

Land Transport and Maritime
R&D Report

Green
-up 30

(총괄)

탄
소
저
감
형

건
설
재
료

기
획
보
고
서

2011

국
토
해
양
부
한국건설교통기술평가원

[Green-up 30]

탄소저감형 건설재료 기획보고서

2011. 06. 20.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / (주)대우건설
(주)날리지웍스
건국대학교

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 “탄소저감형 건설재료 기획” 과제의 보고서로 제출합니다.

2011. 06. 20

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

주관연구책임자 : 이 세 현 연구위원

연구 원 : 김 성 욱 연구위원

” : 고 경 택 연구위원

” : 최 기 선 수석연구원

” : 이 중 찬 박사

공동연구기관명 : (주)대우건설

공동연구책임자 : 오 보 환 연구위원

공동연구기관명 : (주)날리지웍스

공동연구책임자 : 이 철 원 대표이사

공동연구기관명 : 건국대학교

공동연구책임자 : 서 치 호 교수

보고서 요약서

과제고유번호	10기술혁신 D02-01	해 당 단 계 연구 기 간	2010.12.23 ~ 2011.06.22	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단계)
연구사업명		건설기술혁신사업			
연구과제명	대 과 제 명	탄소저감형 건설재료 기획			
	세부과제명				
연구책임자	이 세 현	해당단계 참 여 연구원수	총 : 20명 내부 : 13명 외부 : 7명	해당단계 연 구 비	정부 : 100,000천원 기업 : 천원 계 : 천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 20명 내부 : 13명 외부 : 7명	총연구비	정부 : 100,000천원 기업 : 천원 계 : 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	주관연구기관 : 한국건설기술연구원 건축도시연구본부 공동연구기관 : (주)대우건설, (주)날리지웍스, 건국대학교			참여기업명	
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :				
위 탁 연 구	연구기관명 : 연구책임자 :				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	422
대량의 CO₂ 배출산업으로서 건설재료 분야의 획기적인 CO₂ 저감과 미래 대응형 기술개발이 필요하다. 탄소저감형 건설재료 기획을 통하여 ‘탄소저감형 건설재료 기술 개발 연구단’을 비롯한 2개의 연구단과 2개의 일반과제를 우선순위와 함께 제안하였으며, 본 기술개발을 통하여 건설재료 산업에서 약 1,000만t-CO₂/년 이상의 CO₂ 저감이 가능할 것으로 추산되어 건설재료 산업의 탄소배출량 30% 저감에 기여할 것이다.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	에너지저감, CO ₂ 활용·처리, 고성능, 자원재활용, 친환경			
	영 어	Energy save, Carbon dioxide sequestration material, High performance, Recycle, Eco Friendly construction material			

목 차

[국문 요약문]

[영문 요약문]

1장. 연구과제 개요	1
1절. “탄소저감형 건설재료”의 개요	1
1. “탄소저감형 건설재료”의 정의	1
2. “탄소저감형 건설재료”의 개념과 성격	2
3. ‘탄소저감형 건설재료 기획’ 추진배경	3
2절. 기획연구의 필요성	7
1. 기획 필요성	7
2. 기획연구 추진절차 및 방법	9
3. 기획기술의 분류	11
2장. 기술개발전략 수립	16
1절. 기획 필요성	16
1. 기획배경	16
2. 기획목적 및 추진방향	20
2절. 국내외 동향 및 환경분석	23
1. 국내외 정책동향 및 분석	23
2. 국내외 경제동향 및 분석	34
3. 국내외 기술개발 동향조사 및 분석	56
4. 기술개발을 위한 인프라 및 기반역량 분석	79
3절. 기술수요 및 예측조사	109
1. 기술수요조사 및 결과	109
2. 기술예측조사 및 결과	121
4절. 기술개발 방향설정	130
1. 분석결과 종합	130
2. 중점추진분야 설정	142
3. 중점추진분야별 기술발전단계	147
5절. 비전 및 목표수립	156
1. 비전 및 목표	156
2. 기술개발에 따른 미래상	157

6절. 후보과제 도출 및 정의	159
3장. 연구개발과제 추진체계	179
1절. 기획대상과제 선정결과	179
2절. 기획대상과제 조정결과	181
3절. 연구개발과제 추진체계 수립	186
1. 기획대상과제 QFD 검토	186
2. 과제추진 체계정립	193
3. 연구개발과제 도출결과	197
4장. 연구개발과제 주요내용 및 기대효과	200
1절. 연구개발과제 주요내용	200
1. “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 과제	200
2. “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발” 연구단 과제	204
3. 일반과제 1. 정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발 과제	207
4. 일반과제 2. 미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발 과제	208
2절. 연구개발과제 활용방안	209
1. “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 과제	209
2. “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발” 연구단 과제	213
3. (일반과제) 2개과제	216
3절. 기대효과	218
1. “탄소저감형 건설재료” 기획 기대효과	218
2. “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 과제 기대효과	220
3. “환경부하 저감형 융합 건설재료 연구단 개발” 과제 기대효과	223
4. 2개 일반과제 기대효과	226
5장. 연구개발과제 소요예산	227
1절. (연구단 1.) “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 소요예산	227
2절. (연구단 2.) “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발 연구단” 소요예산	229
3절. 일반과제 1-정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발 소요예산	230
4절. 일반과제 2-미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발 소요예산	230
참고문헌	231

[첨부 1] 후보과제 우선순위 도출결과	239
(2단계(우선순위도출) 보고서 후보과제 도출결과)	

[첨부 2] 2단계 보고서 과제카드	277
---------------------------	-----

(별권 1) “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 기획보고서

(별권 2) “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발 연구단” 기획보고서

(별권 3) “정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 함유한 초내식성
해양환경 콘크리트 개발” 기획보고서

(별권 4) “미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발” 기획보고서

요 약 문

I. 제목

: 탄소저감형 건설재료 기획

II. 기획의 목적 및 필요성

1. 목적

□ 건설산업의 발전과 경쟁력 제고를 지원할 수 있는 허브기술로써 에너지소비 및 환경부하 저감이 가능한 “탄소저감형 건설재료 기술개발전략 프로그램” 제시

- 국가 탄소저감 정책목표 달성에 기여하는 건설재료의 기술개발 전략기획

※ 2020년 BAU 대비 30% 감축목표 설정, 건설부문 31% 감축목표(국토해양부)

- 건설재료의 생산 및 활용, 관리기술을 포함한 Total CO₂ 저감프로그램 기획

2. 필요성

□ 대량의 CO₂ 발생원인 건설재료·자재의 CO₂ 관리 및 저감대책 미흡

- 국내 온실가스 감축목표에 부합하는 유효적 CO₂ 저감기술·전략 제시 필요

□ 국내 건설재료·자재산업의 글로벌화 한계 도달

- 세계일류의 시공기술에도 불구하고 건설재료·자재기술은 세계일류의 기술·제품 전무하여 세계 1위의 미래지향적 건설재료 기술 필요

□ 건설재료 - 건설산업 Supply Chain의 연계성 취약

- 건설재료와 건설현장, 타분야간의 연계·융합을 통한 건설산업 역동성 제고 필요

III. 기획의 범위 및 내용

1. 기획범위 및 추진방법

□ 탄소저감형 건설재료 정의

- CO₂ 발생을 근본적으로 저감하고, 에너지 소비 및 환경부하 저감이 가능하며 경제성이 확보된 건설재료의 생산, 공정, 재활용 등 관련 모든 기술을 의미함(국토해양 R&D 발전전략, 2010)

□ 기획추진 절차 및 방법

(1) 1단계 : 기술개발 전략수립

- 동향조사 (기술예측) : 기술 및 시장동향 분석
- 환경분석 (기술수요) : 정책 및 경제환경 분석 / 기술(특허 및 논문) 환경 분석
- SWOT 분석
- 정책 및 기술개발방향 설정
 - Keyword 도출 / 기술 및 시장 목표설정
 - 5 Forces 분석 / Issue Tree 작성
- 비전 및 목표 수립
 - 후보과제 도출 (기술계통도 작성) / 중점 추진분야 설정
- TRM 작성·제시

(2) 2단계 : 연구개발과제 우선순위 도출

- QFD(Quality Function Deployment)를 이용한 우선순위 도출
 - 시장 Needs 분석 및 평가 / 후보과제 및 목표 설정
 - Needs와 후보과제 상관관계 분석
 - 후보과제 기술평가, 목표 재설정(최고기술보유국, 대체기술 등)
 - 후보과제 우선순위 도출
 - 후보과제간 연관성 및 중복성 검토(최종 우선순위 도출)
- 최종 연구개발 후보과제 과제카드 작성

(3) 3단계 : 연구개발 과제별 기획

① 연구개발 과제별 기획

- 연구목표 및 연구내용 설정
- 추진방안 수립(단계별 실행방안, 기존기술 연계방안 등)
- 성과물 활용 및 실용화 방안 수립

- 인력투입 계획 및 소요예산 산정
- ② 사전타당성 검토
- 정책적 타당성 / 기술적 타당성 / 경제적 타당성 분석
- ③ RFP 작성 및 평가기준 설정
- RFP, 평가기준 설정 / 최종보고서 작성

2. 기획내용 및 결과

□ 비전

- 탄소저감형 건설재료 기반 지속가능 녹색건설 실현
(Sustainable Green Construction Realization Based on Low CO₂ Construction Material)

□ 미션

- 지속가능 녹색건설 실현의 허브기술 제공과 지원
(Hub Technology Offer and Support for Sustainable Green Construction Success)

□ 목표

- 건설재료 · 자재산업의 CO₂ 저감 기술혁신
(CO₂ Reducing Technology innovation in Construction Material Industry)

□ 추진전략

추 진 전 략	CO ₂ 배출저감 (생산)	<u>CO₂ 배출저감의 유효적 실현 (BAU -30%, 2020)</u> - CO ₂ 대량배출 건설재료의 대체기술 공급 - CO ₂ 저감 · 생산 및 재료기술 제공
	CO ₂ 활용 · 처리 (처리)	<u>CO₂ 활용 · 처리 및 세계 1위의 원천기술 확보</u> - 산업부산물, 건설폐기물의 활용 · 처리 원천기술 확보 - CO ₂ Negative 소재개발과 활용기술 제공
	에너지 저감형 고성능 (효율)	<u>에너지저감형 고성능 건설재료 활용</u> - 고성능 단열자재 · 시스템의 개발과 제공 - 차세대 에너지손실 저감형 시스템 개발 · 보급
	CO ₂ 통합관리 (관리)	<u>건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책기반 구축</u> - 건설재료의 CO ₂ 평가 및 LCI DB구축 - CO ₂ 저감 건설재료 적용확대 및 관리 지원
	환경부하 저감형 소재 및 자재 (환경)	<u>친환경 재료생산 및 융합기술 실현</u> - 친환경 소재 및 공정기술 - 첨단융합 건설재료 기술개발

□ 5대 중점추진분야 범위와 내용

중점추진분야	범위 및 내용
CO ₂ 배출저감형 기술 (생산)	CO ₂ 대량배출 건설재료(시멘트, 철강, 발전 등) 부문을 대상으로 재료기술과 공정기술을 바탕으로 에너지 및 CO ₂ 배출을 근원적으로 저감시키는 기술
CO ₂ 활용·처리 기술 (처리)	산업부산물(슬래그, 애쉬 등), 건설폐기물(순환골재) 등에 CO ₂ 반응처리를 통한 CO ₂ 저장과 동시에 개질 후 건설재료로 활용을 포함하는 기술
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술 (효율)	토목·건축 시설물의 고층화, 대형화 추세에 따른 고성능화 요구에 CO ₂ 저감 관점에서 고단열, 고내구성 등의 성능구현을 통하여 에너지, 자원저감의 건설재료 기술
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책 (관리)	토목·건축 시설물 등의 사용·설계·관리입장과 건설재료 및 자재산업에서 제조·시공·사용·폐기에 이르는 전생애주기의 CO ₂ 통합관리 기술
친환경 소재 및 자재기술 (환경)	환경부하 저감소재, 공정, 융합기술 등을 적용하여 광범위한 개념의 환경부하저감 및 친환경 소재 및 자재의 제조와 활용기술

□ 기술개발에 따른 미래상 제시



□ 중점추진분야별 기획대상과제

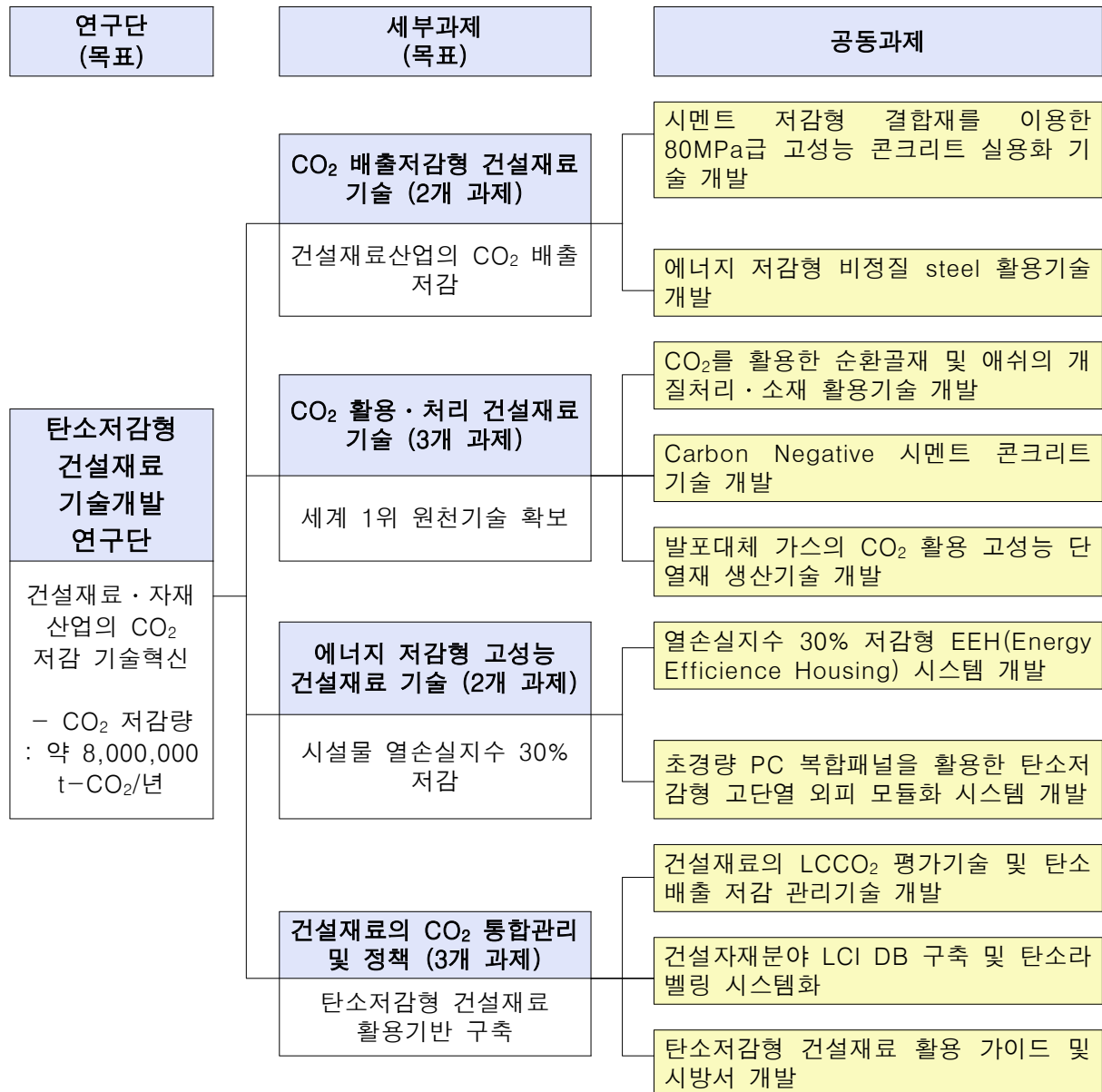
중점추진분야	기획대상 과제분류
CO ₂ 배출저감형 기술 (생산)	- 시멘트 저감형 결합재를 이용한 80MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술 개발 - 에너지 저감형 비정질 steel 활용기술 개발 - 비소성 결합재를 활용한 CO₂ 저감형 콘크리트 개발 - 무양생 공정에 의한 친환경 기능성 콘크리트계 건축 내외장재 및 시공기술 개발
CO ₂ 흡수·전환형 기술 (처리)	- CO₂를 활용한 순환골재 및 애시의 개질처리·소재 활용기술 개발 - Carbon Negative 시멘트 콘크리트 기술 개발 - 발포대체 가스의 CO₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발 - 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술 (효율)	- 열손실지수 30% 저감형 EEH(Energy Efficiency Housing) 시스템 개발 - 초경량 PC 복합패널을 활용한 탄소저감형 고단열 외피 모듈화 시스템 개발 - 상변화물질을 이용한 공동주택 냉방 및 난방에너지 저감 건설재료 개발 - 열차단을 50% 이상급 스마트 창호 기술개발 - 경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책 (관리)	- 건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라벨링 시스템화 - 건설재료 LCCO₂ 평가기술 및 탄소배출 저감 관리 기술 개발 - 탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발
친환경 소재 및 자재기술 (환경)	- 미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발 - IT기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발 - 정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발
5개 중점추진분야 제시	20개 기획과제 조정 제시

IV. 연구개발과제 추진체계 제시

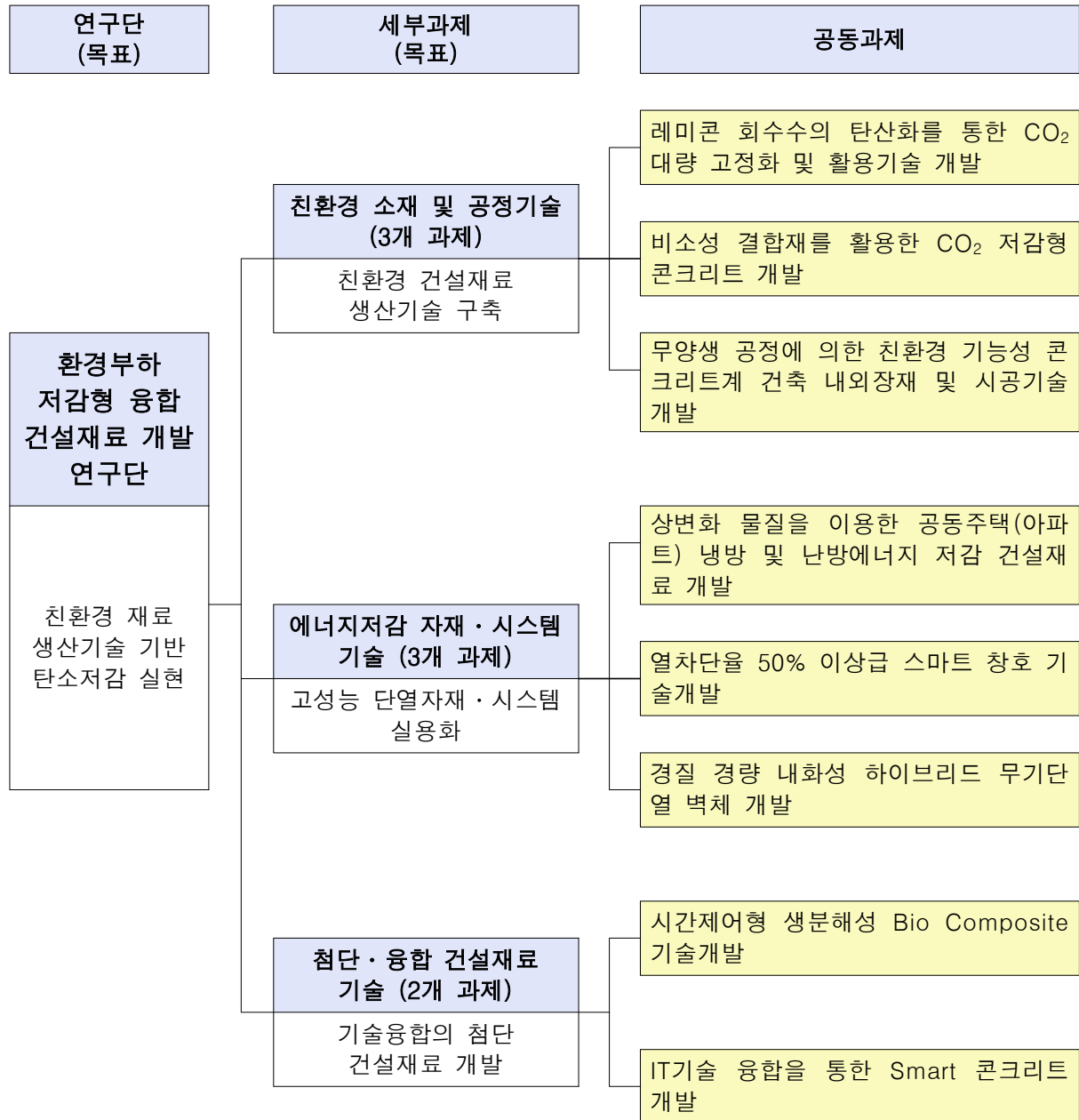
- 2개 연구단 및 2개의 일반과제의 우선순위별 제시

1. 연구단

가. 우선순위 1 - “탄소저감형 건설재료 기술개발” 연구단

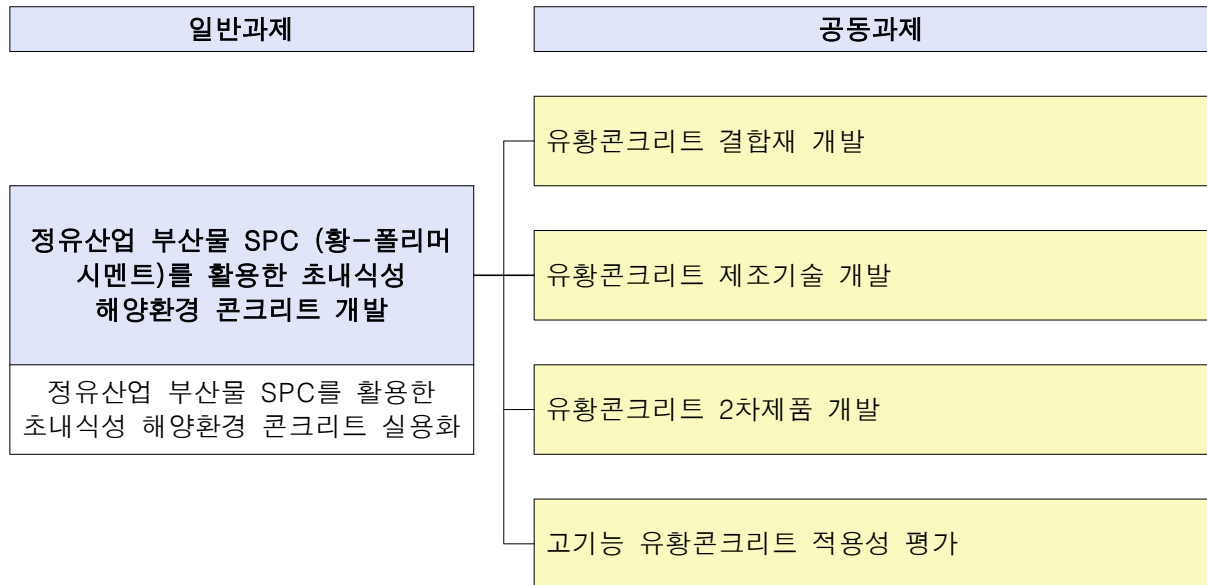


나. 우선순위 2 - “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발” 연구단

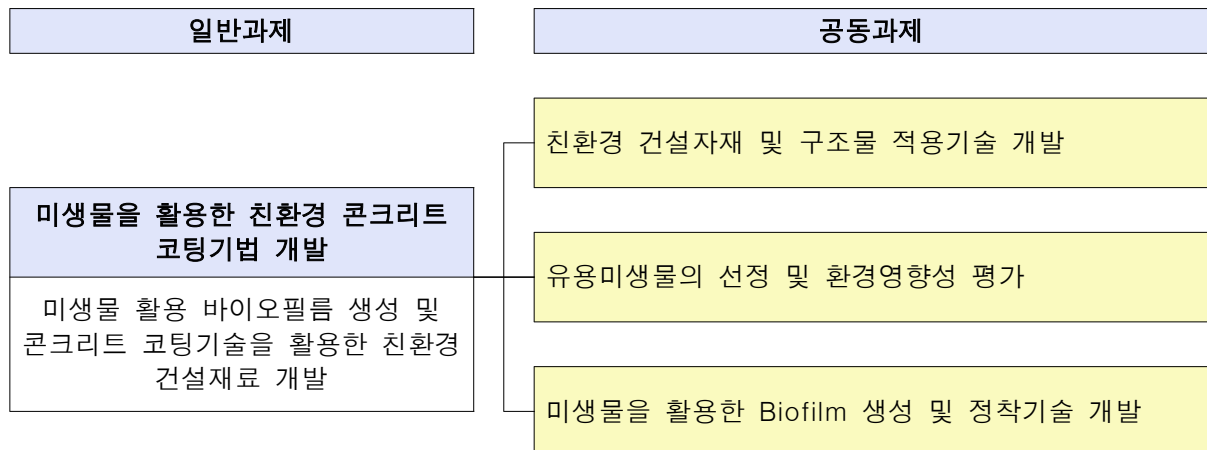


2. 일반과제

가. 우선순위 1 - 정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발



나. 우선순위 2 - 미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발



IV. 주요내용 및 기대효과 제시

1. “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 과제

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물	기대 효과(활용)
연구단 총괄	탄소저감형 건설재료 기술개발	○ 건설재료 · 자재산업의 유효한 CO₂ 저감의 핵심기술 개발	○ CO₂ 배출저감기술 ○ CO₂ 활용 · 처리 기술 ○ 시설물 에너지 저감 기술 ○ CO₂ 통합관리 기술	○ 건설재료 · 자재 산업 CO₂ 저감 약 800만t-CO₂/년 저감
1세 부 과제	CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	○ 대량의 CO₂ 배출원인 시멘트와 강재를 대상으로 CO₂ 배출 저감이 가능한 생산 기술 및 대체재료 활용기술 개발	○ 저시멘트 사용 고성능 콘크리트 기술 ○ 비정질 Steel 제조 및 활용기술	○ 유효한 CO₂ 배출저감 기술보급 · 활용
2세 부 과제	CO ₂ 활용 · 처리 건설재료 기술	○ CO₂의 유효활용에 의한 타 물질전환과 소재개질 후 건설재료 활용기술 개발	○ 순환골재 및 애쉬 CO₂ 반응처리 및 개질소재 활용기술 ○ CO₂ Negative 시멘트 제조기술	○ 건설재료의 CO₂ 활용 · 고정 원천기술 보급과 활용
3세 부 과제	에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	○ 시설물 열손실지수 30% 저감의 통합 에너지절감 재료 및 시스템 기술개발	○ EEH 시스템 기술 ○ 고단열 복합PC기술	○ 시설물 열손실지수 30% 저감 가능한 에너지 절감기술 보급
4세 부 과제	건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	○ 건설재료의 전생애 주기 CO₂ 평가 · 관리 · 정책기술 개발	○ 건설재료 CO₂ 평가, 배출저감 관리 정책 DB등	○ 건설재료의 CO₂ 관리 및 활용기반 제공

2. “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발” 연구단 과제

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물	기대 효과(활용)
연구단 총괄	환경부하 저감형 융합 건설재료 연구	CO₂ 저감소재 및 자재 첨단융합의 건설재료 제조기술 개발	비소성 결합재 활용 콘크리트 및 무양생 내외장재 등	CO₂ 저감소재 및 자재 생산·활용기술 보급·활용
1세 부 과제	친환경 소재 및 공정기술	비소성 결합재 활용 콘크리트 무양생 내외장재, 레미콘 회수수 탄산화 등의 CO₂ 저감소재 제조기술	- 비소성 결합재 활용 콘크리트 - 무양생 내외장재 - 레미콘 슬러지 2차제품 등	CO₂ 저감소재 및 공정기술 보급·활용
2세 부 과제	에너지저감 자재·시스템 기술	단열재, 창호, PCM을 이용한 단열재료 및 자재개발	- 열차단을 50% 이상의 스마트창호 - 하이브리드 단열재 - 단열도료 및 시스템	고성능 단열재료 및 자재생산기술 보급·활용
3세 부 과제	첨단·융합 건설재료 기술	시간제어형 Bio Composite 및 스마트 콘크리트 제조기술 개발	- 시간제어형 생분해성 Bio Composite - IT기술 접목형 스마트콘크리트 제조기술	고성능 첨단융합기술 건설재료기술 보급·활용

3. 일반과제

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물	기대 효과
일반 과제 1	정유산업 부산물 SPC (황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발	- 유황콘크리트 결합재 개발 - 유황콘크리트 제조기술 개발 - 유황콘크리트 2차제품 개발 - 고기능 유황콘크리트 적용성 평가	- 유황콘크리트 공장제조/생산 기술 - 해양 환경을 고려한 유황콘크리트 및 2차제품 제조·활용기술 (시제품 등)	해양환경 전용 콘크리트 제조기술·보급 활용
일반 과제 2	미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발	- 친환경 건설자재 및 구조물 적용기술 개발 - 유용미생물의 선정 및 환경영향성 평가 - 미생물을 활용한 Biofilm 생성 및 정착기술 개발	미생물 활용 바이오-코팅기술	미생물 활용 콘크리트 녹화기술 보급·활용

S U M M A R Y

I . Title

: Low CO₂ Construction Materials Plan

II . Purpose and necessity of the plan

1. Purpose

- ☐ To suggest "Low CO₂ construction material technology development strategy program" which allows reduction of energy consumption and environmental load as a fundamental technology which can support progress of construction industry and improvement of competitiveness.
- Technology development strategy planing which contributes to achieving the national carbon reducing policy goal.
 - ※ Aims to reduce 30% compared to BAU by 2020, 31% aims to reduce 31% in the construction area (Ministry of land, transportation & marine)
- Total CO₂ reduction program plan including production, use and management technologies of construction materials.

2. Necessity

- ☐ Lack of CO₂ management and reduction measures for construction materials which are the causes of mass emission of CO₂
 - Needs to present effective CO₂ reducing technologies and strategies that correspond to the national greenhouse gas reduction goal.
- ☐ Faced with the limited level of globalization with national construction materials
 - While achieved the reputation of the world's best construction technologies, that of construction materials is nonexistent. Korea is in need of future-oriented construction materials.

☐ **Weak connection of construction materials - construction industry supply chain**

- Improvement needed for dynamic construction industry through connection and mixing construction materials, site and other industries.

III. Range and contents of the plan

1. Plan range and promotion methods

☐ **Definition of Low CO₂ Construction Material**

- Refers to reduction of CO₂ as a fundamental and can reduce energy consumption and environmental impact and economical production of construction materials obtained, processing, recycling and related technology (Ministry of land, transportation & marine, R&D strategy, 2010)

☐ **Plan promotion procedures and methods**

(1) Stage 1 : Technology development strategy development

- Trend survey (Technology forecast) : Technology and market trend analysis
- Environment analysis (Technology demand) : Policy and economical environment analysis / technology (patent and thesis) environment analysis
- SWOT Analysis
- Policy and technology development trend establishment
 - Draw a keyword / establish technology and market goal
 - Analysis 5 Forces / Develop an Issue Tree
- Establish vision and objective
 - Derive candidate project (create a technology tree) / establish the main promotion area
- TRM create and propose

(2) Stage 2 : Draw order of priority in research development project

- Drawing order of priority using QFD(Quality Function Deployment)
 - Market needs analysis and evaluation / candidate project and objective establishment
 - Correlation analysis of needs and candidate projects
 - Candidate project technology evaluation, objective re-establishment (the best

- technology possessing country, alternative technology)
- Draw order of priority for candidate projects
- Review correlation and redundancy (draw final order of priority)
- Develop final research and development candidate project cards

(3) Stage 3 : Research and development planning for each project

① Research and development planning for each project

- Research objective and contents establishment
- Promotion plan establishment (implementation method for each stage, connection plans with existing technologies)
- Product use and commercialization method establishment
- Work force plan and estimated budget calculation

② Preliminary validity review

- Validity in the policy aspect/ technical validity / economical validity analysis

③ RFP preparation and evaluation standard establishment

- RFP, evaluation standard establishment / final report development

2. Plan contents and results

☐ **Vision**

- Sustainable Green Construction Realization Based on Low CO₂ Construction Material

☐ **Mission**

- Hub Technology Offer and Support for Sustainable Green Construction Success

☐ **Objective**

- CO₂ Reducing Technology Innovation in Construction Material Industry

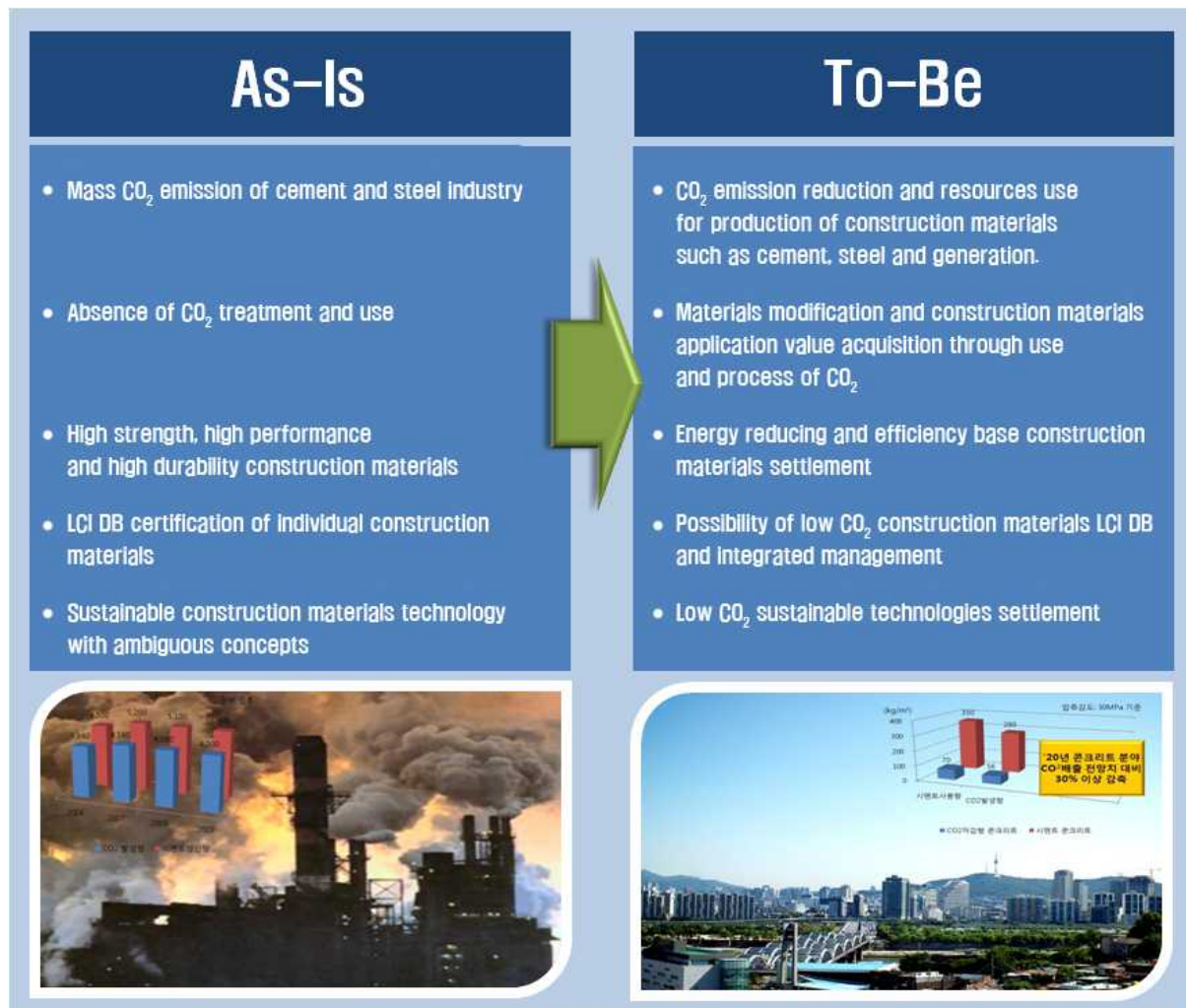
□ Promotional Strategies

S t r a t e g y	CO ₂ Emission Reduction (Production)	<u>Effective realization of CO₂ emission reduction (BAU –30%, 2020)</u> – Alternative technology provided to mass CO₂ emitting construction materials – CO₂ Reduction • production and materials technology provide
	CO ₂ Use • Treatment (Treatment)	<u>Securement of CO₂ use • treatment and the world's no. 1 generic technology</u> – Secure generic technology of use • treatment of industrial by-product, construction waste technology – Provide CO₂ negative materials development and utilization technology
	Low Energy High Performance (Efficiency)	<u>Use of low energy high performance construction materials</u> – High performance insulation materials • system development and supply. – Next generation energy consumption reducing system development • supply
	CO ₂ Integrated Management (Management)	<u>Construction materials integrated CO₂ management and policy groundwork establishment</u> – Construction materials CO₂ evaluation and LCI DB establishment – Low CO₂ construction materials application expansion and management support
	Environmental Load Reducing Raw Materials and Materials (Environment)	<u>Sustainable materials production and blended technology realization</u> – Sustainable materials and manufacturing technology – Cutting edge blended construction materials technology development

□ **Top 5 priority promotion areas : the range and contents**

Priority Promotion Areas	Range and Contents
Low CO ₂ Emission Technology (Production)	Technology applied to mass CO₂ emitting construction materials (cement, steel and generation) to diminishes the sources of CO₂ emission and energy consumption based on materials technology and manufacturing technology.
CO ₂ Use · Treatment Technology (Treatment)	Technology that includes storage and modification of CO₂ to be used as construction materials through CO₂ reaction . Applied to industry by-product (slag and fly ash) and construction waste (aggregate concrete).
Low Energy High Performance Construction Materials Technology (Efficiency)	Energy and resources consumption reducing construction materials technology performed through high insulation and high durability performance realization from the perspective of CO ₂ reduction as a response to the high rise and large scale trend in civil and architectural buildings.
Construction Materials CO ₂ Integrated Management and Policy (Management)	Life cycle CO ₂ integrated management technology including the phases of application, design, management position through manufacture, construction, application and disposal in the construction raw materials and materials industry.
Sustainable Raw Materials and Materials Technology (Environment)	Environment load reducing and sustainable materials manufacture and application technology in the sense of extensive concept applying environmental load reducing materials, manufacture and blending technologies.

□ Estimated future prospect as a result of technology development



□ Planning subject projects per each priority promotion area

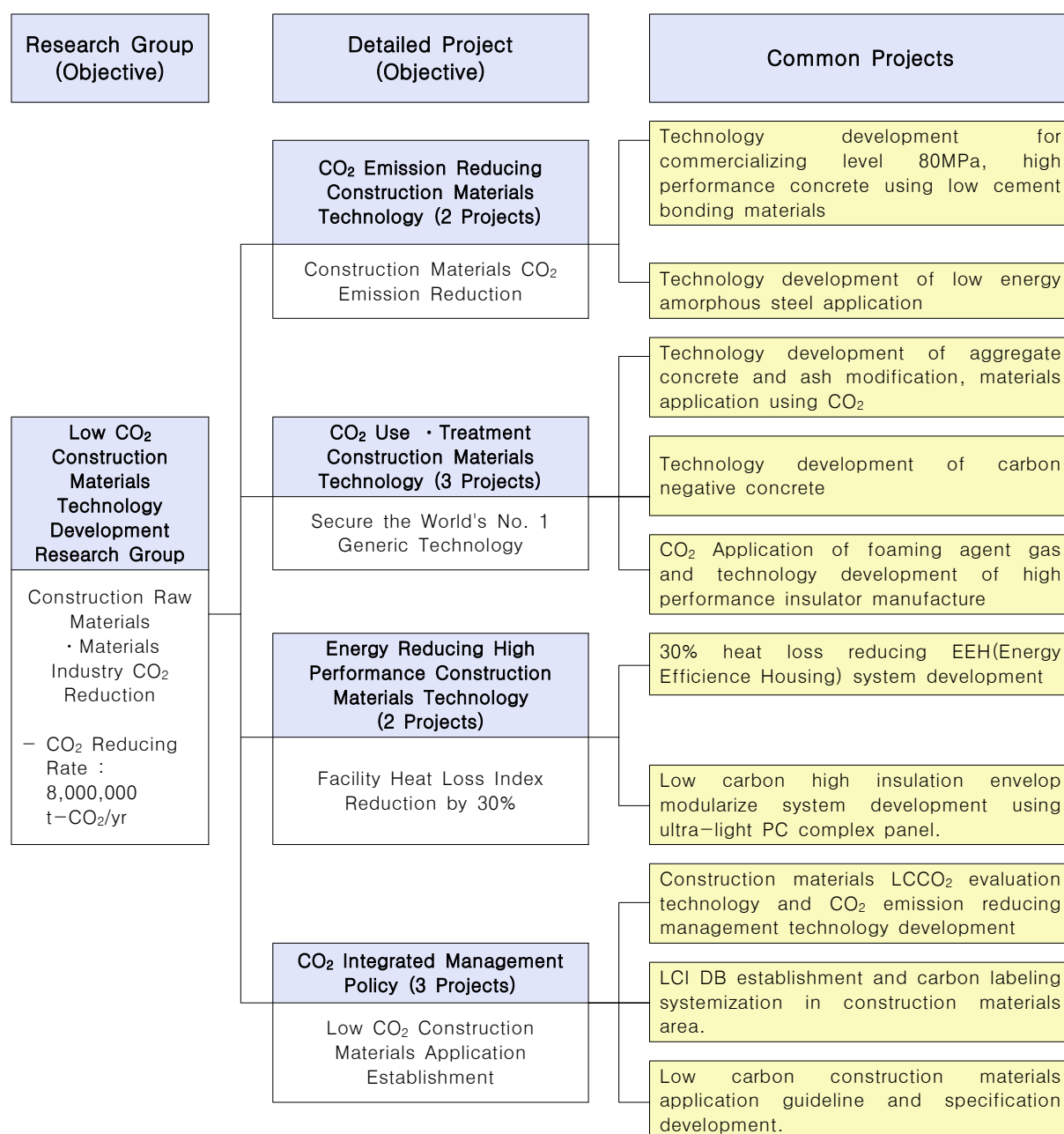
Priority Promotion Areas	Planning subject project classification
Low CO ₂ Emission Technology (Production)	– Technology development for commercialization of level 80MPa, high performance concrete using cement use reducing bonding materials – Energy saving amorphous steel technology development – Low CO₂ concrete development using non-sintered bonding materials – Sustainable functional concrete type architectural interior and exterior materials and construction technology developed based on non-cure process
CO ₂ Use · Treatment Technology (Treatment)	– Aggregate concrete and ash modification process and materials application technology development using CO₂. – Carbon negative cement concrete technology development. – CO₂ using high performance insulator manufacturing technology development for foaming agent gas. – CO₂ mass immobilization and application technology development through ready mixed concrete sledge carbonization.
Low Energy High Performance Construction Materials Technology (Efficiency)	– 30% heat loss index reducing EEH(Energy Efficiency Housing) system development. – Low carbon high insulation envelop modularize system development using ultra-light PC complex panel. – Multi-residential air conditioning and heating energy reducing construction materials development using phase change materials. – Smart glazing technology development with heat cut off rate of 50% and more. – Hard, light weight and fire resistant hybrid insulation wall system development.
Construction Materials CO ₂ Integrated Management and Policy (Management)	– LCI DB establishment and carbon labeling systemization in construction materials area. – Construction materials LCCO₂ evaluation technology and carbon emission reducing management technology development. – Low carbon construction materials application guideline and specification development.
Sustainable Raw Materials and Materials Technology (Environment)	– Sustainable concrete coating method development using micro-organism. – Smart concrete development using IT technology blending. – High corrosion resistance marine environment concrete development using oil industry by-product SPC(Sulfur-Polymer Cement).
Proposal of 5 Priority Promotion Areas	20 Candidate projects pool proposal

IV. Research development project promotion system proposal

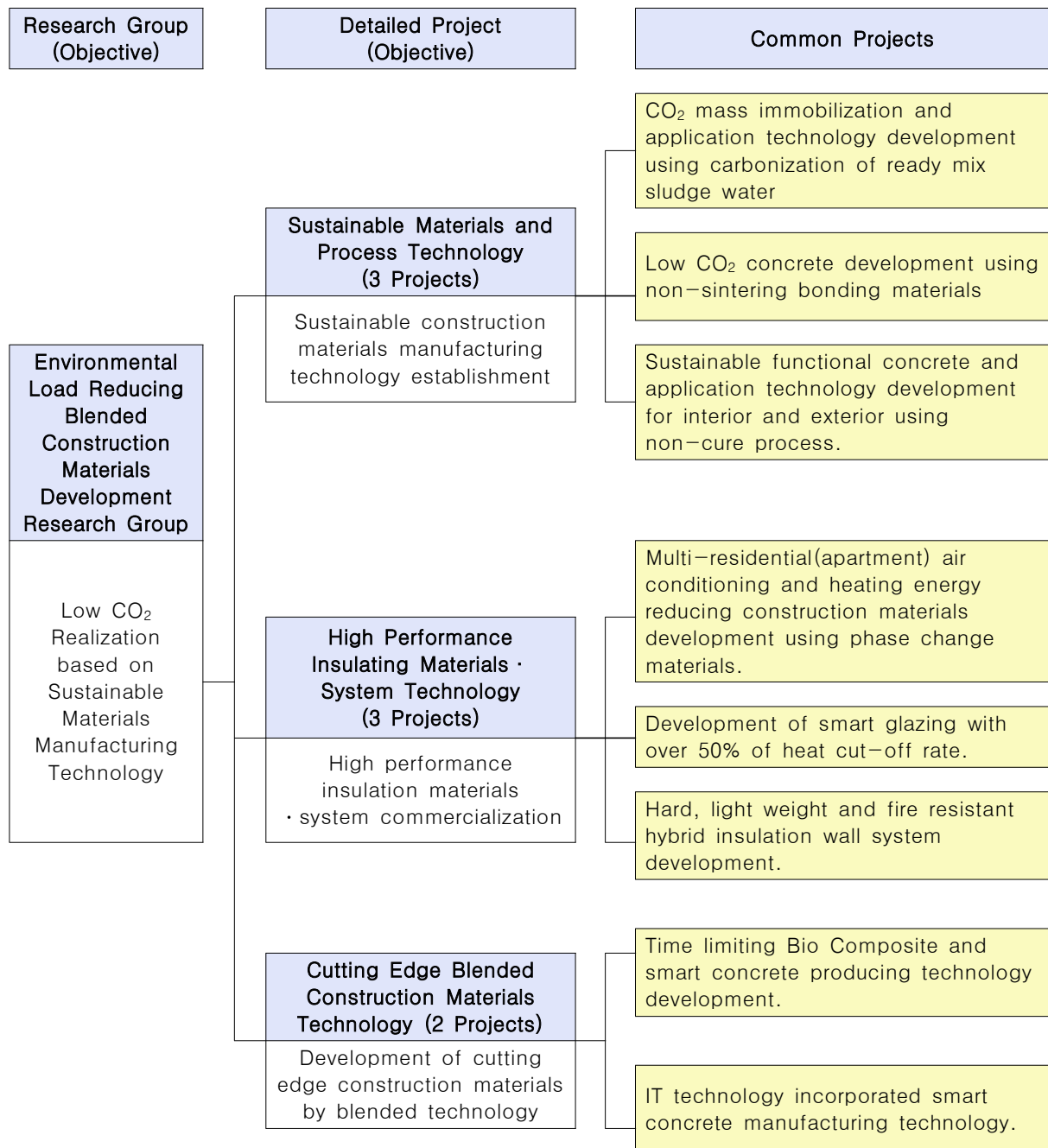
- 2 Research groups and 2 general projects proposal

1. Research Groups

A. 1st Priority - "Low CO₂ Construction Materials Technology Development" Research Group

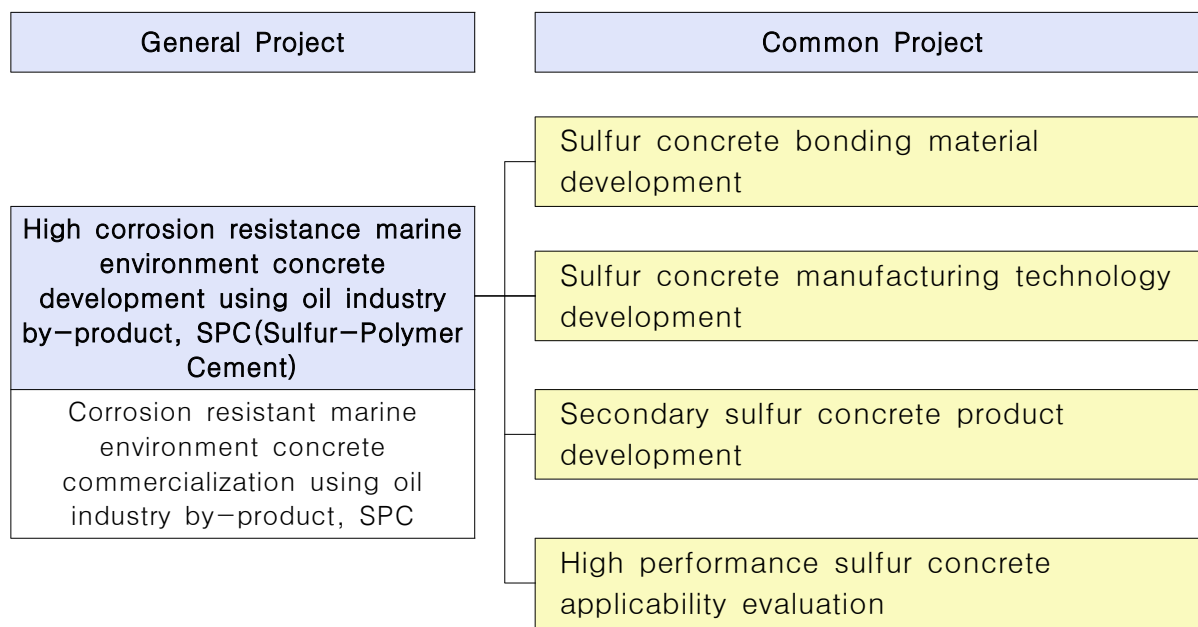


B. 2nd Priority - "Environmental Load Reducing Blended Construction Materials Development" Research Group

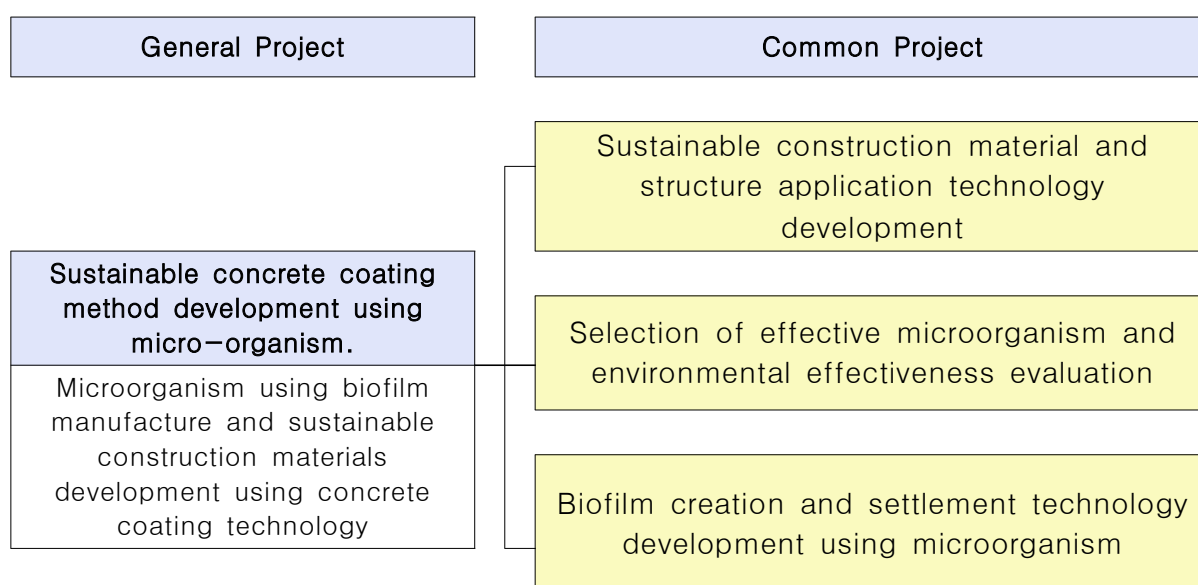


2. General projects

A. 1st Priority - High corrosion resistance marine environment concrete development using oil industry by-product, SPC(Sulfur-Polymer Cement)



B. 2nd Priority - Sustainable concrete coating method development using micro-organism.



IV. Primary contents and Expected effects

1. "Low CO₂ Construction Materials Technology Development Research Group" Project

Type	Project Name	Primary Contents	Final Achievements	Expected Effects (Use)
Directed by Research Group Direct	Low CO ₂ Construction Materials Technology Development Research	Development of core CO₂ reducing technologies in construction materials · materials industry	- CO₂ Emission reducing technology - CO₂ Use · treatment technology - Facility energy reducing technology - CO₂ Integrated management technology	Construction raw materials, materials industry CO₂ reduction: Approx. 8 mil t-CO₂/yr
Detailed Project 1	CO ₂ Emission Reducing Construction Materials Technology	Technology applied to mass CO₂ emitting cement and steel to develop possible CO₂ emission manufacturing and alternative materials use technology.	- Low cement using high performance concrete technology. - Amorphous steel manufacture and use technology.	Effective CO₂ emission reducing technology supply and use.
Detailed Project 2	CO ₂ Use · Treatment Construction Materials Technology	Technology development of other substance conversion and material modification due to effective use of CO₂	- Aggregate concrete and ash CO₂ reaction and modification materials using technology - CO₂ Negative cement manufacturing technology	CO₂ use of construction materials, supply and use of established generic technology.
Detailed Project 3	Energy Reducing High Performance Construction Materials Technology	Integrated energy reducing materials and system technology development for reduction of facility heat loss index by 30%.	- EEH System technology - High insulation multi-PC technology	Energy technology supply that allows 30% of facility heat loss index.
Detailed Project 4	CO ₂ Integrated Management Policy of Construction Materials	Life cycle CO₂ evaluation, management and policy technology development for construction materials.	Construction materials CO₂ evaluation, emission reducing management policy DB.	Management and supply of CO₂ usage foundation of construction.

2. "Environmental Load Reducing Blended Construction Materials Development" Research Group Projects

Type	Project Name	Primary Contents	Final Achievements	Expected Effects (Use)
Directed by Research Group Direct	Environmental Load Reducing Blended Construction Materials Development Research	Construction materials manufacturing development of CO₂ reducing raw materials and materials and material cutting edge blending technology.	Concrete using non-sintered bonding materials and non-cure interior and exterior materials.	CO₂ Reducing raw materials and materials manufacture and use technology supply and application.
Detailed Project 1	Sustainable Materials and Process Technologies	Use of non-cure concrete with non-sintered bonding materials for interior and exterior materials. CO₂ reducing manufacturing technologies of ready mixed concrete sludge water carbonization.	- Concrete using non-sintered bonding materials - Non-cure interior and exterior materials. - Secondary products of ready mixed concretes.	CO₂ Reducing materials and process technology supply and application.
Detailed Project 2	High Performance Insulating Materials · System Technology	Insulation materials and materials development using insulator, glazing and PCM.	- Smart glazing with over 50% of heat cut-off rate. - Hybrid insulator. - Insulating paint and system.	High performance insulation materials and materials production technology supply and application.
Detailed Project 3	Cutting Edge Blended Construction Materials Technology	Time limiting Bio Composite and smart concrete producing technology development.	- Time limiting bio-degradable Bio Composite - IT technology incorporated smart concrete manufacturing technology.	High performance cutting edge blending technology construction materials technology supply and application.

3. General Projects

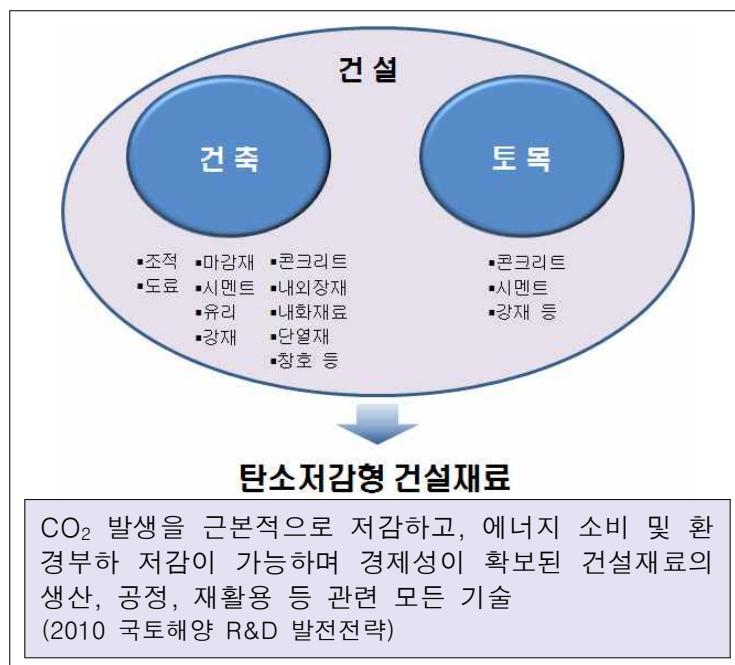
Type	Project Name	Primary Contents	Final Achievements	Expected Effects (Use)
General Project 1	High corrosion resistance marine environment concrete development using oil industry by-product, SPC(Sulfur-Polymer Cement)	○ Sulfur concrete bonding material development ○ Sulfur concrete manufacturing technology development ○ Sulfur concrete secondary products development ○ High functional sulfur concrete applicability evaluation	○ Sulfur concrete factory manufacture/production technology ○ Sulfur concrete and secondary product production and application technology considering marine environment. (prototype)	○ Manufacture technology supply and use of concrete for exclusive use of marine environment
General Project 2	Sustainable concrete coating method development using micro-organism.	○ Sustainable construction material and structure application technology development ○ Selection of effective microorganism and environmental effectiveness evaluation ○ Biofilm creation and settlement technology development using microorganism	○ Bio-coating technology using microorganism	○ Microorganism using concrete green technology supply and application

1장. 연구과제 개요

1절. “탄소저감형 건설재료” 의 개요

1. “탄소저감형 건설재료”의 정의

- 건설은 건축분야와 토목분야로 구성되며, 건설재료는 건축재료와 토목재료 전체를 포함한 개념임.
- ※ 건설재료는 시멘트 철강, 골재를 비롯하여 벽돌, 건축내외장재, 바닥재 등 건축물에 사용되는 모든 재료 및 자재를 의미함(2010 국토해양 R&D 발전전략).



[그림 1.1] 탄소저감형 건설재료의 정의

- 건설재료·자재는 다음 3가지의 분류체제로 구성됨.
- ※ **건설소재(원료)** : 건설재료의 기반이 되는 소재 및 원료(시멘트, 골재, 강재, 플라이애쉬, 슬래그, 합성수지, 유리, 목재 등)
- ※ **건설자재** : 건설소재를 활용하여 일정공정을 거쳐 제조되는 건설재료(콘크리트, 철근, 창호, 마감재, 벽돌 등)
- ※ **건설부품(시스템)** : 소요성능을 발휘하기 위하여 다양한 기술 및 자재 등이 복합되어 형성되는 device를 포함한 부품 시스템(창호시스템, 복합 단열 시스템 등)

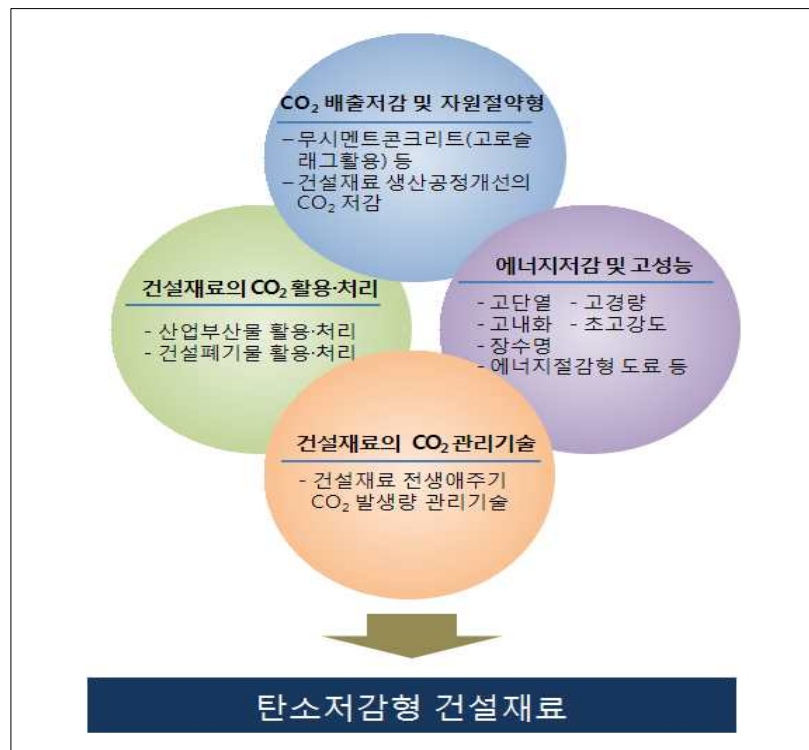
2. “탄소저감형 건설재료”의 개념과 성격

가. ‘탄소저감형 건설재료’의 개념

- 녹색성장 3대요소에 부합하는 미래형 친환경 건설재료로의 개념설정

〈표 1.1〉 녹색성장 3대요소와 친환경 건설재료의 개념

3대 요소	내 용
동일한 성장을 하되, 에너지 및 자원 사용량의 최소화	• 에너지 저소비형 산업구조 개편 (제조업중심 → 지식서비스 중심) • 에너지 소비절약/사용 효율화 • 생태효율성제고 정책 → 저에너지형 건설재료
동일한 에너지 및 자원을 사용하되, CO ₂ 배출 등 환경부하를 최소화	• 자원의 절약과 재활용 • CO₂ 배출 규제 • 저탄소 친환경 인프라 구축 • 소비자 녹색제품 구매 활성화 → CO₂ 배출저감 · 자원절약형 건설재료
신성장 동력으로 개발	• 녹색기술에 대한 R&D 투자 • 신 · 재생 에너지/재료 → CO₂ 활용 / 첨단 기능성 건설재료



[그림 1.2] “탄소저감형 건설재료”의 개념과 분류

- 본 기획과 관련하여 ‘탄소저감형 건설재료’의 분야별 의미를 다음과 같이 제시함.

탄소저감형 건설재료 의미

기술적 측면

- 탄소발생 및 에너지 저감 공정개선
- 탄소발생 원료 사용 최소화
- 에너지절감 재료
- 탄산화 반응 이용 CO₂ 활용·처리

시장적 측면

- 탄소시장 진입(CDM, 탄소배출권) 검토
- 친환경 건설재료
- 고부가가치 기술

정책적 측면

- 저탄소 녹색성장기술
- 건축물의 그린빌딩, 그린홈 기술
- 탄소발생 관리대상 건축물 생애주기 분류 중
자재생산단계 기술

[그림 1.3] 기술/시장/정책적 측면의 의미

나. 기획기술의 성격

- “탄소저감형 건설재료”는 건설공사에 사용되는 모든 재료 및 자재를 포함하는 건설재료 산업에서 재료 설계단계, 생산단계, 제품완성단계에서 물리적, 화학적 방법을 활용하여 탄소배출저감 및 에너지저감, 자원저감(절약 및 재활용)효과를 부여하여, 지속 가능한 녹색 R&D와 기초·원천기술의 성격임.

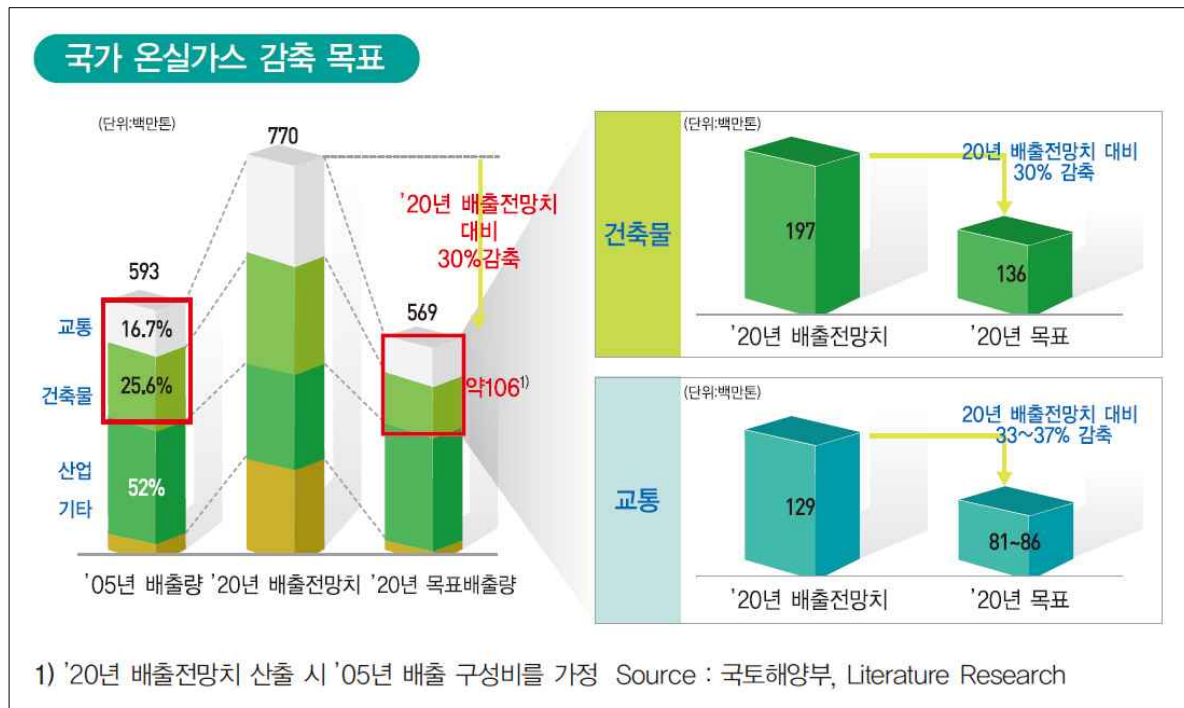


[그림 1.4] ‘탄소저감형 건설재료’ 기술의 성격

3. ‘탄소저감형 건설재료 기획’ 추진배경

- 현재 전 세계는 기술 발달의 가속 및 경제규모의 거대화, 지구온난화 방지를 위한 전세계적 협력체계 구축 등 글로벌화가 심화되고 있으며, 이는 **건설분야에서도 글로벌화, 녹색건설 중대 및 기술혁신의 요구 대두.**
- 국제 탄소배출량은 2008년 28.8Gt에서 2020년 34.5Gt, 2030년 40.2Gt로 계속 증가할 것으로 전망(IEA, World Energy Outlook)

- 우리나라의 CO₂ 배출량은 2007년 기준 4억8천870만톤으로 2006년에 이어 2007년에도 OECD내에서 6위, 전세계에서 9위를 차지(IEA, World Energy Outlook).
- 우리나라 온실가스 배출량 중 건설분야 비중은 42.3%로 높은 비중을 차지, 2020년 대비 온실가스 30% 감축목표 설정, 건설분야에서도 동일한 감축목표 설정 (국토해양 R&D 발전전략)



[그림 1.5] 국가 온실가스 감축목표(국토해양부, Literature Research)

- 건설산업의 CO₂ 발생량중 건설재료는 자재생산시 13%, 기타 운송·공사·시설 관리를 포함하면 건설산업 CO₂ 배출량의 상당부분을 차지함.



[그림 1.6] 건설부문의 CO₂ 배출 비율
(한국건설기술연구원, 녹색도시를 선도하는 기술전략)

- 우리나라에서는 국가적 저탄소 녹색성장의 실현을 위하여 녹색성장위원회를 대통령 직속으로 설치하고, 국가전략을 수립, CO₂ 포집처리저장기술 및 친환경 저에너지 건축기술을 포함한 27개의 전략을 구성(녹색성장위원회)
- 또한 미래 건설은 기술혁신에 의하여 버즈 두바이의 초고층 빌딩, 프랑스의 교각 250m 높이의 밀라우 다리 등과 같은 선도 프로젝트 대규모 건설기술 활용 증대 예상(최석인, 세계 건설시장 동향과 시사점)
- McGraw Hill Construction사의 보고서에 따르면 2020년 미래 건설기술 중 고내구성, 고강도, 경량성, 경제성, 스마트화된 건설재료의 개발을 예측한 바와 같이 **고기능·첨단 재료의 개발은 지속가능한 미래기술의 일환으로 예상되고 있음.**

기후변화 대응	온실가스 적극 감축과 기후변화에 따른 재해 대응 중요
기술 융복합	국토해양 분야와 IT, 에너지 분야 등과 기술 융복합 가속화
도시경쟁력 강화	글로벌 경쟁의 핵심으로 도시경쟁력 부각
SOC 관리	기존 SOC의 효율적 운영 및 친환경·안전성능향상 중요
해양자원 확보	해양자원확보를 위한 과학기술 및 산업화 기반강화
극한지 탐사	극한지(남·북극, 심해저, 우주 등) 탐사 기술경쟁 심화
국토해양 공간관리	全 국토해양 공간의 효율적 모니터링을 통한 시스템적 관리 중요

[그림 1.7] 국토해양 7대 브랜드(2010 국토해양 R&D 발전전략)

- 글로벌 메가트렌드와 국토해양 영역별 변화를 기반으로 도출된 국토해양 7대 주요 전망에서 **국토해양분야기술과 IT, 에너지분야 등과 기술 융복합이 가속화될 것**으로 전망.
- 국토해양부에서 제시한 국토해양 2030 시나리오에서는 국토해양의 미래상을 결정 지을 수 있는 핵심동인(Key Driver)은 기후변화대응, 기술혁신, 정부정책 공조 및 규제, 에너지믹스, 교통모드 전환, 녹색도시 모델 발전임. 이 중 가장 비중이 높은 기후변화 대응과 기술혁신을 양축으로 한 2030년 시나리오로 그린혁명을 제시.



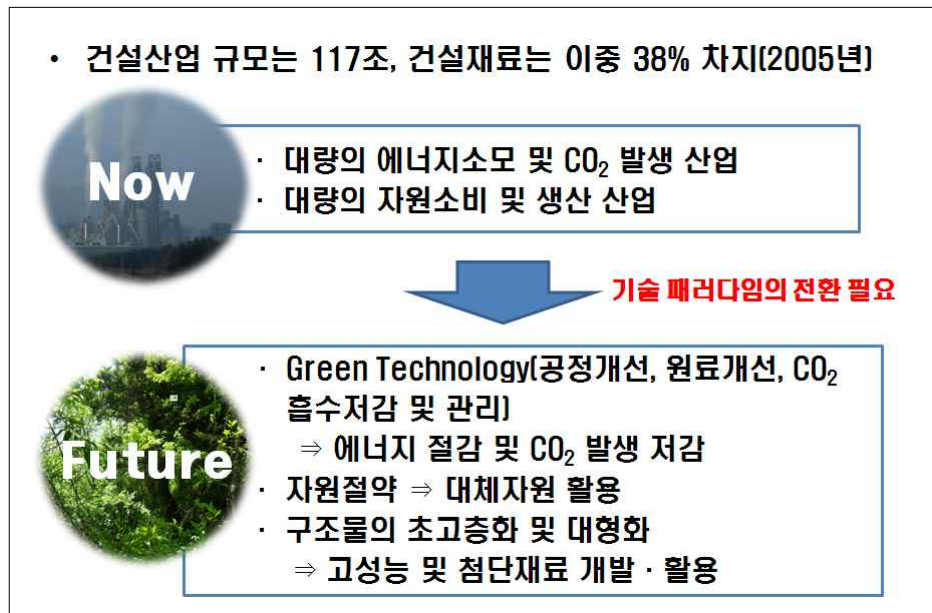
[그림 1.8] 국토해양 2030 시나리오(2010 국토해양 R&D 발전전략)

- “탄소저감형 건설재료”는 2010 국토해양 R&D 발전전략에 따라 선정된 30여개의 건설분야 미래핵심기술(Green-up 30)중 건설산업의 허브기술로 육성 필요.
- 한국건설기술연구원은 “탄소저감형 건설재료”의 미래핵심기술 사전기획 및 위킹그룹 활동 등 기술개발을 위한 주도적 역할을 수행한 바 있음.
- “탄소저감형 건설재료”의 개발과 실현을 위한 전략도출 및 로드맵 작성 등을 위한 기획연구의 필요성이 제기됨

2절. 기획연구의 필요성

1. 기획 필요성

- 국내 건설산업 규모는 GDP의 17%인 117조에 달하며, 이중 38%의 비중을 차지하는 건설재료는 대량의 CO₂ 발생 및 에너지를 소모하는 산업부문으로 근본적인 대책 필요
- 기후변화 대응 CO₂ 저감 필요성
 - ※ 전세계 경제성장 및 에너지 소비 증가 탄소배출량 증가
 - ※ 국내 CO₂ 배출량 세계 상위수준 (OECD 6위, 전세계 8위)
 - ※ 국내 CO₂ 배출량 중 건설교통분야 비중은 42%
 - ※ 건설분야 CO₂ 발생량 중 건설재료 부분 13% 이상
- 탄소저감형 건설재료 기술은 국가 저탄소 녹색성장 정책 및 국토해양 R&D 전략에 부합하는 기술로 성공적인 과제수행을 위해 기술개발 동향 및 환경분석, 기술개발 전략 수립, 연구개발과제 도출, 연구범위 설정, 타당성 조사 등을 통하여 국가 연구개발사업으로서 당위성을 확보하고 녹색건설기술을 선도할 수 있는 혁신적 연구가 이루어지도록 기획연구 수행 필요



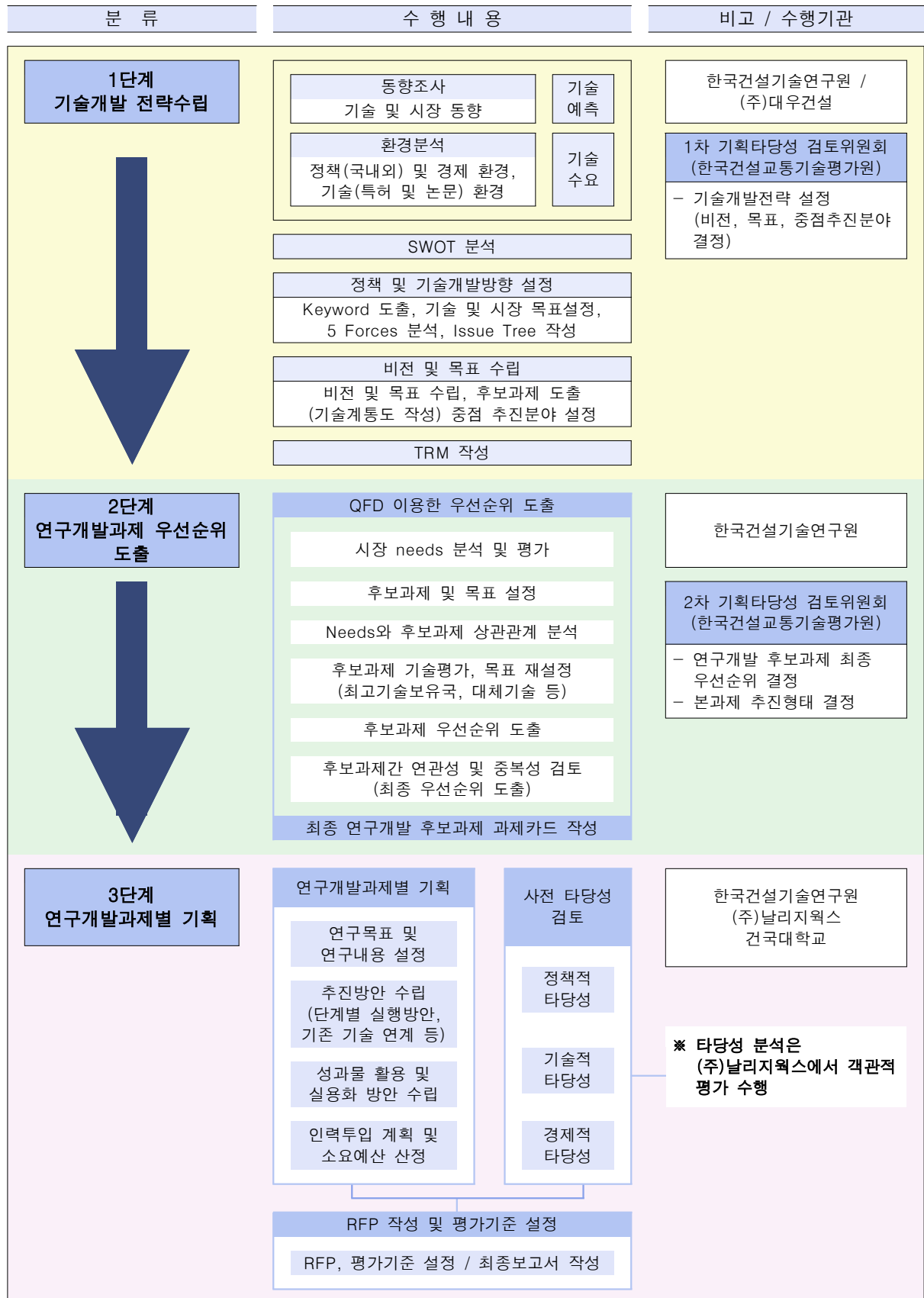
[그림 1.9] 건설재료산업의 변화요구

〈표 1.2〉 “탄소저감형 건설재료 연구” 필요성

정책적 측면	• 2030년에 BAU대비 30% CO₂ 저감을 위해서 건설산업에서의 CO₂ 저감 기술개발이 필요 • 전 세계적으로 구조물 에너지 절감을 위한 제로에너지 주택, Green 정책 도입 • 우리나라도 정부의 저탄소 녹색성장 국정비전에 따라 2020 그린홈 100만호 사업 발표 • 폐기물 발생억제, 재사용 및 재활용, 에너지 자원화, 안전처리 시스템을 통한 제로 Waste 전략 • 구조물 LCCO₂ 평가제도 도입 및 LCCO₂ 총량제 법률 검토 등 건설자재 LCCO₂ 평가 필요
기술적 측면	• 건설산업 탄소저감은 저탄소 건설재료를 플랫폼기술로 하는 원천요소 기술 개발 중요 • 건설재료 발생 CO₂ 원천소재 기술과 함께 CO₂ 이용/흡수/저장 기술 활용 필요 • 건설재료는 친환경기술 이외에 고단열성, 흡음성, 불연성 등의 고성능/최첨단 기술도입 필요 • 건설재료는 유/무기계 원천기술과 건축/토목 응용기술이 융합한 기술 개발로 학제간 연구 추진 필요 • 건설재료의 제도/시공/운영/해체를 포함하는 건설재료 LCCO₂ 평가 기술 필요
경제적 측면	• LCCO₂를 저감하기 위한 건설재료의 개발은 경제성을 고려하여 지속가능성 개념으로 접근 필요 • CO₂를 저감하는 건설재료의 개발은 재료분야의 녹색산업을 창출하여 신규 일자리를 창출하는 기회 제공 요인 • CDM에 의한 CO₂ 거래에 있어 건설재료의 CO₂ 저감은 직접적으로 CDM 효과를 창출 • 건설폐기물, 산업부산물 등을 활용한 CO₂ 저감형 건설재료의 활용에 의한 직접적 경제효과 창출 • 전 세계의 Green Building 시장은 기하급수적으로 증가하고 있어 저탄소 건설재료 요구 확대
학술적 측면	• CO₂를 저감시키는 건설재료 원천기술 신학문영역 창출이 중요 • 모든 건설활동을 CO₂로 평가하고 경제성을 고려하는 지속가능성 학문 분야 창출

2. 기획연구 추진절차 및 방법

‘탄소저감형 건설재료 기획’ 추진절차와 조직은 다음과 같다.



