개선된 데이터 처리를 통해 정확한 양의 콘크리트를 현장에서 사용할 수 있도록 디지털화하며, 같은 성능을 유지하면서 시멘트 사용량을 줄이는 배합설계 개발 등을 통해 '30년까지 5%, '50년까지 15% 감축 목표
 - (저탄소 시멘트 및 시멘트 대체재 사용) 개발된 저탄소 시멘트의 사용량 증가나 비산회, 과립 슬래그, 실리카 폼 등의 대체재를 사용하여 탄소배출량 절감
 - (수송 절감) '50년까지 모든 운송 수단을 전기, 수소 또는 무공해 차량으로 대체
- **(건설)** 건물 에너지 효율 향상, 건물에 사용되는 콘크리트 감소, 해체를 위한 설계 등을 통해 건설* 부문 탄소배출량을 감소
 - * 콘크리트는 비용 효율적인 건설재료로 100년 이상의 수명, 내화성 및 에너지 효율성을 갖추고 있어 콘크리트 재료 자체 뿐만 아니라 건설 부문에서 배출량을 줄일 수 있는 기회를 제공
 - (건물 에너지 효율 향상) 콘크리트 열 질량 특성을 활용한 건물은 전력 사용 피크 기간동안 에너지 사용을 25~50% 감소 가능
 - (건물에 사용되는 콘크리트 감소) 건설재료의 내구성과 수명을 연장하여 내재 탄소를 감소하는 방안으로 건설 사업에서 콘크리트를 효율적으로 사용하면 사용량을 줄일 수 있어 '30년에는 콘크리트 사용량이 5~10%, '50년에는 10~30% 감소 가능
 - (해체를 위한 설계) 건물 수명이 다했을 때 해체하기 쉽도록 설계하여 해체비용을 절감하고, 건물을 신축할 때 재료를 재사용 가능
- **((재)탄산화)** 건축 환경에서 재탄산화, 재활용 콘크리트의 탄산화 등을 통해 탄소 흡수를 통해 추가적인 탄소 배출량 저감이 가능
 - * 콘크리트가 클링커 생산 중에 방출된 일부 CO2를 재흡수, 자연적으로 발생하는 CO2를 영구적으로 포집하는 등 새로운 탄소 흡수원 역할이 가능하여 밸류체인에서 배출량을 추가로 저감 가능
 - 자연적으로 재탄산화가 되면서 탄소 흡수가 가능하고 재활용 콘크리트 골재의 CO2 흡수를 통해 탄소 배출량 감소 가능
 - 감람석, 현무암 같은 천연광물을 부쇄 다시 탄산화도 가능

(2) 미국

□ 바이든 정부는 취임식 당일 파리협정 복귀('21.1)를 선언하고, 공중보건과 환경보호 및 기후변화대응을 위한 과학회복, 국내외 기후위기 대처에 대한 행정명령 서명

- '21년 1월 20일 공중보건과 환경을 보호하고 기후위기를 대처하기 위한 모든 정책수립에서 과학적 방법론을 활용하기 위하여 행정명령에 서명
 - 탄소중립과 관련된 내용으로 온실가스의 사회적 비용에 관한 기관 간 실무그룹 설립, 탄소사회적비용(SCC), 산화질소사회적비용(SCN), 메탄사회적비용(SCM)을 과학적 방식으로 분석, 키스톤 XL 파이프라인 프로젝트 중단 등이 포함
 - 키스톤 XL 파이프라인 프로젝트는 텍사스주와 캐나다 앨버타주 사이의 하루 80만 배럴의 원유를 수송하는 파이프라인 건설공사로, 기후변화에 악영향을 주고 멸종위기종의 서식지를 파괴하는 등 여러 가지 환경문제가 제기
- '21년 1월 27일 2050 탄소중립 목표에 대한 내용을 담은 행정명령에 서명함으로써 “기후변화”를 국가안보와 외교정책 중심 아젠다로 공식화
 - 2050 탄소중립 목표 제시 및 기후정상회의 전까지 2050 탄소중립 목표를 포함한 NDC 제출
 - 기후특사, 백악관 국가기후정책실, 국가기후태스크포스 신설
 - 연장 청정 전기 및 차량 조달 전략 수립
 - '30년 목표 해상풍력 보급확대를 위한 공유지 및 연안의 위치 확인 및 허가절차 검토
 - 연방정부 소유 토지와 수역 내 새로운 석유 및 천연가스 개발 중지, 화석연료보조금 중지 조치

□ 미국에서는 일자리 창출 및 기후위기대응을 위한 미국 혁신계획 수립('21.2)

- '21년 2월 11일 탄소중립을 위한 R&D 투자를 가속화하기 위해 ARPA-C를 출범하고, 국가기후태스크포스 내부에 국가기후혁신위킹그룹을 신설하는 등의 투자계획을 제시
 - 국가기후태스크포스 내부에 국가기후혁신위킹그룹(Climate Innovation Working Group)을 신설하고, ARPA-C(Advanced Research Projects Agency-Climate)를 통해 탄소중립 관련 연구개발 촉진 예정
 - ※ 국가기후혁신그룹에서 논의될 10대 기후혁신기술: ①탄소중립 건물, ②1/10 비용저감한 에너지저장시스템, ③최첨단 에너지시스템 관리기술, ④저비용/저탄소 차량 및 교통시스템, ⑤저탄소 항공기 및 선박연료, ⑥온실가스 효과없는 냉매, 공조, 히트펌프, ⑦철강, 콘크리트, 화학 공정 저탄소화, ⑧無탄소배출 수소, ⑨CO2 토양 저장기술, ⑩CO2 직접포집기술(DAC)

□ 미국은 탄소국경세 법안 발의하는 등 탄소배출량이 많은 시멘트 등에 추가세금을 부과시도

- '21년 7월 19일 미국 민주당 상하원의원은 탄소국경세를 부과하기 위한 「공정한 전환 및 경쟁법」 법안을 발의, '24년 1월 1일 시행을 목표
 - 대상품목은 철강, 알루미늄, 시멘트 등 탄소배출량이 많은 수입품에 우선 적용되며 점차 확대

□ 미국의 포틀랜드 시멘트 협회(PCA)에서는 탄소중립 로드맵(Roadmap to Carbon Neutrality)을 발표

- 미국의 포틀랜드 시멘트 협회에서는 콘크리트의 생산 및 사용에 따른 전주기적 관점(클링커 생산, 콘크리트 사용, 구조물의 생애주기, 구조재료의 사용 중 탄산화 등)에서 2050년까지 시멘트 산업 탄소중립 달성을 목표
 - 시멘트 공장에서 생산 단계서 적용할 수 있는 기술로 시멘트 내 석회석 사용량의 꾸준한 증가, 바이오매스 및 부산물 기반 소성원료 사용, 구조물의 에너지 효율증진, CCUS 기술 개발 및 새로운 믹스 디자인 개발 등을 제시
 - 구조물 건설 단계에서는 콘크리트 배합 최적화, 신생에너지 사용 증가, 재활용 재료 사용 증가

및 과도한 구조물 설계 지양을 제시

- 콘크리트 기반 구조물 사용 단계에서는 에너지 효율 건물 구축에 대한 인센티브 부여, 콘크리트 기반 도로 활용으로 차량 에너지 효율 증진, 유지보수 절감, 콘크리트 재활용 기술 및 탄산화를 통한 이산화탄소 고정화 등 제시

○ 로드맵 보고서에서는 시멘트-콘크리트 분야의 밸류체인 5대 고리로 표현하고 있으며, 특히 탄소 포집 없이는 시멘트-콘크리트 분야에서 탄소중립이 불가능하다고 제시

- 밸류체인 5대 고리는 클링커 생산, 시멘트 제조 및 선적, 콘크리트 생산, 건축 환경 구축, 콘크리트를 탄소 흡수원으로 사용한 이산화탄소 포집 등으로 제시

- 시멘트 탄소중립 중 탄소포집을 중요하게 강조



출처 : PCA 홈페이지, <https://www.cement.org/sustainability/roadmap-to-carbon-neutrality>

[그림 2-11] 시멘트-콘크리트 분야 탄소중립을 위한 밸류체인 5대 고리

□ FHWA(Federal Highway Administration, 미연방고속도로관리국)는 포장도로의 설계, 건설 및 유지관리에서 온실가스 배출 정량화 등을 목표로 Climate Challenge를 시작

○ FHWA는 Climate Challenge를 통해 포장 도로의 설계, 건설 및 유지관리를 위한 재료 및 사례에서 온실가스 배출을 정량화하기 위한 자금 및 기술 지원을 제공

- 포장 구조의 지속 가능성 개선 등을 통하여 순 배출 제로가 목표

○ 환경 제품 선언(Environmental Product Declarations (EPDs))과 생애주기평가(Life Cycle Assessments (LCAs)) 등을 통해 사례별 배출량에 대해 분석

- EPD는 환경 영향을 전달하고, 포장 도로의 설계, 건설 및 유지관리에서의 재료 및 사례에 대해 환경 영향을 평가하고 온실가스 배출량을 정량화하는데 사용

- LCA는 원료 생산에서 수명 종료까지의 전 생애주기동안 모든 투입 및 산출 조사를 통해 제품의 총 환경 부담을 평가하기 위한 방식

- 포장의 경우 재료생산, 설계, 시공, 사용, 유지 및 재활용, 수명종료의 단계로 구성

○ 온실가스 배출량 정량화를 위해 다양한 활동을 수행

- LCA 및 EPD 사용 촉진을 위한 교육
- 지속가능한 포장도로 접근 방식 구현을 위한 표준 및 사양 개발 및 개선
- 데이터베이스 구축, 기술·전략·재료에 대한 파일럿 프로젝트 수행

○ 27개 기관의 35개 이상의 프로젝트에 대해 25개 주 교통부에서 710만 달러를 제공

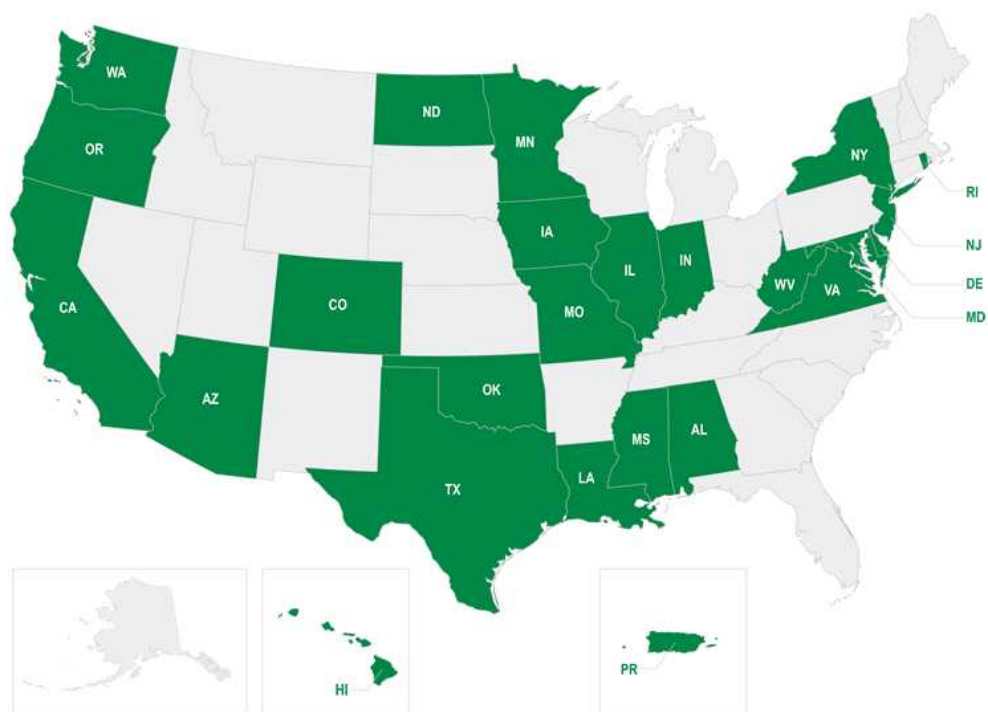
<표 2-6> 기후 챌린지 참가자 및 프로젝트 설명

주	사명	내용	지원 자금(달러)
앨라바마	Alabama DOT	재활용 재료, 중온 아스팔트 등을 활용한 BMD 아스팔트 혼합물의 생산 및 건설에서 발생하는 배출량 정량화	312,000
애리조나	Arizona DOT	자원 사용, 에너지, 배출 정량화 및 LCA, PCR, EPD를 사용하여 애리조나 DOT 포장 재료 및 성능을 탐색	280,000

캘리포니아	Caltrans	콘크리트, 아스팔트, 골재 플랜트의 EPD에 대한 액세스 제공 온도 감소 생산 및 화학적 중온 아스팔트 생산 EPD와 균형 혼합 설계 원리를 사용하여 RAP 재생 아스팔트가 포장 성능 및 온실가스 배출에 미치는 영향 조사	312,000
콜로라도	Colorado DOT	HB 1303과 관련된 지속적인 구형 활동	312,000
델라웨어	State of Delaware DOT	포장 도로 건설 유지관리 및 보존시 탄소 배출 정량화	312,000
하와이	State of Hawaii DOT	하와이의 플라스틱 재활용 연구 시설	312,000
일리노이	Illinois DOT	일리노이 주 지역 도로 건설에 사용되는 백운석 채석장 부산물의 현장 실증	312,000
인디애나	Indiana DOT	인디애나 포장도로를 위한 EPD 벤치마킹 프로젝트	312,000
아이오와	Iowa DOT	아이오와의 지속가능한 포장 사례 개선을 위한 EPD 및 LCA 활용 재료 설계 결정의 배출 및 관련 영향 정량화	312,000
루이지애나	Louisiana DOT & Development	루이지애나 주 포장 도로의 수명주기 정보 모델 개발을 통한 지속가능성 연구	312,000
메릴랜드	Maryland DOT MD Port Administration	아스팔트 및 콘크리트 포장 프로젝트의 정보에 근거한 배출 감소 전략 준설 퇴적물로 건설된 고속도로 침투 둔덕의 지질환경의 LCA 분석	312,000
미네소타	Minnesota DOT	미네소타 교통부의 포장 도로 인프라에서 내재 탄소를 줄이기 위한 LCA 사용 추진	312,000
미시시피	Mississippi DOT	상온 아스팔트로 건설된 아스팔트 포장에 대한 LCA 수행	312,000
미주리	Missouri DOT	미주리주 로드맵 : EPD 통합을 위한 구현 프레임워크 필요성에 대한 평가	312,000
뉴저지	New Jersey DOT	뉴저지 포장 도로의 지속가능성 향상을 위한 EPD 및 LCA 활용 뉴저지 아스팔트 포장 덧씌우기의 지속가능성 개선	204,000
뉴욕	New York State DOT	성능 혼합의 잠재적 환경 이점	312,000
노스 다코타	North Dakota DOT	지속가능한 포장 도로 평가	240,000
오кла호마	Oklahoma DOT	LCA 프레임워크를 통하여 오кла호마에서 BMD 및 중온아스팔트 사양 및 인센티브의 영향 평가	283,448
오리건	State of Oregon DOT	아스팔트 플랜트 재생 가능한 프로판 개념 증명 및 LCA 개발 도로 상황 악화가 도로 사용자 비용 및 온실가스 배출에 미치는 영향 LCA 프로그램 구현 및 지원	312,000
푸에르토리코	Puerto Rico Highway and Transportation Authority	LCA 및 EPD에 대한 실증 워크숍 푸에르토리코 LCA 및 EPD 개발 계획	120,000
로드 아일랜드	Rhode Island DOT	탄력있는 재포장 - 투과성 포장 도로 파일럿	312,000
텍사스	Texas DOT	전 생애 LCA를 위한 역량 개발	312,000

버지니아	Virginia DOT	버지니아 친환경 포장 도로의 수량화	312,000
웨스트버지니아	West Virginia DOT; Division of Highways	웨스트버지니아에서 지속 가능한 아스팔트 혼합 설계 솔루션 조사	79,671
워싱턴	Washington DOT	LCA를 사용하여 워싱턴 DOT의 포장 도로 인프라에 내재된 탄소 감소	312,000
–	시애틀 시	시애틀 시 자본 프로젝트의 내재 탄소 감소	–
–	뉴욕 및 뉴저지 항만청	LCA 데이터 격차 및 개선 저탄소 아스팔트 지원 2006년 벤치마킹 표준	–
총계			\$7,135,119

출처 : FHWA Climate Challenge - Quantifying Emissions of Sustainable Pavements
(<https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/climatechallenge/projects/index.cfm>)

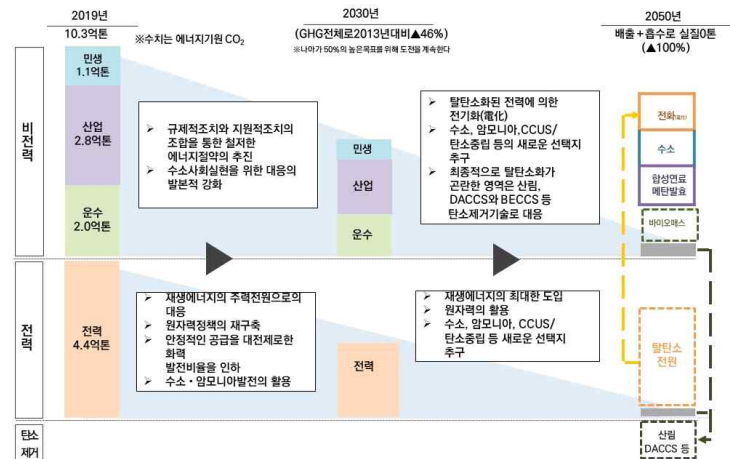


[그림 2-12] FHWA Climate Challenge 참가 주

(3) 일본

□ 2050 탄소중립에 따른 녹색성장전략 수립('20.12) 및 수정·구체화('21.6)

- '20년 12월 탄소중립 선언을 이행하기 위한 국가계획으로 「2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략」을 수립하고, '21년 6월 2030년 온실가스 감축 목표 상향계획에 따라 전략을 구체화하여 재공표
 - '50년 전력분야 탈탄소화를 위해 재생에너지, 원자력, 수소·암모니아, CCUS 활용
 - '50년 전력수요가 30~50% 증가할 것으로 가정할 때, 재생에너지 50~60%/원자력 및 CCUS/탄소리사이클을 활용한 화석연료 30~40%/수소·암모니아를 10%로 에너지믹스를 개선
 - 최종적으로 탈탄소화가 어려운 영역은 산림, 대기중 직접 탄소포집저장(DACCS), 바이오 에너지 탄소포집저장기술(BECCS) 등 CO2 제거기술로 대응



출처: 일본 정부(2021), "2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략"

[그림 2-13] 일본 2050년 탄소중립 실현을 위한 에너지믹스 도식화

- 목표달성을 위한 실행계획으로써 2050년까지 중점 산업분야별 로드맵에 연구개발, 실증단계, 도입확대단계, 자립상용화단계로 구분하여 목표를 설정하고, 이에 대응하는 정책수단 제시
- 탄소중립에 대한 목표 달성에서 기업의 투자를 유도하기 위하여 예산, 세제, 금융, 규제개혁·표준화, 국제제휴 등 정책 도구를 총동원
- 성장이 기대되는 14개 산업을 선정하고, 분야별 목표, 현재의 과제와 향후 대응 전략 제시
 - 14개 산업 : 해상 풍력, 암모니아 연료, 수소, 원자력, 전기차·ESS, 반도체·IT, 선박, 물적·인적 유통 및 토목 인프라, 식료·농림수산물, 항공기, 탄소재 활용, 주택·건축물 및 차세대 태양광, 자원 순환, 일상생활

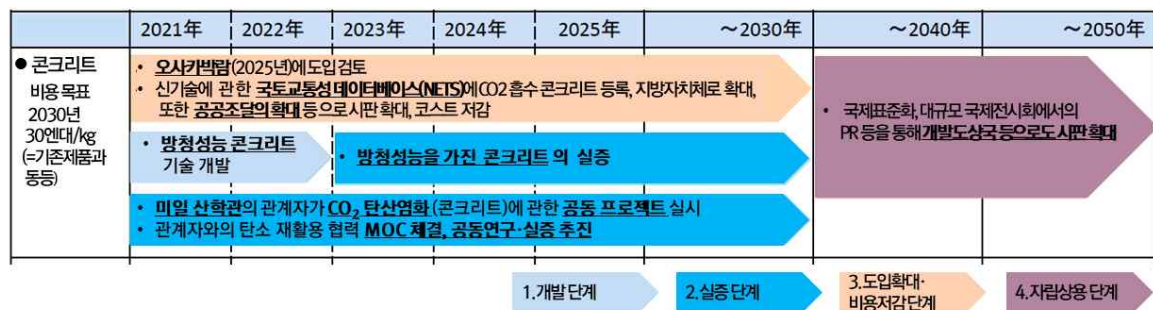


출처: 経済産業省, "2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略", 2020.12.25.

[그림 2-14] 일본 탄소중립 실현을 위한 녹색성장전략의 분야별 실행계획

○ 특히, 일본 건설 관련 산업은 일본 전체 산업에서 약 4%의 탄소배출량을 차지하고 있고 이 중 건설구조재료로 가장 많은 양이 사용되고 있는 시멘트-콘크리트 분야의 탄소배출 감소는 중요한 과제로 인식

- 탄소중립을 실현하기 위해 시멘트-콘크리트 분야에서 추진하는 전략은 혼화재료 등의 산업부 산물을 적극적으로 활용하는 것은 부족하고, 시멘트 제조 시 탄소 분리 및 회수, 그리고 회수 한 탄소를 재활용하는 등 여러 가지 기술개발을 추진
- 건설산업의 탄소배출을 줄이기 위한 CO₂ 흡수 콘크리트는 탄소재활용 산업에 포함되어 2030년 까지 비용저감 기술, 2050년까지 방청성능을 가진 제품개발 및 적용 확대를 목표로 하고 있음
 - (현황과 과제) 기 개발되어 일부 상용되어 있는 제품 「CO₂-SUICON」이 있으나, 높은 제조단가(기존 제품의 약 3배(100엔/kg)), 콘크리트 내부의 철근부식 문제로 용도가 한정, 관련 시장은 2030년 시점에서 약 15~40조 엔으로 예상
 - (향후 대응 전략) 2025년 오사카박람회 등에 도입함으로써 공공조달을 확대하고, 국제표준화와 대규모 국제전시회에서 PR 등을 통해 아시아 시장으로 확대가 목표
 - 2030년까지 기존 콘크리트와 동등한 가격(30엔/kg) 수준으로 제조비용 절감, 2050년까지 방청성능을 가진 신제품 개발로 용도·시판 확대가 목표
- 활발하게 성장할 것으로 기대되는 아시아 지역에 대한 시멘트-콘크리트 수요 확대에 대응하여 탄소중립 기술을 체계화를 통해 국제적 통용이 가능한 각종 기술 표준화에 대한 투자도 진행 중



출처: 経済産業省, “2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略”, 2020.12.25.

[그림 2-15] CO₂ 흡수 콘크리트의 로드맵

(4) 대한민국

□ 윤석열 정부는 120대 국정과제에서 제조업의 그린전환 가속화를 통한 저탄소 시대 선도를 약속

- 윤석열 정부 120대 국정과제는 윤석열 정부의 국정기조를 반영한 계획
 - 윤석열 정부의 국정비전은 “다시 도약하는 대한민국, 함께 잘 사는 국민의 나라”로 이를 달성하기 위한 국정목표로 정치, 경제, 사회, 미래, 외교안보, 지방시대를 제시
- 윤석열정부는 120대 국정과제를 제시하며, 국정운영을 약속하고 있으며, 경제 국정목표인 “민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제” 국정목표에서 제조업의 그린전환에 대한 지원을 명시
 - 약속5 “핵심전략산업 육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다”의 국정과제23 “제조업 등 주력산업 고도화로 일자리 창출기반 마련”은 저탄소 시대를 선도하는 제조업의 그린전환을 가속화 명시
 - 제조업의 그린전환의 내용으로 주력산업의 탄소중립 한계기술 돌파를 위한 전용 R&D 사업 신설, R&D 시설투자 세액공제 대상 확대 등 지원 강화
 - 중소·중견기업 대상 클린팩토리 구축 및 탄소 다배출산업 집적 지역의 기업·근로자 대상 정의로운 저탄소 전환 지원사업 추진

 “다시 도약하는 대한민국, 함께 잘 사는 국민의 나라”를 위한 윤석열정부 국정운영의 설계도 마련	
정치 행정	[국정목표 1] 상식이 회복된 반듯한 나라
경제	[국정목표 2] 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제
사회	[국정목표 3] 따뜻한 동행, 모두가 행복한 사회
미래	[국정목표 4] 자율과 창의로 만드는 담대한 미래
외교 안보	[국정목표 5] 자유, 평화, 번영에 기여하는 글로벌 중추국가
지방 시대	[국정목표 6] 대한민국 어디서나 살기 좋은 지방시대

출처 : 대한민국 정부(2022), 윤석열정부 국정계획

[그림 2-16] 윤석열정부 120대 국정계획의 기본구조

□ 국내에서는 「탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」을 수립하여 탄소중립 이행 노력

- 우리나라에서는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」에 따라 20년을 계획기간으로 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획('23~'42)(이하 '탄소중립녹색성장계획')을 수립하며, 5년마다 연동계획으로 수립·시행
 - 동 계획은 「국가 탄소중립·녹색성장 전략」의 하위계획으로, 동 계획에 따라 「중앙 지속가능발전 기본계획」, 「전력수급 기본계획」 등 탄소중립기본법에 명시된 중장기 행정계획이 수립

- 탄소중립녹색성장계획은 탄소중립·녹색성장을 위해 3대 정책방향과 4대 전략 및 12대 과제를 제시
 - 동 계획의 전략 목표는 “탄소중립·녹색성장, 글로벌 중추국가로의 도약”으로 설정하였으며, 경제·사회구조 모든 영역에 대한 실천, 소통·공감·협력을 통한 전환, 저탄소 산업 생태계 육성을 통한 혁신주도 탄소중립 등 3가지 정책방향을 제시
 - 동 계획은 4개의 전략과 12개의 과제 제시를 통해 탄소중립과 녹색성장의 구체적인 방향을 제시
 - 구체적 효율적 방식으로 온실가스를 감축하는 책임감 있는 탄소중립 전략에서는 원전과 재생에너지의 조화, 산업구조 전환, 국토의 저탄소화 과제를 추진
 - 민간이 이끌어가는 혁신적인 탄소중립·녹색성장 전략에서는 기술혁신·규제개선, 핵심산업 육성, 재정지원·투자확대 과제를 추진
 - 모든 사회구성원의 공감과 협력을 통해 함께하는 탄소중립 전략은 에너지소비절감, 지방 중심, 산업·일자리 전환 과제를 추진
 - 기후위기 적응과 국제사회를 주도하는 능동적인 탄소중립 전략에서는 기후적응기반 구축, 국제사회 선도, 이행관리 과제를 추진



출처 : 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획

[그림 2-17] 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획 비전체계

- 탄소중립 실현을 위해 탄소중립녹색성장계획에서는 시멘트의 저탄소화를 추진하는 과제들을 제시
 - 탄소중립녹색성장계획의 산업부문에서는 시멘트 관련 탄소중립 실현 핵심기술 확보 및 상용화를 제시하고 있으며, 기업 투자 부담 경감을 위해 지원을 명시
 - 해당 추진과제에서는 저온소성, 탄산염자원화, 반응경화 제조기술 등과 관련된 시멘트 기술을 제시
 - 또한, 중소 중견기업의 친환경 설비 및 생산설비 보급의 일환으로 저온소성 등 시멘트 설비투자 지원 등 명시

- 배출권거래제의 대상업종으로 시멘트를 포함하고 있으며, 이에 대한 배출효율기준 할당 확대를 명시
- 동 계획의 CCUS 부문에서는 광물탄산화 기술분야에서 시멘트 및 건설소재 제품을 개발을 위한 범부처 예타사업 기획을 추진 명시
 - 시멘트 및 건설소재 관련 CCU 화학제품으로 CO2 양생 및 반응경화시멘트, CO2 광물화 건설소재 등의 제품을 제시

□ 2024년도 국가연구개발 투자방향 및 기준에서는 탄소다배출 업종의 원료 및 원료 전환을 명시

- 과기부에서 발표한 '24년도 국가연구개발 투자방향 및 기준에서는 3대 분야 8대 중점투자방향을 통하여 “임무중심의 전략적 투자와 적극적인 민·관 협업을 통해 지속가능한 미래성장과 경제도약의 기반을 확충”을 달성하고자 수립
- 동 계획에서는 기술주권 확립과 미래성장 기반 강화, 과학기술 기반의 산업대전환을 통한 경제도약, 사회의 지속가능성 확충이라는 3대 분야의 투자방향을 설정



출처 : 과기부(2024), 2024년도 국가연구개발 투자방향 및 기준

[그림 2-18] '24년 정부연구개발 투자방향 및 기준

- '24년도의 국가연구개발 투자방향의 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장동력화 중점투자방향에서는 저탄소생태계를 위해 시멘트 등 탄소 다배출업종의 연료, 원료의 전환, 공정 혁신 및 설비 전환 등 투자 확대를 명시
- 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장동력화의 세부 내용인 산업, 수송, 건물 부문별 탄소저감 및 에너지 수요 효율화에서는 시멘트에 대한 원료 및 원료 전환에 대한 내용을 직접적으로 명시

□ 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('23~'32)에서는 탄소중립형 건설재료 개발을 명시

- 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획은 제2차 국토교통과학기술 육성법에 따라서 국토교통과학기술을 체계적으로 진행하기 위한 중장기 계획
 - 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획은 '23년부터 '32년까지 “기술혁신을 통한 공간과 이동의 패러다임 대전환”이라는 비전하에 4개의 전략과 3가지 추진방향을 제시
 - 국토교통 미래대응 및 현안해결, 혁신 역량 강화를 위한 추진방향으로 디지털 대전환, 기후위기 대응, 국민 안전·편의를 제시
 - 국토교통 미래대응 및 현안해결, 혁신 역량 강화를 위한 추진전략으로 ①초연결 국토도시 공간 혁신, ②미래형 모빌리티 체계 대전환, ③지속가능한 국토교통 기반시설 고도화, ④국민이 참여하는 창의적 생활환경 조성, ⑤R&D를 통한 산업혁신 기반 조성을 제시
- 지속가능한 국토교통 기반시설 고도화 전략의 스마트 디지털 건설 과제에서는 고효율 스마트 재료를 개발을 명시
 - 고효율 스마트 재료 개발의 추진방향은 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소배출 저감 재료 등 미래 건설산업형 선도형 건설재료 확보를 내용으로 하며, 탄소중립형 건설재료의 개발을 명시

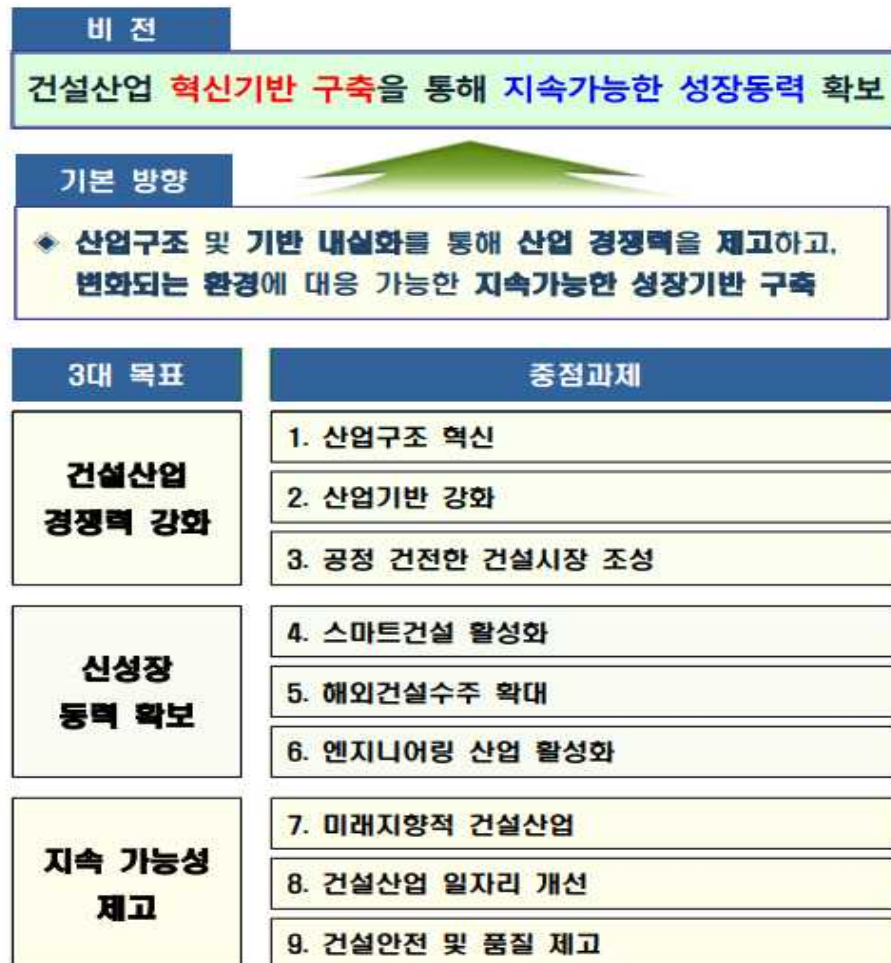


출처 : 국토교통부(2023), 제2차 국토교통과학기술 연구개발 기본계획 비전체계도

[그림 2-19] 제2차 국토교통과학기술 연구개발 기본계획 비전체계도

□ 제6차 건설산업진흥 기본계획('23~'27)에서는 저탄소 콘크리트의 시장 확대를 추진

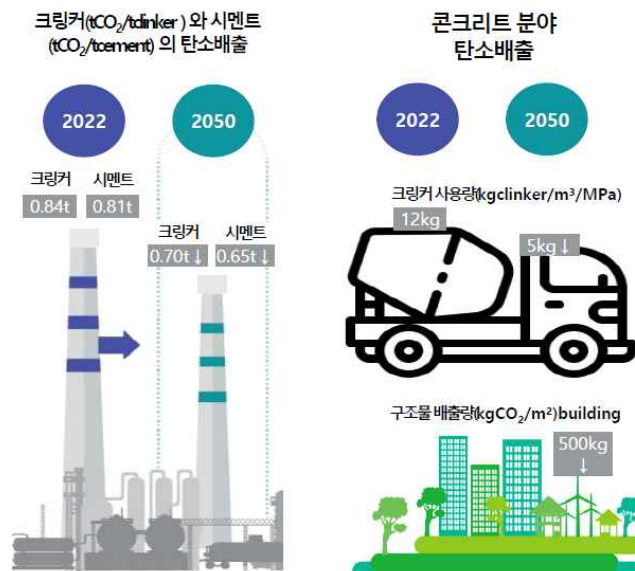
- 제6차 건설산업진흥 기본계획은 건설산업기본법에 따라 건설산업의 중장기 발전 로드맵을 제시하기 위한 5년 단위의 법정계획으로, 건설산업 분야별 대책 및 계획들을 수립
 - 제6차 건설산업진흥기본계획은 “건설산업 혁신기반 구축을 통해 지속가능한 성장동력 확보”라는 비전 하에 건설산업 경쟁력 강화, 신성장 동력 확보, 지속가능성 제고 등 3대 목표를 제시
 - 건설산업 경쟁력 강화는 산업구조 혁신, 산업기반 강화, 공정 건전한 건설시장 조성이라는 중점과제를 추진
 - 신성장 동력확보는 스마트건설 활성화, 해외건설수주 확대, 엔지니어링 산업 활성화 등 3개의 중점과제를 추진
 - 지속가능성 제고는 미래지향적 건설산업, 건설산업 일자리 개선, 건설안전 및 품질 제고 등의 중점과제를 제시
- 동 계획에서는 지속가능성 제고를 위하여 공공분야의 저탄소 콘크리트 등의 활용을 확대하여 친환경 시장을 확대하기 위한 계획을 추진
 - 미래지향적 건설산업 중점과제 내의 친환경 건설사업화 세부과제에서는 친환경 자재 수요 증가에 대비한 친환경 자재의 성능·품질 확보 및 공급기반 확대를 추진하며, 이를 위해 저탄소 콘크리트 등의 활용 확대를 통한 시장확대를 목표
 - 또한, 건설자재 친환경성 제고 및 품질향상을 위한 기술개발을 추진



출처 : 국토교통부(2023), 제6차 건설 산업진흥 기본계획

[그림 2-21] 제6차 건설산업진흥 기본계획 비전체계도

- 한국콘크리트학회는 “Concrete Vision 2050”을 통해 콘크리트 분야의 탄소배출 감축 목표를 제시
- '24년 2월 한국콘크리트학회 특별위원회에서는 Smart, Safety, Green (SSG) Concrete Technology의 확보를 통한 스마트, 그린, 안전 사회의 구현을 비전으로 7대 목표를 제시
 - 목표1: 콘크리트 산업생산성2.5배 향상
 - 목표2: 200년 수명 고품질 아파트 및 인프라 시설 건설
 - 목표3: 콘크리트와 철근사용량 20%감축
 - **목표4: 콘크리트 탄소배출량 80% 감축**
 - 목표5: 콘크리트공사 재해율 40% 감축
 - 목표6: 시설물 방재 능력 및 사용자 만족도 향상
 - 목표7: 건설산업 선진화 및 차세대 건설일자리 50% 창출
 - 본 비전에서는 콘크리트의 탄소배출량 감축을 위하여, 콘크리트 산업의 모든 분야에서 감축이 이루어질 수 있도록 기술개발 및 확보 등의 중점 추진사항을 제시함
 - 크링커의 탄소배출($tCO_2/tclinker$) 목표: **현행 0.84톤에서 2050년 0.7톤 이하**
 - 시멘트의 탄소배출 계수($tCO_2/tcement$) 목표: **현행 0.81톤에서 2050년 0.65톤 이하**
 - 콘크리트 크링커 계수($kgclinker/m^3/MPa$) 목표: **현행 10 kg에서 2050년 8.0 kg 이하 달성**
 - 구조물의 탄소배출 계수($kgCO_2/m^2$) building 목표: **2050년 500 kg 이하 달성**
 - 콘크리트 산업 생산성 30% 향상
 - 콘크리트와 철근 사용량 20% 감축



세부목표 1	세부목표 2	세부목표 3	세부목표 4	세부목표 5
탄소중립을 위한 기술 개발 로드맵 개발	시멘트 단계의 탄소 배출 경감 기술 개발	콘크리트 단계의 탄소배출 경감 기술 개발	구조물 단계의 탄소 배출 경감 기술 개발	탄소중립 건설 기술 표준 및 정책 제·개정
• 시멘트 분야의 기술 및 정책 로드맵 • 콘크리트 분야의 기술 및 정책 로드맵	• 깊은 효율 개선(건설) • CCUS • 대체 연료 사용 • 크링커 원료 대체 • 대체 결합재 개발 • 혼합시멘트 사용 확대 (SCM)	• 콘크리트 배합 개선 • 노출수준에 맞춘 최적화 설계 • 사용량 최적화 • 구조요소의 재사용 • 구조 최적화 • CCUS	• 고강도 콘크리트 사용 • 고강도 철근의 사용 • 고성능 철근 대체재 사용 (FRP 등)	• 탄소중립 기술표준 개발 및 인증체계 구축 • KS 표준 제개정 • 콘크리트 시방서 개정 • 그린 건설 기준 개정

출처 : 한국콘크리트학회(2024), Concrete Vision 2050

[그림 2-22] 콘크리트의 탄소배출량 80% 감축을 위한 항목별 정량적 목표 및 세부목표

3) 기준(시방서 설계기준)

(1) 콘크리트 규격

□ 국내 저탄소 콘크리트 규격

- 국내 콘크리트공사 표준시방서 '콘크리트공사 일반사항'(KCS 14 20 01)에서는 '17.12 저탄소 콘크리트 규정(KCS 14 20 01:2017)을 신설
 - 동 시방서에 의하면 저탄소 콘크리트는 '시멘트 대체 혼화재로서 플라이 애시 및 콘크리트용 고로 슬래그 미분말을 결합재로 대량 치환하여 제조된 삼성분계 콘크리트 중 치환율이 50% 이상, 70% 이하인 콘크리트'를 의미
- 저탄소 콘크리트의 품질은 용도와 타설부위에 따라 단위 결합재량의 조정, 혼합비율 및 치환율 조정, 조강형 고성능 화학 혼화제 사용 등 별도의 조치 및 검토가 필요하며, 저탄소콘크리트에 제시되지 않은 사항은 KCS 14 20 10 일반콘크리트의 규정을 적용

<표 2-7> 저탄소콘크리트의 품질 기준

콘크리트 종류	굵은 골재의 최대치수 (mm)	슬럼프 또는 슬럼프 플로 (mm)	호칭강도 MPa(=N/mm ²) ¹⁾					
			18	21	24	27	30	35
저탄소 콘크리트	20,25	80, 120, 150, 180, 210	○	○	○	○	○	○
		500*, 600*	-	-	-	○	○	○

* 슬럼프 플로 값을 의미함.

주 : 1) 예전 단위의 시험기를 사용하여 시험할 경우 국제단위계(SI)에 따른 수치의 환산은 1kgf = 9.8N으로 환산한다. 즉, 1MPa = 10.2kgf/cm²가 된다.

- 저탄소콘크리트의 강도와 내구성은 설계기준강도 40MPa 미만의 보통콘크리트의 강도범위에 적용하며, 표준양생을 실시한 콘크리트공시체의 재령 28일 강도를 기준으로 설정
- 저탄소 콘크리트의 결합재는 기준은 이하의 표에 따름

<표 2-8> 저탄소 콘크리트의 결합재 기준

종류	항목	시험 및 검사방법	시기 및 횟수	판정기준
고로 슬래그 시멘트	고로슬래그 시멘트의 종류	제조회사의 성적서 또는 납품서에 의한 확인	공사시작 전	시방내용 또는 책임기술자의 승인을 받은 것일 것
	분말도 응결 안정도 압축강도 화학성분	제조회사의 성적서에 의한 확인 또는 KS L 5201의 방법	공사시작 전 및 공사 중, 1회/월 이상 및 3개월 이상 저장한 경우	KS L 5210(고로슬래그 시멘트) 표준에 합격한 것
플라이 애시 시멘트	플라이 애시 시멘트의 종류	제조회사의 성적서 또는 납품서에 의한 확인	공사시작 전	시방내용 또는 책임기술자의 승인을 받은 것일 것
	분말도 응결 안정도 압축강도 화학성분	제조회사의 성적서에 의한 확인 또는 KS L 5201의 방법	공사시작 전 및 공사 중, 1회/월 이상 및 3개월 이상 저장한 경우	KS L 5211(플라이 애시 시멘트) 표준에 합격한 것

(2) 시멘트 규격

□ 해외 시멘트 규격

○ 미국, 일본, 유럽 등 해외 각국에서는 포틀랜드 시멘트의 규격을 두고 있음

- 한국의 기준은 KS이며 미국은 ASTM, 일본은 KIS, 유럽은 EN197, 중국은 GB 등 각국마다 기준이 있음

<표 2-9> 각국의 보통포틀랜드시멘트 규격 현황(국내 1종 기준)

품질항목			한국 KS	미국 ASTM	일본 JIS	유럽 EN197	중국 GB
			1종	Type I	보통	CEM I	P II
			보통	보통		42.5N	42.5N
물리적 성질	공기량(%)		－	12 이하	－	－	－
	분말도(cm2/g)		2800이상	2600이상	2500이상	－	3000이상
	응결	초결(min)	60 이상	45 이상	60 이상	60 이상	45 이상
		종결(hr)	600 이하	375 이하	600 이하	－	390 이하
	안정성	르샤틀리에(m m)	10	－	10 이하	10 이하	－
		Autoclave(%)	0.80 이하	0.80 이하	－	－	0.80 이하
	압축강도 (MPa)	2일	－	－	－	10.0 이상	－
		3일	12.5 이상	12.0 이상	12.5 이상	－	17.0 이상
		7일	22.5 이상	19.0 이상	22.5 이상	－	－
		28일	42.5 이상	28.0 이상	42.5 이상	42.5 이상	42.5 이상
화학 성분	강열감량(%)		3.0 이하	3.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	3.5 이하
	삼산화황(%)		3.5 이하	3.0 3.5 이하	3.5 이하	3.5 이하	3.5 이하
	산화마그네슘(%)		5.0 이하	6.0 이하	5.0 이하	－	5.0 이하
	염화물 이온(%)		－	－	0.035 이하	0.1 이하	－
	불용잔분(%)		－	0.75 이하	－	5.0 이하	1.50 이하
	Na2O eq.	일반형(%)	－	－	0.75 이하	－	0.06 이하
		저알칼리형(%)	0.60 이하	0.60 이하	0.60 이하		

○ 유럽 시멘트 규격은 EN197의 CEM으로 I ~ V까지 5종의 대분류로 구분

- CEM I ~ V 규격은 각각 포틀랜드 시멘트, 포틀랜드 혼합시멘트, 고로슬래그 시멘트, 포졸란 시멘트, 혼합시멘트에 대응

<표 2-10> 유럽 시멘트 규격 현황

대분류	중분류	소분류	혼합재 종류	혼합량(%)
CEM I (Portland cement)	Portland cement	1	Cement clinker	95-100
CEM II (Portland-composite cement)	Portland-slag cement	2	Blastfurnace slag	6-20, 21-35
	Portland-silica fume cement	1	silica fume	6-10
	Portland-pozzolana cement	4	pozzolana natural, pozzolana calcined	6-20, 21-35 6-20, 21-35
	Portland-fly ash cement	4	Fly ash siliceous Fly ash calcareous	6-20, 21-35 6-20, 21-35
	Portland-burnt cement	2	Burnt shale	6-20, 21-35
	Portland-limestone cement	5	Limestone L Limestone LL	6-20, 21-35 6-20, 21-35
	Portland-composite cement	2	Any admixtures mixed	6-20, 21-35
CEM III (Blastfurnance cement)	Blastfurnance cement	3	Blastfurnance slag	36-65, 66-80, 81-95
CEM IV (Pozzolanic cement)	Pozzolanic cement	2	Silica fume, Pozzolana, Fly ash	11-35, 36-55
CEM V (Composite cement)	Composite cement	2	Blastfurnance slag, Pozzolana, Fly ash(siliceous)	각각 18-30, 각각 31-50 (최대 80)
계		27종		

○ 미국의 시멘트 규격은 ASTM으로 ASTM C150과 ASTM C595로 구성되고 있으며, 고로슬래그 시멘트는 ASTM C989, 콘크리트용 플라이애시 규격은 ASTM C618로 규정

– 각각 기준마다 유형이 있으며 그 유형은 이하의 표와 같음

<표 2-11> 미국 시멘트 규격 현황

Standard	Types	Detail of specifications
ASTM C150	Type I	For use when the special propertis specified for any other type are not required
	Type II	For general use, more especially when moderate sufate resistance is desired
	Type II	For general use, more espacially when moderate heat of hydration and moderate sulfate resistance are desired
	Type III	For use when high early strength is desired
	Type IV	For use when a low haet of hydeation is desired
	Type V	For use when a low haet of hydeation is desired
ASTM C595	Type IS	Potland blast furnance slag cement shall be a hydraulic cement in which the slag constituent is up to 95% by mass of the blended cement
	Type IP	Potland-pozzolan cement shall be a hydraulic cement in which the pozzolan constituent is up to 40% by mass of the blended cement
	Type IL	Potland-limestone cement shall be a hydraulic cement in which the limestone constituent is up to 5% but less than or equal to 15% by mass of the blended cement
	Type IT	Portland cement or Portland clinker mixed with two mixtures of cement
ASTM C989	–	Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars
ASTM C618	–	Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete

○ 일본에서는 3개의 친환경 시멘트를 고로슬래그 시멘트, 포졸란 시멘트, 플라이애쉬 시멘트 규격으로 정해두어 활용

- 일본의 친환경 시멘트 규격은 고로슬래그 시멘트(JIS R 5211), 포졸란 시멘트 (JIS R 5212), 플라이애쉬 시멘트 (JIS R 5213)이며, 그 내용은 아래와 같음

<표 2-12> 일본 JIS 고로슬래그 시멘트 포졸란 시멘트, 플라이애쉬 시멘트 성질 기준

항목		고로슬래그 시멘트			포졸란 시멘트			플라이애쉬 시멘트		
		A종	B종	C종	A종	B종	C종	A종	B종	A종
슬래그 함유량(%)		5~30	30~60	60~70	5~10	10~20	20~30	5~10	10~20	20~30
화학 성분	삼산화황(SO ₃) (%)	3.5 이하	4.0 이하	4.5 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하
	산화마그네슘(MgO) (%)	5.0 이하	6.0 이하	6.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하
	강열감량 (%)	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	-	-	3.0 이하	-	-
물리 성능	분말도 (cm ² /g)		3000 이상	3000 이상	3300 이상	3000 이상	3000 이상	3000 이상	2500 이상	2500 이상
	안정도 르샤틀리에(mm)		10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하
	응결 시간 (비카)	초결 (분)	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상
		종결 (시간)	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하
	압축강 도 MPa(N/mm ²)	3일	12.5 이상	10.0 이상	7.5 이상	12.5 이상	10.0 이상	7.5 이상	12.5 이상	10.0 이상
		7일	22.5 이상	17.5 이상	15.0 이상	22.5 이상	17.5 이상	15.0 이상	22.5 이상	17.5 이상
		28일	42.5 이상	42.5 이상	40.0 이상	42.5 이상	37.5 이상	32.5 이상	42.5 이상	37.5 이상

□ 시멘트 국내 규격

○ 국내 가장 많이 사용되는 시멘트 규격은 KS L 5201 “포틀랜드 시멘트” 규정

- (시멘트 종류) 사용되는 기능에 따라 시멘트 종류를 구분
 - ①보통포틀랜드시멘트, ②중용열 포틀랜드 시멘트, ③조강 포틀랜드 시멘트, ④저열 포틀랜드 시멘트, ⑤내황산염 포틀랜드 시멘트
- 국내 시멘트 생산량으로 대변되는 시멘트는 “보통포틀랜드시멘트”이며, 나머지 시멘트는 특수 및 주문 조건에 따라 생산
- 이외 기능성 및 혼합재를 사용량을 고려한 백색 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 시멘트, 플라이 애시 시멘트, 팽창 수경성 시멘트 등이 있으며, 국내 생산량은 거의 미비한 수준
- 시멘트 규격은 일본 규격(JIS)을 부합화하여 제정되었으며, 지금까지 약 15회 정도 개정
- 국내 시멘트 업체 및 생산에 대한 경제성을 확보하기 위해 다양한 종류에 시멘트를 생산하기에는 어려운 실정이며, 주로 “포틀랜드 시멘트” 생산 입장에서 “탄소중립”기술이 개발
- 국내 시멘트 물리적 성질 기준은 이하의 표와 같음

<표 2-13> 국내 시멘트 물리적 성질 기준

항목			종류				
			1종	2종	3종	4종	5종
분말도	비표면적		2,800이상	2,800이상	3,300이상	2,800이상	2,800이상
안정도	오토클레이스 팽창도		0.8이하	0.8이하	0.8이하	0.8이하	0.8이하
	르샤틀리에		10이하	10이하	10이하	10이하	10이하
응결 시간	비카 시험	초결 분	60 이상	60 이상	45 이상	60 이상	60 이상
		종결 시간	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하
수화열	7일			290 이하		250 이하	
	28일			340 이하		290 이하	
압축 강도 MPa	1일				10.0이상		
	3일		12.5이상	7.5이상	20.0이상		10.0이상
	7일		22.5이상	15.0이상	32.5이상	7.5이상	20.0이상
	28일		42.5이상	32.5이상	47.5이상	22.5이상	40.0이상
	91일					42.5이상	

- 국내 시멘트 화학성분 기준은 이하의 표와 같음

<표 2-14> 국내 시멘트 화학성분 기준

항목	종류				
	1종	2종	3종	4종	5종
산화마그네슘(MgO)	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하
삼산화황(SO ₃)	3.5 이하	3.0 이하	4.5 이하	3.5 이하	3.0 이하
강열감량	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하
규산삼석회(C3S)	-	50 이하	-	-	-
규산이석회(C2S)	-	-	-	40 이하	-
알루미늄산삼석회(C3A)	-	8 이하	-	6.0 이하	4.0이하

□ 국내 친환경 시멘트 규격

○ 국내 시멘트 중 친환경 시멘트 규격으로는 고로슬래그시멘트(KS L 5210)와 플라이애쉬 시멘트(KS L 5405)가 있음

- 고로슬래그 시멘트는 제철산업의 부산물로 만든 고로슬래그 미분말(3종)을 분쇄, 보통 포틀랜드 시멘트와 혼합하여 제조한 혼합시멘트를 의미하며 고로슬래그 함유량으로 1~3종 구분

<표 2-15> 국내 고로슬래그시멘트 성질 기준

항목			1종	2종	3종
슬래그 함유량(%)			5초과 30이하	30초과 60이하	60초과 70이하
화학성분	삼산화황(SO ₃)(%)		3.5이하	4.0이하	4.5이하
	산화마그네슘 (MgO) (%)		5.0이하	6.0이하	6.0이하
	강열감량 (%)		3.0이하	3.0이하	3.0이하
물리성능	분말도 (㎠/g)		3000이상	3000이상	3300이상
	안정도		오토클레이브 팽창도 (%)	0.2이하	0.2이하
			르샤틀리에(mm)	10이하	10이하
	응결 시간	비카 시험	초결(분)	45이상	60이상
			종결(시간)	7이하	10이하
	압축강도 MPa(N/mm ²)		3일	12.5이상	10.0이상
			7일	22.5이상	17.5이상
			28일	42.5이상	42.5이상
				40.0이상	

- 플라이애쉬 시멘트는 포틀랜드시멘트와 플라이애시를 혼합한 것으로, 플라이애시의 양에 따라 1종(5%초과 10%이하), 2종(10%초과20%이하), 3종(20%초과 30%이하)으로 구분

<표 2-16> 국내 고로슬래그시멘트 성질 기준

항목			1종	2종	3종	
플라이애시 함유량(%)			5초과 10이하	10초과 20이하	20초과 30이하	
화 학 성 분	삼산화황(SO ₃)(%)		3.0이하	3.0이하	3.0이하	
	산화마그네슘 (MgO) (%)		5.0이하	5.0이하	5.0이하	
	강열감량 (%)		3.0이하	—	—	
물 리 성 능	분말도 (cm ² /g)		2500이상	2500이상	2500이상	
	안정도		오토클레이브 팽창도 (%)	±0.5이하	±0.5이하	±0.5이하
			르샤틀리에(mm)	10이하	10이하	10이하
	응결 시간	비카 시험	초결(분)	60이상	60이상	60이상
			종결(시간)	10이하	10이하	10이하
	압축강도 MPa(N/mm ²)		3일	12.5이상	10.0이상	7.5이상
			7일	22.5이상	17.5이상	15.0이상
			28일	42.5이상	37.5이상	32.5이상

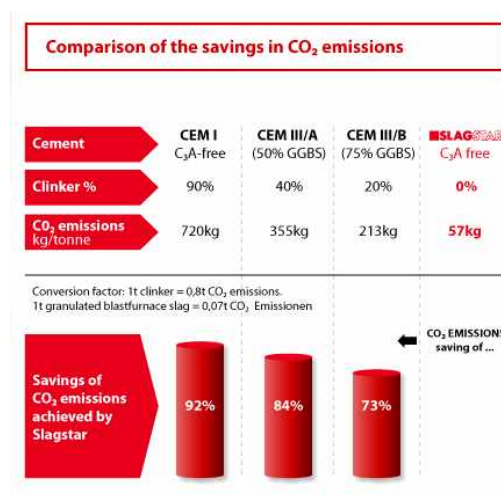
2.2.2. 기술적 환경 분석

1. 콘크리트

(1) 시멘트 치환 콘크리트

□ 전 세계적으로 플라이애시, 고로슬래그 등을 다량 치환한 콘크리트가 개발되어 다양하게 적용 중

- 플라이애시 다량 치환 콘크리트는 '87년 캐나다 Communication research centre에 처음 적용된 이후 현재까지 여러 구조물에 적용
 - 플라이애시 혼합 시 클링커 지수(clinker factor)를 도입하여 시멘트 절감량을 정량화하고 이를 통한 CO₂ 저감량을 수치화
- 대표적 고로슬래그 미분말 다량 활용 시멘트인 SSC(super sulfated cement)는 유럽에서 '80년대 이후 활용이 증가하였으며, 오스트리아 기업인 Wopfinger building materials 그룹에서 고로슬래그 미분말(79~85%), 석고(10~20%) 및 특수 첨가제(1~4%)로 구성된 SLAGSTAR 제품을 출시
 - 상기의 제품은 클링커를 사용하지 않기 때문에 CO₂ 배출량이 OPC 대비 약 12% 수준이며, 낮은 수화열, 내산성, 내황산염 저항성, 높은 강도 발현 등 우수한 성능을 보유
 - 매스콘크리트 구조물과 하수도용 관거 뿐만 아니라 자기충전 콘크리트(Self Compacting Concrete), 고성능 콘크리트(High Performance Concrete) 제조에 사용
 - 비엔나 지하 주차장 공사(4,200m³ 콘크리트)에 적용한 사례에서 90cm 두께의 기초 슬래브에서의 온도 상승 8.5℃ 수준
- 인도의 경우 SSC(super sulfated cement) 관련 표준으로 IS 6909 Supersulfated cement - Specification을 제정하고 있으며 슬래그의 사용량을 70% 이상으로 규정



출처: www.slagstar.com

[그림 2-23] SLAGSTAR 시멘트 제품의 CO₂ 배출량

- 시멘트 분야의 온실가스 저감과 산업부산물의 안정적 재활용을 위한 방안으로 플라이애시, 고로슬래그 미분말을 다량 활용하기 위한 연구 개발이 활발히 진행되고 있으며, 나라마다 상황에 맞게 연구를 수행
 - 덴마크, 핀란드, 스웨덴, 노르웨이, 아이슬란드 등 5개 북유럽 국가의 생산 업체 및 연구기관 등의 협력체인 북유럽혁신센터에서 친환경 콘크리트 구조물의 개발 및 실용화를 장려할 목적으로 'Concrete for the Environment a Nordic Network'를 통하여 시멘트 생산 시 환경부하 저감 기술, 그린 콘크리트 생산기술, 산업부산물의 콘크리트로의 활용기술에 관한 연구를 진행

- 최근 유럽 및 일본을 중심으로 국가 차원에서 성능 중심형 설계를 도입하고 있으며, 특히 유럽의 경우 EN197의 CEM IV에서 플라이애시 혼입율을 36~55%로 규정

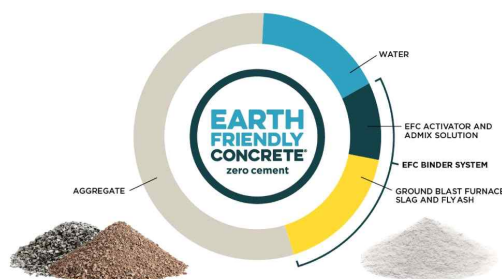
<표 2-17> 혼화재 다량 치환 콘크리트 개발 관련 국외 기술 동향

국가	사회적 동향	기술동향 및 수준
일본	시멘트 생산 시 폐기물 및 산업부산물의 사용율을 시멘트 1톤당 400kg 수준으로 증가	시멘트 생산에서 소비되는 에너지를 저감하고 폐기물 재활용을 통한 혼화재 기술에 집중
미국	시멘트 협회를 중심으로 시멘트 및 콘크리트의 친환경성 평가에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 지속가능 녹색성장 및 그린뉴딜 정책으로 친환경 건설기술에 대한 관심이 증가	콘크리트 환경부하 저감 기술 관련 연구가 지속적으로 수행되고 있으며, 무시멘트 기반 그린 콘크리트 연구개발에 집중
프랑스	시멘트 사용량을 줄이기 위해 영국, 덴마크 등과의 “Eco-Serve Network” 결성하였고, 라파즈 등의 시멘트 회사들이 2020년까지 시멘트 사용량 20% 감축 선언하였으며, 국가 주도형 지속가능 콘크리트 개발에 대한 정책 지원 중	플라이애시를 활용한 시멘트 대체 결합재 개발 연구 수행중이고, Davidovits 교수 주관의 지오폐리머 학회가 활동 중에 있으며, 주로 무기재료 관점에서 접근되어 콘크리트 실용화를 위한 연구가 수행
호주	지오폐리머 결합재에 대한 세계최고 수준의 기술 보유	Deventer 교수 중심으로 지오폐리머 결합재 연구가 2000년 이후 지속적으로 수행

출처: 한국환경산업기술원, “무기성 폐기물을 활용한 고강도 하이볼륨 친환경 콘크리트 개발”

□ 세계 각국에서는 시멘트를 사용하지 않는 무시멘트 콘크리트 기술을 개발

- Wagners(호주)는 Earth Friendly Concrete(EFC)를 공항 활주로, 부두, 건물 등 다양한 프로젝트에 적용
 - ※ EFC : 고로슬래그, 플라이애시, EFC활성화제를 활용한 무시멘트 콘크리트에 일반 콘크리트에 비해 내구성, 인장강도, 내화성 등이 향상
- '14년 완공된 호주 투움바 웰캠프 공항(Wellcamp Airport) 활주로 건설에 50,000m²의 시멘트 대체 물질을 사용
- '18년 호주 핀켄바 부두(Pinkenba) 데크 패널에 EFC를 활용, 별도의 양생시스템 없이 15시간 만에 20MPa의 인장강도 달성(인장강도 6Mpa, 압축강도 50MPa)
- 브리즈번 교외지역의 주택 개조공사의 기초, 블록충전재, 구조지지대 등에 EFC를 활용하여 탄소 배출량의 80%를 절약
- Betolar(핀란드)는 Geoprime을 개발하여 조경 및 인프라 제품을 판매하고 있으며, 조경, 중공 슬래브, 배수관 등에 활용
- 덴마크 PC생산업체인 IBF A/S에서 Geoprime으로 배수관을 생산하여 압축강도, 마모저항성, 유해물질 침투 없이 CO₂ 50%를 저감
- 덴마크 조경업체인 FCN에서 Geoprime으로 콘크리트 블록을 생산·시공하여 기존의 탄소배출량 20kg/m³에서 5kg/m³으로 저감



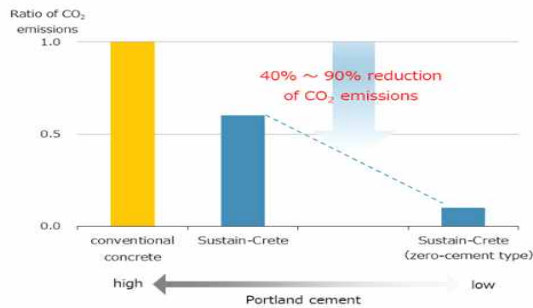
[EFC 배합(Wagners)]



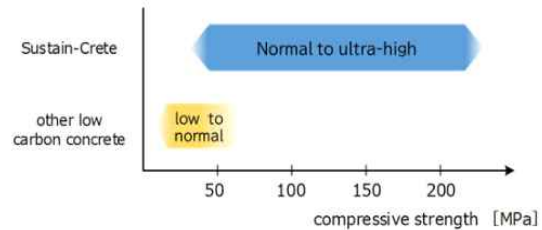
[GEOPRIME(Betolar)]

[그림 24] 무시멘트 제품 사례

- Sumitomo Mitsui 건설社(일본)는 도쿄대, 도쿄이과대와 초고성능 무시멘트 콘크리트인 Sustain-Crete를 개발
 - 저발열, 저수축, 초고강도(220MPa), 고유동성을 가진 무시멘트 콘크리트로 탄소배출량을 90%까지 저감할 수 있으나, 양생온도를 비롯한 시공성 관련 제약을 해결하기 위해 추가적인 연구 수행 중



[Sustain-Crete의 탄소배출량]



[Sustain-Crete의 강도범위]

[그림 27] Sustain-crete의 탄소저감 효과 및 성능

- SQAPE Technology(네덜란드)는 무시멘트 콘크리트인 SQAPE를 개발하여 도로포장에 활용하고 있으며 벨기에, 독일 등에 수출 예정
 - 초고강도(150MPa), 내구성, 저수축, 시공성을 가진 무시멘트 콘크리트로 탄소배출량을 70% 저감하며 콘크리트 도로포장, 슬래브 등 PC제품에 활용 중이고 추후 다양한 분야로 확대 예정
 - 현재 무수축 무시멘트 모르타르인 RaMac를 개발 중이며, SQAPE와 함께 벨기에, 독일 등에 수출 예정
- C-crete Technology(미국)는 건설업계 최초로 상업건물에 무시멘트 콘크리트를 적용
 - '23년 120년된 벽돌건물의 내진성능 강화를 위해 기초와 전단벽에 60톤의 무시멘트 콘크리트를 타설, 35MPa 이상의 압축강도를 발현
 - 또한, 동결융해, 알칼리 반응 등 내구성이 뛰어나 기존 콘크리트 혼화제와 호환되어 기존 건축물에 쉽게 적용될 수 있는 강점
- Cemfree(영국)은 Cemfree binder, mortar, block을 개발하여 제공하고 있으며, 건물, 하수터널, 하수관 등 다양한 프로젝트에 활용
 - Cemfree binder는 GGBS(Ground Granulated Blast Furnace Slag) 및 PFA(Pulverised Fly Ash)와 같은 포졸란 재료를 활성화하여 opc와 유사한 방식으로 작동하는 콘크리트
 - 기존의 OPC 기반 콘크리트보다 탄소배출량이 최대 85% 낮음
 - 그 외 모르타르와 콘크리트 블록도 만들어서 적극적으로 홍보 및 판매
 - '17년 Cemfree binder의 현장적용 시험으로 런던의 하수터널인 Thames Tideway Tunnel에 시공하여 성능을 검증하고 이후 런던의 다양한 건물, 창고 슬래브, 방파제, 도보 등에 적용



[Cemfree binder]



[Cemfree mortar]



[Cemfree block]

[그림 28] Cemfree 제품군

□ **국내의 경우 고로슬래그 미분말, 플라이애시 등 산업부산물을 시멘트 대체하는 결합재로 사용하는 연구가 활발히 수행되어 일반적으로 레디믹스트 콘크리트에 활용**

- 국가연구개발사업을 통해 출연연을 중심으로 시멘트 치환 콘크리트를 개발하여 성능을 검증하였으며, 기업은 이를 활용한 제품을 생산
 - 한국건설기술연구원(2010.8)에서 고로슬래그 미분말과 플라이애시 등 광물질 혼화재를 다량으로 사용한 콘크리트에 대해 석고, 순환골재 미분말, 자극제 등을 사용하여 응결특성·초기강도·건조수축 등의 품질을 개선시키는 연구를 수행
 - 한국건설생활환경시험연구원, 한국건설기술연구원을 중심으로 한국에너지기술평가원의 전력산업 융합원천기술개발사업(2011.6.~2016.5)의 일환으로 화력발전소의 석탄회를 다량으로 건설 재료로 활용할 수 있는 연구를 수행하였고, 석탄회 다량 건설재료의 성능 향상 기술 개발을 통해 고유동 콘크리트, 2차 제품, 고화재 등에 적용 기술을 개발
 - 고경택 등(2011)은 고로슬래그 미분말을 80%까지 치환한 고유동 콘크리트가 동절기에 타설할 경우에는 응결과 초기강도의 현격한 지연으로 초기동해를 받을 가능성이 높기 때문에, 이를 고려한 대책 연구를 수행
 - 초기동해를 받은 고로슬래그 미분말 다량 치환 고유동 콘크리트는 강도와 동결융해 저항성이 크게 저하되지만, 초기동해를 받은 후, 수중양생과 급열양생을 적절히 수행을 통해 콘크리트의 품질을 크게 개선시키는 방법을 제안
 - ㈜삼표는 고로슬래그 미분말을 50%까지 치환한 콘크리트에 대해 초기강도 개선을 통해 프리캐스트 제품을 생산하는 기술을 개발하였고, 이를 통해 이산화탄소 30% 저감 효과를 기대
 - 삼학콘크리트에서 환경부 환경산업선진화기술개발사업(2013.5.~2016.3.)의 일환으로 고로슬래그 미분말을 80% 이상 대량 활용한 하이볼륨 친환경 콘크리트의 생산기술과 이를 활용하여 40MPa급 콘크리트는 저류조, 80MPa급 콘크리트는 원심성형 제품에 적용하는 기술을 개발



<빗물 저류조(40MPa)>



<PHC 파이프(80MPa)>

출처: 삼학콘크리트(2016), 무기성 폐기물을 활용한 고강도 하이볼륨 친환경 콘크리트 개발, 한국환경산업기술원

[그림 2-29] 고로슬래그 미분말 하이볼륨 콘크리트의 시작품 제작 사례

□ **국내에서도 시멘트를 사용하지 않는 무시멘트 콘크리트 관련 연구가 지속적으로 진행**

- 한국건설기술연구원은('19) 독일과 국제공동연구를 통해 무시멘트 모르타르와 텍스타일 그리드 보강재를 활용한 고성능 건설자재 및 보수보강 공법을 개발해 하수암거 보수공사에 시험 시공
- 삼성물산은('22) 탄소중립 실현의 일환으로 고로슬래그 미분말 기반의 무시멘트 콘크리트를 개발하여 한국콘크리트학회 기술인증 획득
- 부산대학교 연구진은('22) 식물로부터 추출한 실리카를 활용하여 저비용 고강도 무시멘트 콘크리트를 개발하였으나, 실용화 방안 및 품질관리 방안은 아직 연구 중
- UNIST는('23) 비알칼리계 자극제를 적용하여 고로슬래그 미분말 기반 무시멘트 초고성능 콘크리트 배합을 개발하였으나 작업성 유지시간 확보에 대한 연구는 미진한 상황
- 철도기술연구원은('23) 산업부산물만 활용하여 압축강도 80MPa 이상의 시멘트 제로 콘크리트 철도 침목을 개발, 기존 콘크리트 침목 대비 이산화탄소 배출량 25%는 수준으로 탄소중립 실현에 기여

- 연세대학교 연구진은('23) 압축강도 150MPa 이상의 무시멘트 초고성능 콘크리트 배합을 개발 하였으나, 기존 알칼리활성화제의 사용으로 인해 급결하는 문제로 활용처가 제한적



[그림 30] 저탄소 콘크리트 시험체(삼성물산)(좌) 시멘트 제로 콘크리트 침목(철도연)(우)

(2) 알칼리 활성 콘크리트, 지오폴리머 콘크리트

□ 1978년 프랑스의 Davidovits가 카올리나이트 광물질을 사용하여 중합반응(polymerization)에 의해 제올라이트와 유사한 구조로 개발한 이래 많은 나라에서 다양한 연구가 진행

- 현재 고로슬래그계 무시멘트 콘크리트 제조기술의 최고 기술보유국은 호주이고, 석탄회계와 천연재료계는 프랑스이고 구조부재 활용기술은 프랑스, 호주로서 전반적으로 무시멘트 콘크리트에 대한 최고 기술보유국은 프랑스와 호주로 분석
 - 1980년대 중반에서 1990년 중반까지 러시아·우크라이나 등 동유럽에서 20층 이상의 고층빌딩에 고로슬래그 다량 사용 콘크리트를 적용한 사례가 있으나, 알칼리 활성 콘크리트는 제조상의 문제와 경제성 등의 이유로 1990년대에 연구가 거의 이루어지지 않음
 - 2000년대 이후 환경문제가 사회적으로 이슈화됨으로써 '01년 미국에서는 'Vision 2030: A Vision for the U.S. Concrete Industry'에서 친환경 콘크리트를 만들기 위한 계획을 발표하면서 본격적인 연구를 시작
 - 호주에서는 '01년부터 'Low-Calcium Fly-Ash Based Geopolymer Concrete' 프로젝트를 수행하기 시작하여 개발, 제조, 활용기술 개발을 목표로 활발한 연구가 진행
 - 호주 Monash대학의 Sanjaya 교수팀은 50~70MPa의 고로슬래그 활성 콘크리트를 개발
- 지오폴리머의 경우 접근기술의 난이도가 높았기 때문에, '12년 이전에는 연구논문이 거의 발표 되지 않다가 이후 점차 논문 발표 수가 증가하여 '19년 이후에는 알칼리 활성 슬래그보다 50% 많은 수의 논문이 매년 발표
 - 일본의 야마쿠치대학의 Ikeda 교수는 플라이애시 등의 활성 필러, 석영 및 산화철 등의 비활성 필러 그리고 쇼톱실리케이트 등의 알칼리 활성화제를 이용하여 상온양생으로 20~30MPa의 지오폴리머 콘크리트를 개발
 - 호주 Curtin 대학의 Rangan 교수팀은 플라이애시를 기반으로 쇼톱실리케이트와 NaOH로 구성된 활성화제를 사용하고 90℃ 정도의 고온양생을 걸쳐 압축강도 30~70MPa가 발현된 지오폴리머 콘크리트를 개발
- 국내에서 2000년대 후반부터는 시멘트 산업이 CO₂ 주요 발생원이라고 인식하여 산업부산물을 활용한 알칼리 활성 콘크리트 및 지오폴리머 콘크리트를 개발하였으나 구조물 적용은 제한적
- '08년 전남대 연구진은 고로슬래그 미분말, 분말형 규산나트륨 및 경량골재를 사용하여 제조된 콘크리트의 역학적 특성을 평가
 - 경량모래를 사용하지 않은 경우에는 91일 강도가 25MPa, 경량모래를 사용한 경우에는 3.4~16.5MPa로 강도가 상당히 낮고, 건조수축도 크게 발생

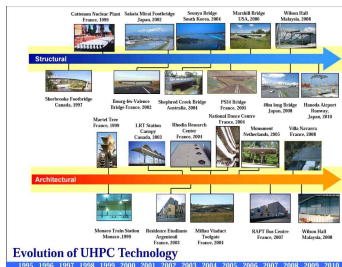
- '08년부터 한국건설기술연구원에서는 다양한 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 기술 개발
 - 고로슬래그 미분말, 플라이애시, 건식 바텀애시의 단독 그리고 고로슬래그 미분말과 플라이애시의 조합, 고로슬래그 미분말과 건식 바텀애시와의 조합 외에 메타카올린, 석분, 유리분말 등을 활용한 무시멘트 콘크리트 제조방법 연구를 수행
 - 고로슬래그 미분말 기반 알칼리 활성 콘크리트에서는 시공성 향상과 수축 저감 기술을 확보하였고, 압축강도 70MPa의 발현 기술을 개발
 - 플라이애시 기반 콘크리트에서는 고온에서 반응성 향상 기술(압축강도 70MPa), 상온에서 강도 발현 기술(압축강도 30MPa)을 확보하였고, 플라이애시의 상온 반응기술은 세계적인 수준으로 평가
 - '11년 “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단”이 구성되어 CO₂ 배출 저감형 건설구조 재료 개발과 함께 건설재료의 LCCO₂(Life Cycle CO₂) 평가 및 탄소배출 저감 관리 등 CO₂ 통합 관리 기술개발을 위한 연구가 진행
 - 한국건설생활환경시험연구원(2015)에서 화력발전소에서 석탄을 미분기로 분쇄하여 보일러 내로 주입 후 약 1,500℃ 온도 범위에서 연소되고 남는 석탄회의 CCPs(Coal Combustion Products)를 건설재료로 사용하기 위해 HVCCPs(High Volume Coal Combustion Products)를 활용 그린 건설재료 및 실용화 기술을 개발하였으며, 여기서 지오폴리머 콘크리트를 개발

<표 2-18> 국내 알칼리 활성 콘크리트 및 지오폴리머 콘크리트 주요 연구

연도	주요 연구내용	주관기관
2002	폐석회, 석탄회를 이용한 비소성 무기결합재에 관한 연구	전북대학교
2003	활성화제를 사용한 플라이애시 모르타르에 관한 연구	대구대학교
2006	알칼리 활성화에 의한 플라이애시와 바텀애시의 경화특성	한양대학교
2008	경량골재를 사용한 알칼리 활성 슬래그 콘크리트의 역학적 특성	전남대학교
2008	플라이애시 및 바텀애시를 이용한 Cement-Zero 콘크리트에 관한 연구	한국건설기술연구원
2013	바텀애시를 다량 활용한 CO ₂ 배출 저감형 콘크리트 기술 개발	한국건설기술연구원
2016	탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단	한국건설기술연구원
2015	HVCCPs활용 그린 건설재료 및 실용화기술	한국건설생활환경시험연구원

(3) 초고성능 콘크리트

- 기존 고성능 콘크리트보다 진일보된 다양한 초고성능 콘크리트(ultra-high performance concrete, UHPC) 기술이 활발히 개발되어 많은 분야에 적용되고 있으며, 전 세계적으로 미래 신성장 동력으로 인식하고 국가 차원에서 많은 지원
- 독일, 중국, 미국 등에서는 국가차원의 프로그램을 운영하여 초고성능 콘크리트 개발을 진행하여 건축 내외장재, 교량, 군사시설, 2차제품, 보수·보강의 유지관리 등 다양한 분야에 적용
 - 독일에서는 DFG(Deutsche Forschungs Gemeinschaft, 과학재단) 프로그램 일환으로 UHPC 배합 및 적용 기술에 대해 활발히 개발
 - 중국에서는 Hunan대를 중심으로 한 UHPC 연구단이 연구비 200억 원 규모의 국가 R&D 프로젝트가 '19년도부터 수행
 - 미국 FHWA에서 '09년부터 현재까지 교량 등에 적용하기 위한 20개 이상의 프로젝트를 수행



<다양한 분야의 적용 사례>



<미국 교량(SUPER Con.)>



<Mucem Marseille(프랑스)>



<주요 적용 사례>



<Celakovice 보도교(체코)>



<Manateq Head Quarte(카타르)>



<북미지역 교량>



<Haihe Bridge(중국)>



<Bramosi Bridge(스위스)>

[그림 2-33] UHPC의 적용 사례

- 저탄소 초고성능 콘크리트 연구로는 소성을 거치지 않은 석회석 미분말, 플라이애시, 고로슬래그 미분말 등과 같은 산업부산물 그리고 탄소저감 배합 관련 연구가 진행
 - (미반응 분체의 석회석 미분말) 석회석 미분말은 시멘트 제조공정의 탈탄산화와 킬른 소성을 거치지 않기 때문에 시멘트 대체재로 활용하여 이산화탄소 발생량을 저감 가능
 - Li et al.(2020)에 따르면 석회석 미분말은 시멘트 화학 반응에는 거의 참여하지 않으나, 레올로지 개선, 블리딩 저감, 수화열 억제, 초기강도 증가 등의 장점 보유
 - Wang et al.(2012)에 따르면 석회석 미분말의 첨가율 20%까지는 수화도 증가로 인해 UHPC의 압축강도와 내구성을 향상시키지만, 그 이상의 첨가율은 성능을 저하
 - (시멘트 대체 저탄소 산업부산물 혼화재) 고로슬래그 미분말, 플라이애시 사용
 - 터키 Dokuz Eylul 대학의 Yazici et al.(2009)는 고로슬래그 미분말(BS)과 플라이애시(FA)를 단독으로 사용한 경우에는 혼입률이 증가할수록 강도가 저하되는 것으로 나타났으나, BS와 FA를 조합하여 대체하여 사용한 경우에는 조건에 따라서 압축강도가 오히려 증가
 - (쌀겨 분말, Rice husk ash) 동남아 국가 중심으로 농업 부산물의 쌀겨 분말을 UHPC에 포함한 고성능 콘크리트 관련 연구가 진행되고 있으며, 쌀겨 분말은 다량의 비정질 실리카를 포함하여 높은 포졸란 반응성을 지니고 있기 때문에 실리카를 대체하는 재료로 활용 가능
 - 쌀겨 분말 혼입률 10%에서 재령 7일까지, 혼입률 20%에서는 재령 28일부터 SF를 사용한 UHPC보다 강도가 높고, 상온 양생에서도 150MPa 이상의 압축강도 성능 확보 가능
- UHPC의 배합 설계 최적화를 통해 성능을 향상시키는 방법으로 시멘트 사용량을 저감시킴으로써 탄소 배출 저감하는 연구가 수행
 - Yu et al.(2014)은 Modified Andreasen & Andersen model을 사용하여 UHPC에 혼입되는

재료를 최적화시킴으로써 성능 저하없이 시멘트 사용량을 650kg/m³까지 줄이는 데 성공

- Ferdosian & Camoes(2017)는 Response Surface Methodology에 근거한 통계학적 배합 설계 연구를 통해 시멘트 640kg/m³, 실리카폼 56.3kg/m³(기존 대비 50% 이상 저감)를 사용하여 압축강도 160MPa를 달성함으로써 제조가격은 30% 이상, 탄소배출은 약 10% 저감하는 저탄소 초고성능 콘크리트 개발

□ 국내에서는 「SUPER Concrete Structure 2020 연구단」에서 세계최고 수준의 200년 수명 슈퍼 콘크리트 재료·기준·구조시스템 기술 개발을 통해 세계 최초의 도로 사장교와 셀 빌딩 구조물 건설 등 월드 레코드 보유

※ 「SUPER Concrete Structure 2020 연구단」 과제명 : “압축강도 80~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 재료 및 구조물 기술 개발”, 과제기간 : 2013.12.~2019.12.(6년), 주관 : 한국건설기술연구원

○ 세계 최고수준의 슈퍼 콘크리트 재료 및 실용화 기술 확보

- 마이크로·나노 재료를 융·복합하여 압축강도 80~180MPa(일반 콘크리트 대비 5배 이상), 인장강도 19MPa(미국 대비 1.3배, 프랑스 대비 1.6배), 내구수명 200년 이상(일반 콘크리트 대비 4배 이상), 수축 600 μ m 이하의 세계 최고수준의 초고성능 콘크리트 기술 확보
 - 사용재료의 국산화와 배합의 최적화를 통해 고가의 화학혼화제와 강섬유의 사용량을 50% 이상 줄임으로써 슈퍼콘크리트의 제조가격 50% 이상 절감시킴으로써 가격 경쟁력을 확보
 - 레미콘 설비, 현장 배치플랜트, 이동식 제조 시스템, 레미콘 트럭 제조 등 다양한 현장 맞춤형 배합·제조 기술과 다양한 타설 방법을 개발을 개발하여 다양한 현장적용 실적 보유



<레미콘 트럭 제조(미얀마, 미국)>



<현장 배치 플랜트 제조>



<레미콘 설비 제조>



<펌핑 타설>

[그림 2-34] 다양한 방법으로 슈퍼콘크리트의 제조와 타설

○ 슈퍼콘크리트의 순환 재료 사용 연구

- 101건의 UHPC 배합에서 결합재의 사용비율을 분석한 결과로써, 결합재의 94% 정도가 실리카폼(SF)을 일반 시멘트에 대해 15~25% 범위에서 혼합하여 사용되는 것으로 분석
 - 고로슬래그미분말(BS)을 사용하는 경우에는 압축강도 150MPa 정도를 확보할 수 있고, 비표면적 8,000 cm²/kg의 경우에는 압축강도 180MPa 정도를 달성
 - BS 또는 플라이애시(FA)를 SF 대신에 사용할 경우, 제조비용에 효과적이나, 혼합 비율이 크지 않기 때문에 탄소 저감에는 한계가 있는 것으로 분석

(4) CCUS 콘크리트

□ 미국, 캐나다, 유럽에서는 직접탄산화 기반 콘크리트 제조기술 및 CO₂ 반응경화 양생기술은 시장진입단계에 있고 탄소중립 재료 및 제조기술을 기반으로 하는 시공기술 보급을 확대

○ 캐나다 CarbonCure社は 양생에 CO₂를 활용하여 레디믹스 콘크리트 및 프리캐스트 콘크리트 제품을 제조

- 레디믹스 콘크리트 타설 중에 CO₂ 주입 기술을 적용하여 콘크리트의 압축강도를 향상시키고 시멘트 사용량을 4-6% 절감함으로써 CO₂ 양생의 활용 범위를 확대
- 여러 콘크리트 생산업체와 협력하여 콘크리트 공장의 글로벌 네트워크를 구축하여 매년 수만 미터톤의 CO₂를 절감
- 레디믹스 콘크리트 기준 m³ 당 CO₂ 15kg 절감 가능하며 Ozinga, Geiger 등의 파트너업체와 협력
- 프리캐스트 콘크리트의 경우 m³ 당 CO₂ 20kg 절감 가능하며, Coreslab Structures(TEXAS) Inc. 등의 업체와 협력

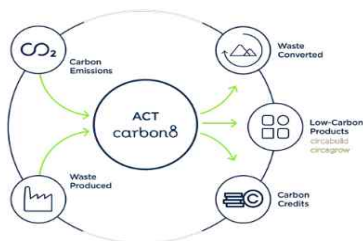


출처: Carboncure 홈페이지, www.carbon.com

[그림 2-35] Carboncure社の 레미콘 CO₂ 주입기술

○ 영국 Carbon8 Systems社は 가속 탄산화 기술을 활용하여 저탄소 제품을 생산

- 발생원으로부터 직접 포집한 CO₂를 활용하여 산업폐기물을 탄산화함으로써 CircaBuild 및 CircaGrow와 같은 저탄소 제품을 전문적으로 생산하는 기업
- CircaBuild는 콘크리트 블록, 레미콘, 도로 필러 등에 폭넓게 활용 가능한 고성능, 경량 골재 제품이며, CircaGrow는 토양 개선을 위한 비료 제품임
- 매립되어야 할 폐기물을 탄산염화하여 시멘트 블록, 도로 충전재 등의 자원으로 재활용화하는 기술로 해당 기술을 위해 포집된 CO₂는 연간 1,500 - 4,000톤에 달하며, 연간 최대 12,000톤의 폐기물을 재활용 가능
- 탄소의 전처리 및 정제가 필요하지 않으며, 최소한의 에너지와 공간을 활용하여 고부가가치 제품을 생산하면서도 비용절감, 탄소 감소 등의 효과가 발생



가속탄산화 입력-출력프로세스



CircaBuild의 특성

[그림 2-36] Carbon8 System社の 가속탄산화 기술

○ 미국 Fortera社は 탄산화 기술을 활용한 저탄소 건축 자재 생산

- 포집된 CO₂와 수산화칼슘 또는 수산화나트륨과 염화칼슘을 반응시켜 탄산칼슘 시멘트를 제조하였으며, 이 재료로부터 건축 자재를 생산
- 이산화탄소와의 반응 매체는 염기성과 칼슘을 함유하는 산업폐기물을 이용하거나 종래의 산업 제조 공정으로부터 공급되는 수산화나트륨과 염화칼슘 등을 이용
- 자체 개발 프로세스를 통해 합성된 탄산칼슘은 상용 콘크리트의 혼화재로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 그 자체가 콘크리트 제조를 위한 시멘트로 사용되어 이산화탄소 배출량을 획기적으로 감소 가능



출처: Fortera 홈페이지, www.fortera.com

[그림 2-37] Fortera社の 시멘트 대체재 생산 과정

○ 호주 TecEco Pty.Ltd社は 반응성 MgO를 기반으로 Eco-Cement® 개발

- 반응성 MgO를 기반으로 하는 Eco-Cement를 개발하였으며, Eco-Cement는 Magnesite를 600 - 750℃에서 소성한 후 분쇄한 반응성 MgO를 포틀랜드 시멘트 또는 혼화재에 혼합하여 제조
- Eco-Cement는 수화반응과 탄산화 반응을 통하여 MgCO₃·3H₂O를 형성하는 과정에서 경화되며, 이렇게 만들어진 콘크리트의 가장 큰 특징은 수명이 다한 폐콘크리트를 순환시켜 다시 Eco-Cement의 원료로 재활용 가능
- 이 외에도 호주의 Calix Ltd. 또한 반응성 MgO의 탄산화 반응을 이용한 Carbon negative cement를 개발하여 생산

○ 일본 Kajima Corp.社は γ-C₂S의 탄산화반응을 이용한 친환경 콘크리트 CO₂-SUICOM®와 초고내구성 콘크리트 EIEN® 개발

- γ-C₂S의 탄산화 반응을 이용한 친환경 콘크리트 CO₂-SUICOM와 초고내구성 콘크리트 EIEN을 개발하여 생산
- CO₂-SUICOM는 포틀랜드 시멘트의 절반 이상을 특수 혼 화재인 γ-C₂S와 산업부산물로 치환하고, 화력발전소에서 배출되는 CO₂를 콘크리트에 흡수시킴으로써 콘크리트 제조 시 발생하는 이산화탄소의 Net value를 제로 이하로 감축
- EIEN은 CO₂-SUICOM과 유사하게 γ-C₂S의 탄산화 반응을 이용한 콘크리트 제품으로써, 탄산화에 의한 콘크리트 조직의 치밀화를 통하여 내구성을 향상

- 국내 CO₂를 활용한 CCUS 콘크리트 기술은 기술 선진국에 비해 초기단계에 있으며, CO₂를 효과적으로 콘크리트에 저장할 수 있는 원천기술과 이를 활용한 응용·개발기술이 필요
 - 한국건설기술연구원은 나노버블수를 제조하여 CO₂를 상압에서도 높은 농도로 용해시킬 수 있는 제조 기술을 개발
 - 이렇게 제조된 CO₂ 용해 나노버블수를 콘크리트의 배합수로 사용함으로써, 용해된 CO₂가 콘크리트 속에서 탄산화 반응을 통해 영구적으로 저장되는 기술
 - '22년 실험실 수준에서의 기초 연구를 통해 가능성을 확인하였으며, '23년부터 스케일 업 연구를 통해서 실제 현장에서 건설 제품으로 사용할 수 있는 적용성 확대 연구를 추진 중
 - 석회석신소재연구소는 '22년부터 CO₂를 혼합해 시멘트를 굳히는 기술을 개발하기 위한 프로젝트 진행
 - 이산화탄소 반응 경화 시멘트는 시멘트를 굳히기 위해 사용되는 물 대신 이산화탄소를 이용하여 경화시키는 기술로, 반응 경화형 시멘트는 시멘트 생산 시에 석회석 사용량이 저감되며, 낮은 소성온도에 의해 에너지 소비를 절감 가능
 - 이산화탄소의 배출을 억제하면서도 기존 시멘트 제품과 동일한 품질을 확보할 수 있어 산업적인 측면에서 활용성이 높다는 점이 장점
 - 아직 기초 연구 수준이며, CO₂를 활용할 경우 수화반응도가 낮아서 건설에서 사용하기 위한 수준의 압축강도 확보가 해결해야 할 과제

<표 2-19> CCUS 콘크리트 기술 분류 및 동향

구분	대표기업	기술 컨셉	기술의 장/단점 (한계)	국내동향	비고
CO2 in-situ	CARBON CURE (캐나다)	- 가스/드라이아이스 상태의 CO2를 레미콘 제조 시 주입	- 대규모 레미콘 수요물량, 압축강도 증진에 따른 시멘트 저감이 가능 - CO2 흡수량(0.01%) ¹⁾ 이 상대적으로 낮음 * CO2 저감 모델: 콘크리트내 CO2의 다양한 주입 및 활용(fresh 콘크리트내 CO2 주입, 회수수에 CO2 활용, 재생골재 CO2 주입 등) → 압축강도 상승 → 압축강도 상승분 만큼 시멘트사용량 감소 → CO2 저감	GS건설 자회사인 GPC가 CARBON CURE 기술을 도입 ('23년 제품 출하 계획중)	미국 CCUS 세금혜택 ³⁾ 받음 * 세금공제 톤당 20불('20)-35불('26)
	Kajima Corp. (일본)	- Denka社の SUICOM과 양생 중 자연탄산화를 활용한 현장타설용 콘크리트	- 연구개발 시작단계	-	
CO2 curing	Carbon Built (미국)	- 화력발전 배가스 (CO2 농도 4-12%) 활용 18시간 동안 CO2 양생	- in-situ에 비해 상대적으로 CO2 흡수량(0.86%) ¹⁾ 이 높음 - 품질관리 용이 - 프리캐스트 수요물량에 따른 시설 구축비 필요(대형 CO2 챔버)	KC산업 보일러 연소가스 활용 프리캐스트 콘크리트 CO2 양생(연구시작단계)	-
	Carbicrete (캐나다)	- 시멘트 없이 제강슬래그를 활용한 CO2 양생 콘크리트	- 시멘트 사용량 저감을 통한 탄소 negative 콘크리트 - CO2 고정화율이 매우 높지 않음 (5%)		

구분	대표기업	기술 컨셉	기술의 장/단점 (한계)	국내동향	비고
반응경화 CaCO ₃ 골재	Carbon8 (영국)	- 산업부산물을 물 및 액상 CO ₂ 로 1차 탄산화 → 성형 (펠렛화) → 가스 CO ₂ 로 급속 탄산화 후 제품 출하	- 슬래그 및 시멘트 킬른, 바이오매스 등 다양한 산업부산물 재활용 (CO ₂ 흡수량 ~30%)	-	-
	Blue Planet (미국)				
반응경화 시멘트	Solidia Technologies (미국)	- 종래 1종 시멘트 보다 CaO가 30% 낮은 시멘트	- 시멘트 생산 시, 석회석 사용량 저감, 낮은 소성온도에 의한 에너지 소비율 저감, 높은 CO ₂ 흡수량 24% ²⁾ - 수화반응도 낮음 (일반시멘트처럼 활용 불가)	-	-
	Denka (일본)	- γ-C ₂ S 함량을 증가시키고, 석탄회를 첨가한 시멘트 콘크리트 (SUICOM)	- 시멘트 저감, CO ₂ 흡수를 통한 탄소 negative 시멘트		
	UCLA Carbon Upcycling (미국)	- Ca(OH) ₂ 기반의 바인더를 활용한 콘크리트	- 높은 CO ₂ 흡수량 30% ²⁾	-	CO ₂ NCRETE 회사와 동일

1): 콘크리트 중량 대비 흡수된 CO₂ 중량

2): 시멘트 중량 대비 흡수된 CO₂ 중량

3): Internal Revenue Code [IRC] Section 45Q, The tax credit started at ~\$20 in 2020 and goes up to \$35 by 2026.

3) 도로포장

(1) 중온 아스팔트 포장 기술

□ 해외에서는 90년대부터 중온 아스팔트 포장*을 도입하였으며, 국내에서도 00년대 이후로 다수 사용 중

※ 기존 포장과 동일한 내구성 및 품질을 가지며 기존보다 생산 및 포장 온도가 30~50℃ 낮은 친환경 저에너지 포장 기술로 연료 저감, 조기 교통개방, 배출가스 감소 등의 효과 발생

- 유럽에서는 '96년부터 친환경 건설 공법으로 Warm Mix Asphalt(WMA) 포장 기술이 소개되어 사용되고 있으며, 20년 이상의 적용을 통한 장기 공영성도 확인
- 미국은 '02년 유럽으로부터 본격적으로 기술 도입을 추진해 WMA 포장 공법의 시험적용 및 공용성 검증을 추진 중
- 한국건설기술연구원은 00년대부터 지속적으로 중온아스팔트 관련 기술 개발 연구를 수행하였으며 관련 기술들이 많이 사용되나, 아직은 선진국과의 기술 격차가 존재
 - '06년 한국건설교통기술평가원의 '장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술개발' 연구단의 세세부 과제를 통해 한국건설기술연구원과 금호석유화학이 공동으로 국내 최초의 국산 저탄소 개질 첨가제 2종을 개발
 - '09~'13년 기초소재 및 포장재료 요소기술 개발 과제를 통해 저탄소 중온 아스팔트 도로 포장 신재료 기술개발을 위한 기초소재 및 아스팔트 혼합물 제조를 위한 배합기술 등 요소기술을 개발
 - LEADCAP, SMACAP, ENOVA, RAPCAP, HIPERCAP 5종의 중온 아스팔트 기술 개발
 - 각 기술별 개발한 첨가제를 혼합한 아스팔트와 혼합물에 대한 실내 기초 물성 및 내구성능 실험 수행
- SK에너지는 '22년 1월 중온 아스콘 외부사업 방법론의 환경부 승인을 받아 '23년 7월부터 “중온 아스팔트 콘크리트 혼합물 생산을 통한 연료 및 온실가스 감축”에 탄소감축 인증을 시작
 - 중온 아스콘을 생산해 탄소 상쇄배출권(KOC) 확보가 가능
 - 1km 길이의 왕복 4차로 도로를 표층 포장할 시 기존보다 1.6t의 이산화탄소 감축 효과 발생



출처: 한국건설기술연구원(2013), “기초소재 및 포장재료 요소기술 개발”

[그림 2-38] 기초소재 및 포장재료 요소기술 개발 과제 성과

- 다수의 연구를 통해 중온 아스팔트가 일반 가열 아스팔트에 비해 탄소 발생량이 저감됨을 확인
- 중온 아스팔트는 일반 가열 아스팔트에 비해 생산 과정에서의 CO₂ 발생량이 35.1% 저감
 - 중온아스팔트 생산 과정에서의 이산화탄소 및 배출가스 발생량 측정 및 연료 사용량을 측정하여 CO₂ 발생량을 계산
 - 측정 위치, 현장 날씨, 시공 환경 등을 고려한 추가적 연구가 필요

<표 2-20> 아스팔트 혼합물 생산시 연료 사용량 & CO₂ 저감 효과

division		unit	HMA	WMA	Note
Per tone of asphalt mixture	Bunker C oil usage	L	7.7	5.0	-2.7
	CO ₂ emission quantity (3.026kg/L)	kg	23.3	15.1	-8.2
35,060 tons of asphalt mixture	Bunker C oil usage	L	269,962,000	175,300,000	-94,662,000
	Amount of oil conversion (scale factor: 0.935)	TOE	252,414	163,906	-88,509
	CO ₂ mission quantity	kg	816,905,012	530,457,800	-286,447,212
CO ₂ emission rate		%	100	64.9	-35.1

출처: 한국아스팔트학회지(2019), "중온아스팔트의 적용현황 및 고려사항에 관한 조사연구"

<표 2-21> 아스팔트 혼합물 생산시 예상 배출량

division		Production temperature (°C)	Fuel (L/ton)	Dust and harmful gases				
				CO ₂ (%)	Dust (mg)	NoX (ppm)	SoX (ppm)	CO (ppm)
Asphalt mixture	HMA	160	7.7	6.3	8.51	38	8	1,300
	WAM	130	5.0	4.2	8.01	34	7	1,200
	Reduction ratio	30	35%	33.3%	5.9%	10.5%	12.5%	7.7%

출처: 한국아스팔트학회지(2019), "중온아스팔트의 적용현황 및 고려사항에 관한 조사연구"



출처: 한국아스팔트학회지(2019), "중온아스팔트의 적용현황 및 고려사항에 관한 조사연구"

[그림 2-39] CO₂ 측정방법(좌), 배출가스 측정기(우)

(2) 상온 아스팔트 포장 기술

□ 상온아스팔트는 재료를 가열하지 않고 약 25℃내외의 상온에서 공정이 이루어져 에너지 절감 및 탄소 배출량 감소, 재활용 골재 사용의 용이성 등 다양한 장점이 존재

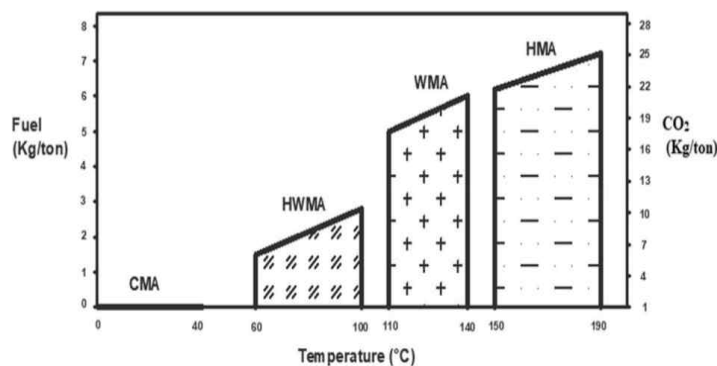
○ 상온 아스팔트는 비용 효율성, 환경 친화적 낮은 탄소배출 및 쉬운 가용성이 장점

- 25℃내외의 상온에서 생산하여 생산 온도가 낮아 가열이 필요치 않아 가열 및 중온 아스팔트에 비해 가열에 필요한 에너지 절약 및 가열에서 나오는 탄소배출 저감이 가능

- 영국의 연구 결과 아스팔트 생산시 275MJ/t의 에너지가 소비되는 HMA에 비해 CMA는 14MJ/t의 에너지만 소비되어 95%의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 분석
- CMA 재료의 CO₂ 배출량은 36.1kg/t로 HMA의 53.6kg/t에 비해 낮은 편이나, 첨가제로 시멘트를 사용하면 HMA와 차이가 없는 탄소가 배출
- 가열 과정에서 34kg/t의 CO₂가 발생하는데, CMA는 해당 배출량의 저감이 가능

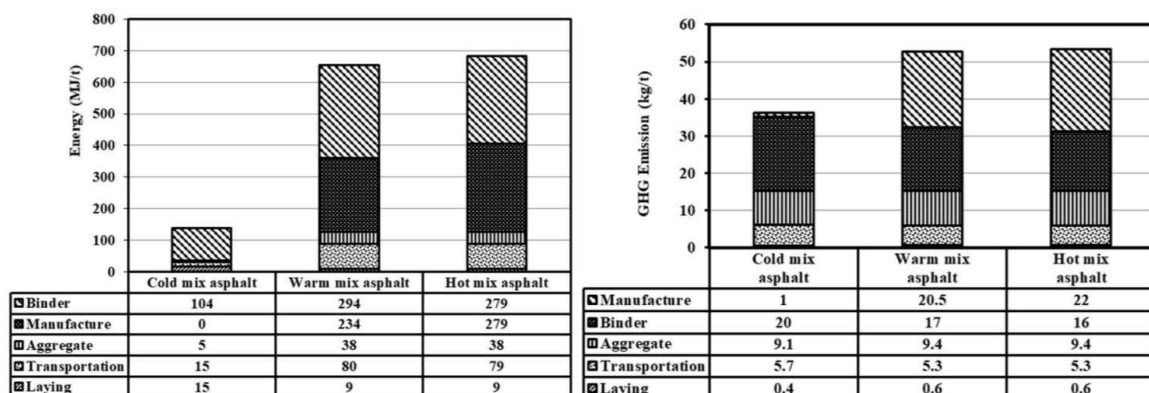
○ 낮은 초기수명 강도, 높은 공극, 높은 수분 민감성 등의 단점도 존재

- CMA는 골재가 가열되지 않기 때문에 수분이 결합재와 골재 사이에 영향을 미쳐 접착력 감소, 바퀴자국, 피로균열, 벗겨짐과 같은 다양한 유형의 손상에 비교적 취약
- 가열 방식에 비해 원하는 강도를 얻기 위해 충분한 경화 시간이 필요
- CMA의 성능 향상을 위해 사용되는 다양한 첨가제 및 충전재가 존재하는데, 성분에 따라 환경적 문제가 심각해 CMA로 얻을 수 있는 환경적 영향이 상쇄



출처: Journal of Cleaner Production(2021), Cold mix asphalt: An overview

[그림 2-40] 아스팔트 유형별 제조 온도, 톤당 연료 소비량



출처: Journal of Cleaner Production(2021), Cold mix asphalt: An overview

[그림 2-41] 제조 유형별 에너지 사용량(좌), 제조 유형별 온실가스 배출량(우)

□ 국내의 경우 아직 제한적으로 사용되며 관련 연구가 일부 진행되고 있으며, 국외에서도 제한

적으로 사용되나 일부 국가의 경우 관련 기준이 존재

- 스웨덴은 플랜트 생산 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 품질기준 정립 연구를 통해 관련 기준을 제시

<표 2-22> 스웨덴의 플랜트 생산 재활용 아스팔트 혼합물 품질기준

시험방법	기층용	표층용
공극률 (%)	6~14	4~12
25℃ 마샬 안정도 (N)	7,000 이상	5,000 이상
10℃ 스티프니스(MPa)	2,000 이상	-
10℃ 간접인장강도, 7일 건조시료 (MPa)	-	0.3 이상
수분민감도(%)	50 이상	60 이상
재활용 아스팔트의 골재 크기 (mm)	22 이하	16 이하

출처: 한국건설기술연구원(2019), 온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구 최종보고서

- 중국은 상온 재활용 아스팔트 포장의 두께를 최대 10cm, 시멘트 첨가량은 재활용 아스팔트 사용에 0.5~3.0%로 제한하였고, 관련 기준을 제시

<표 2-23> 중국의 상온 재활용 아스팔트 관련 기준

시험방법		표층용
공극률 (%)		9~14
25℃ 마샬 안정도 (N)		-
간접인장시험 (25℃)	강도 (MPa)	0.3
	Wet/Dry Ration (%)	70

출처: 한국건설기술연구원(2019), 온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구 최종보고서

- 한국건설기술연구원은 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구” 과제 내에서 “무시멘트 활용 저비용 상온 재활용 아스팔트 포장 공법 개발”을 수행
 - 온실가스 발생 감소, 순환골재의 재활용률 상승 등을 목적으로 수행
 - 일반 아스팔트 포장 수준의 양생시간 및 성능을 확보하면서 20% 이상 비용 절감이 가능한 페아스콘 80% 혼입 기층용 상온 재활용 아스팔트 및 페아스콘 40% 혼입 표층용 상온 재활용 아스팔트 재료 및 생산 시스템 개발이 목표
 - CO₂ 배출 42,120t/yr 절감 및 재료생산비용 501억원/yr 절감이 목표
 - 무기질 첨가제 및 개질 유화 아스팔트 개발, 혼합물 생산설비 개발, 시방서 개발을 추진
 - 조기양생 및 강도발현이 가능한 상온 재활용 아스팔트 혼합물용 무기질 첨가제 및 재생 고무 개질 유화아스팔트 개발
 - 재생 고무 개질 유화아스팔트 제조설비를 포함한 상온 재활용 아스팔트 혼합물 생산설비 개발
 - 페아스콘 40% 혼입한 표층용 및 80% 혼입한 기층용 상온 재활용 아스팔트 배합설계 및 품질관리 시방서 개발



[그림 2-42] 상온 재활용 아스팔트 포장 기술



<무기질 첨가제>



<재생고무 개질유화 아스팔트>



<생산설비 최적화>

출처: 한국건설기술연구원(2019), 온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구 최종보고서

[그림 2-43] 상온 재활용 아스팔트 포장 공법 주요 성과

- 국내의 경우 조기 강도발현 문제 및 장기 내구성능 저하로 기층용이나 저교통 도로의 표층으로만 주로 사용되며, 포장적용을 위해 조기강도 발현, 내구성 향상 등을 위한 연구가 진행 중
 - 재생골재의 경우 사용율을 높이기 위해 기층용 상온 재생 아스팔트 관련 실용화 연구가 진행 중이나, 공용성 등의 문제로 검증이 필요한 수준

(3) 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술(Cold In-place Recycling, CIR)

□ 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술은 현장에서 폐기되는 혼합물을 100% 활용하여 사용하는 공법으로 비용 및 환경적 측면에서 큰 장점이 존재

- 현장의 노후된 아스팔트 포장에서 표층으로부터 5~10cm 깊이를 부분적으로 절삭하여 상온에서 폼드아스팔트나 유화아스팔트를 사용하여 재생하는 공법
 - 기존의 현장 가열 재활용 포장기술에 비해 경제성이 높고, 가열 과정이 없어 친환경적
 - 노후된 아스팔트 포장의 표면을 밀링장비를 이용하여 부분적으로 절삭하여 이동식 플랜트에 투입하여 폼드아스팔트 또는 유화아스팔트와 함께 혼합후 절삭된 아스팔트 위에 포설
 - 현장 가열 재활용 공법에 비해 공사비용 20~40% 절감 및 에너지 사용 40~50% 절감이 가능한 것으로 분석(ARRA, 2001)
 - 일반적으로 일정한 양생기간후 가열아스팔트의 덧씌우기가 필요하며, 양생기간이 길어 교통량이 많은 곳에 적용이 어려운 단점도 존재



출처 : 한국도로학회, 미국의 아스팔트포장 현장 재생공법 소개와 상온 재생 폼드아스팔트 혼합물의 배합 설계법 개발

[그림 2-44] 현장 상온 재활용 아스팔트 포장 현장(아이오아주, 2008)

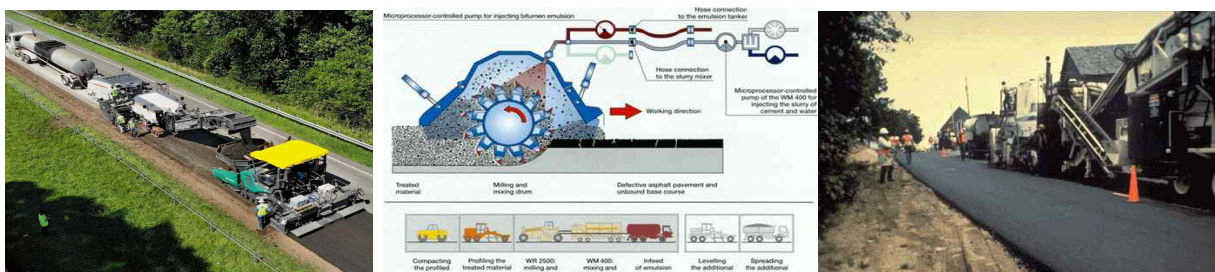
<표 2-24> 가열 재활용 아스팔트 포장과 상온 재활용 아스팔트 포장 공법의 비교

구분	현장 가열 재활용 아스팔트 포장	상온 현장 재활용 아스팔트 포장
재생 가능한 포장 깊이	2~5cm	5~10cm
재생공법 적용을 위한 포장의 노면상태	소성변형 종방향&횡방향 균열 블리딩, 라벨링	표층 표면 파손보수 기층에서 발생한 반사균열
장점	공사기간 단축 표면 덧씌우기가 불필요	경제성 높음 환경친화적
단점	대기온도가 낮을 경우 시공 제한 현장 시공관리 주의 요구 상온재활용공법에 비해 높은 비용	교통량 많은 곳에 적용 어려움 일정기간 양생기간 필요 HMA 표면 덧씌우기가 요구

출처 : 한국도로학회, 미국의 아스팔트포장 현장 재생공법 소개와 상온 재생 폼드아스팔트 혼합물의 배합 설계법 개발

□ 해외에서는 노후 도로의 보수 등에 자주 사용되나, 국내의 경우 아직 적용사례 전무

- 미국에서는 여러 주에서 빈번히 사용되고 있으며, 관련 시방서나 가이드도 존재
 - 미국의 연방고속도로관리국(FHWA, Federal Highway Administration)은 현장 상온 재활용 아스팔트 포장을 위한 Pavement Preservation Checklist Series를 제공
 - 배합, 설계, 시공, 구조, 교통 통제 계획, 첨가제 관련 지침, 건강 및 안전 관련 자료, 품질관리 등 다양한 분야에 대한 체크리스트를 제공
 - 그 외 뉴멕시코, 뉴욕, 펜실베이니아, 아이오아, 오레곤 주 등 다양한 주에서 각 환경에 맞는 시방서, 품질관리 등을 제공
- 국내의 경우 아직 CIR 공법의 적용 사례는 전무하며, 장비 관련 문제도 존재
 - 국내의 경우 현장 가열 재활용 아스팔트 포장 공법이 적용되고 있으며, 최근에 현자 중온 재활용 아스팔트 포장 공법의 개발 사례가 존재
 - CIR 장비의 국내 도입시, 특수장비로 분류되어 국내 도로법상 이동이 불가능한 문제가 존재



[그림 2-45] Cold In-place Recycling 시공전경 및 개념 및 장비 (출처: Federal Highway Administration)

2.2.3. 산업·시장적 환경 분석

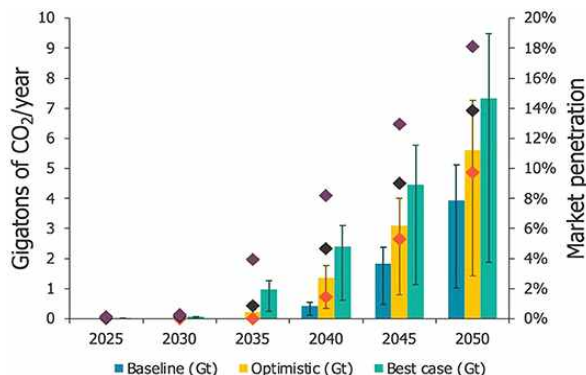
1. 탄소중립 시장

□ 글로벌 CO2 활용 건설재료 시장은 '50년 1조 달러까지 증가할 것으로 전망

- CO2 활용 건설재료 시장은 골재 사용량, 콘크리트 사용량, 폐기물 사용량, 프리캐스트 콘크리트 사용량 등을 기준으로 CO2 활용 건설재료의 향후 시장점유율을 가정하여 전망*

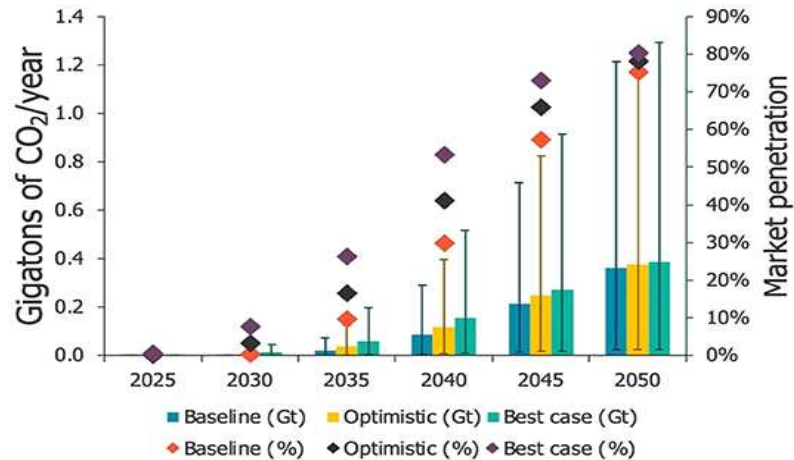
* CO2 Utilization and Market Size Projection for CO2-treated Construction Materials(frontiers, 2022)

- 전 세계 골재 사용량은 '20년 기준 450억 톤에서 세계 골재 업체의 업계 평균을 인용하여 연평균 3.3% 성장하면 '50년 1,190억 톤으로 예상
- 콘크리트 사용량은 시멘트 사용량('20년 52억 톤)을 기준으로 추정한 결과, '20년 250억 톤
- 프리캐스트 콘크리트 사용량은 콘크리트 시장의 30%로 추정하여, '20년 70억 톤에서 산업 데이터의 평균값을 인용하여 연평균 5.2% 성장하면 '50년 320억 톤으로 예상
- ※ 전 세계 CO2 활용 건설재료로 사용될 수 있는 폐기물량은 약 6.6기가톤으로 추정되며, 알칼리성 광물 생산량은 1,620만 톤으로 추정
- CO2 활용 건설재료는 골재 시장 및 프리캐스트 콘크리트 시장의 일부를 차지할 것으로 예상
- 광물 또는 건설 폐기물의 탄산화 시장은 골재 톤당 0.087~0.440톤의 CO2를 소비할 수 있으며, 탄소가격 및 골재가격에 따라 시장을 추정한 결과, '50년 3,370억 달러로 예상
- 탄소가격은 '20년 10달러/톤으로 '40년까지 50달러/톤으로 성장할 것으로 전망
- 골재의 전 세계 평균 가격은 '20년 기준 10달러/톤을 추정되며, 생산자의 인터뷰 결과에 따라 '50년에는 50달러/톤까지 성장할 것으로 전망
- 골재에 대한 CO2 활용 가능성은 '50년 연간 1.0~9.5 기가톤으로 추정되며, 시장을 추정하면 '50년 3,370억 달러로 전체 골재 시장의 18%를 차지할 것으로 예상
- CO2 활용 프리캐스트 콘크리트 시장은 콘크리트 톤당 0.001~0.05톤의 CO2를 소비할 수 있으며, 탄소가격 및 프리캐스트 콘크리트 가격에 따라 시장을 추정한 결과, '50년 6,660억 달러로 예상
- 프리캐스트 콘크리트 가격은 '20년 기준 19달러/톤으로 추정되며, 과거 가격 변동결과를 인용하여 매년 1.1% 증가할 것으로 예상하면 '50년 26달러/톤까지 성장할 것으로 예상
- 프리캐스트 콘크리트 양생에 CO2 사용량은 '20년 0.1기가톤 미만에서 '50년 0.05~1.3기가톤으로 증가할 것으로 추정되며, 시장을 추정하면 '50년 6,660억 달러로 예상



출처: frontiers(2022), CO2 Utilization and Market Size Projection for CO2-treated Construction Materials

[그림 2-46] 광물 또는 건설 폐기물 탄산화 시장 추정

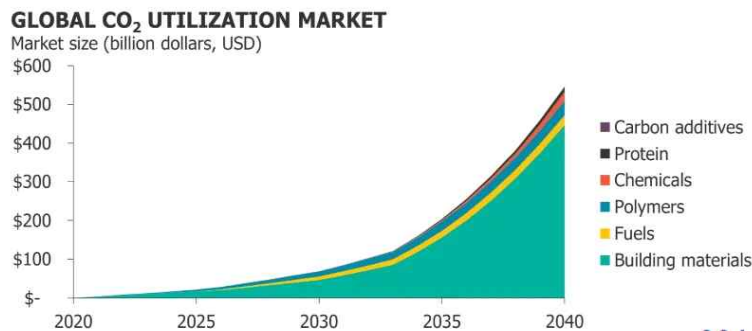


출처: frontiers(2022), CO2 Utilization and Market Size Projection for CO2-treated Construction Materials

[그림 2-47] 프리캐스트 콘크리트 CO2 양생 시장 추정

□ 글로벌 CO2 활용 시장은 '30년 700억 달러, '40년 5,500억 달러로 성장할 것으로 전망되며, 그중 건설재료가 전체 시장의 86%를 차지할 것으로 예상

- 전 세계 기후변화에 따른 탄소중립 선언에 따라 잠재적인 탄소경제에 대한 관심이 증가하면서 화학물질, 건설재료, 연료, 식품 등 CO2 활용 시장이 폭발적으로 성장할 것으로 예상
- 특히 CO2 활용 건설재료는 다른 전환 기술에 비해 기술적 진입 장벽이 낮고, 탄소 고정화로 재배출 우려가 없어 광범위하게 적용될 것으로 예상



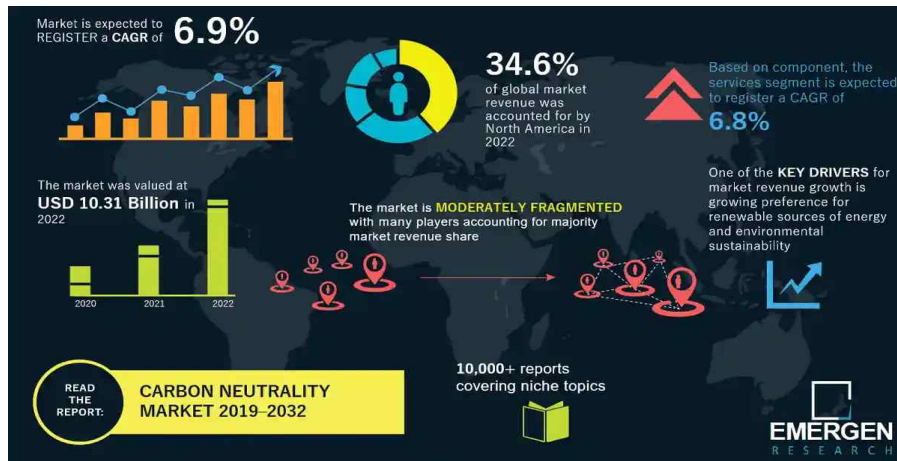
출처: BALKAN GREEN ENERGY NEWS(2021), Building materials leading CO2 utilization market to USD 550 billion by 2040

[그림 2-48] 프리캐스트 콘크리트 CO2 양생 시장 추정

□ 세계 탄소중립 관련 시장은 계속해서 증가하고 있는 추세로 지속적인 수요증가가 예상

- 세계 탄소중립시장은 '22년 103억 1천만 달러에서 연 6.9% 규모로 성장하여 '32년 199억 5천만 달러에 이를 것으로 전망
- 관련 다양한 분야에서 시장 및 수익의 성장에 대한 다수의 원인이 존재
 - 친환경 건축 프로젝트에 대한 이니셔티브의 증가, 배출량을 줄이고 탄소 격리 잠재력을 높이기 위한 지속 가능한 농업 관행의 신속한 채택, 재생 가능 에너지원 및 환경 지속 가능성에 대한 선호도 증가, 차량 및 기타 배출원에서 배출되는 배출량을 줄이기 위한 운송 시스템 개혁 등이 시장 성장의 주요 원인
 - 탄소 배출 감소를 위한 여러 정부의 지원 및 정책의 급증과 기후 조치 촉진을 위한 대중의 인식 및 참여 증가도 시장의 성장에 기여하는 다른 원인
 - 배터리 전기자동차, 수소 전기 자동차, CCUS 등도 시장 성장의 원인

- 세계 탄소발자국 시장은 '21년 95억 달러에서 연평균 6.1% 성장하여 '28년 약 137억 달러에 이를 것으로 전망
 - 탄소발자국 시장은 정부의 탄소저감 목표달성을 위해 전 산업에 수요가 확대되면서 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상되고, 클라우드 컴퓨팅 및 페이퍼리스 경제로 전환되며 시장 성장은 가속화될 것으로 전망
 - 제조, 에너지, 운송 및 물류 산업에서 가장 높은 수요를 보이고 있으며, 해당 산업의 탄소발자국 시장은 '10년 이후 2배 이상 성장한 것으로 조사

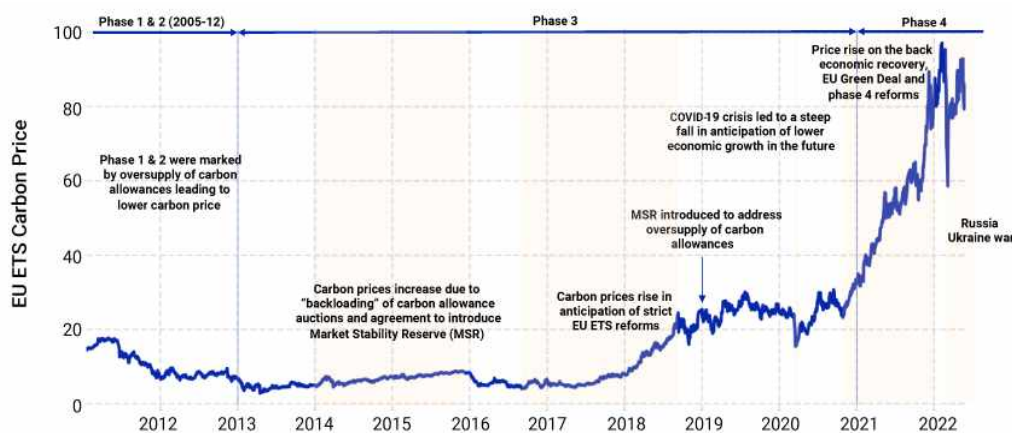


출처 : EMERGEN RESEARCH(2023), Carbon Neutrality Market, By Activity (Emissions Reduction and Renewable Energy Use), By Component (Solutions and Services), By Verticals (Manufacturing, Shipping & Logistics and Energy & Utilities), and By Region Forecast to 2032

[그림 2-49] 세계 탄소중립 시장 전망

□ 세계 탄소배출권 시장은 급속도로 성장 중이며, 국내 시장도 첫해에 비해 90배 이상 성장

- 세계 탄소배출권 거래액은 '21년 기준 7,600억 유로를 기록하며 '17년보다 10배 이상 증가했으며, 유럽은 세계 탄소시장의 약 90%를 차지
 - '20년 COVID-19의 영향으로 하락했던 탄소배출권 가격은 온실가스 감축목표 달성을 위한 규제 등으로 인해 가격 폭등(97유로/ton)



[그림 2-50] 유럽 탄소배출권 가격

○ 국내 탄소배출권 거래액은 배출권시장 개설 첫해 138억 원에서 '21년 1조 2,772억 원으로 약 90배 상승

- 탄소배출권 가격은 '15년 1만원/ton에서 '21년 중순 약 2만원/ton으로 지속적으로 상승



[그림 2-51] 국내 배출권거래제 거래량, 가격 추이

□ 국가간 탄소 배출량 거래를 통해 약 1,200억 원 이상의 경제적 효과가 발생할 것으로 기대

○ '22년 우리나라 탄소배출권(KAU22*)의 평균 가격(1~8월)은 24,979원/ton으로 가격 변동이 (12,050~32,700원) 큰 시장

※ 국내 배출권 종목은 크게 KAU, KCU, KOC로 구분할 수 있으며, 이행연도 만기시점에 배출권 의무제출 시 타 배출권에 비해 KAU 유동권이 높아 배출권 시장은 KAU가 중심이 되는 구조



[그림 2-52] 우리나라 탄소배출권 평균 가격('22)

○ '22년 유럽 탄소배출권의 평균 가격(1~7월)은 111,310원/ton



[그림 2-53] 국가별 탄소배출권 가격 추이('22)

○ 사업목표인 건설 관련 산업 탄소배출량 20%를 저감하여 총 11.2백만톤의 탄소배출권을 판매하면 280억 원의 경제적 효과 발생

- 탄소배출권 시장이 개방되어 국가 간 거래가 가능하다고 가정하여, 유럽에 판매하게 되면 약 1,247억 원의 경제적 효과 발생

□ 전 세계는 기후변화 완화를 위한 온실가스 감축에 보다 실효성 있는 대책을 요구하고 있으며, 주요 정책 중 하나로 탄소가격제(Carbon Pricing)를 추진 중

○ 탄소가격제는 오염자부담 원칙에 따라 탄소배출에 가격을 부여하여 배출량 감축을 유도하는 정책수단으로 탄소세, 배출권거래제 등이 대표적

○ 탄소세(Carbon tax)

- (정의) 제품을 만들 때 발생하는 탄소배출량에 비례하는 과세로 정부가 탄소가격을 결정
 • 세금 부담자에겐 예측 가능성이 높은 장점이 있으나, 세금 부담자의 행동에 따라 총 배출량이 결정되는 불확실성 존재

○ 배출권거래제(ETS)

- (정의) 기업마다 배출권을 할당하고, 실제 배출량이 배출권을 초과하는 기업과 배출권 내 기업이 탄소배출권을 거래하는 제도
 • 기업의 총 배출권을 정부가 결정하여 배출 감축의 실효성 높음
 ※ 우리나라는 '15년부터 배출권거래제를 시행 중이며 탄소세는 미도입 상태

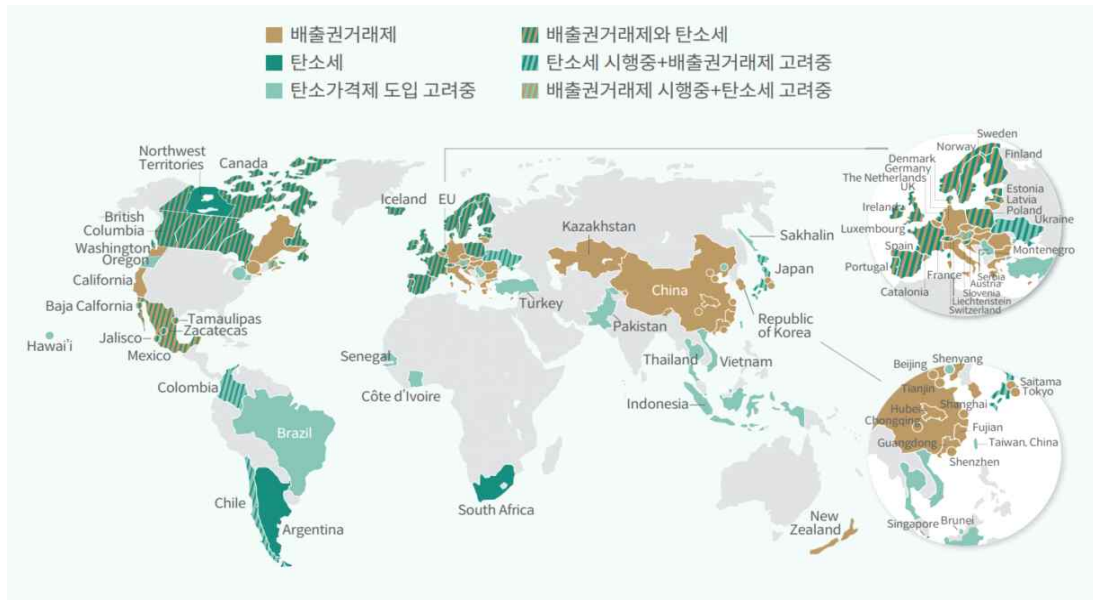
○ 탄소국경세(Carbon border tax)

- (배경) EU의 저탄소 제품의 글로벌 가격 경쟁력을 확보하고, 탄소배출 문제에 전 세계가 참여하도록 탄소국경세 도입
 • EU는 저탄소 제품을 생산하기 위한 대규모 투자를 통해 완제품 가격이 오른 반면, 규제가 느슨한 나라들은 상대적으로 가격이 저렴
 - (정의) 온실가스 배출량이 많은 국가에서 적은 국가로 상품이나 서비스를 수출할 때 적용되는 관세
 • 전 세계 무역에 큰 영향을 미칠 전망으로, EU 및 미국 등은 주요 온실가스 배출이 많은 업종*부터 과세 예정
 ※ '23년부터 EU는 철강·알루미늄·시멘트·전기·비료 업종, 미국은 철강·알루미늄·시멘트·천연가스·석유·석탄 업종에 대해서 과세를 시작

<표 2-25> 탄소가격제 특징

구분	탄소세	배출권 거래제도(ETS)
가격	정부에 의해 가격(CO2 배출톤당 세율)이 설정	각 주체의 배출권이 시장에서 매매되는 결과로 가격 결정
배출량	세율을 근거로 배출 주체가 배출량을 결정	정부에 의해 전체 배출량의 상한이 설정되고, 각 배출 주체는 시장가격을 통해 자신의 배출권과 거래량을 결정
특징	가격은 고정되지만, 배출감소량에는 불확실성 존재	배출 총량은 고정되지만, 거래가격은 변동성이 있음
도입국	35개	29개
1톤당 탄소가격 (USE/tCO ₂ e, '21년 1월 기준)	스웨덴(137), 스위스(101), 프랑스(52), 영국(25), 일본(3)	EU(50), 스위스(46), 한국(16), 도쿄(5), 캘리포니아(18)

출처: JETRO(2021), 녹색성장을 위한 글로벌 비즈니스 동향



[그림 2-54] 전세계 탄소세 및 배출권거래제 도입 현황('21.4)

출처: Worldbank(2021), State and Trends of Carbon Pricing을 바탕으로 국회예산처 재작성

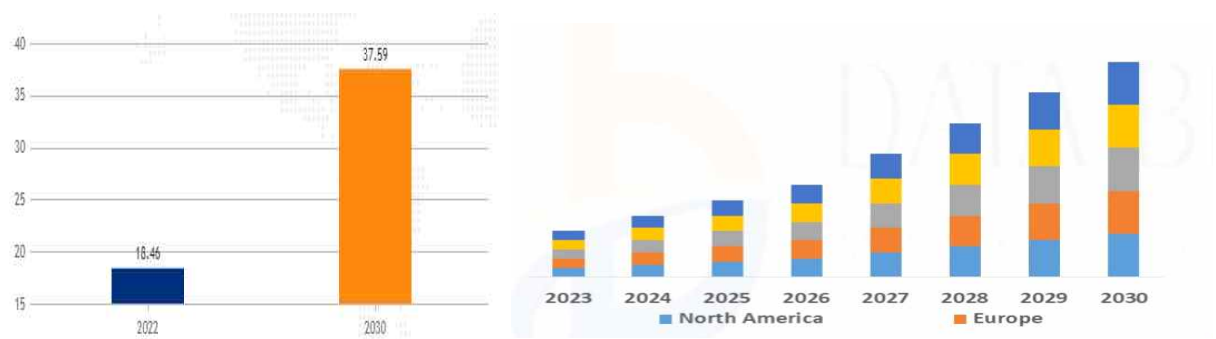
2. 콘크리트 시장

□ (콘크리트시장) 세계 시멘트 및 콘크리트 시장은 매년 증가 예상

- 세계 콘크리트 시장은 아시아 태평양, 서유럽, 북미 및 기타 지역 순으로 크게 나타났으며, 아시아-태평양 시장은 2018년 전체의 44.0%를 차지하며 중국은 2017년 33.69%의 생산 시장 최대 점유율
- 향후 시멘트 및 콘크리트 시장에서 가장 빠르게 성장하는 지역은 아프리카와 동유럽이 될 것이며 각각 성장률은 각각 19.9%와 12.8%로 예상
- 국내 콘크리트 시장은 레미콘 사용량 기준 2000년 109백만^{m³}, 2010년 115백만^{m³}, 2015년 152백만^{m³}, 2017년 174백만^{m³}으로 증가하다가 2018년 이후로 둔화하기 시작하여 2019년에는 147백만^{m³}으로 감소

□ 글로벌 친환경 콘크리트* 시장은 '22년 184억 달러에서 연평균 9.3% 성장하여 '30년 375억 9천만 달러로 성장할 것으로 예측

- * 친환경 콘크리트 대상 세그먼트는 시멘트, 석회, 일반 시멘트, 프리스트레스, 강화 유형과 주거용, 상업용, 산업용, 인프라용 용도를 범위로 조사
- 글로벌 친환경 콘크리트 시장은 지속 가능한 건설에 대한 인식과 수요 증가로 기존 콘크리트 보다 점점 선호되고 있으며, 건물의 수명 주기 동안 잠재적인 비용 절감할 수 있음
- 저탄소 건설에 대한 수요가 증가함에 따라서 글로벌 친환경 콘크리트의 수요는 계속해서 증가할 것으로 예상

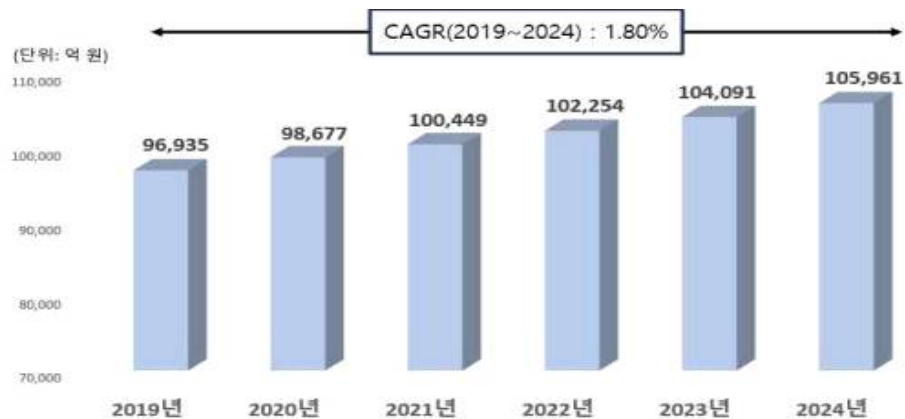


출처: Data Bridge Market Research(2023), Global Green Concrete Market – Industry Trends and Forecast to 2030

[그림 2-55] 글로벌 친환경 시멘트 시장 규모 및 전망

□ 국내 콘크리트(레미콘) 시장 규모는 연평균 1.8% 증가하여 '24년 10조에 도달할 것으로 예상

- 국내 레미콘 시장은 '19년 9조 6,935억 규모에서 연평균 1.8% 성장하여 '24년에는 10조 5,961억 규모로 성장할 것으로 예상
- 다만, 콘크리트의 원재료인 시멘트의 가격변동과 운반비를 포함한 수송 원가의 상승으로 변동의 우려가 있는 것으로 분석



출처 : NICE디앤비(2022), 한일홀딩스 기술분석 보고서

[그림 2-56] 국내 레미콘 시장 규모 (단위:억 원)

□ 국내 친환경 콘크리트 시장규모는 전체 콘크리트 산업 대비 2020년에는 약 12%, 2022년에는 22% 정도 점유 예상

- 친환경 건설재료 시장은 연평균 30% 이상의 성장이 예상되며, 이에 따라 친환경재료 시장에서 시멘트 대체 기술 및 제품개발을 위한 경쟁이 치열

<표 2-26> 국내 콘크리트 산업 시장 규모 (단위: 억 원)

구분	2010	2015	2020
한국 시장 규모	500,000	520,000	550,000

출처: 한국콘크리트 학회지(2012.3), 콘크리트 기술의 혁신과 해외건설시장 수요 창출



[그림 2-57] 시멘트 대체재료의 성장 전망 (발명진흥회)

□ 고성능 콘크리트의 수요와 점유율은 전 세계적으로 급속히 증가하고 있으며, 이에 따라 초고성능 콘크리트(UHPC)의 수요 역시 꾸준히 증가할 것으로 예상

- 2010년 기준 콘크리트 시장에서 고성능 콘크리트의 시장은 전체에서 1% 이내이지만, 계속하여 고품질인 콘크리트가 요구되기 때문에 고성능 콘크리트 시장은 꾸준히 성장할 것으로 전망
- 고성능 콘크리트 시장에 대한 수요는 전 세계 건설산업의 높은 성장에 따라 주거, 상업 및 기타 인프라 건설 증가로 인해 발생할 것으로 판단
- 주택 및 인프라 건설 부문에서 반등을 목격하고 있는 아시아 태평양 지역은 새로운 건설의 필요성과 개조 또는 재건의 필요성에 의해 수요를 주도할 것으로 예상

<표 2-27> 전 세계 고성능 콘크리트 시장전망, 단위: 억 달러

구분	2010	2015	2020	2030
콘크리트1)	500,000	520,000	550,000	570,000
고성능콘크리트2)	24,000	12,000	120,000	300,000
점유율(%)	0.48	2.31	21.82	52.63

출처: 1) World Business Council for Sustainable Development, 2009

2) ACI, Prediction of Concrete Industry, 2007

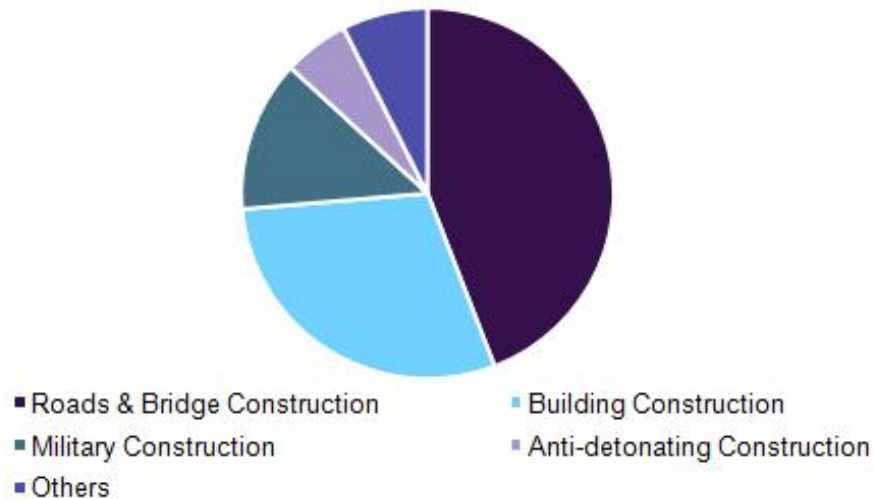
- 국내의 고성능 콘크리트 시장은 2003년 이후부터 증가하기 시작하여 2012년 약 3,000억 원, 2020년에는 약 1.2조억 원 규모가 형성되고 있으며, 향후 계속적으로 증가할 것으로 전망

□ 전 세계 UHPC 관련 시장규모는 2016년에 약 9천억 원 정도이고, 미국에서는 2022년에는 6,000억 원 정도의 시장이 형성될 것으로 예측

- 미국 Grand View Research 보고서에 따르면 전 세계 UHPC(Ultra High Performance Concrete) 관련 시장규모는 2016년에 약 9천억 원 정도이고, 미국에서는 3,500억 원 정도가 형성되어 있고, 2022년에는 6,000억 원 정도의 시장이 형성될 것으로 예측됨
- UHPC는 도로와 교량의 SOC 분야, 건축 분야 그리고 국방과 방폭 분야 등에 많이 적용되는 것으로 분석

- 2016년 도로·교량 건설이 최대 적용 분야로 부상했으며 전 세계 점유율은 42%를 초과

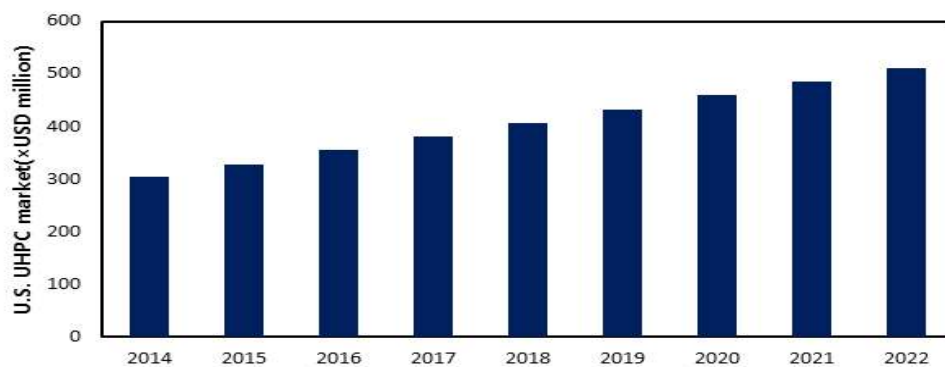
- UHPC의 특성상 도로 및 교량 공사 등 고강도 용도에 이상적이며 가볍고 가벼운 구조 부재를 시공할 수 있는 장점 때문에 사용량이 증가하고 있으며 향후 8년간 이러한 추세가 계속될 것으로 예상



출처: Grand View Research

[그림 2-58] UHPC 활용처 분포(2016)

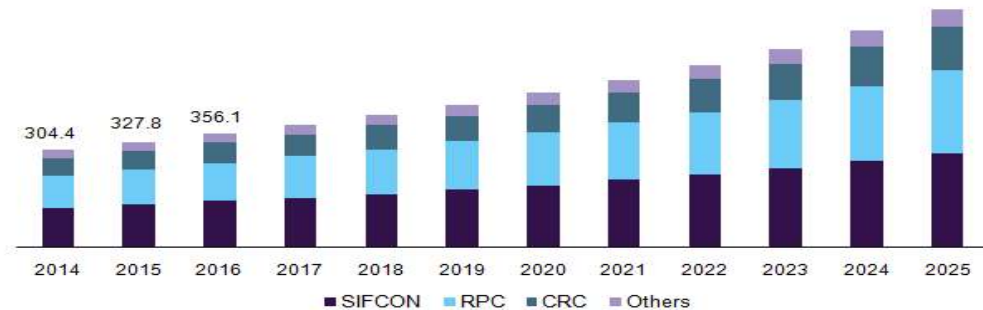
- UHPC 기술은 미래의 기술이 아니라 현재 일정 규모의 시장이 형성되어 있고, 다양하게 활용되고 있으며, 관련 기술 경쟁력 확보는 향후 세계 콘크리트 시장의 주도권을 좌우할 수 있을 것으로 전망
- 초고성능 콘크리트는 첨단 시멘트 재료로 건축의 지속가능성 향상을 위한 실행 가능한 해결책이 될 수 있을 것으로 기대되며, 시공에 사용될 때 철근 제거가 가능



출처: Grand View Research

[그림 2-59] 미국 UHPC 시장규모

- 미국 시장의 경우 2016년 슬러리 침투 섬유콘크리트(SIFCON) 부문이 많이 활용되었으며 다양한 제품들이 점차적으로 활용되고 수익이 증가될 것으로 예상

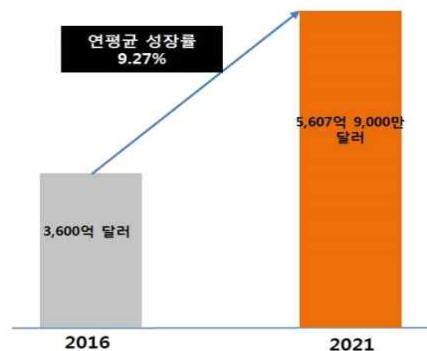


출처: Grand View Research

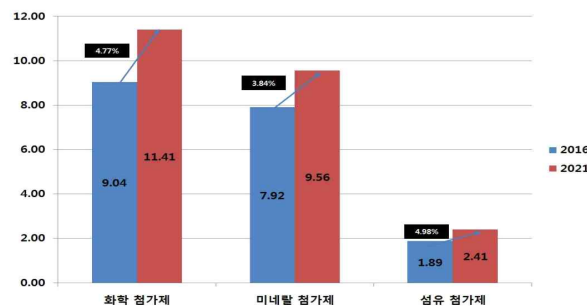
[그림 2-60] 제품별 미국 UHPC 시장수익, 2014~2025년(미화 백만 달러)

3. 시멘트 시장

- 전 세계 시멘트 시장은 '16년 기준 3,600억 달러에서 연평균 성장률 9.27%로 증가하여, '21년에는 5,607억 9,000만 달러에 이를 것으로 전망
- 전 세계 시멘트 시장에서 시멘트 첨가제 시장은 2016년 188억 5,000만 달러에서 연평균 성장률 4.4%로 증가하여, 2021년에는 233억 8,000만 달러에 이를 것으로 전망
- 국내 시멘트 시장규모는 2016년 약 3.6조억 원으로 지속적으로 증가, 2021년 약 4.3조억 원으로 예상되나, 건설산업 시장 둔화에 따라 시장규모는 감소 전망

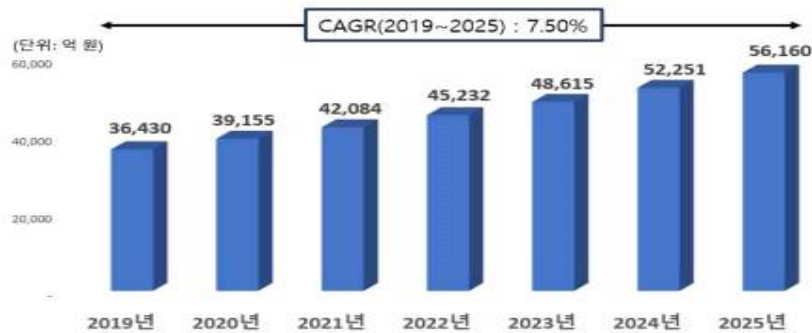


[그림 2-61] 세계 시멘트 시장 규모



[그림 2-62] 세계 시멘트 첨가제 시장 규모 (단위: 십억 달러)

- 국내 시멘트 시장은 연평균 증가율 7.50%로 성장하여 '25년 5조6천억에 도달할 것으로 전망
 - 국내 시멘트 시장은 코로나19로 인해 경제활동이 위축되어, 주요 업체의 매출은 감소된 부분이 있지만, 코로나19 종료 이후 수익성이 점차 개선되어 매년 7.5% 성장하여 '25년 5조 6,160억에 도달할 것으로 예상
 - 다만, 관련 산업의 규제정책과 국내의 주택건설경기 등을 고려했을 때 다소 불확실성이 있는 것으로 판단



출처 : NICE디앤비(2022), 한일홀딩스 기술분석 보고서

[그림 2-63] 국내 시멘트 시장 규모 (단위:억 원)

□ 글로벌 친환경 콘크리트 시장 현황 및 전망

※ 출처:Data Bridge Market Research(2023), Global Green Concrete Market - Industry Trends and Forecast to 2030

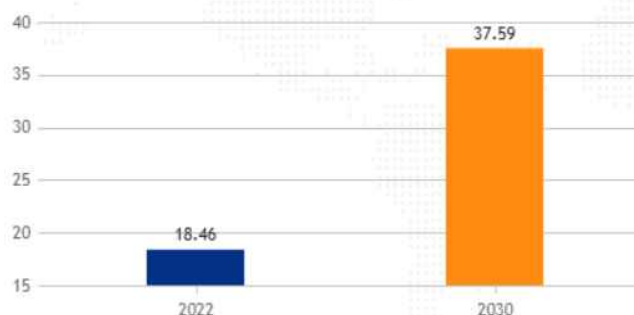
- 글로벌 친환경 콘크리트 시장은 '22년 184.6억 달러에서 '30년 375.9억 달러까지 연평균 9.3% 성장할 것으로 전망

예측 기간	2022-2030
시장 규모(기준 연도)	미화 184억 6천만 달러
시장 규모(예측 연도)	미화 375억 9천만 달러
CAGR (연평균 성장률)	9.3%

글로벌 녹색 콘크리트 시장 - 산업 동향 및 2030년까지 예측

미화 10억 달러의 시장 규모

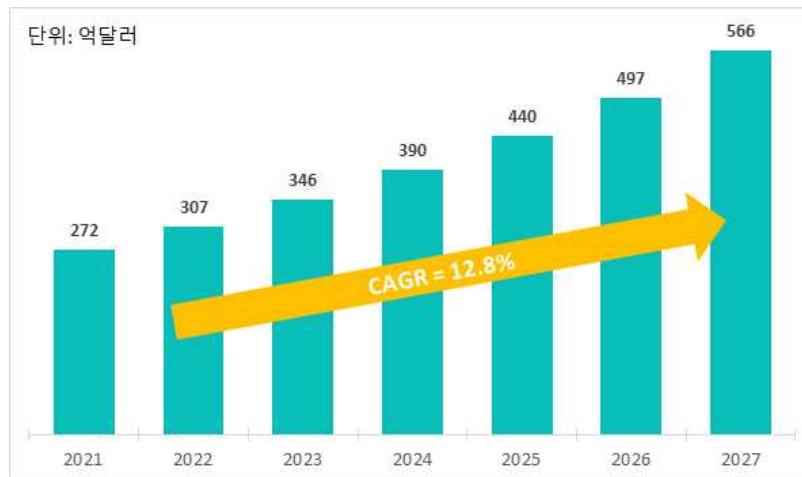
연평균 성장률 - 9.3%



출처: Data Bridge Market Research(2023), "Global Green Concrete Market - Industry Trends and Forecast to 2030"

[그림 2-64] 글로벌 친환경 시멘트 시장 규모 및 전망

- 친환경 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 탄소배출량이 감소시키고 천연재료 사용이 줄어들어 글로벌 탄소중립 이슈에 대응하는 건설재료로 사용량이 증가할 것으로 예상
 - 주거, 상업시설, 토목인프라 등 다양한 구조물에 광범위하게 적용되고, 신흥국과 선진국의 엄격한 규제와 정책으로 친환경 시멘트 사용량을 지속적으로 증가할 것으로 전망
- 친환경 시멘트의 제품 유형으로는 비산회, 슬래그, 석회석, 실리카 폼 기반 제품으로 분류할 수 있으며, 현재는 비산회 기반 시멘트가 전체 시장 점유율을 대부분을 차지
 - 친환경 시멘트 사용량은 탄소배출량 저감과 단열 기능 등의 수요로 인해 주거 부문 시장에서 대부분을 차지하고 있으며, 특히 북미 시장에서 점유율이 증가



출처: imarc(2021), Green Cement Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2022-2027

[그림 2-65] 글로벌 친환경 시멘트 시장 규모 및 전망

2.2.4. 주요 시사점

1. 정책적 환경

□ 전 세계적으로 탄소중립 이행을 위하여 파리협정 등 여러 가지 정책을 추진 중

- UN은 '92년 기후 변화에 관한 유엔 기본 협약을 시작으로 교토의정서, 파리협정과 같은 탄소중립 관련 정책을 지속적으로 채택
 - '92년 온실 기체에 의해 벌어지는 지구 온난화를 줄이기 위해 기후 변화에 관한 유엔 기본 협약을 채택
- 세계 각국에서는 탄소국경세, 탄소세 등 각자 탄소중립을 추진하기 위한 정책을 추진 중
 - '21년 7월 EU 집행위는 '30년까지 탄소배출량을 '90년 수준대비 55%로 감축하기 위한 입법안 패키지인 “Fit for 55”를 발표
 - 바이든 정부는 취임식 당일 파리협정 복귀('21.1)를 선언하고, 공중보건과 환경보호 및 기후변화 대응을 위한 과학회복, 국내외 기후위기 대처에 대한 행정명령 서명하고 미국 탄소국경세 법안 발의
 - 일본 건설 관련 산업은 일본 전체 산업에서 약 4%의 탄소배출량을 차지하고 있고 이 중 시멘트-콘크리트 분야의 탄소배출 감소는 중요한 과제로 인식
 - 탄소중립을 실현하기 위해 시멘트-콘크리트 분야에서 추진하는 전략은 혼화재료 등의 산업부산물물을 적극적으로 활용하는 것은 부족
 - 이를 극복하기 위해 시멘트 제조 시 탄소 분리 및 회수, 그리고 회수한 탄소를 재용하는 등 여러 가지 기술개발을 추진
- RE100 등 협회와 기업 차원에서 탄소중립 달성을 위한 노력도 지속적으로 추진 중
 - 유럽시멘트협회(CEMBUREAU) 로드맵은 '25년까지 탄소중립 실현을 위해 '30년 중간 목표지점을 설정하여 시멘트 산업 총 CO2 배출량을 30% 감축하는 것을 제시하여 NDC 달성에 기여
 - '30년까지 클링커(61), 시멘트(35), 콘크리트(28), 건설 및 탄산화(71)을 달성하여 '90년 대비 25% 탄소배출량을 절감하는 것을 목표
 - '50년까지 추가적인 노력을 통해 클링커(160), 시멘트(117), 콘크리트(59), 건설 및 탄산화(51) 외에 CCUS 기술(280)을 적용하여 '90년 대비 탄소중립을 이행하는 것을 목표
 - 미국의 포틀랜드 시멘트 협회(PCA)에서는 탄소중립 로드맵을 발표
 - 미국의 포틀랜드 시멘트 협회에서는 콘크리트의 생산 및 사용에 따른 전주기적 관점(클링커 생산, 콘크리트 사용, 구조물의 생애주기, 구조재료의 사용 중 탄산화 등)에서 2050년까지 시멘트 산업 탄소중립 달성을 목표
 - RE100에 따라 참여기업들은 재생에너지(원자력 제외)로 전환을 해야하며, 기존의 석탄, 석유 등 온실가스를 배출하는 에너지원에서 탈피하고자 노력
 - 철강산업과 화력발전에서 석탄 사용 비중을 점차 줄이면서 플라이 애쉬와 고로 슬래그 공급량이 지속적으로 줄어들 것으로 예상

□ 국내에서도 탄소중립 이행을 위해서 콘크리트/시멘트에 대한 정책 추진

- 탄소중립 실현을 위해 탄소중립녹색성장계획에서는 시멘트의 저탄소화를 추진하는 과제들을 제시
 - 탄소중립녹색성장계획의 산업부문에서는 시멘트 관련 탄소중립 실현 핵심기술 확보 및 상용화를 제시하고 있으며, 기업 투자 부담 경감을 위해 지원을 명시
- 제6차 건설산업진흥 기본계획('23~'27)에서는 저탄소 콘크리트의 시장 확대를 추진

- 제6차 건설산업진흥 기본계획은 건설산업기본법에 따라 건설산업의 중장기 발전 로드맵을 제시하기 위한 5년 단위의 법정계획으로, 건설산업 분야별 대책 및 계획들을 수립

2. 기술적 환경

□ 전세계적으로 시멘트를 대체하는 등 저탄소 콘크리트에 대한 기술을 적극적으로 개발 중

- 전세계적으로 시멘트를 대체하는 재료를 사용하는 콘크리트가 개발되어 다양하게 적용 중
 - 시멘트 분야의 온실가스 저감과 산업부산물의 안정적 재활용을 위한 방안으로 플라이애시, 고로슬래그 미분말을 다량 활용하기 위한 연구 개발이 활발히 진행되고 있으며, 나라마다 상황에 맞게 연구를 수행
 - 특히 플라이애시 다량 치환 콘크리트 및 고로슬래그 미분말 다량 활용 시멘트들은 이미 오래전부터 출시되어 여러 구조물에 적용
 - 국내에서도 출연연을 중심으로 시멘트를 치환하는 콘크리트를 개발하여 성능 검증 진행
 - 이외에도 시멘트를 사용하지 않는 무시멘트 콘크리트를 각국에서 개발 중
 - Wagners(호주)는 시멘트를 사용하지 않은 Earth Friendly Concrete(EFC)를 공항 활주로, 부두, 건물 등 다양한 프로젝트에 적용
 - Betolar(핀란드)는 Geoprime을 개발하여 조경 및 인프라 제품을 판매하고 있으며, 조경, 중공슬래브, 배수관 등에 활용
 - Sumitomo Mitsui 건설社(일본)는 도쿄대, 도쿄이과대와 초고성능 무시멘트 콘크리트인 Sustain-Crete를 개발
 - C-crete Technology(미국)는 건설업계 최초로 상업건물에 무시멘트 콘크리트를 적용
 - 국내에서도 한국건설기술연구원, 연세대학교 등에서 무시멘트 콘크리트 기술을 개발 중이나 아직은 미진하거나 활용처가 제한적
- 알칼리 활성 콘크리트와 지오폴리머 콘크리트의 경우 전세계적으로 기술개발은 되고 있으나, 아직까지 우리나라에서 구조물 적용에는 제한적인 것으로 확인
 - 현재 고로슬래그계 무시멘트 콘크리트 제조기술의 최고 기술보유국은 호주이고, 석탄회계와 천연재료계는 프랑스이고 구조부재 활용기술은 프랑스, 호주로서 전반적으로 무시멘트 콘크리트에 대한 최고 기술보유국은 프랑스와 호주로 분석
 - 국내에서 2000년대 후반부터는 시멘트 산업이 CO₂ 주요 발생원이라고 인식하여 산업부산물을 활용한 알칼리 활성 콘크리트 및 지오폴리머 콘크리트를 개발하였으나 구조물 적용은 제한적
- 초고성능 콘크리트 분야에서도 저탄소 기술을 적용한 연구 및 기술개발이 활발히 진행
 - 기존 고성능 콘크리트보다 진일보된 다양한 초고성능 콘크리트 기술이 활발히 개발되어 많은 분야에 적용되고 있으며, 전 세계적으로 미래 신성장 동력으로 인식하고 국가 차원에서 많은 지원
 - 독일, 중국, 미국 등에서는 국가차원의 프로그램을 운영하여 초고성능 콘크리트 개발을 진행하여 건축 내외장재, 교량, 군사시설, 2차제품, 보수·보강의 유지관리 등 다양한 분야에 적용
 - 저탄소 초고성능 콘크리트 연구로는 소성을 거치지 않은 석회석 미분말, 플라이애시, 고로슬래그 미분말 등과 같은 산업부산물 그리고 탄소저감 배합 관련 연구가 진행
 - 국내에서는 「SUPER Concrete Structure 2020 연구단」에서 세계최고 수준의 200년 수명 슈퍼콘크리트 재료·기준·구조시스템 기술 개발을 통해 세계 최초의 도로 사장교와 셀빌딩 구조물 건설 등 월드 레코드 보유

3. 산업/시장적 환경

□ 전 세계적으로 CO2 활용 건설재료 시장, 탄소배출거래시장 등 탄소중립 관련 시장은 계속해서 성장 중

- 글로벌 CO2 활용 건설재료 시장은 '50년 1조 달러까지 증가할 것으로 전망
 - 광물 또는 건설 폐기물의 탄산화 시장은 골재 톤당 0.087~0.440톤의 CO2를 소비할 수 있으며, 탄소가격 및 골재가격에 따라 시장을 추정한 결과, '50년 3,370억 달러로 예상
 - CO2 활용 프리캐스트 콘크리트 시장은 콘크리트 톤당 0.001~0.05톤의 CO2를 소비할 수 있으며, 탄소가격 및 프리캐스트 콘크리트 가격에 따라 시장을 추정한 결과, '50년 6,660억 달러로 예상
- 세계 탄소중립 관련 시장은 계속해서 증가하고 있는 추세로 지속적인 수요증가가 예상
 - 세계 탄소중립시장은 '22년 103억 1천만 달러에서 연 6.9% 규모로 성장하여 '32년 199억 5천만 달러에 이를 것으로 전망
- 세계 탄소배출권 시장은 급속도로 성장 중이며, 국내 시장도 첫해에 비해 90배 이상 성장
 - 세계 탄소배출권 거래액은 '21년 기준 7,600억 유로를 기록하며 '17년보다 10배 이상 증가했으며, 유럽은 세계 탄소시장의 약 90%를 차지
 - 국내 탄소배출권 거래액은 배출권시장 개설 첫해 138억 원에서 '21년 1조 2,772억 원으로 약 90배 상승
- 전 세계는 기후변화 완화를 위한 온실가스 감축에 보다 실효성 있는 대책을 요구하고 있으며, 주요 정책 중 하나로 탄소가격제(Carbon Pricing)를 추진 중
 - 탄소가격제는 오염자부담 원칙에 따라 탄소배출에 가격을 부여하여 배출량 감축을 유도하는 정책수단으로 탄소세, 배출권거래제 등이 대표적

