

[Green-up 30]

(별권 2) CO₂ 활용·처리 건설재료 기술 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

연구책임자 : 이 세 현 연구위원

연 구 원 : 김 성 욱 연구위원

" : 고 경 택 연구위원

" : 최 기 선 수석연구원

" : 이 중 찬 박사

공동연구기관명 : (주)대우건설

연구책임자 : 오 보 환 연구위원

공동연구기관명 : (주)날리지웍스

연구책임자 : 이 철 원 대표이사

공동연구기관명 : 건국대학교

연구책임자 : 서 치 호 교수

보 고 서 요 약 서

과제고유번호	10기술혁신 D02-01	해 당 단 계 연 구 기 간	2010.12.23 ~ 2011.06.22	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연 구 사 업 명		건설기술혁신사업			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	탄소저감형 건설재료 기획			
	세부과제명	CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술			
연 구 책 임 자	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 : 명 내부 : 명 외부 : 명	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	91
- 전세계의 에너지소비 및 탄소배출량이 증가하고 국내 CO₂ 배출량도 세계 상위수준 (OECD 6위, 전세계 8위)으로 나타남. 따라서 국가 온실가스 감축목표에 따라 대량의 CO₂ 발생산업인 건설재료·자재분야에서 CO₂ 저감방안의 일환으로 CO₂를 건설재료에 흡수 전환시키는 적극적인 “CO₂ 활용·처리 건설재료 기술”개발이 요구됨. - 본 기술개발의 성공적인 수행을 위하여 “CO₂ 활용·처리 건설재료 기술” 관련 기술 개발 동향 및 환경분석, 연구개발과제 구성 및 추진전략 수립, 사전타당성 검토, 인력 및 소요예산, 과제 RFP 제안 등을 수행하였으며 국가 연구개발사업으로서 당위성을 확보하고 녹색건설기술을 선도할 수 있는 혁신적 연구가 이루어지도록 기획 연구를 수행하였음					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	CO ₂ 저감, 탄소고정화, 순환골재, 버팀애쉬, 레미콘 회수수			
	영 어	CO ₂ reduction, solid carbonate, recycled aggregate, buttom ash, ready mixed concrete sludge water,			

목 차

[국문 요약문]

1장. 기술의 정의 및 필요성	1
1절. 기술의 정의	1
2절. 필요성	2
2장. 국내외 동향 및 환경분석	4
1절. 국내외 정책동향	4
1. 국내 정책동향	4
가. 국토해양부	4
나. 환경부	4
다. 녹색성장위원회	4
라. 시사점	5
2. 국외정책동향	6
가. 미국	6
나. 일본	7
다. 유럽	7
라. 시사점	8
2절. 국내외 시장현황 및 전망	9
1. 국내 시장현황 및 전망	9
가. 국내 친환경 건축자재 시장현황 및 전망	9
나. “CO ₂ 활용·처리 건설재료” 시장동향 및 전망	11
2. 국외시장 현황 및 전망	13
가. 국외 친환경 건축자재 시장현황 및 전망	13
나. “CO ₂ 활용·처리 건설재료” 시장동향 및 전망	15
3. 시사점	16
3절. 기술동향 분석	17
1. 기술동향 분석	17
가. 국내 동향분석	17
나. 국외 동향분석	20
다. 기술분석 결과 및 시사점	22
2. 특허분석	23
가. 기술분야별 특허분포도(Themescape)	23

나. 출원동향	24
다. 주요 출원인분석	25
라. 미국특허로 살펴본 특허 경쟁력	26
마. 특허분석 결과 및 시사점	29
3. 논문분석	30
가. 국내논문분석	30
나. 국외논문분석	31
다. 국내외 논문분석 결과 및 시사점 정리	33
4절. 연구개발 인프라 분석	34
1. 연구인력 인프라	34
2. 연구기자재 인프라	36
가. 연구장비 인프라	36
나. 연구 실험시설 인프라	37
3. 해외 협력기관 인프라	38
4. 인프라 현황 조사결과	40
5. 선진국 대비 국내연구 인프라 수준	41
5절. 종합분석	42
1. 정책동향 분석결과	42
2. 시장현황 및 전망 분석결과	42
3. 기술동향분석결과	43
4. 연구개발 인프라 분석결과	44
5. 국내외 동향 및 환경분석 종합분석결과	44
3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	45
1절. 비전 및 목표	45
2절. 연구개발과제 구성	46
3절. 연구개발과제 주요내용 및 추진전략	46
1. 연구개발 목표	46
2. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성	46
가. 연구의 필요성	46
나. 정부지원 필요성	47
3. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안	48
4. 연구개발 주요내용	49
가. 공동과제 1 : CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술개발	49
나. 공동과제 2 : 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	50
5. 연구개발과제 TRM	51

6. 최종성과물 및 성과지표	52
7. 성과물 검증방법	53
8. 기술수요처 및 실용화 방안	54
4절. 연구추진체계 제안	55
4장. 사전타당성 검토	56
1절. 정책적 타당성	56
1. 국가전략적 중요성	56
2. 상위계획과의 부합성	56
가. 정책적 일관성 분석	56
나. 정책적 추진의지 분석	57
3. 사업추진상의 위험요인과 대응방안	57
2절. 기술적 타당성	58
1. 기술개발 계획의 적절성	58
가. 연구목표와 내용의 적절성	58
나. 사업추진전략의 적절성	60
다. 기술개발로드맵의 우수성	60
2. 기술수준 및 성공가능성	61
가. 기술수준 및 역량분석	61
나. 기술개발의 성공가능성	62
3. 기존 사업과의 중복성	63
3절. 경제적 타당성	64
1. 경제성 분석	64
2. 과학기술적 파급효과	65
3. 예산 적정성 분석	66
4절. 종합평가 및 결론	67
1. 정책적 타당성 분석	67
2. 기술적 타당성 분석	67
3. 경제적 타당성 분석	67
5장. 인력투입 계획 및 소요예산 산정	69
1절. 연구일정에 따른 인력계획	69
1. 연차별 투입 연구인력	69
2절. 소요예산 산정	69
1. 산정개요	69
2. 과제 소요예산	70
가. 예산총괄	70

나. 예산항목별 소요예산	70
6장. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정	71
1절. 과제 제안요구서(RFP)	71
2절. 평가기준 설정	76
1. 평가항목	76
가. 연구개발 목표	77
나. 연구개발 내용	77
다. 추진전략 및 계획	77
라. 개발기술의 실용성 및 경제성	77
마. 연구책임자의 전문성 및 관리능력	77
2. 가점 및 감점 기준	78
가. 연구수행 형태에 따른 가점	78
나. 총연구개발비에 대한 연구신청기관의 연구개발비 부담비율에 따른 가점	78
다. 추적평가결과에 따른 가점	78
라. 보안과제 등과 관련된 가점 및 감점	78
마. 기타	79
참고문헌	80

요 약 문

국내 CO₂ 배출량은 2009년 기준 52,870만톤으로 2008년 전세계 9위에서 8위로 1단계 상승하였으며, 국내 온실가스 배출량중 건설분야 비중은 42.3%로 높은 비중을 차지하고 있음

국내온실가스 감축목표는 2020년 BAU 대비 30% 감축을 설정하고 있으며 건설분야에서도 동일하게 2020년 BAU 대비 30% 감축을 목표로 설정하고 있음

건설재료 중 CO₂ 배출이 가장 많은 비율은 시멘트 및 강재이며, 따라서 시멘트 및 강재의 탄소저감을 위한 중요성이 인식하고 CO₂ 저감을 위한 노력을 기울이고 있으나, 제한적임.

따라서, 건설재료분야에서 보다 폭넓은 CO₂ 저감을 위해 다양한 방안이 요구되고 있으며, 이에 가장 많이 사용되는 건설재료인 콘크리트의 탄산화 반응을 이용하여 CO₂를 저장시키는 연구가 CO₂ 저감기술의 일환으로 필요한 상황임

특히 탄산화가 가능한 무기성 물질 및 회수수 등은 탄산화에 의한 개질효과에 의하여 건설자재의 원료로 활용이 가능할 것으로 판단됨

본 연구는 다음과 같은 연구내용으로 추진이 필요함

● CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재활용 기술개발

- 순환골재 및 발전소 버팀애쉬 탄산화 메카니즘 정립
- 순환골재 및 버팀애쉬 촉진탄산화 반응 pilot 플랜트 제작
- 순환골재 및 버팀애쉬 탄산화 반응 최적화
- 개질 순환골재 및 버팀애쉬 활용 콘크리트, 2차제품 생산기술 개발

● 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발

- 레미콘 회수수의 CO₂ 대량 고정(삭감)화 기술에 대한 원천기술력 확보
- 환경부하 저감형 급속탄산화 촉진제어 시스템 실용화
- 슬러지 고형분을 이용한 친환경 건설재료 생산기술 개발

본 연구를 성공적으로 수행할 경우 건설재료분야의 CO₂ 저감은 물론 순환골재 및 버팀애쉬, 레미콘 회수수 등 순환자원 재활용에 크게 기여할 것으로 기대됨

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의

기술의 개념	산업부산물(애쉬), 건설폐기물(순환골재) 등에 CO₂ 반응처리를 통한 CO₂ 저장과 동시에 개질 후 건설재료로 활용을 포함하는 기술
기술의 범위	■ CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술개발 – 버팀애쉬 등의 산업부산물, 순환골재 등을 대상으로 CO₂를 활용한 품질향상 및 개질 후 건설재료로 활용하는 기술 ■ 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발 – 레미콘 회수수에 포함된 수산화칼슘의 CO₂ 반응처리 및 발생 고형분의 건설재료 활용기술

- 지구 온난화에 대비하기 위하여 선진국 등에서는 CCS(Carbon Capture & Storage) 기술개발을 추진하고 있으며 CO₂ 저장기술로서 대량의 CO₂를 지중 및 해양에 저장하기 위한 기술개발에 주력
- 국내의 경우, 이산화탄소 포집 및 저장기술은 일정수준에 도달했으나, 대량 저장을 할 수 있는 지중 및 해양지역의 확보와 실용화가 곤란함.
- 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 ‘이산화탄소 저장 및 처리기술개발사업단’ 과 연계하여 발전시설 등에서 포집한 이산화탄소의 저장대책이 없는 상황임
- 이와 연계하여 대량의 CO₂를 산업부산물 및 건설폐기물 등에 저장하는 기술에 대한 기술개발 필요인식 공유(한국건설기술연구원, 한국에너지기술연구원)로 적극적 추진 필요

CO₂ 활용 · 처리 건설재료 기술

⇒ [원천기술 확보 + 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, 레미콘 회수수 등을 CO₂와 반응 후 개질 · 활용의 건설재료 기술 [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, 버팀애쉬
- 건설폐기물, 순환골재, 순환골재 부산물 등

• 제품개발 및 실용화 대상 검토기술

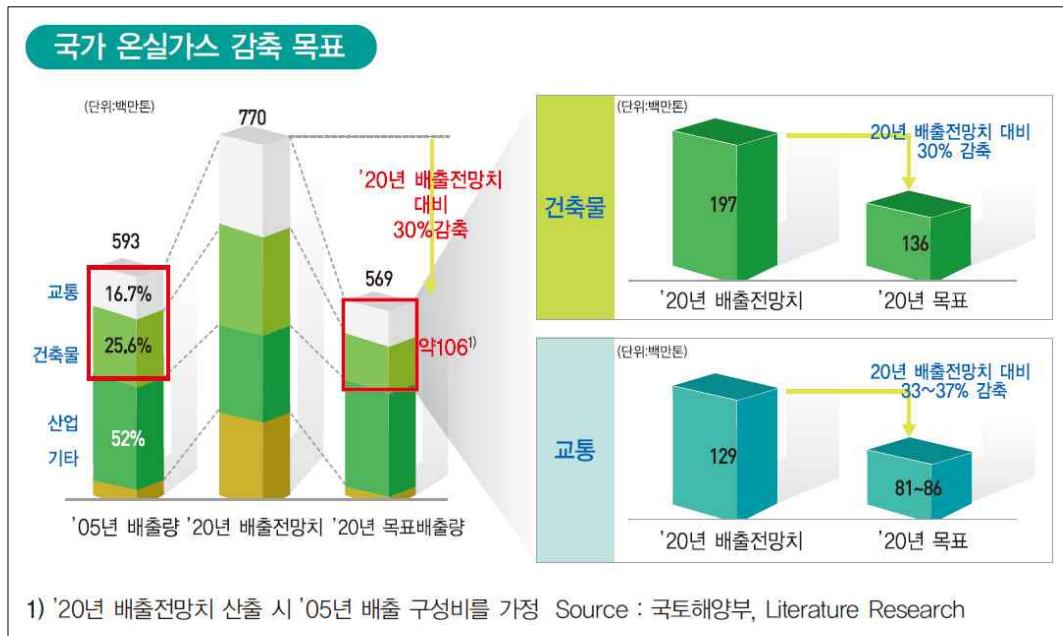
- 식생블록
- 단열재
- 레미콘회수수
- 콘크리트 벽돌, 블록 등



[그림 1.1] “CO₂ 활용 · 처리 건설재료” 기술

2절. 필요성

- 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 1.2] 국가 온실가스 감축목표(국토해양부, Literature Research)

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



[그림 1.3] 건설부문의 이산화탄소 배출 비율
(한국건설기술연구원, 녹색도시를 선도하는 기술전략)

- 온실가스 저감을 위하여 선진국 등에서는 CCS(Carbon Capture & Storage) 기술 개발을 추진하고 있으며 CO₂ 저장기술로서 대량의 CO₂를 지중 및 해양 또는 광물이나 건설폐기물, 부산물 등에 저장하기 위한 기술개발에 주력
- 국내에서도 CO₂ 저감을 위한 방안으로 건설재료분야에서 건설폐기물 및 산업부산물 등에 CO₂를 활용·처리하여 CO₂ 저감 및 자원재활용 촉진의 시너지 효과에 의한 친환경 건설재료기술 필요

2장. 국내외 동향 및 환경분석

1절. 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

가. 국토해양부

(1) 건설기술의 녹색성장 추진계획(국토해양부, 2010)

- 세계수준의 저탄소 건설구현을 위한 경쟁력 확보를 위한 신규 건축물의 에너지기준 강화, 기존 건축물의 에너지 효율개선 촉진, 녹색건설 기술개발 및 인프라 구축, 건설생애주기 전단계의 녹색화 추진.
- 토목 및 건축 시설물 전단계의 탄소배출량 분석 및 전 생애적 관점에서의 탄소배출량 최소화 추진.
- 건설재료부터 자재, 시공포함 전 생애적 관점에서의 온실가스 평가방법 정립 및 시설물 유형별, 공종별, 건설사업 단계 온실가스 배출량 평가지표, 통계시스템 구축 필요.

(2) 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.
- 탄소저감형 건설재료는 미래핵심기술 중 건설재료 분야에서 유일한 기술 분야임.

나. 환경부

(1) 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.

다. 녹색성장위원회

(1) 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 해당되는 대량배출산업으로 “저탄소 녹색성장” 기조에 부응, 세계시장의 기술선도를 위해 국가차원의 집중적이고 지속적인 기술투자 필요.

라. 시사점

- 이산화탄소 및 에너지절감을 위한 국가차원의 녹색기술정책(영국, 그린혁명계획 등)을 수립, 국가별 탄소저감 목표에 근접하기 위한 기술과 정책 추진.
- 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.

〈표 2.1〉 국내 정책동향

추진기관	정책	추진내용
국토해양부	건설기술의 녹색성장 실행계획	- 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 전 생애적 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
	건설기술의 녹색성장 실행계획 (제2009-35호)	- 옥상조경 권장설계도서의 작성 및 보급자 확대 - 기술발달 가능성을 저해할 수 있는 그늘식재 삭제 및 식재토심 규정 보완 - 식재수종 선택기준 및 품질기준 신설
	건축물에너지절약 설계기준 개정 (제2008-652호)	- 에너지절약형 건축물에 대한 건축기준 완화 - 에너지성능지표(EPI) 검토서 배점기준 개선 - 건축·전기·기계설비 부문별 의무·권장사항 보완 - 에너지절약계획서 이행 관리
	친환경 주택의 건설기준 및 성능 (제2010-421호)	- 저에너지, 고효율, 외부환경 조성, 녹색 IT기술 보급 - 친환경 주택 건설기준 및 성능 설정 - 단위 세대의 에너지 사용량, 이산화탄소 배출량을 전용면적이 60제곱미터를 초과하는 경우 20퍼센트 이상

추진기관	정책	추진내용
		절감 가능 하도록 설계 - 건물의 옥상이나 벽면을 녹화하여 생태기능을 확보
환경부	친환경 상품 구매 촉진정책	- 재활용제품, 환경친화성을 갖는 제품으로써 인증받은 제품(GR, 환경마크)을 공공기관에서 의무구매로 폐기물 및 순환자원 등의 재활용을 촉진
	건설폐기물 재활용 기본계획	- 건설폐기물의 재활용 촉진을 위한 순환골재 의무사용 증대 - 순환골재의 고품질 활용 증대 추진
녹색성장 위원회	녹색성장 국가전략	- 저탄소 녹색성장을 위한 정책목표·추진전략·중점·추진과제 등을 포함하는 국가전략을 수립·시행 - CO ₂ 포집, 저장, 처리기술과 친환경 저에너지 건축기술을 27개 중점기술에 선정
한국 건설교통 기술평가원	2010 국토해양 발전전략	- 국토해양의 2030 지향 시나리오로 기후변화대응과 기술혁신을 양축으로 한 그린혁명을 제시 - 국토해양 R&D의 미래를 이끌어갈 미래핵심기술(Green-up 30)의 선정(탄소저감형 건설재료 포함)

- 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.
- 과학기술미래 예측결과에 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.

2. 국외정책동향

가. 미국

- 환경보호청(EPA)에서는 “EPA 전략계획”을 통해 환경분야 혁신·협력 기술도입 추진, 에너지부에서는 에너지 관련 기술개발을 주도, 에너지 효율, 재생에너지 관련 기술개발 사업추진.
- HERS(Home Energy Rating System) 제도를 94년도에 제정하여 주단위로 에너지 절약제도 시행(주택 에너지 효율등급을 5등급으로 구분, 주택의 저리용자와 연계한 시스템).
- 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 마스터플랜을 수립 중.

- International Energy Agency(IEA)에서는 Cement Technology roadmap 2009에서 2050까지 시멘트 산업의 탄소배출저감 기술에 대한 방향제시
- 별도기준(온실가스 집약도방식)에 의한 18% 감축계획 발표 (2003)하여 에너지부, 환경청 등 관련부처 중심으로 지속적인 경제성장 보장과 기후변화에 대응할 수 있는 대책추진.

나. 일본

- ‘지구온난화 대책 추진본부’를 설립하여 지구온난화 방지대책법 제정 (1998).
- 이산화탄소 감축 목표는 2008~2012년에 1990년 대비 6%로 청정 연료 및 신·재생 에너지 사용량을 증가시키고 원자력 발전소를 추가 건설함으로써 이산화탄소 배출 안정화를 추진.
- 저탄소 사회구현을 위한 국가행동계획('08.7)을 수립, '50년까지 60~80% 온실가스 감축목표 제시, 에너지자립·장수명 주택 등 핵심기술 개발추진.
- 2005년 일본정부는 ‘쿨 어스(Cool earth)에너지 혁신기술계획’을 제시, 태양광 발전 등 21개 탄소저감기술을 확보하여 신성장산업을 육성하고 신규시장 창출 계획수립.
- 국토교통성은 산업부문의 부정적 효과를 최소화하고 경제성장과 균형을 이루도록 하는 탄소배출 저감정책을 기반으로 이산화탄소 저감목표 설정.

다. 유럽

- EU는 공동대응을 원칙으로 유럽의회 차원에서 공동정책을 구상, 기후변화문제를 ‘주요지구 환경문제’로 분류하여 유럽이 주도권을 행사해야 한다는 입장, 선진국은 5.2%의 온실가스 삭감 결정하였지만, 대기 중 온실가스를 안정화시키기 위해서는 50~70% 수준의 삭감 필요 주장(1980).
- 프랑스는 총리실 산하 “온실가스 대응 범정부 위원회”를 설치하여 “기후변화 대응 국가프로그램”을 발표, 또한 제조업체들이 새로운 시장환경에 적응하도록 유도하기 위해 탄소세를 도입하여 최대 탄소세액을 500프랑(US\$ 76)/TC로 결정(2000).
- 영국은 기후변화 프로그램(UK Climate Change Program)을 발표하여 2010년까지 CO₂ 배출 20% 감축을 목표(2000).
- 독일은 1990년 6월 연방정부에 의해 설립된 범정부 CO₂ 감축실무반(CO₂ Reduction Inter-Ministerial Working Group: IWG) 설립으로 에너지부문은 전력 소비감소, 석탄소비감소, 신재생에너지 이용촉진 방안과 천연가스 시장의 활성화를 통해 온실가스 감축추진.