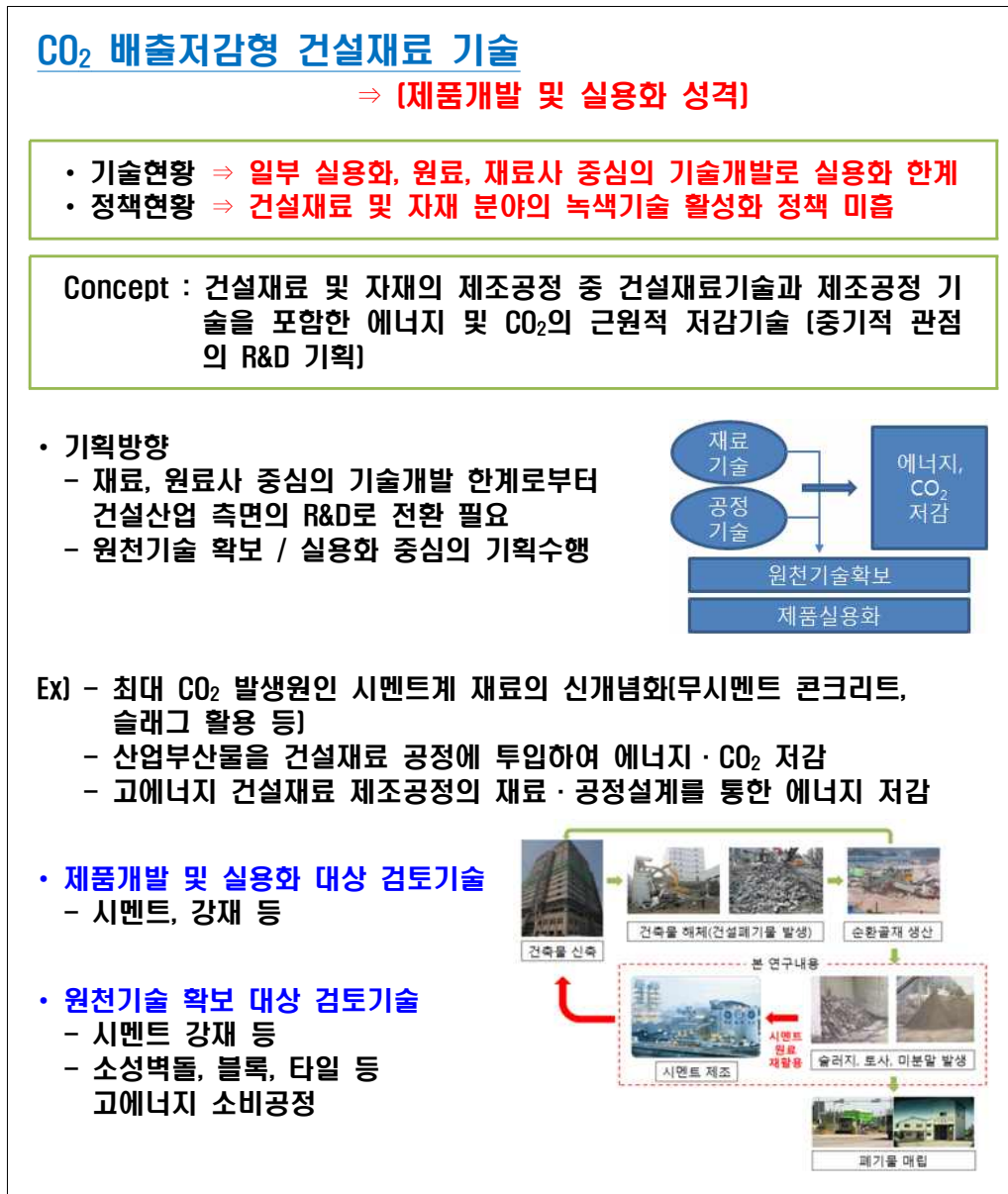
□ 기획위원회 조직 및 참여기관



3. 기획기술의 분류

가. “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술

- 건설재료는 제조시 대량의 에너지 소모 및 대량의 CO₂ 배출(ex, 시멘트 제조시 발생하는 CO₂량은 국내 CO₂ 배출산업 중 2위).



[그림 1.10] CO₂ 배출저감형 건설재료 기술

- 대량의 CO₂를 배출하는 건설재료를 다른 재료로 대체하여 에너지 및 CO₂를 저감하거나, 제조공정의 개선 등을 통해 에너지와 CO₂ 발생을 저감하는 근본적인 기술개발 필요
- 시멘트를 사용하지 않거나 그 사용량을 감소하는 무(저)시멘트콘크리트, 고로슬래

그, 플라이애쉬 등 산업부산물의 건설재료 활용을 통한 저에너지, Low CO₂ 기술 개발 대상.

- 녹색건설기술 패러다임하에 저에너지 환경부하 저감 건설재료가 포함되는 친환경 건설재료의 수요 증대로 시장확보 가능 기술개발 필요

※ 국내 친환경 건설자재 시장 2.6배 증가(국가환경정보센터 자료), 미국 연평균 20.6% 성장 예측(BCC 리서치)

나. “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술

- 지구 온난화에 대비하기 위하여 선진국 등에서는 CCS(Carbon Capture & Storage) 기술이 앞서 있으며, CO₂의 저장기술로 대량의 CO₂를 지중 및 해양에 저장함으로써 CO₂ 저감에 기여
- 국내의 경우 CO₂ 포집 및 저장기술은 어느 정도 수준에 도달했으나, 대량 저장을 할 수 있는 지중 및 해양지역의 확보가 어려움

CO₂ 활용·처리 건설재료 기술

⇒ [원천기술확보 + 제품개발 성격]

- 기술현황 ⇒ 국내 일부 기술개발 중이나 원천기술 미비
- 정책현황 ⇒ 적극적인 건설분야의 CO₂ 흡수처리·활용정책 전무

Concept : CO₂의 적극적 부가가치 활용기술로 슬래그, 플라이애쉬 등의 산업부산물과 순환골재 등의 건설폐기물 등을 CO₂를 활용하여 적극적 개념의 CO₂ 활용·전환처리와 활용 [장기적 관점의 R&D 기획]

- 기획방향
 - 건설재료를 CO₂ 저장원 또는 개질재로서 활용하는 적극적 CO₂ 저감기술
 - 기 개발된 CO₂ 포집기술(한국에너지기술 연구원)과의 연계한 융합기술 기획

• 원천기술 확보 대상 검토기술 (CO₂ 흡수처리기술)

- 플라이애쉬, 베타애쉬
- 건설폐기물, 순환골재, 순환골재 부산물 등
- 단열발포제

• 제품개발 및 실용화 대상 검토기술

- 식생블록
- 단열재
- 레미콘회수수
- 콘크리트 벽돌, 블록 등



CO₂ 흡수처리기술 개념

[그림 1.11] CO₂ 활용·처리 건설재료 기술

- 건설재료로 활용되는 플라이애쉬, 슬래그 및 건설폐기물 등은 CO₂ 저장원으로 활용이 가능(M. Fernandez Berto, Journal of Hazardous Materials, 2004)
- 국내에서 발생하는 산업부산물은 1,200만톤/년 이상, 건설폐기물은 6,200만톤/년 이상으로 CO₂ 저장원으로 활용시 그 저장효과는 클 것으로 판단됨
- 현재 21C 프론티어 사업으로 진행 중인 **한국에너지기술연구원의 ‘CO₂ 저감 및 처리기술개발사업단’**과 연계하여 발전시설 등에서 포집한 CO₂의 저장대책이 없는 상황임
- 이와 연계하여 대량의 CO₂를 산업부산물 및 건설폐기물 등에 저장하는 기술에 대한 기술개발 필요인식 공유(**한국건설기술연구원, 한국에너지기술연구원**)로 적극적인 추진 필요

다. “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술

- 시설물의 고층화, 대형화 추세에 따른 사용 건설자재 및 재료의 요구성능 향상에 따른 고기능·첨단 건설재료의 개발 가능성 증대



[그림 1.12] 국내 초고층 건축물 추진계획

- 에너지절감 및 경제성, 안전성을 고려한 건설재료의 고성능화에 대한 수요자의 요구 증대 및 세계적 수준의 에너지저감 및 첨단 건설재료시장의 진입을 위한 기술개발 선점필요
- 국가 저탄소 녹색성장정책에 따른 녹색건설의 중요성 인식으로 그린빌딩, 그 홈 등 에너지절감 고효율 건축물 설계 및 시공이 증대, 단열재료의 중요성 제고 및 고단열 재료, 에너지 절감형 도료 등의 개발 필요

에너지 저감형 고성능 건설재료 기술

⇒ [국산화 + 세계시장 선점]

- 기술현황 ⇒ 선진국 기술 의존, 국내 실용화기술 확보 필요
- 정책현황 ⇒ 활용의 지원전략 미흡, 핵심기술 확보정책 필요

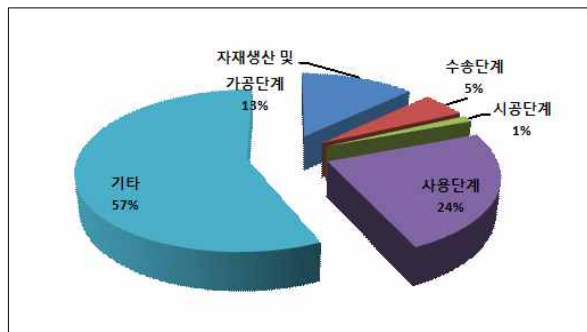
Concept : 고층화, 대형화 추세에 따른 신건설재료 및 자재의 고성능화 요구에 CO₂ 저감 관점에서 에너지 저감중심의 고단열, 고내구성 등의 성능 구현을 통하여 건설산업 전반에 걸친 탄소저감을 유도하는 건설재료 및 제조·활용기술 (중장기적 R&D 기획)

- 기획방향
 - 현 건설기술 및 미래 Needs를 고려한 성능 및 기술수준 전개
 - 현 기술수준을 능가하는 고성능 첨단 건설재료
 - 첨단소재 및 고성능소재의 융합기술 국산화 및 세계 시장 선점

[그림 1.13] 에너지 저감형 고성능 건설재료 기술

라. “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술

- 우리나라 탄소배출량의 25%는 시설물 사용단계에서 배출되는 것으로 조사되며, 이에 따라 추진 중인 대부분의 녹색성장 정책도 사용단계에서의 탄소배출량을 최소화하는 것에 초점



[그림 1.14] 건축물의 단계별 탄소배출 비중(일본건축학회 논문집 549호)

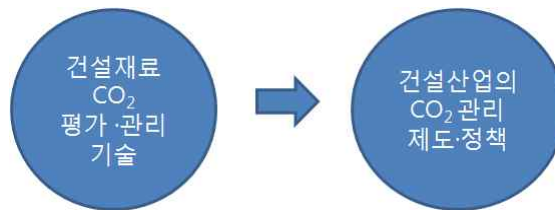
- 건설자재 생산가공 및 시공에서만 13.1%의 탄소배출이 이루어지고 있으며, 토목 시설물 및 자재운송까지 고려할 경우 시설물 건설과 직·간접으로 연관된 탄소배출량은 더 커질 것으로 판단됨.
- 이에 시설물의 전단계의 탄소 배출량을 분석하고, 전 생애적 관점(건설자재 생산 단계 포함)에서 탄소배출량 관리기술의 필요성 제기(국토해양부, 건설기술의 녹색성장 실행계획)

건설재료 CO₂ 통합관리 및 정책 기술

⇒ [원천기술확보 + 제도·정책]

- 기술현황 ⇒ DB 부족, 건설재료 전생애 CO₂ 발생량 평가분석·관리기술 표준화 미비
- 정책현황 ⇒ CO₂ 배출량 관리정책의 미비

Concept : 건축물, 시설물 등의 사용·설계·관리 입장에서 건설재료 및 자재산업에서 제조·시공·사용·폐기에 이르는 전생애주기의 CO₂ 관리기술, 건설재료 기술기반으로 한 LCCO₂ 기법



- 기획방향
 - 건설재료의 원료생산, 제품제조 및 생산, 운반, 시공, 사용, 폐기에 걸친 CO₂ 발생량 분석·평가 및 DB 기술의 기획
 - 국토부외 타부처, 국제적 정책추이를 고려한 관리·정책 방향 기획

- 원천기술 확보 대상 검토기술
 - CO₂ 발생량 분석·평가 등 관리 시스템 및 DB구축

- 정책 및 제도정책 검토기술
 - 건설재료 및 자재 CO₂ 관리 정책 및 제도 도입·정착



국가 LCI DB 정보망 예

[그림 1.15] CO₂ 활용·처리 건설재료 기술

2장. 기술개발전략 수립

1절. 기획 필요성

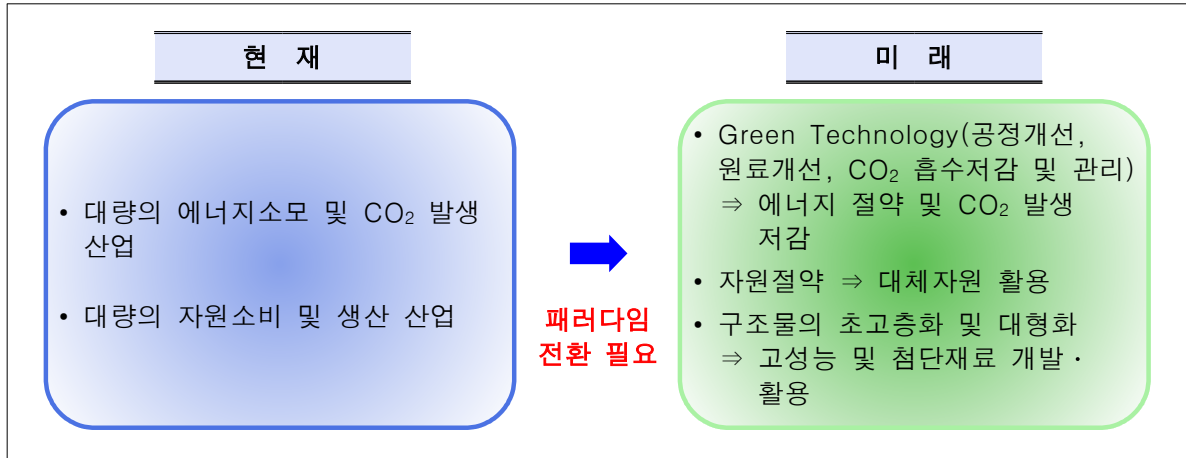
1. 기획배경

가. 대량의 CO₂ 발생원인 건설재료·자재의 CO₂ 관리 및 저감대책 미흡

- 국제 탄소배출량은 2008년 28.8Gt에서 2020년 34.5Gt, 2030년 40.2Gt로 계속 증가할 것으로 전망(IEA, World Energy Outlook).
- 국내 CO₂ 배출량은 2009년 기준 52,870만톤으로 2008년 전세계 9위에서 8위로 1단계 상승(EIA, 미국에너지정보청).
- 국내 온실가스 배출량 중 건설분야 비중은 42.3%로 높은 비중을 차지, 국내 온실가스 감축목표는 2020년 BAU 대비 30% 감축 설정, 건설분야에서는 2020년 BAU 대비 31% 감축목표 설정(국토해양 R&D 발전전략).
- 건설재료·자재산업 부문에서 지금까지 추진한 R&D 대부분은 폐기물 및 산업부산물 등의 재활용 기술개발 중점추진.
- 시멘트, 강재 등 대량의 CO₂를 발생시키는 건설재료가 건설산업에서 활용되고 있으나, 탄소배출량의 통합적 관리체계가 미비한 실정임.
- 건설재료·자재산업에서 CO₂ 저감 및 처리기술 확보 및 관리정책 대응필요

나. 국내 건설재료·자재산업의 글로벌화 한계 도달

- 건설재료·자재산업 분야는 건설산업 원천기반기술임에도 기술개발 인식미비와 체계적 지원이 취약한 실정임.
 - 다양한 첨단소재의 개발 및 활용기술의 요구에 반하여 시장의 폐쇄성 및 건설공사의 경제적 부담가중으로 한계도달.
 - 세계일류의 시공기술을 보유하고 있음에도 세계일류 건설재료 및 자재의 원천기술이 전무한 상태임.
- ※ 에너지 저감형 고성능 건설재료 및 자재개발과 기술원천기술 확보 필요



[그림 2.1] 건설재료·자재산업의 패러다임 전환

- 미래의 건설재료·자재산업의 패러다임 전환에 적합한 최적의 건설재료·자재 기술개발 프로그램 기획 필요.

다. 건설산업 Supply Chain의 연계성 취약

- 기존 건설재료·자재 분야의 R&D는 공급자 위주의 기술개발로 수요자 Needs에 부합되지 못한 부분이 있으며 이는 실용화 부진의 주요 요인으로 작용.
※ 다양한 건설재료 및 자재를 생산하는 공급자와 이를 요구하는 수요자와의 적절한 연계 시스템 부족.
- 건설재료나 자재의 생산기술에 비해 효율적 관리시스템 부재와 시공기술과의 격차로 인한 건설산업 전반의 위기와 패러다임 변화에 대응하는 역동성 부재.
- 건설재료·자재로부터 시공, 사용, 해체에 이르는 건설산업 전반의 연계와 더불어 타산업 및 기술분야와의 융합과 연계 필요.

라. “탄소저감형 건설재료” 기술분류

- 건설재료·자재산업 분야의 기술을 탄소저감을 중심으로 CO₂ 배출, 처리, 성능, 관리의 관점에서 다음 4가지 분야로 분류하여 기획함.



[그림 2.2] 탄소저감형 건설재료 기술의 분류

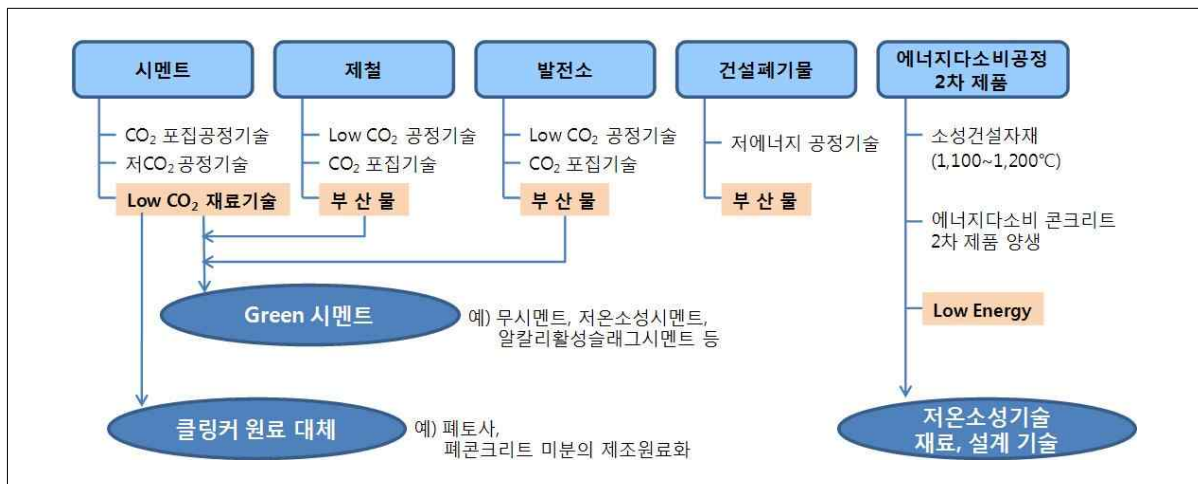
(1) “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야

(가) Concept

- 건설재료 및 자재의 제조과정 중 대량의 CO₂를 발생시키는 시멘트·철강분야를 대상으로 에너지소비와 CO₂의 발생을 저감시키기 위하여 재료기술과 공정기술을 바탕으로 에너지 및 CO₂의 근원적 저감기술.

(나) 기술내용

- 최대 CO₂ 발생원인 시멘트계, 철강재료 등의 신개념화(예 : 무시멘트 콘크리트, 비정질 steel, 슬래그 활용 등).
- 건설 및 타산업에서 발생하는 자원 등을 대체하여 건설재료 공정에 투입하여 에너지·CO₂ 저감(예 : 재활용기술).
- 고에너지 건설재료 제조과정 중 재료·공정설계 등을 통하여 에너지를 절감하는 기술(예 : 소성온도 저하 등).



[그림 2.3] “CO₂ 배출저감형 건설재료”의 예

(2) “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야

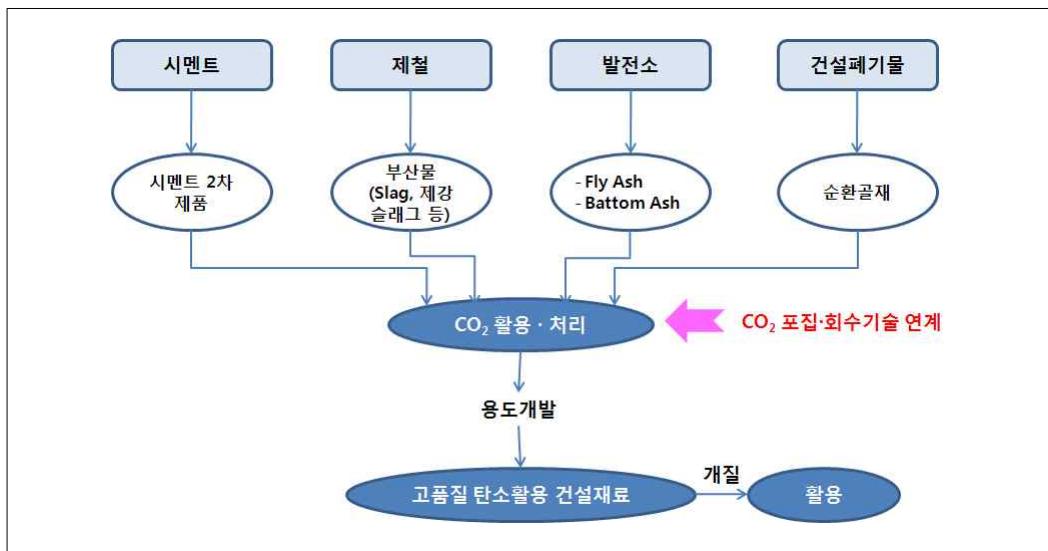
(가) Concept

- CO₂의 적극적 부가가치 활용기술로서, 슬래그, 플라이애쉬 등의 산업부산물과 순환골재 등의 건설폐기물, 단열재 발포소재, 레미콘회수수 탄산화 등에 CO₂를 활용한 적극적 개념의 CO₂ 활용과 처리 후 건설재료로 활용.

(나) 기술내용

- 온실가스 저감을 위한 CCS(Carbon Capture & Storage)기술과 연계하여 탄산

화반응 등을 응용한 산업부산물 및 건설폐기물 등의 CO₂ 흡수처리 및 개질활용의 원천기술 확보 등.



[그림 2.4] CO₂ 활용·처리 기술의 예

(3) “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야

(가) Concept

- 토목·건축 시설물의 고층화, 대형화 추세에 따른 건설재료의 고성능화 요구에 CO₂ 저감의 관점으로 에너지 저감중심의 고단열, 고내구성 등의 성능구현을 통하여 건설산업 전반에 걸친 탄소저감과 자원절약의 건설재료 및 자재의 제조와 활용기술.

(나) 기술내용

- 현 수준을 뛰어넘는 슈퍼콘크리트 및 강재, 에너지 절감 및 단열성능이 향상된 고성능 외피기술, 열차폐 도료, 스마트창호 등을 활용한 고성능 건설재료 및 device 등을 포함한 시스템 구성기술 등.

(4) “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야

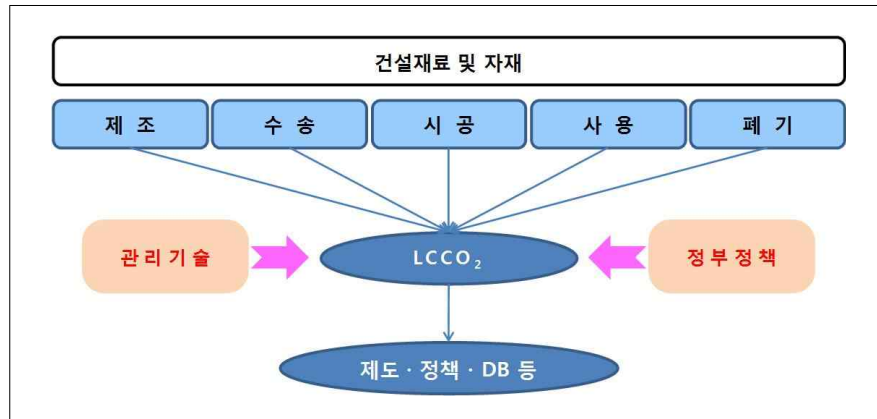
(가) Concept

- 토목·건축 시설물 등의 사용·설계·관리입장과 건설재료 및 자재산업에서 제조·시공·사용·폐기에 이르는 전생애주기의 CO₂ 관리 기술

(나) 기술내용

- 건설재료 CO₂ 평가 및 LCI DB구축, 사용유지관리 분야 지침 및 평가모형 개발, 탄

소저감 건설자재 공급망 구축, 제도정비 및 인증제도 구축 등



[그림 2.5] 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책 기술의 예

2. 기획목적 및 추진방향

가. 기획목적

목 적

“건설산업의 발전과 경쟁력 제고를 지원할 수 있는 허브기술로서 에너지소비 및 환경부하 저감이 가능한 탄소저감형 건설재료 기술개발 전략프로그램 제시”

- 국가 탄소저감 정책목표 달성에 기여하는 건설재료 기술개발 전략기획
 - ※ 2020년 BAU 대비 30% 감축목표 설정, 건설부문 31% 감축목표(국토해양부)
- 건설재료의 생산 및 활용, 관리기술을 포함한 Total CO₂ 저감프로그램 기획
- CO₂ 발생을 근본적으로 저감하고, 에너지소비 및 환경부하 저감이 가능하며 경제성이 확보된 건설재료의 생산, 공정, 재활용 등 관련 제반기술 기획
 - 탄소저감형 건설재료 기술개발을 위한 연구과제 도출
 - 탄소저감형 건설재료의 실질적 연구가 가능한 제도화, 실용화 방안 제안
 - 기존 건설재료 및 자재 대비 CO₂ 발생량 30% 수준의 저감이 가능한 탄소저감형 건설재료 기술실현을 위한 연구개발 추진전략 마련
 - 본 과제 수행에 실질적 도움을 줄 수 있는 상세기획보고서 제시

□ 연구과제의 핵심어(keyword)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	에너지 저감	CO ₂ 활용 · 처리	고성능 · 첨단 건설재료	자원재 활용	친환경 건설재료
영문	Energy save	Carbon dioxide sequestration material	High performance & high technology construction material	Recycle	Eco Friendly construction material

나. 기획 추진방향

(1) 국가정책에 부합한 건설재료 · 자재의 CO₂ 저감의 유효적 실천기획(CO₂ 30% 저감)

- 저탄소 녹색성장을 위한 2020년 BAU 기준 CO₂ 30% 저감 국가 목표 달성에 부합하여 건설재료 산업분야에서 CO₂ 31% 저감목표 설정 및 이를 달성하기 위한 전략기획 추진

(2) 세계일류의 기술(제품) 1건 이상 확보

- 건설재료 · 자재산업은 대량생산, 대량소비와 기술보다 생산을 중시하는 폐쇄적 구조임
- 선진국 수준의 시공기술을 바탕으로 해외건설시장의 국내기업 진출은 증대되고 있으나, 건설재료 자재산업분야는 세계일류제품과 기술이 없어 시공기술과 시장 요구에 대응가능한 기술확보

(3) 신산업으로서 건설재료 · 자재부문의 동력화 인식제고

- 건설재료 · 자재산업은 건설산업의 기반 · 원천분야이지만, 설계, 시공, 구조 분야보다 중요도가 낮고, 부가적 기술로 인식되었음. 본 기획을 통해 건설재료분야를 별도의 산업규모로 인식확대와 명확한 아이덴티티(Identity)를 확보.

다. 기획 추진방법

(1) 수요자 Needs를 반영한 연구개발 기획

- 기술수요자인 건설업체 전문가의 적극적 참여와 다양한 분야의 전문가 동시참여를 통하여 기획단계로부터 요구되는 기술의 기획추진

(2) 원천기술과 실용화기술의 명확한 분류와 목적지향형 기획

- 전통적인 건설재료 기술에서 탈피, 타 분야 기술의 융합을 통한 원천기술과 실용화기술의 분류와 그에 적합한 R&D 기획추진.

(3) 선택과 집중에 의한 R&D 기획추진

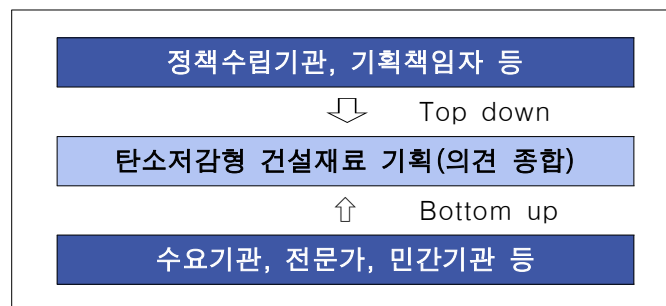
- 다양한 기술적 요소와 조건을 우선순위와 가능성을 바탕으로 선택하고 집중하는 전략기획 추진
- ※ 건설재료·자재산업의 CO₂ 배출·저감 30% 집중 등

(4) 타 산업 연계성(융합) 강화

- 첨단 신소재의 건설재료 활용, 발전소 포집 CO₂의 건설재료 활용 연계 등 타분야와 연계하여 융합기술의 개발 및 실증화가 가능한 기획.

(5) Top down과 Bottom up 방식을 융합한 연구개발 기획

- 정부정책에 부합하고, 민간기업 주도가 어려운 기술은 담당부처 및 참여연구진에 의한 Top down 방식, 수요자의 Needs를 고려한 기술은 폭넓은 기술수요조사를 통한 Bottom up 방식을 융합하여 기획추진



[그림 2.6] Top down 방식과 Bottom up 방식을 융합한 기획추진

2절. 국내외 동향 및 환경분석

1. 국내외 정책동향 및 분석

가. 국외 정책동향 및 분석

(1) 미국

(가) 녹색성장 전략수립

- 환경보호청(EPA)에서는 “EPA 전략계획”을 통해 환경분야 혁신·협력 기술도입 추진, 에너지부에서는 에너지 관련 기술개발을 주도, 에너지 효율, 재생에너지 관련 기술개발 사업추진

※ 녹색원천기술을 확보하기 위해 전담기관인 ARPA-E(Advanced Research Projects Agency-Energy)를 설립해 민간수행이 곤란한 원천기술 개발중

(나) 시설물 에너지 절감정책 추진

- HERS(Home Energy Rating System) 제도를 94년도에 제정하여 주단위로 에너지 절약제도 시행(주택 에너지 효율등급을 5등급으로 구분, 주택의 저리용자와 연계한 시스템).
※ 2020년부터 주거용, 2025년부터 비주거용 제로에너지 건축물 의무화를 목표로 설정, DOE에서는 Building America 사업을 기반으로 시장연계제로 에너지 타운보급.
- 민간부문에서 Empire state 빌딩, Sears Tower 등 노후화된 초고층 빌딩의 녹색화 사업이 활발하게 추진중.
- 초단열소재, 진공단열창, 스마트창호 등 건물외피의 단열성능 강화방안 연구에 박차를 가하고 주거용 건물은 2020년까지 비주거 건물은 2025년까지 Zero Net Energy에 도달하려는 건축기술(BTP : Building Technology Program)을 추진중임.

(다) 탄소저감 정책수립 추진

- 17년 CCS 사업 상용화를 목표로 에너지부(DOE) 산하에 ‘국립탄소포집센터(NCCC)’를 설립('09.6)하고, '09년 150백만불(USD) 투자, 오바마 대통령 지시('10.2)로 9개 기관 합동 T/F를 구성하여 마스터 플랜을 수립 중
- International Energy Agency(IEA)에서는 Cement Technology roadmap 2009에서 2050까지 시멘트 산업의 탄소배출저감 기술에 대한 방향제시

〈표 2.1〉 시멘트산업 CO₂ 저감량 산정과 감축방향

구분	2006년	Roadmap 2050년 (low demand)	Roadmap 2050년 (high demand)
Global indices			
% clinker	79	71	73
% alternative fuels	3	37	37
GJ/t clinker	4.2	3.3	3.2
kWh/t cement (excl CCS)	111	92	92
t CO ₂ / t cement	800	426	352
Global volumes			
Cement production, million t	2,559	3,657	4,397
CO ₂ emissions (excluding CCS), million t	2,047	2,052	2,521

※ IEA, cement technology roadmap 2009

(2) 일본

(가) 녹색성장 전략수립

- 환경성에서는 환경정책의 기본체계, 표준, 규제 등 관련된 입법을 추진하고 국립환경연구소(NIES)를 통해 환경분야 장기연구의 중추적 역할수행
- 경제산업성에서는 기후변화대책 수립, 3Rs(Reduce, Resue, Recycle)정책추진, 환경친화적 경영촉진 등의 기능수행

※ 경제단체연합회에서는 '10년까지 CO₂ 배출을 1990년 이전 수준으로 감소시키기 위해 1997년 '자발적 환경실행지침'채택

(나) 시설물 에너지 절감정책 추진

- 그린빌딩 인증제도로 카스비(Comprehensive Assessment System for Building Environmentla Efficiency : CASBEE)를 도입(건축물의 환경, 에너지 절약 등에 관한 조사 연구, 인증, 평가진단 및 지도 등)
- NEDO 주도의 신에너지/에너지 절약 관련 대규모 국가기술개발 프로젝트인 New sunshine 계획수립 등으로 에너지절약 추진
- 저탄소 사회구현을 위한 국가행동계획('08.7)을 수립, '50년까지 60~80% 온실가스 감축목표 제시, 에너지자립·장수명 주택 등 핵심기술 개발추진.

(다) 탄소저감 정책수립 추진

- 2005년 일본정부는 '쿨 어스(Cool earth)에너지 혁신기술계획'을 제시, 태양광 발전 등 21개 탄소저감기술을 확보하여 신성장산업을 육성하고 신규시장 창출 계

획수립

- 국토교통성은 산업부문의 부정적 효과를 최소화하고 경제성장과 균형을 이루도록 하는 **탄소배출 저감정책을** 기반으로 CO₂ 저감목표 설정.
 - ※ 쿨 어스(Cool Earth)에너지 혁신기술 계획의 21개 핵심기술 - 탄소저감형 제철 공장, 탄소저감 제조·가공기술
- CCS 사업을 위하여 신에너지산업기술개발기구(NEDO) 및 지구환경산업개발기구(RITE)주도, ; 15년 상용화 목표로 기술개발 및 실증연구 추진, 29개社가 출자한 CCS 전문 민간기업 “일본 CCS 조사주식회사” 설립('08.5).

(3) 유럽

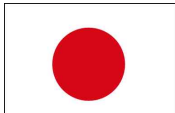
(가) 시설물 에너지 절감정책 추진

- 유럽연합 차원의 빌딩 에너지 효율지침 및 에너지 소비감축 실천계획을 수립하고 2009년 2,000억 유로를 태양광 발전, 건물 에너지 효율증대 등 지구온난화 대책 및 에너지 절약부분에 중점적 배분.
- 영국은 08년도에서 신규주택의 제로에너지 의무화 시기를 세계적으로 가장 빠른 2016년으로 최초 선언.
- 독일은 신규 및 기존 건축물에 대한 에너지절감기준을 강화.
 - ※ 신규주택의 에너지절약기준을 2009년 30%에서 2012년 30% 강화, 2015년부터는 패시브 하우스 수준 의무화
 - ※ 2001년부터 'CO₂ 감축 건물 개보수 프로그램' 도입, 2020년까지 에너지 효율 20% 증진 목표설정.

(나) 탄소저감 정책수립 추진

- 유럽연합(EU)은 기술혁신을 통한 세계 탄소시장 선점을 목표로 'SET 플랜'을 마련해 녹색기술 중점추진분야를 선정, 집중투자.
- 영국은 '그린혁명 계획'을 수립하여 2020년까지 1천만 파운드(200조원)을 투입, 2050년 탄소제로형 국가로 변화에 주력하고 기후변화세에 대한 세율증대, 발전 공급자에게 신재생에너지 발전비중을 2015년까지 15.4%로 의무적으로 확대.
- 독일은 유럽의 온실가스 배출저감의 선도적 국가로서 전기절약, 신규 발전소 건설, 재생에너지 비중확대 등 8개 중점추진전략을 마련함.
- EU는 2020년 CCS 상용화, 화력발전소 CO₂ 배출량 Zero를 목표로 '20년까지 6~12개 대규모 실증사업에 60억불(USD) 지원 계획. 영국, 노르웨이 등은 별도 투자 계획 수립(영국 110~145억불).

〈표 2.2〉 세계 각국의 기후변화 대책

구분		추진계획 내용
	EU	- 전 지구적 목표에 이거, 미국 및 주요 선진국의 광범위한 참여와 기존 교토의정서방식에 의한 적극적 감축목표 채택 주장 ※ 산업화 이전보다 2℃ 이상 온도상승 억제(대기중 온실가스 농도 550ppm 이하) 『Climate Change & Energy Package』 채택('07. 3 EU 정상회담) : 2020년까지 '90년 대비 온실가스 배출량 최소 20% 감축 ※ 여타 선진국 및 선발 개도국 동참시 30%까지 감축 - 노르웨이는 '50년까지 추가 배출량을 Zero로 추진
	미국	- 교토의정서에 의한 구속적 의무감축 방식보다 기술개발 등을 통한 자발적 감축을 주장 17년까지 향후 10년간 석유 소비량 20% 감축 및 재생에너지 비중을 현재의 3%에서 15%로 확대키로 발표('07.1) ※ 캘리포니아주는 온실가스 배출을 '20년까지 25% 감축하는 법안 제정('06년), 29개 주에서 온실가스 감축 목표 수립 - Sanders-Boxer, Lieberman-McClain 법안 등 10여개 법률안 상정 (Cap and Trade 방식으로 온실가스 감축 제안)
	일본	- 선진국 뿐 아니라 중국, 인도 등 주요 배출국이 참여할 수 있는 유연하고 실효성 있는 Post-2012 체제 주장 『Cool Earth 50 이니셔티브』 발표('07. 5.24) - 전지구적으로 2050년까지 현재 수준 대비 50% 감축목표 선언 - 경쟁 우위에 있는 청정에너지기술의 활용 방안 적극 모색 - 지구 온난화 대책의 추진에 관한 법률 제정·시행('98년)
	중국	08년 중 미국을 제치고 세계 최대의 온실가스 배출 예상(IEA) 『National Climate Change Programme』 발표('07. 6. 4) - 2010년까지 GDP당 에너지 소비량 20% 감축, 신재생에너지 10% 확대 목표 설정 - 수력, 원자력 발전 확대 및 에너지 효율개선으로 14.5억CO₂톤 저감 - 산림면적을 국토의 20%로 확대하여 5천만 CO₂톤 흡수 2020년까지 GDP당 에너지 소비량을 추가로 30% 감축('07.10. 4)
	영국	2000년 3월 기후변화 프로그램 (UK Climate Change Program)을 발표하여 2010년까지 CO₂ 배출 20% 감축을 목표로 하고 있다. 이를 위해 청정자동차 개발에 820만 달러를 투자하였다.
	독일	기후변화관련 정책은 1990년 6월 연방정부에 의해 설립된 범 정부 CO₂ 감축 실무반(CO₂ Reduction Inter-Ministerial Working Group : IWG) 주관으로 마련되었다. 에너지 부문은 전력소비감소, 석탄소비감소, 신재생에너지 이용촉진방안과 천연가스 시장의 활성화를 통해 온실가스 감축을 추진하고 있다.
	호주	교토의정서 비준거부, 개도국들의 감축의무 참여, 국가 경제고려 등 미국에 동조



[그림 2.7] 세계 각국의 온실가스 감축목표

<표 2.3> 국외 주요 국가정책과 본 기획과의 연계성

정책명	주요내용	연계성
미국	- 환경보호청(EPA)에서는 “EPA 전략계획”을 통해 환경분야 혁신·협력 기술도입 추진 - 그린빌딩 인증인 LEED 운용 2017년 CCS 사업 상용화를 목표로 에너지부(DOE) 산하에 ‘국립탄소포집센터(NCCC)’를 설립('09.6)하고, 마스터 플랜을 수립 중	- 국가적 탄소저감을 위한 정책 수립과 추진중 - 건물 분야의 친환경인증 인증제도 운용으로 탄소저감형 건설재료 활용기반 마련
일본	- 경제산업성은 혁신의 핵심주체로서 기후변화대책 수립, 3Rs(Reduce, Resue, Recycle)정책 추진 - 그린빌딩 인증제도로 카스비 운영 - 저탄소 사회구현을 위한 국가행동계획을 수립, '50년까지 60~80% 온실가스 감축목표 제시 2005년 ‘쿨 어스(Cool earth)에너지 혁신기술 계획’을 제시	- CO₂ 감소 및 재활용 정책 추진 - 에너지절감 정책추진 - 온실가스 감축목표 설정과 추진
유럽	- 유럽연합 차원의 빌딩 에너지 효율지침 및 에너지 소비감축 실천계획을 수립 - 영국은 그린빌딩 인증제도인 BREEAM 운용 - 유럽연합(EU)은 기술혁신을 통한 세계 탄소시장 선점을 목표로 ‘SET 플랜’을 통해 녹색기술 중점 추진분야를 선정, 집중투자	- 건축물 에너지 효율 향상 정책 추진 - 탄소시장 개척을 위한 정책 추진 및 집중 투자 - 세계탄소시장 선점추진

나. 국내 정책동향 및 분석

(1) 과학기술기본계획(법정부, 2008)

- 정부의 총 R&D 투자비율을 GDP 대비 5% 확대(2012년 기준)와 동시에 7대 중점 분야, 50대 중점육성기술, 40개 중점후보육성기술 분류 지원.
- 기초·원천, 첨단·융합기술 분야 집중지원 육성추진과 동시에 건설기술은 공공

기반 기술로서 국가주도기술, 기초기반 융합기술 중점과제에 포함.

※ 국가주도기술 핵심역량강화 → 건설기반기술, 초고층 빌딩건축기술
기초, 기반융합기술 활성화 → 미래첨단도시 기술포함

(2) 녹색성장 국가전략(녹색성장위원회, 2009)

- 정부는 2008년 저탄소 녹색성장을 새로운 비전으로 제시하고, 2009년 11월 국가 GHG(Green House Gas) 감축목표를 2020년까지 배출전망치(BAU) 30% 감축으로 설정.
- 2009년 GHG 증가에 따른 기후변화 대응 및 환경오염 저감을 위한 저탄소 녹색성장을 국가 아젠다(agenda)로 추진하기 위하여 대통령 직속 녹색성장위원회를 설립하고, 저탄소 녹색성장기본법을 제정, 운용.
- 건설분야의 CO₂ 배출량은 전 산업의 43%에 해당하는 대량배출산업으로 “저탄소 녹색성장” 기조에 부응, 세계시장의 기술선도를 위해 국가차원의 집중적이고 지속적인 기술투자 필요.

〈표 2.4〉 녹색성장 5개년 계획의 10대정책 및 추진계획

구분	추진계획 내용
효율적인 온실가스 감축	• 중장기 온실가스 감축목표 설정 및 부문별 감축전략 추진 등을 통해 탄소 줄여가는 사회구현 • 탄소정보공개 확대 등을 통해 탄소가 보이는 사회구현 • 탄소순환운동과 탄소흡수원 확대를 통해 탄소를 순환흡수하는 사회구현 • 북한 산림복구지원 등을 통해 그린 한반도 구현
탈석유·에너지 자립강화	• 에너지효율화 기술혁신과 부문별 에너지 수요관리 혁신을 통해 에너지 저소비·고효율 사회구현 • 신재생에너지 산업화촉진 및 청정에너지 보급확대 • 원자력 역할강화 및 원전수출강국으로의 도약 • 해외자원개발 역량 확충
기후변화 적응역량 강화	• 기후감시, 기후변화에측기법 및 시나리오 확보 등 조기 대응체제 구축 • 기후변화대응 국민건강관리 강화 • 안정적 식량수급체계 구축 • 4대강 살리기 사업 등을 통한 깨끗한 물의 안정적 보급 • 통합연안관리 등을 통한 기후친화적인 해양이용 및 관리 • 재해사전예방을 위한 기준 및 시스템 구축 • 산림생태계 건전성 제고 등 지속가능한 산림경영 추진
녹색기술개발 및 성장동력화	• 기술, 시장변화를 반영한 능동적 전략수립을 통해 녹색기술 투자의 전략적 확대 • 녹색기술 R&D 종합조정체계 구축, 거점조성 등 녹색기술개발체계 강화 • 녹색 신기술 상용화를 통한 녹색기술이전 및 사업화 추진 • 녹색기술 시험·인증·시스템 등 녹색기술·산업인프라 구축 • 전략적 파트너십을 기초로 녹색기술개발 국제협력 활성화 • 신재생에너지 등 6대 중점 녹색기술산업의 성장동력화

구분	추진계획 내용
산업의 녹색화 및 녹색산업의 육성	• 주력산업 녹색전환 촉진 및 녹색경영체제 확산 • 자원순환형 경제·산업구조 구축 • 녹색 중소·벤처기업 육성을 통한 중소기업 녹색역량 강화 • 지식주도형 녹색클러스터 구축
산업구조의 고도화	• 첨단융합산업 육성 • 고부가가치 서비스산업 육성
녹색경제기반조성	• 배출권 거래제도 도입 및 탄소시장 활성화 추진 • 녹색기술산업에 대한 정책자금 지원확대 • 녹색경영·산업 주가지수를 개발, 녹색기업 투자 촉진 • 기업 녹색경영 정보를 공개, 금융기관 정보활용유도 • 친환경적 세제 개편 • 온실가스 감축지원 및 규제개선, 녹색등급·인증 등 녹색상품 생산 • 녹색기술 산업육성을 통한 적극적인 녹색일자리 창출 및 녹색기술자력 제 도입, 종합정보 DB 등 고용 인프라 구축
녹색국토·교통의 조성	• 저탄소 녹색성장 지향형 신 그랜드 녹색 국토공간 구축 • 인증·등급체계 개선 및 건물용도별 활성화방안 마련 등을 통한 녹색건축물 확대 • 철도, 해운 등 녹색교통수단으로의 전환 및 대중교통 이용 활성화로 녹색교통체계 구축 • 생활 속 녹색교통수단의 자전거 이용 활성화
생활의 녹색혁명	• 녹색성장교육 및 녹색시민 양성기반 구축 • 녹색생활의 실천확산 및 녹색소비 활성화 • 녹색마을 조성 및 운동전개
세계적인 녹색성장 모범국가 구현	• 글로벌 녹색성장 실현에 협력하는 국가 • 녹색성장 모범으로 인정받는 국가 • 개도국의 녹색성장을 도와주는 국가 • 녹색성장모델을 보여주는 국가(Green Hub Korea)

(3) 과학기술 미래비전(교육과학기술부, 2010)

- 우리나라에 큰 영향을 미칠 5대 미래 환경변화를 선정, 2040년까지의 미래에 요구되는 기술예측 및 제시.

※ 미래기술로써 에너지 절약을 위한 건물기반기술 및 온실가스 저감을 위한 흡수·고정 메커니즘 해명기술, CO₂ 분리, 격리, 저장기술 이슈화 전망

(4) 환경분야 녹색성장 실천계획(환경부, 2009)

- 2009년, 2020년까지 국가 녹색성장을 위한 환경정책 수립 및 비전, 중점추진기술 및 녹색일자리, 생활환경 개선 등을 위한 기술전략 제시.

※ 국가 온실가스 배출통계를 위한 인벤토리구축, 감축잠재량 평가, 친환경상품산업 및 탄소시장 지원전략 수립.

(5) 건설기술의 녹색성장 추진계획(국토해양부, 2010)

- 세계수준의 저탄소 건설구현을 위한 경쟁력 확보를 위한 신규 건축물의 에너지기

준 강화, 기존 건축물의 에너지 효율개선 촉진, 녹색건설 기술개발 및 인프라 구축, 건설생애주기 전단계의 녹색화 추진.

- 토목 및 건축 시설물 전단계의 탄소배출량 분석 및 전생애적 관점에서의 탄소 배출량 최소화 추진.

※ 건설재료부터 자재, 시공포함 전생애적 관점에서의 온실가스 평가방법 정립 및 시설물 유형별, 공종별, 건설사업 단계 온실가스 배출량 평가지표, 통계시스템 구축 필요

(6) 탄소저감형 건설재료 관련 국내 주요정책

- 건설재료 연구개발 지원 및 설계기준의 Global Standard化 정책

- 건설재료 분야의 R&D 투자규모를 확대하고, 건설업체와 건설재료 생산 업체간 공동기술 개발 적극 장려(제3차 건설산업진흥기본계획(2008~2012), 국토해양부)
- 설계 및 시방기준을 자재·표준 등 사양중심에서 성능위주로 전환하여 신공법 등 기술개발 유도(2009, 국토해양부)

- 고효율 에너지 기자재 인증제도(지식경제부/에너지관리공단)

- 고기밀성 단열창호 등 고효율 에너지 기자재의 보급 활성화를 위하여 지정시험 기관에서 측정한 에너지 소비효율 및 품질시험결과 인증기준 이상인 제품에 대하여 인증
- 총 220종 고기밀성 단열창호 제품이 인증 취득(2008년 기준)

- 2005년 건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률 및 하위 법령을 제정하여 건설폐기물을 친환경적으로 처리하고 폐자원을 고부가가치화 할 수 있는 제도적 기반 구축

- 순환골재를 천연골재 대체용으로 재활용할 수 있는 도로건설공사, 하수관거설치공사, 환경기초시설 설치공사 등에 대하여 순환골재를 의무적으로 사용토록 규정함.
- 2006년 12월 “건설폐기물 재활용 기본 5개년 계획” (2007~2011) 수립
- 2007년 순환골재의 신뢰성 향상을 위한 순환골재 품질인증제도 실시

- 2005년 재활용 제품에 대한 수요 촉진을 위하여 “친환경상품 구매 촉진에 관한 법률”을 제정하여 공공기관의 재활용 제품 우선구매제도 시행

(7) 2010 국토해양 R&D 발전전략(국토해양부, 2010)

- Post V10 국토해양 R&D 전략으로 녹색기술 향상 및 온실가스 감축달성을 위한 30개의 미래 핵심기술(Green up-30) 선정.



[그림 2.8] 2010 국토해양 R&D 발전전략 미래핵심기술

- 탄소저감형 건설재료는 미래핵심기술 중 건설재료 분야에서 유일한 기술분야임.
- ※ “CO₂ 배출저감형 건설재료”, “CO₂ 활용·처리 건설재료”, “에너지 저감형 고성능 건설재료”, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책”기술을 중점기술분야로 제시

〈표 2.5〉 국가정책과 본 기획과의 연계성 분석

정책명	주요내용	연계성
녹색성장 국가전략 (녹색성장 위원회)	- 저탄소 녹색성장을 위한 정책목표·추진전략·중점·추진과제 등을 포함하는 국가전략을 수립·시행 - CO₂ 포집, 저장, 처리기술과 친환경 저에너지 건축기술을 27개 중점기술에 선정	- CO₂ 포집 저장의 처리 기술의 건설재료기술 포함 가능 - CO₂ 배출저감 및 에너지저감 건설재료 개발 필요
건설기술의 녹색성장 실행계획 (국토해양부 2010.3)	- 건축 및 토목 시설물 전 단계의 탄소배출량 분석 및 전 생애적 관점에서의 탄소배출량 최소화 추진 - 기획설계 단계에서 저탄소 녹색성장의 개념이 추가된 건설기준으로 전환 - 재료단계에서 자재, 시공포함 전생애적 관점에서의 온실가스 평가방법 정립 및 시설물 유형별, 공종별, 건설사업 단계 온실가스 배출량 평가지표, 통계시스템 구축 - 해체단계에 있어서 건설폐기물 발생 억제 및 재활용 기술 개발 - 녹색건설기술 R&D 확대 및 녹색기술 인력양성 - 녹색성장 성과지표 개발 및 인센티브 마련	- CO₂ 배출 및 에너지저감, 고성능 건설재료의 개발 필요성 및 활용 필요 - 건설재료의 CO₂ 관리 필요성 제고
2010 국토해양 발전전략 (한국건설교통 기술평가원 2010)	- 국토해양의 2030 지향 시나리오로 기후변화대응과 기술혁신을 양축으로 한 그린혁명을 제시 - 국토해양 R&D의 미래를 이끌어갈 미래핵심 기술(Green-up 30)의 선정(탄소저감형 건설재료 포함)	- 탄소저감형 건설재료 기획 추진
제3차 건설산업 진흥기본계획 (2008 국토해양부)	- 건설산업의 경쟁력 제고를 위한 글로벌 선진 건설 생산체계의 구축, 건설산업의 신성장 동력 창출, 글로벌기술 경쟁력확보	- 탄소저감형 건설재료 R&D 추진을 통한 글로벌 기술경쟁력 확보 및 건설생산성 제고 기여
제4차 건설기술 진흥기본계획 (수정계획)	- 건설기술 R&D 강화, 녹색건설기술력 제고 - 고품질 친환경 건설공사 문화 정착	- 녹색건설기술력 향상 및 고품질 친환경 건설공사
건설폐기물 재활용 기본계획 (환경부 2005)	- 건설폐기물의 재활용 촉진을 위한 순환골재의 무사용 증대 - 순환골재의 고품질 활용 증대 추진	- 건설폐기물의 CO₂ 활용·처리 기술 적용 가능
친환경 상품 구매 촉진정책 (환경부)	- 재활용제품, 환경친화성을 갖는 제품으로써 인증받은 제품(GR, 환경마크)를 공공기관에서의 무구매로 폐기물 및 순환자원 등의 재활용을 촉진	- 산업부산물 등의 건설재료 친환경상품 인증 가능
친환경 건축물 인증제도 (2002 국토해양부)	- 건축물의 자재생산, 설계, 건설, 유지관리, 폐기 등 전 과정을 대상으로 에너지 및 자원의 절약, 오염물질의 배출감소 등 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가와 인증	- 저에너지, 탄소저감, 고성능, 재활용 재료를 통한 친환경 인증 가능

다. 국내외 정책동향의 시사점

- 선진국은 국가의 녹색성장을 위해 Active(재생에너지, 에너지 효율제고 등) 녹색정책 뿐만 아니라 Passive(폐기물 저감, 에너지 사용량 저감, 녹색건설 등) 정책에 투자집중
- 선진각국은 CO₂ 감축목표를 설정하고 정책과 기술개발의 핵심을 에너지 저감을 비롯한 사회·경제적 구조개편에 주력
 - ※ CO₂ 및 에너지절감을 위한 국가차원의 녹색기술정책(영국, 그린혁명계획 등)을 수립, 국가별 탄소저감 목표에 근접하기 위한 기술과 정책 추진
- 세계각국은 친환경 건축물 인증제도를 통한 탄소저감형 건설유도
 - ※ 각 국가별로 그린빌딩 인증제도의 활성화로 에너지 절약 및 건물의 재료적 측면까지 고려함으로써 탄소저감형 건설재료의 활용 활성화를 유도함.
- 탄소저감 및 에너지절약 정책과 더불어 주요 탄소배출 산업부문(시멘트 등)에 대한 목표치 설정과 관리(미국 IEA, Count Technology Roadmap)
 - ※ 탄소저감과 직접적으로 관련된 건설재료의 개발은 탄소저감을 위한 새로운 방향의 접근으로 인식될 수 있어 국외에서도 파급효과가 있을 것을 판단됨.
- 탄소포집과 거래시장 선점을 위한 기술·정책 추진
 - ※ 선진각국은 CO₂ 저감의 중심을 에너지 저감으로 시작하여 CO₂ 포집·저장 및 탄소거래 시장 선점에 관심
- 국내의 경우, 과학기술기본계획(2008)에서 국가주도의 핵심역량확보에 건설기반기술을 포함 건설재료부문은 건설산업의 기반기술임
- 2008년 녹색성장 국가전략에서 2020년 BAU -30%를 천명하고 건설부문도 이에 부합하는 정책목표(30% 저감) 수립
- 과학기술미래예측 결과에 의하면 온실가스 저감기술이 미래의 이슈기술로 전망, “탄소저감형 건설재료” 기술 해당.
- 국내 정책을 종합하면 건설산업의 2020년, BAU -30% 달성을 위한 실천적이고 유용한 R&D 추진이 요구됨.

정책동향분석 결과

- 세계적으로 국가별 온실가스저감 목표 설정 및 추진
- 탄소저감 및 에너지 저감기술은 미래성장동력으로 국가별 기술선점 전략수립 · 추진
- 국가별 탄소배출 규제 및 탄소시장 선점을 위한 기술개발 및 정책 추진
- 국내 온실가스 저감목표 달성을 위한 국가 전략수립 및 녹색성장기본법 제정
- 건설분야의 탄소저감을 위한 국토해양 R&D 전략 수립 추진 (Green-up 30)

Keyword 도출

국가 온실가스
목표 감축량

저탄소
녹색성장
기본법

탄소배출 규제

기준 및 제도
개선

신성장동력

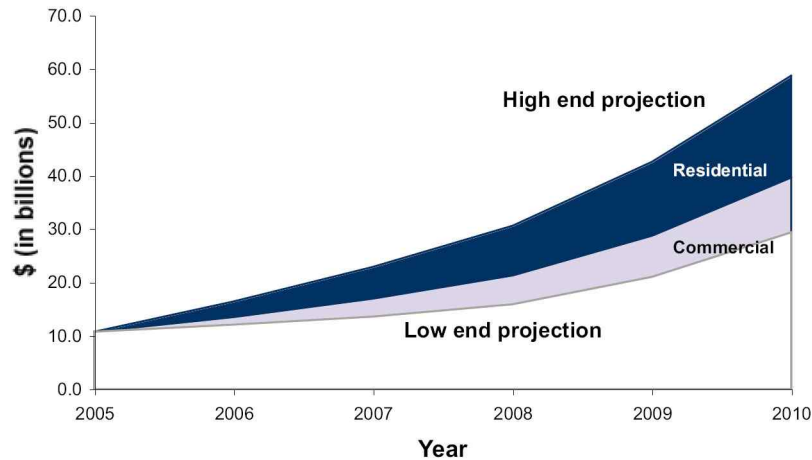
2. 국내외 경제동향 및 분석

가. 시장환경

(1) 시장환경 및 전망

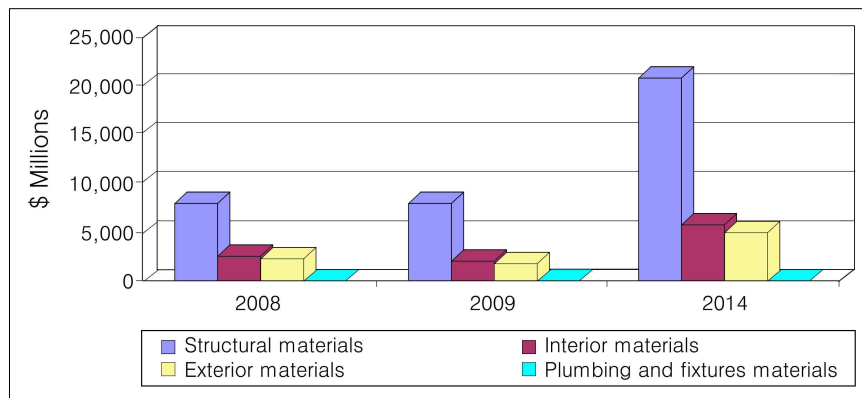
(가) 국외시장

- 세계 건설시장은 연평균 4.6~5.6%의 지속적 성장을 전망함
 - ※ 세계적 경기 하락동향에도 불구하고 건설부문의 시장규모는 2006년 4조6천억\$, 2011년 5조8천억\$로 연평균 4.6% 성장 예측. 2016년 7조6천억\$, 2011년 이후 연평균 5.6% 성장 전망(GrobalInsight, 2007)
- 세계건설은 패러다임의 변화로 친환경, 그린건설시장이 급속하게 확대.
 - ※ 그린빌딩은 일반 상업 및 주거용 건축물을 포함해서 미국 건설시장의 약 2%(72억달러)를 차지(2005년 기준)
- McGraw-Hill에 따르면 2010년까지 주거와 상업건물을 포함하여 그린 프로젝트가 5~10%(190억달러~380억달러) 성장할 것으로 예상(McGraw-Hill Construction, 2006)



[그림 2.9] Projected Green Building Market Size

- 과거 프로젝트의 최소 16% 이상을 친환경 프로젝트를 가진 건설업체는 24% 정도에 불과하나 현재는 67%에 달하며, 2013년에는 거의 94% 이상 대부분의 프로젝트가 친환경 프로젝트가 될 것으로 예측(McGraw-Hill Construction, 2008).
- 세계 건설재료·자재 시장은 2010년 약 2조\$ 규모로(국내 건설자재 비율 38% 적용) 추정되며, 북미는 전 세계 건설시장 중 약 20%를 차지, 건설재료·자재시장은 40백억\$의 규모로 추정됨.
- 미국의 Green building material 시장은 2009년 96억\$ 수준(북미건설시장의 약 0.9%)으로 예상되며 연평균 26.7% 성장하여 2014년에 314억\$의 시장규모가 예측됨.



[그림 2.10] 미국의 Green building material 시장 (BCC research)

〈표 2.6〉 미국의 그린건축자재 시장 예측

(단위 : 억 \$)

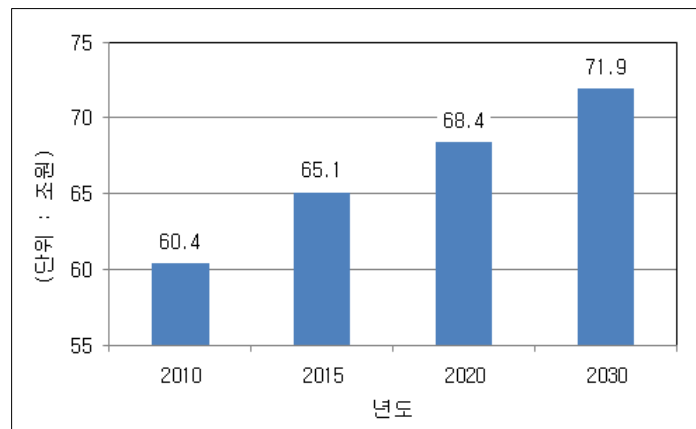
구분 \ 년도	2015년	2020년	2025년
구조재료분야	271	1,753	11,323
인테리어분야	72	446	2,765
외장재분야	57	342	2,061
계	400	2,540	16,148

* 연평균 성장률은 구조재료분야 29.2%, 인테리어분야 24%, 외장재료분야 20.6% 적용(BBC Research)

- 세계적인 Green Construction Trend와 그린건설재료·자재 시장의 급속한 성장은 탄소저감형 건설재료 기술개발과 대비가 필요한 근거로 분석됨.

(내) 국내시장

- 건설투자는 중기적으로 성장률이 둔화될 것으로 전망되나, 향후 10여년간 지속적으로 일정수준을 유지할 가능성이 높음. 건자재 시장규모도 향후 10여년간 현재 이상의 규모를 유지할 것으로 관측됨(한국건설산업연구원. 국내건설투자의 중장기 변화 추이 연구, 2009).
 - ※ 과거의 대규모 신도시개발, SOC 시설 프로젝트가 아닌 커뮤니티, 자연친화형 주거공간, 녹색빌딩, 초고층 빌딩, 도로확장, 대심도 도로, 초장대교량 등 사회적 Needs를 질적으로 충족시키는 건설프로젝트가 증가
- 건설시장의 규모 및 건설투자에서 건자재 부문의 점유비(2000년 기준 38%) 등으로 판단할 때, 건자재 시장규모는 2010년 현재 60.4조원, 2015년에는 65.1조원, 2020년에는 68.4조원, 2030년에는 71.9조원으로 전망됨.



[그림 2.11] 국내 건자재 시장규모 전망

- 건설투자 가운데 건설자재가 차지하는 비중은 38% 수준으로 가정하였으나, 실제로는 건설자재의 고급화, 다양화, 고기능성화, 친환경제품화 등으로 인하여 건설자재의 시장규모는 중장기적으로 더욱 증가할 가능성이 높음.

〈표 2.7〉 국내 건설재료 및 자재 시장규모 추정과 전망

(단위 : 조원, 2005년 기준가격)

구분	2010	2015	2020	2030
건설투자	159	171	180	189
건자재 매출액	60.4	65.1	68.4	71.9
년평균 증가율(%)	-0.9	1.5	1.0%	0.5%

- 주 : 1. 건설시장은 한국은행 발표 건설투자액 기준임. 2010년 이후는 한국건설산업연구원의 예측치임.
2. 건자재 시장의 비중은 2000년도 기준 산업연관표에 의할 때 건설부문 총 산출액은 99.3조원을 생산하기 위해서 자재는 37.6조원이 투입되어 투입비중은 38%를 차지하고 있음.(서비스 투입은 18.0조원 18.1%, 노동투입은 26.7조원 26.9%임)

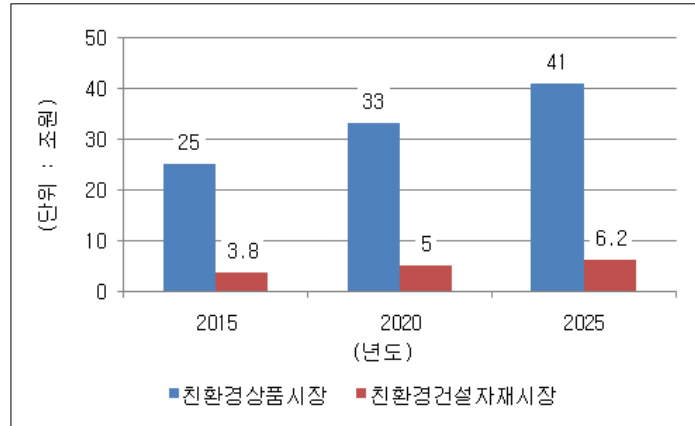
- 향후 건설재료·자재시장은 전세계적으로 지구환경보존에 따른 저탄소 녹색성장 정책과 친환경문화 정착에 따른 **친환경 건설재료·자재시장이 급속하게 성장할 것으로 예상됨.**
- 국내 친환경제품 시장은 2005년 총 8조 3천억원의 규모로 2004년에 비하여 2.6배 성장하였고, 이중 **친환경 건축자재는 1조 2천억원(전체의 15%) 상당규모로 급속하게 성장함**(한국환경산업기술원 국가환경정보센터 자료).
- 2010년 친환경상품 시장규모는 16조원에 달할 것으로 예상하므로 2005년의 친환경 건축자재 시장비율을 적용할 경우 2010년 친환경 건설재료는 2.4조원의 시장을 형성할 것으로 예측됨(환경부 보도자료, 2005. 12).
- **친환경 건설자재 시장은 친환경상품의 시장규모 확대(친환경시장의 15% 수준)에 비례하여 2025년까지 6.2조 규모로 성장할 것으로 예상됨.**

〈표 2.8〉 국내 친환경 건설자재 시장 예측규모

(단위 : 조원)

년도	2015년	2020년	2025년
친환경상품시장	25	33	41
친환경건설자재시장	3.8	5.0	6.2

- * 2005년에서 2012년까지의 친환경상품시장 규모의 성장추세에 따라 추정
친환경건설자재는 친환경상품시장의 15%규모로 추정



[그림 2.12] 국내 친환경 건설자재 시장예측 규모

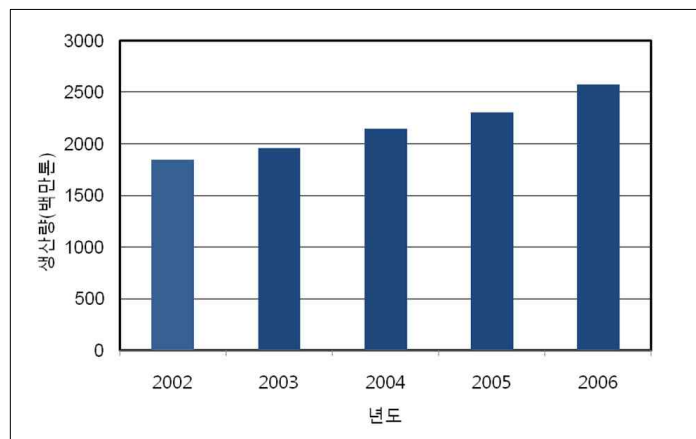
(2) 기술분야별 시장현황 및 전망

㉠ “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야

- “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야에 해당되는 건설재료로 대표적인 CO₂ 배출 산업인 시멘트, 강재 시장현황을 조사함.

① 시멘트

- 국외의 시멘트 생산량은 2006년 기준 2,500백만톤으로 평균 약 8%의 지속적인 성장을 나타냄.
- CO₂ 발생이 없는 비소성시멘트 및 기존에 혼화재료로 활용되는 석탄회, 슬래그 등을 이용, 시멘트를 대체할 다양한 재료가 개발되고 있어 향후 시멘트 시장을 대체할 것으로 예상됨.



[그림 2.13] 연도별 해외 시멘트 생산량 추이
(한국시멘트협회자료)

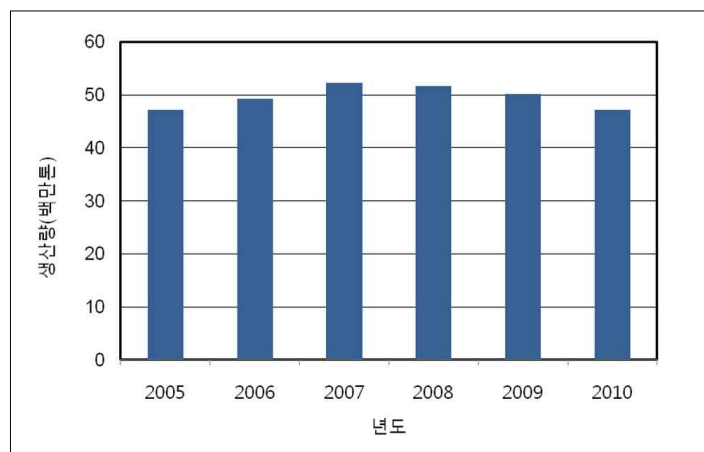
- 세계 시멘트 시장이 지속적으로 성장할 경우 2030년 1,100조억원에 달할 것으로 예상되나, 기존 시멘트 대체재료의 시장점유 규모는 더욱 증대될 것으로 예상됨.

〈표 2.9〉 시멘트 시장규모 전망

(단위 : 억원)

구분	2010	2015	2020	2030
시멘트	2,362,863	3,471,821	5,101,244	11,013,204

※ 시멘트협회 자료, 시멘트 생산량 연간 8% 증가 추정, 시멘트 단가는 67,500원/톤으로 가정



[그림 2.14] 연도별 국내 시멘트 생산량 추이
(한국시멘트협회 자료)

- 국내 시멘트 생산량은 평균 5,000만 톤 정도로 큰 폭의 증가나 감소가 없이 유지되는 경향을 나타냄.
- 시멘트는 건설경기에 따라 영향을 받으나, 모든 건설공사에 사용되는 기초재료이므로 앞으로도 큰 폭의 변동은 없을 것으로 예상됨.
 ※ 그러나 전 세계는 물론 국내에서도 온실가스 저감을 위한 다양한 정책 및 기술이 개발되는 상황에서 CO₂ 발생의 주요원인인 시멘트는 CO₂ 발생이 없거나 낮은 건설재료로 대체될 가능성이 높음.
- CO₂ 발생량이 낮은 시멘트 대체 건설재료가 개발되고 대량생산될 경우 시멘트 시장진입이 용이할 것으로 예상됨.

〈표 2.10〉 시멘트 시장규모 전망

(단위 : 억원)

구분	2010	2015	2020	2030
시멘트	31,793	33,818	33,818	33,818

※ 시멘트협회 자료, 2015년 이후 시멘트 시장은 연간 생산량 5,000만톤으로 변동 없는 것으로 가정, 시멘트 단가는 67,500원/톤 으로 가정

② 건설용 강재

- 세계 건설용 강재시장은 9,298억\$ 추정(국내 금속재료 비율 16.9% 적용)
※ 제조기술 및 건설기술의 발달로 주요 건설재료인 금속재료의 고강도화 고품질화가 급속하게 이루어짐.
- 세계 철근시장은 1,080억 달러 (2008년 154백만톤) 규모로 향후 세계 철근시장에서의 고강도철근은 고부가제품으로 일본 등 선진국과 경쟁가능
- 세계 건설용 강재시장은 2030년 기준 22,425억원에 달할 것으로 추정됨.

〈표 2.11〉 국외 주요 관련업체

업체명(국적)	업체별 능력	중점 분야
NSC(일본)	철강재 제조/판매 매출액 : 4,826,974백만엔 고강도강 생산 : 인장강도 760~890MPa, 압축강도 630MPa	철강생산
ERICO	철근 이음, 정착구 제조/판매	철근이음
BPI(미국)	철근 이음, 정착구 제조/판매	철근이음

〈표 2.12〉 건설용 강재 국외시장 전망

(단위 : 억원)

구분	2010	2015	2020	2030
건설용 강재	9,298	11,587	14,440	22,425

※ 국내 건설용 강재 점유율 적용 추정

- 국내 건설분야에 활용되는 강재는 전체 건설자재 중 23.6%로 가장 높은 비중을 차지함(2003년 산업연관표 이용 추정치).
※ 구조물의 초대형화, 초고층화 추세화에 따라 고강도 철근 및 형강, 고성능 집합재료 등의 수요가 증가되고, 시장이 확대될 것으로 예측됨.
- 철강산업은 시멘트산업과 더불어 대량의 CO₂를 배출하는 사업으로 공정상의 CO₂를 저감기술을 개발과 활용노력 추진(ex, finex 공법 등).
※ 건설분야에 활용되는 강재 또한 CO₂ 저감공정을 적용한 강재활용이 요구됨.