□ 세계 콘크리트 시장 및 친환경 콘크리트 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상

- 글로벌 콘크리트 시장은 매년 증가 예상
 - 글로벌 콘크리트 시장은 아시아 태평양, 서유럽, 북미 및 기타 지역 순으로 크게 나타났으며, 아시아-태평양 시장은 2018년 전체의 44.0%를 차지하며 중국은 2017년 33.69%의 생산 시장 최대 점유율
- 글로벌 친환경 콘크리트* 시장은 '22년 184억 달러에서 연평균 9.3% 성장하여 '30년 375억 9천만 달러로 성장할 것으로 예측
 - 저탄소 건설에 대한 수요가 증가함에 따라서 글로벌 친환경 콘크리트의 수요는 계속해서 증가할 것으로 예상
- 국내 콘크리트(레미콘) 시장 규모는 연평균 1.8% 증가하여 '24년 10조에 도달할 것으로 예상
 - 국내 레미콘 시장은 '19년 9조 6,935억 규모에서 연평균 1.8% 성장하여 '24년에는 10조 5,961억 규모로 성장할 것으로 예상
 - 다만, 콘크리트의 원재료인 시멘트의 가격변동과 운반비를 포함한 수송 원가의 상승으로 변동의 우려가 있는 것으로 분석
- 국내 친환경 콘크리트 시장규모는 전체 콘크리트 산업 대비 2020년에는 약 12%, 2022년에는 22% 정도 점유 예상

- 친환경 건설재료 시장은 연평균 30% 이상의 성장이 예상되며, 이에 따라 친환경재료 시장에서 시멘트 대체 기술 및 제품개발을 위한 경쟁이 치열
- 고성능 콘크리트의 수요와 점유율은 전 세계적으로 급속히 증가하고 있으며, 이에 따라 초고 성능 콘크리트(UHPC)의 수요 역시 꾸준히 증가할 것으로 예상
- 2010년 기준 콘크리트 시장에서 고성능 콘크리트의 시장은 전체에서 1% 이내이지만, 계속하여 고품질인 콘크리트가 요구되기 때문에 고성능 콘크리트 시장은 꾸준히 성장할 것으로 전망
- 고성능 콘크리트 시장에 대한 수요는 전 세계 건설산업의 높은 성장에 따라 주거, 상업 및 기타 인프라 건설 증가로 인해 발생할 것으로 판단
- 주택 및 인프라 건설 부문에서 반등을 목격하고 있는 아시아 태평양 지역은 새로운 건설의 필요성과 개조 또는 재건의 필요성에 의해 수요를 주도할 것으로 예상

□ 세계 시멘트 시장 및 친환경 시멘트 시장 또한 지속적으로 성장할 것으로 전망

- 전 세계 시멘트 시장은 '16년 기준 3,600억 달러에서 연평균 성장률 9.27%로 증가하여, '21년에는 5,607억 9,000만 달러에 이를 것으로 전망
- 전 세계 시멘트 시장에서 시멘트 첨가제 시장은 2016년 188억 5,000만 달러에서 연평균 성장률 4.4%로 증가하여, 2021년에는 233억 8,000만 달러에 이를 것으로 전망
- 글로벌 친환경 시멘트* 시장은 '21년 272억 달러에서 연평균 12.8% 성장하여 '27년 566억 달러로 성장할 것으로 전망
- 친환경 시멘트의 제품 유형으로는 비산회, 슬래그, 석회석, 실리카 폼 기반 제품으로 분류할 수 있으며, 현재는 비산회 기반 시멘트가 전체 시장 점유율을 대부분을 차지
 - 추가적으로 비산회의 공급량이 줄어들 것으로 예상됨에 따라 이에 대한 대책마련이 필요
- 국내 시멘트 시장은 연평균 증가율 7.50%로 성장하여 '25년 5조6천억에 도달할 것으로 전망
- 국내 시멘트 시장은 코로나19로 인해 경제활동이 위축되어, 주요 업체의 매출은 감소된 부분이 있지만, 코로나19 종료 이후 수익성이 점차 개선되어 매년 7.5% 성장하여 '25년 5조 6,160억에 도달할 것으로 예상

2.3. 국내외 연구개발 현황 분석

2.3.1. 연구개발 투자 현황 분석

1. 국가연구개발사업과 국토교통 R&D

- '20년 국가연구개발사업의 예산은 93조 717억원으로 전년 대비 4.5%의 증가율을 보이고 있으며, 기초연구와 도전적인 연구 과제에 대한 지원을 확대하고 있는 추세
- '20년의 정부 R&D 예산은 기초연구 투자를 지속적으로 확대하기 위해 전년 대비 18.5% 증가하였고, 실패 가능성이 있으나 성공하면 파급력이 클 것으로 기대되는 과학·산업 난제에 대한 연구를 지원 하는 등 R&D 내실 다지기와 혁신을 추구
- '20년 국토교통 R&D 연구개발비는 1조 8,557억원으로 국가 총 연구개발비(93조 717억원)의 2.0%에 불과하며, '10년 이후 국토교통분야 연구개발비가 지속적으로 하락함에 따라 국가 총 연구개발비에서 국토교통분야 연구개발비가 차지하는 비중이 지속적으로 하락하는 추세
- '20년 국토교통부 정부연구개발은 혁신성장동력 육성, 경제활력제고, 안전 및 사회문제해결, 스마트 SOC 등을 중점 추진



출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2020년도 국토교통분야 연구개발 활동조사 결과보고서

[그림 3-66] 연도별 국토교통분야 연구개발비 및 우리나라 총 연구개발비 규모 추이

2. 탄소중립 건설재료 관련 투자 동향

1) 분석개요

- (목적) 관련 정부 R&D 투자 동향을 파악함으로써 우리나라 연구개발 역량진단 참고자료 활용
- (조사범위) 최근 5년('19~'23) 국가연구개발사업 및 과제
- (검색범위) 탄소중립 건설재료 관련 R&D 검색을 위해 아래의 검색어를 활용하여 검색

[검 색 어]

(탄소중립|저탄소|친환경) (건설|건축) (재료)

- (분석항목) 연도별, 부처별, 연구단계별, 수행기관별, 적용처별 정부 R&D 출연금 및 과제 수

2) 분석결과

(1) 연도별 투자동향

□ 탄소중립 건설재료 관련 R&D 정부출연금과 과제수는 지속적으로 증가하는 추세

- 탄소중립 건설재료 관련 정부출연금과 과제수는 '22년까지 지속적으로 증가하고 있는 추세이며, '23년 소폭 감소하였으나 전반적으로 증가하는 추세
 - R&D 정부출연금은 '18년 약 546억 원에서 '23년 1,678억 원으로 연평균 성장률 25.2%로 큰 폭으로 성장
 - 과제 수는 '18년 279건에서 '23년 423건으로 연평균 증가율 8.7%로 꾸준히 증가

<표 3-28> 탄소중립 건설재료 R&D 투자 동향 (단위: 백만 원)

구분	2018	2019	2020	2021	2022	CAGR
정부출연금	54,654	70,472	128,443	191,551	167,828	25.2%
과제 수	279	301	404	467	423	8.7%

출처: NTIS 자체조사



[그림 3-67] 탄소중립 건설재료 R&D 투자 동향

(2) 부처별 투자동향

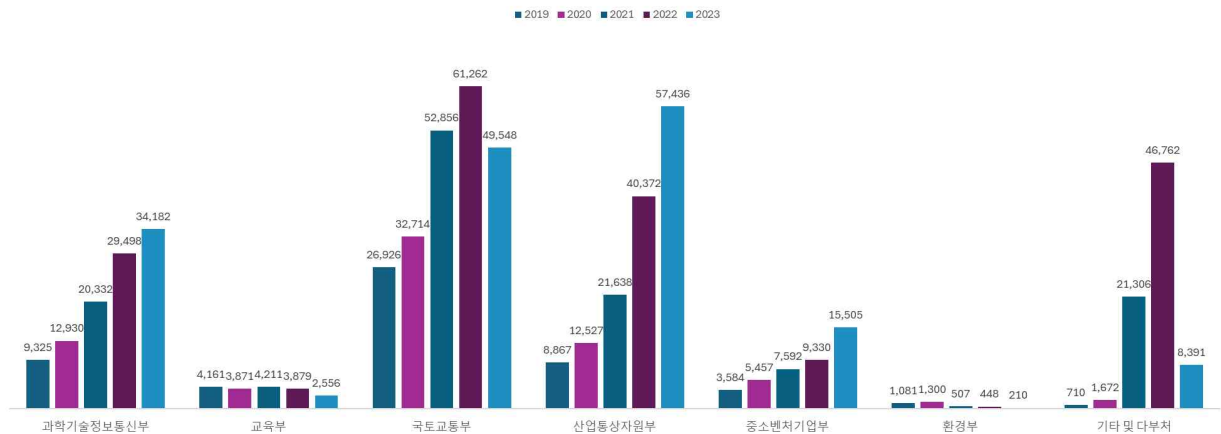
□ 부처별 동향으로는 국토교통부가 가장 큰 비중의 투자를 하고 있는 것으로 확인

- 탄소중립 건설재료 관련 정부 R&D 투자는 국토교통부가 36.4%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 산업통상자원부가 23.0%, 과기정통부가 17.3% 순으로 비중이 높은 것으로 확인
- 국토교통부는 연평균 13%로 꾸준히 투자가 증가하고 있으며, 산자부, 과기부, 중기부 등 기타 부서들은 3~40% 내외의 높은 성장률을 기록

<표 3-29> 탄소중립 건설재료 부처별 투자 동향

구분	2019	2020	2021	2022	2023	총합계	비중	CAGR
과학기술 정보통신부	9,325	12,930	20,332	29,498	34,182	106,267	17.3%	29.7%
교육부	4,161	3,871	4,211	3,879	2,556	18,679	3.0%	-9.3%
국토교통부	26,926	32,714	52,856	61,262	49,548	223,306	36.4%	13.0%
산업통상 자원부	8,867	12,527	21,638	40,372	57,436	140,840	23.0%	45.3%
중소벤처 기업부	3,584	5,457	7,592	9,330	15,505	41,470	6.8%	34.0%
환경부	1,081	1,300	507	448	210	3,546	0.6%	-27.9%
기타 및 다부처	710	1,672	21,306	46,762	8,391	78,841	12.9%	63.9%

출처: NTIS 자체조사



[그림 3-68] 탄소중립 건설재료 부처별 투자 동향

- 부처별 과제당 연구비를 확인해보면 국토교통부가 투자액은 제일 많으나 산업통상자원부가 과제당 연구비가 제일 높은 것으로 조사
 - 국토교통부는 2,233억 원 규모의 예산으로 제일 높은 예산이나, 과제수는 282개로 과제당 연구비는 약 7.9억 원으로 확인
 - 산업통상자원부는 약 1,408억 원으로 전체 투자 비용은 더 적으나, 과제수는 164개로, 과제당 평균 연구비는 8.6억 원으로 부처들 중 가장 높은 것으로 조사

<표 3-30> 부처별 과제당 연구비 현황 (단위: 백만 원)

구분	총합계	과제수	과제 당 평균 연구비
과학기술정보통신부	106,267	583	182.28
교육부	18,679	308	60.65
국토교통부	223,306	282	791.87
산업통상자원부	140,840	164	858.78
중소벤처기업부	41,470	350	118.49
환경부	3,546	12	295.50
기타 및 다부처	78,841	175	450.52

출처: NTIS 자체조사

(3) 연구단계별 투자동향

- 탄소중립 건설재료 R&D의 연구단계별 투자동향을 살펴보면 개발연구가 60.7%로 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 확인

- 탄소중립 건설재료 관련 R&D 투자는 개발연구가 60.7%로 절반 이상의 높은 비중을 차지하고 있으며 기초연구는 18.5%, 응용연구는 7.1%, 기타는 13.8%를 차지
 - 기초연구, 개발연구, 응용연구, 기타의 연평균 성장률은 각 15.6%, 28.2%, 9.8%, 49.3%를 기록하는 것으로 조사

<표 3-31> 탄소중립 건설재료 연구단계별 투자 동향

구분	2019	2020	2021	2022	2023	총합계	비중	CAGR
기초연구	16,768	15,287	20,096	25,792	34,683	112,627	18.5%	15.6%
개발연구	30,772	40,824	77,136	114,527	106,634	369,894	60.7%	28.2%
응용연구	5,057	11,726	8,565	9,708	8,070	43,127	7.1%	9.8%
기타	2,056	2,635	22,645	41,523	15,278	84,138	13.8%	49.3%

출처: NTIS 자체조사

(4) 수행기관별 투자동향

□ 탄소중립 건설재료 연구수행자는 산업체가 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 대학, 연구소, 기타 순

○ 산업체(대기업, 중견기업, 중소기업)이 39.5%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 대학이 30.3%로 비슷한 수준으로 조사

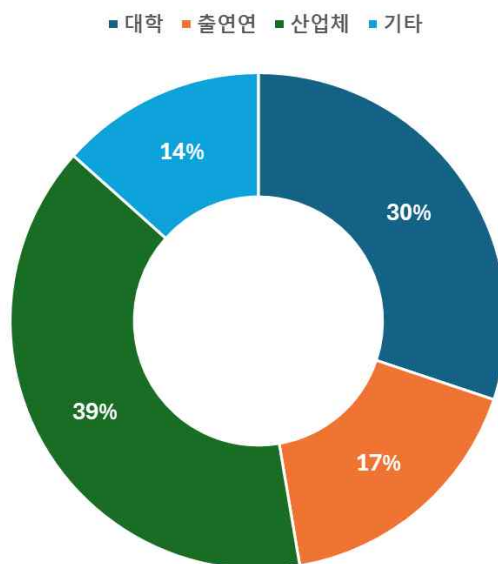
- 산업체는 '19~'23년 동안 연평균 30.3%의 성장률로 성장하였으며, 연구소는 38.4%의 성장률로 가장 높은 성장률을 기록

- 대학은 10.3%의 평균 성장률을 기록하여 비교적 낮은 성장률을 기록

<표 3-32> 탄소중립 건설재료 수행기관별 투자 동향

구분	2019	2020	2021	2022	2023	총합계	비중	CAGR
대학	25,535	30,522	41,907	45,035	41,672	184,671	30.3%	10.3%
연구소	7,453	11,396	18,164	30,642	37,805	105,460	17.3%	38.4%
산업체	16,644	23,454	56,788	81,296	62,561	240,741	39.5%	30.3%
기타	5,022	5,101	11,585	34,578	25,790	82,076	13.5%	38.7%

출처: NTIS 자체조사



[그림 3-69] 탄소중립 건설재료 수행기관별 투자 동향

2.3.2. 기술수준분석

1. 재료/자재 분야

□ 국토교통과학기술원에서 실시한 국토교통 기술수준분석에 따르면 국내 재료/자재 분야 기술수준은 최고기술국인 미국/독일 대비 80% 수준이며, 기술격차는 4.0년으로 조사

- 친환경 및 첨단소재 분야 연구개발 활발, 친환경 자재 등 수준이 보통, 인공지능 및 웹 기반 기술을 활용한 BIM 분야 관련 연구개발이 활발, 건축물 요구성능이 높은 사양으로 관련 자재의 기술수준이 높지만, 현장에서 설치되는 시방기준이 불명확, 다양성 측면의 연구개발이 필요 등의 근거로 기술수준 및 격차를 판단

<표 2-33> 재료/자재 분야 주요국 기술수준

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차
재료/자재	80.0	4.0	90.0	2.0	100.0	0.0	72.5	5.0	100.0	0.0	90.0	2.0	90.0	2.0
	6위		3위		1위		7위		1위		3위		3위	

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

□ 국내 재료/자재 분야는 친환경 융합 분야 추진이 활발하며 개발 의지가 높은 등의 강점이 있으며, 관심도 저하, 법규 개선, 낮은 현장 수요 등의 약점도 존재

<표 2-34> 국내 재료/자재 분야의 강점과 약점

국가	강점 분야	약점분야
한국	- 친환경 및 융합 소재 분야 도시재생 분야의 추진 활발 - 고성능 재료/자재 기반 인프라 보유하고 있으며, 다양한 R&D 수행 - 우수인력 연구개발강화 - 친환경 자재 등 개발에 지속 투자 - 산업계의 높은 기술개발 의지, 기술개발 적용 시 빠른 현장적용	- 국가적 관심도 저하 - 법규 개선 필요 - 현장 수요가 낮아 개발된 고성능 재료/자재 활성화가 지연 - 친환경 자재 등 개발에 대한 준비 및 인식 부족 - 제조업 기피 현상 증대 - 학계 기초연구의 기술 선진국을 추격하는 정도

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

□ 기술수준 향상을 위해 인프라 구축이 가장 중요할 것으로 제언

- 인프라 구축, 기술 사업화 및 성과 활용·확산, 중소기업 지원 및 육성 등의 순

□ 국내의 재료/자재 분야의 단계별 연구역량은 대체로 보통인 것으로 조사

- 재료/자재 분야는 기초연구, 응용개발연구 모두 보통이며, 연구 개발활동은 상승 중인 것으로 분석

<표 3-35> 주요국의 재료/자재 분야 연구단계별 기술 역량

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구
재료/자재	보통	보통	우수	우수	탁월	탁월	보통	우수	우수	우수	우수	우수	우수	우수

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

2. 친환경 다기능 건설재료 기술 분야

□ 기술개요

- 미래 사회의 지속가능한 발전을 위한 고효율 에너지 건설재료, 인간친화형·친환경 건설재료, 선제적 재난대응 건설재료 등 고성능 건설재료 기술
- 건설재료 기술을 포함한 설계, 시공, 유지관리, 성능 평가 등 건설재료 관련 전주기적 기술 개발을 포함

□ KISTEP에서 실시한 기술수준평가에 따르면 국내 친환경 다기능 건설재료 기술 분야 기술수준은 최고기술국인 EU, 미국 대비 80% 수준이며, 기술격차는 3.0 년으로 조사

<표 2-36> 친환경 다기능 건설재료 기술 기술수준

국가	기술수준			연구단계 역량		연구개발 활동경향 (점수***)
	수준(%)	격차(년)	그룹 (점수*)	기초 (점수**)	응용개발 (점수**)	
한국	80.0	3.0	추격 (3.13)	우수 (3.63)	탁월 (4.50)	상승 (3.13)
중국	70.0	4.3	추격 (2.63)	보통 (3.38)	우수 (3.63)	상승 (3.38)
일본	90.0	1.0	추격 (3.50)	탁월 (4.50)	우수 (4.00)	상승 (2.63)
EU	100.0	0.0	최고 (3.88)	탁월 (4.63)	탁월 (4.75)	상승 (2.88)
미국	100.0	0.0	최고 (3.88)	탁월 (4.88)	탁월 (4.75)	유지 (2.75)

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

* 기술수준 그룹(4그룹)을 선도/최고(4점), 추격(3점), 후발(2점), 낙후(1점)로 하여 평균값을 계산

** 연구단계별 역량 구간(5구간)을 탁월(5점), 우수(4점), 보통(3점), 미흡(2점), 부족(1점)으로 하여 평균값을 계산

*** 연구단계별 활동경향 구간(4구간)을 급상승(4점), 상승(3점), 유지(2점), 하강(1점)으로 하여 평균값을 계산

- 국내 기술수준 향상을 위한 정부중점추진 정책 우선순위는 연구비 확대, 인프라 구축, 법·제도 개선, 인력 양성 및 유치, 국제협력 촉진, 국제협력 촉진의 순

<표 2-37> 친환경 다기능 건설재료 기술 향상을 위한 정부중점추진 정책 우선순위

	국내협력촉진	국제협력촉진	인력 양성 및 유치	인프라 구축	법·제도 개선	연구비 확대
순위	5	6	4	2	3	1
점수*	2.63	1.75	3.25	4.00	3.75	5.63

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

* 1순위(6점), 2순위(5점), 3순위(4점), 4순위(3점), 5순위(2점), 6순위(1점)로 하여 평균값을 계산

<표 2-38> 친환경 다기능 건설재료 기술 기술수준 세부내용

국가	수준(%)					격차(년)			
	수준(%)	Q1	Q3	표준 편차	합의도*	격차(년)	Q1	Q3	표준 편차
한국	80.0	75.0	85.0	7.1	0.88	3.0	2.5	3.0	0.9
중국	70.0	65.0	75.0	12.8	0.86	4.3	3.8	4.8	2.7
일본	90.0	87.5	95.0	6.2	0.92	1.0	1.0	1.8	0.7
EU	100.0	96.0	100.0	4.0	0.96	0.0	0.0	0.5	0.7
미국	100.0	94.0	100.0	5.8	0.94	0.0	0.0	0.5	0.7

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

* 델파이 기법의 타당도를 조사하는 방법으로서 Q1(1사분위값)과 Q3(3사분위값)가 일치(완전 합의)했을 때 1의 값을 가지며, 의견의 편차가 클 경우 수치가 감소 (Q1, Q3는 SPSS 24.0을 사용하여 도출)

○ 기술수준 및 격차 판단 근거는 아래와 같음

- 국민생활환경 개선에 대한 수요가 증가, 미세먼지, 실내 공기질 등과 관련된 건설재료 및 자재 연구개발 증가로 기술수준 점진적 상승
- 선도그룹을 급격히 추격 중
- 친환경 다기능 건설재료 관련 연구개발이 비교적 활발함. 에너지 효율, 스마트 건설재료 관련 시장에 출시된 최고 수준의 제품 라인업이 제한적
- EU의 제품군에 대한 매년 기업체들의 조사를 통해 유사제품 혹은 기능개선 제품에 대한 개발이 진행 중
- 선도그룹과는 탄소섬유복합체 활용 한계극복형 구조재료 기술에서 뒤떨어지는 것으로 판단
- 다양한 정책과 함께 실용화 단계의 연구 개발 확보
- 신규 재료에 대한 접근은 많이 진행되나, 바로바로 적용할 수 있는 완성된 기술에 대한 욕구가 커서, 개발된 신규 재료나 기술이 미처 적용되기 전에 해외 기술을 도입하여 적용하는 경향이 있으나, 인식이 변화하고 기술개발을 선도하는 연구자들이 있어 미래전망은 밝은 것으로 판단
- 개개인의 소규모로 진행되는 연구로 인해 기초연구들은 일부 진행되고 있으나, 사업단 규모의 연구가 미비하여 실용화 수준의 연구가 부족

○ 국내 기술수준은 '18~'20년 구간에서 최고 기술국 대비 10% 상승한 것으로 분석

<표 2-39> 친환경 다기능 건설재료 기술 주요국 기술수준 변화

국가	기술수준(%)			기술격차(년)			기술수준 그룹		
	2018	2020	증감(%)	2018	2020	증감(년)	2018	2020	증감
한국	80.0	80.0	0.0	5.0	5.0	0.0	추격	추격	-
중국	80.0	82.5	2.5	4.5	4.0	-0.5	추격	추격	-
일본	90.0	90.0	0.0	2.0	2.3	0.3	추격	추격	-
EU	95.0	95.0	0.0	0.8	0.5	-0.3	선도	선도	-
미국	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	최고	최고	-

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

<표 2-40> 친환경 다기능 건설재료 기술 국내 기술수준 변화 주요 원인

기술수준변화	주요 원인
증가	- 지속적인 사회적 관심의 증가 및 연구개발에 대한 투자의 증가로 기술수준이 증가하였으며, 선도그룹 대비 기술격차도 감소함 - 정부 정책 등에 의해 친환경 다기능 건설재료의 연구 활성화로 기술수준이 증가됨
기타	- 친환경 건설재료의 발전은 국내외 모두, 개인 기업의 기술력이 사회를 이끌어 가는 것이 아닌 국가정책의 방향을 통해 기술개발이 이뤄지는 경향을 보임 - 친환경기술에 대한 관심은 전세계적으로 증가하는 추세이며, 국내에서도 관심과 활용에 대한 욕구가 지속적으로 증가하고 있음. 그러나 신기술이나 신제품 적용시 너무 경제성에 초점이 맞추어져 있어서 활용도가 낮아지는 문제가 있음

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2022), 2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서

2.3.3. 논문·특허 분석

1. 주요 결과

□ 논문 및 특허 현황

<표 2-41> 친환경 다기능 건설재료 기술 논문 및 특허 현황

해당분야 및 기술		유효 논문 수	유효 특허 수
11대 분야	건설·교통	50,992	58,546
해당 중점과학 기술명	친환경 다기능 건설재료 기술	4,682	3,029
120대 중점과학기술 평균		6,171	11,233

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

□ 선도국 대비 국내 활동력

- 중국의 경우 5개 활동력(양적) 분석지표 중 2개의; 분석지표에서 1위를 차지하고 있고, EU도 2개의 분석지표에서 1위를 차지
- 한국은 논문 증가율에서 1위를 차지

<표 2-42> 친환경 다기능 건설재료 기술 선도국 대비 국내 기술력

	논문 점유율	특허 점유율	논문 증가율	특허 증가율	해외출원도
선도국	EU	중국	한국	중국	EU
	39.4%	52.7%	104.7%	262.9%	5.9
한국	5위	2위	1위	2위	4위
	4.2%	16.8%	104.7%	55.0%	1.6
5개국 평균	-	-	43.0%	82.8%	2.2

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

※ 논문 증가율은 과거구간('08~'13년), 최근구간('14~'19년)으로 나누어 분석

※ 특허점유율은 미공개구간을 제외하여 과거구간('08~'12), 최근구간('13~'17년)으로 나누어 분석

□ 선도국 대비 국내 기술력

- 미국의 경우 7개 기술력(질적) 분석지표 중 4개의 분석지표에서 1위를 차지하고 있고, EU의 경우 2개의 분석지표에서 1위를 차지
- 한국은 모든 지표에서 3~5위를 차지

<표 2-43> 친환경 다기능 건설재료 기술 선도국 대비 국내 기술력

	논문 영향력	특허 영향력	중요논문 비율	중요특허 비율	연구주체 다양도	IP4 점유율	특허 청구항수
선도국	미국	중국	EU	미국	EU	미국	미국
	15.0	8.0	44.1%	41.5%	0.95	49.5%	17.6
한국	3위	5위	4위	3위	5위	3위	3위
	9.8	3.0	4.2%	18.0%	0.81	11.3%	8.0
5개국 평균	10.9	6.1	-	-	0.92	-	9.8

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

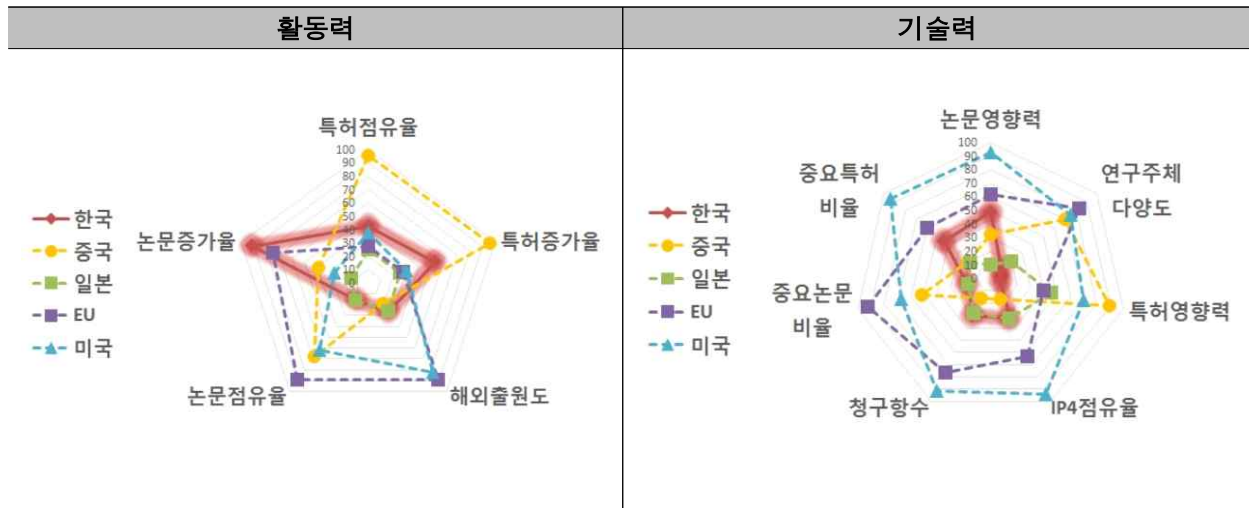
□ 국가별 활동력 및 기술력

<표 2-44> 친환경 다기능 건설재료 기술 국가별 활동력 및 기술력

구분	지표	한국	중국	일본	EU	미국
활동력	논문 점유율	4.2%	27.3%	4.4%	39.4%	24.8%
	논문 증가율	104.7%	32.0%	-3.8%	74.4%	16.6%
	특허 점유율	16.8%	52.7%	7.5%	8.7%	14.3%
	특허 증가율	55.0%	262.9%	-35.0%	-25.8%	-18.1%
	해외출원도	1.6	1.1	1.6	5.9	5.1
기술력	논문 영향력	9.8	8.3	5.3	10.9	15.0
	특허 영향력	3.0	8.0	5.5	5.2	6.6
	중요논문 비율	4.2%	20.8%	3.4%	44.1%	27.5%
	중요특허 비율	18.0%	9.0%	8.2%	23.3%	41.5%
	연구주체 다양도	0.81	0.92	0.83	0.95	0.93
	IP4 점유율	11.3%	1.7%	11.3%	26.1%	49.5%
	청구항수	8.0	5.7	7.8	14.4	17.6

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

□ 활동력 및 기술력 국가별 상대 위치

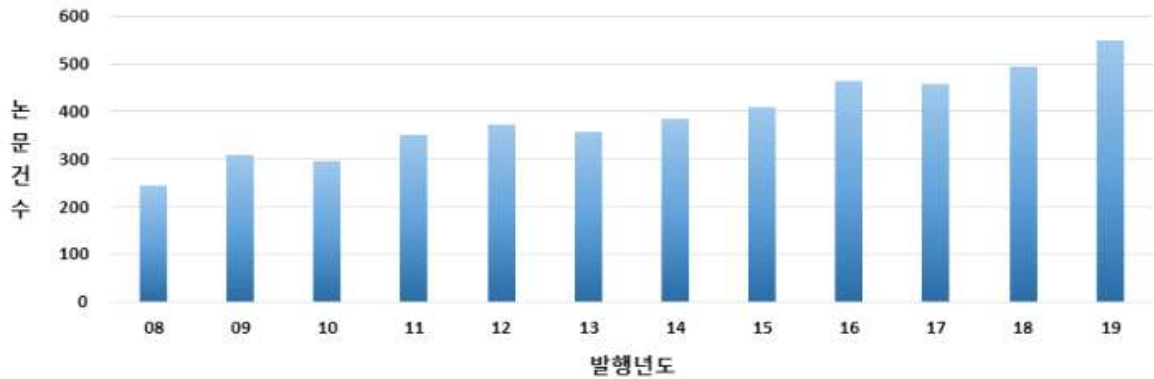


<그림 2-70> 친환경 다기능 건설재료 기술 국가별 활동력 및 기술력 상대 위치

2. 논문 세부 동향

□ 연도별 논문 동향

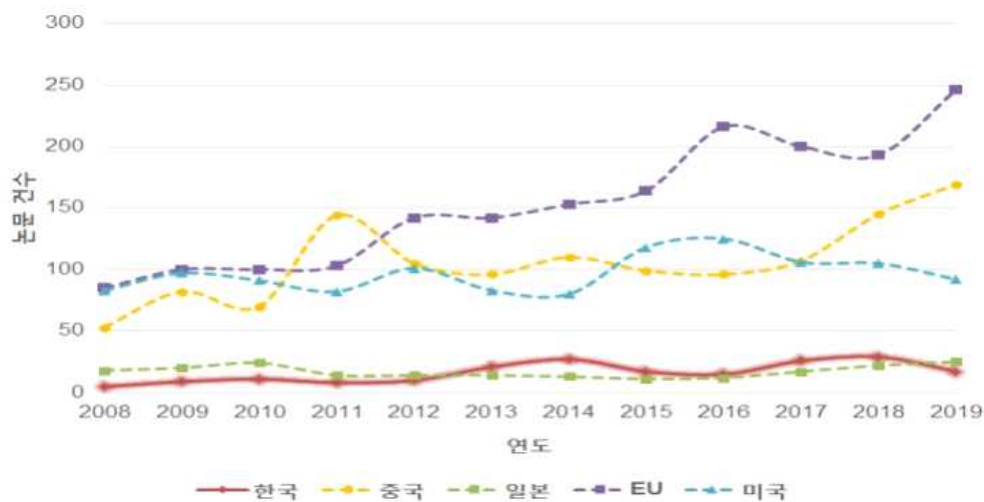
- 친환경 다기능 건설재료 기술 관련 논문 건수는 '08년부터 '19년까지 지속적으로 증가하는 추세



출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

[그림 2-71] 친환경 다기능 건설재료 기술 연도별 논문동향(전체)

- 친환경 다기능 건설재료 기술 관련 논문 건수에 근거하면, EU와 중국이 주도적인 역할을 하는 것으로 판단



출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

[그림 2-72] 친환경 다기능 건설재료 기술 연도별 논문동향(주요국별)

□ 주요국별 논문 건수, 점유율 변화 및 증가율

- 과거구간과 최근구간 모두 EU의 논문 건수가 가장 많은 것으로 분석
 - 한국의 경우 전체 195건을 발행하여 5개국 중 5위에 랭크되어 있으며, 과거 구간 대비 최근구간의 논문 증가율이 104.7%인 것으로 조사
- EU가 전체 논문의 39.4%, 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 그 뒤를 이어 중국, 미국, 일본, 한국 순으로 논문 점유율이 높은 것으로 분석
 - 한국은 과거구간 3.3%의 점유율을 차지하였으나, 최근구간에서는 1.4% 상승하여 4.8%의 점유율을 차지하는 것으로 조사

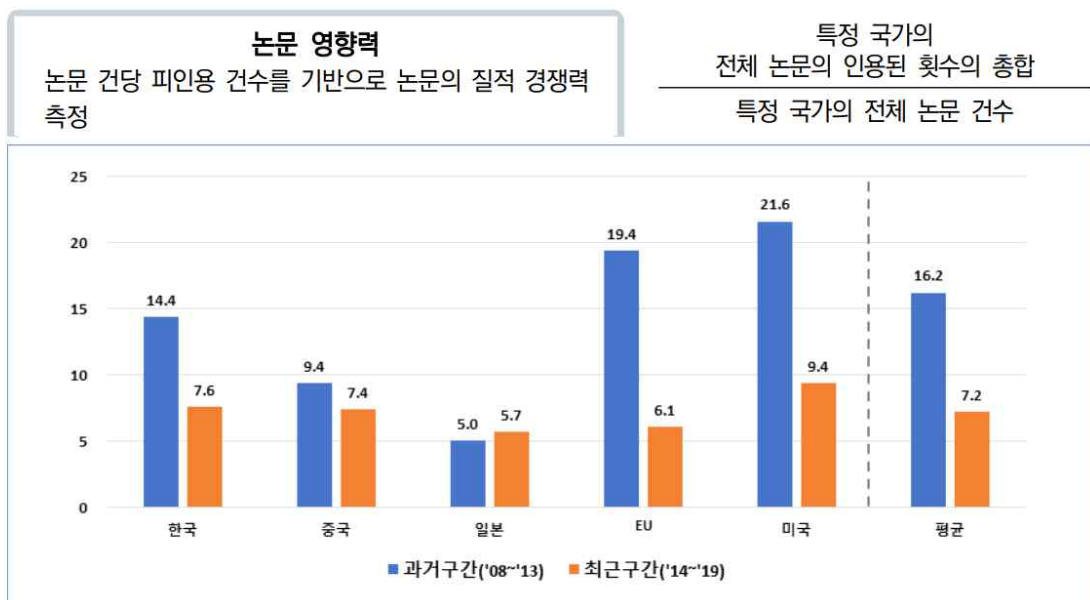
<표 2-45> 친환경 다기능 건설재료 기술 주요국 기술수준 변화

국가	논문 건수			점유율 변화	논문 증가율
	전체구간 (점유율)	과거구간('08~'13년) 건수 (점유율)	최근구간('14~'19년) 건수 (점유율)		
한국	195 (4.2%)	64 (3.3%)	131 (4.8%)	▲1.4%	104.7%
중국	1,2796 (27.3%)	550 (28.5%)	726 (26.4%)	▼2.2%	32.0%
일본	204 (4.4%)	104 (5.4%)	100 (3.6%)	▼1.8*	-3.8%
EU	1,844 (39.4%)	672 (34.9%)	1,172 (42.5%)	▲7.7%	74.4%
미국	1,163 (24.8%)	537 (27.9%)	626 (22.7%)	▼5.1%	16.6%
전체	4,682 (100.0%)	1,927 (100.0%)	2,755 (100.0%)	-	43.0%

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

□ 논문 영향력

- 미국의 논문 영향력은 15.0으로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국의 논문 영향력은 9.8로 3위를 차지
- 미국의 경우 과거구간의 논문 영향력이 21.6으로 가장 높았고, 최근구간의 논문 영향력도 9.4로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국의 경우 과거구간의 논문 영향력은 14.4로 5개국 중에 3위에 랭크되었으나, 최근구간의 논문 영향력은 7.6으로 5개국 중 2위에 랭크
- 한국의 논문 영향력은 과거 구간에서 평균보다 낮게 나타났고, 최근구간에선 평균 이상으로 조사



출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

[그림 2-73] 친환경 다기능 건설재료 기술 논문 영향력

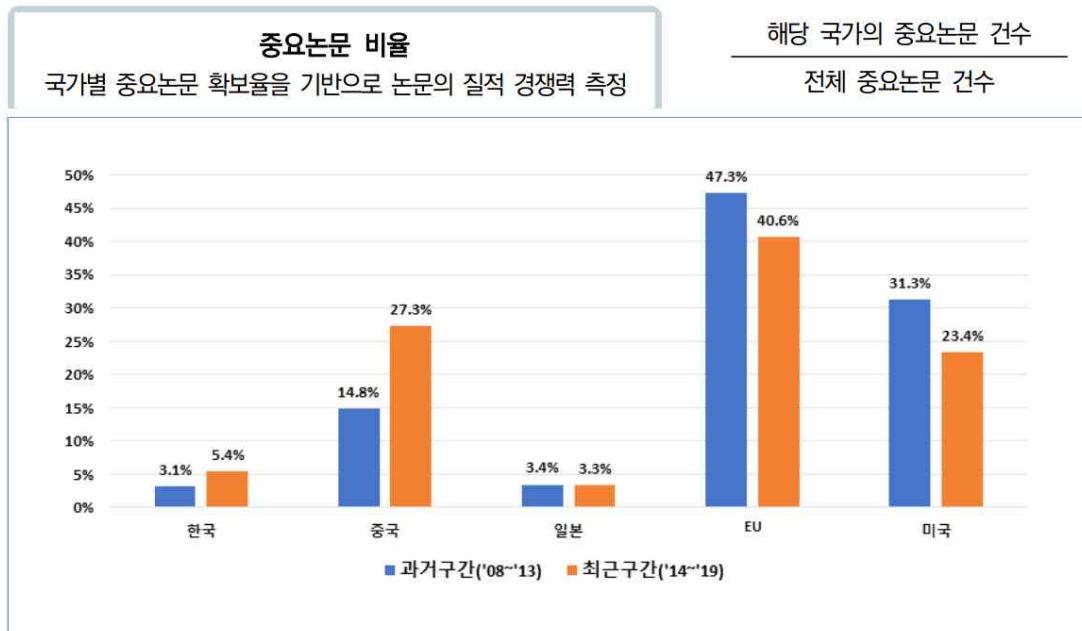
<표 2-46> 친환경 다기능 건설재료 기술 논문 영향력

국가	전체구간	논문 영향력		변화
		과거구간('08~'13년)	최근구간('14~'19년)	
한국	9.8	14.4	7.6	▼6.8
중국	8.3	9.4	7.4	▼2.0
일본	5.3	5.0	5.7	▲0.7
EU	10.9	19.4	6.1	▼13.3
미국	15.0	21.6	9.4	▼12.2
평균	10.9	16.2	7.2	-

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

□ 중요논문 비율

- 전체 논문 4,682건 중에서 중요논문(피인용수가 10이상)은 1,120건으로 조사
- 중요논문 비율은 EU가 44.1%로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국의 중요 논문 비율은 4.2%로 4위를 차지
- EU의 중요논문 비율은 과거구간에서 47.3%, 최근구간에서 40.6%로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국의 경우에는 과거구간의 중요논문 비율은 3.1%로 5개국 중에서 5위에 랭크되었고, 최근구간의 중요논문 비율은 5.4%로 5개국 중 4위에 랭크



출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

[그림 2-74] 친환경 다기능 건설재료 기술 중요논문 비율

<표 2-47> 친환경 다기능 건설재료 기술 중요논문 비율

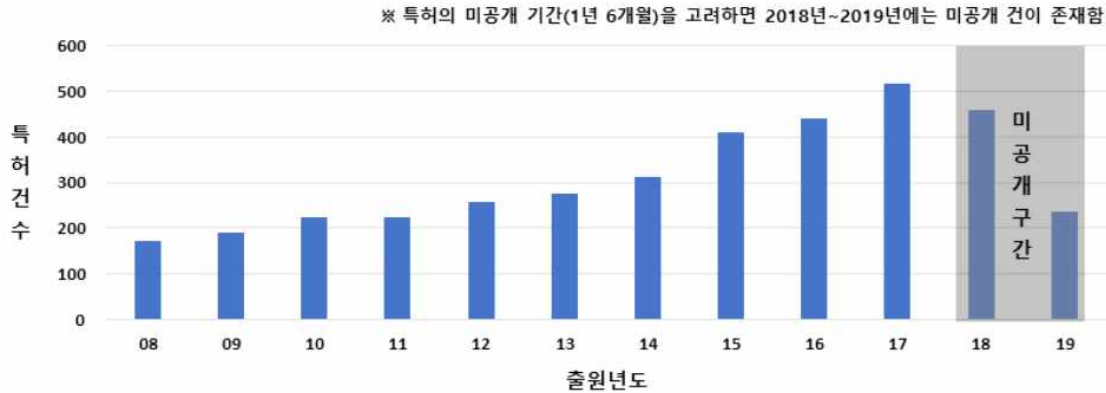
국가	전체구간(건수)	중요논문 비율(건수)		변화
		과거구간('08~'13년)	최근구간('14~'19년)	
한국	4.2%(47)	3.1%(18)	5.4%(29)	▲2.3%
중국	20.8%(233)	14.8%(86)	27.3%(147)	▲12.5%
일본	3.4%(38)	3.4%(20)	3.3%(18)	▼0.1%
EU	44.1%(494)	47.3(275)	40.6%(219)	▼6.7%
미국	27.5%(308)	31.3%(182)	23.4%(126)	▼7.9%

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

3. 특허 세부 동향

□ 연도별 특허 동향

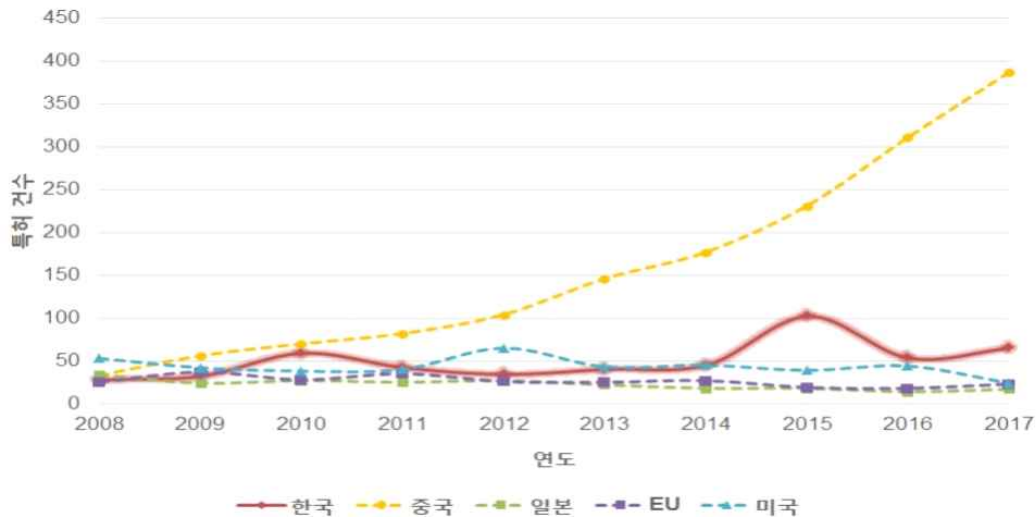
- 친환경 다기능 건설재료 기술 관련 특허 건수는 2008년부터 2017년까지 지속적으로 증가하는 것으로 조사(2018~2019년은 일부 특허 미공개)



출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

[그림 2-75] 친환경 다기능 건설재료 기술 연도별 특허동향(전체)

- 친환경 다기능 건설재료 기술 관련 특허 출원활동은 중국에서 가장 활발한 것으로 조사



출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

[그림 2-76] 친환경 다기능 건설재료 기술 연도별 특허동향(주요국별)

□ 주요국별 특허 건수, 점유율 변화 및 증가율

- 과거구간과 최근구간 모두 중국의 특허건수가 가장 많은 것으로 조사
 - 한국은 전체 510건을 출원하여 전체 5개국중 2위에 랭크되었으며, 과거구간 대비 최근구간 특허 증가율이 55.0%로 조사
- 중국이 전체 특허의 52.7%, 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 그 뒤로 한국, 미국, EU, 일본 순
 - 한국은 과거구간에서 18.7%의 점유율을 차지하였으나, 최근구간에서 2.8%로 하락하여 15.8%의 점유율을 기록

<표 2-48> 친환경 다기능 건설재료 기술 주요국 특허 건수, 점유율 변화 및 증가율

국가	특허 건수			점유율 변화	특허 증가율
	전체구간 (점유율)	과거구간('08~'13년) 건수 (점유율)	최근구간('14~'19년) 건수 (점유율)		
한국	510 (16.8%)	200 (18.7%)	310 (15.8%)	▼2.8%	55.0%
중국	1,597 (52.7%)	345 (32.2%)	1,252 (63.9%)	▲31.7%	262.9%
일본	226 (7.5%)	137 (12.8%)	89 (4.5%)	▼8.2%	-35.0%
EU	263 (8.7%)	151 (14.1%)	112 (5.7%)	▼8.4%	-25.8%
미국	433 (14.3%)	238 (22.2%)	195 (10.0%)	▼12.3%	-18.1%
전체	3,029 (100.0%)	1,071 (100.0%)	1,958 (100.0%)	-	82.8%

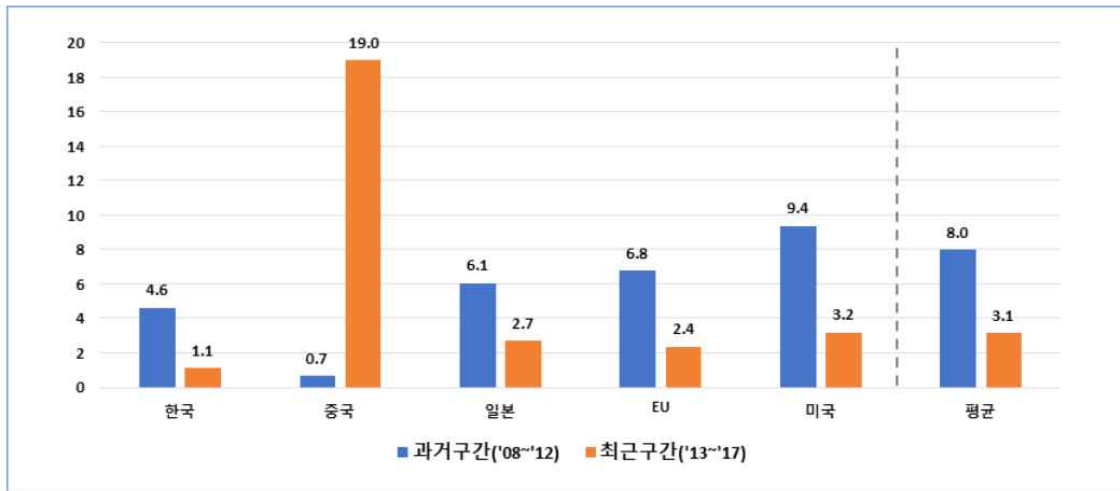
출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

□ 특허 영향력

- 중국의 특허 영향력은 8.0으로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국의 특허 영향력은 3.0으로 5위를 차지
- 미국의 경우 과거구간 특허 영향력은 9.4로 가장 높았지만, 최근구간의 특허 영향력은 중국이 19.0으로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국의 경우 과거의 특허 영향력은 4.6으로 5개국 중에서 4위에 랭크되었으나, 최근구간의 특허 영향력은 1.1로 5개국 중 5위에 랭크
- 한국의 특허 영향력은 과거/최근구간 모두에서 평균보다 낮은 것으로 조사

특허 영향력
등록특허 건당 피인용 건수를 기반으로 특허의 질적 경쟁력 측정

특정 국가의
미국 등록특허의 인용된 횟수의 총합
특정 국가의 미국 등록특허 건수



출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

[그림 2-77] 친환경 다기능 건설재료 기술 특허 영향력

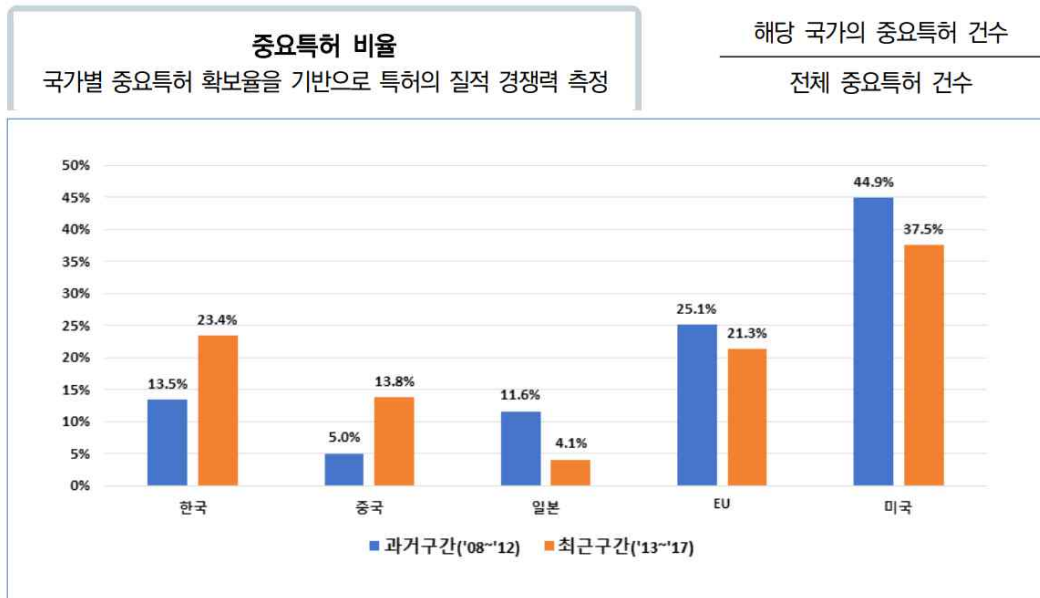
<표 2-49> 친환경 다기능 건설재료 기술 특허 영향력

국가	전체구간	특허 영향력		변화
		과거구간('08~'13년)	최근구간('14~'19년)	
한국	3.0	4.6	1.1	▼3.5
중국	80	0.7	19.0	▲18.3
일본	5.5	6.1	2.7	▼3.4
EU	5.2	6.8	2.4	▼4.4
미국	6.6	9.4	3.2	▼6.2
평균	6.1	8.0	3.1	-

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

□ 중요특허 비율

- 전체 특허 3,029건 중에서 중요특허는 699건으로 분석
- 중요특허 비율은 미국이 41.5%로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국의 중요특허 비율은 18.0%로 3위를 차지
- 미국의 중요특허 비율은 과거구간에서 44.9%, 최근구간에서 37.5%로 가장 높은 것으로 조사
 - 한국은 과거의 중요특허 비율은 13.5%로 5개국 중에서 3위에 랭크되었으나, 최근구간의 중요특허 비율은 23.4%로 5개국 중 2위에 랭크



출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

[그림 2-78] 친환경 다기능 건설재료 기술 중요특허 비율

<표 2-50> 친환경 다기능 건설재료 기술 중요특허 비율

국가	전체구간(건수)	중요특허 비율(건수)		변화
		과거구간('08~'13년)	최근구간('14~'19년)	
한국	18.0%(126)	13.5%(51)	23.4%(75)	▲10.0%
중국	9.0%(63)	5.0%(19)	13.8%(44)	▲8.7%
일본	8.2%(57)	11.6%(44)	4.1%(13)	▼7.5%
EU	23.3%(163)	25.1%(95)	21.3%(68)	▼3.8%
미국	41.5%(290)	44.9%(170)	37.5%(120)	▼7.4%

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

□ IP4 점유율

- 전체 특허 3,029건 중에서 IP4 특허는 291건으로 분석
- IP4 특허 비율은 미국인 49.5%로 가장 높은 것으로 분석
 - 한국은 11.3%로 3위를 차지
- 미국의 IP4 특허 비율은 과거구간에서 53.5%, 최근구간에서 42.5%로 가장 높은 것으로 분석
 - 한국은 과거구간에서 10.3%로 5개국 중 4위에 랭크되었고, 최근구간은 13.2%로 3위에 랭크

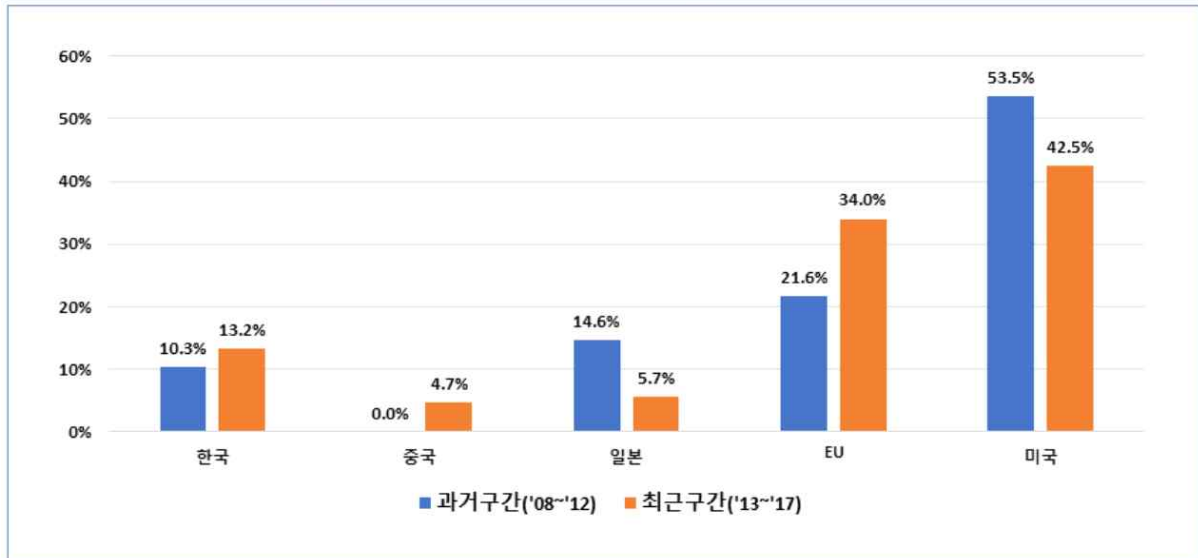
IP4 점유율

주요국(한국, 중국, 일본, EU, 미국)에 동시 출원한 특허의 비율을 기반으로 시장력을 측정

* IP4 : 한국, 미국, 일본, EU, 중국 중 4개국 출원

해당 국가의 IP4 동시 특허출원 건수

전체 IP4 동시 특허출원 건수



출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

[그림 2-79] 친환경 다기능 건설재료 기술 IP4 점유율

<표 2-51> 친환경 다기능 건설재료 기술 IP4 점유율

국가	전체구간(건수)	IP4 점유율(건수)		변화
		과거구간('08~'13년)	최근구간('14~'19년)	
한국	11.3%(33)	10.3%(19)	13.2%(14)	▲2.9%
중국	1.7%(5)	0.0%(0)	4.7%(5)	▲4.7%
일본	11.3%(33)	14.6%(27)	5.7%(6)	▼8.9%
EU	26.1%(76)	21.6%(40)	34.0%(36)	▲12.3%
미국	49.5%(144)	53.5%(99)	42.5%(45)	▼11.1%

출처 : KISTEP(2021), 2020년 기술수준평가

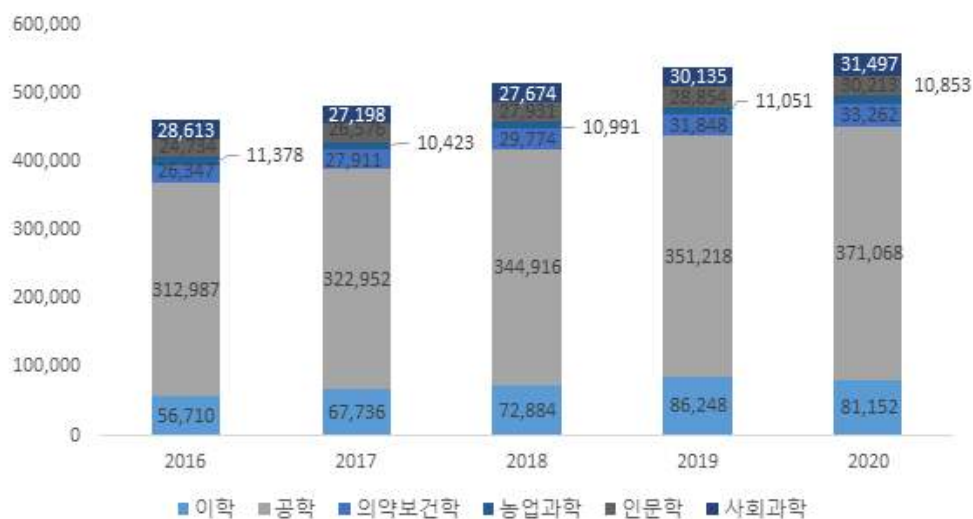
2.3.4. 연구개발 인프라 현황 분석

1. 연구 인력 현황

□ 국내 전공별 연구원은 공학 분야가 제일 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 확인

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

- 과학기술 분야(이학, 공학, 의약보건학, 농업과학)의 비중은 전체의 88.9%로 국내 연구개발인력의 대부분을 차지



[그림 2-80] 우리나라 전공별 연구원 수 추이

<표 2-52> 우리나라 전공별 연구원 수

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

출처 : KISTEP(2021), 2020년도 연구개발활동조사보고서

□ 국내 탄소중립 건설재료 관련 연구인력들은 충분한 것으로 판단

- 탄소중립 건설재료와 관련하여 연구를 한 인력들을 NTIS에서 검색한 결과 2,045건의 연구자들이 검색되었으며, 이 중 전문분야를 공개설정인력들을 검색한 결과 256명의 인력이 검색
- 전문분야 중 건설구조재료가 40명으로 15.6%를 차지하여 제일 많은 비중을 차지하였으며, 다음으로 교량(10.2%), 구조물 보수/보강기술(9.4%) 순으로 확인

<표 2-53>관련 전문인력 현황

전문분야	숫자	비율
건설구조재료	40	15.6
교량	26	10.2
구조물 보수/보강기술	24	9.4
건축시공기술	23	9.0
시설물점검/진단기술	20	7.8
건축	18	7.0
토목시공기술	13	5.1
건축환경/설비기술	9	3.5
자연재해 저감기술	9	3.5
친환경건축물 설계/시공/관리기술	8	3.1
궤도토목기술	8	3.1
극한 시공기술	7	2.7
설계 정보화기술	6	2.3
철도	5	2.0
친환경/재생건설재료	5	2.0
시멘트/콘크리트/내화물	5	2.0
설계 표준화기술	5	2.0
구조재료	4	1.6
건설시공관리기술	4	1.6
건설안전 관리기술	4	1.6
시공 자동화기술	4	1.6
기계자동화기술	3	1.2
로봇 제어/지능화기술	3	1.2
도로	3	1.2
계	256	100

2. 시설·장비 현황

□ 탄소중립 건설재료 관련 인프라는 기존의 여러 R&D사업을 통하여 구축된 것으로 확인되며, 연구 개발 수행을 위한 인프라로는 충분하다고 판단

○ 기존 R&D 사업을 통하여 구축한 연구시설·장비 중 동 사업 관련 장비는 총 98건으로 파악
- ‘건설’ 키워드로 연구장비종합 포털(www.zeus.go.kr)에 등록된 모든 연구시설·장비 검색 후 유사·관련 사업으로 구축된 장비를 스크리닝*

- 총 3,211건 중 동 사업과 관련 없는 사업으로 구축된 장비들과 단독활용 장비를 제외

<표 2-54> 기존유사사업에서 구축한 시설·장비 현황

구분	3천만원 이상	3천만원 미만	합계
수량(점)	84	14	98

□ 시설 및 장비 목록

<표 2-55> 관련 장비 현황

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

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

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

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

2.3.5. 연구개발 성과 및 한계 분석

1. 선행연구 현황 및 연구성과 분석

1) 시멘트원료(석회석)대체순환자원확대기술개발사업 (산업통상자원부)

- (목표) 비탄산염 원료 제조 및 석회석 5wt.% 이상 대체 시멘트 기술개발
- (연구기간) 2022.04.01. ~ 2026.12.31. (4년 9개월)
- 연구내용
 - 비탄산염 원료 활용 석회석 5wt.% 이상 대체 저열시멘트 제조 및 활용기술 개발
 - 비탄산염 원료 활용 석회석 5wt.% 이상 대체 포틀랜드시멘트 제조 및 활용기술 개발
 - 순환자원 전처리를 통한 CaO 35wt% 이상 비탄산염 원료 제조 기술개발

<표 2-56> 시멘트원료(석회석)대체순환자원확대기술개발사업 세부 과제 내역

과제명	내용
비탄산염 원료 활용 석회석 5wt.% 이상 대체 저열시멘트 제조 및 활용기술 개발	- 연구목표 : 석회석 사용량 최소화를 위한 비탄산염 원료 사용 저열시멘트 제조 및 콘크리트 활용기술 개발 (비탄산염 원료 발굴과 특성 분석 및 활용방안 검토) 시중 저열시멘트 품질 현황 및 기준 조사분석, 비탄산염 원료 특성 분석 및 클링커의 소성성에 미치는 영향 분석 및 시멘트 원료로의 가능성 검토, 배합 검토 및 물성평가, 레미콘공장 회수수 및 슬러지의 특성 조사·분석, 탄소배출 감축 효과 산정 (실험실(Lab) 규모로 비탄산염 원료 사용 저열 시멘트의 제조 및 기초 특성 분석) 비탄산염 원료 대체율별 제조 저열시멘트 품질 비교 평가/제조/실증설비 구축 검토, 원료별 Total-Cr의 6가크롬 전환율 검증 및 클링커와 6가크롬의 상관성 연구, 회수수 슬러지의 비탄산염 원료 활용 가능성 검토
비탄산염 원료 활용 석회석 5wt.% 이상 대체 포틀랜드시멘트 제조 및 활용기술 개발	- 연구목표 : 석회석 5% 이상을 비탄산염 원료로 대체한 포틀랜드 시멘트 제조, 활용기술 개발 및 실증화 (1차년도) 비탄산염 원료의 물리화학적 특성 평가, 비탄산염 원료와 순수시약으로 제조한 클링커의 소성성/광물 특성 분석 및 품질 영향인자 도출, 소성 특성 평가 등 (2차년도) 비탄산염 원료와 순수시약으로 제조한 시멘트의 기초물성 평가 및 품질 영향인자 도출, 비탄산염 원료의 전처리, 분석, 계량, 투입방법에 대한 최적 기술 도출 및 적용 원료 분쇄 수준 제시 - 비탄산염 원료 기술의 실증화를 위한 필요 설비 도출 및 설계 - 비탄산염 원료 사용 클링커 조합원료의 열 특성/탄소배출 특성 평가
순환자원 전처리를 통한 CaO 35wt% 이상 비탄산염 원료 제조 기술개발	- 탄산염 원료인 석회석을 대체하기 위한 비탄산염 원료(슬래그류, 폐콘크리트 미분말 등)의 전처리기술 개발 (1차년도) 전로슬래그 물성 평가 및 거동 고찰/정량 평가, 2차정련 슬래그 물성·회수율·분쇄성 등 평가, 폐콘크리트 미분말 물성 평가·효율 검토·시멘트 모르타르의 효과적 제거를 위한 박리마쇄 메커니즘 조사분석 (2차년도) 전로슬래그 중 Cr, CaO, Fe의 분리선별 및 거동 검증, 전처리 최적공정 및 PP 설계안 도출, 2차정련 슬래그 배합 조건 도출·품질 개선·거동 평가 및 최적공정/PP 설계안 도출, 폐콘크리트 미분말 입자별 특성 및 클링커링 특성 평가, 미분말 회수 기술 최적화 및 박리 마쇄 기술 개발, 고칼슘 HCP 회수공정 PP 설계

출처: NTIS 자체조사

○ 기대효과

- 시멘트산업의 탄소배출로 인한 자립 생존한계(탄소배출권, 탄소세 및 탄소 국경세 등)를 극복하기 위한 기반기술 확보에 일조
- 시멘트 주원료인 석회석을 비탄산업 원료로 대체하여 2050년까지 탄소배출 265.1만 톤·CO2 감축에 기여
- 석회석 대체를 위한 산업부산물 자원화 기술을 확보하여 신규 시장창출 및 후방산업인 콘크리트·건설 산업기술과의 시너지 효과 창출 가능
- 산업부산물/건설폐기물 등의 유헴 자원 재활용 효율 향상 및 활성화를 통한 천연자원 사용량 저감과 매립장 수명 연장 등에 기여

2) 탄소중립산업핵심기술개발사업 - 시멘트분야 (산업통상자원부)

- (사업 전체 목표) 4대 탄소 다배출 업종(철강, 석유화학, 시멘트, 반도체·디스플레이)의 제조공정 단계에서 발생하는 탄소 배출 저감을 위한 탄소중립 핵심기술 확보를 통해 산업현장 중심 필수적 공정/설비 혁신 달성 및 저탄소 산업구조로의 대전환 촉진
- (시멘트 분야 목표) 시멘트 업종의 주요 탄소배출 공정을 탄소중립 공정으로 전환하는 기술 개발 및 실증을 통해 제조업의 그린전환 및 2030 NDC 달성 기여
- (총사업비) 9,352억 원 (정부출연금 6,947억 원) / 시멘트분야 2,826억 원
- (연구기간) 2023.07.01. ~ 2030.12.31. (7년 6개월)
- (연구내용) 일반과제 1개 및 총괄과제 2개, 7개의 세부과제로 구성

<표 2-57> 탄소중립산업핵심기술개발사업(시멘트분야) 세부 과제 내역

구분	연구개발 내용
총괄1	[클링커 사용량 저감을 위한 혼합 시멘트 제조기술 개발]
1세부	[혼합재 사용 증대를 위한 고성능 클링커 제조 기술 개발] · 고성능 클링커 제조기술 및 품질 확보 · Ca 부산물 활용 클링커 제조기술 및 품질 확보 · 제품 및 CO2 배출 평가기준(안) 정립 및 2차제품 적용 평가 · 2-3세부 기술 확산
2세부	[석회석 미분말 활용 저탄소 혼합시멘트 제조기술 개발] · 석회석 미분말 분쇄 및 혼합기술 최적화 · 석회석 시멘트 수화 특성규명 및 배합 최적화 · 용도별 콘크리트 품질, 내구성 검증 · KS표준화 및 국가 건설기준 반영
3세부	[무기계 미활용 자원을 활용한 혼합재 및 혼합시멘트 제조기술 개발] · 신규 혼합재 제조 및 평가기술 개발 · 다성분 혼합시멘트 제조기술 개발 · 저탄소 혼합시멘트 콘크리트 개발 · KS 표준화 및 실용화 기반 구축
4세부	[클링커 함량을 15% 이상 소성점토로 대체하는 혼합시멘트 제조기술 개발] · 소성점토용 점토류 DB 구축

	· 소성점토 최적 제조조건 도출 · 소성점토 15% 대체 혼합시멘트 최적 제조조건 도출 · KS 표준화 및 실용화 기반 구축
총괄2	[시멘트산업 유연탄 감소 폐합성수지 사용량(65%이상) 증대 기술 개발]
1세부	[폐합성수지 균일공급 및 연소 공정 최적화에 의한 시멘트 소성공정 연료대체율 65% 이상 대체 기술 개발] · 폐합성수지 열량대체율 향상 기술 · 연료대체율 65% 기술 상용화 · 에너지효율/품질평가 및 표준화
2세부	[폐합성수지 등을 활용한 소성공정 제어 및 시멘트 품질 제어 기술 개발] · 순환물질 거동 분석 및 연소 바이패스 최적화 기술 · 폐합성수지 사용량 증대에 따른 시멘트 품질 안정화 기술 · 폐합성수지 사용량 증대에 따른 시멘트 콘크리트 염화물 영향 규정 및 가이드라인 제시
3세부	[시멘트 소성로 연소 바이패스 분진의 안정적 활용기술 개발] · 연소 바이패스 분진 활용기술 · 연소 바이패스 분진 활용기술 실용화 · 품질/환경영향평가 및 표준화

출처 : NTIS 자체조사

3) 나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼 콘크리트 기술개발 (국토교통부)

- (연구목표) 나노물질을 활용하여 기존 콘크리트 대비 내구성 증가(내구연수 200년 이상), 단위중량 감소($2.3\text{t/m}^3 \rightarrow 1.6\text{t/m}^3$) 및 고강도(80MPa 이상) 콘크리트 개발
- (연구기간) 2020.04~2023.12 (3년 9개월)
- (연구내용)
 - [중점기술1] 나노 콘크리트 안전성 및 성능 평가 기술 확보
 - [중점기술2] 나노소재 활용 시멘트 복합체 제조 기술 및 건설용 Low-Cost 벌크 나노소재 제조 기술 확보
 - [중점기술3] 경량(단위중량 1.6t/m^3)·고강도(압축강도 80MPa) 나노 콘크리트 제조 기술 확보

<표 2-58> 나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼 콘크리트 기술개발 중점 기술 내역

중점기술	내용
[중점기술1] 나노 콘크리트 안전성 및 성능 평가 기술 확보	• 시멘트 복합체용 나노소재 성능 평가 기술 개발 • 나노 콘크리트 환경 및 인체 영향 평가 기술 개발 • 나노콘크리트 비파괴 성능평가 기술 개발
[중점기술2] 나노소재 활용 시멘트 복합체 제조 기술 및 건설용 Low-Cost 벌크 나노소재 제조 기술 확보	• 나노소재 활용 시멘트 복합체 재료 설계 및 역학적 성능 극대화 기술 개발 ※ 나노소재-시멘트 복합체 수화 최적화/수화조직/구조제어 기술 개발 ※ 나노소재 활용 시멘트 복합체 적용 경량·고강도 시멘트 페이스트 최적배합 개발 • 건설용 Low-Cost 벌크 나노소재 제조 및 활용기술 개발 ※ 기존 대비 20% 이상 생산단가 절감 건설용 Low-Cost 벌크 CNT 제조기술 확보 ※ 기존 대비 20% 이상 재료단가 절감 반응성 나노소재 활용 Low-Cost 복합 결합재 개발
[중점기술3] 경량(단위중량 1.6t/m ³)·고강도(압축강도 80MPa) 나노 콘크리트 제조 기술 확보	• 나노기술 활용 고강도·경량 콘크리트 제조를 위한 요소기술 개발 • 나노기술 활용 고강도·고내구·경량 콘크리트 제조 기술 개발 • 고강도·고내구·경량 콘크리트 구조적 특성 및 설계 가이드라인 개발

출처: NTIS 자체조사

○ 기대효과

- 개발된 첨단건설, 환경 기술 등을 바탕으로 해외 건설시장 공략 경쟁력 강화
- 국내 건설산업 전체 레미콘 소비량의 약 2%정도를 본 기술로 대체한다고 가정하면, 연 3,200억 원 규모의 시장 점유가 가능
- 자중감소에 따른 밀면전단력 감소와 압축강도 향상으로 단면의 크기가 감소해 보통강도 콘크리트 기둥보다 약 10%의 물량 감소, 시멘트 사용량 감소가 가능하며 환산시 약 100억 원 절감
- 국내 30년 이상 노후기반시설물의 비중은 '24년에는 '14년 대비 2배 이상 급증할 것으로 예상되어 유지보수로 인한 경제적 손실이 예상되는데, 나노소재 개발을 통한 고강도·고내구성 건설재료의 개발로 시공·유지관리에 대한 경제적 효과가 기대
- 고성능 나노 콘크리트의 초기 높은 수화열과 빠른 압축강도 발현으로 동절기 콘크리트 품질의 향상이 가능하며, 빠른 경화속도를 통한 조기압축강도 발현으로 빠른 탈형이 가능해 경제적 효과가 기대
- 빠른 성장이 기대되는 NT 분야의 인력 비중 상승이 기대되어 건설분야의 나노 소재 관련 고용 창출 효과가 기대

2. 유관 과제 분석

- 1) 탄소저감형 콘크리트 구조재료 및 에너지 절감형 건축재료·자재 개발(국토교통부)
 - (연구목표) 탄소저감형 건설재료 실용화를 통한 건설재료 산업의 CO₂ 배출저감, 환경부하 저감형 건축재료 활용을 통한 시설물 열손실지수 30% 저감, 건설재료의 CO₂ 통합관리 기술 개발에 의한 탄소저감형 건설재료 활용기반 구축
 - (연구기간) 2011-11-28 ~ 2017-07-31 (5년 8개월)
 - (연구내용) CO₂ 배출저감형 건설구조재료 개발, 건설재료 CO₂ 통합관리 기술개발
- 2) 해양설치용 인공리프 블록의 친환경재료 개발(국토교통부)
 - (연구목표) 해양 설치용 인공리프 블록을 위한 고중량, 고밀도, 다공성 등을 고려한 콘크리트 잠제와 블록 연결재의 개발
 - (연구기간) 2012-10-09 ~ 2016-10-31 (4년)
 - (연구내용) 산업부산물 및 혼화재료 등을 혼입한 콘크리트의 염해방지 특성을 평가하고 분석, 유용 미생물 및 기능성 물질 혼입에 따른 인공어초 활성화 특성 평가, 블록의 최적 형상 및 사이즈를 설계하고 블록 연결재 결합방법의 최적방법 설계
- 3) 시멘트 ZERO 콘크리트 개발 및 활용(과학기술부)
 - (연구목표) 2012년까지 시멘트 ZERO 콘크리트 및 활용 기술 및 제조 기술 개발, 시멘트 ZERO 결합재, 상온 중합반응용 활성화제, 압축강도 60MPa의 고성능 콘크리트 개발, 시멘트 ZERO 콘크리트의 활용 기술 개발을 통해 내구수명 100년 이상의 콘크리트를 개발
 - (연구기간) 2007-10-10 ~ 2008-10-09 (2년)
 - (연구내용) 시멘트 ZERO 결합재 개발, 상온 중합반응용 활성화제 개발, 시멘트 ZERO 콘크리트의 제조기술 개발, 시멘트 ZERO 콘크리트의 성능평가, 시멘트 ZERO 콘크리트의 활용기술 개발
- 4) 무기성 폐기물을 활용한 고강도 하이볼륨 친환경 콘크리트 개발(환경부)
 - (연구목표) 슬래그를 80% 이상 활용한 압축강도 80MPa급 고강도 친환경 원심성형 콘크리트 제품 제조 기술 개발
 - (연구기간) 2013-05-01 ~ 2016-03-31 (2년 11개월)
 - (연구내용) 고강도 친환경 원심성형 콘크리트 설계 및 제작, 현장 생산조건 도출, 고강도 친환경 콘크리트의 장기 내구성 평가, 80MPa급 원심성형 콘크리트 제품 성능 평가, 저류조와 원심성형 콘크리트 제품의 동시 적용 성능 평가, 압축강도 80MPa급 배합 도출, 친환경 콘크리트 저류조 형상 설계 및 제작, 모형 시험을 통한 성능 평가, 고강도 콘크리트 역학적 성능평가, 슬래그 대량 활용 콘크리트의 장기 내구성 평가

- 5) 시멘트 대체 AAM 바인더와 복합섬유재료를 활용한 건설재료 및 실용화 기술 개발(산업통상자원부)
 - (연구목표) AAM(Alkali Activated Materials)을 활용한 친환경 건설재료 개발 및 실용화, AAM과 Textile을 적용한 TRM(Textile Reinforcement Mortar)공법 및 제품 개발
 - (연구기간) 2016-12-01 ~ 2019-11-30 (3년)
 - (연구내용) 친환경 건설재료인 AAM(Alkali Activated Materials)의 개발 및 실용화, 독일 Albani, ITA와 같은 관련 해외 파트너사와의 상호 협력 개발을 추진
- 6) 발전소 부산물을 100% 활용한 압축강도 42.5MPa급 상온경화형 비소성 결합재 및 활용기술 개발(산업통상자원부)
 - (연구목표) 발전소부산물을 활용한 압축강도 42.5MPa급 결합재 개발, 25MPa급 보수 모르타르 개발
 - (연구기간) 2015-12-01 ~ 2018-09-30 (2년 10개월)
 - (연구내용) 결합재의 활성 극대화를 위한 탈황석고 활용 기술 개발, 발전소 부산물 활용 결합재의 강도 증진 기술 개발, 발전소 부산물 활용 결합재를 사용한 콘크리트 특성 평가, 42.5MPa급 결합재용 혼합비율 도출
- 7) 석탄바닥재에 유황폴리머 결합재를 이용한 고강도 및 고기능성의 산업용 건설자재 생산기술 개발(산업통상자원부)
 - (연구목표) 부생(유)황을 활용한 유황바인더(SPC) 개발, 최적화, 제작 및 테스트 등
 - (연구기간) 2013-08-01 ~ 2016-07-31 (3년)
 - (연구내용) 유황 바인더 개발, 유황 폴리머 콘크리트 반응 장비 설계 및 제작, 제조공정 최적화, 시제품 제작 및 성능평가 / 바닥재 콘크리트 반응 믹싱 방식 선정 및 설계, 바닥재 건조, 분쇄 등 전처리 시스템 선정 및 설계, 석탄 바닥재 전처리 시스템 설계 지원
- 8) 바텀애시를 다량 활용한 CO₂ 배출 저감형 콘크리트 기술 개발(지식경제부)
 - (연구목표) 바텀애시의 반응성 향상 기술 개발, 콘크리트 배합 및 제조 기술 개발, 성능 평가 및 활용 기술/사용재료 품질 분석 및 고온양생 기법 분석, 현장 적용 기술 개발, 레미콘 생산 기술 분석 및 현장 적용
 - (연구기간) 2010-06-01 ~ 2013-05-31 (3년)
 - (연구내용) 바텀애시 발생현황 및 품질변동 분석, 물리/화학적 바텀애시 성능향상 기술 개발, 바텀애시를 다량 활용한 콘크리트 배합기술 개발·제조 프로세스 확립·시작품 제작 및 현장 적용, 바텀애시 다량 활용 콘크리트의 성능 평가, 레미콘 생산기술 개발 및 현장 적용
- 9) 동결융해저항 고내구성 콘크리트 응용 기술 개발(국토교통부)
 - (연구목표) 국내 석회석 광물을 활용한 CO₂ 저감형 석회계 건설재료 및 이를 이용한 응용 제품개발, 폐유리와 바잘트 섬유를 혼입한 고내구성 콘크리트 배합 개발 및 실용화 등
 - (연구기간) 2014-03-01 ~ 2017-02-28 (3년)
 - (연구내용) 이산화탄소 배출저감 석회계 건설소재 및 응용 제품 연구, 국내산 천연수경성석회의 모르타르 성능개선 및 특성평가 연구, 폐유리 및 바잘트 섬유 혼입 고내구성 콘크리트

개발 및 상용화 연구, 폐도자기 미분말을 시멘트 대체재료로 활용한 콘크리트 연구

10) 해양 준설토와 슬래그를 활용한 친환경 콘크리트 개발(교육과학기술부)

- (연구목표) 환경복원 및 자원 순환을 위하여 준설토를 활용한 폐기물 재활용기술 개발 / 인산부석고, 슬래그와 같은 시멘트계 재료와 결합이 가능한 폐자원의 재활용 방법을 다양화하고 자원순환형 콘크리트 재료의 성능 평가 및 최적 배합비의 도출 및 이차 제품 개발
- (연구기간) 2009-05-01 ~ 2012-04-30 (3년)
- (연구내용) 준설토와 슬래그 및 인산부석고와 같은 폐자원을 활용한 건설재료 제조기술개발 및 활용기술개발을 통하여 환경, 건설 및 재료기술의 융합을 통한 소재 개발/ 폐자원의 재료물성 평가, 오염물질 저감기술 개발, 시멘트계 재료와의 혼합시 강도평가 및 내구성 평가를 통한 최적배합비 도출 등

11) 나노실리카졸을 사용한 친환경 삼성분계 콘크리트의 개발(교육부)

- (연구목표) 나노실리카졸을 활용한 고성능 콘크리트 개발, 산업부산물을 활용한 삼성분계 시멘트와 나노실리카졸을 활용한 친환경 콘크리트 개발 등
- (연구기간) 2015-06-01 ~ 2018-05-31 (3년)
- (연구내용) 나노실리카졸 특성 파악, 삼성분계 재료 물성 실험 및 특징 파악을 통한 최적 혼합비 제안/ 시험체의 역학적 특성 시험, 반응메커니즘 파악, 역학성능 및 내구성 시험 / 나노실리카졸을 사용한 친환경 삼성분계 콘크리트의 배합 및 제조방법 제안

3. 중복성 검토 및 연계방안

□ 시멘트원료(석회석) 대체 순환자원 확대기술개발사업

구분	기존	금번 추진 과제
사업명	시멘트원료(석회석)대체순환자원 확대기술개발사업	고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발
내용	슬래그, 폐콘크리트 미분말 등을 사용한 시멘트 원료인 석회석 대체 기술 개발	구조용 무시멘트 콘크리트의 시공 성능/설계성능 확보를 통한 실용화
차별성	대상	시멘트의 원료인 석회석을 일부 대체하기 위한 비탄산염 원료 활용
	목표	탄소배출량이 높은 시멘트를 사용하지 않는 100MPa 이상 구조용 고강도 무시멘트 콘크리트 기술 개발 및 실용화
	결과물	비탄산염 원료 활용 석회석 5wt.% 이상 대체 저열시멘트 제조 및 활용기술 개발 비탄산염 원료 활용 석회석 5wt.% 이상 대체 포틀랜드시멘트 제조 및 활용기술 개발 순환자원 전처리를 통한 CaO 35wt% 이상 비탄산염 원료 제조 기술개발
연계방안	시멘트 일부를 비탄산염 원료로 대체한 기존 연구의 결과를 활용하여, 시멘트 전체를 친환경 재료로 대체했을 때의 물성치 예측 등에 활용	

□ 탄소중립산업핵심기술개발사업(시멘트분야)

구분	기존	금번 추진 과제
사업명	탄소중립산업핵심기술개발사업(시멘트분야)	고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발
내용	클링커 사용량 저감을 위한 혼합 시멘트 제조기술 개발 시멘트산업 유연탄 감소 폐합성수지 사용량(65%이상) 증대 기술 개발	구조용 무시멘트 콘크리트의 시공 성능/설계성능 확보를 통한 실용화
차별성	대상	시멘트 생산 공정 전체에 대한 탄소중립 공정 전환 기술 개발 및 실증
	목표	탄소배출량이 높은 시멘트를 사용하지 않는 100MPa 이상 구조용 고강도 무시멘트 콘크리트 기술 개발 및 실용화
	결과물	혼합재 사용 증대를 위한 고성능 클링커 석회석 미분말 활용 저탄소 혼합시멘트 무기계 미활용 자원을 활용한 혼합재 및 혼합시멘트 클링커 함량 15%이상 소성점토 대체 혼합시멘트 폐합성수지활용 시멘트
연계방안	무기계 미활용 자원 활용 혼합시멘트, 소성점토 활용 혼합시멘트, 폐합성수지 활용 시멘트 등 시멘트 대체와 관련된 연구 결과를 적극 활용	

□ 나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼콘크리트 기술개발

구분		기존	금번 추진 과제
사업명		나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼콘크리트 기술개발	고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발
내용		나노 콘크리트 안전성 및 성능 평가 기술 확보 나노소재 활용 시멘트 복합체 제조 기술 및 건설용 Low-Cost 벌크 나노소재 제조 기술 확보 경량(단위중량 1.6t/m ³)·고강도(압축강도 80MPa) 나노 콘크리트 제조 기술 확보	구조용 무시멘트 콘크리트의 시공 성능/설계성능 확보를 통한 실용화
차별성	대상	내구성이 높고 고강도인 콘크리트 배합, 제조, 활용	시멘트 사용이 제로인 구조체용 콘크리트
	목표	나노물질을 활용하여 기존 콘크리트 대비 내구성 증가(내구연수 200년 이상), 단위중량 감소(2.3t/m ³ →1.6t/m ³) 및 고강도(80MPa 이상) 콘크리트 개발	탄소배출량이 높은 시멘트를 사용하지 않는 100MPa 이상 구조용 고강도 무시멘트 콘크리트 기술 개발 및 실용화
	결과물	건설용 나노소재 제조 기술 나노소재-시멘트 복합체 배합, 제조기술 나노기술 활용 고강도 경량 콘크리트 제조 기술	시공성능, 안전성, 사용성, 내구성 등이 확보된 구조용 무시멘트 콘크리트
연계방안		구조용 무시멘트 콘크리트 제작을 위해 고강도, 고내구성 콘크리트 제조 기술 적극 활용	

2.3.6. 주요 시사점

1. 연구개발 투자 현황 분석

- 탄소중립 건설재료 관련 투자 현황 분석 결과, 투자는 지속적으로 확대되고 있는 추세로 관련 연구를 수행하기 위한 투자는 충분할 것으로 분석
 - '20년 국가연구개발사업의 예산은 93조 717억원으로 전년 대비 4.5%의 증가율을 보이고 있으며, 기초연구와 도전적인 연구 과제에 대한 지원을 확대하고 있는 추세
 - 탄소중립 건설재료 관련 R&D 정부출연금과 과제수는 지속적으로 증가하는 추세
 - '19~'23년 구간에서 정부출연금은 256.5억 원에서 492.5억 원으로 연평균 13.9%의 성장률로 지속적으로 증가
 - '19~'23년 구간에서 과제수는 119건에서 161건으로 연평균 6.2%의 비율로 증가
 - 부처별 투자동향으로는 국토교통부의 규모가 가장 크고, 산업통상자원부, 과학기술정보통신부 등 여러 부처에서 많은 투자를 진행 중
 - '19~'23년 기간동안 국토부 658억 원(115건), 산업부 472억 원(57건), 과기부 319억 원(210건) 등 다수 부처에서 활발한 R&D 투자가 이루어지는 것으로 분석
 - 연구단계별 투자동향 분석 결과 무시멘트 콘크리트는 기초연구 단계를 지나 개발연구 단계의 연구가 주를 이루는 것으로 분석되었으며, 최근 응용연구 단계도 급격히 증가 중
 - 전체 연구중 개발연구가 1,224억 원으로 64.5%를 차지하여 주를 이루고 있으며, 응용연구는 5.3%의 비중을 차지하나, 연평균 48.1%의 높은 비율을 성장을 기록 중

2. 기술수준분석

- 기술수준분석 결과 현재 기술수준은 타국에 비해 낮은 편이나, 연구단계 역량은 우수 및 탁월한 수준이며, 연구개발 활동 경향도 상승세를 기록하고 있어 역량이 충분한 것으로 분석
 - 국내 국토교통 재료/자재 분야는 최고 기술국 대비 80% 수준으로 7개국 중 6위로 미흡한 편
 - 친환경 자재 등의 개발을 위한 지속적인 투자, 다양한 R&D 수행, 우수인력 연구개발 강화 등이 관련 분야의 강점으로 작용할 것으로 분석
 - 법규 개선 필요, 준비 및 인식 부족 등이 약점으로 지적
 - 국내 친환경 다기능 건설재료 기술 분야는 최고 기술국 대비 80% 수준으로 5개국중 4위 수준으로 약간 부족한 편이나, 연구개발 역량은 탁월한 것으로 분석
 - 기술수준은 최고국 대비 80%, 격차는 3년 수준으로 약간 미흡한 수준으로 분석
 - 연구역량은 기초연구 단계에서는 우수, 응용개발 단계에서는 탁월 수준으로 분석되어 역량이 높은 것으로 분석
- 논문 및 특허분석 결과 관련 분야에서 논문 증가율 1위, 특허 점유 및 증가율 2위 등으로 양적 활동력은 높은 수준이고, 질적 활동력은 전반적으로 3~5위권으로 다소 미흡한 편으로 분석
 - 논문은 전체 건수는 낮은 편이나, 증가율이 전체 1위를 기록하였고, 영향력 또한 평균 이상을 기록하고 있는 것으로 조사

- 논문 건수는 전체 195건으로 주요국 중 가장 적으나, 논문 증가율은 104.7%로 가장 높은 수준이며, 논문 영향력은 3위를 차지한 것으로 조사
- 특허는 전체 건수, 증가율 모두 2위로 높은 수준이나, 주요특허 비중 및 특허 영향력은 미흡
 - 특허 건수는 510건, 증가율은 55%로 주요국 중 2위를 차지하였으나, 주요특허 비중은 3위, 특허영향력은 전체 5위로 미흡한 편

3. 연구개발 인프라 현황 분석

□ 국내 인력, 장비 등 연구개발 인프라 수준은 충분한 것으로 분석

- 국내 공학 연구 인력 및 무시멘트 콘크리트 관련 연구인력은 충분한 것으로 판단
 - 국내 공학분야 전공자 수는 전공별 연구원 중 가장 높은 비중인 66.5%, 371,068명으로 연구개발인력은 충분한 것으로 분석
 - 무시멘트 관련 연구인력은 건설구조재료, 교량, 구조물 보수 보강, 시공, 시설물점검, 토목시공 등 다양한 전문 분야의 인력이 충분한 것으로 분석
- 기존 R&D 사업을 통해 다양한 장비가 구축되어 본 연구에 활용 가능할 것으로 분석
 - 연구장비종합포탈을 통해 연구시설·장비 검색 후 유사 관련 사업 스크리닝 결과 98건의 유관 사업 장비가 구축되어 있음을 확인

4. 연구개발성과 및 한계 분석

□ 선행연구 및 중복성 검토 결과 본 사업은 선행연구와의 차별성이 명확한 것으로 분석되었으며, 기존 성과를 활용한 연계 가능성도 충분한 것으로 분석

- 시멘트원료(석회석)대체 순환자원 확대기술사업은 시멘트의 일부를 비탄산염 원료로 대체하는 사업으로, 본 사업은 시멘트원료 전체를 대체하며 시공성능, 안전성, 사용성, 내구성 등을 확보하는 것에서 차별화가 가능
 - 시멘트 일부를 비탄산염 원료로 대체한 기존 연구의 결과를 활용하여, 시멘트 전체를 친환경 재료로 대체했을 때의 물성치 예측 등에 활용하는 등의 연계가 가능할 것으로 기대
- 탄소중립산업핵심기술개발사업(시멘트분야)은 시멘트 생산 공정 전체에 대한 탄소중립 공정 전환을 목적으로 하는 사업으로, 시멘트 전체를 대체하는 본 사업과는 차이점이 존재
 - 무기계 미활용 자원 활용 혼합시멘트, 소성점토 활용 혼합시멘트, 폐합성수지 활용 시멘트 등 시멘트 대체와 관련된 연구 결과를 적극 활용하는 방안의 연계가 기대
- 나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼콘크리트 기술개발은 나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼콘크리트를 개발하는 사업이며, 본 사업은 구조용 무시멘트 콘크리트를 개발하는 점에서 차별성이 존재
 - 구조용 무시멘트 콘크리트 제작을 위해 고강도, 고내구성 콘크리트 제조 기술 적극 활용하는 등의 연계가 가능할 것으로 판단

2.4. 종합분석

1. 정책적 환경

□ 전세계적으로 탄소중립 이행을 위하여 파리 협정 등 여러 가지 정책을 추진 중

- 세계 각국에서는 탄소국경세, 탄소세 등 각자 탄소중립을 추진하기 위한 정책을 추진 중
 - UN은 '92년 기후 변화에 관한 유엔 기본 협약을 시작으로 교토의정서, 파리협정과 같은 탄소중립 관련 정책을 지속적으로 채택
 - '21년 7월 EU 집행위는 '30년까지 탄소배출량을 '90년 수준대비 55%로 감축하기 위한 입법안 패키지인 “Fit for 55”를 발표
 - 바이든 정부는 취임식 당일 파리협정 복귀('21.1)를 선언하고, 공중보건과 환경보호 및 기후 변화대응을 위한 과학회복, 국내외 기후위기 대처에 대한 행정명령 서명하고 미국 탄소국경세 법안 발의
 - 일본 건설 관련 산업은 일본 전체 산업에서 약 4%의 탄소배출량을 차지하고 있고 이 중 시멘트-콘크리트 분야의 탄소배출 감소는 중요한 과제로 인식
 - 국내에서도 탄소중립 이행을 위해서 탄소중립 실현을 위해 탄소중립녹색성장계획, 제6차 건설산업진흥 기본계획 등 각종 계획에 콘크리트/시멘트에 대한 정책 추진
- RE100 등 협회와 기업 차원에서 탄소중립 달성을 위한 노력도 지속적으로 추진 중
 - 유럽시멘트협회(CEMBUREAU) 로드맵은 '25년까지 탄소중립 실현을 위해 '30년 중간 목표 지점을 설정하여 시멘트 산업 총 CO2 배출량을 30% 감축하는 것을 제시하여 NDC 달성에 기여
 - 미국의 포틀랜드 시멘트 협회(PCA)에서는 탄소중립 로드맵을 발표
 - RE100에 따라 참여기업들은 재생에너지(원자력 제외)로 전환을 해야하며, 기존의 석탄, 석유 등 온실가스를 배출하는 에너지원에서 탈피하고자 노력

2. 기술적 환경

□ 전세계적으로 시멘트를 대체하는 등 저탄소 콘크리트에 관한 기술을 적극적으로 개발 중

- 전세계적으로 시멘트를 대체하는 재료를 사용하는 콘크리트가 개발되어 다양하게 적용 중
 - 시멘트 분야의 온실가스 저감과 산업부산물의 안정적 재활용을 위한 방안으로 플라이애시, 고로슬래그 미분말을 다량 활용하기 위한 연구 개발이 활발히 진행되고 있으며, 나라마다 상황
 - 이외에도 시멘트를 사용하지 않는 무시멘트 콘크리트를 각국에서 개발 중
- 알칼리 활성 콘크리트와 지오폴리머 콘크리트의 경우 전세계적으로 기술개발은 되고 있으나, 아직 우리나라에서 구조물 적용에는 제한적인 것으로 확인
 - 현재 고로슬래그계 무시멘트 콘크리트 제조기술의 최고 기술보유국은 호주이고, 석탄회계와 천연재료계는 프랑스이고 구조부재 활용기술은 프랑스, 호주로서 전반적으로 무시멘트 콘크리트에 대한 최고 기술보유국은 프랑스와 호주로 분석
 - 국내에서 2000년대 후반부터는 시멘트 산업이 CO2 주요 발생원이라고 인식하여 산업부산물을 활용한 알칼리 활성 콘크리트 및 지오폴리머 콘크리트를 개발하였으나 구조물 적용은 제한적

- 초고성능 콘크리트 분야에서도 저탄소 기술을 적용한 연구 및 기술개발이 활발히 진행
 - 기존 고성능 콘크리트보다 진일보된 다양한 초고성능 콘크리트 기술이 활발히 개발되어 많은 분야에 적용되고 있으며, 전 세계적으로 미래 신성장 동력으로 인식하고 국가 차원에서 많은 지원
 - 국내에서는 「SUPER Concrete Structure 2020 연구단」에서 세계최고 수준의 200년 수명 슈퍼콘크리트 재료·기준·구조시스템 기술 개발을 통해 세계 최초의 도로 사장교와 쉘 빌딩 구조물 건설 등 월드 레코드 보유

3. 시장적 환경

□ 세계 친환경 콘크리트/시멘트 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상

- 글로벌 친환경 콘크리트* 시장은 '22년 184억 달러에서 연평균 9.3% 성장하여 '30년 375억 9천만 달러로 성장할 것으로 예측
 - 저탄소 건설에 대한 수요가 증가함에 따라서 글로벌 친환경 콘크리트의 수요는 계속해서 증가할 것으로 예상
- 국내 친환경 콘크리트 시장규모는 전체 콘크리트 산업 대비 2020년에는 약 12%, 2022년에는 22% 정도 점유 예상
 - 친환경 건설재료 시장은 연평균 30% 이상의 성장이 예상되며, 이에 따라 친환경재료 시장에서 시멘트 대체 기술 및 제품개발을 위한 경쟁이 치열
- 고성능 콘크리트의 수요와 점유율은 전 세계적으로 급속히 증가하고 있으며, 이에 따라 초고성능 콘크리트(UHPC)의 수요 역시 꾸준히 증가할 것으로 예상
 - 2010년 기준 콘크리트 시장에서 고성능 콘크리트의 시장은 전체에서 1% 이내이지만, 계속하여 고품질인 콘크리트가 요구되기 때문에 고성능 콘크리트 시장은 꾸준히 성장할 것으로 전망
 - 고성능 콘크리트 시장에 대한 수요는 전 세계 건설산업의 높은 성장에 따라 주거, 상업 및 기타 인프라 건설 증가로 인해 발생할 것으로 판단
 - 주택 및 인프라 건설 부문에서 반등을 목격하고 있는 아시아 태평양 지역은 새로운 건설의 필요성과 개조 또는 재건의 필요성에 의해 수요를 주도할 것으로 예상
- 글로벌 친환경 시멘트* 시장은 '21년 272억 달러에서 연평균 12.8% 성장하여 '27년 566억 달러로 성장할 것으로 전망
 - 친환경 시멘트의 제품 유형으로는 비산회, 슬래그, 석회석, 실리카 폼 기반 제품으로 분류할 수 있으며, 현재는 비산회 기반 시멘트가 전체 시장 점유율을 대부분을 차지
 - 추가적으로 비산회의 공급량이 줄어들 것으로 예상됨에 따라 이에 대한 대책마련이 필요

4. 산업적 환경

□ 전세계적으로 CO2 활용 건설재료 시장, 탄소배출거래시장 등 탄소중립과 관련된 시장은 계속해서 성장 중

- 글로벌 CO2 활용 건설재료 시장은 '50년 1조 달러까지 증가할 것으로 전망
 - 광물 또는 건설 폐기물의 탄산화 시장은 골재 톤당 0.087~0.440톤의 CO2를 소비할 수 있으며, 탄소가격 및 골재가격에 따라 시장을 추정한 결과, '50년 3,370억 달러로 예상
 - CO2 활용 프리캐스트 콘크리트 시장은 콘크리트 톤당 0.001~0.05톤의 CO2를 소비할 수 있으며, 탄소가격 및 프리캐스트 콘크리트 가격에 따라 시장을 추정한 결과, '50년 6,660억 달러로 예상
- 세계 탄소중립 관련 시장은 계속해서 증가하고 있는 추세로 지속적인 수요증가가 예상
 - 세계 탄소중립시장은 '22년 103억 1천만 달러에서 연 6.9% 규모로 성장하여 '32년 199억 5천만 달러에 이를 것으로 전망
- 세계 탄소배출권 시장은 급속도로 성장 중이며, 국내 시장도 첫해에 비해 90배 이상 성장
 - 세계 탄소배출권 거래액은 '21년 기준 7,600억 유로를 기록하며 '17년보다 10배 이상 증가했으며, 유럽은 세계 탄소시장의 약 90%를 차지
 - 국내 탄소배출권 거래액은 배출권시장 개설 첫해 138억 원에서 '21년 1조 2,772억 원으로 약 90배 상승
- 전 세계는 기후변화 완화를 위한 온실가스 감축에 보다 실효성 있는 대책을 요구하고 있으며, 주요 정책 중 하나로 탄소가격제(Carbon Pricing)를 추진 중
 - 탄소가격제는 오염자부담 원칙에 따라 탄소배출에 가격을 부여하여 배출량 감축을 유도하는 정책수단으로 탄소세, 배출권거래제 등이 대표적

5. 연구 역량

□ 연구역량 분석 결과, 관련 연구를 수행하기 위한 투자, 역량, 인프라 등 연구역량은 충분

- '20년 국가연구개발사업의 예산은 93조 717억원으로 전년 대비 4.5%의 증가율을 보이고 있으며, 기초연구와 도전적인 연구 과제에 대한 지원을 확대하고 있는 추세
 - 연구단계별 투자동향 분석 결과 무시멘트 콘크리트는 기초연구 단계를 지나 개발연구 단계의 연구가 주를 이루는 것으로 분석되었으며, 최근 응용연구 단계도 급격히 증가 중
 - 전체 연구중 개발연구가 1,224억 원으로 64.5%를 차지하여 주를 이루고 있으며, 응용연구는 5.3%의 비중을 차지하나, 연평균 48.1%의 높은 비율을 성장을 기록 중
- 기술수준분석 결과 현재 기술수준은 타국에 비해 낮은 편이나, 연구단계 역량은 우수 및 탁월한 수준이며, 연구개발 활동 경향도 상승세를 기록하고 있어 역량이 충분한 것으로 분석
 - 국내 국토교통 재료/자재 분야는 최고 기술국 대비 80% 수준으로 7개국중 6위로 미흡한 편
 - 국내 친환경 다기능 건설재료 기술 분야는 최고 기술국 대비 80% 수준으로 5개국중 4위 수준으로 약간 부족한 편이나, 연구개발 역량은 탁월한 것으로 분석
- 논문 및 특허분석 결과 관련 분야에서 논문 증가율 1위, 특허 점유 및 증가율 2위 등으로 양적 활동력은 높은 수준이고, 질적 활동력은 전반적으로 3~5위권으로 다소 미흡한 편으로 분석
 - 논문은 전체 건수는 낮은 편이나, 증가율이 전체 1위를 기록하였고, 영향력 또한 평균 이상을 기록하고 있는 것으로 조사
 - 특허는 전체 건수, 증가율 모두 2위로 높은 수준이나, 주요특허 비중 및 특허 영향력은 미흡
- 국내 인력, 장비 등 연구개발 인프라 수준은 충분한 것으로 분석
 - 국내 공학 연구 인력 및 무시멘트 콘크리트 관련 연구인력은 충분한 것으로 판단
 - 기존 R&D 사업을 통해 다양한 장비가 구축되어 본 연구에 활용 가능할 것으로 분석
- 선행연구 및 중복성 검토 결과 본 사업은 선행연구와의 차별성이 명확한 것으로 분석되었으며, 기존 성과를 활용한 연계 가능성도 충분한 것으로 분석
 - 시멘트원료(석회석)대체 순환자원 확대기술사업은 시멘트의 일부를 비탄산염 원료로 대체하는 사업으로, 본 사업은 시멘트원료 전체를 대체하며 시공성능, 안전성, 사용성, 내구성 등을 확보하는 것에서 차별화가 가능하며 물성치 예측 등에 활용하는 등의 연계가 가능할 것으로 기대
 - 탄소중립산업핵심기술개발사업(시멘트분야)은 시멘트 생산 공정 전체에 대한 탄소중립 공정 전환을 목적으로 하는 사업으로, 시멘트 전체를 대체하는 본 사업과는 차이점이 존재하며, 시멘트 대체와 관련된 연구 결과를 적극 활용하는 방안의 연계가 기대
 - 나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼콘크리트 기술개발은 나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼콘크리트를 개발하는 사업이며, 본 사업은 구조용 무시멘트 콘크리트를 개발하는 점에서 차별성이 존재하며, 구조용 무시멘트 콘크리트 제작을 위해 고강도, 고내구성 콘크리트 제조 기술 적극 활용하는 등의 연계가 가능할 것으로 판단

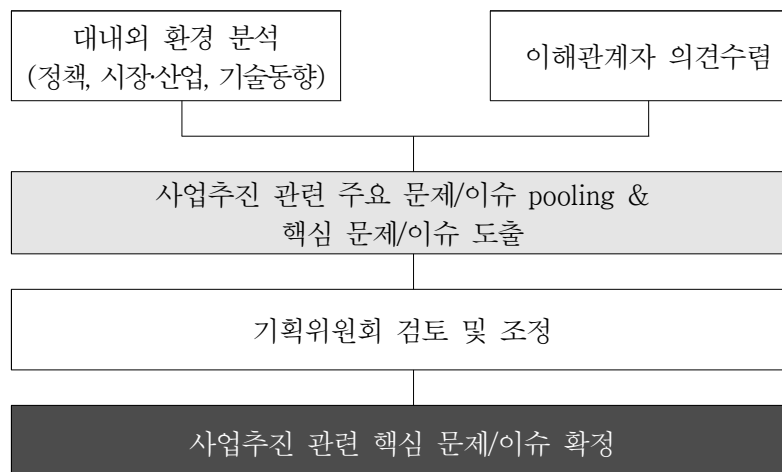
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

3.1. 신규 연구개발사업 추진전략

3.1.1. 사업 추진방향 및 범위

1. 핵심 문제/이슈 도출 프로세스

- 정책동향, 시장·산업 동향, 기술개발 동향, 사회 동향 및 수요 등을 고려하여, 국가 차원의 문제/이슈를 해결하기 위해 본 사업에서 해결하고자 하는 핵심 문제/이슈를 도출
- (핵심 이슈/문제 도출) 탄소중립 건설재료와 관련된 대내외 환경분석(정책/산업/시장/기술) 및 이해관계자 의견수렴으로부터 주요 이슈/문제를 발굴 및 pooling하고 구조화
 - (대내외 환경 분석을 통한 이슈/문제 발굴) 국내외 탄소중립 건설재료 관련 추진 정책 및 법·제도 마련 현황, 무시멘트 콘크리트 산업적 특성 및 시장 전망, 주요기업들의 기술개발 현황 및 계획을 조사 및 분석하여 주요 이슈 및 문제 발굴
 - (이해관계자 의견수렴을 통한 이슈/문제 발굴) 관련 전문가 인터뷰를 수행하여, 무시멘트 콘크리트의 문제점 및 애로사항, 기술개발 시 고려해야할 점 및 기술개발 수요 등을 파악
- (핵심 이슈/문제 확정) 기획위원회는 정리된 핵심 문제/이슈를 검토하고 조정 및 확정
 - (핵심 문제/이슈1) 탄소배출량이 가장 높은 시멘트·콘크리트, 도로포장 산업의 탄소중립을 위한 원재료 사용저감(대체재) 및 친환경 혼합재 개발 필요
 - (핵심 문제/이슈2) 탄소중립 건설재료의 구조물 적용 및 해외진출을 위해 필요한 안전성, 사용성, 내구성 등의 검증 및 적용 사례 등이 미비한 실정
 - (핵심 문제/이슈3) 기존 시멘트 대체재인 플라이애시나 고로슬래그 등의 공급 불안정·부족 등의 문제 해소를 위해 미활용 산업부산물을 활용하는 혁신적 기술 개발이 필요



[그림 3-1] 사업 추진상의 핵심 문제/이슈 도출 프로세스

2. 사업추진 방향 도출 및 전략 수정

- 동 기획을 통해 탄소중립 건설재료 혁신기술 개발을 위한 핵심 이슈 및 문제를 설정, 이를 해결하기 위한 사업구성(안)을 제시하였으나, 현 시점의 여건을 고려하여 사업의 추진방향을 조정
 - 1차 총괄기획위원회, 분과위원회 등을 통해 동 사업의 핵심 이슈 및 문제, 사업 구성(안)을 제시하였으나, 기술수요조사 결과 수요가 부족한 분야, 타 부처에서 추진 예정인 사업과의 중복성, '23년 R&D 예산 여건 등을 고려하여 추진방향을 조정함
- 중점 분야의 재구조화, 기획진 및 전문가 의견, 수요조사 결과 등을 바탕으로 사업 구성 조정(안)에 도출하고, 3개 건설재료(콘크리트, CCU콘크리트, 도로포장) 관련 기술개발로 방향 설정
 - (탄소중립 건설재료 기술 개발) 혁신성이 뛰어난 Zero 시멘트 기술을 긴급 추진하고, 무가열 도로포장 기술을 별도 사업으로 구성
 - Zero 시멘트 콘크리트 기술은 혁신성이 뛰어난 것으로 판단되어 2024년 혁신도전형 사업으로 추진하는 것으로 결정
 - Carbon free 무가열 도로포장 기술은 콘크리트 등 다른 건설재료와는 차별성이 있고, 기술수요등 연구 진행 가능성이 커 별도 사업으로 편성하는 것으로 결정
 - 업사이클 건설재료 활용 콘크리트 기술은 기존 연구와의 중복성 등으로 신규 과제로 별도 추진하기 보다 필요시 다른 기술의 세부 기술로 포함하는 것이 바람직하다고 판단
 - (카본 네거티브형 콘크리트 기술 개발) 관련 기술 수요가 많고, 잠재성이 유망한 것으로 판단되어 별도 사업으로 편성
 - 단, CCUS 관련 광물탄산화 등 기 추진된 연구과제를 고려하여, 중복성에 유의하여 차별적인 사업 및 과제 구성을 유의할 필요
 - 개발 기술의 실용화 및 성과 확산을 고려하여, 현장타설, PC 등의 적용 분야 구체화 필요
 - (탄소저감을 위한 설계-시공 최적화 기술 개발) 기술 수요 부족으로 추진 제외
 - 기술 개발과 R&D 추진의 필요성은 인정되나, 관련 기술 수요가 부족하여 현 단계에서의 사업 수준의 과제 구성 및 추진은 역부족(개별 과제 수준으로 단계적 추진)
 - (건설분야 탄소중립 평가체계 개발 및 활성화 방안 마련) 환경부의 기 추진사업과의 중복성 문제로 추진하지 않는 것으로 결정
 - 다만, 개발 건설재료의 탄소저감 성능 평가 등 타 과제들의 성과확산 등에 필요할 경우 세부 기술에 일부 포함하기로 함

〈 사업 구성 재검토 결과 〉

		구성기술	의견
기 존 사 업 구 성		탄소중립 건설재료 기술 개발	- 구조용 시멘트 Zero 콘크리트 기술은 혁신성이 높아 혁신 도전형 과제로 별도 편성 - 업사이클 건설재료 기술은 기존 연구 내용과 중복이 있고, 단독으로 신규 과제로 편성하기는 어려워 다른 콘크리트 기술의 세부 기술단에 포함 - 도로포장 기술은 콘크리트 위주의 기술과는 다른 별도의 기술이며, 관련 연구 진행 가능성이 커 별도 과제로 편성
	⇒	- 구조용 시멘트 Zero 콘크리트 기술 - 업사이클 건설재료 활용 콘크리트 기술 - Carbon free 무가열 도로포장 기술	
		카본 네거티브형 콘크리트 기술 개발	- 관련 기술 수요가 많고, 잠재성이 유망한 것으로 판단되어 별도 사업으로 편성 - 기존에 연구가 많이 되어 있는 부분이 있어, 중복성을 유의하여 별도 편성이 필요 - 기술의 실용화나 성과 확산에 대한 부분을 고려할 것
	⇒	- 콘크리트 원료 탄소 고정화 기술 - 탄소 고정/흡수 콘크리트 기술	
		탄소저감을 위한 설계-시공 최적화 기술 개발	- 관련 필요성은 인정되나, 기술수요조사 결과 관련 기술이 부족하여 현 단계에서는 미추진
	⇒	- 구조 최적화를 통한 탄소저감 기술 - 시공 최적화를 통한 탄소저감 기술	
		건설분야 탄소중립 평가체계 개발 및 활성화 방안 마련	- 환경부의 “탄소중립 온실가스 감축 잠재량 평가·관리 기술개발사업” 과의 중복성을 피하기 어려워 별도로 사업으로 추진은 어려움 - 일부 탄소저감 콘크리트 기술의 성과 확산을 위한 내용은 해당 기술의 세부 기술로 포함
	⇒	- 건설재료 LCI DB 구축 및 제·개정 - 구조물 단위 탄소배출량 평가 기술 및 인증제도 - 건설분야 탄소중립 통합 플랫폼 개발 및 운영	
			
신규 사업 구성			
고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발		탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발	탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발
- 무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발		- 콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발 - CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발 - CCU 콘크리트 성능검증 및 실용화 기술 개발	- Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술 - 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 - 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발

2. 핵심 문제/이슈 도출 결과

(1) 고강도 무시멘트 콘크리트

정책동향
○ 전세계적으로 탄소중립을 위한 정책을 추진하고 있으며, 유럽과 미국이 적극적으로 참여 - 전세계 138개국은 탄소중립을 선언하였으며, '23년부터 5년단위로 이행 및 장기 목표 달성 가능성을 평가 - 유럽과 미국은 온실가스 저감을 위해 법안을 제정하고 강력한 정책수단을 동원 * 유럽은 "Fit for 55"를 발표, 미국은 기후위기 대체에 대한 행정명령을 서명하고 탄소국경세 법안 발의 ○ 유럽과 미국은 시멘트-콘크리트 산업의 탄소배출량을 저감하기 위해 다양한 전략을 발표 - 유럽은 시멘트-콘크리트 산업에서의 탈탄소화 성과를 달성하기 위해 4가지 전략 및 5C 전략을 제시 - 미국은 포틀랜드 시멘트협회에서 탄소중립 로드맵 발표
산업여건
○ 유럽, 미국 등은 역외로 탄소누출을 최소화하기 위해 탄소국경제도를 도입, 다른 나라에서도 도입 검토 중 - 유럽은 온실가스 감축노력이 미흡한 국가에서 수입되는 제품에 대해 비용을 부담하는 CBAM 도입 * 시멘트 철강 및 철, 알루미늄, 비료 및 전기를 대상으로 '26년부터 비용을 부과 - 미국은 청정경제법을 '24년부터 시행하여 미국내 산업 평균보다 배출량이 높은 제품에 탄소비용을 부과 * 화학연료 석유정제 석유화학 시멘트 철강 알루미늄, 유리 등을 대상으로 본년 55달러를 부과 예정 ○ 유럽, 미국 등에서는 탄소중립 정책 추진의 일환으로 그린공공조달 정책을 실시 - 유럽은 그린공공조달 제도를 법제화하고 회원국 참여를 권고 * 스웨덴 네덜란드도 탄소배출량이 높은 건설분야에 GPP 적용 - 미국은 환경성적표지(EPP)를 제정하도록 하는 LCA 기반의 공공조달 정책을 실시
연구역량
○ 하이퍼콘크리트 슈퍼콘크리트 등 고성능 다양한 유과 과제를 통해 무시멘트 콘크리트 관련 기술력을 축적 - 관련 연구를 통해 국내 재료/자재 분야 기술수준은 최고기술국 대비 80% 이상으로 매우 우수 - 친환경 및 첨가소재 분야 연구개발이 활발하고, 건설 재료 개발을 위한 인력 및 인프라가 우수 - 다만, 친환경 건설재료 관련 관심도가 낮고 높은 가격, 시방서 등 기준 개선 등의 문제가 존재 ○ 기술수준 향상을 위해 기술사업화 및 성과 활용·확산에 대한 투자가 필요하나, 역량과 인프라는 갖추어져 있어 연구개발 성공가능성이 매우 높다고 판단 - 우리나라는 그간의 R&D 성과를 통해 재료공학, 구조공학 등 연구 관련 다양한 인프라를 보유 - 건설 관련 학과에서 다양한 연구를 진행하고 있어 콘크리트 분야 기초원천 기술뿐만 아니라 관련 분야 우수한 연구인력도 보유

시장동향
○ 각 기관에서 조사한 친환경 건설재료 글로벌 동향 보고서에 따르면 해당 분야는 지속적으로 성장 중 - 친환경 콘크리트 시장은 '22년 184억 달러에서 연평균 9.3% 성장하여 '30년 376억 달러로 예측 * 지속가능한 건설에 대한 인식과 수요 증가와 잠재적인 비용 절감 수요 증가로 친환경 콘크리트 시장 성장 전망 - 고강도 콘크리트 수요와 점유율은 전세계적으로 급속히 증가할 것으로 예상 * 2010년 고성능 콘크리트의 점유율은 1%이지만, 탄소중립 정책, 건물/인프라 수요 증가 등으로 '30년 50%로 전망 - 친환경 시멘트 시장은 '21년 272억 달러에서 연평균 12.8% 증가하여 '27년 586억 달러로 예측 * 친환경 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 탄소배출량을 감소시키고 천연재료 사용이 줄어들어 수요가 증가 전망
기술동향
○ 세계 각국에서는 시멘트를 사용하지 않는 무시멘트 콘크리트를 개발하여 사업화 - 무시멘트 콘크리트는 호주와 유럽이 가장 활발하게 사용하고 있으며, 최근 미국에서도 건물에 적용 중 * 호주 Wagners社 Earth Friendly Concrete, 핀란드 Betolar社 Geoprime, 네덜란드 SQAPE Technology社 SQAPE, 미국 C-crete Technology社 무시멘트 콘크리트 등 ○ 국내의 경우 산업부산물인 시멘트 대체재로 사용하는 연구가 활발히 수행되어 레디미스트 콘크리트에 활용 - 삼성물산, 삼표, 심화콘크리트 등은 시멘트 치환 콘크리트 및 무시멘트 콘크리트를 개발하여 PC제품에 적용 - 한국건설기술연구원 부산대 UNIST, 연세대 등 중 무시멘트 콘크리트 성능 개선을 위해 연구 수행 중
연구수요
○ 건설전주기 탄소중립 기술 수요조사 결과, 건설재료 관련 수요가 52%이고, 그중 무시멘트 콘크리트가 가장 많은 높은 비중을 차지 - 건설재료 관련 연구개발 수요는 무시멘트 콘크리트, 철근 대체재, CCU 콘크리트 친환경 도로포장 등 - 무시멘트 콘크리트는 총 35건으로 약 27%를 차지 ○ 전문가 주요 의견으로는 시멘트, 철근 등 산업부 산업과 차별성을 확보하면서 원천기술 및 응용기술 개발과 동시에 기존 마련 등 실용화 전략 마련의 중요성 언급 - 개발된 건설재료의 실용화를 위해 우수한 성능도 중요하지만, 건설기준 및 시방서 마련 등 실용화 전략의 중요성을 언급 - 뿐만 아니라 현장의 수요를 명확하게 파악하여 가격, 원자재 공급 등 밸류체인 분석 필요

국가차원의 문제/이슈

- 제철공정의 전환, 화력발전 금지 등 다양한 탄소중립 정책으로 인해 기존의 무시멘트 콘크리트 원재료 공급 불안정해 새로운 혁신 재료의 발굴이 필요
- 전세계적으로 시멘트/콘크리트는 가장 많이 사용하는 건설재료로 탄소배출량이 매우 높아 이를 해결할 수 있는 친환경 기술 필요
- 국내외로 무시멘트 콘크리트 관련 기술이 일부 개발되었으나, 시공성의 한계로 현장타설에는 어려움이 있는 상황으로 기술개발을 통한 시장 선점 가능
- 해외건설사업 수주 등 무역장벽(탄소국경세, 그린발주제도 등) 회피에 기여할 수 있는 무시멘트 콘크리트 개발 시급

동 사업의 필요성 (사업차원에서 해결해야할 문제/이슈)

무시멘트 콘크리트의 구조물 적용 및 해외진출을 위해 필요한 안전성, 사용성, 내구성 등의 검증 및 적용 사례 등이 미비한 실정

기존 무시멘트 콘크리트의 시공성의 한계를 극복하기 위한 고강도/고성능의 무시멘트 콘크리트 재료, 혼화제 등의 개발이 필요

탄소배출량이 가장 높은 시멘트·콘크리트 산업의 탄소중립을 위해 미활용 산업부산물을 활용한 친환경 혁신 콘크리트 개발이 필요

고강도
무시멘트 콘크리트
재료 및 설계·시공
기술 개발

분야별 기술개발 필요성 (세부활동 수준의 문제/이슈)

	문제/이슈	기술개발 방향(목표)
무시멘트 콘크리트 설계·시공기술 개발 및 실용화	- 원재료 화학조성 및 활성화제 종류에 따라 품질관리 어려움 - 액상형 알칼리 자극제의 높은 CO₂ 배출량 - 급결 특성으로 인한 작업시간 부족 및 유동성 확보 어려움	- 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 재료 개발 - 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발
초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	- 기존 무시멘트 콘크리트의 강도 등 시공성 부족 - 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 대체할 수 있는 재료가 전무 - 자극제의 높은 pH로 인한 발열, 급결 등 시공성 저하	- 초고강도 무시멘트 콘크리트 시멘트 대체재료 및 자극제·혼화제 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조물 설계 및 성능평가 기술 개발
탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	- 시멘트 생산과정에서의 높은 탄소배출량 - 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 대체할 수 있는 재료가 전무 - 자극제의 높은 pH로 인한 발열, 급결 등 시공성 저하	- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 시멘트 대체재료 및 자극제·혼화제 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조물 설계 및 성능평가 기술 개발

(2) 탄소저장 콘크리트 제조·활용

정책동향

- 전세계적으로 탄소중립을 위한 정책을 추진하고 있으며, 유럽과 미국이 적극적으로 참여
 - 전세계 138개국은 탄소중립을 선언하였으며, '23년부터 5년단위로 이행 및 장기 목표 달성 가능성을 평가
 - 유럽과 미국은 온실가스 저감을 위해 법안을 제정하고 강력한 정책수단을 동원
 - * 유럽은 "Fit for 55"를 발표, 미국은 기후위기 대체에 대한 행정명령을 서명하고 탄소국경세 법안 발의
- 유럽과 미국은 시멘트-콘크리트 산업의 탄소배출량을 저감하기 위해 다양한 전략을 발표
 - 유럽은 시멘트-콘크리트 산업에서의 탈탄소화 성과를 달성하기 위해 4가지 전략 및 5C 전략을 제시

산업여건

- 유럽, 미국 등은 역외로 탄소누출을 최소화하기 위해 탄소국경제도를 도입, 다른 나라에서도 도입 검토 중
 - 유럽은 온실가스 감축노력이 미흡한 국가에서 수입되는 제품에 대해 비용을 부담하는 CBAM 도입
 - * 시멘트 철강 및 철강 알루미늄, 비료 및 전기를 대상으로 '26년부터 비용 부과
 - 미국은 청정경제법을 '24년부터 시행하여 미국내 산업 평균보다 배출량이 높은 제품에 탄소비용 부과
 - * 화석연료 석유정제 석유화학 시멘트 철강 알루미늄, 유리 등을 대상으로 총 55달러를 부과 예정
- 유럽, 미국 등에서는 탄소중립 정책 추진의 일환으로 그린 공공조달 정책을 실시
 - 유럽은 그린공공조달 제도를 법제화하고 회원국에서 참여를 권고
 - * 스웨덴 네덜란드는 탄소배출량이 높은 건설분야에 GPP 적용
 - 미국은 환경성적표지(EPD)를 제공하도록 하는 LCA 기반의 공공조달 정책을 실시

연구역량

- 광물탄소화 연구 등 다양한 유관 과제를 통해 탄소고정 콘크리트 관련 기술력을 축적
 - 관련 연구를 통해 국내 재료/자재 분야 기술수준은 최고기술국 대비 80% 이상으로 매우 우수
 - 친환경 및 첨단소재 분야 연구개발이 활발하고, 건설 재료 개발을 위한 인력 및 인프라가 우수
 - 다만, 친환경 건설재료 관련 관심도가 낮고 높은 가격, 시방서 등 기준 개선 등의 문제가 존재
- 기술수준 향상을 위해 기술사업화 및 성과 활용·확산에 대한 투자가 필요하나, 역량과 인프라는 갖추어져 있어 연구개발 성공가능성이 매우 높다고 판단
 - 우리나라는 그간의 R&D 성과를 통해 환경공학, 토목공학 등 연구 관련 다양한 인프라를 보유

시장동향

- 각 기관에서 조사한 친환경 건설재료 글로벌 동향 보고서에 따르면 해당 분야는 지속적으로 성장 중
 - 친환경 콘크리트 시장은 '22년 184억 달러에서 연평균 9.3% 성장하여 '30년 376억 달러로 예측
 - * 지속가능한 건설에 대한 인식과 수요 증가와 잠재적인 비용 절감 수요 증가로 친환경 콘크리트 시장 성장 전망
 - CO2 건설재료 시장은 점차 증가할 것으로 예상
 - 친환경 시멘트 시장은 '21년 272억 달러에서 연평균 12.8% 증가하여 '27년 586억 달러로 예측
 - * 친환경 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 탄소배출량을 감소시키고 천연재료 사용이 줄어들어 수요가 증가 전망

기술동향

- 세계 각국에서는 CCUS 콘크리트 기술을 개발하고 있으며, 현재 시장진입단계로 판단
 - 미국 영국 캐나다 일본 호주 등지에서 탄소고정 콘크리트들이 개발되어 시장에서 판매되고 있는 것으로 확인
- 국내의 경우 탄소고정 콘크리트 개발 사례가 있으나, 아직까지 초기단계에 머무르고 있는 것으로 판단
 - 한국건설기술연구원과 석회석신소재연구소 등에서 탄소고정 콘크리트 기술을 개발하였으나 아직까지 해결해야 하는 문제가 산적

연구수요

- 건설전주기 탄소중립 기술 수요조사 결과, 건설재료 관련 수요가 52%이고, 그중 무시멘트 콘크리트 다음으로 높은 비중(2개 차이)을 차지
 - 건설재료 관련 연구개발 수요는 무시멘트 콘크리트 철근 대체제, CCU 콘크리트, 친환경 도로포장 등
 - 탄소고정 콘크리트는 총 33건으로 약 25%를 차지

국가차원의 문제/이슈

- 전세계적으로 시멘트/콘크리트는 가장 많이 사용하는 건설재료로 탄소배출량이 매우 높아 이를 해결할 수 있는 친환경 기술 필요
- 선진국은 탄소중립 이행을 위한 다양한 연구를 통해 탄소고정 콘크리트 기술을 확보하여 시장진입단계이나, 국내는 기초연구단계로 기술확보 및 실용화를 위한 기준 제·개정 필요
- 해외건설사업 수주 등 무역장벽(탄소국경세, 그린발주제도 등) 회피에 기여할 수 있는 탄소고정 콘크리트 개발 시급

동 사업의 필요성 (사업차원에서 해결해야 할 문제/이슈)

CO2 고정 탄산염을 이용한 건설재료가 소요의 역학적 특성이 낮은 제품에만 사용 하고 있어 활용성이 낮음

CO2 고정·저장을 위한 콘크리트 제조기술이 별개의 공정으로서 적용되어 각 기술 간 융합이 어려움

CO2 저장 콘크리트의 구조물 활용을 위한 제도적 기반 미비

탄소 저장 콘크리트 제조 및 활용 기술 개발

분야별 기술개발 필요성 (세부활동 수준의 문제/이슈)

	문제/이슈	기술개발 방향(목표)
콘크리트 구성재료의 탄소저장 기술 개발	- CO2 고정 탄산염을 이용한 건설재료가 소요의 역학적 특성이 낮은 제품에만 사용 하고 있어 활용성이 낮음	- 보다 높은 역학적 특성 및 내구성을 만족하는 콘크리트용 탄산염 건설재료 개발을 통해 고부가 콘크리트 제품제조 및 활용분야 증대 활성화 - 순환골재를 활용한 CO2 고정·저장 능력 향상 필요
CO2 저장 콘크리트 제조 기술 개발	- CO2 고정·저장을 위한 콘크리트 제조기술이 별개의 공정으로서 적용되어 각 기술 간 융합 난해 - 탄소 고정화 능력 한계 - 범용적 사용 제한성 - 품질 신뢰성 미확보 - 제조 장치(시작품) 확보 한계	- CO2 고정·저장 콘크리트용 원재료 생산 및 제조 기술 간의 건설분야 능동적 생산/공급 관계 설정 필요 - 탄소 고정 및 저장 촉진 기술 개발 - 현장 활용성 고려한 공법 개발 - 실증 기반 CO2 저장 콘크리트 제조 장치(시작품) 및 시스템 구축
CO2 저장 콘크리트 활용 기술 개발	- CO2 저장 콘크리트의 구조물 활용을 위한 구조설계 기준 정립 필요 - 콘크리트내 CO2 저장성능 평가 방법 미확보 - CO2 감축/제품 인증제도(안) 부재 - 감축 탄소거래를 위한 탄소감축 외부사업 방법론 개발 필요	- CO2 저장 콘크리트 구조설계 기준 정립 - 콘크리트내 CO2 저장성능 평가 방법 확립 - LCA 기반 CO2 저장 콘크리트 CO2 저장성능 평가 - CO2 감축/제품 인증제도(안) 마련 - 탄소감축 외부사업 방법론 개발

(3) 탄소저감형 도로포장 혁신재료

정책동향	시장동향
'92년 유엔 기본 협약을 시작으로 '97년 교토의정서, '15년 파리 협정 등 UN에서는 탄소중립을 위한 논의가 지속되는 중 - 대한민국은 탄소중립을 위한 다양한 정책을 시행 중 - 대한민국 정부는 탄소중립 비전과 온실가스 감축 의지 법제화, 2050 탄소중립 사회로 나아가기 위해 "기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장기본법"을 시행 - 국내·외로 친환경 도로포장과 관련된 정책들이 다수 시행 중 - 미연방고속도로관리국은 포장도로의 설계, 건설, 유지관리에서 온실가스 배출 정량화 등을 목표로 Climate Challenge를 시작 - 대한민국은 국가도로망종합계획 내 도로포장 관련 내용이 존재하며, 지자체별로 관련 정책 수행 중	- 글로벌 도로포장 관련 시장은 여러 기관들의 분석 결과 지속적 성장세를 보일 것으로 예상 - 글로벌 포장재 시장은 '21년 1,017억 달러에서 연평균 7.6% 성장하여 '31년 2,224억 달러에 이를 것으로 추정 - 국제 아스팔트 포장 시장은 '21년 23억 8천만 달러에서 '27년 63억 2천만 달러로 연 평균 5% 이상의 CAGR을 기록할 것으로 예상 - 글로벌 아스팔트 시장 규모는 '21년 38억 달러에서 '30년 56.7억 달러로 CAGR 5.1%로 성장할 것으로 예상 - 도로 건설 및 유지관리 시장은 '22년 8607.6억 달러에서 연평균 5.42% 규모로 성장하여 '27년 1조 1207억 달러에 이를 것으로 예상
산업여건	기술동향
'21년 총 아스팔트 생산량은 EU 27개국에서 2억 2070만 톤이며, 그 중 재활용 아스팔트, 중온 아스팔트 및 상온 아스팔트의 비중이 72%로 매우 높은 비중을 차지 - EAPA(European Asphalt Pavement Association, 유럽 아스팔트 포장 협회)는 유럽 그린딜과 같은 순환경제 실천계획의 달성을 위해 다양한 노력을 수행 중 - 국내 도로포장 연장은 지속적으로 증가중이며, 이에 따라 도로보수비도 꾸준히 증가 추세 - 전체 일반국도의 도로보수비(포장도로보수, 구조물보수 등 포함)는 '91년 1,223억 원에서 '20년 1조 6,420억 원으로 10배 이상 증가 - 국내 연도별 도로보수비는 매년 6.6%의 연평균 증가율로 증가하고 있는 추세	- 중온 아스팔트 기술은 관련 연구가 지속적으로 수행되고 있으며, 다수의 사용 사례가 존재 - 상온 아스팔트 포장 기술은 중온 아스팔트 포장 기술보다 더 높은 탄소감축 효과가 있으나, 사용은 아직 제한적인 상황 - 한국건설기술연구원은 "온실가스 배출 최소화"를 위한 친환경 포장도로 연구"를 통해 무기질 첨가제 및 개질 유화 아스팔트 개발 등 초기 연구를 수행 - 상온 아스팔트 포장 기술은 강도 등 성능 문제로 인해 일부 기층에만 활용되고 있는 상황 - 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술은 현장 폐기물을 100% 활용해 환경적 이점이 커서 해외에서 다수 사용 사례가 존재하나 국내 적용 사례는 전무 - 상온 현장 재활용 포장을 위한 장비를 국내에 도입/개발하기 위한 많은 기술적/제도적 한계 존재
연구역량	연구수요
- 국토교통 R&D 관련 투자는 지속적으로 확대되고 있는 추세로 관련 연구를 수행하기에는 충분할 것으로 분석 - 현재 기술수준은 타국에 비해 낮은 편이나, 연구단계 역량은 우수 및 탁월한 수준이며, 연구개발 활동 경향도 상승세를 기록하고 있어 역량이 충분한 것으로 분석 - 논문분석 결과 관련 분야에서 논문 증가율 1위 등 양적 활동력은 높으나, 질적 활동력은 전반적으로 3~5위권으로 다소 미흡한 편으로 분석 - 특허분석 결과 무가열 도로포장 관련 기술은 성장기로 분석되어 지속적으로 기술개발이 이루어지는 것으로 분석 - 과거 관련 선행연구가 여러 존재하여 관련 기술 개발 내용과 연계하여 효과적인 기술 개발을 수행할 수 있을 것으로 분석	- 건설전주기 탄소중립 기술 수요조사 결과, 건설재료 관련 수요가 52%이고, 그중 무시멘트 콘크리트가 가장 많은 높은 비중을 차지 - 건설재료 관련 연구개발 수요는 무시멘트 콘크리트, 철근 대체재, CCU 콘크리트, 친환경 도로포장 등 - 도로포장 관련 수요는 총 11건이 접수 - 전문가 주요의견으로는 바탕으로 기 추진 사업들과의 차별성을 확보하면서 원천기술 및 응용기술 개발과 동시에 기존 재료 등 실용화 전략 마련의 중요성 언급 - 개발된 건설재료의 실용화를 위해 우수한 성능도 중요하지만, 건설기준 및 시방서 마련 등 실용화 전략의 중요성을 언급 - 뿐만 아니라 현장의 수요를 명확하게 파악하여 가격, 원자재 공급 등 밸류체인 분석 필요

국가차원의 문제/이슈

- 도로공사에 필요한 골재는 증가하고 있으나 환경 보전 등의 문제로 골재 공급이 어려워 기존 골재를 재활용할 수 있는 기술 개발이 시급
- 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용을 위한 시공 장비의 국내 도입을 위한 여건 및 현장 적용을 위한 제도가 부재
- COP21 협약에 따라 건설 분야에서 CO2 저감 기술 개발 및 확산이 시급하나, 대안 마련이 미흡한 상황
- 글로벌 친환경 건설 재료 시장의 성장 전망 가운데, 선진국과 기술 격차가 적어 신속한 기술 선점을 통한 시장진입 필요

동 사업의 필요성 (사업차원에서 해결해야할 문제/이슈)

아스팔트 가열 과정에서의 탄소배출량 저감을 위해 상온아스팔트 기술이 필요하나 강도 등의 문제로 적용이 제한적

노후도로가 증가하여 도로 보수 수요가 증가하고 있어 기존 도로포장재를 재활용할 수 있는 친환경 기술 개발이 필요

탄소배출량이 높은 기존 포장재 대체를 위한 연구가 다수 추진되었으나 도로에 적용하기에는 성능이 부족한 실정

탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공기술 개발

분야별 기술개발 필요성 (세부활동 수준의 문제/이슈)

	문제/이슈	기술개발 방향(목표)
Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술	- 아스팔트 가열 과정에서의 탄소배출량 저감을 위해 상온아스팔트 기술이 필요하나 강도 등의 문제로 적용이 제한적	- 고품량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발 - 고점도 유화 아스팔트 대량 생산 기반 기술 개발 - 고성능 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 개발
자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술	- 노후도로가 증가하여 도로 보수 수요가 증가하고 있어 기존 도로포장재를 재활용할 수 있는 친환경 기술 개발이 필요	- 한국형 CIRB 시공 장비 개발 - 한국형 CIRB 재료 국산화 기술 개발 - 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발
바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발	- 탄소배출량이 높은 기존 포장재 대체를 위한 연구가 다수 추진되었으나 도로에 적용하기에는 성능이 부족한 실정	- Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발 - 도로용 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발 - 도로용 Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산 및 시공 기술 개발

3.1.2. 사업 추진 필요성(정부지원 필요성, 사업 추진 시급성 등)

□ 필요성 1 : [기존기술의 한계] 무시멘트 콘크리트는 원재료 화학조성, 활성화제 종류, 사용량에 따라 영향이 큰 편이며, 배합, 양생, 경화, 경제성 등 다양한 측면에서 한계가 존재

○ 무시멘트 콘크리트의 구조물 활용을 위한 시공성능 개선 및 품질 관리 연구의 중요성

- 배합조건, 환경 등에 따라 재현성이 현저히 떨어지며, 경화 메커니즘 및 환경에 따라 탄산화 속도 증가, 상온에서의 강도발현, 양생 환경에 따라 활성화제의 결정화 현상에 따른 백화 현상 및 경도 저하에 따른 탈락 등, 콘크리트 공기량 미확보 등에 의한 동결융해 저항성 저하 등 다양한 문제 존재
- 기존 알칼리 활성화제를 활용한 무시멘트 콘크리트의 경우 급결 특성이 있으며, 무시멘트 콘크리트의 구조물 활용을 위해서는 시공성능 개선이 필요
- 다양한 환경의 현장에서 무시멘트 콘크리트가 구조 부재로써 활용되기 위해서는 콘크리트 품질의 일관적인 관리가 필수적이므로 콘크리트에 사용되는 결합재의 품질 보증과 불확실성을 극복하기 위한 연구가 필요
- 고로슬래그, 플라이애시, 철강슬래그, 폐콘크리트 미분말 등과 같은 탄소저감 소재들의 한계점(재료분리, 높은 점성)을 해결할 수 있는 전용 화학혼화제가 없어 품질 최적화가 불가하며, 활성화제 사용으로 경제성 저하 또한 우려

○ 기존 원재료(고로슬래그 및 플라이애시 등) 이외의 새로운 시멘트 대체재료(제강 슬래그, 폐콘크리트 미분말 등) 발굴 필요

- 국내외 철강산업의 트렌드는 수소환원제철로 제철공정이 변화되게 되면 기존에 사용하고 있던 고로슬래그의 공급이 불확실해질 전망
- 전세계적으로 RE100 정책에 따라 화석연료 발전소가 줄어들 것으로 예상되며, 그에 따라 플라이애시의 공급이 불확실해질 전망

□ 필요성 2 : [제도 기반 부족] 상용화 및 보급 확산을 위한 제도기반 부족으로 무시멘트 콘크리트 활용이 제한적

○ 기존 연구 결과의 실용화 제품은 비인증제품을 대상으로 추진되었으며, 구조물로서의 안전성, 사용성, 내구성 확보를 위해서는 기준, 인증 등의 신뢰성 확보 방안 필요

- 현재 “콘크리트 구조 설계(강도설계법)”에는 무시멘트 콘크리트를 사용하기 위한 재료가 미반영
- 국내 KS L 5210[고로 슬래그 시멘트] 기준은 슬래그 함유율에 따라 3종으로 구분되며 최대 고로 슬래그의 함유율을 70% 이하(3종)로 제한

□ 필요성 3 : [시멘트산업 탄소배출량 저감 필요] 시멘트는 탄소배출량이 많은 핵심 산업으로 분류되어 지속적인 탄소배출량을 저감 필요

○ 국내에서 시멘트산업은 단일산업으로는 5번째로 에너지, 도로수송, 철강, 화학 산업에 이어 CO₂를 많이 배출하는 탄소다배출 산업으로 재료사용 저감 및 탄소배출 저감 전략 마련 필요

- 국가에서는 시멘트, 철강, 석유화학 등 탄소다배출 산업을 대상으로 R&D사업을 추진하고 있으며 시멘트 분야는 시멘트 공정전환과 친환경 시멘트 개발에 투자
- 실제로 건설산업에서 사용되는 콘크리트 측면에서 연구개발 투자는 이루어지지 않고 있으며, 건설재료 중 사용량이 많은 콘크리트 관점에서 탄소배출량 저감 전략 마련 필요
- '21년 인프라 재료 전문가를 대상으로 ‘미래전망 및 수요기술·프로젝트 발굴 설문조사’ 결과 인프라 재료 혁신 핵심 R&D 대응이슈로 모든 분야에서 탄소배출 감축에 대한 의견을 제시(중장기 마스터플랜 수립을 위한 인프라 재료 및 미래 기술수요조사, 2021)

<표 3-5> 국내 산업분야별 이산화탄소 배출량

분야·부문/연도	2015	2016	2017	2018	2019	2020
에너지	260.5	262.1	269.8	286.4	266.2	237.0
도로수송	90.1	94.6	94.3	94.7	97.5	93.2
철강	102.0	94.5	100.7	96.5	96.4	93.1
화학	37.9	39.2	40.6	46.0	46.4	46.9
시멘트산업*	35.4	36.3	36.4	34.8	34.9	32.2

* 시멘트생산, 석회생산, 석회석 및 백운석 소비 CO2 배출량 합계

출처: 2022 국가온실가스 인벤토리 보고서, 제115018호, 환경부 온실가스종합정보센터, 2022년도

□ 필요성 4 : [시멘트 소비량 지속적 증가] Covid-19 이후 건설시장의 침체에도 불구하고 시멘트 산업의 생산량이 지속적으로 유지되고 있어 탄소저감이 필수적

○ 전세계 시멘트 생산량은 약 44.7억 톤(2022년도)을 기록하고 있으며, 이는 시멘트의 대체상품이 개발되지 않는 이상 시멘트산업의 탄소저감이 필수적이라는 것을 의미

- 시멘트산업은 대부분 국가에서 필수산업으로 간주하여 산업 위기의 경우 보호·지원하며, 중국, 인도, 미국, 인도네시아, 베트남 등 인구가 많은 나라와 개발이 급진적으로 진행되고 있는 나라 위주로 소비가 진행

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
시멘트생산	4,081,820	4,140,150	4,068,660	3,991,655	4,168,392	4,170,127	4,358,799	4,471,704
시멘트소비	4,056,080	4,127,610	4,055,870	3,977,511	4,153,427	4,143,712	4,336,412	4,442,692
총수출	190,920	186,870	188,080	213,290	228,790	237,060	254,135	266,646
총수입	189,230	187,670	182,030	197,010	192,630	182,438	227,708	231,358
1인당소비량(KG)	550	553	537	521	538	532	551	559
인구(백만명)	7,380	7,464	7,548	7,631	7,713	7,795	7,875	7,951



(a) 세계 시멘트 수급동향

(b) 세계 시멘트 생산 및 소비 동향

(Global Cement Report 14판(2015~2021년 수급, The World Bank Data(인구수))

(2022 한국의 시멘트산업 통계, 한국시멘트협회, 2023)

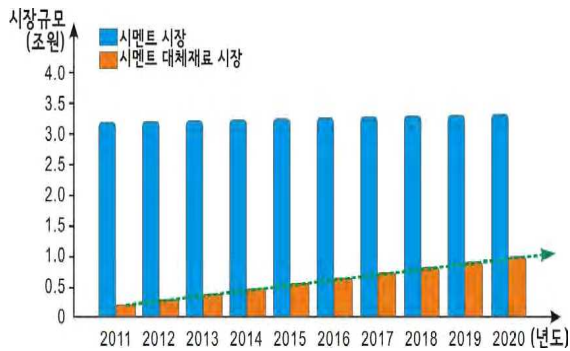
[그림 3-2] 전세계 및 국내 시멘트 수급동향

□ 필요성 5 : [탄소저감 건설재료 기술개발] 친환경 건설소재·재료 시장은 계속 증가, 해외시장에서 기술선점을 위한 기술 필요

○ 국가온실가스 감축 목표 달성을 위해 지속가능한 친환경 건설재료 개발 및 적용의 확대가 필수적이며, 해외시장 진출을 위해서도 필수적으로 확보해야 하는 기술이 될 것으로 예상

- 탄소국경세 도입 등으로 인해 '25년 이후 탄소중립 건설재료 등 시멘트 대체재료 시장 규모가 1조 원 이상으로 성장할 것으로 추정
- 국내 시멘트 시장규모는 약 3조 5천억 원으로 추정되며, 친환경 건설재료 등 시멘트 대체재료 시장은 지속적인 성장으로 '20년도에는 약 25~30% 점유가 전망되며, 관련 기술 경쟁이 치열할 것으로 분석
- 유럽연합(EU)과 미국 등 주요국의 탄소배출권 가격은 '20년 4월 이후 유럽은 400% 이상, 미국은 150% 가까이 배출권 가격이 상승하였으나, 국내는 '20년 42,500원 가격 상승 후 '23년 7월 7,020원까지 하락

- 하락 주요원인은 정부의 배출권 이월제한 조치로 배출권 소명 우려로 매도량 급증으로 추정



(a) 시멘트 대체재료 시장 전망 (발명진흥회)

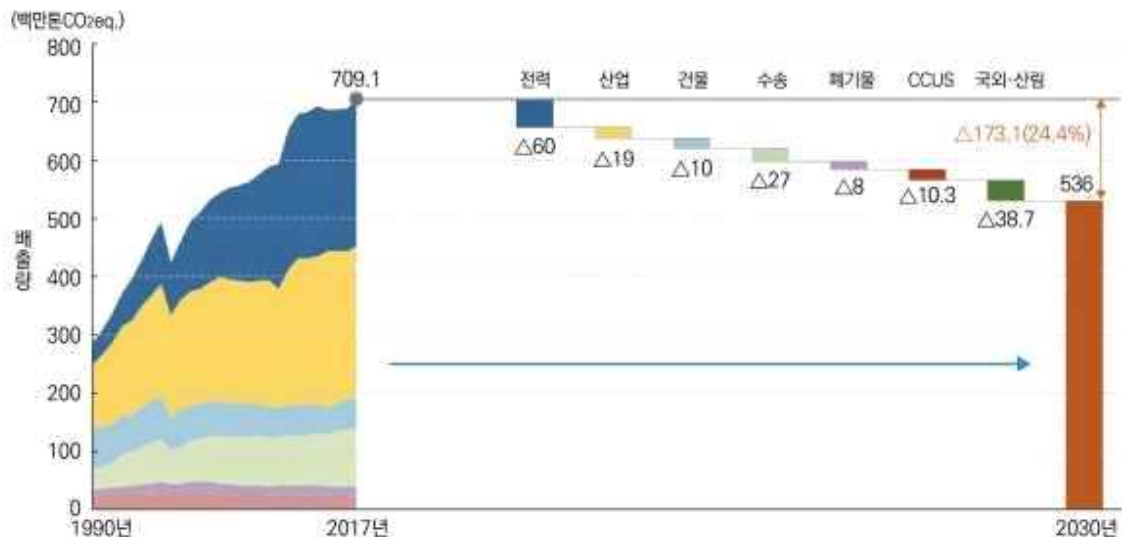


(b) 온실가스 배출권 가격 추이

(국내 온실가스 배출권거래제 가격 동향과 정책과제 보고서, 대한상공회의소, 2023)

□ 시급성 1 : 세계적으로 탄소국경세(Carbon Border Tax) 도입 예정에 따른 국가 경제적 차원에서 심각한 위협으로 작용

- EU는 '23년, 미국은 '24년부터 탄소국경세를 도입할 예정으로, 한국기업들은 탄소국경세로 '23년 약 6,100억 원, '30년에는 1조8,700억 원 가량을 지불할 것으로 추정
- 국가온실가스감축목표(NDC)는 '17년 배출량(709.1백만 톤CO₂eq.) 대비 '30년 24.4% 감축을 목표로 제시, 건설부문이 10%(70.9백만 톤CO₂eq.) 감축을 담당
 - 건설 부문 CO₂ 저감목표 달성을 위해 건설재료의 80%를 차지하는 콘크리트 분야에서 혁신적으로 CO₂를 대폭 저감할 수 있는 건설재료 개발 시급

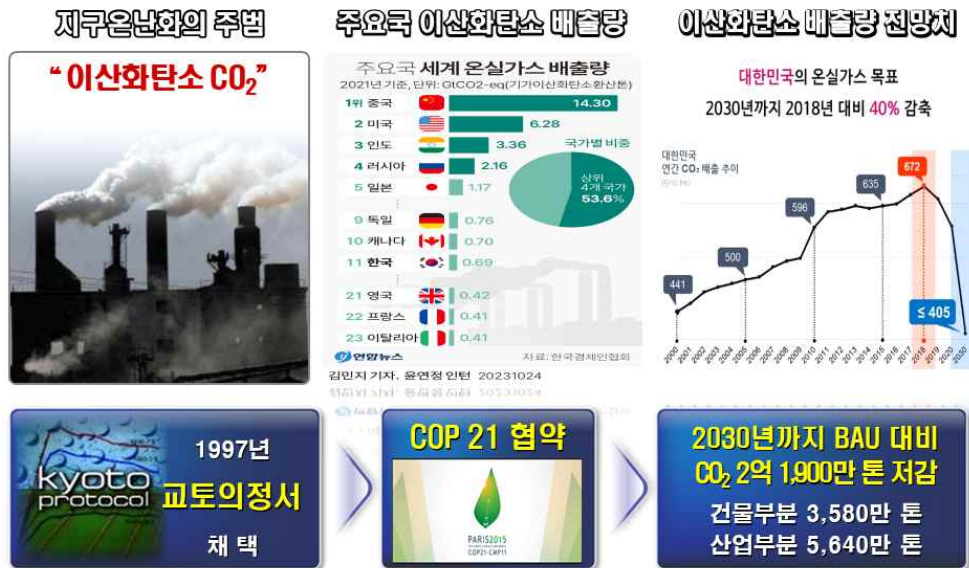


[그림 3-4] 2030년 온실가스 감축 목표

출처: 대한민국정부, 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략, 2020

□ 시급성 2 : COP21 협약에 따라 건설분야 CO₂ 저감 기술 개발 및 확산이 시급

- 건설 분야의 환경부하(CO₂) 배출량은 전 산업의 38%에 해당되는 다배출 산업으로 특별한 대안이 없는 상태에서 건설재료·소재 개발이 시급한 상황
 - 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21) 협약에 따른 국내 2030년 온실가스 배출전망치 (Business As Usual: BAU) 대비 CO₂ 2억 1,900만 톤 저감이 필요
 - 건물부분에서 3,580만 톤, 산업부분에서 5,640만 톤을 저감하여야 하나, 특별한 대안이 없는 상태로 CO₂ 저감 기술 개발 및 확산이 시급한 상황
 - 환경과 경제성장이 상생하는 지속가능한 미래를 위해 친환경적이고 탄소배출이 적은 건설재료·소재 개발이 시급한 상황



[그림 3-5] CO₂ 배출 현황

□ 시급성 3 : 산업부산물 및 폐기물의 매립·재활용 문제는 정부 차원에서 해결할 시급히 문제

- 유럽에서 시행예정인 탄소국경세, ESG* 등의 급격하게 변화하는 세계의 탄소감축 정책에 대응하기 위한 경쟁력 확보 지원 필요
 - ※ ESG는 환경(Environmental), 사회(Social), 지배구조(Governance)의 영문 첫 글자를 조합한 단어로, 기업 경영에서 지속가능성을 달성하기 위한 3가지 핵심 요소
- 발생량/년: 슬래그 2,666만 톤, 석탄회 860만 톤, 건설폐기물 6,700만 톤
- 기타 부산물·폐기물 : 폐유리 분말, 유리섬유 파분, 폐플라스틱 등
- 좁은 국토면적과 부존자원의 제약으로 발생하는 폐기물을 매립·소각하는 등의 단순 처리방법을 극복하고 재이용, 재활용을 통해 순환이용 하는 것이 지속가능한 경제성장에 필수 요소
 - ※ 2018년 자원순환기본법 시행 → 정책방향 매립 금지, 재활용 기반 구축 필요



[그림 3-6] CO₂ 저감 관련 현안

3.1.3. 사업 비전 및 목표

[고강도 무시멘트 콘크리트]

1. 추진목표 설정

- 사업추진 관련 핵심 문제/이슈를 해결하기 위한 기술적 요구사항과 예상 효과를 파악하여 본 사업의 추진 목적 및 추진 목표를 설정
- (핵심 문제/이슈 해결을 위한 기술적 요구사항) 1) 무시멘트 콘크리트의 구조물 적용을 위해 안전성/사용성/내구성 검증, 기존 마련 및 현장타설 적용 사례 확보, 2) 고강도화 및 신전구체 전용 자극제 개발을 통해 무시멘트 콘크리트의 시공성 및 성능 확보, 3) 기존 기술의 한계를 극복하고 탄소배출량을 저감하기 위한 미활용 산업부산물 전용 자극제/혼화제 및 배합 개발
 - (사업 목표) 건설산업의 탄소배출량 저감을 위하여 세계 최고 수준의 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공기술 개발
- ※ (압축강도) 100MPa 이상, (탄소배출량) 기존 대비 50% 이상 저감, (작업성 유지) 2시간 이상

핵심 문제/이슈	핵심 문제/이슈 해결을 위한 기술적 요구사항	예상 효과
[핵심 문제/이슈 1] 무시멘트 콘크리트의 구조물 적용 및 해외진출을 위해 필요한 안전성, 사용성, 내구성 등의 검증 및 적용 사례 등이 미비한 실정	무시멘트 콘크리트의 구조물 적용을 위해 안전성/사용성/내구성 검증, 기존 마련 및 현장타설 적용 사례 확보	무시멘트 콘크리트 품질관리 및 작업시간 증대를 통한 구조물 적용 가능성 확보
[핵심 문제/이슈 2] 기존 무시멘트 콘크리트의 시공성의 한계를 극복하기 위한 고강도/고성능의 무시멘트 콘크리트 재료, 혼화제 등의 개발이 필요	고강도화 및 신전구체 전용 자극제 개발을 통해 무시멘트 콘크리트의 시공성 및 성능 확보	고강도 무시멘트 콘크리트 분야 기술 선점을 통한 세계 시장 선도
[핵심 문제/이슈 3] 탄소배출량이 가장 높은 시멘트·콘크리트 산업의 탄소중립을 위해 미활용 산업부산물을 활용한 친환경 혁신 콘크리트 개발이 필요	기존 기술의 한계를 극복하고 탄소배출량을 저감하기 위한 미활용 산업부산물 전용 자극제/혼화제 및 배합 개발	친환경 무시멘트 콘크리트 개발을 통한 탄소저감으로 국가 온실가스 감축목표 기여

사업 추진목표

건설산업의 탄소배출량 저감을 위하여 세계 최고 수준의 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공기술 개발
 ※ (압축강도) 100MPa 이상, (탄소배출량) 기존 대비 50% 이상 저감, (작업성 유지) 2시간 이상

2. 사업 추진 논리 도출

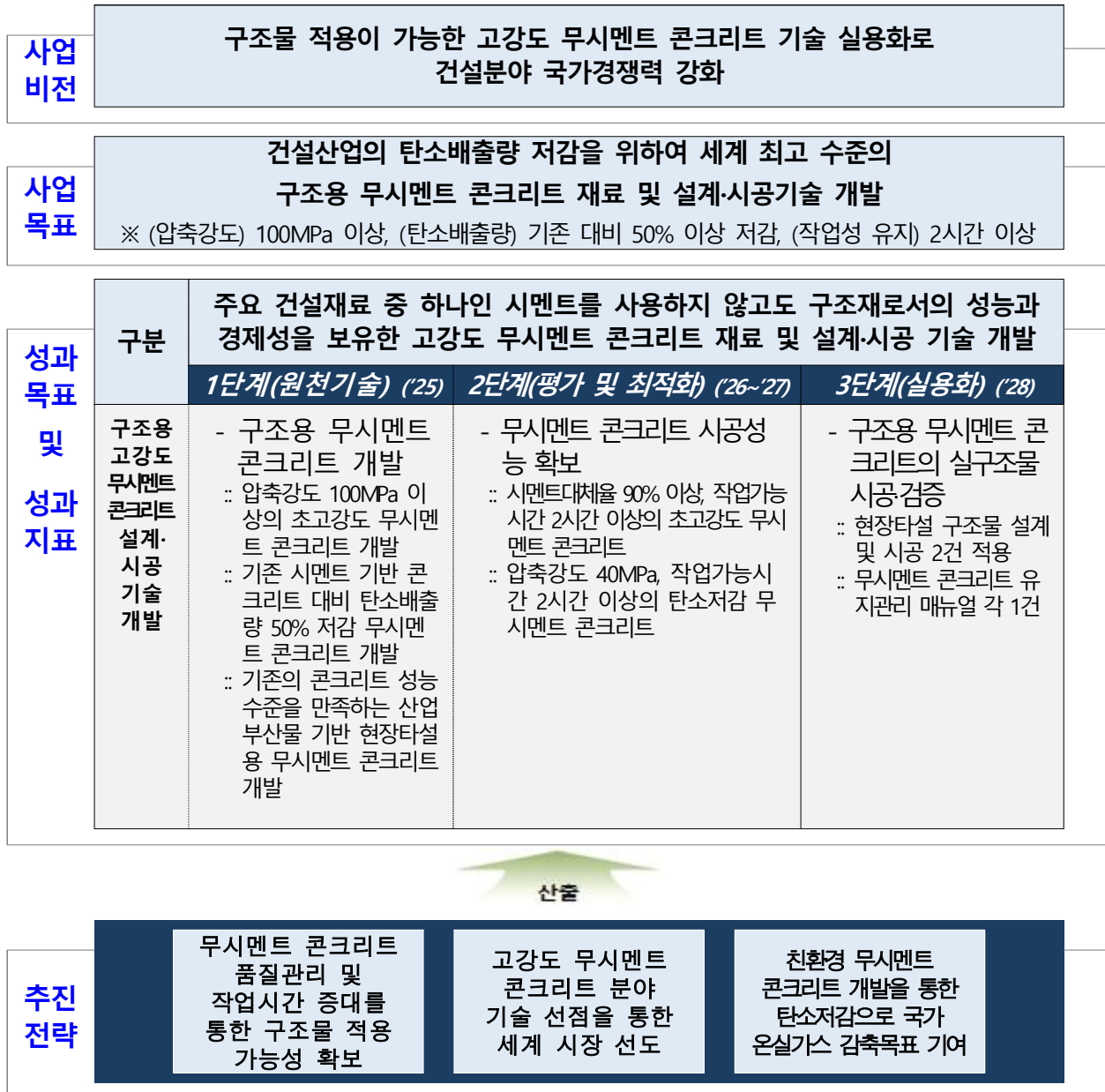
1. 이슈 / 문제
• 시멘트 산업은 탄소배출량이 많은 핵심 산업으로 지속적인 탄소배출 저감이 필요 - 전세계 탄소배출량의 15%는 건설재료/자재 생산에서 발생하고 그중 6%는 시멘트/콘크리트 생산과정에서 발생 - 국내 시멘트 산업은 단일 산업으로 5번째로 배출량이 많은 산업으로 분류하고 있으며, 탄소배출량 저감을 위해 공정전환 및 친환경 시멘트 개발을 위한 R&D사업을 추진하고 있으나, 콘크리트 관점에서는 R&D 공백영역 • 세계적으로 탄소국경세, 그린발주제도가 조기정착됨에 따라 해외건설사업 수주에 무역장벽으로 작용할 우려 - 유럽은 탄소국경세제도를 '23년 시범적용하고 있으며, '26년부터는 시멘트 등 적용대상에 탄소세 부과 예정 - 미국은 '24년 청정경제법이 적용될 예정으로 시멘트 등 적용대상에 톤당 55달러의 탄소부과세를 적용 예정 - 유럽 및 미국은 그린발주제도를 건설사업에 적용하여 탄소배출량 저감에 따라 인센티브를 제공하거나 저탄소 건설재료를 우선 구매할 수 있도록 제도를 시행 • 무시멘트 콘크리트는 원재료 화학조성, 활성화제 종류, 사용량에 따라 품질관리가 어려워 구조물 적용 한계 - 무시멘트 콘크리트는 배합조건, 환경 등에 따라 재현성이 현저히 떨어지며, 경화 메커니즘 및 환경에 따라 탄산화 속도가 증가, 양생환경에 따라 강도저하, 활성화제에 따라 경도저하 등 다양한 문제 발생 - 또한, 시멘트 대체재의 한계점을 해결할 수 있는 화학혼화제가 없어 품질 최적화가 불가능하고, 활성화제 사용에 따라 경제성 저하 우려 발생 • 무시멘트 콘크리트 상용화 및 보급 확산을 위한 제도 기반 부족으로 활용이 제한적 - 현재 콘크리트 구조 설계에는 무시멘트 콘크리트를 사용하기 위한 재료가 반영되지 않았으며, 국내 KS L 5210(고로슬래그 시멘트) 기준은 슬래그 함유율에 따라 3종으로 구분되며 최대 70%로 제한

2. 목표	3. 수혜자
건설산업의 탄소배출량 저감을 위하여 세계 최고 수준의 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공기술 개발 - 시멘트를 사용하지 않고도 구조재로서의 성능과 경제성을 보유한 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발	- 건설기업(건축/인프라 등)

4. 투입	5. 활동	6. 산출	7. 성과 / 영향
- 예산 290억 원 :: 정부 204억 원 :: 민간 86억 원	- 무시멘트 콘크리트 설계·시공기술 개발 및 실용화 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	- 현장타설용 산업부산물 기반 무시멘트 콘크리트/ 현장타설 구조물 - 초고강도 고강도 무시멘트 콘크리트 시제품 - 미활용 산업부산물 기반 무시멘트 콘크리트 시제품	- 성과(Outcome) :: 논문/특허 :: 기술이전 및 현장 적용 :: 구조설계기준 마련 - 영향(Impact) :: 무시멘트 콘크리트 품질관리 및 작업시간 확보 :: 무시멘트 콘크리트 실용화 기반 마련 :: 무시멘트 콘크리트 현장 적용 및 해외수출 기반 마련