〈표 2.2〉 국외정책동향

국가		추진내용
미국		- 환경보호청(EPA)에서는 “EPA 전략계획”을 통해 환경분야 혁신·협력 기술도입 추진 - 국가환경기술 수출전략 (2003)
일본		- 그린빌딩 인증제도로 CASBEE 도입 (건축물의 환경, 에너지 절약 등에 관한 조사 연구, 인증, 평가진단 및 지도 등)
유럽	EU	- “에너지 2020정책”으로 약 6% 이상의 이산화탄소 감축계획 수립 - 기술혁신을 통한 세계 탄소시장 선점을 목표로 하는 “SET 플랜”으로 녹색기술 중점 추진분야 선정 및 집중투자
	프랑스	- 온실가스대응 범정부위원회에 의한 “기후변화 대응국가프로그램” 발표
	영국	- 기후변화 프로그램 발표 (UK Climate Change Program)
	독일	- 범정부 CO₂ 감축 실무반 설립 (CO₂ Reduction Inter-Ministerial Working Group: IWG)

라. 시사점

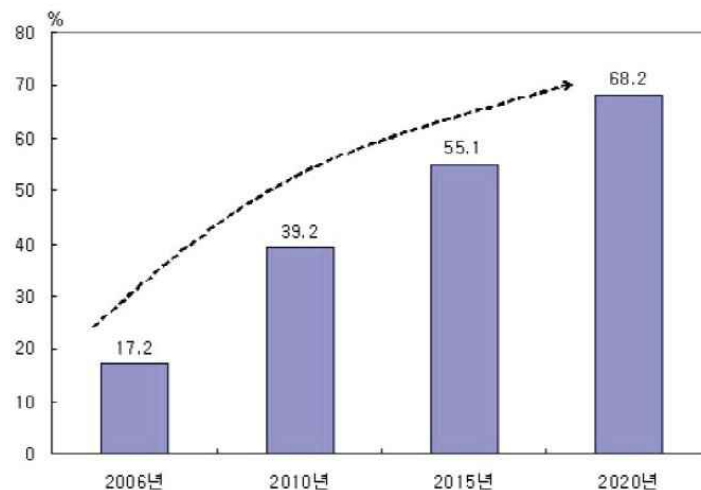
- 세계각국은 친환경 건축물 인증제도를 통한 탄소저감형 건설유도.
- 각 국가별로 그린빌딩 인증제도의 활성화로 에너지 절약 및 건물의 재료적 측면까지 고려함으로써 탄소저감형 건설재료의 활용 활성화를 유도함.
- 탄소저감 및 에너지절약 정책과 더불어 주요 탄소배출 산업부문(시멘트 등)에 대한 목표치 설정과 관리(미국 IEA, Count Technology Roadmap).
- 선진각국은 CO₂ 저감의 중심을 에너지 저감으로 시작하여 CO₂ 포집·저장 및 탄소거래시장 선점에 관심.
- 선진국은 국가의 녹색성장을 위해 Active(재생에너지, 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.

2절. 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내 시장현황 및 전망

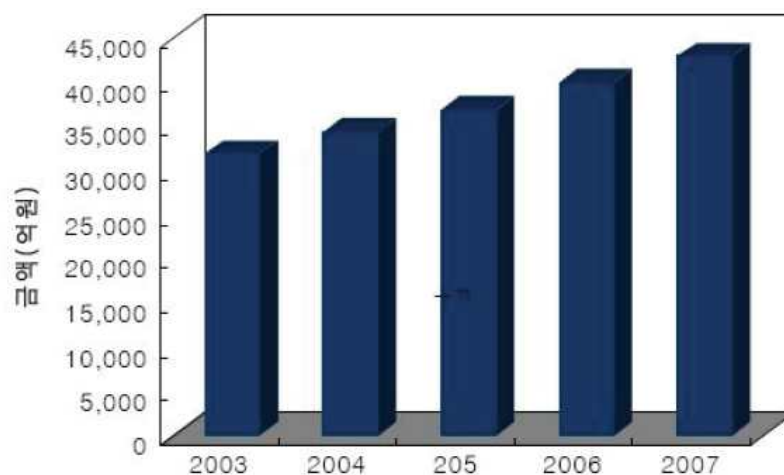
가. 국내 친환경 건축자재 시장현황 및 전망

- 친환경 저에너지 녹색건설 세계시장은 지속적인 성장으로 2012년 이후에도 12% 이상의 성장세가 예상되며, 이는 건설시장 중에서 녹색 건설기술의 비중이 점차 높아지고 있기 때문임.



[그림 2.1] 국내 친환경 건축물 인증 비중

(자료: 친환경 건축자재, 한국과학기술정보연구원, 2009)



[그림 2.2] 국내 건설자재 시장

(자료: 친환경 건축자재, 한국과학기술정보연구원, 2009)

- 국내 녹색 건설시장은 온실가스 배출저감에 대한 고려와 고효율 에너지관리 기술

의 발전이 미래시장을 주도할 것으로 예상되며, 친환경 저에너지 기술이 적용되는 건축의 비중이 2012년 12%에서 이후 60%까지 증가될 것으로 예상됨

〈표 2.3〉 친환경 건설 시장현황 및 전망

(단위 : 억달러)

구분 \ 년도	시장규모					성장률 (%) 2011~2015
	2007	2009	2011	2013	2015	
국내시장	62	71	122	179	224	16

〈표 2.4〉 친환경 건설 자재현황 및 전망

(단위 : 억달러)

구분 \ 년도	시장규모					성장률 (%) 2011~2015
	2007	2009	2011	2013	2015	
국내시장	10,161	16,390	24,035	31,786	42,037	15

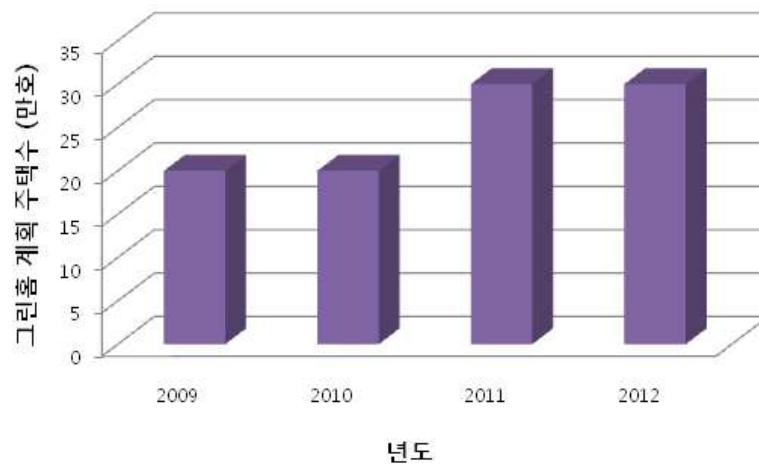
〈표 2.5〉 그린도시 시장현황 및 전망

(단위 : 억달러)

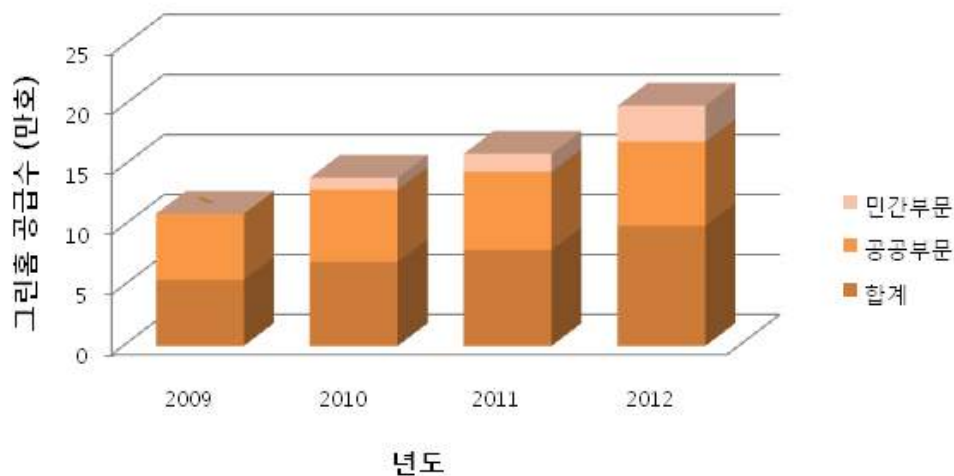
구분 \ 년도	시장규모					성장률 (%) 2011~2015
	2007	2009	2011	2013	2015	
국내시장	20,040	34,118	58,086	89,755	125,878	21

- 국내 녹색건설 시장은 온실가스 배출저감과 고효율 에너지관리 기술의 발달이 미래시장을 주도할 것으로 예상됨. 전체 건축시장에서 친환경 저에너지 건축의 비중이 2012년 12%, 이후에는 60%까지 증가 예상
- 친환경 건축자재의 세계시장은 2008년 2,267억 달러로 연평균 7.2%의 성장률을 보이면서, 2012년 3,220억달러에 이를 것으로 전망되며, 지속적인 성장으로 2015년 3,639억 달러로 전망됨.
- 그린도시가 속한 건설시장은 글로벌 금융위기에도 불구하고 연평균 3.4%의 성장세를 유지하고 있음. 그린도시의 국내시장은 2007년 2조원에 달하였으며, 건설시장은 2030년까지 6.5%의 성장세가 예상되고 미래 건설시장에서 중요도가 높아지는 그린도시 또한 국내시장에서 2015년 12.5조원으로 성장 할 것으로 추정됨.
 - 친환경과 저에너지 기술을 강조하는 ‘녹색성장’이 대두되면서 이른바 ‘그린건설’이 건설업계의 최대 화두로 떠오르고 있으며, 이러한 흐름을 일찍부터 파악한 국내 건설사들은 그린건설을 위한 건설재료 및 건설기술을 개발하여 저에너지 및 환경부하 저감을 내세운 ‘그린 하우스’을 선보이고 있으며 국산화에 박차를 가하고 있음([그림 2.3], [그림 2.4] 참조)
 - 친환경 건설재료를 바탕으로 첨단 에너지절약 기술을 자랑하는 국내 건설사의

‘그린 하우스’에 대한 원천기술과 제품개발을 통해 세계시장의 우위를 선점할 수 있을 것으로 기대됨



[그림 2.3] 환경부하 저감형 건설재료 기술현황
(주 : 이트레이드증권, 2009)

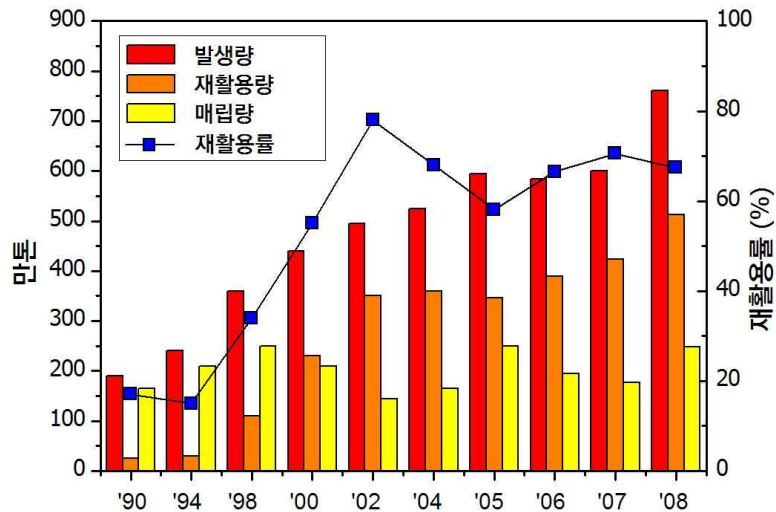


[그림 2.4] 환경부하 저감형 건설재료 기술현황
(주 : 이트레이드증권, 2009)

나. “CO₂ 활용 · 처리 건설재료” 시장동향 및 전망

(1) 석탄회

- 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), 콘크리트 용 혼화재 등으로 재활용하고 있으나, 나머지는 해안 및 육상매립에 의해 처리되고 있음.



[그림 2.5] 석탄회 발생 및 재활용 현황

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

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

(2) 순환골재

- 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 2.6> 순환골재 시장

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

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

- 순환골재는 약 10~20%가 시멘트성분을 포함하고 있어 이산화탄소의 저장이 가능하며 pH저감 효과도 있어 CO₂의 저장과 활용이 가능함.

2. 국외시장 현황 및 전망

가. 국외 친환경 건축자재 시장현황 및 전망

- 세계 건설시장은 연평균 4.6~5.6%의 지속적 성장을 전망함(GrobalInsight, 2007)
- 세계적 경기하락 동향에도 불구하고 건설부문의 시장규모는 2006년 4조6천억\$, 20011년 5조8천억\$로 연평균 4.6% 성장 예측. 2016년 7조6천억\$, 2011년 이후 연평균 5.6% 성장 전망되고 있으며, 현재 세계건설은 패러다임의 변화로 친환경, 그린건설시장이 급속하게 확대
- 그린빌딩은 일반 상업 및 주거용 건축물을 포함해서 미국 건설시장의 약 2%(72억 달러)를 차지 (2005년 기준)
- 2010년까지 주거와 상업건물을 포함하여 그린 프로젝트가 5~10%(190억달러~380억달러) 성장할 것으로 예상(McGraw-Hill Construction, 2006)
- 해양건설의 시장 또한 지속적으로 확대될 것으로 전망이며 미래에 갈수록 해양 건축재료의 가치는 높아질 것으로 예상됨
- 에코 건설재료를 통해 그린홈, 그린오피스 등의 녹색 건축물 보급사업을 활성화, 녹색건축 시장을 확대할 수 있음
- 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)
- 해외의 녹색빌딩 부문의 시장은 유럽과 미국, 특히 미국 시장을 중심으로 집계되고 있어 중동지역의 일부 신도시나 일본 등의 관련 동향은 파악이 곤란함.
- 녹색빌딩은 그 속성상 개발도상국 등 후진국보다는 선진국에서 관심을 가지는 영역으로 세계시장의 동향을 파악하는 것에는 큰 무리가 없을 것으로 판단됨.
- 녹색빌딩시장의 성장은 에너지 사용량, CO₂ 배출량, 물 사용량, 쓰레기 배출량 등에 있어 그 효과가 즉각적으로 나타나기 때문에 그 수요 및 필요성이 급증하고 있는 실정임.

〈표 2.7〉 미국과 유럽의 녹색빌딩 시장 전망

구분	2006	2010
U.S. Market	\$12 Billion(New) \$130 Billion(Renovation)	\$30~60 Billion(New) \$240 Billion(Renovation)
Commercial & Institutional	\$4 Billion	\$10~20 Billion(New)
Residential	\$8 Billion	\$20~40 Billion(New)
European Union	\$18 Billion	\$40~70 Billion(New)

- 미국 및 유럽의 녹색빌딩의 시장규모는 향후 점진적으로 계속 증가할 것으로 예상.
- 빌딩 부문별로 미국의 향후 녹색빌딩 시장의 성장전망을 설문한 결과 주택, 상업용 오피스, 정부청사, 교육시설 순으로 성장 가능성을 전망.
- 녹색빌딩의 성과
 - 1) 에너지 사용량의 30~50% 저감
 - 2) CO₂ 배출량을 35% 저감
 - 3) 쓰레기 배출의 70% 저감
 - 4) 물 사용량의 40% 저감
- 녹색빌딩의 기대 효과와 현재 수요의 증가를 고려해 보았을 때, 향후 녹색빌딩의 수요 및 시장의 크기는 점점 증가할 것으로 예상됨.
- 영국은 케임브리지 노스토 지역에 친환경 주택 9500채를 건설 중에 있음(Emporis Research, 2008)
- 중국은 충밍성 동탄프로젝트를 통해 수처리, 에너지 생산 자급자족할 수 있는 도시 건설을 계획(Emporis Research, 2008)



[그림 2.6] 국내 초고층 빌딩 추이 및 세계의 친환경 도시개발 현황
(주 : 장규호, 한국경제, 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

〈표 2.8〉 미국의 그린건축자재 시장을 고려한 스마트 코팅재료 시장예측

(단위 : 억원)

년도	2010	2015	2020	2030
외장재분야	159	171	180	189

연평균 성장률은 구조재료분야 29.2%, 인테리어분야 24%, 외장재료분야 20.6% 적용한 BBC Research의 계산방식을 응용

나. “CO₂ 활용 · 처리 건설재료” 시장동향 및 전망

(1) 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.
- 석탄회 중 버팀애쉬는 외국에서도 활용이 잘되지 않아 CO₂ 흡수 · 저장원등 활용기술 개발필요

〈표 2.9〉 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

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

** ACAA 2009 CCP Report

*** 일본 석탄에너지 센터(J-Coal), 2007

**** 발전 5개사 통계자료

〈표 2.10〉 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%)

주) V.M. Malhotra, Concrete International, 1999

(2) 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 저장 시장으로 진출이 가능하며, CO₂를 흡수·저장한 순환골재를 성·복토용으로 활용 가능하므로 2배의 친환경효과 예상

3. 시사점

- 국내 건설시장은 온실가스 배출저감과 고효율 에너지관리 기술의 발달이 미래시장을 주도할 것으로 예상되며 시장규모 또한 지속적으로 증가할 것으로 판단됨.
- CO₂ 흡수가 가능한 무기성 순환자원인 버팀애쉬와 순환골재는 배출 및 생산량이 매년 증가하는 추세에 있으나 버팀애쉬는 대부분 매립되며, 순환골재는 품질이 낮은 성토, 복토용 등으로 활용됨.
- CO₂를 순환자원에 반응시킬 경우, 밀도 및 흡수율이 증가하는 개질효과에 의해 골재로의 활용도가 높아질 것으로 예상됨.
- 버팀애쉬 및 순환골재의 골재로의 활용도를 증대시켜 콘크리트용, 벽돌, 블록용 등의 2차제품 등의 재료로 활용할 경우 재활용 및 CO₂ 저감의 2가지 친환경 효과를 기대할 수 있으므로, 시장진출은 긍정적으로 판단됨.
- 레미콘회수수는 현재 시장현황 분석이 되지 않으나, 레미콘 생산업체에서 발생이 필연적이므로 CO₂를 활용·처리기술을 개발할 경우 레미콘 시장에 긍정적일 것으로 예상됨

3절. 기술동향 분석

1. 기술동향 분석

가. 국내 동향분석

(1) CO₂ 활용 순환골재 및 애쉬 개질처리·소재활용 기술

- CO₂를 이용한 산업부산물 및 전처리 기술 등의 경우는 미국 및 일본 대비 거의 전무한 상태로 기술수준이 낮은 것으로 나타남
- 버팀애쉬의 콘크리트 혼화재료로 활용은 품질의 문제로 재활용이 곤란함.
 - ※ 버팀애쉬의 콘크리트 골재로 활용연구를 수행, 품질편차의 문제로 콘크리트의 성능저하가 나타남
- 국내에서 이산화탄소의 저장을 방안으로 CCS사업에 관한 연구의 일환으로 버팀애쉬, 슬래그 등 산업부산물에 대한 광물탄산화 기술을 개발중이나 실용화 수준은 아님(한국지질자원연구원, 2009).
 - ※ 제강슬래그 및 석탄회를 빙초산 및 염산 수용액으로 침출하여 Ca 성분을 분리하고 이를 탄산화하는 indirect carbonation을 수행
- 건설폐기물을 포함한 기타 자원에 CO₂ 흡수·전환 기술은 아직 소수기관의 실험실 수준으로 진행됨
 - ※ 건설폐기물 등에 CO₂를 저장하여 pH를 저감하는 연구가 한국건설기술연구원에서 추진 중에 있으나 아직 실용화되지는 못함([그림 2.7] 참조)

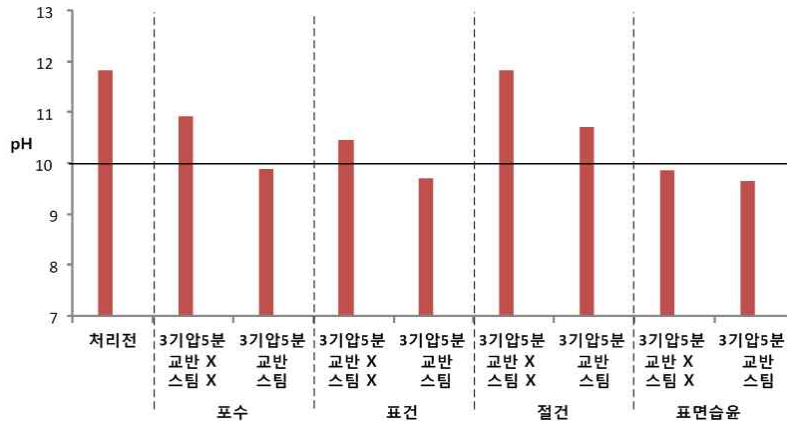


(a) CO₂ 반응전 순환골재



(b) CO₂ 반응 후 순환골재

[그림 2.7] 탄산화 반응 전후 순환골재의 페놀프탈레인 용액 반응



[그림 2.8] 순환골재의 탄산화조건에 따른 pH의 변화 시험결과

- ※ 한국전력은 ‘오존수를 이용한 이산화탄소의 탄산염 광물화 원료용 사문석 용해방법’에 대해 특허를 출원
- ※ 한국지질자원연구원은 연간 1,000톤급 이산화탄소 처분이 가능한 광물탄산화 실험장비를 구축하고 폐석고를 이용한 이산화탄소 광물탄산화 기술을 개발하고 있으나 활용기술은 미비
- 국내 건설폐기물 CO₂ 흡수·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.