〈표 2.13〉 건설용 강재 국내시장 전망

(단위 : 억원)

구분	2010	2015	2020	2030
구조물용 금속제품	54,000	58,000	61,000	64,000
철근 및 봉강	53,000	57,000	60,000	63,000
건물용 금속제품	35,000	38,000	40,000	42,000
계	142,000	153,000	161,000	169,000

※ 건자재시장 규모 추정치를 기준으로 2003년 산업연관표(한국은행)을 이용하여 추정

(나) “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야

- “CO₂ 활용·처리 건설재료”는 CO₂의 화학적 탄산화 반응 등에 의해 흡수저장이 가능한 특성을 갖는 건설재료인 콘크리트 제품, 석탄회, 슬래그, 순환골재 등을 대상으로 시장을 분석.

① 콘크리트제품

- 세계 레미콘 생산규모는 100억 m³에 이르며, 통상 레미콘 시장규모의 15% 정도가 콘크리트 블록시장 규모로 추정되므로 60조원 정도로 예상됨.

※ 중국, 인도의 급격한 건설시장 확대에 따라 매년 10%의 성장세가 유지될 것으로 예상됨.

〈표 2.14〉 콘크리트제품 해외시장 전망

구분	2010	2015	2020	2030
매출액 (억원)	600,000	950,000	1,500,000	1,600,000

※레미콘 시장의 15% 추정

- 국내 콘크리트 블록 시장규모는 2000년에 약 2,000억원을 상회하였으나 이후 꾸준히 성장하여 2009년에는 8,000억원 돌파하였음(특허청 조사자료).
- 국내 콘크리트 2차제품 시장규모는 2000년에 6,000억원에서 2009년에는 1조원에 달하였음. 향후 추세는 이어지지만 증가율은 3% 정도로 추정(특허청 조사자료).
- 향후 친환경성이 우수한 콘크리트 제품이 시장이 확대될 것으로 예상되며,일반 콘크리트 2차제품은 친환경성이 요구되지 않는 범위에 국한되어 활용될 것으로 판단됨.

〈표 2.15〉 콘크리트제품 국내시장 전망

(단위 : 억원)

구분	2010	2015	2020	2030
블록	8,755	10,149	11,766	15,813
블록외 2차제품	10,300	11,941	13,842	18,603

※ 특허청 통계자료 참고, 연 3% 시장 성장률 가정

② 재활용재료

㉠ 슬래그

- 일본, 프랑스, 영국 등에서도 발생하는 고로슬래그를 국내와 유사하게 대부분 **시멘트 제조원료, 혼합시멘트, 혼화재 및 기타 골재 등으로 사용**.
- 고로슬래그를 활용한 무시멘트 콘크리트 기술 등은 개발도상국으로 수출 가능성이 있으며, 특히 석탄회 등과 조합시킨 기술개발도 기대 가능함.

※ 슬래그에 CO₂를 흡수 저장이 가능하여 새로운 CCS 사업으로 추진 가능성이 있으나 지중저장이나 해양저장 기술에 집중하고 있음.

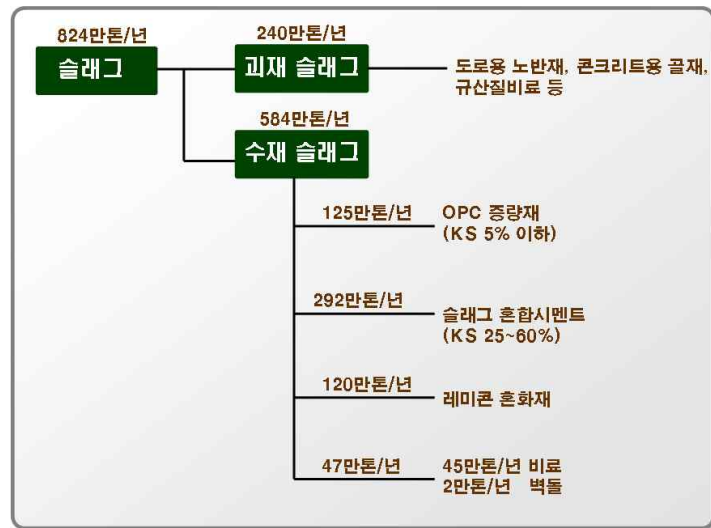
〈표 2.16〉 전 세계 고로슬래그의 발생 및 용도 추이

(단위 : 만톤)

국가명	고로슬래그 발생량	수재슬래그	혼합시멘트 + 혼화재	기타 (괴재, 수출, 골재 등)
프랑스 (2002)	350	—	120	• 수출 50 • 골재 등 180
영 국 (2002)	300	200	200	• 괴재, 기타 100
일 본 (2002)	2,420	1,832	1,027	• 수출 407 • 골재 기타 : 187 • 괴재 : 588

- 국내 고로슬래그는 연간 830만 톤 정도로 2000년대 초까지도 재활용이 미비했으나, 최근 보통포틀랜드 시멘트 생산 시 중량재, 혼합시멘트 및 레미콘 혼화재 등으로 사용량이 급증함에 따라 재활용율이 100%에 근접함.

※ 그러나 2010년부터 제철소가 추가로 가동되면서 고로슬래그의 발생 양은 1,000만 톤 이상으로 증가할 것으로 예상됨.



[그림 2.15] 고로슬래그 발생 및 처리현황(2003)

- 슬래그 발생량의 증대로 활용방안이 필요한 시점이며 탄소저감을 위한 CO₂ 흡수·저장원으로 활용하는 방안이 시도되고 있음.

㉠ 석탄회

- 석탄회 종류별 발생량은 한국 8,354천톤, 일본 11,994천톤, 미국 134,700천톤, 유럽(EU 15) 56,420천톤임.
- 일본의 재활용률이 96.7%로 가장 높으며, 유럽 90.5%, 한국 62.8%, 미국 41.3% 순임.

<표 2.17> 국가별 석탄회 종류별 발생량

구분	생산량[천톤]					재사용률 (%)	비고
	Fly Ash	Bottom Ash	Boiler Slag	기타	계		
유럽(EU 15)*	37,476	4,850	1,356	12,738	56,420	54.0	08년
미국**	63,000	16,600	2,176	129,135	134,700	41.3	09년
일본***	9596	2,398	—	—	11,994	96.9	07년
한국****	5,250	1,050	—	2,054	8,354	62.8	09년
	—	—	—	—	7,612	67.4	08년

* ECOBA Statisitc, 2008(<http://www.ecoba.org/ecobaccpprod.html>)

** ACAA 2009 CCP Report

*** 일본 석탄에너지 센터(J-Coal), 2007

**** 발전 5개사 통계자료

- 석탄회 중 버텀애쉬는 외국에서도 활용이 잘 되지 않아 CO₂ 흡수·저장원등 활용 기술 개발필요

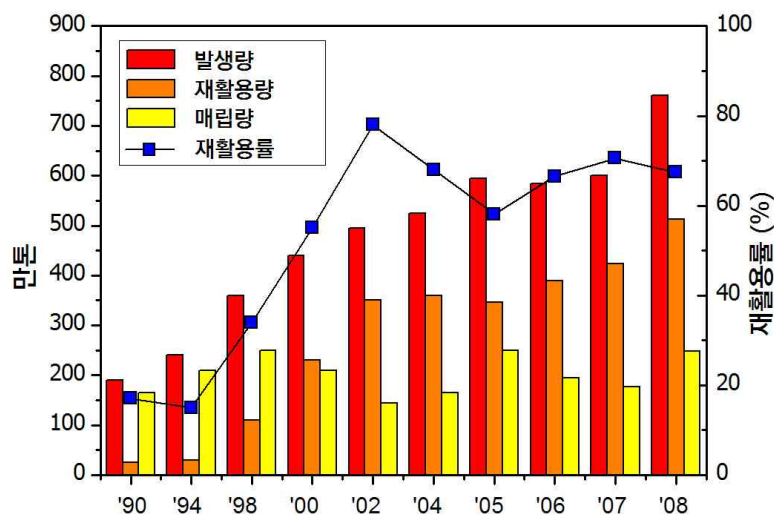
〈표 2.18〉 전 세계 석탄회 발생량 및 재활용 현황

(단위 : 백만톤)

나라명	발생량	재활용량
중 국	> 100	14
일 본	5	3
인 도	> 80	2
호 주	9	< 1
독 일	28	12
러시아	62	5
영 국	10	6
미 국	60	8
Total (전세계)	390	54 (14%)

출처 : V.M. Malhotra, Concrete International, 1999

- 국내 화력발전소에서 연간 발생하는 플라이애쉬를 포함한 석탄회 양은 2000년에 약 436만 톤, 2010년에는 약 736만 톤 정도로 추정.
- 현재 발생하는 석탄회 중 58% 정도를 시멘트 제조용 원료(점토 대체재), 콘크리트용 혼화재 등으로 재활용하고 있으나, 나머지는 해안 및 육상매립에 의해 처리되고 있음.



[그림 2.16] 석탄회 발생 및 재활용 현황

- 고로슬래그와 석탄회는 그 발생량이 계속 증가할 것으로 예상되므로 시멘트, 콘크리트 원료 뿐 아니라, 타 용도로 활용이 필요함.

※ 석탄회 중 거의 매립 처리되는 버팀애쉬는 2009년 기준 1,050천톤에 달하므로 그 활용 방안이 요구되고 버팀애쉬를 CO₂의 저장원으로 활용하는 방안이 최근 시도되고 있음.

㉔ 순환골재

- 미국의 순환골재 사용량은 약 42백만톤/년으로 추정되며, 순환골재의 대부분은 도로공사에 재활용 되고 있음.
- 일본의 경우 약 30백만톤/년의 순환골재가 재활용되는 것으로 추정되며, 이 또한 대부분 도로공사용이나 성토·복토용으로 사용됨.
- 대부분의 순환골재는 중간처리가 용이하고, 경제적으로 대량으로 사용이 가능한 도로공사용이나 성·복토용으로 활용되고 있음.
※ 건설폐기물은 산업부산물과 함께 CO₂ 포집저장 시장으로 진출이 가능하며, CO₂를 흡수·저장한 순환골재를 성·복토용으로 활용 가능하므로 2배의 친환경효과 예상
- 국내의 건설폐기물 총발생량은 2007년도 62백만톤에서 2008년에는 64백만톤으로 2.6% 증가를 보이고 있고, 건설폐기물의 처리방법은 재활용이 주류를 이루고 있으며, 그 재활용율은 2008년도 97.5%로 나타나고 있음.
- 국내 순환골재 시장은 2007년 기준 전국에 약 400여개 이상의 순환골재 생산업체에서 약 41백만톤/년의 순환골재를 생산하고 있으며, 이 중 판매량은 39백만톤/년으로 약 1,200억원의 시장규모이며 연간 9%의 시장 증가를 보임.

〈표 2.19〉 순환골재 시장

구분	2015	2020	2030
매출(억원)	2,500	3,840	9,100

* 2006~2007년도 순환골재 판매량 증가율 기준, 3,000원/톤 산정

- 순환골재는 약 20%가 시멘트성분을 포함하고 있어 CO₂를 흡수·저장이 가능하며 pH저감 효과도 있어 CO₂의 저장과 활용이 가능함.

㉔ “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야

- “에너지 저감형 고성능 건설재료”는 기존 건설재료·자재의 성능향상, 첨단소재 또는 융합기술을 활용하여 신기능을 부여한 건설재료·자재로 대표시장으로 **콘크리트, 단열재료, 창호재료** 등을 분석·제시함.

① 고성능 콘크리트

- 2009년 세계 레미콘 시장은 약 100억m³ 규모로 선진국은 감소, 개도국은 증가로 전체적으로 소폭증가 예상됨.
※ 선진국은 건설시장의 성장세 둔화에 따라 레미콘 산업이 안정화 단계에 있으며, 개도국은 SOC, 주택건설 호황으로 레미콘 수요급증.
- 선진국은 CO₂ 저감을 위한 **혼화재료 활용이 활발함**. High volume fly ash 콘크리트, 특수콘크리트 등 연구수행, 또한 건축물의 대형화, 고강도화 및 부재절감 차

원에서 고강도, 고기능 콘크리트 등 특수콘크리트의 수요증가.

- 미국의 경우 2010년 현재 고성능콘크리트는 연간 500만 달러 정도의 시장을 시범 적용하고 있음. 일본의 슈퍼콘크리트 시장은 초고강도 콘크리트 중심으로 실구조물에 적용하고 있으며 초고강도 콘크리트 시장은 연간 약 1억\$ 정도임. **시멘트량 감소 및 혼화재 대량사용 기술이 시장을 선도할 것으로 예측함.**
- 향후, 콘크리트 시장은 CO₂ 저감과 고성능을 이슈로 무시멘트 콘크리트, 초고성능의 슈퍼콘크리트 기술이 시장을 선도할 것으로 예상.

※ 미국에서 콘크리트는 석탄회 사용량 중 2번째인 19%를 활용하는 용도로 활용(ACAA 2009).

〈표 2.20〉 국외 콘크리트 시장전망

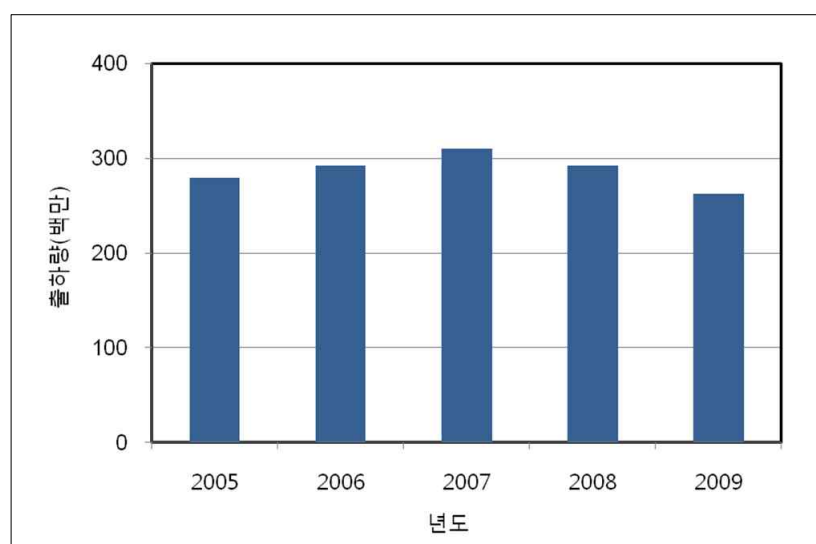
(단위 : 억원)

구분	2010	2015	2020	2030
콘크리트 ¹⁾	500,000	520,000	550,000	570,000
슈퍼콘크리트 ²⁾	2,400	12,000	120,000	300,000

1) World Business Council for Sustainable Development, 2009

2) 2007, ACI, Prediction of Concrete Industry

- 콘크리트는 시멘트와 골재를 원료로 제조하는 대표적인 건설재료로 시멘트의 주요 수요대상이며, 건설자재 중 콘크리트(레미콘 대상)는 14.3%로 금속자재를 제외하면 가장 높은 구성을 차지함(2003년 산업연관표 추정치).
- 콘크리트 출하량은 연간 약 300백만톤으로 2007년을 기점으로 다소 감소되는 추세를 보이고 있음.



[그림 2.17] 연도별 국내 레미콘 생산량 추이
(국토부, 건설자재현황, 2010. 5)

- 콘크리트는 향후의 건설트렌드 변화에 부응하여 CO₂ 발생원인 시멘트의 비율을 감소하고 산업부산물 활용을 증대하는 추세로 시장변화가 예측됨.
- 건축물 및 구조물의 대형화, 초고층화 및 경제적 시공을 위한 건설재료의 고성능화 추세로 향후 고강도, 고유동, 고성능을 발휘하는 슈퍼콘크리트 시장이 형성될 것으로 예상됨.

※ 특허청에서는 고성능 콘크리트의 시장을 2020년 2조5천억원으로 예상.

〈표 2.21〉 국내 콘크리트 시장전망

(단위 : 억원)

구분	2010	2015	2020	2030
콘크리트 ¹⁾	179,140	197,785	218,371	266,193
슈퍼콘크리트 ²⁾	7,500	10,000	25,000	30,000

1) 콘크리트 시장 증가율 연 2% 추정

2) 2008년 특허청 통계자료 (고성능/고강도 콘크리트산업 시장규모 예측)

② 첨단 단열재료 및 시스템

- 세계 단열재료 시장은 연간 약 360억불 정도의 규모를 지니고 있으며, 건축물에 적용되는 단열재의 경우, 화재 및 인체 유해성으로 인해 90% 이상이 무기질 단열재를 적용하고 있는 것으로 추정됨.

〈표 2.22〉 단열재료 세계 시장전망

(단위 : 억\$)

항목	2010	2015	2020	2030
단열재료	549	1,155	2,403	10,390

※ EURIMA(European Insulation Manufacture Association)

- 세계적으로 주택의 에너지 절감 및 탄소배출 억제를 위하여 단열성능을 향상시킨 건설을 유도하고 있어 향후 단열재료 시장은 지속적으로 확대될 것으로 판단됨.
- 외단열시스템 시장 규모는 1999년을 기준으로 800억 원 수준으로 추정되며, 2011년에서 2015년까지는 1,000억 원 시장으로 추정됨.
- 내·외벽 벽체를 구성하는 유기 및 무기단열재 시장은 2010년 약 6,700억원을 상회하는 규모임.

※ 국내 단열재 시장은 유기단열재 70% 수준, 무기단열재 규모가 30% 수준

※ 국내 XPS 단열재 시장규모는 2009년 기준으로 30,000Ton (약 1,000억원), 향후, 에너지 절감정책에 따라 건축물의 단열기준이 강화될 것으로 예상(2001년 20% → 2010년 30% 강화)

- 국내 단열재료 시장은 CO₂ 저감 및 에너지 절감정책에 의하여 지속적인 시장 성장이 예상되며 구조체 단열기술, 단열재 성능향상기술, 단열도료, 외단열 시스템 등 다양한 분야로 접근이 예상됨.

※ 온실가스로 사용 금지되는 단열재용 발포재의 대체발포재 개발은 단열재 시장 점유에 중요한 기술로 기대됨.

- 기술의 융복합화가 가속화되는 추세에서 IT기술에 사용하는 반도체 소자를 활용하여 시설물의 단열, 냉난방 등 발전용 열전재료를 활용하는 시스템이 최근 시도되고 있어 미래의 단열재 시장에 진입예상.

〈표 2.23〉 단열재료 국내시장 전망

(단위 : 억원)

구분	2015	2020	2030
PC 단열벽체 ¹⁾	180	300	350
외단열시스템 ²⁾	1,000	1,200	1,500
단열재 ³⁾	7,463	8,240	10,044
계	3,195	3,520	3,880

1), 2) 업체 제시자료

3) “건축자재 시장분석 및 전망”, 화학경제연구원(2008년), 국내 2%씩 성장으로 가정

③ 첨단 창호재료 및 시스템

- 주택 및 빌딩의 단열성능 향상을 위한 기술이 각광받고 있으며, 스마트창호도 개발중이나 기초연구단계 수준임.

※ 스마트 윈도우는 전기적으로 색변화를 나타내어 태양에너지를 흡수, 반사 및 조절함으로써 에너지 절약효과를 나타내는 첨단기술로 창호시장의 미래에 요구되는 기술임.

〈표 2.24〉 국외 스마트창호 시장전망

구분	연도	2010	2015	2020	2030
총규모(억원)		284,000	437,000	673,000	1,590,000
건축분야 규모(억원)		76,700	118,000	182,000	430,000
연간 증가율(%)		9	9	9	9

※ Energy savings with smart window technology, A Cleantech Company, 2008, 2008년 스마트 윈도우 세계시장 전망은 200억달러, 매년성장률은 9%로 가정

※ 세계 스마트 윈도우 시장 규모의 27%는 건축용 유리제품으로 가정; US Advanced Flat Glass에 대한 Solar Control Glass 27% 차지함, INDUSTRY MARKET RESEARCH FOR BUSINESS LEADERS, STRATEGISTS, DECISION MAKERS, Advanced Flat Glass, US Industry Study with Forecasts for 2012 & 2017, June 2008

- 세계 스마트 윈도우 중장기 시장규모는 2015년 437,000억원에서 2020년 673,000억

원으로 U.S. DOE(Department of Energy) Electrochromic Initiative, Joule 11 Commission of the European Communities(CEC) 프로젝트, 일본정부 Sunshine Project 발표 등을 참조하면 향후 매년 9% 이상 성장할 것으로 예상됨.

- 창호재는 외부와 직접 접하는 건설재료로 조망 및 내부로의 태양광선의 투과를 가능하게 하여 실내공간을 쾌적하게 만드는 효과가 있으며 에너지를 절감에 가장 취약한 부위임.
- 국내 창호재 시장은 2008년 6,820억원에서 2010년 7,230억원으로 지속적으로 증대되는 추세에 있음.
- 향후 창호재는 스스로 외부조건에 따라 빛의 투과를 조절하고, 에너지를 절감할 수 있는 지능형 기술로의 발전이 요구됨.

〈표 2.25〉 국내 창호재료 시장전망

(단위 : 억원)

구분	2010	2015	2020	2030
창호재 ¹⁾	7,230	8,280	9,600	12,900
스마트창호 ²⁾	3,850	5,900	9,100	21,500

1) 건축자재시장분석 및 전망, 화학경제연구원(2008) 참고

2) Energy savings with smart window technology, A Cleantech Company, 2008, 2008년 스마트 윈도우 세계시장 전망은 200억달러, 국내시장은 세계시장의 5%로 가정, 매년성장률은 9%로 가정, 국내 스마트 윈도우 시장 규모의 27%를 건축용 유리제품으로 가정

〈표 2.26〉 국내외 시장동향의 시사점

기술 분류	대상 시장	국외	국내
종합	건설재료 · 자재시장	그린건설시장의 비약적 증대로 친환경 건축자재 시장의 성장 예측	중기전망은 건설경기 침체로 성장둔화되나, 향후 친환경건설시장 성장 예상
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술분야	시멘트	해외시장은 지속적으로 증가예상	저탄소 정책의 영향으로 저시멘트, 대체재료 · 혼합시멘트 시장확대 예상
	콘크리트	선진국은 감소, 개도국은 증가예상 그린콘크리트, 고성능콘크리트 시장 확대	건설경기에 따라 지속적 성장 예상, 고강도, 저시멘트 등 친환경 콘크리트 시장확대 예상
	강재	고강도강의 활용 증가, 시장의 지속적 성장예상	초고층, 대형 건설경기의 성장에 따라 동반 성장 예상

기술 분류	대상 시장	국외	국내
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술분야	콘크리트 제품	신흥 개도국의 건설시장 성장에 따른 성장 지속	SOC의 지속 투자에 따 른 완만한 성장예상
	슬래그	탄소저감 정책에 의한 그 린콘크리트의 혼화재료로 사용량 증대 개도국은 재활용 미비	콘크리트의 혼화재료로 사용량 증대 제철소 추가가동에 따른 잉여 슬래그 발생 예상
	석탄회	콘크리트의 혼화재료로 사용증대, 개도국 활용은 미비	콘크리트 혼화재료로 사 용량 증대, 버팀애쉬는 매립
	순환골재	대부분 도로공사용으로 지속적으로 활용	순환골재의 재활용량 증 대, 성복토용으로부터 용 도확대 예상
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술분야	단열재료	세계적 트렌드인 저탄소 에너지절감 정책에 따라 지속적으로 성장 예상	저탄소 에너지 절감정책 에 따른 시장확대 예상
	창호재료	건축물의 에너지절감 및 효율 증대를 위한 창호기 능의 중요성 증대로 스마 트창호의 신장 진입 예상	건축물 에너지효율 증대 의무화 및 그린홈 정책에 따른 스마트 창호신규 시 장 증가예상

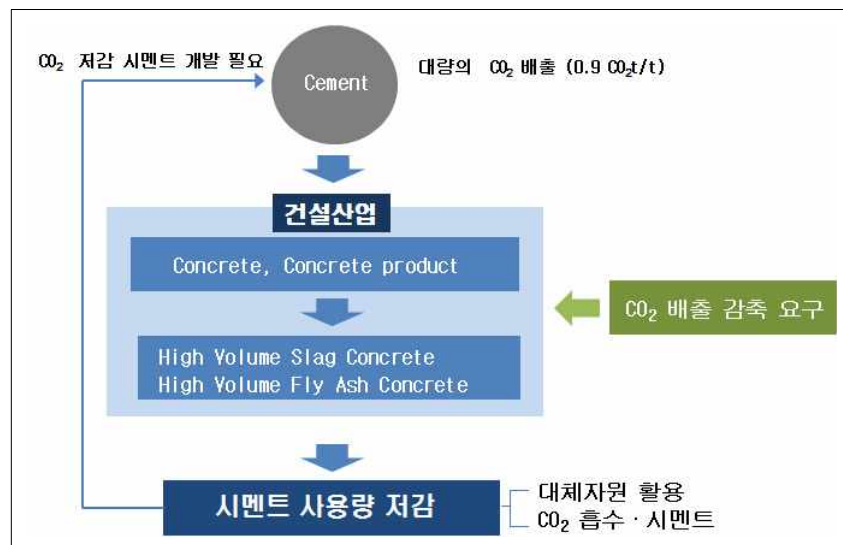
나. 산업구조 및 경쟁력

(1) 시멘트

- 시멘트산업은 대량의 CO₂를 발생(국내 산업부문별 발생량 2위)
 - ※ 시멘트산업에서 CO₂ 가스배출량은 산업 및 생활에서 배출되는 전체 CO₂ 배출량의 7~8%를 차지, CO₂ 발생계수 0.994 t-CO₂/t으로 국내기준 약 47백만CO₂톤 배출
- 시멘트 산업은 건설산업의 기본재료로 콘크리트 및 콘크리트제품 시장과 직접적인
연관성이 있으며, 건설산업의 경기변동의 직접적인 영향을 받음
- 주요 건설재료인 콘크리트는 시멘트 비율을 낮추고 산업부산물 등의 대체재료
사용이 확대되는 방향으로 기술전환중
 - ※ High Volume Slag Concrete, High Volume Fly Ash Concrete, Non cement Concrete 등



[그림 2.18] 시멘트산업의 CO₂ 배출



[그림 2.19] 건설산업과 시멘트산업과의 관계

- 시멘트산업 경쟁력확보를 위해서 CO₂ 저감공정 등 관련 기술개발 필요

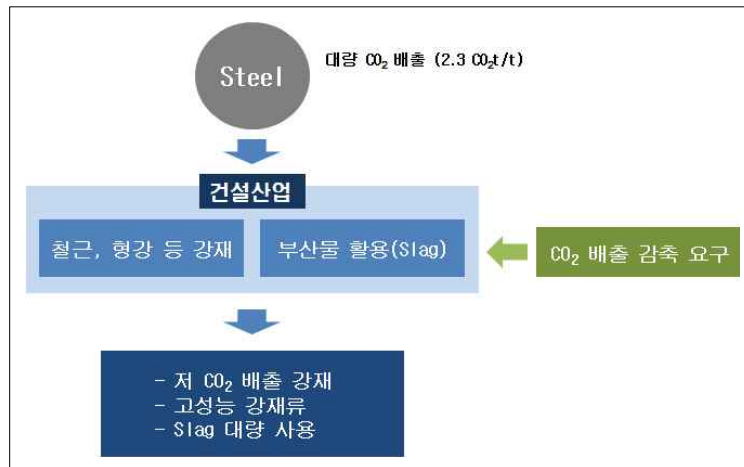
※ CO₂ 대량발생 원료대체, 소성온도 저하, CO₂ 발생이 없는 비소성 시멘트, CO₂를 흡수하는 CO₂ Negative 시멘트 등

(2) 건설용 강재(국내 CO₂ 배출량 3위)

- 철강산업은 시멘트산업과 함께 주요 CO₂ 발생산업(국내 산업별 발생량 3위)

※ 철강산업에서 CO₂ 가스 배출량은 세계 전체 산업의 15%를 차지, CO₂ 발생계수는 2.34 t-CO₂/t으로 국내기준 약 33백만CO₂톤 배출

- 강재는 주로 건설산업, 자동차 산업, 선박산업 부문에 사용되며, 각 산업부문에서 CO₂ 저감노력에 따라 CO₂ 배출저감과 동시에 고성능 제품공급으로 산업구조 개편을 요구받고 있음.



[그림 2.20] 건설산업과 철강산업과의 관계

- 건설산업에 사용되는 강재의 CO₂ 배출 저감방안 고려

※ 강재 제조시 CO₂를 저감하는 방안, 특수강재의 사용 방안 ⇒ 강재생산의 부산물인 고로 Slag 등의 대량활용 방안 등

(3) 콘크리트

- 콘크리트는 CO₂ 주 발생원인 시멘트를 주원료로 Mixing 작업을 거쳐 생산되는 건설산업의 주요 재료임

※ 콘크리트(레미콘) CO₂ 발생계수는 346kg/m³(0.15tCO₂t/t)으로 국내기준 약 43백만 톤 배출



[그림 2.21] 레미콘 배처플랜트

- 콘크리트는 토목·건축구조물의 주요 구조재료로 사용, 최근 고층화 대형화에 따른 고성능 콘크리트 개발 및 활용으로 산업구조 개편요구.

※ 콘크리트의 고성능화는 시멘트와 슬래그, 플라이애시, 실리카 폼 등의 혼화제와 고성능 감수제, 증점제 등의 혼화제를 혼합사용 ⇒ 기존 고성능콘크리트를 upgrade한 슈퍼콘크리트 기술로 변환요구

- 주요 건설재료인 콘크리트의 CO₂ 저감방안 필요

- ※ 주요원료인 시멘트량을 낮추는 저시멘트 또는 시멘트zero 콘크리트, CO₂ 흡수콘크리트 개발 등

(4) 고성능 단열재료

- 건축물의 에너지사용은 국가전체 에너지사용의 25%를 차지

- ※ 2030년까지 국가 에너지효율 40% 향상목표 설정, 건축부문은 23% 이상 향상 필요 ⇒ 에너지절감은 탄소배출 저감을 의미함

- 건축물의 에너지 효율 향상은 건축물 외피의 단열성능 향상으로 가능

- ※ 건축물 에너지절약 설계기준 강화, 그린홈 200만호 사업추진, 제로에너지 하우스 개발 등 건축물의 단열성능 향상 요구



[그림 2.22] 제로에너지 하우스 개념

- 고성능 외피 단열재료의 개발과 활용의 산업적 요구

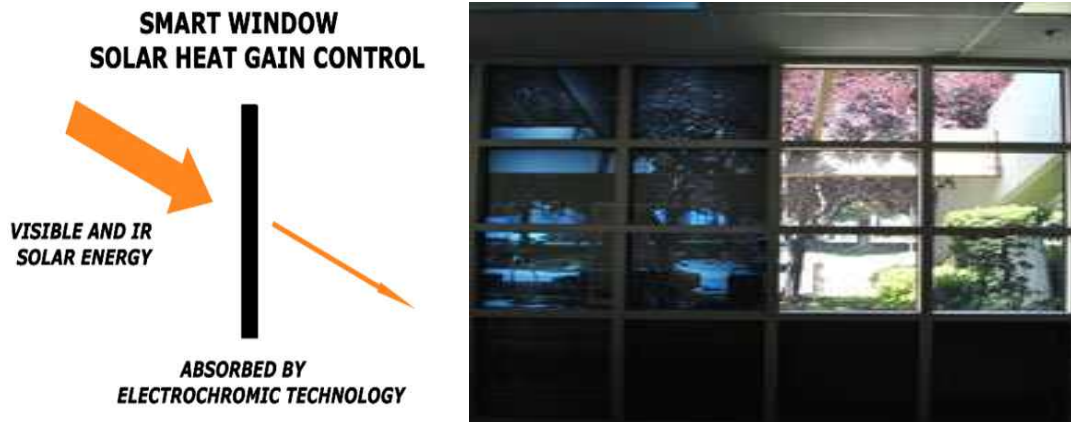
- ※ 동일단열성능 대비 두께 저감, 고단열 소재 활용(에어로 겔), 단열재의 단점인 불연성 향상, 단열PC, 구조용 경량단열벽체 등

- 단열재료 발포제의 사용제한에 따른 친환경 대체 발포제 공급요구 등

- ※ 국내 유기단열재의 주요발포제는 HCFC로 ODP(온존층 파괴 지수), GWP(지구 온난화 지수)가 높아 사용규제 대상임.

(5) 첨단 스마트창호재료

- 창호는 외부와 직접 연결되는 건설자재로 열의 이동이 가장 취약한 부위로서, 건축물 Energy Zero 달성을 위한 창호재의 에너지효율 향상 요구

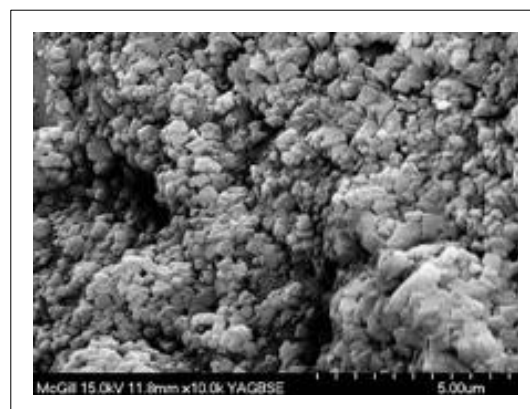


[그림 2.23] 스마트 창호

- ※ 그린빌딩, 그린홈 정책에 따라 고단열 창호 증대, 2030년까지 국가 에너지효율 40% 이상 향상 목표 설정, 건축부문은 23% 이상 향상 필요
- ※ 창호의 단열성능 기준을 '12년까지 2배 수준, '17년까지 4배 수준으로 강화
- 창호의 에너지 효율향상은 Passive Insulation뿐 아니라 Active Insulation 성능 요구
 - ※ 계절, 실내조건 등에 따라 가시광선과 열의 유입 및 차단율 자유롭게 조절할 수 있는 Smart technology 요구

(6) 콘크리트제품

- 콘크리트 제품은 CO₂ 배출의 주요부문인 시멘트, 콘크리트를 주재료로 활용
 - ※ CO₂ 주요 배출원인 시멘트 사용과 강알카리성 특성으로 수변지역 사용제한조치 추진 등
 - ※ 순환골재 등 재활용 ⇒ 순환 잔골재의 활용, 순환골재 미분말 활용
 - ※ 콘크리트의 특성인 탄산화 활용방안 ⇒ 탄산화 양생에 의한 CO₂ 흡수로 콘크리트 제품 개질효과 가능, CO₂ 흡수량 추정치 0.06tCO₂/t, 국내 콘크리트제품 이용 72만 톤 CO₂ 흡수 가능.

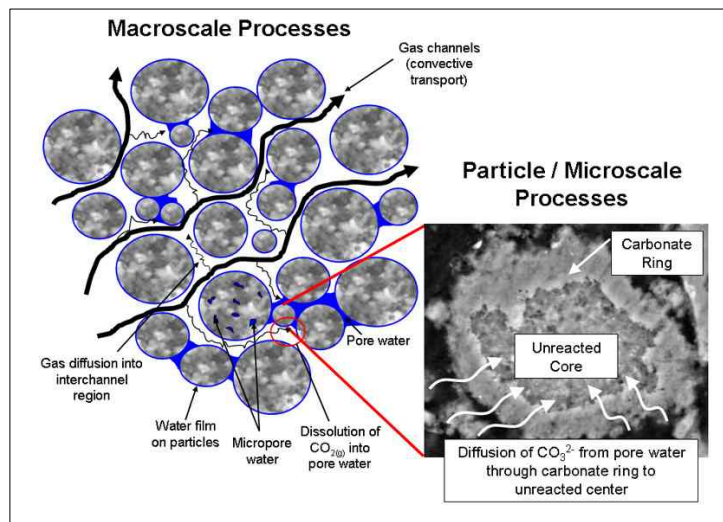


[그림 2.24] CO₂에 의해 양생된 콘크리트 제품 조직구조

- 친환경 제품으로서의 Low CO₂, 재활용 등의 사회·산업적 요구증대
 - ※ 식생블럭, 양생온도 저감 등

(7) 재활용 재료

- 발전소 및 제철소에서 발생하는 산업부산물인 석탄회 및 슬래그는 건설재료·자재산업에서 재활용 가능
 - ※ 콘크리트의 혼화재료로 성능을 향상을 위해 필수적으로 활용, CO₂ 발생원인 시멘트를 저감하고 플라이애시와 슬래그 사용량을 증대하는 추세
 - ※ 제철소 부산물 중 버팀애쉬는 재활용이 미미하고 대부분 매립처리
- 순환골재는 건설현장에서 발생하는 폐기물을 다시 건설산업 재활용 의미
 - ※ 주로 도로공사용, 성·복토용으로 활용.
- 세계적으로 CCS(Carbon Captur & Storage)시장증대로 적극적인 CO₂ 저감기술로 활용·전환기술 검토요구
 - ※ 2025년 기준 국내시장 660백만\$, 13,600백만\$ 추정
- 순환골재의 알카리 유출문제 해결요구
 - ※ 순환골재를 탄산화하여 pH를 10 이하로 낮춤으로써 수변지역에 골재로 활용가능, CO₂ 활용·전환 후 콘크리트 혼화재료나 순환골재로 재활용시 복합적인 2배의 친환경 효과 획득 가능



[그림 2.25] 산업부산물의 CO₂ 저장 프로세스
(Deborah N. Huntzinger, 2006)

다. 국내의 경제동향의 시사점

- 국내의 모두 건설재료·자재산업에서 에너지절약을 중심으로 CO₂ 배출저감의 친환경성 제고의 성능제고의 산업적 요구에 당면하고 있음.

- 시멘트, 철강산업부문은 대량의 CO₂ 배출량 감소가 큰 과제이며 이와 동시에 새로운 개념과 성능의 제품공급을 요구받고 있음.

※ 혼합시멘트, 고장력 강재, 탄소저감형 Steel 등

- 콘크리트 및 제품의 경우, Low Cement, 산업부산물 활용과 더불어 고성능, 고강도의 환경성과 성능제고의 요구에 산업적 대응이 필요한 것으로 분석됨.
- 단열재, 창호의 경우 새로운 고성능의 스마트창호, 유무기 복합단열재 등 에너지 절감과 고효율 제품공급에 대한 산업적 요구가 있음.
- 전반적으로 건설재료·자재산업부문은 CO₂ 배출저감, 활용·전환, 고성능 신기능성 부품의 산업적 트렌드 변화요구에 대응이 필요함.
- 새로운 CO₂ 활용·저장원으로 산업부산물과 건설폐기물의 기술적 가능성과 재질소재로서 새로운 활용의 신사업부문으로 진출이 예상됨

경제동향분석 결과

- CO₂ 발생원인인 시멘트 대체 재료 등 친환경 건축자재 수요 증대
- 국가별 탄소거래가 가능한 탄소시장의 형성 및 확대
- 건설기술의 발달 및 에너지 기준 강화 등 고성능 건설재료의 요구 및 시장확대
- 경제적 경쟁력 확보를 위한 건설산업의 비용절감 노력 증대
- 전세계적인 유가상승에 의한 건설산업 위축



3. 국내외 기술개발 동향조사 및 분석

가. 특허분석

(1) 개요

- 본 분석에서는 “탄소저감형 건설재료” 기술분야를 특허분석대상으로 하였으며, 2000년 1월 ~ 2011년 1월 27일(검색일 기준)까지 출원공개된 한국, 일본, 미국 등록특허를 정량분석 대상으로 함.

〈표 2.27〉 국가별 분석구간 및 특허건수

자료 구분	국 가	전체분석구간	데이터 건수	
			전체건수	정량분석 대상 건수
공개특허 (출원일 기준)	한국	2000.1 ~ 2009년	1,112건	1,070건
	일본	2000.1 ~ 2009년	1,029건	1,028건
등록특허 (등록일 기준)	미국	2000.1 ~ 2009년	689건	572건
합계			2,830건	2,670건

※ 정량분석구간 : 한국, 일본, 유럽 - 2000~2009(출원년도), 미국 : 2000~2009(등록년도)

(2) 특허동향 분석

(가) 전체 특허동향

① 전체 특허분포도(Themescape)

- 특허분포는 전체적으로 초록색과 붉은색이 균일하게 분포되어 2000~2004년과 2005~2009년의 특허활동에는 큰 차이가 없는 것으로 분석됨.

- 2000~2009년에 전 분석구간에서 균일하게 도출된 주요 키워드 :

Carbon dioxide/measuring, Evaluation/life cycle, environmental Load/load calculation/evaluation, sulfuric acid/mortar, corrosion/reinforcing/structure, bolt/steel/joint, steel/strength/tensile strength, reinforced concrete/steel/cement

- 2000~2004년 주요 키워드

Wall/Insulation/Panel, Precast/slab/insulation, Waste/mixing/aggregate, bolt/steel/joint, corrosion/reinforcing/structure

- 2005년 이후 주요 키워드

Carbon dioxide/measuring, calculation/system/amount, environmental Load/load calculation/evaluation

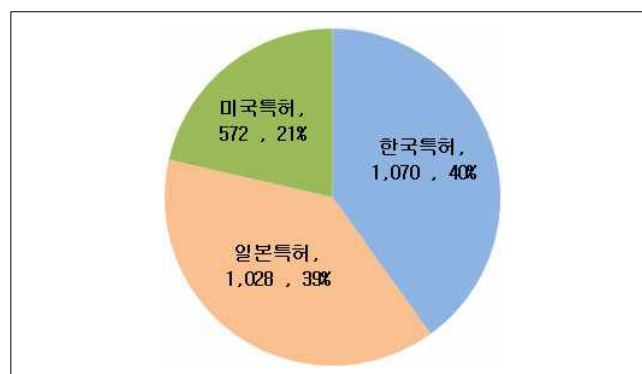


[그림 2.26] “탄소저감형 건설재료” 기술분야의 특허분포도(Themescape)

1. (분석기준) 2000~2009년(출원년도기준)까지 일본공개특허 및 미국 등록특허를 통합하여 분석
2. (초록색) 2000.01.01 ~ 2004.12.31, (붉은색) 2005.01.01 ~ 2009.12.31

② 출원동향

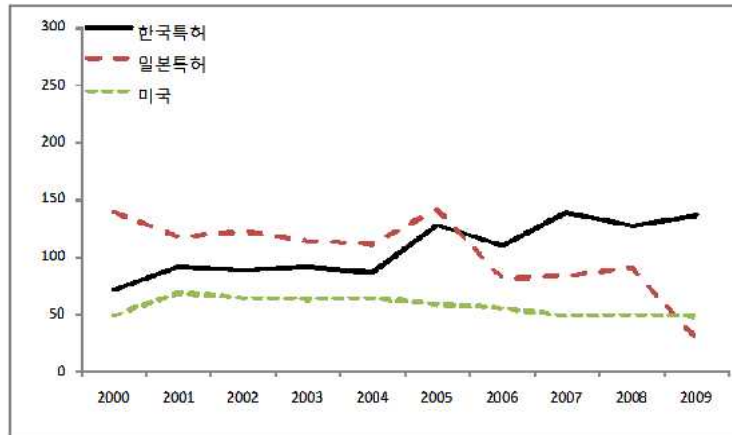
- 한국, 미국, 일본특허를 통해 살펴본 “탄소저감형 건설재료” 기술분야의 특허활동은 한국특허에서의 활동이 가장 활발한 것으로 분석.
- 한국특허에서는 1,070건이 출원/공개되어 전체 출원/공개량의 40.1%를 차지한 것으로 분석되었으며, 일본특허에서는 1,028건이 출원/공개되어 38.5%의 점유율을 나타냄. 그 다음으로는 미국특허에서는 572건, 21.4%로 분석됨.



[그림 2.27] 국가별 출원(등록)점유율

1. (분석구간) 한국 및 일본특허 : 2000~2009(출원년도), 미국특허 : 2000~2009(등록년도)
2. 제 1출원인(특허권자) 기준

- 년도별 출원(등록)건수의 변화 추이는 한국의 경우, 2000년 이후 증가추세인 것으로 분석되었으나, 일본은 2005년 최대 출원건수를 기록한 이후 감소추세로 전환되었으며, 미국은 2001년 이후 출원등록건수가 지속적으로 감소하는 것으로 분석됨

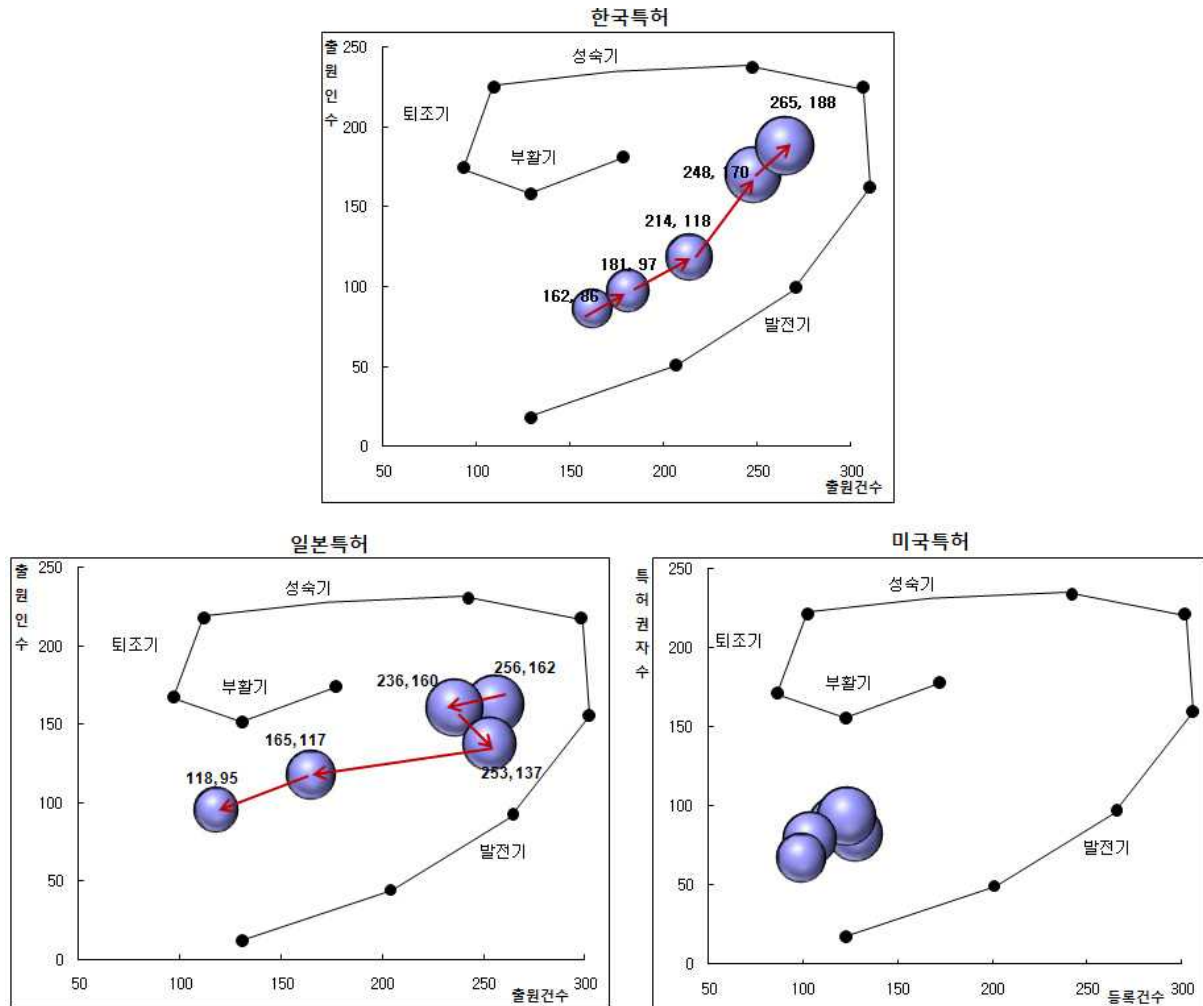


[그림 2.28] 년도별 특허 출원(등록)동향

1. (분석구간) 한국 및 일본특허 : 2000~2009(출원년도), 미국특허 : 2000~2009(등록년도)
2. 제 1출원인(특허권자) 기준

③ 포트폴리오로 본 출원국가별 기술분야 위치

- “탄소저감형 건설재료” 기술분야 위치 : 한국 특허시장은 출원건수와 출원인수가 지속적으로 증가하는 발전기단계에 있는 것으로 분석되었으며, 미국특허는 등록건수와 특허권자수가 거의 정체되어 있는 발전초기 단계로 분석. 일본은 출원건수와 출원인수가 점차 감소하는 형태로 성숙기단계를 거쳐 퇴조기 단계로 진입하고 있는 것으로 분석됨.



[그림 2.29] 포트폴리오로 본 탄소저감형 건설재료의 출원국가별 기술분야 위치

1. (한국 및 일본특허) 2000~2001, 2002~2003, 2004~2005, 2006~2007, 2008~2009(출원년도 기준)
 2. (미국특허) 2000~2001, 2002~2003, 2004~2005, 2006~2007, 2008~2009(등록년도 기준)
 3. (출원인/특허권자) 전체 특허권자 대상
- ※ 본 그래프는 특허출원건수와 출원인수간 상관관계를 통해 기술의 발전, 성숙 및 퇴조단계를 한눈에 파악할 수 있는 기술추이 포트폴리오임

④ 주요 출원인 분석

- “탄소저감형 건설재료” 기술분야의 주요 출원인(특허권자)을 국가별로 추출하여, 10위 이내의 출원인(특허권자)을 분석함.
- 한국, 일본, 미국특허에서 10위 이내 출원인(특허권자)를 분석한 결과, 주요 출원인 대부분이 자국 내에서만 특허활동을 진행하고 있는 것으로 분석됨.
- 한국특허시장의 10위 이내 주요 출원인은 모두 내국인으로 구성되었으며, 특정 출원인이 특허출원을 주도 하고 있지 않은 것으로 분석됨. 최다 출원인은 POSCO 35건, 3.3%로 분석되었으며, 한국건설기술연구원(30건, 2.8%), (재)포항산업과 학원연구원(12건, 1.1%)등의 순으로 특허 출원건수가 많은 것으로 분석됨.
- 일본특허에서의 최다 출원인은 DENKI KAGAKU KOGYO KK 88건(8.6%)로 분

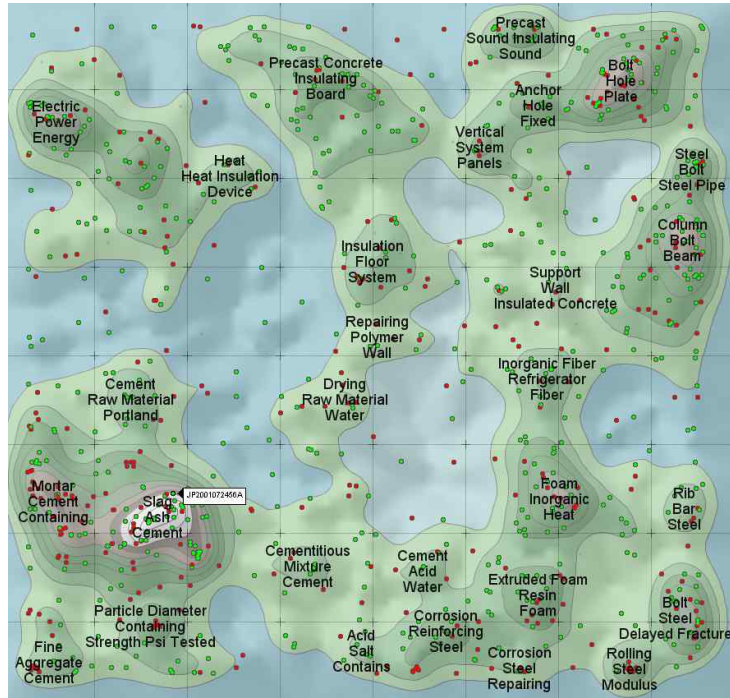


[그림 2.31] “CO₂ 활용 · 처리 건설재료” 특허분포도(Themescape)

1. (분석기준) 2000~2009년(출원년도기준)까지의 일본공개특허 및 미국 등록특허를 통합하여 분석
2. (초록색) 2000.01.01 ~ 2004.12.31, (붉은색) 2005.01.01 ~ 2009.12.31

㉠ “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야의 특허분포도(Themescape)

- 전체적으로 초록색과 붉은색이 균일하게 분포된 것으로 분석되어, 2000~2004년과 2005~2009년의 특허활동에는 큰 차이가 없는 것으로 조사됨
- 본 분석구간에서는 heat / heat insulation / device, precast / sound / sound insulating, bolt / hole / plate, foam / inorganic / heat, cement / acid / water, corrosion / reinforcing / steel등이 주요 키워드로 도출됨.



[그림 2.32] “에너지 저감형 고성능 건설재료” 특허분포도(Themescape)

1. (분석기준) 2000~2009년(출원년도기준)까지의 일본공개특허 및 미국 등록특허를 통합하여 분석
2. (초록색) 2000.01.01 ~ 2004.12.31, (붉은색) 2005.01.01 ~ 2009.12.31

㉠ “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야의 특허분포도(Themescape)



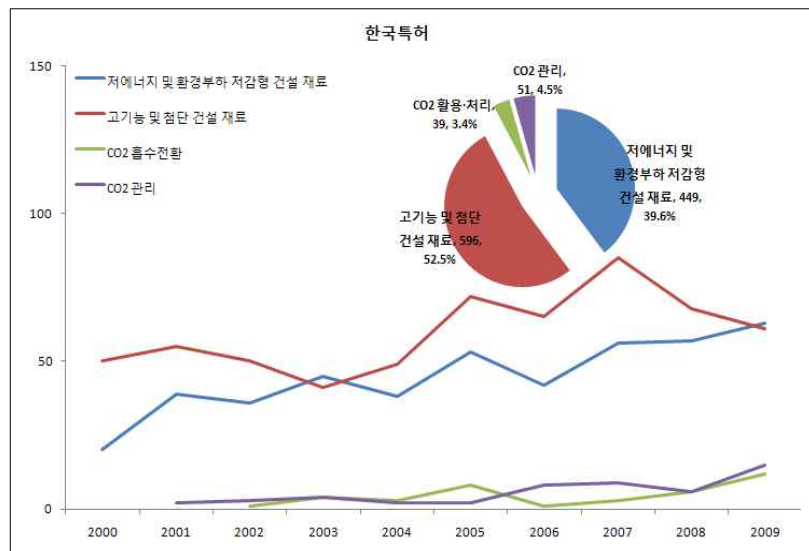
[그림 2.33] “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 특허분포도(Themescape)

1. (분석기준) 2000~2009년(출원년도기준)까지의 일본공개특허 및 미국 등록특허를 통합하여 분석
2. (초록색) 2000.01.01 ~ 2004.12.31, (붉은색) 2005.01.01 ~ 2009.12.31

- 2000~2004년에는 Activity / Energy / quantity, cost / life cycle, reduced pressure / atmosphere / treatment, data / disposal / server, software / fuel / step 등이 주요 기술분야 키워드로 도출되었으나, 2005~2009년에는 session initiation protocol / runtime environment, organic / flow / sample liquid, storing / collection / condition, construction / machine / set 등이 주요 기술분야 키워드로 도출됨.

② 기술분야별, 년도별 출원동향

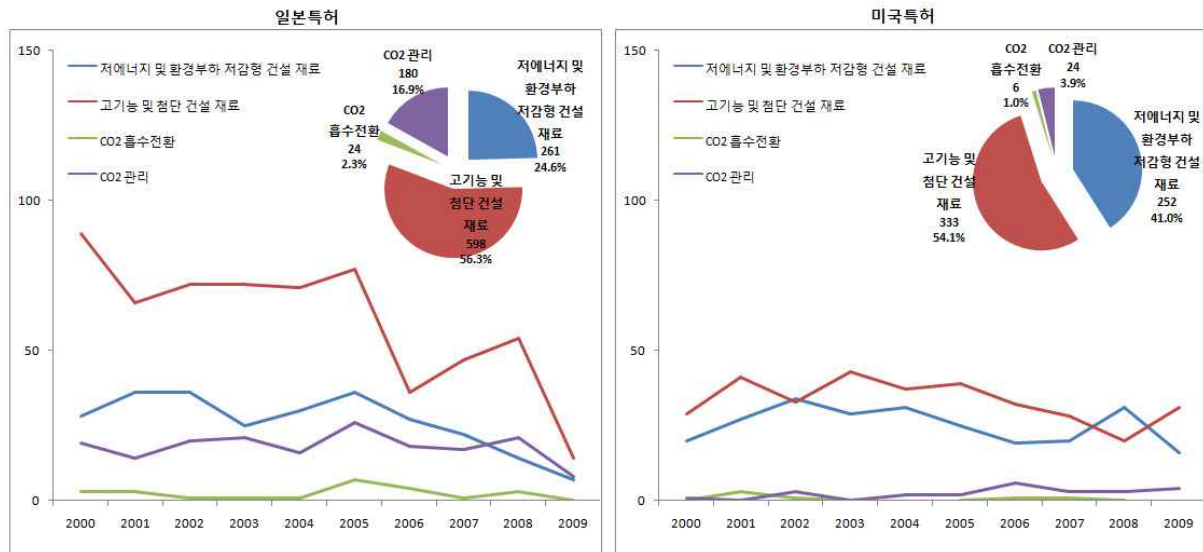
- 한국특허, 일본특허 및 미국특허시장에서의 “탄소저감형 건설재료” 기술분야 중 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야 특허활동이 가장 활발한 것으로 분석되었으며, “CO₂ 활용·전환과 CO₂ 관리” 분야의 특허활동은 매우 저조함. 그러나 일본 특허시장에서 “CO₂ 관리” 분야의 특허활동은 한국특허나 미국특허 시장에 비해 활발함.
- 한국 특허시장에서는 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야의 특허활동이 가장 높으나(596건, 52.5%), 2007년 이후 출원건수가 감소추세로 전환됨. “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야는 특허활동이 지속적으로 증가하고 있는 것으로 분석됨.



[그림 3.34] 년도별 기술별 특허출원동향(한국특허)

1. (분석구간) 한국특허 : 2000~2009(출원년도)
2. 제 1출원인(특허권자) 기준

- 일본 특허시장에서는 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 특허출원 활동이 가장 높은 것으로 분석되었으나, 2005년 최대건수를 기록한 이후 큰 폭으로 감소추세로 전환됨. “CO₂ 관리” 분야의 특허활동은 일본내 타 기술분야에 비해서는 저조하나 한국이나 미국 특허시장보다는 특허활동이 활발하게 진행되고 있는 것으로 분석됨.

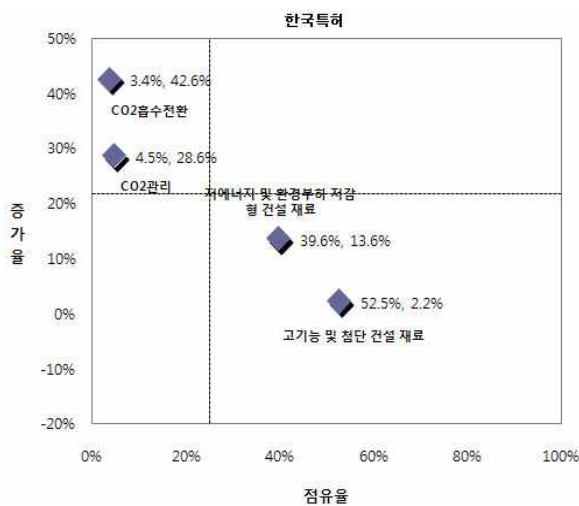


[그림 2.35] 년도별, 기술별 특허출원(등록)동향(일본특허 및 미국특허)

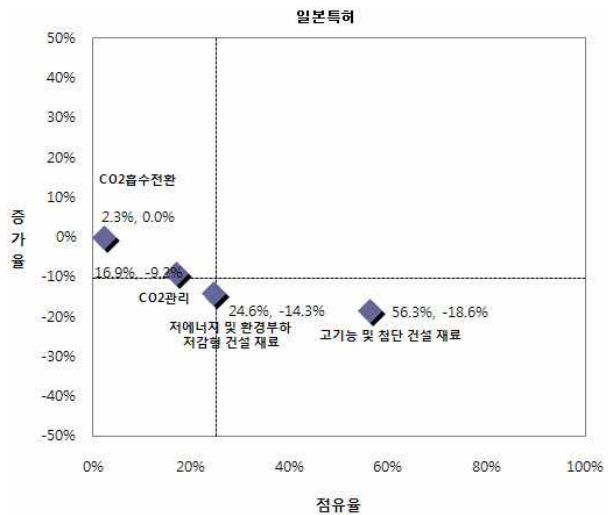
1. (분석구간) 일본특허 : 2000~2009(출원년도), 미국특허 : 2000~2009(등록년도)
2. 제 1출원인(특허권자) 기준

③ 기술분야별 포트폴리오 분석

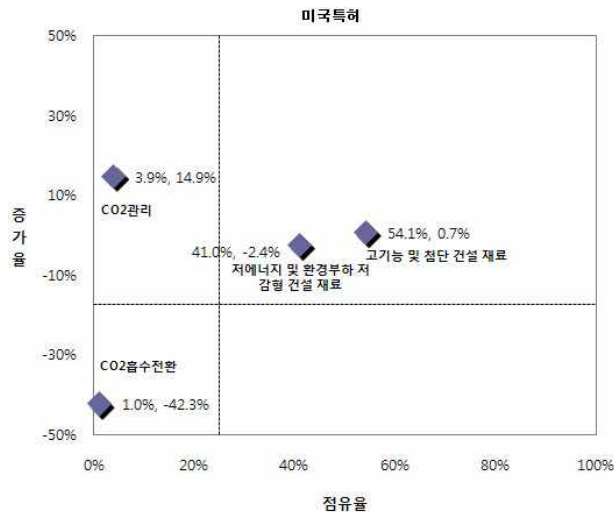
- 한국과 일본 특허시장에서는 “CO₂ 활용·전환과 CO₂ 관리” 분야의 최근 특허 활동이 활발해진 것으로 분석되었으며, 미국 특허시장에서는 “CO₂ 배출저감형 건설재료”, “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야의 특허활동이 지속적으로 이루어지고 있는 것으로 분석됨.



[그림 2.36] 세부기술별 포트폴리오 (한국특허)



[그림 2.37] 세부기술별 포트폴리오 (일본특허)



[그림 2.38] 세부기술별 포트폴리오
(미국특허)

1. (분석구간)
한국 및 일본특허 : 2000~2009(출원년도),
미국특허 : 2000~2009(등록년도)
2. 제1출원인(특허권자) 기준
3. X축 : 100%/기술분야 개수,
Y축 : 분석구간의 연평균 증가율의
기하평균값
4. 분석의미 :
1사분면- 지속적으로 특허출원이 활발,
2사분면-최근 특허출원이 활발
3사분면-초창기(도입기) 기술
4사분면-최근 특허출원이 감소추세

(3) 특허분석 결과의 시사점

(가) 국외동향

① 출원동향 분석결과

- 미국이나 일본의 특허시장에서의 “탄소저감형 건설재료 기술” 분야 특허활동은 감소추세로 파악되었음. 특히 미국은 특허권자와 등록건수가 거의 정체되어 있는 것으로 파악되었으며, 일본은 출원인과 출원건수가 지속적으로 감소하는 성숙기 단계를 거쳐 퇴조기 단계로 진입하고 있는 것으로 분석됨.
- 세부기술 분야별로는 미국특허 및 일본특허 모두 특허 점유율은 저조하나 일본은 “CO₂ 활용·전환” 분야가, 미국은 “CO₂ 관리” 분야가 최근 연구개발 활동이 활발히 진행되고 있는 분야로 파악됨.

② 주요 출원인 분석결과

- 일본특허에서의 최다 출원인은 DENKI KAGAKU KOGYO KK 88건(8.6%)로 분석되었으며, NIPPON STEEL CORP(58건, 5.6%), TAIHEIYO CEMENT CORP(43건, 4.2%), UBE IND LTD(33건, 3.2%), SHIMIZU CORP(28건, 2.7%)등의 순으로 분석되었으며, 미국 특허시장에서의 최다 특허권자는 Halliburton Energy Services, Inc. 28건, 4.9%로 분석됨.

(나) 국내동향

① 출원동향 분석결과

- “탄소저감형 건설재료 기술” 분야의 국내 특허활동은 미국, 일본보다 활발한 것으로 분석되었으며, 2000년 이후 출원건수가 지속적으로 증가하고, 특허시장에 참여하는 출원인수도 증가하여 해당기술 분야는 국내 특허시장에서 발전기에 해당하는 것으로 분석됨.
- 세부 기술분야별 특허동향은 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야의 특허활동이 가장 활발하였으나, 2007년 이후 출원건수가 감소하는 추세로 변화되었으며, “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야는 출원건수는 지속적으로 증가하고 있으나, 최근 특허출원 증가율이 감소하고 있는 것으로 파악됨. “CO₂ 흡수·전환형 건설재료” 기술분야, “CO₂ 관리” 기술분야는 특허 점유율은 저조하나 최근 연구개발 활동이 활발히 진행되고 있는 분야로 파악됨.

② 주요 출원인 분석결과

- 한국특허시장의 10위 이내 주요 출원인은 모두 내국인으로 구성되었으며, 특정 출원인이 특허출원을 주도하고 있지 않은 것으로 분석됨. 최다 출원인은 POSCO 35건, 3.3%로 분석되었으며, 한국건설기술연구원(30건, 2.8%), (재)포항산업과학연구원(12건, 1.1%)등의 순으로 특허 출원건수가 많은 것으로 분석됨.
- 포스코와 포항산업과학연구원은 2005년 이전에, 한국건설연구원, 인트캠 및 한일시멘트는 2006년 이후 특허활동이 활발한 것으로 분석됨.
- POSCO는 2002년 이전에는 특허권 확보에 적극적이었으나, 이후 특허권 확보에 유보적인 경향을 보이는 것으로 분석되었으며, 한국건설기술연구원은 2003년 이후 출원된 특허를 중심으로 한 특허권 확보에 관심이 높은 것으로 분석됨.

나. 논문분석

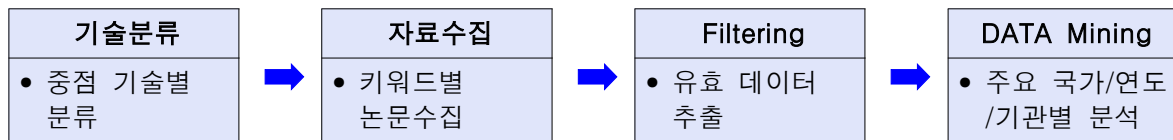
(1) 논문분석 방법

(가) 개요

- “탄소저감형 건설재료” 기술분야의 국내·외 연구개발 동향을 파악하기 위하여 기술분야별로 논문의 수집·분석 수행.

(나) 분석체계

- 논문분석을 위하여 기술분야별로 관련 키워드로 검색·수집하고 수집된 데이터는 노이즈 제거를 통하여 유효 논문데이터를 추출. 국가, 연도 및 주요 연구기관별 Data Mining을 통하여 관련 기술 및 연구개발 동향을 파악함.

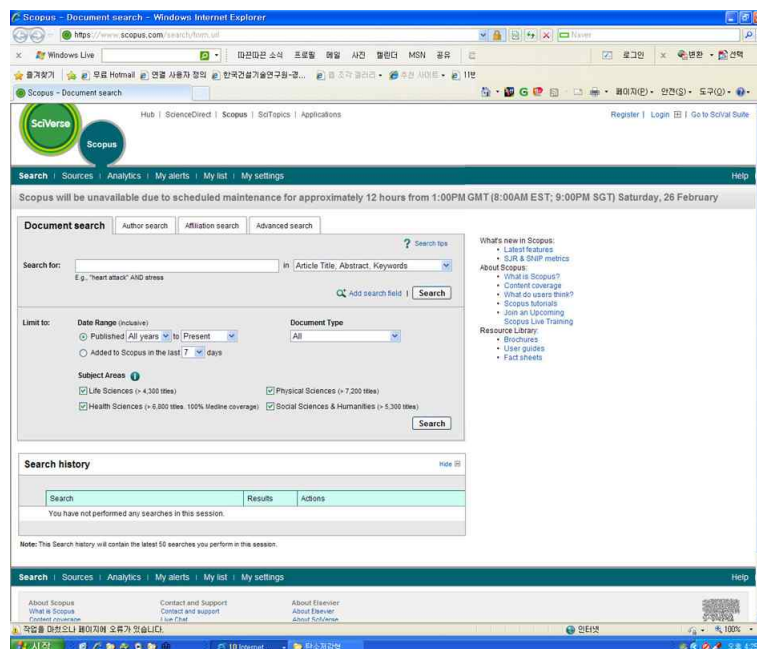


[그림 2.39] 논문분석 Process

(㉔) 분석도구

① 국외 논문분석

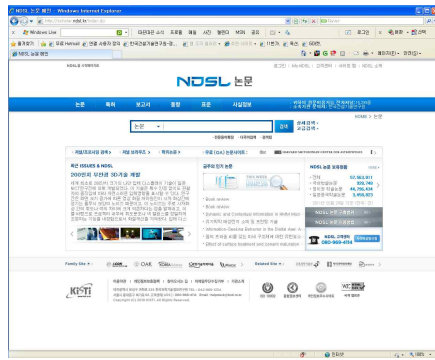
- 국외논문 분석은 Elsevier에서 제공하는 논문검색 서비스인 SCOPUS를 통해 국외 발표된 Journal과 Proceedings을 대상으로 관련 논문을 검색하였으며 Filtering 및 분석은 국내논문 분석과 동일하게 한국건설교통기술평가원에서 제공한 논문계량 분석 시스템인 Landscape를 활용하여 수행함.



[그림 2.40] SCOPUS

② 국내 논문분석

- 국내논문 분석은 과학기술정보연구센터에서 제공하는 논문검색 서비스인 NDSL(National Discovery of Science Leaders)를 통해 국내에서 발표된 Journal과 Proceedings을 대상으로 관련 논문을 검색하였으며 Filtering 및 분석은 한국건설교통기술평가원에서 제공한 논문계량 분석 시스템인 Landscape를 활용하여 수행함.



[그림 2.41] NDSL



[그림 2.42] Landscape

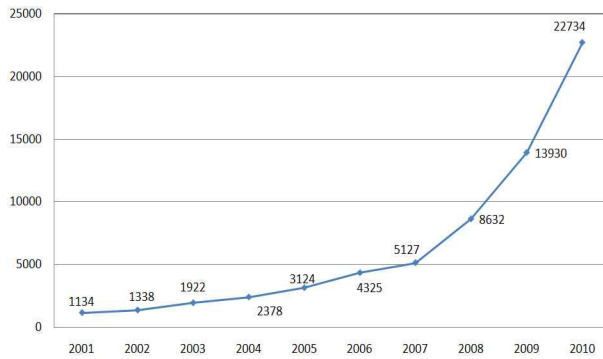
(2) 국외논문 분석결과

(가) 개요

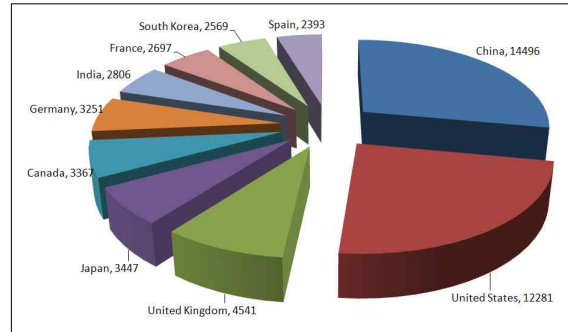
- **조사항목** : “탄소저감 건설재료” 기술분야(CO₂ 배출저감형 건설재료 / CO₂ 활용 · 처리 / 에너지 저감형 고성능 건설재료 / 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책 기술 분야)
- **조사범위** : 해외에서 발표된 저널 및 proceeding
- **발표언어** : 영어

(나) 논문발표 현황

- “탄소저감형 건설재료” 관련하여 발표된 논문은 전체 약 77,500여 편이며, 2001년부터 2010년까지 발표된 논문수는 약 70,000건으로 대부분을 차지하였음
- 연도별 발표동향을 살펴보면, 2001년부터 지속적으로 증가하였으나 특히 2007년 이후 급격한 증가추세로 2010년 발표된 논문수는 전년대비 약 160% 증가하였음.
- **국가별로는 중국과 미국에서 발표된 논문이 전체의 약 34%를 차지하여** 중국의 경우, 국가 경제개발에 맞추어 R&D에도 상당한 진척을 보임.
- 연구기관별로는 중국의 Tongji University 및 Tsinghua University, 미국의 Southeast University 등에서 활발한 연구개발이 진행 중인 것으로 파악.



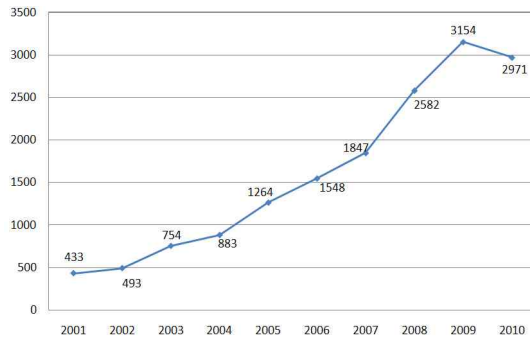
[그림 2.43] 연도별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)



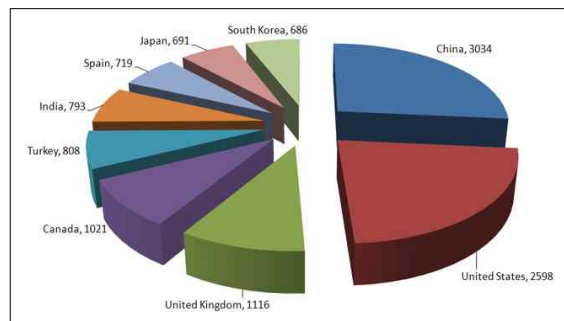
[그림 2.44] 주요 국가별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)

① “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야

- “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야 관련 논문은 세부적으로 시멘트 콘크리트 기술분야, 건설용 강재 기술분야, 재활용 및 공정기술분야로 분류하여 수집하였음.
- 발표된 논문은 총 20,215편이며, 2001년부터 점진적으로 증가하고 있음.
- 국가별로는 중국과 미국에서 발표된 논문이 전체의 약 30%를 차지하였으며, 연구기관별로는 중국의 Tongji University 및 Wuhan University of Technology, 미국의 Southeast University 등에서 활발한 연구가 진행 중인 것으로 파악됨.



[그림 2.45] 연도별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)

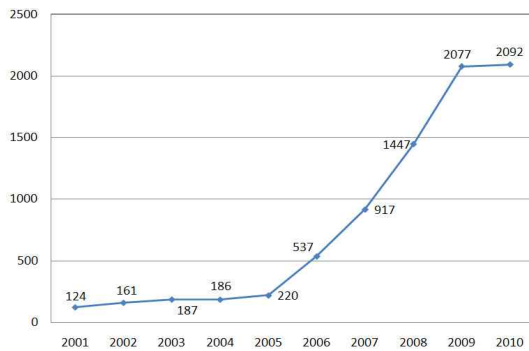


[그림 2.46] 주요 국가별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)

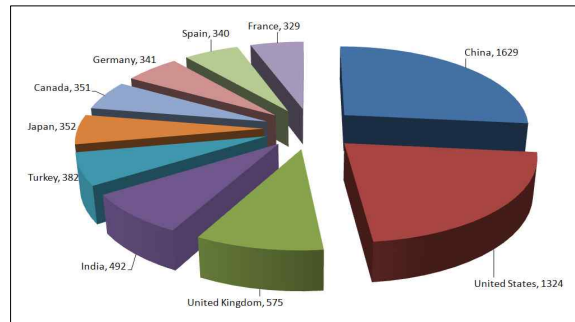
② “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야

- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야 관련 논문은 세부적으로 산업부산물 CO₂ 활용·처리기술, 건설폐기물 CO₂ 활용·처리기술, 건설자재 CO₂ 활용·처리기술로 분류하여 수집하였음.
- 발표된 논문은 약 9,600편이며, 연도별 발표동향을 살펴보면 완만하게 증가하다 2006년을 기점으로 큰 폭으로 증가하였음.
- 국가별로는 중국과 미국에서 발표된 논문이 전체의 약 31%를 차지하였으며, 연구기관별로는 미국의 Southeast University, 중국의 Tongji University 및 Wuhan

University of Technology 등에서 활발한 연구가 진행 중인 것으로 파악됨.



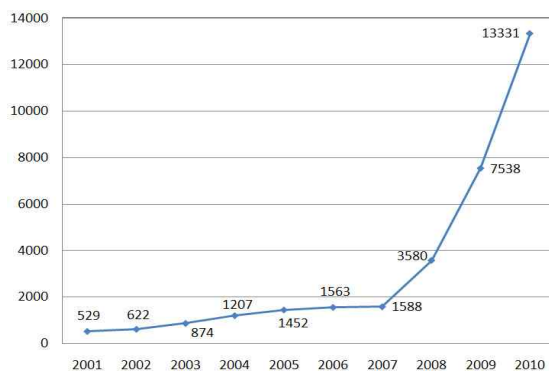
[그림 2.47] 연도별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)



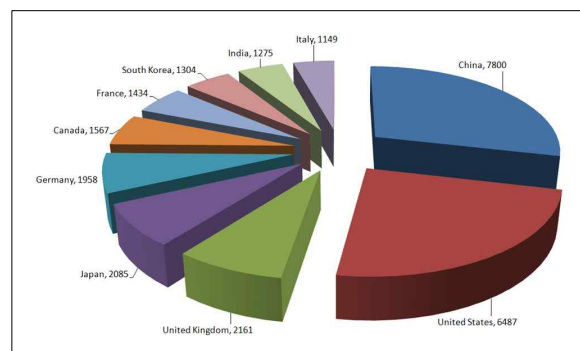
[그림 2.48] 주요 국가별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)

③ “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야

- “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야 관련 논문은 세부적으로 고기능 강재기술, 슈퍼콘크리트, 고성능 외피, 열전재료, 스마트창호 기술로 구분하여 분석하였음.
- 발표논문은 총 37,827편이며, 2001년부터 연구가 꾸준히 증가하는 추세이며 특히, 2007년을 기점으로 큰 폭으로 증가함.