8. 가정
- 분말형 자극제, 전용 화학혼화제의 생산공정 및 사용량에 따른 탄소배출량이 기존 제품보다 낮음 - 무시멘트 콘크리트의 구조물 적용을 위한 연구개발 기간 내 규정 제·개정 - 고로슬래그 및 플라이애시 외 시멘트 대체재의 공급 안정성 확보 - 무시멘트 콘크리트의 성능/가격 측면에서의 기존 콘크리트와의 우위성

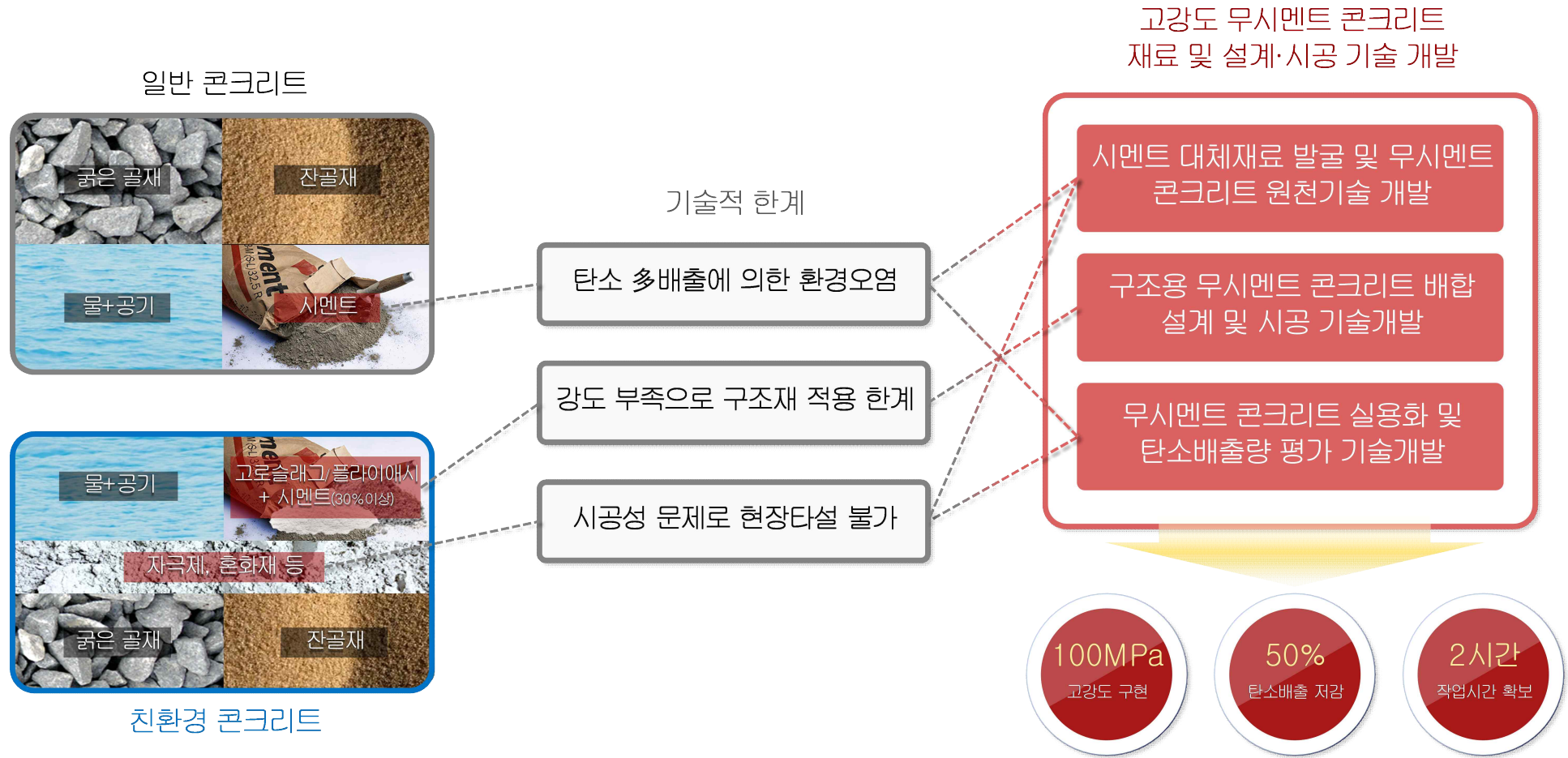
3. 비전 및 목표체계



사업구성		
1. 무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화	2. 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	3. 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발
1-1. 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 배합 개발	2-1. 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발	3-1. 탄소저감 무시멘트 친환경 시멘트 대체재료 개발
1-2. 무시멘트 콘크리트 재료 모델 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발	2-2. 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 최적화 기술 개발	3-2. 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발
1-3. 현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발	2-3. 초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가(역학, 구조성능 등) 및 설계 기술 개발	3-3. 탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가(역학, 구조성능 등) 및 설계 기술 개발

[그림 3-7] 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 사업의 비전·목표 체계도

4. 사업 개념도



5. 기술개발에 따른 동 사업의 미래상

핵심 항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'25년 수준	최종 목표수준	
	~'23	'25	'28(종료년도)	'29~(종료이후)
무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화	■ 시멘트 대체재 및 자극제 등에 따라 재현성이 낮고 작업성이 떨어져 양산이 제한 - 자극제 종류 및 사용량, 대체재 품질 등에 따라 품질관리 어려움 - 비구조용 콘크리트 2차 제품 등 저부가가치 활용 * 해외 선도기관은 현장타설 콘크리트 실용화	■ 구조재 적용 콘크리트의 결합재로서 고로슬래그 및 플라이애시 기반 Zero 시멘트 확보 - 기존 액상형 자극제의 한계를 극복할 수 있는 자극제 개발 - 전용 화학혼화제 개발	■ 구조재 적용 현장타설 무시멘트 콘크리트 - 일반구조용 40 MPa, 슬럼프 150~210 mm, 작업 유지시간 2시간 확보, 염소이온 확산계수 2.0×10^{-12} m/s 동결융해저항성 80% 이상 확보 - 레미콘 현장 실증을 통한 신뢰성 확보	■ 탄소배출량 및 콘크리트 성능을 고려한 성능기반 콘크리트 구조설계 - 콘크리트 구조 설계 시 성능 및 탄소배출량의 가중치 고려한 구조설계 - 기존 콘크리트와 동등 혹은 이상의 성능 확보
초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	■ 해외 선도 그룹과 비교하여 혁신적인 신기술 개발은 미미 - 독자적인 기술로 개발된 자극제, 및 전구체 미미 - 철강 분야 기술 발전에 따라 고로슬래그 미분말 등 기존 대체재 지속적 감소	■ 무시멘트 콘크리트 선도를 위한 기술 개발 방향 수립 - 무시멘트 콘크리트 전구체 활용이 가능한 미활용 부산물 DB화 - 무시멘트 콘크리트 고강도화 방안 마련	■ 무시멘트 콘크리트 선도 기술 확보 - 압축강도 100 MPa 이상, 연성율 8%이상,, 고강도-고연성 무시멘트 콘크리트 개발 - 고로슬래그, 플라이애시 기반이 아닌 친환경 대체재 활용 콘크리트 개발	■ 저탄소 콘크리트 국제 기술 선도를 통한 국내 건설경쟁력 강화 - 고로슬래그 미분말 및 플라이애시 대체재 개발을 통한 미래산업 변화에 대한 적응력 확보 - 기술 수출 및 컨설팅을 통한 해외 건설 진출 경쟁력 강화
탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	■ 무시멘트 콘크리트를 적용한 구조물의 설계 규정 없음 * 전세계적으로 무시멘트 콘크리트 관련 기준은 없으며, 시멘트 함량을 극단적으로 줄인 콘크리트에 대한 규정은 ACI 318, EC2, fib MC2010 등에서 일부 제시	■ 고로슬래그 및 플라이애시 기반 무시멘트 콘크리트 전용 재료 모델 확보 - 재료 모델 확보를 통한 구조설계기준 기반 마련	■ 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조설계기준(안) 개발 - 일반 콘크리트 적용 구조체와 동등 혹은 이상 성능의 구조설계(안) 마련 - 탄소배출량 50% 저감(탄소배출계수 $1.31E+02$ kg/m³ 이하)	■ 무시멘트 콘크리트 표준화 및 구조설계 기준 마련 - 무시멘트 콘크리트 적극 도입으로 건설산업 탄소배출권 거래 활성화 - 무시멘트 콘크리트 국제 표준 선도

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

1. 추진목표 설정

- ☐ 사업추진 관련 핵심 문제/이슈를 해결하기 위한 기술적 요구사항과 예상 효과를 파악하여 본 사업의 추진 목적 및 추진 목표를 설정
- (핵심 문제/이슈 해결을 위한 기술적 요구사항) 1) 기존 개발기술의 한계를 극복하기 위하여 각 제조 단계별 기술 융합, 2) 탄소 고정 콘크리트의 활용확대를 위해 안전성/사용성/내구성 검증, 기존 마련 및 현장타설/PC 적용 사례 확보, 3) 현재보다 높은 탄소고정과 저장성을 갖는 기술개발 필요
- (사업 목표) 시멘트를 사용하지 않고도 구조재로서의 성능과 경제성을 보유한 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발
- ※ (사업 목적) 이산화탄소(CO₂)를 건설 재료에 고정하여, 탄소배출량을 저감할 수 있는 CCU 콘크리트 재료 및 제조·활용 기술 개발

핵심 문제/이슈	핵심 문제/이슈 해결을 위한 기술적 요구사항	예상 효과
[핵심 문제/이슈 1] CO ₂ 고정 탄산염을 이용한 건설재료가 소요의 역학적 특성이 낮은 제품에만 사용 하고 있어 활용성이 낮음	콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발	탄소 고정 콘크리트 의 활용성 증대를 통한 시장경쟁력 및 탄소저감 기여
[핵심 문제/이슈 2] CO ₂ 고정 · 저장을 위한 콘크리트 제조기술이 별개의 공정으로서 적용되어 각 기술 간 융합이 어려움	CO₂ 저장 콘크리트 제조 기술 개발	탄소 고정 콘크리트 제조 기술 개발 및 건설 탄소저감 기술개발 시너지 형성
[핵심 문제/이슈 3] CO ₂ 저장 콘크리트의 구조물 활용을 위한 제도적 기반 미비	CO₂ 저장 콘크리트 활용기술 개발	탄소 고정 콘크리트 구조설계기준, 적용 사례 확보를 통한 실용화 기반 확보 및 세계시장 진출 기반 마련

사업 추진목표

이산화탄소(CO₂)를 건설 재료에 고정하여, 탄소배출량을 저감할 수 있는
CCU 콘크리트 재료 및 제조·활용 기술 개발

2. 사업 추진 논리 도출

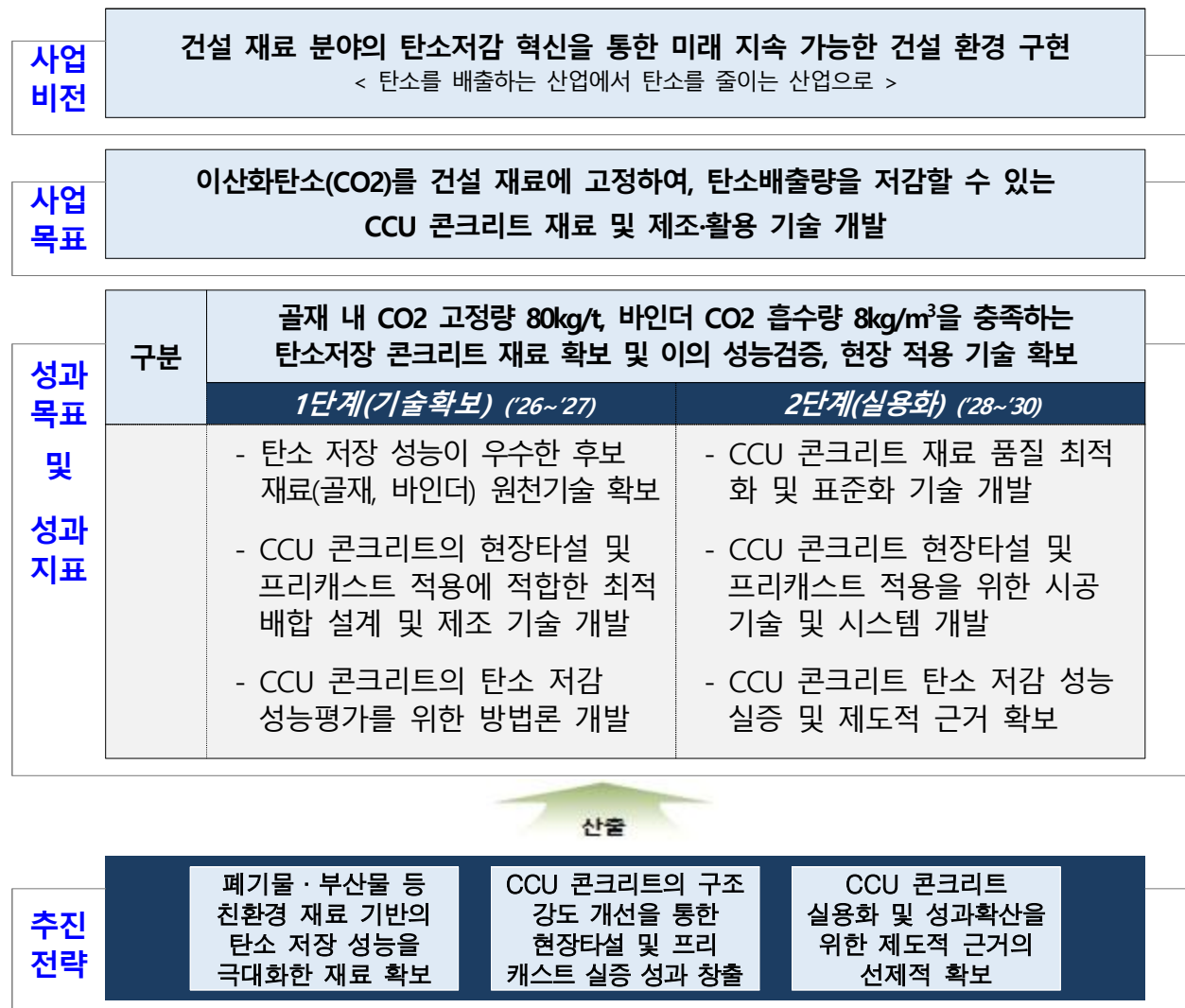
1. 이슈 / 문제
• 시멘트 산업은 탄소배출량이 많은 핵심 산업으로 지속적인 탄소배출 저감이 필요 - 전세계 탄소배출량의 15%는 건설재료/자재 생산에서 발생하고 그중 6%는 시멘트/콘크리트 생산과정에서 발생 - 국내 시멘트 산업은 단일 산업으로 5번째로 배출량이 많은 산업으로 분류하고 있으며, 탄소배출량 저감을 위해 공정전환 및 친환경 시멘트 개발을 위한 R&D사업을 추진하고 있으나, 콘크리트 관점에서는 R&D 공백영역 • 세계적으로 탄소국경세, 그린발주제도가 조기정착됨에 따라 해외건설사업 수주에 무역장벽으로 작용할 우려 - 유럽은 탄소국경세제도를 '23년 시범적용하고 있으며, '26년부터는 시멘트 등 적용대상에 탄소세 부과 예정 - 미국은 '24년 청정경제법이 적용될 예정으로 시멘트 등 적용대상에 톤당 55달러의 탄소부과세를 적용 예정 - 유럽 및 미국은 그린발주제도를 건설사업에 적용하여 탄소배출량 저감에 따라 인센티브를 제공하거나 저탄소 건설재료를 우선 구매할 수 있도록 제도를 시행 • 탄소고정 콘크리트는 현재 역학적 특성이 낮은 제품에만 사용되고 있어 활용성이 떨어지고, 기술간 융합이 난해 - CO2 반응경화 결합재(바인더)와 탄산염 인공골재를 활용한 건설재료의 주요 활용처는 콘크리트 블록, 포장석의 형태로서 활용처가 제한되어 있음 - CO2 고정·저장 콘크리트 제조기술에 필요한 재료 및 제조공정이 별개의 기술로 적용되어 각 기술 간 융합이 어려움 • 탄소고정 상용화 및 보급 확산을 위한 제도 기반 부족으로 활용이 제한적 - 현재 콘크리트 구조 설계에는 탄소고정 콘크리트를 사용하기 위한 재료가 반영되지 않아 활용하기 어려운 실정

2. 목표	3. 수혜자
포집 CO2를 고정하여 활용할 수 있는 탄소저장 콘크리트 재료와 콘크리트 제조 및 활용 기술 개발	→ - 건설기업(건축/인프라 등)

4. 투입	5. 활동	6. 산출	7. 성과 / 영향
- 예산 260억 원 :: 정부 200억 원 :: 민간 60억 원	- 콘크리트 구성재료의 탄소저장 기술 개발 - CO2 저장 콘크리트 제조 기술 개발 - CO2 저장 콘크리트 활용 기술 개발	- 콘크리트 구성재료 탄소저장 기술 - 탄소고정 콘크리트 제조 기술 - 탄소고정 콘크리트 구조 설계기준 마련 - 탄소고정 콘크리트 LCA평가 확보	- 성과(Outcome) :: 논문/특허 :: 기술이전 및 현장 적용 :: 구조설계기준 마련 - 영향(Impact) :: 탄소고정 콘크리트 품질 확보 :: 탄소고정을 통한 탄소배출량 감축 :: 탄소고정 콘크리트 실용화 기반 마련 :: 탄소 고정 콘크리트 현장 적용 및 해외수출 기반 마련

8. 가정
- 탄소고정 콘크리트의 구조물 적용을 위한 연구개발 기간 내 규정 제·개정 - 탄소고정 콘크리트의 성능/가격 측면에서의 기존 콘크리트와의 우위성

3. 비전 및 목표체계



사업구성		
콘크리트 구성 재료의 탄소 저장 기술 개발	CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 및 시공 기술 개발	CCU 콘크리트 성능검증 및 실증 기술 개발
골재 탄산화를 활용한 탄소 저장 핵심기술 개발	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 배합설계 최적화 기술 개발	CCU 콘크리트 설계기준 및 저감성능 실증 기술 개발
	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 개발	CCU 콘크리트 CO2 저장 성능평가(LCA 포함) 방법론 및 실증 기술 개발
바인더 탄산화를 활용한 탄소 저장 핵심기술 개발	CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 배합설계 최적화 기술 개발	CCU 콘크리트의 탄소감축 외부사업 적용을 위한 설계 및 실증기술 개발
	CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 개발	

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

1. 추진목표 설정

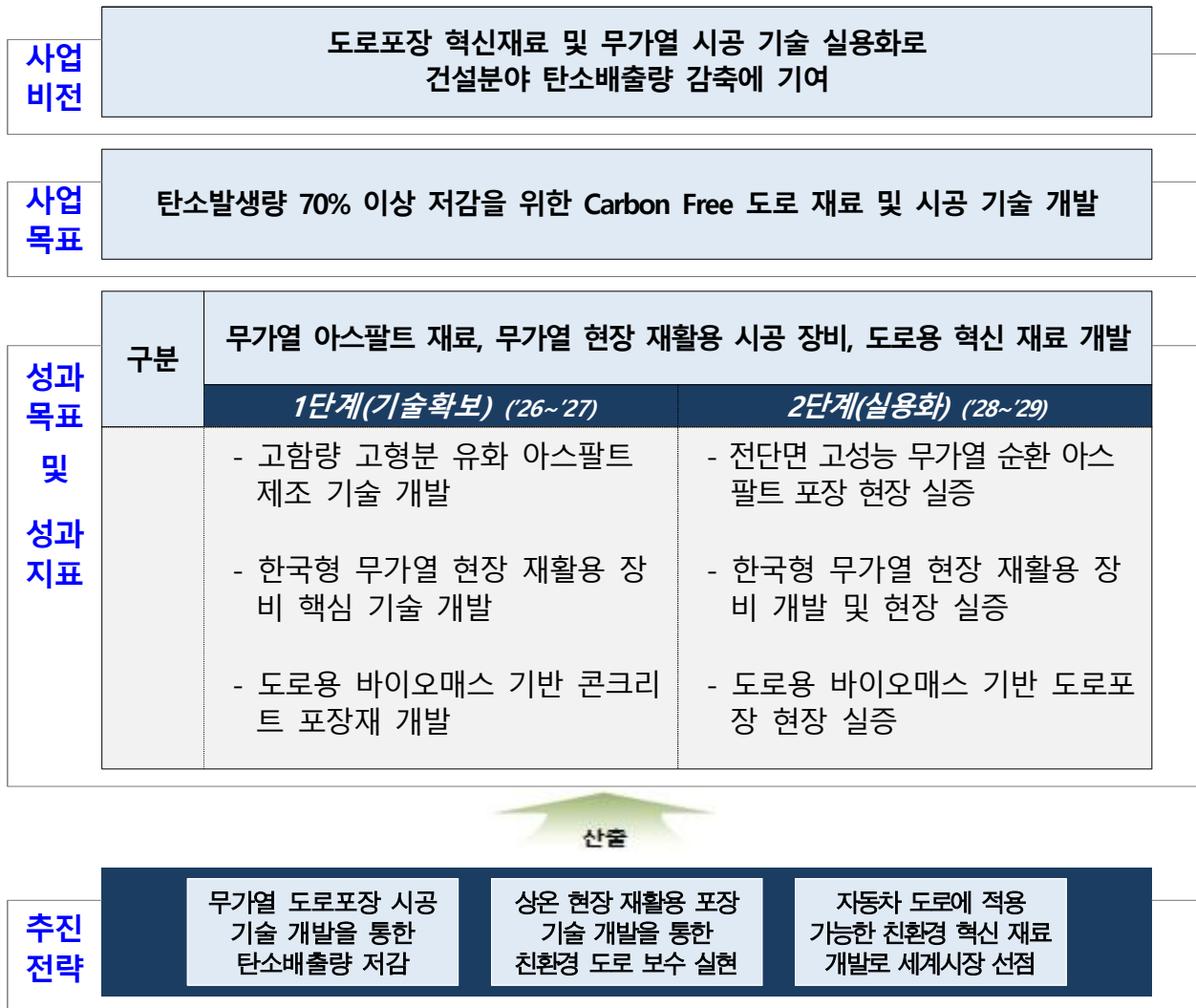
- 사업추진 관련 핵심 문제/이슈를 해결하기 위한 기술적 요구사항과 예상 효과를 파악하여 본 사업의 추진 목적 및 추진 목표를 설정
- (핵심 문제/이슈 해결을 위한 기술적 요구사항) 1) 고성능 유화 아스팔트 국산화 기술 및 유화 아스팔트 성능 극대화로 도로포장 전단면(표층/중간층/기층) 적용이 가능한 탄소저감 무가열 도로포장 기술 개발, 2) 노후 도로포장의 구조적 성능을 복원하기 위한 폐아스팔트 100% 활용 국내 도로 환경을 고려한 현장 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술(CIRB) 개발, 3) 기존 아스팔트 및 시멘트 도로용 포장재를 대체할 수 있는 바이오 기반의 도로포장 재료 및 시공 기술 개발
- (사업 목표) 탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 개발

핵심 문제/이슈	핵심 문제/이슈 해결을 위한 기술적 요구사항	예상 효과
[핵심 문제/이슈 1] 아스팔트 가열 과정에서의 탄소배출량 저감을 위해 상온아스팔트 기술이 필요하나 강도 등의 문제로 적용이 제한적	고성능 유화 아스팔트 국산화 기술 및 유화 아스팔트 성능 극대화로 도로포장 전단면(표층/중간층/기층) 적용이 가능한 탄소저감 무가열 도로포장 기술 개발	무가열 도로포장 시공 기술 개발을 통한 탄소배출량 저감
[핵심 문제/이슈 2] 노후도로가 증가하여 도로 보수 수요가 증가하고 있어 기존 도로포장재를 재활용할 수 있는 친환경 기술 개발이 필요	노후 도로포장의 구조적 성능을 복원하기 위한 폐아스팔트 100% 활용 국내 도로 환경을 고려한 현장 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술(CIRB) 개발	상온 현장 재활용 포장 기술 개발을 통한 친환경 도로 보수 실현
[핵심 문제/이슈 3] 탄소배출량이 높은 기존 포장재 대체를 위한 연구가 다수 추진되었으나 도로에 적용하기에는 성능이 부족한 실정	기존 아스팔트 및 시멘트 도로용 포장재를 대체할 수 있는 바이오 기반의 도로포장 재료 및 시공 기술 개발	자동차 도로에 적용 가능한 친환경 혁신 재료 개발로 세계시장 선점

사업 추진목표

탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 개발

2. 비전 및 목표체계



사업구성		
Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술	자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술	바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발
고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발	한국형 CIRB 시공 장비 개발	Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발
고점도 유화 아스팔트 대량 생산 기반 기술 개발	한국형 CIRB 재료 국산화 기술 개발	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발
고성능 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 개발	노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산 및 시공 기술 개발

[그림 3-10] 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 사업의 비전·목표 체계도

3. 기술개발에 따른 동 사업의 미래상

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'25년 수준	최종 목표수준	
	~'23	'25	'31(종료년도)	'32~(종료이후)
	■ 아스팔트 도로포장 신설 및 유지보수 시, 가열 또는 중온 아스팔트 활용으로 도로포장 생산 및 시공에 따른 지속적인 탄소배출 유지 ■ 상온(재활용) 아스팔트 포장 공법은 성능 부족으로 인해 기층용으로만 활용 - 양생시간, 성능부족 등 표층 및 중간층 적용 어려움 ■ 국내 노후 아스팔트 포장의 유지보수를 위한 현장 상온 재활용 아스팔트 포장 공법 도입 전무 ■ 신소재 바이오 폴리머 국산화 및 도로 포장재로서 현장 적용 어려움	■ 상온 재활용 아스팔트 포장 공법 적용을 위한 기반 마련 - (고성능)유화 아스팔트 제조 방법론 마련 - 상온 재활용 아스팔트 혼합물 적용 기술 개발 착수 ■ 한국형 CIR 시공 장비 개발을 위한 기본방향 및 설계 기술 개발 - 국외 CIR 시공 장비 구성 및 체원 검토를 통한 벤치마킹 - 한국형 CIR 시공 장비 설계 기본 방향 정립 ■ 한국형 CIR 공법 적용을 위한 재료 기술 개발 방향 검토 및 기술 개발 착수 ■ 바이오 폴리머 바인더 및 폴리머 콘크리트 국산화 기반 마련 - 내구성 및 시공성을 만족하는 바인더 성능개량 및 재료설계 ■ 바이오 폴리머 콘크리트 전용 생산설비 및 시공/유지관리 장비 개발 착수	■ 상온 재활용 아스팔트 포장 공법 개발 완료 - 상온 재활용 아스팔트 포장 전단면 적용 재료 기술 개발 - 전단면 현장 적용을 위한 설계 및 시공 기술 개발 ■ 한국형 CIR 시공 장비 및 공법 개발 완료 - 한국형 CIR 공법 적용을 위한 재료 기술 개발 - 노후 도로포장 성능 복원을 위한 한국형 CIR 시공 장비 및 기술 개발 ■ 도로포장용 바이오 폴리머 콘크리트 국산화 기술 개발 - 바이오 폴리머 콘크리트 전용 설계/시공지침 정립 ■ 대량 생산이 가능한 바이오 폴리머 콘크리트 전용 생산설비 및 시공/유지관리 기술 개발	■ Carbon Free 무가열 도로포장 기술 개발을 통한 기존 가열 및 중온 아스팔트 포장 대체 및 점유율 확보 - 100% 자원순환 재활용 및 에너지소비 최소화를 통한 도로포장 탄소발생량 Zero화 - 도로포장의 순환경제 실현을 통한 탄소발생량 Zero화 ■ 탄소발생 Zero화 한국형 CIR 공법 적용으로 30년 이상 노후 도로포장 성능 복원 - 現, 30년 이상 노후 도로포장 점유율 50% 이상으로 과제 종료 이후 70% 이상으로 증가 - 70% 이상 노후 도로포장에 대해 무탄소 한국형 CIR 공법 적용을 통한 성능복원 기술 확보 ■ 시멘트 콘크리트 및 배수성 아스콘 도로 기준을 만족하는 신소재 바이오 폴리머 콘크리트 포장재 내구성 구현 및 대형화 장비를 활용한 현장 시공성 확보 ■ 기후위기 심각성, 국제사회 구성원으로써 건설분야 탄소중립을 통한 국가 온실가스 감축목표(NDC) 실현
그림				

3.1.4. 사업 중점 추진분야

[고강도 무시멘트 콘크리트]

1. 사업구성을 위한 수요조사

□ 기술수요조사 개요

- **(목적)** 탄소중립 건설재료 기반 건설 전주기 혁신기술 개발사업을 기획하는 과정에서 사업 세부 내용을 구성하고, 사업 추진의 당위성을 확보하기 위한 기술수요조사
- **(대상)** 건설 전주기(재료-설계-시공-유지관리-해체-재활용-제도) 탈탄소 및 친환경 기술 관련 전문성을 보유한 산·학·연·관 전문가*
 - * 국토교통과학기술진흥원 내부 전문가 Pool, 공동연구기관(KICT, KCL) 내부 전문가 Pool, 유관 학·협회 회원 (대한토목학회, 한국콘크리트학회 등 24개 학·협회) 대상
- 예비 기술수요조사에 응답한 전문가 중 기술수요조사에 조사가 필요하다고 판단되는 전문가는 별도로 연락하여 조사에 응답할 수 있도록 독려
- **(일정)** 2022년 8월 19일(금) ~ 9월 14일(목) / 2022년 11월 25일(금) ~ 12월 16일(금)
- **(조사내용)** 건설산업 탄소중립을 이행하는데 필요한 4대 중점분야의 하위 세부구성기술에 해당하는 기술로써, 국가 연구개발 추진이 필요한 기술 및 개발 내용 도출을 위한 수요조사

□ 조사결과

- **(접수현황)** 총 245건이 접수되었으며, 그중 건설재료는 142건으로 58%를 차지하며, 무시멘트 콘크리트 관련 기술수요는 35건으로 접수
 - [건설재료] 142건, [시공·유지관리] 43건, [설계·제도] 34건, [기타] 26건

□ 검토사항

- **(검토방향)** 건설재료 중 무시멘트 콘크리트 기술수요인 35건에 대하여 사업방향, 분과별 방향과 연계성 / 필요성, 실용성, 사업성
 - * 사업추진 및 기술개발 방향에 부합 여부, 국가 R&D 지원 필요성 등
- **(채택여부)** 완전채택/미채택/부분채택 결정
 - * 미채택 : 방향성이 맞지 않음, 기 연구된 사항 또는 중복
- **(공백기술)** 본 기획 완성도·정합성을 위해 공백기술 제안
- **(분과위원)** 채택된 기술제안자 기술분과위원 추가 섭외 여부
- **(과제구성)** 사업추진방향, 분과별 연구방향성, 수요조사 검토 결과, 공백기술 추가사항 반영, 분과별 과제구성(안) 도출

□ 설문조사 결과 : 총 15건 채택

번호	제안 과제명	채택여부
1	증해방법으로 식물에서 추출한 실리카혼입 고성능 무시멘트 콘크리트의 개발	채택
2	준설토의 오염원 제거 및 가공기술 고도화를 통한 저탄소 시멘트 대체재 개발	채택
3	시멘트 사용량 저감을 위한 고 감수율 초고성능 혼화제 개발	채택
4	비탄산염 시멘트를 활용한 탄소중립 콘크리트 개발	일부 채택
5	수소나노거품수를 이용한 시멘트 저감 탄소중립 고강도 콘크리트 개발	미채택
6	상변화물질(PCM)을 이용한 CO2 저감형 건설재료 개발	미채택
7	탄소중립 실현을 위한 NT Green 콘크리트 개발	미채택
8	탄소중립 실현을 위한 Zero-cement 복합체 및 활용 기술 개발	채택
9	탄소중립을 위한 탄산칼슘계 폐기물을 활용한 무시멘트 무소성 타일 제조 기술 개발	일부 채택
10	산업부산물 치환 도로용 콘크리트 생산 기술	미채택
11	동절기 자기충전형 조강콘크리트 활용, 양생과정의 탄소배출 최소화 기술	미채택
16	핵종 효과 유도형 친환경 콘크리트 조강제 실용화 기술개발	채택
12	내구성 등급에 따른 탄소중립형 콘크리트 배합 설계 시스템 개발	일부 채택
13	탄소중립 건설재료 기반 건설 전주기 핵심기술 개발사업	미채택
14	시멘트 생산공정에 있어 혼합재 종류 및 함량 증대 기술	미채택
15	고로슬래그를 70%이상 시멘트 대체 적용 가능한 저탄소 콘크리트 배합용 혼화제 개발	채택
16	미생물 기반 바이오시멘트 기술개발	미채택
17	주철 및 시멘트계 콘크리트 대용 폴리우레탄 콘크리트 제품 개발	미채택
18	천연 폴리머 기반 경량·고기능 건설재료 제조 기술	채택
19	건설폐기물 고부가가치 재활용을 위한 건설폐기물의 딥러닝 기반 이동식 고도 분리선별 기술 개발	일부 채택
20	시멘트 생산공정에 있어 혼합재 종류 및 함량 증대 기술	미채택
21	고로슬래그를 70%이상 시멘트 대체 적용 가능한 저탄소 콘크리트 배합용 혼화제 개발	채택
22	탄소네거티브 무시멘트 지오폐리머콘크리트 원료광물 DB 구축 및 생산 표준화 연구	일부 채택
23	바이오매스 부산물을 활용한 저탄소 경량 콘크리트 제조 기술개발	채택
24	알루미노실리케이트 무기계 광물을 활용한 콘크리트용 혼화제 개발 및 상용화 기술개발	채택
25	증해에 의한 식물추출 분말을 이용한 60MPa급 이상의 고강도 무시멘트 콘크리트의 개발	채택
26	내구성 등급에 따른 탄소중립형 콘크리트 배합 설계 시스템 개발	일부 채택
27	cost-effective 나노소재를 이용한 콘크리트 인프라 구조물 성능 및 내구성 증강 기술 개발	일부 채택

28	저탄소 콘크리트의 장/단기 구조성능 평가 기술 개발	채택
29	콘크리트 2차 제품 생산공정 탄소중립 실현 기술 개발	일부 채택
30	Carbon negative형 PC 부재 배합설계 및 생산 기술 개발	일부 채택
31	탄소중립 대응형 콘크리트의 실용화 기술개발	채택
32	탄소중립을 위한 하이브리드형 지오폐리머 콘크리트 개발 및 지오폐리머 2차제품인 박형(두께 20mm 내외)의 구조용 프리캐스트 직물섬유 보강콘크리트 패널 제품개발 및 실용화	일부 채택
33	탄소중립 건설재료 활용 콘크리트의 제조 및 시공지침 개발	채택
34	방청성 분쇄 조제로 표면을 개질한 페로니켈슬래그 미분말 제조기술과 저탄소 해양 콘크리트 개발 기술	일부 채택
35	탄소중립 건설재료 활용 콘크리트의 제조 및 시공지침 개발	채택

2. 사업 구성

- 본 사업의 최종목표를 달성하기 위해, 핵심 문제/이슈 해결 관점에서 연구개발이 필요한 중점 기술을 3개 (세부과제)로 구성하고, 중점기술의 목표 달성 및 최종성과물 완성을 위해 연구개발이 필요한 기술을 9개 세부기술로 구성함

<표 3-9> 구성기술 및 세부기술

중점 기술명	세부기술명	목표 수준		산출 근거	최종성과물
무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화	산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 재료 개발	상온양생(20℃ 내외) 기준 압축강도 40MPa 이상		KCS 14 20 10 및 레미콘 수요에 따른 품질과 여건을 고려, KS 인증기준(KS F 4009) 및 국가건설 기준상 구조 내구성 기준 준용	현장타설용 산업부산물 기반 무시멘트 콘크리트/ 현장타설 구조물
		슬럼프 150~210mm, 작업 유지시간 2시간			
		내구성 (수명 100년)	염소이온확산계수 2.0×10 ⁻¹² m/s 이하		
			동결융해저항성 80% 이상		
	기존 대비 탄소배출량 약 50% 저감 (탄소배출계수 2.61E+02 ~ 1.31E+02 kgCO ₂ /m ³ 이하)				
	무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발	현장타설용 무시멘트 콘크리트 구조설계기준(안)		국가건설기준 콘크리트 구조 관련 21개 항목 고려	
현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발	현장타설 구조물(SOC/건축) 현장실증 2건 이상		-		
	무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼 및 지침		시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 및 콘크리트 구조물 유지관리 매뉴얼의 한계점 고려		
초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발	압축강도 100 MPa 이상		기존 고로슬래그, 플라이애쉬의 대체 재료 확보 수준과 KS 인증기준(KS F 4009) 고려	초고강도 고강도 무시멘트 콘크리트 시제품
		연성율 8%이상			
		작업 유지시간 2시간			
	초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 최적 배합 설계(안)		-	
	초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 구조 해석 모델		-	
	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	탄소저감 무시멘트 친환경 시멘트 대체재료 개발	상온양생(20℃ 내외) 기준 압축강도 40MPa 이상		
친환경 대체재료 시멘트 치환율 90% 이상					
슬럼프 150~210mm, 작업 유지시간 2시간					
탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발		탄소저감 무시멘트 콘크리트 최적 배합 설계(안)		-	
탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발		탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조 해석 모델			

○ (중점기술 1) 무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화

- (세부기술 1-1) 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 배합 개발
 - New 자극제 기반 고로슬래그, 플라이애시 활용 상온양생 무시멘트 콘크리트 개발
 - 무시멘트 콘크리트의 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 화학혼화제 개발
- (세부기술 1-2) 무시멘트 콘크리트 재료 모델 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발
 - 무시멘트 콘크리트의 재료 특성을 반영한 설계, 해석 등을 위한 재료모델 개발 및 검증
 - 무시멘트 콘크리트의 열화 메커니즘 규명을 통한 내구성 해석방법 제시 및 검증
 - 무시멘트 콘크리트 기반 구조 실험 등을 통한 설계 모델 개발 및 기준(안) 도출
- (세부기술 1-3) 현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발
 - 제조, 운송 등을 고려한 무시멘트 콘크리트 현장 활용 기술(현장 실증)
 - 실증 대상 구조물 장기 모니터링을 통한 무시멘트 콘크리트 기반 유지관리 매뉴얼 개발

○ (중점기술 2) 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발

- (세부기술 2-1) 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트의 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 자극제·혼화제 개발
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트에 활용 가능 재료 개발 및 기초 배합 개발
- (세부기술 2-2) 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 최적화 기술 개발
 - 초고강도 발현이 가능한 무시멘트 콘크리트 배합 개발
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 특징을 고려한 배합 설계기술 개발 및 표준 배합식 도출
- (세부기술 2-3) 초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가(역학, 구조성능 등) 및 설계 기술 개발
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조 실험 등을 통한 역학 성능 평가 기술
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 실험 데이터 기반 구조해석 모델 개발

○ (중점기술 3) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발

- (세부기술 3-1) 탄소저감 무시멘트 친환경 시멘트 대체재료 개발
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트의 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 자극제·혼화제 개발
 - 경제성, 친환경성 확보된 무시멘트 콘크리트에 활용 가능한 미활용 대체재료 발굴
- (세부기술 3-2) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발
 - 탄소저감 발현이 가능한 무시멘트 콘크리트 배합 개발
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 특징을 고려한 배합 설계 기술 개발 및 표준 배합식 도출
- (세부기술 3-3) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가(역학, 구조성능 등) 및 설계 기술 개발
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조 실험 등을 통한 역학 성능 평가 기술
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 실험 데이터 기반 구조해석 모델 개발

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

1. 사업구성을 위한 수요조사

□ 기술수요조사 개요

- **(목적)** 탄소중립 건설재료 기반 건설 전주기 혁신기술 개발사업을 기획하는 과정에서 사업 세부 내용을 구성하고, 사업 추진의 당위성을 확보하기 위한 기술수요조사
- **(대상)** 건설 전주기(재료-설계-시공-유지관리-해체-재활용-제도) 탈탄소 및 친환경 기술 관련 전문성을 보유한 산·학·연·관 전문가*
 - * 국토교통과학기술진흥원 내부 전문가 Pool, 공동연구기관(KICT, KCL) 내부 전문가 Pool, 유관 학·협회 회원 (대한토목학회, 한국콘크리트학회 등 24개 학·협회) 대상
- 예비 기술수요조사에 응답한 전문가 중 기술수요조사에 조사가 필요하다고 판단되는 전문가는 별도로 연락하여 조사에 응답할 수 있도록 독려
- **(일정)** 2022년 8월 19일(금) ~ 9월 14일(목) / 2022년 11월 25일(금) ~ 12월 16일(금)
- **(조사내용)** 건설산업 탄소중립을 이행하는데 필요한 4대 중점분야의 하위 세부구성기술에 해당하는 기술로써, 국가 연구개발 추진이 필요한 기술 및 개발 내용 도출을 위한 수요조사

□ 조사결과

- **(접수현황)** 총 245건이 접수되었으며, 그중 건설재료는 142건으로 58%를 차지하며, 탄소고정 콘크리트 관련 기술수요는 33건으로 접수
 - [건설재료] 142건, [시공·유지관리] 43건, [설계·제도] 34건, [기타] 26건

□ 검토사항

- **(검토방향)** 건설재료 중 무시멘트 콘크리트 기술수요인 33건에 대하여 사업방향, 분과별 방향과 연계성 / 필요성, 실용성, 사업성
 - * 사업추진 및 기술개발 방향에 부합 여부, 국가 R&D 지원 필요성 등
- **(채택여부)** 완전채택/미채택/부분채택 결정
 - * 미채택 : 방향성이 맞지 않음, 기 연구된 사항 또는 중복
- **(공백기술)** 본 기획 완성도·정합성을 위해 공백기술 제안
- **(분과위원)** 채택된 기술제안자 기술분과위원 추가 섭외 여부
- **(과제구성)** 사업추진방향, 분과별 연구방향성, 수요조사 검토 결과, 공백기술 추가사항 반영, 분과별 과제구성(안) 도출

□ 설문조사 결과 : 총 11건 채택

번호	제안 과제명	채택여부
1	CO2 변환기술을 이용한 cement-slag-nano calcite 3성분계 콘크리트 개발	미채택
2	미세먼지 및 이산화탄소 동시 저감형 건축재료의 개발	미채택
3	포집 이산화탄소 광물화 저장 콘크리트 생산기술 개발	채택
4	범용 포틀랜드 시멘트 기반 CO2 흡수 고성능 콘크리트 개발	미채택
5	비부식성 섬유보강재를 활용한 섬유보강 CO2 흡수 콘크리트 개발	미채택
6	건/습식 탄산화에 의한 CO2 고정화 기술 개발	채택
7	규산염을 활용하여 대기 중의 탄소를 자연적으로 저감시키는 구조물 방청 기술 개발	미채택
8	나노버블 CO2 용해수를 활용한 레미콘 회수수의 광물탄산화 기술 개발	미채택
9	CO2 in-situ 활용 콘크리트 제조현장 맞춤형 탄산화 기술 개발	일부채택
10	이산화탄소 고정 증진을 위한 신개념 녹색토 개발	미채택
11	CO2흡수 고탄소바이오차콘크리트 개발	미채택
16	동절기 자기충전형 조강콘크리트 활용, 양생과정의 탄소배출 최소화 기술	미채택
12	미구조 분석을 이용한 시멘트 탄소저감 산정 기술	미채택
13	미생물 기반 바이오시멘트 기술개발	미채택
14	CCU 탄산칼슘을 활용한 포틀랜드시멘트(PC)의 석회 대체제의 개발	미채택
15	2050 탄소중립을 위한 이산화탄소 포집형 시멘트 및 콘크리트 개발	일부채택
16	페로니켈 슬래그를 활용 CO2 고정화 기술개발을 통한 탄소배출권 확보/페로니켈슬래그 활용 CO2 광물탄산화를 통한 탄소고정화 기술개발 및 해양콘크리트 제품 상용화	일부채택
17	광물 탄산화 방식 탄소저감 고강도 콘크리트 제조기술 개발 및 상용화	채택
18	다공성 흡착제를 이용한 CO2 포집 및 건설단열재료의 활용	미채택
19	탄소 포집 박테리아를 활용한 탄소 중립 콘크리트 개발	미채택
20	레미콘 회수수의 재활용을 위한 전처리 및 CCU 광물탄산화 통합 공정 개발	채택
21	범용 포틀랜드 시멘트 기반 CO2흡수 고성능 콘크리트 개발	미채택
22	비부식성 섬유보강 CO2 흡수 콘크리트 개발	미채택
23	탄산화 양생 콘크리트의 CO2 흡수 정량화 및 내구성 기반 설계 대응 기술	채택
24	순환골재 부산물 슬러지를 이용한 CO2 광물화 및 반응 슬러지 재활용 연구	일부채택
25	저품위 순환자원을 이용한 탄산화 광물제조와 이를 이용한 CO2양생 건설자재 제조공정 확립 및 적용기술 개발	일부채택
26	Digital fabrication 기술을 활용한 비정형 CO2 흡수형 건축자재 생산 기술 개발	미채택
27	건/습식 탄산화에 의한 CO2 고정화 기술 및 광물화를 통한 제품활용 기술	일부채택
28	굴패각 활용 고품질 산화칼슘 추출 및 이산화탄소 포집효율 80% 이상 확보 가능 파일럿 플랜트 및 이를 주재료한 콘크리트 개발	미채택
29	수소나노버블수를 이용한 시멘트저감 탄소저감형 고강도 콘크리트 개발	미채택
30	CO2흡수 고탄소 바이오차 콘크리트의 건설재료 적용 연구	미채택
31	카본이팅 콘크리트(Carbon Eating Concrete, CEC) 제조 및 활용기술 개발	미채택
32	나노버블 CO2 용해수를 활용한 레미콘 회수수 및 전기로 슬래그의 광물탄산화 기술 개발	미채택
33	도로포장 용 CCU 프리캐스트 콘크리트 슬래브의 급속 제조 기술 개발	미채택

2. 사업 구성

- 본 사업의 최종목표를 달성하기 위해, 핵심 문제/이슈 해결 관점에서 연구개발이 필요한 중점 기술을 3개 (세부과제)로 구성하고, 중점기술의 목표 달성 및 최종성과물 완성을 위해 연구개발이 필요한 기술을 9개 세부기술로 구성함

<표 11> 구성기술 및 세부기술

중점기술명	세부 구성기술명	목표 성능	최종성과물
콘크리트 구성재료의 탄소저장 기술 개발	골재 탄산화를 활용한 탄소 저장 핵심기술 개발	인공골재 CO2 고정량 (kg/t) 80kg/t 이상	포집 CO2와 순환자원을 활용한 콘크리트 인공 원료 제조 기술, 순환 골재를 활용한 탄소 고정화 기술, 탄소저장 콘크리트용 인공 원재료 표준(안)
	바인더 탄산화를 활용한 탄소 저장 핵심기술 개발	바인더 CO2 흡수량 (공용중, kg/m³) 8kg/m³	
CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 및 시공 기술 개발	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 배합설계 최적화 기술 개발	CO2 감축량 25kg/m³ (시멘트 감축량 포함)	제조단계를 고려한 탄소저장 콘크리트 제조 및 장치 시작품 기술, 제조단계를 고려한 탄소저장 콘크리트의 최적 배합 설계, 콘크리트내 CO2 저장성능 평가 방법 표준(안)
	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 개발	장치 시스템 구축 1건 이상	
	CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 배합설계 최적화 기술 개발	CO2 감축량 25kg/m³ (시멘트 감축량 포함)	
	CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 개발	장치 시스템 구축 1건 이상	
CCU 콘크리트 성능검증 및 실증 기술 개발	CCU 콘크리트 설계기준 및 저감성능 실증 기술 개발	구조 설계기준 확보	탄소저장 콘크리트의 구조설계 기준(안), 탄소감축 특성을 고려한 탄소저장 콘크리트의 LCA(Life Cycle Assessment) 평가, 현장실증을 통한 탄소저장 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발
	CCU 콘크리트 CO2 저장 성능평가(LCA 포함) 방법론 및 실증 기술 개발	LCA 평가 확보	
	CCU 콘크리트의 탄소감축 외부사업 적용을 위한 설계 및 실증기술 개발	탄소감축 외부방법론 1건 이상 확보	

- (중점기술 1) 콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발
 - (세부기술 1-1) 골재 탄산화를 활용한 탄소 저장 핵심기술 개발
 - (세부기술 1-2) 바인더 탄산화를 활용한 탄소 저장 핵심기술 개발
- (중점기술 2) CCU 콘크리트 제조 기술 개발
 - (세부기술 2-1) CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 배합설계 최적화 기술 개발
 - (세부기술 2-2) CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 개발
 - (세부기술 2-3) CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 배합설계 최적화 기술 개발
 - (세부기술 2-4) CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 개발
- (중점기술 3) CCU 콘크리트 활용기술 기술 개발
 - (세부기술 3-1) CCU 콘크리트 설계 기준 및 성능검증 기술 개발
 - (세부기술 3-2) CCU 콘크리트 CO2 저장 성능평가(LCA 포함) 방법론 및 실증 기술 개발
 - (세부기술 3-3) CCU 콘크리트의 탄소감축 외부사업 적용을 위한 설계 및 실증기술 개발

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

1. 사업구성을 위한 수요조사

□ 기술수요조사 개요

- **(목적)** 탄소중립 건설재료 기반 건설 전주기 혁신기술 개발사업을 기획하는 과정에서 사업 세부 내용을 구성하고, 사업 추진의 당위성을 확보하기 위한 기술수요조사
- **(대상)** 건설 전주기(재료-설계-시공-유지관리-해체-재활용-제도) 탈탄소 및 친환경 기술 관련 전문성을 보유한 산·학·연·관 전문가*
 - * 국토교통과학기술진흥원 내부 전문가 Pool, 공동연구기관(KICT, KCL) 내부 전문가 Pool, 유관 학·협회 회원 (대한토목학회, 한국콘크리트학회 등 24개 학·협회) 대상
 - 예비 기술수요조사에 응답한 전문가 중 기술수요조사에 조사가 필요하다고 판단되는 전문가는 별도로 연락하여 조사에 응답할 수 있도록 독려
- **(일정)** 2022년 8월 19일(금) ~ 9월 14일(목) / 2022년 11월 25일(금) ~ 12월 16일(금)
- **(조사내용)** 건설산업 탄소중립을 이행하는데 필요한 4대 중점분야의 하위 세부구성기술에 해당하는 기술로써, 국가 연구개발 추진이 필요한 기술 및 개발 내용 도출을 위한 수요조사

□ 조사결과

- **(접수현황)** 총 245건이 접수되었으며, 그중 건설재료는 142건으로 58%를 차지하며, 도로포장 관련 수요는 11건 접수
 - [건설재료] 142건, [시공·유지관리] 43건, [설계·제도] 34건, [기타] 26건

□ 검토사항

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

□ 설문조사 결과 : 총 6건 채택

번호	제안 과제명	채택여부
1	바이오 합성 기반 저탄소 친환경 아스팔트 개발	일부채택
2	도로포장용 CCU 프리캐스트 콘크리트 슬래브의 급속 제조 기술 개발	미채택
3	이산화탄소 발생 저감을 위한 고점도 아스팔트 바인더 및 혼합물용 중온첨가제 개발	미채택
4	산업부산물 치환 도로용 콘크리트 생산 기술	일부채택
5	콘크리트 포장 구조체 탄소포집성능평가	미채택
6	“재활용 아스팔트 포장재(RAP: Recycled Asphalt Pavement)와 지오폐리머 결합재 적용 친환경 도로포장재료 개발”	채택
7	고반사 도료를 이용한 차열 도로포장 기술 개발	미채택
8	도로 포장 전주기 평가 인벤토리와 플랫폼, 정책, 제도 개발 연구	미채택
9	물리/화학적 재활용 (폐)플라스틱 소재 활용 자원순환형 모듈러 도로포장 시스템 개발	미채택
10	도로폐기물 80~100% 활용 무가열/저열 아스팔트 포장 최적화 기술을 통한 Carbon-Reduction 도로 기술 개발	채택
11	탄소중립형 폴리머 콘크리트 도로 포장 재료 및 시공, 유지관리 기술 개발	채택

2. 사업 구성

- 본 사업의 최종목표를 달성하기 위해, 핵심 문제/이슈 해결 관점에서 연구개발이 필요한 중점 기술을 3개 (세부과제)로 구성하고, 중점기술의 목표 달성 및 최종성과물 완성을 위해 연구개발이 필요한 기술을 9개 세부기술로 구성
 - (중점기술 1) Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술
 - (세부기술 1-1) 고함량 고흡분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발
 - (세부기술 1-2) 고점도 유화 아스팔트 대량 생산 기반 기술 개발
 - (세부기술 1-3) 고성능 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 개발
 - (중점기술 2) 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술
 - (세부기술 2-1) 한국형 CIRB 시공 장비 개발
 - (세부기술 2-2) 한국형 CIRB 재료 국산화 기술 개발
 - (세부기술 2-3) 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발
 - (중점기술 3) 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발
 - (세부기술 3-1) Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발
 - (세부기술 3-2) 도로용 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발
 - (세부기술 3-3) 도로용 Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산 및 시공 기술 개발

3.2. 중점 추진분야별 기술개발 내용

[고강도 무시멘트 콘크리트]

<표 3-13> 전체 사업 구성(안)

(사업명) 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발 (R&D)				
(사업목표) 건설산업의 탄소배출량 저감을 위하여 세계 최고 수준의 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공기술 개발				
중점기술	전략목표	세부기술	예산 (백만원) (정부지원금)	
무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화	기존 개발기술의 한계를 극복하기 위해 자극제/혼화제 개발을 통해 무시멘트 콘크리트 안정적인 성능확보 및 현장타설용 실용화 기반 마련	(1-1) 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 재료 개발 • New 자극제 기반 고로슬래그, 플라이애시 활용 상온양생 무시멘트 콘크리트 개발 • 무시멘트 콘크리트의 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 화학혼화제 개발	2,000	8,400 (6,000)
		(1-2) 무시멘트 콘크리트 배합설계 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발 • 무시멘트 콘크리트의 재료 특성을 반영한 설계, 해석 등을 위한 재료모델 개발 및 검증 • 무시멘트 콘크리트의 열화 메커니즘 규명을 통한 내구성 해석방법 제시 및 검증 • 무시멘트 콘크리트 기반 구조 실험 등을 통한 설계 모델 개발 및 기준(안) 도출	2,000	
		(1-3) 현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발 • 제조, 운송 등을 고려한 무시멘트 콘크리트 현장 활용 기술(현장 실증) • 실증 대상 구조물 장기모니터링을 통한 무시멘트 콘크리트 기반 유지관리 매뉴얼 개발	4,400	
초고강도 무시멘트 콘크리트 및 원천기술 개발	기존에 사용하지 않는 미활용 산업부산물을 활용한 초고강도 콘크리트 개발을 통한 기술 선점 및 국제 표준 주도	(2-1) 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발 • 초고강도 무시멘트 콘크리트의 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 자극제·혼화제 개발 • 초고강도 무시멘트 콘크리트에 활용 가능 재료 개발 및 기초 배합 개발	3,600	9,300 (6,500)
		(2-2) 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 최적화 기술 개발 • 초고강도 발현이 가능한 무시멘트 콘크리트 배합 개발 • 초고강도 무시멘트 콘크리트 특징을 고려한 배합 설계 기술 개발 및 표준 배합식 도출	3,600	
		(2-3) 초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가(역학, 구조성능 등) 및 설계 기술 개발 • 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조 실험 등을 통한 역학 성능 평가 기술 • 초고강도 무시멘트 콘크리트 실험 데이터 기반 구조해석 모델식 개발	2,100	
탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	미활용 산업부산물을 활용한 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발로 건설산업 탄소 중립에 기여	(3-1) 탄소저감 무시멘트 친환경 시멘트 대체재료 개발 • 탄소저감 무시멘트 콘크리트의 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 자극제·혼화제 개발 • 경제성, 친환경성 확보된 무시멘트 콘크리트에 활용 가능한 미활용 대체재료 발굴	3,600	9,300 (6,500)
		(3-2) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발 • 탄소저감 발현이 가능한 무시멘트 콘크리트 배합 개발 • 탄소저감 무시멘트 콘크리트 특징을 고려한 배합 설계 기술 개발 및 표준 배합식 도출	3,600	
		(3-3) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가(역학, 구조성능 등) 및 설계 기술 개발 • 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조 실험 등을 통한 역학 성능 평가 기술 • 탄소저감 무시멘트 콘크리트 실험 데이터 기반 구조해석 모델식 개발	2,100	

중점기술1. 무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화

1. 기술개발 개념 및 범위

(1) 개념

- 시멘트를 사용하지 않고 건설현장 타설이 가능한 40MPa 이상의 강도를 확보하는 상온양생이 가능한 산업부산물을 주원료로 하는 콘크리트의 제조 및 시공에 관련한 기술

(2) 범위

- 고로슬래그 미분말, 플라이애시 등 산업부산물의 반응성을 촉진할 수 있는 광물 자극제 선정 및 이를 활용한 콘크리트 배합설계 기술과 시공에 요구되는 화학혼화제 개발
- 건설 구조물에 적용할 수 있도록 무시멘트 콘크리트 재료 모델 등 특성 규명과 내구적, 역학적 특성을 반영한 구조설계 기준 개발
- 현장적용성 평가를 통한 구조체로서의 신뢰성을 확보할 수 있는 현장 실증

2. 국내외 기술현황

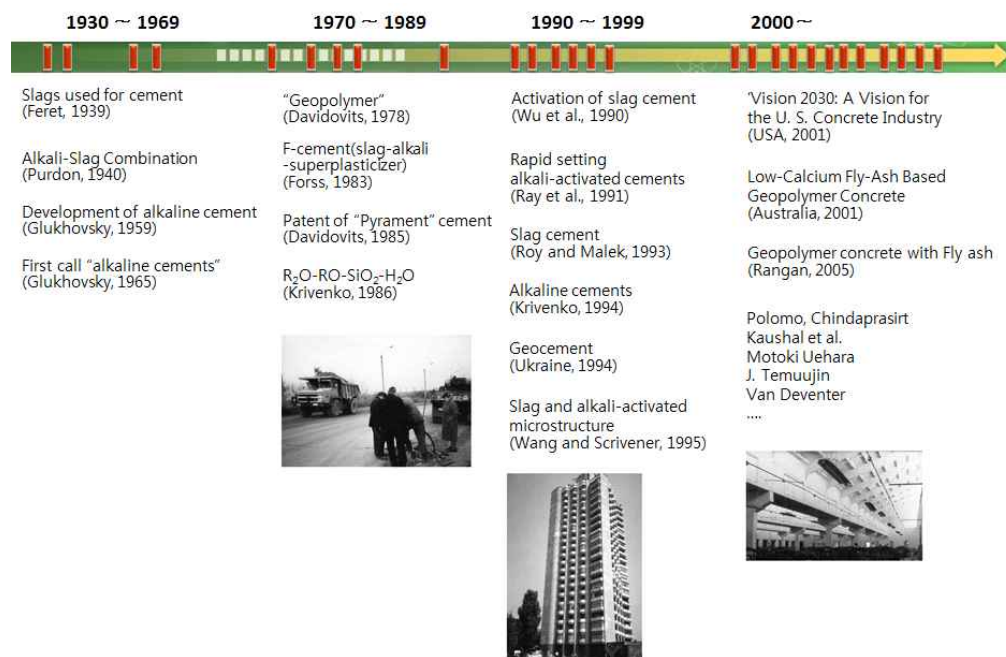
(1) 국내 기술현황

- 한양대 연구진(2006, 2008)은 플라이애시와 바텀애시 등 석탄회 95%와 시멘트 5%로 구성된 결합재를 사용하여 50℃에서 24시간 동안 양생한 결과 재령 7일에서 압축강도 약 18~35MPa 발현
- 전북대학교(2002), 기초소재(2005) 등에서는 고로슬래그 알칼리 활성 콘크리트에 대한 연구가 수행되었으나, 시공성 저하, 응결 제어, 수축 증가 그리고 중성화 촉진 등의 문제점이 나타남
- 전남대 연구진(2008)은 고로슬래그, 분말형 규산나트륨 및 경량골재를 사용하여 제조된 콘크리트의 역학적 특성을 평가. 경량모래를 사용하지 않은 경우에는 91일 강도가 25MPa, 경량모래를 사용한 경우에는 3.4~16.5 MPa로 강도가 상당히 낮고, 건조수축도 크게 발생
- 한국건설기술연구원(2008년)에서는 고로슬래그, 플라이애시, 건식 바텀애시 그리고 고로슬래그와 플라이애시의 조합, 고로슬래그와 건식 바텀애시와의 조합 외에 메타카올린, 석분, 유리분말 등을 활용한 무시멘트 콘크리트 제조방법 연구가 수행
- 고로슬래그 기반 콘크리트에서는 시공성 향상 및 수축 저감 기술, 플라이애시 기반 콘크리트에서는 고온에서 반응성 향상 기술(압축강도 70MPa), 상온에서 강도발현 기술(압축강도 30MPa)을 확보
- 플라이애시의 상온 반응기술은 세계적인 수준으로 본 연구에서 대상으로 하는 바텀애시를 골재로 사용한 것에 대해서도 충분히 적용이 가능할 것으로 판단
- 경상대학교는 재활용 골재를 알칼리 활성화제로 활용함으로써 저시멘트 콘크리트의 경제성과 가능성을 평가하였으나 재료의 특성상 품질 관리가 어려우며 시공 환경에 따라 성능이 크게 달라지는 한계점을 제시

(2) 국외 기술현황

- 1939년 R. Feret에 의해 슬래그가 콘크리트의 혼화재로 처음 사용되었고, 1940년 Purdon이 고로슬래그 미분말과 알칼리의 반응에 관련된 논문을 발표하면서 산업부산물의 재활용 가능성을 보였고, 1959년에 Glukhosky가 최초로 알칼리성 시멘트의 이론 개발

- 산업부산물 다량 혼합 콘크리트는 세계 최초로 1978년 Davidovits가 카올리나이트 광물질을 사용하여 중합반응(polymerization)에 의해 제올라이트와 유사한 구조로 개발
- 2000년대 이후 환경문제가 사회적으로 이슈화됨으로써 2001년 미국에서는 'Vision 2030: A Vision for the U. S. Concrete Industry'에서 친환경 콘크리트를 만들기 위한 계획을 발표하면서 본격적인 연구를 시작하였고, 호주에서는 2001년부터 'Low-Calcium Fly-Ash Based Geopolymer Concrete' 프로젝트를 수행하기 시작하여 개발, 제조, 활용기술 개발을 목표로 활발한 연구가 진행
- 호주 Monash대학의 Sanjaya 교수팀은 50~70MPa의 고로슬래그 활성 콘크리트를 개발하였으나 작업성 유지시간이 1시간 이내로 짧아 현장 타설에 어려움이 있음. Curtin 대학의 Rangan 교수팀은 플라이애시를 기반으로 하여 소듐실리케이트와 NaOH로 구성된 활성화제를 사용하고 90℃ 정도의 고온양생을 걸쳐 압축강도 30~70MPa가 발현된 지오폐리머 콘크리트가 개발
- 일본의 야마구치대학의 Ikeda 교수는 플라이애시 등의 활성 필러, 석영 및 산화철 등의 비활성 필러 그리고 소듐실리케이트 등의 알칼리 활성화제를 이용하여 상온양생으로 20~30MPa의 지오폐리머 콘크리트를 개발하여, 습도 및 온도 조절 기능을 가진 건설재료를 활용하는 기술을 개발



[그림 3-11] CO2 저감 건설재료의 연구동향(Coin Project Report 37, SINTEF, 2011)

3. 기존기술의 한계와 극복방안

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

<표 3-14> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 현장타설 기술 개발	• 품질 관리의 어려움 • 액상형 알칼리 자극제의 높은 CO₂ 배출량 • 급결 특성으로 인한 낮은 작업성 • 무시멘트 콘크리트 구조물 적용을 위한 관련 규정 미반영	• 제조 가이드라인 제시 • 분말형 자극제 활용 • 전용 화학혼화제 사용을 통한 작업시간 확보 • 구조물 시공을 위한 관련 규정 제·개정

□ 한계점 및 주요이슈 1 : 원재료 화학조성 및 활성화제 종류에 따라 달라지는 품질

- 기존 무시멘트 콘크리트는 복잡한 반응 메커니즘으로 인해 원재료 화학조성, 활성화제 종류, 사용량에 따라 영향을 크게 받으며, 콘크리트 품질 및 재현성 확보 어려움
 - 무시멘트 콘크리트의 결합재는 일반적으로 산업부산물이며, 시멘트와 같은 방식의 취급으로는 품질관리가 어려움
 - 결합재 재료 특성 및 양생조건에 따른 표준 배합식의 부재로 인해 실용성이 낮음

□ 한계점 및 주요이슈 2 : 액상형 알칼리 자극제의 까다로운 활용 조건

- 양생 환경에 따른 활성화제의 결정화로 인해 콘크리트의 백화 현상 및 경도 저하가 발생하여 콘크리트의 탈락 현상이 나타날 가능성이 있음
 - 고연성-고강도 등 고성능 무시멘트 복합재료 연구에 사용된 활성화제는 대부분 액상형의 규산 나트륨이기에 최소 24시간의 고온양생 과정이 필요하므로 이에 시공성이 좋지 않고 양생에 추가적인 비용 및 에너지 사용 등의 문제 야기
 - K- 및 Na-계 강알칼리 자극제 활용 기술 개발로 상용화 제한
 - 전구체(precursor)의 반응성이 자극제의 pH와 선형적 관계를 갖는 특성을 활용하여 높은 pH를 갖는 K- 및 Na-계열 자극제 중심 기술 개발로 현장 사용에 위험성이 존재
 - 알칼리 계열 자극제의 높은 흡수성 특성으로 액상형 자극제를 사용한 무시멘트 결합재 개발이 주를 이루었으나 콘크리트 제조 단계에서의 액상 자극제의 취급 문제로 상용화가 제한
 - 강알칼리 자극제는 생산과정에서 이산화탄소 배출 등 환경부하가 높아 기존 시멘트 기반 콘크리트의 친환경적 대안으로 볼 수 없음

□ 한계점 및 주요이슈 3 : 무시멘트 콘크리트의 급결 특성으로 인한 작업 유지시간 부족 및 유동성 확보의 어려움

- 고로슬래그나 플라이애시를 자극하기 위한 알칼리계열 자극제의 사용으로 기존 화학혼화제의 작동 불능 현상이 발생하며 급결 특성 존재
 - 과반 이상의 시멘트를 기타 결합재로 대체한 콘크리트는 재료분리, 점성 증가 또는 작업성 저하 등으로 인해 유동성 확보가 어렵고 이는 시공성능의 저하
 - 무시멘트 콘크리트 현장적용을 위한 시공성능(펌핑, 타설, 양생, 유동성) 확보 기술 개발 필요
- 전용 화학혼화제가 없어 품질 최적화가 불가하며, 활성화제 사용으로 경제성 저하 또한 우려

□ 한계점 및 주요이슈 4 : 신규 건설재료에 대한 규정 미반영

- 기존 원재료(고로슬래그 및 플라이애시 등)의 공급 감소로 인해 이외의 새로운 시멘트 대체재료(제강 슬래그, 폐콘크리트 미분말 등) 발굴 필요
- 현재 “콘크리트 구조 설계(강도설계법)”에는 무시멘트 콘크리트를 사용하기 위한 재료가 미반영
- 국내 KS L 5210[고로 슬래그 시멘트] 기준은 슬래그 함유율에 따라 3종으로 구분되며 최대 고로 슬래그의 함유율을 70% 이하(3종)로 제한

□ 한계점 및 주요이슈 5 : 무시멘트 콘크리트 적용 구조물의 설계 규정(안전성, 사용성, 내구성)은 미비

- 전세계적으로 무시멘트 콘크리트에 대한 안전성, 사용성, 내구성 기준 제시 사례는 없음
 - 무시멘트 콘크리트는 OPC 콘크리트와 비교하여 강도 발현 경향이 다르며 동일 강도수준에서 일반적으로 낮은 탄성계수를 갖고 있어 설계 및 시공 시 이를 반영 필요
 - 무시멘트 콘크리트를 위해 노력하고 있는 유럽의 경우 OPC 함량을 극단적으로 줄인 CEM III/C (시멘트 함량 최소 5%), CEM V/B (시멘트 함량 최소 20%)까지는 기준을 제정 : EN 197-1 기준
 - 현재 내구성과 관련한 세계적 기준인 ACI 318, EC2, fib MC2010 등에서는 대량으로 혼화제를 사용한 OPC 기반 결합재에 대해 일부만 내구성 설계를 허용
 - 영국 기준에서 “PAS 8820:2016 Construction materials. Alkali-activated cementitious material and concrete. Specification” 제정
 - 일본 토목학회에서 “혼화제를 대량으로 사용한 콘크리트 구조물의 설계 시공지침(안)” 제정 (2018), ”자료편“에 일부 내구성 검토 내용만 추가

□ 한계점 및 주요이슈 6 : 시멘트를 적게 사용하는 LC3 시멘트에 대해서 유럽과 인도 등에서 다양한 실구조물 수준의 내구성 평가가 진행 중

- 탄산화 깊이/염해/동결융해 결과를 고려한 합리적인 내구성 평가 사례가 없으며, 실험실 수준의 단편적인 결과만 존재
 - 무시멘트 콘크리트는 OPC 콘크리트와 비교하여 일반적으로 Ca(OH)_2 함량이 낮아 콘크리트 내부 pH가 낮게 유지되어 탄산화, 철근부식 등에 취약할 수 있어 검토가 요구
 - 현장 노출조건에서 발생하는 복합열화에 대한 충분한 데이터가 부재
 - KICT, KCL 등은 고내산성 무시멘트 콘크리트를 개발하여 고내산성이 필요한 축사 바닥재, 하수관 등 비구조 콘크리트 제품의 시험 생산에 성공하였으나 구조용으로 사용하는 경우는 매우 드문 상황
- 현재의 기준에 따르면, 별도의 가이드라인 없이 모든 내구성 및 장기거동 특성을 실험을 통해 사전에 확인 후 설계와 시공에 사용해야 하며 이는 시간적, 비용적으로 비효율을 야기

배합조건, 환경 등에 따라 ①재현성이 현저히 떨어지며, 경화 메커니즘 및 환경에 따라 ②탄산화 속도 증가, ③상온에서의 강도발현 저하, 양생 환경에 따라 활성화제의 결정화 현상에 따른 ④백화 현상, ⑤경도 저하에 따른 탈락, 콘크리트 공기량 미확보 등에 의한 ⑥동결융해 저항성 저하 등 다양한 문제 존재

(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안 1 : 분말형 자극제 활용 무시멘트 콘크리트 기술 개발

- 콘크리트 제조 단계에서 액상형 자극제 사용으로 발생하는 공정상의 제한사항 및 안전 문제 해결
- 액상형 자극제 생산으로 발생하는 열, 폐수 등의 환경부하를 저감하고 One-part 결합재 시스템

으로 공정투자 비용 절감

□ **극복방안 2 : Ca-계 자극제를 활용한 무시멘트 콘크리트 기술 개발**

- 알칼리계열 자극제보다 낮은 pH를 갖는 Ca-계 자극제(CaO, CSA, Ca(OH)₂ 등)의 활용으로 일반 OPC 콘크리트와 유사한 독성 유지 및 제조 공정 작업자 안전 확보

□ **극복방안 3 : 급결 특성 완화를 통한 작업 유지시간 확보 및 유동성 개선**

- 분말형 자극제의 활용은 고온양생 과정을 단축하거나 생략함으로써 시공성을 향상시키고 비용 절감 가능
- 작업성 유지시간 확보를 통한 효율적이며 경제적인 제조 과정을 가능
- 고성능 감수제, AE공기연행제와 같은 전용 화학혼화제를 개발하여 기존 무시멘트 콘크리트의 급결 특성을 완화하고 유동성을 확보 가능

□ **극복방안 4 : 콘크리트 규정 제·개정을 통한 실용화 기반 마련**

- 무시멘트 콘크리트 특성을 반영한 구조설계 기준 마련을 위한 다양한 실험 및 검증을 통한 실험 데이터 확보
- 설계기준, 시방서, KS규격 등 새로운 건설재료의 구조물 적용을 위해 규정 제·개정

□ **극복방안 5 : 안전성(재료모델, 휨, 전단, 압축, 비틀림 등)에 대한 설계 해석방법 제시 및 실험검증**

- 알칼리 활성 결합재(AAMs)의 선형탄성계수(linear elastic modulus, E)와 부피탄성계수(Bulk modulus, K)의 관계는 시멘트 기반 재료의 특성과 다르며, 이로 인해 압축의 비선형 거동(nonlinear strain-stress relationship)에 대한 새로운 제안이 필요
- 재료적 비균일성 및 품질편차를 고려해 휨, 전단, 압축, 비틀림 설계를 위한 상수(부분안전계수, 강도감소계수) 등에 대한 전반적인 재정립이 필요

□ **극복방안 6 : 사용성(재료모델, 균열, 처짐, 진동 등)에 대한 설계 해석방법 제시 및 실험검증**

- 알칼리 활성 결합재(AAMs)는 OPC와 수화물 구성 및 내부 수분 이동특성이 다르기 때문에 매트릭스의 장기거동(균열, 처짐)이 기존과 전혀 다를 수 있음, 특히 활성화제 종류에 따라 (자기/건조)수축량과 크리프량이 월등하게 차이 발생
- 무시멘트 콘크리트에 대한 피로거동 실험사례가 매우 드물기 때문에, 기존의 진동하중 대비 콘크리트 거동에 대한 전반적인 재검토가 필요

□ **극복방안 7 : 내구성(염해, 중성화, 동결융해 저항성 등) 설계 해석방법 제시 및 실험검증**

- 무시멘트 콘크리트의 내구성의 우수성에 대한 증거는 이미 많이 제시되어 있으며 경우에 따라 내구수명 예측을 진행한 사례도 존재함, 그러나 타당한 내구성 설계기법의 제안 사례가 없기 때문에 대부분의 보고에 신뢰성이 적음
- 낮은 Ca(OH)₂ 생성량 및 저 pH 환경에서 탄산화 및 철근부식에 취약할 수 있어 탄산화 저항성 확보 및 철근부식 방지를 위한 기술개발 필요

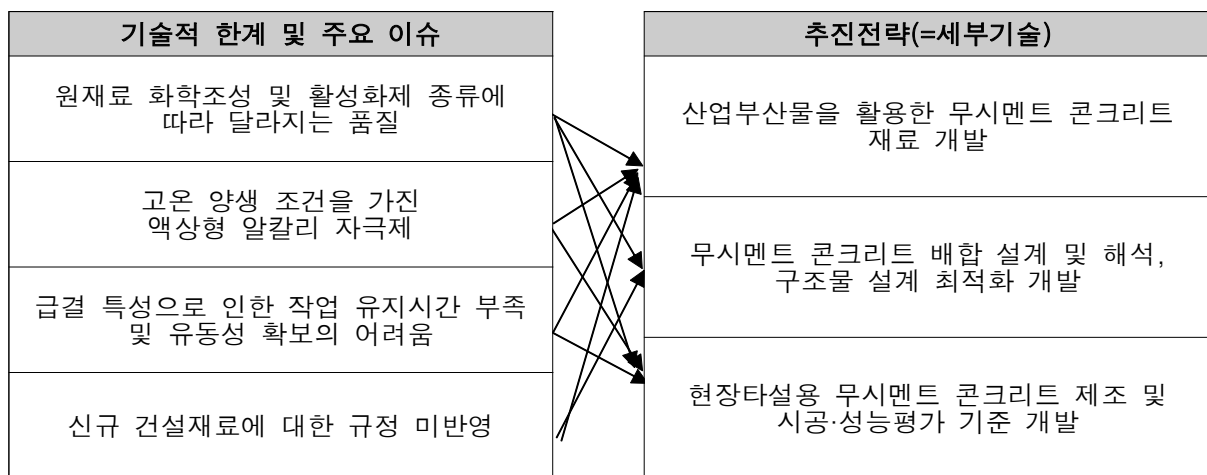
□ **극복방안 8 : 무시멘트 콘크리트의 특성을 반영한 재료 및 구조 모형 개발**

- 무시멘트 콘크리트의 미세구조 특성 및 기존 콘크리트와의 특성 차이를 반영한 재료 모형 혹은 기존 모델식에 적용 가능한 보정계수 개발
- 무시멘트 콘크리트의 화학적 열화 메커니즘을 반영한 내구성 추정 모형 개발
- 무시멘트 콘크리트의 재료 특성을 반영한 시간의존거동 및 구조거동 모형 개발
- 통계적 방법을 활용한 기준용 데이터 베이스 구축

- OPC에 비해 월등히 부족한 데이터베이스를 구축할 수 없기 때문에, 이를 극복하기 위한 확률론적 시뮬레이션이 필요함(예: 몬테카를로 시뮬레이션 등)
- 내구성 설계를 위한 무시멘트 콘크리트 배합비 한계 및 철근피복두께 결정
 - 내구성 설계를 위한 1)임계염화물량(C_c), 혹은 2) 부식개시 조건에 대한 기본연구 사례가 부족
 - 피복두께 결정을 위한 염소이온확산계수(D_{cl})와 탄산화속도계수(k), 안전계수 등에 대한 데이터가 부족하므로 현재의 기술로는 내구성 설계 자체가 불가능함
- 무시멘트 콘크리트를 위한 성능기반 내구성 설계 사례 제안
 - 성능기반내구설계 시 기준 조건 중 하나인 장기사용성 검증 실험이 필요함
 - 국내 다수 존재하는 야외폭로 환경 노출 실험을 진행

4. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출



□ 전략 1 : 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 배합 개발

- 분말형 자극제 활용을 통한 범용성 증진 및 무시멘트 콘크리트 전용 화학혼화제 개발
- 품질변동성을 고려한 배합 가이드라인 제시

□ 전략 2 : 무시멘트 콘크리트 재료 모델 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발

- 건설구조물 적용을 위한 실험데이터 기반 무시멘트 콘크리트 구조설계 기준(안) 개발
- 40MPa 이상급 레미콘 타설용 배합 도출 및 성능평가를 통한 현장적용성 확보

□ 전략 3 : 현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발

- 현장실증을 통한 시공사례 확보 및 실증구조물 모니터링을 통한 유지관리매뉴얼 개발

□ 최종목표

**기존 개발기술의 한계를 극복하기 위해 자극제/혼화제 개발을 통해
무시멘트 콘크리트 안정적인 성능확보 및 현장타설용 실용화 기반 마련**

□ 최종산출물

- 기존 원재료(고로슬래그 및 플라이애시 등)를 활용한 40MPa 이상 강도를 확보한 현장타설용 콘크리트

- 기존 대표적인 액상형 알칼리계열 자극제(NaOH, KOH, Na₂SiO₃, K₂SiO₃)에서 탈피한 분말형 자극제(CaO, CSA, Ca(OH)₂ 등) 기반 무시멘트 콘크리트 개발
- 무시멘트 콘크리트를 통해 결합재의 이산화탄소 배출량을 약 84% 절감 가능 (시멘트를 10% CaO + 90% 고로슬래그 미분말 기반 무시멘트로 대체시)
- 고성능 감수제, AE공기 연행제 등 무시멘트 콘크리트 전용 화학혼화제 개발
- 무시멘트 콘크리트 특성 반영 재료 모델 및 내구성 평가 방법
- 실험데이터 기반 구조설계 모델 개발 및 기준(안)
- 현장 실증을 통한 실용화 기반 기술

□ 성과지표 및 목표

<표 3-16> (중점기술 1) 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표		목표치
산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 재료 개발	상온양생 기준 압축강도		40MPa 이상
	일반 콘크리트 대비 동일 성능 확보		슬럼프 150~210mm 작업유지시간 2시간
	내구특성	염소이온확산계수	2.0×10^{-12} m/s 이하
		동결융해 저항성	80% 이상
	기존 대비 탄소배출량 저감		기존 대비 탄소배출량 약 50% 저감 (탄소배출계수 2.61E+02 kgCO ₂ /m ³ 이하)
무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발	현장타설용 무시멘트 콘크리트 구조설계기준(안)		1건 이상
현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발	현장타설 구조물(SOC/건축) 현장실증		2건 이상
	유지관리 매뉴얼 및 지침		1건 이상

5. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

<표 3-17> (중점기술 1) 세부기술 구성(안)

중점분야	세부기술
무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화	산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 재료 개발
	무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발
	현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발

□ 세부기술 1 : 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 배합 개발

- 기술개발 필요성
 - 무시멘트 콘크리트는 배합조건, 환경 등에 따라 재현성이 현저히 떨어지며, 경화 메커니즘 및 환경에 따라 탄산화 속도 증가, 상온에서의 강도발현, 양생 환경에 따라 활성화제의 결정화 현상에 따른 백화 현상 및 경도 저하에 따른 탈락 등, 콘크리트 공기량 미확보 등에 의한 동결 융해 저항성 저하 등 다양한 문제 존재
 - 기존 알칼리 활성화제를 활용한 무시멘트 콘크리트의 경우 급결 특성이 있으며, 무시멘트 콘

크리트의 구조물 활용을 위해서는 시공성능 개선이 필요

- 다양한 환경의 현장에서 무시멘트 콘크리트가 구조 부재로써 활용되기 위해서는 콘크리트 품질의 일관적인 관리가 필수적이므로 콘크리트에 사용되는 결합재의 품질 보증과 불확실성을 극복하기 위한 연구가 필요
- 고로슬래그, 플라이애시, 철강슬래그, 폐콘크리트 미분말 등과 같은 탄소저감 소재들의 한계점 (재료분리, 높은 점성)을 해결할 수 있는 전용 화학혼화제가 없어 품질 최적화가 불가하며, 활성화제 사용으로 경제성 저하 또한 우려
- 일반 콘크리트 내구성 평가법 준용으로 무시멘트 콘크리트의 특성을 고려한 내구성 평가 및 수명예측이 이루어지지 않음

○ 기술동향

- LC3 시멘트 개발 등 선진국에서는 저탄소 콘크리트 개발을 위해 노력 중
- 세계 각국에서는 시멘트를 사용하지 않는 무시멘트 콘크리트를 개발하여 사업화 추진 중
- 국내 연구진들은 고로슬래그 미분말 기반 무시멘트 콘크리트를 개발하여 구조물 시작품 생산

○ 주요 연구개발 내용

- 새로운 자극제 기반 고로슬래그, 플라이애시 활용 상온양생 무시멘트 콘크리트 개발
- 무시멘트 콘크리트 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 화학혼화제 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 현장타설용 무시멘트 콘크리트 원천 확보 기술 개발
 - 무시멘트 콘크리트 전용 화학혼화제 기초 기술 연구
 - 무시멘트 콘크리트 기반 분말형 자극제(CaO, CSA, Ca(OH)₂ 등) 적용 연구
- (2차년도) 현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 기술 개발
 - 재료분리, 점성과다를 해결할 수 있는 전용 화학혼화제 도출
 - 하이브리드 자극제 기반 무시멘트 콘크리트의 시공성능 확보
 - 압축강도 40 MPa급 고강도 무시멘트 콘크리트 배합 개발
- (3차년도) 현장타설용 무시멘트 콘크리트 성능 평가 기술 개발
 - 전용 화학혼화제 최적화 및 시작품 도출
 - 시공성능을 확보한 자극제 최적화 및 시작품 도출
 - 레미콘 적용을 위한 요구(제조, 시공 등) 조건 도출 및 배합 최적화
- (4차년도) 현장타설용 무시멘트 콘크리트 현장 실증 및 실용화 기술 개발
 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 배합설계 가이드라인(안) 제시
 - 레미콘 대상 무시멘트 콘크리트 제조 지침(안) 제시

○ 최종성과물

- 무시멘트 콘크리트 전용 화학혼화제
- 무시멘트 콘크리트 전용 분말형 자극제 개발
- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 배합설계
- 시공성능을 확보한 무시멘트 콘크리트 제조 기술 개발 (작업성 등)

□ 세부기술 2 : 무시멘트 콘크리트 재료 모델 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발

○ 기술개발 필요성

- 무시멘트 콘크리트 실용화를 위한 근본적인 설계기준 검토가 이루어져야 건설현장에 적용이 가능하며, 이를 위한 실험결과 기반 구조특성 및 기준(안) 도출 필요

- 현재 시멘트 기반 수화반응을 고려한 구조 특성 평가를 기반으로 설계기준이 마련되어 현재 사용 중에 있으나, 수화반응이 아닌 화학반응 개념 무시멘트 콘크리트의 특성을 반영한 구조 실험은 거의 없는 실정임.

○ 기술동향

- 삼성물산(2022)은 탄소중립 실현의 일환으로 고로슬래그 미분말 기반의 무시멘트 콘크리트를 개발하여 한국콘크리트학회(KCI) 기술인증 획득

○ 주요 연구개발 내용

- 현장 타설용 무시멘트 콘크리트 재료모델, 내구성 해석 방법
- 구조실험을 통한 데이터 기반 설계 모델 및 기준(안)

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 상온 양생 무시멘트 콘크리트 특성 연구
 - 기존 시멘트 기반 수화모델 분석 및 무시멘트 화학반응과의 비교 검토
 - 자극제 종류에 따른 무시멘트 콘크리트 화학 반응 모델 분석
 - 상온양생 무시멘트 콘크리트 구조요구 성능 분석
- (2차년도) 상온 양생 무시멘트 콘크리트 역학 성능 평가
 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 재료 특성 모델 실험 및 평가
 - 무시멘트 내구성 평가 방법 실험 및 평가
 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 재료 특성(탄성계수, 크리프 등) 실험 및 모델 도출
 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 구조 특성 실험을 위한 설계
- (3차년도) 상온 양생 무시멘트 콘크리트 구조 성능 평가
 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 재료 특성 모델 도출
 - 무시멘트 내구성 해석 방법 도출
 - 압축강도 40MPa급 구조(휨, 전단, 부착 등) 실험 및 모델 도출
- (4차년도) 상온 양생 무시멘트 콘크리트 실용화 기반 기술 개발
 - 실험데이터 기반 상온양생 기반 무시멘트 콘크리트 구조 설계 기준(안)
 - 실험데이터 기반 상온양생 기반 무시멘트 콘크리트 구조 설계 가이드라인(안)
 - 산업부산물 및 자극제 종류에 따른 기존 콘크리트 대비 탄소배출량 저감 분석

○ 최종성과물

- 상온 양생 기반 무시멘트 콘크리트 화학 반응 모델(재료, 내구성, 구조 등)
- 실구조물 시공이 가능하도록 무시멘트 콘크리트 설계기준(안) 및 시방서 제·개정(안)

□ 세부기술 3 : 현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발

○ 기술개발 필요성

- 그 동안 산업부산물을 활용한 저시멘트 콘크리트 개발은 일부 목업 수준에서 검토가 이루어졌으나, 실제 건설 현장에서 무시멘트 콘크리트 적용을 위한 레미콘 타설은 개발이 전혀 이루어지지 않고 있음.
- 또한, 시멘트를 사용하지 않는 콘크리트의 친환경성을 입증하는 탄소배출량에 대한 검토는 일부 이루어졌으나, LCA 평가 기반한 탄소배출계수 등의 검증기관을 통한 연구는 이루어지지 않고 있음.

○ 기술동향

- 현재 “콘크리트 구조 설계(강도설계법)” 에는 무시멘트 콘크리트를 사용하기 위한 재료가 미반영

- 무시멘트 콘크리트에 대한 개발 연구가 국내·외에서 다양하게 수행되었으나, 무시멘트 콘크리트 적용 구조물의 설계 규정(안전성, 사용성, 내구성)은 미비

○ 주요 연구개발 내용

- 적용 구조물 대상 콘크리트 사용 적합성(열적 특성 등) 연구
- 무시멘트 콘크리트 대상 구조물 설계 및 해석
- 무시멘트 콘크리트 목업, 현장 실증 및 검증 보고서
- 상온양생 무시멘트 콘크리트 탄소배출량 평가 및 분석 보고서

○ 연차별 연구개발 내용

- (2차년도) 상온 양생 무시멘트 콘크리트 적용 구조물 연구
 - 상온양생 무시멘트 콘크리트 적용 구조물 선정 및 검토
 - 일반 콘크리트 탄소배출량 평가 방법 및 분석
- (3차년도) 상온 양생 무시멘트 콘크리트 구조 설계 및 해석
 - 무시멘트 콘크리트 사용 적합성(열적 특성 등) 실험 및 검토
 - 무시멘트 콘크리트 탄소배출량 평가 방법 및 분석
 - 무시멘트 콘크리트 특성을 반영한 선정 구조물 구조 설계 및 해석
- (4차년도) 상온 양생 무시멘트 콘크리트 현장 실증 및 탄소배출량 평가
 - 무시멘트 콘크리트 현장 실증 및 검증 보고서
 - 적용 무시멘트 콘크리트의 기존 콘크리트 대비 탄소배출량 저감 분석

○ 최종성과물

- 무시멘트 콘크리트 대상 구조물 설계
- 무시멘트 콘크리트 대상 구조물 현장 실증 및 검증보고서
- 무시멘트 콘크리트 탄소배출량 평가 및 분석 보고서

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 3-18> 무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화 목표

주요 기술명	주요 성능	성능수준		기술개발 목표수준
		국외	국내	
산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 재료 개발	상온양생 기준 압축강도	40 MPa	-	40 MPa
	슬럼프	50~100 mm	50~100 mm	150~210 mm
	작업성 유지시간	1시간 이내	1시간 이내	2시간 이내
	염소이온 확산계수	-	-	2.0×10^{-12} m/s 이하
	동결융해 저항성	80	80	80% 이상
	탄소배출량	-	2.61E+02 kgCO ₂ /m ³	1.31E+02 kgCO ₂ /m ³ 이하
무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발	구조설계기준(안)	O	X	1건 이상
현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발	현장타설 구조물(SOC/건축) 현장실증	O	X	2건 이상
	유지관리 매뉴얼	X	X	1건 이상

<표 3-19> (중점기술 1) 무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화 산출물 목표

중점기술명	세부기술명	산출물				세부기술 목표	중점기술 목표
		‘25	‘26	‘27	‘28		
무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화	산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 배합 개발	- 무시멘트 콘크리트 전용 자극제 및 화학혼화제 적용성 평가 보고서	- 무시멘트 콘크리트 전용 자극제 및 화학혼화제 적용성 평가 보고서 - 현장타설용 40MPa급 무시멘트 콘크리트 제조 가이드라인(안)	- 무시멘트 콘크리트 전용 자극제 시작품 - 무시멘트 콘크리트 전용 화학혼화제 시작품 - 현장타설용 40MPa급 무시멘트 콘크리트 배합	- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 배합설계 가이드라인(안) - 레미콘 대상 무시멘트 콘크리트 제조 지침(안)	현장타설이 가능한 무시멘트 콘크리트 제조 기술	기존 개발기술의 한계를 극복하기 위해 자극제/혼화제 개발을 통해 무시멘트 콘크리트 안정적인 성능 확보 및 현장타설용 실용화 기반 마련
	무시멘트 콘크리트 재료 모델 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발	- 상온양생 무시멘트 콘크리트 구조요구성능 검토 보고서	- 상온양생 무시멘트 콘크리트 재료 특성 모델 및 실험 분석 보고서	- 상온양생 무시멘트 콘크리트 내구특성 모델 - 상온양생 무시멘트 콘크리트 구조 실험보고서	- 상온양생 무시멘트 콘크리트 구조 가이드라인(안) - 상온양생 무시멘트 콘크리트 구조 설계지침(안)	무시멘트 콘크리트 적용이 가능한 구조설계 가이드라인(안) 및 지침(안) 개발	
	현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발		- 적용구조물 선정 및 시공 분석 보고서	- 상온양생 무시멘트 콘크리트 열적특성 검토 보고서	- 상온양생 무시멘트 콘크리트 현장실증 보고서	현장타설이 가능한 무시멘트 콘크리트 현장 실증을 통한 신뢰성 확보	

(3) 유사과제와의 차별성 및 연계성

□ 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

○ 유사 연구과제와의 차별성

- 액상형 알칼리 활성화제 대체용 하이브리드 활성화제 사용을 통한 차별성 확보
- 무시멘트 콘크리트 전용 화학혼화제의 개발 및 활용을 통한 차별성 확보
- 기존 기술을 넘어 시공조건(운송 등)을 고려한 현장타설용 무시멘트 콘크리트 개발
- 개발 재료의 설계기준 제·개정 및 현장실증 등을 통한 실용화 방안 제시를 통한 차별성 확보

○ 유사 연구과제와의 연계성

- 무시멘트 콘크리트의 성능 향상 및 품질 관리 향상 측면에서의 연계
- 무시멘트 콘크리트의 유동성 향상 및 작업성 개선 측면에서의 연계
- 선진 건설재료 개발을 통한 국제적인 경쟁력 확보 측면에서의 연계

<표 3-20> (중점기술 2) 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업 주관기관	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
식물추출 알칼리 중해액을 이용한 저비용 고강도 무시멘트 콘크리트의 개발에 관한 연구(2020-2023)	부산 대학교	식물로부터 추출한 실리카를 활용하여 60MPa급 고강도 콘크리트의 최적 배합설계 및 내구성 실험 진행	-분말형 알칼리 활성화제 사용을 통한 차별성 확보 -고강도 무시멘트 콘크리트의 품질 관리 가이드라인 제시를 통한 품질 향상 측면에서의 연계
탄소중립형 고성능 무시멘트 콘크리트 및 구조적용 기술 개발 (2021-2023)	울산 과학 기술원	고강도/고인성 무시멘트 콘크리트의 스마트양생 (전기양생+내부양생), hybrid 비파괴평가 기술 및 성능기반설계 기술 개발	-전용 화학혼화제의 개발 및 활용을 통한 차별성 확보 -고인성 무시멘트 콘크리트의 유동성 향상 기술 개발을 통한 시공효율 증진 측면에서의 연계
산업부산물 활용 무시멘트 메타콘크리트 및 구조체 적용 기술 개발 (2023-2032)	울산 과학 기술원	산업부산물들을 활용하여 진동감쇠율 20%, 흡음율 5dB 향상 및 50 MPa 이상의 압축강도를 확보한 무시멘트 메타콘크리트 개발	-선진 건설재료의 설계기준 및 시방서 제·개정 등 실용화 방안 제시를 통한 차별성 확보 -선진 건설재료 개발을 통한 국제적인 경쟁력 확보 측면에서의 연계

(4) 기대효과 및 파급효과

□ 과학기술적 효과

- 학문적으로 세계 최초의 초고성능 및 고강도-고연성 무시멘트 복합재료 개발을 통해 국내 연구
진의 관련 분야 선도 가능
- 성능기반 설계 패러다임의 변화에 대응하여 설계의 자유도를 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 친
환경과 고성능 재료의 필요에 따른 세계적인 건설산업의 요구에 대응이 가능
- 시멘트의 사용을 거의 하지 않는 무시멘트 콘크리트 제조가 가능하여 탄소발생량이 최대한으로
감소하는 구조부재 제조 가능
- 고로슬래그, 플라이애시, 철강슬래그, 폐콘크리트 미분말 등과 같은 탄소저감 소재들의 전용 화
학혼화제를 적용하여 저탄소 콘크리트 구조부재 제조 가능

□ 사회경제적 효과

- 현장타설 뿐만 아니라 프리캐스트 또는 3D 프린팅 재료로 활용 가능
- 각 시멘트 대체 소재의 특성에 맞는 전용 화학혼화제를 사용하여 설계기준에 맞는 저탄소 배합
으로 무시멘트 콘크리트 제조 가능

중점기술2. 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발

1. 기술개발 개념 및 범위

(1) 개념

- 시멘트를 사용하지 않고 100MPa 이상의 강도를 확보하는 미활용 산업부산물 기반 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발에 관련한 기술

(2) 범위

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 무시멘트 콘크리트 시멘트 대체재료 및 자극제 혼화제 개발
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조물 설계 및 성능평가 기술 개발

2. 국내외 기술현황

(1) 국내

- 철도연(2023)은 산업부산물만을 활용하여 압축강도 80MPa 이상의 ‘시멘트 제로 콘크리트 철도 침목’ 개발 기존 콘크리트 침목 대비 이산화탄소 배출량 25% 수준으로 탄소중립 실현에 기여
- 연세대학교는 압축강도 150MPa 이상의 무시멘트 초고성능 콘크리트 배합 개발을 하였으나 기존 알칼리활성화제의 사용으로 인해 급결하는 문제점이 있으며, 따라서 프리캐스트 제품 등 활용처가 제한적
- 부산대학교는 식물로부터 추출한 실리카를 활용하여 저비용 고강도 무시멘트 콘크리트를 개발하였으나 이와 관련한 실용화 방안 혹은 품질 관리 방안은 아직 연구 중인 상태
- 경상대학교는 재활용 골재를 알칼리 활성화제로 활용함으로써 저시멘트 콘크리트의 경제성과 가능성을 평가하였으나 재료의 특성상 품질 관리가 어려우며 시공 환경에 따라 성능이 크게 달라지는 한계점을 제시
- 한국건설기술연구원(2019)은 독일과 국제공동연구를 통해 시멘트 대체 무시멘트 모르타르와 텍스타일 그리드 보강재를 활용한 고성능 건설자재 및 보수보강 공법을 개발해 하수암거 보수공사에 시험 시공

(2) 국외

- 2010년 Motoki Uehara연구팀은 플라이애시를 규산칼륨로 활성화시켜 압축강도 70MPa의 친환경 철도침목을 개발하였고, JIS E 1202(Prestressed concrete sleepers Post tensioning type)에서 규정하고 있는 성능을 만족하여 시제품을 생산
- 일본 Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd.는 저발열-저수축 특성을 보유한 무시멘트 콘크리트 구조체의 품질 평가 방안을 제시하였으나 양생 온도를 비롯한 시공성 관련 제약을 해결하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 밝힘
- 유럽은 시멘트를 5%만 사용하는 배합을 허용하며, 미국은 혼합시멘트 무게의 95%까지 고로슬래그 미분말 사용을 허용하는 탄소저감 콘크리트 기술 관련 기준을 마련
- 현재 고로슬래그계 무시멘트 콘크리트 제조기술의 최고 기술보유국은 호주이고, 석탄회계와 천연재료계는 프랑스이고 구조부재 활용기술은 프랑스, 호주로서 전반적으로 무시멘트 콘크리트에 대한 최고 기술보유국은 프랑스와 호주로 분석되나, 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 사용하지 않은 무시멘트 콘크리트의 개발과 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트의 개발은 미진

3. 기존기술의 한계와 극복방안

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

<표 3-21> 중점기술2 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	- 고연성·고강도 콘크리트 개발은 포틀랜드 시멘트를 기반으로 개발이 진행되고 있으며, 무시멘트 콘크리트 기반의 고연성·고강도 콘크리트 개발은 미진 - 거의 대부분의 무시멘트 콘크리트는 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 전구체로 사용한 기술 개발 - 무시멘트 콘크리트의 특성을 반영한 성능평가 기술이 미비	- 급결, 발열 등 고강도화로 인해 발생할 수 있는 문제점을 해결한 자극제 개발로 고연성·고강도 무시멘트 콘크리트 개발 - 원재료의 물리·화학적 특성 분석을 통해 원재료 특성에 적합한 맞춤형 자극제 및 양생기법 도출 - 무시멘트 콘크리트 유지보수 매뉴얼 마련

□ 한계점 및 주요이슈 1 : 무시멘트 콘크리트 기술개발 담보상태로 혁신 기술개발이 제한적

- 무시멘트 콘크리트 급결, 발열 등의 문제로 고강도화 제한적
 - 고강도 무시멘트 콘크리트 개발을 위해 전구체의 반응성을 극대화하여야 하며 이를 위해 고 pH 환경을 제공할 수 있는 강알칼리의 자극제 도입이 요구됨
 - 실험실 규모에서 고강도 무시멘트 콘크리트 개발이 이루어지고 있으나 고 pH 환경으로 인한 높은 발열 및 콘크리트 급결현상 발생으로 시공성이 확보된 고강도 무시멘트 콘크리트의 개발은 미진함
 - 시공성이 확보된 고강도 무시멘트 콘크리트의 개발 수준은 대략 70~80MPa 수준으로 알려져 있음
- 고로슬래그 미분말, 플라이애시를 대체할 수 있는 산업부산물 전구체 개발은 전무
 - 전 세계적으로 무시멘트 콘크리트의 전구체는 메타카올린, 플라이애시, 고로슬래그 미분말을 중심으로 개발이 이루어져 왔으며, 산업부산물 활용 무시멘트 콘크리트의 주원료는 플라이애시와 고로슬래그 미분말임
 - 플라이애시와 고로슬래그 미분말은 일반 콘크리트의 혼화재로 활용하고 있어 높은 재활용률을 보여주고 있으며, 철강산업 기술 개발로 인해 고로슬래그 미분말의 발생량이 점진적으로 감소할 전망이다
 - 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 대체할 수 있는 높은 반응성의 무시멘트 콘크리트 전구체 개발 필요
- 무시멘트 콘크리트 성능평가 기술이 미비
 - 건설산업에서 포틀랜드 시멘트 기반의 콘크리트가 재료 부문의 지배적인 부분을 담당하고 있어 무시멘트 콘크리트 대상 성능평가 기술 개발은 미진함
 - 무시멘트 콘크리트의 특성을 반영한 성능평가 기술개발이 필요

(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안 1 : 초고강도화 및 新 전구체에 적용 가능한 자극제 개발

- 무시멘트 콘크리트 전구체의 반응성을 극대화하면서 적정 pH 유지, 발열 제어, 경화속도 조절이 가능한 맞춤형 자극제 개발
- 국내 미활용 산업부산물의 물리·화학적 특성 DB화를 통한 활용 가능한 산업부산물 List-up

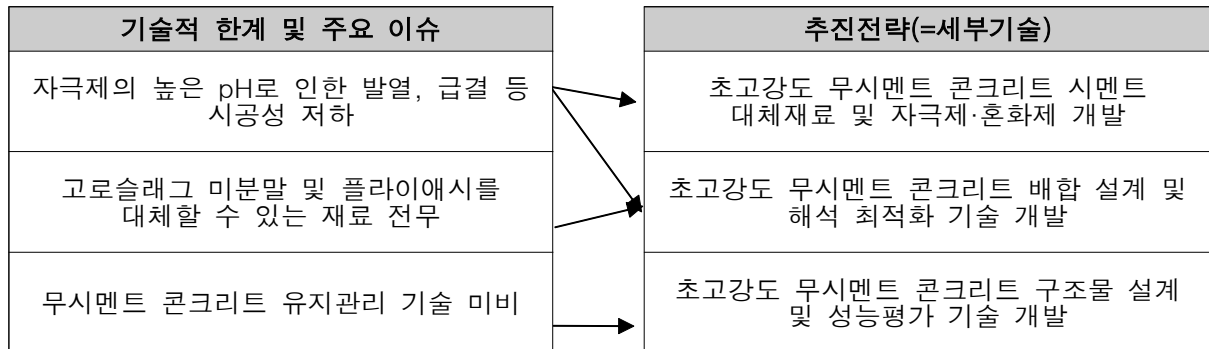
- 미활용 산업부산물의 특성을 고려한 자극제 선정으로 시공성과 적정 역학적 성능이 확보된 무시멘트 콘크리트 배합기술 개발

□ **극복방안 2 : 무시멘트 구조물 모니터링을 통한 유지관리 기술 개발**

- 무시멘트 콘크리트의 특성을 반영하여 기존 콘크리트 유지관리 기술의 비교 검토 및 최적화 방안 도출

4. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출



□ **전략 1 : 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발**

- 초고강도 무시멘트 콘크리트의 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 자극제·혼화제 개발
- 초고강도 무시멘트 콘크리트에 활용 가능 재료 개발 및 기초 배합 개발

□ **전략 2 : 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발**

- 초고강도 발현이 가능한 무시멘트 콘크리트 배합 개발
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 특징을 고려한 배합 설계 기술 개발 및 표준 배합식 도출

□ **전략 3 : 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조물 설계 및 성능평가 기술 개발**

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조 실험 등을 통한 역학 성능 평가 기술
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 실험 데이터 기반 구조해석 모델식 개발

(2) 기술개발의 최종목표

□ 최종목표

**기존에 사용하지 않는 미활용 산업부산물을 활용한 초고강도 콘크리트 개발을
통한 기술 선점 및 국제 표준 주도**

□ 최종산출물

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발(배합설계 등)
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 제조 가이드라인(안)
- 미활용 대체재료를 사용한 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 기술
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조물 유지관리 기술 및 매뉴얼(안)

□ 성과지표 및 목표

<표 3-22> (중점기술 2) 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
초고강도 무시멘트 콘크리트 시멘트 대체재료 및 자극제·혼화제 개발	상온양생 기준 압축강도	100MPa 이상
	연성율	8% 이상
	일반 콘크리트 대비 동일 성능 확보	작업유지시간 2시간
초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 최적 배합 설계(안)	1건 이상
초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 구조 해석 모델	1건 이상

5. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

□ 세부기술 1 : 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발

- 기술개발 필요성
 - 국내·외 무시멘트 콘크리트는 일반 콘크리트 혼화재로 사용 가능한 플라이애시, 고로슬래그 미분말 기반을 중심으로 개발 중임
 - 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 재활용률 증가에 따라 무시멘트 콘크리트 제조에 필요한 원재료 수급에 어려움이 있으며, 철강 산업 고도화에 따라 점진적으로 고로슬래그 미분말 발생량이 감소할 것으로 전망됨
- 기술동향
 - 국내·외에서 각종 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 제조를 위한 실험실 수준의 연구개발이 이루어지고 있으나, 아직 구조물 활용을 위한 성능 미확보 및 시공성 미비로 활용이 제한적임
 - 세계적으로 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 대체할 수 있는 재료를 확보하는 것은 건설재료 분야의 공백 기술로 받아들여지고 있음

○ 주요 연구개발 내용

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발을 위한 적정 자극제 및 혼화제 개발 기술
- 목표성능 확보를 위한 초고강도 무시멘트 콘크리트 기초 배합 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 선정 및 기초 배합 개발
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 구성 재료 선정
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 물성 확보를 위한 자극제 및 혼화제 개발
 - 초고강도 무시멘트 기초 배합 개발 및 성능평가

○ 최종성과물

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 전용 자극제 및 혼화제
- 압축강도 100MPa 이상의 무시멘트 콘크리트 기초 배합

□ 세부기술 2 : 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 무시멘트 콘크리트 기술개발 및 실적용은 호주, 프랑스 등의 선도국을 중심으로 개발과 시공이 이루어지고 있으며, 국내 구조물 실시공 이력은 없음
- 국내 무시멘트 콘크리트 기술의 뒤처짐으로 탄소중립 시장 및 건설 관련 표준 개발로 발생하는 선점효과를 선도국에 상실할 수 있어 해당 분야를 선도를 위한 혁신기술 개발이 요구됨

○ 기술동향

- 무시멘트 콘크리트의 고강도화를 위해 높은 pH 환경을 조성할 수 있는 자극제의 도입이 요구되나, 해당 자극제 도입시 발열, 급결 등의 문제로 실험실 수준의 연구개발에 머무르고 있음
- 시공성을 확보한 무시멘트 콘크리트는 압축강도 70~80MPa 수준으로 알려져 있으며, 범용적 활용보다는 철도 침목 등 특수 목적형 제품으로 개발이 이루어짐

○ 주요 연구개발 내용

- 압축강도 100MPa 이상의 고강도 무시멘트 콘크리트 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (2차년도) 고강도 무시멘트 콘크리트 배합기술 개발
 - 무시멘트 콘크리트의 성능 향상을 위한 충전재, 혼화재, 혼화제 검토 및 선정
 - 무시멘트 콘크리트의 압축 성능 최적화
- (3차년도) 고강도 무시멘트 콘크리트 연성을 확보 기술 개발
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트의 연성을 확보를 위한 보강재 개발
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트의 휨 및 인장성능 평가
- (4차년도) 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트 성능 최적화
 - 초고강도·고연성 무시멘트 콘크리트의 성능 최적화
 - 초고강도·고연성 무시멘트 콘크리트 시제품 제작

○ 최종성과물

- 압축강도 100MPa 이상의 무시멘트 콘크리트 최적 배합 설계안

□ 세부기술 3 : 초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가(역학, 구조성능 등) 및 설계 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 적용을 위한 역학적, 내구적 성능평가 필요
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조물 적용을 위한 기초 구조성능 검토가 필요하며, 이를 기반으로 설계 모델식 개발 필요
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 실용화 및 상용화를 확보하기 위한 설계-제작-시공-유지관리 등 종합적인 관리 체계는 없는 실정임

○ 기술동향

- 무시멘트 콘크리트 적용 이후 유지관리 관련 기준 및 제도에 대한 연구는 전무한 실정이며, 사용성, 내구성, 안전성에 대한 연구가 주를 이루고 있음.

○ 주요 연구개발 내용

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 역학, 내구성능 검토
- 초고강도 무시멘트 콘크리트의 구조실험 등을 통한 설계 모델식 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (2차년도) 초고강도 무시멘트 콘크리트 요구 성능 도출
 - 안전성, 사용성 관련 요구 성능 분석
 - 초고강도 콘크리트 설계 및 시공지침 분석
- (3차년도) 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조성능 평가 기술 개발
 - 내구성능, 시간의존적 특성 등 콘크리트 기초 성능평가
 - 부재실험(휨, 전단 등) 등 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조 성능 평가
- (4차년도) 초고강도 무시멘트 콘크리트 설계 모델 개발
 - 실험데이터 기반 초고강도 무시멘트 콘크리트 설계 모델식 및 해석 기법 도출

○ 최종성과물

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조성능 평가 데이터
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 설계 모델식 및 해석 기법

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 3-23> (중점기술 2) 성능 목표

주요 기술명	주요 성능	성능수준		기술개발 목표수준
		국외	국내	
초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발	압축강도	100 MPa	80 MPa	100 MPa 이상
	연성율	8% 이하	6% 이하	8% 이상
	작업유지시간	-	-	2시간 이상
초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 최적 배합 설계(안)	-	-	1건 이상
초고강도 무시멘트 콘크리트 구조물 설계 및 성능평가 기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 해석 모델	-	-	1건 이상

<표 3-24> (중점기술 2) 세부기술 구성(안)

중점분야	세부기술
초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 시멘트 대체재료 및 자극제·혼화제 개발
	초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발
	초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발

<표 3-25> (중점기술 1) 기술선도형 무시멘트 콘크리트 혁신 기술 개발 산출물 목표

중점기술명	세부기술명	산출물				세부기술 목표	중점기술 목표
		‘25	‘26	‘27	‘28		
초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발	- 초고강도 무시멘트 구성 재료 선정 및 기초배합				초고강도 무시멘트 콘크리트 원천기술	초고강도 무시멘트 콘크리트 개발을 통한 기술 선점 및 국제 표준 주도
	초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발		- 압축강도 80MPa 이상의 고강도 무시멘트 콘크리트 배합설계 기술 확보	- 직접인장 연성을 6% 이상의 고연성 무시멘트 콘크리트 배합설계 기술 확보	- 압축강도 100 MPa 이상, 직접인장 연성을 8% 이상의 무시멘트 콘크리트 배합설계 기술 및 제조, 성능평가 가이드라인(안) 개발	압축강도 100 MPa 이상, 직접인장 연성을 8% 이상의 무시멘트 콘크리트 제조 기술	
	초고강도 무시멘트 콘크리트 구조물 설계 및 성능평가 기술 개발		- 초고강도 무시멘트 콘크리트 요구성능 도출 보고서	- 초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가 보고서	- 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조 해석 모델	무시멘트 콘크리트 성능평가를 통한 구조해석 모델	

(3) 유사과제와의 차별성 및 연계성

□ 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

○ 유사 연구과제와의 차별성

- 기존 무시멘트 콘크리트 기술개발은 현장에서의 실 시공을 목적으로 현장에서 주로 사용하는 27~40MPa 압축강도 달성을 중심으로 이루어졌으며, 압축강도 100MPa 이상, 직접인장 연성율 8% 이상의 고강도·고연성의 무시멘트 콘크리트 개발은 사례가 없음
- 기존 연구개발은 콘크리트 혼화재로 사용가능한 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 전구체로 사용하여 무시멘트 콘크리트를 개발하였으나, 본 연구에서는 그동안 미활용된 산업부산물을 발굴하여 무시멘트 콘크리트 기술개발 진행될 예정

○ 유사 연구과제와의 연계성

- 무시멘트 제조 원리 및 적용 단계에서의 문제점 검토를 통해 품질 확보 방안 연계 가능
- 제조 및 시공 성능 측면에서 유동확보 등의 기술은 연계가 가능하며, 상호보완 기술개발을 통해 기술 업그레이드 가능

<표 3-26> (중점기술 1) 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관 기관	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
바이오하우징연구 사업단 (2005~2015)	전남대학교	고로슬래그 기반 무시멘트 콘크리트에 대한 원천기술 확보를 위한 기초연구가 수행되었으며, 벽돌, 블록 등 2차 제품 시작품 수준의 성과 도출	(차별성) 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트 기술 개발 (연계방안) 무시멘트 콘크리트 제조 원리 및 적용 단계에서 문제점 검토를 통한 연계 가능
탄소중립형 고성능 무시멘트 콘크리트 및 구조적용 기술 개발 (2021~2023)	울산과학 기술원	무시멘트 콘크리트의 스마트양생 등을 통한 PC 콘크리트 제조	(차별성) 미활용 산업부산물을 발굴하여 무시멘트 콘크리트 기술 개발 (연계방안) 제조 및 시공 측면에서 기술 연계 가능하며 상호보완을 통해 기술 업그레이드 가능

(4) 기대효과 및 파급효과

□ 과학기술적 효과

- 무시멘트 소재를 활용함으로 선도적 실용화 기술에 해당함
- 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 대체 산업부산물 발굴
- 무시멘트 콘크리트의 중요 구조부재 적용에 따른 구조안전성 평가 및 설계-제작-시공 가이드라인 도출을 통한 안정적인 현장적용 방안 마련

□ 사회경제적 효과

- 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트 기술개발을 통해 관련 기술의 국제적 기술 선도 및 국내 OSC 및 PC 제품의 국제적 입지 확보
- 철강산업 기술 혁신에 따른 산업변화에 대응하여 고로슬래그 미분말 발생량 감소에 대한 대응책 마련
- 전세계적인 Net-Zero 실현을 위한 건설분야 실천방안 수립 가능

중점기술3. 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발

1. 기술개발 개념 및 범위

(1) 개념

- 시멘트를 사용하지 않고 기존 무시멘트 콘크리트 사용 대체재료를 개발하기 위한 미활용 산업 부산물 기반 무시멘트 콘크리트 개발에 관련한 기술

(2) 범위

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 친환경 바인더 대체재료 개발
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발

2. 국내외 기술현황

(1) 국내

- 철도연(2023)은 산업부산물만을 활용하여 압축강도 80MPa 이상의 ‘시멘트 제로 콘크리트 철도 침목’ 개발 기존 콘크리트 침목 대비 이산화탄소 배출량 25% 수준으로 탄소중립 실현에 기여
- 연세대학교는 압축강도 150MPa 이상의 무시멘트 초고성능 콘크리트 배합 개발을 하였으나 기존 알칼리활성화제의 사용으로 인해 급결하는 문제점이 있으며, 따라서 프리캐스트 제품 등 활용처가 제한적
- 부산대학교는 식물로부터 추출한 실리카를 활용하여 저비용 고강도 무시멘트 콘크리트를 개발하였으나 이와 관련한 실용화 방안 혹은 품질 관리 방안은 아직 연구 중인 상태
- 경상대학교는 재활용 골재를 알칼리 활성화제로 활용함으로써 저시멘트 콘크리트의 경제성과 가능성을 평가하였으나 재료의 특성상 품질 관리가 어려우며 시공 환경에 따라 성능이 크게 달라지는 한계점을 제시함.
- 한국건설기술연구원(2019)은 독일과 국제공동연구를 통해 시멘트 대체 무시멘트 모르타르와 텍스타일 그리드 보강재를 활용한 고성능 건설자재 및 보수보강 공법을 개발해 하수암거 보수공사에 시험 시공

(2) 국외

- 2010년 Motoki Uehara연구팀은 플라이애시를 규산칼륨로 활성화시켜 압축강도 70MPa의 친환경 철도침목을 개발하였고, JIS E 1202(Prestressed concrete sleepers Post tensioning type)에서 규정하고 있는 성능을 만족하여 시제품을 생산함.
- 일본 Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd.는 저발열-저수축 특성을 보유한 무시멘트 콘크리트 구조체의 품질 평가 방안을 제시하였으나 양생 온도를 비롯한 시공성 관련 제약을 해결하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 밝힘.
- 유럽은 시멘트를 5%만 사용하는 배합을 허용하며, 미국은 혼합시멘트 무게의 95%까지 고로슬래그 미분말 사용을 허용하는 탄소저감 콘크리트 기술 관련 기준을 마련
- 현재 고로슬래그계 무시멘트 콘크리트 제조기술의 최고 기술보유국은 호주이고, 석탄회계와 천연재료계는 프랑스이고 구조부재 활용기술은 프랑스, 호주로서 전반적으로 무시멘트 콘크리트에 대한 최고 기술보유국은 프랑스와 호주로 분석되나, 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 사용하지 않은 무시멘트 콘크리트의 개발과 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트의 개발은 미진

3. 기존기술의 한계와 극복방안

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

<표 3-27> 중점기술3 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	- 무시멘트 콘크리트는 작업시간등 시공성 측면에서 한계가 명확 - 거의 대부분의 무시멘트 콘크리트는 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 전구체로 사용한 기술 개발 - 무시멘트 콘크리트의 특성을 반영한 성능평가 기술이 미비	- 급결, 발열 등 문제점을 해결한 자극제 개발로 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발 - 원재료의 물리·화학적 특성 분석을 통해 원재료 특성에 적합한 맞춤형 자극제 및 양생기법 도출 - 무시멘트 콘크리트 유지보수 매뉴얼 마련

□ 한계점 및 주요이슈 1 : 무시멘트 콘크리트 기술개발 담보상태로 혁신 기술개발이 제한적

- 무시멘트 콘크리트는 작업 시간 등 시공성의 한계가 명확
 - 무시멘트 콘크리트의 여러 개발이 이루어지고 있으나 무시멘트 콘크리트 개발을 위해 전구체의 반응성을 극대화하여야 하며 이를 위해 고 pH 환경을 제공할 수 있는 강알칼리의 자극제 도입이 요구됨
 - 실험실 규모에서 무시멘트 콘크리트 개발이 이루어지고 있으나 고 pH 환경으로 인한 높은 발열 및 콘크리트 급결현상 발생으로 시공성이 확보된 무시멘트 콘크리트의 개발은 미진함
- 고로슬래그 미분말, 플라이애시를 대체할 수 있는 산업부산물 전구체 개발은 전무
 - 전 세계적으로 무시멘트 콘크리트의 전구체는 메타카올린, 플라이애시, 고로슬래그 미분말을 중심으로 개발이 이루어져 왔으며, 산업부산물 활용 무시멘트 콘크리트의 주원료는 플라이애시와 고로슬래그 미분말임
 - 플라이애시와 고로슬래그 미분말은 일반 콘크리트의 혼화재로 활용하고 있어 높은 재활용률을 보여주고 있으며, 철강산업 기술 개발로 인해 고로슬래그 미분말의 발생량이 점진적으로 감소할 전망임
 - 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 대체할 수 있는 높은 반응성의 무시멘트 콘크리트 전구체 개발 필요
- 무시멘트 콘크리트 성능평가 기술이 미비
 - 건설산업에서 포틀랜드 시멘트 기반의 콘크리트가 재료 부문의 지배적인 부분을 담당하고 있어 무시멘트 콘크리트 대상 성능평가 기술 개발은 미진함
 - 무시멘트 콘크리트의 특성을 반영한 성능평가 기술개발이 필요

(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안 1 : 新 전구체에 적용 가능한 자극제 개발

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 전구체의 반응성을 극대화하면서 적정 pH 유지, 발열 제어, 경화 속도 조절이 가능한 맞춤형 자극제 개발
- 국내 미활용 산업부산물의 물리·화학적 특성 DB화를 통한 활용 가능한 산업부산물 List-up

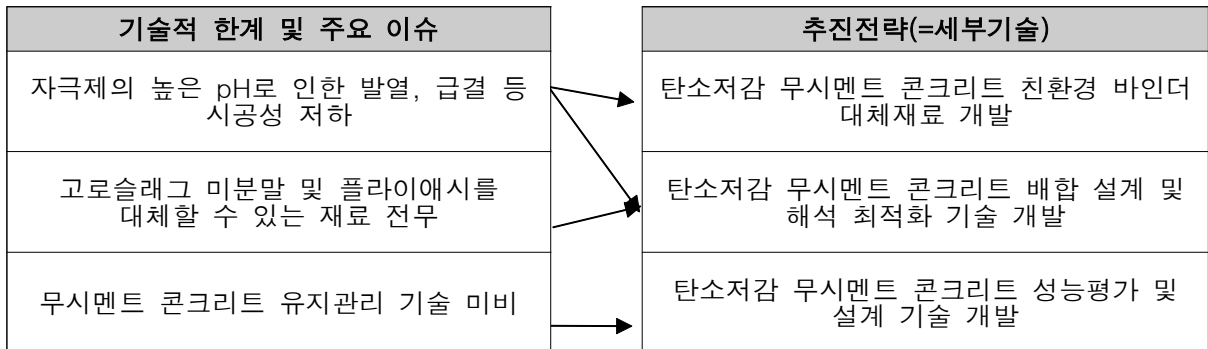
- 미활용 산업부산물의 특성을 고려한 자극제 선정으로 시공성과 적정 역학적 성능이 확보된 무시멘트 콘크리트 배합기술 개발

□ **극복방안 2 : 무시멘트 콘크리트 활성화를 위한 대체재료 개발**

- 기존 무시멘트 콘크리트에 사용되고 있는 고로슬래그, 플라이애시 등을 대체할 수 있는 전구체 개발을 통한 사용성 확보

4. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출



□ **전략 1 : 탄소저감 무시멘트 콘크리트 친환경 바인더 대체재료 개발**

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트의 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 자극제·혼화제 개발
- 경제성, 친환경성 확보된 무시멘트 콘크리트에 활용 가능한 미활용 대체재료 발굴

□ **전략 2 : 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발**

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트의 작업시간 및 유동성 확보를 위한 전용 자극제·혼화제 개발
- 경제성, 친환경성 확보된 무시멘트 콘크리트에 활용 가능한 미활용 대체재료 발굴

□ **전략 3 : 탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발**

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조 실험 등을 통한 역학 성능 평가 기술
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 실험 데이터 기반 구조해석 모델식 개발

(2) 기술개발의 최종목표

□ 최종목표

**미활용 산업부산물을 활용한 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발로
건설산업 탄소 중립에 기여**

□ 최종산출물

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발(배합설계 등)
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 제조 가이드라인(안)
- 미활용 대체재료를 사용한 무시멘트 콘크리트 배합 기술
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 설계 모델

□ 성과지표 및 목표

<표 3-28> (중점기술 3) 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
탄소저감 무시멘트 콘크리트 친환경 바인더 대체재료 개발	상온양생 기준 압축강도	40MPa 이상
	일반 콘크리트 대비 동일 성능 확보	슬럼프 150~210mm 작업유지시간 2시간
	친환경 대체재료 시멘트 치환율	90% 이상
탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발	탄소저감 무시멘트 콘크리트 최적 배합 설계(안)	1건 이상
탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발	탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조 해석 모델	1건 이상

5. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

□ 세부기술 1 : 탄소저감 무시멘트 콘크리트 친환경 바인더 대체재료 개발

- 기술개발 필요성
 - 국내·외 무시멘트 콘크리트는 일반 콘크리트 혼화재로 사용 가능한 플라이애시, 고로슬래그 미분말 기반을 중심으로 개발 중임
 - 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 재활용률 증가에 따라 무시멘트 콘크리트 제조에 필요한 원재료 수급에 어려움이 있으며, 철강 산업 고도화에 따라 점진적으로 고로슬래그 미분말 발생량이 감소할 것으로 전망됨
- 기술동향
 - 국내·외에서 각종 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 제조를 위한 실험실 수준의 연구개발이 이루어지고 있으나, 아직 구조물 활용을 위한 성능 미확보 및 시공성 미비로 활용이 제한적임
 - 세계적으로 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 대체할 수 있는 재료를 확보하는 것은 건설재료 분야의 공백 기술로 받아들여지고 있음

○ 주요 연구개발 내용

- 미활용 부산물의 경화를 위한 적정 자극제 개발 기술
- 적정성능 확보를 위한 미활용 부산물 기반 무시멘트 콘크리트 배합기술

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 선정 및 기초 배합 개발
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구성 재료 선정
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 물성 확보를 위한 자극제 및 혼화제 개발
 - 탄소저감 무시멘트 기초 배합 개발 및 성능평가

○ 최종성과물

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 대체재료
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 전용 자극제 및 혼화제
- 압축강도 40 MPa 이상의 무시멘트 콘크리트 기초 배합

□ 세부기술 2 : 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 무시멘트 콘크리트 기술개발 및 실적용은 호주, 프랑스 등의 선도국을 중심으로 개발과 시공이 이루어지고 있으며, 국내 구조물 실시공 이력은 없음
- 국내 무시멘트 콘크리트 기술의 뒤처짐으로 탄소중립 시장 및 건설 관련 표준 개발로 발생하는 선점효과를 선도국에 상실할 수 있어 해당 분야를 선도를 위한 혁신기술 개발이 요구됨

○ 기술동향

- 무시멘트 콘크리트의 고강도화를 위해 높은 pH 환경을 조성할 수 있는 자극제의 도입이 요구되나, 해당 자극제 도입시 발열, 급결 등의 문제로 실험실 수준의 연구개발에 머무르고 있음

○ 주요 연구개발 내용

- 친환경 대체재료 활용 40MPa 이상 무시멘트 콘크리트 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (2차년도) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 기술 개발
 - 무시멘트 콘크리트의 성능 향상을 위한 충전재, 혼화재, 혼화제 검토 및 선정
 - 무시멘트 콘크리트의 압축 성능 최적화
- (3차년도) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 기술 개발
 - 역학성능, 내구성능 등 탄소저감 콘크리트 성능평가
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 시제품 제작
- (4차년도) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 활용 기술 개발
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 제조 지침 및 가이드라인 개발

○ 최종성과물

- 친환경 대체재료 활용 무시멘트 콘크리트 최적 배합 설계(안)
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 제조 지침 및 가이드라인

□ 세부기술 3 : 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조물 설계 및 성능평가 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조물 장기공용성 확보를 위한 유지관리 방안 제시 필요
- 기존 콘크리트 구조물 유지방법과 비교 검토를 통한 무시멘트 콘크리트 유지관리 방법과의 정합성 검토 필요
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 실용화 및 상용화를 확보하기 위한 설계-제작-시공-유지관리 등 종합적인 관리 체계는 없는 실정임

○ 기술동향

- 무시멘트 콘크리트 적용 이후 유지관리 관련 기준 및 제도에 대한 연구는 전무한 실정이며, 사용성, 내구성, 안전성에 대한 연구가 주를 이루고 있음.

○ 주요 연구개발 내용

- 구조물 모니터링을 통한 안전성, 사용성, 내구성 평가 등 유지관리 가이드라인 제시

○ 연차별 연구개발 내용

- (2차년도) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 요구 성능 도출
 - 안전성, 사용성 관련 요구 성능 분석
 - 탄소저감 콘크리트 설계 및 시공지침 분석
- (3차년도) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조성능 평가 기술 개발
 - 내구성능, 시간의존적 특성 등 콘크리트 기초 성능평가
 - 부재실험(휨, 전단 등) 등 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조 성능 평가
- (4차년도) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 설계 모델 개발
 - 실험데이터 기반 초고강도 무시멘트 콘크리트 설계 모델식 및 해석 기법 도출

○ 최종성과물

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조성능 평가 데이터
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 설계 모델식 및 해석 기법

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 3-29> (중점기술 3) 성능 목표

주요 기술명	주요 성능	성능수준		기술개발 목표수준
		국외	국내	
탄소저감 무시멘트 콘크리트 친환경 바인더 대체재료 개발	상온양생 기준 압축강도	40 MPa	-	40 MPa
	친환경 대체재료 치환율	-	-	90 %
	슬럼프	50~100 mm	50~100 mm	150~210 mm
	작업성 유지시간	1시간 이내	1시간 이내	2시간 이내
탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발	탄소저감 무시멘트 콘크리트 최적 배합 설계(안)	-	-	1건 이상
탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발	탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조 해석 모델	-	-	1건 이상

<표 3-30> (중점기술 3) 세부기술 구성(안)

중점분야	세부기술
탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	탄소저감 무시멘트 콘크리트 친환경 바인더 대체재료 개발
	탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발
	탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발

<표 3-31> (중점기술 1) 기술선도형 무시멘트 콘크리트 혁신 기술 개발 산출물 목표

중점기술명	세부기술명	산출물				세부기술 목표	중점기술 목표
		‘25	‘26	‘27	‘28		
탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발	- 친환경 대체재료 선정 및 무시멘트 콘크리트 기초 배합				탄소저감 무시멘트 콘크리트 원천기술	미활용 산업부산물을 활용한 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발로 건설산업 탄소 중립에 기여
	초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발		- 압축강도 40MPa 이상의 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합설계 기술 확보	- 탄소저감 콘크리트 성능평가 보고서	- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 제조, 성능평가 가이드라인(안) 개발	압축강도 40MPa 이상의 탄소저감 무시멘트 콘크리트 제조 기술	
	초고강도 무시멘트 콘크리트 구조물 설계 및 성능평가 기술 개발		- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 요구성능 도출 보고서	- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 보고서	- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 구조 해석 모델	탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가를 통한 구조해석 모델	

(3) 유사과제와의 차별성 및 연계성

□ 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

○ 유사 연구과제와의 차별성

- 기존 무시멘트 콘크리트 기술개발은 현장에서의 실 시공을 목적으로 현장에서 주로 사용하는 27~40MPa 압축강도 달성을 중심으로 이루어짐
- 기존 연구개발은 콘크리트 혼화재로 사용가능한 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 전구체로 사용하여 무시멘트 콘크리트를 개발하였으나, 본 연구에서는 그동안 미활용된 산업부산물을 발굴하여 무시멘트 콘크리트 기술개발 진행될 예정

○ 유사 연구과제와의 연계성

- 무시멘트 제조 원리 및 적용 단계에서의 문제점 검토를 통해 품질 확보 방안 연계 가능
- 제조 및 시공 성능 측면에서 유동확보 등의 기술은 연계가 가능하며, 상호보완 기술개발을 통해 기술 업그레이드 가능

<표 3-32> (중점기술 1) 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관 기관	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
바이오하우징연구 사업단 (2005~2015)	전남대학교	고로슬래그 기반 무시멘트 콘크리트에 대한 원천기술 확보를 위한 기초연구가 수행되었으며, 벽돌, 블록 등 2차 제품 시작품 수준의 성과 도출	(차별성) 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트 기술 개발 (연계방안) 무시멘트 콘크리트 제조 원리 및 적용 단계에서 문제점 검토를 통한 연계 가능
탄소중립형 고성능 무시멘트 콘크리트 및 구조적용 기술 개발 (2021~2023)	울산과학 기술원	무시멘트 콘크리트의 스마트양생 등을 통한 PC 콘크리트 제조	(차별성) 미활용 산업부산물을 발굴하여 무시멘트 콘크리트 기술 개발 (연계방안) 제조 및 시공 측면에서 기술 연계 가능하며 상호보완을 통해 기술 업그레이드 가능

(4) 기대효과 및 파급효과

□ 과학기술적 효과

- 무시멘트 소재를 활용함으로 선도적 실용화 기술에 해당함
- 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 대체 산업부산물 발굴
- 무시멘트 콘크리트의 중요 구조부재 적용에 따른 구조안전성 평가 및 설계-제작-시공 가이드라인 도출을 통한 안정적인 현장적용 방안 마련

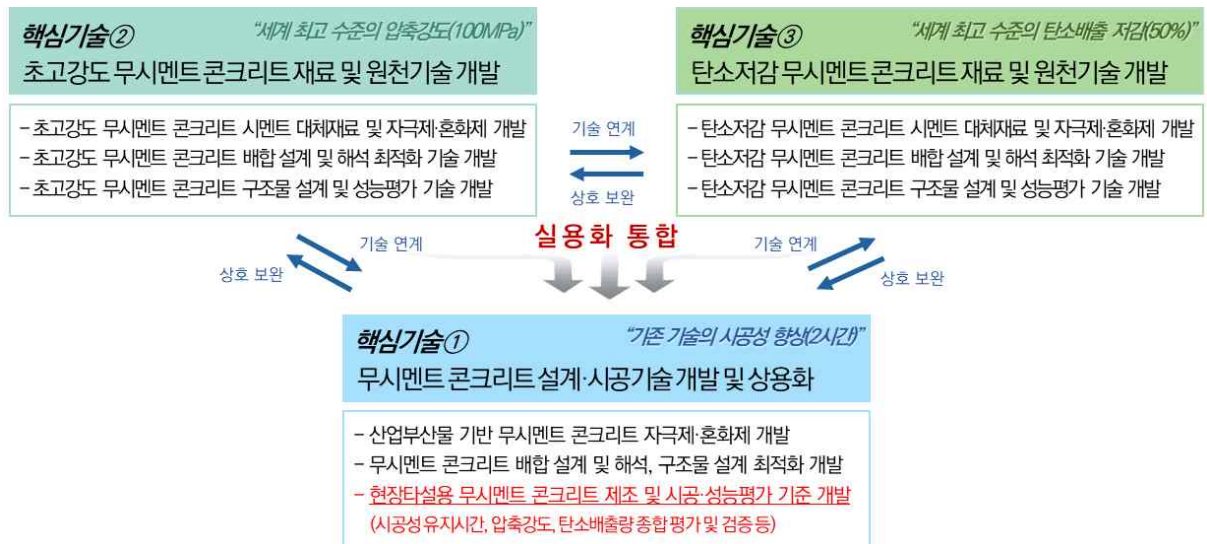
□ 사회경제적 효과

- 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트 기술개발을 통해 관련 기술의 국제적 기술 선도 및 국내 OSC 및 PC 제품의 국제적 입지 확보
- 철강산업 기술 혁신에 따른 산업변화에 대응하여 고로슬래그 미분말 발생량 감소에 대한 대응책 마련
- 전세계적인 Net-Zero 실현을 위한 건설분야 실천방안 수립 가능

[참고] 분야별·기술별 연계체계 및 로드맵

<표 3-33> 연차별/단계별 마일스톤

주요 사항	단계 연차	1단계('25)	2단계('26~'27)		3단계('28)
		1	2	3	4
탐색 연구	초고강도 무시멘트 콘크리트	구성재료, 배합기술			
	친환경 시멘트 대체재료	New 대체재료			
	산업부산물 무시멘트 콘크리트	New 자극제, 혼화제			
원천 기술 확보	배합설계		배합설계 최적화	성능평가	
	구조설계		구조설계	구조실험	설계기준 반영
실용 및 실용화	현장타설용 시공기술			현장타설 시공기술	구조물 실증 및 검증
	탄소배출 평가				탄소배출량 검증



[그림 3-12] 기술별 연계체계

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

<표 3-34> 전체 사업 구성(안)

포집 CO₂를 광물탄산화반응으로 전환시켜 콘크리트 1m³당 탄소 30kg 감축시키는
탄소저장 콘크리트 제조 기술 및 활용 기술 개발

중점기술	전략목표	세부기술	예산 (백만원) (정부지원금)	
콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발	골재, 바인더, 배합수 등 콘크리트 원재료에 CCU 기술을 적용하여 탄소를 고정(저장)하는 콘크리트 원재료 광물탄산화 기술 개발을 위한 탄소 중립 기술	산업부산물을 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발 • 포집 CO ₂ 와 산업부산물을 활용한 광물탄산화 기반 골재 제조 기술 • 산업부산물을 활용한 골재 탄소 고정화 기술 • 산업부산물 활용 탄소 고정 골재 품질 기준(안)	1,900	5,500
		순환골재를 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발 • 포집 CO ₂ 와 순환골재를 활용한 콘크리트 인공 원료 제조 기술 • 순환 골재를 활용한 탄소 고정화 기술 • 순환골재 활용 탄소 고정 골재 품질 기준(안)	1,000	
		콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술 개발 • 산업부산물 및 탄산염 소재 콘크리트 혼화재 활용 기술 • 산업부산물 및 탄산염 소재의 콘크리트 혼화재 품질 기준(안)	1,000	
		CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발 • CO ₂ 광물탄산화 반응에 기반한 배합수의 활용 콘크리트 제조 기술 • CO ₂ 광물탄산화 반응에 기반한 배합수의 활용을 위한 품질 기준(안)	1,600	
CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발	CO ₂ 를 영구 저장할 수 있는 CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발을 통한 실효적인 탄소중립 건설기술 기반 마련	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발 • 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 재료배합 기술 최적화 • 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 구축 및 T/B 구축 • 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 내 CO ₂ 고정화 성능 평가 방법 표준(안)	6,900	10,500
		CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발 • 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트의 재료배합 기술 최적화 • 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 구축 및 T/B 구축 • 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 내 CO ₂ 고정화 성능 평가 방법 표준(안)	3,000	
		비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발 • 탄소 흡수 촉매재/고정활성 재료 적용 비구조재용 CCU 콘크리트 제조 기술 및 시제품 • 탄소 흡수 촉매재/고정활성 재료 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 품질 기준(안)	600	
CCU 콘크리트 성능검증 및 실용화 기술 개발	CCU 콘크리트 실용화를 위한 성능검증을 통한 CCU 콘크리트 활용기술 및 탄소 감축 사업 방법론 개발	CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발 • CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발 • CCU 콘크리트의 구조물 활용에 따른 실증 기술 개발	1,800	3,000
		CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발 • 탄소저장 콘크리트의 탄소 저감량 평가 및 LCA 평가 • CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축	700	
		CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발 • CCU 콘크리트의 외부사업 방법론 설계 및 등록 • 배출권거래제 연계 방안 마련	500	

중점기술1. 콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발

1. 기술개발 개념 및 범위

(1) 개념

- 콘크리트 제조에 사용되기 전 원재료 단계에 있는 골재, 배합수 및 혼화재를 대상으로 각 재료 내의 알칼리 토금속 이온과 CO₂가 반응하여 광물질인 탄산칼슘으로 전환, CO₂를 공기 중에서 완전제거 하는 기술
- 건설 산업 및 화학 산업의 산업 부산물을 재활용하여 폐기물 비용과 사회적 문제를 절감하고, 산업부산물을 CO₂를 활용하여 고품질 건설재료로 활용하는 친환경 탄소저감 기술

(2) 범위

- 산업부산물을 활용하여 50 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발
- 10 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 순환골재 제조 기술 개발
- 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 혼화재 발굴 및 활용 기술 개발
- 2 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발

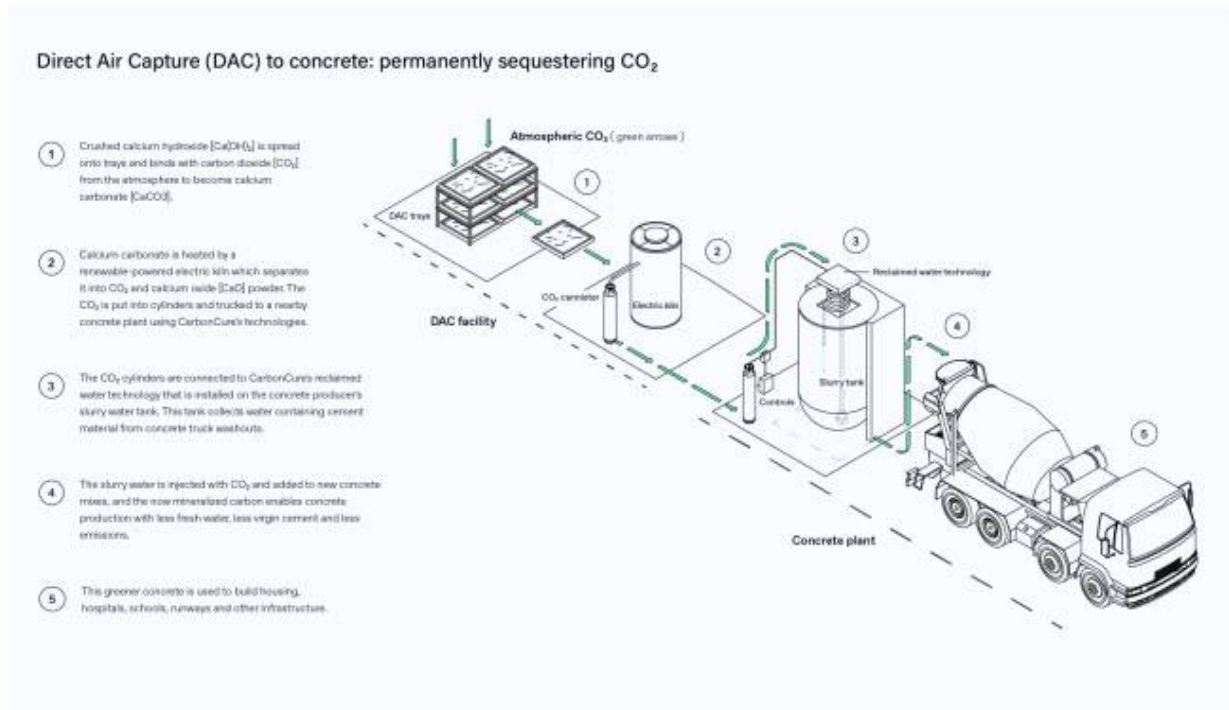
2. 국내외 기술현황

(1) 국내 기술현황

- 국내 산업 부산물을 비롯한 CO₂ 광물탄산화에 기반 인공 골재, 순환골재, 배합수 및 광물탄산화 바인더 제조 및 적용에 관한 연구 부족
- 천연자원인 골재의 고갈로 인공골재와 순환골재 활용에 대한 관심이 높아짐에 따라 품질 및 성능기준을 충족하는 탄산화 골재제조
 - 순환골재에 가속 탄산화 기술을 적용하여 부착 모르타르 1.0 tf당 이론적으로 CO₂ 0.5 tf 고정할 수 있을 것으로 예측, 가속 탄산화 후 순환골재의 흡수율은 7.6~9.6 % 가량 감소, 밀도는 4.7~5.6 % 까지 증가하는 것으로 보고
 - 인공골재는 탄산염을 펠릿형태로 제조하는 것으로 고농도 CO₂에서 인공골재의 강도를 가속화할 수 있으며 염기성 산소로 슬래그의 경우 적절한 조건에서 탄산화 양생을 실시할 경우 일반 골재보다 3.2 배 증가하는 것으로 보고, 탄산화 인공골재는 폐시멘트, 슬래그류, 우드 및 제지 애시류와 같은 폐기물에서 제조될 수 있음
- 콘크리트 제조에 소비되는 배합수 중 회수수를 대상으로, 회수수 내 포함된 슬러지의 탄산염 원료이용, CO₂ 미세버블 배합수에 대한 기초적인 연구 진행
 - 회수수의 성분은 Ca²⁺, Na⁺, K⁺, SO₄²⁻이온이 있으며 이 중 Ca²⁺이온의 용출을 극대화하여 CO₂ 반응을 통한 CaCO₃ 생산기술이 개발되었으나 생성물의 상용화 단계에는 이르지 못함. 슬러지에 대한연구는 슬러지 고형분 내의 미수화 시멘트 입자의 수화로 인한 특성으로 경화 후 파쇄를 통한 골재 및 충전재로써의 활용, 비내력용 모르타르 개발 및 시멘트 2차제품 생산에 관한 연구들이 보고되고 있으나 탄산화 기법에 대한 기술은 방류를 위한 pH 저감에 초점
 - 미세버블 탄산화 개질을 통한 순환 굵은골재의 품질개선을 통한 CO₂ 반응효율 증가에 대한 연구에 대해 진행된 바 있으며 나노 탄산 버블을 이용한 콘크리트 내 물리적 고정 및 반응유도를 위한 기술 개발 진행 중
- 바이오차를 시멘트 혹은 골재 대체재로 적용하는 연구가 2020년 이후부터 시작되었지만, 그 연구 사례가 매우 적고, 바이오차 혼입에 따른 역학적 특성 평가 수준에 그치고 있음.

(2) 국외 기술현황

- 미국 에어룸 카본 테크놀로지스社, 캐나다 CarbonCure社 간 기술 협업으로 직접 포집 방식 콘크리트 탄소 고정 기술 상용화
- 콘크리트 생산 과정 중 발생하는 이산화탄소의 포집 및 콘크리트 주입 기술 개발 및 실증 완료
 - 에어룸 카본 테크놀로지스社는 석회의 탄산-탈탄산 반복 과정을 활용하여 공기 중 이산화탄소를 포집하고, 카본큐어社는 이렇게 포집한 이산화탄소를 활용해 생산중 콘크리트에 주입하는 방식으로 협업

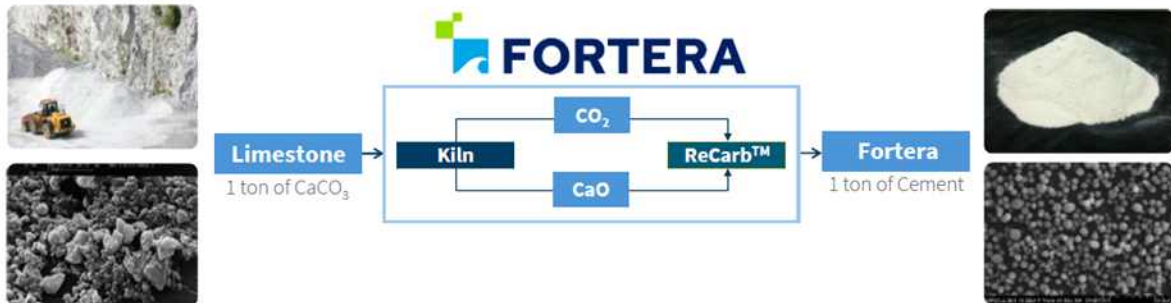


미국 에어룸 카본 테크놀로지스社, 캐나다 카본큐어社 기술 협력을 통한 콘크리트 제조중 탄소 고정화 기술 개요

- 카본큐어社는 전 세계 콘크리트 산업의 탈탄소화를 지원하기 위한 새로운 기술을 개발 중
 - 최근 콘크리트 생산 공장에서 콘크리트 트럭을 세척할 때 사용하는 회수수에 공기 중에서 포집한 이산화탄소를 주입하여 이산화탄소 고정을 유도
- 미국 FORTERA社에서 탄소 배출이 전혀 없는 탄산칼슘 시멘트 개발
 - 석회석의 결정구조를 안정한 Calcite에서 불안정한 Vaterite로 전환시키는 방법을 이용하여 탄산칼슘 시멘트를 개발, 현재 상용화 추진 중
 - 전량 반응성 탄산칼슘으로 구성된 포테라 시멘트와 기존 포틀랜드 시멘트와 혼합한 반응성 탄산칼슘 시멘트(RCC)의 2가지 형태의 제품 출시
 - 경쟁사(카본큐어, 카본빌트, 솔리디아, 카비크리트)와 달리 탄소 포집/저장 과정이 필요 없어 현장 활용성 측면에서 장점이 있음

ECONOMIC ADVANTAGE FROM NO WEIGHT LOSS

Limestone in Portland cement loses 44% by weight of the feedstock as CO_2 .



Fortera turns one ton of feedstock into one ton of cement.



미국 FORTERA社の 탄산칼슘 시멘트 제조 원리

- 바이오차가 탄소흡수 콘크리트의 재료로 매우 높은 활용성을 가지고 있는 것으로 보고 시멘트 및 골재 대체재로 적용하려는 연구를 2010년대 후반부터 진행하고 있음
- 2010년대 후반 싱가포르 연구진은 바이오차가 수화를 위한 핵 생성 부위로 작용하고 CO_2 와 반응하여 탄산칼슘을 형성할 수 있는 CH 및 C-S-H 를 포함한 추가 수화 생성물을 생성하는 것을 보고하였고, 또한 바이오차는 높은 표면적과 미세 기공 부피로 인해 더 높은 CO_2 흡수가 가능하다는 것을 보고함.
- 2023년 미국 워싱턴 주립대 연구진은 회수수 처리한 바이오차를 30% 치환한 콘크리트의 생산에 성공하여 콘크리트 생산시 배출된 CO_2 이상의 CO_2 를 생애주기 동안 흡수할 수 있고, 강도 저감을 감소시킨 콘크리트 기술을 개발함.
- 2023년 호주 RMIT대 연구진은 커피찌꺼기를 350도 열분해한 바이오차로 잔골재를 15% 치환해 콘크리트 강도 향상, 지구온난화 감소 및 골재자원 절약을 도모하는 기술을 개발함.