<표 2.11> 국내 CO₂ 활용처리 순환자원 관련 R&D 현황 및 민간기술 현황

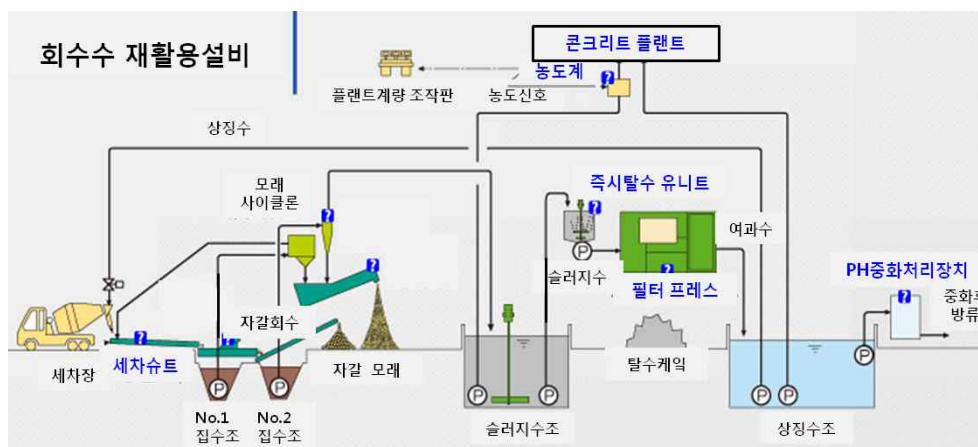
구분	기관	연구개발 실적	연구개발 내용
국내기관	삼영플랜트 한국건설기술연구원	순환골재의 pH 저감기술	순환골재에 급속탄산화반응에 의한 알칼리성 저하
	한국전력공사	오존수를 이용한 이산화탄소의 탄산염광물화 원료용 사문석 용해방법 개발	오존수를 이용한 사문석의 탄산염광물화
	한국지질자원연구원	폐석고, 산업부산물을 이용한 이산화탄소 광물탄산화 기술개발	광물탄산화 반응을 위한 원료물질 확보

<표 2.12> 관련 국내 전문가 현황

소속	전문가	보유기술	기술내용
한국건설기술 연구원	이세현	촉진탄산화반응을 이용한 순환골재 제조방법	촉진탄산화 반응을 이용하여 순환골재 부착 모르타르의 수산화칼슘을 탄산칼슘으로 전환, CO ₂ 를 저장

(2) 시멘트 및 레미콘 회수수 기술

- 환경복원 및 재생기술 등 사회의 가치체계가 변화됨에 따라 국내외 오염에 대한 각종 규제강화가 확대되고, 산업부산물의 적정처리 유도를 위한 연구개발이 긴요한 시점임. 국내에 경우 레미콘차의 믹서트럭 내/외부 씻기, 배처 플랜트의 믹서호퍼 씻기 등으로 발생하는 세척배수 역시 강알칼리성의 환경오염물질이어서 중화처리를 위한 설비를 갖추거나 또는 회수설비를 구비하여 재이용 하는 실정임
- 레미콘 생산 및 운반작업 후 장비류의 세척으로 발생하는 회수수를 재이용하는 것은 다양한 콘크리트 품질의 불안정을 초래하게 하며, 회수수중에는 상당량의 미수화 물질이 포함되어 있음에 따라 그 재처리 설비 및 이송 라인에 시멘트분이 고착되어 막대한 보수비용까지 요구됨
- 최근에는 페레미콘 재생과정에서 발생하는 슬러지수를 재활용하는 한편 슬러지의 시멘트 고착을 방지하고, 상수도 사용시와 동일한 배합관리를 행할 수 있으며, 통상의 슬러지수에 비해 슬럼프 및 공기량 손실을 개선·안정시키고, 콘크리트의 강도증대와 품질향상과 관련된 연구가 진행되고 있음



[그림 2.9] 회수수 재활용 설비

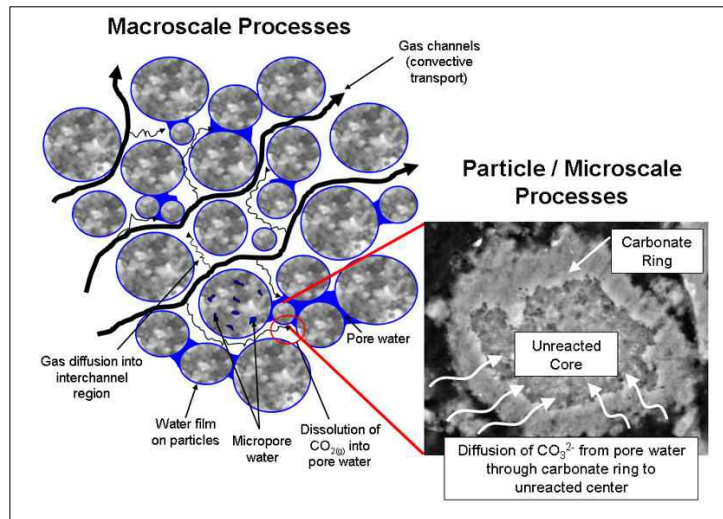
- 레미콘공장에서 발생하는 회수수는 대부분 재활용되고 있으나, 회수수 슬러지에는 시멘트, 골재, 혼화제 등이 포함되어 있어, 콘크리트 제조시 성능을 저하시키는 요인으로 작용하고 있음. 이에 따라 기존연구에 있어서는 회수수에 포함되어 있는 슬러지 고형분을 콘크리트용 혼화재료로서 활용하고자 연구가 대다수임
- 레미콘 생산과정에서 회수수는 필연적으로 발생하는 것으로, 종전에는 이를 자연에 방류하거나 폐기처분하여 환경오염 및 자원낭비의 원인이 되었지만 현재는 전량 회수하여 재활용하는 실정임. 하지만, 회수수(상징수)를 레미콘 제조시 배합수로 사용하면 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트에서의 품질에 문제가 없는 경우가 대부분이지만 일정 부분(고강도 및 고내구성 콘크리트에서의 품질안정성)에서는 악영향을 미치는 요인도 존재하고 있음
- 따라서 선진국은 물론 우리나라에서도 점차적으로 고품질을 요구하는 콘크리트에

서의 회수수 사용은 금지하고 있는 추세임. 한편 일부 선진국의 경우는 안정화제에 의한 회수수 처리방법을 개선하여, 즉 회수수 중에 포함된 슬러지 고형분의 수화를 일정시간 정지시켰다가 차기 배합수로 사용할 때 수화반응을 유도함으로써 레미콘에 미치는 악영향을 해소함은 물론 품질향상과 회수수의 효율적인 활용을 도모하고 있음

나. 국외 동향분석

(1) CO₂ 활용 순환골재 및 애쉬 개질처리·소재 활용기술

- 산업부산물에 CO₂를 저장하는 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
- 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
 - ※ 미국에서는 탄산가스를 적용하는 방법이 제안되거나 시범적으로 적용되고 있는데 이는 탄산가스를 저장시키는 CCS(Carbon dioxide Storage & Capture)기술의 일환으로 플라이애시, 고로슬래그 등의 산업부산물과 함께 광물탄산화 기술로 연구되고 있음
 - ※ 유럽에서는 광물탄산화에 관련하여 천연광물을 이용한 실험실 수준의 연구가 진행되고 있고, 산업부산물을 이용하여 demonstration을 위한 pilot plant 연구가 진행중임.
 - ※ 노르웨이에서는 파쇄콘크리트에 CO₂를 축진 흡수시켜 CO₂ 흡수량을 정량적으로 평가하는 연구를 수행, 파쇄콘크리트 CaO의 75%가 탄산화 됨을 확인
- 일본에서는 실험실 조건에서 24시간 동안 탄산화 반응시킴으로써 밀도 및 흡수율이 개선된 순환골재 제조기술을 개발하였으나 긴 반응시간 및 소량의 골재 제조에 한정되어 순환골재 생산현장에서 실용화의 한계가 있음
- 독일, 프랑스, 핀란드, 러시아, 이탈리아, 스위스 등에서도 CO₂ 활용·처리에 관한 연구가 활발히 진행중임.
 - ※ 대표적인 CO₂ 고정화 프로젝트로 'Waste Process and Treatment'가 핀란드에서 추진중이고, 네덜란드는 2000년대 초반부터 ECN(Energy Research Centre of the Netherlands) 주도로 environmental risk assessment 분야에서 폐기물을 포함한 CO₂ 고정화 사업을 진행중임



[그림 2.10] 산업부산물의 CO₂ 저장 프로세스
(Deborah N. Huntzinger, 2006)

- 국제적으로 유엔 기후변화 방지를 위한 CCS 사업을 통해 온실가스저감을 위한 연구 및 관련 제도가 정비되고 있으며, IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)보고서에서 포집된 CO₂ 고형화 기술의 중요성을 보고.

<표 2.13> 국외 CO₂ 활용 무기성 순환자원 관련 R&D 현황 및 민간기술 현황

구분	기관	연구개발 실적	연구개발 내용
국외기관	국립과학응용연구원 (프랑스)	도심지쓰레기 버팀애쉬의 탄산화 흡수연구	도심지쓰레기 소각 후 발생하는 버팀애쉬의 CO ₂ 고정화
	뉴햄프셔 대학 (미국)	탄산화 건설재료의 고속도로 활용기술	고속도로 활용 순환골재의 탄산화 반응 측정
	노르웨이건축연구소 (노르웨이)	해체 및 파쇄된 콘크리트의 이산화탄소 흡수	폐콘크리트의 CO ₂ 흡수량 정량화
	清水建設 (일본)	폐콘크리트의 CO ₂ 고정화	폐콘크리트의 CO ₂ 고정량 분석

<표 2.14> 국외 관련전문가 현황

소속	전문가	보유기술	기술내용
University of New Hampshire	Kevin Gardner	폐기물의 CO ₂ 흡수기술	CO ₂ 와 물을 혼합하여 컬럼형 반응기에서 폐기물을 탄산화 반응하는 기술

(2) 시멘트 및 레미콘 회수수 기술

- 현재 전 세계의 시멘트공정 및 콘크리트 공정은 몇몇 선진국의 거대 글로벌 시멘트 회사들을 중심으로 대부분의 생산, 판매 및 연구개발 추진 중

- 일본이나 미국 등 선진국들은 시멘트 및 콘크리트 산업을 1990년대 초반부터 전략 산업의 한 분야로 인식하고 국가주도하에 업계 및 학계 공동 컨소시엄을 구성, 시멘트 및 콘크리트 공정기술 분야에 꾸준히 기술개발에 투자를 진행
- 일본에 있어서 건축과 관련하는 다섯 단체, 이를테면 일본건축학회, 일본건축사연합회, 일본건축사사무소협회연합회, 일본건축가협회, 건축업협회에서는 건축분야에 있어서의 지구환경의 재검토를 목적으로 장수명, 자연공생, 에너지절약, 순환, 지속과 관련하여 산업폐기물의 문제, 즉 최종처분장소의 부족, 불법투기의 증가, CO₂의 발생 등 건축현장에서도 환경대책을 적절하게 행할 필요가 제기되고 있음
- 반송 콘크리트 및 잉여 콘크리트는 건설현장에서 일어남에도 불구하고 계약 측면에서 콘크리트 제조 공장에서의 문제로 여겨져 왔으며 최근에는 제조공장으로 반송된 콘크리트를 유료화하는 쪽이 검토되고 있지만 실제로는 서비스의 일환으로 되어 있음
- 레미콘 공장은 입지조건에 의한 각종의 공해방지관계의 규제를 받아 분진, 배수, 소음, 진동, 폐기물 등에 대한 공해방지가 의무화 되어있지만 쓰다 남은 잉여 콘크리트, 반송된 콘크리트에 따라 발생하는 슬러지 고형분 등의 처리에 있어서 수도권의 레미콘 공장에서는 대지가 협소하여 유효이용이 곤란한 상황임. 물론 이러한 콘크리트를 대지 내에서 경화시킨 후에 도로업자에게 건네는 방법이 있지만 대도시 지역의 공장은 대지가 협소하여 이러한 대응도 취할 수가 없음. 대부분이 폐기물로써 처리될 수밖에 없는 상황이어서 레미콘 공장에 있어서는 커다란 문제로 대두됨
- 종래에 들어서부터 지구 온난화 대책으로서 에너지 절약 기술의 개발·도입이나 대체 프레온 등의 삭감 대책 등, CO₂를 비롯한 온실효과 가스의 배출을 억제하는 대책이 행해지고 있음. 하지만 대기 중의 CO₂ 농도는 상승을 계속하고 있어, 지구 온난화를 완화·억제하여 지속가능한 사회를 구축하기 위해서는 현행의 대책만으로는 불충분함에 따라, 배출후의 CO₂에 대한 고정화·유효이용 기술에 대해서도 장래적으로 도입 가능한 대책 옵션을 총괄하는 기술개발을 추진할 필요성 제기
- CO₂ 고정화 분야에서도, CO₂ 회수/저장기술(CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage)은, IPCC(기후변동에 관한 정부간 패널) 제4차 평가 보고서에 있어서, 온난화 완화책의 대표적인 기술의 하나로서 기대되고 있음. 또한, 일본이 2050년까지 세계전체의 온실효과 가스 배출량을 반감하기 위해서 필요한 혁신적 기술의 하나로서, CCS가 자리매김 하고 있음. 이와 같은 점을 근거로 하여, 장기적인 관점에서 CO₂의 고정화·유효이용기술에 관한 연구가 이루어져야 할 것임

다. 기술분석 결과 및 시사점

- 국내의 CO₂ 흡수·전환 기술은 소수의 연구기관에서 수행된 바 있으나 실험단계이며 국외의 경우도 역시 실용화 사례는 파악되지 않음.
- 국내와 국외의 기술수준은 차이가 있으나 아직 모두 기초단계 수준으로 적극적인

기술개발을 통해 기술선점이 가능할 것으로 분석됨.

- 각 국가별로 광물 탄산화에 대한 연구는 수행하고 있으나 대부분 탄산화공정에 치중하고 활용기술은 접근하지 못함. 아울러 건설폐기물 탄산화에 대한 연구는 노르웨이에서 기초연구단계로 수행사례 있음.

※ 국내에서도 아직 실용화 단계는 아니나 순환골재에 CO₂ 흡수하는 연구가 계속 수행중임. 따라서 국내외 기술수준 차이는 크지 않은 것으로 판단됨

- 레미콘 회수수의 경우 효과적인 재사용과 더불어 CO₂ 대량 고정화 등으로 **환경성과 성능제고의 요구에 산업적 대응이 가능한 것으로 분석됨**

2. 특허분석

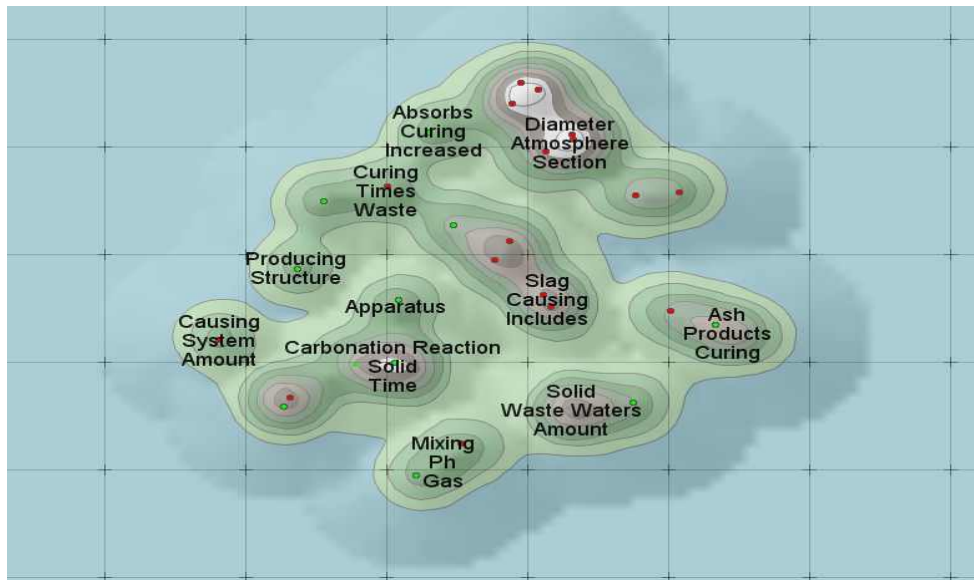
- 특허검색은 특허청의 특허정보검색 서비스(<http://www.kipris.or.kr/>) 및 WIPS(<http://search.wips.co.kr>)에서 조사 수행



[그림 2.11] 특허정보검색서비스

가. 기술분야별 특허분포도(Themescape)

- 특허분포도란 MicroPatent사의 특허분석 Tool인 Aureka를 이용한 분석결과로서, 전체 세부기술분야(키워드 기반)별 특허의 분포도를 한눈에 조망하는데 의미가 있음. 고도 등고선 이미지에서 고도는 문헌의 고밀도 범위(개수)를 의미하고 선의 근접성은 관련성 정도를 나타냄
- 본 결과는 출원년도를 기준으로 최근 10년, 즉 2000~2009년까지의 미국 및 일본 특허를 통합하여 분석하되, 과거 5년(2000년~2004년)과 최근 5년(2005년~2009년)으로 구분하여 시대에 따른 연구개발 트렌드의 변화를 비교함
- 2000~2004년에는 Mixing/pH/gas, Carbonation reaction/solid/time, Solid/waste water/amount등이 주요 키워드로 도출되었으며, 2005~2009년에는 Slag/causing, Diameter/atmosphere/section등이 주요 키워드로 도출됨

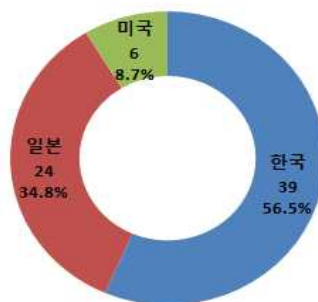


[그림 2.12] CO₂ 활용·처리 건설재료 기술분야의 특허분포도(Themescape)

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

나. 출원동향

- 한국특허, 미국특허 및 일본특허를 통해 살펴본 CO₂ 활용·처리 건설재료 기술 분야의 특허활동은 한국특허에서의 활동이 가장 활발한 것으로 분석됨
- 한국특허에서는 39건이 출원/공개되어 전체 출원/공개량의 56.5%를 차지한 것으로 분석되었으며, 일본 특허에서는 24건이 출원/공개되어 34.8%의 점유율을 나타냄. 그 다음으로는 미국특허에서는 8건, 8.7%로 분석됨