[그림 2.49] 연도별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)



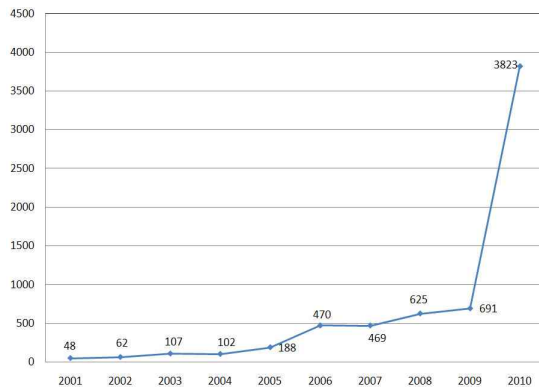
[그림 2.50] 주요 국가별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)

- 국가별로는 중국과 미국에서 발표된 논문이 전체의 약 32%를 차지하였으며, 연구기관별로는 중국의 Tsinghua University, Harbin Institute of Technology 및 Tongji University 등에서 활발한 연구가 진행 중임.

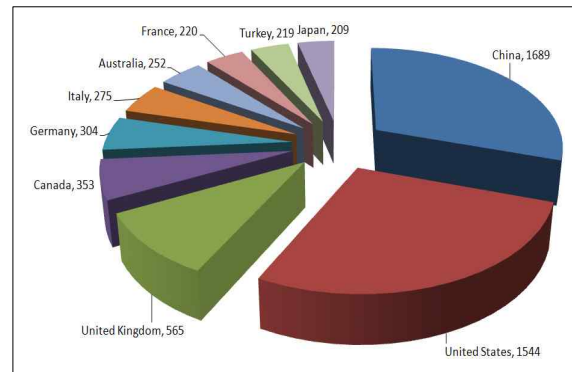
④ “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야

- “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술과 관련하여 발표된 논문은 총 7,853편이며, 연도별 발표동향은 완만하게 증가하다 2006년과 2009년을 기점으로 큰 폭으로 증가하였음.

- 국가별로는 중국과 미국에서 발표된 논문이 전체의 약 41%를 차지하였으며, 연구기관별로는 중국의 Tongji University, Harbin Institute of Technology 및 Tsinghua University 등에서 활발한 연구가 진행 중인 것으로 파악됨.



[그림 2.51] 연도별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)



[그림 2.52] 주요 국가별 논문발표 동향
(단위 : 논문건수)

(3) 국내 논문분석 결과

(가) 개 요

- **조사항목** : “탄소저감 건설재료” 관련 기술분야(CO₂ 배출저감형 건설재료 / CO₂ 활용·처리 / 에너지 저감형 고성능 건설재료 / 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책 등 4개 분야)
- **조사범위** : 2001년~2010년간 국내에서 발표된 Journal 및 Proceedings

(나) 논문발표 현황

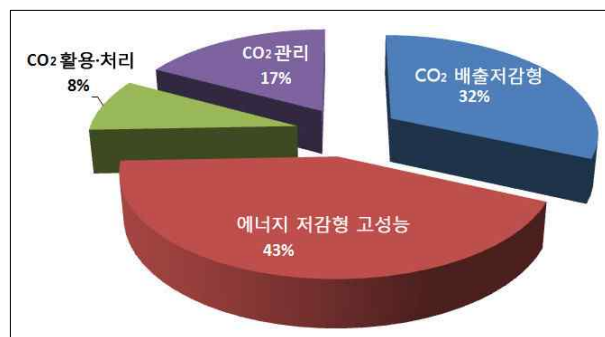
- 조사기간에 발표된 논문은 약 7,300여 편이며, “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야와 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야가 전체의 약 70% 이상을 차지하고 있음.
- 연도별 발표동향을 살펴보면 2008년, 약 1,500 건으로 가장 많은 수의 논문이 발표되었으며 2001년부터 2009년까지는 꾸준히 증가하였으나 2010년에는 다소 감소하였음.

〈표 2.28〉 연도별 국내논문 발표 현황

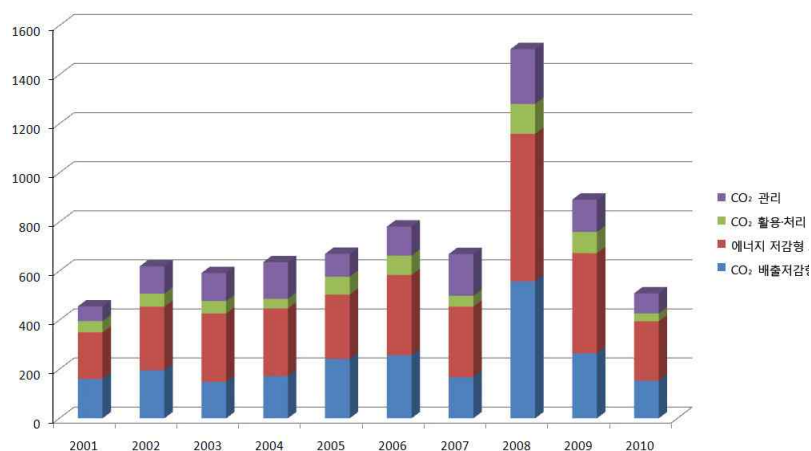
구분 \ 연도	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	계
CO ₂ 배출저감형 건설재료기술	161	196	148	172	242	257	167	558	265	153	2,321
CO ₂ 활용·처리 건설재료기술	46	53	51	39	73	79	44	122	86	32	625
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	189	259	279	276	262	327	288	601	408	242	3,131
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책 기술	60	111	114	149	93	118	170	223	132	82	1,254

(㉔) 기술분야별 논문발표 현황

- 기술분야별 논문발표 현황을 구분하면 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야가 약 43%, “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야가 약 32%, 건설재료의 CO₂ 관련 기술이 약 25%를 차지하였음.



[그림 2.53] 기술분야별 국내 논문 발표 현황



[그림 2.54] 기술분야별 국내논문 발표추이

(4) 논문분석 결과의 시사점

- 국외의 경우, 2001년부터 2010년까지 “탄소저감형 건설재료” 관련하여 발표된 논문은 약 70,000건으로 기술분야별로는 “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술이 약 27%, “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술이 약 52%, “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술의 경우 약 12%, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술은 약 9%를 차지하였음.
- 국가별로는 중국과 미국을 포함한 선진외국에서 대부분의 논문이 발표되었으며 특히, 중국과 미국에서 발표된 논문은 전체의 약 34%를 차지하였음.
- 연구기관별로는 중국의 Tongji University 및 Tsinghua University, 미국의 Southeast University 등에서 활발한 연구개발이 진행 중인 것으로 파악됨.
- 국외에 발표된 국내 논문동향을 살펴보면 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야에서 연구성과가 뚜렷하게 나타났으며 고기능 강재기술, 슈퍼콘크리트 기술, 고성능 외피기술, 기술분야에서 논문 발표수 대비 상위 10개국 이내에 포함되어 있었음.
- 슈퍼콘크리트 기술분야는 논문 발표수 대비 상위 10개국 이내에 포함되었으며, 기관별 분석에서는 본 연구기관이 상위 10개 기관내에 포함되어 이와 관련한 기술 확보에 국내에서는 상대적으로 유리한 위치를 선점하고 있는 것으로 사료됨.
- “탄소저감형 건설재료” 기술과 관련하여 국내 논문발표현황을 살펴보면 2001년부터 2010년까지 약 7,000여 편이 발표되었으며, 분야별로는 “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야와 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야가 전체의 약 70% 이상을 차지하고 있었음
※ 분야별로는 에너지 저감형 고성능 건설재료 기술이 약 43%, CO₂ 배출저감형 건설재료 기술 약 32%, 건설재료의 CO₂ 관련 기술개발이 약 25%를 차지하였음
- 건설재료의 CO₂ 관련 기술은 2001년부터 꾸준히 증가하는 추세이나 상대적으로 타분야에 비하여 미흡하므로 기후변화협약에 따른 CO₂ 감축량의 의무달성을 위해 건설분야에서의 “CO₂ 활용·전환 및 관리기술”에 대한 활발한 연구가 필요할 것으로 분석됨.

다. 기술경쟁력 분석

(1) “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야

- 국내 저시멘트콘크리트기술은 2000년 이후 외국에서 친환경콘크리트에 대한 이슈화가 이루어지면서 본격적으로 시작, 상당한 연구를 수행.
※ 고로슬래그와 플라이애시 활용 저시멘트 콘크리트는 기술격차가 크지 않으나 천연재료 활용 저시멘트 콘크리트, 구조부재 활용기술은 다소 기술수준이 낮은 것으로 분석됨.
- 국내의 시멘트 생산기술은 외국자본과 기술교류 등으로 큰차이가 없는 것으로 판

단되나 입도분급에 의한 생산공정단계의 CO₂ 및 에너지 절감기술은 국내에서 아직 소수업체만 부분적으로 적용되는 것으로 파악됨.

- 일반 강섬유 보강콘크리트는 국내에서도 상당한 현장에 시공한 사례를 보유하고 있으며, UHPC기술도 2007년 개발하여 실용화 수준에 도달
 - ※ 저에너지형 steel 및 fiber는 아직 제조기술 및 제품상용화가 이루어지지 않아 기술 개발이 필요한 것으로 판단됨.
 - ※ 단지 강섬유보강콘크리트의 수준을 기준으로 보면 선진국과 3년 이상 기술차이가 있는 정도로 판단됨.
- “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야로 분류되는 기술의 국내외 기술수준을 전문가 설문조사를 통하여 다음과 같이 정리·제시하였음.

〈표 2.29〉 “CO₂ 배출저감형 건설재료” 분야의 국내외 기술수준 비교

분야		기술	기술수준			
			국외		국내	
			최고기술 보유국	기술수준 (%)	기술수준 (%)	기술격차 (개월)
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술분야	시멘트 분야	고로슬래그계 저시멘트 콘크리트	호주	80	70	18
		석탄회계 저시멘트 콘크리트	프랑스, 호주	80	70	18
		천연재료계 저시멘트 콘크리트	프랑스	80	60	24
		구조부재 활용 기술	프랑스, 호주	70	55	36
	에너지저감형 건설용 강재	숏크리트	미국, 일본, 프랑스	100	80	36
		콘크리트	미국, 일본, 프랑스	100	80	36
	재활용 및 공정	특수(혼합) 시멘트 생산	일본	90	70	24
		고화제 및 인공토양	일본	90	60	48

(2) “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야

- 국내의 산업부산물 CO₂ 활용·처리·전환 기술은 소수의 연구기관에서 수행된 바 있으나 실험단계이며, 국외의 경우도 보다 심도있는 시험이 진행되었지만, 역시 실용화 사례는 파악되지 않음.
- 국내와 국외의 기술수준은 차이가 있으나 아직 모두 기초단계 수준으로 적극적인 기술개발을 통해 세계 1위 기술선점이 가능할 것으로 분석됨.

- 각 국가별로 광물 탄산화에 대한 연구는 수행하고 있으나 대부분 탄산화공정에 치중하고 활용기술은 접근하지 못함. 아울러 건설폐기물의 탄산화에 대한 연구는 노르웨이에서 기초연구단계로 수행사례 있음.
※ 국내에서도 아직 실용화 단계는 아니나 순환골재에 CO₂를 흡수전환하는 연구가 계속 수행중임. 따라서 국내외 기술수준 차이는 크지 않는 것으로 판단됨
- **국내의 콘크리트제품 탄산화기술과 CO₂ 흡수시멘트는 모두 국내에서 새로운 분야로 차후 기술개발시 상당한 파급효과가 있을 것으로 예상됨.**
- 국외의 콘크리트제품 탄산화 기술은 CO₂ 흡수성과 획득의 진전이 있으며 CO₂ 흡수시멘트는 유망기술로 선정·추진되고 있음.
- CO₂ 활용·처리 건설재료 기술분야로 분류되는 기술의 국내외 기술수준을 <표 2.30>과 같이 정리하였음.

<표 2.30> “CO₂ 활용·처리 건설재료” 분야의 국내외 기술수준 비교

분야	기술		기술수준			
			국외		국내	
			최고기술포유국	기술수준 (%)	기술수준 (%)	기술격차 (개월)
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술분야	산업부산물 활용분야	산업부산물 CO ₂ 흡수전환기술	프랑스	30	15	36
	건설폐기물 활용분야	건설폐기물 CO ₂ 흡수전환기술	노르웨이	50	20	24
	건설자재 활용분야	급속 탄산화 식생블록 양생기술	미국	80	40	48
		Carbon negative 시멘트콘크리트 기술	미국	40	5	60

(3) “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야

- 국내의 고강도강은 700MPa 수준이며, 1,300MPa 수준의 볼트, 850MPa급 용접봉 개발수준으로 국외의 고강도강은 1,000MPa급, 볼트는 1,400MPa급, 용접봉은 1,000MPa에 대응하는 수준으로 국내보다 우월한 기술을 갖는 것으로 파악됨
- 국내의 실용가능 고강도콘크리트 압축강도는 120MPa, CNT 슈퍼콘크리트는 인장강도 20MPa 수준이나 국외에서도 성공한 사례가 없음.
※ 국외의 고강도콘크리트는 200MPa급을 실용화 할 정도로 국내보다 우월한 기술력을 보유하고 있음.
- 국내 단열재료 기술은 외단열 시스템, 단열벽체, 유, 무기단열재, 단열도료 등이 다양하게 활용되고 있으며, 규제대상인 발포제를 사용하여 대체개발이 시급하며, 성능향상을 위한 기술개발 중
※ 국외의 단열재료는 초경량, 초단열 수준의 성능이 향상된 단열재료가 활용중이며, 규제

대상이 아닌 발포제를 사용하고 있음.

- 국내 열전재료 기술은 아직 초보단계로 삼성전자에서 일부기술에 대하여 보유하고 있으나, 아직 재료와 시스템부분의 많은 연구가 필요함.

※ 국외의 열전재료는 폐열회수 목적으로 개발되고, 군사용으로 상당한 기술진보를 이룬 것으로 평가됨.

- 국내 스마트창호는 소수의 연구기관에서 진행, 일부 선진국과 일부 대등한 기술력을 보유.

〈표 2.31〉 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 분야의 국내외 기술수준 비교

분야		기술	기술수준			
			국외		국내	
			최고기술 보유국	기술수준 (%)	기술수준 (%)	기술격차 (개월)
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술분야	고기능 강재	강재	일본	90	80	24
		고성능 접합재료	일본	80	70	36
		철근이음/정착	일본	80	70	36
		볼트	일본	80	70	34
		용접봉	일본	90	80	24
	콘크리트	초고강도 콘크리트	일본	100	80	24
		초고성능 콘크리트	독일	100	90	12
		CNT 슈퍼 콘크리트	프랑스	20	5	24
	단열재료	PC고단열 벽체 및 외피기술	유럽, 일본, 미국	80	60	36
		하이브리드 단열재 및 내 외장 벽체기술	유럽, 일본	80	65	36
		무단열 외벽체 재료 및 시스템 기술	미국	90	70	24
		XPS 단열재 기술	유럽	80	65	24
	열전재료	열전재료 기술	미국	20	5	48
	내화재료	내화보드 기술	일본	80	70	24
	창호기술	투명전극기술	일본, 미국	95	60	36
		가변소자기술	미국	95	60	48
		전기변색재료기술	미국, 일본	95	80	24
		전기변색코팅기술	일본, 이스라엘	95	80	24
		전기변색디바이스기술	일본	95	90	12

※ 외국의 경우 스마트재료가 활발히 연구되고 있으며, 국내보다 넓은 범위에서 연구 진행.

- 에너지 저감형 고성능 건설재료 기술분야의 국내외 기술수준을 <표 2.31>과 같이 정리하였음.

(4) “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야

- 외국의 경우 화학, 자동차, 전자, 반도체를 중심으로 LCI DB 구축되어 있으며 건축자재 관련 DB 구성 프로그램도 민간기업에서 개발 활용됨. 우리나라도 기술수준은 차이가 크게 없으나 데이터 확보기간이 많이 소요됨.
- 우리나라는 선진국들과 큰 격차가 벌어져 있지는 않으나 모형개발, 평가가이드 제공, 데이터구축 등의 시간을 고려할 때 36~48개월 정도의 격차가 존재한다고 볼 수 있음.
- 각 기술별 최고기술 보유국은 영국, 일본, 독일로 평가되며, 이들의 기술수준은 완성기술 대비 95~98% 수준으로 평가할 수 있음.

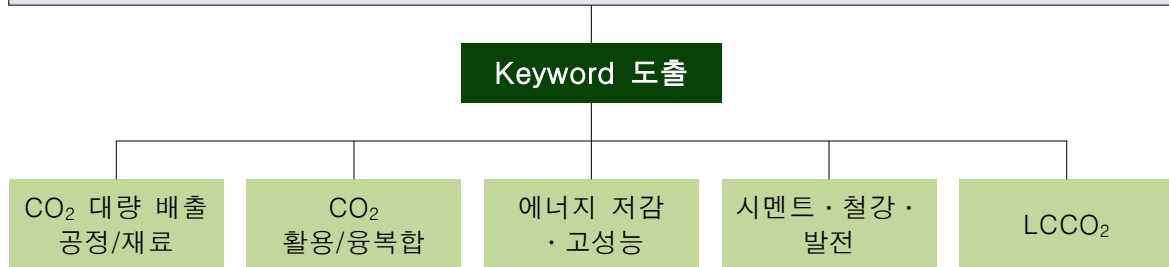
<표 2.32> “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 분야의 국내외 기술수준 비교

기술분야	세부기술	기술수준			
		국외		국내	
		최고기술 보유국	기술수준 (%)	기술수준 (%)	기술격차 (개월)
CO ₂ 평가 및 LCI DB관리 기술	건설재료 군별 CO ₂ 평가 세부기준(PCR)개발	독일	95%	80	36
	건설재료 LCI DB 확충 및 확대기술	스위스	95%	70	48
	개발 건설자재의 CO ₂ 저감 기획 및 탄소인증	영국	95%	80	36
사용·유지관리 기술	건설재료 생애 CO ₂ 관리 지침 평가모형 개발	영국	98	80	36
	콘크리트 CO ₂ 관리 지침 평가모형 개발	일본	95	70	48
	철강재 CO ₂ 관리 지침 평가모형 개발	독일	98	80	36
CO ₂ 관리체계 구축 기술	건설재료 생애 CO ₂ 관리 지침 평가모형 개발	영국	98	80	36
	콘크리트 CO ₂ 관리 지침 평가모형 개발	일본	95	70	48
	철강재 CO ₂ 관리 지침 평가모형 개발	독일	98	80	36

- 국내에서는 효율적인 탄소관리를 위한 탄소라벨링제도를 운영하고 관련 국제규격의 부합화를 추진중임.
- 탄소라벨링은 국제표준화를 추진중이며 다양한 국가에서 운영하고, 이를 통하여 탄소저감 건설자재의 공급망 시스템을 구축하고 인증제도를 운영.
 - ※ 아직 건설자재에 있어서 국내의 탄소라벨링제도가 외국의 탄소저감 건설자재 공급망 시스템으로 시간이 소요될 것으로 예상됨.
- 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책 기술분야의 국내외 기술수준을 다음과 같이 정리하였음.

기술개발동향 분석결과

- 대량 CO₂ 배출원인 시멘트, 철강, 발전 관련 재료의 CO₂ 저감을 위한 기술개발 증대
- 건설재료·자재분야의 CO₂ 활용 융복합 생산기술의 일부 개발 및 적용
- 기초기술 및 소재기술의 첨단화로 이를 활용한 건설재료 및 자재의 첨단화·고성능화 기술 증대
- 친환경기술로 자원 재활용 기술 및 단열 및 에너지절감 기술 증대
- 전생애적 관점의 탄소관리를 위한 LCCO₂ 관련 기술 개발 및 활용 증가



4. 기술개발을 위한 인프라 및 기반역량 분석

가. 기술개발현황 및 인프라 분석

“탄소저감형 건설재료”와 관련한 국내외 R&D 동향을 파악하기 위하여 기술분야별 조사분석을 실시하였음.

(1) “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야

(가) 시멘트 기술분야

① 국외 기술동향

- 2000년 이후, 환경문제가 사회적으로 이슈화됨으로써 2001년 미국에서는 ‘Vision 2030 : A Vision for the U. S. Concrete Industry’에서 친환경 콘크리트 계획을 받

표하면서 알칼리활성화 시멘트에 대한 본격적인 연구를 시작함.

※ 현재 시멘트 Zero 콘크리트의 기술수준은 고로슬래그를 사용한 경우 수화반응을 활성화 시켜 약 40~70MPa 정도까지 고강도 콘크리트 제조 가능

- 플라이애시를 사용한 경우, 상온에서는 강도발현이 30MPa를 넘지 못하는 수준으로 중합반응의 활성화를 위해서는 고온양생이 필요하나 아직까지 알칼리 활성화제, 양생온도와 양생시간에 대해 체계적으로 한 연구미비.

② 국내 기술동향

- 고로슬래그 및 플라이애시 등 산업부산물을 시멘트 대체로 활용하는 콘크리트 기술은 세계적인 수준에 도달.

※ 그러나 고로슬래그의 혼입률 60%, 플라이애시 혼입률 30% 이상인 High Volume에 대한 연구와 기준이 마련되지 않아 실용화 미비

- 국내에서는 저시멘트에 관련된 연구는 2000년대부터 이루어지고 있으며, 알칼리 활성화 고로슬래그를 사용하는 기술이 주류를 이루고 있음.

※ 한국건설기술연구원(2008, 2009)에서 고로슬래그, 플라이애시, 고로슬래그와 플라이애시의 조합, 그 외에 메타카올린, 석분, 유리분말 등에 대해 검토

- 국내에서 저시멘트 기술에 대한 연구가 일부 수행되었으나, 구체적인 구조부재에 대한 적용연구 및 실용화 기술개발이 부족한 실정임.

(나) “에너지 저감형 건설용 강재” 기술분야

① 국외 기술동향

- 일본은 스틸파이버를 이용한 차세대 고성능 콘크리트(UHPC) 실용화에 프랑스와 함께 이 분야에 대하여 선도하고 있으며 캐나다, 유럽, 미국 등 선진외국에서 교량 및 특수구조물에 실제 적용함.

- UHPC는 프랑스에서 개발되어, 유럽, 캐나다, 미국 등의 순으로 보급.

※ 2004년 캐나다의 켈거리경전철역을 UHPC를 이용하여 시공, [그림 2.56]과 같이 종래의 콘크리트로서는 구현할 수 없는 형태의 셸구조물을 시공

- 2003년부터 UHPC가 본격적으로 교량에 적용되기 시작함.

- 저에너지형 steel fiber는 외국에서도 아직 연구되지 않은 새로운 건설재료로 국내에서 개발시 기술을 선도할 수 있을 것으로 판단됨.



[그림 2.55] Sherlly Creek
교량에 거치된 UHPC I형 거더



[그림 2.56] UHPC로 시공한
캐나다 캘거리의 경전철역

② 국내 기술동향

- UHPC에서는 상대적으로 낮은 연성 능력을 향상시키기 위하여 섬유를 추가함으로써 압축강도 뿐 아니라 인장 및 휨강도가 향상된 연성 거동이 가능하도록 하고 있음. 현재, 고인성 섬유보강 시멘트 복합재에는 강섬유, PVA 섬유, 고강도 폴리에틸렌섬유 등이 주로 사용되고 있음.

※ 초고성능 콘크리트는(Ultra-High Performance Concrete, 이하 UHPC)

- 고인성 섬유보강 시멘트 복합재 중 강섬유는 길이가 짧고 단면이 작은 강선(25~80mm)으로 만들어진 것으로서 콘크리트에 분산 투입(단위 용적당 0.25~2%)됨. 강섬유에 의해 보강된 콘크리트를 ‘강섬유 보강 콘크리트’(Steel Fiber Reinforcement Concrete)라 하며, 강섬유 혼입율이 약 2%일 경우 인장강도는 1.5~1.7배, 휨강도는 1.6~1.8배 증강됨.

〈표 2.33〉 강섬유의 용도별 사용처

보강 슛크리트 (Shotcrete) 용	바닥용	특수구조물용
도로 및 댐의 터널, 저수지, 지하철	공장바닥, 주차장, 창고, 선착장, 고속도로 포장, 공항활주로	항만 조형물, 교량, 발전시설 등

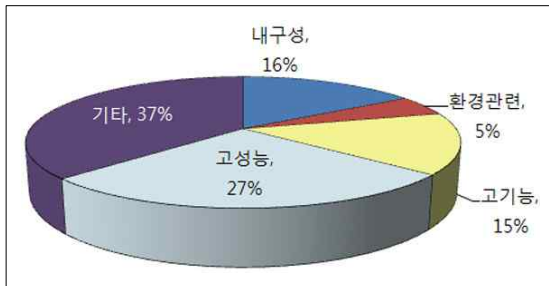
- 저에너지형 강섬유 steel fiber는 국내에서 시도되지 않은 건설재료로 다양한 기초 연구부터 수행이 필요함.

(㉔) 재활용 및 공정기술 분야

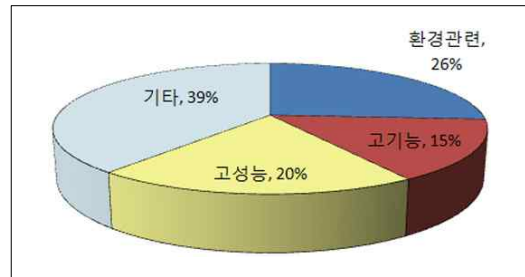
① 국외 기술동향

- 현재 전세계의 시멘트공정 및 콘크리트 공정은 몇몇 선진국의 거대 글로벌 시멘트 회사들을 중심으로 대부분의 생산, 판매 및 연구개발 추진중

※ 일본이나 미국 등 선진국들은 시멘트 및 콘크리트 산업을 1990년대 초반부터 전략산업의 한 분야로 인식하고 국가주도하에 업계 및 학계 공동 컨소시엄을 구성, **시멘트 및 콘크리트 공정기술 분야에 꾸준히 기술개발에 투자를 진행**.



[그림 2.57] 1990년대 일본의 시멘트 콘크리트 관련기술 연구개발 동향



[그림 2.58] 2000년대 일본의 시멘트 콘크리트 관련기술 연구개발 동향

② 국내 기술동향

- 국내 특수시멘트는 대부분 조강 및 초조강형 시멘트 생산에 국한되어 있으며 그 외의 다양한 특수시멘트 생산은 전무한 실정임.
 - ※ 쌍용 및 유니온 시멘트에서는 초조강 시멘트를 개발하여 생산하고 있음.
- 2006부터 공정개선을 통해 프리믹스타입의 초고강도용 시멘트 생산.
 - ※ 2007년 4월 쌍용양회 150MPa 급 프리믹스 타입 고강도콘크리트 제조설비 설치
- 아세아시멘트(주)에서는 보통포틀랜드시멘트 생산공정에서 입도분급을 통한 시멘트 분말도의 변화로 조강 및 저발열시멘트를 생산하고 있음.
 - ※ 입도분급방식은 생산공정에서 별도의 분쇄 가공없이 시멘트를 분류하여 각 용도별 분말도를 맞추는 공정으로 이를 다양한 특수시멘트 생산에 적용시 에너지저감 가능

삼성건설	● 삼성형 조기강도 발현 콘크리트 개발(2002~2004) - 액상형 조강제 활용 ● 주요 아파트 및 주상복합에 적용 중 ● 효과면에서 미흡 (시멘트에서 조강성능 요구)
대우건설	● 액상형 조강제 검토 완료 → 효과 미흡 → 시멘트에 의한 조강 필요 결론 ● 무기 시멘트계 조강 공동연구 진행 중
대한주택공사	● 연구소 및 현장별로 공기혁신 프로세스 검토 중 ⇒ 조강형 콘크리트 필수 인식 (가장 큰 핵심과제)
삼 표	● 혼화재 치환방법(실험실 연구 수준) ⇒ PC계 액상형 조강제, 제올라이트
유 진	● 액상형 조강제 개발 (한국건설기술연구원+인트켄)

[그림 2.59] 시멘트·콘크리트관련 국내 건설사의 중점기술개발 사항 및 수요

〈표 2.34〉 “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야 주요기술 및 R&D 현황

구분	기관 또는 업체 (국가)	연구개발 실적	연구개발 내용
국외기관	Curtin 대학 (호주)	저칼슘 플라이애시 기반 Geopolymer 콘크리트 (2000~현재)	- 배합 및 제조기술 - 장기거동 평가 - 구조부재 활용성 평가 - 고온에서 50MPa
	Yamaguchi대학 (일본)	상온에서 지오폴리머 제조 기술 (2000~현재)	- 플라이애시+석영+산화철+ 쇼툼실리케이트 등으로 중합반응 - 온습도 조절 건설자재 개발 - 상온에서 20~30MPa
	Monash대학 (호주)	고로슬래그계 무(저)시멘트 콘크리트 제조기술	- 배합 및 제조기술 - 장기거동 및 내구성 평가 - 50~70MPa 강도
국외업체	Geopolymer Institute (프랑스)	석탄회 무(저)시멘트 콘크리트 제조기술	- 고온에서 석탄회 활성화 - 압축강도 30MPa
	Wopfinger사 (호주)	고로슬래그-황산염계 무(저)시멘트 콘크리트 제조기술	- 황산염 활성화제와 고로슬래그 이용한 기술 - 압축강도 50MPa, 높은 화학저항성
	태평양시멘트 (일본)	저열 포틀랜드 시멘트	- 플라이애시와 고로슬래그 등 광물질 혼화재를 포함하지 않음
		초속경 시멘트	- 호우인(C₃A₃, CaSO₄), 석고, 고로슬래그 미분말 등을 배합한 시멘트
	스미모토(주)	시멘트, 석회계 고화제	- 시멘트 및 석회계를 혼합 사용
	후지마쓰(주)	생석회계 고화제	- 생석회를 주성분으로 사용
국내기관	전남대	바이오하우징연구 사업단 (2005~2015)	- 무독성 친환경 재료를 이용한 공법 및 시스템 구축
	한국건설기술연구원	시멘트 제로 콘크리트 개발 (2007~2010)	- 무(저)시멘트 콘크리트용 결합재 개발 - 무(저)시멘트 콘크리트용 활성화제 개발
	한국에너지기술 평가원	바텀애시를 다량 활용한 콘크리트 (2010~2013)	- 결합재로 바텀애시를 활용한 무(저)시멘트 콘크리트 제조기술 개발
	교육과학기술부	고성능 시멘트의 제조 및 이를 이용한 콘크리트의 성능 향상에 관한 연구	- 기존의 입도분급 시멘트에 성능 개선용 혼화재료를 혼입 - 특수 시멘트의 제조

구분	기관 또는 업체 (국가)	연구개발 실적	연구개발 내용
국내기관	경기지방 중소기업청	하상 준설 폐오니를 활용한 친환경 건설자재와 토양개량제 개발	- 단시간 내의 탈수 효과 - 저알칼리성을 가진 고화재에 의한 고화처리 방법
	요업기술원	플라이애시를 사용한 친환경 무기결합재의 제조기술 개발	- 황산염계의 자극제를 활용한 고화메카니즘
국내업체	아세아 시멘트(주) (대한민국)	시멘트 입도분급	- 보통 포틀랜드 시멘트 생산공정 중 입도분급을 통한 다양한 분말도의 시멘트 생산기술 개발
	한일시멘트 (대한민국)	초고강도 콘크리트용 혼화제 개발	- 프리믹스 타입의 초고강도 시멘트 생산
	쌍용양회 (대한민국)	초고강도 콘크리트 제조	- 프리믹스 타입의 초고강도 콘크리트 제조설비 구축
	한국포조텍 (주)	F/A계를 이용한 고화처리	- 재료의 다공성을 이용한 고화재이나 설비 운용성 문제 제기됨.
	광환경(주)	생석회계, 시멘트계	- 높은 pH로 인한 악취 발생
	토고이알씨 (주)	시멘트계-분체컴포넌트	- 설비 운용성 문제

(2) “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야

(가) 산업부산물 활용분야

① 국외 기술동향

- 산업부산물에 CO₂를 흡수저장하는 기술연구는 실험단계에서 진행되고 실용화 사례는 거의 없음.

※ 2006년 Eva Rendek [Journal of Hazardous Materials B128 (2006) 73-79]등은 소각로 Bottom Ash의 CO₂ 저장능에 대하여 연구한 바 있으며, 그들은 소각로 Bottom Ash를 CO₂로 처리한 경우 pH가 8까지 감소하며, 1kg 당 12.5-24L의 CO₂가 저장되며 CO₂ 압력에 따라서 저장속도는 증가하지만 저장량의 변화는 없음을 보고한 바 있음

② 국내 기술동향

- 버팀애쉬의 콘크리트 혼화재료로 활용은 품질의 문제로 재활용이 곤란함.
 ※ 버팀애쉬의 콘크리트 골재로 활용연구를 수행, 품질편차의 문제로 콘크리트의 성능저하가 나타남
- 국내에서 CO₂의 저장을 방안으로 CCS사업에 관한 연구의 일환으로 버팀애쉬, 슬래그 등 산업부산물에 대한 광물탄산화 기술을 개발중이나 실용화 수준은 아님.
 ※ 제강슬래그 및 석탄회를 빙초산 및 염산 수용액으로 침출하여 Ca 성분을 분리하고 이

를 탄산화하는 indirect carbonation을 수행

(나) 건설폐기물 활용분야

① 국외 기술동향

- 일본, 미국, 유럽 등에서 탄산화 연구수행을 통한 실용화 추진중
 - ※ 미국의 U.S. Department of Energy(DOE)에서는 1997년 시작으로 2022년까지 Carbon sequestration technology road-map and program plan을 구축하여 천연광물을 원료로 이용하여 탄산화연구를 진행중임
 - ※ 유럽에서는 광물탄산화에 관련하여 천연광물을 이용한 실험실 수준의 연구가 진행되고 있고, 산업부산물을 이용하여 demonstration을 위한 pilot plant 연구가 진행중임.
 - ※ 노르웨이에서는 파쇄콘크리트에 CO₂를 촉진 흡수시켜 CO₂ 흡수량을 정량적으로 평가하는 연구를 수행, 파쇄콘크리트 CaO의 75%가 탄산화 됨을 확인
- 독일, 프랑스, 핀란드, 러시아, 이탈리아, 스위스 등에서도 CO₂ 흡수·처리에 관한 연구가 활발히 진행중임.
 - ※ 대표적인 CO₂ 고정화 프로젝트로 ‘Waste Process and Treatment’가 핀란드에서 추진 중이고, 네덜란드는 2000년대 초반부터 ECN(Energy Research Centre of the Netherlands) 주도로 environmental risk assessment 분야에서 폐기물을 포함한 CO₂ 고정화 사업을 진행중임
- 국제적으로 유엔 기후변화 방지를 위한 CCS 사업을 통해 온실가스저감을 위한 연구 및 관련제도가 정비되고 있으며, IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)보고서에서 포집된 CO₂ 고정화 기술의 중요성을 보고.

② 국내 기술동향

- 건설폐기물을 포함한 기타 자원에 CO₂ 활용·처리·전환 기술은 아직 소수기관의 실험실 수준으로 진행됨
 - ※ 건설폐기물 등에 CO₂를 저장하는 연구가 한국건설기술연구원에서 추진 중에 있으나 아직 실용화되지는 못함
 - ※ 한국전력은 ‘오존수를 이용한 CO₂의 탄산염 광물화 원료용 사문석 용해방법’에 대해 특허를 출원
 - ※ 한국지질자원연구원은 연간 1,000톤급 CO₂ 처분이 가능한 광물탄산화 실험장비를 구축하고 폐석고를 이용한 CO₂ 광물탄산화 기술을 개발하고 있으나 활용기술은 미비
- 국내 건설폐기물 CO₂ 활용·처리·전환 기술은 촉진탄산화, 대량처리, pH 저감의 기술개발과 실용화 연구가 필요하며, 지속적인 투자에 의한 화학적 공정과 생물학적 공정의 원천기술 확보 후 CO₂ 포집·저장과 연계가 요구됨.

(ㄹ) CO₂ 흡수 · 처리 소재 및 공정분야

① 국외 기술동향

- 콘크리트 2차제품의 탄산화반응을 적용하여 CO₂를 흡수시키는 연구 수행.
 - ※ 미국 로스알라머스 연구소에서 콘크리트 2차제품에 금속 탄산화장치에 의하여 최대 톤당 60kg까지의 CO₂ 흡수하는 성과를 냄
 - ※ 광물 탄산화 연구의 일환으로 연구가 시작되어 현재는 콘크리트 2차제품의 고성능화라는 관점에서 연구가 진행됨
- CO₂ 흡수시멘트 및 콘크리트 기술은 2010년 미국 MIT 대학이 선정한 인류의 생활을 변화시킬 10대 신기술로 선정 · 평가되고 있음. 공정에 따라서 크게 Novacem cement, Calera cement, Calix's cement가 현재까지 알려진 기술임.
 - ※ Novacem cement 기술은 마그네슘실리케이트 광물을 이용한 기술로서 저온소성 및 대기중의 CO₂ 흡수효과로 볼 때, 가장 주목받고 있는 기술임
 - ※ Calera cement 기술은 석회석과 마그네사이트 등을 혼합한 시멘트 기술로서 현재 캐나다에서 10MW 발전소에서 발생하는 CO₂를 흡수하여 콘크리트 2차제품을 생산하는 공정을 운영중에 있음
 - ※ Calix's cement는 돌로마이트 광물을 초고온스팀 양생에 의하여 제조하는 시멘트로서 아직 기술적인 평가가 이루어지고 있지 않고 있음
- 세계최대 시멘트 제조사인 Lafarge 사에서 novacem 시멘트에 대한 투자를 2010년 9월에 체결하였으며, 공동판매 및 평가를 진행중.

② 국내 기술동향

- 국내에서는 콘크리트 블록 등의 제품에 친환경 및 고성능화를 목적으로 재료배합 기술에 의하여 시도되고 있으나, 큰 진전이 없는 상태임.
- 적극적인 개념의 CO₂ 흡수 시멘트 및 콘크리트에 대한 연구는 2010년 9월에 언론을 통하여 국내에 소개된 이후 기술정보를 파악하고 있는 수준임.
- CO₂ 저감을 위한 시멘트 및 콘크리트 기술은 10여년전부터 시멘트 및 콘크리트의 주요기술로 관심이 커지고 있음.
 - ※ 10여년 전에 비소성시멘트(지오폴리머) 기술이 소개된 이후에 슬래그 등을 활용한 비소성시멘트에 대한 연구가 전반적으로 이루어지고 있으며, 일부 상용화에 성공한 사례 있음

〈표 2.35〉 “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야 관련 R&D 현황 및 민간기술 현황

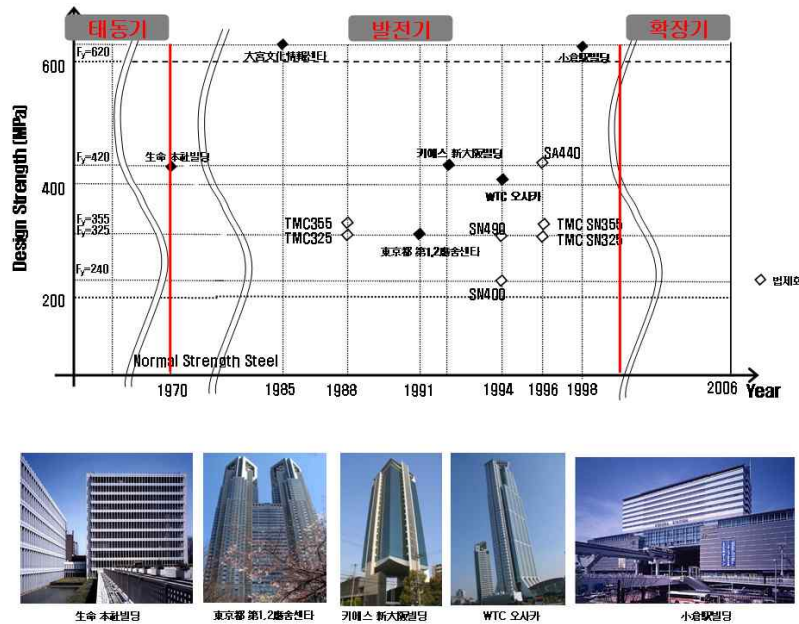
구분	기관	연구개발 실적	연구개발 내용
국내기관	한국전력공사	오존수를 이용한 CO ₂ 의 탄산염광물화 원료용 사문석 용해방법 개발	오존수를 이용한 사문석의 탄산염광물화
	한국지질자원연구원	폐석고, 산업부산물을 이용한 CO ₂ 광물탄산화 기술개발	광물탄산화 반응을 위한 원료물질 확보
국외기관	국립과학응용연구원 (프랑스)	도심지쓰레기 버팀애쉬의 탄산화 흡수연구	도심지쓰레기 소각 후 발생하는 버팀애쉬의 CO ₂ 고정화
	Carera Cement (미국)	발전소 발생 CO ₂ 의 2차제품 흡수기술	발전소에 CO ₂ 흡수플랜트를 설치

(3) “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야

(가) “고기능 강재” 기술분야

① 국외 기술동향

- 건축구조물에 적용되는 강재기술은 크게 태동기, 발전기, 확장기로 구분할 수 있으며, 핵심기술은 일본, 한국 등이 주도
- 미국은 전기로 위주의 공급으로 일본 및 한국보다 강재의 강도 및 성능측면에서 열위에 있음
 - ※ 항복강도 690MPa 및 830MPa급 철근을 개발하였으며, 항복강도 690MPa 철근을 건축구조물에 적용한 사례가 있음
- 일본의 경우 SD600, SD700의 봉강개발에 성공, NSC(신일본제철)에서 개발한 SD685급을 시범적으로 아파트 등의 신축공사 현장에 적용한 사례 있음
 - ※ 스티럽 철근으로 항복강도 1275MPa급 수준의 개발 실용화 단계
- 현재 Eurocode에서는 주철근에 대하여 설계기준 항복강도를 600MPa까지를 허용, 일본과 미국에서는 고강도 철근의 사용을 점차적으로 허용 추세
- 일본은 고장력볼트와 용접봉을 개발, 실용화 예정임
 - ※ 인장강도 1400MPa급 F14T 고장력 볼트 개발과 실용화 단계에 있으며, 인장강도 780MPa급 고강도 강재에 대응하는 F18T 초고장력 볼트를 랩수준 단계임
 - ※ 인장강도 1000MPa급 고강도 강재에 대응하는 용접봉을 개발/실용화 단계임



[그림 2.60] 일본 건축구조용 강재 발전추이

② 국내 기술동향

- 포스코에서는 고객의 고강도강 요구에 따라 2015년 인장강도 800MPa급 강재 실용화와 2015년 1000MPa급 강재 시제품 개발을 추진하여, 향후 1000MPa급 강재가 본격 개발되면 초고층 및 대형화 구조물의 구조단면을 줄일 수 있어 강재량 절감 효과 및 내부공간 활용 극대화.
- 국내에서는 항복강도 500MPa 이하의 철근이 주로 사용되고 있으며, 고강도 철근의 건축구조물 적용성 향상을 위한 접합/이음 방법에 대한 기술개발, 철근의 부착 성능을 향상시킬 수 있는 마디형상 개발 및 표준화/규격화가 필요함.
- 포스코에서 인장강도 1300MPa급 F13T급 접합용 볼트를 5년에 걸쳐 개발
 - ※ 2011년 현재, 인장강도 800MPa급 강재에 대응하는 인장강도 850Mpa급 용접봉을 개발중

(나) “첨단 고성능 콘크리트” 기술분야

① 국외 기술동향

- 초고강도 콘크리트는 프랑스, 일본, 호주, 캐나다, 미국 등 선진국에서 1980년대 말부터 연구가 시작되었고 1990년 후반부터는 초고강도와 초내구성 및 고인성개념이 복합·융합된 콘크리트 개발 개시
 - ※ 일본은 건설성의 1988년에 New RC Project를 실시하여 고강도 콘크리트 연구를 본격적으로 시작하였으며, 1991년 Kitamura는 구형 시멘트 콘크리트로서 140MPa의 압축강도를 얻었음. 최근에는 Tanaka 등은 PC교량에 200MPa의 초고강도 섬유보강 콘크리트를 적용.
 - ※ 기존 섬유보강 콘크리트보다 인성이 대폭 향상된 다양한 DFRCC가 개발되어 점차 적용 사례가 증가. ECC(Engineered Cementitious Composites)가 대표적인.



[그림 2.61] 국외 (초)고강도 콘크리트 개발 현황

② 국내 기술동향

- 콘크리트 재료생산 기술의 발전으로 압축강도 200MPa 내외의 고강도 콘크리트의 제조가능.

※ 일부 구조부재에 압축강도 200MPa급 콘크리트가 적용되었으나 역학적 거동의 정확한 해석 및 설계 미비

- 2003년부터 한국건설기술연구원은 목표강도 200MPa의 초고강도 콘크리트를 개발, 압축강도 180MPa, 인장강도 25MPa의 초고강도, 연성거동 및 파괴에너지 흡수능력이 탁월한 초고강도 콘크리트 기반기술을 확보.
- 최근 설계기준강도 최대 120MPa의 고강도콘크리트를 개발하여 시험적용 하였으나, 현장에서 대규모 적용을 위한 안정적인 품질확보방안, 구조물에 적용을 위한 구조설계기술 등은 미흡함.

- 고강도 콘크리트는 2006년부터 건설핵심기술 연구개발사업(CTRM)사업의 일환으로 ‘고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술’개발을 목표로 10개 대학, 4개 연구소 및 60개 기업으로 구성된 ‘Concrete Corea 연구단’을 구성하여 콘크리트 관련 핵심기술인 초유동, 고내구성, 초고강도 및 각종 다기능 콘크리트를 개발을 목표로 연구를 수행한 바 있음.

※ 굵은골재를 사용하는 초고강도 콘크리트 기술은 압축강도 기준으로 현재 250MPa급을 실험실에서 달성, 현장 배치에서 실현 가능한 압축강도의 수준은 실용강도범위로 120MPa 수준임.

- CNT 슈퍼콘크리트는 탄소나노튜브를 인장보강재로 콘크리트에 혼입한 콘크리트를 말하며 인장강도가 약 20MPa까지 도달할 수 있음. 소재는 기존 개발된 CNT를 활용하여 시멘트 복합체와 배합 및 제조기술이 요구되며 아직 세계적으로 성공한 사례는 없음.



[그림 2.62] 국내 (초)고강도 콘크리트 개발 현황

(㉔) “첨단 단열재료 및 시스템” 기술분야

① 국외 기술동향

- 일본의 Takenaka(竹中土木)에서는 초경량 단열경량골재를 사용한 “EX-mortar”이라는 단열재 및 단열 시스템을 개발하여 기존의 단열재인 유리섬유나 폴리에틸렌 보드를 대체·실용화하여 사용
- 미국에서는 습식, 건식, 통기식 외단열 시스템 적용, 결로수 배출이 가능 한 외단열 시스템 적용 Cabot사 등에서는 초단열 소재부품을 개발하여 시판중임
 - ※ 미국 Eben Bayer는 다양한 제품 및 포장에 사용될 뿐만 아니라 벽의 절연에 사용되는 환경에 유해한 스티로폼과 플라스틱을 대체할 수 있는 강력하고 저렴한 생물적합 물질을 개발했음 (미국, 2009)
- 유럽에서는 습식, 건식, 통기식 등 다양한 외단열시스템을 적용하고 있음(Sto, Isover, ROCKWOOL사 등) **진공단열, 초단열벽체 등이 개발되어 상업화됨**
 - ※ 프랑스에서는 생고방이 폴리스틸렌 수지에 발포제를 넣은 다공질의 기포 플라스틱인 비드법과 압출법으로 제품을 생산하며, 전기 절연성, 단열성, 시공성 및 내부식성이 우수한 재료로 평가받음
 - ※ 독일 바스프에서는 그라파이트 함침공법으로 단열성능을 향상시킨 네오폴 단열재를 개발.
- 외국의 xps 단열재 생산을 위한 발포제는 지구온난화에 비교적 해가 되지 않는 가스를 사용하고 있음

〈표 2.36〉 국외 단열재 생산용 발포제 종류

지역구분	업체명	발포제	친환경여부	
			ODP	GWP
EU	Dow	HFC계열	O	X
		CO ₂ 계열	O	O
	BASF	HFC계열	O	X
		CO ₂ 계열	O	O
	Knauf	HFC계열	O	X
일본	Kaneka	Iso-Butane	O	O
미국	Owens corning	HFC계열	O	X

－ GWP -Global Warming Potential (지구 온난화 지수) : 교토 의정서 규제

－ ODP -Ozone Delpetion Potention (오존층 파괴 지수) : 몬트리올 의정서 규제

② 국내 기술동향

- 외단열 시스템은 대부분 드라이버트를 이용한 습식공법으로 한정되어 5층 이하의 저층 구조물에 주로 적용되며, 5~30층 규모의 중저층에서는 시공성 및 경제성의 이유로 적용이 곤란함
 - ※ 외단열과 마감을 동시에 할 수 있는 복합단열패널을 이용한 건식 외단열 공법 개발 등 다양한 신기술 개발이 급증하고는 있지만 실용화 미흡.
- 유기계단열재가 75%, 무기계가 25%를 차지하고 있으며, 유기계단열재는 강도가 낮아 비구조용으로만 사용되어 단열공사를 위한 추가공정 발생
- 콘크리트에 다양한 단열성을 부과하여 단열공정이 필요 없는 구조용 단열벽체 필요성 증대
- 외장마감재료의 유기단열재 사용은 화재발생 위험 측면에서 문제점으로 대두, 각종 다공성 소재를 이용한 복합 세라믹 단열보드에 대한 연구가 진행 중이나, 이들 모두가 유기단열재가 가지고 있는 경량성 및 단열특성에는 미치지 못함
- 유기단열재를 대체하는 무기 단열용 기본소재를 국산화하는 기초 엔지니어링 기술의 구축 및 초단열 실리카 에어로젤의 국산화 성공
- 수성단열도료에 대한 특허가 1999년에 출원되었으나 아크릴 공중합 에멀전을 주성분으로 하는 것임
- 국내의 xps 단열재의 발포제는 온실가스의 일종인 HCFC 계열로 사용금지 대상임

〈표 2.37〉 국내 xps 단열재 생산업체

지역구분	업체명	발포제	친환경여부	
			ODP	GWP
국내	벽산	HCFC계열	X	X
	세경	HCFC계열	X	X
	그린피아	HCFC계열	X	X
	기타	HCFC계열	X	X

※ GWP -Global Warming Potential (지구 온난화 지수) : 교토 의정서 규제
 ODP -Ozone Delpetion Potention (오존층 파괴 지수) : 몬트리올 의정서 규제

㉠ “열전재료” 기술분야

① 국외 기술동향

㉡ 미국

- 열전재료를 응용한 건설시스템 기술이 최근 신사업분야로 주목
 - ※ 열전재료 : 재료 양면 또는 양단의 온도차로 기전력이 발생하는 일종의 발전재료로서 시설물 단열, 냉난방, 에너지 및 재료시스템.
- Teledyne Energy Systems에서 군사용으로 0.1kW급의 열전 발전장치를 개발하였음
 - ※ 최근 국방성에서 주도하는 DARPA 프로젝트에서 열전재료의 성능향상 연구수행
- 폐열을 이용하는 분야에 대해서는 Los Alamos National Laboratory에서 500 ℃의 고온 turbine alternator pump의 pipe에 열전소자를 설치하여 건설분야 냉난방 및 단열 에너지로 활용할 수 있는 연구를 진행 중.

㉢ 일본

- 통산성에서 주관하는 New Sunshine 계획에 열발전에 대한 연구포함.
- 가고시마 대학, 전자기술총합연구소, 동경기술연구소 등에서 열전소자, 열전발전재료, 열전발전시스템 평가기술 등에 대한 많은 연구진행 중.
 - ※ 열전재료관련 일본 연구소들은 원료가격이 저가인 산화물계, 철-규소계 등의 연구에 치중하고 있음.

㉣ 러시아

- 기초과학이 발달한 러시아에서는 일찍부터 열전소자에 대한 연구개시
 - ※ Ioffe연구소에서 군용이나 송유관 부식감지 시스템 등에 열전발전기를 적용

② 국내 기술동향

- 실리콘 반도체, 미세구조 변경을 통한 금속의 반도체화, 산화물 반도체 등을 이용

한 열전재료 기술이 시도되고 있음.

※ 열전재료에 대한 국내의 연구는 1990년대 초 한국과학기술연구원(KIST)에서 연구를 시작한 이후, 현재 한국전기연구원(KERI), 한국과학기술연구원(KIST) 등의 연구기관 등에서 연구수행중

- 현재 연구개발된 열전재료 중 삼성전자에서 개발된 열전재료가 상온 열전성능 지수가 1.48을 기록.

※ 2009년 삼성전자에서는 실리콘 단결정을 이용한 태양광 발전장치의 변환효율인 12%와 동일한 성능의 열전재료를 개발하였으나, module이나 시스템 제작기술은 선진국에 비해 미비

- 건설산업에 실용적으로 활용하기 위해서는 재료자체의 효율성 향상을 위한 연구가 필요한 실정임.

(마) “창호재료” 기술분야

① 국외 기술동향

- 미국, 일본 등의 선진국에서는 에너지 절약형 인텔리전트 빌딩 및 각종 운송수단용 창호, 대형표시소자 등으로 사용하기 위해 스마트재료를 이용한 제품개발 연구를 활발히 수행중

※ 일본, 미국 및 유럽을 중심으로 액정을 이용한 제품색상을 다양화와 사용분야를 확대하기 위한 연구가 이루어지고 있으며 EC유리의 경우에도 응답시간의 극복과 전해질의 종류를 다양화하기 위한 연구 수행

- 투명전극은 ITO기술과 비인듐계기술로 구분되는데 ITO기술은 일본, 비인듐계는 미국이 앞서 있음. ITO기술은 스미토모 등 민간계회사를 중심으로 개발되며. 비인듐계는 대학을 중심으로 개발중.
- 가변소자와 전기변색 재료기술은 국내 기업인 나노텍등 선진국과 비해서 거의 추격하는 입장이나 대면적 코팅기술은 선진국에 비해서 공정상 미비
- 전기변색 디바이스는 이차전지 구조와 동일해서 반도체 및 전지 조립기술이 많이 활용되며 선진국과 거의 대등한 기술력을 지니고 있음

② 국내 기술동향

- 국내 연구기관의 경우, 대학과 연구소를 중심으로 전기변색 소재의 기초적인 물성 연구 및 작은 크기의 전기변색 유리를 제작하는 수준의 연구를 진행함
- 국내의 연구활동이 소수의 학교나 연구기관에서 행해지고 있고 비교적 단발적인 시도에 그치고 있어, 선진각국에 비해 미비한 실정임

〈표 2.38〉 국내 전기변색 소재의 기술개발 동향

연구기관	개 발 내 용
한국과학기술 연구원	• 비인듐계 투명전극개발 • 고분자 변색디바이스 개발 • 건축용 변색유리
서울대학교	• WO₃ thin film 제작에 대한 기초연구 • 자동차용 변색유리

〈표 2.39〉 에너지 저감형 고성능 건설재료 기술분야 관련 R&D 현황 및 민간기술현황

구분	기관 (국가)	연구개발 제목	연구개발 내용
국외기관	LCPC	초고성능 구조부재	- 교량 부재 개발
	Kassel Univ.	재료역학 및 구조설계	- 합성 구조 개발
	JCI	초고강도 섬유보강 콘크리트 설계 지침	- 초고성능 콘크리트 활용 기준 마련
	Teledyne Energy Systems (미국)	0.1kW급의 열전 발전 장치	- 열을 전기로 변환
	Southwall Technologies (Palo Alto, CA) 미국	폴리에스테르 위에 텅스텐 옥사이드/ITO 전기변색 전극을 개발	- 플라스틱 창문
	IEA (The International Energy Agency) NREL	전기변색 소재의 시험 및 평가 공정 개발	- 다른 전기변색 소재의 개발은 플라스틱 기판 위에 저가의 가변 디바이스를 개발함
국외업체	MMFX (미국)	고강도 철근 (690, 830MPa)	- 철근의 부식성능을 향상시킨 고강도 철근
	ERICO	철근의 기계적 이음 기술	- 고강도 철근의 이음 및 정착길이를 줄일 수 있는 커플러 제작 기술
	고베제강 (일본)	F14T 고장력 볼트	- 응력 지연파괴가 없는 초고장력 볼트
	JFE (일본)	1275MPa급 띠근 및 785MPa급 주근	- 초고강도 콘크리트 대응 대구경 고강도 철근
	Sumitomo (일본)	1000MPa급 강재대응 용접봉	- 1000MPa급 강재대응 용접기술
	태평양시멘트 (일본)	마이크로 시멘트	- 200MPa급 상용 결합재
	Lafarge	초고성능 콘크리트 결합재	- 200MPa급 상용 결합재
	NaNoDur	초고성능 콘크리트 결합재	- 200MPa급 상용 결합재
	Isover (유럽)	단열재 및 시스템	- 단열재 및 표준화시스템 보유

구분	기관 (국가)	연구개발 제목	연구개발 내용
국외업체	NITTOBO (일본)	외단열 시스템	- 건식 통기식 외단열 시스템
	FUZI Kasei (일본)	무기계 단열재 제조기술	- 난연성이 우수한 경량 하이브리드 단열재 제조 및 벽체시스템
	BRI (일본)	저에너지 CO ₂ 사업	- 주택 및 건축물의 저에너지 CO ₂ 사업
	Promat	내화재료	- 내화보드, 내화도로 등 다양한 제품 및 시스템 구성
국내기관	지식경제부	차세대 강재개발 연구개발사업	- 실용화기술 고강도화 - 인장강도 1500MPa급 이상의 고장력 볼트의 실용화 기술개발
	지식경제부	차세대 초대형 구조물용 강재개발	- 항복강도 700MPa급 이상의 초고강도 철근 실용화 기술개발
	국토해양부	초고층 복합빌딩 사업단	- 인장강도 1000MPa급 강재의 양산품 개발 - 인장강도 1000MPa급 이상의 고강도 용접봉 실용화 기술개발
	콘크리트학회	휨-압축철근을 위한 Ultra-Bar(SD 600) 및 스테럽과 타이 철근을 위한 Ultra-Bar(SD 500 및 600)의 적용성 연구('10.8)	- 600MPa급 철근에 대한 적용성 연구
	KICT	150MPa급 실용 강도 배합	- 저급 골재를 사용한 실용 배합 개발 - 설계기준 강도 120MPa 프리캐스트 제품에 적용
	고려대	120MPa 실용 고강도 배합 및 보강재 기술	- 하이브리드 보강 기술로 초고강도 부재 적용 - 응력집중부 문제 해결
	국토해양부	고성능/다기능 콘크리트 연구단	- 고성능/ 다기능 콘크리트 개발
	한국세라믹 기술원	복합기능형 ALC패널 시스템용 부품소재 개발	- 중저층 건축물 적용을 위한 ALC 외벽시스템 개발
	한국건설기술연구원	-	- 에너지 절약형 창호 제조기술
	국토해양부	친환경 아파트 단열외벽재 개발	- 거푸집 일체형 외단열 패널 및 열반사 성능을 갖는 단열외벽패널

구분	기관 (국가)	연구개발 제목	연구개발 내용
국내기관	지식경제부	고기능성 무기계 내화도료의 신뢰성 향상에 관한 연구	- 무기성 내화도료의 물성 보존이 가능하여 신뢰성을 유지하는 기술
	KIST	- 플라스틱투명전극 - Battery-like device	- 비인듐계 투명전극개발 - EDOT/PB변색 디바이스 개발
	서울대	중기거점/차세대 신기술개발사업	- 자동차변색유리 적용이 목표로 WO ₃ 계 변색물질연구
국내업체	대한제강	코일철근 생산/가공 기술	- 철근 선조립 및 공장가공에 유리한 코일형태 철근 생산/가공
	부원BMS	철근 기계적 이음 기술	- 고강도 철근의 이음 및 정착길이를 줄일 수 있는 커플러 제작 기술
	동남기업	고성능 감수제	- 감수율 극대화
	실크로드	고성능 감수제	- PC계 고성능 감수제
	삼성건설	초고강도 콘크리트 배합	- 상용화 강도 150MPa
	라파즈 코리아 석고	석고보드 내화인증 (T= 45mm)	- 철골피복 내화인증
	삼성전자	실리콘 단결정 이용 열전재료	- 상온 열전지수 1.48
	Kuk Young G&M	PDLC방식(액정)	- NSG사 필름을 수입하여 접합가공(1994~)

(4) “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야

(가) “CO₂ 평가 및 LCI DB 관리” 기술분야

① 국외 기술동향

- 선진국에서는 화학, 자동차, 전자, 반도체를 중심으로 활발한 LCI D/B개발과 LCA가 수행되고 있음
 - ※ LCI D/B의 개발실적은 유럽연합이 2629개, 일본 476개, 미국 429개이며, 이러한 D/B를 활용하는 소프트웨어는 TEAM, GaBi, Sima Pro, LCAit 등이 있음
- 건축자재와 관련해서는 Sima Pro와 GaBi 프로그램이 건축관련 LCI D/B를 가장 많이 구성하고 있는 것으로 알려져 있음
 - ※ Sima Pro는 네델란드 PRe 컨설팅사에서 개발한 소프트웨어로 2004년 현재 Ver 5.1까지 개발. 이 프로그램은 ISO 규격에 따른 LCA 단계별 수행항목이 배열되어 있어, 해당 항목별로 내용을 기입하여 LCA를 수행하도록 되어 있음
- 건설자재 CO₂ 평가 및 LCI DB와 관련한 기술은 전세계적으로 ISO 14040시리즈에 따른 평가방법론을 준용하며 세부 군별 지침이나 기준은 국가에 따라 별도 작성.

- 세부군별 기준에서 가장 앞선 나라는 독일로서, 건설자재의 탄소배출량 표시 및 LCI DB공개 등에서 가장 앞선 기술을 보유.

※ 우리나라의 기술수준은 선진국 최고기술 수준에서 크게 차이가 나지는 않으나 데이터 확보를 위한 기간이 많이 필요함

② 국내 기술동향

- CO₂ 평가 및 LCI DB 관리는 1990년대 후반 이후 물질 및 제품, 서비스에 대한 환경영향목록인 LCI DB(Life Cycle Inventory Database) 구축사업을 지식경제부 및 환경부 주관으로 추진하면서 시작됨.
- 국토해양부에서 2005년부터 3년간 DB 개발사업을 추진하였으며 2010년 현재 지식경제부 및 환경부 관리 DB 450여개, 국토해양부 관리 DB 60여개를 개발·보급함.

(나) “사용·유지관리” 기술분야

① 국외 기술동향

- 건설자재의 CO₂ 관리를 통하여 사용 및 유지관리 단계에서 저탄소 건설자재를 적용시키거나 건설자재의 현장시공 및 사용 시 탄소배출을 저감시키기 위한 기술은 아직 개발 초기단계임
 - 일본 콘크리트학회에서는 콘크리트의 환경배려 시공지침을 만들어 설계와 시공시 온실가스의 저감을 위한 콘크리트의 설계와 수송, 사용에 대한 가이드를 제공하고 있음
 - 영국에서도 Sustainable Concrete라는 제목으로 콘크리트의 설계 및 사용에서 온실가스 저감을 위한 가이드 개발과 기술개발을 추진하고 있음
- ※ 또한 영국에서는 Red Book이라는 명칭으로 각종 건설자재의 환경프로파일과 평가결과에 대한 리스트를 제공하고 있으며 이를 활용하여 건설현장에서는 그린건설자재를 선정하고 있음



[그림 2.63] RED BOOK 및 자재별 환경프로파일 리스트

- CO₂ 관리가이드는 전생애주기에서 CO₂를 어떠한 방식으로 관리할 것인지에 대한 평가모형개발이 선행되어야 하며, 각 기술별 최고기술보유국 및 기술격차가 있음.
- ※ 건설재료에 대한 일반적인 평가모형과 콘크리트 및 철강재 등 다소비 제품에 대한 평가 모형의 개발이 요구됨

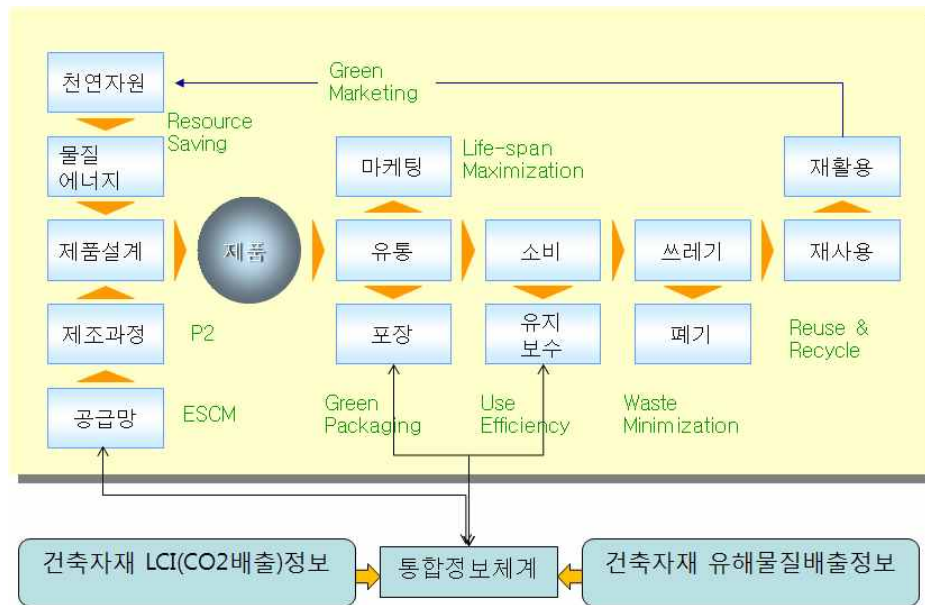
② 국내 기술동향

- 사용 및 유지관리 분야의 CO₂ 저감기술은 건설재료의 사용 및 유지관리에 필요한 탄소배출저감 및 관리와 관련있음
- 건설재료 중 가장 큰 사용량을 차지하는 **철강재와 시멘트 및 콘크리트 제품의 경우, 사용과 폐기단계에서 환경부하 저감을 위한 기술개발이 필요하며 환경친화적인 설계와 사용을 위한 기술개발이 요구되는 재료임**
- 주요자재의 사용 및 유지관리와 관련한 기술은 현재 개발착수 중이거나 기획 중이며 구체적인 국내기술은 아직 구축되지 않음
- ※ 친환경건축물인증제도 등을 통하여 간접적으로 사용 및 유지관리 단계에서 CO₂ 저감을 위한 프로그램이 운용 중임

(태) “CO₂ 관리체계 구축” 기술분야

① 국외 기술동향

- 저탄소 건설자재의 적용확대를 위해서는 시장에서 저탄소 건설자재가 공급될 수 있는 구조를 우선 구축하여야 함
- ※ 선진국에서는 이러한 체계를 마련하기 위해서 탄소라벨링 제도를 개발하고 있으며 국제표준화기구를 중심으로 탄소라벨링 표준을 개발하고 있음
- 탄소라벨링에 대한 국제표준화는 환경경영 국제표준화를 주도하는 ISO TC207/SC7 Greenhouse Gas Management(GGM)에서 개발하고 있으며 2011년 11월까지 탄소발자국과 탄소라벨링에 대한 국제표준을 제정할 예정임
- 탄소라벨링 표준은 ISO 14067-1과 ISO 14067-2로 제정될 예정임
- ※ ISO 14067-1 : Quantification for Carbon Footprint of Products
- ※ ISO 14067-2 : Communication for Carbon Footprint of Products
- 탄소라벨링 제도를 운영하는 국가는 영국과 일본, 스웨덴, 스위스, 프랑스, 미국 등이 있음
- ※ 탄소라벨링제도의 운영을 통하여 장기적으로는 탄소저감 건설자재의 공급망시스템(SCM)을 구축하고 저탄소 건설자재가 시장에 잘 공급될 수 있는 시스템을 마련하기 위한 것임



[그림 2.64] 저탄소 건설자재 공급을 위한 SCM

- 저탄소 건설자재의 적용확대를 위해서 필요한 기술은 공급망시스템(SCM) 구축, 저탄소 건설자재 정보체계구축, 저탄소 건설자재 인증제도의 운영 등이 필요함
- 건설자재의 탄소저감 및 시장에서 활용확대를 위해서는 건설자재의 특성이 B2B(Business to Business)인 점을 감안하여 접근되고 있음. 즉, 건설자재는 소비자가 직접구매하기 보다는 설계자 및 시공자 단계에서 구매결정으로 공공의 개입이 필요한 부분임

② 국내기술동향

- 국내 탄소성적 표지제도는 2001년부터 시행중인 환경성적표지제도의 제도적 기반하에 개발 및 운영되고 있으며 탄소배출에 국한하여 인증을 부여함.
- 탄소성적표지제도의 법적근거는 환경부고시 제2009-86호이며 탄소성적표시인증을 획득한 제품 및 서비스는 2011년 1월 현재 500여개에 이름.
※건축자재나 관련 제품에 대한 인증도 증가하는 추세임
- 지식경제부 기술표준원에서는 한국산업표준(KS, Korean Standards)으로 건축제품의 환경성평가방법과 건축물의 환경성능 평가방법 기본구조에 대한 ISO 표준을 부합화하는 작업을 진행 중임
※ 건축제품의 환경성능 평가방법은 ISO 21930 (건축시공의 지속가능성 - 건축제품의 환경성선언)을 한국표준으로 부합화시킬 예정임(2011년 상반기)

〈표 2.40〉 “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야 관련R&D 및 기술현황

	기관 (국가)	연구개발 실적	연구개발 내용
국내 연구기관	환경부	국가 LCI D/B 구축	- 공산품에 대한 LCI DB구축
	지식 경제부	국가 LCI D/B 구축	- 공산품에 대한 LCI DB구축
	국토 해양부	국가 LCI D/B 구축	- 건축자재 및 시공에 대한 LCI DB 구축
		초고층 마감자재 LCI DB 개발 연구	- 초고층건축물에 사용되는 마감자재의 환경영향 DB 개발 및 활용시스템 구축
		시설물별 탄소배출량 평가방안 수립	- 토목시설물의 시공시 탄소배출량 평가방안 개발 및 적용에 대한 연구
	식품의약품안전청	식품산업의 LCI D/B 구축	- 식품산업의 제품별 전과정 물질 목록 구축
국외연구 기관	기술 표준원	시멘트 및 레미콘분야의 온실가스 저감을 위한 표준기반구축사업	- 시멘트 및 레미콘의 온실가스 배출 평가방법 개발 및 저감 로드맵 개발
	BRE (영국)	건설재료의 환경프로파일	- 개별 건설재료의 생산, 사용 및 유지관리에서의 지구환경 영향 데이터
	국제 표준화기구	탄소라벨링, 환경라벨링, 환경경영에 대한 표준화 기술	- 제품의 환경성을 평가하고 정보를 시장에 제공할 수 있는 표준안 제공
국외 업체 보유기술	AUB (독일)	건축자재의 환경성정보 공급망 시스템 구축	- 환경부하가 적은 건축자재 및 개별 건설자재에 대한 환경부하 정보 제공
	JCI (일본)	콘크리트 환경배려 시공에 대한 기술지침	- 콘크리트 생산, 레미콘운송, 현장시공 등에 대한 탄소배출 저감 기술
	환경부	탄소성적표지제도	- 생산 및 제품제조전단계의 탄소성적표지
	환경부	환경성적표지제도	- 5대 지구환경영향에 대한 평가 프로그램
	환경부	환경마크제도	- 제 1유형 환경친화성 평가 제도

나. 연구수행 인프라분석

(1) 목적

- “탄소저감형 건설재료” R&D 추진의 여건과약을 위하여 연구인력과 기자재, 연구인력 현황을 조사 분석, 제시함.

(2) 방법

- 인프라 현황은 각 전문위원과 인터넷 web 검색(www.google.com), 국가과학기술 지식정보서비스(www.ntis.go.kr)를 이용하여 조사, 분석수행.

(3) 인프라 분석결과

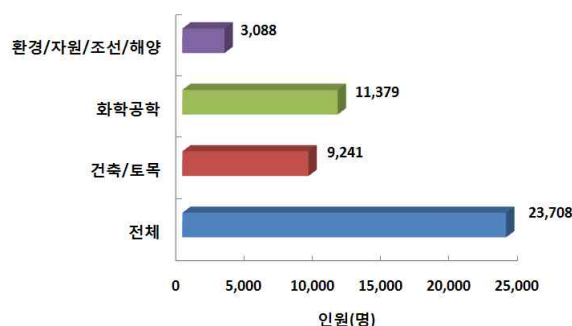
(가) 연구인력 인프라

- 국내 “기업의 분야별 연구인력”은 전체 23,708명으로 건축/토목이 39.0%(9,241명), 화학공학 48.0%(11,379명), 환경/자원/조선/해양 13.0%(3,088명)로 조사됨. 화학공학분야의 연구인력이 가장 많은 것으로 조사됨.
- 국내 “공공연구기관의 분야별 연구인력”은 전체 2,616명으로 건축/토목이 33.4%(874명), 화학공학 30.9%(808명), 환경/자원/조선/해양 35.7%(934명)로 조사됨. 환경/자원/조선/해양분야의 연구인력이 가장 많은 것으로 파악됨.

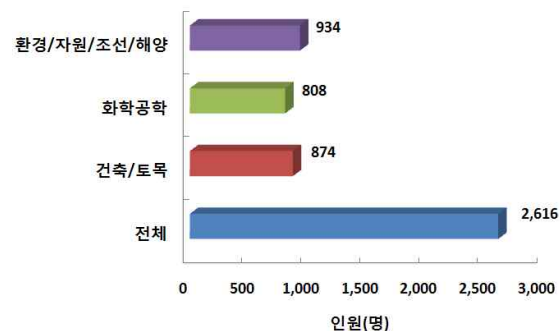
〈표 2.41〉 기관별, 분야별 연구인력현황

구 분		전체	건축/토목	화학공학	환경/자원/조선/해양
기 업	연구인력수	23,708명	9,241명	11,379명	3,088명
	구성비율	100.0%	39.0%	48.0%	13.0%
공공연구기관	연구인력수	2,616명	874명	808명	934명
	구성비율	100.0%	33.4%	30.9%	35.7%
대 학	연구인력수	7,839명	3,490명	1,872명	2,477명
	구성비율	100.0%	44.5%	23.9%	31.6%

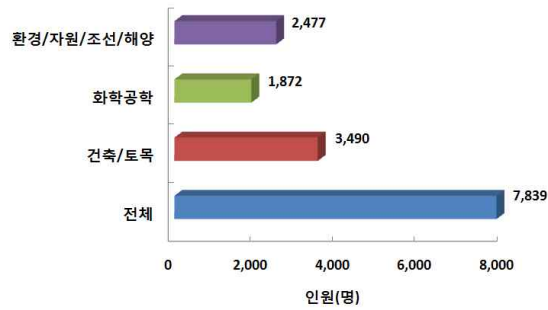
- 국내 “대학의 분야별 연구인력”은 전체 7,839명으로 건축/토목이 44.5%(3,490명), 화학공학 23.9%(1,872명), 환경/자원/조선/해양 31.6%(2,477명)로 조사됨. 건축/토목분야의 연구인력이 가장 많은 것으로 파악됨.