3. 기존기술의 한계와 극복방안

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

<표 3-35> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발	- CCUS 기술 확대를 위해 포집된 CO₂의 화학 원료화, 연료전환 등 기존 전환 기술 외에 에너지 사용이 적은 새로운 기술적 대안 제시 필요성 - 콘크리트의 원재료 수준에서 탄소 고정화 기술 적용은 타 CO₂ 전환기술에 비해 필요한 에너지를 최소화하면서도 CO₂ 고정효과가 크지만 해당 기술 개발 부족	- 산업부산물을 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발 - 순환골재를 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발 - 콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술 개발 - 회수수를 활용한 CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발

□ 한계점 및 주요이슈 1 : CO₂ 포집기술 발전에 의한 CCUS 병목현상 가속화

- 포집된 CO₂를 저장하기 위해 고압 압축이 필요하여 운영비용이 증대되는 가운데, 제거한 CO₂를 대량 저장하기 위한 인프라의 부족으로 포집 대비 저장·활용 간 병목현상 가속화
 - 국내 에너지 기업의 탄소 저장소 활용 가스전 등이 부족하여 해외사업 추진이 대부분이며 DAC 기술 활성화 시 대량으로 포집한 CO₂를 고정·흡수할 수 있는 기술 필요
 - 편재성이 높은 건설부재인 콘크리트의 원재료에 CO₂를 고정하여 활용하는 등 CO₂ 저장·활용 병목현상 완화를 위한 건설재료 개발기술 확립 필요성 시급
 - 기존 CO₂의 화학 원료화, 연료전환 등과 같은 기술의 경우 CO₂ 저장 효율이 낮게 나타내는 것에 반해 건설재료에 적용할 경우 CO₂의 반응 경로가 비교적 단순하며, 적은 에너지가 소요된다는 장점이 있음

□ 한계점 및 주요이슈 2 : 콘크리트 원재료 단위 탄소고정 기술 필요

- 건설분야 탄소저감 기술은 시멘트의 소성과정 중 석회석에서 발생하는 CO₂를 저감하거나 CO₂와 직접 반응하는 기술에 대해 중점을 두고 있어 건설 원재료 탄소고정 기술 다각화 필요
 - 콘크리트 원재료 중 높은 체적을 차지하고 있는 골재에 대한 탄소고정 기술을 확보할 경우 양적 탄소고정 총족 및 적용분야 다각화로 보다 다양한 콘크리트 제품의 탄소중립화를 실현가능
 - 순환골재 부착 모르타르 탄산화를 통한 성능개선, Ca, Mg 이온이 풍부한 폐기물, 슬러지 등을 이용한 골재 및 첨가물 등 탄산염 건설재료 개발에 대한 관심이 대두
 - ※ Li, N., Mo, L., & Unluer, C. (2022). Emerging CO₂ utilization technologies for construction materials: A review. Journal of CO₂ Utilization, 65, 102237.
 - 골재 이외에도 CO₂의 상당량을 직접적으로 감축시킬 수 있는 시멘트 대체 가능한 바인더의 발굴하고 회수수를 활용하여 CO₂ 고정화율을 향상시킬 수 있는 기술 개발의 필요성 대두

(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안 1: 산업부산물을 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발

- 콘크리트 체적의 50~60%를 차지하는 골재를 대상으로 산업부산물을 활용하여 CO₂ 광물탄산화 반응을 유도하여 화학적으로 안정하고 CO₂ 저장효과도 높은 골재 제조 기술을 확립하여 탄소저

장 콘크리트 탄소고정 향상 및 활용성 증대 필요

- 골재 채석장의 고갈과 채석장 운용에 의한 환경 파괴 방지 등의 요인으로 제철소의 제강슬래그나 화력발전소의 바텀애쉬, 저등급 플라이애쉬 등의 산업부산물을 활용하여 콘크리트용 골재로 재활용하려는 연구가 다수 진행된 바 있음
- 단순 재활용의 수준을 벗어나 대량의 CO₂ 광물탄산화 반응을 유도하여 화학적으로 안정한 골재 생산 및 활용할 수 있는 기술 개발 추진 필요

□ **극복방안 2: 순환골재를 활용한 CO₂ 저장 순환골재 제조 기술 개발**

- 순환골재 표면부착 페이스트 및 모르타르에 CO₂ 광물탄산화 반응을 유도하여 CO₂ 저장효과 증대 및 품질이 개선된 순환골재 업사이클링 기술 개발
- 순환골재는 재활용율은 높으나 성복토용, 도로 보조기층재료로 사용하는 것에 그치는 한계가 있어 CO₂를 저장의 효과를 높일 수 있는 건설재료로의 업사이클링 기술 접근 필요
- 표면부착 모르타르 탄산화에 의한 순환골재 개질을 통한 CO₂ 고정화 향상 기술 개발

□ **극복방안 3: 콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술 개발**

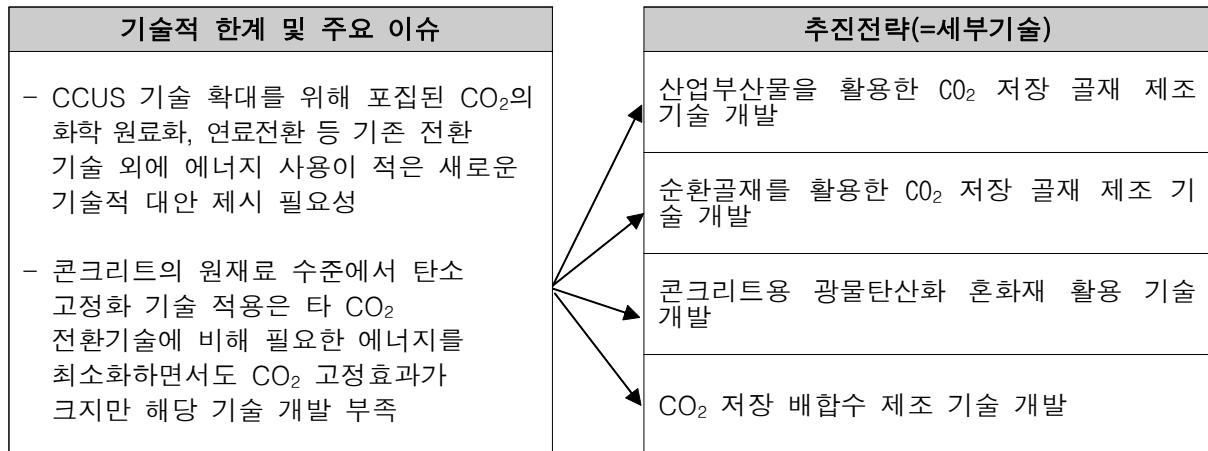
- 시멘트 생산 시 발생하는 CO₂량은 전체 산업의 CO₂ 배출량의 8%를 차지할 정도로 막대한 양을 차지하며, 따라서 시멘트 사용량을 직접적으로 감소시키기 위한 대체 혼화재(Supplementary Cementitious Materials)를 발굴하고 활용하는 기술개발을 통해 CO₂ 감축에 기여하는 현실적 대안 마련
- 기존 시멘트를 대체하여 사용하고 있는 플라이애쉬, 고로슬래그 등의 산업부산물을 제외하고 새롭게 시멘트 대체재로 사용가능한 산업부산물 발굴 및 활용기술 개발
- 탄소 고정 능력이 우수한 콘크리트용 대체 혼화재 발굴 및 적용 기술 개발
- 광물탄산화반응을 통해 생성된 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 활용기술 개발

□ **극복방안 4: CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발**

- 건설 및 기타 산업에서 발생한 산업용·폐수를 CO₂를 활용해 개질시켜 배합수로 재활용하는 콘크리트 활용기술 개발로 막대한 비용이 소요되는 폐수처리 문제와 고효율 CO₂ 고정을 동시에 해결할 수 있는 기술 확보 가능
- 산업용·폐수는 CO₂와 반응할 수 있는 고농도의 알칼리 및 다량의 이온을 함유하고 있어 산업부산물의 재활용율을 높여 환경에 미치는 영향을 최소화하면서도 CO₂ 고정화율을 높이는 기술 개발 가능
- 회수수 활용에 따른 콘크리트용 혼화제 기술 개발을 통해 콘크리트 품질 변동에 대한 문제를 최소화할 수 있음

4. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출



□ 전략 1 : 산업부산물을 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발

- 산업부산물을 활용하여 50 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발
- 산업부산물을 활용 광물탄산화 골재 제조를 위한 CO₂ 고정화 장비 활용기술 및 CO₂ 고정화량 정량 평가방법 개발
- CO₂ 저장 골재의 물리·화학적 특성 평가 및 품질 기준 제시

□ 전략 2 : 순환골재를 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발

- 10 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 순환골재 제조 기술 개발
- CO₂ 고정화 장비 활용기술 및 CO₂ 고정화량 정량 평가방법 개발
- CO₂ 고정화에 따른 CO₂ 저장 순환골재 물리·화학적 특성 평가 및 품질 기준 제시
- CO₂ 저장 순환골재 품질별 활용방안 제시

□ 전략 3 : 콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술 개발

- 시멘트 대체 바인더로 활용가능한 산업부산물 및 광물탄산화 소재 후보 검토
- 검토된 시멘트 대체 바인더 후보 소재에 대한 특성 평가 및 대체 가능여부 판단
- 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 품질 기준 제시

□ 전략 4 : CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발

- 2 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발
- CO₂ 저장 배합수의 고정화량 정량 평가방법 개발
- CO₂ 저장 배합수의 특성 평가 및 품질 기준 제시
- CO₂ 저장 배합수를 활용한 광물탄산화 콘크리트 제조시 기존 대비 콘크리트 성능 확보 기술

(2) 기술개발의 최종목표

□ 최종목표

골재, 바인더, 배합수 등 콘크리트 원재료에 CCU 기술을 적용하여 탄소를 고정(저장)하는 콘크리트 원재료 광물탄산화 기술 개발

□ 최종산출물

- 포집 CO₂와 산업부산물을 활용한 광물탄산화 골재 제조 기술
- 순환골재를 활용한 탄소 고정화 기술 및 순환골재 품질 업사이클링에 따른 활용 기술
- 시멘트 대체 혼화재로 활용가능한 산업부산물 및 광물탄산화 소재 후보 발굴 및 활용기술
- CO₂ 저장 배합수 제조 기술 및 기존 대비 콘크리트 성능확보 기술
- 광물탄산화 콘크리트 원재료에 대한 품질기준(안) 4종

□ 성과지표 및 목표

<표 3-36> (중점기술 3) 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
산업부산물을 활용한 CO ₂ 저장 골재 제조 기술 개발	▪ 골재 CO ₂ 고정량(kg/t)	50.0 이상
	▪ 단위용적 질량(t/m ³)	0.88 이하
	▪ 콘크리트 압축강도(28일) 비율(%)	90.0 이상 (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)
순환골재를 활용한 CO ₂ 저장 골재 제조 기술 개발	▪ 순환골재 CO ₂ 고정량(kg/t)	10.0 이상
	▪ 콘크리트 압축강도(28일) 비율(%)	90.0 이상 (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)
콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술 개발	▪ 시멘트 대체 가능 바인더 발굴	4종 이상
	▪ 콘크리트 압축강도(28일) 비율(%)	90.0 이상 (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)
CO ₂ 저장 배합수 제조 기술 개발	▪ 회수수 활용 CO ₂ 고정량(kg/t)	2.0 이상
	▪ 콘크리트 압축강도(28일) 비율(%)	95.0 이상 (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)

5. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

<표 3-37> (중점기술 1) 세부기술 구성(안)

중점분야	세부기술
콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발	산업부산물을 활용한 CO ₂ 저장 골재 제조 기술 개발
	순환골재를 활용한 CO ₂ 저장 순환골재 제조 기술 개발
	콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술 개발
	CO ₂ 저장 배합수 제조 기술 개발

□ 세부기술 1 : 산업부산물을 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 골재의 CO₂ 광물탄산화 반응을 이용할 수 있는 산업부산물 활용한 CO₂ 저장 인공 골재 개발
- 다량의 CO₂를 건설재료에 활용하기 위해서는 콘크리트 구성 원재료의 50~60%를 차지하는 골재에 대한 CO₂ 광물탄산화 반응을 이용할 수 있는 소재 발굴을 통한 골재 제조 기술 개발 필요

○ 기술동향

- IEA(2019)는 CCUS에서 CO₂를 전환시킨 광물탄산화 소재인 골재를 건설자재로 활용하면 콘크리트로 경화되는 특성과 재방출의 위험이 적기 때문에 타 영역에 비해 CO₂ 사용 톤당 기후 이점을 제공할 가능성이 매우 높은 점을 주목함

*IEA(2019), Putting CO₂ to use : Creating value from mission

- 산업부산물을 이용한 CO₂ 광물탄산화에 기반한 인공 골재제조 및 적용에 관한 연구 부족

○ 주요 연구개발 내용

- 산업부산물을 활용하여 50 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발
- 산업부산물을 활용한 광물탄산화 골재 제조를 위한 CO₂ 고정화 장비 활용기술 및 CO₂ 고정화량 정량 평가방법 개발
- CO₂ 저장 골재의 물리·화학적 특성 평가 및 품질 기준 제시
- (1차년도) 산업 부산물을 활용한 CO₂ 고정 콘크리트용 골재 제조 기초기술 확립
 - 국내·외 광물탄산화 기반 골재 자원 검토
 - CO₂ 및 대상 산업부산물 탄산염 골재 제조 기초기술 확립
 - 탄소 저장 콘크리트용 골재 표준화를 위한 기초자료 확보
- (2차년도) 산업 부산물을 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 제조기반 구축 및 최적 공정확보
 - 광물탄산화 골재 제조기반 구축 및 최적 공정확보
 - CO₂ 고정 콘크리트용 골재 표준화 원재료 표준화를 위한 표준 적합성 도출
- (3차년도) 산업 부산물을 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 성능 확보
 - 광물탄산화 인공경량 골재 품질 확보 및 탄소저장 콘크리트 기초 성능 확보
 - 탄소저장 콘크리트용 골재 원재료 표준화 위한 표준(안) 도출

- 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발에 대한 적용성 평가
- (4차년도) 산업 부산물을 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 품질개선 및 제품화
 - 탄산염 인공경량 골재 품질개선 및 탄소고정 콘크리트용 골재 제품화
 - 탄소저장 콘크리트용 골재의 원재료 표준화 위한 표준(안) 보완 내용
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발 적용을 위한 제품 기술 보완
- (5차년도) 산업 부산물을 활용한 탄소저장 콘크리트용 인공 원재료 T/B 지원
 - 현장타설 및 프리캐스트 콘크리트 T/B 적용 시 골재 재료 차원 기술 지원

○ 최종성과물

- 포집 CO₂와 산업부산물을 활용한 광물탄산화 기반 골재 제조 기술
- 산업부산물을 활용한 골재 탄소 고정화 기술
- 탄소저장 콘크리트용 인공 골재 품질 기준(안)

□ 세부기술 2 : 순환골재를 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 표면부착 모르타르 탄산화에 의한 순환골재 개질을 통한 CO₂ 고정화 향상 기술 개발

○ 기술동향

- 국내 산업 부산물을 이용한 CO₂ 광물탄산화에 기반한 순환골재 제조 및 적용에 관한 연구 부족
- 순환골재의 표면부착 모르타르에 대해 CO₂ 고정화에 따른 탄소고정 및 품질향상 연구 필요

○ 주요 연구개발 내용

- 10 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 순환골재 제조 기술 개발
- CO₂ 고정화 장비 활용기술 및 CO₂ 고정화량 정량 평가방법 개발
- CO₂ 고정화에 따른 CO₂ 저장 순환골재 물리·화학적 특성 평가 및 품질 기준 제시
- CO₂ 저장 순환골재 품질별 활용방안 제시
- (1차년도) 순환 골재 탄산화 개질 기초기술 확립
 - 순환골재 탄산화 개질향상을 위한 CO₂ 일반 및 촉진 탄산화 적용기술 확립
 - 순환골재 탄산화 개질향상을 위한 대상 순환골재 제조변수 확립
 - 순환골재 탄산화에 의한 탄소고정량 산출방법 도출
 - 탄산화 개질 순환골재 표준화를 위한 기초자료 확보
- (2차년도) 순환 골재 탄산화 개질기반 구축 및 최적 공정확보
 - 순환골재 탄산화 개질향상을 위한 CO₂ 양생 최적 공정확보
 - 순환골재 탄산화 개질향상을 위한 대상 순환골재 최적제조 공정확보
 - 탄산화 개질 순환골재 표준화를 위한 표준 적합성 도출
- (3차년도) 순환골재를 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 성능 확보
 - 최적 탄산화 공정을 적용한 순환골재 개질 기초 성능 확보
 - 탄산화 개질 순환골재를 활용한 콘크리트 품질 기초 성능 확보
 - 탄산화 개질 순환골재 표준화를 위한 표준(안) 도출
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발에 대한 적용성 평가
- (4차년도) 순환골재를 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 품질개선 및 제품화
 - 탄산화 성능 개질 순환골재의 품질 개선 및 제품화
 - 탄산화 성능 개질 순환골재 활용 콘크리트 품질 개선 및 제품화
 - 탄산화 개질 순환골재 표준화를 위한 표준(안) 보완

- 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발 적용을 위한 제품 기술 보완

○ 최종성과물

- 포집 CO₂와 순환골재를 활용한 콘크리트 인공 원료 제조 기술
- 순환 골재를 활용한 탄소 고정화 기술
- 탄소저장 콘크리트용 순환 골재 품질 기준(안)

□ 세부기술 3 : 콘크리트용 광물탄산화 혼화재 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 시멘트 생산 시 발생하는 CO₂량이 막대하기 때문에 시멘트 사용량을 감소시키기 위해 대체 바인더를 발굴 및 활용하는 기술 개발을 통해 CO₂ 감축에 직접적으로 크게 기여

○ 기술동향

- 기존 시멘트 대체재료로 사용중인 고로슬래그, 플라이애시 외에 에너지 대체에 따른 산업부산물, 메타카올린, 저소성온도 킬른 소재, CO₂ 광물탄산화 전환을 통해 제조한 탄산염 소재 등을 시멘트 대체 혼화재로 사용 검토하는 연구가 기술 선진국을 중심으로 진행중
- 국내의 경우 시멘트를 대체할 수 있는 혼화재 사용이 직접적인 CO₂ 감축의 효과를 나타내므로 시멘트 대체 산업부산물 기반 소재 발굴을 위한 연구가 시도되고 있으나 다양한 소재 발굴 및 제조에 관한 연구 부족

○ 주요 연구개발 내용

- 시멘트 대체 바인더로 활용가능한 산업부산물 및 광물탄산화 소재 후보 검토
- 검토된 시멘트 대체 바인더 후보 소재에 대한 특성 평가 및 대체 가능여부 판단
- 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 품질 기준 제시
- (1차년도) 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재 발굴 및 활용성 검토
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 이용기술 조사 및 활용성 검토
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 발굴 및 제조 기초기술 확립
- (2차년도) 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 활용성 검토
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 제조 기반 구축 및 최적 공정확보
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 표준화를 위한 표준 적합성 도출
- (3차년도) 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 활용 CO₂ 고정 콘크리트용 성능 확보
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 품질 확보 및 탄소고정 콘크리트 기초 성능 확보
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 표준화를 위한 표준(안) 도출
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발에 대한 적용성 평가
- (4차년도) 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 품질개선 및 제품화
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 품질개선 및 탄소고정 콘크리트용 시멘트 대체 바인더 활용기술

- CO₂ 고정 콘크리트용 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 표준화를 위한 표준(안) 보완
- 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발 적용을 위한 제품 기술 보완

○ 최종성과물

- 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재 콘크리트 혼화재 활용 기술
- 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 콘크리트 혼화재 표준(안)

□ 세부기술 4 : CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 산업용 · 폐수는 CO₂와 반응할 수 있는 고농도의 알칼리 및 다량의 이온을 함유하고 있어 산업부산물의 재활용율을 높여 환경에 미치는 영향을 최소화하면서도 CO₂ 고정화율을 높이는 기술 개발 가능

○ 기술동향

- 캐나다의 카본큐어社は 콘크리트 산업의 탈탄소화를 위해 기존 배합과정에서 액화 CO₂를 주입하는 기술 외에 콘크리트 생산 공장에서 콘크리트 트럭을 세척할 때 사용하는 회수수에 공기중에서 포집한 이산화탄소를 주입하여 이산화탄소 고정을 유도
- 국내의 경우 회수수를 활용하여 CO₂ 광물탄산화 반응을 통해 탄산염 소재 생성 및 슬러지의 콘크리트 활용에 대한 연구가 진행중에 있음
- 최근 한국건설기술연구원에서 ‘Carbon Eating Concrete(CEC)’ 개발과정에서 회수수를 나노버블 CO₂ 용존 배합수 제조 시 함께 반응시켜 배합수를 대체하여 콘크리트 내 CO₂ 고정화량을 향상시키는 기술 개발중이나 실험실 검증 수준에 있어 실검증 평가를 통한 연구개발 접근이 필요

○ 주요 연구개발 내용

- 2 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발
- CO₂ 저장 배합수의 고정화량 정량 평가방법 개발
- CO₂ 저장 배합수의 특성 평가 및 품질 기준 제시
- CO₂ 저장 배합수를 활용한 광물탄산화 콘크리트 제조시 기존 대비 콘크리트 성능 확보 기술
- (1차년도) CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수 활용성 검토
 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수 이용기술 조사 및 활용성 검토
 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수 CO₂ 고정화 특성 검토
- (2차년도) CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 CO₂ 고정화 향상 기술 검토
 - 광물탄산화 기반 CO₂ 저장 배합수의 CO₂ 고정화 제조기반 구축 및 최적 공정확보
 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 품질관리 표준화를 위한 표준 적합성 도출
- (3차년도) CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 활용 CO₂ 고정 콘크리트용 성능 확보
 - 광물탄산화 기반 CO₂ 저장 배합수의 품질 확보 및 탄소고정 콘크리트 기초 성능 확보
 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 품질관리 표준화를 위한 표준(안) 도출
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발에 대한 적용성 평가
- (4차년도) CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 품질개선

- 광물탄산화 기반 CO₂ 저장 배합수 활용 탄소고정 콘크리트 품질 변동 개선 기술
 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 품질관리 표준화를 위한 표준(안) 보완
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발 적용을 위한 제품 기술 보완
- (5차년도) CO₂ 광물탄산화 반응 CO₂ 저장 배합수의 콘크리트 T/B 지원
- 현장타설 및 프리캐스트 콘크리트 T/B 적용 시 배합수 재료 차원 기술 지원

○ 최종성과물

- CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 활용 콘크리트 제조 기술
- CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 활용을 위한 품질 표준(안)

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 3-38> (중점기술1) 탄소저장 콘크리트 제조 기술 개발 성능목표

주요 기술명	주요 성능	성능수준		기술개발 목표수준
		국외	국내	
산업부산물 활용 CO ₂ 저장 골재	▪ 단위용적 질량(t/m ³)	0.85	0.88	0.88 이하
	▪ CO ₂ 고정량(kg/t)	50.0	-	50.0 이상
	▪ 콘크리트 압축강도 비율(%)	90	-	Plain 대비 90 이상
순환골재 활용 CO ₂ 저장 골재	▪ 순환골재 밀도 개선율(%)	5.6	1.8	5.0 이상
	▪ 순환골재 흡수율 개선율(%)	18.0	-	15.0 이상
	▪ 순환골재 CO ₂ 고정량(kg/t)	10.0	-	10.0 이상
	▪ 콘크리트 압축강도 비율(%)	90	-	Plain 대비 90 이상
콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술	▪ 시멘트 대체재 바인더 소재 발굴	-	-	4종 이상
	▪ 콘크리트 압축강도 비율(%)	-	-	Plain 대비 90 이상
CO ₂ 저장 배합수	▪ 페이스트 CO ₂ 고정량(kg/t)	1.1	-	2.0 이상
	▪ 콘크리트 압축강도 비율(%)	98	90	Plain 대비 95 이상

<표 3-39> (중점기술 1) 탄소저장 콘크리트 제조 기술 개발 산출물 목표

중점기술명	세부기술명	산출물					세부기술 목표	중점기술 목표
		'26	'27	'28	'29	'30		
콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발	산업부산물을 활용한 CO ₂ 저장 골재 제조 기술 개발	- 산업부산물을 활용한 CO ₂ 광물 탄 산 화 기술 적용 골재 검토 보고서	- 산업부산물을 활용한 CO ₂ 광물 탄 산 화 기술 적용 골재 제조 분석 보고서	- 산업부산물을 활용한 CO ₂ 광물 탄 산 화 기술 적용 골재 사용 콘크리트 배합 기술 보고서	- 산업부산물을 활용한 CO ₂ 광물 탄 산 화 기술 적용 골재 표준(안)	- 산업부산물을 활용한 CO ₂ 광물 탄 산 화 골재 적용 콘크리트 T/B 기술 지원	산업부산물을 활용하여 50 kgCO ₂ eq/ton 고정 가능한 CO ₂ 저장 골재 제조 기술 개발	골재, 바인더, 배합수 등 콘크리트 원재료에 CCU 기술을 적용하여 탄소를 고정(저장)하는 콘크리트 원재료 광물탄산화 기술 개발
	순환골재를 활용한 CO ₂ 저장 순환골재 제조 기술 개발	- 탄산화 개질 순환골재 검토 보고서	- 탄산화 개질 순환골재 제조 분석 보고서	- 탄산화 개질 순환골재 적용 콘크리트 배합기술 보고서	- 탄산화 개질 순환골재 관련 표준(안)	-	10 kgCO ₂ eq/ton 고정 가능한 CO ₂ 저장 순환골재 제조 기술 개발	
	콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술 개발	- 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 활용 가능 소재 조사 자료	- 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 활용 제조 기술 보고서	- 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 적용 콘크리트 배합기술 보고서	- 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 표준(안)	-	산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 4종이상 발굴 및 활용 기술 개발	
	CO ₂ 저장 배합수 제조 기술 개발	- 산업용폐수	- 산업용폐수를 활용한 CO ₂ 저장 배합수 제조 기술 보고서	- 산업용폐수를 활용한 CO ₂ 저장 배합수 적용 콘크리트 배합 기술 보고서	- 산업용폐수를 활용한 CO ₂ 저장 배합수 표준(안)	- 산업용폐수를 활용한 CO ₂ 배합수 적용 콘크리트 T/B 기술 지원	산업용폐수를 활용하여 2 kgCO ₂ eq/ton 고정 가능한 CO ₂ 저장 배합수 제조 기술 개발	

(3) 유사과제와의 차별성 및 연계성

□ 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

○ 유사 연구과제와의 차별성

- 유사 연구과제의 경우 콘크리트 원재료 전체에 대한 탄산화를 고려하지 않고 개별적으로 적용하거나 콘크리트 자체를 탄산화하는 방법을 통해 탄소를 고정하는 기술임.
 - 인공 골재의 경우 페로니켈 슬래그의 탄산화 후처리를 통해 제조하는 기술, 분말을 과립 형태로 제조하여 탄산화 후처리를 통해 제조하는 기술 등이 있으나 콘크리트 회수수, 배합수 등 콘크리트 원재료 전체에 대해 고려하지 않고 골재 단계에서만 고려하고 있음.
 - 본 연구과제에서는 콘크리트 원재료인 골재, 배합수 등 탄소 고정이 가능한 모든 재료에 대해 적용하고 있으며 2차제품 한정인 아닌 적용성 및 소요성능이 높은 콘크리트용 인공 재료에 기술에 대해 개발하는 점에서 기술적 차별성이 있음.
- 유사 연구과제의 경우 탄산화에 의한 바텀애시 순환골재를 개질하는 기술을 개발하였으나 콘크리트 2차제품에 한정되어 활용하고 있는 기술임.
 - 순환골재의 경우 바텀애시 순환골재 탄산화 개질 플랜트 기술이 있으나 이는 액상 촉진 탄산화에 대한 기술에 의해서만 고려하고 있음.
 - 본 연구과제에서는 다양한 원재료 형태에 따라 다양한 촉진 양생방법을 고려해야 하는 점에서 기술적 차별성이 있음.

○ 유사 연구과제와의 연계성

- 탄산화 양생에 의한 중성화 내구성 평가법 및 내구성능 평가자료에 대한 연계가능
- 순환골재의 탄산화 기술 및 $MgCO_3$ 기반 CO_2 고정량 평가기법 연계가능
- 탄산염 자원의 과립화 기술 및 촉진 탄산화 기술 연계가능
- CO_2 대량 고정화 플랜트 기술 연계 가능, 건설재료에 대한 LCI DB 구축 연계가능

<표 3-40> (중점기술 2) 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관 기관	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
제철소 부산물 활용 CO ₂ 고정형 골재 기반 탄소중립 콘크리트 개발 (2022.07.01. ~ 2024.06.30.)	브리콘랩 (중소기업기술정 보진흥원)	- 페로니켈 슬래그를 이용한 CO₂ 고정형 콘크리트용 골재 개발 - 페로니켈 슬래그의 직접 광물탄산화 효율을 높이기 위한 CO₂ 용해 및 미세기포기술 개발 - MgCO₃ 생성량에 의한 CO₂ 고정율 평가방법 개발	- (차별성) 해당 연구는 탄산염 후보물질인 MgO를 다량 함유하고 있는 페로니켈 슬래그를 이용한 콘크리트용 골재를 개발하는 내용으로 본 연구에서는 탄산염 소스를 제한하고 있지 않는 점에서 기술적 차별성이 있음. - (연계성)페콘크리트 기원 순환골재의 탄산화 기술 및 MgCO₃ 기반 CO₂ 고정량 평가방법 연계가능
마이크로파를 활용한 고농도 급속 CO ₂ 양생 기술 연구 및 CO ₂ 다량 고정화 골재 개발 (2022.03.01. ~ 2027.02.28.)	동아대학교 (한국연구재단)	- 마이크로파를 이용한 고농도 CO₂ 균일 탄산화 양생 기술개발 - 분말 형태의 원재료를 과립화하여 나노 실리카를 첨가하여 탄산화 촉진 기술 개발 - 마이크로파 CO₂ 양생기술 적용한 촉진 탄산화 골재 개발	- (차별성)해당 연구는 마이크로파에 의한 CO₂ 촉진 양생 기술과 탄산염 형성이 가능한 분말 및 나노 실리카를 이용한 인공경량 골재에 제조기술에 대한 내용으로 본 연구에서 적용하는 양생방법은 인공경량 골재 개질 순환골재 등 도출성과 별로 달리 적용하고 있으며 골재를 제조함과 동시에 제품화 및 표준화에 대해 고려하는 점에서 기술적 차별성이 있음. - (연계성) 탄산염 자원의 과립화 기술 연계가능
가온가압공법에 의한 경량 에코 탄산화 건자재 개발 (2010.09.01. ~ 2015.08.31.)	경기대학교 (한국연구재단)	- 시멘트 및 인공 경량골재를 활용한 콘크리트 탄산화 건설자재 개발 - 경량 세라믹 에코 인공경량 골재를 개발하여 건자재 성능향상 기술 개발 - 반복(촉진) 탄산화에 의한 최적 인공 경량골재 콘크리트 블록 및 판넬 제조	- (차별성)해당 연구는 촉진 탄산화를 이용한 경량 세라믹 에코 인공경량 골재를 개발하여 콘크리트 블록 및 판넬과 같은 제품을 제조하는 내용으로 본 연구에는 인공경량 골재 뿐만 아니라 개질 순환골재와 같은 콘크리트 핵심 원재료 개발을 통해 최종적으로 블록 및 판넬이 아닌 콘크리트용 원재료를 개발하는 점에서 기술적 차별성이 있음. - (연계성) 가온 및 가압 촉진 탄산화 기술 연계 가능
건설재료의 CO ₂ 통합관리 기술개발 (2011.11.28. ~ 2016.11.27.)	한국건설기술연 구원 (국토교통과학기술 진흥원)	- 비소성 결합재, 순환골재, 에너지 저감형 비정질 강섬유를 이용한 CO₂ 배출 저감형 고성능 건설구조재료 개발 - 에너지 저감형 건축자재(PC외벽, 도로, 내외장재) 개발 - 건설재료 전과정 CO₂ 통합관리 시스템 및 시방기준, LCI DB 모듈 개발	- (차별성)해당 연구는 에너지 저감형 건설 원재료, 건축자재 개발기술에 대한 내용으로 본 연구에서는 에너지 저감에 의한 CO₂ 저감이 아닌 콘크리트용 원재료의 CO₂ 직접고정 의한 탄소저감을 목적으로 하는 점에서 기술적 차별성이 있음. - (연계성)건설재료에 대한 LCI DB 구축 연계 가능
건설폐기물 및 산업부산물에 액상 촉진탄산화 기술을 적용한 pH 저감형 건설자재 개발 CO ₂ 양생에 따른 시멘트계 제품의 성능 영향 연구	고등기술연구원 연구조합 (국토교통과학기술 진흥원)	- CO₂를 활용한 순환골재 및 바텀애시의 개질처리 플랜트 기술 개발 - 레미콘 회수수의 CO₂ 대량 고정화 플랜트 기술 개발 - 개질 순환골재 및 바텀애시, 슬러지 활용 콘크리트, 벽돌, 블록 제조 기술 개발	- (차별성)해당 연구는 순환골재 및 바텀애시, 회수수에 CO₂를 대량 고정화 시키는 플랜트 기술을 개발하고 2차제품을 제조하는 기술에 대한 내용으로 본 연구에서는 순환골재의 탄산화 개질 및 탄산염 후보물질에 기인한 인공경량 골재를 직접제조하며 CO₂ 용존배합수를 활용하여 콘크리트용 인공 재료를 제조하는 점에서 기술적 차별성이 있음. - (연계성)CO₂ 대량 고정화 플랜트 기술 연계 가능

(4) 기대효과 및 파급효과

□ 과학기술적 효과

- 콘크리트 적용 광물탄산화 기반 원재료에 대한 탄소고정화 메커니즘 기술개발을 통한 건설 탄소저감 기술개발 시너지 형성 및 가속화
 - 콘크리트의 탄소저감 기술을 원재료 별로 확보하여 신규 건설 탄소저감 기술 간 융합·교환이 가능하고 콘크리트 탄소저감 효과에 대한 시너지 형성 가능
- 탄소저감 콘크리트 원재료별 중성화 요인 제어 및 철근콘크리트 고내구성능 가능
 - 골재, 배합수, 혼화재료에 대한 탄소 고정화 및 콘크리트 완제품의 탄산화 선택적용 가능, 콘크리트의 pH 저하에 영향을 적게주도록 제어하여 탄산화로부터 자유로운 고성능 탄소고정 철근콘크리트 부재 설계 가능
- 콘크리트 산업의 안정적인 CO₂ 감축 기술 확보 및 즉시 활용 가능한 CCUS 시스템 구축에 따른 온실가스 배출량 감축에 실질적 기여
 - CO₂ 고정화 기술의 취약점인 CO₂ 재방출 현상 없이 장기 안정 상태로 CO₂를 대량으로 고정할 수 있기 때문에 안전이나 환경위험 없이 기후 위기에 대응 가능
 - 기존 콘크리트와 동일한 물성, 공정 및 시스템을 기반으로 광물 탄산화 즉시 실현
- 건설 분야 CCUS 시스템 확보에 따른 국가 CCUS 로드맵 달성 기여
 - 국내 건설산업 연계 이산화탄소 감축 기술 체계구축의 선도로 산업계 적용확산을 위한 구체적인 정책 및 체계마련을 통해 국가 이산화탄소 감축 로드맵 구축 기대
 - 지속 가능한 발전을 위한 전략 기술로서의 건설분야 탄소중립을 위한 핵심기술 집중 성장 가능성 잠재
- 건설 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대
 - 저탄소 시멘트 제조, 산업 배출 CO₂ 포집 및 활용 시스템 구축, 저탄소/고내구성 콘크리트 제조 기술 연계를 통한 관련 산업 분야 가치사슬 강화 기대
 - 기술 상용화, 과속화 및 안정화를 위한 실증화 시스템 인프라 조성에 따른 산업 기술력 증대

□ 사회경제적 효과

- 탄소중립 체제 세계화에 의한 해외 기술 종속화 예방 및 국내 건설관련 탄소경제 자립성 강화
 - 해외선도 건설관련 탄소저감 기술이 증가하는 추세에 따른 국내 기술의 종속화를 선제적으로 방지하여 기술 확산 및 적용도모, 건설관련 중소기업 및 중견기업 탄소경제 자립성 강화기반 마련
- 건설산업에 대한 인식 전환 및 신산업 일자리 창출
 - 기술개발을 통한 기반 구축과 실증 완료시 콘크리트 산업의 기존 부정적 이미지를 탈피하여 2050 탄소중립 달성에 있어 핵심적이고 지속가능한 분야로의 인식 전환 기대
 - 건설산업에 대한 인식 전환에 따른 신규 일자리 창출 및 국내 젊은 인력 유입 기대
- 직접적인 경제적 효과 창출
 - 생산중 탄소 고정 콘크리트 기술만으로도 연간 국내 레미콘 타설량 1.4m³ 기준으로 약 400만 톤의 CO₂ 고정화가 가능하며, 이를 탄소배출권 가격에 적용하면(22,000원/톤, 2021년 2월 기준) 연간 880억의 직접적인 경제적 효과 창출 가능
- 콘크리트 산업의 비용 절감, 장수명화 및 탄소 네거티브 구현
 - 건설산업의 탄소중립 구현을 위한 비용 절감 가능

- 내구수명의 감소 없는 탄소중립 콘크리트 구조물의 건설 가능
- CO₂ 배출량 대비 CO₂ 흡수량을 증가시켜 콘크리트 산업에서의 탄소 네거티브 구현
- 산업부산물 및 건설폐기물의 활용을 통한 건설재료 원가절감 및 폐기물 처리비용 감소

중점기술2. CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발

1. 기술개발 개념 및 범위

(1) 개념

- 현장타설 및 프리캐스트 콘크리트에 대해 CCU 기술로 포집한 CO₂를 대량으로 활용할 수 있는 CCU 콘크리트 최적화 설계·제조시스템 및 생산기술을 개발하여 콘크리트내에 CO₂를 영구 저장할 수 있는 실효적인 탄소중립 건설기술 개발

(2) 범위

- 중점기술 1에서 개발한 콘크리트 원재료의 CO₂ 고정화 기술을 반영하여 현장타설 및 프리캐스트 콘크리트로 제조할 수 있는 CCU 콘크리트 최적의 배합설계를 개발하고 이를 제조할 수 있는 pilot 형태의 실증 규모 제조 시스템을 구축하여 T/B구축을 통한 생산 기술 확보
 - CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발
 - CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 최적화 설계·제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발
 - 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발

2. 국내외 기술현황

(1) 국내 기술현황

- 국내에서는 콘크리트에 대해 CO₂ 활용기술에 관한 연구는 광물탄산화 소재의 콘크리트 재료 대체재로의 검토, 이산화탄소 양생처리에 따른 콘크리트 물성을 검토하는 정도의 초기연구 단계 수준임
- 최근 탄소중립 문제해결을 위해 CCUS의 CO₂ 활용기술에 대한 관심이 높아지면서 시멘트 산업에서 발생하는 배출 이산화탄소를 포집해 광물 탄산화 생산공정에 활용하는 기술개발 과제 국책 과제로 발주되어 진행되고 있으며 원천기술 확보 단계임
 - 시멘트 산업 발생 CO₂ 활용 in-situ 탄산화 기술 개발과제는 국책과제(2021~2024)로 (주)유진기업이 주관연구기관으로 1m³당 CO₂ 반응률 0.4kg 이상, 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물의 단위 시멘트량 3% 이상 감축 기술 개발을 목표로 수행중에 있음
 - 이산화탄소 반응경화 시멘트 및 건설용 2차제품 제조기술 개발 과제는 국책과제(2021~2024)로 들을 수행 중에 있으며 시멘트 조성물질을 조정하여 CO₂와의 반응성을 높여 강도를 확보하는 기술로 1000t/y급 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조·응용기술, 이산화탄소 반응경화 시멘트 적용 10ton/batch급 건설용 2차제품 제조기술, 건설용 2차제품 제조를 위한 5m³급/batch급 이산화탄소 반응경화 양생시스템 개발 등 3개의 세부과제 구성하여 진행 중에 있음
- 한국건설기술연구원은 기관 주요사업(2022~2024)을 통해 광물질 탄산화 반응 기술에 기반하여 포집한 CO₂ 활용 콘크리트 제조 원천기술을 확보하고 CEC(Carbon Eating Concrete)로 상표등록을 함
 - CEC는 CO₂ 용존 배합수로 생산중 콘크리트에 주입하는 기술과 챔버내 CO₂ 양생을 통해 CO₂를 재령초기의 콘크리트에 단시간 주입할 수 있는 기술을 개발하여 탄소를 고정 및 저장하는 콘크리트 CO₂ 활용기술을 구현하고 있음
 - 고농도의 CO₂가 용해되고 많은 양의 CO₂가 광물질 탄산화 반응으로 소비될 수 있도록 산업부산물이 들어간 나노버블 CO₂ 용존 배합수를 제조하여 콘크리트 제조에 사용되는 물을 대체하여 콘크리트에 CO₂를 고정하는 기술로 회수수를 활용한 CO₂ 용존 배합수 사용 CEC의 경우

콘크리트 1m³에 대해 CO₂ 1 ~ 1.8kg을 고정 및 저장할 수 있는 연구성과(2024)를 나타내고 있음

- CO₂ 양생 CEC의 경우 프리캐스트 등 콘크리트 2차 제품을 대상으로 CO₂와의 반응을 활성화할 수 있는 재료배합 기술 및 양생방법을 개발하여 재령초기에 콘크리트 시편을 양생챔버에 넣고 CO₂를 주입하는 기술로 CO₂로 5~10kg/m³를 콘크리트내에 저장할 수 있는 연구성과(2024)를 나타냄

○ 현재 국내 대형 건설사, 시멘트 제조사 중심으로 해외 기술(캐나다 CarbonCure社)을 도입하고 있음

- GS건설의 프리캐스트 콘크리트 제조 자회사 GPC는 국내 최초로 생산 중 콘크리트 탄소 고정 기술을 상용화했다고 발표(2022)
 - 캐나다 CarbonCure社의 기술 도입을 통해 GPC 충북 음성공장에서 PC 제품에 대한 기술 실증 후 탄소 저감형 PC 제품생산을 점차 확대할 방침
- 삼성물산은 친환경 · 저탄소 콘크리트 기술의 국내 도입을 위해 2023년 7월 캐나다 CarbonCure社에 750만달러 규모의 투자 및 업무협약 체결
- 유진그룹 계열사 (주)동양은 국내 레미콘 업계 최초로 CarbonCure社 시스템 도입
 - 2023년 9월 CarbonCure社의 카본큐어 시스템을 국내공장에 설치 완료하고 동일 강도 유지 조건으로 레미콘의 시멘트 사용량 4~6% 절감 기대

(2) 국외 기술현황

○ CO₂를 직접 콘크리트에 활용하여 CO₂를 저장하는 콘크리트 기술을 선도하고 있는 기업은 북미 지역을 거점으로 하는 CarbonCure社이고, 일본, 중국 등 후발국에서 추격을 하고 있음

- 선두 기업인 캐나다 CarbonCure社는 북미지역에서의 성공적 경험을 발판 삼아 점차 세계적 기업으로 성장 중임
 - 최근 이산화탄소 감축 실적을 적 탄소시장인 VERRA에서 인정을 받았으며, 2019년도부터 3개년 동안 총 14,581t CO₂ 감축을 인정받음
 - 레미콘 기반 탄소 고정 기술을 산업 및 기술 성숙도가 높은 동아시아 지역부터 수출하기 시작하였으며, 2023년 기준 30개국에 넘는 기업에서 해당 기술을 도입하고 있음

○ 미국 에어룸 카본 테크놀로지스社, 캐나다 CarbonCure社 간 기술 협업으로 직접 포집 방식 콘크리트 탄소 고정 기술 상용화

- 에어룸 카본 테크놀로지스社は 석회의 탄산-탈탄산 반복 과정을 활용하여 공기 중 이산화탄소를 포집하고, 카본큐어社は 이렇게 포집한 이산화탄소를 생산중 콘크리트에 주입하는 방식으로 협업

○ 캐나다 Carbicrete社は 2016년 설립한 회사로 CMUs(Concrete Masonry Units) 및 PC Panel 등 콘크리트 2차 제품 제조 기술을 중심으로 성장 중으로 시멘트 대신 슬래그를 사용하고, 포집된 CO₂를 주입하여 CMU당 약 3kg의 CO₂를 저감하여 블록을 생산

○ 미국 Solidia社は 2008년 설립한 회사로 탄소 고정으로 경화되는 특수시멘트 기술을 바탕으로 물 대신 CO₂를 이용하여 콘크리트를 양생시키는 특수시멘트(솔리디아 시멘트)를 사용한 레미콘을 생산 기술 보유하고 급성장 중

- 온실가스 30~40% 저감 및 콘크리트 양생 시간 1일로 단축
- 현재 2개 대륙, 10개국 50개 공장에서 제품 생산

• Two applications tested:

- Pavers
- Hollow cores

Press machine



Fresh Solidia Concrete

CO₂ curing



Fresh Solidia Concrete
in contact with CO₂ (24h)



* 출처: 2050 탄소중립을 위한 시멘트그린뉴딜 기획보고서_산업통상자원부 ('21.03)

미국 Solidia社의 탄소 고정형 콘크리트 2차 제품 제조 공정

[표] (생산중 콘크리트 탄소 고정 기술) 세계 선도 기업 비교

구분	Carbicrete (2016년)	Solidia (2008년)	CarbonCure (2012년)
국가	캐나다	미국 (New Jersey)	캐나다 (Nova Scotia)
생산제품	CMUs 및 PC Panel (Concrete Masonry Units)	솔리디아 시멘트, 솔리디아 콘크리트 (2개 대륙 생산, 10개국 50개 공장 생산 중)	레미콘
활용	시멘트 대신 슬래그 사용 포집된 CO ₂ 콘크리트 내 주입	물 대신 CO ₂ 이용, 특수시멘트 양생	시멘트 생산 시 CO ₂ 사용
연구분야	저탄소/무탄소 콘크리트	친환경 시멘트 제조기술 친환경 콘크리트 양생 기술	레미콘 in-situ 탄산화
효과	CMU당 약 3kg CO ₂ 저감	시멘트: 온실가스 30~40% 저감 콘크리트: 양생 1일에 28일 강도발현	레미콘 생산 시 CO ₂ 5% 저감 800만톤 레미콘 납품 실적
관련 사진			

- 일본 미쓰비시社は 2021년 1월 캐나다 Carbon Cure社와의 제휴를 통해 콘크리트 생산 중 탄소 고정 기술 확보중이고 2020년 9월 미국 Blue Planet社와 탄소 포집 골재의 콘크리트 활용을 위한 협업 계약을 체결하고 사업화를 진행중에 있음

- 일본 미쓰비시社, 가지마 건설, 주고쿠 전력 등으로 구성된 컨소시엄은 탄소 네거티브 콘크리

트 ” CO₂-SUICOM “ 개발 및 세계시장 공개

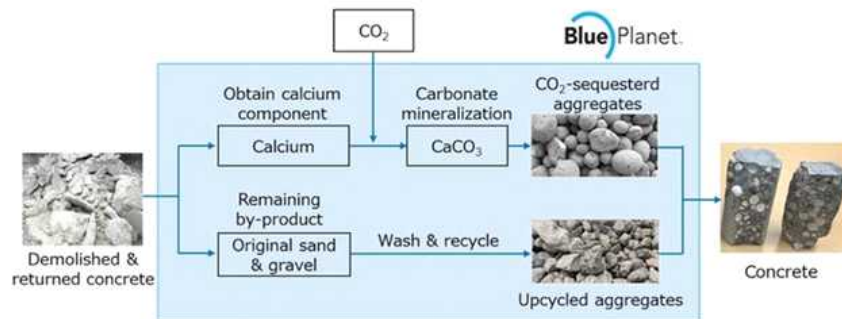
- CO₂-SUICOM은 시멘트 사용량 70% 삭감 및 탄소 추가 흡수를 통해 탄소 총배출량을 제로 이하 낮추는 기술로 철근 콘크리트구조에 활용하기 위한 연구를 수행 중

Carbon Cure CO₂ 고정화 프로세스



미쓰비시사에서 도입한 캐나다 Carbon Cure社의 콘크리트 생산 중 탄소 고정 기술

Blue Planet CO₂ 고정화 프로세스



미국 Blue Planet社의 탄소 포집 골재의 콘크리트 활용 기술

3. 기존기술의 한계와 극복방안

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

<표 3-42> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발	- 건설업계 ESG 경영 요소중 가장 밀접한 관련을 가지고 있는 환경적 측면(E, Environment)의 국내시장 활성화를 위한 탄소중립 콘크리트 관련 핵심기술 필요하나 국내에는 상용기술이 부재로 해외 선진기술에 종속화 우려 - CCUS 기술로 포집한 CO₂를 대량으로 활용, 소비할 수 있는 방식의 CCU 콘크리트 제조 기술 개발이 필요 - 콘크리트 생애주기 동안 CO₂를 저감할 수 있는 공용중 탄소 흡수 콘크리트 기술 개발이 필요함	- CCUS 기술로 포집한 CO₂ 활용을 위한 CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발 - CCUS 기술로 포집한 CO₂ 활용을 위한 CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발 - 공용중 탄소흡수를 고려한 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발

□ 한계점 및 주요이슈 1 : 해외 탄소중립 건설기술 선점에 의한 기술 종속화

○ 국내 탄소중립 관련기술 적용 건설재료 개발 및 사업화 사례, 일부 대기업을 제외하면 미미

- 사업화 및 기술확산을 목표로 하는 해외 탄소중립 건설재료 선도업체 사례

- 캐나다의 CarbonCure社は 국내 기업과 기술도입 계약 체결을 시작하였으며 대응기술이 없을 경우 향후 탄소중립 정책이 가속화 될수록 해당 기술의 종속화가 빠르게 이루어질 것으로 판단됨

※ CarbonCure社の 국내 기업 간 기술도입 행보, 2022년 GS 건설의 GPC社 기술도입, 2023년 유진그룹의 동양社 기술도입으로 점차 확대될 것으로 전망

- CO₂ 반응경화 시멘트인 Solidia Cement를 개발한 미국의 Solidia Tech.社は ASTM과 협의하여 표준개발 착수, 해당기술의 제도권 내 안착으로 탄소중립 관련 시멘트 상용화 착수

※ ASTM WK73827, “New Test Method for Compressive Strength of Mortar Cures with Cement that sets by Carbonation” 개발을 통해 표준화 예정

○ 선진국들은 콘크리트 CCU 기술의 성장 잠재력을 미리 인식하여 대규모 투자와 연구를 10~20여년 전부터 시작

- 미국, 캐나다는 벤처기업의 대규모 투자를 기반으로 한 지속적인 연구 및 실증을 통해 세계 선도 기술을 확보

- 일본은 해당 기술의 중요성을 사전에 인지하여 대기업 주도의 연구를 통해 자체 기술력 확보

○ 우리나라는 제반 기술이 미확보된 상황으로 향후 해외기술의 종속화 가능성이 높음

- GS건설, 삼성물산, (주)동양 시멘트와 같이 자체 기술력 확보방식이 아닌 해외 선진기술 도입방식을 채택하는 사례가 당분간 지속될 것으로 전망

- 해외기술 종속화 현상 방지 시 탄소중립 분야 국제 경쟁력 확보 불가

□ 한계점 및 주요이슈 2 : CCUS 기술로 포집한 CO₂를 대량으로 활용, 소비할 수 있는 방식의 CCU 콘크리트 제조 기술 개발이 필요

○ CCU 콘크리트 탄소 고정 기술 적용에 따라 연간 약 500Mt의 탄소 저감이 가능하며, 최대 260

억 달러 규모의 새로운 생산 효율성을 창출할 수 있는 잠재력이 있음

- CCU 콘크리트 탄소 고정 기술은 기존 콘크리트의 물성과 제조방식 유지가 가능한 기술로서 개발 즉시 현장 활용과 CO₂ 감축이 가능
 - 콘크리트, 레미콘 (Ready mix concrete), 콘크리트 pre-cast 2차 제품 등 다양한 건설재료 제조공정에 적용하여 산업 배출 CO₂ 저감에 즉시 기여
- 콘크리트의 원재료 단계, 혼합 단계, 양생 단계에서 각각의 CO₂ 저감기술이 별도로 적용되고 있어 시너지를 이루기 위한 통합 연구필요
 - 레미콘 단계 CO₂ 주입, 제조단계 CO₂ 양생공법을 통한 콘크리트내 CO₂ 저장기술, 기존 콘크리트에 산업부산물 다량사용에 따른 탄소저감 기술 등 다양한 탄소중립 기술이 개별적으로 존재하며 기타 탄산염 골재와 바인더와 같은 탄소중립 건설 적용 기술이 개별적으로 존재
 - 탄소중립 건설재료 및 제조기술이 융합되면서 통합 진행할 수 있는 기술개발 프로세스 수립 필요

□ 한계점 및 주요이슈 3 : 콘크리트 생애주기 동안 CO₂를 저감할 수 있는 대기 중 탄소 흡수 콘크리트 기술 개발이 필요

- CO₂를 포집하고 저장하는 물리적, 화학적 방법은 고비용, 고에너지가 필요하고 환경오염의 우려가 있기 때문에 생물학적인 접근 방법이 필요함
 - CO₂를 포집하고 저장하는 방법 중 물리적인 방법은 대규모 이산화탄소 포집 및 저장에 적합하며 전체 공정 비용이 매우 고가임.
 - CO₂를 포집하고 저장하는 방법 중 화학적인 방법은 높은 환경 오염과 에너지 소비가 발생함.
 - 반면 생물학적 방법은 친환경성과 대규모 사용 가능성이 있어 국제적인 관심을 끌고 있음.
- 콘크리트 구조물의 생애주기에서 지속가능한 CO₂ 저감 기술이 필요함
 - 시멘트 및 콘크리트의 CO₂ 저감을 위한 기술은 재료 생산단계에서 주로 고려되고 있으며, 구조물의 사용단계에서 CO₂ 저감은 단지 탄산화 작용에 의한 CO₂ 흡수만이 추가적으로 고려될 수 있음.
 - 구조물 사용단계에서 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 흡수량은 노출 환경과 면적 및 마감재 등에 의해 매우 상이할 수 있기 때문에 콘크리트 생애주기에서의 CO₂ 흡수량은 실제로 매우 작음.
 - 콘크리트 산업에서 CO₂ 배출량 및 포집의 한계를 고려할 때 이론적으로 약 100년의 수명을 갖는 콘크리트 구조물에서는 단편적인 CO₂ 저감 및 포집의 방법만이 아니라 생애주기 전체를 아우르는 탄소 저감의 기술의 개발이 필요함.

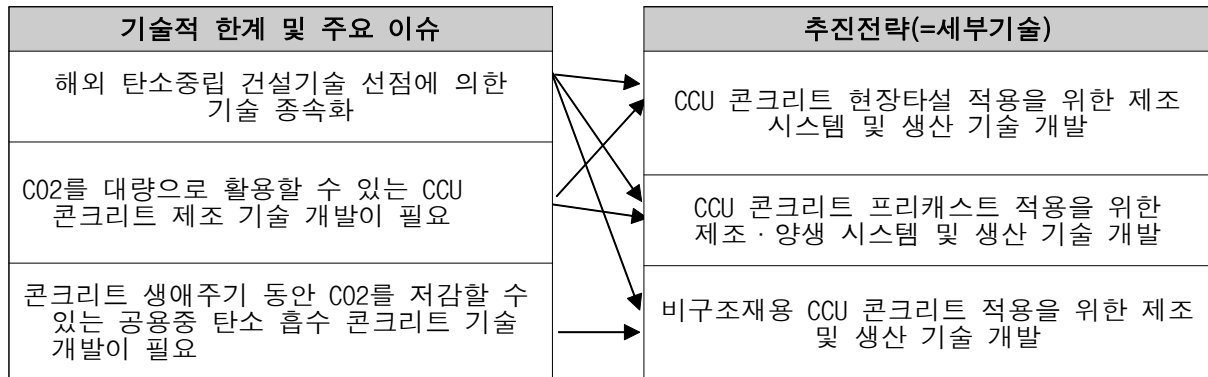
(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안: CCUS 기술로 포집한 CO₂ 활용 CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발

- 현장성을 고려한 생산 단계별 탄소저장 콘크리트의 다양한 제조 기술 및 장치 시작품(시작품) 개발
 - 현장타설을 고려한 배합단계에서 CO₂ 활용을 통한 콘크리트내 탄소 고정·저장 제조 기술 개발
 - 2차제품을 고려한 양생과정에서의 CO₂ 활용을 통한 콘크리트내 탄소 고정·저장 기술 개발
 - 기타 환경 조건에서의 CO₂ 활용을 통한 콘크리트내 탄소 고정·저장 기술 개발

4. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출



□ 전략 1 : CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발

- 탄소고정 콘크리트 원재료 활용 CO2 고정 현장타설용 CCU 콘크리트의 최적 배합 개발
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 설계 및 구축
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 시스템 최적화 기술 및 T/B 구축
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트의 다양한 실험 데이터 기반 품질 신뢰성 확보

□ 전략 2 : CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발

- 탄소고정 콘크리트 원재료 활용 CO2 고정 프리캐스트용 CCU 콘크리트의 최적 배합 개발
- 프리캐스트 적용을 위한 CCU 콘크리트 제조·양생 실증 시스템 설계 및 구축
- 프리캐스트 적용을 위한 CCU 콘크리트 제조·양생 실증 시스템 최적화 기술 및 T/B 구축
- 프리캐스트 적용을 위한 CCU 콘크리트의 다양한 실험 데이터 기반 품질 신뢰성 확보

□ 전략 3 : 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발

- 탄소 흡수 촉매재의 최적 조건 및 이를 이용한 탄소 흡수 콘크리트의 최적 배합 개발
- 탄소 흡수 콘크리트의 장기 내구성 및 생애주기 전체에 대한 탄소 흡수량 평가 방법 개발
- 비구조재용 CCU 콘크리트 적용 비구조용 시작품 제작 및 시제품 개발

(2) 기술개발의 최종목표

□ 최종목표

CO2를 영구 저장할 수 있는 CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발을 통한 실효적인 탄소중립 건설기술 기반 마련

□ 최종산출물

- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 설계 및 구축
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 활용 T/B 구축
- 프리캐스트 적용을 위한 CCU 콘크리트 제조·양생 실증 시스템 설계 및 구축

- 프리캐스트 적용을 위한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 활용 T/B 구축
- 제조방법을 고려한 CCU 콘크리트의 최적 배합 설계
- CCU 콘크리트 다양한 실험 데이터 기반 품질 확보 활용 기술
- 대기 중 탄소 흡수 촉매제 및 고정화 활성 재료 활용 비구조재 CCU 콘크리트 제조 기술
- 대기 중 콘크리트 CO₂ 흡수량(kg/m³) 평가 기법 제시
- 대기 중 탄소 흡수 촉매제 및 고정화 활성 재료 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 품질 기준(안)

□ 성과지표 및 목표

<표 3-43> (중점기술 2) 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발	▪ CO ₂ 감축량(kg/m ³)	30 kg/m ³ (시멘트 대체량 포함)
	▪ 압축강도 향상률(%)	탄소 고정되지 않은 콘크리트 대비 5% 이상
	▪ 염소이온 확산계수 (x10 ⁻¹² m ² /s)	3.5 이하
CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발	▪ CO ₂ 흡수량(% w/w)	1.0 이상 (공시체 및 콘크리트 중량 기준)
	▪ 압축강도 향상률(%)	탄소 고정되지 않은 콘크리트 대비 10% 이상
	▪ 동결융해 내구성 지수(%)	65 이상
비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발	▪ 공용종 탄소 흡수/고정 비구조재 CCU 콘크리트 제조 방법(촉매제 종류)	2건 이상
	▪ 공용종 CO ₂ 흡수량(kg/m ³) 평가 기법 제시	1건

5. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

<표 3-44> (중점기술 2) 세부기술 구성(안)

중점분야	세부기술
CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발	CCU 콘크리트의 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발
	CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발
	비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발

□ 세부기술1 : CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 선진국들은 콘크리트 CCU 기술의 성장 잠재력을 미리 인식하여 대규모 투자와 연구를 10~20 여년 전부터 시작하는데 비해 캐나다의 CarbonCure社は 국내 기업과 기술도입 계약 체결을 시작하였으며 대응기술이 없을 경우 향후 탄소중립 정책이 가속화 될수록 해당 기술의 종속화
- 콘크리트 생산량의 대부분을 현장타설에 사용하는 것을 고려하여 레미콘 생산과정에서 CO₂를 다량으로 활용하여 콘크리트내에 고정할 수 있는 제조 기술과 콘크리트 원재료에 CO₂ 고정하는 중점기술 1을 통해 개발될 재료를 활용한 최적배합설계를 통해 CCU 콘크리트 제조 기술을 개발할 필요 있음

○ 기술동향

- 현장타설 적용을 위한 레미콘 단계 CO₂ 활용 콘크리트 제조 기술은 해외 선진국에서는 상용화 단계 들어서고 있고 국내 연구는 부족
- 특히 레미콘 단계 CO₂ 주입기술로 유명한 캐나다 Carboncure는 국내 일부 대기업을 중심으로 기술이전을 하고 있어 해외기술에 잠식되지 않도록 탄소중립 건설기술 확보 필요

○ 주요 연구개발 내용

- 현장타설 CCU 콘크리트 재료 배합 기술
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 설계 및 구축
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 활용 T/B 구축
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 특성(CO₂ 고정화량, 강도, 내구성, 미세구조 등) 평가
- (1차년도) 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 시스템 설계 방안 도출
 - 콘크리트내 탄소고정 평가방법 검토
 - CCU 콘크리트 기초실험을 위한 실험실용 제조 장치 시작품 구축
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 장치 구축을 위한 상세기술 검토 (골재, 배합수 제조장치 등)
- (2차년도) 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 설계 및 시작품 제작
 - CO₂ 저장 콘크리트 원재료 활용 콘크리트내 탄소고정화량 향상 방안
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 시스템 장치 설계 및 구축을 위한 상세기술 검토 (골재, 배합수 제조장치 등)

- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 장치 시스템 설계 및 시작품 구축
- (3차년도) 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 구축 및 기본 배합 도출
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 정립
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 탄소 고정에 따른 수화 및 강도 발현 특성 검토
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 시작품 구축 및 운영 검토(골재, 배합수 제조장치 등)
- (4차년도) 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 및 배합 최적화
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 최적화
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 시작품 최적화(골재, 배합수 제조장치 등)
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 특성(CO₂ 고정화량, 강도, 내구성, 미세구조 등) 평가
- (5차년도) 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 T/B 구축
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 재료 배합 기술 보완
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 시작품 최적 운영 방안 정립(골재, 배합수 제조장치 등)
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트의 품질관리(안) 및 제도시방(안) 정립
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 활용 T/B 연구 지원 및 검증
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트내 CO₂ 고정화 성능 평가 방법 표준(안)

○ 최종성과물

- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 장치 시작품 기술 및 T/B 구축
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트의 최적 배합 설계
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트내 CO₂ 고정화 성능 평가 방법 표준(안)

□ 세부기술 2 : CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용시 CO₂ 양생을 통해 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트에 비해 비교적 용이하게 CO₂를 콘크리트 내부로 주입할 수 있는 장점이 있음.
- 효율적인 CO₂ 양생기술을 구현하기 위해서는 CO₂ 양생에 소요되는 전기사용량을 줄이면서도 CO₂ 양생에 의한 역학적 성질을 개선되어야 하므로 CO₂ 고정이 향상될 수 있는 기술 개발을 실시할 필요 있음

○ 기술동향

- CO₂ 양생기술의 경우 상대적으로 탄소저장 효과가 크지만 콘크리트 2차 제품에 한정되고 설비투자가 필요함
- 콘크리트 2차 제품에 양생 과정에서 CO₂를 주입하는 “이산화탄소 반응경화 시멘트 및 건설용 2차제품 제조기술 개발” 연구가 2022년부터 산업통상자원부의 지원으로 진행 중임
 - 해당 기술은 CO₂ 고정화 효율 측면에서 장점이 있으나, wollastonite라는 광물을 주재료로 하는 특수 시멘트 제조가 필요하여 원재료 단가가 높을 뿐만 아니라, 고온/고압의 에너지 과소모형 양생 적용으로 제조 단가도 높고 소규모 공장 제작형 콘크리트 제품에만 적용 가능
- CO₂ 양생 CEC의 경우 프리캐스트 등 콘크리트 2차 제품을 대상으로 CO₂와의 반응을 활성화할 수 있는 재료배합 기술 및 양생방법을 개발하여 재령초기에 콘크리트 시편을 다양한 환경 조건 모사가 가능한 CO₂ 양생챔버에 넣고 CO₂를 주입하는 기술로 CO₂로 5~10kg/m³를 콘크

리트내에 저장할 수 있는 연구성과(2024)를 나타냄

○ 주요 연구개발 내용

- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 재료 배합 기술
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조 양생 시스템 설계 및 구축
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 시스템 활용 T/B 구축
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 특성(CO₂ 고정화량, 강도, 내구성, 미세구조 등) 평가
- (1차년도) 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 설계 방안 도출
 - CO₂ 양생에 따른 콘크리트내 탄소고정 평가방법 검토
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 기초실험을 위한 실험실용 양생 장치 시작품 구축
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 장치 구축을 위한 상세기술 검토 (골재, 배합수 제조장치 등)
- (2차년도) 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 설계 및 시작품 제작
 - CO₂ 양생에 따른 콘크리트내 탄소고정화량 향상 방안 재료 검토 및 평가
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조 장치 시스템 설계 및 시작품 구축
- (3차년도) 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 구축 및 기본 배합 도출
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 정립
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 CO₂ 양생에 수화 및 강도 발현 특성 검토
 - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 시작품 구축 및 운영 검토
- (4차년도) 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 및 배합 최적화
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 최적화
 - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 시작품 최적화
 - 프리캐스트 적용 CO₂ 양생 CCU 콘크리트의 특성(CO₂ 고정화량, 강도, 내구성, 미세구조 등) 평가
- (5차년도) 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 T/B 구축
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 재료 배합 기술 보완
 - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 시작품 최적 운영 방안 정립
 - 프리캐스트 적용 CO₂ 양생 CCU 콘크리트의 품질관리(안) 및 제조시방(안) 정립
 - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 활용 T/B 연구 지원 및 검증
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트내 CO₂ 고정화 성능 평가 방법 표준(안)

○ 최종성과물

- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 장치 시작품 기술 및 T/B 구축
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트의 최적 배합 설계
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트내 CO₂ 고정화 성능 평가 방법 표준(안)

□ 세부기술 3 : 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- CO₂ 고정율이 높으나 구조재로 활용하지 못하는 소재를 활용하여 건물 내외장재로 활용할 수 있는 비구조재용 CCU 콘크리트 적용 기술 필요
- 미생물, 바이오차 등의 탄소흡수 촉매재를 콘크리트에 적용하여 비구조재로 사용하면 공용중 대기중에 있는 CO₂를 포집의 수단 및 친환경 콘크리트 제품으로 활용가능성 있음

○ 기술동향

- 2010년대 후반 싱가포르 연구진은 바이오차가 수화를 위한 핵 생성 부위로 작용하고 CO₂와 반응하여 탄산칼슘을 형성할 수 있는 CH 및 C-S-H를 포함한 추가 수화 생성물을 생성하고 높은 표면적과 미세 기공 부피로 인해 더 높은 CO₂ 흡수가 가능하다는 것을 보고함
- 해외에서는 탄소포집 박테리아를 활용한 시멘트계 건설재료의 CO₂ 흡수에 대한 기초 메커니즘을 분석하고 그 활용 가능성을 제시함
- 국내에서는 바이오차를 시멘트 혹은 골재 대체재로 적용하는 연구가 2020년 이후부터 시작되었지만, 그 연구 사례가 매우 적고, 바이오차 혼입에 따른 역학적 특성 평가 수준에 그치고 있음

○ 주요 연구개발 내용

- (2차년도)
 - 비구조 CCU 콘크리트의 제품 생산 적용 가능 탄소 흡수 촉매제 선정 및 특성 평가
 - 비구조 CCU 콘크리트의 제품 생산 가능 탄소 고정 활성 재료 선정 및 특성 평가
 - 콘크리트용 탄소 흡수 촉매제 생산방법 개발
 - 탄소 고정 활성 재료 생산방법 개발
- (3차년도)
 - 공용기간 동안 탄소 흡수 비구조재 CCU 콘크리트의 CO₂ 흡수량 평가 방법 구축
 - 탄소 흡수 촉매제 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 최적 배합 개발
 - 탄소 고정 활성 재료 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 최적 배합 개발
 - 탄소 흡수 촉매제/고정활성 재료 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 장기 내구성능에 대한 광범위한 파라메트릭 평가
- (4차년도)
 - 탄소 흡수 촉매제 적용 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발
 - 탄소 고정 활성 재료 적용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발
 - 비구조재 CCU 콘크리트의 시제품 개발
 - 탄소 고정 활성 재료 적용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제품 표준(안)

○ 최종성과물

- 탄소 흡수 촉매제/고정활성 재료 적용 비구조재용 CCU 콘크리트 제조 기술 및 시제품
- 탄소 흡수 촉매제/고정활성 재료 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 품질기준 표준(안)

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 3-45> (중점기술 2) CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발 성능목표

주요 기술명	주요 성능	성능수준		기술개발 목표수준
		국외	국내	
CCU 콘크리트의 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발	▪ CO ₂ 감축량 (시멘트 감축 등 효과)	17.6 kg/m ³ (캐나다/Carbon Cure) ¹⁾	없음	30 kg/m ³ (시멘트 대체량 포함)
	▪ 압축강도 향상률(%)	10 (캐나다/Carbon Cure)	없음	탄소 고정되지 않은 콘크리트 대비 5% 이상
	▪ 염소이온 확산계수 (x10 ⁻¹² m ² /s)	4.03 (캐나다/Carbon Cure)	없음	3.5 이하
	▪ 제조 실증 시스템 구축	-	-	시스템 구축 1건
CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발	▪ CO ₂ 흡수에 따른 압축강도 28일 압축강도 향상률(%)	10% (미국/carbon built배가스 활용)	없음	탄소 고정되지 않은 콘크리트대비 10% 이상
	▪ CO ₂ 양생 시스템 구축	-	-	시스템 구축 1건
	▪ CO ₂ 흡수량(% w/w)	-	-	1.0 이상 (공시체 및 콘크리트 중량 기준)
비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발	▪ 대기중 CO ₂ 흡수 성능 보 유 비구조재 시제품 개발 건수	-	-	3건 이상

<표 3-46> (중점기술 2) CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 및 시공 기술 개발 산출물 목표

중점기술명	세부기술명	산출물					세부기술 목표	중점기술 목표
		'26	'27	'28	'29	'30		
CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발	CCU 콘크리트의 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발	- 현장타설 조건을 고려한 콘크리트 내 탄소 고정 평가 방법 검토 보고서 - CO₂의 현장타설 조건을 고려한 콘크리트 내 고정화 반응 평가 방법 검토 보고서 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 기초 실험을 위한 제조 시스템 구축을 위한 상세 기술 검토	- 현장타설 조건을 고려한 콘크리트 내 탄소 고정화량 향상 방안 검토 및 평가 보고서 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실험 및 시스템 제작	- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 재료 배합 검토 보고서 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실험 및 시스템 구축 및 운영 검토 보고서	- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 가이드라인(안) - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실험 시스템 시제품 효율성 개선 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 특성 평가 보고서	- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 시방(안) - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실험 시스템 활용 T/B 연구 지원 및 검증 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 CO₂ 고정화 평가 방법 표준(안)	포집 CO ₂ 활용 및 고정을 위한 CCU 콘크리트의 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발	CO ₂ 를 영구 저장할 수 있는 CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발을 통한 효과적인 탄소중립 건설 기술 기반 마련
	CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발	- 프리캐스트 CO₂ 양생 콘크리트 내 탄소 고정 평가 방법 검토 보고서 - CO₂의 콘크리트 내 고정화 반응 평가 방법 검토 보고서 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 기초 실험을 위한 제조·양생 장치 구축 - 콘크리트 제조·양생 시스템 구축을 위한 상세 기술 검토	- CO₂ 양생에 따른 콘크리트 내 탄소 고정화량 향상 방안 검토 및 평가 보고서 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 장치 시스템 설계 및 시제품 구축	- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 재료 배합 검토 보고서 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 CO₂ 양생에 수화 및 강도 발전 특성 검토 보고서 - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 시제품 구축 및 운영 검토 보고서	- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 가이드라인(안) - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 시제품 효율성 개선 - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 특성 평가 보고서	- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조 시방(안) - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 활용 T/B 연구 지원 및 검증 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 CO₂ 고정화 평가 방법 표준(안)	포집 CO ₂ 활용 및 고정을 위한 CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발	
	비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발	-	- 콘크리트용 탄소 흡수 촉매재 특성 평가 - 탄소 고정 활성 재료 적용 특성 평가	- 탄소 흡수 촉매재 적용 콘크리트의 최적 배합 - 탄소 고정 활성 재료 적용 콘크리트의 최적 배합	- 탄소 흡수 촉매재 적용 제조 및 생산 기술 개발 - 탄소 고정 활성 재료 적용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제품 표준(안)	-	대기중 CO ₂ 흡수 및 CO ₂ 고정 활성 재료를 이용한 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발	

(3) 유사과제와의 차별성 및 연계성

□ 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

○ 유사 연구과제와의 차별성

- 시멘트 산업 발생 CO₂ 활용 In-situ 탄산화 기술 개발
 - 해당 기술은 콘크리트 제조 중 CO₂를 매우 짧은 시간에 투입하여야 하므로 탄소 고정화율이 콘크리트 1m³당 0.4kg 수준으로 제한됨
 - 반면, 본 연구는 탄소 고정화 효율성 개선 기술을 확보함으로써 유사연구 대비 탄소저감량 목표를 콘크리트 1m³당 25kg 향상(CO₂활용에 따른 CO₂ 고정량과 강도증가에 따른 시멘트 대체량 고려)시키는 기술로서 탄소중립 정책에 실질적으로 기여할 수 있다는 점에서 차별성이 있음

※ 국내 레미콘 연간 출하량 1.4억 m³로 설정(2022년 기준)

※ 제조단계에서 콘크리트 탄소저감 기술은 CO₂ 감축 시나리오 25kg/m³ 적용

- 이산화탄소 반응경화 시멘트 및 건설용 2차제품 제조기술 개발
 - 해당 기술은 탄소 고정화 효율 측면에서 장점이 있으나, wollastonite라는 광물을 주재료로 하는 특수 시멘트 제조가 필요하여 경제성 및 활용성이 현저히 떨어질 뿐만 아니라 고온/고압의 에너지 과소모형 양생 적용으로 제조 단가도 높기에 소규모 공장 제작형 콘크리트 제품에만 적용 가능하여 탄소 고정량이 연간 1,000톤 수준에 그치는 한계를 지님
 - 반면, 본 연구는 이전 연구에서의 이산화탄소 반응 경화 원리를 상업용 시멘트를 사용하는 현장 타설 콘크리트 분야로 연계하여 잠재적 탄소 고정량이 최대 400만톤에 달하는 레미콘 업계를 대상으로 한 기술로서 대규모 탄소 고정화 기술을 개발한다는 점에서 차별성이 있음

○ 유사 연구과제와의 연계성

- CCU 콘크리트 제조 시스템 및 생산 기술 확보 과정에서 탄산화 양생에 의한 탄산화 내구성 평가법 및 내구성능 평가자료에 대한 연계가능
- CO₂ 대량 고정화 플랜트 기술 연계 가능, 건설재료에 대한 LCI DB 구축 연계가능

<표 3-47> (중점기술 2) 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관 기관	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
가온가압공법에 의한 경량 예코 탄산화 건 자재 개발 (2010.09.01. 2015.08.31.)	경기대학교 (한국연구재단)	- 시멘트 및 인공 경량골재를 활용한 콘크리트 탄산화 건설자재 개발 - 경량 세라믹 예코 인공경량 골재를 개발하여 건자재 성능향상 기술 개발 - 반복(축진) 탄산화에 의한 최적 인공 경량골재 콘크리트 블록 및 판넬 제조	- (차별성) 해당 연구는 축진 탄산화를 이용한 경량 세라믹 예코 인공경량 골재를 개발하여 콘크리트 블록 및 판넬과 같은 제품을 제조하는 내용으로 본 연구에는 인공경량 골재 뿐만 아니라 개질 순환골재와 같은 콘크리트 핵심 원재료 개발을 통해 최종적으로 블록 및 판넬이 아닌 콘크리트용 원재료를 개발하는 점에서 기술적 차별성이 있음. - (연계성) 가온 및 가압 축진 탄산화 기술 연계 가능
건설재료의 CO ₂ 통합 관리 기술개발 (2011.11.28. 2016.11.27.)	한국건설기술연구 원 (국토교통과학기술진흥원)	- 비소성 결합재, 순환골재, 에너지 저감형 비정질 강섬유를 이용한 CO₂ 배출 저감형 고성능 건설구조재료 개발 - 에너지 저감형 건축자재(PC외벽, 도료, 내외장재) 개발 - 건설재료 전과정 CO₂ 통합관리 시스템 및 시방기준, LCI DB 모듈 개발	- (차별성) 해당 연구는 에너지 저감형 건설 원재료, 건축자재 개발기술에 대한 내용으로 본 연구에서는 에너지 저감에 의한 CO₂ 저감이 아닌 콘크리트용 원재료의 CO₂ 직접고정 의한 탄소저감을 목적으로 하는 점에서 기술적 차별성이 있음. - (연계성) 건설재료에 대한 LCI DB 구축 연계 가능
시멘트 산업 발생 CO ₂ 활용 In-situ 탄산화 기술 개발	산업통상자원부	레이콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물 1m ³ 당 CO ₂ 반응률 0.4kg 이상	- (차별성) 탄소 저감량을 콘크리트 1m³당 25kg로 획기적 향상 - (연계성) 생산중 콘크리트 탄소 고정화 효율성 제한요인 파악 및 개선
이산화탄소 반응경화 시멘트 및 건설용 2차 제품 제조기술 개발	산업통상자원부	국내 시멘트 산업분야 CCUS 기술실 현을 위한 1,000ton/year급 CO ₂ 반 응경화 시멘트 제조 및 응용기술 개발 확립	- (차별성) 해당과제는 CO₂에 반응하는 시멘트 조성물을 개발하고 2차제품에 국한되어 개발 - (연계성) 특수 시멘트의 고효율 탄소 고정화 원리를 상용 시멘트 및 현장 타설 콘크리트에 활용

(4) 기대효과 및 파급효과

□ 과학기술적 효과

- 콘크리트 적용 탄산염 원재료에 대한 탄소고정화 메커니즘 기술개발을 통한 건설 탄소저감 기술개발 시너지 형성 및 가속화
 - 콘크리트의 탄소저감 기술을 원재료 별로 확보하여 신규 건설 탄소저감 기술 간 융합·교환이 가능하고 콘크리트 탄소저감 효과에 대한 시너지 형성 가능
- 콘크리트 산업의 안정적이고 장기적인 CO₂ 감축 기술 확보 및 즉시 활용 가능한 CCUS 시스템 구축에 따른 온실가스 배출량 감축에 실질적 기여
 - CO₂ 고정화 기술의 취약점인 CO₂ 재방출 현상 없이 장기 안정 상태로 CO₂를 대량으로 고정할 수 있기 때문에 안전이나 환경위험 없이 기후 위기에 대응 가능
 - 기존 콘크리트와 동일한 물성, 공정 및 시스템을 기반으로 광물 탄산화 즉시 실현
- 건설 분야 CCUS 시스템 확보에 따른 국가 CCUS 로드맵 달성 기여
 - 국내 건설산업 연계 이산화탄소 감축 기술 체계구축의 선도로 산업계 적용확산을 위한 구체적인 정책 및 체계마련을 통해 국가 이산화탄소 감축 로드맵 구축 기대
 - 지속 가능한 발전을 위한 전략 기술로서의 건설분야 탄소중립을 위한 핵심기술 집중 성장 가능성 잠재
- 건설 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대
 - 저탄소 시멘트 제조, 산업 배출 CO₂ 포집 및 활용 시스템 구축, 저탄소/고내구성 콘크리트 제조 기술 연계를 통한 관련 산업 분야 가치사슬 강화 기대
 - 기술 상용화, 과속화 및 안정화를 위한 실증화 시스템 인프라 조성에 따른 산업 기술력 증대

□ 사회경제적 효과

- 탄소중립 체제 세계화에 의한 해외 기술 종속화 예방 및 국내 건설관련 탄소경제 자립성 강화
 - 해외선도 건설관련 탄소저감 기술이 증가하는 추세에 따른 국내 기술의 종속화를 선제적으로 방지하여 기술 확산 및 적용도모, 건설관련 중소기업 및 중견기업 탄소경제 자립성 강화기반 마련
- 건설산업에 대한 인식 전환 및 신산업 일자리 창출
 - 기술개발을 통한 기반 구축과 실증 완료시 콘크리트 산업의 기존 부정적 이미지를 탈피하여 2050 탄소중립 달성에 있어 핵심적이고 지속가능한 분야로의 인식 전환 기대
 - 건설산업에 대한 인식 전환에 따른 신규 일자리 창출 및 국내 젊은 인력 유입 기대
- 직접적인 경제적 효과 창출
 - 생산중 탄소 고정 콘크리트 기술만으로도 연간 국내 레미콘 타설량 1.4m³ 기준으로 약 400만 톤의 CO₂ 고정화가 가능하며, 이를 탄소배출권 가격에 적용하면(22,000원/톤, 2021년 2월 기준) 연간 880억의 직접적인 경제적 효과 창출 가능

중점기술3. CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 개발

1. 기술개발 개념 및 범위

(1) 개념

- CCU 콘크리트는 포집된 고농도의 CO₂를 콘크리트의 원재료나 제조단계에 있는 콘크리트에 광물탄산화 반응에 기반하여 CO₂를 활용, 저장하는 콘크리트로 구조적인 특성 정립을 바탕으로 구조물의 실증을 바탕으로 한 실용화 연구 필요
- CCU 콘크리트 활용 시 CO₂ 고정 에너지, 재료 운송, 콘크리트 운송 등 추가 에너지가 요구되며, 이러한 투입/산출물을 통틀어 발생하는 모든 에너지 당 이산화탄소를 정량화하고 분석하는 LCA 평가 기법과 연구 기간 내 공급되는 포집 CO₂ 사용과 CCU 콘크리트 운송 등의 과정에서 발생하는 등가 CO₂ 발생량을 고려한 연계 방안 도출 필요
- 국제적 기준에 부합하는 방식으로 온실가스를 감축, 흡수 또는 제거하는 사업을 계획·구성·운영을 근거로 CCU 콘크리트의 온실가스 감축실적을 인정받기 위한 시도 필요

(2) 범위

- 개발된 CCU 콘크리트에 대한 구조설계 기준(안) 개발 및 구조물 실증
- CO₂ 광물탄산화 기반한 콘크리트 원재료 및 이를 활용한 CCU 콘크리트의 제조 및 활용에 따른 전주기 탄소감축량 평가인 LCA 평가
- 연구 기간 동안 공급되는 포집 CO₂의 정제 및 압축, 이동과 CCU 콘크리트 제조 시스템의 CO₂ 감축량 및 발생량을 연동하여 관리할 수 있는 탄소 밸류체인 통합 관리 모델 기본 설계(안) 제시
- 개발된 CCU 콘크리트에 대한 온실가스 감축 사업 방법론 개발을 통한 실용화 모델 개발

2. 국내외 기술현황

(1) 국내 기술현황

- 기술개발과정에서 CO₂ 저장 콘크리트의 환경친화적인 성능과 적용대상을 철근부식 문제가 크게 중요하지 않은 일반강도 영역의 콘크리트 및 2차 제품에 우선 적용하고 철근부식의 영향이나 이를 극복하기 위한 연구와 함께 철근콘크리트 구조물에 확대 적용하는 전략적 접근 구사
- '23년 12월 현재 탄소저장 콘크리트 생산 관련 방법론 관련하여 국내 외부사업 방법론으로 등록된 것은 없음
- 전과정 CO₂ 광물탄산화를 체계적으로 관리하고 CO₂ 배출원과 CO₂ 부재 활용원의 의사결정을 지원할 수 있는 통합관리 시스템(플랫폼) 부재

(2) 국외 기술현황

- 캐나다 Carboncure는 자발적 탄소시장인 Verra에 등록된 방법론을 바탕으로 국내 및 해외에 진출중

3. 기존기술의 한계와 극복방안

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

<표 3-48> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
CCU 콘크리트 활용기술 개발	- CCU 콘크리트의 구조물 활용을 위한 구조설계 기준 정립 및 실증 기술 필요 - CCU 콘크리트의 탄소감축량 평가 및 LCA 평가 및 탄소 밸류체인 통합관리 시스템 부재 - 감축 탄소거래를 위한 탄소감축 외부사업 방법론 개발 필요	- CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 정립 - CU 콘크리트의 탄소감축량 평가 및 LCA 평가 방법 개발 및 통합관리 시스템 기본 모델 설계(안) 도출 - 탄소감축 외부사업 방법론 개발

□ 한계점 및 주요이슈 1: CCU 콘크리트의 구조물 활용을 위한 구조설계 기준 정립 및 실증 기술 필요

- CCU 콘크리트는 탄소중립에 기여할 목적으로 제안된 새로운 콘크리트 기술로 현재 구조물 활용을 위한 구조설계 기준이 미정립되어 있고 실증 연구 부족한 상태로 품질 관련 데이터가 충분하지 않음
 - 콘크리트의 탄소 고정 또는 저장 능력을 촉진하는 공정 기술은 해외 기업을 통해 확인할 수 있지만, 기술의 역사가 길지 않은 만큼 수화 등 강도 발현 특성, 수축 및 철근 부식 등 장기 내구성, 슬럼프 등 유변학적 특성과 같은 콘크리트 품질 관련 데이터는 충분하지 않음
 - 철근콘크리트 구조물의 경우 콘크리트 탄산화를 철근 부식 등 내구성에 악영향을 미치는 주요 원인으로 규정하고 있기 때문에 CO₂를 콘크리트에 주입하여 콘크리트의 탄산화를 유도한다는 개념의 탄소저장 콘크리트에 대한 부정적인 선입견에 대한 인식 개선 필요
 - 기존 탄산화는 공용기간중 장기간에 걸쳐 콘크리트에 유입되는 대기중 CO₂의 영향으로 콘크리트가 pH가 낮아져 철근부식환경을 제공하는 개념과 콘크리트를 제조하는 배합단계나 재령초기에 CO₂를 강제주입하여 콘크리트와의 반응을 통해 광물질인 탄산칼슘을 생성하게 하여 강도증진이나 조직을 밀실하게 하여 강도 상승분에 해당하는 시멘트를 감소시키고 철근부식의 위험 없이 CO₂를 저장하는 순기능을 갖는 CCU 콘크리트 콘크리트의 필요성 설득이 필요
 - 기술개발과정에서 환경친화적인 성능을 입증하고 콘크리트에 대한 적용대상을 물리적인 강도나 철근부식 문제가 크게 중요하지 않은 일반강도 영역의 콘크리트 및 2차 제품에서 시작하여 CO₂를 활용한 콘크리트가 철근부식환경을 극복하기 위한 문제해결 연구를 진행하여 철근콘크리트 구조물에 확대 적용할 수 있는 연구 전략도 필요함

□ 한계점 및 주요이슈 2 : CCU 콘크리트의 전주기 탄소감축량에 대한 평가 필요

- CO₂ 광물탄산화 기반한 콘크리트 원재료 및 이를 활용한 CCU 콘크리트의 제조 및 활용에 따른 전주기 탄소감축량 평가인 LCA(Life Cycle Assessment) 평가 필요
 - 콘크리트 원재료 생산, 재료 이송, 제조, 활용에 일기 까지 CCU 콘크리트와 관련된 전 과정에서 발생하는 환경적 영향을 정량화하여 탄소감축에 대한 평가가 필요함
- CO₂ 광물탄산화를 체계적으로 관리하고 CO₂ 배출원과 CO₂ 부재 활용원의 의사결정을 지원할 수 있는 통합관리 시스템(플랫폼) 부재

□ 한계점 및 주요이슈 3 : 국내 CCU 콘크리트의 탄소거래 시장 대비 경쟁력 미확보

- 온실가스 감축실적을 인정받기 위해서는 개발기술의 정성적인 탄소감축량으로 추정하는 것이

아닌 국제적 기준에 부합하는 방식으로 온실가스를 감축, 흡수 또는 제거하는 사업을 계획·구성·운영을 근거로 진행해야 함

- 온실가스 감축사업 및 감축실적을 산정 및 인증하는 국제적 기준을 서술한 문서를 “방법론(Methodology)”이라 하며 “방법론”은 온실가스 감축실적을 인증 및 발행하는 기관별로 CDM/SDM 방법론(UNFCCC), 외부사업 방법론(한국), VCM 방법론(Verra, Gold Standard, Puro·earth 등)으로 구분됨
- 이산화탄소 고정형 콘크리트 생산에 대한 방법론은 CarbonCure社가 등록한 자발적 탄소시장인 Verra에 등록된 방법론이 유일하며 이를 근거로 한국을 포함 세계 다수국가에 탄소중립건설기술 사업화에 진출하고 있음
- 외부사업을 통해 획득한 감축실적은 인증 시점으로부터 5년간 국내 탄소시장에서 거래가 가능하며, 할당대상업체의 배출권 거래제 대응에 활용이 가능하므로 곧 다가올 탄소거래 시장 대비 경쟁력을 확보하기 위한 외부사업 방법론 등록을 위한 기술개발이 필요함

(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안1: CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 정립

- 콘크리트 제조 단계별(현장타설, 프리캐스트) CCU 콘크리트의 다양한 실험 데이터 기반 품질 신뢰성 확보 필요
- 실험 데이터 기반 콘크리트 제조 단계별(현장타설, 프리캐스트) CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발
 - 탄소중립형 탄소저장 콘크리트의 구조물 활용방안 수립 필요
- 콘크리트 제조 단계별(현장타설, 프리캐스트) CCU 콘크리트의 구조물 실증 기술 개발 필요

□ 극복방안2: LCA 평가 기술 개발 및 통합관리 시스템 요구 조건 도출

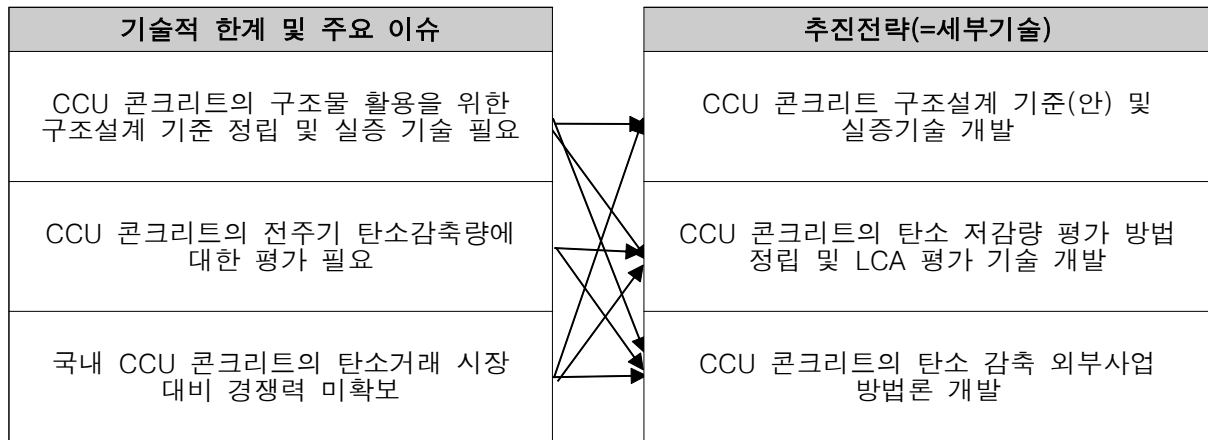
- CCU 콘크리트의 원재료 및 콘크리트 제조 및 활용에 따른 전주기를 고려한 탄소저감량 평가 필요
 - 탄소 저장 콘크리트의 생애주기까지 전과정에 대한 LCA 평가방법 개발
- CCU 콘크리트 설계·제조 시스템 및 생산 기술을 바탕으로 통합 관리 시스템에 요구되는 파라미터 설정 및 기본 설계(안) 도출

□ 극복방안3: CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발

- ‘23년 12월 현재 국내 CCU 콘크리트 방법론 관련하여 국내 외부사업 방법론으로 등록된 것은 없음
 - 자발적 탄소시장인 Verra에 등록된 방법론을 바탕으로 국내 및 해외에 진출하고 있는 CarbonCure社에 대응할 수 있는 CCU 콘크리트 콘크리트의 방법론 개발 필요
 - 외부사업 방법론은 특허와는 달리 방법론 등록 시 해당 탄소감축사업을 실시하고자 하는 기관 및 업체에 공개되는 기술이므로 자본력이 부족한 중소·중견기업의 탄소감축사업 진출을 위해 위한 국가의 연구지원이 필요한 부분일 될 수 있음

4. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출



□ 전략 1 : CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 정립

- 실험 데이터 기반 CCU 콘크리트 구조 설계 기준(안) 개발
- 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 구조물 실증 및 활용방안 개발
- 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 강재 부식 회피 기술 개발

□ 전략 2 : CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발

- LCA 평가를 위한 SCOPE 및 Flow map 설정
- CCU 콘크리트 관련 LCI DB 구축
- CCU 콘크리트 전과정 LCA 평가 기법 개발

□ 전략 3 : CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발

- 개발 CCU 콘크리트의 감축사업화 가능한 영역에 대한 방법론 확인 및 검토
- 개발 CCU 콘크리트의 감축사업 영역 선정 및 적용기술 확인 등 타당성 검토
- 사업계획서 작성 및 증빙자료 개발

(2) 기술개발의 최종목표

□ 최종목표

CCU 콘크리트 실용화를 위한 성능검증을 통한 CCU 콘크리트 활용기술 및 탄소 감축 사업 방법론 개발

□ 최종산출물

- 실험데이터에 기반한 CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안)
- CCU 콘크리트의 구조물 활용 실증 기술
- 탄소감축 특성을 고려한 CCU 콘크리트의 전주기 LCA(Life Cycle Assesment) 평가
- 개발된 CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발

□ 성과지표 및 목표

<표 3-49> (중점기술 3) 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발	▪ 구조설계기준	확보
	▪ CCU 콘크리트 구조물 실증	확보
CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발	▪ LCA 평가 기법	확보
CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발	▪ 탄소감축 외부 방법론	1건 이상 확보 (환경부)

5. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

<표 3-50> (중점기술 3) 세부기술 구성(안)

중점분야	세부기술
CCU 콘크리트 실증 및 실용화 기술 개발	CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발
	CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발
	CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발

□ 세부기술 1 : CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 개발된 CCU 콘크리트의 성능을 실험적으로 검증하고 구조물 활용에 필요한 설계기준(안)을 정립 필요
- 제작 조건별 CCU 콘크리트의 특성을 고려한 대상구조물 발굴 및 활용방안 검토하여 실증기술 개발 필요

○ 기술동향

- 기술개발과정에서 CO₂ 저장 콘크리트의 환경친화적인 성능과 적용대상을 철근부식 문제가 크게 중요하지 않은 일반강도 영역의 콘크리트 및 2차 제품에 우선 적용
- CCU 콘크리트에 대한 내구특성 개선 등 품질개선의 영향을 실험적 검증한 데이터를 기반으로 철근부식의 부정적인 선입견을 극복하기 위한 연구와 함께 철근콘크리트 구조물에 확대 적용하는 전략적 접근 구사

○ 주요 연구개발 내용

- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발
- CCU 콘크리트의 구조물 활용에 따른 실증 기술 개발
- (2차년도) CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 검토항목 설정
 - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 검토항목 설정 및 기초 실험
 - CCU 콘크리트의 구조특성 데이터 구축

- 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 강재 부식 회피 기술 검토
- (3차년도) CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 실험데이터 구축
 - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 실험데이터 구축
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 강재 부식 회피 기술 개발
- (4차년도) CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 초안 정립
 - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 초안 정립
 - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 실험데이터 보완
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 구조물 적용 방안 발굴 및 적용
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 구조물 실증 계획 수립
- (5차년도) CCU 콘크리트 실증 및 실용화 방안 개발
 - CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 개발
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 구조물 실증
 - 실증기반 CCU 콘크리트 활용 구조물 적용 기술 보완 및 실용화 방안 개발

○ 최종성과물

- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안)
- CCU 콘크리트의 구조물 활용 실증 기술

□ 세부기술 2 : CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 전과정 평가(LCA)는 제품 또는 시스템의 생애주기에서 필요로 하는 에너지와 광물자원 입력값들과 대기, 수질, 토양 등의 환경에 배출되는 출력값들로 인한 환경 영향을 정량화 하는 기법으로 탄소감축을 목적으로 하는 CCU 콘크리트에 대해 평가가 필요함

○ 기술동향

- CCU 콘크리트와 관련한 전과정 평가(LCA)에 대해 외국에서도 사례가 많지 않음
- 이에 단순히 CO2를 활용한다는 CCU 콘크리트의 CO2 감축효과를 인정하는 것이 아니라 CO2 활용에 따른 압축강도 상승 등 품질개선의 이점, CO2 양생시 낮은 전기사용량 등을 고려하여 전과정 평가에 기반한 CO2 감축효과를 평가하고 있음
- 국내에서는 CCU 콘크리트 관련한 전과정 평가(LCA)에 대한 연구가 부족함

○ 주요 연구개발 내용

- 탄소저장 콘크리트의 탄소 저감량 평가 및 LCA 평가
- CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축
- (2차년도) CCU 콘크리트 LCA 평가방법 기본 계획 수립
 - CCU 콘크리트의 전주기 LCA 평가방법 기본 계획 수립
 - CCU 콘크리트의 소재 및 제조 공정 고려한 플로우 맵 구축 계획 수립
- (3차년도) CCU 콘크리트의 특성을 고려한 플로우 맵 구축
 - LCA 평가방법을 위한 CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축(안) 수립
 - CCU 콘크리트의 소재 및 제조 공정 특성 조사를 기반한 플로우 맵 구축
- (4차년도) CCU 콘크리트 LCA 평가방법(안) 수립
 - 제조방법에 따른 CCU 콘크리트의 전주기 LCA 평가 방법(안) 정립
 - LCA 평가방법을 위한 CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축(안) 보완
- (5차년도) CCU 콘크리트 LCA 평가방법(안) 개발, LCI DB 구축 및 통합 관리 시스템 기본 설계(안) 제시

- 제조방법에 따른 CCU 콘크리트의 탄소감축을 위한 전주기 LCA 평가 방법(안) 개발
- LCA 평가방법을 위한 CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축
- 탄소 밸류체인 통합 관리 시스템의 파라미터 및 기본 모델 설계(안) 제시

○ 최종성과물

- CCU 콘크리트의 탄소감축을 위한 전주기 LCA 평가 방법(안) 개발
- CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축

□ 세부기술 3 : CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발

○ 기술개발 필요성

- CCU 콘크리트의 온실가스 감축실적을 인정받기 위해서는 국제적 기준에 부합하는 방식으로 온실가스를 감축, 흡수 또는 제거하는 사업을 계획·구성·운영하는 것을 근거로 진행해야 하며 이를 위해 개발된 CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발이 필요함

○ 기술동향

- 캐나다 Carboncure는 자발적 탄소시장인 Verra에 등록된 방법론을 바탕으로 해외 및 한국에 진출중
- '23년 12월 현재 CCU 콘크리트 생산 관련 방법론 관련하여 국내 외부사업 방법론으로 등록된 것은 없음

○ 주요 연구개발 내용

- (3차년도)개발 CCU 콘크리트의 감축사업화 가능한 영역에 대한 방법론 확인 및 검토
 - 감축사업화 가능한 영역 확인
 - 적용 가능한 방법론 확인 및 검토
 - 해당 방법론별 적용 사례 조사 분석
- (4차년도) 개발 CCU 콘크리트의 감축사업 영역 선정 및 적용기술 확인 등 타당성 검토
 - 감축사업 영역 선정 및 적용기술 확인
 - 타당성 검토
- (5차년도) 사업계획서 작성
 - 사업계획서 작성 및 증빙자료 개발
 - 감축사업 등록 신청 및 대응
 - 배출권거래제 연계 방안 마련

○ 최종성과물

- 개발한 CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 등록 (1건 이상, 환경부)
- 배출권거래제 연계 방안 마련

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 3-51> (중점기술3) CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 개발 성능목표

주요 기술명	주요 성능	성능수준		기술개발 목표수준
		국외	국내	
CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발	구조설계기준	-	-	확보
CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발	LCA 평가	구축	-	확보
CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발	탄소감축 외부 방법론	1건 (Carbon Cure, Verra)	-	1건 이상 확보 (환경부)

<표 3-52> (중점기술 3)CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 개발 산출물 목표

중점기술명	세부기술명	산출물					세부기술 목표	중점기술 목표
		'26	'27	'28	'29	'30		
CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 개발	CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발	-	- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 검토 항목 설정 및 기초실험 보고서	- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 실험 데이터 구축 보고서	- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 정립 보고서	- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) - 제조 기술 별 CCU 콘크리트 구조물 실증화 방안 개발	실증기반 CCU 콘크리트 활용 구조물 적용 기술 및 실용화 방안 개발	CCU 콘크리트 실용화를 위한 성능검증을 통한 CCU 콘크리트 활용기술 및 탄소 감축 사업 방법론 개발
	CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발	-	- CCU 콘크리트 LCA 평가방법 기본 계획 수립 보고서	- CCU 콘크리트의 특성을 고려한 플로우 맵 구축 방안 보고서	-제조단계별 CCU 콘크리트의 전주기 LCA 평가 방법(안) 정립 보고서	- CCU 콘크리트 LCA 평가방법(안) 개발 및 LCI DB 구축 보고서	CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발	
	CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발	-	-	- CCU 콘크리트의 탄소 감축 사업화 가능한 검토 보고서	- CCU 콘크리트의 감축사업 및 영역 선정 검토 보고서	- 탄소 감축 외부사업 방법론 작성 및 증빙자료 개발 - 감축사업 등록 신청 및 대응 - 배출권거래제 연계 방안 검토 보고서	CCU 콘크리트의 온실가스 감축실적을 인정받기위한 탄소 감축 외부사업 방법론 개발	

(3) 유사과제와의 차별성 및 연계성

□ 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

○ 유사 연구과제와의 차별성

- 해당 연구는 에너지 저감형 건설 원재료, 건축자재 개발기술에 대한 내용으로 본 연구에서는 에너지 저감에 의한 CO₂ 저감이 아닌 콘크리트용 원재료의 CO₂ 직접고정 의한 탄소저감을 목적으로 하는 점에서 기술적 차별성이 있음.

○ 유사 연구과제와의 연계성

- CCU 콘크리트를 구성하는 원재료의 CO₂ 고정화 및 제품화 과정에 대한 건설재료에 대한 LCI DB 구축 연계가능

<표 3-53> (중점기술 2) 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관 기관	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
건설재료의 CO ₂ 통합 관리 기술개발 (2011.11.28. 2016.11.27.)	한국건설기술연구 원 (국토교통과학기술 진흥원)	- 비소성 결합재, 순환골재, 에너지 저감형 비정질 강섬유를 이용한 CO₂ 배출 저감형 고성능 건설구조재료 개발 - 에너지 저감형 건축자재(PC외벽, 도로, 내외장재) 개발 - 건설재료 전과정 CO₂ 통합관리 시스템 및 시방기준, LCI DB 모듈 개발	- (차별성)해당 연구는 에너지 저감형 건설 원재료, 건축자재 개발기술에 대한 내용으로 본 연구에서는 에너지 저감에 의한 CO₂ 저감이 아닌 콘크리트용 원재료의 CO₂ 직접고정 의한 탄소저감을 목적으로 하는 점에서 기술적 차별성이 있음. - (연계성)건설재료에 대한 LCI DB 구축 연계 가능

(4) 기대효과 및 파급효과

□ 과학기술적 효과

○ 국내 CCUS 기술의 활성화에 기여

- 포집된 CO₂를 가장 감축효과가 큰 광물탄산화 전환기술로 대량으로 소비, 재활용할 수 방향을 제시하여 국내 CCUS 기술 활성화에 기여할 것으로 기대

○ 건설 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대

- 탄소중립 건설기술 확보로 저탄소 시멘트 제조, 산업 배출 CO₂ 포집 및 활용 시스템 구축, 저탄소/고내구성 콘크리트 제조 기술 연계를 통한 관련 산업 분야 가치사슬 강화 기대
- 기술 상용화, 과속화 및 안정화를 위한 실증화 시스템 인프라 조성에 따른 산업 기술력 증대

□ 사회경제적 효과

○ CO₂ 활용에 따른 친환경 건설 자재에 대한 수요 증가로 인해 새로운 시장이 형성될 것이며 기존의 건설 자재 시장에 혁신적인 대안을 제공하여 시장 확대에 기여

○ CO₂ 배출을 줄이고 배출된 CO₂를 재사용함으로써 강화되는 환경 규제를 효과적으로 대응할 수 있으며 탄소배출권 비용을 절감하는 효과가 있음

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

<표 3-54> 전체 사업 구성(안)

탄소발생량 70%이상 저감을 위한 Carbon Free 기반 도로 재료 및 시공 기술 개발

중점기술	전략목표	세부기술	예산 (백만원) (정부지원금)	
Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 포장 기술	고성능 유화 아스팔트 국산화 기술 및 유화 아스팔트 성능 극대화로 도로포장 전단면(표층/중간층/기층) 적용이 가능한 탄소저감 무가열 도로포장 기술 개발	고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발 - 아스팔트 고품분 90% 이상 및 단일모달(unimodal) 입자크기 확보 원천기술 개발 - 유화 아스팔트용 양이온 미세 구조형 Hyper-branch 유화제 제조 및 국산화 기술 개발 - 저분자 폴리머 기반 고성능 개질첨가제 적용 유화 아스팔트 기술 개발	2,700 (2,120)	11,330.5 (8,895.5)
		아스팔트 고품분 80% 이상 (고점도)유화 아스팔트 대량생산 기술 개발 및 기반 구축 - Pilot-scale 제조 기술 개발 및 품질관리 기준 정립 - 유화 아스팔트 대량생산 시설 구축을 위한 제조 설비 설계 기술 개발 - 품질 최적화를 위한 공정관리 기술 개발	4,280.5 (3,302.5)	
		전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발 - 유화 아스팔트 및 폴리머 유화 기술 기반 전단면(표층, 중간층, 기층) 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 개발 - 실내 공용성능 평가 및 실험대형 Test-bed 구축을 통한 실검증 - 무가열 순환 아스팔트 포장 전단면 구조설계 및 시공 기술 개발	4,350 (3,415)	
자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술	노후 도로포장의 구조적 성능을 복원하기 위한 폐아스팔트 100% 활용 국내 도로 환경을 고려한 현장 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술(CIRB) 개발 * Cold In-place Recycling for Base layer	국내 도로 환경을 고려한 한국형 CIRB 시공 장비 개발 및 현장 시공 기술 개발 - 국내 도로환경을 고려한 맞춤형 CIRB 장비 소형화 기술 개발 - 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 공용성 확보를 위한 CIRB 시공 장비 모듈화 기술 개발 - 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 품질확보를 위한 CIRB 공법 최적화 기술 개발	4,600 (3,612)	8,900 (6,988)
		다기능 CIRB 바인더 및 혼합물 국산화 기술 개발 - 고성능 CIRB 재료 국산화 기술 개발 - 현장 순환골재 100% 활용 고성능 CIRB 아스팔트 혼합물 및 배합설계 기준 개발 - 실내 공용성능 및 실험대형 시설 활용 장기공용성 평가	2,400 (1,884)	
		노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발 - 기존 노후 포장 평가 기술 및 단면설계 기술 개발 - 한국형 CIRB 시공 장비 모듈 운영 시스템 최적화 기술 개발 - 노후 도로포장 수준별 Test-Bed 구축 및 시공 가이드라인(안) 마련	1,900 (1,492)	
바이오매스 기반 탄소저감 도로포장 대체 기술 개발	기존 아스팔트 및 시멘트 도로용 포장재를 대체할 수 있는 바이오 기반의 도로포장 재료 및 시공 기술 개발	바이오매스 기반 Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발 - 바이오매스 추출 소재 기반 Bio-Polymer 바인더 기술 개발 - Bio-Polymer 바인더 합성 제조 기술 개발 - Bio-Polymer 바인더 성능 개량 및 최적화 기술 개발	1,600 (1,256)	7,600 (5,967)
		중교통량 이상 자동차 전용 도로 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발 - Bio-Polymer 콘크리트 혼합물 배합설계 및 성능 기준 개발 - Bio-Polymer 콘크리트 포장 최적 구조설계 기술 개발 - 기후변화 적응 및 도시환경 개선을 위한 응용기술 개발	2,900 (2,277)	
		Bio-Polymer 콘크리트 포장 전용 생산 및 시공 기술 개발 - Bio-Polymer 콘크리트 대량생산을 위한 생산시설 설계 및 공정기술 개발 - 전용 모바일 시공/유지관리 장비 및 기계화 시공기술 개발 - Bio-Polymer 콘크리트 Test-bed 구축 및 실검증 평가 - Bio-Polymer 콘크리트 도로포장 시공/유지관리 지침 개발	3,100 (2,434)	

중점기술1. Hyper-emulsion 기반 무가열 순환 아스팔트 도로포장 기술 개발

1. 기술개발 개념 및 범위

(1) 개념

- 고성능 유화 아스팔트 국산화 기술 및 유화 아스팔트 성능 극대화로 도로포장 전단면(표층/중간층/기층) 적용이 가능한 탄소저감 무가열 도로포장 기술 개발

(2) 범위

- 양이온 미세 구조형 Hyper-branch 유화제 국산화 기술 기반 고흡분 90% 이상 Hyper-emulsion 제조 기술 개발
- 저분자 폴리머 기반 고성능 개질 유화 아스팔트 제조 및 대량생산 시설 구축 기술 개발
- 순환골재 50% 이상 전단면(표층/중간층/기층) 적용 가능한 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계 및 생산, 시공 기술 개발
- 전단면 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술에 대한 공용성능 확보를 위한 Test-bed 구축 및 시범사업을 통한 실검증 평가

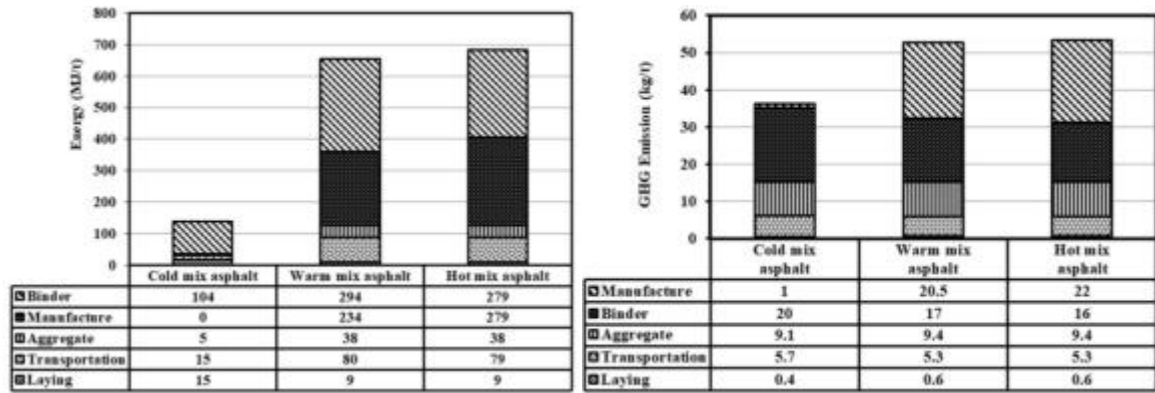
2. 국내외 기술현황

(1) 국내 기술현황

- 한국건설기술연구원('09~'13)은 금호석유화학과의 공동연구로 국내 최초 국산 저탄소 신소재 2종을 개발하고 이를 아스팔트 혼합물에 적용하기 위해 배합기술 등 도로포장 기술별(일반, 재활용, 배수성 등) 5종의 저탄소 중온 아스팔트 기술 개발
- SK에너지는 '22년 1월 중온 아스콘 외부사업 방법론의 환경부 승인을 받아 '23년 7월부터 “중온 아스팔트 콘크리트 혼합물 생산을 통한 연료 및 온실가스 감축”에 탄소감축 인증 시작
- 한국건설기술연구원('12~'15)은 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구” 과제 내에서 “무시멘트 활용 저비용 상온 재활용 아스팔트 포장 공법 개발” 수행

(2) 국외 기술현황

- 상온 아스팔트는 재료를 가열하지 않고 약 25℃내외의 상온에서 공정이 이루어져 에너지 절감 및 탄소배출량 감소, 재활용 골재 사용의 용이성 등 다양한 장점이 존재
 - 상온 아스팔트 혼합물은 25℃ 내외의 상온에서 생산하여 생산온도가 낮아 가열 및 중온 아스팔트 포장 기술 대비 에너지 절약 및 탄소배출 저감 가능
 - 영국에서는 아스팔트 생산 시 275MJ/t의 에너지가 소비되는 HMA에 비해 CMA는 14MJ/t의 에너지만 소비되어 95%의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 분석하였으며, 가열 과정에서 34kg/t의 CO₂가 발생하는데, CMA는 해당 배출량의 저감이 가능



출처: Journal of Cleaner Production(2021), Cold mix asphalt: An overview

[그림 3-22] 제조 유형별 에너지 사용량(좌), 제조 유형별 온실가스 배출량(우)

- 유럽 및 미국에서는 친환경 건설 공법으로 WMA(중온 아스팔트 포장 기술)를 20년 이상 적용하여 탄소저감 효과 및 장기 공용성능도 검증된 공법으로 사용 중에 있음
- 상온 재활용 아스팔트 기술은 미국, 중국 등에서 주로 사용 중에 있으나, 골재 가열이 되지 않아 수분이 결합재와 골재 사이에 영향을 미쳐 접착력 감소, 바퀴자국, 피로균열, 벗겨짐과 같은 다양한 유형의 손상에 취약, 현재는 교통량이 낮은 구간에 기층용으로 활용 중

3. 기존기술의 한계와 극복방안

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

<표 3-55> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
Hyper-emulsion 기반 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발	- 아스팔트 혼합물용 고함량 고풍분 유화 아스팔트 기술 및 대량생산 기반 시설 부재 - 상온 재활용 아스팔트 포장 기술 상부층(표층, 중간층) 적용 기술 부재	• Hyper branch 유화제 국산화 기술 개발 • 고풍분 90% 이상 유화 아스팔트 개발 및 대량생산 시설 구축 • 전단면(표층, 중간층, 기층) 적용 가능한 신규 및 유지보수 무가열 아스팔트 포장 기술 개발 • 무가열 재활용 아스팔트 포장 성능기준 가이드라인(안) 마련

□ 한계점 및 주요이슈 1 : 상온 재활용 아스팔트 포장용 유화 아스팔트 성능 미비

- 전세계적으로 상온 재활용 아스팔트 포장 기술을 활용 중에 있으나, 유화 아스팔트의 기술부재 및 성능 미비로 활성화 제약 및 저교통 도로의 기층에 제한적 사용 중
 - 고풍분 약 60% 전/후의 유화 아스팔트 사용은 잠재적으로 양생 후(수분증발), 포장체 내 다량의 공극 발생 현상으로 내구성 확보 미비
 - 상기의 문제점을 극복하고자 상온 아스팔트 포장의 강도발현 및 양생시간 단축을 위해 시멘트 및 활성재움재 등을 주로 사용되고 있으나, 과다 사용으로 인하여 균열 등 공용성능 저하로 조기포장 파손 발생
 - ※ 강도 발현을 위해 시멘트 사용으로 인해 아스팔트 포장 재료와의 이질적 특성으로 인해 층 분리 및 포장 파손 가속화



[그림 3-23] 무시멘트 첨가제

- 現, 국토부에서는 중교통 도로의 표층 적용을 위해 가열 아스팔트 포장 수준의 성능을 요구하고 있으나, 현재 기술로는 한계 극복이 어려우며, 기층용으로 일부 사용 중
- 전세계적으로 상온 아스팔트 포장의 성능 향상을 위해 유화 아스팔트 성능을 확보하고자 다양한 노력을 추진 중에 있으나 실효성 있는 기술 확보 부재
 - 프랑스의 COLAS社は 유화 아스팔트 고형분 향상을 위해 현재 생산시설에서 70% 이상의 고형분을 함유한 유화 아스팔트 생산에 성공하였으나, 그 이상의 고형분 확보 한계
 - ※ 이를 해결하기 위해 SBS, SBR 등 고점도 고성능 개질 첨가제를 활용한 유화 아스팔트 생산은 가능하나 고형분 향상의 한계로 상온 포장 기술의 성능 한계
 - 유화 아스팔트의 고형분 함량은 상온 아스팔트 포장의 양생시간, 공용성능 등 지대한 영향을 미침에도 불구하고 전세계적으로 기술적 한계 극복 어려움
 - 특히, 현재 생산되는 유화 아스팔트는 Colloid Mill 생산 시설을 활용하고 있으며, 물리적 방법을 적용하여 유화 아스팔트를 생산하고 있어 기계적 한계로 인해 고형분의 형태(입자크기 등) 및 함량 향상의 한계 존재
- 한계점 및 주요이슈 2 : 도로 포장체의 전단면 적용을 위한 재료 및 포장설계, 생산, 시공 기술 부재
 - 기존 상온 재활용 아스팔트 포장 재료 및 공법의 경우, 전단면 특히 표층 및 중간층용으로 활용된 사례가 전무하며, 일부 적용된 경우 조기파손 발생으로 성능 한계 존재
 - 대부분의 상온 재활용 아스팔트 포장 재료는 표층 및 중간층으로 활용하기 위해서는 기존 가열 아스팔트 포장 재료와 유사한 성능 확보 필요
 - ※ 특히, 교통개방 시간(양생시간, 강도발현) 등 가열 아스팔트 포장 공법과 유사 및 동등 필요
 - 현행 대부분의 상온 재활용 아스팔트 포장 공법에는 양생시간 및 강도발현을 위해 시멘트를 활용하고 있으며, 양생시간 역시 48시간 이상으로 현행 아스팔트 포장 대체 불가능
 - 현재의 기준에 따르면, 시멘트를 활용함에 있어 기존 아스팔트 포장과의 구조적 거동 특성 즉, 점탄성 거동이 아닌 탄성거동으로 인해 포장설계, 생산 및 시공 방법에 대한 가이드라인 및 매뉴얼 부재로 품질관리의 한계 존재
 - 기존 아스팔트 포장에 적용하기 위해 표층, 중간층의 입도 및 함량뿐만 아니라 품질기준 등 현행 아스팔트 포장과 유사한 성능 및 기준 적용 필요
 - 특히, 도로 포장의 공용성능 평가를 통한 도로포장 설계 방법 부재로 현행 도로포장 설계 한계가 존재하며 양생시간 및 강도발현 기반으로 생산 및 시공 방법 부재

(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안 1 : 유화 아스팔트 국산화 및 성능 향사 기술 개발

- 유화 아스팔트에 사용되는 유화제는 95% 이상 석유계 오일 또는 소재를 활용하는 것으로 이를 개선할 수 있는 유화제 국산화 기술 개발
 - ※ 특히, 석유계 소재 최소화를 위해 Bio-oil 기반의 hyper-branch 양이온계 유화제 개발
- 유화 아스팔트의 고형분 향상 및 고형분의 입자크기, 균질성 확보 가능한 유화 아스팔트 개발

- 現, 국내 활용 유화 아스팔트의 구성은 아스팔트(55~65%), 물(25~30%), 유화제(5~10%)로 상온 아스팔트 포장의 양생 후 물 증발에 따라 다량의 공극률 발생에 따른 성능 저하
- 물 사용량 최소화를 통한 아스팔트 고형분 극대화를 통한 양생시간 및 성능확보 가능
- 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 성능향상을 위해 現, 개질첨가제를 활용한 개질 유화 아스팔트를 활용하고 있으나, 대부분 SBR-Latex를 활용하고 있음
- 유화 아스팔트 성능을 향상시키기 위해 다양한 폴리머 개질 유화 아스팔트를 개발하여 사용중에 있으나, 현행 기술력으로 SBR-Latex 외 별도의 개질첨가제 적용 기술 부재
- 국외에서는 SBS 유화 기술을 개발하여 활용 중에 있으며, 성능적인 측면에서 SBR보다 SBS의 성능이 뛰어나며, SBS를 활용한 개질 유화 아스팔트 개발 추진 필요
 - ※ 유화 아스팔트의 경우, 물이 포함되어 있어 유화 아스팔트의 생산 온도가 100℃이하여야 하기 때문에 고점도 폴리머 개질첨가제 적용 한계 존재

□ 극복방안 2 : 고함량 고성능 유화 아스팔트 제조 방법 및 성능 검증

- 現, 유화 아스팔트 제조에 사용중인 Colloid Mill 장비의 경우, 기계적 한계로 인해 고형분 함량 증가의 한계 존재
 - ※ Colloid Mill 장비 활용 시, 고형분 함량 최대 80% 이상 제조 불가능
- 유화 아스팔트의 고형분 함량 극대화를 위해 Colloid Mill 장비 한계를 극복할 수 있는 제조 방법 및 절차를 새롭게 정립하고 제조 설비 구축 기술 개발 필요
 - 전세계적으로 Colloid Mill 방식 이외 유화 아스팔트 제조 방법론 개선 사례 전무로 새로운 제조 방식을 통한 현재 한계 극복 필요
 - High Shear 방식을 통한 유화 아스팔트 고형분 향상 및 입자 균질성 확보 가능

□ 극복방안 3 : Hyper-emulsion 기반 (표층/중간층용)무가열 재활용 도로포장 기술 개발

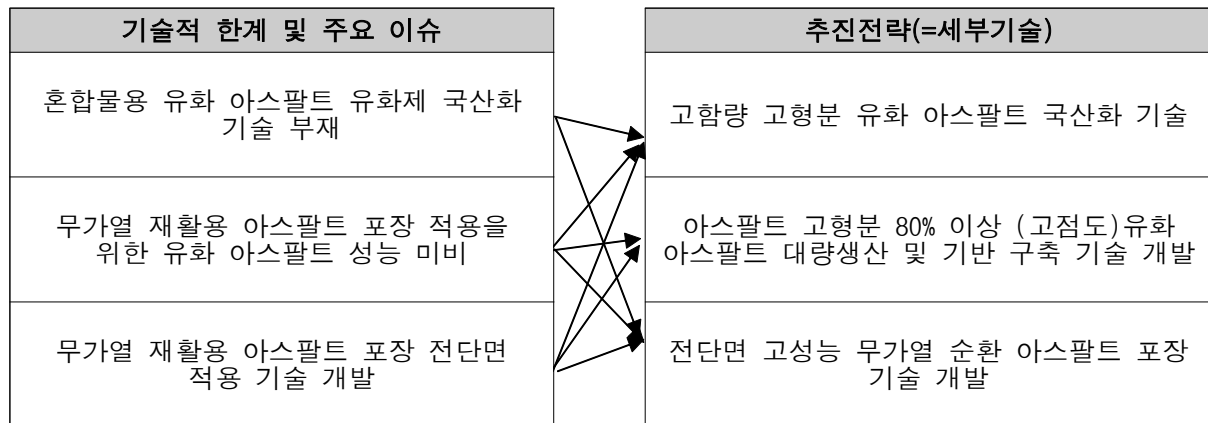
- 전세계적으로 상온 재활용 아스팔트 포장 기술은 대부분 성능 저하로 인해 기층용을 활용중에 있으며, 포장층 중 상부층(표층 및 중간층용)으로 적용을 위한 성능 확보 기술 개발 필요
 - 양생시간 최소화 및 강도발현 효과 극대화를 통한 표층 및 중간층용 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 개발
 - ※ 現, 가열 아스팔트 포장 대체를 위한 양생시간 및 강도발현 효과 극대화 기술 개발
 - 표층 및 중간층용 무가열 재활용 아스팔트 혼합물의 재료설계 기술 개발 및 품질기준 정립
- 現, 아스팔트 포장의 구조적 성능 확보를 위한 공용성능(피로균열, 소성변형, 수분민감도 등) 확보 가능한 무가열 도로 포장 재료 설계 기술 확보
 - 강도발현을 위해 사용되는 시멘트 및 활성채움재 최소화로 기존 가열 아스팔트 포장 성능과 유사한 성능을 유지함으로서 아스팔트 포장 설계(다층탄성포장설계)가 가능하도록 성능확보
 - 무가열 재활용 아스팔트 포장 설계를 위한 주요인자(재료특성) 도출을 통한 포장설계법 개발
- 무가열 재활용 아스팔트 혼합물 대량생산 및 시공 기술 개발
 - 아스팔트 혼합물 생산 플랜트 기반 대량 생산 및 시공 방법을 통한 품질기준 및 성능 검토

□ 극복방안 4 : Hyper-emulsion 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 사업화 및 실용화 기반 마련

- 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술에 대한 실증 기술 개발을 위한 Test-bed 및 시범사업을 통한 실증 기술 개발
- 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술은 공공재로서 활용하기 위한 법제도화 기반 마련 필요
- 무가열 재활용 아스팔트 포장에 대한 LCI 분석 및 기반 마련을 통한 탄소배출 저감량 산정

4. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출



□ 전략 1 : 고함량 고형분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발

- 아스팔트 고형분 90% 이상 및 단일모달(unimodal) 입자크기 확보 기술 개발
- 유화 아스팔트용 양이온 미세 구조형 Hyper-branch 유화제 제조 및 국산화 기술 개발
- 저분자 폴리머 기반 고성능 개질첨가제 적용 유화 아스팔트 기술 개발

□ 전략 2 : 아스팔트 고형분 80% 이상 (고점도)유화 아스팔트 대량생산 기술 개발 및 기반 구축

- Pilot-scale 제조 기술 개발 및 품질관리 기준 정립
- 유화 아스팔트 대량 생산 시설 구축을 위한 제조 설비 설계 기술 개발
- 품질 최적화를 위한 공정관리 기술 개발

□ 전략 3 : 전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발

- 유화 아스팔트 및 폴리머 유화 기술 기반 전단면(표층, 중간층, 기층) 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 개발
- 실내 공용성능 평가 및 실험대형 Test-bed 구축을 통한 실검증
- 무가열 순환 아스팔트 포장 전단면 구조설계 및 시공 기술 개발

(2) 기술개발의 최종목표

□ 최종목표

Hyper-emulsion 기반 탄소배출량 70% 이상 저감
고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발

□ 최종산출물

- 양이온 미세 구조형 Hyper-branch 유화제 국산화 기술
- 고형분 90% 이상 Hyper-emulsion 제조 기술
- 저분자 폴리머 기반 고성능 개질 유화 아스팔트 제조 및 대량생산 시설 구축 기술
- 순환골재 50% 이상 전단면(표층/중간층/기층) 적용 가능한 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계 및 생산, 시공 기술 개발
- 전단면 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 Test-bed 구축 및 시범사업을 통한 가이드라인(안) 제시
- 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 온실가스 배출 특성 평가

□ 성과지표 및 목표

<표 3-56> (중점기술 3) 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
고함량 고형분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발	저장안전성	72hr
	고형분 함량	90% 이상
	평균입자크기	10 μ m 이하
아스팔트 고형분 80% 이상 (고점도)유화 아스팔트 대량생산 및 기반 구축 기술 개발	공용성 등급	PG 82-28 이상
	신도	100cm 이상
	유화용 High Shear 생산 장비	3,000 rpm 이상 (국내최초)
전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발	공용성능(N_f , ϵ_P/ϵ_E 등)	HMA 대비 동등 그 이상
	양생시간	8시간
	현장실증	2건 이상 (재활용율 80% 이상)
	탄소배출량	0.8 $\times$ 10 ² kgCO ₂ /ton 이하 (환경부 LCI 기반 도로포장 탄소배출량 70% 이상 저감)

5. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

<표 3-57> (중점기술 1) 세부기술 구성(안)

중점분야	세부기술
Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로포장 기술 개발	고함량 고형분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발
	아스팔트 고형분 80% 이상 (고점도)유화 아스팔트 대량생산 및 기반 구축 기술 개발
	전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발

□ 세부기술 1 : 고함량 고형분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 유화 아스팔트 내 핵심소재인 유화제는 전량 수입 및 석유화학 제품으로 Bio 기반의 유화제 국산화 기술 개발 필요
- 유화 아스팔트의 주요구성 재료는 물(25~30%)+유화제(5~10%)+아스팔트(55~65%)로 되어 있으며, 아스팔트 고형분이 약 55~65%로 물 함량에 따라 양생시간 및 성능이 좌우됨
 - ※ 아스팔트 내 고형분 향상 및 물의 함량 최소화를 통한 양생시간 및 성능 향상이 필요하나, 현재 국내 기술로는 한계 존재로 유화 아스팔트 내 고형분 향상은 필수 조건
- 표층 및 중간층 등 전단면 적용을 위해 유화 아스팔트 성능 향상은 필요 조건이며, 기존 폴리머 개질첨가제를 대체 할 수 있는 폴리머 핵심 소재 개발 필요

○ 기술동향

- 現, 전 세계적으로 혼합물용 유화 아스팔트 내 고형분은 70% 내외로 30%이상이 물로 이뤄져 양생시간 및 공용성능 저하의 핵심 문제로 지적되고 있음
- 조기강도 발현을 위해 전세계적으로 주로 시멘트계(무시멘트 포함) 첨가제를 활용 중에 있으나, 시멘트의 건조수축 등의 문제로 조기 균열 발생 및 아스팔트 포장층과의 이질적 재료로 인해 조기 파손 발생
 - ※ 혼합물용 유화 아스팔트 성능향상으로 조기강도 및 양생시간 문제 해결 가능
- 고형분 향상을 위한 다양한 연구개발을 추진 중에 있으나, 실효성 있는 개발 기술 부재

○ 주요 연구개발 내용

- 아스팔트 고형분 90% 이상 및 단일모달(unimodal) 입자크기 확보 원천기술 개발
- 유화 아스팔트용 양이온 미세 구조형 Hyper-branch 유화제 제조 및 국산화 기술 개발
- 저분자 폴리머 기반 고성능 개질첨가제 적용 유화 아스팔트 기술 개발
- (1차년도) 유화 아스팔트 핵심 소재 기술 개발
 - 유화제 국산화를 위한 재료 설계 및 제조
 - 국산화 유화제 활용 유화 아스팔트 재료 설계 및 HIPR 제조 방법론 정립
 - 유화제 및 유화 아스팔트 성능 평가 및 최적화
- (2차년도) 고함량 유화 아스팔트 제조 기술 개발
 - HIPR 기반 유화 아스팔트 제조 방법론 개발
 - 고함량(90% 이상) 유화 아스팔트 제조를 위한 핵심소재 설계 및 제조 기술 개발
 - 고함량 유화 아스팔트 분산성 및 안전성 평가
 - 고함량 유화 아스팔트 배합설계 및 성능 검증을 통한 최적화
- (3차년도) (고점도)고함량 유화 아스팔트 성능 평가 및 최적화 기술 개발
 - 고점도 개질 유화 아스팔트 적용을 위한 저분자 개질 첨가제 개발
 - HIPR 기반 고점도 개질 유화 아스팔트 제조 기술 개발
 - 고점도 개질 유화 아스팔트 재료 설계 및 제조, 성능 평가
 - 고점도 개질 유화 아스팔트의 요구성능 기반 최적화
 - (고점도) 고함량 유화 아스팔트 시작품 개발

○ 최종성과물

- 혼합물용 유화 아스팔트 유화제 국산화 기술
- 고형분 90% 이상 및 평균입자크기 10 μ m 이하 유화 아스팔트 시제품
- 혼합물용 유화 아스팔트 품질기준(안) 정립

□ 세부기술 2 : 아스팔트 고형분 80% 이상 (고점도)유화 아스팔트 대량생산 및 기반 구축 기술

○ 기술개발 필요성

- 現, 유화 아스팔트 제조 설비는 Colloid Mill 방식으로 제조됨에 따라 고형분 함량 증가의 한계가 있으며, 특히 개질첨가제를 첨가한 개질 유화 아스팔트 적용 한계 존재
- 고형분 함량 증가 및 고점도 개질첨가제 활용 개질 유화 아스팔트 생산을 위한 제조 방법 및 설비 개선 필요
- 유화 아스팔트 제조 방법 변화에 따른 품질확보 방안 마련 필요

○ 기술동향

- 전 세계적으로 유화 아스팔트 제조 및 생산기업인 프랑스의 COLAS社は 유화 아스팔트 고형분 향상을 위해 현재 생산시설에서 70% 이상의 고형분을 함유한 유화 아스팔트 생산에 성공하였으나, 그 이상의 고형분 확보 한계
- Colloid Mill 방식의 한계를 극복하기 위해 HIPR(High Internal Phase Ratio) 제조 방법이 최근 연구되었으나, 실내 실험 수준임
- 대량생산 설비 및 시설 구축을 위한 Pilot-scale의 제조설비 및 공정관리 기술 필요

○ 주요 연구개발 내용

- Pilot-scale 제조 기술 개발 및 품질관리 기준 정립
- 유화 아스팔트 대량생산 시설 구축을 위한 제조 설비 설계 기술 개발
- 품질 최적화를 위한 공정관리 기술 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (2차년도) High Shear 제조 설비 설계 및 구축 기술 개발
 - HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 구축 방안 정립
 - HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 설계 및 구축
 - HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 활용 유화 아스팔트 제조 및 품질평가
- (3차년도) High Shear 방식의 제조 설비 운영 및 제조 공정 기술 개발
 - High Shear 방식의 제조 설비 운영 방안 정립
 - High Shear 방식의 제조 설비 운영에 따른 유화 아스팔트 성능 평가
 - (고점도) 고함량 유화 아스팔트 제조에 따른 성능 평가
- (4차년도) High Shear 방식의 제조 설비 운영 및 제조 공정 최적화 기술 개발
 - (고점도) 고함량 유화 아스팔트 성능에 따른 제조 설비 최적화
 - (고점도) 고함량 유화 아스팔트 대량생산 설비 설계 기술 개발
 - High Shear 제조 설비 운영 및 제조 공정 가이드라인(안) 개발

○ 최종성과물

- High Shear 방식의 Pilot-scale 유화 아스팔트 제조 설비 구축
- (고점도) 고함량 유화 아스팔트 대량생산 시설 설계 기술 개발
- (고점도) 고함량 유화 아스팔트 품질관리 공정기술 개발

□ 세부기술 3 : 전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 도로포장 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 現, 상온 재활용 아스팔트 포장 기술의 경우, 성능 미비로 인해 저교통량 도로의 기층용으로만 일부 적용 중에 있어 성능향상을 통한 표층 및 중간층용으로 개발 필요

- 신규 및 유지보수 공법에 적용을 통한 탄소발생량 최소화를 위해 표층 및 중간층, 기층 전단면에 적용을 위한 무가열 도로포장 기술 개발 필요
- 도로분야 순환경제 체계 정립 및 기존 도로포장 재료 활용에 따른 탄소저감을 확보를 위해 재활용 기술 확보 및 재활용률 향상 필요

○ 기술동향

- 상온 재활용 아스팔트 포장 기술을 가장 많이 사용중인 미국 및 중국에서는 상온 도로 포장의 성능 미비로 인해 저교통량 구간의 기층용으로 활용 중에 있음
- 탄소저감 및 중립을 위해 유럽 등 다양한 국가에서 상온 아스팔트 포장 기술의 성능 고도화 기술들을 개발하고 있으며,
- 특히 미국의 경우, 탄소중립 실천을 위해 현재 기층용으로 사용중인 상온 아스팔트 포장 공법을 중교통량 및 전단면 적용을 위한 다양한 연구를 수행중에 있음(2023, ARRA)

○ 주요 연구개발 내용

- 무가열 순환 아스팔트 포장 배합설계 기술 개발
- 무가열 순환 아스팔트 포장 포장설계 기술 개발
- 무가열 순환 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 기술 개발
- 무가열 순환 아스팔트 포장 탄소배출량 및 성능기준(안) 정립
- (1차년도) 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 개발 방향 정립
 - 무가열 순환 아스팔트 포장 전단면 적용을 위한 단면설계 기반 마련
 - 무가열 순환 아스팔트 포장 설계 기준에 따른 공용수명 확보를 위한 요구성능 분석
 - 각 포장단면층 별 요구성능에 따른 공용성능 최소기준(안) 마련
- (2차년도) 표층 및 중간층용 순환 아스팔트 포장 공법 개발
 - 고성능 고함량 유화 아스팔트 활용 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계 및 품질평가
 - 순환골재 사용비율에 따른 배합설계 및 품질평가
 - 순환골재 사용비율에 따른 무가열 순환 아스팔트 혼합물 실내 공용성능 평가 및 최적화
 - 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계(안) 정립
- (3차년도) Test-bed 구축 및 운영을 통한 실검증 평가
 - (고점도) 고함량 유화 아스팔트 특성을 반영한 전단면 도로포장 형식 및 단면 설계
 - 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 Test-bed 구축을 통한 생산 및 시공 기술 개발
 - 무가열 순환 아스팔트 포장 현장 공용성능 평가 및 탄소배출량 분석
- (4차년도) 시범사업을 통한 법 제도화 기반 마련
 - 도심지 내 시범사업 구간 선정(특화도시 대상 등)
 - 무가열 순환 아스팔트 포장 도로포장 형식 및 단면 설계(신설 및 유지보수 구간)
 - 무가열 순환 아스팔트 포장 현장 적용 및 운영을 통한 탄소저감 및 성능 실검증 평가
 - 기존 가열 아스팔트 포장 대비 탄소배출량 저감 분석
 - 시범사업 및 실검증 평가를 통한 법·제도화 기반 마련

○ 최종성과물

- 전단면(표층, 중간층, 기층) 적용 무가열 순환 아스팔트 포장 설계 기술 개발
- 현장 Test-bed 구축을 통한 성능 검증 및 평가
- 무가열 순환 아스팔트 포장 탄소배출량 분석 및 정립
- 무가열 순환 아스팔트 포장 생산 및 시공 가이드라인(안) 정립

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 3-58> (중점기술1) Hyper-emulsion 기반 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 성능목표

주요 기술명	주요 성능	성능수준		기술개발 목표수준
		국외	국내	
고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발	저장안전성	72 hr	48 hr	72hr 이상 유화제 저장안전성 확보
	고형분 함량	80 %	70 %	고형분 90 % 이상 확보
	평균입자크기	10 μm	20~40 μm	10 μm 이하 단일모달 형성
아스팔트 고품분 80% 이상 (고점도)유화 아스팔트 대량생산 및 기반 구축 기술 개발	PG 등급	76-22	76-22	PG 82-28 등급 확보
	신도	100cm 이상	70cm 이상	신도 100cm 이상 확보
	유화용 High Shear type	-	-	국내외 최초 시도
전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발	공용성능(N_i , ϵ_P/ϵ_E 등)	-	-	가열 신규 아스콘 대비 동등 및 그 이상 확보
	양생시간	48~96hr	48hr	전단면 적용을 위해 양생시간 8hr 이내
	현장실증	O	X	2건 이상 적용
	탄소배출량	O	X	0.8 $\times 10^2$ kgCO ₂ /ton 이하 (환경부 LCI 기반 도로포장 탄소배출량 70% 이상 저감)

<표 3-59> (중점기술 1) Hyper-emulsion 기반 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발 산출물 목표

중점기술명	세부기술명	산출물				세부기술 목표	중점기술 목표
		'26	'27	'28	'29		
Hyper-emulsion 기반 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발	고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발	- 유화 아스팔트 및 유화제 핵심소재 확보 원천기술 확보	- 고함량 유화 아스팔트 제조 기술 확보(HIPR) - 고함량 유화 아스팔트 배합비율 최적화 및 성능 검증	- 개질 유화 아스팔트용 저분자 개질첨가제 소재 기술 확보 - HIPR 기반 고점도 개질 유화 아스팔트 제조 기술 개발 - 고점도 개질 유화 아스팔트 성능평가 및 시제품	-	무가열 순환 아스팔트 혼합물용 고함량 고품분 유화 아스팔트 개발 및 품질기준(안) 개발	Hyper-emulsion 기반 탄소배출량 70% 이상 저감 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발
	아스팔트 고품분 80% 이상 (고점도)유화 아스팔트 대량생산 및 기반 구축 기술 개발	-	- HIPR 기반 Pilot-scale High Shear 제조 설비 설계 및 구축 - High Shear 설비 기반 유화 아스팔트 제조 및 품질기준(안) 제시	- High Shear 시작품 운영 방안 보고서 - 시작품 활용 유화 아스팔트 제조 및 성능기준(안) 제시 - 시작품 활용 고함량 개질 유화 아스팔트 제조에 따른 품질 및 성능기준(안) 제시	- 고함량 개질 유화 아스팔트 성능에 따른 설비 최적화 및 시제품 개발 - Pilot-scale 시제품 기반 대량생산 설비 설계 및 타당성 분석 - 시제품 설비 운영 및 제조 공정 가이드라인(안) 제시	고함량 고점도 (개질) 유화 아스팔트 제조 설비 구축 및 대량생산 설계 기술 개발	
	전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발	- 무가열 순환 아스팔트 포장 전단면 적용 단면설계 및 최소 성능 기준(안) 제시	- 고함량 고품분 유화 아스팔트 활용 표층 및 중간층 무가열 순환 아스팔트 배합설계(안) 제시 - 무가열 순환 아스팔트 혼합물 성능 최적화 및 품질기준(안) 제시	- (고점도) 고함량 개질 유화 아스팔트 특성 반영 전단면 도로포장 형식 및 단면설계(안) 제시 - Test-Bed 구축을 통한 생산 및 시공 기술 확보 - 현장 공용성능 검증 및 탄소배출량 분석	- 도심지 내 시범사업 구간 선정 및 단면설계(신설 및 유지보수 구간) - 현장 시범사업 수행을 통한 탄소저감 및 성능 실검증 평가 - 시범사업 및 실검증 평가를 통한 법제도화 기반 마련(생산 및 시공 가이드라인(안) 제시)	전단면 적용 무가열 순환 아스팔트 도로포장 기술 개발 및 현장 품질관리, 생산, 시공 기준(안) 제시	

(3) 유사과제와의 차별성 및 연계성

□ 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

○ 유사 연구과제와의 차별성

- 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 근본적인 문제 해결을 위한 고품분 고품량 고성능 유화 아스팔트 및 생산 기술 개발
- 표층 및 중간층용 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 개발 및 전단면 적용을 위한 단면설계, 생산 및 시공 기술 개발
- 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 현장 품질관리 가이드라인(안) 제시 및 LCI 기반 아스팔트 도로 포장 분야 탄소배출량 분석

○ 유사 연구과제와의 연계성

- 기존 무가열 순환 아스팔트 포장의 역학적 성능, 내구성 평가 결과를 DB를 활용
- 기존 결과를 바탕으로 강도발현 및 양생시간 단축용 첨가제로서 소재 DB 활용

<표 3-60> (중점기술 1) 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관 기관	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구 (2012~2016)	한국건설기 술연구원	재활용 순환골재 80% 활용 상온 재활용 아스팔트 포장 기술 개발	- 기 기술은 기층에 국한하여 기술 개발이 되었으나 동 과제는 아스팔트 모든 층에 적용하기 위하여 개질 유화 아스팔트 성능 개선 및 조기양생에 따른 강도발현 개선을 목표로 하였으나, - 기술적 한계로 인해 현행 기준용으로 일부 적용 중에 있음
용해시간 5분 이내의 저열 첨가제를 적용한 생산온도 60℃ 저감형 저열 아스팔트 혼합물 개발을 통한 탄소배출 35% 절감 기술 (2021~2022)	청주대 학교	가열 아스팔트 혼합물 대비 60℃ 낮은 중저온 아스팔트 포장 기술 개발	- 개발 기술은 약 100℃에서 생산 및 시공이 이뤄지는 반면, 개발하고 하는 기술은 약 50% 감소된 온도인 80℃에서 생산 및 시공이 이뤄짐 - 또한 페아스콘 미활용으로 페아스콘 50% 적용되는 기술과 차이를 가짐
CO2 포집 탄산칼슘과 칼슘계 자극제를 이용한 탄소주립형 무기채움재를 활용한 친환경 순환 상온 아스팔트 콘크리트 제조 및 공법 개발 (2021~2023)	(주)대륙신소 재	강도발현이 가능한 고로슬래그 기반 채움재 개발 및 유화 아스팔트와 채움재 기반의 순환 상온 아스팔트 콘크리트 혼합물 개발	- 강도발현을 위한 무시멘트계 고로슬래그 기반 무기 채움재 개발 - 강도발현 및 양생시간 단축 핵심요소 소재로 연계

(4) 기대효과 및 파급효과

□ 과학기술적 효과

- Hyper-emulsion 핵심 소재 및 국산화 기술 개발로 미래 사회변화를 선도할 국가 차원의 소재 개발 및 건설 분야 응용 기술 확대
- 건설용 핵심소재에 대한 원천기술 확보를 통해 해외기술 의존도 해소 및 세계 최고 수준의 기술 경쟁력 확보

□ 사회경제적 효과

- 가열 아스팔트 혼합물 생산 공정에서 무가열 순환 아스팔트 포장 기술로 전환함에 따라 탄소 발생 저감 효과 연간 70.0%(0.4백만tCO₂eq) 이상 절감 가능
- 가열 아스팔트 혼합물 생산 공정에서 무가열 순환 아스팔트 포장 기술로 전환함에 따라 화석 연료비 연간 934억 원/년 절감
 - 도로인프라 건설부분 탄소저감을 통해 ‘탄소중립 2050’ 목표를 조기달성하고, 건설부분 선순환 시스템 구축 기반 마련 및 자발적 온실가스 저감 활동을 기대
- 도로포장에서 발생하는 탄소를 저감하여 총 탄소배출량 저감을 통해 그린신사업 추진가능, 성능개선에 의한 생애주기 변경으로 도로포장 유지보수(소파보수, 덧씌우기 등) 예산 절감

중점기술2. 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 개발

1. 기술개발 개념 및 범위

(1) 개념

- 노후 도로포장의 구조적(표층/중간층/기층) 성능 복원, 순환골재 100% 활용 및 국내 도로 환경을 고려한 탄소저감 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술(CIRB, Cold In-place Recycling for Base layer) 개발

(2) 범위

- 국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈(리사이클러 모듈, 첨가제 포설 모듈, 재혼합 모듈, 페이버 모듈 등) 개발
- 국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 기술 개발
- 노후 도로포장의 구조적(표층/중간층/기층) 성능 복원을 위한 순환골재 100% 사용 및 양생시간 단축을 위한 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 배합설계 및 생산 기술 개발
- 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술에 대한 공용성능 확보를 위한 테스트 베드 구축 및 시범사업을 통한 실검증 평가

2. 국내외 기술현황

(1) 국내 기술현황

- 국내 상온 재활용 아스팔트 포장 기술은 조기강도 발현 문제 및 장기 내구성 부족으로 기층용 포장 재료로 사용되고 있으며 아스팔트 포장의 전단면(표층/중간층/기층)에 적용을 위해 조기 강도 발현 및 내구성 향상 등을 위한 기술 개발 연구 진행 중
- 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술은 노후된 아스팔트 포장을 약 5~10cm 깊이로 절삭한 순환골재를 폼드아스팔트 또는 유화아스팔트를 사용하여 현장에서 100% 재활용하므로 환경적 · 경제적 측면에서 장점을 가지고 있어 고가의 대형 시공 장비 도입 등 검토
 - 해외 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비를 국내에 도입할 경우, 특수 장비로 분류되어 국내 도로법상 이동에 제약 발생
- 한국건설기술연구원('12~'15)은 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구” 과제 내에서 “환경친화형 중온 현장 표층 재활용 포장 실용화 기술 개발” 수행

(2) 국외 기술현황

- 미국에서는 1900년대에 현장 상온 재활용 아스팔트 공법이 소개되었으며 1970대~1980대에 뉴멕시코주, 캔자스주, 펜실베이니아주 등에서 노후 아스팔트포장의 유지보수 현장에 적극적으로 적용하였으나 최근에는 고성능 유화 아스팔트 개발, 폼드 아스팔트 개발 및 시공장비 고도화 등을 통해 현장 상온 재활용 아스팔트 공법을 확대 적용 중
- 2001년 미국 아스팔트 리사이클링 협회(ARRA, Asphalt Recycling and Reclaiming Association)에서는 상온 현장 재활용 아스팔트 공법은 가열 현장 재활용 아스팔트 포장 공법과 비교하여 공사비용 20%~40% 절감 및 에너지 사용 40%~50% 절감이 가능한 것으로 보고
 - 일반적으로 일정한 양생기간 후, 가열 아스팔트 포장으로 덧씌우기가 필요하며 양생기간이 길어

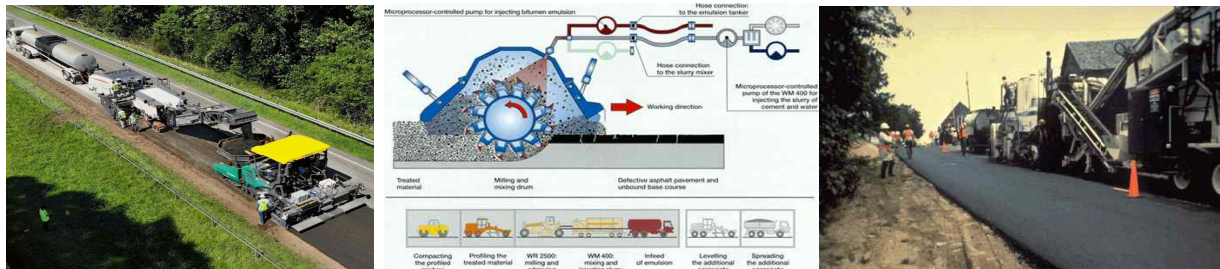
교통량이 많은 곳에 적용이 어려움

<표 3-61> 가열 현장 재활용 아스팔트 포장과 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 비교

(출처: 한국도로학회, 미국의 아스팔트포장 현장 재생공법 소개와 상온 재생 폼드아스팔트 혼합물의 배합 설계법 개발)

구 분	가열 현장 재활용 아스팔트 포장	상온 현장 재활용 아스팔트 포장
노후포장 유지보수 두께	- 2~5cm	- 5~10cm
재생공법 적용을 위한 포장의 노면상태	- 소성변형 - 종방향 & 횡방향 균열 - 블리딩, 라벨링	- 표층 표면 파손보수 - 기층에서 발생한 반사균열
장점	- 공사기간 단축 - 표면 덧씌우기 불필요	- 경제성 우수 - 환경친화적
단점	- 대기온도가 낮을 경우 시공 제한 - 현장 시공관리 주의 요구 - 상온 현장 재활용 공법에 비해 고비용	- 교통량 많은 곳에 적용 어려움 - 일정기간 양생기간 필요 - HMA 표면 덧씌우기 필요

- 기포아스팔트 기술을 활용한 상온 현장 재활용 아스팔트 1톤 생산시, 가열 아스팔트 혼합물과 비교하여 약 23kg의 탄소 배출 감소 효과 확인
- 미국에 많은 주교통국에서 현장 상온 재활용 아스팔트 공법을 노후포장의 구조적 성능 개선 및 예방적유지보수 공법으로 활용하고 있으며 공법 관련 시방서 및 시공 가이드라인 사용중



[그림 24] Cold In-place Recycling 시공 전경 및 개념 및 장비 (출처: Federal Highway Administration)

- 유럽 및 중국에서는 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 품질 기준 마련
 - 스웨덴은 플랜트 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 품질기준 정립 연구를 통해 관련 기준 제시

<표 3-62> 스웨덴 플랜트 상온 재활용 아스팔트 혼합물 품질기준

시험방법	기층용	표층용
공극률 (%)	6~14	4~12
25℃ 마찰 안정도 (N)	7,000 이상	5,000 이상
10℃ 스티프니스(MPa)	2,000 이상	-
10℃ 간접인장강도, 7일 건조시료 (MPa)	-	0.3 이상
수분민감도(%)	50 이상	60 이상
순환골재 크기 (mm)	22 이하	16 이하

- 중국은 상온 재활용 아스팔트 포장의 두께를 최대 10cm, 시멘트 첨가량은 재활용 아스팔트 사용에 0.5~3.0%로 제한하는 관련 기준 제시

<표 3-63> 중국 상온 재활용 아스팔트 혼합물 관련 품질기준

시험방법		표층용
공극률 (%)		9~14
25℃ 마찰 안정도 (N)		-
간접인장시험 (25℃)	강도 (MPa)	0.3
	Wet/Dry Ration (%)	70

3. 기존기술의 한계와 극복방안

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

<표 3-64> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
자원순환 100% 재활용 In-place 무가열 도로포장 기술	- 노후도로의 구조적 성능을 개선할 수 있는 유지보수 공법 부재 - 노후도로의 구조적 성능 개선이 가능한 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 부재 - 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 적용 생산 및 시공 기술 부재 - 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 생산 및 시공 기준 부재	• 국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈 개발 • 국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 기술 개발 • 노후 도로포장의 구조적(표층/중간층/기층) 성능 복원을 위한 순환골재 100% 사용 및 양생시간 단축을 위한 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 배합설계 및 생산 기술 개발 • 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 품질기준(안) 및 시공가이드라인(안) 마련

□ 한계점 및 주요이슈 1 : 노후도로의 구조적 성능 저하로 인한 도로성능 약화 및 공용수명 단축

- 노후 도로포장의 구조적 성능 개선을 위한 단면(표층/중간층/기층)보수 적정 공법 부재
 - 2022년 기준, 국내 준공 후 30년 이상 된 노후도로는 전체 도로의 51.5% 차지
 - 일반국도의 경우, 전체 도로 연장 중 85.1%가 준공 후 30년 이상 된 노후도로로 분류
 - 노후 아스팔트 포장의 표층 부분(약 5cm) 유지보수로 인한 도로포장의 구조적 성능 개선 미흡
 - ※ 구조적 성능 개선 없는 획일적인 유지보수로 인한 유지보수 예산 지속적 증가
- 노후 도로포장의 성능 향상을 위한 구조적 성능 평가 및 하부단면 유지보수 공법 필요성 공감
 - 노후 도로포장의 결함 및 구조적 상태를 고려한 최적의 유지보수 두께 산정을 통한 도로포장의 효율적 유지관리 필요
 - 노후 도로의 하부단면까지 유지보수가 가능한 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 개발 필요

□ 한계점 및 주요이슈 2 : 도로분야 탄소중립 정책 기여 미비 및 천연자원 고갈로 인한 골재 부족

- 온실가스 저감 및 기후변화 정책 대응을 위한 친환경 도로건설 기술 적용 수요 증가
 - 가열 아스팔트 포장 기술은 다량의 화석연료 사용으로 인해 지속적으로 이산화탄소를 배출하고 있어 대체 기술 개발 공감
 - 가열 아스팔트 포장 1km 시공時, 전과정에서 약 456톤 이산화탄소를 배출하고 있어 상온 현장 아스팔트 포장 기술 개발 필요
- 도로공사에 필요한 골재 수요는 증가하고 있으나 자연환경 보전 민 석산개발 제한 등으로 인한 골재 수급 문제 발생
 - 천연골재 대체 재료로 노후 도로포장에서 발생하는 순환골재 100% 활용이 가능한 상온 현장 아스팔트 재활용 포장 기술 개발 공감
 - 도로건설 및 유지보수 공사시, 천연골재 부족 문제 해소를 위한 순환골재 자원순환 100% 기반 재활용 유지보수 기술 필요

□ 한계점 및 주요이슈 3 : 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용 시공장비 도입 및 활용 한계

- 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용을 위한 시공 장비의 국내 도입 어려움 및 시공 현장 적용을 위한 제도 부재
 - 대형 시공장비 사용으로 이동성 저하 및 다수의 시공장비 투입으로 인한 시공 효율성 저하
 - 시공장비(아스팔트 탱크, 물차 등)간에 연계성 부족, 시멘트 살포시 분진 발생으로 인한 환경 문제 발생
 - 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용을 위한 품질기준 및 시공관리 기준 부재

(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안 1 : 국내 도로 환경을 고려한 한국형 CIRB 시공 장비 개발 및 현장 시공 기술 개발

- 유럽 및 미국에서 사용하고 있는 CIR 시공 장비는 국내 도로환경(차량 하중) 및 도로포장 시공 환경(포설 및 다짐 두께, 양생시간)등에 적합하지 않아 시공 장비 개발 필요
- 해외에서 사용하고 있는 CIR 시공 장비를 벤치마킹하여 국내 도로환경을 고려하여 즉시 현장에 활용이 가능한 시공 장비 모듈화 기술 개발
- 기존 절삭 장비를 활용할 수 있는 모듈화 기술 개발, 최적의 성능을 발휘할 수 있는 품질 확보를 위한 혼합 장비 모듈화 기술 개발, 다짐 성능 확보를 위한 다기능 패이버 모듈화 기술 개발 등을 통한 현장의 교통 여건, 시공 여건 등을 고려한 한국형 CIRB 시공 장비 모듈화 기술 개발 및 한국형 CIRB 시공 기술 개발

□ 극복방안 2 : 다기능 CIRB 바인더 및 혼합물 국산화 기술 개발

- 상온 현장 재활용 아스팔트 포장에서 무가열 재활용 아스팔트 혼합물의 성능 및 품질 확보를 위한 양생시간 단축 기술 개발 필요
- 양생시간, 골재입도, 강도발현 첨가제 등의 개선을 통한 고성능 CIRB 재료 및 무가열 재활용 아스팔트 혼합물 국산화 기술 개발 및 배합설계 기준 마련
- 무가열 재활용 아스팔트 혼합물의 실내 공용 성능 평가 및 실험실 시설을 활용한 장기 공용성 평가를 통한 한국형 CIRB 기술의 실용화 기반 마련

□ 극복방안 3 : 노후 아스팔트 포장의 구조적 성능 복원 가능 유지보수 기술 개발

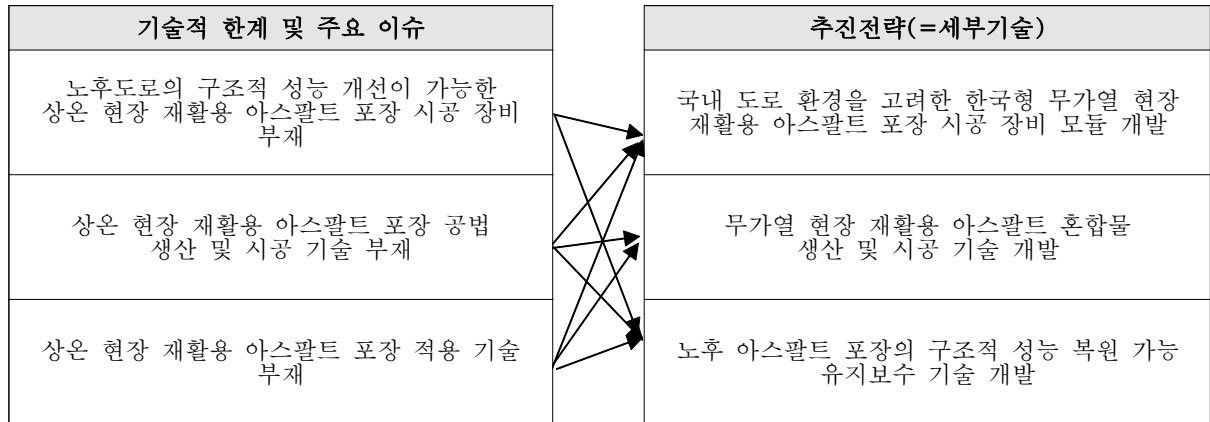
- 노후 도로포장의 구조적 상태를 고려한 유지보수 두께 및 공법 적용이 필요하나, 주로 표층이나 중간층까지만 절삭&덧씌우기하는 획일적인 유지보수 공법 외에 유지보수 예산 및 공용수명 향상을 위한 유지보수 기술 개발 필요
- 노후 도로포장의 표면결함 뿐만 아니라 구조적 결함의 평가를 통한 유지보수 단면설계 기술을 개발하고, 최적의 구조적 성능 복원을 위한 CIRB 장비 모듈의 운영 시스템 기술 개발
- 노후 도로포장의 상태를 검토하고 다양한 포장상태를 대상으로 테스트 베드를 구축하여 개발 기술 검증을 통한 CIRB 기술의 시공 가이드라인(안) 마련

□ 극복방안 4 : 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 실용화 및 시업화 기반 마련

- 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술에 대한 Test-bed 구축 및 시범사업을 통한 실증 기술 개발
- 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술에 대한 경제성 및 환경성 분석을 통한 실용화 기반 마련

4. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출



□ 전략 1 : 국내 도로 환경을 고려한 한국형 CIRB 시공 장비 개발 및 현장 시공 기술 개발

- 국내 도로환경을 고려한 맞춤형 CIRB 장비 소형화 기술 개발
- 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 공용성 확보를 위한 CIRB 시공 장비 모듈화 기술 개발
- 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 품질확보를 위한 CIRB 공법 최적화 기술 개발

□ 전략 2 : 다기능 CIRB 바인더 및 혼합물 국산화 기술 개발

- 고성능 CIRB 재료(폼드아스팔트, 유화아스팔트 등) 국산화 기술 개발
- 현장 순환골재 100% 활용 고성능 CIRB 아스팔트 혼합물 및 배합설계 기준 개발
- 실내 공용성능 및 실대형 시설 활용 장기공용성 평가

□ 전략 3 : 노후 아스팔트 포장의 구조적 성능 복원 가능 유지보수 기술 개발

- 기존 노후 포장 평가 기술 및 단면설계 기술 개발
- 한국형 CIRB 시공 장비 모듈 운영 시스템 최적화 기술 개발
- 노후 도로포장 수준별 Test-Bed 구축 및 시공 가이드라인(안) 마련

(2) 기술개발의 최종목표

□ 최종목표

**노후 도로포장 구조적 성능 복원 및 탄소저감을 위한
순환골재 100% 사용 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 개발**

□ 최종산출물

- 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장(CIRB) 시공 장비
- 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장(CIRB) 시공 장비 성능 및 운영 최적화 기술
- 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장(CIRB) 시공 장비 맞춤형 고성능 재료 국산화 기술

- 순환골재 100% 재활용 고성능 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 및 배합설계 기준
- 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 평가 및 단면설계 기술
- 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 Test-bed 구축 및 시범사업을 통한 시공 가이드라인 (안) 제시

□ 성과지표 및 목표

<표 3-65> (중점기술 2) 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈 개발	시공장비 소형화	40톤 이하
	CIRB 연속시공	1km/day 이상
	현장 다짐성능	1회 15cm 이상
무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 기술 개발	양생시간	24시간 이내
	순환골재 재활용률	100%
	간접인장강도	0.40MPa 이상
노후 아스팔트 포장의 구조적 성능 복원 가능 유지보수 기술 개발	배합설계 기준(안)	확보
	기존 노후 포장 평가 및 구조설계 기준(안)	확보

5. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

<표 3-66> (중점기술 2) 세부기술 구성(안)

중점분야	세부기술
자원순환 100% 재활용 In-place 무가열 도로포장 기술	국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈 개발
	무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 기술 개발
	노후 아스팔트 포장의 구조적 성능 복원 가능 유지보수 기술 개발

□ 세부기술 1 : 국내 도로환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈 개발

○ 기술개발 필요성

- 해외에서 사용하고 있는 CIR 시공 장비의 대형화(과중량)으로 국내 도로환경에서는 이동이 불가능하므로 국내의 도로 여건 및 시공 여건에 적합한 한국형 CIRB 시공 장비 개발 필요
- 다양한 환경에 맞춰 기술 적용이 가능한 맞춤형 시공 장비 개발 필요
- 한국형 CIRB 시공 장비를 활용한 현장 적용시, 쾌적한 시공환경을 제공하기 위한 친환경 시공 장비 개발 필요

○ 기술동향

- 해외에서는 Single CIR Unit과 Multi CIR Unit Train의 시공 장비 사용 중
- 미국에서는 Single CIR Unit과 Multi CIR Unit Train 시공 장비에 대한 자체 기술 보유
- 독일에서는 Single CIR Unit과 이동식 CIR 플랜트 장비에 대한 자체 기술 보유

○ 주요 연구개발 내용

- 리싸이클러 장비의 모듈화
- 분진 발생 억제 및 시공 품질 향상을 위한 시멘트 살포 모듈 개발
- 포밍용 아스팔트의 가열 및 보온 유지를 위한 아스팔트 공급 장치 개발
- 순환 아스팔트 혼합물의 균질화를 위한 재혼합 장치 개발
- 다짐 밀도를 증가시키기 위한 페이버 모듈 개발
- (1차년도) 해외 CIR 시공 장비 검토 및 개선 방향 수립
 - CIR 장비의 분리조립 가능한 장치 선정
 - 실내 시험장치인 Laboratory Unit을 기반으로 CIR의 모듈화 방안 모색
 - 보조장비(AP탱크, 시멘트포설장치, 물차, 아스팔트 페이버, 롤러)의 개선 방향 수립
 - 분리조립 가능한 장치의 국산화 개조 및 소형화 장비 설계
- (2차년도) 한국형 CIRB 모듈화 시공 장비 설계 및 시제품 제작
 - 분진 방지 및 소형화를 위한 시멘트 포설장치와 CIRB 메인 장비 조합 장비 제작
 - 온도관리가 가능한 AP 탱크 소형화 시제품 제작
 - 혼합품질 향상 및 최적 절삭 두께 적용을 위한 CIRB 드럼 개조
 - 시공 품질 향상을 위한 아스팔트 페이버 추가 다짐 장치 시제품 제작
- (3차년도) 한국형 CIRB 시공 장비 운영 및 검증
 - 분리조립 가능한 장치의 국산화 장비 시험가동
 - CIRB 장비의 모듈화 장치 완제품 제작 및 시험가동
 - 분진 방지 및 소형화를 위한 시멘트 포설장치와 CIRB 메인 장비 조합 장비 시험가동
 - 온도관리가 가능한 AP탱크 소형화 시험가동
 - 개조된 CIR 드럼 및 아스팔트 페이버(추가다짐) 시험가동
 - CIRB 모듈화 장치 완제품 활용 현장 시험시공
- (4차년도) 한국형 CIRB 시공 장비 보완 및 최적화
 - 분리조립 가능한 장치의 국산화 개조 소형화 장치 탈부착 문제점 보완
 - CIRB 모듈화 장치 운영 문제점 보완 및 최적화
 - 시험시공 데이터를 통한 품질 향상 검증

○ 최종성과물

- 한국형 CIRB 시공 장비
- 한국형 CIRB 장비 운영 매뉴얼

□ 세부기술 2 : 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 기술 개발

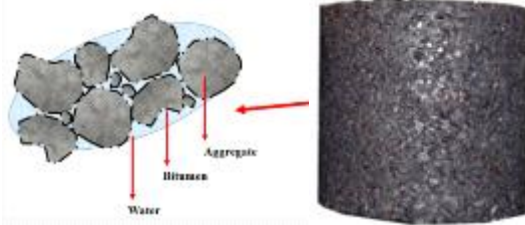
○ 기술개발 필요성

- 국내 아스팔트 재활용 관련하여 하부층 재료로의 활용을 위한 아스팔트 혼합물 기준에 부합하는 바인더 및 첨가제 개발 등을 기반으로 한 고성능 재료 개발 필요
- 국내 아스팔트 포장의 유지보수에 활용이 가능한 양생시간 확보, 다짐성능 확보 등이 가능한 고품질 아스팔트 혼합물 개발 필요
- 한국형 CIRB 장비와 연계 가능한 재료 기술 개발을 통한 CIRB 바인더 및 혼합물 국산화 기술

을 확보하고, 실용화를 위한 CIRB 생산 및 시공 기술 개발 필요

○ 기술동향

- 미국에서는 AASHTO PP 94(Standard Specification for Determination of Optimum Asphalt Content of Cold Recycled Mixture with Foamed Asphalt) 및 AASHTO PP 86(Standard Practice for Emulsified Asphalt Content of Cold Recycled Mixture Designs)을 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 공법에 대한 재료 및 품질 기준으로 사용
 - 상온 현장 재활용 아스팔트 혼합물 특성은 노후 포장의 순환골재 특성, 함수비, 유화 아스팔트 특성, 폼드 아스팔트 특성, 시멘트 등 첨가제 함량 등이 배합설계에 영향을 미치는 요소로 구분
 - 폼드 아스팔트를 사용하는 상온 현장 재활용 아스팔트 혼합물은 순환골재를 바인딩하는 원리인 반면 유화 아스팔트는 사용하는 상온 현장 재활용 아스팔트 혼합물은 순환골재를 코팅하는 원리로서 고품질의 바인딩 효과를 얻기 위해서는 시멘트 (1~2%) 또는 No. 200 통과 석분 함량을 5~20% 유지
- <표 3-67> 폼드 아스팔트와 유화 아스팔트 사용한 상온 현장 재활용 아스팔트 혼합물 비교

폼드 아스팔트를 사용하는 상온 현장 재활용 아스팔트 혼합물	유화 아스팔트를 사용하는 상온 현장 재활용 아스팔트 혼합물
	

- 펜실베이니아 주 교통국에서는 양생부족으로 인한 강도 발현 문제를 방지하기 위해 CIR의 시공 두께를 75mm~100mm로 추천하고 있으나 포틀랜드 시멘트나 C급 플라이애쉬를 유화아스팔트와 함께 사용할 경우 시공 두께를 150mm까지 가능하다고 제시. 여름철에는 CIR 시공후 7~14일 동안 양생
- 네바다 주교통국에서는 CIR 시공후 10~45일 후에 덧씌우기 포장을 시공하도록 규정

○ 주요 연구개발 내용

- 고성능 CIRB 재료 국산화 기술 개발
- 한국형 CIRB 시공 장비 맞춤형 고성능 CIRB 생산 기술 개발
- 한국형 CIRB 시공 장비 맞춤형 고성능 CIRB 시공 기술 개발

○ 연차별 연구개발 내용

(1차년도) 한국형 CIRB 재료 개발 방향 정립

- CIRB 재료, 혼합물 품질기준 관련 국내·외 기술 동향 문헌조사
- 고성능 CIRB 재료 개발을 위한 재료(첨가제, 바인더 등) 검토
- CIRB 재료 기본 물성 평가

- (2차년도) 고성능 CIRB 국산화 재료 개발

- 고성능 CIRB 재료 기반 아스팔트 혼합물 기본 물성 평가
- 고성능 CIRB 재료 기반 아스팔트 혼합물 공용 성능 평가
- CIRB 아스팔트 혼합물 배합설계(안) 마련
- CIRB 아스팔트 혼합물 성능확보를 위한 CIRB 시공 장비 연계 시험

- (3차년도) CIRB 기술 적용 시험시공 및 품질 평가

- 실대형 시험시설을 활용한 CIRB 혼합물 장기공용성 평가
- 현장 성능검증을 위한 한국형 CIRB 장비 연계 시험시공
- 고성능 CIRB 재료 기반 아스팔트 혼합물 성능 및 품질 평가
- 국내 CIRB 혼합물 배합설계 기준 검토

- (4차년도) 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 공법 실용화 기반 마련
 - 고성능 CIRB 재료 기반 아스팔트 혼합물 성능 및 품질 최적화
 - 국내 CIRB 혼합물 배합설계 기준 수립
 - 국내 CIRB 기술 품질기준(안) 마련
 - 국내 CIRB 기술의 실용화를 위한 제도 개선(안) 마련

○ 최종성과물

- 국내 도로환경 맞춤형 고성능 CIRB 국산화 재료
- CIRB 공법 적용 시험시공 및 실험형 실험시설 활용 성능 검증
- 국내 CIRB 혼합물 배합설계 기준
- 국내 CIRB 재료 및 혼합물 품질기준(안)

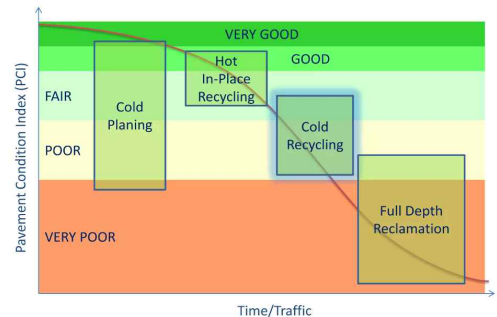
□ 세부기술 3 : 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 국내 아스팔트 포장의 노후화에 따라 유지보수시 표면결함 뿐만이 아닌 구조적 결함을 고려한 유지보수 공법의 적용으로 도로포장 수명 향상 및 공용 성능 확보 필요
- 노후 아스팔트 포장의 구조적 성능 복원을 위한 구조성능 평가 방법 및 최적 단면설계 기술의 개발 필요
- 노후 아스팔트 포장의 구조적 성능 복원이 가능한 유지보수 공법 적용을 위한 관련 기준 마련 필요

○ 기술동향

- 미국에서는 소성변형, 균열, 포트홀 등 등과 같은 표면 결함이 발생한 도로, 주행성이 불량한 도로, 구조적 성능 확보가 부족한 도로 등에 유지보수 공법으로 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용



[그림 3-2] 도로포장 상태를 고려한 - 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용

(출처: Pavement Preservation and Recycling Alliance)

- 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술을 적용하기 위한 대상구간을 선정하기 위해 FWD, GPR 등과 같은 도로포장의 구조적 현장 조사 및 코어 샘플 채취를 통해 CIR 시공 두께 등 산정