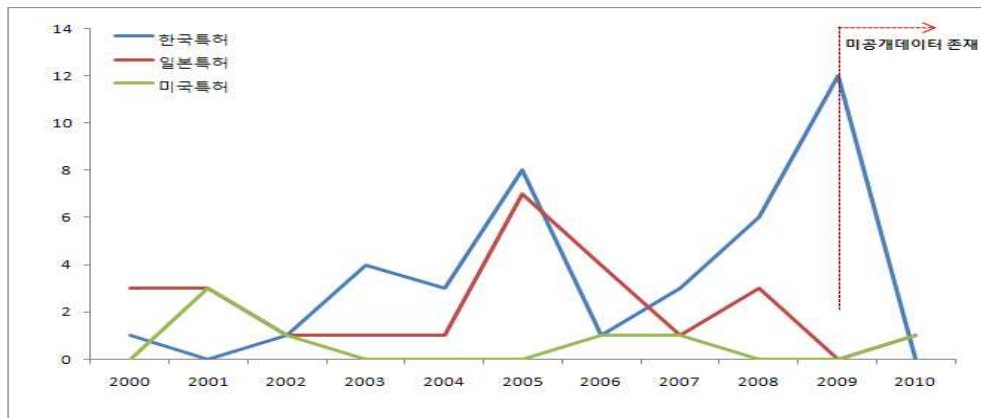


[그림 2.13] 국가별 출원(등록) 점유율

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

- 미국 특허내에서의 특허 출원 등록 활동은 매우 저조하나국내 특허 시장에서는 출

원건수가 지속적으로 증가하는 추세로 판단됨

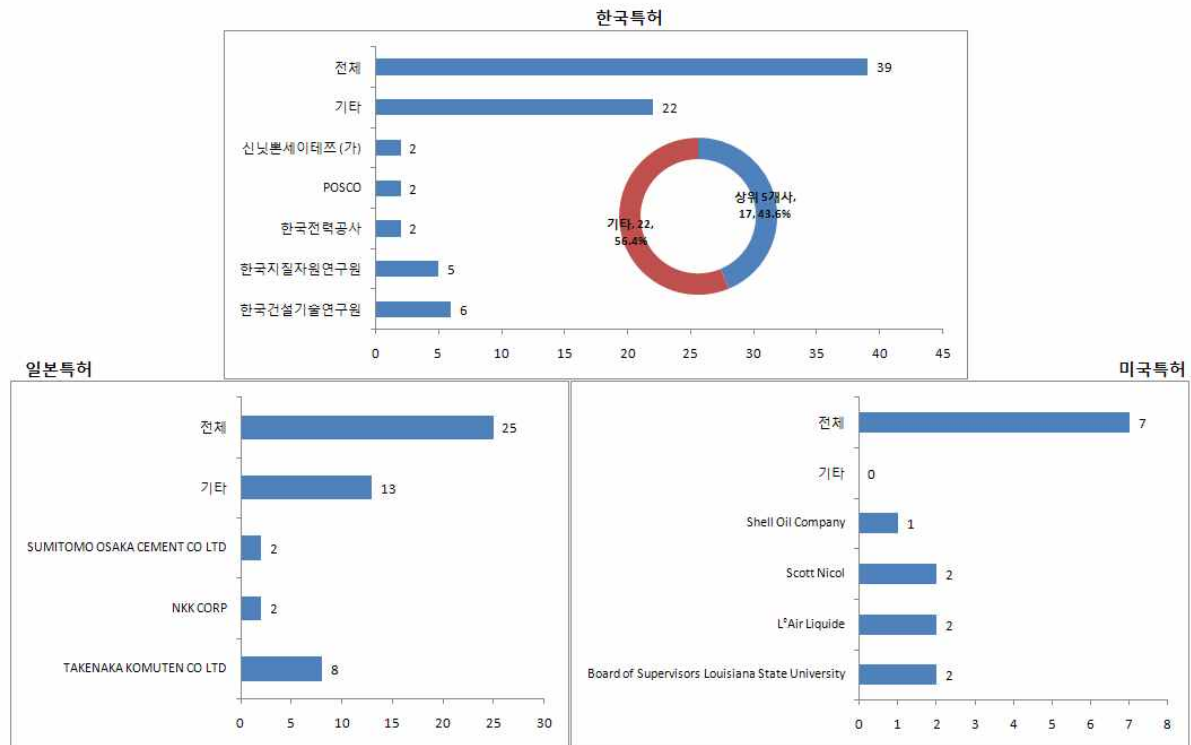


[그림 2.14] CO₂ 활용·처리 건설재료 기술 출원(등록)동향

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

다. 주요 출원인분석

- CO₂ 활용·처리 건설재료 기술분야의 국내 주요 출원인은 한국건설기술연구원(6건), 한국지질자원연구원(5건), 한국전력공사(2건), POSCO(2건) 및 신닛뽀세이테쓰(2건) 순으로 분석되었으며, 상위 5개사에 의한 출원건수는 17건(43.6%)로 전반적으로 출원건수는 저조하나 특정 출원인에 의해 특허 활동이 집중되고 있는 것으로 분석됨
- 일본 특허 주요 출원인은 TAKENAKA KOMUTEN CO LTD(8건), NKK CORP(2건) SUMITOMO OSAKA CEMENT CO LTD(2건) 순으로 분석됨
- 미국특허 주요 특허권자는 Board of Supervisors Louisiana State University(2건), L°Air Liquide(2건), Scott Nicol(2건) 및 Shell Oil Compan(1건) 순으로 분석됨



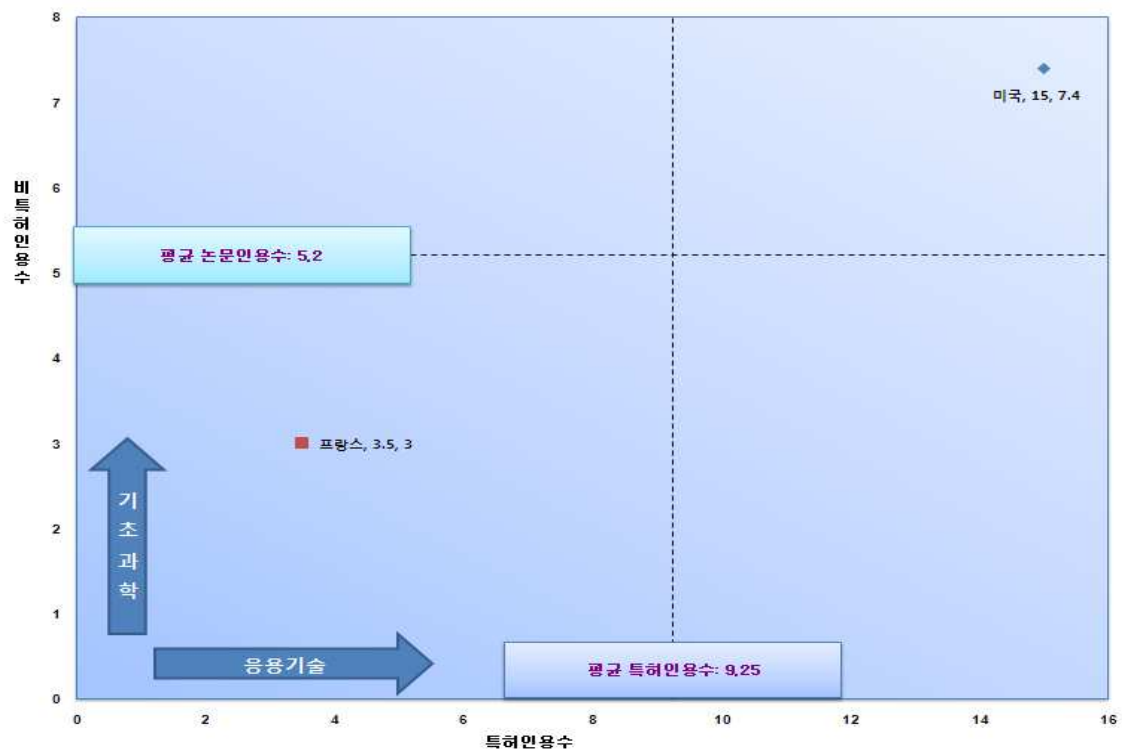
[그림 2.15] CO₂ 활용·처리 건설재료기술 주요 출원인 동향

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

라. 미국특허로 살펴본 특허 경쟁력

(1) 국가별 연구 개발 방향

- CO₂ 활용·처리 건설재료 기술 분야의 평균 논문 인용수는 5.2, 평균 특허 인용수는 9.25로 기초과학과 연계된 기술 개발보다는 응용 기술 위주의 기술 개발이 이루어지는 것으로 판단됨
- 상대적으로 기초과학과 응용기술과의 상호 연계성이 모두 평균이상인 국가로는 미국으로 분석되었으며, 프랑스는 논문인용 수 및 특허인용수가 미국에 비해 상당히 낮아 연구개발 수행전 특허에 대한 선행기술조사 활동이 미국에 비해 미흡한 것으로 나타남



[그림 2.16] 국가별 연구 개발 방향

1. 분석구간 : 미국특허 '2000~2011(등록년도)
2. X축: 특허인용수(backward수합/등록건수), Y축: 논문인용수(NPR)

(2) 기술력 지수 비교

- 미국 등록특허에서 기술 수준을 측정하는 지표(특허등록건수, 영향력 지수, 기술력 지수)를 통해 국가별 분포를 살펴본 결과, 미국은 프랑스에 비해 등록건수 및 영향력지수(PII) 및 기술력지수(TS)에서 모두 우수한 것으로 분석됨
- 대한민국 특허권자는 CO₂ 활용·처리 건설재료 기술분야에서 미국내 특허 활동이 없음

[표 2.15] 국가별 기술력 지수

국가	국가별 등록건수			국가별 PII ¹⁾		기술력 지수(TS ²⁾)	
	2000-2004	2005-2009	합계	2000-2004	2005-2009	2000-2004	2005-2009
미국	2	2	4	1.2	1.0	2.3	2.0
프랑스	2		2	0.8		1.7	0.0

1) PII = 특정기술 분야의 특정특허권자의 피인용비/전체 피인용비

- PII가 1이면 평균인용 빈도임을 나타내고, 2이면 평균보다 2배 많은 빈도로 인용됨을 나타냄

2) TS = 특허건수 × 영향력지수

- 기술력지수가 클수록 해당 특허권자의 기술력이 높음을 의미함

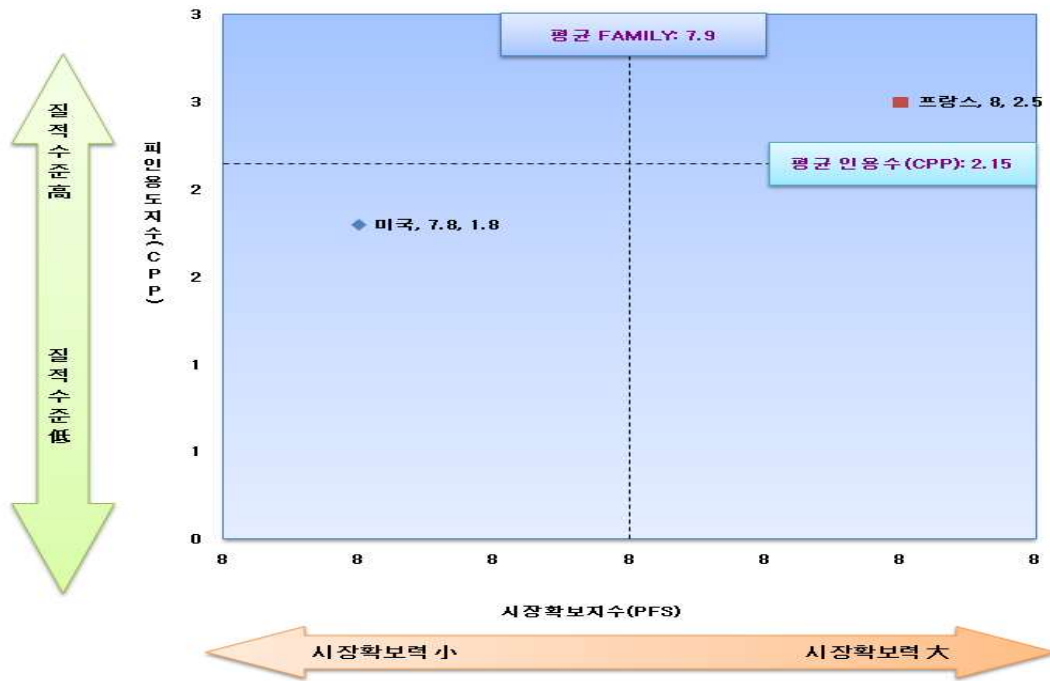


[그림 2.17] 특허권자 국가별 기술력 지수

1. 분석구간 : 미국특허 '2000~2011(등록년도)
2. TS = 특허건수 × 영향력지수

(3) 질적 수준을 고려한 기업의 시장력 분석

- 피인용비(CPP, Cites Per Patent)는 분석대상(기업, 국가등)의 특허가 이후의 기술 혁신 활동에 어느 정도 영향을 미쳤는가를 보여주는 지표이고, 패밀리 규모(PFS, Patent Family Size)는 직접적으로 해당 특허의 지역적 보호 범위를 나타내며, 간접적으로는 해당 특허가 가지는 기술적 중요성과 혁신성으로서의 가치에 대한 정보를 제공하는 것으로, 피인용비(CPP)와 패밀리 규모(PFS)의 분석을 통해 연구주체의 특허가 기술의 질적수준 또는 시장성을 확보하기 위한 노력 정도를 평가하는 방법임
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술 분야는 평균 7.9개의 패밀리 특허(PFS)를 형성하고 있으며, 특허 영향력지수(CPP)는 2.15로 분석됨.
- 프랑스 특허권자에 의한 특허의 영향력 지수와 패밀리 특허수가 미국에 비해 상대적으로 높아, 프랑스 특허권자 특허가 상대적으로 미국 특허권자 특허에 비해 질적으로 우수하고 시장 확보에 대한 강한 전략을 표출하고 있는 것으로 분석됨



[그림 2.18] 질적 수준을 고려한 국가별 시장력 분석

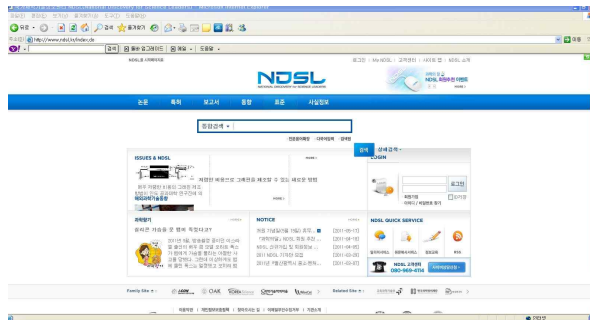
1. 분석구간 : 미국특허 '2000~2011(등록년도)
2. X축: PFS=분석국가 평균 PatentFamily수/전체 평균 PatentFamily수
Y축: CPP=분석국가 평균 피인용회수 합계/전체 평균 PatentFamily수

마. 특허분석 결과 및 시사점

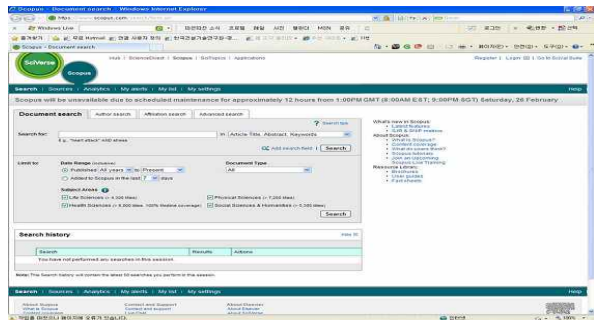
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술의 특허 출원(등록) 점유율은 한국 39건(56.5%), 일본 24건(38.4%) 및 미국 8건(8.7%)로 국내 특허 활동이 매우 활발한 것으로 분석됨.
- 국내 주요 출원인은 한국건설기술연구원(6건), 일본 특허 주요 출원인은 TAKENAKA KOMUTEN CO LTD(8건), 미국특허 주요 특허권자는 Board of Supervisors Louisiana State University(2건), L°Air Liquide(2건), Scott Nicol(2건)등으로 파악됨
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술 분야는 기초과학과 연계된 기술 개발보다는 응용 기술 위주의 기술 개발이 이루어지는 것으로 판단됨

3. 논문분석

- 국내논문 분석은 과학기술정보연구센터에서 제공하는 논문검색 서비스인 NDSL (National Discovery of Science Leaders)를 통해, 국외논문 분석은 Elsevier에서 제공하는 논문검색 서비스인 SCOPUS 통해 2001~2010년까지 국내·외에서 발표된 Journal과 Proceedings을 대상으로 논문을 검색하였음.



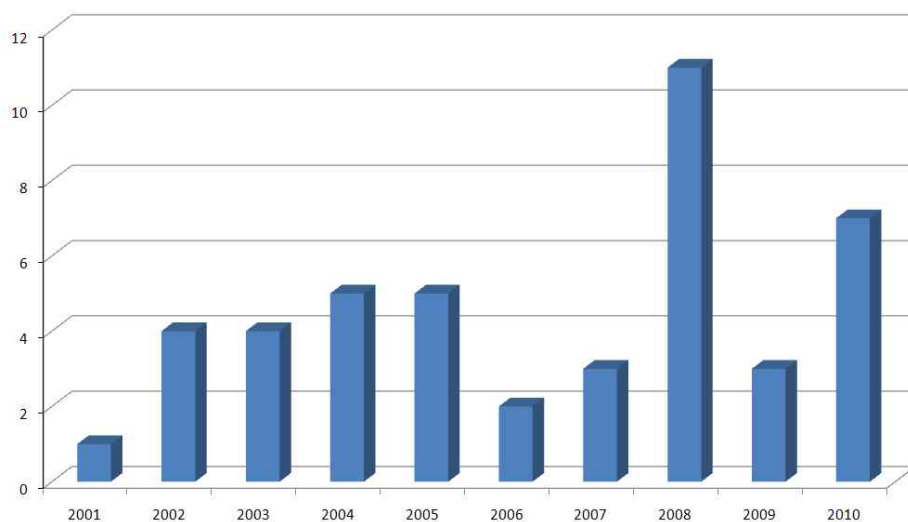
[그림 2.19] NDSL



[그림 2.20] SCOPUS

가. 국내논문분석

- “CO₂ 활용·처리기술”은 2001년부터 2010년까지 발표된 논문은 총 40여 편이었으며 점진적으로 증가하다 2008년에 2배 이상 증가하였음



[그림 2.21] 연도별 논문발표 동향 (단위: 논문건수)

〈표 2.16〉 “CO₂ 활용·처리” 기술 국내 논문발표 현황

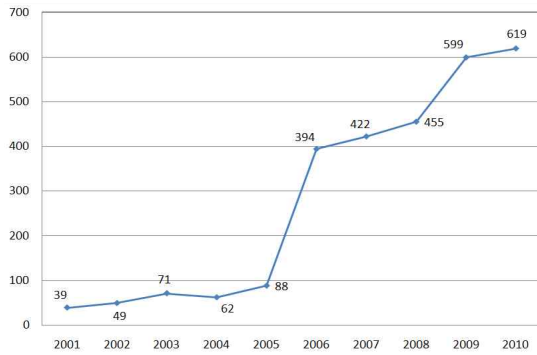
주요 논문명	연도
산업부산물(플라이애시)과 실리카폼을 재활용한 슛크리트의 환경유해성 평가	2010
조강시멘트를 사용한 3성분계 콘크리트의 강도 및 내구특성	2010
철강산업 부산물의 콘크리트에의 활용	2010
활성도를 부여한 회수수 슬러지의 콘크리트 혼화재 활용	2008
레미콘 회수수에 안정화 처리한 콘크리트의 공학적 특성	2007
규정 이상의 회수수를 사용한 콘크리트의 내구성 및 강도 특성	2006
회수수 안정화제가 시멘트 모르타의 공학적 특성에 미치는 영향	2005
레미콘 회수수의 재활용을 위한 지연형 안정화제의 특성	2005
회수수 안정화제 종류 및 고형분량 변화에 따른 콘크리트의 특성에 관한 연구	2003
회수수 안정화제 종류 및 혼입률 변화에 따른 시멘트 모르타르의 특성	2003

나. 국외논문분석

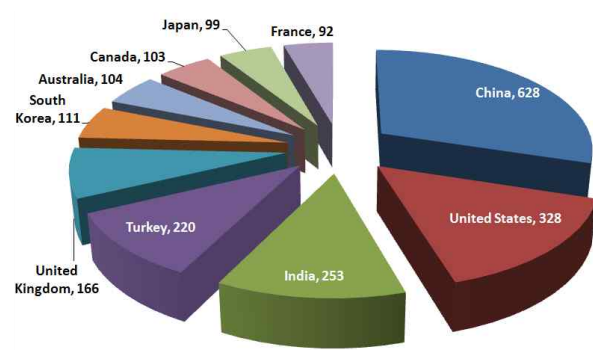
- 조사항목 : “미생물을 활용한 건설재료” 관련 기술분야
- 조사범위 : 1990년~2011년(검색기준일 5월 25일까지)간 해외에서 발표된 Journal 및 Proceedings
- 발표언어 : 영어

(가) “CO₂ 활용 순환골재 및 애쉬 개질처리·소재 활용기술”

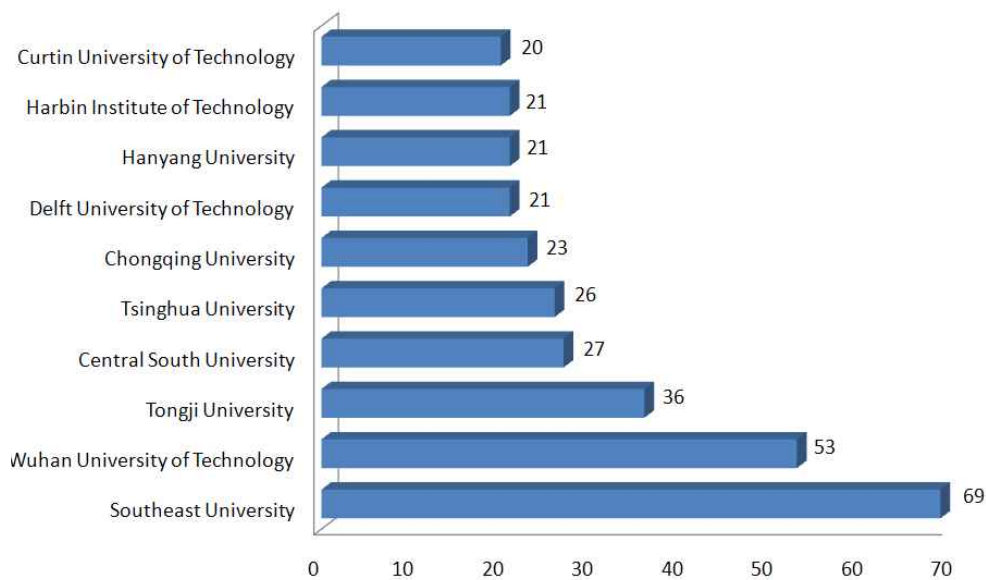
- “CO₂ 활용·처리기술” 중 “CO₂ 활용 순환골재 및 애쉬 개질처리·소재 활용” 기술과 관련하여 2001년부터 2010년까지 발표된 논문은 약 2,700여 편이었으며 꾸준히 증가하였음.
- 주요 다수 논문 발표국은 중국, 미국, 인도, 터키이며 우리나라도 상위 10개국 안에 포함되었음. 기관별 논문발표동향을 살펴보면 미국의 Southeast University, 중국의 Wuhan University of Technology, Tongji University 등에서 활발한 연구가 이루어지고 있었음.