[그림 2.65] 기업 분야별 연구인력



[그림 2.66] 공공기관 분야별 연구인력



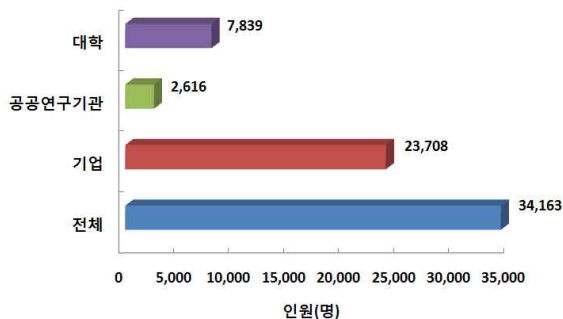
[그림 2.67] 대학 분야별 연구인력

* 출처 : 교육과학기술부(2010 연구개발활동조사보고서)

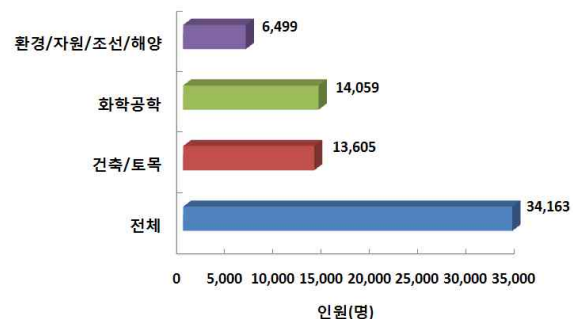
- 국내 “기관 및 분야별 연구인력”은 전체 34,163명으로 인력현황은 기업 69.4%(23,708명), 공공연구기관 7.7%(2,616명), 대학 22.9%(7,839명)로 조사됨. 기업의 연구인력이 가장 많은 것으로 분석됨.
- 국내 “전공분야별 연구인력”은 건축/토목이 39.8%(13,605명), 화학공학 41.2%(14,059명), 환경/자원/조선/해양 19.0%(6,499명)로 조사됨. 화학공학분야의 연구인력이 가장 많은 것으로 분석됨.
- 국내 토목, 건축, 환경, 화공 및 세라믹 등의 “관련 기술자 인력”은 전체 524,285명으로 토목 49.0%(256,647명), 건축 48.2%(252,446명), 환경 2.6%(13,434명), 화공 및 세라믹 0.3%(1,758명)로 나타났으며, 토목, 건축분야 보다 환경, 화공 및 세라믹분야의 기술자 인력이 적음.

<표 2.42> 국내 주체별, 분야별 연구인력현황

구 분		전체	기업	공공연구기관	대학
주체별	연구인력수	34,163명	23,708명	2,616명	7,839명
	구성비율	100.0%	69.4%	7.7%	22.9%
분야별	연구인력수	34,163명	13,605명	14,059명	6,499명
	구성비율	100.0%	39.8%	41.2%	19.0%

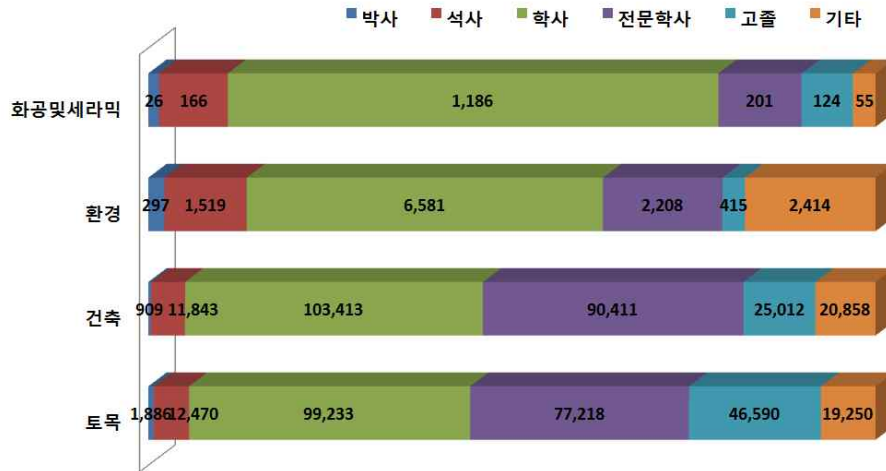


[그림 2.68] 주체별 연구인력



[그림 2.69] 분야별 연구인력

* 출처 : 교육과학기술부(2010 연구개발활동조사보고서)



[그림 2.70] 분야별 연구인력 현황

* 출처 : 한국건설기술인협회(2009 기준)

(나) 연구 기자재 및 시설 인프라

① 연구장비 인프라

- 연구장비는 다양한 분야에서 공유될 수 있는 측면이 강하므로 보유장비를 기술분야별로 분류하기에는 다소의 한계가 있으나, 산업별로 주된 용도에 따라 분류하면 엔지니어링 가공·시험장비(39.2%), 화학물 분석장비(18.9%)가 가장 높게 나타남.
- 국내 관련 기관별 연구기자재 현황은 공공기관을 대상으로 12개 연구소로 조사되었음.

<표 2.43> 국내 관련분야 연구장비 현황

구 분	연구장비수	비 율
광학기초장비	530	8.3%
화학물분석장비	1,207	18.9%
엔지니어링 가공·시험장비	2,504	39.2%
전기 전자 측정장비	897	14.0%
데이터처리 시스템	388	6.1%
물리적성질 측정장비	558	8.7%
대형시설 및 설비	301	4.7%
합 계	6,385	100%

* 출처 : 중소기업청(2009 연구장비 공동이용 지원사업 지원현황)

〈표 2.44〉 국내 공공연구기관 주요장비 현황

연구기관	주요장비
한국과학기술연구원	융복합기술, 재료 및 소자연구, 생명보건연구, 로봇시스템연구
한국산업기술시험원	화학, 전기전자제품, 생활용품, 외국인증대행공장심사
한국세라믹기술원	세라믹제품성능평가, 주로 연구 및 표준화하고 있음
요업기술원	요업 및 신요업원료, 제품에 관한 시험분석 광물 및 정광에 관한 시험분석
한국건자재시험연구원	건설관련, 건축자재관련 성능평가
한국화학시험연구원	화학제품 성능평가, 자율안전확인, 의료기기 등
한국생산기술연구원	금형기술분야, 열표면기술분야, 사이버설계지원분야
한국기계연구원	나노융합기계, 지능형생산시스템, 그린환경기계 시험분석
포항산업과학연구원	에너지환경, 재료공정, 강구조, 마그네슘, 연료전지 연구분석
한국석유품질관리원	석유제품 품질검사, 시험분석, 연구개발
한국석회석신소재연구재단	석회석 신소재 기술개발 및 관련 업체 지원, 대체원료개발 사업
한국표준과학연구원	역학적시험, 전자기적시험, 열적시험, 광학시험
한국건설기술연구원	건설관련, 건축자재관련 성능평가

* 출처 : 서울지방중소기업청

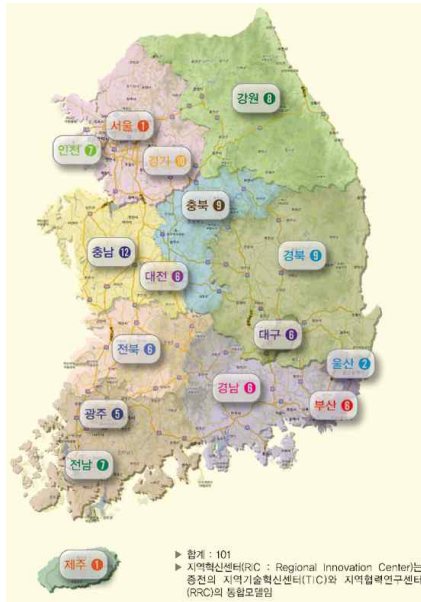
② 연구 실험시설 인프라

- 국내 건설재료관련 연구 실험시설은 NFEC(국가연구시설장비진흥센터) 및 NTIS(국가과학기술지식정보서비스)에서 대형, 중형, 소형 등의 실험시설로 전국에 분산·배치하여 초고속 정보통신망으로 공유시켜 건설R&D 인프라뿐만 아니라 다양한 분야의 실험시설을 구축 및 보유하고 있음.

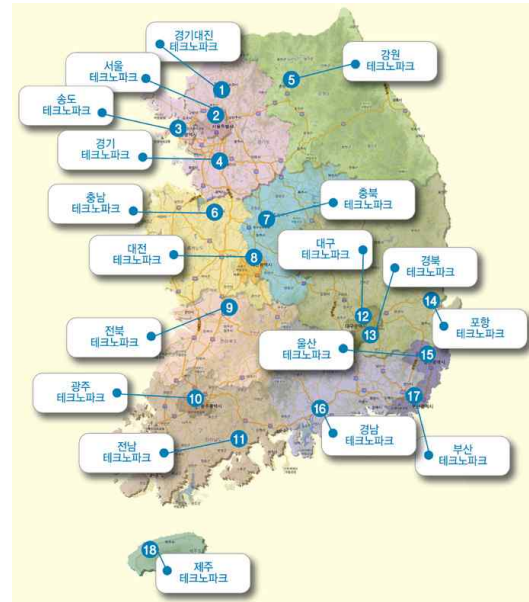
〈표 2.45〉 연구 실험시설현황

센터명	활용목적	주요기능
지역혁신센터 (RIC : Regional Innovation Center) - 101개소	- 고가장비를 구축하여, 장비활용, 기술개발 및 지도이전, 사업화, 마케팅 등의 통합지원	- 기업 공동활용이 가능한 고가 분석·시험 장비 구축·운영 - 해당분야의 연구개발 수행 및 기업에 대한 기술적 지원 등
테크노파크 (TP : Techno Park) - 18개소	- 지역기술혁신 촉진 및 지역산업 진흥을 위해 연구개발·창업보육·시험생산·기업지원. - 서비스 기능을 집적하는 거점단지(Hub)를 조성.	- 산업정책과 기술정책의 유기적 연계를 위한 중추기관. - 지역 균형개발을 위해 지역내 인적, 물적 자원을 결집할 구심체.
국립대학공동 실험실습관 - 26개소	- 고가 첨단 분석기기의 활용을 극대화하고 대학의 교육·실험·실습과 연구 환경을 개선. - 각 지역의 대학과 산업체간 협동 체계를 구축하여 지역 발전에 기여.	- 각 대학의 각종 큰 연구 프로젝트 대부분이 공동실험실습관내의 여러 첨단 분석장비들을 이용 - 첨단 연구장비에 기반한 대학 연구발전과 지역 기업의 기술 생산 증대 역할수행.

* 출처 : NFEC(국가연구시설장비진흥센터)



[그림 2.71] 지역혁신센터 실험시설 현황



[그림 2.72] 테크노파크 실험시설 현황



[그림 2.73] 국립대학공동실험실습관 현황

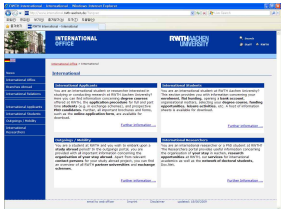
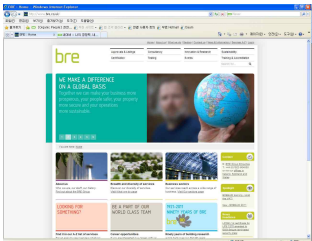
<표 2.46> 실험시설별 보유시설 및 장비사례

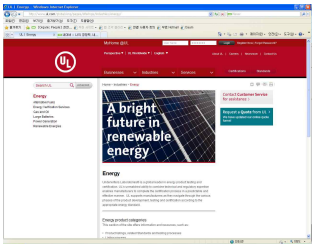
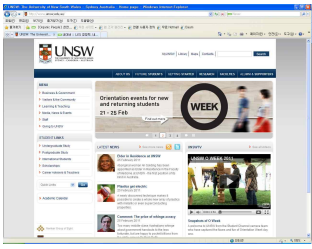
실험 시설명	위치	주요기능	주요시설 및 장비	주요분야	홈페이지
전북 테크노파크	전라북도 전주시	산학연의 협력을 바탕으로 기업의 창업촉진, 지역 경제의 활성화	신재생에너지, RFT 관련 시험기	신재생에너지, RFT	http://www.jbtp.or.kr
포항 테크노파크	경상북도 포항시	포스텍, 포항산업과학연구원, 포항가속기연구소 등 지역의 R&D 인프라를 바탕으로 R&D 성과의 사업화 및 기술혁신 촉진	철강, 에너지신소재, 나노신소재 관련 시험기	철강, 에너지신소재, 나노신소재	http://www.pohangtp.or.kr

(㉔) 해외 협력기관 인프라

- “탄소저감형 건설재료” 연구개발과 관련하여 교류협정을 체결한 해외연구기관들과는 공동연구, 연구자 교류, 정기공동세미나 개최 등의 협력사업을 실시함으로써 실질적 국제협력을 추진하고 있음.
- “탄소저감형 건설재료”의 선진 건설기술 연구개발 동향파악과 활발한 정보교류가 가능한 독일, 일본, 중국, 영국, 프랑스, 러시아 등의 25개 연구기관 중 13개 연구기관과 협력교류 중인 것으로 파악됨

〈표 2.47〉 해외협력기관 현황

국가명	해외협력기관	주요활동내용
독일		Fraunhofer IBP - 건축 물리학 분야의 연구, 개발, 테스트 등 물리 IBP 초점을 위한 Fraunhofer 연구활동. - 건물에 소음과 소리 절연에 대한 보호, 음향의 최적화, 에너지 효율성 및 조명 기술의 최적화. http://www.ibp.fraunhofer.de/
		아헨공과대학(RWTH Aachen) - 상호 연구성과 교류, 공동연구 수행. http://www.international.rwth-aachen.de/?lang=en
프랑스		건축과학기술센터(CSTB) - 기술·정보 교류, 공동연구 및 세미나 등 개최, 상호 인력교류. - 환경 및 에너지 성능 사용자의 요구와 경제 경쟁력을 적응의 측면에서 건설과 통합된 접근 방식을 통해 지속 가능한 기술개발. - 건축 환경의 모든 스케일에서 장비, 제품 및 구조 등의 통합된 자료 보유. http://www.cstb.fr/
영국		건축연구소(BRE) - 화재관련 건설기술 습득 및 교류. - 연구성과 및 정보교환. http://www.bre.co.uk/
미국		워싱턴대학교 - 건설관리분야에 대한 상호정보교류. - 공동연구 추진. http://www.washington.edu/

국가명	해외협력기관	주요활동내용
미국		UL(Underwriters Laboratories INC.) - 상호 방내화 분야 정보·기술 교류. - 정기 세미나 개최, 전문가 인력교류. http://www.ul.com/global/eng/pages/offerings/industries/energy/
호주		University of New South Wales - 정보·기술 교류, 전문가 인력 교류 - 상호 관심분야 공동연구 http://www.unsw.edu.au/
일본		야마구치대학교 - Recycle technique of Coal Ash for Geometrical 공동연구에 관한 협약 http://www.yamaguchi-u.ac.jp/
		건축연구소(BRI) - 화재 실험동 시설관련 기술자문 - 건축기술, 표준주택기술 상호협력 - 연구성과 및 정보 교환 http://www.kenken.go.jp/

㉮ 인프라 현황 조사결과의 시사점

〈표 2.48〉 선진국 대비 국내연구 인프라 수준

구분	선진국 대비 인프라 수준				
	부족	다소부족	동등	우월	보다우월
전문인력					
기자재			○		
산학공동연구기반		○			
기술이전 및 거래		○			
국제기술협력기반			○		
업계기술투자		○			

※ 전문가 인터뷰조사 근거

- 국내 “관련분야 연구인력”은 화학공학, 건축/토목분야의 인력인프라가 충분하며 환경/자원/조선/해양분야의 연구인력의 활용이 가능할 것으로 분석됨. 또한, 국내 “관련분야 기술자인력”은 건축/토목분야의 인력인프라가 충분하고 환경, 화공 및 세라믹분야의 연구인력 활용이 필요함.
- 국내 관련 기업, 연구소, 대학 등의 연구인력은 충분할 것으로 판단되나 **건축, 토목, 화학공학, 환경 등 분야의 전문가의 공동연구 및 융합이 필요한 것으로 파악됨.**
- 국내 “탄소저감형 건설재료”관련 기관별 연구기자재 현황은 12개의 연구소에서 관련 실험장치와 실험시설을 보유하고 있으며, 이를 **활용한 건설재료, 자재 등에 대한 연구시설 및 장비는 대부분 국내에서 활용가능한 것으로 파악됨.**
- 국내 관련 연구기자재는 NFEC(국가연구시설장비진흥센터)에서 대형, 중형, 소형 등의 실험시설로 전국에 분산·배치하여 이를 활용한 “탄소저감형 건설재료, 자재” 등에 대한 연구시설 및 장비는 대부분 국내에서 활용할 수 있으며, **건설R&D 인프라에만 제한된 실험뿐만 아니라 다양한 분야와 복합적인 실험시설로 연구 실험에 대한 활용도가 높을 것으로 사료됨.**

〈표 2.49〉 인프라 시사점 분석·요약

구분	국내 수준
인력	국내 관련 기업, 연구소, 대학 등의 연구인력은 충분할 것으로 판단되나 건축, 토목, 화학공학, 환경 등 분야의 공동연구 수행 가능할 것으로 분석됨
기자재	국내 관련 연구기자재는 NFEC(국가연구시설장비진흥센터) 및 NTIS(국가과학기술지식정보서비스)에서 대형, 중형, 소형 등의 실험시설로 전국에 분산·배치하여 초고속 정보통신망으로 공유시켜 건설R&D 인프라뿐만 아니라 다양한 분야의 실험시설을 구축 및 보유하고 있음.
산학공동연구기반	건설재료 연구개발은 대기업 중심으로 연구센터가 건립되어 이들 연구소를 통해 대학들과의 전략적인 관계를 맺고 추진되고 있으나 “탄소저감형 건설재료” 기술개발에 대한 산학 연구, 설계, 개발은 추진 및 기반등을 마련하고 있는 실정임.
기술이전 및 거래	국가연구개발 투자가 증가하면서 기업, 대학, 연구소의 기술 창출능력은 증가하였으나 기술과제 수집망을 확보한 우수기술발굴, 기술거래제도, 각 기관과의 유대강화, 기술거래 연구 및 사례 등에 대한 운영방안 기반은 보완이 필요함
국제기술협력기반	“탄소저감형 건설재료”의 선진 건설기술 연구개발 동향파악과 활발한 정보교류를 통해 가능한 국외 관련 연구기관과 필요시 공동연구를 수행 가능
업계기술투자	관련 분야의 업계기술투자는 GDP 대비 선진국의 연구개발비와 동등하나 업계 매출액에 비해 선진국은 다소 낮은 실정임.

3절. 기술수요 및 예측조사

1. 기술수요조사 및 결과

가. 기술수요조사 내용 및 결과분석

(1) 목적

탄소저감형 건설재료 관련 산, 학, 연 등 다양한 분야별 기술수요정보를 수집·분석하여, 기획방향과 목적에 적합한 중점추진분야 및 그 세부기술들을 도출하고자 함

(2) 방법

- 수요조사서 양식작성
 - 제안기술 개요, 연구개발 목표 및 내용, 연구개발 필요성(필요성 및 성과, 관련동향, 기대효과), 예산 등이 포함된 수요조사서 양식작성.
- 수요조사 방법
 - “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야, “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야, “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야의 4개 분류로 e-mail 등을 이용하여 수요조사 실시.
 - 수요조사시간 및 수요조사 대상은 <표 2.50>과 같이 실시함.

<표 2.50> 기술수요조사 방법

구분	내 용
조사기간	기획위원 대상 : 2011년 1월 14일 ~ 1월 19일
	외부 기관대상 : 2011년 1월 19일 ~ 1월 26일
조사대상	○ 기획위원 등 대상 : 50명 - CO₂ 배출저감형 건설재료 기술분야 : 14명 - 에너지 저감형 고성능 건설재료 기술분야 : 17명 - CO₂ 활용·처리 건설재료 기술분야 : 10인 - CO₂ 관리기술 분야 : 9명 ○ 외부기관 대상(전체 회원대상, 약 10,000명) - 학계 : 대한건축학회, 한국콘크리트학회, 한국건설순환자원학회 - 산업, 연구계 : 한국건설자원협회, 한국내화건축자재협회, 대한건설협회

(3) 결과 및 분석

- 총 79건의 기술제안서 접수 (기획위원 22명, 외부기관 57명).
- 4개의 기술분야별 접수된 기술제안서는 <표 2.51>과 같음. 단 4개의 기술분류에 포함되지 않은 제안과제는 기타로 분류하여 총 5개의 기술분야로 분류

〈표 2.51〉 기술분야 제안과제

중점분야	세분류	No	제안과제명
CO₂ 배출저감형 건설재료 – 23개 과제	무(저)시멘트 콘크리트 기술분야	1	CO ₂ 저감형 무(저)시멘트 콘크리트 및 활용 기술 개발
		2	고강도 High Volume slag 콘크리트의 제조 및 적용기술개발
		3	친환경 저탄소 고내구성 콘크리트 제품 사용화 기술개발
		4	고기능성 혼화재료 개발 및 이를 활용한 High Volume Admixture 콘크리트제조
		5	무(저)시멘트 콘크리트를 활용한 하수시설 콘크리트의 부식방지 시스템개발
		6	황산염계 순환자원을 자극제로 활용한 저알칼리 무기결합재 제조 및 상용화 기술 개발
		7	순환골재와 폐미분말을 사용하는 CO ₂ 저감형 고강도 sulfur concrete 개발
		8	무(저)시멘트 콘크리트 PC 및 건자재 개발 및 실용화
		9	석회석 미분말(Limestone Powder)과 재활용 골재를 적용한 CO ₂ 저감 탄소저감형 콘크리트 개발 기술
		10	이산화탄소 저감 콘크리트용 촉진혼화제 개발
		11	슬래그 대량치환 콘크리트의 제조 및 해석기법의 개발
		12	Polymer를 이용한 친환경 건축재료 표준 제정
		13	NT기술을 이용한 슬래그활용 콘크리트 기술
		14	가수소성된 황토를 이용한 지오폴리머 기술
		15	시멘트 대체용 지오폴리머 결합재 및 콘크리트 개발
	CO ₂ 저감형 강재분야	16	비정질 Steel fiber 기술개발 및 실용화
	무기계 자원의 재활용 분야	17	무기계재료의 재자원화에 의한 자원순환지속형 건설재료기술
		18	무기계 순환자원 및 유·무기성 슬러지를 이용한 CO ₂ Zero 기반 친환경 인공토양 제조기술 개발 및 상용화 시스템 구축
		19	불균일형 폐기물을 활용한 일반/고성능 콘크리트 개발
	Low CO ₂ 공정 및 재료분야	20	시멘트 및 콘크리트 2차 제품 제조공정의 Low CO ₂ 및 에너지 저감 기술
		21	입도분급에 의한 시멘트 제조공정의 Low CO ₂ 및 에너지 저감기술
		22	스팀양생이 없는 프리캐스트 콘크리트 기술
		23	에너지·자원절약형 혼합시멘트의 개발 및 활용기술

중점분야	세분류	No	제안과제명
CO ₂ 활용·처리 건설재료 - 10개 과제	산업부산물 분야	24	발전소 산업부산물 CO ₂ 흡수전환 및 건설소재 재활용 기술
		25	제철소 산업부산물 CO ₂ 흡수전환 및 건설소재 재활용 기술
	건설폐기물 분야	26	순환골재 CO ₂ 흡수전환 및 건설소재 재활용 기술
		27	건설폐기물(순환골재, 회수수)의 최적 CO ₂ 흡수전환(탄산화) 을 위한 성능 평가 및 급속 탄산화 촉진제어 시스템 개발
		28	건설폐재의 탄산화반응을 이용한 탄소저감형 건설재료의 개발
	CO ₂ 흡수 공정 및 제품분야	29	촉진 탄산화 양생공정을 이용한 시멘트계 2차제품의 고성능화 기술 개발
		30	CO ₂ Negative 시멘트 개발 및 활용기술
		31	CO ₂ hydration process에 의한 기경성 탄산염 마그네시아 시멘트 개발과 응용 기술개발
		32	에너지·CO ₂ 미니엄(ECM)시멘트 개발
		33	시멘트 대체 재료를 통한 고내구성형 콘크리트 개발
에너지 저감형 고성능 건설재료 - 31개 과제	고기능 강재분야	34	고기능 정착 철근개발
		35	고기능 강재료 기술
	슈퍼 콘크리트 기술분야	36	인장강도 800MPa급 이상 초고강도 강재에 대응하는 접합재료를 개발 및 실용화
		37	실용강도 200MPa 급 초고강도 콘크리트 개발
		38	구조용 Green 경량골재 및 고강도 경량 콘크리트 개발
		39	슈퍼 콘크리트 제조 및 활용 기술 개발
		40	High Performance self flooring concrete 개발
		41	High eco-friendly early strngth concrete technology
		42	산업부산물을 활용한 저탄소·다기능성 콘크리트
		43	유무기 융합소재 적용 고성능 콘크리트
		44	SQC(SUPER QUALOTY CONCRETE) 개발
	고성능 단열재 및 외피 기술분야	45	PC를 이용한 고단열 벽체 시스템
		46	하이브리드 경질경량 무기단열 내·외장벽체 제조 기술 개발
		47	단열재가 필요없는 벽체용 경량 단열콘크리트 개발
		48	연속식 마이크로웨이브 건조/발포장치를 적용한 친환경 고성능 무기단열재 개발
		49	대체발포제(HFC류, HC류, CO ₂)를 XPS에 적용 성능평가
		50	압출 발포 단열재(XPS)의 Fine Cell 구조 형성
		51	에어로겔을 혼합한 합성수지 도료의 단열 성능 향상
		52	상변화물질(PCM)을 이용한 고성능 축열 단열재 기술

중점분야	세분류	No	제안과제명
에너지 저감형 고성능 건설재료	고성능 단열재 및 외피 기술분야	53	저시멘트형 축열 및 잠열을 활용한 저에너지 자재 및 시스템 개발
		54	건물용 에너지 효율향상 불연성 복합 단열소재 개발
		55	유무기 나노복합화 기술을 이용한 복합기능성 단열재 개발
	열전재료 분야	56	열전재료를 활용한 친환경 가열/냉각 기술
		57	고효율 열전재료를 활용한 열발전 기술
	내화재료 분야	58	규산칼슘계의 Autoclave화 된 무기 보드 및 패널 제품
		59	그라파이트를 이용한 고성능 내화보드 개발
		60	콘크리트 폭열방지 및 콘크리트 잔존강도 90% 이상 유지를 위한 기능성 내화 피복재 개발
	스마트 창호분야	61	비인듐계 투명전극을 이용한 스마트창문 기술
		62	복합성능의 기능성 유리개발
		63	온도감응형 스마트 윈도우 코팅 열차단필름 개발
	열차폐 도료분야	64	에너지 절약형 친환경 고기능성 차단열도료 제조 및 시공기술 개발
건설재료의 CO ₂ 관리 - 4개 과제	CO ₂ 통합관리 분야	65	건설재료의 CO ₂ 발생량 산정방법론 개발 및 평가방법 개발
		66	철강재 생애주기 CO ₂ 평가 및 관리 기술
		67	건설재료기술의 개발목표 및 실용화 전략 수립 연구
		68	건설자재의 생산, 유통, 소비 과정에서의 탄소저감정책 연구
기타 - 11개 과제	환경부하 저감형 소재 및 자재분야	69	순환골재와 폐염산을 활용한 용빙제 제조 기술 개발
		70	고성능 탄소 제로형 방수재의 개발
		71	인체무해성 친환경 벽지 개발
		72	유·무기 복합소재를 이용한 기능성 마감재 개발
		73	환경부하 저감형 기능성 건축용 목재료 개발기술
		74	탄소저감형 복합재료 활용공법 개발 및 실용화
		75	항토를 이용한 저균열, 고단열 건설재료 개발
	지능형 건설재료 분야	76	IT 기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발
		77	유·무기 Nano 복합재료를 이용한 콘크리트균열 self-healing 재료 개발
	기준 및 표준화 분야	78	환경성능 검증형 콘크리트 시공지침 개발
		79	건설재료의 시공성능 예측 기법 개발

- 제안기술은 대부분 세부과제 규모로 제안되었으나, 무(저)시멘트 콘크리트, 슈퍼콘크리트, 고기능 강재, 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책 기술분야에 다양한 세부 단위과제가 포함된 연구단급 규모의 제안이 있었음.

- 기술수요조사 제안기술의 과제기간은 2~6년, 연구비는 최소 1억 5천만원에서 160 억원까지 제안되었음.
- 이상의 79건의 제안과제를 약 20개의 세부기술 분야별로 분류가능하여 <표 2.52>와 같이 정리·제시함.

<표 2.52> 기술수요조사 결과

기술분야	세 분 류	제안수	계
CO ₂ 배출저감형 건설재료	무(저)시멘트 콘크리트 기술	15	23
	에너지절감형 steel 기술	1	
	무기계 순환자원 재활용 기술	3	
	시멘트·양생공정 Low CO ₂ 기술	4	
CO ₂ 활용·처리 건설재료	산업부산물 CO ₂ 활용·처리·전환기술	2	10
	산업부산물 CO ₂ 활용·처리·전환기술	3	
	CO ₂ 활용·처리 시멘트·콘크리트 기술	5	
에너지 저감형 고성능 건설재료	고기능 강재기술	3	31
	슈퍼콘크리트 기술	8	
	고성능 단열재 및 건축물 외피 시스템 기술	11	
	열전재료 기술	2	
	고성능 내화보드 기술	3	
	스마트 창호기술	3	
	고성능 열차폐 도료기술	1	
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	건설재료 CO ₂ 평가 및 LCI DB 관리기술	1	4
	사용·유지관리 분야 CO ₂ 저감기술	1	
	저탄소 건설자재 체계구축 기술	2	
기타 (환경부하 저감형 소재 및 자재)	친환경 건설자재 기술	7	11
	지능형 건설자재 기술	2	
	건설재료 및 자재의 시공지침 및 표준화기술	2	
총 계			79

□ 국내외 연구개발 프로젝트 현황분석

- 국내외 연구개발 프로젝트 69건의 현황조사 분석결과, 제안과제와 기술개발 방향 측면에서 부합함을 확인

〈표 2.53〉 국내외 연구개발 프로젝트 현황 분석결과

구분	무(저)시멘트 콘크리트 기술	강재 기술	Low CO ₂ 공정 기술	재활용 기술	CO ₂ 활용 · 처리 기술	CO ₂ 관리 기술 · 정책	단열 재료 기술	고성능 콘크리트 기술	열전 재료 기술	외피 · 스마트 창호 기술	도료 기술	내화 · 난연 재료 기술	기타	계
국내외 산업체 중점 개발 기술	2	6			2		3	3	2	5	1	1		25
	8%	24%			8%		12%	12%	8%	20%	4%	4%		100%
국외 R&D 기술	5		2	7	2	3	3	4	1	1				28
	18%		7%	25%	7%	10%	10%	15%	4%	4%				100%
국내 R&D 기술				6	1		3	1		2		1	2	18
				38%	6%		18%	6%		13%		6%	13%	100%

- 또한 기술제안기관 및 기술개발단계에 대한 분석결과는 <표 2.54>와 같음.
- 수요조사 제안기관은 대학교가 제일 많았으나, 대학교의 경우 대부분 기업체와 공동연구 수행이 필요한 것으로 파악됨. 대기업, 중견기업, 중소기업 등 기술수요 기관인 기업체가 전체의 44%를 차지하였으며, 실용화 기술을 개발하고자 하는 비율이 65%로 제안이 많은 것으로 파악됨.
- 기술분류별로는 대부분의 기관이 “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야와 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야에 집중되어 있음. 이는 기술의 필요성이 높거나 제안기술의 유사성이 높음을 의미함.
- 제안기술 중 “CO₂ 활용 · 처리 건설재료” 기술분야 및 “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야는 융합기술로 분류되며, 기타 기술분야는 제안기술 중 65%가 융합기술로 분류됨.
- “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야는 제안기술 중 47%가 융합기술로 분류됨. “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야의 융합기술 비율은 29%로 다소 낮게 나타남.

〈표 2.54〉 수요조사 제안기관 및 기술개발단계 비율 (%)

구분		기술분류					계 (%)
		CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술분야	CO ₂ 흡수· 전환형 건설재료 기술분야	고성능· 첨단 건설재료 기술분야	건설재료 의 CO ₂ 통합관리 및 정책 기술분야	기타 기술분야	
제안 기관	대기업	4	3	14	0	2	23
	중견기업	0	0	0	0	0	0
	중소기업	8	5	5	0	3	21
	대학교	10	3	6	1	4	24
	정부기관	4	2	9	3	1	19
	연구소	3	0	5	1	4	13
	계	29	13	39	5	14	100
기술 개발 단계	기초/원천	2	3	3	0	3	11
	응용	4	4	11	1	4	24
	실용화	16	6	19	2	3	46
	실증화 test bed 형	7	0	6	2	4	19
	계	29	13	39	5	14	100
기술분류별 융합기술 제안율(%)		29	100	47	100	65	—

(4) 기술수요조사의 시사점

- 수요조사에 의하여 제안된 기술은 크게 “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야, “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야, “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야, 기타 분야의 총 5가지로 분류하였음.
- 제안기술은 “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야가 가장 많았으며, “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야, 기타 기술분야, “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야 순으로 제안되었음.
- 제안된 기술은 20개의 세부분류가 가능하였으며, 세부분류별로는 “무(저)시멘트 콘크리트 기술”이 가장 많은 제안이 있었으며, 고성능 단열재 및 건축물 외피 시스템 기술, 슈퍼콘크리트 기술, 친환경 건설자재기술, CO₂ 활용·처리 시멘트·콘크리트기술 순으로 나타났음.
- 전반적으로 전통적인 건설재료인 콘크리트 관련 기술수요가 높았으며, 최근의 건설분야의 이슈인 단열기술(단열재 및 고성능 외피, 열전재료 기술, 스마트 창호기술, 열차폐 도료기술)이 수요가 높았음.

- 반면, 특정업체에 국한된 기술인 강재분야의 제안과 건설재료·자재 분야에서 생소한 CO₂ 활용·처리 건설재료 기술, 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책기술, 지능형 건설재료기술과 정책분야의 기술수요 제안수요가 낮았음.

나. 국내외 연구개발 프로젝트 현황분석

(1) 목적

- “탄소저감형 건설재료”와 관련하여 국내외 기업 및 연구기관의 기술개발 프로그램 또는 프로젝트 현황을 조사·분석하여 기획방향 및 목적에 적합한 중점추진 분야 및 세부기술 등을 도출하고자 함.

(2) 조사방법

- 인터넷 조사수행(www.google.com, www.ntis.go.kr, www.NDSL.kr, www.osti.gov, cordis.europa.eu)

다. 조사결과 및 분석

(1) 산업계 중점개발기술 현황 분석

- 국내외 산업체별로 중점적으로 개발하거나 개발중인 기술은 <표 2.55>와 같음.

<표 2.55> 국내외 산업체별 중점개발기술

구분	기관명	주요내용	수요조사 결과비교
1	KCC, 한글라스	- 기존 로이유리대비 최고 30%까지 단열성이 개선된 “크립톤 삼중 유리 - 자외선 차단유리인 솔라그린	스마트창호 기술
2	벽산, KCC, LG화학, 동양 OCI, 등	- 친환경 자재 산업에 주력, 벽지, 페인트, 바닥재 등 상품화 - 유·무기 단열재의 성능 보완, 에어로겔 등 고효율 단열재 개발 - 외단열 시스템 적용을 위한 재료 및 적용공법 - 내열 및 고인성을 발현하는 섬유보강재료 개발	단열재료 기술
3	아세아 시멘트(주)	- 시멘트 입도분급 고강도콘크리트용 혼화제	시멘트· 콘크리트 기술
4	한일시멘트	- 초고강도 콘크리트용 혼화제 개발	
5	쌍용양회	- 초고강도 콘크리트 제조	
6	삼성전자	- 실리콘 단결정 이용 열전재료	열전재료 기술
7	대한제강	- 코일철근 생산/가공기술	강재기술
8	부원BMS	- 철근 기계적 이음기술	

구분	기관명	주요내용	수요조사 결과비교
9	BASF	- 포름알데히드, 휘발성유기화합물 등의 방출이 없는 건설재료의 개발(벽지, 도장재료, 판상형 마감재료, 접착제)	도료기술
10	CABOT,Aspen	- 미국 Aspen사는 Nasa 에어로젤기술을 스핀오프하 여 에어로젤 블랭킷을 제조함으로서 산업용 및 건 물용으로 양산하기 위한 본격적 기술개발 착수 - Cabot사는 나노젤을 응용하여 스카이라이트와 투 광성 윈도우로 적용을 위한 실용화 기술개발 추진, 현재 양산체계 기술개발 추진	단열재료 기술
11	GARTNER	- Sheet wall caldding, connection pipes 등 알루미늄/스틸 외피 및 창호의 설계제작 기술 보유	건축물 외피기술
12	Alply, inc	- 창호, 외피, Insulated panel, tech wall, Column cover 등 Curtain wall 기술 선도	
13	프랑스 Saint-Gobain	- 고효율 기능성 유리기술 사용화 단계(로이유리, 고반사유리 등) - 전기변색 스마트 윈도우 유리기술 개발	스마트창호 기술
14	미국 SAGE 일본 Asahi glass	- 고효율 기능성 유리기술 상용화 단계 - 전기변색 스마트 윈도우 유리 기술개발	
15	va-Q-tec	- 진공단열재를 이용한 바닥단열, 발코니단열, 벽체단열, 난간 단열, 내단열, 판넬 설계 및 시공 상용화 기술개발 - 진공단열재를 적용한 외단열 시스템 개발	단열재료 기술
16	Geopolymer Institute (프랑스)	- 석탄회 무(저)시멘트 콘크리트 제조기술	무(저)시멘 트 콘크리트 기술
17	Wopfinger사 (호주)	- 고로슬래그-황산염계 무(저)시멘트 콘크리트 제조기술	
18	Carera Cement (미국)	- 발전소 발생 CO ₂ 의 2차제품 흡수기술	CO ₂ 활용·처리 기술
19	Novacemz, Lafarge, Calix	- 마그네슘실리케이트 광물을 이용한 대기 중의 CO ₂ 흡수시멘트 - 돌로마이트 광물을 초고온스팀 양생에 의하여 제조하는 시멘트 CO ₂ 흡수콘크리트	
20	Teledyne Energy Systems(미국)	- 0.1kW급의 열전 발전 장치	열전재료 기술
21	MMFX(미국)	- 고강도 철근(690, 830MPa) - 철근의 부식성능을 향상시킨 고강도 철근	강재기술
22	JFE(일본)	- 1275MPa급 띠근 및 785MPa급 주근	
23	Sumitomo (일본)	- 1000MPa급 강재대응 용접봉	
24	Lafarge (프랑스)	- 200MPa급 상용 결합재	
25	Promat	- 고성능 내화보드	내화재료

(2) 국외 R&D 추진과제 조사 및 분석

“탄소저감형 건설재료”관련 국외 R&D 추진과제를 조사정리한 결과는 <표 2.56>과 같음.

<표 2.56> 국외 R&D 추진현황

구분	기관명	주요내용	수요조사 결과비교
1	Infrastructure Technology Institute (USA)	Strategies for Improving Low-CO ₂ Cements	CO ₂ 관리 기술 · 정책
2	University of Kansas, Lawrence Transportation Research Institute (USA)	Environmental Policy and Environmental Protection : A Longitudinal Analysis of the Impact of Governmental Policies on CO ₂ Emissions in OECD Countries, 1990-2003	
3	Missouri Department of Transportation (USA)	Design and Evaluation of High-Volume Fly Ash (HVFA) Concrete Mixes	무(저)시멘트 콘크리트기술
4	Michigan Technological University (USA)	Geopolymer Concrete Investigation : The ABCs of GPC	
5	Wisconsin Department of Transportation (USA)	Reduction of Minimum Required Weight of Cementitious Materials in Concrete Mixes	
6	Hampshire County Council (United Kingdom)	Increased Recycling of Quarry, Green, Construction, Demolition and Excavation Waste Streams through Manufacture of Soils	재활용기술
7	Civil, Mechanical and Manufacturing Innovation(CMMI) (USA)	Experimental Study and Theoretical Modeling of High Performance Recycled Aggregate Concrete	
8	Georgia Department of Transportation (USA)	Evaluation of a Highway Bridge Constructed Using High Strength Lightweight Concrete Prestressed Bridge Girders	고성능 콘크리트기술
9	AFN10, Basic Research and Emerging Technologies Related to Concrete (USA)	Curing Requirements for High-Early-Strength Concrete	
10	AFN10, Basic Research and Emerging Technologies Related to Concrete (USA)	Guidelines for Using Environment-Friendly Concrete (EFC) in Transportation Infrastructure	CO ₂ 관리 기술 · 정책
11	CIMENTS LAFARGE SA (FRANCE)	BLAST FURNACE SLAG BENEFICIATION BY USING INNOVATIVE ENERGY SAVING TECHNOLOGIES, THUS REDUCING GLOBAL CO ₂ -EMISSIONS	CO ₂ 활용 · 처리 기술

구분	기관명	주요내용	수요조사 결과비교
12	Institute for Multidisciplinary Research (SERBIA)	SUSTAINABLE APPLICATION OF SELECTED INDUSTRIAL WASTE MATERIALS IN THE CEMENT AND CONCRETE INDUSTRY	무(저)시멘트 콘크리트기술
13	C&C TSCHERNER, HANDELSGEM.M.B.H. (AUSTRIA)	ALTERNATIVE FUEL PRODUCTION AND ITS USE IN THE CEMENT INDUSTRY	시멘트 공정기술
14	Institute for Multidisciplinary Research (SERBIA)	New generation of constructive materials based on industrial waste in the concept of sustainable development	재활용기술
15	AQUATIS A.S. (CZECH REPUBLIC)	NEW APPROACHES TO LAND RECLAMATION AND UTILIZATION OF DEPOSITED ASH	
16	PARTNERIS L.V., LTD (LATVIA)	QUALITY BUILDING MATERIALS FROM POLYMER WASTE	무(저)시멘트 콘크리트기술
17	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	太陽エネルギー利用と蓄電・蓄熱技術を融合した高自立循環型エネルギー供給システムに関する技術開発	열전재료기술
18	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	靱性が高く、軽量で施工がしやすい断熱コンクリートの開発による基礎又は躯体断熱工法の検証と確立	고성능 콘크리트기술
19	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	枠組壁工法におけるSMART-WINDOWシステムに関する技術開発	스마트창호 기술
20	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	蒸暑期にも有効な超高断熱・高気密住宅(パッシブハウス)に関する技術開発	단열재료기술
21	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	廃コンクリート・石系廃棄物の低炭素・完全循環利用技術の開発	재활용기술
22	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	二酸化炭素を利用したコンクリートスラッジの再資源化に関する技術開発	CO ₂ 활용·처리 기술
23	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	国産材(主に間伐材や端材)を利用した断熱性と透湿性を併せ持つ木質系耐力面材(以下「断熱透湿耐力面材」という)の開発と省力化工法の構築	단열재료기술
24	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	建設廃棄物の削減及び再資源化に関する技術開発	재활용기술

구분	기관명	주요내용	수요조사 결과비교
25	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	建築現場の残土を活用した無焼成レンガの現場製造 に関する技術開発	Low CO ₂ 공정기술
26	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	超高強度 R C 柱の高耐久化に関する技術開発	고성능 콘크리트기술
27	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	建築分野における土の高度利用と新構法の研究・開 発	인공토양기술
28	국토교통성 2010년도 주택·건축 선도기술개발 조성사업 (일본)	湿式外断熱工法外壁に係る火災安全性能評価基準、 及び「燃え拡がりを抑制する施工技術の開発	단열재료기술

- “탄소저감형 건설재료” 관련 국내 공공부문의 R&D 추진현황을 조사정리한 결과는 <표 2.57>과 같음.

<표 2.57> 국내 R&D 추진현황

구분	기관명	주요내용	수요조사 결과비교
1	교육과학기술부 (21C 프론티어 연구개발사업)	유해폐분진을 이용한 에코소재화 기술개발	재활용기술
2	환경부 (지역환경 기술개발)	도시생활폐기물 소각재의 건설재료로서의 재활용 방안	
3	중소기업청 (산화연공동 기술개발)	소각재를 활용한 친환경 건설자재 개발	
4	지식경제부 (에너지자원기술 개발사업)	친환경 무기계 난연제 제조 및 적용기술 개발	내화·난연 재료기술
5	중소기업청 (기업협동형 기술개발)	산업부산물(타르슬러지, 소각잔재물)을 이용한 에코블록 제조 기술개발	재활용기술
6	국토해양부 (건설핵심기술 연구개발사업)	건설폐기물 재활용 연구단	
7	국토해양부	고성능 다기능 콘크리트 개발 및 활용기술 연구단	고성능 콘크리트기술
8	국토해양부 (건설교통 R&D정책·인프라사업)	건설생산성 향상을 위한 건설자재 표준화 연구단	건설재료 자재 표준화 기술

구분	기관명	주요내용	수요조사 결과비교
9	지식경제부 (에너지·자원 기술개발사업)	순환자원을 활용한 기능성/친환경 건자재 제품 생산기술 개발	재활용기술
10	국토해양부 (건설기술혁신 사업)	바이오나노 건설 신마감재 연구단	친환경 건설재료 기술
11	교육과학기술부 (21C 프론티어 연구개발사업)	이산화탄소저감 및 처리기술개발 사업단	CO ₂ 활용·처리 기술
12	에너지관리공단 (시범)	건물에너지 절약을 위한 단열성능 향상 건식 벽체 단열스터드 대량생산 기술개발 및 시범사업 적용연구	단열재료기술
13	에너지관리공단 (학진)	슈퍼단열재의 개발	
14	에너지관리공단 (11-중대형사업)	초단열 슈퍼윈도우 설계와 시공지침 및 성능평가 연구	
15	에너지관리공단 (11-중대형사업)	슈퍼윈도우 상용화 모델 및 보급화 기술개발	스마트창호 기술
16	국토해양부 (건설기술혁신 사업)	열에너지 조절 가능한 일반 건축용 창호시스템 개발	

라. 시사점

- 대부분의 기업체들은 CO₂ 저감과 관련된 성능향상 및 친환경재료, 에너지절감을 위한 기술개발에 주력하고 있음.
- 특히 에너지 절약과 관련된 고단열 기술에 주력하는 기업체들이 다수이며, 시멘트 기술은 기존 시멘트를 대체 또는 새로운 성분으로 제조하여 CO₂ 발생을 억제하는 시멘트 개발이 추진되고 있음.
- 열전재료와 같이 새로운 기능성 재료 및 시스템 개발도 주목할 사항임.
- 국내외 R&D과제 현황을 조사한 결과, 재활용 및 고성능 단열기술, 콘크리트기술 등이 상당수를 차지하는 것으로 나타났음.
- “본 탄소저감형 건설재료” 기획과정에서 조사된 제안기술들은 국내외 R&D 추진방향에 부합하며, 세계 최신티기술로 발전가능한 기술을 일부 포함하고 있는 것으로 분석됨.

2. 기술예측조사 및 결과

가. 목적

- 기술개발 전략수립 과정에서 기술실현 예측시기 등 제반 기초자료를 확보하기 위하여 기술예측 조사 실시.

- 기술의 기술적/사회적 실현시기, 정부개입의 필요성 등에 대하여 관련 전문가를 대상으로 조사함으로써 본 과제에서 수행할 중점연구분야 및 세부과제 선정, 연구개발계획의 수행일정 수립, 기술획득방식 등의 분석에 활용

나. 방법

- 기술수요조사에서 도출된 79개의 기술에 대하여 Mini-Delphi¹⁾ 방법을 이용 기술예측조사 수행
- 기술예측조사는 <표 2.58>과 같이 기획위원 및 기술수요 제안자를 대상으로 워크숍에서 1차 예측조사 후 e-mail을 이용 2차 예측조사 실시.(<표 2.59> 참조)

<표 2.58> 기술수요 조사방법

구분	내 용
조사기간 및 방법	1차 : 2월 8일 워크숍 (건설회관, 회의참석 작성) 2차 : 2011. 02. 8 ~ 2011. 02. 17 (e-mail 회신)
조사대상	○ 기획위원 대상 : 35명 - CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술분야 : 11명 - 에너지 저감형 고성능 건설재료 분야 : 10명 - CO ₂ 활용·처리·전환형 건설재료 기술분야 : 7인 - CO ₂ 관리 기술분야 : 7명 ○ 관련전문가(과제제안자) : 52명 총 87명 대상 기술예측조사 수행
조사항목	기술의 중요도, 기술적/사회·경제적 실현시기, 기술획득방식, 정부개입의 필요성, 국내기술수준

1) Mimi delphi : 조사시간의 단축을 위하여 기존 4차까지 진행하는 방식을 2차로 축소하여 진행하는 방식, 1차, 2차 조사대상자는 반드시 동일해야 함.

〈표 2.59〉 기술예측조사서 1차, 2차 양식

번호	예측 기술명	예측기술 설명	응답 자 전문 도 (대/중/소)	우리 나라 에서 의 중요 도 (대/중/소)	실현시기(○년후)				기술획득방식 (V로 표기)				정부 개입 의 필요 성 (1점 (낮음) ~5점 (높음))
					기술적 실현		사회 경제적 실현		자체개발			기술 도입 및 국제 협력	
					세 계	국 내	세 계	국 내	민간 주도	정부 주도	정부 민간 공동		
1													
2													

번호	예측 기술 명	예측 기술 설명	실현시기 (연도단위)																
			기술적 실현						사회 경제적 실현										
			세계			국내			세계			국내							
			1차집계 결과			1차 본 인 응 답	2차 본 인 응 답	1차집계 결과			1차 본 인 응 답	2차 본 인 응 답	1차집계 결과			1차 본 인 응 답	2차 본인 응답		
			Q_L	M	Q_u			Q_L	M	Q_u			Q_L	M	Q_u			Q_L	M
1																			
2																			

다. 결과 및 분석

(1) 결과

- 기술예측조사 결과는 기술적 실현시기, 사회적 실현시기, 기술획득방식 및 정부개입의 필요성 등에 대하여 분석하였으며, 예측조사결과는 <표 2.60>과 같음.

(2) 분석

㉠ 기술적 실현시기

- “탄소저감형 건설재료”의 전체적인 기술실현 시기는 해외의 경우, 전체 79개 과제 중 2014년에 실현 예측기술이 38개로 가장 많았고, 다음은 38개 과제가 2015년 실현 예측기술로 나타남.
- 국내의 기술적 실현시기는 전체 79개 과제 중 2017년 실현예측 과제가 52개로 가장 많았고, 다음으로 2018년 13개과제가 실현예측한 것으로 나타남.

※ 전체적으로 기술실현 시기는 국외의 경우, 국내보다 평균 3년 빠른 것으로 나타남.

〈표 2.60〉 탄소저감형 건설재료의 기술적 실현시기 예측결과

(단위 : 건수)

구분			2014	2015	2016	2017	2018	합계
기술적 실현시기	해외	과제 수	38	36	5	0	0	79
		비중(%)	48.1	45.6	6.3	0.0	0.0	100
	국내	과제 수	0	0	12	52	13	77
		비중(%)	0.0	0.0	15.6	67.5	16.9	100

- 기술분야별 국내의 기술실현 예측시기는 “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야의 경우, 전체 23개의 과제 중 해외의 경우, 가장 많은 13개의 과제가 2014년에 실현될 것으로 예측되었고, 국내는 가장 많은 17개의 과제가 2017년에 실현될 것으로 예측되어 **국내와 해외의 기술실현차이는 3년으로 조사됨.**
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야는 전체 10개의 과제중 해외의 경우, 가장 많은 7개의 과제가 2014년에 실현되는 것으로 예측되었고, 국내는 가장 많은 7개의 과제가 2018년에 실현될 것으로 예측되어 **국내와 해외의 기술실현시기의 차이는 3년으로 조사됨.**
- “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야는 전체 31개의 과제중 해외의 경우, 가장 많은 18개의 과제가 2015년에 실현되는 것으로 예측되었고 국내는 가장 많은 21개의 과제가 2017년 실현되는 것으로 예측되어 **국내와 해외의 기술실현차이는 2년으로 조사됨.**
- “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야는 전체 15개의 과제중 해외의 경우, 가장 많은 4개의 과제가 2014년 실현될 것으로 예측되었으며, 국내는 가장 많은 3개의 과제가 2017년 실현될 것이라고 예측되어 **국내와 해외의 기술실현차이는 3년으로 조사됨.**
- 기타 분야는 전체 11개의 과제중 해외의 경우, 가장 많은 6개의 과제가 2015년 실현될 것으로 예측되었으며, 국내는 가장 많은 10개의 과제가 2016년 실현될 것이라고 예측되어 **국내와 해외의 기술실현차이는 1년으로 조사됨.**
- 전반적으로 기술실현시기는 현재 2011년을 기준으로 대부분 3년~6년 이내 기술실현이 가능한 것으로 분석됨.

〈표 2.61〉 탄소저감형 건설재료의 기술적 실현시기

구분			2014	2015	2016	2017	2018	합계
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	해외	과제 수	13	9	1	0	0	23
		비중	56.5	39.1	4.4	0.0	0.0	100
	국내	과제 수	0	0	4	17	2	23
		비중	0.0	0.0	17.4	73.9	8.7	100
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	해외	과제 수	7	3	0	0	0	10
		비중	70.0	30.0	0.0	0.0	0.0	100
	국내	과제 수	0	0	0	1	7	8
		비중	0.0	0.0	0.0	12.5	87.5	100
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	해외	과제 수	10	18	3	0	0	31
		비중	32.3	58.0	9.7	0.0	0.0	100
	국내	과제 수	0	0	6	21	4	31
		비중	0.0	0.0	19.4	67.7	12.9	100
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책 기술	해외	과제 수	4	0	0	0	0	4
		비중	100	0.0	0.0	0.0	0.0	100
	국내	과제 수	0	0	1	3	0	4
		비중	0.0	0.0	25.0	75.0	0.0	100
기타	해외	과제 수	4	6	1	0	0	11
		비중	36.4	54.5	9.1	0.0	0.0	100
	국내	과제 수	0	0	1	10	0	11
		비중	0.0	0.0	9.1	90.9	0.0	100

- 해외의 기술실현시기는 모두 국내보다 이른 것으로 나타났으며, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야가 타 분야보다 기술실현시기 차이가 가장 큰 것으로 나타났으나, 대부분 시기상 차이는 크지 않아 3~4년 기간 차이로 분석됨.

구분		2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	국외					
	국내					
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	국외					
	국내					
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	국외					
	국내					
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책 기술	국외					
	국내					
기타	국외					
	국내					

[그림 2.74] 기술분야별 실현시기

(나) 사회·경제적 실현시기

- ‘탄소저감형 건설재료’ 전체의 사회·경제적 실현시기는 해외의 경우, 전체 79개 과제 중 2016년에 실현 예측기술이 55개로 가장 많았고, 다음은 2015년 실현될 것이라고 예측한 기술이 12개로 나타남.
- 국내의 기술적 실현시기는 전체 79개 과제중 2019년 실현예측 과제가 30개로 가장 많았고, 다음은 2018년 실현 예측기술이 22개로 나타났음.
- 전체적으로 사회·경제적 실현시기는 해외의 경우, 국내보다 3년 빠른 것으로 나타나 기술적 실현시기의 차이인 2년보다 1년 더 소요되는 것으로 파악.

〈표 2.62〉 탄소저감형 건설재료의 사회·경제적 실현시기

(단위 : 건수, %)

사회·경제적 실현시기		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	합계
해외	과제 수	1	12	55	11	0	0	0	79
	비중	1.3	15.2	69.6	13.9	0.0	0.0	0.0	100
국내	과제 수	0	0	0	4	22	30	23	79
	비중	0.0	0.0	0.0	5.1	27.8	38.0	29.1	100

- 기술분야별 국내의 사회·경제적 실현예측 시기는 “CO₂ 배출저감형 건설재료”의 경우, 전체 23개의 과제중 해외의 경우, 가장 많은 16개의 과제가 2016년에 실현될 것으로 예측되었고, 국내는 17개의 과제가 2018년에 실현될 것으로 예측되어 **실현 시기의 차이는 2년으로 분석됨.**
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야는 전체 10개의 과제중 해외의 경우, 모든 과제가 모두 2016년에 실현되는 것으로 예측되었고, 국내는 2019~2020년에 실현될 것으로 예측되어 **실현시기 차이는 3.5년으로 분석됨.**
- “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야는 전체 31개의 과제중 해외의 경우, 가장 많은 23개의 과제가 2016년에 실현되는 것으로 예측되었고 국내는 가장 많은 15개의 과제가 2020년 실현되는 것으로 예측되어 **4년의 실현시기의 차이가 있는 것으로 분석됨.**
- “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야는 전체 4개의 과제중 해외의 경우, 가장 많은 3개의 과제가 2015년 실현될 것으로 예측되었으며, 국내는 가장 많은 2개의 과제가 2019년 실현될 것이라고 예측되어 **실현시기의 차이는 4년으로 분석되었음.**

〈표 2.63〉 분야별 사회·경제적 실현시기

(단위 : 건수, %)

사회·경제적 실현시기			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	합계
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	해외	과제수	0	3	16	4	0	0	0	23
		비중	0.0	13.0	69.6	17.4	0.0	0.0	0.0	100
	국내	과제수	0	0	0	4	17	2	0	23
		비중	0.0	0.0	0.0	17.4	73.9	8.7	0.0	100
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	해외	과제수	0	0	10	0	0	0	0	10
		비중	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
	국내	과제수	0	0	0	0	0	5	5	10
		비중	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	50.0	100
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	해외	과제수	1	4	23	3	0	0	0	31
		비중	3.2	12.9	74.2	9.7	0.0	0.0	0.0	100
	국내	과제수	0	0	0	0	2	14	15	31
		비중	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	45.1	48.4	100
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책 기술	해외	과제수	0	3	1	0	0	0	0	4
		비중	0.0	75.0	25.0	0	0.0	0.0	0.0	100
	국내	과제수	0	0	0	0	1	2	1	4
		비중	0.0	0	0	0	25.0	50.0	25.0	100
기타	해외	과제수	0	2	5	4	0	0	0	11
		비중	0.0	18.2	45.5	36.4	0.0	0.0	0.0	100.1
	국내	과제수	0	0	0	0	2	7	2	11
		비중	0.0	0	0	0	18.2	63.6	18.2	100

- 기타 분야는 전체 11개의 과제중 해외의 경우, 가장 많은 5개의 과제가 2016년 실현될 것으로 예측되었으며, 국내는 가장 많은 7개의 과제가 2019년 실현될 것이라고 예측되어 **실현시기의 차이가 3년인 것으로 분석됨.**
- 전반적으로 사회·경제적 실현시기는 2011년을 기준으로 대부분 4년~8.5년 이내 실현이 가능한 것으로 조사되었음.
- 해외의 기술실현시기는 모두 국내보다 이른 것으로 나타났으며, “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야가 타 기술분야보다 국내외 실현시기 차이가 가장 큰 것으로 나타남. 그러나 **대부분의 그 차이는 크지 않아 3~4년의 기간에 집중되어 있어 큰 차이는 없는 것으로 분석됨.**

구분		2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	국외							
	국내							
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	국외							
	국내							
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	국외							
	국내							
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책 기술	국외							
	국내							
기타	국외							
	국내							

[그림 2.75] 사회·경제적 실현시기

(㉔) 기술획득 방식 및 정부개입의 필요성

- “탄소저감형 건설재료”의 기술획득 방식은 전체적으로 민간주도와 정부/민간 공동으로 기술개발이 필요한 것으로 조사됨.
- 정부개입의 필요성은 “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야의 경우가 가장 높았으며, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야가 그 다음으로 35.3%로 파악됨.

<표 2.64> 기술획득 방식

(단위 : %)

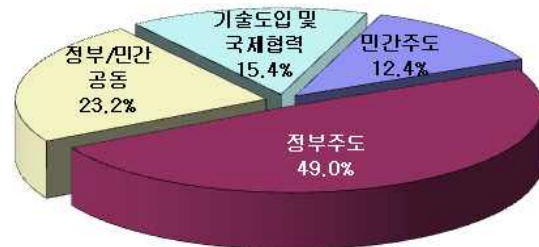
구분	기술획득 방식				정부개입의 필요성
	민간주도	정부주도	정부/민간 공동	기술도입 및 국제협력	
전체	31.1	24.5	29.4	15.0	41.2
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	6.9	31.3	46.9	14.9	46.0
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	12.4	49.0	23.2	15.4	69.0
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	31.7	3.3	30.8	34.2	33.0
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책 기술	31.0	35.3	28.6	5.1	34.0
기타	73.4	3.7	17.5	5.4	24.0

- “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술분야는 정부/민간 공동이 46.9%로 가장 높았으며, “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술분야는 정부주도가 49.0%로 가장 높았음. “에너지 저감형 고성능 건설재료” 기술분야는 민간주도 또는 기술도입이 주

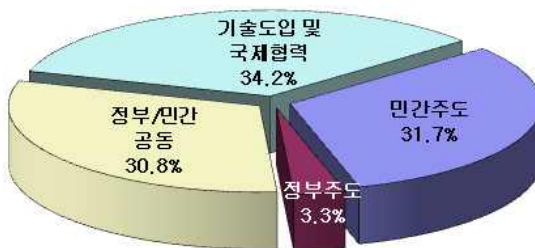
도하는 방식이 가장 높게 나타남. “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책” 기술분야는 정부주도가 35.3%로서 가장 높았음. 기타 분야는 민간주도 방식이 75.0%로서 가장 높게 나타나 민간기술 개발방식이 현실적 대안으로 분석됨.



〈분야 1, CO₂ 배출저감형 건설재료 기술〉



〈분야 2, CO₂ 활용·처리 건설재료 기술〉



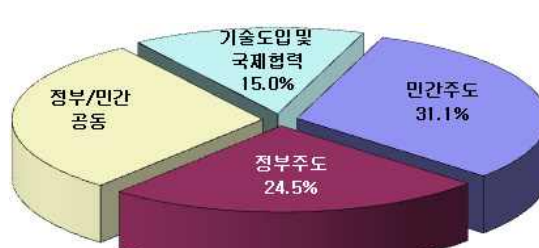
〈분야 3, 에너지 저감형 고성능 건설재료 기술〉



〈분야 4, 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책 기술〉



〈분야 5, 기타 기술분야 - 환경부하 저감형 소재 및 자재기술〉



〈전체〉

[그림 2.76] 기술획득방식

□ 기술예측조사

- Mini-delphi 방법을 이용, 기술예측조사 수행, “탄소저감형 건설재료”의 기술실현 시기는 국외 2014년~2016년, 국내 2016년~2018년으로 국내가 2~3년 늦게 실현 예측.
- 사회·경제적 실현시기는 국외 2014년~2017년, 국내 2017년~2020년 실현 예측, 전체적으로 국내의 경우 국외보다 2~4년 늦게 실현 예측.
- 기술획득방식은 “CO₂ 배출저감형 건설재료”기술이 정부/민간공동추진, “CO₂ 활용·처리 건설재료”기술은 정부주도, “에너지 저감형 고성능 건설재료”기술은 민간주도 또는 기술도입·국제협력, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책”기술은 정부주도의 기술개발 추진 필요 분석.

4절. 기술개발 방향설정

1. 분석결과 종합

가. STEEP 분석

(1) 목적

- 산업내 경쟁력에 영향을 끼칠 수 있는 거시적 환경요인을 파악하여 기술개발방향 설정을 위한 프레임워크 제시를 목적으로 함

(2) 방법

- “탄소저감형 건설재료”의 경쟁력에 영향을 끼치는 인자로써 5종류의 거시적 환경요인(사회적 요인, 기술적 요인, 경제적 요인, 환경적 요인, 정치적 요인)을 국내외 동향 및 환경분석을 통해 분석된 내용에 대해 각각 시사점을 분석

(3) 결과 및 분석

- 국내외 동향 및 환경분석을 바탕으로 수행한 STEEP 분석결과 시사점은 다음과 같음.

㉠ 사회문화적(Social) 시사점

① 지속가능한 건설산업의 사회적 요구와 건설재료의 역할증대

- 지속가능한 소비 및 생산(Sustainable Consumption & Production)을 위한 건설산업 체계구축을 위한 건설재료 부문의 역할요구.

② 에너지·자원절약으로 대표되는 친환경 건설재료·자재의 공급 필요성 증대

- 에너지 저감, 자원절약(재활용)을 포함한 친환경 건설재료·자재의 생산과 공급을 위한 사회적 준비요구
※ 환경에 대한 인간의 영향을 인식하여 건설재료·자재의 친환경성 중요도 증가

③ 건설산업에서의 Total CO₂ 배출저감의 사회적 요구와 인식확산

- 국제적으로 온실가스 저감과 자원절약은 커다란 사회적 요구로 대두되며 건설산업에서 CO₂ 저감노력 요구가 증대되고 동일한 인식이 확산됨.

④ 생활패턴 변화에 부응하는 새로운 기능과 성능제고 요청

- 수요자의 새로운 기능성 재료·소재·제품·부품의 요구수요 증대(ex, 난연 단열

재, 조습형 내장재, 천연소재 마감재 등).

- 성능이 제고된 우수한 건설재료 요구 증대(ex, 고성능 강재, 접합재료, 수퍼콘크리트 등).

(나) 기술적(Technological) 시사점

① 에너지 저감형 건설재료 및 시스템 기술공급 요구확산

- 고유가와 CO₂ 저감의 주요 해결방안으로 단열재, 창호, 열전재료 등 신개념·첨단의 에너지저감 관련 건설재료 시스템 기술에 주목.

※ 열전재료 시스템, 스마트창호, 열차폐도료, 에어로겔 단열 등

② 자원재활용이 가능한 건설재료·자재 기술의 공급

- 산업부산물(슬래그, 애쉬 등) 및 건설폐기물(순환골재)등 재활용 가능자원의 대량 활용 기술개발로 자원절약 기술공급 및 확산요구

③ CO₂ 대량배출(시멘트, 철강, 발전 등) 건설재료의 CO₂ 배출저감 기술대응

- 주요건설재료인 시멘트, 철강의 CO₂ 대량 배출저감 시급.

※ 생산공정 및 재료기술(대체자원 등)의 공급 필요.

④ CO₂ 활용·처리 연계기술 가능성

- 제철소 및 발전소 발생 산업부산물, 건설폐기물을 대상으로 CO₂를 활용·처리하여 건설재료·자재차원에서 CO₂ 순환 시스템 구축필요.

※ CO₂ 활용·처리기술은 특허분석 및 국내외 기술수준 비교결과 세계 1위의 원천기술 확보 가능.

⑤ 건설재료·자재의 고성능·첨단화 기술공급

- 토목, 건축구조물의 거대화, 고층화 및 이에 부응하는 에너지 저감형 고성능 건설재료·자재 개발과 활용기술 요구증대.

- 타 산업과의 융합을 통한 혁신적인 고성능 건설재료·자재 기술공급 필요.

⑥ LCCO₂ 관리기술의 선진화·정책촉진

- 건설재료·자재의 Total CO₂ 관리 체제 선진화 기술수요증대.

(㉔) 경제적(Economic) 시사점

① 새로운 기능과 경제성이 공존하는 건설재료·자재 필요

- 신기능·건설재료·자재의 개발에 따른 비용증대로 경제성 고려시 사용 불가사례 발생.

※ 적정수준의 기능성과 경제성을 동시에 만족하는 건설재료·자재의 개발 필요

② 건설재료·자재의 Life cycle Total 비용으로의 평가 변화

- 건설재료·자재의 단순제조원가에 기인한 경제성 분석에서 성능, 가격, 사용연한을 모두 고려한 LCC(Life Cycle Cost)에 의한 평가변화.

③ 대체재료 사용 및 에너지 saving에 따른 원가절감효과 기대

- 시멘트 대체재료 시장확대 예상.
- 환경부하저감 및 건설비용 절감요구 충족 필요.
- 산업부산물 증가로 인한 잉여 산업부산물의 활용기술 요구.

(㉕) 환경적(Environmental) 시사점

① 종합적인 건설재료 CO₂ 관리로 환경부하의 저감 극대화

- 건설재료의 원료의 채취와 생산, 사용 및 재활용, 폐기에 이르기까지 환경문제를 종합적으로 관리측면과 기술측면의 환경평가 변화.

② 생산중심의 건설산업에서 환경배려 및 자원순환 중심으로 변화

- 산업폐기물 이용 활성화에 따른 환경부하 저감.
- 건설/산업폐기물 및 산업부산물의 이용 후 거주 및 환경영향 평가요구.

③ 사용자 주변환경과 지구적 환경을 동시에 고려

※ 친환경을 고려한 지속가능한 개발, 건강, 안전 등에 대한 관심 고조.

(㉖) 정책적/법적(Political) 시사점

① 세계 주요국은 중·장기 온실가스 감축목표 설정·배출저감 추진

※ 영국('50년까지 '90년 대비 80% 삭감), 미국('25년부터 배출량 감소시작)

※ 일본은 '50년까지 현재 대비 60~80%, '20년까지 '05년 대비 15% 감축

※ 국내의 경우, 2020년 BAU -30%(건설, -31% 목표설정 추진).

② 탄소라벨링 등 CO₂ 배출저감의 제조·정책 시행

- 국내의 통합형 녹색도시 개발기준 추진중임을 고려한 기술대응
※ 세계적으로 탄소라벨링제도를 통한 건설부문 CO₂저감 유도정책 추진.

③ 환경규제와 관련된 정책 및 법률은 사후관리(end-of-pipe)에서 전과정(life cycle)적 관점으로 전환

- ※ 국제적으로 지속가능한 소비와 생산을 위한 각종 협력체계와 표준이 제정되어 온실가스 대응 및 환경문제에 대한 정책이 지속가능성을 근간으로 진행될 것임.

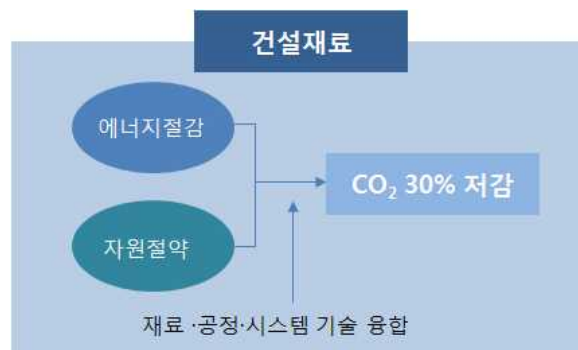
④ 지구차원의 저탄소 녹색성장 기조유지 예상

- 향후 지속적으로 저탄소·저에너지를 기반으로 한 녹색성장 정책유지 예상.

사회문화적 시사점	- 에너지·자원절약으로 대표되는 친환경 건설재료·자재 공급 필요 - 건설산업에서 Total CO₂ 배출저감의 사회적 요구와 인식확산
기술적 시사점	- 에너지 저감, 고성능 첨단 건설재료 및 시스템 기술 요구확산 - CO₂ 대량배출(시멘트, 철강, 발전 등) 건설재료의 CO₂ 배출저감 - 건설재료의 CO₂ 활용 연계기술 가능성
경제적 시사점	- 건설재료·자재의 Life cycle total 비용으로의 평가 변화 - 대체재료 사용 및 에너지 saving에 따른 원가절감효과 기대
환경적 시사점	- 종합적인 건설재료 CO₂ 관리로 환경부하의 저감 극대화 - 생산중심의 건설산업에서 환경배려 및 자원순환 중심으로 변화
정책적/법적 시사점	- 세계 주요국은 중·장기 온실가스 감축목표 설정·배출저감 추진 - 탄소라벨링 등 CO₂ 배출저감의 제조·정책 시행

(바) 시사점의 종합검토

- 에너지절약, 자원절감이 포함된 건설재료·자재 산업부문의 탄소저감 노력으로 집중 필요.(국가 CO₂ 배출·저감 2020년 BAU -30% 정책 부응 최우선 고려)



- “CO₂ 활용·처리 건설재료”분야는 국내외 공통적으로 기술개발 초기단계로서 세계 1위의 원천기술 확보가 가능할 것으로 예상
- 새로운 기능과 첨단의 건설소재 또는 시스템기술 공급필요
 - ※ 열전재료, CO₂ 활용·처리, CO₂ negative cement 등 첨단형 건설재료 시스템의 **신성장 동력화의 적극고려 필요**
- 사회, 경제, 정책, 기술 등 모든 분야를 종합할 때 건설재료·자재분야의 탄소저감 기술개발의 필요성과 합리적 전략추진이 가능하며 시대적 요구에 당면함.
- “CO₂ 활용·처리 건설재료”분야는 국내외 공통적으로 기술개발 초기단계로서 세계 1위의 원천기술 확보가 가능할 것으로 예상
- 새로운 기능과 첨단의 건설소재 또는 시스템기술 공급필요
 - ※ 열전재료, CO₂ 활용·처리, CO₂ negative cement 등 첨단형 건설재료 시스템의 **신성장 동력화의 적극고려 필요**

나. 5 Forces 분석

(1) 목적

- 마이클포터의 5 forces 분석방법에서 정의한 산업 매력도를 결정하는 5가지 경쟁요인에 대한 평가를 통하여 기술개발전략 수립의 기초자료 활용을 목적으로 함.

(2) 방법

- [그림 2.77]의 5가지의 평가항목과 각 항목별 결정요인에 대한 강도를 5점 단위로 표시하도록 설문지를 작성하여 설문수행.



[그림 2.77] 5 force 분석 항목

- 설문대상은 기획위원 및 외부전문가 중 기업체 소속 대상으로 20명에게 e-mail 발송.

<표 2.65> 산업환경분석(5 Forces) 설문서 양식

결정요인	검토사항	매우 아니다 1					보통 3					매우 그렇다 5				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
규모의 경제	기술개발의 성패가 연구비 규모에 영향을 받는가?	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
기술의 차별성	경쟁자에 의한 모방이 용이하여 제품차별화가 어려운가?	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
소요자본	사업화 및 R&D를 위한 초기투자비용이 높은가?	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
비용우위	기술개발 시 원가우위를 확보하기 위한 난이도가 높은 편인가?	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
정부정책	정부의 정책 상 기술개발참여에 대한 규제는가 심한 편인가?	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()	()
경쟁강도 종합																

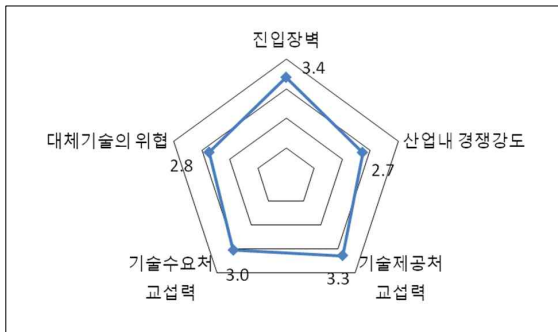
(3) 결과 및 분석

- 발송한 e-mail중 회신 대상은 총 16명이며, 회신결과는 <표 2.66>과 같음.

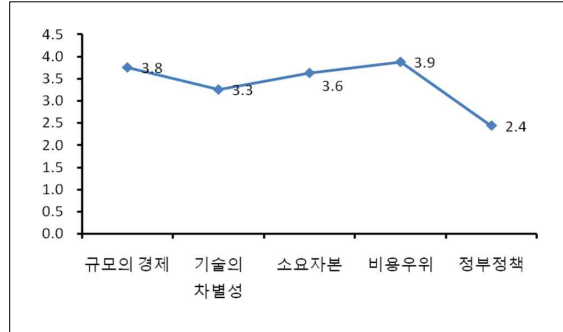
〈표 2.66〉 5 force 조사결과

설문 대상	진입장벽 분석					산업내 경쟁강도			기술제공처 교섭력			기술수요처 교섭력			대체기술 위협		
	규모 의 경제	기술 의 차별 성	소요 자본	비용 우위	정부 정책	기술 유체	기술 의 차별 성	전환 비용	기술 의 적용 범위	대체 기술 유무	교체 비용	정보 유도	비용 감도	기술 노의 구체 성	대체 기술 의 시장 점유 수준	수요 처의 성향	대체 기술 성능
1	4	2	4	3	3	2	2	3	4	3	4	4	3	4	3	4	5
2	4	5	4	5	2	3	1	4	5	2	1	3	4	3	1	3	1
3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	2	3	3	2	3	4	4
4	3	4	4	3	2	2	2	4	4	2	2	3	4	3	3	3	3
5	4	3	3	4	2	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4	4
6	5	4	5	4	3	2	3	4	4	2	5	2	2	3	3	3	4
7	4	5	5	4	2	3	1	2	4	2	2	3	2	3	2	4	2
8	3	2	2	4	1	2	1	2	5	2	5	4	3	5	3	1	1
9	4	4	3	4	2	3	2	4	4	3	3	3	4	4	3	2	3
10	3	2	3	3	4	4	3	2	3	2	3	2	3	3	2	3	3
11	4	2	4	4	3	2	2	4	4	2	3	4	4	3	3	3	3
12	4	3	4	4	2	3	2	3	4	3	4	4	4	2	2	4	2
13	4	2	2	5	2	2	4	4	5	2	3	4	4	2	3	3	2
14	2	4	5	4	3	2	2	5	4	3	4	1	4	2	3	4	4
15	5	5	4	5	3	3	2	5	5	4	4	2	2	1	1	2	2
16	3	2	2	2	2	1	1	2	5	2	2	2	2	3	1	2	1
평균	3.8	3.3	3.6	3.9	2.4	2.5	2.2	3.5	4.2	2.5	3.1	3.0	3.3	2.9	2.4	3.1	2.8

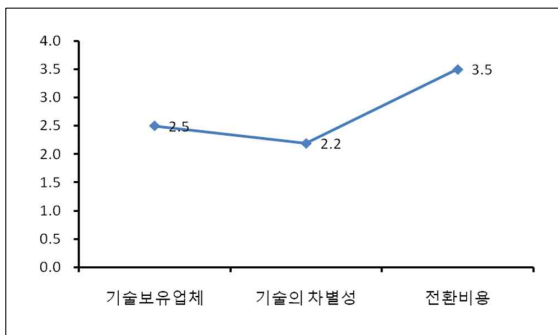
- 탄소저감형 건설재료의 5 force 분석결과, 진입장벽과 기술제공처 교섭력의 진입장벽은 다소 높으나, 대체기술의 위협과 산업내 경쟁강도, 기술수요처 교섭력은 평균 이하로 나타나 기술이 성공적으로 시장진입에 성공하기 위하여 진입장벽에 대한 대책마련과 기술개발에 주력이 필요한 것으로 나타남.
- 진입장벽분석에서는 연구비 규모의 문제, 원가우위 확보문제, 초기투자비용의 문제 등 전반적인 비용문제가 좌우하는 것으로 나타남.
- 산업내 경쟁강도분석은 기술의 전환비용이 가장 높게 나타나 기술개발 투자시 경제적 측면의 고려가 필요하며 및 향후 진입시장에 대해서도 철저한 분석하여 변경의 우려가 없도록 해야 함.
- 기술제공처의 교섭력에 대하여 기술의 국내시장 의존, 대체기술 가능성, 유사기술의 개발기술 교체비용을 분석한 결과, 국내기술의 적용범위와 관련된 기술의 교체비용 문제를 해결해야 할 것으로 분석됨.
- 기술수요처의 교섭력분석은 수요처의 기술원가의 변동에 대한 민감도가 매우 높은 것으로 나타나 경제성이 중요한 요인으로 나타남.
- 대체기술의 위협분석은 대체기술기술의 시장점유 수준이 높지 않고 그 성능도 높지는 않으나 수요처의 성향파악이 주요요인으로 나타남.