<표 3-68> 해외 상온 현장 재활용 포장 공법 현장 적용 절차

대상국간 선정	배합설계	시공 및 품질관리
		

- 뉴욕주교통국에서는 40mm 두께의 HMA 덧씌우기 층을 가지는 100mm 두께의 상온 현장 재활용 포장 수명은 약 10~15년 정도로 예상. 교통량이 8,000 AADT보다 적은 저교통량 도로에 적용 제안
- 네바다주교통국에서 일반적인 CIR 공법은 75mm 두께이며, 교통량이 300,000 ESAL보다 클 경우 추가적으로 구조적인 덧씌우기 필요
- 3%의 유화아스팔트(PG 58-28 등급)와 1.5% 석회석을 사용한 100mm 두께의 CIR 층에 38mm 두께의 HMA 덧씌우기 포장을 할 경우, 도로포장의 기대수명이 약 7년 증가하는 것으로 검증
- 캐나다 교통국에서 유화 아스팔트와 폼드 아스팔트를 사용하여 상온 현장 재활용 아스팔트 공법을 적용한 결과, 공용수명 10년 확보 검증

○ 주요 연구개발 내용

- 노후 아스팔트 포장 구조적 평가 기술 개발
- 노후 아스팔트 포장 성능 복원 단면설계 기술 개발
- 한국형 CIRB 장비 모듈 운영 시스템 최적화 기술 개발
- 도로포장의 노후화 수준별 테스트베드 구축 및 현장 시공 가이드라인(안) 마련
- (1차년도) 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 평가 기술 개발 방향 정립
 - 노후 아스팔트 포장 평가 관련 국내·외 기술 동향 문헌조사
 - 국내 노후 아스팔트 포장 평가 요소 기술 정립
- (2차년도) 국내 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 평가 체계 정립
 - 노후 아스팔트 포장 수준별 현장 구조적 성능 평가
 - 노후 아스팔트 포장 수준별 혼합물 물성 평가
 - 노후 아스팔트 포장 수준별 공용성 평가
 - 노후 아스팔트 포장 단면설계 구조해석 기술 개발
- (3차년도) 노후 아스팔트 포장 CIRB 공법 적용 테스트 베드 구축 및 실검증
 - 아스팔트 포장 상태 평가를 통한 노후 수준별 CIRB 기술 Test-Bed 구축
 - 노후 아스팔트포장 평가 및 단면설계 기술 검증
 - 한국형 CIRB 장비 모듈 운영 현장 적용 및 검증
- (4차년도) 노후 아스팔트 포장 성능 복원 기술 적용 방안 마
 - 한국형 CIRB 기술 현장 적용 시공 가이드라인(안) 마련
 - 기존 노후 아스팔트포장 평가 및 단면설계 기술 최적화
 - CIRB 기술 Test-bed 구간 운영 및 모니터링
 - 한국형 CIRB 장비 모듈 운영 시스템 최적화
 - 한국형 CIRB 기술 탄소저감 효과 분석

○ 최종성과물

- 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 평가 기술
- 노후 아스팔트 포장 단면설계 기술

- 한국형 CIRB 기술 시공 가이드라인(안)
- 한국형 CIRB 기술 탄소저감 효과 분석 보고서

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 3-69> (중점기술 2) 자원순환 100% 재활용 In-place 무가열 도로포장 기술 개발 성능목표

주요 기술명	주요 성능	성능수준		기술개발 목표수준
		국외	국내	
국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈 개발	시공장비 소형화	51ton	—	40톤 이하 (국내 도로법 최대 중량)
	한국형 CIRB 시공 장비의 동시 연속 시공 여부	CIRB 시공장비 연속 시공	—	CIRB 시공장비 연속 시공(1km/day 이상)
	현장 다짐 성능	—	1회 최대 10cm 다짐	1회 15cm 이상 다짐
무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 기술 개발	양생시간	—	48시간	24시간 내외 (양생시간 단축)
	순환골재 재활용률	—	—	현장 상온 순환골재 100% 재활용
	간접인장강도	—	0.40MPa 이상	상온 재활용 기층 아스팔트 혼합물 품질기준 이상
노후 아스팔트 포장의 구조적 성능 복원 가능 유지보수 기술 개발	배합설계 기준	—	—	실내 품질 평가를 위한 배합설계 기준 마련
	시공 가이드라인(안)	—	—	국내 현장 적용 시공 가이드라인(안) 마련

<표 3-70> (중점기술 2) 자원순환 100% 재활용 In-place 무가열 도로포장 기술 개발 산출물 목표

중점기술명	세부기술명	산출물				세부기술 목표	중점기술 목표
		‘26	‘27	‘28	‘29		
자원순환 100% 재활용 In-place 무가열 도로포장 기술	한국형 CIRB 시공 장비 개발	- CIRB 장비 모듈화를 위한 요소 기술 장비 설계	- AP 탱크 소형화 시제품 - 효율성 및 성능 향상된 CIRB 드럼 - 아스팔트 페이퍼 추가 다짐 장치 시제품	- 한국형 CIRB 장비 시험 운영 - 한국형 CIRB 모듈화 장비 시험 가동 - 한국형 CIRB 장비 시험 시공	- 한국형 CIRB 장비 운영 매뉴얼	국내 도로환경 맞춤형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 개발 및 최적화 기술 개발	노후 도로포장의 구조적(표층/중간 층/기층) 성능 복원, 순환골재 100% 활용 및 국내 도로 환경을 고려한 탄소저감 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술(Cold In-place Recycling for Base layer, CIRB) 개발
	한국형 CIRB 생산 및 시공 기술 개발	- CIRB 재료 기본 물성 평가	- 고성능 CIRB 재료 성능 평가 - CIRB 아스팔트 혼합물 배합설계(안)	- CIRB 혼합물 장기 공용성 평가 - 고성능 CIRB 재료 최소 성능 기준 - 한국형 CIRB 장비 연계 시험시공	- 국내 CIR 혼합물 배합설계 기준 - 국내 CIRB 기술 품질기준(안) - CIRB 기술 제도 개선(안)	국내 순환골재 재활용 아스팔트 혼합물 기준에 적합한 CIRB 재료, 생산, 시공 기술 개발	
	노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발	- 노후 아스팔트 포장 구조적 평가 기술 개발 방향	- 노후 아스팔트 포장 수준별 특성 평가 - 노후 아스팔트 포장 단면설계 구조해석 기술	- 노후 수준별 CIRB 기술 테스트 베드 구축 - 한국형 CIRB 장비 모듈 운영 현장 적용 - 노후 아스팔트 포장 단면설계 기술 검증	- 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 평가 및 단면설계 기술 - CIRB 기술 시공 가이드라인(안) - CIRB 기술 탄소저감 효과 분석 보고서	노후 아스팔트 포장의 구조적 성능 복원을 위한 평가 기술, 단면설계 기술 및 실용화 기반 마련	

(3) 유사과제와의 차별성 및 연계성

□ 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

○ 유사 연구과제와의 차별성

- 노후 도로포장의 순환골재를 현장에서 100% 재활용이 가능한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈 기술 개발
- 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 조기 강도발현 및 성능 개선을 위한 다기능 CIRB 바인더 및 혼합물 국산화 기술 개발
- 노후 도로포장의 구조적 성능 복원을 위한 구조성능 평가 방법 및 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 최적 단면설계 기술 개발
- 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 공법 품질 및 시공 가이드라인(안) 제시 및 LCI 기반 아스팔트 도로 포장 분야 탄소배출량 분석

○ 유사 연구과제와의 연계성

- 중온 현장 표층 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 개선에 대한 기술적 노하우 활용
- 기층용 플랜트 무가열 순환 아스팔트 포장의 역학적 성능, 내구성 평가 결과 활용
- 무가열 재활용 아스팔트 혼합물의 조기강도 발현 및 양생시간 단축을 위한 소재 기술 활용

<표 3-71> (중점기술 2) 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관 기관	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구 (2012~2016)	한국건설 기술연구원	재활용 순환골재 80% 활용 상온 재활용 아스팔트 포장 기술 개발	- 기층용 플랜트 상온 재활용 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 기술이 개발되었으나, 동 과제는 노후 포장의 순환골재를 100% 활용하는 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 개발을 목표로 함 - 양생기간 단축 및 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 성능 향상을 위한 재료 기술 활용 연계 검토
온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구 (2012~2016)	한국건설 기술연구원	중온 현장 표층 재활용 아스팔트 포장 공법(WIR)의 실용성 기술 개발	- 노후 아스팔트 포장의 표층을 중온으로 가열하여 현장에서 재활용하는 시공 장비 및 고도화 기술을 개발하였으나, 동 과제는 상온에서 표층뿐만 아니라 중간층, 기층까지 시공이 가능한 무가열 현장 재활용 시공 장비 모듈화 기술 개발 및 현장 시공 기술 개발을 목표로 함 - 중온 현장 표층 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 개선에 대한 기술적 노하우 활용
CO2 포집 탄산칼슘과 칼슘계 자극제를 이용한 탄소주립형 무기채움재를 활용한 친환경 순환 상온 아스팔트 콘크리트 제조 및 공법 개발 (2021~2023)	(주)대륙신소재	강도발현이 가능한 고로슬래그 기반 채움재 개발 및 유화 아스팔트와 채움재 기반의 순환 상온 아스팔트 콘크리트 혼합물 개발	- 플랜트 상온 재활용 아스팔트 혼합물 강도 발현을 위한 고로슬래그 기반 채움재를 개발하였으나, 동 과제는 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술의 조기강도 발현 및 양생시간 단축을 위한 첨가제 기술 개발을 목표로 함 - 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물의 조기 강도발현 및 양생시간 단축을 위한 소재 기술로 활용 검토

(4) 기대효과 및 파급효과

□ 과학기술적 효과

- 무가열 현장 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 공용성능 확보를 통한 하부단면(중간층, 기층)의

보수에 사용 가능한 재료의 원천 기술 확보

- 국내 노후 아스팔트 포장의 효율적 단면 보수공법 적용을 통한 노후 도로포장의 구조적 성능 개선 및 수명 연장을 위한 전환 기반 마련
- 국내 도로환경에 적합한 한국형 현장 상온 재활용 아스팔트 포장 시공장비 최적화(소형화, 모듈화, 성능 효율화 등)를 통한 현장 적용 효율성 향상
- 신설보다 도로포장 유지관리 비용의 지속적 증가로 유지보수 공사에 확대 적용함으로써 도로 포장 공사에서 발생하는 탄소중립 기술로서의 가치 확대
- 도로포장 유지보수 시장은 지속적으로 증가될 것이며, 특히 30년 이상 노후 도로포장 유지보수 비용 기하급수적으로 증가가 예상되어 도로포장의 수명 및 서비스 향상을 위한 새로운 패러다임의 유지보수 기술 확보

□ 사회경제적 효과

- 기존 가열 아스팔트 포장 공법에서 배출되는 탄소배출량은 약 54%가 아스팔트 생산 공정에서, 약 30%가 아스팔트 바인더 제조 공정에서, 약 13%가 골재생산 공정이며, 약 3%가 시공과정에서 발생되므로 생산공정에서 탄소배출량을 감소할 경우 약 60% 이상 탄소배출량 감소 가능

※ 도로건설 시(기층, 중간층, 표층), 탄소발생량 평균 745톤/km/lane으로 추정(약 131대 연간 승용차 탄소배출량 해당)

- 아스팔트 포장 표층 1km 시공 시, 발생하는 탄소배출량은 총 456.2톤(Ma et al., 2016)으로 2022년 국내 아스팔트 혼합물 총 생산량※으로 환산할 경우, 도로포장 부분에서 약 13,336톤 감소

※ 아스팔트 포장 1km 시공 시 필요 아스팔트 혼합물량 411톤, 2022년 기준 총 생산량 20,046톤으로 이를 상온/무가열 아스팔트 혼합물로 대체할 경우, 연간 13,336톤 탄소발생량 감소

중점기술3. 바이오매스 기반 탄소저감 도로포장 대체 기술 개발

1. 기술개발 개념 및 범위

(1) 개념

- 기존 아스팔트 및 시멘트 콘크리트 소재의 자동차 전용도로를 대체할 수 있는 무가열성·상온경화형 신소재 도로포장 공법으로 국내 도로품질 기준을 만족하면서 전주기(생산/시공/유지관리) 탄소저감이 가능한 바이오 폴리머 도로포장 기술 개발

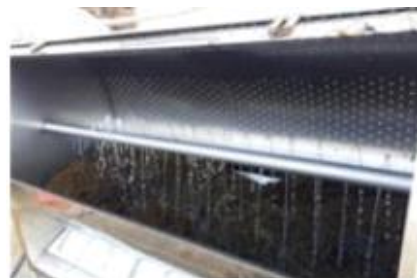
(2) 범위

- 기존 도로포장재료(시멘트/아스팔트)를 직접 대체 (100% 대체율) 가능한 바이오 폴리머 바인더의 국산화기술 개발
- 중교통량 이상 자동차 전용도로에 적용가능한 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발
- 차도 적용을 위한 전용 생산설비 및 시공/유지관리 장비 개발
- 현장적용을 통한 장기공용성 검증 및 응용기술 개발
- 신소재 바이오 폴리머 콘크리트 포장 설계 및 시공품질관리 시방기준 정립

2. 국내외 기술현황

(1) 국내 기술현황

- 바이오 오일 및 바이오 폴리머 도로포장 기술
 - 최근 바이오 오일 및 폴리머를 이용한 아스팔트 대체 또는 첨가제로 활용 가능한 기술 개발 中
 - 석유정제 공정이 고도화됨에 따라 아스팔트의 품질저하로 이를 개선하기 위한 바이오 오일 (팜유, 소이빈오일 등)을 연질화 첨가제로서 개발하여 활용하는 기술개발 기 수행
 - ※ 저가 중질유분의 경질화 부산물을 활용한 도로포장용 재료 및 시공기술개발 (에기연, 화학연, 건설연, '12~'17년)
 - '17년 갯생이 모자반을 바이오 폴리머로 활용한 콘크리트계 교면 포장용 보수재료 개발 및 상용화 연구 기 수행
 - ※ 남해안과 제주도 연안에 유입되어 양식장과 어선 조업에 피해를 주고 있는 갯생이 모자반을 기반으로 한 바이오 폴리머를 활용하여 고가의 합성 라텍스에 의존하는 폴리머 콘크리트 기술을 대체할 수 있는 친환경 교면 포장 기술 개발





[그림 3-33] 팽생이 모자반 바이오 폴리머 생산 예시

- 기존 아스팔트 및 시멘트 바인더가 전혀 함유되지 않은 식물성 폴리우레탄 바인더를 활용한 바이오 폴리머 콘크리트가 친환경 포장재료로서 개발됨
- ※ 천연골재와 식물성 폴리우레탄 바인더만을 결합하여 도로포장에 활용하는 기술로 상온에서 시공 가능
- ※ 개발 소재는 우수한 열 안정성 및 내구성, 휨강도를 나타내 고온에서 소성변형과 저온에서 피로균열에 대한 저항성이 높음
- ※ 최근 자동차 전용도로 적용을 위한 바인더 및 시공기술 개발에 관한 추가 연구가 활발히 진행되고 있음



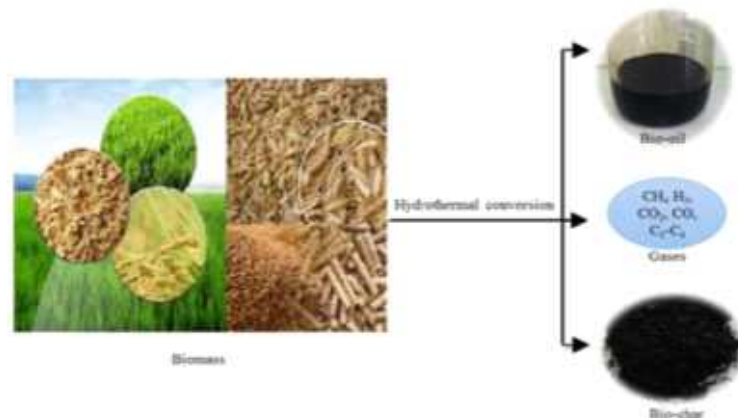
[그림 3-34] 바이오 폴리머 콘크리트 설치 사례

(2) 국외 기술현황

○ 바이오 오일/바이오 폴리머 활용 아스팔트 포장기술

- 바이오 매스(수초, 미역, 옥수수 등)를 열수전환(hydrothermal conversion)하여 바이오 오일을 생산하여 기존 아스팔트 바인더의 첨가제로서 적용할 수 있는 기술 개발
- ※ Converting Biomass into Bio-Asphalt (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021)

- 상기에서 생산된 바이오 오일은 아스팔트와 유사한 성능을 발휘하지만, 고온에서의 성능 확보(강성 등)가 어려워 현재 기술로는 아스팔트를 일부(20~30%) 대체 가능한 기술로 개발되었으며, 바이오 매스를 열수 전환이 가능한 별도의 시설 확보 중요



[그림 3-35] 바이오 매스의 열수전환으로 생산된 바이오 오일

- [바이오 오일] 목질류 (활엽수, 침엽수, 목초, 옥수수, 밀짚, 사탕수수, 왕겨 등) 바이오 매스를 이용하여 셀룰로스 및 리그닌 등의 성분을 추출하고 오일 및 분말형태로 기존 아스팔트 바인더에 첨가하여 성능 향상
 - 셀룰로스는 목질류에서 가장 많은 성분을 차지하며 아스팔트 혼합 시 점탄성 및 부식 저항성 향상, 하지만 친수성 및 미생물에 의한 분해로 인해 중(무거운) 셀룰로스는 사용이 제한되며 셀룰로스도 10% 미만의 첨가제로써만 사용됨
 - 리그닌은 아스팔트의 다환 방향족 탄화수소와 우수한 상용성을 나타내어 기존 아스팔트보다 높은 열 안정성을 나타냄, 하지만 리그닌 분자는 아스팔트의 저분자 오일 성분을 흡수하여 리그닌으로 개질된 아스팔트 바인더의 연성을 급격하게 감소시켜 사용량이 제한됨 (20% 이하)
 - 現, 국내외에서 활발히 사용되는 목질류 바이오매스는 제지공장에서 발생하는 산업부산물인 흑액으로서 주성분은 리그닌임, 수침분해를 통해 98%가 바이오 에너지(연료)로 사용되고 있으며 바이오 플라스틱, 바이오 접착제, 수지, 탄소섬유 등 고부가가치 산업으로 재활용되고 있음
- [바이오 폴리머] 해조류 (미역, 다시마, 모자반 등) 바이오 매스에서 생성되는 알긴산 성분을 알칼리 조건에서 액상 추출, 여과, 분리, 표백, 탈수 건조공정을 거쳐 제조 후 분말화하여 콘크리트 및 아스팔트에 사용
 - 알긴산은 시멘트 및 아스팔트 채움재(석분)의 2가 양이온(Ca²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, Fe²⁺)과 결합하여 하이드로겔을 형성하여 아스팔트 혼합물의 내구성, 내후성, 내열성 등을 향상
 - 현재 알긴산나트륨 형태의 바이오 폴리머로서 제작되어 아스팔트 바인더의 약 5% 미만 사용되고 있으며 아스팔트 바인더의 대체재보다 성능 향상을 위한 혼화제로써 연구되고 있음

3. 기존기술의 한계와 극복방안

(1) 기존 기술의 한계점 및 주요 이슈

<표 3-72> 현재 주요 기술수준 및 한계와 극복방안

주요 기술	현재 기술수준 및 한계	극복방안
바이오 폴리머 활용 탄소저감 도로포장 기술	- 기존 시멘트/아스팔트 포장을 대체하기 위한 바이오 매스 기반 신소재 바인더 및 도로포장공법 부재 - 신소재 도로포장재 현장적용을 위한 생산/설계/시공/유지관리 기준 및 전용장비 부재	• 국내 화학전문 제조기업과 협업으로 바이오 폴리머 바인더 국산화 기반 마련 • 개발된 바이오 폴리머 포장재의 품질기준 확립 • 전용 생산설비 및 포장장비 개발을 통한 현장 적용성 강화 • 신소재 도로포장 시장 진입 제한을 해결하기 위한 표준설계 및 시공지침 마련

□ 한계점 및 주요이슈 1 : 바이오 매스 기반 바인더의 높은 국외수입 의존도 및 적용한계

- 최근 저탄소 녹색성장을 위해 생산 및 시공과정에서 다량의 화석연료 및 온실가스 배출을 발생시키는 기존 아스팔트 포장을 대체할 신소재 기술개발에 대한 필요성에 대해 국내외적으로 폭넓게 인식되고 있으며, 선진국을 중심으로 새로운 기술을 선도하기 위한 연구가 활발히 진행
- 최근 국내 도입되어 산책로, 주차장 등에 일부 적용되고 있는 바이오 폴리머 바인더는 전량 해외에서 개발 및 상용화된 제품을 수입하여 사용 중이며 국내 일부 화학기업에서 개발된 바인더는 도로품질 기준을 충족시키지 못함
 - 석유기반 합성의 폴리올이 아닌 천연 피마자유(Castor oil)로부터 폴리올을 추출하여 사용하였고, 성분의 90%가 불포화 지방산인 리시놀렌산 등을 이용하여 이소시아네이트(-NCO)와의 반응성을 향상시키는 기술이 적용된 폴리우레탄 바인더를 개발
 - 개발된 바인더는 천연 피마자유(Castor oil)를 이용한 독자적인 추출 공정을 통해 반응성을 향상시켜 글리세린과 에스테르 교환이 원활하게 진행될 수 있도록 유도하였으며, 사슬 연장제의 사용과 탈수 상태 유지를 위한 분자체 그리고 품질 향상을 위한 발포 방지제 등과 같은 첨가제 사용을 통해 자연 및 재생 골재를 일정 강도 이상으로 결합시킬 수 있어 산책로, 주차장, 자전거도로 등 일부 현장에 국한되어 적용 중



[그림 3-36] 천연 피마자유를 이용한 폴리우레탄 바인더

- 기존 상용화 제품인 2액형 바인더(Polyol+Isocyanate)의 경우 가사시간 및 경화시간이 짧아 실제 도로포장과 같은 대규모 공사 진행을 위해 사용되는 기계화 장비를 활용한 시공이 불가능하며 현장적용성 및 내구성에 한계점을 나타냄

□ 한계점 및 주요이슈 2 : 기존 도로포장재와의 접합부 및 하부구조에 따른 내구성 저하로 인한 구조 성능 확보의 어려움

- 도로용 바이오 폴리머 콘크리트 적용 및 확장 시 기존 도로포장 접합부 및 경계부는 재료의 이질성으로 인한 시공 이음부 균열, 단차, 슬라이드가 발생하기 쉬움

- 바이오 폴리머 콘크리트 시공 전 기존포장 접합부 및 경계부 접착력 증진과 내구성 확보를 위한 텍코팅 소재 및 충전재 부재
- 시공 시 주로 표층에 적용되고 있는 바이오 폴리머 콘크리트 포장재는 반강성 소재로 보조기층 및 기층과 같이 표층에 가해지는 하중을 분산 분포시켜 노상이 안전하도록 전달하는 하부구조의 재료 및 지지력 저하에 따라 내구성에 큰 영향을 받음
- 표층의 공용성능과 기능성을 충족시키기 위한 포장 하부구조의 건전도 평가방법과 바이오 폴리머 콘크리트 포장 전용 설계 기준 부재

□ 한계점 및 주요이슈 3 : 도로분야 적용을 위한 생산 및 시공/유지관리기술 미비

- 바이오 폴리머 콘크리트 생산시설 및 품질관리 기준 부재
 - 일관성 있는 제품성능 및 유지를 위한 생산 시 골재, 바인더 품질관리 기준 부재
 - 최적 성능 발휘를 위한 골재 및 바인더 배합설계 기준 부재
 - 배합설계에 따라 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 생산이 가능한 전용 플랜트 부재
- 인력시공이 아닌 대형화 기계화 시공을 위한 바이오 폴리머 콘크리트 시공전용 장비의 부재
 - 국내 바이오 폴리머 콘크리트 포장기술은 전용 시공장비 부재 및 적용사례 전무
- 바이오 폴리머 콘크리트 유지관리 장비 및 기술 부재
 - 바이오 폴리머 콘크리트 포장은 시공 이후 내구성 및 기능 유지를 위한 관리가 필요하나 전용 장비 및 상황별 유지관리 기법이 마련되어 있지 않은 상태임

(2) 기술적 한계의 극복방안

□ 극복방안 1 : 도로용 바이오 기반 바인더의 국산화

- 국내 적용되고 있는 친환경 바이오 폴리머 콘크리트는 이론적 실험적인 연구를 통해 강도 및 내구성이 어느 정도 인정되고 있지만, 아직 기초 연구단계에 머물러 있고, 도로포장 분야에 직접 적용하기 위한 고도화 및 실용화 연구는 아직 이루어지지 못하고 있음
- 내구성 및 시공성, 현장적용성을 만족시킬 수 있는 도로용 바이오 폴리머 바인더의 국산화 기술 개발
 - 가사시간 3~4시간, 경화시간 8시간 이하 조건을 만족하는 바인더의 개발로 대형화/기계화 장비를 활용한 시공성능 향상 확보
 - 바인더 물성 개량을 통한 국내도로 품질 기준 이상의 내구성 및 현장적용성 확보

□ 극복방안 2 : 도로용 바이오 폴리머 콘크리트 전용 표준 생산/설계/시방/유지관리기준 마련

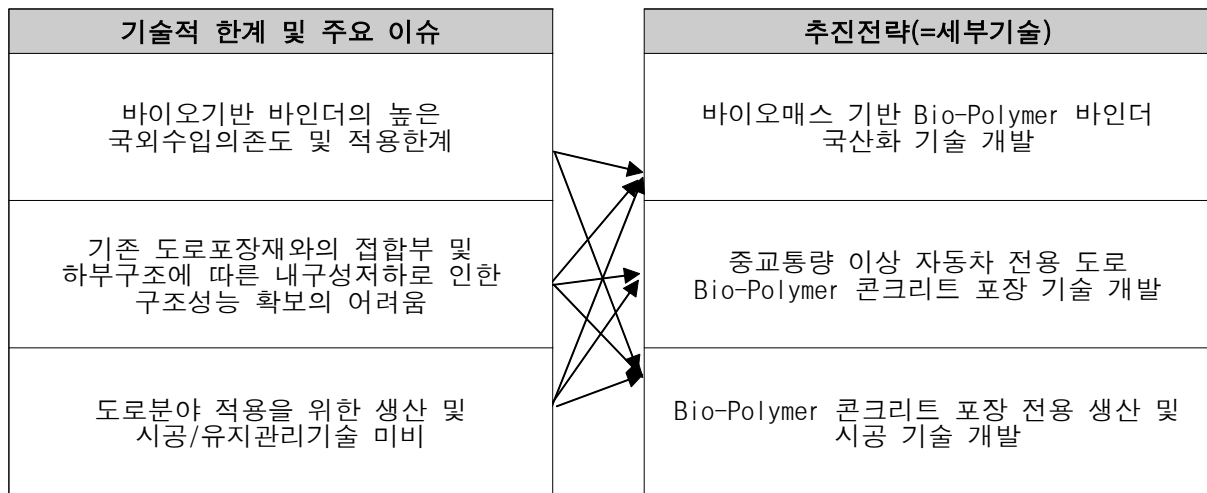
- 자동차 전용도로 신소재 포장 적용 시 발주처(수요처)에서는 표준 생산/설계/시방기준(품질 및 기술기준 포함)을 요구하고 있으나 바이오 폴리머 콘크리트 표준 기준 부재
 - 바이오 폴리머 콘크리트 생산 시 일정 품질유지를 위해 요구되는 골재 세척/건조, 바인더 함량, 갭입도 등에 대한 표준 생산기준 정립
 - 폴리머 콘크리트 포장은 하부구조의 건전도가 표층의 공용성능과 기능에 영향을 받기 때문에 매우 중요함. 교통하중, 노상 및 노반의 조건, 환경조건 등에 따른 바이오 폴리머 콘크리트 전용 표준설계 기준 정립
 - 폴리머 콘크리트 포장 시공 전 준비사항, 혼합물의 운반, 포설 및 다짐으로 이루어진 순차적인 공정 및 각 시공공정에 따른 적정 장비 및 활용방법 제시를 위한 표준시방 정립

□ 극복방안 3 : 도로용 바이오 폴리머 콘크리트 실현장 적용 및 응용기술 개발

- 자동차 전용도로 현장은 대규모로 구축되는 특수성으로 개발기술의 실현장 적용을 위한 전용장비와 시공 후 도로포장의 내구성 및 기능성 유지를 위한 유지관리 장비가 필수이지만 국내 바이오 폴리머 콘크리트 전용 시공장비 및 유지관리 장비의 부재로 인력 포설 및 시공을 하고 있어 시공 품질관리에 어려움이 있으며, 이를 해결하도록 전용 장비 개발
 - 배합설계에 따른 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 생산이 가능한 모바일 플랜트 개발
 - 인력시공이 아닌 기계화 시공으로 국내 도로 등급별 포장의 적용 및 다양한 사용 목적에 부합할 수 있는 폴리머 콘크리트 전용 시공장비 개발
 - 시공 후 폴리머 콘크리트 도로포장의 내구성 및 기능성 유지를 위한 폴리머 콘크리트 전용 유지관리 장비 개발
- 하절기 주야간 국내 도로에 축적된 열이 방출되지 못하고 상당량이 축적되는 것으로 조사되었으며(주간 아스콘 표면 56℃, 하부 36.5℃, 야간 표면 온도는 27.4℃, 하부 32℃) 이를 극복할 수 있는 응용 기술을 개발함
 - 기존 도로표면 온도 및 축열량을 20% 이상 저감하여 도심지 열섬현상을 완화함으로써 하절기 냉방시스템 가동으로 인한 탄소발생량을 저감할 수 있는 기술 개발
 - 바이오 폴리머 콘크리트를 활용한 도시열섬 완화 및 CO₂ 포집 응용기술 개발

4. 연구개발 추진전략

(1) 추진전략(세부기술) 도출



□ 전략 1 : 바이오매스 기반 Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발

- 바이오매스 추출 소재 기반 Bio-Polymer 바인더 기술 개발
- Bio-Polymer 바인더 합성 제조 기술 개발
- Bio-Polymer 바인더 성능 개량 및 최적화 기술 개발

□ 전략 2 : 중교통량 이상 자동차 전용 도로 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발

- Bio-Polymer 콘크리트 혼합물 배합설계 및 성능 기준 개발
- Bio-Polymer 콘크리트 포장 최적 구조설계 기술 개발

- 기후변화 적응 및 도시환경 개선을 위한 응용기술 개발 (열섬, 소음 저감 등 다기능성 확보)

□ 전략 3 : Bio-Polymer 콘크리트 포장 전용 생산 및 시공 기술 개발

- Bio-Polymer 콘크리트 대량생산을 위한 생산시설 설계 및 공정기술 개발
- 전용 모바일 시공/유지관리 장비 및 기계화 시공기술 개발
- Bio-Polymer 콘크리트 Test-bed 구축 및 실검증 평가
- Bio-Polymer 콘크리트 도로포장 시공/유지관리 지침 개발

(2) 기술개발의 최종목표

□ 최종목표

**기존 시멘트/아스팔트 도로포장을 100% 대체 가능한
바이오 매스 기반 탄소저감 도로포장 기술 개발**

□ 최종산출물

- 바이오매스 기반 바이오 폴리머 도로포장용 바인더 국산화 기술
- 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 배합설계 및 도로포장 공법
- 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 전용 생산시설 모듈 및 공정기술
- 도로포장용 바이오 폴리머 콘크리트 전용 시공장비 모듈
- 도로포장용 바이오 폴리머 콘크리트 유지관리 장비
- 바이오 폴리머 콘크리트 포장 구조설계, 생산 및 시공 품질관리 가이드라인(안) 제시

□ 성과지표 및 목표

<표 3-73> (중점기술 3) 성과목표 및 지표, 목표치

성과목표	성과지표	목표치
바이오매스 기반 Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발	가사시간	3시간 이상
	경화시간	8시간 이하
	점도	4,000cP 이하
중교통량 이상 자동차 전용 도로 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발	휨강도	5MPa 이상
	동적안정도	3,000회/mm 이상
	전단 접착강도	0.27MPa 이상
Bio-Polymer 콘크리트 포장 전용 생산 및 시공 기술 개발	전용 생산시설 모듈	1Batch 당 4m ³ 이상
	전용 시공장비 모듈	분당 5m 이상
	전용 유지관리 장비	분당 5m 이상
	평탄성지수(IRI)	2.0m/km 이하

5. 세부 추진계획(안)

(1) 세부기술 구성(안) 및 연구개발 계획 도출

<표 3-74> (중점기술 3) 세부기술 구성(안)

중점분야	세부기술
바이오 매스 기반 탄소저감 도로포장 대체기술 개발	바이오매스 기반 Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발
	중교통량 이상 자동차 전용 도로 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발
	Bio-Polymer 콘크리트 포장 전용 생산 및 시공 기술 개발

□ 세부기술 1 : 바이오매스 기반 Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 국내 적용되고 있는 바이오 폴리머 바인더는 대부분 국외의 상용화된 제품을 수입하여 사용 중에 있으며 국내 일부 화학기업에서 개발된 바인더는 도로 품질기준을 충족시키지 못함
- 실현장 적용성 및 도로품질 기준을 충족시킬 수 있는 국내 바이오 폴리머 바인더 개발 기반 마련이 시급

○ 기술동향

- 국외 바이오 기반 콘크리트 혼화제 시장은 셀룰로오스, 전분, 리그닌과 같은 식물성 재료 또는 케라틴 및 키틴과 같은 동물성 재료로 분류되고 있으며, 석유기반 원료에서 파생된 기존 혼화제 대비 많은 장점을 가지고 있어 연구 및 개발로 이어짐
- 인화점, 발화점, 비중, 밀도, 연화점 등과 같은 주요 공학적 특성을 향상시키기 위해 폴리머 및 bio-oil blend, 또는 폴리머 바이오 역청으로 기본 역청을 개질하는 것이 새로운 추세로 개발중
- 국내의 경우 주로 산업부산물을 기존 시멘트 또는 아스팔트와 혼합하여 도로 포장재료로 사용하고 있으며, 최근 기존 포장재에 석유계 폴리머를 혼합한 교면포장 및 보수용 혼화제가 일부 적용되고 있으나 바이오 오일 및 폴리머를 활용한 도로포장재 관련된 연구 및 상용화 기술은 전무한 실정임

○ 주요 연구개발 내용

- 도로설계 기준을 만족하기 위한 내구성이 뛰어난 바이오 폴리머 바인더 개발
- 도로포장 재료로서의 시공성 확보를 위한 바인더 성능개량
- (1차년도) 바이오매스 기반 바이오 폴리머 바인더 제조기술 개발
 - 국내외 바이오매스 기반 바이오 바인더 기술조사 및 개발방향 설정
 - 바이오매스 추출 소재 기반 바이오 바인더 제조 및 물성 평가
 - 바이오 바인더와 폴리머 소재의 합성 기술 개발
- (2차년도) 도로용 바이오 폴리머 바인더 성능 평가
 - 바이오매스 기반의 바이오 폴리머 바인더 시작품 제작
 - 바이오 폴리머 바인더의 점도, 가사시간, 경화시간 등 기초물성 평가
 - 바인더의 내구성 평가(자외선, 동결-융해 등)

- (3차년도) 도로용 바이오 폴리머 바인더 성능 최적화
 - 도로포장 재료로 적용하기 위한 바이오 폴리머 바인더의 최적 특성 도출
 - 기계화 장비 활용한 현장 시공성을 고려한 바인더 성능개선 및 평가
 - 도로용 바이오 폴리머 바인더의 최적 레시피 도출 및 시제품 제작
- (4차년도) 도로용 바이오 폴리머 바인더 제조설비 구축 기반 정립
 - 바이오매스 기반 바인더 대량 추출기술 및 폴리머 합성기술 도출
 - 바이오 폴리머 바인더의 저장안정성 및 품질관리 방안 마련
 - 도로용 바이오 폴리머 바인더의 대량 제조설비 설계 및 구축방안 도출

○ 최종성과물

- 도로용 바이오 폴리머 바인더 국산화 기술
- 내구성 및 시공성을 만족하는 무가열성 상온 경화형 바이오 폴리머 바인더 시제품
- 바이오 폴리머 바인더 대량 제조설비 구축방안

□ 세부기술 2 : 중교통량 이상 자동차 전용 도로 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 국내외적인 탄소배출 규제강화로 다량의 화석연료 및 온실가스 배출을 발생시키는 기존 시멘트 및 아스팔트 도로포장 재료를 대체하기 위한 제3의 신소재 도로 포장재의 부재
- 최근 국내 도입되어 적용중인 바이오 콘크리트 기술은 주로 산책로, 주차장 등에 시공되고 있으나, 중교통량 이상의 차도에 적용할 수 있는 도로포장용 재료로서의 공법 개발 및 품질기준 정립 필요
- 기후변화로 인한 환경문제 해결(탄소흡수, 열섬현상 완화)을 위한 도로에 적용 가능한 응용기술 개발 필요

○ 기술동향

- 국외 바이오 기반 콘크리트 혼화제 사업은 석유기반 원료에서 파생된 기존 혼화제 대비 지속가능성, 작업성 향상, 강도 증가, 탄소배출량 감소 및 환경적인 장점을 가지고 있어 활발히 진행 중에 있으며 대표적인 선도기업은 BASF-SE, Chryso S.A.S., ARKEMA, HOLCIM 社 등이 있음
- 국내에서는 갯생이 모자반을 바이오 폴리머로 활용한 콘크리트계 교면 포장용 보수재료 개발 및 바이오 기반 폴리우레탄 바인더를 활용한 폴리머 콘크리트 개발 관련 연구를 수행 중

○ 주요 연구개발 내용

- 도로용 바이오 폴리머 콘크리트 최적 배합설계 방법 및 품질기준 정립
- 시공성, 내구성 테스트를 위한 시험시공 및 성능 개선
- 탄소포집, 열섬 및 소음 저감 등 친환경 기능 증진을 위한 응용기술 개발

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 바이오 폴리머 콘크리트 포장 공법 개발 방향 정립
 - 국내외 바이오 폴리머 콘크리트 포장 기술조사 및 연구동향 분석
 - 기존 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 종류별 물성평가
 - 도로포장 재료로 적용하기 위한 성능목표 및 공법 개발방향 도출
- (2차년도) Bio-Polymer 콘크리트 혼합물 배합설계 및 성능 기준 개발
 - 골재입도 및 바인더 종류에 따른 물성 특성 평가
 - 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 시제품 제작 및 기초물성 평가
 - 도로용 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 배합설계 및 품질기준 정립

- (3차년도) Bio-Polymer 콘크리트 포장 공법 성능 최적화
 - 교반 온도, 시간, 속도에 따른 성능 평가 및 개선방안 도출
 - 소규모 현장적용을 통한 시공성 및 내구성 평가
 - 바이오 폴리머 콘크리트 도로포장의 단면구조 설계기술 개발
- (4차년도) 기후변화 적응 및 도시환경 개선을 위한 응용기술 개발
 - CO₂ 포집을 위한 광촉매 적용 바이오 폴리머 콘크리트 개발 및 효율 평가
 - 바이오 폴리머 콘크리트 포장의 열섬 및 소음 저감 효과 평가
 - 다기능 바이오 폴리머 콘크리트 포장의 지속성 증진을 위한 기술 개량

○ 최종성과물

- 도로용 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 배합설계 및 품질기준(안)
- 바이오 폴리머 콘크리트 도로포장 단면설계 가이드라인(안)
- 다기능 바이오 폴리머 콘크리트 응용기술

□ 세부기술 3 : Bio-Polymer 콘크리트 포장 전용 생산 및 시공 기술 개발

○ 기술개발 필요성

- 국내외적으로 신소재 도로포장재의 대형화 및 기계화 시공을 위한 전용 생산 및 시공 장비의 부재
- 실현장 시공성능/내구성능 확보를 위한 바이오 폴리머 콘크리트 전용 시공/유지관리 장비 개발 필요
- 신소재 바이오 폴리머 콘크리트 도로포장재의 품질 균질성과 실현장 적용성을 충족시키기 위한 생산/시공/유지관리 기준이 필요

○ 기술동향

- 바이오 폴리머 콘크리트 포장 실현장 적용기술은 전용 시공 장비 부재 및 적용사례 전무
- 열섬현상 저감을 위해 차열, 보수성 포장이 적용되고 있으나 마모, 반사율, 증기배출 등 다양한 문제점이 발생
- 기존 탄소흡수 및 미세먼지 저감으로 시공되는 광촉매 활용 친환경 도로포장은 표층의 광촉매 소재의 박리 및 이탈과 같은 고정화 성능 문제점이 발생

○ 주요 연구개발 내용

- 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 생산 및 공정기술 개발
- 도로포장 시공을 위한 전용 시공/유지관리 장비 개발
- 테스트베드 구축 및 시공/유지관리 품질관리 기준 정립

○ 연차별 연구개발 내용

- (1차년도) 도로용 Bio-Polymer 콘크리트의 생산/시공/유지관리 개발방향 정립
 - 기존 아스팔트 및 콘크리트 혼합물 생산시스템 분석을 통한 적용방안 도출
 - 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 생산설비 모듈 설계
 - 도로포장 시공/유지관리 장비 검토를 통한 전용 장비 개발방향 도출
- (2차년도) Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산/시공/유지관리 장비 개발
 - 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 대량생산을 위한 모듈화 기술 개발
 - 도로등급별 적용 가능한 전용 시공/유지관리 장비 설계
 - 바이오 폴리머 콘크리트 포장 시공/유지관리 장비 제작
- (3차년도) Bio-Polymer 콘크리트 대량생산, 시공/유지관리 최적화 기술 개발

- 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 대량생산을 위한 공정기술 개발
- 전용 시공장비 활용한 기계화 시공기술 및 품질관리 기술 개발
- 소규모 시험시공을 통한 현장적용성 평가 및 최적화 방안 도출
- (4차년도) Bio-Polymer 콘크리트 포장 Test-bed 구축 및 품질관리 방안 정립
 - 장기공용성 검증을 위한 실험장 테스트베드 구축
 - 실험장 테스트베드 장기공용성 모니터링
 - 바이오 폴리머 콘크리트 포장 공법의 시공 및 유지관리 품질관리 기준 마련

○ 최종성과물

- 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 대량생산 모듈화 기술
- 도로용 바이오 폴리머 콘크리트 전용 시공/유지관리 장비
- 실험장 테스트베드 구축 및 모니터링
- 바이오 폴리머 콘크리트 도로포장 공법의 시공/유지관리 가이드라인(안)

(2) 세부기술별 연구개발 목표

<표 3-75> (중점기술 3) 바이오매스 기반 탄소저감 도로포장 대체 기술 성능목표

주요 기술명	주요 성능	성능수준		기술개발 목표수준
		국외	국내	
바이오매스 기반 Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발	가사시간	-	-	3시간 이상 (생산/운반/시공시간 확보)
	경화시간	-	-	8시간 이하 (교통개방 시간 감소)
	점도	-	-	4,000cP 이하 (기계화 시공성 확보)
중교통량 이상 자동차 전용 도로 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발	휨강도	-	-	5MPa 이상 (도로설계 기준)
	동적안정도	-	-	3,000회/mm 이상 (배수성 아스팔트 혼합물 기준)
	전단 접착강도	-	-	0.27MPa 이상 (일반 아스팔트 포장 기준)
Bio-Polymer 콘크리트 포장 전용 생산 및 시공 기술 개발	전용 생산시설 모듈	-	-	1Batch 당 4m ³ 이상
	전용 시공장비 모듈	-	-	분당 5m 이상
	전용 유지관리 장비	-	-	분당 5m 이상
	평탄성지수(IRI)	-	-	2.0m/km 이하 (도로설계 기준)

<표 3-76> (중점기술 3) 바이오매스 기반 탄소저감 도로포장 대체 기술 산출물 목표

중점기술명	세부기술명	산출물				세부기술 목표	중점기술 목표
		'26	'27	'28	'29		
바이오 매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체기술 개발	바이오매스 기반 Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발	- 바이오매스 기반 바이오 바인더 제조 - 바이오 바인더 및 폴리머 소재 합성기술	- 바이오매스 기반 바이오 폴리머 바인더 시작품 - 기초물성 및 내구성 평가	- 바이오 폴리머 바인더 성능 최적화 - 도로용 바이오 폴리머 바인더 시제품	- 바이오 폴리머 바인더의 저장안정성 및 품질관리 방안 - 바이오 폴리머 바인더의 대량 제조설비 설계 및 구축방안	내구성 및 시공성을 만족하는 무가열성 상온 경화형 바이오 폴리머 바인더 제조기술 국산화	기존 시멘트/아스팔트 도로포장을 100% 대체 가능한 바이오매스 기반 탄소저감 도로포장 기술 개발
	중교통량 이상 자동차 전용 도로 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발	- 바이오 폴리머 콘크리트 포장 공법 성능목표 및 개발방향 도출	- 바이오 폴리머 콘크리트 시작품 - 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 배합설계 및 품질기준(안)	- 소규모 현장적용을 통한 성능평가 - 바이오 폴리머 콘크리트 단면설계 가이드라인(안)	- 다기능 바이오 폴리머 콘크리트 응용기술 - 탄소포집, 열섬 및 소음 저감 효과 평가	중교통량 도로에 적용가능한 성능의 바이오 폴리머 콘크리트 포장 공법 개발	
	Bio-Polymer 콘크리트 포장 전용 생산 및 시공 기술 개발	- 도로용 바이오 폴리머 콘크리트의 생산/시공/유지 관리 개발방향 정립	- 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 대량생산을 위한 모듈화 기술 - 바이오 폴리머 콘크리트 포장 시공/유지관리 장비	- 바이오 폴리머 콘크리트 대량생산 시공/유지관리 최적화 기술 - 소규모 시험시공을 통한 현장적용성 평가	- 바이오 폴리머 콘크리트 포장 Test-bed 구축 - 바이오 폴리머 콘크리트 포장 공법의 시공 및 유지관리 품질관리 기준	도로포장 시공에 적합한 바이오 폴리머 콘크리트 생산/시공/유지 관리 기술 개발	

(3) 유사과제와의 차별성 및 연계성

□ 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

○ 유사 연구과제와의 차별성

- 비석유계 상온 경화형 바이오 폴리머 바인더 개발을 통한 차별성 확보
- 친환경 식물성 바인더와 골재만을 활용한 폴리머 콘크리트 개발로 기존 도로 포장재와 차별성 확보
- 도로용 폴리머 콘크리트 전주기 지침 및 시공장비 개발을 통한 차별성 확보

○ 유사 연구과제와의 연계성

- 폴리머 콘크리트 복합체의 구조모델 시제품의 기술적 노하우 활용
- 바이오 폴리머 지반 보강재 개발의 기술적 노하우 활용
- 탄소흡수용 도로재료 및 도로 시설물과 연계

<표 3-77> (중점기술 3) 유사 연구과제와의 차별성 및 연계성

유사 연구과제명 (연구기간)	사업주관 기관	주요 연구내용	개발기술과의 차별성 및 연계방안
산업부산물을 이용한 사회기반시설용 환경 배려형 고성능 포러스 폴리머 콘크리트 복합체의 개발 및 응용에 관한 연구 (2004-2006)	충남대 학교	- 도로포장 시멘트, 섬유신소재, 폴리머, 고성능 유동화제 등의 품질성능 구명과 배합요인별 적용기법 - 포러스 폴리머 콘크리트 최적배합 도출 및 환경회복성능평가 - 포러스 폴리머 콘크리트 복합체 내구성능, 장기변형성능 평가	- (차별성) 기개발된 과제는 폴리머와 시멘트 이외에 다양한 혼합물을 사용한 포장재 개발로 생산 및 시공과정에서 탄소 발생 배제의 어려움 - (연계성) 산업부산물을 이용한 사회기반시설용 고성능 포러스 폴리머 콘크리트 복합체의 구조모델 시제품과 연계
탄소중립형 도로기술 개발 (2011-2015)	한국건설기술연구원	- 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발 - 녹색도로 탄소배출산정 및 평가시스템 개발 - LCA기반 탄소저감형 도로 설계기술 개발 - 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료 개발 - 탄소저감형 흡포장 기술개발 - DAC 기술을 활용한 도로 CO₂ 흡수 시설물 개발	- (차별성) 유기계 고화제만 이용하여 산책로 자전거도로에 건설할 수 있는 폴리머 흡포장재를 개발하였지만 차도용으로 사용은 부적절함 - (연계성) 탄소배출 산정 및 평가시스템과의 연계, 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료 활용, DAC 기술을 활용한 탄소흡수 시설물과 연계
식용유 폐부산물을 이용한 재활용 도로포장용 바이오 폴리머 결합재 개발 (2016-2017)	(주)지앤오코 퍼레이션	- 식물성유지 폐부산물을 활용한 친환경 아스팔트 첨가제 개발 - 아스팔트 성능 향상을 위한 식물성유지 폐부산물의 접착력 및 가소성 극대화를 위한 합성 공정 개발 - 친환경 식물성유지 폐부산물의 자원 재활용 순환 시스템 확립 - 개발 첨가제를 적용한 재생 아스팔트 콘크리트 혼합물의 공용성 분석	- (차별성) 기개발된 과제는 식물성유지 폐부산물을 활용하여 친환경 아스팔트 첨가제를 개발로 친환경 식물성 바인더와 골재만으로 포장재를 제작하는 신청기술과 차이점이 있음 - (연계성) 친환경 식물성유지 폐부산물의 자원 재활용 순환 시스템 개발과 연계성 모색

(4) 기대효과 및 파급효과

□ 과학기술적 효과

- 자동차 전용도로에 적합한 공용성능과 주행 안전성 및 환경개선 효과를 동시에 만족시킬 수 있는 신소재 바이오 폴리머 콘크리트 개발
- 바이오 폴리머를 이용한 친환경 신소재 원천기술 개발로 국내외 선도기술 선점
- 실규모 테스트베드 시험 및 평가체계 구축으로 개발된 설계/시공기법의 성능검증과 평가기술을 제안하여 제도화 가능
- 설계/시공/유지관리를 통한 문제점 개선으로 기술의 현장적용성 극대화
- 현장적용 모니터링 결과의 피드백에 의한 보완기술 개발 가능

□ 사회경제적 효과

- 신소재 도로포장 관련 산업계의 활성화 유도 및 국내외 신시장 개척 가능
- 기존 아스팔트, 시멘트 콘크리트 제품을 대체 가능한 환경기술로 활용할 수 있으며, 탄소저감 등 그린뉴딜 정책반영이 가능
- 기후변화로 인한 열섬현상 저감, 소음저감 등 정부 및 지자체에서 적극적으로 시행하고 있는 정책에 반영이 가능
- 친환경 신소재를 활용한 도로포장 건설 기술개발 및 수정 보완을 통해 재료-도로 융합연구에 대한 국내외 기술 우선순위 선점과 후속연구의 활발한 추진이 기대됨
- 국내 약 1조원 가량의 배수성 도로포장 시장에 적용될 수 있는 신기술로 다양하게 활용과 적용이 가능

3.3. 소요예산 및 자원 투입계획

[고강도 무시멘트 콘크리트]

1. 소요예산

<표 3-78> 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 예산 소요 계획

(단위: 백만 원)

No	세부기술명		'25	'26	'27	'28	합계
1	무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화	정부	600	1,000	1,800	2,600	6,000
		민간	300	400	700	1,000	2,400
2	초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	정부	1,200	1,750	2,100	1,450	6,500
		민간	500	750	900	650	2,800
3	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	정부	1,200	1,750	2,100	1,450	6,500
		민간	500	750	900	650	2,800
소계		정부	3,000	4,500	6,000	5,500	19,000
		민간	1,300	1,900	2,500	2,300	8,000
총계			4,300	6,400	8,500	7,800	27,000

2. 자원(인력, 장비 등) 투입계획

<표 3-79> 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 인력 투입 계획

(단위: 명)

No	세부기술	구성기술	‘25	‘26	‘27	‘28	합계
1	무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화	산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 재료 개발	7	8	10	13	38
		무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발	7	8	10	13	38
		현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발	14	16	20	24	74
2	초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발	14	16	12	11	53
		초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발	14	16	12	11	53
		초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발	5	7	8	6	26
3	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	탄소저감 무시멘트 친환경 시멘트 대체재료 개발	14	16	12	11	53
		탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발	14	16	12	11	53
		탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 설계 기술 개발	5	7	8	6	26
총계			94	110	104	106	414

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

1. 소요예산

<표 3-80> CCU 콘크리트 제조·활용 기술개발 예산 소요 계획

(단위: 백만원)

핵심기술	구성기술	'25	'26	'27	'28	'29	합계
콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발	산업부산물을 활용한 CO2 저장 골재 제조 기술 개발	300	500	500	400	200	1,900
	순환골재를 활용한 CO2 저장 순환골재 제조 기술 개발	200	300	300	200	-	1,000
	산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 활용 기술 개발	200	300	300	200	-	1,000
	회수수를 활용한 CO2 저장 배합수 제조 기술 개발	300	400	400	300	200	1,600
소계		1,000	1,500	1,500	1,100	400	5,500
CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발	CCU 콘크리트의 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발	600	1,800	700	3,000	800	6,900
	CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발	400	600	500	1,000	500	3,000
	비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발	-	100	300	200	-	600
소계		1,000	2,500	1,500	4,200	1,300	10,500
CCU 콘크리트 성능검증 및 실용화 기술 개발	CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발	-	200	400	400	800	1,800
	CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발	-	100	200	200	200	700
	CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발	-	-	100	200	200	500
소계		-	300	700	800	1,200	3,000
총합		2,000	4,300	3,700	6,100	2,900	19,000

2. 자원(인력, 장비 등) 투입계획

<표 3-81> CCU 콘크리트 제조·활용 기술개발 인력 투입 계획

(단위: 명)

핵심기술	구성기술	'25	'26	'27	'28	'29	합계
콘크리트 구성재료 의 탄소 저장 기술 개발	산업부산물을 활용한 CO2 저장 골재 제조 기술 개발	4	7	7	6	3	27
	순환골재를 활용한 CO2 저장 순환골재 제조 기술 개발	3	4	4	3	-	14
	산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 활용 기술 개발	3	4	4	3	-	14
	회수수를 활용한 CO2 저장 배합수 제조 기술 개발	4	6	6	4	3	23
소계		14	21	21	16	6	78
CCU 콘크리트 최적화 설계·제 조 시스템 및 생산 기술 개발	CCU 콘크리트의 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발	9	16	16	16	16	73
	CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발	6	9	9	9	9	42
	비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발	-	2	4	4	-	10
소계		15	27	29	29	25	125
CCU 콘크리트 성능검증 및 실용화 기술 개발	CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발	-	4	6	6	6	22
	CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발	-	2	4	4	4	14
	CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발	-	-	2	4	4	10
소계		-	6	12	14	14	46
총합		29	54	62	59	45	249

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

1. 소요예산

<표 3-82> 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발 예산 소요 계획

(단위: 백만원)

핵심기술	구성기술	'26	'27	'28	'29	합계
Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술	고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발	620	1,000	1080	-	2,700
	고점도 유화 아스팔트 대량 생산 기반 기술 개발	-	2,000	1,300	980.5	4,280.5
	고성능 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 개발	460	870	1,220	1,800	4,350
소계		1,080	3,870	3,600	2,780.5	11,330.5
자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술	한국형 CIRB 시공 장비 개발	670	1,443	1,630	857	4,600
	한국형 CIRB 재료 국산화 기술 개발	365	708	730	597	2,400
	노후 아스팔트 포장 구조적 성 능 복원 유지보수 기술 개발	150	493	827	430	1,900
소계		1,185	2,644	3,187	1,884	8,900
바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발	Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발	400	600	380	220	1,600
	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발	450	750	1,100	600	2,900
	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산 및 시공 기술 개발	200	500	1,000	1,400	3,100
소계		1,050	1,850	2,480	2,220	7,600
총합		3,315	8,364	9,267	6,884.5	27,830.5

2. 자원(인력, 장비 등) 투입계획

<표 3-83> 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발 인력 투입 계획

핵심기술	구성기술	'26	'27	'28	'29	합계
Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술	고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발	13	16	16	-	45
	고점도 유화 아스팔트 대량 생산 기반 기술 개발	-	17	19	19	55
	고성능 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 개발	11	15	15	20	61
소계		24	48	50	39	161
자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술	한국형 CIRB 시공 장비 개발	10	15	15	10	50
	한국형 CIRB 재료 국산화 기술 개발	10	15	15	15	55
	노후 아스팔트 포장 구조적 성 능 복원 유지보수 기술 개발	5	14	14	12	45
소계		25	44	44	37	150
바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발	Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발	4	7	8	5	24
	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발	5	9	13	8	35
	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산 및 시공 기술 개발	5	10	14	13	42
소계		14	26	35	26	101
총합		63	118	129	102	412

3.4. 사전타당성 분석

[고강도 무시멘트 콘크리트]

3.4.1 정책적 타당성

1. 관련 법령 부합성

□ 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법

- 동 법령은 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 강화하고 녹색기술과 녹색산업의 육성·촉진·활성화를 통하여 경제와 환경의 조화로운 발전을 도모함으로써, 현재 세대와 미래 세대의 삶의 질을 높이고 생태계와 기후체계를 보호하며 국제사회의 지속가능발전에 이바지하는 것을 목적으로 제정
 - 동 법 제2조 「정의」에서 탄소중립의 정의를 규정
- 동 법령에 따라 국가는 탄소중립과 관련하여 법령 개선, 재정투자, 시설 및 시스템 구축 등 제반 여건 마련 필요

제5조(국가 등의 책무) ① 국가와 지방자치단체는 경제·사회·교육·문화 등 모든 부문에 제3조에 따른 기본원칙이 반영될 수 있도록 노력하여야 하며, 관계 법령 개선과 재정투자, 시설 및 시스템 구축 등 제반 여건을 마련하여야 한다.

□ 건설기술 진흥법

- 건설기술 진흥법은 건설기술의 연구·개발을 촉진하여 건설기술 수준을 향상시키고 이를 바탕으로 관련 산업을 진흥하여 건설공사가 적정하게 시행되도록 함과 아울러 건설공사의 품질을 높이고 안전을 확보함으로써 공공복리의 증진과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 제정
- 동 사업에서 개발하는 무시멘트 콘크리트 기술은 건설기술로 법령의 제정 목적과 부합

제7조(건설기술 연구·개발 사업) ① 국토교통부장관은 건설기술을 향상시키고 기본계획을 효율적으로 추진하기 위하여 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 건설기술 발전에 필요한 건설기술 연구·개발 사업을 할 수 있다.
② 제1항에 따른 건설기술 연구·개발 사업에 필요한 경비는 정부 또는 정부 외의 자의 출연금이나 그 밖에 기업의 기술개발비로 충당한다.
③ 제1항에 따른 협약의 체결방법과 제2항에 따른 출연금의 지급·사용 및 관리에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

□ 국토교통과학기술 육성법

- 국토교통과학기술 육성법은 국토교통과학기술 육성을 위한 기반을 조성하여 산업의 경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 지속적인 발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 제정된 법으로 동 사업과 부합성이 높음
 - 동 법 제2조에서 규정한 국토교통과학기술은 미래 성장동력 창출 및 국민의 삶의 질 향상을 위하여 필요한 국토교통분야 산업의 발전에 관한 과학기술을 의미
 - 건설기술진흥법, 건설산업기본법, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 해외건설 촉진법, 건축기본법 등 다양한 건설 관련 법률에 있는 개념들을 포함하고 있음
 - 동 사업은 건설재료와 관련된 기술로 이는 국토교통과학기술에 해당

제8조(연구개발사업의 추진)

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

2. 상위 계획과의 부합성

□ 상위계획과의 부합성 검토 방법

- **(의미)** 상위계획과의 부합성은 정책적 일관성 검토를 통해 동 사업이 국가정책의 실현을 위한 정책적 부합성을 검토 및 평가*
 - ※ 상위계획과의 부합성은 주관부처의 유관 연구개발정책의 일관성 및 쟁점이 되는 여러 정부부처의 기능적 경쟁 및 임무영역 등의 검토를 통해 의미를 도출 (KISTEP, 2020. 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침)
- **(방법)** 범국가적으로 수립 및 추진되고 있는 건설 분야의 국가 주요 정책 및 계획과 주관부처 (국토부)의 중장기 계획의 주요 내용을 본 사업의 목적, 목표, 내용과 비교·분석하여 종합적으로 상위계획과의 부합성을 검토
- **(검토 대상)** 정부 국정과제 및 주요 정책, 연구개발부문의 최상위 계획 및 부처별 상위 계획 등

□ 상위계획과의 부합성 검토 결과

- 본 기획 사업은 국토의 입체적 활용을 목표로 하는 정부 정책, 상위계획 등에서 제시한 정책 목표, 추진과제와 부합하며, 정부 정책을 효과적으로 달성할 수 있는 수단으로 판단됨

<표 3-84> 상위계획과의 부합성 검토 결과

구분	계획명	부합성		
		낮음	보통	높음
상위 정책 및 관련 계획	윤석열 정부 120대 국정과제			√
	2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준			√
환경분야 정책 계획	탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획		√	
	국가 탄소중립·녹색성장 전략(안)			√
건설 분야 정책 계획	제2차 국토교통과학기술 연구개발종합계획			√
	제7차 건설기술진흥기본계획			√
	제6차 건설산업진흥기본계획			√

<표 3-85> 정부정책 및 상위계획과 부합성 검토 내용

구분	정책 및 계획명	기획사업 부합성 검토내용
상위 정책	윤석열 정부 120대 국정과제	• (약속5) 핵심전략산업 육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다. - (국정과제23) “제조업 등 주력산업 고도화로 일자리 창출 기반 마련”의 저탄소 시대를 선도하는 제조업의 그린전환을 가속화
	2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준	• (목표) 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술 확보 및 신성장동력화 - (저탄소생태계) 산업, 수송, 건물 부문별 탄소저감 및 에너지 수요 효율화
환경 정책	탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획	• (목표) 산업 부문의 온실가스 감축 - 탄소중립 달성을 위한 한계돌파형 기술의 신속한 상용화
	국가 탄소중립·녹색성장 전략(안)	• 전략 내 “한국형 탄소중립 100대 핵심기술 발굴·육성” - 17대 분야 내 시멘트를 포함, ‘혼합재 함량 증대;’ 등 100대 기술 선정
건설 정책	제2차 국토교통과학기술 연구개발종합계획	• (추진전략3) 지속가능한 국토교통 기반시설 고도화 - (추진과제) 스마트 디지털 건설 - 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료 확보
	제7차 건설기술진흥 기본계획	• (추진방향5) 핵심기술 개발 등 건설산업 고도화 - (추진과제) 미래 수요에 대응한 기술 개발 및 상용화 지원 - 기후변화에 대응한 R&D 추진 및 기준 정비에 부합
	제6차 건설산업진흥 기본계획	• 세부과제 “미래지향적 건설산업” - 탄소중립 등으로 인한 친환경 자재 수요 증가에 대비하여 친환경 자재의 성능 품질 확보 및 공급기반 확대 추진

□ **국정목표2 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제에서는 제조업 등에 대한 그린전환 가속화를 명시**

- 국정목표2의 [약속5] “핵심전략산업육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다”에서는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술 확보 및 신성장 동력화를 명시
 - 제조업 등의 그린 전환을 가속화를 위해 R&D 사업을 신설하고 지원을 강화하도록 명시

□ **2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준에서는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술 확보 및 신성장동력화를 목표**

- 과기부 「2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」에서는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술 확보 및 신성장동력화를 위해 저탄소 생태계를 조성할 계획
 - 건설·교통 분야의 산업, 수송, 건물 부문별 탄소저감 및 에너지 수요 효율화에는 저탄소 건설재료의 내용을 포함하고 있어서 이에 부합

□ **탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획에서는 산업부문의 탄소중립을 위하여 탄소중립 실현 핵심기술 확보를 명시**

- 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획에서는 탄소중립 실현 핵심기술 확보 과제 내에 탄소중립 달성을 위한 한계돌파형 기술의 신속한 상용화를 명시하고 있으며 이를 지원
 - 업종별 대표 기술과 함께 CCUS 등 신기후기술 개발을 병행토록 명시하고 있으며, 시멘트의 예시를 명시

- 국가 탄소중립·녹색성장 전략 내 ‘한국형 100대 핵심기술’에서 17대 분야 내 시멘트 포함
 - 단기형 기술 내에 ‘(시멘트)혼합재 함량 증대’ 포함 및 중장기형 기술 내 ‘(시멘트) 비탄산염 원료 대체’, ‘(시멘트)신규 혼합재 제조’를 포함
- 국토교통과학기술연구개발 종합계획의 “지속가능한 국토교통 기반시설 고도화”에서는 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료 확보를 명시
 - 지속가능한 국토교통 기반시설 고도화 전략 내의 “스마트 디지털 건설”에서는 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료 확보를 목표
 - 무시멘트 콘크리트는 탄소배출 저감재료 건설재료로 이에 부합
- 제6차 건설기술진흥 기본계획에서는 기후변화에 대응한 R&D 추진 및 기준 정비를 추진
 - 탄소중립을 위한 세부과제로 “기후변화에 대응한 R&D 추진 및 기준 정비”를 제시하고 있으며, 이를 달성하기 위해,) 저탄소 건설재료, 시공 중 온실가스 감축을 위한 급속시공 및 폐기물 처리 시 온실가스 흡수 등 기술 개발 제시
 - 특히 탄소중립 초고성능 콘크리트, 콘크리트 급열양생 공법 및 순환골재 탄산화 기술 등 콘크리트 관련 기술을 강조
- 제6차 건설산업진흥 기본계획(’23~’27)에서는 저탄소 콘크리트의 시장 확대를 추진
 - 동 계획에서는 지속가능성 제고를 위하여 공공분야의 저탄소 콘크리트 등의 활용을 확대하여 친환경 시장을 확대하기 위한 계획을 추진
 - 미래지향적 건설산업 중점과제 내의 친환경 건설사업화 세부과제에서는 친환경 자재 수요 증가에 대비한 친환경 자재의 성능·품질 확보 및 공급기반 확대를 추진하며, 이를 위해 저탄소 콘크리트 등의 활용 확대를 통한 시장확대를 목표
 - 또한, 건설자재 친환경성 제고 및 품질향상을 위한 기술개발을 추진

3. 사업추진체계의 적절성

- 본 연구의 수행은 기본적으로 주관 및 공동 연구로 컨소시엄을 구성, 각 세부과제별로 민간업체를 포함한 산·학·연 협동 연구체계로 추진함으로써 사업의 효율성·효과성을 극대화할 수 있는 추진체계로 설계함
- 구조용 무시멘트 콘크리트 기술개발 및 적용을 위해서는 실증이 필수적이므로 실증과 실제 현장 적용성 확보를 위해 민간 직접 참여가 필수적이며, 이에 따라 동 연구의 수행은 민간기관들과 협동 연구체계로 추진하는 것이 적합하다고 판단



[그림 3-37] 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 추진체계

- 본 사업은 1세부과제가 총괄과제의 역할을 담당하며, 사업의 원활한 추진이 이루어질 수 있도록 연구 개발 일정 관리, 진도 및 성과 점검·관리, 각 세부과제의 연구내용 검토 및 방향 논의 등을 실시
- 각 세부과제는 연구범위 및 방향을 세부 과제 간 상호 조율하고, 그에 따른 지속적인 연구개발 및 성과도출에 대해 공유하도록 함
- ※ 다만, 총괄과제는 세부과제의 연구비 조정은 불가

4. 사업 추진상의 위험요인 및 대응방안

1) 재원조달 가능성

- 동 사업 추진 시 정부 및 민간에서의 재원조달 규모, 시점 등을 적시에 투입 가능한지 점검하고, 향후 발생 가능한 재원조달 상의 위험요인을 점검
- **(정부 재원조달 가능성)** 우리나라 정부 R&D 및 국토교통R&D, 교통·물류 분야 R&D 예산은 꾸준히 증가하는 추세에 있으며, 유관 정책계획에 따른 교통·물류 분야의 R&D 투자 강화 계획에 따라 본 사업 추진을 위한 신규 R&D 예산 확보에 대한 위험요인은 없음
- (국토교통 R&D 및 교통물류 분야 R&D 예산 현황) '23년 국토교통 R&D 예산은 6,149억 원으로 최근 5년간 연평균 6.27%로 지속적으로 확대 중이며, 이 중 교통·물류분야가 차지하는 비중도 증가

<표 3-86> 최근 5년간 국토교통R&D 예산 운용 추이

(단위: 억 원, %)

구분	'20	'21	'22	'23	'24	연평균 증가율
① 국토부 R&D 예산	5,247	6,031	6,331	6,149	4,592	-3.3%
② 국토분야 R&D 예산	2,371	2,188	1,790	1,631	1,089	-17.7%
비중 (②÷①)	45.2%	36.3%	28.3%	26.5%	23.7%	-

- (국토교통 R&D 및 교통 물류 분야 R&D 예산 전망) 사업 착수시점인 '24년 이후의 예산을 연평균 증가율을 활용하여 추정 시, 동 사업에 소요되는 연차별 평균 예산(약 67.5억 원)을 크게 상회하여, 동 사업 추진을 위한 재원조달 위험성은 다소 있으나, '24년 R&D 예산의 삭감이 일시적인 조치*임을 감안하면 재원조달은 가능할 것으로 기대

* 윤석열 대통령은 '24년 과학기술인·정보방송통신인 신년 인사회에 참여하여 임기 중 예산 대폭 확대를 약속

<표 3-87> 향후 5년간 국토교통R&D 예산 운용 추이

(단위: 억 원, %)

구분	'25	'26	'27	'28	'29	연평균 증가율
① 국토부 R&D 예산	4,441	4,296	4,155	4,019	3,887	-3.3%
② 국토분야 R&D 예산	897	738	608	500	412	-17.7%
비중 (②÷①)	45.2	45.2	45.2	45.2	45.2	-

- **(민간 재원조달 가능성)** 동 사업은 국내 건설분야 대학, 연구소, 중소기업 중심의 컨소시엄으로 연구가 추진되는 특성상 정부 출연금의 33%수준을 민간부담금으로 책정하였으며, 이의 규모는 참여기관이 대응할 수 있는 수준으로 판단함
- 2020년 국가연구개발 활동 조사에 따르면 건설업 관련 분야의 민간 R&D 비용은 총 5,864.7 억 원으로 동 사업의 민간부담금은 이의 1.5% 수준으로 재원조달이 가능할 것으로 판단

<표 3-88> 동 사업의 예산 소요

(단위: 억 원, %)

구분	'25	'26	'27	'28	합계
① 총 예산	43	64	85	78	270
② 민간부담금	13	19	25	23	80
③ 건설업 분야 민간 연구개발비	5,864.7				

2) 법·제도적 위험요인

- (사업 기획/추진 관련 법·제도 측면) 국가연구개발사업으로서의 본 사업의 기획/추진/관리에 대한 법적·제도적 위험요인은 없음
 - 동 사업은 과학기술기본법 및 그 하위 법령 체계에 따른 국가연구개발사업의 기획의 건으로 ‘국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정’ 등 관련 법령 및 지침에 준거하여 사업의 기획 및 공고절차, 과제평가 및 선정 등의 절차를 설계하였음
- (건설 분야 관련 법·제도 측면) 사업 중 사업 추진에 있어 기존 국내 관련 법령·제도에 따른 위험요인은 일부 존재하나 극복 가능한 것으로 판단
 - (콘크리트 배합비율 관련 기준 규격) 현행 ‘콘크리트공사 일반사항’(KCS 14 20 01)’에서는 콘크리트에 시멘트 최저 비율이 30%로 규정되어있으나, 동 기술개발은 시멘트를 사용하지 않는 콘크리트의 개발
 - (극복방안) 본 사업에서 기술개발을 통해 적용하고자 하는 시멘트 배합비율은 현행 기준 미만을 목표로 하기 때문에 수치해석 등을 통해 개발기술을 검증하고 관련 기준 개정 추진

5. 정부지원의 필요성

- 콘크리트 기준에 따르면 시멘트를 대체하는 재료들은 포틀랜드 시멘트에 요구되는 성능을 동일하게 갖출 것을 요구하고 있는데, 기술 개발 비용 뿐만 아니라 성능검증을 전방위적으로 실시하여야 하여 과다한 비용이 필요
 - 영세한 기업들은 기술개발과 검증을 하는데 부담이 되어 동 기술을 스스로 개발할 수 없어 민간의 개발을 기대하기 어려운 실정
- 탄소중립은 국가적 시책으로 정부가 적극적으로 민간을 지원하여 달성해야 할 필요가 있음
 - 탄소중립은 전세계적인 흐름이자 국가의 책무로, 민간에서 탄소중립을 이행할 수 있도록 적극적으로 지원이 필요

3.4.2 과학기술적 타당성

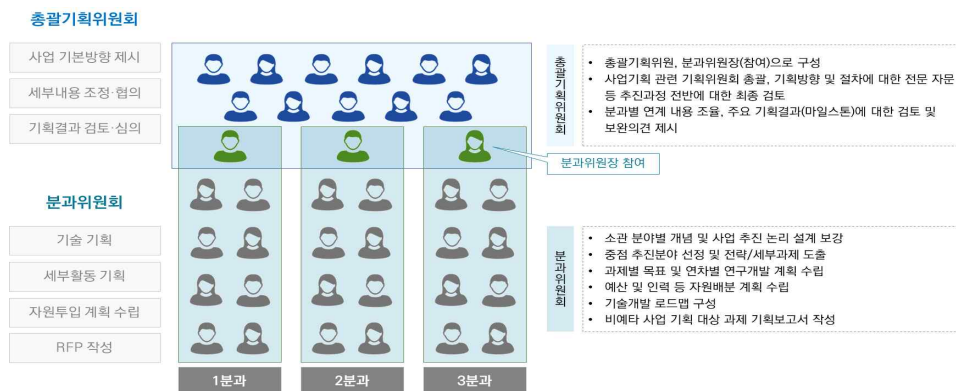
□ 사업 기획 과정의 적절성

- (체계적 조사·분석을 통한 사업 기획 과정) 대내외 환경분석 및 사업 추진여건 분석 등을 통해 해결하고자 하는 핵심 문제/이슈를 도출하였으며, 이를 해결하기 위한 사업 기본방향에 부합하는 목표체계 및 추진전략을 도출하였으므로 기획과정이 적절함

Step I	대내외 환경 분석	• 국내외 정책동향/시장산업 동향/기술동향 조사·분석 • 이해관계자 의견 수렴
Step II	사업 추진여건 분석	• 기술수준 분석 및 역량 진단 • 관련 인프라 현황 분석
Step III	핵심 문제/이슈 도출	• Step I ~ II 단계를 통해 동 사업에서 해결하고자 하는 문제/이슈(필요성)를 도출
Step IV	사업 추진전략 수립	• 기본방향 도출 • 사업추진논리 구성 • 사업의 목표체계 도출 • 사업 구성 및 세부과제별 상세활동 계획
Step V	사업 운영계획 수립	• 사업추진체계 • 사업 운영·관리체계(평가, 성과관리 포함) • 예산 및 인력 투입계획

[그림 3-38] 동 사업의 기획과정

- (기획 전반에 걸쳐 기획위원회 구성·운영) 사업 개념 및 범위, 사업추진논리, 핵심 문제/이슈, 사업 추진전략, 사업추진체계 등의 기획 과정 전반에 전문성 있는 다양한 전문가가 참여함으로써 기획 과정과 내용의 객관성 및 신뢰성을 확보
- (체계성) 기획위원회의 기능 및 역할을 정의하고 이에 따라 총괄기획위원회와 분과위원회로 구분하였으며, 기획위원회 구성·운영계획에 따라 체계적으로 사업 기획 및 세부활동 기획을 실시
 - (총괄기획위원회) 기획 연구의 추진방법 및 방향에 대한 검토, 사업 기본방향 및 개념 등 주요 산출물에 대한 심의·자문을 목적으로 총 3회 내외로 소집·운영
 - (분과위원회) 사업구성 및 중점추진분야 선정 결과에 따라 세부 분야별 기술 및 세부활동 상세계획, 자원 투입 계획 수립 등을 위한 분과위 구성 및 운영



[그림 3-39] 동 사업의 기획위원회 기능 및 역할 정의

<표 3-89> 기획연구를 위한 위원회별 역할 및 운영 원칙

회의체	역할	운영
총괄 기획위원회	• 기획연구 추진방법 및 방향 검토 • 사업 기본방향 및 개념 검토 및 자문	• 총 2~3회 대면회의 수행 (대면회의 불가 시 비대면회의 및 서면회의로 진행 가능) • 각 분과별 위원장이 반드시 참석 • 재적인원의 2/3 이상 참여 가능한 일시에 추진
분과별 기획위원회	• 세부분야별 동향조사 분석, 연구개발 목표체계 수립 • 세부활동 상세 기획 • 자원 투입 계획 수립	• 총 2~3회 대면회의, 서면 작업 수행 • 분과위는 실질적인 원고 작성이 주된 임무로 가능한 서면 검토, 비대면 회의 진행

- **(전문성)** 기획위원회는 콘크리트, 설계, 시공 등 분야의 전문가로 분야의 흐름을 파악하고 변화를 예측할 수 있는 식견이 충분한 전문가들로 구성
- **(포괄성)** 동 사업이 정의한 사업 개념 및 범위를 포괄할 수 있는 전문가로 구성함으로써 최대한 전문성이 결여되는 분야가 존재하지 않도록 함
 - **(총괄기획위원회)** 기획 분야에 대한 전체적인 관점에서의 기획 및 R&D 방향, 사업구성 등 총괄적인 자문이 가능한 시니어급* 전문가 중심으로 구성
 - ※ 유관 경력 15년 이상, 건설재료, 설계, 시공 개발 경험자 우선 섭외
 - **(분과위원회)** 세부분야별 기술 전문성을 갖추고, 동향조사, 목표체계 설계, 세부적인 연구개발 계획 수립이 가능한 실무 전문가 중심으로 구성
 - ※ 유관 경력 15년 미만, 건설재료, 설계, 시공 개발 실무자 우선 섭외
- **(균형성)** 기획위원회 전문가는 소속기관, 기술분야 등의 측면에서 균형있게 구성하여 소수의 이해관계자에 집중된 방향이 아닌 국가 차원에서 필요한 사항을 기획하고자 함
 - **(소속기관)** 동 사업의 기획에 참여한 전문가 풀은 산·학·연이 모두 포함되도록 구성
 - ※ (총괄위원) 총 10인 중 관 1인, 산 4인, 학 2인, 연 3인, 기타 3인으로 구성
 - ※ (분과위원) 총 6명 중 산 1명, 학 3명, 연 2명으로 구성
 - **(기술분야)** 동 사업 기획에 참여한 전문가들의 세부전공 및 담당 분야를 고려하여, 동 사업의 세부활동(건설재료, 설계, 시공 등)과 관련한 분야의 전문가들로 균형있게 구성함
- **(기술 수요를 참고한 세부활동 기획)** 무시멘트 콘크리트 기술개발 기획 필요성을 뒷받침하고 기술개발 수요 파악을 통한 세부활동을 기획하기 위해, 산·학·연 전문가를 대상으로 기술개발 수요를 파악함
 - 관련 산·학·연·관 전문가에게 고강도 무시멘트 콘크리트에 대한 미충족수요 등 의견 수렴
 - ※ 건설협회, 현대건설, 코비코리아, 환경기술원, DM엔지니어링, 명지대, 삼성물산, UNIST 등 다양한 산학연 전문가들의 의견 수렴 실시
- **(사업 범위 설정의 적합성)** 현재 무시멘트 콘크리트 기술에 대한 이슈를 도출하고 그 이슈를 해결하기 위한 기술들을 사업 범위로 설정하여 적합성을 확보
 - (국가차원의 문제/이슈도출) 동향분석을 통하여 국가차원의 문제/이슈를 도출
 - 다수의 정책에서 탄소중립 이행을 목표로 하고 있는 것을 확인
 - 전세계적으로 친환경 콘크리트 시장이 성장하고 있으며, 탄소국경세 등 고려했을 때 건설산업의 국제경쟁력을 위해서는 탄소배출량 저감이 시급
 - 건설산업에서 탄소배출량의 큰 비중을 차지하고 있는 시멘트를 대체할 필요성이 있으며, 플라이애시, 고로 슬래그 등의 공급량 감소가 예상
 - (사업차원에서 해결해야할 문제/이슈를 도출) 앞서 도출한 문제/이슈 중 사업차원에서 해결해야할 문제와 이슈를 도출
 - 시멘트 대체재료는 시멘트와 성능이 다른 대체재료를 활용하므로 이를 활용한 콘크리트 및 전용 혼화제 개발이 필요
 - 시멘트와 특성이 대체재료로 건설을 하는 만큼 이에 대한 설계 안정성 및 사용성, 내구성 확보 필요

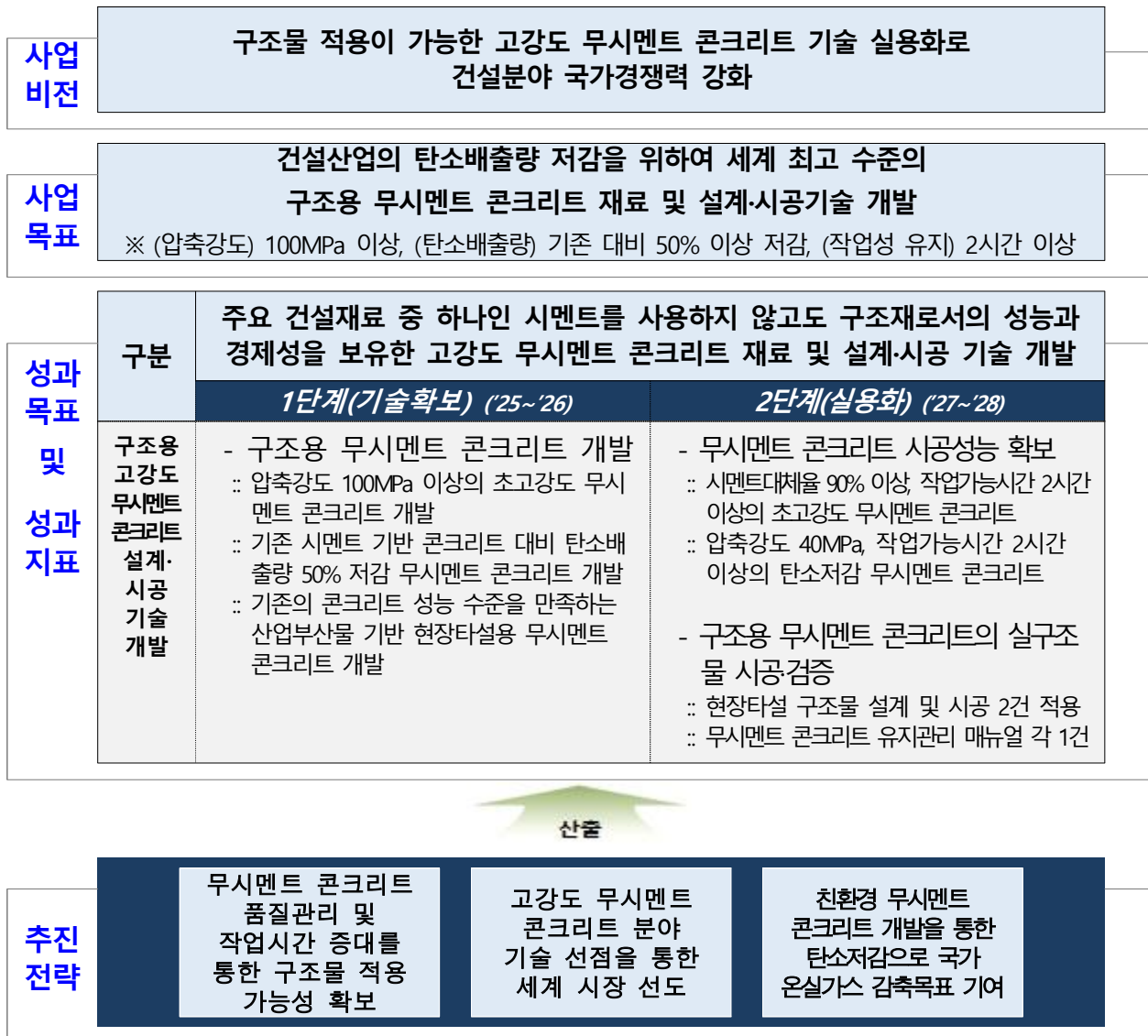
- 개발된 시멘트를 실용화하기 위한 방안이 필요
- (세부활동 수준의 문제/이슈도출) 사업차원에서 해결해야할 문제와 이슈에서 이를 해결할 수 있는 기술을 도출하여 사업의 범위로 설정
 - 무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발

□ 사업목표의 적절성

- **(사업 목표체계 정립)** 대내외 동향 분석, 사업 추진여건 분석, 핵심 문제/이슈 도출 등에 근거하여 동 사업이 추진되어야 하는 이유와 목표 등 사업추진논리와 추진 당위성을 확보하였으며, 사업 추진을 통해 의도하는 효과가 무엇인지에 대한 논리적으로 설명함
- **(사업비전)** 동 사업을 통해 달성하고자 하는 중장기적 목표로서, “구조물 적용이 가능한 고강도 무시멘트 콘크리트 기술 실용화로 건설분야 국가경쟁력 강화”로 설정
 - 건설의 탄소배출량 중 많은 비중을 차지하고 있는 시멘트를 다른 원료로 대체하는 것은 건설산업의 탄소중립을 위해서 필수적
 - 이에 따라 동 사업은 , “구조물 적용이 가능한 고강도 무시멘트 콘크리트 기술 실용화로 건설분야 국가경쟁력 강화”을 사업 비전으로 설정
- **(전략목표 수립)** 사업이 궁극적으로 이루고자 하는 목표로서 중장기적 정책목표를 의미하므로, 상위계획, 사업 목표, 연구성과 활용 등을 고려하여 동 사업이 달성하고자 하는 전략 목표는 “건설산업의 탄소배출량 저감을 위하여 세계 최고 수준의 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공기술 개발”로 설정
- **(성과목표 설정)** 동 사업의 연구개발을 통해 달성하고자 하는 구체적인 목표로 연차별·단계별 성과목표로 세분화하였으며, 전략목표 달성에 기여할 수 있도록 논리적으로 설정함
 - 사업예산이 집중적으로 투입되는 부문의 성과가 핵심적으로 드러날 수 있도록 설정하고, 구체적이고 명확하게 표현하여 측정이 가능하도록 함
- **(성과목표 및 지표의 설정)** 동 사업이 의도하는 효과의 달성 여부를 측정하고 관리할 수 있도록 양적/질적 성과지표를 개발하고, 사업 기간 및 예산 내 달성 가능한 범위에서 도전적인 목표치를 제시함
 - 동 사업의 성과지표와 목표치에 대해서는 각 항목별로 설정방법과 근거, 측정산식·방법·시기 및 근거자료 출처 등을 포함한 성과지표 명세서를 기록·관리함으로써 성과를 관리하기 위한 현실적인 준비를 갖추
- **(구성기술별 목표 수립)** 동 목표체계에 기반하여 세부과제(구성기술)를 구성하고, 구성기술별 연구활동이나 주요 산출물, 목표 성능 등을 고려하여 각 구성기술별 목표를 타당하게 설정함

□ 사업 구성 및 내용의 적절성

- 동 사업의 세부과제는 각각의 기술개발의 개념, 전략목표, 목표 성능 및 최종성산물 등에서 차이를 가지고 있으며, 명확한 연계구조를 가지고 있어 사업내용이 논리적이고, 사업의 목표달성을 위해 적절하게 구성된 것으로 판단됨
 - 세부과제 구성은 사업비전인 “구조물 적용이 가능한 고강도 무시멘트 콘크리트 기술 실용화로 건설분야 국가경쟁력 강화” 달성에 필수적인 기술로 구성된 것으로 판단됨
 - 사업 목표 달성을 위해서는 작업시간 확보, 고강도 달성, 탄소저감 기술이 필수이며, 동 필수기술들을 3개 세부과제(세부활동)로 구성함
 - ※ 동 사업의 3개 세부과제 구성: 1)무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화, 2)초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발, 3)탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발
- 또한 기술개발과 실용화에 필수적인 구성기술로 세부과제를 구성하여, 세부과제 간 연계성이 높고 효과적·효율성 측면에서 개별 사업이 아닌 하나의 사업으로 추진이 타당함



사업구성		
1. 무시멘트 콘크리트 설계·시공 기술 개발 및 실용화	2. 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	3. 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발
1-1. 산업부산물을 활용한 무시멘트 콘크리트 배합 개발	2-1. 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 개발	3-1. 탄소저감 무시멘트 친환경 시멘트 대체재료 개발
1-2. 무시멘트 콘크리트 재료 모델 및 해석, 구조물 설계 최적화 개발	2-2. 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합 설계 최적화 기술 개발	3-2. 탄소저감 무시멘트 콘크리트 배합 설계 및 해석 최적화 기술 개발
1-3. 현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 및 시공·성능평가 기준 개발	2-3. 초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가(역학, 구조성능 등) 및 설계 기술 개발	3-3. 탄소저감 무시멘트 콘크리트 성능평가(역학, 구조성능 등) 및 설계 기술 개발

[그림 3-40] 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 사업의 비전·목표 체계도

□ 기술개발의 차별성 및 중복성

- 시멘트원료 대체 관련 R&D/정책/정보화 사업 등을 대상으로, 동 사업의 추진기간, 목적, 연구 내용, 지원분야 및 범위 등과의 중복 가능성을 검토하고, 기존 사업과의 차별성 확보 및 연계·협력 방안을 검토하였음

<표 3-90> 중복성 검토 대상 사업/과제 목록

구분	사업/과제명	추진기간	지원부처
과제	시멘트원료(석회석)대체순환자원 확대기술개발사업	'22~'26	산업부
과제	탄소중립산업핵심기술개발사업(시멘트분야)	'23~'30	산업부
과제	나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼콘크리트 기술 개발	'20~'23	국토부

- **(중복성)** 검토 결과, 동 사업은 기존사업/과제와의 중복성 이슈는 없으며 기존 사업과의 연계·협력방안 등을 마련할 수 있는 전략을 확보함에 따라, 신규사업 추진이 적절함
 - 동 과제는 시멘트를 사용하지 않는 구조체용 콘크리트를 개발한다는 점에서 기존의 과제들과 차별화가 되고 있음

<표 3-91> 기존 사업과의 중복성 검토 결과

유사사업	분석 결과				중복성 여부
	세부목표	추진체계	지원대상	세부활동	
해당없음	없음	없음	없음	없음	낮음

- **(연계방안)** 시멘트를 원료를 대체한 기존 연구결과를 활용하여 친환경 재료로 전제 대체 시 물성치 예측 등 기존에 추진한 사업/과제의 성과물을 고려한 동 사업 활용 계획을 마련할 예정

□ 사업 추진의지

- 국토교통부에서는 국토교통산업을 혁신하기 위하여 산업전환 핵심기술을 선정하는 도중으로, 현재 국토분야의 고강도 무시멘트 콘크리트를 1순위로 선정
 - 국토교통부에서는 저온=상온 양생 가능한 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 등 무시멘트에 대한 강한 의지를 피력
- 동 사업에 대한 부처의 추진 의지가 명확하며, 공공의 목적이 강한 사업으로 인식되어있어 사업비 집행 가능성이 매우 높은 것으로 판단됨

□ 사업 미추진 시 문제점

- (건설산업의 탄소중립 달성 실패) 건설산업에서 운송을 제외하면 대부분의 탄소배출량은 시멘트 생산에서 발생하여, 이를 감축하지 못하면 건설산업의 탄소중립 달성은 힘들 것으로 예상
 - 동 사업은 시멘트를 대체하는 원료를 개발하여 무시멘트 콘크리트를 만들기 위한 기술개발 및 실용화 과제로 동 과제 기술개발 시 시멘트를 대체하여 탄소배출량 저감에 기여 가능

3.4.3. 경제적 타당성

1. 비용편익분석의 개념 및 항목

□ 비용편익 분석의 개념

- 경제성 분석은 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고 이를 이용해 비용편익분석(Cost-benefit Analysis)을 이용하여 사업의 타당성을 판단
- 비용편익분석에서 이용되는 기준으로는 순 현재가치(NPV, Net Present Value)/기대 순 현재가치(ENPV, Expected NPV), 편익-비용 비율(B/C ratio) 등 다양한 방법이 있는데 본 분석에서는 비용-편익 비율(B/C ratio)을 이용
- 편익-비용 비율은 편익의 현재가치의 합을 비용의 현재가치의 합으로 나눈 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$\frac{B}{C} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정 기간(일반적으로 현재연도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 현재가치화라고 함
- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 1 이상이면 경제성이 있다고 판단
- 편익/비용 비율은 특정 항목을 편익 또는 비용으로 처리하는가에 따라 값이 달라지는 단점이 있으나, 일반적인 투자심사 기준으로 사용

□ 비용편익분석 항목

- 경제적 타당성 분석의 기본 항목으로는 총 사업비, 총비용, 편익 등으로 구분할 수 있으며, 객관화된 데이터를 기반으로 추정되어야 함
- 비용은 사업기간 내 발생하는 총 사업비에 사업완료 후 발생하는 유지·관리 비용, 장비재투자비 등을 모두 더한 후 장비 및 건물의 잔존가치를 제외하여 산정함
- 편익은 해당 세부기술개발과제로 인해 실질적으로 혜택을 받게 되는 수요(기업, 대국민 등)를 추정하여 편익을 추정함
- 분석된 비용과 편익을 현재가치화시켜 B/C값을 분석하고 B/C값이 1 이상일 경우 사업성이 있는 것으로 판단

2. 본 사업의 비용편익분석

1) 사업의 비용 분석

- 본 사업의 연도별 투자계획을 토대로 총사업비용 270.0억 원을 현재가치화하여, 총 239.7억 원의 비용 투자가 발생할 것으로 추정함
- 동 사업은 3개 구성기술에 대한 상세 사업비용은 총 270.0억 원이며, 사업 종료 후 별도의 운영비 등의 추가 비용 소요가 없는 것으로 가정하여 총사업비를 기준으로 비용을 추정함
- 즉, 경제적 타당성 분석을 위한 본 사업의 총비용은 순수 연구개발 비용만을 고려한 270.0억 원이며, 이를 2024년 현재가치로 환산하면 총 239.7억 원임
- ※ 사회적 할인율 및 기준년도를 적용하여 편익을 현재가치로 환산, 사회적 할인율은 ‘국가연구개발사업 예비 타당성조사 수행 총괄지침(‘19.01.)’ 제 33조에 따라 기획재정부의 ‘예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.04)’ 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

<표 3-92> 사업의 비용 추정 결과

(단위: 백만 원)

구분	구성기술	'25	'26	'27	'28	합계
총 비용	중점기술1	900	1,400	2,500	3,600	8,400
	중점기술2	1,700	2,500	3,000	2,100	9,300
	중점기술3	1,700	2,500	3,000	2,100	9,300
	합계	4,300	6,400	8,500	7,800	27,000
총 비용의 현재가치 (NPV)	중점기술1	861	1,282	2,191	3,019	7,353
	중점기술2	1,627	2,289	2,629	1,761	8,306
	중점기술3	1,627	2,289	2,629	1,761	8,306
	합계	4,115	5,860	7,449	6,541	23,965

2) 사업의 편익 분석

□ 동 사업의 편익 항목 도출

- 동 사업의 편익 항목은 구성기술 및 주요 산출물로 인해 직접적으로 발생하는 가치창출 편익으로서, “고강도 구조용 무시멘트 콘크리트의 매출 효과”로 설정
 - 본 사업에서 도출되는 무시멘트 콘크리트 개발업체 등 기술의 수혜자의 상용화를 지원하여 시장 거래를 통한 부가가치 창출이 가능하므로, 이를 본 사업의 편익으로 도출
 - ※ 가치창출 편익은 연구개발사업의 결과로 소비자의 후생을 향상시키거나 사업의 산출물이 시장을 통해 거래됨으로써 새롭게 부가가치를 창출하는 것을 사업의 목적으로 할 때 반영 할 수 있는 편익항목이며, 성과의 수혜 대상에 따라 소비자 중심 편익과 생산자 중심 편익으로 구분함
 - ※ 생산자 중심 편익은 연구개발사업의 효과가 생산자에게 영향을 미치는 경우에 반영되어야 하며, 생산자 중심 편익의 대표적인 추정 방법으로는 사업을 통해 새롭게 개발된 산출물이 상용화되어 시장에서 거래됨으로써 발생하는 부가가치의 증가분을 바탕으로 편익을 추정하는 시장수요접근법이 대표적임
 - 다만, 본 사업의 궁극적 목표는 무시멘트 콘크리트 재료 개발 및 현장적용 사례 확보, 건설기준 제·개정으로 본 사업에서 도출되는 무시멘트 콘크리트에 대한 직접적인 발주제도 개선 등과 같은 직접적인 상용화 지원은 없으며, 기반확보를 통한 성과확산의 기대효과를 편익항목으로 도출함

<표 3-93> 구성기술에 따른 편익 항목 도출 결과

구성기술	편익 항목
(중점기술1) 기술선도형 무시멘트 콘크리트 혁신기술 개발	무시멘트 콘크리트 매출 효과
(중점기술2) 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 현장타설 기술 개발	
(중점기술3) 무시멘트 콘크리트 프리캐스트 제조 기술 개발	

□ 동 사업의 편익 산식 설정을 위한 전제조건

- (편익 산출 방법의 개념) 본 사업의 직접적인 경제적 편익 추정을 위해 KISTEP이 발간한 예비 타당성조사 표준 지침 상에 제시된 R&D 사업의 편익 추정방법인 ‘시장수요접근법’의 개념에 따라 편익 산식을 설정하고, 편익 산출 시 불확실성 등을 반영하기 위해 사업기여율, R&D기여율, R&D 사업화성공률, 부가가치율 등을 적용하여 편익을 추정

편익	=	미래 시장규모	×	사업기여율	×	R&D기여율	×	사업화성공률	×	부가가치율

[그림 3-41] 시장수요접근법 개념의 편익 수식화

- (미래 시장규모) 해당 연구개발사업의 결과와 직접적으로 관련된 국내 산업/제품의 미래 총생산액 (매출액)을 의미하나, 편익 추정을 위해 활용되는 미래 시장규모는 전체 시장이 아닌 기준선 분석 및 시장점유율의 적용을 통해 도출된 조사 대상사업과 직접적으로 관련된 시장규모만을 의미
- (사업기여율) 새롭게 창출되는 미래 시장이나 매출액의 증가분을 바탕으로 추정되는 연구개발사업의 편익 중 조사 대상 연구개발사업에 의해 창출되는 편익만을 계산하기 위해 적용하는 변수
- (R&D기여율) 연구개발 성과의 상업화를 통한 부가가치가 창출되었을 때, 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분을 나타내는 지표

- (사업화성공률) 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해 필요한 실증 및 상용화 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 고려하는 변수
- (부가가치율) 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 한 편익 추정을 위해 적용하는 변수
- (편익 산출을 위한 기타 변수) 사회적 할인율, 편익회임기간, 기준년도, 편익발생기간 등을 고려하여 최종 편익 산출
 - (사회적 할인율) 미래의 어느 시점 또는 여러 시점에 걸쳐 발생하는 편익을 현재가치로 환산하기 위해 적용하는 할인율
 - (편익회임기간) 연구개발사업에 대한 투자가 이루어진 후, 경제적인 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 의미
 - (기준년도) 편익 산출에 기준이 되는 연도
 - (편익발생기간) 해당 사업을 수행함으로써 편익이 발생할 것으로 기대할 수 있는 기간

□ 동 사업의 편익 정의 및 산식

- (편익 정의) 시장수요접근법에 기반하여 동 사업을 통해 발생할 수 있는 경제적 편익은 개발된 무시멘트 콘크리트의 상용화를 통한 판매 매출 예상규모로 정의
- (편익 산식 도출) 편익 추정 산식은 수혜자인 무시멘트 콘크리트 활용 설계 및 시공업체가 참여하여 확보되는 국내 부가가치창출을 고려하여 ‘ 무시멘트 콘크리트 매출 예상규모’를 편익으로 추정하고, ‘사업기여율, R&D기여율, R&D 사업화성공률, 부가가치율’을 적용하여 최종 편익 규모를 도출하도록 함

<표 3-94> 동 사업의 편익 정의 및 산식

편익 항목	편익 정의 및 산식	직접적 편익 여부	해당 구성기술
무시멘트 콘크리트 기술의 매출 효과	(정의) 본 사업에서 개발한 무시멘트 콘크리트 기술을 상용화하여 내수용으로 판매될 경우 발생하는 매출 편익	O	1, 2, 3
	(산식) 무시멘트 콘크리트의 매출 예상규모(미래시장규모) x 사업기여율 x R&D기여율 x 사업화성공률 x 부가가치율		

- (무시멘트 콘크리트의 매출 예상규모) 2가지 가정에 따라 국내 레미콘 시장의 미래 국내수요를 예측하여 매출 예상규모를 산출하고, 이를 미래시장규모로 추정
 - (가정1: 레미콘 시장 성장률) 우리나라 건축 및 인프라 공급이 증가하면서 미래 수요는 줄어들고 있는 실정으로, 현재 레미콘 시장은 1.8% 증가하고 있으나 향후 감소할 것으로 예상. 이에 따라 무시멘트 콘크리트의 일반 레미콘 대체율을 절반 수준인 1%로 가정
 - ※ 13년 전국 주택보급률은 103%에서 '22년 102%로 최근 10년간 비슷한 수준이며, 수도권을 제외한 지방은 107.5%로 과다 보급되고 있는 실정
 - (가정2: 탄소중립 정책기조에 점유율 증가) 가정1과 동일하게 국내 레미콘 시장의 미래 시장 규모를 예측하고, 탄소중립 정책 기조에 따라 무시멘트 콘크리트의 사용이 활발해지면서 점유율이 5%로 상승하는 것으로 가정
- (사업기여율) 구조용 고성능 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발을 위해 추진 중인 유일한 R&D 사업으로 편익 창출을 위한 상용화 추진에 필수적이나, 친환경 콘크리트 관련 타 국가 R&D 과제를 고려하여 본 사업의 기여율은 56.2%로 설정
 - 친환경 콘크리트 관련 국가연구개발사업 및 과제의 정부지원금 중 본 사업의 정부지원금이 차지하는 비중인 56.2%를 적용

<표 3-95> 본 사업의 기여율 산출 결과

사업/과제명		정부지원금(억원)	
유관 과제	탄소저감형 콘크리트 구조재료 및 에너지 절감형 건축재료·자재 개발	14	363(A)
	해양설치용 인공리프 블록의 친환경재료 개발	32	
	시멘트 ZERO 콘크리트 개발 및 활용	14	
	무기성 폐기물을 활용한 고강도 하이볼륨 친환경 콘크리트 개발	10	
	시멘트 대체 AAM 바인더와 복합섬유재료를 활용한 건설재료 및 실용화 기술 개발	12	
	발전소 부산물을 100% 활용한 압축강도 42.5MPa급 상온경화형 비소성 결합재 및 활용기술 개발	13	
	석탄바닥재에 유황폴리머 결합재를 이용한 고강도 및 고기능성의 산업용 건설자재 생산기술 개발	11	
	바텀애시를 다량 활용한 CO ₂ 배출 저감형 콘크리트 기술 개발	9	
	동결융해저항 고내구성 콘크리트 응용 기술 개발	15	
	해양 준설토와 슬래그를 활용한 친환경 콘크리트 개발	14	
	나노실리카졸을 사용한 친환경 삼성분계 콘크리트의 개발	15	
본 사업	고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발	204(B)	
본사업의 기여율		56.2% (B/A×100)	

- (R&D기여율) 연구개발성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도인지를 나타내는 지표로서, 동 사업에서는 ‘제4차 과학기술 기본계획’에서 제시한 40.2%를 적용
- (R&D사업화성공률) 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화의 과정을 거치게 되는데, 이러한 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 R&D 사업화성공률 42.9%를 적용
 - 한국산업기술평가관리원 국정감사(2021) 자료를 바탕으로 최근 5년간(’17~’21.9) R&D 사업화 성공률인 42.9%를 적용
- (부가가치율) 편익은 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 추정되기 때문에 부가가치율을 적용해야하며, 한국은행에서 발간한 「2021년 산업연관표(2022년)」의 건설산업 부가가치율을 인용하여, 35.2%로 적용
- (편익 산출 시 고려사항) 편익회임기간, 편익발생기간, 기준년도를 설정하여 편익을 산출하고, 최종편익의 현재가치화 시 사회적 할인율을 적용
 - (회임기간 설정) 응용 및 개발단계의 연구개발사업의 경우 평균적으로 회임기간을 3년으로 설정하나, 본 사업의 경우 무시멘트 콘크리트를 국내 건설사업에 적용하는 것을 주요 목적으로 하여 사업 완료 후 비교적 짧은 기간 내 실제 현장적용이 가능함을 고려하여 2년으로 설정
 - (편익발생 기간 설정) 본 사업을 통한 편익기간은 무시멘트 콘크리트는 회임기간을 걸쳐 현장적용되며, 향후 10년간 활용된 후 쇠퇴기에 접어들어 새로운 기술로 대체될 것으로 가정하여 설정
 - ※ 건설분야는 일반적으로 건설사업이 장기적이고 일회성이어서 다른 분야 기술에 비해 기술수명주기가 길다고 평가되며, 교량/터널 분야 기술은 평균적으로 수명주기가 8~10년정도로 측정
 - (기준년도) 사업 착수 예상년도(’25)의 전년도인 2024년을 적용
 - (사회적 할인율) 총 편익의 현재가치화 시, ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침(’19.01.)’ 제 33조에 따라 기획재정부의 ‘예비타당성조사 수행 총괄지침(’19.04)’ 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

<표 3-96> 동 사업의 편익산정 기준 및 지표

구분	기준	추정근거
사업기여율	56.2%	친환경 콘크리트 관련 국가연구개발사업 및 과제의 정부연구비 중 본 사업이 차지하는 정부연구비 비중인 54.4%를 적용
R&D 기여율	40.2%	‘제4차 과학기술기본계획’에서 제시한 R&D 기여율을 40.2%로 적용
사업화 성공률	42.9%	최근 5년간(’17~’21.9) R&D 사업화 성공률인 42.9%를 적용
부가가치율	35.2%	「2021년 산업연관표(2022년)」의 건설산업 부가가치율을 인용하여, 35.2%로 적용
회임기간	2년	응용 및 개발단계의 연구개발사업의 회임기간은 평균적으로 3년이나, 관련 규정 제·개정으로 조기 실용화될 수 있음을 고려하여 2년으로 적용
편익발생 기간	10년	사업종료 후 회임기간 이후 최초 편익이 발생하며, 기술수명주기를 고려하여 총 10년으로 설정
기준년도	2024년	사업 착수 예상년도(’25)의 전년도로 설정
사회적 할인율	4.5%	편익의 현재가치화를 위해, `예비타당성조사 수행 총괄지침(’19.04)` 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

3) 사업의 비용편익 분석 결과

□ 무시멘트 콘크리트의 매출 효과

- (매출 예상규모 추정) 2가지 가정에 따라 미래 무시멘트 콘크리트의 연도별 예상 매출 규모를 추정
- (가정 1) 국내 레미콘 시장은 ’19년 9조 6천억원에서 ’24년 10조 5천억으로 연평균 1.8% 성장한 것으로 추정되며, 향후 ’30년까지 연평균 1.8%, 이후 건설시장의 축소 등으로 0.5% 성장할 것으로 예상. 무시멘트 콘크리트도 전체 레미콘의 매년 약 1%를 대체할 것으로 가정
 - (가정 2) 동일한 레미콘 시장에서 탄소중립 정책 기조에 의해 무시멘트 콘크리트의 레미콘 대체율이 급격히 증가한다고 가정하여 전체 레미콘의 약 5%(1→5%)를 대체하는 것으로 가정

<표 3-97> 무시멘트 콘크리트 시장 규모

연도	무시멘트 콘크리트의 매출 효과					
	(가정 1)			(가정 2)		
	국내 레미콘 시장 규모 (억 원)	레미콘 대체율	예상 매출 (억 원)	국내 레미콘 시장 규모	레미콘 대체율	예상 매출 (억 원)
2031	118,522	1%	1,185	118,522	1%	1,185
2032	119,115	1%	1,191	119,115	1%	1,191
2033	119,710	1%	1,197	119,710	1%	1,197
2034	120,309	1%	1,203	120,309	1%	1,203
2035	120,910	1%	1,209	120,910	3%	3,627
2036	121,515	1%	1,215	121,515	3%	3,645
2037	122,122	1%	1,221	122,122	3%	3,664
2038	122,733	1%	1,227	122,733	3%	3,682
2039	123,347	1%	1,233	123,347	5%	6,167
2040	123,963	1%	1,240	123,963	5%	6,198
합 계	1,212,246	-	12,121	1,212,246	-	31,759

- (가정1: 편익 추정) 무시멘트 콘크리트의 매출 예상규모 추정값에 분석 지표인 부가가치율, R&D 기여율, 사업화 성공률, 부가가치율, 사업기여율을 적용하여 편익을 추정한 결과, 총 편익 규모는 413.57억 원이고 이를 현재가치로 환산하면 250.84억 원으로 추정

<표 3-98> (가정1) 편익 분석결과

(단위 : 억 원)

연도	매출 예상규모	R&D 기여율 (%)	사업화성공률 (%)	부가가치율 (%)	사업기여율 (%)	편익	현재가치
2031	1,185	56.2	42.9	35.2	42.9	40.44	29.71
2032	1,191	56.2	42.9	35.2	42.9	40.64	28.58
2033	1,197	56.2	42.9	35.2	42.9	40.84	27.48
2034	1,203	56.2	42.9	35.2	42.9	41.04	26.43
2035	1,209	56.2	42.9	35.2	42.9	41.25	25.42
2036	1,215	56.2	42.9	35.2	42.9	41.46	24.45
2037	1,221	56.2	42.9	35.2	42.9	41.66	23.51
2038	1,227	56.2	42.9	35.2	42.9	41.87	22.61
2039	1,233	56.2	42.9	35.2	42.9	42.08	21.74
2040	1,240	56.2	42.9	35.2	42.9	42.29	20.91
합 계	22,635.7	-	-	-	-	413.57	250.840

- (가정2: 편익 추정) 무시멘트 콘크리트의 매출 예상규모 추정값에 분석 지표인 부가가치율, R&D 기여율, 사업화 성공률, 부가가치율, 사업기여율을 적용하여 편익을 추정한 결과, 총 편익 규모는 1,083.56억 원이고 이를 현재가치로 환산하면 613.43억 원으로 추정

<표 3-99> (가정2) 편익 분석결과

(단위 : 억 원)

연도	매출 예상규모	R&D 기여율 (%)	사업화성공률 (%)	부가가치율 (%)	사업기여율 (%)	편익	현재가치
2031	1,185	56.2	42.9	35.2	42.9	40.44	29.71
2032	1,191	56.2	42.9	35.2	42.9	40.64	28.58
2033	1,197	56.2	42.9	35.2	42.9	40.84	27.48
2034	1,203	56.2	42.9	35.2	42.9	41.04	26.43
2035	3,627	56.2	42.9	35.2	42.9	123.75	76.25
2036	3,645	56.2	42.9	35.2	42.9	124.37	73.34
2037	3,664	56.2	42.9	35.2	42.9	124.99	70.53
2038	3,682	56.2	42.9	35.2	42.9	125.62	67.83
2039	6,167	56.2	42.9	35.2	42.9	210.41	108.72
2040	6,198	56.2	42.9	35.2	42.9	211.46	104.56
합 계	31,759	-	-	-	-	1,083.56	613.43

4) 경제성(B/C) 분석 결과

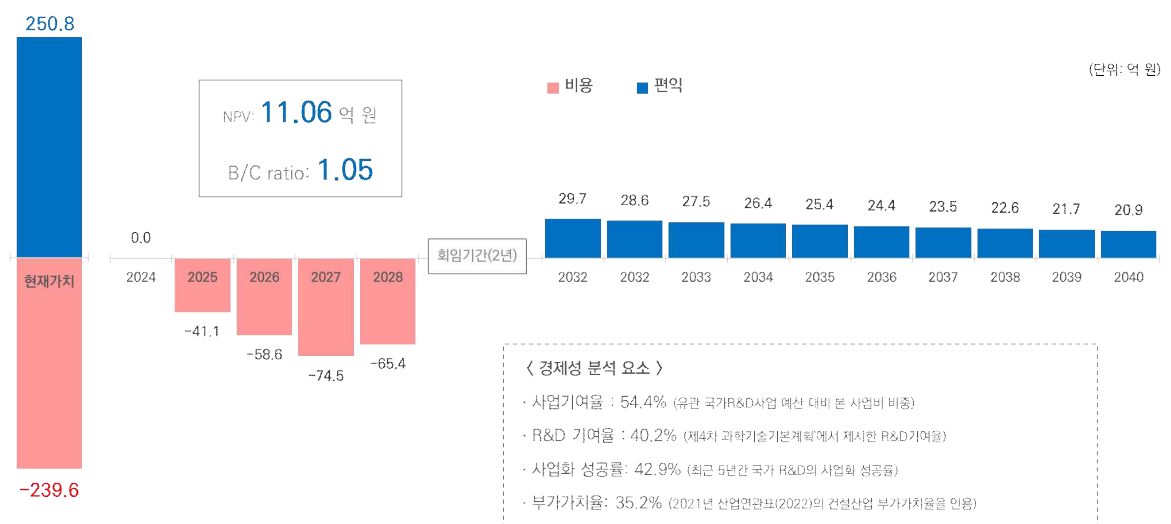
○ 동 사업의 비용 투입 대비 무시멘트 콘크리트 매출 효과(편익)에 대한 분석을 수행한 결과, B/C Ratio 1.05~2.56로 경제적 타당성을 확보

- 총사업비를 기준으로 수행한 비용분석 결과 총 270.0억 원의 비용이 투입되며, 이를 현재가치화하면 239.65억 원으로 산정

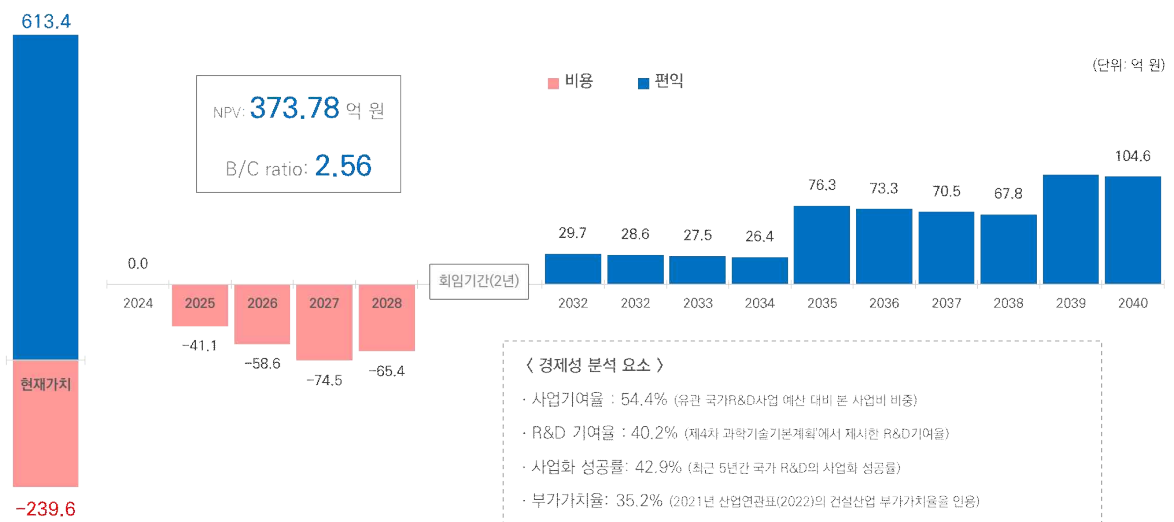
- 편익항목에 대한 총 편익은 413.57/1083.55억 원이며, 이를 현재가치로 환산하면 250.84/613.43억 원

<표 3-100> 본 사업의 비용편익 분석(B/C Ratio) 결과

구분	(가정1) 산출 결과	(가정2) 산출 결과
비용(NPV)	239.65억 원	239.65억 원
편익(NPV)	250.84억 원	613.43억 원
B/C Ratio	1.05	2.56



[그림 3-42] (가정 1)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과



[그림 3-43] (가정 2)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과

3.4.1 정책적 타당성

1. 관련 법령 부합성

□ 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법

- 동 법령은 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 강화하고 녹색기술과 녹색산업의 육성·촉진·활성화를 통하여 경제와 환경의 조화로운 발전을 도모함으로써, 현재 세대와 미래 세대의 삶의 질을 높이고 생태계와 기후체계를 보호하며 국제사회의 지속가능발전에 이바지하는 것을 목적으로 제정

– 동 법 제2조 「정의」에서 탄소중립의 정의를 규정

- 동 법령에 따라 국가는 탄소중립과 관련하여 법령 개선, 재정투자, 시설 및 시스템 구축 등 제반 여건 마련 필요

제5조(국가 등의 책무) ① 국가와 지방자치단체는 경제·사회·교육·문화 등 모든 부문에 제3조에 따른 기본원칙이 반영될 수 있도록 노력하여야 하며, 관계 법령 개선과 재정투자, 시설 및 시스템 구축 등 제반 여건을 마련하여야 한다.

□ 건설기술 진흥법

- 건설기술 진흥법은 건설기술의 연구·개발을 촉진하여 건설기술 수준을 향상시키고 이를 바탕으로 관련 산업을 진흥하여 건설공사가 적정하게 시행되도록 함과 아울러 건설공사의 품질을 높이고 안전을 확보함으로써 공공복리의 증진과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 제정

- 동 사업에서 개발하는 탄소고정 콘크리트 기술은 건설기술로 법령의 제정 목적과 부합

제7조(건설기술 연구·개발 사업) ① 국토교통부장관은 건설기술을 향상시키고 기본계획을 효율적으로 추진하기 위하여 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 건설기술 발전에 필요한 건설기술 연구·개발 사업을 할 수 있다.

② 제1항에 따른 건설기술 연구·개발 사업에 필요한 경비는 정부 또는 정부 외의 자의 출연금이나 그 밖에 기업의 기술개발비로 충당한다.

③ 제1항에 따른 협약의 체결방법과 제2항에 따른 출연금의 지급·사용 및 관리에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

□ 국토교통과학기술 육성법

- 국토교통과학기술 육성법은 국토교통과학기술 육성을 위한 기반을 조성하여 산업의 경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 지속적인 발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 제정된 법으로 동 사업과 부합성이 높음

– 동 법 제2조에서 규정한 국토교통과학기술은 미래 성장동력 창출 및 국민의 삶의 질 향상을 위하여 필요한 국토교통분야 산업의 발전에 관한 과학기술을 의미

- 건설기술진흥법, 건설산업기본법, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 해외건설 촉진법, 건축기본법 등 다양한 건설 관련 법률에 있는 개념들을 포함하고 있음
- 동 사업은 건설재료와 관련된 기술로 이는 국토교통과학기술에 해당

제8조(연구개발사업의 추진)

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

2. 상위 계획과의 부합성

□ 상위계획과의 부합성 검토 방법

- **(의미)** 상위계획과의 부합성은 정책적 일관성 검토를 통해 동 사업이 국가정책의 실현을 위한 정책적 부합성을 검토 및 평가*
 - ※ 상위계획과의 부합성은 주관부처의 유관 연구개발정책의 일관성 및 쟁점이 되는 여러 정부부처의 기능적 경쟁 및 임무영역 등의 검토를 통해 의미를 도출 (KISTEP, 2020. 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침)
- **(방법)** 범국가적으로 수립 및 추진되고 있는 건설 분야의 국가 주요 정책 및 계획과 주관부처 (국토부)의 중장기 계획의 주요 내용을 본 사업의 목적, 목표, 내용과 비교·분석하여 종합적으로 상위계획과의 부합성을 검토
- **(검토 대상)** 정부 국정과제 및 주요 정책, 연구개발부문의 최상위 계획 및 부처별 상위 계획 등

□ 상위계획과의 부합성 검토 결과

- 본 기획 사업은 국토의 입체적 활용을 목표로 하는 정부 정책, 상위계획 등에서 제시한 정책 목표, 추진과제와 부합하며, 정부 정책을 효과적으로 달성할 수 있는 수단으로 판단됨

<표 3-101> 상위계획과의 부합성 검토 결과

구분	계획명	부합성		
		낮음	보통	높음
상위 정책 및 관련 계획	윤석열 정부 120대 국정과제			√
	2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준			√
환경분야 정책 계획	탄소중립 · 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획		√	
건설 분야 정책 계획	제2차 국토교통과학기술 연구개발종합계획			√
	제7차 건설기술진흥기본계획			√
	제6차 건설산업진흥기본계획			√

구분	정책 및 계획명	기획사업 부합성 검토내용
상위 정책	윤석열 정부 120대 국정과제	• (약속5) 핵심전략산업 육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다. - (국정과제23) “제조업 등 주력산업 고도화로 일자리 창출 기반 마련”의 저탄소 시대를 선도하는 제조업의 그린전환을 가속화
	2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준	• (목표) 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장동력화 - (저탄소생태계) 산업, 수송, 건물 부문별 탄소저감 및 에너지 수요 효율화
환경 정책	탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획	• (목표) 산업 부문의 온실가스 감축 - 탄소중립 달성을 위한 한계돌파형 기술의 신속한 상용화
건설 정책	제2차 국토교통과학기술 연구개발종합계획	• (추진전략3) 지속가능한 국토교통 기반시설 고도화 - (추진과제) 스마트 디지털 건설 - 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료 확보
	제7차 건설기술진흥 기본계획	• (추진방향5) 핵심기술 개발 등 건설산업 고도화 - (추진과제) 미래 수요에 대응한 기술 개발 및 상용화 지원 - 기후변화에 대응한 R&D 추진 및 기준 정비에 부합
	제6차 건설산업진흥 기본계획	• 세부과제 “미래지향적 건설산업” - 탄소중립 등으로 인한 친환경 자재 수요 증가에 대비하여 친환경 자재의 성능 품질 확보 및 공급기반 확대 추진

- ☐ **국정목표2 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제에서는 제조업 등에 대한 그린전환 가속화를 명시**
- 국정목표2의 [약속5] “핵심전략산업육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다”에서는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장 동력화를 명시
- 제조업 등의 그린 전환을 가속화를 위해 R&D 사업을 신설하고 지원을 강화하도록 명시
- ☐ **2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준에서는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장동력화를 목표**
- 과기부 「2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」에서는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장동력화를 위해 저탄소 생태계를 조성할 계획
- 건설·교통 분야의 산업, 수송, 건물 부문별 탄소저감 및 에너지 수요 효율화에는 저탄소 건설재료의 내용을 포함하고 있어서 이에 부합
- ☐ **탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획에서는 산업부문의 탄소중립을 위하여 탄소중립 실현 핵심기술 확보를 명시**
- 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획에서는 탄소중립 실현 핵심기술 확보 과제 내에 탄소중립 달성을 위한 한계돌파형 기술의 신속한 상용화를 명시하고 있으며 이를 지원
- 업종별 대표 기술과 함께 CCUS 등 신기후기술 개발을 병행토록 명시
- ☐ **국토교통과학기술연구개발 종합계획의 “지속가능한 국토교통 기반시설 고도화”에서는 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료**

확보를 명시

- 지속가능한 국토교통 기반시설 고도화 전략 내의 “스마트 디지털 건설”에서는 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료 확보를 목표
 - 탄소고정 콘크리트는 탄소배출 저감재료 건설재료로 이에 부합
- 제7차 건설기술진흥 기본계획에서는 기후변화에 대응한 R&D 추진 및 기준 정비를 추진
 - 탄소중립을 위한 세부과제로 “기후변화에 대응한 R&D 추진 및 기준 정비”를 제시하고 있으며, 이를 달성하기 위해,) 저탄소 건설재료, 시공 중 온실가스 감축을 위한 급속시공 및 폐기물 처리 시 온실가스 흡수 등 기술 개발 제시
 - 탄소고정 콘크리트는 탄소배출 저감재료 건설재료로 이에 부합
- 제6차 건설산업진흥 기본계획(’23~’27)에서는 건설자재 친환경성 제고 및 이를 위한 기술개발 추진 명시
 - 동 계획에서는 지속가능성 제고를 위하여 공공분야의 저탄소 콘크리트 등의 활용을 확대하여 친환경 시장을 확대하기 위한 계획을 추진
 - 미래지향적 건설산업 중점과제 내의 친환경 건설사업화 세부과제에서는 친환경 자재 수요 증가에 대비한 친환경 자재의 성능·품질 확보 및 공급기반 확대 및 건설자재 친환경성 제고 및 품질향상을 위한 기술개발을 추진

3. 사업추진체계의 적절성

- 본 연구의 수행은 기본적으로 주관 및 공동 연구로 컨소시엄을 구성, 각 세부과제별로 민간업체를 포함한 산·학·연 협동 연구체계로 추진함으로써 사업의 효율성·효과성을 극대화할 수 있는 추진체계로 설계함
- 탄소고정 콘크리트 제조·활용 및 적용을 위해서는 실증이 필수적이므로 실증과 실제 현장 적용성 확보를 위해 민간 직접 참여가 필수적이며, 이에 따라 동 연구의 수행은 민간기관들과 협동 연구체계로 추진하는 것이 적합하다고 판단



[그림 3-44] 탄소고정 콘크리트 제조·활용 기술개발 추진체계

- 본 사업은 1세부과제가 총괄과제의 역할을 담당하며, 사업의 원활한 추진이 이루어질 수 있도록 연구개발 일정 관리, 진도 및 성과 점검·관리, 각 세부과제의 연구내용 검토 및 방향 논의 등을 실시
- 각 세부과제는 연구범위 및 방향을 세부 과제 간 상호 조율하고, 그에 따른 지속적인 연구개발 및 성과도출에 대해 공유하도록 함
- ※ 다만, 총괄과제는 세부과제의 연구비 조정은 불가

4. 사업 추진상의 위험요인 및 대응방안

1) 재원조달 가능성

- 동 사업 추진 시 정부 및 민간에서의 재원조달 규모, 시점 등을 적시에 투입 가능한지 점검하고, 향후 발생 가능한 재원조달 상의 위험요인을 점검
- **(정부 재원조달 가능성)** 우리나라 정부 R&D 및 국토교통R&D, 교통·물류 분야 R&D 예산은 꾸준히 증가하는 추세에 있으며, 유관 정책계획에 따른 교통·물류 분야의 R&D 투자 강화 계획에 따라 본 사업 추진을 위한 신규 R&D 예산 확보에 대한 위험요인은 없음
- (국토교통 R&D 및 교통물류 분야 R&D 예산 현황) '23년 국토교통 R&D 예산은 6,149억 원으로 최근 5년간 연평균 6.27%로 지속적으로 확대 중이며, 이 중 교통·물류분야가 차지하는 비중도 증가

<표 3-103> 최근 5년간 국토교통R&D 예산 운용 추이

(단위: 억 원, %)

구분	'20	'21	'22	'23	'24	연평균 증가율
① 국토부 R&D 예산	5,247	6,031	6,331	6,149	4,592	-3.3%
② 국토분야 R&D 예산	2,371	2,188	1,790	1,631	1,089	-17.7%
비중 (②÷①)	45.2%	36.3%	28.3%	26.5%	23.7%	-

- (국토교통 R&D 및 교통 물류 분야 R&D 예산 전망) 사업 착수시점인 '24년 이후의 예산을 연평균 증가율을 활용하여 추정 시, 동 사업에 소요되는 연차별 평균 예산(약 67.5억 원)을 크게 상회하여, 동 사업 추진을 위한 재원조달 위험성은 다소 있으나, '24년 R&D 예산의 삭감이 일시적인 조치*임을 감안하면 재원조달은 가능할 것으로 기대

* 윤석열 대통령은 '24년 과학기술인·정보방송통신인 신년 인사회에 참여하여 임기 중 예산 대폭 확대를 약속

<표 3-104> 향후 5년간 국토교통R&D 예산 운용 추이

(단위: 억 원, %)

구분	'25	'26	'27	'28	'29	연평균 증가율
① 국토부 R&D 예산	4,441	4,296	4,155	4,019	3,887	-3.3%
② 국토분야 R&D 예산	897	738	608	500	412	-17.7%
비중 (②÷①)	45.2	45.2	45.2	45.2	45.2	-

- **(민간 재원조달 가능성)** 동 사업은 국내 건설분야 대학, 연구소, 중소기업 중심의 컨소시엄으로 연구가 추진되는 특성상 정부 출연금의 33%수준을 민간부담금으로 책정하였으며, 이의 규모는 참여기관이 대응할 수 있는 수준으로 판단함
- 2020년 국가연구개발 활동 조사에 따르면 건설업 관련 분야의 민간 R&D 비용은 총 5,864.7 억 원으로 동 사업의 민간부담금은 이의 0.82% 수준으로 재원조달이 가능할 것으로 판단

<표 3-105> 동 사업의 예산 소요

(단위: 억 원, %)

구분	'25	'26	'27	'28	'29	합계
① 총 예산	20	43	37	61	29	190
② 민간부담금	6	12.9	11.1	18.3	8.7	48.3
③ 건설업 분야 민간 연구개발비	5,864.7					

2) 법·제도적 위험요인

- **(사업 기획/추진 관련 법·제도 측면)** 국가연구개발사업으로서의 본 사업의 기획/추진/관리에 대한 법적·제도적 위험요인은 없음
 - 동 사업은 과학기술기본법 및 그 하위 법령 체계에 따른 국가연구개발사업의 기획의 건으로 ‘국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정’ 등 관련 법령 및 지침에 준거하여 사업의 기획 및 공고절차, 과제평가 및 선정 등의 절차를 설계하였음
- **(건설 분야 관련 법·제도 측면)** 사업 중 사업 추진에 있어 기존 국내 관련 법령·제도에 따른 위험요인은 일부 존재하나 극복 가능한 것으로 판단
 - (콘크리트 배합비율 관련 기준 규격) 현행 ‘콘크리트공사 일반사항’(KCS 14 20 01)’에서는 콘크리트에 시멘트 최저 비율이 30%로 규정되어있으나, 동 기술개발은 시멘트를 사용하지 않는 콘크리트의 개발
 - (극복방안) 본 사업에서 기술개발을 통해 적용하고자 하는 시멘트 배합비율은 현행 기준 미만을 목표로 하기 때문에 수치해석 등을 통해 개발기술을 검증하고 관련 기준 개정 추진

5. 정부지원의 필요성

□ 시멘트는 탄소배출량이 많은 핵심 산업으로 분류되어 지속적인 탄소배출량을 저감 필요

- 국내에서 시멘트산업은 단일산업으로는 5번째로 에너지, 도로수송, 철강, 화학 산업에 이어 CO₂를 많이 배출하는 탄소다배출 산업으로 재료사용 저감 및 탄소배출 저감 전략 마련 필요
 - 국가에서는 시멘트, 철강, 석유화학 등 탄소다배출 산업을 대상으로 R&D사업을 추진하고 있으며 시멘트 분야는 시멘트 공정전환과 친환경 시멘트 개발에 투자
 - 실제로 건설산업에서 사용되는 콘크리트 측면에서 연구개발 투자는 이루어지지 않고 있으며, 건설재료 중 사용량이 많은 콘크리트 관점에서 탄소배출량 저감 전략 마련 필요

□ 친환경 건설소재·재료 시장은 계속 증가, 해외시장에서 기술선점을 위한 기술 필요

- 국가온실가스 감축 목표 달성을 위해 지속가능한 친환경 건설재료 개발 및 적용의 확대가 필수적이며, 해외시장 진출을 위해서도 필수적으로 확보해야 하는 기술이 될 것으로 예상
 - 탄소국경세 도입 등으로 인해 '25년 이후 탄소중립 건설재료 등 시멘트 대체재료 시장 규모가 1조 원 이상으로 성장할 것으로 추정
 - 국내 시멘트 시장규모는 약 3조 5천억 원으로 추정되며, 친환경 건설재료 등 시멘트 대체재료 시장은 지속적인 성장으로 '20년도에는 약 25~30% 점유가 전망되며, 관련 기술 경쟁이 치열할 것으로 분석
 - 유럽연합(EU)과 미국 등 주요국의 탄소배출권 가격은 '20년 4월 이후 유럽은 400% 이상, 미국은 150% 가까이 배출권 가격이 상승하였으나, 국내는 '20년 42,500원 가격 상승 후 '23년 7월 7,020원까지 하락
 - 하락 주요원인은 정부의 배출권 이월제한 조치로 배출권 소명 우려로 매도량 급증으로 추정
- 해외건설사업 수주 등 무역장벽(탄소국경세, 그린발주제도 등) 회피에 기여할 수 있는 탄소고정 콘크리트 개발 시급

3.4.2 과학기술적 타당성

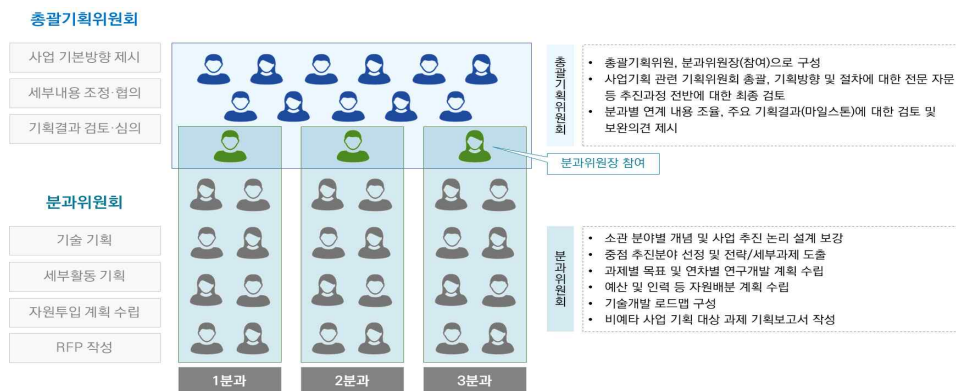
□ 사업 기획 과정의 적절성

- (체계적 조사·분석을 통한 사업 기획 과정) 대내외 환경분석 및 사업 추진여건 분석 등을 통해 해결하고자 하는 핵심 문제/이슈를 도출하였으며, 이를 해결하기 위한 사업 기본방향에 부합하는 목표체계 및 추진전략을 도출하였으므로 기획과정이 적절함

Step I	대내외 환경 분석	- 국내외 정책동향/시장산업 동향/기술동향 조사·분석 - 이해관계자 의견 수렴
Step II	사업 추진여건 분석	- 기술수준 분석 및 역량 진단 - 관련 인프라 현황 분석
Step III	핵심 문제/이슈 도출	Step I ~ II 단계를 통해 동 사업에서 해결하고자 하는 문제/이슈(필요성)를 도출
Step IV	사업 추진전략 수립	- 기본방향 도출 - 사업추진논리 구성 - 사업의 목표체계 도출 - 사업 구성 및 세부과제별 상세활동 계획
Step V	사업 운영계획 수립	- 사업추진체계 - 사업 운영·관리체계(평가, 성과관리 포함) - 예산 및 인력 투입계획

[그림 3-45] 동 사업의 기획과정

- (기획 전반에 걸쳐 기획위원회 구성·운영) 사업 개념 및 범위, 사업추진논리, 핵심 문제/이슈, 사업 추진전략, 사업추진체계 등의 기획 과정 전반에 전문성 있는 다양한 전문가가 참여함으로써 기획 과정과 내용의 객관성 및 신뢰성을 확보
- (체계성) 기획위원회의 기능 및 역할을 정의하고 이에 따라 총괄기획위원회와 분과위원회로 구분하였으며, 기획위원회 구성·운영계획에 따라 체계적으로 사업 기획 및 세부활동 기획을 실시
 - (총괄기획위원회) 기획 연구의 추진방법 및 방향에 대한 검토, 사업 기본방향 및 개념 등 주요 산출물에 대한 심의·자문을 목적으로 총 3회 내외로 소집·운영
 - (분과위원회) 사업구성 및 중점추진분야 선정 결과에 따라 세부 분야별 기술 및 세부활동 상세계획, 자원 투입 계획 수립 등을 위한 분과위 구성 및 운영



[그림 3-46] 동 사업의 기획위원회 기능 및 역할 정의

<표 3-106> 기획연구를 위한 위원회별 역할 및 운영 원칙

회의체	역할	운영
총괄 기획위원회	• 기획연구 추진방법 및 방향 검토 • 사업 기본방향 및 개념 검토 및 자문	• 총 2~3회 대면회의 수행 (대면회의 불가 시 비대면회의 및 서면회의로 진행 가능) • 각 분과별 위원장이 반드시 참석 • 재직인원의 2/3 이상 참여 가능한 일시에 추진
분과별 기획위원회	• 세부분야별 동향조사 분석, 연구개발 목표체계 수립 • 세부활동 상세 기획 • 자원 투입 계획 수립	• 총 2~3회 대면회의, 서면 작업 수행 • 분과위는 실질적인 원고 작성이 주된 임무로 가능한 서면 검토, 비대면 회의 진행

- **(전문성)** 기획위원회는 건설재료, 설계, 시공 등 분야의 전문가로 분야의 흐름을 파악하고 변화를 예측할 수 있는 식견이 충분한 전문가들로 구성
- **(포괄성)** 동 사업이 정의한 사업 개념 및 범위를 포괄할 수 있는 전문가로 구성함으로써 최대한 전문성이 결여되는 분야가 존재하지 않도록 함
 - **(총괄기획위원회)** 기획 분야에 대한 전체적인 관점에서의 기획 및 R&D 방향, 사업구성 등 총괄적인 자문이 가능한 시니어급* 전문가 중심으로 구성
 - ※ 유관 경력 15년 이상, 건설재료, 설계, 시공 개발 경험자 우선 섭외
 - **(분과위원회)** 세부분야별 기술 전문성을 갖추고, 동향조사, 목표체계 설계, 세부적인 연구개발 계획 수립이 가능한 실무 전문가 중심으로 구성
 - ※ 유관 경력 15년 미만, 건설재료, 설계, 시공 개발 실무자 우선 섭외
- **(균형성)** 기획위원회 전문가는 소속기관, 기술분야 등의 측면에서 균형있게 구성하여 소수의 이해관계자에 집중된 방향이 아닌 국가 차원에서 필요한 사항을 기획하고자 함
 - **(소속기관)** 동 사업의 기획에 참여한 전문가 풀은 산·학·연이 모두 포함되도록 구성
 - ※ (총괄위원) 총 10인 중 관 1인, 산 4인, 학 2인, 연 3인, 기타 3인으로 구성
 - ※ (분과위원) 총 6명 중 산 1명, 학 3명, 연 2명으로 구성
 - **(기술분야)** 동 사업 기획에 참여한 전문가들의 세부전공 및 담당 분야를 고려하여, 동 사업의 세부활동(건설재료, 설계, 시공 등)과 관련한 분야의 전문가들로 균형있게 구성함
- **(기술 수요를 참고한 세부활동 기획)** 탄소고정 콘크리트 기획을 뒷받침하고 기술개발 수요 파악을 통한 세부활동을 기획하기 위해, 산·학·연 전문가를 대상으로 기술개발 수요를 파악함
 - 관련 산·학·연·관 전문가에게 탄소고정 콘크리트에 대한 미충족수요 등 의견 수렴
 - ※ 건설협회, 현대건설, 코비코리아, 환경기술원, DM엔지니어링, 명지대, 삼성물산, UNIST 등 다양한 산학연 전문가들의 의견 수렴 실시
- **(사업 범위 설정의 적합성)** 현재 탄소고정 콘크리트 기술에 대한 이슈를 도출하고 그 이슈를 해결하기 위한 기술들을 사업 범위로 설정하여 적합성을 확보
 - (국가차원의 문제/이슈도출) 동향분석을 통하여 국가차원의 문제/이슈를 도출
 - 전세계적으로 시멘트/콘크리트는 가장 많이 사용하는 건설재료로 탄소배출량이 매우 높아 이를 해결할 수 있는 친환경 기술 필요
 - 선진국은 탄소중립 이행을 위한 다양한 연구를 통해 탄소고정 콘크리트 기술을 확보하여 시장진입단계이나, 국내는 기초연구단계로 기술확보 및 실용화를 위한 기준 제·개정 필요
 - 해외건설사업 수주 등 무역장벽(탄소국경세, 그린발주제도 등) 회피에 기여할 수 있는 탄소고정 콘크리트 개발 시급
 - (사업차원에서 해결해야할 문제/이슈를 도출) 앞서 도출한 문제/이슈 중 사업차원에서 해결해야할 문제와 이슈를 도출
 - CO₂ 고정 탄산염을 이용한 건설재료가 소요의 역학적 특성이 낮은 제품에만 사용 하고 있어 활용성이 낮음

- CO2 고정·저장을 위한 콘크리트 제조기술이 별개의 공정으로서 적용되어 각 기술 간 융합이 어려움
- CO2 저장 콘크리트의 구조물 활용을 위한 제도적 기반 미비
- (세부활동 수준의 문제/이슈도출) 사업차원에서 해결해야할 문제와 이슈에서 이를 해결할 수 있는 기술을 도출하여 사업의 범위로 설정
 - 콘크리트 구성 재료의 탄소저장 기술 개발
 - CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 및 시공 기술 개발
 - CCU 콘크리트 성능검증 및 실증 기술 개발

□ 사업목표의 적절성

- **(사업 목표체계 정립)** 대내외 동향 분석, 사업 추진여건 분석, 핵심 문제/이슈 도출 등에 근거하여 동 사업이 추진되어야 하는 이유와 목표 등 사업추진논리와 추진 당위성을 확보하였으며, 사업 추진을 통해 의도하는 효과가 무엇인지에 대한 논리적으로 설명함
- **(사업비전)** 동 사업을 통해 달성하고자 하는 중장기적 목표로서, “**건설 재료 분야의 탄소저감 혁신을 통한 미래 지속 가능한 건설 환경 구현**”로 설정
 - 기존의 탄소 저장 콘크리트는 역학적 특성이 낮은 제품에만 사용되거나 재료 및 제조공정이 별개의 기술로 적용된다는 한계가 존재하며 이에 대한 해결이 시급
 - 이에 따라 동 사업은, “**건설 재료 분야의 탄소저감 혁신을 통한 미래 지속 가능한 건설 환경 구현**”을 사업 비전으로 설정
- **(전략목표 수립)** 사업이 궁극적으로 이루고자 하는 목표로서 중장기적 정책목표를 의미하므로, 상위계획, 사업 목표, 연구성과 활용 등을 고려하여 동 사업이 달성하고자 하는 전략 목표는 “**이산화탄소(CO2)를 건설 재료에 고정하여, 탄소배출량을 저감할 수 있는 CCU 콘크리트 재료 및 제조·활용 기술 개발**”로 설정
- **(성과목표 설정)** 동 사업의 연구개발을 통해 달성하고자 하는 구체적인 목표로 연차별·단계별 성과목표로 세분화하였으며, 전략목표 달성에 기여할 수 있도록 논리적으로 설정함
 - 사업예산이 집중적으로 투입되는 부문의 성과가 핵심적으로 드러날 수 있도록 설정하고, 구체적이고 명확하게 표현하여 측정이 가능하도록 함
- **(성과목표 및 지표의 설정)** 동 사업이 의도하는 효과의 달성 여부를 측정하고 관리할 수 있도록 양적/질적 성과지표를 개발하고, 사업 기간 및 예산 내 달성 가능한 범위에서 도전적인 목표치를 제시함
 - 동 사업의 성과지표와 목표치에 대해서는 각 항목별로 설정방법과 근거, 측정산식·방법·시기 및 근거자료 출처 등을 포함한 성과지표 명세서를 기록·관리함으로써 성과를 관리하기 위한 현실적인 준비를 갖추
- **(구성기술별 목표 수립)** 동 목표체계에 기반하여 세부과제(구성기술)를 구성하고, 구성기술별 연구활동이나 주요 산출물, 목표 성능 등을 고려하여 각 구성기술별 목표를 타당하게 설정함

□ 사업 구성 및 내용의 적절성

- 동 사업의 세부과제는 각각의 기술개발의 개념, 전략목표, 목표 성능 및 최종성산물 등에서 차이를 가지고 있으며, 명확한 연계구조를 가지고 있어 사업내용이 논리적이고, 사업의 목표달성을 위해 적절하게 구성된 것으로 판단됨
- 세부과제 구성은 사업비전인 “**이산화탄소(CO2)를 건설 재료에 고정하여, 탄소배출량을 저감할 수 있는 CCU 콘크리트 재료 및 제조·활용 기술 개발**” 달성에 필수적인 기술로 구성된 것으로 판단됨
 - 사업 목표 달성을 위해서는 작업시간 확보, 고강도 달성, 탄소저감 기술이필수이며, 동 필수기술들을 3개 세부과제(세부활동)로 구성함

- ※ 동 사업의 3개 세부과제 구성: 1)콘크리트 구성 재료의 탄소 저장 기술 개발, 2)CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 및 시공 기술 개발, 3)CCU 콘크리트 성능검증 및 실증 기술 개발
- 또한 기술개발과 실용화에 필수적인 구성기술로 세부과제를 구성하여, 세부과제 간 연계성이 높고 효과적·효율성 측면에서 개별 사업이 아닌 하나의 사업으로 추진이 타당함

사업 비전	건설 재료 분야의 탄소저감 혁신을 통한 미래 지속 가능한 건설 환경 구현 < 탄소를 배출하는 산업에서 탄소를 줄이는 산업으로 >

사업 목표	이산화탄소(CO2)를 건설 재료에 고정하여, 탄소배출량을 저감할 수 있는 CCU 콘크리트 재료 및 제조·활용 기술 개발

성과 목표 및 성과 지표	구분	골재 내 CO2 고정량 80kg/t, 바인더 CO2 흡수량 8kg/m³을 충족하는 탄소저장 콘크리트 재료 확보 및 이의 성능검증, 현장 적용 기술 확보	
		1단계(기술확보) ('26~'27)	2단계(실용화) ('28~'30)
		- 탄소 저장 성능이 우수한 후보 재료(골재, 바인더) 원천기술 확보 - CCU 콘크리트의 현장타설 및 프리캐스트 적용에 적합한 최적 배합 설계 및 제조 기술 개발 - CCU 콘크리트의 탄소 저감 성능평가를 위한 방법론 개발	- CCU 콘크리트 재료 품질 최적화 및 표준화 기술 개발 - CCU 콘크리트 현장타설 및 프리캐스트 적용을 위한 시공 기술 및 시스템 개발 - CCU 콘크리트 탄소 저감 성능 실증 및 제도적 근거 확보



추진 전략	폐기물·부산물 등 친환경 재료 기반의 탄소 저장 성능을 극대화한 재료 확보	CCU 콘크리트의 구조 강도 개선을 통한 현장타설 및 프리캐스트 실증 성과 창출	CCU 콘크리트 실용화 및 성과확산을 위한 제도적 근거의 선제적 확보

사업구성		
콘크리트 구성 재료의 탄소 저장 기술 개발	CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 및 시공 기술 개발	CCU 콘크리트 성능검증 및 실증 기술 개발
골재 탄산화를 활용한 탄소 저장 핵심기술 개발	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 배합설계 최적화 기술 개발	CCU 콘크리트 설계기준 및 저감성능 실증 기술 개발
	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 개발	CCU 콘크리트 CO2 저장 성능평가(LCA 포함) 방법론 및 실증 기술 개발
바인더 탄산화를 활용한 탄소 저장 핵심기술 개발	CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 배합설계 최적화 기술 개발	CCU 콘크리트의 탄소감축 외부사업 적용을 위한 설계 및 실증기술 개발
	CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 개발	

□ 기술개발의 차별성 및 중복성

- 탄소고정 콘크리트 관련 R&D/정책/정보화 사업 등을 대상으로, 동 사업의 추진기간, 목적, 연구내용, 지원분야 및 범위 등과의 중복 가능성을 검토하고, 기존 사업과의 차별성 확보 및 연계·협력 방안을 검토하였음

<표 3-107> 중복성 검토 대상 사업/과제 목록

구분	사업/과제명	추진기간	지원부처
과제	제철소 부산물 활용 CO2 고정형 골재 기반 탄소중립 콘크리트 개발	'22~'24	기재부
과제	마이크로파를 활용한 고농도 급속 CO2 양생 기술 연구 및 CO2 다량 고정화 골재 개발	'22~'27	과기부
과제	가온가압공법에 의한 경량 에코 탄산화 건자재 개발	'10~'15	교육부
과제	건설재료의 CO2 통합관리 기술개발	'11~'16	국토부
과제	건설폐기물 및 산업부산물에 액상 촉진탄산화 기술을 적용한 pH 저감형 건설자재 개발	'13~'15	국토부
과제	CO2 양생에 따른 시멘트계 제품의 성능 영향 연구	'13~'14	교육부

- (중복성) 검토 결과, 동 사업은 기존사업/과제와의 중복성 이슈는 없으며 기존 사업과의 연계·협력방안 등을 마련할 수 있는 전략을 확보함에 따라, 신규사업 추진이 적절함
- 동 과제는 기존의 과제들과 다르게 탄산염 소스를 제한하지 아니하며, 원재료를 직접 개발하는 등 차별화가 되고 있음

<표 3-108> 기존 사업과의 중복성 검토 결과

유사사업	분석 결과				중복성 여부
	세부목표	추진체계	지원대상	세부활동	
해당없음	없음	없음	없음	없음	낮음

- (연계방안) 기존 연구결과 및 노하우를 활용하여 LCI DB 구축 연계, 탄산화 기술 연계 등 기존에 추진한 사업/과제의 성과물을 고려한 동 사업 활용 계획을 마련할 예정

3.4.3. 경제적 타당성

1. 비용편익분석의 개념 및 항목

□ 비용편익 분석의 개념

- 경제성 분석은 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고 이를 이용해 비용편익분석(Cost-benefit Analysis)을 이용하여 사업의 타당성을 판단
- 비용편익분석에서 이용되는 기준으로는 순 현재가치(NPV, Net Present Value)/기대 순 현재가치(ENPV, Expected NPV), 편익-비용 비율(B/C ratio) 등 다양한 방법이 있는데 본 분석에서는 비용-편익 비율(B/C ratio)을 이용
- 편익-비용 비율은 편익의 현재가치의 합을 비용의 현재가치의 합으로 나눈 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$\frac{B}{C} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정 기간(일반적으로 현재연도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 현재가치화라고 함
- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 1 이상이면 경제성이 있다고 판단
- 편익/비용 비율은 특정 항목을 편익 또는 비용으로 처리하는가에 따라 값이 달라지는 단점이 있으나, 일반적인 투자심사 기준으로 사용

□ 비용편익분석 항목

- 경제적 타당성 분석의 기본 항목으로는 총 사업비, 총비용, 편익 등으로 구분할 수 있으며, 객관화된 데이터를 기반으로 추정되어야 함
- 비용은 사업기간 내 발생하는 총 사업비에 사업완료 후 발생하는 유지·관리 비용, 장비재투자비 등을 모두 더한 후 장비 및 건물의 잔존가치를 제외하여 산정함
- 편익은 해당 세부기술개발과제로 인해 실질적으로 혜택을 받게 되는 수요(기업, 대국민 등)를 추정하여 편익을 추정함
- 분석된 비용과 편익을 현재가치화시켜 B/C값을 분석하고 B/C값이 1 이상일 경우 사업성이 있는 것으로 판단

2. 본 사업의 비용편익분석

1) 사업의 비용 분석

- 본 사업의 연도별 투자계획을 토대로 총사업비용 190.0억 원을 현재가치화하여, 총 16.641억 원의 비용 투자가 발생할 것으로 추정함
- 동 사업은 3개 구성기술에 대한 상세 사업비용은 총 190.0억 원이며, 사업 종료 후 별도의 운영비 등의 추가 비용 소요가 없는 것으로 가정하여 총사업비를 기준으로 비용을 추정함
- 즉, 경제적 타당성 분석을 위한 본 사업의 총비용은 순수 연구개발 비용만을 고려한 190.0억 원이며, 이를 2024년 현재가치로 환산하면 총 166.41억 원임
- ※ 사회적 할인율 및 기준년도를 적용하여 편익을 현재가치로 환산, 사회적 할인율은 ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.01.)’ 제 33조에 따라 기획재정부의 ‘예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.04)’ 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

<표 3-109> 사업의 비용 추정 결과

(단위: 백만 원)

구분	구성기술	'25	'26	'27	'28	'29	합계
총 비용	중점기술1	1,000	1,500	1,500	1,100	400	5,500
	중점기술2	1,000	2,500	1,500	4,200	1,300	10,500
	중점기술3	-	300	700	800	1,200	3,000
	합계	2,000	4,300	3,700	6,100	2,900	19,000
총 비용의 현재가치 (NPV)	중점기술1	957	1,374	1,314	922	335	4,903
	중점기술2	957	2,289	1,314	3,522	1,090	9,173
	중점기술3		275	613	671	1,006	2,565
	합계	1,914	3,938	3,241	5,115	2,432	16,641

2) 사업의 편익 분석

□ 동 사업의 편익 항목 도출

- 동 사업의 편익 항목은 구성기술 및 주요 산출물로 인해 직접적으로 발생하는 가치창출 편익으로서, “탄소고정 콘크리트의 매출 효과”로 설정
 - 본 사업에서 도출되는 탄소고정 콘크리트 개발업체 등 기술의 수혜자의 상용화를 지원하여 시장 거래를 통한 부가가치 창출이 가능하므로, 이를 본 사업의 편익으로 도출
 - ※ 가치창출 편익은 연구개발사업의 결과로 소비자의 후생을 향상시키거나 사업의 산출물이 시장을 통해 거래됨으로써 새롭게 부가가치를 창출하는 것을 사업의 목적으로 할 때 반영 할 수 있는 편익항목이며, 성과의 수혜 대상에 따라 소비자 중심 편익과 생산자 중심 편익으로 구분함
 - ※ 생산자 중심 편익은 연구개발사업의 효과가 생산자에게 영향을 미치는 경우에 반영되어야 하며, 생산자 중심 편익의 대표적인 추정 방법으로는 사업을 통해 새롭게 개발된 산출물이 상용화되어 시장에서 거래됨으로써 발생하는 부가가치의 증가분을 바탕으로 편익을 추정하는 시장수요접근법이 대표적임
 - 다만, 본 사업의 궁극적 목표는 탄소고정 콘크리트 재료 개발 및 현장적용 사례 확보, 건설기준 제·개정으로 본 사업에서 도출되는 탄소고정 콘크리트에 대한 직접적인 발주제도 개선 등과 같은 직접적인 상용화 지원은 없으며, 기반확보를 통한 성과확산의 기대효과를 편익항목으로 도출함

<표 3-110> 구성기술에 따른 편익 항목 도출 결과

구성기술	편익 항목
(중점기술1) 콘크리트 구성재료의 탄소저장 기술 개발	탄소고정 콘크리트 매출 효과
(중점기술2) CCU 콘크리트 최적화 설계·제조·기공 기술 기술	
(중점기술3) CCU 콘크리트 성능검증 및 실증 기술 개발	

□ 동 사업의 편익 산식 설정을 위한 전제조건

- (편익 산출 방법의 개념) 본 사업의 직접적인 경제적 편익 추정을 위해 KISTEP이 발간한 예비 타당성조사 표준 지침 상에 제시된 R&D 사업의 편익 추정방법인 ‘시장수요접근법’의 개념에 따라 편익 산식을 설정하고, 편익 산출 시 불확실성 등을 반영하기 위해 사업기여율, R&D기여율, R&D 사업화성공률, 부가가치율 등을 적용하여 편익을 추정

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{편익} \\ \hline \end{array}
 =
 \begin{array}{|c|} \hline \text{미래} \\ \hline \end{array}
 \begin{array}{|c|} \hline \text{시장규모} \\ \hline \end{array}
 \times
 \begin{array}{|c|} \hline \text{사업기여율} \\ \hline \end{array}
 \times
 \begin{array}{|c|} \hline \text{R\&D기여율} \\ \hline \end{array}
 \times
 \begin{array}{|c|} \hline \text{사업화성공률} \\ \hline \end{array}
 \times
 \begin{array}{|c|} \hline \text{부가가치율} \\ \hline \end{array}$$

[그림 3-48] 시장수요접근법 개념의 편익 수식화

- (미래 시장규모) 해당 연구개발사업의 결과와 직접적으로 관련된 국내 산업/제품의 미래 총생산액 (매출액)을 의미하나, 편익 추정을 위해 활용되는 미래 시장규모는 전체 시장이 아닌 기준선 분석 및 시장점유율의 적용을 통해 도출된 조사 대상사업과 직접적으로 관련된 시장규모만을 의미
- (사업기여율) 새롭게 창출되는 미래 시장이나 매출액의 증가분을 바탕으로 추정되는 연구개발사업의 편익 중 조사 대상 연구개발사업에 의해 창출되는 편익만을 계산하기 위해 적용하는 변수
- (R&D기여율) 연구개발 성과의 상업화를 통한 부가가치가 창출되었을 때, 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분을 나타내는 지표

- (사업화성공률) 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해 필요한 실증 및 상용화 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 고려하는 변수
- (부가가치율) 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 한 편익 추정을 위해 적용하는 변수
- (편익 산출을 위한 기타 변수) 사회적 할인율, 편익회임기간, 기준년도, 편익발생기간 등을 고려하여 최종 편익 산출
 - (사회적 할인율) 미래의 어느 시점 또는 여러 시점에 걸쳐 발생하는 편익을 현재가치로 환산하기 위해 적용하는 할인율
 - (편익회임기간) 연구개발사업에 대한 투자가 이루어진 후, 경제적인 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 의미
 - (기준년도) 편익 산출에 기준이 되는 연도
 - (편익발생기간) 해당 사업을 수행함으로써 편익이 발생할 것으로 기대할 수 있는 기간

□ 동 사업의 편익 정의 및 산식

- (편익 정의) 시장수요접근법에 기반하여 동 사업을 통해 발생할 수 있는 경제적 편익은 개발된 탄소고정 콘크리트의 상용화를 통한 판매 매출 예상규모로 정의
- (편익 산식 도출) 편익 추정 산식은 수혜자인 탄소고정 콘크리트 활용 설계 및 시공업체가 참여하여 확보되는 국내 부가가치창출을 고려하여 ‘탄소고정 콘크리트 매출 예상규모’를 편익으로 추정하고, ‘사업기여율, R&D기여율, R&D 사업화성공률, 부가가치율’을 적용하여 최종 편익 규모를 도출하도록 함

<표 3-111> 동 사업의 편익 정의 및 산식

편익 항목	편익 정의 및 산식	직접적 편익 여부	해당 구성기술
탄소고정 콘크리트 기술의 매출 효과	(정의) 본 사업에서 개발한 탄소고정 콘크리트 기술을 상용화하여 내수용으로 판매될 경우 발생하는 매출 편익	○	1, 2, 3
	(산식) 탄소고정 콘크리트의 매출 예상규모(미래시장규모) x 사업기여율 x R&D기여율 x 사업화성공률 x 부가가치율		

- (탄소고정 콘크리트의 매출 예상규모) 2가지 가정에 따라 국내 레미콘 시장의 미래 국내수요를 예측하여 매출 예상규모를 산출하고, 이를 미래시장규모로 추정
 - (가정1: 레미콘 시장 성장률) 우리나라 건축 및 인프라 공급이 증가하면서 미래 수요는 줄어들고 있는 실정으로, 현재 레미콘 시장은 1.8% 증가하고 있으나 향후 감소할 것으로 예상. 이에 따라 탄소고정 콘크리트의 일반 레미콘 대체율을 절반 수준인 1%로 가정
 - ※ 13년 전국 주택보급률은 103%에서 '22년 102%로 최근 10년간 비슷한 수준이며, 수도권을 제외한 지방은 107.5%로 과다 보급되고 있는 실정
 - (가정2: 탄소중립 정책기조에 점유율 증가) 가정1과 동일하게 국내 레미콘 시장의 미래 시장 규모를 예측하고, 탄소중립 정책 기조에 따라 탄소고정 콘크리트의 사용이 활발해지면서 점유율이 2%로 상승하는 것으로 가정
- (사업기여율) 탄소고정 콘크리트 제조·활용 기술개발을 위해 추진 중인 유일한 R&D 사업으로 편익 창출을 위한 상용화 추진에 필수적이거나, 친환경 콘크리트 관련 타 국가 R&D 과제를 고려하여 본 사업의 기여율은 33.3%로 설정
 - 탄소고정 콘크리트 관련 국가연구개발사업 및 과제의 정부지원금 중 본 사업의 정부지원금이 차지하는 비중인 33.3%를 적용

<표 3-112> 본 사업의 기여율 산출 결과

사업/과제명		정부지원금(억원)
유관 과제	초기 탄산화 양생된 콘크리트의 사용연한 및 이산화 탄소 포집효율: 생산-시공-운영과정을 고려한 실험적 및 이론적 평가	0.96
	알칼리 회복 및 잠재 수화 촉진을 활용한 이산화탄소 포집 콘크리트의 개발	2.93
	탄소중립 실현을 위한 친환경 CO2 흡수 콘크리트 개발	2.52
	CO2 순배출량 Zero(Net-Zero) 콘크리트 개발 및 DFT-열역학-기계학습 시뮬레이션 기반 해석적 기술 검증	3.70
	탄소저감 콘크리트의 성능 및 시방기준 비교 연구	0.2
	이산화탄소를 유효 이용한 콘크리트 순환 잔골재의 환경 배려형 차세대 자원순환 시스템	1.93
	탄소고정 건설재료 및 구조시스템 연구실	8.75
	고분자 흡수체를 활용한 이산화탄소 반응형 다기능 다공성 시멘트 복합재료 개발	2.06
	CO2포집 케미컬을 이용한 내부 CO2 경화형 무기결합재 기반 인공골재 개발	1.23
	탄산화 저항성이 극대화된 이산화탄소 지중저장용 인산염계 혼입 포틀랜드 시멘트 개발	1.50
	건설용 2차제품 제조를 위한 5m3/batch급 이산화탄소 반응경화 양생시스템 개발	37.94
	친환경 Carbon Eating Concrete(CEC) 제조 및 활용 기술 개발	10.0
	건설소재 제품화 및 활용성 실증(저품위 탄산칼슘)	32.1
	1,000t/y급 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조 및 응용기술 개발	55.6
	경소 마그네시아 활성화 및 탄산화율 촉진조건에 따른 반응성 평가	3.0
	이산화탄소 반응경화 시멘트 및 건설용 2차제품 제조기술 개발	76.09
	발전 배출가스 직접반응을 통한 CO2 포집 및 대량활용 저장기술 개발	96.58
	3D 제어 섬유보강재를 활용한 탄소고정형 초고연성 시멘트계 복합재료의 연구와 이를 적용한 지속 가능한 성능기반 건설 기술 개발	9.43
	시멘트 산업 발생 CO2 활용 in-situ 탄산화 기술 개발	14.27
	마이크로파를 활용한 고농도 급속 CO2 양생 기술 연구 및 CO2 다량 고정화 인공골재 개발	2.46
	시멘트 소성로 염소 바이패스 분진의 안정적 활용기술 개발	17.81
본 사업	탄소고정 콘크리트 기술개발	190(B)
본사업의 기여율		33.3% (B/A×100)

- (R&D기여율) 연구개발성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도인지를 나타내는 지표로서, 동 사업에서는 '제4차 과학기술 기본계획'에서 제시한 40.2%를 적용

- **(R&D사업화성공률)** 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화의 과정을 거치게 되는데, 이러한 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 R&D 사업화성공률 42.9%를 적용
 - 한국산업기술평가관리원 국정감사(2021) 자료를 바탕으로 최근 5년간('17~'21.9) R&D 사업화 성공률인 42.9%를 적용
- **(부가가치율)** 편익은 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 추정되기 때문에 부가가치율을 적용해야하며, 한국은행에서 발간한 「2021년 산업연관표(2022년)」의 건설산업 부가가치율을 인용하여, 35.2%로 적용
- **(편익 산출 시 고려사항)** 편익회임기간, 편익발생기간, 기준년도를 설정하여 편익을 산출하고, 최종편익의 현재가치화 시 사회적 할인율을 적용
 - **(회임기간 설정)** 응용 및 개발단계의 연구개발사업의 경우 평균적으로 회임기간을 3년으로 설정하나, 본 사업의 경우 탄소고정 콘크리트를 국내 건설사업에 적용하는 것을 주요 목적으로 하여 사업 완료 후 비교적 짧은 기간 내 실제 현장적용이 가능함을 고려하여 2년으로 설정
 - **(편익발생 기간 설정)** 본 사업을 통한 편익기간은 탄소고정 콘크리트는 회임기간을 걸쳐 현장적용되며, 향후 10년간 활용된 후 쇠퇴기에 접어들어 새로운 기술로 대체될 것으로 가정하여 설정
 - ※ 건설분야는 일반적으로 건설사업이 장기적이고 일회성이라서 다른 분야 기술에 비해 기술수명주기가 길다고 평가되며, 교량/터널 분야 기술은 평균적으로 수명주기가 8~10년정도로 측정
 - **(기준년도)** 사업 착수 예상년도('25)의 전년도인 2024년을 적용
 - **(사회적 할인율)** 총 편익의 현재가치화 시, '국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침('19.01.)' 제 33조에 따라 기획재정부의 '예비타당성조사 수행 총괄지침('19.04)' 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

<표 3-113> 동 사업의 편익산정 기준 및 지표

구분	기준	추정근거
사업기여율	33.3%	탄소고정 콘크리트 관련 국가연구개발사업 및 과제의 정부연구비 중 본 사업이 차지하는 정부연구비 비중인 33.3%를 적용
R&D 기여율	40.2%	'제4차 과학기술기본계획'에서 제시한 R&D 기여율을 40.2%로 적용
사업화 성공률	42.9%	최근 5년간('17~'21.9) R&D 사업화 성공률인 42.9%를 적용
부가가치율	35.2%	「2021년 산업연관표(2022년)」의 건설산업 부가가치율을 인용하여, 35.2%로 적용
회임기간	2년	응용 및 개발단계의 연구개발사업의 회임기간은 평균적으로 3년이나, 관련 규정 제·개정으로 조기 실용화될 수 있음을 고려하여 2년으로 적용
편익발생 기간	10년	사업종료 후 회임기간 이후 최초 편익이 발생하며, 기술수명주기를 고려하여 총 10년으로 설정
기준년도	2024년	사업 착수 예상년도('25)의 전년도로 설정
사회적 할인율	4.5%	편익의 현재가치화를 위해, '예비타당성조사 수행 총괄지침('19.04)' 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

3) 사업의 비용편익 분석 결과

□ 탄소고정 콘크리트의 매출 효과

- (매출 예상규모 추정) 2가지 가정에 따라 미래 탄소고정 콘크리트의 연도별 예상 매출 규모를 추정
 - (가정 1) 국내 레미콘 시장은 '19년 9조 6천억원에서 '24년 10조 5천억으로 연평균 1.8% 성장한 것으로 추정되며, 향후 '30년까지 연평균 1.8%, 이후 건설시장의 축소 등으로 0.5% 성장할 것으로 예상. 탄소고정 콘크리트도 전체 레미콘의 매년 약 1%를 대체할 것으로 가정
 - (가정 2) 동일한 아스콘 시장에서 탄소중립 정책 기조에 의해 탄소고정 콘크리트의 레미콘 대체율이 증가한다고 가정하여 전체 레미콘의 약 2%(1→2%)를 대체하는 것으로 가정

<표 3-114> 탄소고정 콘크리트 시장 규모

연도	탄소고정 콘크리트의 매출 효과					
	(가정 1)			(가정 2)		
	국내 레미콘 시장 규모 (억 원)	레미콘 대체율	예상 매출 (억 원)	국내 레미콘 시장 규모	레미콘 대체율	예상 매출 (억 원)
2032	118,522	1%	1,185	118,522	1%	1,185
2033	119,115	1%	1,191	119,115	1%	1,191
2034	119,710	1%	1,197	119,710	1%	1,197
2035	120,309	1%	1,203	120,309	2%	2,406
2036	120,910	1%	1,209	120,910	2%	2,418
2037	121,515	1%	1,215	121,515	2%	2,430
2038	122,122	1%	1,221	122,122	2%	2,442
2039	122,733	1%	1,227	122,733	2%	2,455
2040	123,347	1%	1,233	123,347	2%	2,467
2041	123,963	1%	1,240	123,963	2%	2,479
합 계	1,212,246	-	12,121	1,212,246	-	20,670

- (가정1: 편익 추정) 탄소고정 콘크리트의 매출 예상규모 추정값에 분석 지표인 부가가치율, R&D 기여율, 사업화 성공률, 부가가치율, 사업기여율을 적용하여 편익을 추정한 결과, 총 편익 규모는 245.05억 원이고 이를 현재가치로 환산하면 142.23억 원으로 추정

<표 3-115> (가정1) 편익 분석결과

(단위 : 억 원)

연도	매출 예상규모	R&D 기여율 (%)	사업화성공률 (%)	부가가치율 (%)	사업기여율 (%)	편익	현재가치
2032	1,185	56.2	42.9	35.2	33.3%	23.96	16.85
2033	1,191	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.08	16.20
2034	1,197	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.20	15.58
2035	1,203	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.32	14.99
2036	1,209	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.44	14.41
2037	1,215	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.56	13.86
2038	1,221	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.69	13.33
2039	1,227	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.81	12.82
2040	1,233	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.93	12.33
2041	1,240	56.2	42.9	35.2	33.3%	25.06	11.86
합 계	12,121	-	-	-	-	245.05	142.23

- (가정2: 편익 추정) 탄소고정 콘크리트의 매출 예상규모 추정값에 분석 지표인 부가가치율,

R&D 기여율, 사업화 성공률, 부가가치율, 사업기여율을 적용하여 편익을 추정한 결과, 총 편익 규모는 417.87억 원이고 이를 현재가치로 환산하면 235.81억 원으로 추정

<표 3-116> (가정2) 편익 분석결과

(단위 : 억 원)

연도	매출 예상규모	R&D 기여율 (%)	사업화성공률 (%)	부가가치율 (%)	사업기여율 (%)	편익	현재가치
2032	1,185	56.2	42.9	35.2	33.3%	23.96	16.85
2033	1,191	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.08	16.20
2034	1,197	56.2	42.9	35.2	33.3%	24.20	15.58
2035	2,406	56.2	42.9	35.2	33.3%	48.64	29.97
2036	2,418	56.2	42.9	35.2	33.3%	48.88	28.82
2037	2,430	56.2	42.9	35.2	33.3%	49.13	27.72
2038	2,442	56.2	42.9	35.2	33.3%	49.37	26.66
2039	2,455	56.2	42.9	35.2	33.3%	49.62	25.64
2040	2,467	56.2	42.9	35.2	33.3%	49.87	24.66
2041	2,479	56.2	42.9	35.2	33.3%	50.12	23.71
합 계	20,670	-	-	-	-	417.87	235.81

4) 경제성(B/C) 분석 결과

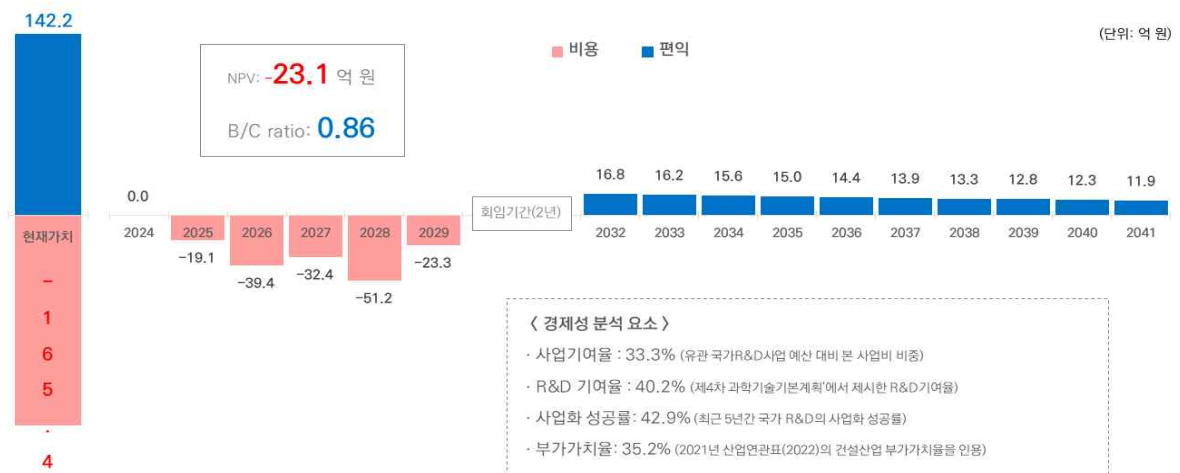
○ 동 사업의 비용 투입 대비 탄소고정 콘크리트 매출 효과(편익)에 대한 분석을 수행한 결과, **B/C Ratio 0.86~1.43로 경제적 타당성을 확보**

- 총사업비를 기준으로 수행한 비용분석 결과 총 190.0억 원의 비용이 투입되며, 이를 현재가치화하면 165.36억 원으로 산정

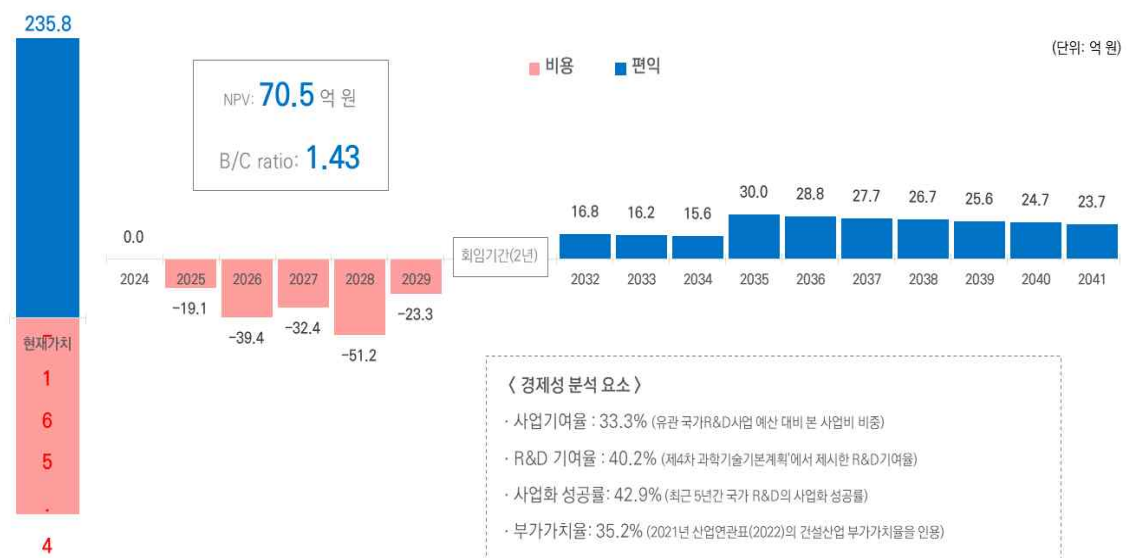
- 편익항목에 대한 총 편익은 445.05/417.87억 원이며, 이를 현재가치로 환산하면 142.23/235.81억 원

<표 3-117> 본 사업의 비용편익 분석(B/C Ratio) 결과

구분	(가정1) 산출 결과	(가정2) 산출 결과
비용(NPV)	165.36억 원	165.36억 원
편익(NPV)	142.23억 원	235.81억 원
B/C Ratio	0.86	1.43



[그림 3-49] (가정 1)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과



[그림 3-50] (가정 2)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

3.4.1 정책적 타당성

1. 관련 법령 부합성

□ 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법

- 동 법령은 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 강화하고 녹색기술과 녹색산업의 육성·촉진·활성화를 통하여 경제와 환경의 조화로운 발전을 도모함으로써, 현재 세대와 미래 세대의 삶의 질을 높이고 생태계와 기후체계를 보호하며 국제사회의 지속가능발전에 이바지하는 것을 목적으로 제정

– 동 법 제2조 「정의」에서 탄소중립의 정의를 규정

- 동 법령에 따라 국가는 탄소중립과 관련하여 법령 개선, 재정투자, 시설 및 시스템 구축 등 제반 여건 마련 필요

제5조(국가 등의 책무) ① 국가와 지방자치단체는 경제·사회·교육·문화 등 모든 부문에 제3조에 따른 기본원칙이 반영될 수 있도록 노력하여야 하며, 관계 법령 개선과 재정투자, 시설 및 시스템 구축 등 제반 여건을 마련하여야 한다.