[그림 2.22] 연도별 논문발표 동향
(단위: 논문건수)



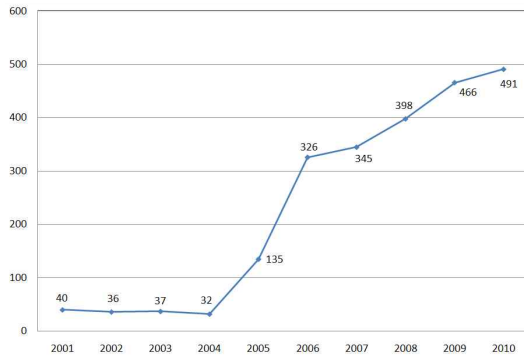
[그림 2.23] 주요 국가별 논문발표 동향
(단위: 논문건수)



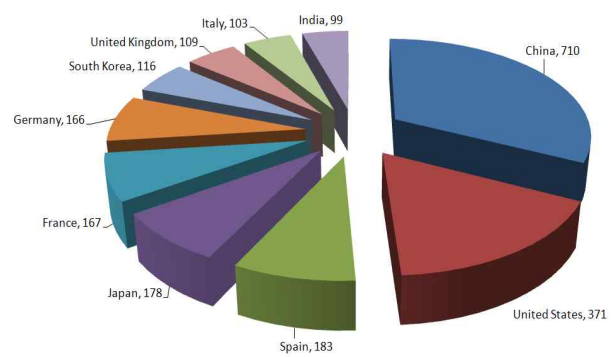
[그림 2.24] 주요 기관별 논문발표 동향(단위: 논문건수)

(나) 시멘트 및 레미콘 회수수 기술

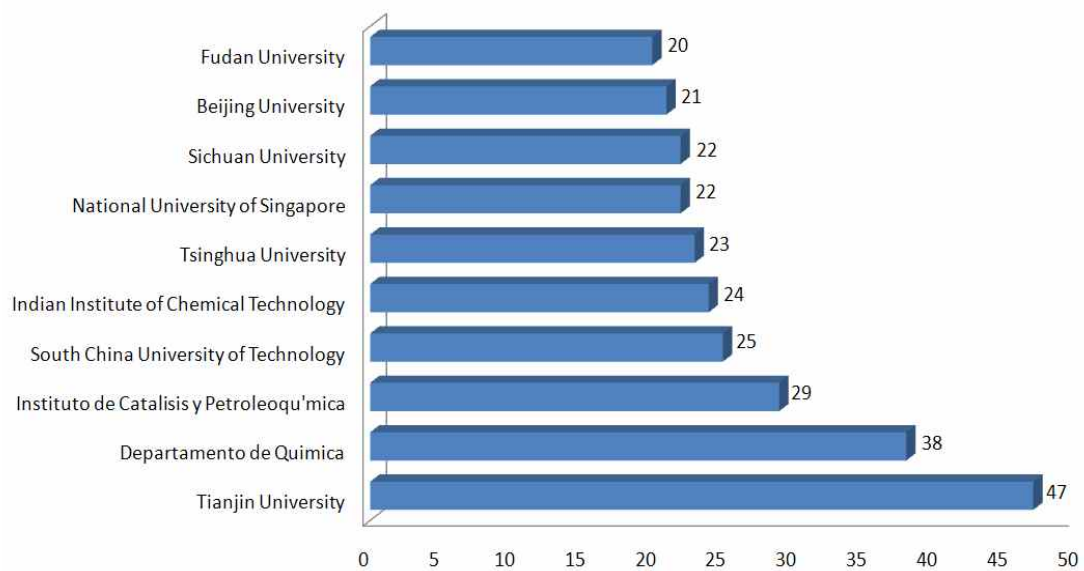
- 레미콘 회수수 기술과 관련하여 2001년부터 2010년까지 발표된 논문은 약 2,700여 편이었으며 2005년을 기점으로 큰 폭으로 증가하였음
- 주요 다수 논문 발표국은 중국, 미국, 스페인, 일본이며 우리나라도 상위 10개국 안에 포함되었음. 기관별 논문발표동향을 살펴보면 중국의 Tianjin University 등에서 활발한 연구가 이루어지고 있었음



[그림 2.25] 연도별 논문발표 동향
(단위: 논문건수)



[그림 2.26] 주요 국가별 논문발표 동향
(단위: 논문건수)



[그림 2.27] 주요 기관별 논문발표 동향(단위: 논문건수)

다. 국내외 논문분석 결과 및 시사점 정리

- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술은 2005년 이후 급속한 증가추세로 나타났으며, 발표논문수가 지속적으로 증가추세에 있음. 이는 “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술이 전세계적으로 관심분야이며 특히 중국의 연구활동이 활발함을 알 수 있음
- 주요기관별 논문발표동향에서 중국 대학교의 논문발표가 활발함을 알 수 있으며, 국내의 경우 한양대학교가 “CO₂ 활용 순환골재 및 애쉬 개질처리·소재 활용” 기술분야에서 상위 10위 내에 포함되었음

4절. 연구개발 인프라 분석

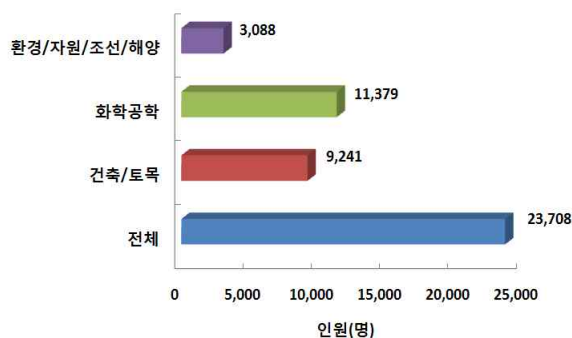
1. 연구인력 인프라

- 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.

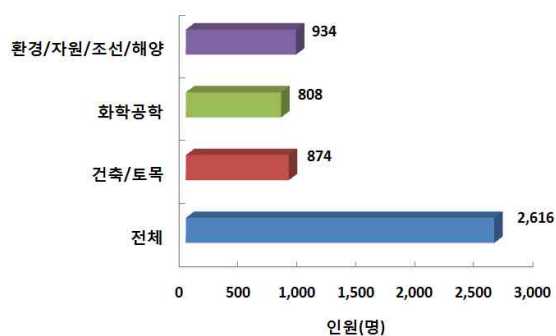
〈표 2.17〉 기관별, 분야별 연구인력현황

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.

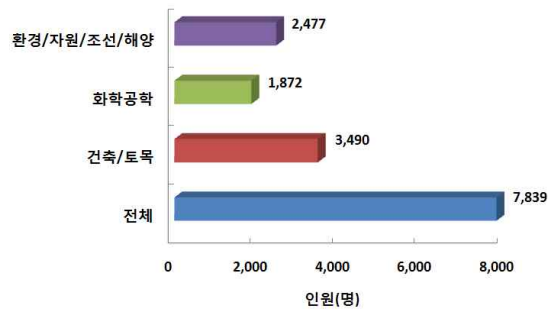


[그림 2.28] 기업 분야별 연구인력



[그림 2.29] 공공기관 분야별 연구인력

주) 교육과학기술부(2010 연구개발활동조사보고서)

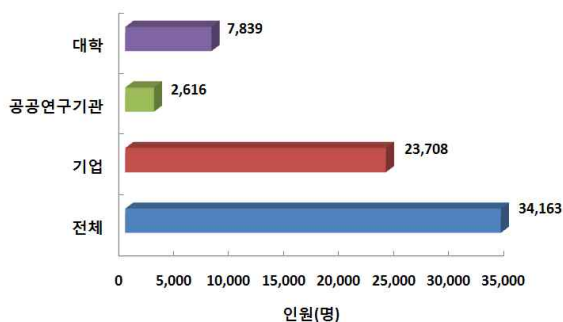


[그림 2.30] 대학 분야별 연구인력
주) 교육과학기술부(2010 연구개발활동조사보고서)

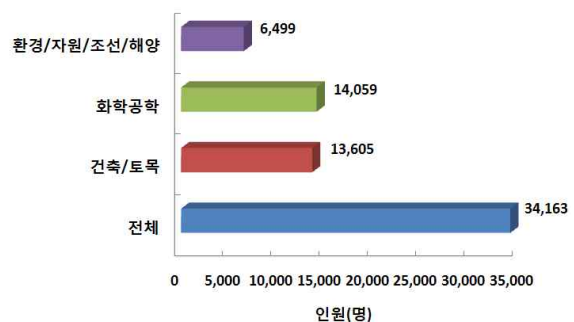
- 국내 “기관 및 분야별 연구인력”은 전체 34,163명으로 인력현황은 기업 69.4%(23,708명), 공공연구기관 7.7%(2,616명), 대학 22.9%(7,839명)로 조사됨. 기업의 연구인력이 가장 많은 것으로 분석됨.
- 국내 “전공분야별 연구인력”은 건축/토목이 39.8%(13,605명), 화학공학 41.2%(14,059명), 환경/자원/조선/해양 19.0%(6,499명)로 조사됨. 화학공학분야의 연구인력이 가장 많은 것으로 분석됨.
- 국내 토목, 건축, 환경, 화공 및 세라믹 등의 “관련 기술자 인력”은 전체 524,285명으로 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 2.18> 국내 주체별, 분야별 연구인력현황

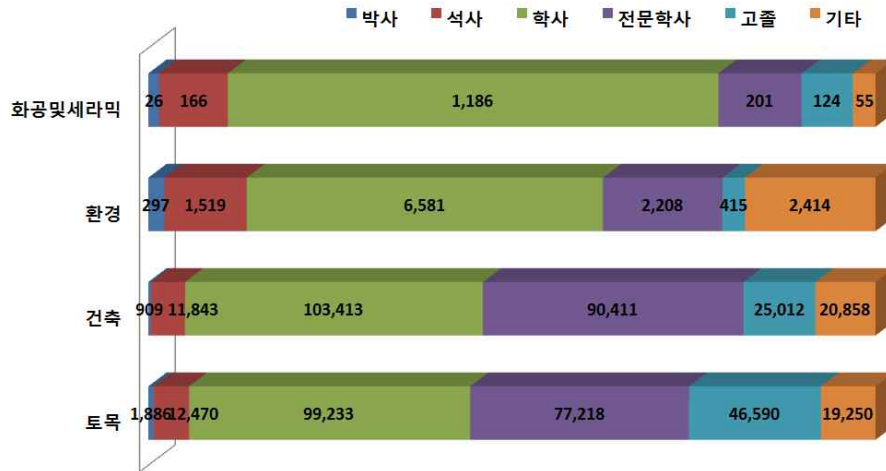
구 분		전체	기업	공공연구기관	대학
주체별	연구인력수	34,163명	23,708명	2,616명	7,839명
	구성비율	100.0%	69.4%	7.7%	22.9%
분야별	연구인력수	34,163명	13,605명	14,059명	6,499명
	구성비율	100.0%	39.8%	41.2%	19.0%



[그림 2.31] 주체별 연구인력
주) 교육과학기술부(2010 연구개발활동조사보고서)



[그림 2.32] 분야별 연구인력



[그림 2.33] 분야별 연구인력 현황

주) 한국건설기술인협회(2009 기준)

2. 연구기자재 인프라

가. 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%), 화합물 분석장비(18.9%)가 가장 높게 나타남.
- 국내 관련 기관별 연구기자재 현황은 공공기관을 대상으로 12개 연구소로 조사되었음.

<표 2.19> 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%

주) 중소기업청(2009 연구장비 공동이용 지원사업 지원현황)

〈표 2.20〉 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

주) 서울지방중소기업청

나. 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 2.21〉 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)

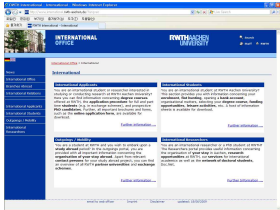
〈표 2.22〉 실험시설별 보유시설 및 장비사례

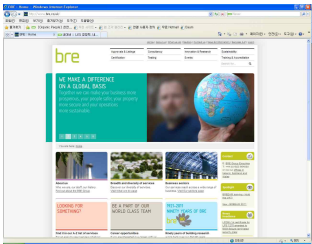
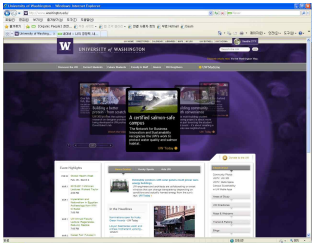
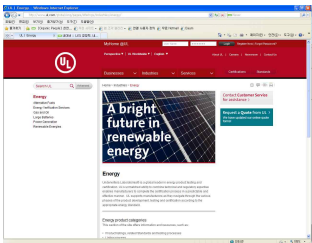
실험 시설명	위치	주요기능	주요시설 및 장비	주요분야	홈페이지
전북 테크노파크	전라북도 전주시	산학연의 협력을 바탕으로 기업의 창업촉진, 지육경제의 활성화	신재생에너지, RFT 관련 시험기	신재생에너 지, RFT	http://www.jbtp.or.kr
포항 테크노파크	경상북도 포항시	포스텍, 포항산업과학연구원 등 지역의 R&D 인프라를 바탕으로 R&D 성과의 사업화 및 기술혁신 촉진	철강, 에너지신소재, 나노신소재 관련 시험기	철강, 에너지신소 재, 나노신소재	http://www.pohangtp.or.kr

3. 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 2.23〉 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

국가명	해외협력기관	주요활동내용
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) - 건설기술 습득 및 교류. - 연구성과 및 정보교환. http://www.bre.co.uk/
미국		워싱턴대학교 - 건설관리분야에 대한 상호정보교류. - 공동연구 추진. http://www.washington.edu/
		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/
		University of Illinois - 기술·정보 교류, 공동연구 및 세미나 등 개최, 상호 인력교류 - http://cee.illinois.edu
		University of Texas at Austin - 기술·정보 교류, 공동연구 등 - http://caee.utexas.edu/

국가명	해외협력기관	주요활동내용
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/

4. 인프라 현황 조사결과

- 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 연구실험에 대한 활용도가 높을 것으로 사료됨.

〈표 2.24〉 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 기반 등을 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.

5. 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

5절. 종합분석

1. 정책동향 분석결과

- 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
 - ※ 이산화탄소 및 에너지절감을 위한 국가차원의 녹색기술정책(온실가스 저감, 에너지 저감정책, 그린인증제도 등)을 수립, 국가별 탄소저감 목표에 근접하기 위한 기술과 정책 추진
- 국가적으로 Zero Carbon House 의무화 추진으로 저탄소 건설구현 계획수립
- 탄소저감 및 에너지 효율 증대 관련 민간 수행이 곤란한 원천기술 등의 국가지원 프로그램 운용 활성화(미국 DOE, ARPA-E)
- 건축물의 에너지 효율향상을 위한 단열소재 연구지원, 에너지 효율 향상을 위한 설계, 건설, 재료 분야 등 파트너십 프로그램 운용(Building America)
- 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.
- 저탄소 건설재료의 개발추진 전략수립(California Air Resource Board Vision 2020)
- 탄소포집과 거래시장 선점을 위한 기술·정책 추진
 - ※ 선진각국은 CO₂ 저감의 중심을 에너지 저감으로 시작하여 CO₂ 포집·저장 및 탄소거래시장 선점에 관심
- 종합적으로 국외 정책은 탄소저감, 에너지효율의 증대, 이의 관리적 측면의 인증제도를 위한 정책을 국가별로 유사하게 수립 운용하고 있음. 이는 본 '환경부하 저감형 융합 건설재료'의 기획 내용인 친환경 소재 및 공정 기술, 에너지저감 자재·시스템 기술, 첨단·융합 건설재료 기술에 부합하는 것으로 판단됨

2. 시장현황 및 전망 분석결과

- 국내 건설시장은 온실가스 배출저감과 고효율 에너지관리 기술의 발달이 미래시장을 주도할 것으로 예상되며 시장규모 또한 지속적으로 증가할 것으로 판단됨.

- CO₂ 흡수가 가능한 무기성 순환자원인 버팀애쉬와 순환골재는 배출 및 생산량이 매년 증가하는 추세에 있으나 버팀애쉬는 대부분 매립되며, 순환골재는 품질이 낮은 성토, 복토용 등으로 활용됨.
- CO₂를 순환자원에 반응시킬 경우, 밀도 및 흡수율이 증가하는 개질효과에 의해 골재로의 활용도가 높아질 것으로 예상됨.
- 버팀애쉬 및 순환골재의 골재로의 활용도를 증대시켜 콘크리트용, 벽돌, 블록용 등의 2차제품 등의 재료로 활용할 경우 재활용 및 CO₂ 저감의 2가지 친환경 효과를 기대할 수 있으므로, 시장진출은 긍정적으로 판단됨.
- 레미콘회수수는 현재 시장현황 분석이 되지 않으나, 레미콘 생산업체에서 발생이 필연적이므로 CO₂를 활용·처리기술을 개발할 경우 레미콘 시장에 긍정적일 것으로 예상됨

3. 기술동향분석결과

- 국내의 CO₂ 흡수·전환 기술은 소수의 연구기관에서 수행된 바 있으나 실험단계이며 국외의 경우도 역시 실용화 사례는 파악되지 않음.
- 국내와 국외의 기술수준은 차이가 있으나 아직 **모두 기초단계 수준으로 적극적인 기술개발을 통해 기술선점이 가능할 것으로 분석됨.**
- 각 국가별로 광물 탄산화에 대한 연구는 수행하고 있으나 대부분 탄산화공정에 치중하고 활용기술은 접근하지 못함. 아울러 건설폐기물 탄산화에 대한 연구는 노르웨이에서 기초연구단계로 수행사례 있음.
※ 국내에서도 아직 실용화 단계는 아니나 순환골재에 CO₂ 흡수하는 연구가 계속 수행중임. 따라서 국내외 기술수준 차이는 크지 않는 것으로 판단됨
- 레미콘 회수수의 경우 효과적인 재사용과 더불어 CO₂ 대량 고정화 등으로 **환경성과 성능제고의 요구에 산업적 대응이 가능한 것으로 분석됨**
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술의 특허 출원(등록) 점유율은 한국 39건(56.5%), 일본 24건(38.4%) 및 미국 8건(8.7%)로 국내 특허 활동이 매우 활발한 것으로 분석됨.
- 국내 주요 출원인은 한국건설기술연구원(6건), 일본 특허 주요 출원인은 TAKENAKA KOMUTEN CO LTD(8건), 미국특허 주요 특허권자는 Board of Supervisors Louisiana State University(2건), L°Air Liquide(2건), Scott Nicol(2건)등으로 파악됨
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술 분야는 기초과학과 연계된 기술 개발보다는 응용 기술 위주의 기술 개발이 이루어지는 것으로 판단됨
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술은 2005년 이후 급속한 증가추세로 나타났으며, 발표논문수가 지속적으로 증가추세에 있음. 이는 “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술이 전세계적으로 관심분야이며 특히 중국의 연구활동이 활발함을 알 수 있음

- 주요기관별 논문발표동향에서 중국 대학교의 논문발표가 활발함을 알 수 있으며, 국내의 경우 한양대학교가 “CO₂ 활용 순환골재 및 애쉬 개질처리·소재 활용” 기술분야에서 상위 10위 내에 포함되었음

4. 연구개발 인프라 분석결과

- 국내 연구인력은 생명화학분야, 건축/토목분야의 인력인프라가 충분하며 그 외에도 환경/해양분야의 연구인력의 활용이 가능할 것으로 분석, 또한, 국내 관련분야 기술자인력은 건축/토목분야의 인력 인프라가 충분하고 환경, 화공분야 관련 융합 연구인력 활용이 필요하고, 산학연 연계 필요
- 국내 건설재료관련 기관별 연구기자재 현황은 공공, 대학 연구소에서 관련 실험장치와 실험시설을 보유하고 있으며, 이를 활용한 연구시설 및 장비는 대부분 국내에서 활용가능한 것으로 파악됨
- 관련 연구기자재는 NFEC(국가연구시설장비진흥센터)에서 대형, 중형, 소형 등의 실험시설로 전국에 분산·배치하였으며, 이를 활용한 융합 건설기술 등에 대한 연구시설 및 장비는 대부분 국내에서 활용할 수 있으며, 건설R&D 인프라에만 제한된 실험뿐만 아니라 다양한 분야와 복합적인 실험시설로 연구실험에 대한 활용도가 높을 것으로 사료됨
- 해외협력기관 인프라는 많은 국외기관들과 인프라가 구축되어 있는 실정이나 실질적인 기술교류는 부족함.