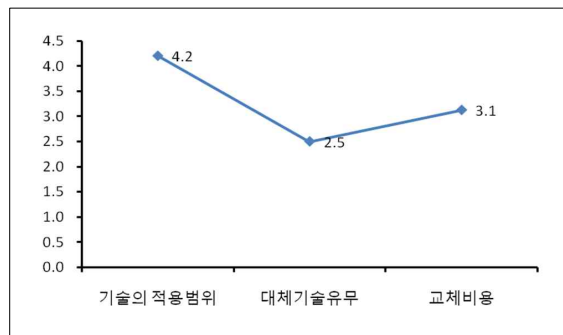
[그림 2.78] 5 Force 분석결과



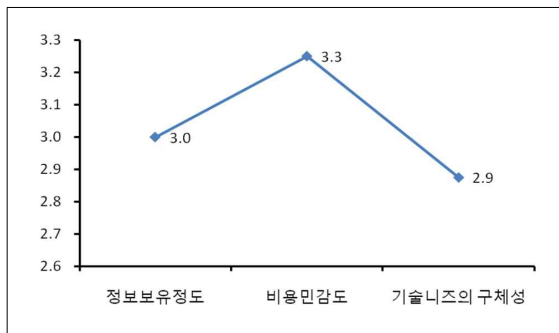
[그림 2.79] 진입장벽 분석



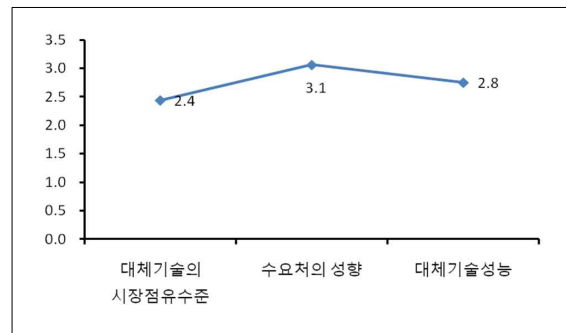
[그림 2.80] 산업내 경쟁강도 분석



[그림 2.81] 기술제공처의 교섭력 분석



[그림 2.82] 기술수요처의 교섭력 분석



[그림 2.83] 대체기술의 위협분석

(4) 시사점

- 진입장벽과 기술제공처 교섭력의 장벽은 다소 높으나, 대체기술의 위협과 산업내 경쟁강도, 기술수요처 교섭력은 평균 이하로 나타나 기술이 성공적으로 시장진입에 성공하기 위하여 **진입장벽에 대한 대책마련과 기술개발에 주력이 필요한 것으로 나타남.**
- 기술의 시장진입에 있어 **비용의 문제가 가장 큰 것으로 조사**되었으며, 이는 연구비용의 정확한 규모, 명확한 기술대상 시장의 선정, 가격경쟁력의 확보가 요구되는 것으로 분석됨.

다. SWOT 분석

(1) 목적

- 내부환경과 외부환경 요인을 명확히 분석하여 기술개발전략을 수립하기 위한 방향 제시를 목적으로 함.

(2) 방법

- 전문가 워크숍 개최('02년 2월 8일, 건설회관).
- 참석인원 기획위원 35명, 외부전문가 52명 총 87명 참석.
- Brain storming을 통한 강점, 약점, 기회, 위험요인 도출 후 각 요인별 전략수립 및 취합.

(3) 결과 및 분석

- SWOT 도출결과는 [그림 2.84]와 같음.

내 부 환 경 분 석	【 강 점(S) 】 - 국가차원의 온실가스 저감정책 및 자원 의지 - 건설분야 세계시장 진출확대로 인한 친환경 건설재료·자재시장확대 - 국내 건설사 중심의 건설재료·자재 활용에 의한 에너지 및 탄소저감 Test bed 가동 활성화 - 탄소저감 관련기술의 정부주도 지원강화	【 약 점(W) 】 - 탄소저감형 건설재료의 기술 실용화를 위한 기준 및 제도 마련 미흡 - 탄소저감형 건설재료 기술 상용화 및 세계 시장 마케팅 미흡 - <u>탄소발생과 건설산업과의 연계성 저조</u> - 첨단 건설재료 원천기술의 해외의존도 높음 - 건설재료의 요소기술 수준은 높으나 기술의 통합 연계시스템 미비
	【 기 회(O) 】 - 저탄소 녹색성장정책의 적극적 추진 - 전세계 탄소배출권 거래제 도입추진(탄소 시장 확대) - 친환경 건설재료기술 분야 R&D 투자 확대 - 건설재료·자재분야 탄소저감 필요성에 대한 인식제고 - <u>국내 대량 CO₂ 발생 건설재료·자재산업 및 수요산업 기술개발 적용의지 보유</u> - 에너지 비용부담 증가로 인한 저탄소 건설재료·자재의 중요성 부각 - 국내 건설시공기술의 세계진출 확대	【 위 험(T) 】 - 선진국과의 녹색건설 재료기술 경쟁 심화(개발기술 사업화 경쟁심화) - 선진국의 기술패권주의로 시장참여 기회 박탈 - 국내 건설경기 위축에 따른 건설재료·자재 관련 신기술 개발 추진동력 상실 - 선진국의 친환경 건설기술 장벽화 - 건설재료·자재관련 다국적 선진기업의 국내 진출 가능성 - 건설재료·자재 관련 원천기술 확보 실패시 기술 예측화



SO 전략	시너지 창출 전략 - 세계1위의 건설재료 · 자재 관련 원천 기술 확보 - 탄소저감형 건설재료 · 자재산업 구축 및 시장개척 - 탄소저감형 건설재료 · 자재관련 핵심기술의 조기상용화 기반구축 - <u>CO₂ 대량 발생 건설재료 · 자재의 focusing한 CO₂ 저감 전략 수립</u> - 글로벌 건설기업 활용 건설재료 · 자재 세계시장 진입전략 수립 추진 - 국가 정책적 지원에 의한 탄소저감형 건설재료 · 자재 핵심기술 보유기업 지원	WO 전략	보완전략 - 정부지원으로 탄소저감형 건설재료 실용화지원제도 구축 - 기술세계화를 위한 통합적 마케팅전략 지원시스템 마련 - <u>건설재료 · 자재의 활용증대를 목적으로 탄소발생산업의 부가적 연계 기술 수립</u> - 첨단건설재료 연구지원 전략체계 수립 - 개발 요소기술의 패키지화를 통한 기술의 통합화 추진(실증시설 구축 등) - 중복성 검토를 통한 과제 선정
	위험최소화 전략 - 해외 친환경재료기술 취약분야 중점추진 - 해외기관 연구협력 체제구축으로 탄소저감형 건설재료기술 세계화 대비 - 전문연구인력 보완 및 타 연구분야 기술융합체계 구축 - 탄소저감형 건설재료기술의 지속적 홍보 · 확산 - 탄소저감형 건설재료기술 수요업체와의 공동연구 추진 - 탄소저감형 건설재료기술의 저탄소 국내외 인증 추진 - 탄소저감형 건설재료기술의 탄소인증적 추진		위험극복전략 - 탄소저감형 건설재료기술 지적재산권의 주요 해외국 등록 - 해외연구기관 또는 업체와의 MOU 등 협력체계 구축 - 개발도상국으로의 관련기술 진출추진 - 산학연관 연계성 강화에 의한 실용화 조기기술 확보 - 건설재료 · 자재 시장 모니터링 및 정책 지원시스템 구축
ST 전략	위험최소화 전략 - 해외 친환경재료기술 취약분야 중점추진 - 해외기관 연구협력 체제구축으로 탄소저감형 건설재료기술 세계화 대비 - 전문연구인력 보완 및 타 연구분야 기술융합체계 구축 - 탄소저감형 건설재료기술의 지속적 홍보 · 확산 - 탄소저감형 건설재료기술 수요업체와의 공동연구 추진 - 탄소저감형 건설재료기술의 저탄소 국내외 인증 추진 - 탄소저감형 건설재료기술의 탄소인증적 추진	WT 전략	위험극복전략 - 탄소저감형 건설재료기술 지적재산권의 주요 해외국 등록 - 해외연구기관 또는 업체와의 MOU 등 협력체계 구축 - 개발도상국으로의 관련기술 진출추진 - 산학연관 연계성 강화에 의한 실용화 조기기술 확보 - 건설재료 · 자재 시장 모니터링 및 정책 지원시스템 구축

[그림 2.84] SWOT 분석·보완

(4) 시사점

- “탄소저감형 건설재료”의 지적재산권 강화 및 해외 연구기관 또는 관련 업체 등과의 협력체계가 필요한 것으로 판단됨.
- 대량 CO₂ 발생 건설재료 및 자재(시멘트, 철강 등)에 focusing한 탄소저감 전략수립 추진이 요구됨.
- 건설재료 및 자재의 활용기술개발을 주 목적으로 한 CO₂ 활용·처리기술과의 연계 추진이 필요함.
- 국내 저탄소 녹색성장 정책에 따른 “탄소저감형 건설재료”의 지원이 가능할 것으로 판단되나 건설재료·자재 시장진출을 위한 관련 기관의 체계적 준비 및 전략수립이 필요함.
- 세계적 기술개발을 위해서 산·학·연·관은 물론 타 분야 기술과의 융합을 위한 방안이 수립되어야 할 것임.

라. Keyword 도출

(1) 목적

- 사회, 기술, 경제, 환경, 정책적 동향분석 및 기술수요 및 예측조사 등의 분석내용을 대표하는 키워드를 도출함으로써 효과적인 기술개발전략 수립방향 제시를 목적으로 함.

(2) 방법

- 전문가 워크숍 개최('02년 2월 8일, 건설회관).
- 참석인원 기획위원 35명, 외부전문가 52명 총 87명 참석.
- Brain storming을 통한 사회, 기술, 경제, 환경, 정책적 환경을 고려한 키워드 도출.

(3) 결과 및 분석

- 국내의 동향 및 환경분석, 수요조사 및 기술예측조사 등을 통해 도출한 이슈별 keyword는 다음과 같이 분류됨.



[그림 2.85] Keyword 도출

마. Issue Tree 작성

(1) 목적

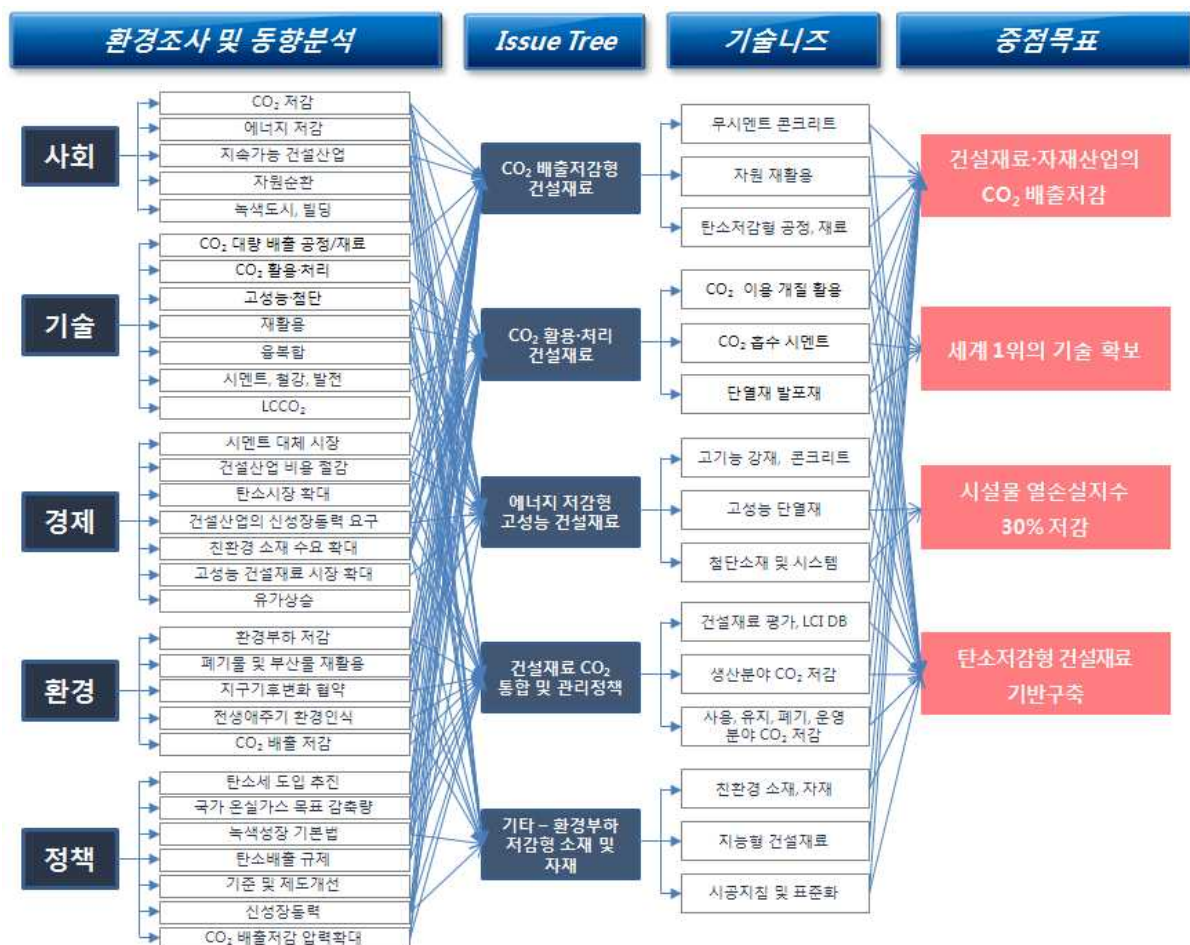
- 도출된 keyword를 이용, 조사분석의 frame work와 전략수립에 적합한 요소를 추출하고자 함.

(2) 방법

- 연구책임자 및 공동연구책임자, 분야별 기획위원회 등의 기획회의를 통하여 도출된 keyword로부터 이슈도출, 기술 니즈도출, 중점목표 도출 순으로 진행

(3) 결과 및 분석

- 도출된 이슈트리는 [그림 2.86]과 같이 5개의 이슈와 15개의 기술니즈, 4개의 중점목표가 도출됨.

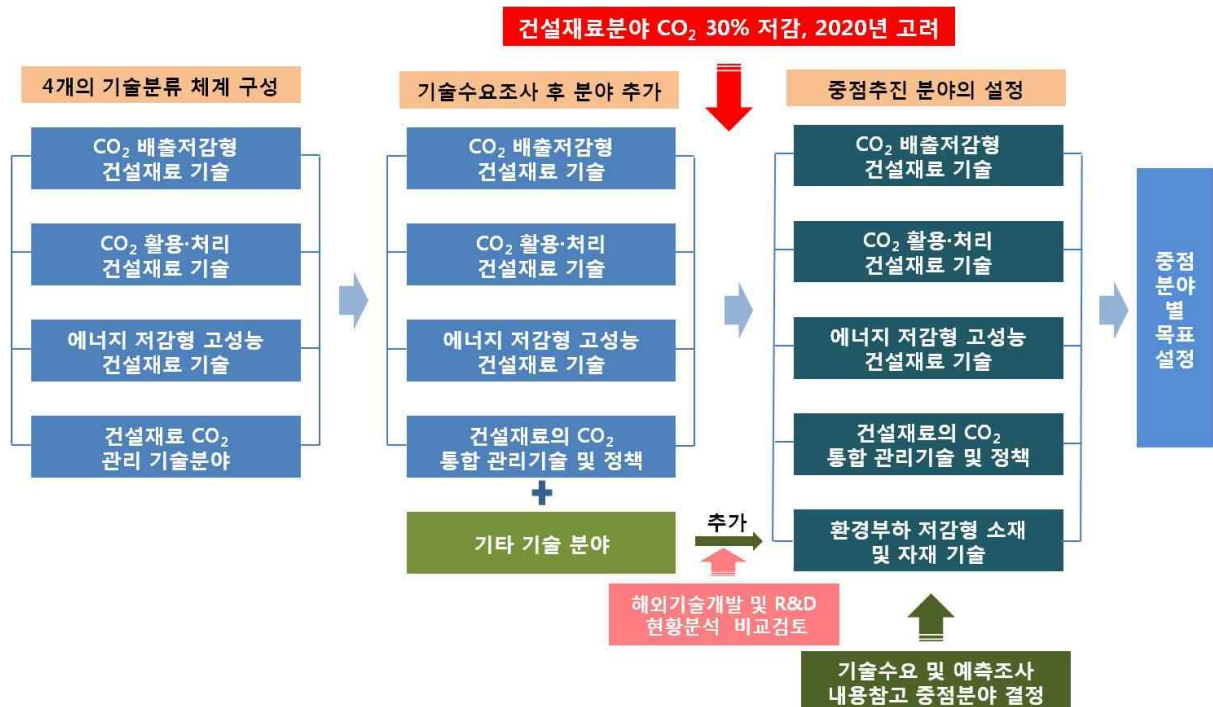


[그림 2.86] Issue Tree

2. 중점추진분야 설정

가. 중점추진분야

(1) 중점추진분야 설정과정



[그림 2.87] 중점추진분야 설정과정

- 기획초기 단계에서 “탄소저감형 건설재료”의 기술을 4개의 기술분야로 분류 (CO₂ 배출저감형 건설재료 기술, CO₂ 활용·처리 건설재료기술, 에너지 저감형 고성능 건설재료 기술, 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책기술).
- 기술수요조사(79건)과 국내외 R&D현황(총 69건)과 비교분석 실시.
 - ※ 수요조사과제와 국내외 연구방향과 내용의 부합성 확인(수요조사내용에 대부분 포함되며 세분화 경향)
- 기술수요조사와 국내외 R&D 내용을 중심으로 5개 기술분야로 재분류.(기타 - 환경부하 저감형 소재 및 자재기술분야 추가)
- 국가정책목표인 CO₂ BAU -30%, 2020를 고려하여 중점추진분야 명칭수정 (CO₂ 배출 - 처리 - 효율 - 관리 - 환경).
- 중점분야별 CO₂ 배출량, 세계1위 기술, 에너지저감 중점고려함.
 - ※ 국토해양 R&D 발전전략, 선진국 대비 녹색기술수준 61 → 90%, 세계1위 기술 2개 → 10개, / 글로벌 대표기업 1개 → 5개 고려.

(2) 중점추진 분야설정

- 기획목표에 따라 기술개발 목표 및 중점추진분야를 설정하고, 주요기술을 후보과제로서 다음과 같이 제시함.



[그림 2.88] 중점추진분야 및 후보과제

- 후보과제는 중점분야별 기 분류한 세부기술을 중심으로 배치함.

※ 단위연구사업 규모로 후보과제를 도출

(3) 중점추진분야 개요

(가) 중점추진분야 1 : CO₂ 배출저감형 건설재료

배경	- 주요 CO₂ 발생원인 시멘트(CO₂ 2위 배출분야)와 강재산업(CO₂ 3위 배출분야)의 CO₂ 배출저감 기술개발 시급. ※ 시멘트는 생산량이 약 5,000만톤/년 일정수준을 유지하고, 강재는 약 14조원의 시장규모 형성, CO₂ 발생은 지속되는 상황임. - 시멘트, 강재 등의 생산공정과 재료기술을 통한 CO₂ 배출저감 유도
목표	- 건설재료분야 CO ₂ 배출 저감
주요 내용 (후보과제 4건)	- 무(저)시멘트 콘크리트 제조 및 실용화 기술 - 친환경 Green Steel 제조 및 활용기술 - 무기계 순환자원을 이용한 건설재료 제조의 활용기술 - 시멘트 및 제품양생공정의 Low CO₂ 기술

(나) 중점추진분야 2 : CO₂ 활용·처리 건설재료

배경	- 새로운 기술분야로서 CO₂를 석탄회, 슬래그, 순환골재 등에 활용·처리 기술 주목. - CO₂의 적극적 부가가치 활용기술로서, CO₂ 반응 소재처리와 개질 후 건설재료 활용기술 포함. - 새로운 CO₂ 저장원뿐만 아니라 건설재료로서 활용기술 포함.
목표	- 세계 1위 원천기술 확보 (CO ₂ 활용 및 전환고정)
주요 내용 (후보과제 3건)	- 산업부산물 CO₂ 활용·처리기술 - 건설폐기물 CO₂ 활용·처리기술 - CO₂ 흡수전환형 시멘트·콘크리트 기술

(다) 중점추진분야 3 : 에너지 저감형 고성능 건설재료

배경	- 토목·건축 시설물의 고층화, 대형화 추세에 따른 고단열, 고내구성 등의 에너지·자원 절감 성능구현을 통하여 탄소저감과 자원절약 기술 제공 필요
목표	- 에너지 효율증대(열손실지수 30% 저감) 및 성능제고
주요 내용 (후보과제 7건)	- 고기능 강재 제조와 실용화 기술 - 슈퍼콘크리트 제조와 실용화 기술 - 고성능 단열재 및 건축물 외피 시스템 기술 - 열전재료의 제조와 활용시스템 구축기술 - 고성능 내화보드 제조 및 내화구조 상용화 기술 - 스마트창호 상용화 기술 - 고성능 열차폐 도료의 제조 및 활용기술

(라) 중점추진분야 4 : 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책

배경	- 토목·건축 시설물 등의 사용·설계·관리입장과 건설재료 및 자재산업에서 제조·시공·사용·폐기에 이르는 전생애주기의 CO₂ 관리 기술·정책 필요
목표	- 탄소저감형 건설재료 활용기반구축
주요 내용 (후보과제 3건)	- 건설재료 CO₂ 평가 및 LCI DB 관리기술 - 사용·유지관리 분야 CO₂ 저감기술 - 저탄소 건설자재 적용 확대를 위한 체계구축

(라) 중점추진분야 5 : 환경부하 저감형 소재 및 자재기술

배경	- 전세계적으로 친환경건설자재 시장은 2009년 96억\$에 달하며, 국내는 2.4조원으로 급속한 성장을 보이고 있음. - 지구온실가스 저감, 환경부하 저감형 소재 및 자재 활용, 재활용, 유해물질 제거 등 다양한 기술이 망라된 환경부하 저감형 건설재료의 제조 및 활용기술 제공.
목표	- 친환경 재료 생산기술 기반 탄소저감 실현
주요 내용 (후보과제 3건)	- 친환경 건설자재 상용화기술 - 지능형 건설재료 제조 및 활용기술 - 건설재료 및 자재의 시공지침 및 표준화기술

나. TRM 작성

목표	연도	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
건설재료분야 CO ₂ 배출 저감	CO ₂ 배출저감형 건설재료	무시멘트 콘크리트 제조 및 실용화 기술						
		친환경 Green steel 제조 및 활용기술						
		무기계 순환자원이용 건설재료 제조와 활용기술						
		시멘트 및 제품 양생공정의 Low CO ₂ 기술						
세계 1위 원천기술 확보	CO ₂ 활용·처리 건설재료	산업부산물 CO ₂ 활용·처리기술						
		건설폐기물 CO ₂ 활용·처리기술						
		CO ₂ 활용·처리형 시멘트 콘크리트 기술						
시설물 열손실지수 30% 저감	에너지 저감형 고성능 건설재료	고기능 강재 제조와 실용화 기술						
		수퍼콘크리트 제조와 실용화 기술						
		고성능 단열재 및 건축물 외피시스템기술						
		열전재료의 제조와 활용시스템 구축기술						
		고성능 내화보드 제조 및 내화구조 상용화						
		스마트 창호 상용화 기술						
		고성능 열차폐 도료의 제조 및 활용기술						
탄소저감형 건설재료 활용기반 구축	건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	건설재료 CO ₂ 평가 및 LCIDB 관리기술						
		사용·유지관리 분야 CO ₂ 저감 기술						
		저탄소 건설자재 적용 확대를 위한 체계구축						
친환경 재료 생산 및 융합기술 구축	환경부하 저감형 소재 및 자재	친환경 건설자재 상용화기술						
		지능형 건설재료 제조 및 활용기술						
		건설재료 및 자재의 시공지침 및 표준화기술						

[그림 2.89] 탄소저감형 건설재료 TRM

(1) 중점분야별 고려

- “건설재료 CO₂ 통합관리 및 정책”은 타 중점분야에 공통적인 평가와 지원이 가능한 분야로 모든 단계 및 분야와 깊은 연관성.
- CO₂ 배출저감형의 시멘트 및 강재분야는 공정과 재료기술이 통합되는 분야로 원천기술과 실용화 기간소요.
- 에너지저감형 고성능 분야와 환경부하 저감형 소재 및 자재분야는 세부기술별 고려 및 분리가 필요한 분야임.

(2) 세부기술별 기술특성 고려

- CO₂ 활용·처리는 원천기술 확보로 인한 소요기간 확보
- 건설재료·자재의 표준화 부문은 타 기술은 확보 이후 시행.

3. 중점추진분야별 기술발전단계

- 탄소저감형 건설재료의 기술발전단계는 다음의 5가지 중점분야별로 분류하고 각 중점분야별 과제수준으로 기술발전단계를 정리·제시함



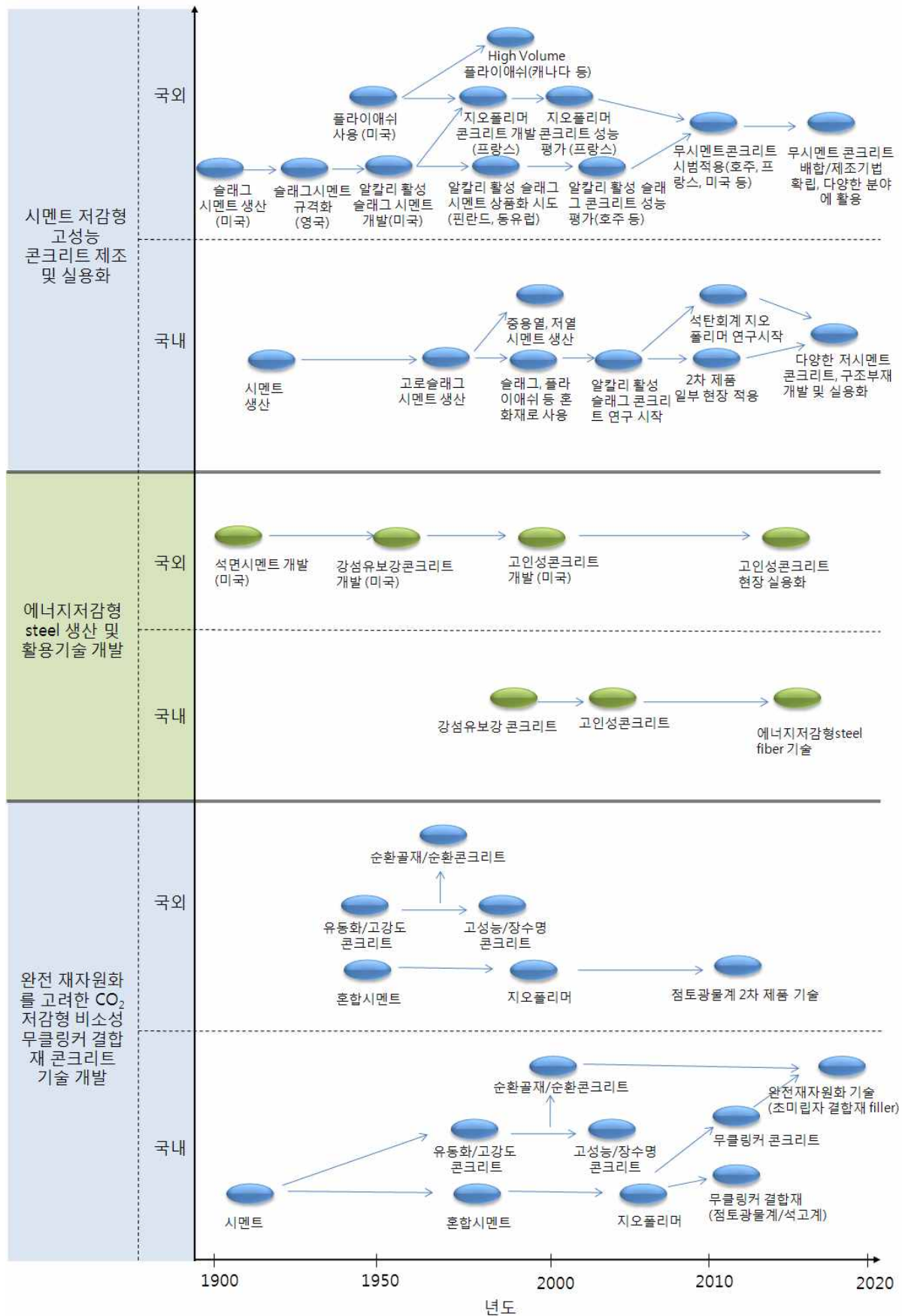
[그림 2.90] 중점분야 분류

가. “CO₂ 배출저감형 건설재료” 기술

- 시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제조 및 실용화**는 국외의 경우 슬래그, 플라이애쉬의 산업부산물을 활용한 시멘트를 제조하기 시작하여 현재 시멘트를 사용하지 않은 저시멘트 콘크리트를 시범적용하는 단계에 있음. 국내의 경우도 발전단계는 유사하나 지오폴리머 등 저시멘트콘크리트를 연구하는 수준에 있으며, **실용화 기술은 미진한 수준임**.
- 에너지 저감형 steel 생산 및 활용기술 개발**은 섬유보강콘크리트를 대상으로 하며 현재 국외의 경우 steel fiber를 사용한 고인성콘크리트의 다양한 현장적용이 이루어져 있고, 국내의 경우 시범적용 단계까지 도달하였음. 현재 **에너지저감형 steel fiber 생산 및 활용은 국내외에서 모두 아직 기술개발이 이루어지지 않은 새로운 영역**으로 국내에서 개발시 세계 최초로 진행되는 기술임.
- 전주기 환경부하 저감형 초고강도 철근 실용화 기술**은 보통강도 철근이 개발된 이후 고강도 철근과 부식저항철근이 개발, 현장에 적용되고 있으며, 국내에서는 외국보다 낮은 강도수준의 철근이 개발, 사용되고 선진국 수준의 고강도철근이 최근

개발되어 아직 현장에 적극적인 적용은 하지 못함.

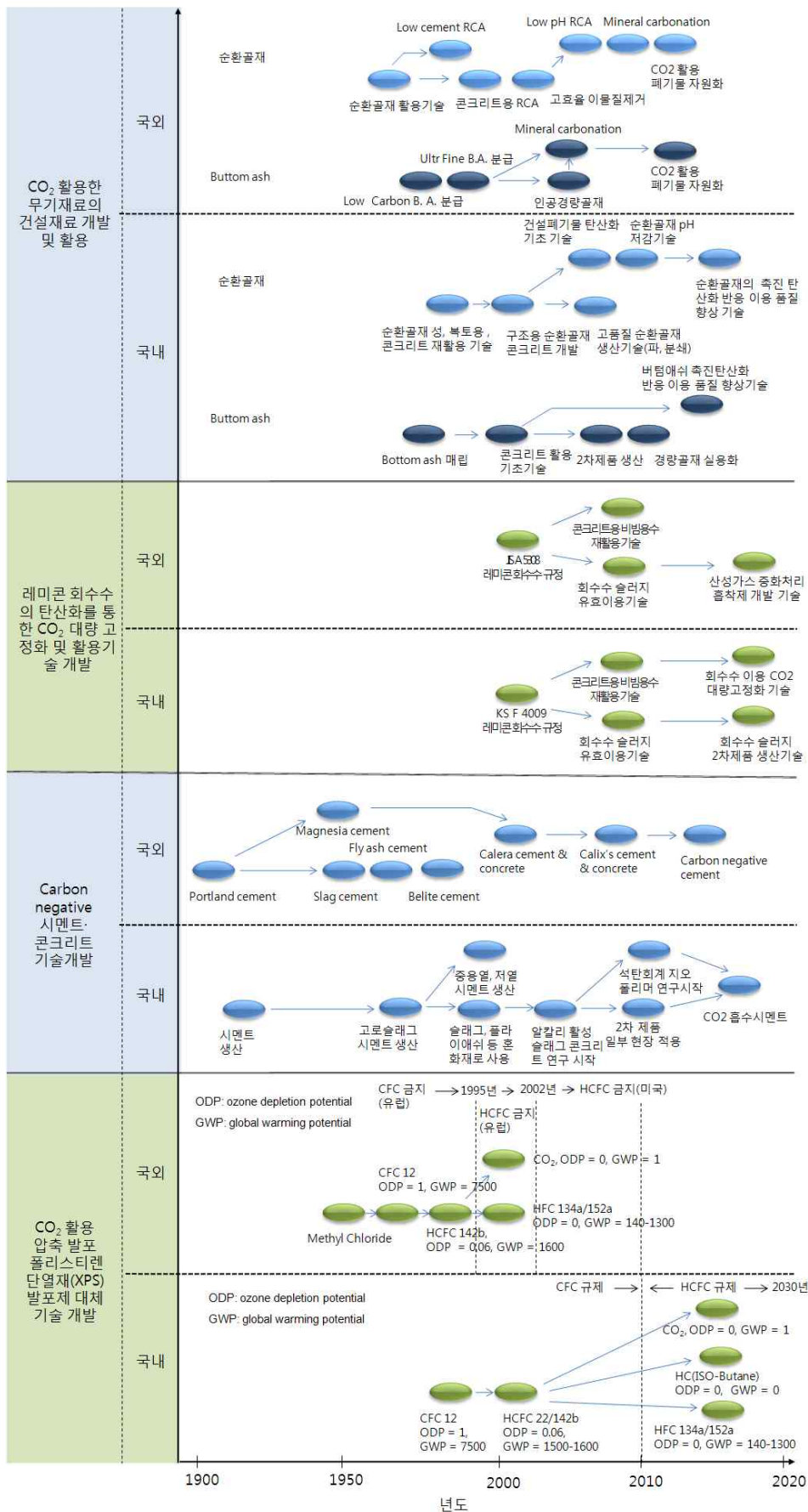
- **완전재자원화를 고려한 CO₂ 저감형 비소성 무클링커결합재 콘크리트 기술**은 시멘트를 사용하지 않은 저시멘트콘크리트 기술을 적용, 사용연한이 경과된 콘크리트를 다시 원료로 100% 재활용하는 기술로 국내외의 기존 무시멘트콘크리트기술과 유사하나, 완전재자원화를 위한 기술개발은 아직 이루어지지 않은 상황임.
- **미활용 무기계 순환자원 및 유·무기성 슬러지를 이용한 CO₂ Zero 기반 재자원화 기술 및 상용화 시스템**은 현재 슬러지의 고화를 위하여 시멘트를 사용, 복토재, 건설재료로 활용하는 기술이 개발되고 있으나, 고화제로 무기계 순환자원을 이용한 결합재를 개발, 이를 친환경 인공토양으로 활용하는 기술단계로 아직 국내에서 아직 기술개발이 이루어지지 않은 상황임.
- **광물질 미분말 및 입도분급 시멘트의 프리믹스에 의한 Low CO₂형 특수시멘트**는 기존에 중용열, 저열시멘트, 조강시멘트 등의 특수시멘트가 개발되었으나, 시멘트 공정단계에서 분급기술을 적용, 다양한 맞춤형의 CO₂ 저감 프리믹스 특수시멘트를 생산하는 기술로 개발되지 않은 상황임.



[그림 2.91] CO₂ 배출저감형 건설재료 기술의 기술발전단계

나. “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술

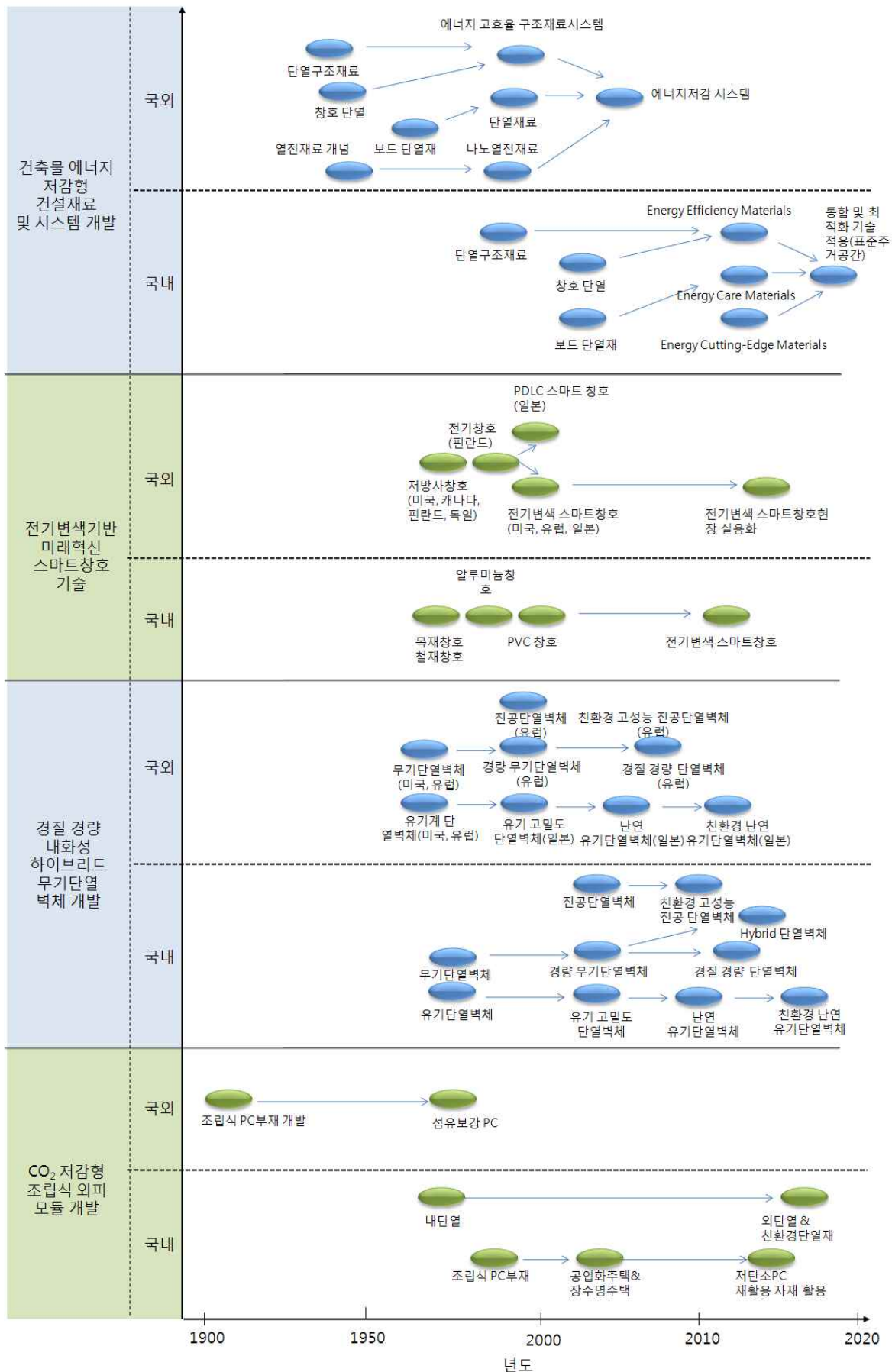
- CO₂ 활용·처리공정에 의한 무기재료의 건설재료 활용기술은 건설폐기물과 산업부산물 등을 대상으로 하며 국외에서는 건설공사용 골재 및 경량골재로 주로 개발이 시도되었으나 탄산화반응을 통한 건설재료로의 활용기술이 개발될 것으로 예상됨. 국내의 경우 순환골재 등의 pH 저감을 위한 탄산화기술, 버팀애쉬의 건설재료 활용기술이 검토되고 있는 상황으로 순환골재 및 버팀애쉬 등을 CO₂의 탄산화반응 생성물에 의한 밀실화로 개질(밀도증가 및 흡수율 저감) 및 안정화(pH 저감, 용출저감)된 건설재료(골재)의 생산·활용기술로서 새로운 기술산업분야로 발전이 예상되므로서 원천기술 확보가 필요함.
- Carbon Negative 시멘트·콘크리트 기술은 시멘트 생산기술이 CO₂를 저감하는 방향으로 발전하는 상황에서 새로운 소재를 사용, 생산단계 및 사용단계에서 CO₂를 저감 및 흡수하는 새로운 개념의 시멘트로 국외에서도 아직 개발단계에 있고, 국내에서는 시도되지 않은 신개념 기술임.
- 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술은 국내외 모두 콘크리트 비빔용수로 재활용하거나, 회수수 슬러지를 재활용하기 위한 기술개발 방향으로 진행되고 있으며, 슬러지의 중화처리기술개발이 현재 추진중임.
- CO₂ 활용 압축발포폴리스테렌 단열재(XPS) 발포제 대체기술은 국내에서 사용되는 CFC, HCFC가 온난화지수가 높아 온실가스 규제규약에 따라 사용이 금지되므로 선진국에서 활용하는 CO₂ 발포제 활용 등의 기술이 필요함.



[그림 2.92] CO₂ 활용 · 처리 건설재료의 기술발전단계

다. 에너지 저감형 고성능 건설재료 기술

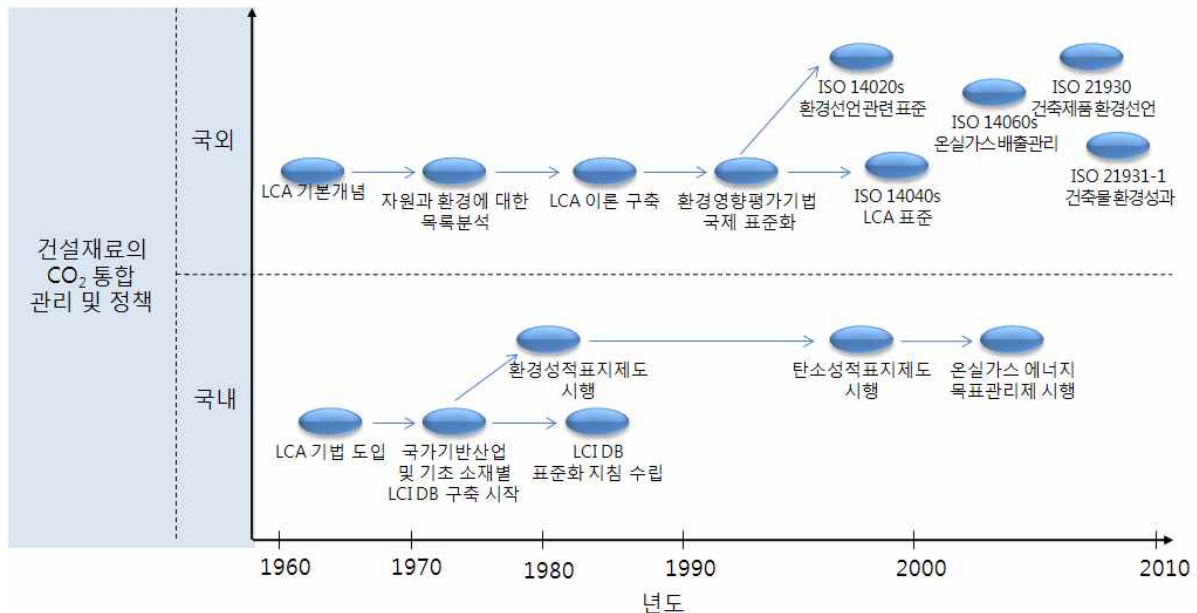
- 건축물 에너지 저감형 건설재료 및 시스템 개발 기술은 시설물에너지 저감을 위한 단열기술의 **package화**를 통한 단열성능 향상기술로 개별 기술의 개발단계가 다양하나 최적의 성능(시설물 열손실지수 30% 저감)을 발현하기 위한 코디네이션 시스템의 개발은 국내외 모두 필요한 상황임.
- 전기변색기반 미래혁신 스마트창호 기술은 국외의 경우 다양한 스마트창호가 개발, 실용화되고 있는 반면 국내에서는 아직 미진한 단계로 일반창호 수준에서 스마트창호의 개발을 진행하기 위한 초기단계임.
- 에너지절감형 도료 제조 및 실용화 기술은 국내의 경우 대부분 수요가 많은 기능성도료 개발에 집중되어 있어 국내 관련 보유기술이 다양하지 못하며, **외국기술을 수입하는 상황으로 기술 독립화를 위해 개발이 필요한 상황임.**
- 경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발기술은 일반 단열재 기술은 국내외 수준이 유사하고, 단열성 이외의 안전을 위한 불연성이 기본적으로 요구됨에 따라 하이브리드 단열재의 개발이 필요한 단계임.
- **CO₂ 저감형 조립식 외피모듈 개발 기술**은 PC 기술을 의미하며, 성능향상을 위한 섬유보강 PC가 개발되어 주된 기술로 활용되어 왔으나, 탄소저감 및 에너지 저감 정책에 따라 **에너지효율이 우수한 PC 시스템의 개발이 요구되는 상황임.**



[그림 2.93] 에너지 저감형 고성능 건설재료의 기술발전단계

라. 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책

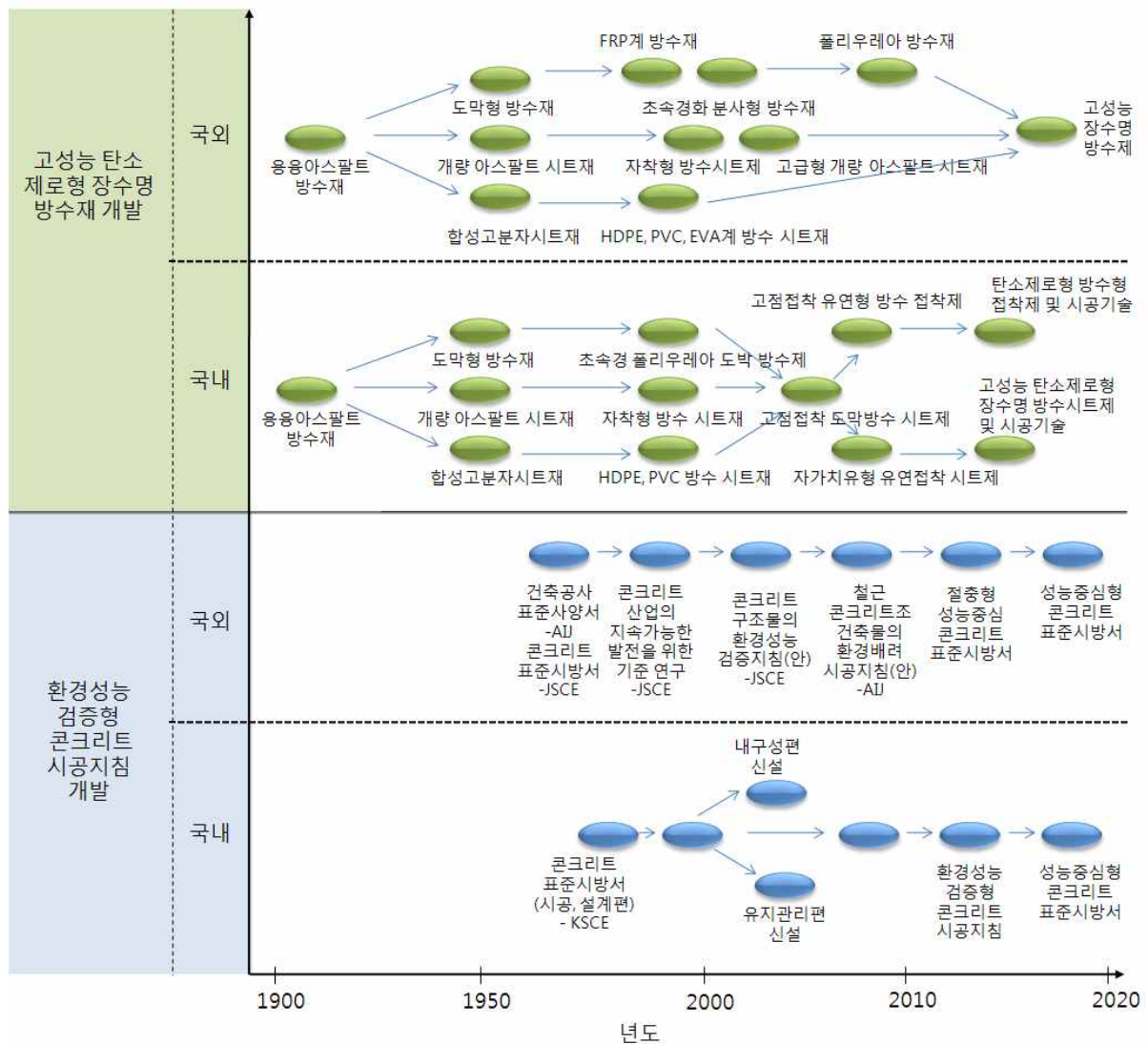
- 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책기술은 LCA 개념에서 출발하여 환경영향 평가를 위한 국제 표준화가 이루어지고, 온실가스 배출관리, 건축제품, 건축물 분야의 국제 표준규격이 개발됨. 반면 국내의 경우 외국보다 늦게 LCA기법을 도입한 후 가속화하여 LCI DB를 구축하고, 환경성적표지제도, 탄소성적 표지제도를 시행하고, 향후 온실가스 에너지 목표관리제를 시행예정임. 국내는 산업전반에 대한 정책을 추진하고 있어 다양한 건설재료 관련 CO₂ 관리정책은 추진되지 않은 상황임.



[그림 2.94] 건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책 기술발전단계

마. 환경부하 저감형 소재 및 자재기술

- 석회질계 무기성 폐재와 폐염산의 중화반응을 활용한 용병제 개발 기술은 겨울철 도로 결로를 방지하는 용병제를 대상으로 하며, 염화칼슘 등 염화물계 용병제가 많이 사용되고 있으나, 부식이 적은 비염화물계 용병제 개발이 이루어지고 있음.
- 고성능 탄소 제로형 장수명 방수재 개발기술은 방수재를 대상으로 하며, 다양한 종류 및 공법의 방수재가 활용되고 있으나, 궁극적으로 시공상의 별도의 열원이 필요하지 않아 CO₂가 발생되지 않고 내구성이 우수한 장수명 방수재의 개발이 이루어질 것임.
- 환경성능 검증형 콘크리트 시공지침은 현재 환경성능 검증 및 건축물의 환경을 배려한 시공지침이 사용 중이며, 국내는 아직 성능중심의 시공지침을 개발 사용중인 단계로 환경성능을 고려한 시공지침의 개발이 필요한 단계임.



[그림 2.95] 환경부하 저감형 소재 및 자재기술의 기술발전단계

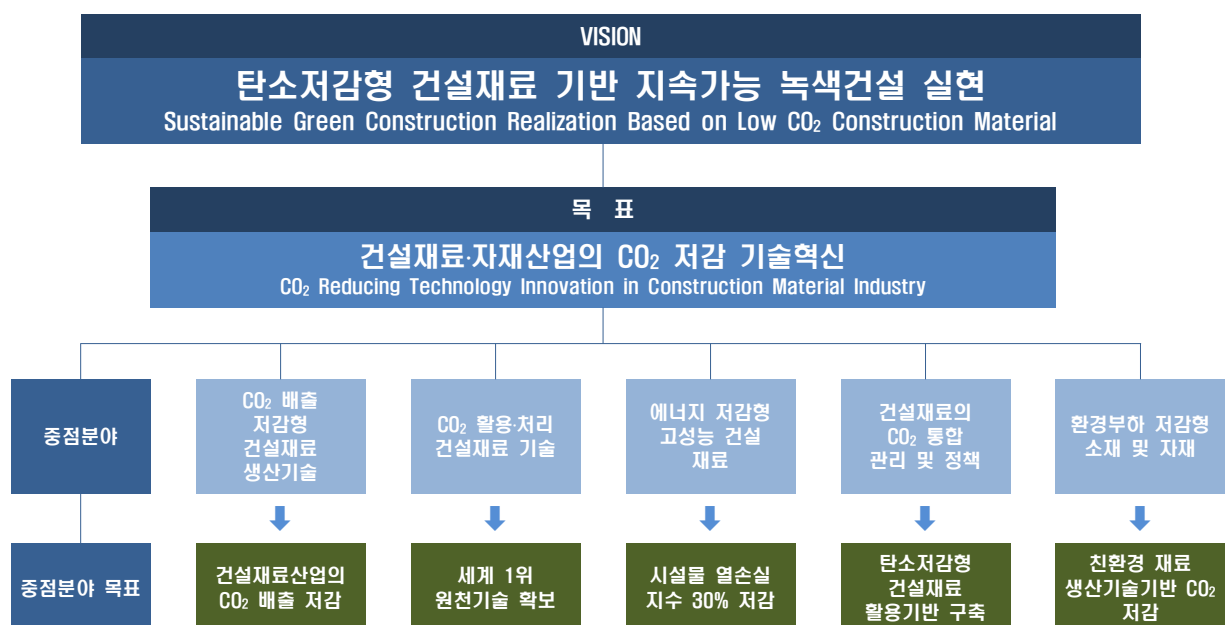
5절. 비전 및 목표수립

- 참여연구진 및 기획위원들이 국내외동향 및 환경분석에 근거한 STEEP 분석, Five force 분석, SWOT 분석을 수행하여 본 기획이 추구하는 비전을 CO₂ 저감 관점에서 다음과 같이 설정함.
- 국토해양 R&D 발전전략 및 탄소저감형 건설재료 기술동향분석, 기술개발방향 설정에 근거하여 다음의 비전 목표를 제시

1. 비전 및 목표



[그림 2.96] 비전 및 목표



[그림 2.97] 비전 및 중점분야별 세부목표

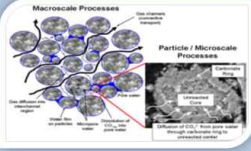
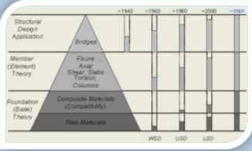
2. 기술개발에 따른 미래상

- ‘탄소저감형 건설재료’의 Vision, 목표에 따른 기술개발 미래상은 다음과 같이 요약됨.



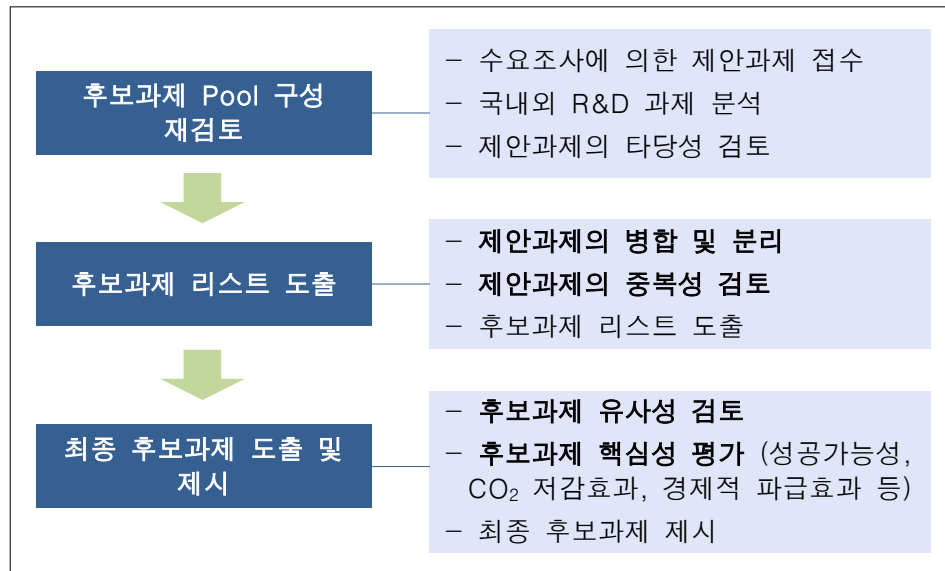
[그림 2.98] 기술개발에 따른 미래상

기술분야	기술개발에 따른 미래상						
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	<table border="1"> <thead> <tr> <th>As-Is</th><th>To-Be</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시멘트, 철강산업 등의 대량 CO₂배출</td><td>시멘트, 철강 산업 등 건설재료 생산의 CO₂ 배출저감 및 관리</td></tr> <tr> <td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	As-Is	To-Be	시멘트, 철강산업 등의 대량 CO ₂ 배출	시멘트, 철강 산업 등 건설재료 생산의 CO ₂ 배출저감 및 관리		
As-Is	To-Be						
시멘트, 철강산업 등의 대량 CO ₂ 배출	시멘트, 철강 산업 등 건설재료 생산의 CO ₂ 배출저감 및 관리						

기술분야	기술개발에 따른 미래상
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	As-Is CO₂처리 및 활용 부재  → To-Be CO₂ 활용 · 처리를 통한 반응생성물에 의한 재료 개질 및 건설재료 활용 
에너지저감형 고성능 건설재료 기술	As-Is 고강도, 고성능 고내구성, 건설재료  → To-Be 에너지 절감 및 효율중심 건설재료 
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	As-Is 개별적인 건설재료의 LCI DB 인증  → To-Be 저탄소 건설재료 LCI DB 구축 및 통합 관리정책 
환경부하 저감형 소재 및 자재	As-Is 불분명한 개념의 친환경 기술  → To-Be 탄소저감 개념의 친환경 첨단 · 융합기술 

6절. 후보과제 도출 및 정의

- 탄소저감형 건설재료 후보과제는 [그림 2.99]의 프로세스에 따라 도출·제시함.



[그림 2.99] 후보과제 도출 과정

가. 후보과제 Pool 구성

(1) 기술수요조사

- 후보과제 Pool 구성을 위하여 기획위원 및 외부기관을 대상으로 기술수요조사 수행, 총 79개의 제안과제 접수

(2) 국내외 연구개발 프로젝트 현황분석

- “탄소저감형 건설재료” 관련 국내외 연구개발 프로젝트 추진현황을 조사정리한 결과는 <표 2.67>과 같음.

〈표 2.67〉 국내외 연구개발 프로젝트 현황 분석결과

구분	저시멘트 콘크리트 기술	강재 기술	Low CO ₂ 공정 기술	재활용 기술	CO ₂ 활용 · 처리 기술	CO ₂ 관리 기술 · 정책	단열 재료 기술	고성능 콘크리트 기술	열전 재료 기술	외피 · 스마트 창호 기술	도료 기술	내화 · 난연 재료 기술	기타	계
국내 외 산업체 중점 개발 기술	2	6			2		3	3	2	5	1	1		25
	8%	24%			8%		12%	12%	8%	20%	4%	4%		100%
국외 R&D 기술	5		2	7	2	3	3	4	1	1				28
	18%		7%	25%	7%	10%	10%	15%	4%	4%				100%
국내 R&D 기술				6	1		3	1		2		1	2	18
				38%	6%		18%	6%		13%		6%	13%	100%

- “본 탄소저감형 건설재료” 기획과정에서 조사된 제안기술들은 국내외 R&D 추진방향에 부합하며, 세계 최신품으로 발전가능한 기술을 일부 포함하고 있으나 기존 수행연구와 목적 부합여부에 따른 검토 실시.

나. 후보과제 리스트 도출과정 및 현황

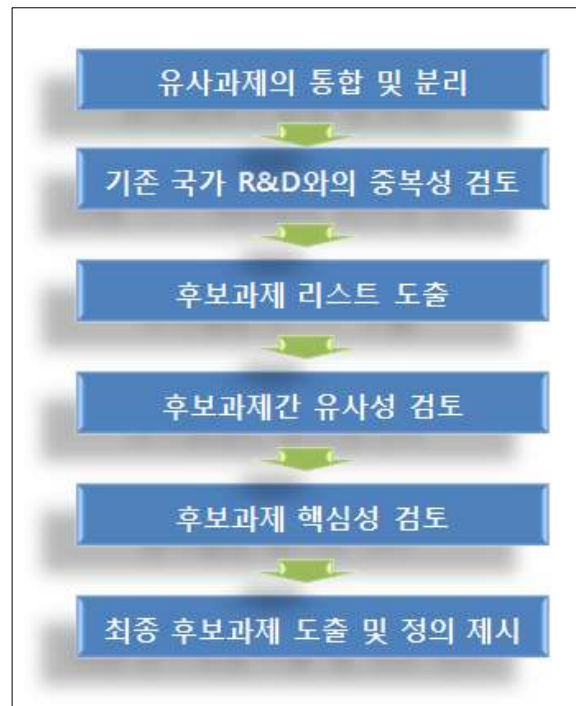
- 후보과제 리스트 도출시 다음사항을 고려하여 수행함.



[그림 2.100] 후보과제 리스트 도출시 고려사항

※ 기존 건설재료관련 R&D의 대부분이 단편적인 재활용 기술개발로 수행 고려(ex, 건설폐기물 재활용 연구단, 순환자원을 활용한 기능성/친환경 전자재 제품 생산기술 연구단 등)

- 후보과제 도출 Process는 다음과 같이 진행함.



[그림 2.101] 후보과제 도출 Process

(1) 유사과제 통합 및 분리결과

- 수요조사에 의한 79개의 제안과제를 소분류체계로 구성, 참여연구진 회의에 의해 Brainstorming 수행, 유사과제의 병합 및 과제 중복성 검토에 따른 중복과제 제외 등 [그림 2.101]의 과정을 통하여 <표 2.68>과 같이 후보과제 도출.

〈표 2.68〉 후보과제 도출

대분류	중분류	소분류	과제명
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	저시멘트 콘크리트 기술	CO ₂ 저감형 저시멘트 콘크리트 및 활용 기술 개발	시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제조 및 실용화 (과제 병합) ※ 과제목적이 동일함 (시멘트 대체 및 저감)
		고강도 High Volume slag 콘크리트의 제조 및 적용기술개발	
		친환경 저탄소 고내구성 콘크리트 제품 사용화 기술개발	
		고기능성 혼화재료 개발 및 이를 활용한 High Volume Admixture 콘크리트 제조	
		저시멘트 콘크리트를 활용한 하수시설 콘크리트의 부식방지 시스템개발	
		황산염계 순환자원을 자극제로 활용한 저알칼리 무기결합재 제조 및 상용화 기술 개발	
		순환골재와 폐미분말을 사용하는 CO ₂ 저감형 고강도 sulfur concrete 개발	
		저시멘트 콘크리트 PC 및 건자재 개발 및 실용화	
		석회석 미분말(Limestone Powder)과 재활용 골재를 적용한 CO ₂ 저감 탄소 저감형 콘크리트 개발 기술	
		이산화탄소 저감 콘크리트용 촉진혼화제 개발	
		슬래그 대량치환 콘크리트의 제조 및 해석기법의 개발	
		Polymer를 이용한 친환경 건축재료 표준 제정	
		NT기술을 이용한 슬래그활용 콘크리트 기술	
		가수소성된 황토를 이용한 지오폴리머 기술	
		시멘트 대체용 지오폴리머 결합재 및 콘크리트 개발	
	CO ₂ 저감형 강재기술	비정질 Steel fiber 기술개발 및 실용화	에너지 저감형 steel 생산 및 활용기술 개발(제목 및 내용 수정)

대분류	중분류	소분류	과제명
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	무기계 자원의 재활용 기술	무기계재료의 재자원화에 의한 자원순환저속형 건설재료기술	완전재자원화를 고려한 CO ₂ 저감형 비소성 무클링커결합재 콘크리트기술 개발(제목 및 내용보완)
		무기계 순환자원 및 유·무기성 슬러지를 이용한 CO ₂ Zero 기반 친환경 인공토양 제조기술 개발 및 상용화 시스템 구축	미활용 무기계 순환자원 및 유·무기성 슬러지를 이용한 CO ₂ Zero 기반 재자원화 기술 및 상용화 시스템 개발(제목 및 내용보완)
		불균일형 폐기물을 활용한 일반/고성능 콘크리트 개발	- 제외(중복성, 재활용 과제)
	Low CO ₂ 공정 및 재료 기술	시멘트 및 콘크리트 2차 제품 제조공정의 Low CO ₂ 및 에너지 저감 기술	광물질 미분말 및 입도분급 시멘트의 프리믹스에 의한 Low CO ₂ 형 특수시멘트 개발(과제병합)
		입도분급에 의한 시멘트 제조공정의 Low CO ₂ 및 에너지 저감기술	
		스팀양생이 없는 프리캐스트 콘크리트 기술	
		에너지·자원절약형 혼합시멘트의 개발 및 활용기술	
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	산업부산물 CO ₂ 활용기술	발전소 산업부산물 CO ₂ 흡수전환 및 건설소재 재활용 기술	CO ₂ 활용·처리공정에 의한 무기재료의 건설재료 활용기술 개발(과제병합)
		제철소 산업부산물 CO ₂ 흡수전환 및 건설소재 재활용 기술	
	건설폐기물 CO ₂ 활용기술	순환골재 CO ₂ 흡수전환 및 건설소재 재활용 기술	
		건설폐재의 탄산화반응을 이용한 탄소저감형 건설재료의 개발	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발
		건설폐기물(순환골재, 회수수)의 최적 CO ₂ 흡수전환(탄산화)을 위한 성능 평가 및 급속 탄산화 촉진제어 시스템 개발	

대분류	중분류	소분류	과제명
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	CO ₂ 활용 공정 및 제품	촉진 탄산화 양생공정을 이용한 시멘트계 2차제품의 고성능화 기술 개발	Carbon Negative 시멘트·콘크리트 기술개발 (과제병합)
		CO ₂ Negative 시멘트 개발 및 활용기술	
		CO ₂ hydration process에 의한 기경성 탄산염 마그네시아 시멘트 개발과 응용 기술개발	
		에너지·CO ₂ 미니엄(ECM)시멘트 개발	
		시멘트 대체 재료를 통한 고내구성형 콘크리트 개발	
		대체 발포제(HFC류, HC류, CO ₂)를 XPS에 적용 성능평가	CO ₂ 활용 압출발포폴리스티렌 단열재(XPS)발포제 대체기술 개발(과제병합)
		압출 발포 단열재(XPS)의 Fine Cell 구조 형성	
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	고기능 강재기술	고기능 정착 철근개발	전주기 환경부하 저감형 초고강도 철근 실용화 기술개발(과제병합, 중점분야 변경⇒CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술)
		고기능 강재료 기술	
		인장강도 800MPa급 이상 초고강도 강재에 대응하는 접합재료를 개발 및 실용화	건축구조용 고성능 강재 대응 접합재료 고도화 기술개발(과제병합)
	슈퍼콘크리트 기술	실용강도 200MPa 급 초고강도 콘크리트 개발	자원절약형 나노기술 기반 슈퍼콘크리트 개발 및 활용(과제병합)
		산업부산물을 활용한 저탄소·다기능성 콘크리트	
		유무기 융합소재 적용 고성능 콘크리트	
		SQC(SUPER QUALITY CONCRETE) 개발	
		슈퍼 콘크리트 제조 및 활용 기술 개발	- 제외(중복성, CO ₂ 저감 연관성 미비)
		구조용 Green 경량골재 및 고강도 경량 콘크리트 개발	
		High Performance self flooring concrete 개발	
		High eco-friendly early strength concrete technology	

대분류	중분류	소분류	과제명
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	고성능 단열재 및 외피기술	PC를 이용한 고단열 벽체 시스템	CO ₂ 저감형 조립식 외피 모듈 개발(제목 및 내용 수정)
		하이브리드 경질경량 무기단열 내·외 장벽체 제조 기술 개발	건축물 에너지 저감형 건 설재료 및 시스템 개발 (과제병합)
		단열재가 필요없는 벽체용 경량 단열 콘크리트 개발	
		연속식 마이크로웨이브 건조/발포장치 를 적용한 친환경 고성능 무기단열재 개발	
		상변화물질(PCM)을 이용한 고성능 축 열 단열재 기술	
		저시멘트형 축열 및 잠열을 활용한 저 에너지 자재 및 시스템 개발	
		건물용 에너지 효율향상 불연성 복합 단열소재 개발	경질 경량 내화성 하이브 리드 무기단열 벽체 개발 (과제병합)
		유무기 나노복합화 기술을 이용한 복 합기능성 단열재 개발	
	열전재료 기술	열전재료를 활용한 친환경 가열/냉각 기술	건축물 에너지 저감형 건 설재료 및 시스템 개발 (과제병합)
		고효율 열전재료를 활용한 열발전 기 술	
	스마트창호 기술	비인듐계 투명전극을 이용한 스마트창 문 기술	전기변색기반 미래혁신 스마트창호 기술개발(과 제병합)
		복합성능의 기능성 유리개발	
		온도감응형 스마트 윈도우 코팅 열차 단필름 개발	
	열차폐 도료기술	에너지 절약형 친환경 고기능성 차단 열도료 제조 및 시공기술 개발	에너지절감형 도료 제조 및 실용화(과제병합)
		에어로겔을 혼합한 합성수지 도료의 단열 성능 향상	
	내화재료 기술	규산칼슘계의 Autoclave화 된 무기 보 드 및 패널 제품	- 제외(중복성, CO ₂ 저감 연관성 미비)
		그라파이트를 이용한 고성능 내화보드 개발	- 제외(중복성, CO ₂ 저감 연관성 미비)
		콘크리트 폭열방지 및 콘크리트 잔존 강도 90% 이상 유지를 위한 기능성 내화 피복재 개발	- 제외(중복성, CO ₂ 저감 연관성 미비)

대분류	중분류	소분류	과제명
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	CO ₂ 통합관리 기술	건설재료의 CO ₂ 발생량 산정방법론 개발 및 평가방법 개발	건설재료 CO ₂ 평가 및 LCI DB 관리시스템 및 정책개발(과제병합)
		철강재 생애주기 CO ₂ 평가 및 관리 기술	
		건설재료기술의 개발목표 및 실용화 전략 수립 연구	- 제외(정책성 연구, 별도추진 검토)
		건설자재의 생산, 유통, 소비 과정에서 탄소저감정책 연구	건설재료 생산분야 CO ₂ 저감기술 및 관리(세분화) 건설재료 사용·유지·폐기분야 CO ₂ 저감 및 관리체계 구축(세분화)
환경부하 저감형 소재 및 자재	친환경소재 및 자재	순환골재와 폐염산을 활용한 용빙제 제조 기술 개발	석회질계 무기성 폐재와 폐염산의 중화반응을 활용한 용빙제 개발(제목수정)
		고성능 탄소 제로형 방수재의 개발	고성능 탄소 제로형 장수명 방수재 개발(제목수정)
		인체무해성 친환경 벽지 개발	- 제외(중복성, CO ₂ 저감 연관성 미비)
		유·무기 복합소재를 이용한 기능성 마감재 개발	- 제외(중복성, CO ₂ 저감 연관성 미비)
		환경부하 저감형 기능성 건축용 목재 개발기술	- 제외(중복성) ※ 효과 및 실용화 미비
		탄소저감형 복합재료 활용공법 개발 및 실용화	- 제외(중복성) ※ 과제 내용 미비
		황토를 이용한 저균열, 고단열 건설재료 개발	- 제외(중복성) ※ 효과 및 실용화 미비
	지능형 건설재료 기술	IT 기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발	- 제외(중복성, CO ₂ 저감 연관성 미비)
		유·무기 Nano 복합재료를 이용한 콘크리트균열 self-healing 재료 개발	- 제외(중복성, CO ₂ 저감 연관성 미비)
	기준 및 표준화 기술	환경성능 검증형 콘크리트 시공지침 개발	환경성능 검증형 콘크리트 시공지침 개발 (과제병합)
		건설재료의 시공성능 예측 기법 개발	

(2) 기존 국가 R&D과제와의 중복성 검토

- NTIS 및 NDSL을 이용, 기존 국가 R&D과제를 검색하여 제안과제의 중복성 검토를 실시, <표 2.69>의 과제는 중복과제로 제외함

〈표 2.69〉 후보과제 Pool 중 중복성 검토에 의해 제외된 과제

중점분야	과제명	중복과제명	중복대상과제 현황
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	불균일형 폐기물을 활용한 일반/고성능 콘크리트 개발	부처명 : 중소기업청 사업명 : 산학연공동기술개발사업 과제명 : 소각재를 활용한 친환경 건축 설자재 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
		부처명 : 산업자원부 사업명 : 전력산업연구개발사업 과제명 : 발전소 매립지의 친환경적 활용 을 위한 규격화 요소기술	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	구조용 Green 경량골재 및 고강도 경량 콘크리트 개발	부처명 : 건설교통부 사업명 : 건설핵심기술연구개발사업 과제명 : ET신기술 경량골재를 이용한 고 강도 경량 프리캐스트 바닥판 및 시공시스템 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
		부처명 : 중소기업청 사업명 : 산학연공동기술개발사업 과제명 : 경량골재를 이용한 고강도콘크 리트 개발에 관한 연구	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
	High Performance self flooring concrete 개발	부처명 : 중소기업청 사업명 : 산학연공동기술개발사업 과제명 : 석회석 미분말을 활용한 자기 충전형 레미콘 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
		부처명 : 국토해양부 사업명 : 건설기술혁신사업 과제명 : 고성능 다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
	High eco-friendly early strength concrete technology	부처명 : 지식경제부 사업명 : 에너지자원기술개발사업 과제명 : CO ₂ 가스발생 저감용 조기강도발 현형 Semi-Belote 시멘트 및 혼합시멘트 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
		부처명 : 중소기업청 사업명 : 중소기업기술혁신개발사업 과제명 : 폐기물을 이용한 콘크리트 조강 및 강도증진제 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
	규산칼슘계의 Autoclave화 된 무기 보드 및 패널 제품	부처명 : 중소기업청 사업명 : 중소기업상용화기술개발 과제명 : 고강도 콘크리트용 폭발방지 보 드 상용화개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
		부처명 : 산업자원부 사업명 : 부품소재기술개발 과제명 : 퍼라이트를 이용한 내화보드 제 조기술 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란

중점분야	과제명	중복과제명	중복대상과제 현황
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	그라파이트를 이용한 고성능 내화보드 개발	부처명 : 중소기업청 사업명 : 중소기업상용화기술개발 과제명 : 고강도 콘크리트용 폭열방지 보드 상용화 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
		부처명 : 산업자원부 사업명 : 부품소재기술개발 과제명 : 퍼라이트를 이용한 내화보드 제조기술 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
	콘크리트 폭열방지 및 콘크리트 잔존강도 90% 이상 유지를 위한 기능성 내화 피복재 개발	부처명 : 중소기업청 사업명 : 중소기업상용화기술개발 과제명 : 고강도 콘크리트용 폭열방지 보드 상용화 기술	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
		부처명 : 교육과학기술부 사업명 : 일반연구자지원 과제명 : 화재에 따른 기존 및 신규 콘크리트 구조물의 폭열 및 구조체 안정성 확보	연구 수행중 - 중복성 회피 곤란
	인체무해성 친환경 벽지 개발	부처명 : 지식경제부 사업명 : 에너지자원기술개발 과제명 : 국내산 비금속광물을 이용한 친환경벽지 및 바닥재 제조기술 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
		부처명 : 중소기업청 사업명 : 중소기업상용화기술개발사업 과제명 : 천연 제올라이트를 이용한 친환경 웰빙 벽지 코팅용 조성물 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
	황토를 이용한 저균열, 고단열 건설재료 개발	부처명 : 중소기업청 사업명 : 산학연공동기술개발사업 과제명 : 생태 건축 재료로서의 황토 내장재 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
		부처명 : 중소기업청 사업명 : 산학연공동기술개발사업 과제명 : 친환경적 실내 마감을 위한 천연도료 개발	기연구수행 - 중복성 회피 곤란
환경부하 저감형 소재 및 자재 기술	유·무기 복합소재를 이용한 기능성 마감재 개발	부처명 : 국토해양부 사업명 : 건설기술혁신사업 과제명 : 바이오/나노 기술을 활용한 자연친화적 건설 신마감재 개발	연구 수행중
		부처명 : 교육과학기술부 사업명 : 미래기반개발사업 과제명 : 다공성 천연광물소재 개질을 통한 실내유해물질 흡착제거 및 조습성능 향상기술 개발	기연구수행

중점분야	과제명	중복과제명	중복대상과제 현황
환경부하 저감형 소재 및 자재 기술	환경부하 저감형 기능성 건축용 목재료 개발기술	부처명 : 중소기업청 사업명 : 중소기업기술혁신개발사업 과제명 : 유해가스 저감형 합성목재의 개발	기연구수행
		부처명 : 중소기업청 사업명 : 중소기업기술혁신개발사업 과제명 : 폐목재를 이용한 건자재 개발	기연구수행
	탄소저감형 복합재료 활용공법 개발 및 실용화	부처명 : 산업자원부 사업명 : 산업혁신기술개발(신기술실용화) 과제명 : 첨단 복합재료를 이용한 건설 구조용 부재 개발	기연구수행
		부처명 : 국토해양부 사업명 : 건설교통R&D정책인프라사업 과제명 : 신개념 보강재 복합재료 빔의 개발 및 실용화 연구	기연구수행
	지능형 구조재료의 제조 및 활용기술	부처명 : 교육과학기술부 사업명 : 선도연구센터지원사업 과제명 : 환경대응 스마트 콘크리트의 개발	기연구수행
		부처명 : 교육과학기술부 사업명 : 일반연구자지원사업 과제명 : 친환경 콘크리트를 위한 가시광선 반응형 나노 광촉매와 박테리아를 이용한 고정화 기술개발	연구 수행중
	유·무기 Nano 복합재료를 이용한 콘크리트균열 self-healing 재료 개발	부처명 : 교육과학기술부 사업명 : 학문후속세대양성지원사업 과제명 : 유기재료와 미생물을 이용한 시멘트 콘크리트 균열 self-healing 및 modeling 기법에 의한 연구	기연구수행
		부처명 : 교육과학기술부 사업명 : 중견연구자지원사업 과제명 : 콘크리트 균열 제어 연구	기연구수행

(3) 후보과제 리스트 도출

- 도출된 후보과제 리스트 및 개념 및 적용분야는 <표 2.70>과 같음.