□ 건설기술 진흥법

- 건설기술 진흥법은 건설기술의 연구·개발을 촉진하여 건설기술 수준을 향상시키고 이를 바탕으로 관련 산업을 진흥하여 건설공사가 적정하게 시행되도록 함과 아울러 건설공사의 품질을 높이고 안전을 확보함으로써 공공복리의 증진과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 제정

- 동 사업에서 개발하는 무시멘트 콘크리트 기술은 건설기술로 법령의 제정 목적과 부합

제7조(건설기술 연구·개발 사업) ① 국토교통부장관은 건설기술을 향상시키고 기본계획을 효율적으로 추진하기 위하여 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 건설기술 발전에 필요한 건설기술 연구·개발 사업을 할 수 있다.

② 제1항에 따른 건설기술 연구·개발 사업에 필요한 경비는 정부 또는 정부 외의 자의 출연금이나 그 밖에 기업의 기술개발비로 충당한다.

③ 제1항에 따른 협약의 체결방법과 제2항에 따른 출연금의 지급·사용 및 관리에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

□ 국토교통과학기술 육성법

- 국토교통과학기술 육성법은 국토교통과학기술 육성을 위한 기반을 조성하여 산업의 경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 지속적인 발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 제정된 법으로 동 사업과 부합성이 높음

– 동 법 제2조에서 규정한 국토교통과학기술은 미래 성장동력 창출 및 국민의 삶의 질 향상을 위하여 필요한 국토교통분야 산업의 발전에 관한 과학기술을 의미

- 건설기술진흥법, 건설산업기본법, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 해외건설 촉진법, 건축기본법 등 다양한 건설 관련 법률에 있는 개념들을 포함하고 있음
- 동 사업은 건설재료와 관련된 기술로 이는 국토교통과학기술에 해당

제8조(연구개발사업의 추진)

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

2. 상위 계획과의 부합성

□ 상위계획과의 부합성 검토 방법

- **(의미)** 상위계획과의 부합성은 정책적 일관성 검토를 통해 동 사업이 국가정책의 실현을 위한 정책적 부합성을 검토 및 평가*
 - ※ 상위계획과의 부합성은 주관부처의 유관 연구개발정책의 일관성 및 쟁점이 되는 여러 정부부처의 기능적 경쟁 및 임무영역 등의 검토를 통해 의미를 도출 (KISTEP, 2020. 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침)
- **(방법)** 범국가적으로 수립 및 추진되고 있는 건설 분야의 국가 주요 정책 및 계획과 주관부처 (국토부)의 중장기 계획의 주요 내용을 본 사업의 목적, 목표, 내용과 비교·분석하여 종합적으로 상위계획과의 부합성을 검토
- **(검토 대상)** 정부 국정과제 및 주요 정책, 연구개발부문의 최상위 계획 및 부처별 상위 계획 등

□ 상위계획과의 부합성 검토 결과

- 본 기획 사업은 국토의 입체적 활용을 목표로 하는 정부 정책, 상위계획 등에서 제시한 정책 목표, 추진과제와 부합하며, 정부 정책을 효과적으로 달성할 수 있는 수단으로 판단됨

<표 3-118> 상위계획과의 부합성 검토 결과

구분	계획명	부합성		
		낮음	보통	높음
상위 정책 및 관련 계획	윤석열 정부 120대 국정과제			√
	2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준			√
환경분야 정책 계획	탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획		√	
	국가 탄소중립·녹색성장 전략(안)			√
건설 분야 정책 계획	제2차 국토교통과학기술 연구개발종합계획			√
	제7차 건설기술진흥기본계획			√
	제2차 국가도로망종합계획			√

구분	정책 및 계획명	기획사업 부합성 검토내용
상위 정책	윤석열 정부 120대 국정과제	• (약속5) 핵심전략산업 육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다. - (국정과제23) “제조업 등 주력산업 고도화로 일자리 창출 기반 마련”의 저탄소 시대를 선도하는 제조업의 그린전환을 가속화
	2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준	• (목표) 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장동력화 - (저탄소생태계) 산업, 수송, 건물 부문별 탄소저감 및 에너지 수요 효율화
환경 정책	탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획	• (목표) 산업 부문의 온실가스 감축 - 탄소중립 달성을 위한 한계돌파형 기술의 신속한 상용화
	국가 탄소중립·녹색성장 전략(안)	• 전략 내 “한국형 탄소중립 100대 핵심기술 발굴·육성” - 17대 분야 내 석유화학을 포함, ‘바이오매스 유래원료 생산 수율 확보’ 제시
건설 정책	제2차 국토교통과학기술 연구개발종합계획	• (추진전략3) 지속가능한 국토교통 기반시설 고도화 - (추진과제) 스마트 디지털 건설 - 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료 확보
	제7차 건설기술진흥 기본계획	• (추진방향5) 핵심기술 개발 등 건설산업 고도화 - (추진과제) 미래 수요에 대응한 기술 개발 및 상용화 지원 - 기후변화에 대응한 R&D 추진 및 기준 정비에 부합
	제2차 국가도로망 종합계획	• 정책과제 :사람중심 포용적 교통서비스 제공“ - 친환경 소재 및 고내구성 저소음 포장재료 개발, 도로변 오염물질 흡착 및 자가분해 기술 개발 등 추진

- **국정목표2 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제에서는 제조업 등에 대한 그린전환 가속화를 명시**
- 국정목표2의 [약속5] “핵심전략산업육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다”에서는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장 동력화를 명시
- 제조업 등의 그린 전환을 가속화를 위해 R&D 사업을 신설하고 지원을 강화하도록 명시
- **2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준에서는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장동력화를 목표**
- 과기부 「2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준」에서는 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장동력화를 위해 저탄소 생태계를 조성할 계획
- 건설·교통 분야의 산업, 수송, 건물 부문별 탄소저감 및 에너지 수요 효율화에는 저탄소 건설재료의 내용을 포함하고 있어서 이에 부합
- **탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획에서는 산업부문의 탄소중립을 위하여 탄소중립 실현 핵심기술 확보를 명시**
- 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획에서는 탄소중립 실현 핵심기술 확보 과제 내에 탄소중립 달성을 위한 한계돌파형 기술의 신속한 상용화를 명시

- 국가 탄소중립·녹색성장 전략 내 ‘한국형 100대 핵심기술’에서 17대 분야 내 석유화학 포함
 - 석유화학 분야의 목표로 바이오매스 유래원료 생산 수율 확보를 통한 원료 대체를 제시
- 국토교통과학기술연구개발 종합계획의 “지속가능한 국토교통 기반시설 고도화”에서는 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료 확보를 명시
 - 지속가능한 국토교통 기반시설 고도화 전략 내의 “스마트 디지털 건설”에서는 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료 확보를 목표
 - 무시멘트 콘크리트는 탄소배출 저감재료 건설재료로 이에 부합
- 제6차 건설기술진흥 기본계획에서는 기후변화에 대응한 R&D 추진 및 기준 정비를 추진
 - 탄소중립을 위한 세부과제로 “기후변화에 대응한 R&D 추진 및 기준 정비”를 제시하고 있으며, 이를 달성하기 위해,) 저탄소 건설재료, 시공 중 온실가스 감축을 위한 급속시공 및 폐기물 처리 시 온실가스 흡수 등 기술 개발 제시
 - 특히 탄소중립 초고성능 콘크리트, 콘크리트 급열양생 공법 및 순환골재 탄산화 기술 등 콘크리트 관련 기술을 강조
- 제2차 국가도로망종합계획(’21~’30)에서 도로의 포장·재포장, 관련 기술 및 재료 개발 등을 추진
 - 친환경 소재 및 고내구성 저소음 포장재료 개발, 도로포장의 예방적·선제적 유지관리 체계 구축 등의 내용을 명시

3. 사업추진체계의 적절성

- 본 연구의 수행은 기본적으로 주관 및 공동 연구로 컨소시엄을 구성, 각 세부과제별로 민간업체를 포함한 산·학·연 협동 연구체계로 추진함으로써 사업의 효율성·효과성을 극대화할 수 있는 추진체계로 설계함
- 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발 및 적용을 위해서는 실증이 필수적이므로 실증과 실제 현장 적용성 확보를 위해 민간 직접 참여가 필수적이며, 이에 따라 동 연구의 수행은 민간기관들과 협동 연구체계로 추진하는 것이 적합하다고 판단



[그림 3-51] 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공기술 개발 추진체계

- 본 사업은 1세부과제가 총괄과제의 역할을 담당하며, 사업의 원활한 추진이 이루어질 수 있도록 연구개발 일정 관리, 진도 및 성과 점검·관리, 각 세부과제의 연구내용 검토 및 방향 논의 등을 실시
- 각 세부과제는 연구범위 및 방향을 세부 과제 간 상호 조율하고, 그에 따른 지속적인 연구개발 및 성과도출에 대해 공유하도록 함
- ※ 다만, 총괄과제는 세부과제의 연구비 조정은 불가

4. 사업 추진상의 위험요인 및 대응방안

1) 재원조달 가능성

- 동 사업 추진 시 정부 및 민간에서의 재원조달 규모, 시점 등을 적시에 투입 가능한지 점검하고, 향후 발생 가능한 재원조달 상의 위험요인을 점검
- **(정부 재원조달 가능성)** 우리나라 정부 R&D 및 국토교통R&D, 교통·물류 분야 R&D 예산은 꾸준히 증가하는 추세에 있으며, 유관 정책계획에 따른 교통·물류 분야의 R&D 투자 강화 계획에 따라 본 사업 추진을 위한 신규 R&D 예산 확보에 대한 위험요인은 없음
- (국토교통 R&D 및 교통물류 분야 R&D 예산 현황) '23년 국토교통 R&D 예산은 6,149억 원으로 최근 5년간 연평균 6.27%로 지속적으로 확대 중이며, 이 중 교통·물류분야가 차지하는 비중도 증가

<표 3-120> 최근 5년간 국토교통R&D 예산 운용 추이

(단위: 억 원, %)

구분	'20	'21	'22	'23	'24	연평균 증가율
① 국토부 R&D 예산	5,247	6,031	6,331	6,149	4,592	-3.3%
② 국토분야 R&D 예산	2,371	2,188	1,790	1,631	1,089	-17.7%
비중 (②÷①)	45.2%	36.3%	28.3%	26.5%	23.7%	-

- (국토교통 R&D 및 교통 물류 분야 R&D 예산 전망) 사업 착수시점인 '24년 이후의 예산을 연평균 증가율을 활용하여 추정 시, 동 사업에 소요되는 연차별 평균 예산(약 67.5억 원)을 크게 상회하여, 동 사업 추진을 위한 재원조달 위험성은 다소 있으나, '24년 R&D 예산의 삭감이 일시적인 조치*임을 감안하면 재원조달은 가능할 것으로 기대

* 윤석열 대통령은 '24년 과학기술인·정보방송통신인 신년 인사회에 참여하여 임기 중 예산 대폭 확대를 약속

<표 3-121> 향후 5년간 국토교통R&D 예산 운용 추이

(단위: 억 원, %)

구분	'25	'26	'27	'28	'29	연평균 증가율
① 국토부 R&D 예산	4,441	4,296	4,155	4,019	3,887	-3.3%
② 국토분야 R&D 예산	897	738	608	500	412	-17.7%
비중 (②÷①)	45.2	45.2	45.2	45.2	45.2	-

- **(민간 재원조달 가능성)** 동 사업은 국내 건설분야 대학, 연구소, 중소기업 중심의 컨소시엄으로 연구가 추진되는 특성상 정부 출연금의 33%수준을 민간부담금으로 책정하였으며, 이의 규모는 참여기관이 대응할 수 있는 수준으로 판단함
- 2020년 국가연구개발 활동 조사에 따르면 건설업 관련 분야의 민간 R&D 비용은 총 5,864.7 억 원으로 동 사업의 민간부담금은 이의 1.4% 수준으로 재원조달이 가능할 것으로 판단

<표 3-122> 동 사업의 예산 소요

(단위: 억 원, %)

구분	'25	'26	'27	'28	합계
① 총 예산	33	84	92	69	278
② 민간부담금	9.9	25.2	27.6	20.7	83.4
③ 건설업 분야 민간 연구개발비	5,864.7				

2) 법·제도적 위험요인

- (사업 기획/추진 관련 법·제도 측면) 국가연구개발사업으로서의 본 사업의 기획/추진/관리에 대한 법적·제도적 위험요인은 없음
 - 동 사업은 과학기술기본법 및 그 하위 법령 체계에 따른 국가연구개발사업의 기획의 건으로 ‘국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정’ 등 관련 법령 및 지침에 준거하여 사업의 기획 및 공고절차, 과제평가 및 선정 등의 절차를 설계하였음

5. 정부지원의 필요성

□ 자원고갈로 인한 재료 부족

- 도로공사에 필요한 골재는 증가하고 있으나 환경 보전 등의 문제로 골재 수급이 어려워 기존 골재를 재활용할 수 있는 기술 개발이 시급

□ 기술 적용을 위한 제도 마련 필요

- 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용을 위한 시공 장비의 국내 도입을 위한 여건 및 현장 적용을 위한 제도가 부재
 - 유럽 및 미국에서 사용하는 장비는 차량 하중 등 국내 도로환경 및 도로포장 시공 환경에 부적합
- 탄소중립은 국가적 시책으로 정부가 적극적으로 민간을 지원하여 달성해야 할 필요가 있음
 - 탄소중립은 전세계적인 흐름이자 국가의 책무로, 민간에서 탄소중립을 이행할 수 있도록 적극적으로 지원이 필요

3.4.2 과학기술적 타당성

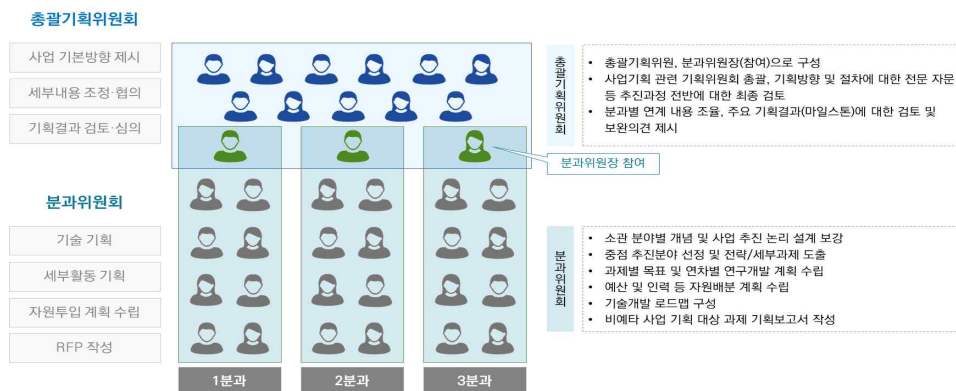
□ 사업 기획 과정의 적절성

- (체계적 조사·분석을 통한 사업 기획 과정) 대내외 환경분석 및 사업 추진여건 분석 등을 통해 해결하고자 하는 핵심 문제/이슈를 도출하였으며, 이를 해결하기 위한 사업 기본방향에 부합하는 목표체계 및 추진전략을 도출하였으므로 기획과정이 적절함

Step I	대내외 환경 분석	• 국내외 정책동향/시장산업 동향/기술동향 조사·분석 • 이해관계자 의견 수렴
Step II	사업 추진여건 분석	• 기술수준 분석 및 역량 진단 • 관련 인프라 현황 분석
Step III	핵심 문제/이슈 도출	• Step I ~ II 단계를 통해 동 사업에서 해결하고자 하는 문제/이슈(필요성)를 도출
Step IV	사업 추진전략 수립	• 기본방향 도출 • 사업추진논리 구성 • 사업의 목표체계 도출 • 사업 구성 및 세부과제별 상세활동 계획
Step V	사업 운영계획 수립	• 사업추진체계 • 사업 운영·관리체계(평가, 성과관리 포함) • 예산 및 인력 투입계획

[그림 3-52] 동 사업의 기획과정

- (기획 전반에 걸쳐 기획위원회 구성·운영) 사업 개념 및 범위, 사업추진논리, 핵심 문제/이슈, 사업 추진전략, 사업추진체계 등의 기획 과정 전반에 전문성 있는 다양한 전문가가 참여함으로써 기획과정과 내용의 객관성 및 신뢰성을 확보
- (체계성) 기획위원회의 기능 및 역할을 정의하고 이에 따라 총괄기획위원회와 분과위원회로 구분하였으며, 기획위원회 구성·운영계획에 따라 체계적으로 사업 기획 및 세부활동 기획을 실시
 - (총괄기획위원회) 기획 연구의 추진방법 및 방향에 대한 검토, 사업 기본방향 및 개념 등 주요 산출물에 대한 심의·자문을 목적으로 총 3회 내외로 소집·운영
 - (분과위원회) 사업구성 및 중점추진분야 선정 결과에 따라 세부 분야별 기술 및 세부활동 상세계획, 자원 투입 계획 수립 등을 위한 분과위 구성 및 운영



[그림 3-53] 동 사업의 기획위원회 기능 및 역할 정의

<표 3-123> 기획연구를 위한 위원회별 역할 및 운영 원칙

회의체	역할	운영
총괄 기획위원회	• 기획연구 추진방법 및 방향 검토 • 사업 기본방향 및 개념 검토 및 자문	• 총 2~3회 대면회의 수행 (대면회의 불가 시 비대면회의 및 서면회의로 진행 가능) • 각 분과별 위원장이 반드시 참석 • 재직인원의 2/3 이상 참여 가능한 일시에 추진
분과별 기획위원회	• 세부분야별 동향조사 분석, 연구개발 목표체계 수립 • 세부활동 상세 기획 • 자원 투입 계획 수립	• 총 2~3회 대면회의, 서면 작업 수행 • 분과위는 실질적인 원고 작성이 주된 임무로 가능한 서면 검토, 비대면 회의 진행

- **(전문성)** 기획위원회는 건설재료, 설계, 시공 등 분야의 전문가로 분야의 흐름을 파악하고 변화를 예측할 수 있는 식견이 충분한 전문가들로 구성
- **(포괄성)** 동 사업이 정의한 사업 개념 및 범위를 포괄할 수 있는 전문가로 구성함으로써 최대한 전문성이 결여되는 분야가 존재하지 않도록 함
 - **(총괄기획위원회)** 기획 분야에 대한 전체적인 관점에서의 기획 및 R&D 방향, 사업구성 등 총괄적인 자문이 가능한 시니어급* 전문가 중심으로 구성
 - ※ 유관 경력 15년 이상, 건설재료, 설계, 시공 개발 경험자 우선 섭외
 - **(분과위원회)** 세부분야별 기술 전문성을 갖추고, 동향조사, 목표체계 설계, 세부적인 연구개발 계획 수립이 가능한 실무 전문가 중심으로 구성
 - ※ 유관 경력 15년 미만, 건설재료, 설계, 시공 개발 실무자 우선 섭외
- **(균형성)** 기획위원회 전문가는 소속기관, 기술분야 등의 측면에서 균형있게 구성하여 소수의 이해관계자에 집중된 방향이 아닌 국가 차원에서 필요한 사항을 기획하고자 함
 - **(소속기관)** 동 사업의 기획에 참여한 전문가 풀은 산·학·연이 모두 포함되도록 구성
 - ※ (총괄위원) 총 10인 중 관 1인, 산 4인, 학 2인, 연 3인, 기타 3인으로 구성
 - ※ (분과위원) 총 5명 중 산 2명, 학 1명, 연 2명으로 구성
 - **(기술분야)** 동 사업 기획에 참여한 전문가들의 세부전공 및 담당 분야를 고려하여, 동 사업의 세부활동(건설재료, 설계, 시공 등)과 관련한 분야의 전문가들로 균형있게 구성함
- **(기술 수요를 참고한 세부활동 기획)** 탄소저감형 도로포장 기획을 뒷받침하고 기술개발 수요 파악을 통한 세부활동을 기획하기 위해, 산·학·연 전문가를 대상으로 기술개발 수요를 파악함
 - 관련 산·학·연·관 전문가에게 탄소저감형 도로포장에 대한 미충족수요 등 의견 수렴
 - ※ 건설협회, 현대건설, 코비코리아, 환경기술원, DM엔지니어링, 명지대, 삼성물산, UNIST 등 다양한 산학연 전문가들의 의견 수렴 실시
- **(사업 범위 설정의 적합성)** 현재 탄소저감형 도로포장 기술에 대한 이슈를 도출하고 그 이슈를 해결하기 위한 기술들을 사업 범위로 설정하여 적합성을 확보
 - (국가차원의 문제/이슈도출) 동향분석을 통하여 국가차원의 문제/이슈를 도출
 - 다수의 정책에서 탄소중립 이행을 목표로 하고 있는 것을 확인
 - 전세계적인 흐름인 탄소국경세 등을 고려했을 때 건설산업의 국제경쟁력을 위해서는 탄소배출량 저감이 시급
 - 기존의 가열식 도로포장은 1km 시공시 전공정에서 456톤의 탄소를 배출하는 다배출산업이나, 특별한 대안이 부족해 이에 대한 대책 마련이 시급
 - (사업차원에서 해결해야할 문제/이슈를 도출) 앞서 도출한 문제/이슈 중 사업차원에서 해결해야할 문제와 이슈를 도출
 - 아스팔트 가열 과정에서의 탄소배출량 저감을 위해 상온아스팔트 기술이 필요하나 강도 등의 문제로 적용이 제한적
 - 시멘트와 특성이 대체재료로 건설을 하는 만큼 이에 대한 설계 안정성 및 사용성, 내구

성 확보 필요

- 개발된 시멘트를 실용화하기 위한 방안이 필요
- 탄소배출량이 높은 기존 포장재 대체를 위한 연구가 다수 추진되었으나 도로에 적용하기에는 성능이 부족한 실정
- 노후도로가 증가하여 도로 보수 수요가 증가하고 있어 기존 도로포장재를 재활용할 수 있는 친환경 기술 개발이 필요
- (세부활동 수준의 문제/이슈도출) 사업차원에서 해결해야할 문제와 이슈에서 이를 해결할 수 있는 기술을 도출하여 사업의 범위로 설정
 - Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술 개발
 - 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술
 - 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발

□ 사업목표의 적절성

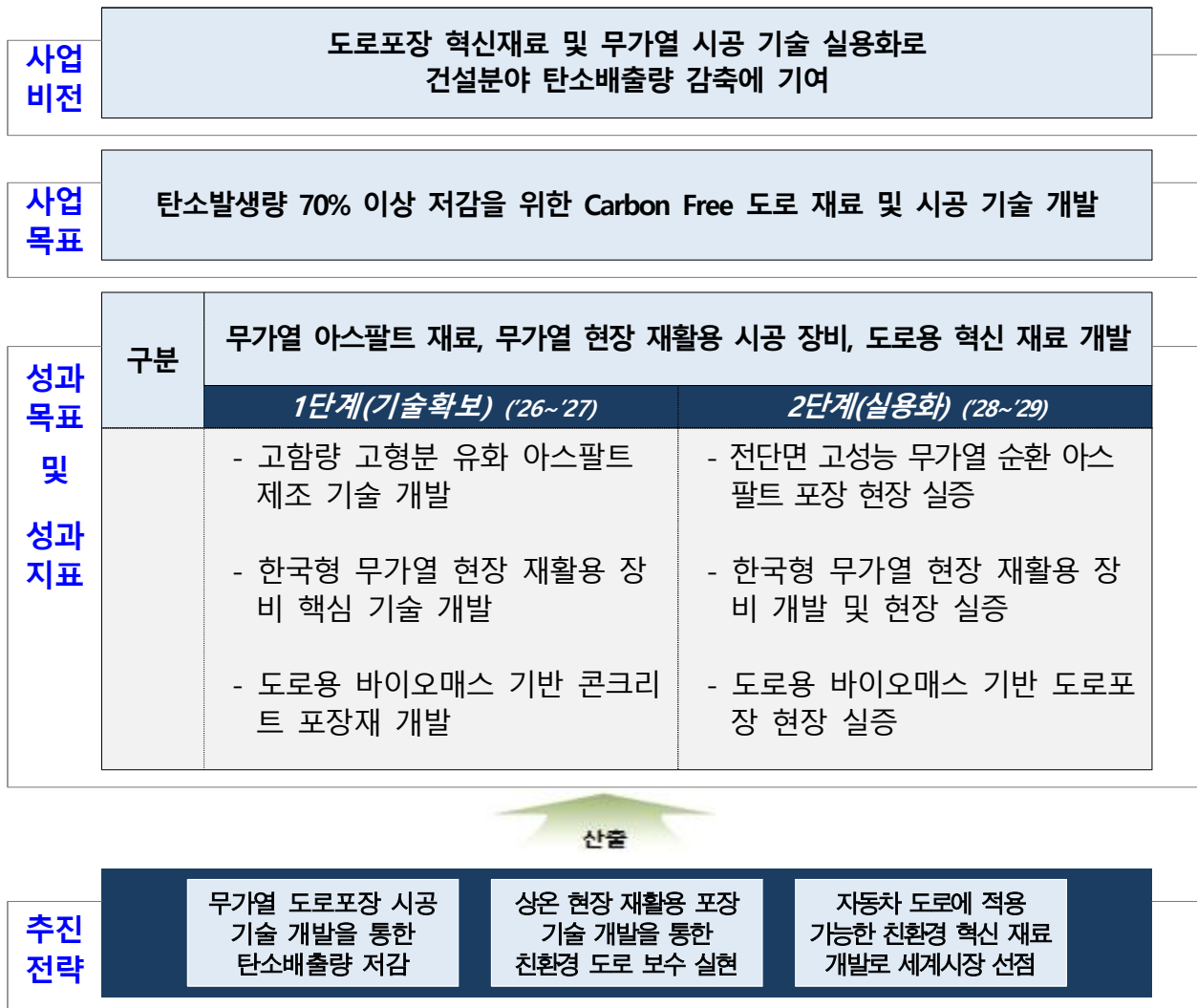
- **(사업 목표체계 정립)** 대내외 동향 분석, 사업 추진여건 분석, 핵심 문제/이슈 도출 등에 근거하여 동 사업이 추진되어야 하는 이유와 목표 등 사업추진논리와 추진 당위성을 확보하였으며, 사업 추진을 통해 의도하는 효과가 무엇인지에 대한 논리적으로 설명함
- **(사업비전)** 동 사업을 통해 달성하고자 하는 중장기적 목표로서, “도로포장 혁신재료 및 무가열 시공 기술 실용화로 건설분야 탄소배출량 감축에 기여”로 설정
 - 기존의 가열식 도로포장은 1km 시공시 전공정에서 456톤의 탄소를 배출하는 다배출산업이나, 특별한 대안이 부족해 이에 대한 대책 마련이 시급
 - 이에 따라 동 사업은, “도로포장 혁신재료 및 무가열 시공 기술 실용화로 건설분야 탄소배출량 감축에 기여”를 사업 비전으로 설정
- **(전략목표 수립)** 사업이 궁극적으로 이루고자 하는 목표로서 중장기적 정책목표를 의미하므로, 상위계획, 사업 목표, 연구성과 활용 등을 고려하여 동 사업이 달성하고자 하는 전략 목표는 “탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 개발”로 설정
- **(성과목표 설정)** 동 사업의 연구개발을 통해 달성하고자 하는 구체적인 목표로 연차별·단계별 성과목표로 세분화하였으며, 전략목표 달성에 기여할 수 있도록 논리적으로 설정함
 - 사업예산이 집중적으로 투입되는 부문의 성과가 핵심적으로 드러날 수 있도록 설정하고, 구체적이고 명확하게 표현하여 측정이 가능하도록 함
- **(성과목표 및 지표의 설정)** 동 사업이 의도하는 효과의 달성 여부를 측정하고 관리할 수 있도록 양적/질적 성과지표를 개발하고, 사업 기간 및 예산 내 달성 가능한 범위에서 도전적인 목표치를 제시함
 - 동 사업의 성과지표와 목표치에 대해서는 각 항목별로 설정방법과 근거, 측정산식·방법·시기 및 근거자료 출처 등을 포함한 성과지표 명세서를 기록·관리함으로써 성과를 관리하기 위한 현실적인 준비를 갖추
- **(구성기술별 목표 수립)** 동 목표체계에 기반하여 세부과제(구성기술)를 구성하고, 구성기술별 연구활동이나 주요 산출물, 목표 성능 등을 고려하여 각 구성기술별 목표를 타당하게 설정함

□ 사업 구성 및 내용의 적절성

- 동 사업의 세부과제는 각각의 기술개발의 개념, 전략목표, 목표 성능 및 최종성과물 등에서 차이를 가지고 있으며, 명확한 연계구조를 가지고 있어 사업내용이 논리적이고, 사업의 목표달성을 위해 적절하게 구성된 것으로 판단됨
 - 세부과제 구성은 사업비전인 “도로포장 혁신재료 및 무가열 시공 기술 실용화로 건설분야 탄소배출량 감축에 기여” 달성에 필수적인 기술로 구성된 것으로 판단됨
 - 사업 목표 달성을 위해서는 작업시간 확보, 고강도 달성, 탄소저감 기술이필수이며, 동

필수기술들을 3개 세부과제(세부활동)로 구성함

- ※ 동 사업의 3개 세부과제 구성: 1)Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술, 2)자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술, 3)바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발
- 또한 기술개발과 실용화에 필수적인 구성기술로 세부과제를 구성하여, 세부과제 간 연계성이 높고 효과적·효율성 측면에서 개별 사업이 아닌 하나의 사업으로 추진이 타당함



사업구성		
Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술	자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술	바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발
고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발	한국형 CIRB 시공 장비 개발	Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발
고점도 유화 아스팔트 대량 생산 기반 기술 개발	한국형 CIRB 재료 국산화 기술 개발	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발
고성능 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 개발	노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산 및 시공 기술 개발

[그림 3-54] 고강도 탄소저감형 도로포장 재료 및 설계·시공 기술개발 사업의 비전·목표 체계도

□ 기술개발의 차별성 및 중복성

- 탄소중립 도로포장 관련 R&D/정책/정보화 사업 등을 대상으로, 동 사업의 추진기간, 목적, 연구내용, 지원분야 및 범위 등과의 중복 가능성을 검토하고, 기존 사업과의 차별성 확보 및 연계·협력 방안을 검토하였음

<표 3-124> 중복성 검토 대상 사업/과제 목록

구분	사업/과제명	추진기간	지원부처
과제	온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구	'12~'16	국토부
과제	용해시간 5분 이내의 저열 첨가제를 적용한 생산온도 60℃ 저감형 저열 아스팔트 혼합물 개발을 통한 탄소배출 35% 절감 기술	'21~'22	국토부
과제	CO2 포집 탄산칼슘과 칼슘계 자극제를 이용한 탄소중립형 무기채움재를 활용한 친환경 순환 상온 아스팔트 콘크리트 제조 및 공법 개발	'21~'23	국토부
과제	산업부산물을 이용한 사회기반시설용 환경 배려형 고성능 포러스 폴리머 콘크리트 복합체의 개발 및 응용에 관한 연구	'04~'06	과기부
과제	탄소중립형 도로기술 개발	'01~'15	국토해양부
과제	식용유 폐부산물을 이용한 재활용 도로포장용 바이오 폴리머 결합제 개발	'16~'17	중소기업청

- **(중복성)** 검토 결과, 동 사업은 기존사업/과제와의 중복성 이슈는 없으며 기존 사업과의 연계·협력방안 등을 마련할 수 있는 전략을 확보함에 따라, 신규사업 추진이 적절함
 - 동 과제는 도로포장 중 특정 기층과 온도를 대상으로 한 기존의 과제들과 차별화가 되고 있음

<표 3-125> 기존 사업과의 중복성 검토 결과

유사사업	분석 결과				중복성 여부
	세부목표	추진체계	지원대상	세부활동	
해당없음	없음	없음	없음	없음	낮음

- **(연계방안)** 기존 연구결과 및 노하우를 활용하여 친환경 재료로 전제 대체 시 물성치 예측 등 기존에 추진한 사업/과제의 성과물을 고려한 동 사업 활용 계획을 마련할 예정

□ 사업 추진의지

- 국토교통부에서는 2050 탄소중립 선언과 2030 국가온실가스감축목표상향에 대응하기 위해 “국토교통 2050 탄소중립 로드맵”을 수립·발표하는 등 탄소중립과 관련된 강력한 의지를 보이는 중
 - 국토교통부에서는 국토계획/도시계획 단계에서 탄소중립 요소를 강화하는 등 탄소중립 관련 강력한 의지를 피력
- 동 사업에 대한 부처의 추진 의지가 명확하며, 공공의 목적이 강한 사업으로 인식되어있어 사업비 집행 가능성이 매우 높은 것으로 판단됨

□ 사업 미추진 시 문제점

- (건설산업의 탄소중립 달성 실패) 건설산업에서 운송을 제외하면 대부분의 탄소배출량은 건설재료 분야에서 발생하여, 이를 감축하지 못하면 건설산업의 탄소중립 달성은 힘들 것으로 예상
 - 동 사업은 건설재료 중 주요 탄소배출원인 아스팔트 생산/시공 공정에서 탄소배출을 줄이는 탄소저감형 도로포장을 만들기 위한 기술개발 및 실용화 과제로 동 과제 기술개발 시 포장 공정에서 탄소배출량 저감에 기여 가능

3.4.3. 경제적 타당성

1. 비용편익분석의 개념 및 항목

□ 비용편익 분석의 개념

- 경제성 분석은 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고 이를 이용해 비용편익분석(Cost-benefit Analysis)을 이용하여 사업의 타당성을 판단
- 비용편익분석에서 이용되는 기준으로는 순 현재가치(NPV, Net Present Value)/기대 순 현재가치(ENPV, Expected NPV), 편익-비용 비율(B/C ratio) 등 다양한 방법이 있는데 본 분석에서는 비용-편익 비율(B/C ratio)을 이용
- 편익-비용 비율은 편익의 현재가치의 합을 비용의 현재가치의 합으로 나눈 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$\frac{B}{C} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정 기간(일반적으로 현재연도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 현재가치화라고 함
- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 1 이상이면 경제성이 있다고 판단
- 편익/비용 비율은 특정 항목을 편익 또는 비용으로 처리하는가에 따라 값이 달라지는 단점이 있으나, 일반적인 투자심사 기준으로 사용

□ 비용편익분석 항목

- 경제적 타당성 분석의 기본 항목으로는 총 사업비, 총비용, 편익 등으로 구분할 수 있으며, 객관화된 데이터를 기반으로 추정되어야 함
- 비용은 사업기간 내 발생하는 총 사업비에 사업완료 후 발생하는 유지·관리 비용, 장비재투자비 등을 모두 더한 후 장비 및 건물의 잔존가치를 제외하여 산정함
- 편익은 해당 세부기술개발과제로 인해 실질적으로 혜택을 받게 되는 수요(기업, 대국민 등)를 추정하여 편익을 추정함
- 분석된 비용과 편익을 현재가치화시켜 B/C값을 분석하고 B/C값이 1 이상일 경우 사업성이 있는 것으로 판단

2. 본 사업의 비용편익분석

1) 사업의 비용 분석

- 본 사업의 연도별 투자계획을 토대로 총사업비용 285.6억 원을 현재가치화하여, 총 254.1억 원의 비용 투자가 발생할 것으로 추정함
- 동 사업은 3개 구성기술에 대한 상세 사업비용은 총 285.6억 원이며, 사업 종료 후 별도의 운영비 등의 추가 비용 소요가 없는 것으로 가정하여 총사업비를 기준으로 비용을 추정함
- 즉, 경제적 타당성 분석을 위한 본 사업의 총비용은 순수 연구개발 비용만을 고려한 285.6억 원이며, 이를 2024년 현재가치로 환산하면 총 254.1억 원임
- ※ 사회적 할인율 및 기준년도를 적용하여 편익을 현재가치로 환산, 사회적 할인율은 ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.01.)’ 제 33조에 따라 기획재정부의 ‘예비타당성조사 수행 총괄지침(‘19.04)’ 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

<표 3-126> 사업의 비용 추정 결과

(단위: 백만 원)

구분	구성기술	'25	'26	'27	'28	합계
총 비용	중점기술1	1,800	3,870	3,600	2,780.5	12,050.5
	중점기술2	1,185	2,644	3,187	1,884	8,900
	중점기술3	1,050	1,850	2,480	2,220	7,600
	합계	4,035	8,364	9,267	6,884.5	28,550.5
총 비용의 현재가치 (NPV)	중점기술1	1,722	3,544	3,155	2,332	10,753
	중점기술2	1,134	2,421	2,793	1,580	7,928
	중점기술3	1,005	1,694	2,173	1,862	6,734
	합계	3,861	7,659	8,121	5,774	25,415

2) 사업의 편익 분석

□ 동 사업의 편익 항목 도출

- 동 사업의 편익 항목은 구성기술 및 주요 산출물로 인해 직접적으로 발생하는 가치창출 편익으로서, “탄소저감형 도로포장의 매출 효과”로 설정
 - 본 사업에서 도출되는 탄소저감형 도로포장 개발업체 등 기술의 수혜자의 상용화를 지원하여 시장 거래를 통한 부가가치 창출이 가능하므로, 이를 본 사업의 편익으로 도출
 - ※ 가치창출 편익은 연구개발사업의 결과로 소비자의 후생을 향상시키거나 사업의 산출물이 시장을 통해 거래됨으로써 새롭게 부가가치를 창출하는 것을 사업의 목적으로 할 때 반영 할 수 있는 편익항목이며, 성과의 수혜 대상에 따라 소비자 중심 편익과 생산자 중심 편익으로 구분함
 - ※ 생산자 중심 편익은 연구개발사업의 효과가 생산자에게 영향을 미치는 경우에 반영되어야 하며, 생산자 중심 편익의 대표적인 추정 방법으로는 사업을 통해 새롭게 개발된 산출물이 상용화되어 시장에서 거래됨으로써 발생하는 부가가치의 증가분을 바탕으로 편익을 추정하는 시장수요접근법이 대표적임
 - 다만, 본 사업의 궁극적 목표는 탄소저감형 도로포장 재료 개발 및 현장적용 사례 확보, 건설기준 제·개정으로 본 사업에서 도출되는 탄소저감형 도로포장에 대한 직접적인 발주제도 개선 등과 같은 직접적인 상용화 지원은 없으며, 기반확보를 통한 성과확산의 기대효과를 편익항목으로 도출함

<표 3-127> 구성기술에 따른 편익 항목 도출 결과

구성기술	편익 항목
(중점기술1) Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술	탄소저감형 도로포장 매출 효과
(중점기술2) 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술	
(중점기술3) 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발	

□ 동 사업의 편익 산식 설정을 위한 전제조건

- (편익 산출 방법의 개념) 본 사업의 직접적인 경제적 편익 추정을 위해 KISTEP이 발간한 예비 타당성조사 표준 지침 상에 제시된 R&D 사업의 편익 추정방법인 ‘시장수요접근법’의 개념에 따라 편익 산식을 설정하고, 편익 산출 시 불확실성 등을 반영하기 위해 사업기여율, R&D기여율, R&D 사업화성공률, 부가가치율 등을 적용하여 편익을 추정

편익	=	미래 시장규모	×	사업기여율	×	R&D기여율	×	사업화성공률	×	부가가치율

[그림 3-55] 시장수요접근법 개념의 편익 수식화

- (미래 시장규모) 해당 연구개발사업의 결과와 직접적으로 관련된 국내 산업/제품의 미래 총생산액 (매출액)을 의미하나, 편익 추정을 위해 활용되는 미래 시장규모는 전체 시장이 아닌 기준선 분석 및 시장점유율의 적용을 통해 도출된 조사 대상사업과 직접적으로 관련된 시장규모만을 의미
- (사업기여율) 새롭게 창출되는 미래 시장이나 매출액의 증가분을 바탕으로 추정되는 연구개발사업의 편익 중 조사 대상 연구개발사업에 의해 창출되는 편익만을 계산하기 위해 적용하는 변수
- (R&D기여율) 연구개발 성과의 상업화를 통한 부가가치가 창출되었을 때, 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분을 나타내는 지표

- **(사업화성공률)** 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해 필요한 실증 및 상용화 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 고려하는 변수
- **(부가가치율)** 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 한 편익 추정을 위해 적용하는 변수
- **(편익 산출을 위한 기타 변수)** 사회적 할인율, 편익회임기간, 기준년도, 편익발생기간 등을 고려하여 최종 편익 산출
 - **(사회적 할인율)** 미래의 어느 시점 또는 여러 시점에 걸쳐 발생하는 편익을 현재가치로 환산하기 위해 적용하는 할인율
 - **(편익회임기간)** 연구개발사업에 대한 투자가 이루어진 후, 경제적인 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 의미
 - **(기준년도)** 편익 산출에 기준이 되는 연도
 - **(편익발생기간)** 해당 사업을 수행함으로써 편익이 발생할 것으로 기대할 수 있는 기간

□ 동 사업의 편익 정의 및 산식

- **(편익 정의)** 시장수요접근법에 기반하여 동 사업을 통해 발생할 수 있는 경제적 편익은 개발된 탄소저감형 도로포장의 상용화를 통한 판매 매출 예상규모로 정의
- **(편익 산식 도출)** 편익 추정 산식은 수혜자인 탄소저감형 도로포장 활용 설계 및 시공업체가 참여하여 확보되는 국내 부가가치창출을 고려하여 ‘탄소저감형 도로포장 매출 예상규모’를 편익으로 추정하고, ‘사업기여율, R&D기여율, R&D 사업화성공률, 부가가치율’을 적용하여 최종 편익 규모를 도출하도록 함

<표 3-128> 동 사업의 편익 정의 및 산식

편익 항목	편익 정의 및 산식	직접적 편익 여부	해당 구성기술
탄소저감형 도로포장 기술의 매출 효과	(정의) 본 사업에서 개발한 탄소저감형 도로포장 기술을 상용화하여 내수용으로 판매될 경우 발생하는 매출 편익	○	1, 2, 3
	(산식) 탄소저감형 도로포장의 매출 예상규모(미래시장규모) x 사업기여율 x R&D기여율 x 사업화성공률 x 부가가치율		

- **(탄소저감형 도로포장의 매출 예상규모)** 2가지 가정에 따라 국내 아스콘 시장의 미래 국내수요를 예측하여 매출 예상규모를 산출하고, 이를 미래시장규모로 추정
 - **(가정1:아스콘 시장 성장률)** 현재 아스콘 시장은 3.6%로 감소추세이며, 전체 아스콘 시장의 20% 정도를 순환아스콘이 차지하고 있으며, 탄소저감형 도로포장의 대체율을 이 절반 수준인 10%로 가정
 - **(가정2: 탄소중립 정책기조에 점유율 증가)** 가정1과 동일하게 국내 레미콘 시장의 미래 시장 규모를 예측하고, 탄소중립 정책 기조에 따라 탄소저감형 도로포장의 사용이 활발해지면서 점유율이 5%로 상승하는 것으로 가정
- **(사업기여율)** 구조용 고성능 탄소저감형 도로포장 재료 및 설계·시공 기술개발을 위해 추진 중인 유일한 R&D 사업으로 편익 창출을 위한 상용화 추진에 필수적이나, 친환경 콘크리트 관련 타 국가 R&D 과제를 고려하여 본 사업의 기여율은 56.2%로 설정
 - 친환경 콘크리트 관련 국가연구개발사업 및 과제의 정부지원금 중 본 사업의 정부지원금이 차지하는 비중인 87.2%를 적용

<표 3-129> 본 사업의 기여율 산출 결과

사업/과제명		정부지원금(억원)	
유관 과제	도로포장 성능 향상을 위한 개질 아스팔트 품질 기준 및 시험방법 개발 연구	1	327.8(A)
	탄소저감 기반 올인원 스마트 자동화 생산 시스템 기술 고도화 및 사업화	3.1	
	저비용 저탄소 아스팔트 포장공법 개발	12	
	탄소중립도시 실현 건설 디지털 플랫폼 기술 개발	11	
	환경순환을 위한 폐자원의 도로포장재료 전환 기술 개발	1.3	
	미래교통 스마트 인프라 핵심기술 개발	7	
	폐아스콘 순환골재를 활용한 고부가가치의 표층용 재생개질 아스콘 제품 개발	0.8	
	개질유황기반 교통소음 저감형 중온 저소음 아스팔트 혼합물 개발	1.1	
	탄소저감형 아스팔트 첨가제를 활용한 저가열 아스팔트 혼합물 및 제조 기술 개발	3	
	비가열 아스팔트 기술을 이용한 4시간 단기양생 및 유해가스 배출 저감형 건설소재 기술 개발	1.5	
본 사업	탄소저감형 도로포장 기술개발	286(B)	
본사업의 기여율		87.2% (B/A×100)	

- (R&D기여율) 연구개발성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도인지를 나타내는 지표로서, 동 사업에서는 '제4차 과학기술 기본계획'에서 제시한 40.2%를 적용
- (R&D사업화성공률) 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화의 과정을 거치게 되는데, 이러한 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 R&D 사업화성공률 42.9%를 적용
 - 한국산업기술평가관리원 국정감사(2021) 자료를 바탕으로 최근 5년간('17~'21.9) R&D 사업화 성공률인 42.9%를 적용
- (부가가치율) 편익은 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 추정되기 때문에 부가가치율을 적용해야하며, 한국은행에서 발간한 「2021년 산업연관표(2022년)」의 건설산업 부가가치율을 인용하여, 35.2%로 적용
- (편익 산출 시 고려사항) 편익회임기간, 편익발생기간, 기준년도를 설정하여 편익을 산출하고, 최종편익의 현재가치화 시 사회적 할인율을 적용
 - (회임기간 설정) 응용 및 개발단계의 연구개발사업의 경우 평균적으로 회임기간을 3년으로 설정하나, 본 사업의 경우 탄소저감형 도로포장을 국내 건설사업에 적용하는 것을 주요 목적으로 하여 사업 완료 후 비교적 짧은 기간 내 실제 현장적용이 가능함을 고려하여 2년으로 설정
 - (편익발생 기간 설정) 본 사업을 통한 편익기간은 탄소저감형 도로포장은 회임기간을 걸쳐 현장적용되며, 향후 10년간 활용된 후 쇠퇴기에 접어들어 새로운 기술로 대체될 것으로 가정하여 설정
 - ※ 건설분야는 일반적으로 건설사업이 장기적이고 일회성이어서 다른 분야 기술에 비해 기술수명주기가 길다고 평가되며, 교량/터널 분야 기술은 평균적으로 수명주기가 8~10년정도로 측정
 - (기준년도) 사업 착수 예상년도('25)의 전년도인 2024년을 적용
 - (사회적 할인율) 총 편익의 현재가치화 시, '국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침('19.01.)' 제 33조에 따라 기획재정부의 '예비타당성조사 수행 총괄지침('19.04)' 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

<표 3-130> 동 사업의 편익산정 기준 및 지표

구분	기준	추정근거
사업기여율	87.2%	친환경 콘크리트 관련 국가연구개발사업 및 과제의 정부연구비 중 본 사업이 차지하는 정부연구비 비중인 54.4%를 적용
R&D 기여율	40.2%	‘제4차 과학기술기본계획’에서 제시한 R&D 기여율을 40.2%로 적용
사업화 성공률	42.9%	최근 5년간(’17~’21.9) R&D 사업화 성공률인 42.9%를 적용
부가가치율	35.2%	「2021년 산업연관표(2022년)」의 건설산업 부가가치율을 인용하여, 35.2%로 적용
회임기간	2년	응용 및 개발단계의 연구개발사업의 회임기간은 평균적으로 3년이나, 관련 규정 제·개정으로 조기 실용화될 수 있음을 고려하여 2년으로 적용
편익발생 기간	10년	사업종료 후 회임기간 이후 최초 편익이 발생하며, 기술수명주기를 고려하여 총 10년으로 설정
기준년도	2024년	사업 착수 예상년도(’25)의 전년도로 설정
사회적 할인율	4.5%	편익의 현재가치화를 위해, ‘예비타당성조사 수행 총괄지침(’19.04)’ 제 50조에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용

3) 사업의 비용편익 분석 결과

□ 탄소저감형 도로포장의 매출 효과

- (매출 예상규모 추정) 2가지 가정에 따라 미래 탄소저감형 도로포장의 연도별 예상 매출 규모를 추정
 - (가정 1) 국내 아스콘 시장은 ’19년 1조 8천억원에서 ’23년 1조 6천억으로 연평균 -3.6% 성장한 것으로 추정되며, 탄소저감형 도로포장도 전체 아스콘의 매년 약 5%를 대체할 것으로 가정
 - (가정 2) 동일한 아스콘 시장에서 탄소중립 정책 기조에 의해 탄소저감형 도로포장의 레미콘 대체율이 급격히 증가한다고 가정하여 전체 아스콘의 약 10%(1→5%)를 대체하는 것으로 가정

<표 3-131> 탄소저감형 도로포장 시장 규모

연도	탄소저감형 도로포장의 매출 효과					
	(가정 1)			(가정 2)		
	국내 아스콘 시장 규모 (억 원)	아스콘 대체율	예상 매출 (억 원)	국내 아스콘 시장 규모	아스콘 대체율	예상 매출 (억 원)
2031	11,874	5%	594	11,874	10%	1,187
2032	11,446	5%	572	11,446	10%	1,145
2033	11,034	5%	552	11,034	10%	1,103
2034	10,637	5%	532	10,637	10%	1,064
2035	10,254	5%	513	10,254	10%	1,025
2036	9,885	5%	494	9,885	10%	988
2037	9,529	5%	476	9,529	10%	953
2038	9,186	5%	459	9,186	10%	919
2039	8,855	5%	443	8,855	10%	886
2040	8,537	5%	427	8,537	10%	854
합 계	101,237	-	5,062	101,237	-	10,124

- (가정1: 편익 추정) 탄소저감형 도로포장의 매출 예상규모 추정값에 분석 지표인 부가가치율, R&D 기여율, 사업화 성공률, 부가가치율, 사업기여율을 적용하여 편익을 추정한 결과, 총 편익 규모는 267.94억 원이고 이를 현재가치로 환산하면 154.960억 원으로 추정

<표 3-132> (가정1) 편익 분석결과

(단위 : 억 원)

연도	매출 예상규모	R&D 기여율 (%)	사업화성공률 (%)	부가가치율 (%)	사업기여율 (%)	편익	현재가치
2031	594	56.2	42.9	35.2	87.2%	31.43	23.09
2032	572	56.2	42.9	35.2	87.2%	30.30	21.30
2033	552	56.2	42.9	35.2	87.2%	29.20	19.65
2034	532	56.2	42.9	35.2	87.2%	28.15	18.13
2035	513	56.2	42.9	35.2	87.2%	27.14	16.72
2036	494	56.2	42.9	35.2	87.2%	26.16	15.43
2037	476	56.2	42.9	35.2	87.2%	25.22	14.23
2038	459	56.2	42.9	35.2	87.2%	24.31	13.13
2039	443	56.2	42.9	35.2	87.2%	23.44	2.11
2040	427	56.2	42.9	35.2	87.2%	22.59	11.17
합 계	22,635.7	-	-	-	-	267.94	154.960

- (가정2: 편익 추정) 탄소저감형 도로포장의 매출 예상규모 추정값에 분석 지표인 부가가치율, R&D 기여율, 사업화 성공률, 부가가치율, 사업기여율을 적용하여 편익을 추정한 결과, 총 편익 규모는 535.91억 원이고 이를 현재가치로 환산하면 329.94억 원으로 추정

<표 3-133> (가정2) 편익 분석결과

(단위 : 억 원)

연도	매출 예상규모	R&D 기여율 (%)	사업화성공률 (%)	부가가치율 (%)	사업기여율 (%)	편익	현재가치
2031	1,187	56.2	42.9	35.2	87.2%	62.85	46.19
2032	1,145	56.2	42.9	35.2	87.2%	60.59	42.61
2033	1,103	56.2	42.9	35.2	87.2%	58.41	39.30
2034	1,064	56.2	42.9	35.2	87.2%	56.31	36.26
2035	1,025	56.2	42.9	35.2	87.2%	54.28	33.45
2036	988	56.2	42.9	35.2	87.2%	52.33	30.85
2037	953	56.2	42.9	35.2	87.2%	50.44	28.46
2038	919	56.2	42.9	35.2	87.2%	48.63	26.26
2039	886	56.2	42.9	35.2	87.2%	46.88	24.22
2040	854	56.2	42.9	35.2	87.2%	45.19	22.34
합 계	10,124	-	-	-	-	535.91	329.94

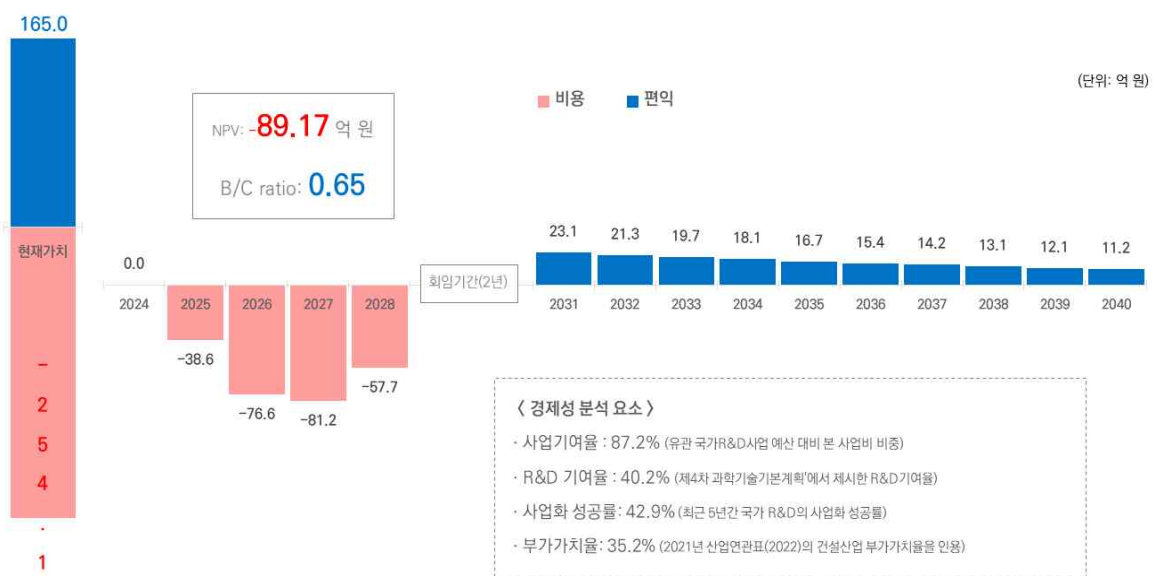
4) 경제성(B/C) 분석 결과

○ 동 사업의 비용 투입 대비 탄소저감형 도로포장 매출 효과(편익)에 대한 분석을 수행한 결과, **B/C Ratio 0.65~1.30로 제한적인 경제적 타당성을 확보**

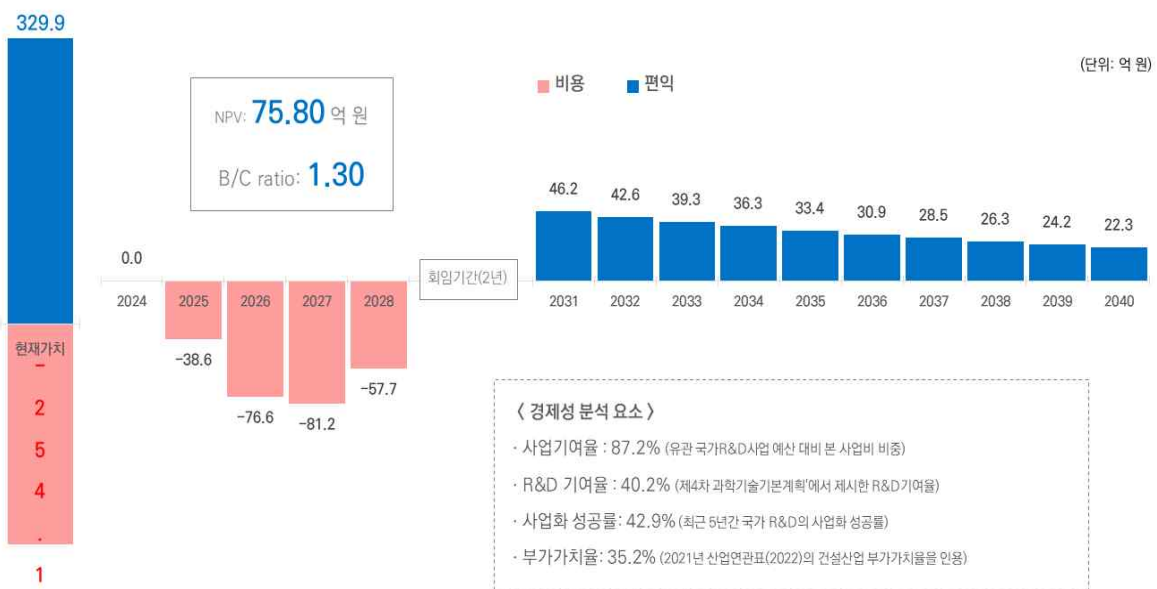
- 총사업비를 기준으로 수행한 비용분석 결과 총 285.5억 원의 비용이 투입되며, 이를 현재가치화하면 254.14억 원으로 산정
- 편익항목에 대한 총 편익은 267.95/535.90억 원이며, 이를 현재가치로 환산하면 164.97/329.94억 원

<표 3-134> 본 사업의 비용편익 분석(B/C Ratio) 결과

구분	(가정1) 산출 결과	(가정2) 산출 결과
비용(NPV)	254.14억 원	254.14억 원
편익(NPV)	164.97억 원	329.94억 원
B/C Ratio	0.65	1.30



[그림 56] (가정 1)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과



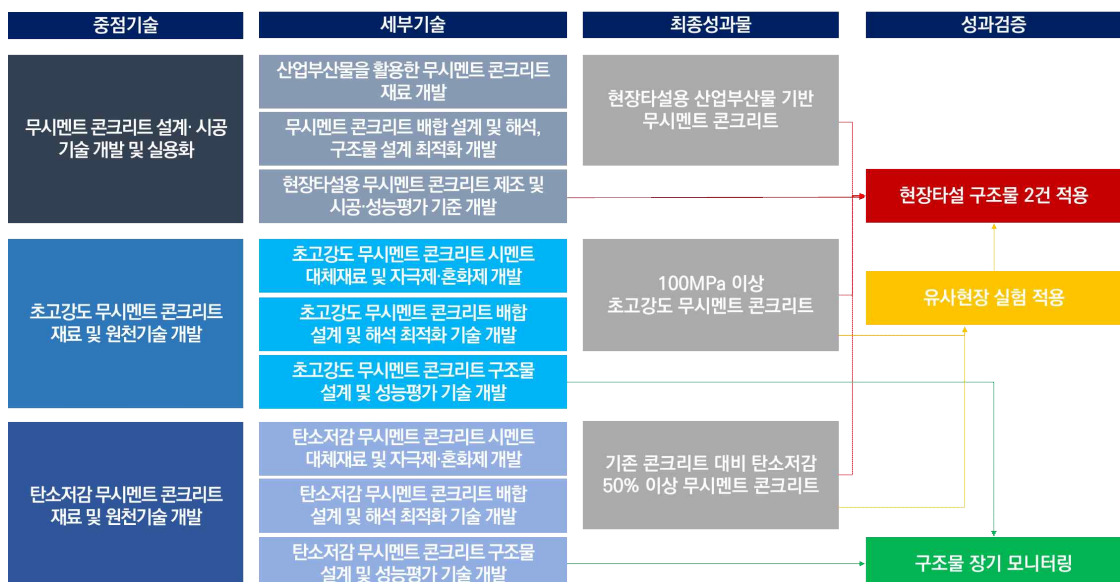
[그림 3-57] (가정 2)본 사업의 기간별 비용/편익 및 분석(B/C Ratio) 결과

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

4.1. 기술별 최종 연구개발성과물

[고강도 무시멘트 콘크리트]

- 본 사업에서 중점기술 1을 통해 무시멘트 콘크리트이 설계·시공 기술 및 실용화 기술을 개발할 예정이며, 중점기술 2,3을 통해 초고강도/탄소저감 목표를 각각 달성가능한 무시멘트 콘크리트 개발하고 실용화는 중점기술 1과 통합하여 추진할 예정
- (중점기술 1) 산업부산물 기반 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 개발과 배합설계 및 구조물 설계 최적화 및 현장 실증을 통한 검증
 - 산업부산물의 반응성을 촉진할 수 있는 전용 자극제·혼화제 개발을 통해 현장타설이 가능한 무시멘트 콘크리트 개발 및 시공 성능 확보
 - 무시멘트 콘크리트의 재료 특성을 반영한 설계, 해석 등을 위한 재료모델 개발 및 검증, 무시멘트 콘크리트의 열화 메커니즘 규명을 통한 해석방법 제시 등을 통해 설계 모델 및 개발 기준안을 도출
 - 실제 현장 실증을 바탕으로 시공 사례 확보 및 중점기술 2와 과 중점기술 3에서 개발한 초고강도/탄소저감 콘크리트와 통합 실증을 추진
- (중점기술 2) 기존에 사용하지 않는 미활용 산업부산물을 활용하여 구조물 시공에 사용하기 위한 100MPa이상의 초고강도 성능 발현이 가능한 무시멘트 콘크리트 개발
 - 초고강도 콘크리트에 사용가능한 미활용 대체재료를 발굴하고, 동 재료에 사용이 적합한 혼화제·자극제 개발
 - 100MPa이상의 초고강도 발현 및 원활한 시공을 위하여 2시간 이상의 시공시간이 확보 가능한 초고강도 무시멘트 콘크리트 배합을 개발
 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 특성이 반영된 성능평가 방법의 개발
- (중점기술 3) 탄소배출량이 많은 시멘트를 친환경 미활용 산업부산물로 대체하여 탄소배출량을 기존 제품 대비 50%이상 저감이 가능한 무시멘트 콘크리트 개발
 - 압축강도 40MPa, 작업시간 2시간 이상 등 기존 콘크리트의 성능은 그대로 유지하면서 탄소배출량만을 저감할 수 있는 친환경 무시멘트 콘크리트 대체재료 발굴 및 전용 자극제·혼화제 개발
 - 탄소저감 무시멘트 콘크리트 특성이 반영된 성능평가 방법의 개발



[그림 4-1] 세부기술별 최종성과물 및 성과검증

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

- 본 사업에서 중점기술 1을 통해 콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발, 중점기술 2를 통해 CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발, 중점기술 3을 통해 CCU 콘크리트 성능검증 및 실용화 기술을 개발 예정
 - (중점기술 1) 콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발
 - 산업부산물물을 활용한 CO2 저장 골재 제조 기술 개발, 순환골재를 활용한 CO2 저장 골재 제조 기술 개발, 콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술 개발, CO2 저장 배합수 제조 기술 개발을 수행
 - 최종 성과물로 산업부산물, 순환골재 등을 이용한 CO2 골재 제조 기술과 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 활용 기술, 회수수를 활용한 CO2 저장 배합수 제조 기술을 도출
 - (중점기술 2) CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발
 - CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발, CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발, 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발을 수행
 - 최종 성과물로 CCU 콘크리트 현장타설과 프리캐스트 적용을 위한 제조 및 양생 시스템, 비구조재용 CCU 콘크리트 제조 및 생산기술을 도출
 - (중점기술 3) CCU 콘크리트 성능검증 및 실용화 기술 개발
 - CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발, CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발, CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발을 수행
 - 최종 성과물로 CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안), CCU 콘크리트의 구조물 활용 실증 기술, 탄소감축 특성을 고려한 CCU 콘크리트의 전주기 LCA(Life Cycle Assessment) 평가, 개발된 CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론을 도출

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

- 본 사업에서 중점기술 1을 통해 Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술 개발, 중점기술 2를 통해 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 개발, 중점기술 3을 통해 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술을 개발 예정
 - (중점기술 1) Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술
 - 고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발, 고점도 유화 아스팔트 대량 생산 기반 기술 개발, 고성능 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 개발을 수행
 - 최종 성과물로 양이온 미세 구조형 Hyper-branch 유화제 국산화 기술, 고품분 90% 이상 고성능 유화 아스팔트 제조 기술, 전단면 적용 무가열 재활용 아스팔트 포장 생산 및 시공 기술을 도출
 - (중점기술 2) 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술
 - 한국형 CIRB 시공 장비 개발, 한국형 CIRB 재료 국산화 기술 개발, 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발을 수행
 - 최종 성과물로 한국형 현장 무가열 재활용 아스팔트 포장 시공 장비, 현장 순환골재 100% 재활용 기층 혼합물 생산 및 시공 기술, 한국형 현장 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 품질기준 및 시공가이드라인을 도출
 - (중점기술 3) 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발
 - Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발, 도로용 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발, 도로용 Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산 및 시공 기술 개발을 수행
 - 최종 성과물로 무가열성 상온 경화형 Bio-Polymer, 도로용 Bio-Polymer 콘크리트 및 설계지침, Bio-Polymer 콘크리트 전용 대량생산 설비 및 시공 장비를 도출

4.2. 단계별·연차별 성과목표 및 지표

[고강도 무시멘트 콘크리트]

<표 4-1> 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	건설산업의 탄소배출량 저감을 위하여 세계 최고 수준의 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공기술 개발 ※ (압축강도) 100MPa 이상, (탄소배출량) 기존 대비 50% 이상 저감, (작업성 유지) 2시간 이상			
(최종) 성과목표	주요 건설재료 중 하나인 시멘트를 사용하지 않고도 구조재로서의 성능*과 경제성**을 보유한 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발 * 대체재료, 자극제 등의 영향을 최소화하여 콘크리트 성능 재현성을 구현하고, 급경 등의 문제를 해결하여 일반 시멘트 콘크리트 대비 동일 또는 우수한 성능을 확보 ** 일반 시멘트 콘크리트 제조와 동일한 공정에서 가격경쟁력을 확보하면서 내해수성, 내화확성 등 우수한 성능을 확보하여 특수구조물(하수처리장, 인공어초 등)에 적용하여 비용 저감이 가능			
단계별 성과목표 및 지표	1단계(25년도~26년도)			
	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구분
	100MPa급 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발	0.4	초고강도 무시멘트 콘크리트 목표강도	질
	미활용 산업부산물 기반 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발	0.4	미활용 산업부산물 기반 탄소저감 무시멘트 콘크리트 목표성능	질
	산업부산물 기반 현장타설용 무시멘트 콘크리트 개발	0.2	현장타설용 무시멘트 콘크리트 목표성능	질
	2단계(27년도~28년도)			
	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구분
	100MPa급 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발	0.2	초고강도 무시멘트 콘크리트 시공성능	질
		0.1	친환경 대체재료 시멘트 치환율	
		0.1	초고강도 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼(안)	
	미활용 산업부산물 기반 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발	0.2	기존 시멘트 기반 콘크리트 대비 탄소저감	질
		0.1	탄소저감 무시멘트 콘크리트 목표성능	
		0.1	탄소저감 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼(안)	
	무시멘트 콘크리트 실증 및 실용화	0.2	현장타설용 무시멘트 콘크리트 시공사례	질

2. 성과지표 및 목표치

1) 1단계 성과지표 및 목표치

성과목표명	가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
				연도	2025	2026			
100MPa급 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발	0.4	초고강도 무시멘트 콘크리트 목표강도	MPa	목표	80	100	결과	질	초고강도 무시멘트 콘크리트의 개발을 위하여 무시멘트 콘크리트의 강도를 최종목표로 선정
				실적	-	-			
미활용 산업부산물 기반 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발	0.4	미활용 산업부산물 기반 탄소저감 무시멘트 콘크리트 목표성능	건	목표	-	1	결과	질	미활용 산업부산물 기반 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발을 위한 목표성능 중 압축강도를 1단계에서 구현하는 것을 성과지표로로 설정
				실적	-	-			
산업부산물 기반 현장타설용 무시멘트 콘크리트 개발	0.2	현장타설용 무시멘트 콘크리트 목표성능	건	목표	3	5	결과	질	산업부산물 기반 현장타설용 무시멘트 콘크리트의 개발을 위한 목표성능을 1단계에서 구현하는 것을 성과지표로 설정
				실적	-	-			
계									

2) 1단계 성과지표의 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처												
초고강도 무시멘트 콘크리트 목표강도	■설정방법 : 콘크리트 주요 성능인 압축강도를 KS 표준시험방법에 따라 측정 <table><tr><td>'25</td><td>'26</td></tr><tr><td>80MPa</td><td>100MPa</td></tr></table> ■설정근거 : 시공성이 확보된 기존 고강도 무시멘트의 강도인 100MPa 이상을 달성하기 위해 해당 목표치를 설정	'25	'26	80MPa	100MPa	□ 측정방법 - KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 따라 압축 시험기를 이용하여 압축강도를 측정 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서								
'25	'26														
80MPa	100MPa														
미활용 산업부산물 기반 탄소저감 무시멘트 콘크리트 목표성능	■설정방법 : 미활용 산업부산물 기반 무시멘트 콘크리트의 목표성능을 3가지로 설정하고 그중 1단계 달성목표 1건을 정의 <table><tr><td>목표성능</td><td>시기</td></tr><tr><td>압축강도</td><td>'26</td></tr><tr><td>슬럼프</td><td>'28</td></tr><tr><td>작업유지시간</td><td>'28</td></tr></table> ■설정근거 : 기존 일반 시멘트 콘크리트의 성능과 같은 수준으로 설정	목표성능	시기	압축강도	'26	슬럼프	'28	작업유지시간	'28	□ 측정산식 - $\Sigma(\text{핵심기능 구현 건수})$ □ 측정방법 - 설정된 압축강도 성능목표 달성여부를 측정 - 각 목표는 표준 시험 방법을 바탕으로 측정 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서				
목표성능	시기														
압축강도	'26														
슬럼프	'28														
작업유지시간	'28														
현장타설용 무시멘트 콘크리트 목표성능	■설정방법 : 현장타설용 무시멘트 콘리트의 목표성능을 5가지로 설정하고 그중 1단계 달성목표 2건을 정의 <table><tr><td>목표성능</td><td>시기</td></tr><tr><td>압축강도</td><td>'26</td></tr><tr><td>슬럼프</td><td>'26</td></tr><tr><td>작업유지시간</td><td>'28</td></tr><tr><td>염소이온확산계수</td><td>'28</td></tr><tr><td>동결융해저항성</td><td>'28</td></tr></table> ■설정근거 : 기존 일반 시멘트 콘크리트의 성능과 같은 수준으로 설정	목표성능	시기	압축강도	'26	슬럼프	'26	작업유지시간	'28	염소이온확산계수	'28	동결융해저항성	'28	□ 측정산식 - $\Sigma(\text{핵심기능 구현 건수})$ □ 측정방법 - 설정된 압축강도, 슬럼프 성능목표 달성여부를 측정 - 각 목표는 표준 시험 방법을 바탕으로 측정 □ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서
목표성능	시기														
압축강도	'26														
슬럼프	'26														
작업유지시간	'28														
염소이온확산계수	'28														
동결융해저항성	'28														

3) 2단계 성과지표 및 목표치

성과목표명	가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
				연도	2027	2028			
100MPa급 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발	0.2	초고강도 무시멘트 콘크리트 시공성능	건	목표	1	2	결과	질	초고강도 무시멘트 콘크리트의 시공성능 확보를 위해 작업유지시간, 슬럼프 목표를 달성하는 것을 최종 목표로 설정
				실적	-	-			
	0.1	친환경 대체재료 시멘트 치환율	%	목표	-	90	결과	질	초고강도 무시멘트 콘크리트에서 무시멘트 목표 달성을 위해 콘크리트 치환율을 목표로 설정
				실적	-	-			
	0.1	초고강도 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼(안)	건	목표	-	1	결과	질	기존 콘크리트에서의 유지관리 방법과 비교 검토를 통해 적합한 유지관리 매뉴얼을 작성하는 것을 목표로 설정
				실적	-	-			
미활용 산업부산물 기반 탄소저감 무시멘트 콘크리트 개발	0.2	기존 시멘트 기반 콘크리트 대비 탄소저감	%	목표	-	50	결과	질	탄소배출량이 높은 시멘트를 대체하여 탄소배출을 감소시키는 것을 목표로 설정
				실적	-	-			
	0.1	탄소저감 무시멘트 콘크리트 목표성능	건	목표	2	3	결과	질	탄소저감 무시멘트 콘크리트의 시공성능 확보를 위해 압축강도, 작업유지시간, 슬럼프 목표를 달성하는 것을 최종 목표로 설정
				실적	-	-			
	0.1	탄소저감 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼(안)	건	목표	-	1	결과	질	기존 콘크리트에서의 유지관리 방법과 비교 검토를 통해 적합한 유지관리 매뉴얼을 작성하는 것을 목표로 설정
				실적	-	-			
무시멘트 콘크리트 실증 및 실용화	0.2	현장타설용 무시멘트 콘크리트 시공사례	건	목표	-	2	결과	질	무시멘트 콘크리트를 현장타설 구조물에 실제 적용함으로써 시공사례를 확보하고 설계·시공 성능을 검증하는 것으로 목표를 설정
				실적	-	-			
계									

4) 2단계 성과지표의 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처						
초고강도 무시멘트 콘크리트 시공성능	■설정방법 : 초고강도 무시멘트 콘크리트의 목표 시공성능을 2가지로 설정하고 달성하는 것을 정의 <table><tr><td>목표성능</td><td>시기</td></tr><tr><td>슬럼프</td><td>'27</td></tr><tr><td>작업유지시간</td><td>'28</td></tr></table> ■설정근거 : 기존 일반 시멘트 콘크리트의 성능과 같은 수준으로 설정	목표성능	시기	슬럼프	'27	작업유지시간	'28	☐ 측정산식 - $\sum(\text{핵심기능 구현 건수})$ ☐ 측정방법 - 설정된 압축강도 성능목표 달성여부를 측정 - 각 목표는 표준 시험 방법을 바탕으로 측정 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서
목표성능	시기								
슬럼프	'27								
작업유지시간	'28								
친환경 대체재료 시멘트 치환율	■설정방법 : 콘크리트 배합에서 시멘트와 대체재료의 비율을 측정 <table><tr><td>'27</td><td>'28</td></tr><tr><td>80%</td><td>90%</td></tr></table> ■설정근거 : 현재 시방서상의 한계인 70%를 초과하는 것으로 목표를 설정	'27	'28	80%	90%	☐ 측정산식 - 미활용 산업부산물 대체재/(미활용 산업부산물 대체재+시멘트)>90% ☐ 측정방법 - 배합에서 시멘트와 대체재료의 비율로 치환율을 측정 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서		
'27	'28								
80%	90%								
초고강도 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼(안)	■설정방법 : 초고강도 무시멘트 콘크리트에 특화된 유지관리 매뉴얼(안)을 마련 <table><tr><td>'27</td><td>'28</td></tr><tr><td>-</td><td>유지관리 매뉴얼 1건</td></tr></table> ■설정근거 : 기존의 콘크리트와 다른 초고강도 무시멘트 콘크리트의 특성을 반영한 매뉴얼 작성을 목표로 설정	'27	'28	-	유지관리 매뉴얼 1건	☐ 측정산식 - 매뉴얼 마련 수 ☐ 측정방법 - 실제 마련된 매뉴얼 수를 측정 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 규정 제·개정 : 사업 종료 시점까지('28년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서		
'27	'28								
-	유지관리 매뉴얼 1건								
기존 시멘트 기반 콘크리트 대비 탄소저감	■설정방법 : 시멘트 대체재료, 하이브리드 자극제, 전용 혼화제 등을 고려하여 탄소배출 감소비를 설정 <table><tr><td>'27</td><td>'28</td></tr><tr><td>-</td><td>50%</td></tr></table> ■설정근거 : 자극제, 혼화제의 종류 및 양에 따라 이산화탄소 배출량이 증가할 가능성이 있어 최종적으로 배출계수가 저감하도록 목표 설정	'27	'28	-	50%	☐ 측정산식 - 무시멘트 콘크리트 사용 구조물의 탄소배출량/일반 콘크리트를 사용한 구조물의 탄소배출량 ☐ 측정방법 - 기존 콘크리트의 탄소배출량과 무시멘트 콘크리트의 탄소배출량을 비교하여 측정 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용을 통한 검증 : 사업 종료 시점까지('28년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서		
'27	'28								
-	50%								

탄소저감 무시멘트 콘크리트 목표성능	■설정방법 : 미활용 산업부산물 기반 무시멘트 콘크리트의 목표성능을 3가지로 설정하고 그중 2단계 달성목표 2건을 정의 <table><tr><td>목표성능</td><td>시기</td></tr><tr><td>압축강도</td><td>'26</td></tr><tr><td>슬럼프</td><td>'28</td></tr><tr><td>작업유지시간</td><td>'28</td></tr></table> ■설정근거 : 기존 일반 시멘트 콘크리트의 성능과 같은 수준으로 설정	목표성능	시기	압축강도	'26	슬럼프	'28	작업유지시간	'28	☐ 측정산식 - $\sum$(핵심기능 구현 건수) ☐ 측정방법 - 설정된 압축강도 성능목표 달성여부를 측정 - 각 목표는 표준 시험 방법을 바탕으로 측정 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서
목표성능	시기										
압축강도	'26										
슬럼프	'28										
작업유지시간	'28										
탄소저감 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼(안)	■설정방법 : 탄소저감 무시멘트 콘크리트에 특화된 유지관리 매뉴얼(안)을 마련 <table><tr><td>'27</td><td>'28</td></tr><tr><td>-</td><td>유지관리 매뉴얼 1건</td></tr></table> ■설정근거 : 기존의 콘크리트와 다른 탄소저감 무시멘트 콘크리트의 특성을 반영한 매뉴얼 작성을 목표로 설정	'27	'28	-	유지관리 매뉴얼 1건	☐ 측정산식 - 매뉴얼 마련 수 ☐ 측정방법 - 실제 마련된 매뉴얼 수를 측정 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 규정 제·개정 : 사업 종료 시점까지('28년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서				
'27	'28										
-	유지관리 매뉴얼 1건										
현장타설용 무시멘트 콘크리트 시공사례	■설정방법 : 건축, SOC 등 실제 현장타설 구조물에 무시멘트 콘크리트를 적용, 시공한 수를 측정 <table><tr><td>'27</td><td>'28</td></tr><tr><td></td><td>시공 2건</td></tr></table> ■설정근거 : 현장타설을 위해 설계, 품질관리, 시공방법 등의 검증이 필요하고 이를 위해 실구조물 시공 2건 확보를 최종목표로 설정	'27	'28		시공 2건	☐ 측정산식 - 무시멘트 콘크리트 현장타설 구조물 적용 사례 수 ☐ 측정방법 - 무시멘트 콘크리트를 적용한 현장타설 구조물 시공 사례를 수를 측정 ☐ 측정시기 - 당해연도 실적 : 당해연도 말(12월) - 현장 적용 : 사업 종료 시점까지('28년)	· 국토교통 R&D 사업관리 시스템 · 연차별 실적보고서				
'27	'28										
	시공 2건										

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

<표 4-2> 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	포집 CO ₂ 를 광물탄산화반응으로 전환시켜 콘크리트 1m ³ 당 탄소 30kg 감축시키는 탄소저장 콘크리트 제조 기술 및 활용 기술 개발			
(최종) 성과목표	CCU 콘크리트의 구성재료와 설계·제조 기술 및 실용화 기술 개발			
단계별 성과목표 및 지표	25년도~29년도			
	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구분
	산업부산물을 활용한 CO ₂ 저장 골재 제조 기술 개발		골재 CO ₂ 고정량(kg/t)	질
			단위용적 질량(t/m ³)	
			콘크리트 압축강도(28일) 비율(%)	
	순환골재를 활용한 CO ₂ 저장 골재 제조 기술 개발		순환골재 CO ₂ 고정량(kg/t)	
			콘크리트 압축강도(28일) 비율(%)	
	콘크리트용 광물탄산화 혼화재 활용 기술 개발		시멘트 대체 가능 바인더 발굴	
			콘크리트 압축강도(28일) 비율(%)	
	CO ₂ 저장 배합수 제조 기술 개발		회수수 활용 CO ₂ 고정량(kg/t)	
			콘크리트 압축강도(28일) 비율(%)	
	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발		CO ₂ 감축량(kg/m ³)	
			압축강도 향상률(%)	
			염소이온 확산계수 (x10 ⁻¹² m ² /s)	
	CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발		CO ₂ 흡수량(% w/w)	
			압축강도 향상률(%)	
			동결융해 내구성 지수(%)	
	비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발		공용중 탄소 흡수/고정 비구조재 CCU 콘크리트 제조 방법(촉매제 종류)	양
			공용중 CO ₂ 흡수량(kg/m ³) 평가 기법 제시	
	CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발		구조설계기준	
			CCU 콘크리트 구조물 실증	
	CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발		LCA 평가 기법	
	CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발		탄소감축 외부 방법론	

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

<표 4-3> 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 개발			
(최종) 성과목표	무가열 아스팔트 재료, 무가열 현장 재활용 시공 장비, 도로용 혁신 재료 개발			
성과목표 및 지표	26년도~29년도			
	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발	0.1	저장안전성	질
			고형분 함량	
			평균입자크기	
	아스팔트 고품분 80% 이상 (고점도)유화 아스팔트 대량생산 및 기반 구축 기술 개발	0.1	공용성 등급	
			신도	
			유화용 High Shear 생산 장비	
	전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발	0.15	공용성능(Nf, $\epsilon P/\epsilon E$ 등)	
			양생시간	
			현장실증	
			탄소배출량	
	국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈 개발	0.1	시공장비 소형화	
			CIRB 연속시공	
			현장 다짐성능	
	무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 기술 개발	0.15	양생시간	
			순환골재 재활용률	
			간접인장강도	
	노후 아스팔트 포장의 구조적 성능 복원 가능 유지보수 기술 개발	0.1	배합설계 기준(안)	
			기존 노후 포장 평가 및 구조설계 기준(안)	
	바이오매스 기반 Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발	0.1	가사시간	
			경화시간	
			점도	
	중교통량 이상 자동차 전용 도로 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발	0.1	휨강도	
			동적안정도	
			전단 접착강도	
	Bio-Polymer 콘크리트 포장 전용 생산 및 시공 기술 개발	0.1	전용 생산시설 모듈	
			전용 시공장비 모듈	
			전용 유지관리 장비	
			평탄성지수(IRI)	

4.3. 기대(파급)효과

[고강도 무시멘트 콘크리트]

□ 정책적 기대(파급)효과

- 「제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('23~'32)」, 「제7차 건설기술진흥기본계획('23~'27)」 등 친환경·탄소중립 건설재료 개발을 위한 정부의 정책 기조에 부응
 - 국토교통과학기술 연구개발 종합계획에서는 과제 7. '스마트 디지털 건설'의 중점분야 2. '고효율 스마트 재료'를 포함하고 있으며, 본 사업은 이를 이행할 수 있는 사업으로 정부 정책 달성에 기여
 - (재활용 및 순환자원화) 건설·산업 폐기물의 유해성 저감 및 재처리, 순환자원화 등 대량 생산이 가능한 친환경 건설재료 개발
 - (탄소저감·대체 건설재료) 탄소배출 저감 건설재료, 탄소중립을 위한 대체재료, CO₂ 포집 및 자원화 등 탄소중립형 건설재료 개발
 - 건설기술진흥기본계획에서는 '미래 수요에 대응한 기술개발 및 상용화 지원' 추진과제 내에 저탄소 건설재료 관련 내용을 포함하고 있으며, 본 사업은 이에 해당하는 사업으로 상위정책에 부합
 - (저탄소 건설재료) 탄소중립 초고성능 콘크리트, 콘크리트 급열양생 공법 및 순환골재 탄산화 기술 등
- 고강도 무시멘트 콘크리트는 탄소배출량이 많은 시멘트를 사용하지 않는 친환경 건설재료로 국내에서 생산되는 시멘트의 10% 대체시 약 418만 톤의 CO₂ 저감이 가능하여 국가 온실가스 저감 목표 달성에 기여 가능
 - 국내 시멘트 생산과정에서 배출되는 CO₂는 약 4,180만 톤으로 전 산업 중 4번째로 탄소배출량이 많은 산업
 - '21년 기준 국내 시멘트 생산량은 5,045만 톤이며, 업계 평균 시멘트 탄소배출계수는 830kg/톤으로 총 탄소배출량은 4,180만 톤
 - 무시멘트 콘크리트의 건설현장 적용으로 시멘트를 10% 대체한다고 가정해도 약 418만 톤의 탄소배출량을 저감 가능

□ 과학기술적 기대(파급)효과

- 세계 최초 초고성능 및 고강도-고연성 무시멘트 복합재료가 개발되며, 이를 통한 관련 분야를 국내 연구진에 의해 선도 가능
- ACI 318, EC2, fib MC2010 등에 대응하는 기준 제시가 가능하며, 설계기준을 활용한 기술 수출 가능
- 구조용 무시멘트 콘크리트의 철근부식 기반 내구성 평가 사례 최초 확인 가능
- 무시멘트 콘크리트 구조부재 적용에 따른 구조안전성 평가 및 설계-제작-시공 가이드라인 도출을 통한 안정적인 현장적용 가능

□ 경제적 기대(파급)효과

- 무시멘트 콘크리트는 일반 콘크리트 대비 33.9% 제조원가를 절감하여 국내 콘크리트 시장에서 연간 약 1조 100억원의 경제적 효과 기대
 - 전 세계 친환경 시멘트 점유율 18.4%를 국내 콘크리트 시장 대체율로 적용
- 무시멘트 콘크리트는 기존 시멘트 대비 탄소배출량을 50% 감소함으로써 연간 약 557억원의 탄소배출권 확보 기대
 - 배출권시장 정보플랫폼 '24년 3월 탄소배출권 9,550원/tCO₂-eq 기준
- 구조용 무시멘트 콘크리트 확산으로 국내 친환경 건설재료 시장 확대 및 해외 건설산업 수주에 기여
 - 산업부산물 및 건설폐기물을 무시멘트 콘크리트로 재활용함으로써 폐기물 처리·매립 비용 절감 및 친환경 국토공간 조성

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

□ 정책적 기대(파급)효과

- 탄소중립 체제 세계화에 의한 해외 기술 종속화 예방 및 국내 건설관련 탄소경제 자립성 강화
 - 해외선도 건설관련 탄소저감 기술이 증가하는 추세에 따른 국내 기술의 종속화를 선제적으로 방지하여 기술 확산 및 적용도모, 건설관련 중소기업 및 중견기업 탄소경제 자립성 강화기반 마련

□ 과학기술적 기대(파급)효과

- 콘크리트 적용 탄산염 원재료에 대한 탄소고정화 메커니즘 기술개발을 통한 건설 탄소저감 기술개발 시너지 형성 및 가속화
 - 콘크리트의 탄소저감 기술을 원재료 별로 확보하여 신규 건설 탄소저감 기술 간 융합·교환이 가능하고 콘크리트 탄소저감 효과에 대한 시너지 형성 가능
- 탄소저감 콘크리트 원재료별 중성화 요인 제어 및 철근콘크리트 고내구성능 가능
 - 골재, 배합수, 혼화재료에 대한 탄소 고정화 및 콘크리트 완제품의 탄산화 선택적용 가능, 중성화 영향을 용도에 따라 제어하여 탄산화로부터 자유로운 고성능 탄소고정 철근콘크리트 부재 설계 가능
- 콘크리트 산업의 안정적이고 장기적인 CO₂ 감축 기술 확보 및 즉시 활용 가능한 CCUS 시스템 구축에 따른 온실가스 배출량 감축에 실질적 기여
 - CO₂ 고정화 기술의 취약점인 CO₂ 재방출 현상 없이 장기 안정 상태로 CO₂를 대량으로 고정할 수 있기 때문에 안전이나 환경위험 없이 기후 위기에 대응 가능
 - 기존 콘크리트와 동일한 물성, 공정 및 시스템을 기반으로 광물 탄산화 즉시 실현
- 건설 분야 CCUS 시스템 확보에 따른 국가 CCUS 로드맵 달성 기여
 - 국내 건설산업 연계 이산화탄소 감축 기술 체계구축의 선도로 산업계 적용확산을 위한 구체적인 정책 및 체계마련을 통해 국가 이산화탄소 감축 로드맵 구축 기대
 - 지속 가능한 발전을 위한 전략 기술로서의 건설분야 탄소중립을 위한 핵심기술 집중 성장 가능성 잠재
- 건설 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대
 - 저탄소 시멘트 제조, 산업 배출 CO₂ 포집 및 활용 시스템 구축, 저탄소/고내구성 콘크리트 제조 기술 연계를 통한 관련 산업 분야 가치사슬 강화 기대
 - 기술 상용화, 과속화 및 안정화를 위한 실증화 시스템 인프라 조성에 따른 산업 기술력 증대

□ 경제적 기대(파급)효과

- 건설산업에 대한 인식 전환 및 신산업 일자리 창출
 - 기술개발을 통한 기반 구축과 실증 완료시 콘크리트 산업의 기존 부정적 이미지를 탈피하여 2050 탄소중립 달성에 있어 핵심적이고 지속가능한 분야로의 인식 전환 기대
 - 건설산업에 대한 인식 전환에 따른 신규 일자리 창출 및 국내 젊은 인력 유입 기대
- 직접적인 경제적 효과 창출
 - 생산중 탄소 고정 콘크리트 기술만으로도 연간 국내 레미콘 타설량 1.4m³ 기준으로 약 400만 톤의 CO₂ 고정화가 가능하며, 이를 탄소배출권 가격에 적용하면(22,000원/톤, 2021년 2월 기준) 연간 880억의 직접적인 경제적 효과 창출 가능
- 콘크리트 산업의 비용 절감, 장수명화 및 탄소 네거티브 구현

- 건설산업의 탄소중립 구현을 위한 비용 절감 가능
- 내구수명의 감소 없는 탄소중립 콘크리트 구조물의 건설 가능
- CO₂ 배출량 대비 CO₂ 흡수량을 증가시켜 콘크리트 산업에서의 탄소 네거티브 구현

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

□ 정책적 기대(파급)효과

- 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('23~'32), 제7차 건설기술진흥기본계획('23~'27) 등 친환경·탄소중립 건설재료 개발을 위한 정부의 정책 기조에 부응하고, 정책목표 달성에 기여

□ 과학기술적 기대(파급)효과

- Hyper-emulsion 핵심 소재 및 국산화 기술 개발로 미래 사회변화를 선도할 국가 차원의 소재 개발 및 건설 분야 응용 기술 확대
- 국내 노후 아스팔트 포장의 효율적 단면 보수공법 적용을 통한 노후 도로포장의 구조적 성능 개선 및 수명 연장을 위한 전환 기반 마련

□ 사회·경제적 기대(파급)효과

- 가열 아스팔트 혼합물 생산 공정에서 무가열 순환 아스팔트 포장 기술로 전환함에 따라 탄소 발생 저감 효과 연간 70.0%(0.4백만tCO₂eq) 이상 절감 가능
- 아스팔트 포장 표층 1km 시공 시, 발생하는 탄소배출량은 총 456.2톤으로 2022년 국내 아스팔트 혼합물 총 생산량으로 환산할 경우, 도로포장 부분에서 약 13,336톤 감소
- 가열 아스팔트 혼합물 생산 공정에서 무가열 순환 아스팔트 포장 기술로 전환함에 따라 화석 연료비 연간 934억 원/년 절감
- 신소재 도로포장 관련 산업계의 활성화 유도 및 국내외 신시장 개척 가능

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

5.1. 연구개발성과물 검증 및 관리 방안(테스트베드 구축 등)

[고강도 무시멘트 콘크리트]

□ 현장타설 구조물 설계·시공 현장적용

- 무시멘트 콘크리트는 일반 콘크리트 대비 수화열 저감이 가능하여 매스콘크리트인 기초와 같은 건축 1건, 인프라 구조물 1건 적용

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

- 비구조물 대상으로 탄소저장 콘크리트 제조 기술, 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 활용 기술, 회수수를 활용한 CO2 저장 배합수 제조 기술을 적용하여 안전성을 검증

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

□ 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공기술 현장적용

- 전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장기술 현장실증 2건, 한국형 CIRB 장비 시험 시공, 바이오 폴리머 콘크리트 테스트베드 구축

5.2. 연구개발성과물 활용 방안

[고강도 무시멘트 콘크리트]

- R&D를 통해 개발한 무시멘트 콘크리트는 중점기술 1의 공동연구책임자(산업체)의 주관으로 건축 및 인프라 건설현장에서 실증을 수행
 - 실증현장에서 무시멘트 콘크리트 재료의 품질관리, 시공방법, 시공성 등을 확인하고, 시공 후 검증, 사용성, 내구성, 안전성 등을 적용 이후 검증
- 무시멘트 콘크리트 재료의 적용이 가능한 건설사 등 다양한 이해관계자들의 참여를 통한 R&D 성과 상용화 및 사업화
 - 참여기업으로의 R&D 성과 기술이전/자체실시를 통해 해당 건설사의 건설현장에서 실증하고, 신규 수주사업에 적극 활용하여 현장 적용사례 누적과 시장 형성

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

- 개발 탄소저장 콘크리트를 프리캐스트 및 현장타설용으로 적용하여 현장 실증 수행
- CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발, CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발, CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발 수행을 통해 탄소감축 외부사업 추진의 기초로 활용

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

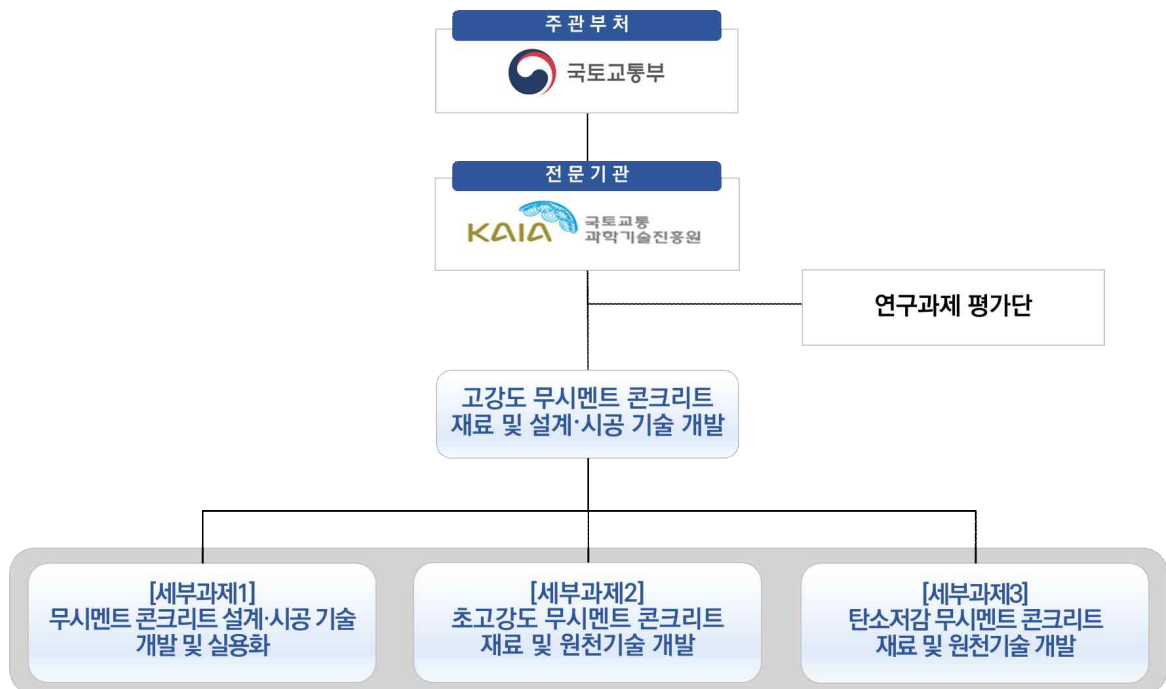
- R&D를 통해 개발한 탄소저감형 도로포장은 공동연구책임자(산업체)의 주관으로 건축 및 인프라 건설현장에서 실증을 수행
 - 실증현장에서 탄소저감형 도로포장 재료의 품질관리, 시공방법, 시공성 등을 확인하고, 시공 후 검증, 사용성, 내구성, 안전성 등을 적용 이후 검증
- 탄소저감형 도로포장 재료의 적용이 가능한 건설사 등 다양한 이해관계자들의 참여를 통한 R&D 성과 상용화 및 사업화
 - 참여기업으로의 R&D 성과 기술이전/자체실시를 통해 해당 건설사의 건설현장에서 실증하고, 신규 수주사업에 적극 활용하여 현장 적용사례 누적과 시장 형성

5.3. 사업 운영계획

[고강도 무시멘트 콘크리트]

5.3.1. 사업 추진체계

- ‘고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 기획’은 국토부의 총괄 책임하에, 국토교통과학기술진흥원이 사업을 운영·관리하는 체계로 추진하고자 함
- (국토교통부) 동 사업을 종합조정하며, 사업의 기본 방향성을 제시
- (국토교통과학기술진흥원) 사업 관리·운영·점검 주체 역할을 수행하며, 진흥원 내 연구과제 평가단을 구성 및 운영하여 선정평가, 과제평가(진도점검, 결과평가 등)를 실시
- (연구기관) 주관 및 공동연구기관은 사업에 참여하여, 실제 연구과제를 수행



[그림 5-2] 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 추진체계

<표 5-4> 추진체계 구성주체별 역할

주체	역할
국토교통부 (주관부처)	사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업종합조정, 사업 기본시행계획 수립 등 수행
국토교통과학기술진흥원 (전문기관)	사업추진 전담 관리기관으로서, 사업 및 과제 관리·운영·점검 주체
연구과제 평가단	연구과제 선정평가, 과제평가(진도점검, 결과평가 등)를 실시
참여 연구기관	주관/공동 연구기관은 사업에 참여하여, 실제 연구과제를 수행

5.3.2. 사업 운영·관리 계획

1. 사업 추진 절차 및 일정

- 본 사업은 '24년 예산 편성 후 본격적으로 사업을 추진할 예정이며, '25~'28년까지 총 4년간 추진
- ※ 사업추진 일정은 사업 준비·착수에 따라 변동 가능

<표 5-5> 사업추진절차 및 일정 상세일정

추진일정	추진절차	상세추진일정	내용
기획 단계 (‘22~’24)	사전기획	‘22년 5월~ ’24년 5월	국내외 정책·산업·연구동향조사 사업목적, 사업개념 및 기본계획 등 기획
	중기사업계획 제출	’24년 1월	중기사업계획 제출, 중기사업계획 예산심의 대응
	예산 요구	’24년 5월	예산 요구서 작성 및 제출
	예산 편성	’24년 하반기	최종 사업비 확보
사업 추진 (’25~’28)	과제 공고	’25년 1월	사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 (연구개발과제 신청자격 및 선정절차, 기준 등) 과제별 공고
	과제 제안서 접수	매년 2월	연구개발계획서 등 제안서 접수
	연구과제평가 단 구성 및 평가	매년 2월~3월	과제 선정평가를 위한 연구과제평가단 구성
	과제 평가 및 선정	매년 2월~3월	평가 및 선정
	과제별 협약 및 연구수행	매년 4월 착수	과제별 협약 및 연구수행(매년 4월~차년도 3월)
	과제별 진도관리 및 중간평가	분기별/연차별	진도보고서 제출을 통해 진도관리 해당년도 연차실적계획서를 제출하여 중간평가(모니터링) 및 결과보고 실시
	과제별 최종평가	과제 종료 시점	과제별 최종보고서 제출 및 평가
	사업 종료평가	’28년 11월	사업종료에 따른 최종 평가

2. 사업관리체계

□ 사업관리 계획 수립 및 이행

○ 본 사업은 전문기관이 관계 법령/지침을 준용하여 사업착수 3개월 전 사업관리 계획을 수립하고 이행

- 국토교통부 소관 법령 등
 - [법령] 국토교통과학기술육성법, 동 법 시행령 및 시행규칙
 - [행정규칙] 국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정 등
- 과학기술정보통신부 소관 법령 등
 - [법령] 국가연구개발혁신법 동 법 시행령 및 시행규칙
 - [행정규칙] 국가연구개발사업 연구노트 지침, 국가연구개발사업 연구개발비
 - 사용기준, 국가연구개발사업 동시 수행 연구개발 과제수



출처: 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(202), 「2023년 국토교통 연구개발 시행계획」

[그림 5-3] 국토교통과학기술연구개발사업 추진체계 및 절차

□ 사업의 원활한 수행을 위한 연구개발관리 주요 활동 수행

- **(연구과제 관리)** 국토교통과학기술진흥원(KAIA)은 연구과제의 원활한 수행과 사업목표 달성을 위해 연구과제의 공고·관리·평가를 계획하며, 이를 위한 실무를 수행
 - 해당 연차의 상반기에 신규과제 공고/선정평가를 실시하며, 연구과제 평가단, KAIA, 국토부를 통해 결정된 사항을 사업에 반영하여 운영
 - KAIA 연구관리시스템을 통해 연구개발과제 공고부터 종료까지 체계적으로 관리
 - 국토교통 R&D 공모·선정시 연구개발 성과목표, 단계별, 연차별 달성목표와 이에 대한 세부 추진전략 및 일정계획 등을 연구개발계획서에 제시하도록 하고, 과제 선정 이후, 해당 과제에 대한 진도점검·관리 및 성과평가의 근거자료로 활용
 - 연구개발내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되며 단계별, 연차별 달성정도를 확인할 수 있는 구체적인 성과평가(안) 제시
 - 연구개발과제의 평가 시기 이외에도 진행현황 파악과 현장점검 등을 실시하며, 필요시 진도보고서를 요청하여 필요한 조치를 취하고 결과를 평가에 반영
- **(일정관리)** 과제별로 연구개발 수명주기 및 프로세스를 기반으로 업무를 세분화(WBS)하고, 세부 업무(WBS)별 수행일정 및 담당자를 할당하여 세부일정 수립(Gantt Chart), 또한 정기적 보고(월간)를 통해 일정 차질에 대한 신속한 파악 및 대응조치 실시
 - ※ WBS : Work Breakdown Structure
- **(기술관리)** 세부업무(WBS)를 기반으로 소요기술 및 핵심기술요소(CTE) 선정, 소요기술별 성능 목표 달성을 위한 주요일정별 진도 관리 수행
 - ※ 필요시 진도점검 및 모니터링 실시, 기술자료 검토 및 검토회의를 실시
- **(회계관리)** 본 사업의 연구비가 사업목적과 사용계획에 맞게 사용되도록 하기 위해, 체계적인 회계 기준을 바탕으로 연구비를 관리하고, 부정집행 등에 대한 조치를 수행
 - 연구비 회계 비목 설정 및 부정집행에 대한 처우 기준은 ‘국가연구개발사업 연구개발비 사용 기준’을 따름

<표 5-6> 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발의 연구개발비 계상기준

항목		계상기준
직접비	인건비	참여연구원에게 지급하는 인건비, 비영리기관 연구부서의 연구 지원인력에게 지급하는 인건비
	학생인건비	해당 연구개발과제에 참여하는 소속 학생연구원에게 지급하는 인건비
	연구시설·장비비	해당 연구개발과제 종료 2개월 이전에 도입이 완료되어 해당 연구에 사용할 수 있는 연구시설·장비의 구입·설치비
	연구재료비	시약·재료 구입비 및 전산 처리·관리비, 시험제품·시험설비 제작경비
	연구활동비	출장여비, 과제와 직접 관련 있는 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비, 공공요금, 제세공과금, 우편요금, 택배비 및 수수료, 전문가 활용비, 회의장 사용료, 연구개발서비스 활용비, 회의비, 식대 등
	연구수당	해당 연구개발과제의 연구책임자, 참여연구원의 보상금·장려금 지급을 위한 수당
	위탁연구개발비	연구의 일부를 외부기관에 용역을 주어 위탁 수행하는 데에 드는 경비
간접비	인력지원비	연구지원인력 인건비, 연구개발능률성과급
	연구지원비	기반시설·장비 구축·운영비 및 연구활동지원금, 연구실안전관리비, 연구보안관리비 및 연구윤리활동비 등
	성과활용지원비	과학문화활동비, 지식재산권 출원·등록비, 기술창업 출연·출자금

※ 출처: 국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급·사용 및 관리에 관한 규정, 별표2: 연구비 비목별 계상기준(제6조제1항 관련) (개정 2020.01.28.)

- **(위험요소 관리)** 본 사업의 성공적인 수행을 위해 사업 수행 중 직면할 수 있는 위기요소 일람표를 작성하고, 각 위기 요소별 대응 시나리오를 작성 및 안전관리 대책을 수립하여 활용함
- 위험요소별 발생가능성과 심각성을 Level화하여 우선 관리요소를 설정하고, 주기적인 모니터링을 통해 사전 위기 상황 감지 및 선제적 조치를 수행
 - 위험요소에 대한 위기관리는 위기의 완화(Mitigation), 모니터링(Monitoring), 관리(Management)등 단계별로 요소들에 대응하며, 분기별로 내부 회의를 통해 관리 상황을 공유

<표 5-7> 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·성능 기술개발의 위기요소 일람표

분류	사업 위험요소	발생 가능성	심각성	대응 시나리오(안)
C1	환경변화에 의한 사업 방향 변화	상	상	• 사업 보완기획을 위한 긴급회의 소집 • 기획위원회 지원 요청
C2	사업예산의 삭감	상	중	• 연구과제 구성, 규모 조정 • 사업목표 또는 연구목표의 조정
C3	사업성과의 부실	중	상	• 주기적인 진도관리 및 모니터링을 통한 성과 달성 가능성 점검 및 과제 조정
C4	세부과제 모집의 실패	중	중	• 국토부 및 산·학·연 협조를 통한 적극 홍보(수요 발굴) • 추가적인 과제 모집 실시
C5	사업성과의 활용도 미흡	중	하	• 성과활용 및 확산을 위한 계획 수립 • 추적평가 실시를 통해 활용처 모색
C6	각종 평가의 정확성, 신뢰성 저하	하	상	• 연구과제평가단 재구성 • 평가단 선정 기준의 강화
C7	사업일정의 지연	하	중	• 운영계획(추진일정)의 조정 • 일정 지연 요소의 파악 및 제거
C8	연구책임자의 과제수행 충실성 부족	하	하	• 연구책임자의 연구의지 함양을 위한 지원혜택 마련 또는 책임자 교체

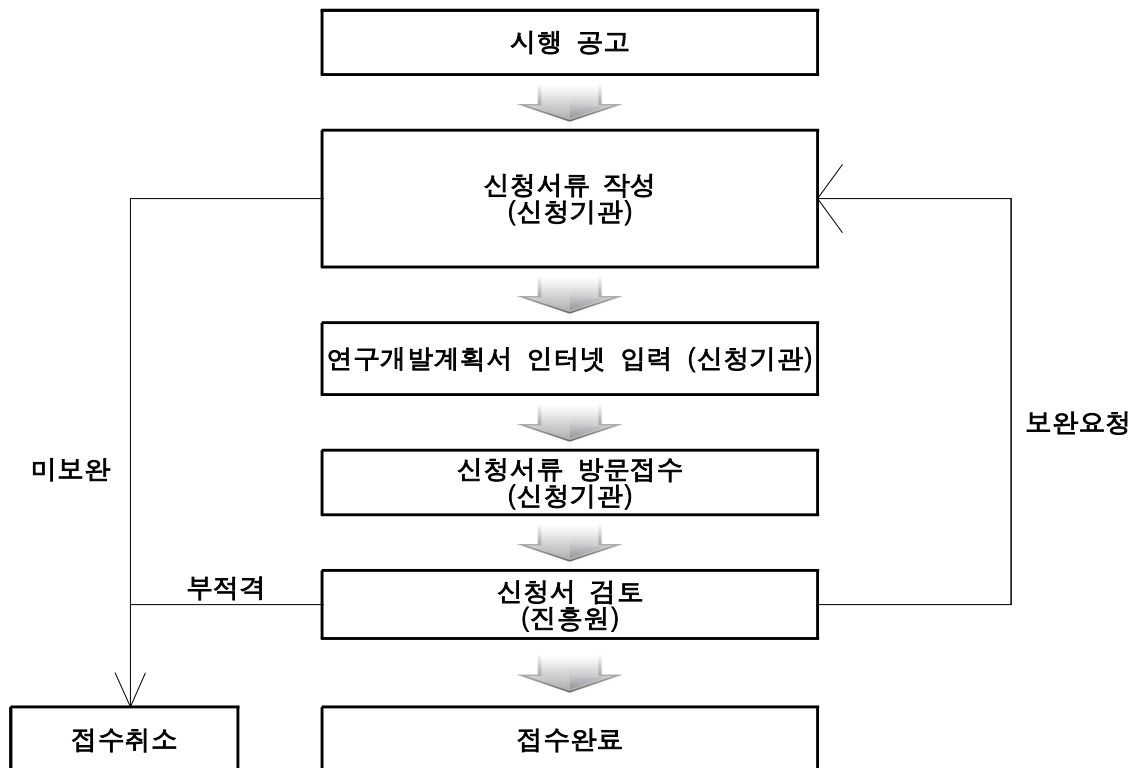
- **(연구개발정보의 관리)** 효율적인 연구관리의 정보화를 위해 과제지원시스템 상에 연구과제 관련 정보를 데이터화하여 관리하고, 3천만원 이상의 장비 또는 3천만원 미만이라도 공동 활용이 가능한 장비는 취득 후 30일 이내 연구시설·장비종합정보시스템에 등록하여 관리
- 연구개발계획서
 - 연차(단계)보고서
 - 연구개발 최종보고서, 요약서
 - 연구개발성과 활용보고서
 - 협약체별 및 협약변경 내역
 - 연구비 사용계획과 집행실적
 - 연구개발 성과 및 실적
 - 연구개발 수행내역
 - 그 밖에 전문기관 장이 필요하다고 인정하는 사항

3. 사업평가체계

(1) 과제 공고 및 선정

□ 사업공고 및 접수

- 연구개발과제 또는 연구수행기관을 선정하기 위하여 전문기관 홈페이지, 통합정보시스템 등에 30일 이상 공고
 - 공고 내용에는 다음의 내용이 포함되며, 공고 안내문, 서식 등 관련문서를 전자 문서화하여 함께 공고
 - 연구개발과제 목적, 지원내용, 지원기간, 과제제안요구서 및 기획연구보고서 등의 관련 사항
 - 연구개발과제 신청자격, 참여기관들의 구성요건·형태 및 참여제한 관련 사항
 - 선정평가 절차 및 방법
 - 과제 수행 및 성과활용 관련 사항(평가절차 등)
 - 그 밖에 필요한 사항(전문기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항 등)

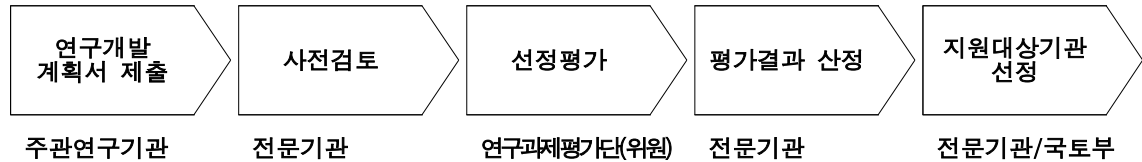


[그림 6-4] 신청서 접수 및 처리 절차

□ 과제 선정방식

- 연구단 규모로 3개 핵심기술로 구성하고, 핵심기술별 기술개발 내용과 전략에 따라 지정공모와 자유공모 방식 혼합
 - (지정공모) 무시멘트 콘크리트 연구단을 총괄하고 설계·시공기술 및 실용화를 담당하는 핵심기술①은 Top-down 방식으로 선정
 - (자유공모) 시멘트 대체재료, 콘크리트 배합 구성비 등 창의적·혁신적 아이디어를 발굴하기 위해 핵심기술②③은 Bottom-up 방식으로 다수의 과제를 선정(약 3배수)하여 1단계 후 경쟁방식으로 후속지원

□ 선정평가 및 선정



[그림 5-5] 선정평가 프로세스

- 접수된 연구개발계획서는 사전검토를 거쳐 연구과제평가단의 선정평가를 통해 연구개발과제와 연구기관을 선정
- **(사전검토)** 신청기관이 제출한 연구개발계획서에 대해 과제제안요구서(RFP)와의 부합성, 타 과제와의 중복성 등 사전검토 자료를 연구과제 평가단에 제공 가능
 - **(평가방법)** 서면/온라인평가, 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시
 - **(평가항목 및 배점)** 개별 평가계획 수 연구개발과제의 국내·외 연계·협력 가능성
 - ※ 연구개발비 및 연구개발기간의 타당성
 - ※ 과제목표의 도전성과 적절성
 - ※ 성과지표의 적절성
 - ※ 그 밖에 필요한 사항

<표 6-8> 선정평가 기준항목

기준항목	세부 평가항목	배점
연구개발 목표 (20점)	최종 연구개발 목표/성과목표(지표)의 명확성, 타당성, 창의성	10
	단계별·연차별 연구개발 목표/성과목표(지표) 설정의 적절성, 구체성	10
연구개발 내용 (20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	연구개발 목표달성을 위한 연구내용·예상성과의 적절성 및 실현가능성	5
	연구개발과제 구성의 타당성 및 연계성	5
	연구개발기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
추진전략 및 계획 (30점)	연구개발 추진전략 및 방법의 적정성, 구체성, 타당성	10
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등) 및 연구진의 전문성	10
	연구개발기관의 연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성, 신규 인력 채용 의지	10
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	연구개발성과 활용 시나리오의 적절성 및 구체성	5
	연구개발성과 실용화 및 정책제안 가능성	10
	개발기술의 기대성과(기술적/경제적) 및 파급효과	5
연구책임자의 연구수행능력(10점)	연구책임자의 연구역량(관련분야 연구경험) 및 관리능력	5
	연구윤리 수준	5
계		100

※ 항목 및 배점의 변경 가능

- **(평가결과의 산정)** 종합평가점수 산정시 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조에 따라 과제 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여 가능하며, 이를 반영한 과제별 최종점수로 지원대상 기관 선정

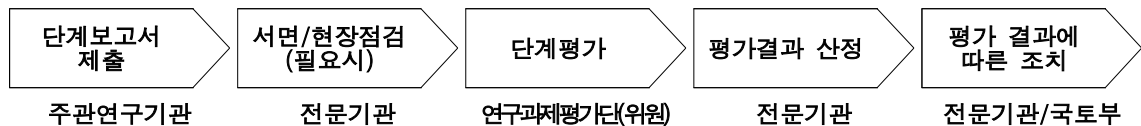
(2) 과제 관리

□ 중간점검

- **(수행 목적 및 추진근거)** 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제34조의1에 따라 연차보고서를 제출해야 하며, 검토과정에서 필요하다고 판단될 경우 제34조2에 따라 연구개발과제의 진도 등을 점검하기 위한 중간점검 실시
- **(수행 절차 및 방법)** 연차보고서를 서면으로 검토하는 것을 원칙으로 하되, 검토과정에서 필요하다고 판단될 경우 진도점검회의 또는 현장실태조사 실시
 - 연구책임자는 100페이지 이내의 연차보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함

□ 단계평가

- **(수행 목적 및 추진근거)** 단계종료 시 연구개발과제의 수행과정, 연구개발성과, 다음 단계의 연구개발 과제 수행계획 등을 단계보고서를 통해 검토 및 확인하고 다음 단계의 계속지원 여부를 결정하기 위해 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제32조에 따라 평가를 실시
- **(수행 절차 및 방법)** 연구개발과제 평가단을 통해 대면(발표)평가, 현장평가, 공개평가 등 적합한 평가방법을 선택하여 실시하고, 필요 시 평가 항목별로 평가방법 등을 달리 정하여 평가 실시

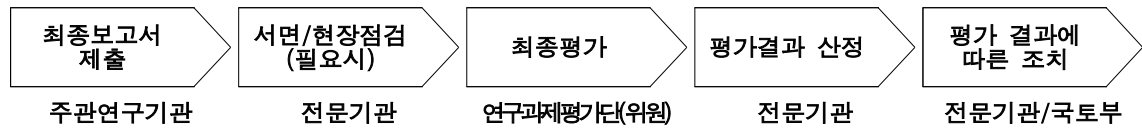


[그림 5-6] 단계평가 프로세스

- **(단계보고서 제출)** 연구책임자는 100페이지 이내의 단계보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함
- **(서면 및 현장점검)** 전문기관의 장은 단계평가 실시 전, 연구수행 과정 및 성과확인을 위해 필요한 경우 하기의 사항에 대한 단계보고서의 서면점검, 현장점검 등을 실시 (※단, 필요시)
 - 연구수행 과정 및 수행내용
 - 연구수행 결과 및 목표달성 정도
 - 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여
 - 연구개발과제 수행계획
- **(평가항목)** 과정평가, 성과평가, 계획평가로 구분하고, 과정평가와 성과평가는 점수부여 방식으로 계획평가는 의견제시 방식으로 평가
- **(기본방향)** 원칙적으로 정성평가를 실시하되, 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가
- **(평가결과 산정)** 개인별 과정평가 점수, 성과평가 점수 각각에 대해 최고 및 최저점수를 제외한 산술평균 점수로 각 평가점수를 산정하고, 이를 합한 종합평가 점수를 기반으로 하기와 같이 분류
 - 우수 - 종합평가 결과가 만점의 80% 이상인 경우
 - 보통 - 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만인 경우
 - 미흡 - 종합평가 결과가 만점의 60% 미만인 경우
 - 극히 불량 - 과정평가 점수 및 성과평가 점수가 모두 만점의 40% 미만인 경우
- **(수행 주체)** 평가단 및 평가위원을 구성하고, 평가의 연속성을 유지하기 위해 선정평가 또는 이전 단계평가에 참여한 위원을 우선 선정
- **(평가 조치)** 단계평가 결과에 따라 과제 계속지원 대상 과제와 연차평가 추가실시 대상과제로 구분
 - 단계평가 결과 ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’으로 결정된 과제는 과제의 보완·변경 또는 연구개발비 감액·중액 등을 조정하고, 연구환경 변화, 목표 조기달성 등으로 연구목표 수정 및 과제 중단 결정을 위한 특별평가가 수반될 수 있음
 - ‘극히 불량’ 과제는 지원중단

□ 과제 최종평가

- **(수행 목적 및 추진근거)** 연구 종료 후 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제35조에 따라 최종평가를 실시하여 최종 목표의 달성 여부, 연구수행 과정 등을 종합적으로 평가
- **(수행 절차 및 방법)** 연구개발과제 평가단을 통해 대면(발표)평가, 현장평가, 공개평가 등 적합한 평가방법을 선택하여 실시하고, 필요 시 평가 항목별로 평가방법 등을 달리 정하여 평가 실시



[그림 5-7] 최종평가 프로세스

- **(최종보고서 제출)** 연구책임자는 100페이지 이내의 최종보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함
- **(서면/현장점검)** 단계평가 실시 전, 연구수행 과정 및 성과확인을 위해 필요한 경우 하기의 사항에 대한 최종보고서의 서면점검, 현장점검 등을 실시 (※단, 필요시)
 - 연구수행 과정 및 수행내용
 - 연구수행 결과 및 목표달성 정도
 - 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여
 - 연구개발성과의 관리 및 활용 계획
- **(평가항목)** 과정평가, 성과평가, 계획평가로 구분하고, 과정평가와 성과평가는 점수부여 방식으로 계획평가는 의견제시 방식으로 평가
- **(기본방향)** 단계평가는 원칙적으로 정성평가를 실시하되, 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가
- **(평가결과 산정)** 개인별 과정평가 점수, 성과평가 점수 각각에 대해 최고 및 최저점수를 제외한 산술평균 점수로 각 평가점수를 산정하고, 이를 합한 종합평가 점수를 기반으로 하기와 같이 분류
 - 우수 - 종합평가 결과가 만점의 80% 이상인 경우
 - 보통 - 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만인 경우
 - 미흡 - 종합평가 결과가 만점의 60% 미만인 경우
 - 극히 불량 - 과정평가 점수 및 성과평가 점수가 모두 만점의 40% 미만인 경우
- **(수행 주체)** 평가단 및 평가위원을 구성하고, 평가의 연속성을 유지하기 위해 선정평가 또는 이전 단계평가에 참여한 위원을 우선 선정
- **(평가 조치)** 최종평가 결과에 따라 후속 조치 실시
 - 최종평가 결과 ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’으로 결정된 과제는 최종보고서의 보완·변경 조치계획을 수립하고 평가용 최종보고서 제출일로부터 2개월 이내 평가결과를 반영한 수정·보완된 최종보고서 제출
 - 최종평가 결과 ‘극히 불량’ 과제 또한 최종보고서의 보완·변경 조치계획을 수립하고 평가용 최종보고서 제출일로부터 2개월 이내 평가결과를 반영한 수정·보완된 최종보고서 제출하여야 하며, 이외에도 참여제한 및 제재부가금 부과 등 제재처분에 필요한 사항 검토
- **(활용 방안)** 최종평가 결과에 따라 우수성과에 대한 실용화 지원 등의 후속대책 마련에 활용
 - 최종평가 결과가 우수하고, 하기의 요건을 모두 갖춘 연구개발과제에 대해서는 우수성과에 대한 실용화 지원 등의 후속대책 마련
 - 최종평가 결과 만점의 90% 이상인 과제(최우수 등급)
 - 연구개발계획서에서 제시한 연구개발목표가 모두 달성된 과제
 - 연구개발 성과의 활용을 통해 해당 분야 기술경쟁력을 높이는 데 현저히 이바지할 수 있다고 평가되는 과제

□ 과제 성과 조사

- **(수행 목적 및 추진근거)** 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제45조에 따라 계속과제 및 종료 과제의 연구개발기관을 대상으로 연구개발성과 활용조사 실시
- **(수행 주기 및 방법)** 과제 종료 다음 해부터 5년간 매년 2월 말까지 성과활용보고서를 제출토록 함
 - 조사계획을 수립하여 실시하고, 필요한 경우 반기별, 분기별, 월별 또는 실시간 조사 실시
- **(활용 방안)** 성과활용실적 평가 결과를 바탕으로 타 사업 선정평가 시 가·감점 부여 및 성과활용보고서 조사·분석을 통해 연구개발성과의 활용 촉진을 위한 추적조사 실시에 활용

4. 성과관리계획

- 국토의 입체적 활용을 위한 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 기획은 사업 목표 달성 및 정부예산 투자의 타당성 입증을 위하여 사업 특성에 맞는 과학기술적, 사회경제적 성과 등의 창출계획을 수립하고 적절한 주기로 이를 모니터링·관리하며 이를 통해 마련된 개선 방안을 사업추진에 환류하는 체계를 구축
- **(성과창출계획 수립)** 본 사업의 특성 및 유형을 바탕으로 설계한 성과목표 및 성과지표를 바탕으로, 사업목표 달성을 위해 요구되는 연차별 성과 창출에 대한 계획을 사전에 수립하여 성과지향적 사업관리가 이루어질 수 있도록 함
- **(성과 보고 및 모니터링)** 수립된 성과창출계획에 부합하는 성과들이 잘 발생하고 있는지 주기적으로 모니터링하고, 성과의 체계적 관리를 통해 향후 종합적 성과분석과 예산투자의 타당성 입증의 기반을 구축
 - 성과평가법 개정에 따라 기존 과기정통부의 국가연구개발사업 중간(자체·상위)평가가 폐지되고 부처 자체평가 중심으로 운영하므로, 사업 특성에 따라 평가 시기 및 주기를 부처가 자율적으로 설정하고 주기적 사업성과 모니터링 필요
 - 사업성과 현황에 근거한 성과창출계획의 보완 및 사업관리체계 개선을 위해서는 일관된 기준으로 성과 데이터베이스를 구축하고 관리하는 것이 필수적
- **(성과분석 및 환류)** 사업에서 창출된 성과현황에 대한 심층적이고 종합적인 분석을 실시하고 개선방안을 마련하여 사업의 기획, 관리, 평가 전주기에 반영함으로써 정부 예산 투자 효율성을 강화
 - 본 사업은 사업착수 시 설정한 중간평가(자체평가)를 위해, 해당 기간의 사업 추진 및 성과에 대해 종합적 성과분석을 실시
 - * 성과평가법 개정에 따라 국가연구개발사업의 '전략계획' 수립 제도가 신설되어, 사업 착수 전 전략계획서 수립 시 사업 중간평가 주기를 자율 설정(3년기준 $\pm\alpha$) 하도록 하고, 부처가 중간평가(자체평가)를 실시하도록 함(성과의 목표 연계성, 추진실적, 추진계획 평가)
 - * 자체평가(부처)→시스템 등록 및 공개(부처)→모니터링(혁신본부)
 - 사업목표 달성을 위한 성과창출이 잘 이루어지고 있는지, 만약 그렇지 않다면 사업추진 및 관리 측면에서의 개선점은 무엇인지 등을 종합적 성과분석을 통해 파악하고, 외부로부터의 지적사항 등을 포괄하는 사업관리 개선대책을 마련 및 반영함으로써 사업추진의 효과성과 효율성을 제고

5. 성과 활용·확산 계획

- 본 사업에서 창출된 성과가 1차적인 산출 성과에 머무르지 않고 PC제품 및 건설 현장에 실질적으로 활용되며, 과학기술적/사회경제적 파급효과를 발생시킬 수 있도록 추진
 - 본 사업에서는 무시멘트 콘크리트 재료 기술과 관련 기술기준 및 지침등이 개정되도록 하여 실제 건축 및 인프라 건설현장에서 활용될 수 있도록 함
 - 또한 동 사업의 산출물이 사업기간 내 실증 사업을 통해 개발 기술 문제점 개선 등 기술완성도를 제고하여 개발 기술의 실용화 및 상용화 기반 확보
- 또한, 본사업의 성과 활용 및 확산을 촉진하기 위해, 성과관리활용계획 수립 및 성과 활용·확산 결과 및 파급효과 조사/점검을 실시
 - **(성과관리활용계획 수립)** 사업 종료 단계에서 ‘성과관리활용 계획’을 수립하고, 혁신본부로부터 총실성을 점검받도록 함
 - ※ 절차: 성과관리활용 계획 수립(부처)→총실성점검(혁신본부) →시스템 등록·공개(부처)
 - **(성과 추적조사 및 실태점검)** 사업 전략계획서 수립 시 추적조사 및 실태점검 주기를 자율 설정(5년 기준- α)하고, 사업 종료 시 ‘성과 활용·확산 결과 및 파급효과 조사·점검’을 실시
 - ※ 절차: 추적조사 및 효과성분석(부처)→시스템 등록·공개(부처)→실태점검(혁신본부)

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

5.3.1. 사업 추진체계

- ‘탄소고정 콘크리트 제조·활용 기술개발 기획’은 국토부의 총괄 책임하에, 국토교통과학기술진흥원이 사업을 운영·관리하는 체계로 추진하고자 함
- (국토교통부) 동 사업을 종합조정하며, 사업의 기본 방향성을 제시
- (국토교통과학기술진흥원) 사업 관리·운영·점검 주체 역할을 수행하며, 진흥원 내 연구과제 평가단을 구성 및 운영하여 선정평가, 과제평가(진도점검, 결과평가 등)를 실시
- (연구기관) 주관 및 공동연구기관은 사업에 참여하여, 실제 연구과제를 수행



[그림 5-8] 탄소고정 콘크리트 제조·활용 기술개발 추진체계

<표 5-9> 추진체계 구성주체별 역할

주체	역할
국토교통부 (주관부처)	사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업종합조정, 사업 기본시행계획 수립 등 수행
국토교통과학기술진흥원 (전문기관)	사업추진 전담 관리기관으로서, 사업 및 과제 관리·운영·점검 주체
연구과제 평가단	연구과제 선정평가, 과제평가(진도점검, 결과평가 등)를 실시
참여 연구기관	주관/공동 연구기관은 사업에 참여하여, 실제 연구과제를 수행

5.3.2. 사업 운영·관리 계획

1. 사업 추진 절차 및 일정

- 본 사업은 '25년 예산 편성 후 본격적으로 사업을 추진할 예정이며, '25~'28년까지 총 4년간 추진
- ※ 사업추진 일정은 사업 준비·착수에 따라 변동 가능

<표 5-10> 사업추진절차 및 일정 상세일정

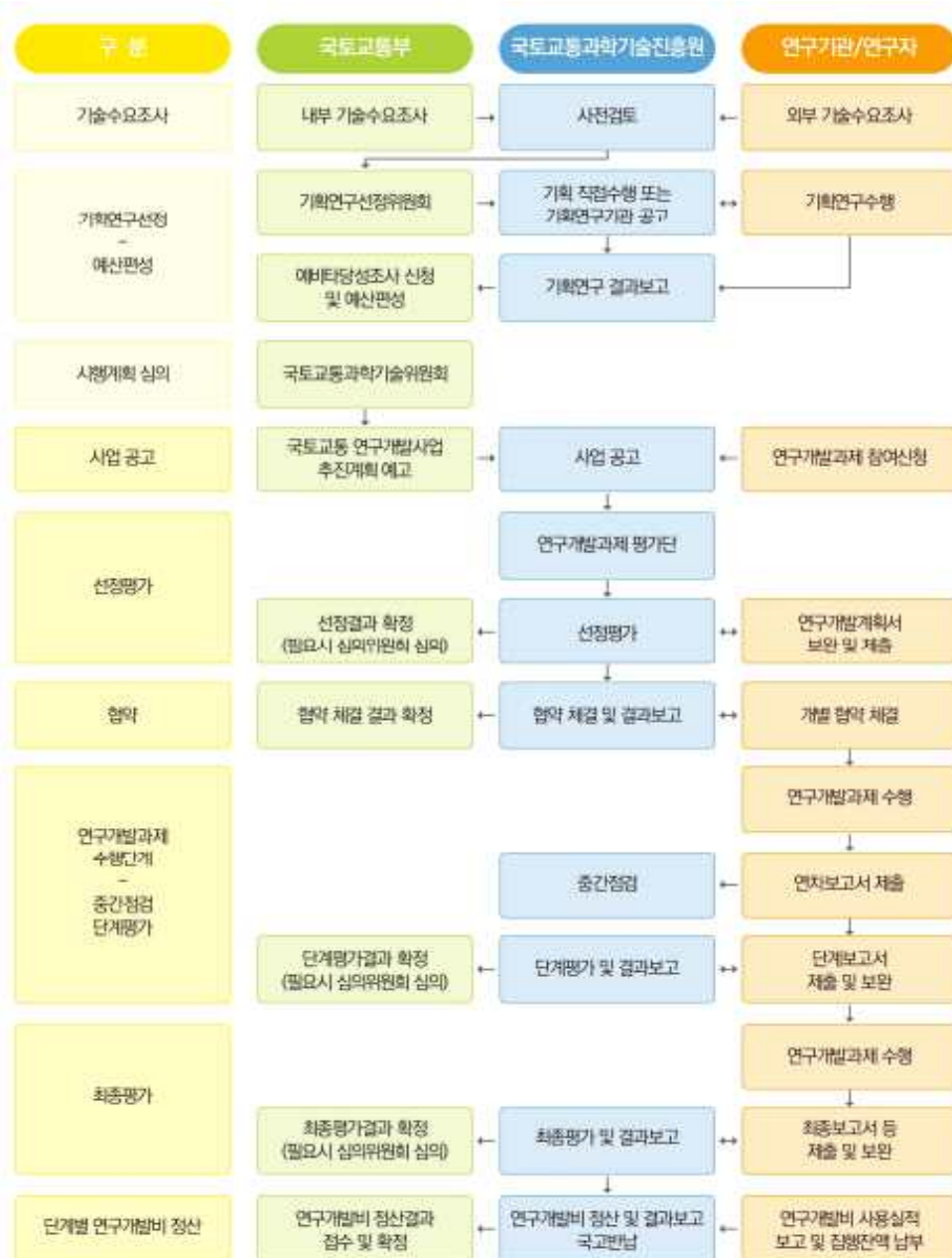
추진일정	추진절차	상세추진일정	내용
기획 단계 (‘22~’24)	사전기획	‘22년 5월~ ‘24년 5월	국내외 정책·산업·연구동향조사 사업목적, 사업개념 및 기본계획 등 기획
	중기사업계획 제출	‘24년 1월	중기사업계획 제출, 중기사업계획 예산심의 대응
	예산 요구	‘24년 5월	예산 요구서 작성 및 제출
	예산 편성	‘24년 하반기	최종 사업비 확보
사업 추진 (‘25~’28)	과제 공고	‘25년 1월	사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 (연구개발과제 신청자격 및 선정절차, 기준 등) 과제별 공고
	과제 제안서 접수	매년 2월	연구개발계획서 등 제안서 접수
	연구과제평가 단 구성 및 평가	매년 2월~3월	과제 선정평가를 위한 연구과제평가단 구성
	과제 평가 및 선정	매년 2월~3월	평가 및 선정
	과제별 협약 및 연구수행	매년 4월 착수	과제별 협약 및 연구수행(매년 4월~차년도 3월)
	과제별 진도관리 및 중간평가	분기별/연차별	진도보고서 제출을 통해 진도관리 해당년도 연차실적계획서를 제출하여 중간평가(모니터링) 및 결과보고 실시
	과제별 최종평가	과제 종료 시점	과제별 최종보고서 제출 및 평가
	사업 종료평가	‘28년 11월	사업종료에 따른 최종 평가

2. 사업관리체계

□ 사업관리 계획 수립 및 이행

○ 본 사업은 전문기관이 관계 법령/지침을 준용하여 사업착수 3개월 전 사업관리 계획을 수립하고 이행

- 국토교통부 소관 법령 등
 - [법령] 국토교통과학기술육성법, 동 법 시행령 및 시행규칙
 - [행정규칙] 국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정 등
- 과학기술정보통신부 소관 법령 등
 - [법령] 국가연구개발혁신법 동 법 시행령 및 시행규칙
 - [행정규칙] 국가연구개발사업 연구노트 지침, 국가연구개발사업 연구개발비
 - 사용기준, 국가연구개발사업 동시 수행 연구개발 과제수



출처: 국토교통부-국토교통과학기술진흥원(202), 「2023년 국토교통 연구개발 시행계획」

[그림 5-9] 국토교통과학기술연구개발사업 추진체계 및 절차

□ 사업의 원활한 수행을 위한 연구개발관리 주요 활동 수행

- **(연구과제 관리)** 국토교통과학기술진흥원(KAIA)은 연구과제의 원활한 수행과 사업목표 달성을 위해 연구과제의 공고·관리·평가를 계획하며, 이를 위한 실무를 수행
 - 해당 연차의 상반기에 신규과제 공고/선정평가를 실시하며, 연구과제 평가단, KAIA, 국토부를 통해 결정된 사항을 사업에 반영하여 운영
 - KAIA 연구관리시스템을 통해 연구개발과제 공고부터 종료까지 체계적으로 관리
 - 국토교통 R&D 공모·선정시 연구개발 성과목표, 단계별, 연차별 달성목표와 이에 대한 세부 추진전략 및 일정계획 등을 연구개발계획서에 제시하도록 하고, 과제 선정 이후, 해당 과제에 대한 진도점검·관리 및 성과평가의 근거자료로 활용
 - 연구개발내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되며 단계별, 연차별 달성정도를 확인할 수 있는 구체적인 성과평가(안) 제시
 - 연구개발과제의 평가 시기 이외에도 진행현황 파악과 현장점검 등을 실시하며, 필요시 진도보고서를 요청하여 필요한 조치를 취하고 결과를 평가에 반영
- **(일정관리)** 과제별로 연구개발 수명주기 및 프로세스를 기반으로 업무를 세분화(WBS)하고, 세부 업무(WBS)별 수행일정 및 담당자를 할당하여 세부일정 수립(Gantt Chart), 또한 정기적 보고(월간)를 통해 일정 차질에 대한 신속한 파악 및 대응조치 실시
 - ※ WBS : Work Breakdown Structure
- **(기술관리)** 세부업무(WBS)를 기반으로 소요기술 및 핵심기술요소(CTE) 선정, 소요기술별 성능 목표 달성을 위한 주요일정별 진도 관리 수행
 - ※ 필요시 진도점검 및 모니터링 실시, 기술자료 검토 및 검토회의를 실시
- **(회계관리)** 본 사업의 연구비가 사업목적과 사용계획에 맞게 사용되도록 하기 위해, 체계적인 회계 기준을 바탕으로 연구비를 관리하고, 부정집행 등에 대한 조치를 수행
 - 연구비 회계 비목 설정 및 부정집행에 대한 처우 기준은 ‘국가연구개발사업 연구개발비 사용 기준’을 따름

<표 5-11> 탄소고정 콘크리트 제조·활용 기술개발의 연구개발비 계상기준

항목		계상기준
직접비	인건비	참여연구원에게 지급하는 인건비, 비영리기관 연구부서의 연구 지원인력에게 지급하는 인건비
	학생인건비	해당 연구개발과제에 참여하는 소속 학생연구원에게 지급하는 인건비
	연구시설·장비비	해당 연구개발과제 종료 2개월 이전에 도입이 완료되어 해당 연구에 사용할 수 있는 연구시설·장비의 구입·설치비
	연구재료비	시약·재료 구입비 및 전산 처리·관리비, 시험제품·시험설비 제작경비
	연구활동비	출장여비, 과제와 직접 관련 있는 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비, 공공요금, 제세공과금, 우편요금, 택배비 및 수수료, 전문가 활용비, 회의장 사용료, 연구개발서비스 활용비, 회의비, 식대 등
	연구수당	해당 연구개발과제의 연구책임자, 참여연구원의 보상금·장려금 지급을 위한 수당
	위탁연구개발비	연구의 일부를 외부기관에 용역을 주어 위탁 수행하는 데에 드는 경비
간접비	인력지원비	연구지원인력 인건비, 연구개발능력성과급
	연구지원비	기반시설·장비 구축·운영비 및 연구활동지원금, 연구실안전관리비, 연구보안관리비 및 연구윤리활동비 등
	성과활용지원비	과학문화활동비, 지식재산권 출원·등록비, 기술창업 출연·출자금

※ 출처: 국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급·사용 및 관리에 관한 규정, 별표2: 연구비 비목별 계상기준(제6조제1항 관련) (개정 2020.01.28.)