5. 국내외 동향 및 환경분석 종합분석결과

국내외적으로 탄소저감을 위한 건설재료의 관심이 높아지고 있으나, 시멘트 대체재 또는 2차 제품에 관한 내용이 대부분으로 CO₂ 저감 증대를 위한 신개념의 건설재료분야 기술이 필요함

- 정책적, 경제적, 기술적 관점에서 CO₂ 저감을 위한 CO₂ 활용·처리기술 관련 연구는 필수적임
- 현재 국내외에서 CO₂ 활용·처리기술은 상당히 주목받는 기술로 관련 연구가 증가 추세에 있으나, 아직 실용화 수준에 도달하지 못한 상황으로 국내에서도 세계수준에 도달하기 위한 연구 추진이 필요함
- 이와 관련된 국내의 연구인프라와 해외기술 교류를 위한 인프라가 충분하므로 기술개발을 시작할 경우 급속도로 발전할 가능성이 있음

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

VISION	탄소저감형 건설재료 기반 지속가능 녹색건설 실현 Sustainable Green Construction Realization Based on Low CO₂ Construction Material	
MISSION	지속가능 녹색건설 실현의 허브기술 제공과 지원 Hub Technology Offer and Support for Sustainable Green Construction Success	
R&D GOAL	CO₂ 활용 · 처리 건설재료 기술개발 CO₂ Use · Treatment Construction Material Technology Development	
추진 전략	CO₂ 촉진탄산화 반응 메카니즘 분석	CO₂ 반응 물질 분석 및 반응 방안 정립 - CO₂ 반응에 의한 및 물리적, 화학적 전환 정립 - CO₂ 반응촉진을 위한 인자 및 반응 정량화 및 안정화 기술 기반 확립
	CO₂의 순환골재 및 버팀애쉬 활용기술	CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리 · 소재 활용기술 개발 - 순환골재의 CO₂ 저장 · 개질 및 건설재료 활용기술 - 버팀애쉬의 CO₂ 저장 · 개질 및 건설재료 활용기술
	CO₂의 레미콘 회수수 활용기술	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발 - 레미콘 회수수의 CO₂ 저장 · 고정화 및 반응슬러지 회수기술 - CO₂ 저장 · 고정화 및 반응슬러지의 재활용 기술

2절. 연구개발과제 구성

구분		과제명
해당과제		CO ₂ 활용·처리 건설재료 기술
	공동 1	CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술개발
	공동 2	레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발

3절. 연구개발과제 주요내용 및 추진전략

1. 연구개발 목표

해당과제의 개념	○ 산업부산물(애쉬), 건설폐기물(순환골재) 등에 CO₂ 반응처리를 통한 CO₂ 저장과 동시에 개질 후 건설재료로 활용을 포함하는 기술
해당과제의 범위	■ CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술개발 – 버팀애쉬 등의 산업부산물, 순환골재 등을 대상으로 CO₂를 활용한 품질향상 및 개질 후 건설재료로 활용하는 기술 ■ 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발 – 레미콘 생산시 발생하는 레미콘 회수수에 CO₂를 활용한 반응슬러지 회수 및 개질 후 건설재료로 활용하는 기술
기술개발 목표	■ CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술개발 – CO₂ 활용 순환골재 및 애쉬 개질기술 개발 – CO₂ 활용 순환골재 및 애쉬 활용 콘크리트, 벽돌, 블록 생산기술개발 – 콘크리트 배합설계지침, 콘크리트 제품 생산지침, 파이롯트 장치개발 ■ 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발 – 급속탄산화 촉진제어시스템 실용화 – 친환경 2차 건설재료 생산

2. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

가. 연구의 필요성

- 국내 온실가스 배출량중 건설분야는 42.3%로 높은 비중을 차지하고 있으며, 2020년까지 BAU 대비 30%로 감축목표를 설정, 건설재료·자재분야에서 CO₂ 저감 필요.
- 순환골재 및 버팀애쉬는 품질의 문제로 건설용 골재로의 활용이 저품질의 용도로 한정되었으나 CO₂ 활용 탄산화반응에 의한 개질에 의해 콘크리트, 벽돌, 블록 등

의 골재로의 활용기술이 개발될 경우 CO₂ 저감과 동시에 순환자원의 건설재료 활용을 증대시키는 효과를 가질 수 있음.

- 국내 버팀애쉬 매립장이 한계점에 이른 현 상황에서 발전소 버팀애쉬 활용기술 개발이 절실한 상황임.
- 순환골재는 국내의 경우 파·분쇄 및 모르타르 박리기술 개발이 주를 이루어 진행.
- 버팀애쉬는 매립지가 한계에 도달하기 시작하여 다양한 활용방안이 연구되었으나, 인공어초, 인공경량골재 등 한정된 분야에서 지속적으로 수행됨.
- 국내에서 버팀애쉬의 탄산화에 의한 개질효과 및 활용방안 연구 등은 수행된 바 없음.
- 국외의 경우도 탄산화반응에 의한 소각로 버팀애쉬 등에 대한 저장능을 확인한 바 있으나, 탄산화 반응에 의한 품질개선효과 및 골재로의 활용연구는 수행된 바 없음.
- 순환골재 및 버팀애쉬의 탄산화반응에 의한 개질과 건설재료 활용기술은 국내외적으로 도입기에 해당되므로 본 과제가 수행될 경우 기술선도가 가능할 것으로 예상됨.
- 기존 레미콘 공장의 회수수 재활용 설비(pH 중화처리장치)와 기술개발을 통하여 콘크리트 재료분야의 CO₂ 대량 전환 실현이 가능함
- 시멘트 생산시 배출되는 CO₂를 레미콘 회수수와 반응조에서 직접 반응시킬 경우 탄산화반응에 의해 대량 전환함과 동시에 산업폐기물인 회수수 슬러지 문제를 동시에 해결할 수 있는 CO₂ 활용·처리 건설재료 기술임
- 세계적으로 탄소저감에 대한 규제는 향후 계속될 것으로 전망되며 시멘트 생산에 의한 CO₂ 생산을 감소시키기 위한 기술은 최근 가장 기대가치 및 파급효과가 큰 분야중 하나임

나. 정부지원 필요성

- 국가 기후변화 협약대응을 위한 CO₂ 저감에 있어서 CO₂ 발생 비중이 높은 건설재료 분야의 CO₂ 저감노력은 필연적이며, 국가 자원재활용 정책에 부합하고 국가 발전시설의 부산물의 유효활용을 위한 본 기술은 공공기술의 성격으로 정부지원이 요구됨.
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술의 활성화를 통한 지속가능한 사회구축 및 국제 경쟁력 강화를 위한 지속가능한 신성장동력 창출 필요
- “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술은 원천기술의 성격으로 투자비용 및 기술개발의 경제적, 시간적 해결부담이 크므로 민간부문에서 주도적으로 진행하기는 곤란함.
- 또한 본 연구는 도입단계의 기술로 세계 일류의 기술확보를 위해서 장기적인 정부차원에서의 연구개발 주도전략이 필요한 과제임.

- 세계적 온실가스 저감 운동, 기후변화 대응 및 환경오염 저감을 위한 저탄소 녹색 성장을 모든 R&D 정책에 최우선으로 함.
- 건설이 녹색성장의 주력 역할을 하기 위해선 **건설재료의 Zero Emission화**를 실현하기 위한 원천기술의 개발이 무엇보다 중요하며 이를 달성하기 위해서는 정부차원의 집중적인 투자가 선행되어야 함

3. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

- 국내 기존 연구 중 3건의 유사과제가 조사되었으나, 중복성은 없으며, 기존 연구와 연계하여 포집된 CO₂ 가스를 활용함으로써 효과를 극대화할 수 있음

유사과제명	발주처	수행기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
순환골재의 pH 저감기술 실증화	환경부	삼영플랜트, 한국건설기술연구원	순환골재의 환경적 문제로 지적되는 강 알칼리성 저하를 위하여 탄산화반응을 이용, pH가 저감된 순환골재 생산기술	중복 없음		pH가 저감된 순환골재 생산이 목표로 탄산화 반응에 의한 순환골재의 개질효과는 미비, 순환골재의 탄산화 반응 극대화를 유도하여 개질효과 극대화 및 건설자재 생산기술로 연계 가능
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		
이산화탄소 저감 및 처리기술개발사업단	교육과학기술부 21C 프론티어 연구개발사업	한국에너지기술연구원 외	- 석유화학공정 촉매기술 및 촉매, 막소재, 나노단열재, 신광원 등의 소재개발 - 석탄화력 발전소의 CO₂ 흡수기술, 분리막시스템, 순산소 연소기술, 저비용산소기술 - CO₂ 지중저장 기술 및 CO₂ 생물학적 전환기술	중복 없음		화력발전소에서 포집된 CO ₂ 가스의 사용을 연계한 순환골재, 애쉬 개질 처리 프로세스 구축 가능
				연계 가능	○	
				고도화		
				중복됨		
고기능성 침강성 탄산칼슘 제조기술 개발	산업자원부	한국 지질자원연구원	고기능성 침강성 탄산칼슘 제조, 상용화 기술 및 공정 기준안 기술 개발	중복 없음	○	
				연계 가능		
				고도화		
				중복됨		

4. 연구개발 주요내용

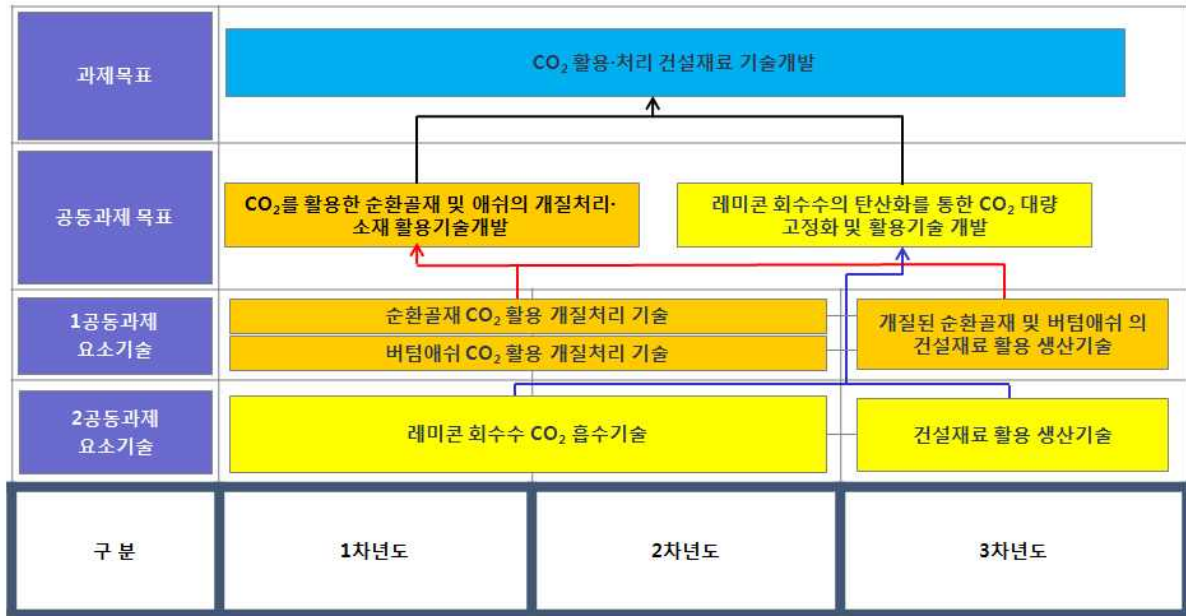
가. 공동과제 1 : CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술개발

공동과제의 범위		버팀애쉬 등의 산업부산물, 순환골재 등을 대상으로 CO ₂ 를 활용한 품질향상 및 개질 후 건설재료로 활용하는 기술
기술개발목표		○ CO₂ 이용 탄산화 반응에 의한 순환골재 및 애쉬 개질기술 ○ 탄산화된 순환골재 및 버팀애쉬 활용 콘크리트 및 제품(벽돌, 블록) 제조 ○ CO₂ 활용·처리 무기성 순환자원의 콘크리트 배합설계 지침, 콘크리트 제품 생산지침 제시 ○ 순환골재 및 버팀애쉬 CO₂ 활용처리 pilot 장치 개발(처리능력 : 1t/day) 순환골재 및 버팀애쉬 CO₂ 활용처리량 : 0.05t-CO₂/톤 이상, pH 10 이하 처리 ○ 탄산화된 순환골재 및 버팀애쉬 활용 기술의 Mock up 수행
공동과제 연구내용	1차년도	○ 순환골재 및 발전소 버팀애쉬 탄산화 메카니즘 정립 - 탄산화반응에 의한 물리적, 화학적 특성, 유해물질 특성 분석 - 탄산화 반응 생성물의 안정성 검토
	2차년도	○ 촉진탄산화 반응 공정 검토 및 최적 설계안 수립 - 촉진탄산화 반응 프로세스, 순환골재 및 버팀애쉬의 투입, 배출 동선 등 검토 ○ 순환골재 및 버팀애쉬 촉진탄산화 반응 pilot 플랜트 제작 및 보완(1톤/일) - 투입 순환골재 및 버팀애쉬의 품질에 따른 탄산화반응 결과 분석 및 반복실험에 따른 실증 플랜트의 안정성 및 신뢰성 검토 ○ pilot 플랜트 반응 공정에 의한 순환골재 및 버팀애쉬 생산 및 최적화 - 순환골재 및 버팀애쉬의 최적 탄산화 조건 도출 및 실증 플랜트 최적화
	3차년도	○ 콘크리트, 벽돌, 블록 제조 및 품질평가 - 개질된 순환골재 및 버팀애쉬 활용 콘크리트, 벽돌, 블록의 품질 평가 ○ 탄산화된 순환골재 및 버팀애쉬 골재, 콘크리트, 벽돌, 블록의 장기특성 평가 - 순환골재 및 버팀애쉬 골재의 옥외폭로에 따른 특성 변화 분석 - 순환골재 및 버팀애쉬 골재 활용 콘크리트, 벽돌, 블록의 옥외폭로 특성 변화 분석 ○ 탄산화된 순환골재 및 버팀애쉬 활용 기술 Mock up test - 탄산화된 순환골재 및 버팀애쉬 활용 도로공사용 골재, 콘크리트, 벽돌 및 블록 활용 mock-up test 수행 ○ CO₂ 활용·처리 무기성 순환자원의 콘크리트 배합설계 지침, 콘크리트 제품 생산지침 제시

나. 공동과제 2 : 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및
활용기술 개발

공동과제의 범위		○ 레미콘 회수수를 이용한 CO₂ 대량 고정화 기술개발 － 회수수의 CO₂ 대량 고정화 기술에 대한 원천기술 확보 － 환경부하 저감형 급속탄산화 촉진제어 시스템 개발 ○ 슬러지 고형분을 주원료로 하는 친환경 콘크리트 2차 제품 생산기술 － 인터로킹 블록 및 건축용 블록 생산기술 확립
기술개발목표		○ 급속탄산화 촉진제어 시스템 실용화를 통하여 콘크리트 재료분야에서 발생하는 CO₂량의 6% 이상 고정(삭감) ○ 슬러지 고형분을 주원료로 하는 친환경 콘크리트 2차 제품 생산기술 개발 － 산업폐기물의 친환경적 처리방안 확립 － 잉여 고로슬래그(5~30%)를 사용함으로써 산업부산물의 재활용률 증대
공동과제 연구내용	1차년도	○ 슬러지 고형분의 기초 특성 분석 － 슬러지 함수율, 슬러지수조 존치기간에 따른 잠재수경성 평가 ○ 탄산화법에 의한 CO₂ 대량 고정화 메카니즘 확립을 위한 목표기준 정립 ○ 각종 반응인자를 고려한 실험용 급속탄산화 촉진제어시스템 Design － 탄산화 제어를 위한 반응온도 및 시간, CO₂ 가스의 유량(소모량) ○ 교반속도, 회수수 농도(pH) 등을 고려한 측정장치 시스템 구성
	2차년도	○ 친환경 콘크리트 2차 제품생산(벽돌, 인터로킹 블록)을 위한 최적 Mix-Design 도출 ○ 탄산화가 슬러지 고형분 경화체에 미치는 영향 평가 ○ 실험용 급속탄산화 촉진제어시스템 제작 설치 ○ CO₂ 소비량 극대화를 위한 인자 및 최적 반응조건 확립
	3차년도	○ 친환경 콘크리트 2차 제품생산(벽돌, 인터로킹 블록) 제조기술 개발 ○ 레미콘 공장 회수수 재활용 Plant의 현장적용 가능성 평가 ○ 반응부산물인 탄산칼슘(CaCO₃)의 활용기술 개발 ○ 환경부하 저감형 급속탄산화 촉진제어 자동화 시스템 현장적용 ○ 시작품에 대한 목표성능 검증 및 경제성 평가

5. 연구개발과제 TRM



6. 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
CO ₂ 를 활용한 순환 골재 및 애쉬의 개질처리 · 소재 활용기술 개발	학술적 성과	국내학술지 게재 논문건수	국내외 학술지 게재여부	건	6	탄산화 미세반응 2건, 골재 관련 2건, 제품관련 2건
		SCI급 게재 논문건수	SCI급 논문 게재 여부	건	2	배합기술 관련 1건, 탄산화반응 관련 1건
	지식재산권 보유 등	특허출원건수	특허출원여부	건	2	장치1건, 제조기술 1건
		특허등록건수	특허등록여부	건	2	장치1건, 배합기술 1건
		국제특허 등록	국제특허등록 여부	건	1	제조기술 1건
	CO ₂ 활용 무기성 순환자원 생산 실증 플랜트 개발	Pilot 플랜트 제작	pilot 플랜트 제작여부	건	2	버텀애쉬 탄산화 장치 1건 순환골재 탄산화 장치 1건
	CO ₂ 활용 무기성 순환자원 생산 지침	지침 제작	지침 제작여부	건	2	버텀애쉬 탄산화 생산 매뉴얼 1건 순환골재 탄산화 생산 매뉴얼 1건
	탄산화된 순환자원 활용 건설자재 생산지침	지침 제작	지침 제작여부	건	2	콘크리트 배합설계지침 1건 벽돌, 블록 배합설계 지침 1건
	CO ₂ 활용 무기성 순환자원 및 건설자재 기술	시작품 제작	콘크리트 제조, 벽돌, 블록 생산 여부	건	3	콘크리트 1건, 벽돌 1건, 블록 1건

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	학술적 성과	국내학술지 게재	국내외 학술지 게재여부	건	8	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		국외학술지 게재	국내외 학술지 발표여부	건	1	
		SCI급 학술지 게재	SCI급 학술지 게재여부	건	1	
	지식재산권 보유	국내특허 출원	특허출원 여부	건	2	기술보호를 위한 지식재산권 획득
		국외특허 출원	특허출원 여부	건	1	
	시작품	시작품 제작	제품 생산을 위한 시작품 제작 여부	건	1	급속탄산화 촉진제어 자동화 시스템 구축
	시제품	시제품 출시	개발 제품의 시제품 생산 조건	건	1	시제품생산에 대한 생산성 분석 필요

7. 성과물 검증방법

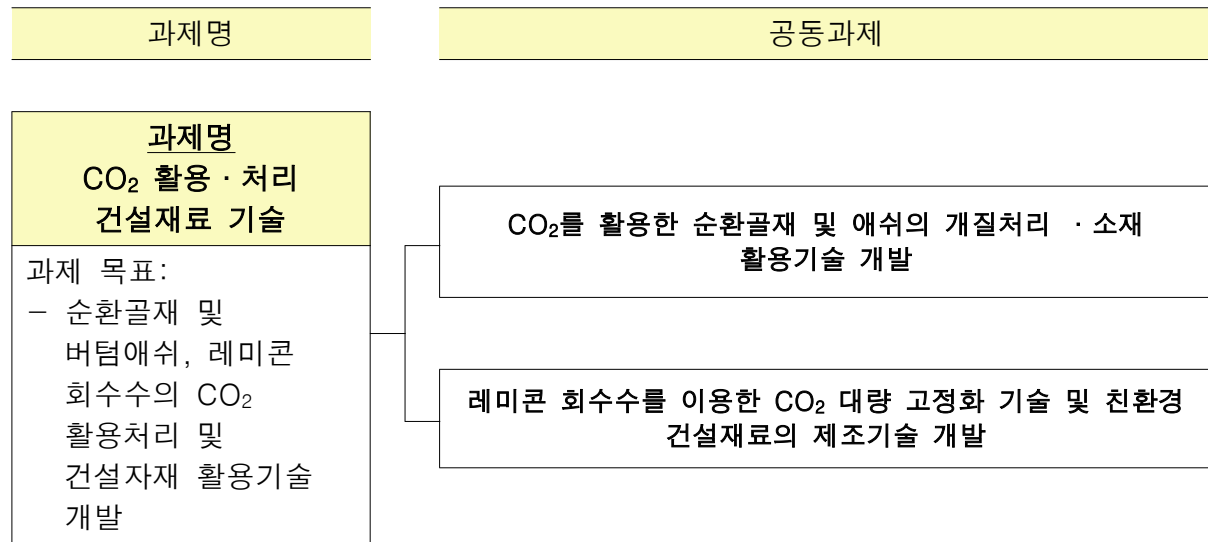
과제	성과목표	검증방법				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리· 소재 활용기술 개발	학술적 성과		개제 논문 1건 확인	개제 논문 2건 확인	개제 논문 2건 확인 (SC1 1건)	개제 논문 1건 확인 (SCI 1건)
	지식재산권 보유 등		출원서 1건 확인	출원서 1건 확인	출원서, 등록증 1건 확인	출원서, 등록증 2건 확인
	CO ₂ 활용 무기성 순환자원 생산 실증 플랜트 개발			현장방문		
	CO ₂ 활용 무기성 순환자원 생산 지침					지침제출 전문가 자문
	탄산화된 순환자원 및 건설자재 생산지침					지침제출 전문가 자문
	CO ₂ 활용 무기성 순환자원 및 건설자재 기술					시제품 확인