<표 2.70> 후보과제 리스트 및 개념 · 적용분야

중점분야	과제명	기술의 개념 및 적용분야
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제조 및 실용화	- 개념 : 시멘트 대체재료 활용을 통한 시멘트 사용량 최소화 콘크리트 기술 - 적용분야 : 저시멘트 콘크리트, 저시멘트콘크리트 PC
	에너지 저감형 steel 생산 및 활용기술 개발	- 개념 : 생산 에너지 사용량이 낮은 steel fiber 사용 콘크리트 기술 개발 및 실용화 - 적용분야 : 바닥용 steel fiber 콘크리트, 슛크리트
	전주기 환경부하 저감형 초고강도 철근 실용화 기술개발	- 개념 : 초고강도 철근 응용기술, 설계기술, 시공요소기술 및 탄소배출량 분석 - 적용분야 : 초고강도 철근콘크리트 설계기준, 시방서 등
	완전재자원화를 고려한 CO ₂ 저감형 비소성 무클링커 결합재 콘크리트기술 개발	- 개념 : 무클링커 결합재 활용 초미립자결합재 생산 및 콘크리트 개발, 사용 폐기 후 원료로써 완전재자원화 기술 - 적용분야 : 콘크리트, 2차제품
	미활용 무기계 순환자원 및 유 · 무기성 슬러지를 이용한 CO ₂ Zero 기반 재자원화 기술 및 상용화 시스템 개발	- 개념 : Free CaO를 다량 함유한 무기계 순환자원을 활용한 결합재의 개발 및 친환경 인공토양의 제조 - 적용분야 : 폐기물고화처리제, 인공토양
	광물질 미분말 및 입도분급 시멘트의 프리믹스에 의한 Low CO ₂ 형 특수시멘트 개발	- 개념 : 시멘트 제조공정시 입도분급에 따른 분류 및 광물질 미분말 혼합 프리믹스 타입 Low CO₂형 특수 시멘트 제조 - 적용분야 : 특수 시멘트, 2차제품
CO ₂ 활용 · 처리 건설재료 기술	CO ₂ 활용 · 처리공정에 의한 무기재료의 건설재료 활용기술 개발	- 개념 : 산업부산물 및 순환골재 등의 급속 탄산화 공정적용을 통한 품질개선 및 건설재료 활용기술 개발 - 적용분야 : 골재, 콘크리트, 콘크리트2차제품, 혼화재료
	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	- 개념 : 레미콘의 회수수에 탄산화반응을 이용, 탄산칼슘생산 및 이를 이용한 친환경 건축자재 생산 실용화 기술 확립 - 적용분야 : 레미콘, 벽돌 · 블록 등 2차제품
	Carbon Negative 시멘트 · 콘크리트 기술개발	- 개념 : 비석회석 활용 시멘트 생산 및 활용시 CO₂ 콘크리트 등 제조시 생애주기동안 CO₂ 다량 흡수에 의한 Low CO₂ 기술 - 적용분야 : 시멘트, 콘크리트 제품

중점분야	과제명	기술의 개념 및 적용분야
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	CO ₂ 활용 압출발포폴리스티렌 단열재(XPS)발포제 대체기술 개발	- 개념 : 발포제의 온실효과에 따른 규제일정에 의한 선진국 활용 CO₂, HC류, HFC류 발포제의 단열재 사용기술 개발 - 적용분야 : 유기단열재
에너지저감형 고성능 건설재료 기술	건축구조용 고성능 강재 대응 접합재료 고도화기술 개발	- 개념 : 초고강도 철근이음, 및 정착접합재료, 볼트 및 용접재료 개발 - 적용분야 : 고강도철근 이음 및 정착 접합재료, 초고강도 볼트, 용접 등 접합재료
	자원절약형 나노기술 기반 슈퍼콘크리트 개발 및 활용	- 개념 : 나노크기 입자와 탄소나노튜브 보강재 활용 슈퍼콘크리트 개발 - 적용분야 : 고강도콘크리트
	CO ₂ 저감형 조립식 외피모 듈 개발	- 개념 : 저탄소콘크리트를 이용한 PC 열교방지 고단열 조립식 벽체 - 적용분야 : PC 외벽
	건축물 에너지 저감형 건설재료 및 시스템 개발	- 개념 : 시설물의 에너지 효율 극대화를 위해 단열관련 요소기술의 package화 및 시스템 개발 - 적용분야 : 주택 단열
	경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발	- 개념 : 무기계결합재-발포제를 활용한 불연성 하이브리드 벽체 시스템 개발 - 적용분야 : 외벽시스템
	전기변색기반 미래혁신 스마트창호 기술개발	- 개념 : 외부환경변화에 따른 창호색상변경으로 에너지 손실방지 및 사용자 편의성 향상기술 - 적용분야 : 스마트 창호
	에너지절감형 도료 제조 및 실용화	- 개념 : 중공체와 고반사 안료를 사용한 고단열 다기능 도료 제조 및 평가기술 - 적용분야 : 마감재(페인팅)
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	건설재료 CO ₂ 평가 및 LCI DB 관리 시스템 및 정책개발	- 개념 : 건설재료 전생애주기의 온실가스 배출 평가 기법 개발 및 이를 활용하기 위한 환경성 정보 데이터베이스 관리 및 제도 활성화 방안 - 적용분야 : 정책, 제도, 관리방안
	건설재료 생산분야 CO ₂ 저감기술 및 관리	- 개념 : 건설재료의 생산을 위한 원료 채취 및 가공에 투입되는 자원 및 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출을 저감하기 위한 환경평가기법 개발 - 적용분야 : 정책, 제도, 관리방안
	건설재료 사용·유지·폐기분야 CO ₂ 저감 및 관리체계 구축	- 개념 : 건설재료의 사용 및 폐기 측면에서 제품의 사용, 유지보수 및 폐기에 따른 온실가스 배출을 저감하기 위한 환경평가기법을 개발 - 적용분야 : 정책, 제도, 관리방안

중점분야	과제명	기술의 개념 및 적용분야
환경부하 저감형 소재 및 자재	석회질계 무기성 폐재와 폐염산의 중화반응을 활용한 용빙제 개발	- 개념 : 폐콘크리트와 폐염산의 반응에 의한 중성 순환골재 제조 및 반응생성물인 염화칼슘의 용빙제 활용기술 - 적용분야 : 순환골재, 용빙제
	고성능 탄소 제로형 장수명 방수재 개발	- 개념 : 열원을 사용하지 않아 탄소발생을 저감하고, 공기를 단축하는 접착형 자가치유 고분자 썬 및 시트 방수재 생산기술 - 적용분야 : 방수재
	환경성능 검증형 콘크리트 시공지침 개발	- 개념 : 콘크리트의 환경성능 규정 및 검증을 위한 시공지침 개발 - 적용분야 : 시방, 지침, 규정

다. 최종 후보과제 도출 및 제시

(1) 후보과제 유사성 검토분석

- 후보과제 리스트 중 최종 후보과제를 도출하기 위하여 NTIS 및 NDSL을 활용, 유사기술을 조사한 결과 2개 후보과제의 유사과제가 조사되었으나, 기존 과제와는 차별화되는 것으로 분석되었음.

〈표 2.71〉 후보과제 Pool과제의 유사과제 조사 및 차별화 방안

중점분야	과제명	유사과제명	차별화방안
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제조 및 실용화	- 부처명 : 교육과학기술부 - 사업명 : 바이오하우징연구사업단 - 과제명 : 무시멘트 그린콘크리트	기존 기술의 경우, 응결시간 조절이 어려워 레미콘적용이 곤란하며, 기존 시멘트 콘크리트 대비 수축 및 탄산화에 취약하며, 상온양생 조건에서의 조기강도 및 경제성 확보가 어려움. 따라서 본 기술은 실용화를 목표로 상온양생 조건에서 조기강도, 시공성 및 경제성을 확보함과 동시에 수축 및 내구성을 확보할 수 있는 기술을 포함한 레미콘 최적화 기술을 통한 상용화 추진 - High Volume Mineral Admixture 콘크리트 성능 향상 기술 도입 - 시공성 제어 기술(레미콘 최적화 기술) - 고로슬래그를 포함한 산업부산물의 활용 기술 - 수축 및 내구성 제어 기술 - PC화 양생 기술
에너지저감형 고성능 건설재료 기술	건축구조용 고성능 강재 대응 접합재료 고도화기술 개발	- 부처명 : 지식경제부 - 사업명 : 차세대 강재개발 연구개발사업	- 인장강도 1500MPa급 이상의 초고장력 볼트 기술개발
		- 부처명 : 지식경제부 - 사업명 : 차세대 초대형 구조물용 강재개발	- 항복강도 700MPa급 이상의 초고강도 철근을 대상으로 철근이음에 대해서 추진함
		- 부처명 : 국토해양부 - 사업명 : 초고층 복합빌딩 사업단	- 인장강도 1000MPa급 이상의 고강도 용접봉 기술개발

(2) 후보과제 핵심성 검토

- 각 후보과제별 비전 및 총괄목표에의 적합성, 세부목표에의 적합성 국가지원 필요성 항목을 기준으로 과제의 핵심성을 평가함. 평가는 기획위원(24명)이 수행.
- 핵심성 평가결과 중점분야별 핵심성은 “CO₂ 활용·처리 건설재료 기술”이 가장 높게 나타났으며, “에너지저감형 고성능 건설재료 기술”, “CO₂ 배출저감형 건설재료 기술”, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책”, “기타 친환경 건설재료 기술” 순으로 나타남.
- 각 중점분야내에서 핵심성이 높은 과제는 “CO₂ 배출저감형 건설재료 기술”분야에서 “시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제조 및 실용화”, “CO₂ 활용·처리 건설재료 기술”분야에서 “CO₂ 활용·처리공정에 의한 무기재료의 건설재료 활용기술 개발”과 “Carbon Negative 시멘트·콘크리트 기술개발”, “에너지 저감형 고성능 건설재료 기술”분야에서 “에너지저감형 건설재료 및 시스템 개발”, “건설재료의 CO₂ 통합관리 및 정책”분야에서 “건설재료 CO₂ 평가 및 LCI DB 관리 시

시스템 및 정책개발”, “기타 친환경 건설재료 기술” 분야에서 “고성능 탄소 제로형 장수명 방수재 개발”로 평가됨.

〈표 2.72〉 후보과제의 핵심성 평가

중점분야	과제명	비전 및 총괄목표 적합성	세부목표의 적합성	국가지원 필요성	평균
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제 조 및 실용화	5	5	5	5.00
	에너지 저감형 steel 생산 및 활용기 술 개발	5	5	4	4.67
	전주기 환경부하 저감형 초고강도 철근 실용화 기술개발	5	3	3	3.67
	완전재자원화를 고려한 CO ₂ 저감형 비소성 무클링커결합재 콘크리트기 술 개발	4	3	2	3.00
	미활용 무기계 순환자원 및 유·무 기성 슬러지를 이용한 CO ₂ Zero 기 반 재자원화 기술 및 상용화 시스템 개발	3	3	2	2.67
	광물질 미분말 및 입도분급 시멘트 의 프리믹스에 의한 Low CO ₂ 형 특 수시멘트 개발	5	4	4	4.33
	중점분야 평균	4.50	3.83	3.33	3.89
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	CO ₂ 활용·처리공정에 의한 무기재 료의 건설재료 활용기술 개발	5	5	5	5.00
	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	5	4	3	4.00
	Carbon Negative 시멘트·콘크리트 기술개발	5	5	5	5.00
	CO ₂ 활용 압출발포폴리스티렌 단열재 (XPS)발포제 대체기술 개발	5	5	4	4.67
	중점분야 평균	5.00	4.75	4.25	4.67

중점분야	과제명	비전 및 총괄목표 적합성	세부목표의 적합성	국가지원 필요성	평균
에너지저감형 고성능 건설재료 기술	건축구조용 고성능 강재 대응 접합 재료 고도화기술 개발	4	4	3	3.67
	자원절약형 나노기술 기반 슈퍼콘크 리트 개발 및 활용	4	4	3	3.67
	CO ₂ 저감형 조립식 외피모듈 개 발	4	4	4	4.00
	건축물 에너지 저감형 건설재료 및 시스템 개발	5	5	5	5.00
	경질 경량 내화성 하이브리드 무기 단열 벽체 개발	5	5	4	4.67
	전기변색기반 미래혁신 스마트창호 기술개발	5	5	4	4.67
	에너지절감형 도료 제조 및 실용화	5	4	3	4.00
	중점분야 평균	4.57	4.43	3.71	4.24
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	건설재료 CO ₂ 평가 및 LCI DB 관 리 시스템 및 정책개발	5	4	3	4.00
	건설재료 생산분야 CO ₂ 저감기술 및 관리	4	3	3	3.33
	건설재료 사용·유지·폐기분야 CO ₂ 저감 및 관리체계 구축	4	3	3	3.33
	중점분야 평균	4.33	3.33	3.00	3.55
환경부하 저감형 소재 및 자재	석회질계 무기성 폐재와 폐염산의 중화반응을 활용한 응빙제 개발	4	3	2	3.00
	고성능 탄소 제로형 장수명 방수재 개발	4	3	3	3.33
	환경성능 검증형 콘크리트 시공지침 개발	4	3	2	3.00
	중점분야 평균	4.22	3.22	2.83	3.42

*비전 및 총괄목표에의 적합성: 5점(매우높음), 4점(높음), 3점(보통), 4점(낮음), 1점(매우낮음)

*세부목표에의 적합성: 5점(매우높음), 4점(높음), 3점(보통), 4점(낮음), 1점(매우낮음)

*국가지원의 필요성: 5점(매우높음), 4점(높음), 3점(보통), 4점(낮음), 1점(매우낮음)

(3) 최종 후보과제 도출 및 정의

- 도출된 최종 후보과제명 및 정의는 <표 2.73>과 같음.

<표 2.73> 후보과제명 및 정의 (23건)

연번	후보과제명	후보과제 정의
1	시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제조 및 실용화	- 정의 : 대량의 CO₂ 발생원인인 시멘트 사용을 저감하기 위하여 등 시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제조 및 실용화 과제로 강도범위 20~80MPa, 내구수명 100년 이상 확보를 통한 CO₂ 30% 저감을 목표로 함 - 적용분야 : 저시멘트 콘크리트, 저시멘트콘크리트 PC
2	에너지 저감형 steel 생산 및 활용기술 개발	- 정의 : 제조공정시 CO₂를 발생시키지 않는 친환경 에너지 저감형 비정질 steel fiber 등의 생산공정 및 이를 사용한 건자재 기술개발 및 실용화 - 적용분야 : 바닥용 및 슛크리트용 비정질 steel fiber
3	전주기 환경부하 저감형 초고강도 철근 실용화 기술개발	- 정의 : 건설분야 탄소배출량 30%저감을 위하여 건설제품 분야 탄소배출량이 가장 큰 철강(철근)재의 초고강도 실용화 기술 개발을 통하여 생산 및 적용/유지관리단계 전주기 환경부하를 30% 저감하며, 국내 건설재료의 고도화 및 국제 경쟁력 확보. - 적용분야 : 초고강도 철근콘크리트 설계기준, 시방서 등
4	완전재자원화를 고려한 CO ₂ 저감형 비소성 무클링커결합재 콘크리트 기술 개발	- 정의 : 무클링커 결합재로써 점토광물계 및 석고계 등을 활용한 초미립자결합재 생산, 이를 활용한 콘크리트 개발 및 폐기 후 원료로써 완전재자원화 공정기술, 에너지소비 최소화 공정기술의 개발 - 적용분야 : 콘크리트, 2차제품
5	미활용 무기계 순환자원 및 유·무기성 슬러지를 이용한 CO ₂ Zero 기반 재자원화 기술 및 상용화 시스템 개발	- 정의 : 제지슬러지 소각재, 로내탈황방식 유동층보일러에서 발생 고칼슘플라이애시, 폴리실리콘 제조공정 중에서 발생 SAS(Sodium Aluminum Sulfate) 분말 및 SAF(Sodium Aluminum Fluorid)분말, 고로슬래그 등의 순환자원을 복합적으로 이용한 신개념 고화재 제조, 및 유·무기성 슬러지의 고형화 처리를 통한 인공토양 제조 등 친환경 재자원화 기술 및 상용화 시스템 개발 - 적용분야 : 폐기물 고화재, 인공토양
6	광물질 미분말 및 입도분급 시멘트의 프리믹스에 의한 Low CO ₂ 형 특수시멘트 개발	- 정의 : 광물질 미분말 및 입도분급을 달리하는 시멘트를 프리믹스를 통하여 수요자 요구에 만족할 수 있는 CO₂ 저감형 특수 시멘트 생산기술 개발 - 적용분야 : 특수시멘트
7	CO ₂ 활용·처리공정에 의한 무기재료의 건설재료 활용기술 개발	- 정의 : 슬래그 등의 산업부산물 및 건설폐기물을 대상으로 CO₂ 탄산환 반응 생성물에 의한 개질(밀도향상 및 흡수율 저감) 및 안정화(pH저감, 용출저감)된 골재 생산과 이를 활용한 콘크리트, 벽도, 블록 등의 제조 기술 - 적용분야 : 골재, 콘크리트, 벽돌, 블록, 혼화재료 등

연번	후보과제명	후보과제 정의
8	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	- 정의 : 강알칼리성 환경오염물질인 레미콘의 회수수를 이용한 CO₂ 대량 고정화 기술 개발로 콘크리트 분야 CO₂ 발생량의 40% 이상을 고정(삭감)하며, 부산물인 탄산칼슘을 이용한 친환경 건축자재 생산 실용화 기술 확립 - 적용분야 : 레미콘, 벽돌·블록 등 2차제품
9	Carbon Negative 시멘트·콘크리트 기술개발	- 정의 : 비석회석원료 및 저온소성을 통하여 탄소발생을 원천적으로 감소시키고, 지속적으로 대기중의 CO₂를 흡수하여 탄소 배출량보다 흡수량이 많은 시멘트 및 콘크리트 2차제품 활용기술 - 적용분야 : 시멘트, 콘크리트 제품
10	CO ₂ 활용 압출발포폴리스티렌 단열재(XPS)발포제 대체기술 개발	- 정의 :XPS 단열재 생산시 사용 발포제의 온실효과에 따른 국제 규제일정에 따라 규제대상이 아닌 CO₂, HC류, HFC류 발포제의 단열재 사용기술 개발 - 적용분야 : 단열재
11	건축구조용 고성능 강재 대응 접합재료 고도화기술 개발	- 정의 : 건축물의 초고층화/대형화에 따른 주요 건설구조용 재료인 콘크리트와 강재의 초고강도화, 고내구성화, 대구경(극후) 철근 및 강재로 20% CO₂를 저감함과 동시에 시공품질과 원가절감을 가져오는 접합재료 기술을 개발함. - 적용분야 : SD700 고강도 철근이음 및 정착 접합재료, F15T 초고강도 볼트 접합재료, 1000MPa급 대입열량용접재료
12	자원절약형 나노기술 기반 수퍼콘크리트 개발 및 활용	- 정의 : 나노 입자의 결합재 분체와 탄소나노튜브 보강재의 배합기술로 수퍼 성능의 고내구성 콘크리트 개발과 활용기술 개발 - 적용분야 : 초고강도콘크리트
13	CO ₂ 저감형 조립식 외피모듈 개발	- 정의 : 저탄소콘크리트 및 고성능 단열재를 이용한 조립식 PC 열교방지 고단열 조립식 벽체 개발 및 시공기술을 통한 CO₂ 저감 - 적용분야 : PC 외벽
14	건축물 에너지 저감형 건설재료 및 시스템 개발	- 정의 : 시설물의 에너지 저감을 위해 Insulation roof, Insulation wall기술, Insulation floor 기술의 total package화 및 시스템 개발 - 적용분야 : 주택 단열 및 에너지저감
15	경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발	- 정의 : 무기계결합재-발포제를 활용한 불연성 하이브리드 단열벽체 개발로 에너지 절약을 통한 CO₂ 저감기술 - 적용분야 : 외벽시스템
16	전기변색기반 미래혁신 스마트창호 기술개발	- 정의 : 전기채색현상을 이용하여 외부환경변화에 따라 능동적으로 창호색깔을 바꾸어 건축에너지손실을 방지할 뿐만 아니라 사용자 편의성을 극대화하는 기술 - 적용분야 : 스마트 창호
17	에너지절감형 도료 제조 및 실용화	- 정의 :중공체와 고반사 안료를 사용한 고단열 다기능 도료 제조 및 실용화를 통한 CO₂ 저감기술 - 적용분야 : 마감재(페인팅)

연번	후보과제명	후보과제 정의
18	건설재료 CO ₂ 평가 및 LCI DB 관리 시스템 및 정책개발	- 정의 : 탄소저감형 건설재료의 개발을 위한 제품 전생애 주기의 온실가스 배출평가 기법을 개발하고 이를 활용하기 위한 환경성정보 데이터베이스 관리 및 제도 활성화 방안 제안 - 적용분야 : 정책, 제도, 관리방안
19	건설재료 생산분야 CO ₂ 저감기술 및 관리	- 정의 : 건설재료의 공급측면에서 생산을 위한 원료 채취 및 가공에 투입되는 자원 및 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출을 저감하기 위한 환경평가기법 개발 - 적용분야 : 정책, 제도, 관리방안
20	건설재료 사용·유지·폐기분야 CO ₂ 저감 및 관리체계 구축	- 정의 : 건설재료의 사용 및 폐기 측면에서 제품의 사용, 유지보수 및 폐기에 따른 온실가스 배출을 저감하기 위한 환경평가기법 개발 - 적용분야 : 정책, 제도, 관리방안
21	석회질계 무기성 폐재와 폐염산의 중화반응을 활용한 응빙제 개발	- 정의 : 석회질계 무기성 폐재인 폐콘크리 등을 재활용한 순환잔골재와 폐염산을 중화반응 시켜 pH 저감시킨 잔골재는 제설용 모래, 반응 생성물인 염화칼슘 수용액은 액상 응빙제로 사용하는 기술 - 적용분야 : 제설모래, 응빙제
22	고성능 탄소 제로형 장수명 방수재 개발	- 정의 : 방수공사 시공 과정 및 유지관리 과정에서 CO₂ 발생의 주요 원인인 석유, 휘발유, 가스, 전기 등의 열원을 전혀 사용하지 않아 탄소발생량 50% 이상 감소가 가능하고, 부가적으로 노무비용 및 공사기간이 50% 이상 절감 가능한 고성능 탄소 제로형 장수명 방수재 및 시공 기술 개발 연구 - 적용분야 : 방수재
23	환경성능 검증형 콘크리트 시공지침 개발	- 정의 : 콘크리트표준시방서의 콘크리트 요구성능에 “환경성능”을 추가·명시를 최종목표로 하여, 콘크리트 구성재료, 배합, 시공단계에서 요구되는 환경성능(CO₂ 저장 등)을 규정하고, 검증할 수 있는 시공지침을 개발 - 적용분야 : 시방, 지침, 규정

- 후보과제 우선순위는 첨부 1. 후보과제 우선순위 도출결과 및 과제카드로 제시.

3장. 연구개발과제 추진체계

1절. 기획대상과제 선정결과

연번	과제명	제안 기관	비고
1	- 시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제조 및 실용화 - CO ₂ 저감을 위한 시멘트 대체용 지오폴리머 결합재 및 그린 콘크리트 개발	건기연 한양대	통합필요
2	- CO ₂ 대량 흡수형 시멘트계 광합성 건설재료 개발 - Carbon negative 시멘트 콘크리트 기술	한양대 건기연	통합필요
3	- 건설재료 전과정 CO ₂ DB 통합관리 및 운영시스템 개발 - 건설재료/자재 전과정 CO ₂ 평가 시스템 및 프로그램 개발 - 건설재료/자재 전과정 CO ₂ 배출계수 데이터베이스 구축 - 건설재료 CO ₂ 평가 및 LCI DB 관리 기술 개발 및 적용 활성화	한양대 한양대 한양대 건기연	통합필요
4	- 상변화물질을 이용한 냉방 및 난방 에너지 자체 생산 건설재료 개발	한양대	-
5	- 건설재료/자재 탄소라벨링 제도 및 평가관리 시스템 개발	한양대	-
6	- 에너지저감형 steel material 기술개발 및 실용화	건기연	-
7	- 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술개발	건기연	-
8	- CO ₂ 를 활용한 무기성 순환자원의 탄소저감형 건설재료 개발 및 활용기술	건기연	-
9	- 전기변색기반 미래혁신 스마트창호기술개발 - 온도감응형 스마트 윈도우 코팅 열차단필름 개발	건기연 한양대	통합필요
10	- 생분해 시간제어 매립용 인조목 개발	한양대	-
11	- 미생물을 이용한 친환경 콘크리트의 코팅기법 개발	한양대	-
12	- 경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발	건기연	-
13	- 에너지저감형 건설재료 및 시스템 개발	건기연	-
14	- 완전 재자원화를 고려한 무클링커결합재 콘크리트기술 개발 - 석회석 광물을 이용한 CO ₂ 저감형 차세대 혼합 시멘트 (PLC) 생산기술 개발	건기연 한양대	통합필요
15	- 건설재료/자재 건설재료 친환경 표준시방 지침 개발	한양대	-
16	- 탄소저감형 건설재료 사용·유지관리·폐기 분야 CO ₂ 저감기술 - 탄소저감형 건설재료 생산분야 CO ₂ 저감기술	건기연 건기연	통합필요
17	- 환경부하 저감형 조립식 외피모듈 개발	건기연	-
18	- IT 기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발	한양대	-
19	- 에너지 절약형 친환경 고기능성 내외장재 제조 및 시공기술 개발 - 콘크리트 2차 제품의 제로에너지 시스템 개발	한양대 한양대	통합필요 (과제명 일부 변경)
20	- 정유산업 부산 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발	한양대	-

- 건설교통기술평가원 2차 타당성 검토위원회에서 선정한 20개 과제 중 KICT(한국 건설기술연구원)에서 제시한 과제는 통합대상 과제를 포함하여 13개로 산정되거나 제안한 후보과제 내용으로 분석하면, 실제로 20개 과제 중 KICT의 제안과제는 15개의 내용을 포함하고 있음.

과제명 (한양대학교)	한국건설기술연구원
- 건설재료 전과정 CO₂ DB 통합관리 및 운영시스템 개발 - 건설재료/자재 전과정 CO₂ 평가 시스템 및 프로그램 개발 - 건설재료/자재 전과정 CO₂ 배출계수 데이터베이스 구축	- 건설재료 CO₂ 평가 및 LCI DB 관리 시스템 및 정책개발
- 건설재료/자재 탄소라벨링 제도 및 평가관리 시스템 개발	- 건설재료 CO₂ 평가 및 LCI DB 관리 시스템 및 정책개발
- 건설재료/자재 건설재료 친환경 표준시방 지침 개발	- 건설재료 사용·유지·폐기분야 CO₂ 저감 및 관리체계 구축
- 에너지 절약형 친환경 고기능성 내외장재 제조 및 시공기술 개발 - 콘크리트 2차 제품의 제로에너지 시스템 개발	- CO₂ 저감형 조립식 외피모듈 개발

2절. 기획대상과제 조정결과

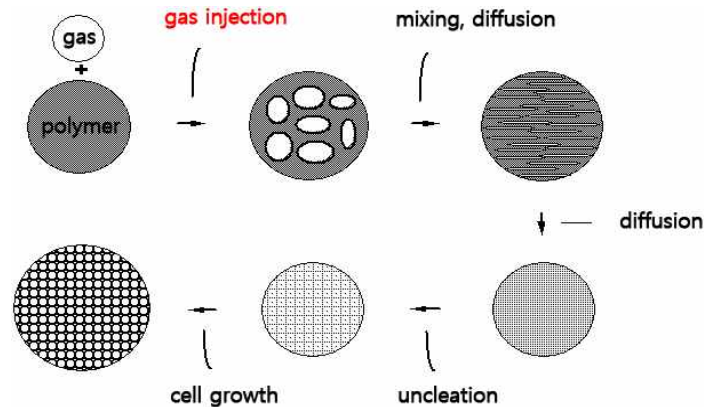
연번	기존과제		조정결과			조정사유
	과제명	예산 (백만원)	과제명	과제 성격	예산 (백만원)	
1	시멘트 저감형 고성 능 콘크리트 제조 및 실용화	2,300	시멘트 저감형 결합 재를 이용한 80MPa 급 고성능 콘크리트 실용화 기술 개발	상용화	1,600	■ 과제통합 / 과제명 변경 － 2개의 과제내용을 통합하여 (시멘트 저감형+지오폐리머 결합제) 연구수행이 가능한 제목과 내용 으로 과제 통합
	CO ₂ 저감을 위한 시 멘트 대체용 지오폐 리머 결합재 및 그린 콘크리트 개발	1,250				
2	CO ₂ 대량 흡수형 시 멘트계 광합성 건설 재료 개발	1,900	Carbon Negative 시멘트 콘크리트 기 술 개발	응용· 개발	1,100	■ 과제통합 － Carbon Neactive 시멘트와 콘크리트 기술이 ‘CO ₂ 대량 흡수형 광합성 건설 재료’ 내용을 포함 함.
	Carbon Negative 시 멘트 콘크리트 기술	2,800				
3	건설재료 전과정 CO ₂ DB 통합관리 및 운영시스템 개발	1,700	건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라 벨링 시스템화	응용· 개발	1,600	■ 과제통합 / 과제명 변경 － “건설재료 전과정 CO ₂ DB 통합관리 및 운영시스템 개 발” + “건설재료/ 자재 전과정 CO ₂ 배출계수 데이터베 이스 구축” → “건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라 벨링 시스템화”로 통합 － “건설재료/자재 전 과정 CO ₂ 평가 시 스템 및 프로그램 개발” + “건설재 료 CO ₂ 평가 및 LCI DB 관리기술 개발 및 적용 활성 화” 통합
	건설재료/자재 전과정 CO ₂ 평가 시스템 및 프로그램 개발	1,500	건설재료 LCCO ₂ 평 가기술 및 탄소배출 저감 관리기술 개발	응용· 개발	700	
	건설재료/자재 전과정 CO ₂ 배출계수 데이 터베이스 구축	2,500	건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라 벨링 시스템화	응용· 개발	1,600	
	건설재료 LCCO ₂ 평 가 및 LCI DB 관리 기술 개발 및 적용 활성화	2,000	건설재료 LCCO ₂ 평 가기술 및 탄소배출 저감 관리기술 개발	응용· 개발	700	
4	상변화물질을 이용한 냉방 및 난방 에너지 자체 생산 건설재료 개발	2,400	상변화물질을 이용한 공동주택 냉방 및 난 방에너지 저감 건설 재료 개발	기초· 원천	2,700	■ 과제명 변경 － 에너지 자체생산은 실효성 및 실현시기 등을 고려하여 삭제

연 번	기존과제		조정결과			조정사유
	과제명	예산 (백만원)	과제명	과제 성격	예산 (백만원)	
5	건설재료/자재 탄소라벨링 제도 및 평가관리 시스템 개발	1,700	건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라벨링 시스템화	응용 · 개발	1,600	■ 과제명 변경, 타과제 통합 - “건설재료 전과정 CO ₂ DB 통합관리 및 운영시스템 개발” 과 “건설재료/자재 전과정 CO ₂ 배출계수 데이터베이스 구축” 을 통합하여 과제명 변경
6	에너지저감형 steel material 기술개발 및 실용화	3,000	에너지 저감형 비정질 steel 활용기술 개발	상용화	1,500	■ 과제명 변경 - 기술 및 CO ₂ 저감 인자를 구체화하여 과제명 변경
7	레미콘 회수수의 탄소화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술개발	900	레미콘 회수수의 탄소화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	응용 · 개발	2,300	■ 변경 없음 - 연구내용 및 응용기술 확대
8	CO ₂ 를 활용한 무기성 순환자원의 탄소저감형 건설재료 개발 및 활용기술	3,600	CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애시의 개질처리 · 소재 활용기술 개발	기초 · 원천	1,600	■ 과제명 변경 - 연구대상의 구체화와 공정기술을 포함한 기술내용으로 과제명 변경
9	전기변색기반 미래혁신 스마트창호기술개발	1,500	열차단을 50% 이상 급 스마트 창호 기술 개발	상용화	2,600	■ 과제통합 - 전기변색기반 + 열차단 필름을 통합하고 성능수준을 제시하는 과제명으로 변경
	온도감응형 스마트윈도우 코팅 열차단 필름 개발	1,500				
10	생분해 시간제어 매립용 인조목 개발	1,500	시간제어형 생분해성 Bio Composite 기술개발	응용 · 개발	2,100	■ 과제명 변경 - 생분해 시간제어 인조목에 한정하지 않고 소재개발과 활용(연구내용과 범위 확대)을 확대 조정
11	미생물을 이용한 친환경 콘크리트의 코팅기법 개발	1,500	미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발	기초 · 원천	2,500	■ 변경 없음 - 연구내용 및 범위 확대
12	경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열벽체 개발	1,350	경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열벽체 개발	상용화	1,800	■ 변경 없음 - 연구내용 및 범위 확대
13	에너지저감형 건설재료 및 시스템 개발	2,100	열손실지수 30% 저감형 EEH(Energy Efficiency Housing) 시스템 개발	상용화	2,400	■ 과제명 변경 - 기술의 목표성능과 내용을 구체화하여 과제명 변경

연 번	기존과제		조정결과			조정사유
	과제명	예산 (백만원)	과제명	과제 성격	예산 (백만원)	
14	완전 재자원화를 고려한 무클링커결합재 콘크리트기술 개발	1,400	비소성 결합재를 활용한 CO ₂ 저감형 콘크리트 개발	상용화	2,400	■ 과제통합 - 무클링커 결합재와 혼합시멘트 개념을 포함한 비소성 결합재 개념으로 통합조정.
	석회석 광물을 이용한 CO ₂ 저감형 차세대 혼합 시멘트 (PLC) 생산기술 개발	470				
15	건설재료/자재 건설재료 친환경 표준시방지침 개발	1,500	탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발	응용·개발	600	■ 과제통합 / 과제명 변경 - 탄소저감형 건설재료 생산분야 CO ₂ 저감기술과 통합하여 과제명 변경
16	탄소저감형 건설재료 사용·유지관리·폐기 분야 CO ₂ 저감기술	1,000	건설재료 LCCO ₂ 평가기술 및 탄소배출저감 관리기술 개발	응용·개발	700	■ 과제통합 / 과제명 변경 - 건설재료 CO ₂ 평가와 과제통합 후 과제명 변경
	탄소저감형 건설재료 생산분야 CO ₂ 저감기술	1,200	탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발	응용·개발	600	■ 과제통합 / 과제명 변경 - 탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발을 연구 포함하여 과제명 변경
17	환경부하 저감형 조립식 외피모듈 개발	1,700	초경량 PC 복합패널을 활용한 탄소저감형 고단열 외피 모듈화 시스템 개발	상용화	1,200	■ 과제명 변경 - 기술의 성능과 목표를 구체화하고 제목에 반영
18	IT 기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발	1,000	IT기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발	응용·개발	1,100	■ 변경 없음
19	에너지 절약형 친환경 고기능성 내외장재 제조 및 시공기술 개발	1,500	무양생 공정에 의한 친환경 기능성 콘크리트계 건축 내외장재 및 시공기술 개발	상용화	2,500	■ 과제통합 / 과제명 변경 - 무양생과 내외장재 기술을 통합하여 과제목표와 내용 설정
	콘크리트 2차 제품의 제로에너지 시스템 개발	720				
20	정유산업 부산 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발	1,500	정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발	응용·개발	2,700	■ 변경 없음
추가			발포대체 가스의 CO ₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발	상용화	550	■ 과제 추가 - 연구추가사유 첨부 참조

□ “발포대체 가스의 CO₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발”의 추가 사유

- 압출법 발포스티렌단열재 (Extruded polystyrene insulation, XPS)는 폴리스티렌수지를 첨가제(난연제, 색소, 조해제 등)1차 믹싱투입 **고온 고압에서 발포제와 액상상태**에서 혼합하여 압출발포용이한 상태로 냉각 진공 혹은 상압에서 압출성형한 연속된 Closed cell 형상에 단열제품으로 단열성이 우수한 것이 특징임



[그림 3.1] 압출발포이론도식

- 2001년 건축물 단열기준 20% 강화 계기로 XPS시장은 단열성의 우수성에 의해 단열재 시장에서 급속히 성장함(유기질단열재 시장 2002년기준 2%에서 2009년 기준 21% 점유 증대). 2010년 11월에 건축물 단열기준 약 28% 강화로 시장은 계속적으로 확대 예상됨.
- XPS 단열재 제품생산시 발포제로 과거 사용하였던 CFC류나 현재 사용하는 HCFC류는 발포컨트롤이 쉽고, 발포제 자체 낮은 열전도율로 장기간 제품내 잔류해 고단열제품 제조가 용이함(열전도율 0.027-0.031 W/m·K)
- 발포제로 쓰이는 HCFC류의 ODP(오존층 파괴 지수) 및 GWP(지구 온난화 지수)가 높아 몬트리올 의정서에 따라 국내의 경우, 2013년부터 사용량이 동결되고 2015년부터 순차적으로 감축하여 2040년까지 전면 폐지해야 함. 따라서 우수한 단열성능을 갖는 XPS 단열재의 생산을 유지하기 위해서는 대체 친환경 발포제를 활용한 단열재 생산기술 개발이 필요함.
- XPS 단열재 생산업체는 상대적으로 영세하고 생산기술기반이 취약하여, 기술개발이 필요함에도 투자 등의 어려움으로 사용이 금지될 경우 단열재 시장을 친환경발포제로 대체한 외국선진기술에 의해 생산된 단열재(ex, 네오폴, BASF社) 등에 의하여 시장이 잠식되고, 국내 유기단열재의 기반이 흔들릴 가능성이 있음.

〈표 3.1〉 국내외 XPS 단열재에 사용되는 발포제

지역구분	업체명	발포제	친환경여부		비 고
			ODP	GWP	
국내	벽산	HCFC계열	X	X	국내 단열재는 모두 사용금지 대상임
	세경	HCFC계열	X	X	
	그린피아	HCFC계열	X	X	
	기타	HCFC계열	X	X	
EU	Dow	HFC계열	O	X	
		CO ₂ 계열	O	O	
	BASF	HFC계열	O	X	
		CO ₂ 계열	O	O	
	Knauf	HFC계열	O	X	
일본	Kaneka	Iso-Butane	O	O	
미국	Owens corning	HFC계열	O	X	

- GWP -Global Warming Potential (지구 온난화 지수) : 교토 의정서 규제
- ODP -Ozone Delpetion Potention (오존층 파괴 지수) : 몬트리올 의정서 규제

〈표 3.2〉 국내외 발포제 사용규제 현황

규 제 물 질	규 제 일 정	
	선 진 국	개 도 국
염화불화탄소 (HCFC 40종)	'96.1.1부터 동결 '04.1.1부터 35.0% 감축 '10.1.1부터 75.0% 감축 '15.1.1부터 90.0% 감축 '20.1.1부터 99.5% 감축 '30.1.1부터 전면폐지	'13.1.1부터 동결 '15.1.1부터 10.0%감축 '20.1.1부터 35.0%감축 '25.1.1부터 67.5%감축 '30.1.1부터 97.5%감축 '40.1.1부터 전면폐지



필요성

단열시장의 확대와 온실가스 대책의 일환으로 규제대상 발포제를 대체하여 CO₂를 발포제로 활용하는 생산기술 필요

3절. 연구개발과제 추진체계 수립

1. 기획대상과제 QFD 검토

- 20개의 기획대상과제를 대상으로 32명의 기획위원이 평가하여 QFD(Quality Function Deployment) 방법론에 의한 과제연관성 및 우선순위 등을 분석하였으며, 결과는 다음과 같음.

가. 기획대상과제의 기술개발환경 Needs별 점수도출 결과

구분	기술개발환경 Needs	과제번호																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
기술 측면	에너지 저감효과가 필요하다	5	5	3	5	4	5	3	4	4	2	3	4	5	4		4	5	3	4	3
	자원재활용 효과가 크다	5	4					5	5		5	2			5		2				
	CO ₂ 대량배출 건설재료의 CO ₂ 저감효과가 크다	5	5		4		5	2	4		2	2		5	3	4		4	2		2
	건설재료·자재의 CO ₂ 관리기술이 필요하다	2	2	5	3	5	3	4		3	2	2	3	3		4	2	3		2	
	타 기술분야와 융합 기술 개발이 가능하다		4	4	4	3			5	3	3	3	3	5	3	4	4	3	3	3	3
	세계 1류의 원천기술 확보가 가능하다		5						4		3		2							3	3
	단기간에 기술확보가 필요하다			3		3								3							
	연관기술의 파급효과가 크다	2	4	2	3	4	3	2	5				4	4			2	3	2		2
	CO ₂ 저감효과가 크다	5	5	3	4	3	4	4	5	4	2	3	3	5	4	2	4	4	3	4	2
산업·경제적 측면	활용가능한 경제성 확보가 가능하다	4	3	2	2	2	4	2	4	3		3	4		5	4		3	2	3	2
	국내 건설자재 시장 진출 및 확대가 가능하다	4		2	4		5	3	3	4	4	4	3	5	3	3	3	3		4	3
	해외 친환경 건설자재 시장진출이 가능하다				2		3				2			3	3		3	3	5	3	
	국내외 탄소시장 진출이 가능하다	3	4	3		3	3	2	5		3	2	2			4	3	3		3	
	정부의 초기투자가 필요하다	3	5	5	4	4	5	4	4	3	4	3	3	5	4	5	4	4	4	4	3
	건설공사 비용절감효과가 크다	2					3	4			3		2	3	4			2			
정책·사회적 측면	건설재료 CO ₂ 배출관리정책이 필요하다	5		5		4			4		3					5	3	3			
	국가 온실가스 감축효과가 크다	5	5	2	3	3	5	3		3	3		3	5	3	2	4	3	2	3	
	탄소저감형 건설재료의 활용지원제도가 필요하다	3		5		4		3		3			3	2		5	3		3	2	3
	지속가능한 건설산업에 기여할 수 있다.	4	5	4	2	3	3	3	4	3	3	2	2	4	4	4	4	4	3	3	3
점수		3426	3347	2836	2379	2698	3076	2560	3282	2015	2456	1685	2494	3327	2543	2725	2644	2996	1847	2432	1747
순위		1	2	7	16	9	5	11	4	17	14	20	13	3	12	8	10	6	18	15	19

- 기획대상 과제 중 상위 3위 이내 기술은 “시멘트 저감형 결합재를 이용한 80MPa 급 고성능 콘크리트 실용화 기술개발”, “Carbon Negative 시멘트 콘크리트 기술 개발”, “열손실지수 30% 저감형 EEH(Energy Efficiency Housing) 시스템 개발” 기술로 도출됨.

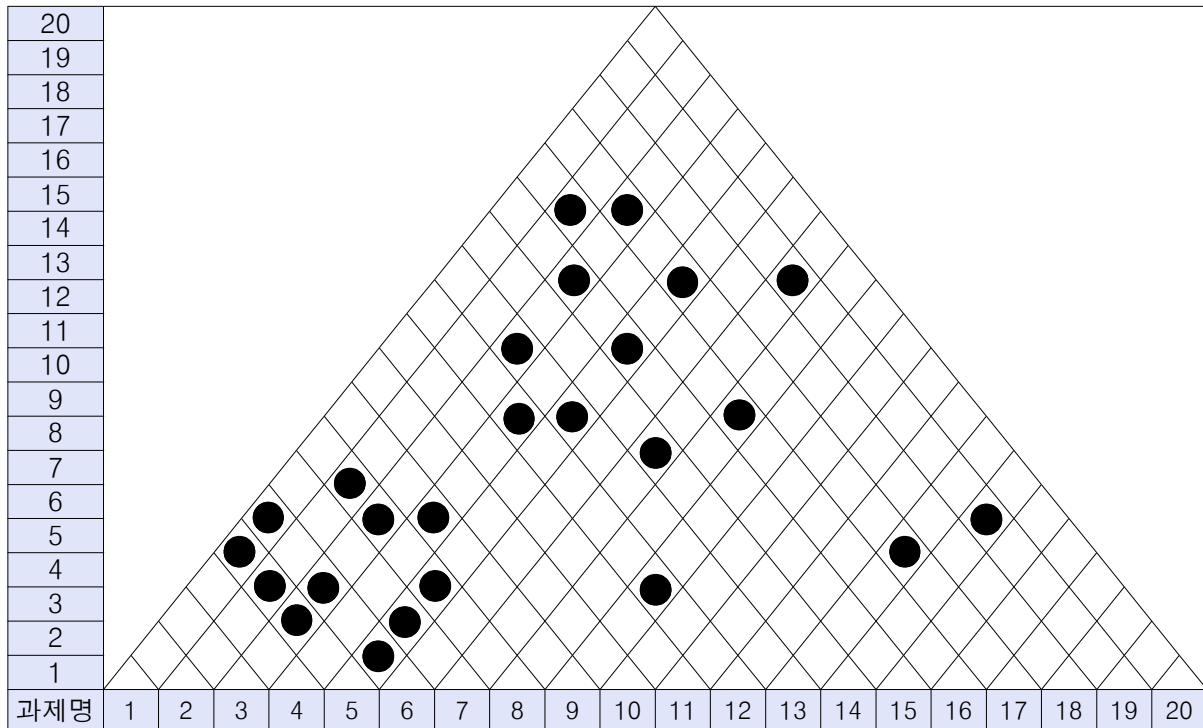
〈표 3.3〉 후보과제별 점수 및 우선순위

과제 번호	후보과제	점수	순위
1	시멘트 저감형 결합재를 이용한 80MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술개발	3,426	1
2	Carbon Negative 시멘트 콘크리트 기술 개발	3,347	2
3	건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라벨링 시스템화	2,836	7
4	상변화 물질을 이용한 공동주택 냉방 및 난방에너지 저감 건설재료 개발	2,379	16
5	건설재료의 LCCO ₂ 평가기술 및 탄소배출 저감 관리기술 개발	2,698	9
6	에너지 저감형 비정질 steel 활용기술 개발	3,076	5
7	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	2,560	11
8	CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애시의 개질처리·소재 활용기술 개발	3,282	4
9	열차단을 50% 이상급 스마트 창호 기술개발	2,015	17
10	시간제어형 생분해성 Bio Composite 기술개발	2,456	14
11	미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발	1,685	20
12	경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발	2,494	13
13	열손실지수 30% 저감형 EEH(Energy Efficiency Housing) 시스템 개발	3,327	3
14	비소성 결합재를 활용한 CO ₂ 저감형 콘크리트 개발	2,543	12
15	탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발	2,725	8
16	발포대체 가스의 CO ₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발	2,644	10
17	초경량 PC 복합패널을 활용한 탄소저감형 고단열 외피 모듈화 시스템 개발	2,996	6
18	IT기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발	1,847	18
19	무양생 공정에 의한 친환경 기능성 콘크리트계 건축 내외장재 및 시공기술 개발	2,432	15
20	정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발	1,747	19

나. 기획대상과제의 상호연관성 검토

- 20개의 기획대상 과제중 상호보완·의존적인 과제를 검토한 결과는 다음과 같음.

〈표 3.4〉 후보과제간 상호 의존성 검토

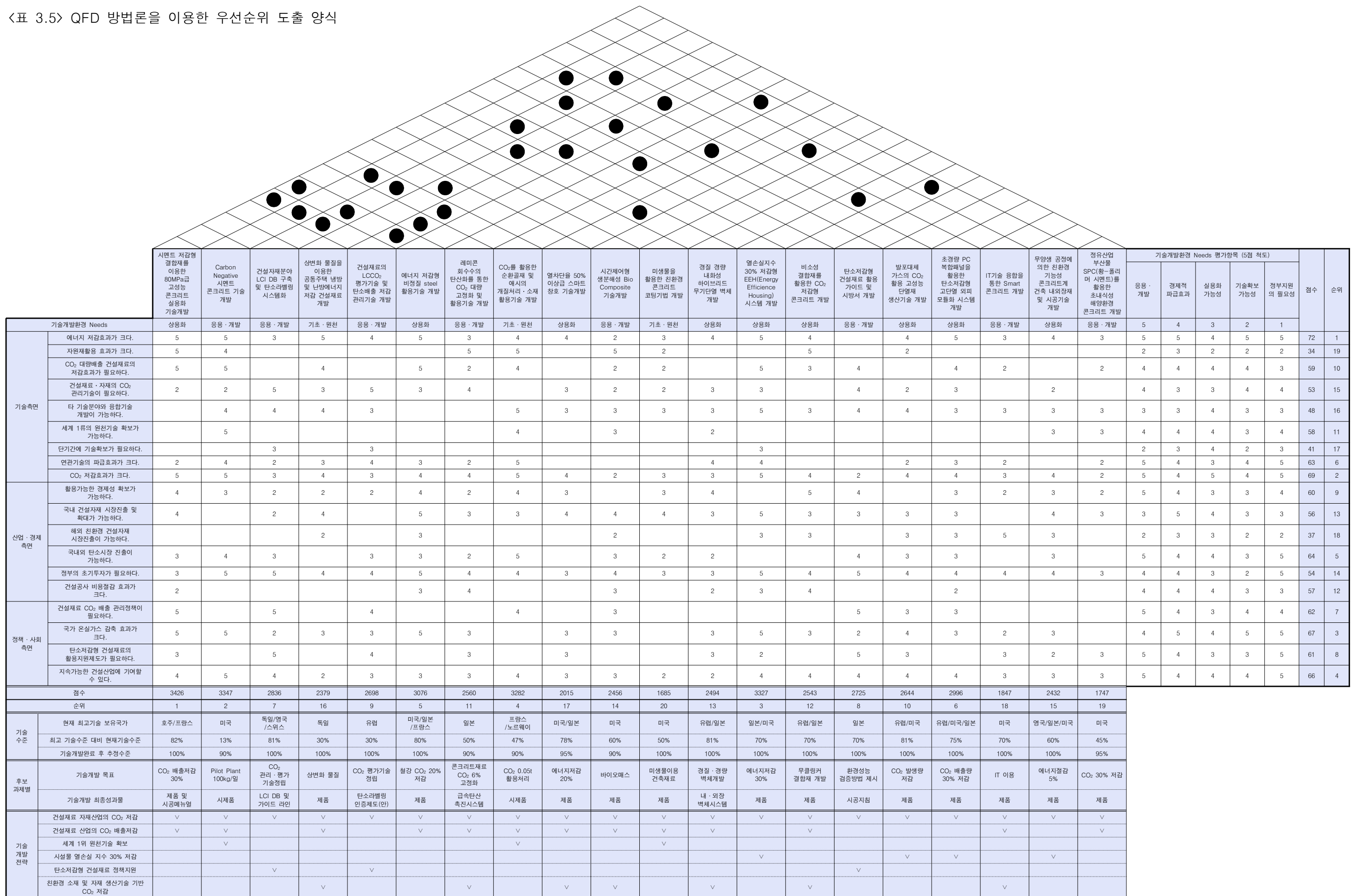


● : 상호보완·의존적

- CO₂ 통합관리 및 정책의 3개 과제는 CO₂ 배출저감, CO₂ 활용·처리, 에너지 저감형 고성능 건설재료 기술에 모두 밀접한 연관성을 확보함.
- 과제번호 1의 “시멘트 저감형 결합재를 이용한 80MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술개발”은 과제번호 6 “에너지 저감형 비정질 steel 활용기술 개발”과 CO₂ 배출저감으로 관계가 있으며, 콘크리트에 공통사용 재료로서 일체화된 제품구성의 연관성을 확보함.
- 과제번호 8의 “CO₂를 활용한 순환골재 및 애시의 개질처리·소재 활용기술 개발”과 과제번호 2 “Carbon Negative 시멘트 콘크리트 기술 개발”, 과제번호 16의 “발포대체 가스의 CO₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발”, 과제번호 7 “레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발”은 CO₂ 활용·처리기술로 상호의전적이며 연계 가능함.
- 과제번호 13 “열손실지수 30% 저감형 EEH(Energy Efficiency Housing) 시스템 개발”, 과제번호 17 “초경량 PC 복합패널을 활용한 탄소저감형 고단열 외피 모듈화 시스템 개발”은 고단열 시스템 기술로 상호의전적 연관성이 있음.

- 과제번호 4 “상변화 물질을 이용한 공동주택 냉방 및 난방에너지 저감 건설재료 개발”, 과제번호 9 “열차단율 50% 이상급 스마트 창호 기술개발”, 과제번호 12 “경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발”은 단열재료 및 시스템기술로 분류됨.
- 과제번호 3 “건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라벨링 시스템화”, 과제번호 5 “건설재료의 LCCO₂ 평가기술 및 탄소배출 저감 관리기술 개발”, 과제번호 15 “탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발”은 CO₂ 통합관리 및 정책으로 분류 가능하며 상호의존적 보완기술임.
- 과제번호 10 “시간제어형 생분해성 Bio Composite 기술개발”과 과제번호 18 “IT기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발”은 BT와 IT를 이용한 융합기술의 공통점이 있음.

〈표 3.5〉 QFD 방법론을 이용한 우선순위 도출 양식



2. 과제추진 체계정립

- 2단계 검토위원회에서 도출된 20개 과제를 대상으로 과제추진 체계 및 구성을 위하여 다음 사항을 고려함.

- (1) 사업단의 경우, "U-eco city", "초고층 복합빌딩"사업단과 같이 대형 목적형 사업 추진을 위한 구성인데 반하여 "탄소저감형 건설재료"는 건설산업의 기반이 되는 "허브기술 개념과 원천기술확보" 등의 성격으로 목적성 사업단보다는 "연구단"의 구성이 적합한 것으로 판단.

〈표 3.6〉 건설교통기술평가원의 과제추진체계 분류

사업단	기술별 총괄시스템의 개발과 연구개발결과의 시범 적용(Test Bed)을 포함하는 과제로서 정부출연금 300억원 이상, 5년 이상의 연구기간이 소요
연구단	단위·요소기술의 유기적 연계를 통하여 패키지화된 기술을 개발하는 과제로서 정부출연금 50억원 이상, 3~5년의 연구기간이 소요
일반과제	단위·요소기술을 개발하는 과제 또는 정책과제로서 정부출연금 50억원 이내로서, 3년 이내 연구기간이 소요

(2) 과제분류기준 설정

- ☐ 탄소저감의 직접적 효과 (CO₂ 저감량, 파급효과)를 우선 고려함

ex) CO₂ 배출저감형 > 친환경 소재 및 자재

- ☐ 기술적 실현가능성 및 실현시기를 고려함

- 가능한 실현시기와 가능성이 높은 과제 우선수행 선정

ex)

구분	2015년	2020년
시멘트 저감형 결합재를 이용한 80MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술 개발		
비소성 결합재를 활용한 CO ₂ 저감형 콘크리트 개발		

- ☐ 개발기술의 목표성능 수준과 과제성격 고려

- 원칙적으로 실용화, 원천기술 연구 우선 (응용연구 등은 민간중심 추진)

- 성능우위의 연구 우선

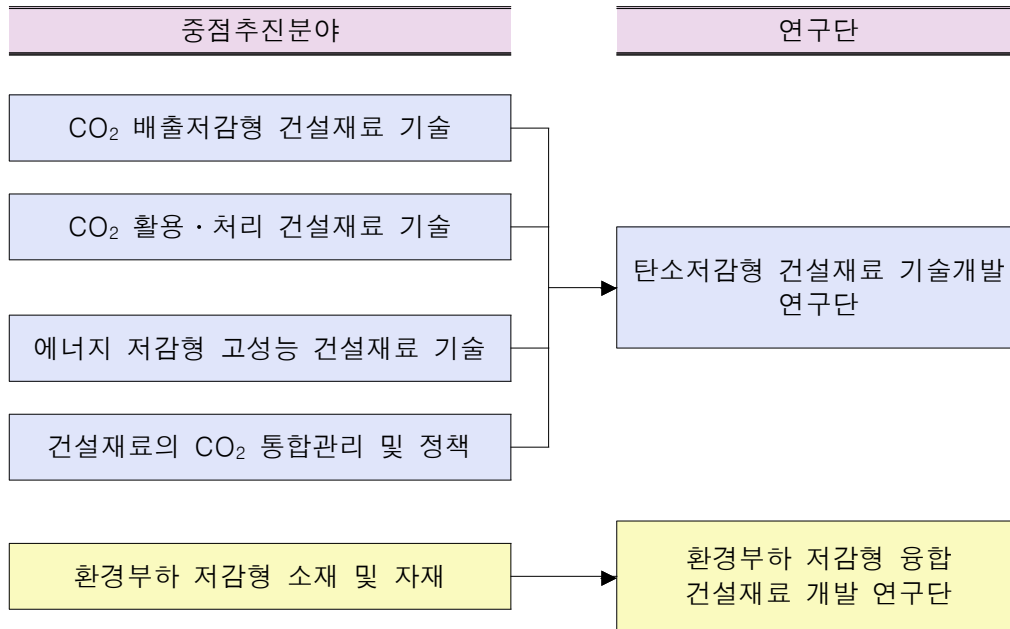
ex) 성능기준 : 경질경량 내화단열재 < 발포대체 가스의 CO₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발

- ☐ 연구단 세부과제를 학제적 분류를 지양하고 목적지향적 중점과제로 설정·분류

ex) CO₂ 배출저감, CO₂ 활용, CO₂ 통합관리 등

□ 20개 과제를 대상으로 QFD(Quality Function Deployment) 방법론 적용

- 기술개발환경 Need(응용·개발, 경제적 파급효과, 실용화 가능성, 기술확보 가능성, 정부지원의 필요성)와 과제연관성 검토결과 반영함.



(3) “CO₂ 통합관리 및 정책”과 “건설재료 기술개발”의 연관성 제고

- CO₂ 통합관리 정책분야의 경우, 타 건설재료 기술개발사업과 연계하여
 - ① CO₂ 배출, 저감량 산정
 - ② CO₂ 배출 프로세스 평가
 - ③ CO₂ 배출 DB 구축 및 관리방안 지원이 필요함
- 따라서 별도의 운영체계 구성을 지양하고 연계성 있는 연구단 구성



[그림 3.2] CO₂ 배출저감형 건설재료 생산기술 개념

(4) 기술분류상 단위목적성 연구는 별도 분리 (일반과제로 분류)

① “정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발”

- 일부 정유부산물 재활용이 포함되어 있으나, 해양구조물 적용이 주된 목적성 사업임. 해양구조물 적용 가능한 콘크리트 개발의 독립적 특성을 고려함.

② “미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발”

- “벽면녹화” 등의 개념으로 녹화공법기반으로 건설재료 기술이 일부분을 차지함. 따라서 타 옥상녹화 공법 등을 고려할 때 별도의 연구로 분류하여 재료기술 지원을 통한 목적달성 고려

(5) 건설소재/자재의 융합과 목적지향적 배치

- 건설소재(ex, Carbon Negative Cement)가 자재(콘크리트, PC)의 원료로 사용될 수 있는 경우 등을 고려하여 소재와 자재의 분류를 지양하고 적극적인 연계를 통한 목적달성형 기술분류로 추진
- 순수소재, 자재의 재료기술 배제(지식경제부 R&D) → 건설기술(재료+시공) 지향.

(6) 투입예산과 성과의 비교

- 적은 예산투입으로 큰 파급효과(CO₂ 저감, 기술적, 경제적 파급효과 등) 고려함.

추진체계 정립 기준

1. 사업단보다는 연구단 체제 적합
2. 탄소저감의 직접적 효과 고려
3. 기술적 실현가능성 및 실현시기 고려
4. 개발기술의 목표 성능수준과 과제성격 고려
5. 학제적 분류를 지양하고 목적지향적 중점과제로 설정·분류
6. 20개 과제를 대상으로 QFD 방법론 적용 (우선순위, 필요성 등)
7. “CO₂ 통합관리 및 정책” 과 “건설재료 기술개발” 의 연관성 제고
8. 기술분류상 단위목적성 연구는 별도분리(연구과제로 분류)
9. 건설소재/자재의 융합과 목적지향적 배치
10. 투입예산과 성과의 비교



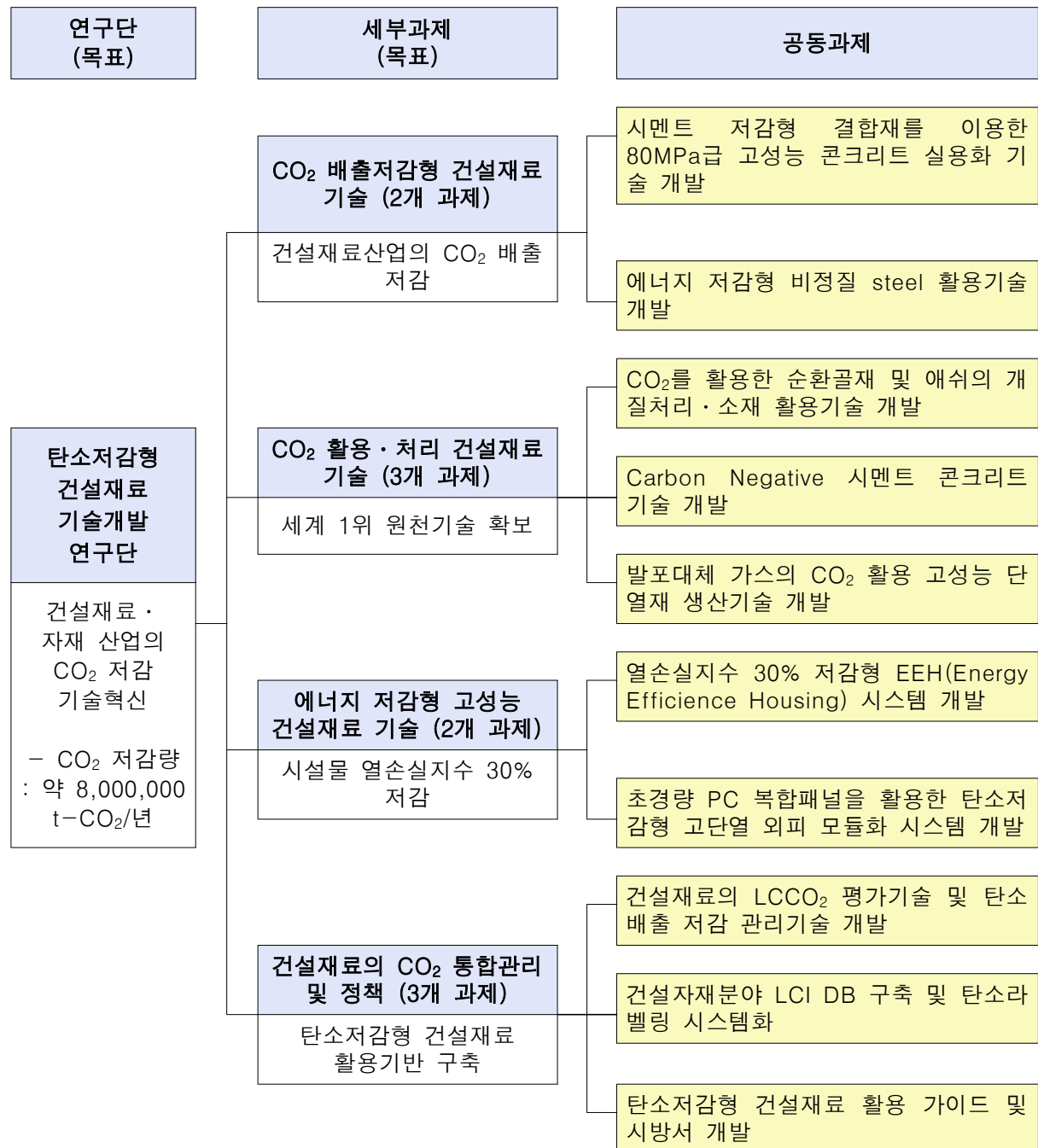
우선순위	연구단 (2건)
1	탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단
2	환경부하 저감형 융합 건설재료 개발 연구단
우선순위	일반과제 (2건)
1	정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발
2	미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발

3. 연구개발과제 도출결과

- 과제추진체계 정립기준으로부터 우선순위별로 2개의 연구단과 2개의 일반과제를 제안함.