- **(위험요소 관리)** 본 사업의 성공적인 수행을 위해 사업 수행 중 직면할 수 있는 위기요소 일람표를 작성하고, 각 위기 요소별 대응 시나리오를 작성 및 안전관리 대책을 수립하여 활용함

- 위험요소별 발생가능성과 심각성을 Level화하여 우선 관리요소를 설정하고, 주기적인 모니터링을 통해 사전 위기 상황 감지 및 선제적 조치를 수행
- 위험요소에 대한 위기관리는 위기의 완화(Mitigation), 모니터링(Monitoring), 관리(Management)등 단계별로 요소들에 대응하며, 분기별로 내부 회의를 통해 관리 상황을 공유

<표 5-12> 탄소고정 콘크리트 제조·활용 기술개발의 위гы요소 일람표

분류	사업 위험요소	발생 가능성	심각성	대응 시나리오(안)
C1	환경변화에 의한 사업 방향 변화	상	상	• 사업 보완기획을 위한 긴급회의 소집 • 기획위원회 지원 요청
C2	사업예산의 삭감	상	중	• 연구과제 구성, 규모 조정 • 사업목표 또는 연구목표의 조정
C3	사업성과의 부실	중	상	• 주기적인 진도관리 및 모니터링을 통한 성과 달성 가능성 점검 및 과제 조정
C4	세부과제 모집의 실패	중	중	• 국토부 및 산·학·연 협조를 통한 적극 홍보(수요 발굴) • 추가적인 과제 모집 실시
C5	사업성과의 활용도 미흡	중	하	• 성과활용 및 확산을 위한 계획 수립 • 추적평가 실시를 통해 활용처 모색
C6	각종 평가의 정확성, 신뢰성 저하	하	상	• 연구과제평가단 재구성 • 평가단 선정 기준의 강화
C7	사업일정의 지연	하	중	• 운영계획(추진일정)의 조정 • 일정 지연 요소의 파악 및 제거
C8	연구책임자의 과제수행 충실성 부족	하	하	• 연구책임자의 연구의지 함양을 위한 지원혜택 마련 또는 책임자 교체

○ (연구개발정보의 관리) 효율적인 연구관리의 정보화를 위해 과제지원시스템 상에 연구과제 관련 정보를 데이터화하여 관리하고, 3천만원 이상의 장비 또는 3천만원 미만이라도 공동 활용이 가능한 장비는 취득 후 30일 이내 연구시설·장비종합정보시스템에 등록하여 관리

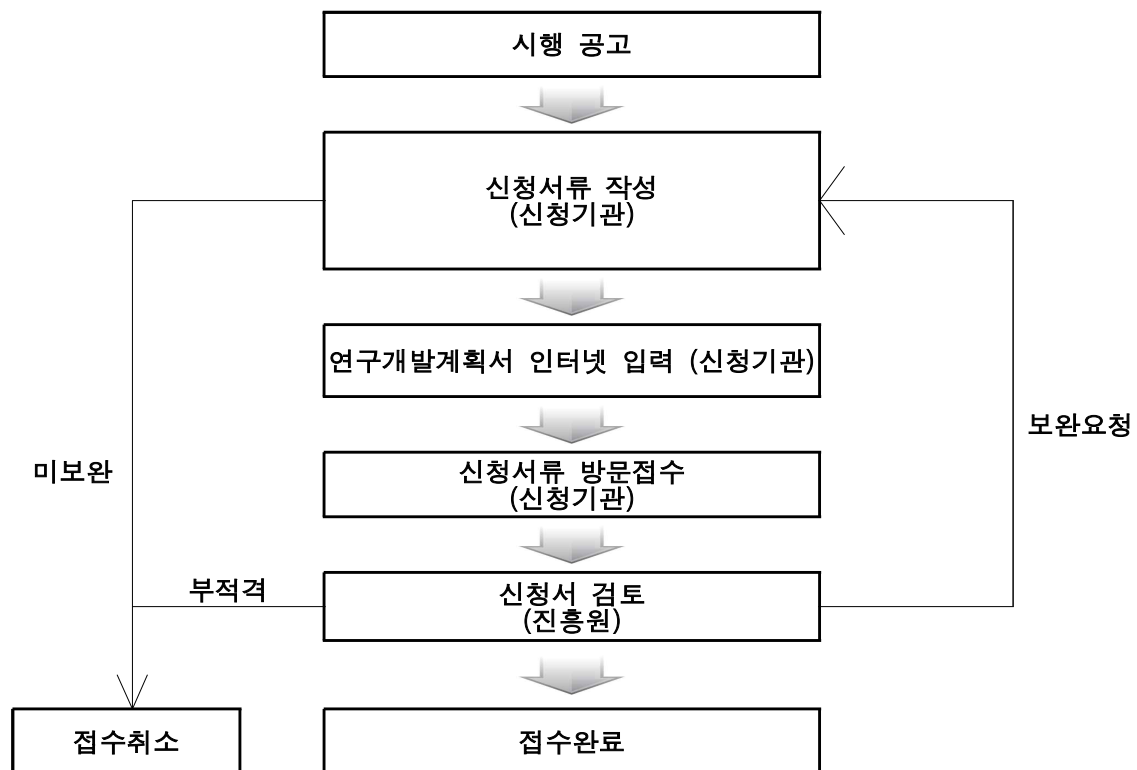
- 연구개발계획서
- 연차(단계)보고서
- 연구개발 최종보고서, 요약서
- 연구개발성과 활용보고서
- 협약체별 및 협약변경 내역
- 연구비 사용계획과 집행실적
- 연구개발 성과 및 실적
- 연구개발 수행내역
- 그 밖에 전문기관 장이 필요하다고 인정하는 사항

3. 사업평가체계

(1) 과제 공고 및 선정

□ 사업공고 및 접수

- 연구개발과제 또는 연구수행기관을 선정하기 위하여 전문기관 홈페이지, 통합정보시스템 등에 30일 이상 공고
 - 공고 내용에는 다음의 내용이 포함되며, 공고 안내문, 서식 등 관련문서를 전자 문서화하여 함께 공고
 - 연구개발과제 목적, 지원내용, 지원기간, 과제제안요구서 및 기획연구보고서 등의 관련 사항
 - 연구개발과제 신청자격, 참여기관들의 구성요건·형태 및 참여제한 관련 사항
 - 선정평가 절차 및 방법
 - 과제 수행 및 성과활용 관련 사항(평가절차 등)
 - 그 밖에 필요한 사항(전문기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항 등)

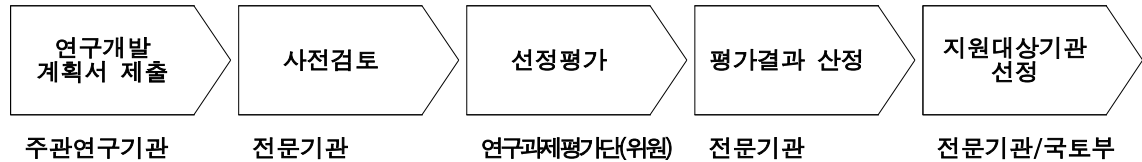


[그림 6-10] 신청서 접수 및 처리 절차

□ 과제 선정방식

- 연구단 규모로 3개 핵심기술로 구성하고, 핵심기술별 기술개발 내용과 전략에 따라 지정공모와 자유공모 방식 혼합
 - (지정공모) 탄소고정 콘크리트 연구단을 총괄하고 설계·시공기술 및 실용화를 담당하는 핵심기술①은 Top-down 방식으로 선정
 - (자유공모) 창의적·혁신적 아이디어를 발굴하기 위해 핵심기술②③은 Bottom-Up 방식으로 다수의 과제를 선정(약 3배수)하여 1단계 후 경쟁방식으로 후속지원

□ 선정평가 및 선정



[그림 5-11] 선정평가 프로세스

- 접수된 연구개발계획서는 사전검토를 거쳐 연구과제평가단의 선정평가를 통해 연구개발과제와 연구기관을 선정
- **(사전검토)** 신청기관이 제출한 연구개발계획서에 대해 과제제안요구서(RFP)와의 부합성, 타 과제와의 중복성 등 사전검토 자료를 연구과제 평가단에 제공 가능
 - **(평가방법)** 서면/온라인평가, 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시
 - **(평가항목 및 배점)** 개별 평가계획 수 연구개발과제의 국내·외 연계·협력 가능성
 - ※ 연구개발비 및 연구개발기간의 타당성
 - ※ 과제목표의 도전성과 적절성
 - ※ 성과지표의 적절성
 - ※ 그 밖에 필요한 사항

<표 6-13> 선정평가 기준항목

기준항목	세부 평가항목	배점
연구개발 목표 (20점)	최종 연구개발 목표/성과목표(지표)의 명확성, 타당성, 창의성	10
	단계별·연차별 연구개발 목표/성과목표(지표) 설정의 적절성, 구체성	10
연구개발 내용 (20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	연구개발 목표달성을 위한 연구내용·예상성과의 적절성 및 실현가능성	5
	연구개발과제 구성의 타당성 및 연계성	5
	연구개발기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
추진전략 및 계획 (30점)	연구개발 추진전략 및 방법의 적정성, 구체성, 타당성	10
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등) 및 연구진의 전문성	10
	연구개발기관의 연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성, 신규 인력 채용 의지	10
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	연구개발성과 활용 시나리오의 적절성 및 구체성	5
	연구개발성과 실용화 및 정책제안 가능성	10
	개발기술의 기대성과(기술적/경제적) 및 파급효과	5
연구책임자의 연구수행능력(10점)	연구책임자의 연구역량(관련분야 연구경험) 및 관리능력	5
	연구윤리 수준	5
계		100

※ 항목 및 배점의 변경 가능

- **(평가결과의 산정)** 종합평가점수 산정시 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조에 따라 과제 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여 가능하며, 이를 반영한 과제별 최종점수로 지원대상 기관 선정

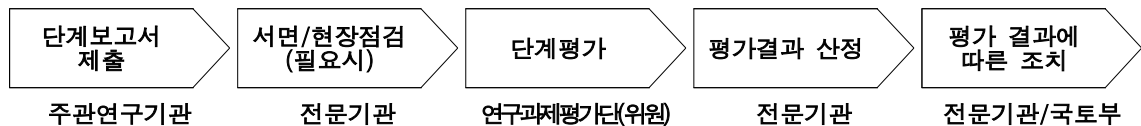
(2) 과제 관리

□ 중간점검

- **(수행 목적 및 추진근거)** 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제34조의1에 따라 연차보고서를 제출해야 하며, 검토과정에서 필요하다고 판단될 경우 제34조2에 따라 연구개발과제의 진도 등을 점검하기 위한 중간점검 실시
- **(수행 절차 및 방법)** 연차보고서를 서면으로 검토하는 것을 원칙으로 하되, 검토과정에서 필요하다고 판단될 경우 진도점검회의 또는 현장실태조사 실시
 - 연구책임자는 100페이지 이내의 연차보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함

□ 단계평가

- **(수행 목적 및 추진근거)** 단계종료 시 연구개발과제의 수행과정, 연구개발성과, 다음 단계의 연구개발 과제 수행계획 등을 단계보고서를 통해 검토 및 확인하고 다음 단계의 계속지원 여부를 결정하기 위해 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제32조에 따라 평가를 실시
- **(수행 절차 및 방법)** 연구개발과제 평가단을 통해 대면(발표)평가, 현장평가, 공개평가 등 적합한 평가방법을 선택하여 실시하고, 필요 시 평가 항목별로 평가방법 등을 달리 정하여 평가 실시

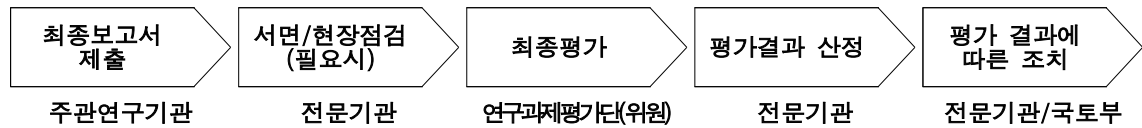


[그림 5-12] 단계평가 프로세스

- **(단계보고서 제출)** 연구책임자는 100페이지 이내의 단계보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함
- **(서면 및 현장점검)** 전문기관의 장은 단계평가 실시 전, 연구수행 과정 및 성과확인을 위해 필요한 경우 하기의 사항에 대한 단계보고서의 서면점검, 현장점검 등을 실시 (※단, 필요시)
 - 연구수행 과정 및 수행내용
 - 연구수행 결과 및 목표달성 정도
 - 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여
 - 연구개발과제 수행계획
- **(평가항목)** 과정평가, 성과평가, 계획평가로 구분하고, 과정평가와 성과평가는 점수부여 방식으로 계획평가는 의견제시 방식으로 평가
- **(기본방향)** 원칙적으로 정성평가를 실시하되, 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가
- **(평가결과 산정)** 개인별 과정평가 점수, 성과평가 점수 각각에 대해 최고 및 최저점수를 제외한 산술평균 점수로 각 평가점수를 산정하고, 이를 합한 종합평가 점수를 기반으로 하기와 같이 분류
 - 우수 - 종합평가 결과가 만점의 80% 이상인 경우
 - 보통 - 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만인 경우
 - 미흡 - 종합평가 결과가 만점의 60% 미만인 경우
 - 극히 불량 - 과정평가 점수 및 성과평가 점수가 모두 만점의 40% 미만인 경우
- **(수행 주체)** 평가단 및 평가위원을 구성하고, 평가의 연속성을 유지하기 위해 선정평가 또는 이전 단계평가에 참여한 위원을 우선 선정
- **(평가 조치)** 단계평가 결과에 따라 과제 계속지원 대상 과제와 연차평가 추가실시 대상과제로 구분
 - 단계평가 결과 ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’으로 결정된 과제는 과제의 보완·변경 또는 연구개발비 감액·중액 등을 조정하고, 연구환경 변화, 목표 조기달성 등으로 연구목표 수정 및 과제 중단 결정을 위한 특별평가가 수반될 수 있음
 - ‘극히 불량’ 과제는 지원중단

□ 과제 최종평가

- **(수행 목적 및 추진근거)** 연구 종료 후 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제35조에 따라 최종평가를 실시하여 최종 목표의 달성 여부, 연구수행 과정 등을 종합적으로 평가
- **(수행 절차 및 방법)** 연구개발과제 평가단을 통해 대면(발표)평가, 현장평가, 공개평가 등 적합한 평가방법을 선택하여 실시하고, 필요 시 평가 항목별로 평가방법 등을 달리 정하여 평가 실시



[그림 5-13] 최종평가 프로세스

- **(최종보고서 제출)** 연구책임자는 100페이지 이내의 최종보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함
- **(서면/현장점검)** 단계평가 실시 전, 연구수행 과정 및 성과확인을 위해 필요한 경우 하기의 사항에 대한 최종보고서의 서면점검, 현장점검 등을 실시 (※단, 필요시)
 - 연구수행 과정 및 수행내용
 - 연구수행 결과 및 목표달성 정도
 - 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여
 - 연구개발성과의 관리 및 활용 계획
- **(평가항목)** 과정평가, 성과평가, 계획평가로 구분하고, 과정평가와 성과평가는 점수부여 방식으로 계획평가는 의견제시 방식으로 평가
- **(기본방향)** 단계평가는 원칙적으로 정성평가를 실시하되, 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가
- **(평가결과 산정)** 개인별 과정평가 점수, 성과평가 점수 각각에 대해 최고 및 최저점수를 제외한 산술평균 점수로 각 평가점수를 산정하고, 이를 합한 종합평가 점수를 기반으로 하기와 같이 분류
 - 우수 - 종합평가 결과가 만점의 80% 이상인 경우
 - 보통 - 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만인 경우
 - 미흡 - 종합평가 결과가 만점의 60% 미만인 경우
 - 극히 불량 - 과정평가 점수 및 성과평가 점수가 모두 만점의 40% 미만인 경우
- **(수행 주체)** 평가단 및 평가위원을 구성하고, 평가의 연속성을 유지하기 위해 선정평가 또는 이전 단계평가에 참여한 위원을 우선 선정
- **(평가 조치)** 최종평가 결과에 따라 후속 조치 실시
 - 최종평가 결과 ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’으로 결정된 과제는 최종보고서의 보완·변경 조치계획을 수립하고 평가용 최종보고서 제출일로부터 2개월 이내 평가결과를 반영한 수정·보완된 최종보고서 제출
 - 최종평가 결과 ‘극히 불량’ 과제 또한 최종보고서의 보완·변경 조치계획을 수립하고 평가용 최종보고서 제출일로부터 2개월 이내 평가결과를 반영한 수정·보완된 최종보고서 제출하여야 하며, 이외에도 참여제한 및 제재부가금 부과 등 제재처분에 필요한 사항 검토
- **(활용 방안)** 최종평가 결과에 따라 우수성과에 대한 실용화 지원 등의 후속대책 마련에 활용
 - 최종평가 결과가 우수하고, 하기의 요건을 모두 갖춘 연구개발과제에 대해서는 우수성과에 대한 실용화 지원 등의 후속대책 마련
 - 최종평가 결과 만점의 90% 이상인 과제(최우수 등급)
 - 연구개발계획서에서 제시한 연구개발목표가 모두 달성된 과제
 - 연구개발 성과의 활용을 통해 해당 분야 기술경쟁력을 높이는 데 현저히 이바지할 수 있다고 평가되는 과제

□ 과제 성과 조사

- **(수행 목적 및 추진근거)** 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제45조에 따라 계속과제 및 종료 과제의 연구개발기관을 대상으로 연구개발성과 활용조사 실시
- **(수행 주기 및 방법)** 과제 종료 다음 해부터 5년간 매년 2월 말까지 성과활용보고서를 제출토록 함
 - 조사계획을 수립하여 실시하고, 필요한 경우 반기별, 분기별, 월별 또는 실시간 조사 실시
- **(활용 방안)** 성과활용실적 평가 결과를 바탕으로 타 사업 선정평가 시 가·감점 부여 및 성과활용보고서 조사·분석을 통해 연구개발성과의 활용 촉진을 위한 추적조사 실시에 활용

4. 성과관리계획

- 탄소고정 콘크리트 제조·활용 기술개발 기획은 사업목표 달성 및 정부예산 투자의 타당성 입증을 위하여 사업 특성에 맞는 과학기술적, 사회경제적 성과 등의 창출계획을 수립하고 적절한 주기로 이를 모니터링·관리하며 이를 통해 마련된 개선방안을 사업추진에 환류하는 체계를 구축
- **(성과창출계획 수립)** 본 사업의 특성 및 유형을 바탕으로 설계한 성과목표 및 성과지표를 바탕으로, 사업목표 달성을 위해 요구되는 연차별 성과 창출에 대한 계획을 사전에 수립하여 성과지향적 사업관리가 이루어질 수 있도록 함
- **(성과 보고 및 모니터링)** 수립된 성과창출계획에 부합하는 성과들이 잘 발생하고 있는지 주기적으로 모니터링하고, 성과의 체계적 관리를 통해 향후 종합적 성과분석과 예산투자의 타당성 입증의 기반을 구축
 - 성과평가법 개정에 따라 기존 과기정통부의 국가연구개발사업 중간(자체·상위)평가가 폐지되고 부처 자체평가 중심으로 운영하므로, 사업 특성에 따라 평가 시기 및 주기를 부처가 자율적으로 설정하고 주기적 사업성과 모니터링 필요
 - 사업성과 현황에 근거한 성과창출계획의 보완 및 사업관리체계 개선을 위해서는 일관된 기준으로 성과 데이터베이스를 구축하고 관리하는 것이 필수적
- **(성과분석 및 환류)** 사업에서 창출된 성과현황에 대한 심층적이고 종합적인 분석을 실시하고 개선방안을 마련하여 사업의 기획, 관리, 평가 전주기에 반영함으로써 정부 예산 투자 효율성을 강화
 - 본 사업은 사업착수 시 설정한 중간평가(자체평가)를 위해, 해당 기간의 사업 추진 및 성과에 대해 종합적 성과분석을 실시
 - * 성과평가법 개정에 따라 국가연구개발사업의 '전략계획' 수립 제도가 신설되어, 사업 착수 전 전략계획서 수립 시 사업 중간평가 주기를 자율 설정(3년기준 $\pm\alpha$) 하도록 하고, 부처가 중간평가(자체평가)를 실시하도록 함(성과의 목표 연계성, 추진실적, 추진계획 평가)
 - * 자체평가(부처)→시스템 등록 및 공개(부처)→모니터링(혁신본부)
 - 사업목표 달성을 위한 성과창출이 잘 이루어지고 있는지, 만약 그렇지 않다면 사업추진 및 관리 측면에서의 개선점은 무엇인지 등을 종합적 성과분석을 통해 파악하고, 외부로부터의 지적사항 등을 포괄하는 사업관리 개선대책을 마련 및 반영함으로써 사업추진의 효과성과 효율성을 제고

5. 성과 활용·확산 계획

- 본 사업에서 창출된 성과가 1차적인 산출 성과에 머무르지 않고 PC제품 및 건설 현장에 실질적으로 활용되며, 과학기술적/사회경제적 파급효과를 발생시킬 수 있도록 추진
 - 본 사업에서는 탄소고정 콘크리트 재료 기술과 관련 기술기준 및 지침등이 개정되도록 하여 실제 건축 및 인프라 건설현장에서 활용될 수 있도록 함
 - 또한 동 사업의 산출물이 사업기간 내 실증 사업을 통해 개발 기술 문제점 개선 등 기술완성도를 제고하여 개발 기술의 실용화 및 상용화 기반 확보
- 또한, 본사업의 성과 활용 및 확산을 촉진하기 위해, 성과관리활용계획 수립 및 성과 활용·확산 결과 및 파급효과 조사/점검을 실시
 - **(성과관리활용계획 수립)** 사업 종료 단계에서 ‘성과관리활용 계획’을 수립하고, 혁신본부로부터 총실성을 점검받도록 함
 - ※ 절차: 성과관리활용 계획 수립(부처)→총실성점검(혁신본부) →시스템 등록·공개(부처)
 - **(성과 추적조사 및 실태점검)** 사업 전략계획서 수립 시 추적조사 및 실태점검 주기를 자율 설정(5년 기준- α)하고, 사업 종료 시 ‘성과 활용·확산 결과 및 파급효과 조사·점검’을 실시
 - ※ 절차: 추적조사 및 효과성분석(부처)→시스템 등록·공개(부처)→실태점검(혁신본부)

[탄소저감형 도로포장 혁신재료]

5.3.1. 사업 추진체계

- ‘탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공기술 개발’은 국토부의 총괄 책임하에, 국토교통과학기술진흥원이 사업을 운영·관리하는 체계로 추진하고자 함
- (국토교통부) 동 사업을 종합조정하며, 사업의 기본 방향성을 제시
- (국토교통과학기술진흥원) 사업 관리·운영·점검 주체 역할을 수행하며, 진흥원 내 연구과제 평가단을 구성 및 운영하여 선정평가, 과제평가(진도점검, 결과평가 등)를 실시
- (연구기관) 주관 및 공동연구기관은 사업에 참여하여, 실제 연구과제를 수행



[그림 5-14] 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공기술 개발 추진체계

<표 5-14> 추진체계 구성주체별 역할

주체	역할
국토교통부 (주관부처)	사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업종합조정, 사업 기본시행계획 수립 등 수행
국토교통과학기술진흥원 (전문기관)	사업추진 전담 관리기관으로서, 사업 및 과제 관리·운영·점검 주체
연구과제 평가단	연구과제 선정평가, 과제평가(진도점검, 결과평가 등)를 실시
참여 연구기관	주관/공동 연구기관은 사업에 참여하여, 실제 연구과제를 수행

5.3.2. 사업 운영·관리 계획

1. 사업 추진 절차 및 일정

- 본 사업은 '25년 예산 편성 후 본격적으로 사업을 추진할 예정이며, '26~'29년까지 총 4년간 추진
※ 사업추진 일정은 사업 준비·착수에 따라 변동 가능

<표 5-15> 사업추진절차 및 일정 상세일정

추진일정	추진절차	상세추진일정	내용
기획 단계 (‘22~’25)	사전기획	‘22년 5월~ ‘24년 5월	국내외 정책·산업·연구동향조사 사업목적, 사업개념 및 기본계획 등 기획
	중기사업계획 제출	‘25년 1월	중기사업계획 제출, 중기사업계획 예산심의 대응
	예산 요구	‘25년 5월	예산 요구서 작성 및 제출
	예산 편성	‘25년 하반기	최종 사업비 확보
사업 추진 (‘26~’29)	과제 공고	‘26년 1월	사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 (연구개발과제 신청자격 및 선정절차, 기준 등) 과제별 공고
	과제 제안서 접수	매년 2월	연구개발계획서 등 제안서 접수
	연구과제평가 단 구성 및 평가	매년 2월~3월	과제 선정평가를 위한 연구과제평가단 구성
	과제 평가 및 선정	매년 2월~3월	평가 및 선정
	과제별 협약 및 연구수행	매년 4월 착수	과제별 협약 및 연구수행(매년 4월~차년도 3월)
	과제별 진도관리 및 중간평가	분기별/연차별	진도보고서 제출을 통해 진도관리 해당년도 연차실적계획서를 제출하여 중간평가(모니터링) 및 결과보고 실시
	과제별 최종평가	과제 종료 시점	과제별 최종보고서 제출 및 평가
	사업 종료평가	‘29년 11월	사업종료에 따른 최종 평가

2. 사업관리체계

□ 사업관리 계획 수립 및 이행

○ 본 사업은 전문기관이 관계 법령/지침을 준용하여 사업착수 3개월 전 사업관리 계획을 수립하고 이행

- 국토교통부 소관 법령 등
 - [법령] 국토교통과학기술육성법, 동 법 시행령 및 시행규칙
 - [행정규칙] 국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정 등
- 과학기술정보통신부 소관 법령 등
 - [법령] 국가연구개발혁신법 동 법 시행령 및 시행규칙
 - [행정규칙] 국가연구개발사업 연구노트 지침, 국가연구개발사업 연구개발비
 - 사용기준, 국가연구개발사업 동시 수행 연구개발 과제수



출처: 국토교통부·국토교통과학기술진흥원(202), 「2023년 국토교통 연구개발 시행계획」

[그림 5-15] 국토교통과학기술연구개발사업 추진체계 및 절차

□ 사업의 원활한 수행을 위한 연구개발관리 주요 활동 수행

- **(연구과제 관리)** 국토교통과학기술진흥원(KAIA)은 연구과제의 원활한 수행과 사업목표 달성을 위해 연구과제의 공고·관리·평가를 계획하며, 이를 위한 실무를 수행
 - 해당 연차의 상반기에 신규과제 공고/선정평가를 실시하며, 연구과제 평가단, KAIA, 국토부를 통해 결정된 사항을 사업에 반영하여 운영
 - KAIA 연구관리시스템을 통해 연구개발과제 공고부터 종료까지 체계적으로 관리
 - 국토교통 R&D 공모·선정시 연구개발 성과목표, 단계별, 연차별 달성목표와 이에 대한 세부 추진전략 및 일정계획 등을 연구개발계획서에 제시하도록 하고, 과제 선정 이후, 해당 과제에 대한 진도점검·관리 및 성과평가의 근거자료로 활용
 - 연구개발내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되며 단계별, 연차별 달성정도를 확인할 수 있는 구체적인 성과평가(안) 제시
 - 연구개발과제의 평가 시기 이외에도 진행현황 파악과 현장점검 등을 실시하며, 필요시 진도보고서를 요청하여 필요한 조치를 취하고 결과를 평가에 반영
- **(일정관리)** 과제별로 연구개발 수명주기 및 프로세스를 기반으로 업무를 세분화(WBS)하고, 세부 업무(WBS)별 수행일정 및 담당자를 할당하여 세부일정 수립(Gantt Chart), 또한 정기적 보고(월간)를 통해 일정 차질에 대한 신속한 파악 및 대응조치 실시
 - ※ WBS : Work Breakdown Structure
- **(기술관리)** 세부업무(WBS)를 기반으로 소요기술 및 핵심기술요소(CTE) 선정, 소요기술별 성능 목표 달성을 위한 주요일정별 진도 관리 수행
 - ※ 필요시 진도점검 및 모니터링 실시, 기술자료 검토 및 검토회의를 실시
- **(회계관리)** 본 사업의 연구비가 사업목적과 사용계획에 맞게 사용되도록 하기 위해, 체계적인 회계 기준을 바탕으로 연구비를 관리하고, 부정집행 등에 대한 조치를 수행
 - 연구비 회계 비목 설정 및 부정집행에 대한 처우 기준은 ‘국가연구개발사업 연구개발비 사용 기준’을 따름

<표 5-16> 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공기술 개발의 연구개발비 계상기준

항목		계상기준
직접비	인건비	참여연구원에게 지급하는 인건비, 비영리기관 연구부서의 연구 지원인력에게 지급하는 인건비
	학생인건비	해당 연구개발과제에 참여하는 소속 학생연구원에게 지급하는 인건비
	연구시설·장비비	해당 연구개발과제 종료 2개월 이전에 도입이 완료되어 해당 연구에 사용할 수 있는 연구시설·장비의 구입·설치비
	연구재료비	시약·재료 구입비 및 전산 처리·관리비, 시험제품·시험설비 제작경비
	연구활동비	출장여비, 과제와 직접 관련 있는 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비, 공공요금, 제세공과금, 우편요금, 택배비 및 수수료, 전문가 활용비, 회의장 사용료, 연구개발서비스 활용비, 회의비, 식대 등
	연구수당	해당 연구개발과제의 연구책임자, 참여연구원의 보상금·장려금 지급을 위한 수당
	위탁연구개발비	연구의 일부를 외부기관에 용역을 주어 위탁 수행하는 데에 드는 경비
간접비	인력지원비	연구지원인력 인건비, 연구개발능률성과급
	연구지원비	기반시설·장비 구축·운영비 및 연구활동지원금, 연구실안전관리비, 연구보안관리비 및 연구윤리활동비 등
	성과활용지원비	과학문화활동비, 지식재산권 출원·등록비, 기술창업 출연·출자금

※ 출처: 국토교통부소관 연구개발사업 출연금 등의 지급·사용 및 관리에 관한 규정, 별표2: 연구비 비목별 계상기준(제6조제1항 관련) (개정 2020.01.28.)

- **(위험요소 관리)** 본 사업의 성공적인 수행을 위해 사업 수행 중 직면할 수 있는 위기요소 일람표를 작성하고, 각 위기 요소별 대응 시나리오를 작성 및 안전관리 대책을 수립하여 활용함
 - 위험요소별 발생가능성과 심각성을 Level화하여 우선 관리요소를 설정하고, 주기적인 모니터링

을 통해 사전 위기 상황 감지 및 선제적 조치를 수행

- 위험요소에 대한 위기관리는 위기의 완화(Mitigation), 모니터링(Monitoring), 관리(Management)등 단계별로 요소들에 대응하며, 분기별로 내부 회의를 통해 관리 상황을 공유

<표 5-17> 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공기술 개발의 위기요소 일람표

분류	사업 위험요소	발생 가능성	심각성	대응 시나리오(안)
C1	환경변화에 의한 사업 방향 변화	상	상	• 사업 보완기획을 위한 긴급회의 소집 • 기획위원회 지원 요청
C2	사업예산의 삭감	상	중	• 연구과제 구성, 규모 조정 • 사업목표 또는 연구목표의 조정
C3	사업성과의 부실	중	상	• 주기적인 진도관리 및 모니터링을 통한 성과 달성 가능성 점검 및 과제 조정
C4	세부과제 모집의 실패	중	중	• 국토부 및 산·학·연 협조를 통한 적극 홍보(수요 발굴) • 추가적인 과제 모집 실시
C5	사업성과의 활용도 미흡	중	하	• 성과활용 및 확산을 위한 계획 수립 • 추적평가 실시를 통해 활용처 모색
C6	각종 평가의 정확성, 신뢰성 저하	하	상	• 연구과제평가단 재구성 • 평가단 선정 기준의 강화
C7	사업일정의 지연	하	중	• 운영계획(추진일정)의 조정 • 일정 지연 요소의 파악 및 제거
C8	연구책임자의 과제수행 충실성 부족	하	하	• 연구책임자의 연구의지 함양을 위한 지원혜택 마련 또는 책임자 교체

- **(연구개발정보의 관리)** 효율적인 연구관리의 정보화를 위해 과제지원시스템 상에 연구과제 관련 정보를 데이터화하여 관리하고, 3천만원 이상의 장비 또는 3천만원 미만이라도 공동 활용이 가능한 장비는 취득 후 30일 이내 연구시설·장비종합정보시스템에 등록하여 관리

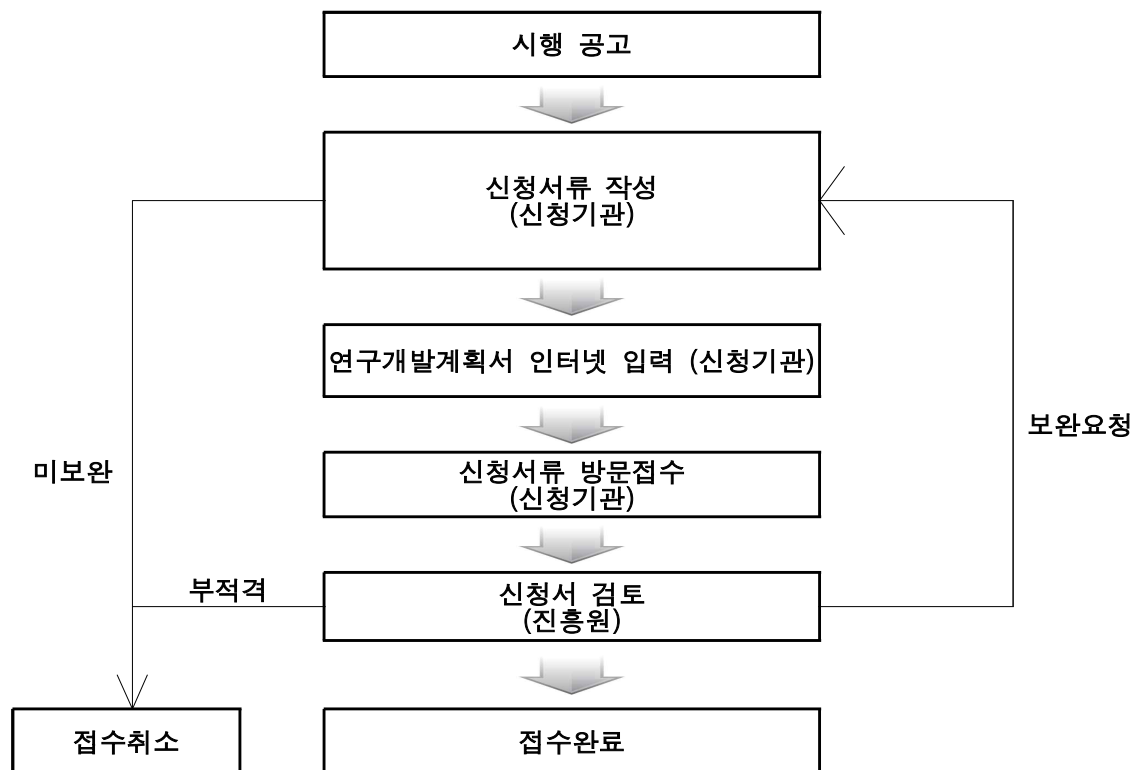
- 연구개발계획서
- 연차(단계)보고서
- 연구개발 최종보고서, 요약서
- 연구개발성과 활용보고서
- 협약체별 및 협약변경 내역
- 연구비 사용계획과 집행실적
- 연구개발 성과 및 실적
- 연구개발 수행내역
- 그 밖에 전문기관 장이 필요하다고 인정하는 사항

3. 사업평가체계

(1) 과제 공고 및 선정

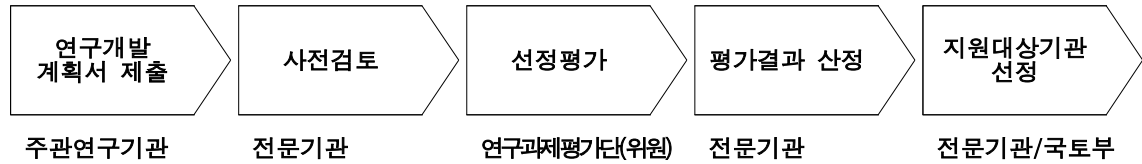
□ 사업공고 및 접수

- 연구개발과제 또는 연구수행기관을 선정하기 위하여 전문기관 홈페이지, 통합정보시스템 등에 30일 이상 공고
- 공고 내용에는 다음의 내용이 포함되며, 공고 안내문, 서식 등 관련문서를 전자 문서화하여 함께 공고
 - 연구개발과제 목적, 지원내용, 지원기간, 과제제안요구서 및 기획연구보고서 등의 관련 사항
 - 연구개발과제 신청자격, 참여기관들의 구성요건·형태 및 참여제한 관련 사항
 - 선정평가 절차 및 방법
 - 과제 수행 및 성과활용 관련 사항(평가절차 등)
 - 그 밖에 필요한 사항(전문기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항 등)



[그림 6-16] 신청서 접수 및 처리 절차

□ 선정평가 및 선정



[그림 5-17] 선정평가 프로세스

- 접수된 연구개발계획서는 사전검토를 거쳐 연구과제평가단의 선정평가를 통해 연구개발과제와 연구기관을 선정
- **(사전검토)** 신청기관이 제출한 연구개발계획서에 대해 과제제안요구서(RFP)와의 부합성, 타 과제와의 중복성 등 사전검토 자료를 연구과제 평가단에 제공 가능
 - **(평가방법)** 서면/온라인평가, 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 실시
 - **(평가항목 및 배점)** 개별 평가계획 수 연구개발과제의 국내·외 연계·협력 가능성
 - ※ 연구개발비 및 연구개발기간의 타당성
 - ※ 과제목표의 도전성과 적절성
 - ※ 성과지표의 적절성
 - ※ 그 밖에 필요한 사항

<표 6-18> 선정평가 기준항목

기준항목	세부 평가항목	배점
연구개발 목표 (20점)	최종 연구개발 목표/성과목표(지표)의 명확성, 타당성, 창의성	10
	단계별·연차별 연구개발 목표/성과목표(지표) 설정의 적절성, 구체성	10
연구개발 내용 (20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	연구개발 목표달성을 위한 연구내용·예상성과의 적절성 및 실현가능성	5
	연구개발과제 구성의 타당성 및 연계성	5
	연구개발기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
추진전략 및 계획 (30점)	연구개발 추진전략 및 방법의 적정성, 구체성, 타당성	10
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등) 및 연구진의 전문성	10
	연구개발기관의 연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성, 신규 인력 채용 의지	10
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	연구개발성과 활용 시나리오의 적절성 및 구체성	5
	연구개발성과 실용화 및 정책제안 가능성	10
	개발기술의 기대성과(기술적/경제적) 및 파급효과	5
연구책임자의 연구수행능력(10점)	연구책임자의 연구역량(관련분야 연구경험) 및 관리능력	5
	연구윤리 수준	5
계		100

※ 항목 및 배점의 변경 가능

- **(평가결과의 산정)** 종합평가점수 산정시 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조에 따라 과제 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여 가능하며, 이를 반영한 과제별 최종점수로 지원대상 기관 선정

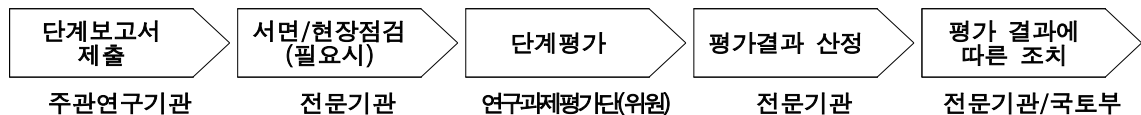
(2) 과제 관리

□ 중간점검

- **(수행 목적 및 추진근거)** 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제34조의1에 따라 연차보고서를 제출해야 하며, 검토과정에서 필요하다고 판단될 경우 제34조2에 따라 연구개발과제의 진도 등을 점검하기 위한 중간점검 실시
- **(수행 절차 및 방법)** 연차보고서를 서면으로 검토하는 것을 원칙으로 하되, 검토과정에서 필요하다고 판단될 경우 진도점검회의 또는 현장실태조사 실시
 - 연구책임자는 100페이지 이내의 연차보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함

□ 단계평가

- **(수행 목적 및 추진근거)** 단계종료 시 연구개발과제의 수행과정, 연구개발성과, 다음 단계의 연구개발 과제 수행계획 등을 단계보고서를 통해 검토 및 확인하고 다음 단계의 계속지원 여부를 결정하기 위해 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제32조에 따라 평가를 실시
- **(수행 절차 및 방법)** 연구개발과제 평가단을 통해 대면(발표)평가, 현장평가, 공개평가 등 적합한 평가방법을 선택하여 실시하고, 필요 시 평가 항목별로 평가방법 등을 달리 정하여 평가 실시

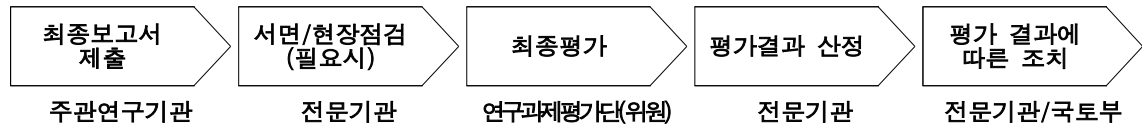


[그림 5-18] 단계평가 프로세스

- **(단계보고서 제출)** 연구책임자는 100페이지 이내의 단계보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함
- **(서면 및 현장점검)** 전문기관의 장은 단계평가 실시 전, 연구수행 과정 및 성과확인을 위해 필요한 경우 하기의 사항에 대한 단계보고서의 서면점검, 현장점검 등을 실시 (※단, 필요시)
 - 연구수행 과정 및 수행내용
 - 연구수행 결과 및 목표달성 정도
 - 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여
 - 연구개발과제 수행계획
- **(평가항목)** 과정평가, 성과평가, 계획평가로 구분하고, 과정평가와 성과평가는 점수부여 방식으로 계획평가는 의견제시 방식으로 평가
- **(기본방향)** 원칙적으로 정성평가를 실시하되, 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가
- **(평가결과 산정)** 개인별 과정평가 점수, 성과평가 점수 각각에 대해 최고 및 최저점수를 제외한 산술평균 점수로 각 평가점수를 산정하고, 이를 합한 종합평가 점수를 기반으로 하기와 같이 분류
 - 우수 - 종합평가 결과가 만점의 80% 이상인 경우
 - 보통 - 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만인 경우
 - 미흡 - 종합평가 결과가 만점의 60% 미만인 경우
 - 극히 불량 - 과정평가 점수 및 성과평가 점수가 모두 만점의 40% 미만인 경우
- **(수행 주체)** 평가단 및 평가위원을 구성하고, 평가의 연속성을 유지하기 위해 선정평가 또는 이전 단계평가에 참여한 위원을 우선 선정
- **(평가 조치)** 단계평가 결과에 따라 과제 계속지원 대상 과제와 연차평가 추가실시 대상과제로 구분
 - 단계평가 결과 ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’으로 결정된 과제는 과제의 보완변경 또는 연구개발비 감액·중액 등을 조정하고, 연구환경 변화, 목표 조기달성 등으로 연구목표 수정 및 과제 중단 결정을 위한 특별평가가 수반될 수 있음
 - ‘극히 불량’ 과제는 지원중단

□ 과제 최종평가

- **(수행 목적 및 추진근거)** 연구 종료 후 「국토교통연구개발사업 운영규정」 제35조에 따라 최종평가를 실시하여 최종 목표의 달성 여부, 연구수행 과정 등을 종합적으로 평가
- **(수행 절차 및 방법)** 연구개발과제 평가단을 통해 대면(발표)평가, 현장평가, 공개평가 등 적합한 평가방법을 선택하여 실시하고, 필요 시 평가 항목별로 평가방법 등을 달리 정하여 평가 실시



[그림 5-19] 최종평가 프로세스

- **(최종보고서 제출)** 연구책임자는 100페이지 이내의 최종보고서를 제출하여야 하며, 요청 시 보완서류를 제출하여야 함
- **(서면/현장점검)** 단계평가 실시 전, 연구수행 과정 및 성과확인을 위해 필요한 경우 하기의 사항에 대한 최종보고서의 서면점검, 현장점검 등을 실시 (*단, 필요시)
 - 연구수행 과정 및 수행내용
 - 연구수행 결과 및 목표달성 정도
 - 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여
 - 연구개발성과의 관리 및 활용 계획
- **(평가항목)** 과정평가, 성과평가, 계획평가로 구분하고, 과정평가와 성과평가는 점수부여 방식으로 계획평가는 의견제시 방식으로 평가
- **(기본방향)** 단계평가는 원칙적으로 정성평가를 실시하되, 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가
- **(평가결과 산정)** 개인별 과정평가 점수, 성과평가 점수 각각에 대해 최고 및 최저점수를 제외한 산술평균 점수로 각 평가점수를 산정하고, 이를 합한 종합평가 점수를 기반으로 하기와 같이 분류
 - 우수 - 종합평가 결과가 만점의 80% 이상인 경우
 - 보통 - 종합평가 결과가 만점의 60% 이상 80% 미만인 경우
 - 미흡 - 종합평가 결과가 만점의 60% 미만인 경우
 - 극히 불량 - 과정평가 점수 및 성과평가 점수가 모두 만점의 40% 미만인 경우
- **(수행 주체)** 평가단 및 평가위원을 구성하고, 평가의 연속성을 유지하기 위해 선정평가 또는 이전 단계평가에 참여한 위원을 우선 선정
- **(평가 조치)** 최종평가 결과에 따라 후속 조치 실시
 - 최종평가 결과 ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’으로 결정된 과제는 최종보고서의 보완·변경 조치계획을 수립하고 평가용 최종보고서 제출일로부터 2개월 이내 평가결과를 반영한 수정·보완된 최종보고서 제출
 - 최종평가 결과 ‘극히 불량’ 과제 또한 최종보고서의 보완·변경 조치계획을 수립하고 평가용 최종보고서 제출일로부터 2개월 이내 평가결과를 반영한 수정·보완된 최종보고서 제출하여야 하며, 이외에도 참여제한 및 제재부가금 부과 등 제재처분에 필요한 사항 검토
- **(활용 방안)** 최종평가 결과에 따라 우수성과에 대한 실용화 지원 등의 후속대책 마련에 활용
 - 최종평가 결과가 우수하고, 하기의 요건을 모두 갖춘 연구개발과제에 대해서는 우수성과에 대한 실용화 지원 등의 후속대책 마련
 - 최종평가 결과 만점의 90% 이상인 과제(최우수 등급)
 - 연구개발계획서에서 제시한 연구개발목표가 모두 달성된 과제
 - 연구개발 성과의 활용을 통해 해당 분야 기술경쟁력을 높이는 데 현저히 이바지할 수 있다고 평가되는 과제

□ 과제 성과 조사

- **(수행 목적 및 추진근거)** 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제45조에 따라 계속과제 및 종료

과제의 연구개발기관을 대상으로 연구개발성과 활용조사 실시

- **(수행 주기 및 방법)** 과제 종료 다음 해부터 5년간 매년 2월 말까지 성과활용보고서를 제출토록 함
 - 조사계획을 수립하여 실시하고, 필요한 경우 반기별, 분기별, 월별 또는 실시간 조사 실시
- **(활용 방안)** 성과활용실적 평가 결과를 바탕으로 타 사업 선정평가 시 가·감점 부여 및 성과활용보고서 조사·분석을 통해 연구개발성과의 활용 촉진을 위한 추적조사 실시에 활용

4. 성과관리계획

- 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공기술 개발은 사업목표 달성 및 정부예산 투자의 타당성 입증을 위하여 사업 특성에 맞는 과학기술적, 사회경제적 성과 등의 창출계획을 수립하고 적절한 주기로 이를 모니터링·관리하며 이를 통해 마련된 개선방안을 사업추진에 환류하는 체계를 구축
- **(성과창출계획 수립)** 본 사업의 특성 및 유형을 바탕으로 설계한 성과목표 및 성과지표를 바탕으로, 사업목표 달성을 위해 요구되는 연차별 성과 창출에 대한 계획을 사전에 수립하여 성과지향적 사업관리가 이루어질 수 있도록 함
- **(성과 보고 및 모니터링)** 수립된 성과창출계획에 부합하는 성과들이 잘 발생하고 있는지 주기적으로 모니터링하고, 성과의 체계적 관리를 통해 향후 종합적 성과분석과 예산투자의 타당성 입증의 기반을 구축
 - 성과평가법 개정에 따라 기존 과기정통부의 국가연구개발사업 중간(자체·상위)평가가 폐지되고 부처 자체평가 중심으로 운영하므로, 사업 특성에 따라 평가 시기 및 주기를 부처가 자율적으로 설정하고 주기적 사업성과 모니터링 필요
 - 사업성과 현황에 근거한 성과창출계획의 보완 및 사업관리체계 개선을 위해서는 일관된 기준으로 성과 데이터베이스를 구축하고 관리하는 것이 필수적
- **(성과분석 및 환류)** 사업에서 창출된 성과현황에 대한 심층적이고 종합적인 분석을 실시하고 개선방안을 마련하여 사업의 기획, 관리, 평가 전주기에 반영함으로써 정부 예산 투자 효율성을 강화
 - 본 사업은 사업착수 시 설정한 중간평가(자체평가)를 위해, 해당 기간의 사업 추진 및 성과에 대해 종합적 성과분석을 실시
 - * 성과평가법 개정에 따라 국가연구개발사업의 '전략계획' 수립 제도가 신설되어, 사업 착수 전 전략계획서 수립 시 사업 중간평가 주기를 자율 설정(3년기준 $\pm\alpha$) 하도록 하고, 부처가 중간평가(자체평가)를 실시하도록 함(성과의 목표 연계성, 추진실적, 추진계획 평가)
 - * 자체평가(부처)→시스템 등록 및 공개(부처)→모니터링(혁신본부)
 - 사업목표 달성을 위한 성과창출이 잘 이루어지고 있는지, 만약 그렇지 않다면 사업추진 및 관리 측면에서의 개선점은 무엇인지 등을 종합적 성과분석을 통해 파악하고, 외부로부터의 지적사항 등을 포괄하는 사업관리 개선대책을 마련 및 반영함으로써 사업추진의 효과성과 효율성을 제고

5. 성과 활용·확산 계획

- 본 사업에서 창출된 성과가 1차적인 산출 성과에 머무르지 않고 건설 현장에 실질적으로 활용되며, 과학기술적/사회경제적 파급효과를 발생시킬 수 있도록 추진
 - 본 사업에서는 탄소저감형 도로포장 재료 및 시공 기술과 관련 기술기준 및 지침등이 개정되도록 하여 실제 건축 및 인프라 건설현장에서 활용될 수 있도록 함
 - 또한 동 사업의 산출물이 사업기간 내 실증 사업을 통해 개발 기술 문제점 개선 등 기술완성도를 제고하여 개발 기술의 실용화 및 상용화 기반 확보
- 또한, 본사업의 성과 활용 및 확산을 촉진하기 위해, 성과관리활용계획 수립 및 성과 활용·확산 결과 및 파급효과 조사/점검을 실시
 - **(성과관리활용계획 수립)** 사업 종료 단계에서 ‘성과관리활용 계획’을 수립하고, 혁신본부로부터 총실성을 점검받도록 함
 - ※ 절차: 성과관리활용 계획 수립(부처)→총실성점검(혁신본부) →시스템 등록·공개(부처)
 - **(성과 추적조사 및 실태점검)** 사업 전략계획서 수립 시 추적조사 및 실태점검 주기를 자율 설정(5년 기준-α)하고, 사업 종료 시 ‘성과 활용·확산 결과 및 파급효과 조사·점검’을 실시
 - ※ 절차: 추적조사 및 효과성분석(부처)→시스템 등록·공개(부처)→실태점검(혁신본부)

5.4. 제안요청서(안)

[고강도 무시멘트 콘크리트]

연구개발과제명	고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발
1. 연구개발목표	○ 건설산업의 탄소배출량 저감을 위해 시멘트를 사용하지 않는 세계 최고 수준의 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 - (압축강도) 100MPa 이상, (탄소배출량) 기존대비 50% 이상 저감, (작업성 유지시간) 2시간 이상
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	○ 전 세계는 탄소중립 선언(138개국) 등 기후위기 대응을 위해 노력하고 있으나 탄소배출량과 평균기온 상승폭은 매년 최고치* 경신 * '22년 세계 탄소배출량은 약 574억 톤으로 전년 대비 1.2% 증가, 평균온도는 1.43도 상승하여 연간 기온상승 최고치 기록(UNEP, Emissions Gap Report '23) ○ 건설산업의 탄소배출량은 전체의 37%*를 차지하고 있으며, 건물 운영 부문은 감소하고 있으나 건설재료 생산·시공 부문은 증가 추세 * '22년 전 세계 탄소배출량 기준으로 건물 운영 부문은 27%로 소폭 감소, 건설재료 생산·시공 부문은 10% 꾸준히 증가(UNEP, Emissions Gap Report '23) ○ 선진국들은 건설산업의 탄소배출량을 줄이기 위해 중장기 로드맵*을 수립하고 규제뿐만 아니라 친환경 건설재료 R&D 투자** 확대 * (EU) A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry('18, ETH Zurich) (미국) Roadmap to Carbon Neutrality(PCA, '21) 등 ** (미국) ARPA-C(Advanced Research Projects Agency-Climate)에 10대 혁신기술에 '철강, 콘크리트, 화학 공정 저탄소화'를 포함하여 정부 R&D 투자 확대 (일본) 'GX(그린이노베이션) 실현을 위한 기본방침'에서 시멘트 산업의 GX를 위해 향후 10년간 1조엔 규모 투자 발표 ○ 제7차 건설기술진흥 기본계획('23~'27)에서는 저탄소 건설재료 기술개발에 대해 “미래수요에 대응한 기술개발 및 상용화 지원”과제를 통해 기후변화 및 탄소중립 대응을 위한 저탄소 건설재료로 “탄소중립 초고성능 콘크리트”를 제시 ○ 제6차 건설산업진흥 기본계획('23~'27)에서는 지속가능한 인프라 구축을 위한 공공분야의 저탄소 콘크리트 등의 활용을 확대하여 친환경 시장 확대를 목표로 계획을 수립 ○ 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('23~'32)에서는 기반시설 고도화 전략으로 고효율 스마트 건설재료 개발을 목표로 고성능·장수명 건설재료, 탄소배출 저감 재료 등 미래 건설산업형 선도 건설재료 확보를 위한 계획을 수립

- 중동, EU 등 선진국은 탄소중립 정책 실현을 위해 친환경 건설재료 사용 의무화, 녹색건축 기준 도입 등 법적 규제 강화
 - * (UAE) 친환경 건축 표준을 적용하여 '15년부터 건설공사에 친환경 시멘트 사용 의무화
 - (스웨덴) 공공발주시 친환경 건설재료를 사용하는 'Gront byggande' 프로그램 추진
 - '26년 이후부터는 철강, 시멘트 등 수입제품에 탄소가격을 부과하는 탄소국경조정제도 도입에 따라 친환경 콘크리트 수요 급증 예상
- 무시멘트 콘크리트는 원재료 화학조성, 활성화제 종류, 사용량 등에 따라 품질 변동이 큰 재료이며, 배합, 양생, 경화, 경제성 등의 다양한 측면에서 한계가 존재
 - 기존 연구에서 극복하지 못한 무시멘트 콘크리트의 실용화를 위해 시공 성능 개선 및 품질 관리 연구 필요
 - 배합조건, 환경 등에 따라 재현성 저하, 경화 메커니즘 및 환경에 따라 영향, 상온양생에 따른 결정화 현상 등 다양한 문제 존재
 - 또한, 활성화제 사용에 따른 급결 특성으로 인해 구조물 활용을 위한 시공성능 개선 등이 필요하며, 이를 위한 무시멘트 콘크리트에 사용하는 재료의 불확실성 등을 극복하기 위한 연구 필요
 - 고로슬래그, 플라이애시 등과 같은 탄소저감 소재들의 한계점(재료 분리, 높은 점성)을 해결할 수 있는 전용 화학혼화제가 없어 품질 최적화가 불가하며, 활성화제 사용으로 경제성 저하 또한 우려
- 기존 무시멘트 콘크리트에 사용되는 바인더(고로슬래그 및 플라이애시 등) 이외의 새로운 시멘트 대체재료(제강 슬래그, 폐콘크리트 미분말 등) 발굴 필요
 - 국내외 철강산업의 트렌드는 수소환원제철로 제철공정이 변화되게 되면 기존에 사용하고 있던 고로슬래그의 공급이 불확실해질 전망
 - 전세계적으로 RE100 정책에 따라 화석연료 발전소가 줄어들 것으로 예상되며, 그에 따라 플라이애시의 공급이 불확실해질 전망

□ 기술동향 <국내기술동향>

- 2000년대 초반 고로슬래그 기반 무시멘트 콘크리트에 대한 원천기술 확보를 목표로 기초연구가 수행되었으며, 벽돌, 블록 등 2차 제품 수준의 성과 도출
- 시멘트 대체재료로 산업부산물만을 활용한 압축강도 80 MPa 이상의 2차 제품을 개발하여 이산화탄소 배출량 25% 이상 저감할 수 있는 기술 도출
- 재활용 골재 및 알칼리 활성화제를 활용한 저시멘트 콘크리트의 활용성을 확인하였으나, 재료 특성에 따른 품질관리 및 시공 환경에 따른 한계점 등으로 인해 실용화 단계에 이르지 못함

○ 건설사 중심으로 탄소중립 대응을 위해 시멘트 대체재료, 활성화제 기반 무시멘트 등의 기술개발이 이루어지고 있으며, 구조용 PC제품 등의 성능확보 등을 통해 학회 기술인증, 신기술 등을 통해 기술 확보 중
<국외기술동향>

○ 1940년대부터 고로슬래그 기반 알칼리 반응에 대한 연구가 진행되었으며, 1970년대 지오폴리머-중합반응(Geopolymerization)에 의한 복합체 연구가 최초로 무시멘트 콘크리트에 대한 본격적인 연구를 시작

○ 호주에서는 2001년부터 ‘Low-Calcium Flyash Based Geopolymer Concrete’ 프로젝트를 수행하기 시작하여 제조, 활용기술 개발을 목표로 활발한 연구가 진행 중이며, Van deventer 교수 연구그룹 중심으로 무시멘트 고강도 콘크리트를 개발하였으나, 작업성 유지시간 문제로 인해 이에 대한 연구가 진행 중

- 호주 건설사 중심으로 고로슬래그, 플라이애시 등에 활성화제를 사용하여 40~50 MPa 수준의 무시멘트 콘크리트를 건설현장에 적용

○ 프랑스에서는 지오폴리머-중합반응 개념을 도입한 Davidovits 교수 중심으로 플라이애시 등 Ca 전구체 기반의 지오폴리머 연구 및 관련 학회를 창설하여 이와 관련된 연구를 활발히 진행 중에 있음

○ 미국에서는 건설업계 상업건물에 내진 성능을 보강하기 위한 수단으로 35MPa 이상 무시멘트 콘크리트를 기초와 전단벽체에 적용

○ 일본에서는 알칼리 활성화제를 이용하여 상온양생으로 20~30MPa의 지오폴리머 콘크리트를 개발하여, 습도 및 온도 조절 기능을 가진 건설재료를 활용하는 기술을 개발하였으며, 플라이애시 기반의 친환경 철도침목 등을 개발하여 일부 상용화에 성공

- 또한, 무시멘트 콘크리트 구조체의 품질 평가 방안을 제시하였으나 양생 온도를 비롯한 시공성 관련 제약을 해결하기 위해서는 추가적인 연구가 필요

○ 고로슬래그계 무시멘트 콘크리트 기술 최고 기술보유국은 호주이고, 석탄회계와 천연재료계는 프랑스이며, 현재 무시멘트 콘크리트 관련 최고 기술보유국은 프랑스와 호주로 분석

- 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 사용하지 않은 무시멘트 콘크리트의 개발과 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트의 개발은 미진

3. 연구개발내용

(구성기술 1) 무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화

○ 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 구성 및 배합 개발
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 제조 기술 기술개발(압축강도 100MPa 이상)
 - * 유동성 확보 및 작업유지시간 확보 기술 포함
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 구조설계 기술 개발
 - * 역학 및 부재 구조성능평가, Mock-up 테스트 등을 포함
- 산업부산물 활용한 무시멘트 콘크리트 및 실용화 기술 개발
 - 新자극제 기반 산업부산물(고로슬래그, 플라이애시) 활용 현장타설용 무시멘트 콘크리트 개발(압축강도 40MPa 이상)
 - * 무시멘트 콘크리트의 재료 특성을 반영한 설계, 해석 등을 위한 재료모델 개발 포함
 - 무시멘트 콘크리트 작업시간 및 유동성 확보를 위한 현장타설용 화학혼화제 개발
 - 무시멘트 콘크리트의 열화메커니즘 규명을 위한 모델 개발 및 내구성 평가기술 개발
 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 구조설계 기술 개발
 - * 역학 및 부재 구조성능평가 등을 포함
 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 실용화 기술 개발
 - * 현장실증 연구, 탄소배출량 분석 연구 포함

(구성기술 2) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발

- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 친환경 시멘트 대체新재료 개발
 - 무시멘트 콘크리트 친환경 시멘트 대체新재료 선정 및 기초배합
- 친환경 시멘트 대체新재료 활용 무시멘트 콘크리트 제조 기술 기술개발 (압축강도 40MPa 이상)
 - * 유동성 확보 및 작업유지시간 확보 기술 포함
- 친환경 시멘트 대체新재료 활용 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 구조설계 기술 개발
 - * 역학 및 구조성능평가 등을 포함

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시
 - 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과 로드맵(TRL 반영)을 제시할 것
 - 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법을 명시할 것
 - 연구 목표를 정량적으로 제시

* 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

- 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

* 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

- 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

- 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 구체적으로 제시

- 연구성과물을 수요자 중심으로 구분하여 관리할 수 있도록 명시 (정책/설계사/시공사/설비업체/건축주/감리자/대국민/학술 등)

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 객관적 방안 제시

- 연구성과의 보급으로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시

- 제시한 성과지표에 진흥원 관리 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약시 조정(추가) 가능

* 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 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 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

- 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행하고 평가단을 구성하여 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

- 본 연구개발 과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행

- 주관연구개발기관은 개발 기술간 연계활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성이 가능하고, 컨소시엄 구성 시 과도한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것

※ 연구개발기관 구성 시 합리적으로 구성하여야 하며 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제

- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·

□ 추진체계

정책적 보완사항 확인 및 반영

- 연구자의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요
- 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성
- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구 경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색 추진
- 국제공동연구·국제협력 등 국제상호 협력체계를 고려한 연구개발 추진
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
 - 국제표준화 기구 활동 및 협력 연구 수행 고려
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계 제시
- 각 연구과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회(연구단장과 연구단 전문가 자문위원회 적극 활용·대응)를 구성하여, 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종 연구개발성과물

(구성기술 1) 무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화

[초고강도 무시멘트 콘크리트 개발]

- 초고강도 무시멘트 콘크리트 최적 배합설계(안)
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 전용 자극제 및 혼화제
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 제조 가이드라인(안)
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 부재 및 Mock-Up Test 성능평가 보고서
- 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조해석 모델(안)

[산업부산물 활용한 무시멘트 콘크리트 및 실용화 기술 개발]

- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 최적 배합설계(안)
- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 조직구조 재료거동 및 발현 모델(안)
- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 전용 자극제 및 혼화제

- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조 가이드라인(안)
- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 부재 성능평가 보고서
- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 구조해석 모델 및 설계기준(안)
- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 현장실증 2건 이상

(구성기술 1-1) 성능지표 및 목표수준

개발기술	성능지표	개발 목표
(개발기술 1) 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발	압축강도	100 MPa 이상
	연성율	8% 이상
	작업유지시간	2시간 이상
	제조 가이드라인(안)	1건 이상
	구조해석 모델	1건 이상
	탄소배출량	기존 대비 50% 저감

(구성기술 1-2) 성능지표 및 목표수준

개발기술	성능지표	개발 목표
(개발기술 2) 산업부산물 활용한 무시멘트 콘크리트 및 실용화 기술개발	압축강도	40 MPa 이상
	슬럼프	150~210mm
	작업유지시간	2시간 이상
	염소이온확산계수	2.0×10^{-12} m/s 이하
	동결융해저항성	80% 이상
	제조 가이드라인(안)	1건 이상
	구조설계기준(안)	1건 이상
	탄소배출량	기존 대비 50% 저감
	유지관리 매뉴얼 및 지침(안)	1건 이상

(구성기술 2) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발

- 시멘트 대체 新재료 적용 타당성 보고서
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 최적 배합설계(안)
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 제조 가이드라인(안)
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 부재 및 Mock-Up Test 성능평가 보고서
- 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료해석 모델(안)

(구성기술 2) 성능지표 및 목표수준

개발기술	성능지표	개발 목표
(개발기술 2) 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	압축강도	40 MPa 이상
	슬럼프	150~210mm
	작업유지시간	2시간 이상
	적용 타당성 보고서	1건 이상
	제조 가이드라인(안)	1건 이상
	재료해석 모델	1건 이상

6. 활용방안 및 기대효과

- ☐ 활용방안 ○ 주요 수요처인 발주처, 정부, 지자체 및 건설산업 설계·시공사 등 다양한 이해관계자를 대상으로 연구개발성과 상용화 및 사업화 가능

- 주요 연구개발성과의 신기술 인증, 기술이전 등을 통해 상용화하고, 공공혁신조달 연계 등을 통해 건설현장에 즉시 적용할 수 있는 실용화 방안 수립

○ 개발 기술의 보급 및 확산

- 연구개발성과 홍보 및 관련 업체로의 기술이전 등을 통해 본 사업의 연구개발기관뿐만 아니라 미참여 기관 모두를 대상으로 연구개발성과를 개방·보급
- 개발기술에 대하여 공신력 있는 공인시험기관 등을 통해 기술 확산성 제고

□ 기대효과 ○ 과학·기술적 효과

- 학문적으로 세계 최초의 무시멘트 초고성능 및 고강도-고연성 무시멘트 복합재료 개발을 통해 국내 연구진의 관련 분야 선도 가능
- 성능기반 설계 패러다임의 변화에 대응하여 설계의 자유도를 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 친환경과 고성능 재료의 필요에 따른 세계적인 건설산업의 요구에 대응이 가능
- 고로슬래그, 플라이애시, 철강슬래그, 폐콘크리트 미분말 등과 같은 탄소저감 소재들의 전용 화학혼화제를 적용하여 저탄소 콘크리트 구조부재 제조 가능
- 무시멘트 콘크리트의 중요 구조부재 적용에 따른 구조안전성 평가 및 설계-제작-시공 가이드라인 도출을 통한 안정적인 현장적용 방안 마련

○ 사회·경제적 효과

- 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트 기술개발을 통해 관련 기술의 국제적 기술 선도 및 국내 OSC 및 PC 제품의 국제적 입지 확보
- 각 시멘트 대체 소재의 특성에 맞는 전용 화학혼화제를 사용하여 설계기준에 맞는 저탄소 배합으로 무시멘트 콘크리트 제조 가능
- 철강산업 기술 혁신에 따른 산업변화에 대응하여 고로슬래그 미분말 발생량 감소에 대한 대응책 마련
- 전세계적인 Net-Zero 실현을 위한 건설분야 실천방안 수립 가능
- 현장타설 뿐만 아니라 프리캐스트 또는 3D 프린팅 재료로 활용 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2025.04~2028.12(3년 9개월)

[1단계]

- 1차년도 연구개발기간 : 2025.01 ~ 2025.12(9개월)

[2단계]

- 2차년도 연구개발기간 : 2026.01 ~ 2026.12(12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2027.01 ~ 2027.12(12개월)

[3단계]

- 4차년도 연구개발기간 : 2028.01 ~ 2028.12(12개월)

○ 총 정부지원연구개발비 : 19,000백만원 이내

- 1차년도 정부지원연구개발비 : 3,000백만원 이내

- * 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
- * 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능
- * 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

- 본 연구개발과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP) 및 기획보고서에 제시된 연구개발내용을 참고하여 작성하되, 연구개발목표 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 연구개발내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 필요시 공모된 연구개발과제명 외에 연구개발목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구개발과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구개발과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사 연구개발과제와 연구개발내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - * 홈페이지(www.kaia.re.kr)의 지식·성과도서관·과제·보고서 및 www.ntis.go.kr 참고
- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 연구개발과제의 결과물과 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구개발계획에 포함
- 제안된 연구개발내용이 타 유사 연구개발과제와 연구개발방법이나 목표 등이 차별화 되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - * 연구개발 수행 도중 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구개발 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 핵심연구개발성과별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 구성기술 간 연구개발내용 및 성과의 연계/활용을

위한 전략 제시

- 기획보고서에 제시한 기술개발 로드맵을 기반으로 전체 개발기술과 성과물 간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - * (예시) 개발기술 상호간, 연구개발성과물 상호간, 개발기술-연구개발성과물 간 연계성
 - 과학·기술적 성과물을 포함하여 최종 연구개발성과물을 구체화하여 제시
- 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치), 연구개발 일정계획 및 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
- 개발된 기술 및 성과물의 목표 수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
 - * 연구개발과제 선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 성과지표별 목표는 도전적으로 설정해야 하며 목표치 설정근거 제시
 - * 성과지표·목표 적정성 및 도전성은 선정평가 평가항목이며, 미흡할 경우 협약 시 조정
 - 제시한 성과지표는 사전검토 및 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 연구개발 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등의 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구개발 추진과정에서 관련 기술 및 연구환경 변화 등에 따라 연구개발내용(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음
- 연구개발계획 수립·추진 시, 국토교통과학기술 연구개발사업 성과로 구축된 12개 대형실험시설 적극 활용 권고

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

□ 중점기술1: 콘크리트 구성재료의 탄소저장 기술 개발

연구개발과제명	콘크리트 구성재료의 탄소저장 기술 개발
1. 연구개발목표	○ 골재, 바인더, 배합수 등 콘크리트 원재료에 CCU (Carbon Capture Utilization) 기술을 적용하여 탄소를 고정(저장)하는 콘크리트 원재료 광물탄산화 기술 개발 - 산업부산물을 활용하여 50 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발 - 10 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 폐콘크리트 활용 기술 개발 - 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 발굴 및 활용 기술 개발 - 2 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발 <CO₂ 포집기술 발전에 의한 CCUS 병목현상 가속화> 필요성 ○ 포집된 CO₂를 저장하기 위해 고압 압축이 필요하여 운영비용이 증대되는 가운데, 제거한 CO₂를 대량 저장하기 위한 인프라의 부족으로 포집 대비 저장·활용 간 병목현상 가속화 - 국내 에너지 기업의 탄소 저장소 활용 가스전 등이 부족하여 해외사업 추진이 대부분이며 DAC 기술 활성화 시 대량으로 포집한 CO₂를 고정·흡수할 수 있는 기술 필요 - 편재성이 높은 건설부재인 콘크리트의 원재료에 CO₂를 고정하여 활용하는 등 CO₂ 저장·활용 병목현상 완화를 위한 건설재료 개발기술 확립 필요성 시급 - 기존 CO₂의 화학 원료화, 연료전환 등과 같은 기술의 경우 CO₂ 저장 효율이 낮게 나타내는 것에 반해 건설재료에 적용할 경우 CO₂의 반응 경로가 비교적 단순하며, 적은 에너지가 소요된다는 장점이 있음 <콘크리트 원재료 단위 탄소고정 기술 필요> ○ 건설분야 탄소저감 기술은 시멘트의 소성과정 중 석회석에서 발생하는 CO₂를 저감하거나 CO₂와 직접 반응하는 기술에 대해 중점을 두고 있어 건설 원재료 탄소고정 기술 다각화 필요 - 콘크리트 원재료 중 높은 체적을 차지하고 있는 골재에 대한 탄소고정 기술을 확보할 경우 양적 탄소고정 충족 및 적용분야 다각화로 보다 다양한 콘크리트 제품의 탄소중립화를 실현가능 - 폐콘크리트 부착 모르타르 탄산화를 통한 성능개선, Ca, Mg 이온이

풍부한 폐기물, 슬러지 등을 이용한 골재 및 첨가물 등 탄산염 건설 재료 개발에 대한 관심이 대두

- * Li, N., Mo, L., & Unluer, C. (2022). Emerging CO₂ utilization technologies for construction materials: A review. Journal of CO₂ Utilization, 65, 102237.
- 골재 이외에도 CO₂의 상당량을 직접적으로 감축시킬 수 있는 시멘트 대체 가능한 바인더의 발굴하고 회수수를 활용하여 CO₂ 고정화율을 향상시킬 수 있는 기술 개발의 필요성 대두

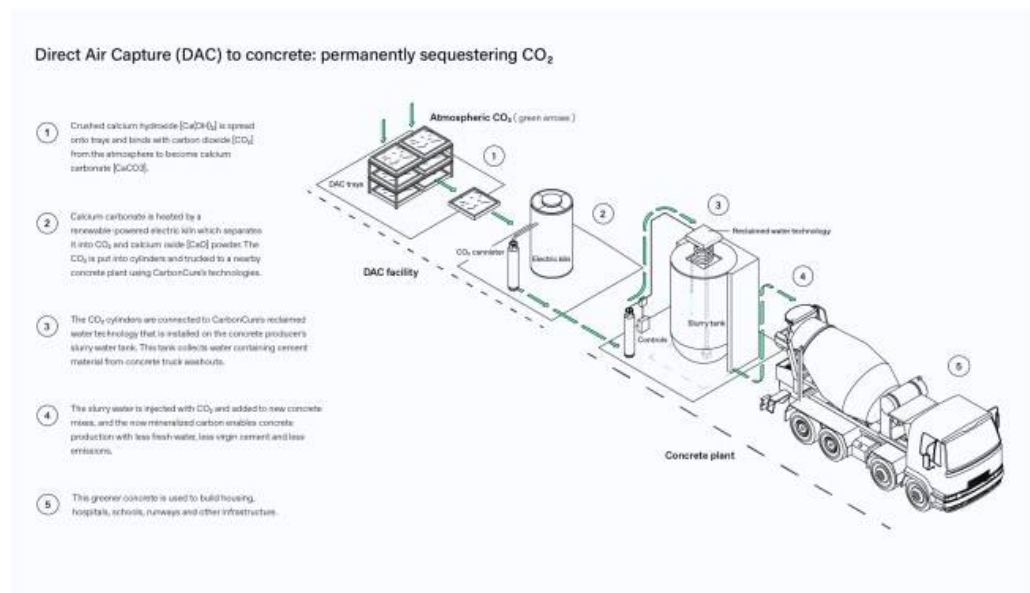
□ 기술동향 <국내 동향>

- 국내 순환자원을 비롯한 CO₂ 광물탄산화에 기반 인공 골재, 폐콘크리트, 배합수 및 광물탄산화 바인더 제조 및 적용에 관한 연구 부족
- 천연자원인 골재의 고갈로 인공골재와 폐콘크리트 활용에 대한 관심이 높아짐에 따라 품질 및 성능기준을 충족하는 탄산화 골재 제조
 - 폐콘크리트에 가속 탄산화 기술을 적용하여 부착 모르타르 1.0 tf당 이론적으로 CO₂ 0.5 tf 고정할 수 있을 것으로 예측, 가속 탄산화 후 폐콘크리트 골재의 흡수율은 7.6~9.6% 가량 감소, 밀도는 4.7~5.6% 까지 증가하는 것으로 보고
 - 인공골재는 탄산염을 펠릿형태로 제조하는 것으로 고농도 CO₂에서 인공골재의 강도를 가속화할 수 있으며 염기성 산소로 슬래그의 경우 적절한 조건에서 탄산화 양생을 실시할 경우 일반 골재보다 3.2배 증가하는 것으로 보고, 탄산화 인공골재는 폐시멘트, 슬래그류, 우드 및 제지 애시류와 같은 폐기물로부터 제조될 수 있음
- 콘크리트 제조에 소비되는 배합수 중 회수수를 대상으로, 회수수 내 포함된 슬러지의 탄산염 원료이용, CO₂ 미세버블 배합수에 대한 기초적인 연구 진행
 - 회수수의 성분은 Ca²⁺, Na⁺, K⁺, SO₄²⁻ 이온이 있으며 이 중 Ca²⁺이온의 용출을 극대화하여 CO₂ 반응을 통한 CaCO₃ 생산기술이 개발되었으나 생성물의 상용화 단계에는 이르지 못함. 슬러지에 대한 연구는 슬러지 고형분 내의 미수화 시멘트 입자의 수화로 인한 특성으로 경화 후 파쇄를 통한 골재 및 충전재로써의 활용, 비내력용 모르타르 개발 및 시멘트 2차제품 생산에 관한 연구들이 보고되고 있으나 탄산화 기법에 대한 기술은 방류를 위한 pH 저감에 초점
 - 미세버블 탄산화 개질을 통한 순환 굵은골재의 품질개선을 통한 CO₂ 반응효율 증가에 대한 연구에 대해 진행된 바 있으며 나노 탄산 버블을 이용한 콘크리트 내 물리적 고정 및 반응유도를 위한 기술 개발 진행 중
- 바이오차를 시멘트 혹은 골재 대체재로 적용하는 연구가 2020년 이후부터 시작되었지만, 그 연구 사례가 매우 적고, 바이오차 혼입에

따른 역학적 특성 평가 수준에 그치고 있음

<국외 동향>

- 미국 에어룸 카본 테크놀로지스社, 캐나다 CarbonCure社 간 기술 협업으로 직접 포집 방식 콘크리트 탄소 고정 기술 상용화
- 콘크리트 생산 과정 중 발생하는 이산화탄소의 포집 및 콘크리트 주입 기술 개발 및 실증 완료
 - 에어룸 카본 테크놀로지스社는 석회의 탄산-탈탄산 반복 과정을 활용하여 공기 중 이산화탄소를 포집하고, 카본큐어社는 이렇게 포집한 이산화탄소를 활용해 생산중 콘크리트에 주입하는 방식으로 협업

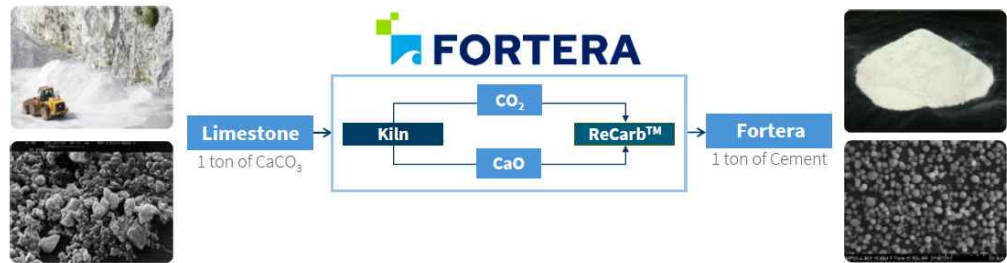


[미국 에어룸 카본 테크놀로지스社, 캐나다 카본큐어社 기술 협력을 통한 콘크리트 제조 중 탄소 고정화 기술 개요]

- 카본큐어社는 전 세계 콘크리트 산업의 탈탄소화를 지원하기 위한 새로운 기술을 개발 중
 - 최근 콘크리트 생산 공장에서 콘크리트 트럭을 세척할 때 사용하는 회수수에 공기 중에서 포집한 이산화탄소를 주입하여 이산화탄소 고정을 유도
- 미국 FORTERA社에서 탄소 배출이 전혀 없는 탄산칼슘 시멘트 개발
 - 석회석의 결정구조를 안정한 Calcite에서 불안정한 Vaterite로 전환시키는 방법을 이용하여 탄산칼슘 시멘트를 개발, 현재 상용화 추진 중
 - 전량 반응성 탄산칼슘으로 구성된 포테라 시멘트와 기존 포틀랜드 시멘트와 혼합한 반응성 탄산칼슘 시멘트(RCC)의 2가지 형태의 제품 출시
 - 경쟁사(카본큐어, 카본빌트, 솔리디아, 카비크리트)와 달리 탄소 포집/저장 과정이 필요 없어 현장 활용성 측면에서 장점이 있음

ECONOMIC ADVANTAGE FROM NO WEIGHT LOSS

Limestone in Portland cement loses 44% by weight of the feedstock as CO_2 .



Fortera turns one ton of feedstock into one ton of cement.



[미국 FORTERA社の 탄산칼슘 시멘트 제조 원리]

- 바이오차가 탄소흡수 콘크리트의 재료로 매우 높은 활용성을 가지고 있는 것으로 보고 시멘트 및 골재 대체재로 적용하려는 연구를 2010년대 후반부터 진행하고 있음
- 2010년대 후반 싱가포르 연구진은 바이오차가 수화를 위한 핵 생성 부위로 작용하고 CO_2 와 반응하여 탄산칼슘을 형성할 수 있는 CH 및 C-S-H를 포함한 추가 수화 생성물을 생성하는 것을 보고하였고, 또한 바이오차는 높은 표면적과 미세 기공 부피로 인해 더 높은 CO_2 흡수가 가능하다는 것을 보고함
- 2023년 미국 워싱턴 주립대 연구진은 회수수 처리한 바이오차를 30% 치환한 콘크리트의 생산에 성공하여 콘크리트 생산시 배출된 CO_2 이상의 CO_2 를 생애주기 동안 흡수할 수 있고, 강도 저감을 감소시킨 콘크리트 기술을 개발함
- 2023년 호주 RMIT대 연구진은 커피찌꺼기를 350도 열분해한 바이오차로 잔골재를 15% 치환해 콘크리트 강도 향상, 지구온난화 감소 및 골재자원 절약을 도모하는 기술을 개발함

3. 연구개발내용

(세부기술 1) 산업부산물을 활용한 CO_2 저장 골재 제조 기술

- 순환자원을 활용한 CO_2 고정 콘크리트용 골재 제조 기초기술 확립
 - 국내·외 광물탄산화 기반 골재 자원 검토
 - CO_2 및 대상 산업부산물 탄산염 골재 제조 기초기술 확립
 - 탄소 저장 콘크리트용 골재 표준화를 위한 기초자료 확보
- 순환자원을 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 제조기반 구축 및 최적 공정확보
 - 광물탄산화 골재 제조기반 구축 및 최적 공정확보

- CO₂ 고정 콘크리트용 골재 표준화 원재료 표준화를 위한 표준 적합성 도출
- 순환자원을 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 성능 확보
 - 광물탄산화 인공경량 골재 품질 확보 및 탄소저장 콘크리트 기초 성능 확보
 - 탄소저장 콘크리트용 골재 원재료 표준화 위한 표준(안) 도출
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발에 대한 적용성 평가
- 순환자원을 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 품질개선 및 제품화
 - 탄산염 인공경량 골재 품질개선 및 탄소고정 콘크리트용 골재 제품화
 - 탄소저장 콘크리트용 골재의 원재료 표준화 위한 표준(안) 보완 내용
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발 적용을 위한 제품 기술 보완
- 순환자원을 활용한 탄소저장 콘크리트용 인공 원재료 T/B 지원
 - 현장타설 및 프리캐스트 콘크리트 T/B 적용 시 골재 재료 차원 기술 지원

(세부기술 2) 폐콘크리트를 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발

- 폐콘크리트 탄산화 개질 기초기술 확립
 - 폐콘크리트 탄산화 개질향상을 위한 CO₂ 일반 및 촉진 탄산화 적용 기술 확립
 - 폐콘크리트 탄산화 개질향상을 위한 대상 폐콘크리트 활용 변수 확립
 - 폐콘크리트 탄산화에 의한 탄소고정량 산출방법 도출
 - 탄산화 개질 폐콘크리트 표준화를 위한 기초자료 확보
- 폐콘크리트 탄산화 개질기반 구축 및 최적 공정확보
 - 폐콘크리트 탄산화 개질향상을 위한 CO₂ 양생 최적 공정확보
 - 폐콘크리트 탄산화 개질향상을 위한 대상 폐콘크리트 최적제조 공정확보
 - 탄산화 개질 폐콘크리트 표준화를 위한 표준 적합성 도출
- 폐콘크리트를 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 성능 확보
 - 최적 탄산화 공정을 적용한 폐콘크리트 개질 기초 성능 확보
 - 탄산화 개질 폐콘크리트를 활용한 콘크리트 품질 기초 성능 확보
 - 탄산화 개질 폐콘크리트 표준화를 위한 표준(안) 도출
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발에 대한 적용성 평가
- 폐콘크리트를 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 품질개선 및 제품화
 - 탄산화 성능 개질 폐콘크리트의 품질 개선 및 제품화
 - 탄산화 성능 개질 폐콘크리트 활용 콘크리트 품질 개선 및 제품화
 - 탄산화 개질 폐콘크리트 표준화를 위한 표준(안) 보완
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발 적용을 위한 제품 기술 보완

(세부기술 3) 콘크리트용 광물탄산화 바인더 활용 기술 개발

- 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재 발굴 및

활용성 검토

- 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 이용 기술 조사 및 활용성 검토
- 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 발굴 및 제조 기초기술 확립
- 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 활용성 검토
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 제조 기반 구축 및 최적 공정확보
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 표준화를 위한 표준 적합성 도출
- 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 활용 CO₂ 고정 콘크리트용 성능 확보
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 품질 확보 및 탄소고정 콘크리트 기초 성능 확보
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 표준화를 위한 표준(안) 도출
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발에 대한 적용성 평가
- 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 품질개선 및 제품화
 - 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 품질 개선 및 탄소고정 콘크리트용 시멘트 대체 바인더 활용기술
 - CO₂ 고정 콘크리트용 산업부산물 및 CO₂ 반응 탄산염 소재 기반 시멘트 대체 바인더 표준화를 위한 표준(안) 보완
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발 적용을 위한 제품 기술 보완

(세부기술 4) CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발

- CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수 활용성 검토
 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수 이용기술 조사 및 활용성 검토
 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수 CO₂ 고정화 특성 검토
- CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수의 CO₂ 고정화 향상 기술 검토
 - 광물탄산화 기반 산업용·폐수의 CO₂ 고정화 제조기반 구축 및 최적 공정확보
 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수의 품질관리 표준화를 위한 표준 적합성 도출
- CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수의 활용 CO₂ 고정 콘크리트용 성능 확보
 - 광물탄산화 기반 산업용·폐수의 품질 확보 및 탄소고정 콘크리트 기초

성능 확보

- CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수의 품질관리 표준화를 위한 표준(안) 도출
- 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발에 대한 적용성 평가
- CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수의 품질개선
 - 광물탄산화 기반 산업용·폐수 활용 탄소고정 콘크리트 품질 변동 개선 기술
 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수의 품질관리 표준화를 위한 표준(안) 보완
 - 탄소 저장 콘크리트 제조 활용기술 개발 적용을 위한 제품 기술 보완
- CO₂ 광물탄산화 반응 산업용·폐수의 콘크리트 T/B 지원
 - 현장타설 및 프리캐스트 콘크리트 T/B 적용 시 배합수 재료 차원 기술 지원

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 산업부산물을 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술
 - 산업부산물을 활용하여 50 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발
 - 산업부산물을 활용 광물탄산화 골재 제조를 위한 CO₂ 고정화 장비 활용기술 및 CO₂ 고정화량 정량 평가방법 개발
 - CO₂ 저장 골재의 물리·화학적 특성 평가 및 품질 기준 제시
- 폐콘크리트를 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발
 - 10 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 폐콘크리트 활용 기술 개발
 - CO₂ 고정화 장비 활용기술 및 CO₂ 고정화량 정량 평가방법 개발
 - CO₂ 고정화에 따른 CO₂ 저장 폐콘크리트 물리·화학적 특성 평가 및 품질 기준 제시
 - CO₂ 저장 폐콘크리트 품질별 활용방안 제시
- 콘크리트용 광물탄산화 바인더 활용 기술 개발
 - 시멘트 대체 바인더로 활용가능한 산업부산물 및 광물탄산화 소재 후보 검토
 - 검토된 시멘트 대체 바인더 후보 소재에 대한 특성 평가 및 대체 가능 여부 판단
 - 산업부산물 및 광물탄산화 소재를 이용한 시멘트 대체 바인더 품질 기준 제시
- CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발
 - 2 kgCO₂eq/ton 고정이 가능한 CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발
 - CO₂ 저장 배합수의 고정화량 정량 평가방법 개발
 - CO₂ 저장 배합수의 특성 평가 및 품질 기준 제시
 - CO₂ 저장 배합수를 활용한 광물탄산화 콘크리트 제조시 기존 대비

콘크리트 성능 확보 기술

□ 추진체계

- 본 연구개발 과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행
 - 주관연구개발기관은 개발 기술간 연계활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성이 가능하고, 컨소시엄 구성 시 과다한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
 - ※ 연구개발기관 구성 시 합리적으로 구성하여야 하며 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음
- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영
- 연구자의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요
- 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성
- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구 경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색 추진
- 국제공동연구·국제협력 등 국제상호 협력체계를 고려한 연구개발 추진
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
 - 국제표준화 기구 활동 및 협력 연구 수행 고려
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계 제시
- 각 연구과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회(연구단장과 연구단 전문가 자문위원회 적극 활용·대응)를 구성하여, 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종 연구개발성과물

- 포집 CO₂와 산업부산물을 활용한 광물탄산화 기반 골재 제조 기술
- 산업부산물을 활용한 골재 탄소 고정화 기술

- 탄소저장 콘크리트용 인공 골재 품질 기준(안)
- 포집 CO₂와 폐콘크리트를 활용한 콘크리트 인공 원료 제조 기술
- 폐콘크리트를 활용한 탄소 고정화 기술
- 탄소저장 콘크리트용 폐콘크리트 품질 기준(안)
- 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재 콘크리트 바인더 활용 기술
- 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 콘크리트 바인더 표준(안)
- CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수의 활용 콘크리트 제조 기술
- CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 산업용·폐수의 활용을 위한 품질 표준(안)

6. 활용방안 및 기대효과

- ☐ **활용방안**
- **(정부, 지자체)** 정부 및 지자체와 연계하여 공공인프라를 대상으로 해당 기술을 실증하고, 도출된 과학적 근거를 활용하여 국가 탄소중립 관련 정책 반영 추진
 - **(레이콘 및 콘크리트 2차 제품 관련 기업)** 레이콘 기업과 2차 제품 관련 중소기업 및 스타트업 기업 등을 대상으로 사업화 모델 제시 및 기술이전 추진
 - **(신규 사업 발굴)** 콘크리트 구성재료의 탄소저장 기술은 온실가스 감축과 관련한 친환경 콘크리트 분야에서 중소기업 및 스타트업 기업 발굴 등의 신규 비즈니스 창출 가능

☐ **기대효과** <과학기술적 효과>

- 콘크리트 적용 광물탄산화 기반 원재료에 대한 탄소고정화 메커니즘 기술개발을 통한 건설 탄소저감 기술개발 시너지 형성 및 가속화
 - 콘크리트의 탄소저감 기술을 원재료 별로 확보하여 신규 건설 탄소저감 기술 간 융합·교환이 가능하고 콘크리트 탄소저감 효과에 대한 시너지 형성 가능
- 탄소저감 콘크리트 원재료별 중성화 요인 제어 및 철근콘크리트 고내구성능 가능
 - 골재, 배합수, 혼화재료에 대한 탄소 고정화 및 콘크리트 완제품의 탄산화 선택적용 가능, 콘크리트의 pH 저하에 영향을 적게주도록 제어하여 탄산화로부터 자유로운 고성능 탄소고정 철근콘크리트 부재 설계 가능
- 콘크리트 산업의 안정적이고 장기적인 CO₂ 감축 기술 확보 및 즉시 활용 가능한 CCUS 시스템 구축에 따른 온실가스 배출량 감축에 실질적 기여
 - CO₂ 고정화 기술의 취약점인 CO₂ 재방출 현상 없이 장기 안정 상태로

CO₂를 대량으로 고정할 수 있기 때문에 안전이나 환경위험 없이 기후 위기에 대응 가능

- 기존 콘크리트와 동일한 물성, 공정 및 시스템을 기반으로 광물 탄소화 즉시 실현
- 건설 분야 CCUS 시스템 확보에 따른 국가 CCUS 로드맵 달성 기여
 - 국내 건설산업 연계 이산화탄소 감축 기술 체계구축의 선도로 산업계 적용확산을 위한 구체적인 정책 및 체계마련을 통해 국가 이산화탄소 감축 로드맵 구축 기대
 - 지속 가능한 발전을 위한 전략 기술로서의 건설분야 탄소중립을 위한 핵심기술 집중 성장 가능성 잠재
- 건설 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대
 - 저탄소 시멘트 제조, 산업 배출 CO₂ 포집 및 활용 시스템 구축, 저탄소/고내구성 콘크리트 제조 기술 연계를 통한 관련 산업 분야 가치사슬 강화 기대
 - 기술 상용화, 과속화 및 안정화를 위한 실증화 시스템 인프라 조성에 따른 산업 기술력 증대

<사회경제적 효과>

- 탄소중립 체제 세계화에 의한 해외 기술 종속화 예방 및 국내 건설 관련 탄소경제 자립성 강화
 - 해외선도 건설관련 탄소저감 기술이 증가하는 추세에 따른 국내 기술의 종속화를 선제적으로 방지하여 기술 확산 및 적용도모, 건설관련 중소기업 및 중견기업 탄소경제 자립성 강화기반 마련
- 건설산업에 대한 인식 전환 및 신산업 일자리 창출
 - 기술개발을 통한 기반 구축과 실증 완료시 콘크리트 산업의 기존 부정적 이미지를 탈피하여 2050 탄소중립 달성에 있어 핵심적이고 지속가능한 분야로의 인식 전환 기대
 - 건설산업에 대한 인식 전환에 따른 신규 일자리 창출 및 국내 젊은 인력 유입 기대
- 직접적인 경제적 효과 창출
 - 생산중 탄소 고정 콘크리트 기술만으로도 연간 국내 레미콘 타설량 1.4 m³ 기준으로 약 400만톤의 CO₂ 고정화가 가능하며, 이를 탄소배출권 가격에 적용하면(22,000원/톤, 2021년 2월 기준) 연간 880억의 직접적인 경제적 효과 창출 가능
- 콘크리트 산업의 비용 절감, 장수명화 및 탄소 네거티브 구현
 - 건설산업의 탄소중립 구현을 위한 비용 절감 가능
 - 내구수명의 감소 없는 탄소중립 콘크리트 구조물의 건설 가능

- CO₂ 배출량 대비 CO₂ 흡수량을 증가시켜 콘크리트 산업에서의 탄소 네거티브 구현
- 산업부산물 및 건설폐기물의 활용을 통한 건설재료 원가절감 및 폐기물 처리비용 감소

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2026.04~2030.12(5년)

[1단계]

- 1차년도 연구개발기간 : 2026.04~2026.12(9개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2027.01~2027.12(12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2028.01~2028.12(12개월)

[2단계]

- 4차년도 연구개발기간 : 2029.01~2029.12(12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2030.01~2030.12(12개월)

○ 총 정부지원연구개발비 : 5,500백만원 이내

- 1차년도 정부지원연구개발비 : 1,000백만원 이내

- * 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
- * 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능
- * 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확 하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

중점기술2: CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발

연구개발과제명	CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발
1. 연구개발목표	○ CO₂를 영구 저장할 수 있는 CCU (Carbon Capture Utilization) 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발을 통한 실효적인 탄소중립 건설기술 기반 마련 - CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발 - CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 최적화 설계·제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발 - 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발 <해외 탄소중립 건설기술 선점에 의한 기술 종속화> 필요성 ○ 국내 탄소중립 관련기술 적용 건설재료 개발 및 사업화 사례, 일부 대기업을 제외하면 미미 - 사업화 및 기술확산을 목표로 하는 해외 탄소중립 건설재료 선도업체 사례 • 캐나다의 CarbonCure社は 국내 기업과 기술도입 계약 체결을 시작하였으며 대응기술이 없을 경우 향후 탄소중립 정책이 가속화 될수록 해당 기술의 종속화가 빠르게 이루어질 것으로 판단됨 * CarbonCure社の 국내 기업 간 기술도입 행보, 2022년 GS건설의 GPC社 기술도입, 2023년 유진그룹의 동양社 기술도입으로 점차 확대될 것으로 전망 • CO₂ 반응경화 시멘트인 Solidia Cement를 개발한 미국의 Solidia Tech.社は ASTM과 협의하여 표준개발 착수, 해당기술의 제도권 내 안착으로 탄소중립 관련 시멘트 상용화 착수 * ASTM WK73827, “New Test Method for Compressive Strength of Mortar Cures with Cement that sets by Carbonation” 개발을 통해 표준화 예정 ○ 선진국들은 콘크리트 CCU 기술의 성장 잠재력을 미리 인식하여 대규모 투자와 연구를 10~20여년 전부터 시작 - 미국, 캐나다는 벤처기업의 대규모 투자를 기반으로 한 지속적인 연구 및 실증을 통해 세계 선도 기술을 확보 - 일본은 해당 기술의 중요성을 사전에 인지하여 대기업 주도의 연구를 통해 자체 기술력 확보 ○ 우리나라는 제반 기술이 미확보된 상황으로 향후 해외기술의 종속화 가능성이 높음 - GS건설, 삼성물산, (주)동양 시멘트와 같이 자체 기술력 확보방식이 아닌 해외 선진기술 도입방식을 채택하는 사례가 당분간 지속될 것으로 전망 - 해외기술 종속화 현상 방지 시 탄소중립 분야 국제 경쟁력 확보 불가능

<CCUS 기술로 포집한 CO₂를 대량으로 활용, 소비할 수 있는 방식의 CCU 콘크리트 제조 기술 개발이 필요>

- CCU 콘크리트 탄소 고정 기술 적용에 따라 연간 약 500Mt의 탄소 저감이 가능하며, 최대 260억 달러 규모의 새로운 생산 효율성을 창출할 수 있는 잠재력이 있음
- CCU 콘크리트 탄소 고정 기술은 기존 콘크리트의 물성과 제조방식 유지가 가능한 기술로서 개발 즉시 현장 활용과 CO₂ 감축이 가능
 - 콘크리트, 레미콘 (Ready mix concrete), 콘크리트 pre-cast 2차 제품 등 다양한 건설재료 제조공정에 적용하여 산업 배출 CO₂ 저감에 즉시 기여
- 콘크리트의 원재료 단계, 혼합 단계, 양생 단계에서 각각의 CO₂ 저감 기술이 별도로 적용되고 있어 시너지를 이루기 위한 통합 연구필요
 - 레미콘 단계 CO₂ 주입, 제조단계 CO₂ 양생공법을 통한 콘크리트 내 CO₂ 저장기술, 기존 콘크리트에 산업부산물 다량사용에 따른 탄소저감 기술 등 다양한 탄소중립 기술이 개별적으로 존재하며 기타 탄산염 골재와 바인더와 같은 탄소중립 건설 적용 기술이 개별적으로 존재
 - 탄소중립 건설재료 및 제조기술이 융합되면서 통합 진행할 수 있는 기술개발 프로세스 수립 필요

<콘크리트 생애주기 동안 CO₂를 저감할 수 있는 대기 중 탄소 흡수 콘크리트 기술 개발이 필요>

- CO₂를 포집하고 저장하는 물리적, 화학적 방법은 고비용, 고에너지가 필요하고 환경오염의 우려가 있기 때문에 생물학적인 접근 방법이 필요함
 - CO₂를 포집하고 저장하는 방법 중 물리적인 방법은 대규모 이산화탄소 포집 및 저장에 적합하며 전체 공정 비용이 매우 고가임
 - CO₂를 포집하고 저장하는 방법 중 화학적인 방법은 높은 환경 오염과 에너지 소비가 발생함
 - 반면 생물학적 방법은 친환경성과 대규모 사용 가능성이 있어 국제적인 관심을 끌고 있음
- 콘크리트 구조물의 생애주기에서 지속가능한 CO₂ 저감 기술이 필요함
 - 시멘트 및 콘크리트의 CO₂ 저감을 위한 기술은 재료 생산단계에서 주로 고려되고 있으며, 구조물의 사용단계에서 CO₂ 저감은 단지 탄산화 작용에 의한 CO₂ 흡수만이 추가적으로 고려될 수 있음
 - 구조물 사용단계에서 콘크리트 탄산화에 의한 CO₂ 흡수량은 노출 환경과 면적 및 마감재 등에 의해 매우 상이할 수 있기 때문에 콘크리트 생애주기에서의 CO₂ 흡수량은 실제로 매우 작음
 - 콘크리트 산업에서 CO₂ 배출량 및 포집의 한계를 고려할 때 이론적

으로 약 100년의 수명을 갖는 콘크리트 구조물에서는 단편적인 CO₂ 저장 및 포집의 방법만이 아니라 생애주기 전체를 아우르는 탄소 저감의 기술의 개발이 필요함

□ 기술동향 <국내 동향>

- 국내에서는 콘크리트에 대해 CO₂ 활용기술에 관한 연구는 광물탄산화 소재의 콘크리트 재료 대체재로의 검토, 이산화탄소 양생처리에 따른 콘크리트 물성을 검토하는 정도의 초기연구 단계수준임
- 최근 탄소중립 문제해결을 위해 CCUS의 CO₂ 활용기술에 대한 관심이 높아지면서 시멘트 산업에서 발생하는 배출 이산화탄소를 포집해 광물탄산화 생산공정에 활용하는 기술개발 과제 국책과제로 발주되어 진행되고 있으며 원천기술 확보 단계임
 - 시멘트 산업 발생 CO₂ 활용 in-situ 탄산화 기술 개발과제는 국책과제(2021~2024)로 (주)유진기업이 주관연구기관으로 1㎥당 CO₂ 반응을 0.4 kg 이상, 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물의 단위 시멘트량 3% 이상 감축 기술 개발을 목표로 수행중에 있음
 - 이산화탄소 반응경화 시멘트 및 건설용 2차제품 제조기술 개발 과제는 국책과제(2021~2024)로 들을 수행 중에 있으며 시멘트 조성물질을 조정하여 CO₂와의 반응성을 높여 강도를 확보하는 기술로 1000t/y급 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조·응용기술, 이산화탄소 반응경화 시멘트 적용 10 ton/batch급 건설용 2차제품 제조기술, 건설용 2차제품 제조를 위한 5㎥급/batch급 이산화탄소 반응경화 양생시스템 개발 등 3개의 세부과제 구성하여 진행 중에 있음
- 한국건설기술연구원은 기관 주요사업(2022~2024)을 통해 광물질 탄산화 반응 기술에 기반하여 포집한 CO₂ 활용 콘크리트 제조 원천기술을 확보하고 CEC(Carbon Eating Concrete)로 상표등록을 함
 - CEC는 CO₂ 용존 배합수로 생산중 콘크리트에 주입하는 기술과 챔버 내 CO₂ 양생을 통해 CO₂를 재령초기의 콘크리트에 단시간 주입할 수 있는 기술을 개발하여 탄소를 고정 및 저장하는 콘크리트 CO₂ 활용 기술을 구현하고 있음
 - 고농도의 CO₂가 용해되고 많은 양의 CO₂가 광물질 탄산화 반응으로 소비될 수 있도록 산업부산물인 들어간 나노버블 CO₂ 용존 배합수를 제조하여 콘크리트 제조에 사용되는 물을 대체하여 콘크리트에 CO₂를 고정하는 기술로 회수수를 활용한 CO₂ 용존 배합수 사용 CEC의 경우 콘크리트 1㎥에 대해 CO₂ 1~1.8 kg을 고정 및 저장할 수 있는 연구성과(2024)를 나타내고 있음
 - CO₂ 양생 CEC의 경우 프리캐스트 등 콘크리트 2차 제품을 대상으로 CO₂와의 반응을 활성화 할 수 있는 재료배합 기술 및 양생방법을

개발하여 재령초기에 콘크리트 시편을 양생챔버에 넣고 CO₂를 주입하는 기술로 CO₂로 5~10 kg/m³를 콘크리트 내에 저장할 수 있는 연구성과(2024)를 나타냄

- 현재 국내 대형 건설사, 시멘트 제조회사 중심으로 해외 기술(캐나다 CarbonCure社)을 도입하고 있음
 - GS건설의 프리캐스트 콘크리트 제조 자회사 GPC는 국내 최초로 생산 중 콘크리트 탄소 고정 기술을 상용화했다고 발표(2022)
 - 캐나다 CarbonCure社의 기술 도입을 통해 GPC 충북 음성공장에서 PC 제품에 대한 기술 실증 후 탄소 저감형 PC 제품생산을 점차 확대할 방침
 - 삼성물산은 친환경·저탄소 콘크리트 기술의 국내 도입을 위해 2023년 7월 캐나다 CarbonCure社에 750만달러 규모의 투자 및 업무협약 체결
 - 유진그룹 계열사 (주)동양은 국내 레미콘 업계 최초로 CarbonCure社 시스템 도입
 - 2023년 9월 CarbonCure社의 카본큐어 시스템을 국내공장에 설치 완료하고 동일 강도 유지 조건으로 레미콘의 시멘트 사용량 4~6% 절감 기대

<국외 동향>

- CO₂를 직접 콘크리트에 활용하여 CO₂를 저장하는 콘크리트 기술을 선도하고 있는 기업은 북미지역을 거점으로 하는 CarbonCure社이고, 일본, 중국 등 후발국에서 추격을 하고 있음
 - 선두 기업인 캐나다 CarbonCure社는 북미지역에서의 성공적 경험을 발판 삼아 점차 세계적 기업으로 성장 중임
 - 최근 이산화탄소 감축 실적을 적 탄소시장인 VERRA에서 인정을 받았으며, 2019년도부터 3개년 동안 총 14,581t CO₂ 감축을 인정받음
 - 레미콘 기반 탄소 고정 기술을 산업 및 기술 성숙도가 높은 동아시아 지역부터 수출하기 시작하였으며, 2023년 기준 30개국이 넘는 기업에서 해당 기술을 도입하고 있음
- 미국 에어룸 카본 테크놀로지스社, 캐나다 CarbonCure社 간 기술 협업으로 직접 포집 방식 콘크리트 탄소 고정 기술 상용화
 - 에어룸 카본 테크놀로지스社는 석회의 탄산-탈탄산 반복 과정을 활용하여 공기 중 이산화탄소를 포집하고, 카본큐어社는 이렇게 포집한 이산화탄소를 생산중 콘크리트에 주입하는 방식으로 협업
- 캐나다 Carbicrete社는 2016년 설립한 회사로 CMUs(Concrete Masonry Units) 및 PC Panel 등 콘크리트 2차 제품 제조 기술을 중심으로 성장 중으로 시멘트 대신 슬래그를 사용하고, 포집된 CO₂를 주입하여

CMU당 약 3kg의 CO₂를 저감하여 블록을 생산

- 미국 Solidia社は 2008년 설립한 회사로 탄소 고정으로 경화되는 특수 시멘트 기술을 바탕으로 물 대신 CO₂를 이용하여 콘크리트를 양생시키는 특수시멘트(솔리디아 시멘트)를 사용한 레미콘을 생산 기술 보유하고 급성장 중
 - 온실가스 30~40% 저감 및 콘크리트 양생 시간 1일로 단축
 - 현재 2개 대륙, 10개국 50개 공장에서 제품 생산

• Two applications tested:

- Pavers
- Hollow cores

Press machine



Fresh Solidia Concrete

CO₂ curing



Fresh Solidia Concrete
in contact with CO₂ (24h)



[Solidia社の CO₂를 활용한 콘크리트 양생 기술]

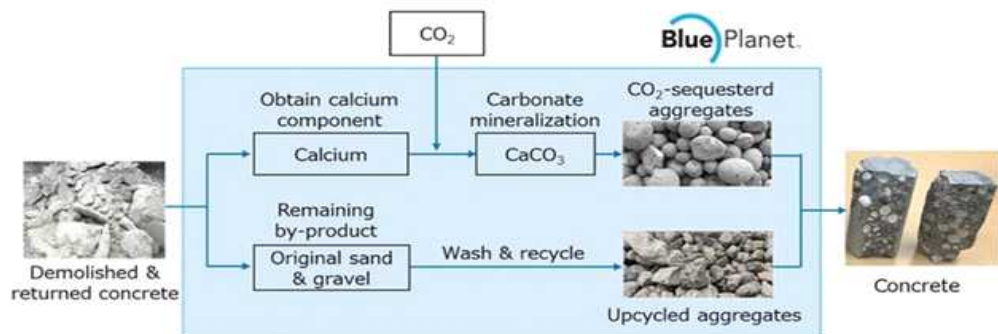
- 일본 미쓰비시社は 2021년 1월 캐나다 Carbon Cure社와의 제휴를 통해 콘크리트 생산 중 탄소 고정 기술 확보중이고 2020년 9월 미국 Blue Planet社와 탄소 포집 골재의 콘크리트 활용을 위한 협업 계약을 체결하고 사업화를 진행 중에 있음
- 일본 미쓰비시社, 가시마 건설, 주고쿠 전력 등으로 구성된 컨소시엄은 탄소 네거티브 콘크리트 "CO₂-SUICOM" 개발 및 세계시장 공개
 - CO₂-SUICOM은 시멘트 사용량 70% 삭감 및 탄소 추가 흡수를 통해 탄소 총배출량을 제로 이하 낮추는 기술로 철근 콘크리트구조에 활용하기 위한 연구를 수행 중

Carbon Cure CO2 고정화 프로세스



[미쓰비시사에서 도입한 캐나다 Carbon Cure社の 콘크리트 생산 중 탄소 고정 기술]

Blue Planet CO2 고정화 프로세스



[미국 Blue Planet社の 탄소 포집 골재의 콘크리트 활용 기술]

3. 연구개발내용

(세부기술 1) CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발

- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 시스템 설계 방안 도출
 - 콘크리트 내 탄소고정 평가방법 검토
 - CCU 콘크리트 기초실험을 위한 실험실용 제조 장치 시제품 구축
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 장치 구축을 위한 상세기술 검토 (골재, 배합수 제조장치 등)
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 설계 및 시제품 제작
 - CO₂ 저장 콘크리트 원재료 활용 콘크리트 내 탄소고정화량 향상 방안
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 시스템 장치 설계 및 구축을 위한 상세기술 검토 (골재, 배합수 제조장치 등)
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 장치 시스템 설계 및 시제품 구축

- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 구축 및 기본 배합 도출
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 정립
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 탄소 고정에 따른 수화 및 강도 발현 특성 검토
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 시작품 구축 및 운영 검토(골재, 배합수 제조장치 등)
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 및 배합 최적화
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 최적화
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 시작품 최적화(골재, 배합수 제조장치 등)
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 특성(CO_2 고정화량, 강도, 내구성, 미세구조 등) 평가
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 T/B 구축
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 재료 배합 기술 보완
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 시작품 최적 운영 방안 정립(골재, 배합수 제조장치 등)
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트의 품질관리(안) 및 제조시방(안) 정립
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 활용 T/B 연구 지원 및 검증
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 내 CO_2 고정화 성능 평가 방법 표준(안)

(세부기술 2) CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발

- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 설계 방안 도출
 - CO_2 양생에 따른 콘크리트 내 탄소고정 평가방법 검토
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 기초실험을 위한 실험실용 양생 장치 시작품 구축
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 장치 구축을 위한 상세기술 검토 (골재, 배합수 제조장치 등)
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 설계 및 시작품 제작
 - CO_2 양생에 따른 콘크리트 내 탄소고정화량 향상 방안 재료 검토 및 평가
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조 장치 시스템 설계 및 시작품 구축
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 구축 및 기본 배합 도출

- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 정립
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 CO₂ 양생에 수화 및 강도 발현 특성 검토
- 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 시작품 구축 및 운영 검토
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 및 배합 최적화
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 재료 배합 및 제조 기술 최적화
 - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 시작품 최적화
 - 프리캐스트 적용 CO₂ 양생 CCU 콘크리트의 특성(CO₂ 고정화량, 강도, 내구성, 미세구조 등) 평가
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 T/B 구축
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 재료 배합 기술 보완
 - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 시작품 최적 운영 방안 정립
 - 프리캐스트 적용 CO₂ 양생 CCU 콘크리트의 품질관리(안) 및 제조시방(안) 정립
 - 프리캐스트 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 활용 T/B 연구 지원 및 검증
 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 내 CO₂ 고정화 성능 평가 방법 표준(안)

(세부기술 3) 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발

- 콘크리트용 탄소 흡수 촉매재 및 탄소 고정 활성 재료 특성 평가
 - 비구조 CCU 콘크리트의 제품 생산 적용 가능 탄소 흡수 촉매재 선정 및 특성 평가
 - 비구조 CCU 콘크리트의 제품 생산 가능 탄소 고정 활성 재료 선정 및 특성 평가
 - 콘크리트용 탄소 흡수 촉매재 생산방법 개발
 - 탄소 고정 활성 재료 생산방법 개발
- 탄소 흡수 촉매재 및 탄소 고정 활성 재료 적용 콘크리트 최적 배합 기술 개발
 - 공용기간 동안 탄소 흡수 비구조재 CCU 콘크리트의 CO₂ 흡수량 평가 방법 구축
 - 탄소 흡수 촉매재 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 최적 배합 개발
 - 탄소 고정 활성 재료 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 최적 배합 개발
 - 탄소 흡수 촉매재/고정활성 재료 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 장기 내구성능에 대한 광범위한 파라메트릭 평가
- 탄소 흡수 촉매재 및 탄소 고정 활성 재료 적용 CCU 콘크리트 제조 및 생산 기술 개발

- 탄소 흡수 촉매재 적용 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발
- 탄소 고정 활성 재료 적용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발
- 비구조재 CCU 콘크리트의 시제품 개발
- 탄소 고정 활성 재료 적용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제품 표준(안)

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
- CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발
 - 탄소고정 콘크리트 원재료 활용 CO₂ 고정 현장타설용 CCU 콘크리트의 최적 배합 개발
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 설계 및 구축
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 시스템 최적화 기술 및 T/B 구축
 - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트의 다양한 실험 데이터 기반 품질 신뢰성 확보
 - CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발
 - 탄소고정 콘크리트 원재료 활용 CO₂ 고정 프리캐스트용 CCU 콘크리트의 최적 배합 개발
 - 프리캐스트 적용을 위한 CCU 콘크리트 제조·양생 실증 시스템 설계 및 구축
 - 프리캐스트 적용을 위한 CCU 콘크리트 제조·양생 실증 시스템 최적화 기술 및 T/B 구축
 - 프리캐스트 적용을 위한 CCU 콘크리트의 다양한 실험 데이터 기반 품질 신뢰성 확보
 - 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발
 - 탄소 흡수 촉매재의 최적 조건 및 이를 이용한 탄소 흡수 콘크리트의 최적 배합 개발
 - 탄소 흡수 콘크리트의 장기 내구성 및 생애주기 전체에 대한 탄소 흡수량 평가 방법 개발
 - 비구조재용 CCU 콘크리트 적용 비구조용 시제품 제작 및 시제품 개발
- 추진체계
- 본 연구개발 과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행
 - 주관연구개발기관은 개발 기술간 연계활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성이 가능하고, 컨소시엄 구성 시 과다한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
- ※ 연구개발기관 구성 시 합리적으로 구성하여야 하며 연구개발내용 및 역할이 중복된다고

판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영
- 연구자의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요
- 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성
- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구 경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색 추진
- 국제공동연구·국제협력 등 국제상호 협력체계를 고려한 연구개발 추진
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
 - 국제표준화 기구 활동 및 협력 연구 수행 고려
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계 제시
- 각 연구과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회(연구단장과 연구단 전문가 자문위원회 적극 활용·대응)를 구성하여, 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종 연구개발성과물

- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 장치 시작품 기술 및 T/B 구축
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트의 최적 배합 설계
- 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 내 CO₂ 고정화 성능 평가 방법 표준(안)
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 장치 시작품 기술 및 T/B 구축
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트의 최적 배합 설계
- 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 내 CO₂ 고정화 성능 평가 방법 표준(안)

- 탄소 흡수 촉매재/고정활성 재료 적용 비구조재용 CCU 콘크리트 제조 기술 및 시제품
- 탄소 흡수 촉매재/고정활성 재료 적용 비구조재 CCU 콘크리트의 품질 기준 표준(안)

6. 활용방안 및 기대효과

- **활용방안**
- **(정부, 지자체)** 정부 및 지자체와 연계하여 공공인프라를 대상으로 해당 기술을 실증하고, 도출된 과학적 근거를 활용하여 국가 탄소중립 관련 정책 반영 추진
 - **(레미콘 및 콘크리트 2차 제품 관련 기업)** 레미콘 기업과 2차 제품 관련 중소기업 및 스타트업 기업 등을 대상으로 사업화 모델 제시 및 기술이전 추진
 - **(신규 사업 발굴)** CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술은 온실가스 감축과 관련한 친환경 콘크리트 분야에서 중소기업 및 스타트업 기업 발굴 등의 신규 비즈니스 창출 가능

□ **기대효과** <과학기술적 효과>

- 콘크리트 적용 탄산염 원재료에 대한 탄소고정화 메커니즘 기술개발을 통한 건설 탄소저감 기술개발 시너지 형성 및 가속화
 - 콘크리트의 탄소저감 기술을 원재료 별로 확보하여 신규 건설 탄소저감 기술 간 융합·교환이 가능하고 콘크리트 탄소저감 효과에 대한 시너지 형성 가능
- 콘크리트 산업의 안정적이고 장기적인 CO₂ 감축 기술 확보 및 즉시 활용 가능한 CCUS 시스템 구축에 따른 온실가스 배출량 감축에 실질적 기여
 - CO₂ 고정화 기술의 취약점인 CO₂ 재방출 현상 없이 장기 안정 상태로 CO₂를 대량으로 고정할 수 있기 때문에 안전이나 환경위험 없이 기후 위기에 대응 가능
 - 기존 콘크리트와 동일한 물성, 공정 및 시스템을 기반으로 광물 탄산화 즉시 실현
- 건설 분야 CCUS 시스템 확보에 따른 국가 CCUS 로드맵 달성 기여
 - 국내 건설산업 연계 이산화탄소 감축 기술 체계구축의 선도로 산업계 적용확산을 위한 구체적인 정책 및 체계마련을 통해 국가 이산화탄소 감축 로드맵 구축 기대
 - 지속 가능한 발전을 위한 전략 기술로서의 건설분야 탄소중립을 위한 핵심기술 집중 성장 가능성 잠재
- 건설 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대

- 저탄소 시멘트 제조, 산업 배출 CO₂ 포집 및 활용 시스템 구축, 저탄소/고내구성 콘크리트 제조 기술 연계를 통한 관련 산업 분야 가치사슬 강화 기대
- 기술 상용화, 과속화 및 안정화를 위한 실증화 시스템 인프라 조성에 따른 산업 기술력 증대

<사회경제적 효과>

- 탄소중립 체제 세계화에 의한 해외 기술 종속화 예방 및 국내 건설 관련 탄소경제 자립성 강화
 - 해외선도 건설관련 탄소저감 기술이 증가하는 추세에 따른 국내 기술의 종속화를 선제적으로 방지하여 기술 확산 및 적용도모, 건설관련 중소기업 및 중견기업 탄소경제 자립성 강화기반 마련
- 건설 산업에 대한 인식 전환 및 신산업 일자리 창출
 - 기술개발을 통한 기반 구축과 실증 완료시 콘크리트 산업의 기존 부정적 이미지를 탈피하여 2050 탄소중립 달성에 있어 핵심적이고 지속가능한 분야로의 인식 전환 기대
 - 건설산업에 대한 인식 전환에 따른 신규 일자리 창출 및 국내 젊은 인력 유입 기대
- 직접적인 경제적 효과 창출
 - 생산중 탄소 고정 콘크리트 기술만으로도 연간 국내 레미콘 타설량 1.4 m³ 기준으로 약 400만톤의 CO₂ 고정화가 가능하며, 이를 탄소배출권 가격에 적용하면(22,000원/톤, 2021년 2월 기준) 연간 880억의 직접적인 경제적 효과 창출 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구개발기간 : 2026.04~2030.12(4년 9개월)
 - [1단계]
 - 1차년도 연구개발기간 : 2026.04~2026.12(9개월)
 - 2차년도 연구개발기간 : 2027.01~2027.12(12개월)
 - 3차년도 연구개발기간 : 2028.01~2028.12(12개월)
 - [2단계]
 - 4차년도 연구개발기간 : 2029.01~2029.12(12개월)
 - 5차년도 연구개발기간 : 2030.01~2030.12(12개월)
- 총 정부지원연구개발비 : 10,500백만 원 이내
 - 1차년도 정부지원연구개발비 : 1,000백만 원 이내
 - * 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
 - * 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능

* 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

중점기술3: CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 개발

연구개발과제명	CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 개발
1. 연구개발목표	○ CCU (Carbon Capture Utilization) 콘크리트 실용화를 위한 CCU 콘크리트 실증 및 탄소 감축 사업 방법론 개발 - 개발된 CCU 콘크리트에 대한 구조설계 기준(안) 개발 및 구조물 실증 - CO₂ 광물탄산화 기반한 콘크리트 원재료 및 이를 활용한 CCU 콘크리트 활용에 따른 전주기 탄소감축량 평가인 LCA 평가 - 개발된 CCU 콘크리트에 대한 온실가스 감축 사업 방법론 개발을 통한 사업화 모델 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발 <CCU 콘크리트의 구조물 활용을 위한 구조설계 기준 정립 및 실증 기술 필요> 필요성 ○ CCU 콘크리트는 탄소중립에 기여할 목적으로 제안된 새로운 콘크리트 기술로 현재 구조물 활용을 위한 구조설계 기준이 미정립되어 있고 실증 연구 부족한 상태로 품질 관련 데이터가 충분하지 않음 - 콘크리트의 탄소 고정 또는 저장 능력을 촉진하는 공정 기술은 해외 기업을 통해 확인할 수 있지만, 기술의 역사가 길지 않은 만큼 수화 등 강도 발현 특성, 수축 및 철근 부식 등 장기 내구성, 슬럼프 등 유변학적 특성과 같은 콘크리트 품질 관련 데이터는 충분하지 않음 - 철근콘크리트 구조물의 경우 콘크리트 탄산화를 철근 부식 등 내구성에 악영향을 미치는 주요 원인으로 규정하고 있기 때문에 CO₂를 콘크리트에 주입하여 콘크리트의 탄산화를 유도한다는 개념의 탄소 저장 콘크리트에 대한 부정적인 선입견에 대한 인식 개선 필요 • 기존 탄산화는 공용기간중 장기간에 걸쳐 콘크리트에 유입되는 대기중 CO₂의 영향으로 콘크리트가 pH가 낮아져 철근부식환경을 제공하는 개념과 콘크리트를 제조하는 배합단계나 재령초기에 CO₂를 강제주입하여 콘크리트와의 반응을 통해 광물질인 탄산칼슘을 생성하게 하여 강도증진이나 조직을 밀실하게 하여 강도 상승분에 해당하는 시멘트를 감소시키고 철근부식의 위험 없이 CO₂를 저장하는 순기능을 갖는 CCU 콘크리트 콘크리트의 필요성 설득이 필요 • 기술개발 과정에서 환경친화적인 성능을 입증하고 콘크리트에 대한 적용대상을 물리적인 강도나 철근부식 문제가 크게 중요하지 않은 일반강도 영역의 콘크리트 및 2차 제품에서 시작하여 CO₂를 활용한 콘크리트가 철근부식환경을 극복하기 위한 문제해결 연구를 진행하여 철근콘크리트 구조물에 확대 적용할 수 있는 연구 전략도 필요함

<CCU 콘크리트의 전주기 탄소감축량에 대한 평가기술 필요>

- CO₂ 광물탄산화 기반한 콘크리트 원재료 및 이를 활용한 CCU 콘크리트의 제조 및 활용에 따른 전주기 탄소감축량 평가인 LCA(Life Cycle Assessment) 평가 필요
 - 콘크리트 원재료 생산, 재료 이송, 제조, 활용에 일기 까지 CCU 콘크리트와 관련된 전 과정에서 발생하는 환경적 영향을 정량화하여 탄소감축에 대한 평가가 필요함

<국내 CCU 콘크리트의 탄소거래 시장 대비 경쟁력 확보 필요>

- 온실가스 감축실적을 인정받기 위해서는 개발기술의 정성적인 탄소감축량으로 추정하는 것이 아닌 국제적 기준에 부합하는 방식으로 온실가스를 감축, 흡수 또는 제거하는 사업을 계획·구성·운영을 근거로 진행해야 함
 - 온실가스 감축사업 및 감축실적을 산정 및 인증하는 국제적 기준을 서술한 문서를 “방법론(Methodology)”이라 하며 “방법론”은 온실가스 감축실적을 인증 및 발행하는 기관별로 CDM/SDM 방법론(UNFCCC), 외부사업 방법론(한국), VCM 방법론(Verra, Gold Standard, Puro·earth 등)으로 구분됨
 - 이산화탄소 고정형 콘크리트 생산에 대한 방법론은 CarbonCure社가 등록한 자발적 탄소시장인 Verra에 등록된 방법론이 유일하며 이를 근거로 한국을 포함 세계 다수국가에 탄소중립건설기술 사업화에 진출하고 있음
- 외부사업을 통해 획득한 감축실적은 인증 시점으로부터 5년간 국내 탄소시장에서 거래가 가능하며, 할당대상업체의 배출권 거래제 대응에 활용이 가능하므로 곧 다가올 탄소거래 시장 대비 경쟁력을 확보하기 위한 외부사업 방법론 등록을 위한 기술개발이 필요함

□ 기술동향 <국내 동향>

- 기술개발 과정에서 CO₂ 저장 콘크리트의 환경친화적인 성능과 적용대상을 철근부식 문제가 크게 중요하지 않은 일반강도 영역의 콘크리트 및 2차 제품에 우선 적용
- CCU 콘크리트에 대한 내구특성 개선 등 품질개선의 영향을 실험적 검증한 데이터를 기반으로 철근부식의 부정적인 선입견을 극복하기 위한 연구와 함께 철근콘크리트 구조물에 확대 적용하는 전략적 접근 구사
- 국내에서는 CCU 콘크리트 관련한 전과정 평가(LCA)에 대한 연구가 부족함

- '23년 12월 현재 CCU 콘크리트 생산 관련 방법론 관련하여 국내 외부 사업 방법론으로 등록된 것은 없음

<국외 동향>

- CCU 콘크리트와 관련한 전과정 평가(LCA)에 대해 외국에서도 사례가 많지 않음
- 이에 단순히 CO₂를 활용한다는 CCU 콘크리트의 CO₂ 감축효과를 인정하는 것이 아니라 CO₂ 활용에 따른 압축강도 상승 등 품질개선의 이점, CO₂ 양생 시 낮은 전기사용량 등을 고려하여 전과정 평가에 기반한 CO₂ 감축효과를 평가하고 있음
- 캐나다 CarbonCure는 자발적 탄소시장인 Verra에 등록된 방법론을 바탕으로 국내 및 해외에 진출 중

3. 연구개발내용

(세부기술 1) CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발

- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 검토항목 설정
 - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 검토항목 설정 및 기초 실험
 - CCU 콘크리트의 구조특성 데이터 구축
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 강재 부식 회피 기술 검토
- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 실험데이터 구축
 - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 실험데이터 구축
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 강재 부식 회피 기술 개발
- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 초안 정립
 - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 초안 정립
 - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 실험데이터 보완
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 구조물 적용 방안 발굴 및 적용
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 구조물 실증 계획 수립
- CCU 콘크리트 실증 및 실용화 방안 개발
 - CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 개발
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 구조물 실증
 - 실증기반 CCU 콘크리트 활용 구조물 적용 기술 보완 및 실용화 방안 개발

(세부기술 2) CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발

- CCU 콘크리트 LCA 평가방법 기본 계획 수립

- CCU 콘크리트의 전주기 LCA 평가방법 기본 계획 수립
- CCU 콘크리트의 소재 및 제조 공정 고려한 플로우 맵 구축 계획 수립
- CCU 콘크리트의 특성을 고려한 플로우 맵 구축
 - LCA 평가방법을 위한 CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축(안) 수립
 - CCU 콘크리트의 소재 및 제조 공정 특성 조사를 기반한 플로우 맵 구축
- CCU 콘크리트 LCA 평가방법(안) 수립
 - 제조방법에 따른 CCU 콘크리트의 전주기 LCA 평가 방법(안) 정립
 - LCA 평가방법을 위한 CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축(안) 보완
- CCU 콘크리트 LCA 평가방법(안) 개발 및 LCI DB 구축
 - 제조방법에 따른 CCU 콘크리트의 탄소감축을 위한 전주기 LCA 평가 방법(안) 개발
 - LCA 평가방법을 위한 CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축

(세부기술 3) CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발

- 개발 CCU 콘크리트의 감축사업화 가능한 영역에 대한 방법론 확인 및 검토
 - 감축사업화 가능한 영역 확인
 - 적용 가능한 방법론 확인 및 검토
 - 해당 방법론별 적용 사례 조사 분석
- 개발 CCU 콘크리트의 감축사업 영역 선정 및 적용기술 확인 등 타당성 검토
 - 감축사업 영역 선정 및 적용기술 확인
 - 타당성 검토
- 사업계획서 작성
 - 사업계획서 작성 및 증빙자료 개발
 - 감축사업 등록 신청 및 대응
 - 배출권거래제 연계 방안 마련

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 정립
 - 실험 데이터 기반 CCU 콘크리트 구조 설계 기준(안) 개발
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 구조물 실증 및 활용방안 개발
 - 제조기술별 CCU 콘크리트 활용 강재 부식 회피 기술 개발
 - CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발
 - LCA 평가를 위한 SCOPE 및 Flow map 설정

- CCU 콘크리트 관련 LCI DB 구축
- CCU 콘크리트 전과정 LCA 평가 기법 개발
- CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발
 - 개발 CCU 콘크리트의 감축사업화 가능한 영역에 대한 방법론 확인 및 검토
 - 개발 CCU 콘크리트의 감축사업 영역 선정 및 적용기술 확인 등 타당성 검토
 - 사업계획서 작성 및 증빙자료 개발

□ 추진체계

- 본 연구개발 과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행
 - 주관연구개발기관은 개발 기술간 연계활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성이 가능하고, 컨소시엄 구성 시 과다한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
- ※ 연구개발기관 구성 시 합리적으로 구성하여야 하며 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음
- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영
- 연구자의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요
- 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성
- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구 경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색 추진
- 국제공동연구·국제협력 등 국제상호 협력체계를 고려한 연구개발 추진
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
 - 국제표준화 기구 활동 및 협력 연구 수행 고려
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체

계 제시

- 각 연구과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회(연구단장과 연구단 전문가 자문위원회 적극 활용·대응)를 구성하여, 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종 연구개발성과물

- CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안)
- CCU 콘크리트의 구조물 활용 실증 기술
- CCU 콘크리트의 탄소감축을 위한 전주기 LCA 평가 방법(안) 개발
- CCU 콘크리트의 LCI(life cycle inventory) DB 구축
- 개발한 CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 등록 (1건 이상, 환경부)
- 배출권거래제 연계 방안 마련

6. 활용방안 및 기대효과

- ☐ 활용방안
- (정부, 지자체) 정부 및 지자체와 연계하여 공공인프라를 대상으로 해당 기술을 실증하고, 도출된 과학적 근거를 활용하여 국가 탄소중립 관련 정책 반영 추진
 - (레이콘 및 콘크리트 2차 제품 관련 기업) 레이콘 기업과 2차 제품 관련 중소기업 및 스타트업 기업 등을 대상으로 사업화 모델 제시 및 기술이전 추진
 - (신규 사업 발굴) CCU 콘크리트 성능 검증 및 실용화 기술은 온실가스 감축과 관련한 친환경 콘크리트 분야에서 중소기업 및 스타트업 기업 발굴 등의 신규 비즈니스 창출 가능

☐ 기대효과 <과학기술적 효과>

- 국내 CCUS 기술의 활성화에 기여
 - 포집된 CO₂를 가장 감축효과가 큰 광물탄산화 전환기술로 대량으로 소비, 재활용할 수 방향을 제시하여 국내 CCUS 기술 활성화에 기여할 것으로 기대
- 건설 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대
 - 탄소중립 건설기술 확보로 저탄소 시멘트 제조, 산업 배출 CO₂ 포집 및 활용 시스템 구축, 저탄소/고내구성 콘크리트 제조 기술 연계를 통한 관련 산업 분야 가치사슬 강화 기대
 - 기술 상용화, 과속화 및 안정화를 위한 실증화 시스템 인프라 조성에 따른 산업 기술력 증대

<사회경제적 효과>

- CO₂ 활용에 따른 친환경 건설 자재에 대한 수요 증가로 인해 새로운 시장이 형성될 것이며 기존의 건설 자재 시장에 혁신적인 대안을 제공하여 시장 확대에 기여
- CO₂ 배출을 줄이고 배출된 CO₂를 재사용함으로써 강화되는 환경 규제를 효과적으로 대응할 수 있으며 탄소배출권 비용을 절감하는 효과가 있음

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구개발기간 : 2027.04~2030.12(3년 9개월)
[1단계]
 - 1차년도 연구개발기간 : 2027.04~2027.12(9개월)
 - 2차년도 연구개발기간 : 2028.01~2028.12(12개월)
- [2단계]
 - 3차년도 연구개발기간 : 2029.01~2029.12(12개월)
 - 4차년도 연구개발기간 : 2030.01~2030.12(12개월)
- 총 정부지원연구개발비 : 3,000백만원 이내
 - 1차년도 정부지원연구개발비 : 300백만원 이내
 - * 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
 - * 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능
 - * 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

- 본 사업(과제)은 「국가연구개발혁신법」 등에 따라 관리됨
- 본 사업(과제)의 보안등급은 “일반 과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr, <http://www.ntis.go.kr>의 유사과제 목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
- ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 구성기술별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 구성기술간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - * (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/목표치/가중치), 추진일정 및 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발기술 및 성과물의 목표수준 달성 정도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - * 연구개발과제 선정 이후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 신청자는 연구를 통해 도출되는 최종성과(핵심성과물)를 유형별(사양, 장비/장치, 소프트웨어, 시스템, 정책제도 등)로 나열하고, 세부 설명 제시
 - 아래 표를 참고하여 본 연구개발과제와 관련되는 성과지표를 반영하고, 그 외 과제특성을 고려한 고유 성과지표도 제안할 수 있음
 - * 필수지표는 사업의 성과목표지표에 해당하여 반드시 제시해야 하는 성과지표임
 - 성과지표별 목표는 도전적으로 설정해야 하며 목표치 설정근거 제시
 - * “성과지표 설정의 적정성 및 목표 도전성”은 선정평가 평가항목이며 미흡할 경우 협약시 조정

구분	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목
1	특허등록(건)	· 특허등록(건)	· 지식재산권(특허)
2 (필수 지표)	정책활용도(지수)	· 법제도 제개정(건) · 정책채택(건) · 설계기준·시방서 제·개정(건)	· 법령반영 · 정책활용 · 설계기준(설계기준, 표준시방서 등)
3	기술사업화 효과(금액)	· 사업화/제품화(건) * 연구개발성과를 실제 계약한 실적	· 사업화현황 · 매출실적

구분	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목
4	기술실시계약(건)	· 기술실시(이전)(건)	· 기술실시(이전)
5 (필수 지표)	연구개발성과 현장검증 (건)	· 현장시험 및 검증(건) * 연구개발성과 검증을 위해 현장에 시범적용, 시험시공 등을 한 성과	-
6 (필수 지표)	인증(건)	· 기술및제품인증(건) * 형식승인, SIL, ISO, NET 등 인증서	· 신기술지정 · 기술및제품인증
		· 표준화(국내·국제)(건) * KS, KRS, IEC, IRIS 등	· 표준화(국내표준) · 표준화(국제표준)
7	참여기업의 청년인력 신규 채용(명)	· 청년인력 채용 인원(명) * 채용시점 기준으로 만 15세이상 34세 이하(군 복무기 간 고려 최고 만 39세까지), 참여율 100%, 최소 1년 이상 고용 유지 * 목표산출근거 : 총 연구기간의 정부출연금 총액을 기준 으로 5억원당 1명 이상의 비율로 청년인력 신규로 채용	· 고용창출
8 (필수 지표)	학술지게재 논문(지수)	· SCI(E) 학술지 게재(건)	· 논문

- 제시한 사업(과제) 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 사업(과제) 선정 이후에는 총괄주관기관, 협동, 공동, 위탁 등 모든 연구책임자는 전문기관과 협의하여 과기부 전략계획서 포함 설정 및 사업의 평가 대응 필요 (과기부, 국가연구개발사업 전략계획서 작성 가이드라인 참조)
- 국토교통R&D 관련지침에 의거하여 필요시 연구개발 기간내 진도점검 및 현황점검 회의 등 수행 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
 - ※ 참여기업은 과제 종료 후 기술실시계약 체결 대상으로 추진
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구개발내용(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음

○ 본 사업(과제)의 2단계('28.~'29.) 추진 시, 연구개발기관(주관, 공동 등)이 변경될 경우, 1단계 과제의 연구개발기관은 2단계 연구개발기관에 인수인계 (연구내용, 성과 등 후속사업 추진에 필요한 사항 일체) 필수

○ 핵심 요소기술별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함

- 연구개발 기술수준을 TRL로 설정하고 이에 합당한 근거를 제시



를 위한 기술부족으로 인해 기층용으로만 사용되고 있으며, 기존 포장과의 이질적인 재료를 활용하므로 조기 파손 발생 및 유지보수용으로 미적용되고 있는 실정임

- 전세계적으로 상온 아스팔트 기술은 강도발현, 양생시간 등의 기술적 문제로 기층에만 제한적으로 사용되어 도로 전체에 사용할 수 있는 실효성 있는 기술 확보가 시급하며,
- 국내 도로 SOC 예산(신규)은 2030년을 기준으로 도로 SOC 유지보수 예산(보수)보다 감소될 것으로 예상하고 있으며, 향후 유지보수를 위한 다양한 기술 접목 필요
 - ※ 도로 SOC 유지관리 예산 전망(한국교통연구원, 2015)
- 따라서 도로포장 전단면(표층/중간층/기층) 포장이 가능한 상온 재활용 아스팔트 도로 포장 기술 개발 필요

□ 기술동향 <국내기술동향>

- 한국건설기술연구원('09~'13)은 금호석유화학과 공동으로 국내 최초 국산 저탄소 신소재 2종을 개발하고 이를 아스팔트 혼합물에 적용하기 위해 배합기술 등 도로포장 기술별(일반, 재활용, 배수성 등) 5종의 저탄소 중온 아스팔트 기술 개발
- SK에너지는 '22년 1월 중온 아스콘 외부사업 방법론의 환경부 승인을 받아 '23년 7월부터 “중온 아스팔트 콘크리트 혼합물 생산을 통한 연료 및 온실가스 감축”에 탄소감축 인증 시작
- 한국건설기술연구원('12~'15)은 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구” 과제 내에서 “무시멘트 활용 저비용 상온 재활용 아스팔트 포장 공법 개발” 수행
 - 상기 개발 기술은 상온 아스팔트 포장의 강도발현 및 양생시간 단축을 위해 시멘트 및 활성채움재 등을 주로 사용되고 있으나, 과다 사용으로 인하여 균열 등 공용성능 저하로 조기포장 파손 발생
 - ※ 강도 발현을 위해 시멘트 사용으로 인해 아스팔트 포장 재료와의 이질적 특성으로 인해 층 분리 및 포장 파손 가속화
 - 現, 국토부에서는 중교통 도로의 표층 적용을 위해 가열 아스팔트 포장 수준의 성능을 요구하고 있으나, 현재 기술로는 한계 극복이 어려우며, 기층용으로 일부 사용 중

<국외기술동향>

- 전세계적으로 상온 아스팔트 포장의 성능 향상을 위해 유화 아스팔트 성능을 확보하고자 다양한 노력을 추진 중에 있으나 실효성 있는 기술 확보 부재
 - 프랑스의 COLAS社は 유화 아스팔트 고형분 향상을 위해 현재 생산시설에서 70% 이상의 고형분을 함유한 유화 아스팔트 생산에 성공하였으나, 그 이상의 고형분 확보 한계
 - ※ 이를 해결하기 위해 SBS, SBR 등 고점도 고성능 개질 첨가제를 활용한 유화 아스

팔트 생산은 가능하나 고품분 함량의 한계로 상온 포장 기술의 성능 한계

- 유화 아스팔트의 고품분 함량은 상온 아스팔트 포장의 양생시간, 공용성능 등 지대한 영향을 미침에도 불구하고 전세계적으로 기술적 한계 극복 어려움
- 특히, 현재 생산되는 유화 아스팔트는 Colloid Mill 생산 시설을 활용하고 있으며, 물리적 방법을 적용하여 유화 아스팔트를 생산하고 있어 기계적 한계로 인해 고품분의 형태(입자크기 등) 및 함량 함량의 한계 존재

3. 연구개발내용

□ 고품량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발

○ 유화 아스팔트 핵심 소재 기술 개발

- 유화제 국산화를 위한 재료 설계 및 제조
- 국산화 유화제 활용 유화 아스팔트 재료 설계 및 HIPR* 제조 방법론 정립
* [HIPR] High Internal Phase Ratio
- 유화제 및 유화 아스팔트 성능 평가 및 최적화

○ 고품량 유화 아스팔트 제조 기술 개발

- HIPR 기반 유화 아스팔트 제조 방법론 개발
- 고품량(90% 이상) 유화 아스팔트 제조를 위한 핵심소재 설계 및 제조 기술 개발
- 고품량 유화 아스팔트 분산성 및 안전성 평가
- 고품량 유화 아스팔트 배합설계 및 성능 검증을 통한 최적화

○ (고점도)고품량 유화 아스팔트 성능 평가 및 최적화 기술 개발

- 고점도 개질 유화 아스팔트 적용을 위한 저분자 개질 첨가제 개발
- HIPR 기반 고점도 개질 유화 아스팔트 제조 기술 개발
- 고점도 개질 유화 아스팔트 재료 설계 및 제조, 성능 평가
- 고점도 개질 유화 아스팔트의 요구성능 기반 최적화
- (고점도) 고품량 유화 아스팔트 시제품 개발

□ 고품량 고품분 유화 아스팔트 제조 설비 구축 및 운영 기술 개발

○ High Shear 제조 설비 설계 및 구축 기술 개발

- HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 구축 방안 정립
- HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 설계 및 구축
- HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 활용 유화 아스팔트 제조 및 품질평가

○ High Shear 방식의 제조 설비 운영 및 제조 공정 기술 개발

- High Shear 방식의 제조 설비 운영 방안 정립
- High Shear 방식의 제조 설비 운영에 따른 유화 아스팔트 성능 평가
- (고점도) 고품량 유화 아스팔트 제조에 따른 성능 평가

○ High Shear 방식의 제조 설비 운영 및 제조 공정 최적화 기술 개발

- (고점도) 고품량 유화 아스팔트 성능에 따른 제조 설비 최적화
- (고점도) 고품량 유화 아스팔트 대량생산 설비 설계 기술 개발
- High Shear 제조 설비 운영 및 제조 공정 가이드라인(안) 개발

□ 전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 도로포장 기술 개발

○ 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 개발 방향 정립

- 무가열 순환 아스팔트 포장 전단면 적용을 위한 단면설계 기반 마련
- 무가열 순환 아스팔트 포장 설계 기준에 따른 공용수명 확보를 위한 요구 성능 분석
- 각 포장단면층 별 요구성능에 따른 공용성능 최소기준(안) 마련

○ 표층 및 중간층용 순환 아스팔트 포장 공법 개발

- 고성능 고품량 유화 아스팔트 활용 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계 및 품질평가
- 순환골재 사용비율에 따른 배합설계 및 품질평가
- 순환골재 사용비율에 따른 무가열 순환 아스팔트 혼합물 실내 공용성능 평가 및 최적화
- 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계(안) 정립

○ Test-bed 구축 및 운영을 통한 실검증 평가

- (고점도) 고품량 유화 아스팔트 특성을 반영한 전단면 도로포장 형식 및 단면 설계
- 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 Test-bed 구축을 통한 생산 및 시공 기술 개발
- 무가열 순환 아스팔트 포장 현장 공용성능 평가 및 탄소배출량 분석

○ 시범사업을 통한 법 제도화 기반 마련

- 도심지 내 시범사업 구간 선정(특화도시 대상 등)
- 무가열 순환 아스팔트 포장 도로포장 형식 및 단면 설계
- 무가열 순환 아스팔트 포장 현장 적용 및 운영을 통한 탄소저감 및 성능 실검증 평가
- 기존 가열 아스팔트 포장 대비 탄소배출량 저감 분석

- 시범사업 및 실검증 평가를 통한 법·제도화 기반 마련

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 구성기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시
 - 구성기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 연차별 세부 추진 전략 및 일정계획, 핵심성과, 기술로드맵(TRL 반영)을 제시
 - 단계별 및 연차별 달성 목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법을 명시할 것
 - 연구개발계획서 內 연구 목표를 정량적으로 제시
 - ※ 예) 기존 대비 00% 비용 절감, 00% 수준의 성능 향상, 탄소저감 00% 등
- 연구내용, 개발 기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과 로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시
 - ※ 단계별/연차별 성과 평가지표(안)은 향후 단계/중간 평가 시 참고 예정
- 기존에 수행되었거나 현재 국외 및 국내에서 진행 중인 관련 연구개발 결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진
 - 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력 방안 또는 공동 활용방안 등 제시
 - 각 구성기술의 연구개발 계획은 기존에 추진 완료/추진 중인 관련 국가연구개발사업의 연구내용(연구성과)과 연계/검토하여 제시 필요
 - 또한, 본 사업에서 개발 예정인 시스템의 설계, 제작 요구조건 등을 연구개발 계획서에 제시 필요
- 동시에 진행되는 도로인프라 탄소저감 연구개발 연구진과 협력·연계하여 필요한 연구 결과의 공유
- 정부 및 관련 기업·공사 등 기술 수요처와 유기적 협조체제 구축
 - 본 과제 성과물을 적용할 수 있는 수요처를 먼저 파악하여 지속 협업체계를 구축하고 수요처의 요구사항을 반영한 설계 및 시험평가 추진
 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행(GR 환경부, 산업부, 중기부 등 관련 유관 사업/과제 추진 기관 등) 연구 수행 기관과 협업
 - 관련 업계 전문가로 구성된 세미나, 포럼 등을 추진하여 대외 의견수렴
- 탄소저감 기술 인증 관련 데이터 확보를 위한 해외 기술 동향을 지속 확인하고, 필요시 국토교통부 등 관련기관의 협조 요청
- 최종성과물으로써 친환경 도로인프라 인증 체계 개발을 위한 각 구성 기술별 긴밀한 협력체계 구축
 - 연구 진행 상황과 개발성과를 체계적으로 관리·자체점검하고 연구개발 기관 간 연구성과를 공유

- 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증 시험 등을 수행하고 내부 자체 평가단을 구성하여 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출
- 연구개발 성과물에 대한 국내 인증(신뢰성 검증 포함)획득 및 해외 표준단체, 감항당국과의 국제적 상호 기술성 검증/평가계획 등 구체적인 실용화 전략 및 추진 방안 제시 필수

□ 추진체계

- 본 연구개발 과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행
 - 주관연구개발기관(3-1-2)은 개발 기술간 연계활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성이 가능하고, 컨소시엄 구성 시 과다한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
 - ※ 연구개발기관 구성 시 합리적으로 구성하여야 하며 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음
- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영
- 연구자의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요
- 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성
- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구 경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색 추진
- 국제공동연구·국제협력 등 국제상호 협력체계를 고려한 연구개발 추진
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
 - 국제표준화 기구 활동 및 협력 연구 수행 고려
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계 제시

- 각 연구과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회(연구단장과 연구단 전문가 자문위원회 적극 활용·대응)를 구성하여, 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종 연구개발성과물

- 양이온 미세 구조형 Hyper-branch 유화제 국산화 기술
- 고흥분 90% 이상 Hyper-emulsion 제조 기술
- 저분자 폴리머 기반 고성능 개질 유화 아스팔트 제조 및 대량생산 시설 구축 기술
- 순환골재 50% 이상 전단면(표층/중간층/기층) 적용 가능한 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계 및 생산, 시공 기술
- 전단면 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 Test-bed 구축 및 시범사업을 통한 가이드라인(안) 제시
- 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 온실가스 배출 특성 평가

6. 활용방안 및 기대효과

- ☐ **활용방안**
- 도로분야 탈탄소 및 탄소중립 실현을 위한 요소기술 및 특화기술 선점으로 전단면 사용 가능한 기술 확보
 - 건설폐기물 활용 무가열 아스팔트 콘크리트 기술, 저열 아스팔트 기술 등 탄소저감형 실증 특화 기술 확보
 - 아스콘 생산 플레트 업계의 탈탄소 산업 전환 선도 기반 마련 및 탄소중립형 도로인프라 건설을 위한 도로건설 시장 가치 상승
 - 향후, 도로포장 유지보수 시장은 지속적으로 증가될 것이며, 특히 30년 이상 노후 도로포장 유지보수 비용 기하급수적으로 증가 예상
 - 또한 '26년부터 시설물 기본관리 특별법에 도로포장 분야가 포함될 예정이며, 도로포장 관리기준은 물론 유지보수 계획 관리 구체화 예정
 - 신설보다 도로포장 유지관리 비용의 지속적 증가로 유지보수 공사에 확대 적용 활용함으로써 도로포장 공사에서 발생하는 탄소중립 기술로서의 가치 확대
- ☐ **기대효과**
- 정책적 기대효과
 - 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('23~'32), 제7차 건설기술진흥 기본계획('23~'27) 등 친환경·탄소중립 건설재료 개발을 위한 정부의 정책 기조에 부응하고, 정책목표 달성에 기여
 - 과학기술적 기대효과
 - Hyper-emulsion 핵심 소재 및 국산화 기술 개발로 미래 사회변화를 선도할 국가 차원의 소재 개발 및 건설 분야 응용 기술 확대
 - 국내 노후 아스팔트 포장의 효율적 단면 보수공법 적용을 통한 노후 도로 포장의 구조적 성능 개선 및 수명 연장을 위한 전환 기반 마련

○ 사회·경제적 기대효과

- 가열 아스팔트 혼합물 생산 공정에서 무가열 순환 아스팔트 포장 기술로 전환함에 따라 탄소발생 저감 효과 연간 70.0%(0.4백만tCO₂eq) 이상 절감 가능
- 아스팔트 포장 표층 1km 시공 시, 발생하는 탄소배출량은 총 456.2톤으로 2022년 국내 아스팔트 혼합물 총 생산량으로 환산할 경우, 도로포장 부분에서 약 13,336톤 감소
- 가열 아스팔트 혼합물 생산 공정에서 무가열 순환 아스팔트 포장 기술로 전환함에 따라 화석연료비 연간 934억 원/년 절감
- 신소재 도로포장 관련 산업계의 활성화 유도 및 국내외 신시장 개척 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2026.04~2029.12(3년 9개월)

[1단계]

- 1차년도 연구개발기간 : 2026.04~2026.12(9개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2027.01~2027.12(12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2028.01~2028.12(12개월)

[2단계]

- 4차년도 연구개발기간 : 2029.01~2029.12(12개월)

○ 총 정부지원연구개발비 : 9,000백만원 이내

- 1차년도 정부지원연구개발비 : 900백만원 이내
 - * 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
 - * 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능
 - * 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

- 본 사업(과제)은 「국가연구개발혁신법」 등에 따라 관리됨
- 본 사업(과제)의 보안등급은 “일반 과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

- 기수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr, http://www.ntis.go.kr의 유사과제 목록 참조
- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 구성기술별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 구성기술간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - * (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/목표치/가중치), 추진일정 및 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발기술 및 성과물의 목표수준 달성 정도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - * 연구개발과제 선정 이후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 신청자는 연구를 통해 도출되는 최종성과(핵심성과물)를 유형별(사양, 장비/장치, 소프트웨어, 시스템, 정책제도 등)로 나열하고, 세부 설명 제시
 - 아래 표를 참고하여 본 연구개발과제와 관련되는 성과지표를 반영하고, 그 외 과제특성을 고려한 고유 성과지표도 제안할 수 있음
 - * 필수지표는 사업의 성과목표지표에 해당하여 반드시 제시해야 하는 성과지표임
 - 성과지표별 목표는 도전적으로 설정해야 하며 목표치 설정근거 제시
 - * “성과지표 설정의 적정성 및 목표 도전성”은 선정평가 평가항목이며 미흡할 경우 협약시 조정

구분	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목
1	특허등록(건)	· 특허등록(건)	· 지식재산권(특허)

구분	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목
2 (필수 지표)	정책활용도(지수)	· 법제도 제개정(건) · 정책채택(건) · 설계기준·시방서 제·개정(건)	· 법령반영 · 정책활용 · 설계기준(설계기준, 표준시방서 등)
3	기술사업화 효과(금액)	· 사업화/제품화(건) * 연구개발성과를 실제 계약한 실적	· 사업화현황 · 매출실적
4	기술실시계약(건)	· 기술실시(이전)(건)	· 기술실시(이전)
5 (필수 지표)	연구개발성과 현장검증 (건)	· 현장시험 및 검증(건) * 연구개발성과 검증을 위해 현장에 시범적용, 시험시공 등을 한 성과	-
6 (필수 지표)	인증(건)	· 기술및제품인증(건) * 형식승인, SIL, ISO, NET 등 인증서	· 신기술지정 · 기술및제품인증
		· 표준화(국내·국제)(건) * KS, KRS, IEC, IRIS 등	· 표준화(국내표준) · 표준화(국제표준)
7	참여기업의 청년인력 신규 채용(명)	· 청년인력 채용 인원(명) * 채용시점 기준으로 만 15세이상 34세 이하(군 복무기 간 고려 최고 만 39세까지), 참여율 100%, 최소 1년 이상 고용 유지 * 목표산출근거 : 총 연구기간의 정부출연금 총액을 기준 으로 5억원당 1명 이상의 비율로 청년인력 신규로 채용	· 고용창출
8 (필수 지표)	학술지게재 논문(지수)	· SCI(E) 학술지 게재(건)	· 논문

- 제시한 사업(과제) 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

- 사업(과제) 선정 이후에는 총괄주관기관, 협동, 공동, 위탁 등 모든 연구책임자는 전문기관과 협의하여 과기부 전략계획서 포함 설정 및 사업의 평가 대응 필요 (과기부, 국가연구개발사업 전략계획서 작성 가이드라인 참조)

○ 국토교통R&D 관련지침에 의거하여 필요시 연구개발 기간내 진도점검 및 현황점검 회의 등 수행 가능

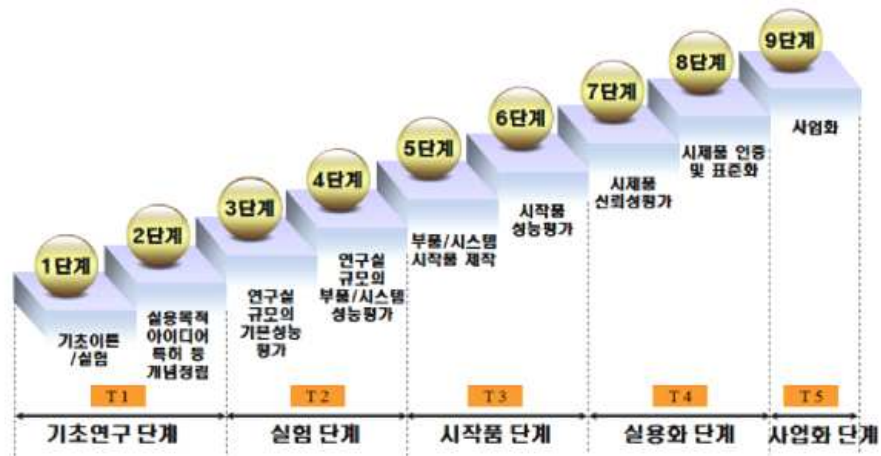
○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
※ 참여기업은 과제 종료 후 기술실시계약 체결 대상으로 추진

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구개발내용(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음
- 본 사업(과제)의 2단계('28.~'29.) 추진 시, 연구개발기관(주관, 공동 등)이 변경될 경우, 1단계 과제의 연구개발기관은 2단계 연구개발기관에 인수인계(연구내용, 성과 등 후속사업 추진에 필요한 사항 일체) 필수
- 핵심 요소기술별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함
- 연구개발 기술수준을 TRL로 설정하고 이에 합당한 근거를 제시



구성기술2: 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 개발

연구개발과제명	자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 개발
1. 연구개발목표	○ 노후 도로포장의 구조적(표층/중간층/기층) 성능 복원, 순환골재 100% 활용 및 국내 도로 환경을 고려한 탄소저감 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술(CIRB, Cold In-place Recycling for Base layer) 개발 - 국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈(리사이클러 모듈, 첨가제 포설 모듈, 재혼합 모듈, 페이버 모듈 등) 개발 - 국내 도로 환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 기술 개발 - 노후 도로포장의 구조적(표층/중간층/기층) 성능 복원을 위한 순환골재 100% 사용 및 양생시간 단축을 위한 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 배합설계 및 생산 기술 개발 - 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술에 대한 공용성능 확보를 위한 테스트 베드 구축 및 시범사업을 통한 실검증 평가
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발 필요성 ○ 노후도로의 구조적 성능 저하로 인한 도로성능 악화 및 공용수명 단축에 대응 가능한 기술 개발 필요 - 노후 도로포장의 구조적 성능 개선을 위한 단면(표층/중간층/기층)보수 적정 공법 부재 · 2022년 기준, 국내 준공 후 30년 이상 된 노후도로는 전체 도로의 51.5% 차지 · 일반국도의 경우, 전체 도로 연장 중 85.1%가 준공 후 30년 이상 된 노후도로로 분류 · 노후 아스팔트 포장의 표층 부분(약 5cm) 유지보수로 인한 도로포장의 구조적 성능 개선 미흡 ※ 구조적 성능 개선 없는 획일적인 유지보수로 인한 유지보수 예산 지속적 증가 - 노후 도로포장의 성능 향상을 위한 구조적 성능 평가 및 하부단면 유지보수 공법 필요성 공감 · 노후 도로포장의 결함 및 구조적 상태를 고려한 최적의 유지보수 두께 산정을 통한 도로포장의 효율적 유지관리 필요 · 노후 도로의 하부단면까지 유지보수가 가능한 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 개발 필요 ○ 도로분야 탄소중립 정책 기여 미비 및 천연자원 고갈로 인한 골재 부족으로 인한 문제점 해결 방안 마련

- 온실가스 저감 및 기후변화 정책 대응을 위한 친환경 도로건설 기술 적용
수요 증가
 - 가열 아스팔트 포장 기술은 다량의 화석연료 사용으로 인해 지속적으로 이
산화탄소를 배출하고 있어 대체 기술 개발 공감
 - 가열 아스팔트 포장 1km 시공時, 전공정에서 약 456톤 이산화탄소를 배출
하고 있어 상온 현장 아스팔트 포장 기술 개발 필요
 - 도로공사에 필요한 골재 수요는 증가하고 있으나 자연환경 보전 민 석산개
발 제한 등으로 인한 골재 수급 문제 발생
 - 천연골재 대체 재료로 노후 도로포장에서 발생하는 순환골재 100% 활용이
가능한 상온 현장 아스팔트 재활용 포장 기술 개발 공감
 - 도로건설 및 유지보수 공사시, 천연골재 부족 문제 해소를 위한 순환골재
자원순환 100% 기반 재활용 유지보수 기술 필요
- 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용 시공장비 도입 및 활용 한계에 따른 국
내 도로 환경에 적합한 시공 장비 및 기술 개발
- 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용을 위한 시공 장비의 국내 도입
어려움 및 시공 현장 적용을 위한 제도 부재
 - 대형 시공장비 사용으로 이동성 저하 및 다수의 시공장비 투입으로 인한 시
공 효율성 저하
 - 시공장비(아스팔트 탱크, 물차 등)간에 연계성 부족, 시멘트 살포시 분진 발
생으로 인한 환경 문제 발생
 - 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 적용을 위한 품질기준 및 시공관리
기준 부재

□ 기술동향 <국내기술현황>

- 국내 상온 재활용 아스팔트 포장 기술은 조기강도 발현 문제 및 장기 내구성 부족으
로 기층용 포장 재료로 사용되고 있으며 아스팔트 포장의 전단면(표층/중간층/기층)
에 적용을 위해 조기 강도 발현 및 내구성 향상 등을 위한 기술 개발 연구 진행 중
- 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 기술은 노후된 아스팔트 포장을 약 5~10cm 깊이
로 절삭한 순환골재를 폼드아스팔트 또는 유화아스팔트를 사용하여 현장에서
100% 재활용하므로 환경적·경제적 측면에서 장점을 가지고 있어 고가의 대형 시
공 장비 도입 등 검토
- 해외 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비를 국내에 도입할 경우,
특수 장비로 분류되어 국내 도로법상 이동에 제약 발생
- 한국건설기술연구원('12~'15)은 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로
연구” 과제 내에서 “환경친화형 중온 현장 표층 재활용 포장 실용화 기술 개발” 수행
- 기포아스팔트 기술을 활용한 상온 현장 재활용 아스팔트 1톤 생산시, 가열 아스팔

트 혼합물과 비교하여 약 23kg의 탄소 배출 감소 효과 확인

- 일반적으로 일정한 양생기간 후, 가열 아스팔트 포장으로 덧씌우기가 필요하며 양생기간이 길어 교통량이 많은 곳에 적용이 어려움

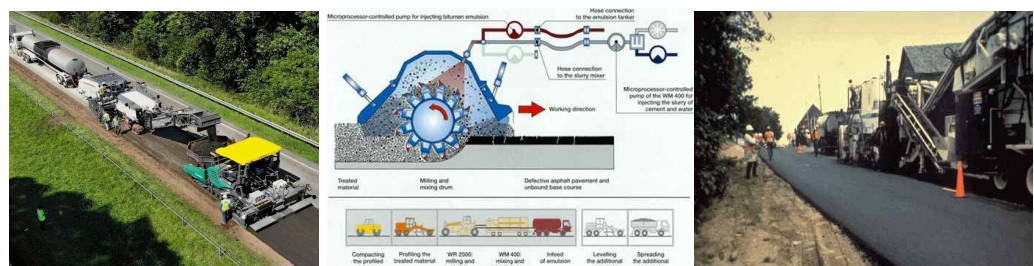
<가열 현장 재활용 아스팔트 포장과 상온 현장 재활용 아스팔트 포장 비교>

(출처: 한국도로학회, 미국의 아스팔트포장 현장 재생공법 소개와 상온 재생 폼드아스팔트 혼합물의 배합 설계법 개발)

구 분	가열 현장 재활용 아스팔트 포장	상온 현장 재활용 아스팔트 포장
노후포장 유지보수 두께	- 2~5cm	- 5~10cm
재생공법 적용을 위한 포장의 노면상태	- 소성변형 - 종방향 & 횡방향 균열 - 블리딩, 라벨링	- 표층 표면 파손보수 - 기층에서 발생한 반사균열
장점	- 공사기간 단축 - 표면 덧씌우기 불필요	- 경제성 우수 - 환경친화적
단점	- 대기온도가 낮을 경우 시공 제한 - 현장 시공관리 주의 요구 - 상온 현장 재활용 공법에 비해 고비용	- 교통량 많은 곳에 적용 어려움 - 일정기간 양생기간 필요 - HMA 표면 덧씌우기 필요

<국외기술현황>

- 미국에서는 1900년대에 현장 상온 재활용 아스팔트 공법이 소개되었으며 1970대 ~1980대에 뉴멕시코주, 캔자스주, 펜실베이니아주 등에서 노후 아스팔트포장의 유지보수 현장에 적극적으로 적용하였으나 최근에는 고성능 유화 아스팔트 개발, 폼드 아스팔트 개발 및 시공장비 고도화 등을 통해 현장 상온 재활용 아스팔트 공법을 확대 적용 중
- 2001년 미국 아스팔트 리사이클링 협회(ARRA, Asphalt Recycling and Reclaiming Association)에서는 상온 현장 재활용 아스팔트 공법은 가열 현장 재활용 아스팔트 포장 공법과 비교하여 공사비용 20%~40% 절감 및 에너지 사용 40%~50% 절감이 가능한 것으로 보고
- 미국에 많은 주교통국에서 현장 상온 재활용 아스팔트 공법을 노후포장의 구조적 성능 개선 및 예방적유지보수 공법으로 활용하고 있으며 공법 관련 시방서 및 시공 가이드라인 사용중



<Cold In-place Recycling 시공 전경 및 개념 및 장비>

(출처: Federal Highway Administration)

- 유럽 및 중국에서는 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 품질 기준 마련
 - 스웨덴은 플랜트 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 품질기준 정립 연구를 통해 관련 기준 제시

<스웨덴 플랜트 상온 재활용 아스팔트 혼합물 품질기준>

시험방법	기준용	표준용
공극률 (%)	6~14	4~12
25℃ 마찰 안정도 (N)	7,000 이상	5,000 이상
10℃ 스티프니스(MPa)	2,000 이상	-
10℃ 간접인장강도, 7일 건조시료 (MPa)	-	0.3 이상
수분민감도(%)	50 이상	60 이상
순환골재 크기 (mm)	22 이하	16 이하

- 중국은 상온 재활용 아스팔트 포장의 두께를 최대 10cm, 시멘트 첨가량은 재활용 아스팔트 사용에 0.5~3.0%로 제한하는 관련 기준 제시

<중국 상온 재활용 아스팔트 혼합물 관련 품질기준>

시험방법	표준용
공극률 (%)	9~14
25℃ 마찰 안정도 (N)	-
간접인장시험 (25℃)	강도 (MPa) Wet/Dry Ratio (%)
	0.3 70

3. 연구개발내용

- 국내 도로환경을 고려한 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 시공 장비 모듈 개발
 - 국내 도로환경을 고려한 맞춤형 CIRB 장비 소형화 기술 개발
 - CIR 장비의 분리조립 가능한 장치 선정
 - 실내 시험장치인 Laboratory Unit을 기반으로 CIR의 모듈화 방안 모색
 - 보조장비(AP탱크, 시멘트포설장치, 물차, 아스팔트 페이버, 롤러)의 개선 방향 수립
 - 분리조립 가능한 장치의 국산화 개조 및 소형화 장비 설계
 - 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 공용성 확보를 위한 CIRB 시공 장비 모듈화 기술 개발
 - 분진 방지 및 소형화를 위한 시멘트 포설장치와 CIRB 메인 장비 조합 장비 제작
 - 온도관리가 가능한 AP 탱크 소형화 시제품 제작
 - 혼합품질 향상 및 최적 절삭 두께 적용을 위한 CIRB 드럼 개조
 - 시공 품질 향상을 위한 아스팔트 페이버 추가 다짐 장치 시제품 제작
 - 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 품질확보를 위한 CIRB 공법 최적화 기술 개발

- 분리조립 가능한 장치의 국산화 장비 시험가동
- CIRB 장비의 모듈화 장치 완제품 제작 및 시험가동
- 분진 방지 및 소형화를 위한 시멘트 포설장치와 CIRB 메인 장비 조합 장비 시험가동
- 온도관리가 가능한 AP탱크 소형화 시험가동
- 개조된 CIR 드럼 및 아스팔트 페이버(추가다짐) 시험가동
- CIRB 모듈화 장치 완제품 활용 현장 시험시공

□ 다기능 CIRB 바인더 및 혼합물 국산화 기술 개발

○ 고성능 CIRB 재료 국산화 기술 개발

- 고성능 CIRB 재료 기반 아스팔트 혼합물 기본 물성 평가
- 고성능 CIRB 재료 기반 아스팔트 혼합물 공용 성능 평가
- CIRB 아스팔트 혼합물 배합설계(안) 마련
- CIRB 아스팔트 혼합물 성능확보를 위한 CIRB 시공 장비 연계 시험

○ 현장 순환골재 100% 활용 고성능 CIRB 아스팔트 혼합물 및 배합설계 기준 개발

- CIRB 아스팔트 혼합물 배합설계(안) 마련
- 고성능 CIRB 재료 기반 아스팔트 혼합물 성능 및 품질 평가
- 국내 CIRB 혼합물 배합설계 기준 검토

○ 실내 공용성능 및 실대형 시설 활용 장기공용성 평가

- 고성능 CIRB 재료 기반 아스팔트 혼합물 성능 및 품질 최적화
- 국내 CIRB 혼합물 배합설계 기준 수립
- 국내 CIRB 기술 품질기준(안) 마련
- 국내 CIRB 기술의 실용화를 위한 제도 개선(안) 마련

□ 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발

○ 기존 노후 포장 평가 기술 및 단면설계 기술 개발

- 노후 아스팔트 포장 수준별 현장 구조적 성능 평가
- 노후 아스팔트 포장 수준별 혼합물 물성 평가
- 노후 아스팔트 포장 수준별 공용성 평가
- 노후 아스팔트 포장 단면설계 구조해석 기술 개발

- 한국형 CIRB 시공 장비 모듈 운영 시스템 최적화 기술 개발
 - 노후 아스팔트포장 평가 및 단면설계 기술 검증
 - 한국형 CIRB 장비 모듈 운영 현장 적용 및 검증
- 노후 도로포장 수준별 Test-Bed 구축 및 시공 가이드라인(안) 마련
 - 아스팔트 포장 상태 평가를 통한 노후 수준별 CIRB 기술 Test-Bed 구축
 - 한국형 CIRB 기술 현장 적용 시공 가이드라인(안) 마련
 - 기존 노후 아스팔트포장 평가 및 단면설계 기술 최적화
 - CIRB 기술 Test-bed 구간 운영 및 모니터링
 - 한국형 CIRB 장비 모듈 운영 시스템 최적화
 - 한국형 CIRB 기술 탄소저감 효과 분석