과제	성과목표	검증방법				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
레미콘 회수수를 이용한 CO ₂ 대량 고정화 기술 및 친환경 건설재료의 제조기술 개발	논문		논문개제 증명서	논문개제 증명서	논문개제 증명서	논문개제 증명서
	지적재산권			특허출원서제시	특허출원서제시	특허출원서제시
	시작품		사작품 공인인증서제시			
	시제품				시제품 공인인증서제시	

8. 기술수요처 및 실용화 방안

공동과제	목표성과물	기술수요처		실용화 방안
		1차	2차	
CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술 개발	탄산화반응 순환골재 생산 플랜트	건설폐기물 중간처리업체	벽돌, 블록제조사, 건설사	건설폐기물 중간처리업체 설치 활용 기술계약
	탄산화 반응 버팀애쉬 생산플랜트	화력발전소	벽돌, 블록제조사, 건설사	화력발전소 설치 활용 기술계약
	탄산화 반응골재	벽돌, 블록 제조사	건설사	골재판매유도
	콘크리트, 벽돌, 블록	레미콘업체, 벽돌, 블록제조사	건설사	생산기술 이전, 친환경 제품 인증
레미콘 회수수를 이용한 CO ₂ 대량 고정화 기술 및 친환경 건설재료의 제조기술 개발	콘크리트 재료분야에서 발생하는 CO ₂ 량의 6% 이상 고정(삭감)화	시멘트 제조사 레미콘사	건설사	환경부하 저감형 급속탄산화 촉진제어 자동화 시스템 개발
	슬러지 고형분을 주원료로 하는 친환경 콘크리트 2차 제품 생산기술 개발	시멘트 제조사 레미콘사	건설사	벽돌, 인터로킹 블록 생산기술 개발

4절. 연구추진체계 제안



4장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성

1. 국가전략적 중요성

(1) 산업·국토개발 정책적 중요성

- 건설구조물의 대형화, 초고층화 및 다기능화를 넘어서 지속가능한 CO₂ 저감형 건설재료에 대한 요구가 증가하고 있음

(2) 정부지원의 타당성

- 범국가적으로 그린기술과 친환경 건설분야의 R&D에 관한 관심이 집중되고 있음

(3) 사업추진의 시급성

- 건설분야의 CO₂ 배출량은 전 산업의 43%에 해당되는 대량배출산업으로 “저탄소 녹색성장” 기조에 부응, 세계시장의 기술선도를 위해 국가 차원의 집중적이고 지속적인 기술투자가 필요함
- 기후환경 변화대응, 친환경/에너지 절감기술의 경쟁력 확보차원에서의 사업추진의 시급성에 대해 제시함

2. 상위계획과의 부합성

가. 정책적 일관성 분석

- 건설기술의 녹색성장 추진계획(국토해양부, 2010)
 - 신규 건축물의 에너지 기준 강화, 기존 건축물의 에너지 효율 개선 촉진, 녹색 건설 기술개발 및 인프라 구축, 건설생애주기 전단계의 녹색화를 추진함
 - 전 생애적 관점에서의 온실가스 평가방법 정립 및 시설물 유형별, 공종별, 건설 사업 단계 온실가스 배출량 평가지표, 통계시스템 구축이 필요함
- 녹색성장위원회
 - 2009년 11월 국가 감축목표를 2020년까지 배출전망치 30% 감축으로 설정하고 녹색성장기본법을 제정, 운용 중
 - 건설분야의 CO₂ 배출량은 전 산업의 43%에 해당되는 대량배출산업으로 “저탄소 녹색성장” 기조에 부응, 세계시장의 기술선도를 위해 국가 차원의 집중적이고 지속적인 기술투자가 필요함

나. 정책적 추진의지 분석

- 국토해양부는 “국토해양 R&D 발전전략”을 통하여 기술수준 향상, 사회·경제적 비용 저감, 사회 환경개선 등의 성과를 창출하여 글로벌 5대 녹색강국으로 도약하고자 함
- 국토해양부는 글로벌 5대 녹색 강국으로 진입하기 위하여 30개의 미래유망분야를 도출하였고 본 과제는 이의 일환으로 시작된 기획 연구임



[그림 4.1] 국토해양 R&D 발전전략 목표

3. 사업추진상의 위험요인과 대응방안

- 동향 및 환경 분석을 통하여 STEEP분석, 5 Forces 분석, SWOT 분석을 통한 기술적 시사점 및 위험요인에 대해 구체적으로 분석함
- 연구의 성공적인 수행을 위해서는 새로 발생할 수 있는 국내외 법, 기술 등 사업추진상의 위험요인 및 이에 따른 대응방안 설정에 대해 추후 지속적으로 논의할 필요가 있음

2절. 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

가. 연구목표와 내용의 적절성

(1) 연구목표의 구체성 분석

- 연구목표를 구체적으로 제시함
 - 연구목표는 “CO₂ 활용·처리 건설재료 기술 개발”로 산업부산물(애쉬), 건설 폐기물(순환골재) 등에 CO₂ 반응처리를 통한 CO₂ 저장과 동시에 개질 후 건설 재료로 활용하는 것임을 가지고 있음
 - 사업목표를 달성하기 위한 2개의 공동과제를 제시하고 있고 최종성과목표물에 대한 지표와 측정방법을 제시하고 있음
 - 본 연구는 일반과제(단일과제)로서 연구의 목표가 연구내용과 직접적인 연관성이 있는 것으로 판단됨
- 사업목표를 이루기 위한 공동과제 목표성과물을 연차별로 설정하여 제시함

<표 4.1> 공동과제별 성과목표물

CO ₂ 를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술개발	1차 년도	○ 순환골재 및 발전소 버팀애쉬 탄산화 메카니즘 정립
	2차 년도	○ 촉진탄산화 반응 공정 검토 및 최적 설계안 수립 ○ 순환골재 및 버팀애쉬 촉진탄산화 반응 pilot 플랜트 제작 및 보완(1톤/일) ○ pilot 플랜트 반응 공정에 의한 순환골재 및 버팀애쉬 생산 및 최적화
	3차 년도	○ 콘크리트, 벽돌, 블록 제조 및 품질평가 ○ 탄산화된 순환골재 및 버팀애쉬 골재, 콘크리트, 벽돌, 블록의 장기특성 평가 ○ 탄산화된 순환골재 및 버팀애쉬 활용 기술 Mock up test ○ CO ₂ 활용·처리 무기성 순환자원의 콘크리트 배합설계 지침, 콘크리트 제품 생산지침 제시
레미콘 회수수의 탄산화를 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	1차 년도	○ 슬러지 고형분의 기초 특성 분석 ○ 탄산화법에 의한 CO ₂ 대량 고정화 메커니즘 확립을 위한 목표기준 정립 ○ 각종 반응인자를 고려한 실험용 급속탄산화 촉진제어시스템 Design ○ 교반속도, 회수수 농도(pH) 등을 고려한 측정장치 시스템 구성
	2차 년도	○ 친환경 콘크리트 2차 제품생산(벽돌, 인터로킹 블록)을 위한 최적 ix-Design 도출 ○ 탄산화가 슬러지 고형분 경화체에 미치는 영향 평가 ○ 실험용 급속탄산화 촉진제어시스템 제작 설치 ○ CO ₂ 소비량 극대화를 위한 인자 및 최적 반응조건 확립
	3차 년도	○ 친환경 콘크리트 2차 제품생산(벽돌, 인터로킹 블록) 제조기술 개발 ○ 레미콘 공장 회수수 재활용 Plant의 현장적용 가능성 평가 ○ 반응부산물인 탄산칼슘(CaCO ₃)의 활용기술 개발 ○ 환경부하 저감형 급속탄산화 촉진제어 자동화 시스템 현장적용 ○ 시작품에 대한 목표성능 검증 및 경제성 평가

- 사업목표를 설정한 근거가 구체적으로 제시됨

- 국내외 동향 및 환경분석을 통해 적절한 근거제시를 함
 - 정책적, 경제적, 기술적 관점에서 CO₂ 저감을 위한 CO₂ 활용·처리기술 관련 연구는 필수적임
 - 현재 국내외에서 CO₂ 활용·처리기술은 상당히 주목받는 기술로 관련 연구가 증가추세에 있으나, 아직 실용화 수준에 도달하지 못한 상황으로 국내에서도 세계수준에 도달하기 위한 연구 추진이 필요함
 - 이와 관련된 국내의 연구인프라와 해외기술 교류를 위한 인프라가 충분하므로 기술개발을 시작할 경우 급속도로 발전할 가능성이 있음

- 사업목표의 달성여부에 대한 세부과제 성과지표의 측정방법이 적절하게 제시됨

- 최종성과물 및 성과지표 항목에서 세부과제 연구성과의 목표, 지표, 측정방법에 대해 자세히 서술하여 성과물에 대한 정량적 측정이 가능함

〈표 4.2〉 레미콘회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발의 최종성과물 및 최종지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO ₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발	학술적 성과	국내학술지 게재	국내외 학술지 게재여부	건	8	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		국외학술지 게재	국내외 학술지 발표여부	건	1	
		SCI급 학술지 게재	SCI급 학술지 게재여부	건	1	
	지식재산권 보유	국내특허 출원	특허출원 여부	건	2	기술보호를 위한 지식재산권 획득
		국외특허 출원	특허출원 여부	건	1	
	시작품	시작품 제작	제품 생산을 위한 시작품 제작 여부	건	1	급속탄산화 촉진제어 자동화 시스템 구축
	시제품	시제품 출시	개발 제품의 시제품 생산 조건	건	1	시제품생산에 대한 생산성 분석 필요

- 2개의 공동과제는 최종 사업목표 달성을 위해 충분하게 구성되었음

- 1공동과제는 “순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술 개발”, 2공동과제는 “레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발” 1, 2 공동과제가 병행하는 기술로 이루어져 있음

(2) 사업내용의 논리성 및 적절성

- 세부과제의 내용, 범위 등이 구체적으로 정의되었음
 - 세부과제의 범위, 기술개발목표가 구체적으로 정의되어 있으며 공동과제별 연구내용이 연차별로 서술되어 있음

나. 사업추진전략의 적절성

(1) 사업추진전략의 구체성 및 도출근거

- 사업목표를 계획된 기간 내에 효율적으로 달성하기 위한 추진전략에 대해 상세하게 기술하고 있음
 - CO₂ 반응물질 분석 및 반응 방안 정립
 - CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용기술 개발
 - 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용기술 개발
- 사업관련 불확실성 및 위험성(기술, 법제도, 인력, 비용 등에 관한 위험 요소)에 대한 대응방안으로 정부지원 필요성에 대해 제시함

(2) 성과평가 및 관리체계의 적절성

- 목표성과물에 대한 기술수요처 및 실용화 방안에 대해 제시하고 있음
- 성과목표, 지표, 측정방법 및 목표치가 적절하게 설정됨
 - 최종성과물 및 성과지표를 통해 제시함
 - 목표치 설정근거를 바탕으로 적절한 목표치를 설정함
- 성과지표에 대해 적절하게 제시하였음
 - 각 세부과제에 대해 성과물 검증방안을 통해 연차별로 공동과제별 성과목표에 대한 검증방법을 제시하였고, 본 연구들을 추진하는 주체가 성공적인 사업목표 달성을 위해 성과관리체계의 효과적인 방안을 검토하는 것이 필요함

다. 기술개발로드맵의 우수성

- 관련 세부 또는 요소기술별 상세기술 개발계획에 대해 제시하고 있음
 - 요소기술이 적절하게 구성되어있고, 요소기술별 개발계획을 연차별로 상세하게 제시함
- 각 세부과제별 기술개발로드맵을 제시하고 있음
- 기술개발로드맵은 국내외 동향 및 환경의 분석결과를 반영하고 있음
 - 각 세부과제를 도출하는데 있어서 국내외 동향 및 환경분석, 선행사업의 분석을 반영함

- 관련 사업 및 기존 연구와의 중복성 및 연계방안 분석을 통해 기술개발로드맵을 작성함

2. 기술수준 및 성공가능성

가. 기술수준 및 역량분석

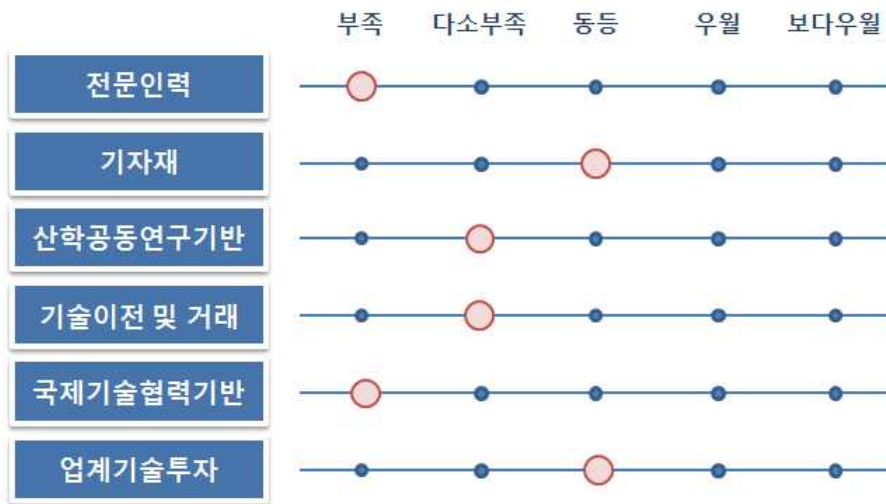
(1) 보유기술수준 및 기술개발의 기대수준

- 국내외 논문 및 특허분석을 통해 기술수준 조사가 이루어짐
 - “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술의 특허 출원(등록) 점유율은 한국 39건(56.5%), 일본 24건(38.4%) 및 미국 8건(8.7%)로 국내 특허 활동이 매우 활발한 것으로 분석됨
 - 국내의 주요 출원인은 한국건설기술연구원(6건), 일본 특허 주요 출원인은 TAKENAKA KOMUTEN CO LTD(8건), 미국특허 주요 특허권자는 Board of Supervisors Louisiana State University(2건), L°Air Liquide(2건), Scott Nicol(2건)등으로 파악됨
 - “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술은 2005년 이후 급속한 증가추세로 나타났으며, 발표논문수가 지속적으로 증가추세에 있음. 이는 “CO₂ 활용·처리 건설재료” 기술이 전세계적으로 관심분야이며 특히 중국의 연구활동이 활발함을 알 수 있음
 - 주요기관별 논문발표동향에서 중국 대학교의 논문발표가 활발함을 알 수 있으며, 국내의 경우 한양대학교가 “CO₂ 활용 순환골재 및 애쉬 개질처리·소재 활용” 기술분야에서 상위 10위 내에 포함되었음
- 국내의 CO₂ 흡수·전환 기술은 소수의 연구기관에서 수행된 바 있으나 실험단계이며 국외의 경우도 역시 실용화 사례는 파악되지 않음
- 국내와 국외의 기술수준은 차이가 있으나 아직 **모두 기초단계 수준으로 적극적인 기술개발을 통해 기술선점이 가능할 것으로 분석됨**
- 각 국가별로 광물 탄산화에 대한 연구는 수행하고 있으나 대부분 탄산화공정에 치중하고 활용기술은 접근하지 못함. 아울러 건설폐기물 탄산화에 대한 연구는 노르웨이에서 기초연구단계로 수행사례 있음
 - ※ 국내에서도 아직 실용화 단계는 아니나 순환골재에 CO₂ 흡수하는 연구가 계속 수행중이며 따라서 국내외 기술수준 차이는 크지 않은 것으로 판단됨

(2) 기술개발 역량 및 잠재력

- 기술개발과 관련한 각종 인프라에 대해 분석함
 - 인력, 기자재, 해외협력기관에 대한 인프라를 분석함
 - 전문가 인터뷰조사를 근거로 하여 선진국대비 국내 인프라 수준을 비교하여 분

사업의 필요성에 대해 제시함



[그림 4.2] 선진국대비 국내 인프라 수준

- 국내의 연구인력은 부족한 것으로 판단되며, 건축, 생물, 화학공학, 환경 등 분야의 공동연구가 수행되어야 할 것으로 분석됨
- NFEC(국가연구시설장비진흥센터) 및 NTIS(국가과학기술지식정보서비스)에서 대형, 중형, 소형 등의 실험시설을 구축 및 보유하고 있음
- 산학공동연구기반은 기술개발에 대한 산학 연구, 설계, 개발은 추진 및 기반 등을 마련하고 있는 실정임
- 기술이전 및 거래는 기술과제 수집망을 확보한 우수기술발굴, 기술거래제도, 각 기관과의 유대강화, 기술거래 연구 및 사례 등에 대한 운영방안 기반은 보완이 필요함

나. 기술개발의 성공가능성

(1) 기술적 위험요인

- 기술적 위험요인에 대한 예측 및 대응방안 설정에 대해 추후 논의할 필요가 있음
- 요소기술별 기술확보 전략 및 미확보시 대응방안 설정에 대해 추후 논의할 필요가 있음
- 선행 실패 및 성공사례 분석, 법 또는 제도상 위험요인에 대해 분석하고 이에 따른 대응전략수립에 대해 검토가 필요할 것으로 판단됨

(2) 기술개발 성공 가능성

- 기술수준 및 역량 대비 기술개발의 성공가능성과 시장창출 및 진입 등 시장경쟁

력 측면에서의 성공가능성에 대한 논의가 필요함

- 기술개발의 성공가능성을 제고하기 위한 개선사항에 대한 검토가 필요함

3. 기존 사업과의 중복성

- 중복성 조사는 NTIS 자료 및 각 부처 R&D 계획 자료를 이용하여 이루어지며, 1차적으로 KICT 연구진이 중복가능성이 있는 사업, 과제들을 스크리닝 한 후, 전문가 위원회를 통해 중복여부에 대하여 정밀진단 추진함
- 중점분야를 구성하는 과제 pool에서 중복성 검토를 통하여 후보과제 및 우선순위 과제를 도출하였음
 - 기존 국가연구개발사업과 기 수행된 사업수준에서의 중복성 검토를 실시함
- 본 연구와 유사한 과제에 대한 활용 및 차별화방안을 제시하였으며 그 결과는 다음과 같음
 - 국내 기존 연구 중 3건의 유사과제가 조사되었으나, 중복성은 없으며, 기존 연구와 연계하여 포집된 CO₂ 가스를 활용함으로써 효과를 극대화할 수 있음

3절. 경제적 타당성

1. 경제성 분석

(1) 비용/혜택 분석(Cost/Benefit Analysis)

- 분석대상
 - 산업부산물, 건설폐기물 등을 이용한 CO₂ 활용 건설재료 시장에 대해 분석하였으며, 시장의 비용/혜택 분석결과를 도출함
- 혜택범위
 - 콘크리트 벽면 녹화코팅시장 규모로 설정
- 비용의 설정
 - 각 세부과제의 향후 3년간 예산(안)으로 정부출연금과 민간참여금의 합한 금액으로 산정함
- Benefit 산출을 위한 요소
 - R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산하기 위하여, 국내시장규모, 시장점유율, 기술기여도, R&D기여도, 할인율을 고려함
 - ① 국내시장규모 : 기술개발과제 추진을 통한 연구결과물이 파급되는 산업의 국내시장 규모
 - ② 시장 점유율 : 해당 산업의 관련 국내 시장에서의 점유비율
 - ③ 기술기여도 : 제품/공법에서 기술이 차지하는 비중. 기술가치 평가과정에서 기술기여도 적용방법은 전문가의 주관적 판단에 의하거나 관행적으로 적용하는 방법이 있음. 전문가 판단법의 일종인 AHP를 적용하여 기술기여도를 산정한 이영찬(2006)의 연구에서는 사업가치 구성요소를 기술자산, 시장자산, 인적자산으로 구분하고 이중 기술자산의 상대적 중요도(기술기여도)를 29.7%로 산출한바 있음. 기술기여도를 일률적으로 적용하는 방법은 일반적으로 33%나 25%를 적용함 (본 분석에서는 25%적용)
 - ④ R&D 기여도 : 본 연구 과제를 통해 달성된 기술 개선 비중. KISTEP에서 작성된 “09 R&D분야 예비타당성 조사 수행을 위한 지침연구”의 R&D사업의 효과분석 사례에서는 R&D기여도를 10.9% 혹은 30.6%로 적용하였음 (본 분석에서는 10.9% 적용)
 - ⑤ 할인율 : 할인율은 10년 만기 국고채 금리인 4.3% 적용

(2) 경제성 분석결과

〈표 4.3〉 콘크리트 벽면 녹화코팅시장의 Benefit 산출

구분	Benefit					
	국내			해외		
내용년수	시장전망 (억원)	시장점유율	Market Penetration	시장전망 (억원)	시장점유율	Market Penetration
2015	12	10.0%	1.2	1,060	0.1%	1.06
2016	12	20.0%	2.4	1,170	0.5%	5.85
2017	13	30.0%	3.9	1,280	1.0%	12.8
2018	13	40.0%	5.2	1,390	1.5%	20.85
2019	13	40.0%	5.2	1,500	1.5%	22.5
2020	14	40.0%	5.6	1,510	2.0%	30.2
2021	15	50.0%	7.5	1,520	2.0%	30.4
2022	15	50.0%	7.5	1,530	3.0%	45.9
2023	16	60.0%	9.6	1,540	5.0%	77
2024	16	60.0%	9.6	1,555	5.0%	77.75
NPV	국내 Market Penetration에 대한 NPV		44	해외 Market Penetration에 대한 NPV		237