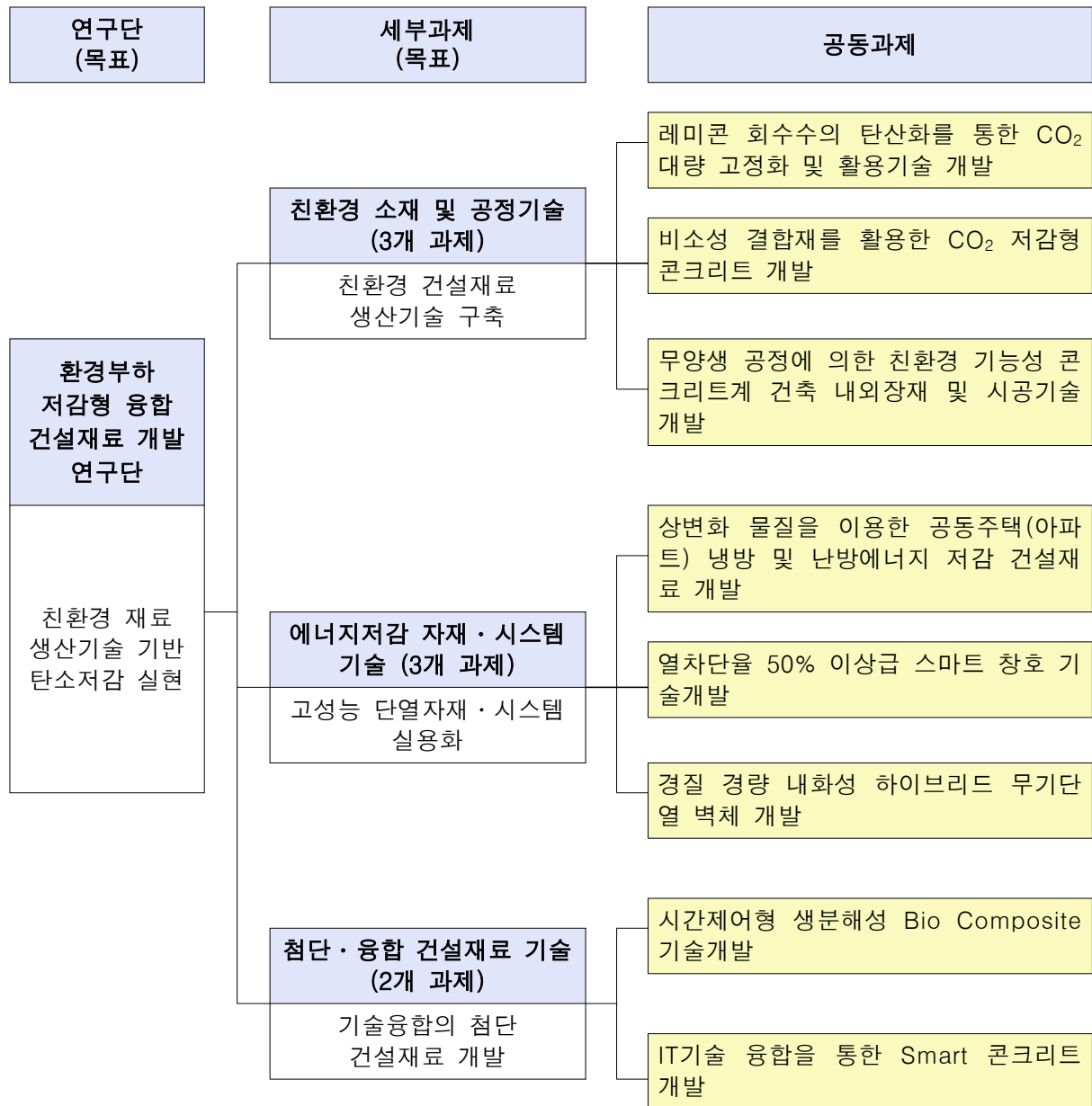
가. 연구단

(1) 우선순위 1. “탄소저감형 건설재료 기술개발” 연구단



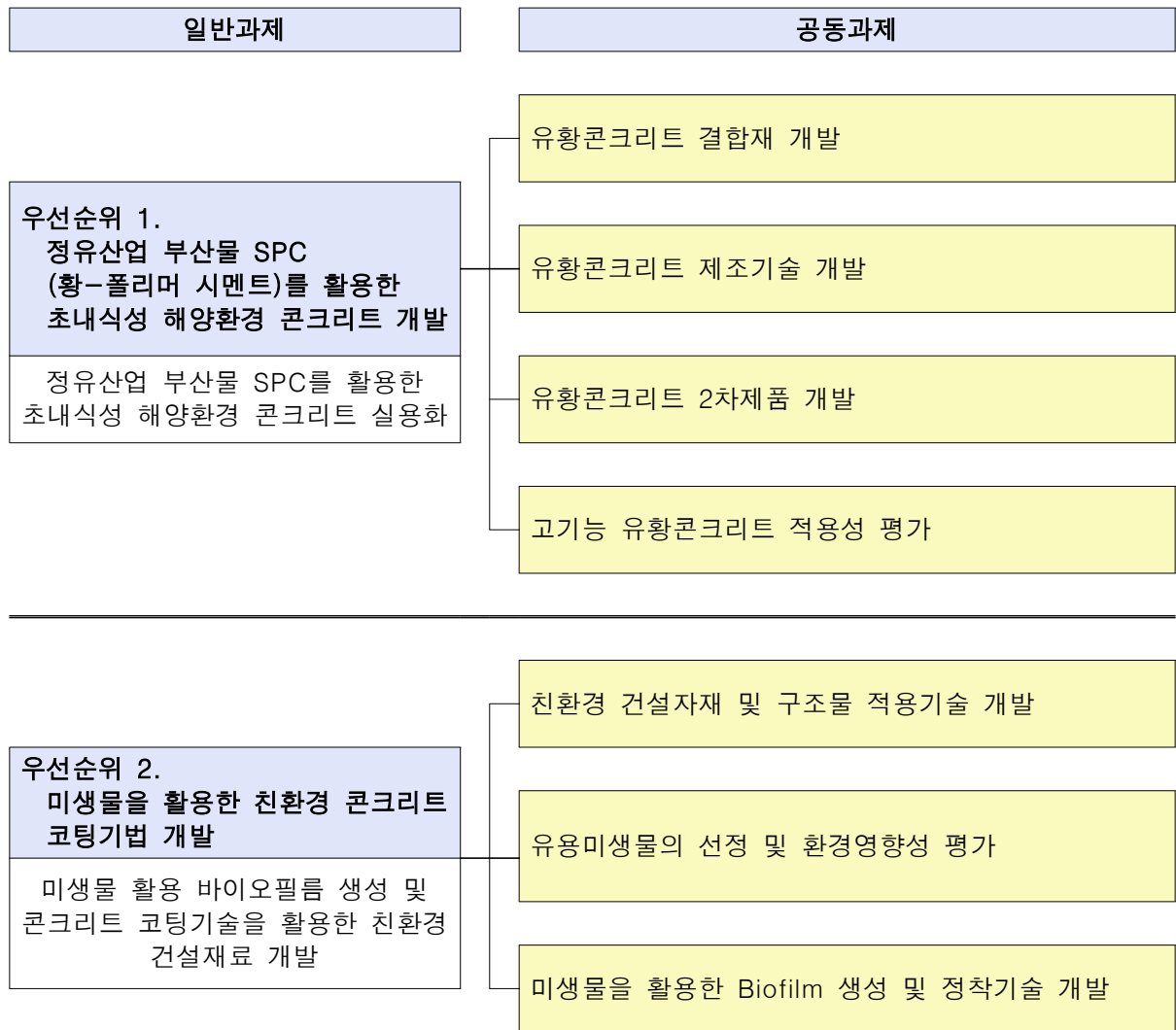
[그림 3.3] “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 구성체계

(2) 우선순위 2. “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발” 연구단



[그림 3.4] “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발 연구단” 구성체계

나. 일반과제



[그림 3.5] 일반과제 구성체계

4장. 연구개발과제 주요내용 및 기대효과

1절. 연구개발과제 주요내용

1. “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 과제

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물
연구단 총괄	탄소저감형 건설재료 기술개발 연구	○ 건설재료 · 자재산업의 유효한 CO ₂ 저감의 핵심기술 개발	○ CO ₂ 배출저감기술 ○ CO ₂ 활용 · 처리 기술 ○ 에너지 저감 효율제고 기술 ○ CO ₂ 통합관리 기술
1세 부과제	CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	○ 대량의 CO ₂ 배출원인 시멘트와 강재를 대상으로 생산기술 및 대체재료 활용기술 개발을 통한 CO ₂ 배출저감 기술 개발	○ 저시멘트 사용 고성능 콘크리트 기술 ○ 비정질 Steel 제조 및 활용기술
1-1 (공동)	시멘트 저감형 결합재를 이용한 80MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술 개발	○ 레미콘용 시멘트 저감형 고성능 콘크리트 제조기술 및 실용화 - 요구성능별 시멘트 저감형 결합재 및 활성화 기술 개발 결합재 / 활성화 기술 ○ PC제품용 무시멘트 고성능 콘크리트의 제조기술 및 실용화 - PC제품용 무시멘트 고성능 콘크리트의 배합 및 제조 기술 - 무시멘트 고성능 콘크리트를 활용한 PC 제품의 실용화 ○ High Volume Mineral Admixture 콘크리트 성능 향상 기술 - 결합재 성능향상 기술 - 반응촉진형 화학혼화제 개발	○ 시멘트 저감형 고성능 레디믹스트 콘크리트 생산기술 ○ 시멘트 저감형 고성능 콘크리트 활용 PC 제조기술 (시제품 등) ○ 현장적용 <u>2 건</u> 지적재산권 <u>3 건</u> 학술논문 <u>10 편</u>
1-2 (공동)	에너지 저감형 비정질 steel 활용기술 개발	○ 에너지저감형 비정질 steel 생산기술 고찰 ○ 에너지저감형 비정질 steel fiber 생산 및 사용 콘크리트의 제조기술(최적배합 도출 등) ○ 에너지저감형 비정질 steel fiber 사용 콘크리트의 공학적 특성 규명 ○ Mock-up 시험 및 현장적용성 평가 및 실용화	○ 에너지 저감형 steel fiber 활용 기술 ○ 에너지 저감형 steel fiber 활용 제품 (시제품 등) ○ 지적재산권 <u>3 건</u> 학술논문 <u>10 건</u>
2세 부과제	CO ₂ 활용 · 처리 건설재료 기술	○ CO ₂ 의 유효활용에 의한 타 물질전환과 소재개질 후 건설재료로 활용하는 기술개발	○ 순환골재 및 애쉬 CO ₂ 반응처리 및 개질소재 활용기술

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물
			○ CO ₂ Negative 시멘트 제조기술 등
2-1 (공동)	CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술 개발	○ 순환골재 및 발전소 버팀애쉬 CO₂ 활용·처리기술 개발 - 순환골재 및 발전소 버팀애쉬 탄산화 및 개질메카니즘 정립 - 촉진탄산화 반응공정 검토 및 최적 설계안 수립 - 순환골재 및 버팀애쉬 촉진탄산화 반응 실증 플랜트 제작 및 보완(1톤/일) ○ 순환골재 및 발전소 버팀애쉬 건설재료 활용 기술 개발 - 콘크리트, 벽돌, 블록 제조 및 품질평가 - 탄산화된 순환골재 및 버팀애쉬의 환경성 분석	○ CO₂ 활용처리 순환골재, 버팀애쉬 탄산화 등 개질처리 원천기술 ○ 개질형 순환골재 및 버팀애쉬 이용 골재, 콘크리트, 콘크리트 제품 및 생산기술 및 시제품 <u>2 건</u> ○ 지적재산권 <u>7 건</u> (국제특허 <u>1 건</u> 국내특허 <u>6 건</u>) 학술논문 <u>13 건</u> (SCI급 3건 포함)
2-2 (공동)	Carbon Negative 시멘트 콘크리트 기술 개발	○ Carbon Negative Clinker 합성 - 클링커 합성 원료 배합설계 ○ Carbon Negative Clinker Cement 제조기술 개발 ○ Carbon Negative Cement 성능검정 ○ Carbon Negative Cement를 이용한 콘크리트제품 개발 - 콘크리트 2차제품 배합설계 - 콘크리트 2차제품 공정설계 ○ 시작품 제작 및 Mock-Up - Pilot plant 제작(Carbon Negative Cement) 등 ○ 제조 시작품 제작 및 Mock-Up ○ Carbon Negative 시멘트·콘크리트의 성능기준 제시	○ Carbon Negative 시멘트 제조기술 ○ Carbon Negative 콘크리트 제품 (시제품 <u>2건</u>) ○ 시제품 : 2 ton 이상 (Carbon Negative 시멘트 기준) ○ 지적재산권 <u>3 건</u> (국제특허 <u>1 건</u> 국내특허 <u>2 건</u>) 원천기술확보 건수 <u>2 건</u> 학술논문 <u>9 건</u>
2-3 (공동)	발포대체 가스의 CO ₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발	○ 발포제대체 생산기술개발 ■ 친환경 발포제 Control 기술확보 - PS에 발포제의 분산 및 용해도를 높이기 위한 primary 압출기 설계 ■ 대체제품 단열성평가 (TEST BED) 및 단열향상방안 기술접목 ○ Graphite 첨가 고성능단열재개발 ○ Micro Cell Size 생산기술개발 - cell size의 열전도율 down 원리 설계 - 수지, 첨가제 품질 및 사용량 최적화	○ CO₂ 활용한 고성능 단열재 발포제조 및 생산 기술(Graphite Micro Cell 형성 등) ○ 지적재산권 <u>2 건</u> 학술논문 <u>2 건</u>

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물
		- 압출발포 공정 제어 및 최적화	
3세 부과제	에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	○ 시설물 열손실지수 30% 저감이 가능한 통합 에너지절감 재료 및 시스템 기술	○ EEH 시스템 기술 ○ 고단열 복합PC기술
3-1 (공동)	열손실지수 30% 저감형 EEH(Energy Efficiency Housing) 시스템 개발	○ Smart Window 기술 - 열손실지수 30% 향상이 가능한 Smart Window 기술 적용 • Smart Window D/B 구축 ○ Insulation Floor 기술 - 열손실지수 30% 향상이 가능한 Insulation Floor 기술 개발 • Foam & Expanded Aggregate Insulation Materials 기술(Floor) • Self Heating 적용 • Lightweight Insulation Vegetation Area 적용 ○ Insulation Roof 기술 - 열손실 지수 40% 향상이 가능한 Insulation Roof 기술 개발 • Foam & Expanded Aggregate Insulation Materials 기술 (Roof) • Insulation Paint 기술 • Lightweight Insulation Vegetation Area 적용 ○ Insulation Wall 기술 - 열손실지수 40% 향상이 가능한 Insulation Wall System 기술 개발 • Foam & Expanded Aggregate Insulation Materials 기술 (Wall) • Insulation Paint 기술	○ 열손실지수 30% 저감형 Housing 설계 · 시공기술 ○ 부위별 단열 재료 SYSTEM 시제품 3건 이상 ○ 지적재산권 <u>4 건</u> (국제 1건/국내 3건) 학술논문 <u>10 건</u>
3-2 (공동)	초경량 PC 복합패널을 활용한 탄소저감형 고단열 외피 모듈화 시스템 개발		○ 고단열 복합 PC를 이용한 설계 및 공법 기술 ○ 고단열 조립식 벽체 시제품 (초경량 고단열 복합 PC 패널) ○ 지적재산권 <u>2 건</u> 학술논문 <u>3 건</u>
4세 부과제	건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	○ 건설재료의 전생애주기 CO₂ 평가 · 관리 · 정책기술 개발	○ 건설재료 CO₂ 평가, 배출저감 관리 정책 및 LCI DB등
4-1 (공동)	건설재료의 LCCO ₂ 평가기술 및 탄소배출 저감 관리기술 개발	○ 건설재료의 라이프사이클 흐름도 개발	○ 탄소저감형 건설자재의 온실가스 배출량 산정 지침

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물
		○ 건설재료의 생산단계 온실가스 배출 평가 및 계수산정식 개발 - 건설재료의 온실가스 배출평가 데이터수집 및 평가방법론 선정 ○ 건설재료의 시공, 사용 및 폐기 단계의 탄소배출 평가 ○ 건설자재의 전생애주기 탄소배출량 저감 방안 도출 - 주요 투입원료별 및 주요 공정별 CO₂ 배출계수 개발 ○ 건설재료 LCI DB 활용 소프트웨어 개발 - 건축물 전생애주기와 관련된 건설재료의 LCCO₂ 평가 활용 방안 제시	○ 주요 투입원료별 및 주요 공정별 온실가스 배출계수 ○ 건축 및 건설분야 LCI DB 활용 소프트웨어 ○ 학술논문 <u>4 건</u>
4-2 (공동)	건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라벨링 시스템화	○ 건설재료의 환경성정보 LCI DB 구축 및 관리 방안제시 - 건설재료 분야 주요 개발 제품의 LCI DB 모듈 구축 ○ 탄소저감형 건설재료의 적용 확대를 위한 체계 구축 - 각종 인증제도, 표시제도 등에 탄소저감형 건설자재의 적용을 위한 제도 개선 방안 제시	○ 건설재료별 CO₂ 배출원단위 및 환경성정보 데이터베이스 ○ 건설재료분야 전생애주기 탄소라벨링 제도(안) ○ 학술논문 <u>5 건</u>
4-3 (공동)	탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발	○ 건설자재의 사용에 따른 CO₂ 배출 저감효과 평가 - 부위별 적용 자재의 대안별 생애주기 온실가스배출 평가 ○ 시공단계 저탄소재료 사용지침 개발 - 환경성능 검증형 콘크리트 시공지침 개발 ○ 자재군별 사용 및 유지관리 온실가스 저감을 위한 지침 개발 - 사용 및 유지보수 단계 탄소저감형 건설자재 활용 시방서 개발 ○ 폐기단계 온실가스 온실가스 저감을 위한 지침 개발 - 폐기 단계 탄소저감형 건설자재 활용 시방서 및 현장적용기준 작성	○ 탄소저감형 콘크리트 시공기술 가이드 개발 ○ 탄소저감형 건설재료 현장적용 기준 ○ 탄소저감형 건설재료 활용 시방서 ○ 학술논문 <u>5 건</u>

2. “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발” 연구단 과제

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물
연구단 총괄	환경부하 저감형 융합 건설재료 개발 연구	○ CO ₂ 저감소재 및 자재 첨단융합의 건설재료 제조기술 개발	○ 비소성 결합재 활용 콘크리트 및 무양생 내외장재 등
1세부과제	친환경 소재 및 공정기술	○ 비소성 결합재 활용 콘크리트 및 무양생 내외장재, 레미콘 회수수 탄산화 등의 CO ₂ 저감소재 제조 기술	○ 비소성 결합재 활용 콘크리트 ○ 무양생 내외장재 ○ 레미콘 슬러지 2차 제품 등
1-1 (공동)	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	○ 레미콘 회수수의 CO ₂ 대량 고정(삭감)화 기술에 대한 이론 정립 ○ 환경부하 저감형 급속탄산화 촉진제어 시스템 실용화 ○ 슬러지 고형분을 이용한 친환경 건설재료(콘크리트 2차제품) 생산기술 개발	○ 시제품 생산 : 슬러지 고형분을 주원료로 하는 친환경콘크리트 2차 제품개발 (인터로킹 블록, 벽돌 생산) ○ 시작품 : 급속 탄산화 촉진제어 자동화 시스템 구축 (실험용 / 실용화 Plant 용량 1m³) ○ 지적재산권 <u>3 건</u> (국제특허 <u>1 건</u> 국내특허 <u>2 건</u>) 학술논문 <u>10 건</u>
1-2 (공동)	비소성 결합재를 활용한 CO ₂ 저감형 콘크리트 개발	○ 비소성 결합재 개발 및 성능평가 - total CO ₂ 발생량 분석 및 검증 ○ 비소성 결합재를 활용한 콘크리트 개발 ○ CO ₂ 저감형 콘크리트의 성능 검증 및 프리믹스형 모르타르 제품 개발 ○ 비소성 결합재 콘크리트의 현장 시공성 평가 및 콘크리트 2차제품 개발 ○ 제조 시작품 제작 및 Mock-Up	○ CO ₂ 저감형 콘크리트 제조기술 ○ 비소성 결합재 프리믹스형 모르타르 제품 제조기술 ○ 비소성결합재 콘크리트 2차 시제품 ○ 지적재산권 <u>5 건</u> (특허출원 <u>5 건</u>) 학술논문 <u>20 건</u>
1-3 (공동)	무양생 공정에 의한 친환경 기능성 콘크리트계 건축 내외장재 및 시공기술 개발	○ 무양생 콘크리트를 위한 무기질 결합재 개발 ○ 기능성 마감소재 개발 ○ 무기질 결합재를 사용한 무양생 콘크리트 건축 내장재 개발 ○ 무기질 결합재를 사용한 무양생 콘크리트 건축 외장재 개발 ○ 건축 내외장재 모듈 개발	○ 무양생 콘크리트 제조·시공기술 ○ 무양생 콘크리트 시제품(2건) ○ 지적재산권 <u>6 건</u> (특허출원 <u>3 건</u> , 특허등록 <u>3 건</u>) 학술논문 <u>5 건</u> (학진등재후보지 이상)

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물
		○ 시공기술 개발	
2세 부과제	에너지저감 자재 · 시스템 기술	○ 단열재, 창호, PCM을 이용한 단열재 료 및 자재 개발	○ 열차단을 50% 이상 의 스마트창호 ○ 하이브리드 단열재 ○ 단열도료 및 시스템
2-1 (공동)	상변화 물질을 이용한 공동주택(아파트) 냉방 및 난방에너지 저감 건설재료 개발	○ 마이크로캡슐 상변화물질 개발 ○ 상변화물질 이용 열교환 도료용 안료 개발 ○ 마이크로캡슐 상변화물질 이용 열교 환 도료 개발 ○ 실용화를 위한 마이크로캡슐 상변화 물질, 안료 및 열교환 도료 양산화 기술개발 ○ 상변화물질 이용 열교환 실증	○ 상변화 온도가 2 5℃ 전후인 마이크 로 캡슐 상변화 물 질 ○ 건물의 냉난방 부하 절감을 위한 친환경 에너지 절감 도료 시제품 ○ 지적재산권 <u>5 건</u> (국제특허 <u>1 건</u> 국내특허 <u>4 건</u>) 학술논문 <u>10 건</u>
2-2 (공동)	열차단을 50% 이상급 스마트 창호 기술개발	○ 스마트창호용 비인듐계 투명전극 및 고투과율 전도성 투명용 전극 및 유 연성 전도성 필름 코팅 공정기술 개 발 ○ 고신뢰성 및 고변색효율을 갖는 변색 소재 제조 ○ 전해액 투과 방지를 위한 고차단성 기체투과방지막 필름 제조 ○ 스마트창호용 투명전극제조기술 : 고 전도성/투과도의 비인듐계 투명전극 소재 및 박막제조기술, 전도성고분자, CNT, 나노와이어 소재를 이용한 투 명전도성 전극 기술 정립 ○ 변색디바이스제작 및 평가	○ 시제품 2건 － 평판유리(비인듐계 금속산화박막) － 필름 : Roll to Roll방식, 유-무기 하이브리드 투명전 도성 필름 ○ 지적재산권 <u>3 건</u> (특허출원 <u>3 건</u>) 학술논문 <u>10 건</u>
2-3 (공동)	경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발	○ 무기계결합재-발포제 원료선정 및 최적배합기술 정립 ○ 발포온도 및 기공을 제어기술 개발 ○ 경질 경량성 및 단열특성 제어기술 개발 ○ 경질 경량 내화성 하이브리드 벽체시 스템 개발 － 내화성 이종재료와의 접합을 통한 벽체시스템 개발 － 건축물 내화성 벽체시스템 등으로 의 적용기술 개발	○ 경질 경량 내화성 무기단열재 제조기 술 (시작품 1점) ○ 하이브리드 단열재 제조기술 및 시공기 술 ○ 지적재산권 <u>5 건</u> (특허출원 <u>5 건</u>) 학술논문 <u>5 건</u>
3세 부과제	첨단 · 융합 건설재료	○ 시간제어형 Bio Composite 및	○ 시간제어형 생분해

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물
	기술	self-healing형 콘크리트 제조기술 개발	성 Bio Composite ○ IT기술 접목형 스마트콘크리트 제조기술
3-1 (공동)	시간제어형 생분해성 Bio Composite 기술개발	○ 시간제어가 가능한 원료에 대한 Bio Composite 검토 ○ Bio Composite 제조기술 개발 ○ Bio Composite를 이용한 응용제품 개발 및 실용화	○ 시간제어형 생분해 제품 제조기술 확보 (시제품 1건) ○ 지적재산권 <u>2 건</u> (특허출원 <u>2 건</u>) 학술논문 <u>2 건</u>
3-2 (공동)	IT기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발	○ Piezoresistivity가 활성화된 Smart 콘크리트 재료 검토 - Piezoresistivity가 활성화된 콘크리트 재료개발 ○ 콘크리트 균열 검출을 위한 전기적 임피던스 토모그래피 기술정립 - 콘크리트 전기적 임피던스 토모그래피 기술개발 ○ 콘크리트 전도성 측정 및 무선 송신 모듈개발 및 시스템구축 - 실험실용 전도성 측정 모듈 개발 - 개발 모듈들을 시스템으로 통합, 검정 및 개선	○ Piezoresistivity가 활성화된 콘크리트 재료 기술 (시제품 1점) ○ 전기적 임피던서 토모그래피 (EIT) 기술 ○ 지적재산권 <u>2 건</u> 학술논문 <u>9 건</u>

3. 일반과제 1. 정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발 과제

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물
1 일반과제	정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발	○ 유황폴리머 합성재료 개발 ○ 구조부재용 유황폴리머 개발 ○ 유황콘크리트 및 2차제품 제조 ○ 유황콘크리트 해양 적용성 평가	○ 고기능성 유황폴리머 ○ 유황 콘크리트, 유황 콘크리트 2차제품 ○ 해양환경 적용 매뉴얼 ○ 현장적용 <u>3 건</u> 특허 <u>5 건</u> 논문 <u>10 편</u>
공동 1	유황콘크리트 결합재 개발	○ 유황폴리머 합성재료 개발 - 유황 합성용 폴리머 재료 개발 및 합성 공정 개발 - 기존 대비 저온 용융 유황 결합재 합성재료 개발 ○ 구조부재용 유황폴리머 개발 - 구조부재용 인성 보강형 유황폴리머 합성체 개발 - 용도별 유황폴리머 결합재 성능 보완 기술 개발	○ 고기능성 유황폴리머 결합재 특허 <u>2 건</u> 논문 <u>3 편</u>
공동 2	유황콘크리트 제조기술 개발	○ 유황콘크리트 제조기술 - 유황콘크리트용 저비용 골재 개발 - 저비용 유황콘크리트 재료 구성 및 기본 배합 기술 개발 ○ 유황콘크리트 2차제품 제조 - 유황콘크리트 2차 제품 설계 - 인성 보강 재료구성 및 배합 기술 - 2차 제품 시제품 제작 및 시방서	○ 유황콘크리트, 유황콘크리트 2차제품 특허 <u>2 건</u> 논문 <u>3 편</u>
공동 3	유황콘크리트 2차제품 개발	○ 유황콘크리트 해양 적용성 평가 - 유황콘크리트 내구성 및 내식성 시험 평가 - 유황콘크리트 생물 친화성 검증 - 해양 환경 유황콘크리트 구조체 적용 매뉴얼 개발	○ 해양환경 적용 매뉴얼 현장적용 <u>3 건</u> 특허 <u>1 건</u> 논문 <u>4 편</u>

4. 일반과제 2. 미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발 과제

구 분	과제명	주요내용	최종 성과물
2 일반과제	미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발	○ 친환경 건설자재 및 구조물 적용기술 개발 ○ 유용미생물의 선정 및 환경영향성 평가 ○ 미생물을 활용한 Biofilm 생성 및 정착기술 개발	○ 미생물 활용 바이오-스마트 콘크리트 코팅 및 균열보수 시공 기술 ○ 환경영향성 평가 보고서 1건 ○ 특허출원 <u>3 건</u> 논문제출 <u>9 건</u>
공동 1	친환경 건설자재 및 구조물 적용기술 개발	○ 친환경 콘크리트의 개발 - 탄소저감을 위한 저시멘트 콘크리트의 개발 및 성능평가 - 친환경 콘크리트에 의한 LCCO₂의 정량적 평가	○ 친환경콘크리트제품 ○ 특허출원 <u>1 건</u> 논문제출 <u>3 건</u>
공동 2	유용미생물의 선정 및 환경영향성 평가	○ 미생물 선정 및 활용검증 - 광물결정 형성 유용미생물 분리 및 증식으로 미생물자원 확보 - 미생물의 콘크리트 환경 적용을 위한 적용을 위한 생리활성물질에 대한 콘크리트 응용 가능성 검증 ○ 환경영향평가 - 미생물 및 미생물에 의한 생성물이 인체에 미치는 영향성 평가	○ Bio 필름용 미생물 및 배양 보존기술 ○ 특허출원 <u>1 건</u> 논문제출 <u>3 건</u>
공동 3	미생물을 활용한 Biofilm 생성 및 정착기술 개발	○ 콘크리트 코팅기술로서의 Biofilm 활용기술 개발 - 콘크리트 표면의 미생물 최적 환경조건에 관한 메커니즘 - Biofilm에 의한 Solid carbonate formation 및 탄소저감의 정량적 평가 ○ NT 및 BT 융합 건설재료 - 연구기관 및 기업 등의 공동·협조 시스템을 형성함으로써 최고의 인프라 구축 - 미생물 및 에너지 관련 전문가와의 공동연구 체계 수립 - Bio 재료의 활용에 의한 BT와 무기재료 또는 건설재료와의 융복합 기술	○ Biofilm 코팅생성기술 ○ Biofilm적용 친환경 콘크리트제품 ○ 특허출원 <u>1건</u> 논문제출 <u>3건</u>

2절. 연구개발과제 활용방안

1. “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 과제

구분	과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
연구단 총괄	탄소저감형 건설재료 기술개발 연구	○ 시멘트 저감형 고성능 콘크리트 등 실용화 시스템 및 기술 15건 이상	○ 건설사 ○ 정부 등	○ 건설산업의 CO ₂ 저감 건설재료 활용
1세부과제	CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	○ 시멘트 저감형 고성능 콘크리트의 레디믹스트 생산기술 ○ 에너지 저감형 steel fiber 활용 기술	○ 건설재료 생산업체	○ 레미콘, 콘크리트 시장에서 탄소저감형 결합재 및 저시멘트, 강재를 이용한 제조기술 활용
1-1 (공동)	시멘트 저감형 결합재를 이용한 80MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술 개발	○ 시멘트 저감형 고성능 콘크리트의 레디믹스트 생산기술 ○ 시멘트 저감형 고성능 콘크리트 활용 PC 제조기술 (시제품 등) ○ 현장적용 <u>2건</u> 지적재산권 <u>3건</u> 학술논문 <u>10편</u>	○ 레미콘사, 건설사, PC제품생산업체 등	○ 기존 시멘트 콘크리트 시장을 “시멘트 저감형 콘크리트” 시장으로 대체 활용
1-2 (공동)	에너지 저감형 비정질 steel 활용기술 개발	○ 에너지 저감형 steel fiber 활용 기술 ○ 에너지 저감형 steel fiber 활용 제품 (시제품 등) ○ 지적재산권 <u>2건</u> 학술논문 <u>10건</u>	○ 건설사, 설계업체	○ 건축용 바닥구조물 및 토목용 슛크리트 등 건설생산 현장에 활용
2세부과제	CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	○ CO₂ 활용처리 순환골재, 버팀 애쉬 탄산화 등 개질처리 원천기술 ○ Carbon Negative 시멘트 제조기술	○ 건설재료 생산업체	○ 순환골재 및 애쉬의 개질 후 바인더 및 골재로서 활용 ○ CO₂ 저감형 시멘트 및 고성능 단열재 제조 활용

구분	과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
		CO₂ 활용한 고성능 단열재 발포제조 및 생산 기술		
2-1 (공동)	CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술 개발	- CO₂ 활용처리 순환골재, 버텀 애쉬 탄산화 등 개질처리 원천기술 - 개질형 순환골재 및 버텀애쉬 이용 골재, 콘크리트, 콘크리트 제품 및 생산기술 및 시제품 2건 - 지적재산권 7건 (국제특허 1건, 국내특허 6건) 학술논문 13건 (SCI급 3건포함)	- 순환골재 생산업체 - 발전소 - 콘크리트 제품 제조사	- 순환골재 생산업체의 CO₂ 활용처리기술 지원 - 화력발전소의 버텀애쉬의 건설재료 활용기술 지원 - 친환경 건설재료로 골재, 콘크리트, 벽돌, 블록 소재 활용
2-2 (공동)	Carbon Negative 시멘트 콘크리트 기술 개발	- Carbon Negative 시멘트 제조기술 - Carbon Negative 콘크리트 제품 2건 - 시제품 : 2 ton 이상 (Carbon Negative 시멘트 기준) - 지적재산권 3건 원천기술 확보 건수 2건 학술논문 9건	시멘트 제조사, 레미콘 업체, 건설사	- 시멘트사를 통한 carbon negative 시멘트 핵심소재를 개발 및 2차제품 업체를 통한 친환경 제품의 사업화 활용 - 상용화 활용 가능 : 후속 실증화 R&D 기반 및 상용화 활용 - 정책제안 : CCS 적용 탄소거래, 녹색인증, 보급 정책제안 - 대국민 홍보 : CO₂ 먹는 건설재료(블록, 도로, 교량 및 터널)
2-3 (공동)	발포대체 가스의 CO ₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발	- CO₂ 활용한 고성능 단열재 발포제조 및 생산 기술 - 지적재산권 2건 학술논문 2건	XPS 단열재 제조사(국내B사)	- 기존 단열재시장의 발포 Gas 대체 활용(건축용 단열재-공동주택 등) 및 PLANT 수출 - 정책제안 : CCS 적용 탄소거래, 환경인증 - 대국민 홍보 : 고성능 단열재 사용 홍보
3세 부과제	에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	열손실지수 30% 저감형 Housing 설계·시공기술	건설재료 생산업체	에너지 저감형 Green Home 활용

구분	과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
		고단열 복합 PC를 이용한 설계 및 공법 기술		
3-1 (공동)	열손실지수 30% 저감형 EEH(Energy Efficiency Housing) 시스템 개발	- 열손실지수 30% 저감형 Housing 설계 · 시공기술 - 부위별 단열 재료 SYSTEM 시 작품 3건 이상 - 지적재산권 4건 (국제 1건/국내 3건) 학술논문 10건	- 설계사 - 건설사 (공공건물, 주거용 건물 적용)	- 친환경 주택건설 기준에 만족하는 Green Home 건설 활용 - 정책 제언 : Green Home 성능 기준 및 보급 정책 활용 - 에너지 평가 기준 및 성능 guideline 활용
3-2 (공동)	초경량 PC 복합패널을 활용한 탄소저감형 고단열 외피 모듈화 시스템 개발	- 고단열 복합 PC를 이용한 설계 및 공법 기술 - 고단열 조립식 벽체 시제품 (초경량 고단열 복합 PC 패널) - 지적재산권 2건 학술논문 3건	- 설계사 - 건설사 (공공건물, 주거용 건축물)	- 라멘조, 플랫플레이트 슬라브 공법에 적용되는 조립식 외벽 (건설사) - 에너지 평가 기준 및 성능 guideline 활용
4세부과제	건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	건설재료 CO₂ 평가, 배출저감 관리정책 및 LCI DB등	- 건설재료업체 - 정부	건설재료 및 자재산업 CO₂ 배출관리와 정책추진 활용
4-1 (공동)	건설재료의 LCCO ₂ 평가기술 및 탄소배출 저감 관리기술 개발	- 탄소저감형 건설 자재의 온실가스 배출량 산정 지침 - 주요 투입원료별 및 주요 공정별 온실가스 배출계수 - 건축 및 건설분야 LCI DB 활용 소프트웨어 - 학술논문 4건	- 국토해양부 - 환경부 - 지식경제부	- 기존 건설재료의 온실가스배출량 산정하고, 개선된 신규재료의 저감량 산정 표준화 및 규격화 활용 - 건축물 계획 시 설계자들이 건축물의 환경부하를 줄이기 위한 대안 자재를 선정할 때에 선정 가이드로 활용
4-2 (공동)	건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라벨링 시스템화	- 건설재료별 CO₂ 배출원단위 및 환경성 정보 데이터베이스 - 건설재료분야 전	- 국토해양부 - 환경부 - 지식경제부	개별 마감자재의 환경성 정보 및 마감부재의 조합별 인벤토리를 체계적으로 구축하여 사용자들이 환경 친화적인 자재를 우선적으로 사용할 수 있도록

구분	과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
		생애주기 탄소라벨링 제도(안) ○ 학술논문 <u>5건</u>		록 유도 ○ 건설재료 탄소라벨링 제도의 통합적 모델 제시 및 시스템의 표준화 활용
4-3 (공동)	탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발	○ 탄소저감형 콘크리트 시공기술 가이드 개발 ○ 탄소저감형 건설재료 현장적용 기준 ○ 탄소저감형 건설재료 활용 시방서 ○ 학술논문 <u>5건</u>	○ 국토해양부 ○ 환경부 ○ 지식경제부	○ 건설자재의 친환경적 사용 가이드라인과 재활용 및 재사용에 대한 방법과 실천사례를 정리한 매뉴얼 등을 공급 활용 ○ 연구를 통해 제안된 환경성능 검증형 시공지침을 콘크리트표준시방서 개정 에 활용

2. “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발” 연구단 과제

구분	과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
연구단 총괄	환경부하 저감형 융합 건설재료 개발 연구	○ CO ₂ 저감형 콘크리트 제조기술 외 12개 기술	○ 건설재료업체 ○ 건설사	○ 건설현장에서 CO ₂ 저감형 건설소재·자재의 설계·시공에 활용
1세부과제	친환경 소재 및 공정기술		○ 건설재료업체 ○ 건설사	○ 시멘트 제조 및 콘크리트 2차제품, 내외장재 제조 공정 활용
1-1 (공동)	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	○ 시제품 생산 : 슬러지 고형분을 주원료로 하는 친환경 콘크리트 2차 제품개발 (인터로킹 블록, 벽돌 생산) ○ 시작품 : 급속 탄산화 촉진제어 자동화 시스템 구축 (실험용 / 실용화 Plant 용량 1m ³)	○ 시멘트 제조사 ○ 레미콘사	○ 레미콘 회수수의 pH 저감 시스템 및 고형분의 재활용 기술제공과 보급 활용
1-2 (공동)	무양생 공정에 의한 친환경 기능성 콘크리트계 건축 내외장재 및 시공기술 개발	○ 무양생 콘크리트 제조·시공기술 ○ 무양생 콘크리트 시제품(1건 이상) ○ 지적재산권 <u>6건</u> (특허출원 <u>3건</u> , 특허등록 <u>3건</u>) 학술논문 <u>5건</u> (학진 등재 후보지 이상)	○ 건설사	○ 콘크리트 2차제품의 양생 공정 개선자료 및 기술활용·보급 ○ 정책제안 : 탄소 저감 및 에너지 세이빙, 녹색인증, 실내 공기질 및 항균 항박테리아 정책 제안 활용
1-3 (공동)	비소성 결합재를 활용한 CO ₂ 저감형 콘크리트 개발	○ 지적재산권 <u>3건</u> (국제특허 <u>1건</u> , 국내특허 <u>2건</u>) 학술논문 <u>10건</u> ○ CO ₂ 저감형 콘크리트 제조기술 ○ 비소성 결합재 프리믹스형 모르타르 제품 제조 기술 ○ 비소성결합재 콘크리트 2차 시제품	○ 시멘트 제조사 ○ 혼화재 제조사 ○ 레미콘사 ○ 건설사	○ 시멘트 제조사 및 콘크리트 제조업체의 바인더 사용 매뉴얼 및 재료공급 활용

구분	과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
		○ 지적재산권 <u>5건</u> 학술논문 <u>20건</u>		
2세 부과제	에너지저감 자재·시스템 기술		○ 건설재료업체 ○ 건설사	○ 시설물 단열설계 및 시공 에 활용
2-1 (공동)	상변화 물질을 이용한 공동주택난방에너지 저감 건설재료 개발	○ 상변화온도가 2 5℃ 전후인 마이 크로캡슐 상변화 물질 ○ 건물의 냉난방 부하 절감을 위 한 친환경 에너 지 절감 열교환 도료 시제품 ○ 지적재산권 <u>5건</u> (국제특허 1건 국내특허 4건) 학술논문 <u>10건</u>	○ 건축자재업체 ○ 건축, 전기, 화장품 등 ○ 건축설계업체	○ 마이크로캡슐 상변화물질 : 축열 건자재, 열 이송 및 저장용 제조기술 및 현장활용
2-2 (공동)	경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발	○ 경질 경량 내화 성 무기단열재 제조기술 (시작 품 1점) ○ 하이브리드 단열 재 제조기술 및 시공기술 ○ 지적재산권 <u>5건</u> 학술논문 <u>5건</u>	○ 단열재 제조사 ○ 설계사 ○ 건설사	○ 불연성, 경질 경량성 및 단열특성을 갖는 내 외장 벽체 제조기술 보급 활용
2-3 (공동)	열차단을 50% 이상급 스마트 창호 기술개발	○ 시제품 2건 - 평판유리(비인 듐계 금속산화 박막) - 필름 : Roll to Roll방식, 유-무기 하이 브리드 투명 전도성 필름 ○ 지적재산권 <u>3건</u> 학술논문 <u>10건</u>	○ 창호회사 디스플레이부 품 터치패널 ○ 제조사 ○ 창호회사 ○ 건설사	○ 스마트창호, 차단커튼, 차 단막 창호 제품화 활용 ○ 단독주택 및 공공주택용 융합기술을 시스템 공급 활용 ○ 스마트창호 시스템화하여 에너지자립형 그린홈 공 급 활용
3세 부과제	첨단·융합 건설재료 기술		○ 건설재료업체 ○ 건설사	○ 토목시설물 및 콘크리트 의 유지관리를 고려한 친 환경 소재 및 제품으로 활용
3-1 (공동)	시간제어형 생분해성 Bio Composite 기술개발	○ 시간제어형 생분 해 제품 제조기 술 확보 (시제품 1건)	○ 인조목재 제조사 등 ○ 건설사	○ 잔디고정용 말뚝 및 식생 매트 등에 활용 ○ 시간제어형 생분해 소재 기술 보급·활용

구분		과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
			○ 지적재산권 <u>2건</u> 학술논문 <u>2건</u>		
	3-2 (공동)	IT기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발	○ Piezoresistivity 가 활성화된 콘 크리트 재료 기 술 (시제품 1점) ○ 전기적 임피던서 토 모 그 래 피 (EIT) 기술 ○ 지적재산권 <u>2건</u> 학술논문 <u>9건</u>	○ 시설물 진단업체 ○ 건설사	○ 구조물 건전성 모니터링 을 위한 신재료 및 시스 템으로 활용

3. (일반과제) 2개 과제

구분	과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
1 일반과제	정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발	- 고기능성 유황폴리머 - 유황 콘크리트, 유황 콘크리트 2차제품 - 해양환경 적용 매뉴얼 - 현장적용 <u>3건</u> 특허 <u>5건</u> 논문 <u>10편</u>	- 설계사 - 건설사 - 콘크리트 (레미콘사) - 항만청 등	해양환경에 적합한 새로운 시멘트·콘크리트 제조 및 현장적용 활용
공동 1	유황콘크리트 결합재 개발	- 고기능성 유황폴리머 결합재 - 특허 <u>2건</u> 논문 <u>3편</u>	정유사, 유황콘크리트 제조사	
공동 2	유황콘크리트 제조 및 2차제품 개발	- 유황콘크리트, 유황콘크리트 2차제품 - 특허 <u>2건</u> 논문 <u>3편</u>	- 콘크리트 제조사 - 콘크리트 2차제품 제조사	
공동 3	고기능 유황콘크리트 해양 환경 적용성 평가	- 해양환경 적용 매뉴얼 - 현장적용 <u>3건</u> 특허 <u>1건</u> 논문 <u>4편</u>	국토해양부 (항만청)	

구분	과제명	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
2 일반과제	미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발	○ 미생물 활용 바이오-스마트 콘크리트 코팅 및 균열보수 시공 기술 ○ 환경영향성 평가 보고서 1건 ○ 특허출원 <u>3건</u> 논문제출 <u>9건</u>	○ 설계사 ○ 친환경 건설자재회사 ○ 건설사	○ 친환경 건설자재로 활용 ○ 타 분야에서 미생물 활용 코팅기술을 이용한 특수 제품 제조공정의 상품화 활용 ○ 콘크리트, 모르타르 등의 시멘트 개반재료에 적용 가능한 미생물 정보 DB로 활용
공동 1	친환경 건설자재 및 구조물 적용기술 개발	○ 친환경콘크리트 제품 ○ 특허출원 <u>1건</u> 논문제출 <u>3건</u>	○ 콘크리트제품 제조사 ○ 건설사	○ Biofilm 생성 바탕 활용
공동 2	유용미생물의 선정 및 환경영향성 평가	○ Bio 필름용 미생물 및 배양 보존 기술 ○ 특허출원 <u>1건</u> 논문제출 <u>3건</u>	○ 미생물활용 기술 (Bio-technology) 전문 기업	○ Biofilm 미생물로 활용
공동 3	미생물을 활용한 Biofilm 생성 및 정착기술 개발	○ Biofilm 코팅생성기술 ○ Biofilm적용 친환경 콘크리트제품 ○ 특허출원 <u>1건</u> 논문제출 <u>3건</u>	○ 설계사 ○ 친환경 건설자재 제조사 ○ 건설사	○ 친환경 건설자재로 활용

3절. 기대효과

1. “탄소저감형 건설재료” 기획 기대효과

가. 기술적 기대효과

- 산업부산물(슬래그, 애쉬 등)의 기술적 활용기여 효과
- 대량 CO₂ 발생 건설재료인 시멘트, 철강분야의 CO₂ 저감기술 확보
- 순환골재 및 애쉬 등의 개질에 의한 활용 증대
- 원천소재 기술확보로 인한 후속개발 잠재력 확보
- 실제 실용화 가능한 탄소저감형 건설재료기술 확보
- 우수한 성능의 탄소저감형 건설재료 개발로 세계시장 선점기대
- 체계적 환경성 데이터베이스의 구축을 통한 건설분야 온실가스 저감기대
- 구축된 건설재료 환경성정보 D/B의 활용에 의한 탄소저감형 자재활용 활성화
- 레미콘 회수수의 친환경 재활용 기술확보로 레미콘업체 활용기대
- 신개념의 무양생 기능성 무기성 마감재 기술 확보
- 첨단 IT, BT 기술과 건설기술과의 기술 융합으로 신개념 건설재료 제조기술 확보
- 기존 미활용 기술과 연계하여 성능을 향상시킨 기술개발로 실용화 기대
- 새로운 친환경 저탄소기술 보유국으로 위상기여
- 기술선진국과의 활발한 교류를 통한 기술 네트워크 운용

나. 환경적 기대효과

- 국가 CO₂ 저감 목표 달성에 기여
- 소재, 재료, 자재, 공정 및 운용, 폐기까지 발생 CO₂의 정량적 관리 기여
- 시멘트 콘크리트 분야 CO₂ 30% 이상 및 에너지 15% 이상 절감
- 본 기획에 의하여 CO₂ 저감 1,000만t-CO₂/년(기술개발 후 5년) 기대
- 환경성을 고려한 건설재료 설계기반구축으로 저탄소 녹색사회 실현
- 부산물이나 폐기물 등의 매립폐기 대상물의 재활용 증대로 환경보전에 기여
- 건설재료 등 폭넓은 탄소배출관리 기술의 확립으로 친환경 국가 이미지 제고

다. 경제적 기대효과

- 국내외 친환경 건설재료 시장진출 기대
- 성능향상 및 자원 대체로 인한 시공비용의 절감기대

- 에너지 저감성능 향상으로 에너지 비용저감 기대
- 환경처리비용의 감소 및 친환경 홍보기여
- 탄소거래시장 진출가능
- 탄소저감형 건설재료 활용시 초기투자대비 장기적 관점의 경제적 이익확보 가능
(비용/평가 분석)

2. “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 과제 기대효과

구분	과제명	기대효과
연구단 총괄	탄소저감형 건설재료 기술개발 연구	건설재료산업의 유효한 CO ₂ 저감 기여
1세 부과제	CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	
1-1 (공동)	시멘트 저감형 결합재를 이용한 80MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술 개발	① 기술적 기대효과 - 산업부산물(슬래그, 애쉬 등)의 기술적 활용기여 효과 ② 환경적 기대효과 - 기존 콘크리트 대비 시멘트 사용량 대폭저감을 통한 CO₂ 및 에너지 절감 ③ 경제적 기대효과 - 탄소저감량 : 265만 t-CO₂/년, 에너지 7,800 TOE 절감, 석회석 810만 톤 절감 (2025년 기준)
1-2 (공동)	에너지 저감형 비정질 steel 활용기술 개발	① 기술적 기대효과 - 에너지저감형 steel의 고부가가치 소재화(steel fiber) 기술공급 ② 환경적 기대효과 - CO₂ 20% 저감, 380,000 t-CO₂/년 • 국내 레미콘 10%에 적용하여 m³당 30kg 사용시 절감량 : 380,000 t-CO₂/년 ③ 경제적, 사회적 기대효과 - 기존대비 저가의 에너지저감형 비정질 steel 제품적용으로 에너지 및 CO₂, 시공비용 절감
2세 부과제	CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	
2-1 (공동)	CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술 개발	① 기술적 기대효과 - 순환골재 pH 저감 및 골재안정화 처리기술 보급 가능 - 애쉬의 중금속 용출방지 및 안정화처리 후 활용기술보급 ③ 경제적 기대효과 - 순환골재 및 혼화재 국내시장의 5% 점유시 약 200억원 시장 점유 기대 - 건설재료 자재시장에서 0.1% 점유시 445억원/년의 시장 진출 가능 ※ 산출근거 : 건설자재 시장규모 44.5조 규모로 예측 - 버팀애쉬 총 매립비 절감 예상 : 342억원 {380만톤/년 (발생량) × 30,000원/톤(처리비용) × 30%(사용예상량)} - 순환골재 재활용을 제고기여 가능 - 기타 중금속 알칼리 수 용출에 의한 2차피해 저감효과 - CO₂ 감축효과 (1,280,000 t-CO₂/년) • CO₂ 저감량 순환골재 1,230,000 t-CO₂/년, 버팀애쉬 50,000 t-CO₂/년 * 순환골재 연간 생산량 4,100만톤/년 * 0.1 t-CO₂/톤 = 4,100,000 t-CO₂/년의 점유율 30%

구분	과제명	기대효과
		* 바탐애쉬 연간 발생량 380만톤/년 * 0.05 t-CO₂/톤 = 190,000 t-CO₂/년의 점유율 30%
2-2 (공동)	Carbon Negative 시멘트 콘크리트 기술 개발	① 기술적 기대효과 - 원천소재 기술 확보로 인한 후속개발 잠재력 확보 - 고부가가치 응용제품 기술 확보 ② 환경적 기대효과 - 연간 1,350,000 t-CO₂/년 저감(연간 시멘트 생산량의 3% 가점) ③ 경제적 기대효과 - 2,700억원 (개발완료 후 5년 기준) • Carbon Negative 시멘트 시장창출(국내 시멘트 시장의 5% 수준, 1,500억원) • Carbon Negative 콘크리트 시장창출(국내 콘크리트 블록의 30% 수준, 1,200억원) • 해외 친환경 건설재료 시장 진출
2-3 (공동)	발포대체 가스의 CO ₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발	① 기술적 기대효과 - 단열성향상 관련 후속개발 잠재력 확보 ② 환경적 기대효과 - 연간 2백만 t-CO₂/년 저감 • HCFC류사용제품 6천톤 기준시(2010년) ③ 경제적 기대효과 - 1,050억원/년 (개발완료 후 5년 기준) • 향후 5년까지 환경발포제로 100% 대체 - 발포제대체 진행중인 개발도상국에 Plant 기술 수출.
3세부과제	에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	
3-1 (공동)	열손실지수 30% 저감형 EEH(Energy Efficiency Housing) 시스템 개발	① 기술적 기대효과 - 기존 벽체보다 강성이 우수하고 고경량벽체의 기술 개발, 미활용소재를 활용한 고단열재료 기술의 세계시장 선점 기대 - 건축물의 내외부 단열 마감제로 이용할 경우 건축물의 공간 활용을 증대기술 의미 ② 환경적 기대효과 - 단열성능향상이 내외부 온·습도차에 의해 발생하는 결로현상을 완화시켜 지하 및 주거공간의 환경 개선 ③ 경제적 기대효과 - 냉난방 에너지 절감에 따른 사회의 에너지 비용절감 - 열손실지수 30% 절감 (CO₂ 발생량 740,000 t-CO₂/년 저감)
3-2 (공동)	초경량 PC 복합패널을 활용한 탄소저감형 고단열 외피 모듈화 시스템 개발	① 기술적 기대효과 - PC와 고효율 단열재 일체화 시스템 개발을 통한 원천 기술 파급 - 에너지 절감형 외피 시스템의 설계 및 시공 기술 구축으로 친환경화 - 고부가가치 에너지 절감형 외피 시스템 산업의 상품화 - 모듈화 규격화에 따른 공기단축에 의한 경상비 절감

구분		과제명	기대효과
			② 환경적 기대효과 - 저탄소 녹색성장 기반 구축으로 친환경 주택 실현 - 녹색 기여도로서 • 에너지절감은 150,000 toe/년 • 약 1,040억 절감 • CO₂ 저감량은 330,000 tCO₂/년
4세 부과제		건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	
	4-1 (공동)	건설재료의 LCCO ₂ 평가기술 및 탄소배출 저감 관리기술 개발	① 환경적 기대효과 - 대상 제품 시스템 중에서 최적의 대안을 선정하여 환경을 고려한 제품설계 효과 - 건설 분야의 제품 생산 시스템 상의 환경성을 개선하여 환경비용 절감효과
	4-2 (공동)	건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라벨링 시스템화	① 기술적 기대효과 - 체계적인 환경성 데이터베이스의 구축을 통하여 건설업 및 관련 제조업의 온실가스 저감 효과 - 구축된 환경성정보 D/B를 활용하여 환경적으로 우수한 자재활용 효과 - 건축 산업 전반에 걸쳐 환경부하를 줄이는 효과
	4-3 (공동)	탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발	① 환경적 기대효과 - 환경 친화적인 자재를 우선적으로 사용효과 - 건축물 사용기간 동안 발생하는 온실가스 배출량을 저감 효과

3. “환경부하 저감형 융합 건설재료 연구단 개발” 과제 기대효과

구분	과제명	기대효과
연구단 총괄	환경부하 저감형 융합 건설재료 개발 연구	
1세 부과제	친환경 소재 및 공정기술	
1-1 (공동)	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	① 기술적 기대효과 - 능동적인 CO ₂ 대량 고정화 기술의 개발로 정부의 저탄소 녹색성장 정책구현에 기여 ② 환경적 기대효과 - 연간 약 327만톤-CO ₂ /년을 대량 소비함으로써 콘크리트 재료분야에서 발생하는 CO ₂ 량의 6% 이상 삭감가능. ③ 경제·정책적 기대효과 - 탄소배출거래권 활성화시 약 7190억원/년의 경제적 효과 기대.
1-2 (공동)	비소성 결합재를 활용한 CO ₂ 저감형 콘크리트 개발	① 기술적 기대효과 - 비소성 결합재 개발에 의해 시멘트 생산시 소성공정으로 발생하는 CO ₂ 발생량 저감 - 탄소배출저감형 건설재료기술 및 시공기술로서 탄소배출권 확보에 기여 ② 환경적 기대효과 - 비소성 결합재료의 시멘트 대체에 의한 시멘트 제조시 발생하는 CO ₂ 저감효과 (시멘트 1ton 대체시 CO ₂ 0.8ton 발생 저감) - 시멘트 사용대체 및 제조에너지 절감에 따른 CO ₂ 배출 저감효과 (시멘트계 2차 제품 제조 시 CO ₂ 배출량 대비 50% 절감) ③ 경제·정책적 기대효과 - 친환경적 건설재료의 시장확대 뿐만 아니라 탄소배출저감에 의한 경제적 효과 창출
1-3 (공동)	무양생 공정에 의한 친환경 기능성 콘크리트계 건축 내외장재 및 시공기술 개발	① 기술적 기대효과 - 원천기술 확보에 의한 후속개발 잠재력 확보 ② 환경적 기대효과 - 연간 3,900 만t-CO ₂ /년 저감 ③ 경제·정책적 기대효과 - 1,675억원 (개발완료 후 1년 기준) - 2차 양생 생략에 따른 화석연료 사용 0화 (등유 사용 : 연간 642억) - 탄소배출권 획득에 따른 경제성 확보 (탄소 배출권 획득 : 1,033억원)
2세 부과제	에너지저감 자재·시스템 기술	
2-1 (공동)	상변화 물질을 이용한 공동주택(아파트) 냉방 및 난방에너지 저감	① 기술적 기대효과 - 원천기술 확보에 의한 후속개발 잠재력 확보 - 새로운 개념의 도료 제품 및 기술개발에 의한 해외 친환경

구분	과제명	기대효과											
2-2 (공동)	건설재료 개발	경 건설재료 시장 진출 － 원천기술 확보에 의한 후속개발 잠재력 확보 ② 환경적 기대효과 <table><tr><td>지붕 면적</td><td>1000 m² [약 302.5평]</td></tr><tr><td>실내 설정온도</td><td>27℃</td></tr><tr><td>부하 열량</td><td> 250 kcal/h/m², 1kW/h의 부하 칼로리=860kcal/h 250,000kcal/h ÷ 860kcal/h=290.7kW/1000m² 1m²당 전력은 0.2907kW </td></tr><tr><td rowspan="2">전력 감소량</td><td> - 에너지절약효과를 10%로 하면 0.2907kW/m²×0.1=0.02907kW/m² - 냉방기 1일 9시간 중 50%, 1개월 중 25일, 1년 중 3개월 가동 가정하면 0.2907kW/m²×9h×0.5×25일×3개월 = 9.811kW/m² </td></tr><tr><td> - 고압전력요금을 840원/kW로 하면 (200kw사용시 840원/kw) - 전력 삭감료/m² = 8,241원 = 9.811kW/m²×840원×1m² </td></tr><tr><td>CO₂ 감소량</td><td> - CO₂ 환산: 0.378Kg/kWh라고 하면 - CO₂ 감소량/m² = 3.709kg = 9.811kW/m²×0.378Kg/kW×1m² </td></tr></table> ③ 경제·정책적 기대효과 ○ 제품 개발에 따른 경제적 효과 : 730억원 (개발완료 후 2년 기준) － 마이크로캡슐 상변화물질 시장창출(국외 건물 및 건축물 시장의 10% 수준, 450억원) － 적외선, 자외선 차단용 및 유색 안료 시장창출(국외 TiO₂ 시장의 1% 수준, 180억원) － 기존 합성수지 차열도료 및 건물용 도료 시장대체 (국내 시장의 1% 수준, 100억원) ○ 전력사용량 저감에 경제적 효과 : 7,244억원 － 전기요금 삭감액(아파트 건물면적(879,042,000m²)의 1% 적용한 경우, 7,244억원) ○ 환경적 효과 : 연간 326,000 t-CO₂/년 저감 － 탄소 저감량(아파트 건물면적(879,042,000m²)의 1% 적용한 경우, 7,500억원) ① 기술적 기대효과 － 국내 스마트 창호의 건축용 유리제품의 경우 중장기 시장 규모는 2015년 5,900억원에서 2020년 9,100억원으로 2025년까지 모든 건축물은 에너지를 자급자족해야 하는 제로에너지 하우스, 그린홈 100만호 보급사업에 기여 ② 환경적 기대효과 － 전기변색창문을 사용하면 냉난방에너지의 약 25% 저감 효과 ③ 경제·정책적 기대효과	지붕 면적	1000 m ² [약 302.5평]	실내 설정온도	27℃	부하 열량	250 kcal/h/m², 1kW/h의 부하 칼로리=860kcal/h 250,000kcal/h ÷ 860kcal/h=290.7kW/1000m² 1m²당 전력은 0.2907kW	전력 감소량	- 에너지절약효과를 10%로 하면 0.2907kW/m²×0.1=0.02907kW/m² - 냉방기 1일 9시간 중 50%, 1개월 중 25일, 1년 중 3개월 가동 가정하면 0.2907kW/m²×9h×0.5×25일×3개월 = 9.811kW/m²	- 고압전력요금을 840원/kW로 하면 (200kw사용시 840원/kw) - 전력 삭감료/m² = 8,241원 = 9.811kW/m²×840원×1m²	CO ₂ 감소량	- CO₂ 환산: 0.378Kg/kWh라고 하면 - CO₂ 감소량/m² = 3.709kg = 9.811kW/m²×0.378Kg/kW×1m²
	지붕 면적	1000 m ² [약 302.5평]											
실내 설정온도	27℃												
부하 열량	250 kcal/h/m², 1kW/h의 부하 칼로리=860kcal/h 250,000kcal/h ÷ 860kcal/h=290.7kW/1000m² 1m²당 전력은 0.2907kW												
전력 감소량	- 에너지절약효과를 10%로 하면 0.2907kW/m²×0.1=0.02907kW/m² - 냉방기 1일 9시간 중 50%, 1개월 중 25일, 1년 중 3개월 가동 가정하면 0.2907kW/m²×9h×0.5×25일×3개월 = 9.811kW/m²												
	- 고압전력요금을 840원/kW로 하면 (200kw사용시 840원/kw) - 전력 삭감료/m² = 8,241원 = 9.811kW/m²×840원×1m²												
CO ₂ 감소량	- CO₂ 환산: 0.378Kg/kWh라고 하면 - CO₂ 감소량/m² = 3.709kg = 9.811kW/m²×0.378Kg/kW×1m²												
	열차단율 50% 이상급 스마트 창호 기술개발 (수정제목 : 저탄소 에너지저감 건설소재용 스마트창호/ 필름기술개발)												

구분	과제명	기대효과
		- 에너지절감: 840,000 toe / tCO₂ : 1,962,000 (탄소배출계수는 LNG사용) - 절감액: 4600억원 - 연면적1000㎡ 이상 건물만 고려(전국건물 5.5%, 2009 국토해양부 전국통계 참조) - 건물면적 10%를 창호면적으로 가정 - 변색유리에 의한 에너지절감효과 20% 가정
2-3 (공동)	경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발	① 기술적 기대효과 - 건축물 안전성능 향상(건축물 화재에의 대처 가능) ② 환경적 기대효과 - CO₂ 발생량 저감 - 에너지 절감을 통한 유연탄 절감량(유연탄 15만원/톤)은 74.4만톤이며 CO₂ 저감은 1,636,800톤/년 임. (유연탄 1톤당 카본함량 0.6톤 산정) - 탄소 1톤 15~20 유로(2011년) 약 245억/년 ③ 경제·정책적 기대효과 - 에너지 절감 - 내화성 하이브리드 벽체시스템을 이용해 10% 대체 및 열손실 저감을 15%로 가정한다면 1,116억/년의 에너지 절감이 가능함.
3세 부과제	첨단·융합 건설재료 기술	
3-1 (공동)	시간제어형 생분해성 Bio Composite 기술개발	① 기술적 기대효과 - Bio Polymer 관련 기초기술에 대한 확보로 추가 응용개발에 많은 발전이 기대됨 ② 환경적 기대효과 - 일반 플라스틱을 대체시 전 생애기간동안의 CO₂ 배출량이 약 50%의 절감 효과 - Bio Composite로 연간 100만톤 대체시 약 150만톤의 전생애기간 CO₂ 배출량에 대한 절감 예측 ③ 경제·정책적 기대효과 - Bio composite의 경우, 재생비용의 감소, 폐기시 발생하는 각종 오염물질 및 폐기비용에 대한 절감 효과
3-2 (공동)	IT기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발	① 기술적 기대효과 - 원천기술과 제품개발을 통해 세계시장의 우위를 선점 - IT와 건설기술의 융합가능성을 제시함으로써 새로운 패러다임의 창출효과 ③ 경제·정책적 기대효과 - IT융합 Smart 콘크리트 재료를 이용한 저가형 구조물 건전성 모니터링 시장창출 - 신기술 개발로 해외 구조물 건전성 모니터링 시장 진출

4. 2개 일반과제 기대효과

구분	과제명	기대효과
1 일반과제	정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발	① 기술적 기대효과 - 미래핵심기술 선점을 통한 탄소저감형 콘크리트 기술의 세계적인 경쟁력 확보 - 유엔기후변화 협약에 의거 국제정책 우위확보 및 산업부 산물의 효율적 활용 기반 구축 ② 환경적 기대효과 - 탄소저감량: 50만 t-CO₂/년, 에너지 780 TOE 절감, 석회석 80만 톤 절감 (2025년 기준) - 기존 콘크리트 대비 CO₂ 50% 이상 저감 및 에너지 10% 이상 절감 ③ 경제·정책적 기대효과 - 경제적 파급효과 : 직접 생산 200억원/년(10년 평균) - 독성물 처리비용 절감 : 2,000억원/년
2 일반과제	미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발	① 기술적 기대효과 - 학제간 연구수행에 의한 건설재료 융합기술이 도출 - “CO₂ 흡수·전환 및 관리기술”의 개발에 의한 CO₂ 발생량 저감 - 산업/건설부산물 등의 자원재활용 및 지속적 자원순환에 의한 광물자원의 절감효과 ② 환경적 기대효과 - 탄소배출저감형 건설재료기술 및 시공기술로서 탄소배출권 확보에 기여 - 저탄소형 자원개발 형태에 의해 환경파괴 억제 및 에너지절감효과 - 전문인력의 양성과 실용화에 따른 경제적 파급효과가 클 것으로 예상 ③ 경제·정책적 기대효과 - 친환경적 건설재료의 시장확대 뿐만 아니라 탄소배출저감에 의한 경제적 효과의 창출이 예상 - 환경부하저감기술의 향상에 따른 해외 건설수출에 기여 - 녹색성장 친환경형 건설재료의 활성화 정책 기여

5장. 연구개발과제 소요예산

1절. (연구단 1.) “탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단” 소요예산

(단위 : 천원)

과제명	과제구분	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		합계	
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단	연구단 총괄	1,230,000	370,000	3,380,000	1,060,000	3,500,000	1,100,000	3,080,000	960,000	1,710,000	560,000	12,900,000	4,050,000
연구단 관리비		50,000	0	150,000	0	150,000	0	150,000	0	150,000	0	650,000	0
CO ₂ 배출저감형 건설재료 기술	1세부	230,000	100,000	700,000	350,000	720,000	360,000	710,000	350,000	540,000	270,000	2,900,000	1,430,000
시멘트 저감형 결합재를 이용한 80MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술 개발	1-1	120,000	50,000	370,000	190,000	380,000	190,000	380,000	190,000	250,000	130,000	1,500,000	750,000
에너지 저감형 비정질 steel 활용기술 개발	1-2	110,000	50,000	330,000	160,000	340,000	170,000	330,000	160,000	290,000	140,000	1,400,000	680,000
CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술	2세부	330,000	120,000	960,000	310,000	940,000	280,000	670,000	170,000	350,000	90,000	3,250,000	970,000
CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술 개발	2-1	130,000	40,000	340,000	90,000	360,000	90,000	420,000	100,000	350,000	90	1,600,000	410,000
Carbon Negative 시멘트 콘크리트 기술 개발	2-2	100,000	30,000	370,000	90,000	380,000	100,000	250,000	70,000	0	0	1,100,000	290,000
발포대체 가스의 CO ₂ 활용 고성능 단열재 생산기술 개발	2-3	100,000	50,000	250,000	130,000	200,000	90,000	0	0	0	0	550,000	270,000
에너지 저감형 고성능 건설재료 기술	3세부	300,000	150,000	780,000	400,000	890,000	460,000	830,000	440,000	400,000	200,000	3,200,000	1,650,000

과제명	과제 구분	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		합계	
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
열손실지수 30% 저감형 EEH(Energy Efficiency Housing) 시스템 개발	3-1	180,000	90,000	500,000	250,000	520,000	260,000	500,000	250,000	400,000	200,000	2,100,000	1,050,000
초경량 PC 복합패널을 활용한 탄소저감형 고단열 외피 모듈화 시스템 개발	3-2	120,000	60,000	280,000	150,000	370,000	200,000	330,000	190,000	0	0	1,100,000	600,000
건설재료의 CO ₂ 통합관리 및 정책	4세부	320,000	0	790,000	0	800,000	0	720,000	0	270,000	0	2,900,000	0
건설재료의 LCCO ₂ 평가기술 및 탄소배출 저감 관리기술 개발	4-1	100,000	0	200,000	0	200,000	0	200,000	0	0	0	700,000	0
건설자재분야 LCI DB 구축 및 탄소라벨링 시스템화	4-2	120,000	0	400,000	0	410,000	0	400,000	0	270,000	0	1,600,000	0
탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발	4-3	100,000	0	190,000	0	190,000	0	120,000	0	0	0	600,000	0
연차별 총계		1,600,000		4,440,000		4,600,000		4,040,000		2,270,000		16,950,000	

2절. (연구단 2.) “환경부하 저감형 융합 건설재료 개발 연구단” 소요예산

(단위 : 천원)

과제명	과제 구분	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		합계	
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
환경부하 저감형 융합 건설재료 개발 연구단	연구단 총괄	2,580,000	1,080,000	4,350,000	1,750,000	5,110,000	2,010,000	3,880,000	1,510,000	1,580,000	720,000	17,500,000	7,070,000
연구단 관리비		50,000	0,000	150,000	0,000	150,000	0,000	150,000	0	150,000	0	650,000	0
친환경 소재 및 공정기술	1세부	1,030,000	520,000	1,720,000	840,000	1,730,000	870,000	1,380,000	690,000	1,040,000	520,000	6,900,000	3,440,000
비소성 결합재를 활용한 CO ₂ 저감형 콘크리트 개발	1-1	340,000	180,000	570,000	280,000	580,000	290,000	460,000	230,000	350,000	180,000	2,300,000	1,160,000
무양생 공정에 의한 친환경 기능성 콘크리트계 건축 내외장재 및 시공기술 개발	1-2	360,000	180,000	600,000	290,000	600,000	300,000	480,000	240,000	360,000	180,000	2,400,000	1,190,000
레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	1-3	330,000	160,000	550,000	270,000	550,000	280,000	440,000	220,000	330,000	160,000	2,200,000	1,090,000
에너지저감 자재 · 시스템 기술	2세부	1,030,000	430,000	1,710,000	710,000	2,140,000	860,000	1,580,000	630,000	390,000	200,000	6,850,000	2,830,000
열차단율 50% 이상급 스마트 창호 기술개발	2-1	380,000	100,000	620,000	160,000	870,000	220,000	630,000	160,000	0	0	2,500,000	640,000
경질 경량 내화성 하이브리드 무기단열 벽체 개발	2-2	260,000	130,000	440,000	220,000	620,000	310,000	430,000	210,000	0	0	1,750,000	870,000
상변화 물질을 이용한 공동주택 냉방 및 난방에너지 저감 건설재료 개발	2-3	390,000	200,000	650,000	330,000	650,000	330,000	520,000	260,000	390,000	200,000	2,600,000	1,320,000
첨단 · 융합 건설재료 기술	3세부	470,000	130,000	770,000	200,000	1,090,000	280,000	770,000	190,000	0	0	3,100,000	800,000
시간제어형 생분해성 Bio Composite 기술개발	3-1	300,000	80,000	500,000	130,000	700,000	180,000	500,000	120,000	0	0	2,000,000	510,000
IT기술 융합을 통한 Smart 콘크리트 개발	3-2	170,000	50,000	270,000	70,000	390,000	100,000	270,000	70,000	0	0	1,100,000	290,000
연차별 총계		3,660,000		6,100,000		7,120,000		5,390,000		2,300,000		24,570,000	

3절. 일반과제 1-정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발 소요예산

(단위 : 천원)

과제명	1차년도		2차년도		3차년도		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
정유산업 부산물 SPC(황-폴리머 시멘트)를 활용한 초내식성 해양환경 콘크리트 개발	525,000	240,000	945,000	450,000	630,000	330,000	2100,000	1,020,000
유황콘크리트 결합재 개발	175,000	280,000	315,000	150,000	210,000	110,000	700,000	340,000
유황콘크리트 제조 및 2차제품 개발	175,000	280,000	315,000	150,000	210,000	110,000	700,000	340,000
고기능 유황콘크리트 적용성 평가	175,000	280,000	315,000	150,000	210,000	110,000	700,000	340,000
연차별 합계	765,000		1,395,000		960,000		3,120,000	

4절. 일반과제 2-미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발 소요예산

(단위 : 천원)

과제명	1차년도		2차년도		3차년도		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발	630,000	180,000	1,120,000	270,000	750,000	210,000	2,500,000	660,000
친환경 건설자재 및 구조물 적용기술 개발	210,000	60,000	370,000	90,000	250,000	70,000	830,000	220,000
유용미생물의 선정 및 환경영향성 평가	210,000	60,000	380,000	90,000	250,000	70,000	840,000	220,000
미생물을 활용한 Bilfilm 생성 및 정착기술 개발	210,000	60,000	370,000	90,000	250,000	70,000	830,000	220,000
연차별 합계	810,000		1,390,000		960,000		3,160,000	

참고문헌

1. 공감코리아, <http://www.korea.kr/>
2. 과학기술기반과, 한국·미국·일본의 친환경혁신정책 추진현황
3. 교육과학기술부, 국가과학기술기본계획 (2008)
4. 교육과학기술부, 과학기술 미래비전, 2010
5. 국가연구시설장비진흥센터, <http://www.nfec.go.kr/>
6. 국토부, 건설자재현황, 2010. 5
7. 국토해양부, 건설기술의 녹색성장 실행계획 (제2009-35호), 2009
8. 국토해양부, 건설기술의 녹색성장 추진계획, 2010
9. 국토해양부, 건축물에너지절약 설계기준 개정 (제2008-652호), 2008
10. 국토해양부외, 녹색도시·건축물 활성화 방안, 2009
11. 국토해양부, 생명이 흐르는 녹색국토와 해양, 현실로 다가와....., 국토해양부 보도자료, 2010. 12
12. 국토해양부, 친환경 주택의 건설기준 및 성능(제2010-421호), 2010
13. 국토해양부, 2010 국토해양 R&D 발전전략, 2010
14. 그린건축물/건물에너지 절감기술, 시장성 분석 및 사업화세미나 (2011.03.25)
15. 김무한, 김재환, 김용로, 김영덕, “마이크로 및 매크로 섬유에 의해 보강된 고인성 시멘트 복합재료의 역학적 특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트 학회 논문집 제17권 2호 pp.263-2718. 김익, 환경경영 국제표준화 동향과 산업계 대응, 대한상공회의소, 2009
16. 김윤용 외, “고인성 섬유 복합재료 ECC의 특성과 적용”, 콘크리트학회지, 제16권 5호, 2004.9 pp.64-72.
17. 김윤용, 저탄소 녹색건설산업을 위한 친환경 건설재료의 개발 및 적용, 한화건설 기술지, 2009
18. 김재창 외, 이산화탄소 포집 및 저장기술, 기문당, 2008
19. 김형석 외 3인, 광물탄산화에 의한 CO₂ 고정화 기술, 한국광물학회, 22(1), pp. 71~85, 2009
20. 녹색성장위원회, 녹색성장 국가전략, 2009
21. 녹색성장위원회, 중점녹색기술개발 전략, 2009. 5
22. 녹색성장위원회, 녹색성장 5개년계획(2009~2013), 2009. 7.

23. 대외경제정책연구원, 유럽지역 주요 환경라벨제도 분석 및 수출에 대한 시사점, 2005
24. 대한건설정책연구원, 초고층복합빌딩시스템사업단 사전·상세기획 연구, 2008. 8
25. 데이코산업연구소, 친환경 건축, 그린홈 시장 실태와 주택업체 대응전략, 2010
26. 무역위원회, 폴리우레탄 산업경쟁력 조사, 2009.10
27. 박동천, 송화철, 이산화탄소 증가의 환경영향을 고려한 콘크리트 중성화에 관한 연구,
28. 대한건축학회구조계논문집, Vol. 25, 제9호, pp.125~132, 2009. 9
29. 박완신, 윤현도, 전에스더, "PET 합성섬유의 혼입조건에 따른 시멘트의 변형경화 특성
30. 대한건축학회구조계 제24권 제10호, 2008년 10월, pp.37-44
31. 시그마프레스, 환경전과정평가,, 1998
32. 양근혁, "강섬유와 PVA 섬유로 하이브리드 보강된 콘크리트의 슬럼프 및 역학적 특성", 한국콘크리트 학회 논문집 제22권 5호, pp.651-658
33. 에너지관리공단, 녹색성장을 위한 에너지·온실가스 감축 정책, 2010년 에너지·기후 변화 정책 종합설명회
34. ETRI전자통신동향분석 2008.12
35. 원종필, 백철우, 이창수, 박찬기, "구조용 합성섬유를 사용한 콘크리트 및 스틱크리트의 역학적 특성", 대한토목학회 논문집, 2003, pp.665-671
36. 유광흠, 녹색건축 조성 활성화 방안, 한국법제연구원, 2010. 12
37. 윤현도 외, "고인성 시멘트 복합체의 최신기술 : DFRCC의 제조기술 및 특성", 콘크리트학회지, 제16권 5호, 2004.9, pp.49-58.
38. 윤현도, 김용철, 김선우, " 보강섬유 종류에 따른 변형 경화형 시멘트 복합체의 거동 특성", 대한건축학회논문집 구조계 제24권 제5호, 2008년 5월, pp.141-148
39. 이산화탄소 포집과 저장기술, 2008. 6.
40. 이상득 KIST 환경공정연구부, "HCFCs 국내 사용실태 및 선진국 규제현황" 2005.9.14
41. 이승복, 녹색성장과 그린홈 기술개발, 저에너지 친환경 공동주택 연구단, 2009.7
42. 이승현외, "시멘트 중장기 수요예측 및 경쟁력 강화방안" 한국세라믹학회(2009)
- 43.이홍일, 박철한, 2010년 하반기 건설경기 전망, 한국건설산업연구원, 2010. 4.
44. 일본 석탄에너지 센터(J-Coal), 2007
45. 정상화, 유엔 기후변화협약과 국제 기후변화 레짐, 정세와 정책, 2010. 3.
46. 지식경제부, 비금속 자원을 이용한 신 건설자재 개발 및 실증화(기획보고서), 한국건설기술연구원, 2008.5
47. 채창우, ISO 14000 시리즈 환경경영 체제, 콘크리트와 환경, (사)한국콘크리트학회, 2010

48. 최민수, 저에너지 친환경 공주주택의 시장 전망과 예측, 한국건설산업연구원, 2009.2
49. 한국건설기술연구원, 건축자재 환경성정보 국가 DB 구축사업 최종보고서, 국토해양부, 2008.
50. 한국건설기술연구원, 녹색기반 건설소재 개발 기획, 2009.9
51. 한국건설기술연구원, 친환경건축자재 평가 및 순환재활용기술, 2000
52. 한국건설기술연구원, 초고층 마감재 LCI DB 개발 보고서, 국토해양부, 2011
- 53.. 한국건설교통기술평가원, 국토해양 R&D 발전전략, 2010
54. 한국건설교통기술평가원, U-Eco City 사업단 상세기획연구 보고서, 2008
55. 한국건설교통기술평가원, 건설교통기술연구개발사업 기획 매뉴얼, 2010
56. 한국건설산업연구원. 국내건설투자의 중장기 변화 추이 연구, 2009
57. 한국과학기술정보연구원, 친환경 건축자재, 2009
58. 한국과학기술정보연구원, “건축용단열재료” 심층정보분석보고서 -
59. 한국과학기술정보연구소, 환경친화형 포러스 콘크리트의 개발동향과 재생골재 이용 전망, 2004.01
60. 한국도로공사 도로연구소, “도로공사 전문시방서” 제7장 터널공사, 2009
61. 한국법제연구원, 주요국가의 녹색성장, 기후변화 법령집Ⅱ, 2010
62. 한국법제연구원, OECD의 최근 기후변화대응에 관한 규범분석, 우리나라 녹색성장 규범비교를 중심으로, 2010. 12
63. 한국양회공업협회, CEMBUREAU, The 7th cement Task Force Meeting 등
64. 한국지질자원연구원, 광물탄산화법에 의한 CO₂ 고정화 기반기술 연구, 2009
65. 한국콘크리트학회 “콘크리트표준시방서” 제21장 슛크리트, 2009
66. 한국콘크리트학회, “2007년도 개정 콘크리트 구조설계기준 해설”, 기문당
67. 한국콘크리트학회, 콘크리트와 환경, 2010. 12.
68. 한국환경산업기술원, 탄소성적표지 작성지침, 2010
69. 한국환경산업기술원 국가환경정보센터 자료
70. 해외건설협회, 해외건설현황 및 2010년 하반기 전망, 2010. 6.
71. 화학경제연구원, 건축자재 시장분석 및 전망, 2008년
72. 환경부, 건설폐기물 재활용 기본계획, 2006
73. 환경부 보도자료, 2005. 12
74. 환경부, 친환경 상품구매 촉진에 관한법률, 2011
75. 환경부, 환경분야 녹색성장 실천계획, 2009

76. 황상운, 시멘트 산업의 수익성 변화 요인 및 최근동향, Nice Credit Special Report, 2010.5
77. 황선창, 美, 그린 건축자재시장 고성장 전망, KOTRA, 2009.3
78. 2009년 특정물질 사용합리화 Workshop 및 HCFC부담금 징수방안에 대한 공청회 개최, 주관/주최 : 지식경제부/한국정밀화학산업진흥회 2009. 10. 14
79. 2008년 특허청 통계자료 (고성능/고강도 콘크리트산업 시장규모 예측)
80. ACI, Prediction of Concrete Industry, 2007,
81. ACAA, 2009 CCP Report
82. Bjorn Johansson, Peter Utgenannt, Microstructural changes caused by carbonation of cement mortar, Cement and Concrete Research, 31, pp. 925~931, 2001
83. C.B. Park, M. Pan, and A.K. Yeung, "Microcellular Processing of Low-Density PS Foams in Extrusion," Cellular Polymers IV, Paper 13, pp. 1-5, 1997
84. CEMBUREAU, 3rd International Symposium "Sustainability in Cement and Concrete", Istanbul. Brussels, Belgium(2007)
85. Cheng-Feng Chang, Jing-Wen Chen, The experimental investigation of concrete carbonation depth, Cement and Concrete Research, 36, pp. 1760~1767, 2006
86. DOE/EPRI High efficiency TE workshop, 2004
87. "EFFECTS OF THE DIE GEOMETRY ON CELL NUCLEATION OF PS FOAMS BLOWN WITH CO₂", Xiang Xu, Chul B. Park*, Donglai Xu, Remon Pop-Iliev, 2002
88. European Parliament, European Waste Incineration Directive (2006/7), Brussels, Belgium(2007)
89. International Energy Agency, "Cement Technology Roadmap 2009 (Carbon emissions reductions up to 2050)", (2009)
90. International Energy Agency(IEA), CO₂ Capture and Storage: a key Carbon Abatement Option, OECD/IEA, Paris(2008)
91. International Risk Governance Council(IRGC), Regulation of Carbon Capture and
92. Storage. Geneva, Switzerland(2008)
93. KAJIMA Environmental Report, 鹿島環境報告書, 2004.
94. International Energy Agency(IEA), Energy Technology Perspectives 2008. OECD/IEA, Paris, France(2008)
95. IEA-WBCSD Workshop, "Energy Efficiency and CO₂ Emission Reduction. Potentials and Policies in the Cement Industry", IEA, Paris, September (2006)

96. In-Seok Yoon, Oguzhan Copuroglu, Ki-Bong Park, Effect of global climatic change on carbonation progress of concrete, *Atmospheric Environment*, 41, pp. 7274~7285, 2007
97. JCI-SF8, 「Method of Test for Bond of Fibers」
98. Klemm, W.et al., "Accelerated Curing of Cementitious Systems by Carbon Dioxide," *Cem.Concrete Res.*, vol 2(5), pp.567-576 (1972)
99. Misra A. K., Magnesium oxychloride cement concrete, *Indian Academy of Sciences*, Vol. 30(3), 2007. 6.
100. M. Schneider, M. Romer, M. Tschudin, H. Bolio, "Sustainable cement production –present and future" *Cement and Concrete Research*, Volume 41, Issue 7, July 2011, Pages 642-650
101. M. Liska, A. Al-Tabbaa, "Performance of magnesia cements in pressed masonry units with natural aggregates: Production parameters optimisation", *Construction and Building Materials*, Volume 22, Issue 8, August 2008, Pages 1789-1797
102. M. Castellote, C. Andrade, Modeling the carbonation of cementitious matrixes by means of the unreacted-core model, *UR-CORE*, *Cement and Concrete Research*, 38, pp. 1374~1384, 2008
103. M. Fernandez Bertos, S.J.R. Simons, C.D. Hills, P.J. Carey, A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO₂, *Journal of Hazardous Materials*, B112, pp. 193~205, 2004
104. P. Arjunan, A. Kumar, "Rapid techniques for determination of free lime and free magnesia in cement clinker and portlandite in hydrates", *Cement and Concrete Research*, Volume 24, Issue 2, 1994, Pages 343-352
105. Principles of Plastic Foam Extrusion, S.T. Lee, ed., accepted in January 1999.
106. Stuart M Evans, "Carbon negative cement to transform the construction industry", *Energy Futures Lab*, Imperial College London (2008)
107. Sauman, Z., "Effect of CO₂ on Porous Concrete", *Cem.Concr.Res.*, vol.2, pp.541-549 (1972)
108. Simatupang et al., "The carbon Dioxide Process to enhance cement hydration in manufacturing of cement-bonded composites-compasion with common production method", *inorganic bonded wood fiber compos. Mater.*, vol.3, pp.114-120, (1993)
109. Teramura, Satoshi, Isu, Norifumi, Inagaki, Kenji (2000). "New building material from waste concrete by carbonation." *Journal of Materials in Civil Engineering*. November: 288-92. Turner-Fairbanks Highway Research Center(1994).

110. V.M. Malhotra, Concrete International, 1999
111. Vagner Maringolo, "Biofuels in the Cement Industry", European Biomass Association workshop(2009)
112. World Business Council for Sustainable Development, 2009
113. WBCSD Cement Sustainability Initiative(CSI), A Sectoral Approach: Greenhouse Gas Mitigation in the Cement Industry. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Geneva, Switzerland(2009)
114. Vivian W.Y.Tam, X.F. Gao, C.M. Tam, Carbonation around near aggregate regions of old hardened concrete cement paste, Cement and Concrete Research, 35, pp. 1180~1186, 2005
115. World Development indicators database, "Gross domestic product 2008" World Bank (2009)
116. Xiao-Yong Wang, Han-Seung Lee, A model for predicting the carbonation depth of concrete containing low-calcium fly ash, Concrete and Building Materials, 23, pp. 725~733, 2009
117. Ziock, H. J. and D. P. Harrison. "Zero Emission Coal Power, a New Concept." from
118. 民生部門の底炭素化に係る対策コストと間接的便益を考慮した費用対便益の評価, 日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム, 2009. 11.
119. 底炭素都市づくりガイドライン, 国土交通省, 2008.
120. 国土交通省の地球温暖化対策, 国土交通省, 2007.
121. 高引性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会, "高引性セメント複合材料を知る・作る・使う", 日本コンクリート工學協會, 2002.1
122. 한국기술은행, www.ntb.or.kr
123. 한국골재협회. www.aak.or.kr
124. 대한건축자재협회, www.kbm.or.kr
125. 한국건설신문, www.conslove.com
126. 일본시멘트협회, www.jcassoc.or.jp
127. Asia Pacific Partnership, <http://asiapacificpartnership.org>
128. CEMBUREAU, www.cembureau.be
129. ECOBA Statisitc, 2008(<http://www.ecoba.org/ecobaccpprod.html>)
130. GrobalInsight, 2007, www.gtnet.go.kr
131. <http://www.gtz.de/proklima>

- 132. <http://www.basf.com/>
- 133. <http://www.owenscorning.com/products/foam/>
- 134. <http://www.dowkakah.co.jp/>
- 135. <http://www.dow.com/>
- 136. www.azobuild.com
- 137. reconomy.tistory.com
- 138. Building Insulation market,- UK 2009-2013, www.marketresearch.com