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 구성기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시
 - 구성기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 연차별 세부 추진 전략 및 일정계획, 핵심성과, 기술로드맵(TRL 반영)을 제시
 - 단계별 및 연차별 달성 목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법을 명시할 것
 - 연구개발계획서 內 연구 목표를 정량적으로 제시
 - ※ 예) 기존 대비 00% 비용 절감, 00% 수준의 성능 향상, 탄소저감 00% 등
- 연구내용, 개발 기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과 로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시
 - ※ 단계별/연차별 성과 평가지표(안)은 향후 단계/중간 평가 시 참고 예정
- 기존에 수행되었거나 현재 국외 및 국내에서 진행 중인 관련 연구개발 결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진
 - 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력 방안 또는 공동 활용방안 등 제시
 - 각 구성기술의 연구개발 계획은 기존에 추진 완료/추진 중인 관련 국가연구개발사업의 연구내용(연구성과)과 연계/검토하여 제시 필요
 - 또한, 본 사업에서 개발 예정인 시스템의 설계, 제작 요구조건 등을 연구개발 계획서에 제시 필요
- 동시에 진행되는 도로인프라 탄소저감 연구개발 연구진과 협력·연계하여 필요한 연구 결과의 공유
- 정부 및 관련 기업·공사 등 기술 수요처와 유기적 협조체제 구축
 - 본 과제 성과물을 적용할 수 있는 수요처를 먼저 파악하여 지속 협업체계를 구축하고 수요처의 요구사항을 반영한 설계 및 시험평가 추진

- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행(GR 환경부, 산업부, 중기부 등 관련 유관 사업/과제 추진 기관 등) 연구 수행 기관과 협업
- 관련 업계 전문가로 구성된 세미나, 포럼 등을 추진하여 대외 의견수렴
- 탄소저감 기술 인증 관련 데이터 확보를 위한 해외 기술 동향을 지속 확인하고, 필요시 국토교통부 등 관련기관의 협조 요청
- 최종성과물으로써 친환경 도로인프라 인증 체계 개발을 위한 각 구성 기술별 긴밀한 협력체계 구축
 - 연구 진행 상황과 개발성과를 체계적으로 관리·자체점검하고 연구개발 기관 간 연구성과를 공유
- 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증 시험 등을 수행하고 내부 자체 평가단을 구성하여 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출
- 연구개발 성과물에 대한 국내 인증(신뢰성 검증 포함)획득 및 해외 표준단체, 감항당국과의 국제적 상호 기술성 검증/평가계획 등 구체적인 실용화 전략 및 추진 방안 제시 필수

□ 추진체계

- 본 연구개발 과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행
 - 주관연구개발기관(3-1-2)은 개발 기술간 연계활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성이 가능하고, 컨소시엄 구성 시 과다한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
- ※ 연구개발기관 구성 시 합리적으로 구성하여야 하며 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음
- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영
- 연구자의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요
- 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성

- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구 경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색 추진
- 국제공동연구·국제협력 등 국제상호 협력체계를 고려한 연구개발 추진
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
 - 국제표준화 기구 활동 및 협력 연구 수행 고려
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계 제시
- 각 연구과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회(연구단장과 연구단 전문가 자문위원회 적극 활용·대응)를 구성하여, 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종 연구개발성과물

- 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장(CIRB) 시공 장비
- 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장(CIRB) 시공 장비 성능 및 운영 최적화 기술
- 한국형 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장(CIRB) 시공 장비 맞춤형 고성능 재료 국산화 기술
- 순환골재 100% 재활용 고성능 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 및 배합 설계 기준
- 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 평가 및 단면설계 기술
- 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 Test-bed 구축 및 시범사업을 통한 시공 가이드라인(안) 제시

6. 활용방안 및 기대효과

- ☐ **활용방안**
- R&D를 통해 개발한 탄소저감형 도로포장은 공동연구책임자(산업체)의 주관으로 건축 및 인프라 건설현장에서 실증 수행
 - 실증현장에서 탄소저감형 도로포장 재료의 품질관리, 시공방법, 시공성 등을 확인하고, 시공 후 검증, 사용성, 내구성, 안전성 등을 적용 이후 검증
 - 탄소저감형 도로포장 재료의 적용이 가능한 건설사 등 다양한 이해관계자들의 참여를 통한 R&D 성과 상용화 및 사업화
 - 참여기업으로의 R&D 성과 기술이전/자체실시를 통해 해당 건설사의 건설현장에서 실증하고, 신규 수주사업에 적극 활용하여 현장 적용사례 누적과 시장 형성
- ☐ **기대효과**
- 정책적 기대효과
 - 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('23~'32), 제7차 건설기술진흥 기본계획('23~'27) 등 친환경·탄소중립 건설재료 개발을 위한 정부의 정책 기조에 부응하고, 정책목표 달성에 기여

○ 과학기술적 효과

- 무가열 현장 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 공용성능 확보를 통한 하부단면 (중간층, 기층)의 보수에 사용 가능한 재료의 원천 기술 확보
- 국내 노후 아스팔트 포장의 효율적 단면 보수공법 적용을 통한 노후 도로포장의 구조적 성능 개선 및 수명 연장을 위한 전환 기반 마련
- 국내 도로환경에 적합한 한국형 현장 상온 재활용 아스팔트 포장 시공장비 최적화(소형화, 모듈화, 성능 효율화 등)를 통한 현장 적용 효율성 향상
- 신설보다 도로포장 유지관리 비용의 지속적 증가로 유지보수 공사에 확대 적용함으로써 도로포장 공사에서 발생하는 탄소중립 기술로서의 가치 확대
- 도로포장 유지보수 시장은 지속적으로 증가될 것이며, 특히 30년 이상 노후 도로포장 유지보수 비용 기하급수적으로 증가가 예상되어 도로포장의 수명 및 서비스 향상을 위한 새로운 패러다임의 유지보수 기술 확보

○ 사회경제적 효과

- 기존 가열 아스팔트 포장 공법에서 배출되는 탄소배출량은 약 54%가 아스팔트 생산 공정에서, 약 30%가 아스팔트 바인더 제조 공정에서, 약 13%가 골재생산 공정이며, 약 3%가 시공과정에서 발생되므로 생산공정에서 탄소배출량을 감소할 경우 약 60% 이상 탄소배출량 감소 가능
 - ※ 도로건설 시(기층, 중간층, 표층), 탄소발생량 평균 745톤/km/lane으로 추정(약 131대 연간 승용차 탄소배출량 해당)
- 아스팔트 포장 표층 1km 시공 시, 발생하는 탄소배출량은 총 456.2톤(Ma et al., 2016)으로 2022년 국내 아스팔트 혼합물 총 생산량※으로 환산할 경우, 도로포장 부분에서 약 13,336톤 감소
 - ※ 아스팔트 포장 1km 시공 시 필요 아스팔트 혼합물량 411톤, 2022년 기준 총 생산량 20,046톤으로 이를 상온/무가열 아스팔트 혼합물로 대체할 경우, 연간 13,336톤 탄소발생량 감소

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2026.04~2029.12(3년 9개월)

[1단계]

- 1차년도 연구개발기간 : 2026.04~2026.12(12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2027.01~2027.12(12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2028.01~2028.12(12개월)

[2단계]

- 4차년도 연구개발기간 : 2029.01~2029.12(12개월)

○ 총 정부지원연구개발비 : 7,000백만원 이내

- 1차년도 정부지원연구개발비 : 700백만원 이내

- * 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
- * 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능
- * 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

- 본 사업(과제)은 「국가연구개발혁신법」 등에 따라 관리됨
- 본 사업(과제)의 보안등급은 “일반 과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr, <http://www.ntis.go.kr>의 유사과제 목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 구성기술별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 구성기술간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - * (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/목표치/가중치), 추진일정 및 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발기술 및 성과물의 목표수준 달성 정도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - * 연구개발과제 선정 이후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 신청자는 연구를 통해 도출되는 최종성과(핵심성과물)를 유형별(사양, 장비/장치, 소프트웨어, 시스템, 정책제도 등)로 나열하고, 세부 설명 제시
 - 아래 표를 참고하여 본 연구개발과제와 관련되는 성과지표를 반영하고, 그

외 과제특성을 고려한 고유 성과지표도 제안할 수 있음

- * 필수지표는 사업의 성과목표지표에 해당하여 반드시 제시해야 하는 성과지표임
- 성과지표별 목표는 도전적으로 설정해야 하며 목표치 설정근거 제시
- * “성과지표 설정의 적정성 및 목표 도전성”은 선정평가 평가항목이며 미흡할 경우 협약시 조정

구분	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목
1	특허등록(건)	· 특허등록(건)	· 지식재산권(특허)
2 (필수 지표)	정책활용도(지수)	· 법제도 제개정(건) · 정책채택(건) · 설계기준·시방서 제·개정(건)	· 법령반영 · 정책활용 · 설계기준(설계기준, 표준시방서 등)
3	기술사업화 효과(금액)	· 사업화/제품화(건) * 연구개발성과를 실제 계약한 실적	· 사업화현황 · 매출실적
4	기술실시계약(건)	· 기술실시(이전)(건)	· 기술실시(이전)
5 (필수 지표)	연구개발성과 현장검증 (건)	· 현장시험 및 검증(건) * 연구개발성과 검증을 위해 현장에 시범적용, 시험시공 등을 한 성과	-
6 (필수 지표)	인증(건)	· 기술및제품인증(건) * 형식승인, SIL, ISO, NET 등 인증서 · 표준화(국내·국제)(건) * KS, KRS, IEC, IRIS 등	· 신기술지정 · 기술및제품인증 · 표준화(국내표준) · 표준화(국제표준)
7	참여기업의 청년인력 신규 채용(명)	· 청년인력 채용 인원(명) * 채용시점 기준으로 만 15세이상 34세 이하(군 복무기간 고려 최고 만 39세까지), 참여율 100%, 최소 1년 이상 고용 유지 * 목표산출근거 : 총 연구기간의 정부출연금 총액을 기준 으로 5억원당 1명 이상의 비율로 청년인력 신규로 채용	· 고용창출
8 (필수 지표)	학술지게재 논문(지수)	· SCI(E) 학술지 게재(건)	· 논문

- 제시한 사업(과제) 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 사업(과제) 선정 이후에는 총괄주관기관, 협동, 공동, 위탁 등 모든 연구책임자는 전문기관과 협의하여 과기부 전략계획서 포함 설정 및 사업의 평가 대응 필요 (과기부, 국가연구개발사업 전략계획서 작성 가이드라인 참조)

- 국토교통R&D 관련지침에 의거하여 필요시 연구개발 기간내 진도점검 및 현황점검 회의 등 수행 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하

여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

※ 참여기업은 과제 종료 후 기술실시계약 체결 대상으로 추진

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구개발내용(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음

○ 본 사업(과제)의 2단계('28.~'29.) 추진 시, 연구개발기관(주관, 공동 등)이 변경될 경우, 1단계 과제의 연구개발기관은 2단계 연구개발기관에 인수인계(연구내용, 성과 등 후속사업 추진에 필요한 사항 일체) 필수

○ 핵심 요소기술별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함

- 연구개발 기술수준을 TRL로 설정하고 이에 합당한 근거를 제시



[구성기술3] 바이오매스 기반 탄소저감 도로포장 대체 기술 개발

연구개발과제명	바이오매스 기반 탄소저감 도로포장 대체 기술 개발
1. 연구개발목표	○ 기존 아스팔트 및 시멘트 콘크리트 소재의 자동차 전용도로를 대체할 수 있는 무가열성·상온경화형 신소재 도로포장 공법으로 국내 도로품질 기준을 만족하면서 전주기(생산/시공/유지관리) 탄소저감이 가능한 바이오 폴리머 도로포장 기술 개발 - 기존 도로포장재료(시멘트/아스팔트)를 직접 대체 (100% 대체율) 가능한 바이오 폴리머 바인더의 국산화기술 개발 - 중교통량 이상 자동차 전용도로에 적용가능한 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발 - 차도 적용을 위한 전용 생산설비 및 시공/유지관리 장비 개발 - 현장적용을 통한 장기공용성 검증 및 응용기술 개발 - 신소재 바이오 폴리머 콘크리트 포장 설계 및 시공품질관리 시방기준 정립
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발 필요성 ○ 바이오매스기반 도로포장용 바인더 국산화 기술개발 필요 - 국내 적용되고 있는 바이오 폴리머 바인더는 대부분 국외의 상용화된 제품을 수입하여 사용중에 있으며 국내 일부 화학기업에서 개발된 바인더는 도로 품질기준을 충족시키지 못함 - 실현장 적용성 및 도로품질 기준을 충족시킬 수 있는 국내 바이오 폴리머 바인더 개발 기반마련이 시급 ○ 중교통량 이상 자동차 전용도로 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발 필요 - 국내외적인 탄소배출 규제강화로 다량의 화석연료 및 온실가스 배출을 발생시키는 기존 시멘트 및 아스팔트 도로포장 재료를 대체하기 위한 제3의 신소재 도로 포장재의 부재 - 최근 국내 도입되어 적용중인 바이오 콘크리트 기술은 주로 산책로, 주차장 등에 시공되고 있으나, 중교통량 이상의 차도에 적용할 수 있는 도로포장용 재료로서의 공법 개발 및 품질기준 정립 필요 - 기후변화로 인한 환경문제 해결(탄소흡수, 열섬현상 완화)을 위한 도로에 적용 가능한 응용기술 개발 필요 ○ Bio-Polymer 콘크리트 포장 전용 생산 및 시공기술 개발 필요 - 국내외적으로 신소재 도로포장재의 대형화 및 기계화 시공을 위한 전용 생산 및 시공 장비의 부재 - 실현장 시공성능/내구성능 확보를 위한 바이오 폴리머 콘크리트 전용 시공/유지관리 장비 개발 필요 - 신소재 바이오 폴리머 콘크리트 도로포장재의 품질 균질성과 실현장 적용성을 충족시키기 위한 생산/시공/유지관리 기준이 필요

□ 기술동향 <국내기술동향>

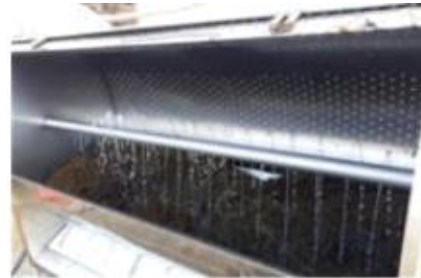
○ 최근 바이오 오일 및 폴리머를 이용한 아스팔트 대체 또는 첨가제로 활용 가능한 기술 개발 중

- 석유정제 공정이 고도화됨에 따라 아스팔트의 품질저하로 이를 개선하기 위한 바이오 오일(팜유, 소이빈오일 등)을 연질화 첨가제로서 개발하여 활용하는 기술개발 기 수행

※ 저가 중질유분의 경질화 부산물을 활용한 도로포장용 재료 및 시공기술개발 (에기연, 화학연, 건설연, '12~'17년)

- '17년 팽생이 모자반을 바이오 폴리머로 활용한 콘크리트계 교면 포장용 보수재료 개발 및 상용화 연구 기 수행

※ 남해안과 제주도 연안에 유입되어 양식장과 어선 조업에 피해를 주고 있는 팽생이 모자반을 기반으로 한 바이오 폴리머를 활용하여 고가의 합성 라텍스에 의존하는 폴리머 콘크리트 기술을 대체할 수 있는 친환경 교면 포장 기술 개발



[팽생이 모자반 바이오 폴리머 생산 예시]

- 기존 아스팔트 및 시멘트 바인더가 전혀 함유되지 않은 식물성 폴리우레탄 바인더를 활용한 바이오 폴리머 콘크리트가 친환경 포장재료로서 개발됨

※ 천연골재와 식물성 폴리우레탄 바인더만을 결합하여 도로포장에 활용하는 기술로 상온에서 시공 가능

※ 개발 소재는 우수한 열 안정성 및 내구성, 휨강도를 나타내 고온에서 소성변형과 저온에서 피로균열에 대한 저항성이 높음

※ 최근 자동차 전용도로 적용을 위한 바인더 및 시공기술 개발에 관한 추가 연구가 활발히 진행되고 있음



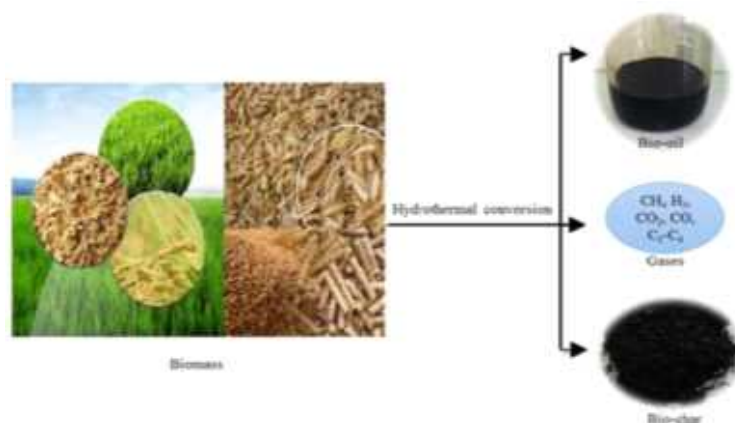
[바이오 폴리머 콘크리트 설치 사례]

<국외기술동향>

- 바이오 매스(수초, 미역, 옥수수 등)를 열수전환(hydrothermal conversion)하여 바이오 오일을 생산하여 기존 아스팔트 바인더의 첨가제로서 적용할 수 있는 기술 개발

※ Converting Biomass into Bio-Asphalt (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021)

- 상기에서 생산된 바이오 오일은 아스팔트와 유사한 성능을 발휘하지만, 고온에서의 성능 확보(강성 등)가 어려워 현재 기술로는 아스팔트를 일부 (20~30%) 대체 가능한 기술로 개발되었으며, 바이오 매스를 열수 전환이 가능한 별도의 시설 확보 중요



[바이오 매스의 열수전환으로 생산된 바이오 오일]

- [바이오 오일] 목질류 (활엽수, 침엽수, 목초, 옥수수, 밀짚, 사탕수수, 왕겨 등) 바이오 매스를 이용하여 셀룰로스 및 리그닌 등의 성분을 추출하고 오일 및 분말형태로 기존 아스팔트 바인더에 첨가하여 성능 향상
- 셀룰로스는 목질류에서 가장 많은 성분을 차지하며 아스팔트 혼합 시 점탄성 및 부식 저항성 향상, 하지만 친수성 및 미생물에 의한 분해로 인해

중(무거운) 셀룰로스는 사용이 제한되며 셀룰로스도 10% 미만의 첨가제로
써만 사용됨

- 리그닌은 아스팔트의 다환 방향족 탄화수소와 우수한 상용성을 나타내어
기존 아스팔트보다 높은 열 안정성을 나타냄, 하지만 리그닌 분자는 아스
팔트의 저분자 오일 성분을 흡수하여 리그닌으로 개질된 아스팔트 바인더
의 연성을 급격하게 감소시켜 사용량이 제한됨 (20% 이하)
- 現, 국내외에서 활발히 사용되는 목질류 바이오매스는 제지공장에서 발생
되는 산업부산물인 흑액으로서 주성분은 리그닌임, 수첨분해를 통해 98%
가 바이오 에너지(연료)로 사용되고 있으며 바이오 플라스틱, 바이오 접착
제, 수지, 탄소섬유 등 고부가가치 산업으로 재활용되고 있음
- [바이오 폴리머] 해조류 (미역, 다시마, 모자반 등) 바이오 매스에서 생성되는 알긴
산 성분을 알칼리 조건에서 액상 추출, 여과, 분리, 표백, 탈수 건조공정을 거쳐 제
조 후 분말화하여 콘크리트 및 아스팔트에 사용
- 알긴산은 시멘트 및 아스팔트 채움재(석분)의 2가 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} ,
 Cu^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+})과 결합하여 하이드로겔을 형성하여 아스팔트 혼합물
의 내구성, 내후성, 내열성 등을 향상
- 현재 알긴산나트륨 형태의 바이오 폴리머로서 제작되어 아스팔트 바인더
의 약 5% 미만 사용되고 있으며 아스팔트 바인더의 대체재보다 성능 향
상을 위한 혼화제로써 연구되고 있음

3. 연구개발내용

□ 고품량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발

○ 유화 아스팔트 핵심 소재 기술 개발

- 유화제 국산화를 위한 재료 설계 및 제조
- 국산화 유화제 활용 유화 아스팔트 재료 설계 및 HIPR* 제조 방법론 정립
* [HIPR] High Internal Phase Ratio
- 유화제 및 유화 아스팔트 성능 평가 및 최적화

○ 고품량 유화 아스팔트 제조 기술 개발

- HIPR 기반 유화 아스팔트 제조 방법론 개발
- 고품량(90% 이상) 유화 아스팔트 제조를 위한 핵심소재 설계 및 제조 기
술 개발
- 고품량 유화 아스팔트 분산성 및 안전성 평가
- 고품량 유화 아스팔트 배합설계 및 성능 검증을 통한 최적화

○ (고점도) 고품량 유화 아스팔트 성능 평가 및 최적화 기술 개발

- 고점도 개질 유화 아스팔트 적용을 위한 저분자 개질 첨가제 개발
- HIPR 기반 고점도 개질 유화 아스팔트 제조 기술 개발

- 고점도 개질 유화 아스팔트 재료 설계 및 제조, 성능 평가
- 고점도 개질 유화 아스팔트의 요구성능 기반 최적화
- (고점도) 고크량 유화 아스팔트 시작품 개발

□ 고크량 고크분 유화 아스팔트 제조 설비 구축 및 운영 기술 개발

○ High Shear 제조 설비 설계 및 구축 기술 개발

- HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 구축 방안 정립
- HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 설계 및 구축
- HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 활용 유화 아스팔트 제조 및 품질평가

○ High Shear 방식의 제조 설비 운영 및 제조 공정 기술 개발

- High Shear 방식의 제조 설비 운영 방안 정립
- High Shear 방식의 제조 설비 운영에 따른 유화 아스팔트 성능 평가
- (고점도) 고크량 유화 아스팔트 제조에 따른 성능 평가

○ High Shear 방식의 제조 설비 운영 및 제조 공정 최적화 기술 개발

- (고점도) 고크량 유화 아스팔트 성능에 따른 제조 설비 최적화
- (고점도) 고크량 유화 아스팔트 대량생산 설비 설계 기술 개발
- High Shear 제조 설비 운영 및 제조 공정 가이드라인(안) 개발

□ 전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 도로포장 기술 개발

○ 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 개발 방향 정립

- 무가열 순환 아스팔트 포장 전단면 적용을 위한 단면설계 기반 마련
- 무가열 순환 아스팔트 포장 설계 기준에 따른 공용수명 확보를 위한 요구 성능 분석
- 각 포장단면층 별 요구성능에 따른 공용성능 최소기준(안) 마련

○ 표층 및 중간층용 순환 아스팔트 포장 공법 개발

- 고성능 고크량 유화 아스팔트 활용 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계 및 품질평가
- 순환골재 사용비율에 따른 배합설계 및 품질평가
- 순환골재 사용비율에 따른 무가열 순환 아스팔트 혼합물 실내 공용성능 평가 및 최적화
- 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계(안) 정립

○ Test-bed 구축 및 운영을 통한 실검증 평가

- (고점도) 고크량 유화 아스팔트 특성을 반영한 전단면 도로포장 형식 및

단면 설계

- 무가열 순환 아스팔트 포장 공법 Test-bed 구축을 통한 생산 및 시공 기술 개발
- 무가열 순환 아스팔트 포장 현장 공용성능 평가 및 탄소배출량 분석

○ 시범사업을 통한 법 제도화 기반 마련

- 도심지 내 시범사업 구간 선정(특화도시 대상 등)
- 무가열 순환 아스팔트 포장 도로포장 형식 및 단면 설계
- 무가열 순환 아스팔트 포장 현장 적용 및 운영을 통한 탄소저감 및 성능 실검증 평가
- 기존 가열 아스팔트 포장 대비 탄소배출량 저감 분석
- 시범사업 및 실검증 평가를 통한 법·제도화 기반 마련

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 구성기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 구성기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 연차별 세부 추진 전략 및 일정계획, 핵심성과, 기술로드맵(TRL 반영)을 제시
- 단계별 및 연차별 달성 목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법을 명시할 것
- 연구개발계획서 內 연구 목표를 정량적으로 제시
 - ※ 예) 기존 대비 00% 비용 절감, 00% 수준의 성능 향상, 탄소저감 00% 등

○ 연구내용, 개발 기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과 로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가지표(안)은 향후 단계/중간 평가 시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 현재 해외 및 국내에서 진행 중인 관련 연구개발 결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력 방안 또는 공동 활용방안 등 제시
- 각 구성기술의 연구개발 계획은 기존에 추진 완료/추진 중인 관련 국가연구개발사업의 연구내용(연구성과)과 연계/검토하여 제시 필요
- 또한, 본 사업에서 개발 예정인 시스템의 설계, 제작 요구조건 등을 연구개발 계획서에 제시 필요

○ 동시에 진행되는 도로인프라 탄소저감 연구개발 연구진과 협력·연계하여 필요한 연구 결과의 공유

○ 정부 및 관련 기업·공사 등 기술 수요처와 유기적 협조체제 구축

- 본 과제 성과물을 적용할 수 있는 수요처를 먼저 파악하여 지속 협업체계를

구축하고 수요처의 요구사항을 반영한 설계 및 시험평가 추진

- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행(GR 환경부, 산업부, 중기부 등 관련 유관 사업/과제 추진 기관 등) 연구 수행 기관과 협업
- 관련 업계 전문가로 구성된 세미나, 포럼 등을 추진하여 대외 의견수렴

- 탄소저감 기술 인증 관련 데이터 확보를 위한 해외 기술 동향을 지속 확인하고, 필요시 국토교통부 등 관련기관의 협조 요청
- 최종성과물로써 친환경 도로인프라 인증 체계 개발을 위한 각 구성 기술별 긴밀한 협력체계 구축
 - 연구 진행 상황과 개발성과를 체계적으로 관리·자체점검하고 연구개발 기관 간 연구성과를 공유
- 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증 시험 등을 수행하고 내부 자체 평가단을 구성하여 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출
- 연구개발 성과물에 대한 국내 인증(신뢰성 검증 포함)획득 및 해외 표준단체, 감항당국과의 국제적 상호 기술성 검증/평가계획 등 구체적인 실용화 전략 및 추진 방안 제시 필수

□ 추진체계

- 본 연구개발 과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행
 - 주관연구개발기관(3-1-2)은 개발 기술간 연계활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성이 가능하고, 컨소시엄 구성 시 과다한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
- ※ 연구개발기관 구성 시 합리적으로 구성하여야 하며 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음
- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영
- 연구자의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요
- 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출

연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성

- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구 경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색 추진
- 국제공동연구·국제협력 등 국제상호 협력체계를 고려한 연구개발 추진
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
 - 국제표준화 기구 활동 및 협력 연구 수행 고려
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계 제시
- 각 연구과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회(연구단장과 연구단 전문가 자문위원회 적극 활용·대응)를 구성하여, 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종 연구개발성과물

- 바이오매스 기반 바이오 폴리머 도로포장용 바인더 국산화 기술
- 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 배합설계 및 도로포장 공법
- 바이오 폴리머 콘크리트 혼합물 전용 생산시설 모듈 및 공정기술
- 도로포장용 바이오 폴리머 콘크리트 전용 시공장비 모듈
- 도로포장용 바이오 폴리머 콘크리트 유지관리 장비
- 바이오 폴리머 콘크리트 포장 구조설계, 생산 및 시공 품질관리 가이드라인(안) 제시

6. 활용방안 및 기대효과

- ☐ **활용방안**
- 신소재 탄소저감 도로포장재에 대한 지식재산권 확보 및 사업화
 - 개발기술의 성능제시를 통한 실현장 적용 및 활용성 제고
 - 신소재 탄소저감 도로포장재를 활용한 도로설계기술 제안 및 반영 추진
 - 토목/SOC 분야 기본 및 실시설계시 탄소저감 계획에 활용
 - 바이오매스 기반 Bio-Polymer 콘크리트 포장기술 개발로 도로분야에서 탄소배출량을 저감시킬 뿐 아니라 미래 원천기술 확보 및 탄소저감 도로포장 대체 기술관련 산업 육성에 활용 가능
 - 탄소중립형 도로시설물 구축 관련 자재/공법/장비 개발의 기반기술로 활용

□ 기대효과

○ 과학기술적 기대효과

- 자동차 전용도로에 적합한 공용성과 주행 안전성 및 환경개선 효과를 동시에 만족시킬 수 있는 신소재 바이오 폴리머 콘크리트 개발
- 바이오 폴리머를 이용한 친환경 신소재 원천기술 개발로 국내외 선도기술 선점
- 실규모 테스트베드 시험 및 평가체계 구축으로 개발된 설계/시공기법의 성능검증과 평가기술을 제안하여 제도화 가능
- 설계/시공/유지관리를 통한 문제점 개선으로 기술의 현장적용성 극대화
- 현장적용 모니터링 결과의 피드백에 의한 보완기술 개발 가능

○ 사회·경제적 기대효과

- 신소재 도로포장 관련 산업계의 활성화 유도 및 국내외 신시장 개척 가능
- 기존 아스팔트, 시멘트 콘크리트 제품을 대체 가능한 환경기술로 활용할 수 있으며, 탄소저감 등 그린뉴딜 정책반영이 가능
- 기후변화로 인한 열섬현상 저감, 소음저감 등 정부 및 지자체에서 적극적으로 시행하고 있는 정책에 반영이 가능
- 친환경 신소재를 활용한 도로포장 건설 기술개발 및 수정 보완을 통해 재료-도로 융합연구에 대한 국내외 기술 우선순위 선점과 후속연구의 활발한 추진이 기대됨
- 국내 약 1조원 가량의 배수성 도로포장 시장에 적용될 수 있는 신기술로 다양하게 활용과 적용이 가능

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2026.04~2029.12(3년 9개월)

[1단계]

- 1차년도 연구개발기간 : 2026.04~2026.12(9개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2027.01~2027.12(12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2028.01~2028.12(12개월)

[2단계]

- 4차년도 연구개발기간 : 2029.01~2029.12(12개월)

○ 총 정부지원연구개발비 : 6,000백만원 이내

- 1차년도 정부지원연구개발비 : 600백만원 이내

* 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

* 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」

[별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능

* 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

- 본 사업(과제)은 「국가연구개발혁신법」 등에 따라 관리됨
- 본 사업(과제)의 보안등급은 “일반 과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr, <http://www.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 구성기술별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 구성기술간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - * (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/목표치/가중치), 추진일정 및 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발기술 및 성과물의 목표수준 달성 정도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - * 연구개발과제 선정 이후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 신청자는 연구를 통해 도출되는 최종성과(핵심성과물)를 유형별(사양, 장비/장치, 소프트웨어, 시스템, 정책제도 등)로 나열하고, 세부 설명 제시
- 아래 표를 참고하여 본 연구개발과제와 관련되는 성과지표를 반영하고, 그 외 과제특성을 고려한 고유 성과지표도 제안할 수 있음
- * 필수지표는 사업의 성과목표지표에 해당하여 반드시 제시해야 하는 성과지표임
- 성과지표별 목표는 도전적으로 설정해야 하며 목표치 설정근거 제시
- * “성과지표 설정의 적정성 및 목표 도전성”은 선정평가 평가항목이며 미흡할 경우 협약시 조정

구분	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목
1	특허등록(건)	· 특허등록(건)	· 지식재산권(특허)
2 (필수 지표)	정책활용도(지수)	· 법제도 제개정(건) · 정책채택(건) · 설계기준·시방서 제·개정(건)	· 법령반영 · 정책활용 · 설계기준(설계기준, 표준시방서 등)
3	기술사업화 효과(금액)	· 사업화/제품화(건) * 연구개발성과를 실제 계약한 실적	· 사업화현황 · 매출실적
4	기술실시계약(건)	· 기술실시(이전)(건)	· 기술실시(이전)
5 (필수 지표)	연구개발성과 현장검증 (건)	· 현장시험 및 검증(건) * 연구개발성과 검증을 위해 현장에 시범적용, 시험시공 등을 한 성과	-
6 (필수 지표)	인증(건)	· 기술및제품인증(건) * 형식승인, SIL, ISO, NET 등 인증서 · 표준화(국내·국제)(건) * KS, KRS, IEC, IRIS 등	· 신기술지정 · 기술및제품인증 · 표준화(국내표준) · 표준화(국제표준)
7	참여기업의 청년인력 신규 채용(명)	· 청년인력 채용 인원(명) * 채용시점 기준으로 만 15세이상 34세 이하(군 복무기간 고려 최고 만 39세까지), 참여율 100%, 최소 1년 이상 고용 유지 * 목표산출근거 : 총 연구기간의 정부출연금 총액을 기준 으로 5억원당 1명 이상의 비율로 청년인력 신규로 채용	· 고용창출
8 (필수 지표)	학술지게재 논문(지수)	· SCI(E) 학술지 게재(건)	· 논문

- 제시한 사업(과제) 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 사업(과제) 선정 이후에는 총괄주관기관, 협동, 공동, 위탁 등 모든 연구책임자는 전문기관과 협의하여 과기부 전략계획서 포함 설정 및 사업의 평가 대응 필요 (과기부, 국가연구개발사업 전략계획서 작성 가이드라인 참조)

○ 국토교통R&D 관련지침에 의거하여 필요시 연구개발 기간내 진도점검 및 현

항점검 회의 등 수행 가능

- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
 - ※ 참여기업은 과제 종료 후 기술실시계약 체결 대상으로 추진
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구개발내용(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음
- 본 사업(과제)의 2단계('28.~'29.) 추진 시, 연구개발기관(주관, 공동 등)이 변경될 경우, 1단계 과제의 연구개발기관은 2단계 연구개발기관에 인수인계(연구내용, 성과 등 후속사업 추진에 필요한 사항 일체) 필수
- 핵심 요소기술별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함
 - 연구개발 기술수준을 TRL로 설정하고 이에 합당한 근거를 제시



5.5. 전략계획서(안)

[고강도 무시멘트 콘크리트]

사업명: 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발 사업

작성자	작성 부서	△△국(실) ◇ ◇과	작성 실무자 및 연락처	○○○사무관(주무관) / 전화번호 / e-mail
	작성 책임자	◇◇과장 ○○○		○○○기관 ○○○연구원/ 전화번호 / e-mail ①

① 부처 담당자 외 유관기관 담당 실무자가 있을 경우 기관명과 담당자 성명, 직책, 연락처를 기재

1. 사업개요

① 사업명

사업명	단위사업	건설기술혁신(R&D)
	세부사업	고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발
	내역사업	고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발

② 사업목적

사업목적	주요 건설재료 중 하나인 시멘트를 사용하지 않고도 구조재로서의 성능*과 경제성**을 보유한 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발 * 대체재료, 자극제 등의 영향을 최소화하여 콘크리트 성능 재현성을 구현하고, 급경 등의 문제를 해결하여 일반 시멘트 콘크리트 대비 동일 또는 우수한 성능을 확보 ** 일반 시멘트 콘크리트 제조와 동일한 공정에서 가격경쟁력을 확보하면서 내해수성, 내화학적 등 우수한 성능을 확보하여 특수구조물(하수처리장, 인공어초 등)에 적용하여 비용 저감이 가능

③ 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	○ 국토교통과학기술육성법 - 제8조(연구개발사업의 추진) ① 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업을 할 수 있다. ○ 건설기술 진흥법 - 제7조(건설기술 연구·개발 사업) ① 국토교통부장관은 건설기술을 향상시키고 기본계획을 효율적으로 추진하기 위하여 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 건설기술 발전에 필요한 건설기술 연구·개발 사업을 할 수 있다.
	상위계획	○ 2024년도 정부연구개발 투자방향 및 기준 - (목표) 탄소중립 사회로의 전환을 위한 미래기술확보 및 신성장동력화 - (저탄소생태계) 산업, 수송, 건물 부문별 탄소저감 및 에너지 수요 효율화 ○ 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획 - (목표) 산업 부문의 온실가스 감축 - 탄소중립 달성을 위한 한계돌파형 기술의 신속한 상용화 ○ 제2차 국토교통과학기술 연구개발종합계획 - 고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소 배출 저감재료 등 미래 건설산업 선도형 건설재료 확보

④ 사업 현황

사업구분	계속사업 ☐ 기한사업 ☒ ④		
사업추진방식	상향식 ☐ 혼합식 ☐ 하향식 ☐ ⑤		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	해당없음	참여부처 (다부처사업)	해당없음
사업기간	'25년~'28	총사업비	190억 원
사업규모	1개 과제	지원대상	대학, 기업, 출연(연) 등
지원형태	출연(참여기업이 있는 경우 Matching)	지원조건	정부출연 및 민간 매칭
사업시행주체	국토교통부(국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	해당 없음		

⑤ 사업추진체계 및 전략

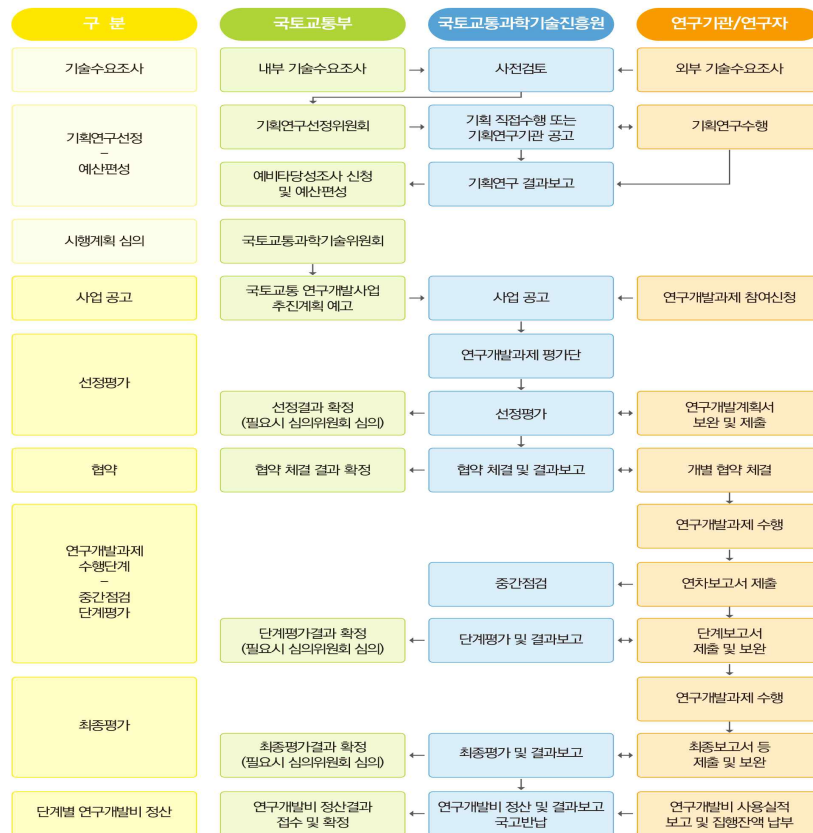
사업수행주체	○ 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리) 및 주관연구기관을 중심으로 '전략수립→사업관리→성과관리' 3단계의 사업관리 체계 구축 - (전략수립) 선행과제와의 중복성 및 차별성 검토를 강화하고 유사과제와의 구체적인 연계·활용방안을 계획함으로써 과제 추진의 목적 지향성을 확보 - (사업관리) 성과창출 및 활용을 장려하기 위해 주기적인 성과 조사·관리 및 평가와 연동한 과제 진도수행 점검으로 연구성과의 효과성을 강화 - (성과관리) 연구수행 과정을 평가결과에 반영하고, 단계(연차) 및 최종평가위원회를 구성·운영하여 평가의 내실화와 평가결과 환류체계 등 평가의 실효성 강화	
	수행주체	역할 세부내용
	국토교통부 (주관부처)	○ 사업총괄 주관부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정, 사업 기본 시행계획 수립, 관련 부처간 협의 등 수행
	국토교통과 학 기술진흥원 (전문기관)	○ 사업추진 전담 관리기관으로서 사업 기획·평가·운영위원회를 구성·운영하고, 주관연구기관/세부과제 선정·평가(단계), 진도점검 및 성과확산 지원 등 수행
	운영위원회	○ 사업 세부시행계획, 주요 변경내용, 지원 우선순위 등 국토교통부 및 전문기관의 요청사항에 대한 검토·심의·조정 수행
	평가단	○ 이해관계인을 제외한 전문가를 중심으로 구성하여 해당 연구개발과제에 대한 객관적 평가를 수행
	주관연구기관	○ 사업수행을 총괄하는 주체로서 세부과제 기획·연차평가, 진도관리 및 과제간 예산조정, 연구성과 관리 및 사업화 지원 등 수행
	공동연구기관	○ 연구개발과제 내에서 주관연구기관 외 세부 과제를 담당하는 기관으로 연구 개발과제 목표 달성을 위한 기술개발을 함께 수행
사업추진전략	추진전략	
	○ 주관기관의 연구추진 능력 및 요소기술별 참여기관 최적화(전문성/경험) - 무시멘트 콘크리트 기술 개발 전주기(원천기술→응용→실용화)를 구현할 수 있는 산/학/연 기관 구성 - 연구목표 달성 가능성 극대화를 위한 요소기술간의 긴밀한 연계 및 실증 체계 구성 - 연구분야별 관·산·학·연 전문가로 구성된 평가·검증위원회와 자문위원회를 구성·운영 → 환류체계(①기술적 완성도 향상, ②연구성과 신뢰성 강화, ③성과물 활용성 확보) ○ 연구개발 수월성(우수성, 차별성) 확보 방안 및 문제점 사전검토 - 요소기술별 핵심기술 개발 역량을 보유한 연구진의 책임자 참여로 연구개발 수월성 확보 - 참여 연구기관이 既보유한 기술과 핵심 개발기술의 창의적 융합으로 선도기술을 확보 - 기존 기술과의 차별화 전략 마련 및 예상되는 문제점 사전 검토 및 대응방안 마련 ○ 사업 추진력 확보를 위한 현장실증 사전협의 및 성과 홍보 - 무시멘트 콘크리트 테스트베드 구축 시나리오 구성 및 관계기관 협의를 통해	

- 원활한 현장실증이 이루어지도록 할 예정임
- 모든 연구성과의 개발기간(3년)과 실증 및 테스트베드 적용(1년) 필수 이행으로 활용성 극대화
 - 스마트 건설기술 엑스포, 국외 전시회 등에 적극 참여하여 성과효과를 측정, 개발기술의 경쟁력 확보

R&D 전주기 사업관리 계획

○ (추진절차) 과제 발굴·기획 → 과제 선정 → 과제 관리 → 과제종료 → 성과활용·확산

- ① (과제 발굴 및 기획) 기술수요조사*를 통해 연구과제를 발굴하고, 필요시 사전 단계로 기획연구 수행(총 연구비 50억원 이상 경우 등)
 - * On-line을 통한 상시 수요조사 및 Off-line을 통한 반기별(매년 1월, 7월) 수요조사 병행 추진
 - ※ 국가R&D사업 일몰제 도입에 따른 예타성 대형사업 기획연구 추진 중(KAIA 기획그룹)
- ② (신규과제 선정) 사업담당관(실·국)이 우선순위를 매겨 미래전략담당관에게 제출하면, 별도 선정회의를 통해 예산편성안에 반영
 - * 과기부(4~7월), 기재부(8월), 국회 예산심의(~12월)를 거쳐 신규 추진여부 확정
- ③ (과제 확정 및 관리) 예산에 반영된 신규과제는 진흥원을 통해 차년도에 연구자 선정을 거쳐 평가·성과 관리 등 과제 관리 진행
 - ※ 계속사업의 경우, 매년 차년도 투입 예산요구 및 결산, 성과평가 업무 추진



[사업추진절차]

- ④ (과제 종료) 최종 평가를 통해 과제의 성공·실패를 결정
- ⑤ (성과활용·확산) 성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영, 추적평가, 공모전, 전시회 등 활동을 정기적으로 추진
 - 성과 및 사업화정보 시스템 운영 : 사업의 성과관리를 위하여
범부처통합연구지원시스템 (<https://www.iris.go.kr>) 운영
 - 국토교통기술대전 개최 : 매년 국토교통 R&D 성과물에 대한 대국민 홍보와 기술교류 확산을 위해 국토교통 R&D 우수성과 전시 등을 추진
 - 국토교통 R&D 대표성과 사례집 발간 : 매년 대국민을 대상으로 국토교통 R&D 성과물에 대한 홍보추진을 위해 대표성과 사례집 발간

	위험요인	극복방안
	○ 건설현장에 실제 적용하기 위해서는 실용화를 위한 제도적 기반을 뒷받침할 충분한 실험적 데이터가 필요하며, 이를 위한 충분한 발주처, 수요처 등 이해관계자간의 협의 필수 ○ 본 사업에서 개발하는 기술을 적용할 수 있는 현장실증 현장 확보 어려움	○ 초기 단계부터 개발기술에 대한 실제 건설현장에 적용할 수 있는 방안을 고려하여 연구계획을 수립하고 충분한 실험과 검증(논문 등)등을 통해 표준 및 국가건설기준 개정(안)에 대한 연구를 지속적으로 수행 ○ 기술개발 내용 및 결과에 대한 홍보활동 및 산·학계의 검증을 통해 신뢰도를 확보하고 이를 발주처, 수요처 등에 적용할 수 있는 현장실증 로드맵 수립 등을 통해 대응
수혜자	○ 콘크리트 재료 및 생산 분야 : 레미콘 업체, 콘크리트 2차 제품 업체, 화학혼화제 업체 등 ○ 발주처 : 정부, 지자체, 공공기관, 민자사업자 등 ○ 수요처 : 레미콘 업계, 건설업계 등	

⑥ 사업기대효과

과학기술적 기대효과	○ 학문적으로 세계 최초의 무시멘트 초고성능 및 고강도-고연성 무시멘트 복합재료 개발을 통해 국내 연구진의 관련 분야 선도 가능 ○ 성능기반 설계 패러다임의 변화에 대응하여 설계의 자유도를 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 친환경과 고성능 재료의 필요에 따른 세계적인 건설산업의 요구에 대응이 가능 ○ 고로슬래그, 플라이애시, 철강슬래그, 폐콘크리트 미분말 등과 같은 탄소저감 소재들의 전용 화학혼화제를 적용하여 저탄소 콘크리트 구조부재 제조 가능 ○ 무시멘트 콘크리트의 중요 구조부재 적용에 따른 구조안전성 평가 및 설계-제작-시공 가이드라인 도출을 통한 안정적인 현장적용 방안 마련
사회경제적 기대효과	○ 고강도·고연성 무시멘트 콘크리트 기술개발을 통해 관련 기술의 국제적 기술 선도 및 국내 OSC 및 PC 제품의 국제적 입지 확보 ○ 각 시멘트 대체 소재의 특성에 맞는 전용 화학혼화제를 사용하여 설계기준에 맞는 저탄소 배합으로 무시멘트 콘크리트 제조 가능 ○ 철강산업 기술 혁신에 따른 산업변화에 대응하여 고로슬래그 미분말 발생량 감소에 대한 대응책 마련 ○ 전세계적인 Net-Zero 실현을 위한 건설분야 실천방안 수립 가능 ○ 현장타설 뿐만 아니라 프리캐스트 또는 3D 프린팅 재료로 활용 가능

7 사업 내용

예산 규모		<2025년도 신규사업>				
		(백만원)				
		구분	2025년 도 예산	2026년 도 예산	2027년 도 예산	2028년 도 예산
□ 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발		19,000	2,100	5,000	6,400	5,500
■ 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발		19,000	2,100	5,000	6,400	5,500

내역사업		주요 내용
고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발	○ 초고강도 무시멘트 콘크리트 개발 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 재료 구성 및 배합 개발 - 초고강도 무시멘트 콘크리트 제조 기술 기술개발(압축강도 100MPa 이상) - 초고강도 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 구조설계 기술 개발 ○ 산업부산물 활용한 무시멘트 콘크리트 및 실용화 기술 개발 - 新자극제 기반 산업부산물(고로슬래그, 플라이애시) 활용 현장타설용 무시멘트 콘크리트 개발(압축강도 40MPa 이상) - 무시멘트 콘크리트 작업시간 및 유동성 확보를 위한 현장타설용 화학혼화제 개발 - 무시멘트 콘크리트의 열화메커니즘 규명을 위한 모델 개발 및 내구성 평가기술 개발 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 구조설계 기술 개발 - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 실용화 기술 개발 ○ 탄소저감 무시멘트 콘크리트 친환경 시멘트 대체新재료 개발 ○ 친환경 시멘트 대체新재료 활용 무시멘트 콘크리트 제조 기술 기술개발 (압축강도 40MPa 이상) ○ 친환경 시멘트 대체新재료 활용 무시멘트 콘크리트 성능평가 및 구조설계 기술 개발	

연차별 추진내용(로드맵)	
세부내용	
구분	

	구분	'25년	'26년	'27년	'28년
		내용			
				콘크리트 내구성능 평가	

2. 단계별 성과목표 및 지표

① 전략목표

전략목표	건설산업의 탄소배출량 저감을 위하여 세계 최고 수준의 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공기술 개발

가. 1단계 성과목표 및 지표

② 단계별 성과목표

단계(평가주기)		1단계		기간		2025년	
단계별 성과목표							관련 내역사업명
성과목표-1	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화	가중치	0.8	설정 근거	- 무시멘트 기반 초고강도 콘크리트를 개발하기 위한 요소기술을 개발하는 단계로 기술개발 관련 성과지표 설정		고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술개발
성과목표-2	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	가중치	0.2	설정 근거	- 기존 고로슬래그, 플라이애시 기반 무시멘트 콘크리트 외에 미활용 부산물을 활용 무시멘트 콘크리트를 개발하기 위한 요소기술을 개발하는 단계로 기술개발 관련 성과지표 설정		

③ 성과지표

단계별 성과목표명		가중 치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치	성과 분야	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2025				
성과목 표-1	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화	0.8	초고강도 무시멘트 콘크리트 배합설계 가이드라인(안)	건	목표	1	기술적 성과	산출 (양)	✓	초고강도 무시멘트 콘크리트를 개발하기 위한 기초연구로 제조하기 위한 배합설계 가이드라인 도출여부를 성과지표로 설정
					실적					
			현장타설용 무시멘트 콘크리트 압축강도	MPa	목표	30	기술적 성과	산출 (질)	✓	기존 무시멘트 콘크리트 기술개발의 재현성 확보와 현장타설용 무시멘트 콘크리트 개발을 위한 사전연구 및 강도발현 여부를 성과지표로 설정
					실적					
성과목 표-2	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	0.2	신재료 기반 무시멘트 콘크리트 바인더 적합성 평가 보고서	건	목표	1	기술적 성과	산출 (양)	✓	기 사용중인 무시멘트 콘크리트 바인더를 대체하기 위한 신재료를 도출하기 위해 바인더 적합성 평가보고서 도출 여부를 성과지표로 설정
					실적					
계										

④ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
초고강도 무시멘트 콘크리트 배합설계 가이드라인(안)	본 사업 주요 목표인 100 MPa 이상의 압축강도를 가진 무시멘트 콘크리트를 생산하기 위해서 기존 초고강도 콘크리트(UHPC) 배합설계를 기반한 배합설계 가이드라인(안) 도출여부를 성과 목표로 설정함	[측정산식] - 초고강도 무시멘트 배합설계 가이드라인(안) 보고서 건수 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월 - 산출방법 : 해당 연구기간동안 가이드라인(안) 도출 여부 - 외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
현장타설용 무시멘트 콘크리트 압축강도	기존 무시멘트 콘크리트 기술개발의 재현성 확보를 통해 현장타설용 무시멘트 콘크리트 개발을 위한 사전연구 및 강도발현 여부를 성과목표로 설정함	[측정산식] - KS F 2405에 의한 압축강도 실험 결과 - 압축강도 = 하중 / 단면적 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
신재료 기반 무시멘트 콘크리트 바인더 적합성 평가 보고서	기존의 무시멘트 콘크리트 바인더를 대체 및 미활용 부산물 활용을 위한 도출 신재료 바인더에 대한 적합성 평가보고서 도출 여부를 성과목표로 설정함	[측정산식] - 무시멘트 콘크리트 신재료 바인더 적합성 평가 보고서 건수 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월 - 산출방법 : 해당 연구기간동안 평가보고서 도출 여부 - 외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료

나. 2단계 성과 목표 및 지표

① 단계별 성과목표

단계(평가주기)		2단계			기간	2026년~2027년
단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화	가중치	0.7	설정 근거	- 무시멘트 기반 초고강도 콘크리트를 개발하기 위한 주요기술을 개발하는 단계로 기술개발 관련 성과지표 설정	
성과목표-2	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	가중치	0.3	설정 근거	- 기존 고로슬래그, 플라이애시 기반 무시멘트 콘크리트 외에 미활용 부산물을 활용 무시멘트 콘크리트를 개발하기 위한 주요기술을 개발하는 단계로 기술개발 관련 성과지표 설정	

② 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치		성과 분야	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						2026	2027				
성과목표-1	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화	0.1	초고강도 무시멘트 콘크리트 압축강도	MPa	목표	80	100	기술적 성과	산출 (질)	✓	본 연구의 최종목표인 초고강도 무시멘트 콘크리트를 개발하기 위한 압축강도 도출여부를 성과지표로 설정
					실적						
		0.05	초고강도 무시멘트 콘크리트 연성을	%	목표	6	8	기술적 성과	산출 (질)	✓	본 연구의 최종목표인 초고강도 무시멘트 콘크리트를 개발하기 위한 연성을 도출여부를 성과지표로 설정
					실적						
		0.1	초고강도 무시멘트 콘크리트 작업유지시간	시간	목표	1	2	기술적 성과	산출 (질)	✓	본 연구의 최종목표인 초고강도 무시멘트 콘크리트를 개발하기 위한 작업유지시간 성공여부를 성과지표로 설정
					실적						
		0.1	현장타설용 무시멘트 콘크리트 압축강도	MPa	목표	40	-	기술적 성과	산출 (질)	✓	실용화를 위한 산업부산물 활용 무시멘트 콘크리트를 개발하기 위한 압축강도 확보여부를 성과지표로 설정
					실적						
		0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 슬럼프	mm	목표	120 이상	150 이상	기술적 성과	산출 (질)	✓	실용화를 위한 산업부산물 활용 무시멘트 콘크리트의 시공성을 위한 슬럼프 확보여부를 성과지표로 설정
					실적						

성과목 표-2	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	0.1	현장타설용 무시멘트 콘크리트 작업유지시간	시간	목표	1	2	기술적 성과	산출 (질)	✓	실용화를 위한 산업부산물 활용 무시멘트 콘크리트의 시공성을 위한 작업유지시간 확보여부를 성과지료로 설정
		0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 염소이온확산계수	$\times 10^{-2}$ m/s	목표	3.0	2.0	기술적 성과	산출 (질)	✓	실용화를 위한 산업부산물 활용 무시멘트 콘크리트의 내구성을 확보하기 위해 성과지료로 설정
					실적						
		0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 동결융해저항성	%	목표	70	80	기술적 성과	산출 (질)	✓	실용화를 위한 산업부산물 활용 무시멘트 콘크리트의 내구성을 확보하기 위해 성과지료로 설정
					실적						
	0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조가이드라인(안)	건	목표	1	-	기술적 성과	산출 (양)		산업부산물 기반 무시멘트 콘크리트의 실용화 및 보급을 위한 배합설계 제조가이드라인(안) 도출여부를 성과지료로 설정	
				실적							
	0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼 및 지침(안)	건	목표	-	1	기술적 성과	산출 (양)		산업부산물 기반 무시멘트 콘크리트의 실용화 및 보급을 위한 구조물 유지관리 매뉴얼(안) 도출여부를 성과지료로 설정	
				실적							
	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	0.1	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 압축강도	MPa	목표	30	40	기술적 성과	산출 (질)	✓	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트를 개발하기 위한 압축강도 확보여부를 성과지료로 설정
					실적						
		0.05	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 슬럼프	mm	목표	120 이상	150 이상	기술적 성과	산출 (질)	✓	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트의 시공성을 위한 슬럼프 확보여부를 성과지료로 설정
					실적						
		0.1	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 작업유지시간	시간	목표	1	2	기술적 성과	산출 (질)		신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트의 시공성을 위한 작업유지시간 확보여부를 성과지료로 설정
					실적						
		0.05	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 제조 가이드라인(안)	건	목표	1	-	기술적 성과	산출 (양)		신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 기술 정립을 위한 제조가이드라인(안) 도출여부를 성과지료로 설정
					실적						
계											

③ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성 과지 표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
초고강도 무시멘트 콘크리트 압축강도	본 사업 주요 목표인 100 MPa 이상의 압축강도를 가진 무시멘트 콘크리트의 성능평가를 확인하기 위해 압축강도 도출여부를 성과 목표로 설정함	[측정산식] - KS F 2405에 의한 압축강도 실험 결과 - 압축강도 = 하중 / 단면적 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
초고강도 무시멘트 콘크리트 연성율	초고강도 콘크리트의 실용화를 위한 필수요소인 연성확보를 확인하기 위해 연성율을 목표설정하였으며, 26년는 최종목표로 가기 위한 중간단계로 기술력 확보하고 27년도에 최종목표로 설정함	[측정산식] - 관련 표준 및 연구문헌을 참고하여 실시한 실험 결과 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준 및 연구문헌에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
초고강도 무시멘트 콘크리트 작업유지시간	무시멘트 콘크리트의 시공성을 확보하기 위한 목표로 설정으로 레미콘 공장에서 건설현장 도착 기준으로 콘크리트 표준시방서에서 제시하고 있는 시간을 목표로 설정	[측정산식] - KS F 2436에 의한 측정 결과 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
현장타설용 무시멘트 콘크리트 압축강도	현장타설용 무시멘트 콘크리트인 40 MPa 이상의 압축강도를 가진 무시멘트 콘크리트의 성능평가를 확인하기 위해 압축강도 도출여부를 성과 목표로 설정함	[측정산식] - KS F 2405에 의한 압축강도 실험 결과 - 압축강도 = 하중 / 단면적 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료

현장타설용 무시멘트 콘크리트 슬럼프	건설현장 실용화를 위한 콘크리트의 반죽질기를 확보하기 위해 일반 콘크리트 수준의 시공성을 확보하기 위해 성과 목표로 설정함	[측정산식] - KS F 2594에 의한 측정 결과 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준 및 연구문헌 에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
현장타설용 무시멘트 콘크리트 작업유지시간	무시멘트 콘크리트의 시공성을 확보하기 위한 목표로 설정으로 레미콘 공장에서 건설현장 도착 기준으로 콘크리트 표준시방서에서 제시하고 있는 시간을 목표로 설정	[측정산식] - KS F 2436에 의한 측정 결과 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
현장타설용 무시멘트 콘크리트 염소이온확산계수	건설현장 실용화를 위한 콘크리트의 내구성을 확보하기 위해 일반 콘크리트 수준의 염소이온확산계수를 확보하기 위해 성과 목표로 설정함	[측정산식] - NT Build 492에 의한 측정 결과 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
현장타설용 무시멘트 콘크리트 동결융해저항성	건설현장 실용화를 위한 콘크리트의 내구성을 확보하기 위해 일반 콘크리트 수준의 동결융해저항성을 확보하기 위해 성과 목표로 설정함	[측정산식] - KS F 2456에 의한 측정 결과 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조가이드라인(안)	40 MPa 이상의 압축강도를 가진 무시멘트 콘크리트를 생산하기 위해서 기존 일반콘크리트 배합설계를 기반한 배합설계 가이드라인(안) 도출여부를 성과 목표로 설정함	[측정산식] - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 배합설계 제조 가이드라인(안) 보고서 건수 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월 - 산출방법 : 해당 연구기간동안 가이드라인(안) 도출 여부	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료

		외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	
현장타설용 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼 및 지침(안)	무시멘트 콘크리트의 실용화 및 지속가능성을 확보하기 위해 구조물 대상 기존 유지관리 지침에 해당기술 적용시 차이점 등을 분석 및 제도화한 매뉴얼 및 지침(안)을 성과 목표로 설정	- 현장타설용 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼 및 지침(안) 보고서 건수 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월 - 산출방법 : 해당 연구기간동안 매뉴얼 및 지침(안) 도출 여부 - 외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 압축강도	신재료 바인더 기반 MPa 이상의 압축강도를 가진 무시멘트 콘크리트의 성능평가를 확인하기 위해 압축강도 도출여부를 성과 목표로 설정함	[측정산식] - KS F 2405에 의한 압축강도 실험 결과 - 압축강도 = 하중 / 단면적 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 슬럼프	건설현장 실용화를 위한 콘크리트의 반죽질기를 확보하기 위해 일반 콘크리트 수준의 시공성을 확보하기 위해 성과 목표로 설정함	[측정산식] - KS F 2594에 의한 측정 결과 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준 및 연구문헌에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 작업유지시간	무시멘트 콘크리트의 시공성을 확보하기 위한 목표로 설정으로 레미콘 공장에서 건설현장 도착 기준으로 콘크리트 표준시방서에서 제시하고 있는 시간을 목표로 설정	[측정산식] - KS F 2436에 의한 측정 결과 [측정시기 및 방법] - 측정시기 : 당해연도 1월~12월 - 측정기간 : 당해연도 1월~12월 - 측정방법 : 측정표준에 따른 시험방법 수행 - 공인기관 인증서/성적서 발급 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 제조가이드라인(안)	신재료 기반 무시멘트 콘크리트를 생산하기 위해서 기존 일반콘크리트 배합설계를 기반한 배합설계 가이드라인(안) 도출여부를 성과 목표로 설정함	[측정산식] - 신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 배합설계 제조 가이드라인(안) 보고서 건수 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료

		• 산출방법 : 해당 연구기간동안 가이드라인(안) 도출 여부 • 외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	

다. 3단계 성과 목표 및 지표

① 단계별 성과목표

단계(평가주기)		3단계			기간	2028년
단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화	가중치	0.8	설정 근거	- 무시멘트 기반 초고강도 콘크리트를 개발하기 위한 주요기술을 개발하는 단계로 기술개발 관련 성과지표 설정	
성과목표-2	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	가중치	0.2	설정 근거	- 기존 고로슬래그, 플라이애시 기반 무시멘트 콘크리트 외에 미활용 부산물을 활용 무시멘트 콘크리트를 개발하기 위한 주요기술을 개발하는 단계로 기술개발 관련 성과지표 설정	

② 성과지표

단계별 성과목표명		가중 치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치	성과 분야	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2028				
성과목 표-1	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화	0.1	초고강도 무시멘트 콘크리트 구조해석 모델	건	목표	1	기술적 성과	산출 (양)	✓	초고강도 무시멘트 콘크리트의 설계 기준에 적용하기 위한 실험데이터 기반의 설계 모델 도출여부를 성과지표로 설정
					실적					
		0.3	초고강도 무시멘트 콘크리트 탄소배출량 저감율	%	목표	50	기술적 성과	산출 (질)	✓	무시멘트 기반 콘크리트의 환경성을 검증하기 위한 수단으로 이산화탄소 배출량 평가를 통해 기존 동등 수준 콘크리트 대비 저감율을 성과지표로 설정
					실적					
		0.1	현장타설용 무시멘트 콘크리트 구조설계기준(안)	건	목표	1	기술적 성과	산출 (양)	✓	초고강도 무시멘트 콘크리트의 설계 기준에 적용하기 위한 실험데이터 기반의 설계기준(안) 도출여부를 성과지표로 설정
					실적					
		0.3	현장타설용 무시멘트 콘크리트 탄소배출량 저감율	%	목표	50	기술적 성과	산출 (질)	✓	무시멘트 기반 콘크리트의 환경성을 검증하기 위한 수단으로 이산화탄소 배출량 평가를 통해 기존 동등 수준 콘크리트 대비 저감율을 성과지표로 설정
					실적					
성과목 표-2	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	0.2	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 재료해석 모델	건	목표	1	기술적 성과	산출 (양)	✓	기 사용중인 무시멘트 콘크리트 바인더를 대체하기 위한 신재료를 도출하기 위해 바인더 재료해석 모델 도출 여부를 성과지표로 설정
					실적					
계										

③ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
초고강도 무시멘트 콘크리트 구조해석 모델	본 사업 주요 목표인 100 MPa 이상의 압축강도를 가진 무시멘트 콘크리트를 설계에 적용하기 위한 실험데이터를 기반한 설계모델 도출여부를 성과 목표로 설정함	[측정산식] - 초고강도 무시멘트 콘크리트 구조해설 모델 도출 건수 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월 - 산출방법 : 해당 연구기간동안 설계모델 도출 여부 - 외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
초고강도 무시멘트 콘크리트 탄소배출량 저감율	무시멘트 기반 콘크리트의 환경성을 검증하기 위한 수단으로 이산화탄소 배출량 평가를 통해 기존 동등 수준 콘크리트 대비 저감율을 성과목표로 설정	[측정산식] - 환경성적표지 운영 프로그램 기반 모델설계 및 평가 결과 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월 - 산출방법 : 해당 연구기간동안 배출량 도출 여부 - 외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
현장타설용 무시멘트 콘크리트 구조설계기준(안)	현장타설용 무시멘트 콘크리트를 설계에 적용하기 위한 실험데이터를 기반한 설계모델 도출여부를 성과 목표로 설정함	[측정산식] - 현장타설용 무시멘트 콘크리트 구조설계기준(안) 모델 도출 건수 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월 - 산출방법 : 해당 연구기간동안 설계모델 도출 여부 - 외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
현장타설용 무시멘트 콘크리트 탄소배출량 저감율	무시멘트 기반 콘크리트의 환경성을 검증하기 위한 수단으로 이산화탄소 배출량 평가를 통해 기존 동등 수준 콘크리트 대비 저감율을 성과목표로 설정	[측정산식] - 환경성적표지 운영 프로그램 기반 모델설계 및 평가 결과 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월 - 산출방법 : 해당 연구기간동안 배출량 도출 여부 - 외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료
신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 재료해석 모델	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트를 설계에 적용하기 위한 실험데이터를 기반한 재료모델 도출여부를 성과 목표로 설정함	[측정산식] - 신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 재료해석 모델 도출 건수 [측정시기 및 방법] - 산출시기 : 당해연도 12월 - 산출기간 : 당해연도 1월~12월 - 산출방법 : 해당 연구기간동안 설계모델 도출 여부 - 외부전문가 의견 등을 통한 측정방법의 신뢰성 확보	- 범부처통합연구 지원 시스템 (IRIS) - 연차별 실적보고서 및 증빙자료

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	건설산업의 탄소배출량 저감을 위하여 세계 최고 수준의 구조용 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공기술 개발			
(최종) 성과목표	세계 최고 수준의 성능을 가진 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공기술 개발 (압축강도 100 MPa 이상, 탄소배출저감을 50% 이상, 작업유지시간 2시간 이상)			
단계별 성과목표 및 지표	1단계(2025년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구분
	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화	0.8	초고강도 무시멘트 콘크리트 배합설계 가이드라인(안)	양
			현장타설용 무시멘트 콘크리트 압축강도	질
	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	0.2	신재료 기반 무시멘트 콘크리트 바인더 적합성 평가 보고서	양
	2단계(2026년도~2027년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구분
	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화	0.1	초고강도 무시멘트 콘크리트 압축강도	질
		0.05	초고강도 무시멘트 콘크리트 연성을	질
		0.1	초고강도 무시멘트 콘크리트 작업유지시간	질
		0.1	현장타설용 무시멘트 콘크리트 압축강도	질
		0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 슬럼프	질
		0.1	현장타설용 무시멘트 콘크리트 작업유지시간	질
		0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 염소이온확산계수	질
		0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 동결융해저항성	질
		0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 제조가이드라인(안)	양
		0.05	현장타설용 무시멘트 콘크리트 유지관리 매뉴얼 및 지침(안)	양
	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	0.1	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 압축강도	질
		0.05	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 슬럼프	질
		0.1	신재료 바인더 기반 무시멘트	질

			콘크리트 작업유지시간	
		0.05	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 제조가이드라인(안)	양
	3단계(2028년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구 분
	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화	0.1	초고강도 무시멘트 콘크리트 구조해석 모델	양
		0.3	초고강도 무시멘트 콘크리트 탄소배출량 저감율	질
		0.1	현장타설용 무시멘트 콘크리트 구조설계기준(안)	양
		0.3	현장타설용 무시멘트 콘크리트 탄소배출량 저감율	질
	탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	0.2	신재료 바인더 기반 무시멘트 콘크리트 재료해석 모델	양

3. 사업평가 계획(중간평가 자체평가 실시연도 기재)

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2026	2025(1년) / 1단계	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화 / 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	사업 추진 일정(단계) 및 과 기술 로드맵 등을 고려하여 1단계 종료 후 중간평가 추진
2028	2026~2027(2년) / 2단계	무시멘트 초고강도 콘크리트 설계·시공 기술개발 및 실용화 / 탄소저감 무시멘트 콘크리트 재료 및 원천기술 개발	사업 추진 일정(단계) 및 과 기술 로드맵 등을 고려하여 2단계 종료 후 중간평가 추진

4. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동 (해당사항 없음)

5. 성과 관리·활용 계획서 및 효과성 분석 보고서 제출 계획

사업 종료 연도	성과 관리·활용 계획서 제출 연도	효과성 분석 보고서 제출 연도
2028년	2028년	2033년

[탄소저장 콘크리트 제조·활용]

사업명: 탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발

작성자	작성 부서	△△국(실) ◇ ◇과	작성 실무자 및 연락처	○○○사무관(주무관) / 전화번호 / e-mail
	작성 책임자	◇◇과장 ○○○		○○○기관 ○○○연구원/ 전화번호 / e-mail ①

① 부처 담당자 외 유관기관 담당 실무자가 있을 경우 기관명과 담당자 성명, 직책, 연락처를 기재

※ 아래 양식을 준용하여 탄력적으로 작성하되, **향후 중간평가의 기준**이 되므로 각 항목들을 구체적으로 기술해야 하며 필요시 별도 참고자료 첨부 가능

1. 사업개요

① 사업명

사업명	단위사업	국토교통연구개발
	세부사업	탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발
	내역사업	-

② 사업목적

사업목적	CCUS(Carbon Capture Utilization & Storage)에서 포집한 CO ₂ 를 콘크리트 구성재료와 콘크리트 배합 및 제조과정 중에 직접 이용하여 광물탄산화 반응을 통해 CO ₂ 를 공기중에 재방출 없이 콘크리트내에 영구 고정 및 저장하는 탄소중립 건설기술 확보 - 콘크리트 구성재료의 탄소저장 기술 확보 - CO ₂ 저장 콘크리트 제조 및 활용 기술 확보

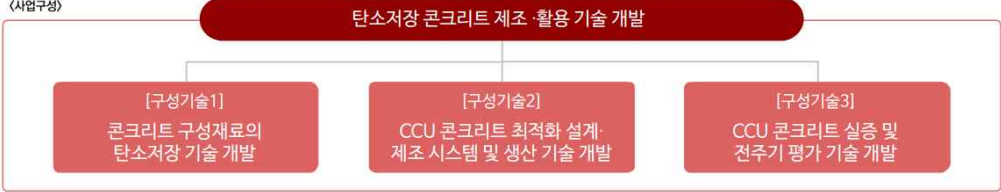
③ 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	○ 과학기술기본법 제11조 국가연구개발사업의 추진 ○ 국가연구개발혁신법 제2장 국가연구개발사업의 추진 ○ 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 ○ 국토교통과학기술 육성법
	상위계획	○ 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획 ('23.~'42) - 탄소중립·녹색성장계획의 산업부문에서는 시멘트 관련 탄소중립 실현 핵심기술 확보 및 상용화를 제시하고 있으며, 기업 투자 부담 경감을 위해 지원을 명시 등 - 동 계획의 CCUS 부문에서는 광물탄산화 기술분야에서 시멘트 및 건설소재 제품을 개발을 위한 범부처 예타사업 기획을 추진 명시 ○ 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2023~2032) - “고성능·장수명 건설재료, 특수환경용 건설재료 및 탄소배출 저감 재료 등 미래 건설산업형 선도형 건설재료 확보를 내용으로 하며, 탄소중립형 건설재료의 개발 ○ 윤석열 정부는 120대 국정과제 - 약속5 “핵심전략산업 육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다”의 국정과제23 “제조업 등 주력산업 고도화로 일자리 창출기반 마련”은 저탄소 시대를 선도하는 제조업의 그린전환을 가속화 명시

④ 사업 현황

사업구분	계속사업 ☐ 기한사업 ☒		
사업추진방식	상향식 ☐ 혼합식 ☐ 하향식 ☒		
사업유형	공공기술개발		
다부처 여부	다부처 ☐ (☐ 단일형, ☐ 복합형)	참여부처 (다부처사업)	국토교통부
사업기간	2026~2030(총 5년)	총사업비	190억 원(국비 190억, 민간 미정)
사업규모	⑪	지원대상	대학, 출연연, 기업 등
지원형태	출연	지원조건	참여기업이 있는 경우 Matching
사업시행주체	국토교통부(국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) ☐		

⑤ 사업추진체계 및 전략

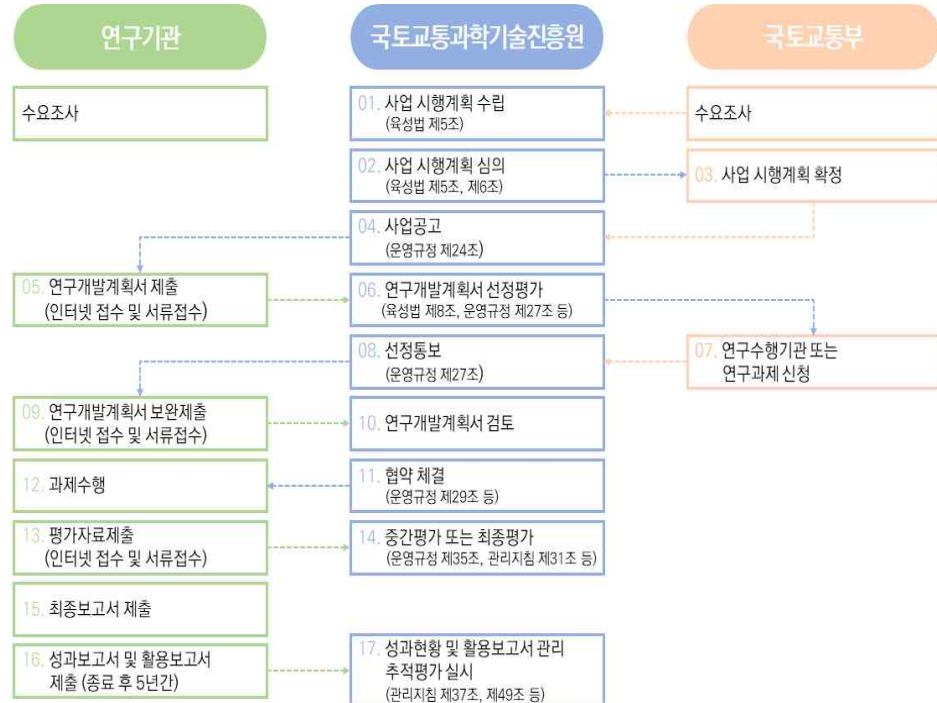
사업수행주체	《주관부처》  《전문기관》  《사업구상》 	
	수행주체	역할 세부내용
	국토교통부 (주관부처)	○사업추진 주체로서, 사업 종합조정 및 기본 방향성 제시 - 사업예산 확보 및 편성 - 연차별·단계별 사업 시행계획 등 사업추진 관련 주요사항 승인
	국토교통과학기술진흥원 (연구관리 전문기관)	○사업 및 과제 관리·운영·점검 주체 - 과제기획-공고-협약-정산 등 사업수행 총괄 - 사업성과의 관리 및 활용·확산 총괄 지원 - 사업 종료 후 사업성과의 추적평가, 성과확산 등 사후관리
사업추진전략	연구과제 평가단	○연구과제 선정평가, 과제평가(진도점검, 결과평가 등)를 실시
	연구기관	○주관/공동 연구기관은 사업에 참여하여, 실제 연구과제를 수행
추진전략		
○ 콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발 - 산업부산물을 활용한 CO₂ 저장 골재 제조 기술 개발 - 폐콘크리트를 이용한 CO₂ 저장 골재 활용 기술 개발 - 콘크리트용 광물탄산화 결합재(혼화재) 활용 기술 개발 - CO₂ 저장 배합수 제조 기술 개발 ○ CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발 - CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발		

- CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발
- 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발
- CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 개발
 - CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발
 - CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발
 - CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발

R&D 전주기 사업관리 계획

- (추진절차) 과제 발굴·기획 → 과제 선정 → 과제 관리 → 과제종료 → 성과활용·확산
 - ① (과제 발굴 및 기획) 기술수요조사*를 통해 연구과제를 발굴하고, 필요시 사전 단계로 기획연구 수행(총 연구비 50억원 이상 경우 등)
 - * On-line을 통한 상시 수요조사 및 Off-line을 통한 반기별(매년 1월, 7월) 수요조사 병행 추진
 - ② (신규과제 선정) 사업담당관(실·국)이 우선순위를 설정, 선정회의를 통해 예산 편성안에 반영
 - * 과기부(4~7월), 기재부(8월), 국회 예산심의(~12월)를 거쳐 신규 추진여부 확정
 - ③ (과제 확정 및 관리) 예산에 반영된 신규과제는 진흥원을 통해 차년도에 연구자 선정을 거쳐 평가·성과 관리 등 과제 관리 진행
 - ④ (과제 종료) 최종 평가를 통해 과제의 성공·실패를 결정
 - ⑤ (성과활용·확산) 성과의 활용 및 확산을 위한 범부처통합연구지원시스템 활용, 추적평가, 공모전, 전시회 등 활동을 정기적으로 추진

< 사업 추진절차 >



위험요인 및 극복방안

위험요인

정부 재원조달 가능성

극복방안

국토부 R&D 예산은 최근 '24년 소폭 예산이 감소하였으나, '25년도 R&D 예산 증액 계획과 유관 정책계획에 따라 본 사업 추진을 위한 신규 R&D

	위험요인	극복방안
		예산 확보에 대한 위험요인은 없음
	민간 재원조달 가능성	건설기업, 대학, 연구소 중심의 컨소시엄이 참여하는 특성상 정부출연금의 약 00%(미정)를 민간 부담금으로 책정하였으며, 이는 참여기관이 매칭 가능(건설 분야 민간 R&D 재원 대비 0.00% 수준)
	사업 기획/추진 관련 법·제도 측면	국가연구개발사업으로서의 본 사업 기획/추진/관리에 대한 법적·제도적 위험요인은 없음
	개발 기술의 실증을 위한 테스트베드 확보의 불확실성	탄소저장 콘크리트 제조기술 및 실증에 필요한 기술 확보 계획을 수립하고 원활한 테스트 베드 부지 확보를 위해 건설기업의 컨소시엄 참여를 희망하고 있음. 추후 실증지 확보 불가에 따른 실증지의 규모, 예산 등을 사업 기획에 반영
수혜자	직접 수혜자: 탄소중립 기술 실현 건설업체 간접 수혜자: 탄소 다배출 산업분야 기업주체	

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	□ 콘크리트 산업의 안정적이고 장기적인 CO₂ 감축 기술 확보 및 즉시 활용 가능한 CCUS 시스템 구축에 따른 온실가스 배출량 감축에 실질적 기여 ○ CO₂ 고정화 기술의 취약점인 CO₂ 재방출 현상 없이 장기 안정 상태로 CO₂를 대량으로 고정할 수 있기 때문에 안전이나 환경위험 없이 기후 위기에 대응 가능 ○ 콘크리트 적용 탄산염 원재료에 대한 탄소고정화 메커니즘 기술개발을 통한 건설 탄소저감 기술개발 시너지 형성 및 가속화 ○ 건설 분야 CCUS 시스템 확보에 따른 국가 CCUS 로드맵 달성 기여
사회경제적 기대효과	□ 탄소중립 체제 세계화에 의한 해외 기술 종속화 예방 및 국내 건설관련 탄소경제 자립성 강화 및 탄소 네거티브 구현에 기여 ○ 해외선도 건설관련 탄소저감 기술이 증가하는 추세에 따른 국내 기술의 종속화를 선제적으로 방지하여 기술 확산 및 적용도모, 건설관련 중소기업 및 중견기업 탄소경제 자립성 강화기반 마련 ○ 건설산업에 대한 인식 전환 및 신산업 일자리 창출 ○ 콘크리트 산업의 비용 절감, 장수명화 및 탄소 네거티브 구현

7 사업 내용

예산 규모	<2026년도 신규사업>						
	(백만원)						
	구분		2026년도 예산	2027년도 예산	2028년도 예산	2029년도 예산	2030년도 예산
	□ 탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발기술 개발	19,000	2,000	4,300	3,700	6,100	2,900
	■ 탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발	19,000	2,000	4,300	3,700	6,100	2,900
세부내용	○ 내역사업별로 세부 연구개발·활동 내용 작성						
	내역사업	주요 내용					
	탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발	○ 콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기술 개발 - 산업부산물을 활용한 CO ₂ 저장 골재 제조 기술 개발 - 폐콘크리트를 이용한 CO ₂ 저장 골재 활용 기술 개발 - 콘크리트용 광물탄산화 결합재(혼화재) 활용 기술 개발 - CO ₂ 저장 배합수 제조 기술 개발					
		○ CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 및 생산 기술 개발 - CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술 개발 - CCU 콘크리트의 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 개발 - 비구조재용 CCU 콘크리트 적용을 위한 제조 및 생산 기술 개발					
	○ CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 개발 - CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발 - CCU 콘크리트의 탄소 저감량 평가 방법 정립 및 LCA 평가 기술 개발 - CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발						

연차별 추진내용(로드맵)		
연도	연차목표	핵심목표 및 내용
2026 년		[핵심기술1] - 산업부산물을 활용한 CO₂ 고정 콘크리트용 골재 제조 기초기술 확립 - 폐콘크리트 골재 탄산화 개질 기초기술 확립 - 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재 발굴 및 활용성 검토 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수 활용성 검토 [핵심기술2] - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 시스템 설계 방안 도출 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 설계 방안 도출
2027 년	탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발 기반 마련	[핵심기술1] - 산업부산물을 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 제조기반 구축 및 최적 공정확보 - 폐콘크리트 탄산화 개질기반 구축 및 최적 공정확보 - 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 활용성 검토 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 CO₂ 고정화 향상 기술 검토 [핵심기술2] - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 설계 및 시작품 제작 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 설계 및 시작품 제작 - 콘크리트용 탄소 흡수 촉매제 및 탄소 고정 활성 재료 특성 평가 [핵심기술3] - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 검토항목 설정 - CCU 콘크리트 LCA 평가방법 기본 계획 수립
2028 년		[핵심기술1] - 산업부산물을 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 성능 확보 - 폐콘크리트를 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 성능 확보 - 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 활용 CO₂ 고정 콘크리트용 성능 확보 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 활용 CO₂ 고정 콘크리트용 성능 확보 [핵심기술2] - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 구축 및 기본 배합 도출 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 구축 및 기본 배합 도출 - 탄소 흡수 촉매제 및 탄소 고정 활성 재료 적용 콘크리트 최적 배합 기술 개발 [핵심기술3] - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 개발을 위한 실험데이터 구축 - CCU 콘크리트의 특성을 고려한 플로우 맵 구축 - 개발 CCU 콘크리트의 감축사업화 가능한 영역에 대한 방법론 확인

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
		및 검토
2029 년	탄소저장 콘크리트 제조·활용 기술 개발 실증 및 실용화 방안 개발	[핵심기술1] - 산업부산물을 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 품질개선 및 제품화 - 폐콘크리트를 활용한 탄소저장 콘크리트용 골재 품질개선 및 제품화 - 산업부산물 및 CO₂ 광물탄산화반응에 기반한 탄산염 소재의 시멘트 대체 바인더 품질개선 및 제품화 - CO₂ 광물탄산화 반응에 기반한 CO₂ 저장 배합수의 품질개선 [핵심기술2] - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 제조 실증 시스템 및 배합 최적화 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 제조·양생 시스템 및 배합 최적화 - - 탄소 흡수 촉매제 및 탄소 고정 활성 재료 적용 CCU 콘크리트 제조 및 생산 기술 개발 [핵심기술3] - CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 초안 정립 - CCU 콘크리트 LCA 평가방법(안) 수립 - 개발 CCU 콘크리트의 감축사업 영역 선정 및 적용기술 확인 등 타당성 검토
2030 년		[핵심기술1] - 산업부산물을 활용한 탄소저장 콘크리트용 인공 원재료 T/B 지원 - CO₂ 광물탄산화 반응 CO₂ 저장 배합수의 콘크리트 T/B 지원 [핵심기술2] - 현장타설 조건을 고려한 CCU 콘크리트 T/B 구축 - 프리캐스트 적용 CCU 콘크리트 T/B 구축 [핵심기술3] - - CCU 콘크리트 실증 및 실용화 방안 개발- 전생애주기 정보 관리 체계의 디지털 트윈 연동 기술 개발 - CCU 콘크리트 LCA 평가방법(안) 개발 및 LCI DB 구축 - 탄소 감축 외부사업 방법론 사업계획서 작성

2. 단계별 성과목표 및 지표

① 전략목표

전략목표	포집 CO ₂ 를 광물탄산화반응으로 전환시켜 콘크리트 제조기술로 CO ₂ 를 감축시키는 탄소저장 콘크리트 제조 기술 및 활용 기술 개발

가. 1단계 성과목표 및 지표

② 단계별 성과목표

단계(평가주기)		1단계		기간		2026 ~ 2028	
단계별 성과목표						관련 내역 사업명	
성과목표-1	콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기반 기술 확보	가중치	0.3	설정 근거	- CCUS 기술 확대를 위해 포집된 CO ₂ 의 화학 원료화, 연료전환 등 기존 전환 기술 외에 에너지 사용이 적은 새로운 기술적 대안 제시 필요한 가운데 콘크리트의 원재료 수준에서 탄소 고정화 기술 적용은 타 CO ₂ 전환기술에 비해 필요한 에너지를 최소화하면서도 CO ₂ 고정효과가 큰 기술 개발에 필요한 기반 마련	탄소저장 콘크리트 제조·활 용 기술 개발	
성과목표-2	CCU 콘크리트 설계·제조 시 스템 기술 확보	가중치	0.5	설정 근거	- 현장타설 및 프리캐스트 콘크리트에 대해 CCU 기술로 포집한 CO ₂ 를 대량으로 활용할 수 있는 CCU 콘크리트 최적화 설계·제조시스템 및 생산기술을 개발하여 콘크리트내에 CO ₂ 를 영구 저장할 수 있는 실효적인 탄소중립 건설기술 기반 마련		
성과목표-3	CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 기반 구축	가중치	0.2	설정 근거	- CO ₂ 를 활용, 저장하는 콘크리트로 구조적인 특성 정립을 연구 기반 마련 필요		

③ 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치			성과 분야	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						2026	2027	2028				
성과	콘크리트	0.3	CO ₂ 고정량	kg/t	목표	30	60	100	기술	산출	✓	골재, 배합수 등 콘크리트 원재료에 CCU 기술을

목표-1	구성재료의 탄소 저장 기반 기술 확보		확보 정도		실적							적용하여 탄소를 고정(저장)하는 콘크리트 원재료 광물탄산화 기술 확보 필요(1단계 실험실 수준 설정) ● 산업부산물 골재 CO ₂ 고정량(kg/t): 50 이상 ● 폐콘크리트 활용 골재 CO ₂ 고정량(kg/t): 10 이상 ● CO ₂ 저장배합수 고정량(kg/t): 2 이상
			콘크리트 압축강도(28일) 비율(%) (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)	%	목표	-	50	100	기술	산출	✓	골재, 배합수 등 콘크리트 원재료에 CCU 기술을 적용하여 탄소를 고정(저장)하는 콘크리트 원재료 광물탄산화 기술 적용에 따른 기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비 압축강도 90% 이상 확보 필요(1단계 실험실 수준 설정)
					실적							
			시멘트 대체 가능 바인더 발굴 건수	건	목표	-	2	2	기술	산출	✓	시멘트 대체가능한 바인더 발굴을 통해 CO ₂ 배출의 주된 원인인 시멘트 대체 기술 확보 필요
					실적							
성과 목표-2	CCU 콘크리트 설계·제조 시스템 기술 확보	0.5	CO ₂ 감축량 확보 정도	kg/m ³	목표	20	40	60	기술	산출	✓	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술도출 수준을 성과지표로 설정 (1단계 실험실 수준 설정) ● 현장타설 적용 기술 CO ₂ 감축량(kg/m ³) : 30 kg/m ³ (시멘트 대체량 포함)
					실적							
			CO ₂ 흡수량 확보 정도	% w/w	목표	20	40	60	기술	산출	✓	CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 도출 수준을 성과지표로 설정 (1단계 실험실 수준 설정) ● 프리캐스트 적용 기술 CO ₂ 흡수량(% w/w) : 1.0 이상 (공시체 및 콘크리트 중량 기준)
					실적							
			압축강도 향상률(%)	%	목표	20	40	60	기술	산출	✓	탄소 고정되지 않은 콘크리트 대비 5% 이상 ● 현장타설 적용 기술5% 이상 ● 프리캐스트 적용 기술 : 10% 이상
					실적							
성과 목표-3	CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 기반 구축	0.2	구조설계기준 (안) 방안 마련	%	목표	-	15	40	기술	산출		실험데이터에 기반한 CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 방안과 시나리오 개발(1단계 성과지표 달성도 40% 설정)
					실적							
			LCA 평가 기법 (안) 방안 마련	%	목표	-	15	40	기술	산출	✓	탄소감축 특성을 고려한 CCU 콘크리트의 전주기 LCA(Life Cycle Assesment) 평가(1단계 성과지표 달성도 40% 설정)
					실적							
			탄소감축 외부 방법론 검토	건	목표	-	-	1	기술	산출	✓	개발된 CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 적용 검토를 1단계 성과지표로 설정
					실적							
계												

4 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
CO ₂ 고정량 확보 정도	세부과제별로 산출한 세부 산출물의 성능목표 달성 및 최종산출물 달성도를 전문가 중심으로 설정하고, 이를 바탕으로 기술의 확보 정도를 지수화(기획보고서)	- CO₂ 고정화량(kg/t) - 열중량분석 등 정량화 측정방법 활용	연차보고서
콘크리트 압축강도(28일) 비율(%) (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)		- 기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비 탄소저장콘크리트의 압축강도 증가율 - 공인시험성적서(압축강도)	연차보고서
시멘트 대체 가능 바인더 발굴 건수		- 시멘트 대체 가능 바인더 누적 발굴 건수 - 시멘트 대체시 기존 시멘트 사용시와 동일 압축강도 발현	연차보고서
CO ₂ 감축량 확보 정도	세부과제별로 산출한 세부 산출물의 성능목표 달성 및 최종산출물 달성도를 전문가 중심으로 설정하고, 이를 바탕으로 기술의 확보 정도를 지수화(기획보고서)	- 현장타설 콘크리트 제조 기준 시멘트 대체 바인더 사용을 고려한 시멘트 대체량을 포함한 개발된 탄소저장콘크리트가 1m³ 제조시 확보하는 CO₂ 감축량(kg/m³) - 열중량분석 등 정량화 측정방법 활용	연차보고서
CO ₂ 흡수량 확보 정도		- 프리캐스트 제작 기준 챔버내 CO₂ 양생에 따른 개발된 탄소저장콘크리트 공시체 및 콘크리트 중량기준 CO₂ 흡수량(% , W/W) - 열중량분석 등 정량화 측정방법 활용	연차보고서
압축강도 향상률(%)		- 탄소 고정되지 않은 콘크리트 대비 탄소저장콘크리트 압축강도 값의 향상율 - 현장타설 탄소고정콘크리트 5%, 프리캐스트 CO₂ 양생시 10% 이상	연차보고서
구조설계기준(안) 방안 마련	실험데이터에 기반한 CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 마련과 탄소감축 특성을 고려한 CCU 콘크리트의 전주기 LCA(Life Cycle Assesment) 평가를 바탕으로 개발된 CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발 적용 (기획보고서)	-((당해년도 구조설계기준(안) 구축) / (최종년도까지의 구조설계기준(안) 구축량))X100	연차보고서
LCA 평가 기법(안) 방안 마련		-((당해년도 LCA 평가기법(안)구축) / (최종년도까지의 LCA 평가기법(안) 구축량))X100	연차보고서
탄소감축 외부 방법론 검토		-((당해년도 탄소감축 외부 방법론 개발) / (최종년도까지의 LCA 평가기법(안) 구축량))X100	연차보고서

나. 2단계 성과 목표 및 지표

① 단계별 성과목표

단계(평가주기)		2단계		기간		2029 ~ 2030	
단계별 성과목표						관련 내역 사업명	
성과목표-1	콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기반 기술 고도화	가중치	0.3	설정 근거	- 실증에 근거한 CCUS 기술 확대를 위해 포집된 CO ₂ 의 화학 원료화, 연료전환 등 기존 전환 기술 외에 에너지 사용이 적은 새로운 기술적 대안 제시 필요한 가운데 콘크리트의 원재료 수준에서 탄소 고정화 기술 적용은 타 CO ₂ 전환기술에 비해 필요한 에너지를 최소화하면서도 CO ₂ 고정효과가 큰 기술 개발에 필요한 기반 마련	탄소저장 콘크리트 제조·활 용 기술 개발	
성과목표-2	실증기반 CCU 콘크리트 최적 화 설계·제조 시스템 생산 기 술 개발	가중치	0.4	설정 근거	- 실증에 근거한 현장타설 및 프리캐스트 콘크리트에 대해 CCU 기술로 포집한 CO ₂ 를 대량으로 활용할 수 있는 CCU 콘크리트 최적화 설계·제조시스템 및 생산기술을 개발하여 콘크리트내에 CO ₂ 를 영구 저장할 수 있는 실효적인 탄소중립 건설기술 기반 마련		
성과목표-3	CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 구축 및 고도화	가중치	0.3	설정 근거	- CO ₂ 를 활용, 저장하는 콘크리트로 구조적인 특성 정립을 바탕으로 구조물에 실증을 기반한 실용화 연구 기반 마련 필요		

② 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치		성과 분야	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						2029	2030				
성과 목표- 1	콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기반 기술 고도화	0.3	CO ₂ 고정량 확보 정도	kg/t	목표	80	100	기술	산출	✓	골재, 배합수 등 콘크리트 원재료에 CCU 기술을 적용하여 탄소를 고정(저장)하는 콘크리트 원재료 광물탄산화 기술 확보 필요(2단계 실증을 통한 목표치 설정) • 산업부산물 골재 CO ₂ 고정량(kg/t): 50 이상 • 폐콘크리트 활용 골재 CO ₂ 고정량(kg/t): 10 이상 • CO ₂ 저장배합수 고정량(kg/t): 2 이상
					실적						
			콘크리트 압축강도(28	%	목표	80	100	기술	산출	✓	골재, 배합수 등 콘크리트 원재료에 CCU 기술을 적용하여 탄소를 고정(저장)하는 콘크리트 원재료

			일) 비율(%) (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)								광물탄산화 기술 적용에 따른 기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비 압축강도 90% 이상 확보 필요(2단계 실증을 통한 목표치 설정)
					실적						
			시멘트 대체 가능 바인더 발굴 검증 건수	건	목표	2	2	기술	산출	✓	1단계 발굴한 시멘트 대체가능한 바인더에 대해 실증연구를 통한 검증 기술 확보 필요 (1단계 발굴재료에 대한 검증 및 보완)
					실적						
성과 목표-2	실증기반 CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 생산 기술 개발	0.4	CO ₂ 감축량 확보 정도	kg/m ³	목표	80	100	기술	산출	✓	CCU 콘크리트 현장타설 적용을 위한 제조 시스템 및 생산 기술도출 수준을 성과지표로 설정 (2단계 실증을 통한 목표치 설정) ● 현장타설 적용 기술 CO ₂ 감축량(kg/m ³) : 30 kg/m ³ (시멘트 대체량 포함)
					실적						
			CO ₂ 흡수량 확보 정도	% w/w	목표	80	100	기술	산출	✓	CCU 콘크리트 프리캐스트 적용을 위한 제조·양생 시스템 및 생산 기술 도출 수준을 성과지표로 설정 (2단계 실증을 통한 목표치 설정) ● 프리캐스트 적용 기술 CO ₂ 흡수량(% w/w) : 1.0 이상 (공시체 및 콘크리트 중량 기준)
					실적						
			압축강도 향상률(%)	%	목표	80	100	기술	산출	✓	탄소 고정되지 않은 콘크리트 대비 5% 이상 ● 현장타설 적용 기술5% 이상 ● 프리캐스트 적용 기술 : 10% 이상
					실적						
성과 목표-3	CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 구축 및 고도화	0.3	CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증 기술 개발	%	목표	70	100	기술	산출	✓	실험데이터에 기반한 CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 방안과 실증에 필요한 기술 개발(2단계 성과지표 달성도 100% 설정)
					실적						
			LCA 평가 기법(안) 방안 개발	%	목표	70	100	기술	산출	✓	탄소감축 특성을 고려한 CCU 콘크리트의 전주기 LCA(Life Cycle Assesment) 평가(2단계 성과지표 달성도 100% 설정)
					실적						
			탄소감축 외부 방법론 개발	건	목표	-	1	기술	산출	✓	개발된 CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발
					실적						
계											

③ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
CO ₂ 고정량 확보 정도	세부과제별로 산출한 세부 산출물의 성능목표 달성 및 최종산출물 달성도를 전문가 중심으로 설정하고, 이를 바탕으로 기술의 확보 정도를 지수화(기획보고서)	- CO₂ 고정화량(kg/t) - 열중량분석 등 정량화 측정방법 활용	연차보고서
콘크리트 압축강도(28일) 비율(%) (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)		- 기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비 탄소저장콘크리트의 압축강도 증가율 - 공인시험성적서(압축강도)	연차보고서
시멘트 대체 가능 바인더 발굴 건수		- 시멘트 대체 가능 바인더 누적 발굴 건수 - 시멘트 대체시 기존 시멘트 사용시와 동일 압축강도 발현	연차보고서
CO ₂ 감축량 확보 정도	세부과제별로 산출한 세부 산출물의 성능목표 달성 및 최종산출물 달성도를 전문가 중심으로 설정하고, 이를 바탕으로 기술의 확보 정도를 지수화(기획보고서)	- 현장타설 콘크리트 제조 기준 시멘트 대체 바인더 사용을 고려한 시멘트 대체량을 포함한 개발된 탄소저장콘크리트가 1m³ 제조시 확보하는 CO₂ 감축량(kg/m³) - 열중량분석 등 정량화 측정방법 활용	연차보고서
CO ₂ 흡수량 확보 정도		- 프리캐스트 제작 기준 챔버내 CO₂ 양생에 따른 개발된 탄소저장콘크리트 공시체 및 콘크리트 중량기준 CO₂ 흡수량(%, W/W) - 열중량분석 등 정량화 측정방법 활용	연차보고서
압축강도 향상률(%)		- 탄소 고정되지 않은 콘크리트 대비 탄소저장콘크리트 압축강도 값의 향상율 - 현장타설 탄소고정콘크리트 5%, 프리캐스트 CO₂ 양생시 10% 이상	연차보고서
CCU 콘크리트 구조설계 기준 (안) 및 실증기술 개발	실험데이터에 기반한 CCU 콘크리트의 구조설계 기준(안) 마련과 탄소감축 특성을 고려한 CCU 콘크리트의 전주기 LCA(Life Cycle Assesment) 평가를 바탕으로 개발된 CCU 콘크리트의 탄소 감축 외부사업 방법론 개발 적용 (기획보고서)	- ((당해년도 구조설계기준(안) 구축) / (최종년도까지의 구조설계기준(안) 구축량))X100 - 구조설계 기준(안) 건수(확보) - 탄소저장콘크리트 실증 건수	연차보고서
LCA 평가 기법(안) 방안 개발		- ((당해년도 LCA 평가기법(안)구축) / (최종년도까지의 LCA 평가기법(안) 구축량))X100 - LCA 평가 기법 건수(확보)	연차보고서
탄소감축 외부 방법론 개발		- ((당해년도 탄소감축 외부 방법론 개발) / (최종년도까지의 LCA 평가기법(안) 구축량))X100 - 탄소감축 외부 방법론 건수(1건 이상)	연차보고서

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내용			
전략목표	포집 CO ₂ 를 광물탄산화반응으로 전환시켜 콘크리트 제조기술로 CO ₂ 를 감축시키는 탄소저장 콘크리트 제조 기술 및 활용 기술 확보			
(최종) 성과목표	CO ₂ 를 감축시키는 탄소저장 콘크리트용 원재료 CO ₂ 고정화 기술과 이를 활용할 수 있는 실증기반 제조 시스템 기술 및 전주기 평가 기술 확보			
단계별 성과목표 및 지표	1단계(26년도~28년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구분
	• 콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기반 기술 확보	0.3	CO ₂ 고정량 확보 정도	질
			콘크리트 압축강도(28일) 비율(%) (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)	질
			시멘트 대체 가능 바인더 발굴 건수	양
	• CCU 콘크리트 설계·제조 시스템 기술 확보	0.5	CO ₂ 감축량 확보 정도	질
			CO ₂ 흡수량 확보 정도	질
			압축강도 향상률(%)	질
	• CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 기반 구축	0.2	구조설계기준(안) 방안 마련	양
			LCA 평가 기법(안) 방안 마련	양
			탄소감축 외부 방법론 검토	양
	2단계(29년도~30년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구분
	• 콘크리트 구성재료의 탄소 저장 기반 기술 고도화	0.3	CO ₂ 고정량 확보 정도	질
			콘크리트 압축강도(28일) 비율(%) (기존 동일배합 Plain 콘크리트 대비)	질
			시멘트 대체 가능 바인더 발굴 검증 건수	양
	• 실증기반 CCU 콘크리트 최적화 설계·제조 시스템 생산 기술 개발	0.4	CO ₂ 감축량 확보 정도	질
			CO ₂ 흡수량 확보 정도	질
			압축강도 향상률(%)	질
	• CCU 콘크리트 실증 및 전주기 평가 기술 구축 및 고도화	0.3	CCU 콘크리트 구조설계 기준(안) 및 실증기술 개발	양
			LCA 평가 기법(안) 방안 개발	양
			탄소감축 외부 방법론 개발	양

※ 사업 특성상 필요시 '3단계' 사업추진 단계로 양식을 변경하여 추가·작성 가능

3. 사업평가 계획(중간평가 자체평가 실시연도 기재)

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
Y+3 ①	Y년도~Y+2년도 (총 3년)/oo단계 ②	③	④

4. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동(해당하는 경우 추가 작성)

- 해당사항 없음

5. 성과 관리·활용 계획서 및 효과성 분석 보고서 제출 계획 (계속사업은 작성 불요)

사업 종료 연도	성과 관리·활용 계획서 제출 연도	효과성 분석 보고서 제출 연도
①	②	③

사업명: 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발사업

작성자	작성 부서	△△국(실) ◇ ◇과	작성 실무자 및 연락처	○○○사무관(주무관) / 전화번호 / e-mail
	작성 책임자	◇◇과장 ○○○		○○○기관 ○○○연구원/ 전화번호 / e-mail ①

① 부처 담당자 외 유관기관 담당 실무자가 있을 경우 기관명과 담당자 성명, 직책, 연락처를 기재

※ 아래 양식을 준용하여 탄력적으로 작성하되, **향후 중간평가의 기준**이 되므로 각 항목들을 구체적으로 기술해야 하며 필요시 별도 참고자료 첨부 가능

1. 사업개요

① 사업명

사업명	단위사업	도로기술연구(R&D)
	세부사업	탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발
	내역사업	탄소발생량 70%이상 저감을 위한 Carbon Free 기반 도로 재료 및 시공 기술 개발

② 사업목적

사업목적	① (500자 이내 작성)

③ 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	○ 도로법 제58조(도로와 관련한 연구·개발 사업 등) ○ 국토교통과학기술 육성법 제8조(연구개발사업의 추진) ○ 국가통합교통체계효율화법 제98조(교통기술 연구·개발사업의 추진)
	상위계획	○ 윤석열 정부 120대 국정과제 - 윤석열 정부의 국정비전은 “다시 도약하는 대한민국, 함께 잘 사는 국민의 나라”로 이를 달성하기 위한 국정목표로 정치, 경제, 사회, 미래, 외교안보, 지방시대를 제시 ○ 윤석열정부는 120대 국정과제를 제시하며, 국정운영을 약속하고 있으며, 경제 국정목표인 “민간이 끌고 정부가 미치는 역동적 경제” 국정목표에서 제조업의 그린전환에 대한 지원을 명시 - 약속5 “핵심전략산업 육성으로 경제 재도약을 견인하겠습니다”의 국정과제23 “제조업 등 주력산업 고도화로 일자리 창출기반 마련”은 저탄소 시대를 선도하는 제조업의 그린전환을 가속화 명시 · 제조업의 그린전환의 내용으로 주력산업의 탄소중립 한계기술 돌파를 위한 전용 R&D 사업 신설, R&D 시설투자 세액공제 대상 확대 등 지원 강화 · 중소·중견기업 대상 클린팩토리 구축 및 탄소 다배출산업 집적 지역의 기업·근로자 대상 정의로운 저탄소 전환 지원사업 추진

4 사업 현황

사업구분	계속사업 ☐ 기한사업 ☒ ④		
사업추진방식	상향식 ☐ 혼합식 ☐ 하향식 ☒ ⑤		
사업유형	공공기술개발		
다부처 여부	해당없음	참여부처 (다부처사업)	해당없음
사업기간	'26년~'29년	총사업비	(국고지원 기준) 21,850.5
사업규모	단일과제	지원대상	대학, 출연(연), 기업연구소 등
지원형태	출연	지원조건	출연(과제별 기업참여 시 Matching)
사업시행주체	국토교통부(국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	해당없음		

5 사업추진체계 및 전략

사업수행주체	수행주체	역할 세부내용
	국토교통부	○ 사업정책 총괄, 연도별 시행계획 수립 및 성과평가
	국토교통과학기술진흥원	○ 연구개발 과제사업 기획·관리·평가 등
	자문위원회	○ 기술수요조사 및 기업, 연구소 대학 등 전문가 자문
	연구과제 평가단	○ 연구과제 선정·중간·최종평가
	주관연구기관	○ 연구과제 수행, 성과 및 활용실적 보고
사업추진전략	추진전략	
	☐ 사업목적 및 추진전략 ☒ 사업목표 및 전략목표	

사업 비전	도로포장 혁신재료 및 무가열 시공 기술 실용화로 건설분야 탄소배출량 감축에 기여	
사업 목표	탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 개발	
성과 목표 및 성과 지표	구분	무가열 아스팔트 재료, 무가열 현장 재활용 시공 장비, 도로용 혁신 재료 개발
		1단계(기술확보) (26~27) 2단계(실용화) (28~29)
		- 고품량 고품분 유화 아스팔트 제조 기술 개발 - 한국형 무가열 현장 재활용 장비 핵심 기술 개발 - 도로용 바이오매스 기반 콘크리트 포장재 개발 - 전단면 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 현장 실증 - 한국형 무가열 현장 재활용 장비 개발 및 현장 실증 - 도로용 바이오매스 기반 도로포장 현장 실증
산출		
추진 전략	무가열 도로포장 시공 기술 개발을 통한 탄소배출량 저감	상온 현장 재활용 포장 기술 개발을 통한 친환경 도로 보수 실현 자동차 도로에 적용 가능한 친환경 혁신 재료 개발로 세계시장 선점

사업구성		
Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술	자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술	바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발
고함량 고품분 유화 아스팔트 국산화 기술 개발	한국형 CIRB 시공 장비 개발	Bio-Polymer 바인더 국산화 기술 개발
고점도 유화 아스팔트 대량 생산 기반 기술 개발	한국형 CIRB 재료 국산화 기술 개발	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술 개발
고성능 무가열 재활용 아스팔트 포장 기술 개발	노후 아스팔트 포장 구조적 성능 복원 유지보수 기술 개발	도로용 Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산 및 시공 기술 개발

○ 추진전략

- (연구단계) ‘탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술개발’과 관련한 외부 환경변화 및 정책적 추진현황, 산업·시장 등을 고려하여 SWOT 기반 연구개발 조사·분석을 수행하고 핵심기술(Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술, 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 및 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발 등) 개발과 테스트베드 실증 및 고도화를 1, 2단계로 구분하여 연구추진
- (실용화 기반 마련) ‘탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 개발’ 사업의 최종목표 달성 및 실용화 추진을 위해 과제별 성과물의 통합 실증을 위한 시범사업’을 예정하고 있으며,
- 성구성과의 검증 및 기술적 성과물의 완성도 제고를 기반으로 법·제도화 기반 마련을 통한 실용화 및 사업화 마중물 역할 제고

R&D 전주기 사업관리 계획

□ (사업추진절차) 과제 발굴·기획 → 과제 선정 → 과제 관리 → 과제종료

○ (과제 발굴 및 기획) 기술수요조사*를 통해 연구과제를 발굴하고, 필요시 사전

단계로 기획연구 수행(총 연구비 50억원 이상 경우 등)

* On-line을 통한 상시 수요조사 및 Off-line을 통한 반기별(매년 1월, 7월) 수요조사 병행 추진

* 국가R&D사업 일몰제 도입에 따른 예산성 대형사업 기획연구 추진 중(KAIA 기획그룹)

- (신규과제 선정) 사업담당관(실·국)이 우선순위를 매겨 국토교통과학기술정책팀 담당관에게 제출하면, 별도 선정회의를 통해 예산편성안에 반영

* 과기부(4~7월), 기재부(8월), 국회 예산심의(~12월)를 거쳐 신규 추진여부 확정

- (과제 확정 및 관리) 예산에 반영된 신규과제는 진흥원을 통해 차년도에 연구자 선정을 거쳐 평가·성과 관리 등 과제 관리 진행

* 계속사업의 경우, 매년 차년도 투입 예산요구 및 결산, 성과평가 업무 추진

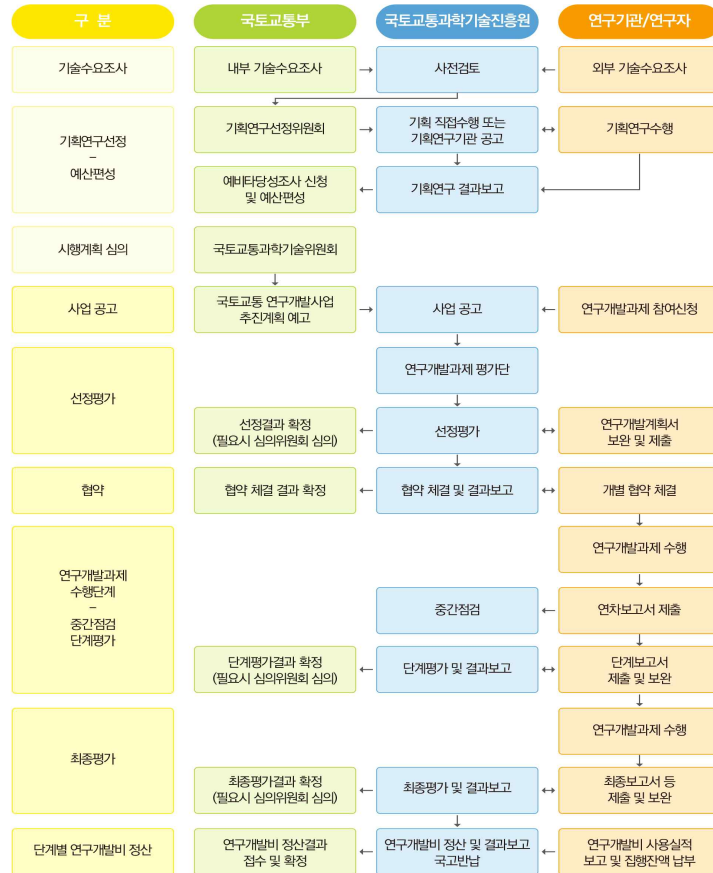
- (과제 종료) 최종 평가를 통해 과제의 성공·실패를 결정

- (성과활용·확산) 성과 확산을 위한 범부처연구통합지원시스템(IRIS) 활용, 추적평가, 공모전, 전시회 등 활동을 정기적으로 추진

－ 성과 및 사업화정보 시스템 활용 : 사업의 성과관리를 위하여 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 운영 중인 범부처연구통합지원시스템(<http://iris.go.kr>) 이용

－ 국토교통기술대전 개최 : 매년 국토교통 R&D 성과물에 대한 대국민 홍보와 기술교류 확산을 위해 국토교통 R&D 우수성과 전시 등을 추진

－ 국토교통 R&D 대표성과 사례집 발간 : 매년 대국민을 대상으로 국토교통 R&D 성과물에 대한 홍보추진을 위해 대표성과 사례집 발간



	위험요인 및 극복방안 [건설연]	
	위험요인	극복방안
위험요인 및 극복방안 [건설연]	④ (각 200자 이내 작성) (법·제도적 위험요인) 연구개발을 통해 창출 예정인 주요 핵심 성과(탄소저감형 도로포장 기술 등)의 확산 및 실용화 추진을 위한 법·제도적 기반이 미흡 (성능) 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 과정에서 발생하는 탄소배출량 저감을 위해 상온 아스팔트 포장 기술이 필요하나, 現, 기술적 한계로 가열 아스팔트 포장 기술 대비 현저히 낮은 성능 발휘로 설계, 생산 및 시공 기술 개발 한계 (기술장벽) 노후 도로의 구조적 성능 복원 및 바이오 매스 기반 신소재 관련 기술은 해외에서는 많이 적용되고 있는 기술로 국내 활용을 위한 성능 기준은 미비한 상태임. 이를 국내 도로 환경 적용에 있어 기술개발 및 혁신적 연구성과 창출에 한계가 존재	⑤ (각 200자 이내 작성) 국토교통부 등 발주기관과 적극 협력하여, 시범사업 후 연구성과 관련 기준(시방서, 지침) 제·개정(안)을 제시하고, 관련 홍보를 통해 실용화 기반 확보 기존 상온 아스팔트의 문제점을 파악하고 겨울철 도로 결빙 환경을 효과적으로 재현할 수 있는 실증시설을 구축하고, 적용 가능한 체계적인 실험방법론 창출 및 결빙 방지를 위한 핵심 기술의 지속 검증을 통해 기술적 안정성 확보 및 성능 목표 달성 추진 국내 도로 도로환경에 맞는 성능 기준에 적합한 재료의 개발 및 적용 기술, 장비 개발, 국산화를 목표로 설정하여 기술적 한계 극복 및 경쟁력 확보 달성 기층용 플랜트 상온 재활용 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 기술이 개발되었으나, 동 과정은 노후 포장의 순환골재를 100% 활용하는 무가열 현장 재활용 아스팔트 포장 기술 개발을 목표로 함. 양생시간 단축 및 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 성능 향상을 위한 재료 기술 활용 연계 가능하며, 전통적인 도로포장 재료가 아닌 바이오매스 기반의 도로포장 혁신 재료 개발과 현장 무가열 아스팔트 포장 기술 등은 차별성을 가짐 정부 주도의 R&D 추진을 통해 공공제인 도로 인프라의 효율적인 운영·관리를 도모하고, COP21 협약에 따라 건설분야에서 탄소 저감 기술 개발 및 확산을 위한 운영 체계 마련을 수행할 예정임. 또한, 연구비 총액 편성 시 관련 분야 민간기업 및 기관 부담금 납부를 통해 기술의 혁신성 제고 및 사업화 촉진
	(유사기술) “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구(2012~2016)”에서는 재활용 순환골재 80% 활용 상온 재활용 아스팔트 포장 기술 개발 수행	
	(재원조달) 탄소저감을 위해 가열 없이 상온에서 생산하는 도로포장 기술은 국외에서 활용 중에 있으나, 대부분 저교통량 또는 기층용으로 일부 사용중에 있어 표층 및 중간층으로 활용하기 위한 연구개발은 난이도가 높으며, 민간차원에서 효과성 검을 위한 실도로 기반 인프라 여건을 자체적으로 구비하기 어려워 기술 혁신에 한계 존재. 특히 개발 기술에 대한 국가 차원에서의 법·제도화 기반 마련은 한계 존재	
	(민원) 탄소저감 혁신재료 기반 도로포장 기술 개발 후, 국도(일반, 고속) 및 지방도 대상 실용화 시 정량적 탄소발생량 분석에 따라 이해관계자 (지자체 등) 민원 발생 가능성 존재	체계적인 탄소저감 혁신재료 기반 도로포장 기술 개발 및 정량적인 탄소배출량 평가 기준 도출을 위해 전체 연구기간동안 산·학·연(총 9개 기관)이 모두 참여하고, 민·관 이해관계자와의 지속적 소통 및 의견수렴을 추진하여 상호 수용성이 확보된 객관적인 평가(안)을 개발
수혜자	○ (탄소저감 혁신재료 기반 도로포장 기술) 도로 운영·관리 주체(한국도로공사, 지자체, 국토관리청 등)	

⑥ 사업기대효과

과학기술적 기대효과	○ Hyper-emulsion 핵심 소재 및 국산화 기술, 바이오 폴리머 신소재 원천기술 개발로 미래 사회변화를 선도할 국가 차원의 소재 개발 및 건설 분야 응용 기술 확대 - 건설용 핵심소재에 대한 원천기술 확보를 통해 해외기술 의존도 해소 및 세계 최고 수준의 개술 경쟁력 확보 ○ 무가열 현장 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 공용성능 확보를 통한 하부단면(중간층, 기층)의 보수에 사용 가능한 재료의 원천 기술 확보 - 국내 노후 아스팔트 포장의 효율적 단면 보수공법 적용을 통한 노후 도로포장의 구조적 성능 개선 및 수명 연장을 위한 전환 기반 마련 - 국내 도로환경에 적합한 한국형 현장 상온 재활용 아스팔트 포장 시공장비 최적화(소형화, 모듈화, 성능 효율화 등)를 통한 현장 적용 효율성 향상 ○ 신설보다 도로포장 유지관리 비용의 지속적 증가로 유지보수 공사에 확대 적용함으로써 도로포장 공사에서 발생하는 탄소중립 기술로서의 가치 확대 - 도로포장 유지보수 시장은 지속적으로 증가될 것이며, 특히 30년 이상 노후 도로포장 유지보수 비용 기하급수적으로 증가가 예상되어 도로포장의 수명 및 서비스 향상을 위한 새로운 패러다임의 유지보수 기술 확보
사회경제적 기대효과	○ 가열 아스팔트 혼합물 생산 공정에서 무가열 순환 아스팔트 포장 기술로 전환함에 따라 탄소발생 저감 효과 연간 70.0%(0.4백만tCO2eq) 이상 절감 가능 - 가열 아스팔트 혼합물 생산 공정에서 무가열 순환 아스팔트 포장 기술로 전환함에 따라 화석연료비 연간 934억 원/년 절감 - 기존 가열 아스팔트 포장 공법에서 배출되는 탄소배출량은 약 54%가 아스팔트 생산 공정에서, 약 30%가 아스팔트 바인더 제조 공정에서, 약 13%가 골재생산 공정이며, 약 3%가 시공과정에서 발생되므로 생산공정에서 탄소배출량을 감소할 경우 약 60% 이상 탄소배출량 감소 가능 ※ 도로건설 시(기층, 중간층, 표층), 탄소발생량 평균 745톤/km/lane으로 추정(약 131대 연간 승용차 탄소배출량) - 아스팔트 포장 표층 1km 시공 시, 발생하는 탄소배출량은 총 456.2톤(Ma et al., 2016)으로 2022년 국내 아스팔트 혼합물 총 생산량※으로 환산할 경우, 도로포장 부분에서 약 13,336톤 감소 ※ 아스팔트 포장 1km 시공 시 필요 아스팔트 혼합물량 411톤, 2022년 기준 총 생산량 20,046톤으로 이를 상온/무가열 아스팔트 혼합물로 대체할 경우, 연간 13,336톤 탄소발생량 감소 ○ 도로인프라 건설부분 탄소저감을 통해 ‘탄소중립 2050’ 목표를 조기달성하고, 건설부분 순순환 시스템 구축 기반 마련 및 자발적 온실가스 저감 활동을 기대 - 기존 아스팔트, 시멘트 콘크리트 제품을 대체 가능한 환경기술로 활용할 수 있으며, 탄소저감 등 그린뉴딜 정책반영이 가능 - 도로포장에서 발생하는 탄소를 저감하여 총 탄소배출량 저감을 통해 그린신사업 추진가능, 성능개선에 의한 생애주기 변경으로 도로포장 유지보수(소파보수, 덧씌우기 등) 예산 절감 - 기후변화로 인한 열섬현상 저감, 소음저감 등 정부 및 지자체에서 적극적으로 시행하고 있는 정책에 반영이 가능 ○ 친환경 신소재를 활용한 도로포장 건설 기술개발 및 수정 보완을 통해 재료-도로 융합연구에 대한 국내외 기술 우선순위 선점과 후속연구의 활발한 추진이 기대됨

7 사업 내용

예산 규모	<2026년도 신규사업>						
	(단위 : 백만원)						
	구분		2026	2027	2028	2029	
예산 규모	□ (세부) 탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발(R&D)		22,000	2,594	6,817	7,878	4,711
	▪ (내역) 탄소발생량 70%이상 저감을 위한 Carbon Free 기반 도로 재료 및 시공 기술 개발		22,000	2,594	6,817	7,878	4,711
세부내용	내역사업		주요 내용				
	탄소저감형 도로포장 혁신재료 및 시공 기술 개발		○ Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술 ○ 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 ○ 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발				
	연차별 추진내용(로드맵)						
	단계	연도	연차목표	핵심목표 및 내용			
	1	2026	기능 요구사항 기반 핵심 기술 개발 및 기술성과 고도화	(구성기술1) Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술 ① (유화 아스팔트) HIPR 제조 방법론 정립을 통한 유화 아스팔트 핵심소재 기반 재료 설계 기술 개발 등 ③ (전단면 적용 도로포장 기술) 무가열 순환 아스팔트 포장 전단면 적용을 위한 단면설계 기반 정립 및 요구성능 분석, 공용성능 최소기준(안) 마련 등 (구성기술2) 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 ① (한국형 CIRB 장비 개발) 해외 CIR 시공 장비 분석 및 검토를 통한 CIR 장비 모듈 장치 선정, Lab Unit 기반 모듈화 모색, 보조장비(AP 탱크, 롤러 등) 개선 방향을 수립하고 소형화 장비 설계 등 ② (한국형 CIRB 재료 국산화) 고성능 CIRB 재료 개발을 위한 재료(첨가제, 바인더 등) 검토 및 기초 물성 평가 등 ③ (아스팔트포장 구조적 성능 복원) 국내 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 평가 기술 개발 계획 수립 및 구조적 성능 평가 요소 검토 등 (구성기술3) 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발 ① (Bio-Polymer 바인더 국산화) 바이오매스 기반 바이오 폴리머 바인더 제조기술 개발 ② (Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술) 바이오 폴리머 콘크리트 포장 공법 개발 방향 정립 ③ (전용 생산 및 시공 기술) 도로용 Bio-Polymer 콘크리트의 생산/시공/유지관리 개발방향 정립			
	2027		(구성기술1) Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술 ① (유화 아스팔트) 고품분 90% 이상 고함량 유화 아스팔트 제조 기술 개발 및 재료설계, 성능검증을 통한 최적화 등 ② (유화 아스팔트 제조 설비) HIPR 기반 Pilot-scale 제조설비 설계 및 유화 아스팔트 제조, 품질평가 등				

단계	연도	연차목표	핵심목표 및 내용
2			③ (전단면 적용 도로포장 기술) 고성능 고품량 유화 아스팔트 활용 무가열 순환 아스팔트 혼합물 배합설계(안) 제시 및 실내 공용성 평가를 통한 최적화 기술 확보 등 (구성기술2) 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 ① (한국형 CIRB 장비 개발) 한국형 CIRB 장비 모듈화를 위한 시멘트 포설장치와 메인 장비 제작, AP 탱크 소형화 시제품 제작, CIRB 드럼 개조, 아스팔트 페이버 추가 다짐 장치 시제품 제작 등 ② (한국형 CIRB 재료 국산화) 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물의 양생기간 단축 및 품질확보를 위한 고성능 CIRB 국산화 재료 개발 등 ③ (아스팔트포장 구조적 성능 복원) 국내 노후 아스팔트 포장 구조적 성능 평가 체계 정립 등 (구성기술3) 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발 ① (Bio-Polymer 바인더 국산화) 도로용 바이오 폴리머 바인더 성능 평가 ② (Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술) Bio-Polymer 콘크리트 혼합물 배합설계 및 성능 기준 개발 ③ (전용 생산 및 시공 기술) Bio-Polymer 콘크리트 전용 생산/시공/유지관리 장비 개발
	2028		(구성기술1) Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술 ① (유화 아스팔트) 고점도 개질 유화 아스팔트 적용을 위한 저분자 개질첨가제 개발 및 HIPR 기반 고점도 개질 유화 아스팔트 제조 기술 개발, 최적 성능 확보 기술 개발 등 ② (유화 아스팔트 제조 설비) HIPR 기반 Pilot-scale 제조설비 운영 및 유화 아스팔트 성능 평가, 고점도 고품량 유화 아스팔트 제조에 따른 성능 최적화 등 ③ (전단면 적용 도로포장 기술) 전단면 도로포장 형식 및 단면설계, Test-bed 구축을 통한 생산 및 시공 기술 개발, 현장 공용성 평가 및 탄소배출량 분석 등 (구성기술2) 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 ① (한국형 CIRB 장비 개발) 한국형 CIRB 모듈화 시공 장비의 조립 및 시험 가동하고, CIRB 모듈화 장치 완제품을 활용한 현장 시험시공 등 ② (한국형 CIRB 재료 국산화) 고성능 CIRB 재료 기반 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 장기공용성 평가 및 CIRB 장비 적용 시험시공을 통한 실검증 등 ③ (아스팔트포장 구조적 성능 복원) 노후 아스팔트 포장 수준별 CIRB 공법 적용 테스트베드 구축 및 실검증 등 (구성기술3) 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발 ① (Bio-Polymer 바인더 국산화) 도로용 바이오 폴리머 바인더 성능 최적화 ② (Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술) Bio-Polymer 콘크리트 포장 공법 성능 최적화 ③ (전용 생산 및 시공 기술) Bio-Polymer 콘크리트 대량생산, 시공/유지관리 최적화 기술 개발
	2029	기술별 성과 고도화 및 실검증	(구성기술1) Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로 포장 기술 ② (유화 아스팔트 제조 설비) HIPR 기반 Pilot-scale 제조 설비 운영 및 제조 공정 최적화 기술 개발, 대량생산 설비 설계 기술 개발, 설비 운영 및 제조 공정 가이드라인(안) 개발 등 ③ (전단면 적용 도로포장 기술) 도심지 내 시범사업

단계	연도	연차목표	핵심목표 및 내용
			구간 선정 및 구간 특성(교통량, 기후조건 등)에 따른 단면 설계, 탄소저감 및 성능 실검증 평가, 탄소배출량 저감 분석 등을 통한 법·제도화 기반 마련 등 (구성기술2) 자원순환 100% 재활용 In-Place 무가열 도로포장 기술 ① (한국형 CIRB 장비 개발) 한국형 CIRB 장비의 국산화 개조 소형화 장치의 문제점 보완을 통한 CIRB 모듈화 장치의 보완 및 최적화, 품질향상 검증 등 ② (한국형 CIRB 재료 국산화) 고성능 CIRB 재료 기반 무가열 현장 재활용 아스팔트 혼합물 성능 최적화 및 실무 적용 제도화 방안 마련 등 ③ (아스팔트포장 구조적 성능 복원) 노후 아스팔트 포장 성능 복원 기술 적용을 위한 노후 아스팔트 포장 수준별 한국형 CIRB 기술 현장 적용 시공 가이드라인(안) 마련 등 (구성기술3) 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술 개발 ① (Bio-Polymer 바인더 국산화) 도로용 바이오 폴리머 바인더 제조설비 구축 기반 정립 ② (Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술) 기후변화 적응 및 도시환경 개선을 위한 응용기술 개발 ③ (전용 생산 및 시공 기술) Bio-Polymer 콘크리트 포장 Test-bed 구축 및 품질관리 방안 정립

2. 단계별 성과목표 및 지표

① 전략목표

전략목표	탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 개발로 저탄소 친환경 도로포장 인프라 건설 기반 마련

가. 1단계 성과목표 및 지표

② 단계별 성과목표

단계(평가주기)		1단계		기간		2026~2028	
단계별 성과목표						관련 내역사업명	
성과목표-1	Hyper-emulsion 핵심 소재 및 구현 기술 개발 * 90% 이상 고품량 emulsion 기술(시제품), 고품량 유화 아스팔트 생산 및 시공 기술 등	가중치	0.4	설정 근거	○ 상온 아스팔트 포장용 유화 아스팔트는 고형분 약 60% 전/후로 잠재적으로 양생 후(수분증발 등) 포장체 내 다량의 공극 발생 현상으로 내구성 확보가 어려운 현행 유화 기술을 효율적으로 개선할 수 있는 국산화 소재 및 적용 신기술이 중요하므로, 이를 위한 핵심기술 개발을 성과목표로 설정	탄소발생량 70%이상 저감을 위한 Carbon Free 기반 도로 재료 및 시공 기술 개발	
성과목표-2	국내 도로 환경을 고려한 CIRB 시공 장비 및 고성능 CIRB 국산화 재료 개발 * 시공장비 모듈화 기술 개발 ** 양생시간 단축 및 강도 확보를 위한 다기능 아스팔트 바인더 및 첨가제 개발	가중치	0.4	설정 근거	○ 국내 노후 도로포장의 구조적 성능 개선을 위한 빠른 현장 적용을 위해 한국형 CIRB 시공장비 및 고성능 CIRB 국산화 재료 개발을 성과목표로 설정		
성과목표-3	바이오 매스 기반 탄소저감 도로포장 기술 * Bio-Polymer 바인더 국산화 및 도로포장 적용기술	가중치	0.2	설정 근거	○ 기존 시멘트/아스팔트 도로포장을 100% 대체 가능하고 종교통량 이상 자동차 전용도로 적용가능한 Bio-Polymer 바인더 국산화 및 콘크리트 포장기술 개발		

③ 성과지표

단계별 성과목표명		가중 치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			성과 분야	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2026	2027	2028				
성과 목표 -1	Hyper-emulsion 핵심 소재 및 구현 기술 개발	0.4	유화 아스팔트 성능 목표 달성도	%	목표	70	80	90	기술	결과	✓	○ 유화 아스팔트 내 고형분 함량은 무가열 아스팔트 혼합물의 성능 및 내구성을 좌우하는 것으로 HIPR 기반 90% 이상 고함량* 유화 아스팔트 개발 목표를 원활히 달성하기 위하여 유화 아스팔트 내 잔류분, 잔류분의 입자크기, 점도 특성, 저장안정성을 주요지표로 설정 * HIPR(High Internal Phase Ratio)
					실적							
			무가열 순환 아스팔트 혼합물 성능 목표 달성도	%	목표	70	80	90	기술	결과	✓	○ 고함량 유화 아스팔트를 활용한 무가열 순환 아스팔트 혼합물을 전단면(표층, 중간층, 기층)에 적용하기 위하여 기존 가열 아스팔트 혼합물 성능 대비 동등 그 이상의 공용성능* 확보와 교통개방 시간을 고려한 최소 양생시간을 주요지표로 설정 * 공용성능 항목 : 동탄성계수(Dynamic Modulus), 피로균열(N _f), 소성변형률(ε _p /ε _g)
					실적							
성과 목표 -2	국내 도로 환경을 고려한 CIRB 시공 장비 및 고성능 CIRB 국산화 재료 개발	0.4	한국형 CIRB 시공 장비 개발		목표	50%	80%	100%	기술	결과	✓	○ 국내 아스팔트포장의 기층 유지보수 시 1일 시공길이 기준 이상을 만족하는 혼합물 생산량을 주요 지표로 설 정 ○ 해외 CIR 시공장비 중량 50톤 이상 대비, 국내 도로환 경을 고려하여 이동성 및 작업성을 확보하기 위한 한국 형 CIRB 시공 장비 중량을 주요 지표로 설정
					실적							
			고성능 CIRB 국산화 재료 개발		목표	60%	80%	100%	기술	결과	✓	○ 현장 순환골재 100% 재활용, 24시간내 양생 및 간접인 장강도 0.4Mpa를 만족하는 다기능성 아스팔트 바인더 및 첨가제 개발을 주요 지표로 설정
					실적							
성과 목표 -3	바이오 매스 기반 탄소저감 도로포장 기술	0.2	Bio-Polymer 바인더 국산화	%	목표	50	70	100	기술	결과	✓	○ 도로포장 공사에 요구되는 생산/운반/시공 가능하기 위한 가사시간, 도로포장 시공후 교통개방 시간 감소를 위한 경화시간, 대형 장비를 활용한 기계화 시공성 확보를 위한 점도 성능을 주요지표로 설정
					실적							
			Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술	%	목표	50	70	100	기술	결과	✓	○ 중교통량 이상 자동차 전용도로에 요구되는 도로포장의 성능인 휨강도(도로설계기준), 동적안정도(배수성 아스 팔트 혼합물 기준), 전단 접착강도(일반 아스팔트 도로 포장 기준) 성능을 주요지표로 설정
					실적							
계												

④ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																										
유화 아스팔트 고형분 90% 이상 확보	○ 최종 산출물인 유화 아스팔트 고형분 90% 이상 확보한 무가열 순환 아스팔트 혼합물용 고성능 유화 아스팔트 개발을 위하여 단계별 연구개발 추진 시 도출되는 주요 시제품(핵심소재 및 재료, 제조방법)의 주요 성능상 목표 달성도 점검 - (1단계, '26~'28) 본 지표는 '27년 목표치부터 산정'하며, 단계별 연구개발계획 및 성과물 창출 수준을 고려하여 1단계 2차에서는 80% 이상의 고형분 확보 기술 개발과 1단계 3차에서는 고형분 90% 이상 확보가 가능한 수준으로 목표를 설정 · 고형분 함량, 유화 아스팔트 내 고형분 입자크기(단일모달 형태, 5μm 이하), 점도(20~100 cSt) 등의 3가지 요소에 가중치를 부여하고 성능목표 달성을 위해 연평균 증가율 20.0%를 반영하여 완성도를 측정 ※ (기술 현황) 현행, 상온 재할용 아스팔트 혼합물용 유화 아스팔트의 고형분은 62% 전/후로 사용중에 있으며, 유화 아스팔트 생산 장비인 밀(mill) 장비를 활용할 경우, 최대 70% 전/후의 고형분 함량을 가진 유화 아스팔트 제조 가능 - 세계최고 수준은 고형분 함량 80%를 가지는 것으로 나타나고 있으나, 제조 후 유화 아스팔트의 안정성(상분리 등) 확보가 어려우며, 고형분 80% 이상으로 제조 시, 점도가 급격하게 증가하게 되어 혼합물의 혼합 및 다짐에 어려움이 있어 고형분 90% 이상 확보 기술은 세계최고수준으로 선정하고 국내의 사례를 참조하여 연도별 기술구현 달성가능 목표 선정 < '유화 아스팔트 고형분 90% 이상 확보 시제품(소재 및 재료)' 연차단계별 성능목표 > (단위 : %, μm, cSt) <table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">가중치</th><th colspan="3">1단계</th><th>2단계</th></tr><tr><th>'26</th><th>'27</th><th>'28</th><th>'29</th></tr><tr><td>고형분 함량</td><td>40</td><td rowspan="3">—*</td><td>80</td><td>90</td><td>90</td></tr><tr><td>고형분 입자크기</td><td>30</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr><tr><td>점도</td><td>30</td><td>100</td><td>50</td><td>50</td></tr></table> * '26년에는 유화 아스팔트의 핵심소재 선정 및 제조 방법 등 선행연구 수행 ** '29년에는 3년('26~'28)동안 개발한 연구개발성과를 공용도로에서 검증하여 신뢰성을 확보하고, 현장 중심의 운영 매뉴얼/가이드라인 제시 예정	구분	가중치	1단계			2단계	'26	'27	'28	'29	고형분 함량	40	—*	80	90	90	고형분 입자크기	30	10	10	10	점도	30	100	50	50	[측정산식] ○ 유화 아스팔트 고형분 확보 성능목표 달성도 = $\sum \{ (\text{고형분 함량} \div 90(\%) \times 0.4) + (\text{고형분 입자크기} \div 5(\mu\text{m}) \times 0.3) + (\text{점도} \div 50(\text{cSt}) \times 0.3) \} \times 100(\%)$ [측정시기 및 방법] ○ (측정기간) 1.1.~12. 31.(당해) ○ (측정시기) NTIS 성과입력 완료시기 (다음해 1월 말 예정) ○ (측정방법) 범부처통합연구지원시스템(IRIS)이나 관련 증빙자료(시험성적서, 연차 단계보고서 등) 검증을 통해 목표 대비 연구성과 달성 여부 측정, 각 항목별로 독립적으로 측정값을 산출하며, 부여된 가중치 최고점을 초과하여 합산하지 않음	범부처통합연구지원시스템(IRIS) · 연차 단계보고서 · 시험성적서
구분	가중치			1단계			2단계																						
		'26	'27	'28	'29																								
고형분 함량	40	—*	80	90	90																								
고형분 입자크기	30		10	10	10																								
점도	30		100	50	50																								
무가열 순환 아스팔트 혼합물 공용성능 10년 이상 확보	○ 개발 유화 아스팔트를 활용하여 가열 아스팔트 혼합물과 동등 또는 그 이상의 성능 확보를 위해 도로포장의 단면설계 인자인 피로균열, 소성변형, 탄성계수 등 물리적 특성을 고려하여 최적 성능을 도출해야 하므로 해당기술(재료설계 및 생산, 시공 등)의 재료 최적화가 중요하여 해당 항목 달성여부 점검 - (1단계, '26~'28) 도로포장의 설계수명 10년 이상 확보하기 위하여 무가열 순환 아스팔트 혼합물의 배합설계 방법을 개발하고 단면설계 재료 인자(피로균열, 소성변형률, 탄성계수 등)를 기반으로 물리적 성능과 조기교통개방을 위한 양생시간을 8시간 이내로 최종 목표로 설정함 · 도로포장의 공용수명(설계수명 10년) 확보를 단면설계 인자인 탄성계수, 피로균열, 소성변형률 등 물리적 특성과 조기교통개방을 위한 양생시간에 각각 가중치를 부여하여 측정하고 연평균 증가율을 20.0% 반영하여 완성도를 측정 ※ (기술 현황) 기존 연구는 무가열 도로포장 재료에 대한 기술개발 보다는 현재 성능을 기반으로 적용처(low volume traffic 구간 또는 기층용)를 선정하여 살때 연구 중심으로	[측정산식] ○ 무가열 순환 아스팔트 혼합물 공용성능 = $\sum \{ (\text{피로균열} \div 10,000(N_f) \times 0.2) + (\text{소성변형률} \div 1(\%) \times 0.2) + (\text{탄성계수} \div 12,000(\text{MPa}) \times 0.2) + (\text{양생시간} \div 8(\text{hr}) \times 0.4) \} \times 100(\%)$ [측정시기 및 방법] ○ (측정기간) 1.1.~12. 31.(당해) ○ (측정시기) NTIS 성과입력 완료시기	범부처통합연구지원시스템(IRIS) · 연차 단계보고서 · 시험성적서																										

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																			
	연구가 진행되었으며, 성능 개선과 관련된 연구는 전무한 상태임 - 상온 재활용 아스팔트 포장 공법은 포장의 양생시간, 공용성능 확보 등 기술적 한계로 인해 대부분의 국가에서는 기층용으로 일부 사용중에 있으며, 포장의 상부층인 중간층 및 표층에 적용된 사례는 전무하므로 본 연구에서 개발되는 기술이 세계최고 수준으로 동일 기술이 아닌 전통적인 포장공법인 가열 아스팔트 포장 기술 대비 연도별 기술구현 달성가능 목표 선정 < 'AI 기반 도로 노면표시 자동분석 기술 정확도' 연차-단계별 성능목표 > (단위 : Nr, %, MPa, hr) <table><tr><th colspan="2" rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">가중치</th><th colspan="3">1단계</th><th>2단계</th></tr><tr><th>'26</th><th>'27</th><th>'28</th><th>'29</th></tr><tr><td rowspan="3">공용성능</td><td>피로균열</td><td>20</td><td rowspan="3">-</td><td>8,000</td><td>10,000</td><td>10,000</td></tr><tr><td>소성변형률</td><td>20</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>탄성계수</td><td>20</td><td>10,000</td><td>12,000</td><td>12,000</td></tr><tr><td colspan="2">양생시간</td><td>40</td><td></td><td>10</td><td>8</td><td>8</td></tr></table> * '26년에는 유화 아스팔트 미개발 기간으로 무가열 순환 아스팔트 혼합물에 대한 사전연구 수행 ** '29년에는 3년('26~'28)동안 개발한 연구개발성과를 공용도로에서 검증하여 신뢰성을 확보하고, 현장 중심의 운영 매뉴얼/가이드라인 제시 예정	구분		가중치	1단계			2단계	'26	'27	'28	'29	공용성능	피로균열	20	-	8,000	10,000	10,000	소성변형률	20	3	1	1	탄성계수	20	10,000	12,000	12,000	양생시간		40		10	8	8	(다음해 1월 말 예정) ○ (측정방법) 범부처통합연구지원시스템(IRIS)이나 관련 증빙자료(시험성적서, 연차-단계보고서 등) 검증을 통해 목표 대비 연구성과 달성 여부 측정, 각 항목별로 독립적으로 측정값을 산출하며, 부여된 가중치 최고점을 초과하여 합산하지 않음	
구분					가중치	1단계			2단계																													
		'26	'27	'28		'29																																
공용성능	피로균열	20	-	8,000	10,000	10,000																																
	소성변형률	20		3	1	1																																
	탄성계수	20		10,000	12,000	12,000																																
양생시간		40		10	8	8																																
한국형 CIRB 시공 장비 개발	○ 국내 아스팔트포장의 기층 유지보수 시 1일 시공길이(600m) 기준 이상을 만족하는 혼합물 생산량을 목표치로 산정 ○ 국내 도로교통법상 중장비 이동이 가능한 중량인 40톤 이하로 목표치 산정 <table><tr><th>구분</th><th>가중치</th><th colspan="3">1단계</th><th>2단계</th></tr><tr><th></th><th></th><th>'26</th><th>'27</th><th>'28</th><th>'29</th></tr><tr><td>혼합물 생산량(ton)</td><td>60</td><td rowspan="2">-</td><td>100</td><td>130</td><td>150</td></tr><tr><td>장비 중량(ton)</td><td>40</td><td>45</td><td>42</td><td>40</td></tr></table> * 혼합물 생산량 : 1일 8시간, 포설두께 20cm, 차로폭 3.5m 기준으로 산정하여 최종 시간당 150ton을 목표로 설정 ** '26년에는 기초적인 연구 및 방향설정을 수행하고, 2년('27~'28)동안 개발한 연구개발성과를 '29년에 공용도로에서 검증하여 신뢰성 확보 예정	구분	가중치	1단계			2단계			'26	'27	'28	'29	혼합물 생산량(ton)	60	-	100	130	150	장비 중량(ton)	40	45	42	40	[측정산식] ○ 아스팔트포장 기층 1일 시공기준 = 포설 두께(0.2m)*차선평(3.5m)*시공길이(75m)*아스콘 비중(2.35ton/m³) = 123.4ton/h ○ CIRB 시공장비 중량 목표 달성도 = CIRB 시공장비 중량 [측정시기 및 방법] ○ (측정기간) 1.1.~12. 31.(당해) ○ (측정시기) NTIS 성과입력 완료시기 (다음해 1월 말 예정) ○ (측정방법) 범부처통합연구지원시스템(IRIS)이나 관련 증빙자료(성적서, 연차-단계보고서 등) 검증을 통해 목표 대비 연구성과 달성여부 측정, 각 항목별로 독립적으로 측정값을 산출하며, 부여된 가중치 최고점을 초과하여 합산하지 않음	· 연차-단계보고서 · 중량 측정 성적서												
구분	가중치	1단계			2단계																																	
		'26	'27	'28	'29																																	
혼합물 생산량(ton)	60	-	100	130	150																																	
장비 중량(ton)	40		45	42	40																																	
고성능 CIRB 국산화 재료 개발	○ 현장 순환골재 100% 재활용, 24시간내 양생 및 간접인장강도 0.4Mpa 이상을 모두 만족하는 재료 개발로 목표치 산정	[측정산식] ○ 다기능 CIRB 국산화 재료 목표 달성도	· 연차-단계보고서 · 시험성적서																																			

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																										
	<table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">가중치</th><th colspan="3">1단계</th><th>2단계</th></tr><tr><th>'26</th><th>'27</th><th>'28</th><th>'29</th></tr><tr><td>재활용율(%)</td><td>40</td><td rowspan="3">-</td><td>50</td><td>80</td><td>100</td></tr><tr><td>양생시간(hr)</td><td>40</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td></tr><tr><td>간접인장강도(MPa)</td><td>20</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td></tr></table> * '26년에는 기초적인 연구 및 방향설정을 수행하고, 2년('27~'28)동안 개발한 연구개발성과를 '29년에 공용도로에서 검증하여 신뢰성 확보 예정	구분	가중치	1단계			2단계	'26	'27	'28	'29	재활용율(%)	40	-	50	80	100	양생시간(hr)	40	4	3	2	간접인장강도(MPa)	20	0.2	0.3	0.4	= 현장 순환골재 100% 재활용 + 24시간내 양생 + 간접인장강도 0.4Mpa 이상 확보 [측정시기 및 방법] ○ (측정기간) 1.1.~12. 31.(당해) ○ (측정시기) NTIS 성과입력 완료시기 (다음해 1월 말 예정) ○ (측정방법) 범부처통합연구지원시스템(IRIS)이나 관련 증빙자료(공인성적서, 연차-단계보고서 등) 검증을 통해 목표 대비 연구성과 달성여부 측정, 각 항목별로 독립적으로 측정값을 산출하며, 부여된 가중치 최고점을 초과하여 합산하지 않음	
구분	가중치			1단계			2단계																						
		'26	'27	'28	'29																								
재활용율(%)	40	-	50	80	100																								
양생시간(hr)	40		4	3	2																								
간접인장강도(MPa)	20		0.2	0.3	0.4																								
Bio-Polymer 바인더 국산화	○ 도로포장 공사에 요구되는 생산/운반/시공 가능하기 위한 가사시간 3시간 이상 확보, 도로포장 시공후 교통개방 시간 감소를 위한 경화 시간 8시간 이하, 대형 장비를 활용한 기계화 시공성 확보를 위한 점도 4,000cP 이하를 만족하는 Bio-Polymer 바인더 국산화 개발을 목표치로 산정 <table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">가중치</th><th colspan="3">1단계</th><th>2단계</th></tr><tr><th>'26</th><th>'27</th><th>'28</th><th>'29</th></tr><tr><td>가사시간(hr)</td><td>40</td><td rowspan="3">-</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>경화시간(hr)</td><td>40</td><td>12</td><td>8</td><td>8</td></tr><tr><td>점도(cP)</td><td>20</td><td>6,000</td><td>4,000</td><td>4,000</td></tr></table> * '26년에는 기초적인 연구 및 방향설정을 수행하고, 2년('27~'28)동안 개발한 연구개발성과를 '29년에 공용도로에서 검증하여 신뢰성 확보 예정	구분	가중치	1단계			2단계	'26	'27	'28	'29	가사시간(hr)	40	-	2	3	3	경화시간(hr)	40	12	8	8	점도(cP)	20	6,000	4,000	4,000	[측정산식] ○ Bio-Polymer 바인더 국산화 목표 달성도 = Σ {(가사시간÷3(hr)×0.4) + (8(hr)÷경화시간×0.4) + (4,000(cP)÷점도×0.2)}×100(%) [측정시기 및 방법] ○ (측정기간) 1.1.~12. 31.(당해) ○ (측정시기) NTIS 성과입력 완료시기 (다음해 1월 말 예정) ○ (측정방법) 범부처통합연구지원시스템(IRIS)이나 관련 증빙자료(공인성적서, 연차-단계보고서 등) 검증을 통해 목표 대비 연구성과 달성여부 측정, 각 항목별로 독립적으로 측정값을 산출하며, 부여된 가중치 최고점을 초과하여 합산하지 않음	· 연차-단계보고서 · 시험성적서
구분	가중치			1단계			2단계																						
		'26	'27	'28	'29																								
가사시간(hr)	40	-	2	3	3																								
경화시간(hr)	40		12	8	8																								
점도(cP)	20		6,000	4,000	4,000																								
Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술	○ 중교통량 이상 자동차 전용도로에 요구되는 도로포장의 성능인 휨강도 5MPa 이상, 동적안정도 3,000회/mm 이상, 전단 접착강도 0.27M	[측정산식] ○ Bio-Polymer 콘크리트 포장 목표 달성도	· 연차-단계보고서 · 시험성적서																										

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																										
	Pa 이상을 만족하는 Bio-Polymer 콘크리트 포장 개발을 목표치로 산정 <table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">가중치</th><th colspan="3">1단계</th><th>2단계</th></tr><tr><th>'26</th><th>'27</th><th>'28</th><th>'29</th></tr><tr><td>휨강도(MPa)</td><td>40</td><td rowspan="3">-</td><td>4</td><td>5</td><td>5</td></tr><tr><td>동적안정도(회/mm)</td><td>40</td><td>2,000</td><td>3,000</td><td>3,000</td></tr><tr><td>전단 접착강도(MPa)</td><td>20</td><td>0.15</td><td>0.27</td><td>0.27</td></tr></table> * '26년에는 기초적인 연구 및 방향설정을 수행하고, 2년('27~'28)동안 개발한 연구개발성과를 '29년에 공용도로에서 검증하여 신뢰성 확보 예정	구분	가중치	1단계			2단계	'26	'27	'28	'29	휨강도(MPa)	40	-	4	5	5	동적안정도(회/mm)	40	2,000	3,000	3,000	전단 접착강도(MPa)	20	0.15	0.27	0.27	= $\sum \{ (\text{휨강도} \div 5(\text{MPa}) \times 0.4) + (\text{동적안정도} \div 3,000(\text{회/mm}) \times 0.4) + (\text{전단접착강도} \div 0.27(\text{MPa}) \times 0.2) \} \times 100(\%)$ [측정시기 및 방법] ○ (측정기간) 1.1.~12. 31.(당해) ○ (측정시기) NTIS 성과입력 완료시기 (다음해 1월 말 예정) ○ (측정방법) 범부처통합연구지원시스템(IRIS)이나 관련 증빙자료(공인성적서, 연차 단계보고서 등) 검증을 통해 목표 대비 연구성과 달성여부 측정, 각 항목별로 독립적으로 측정값을 산출하며, 부여된 가중치 최고점을 초과하여 합산하지 않음	
구분	가중치			1단계			2단계																						
		'26	'27	'28	'29																								
휨강도(MPa)	40	-	4	5	5																								
동적안정도(회/mm)	40		2,000	3,000	3,000																								
전단 접착강도(MPa)	20		0.15	0.27	0.27																								

나. 2단계 성과 목표 및 지표

① 단계별 성과목표

단계(평가주기)		1단계		기간		2026~2028	
단계별 성과목표						관련 내역사업명	
성과목표-1	핵심기술의 성능 고도화 및 실·검증을 통한 완성도 제고 * Test-bed 구축 및 시범사업을 통한 기술 완성도 제고	가중치	1.0	설정 근거	○ 전단면 적용이 가능한 무가열 순환 아스팔트 도로포장 기술과 노후 도로포장의 구조적 성능 복원 기술 및 바이오 폴리머 도로포장 재료 국산화 소재 및 적용 신기술의 성능과 탄소저감 효과가 중요하므로 이를 위한 최적화 및 성능 목표 달성을 위한 Test-bed 구축을 성과목표로 설정 ○ 단기 연구성과들의 안정화 단계진입을 본격화하고, 과제별로 개발된 요소기술을 연계·통합한 시범사업 구간 선정 및 실·검증 등을 점검하기 위해 관련 지표를 성과목표로 설정	탄소발생량 70%이상 저감을 위한 Carbon Free 기반 도로 재료 및 시공 기술 개발	

② 성과지표

단계별 성과목표명		가중 치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치		성과 분야	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2028	2029				
성과 목표 -1	핵심기술의 성능 고도화 및 실·검증을 통한 완성도 제고	1.0	테스트 베드 구축·운영	%	목표	50	100	기술	결과	✓	○ 전략목표 달성을 위한 탄소발생량 70% 이상 저감을 위 한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 실증용 테스트 베드 구축 수준을 2단계('29) 성과 목표로 설정하고, 테 스트베드 및 시범사업 구축 계획 대비 달성 정도를 검증 하기 위해 주요 성과지표로 설정
					실적						
			시범사업 실·검증 이행률	%	목표	50	100	기술	결과	✓	○ 연구개발된 탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공의 핵심기술 성능평가 및 보완 을 위한 월단위 연계 실·검증 추진이 중요하여 주요 성 과지표로 설정
					실적						
계											

③ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																						
테스베드 구축·운영	○ Hyper-emulsion 기반 탄소배출량 70% 이상 저감 고성능 무가열 순환 아스팔트 포장 기술 개발에 따라 창출되는 주요 핵심성과의 신뢰성 확보를 위해 연차별 연구기간 및 세부내용을 고려하여 테스트베드 실증 기반 마련 및 운영 수준 확보 정도를 2단계 목표치로 설정 － (2단계, '29) Hyper-emulsion 기반 무가열 아스팔트 도로포장 기술, 자원순환 100% 재활용 In-place 무가열 도로포장 기술 및 바이오매스 기반 탄소 저감 도로포장 대체 기술의 성능평가를 위한 자체 테스트베드 설계·구축·운영과 도시 중심의 시범사업 구간 선정 및 설계, 구축, 운영 등을 점검하기 위해 해당지표를 선정 < 교통사고 유발 도로노면 위험요소 저감기술 개발사업 구축·운영 추진율 > (단위 : %) <table><tr><th colspan="3">구 분</th><th colspan="2">2단계</th></tr><tr><th colspan="3"></th><th>'28</th><th>'29</th></tr><tr><td rowspan="4">실</td><td rowspan="4">(Step ①) 테스트베드(자체) 구축·운영</td><td>테스트베드 구간 설계 및 적용기술 선정</td><td>20</td><td>50</td></tr><tr><td>탄소저감 재료 기반 도로포장 성능평가용 테스트베드 구축</td><td>－</td><td>100</td></tr><tr><td>테스트베드 운영 및 모니터링</td><td>－</td><td>100</td></tr><tr><td>적용 기술별 탄소저감 효과 분석</td><td>－</td><td>100</td></tr><tr><td rowspan="4">적</td><td rowspan="4">(Step ②) 성과 연계형 통합 시범사업구간 설계·구축</td><td>시범사업 대상 도로구간 선정 및 검증 계획 수립(특화도시 대상)</td><td>20</td><td>－</td></tr><tr><td>탄소중립 건설재료 기반 탄소저감 도로 포장 적용 기술 설계</td><td>50</td><td>75</td></tr><tr><td>시범구간 구축 및 운영</td><td>－</td><td>100</td></tr><tr><td>소계</td><td>50</td><td>100</td></tr></table>	구 분			2단계					'28	'29	실	(Step ①) 테스트베드(자체) 구축·운영	테스트베드 구간 설계 및 적용기술 선정	20	50	탄소저감 재료 기반 도로포장 성능평가용 테스트베드 구축	－	100	테스트베드 운영 및 모니터링	－	100	적용 기술별 탄소저감 효과 분석	－	100	적	(Step ②) 성과 연계형 통합 시범사업구간 설계·구축	시범사업 대상 도로구간 선정 및 검증 계획 수립(특화도시 대상)	20	－	탄소중립 건설재료 기반 탄소저감 도로 포장 적용 기술 설계	50	75	시범구간 구축 및 운영	－	100	소계	50	100	[측정산식] ○ 테스트베드 구축·운영 추진율 = $\frac{\sum \{\text{연도별 테스트베드 구축·운영 관련 실제추진율}(\%) / \text{목표추진율}(\%)\}}{2}$ [측정시기 및 방법] ○ (측정기간) 1.1.~12. 31.(당해) ○ (측정시기) NTIS 성과입력 완료시기 (다음해 1월 말 예정) ○ (측정방법) 범부처통합연구지원시스템(IRIS)이나 관련 증빙자료(연차·단계보고서 등) 및 전문가 검토의 견서를 통해 목표 대비 연구성과 달성여부를 연도별로 측정	· 범부처통합연구지원시스템(IRIS) · 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) · 연차·단계보고서
구 분			2단계																																						
			'28	'29																																					
실	(Step ①) 테스트베드(자체) 구축·운영	테스트베드 구간 설계 및 적용기술 선정	20	50																																					
		탄소저감 재료 기반 도로포장 성능평가용 테스트베드 구축	－	100																																					
		테스트베드 운영 및 모니터링	－	100																																					
		적용 기술별 탄소저감 효과 분석	－	100																																					
적	(Step ②) 성과 연계형 통합 시범사업구간 설계·구축	시범사업 대상 도로구간 선정 및 검증 계획 수립(특화도시 대상)	20	－																																					
		탄소중립 건설재료 기반 탄소저감 도로 포장 적용 기술 설계	50	75																																					
		시범구간 구축 및 운영	－	100																																					
		소계	50	100																																					
시범사업 실·검증 이행률	○ 현행 서울특별시는 도로 건설시 발생하는 탄소발생량을 원단위로 환산하여 탄소세를 적용하는 예결산제도를 적용중에 있으며, 이를 기반으로 서울특별시 내 유지보수 또는 신설되는 노선을 대상으로 총 연장 3km 이상을 선정 후 실증을 추진할 예정임. 해당 구간 내에서 탄소저감 건설재료를 기반으로 개발된 탄소저감 도로포장 기술(전단면 적용 기술, 구조적 성능 복원기술, 바이오매스 기반 도로포장 기술 등)에 대한 실증을 위한 3곳 이상을 선정하여 향후 실증할 예정 이므로, 연구성과 활용을 위한 시범사업을 당초 계획대로 추진하였는지를 점검 － (2단계, '29) 도로가 위치한 지역에 따른 분류(지선, 간선 등) 및 차로수에 따른 분류(2차로/4차로/6차로) 등에 따라 시범사업 구간을 선정·추진하고 당해연도에 선정된 실도로 구간을 대상으로 실증 및 성능 평가 예정	[측정산식] ○ 시범사업 실·검증 이행률 = $\frac{\sum \{ (\text{추진실적} \times \text{대상구간}(km) / \text{대상기간}(개월)) \}}{\sum \{ (\text{실증예정} \times \text{대상구간}(3km) / \text{대상기간}(12개월)) \}} \times 100(\%)$ [측정시기 및 방법] ○ (측정기간) 1.1.~12. 31.(당해) ○ (측정시기) NTIS 성과입력 완료시기 (다음해 1월 말 예정) ○ (측정방법) 범부처통합연구지원시스템(IRIS)이나 관련 증빙자료(연차·단계보고서 등) 검토를 통해 목표 대비 연구성과 달성여부 측정	· 범부처통합연구지원시스템(IRIS) · 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) · 연차·단계보고서																																						

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 개발로 저탄소 친환경 도로포장 인프라 건설 기반 마련			
(최종) 성과목표	탄소발생량 70% 이상 저감을 위한 Carbon Free 도로 재료 및 시공 기술 개발 * 고품분 90% 이상 무가열 아스팔트 포장 재료, 구조적 보강이 가능한 무가열 현장 재활용 시공 장비, 전통적인 아스팔트 재료가 아닌 도로용 혁신 재료 확보 기술 개발			
단계별 성과목표 및 지표	1단계(2026년도~2028년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구분
	Hyper-emulsion 핵심소재 및 구현 기술 개발	0.4	유화 아스팔트 고품분 90% 이상 확보 기술	질
			무가열 순환 아스팔트 혼합물 성능목표 달성도	질
	국내 도로 환경을 고려한 CIRB 시공 장비 및 고성능 CIRB 국산화 재료 개발	0.4	한국형 CIRB 시공 장비 개발	양
			고성능 CIRB 국산화 재료 개발	질
	바이오 매스 기반 탄소저감 도로포장 기술	0.2	Bio-Polymer 바인더 국산화	질
			Bio-Polymer 콘크리트 포장 기술	질
	2단계(2029년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표구분
	핵심기술의 성능 고도화 및 실·검증을 통한 완성도 제고	1.0	테스트베드 구축·운영	양
			시험사업 실·검증 이행률	양

※ 사업 특성상 필요시 '3단계' 사업추진 단계로 양식을 변경하여 추가·작성 가능

3. 사업평가 계획(중간평가 자체평가 실시연도 기재)

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2028	2026년도~2028년도 (총 3년)/1단계	Hyper-emulsion 핵심소재 및 구현 기술 개발	국가연구개발혁신법에 의해 단계평가로 조정되어 1단계 종료 후 연구개발과제 중간평가 추진
		국내 도로 환경을 고려한 CIRB 시공 장비 및 고성능 CIRB 국산화 재료 개발	
		바이오 매스 기반 탄소저감 도로포장 기술	

4. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동 : 해당사항 없음

5. 성과 관리·활용 계획서 및 효과성 분석 보고서 제출 계획
(계속사업은 작성 불요)

사업 종료 연도	성과 관리·활용 계획서 제출 연도	효과성 분석 보고서 제출 연도
2029	2028	2034

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기획연구개발사업 고강도 무시멘트 콘크리트 재료 및 설계·시공 기술 개발연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통기획연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