- 시장의 NPV는 국내 35(억원) / 국외 192(억원), Cost의 합은 3년간 11.34(억원)으로 미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발의 경제성 분석 결과는 B/C ratio 0.73로 나타남

2. 과학기술적 파급효과

- 본 연구를 통하여 도출 가능한 과학기술적 성과는 SCI 논문 3건, 국내외 학술지 게재 15건, 특허출원(등록) 8건 등의 기술적인 성과를 도출 및 인력 양성 효과도 기대할 수 있을 것으로 보임
- 국내와 국외의 기술수준은 차이가 있으나 모두 기초단계 수준으로 적극적인 기술개발을 통해 세계 1위 기술선점이 가능할 것으로 분석됨
- 연구개발 성과들에 대한 활용 활성화를 통한 정부 연구개발 투자 효율화 실현과 사업성과의 확산 가능성에 대하여 본 과제 추진시 아래의 내용에 대한 분석이 요구됨
- 사업성과를 활용한 실용화에서의 비용절감, 기술도입 대체, 사업화까지의 기간, 사업화와 이에 수반하는 경제효과 등의 구체적인 시나리오의 적절성을 분석함
- 연구개발 성과 활용 활성화를 위해서 성과의 실용화 및 기술출구의 명확한 상정여부와 적절성을 분석함

- 세계적인 수준의 새로운 기술영역을 개척하고 폭 넓은 영역에서의 활용 가능성을 분석에 대하여 본 과제 추진시 아래의 내용에 대한 분석이 요구됨
- 신규시장창출이나 기존시장의 확대를 꾀할 수 있게 성과활용계획 수립 여부 등을 분석함
- 지적재산권 확보, 논문의 양적, 질적 개선, 사업성과의 수요자 설정과 보급계획, 성과에 대한 대국민 홍보계획 등의 적절성에 대해 분석함

3. 예산 적정성 분석

(1) 예산 적정성 분석

- 예산수립에 대하여 공동과제 수준까지 제시되었으며, 인력 및 예산 수립 절차/계획에 대하여 구체적으로 제시하였으며, 인력투입 및 확보계획이 적절하게 수립됨
- 3년간 본 연구를 수행하는 연구인력은 75명으로 공동과제별 투입 연구인력을 연구일정에 맞추어 제시하고 있음

(2) 예산계획 수립체계 및 과정의 적절성

- 과제별 기획위원회를 구성, 최소연구 단위인 공동과제를 수행하는데 소요되는 적정비용을 분석하고 상향식 방법으로 예산을 산출함
- 인건비는 ‘2011년 학술연구용역 인건비기준단가’를 기준으로 작성함
- 각 공동과제별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분함
 - 이때 정부출연금 및 기업부담금의 배분비율은 ‘국토해양부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표1 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준’을 작성기준으로 활용함
- 항목별 예산은 ‘국토해양부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표 2 연구개발비 비목별 계상기준’을 작성기준으로 활용함

(3) 과제별 예산작성 및 배분의 합리성

- 각 세부과제의 공동과제별 인건비, 직·간접비를 연차별로 구분하여 제시함
- 인건비는 연구원을 4단계로 구분하여 참여율을 감안하여 산정함
- 직접비는 연구장비, 재료비, 연구활동비, 연구수당으로 구분하여 산정함

4절. 종합평가 및 결론

1. 정책적 타당성 분석

- 본 기획연구의 정책적 타당성 분석에서의 주요 분석 항목은 1. 국가전략적 중요성, 2. 상위계획과의 부합성, 3. 사업추진의지 및 기관 협조체계, 4. 사업추진상의 위험요인과 대응방안에 대하여 종합적으로 검토한 종합의견은 다음과 같음
- 범국가적으로 그린기술과 친환경 건설분야 R&D에 관한 관심이 집중되고 있음
- 건설기술의 녹색성장 추진계획(국토해양부, 2010), 녹색성장위원회 등의 상위기관의 정책을 조사한 결과 녹색 건설분야 및 친환경에 대한 관심과 구체적인 계획을 수립하였음
- “국토해양 R&D 발전전략”을 통한 본 과제의 기획추진 등 정부의 정책적 추진의지가 확인되었음

2. 기술적 타당성 분석

- 본 기획연구의 기술적 타당성 분석에서의 주요 분석 항목은 1. 기술개발 계획의 적정성, 2. 기술수준 및 성공가능성, 3. 기존 사업과의 중복성 이며, 종합적으로 검토한 종합의견은 다음과 같음
- 본 연구를 통하여 개발하고자 하는 기술의 개념, 목적 및 목표를 구체적, 정량적으로 제시하였음
- 연구목표는 “CO₂ 활용·처리 건설재료 기술 개발” 임
- 목표를 설정한 근거가 구체적으로 제시되고 있으며, 논리성 및 타당성이 있는 것으로 분석되었음
- 2개의 공동과제에 대하여 연차별로 상세한 기술개발계획을 제시하고 있음
- 기술개발로드맵은 국내외 동향 및 환경분석 결과를 반영하여 도출됨
- 국내와 국외의 기술수준은 차이가 있으나 아직 모두 기초단계 수준으로 적극적인 기술개발을 통해 기술선점이 가능할 것으로 분석됨
- 국내에서 수행된 연구와의 유사성이 있으나 중복성은 없는 것으로 분석되었으며, 본 연구 수행시 CO₂ 포집과 연계하여 수행 시 효과적임

3. 경제적 타당성 분석

- 본 기획연구의 경제적 타당성 분석에서의 주요쟁점은 1. 경제성 2. 과학기술적 파급효과 3. 예산적정성 이며, 이에 대한 최종 검토의견은 다음과 같음
- 1개 시장에 대하여 비용/혜택 분석(Cost/Benefit Analysis)을 수행한 결과 본 사업의 경제적 측면을 긍정적으로 판단함 (B/C ratio : 0.73)

- 과학기술적 파급효과의 경우, 국내외 기술수준의 차이는 크지 않으며 모두 기초단계 수준인 것으로 분석되어, 적극적인 기술개발을 통하여 세계 1위 기술선점이 가능할 것으로 분석됨
- 예산 및 인력수립계획 및 절차는 타당하다고 판단되며, 향후 본 과제를 추진하는 주관기관에서 예산운용 및 관리계획에 대하여 구체적인 검토가 필요할 것으로 판단됨

5장. 인력투입 계획 및 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력계획

1. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

단위과제	1차년	2차년	3차년	합계
1공동	14	18	20	52
2공동	8	9	6	23
합계	22	27	26	75

2절. 소요예산 산정

1. 산정개요

- 세부과제별 기획위원회를 구성, 기획위원회에 의한 상향식(Buttom up) 방법으로 예산을 산출함
- 최소 연구단위인 공동과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 산정하고, 이를 토대로 일반과제의 연구비를 산정하여 사업예산 규모를 확정
- 인건비는 ‘2011년 학술연구용역 인건비기준단가’를 기준으로 작성
- 각 공동과제별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분함. 이때 정부출연금 및 기업부담금의 배분비율은 ‘국토해양부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표 1 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준’을 작성기준으로 활용
- 항목별 예산은 ‘국토해양부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표 2 연구개발비 비목별 계상기준’을 작성기준에 따라 아래와 같이 산정함(기업부담금은 추정치임)

〈표 5.1〉 기업부담금 출연기준

구 분	기업부담금 출연기준 (총 연구개발비 대비)
대기업 참여	50% 이상
중소기업 참여	25% 이상
2개 이상의 참여기업 중 중소기업의 비율이 2/3 이상	25% 이상

2. 과제 소요예산

가. 예산총괄

(단위 : 백만원)

과제명	1차년		2차년		3차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
합계	480	167	890	314	1,040	292	2,410	773
공동과제 1	300	105	470	167	800	207	1,570	479
공동과제 2	180	62	420	147	240	85	840	294

나. 예산항목별 소요예산

(단위 : 백만원)

비 목			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	합 계	구성비 (%)	비 고
1) 인건비	내/외부 인건비		375	507	476	0	0	1,358	41.9	
2) 직접비	연구장비 재료비	연구기자재 및 시설비	20	58	58	0	0	136	4.2	
		시작품 제작비	0	200	190	0	0	390	12	
		재료비	38	127	306	0	0	471	14.9	
	연구 활동비	여비	38	41	38	0	0	117	3.6	
		수용비 및 수수료	22	30	29	0	0	81	2.5	
		기술정보 활동비	41	56	52	0	0	149	4.6	
	연구수당		56	76	72	0	0	204	6.3	
3) 간접비			57	109	111	0	0	277	10.1	
합 계			647	1,204	1,332	0	0	3,183	100.0	

6장. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

1절. 과제 제안요구서(RFP)

일반과제	CO ₂ 활용 · 처리 건설재료 기술개발
1. 연구개발 목표	○ CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리 기술개발 ○ 레미콘 회수수의 CO₂ 대량 고정화 기술개발 ○ CO₂ 활용 · 처리 건설재료의 활용기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
☐ 연구개발의 필요성	○ 유엔 기후변화협약에 따라 우리나라를 포함한 전세계에서 CO₂를 저감하기 위한 정책 및 기술개발이 활발히 추진 중 에 있음 ○ 미래시대의 건설재료에 대한 기술은 지구환경을 고려한 환경부하 저감의 연구·개발이 필요하며 CO₂ 배출량이 적은 재료 및 공법개발이 요구됨 ○ 외국의 경우 CO₂ 저감의 일환으로 CCS(Carbon Capture & Storage)기술을 활용하고 있으나, 국내에는 이를 저장할 지중, 해양공간의 부재로 저장이 어려워 저장기술 대신 활용기술로써 CO₂를 순환골재 또는 애쉬 등의 무기성 순환자원에 탄산화반응을 이용, 반응생성물에 의한 개질과 동시에 건설재료로써의 활용기술 개발이 필요함 ○ 레미콘 회수수를 CO₂와 반응조에서 직접 반응시킬 경우 탄산화반응에 의해 연간 약 327만톤 이상의 CO₂를 대량 전환함과 동시에 산업폐기물인 회수수 슬러지 문제를 동시에 해결할 수 있는 CO₂ 활용처리 건설재료 기술이 필요함
☐ 기술동향	○ 순환골재 및 애쉬 등은 CO₂ 반응처리 후 개질되고 건설소재로 활용가능하지만 기초 수준으로 새로운 기술로 주목받고 있음 ○ 노르웨이 등에서 시멘트계 폐기물에 CO₂ 저장가능성을 확인 · 주목하고 있음 ○ 콘크리트용 비빔용수로서의 재사용량을 높이기 위한 연구가 주를 이루고 있으며 그 밖에 회수수가 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향, 회수수 슬러지를 콘크리트 혼화재료로의 활용방안에 대한 연구 및 기술개발이 현재 이루어

	지고 있음 ○ 일본의 레미콘 회수수는 도심지 반송 및 잉여 콘크리트의 증가에 따른 슬러지 고형분 처리문제 등으로 인하여 산업 폐기물의 재자원화 촉진에 주력하고 있음
3. 연구개발내용	
	○ CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리 · 소재활용 기술개발 - 순환골재 및 발전소 버팀애쉬 탄산화 메카니즘 정립 - 순환골재 및 버팀애쉬 촉진탄산화 반응 pilot 플랜트 제작 - 순환골재 및 버팀애쉬 탄산화 반응 최적화 - 개질 순환골재 및 버팀애쉬 활용 콘크리트, 2차제품 생산기술 개발 ○ 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용 기술 개발 - 레미콘 회수수의 CO₂ 대량 고정(삭감)화 기술에 대한 원천기술력 확보 - 환경부하 저감형 급속탄산화 촉진제어 시스템 실용화 - 슬러지 고형분을 이용한 친환경 건설재료 생산기술 개발
4. 연구개발 추진방법	
☐ 추진전략	○ 연구책임자는 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진 전략 및 일정계획을 수립하여야 함. ○ 실용화 및 사업화와 관련한 성과목표 및 지표를 구체적으로 제시하고, 그 달성도를 증명할 수 있는 시험 적용, 테스트 베드, 사업화 실적 등을 포함한 연구개발 추진 ○ 기 수행(종료과제, 중단과제) 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구개발결과와의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함(www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr 참조)
☐ 추진체계	○ 본 연구는 원천기술 중심의 연구개발사업으로 산·연 공동 연구를 기본으로 추진 ○ 참여기관별 업무분담체계를 수립하여, 목표달성을 위한 역할분담을 확실히 구분 추진
5. 최종성과물	

□ 주요 최종성과물	○ CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리 · 소재활용 기술개발 – 탄산화반응 순환골재, 버텀애쉬 생산 pilot 플랜트(처리능력 1t/day) – CO₂ 반응 개질 생산 순환골재 및 애쉬 – CO₂ 반응 순환골재 및 애쉬 활용 콘크리트, 2차제품 – 콘크리트 배합설계지침, 콘크리트 제품 생산지침 ○ 레미콘 회수수의 탄산화를 통한 CO₂ 대량 고정화 및 활용 기술 개발 – 반응인자를 고려한 급속탄산화 촉진제어 시스템 장치 – CO₂ 소비량 극대화를 위한 최적반응조건 확립 – 환경부하 저감형 급속탄산화 촉진제어 자동화 시스템 현장 적용(실용화 Plant 용량 1m³의 시작품 제작) – 시작품에 대한 목표성능 검증 및 경제성 평가
6. 기대효과 및 파급효과	○ CO₂ 활용 · 처리 건설재료 개발로 국가 온실가스 저감목표에 기여 예상 ○ 건설폐기물, 산업부산물, 레미콘 회수수 등 재활용에 부정적인 순환자원의 적극적 재활용기술로 CO₂ 저감 및 자원 재활용 촉진 기대 ○ 국내 폐기물 재활용 정책 추진 방향 수립 및 목표 설정을 위한 기본 자료로 활용 기대 ○ 친환경건설자재 시장 진출 기대
7. 연구개발기간 및 소요예산	○ 총 연구기간 : 2011.09 ~ 2016.09 (3년) – 1차년도 연구기간 : 2011.09 ~ 2012.09 (12개월) ○ 총 정부출연금 : 24.1억원 이내 – 1차년도 정부출연금 : 4.8억원 이내 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타

- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 100% 반영하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 연구내용, 연구기간 및 연구비는 과제제안요구서(RFP) 및 상세기획연구보고서를 참조하여 작성
- 과제 신청자는 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 제시
 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - 제시한 성과지표에 건설기술혁신사업의 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약시 조정(추가) 가능
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 연구성과의 실용화(정책제안)로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급 효과 및 산출근거 제시
 - 연구성과의 실용성 검증 계획을 반드시 제시해야 함
 - 연구종료 후 성과물의 관리를 위한 관리체계 및 관리방안 제시
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kictep.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- ‘CO₂를 활용한 순환골재 및 애쉬의 개질처리·소재 활용 기술 개발’의 순환골재 관련 연구는 ‘순환골재 품질기준 제정 및 인증제도 시행방안 연구 (건설교통RnD정책인프라사업, '04~'06)’의 성과를 직접 연계하여 성과를 도출할 것
- 연구관리 전문기관(한국건설교통기술평가원)은 필요시 선정된 동 과제 연구책임자와 협의를 거쳐 연구개발계획서를

수정·보완(연구기간 변경, 연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「분산공유형 건설연구 인프라 구축」 과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용

※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

2절. 평가기준 설정

- 현재 전 세계는 경제, 기술발전의 가속, 거대화 및 글로벌화가 심화되고 있으며 특히 지구온난화 방지를 위한 전세계적 탄소배출 저감노력이 요구됨.
- 우리나라 온실가스 배출량 중 42.3%로 높은 비중을 차지하고 있는 건설분야에서도 2020년 대비 온실가스 30% 감축목표가 설정됨.
- 본 과제는 저탄소 녹색건설기술의 상품화가 가능한 개발을 목표로 하고 있음
- 따라서 과제의 선정 및 평가지표는 단순히 기술개발 관점에서만 도출되어서는 안 되며 저탄소 녹색 건설재료 관련 정책 반영, 실용화 및 사업화 수준, 사회/경제적 파급정도, 관련 전문인력 양성 등 다각적인 관점에서 도출 되어야 할 것임

1. 평가항목

기준항목	세 부 항 목
연구개발목표 (10점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 적절성 · 타당성(5점)
	성과지표 설정의 명확성 및 적정성(5점)
연구개발내용 (20점)	RFP와의 적합성(5점)
	과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점)
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성(5점)
	연차별 연구내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획 (20점)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성(5점)
	연구추진 전략의 구체성 및 타당성(5점)
	연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점)
	연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
개발기술의 실용성 및 경제성 (40점)	개발기술의 혁신성 및 차별성(10점)
	활용방안의 적절성 및 구체성(10점)
	개발기술의 실용성 및 사업성(10점)
	개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)(10점)
연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10점)	연구전문성 및 해당분야 실적(5점)
	연구과제 관리 및 운영 능력(5점)

※ 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치

가. 연구개발 목표

- 저탄소 녹색성장이라는 시대적 요구에 부응하는 건설재료 기술개발의 최종목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종목표를 설정 제시.
- 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위하여 국토해양부의 '건설교통 R&D 성과지표'에 따라 명확한 성과지표 설정과 평가기준 제시.

나. 연구개발 내용

- 미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발과 실현을 위한 체계적이고 실천적인 과제 구성이 필요함.
- 기획과제에서 제시한 연구목표 및 기술개발 요청사항에 대하여 제안과제가 적정하게 제시되었는지, 상향된 목표를 제시하였는지 평가.
- 최종목표 달성을 위한 각 과제간 연계가 이루어졌는가 및 과제간 개발 사항이 중복되지 않고 차별되는가의 적정성 평가.

다. 추진전략 및 계획

- 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제 성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진 여부
- 미생물을 활용한 친환경 콘크리트 코팅기법 개발의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연의 기관이 적정하게 구성 및 연계 여부
- 과제의 단계별 추진 사항이 연구목표 달성을 위해 타당한가를 평가하고 연구개발 사항과 구체적 추진방안이 수립 여부
- 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비 적정성 여부

라. 개발기술의 실용성 및 경제성

- 현재 기술수준과 비교하여 목표한 개발기술의 향상 정도, 기술선도국 대비 예상수준, 기술의 경쟁력 수준 등에 대하여 정성적 또는 정량적 평가 여부
- 연구기관 또는 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 및 사업화 방안이 성과지표의 구체적 항목으로 제시 여부
- 개발되는 과제결과는 실험실 내의 제한된 범위와 조건과는 달리 현장의 여건과 환경을 고려한 실질적이고 실현가능한 기술성
- 개발기술의 경제적 기대성과로서 투자 및 파급효과 등에 대한 평가방안이 구체적으로 제시 여부

마. 연구책임자의 전문성 및 관리능력

- 연구책임자는 과제 내의 공동과제 간에 유기적인 결합이 원활하게 추진되도록 할

필요가 있음.

- 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제 구축은 물론 과제 내에서 진행되는 과제관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 함.
- 연구책임자는 국토해양부에서 실시하는 해당 분야의 산업 육성, 발전 정책 및 종합계획 수립 등 관련 업무추진 시 기술자문 및 적극적인 업무협조 역할을 수행해야 함.

2. 가점 및 감점 기준

가. 연구수행 형태에 따른 가점

- 대기업이 주관연구기관으로서
 - 중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1점
 - 중소기업이 참여하는 경우 : 2점
- 기업 이외의 기관이 주관연구기관이고, 참여기업이 있는 경우 : 1점
- 중소기업이 주관연구기관인 경우 : 2점

나. 총연구개발비에 대한 연구신청기관의 연구개발비 부담비율에 따른 가점

- 총연구개발비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구개발비(현금)의 비율에 따라 신청기관 별로 가점 부여(단, 경쟁응모인 경우에 한함)
 - 신청기관 중 연구개발비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 1.0점
 - 그 외 기관은 최대 연구개발비(현금) 부담비율을 기준으로 연구개발비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여

$$\cdot \text{부여가점} = 1.0 \times \frac{\text{해당 기관 연구개발비 부담비율}}{\text{신청기관 중 최대 연구개발비 부담비율}}$$

다. 추적평가결과에 따른 가점

- 국토해양부기술 연구개발사업 관리지침의 가점 및 감점 기준에 따르되, 이 지침 시행 이전에 협약체결된 과제의 추적평가결과에 따른 가점 및 감점은 종전 지침에 의함

라. 보안과제 등과 관련된 가점 및 감점

- 현재 개정 작업중에 있는 「국토해양부소관 연구개발사업 관리지침」이 신청서 접수전에 완료될 경우에 한하여 반영하되, 이 경우 가점 및 감점기준은 별도 공지 예정

* 『국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정('11.3.28)』 제7조 4항 1호 및 [별표 1의3] 관련

마. 기타

- 기획과제 수행자가 본 과제의 주관(공동)연구책임자로 참여시 : 가점 2점
- 여성연구자가 신규과제 주관연구책임자로 참여시 : 가점 1점
- 최근 3년 이내에 우수 논문(임팩트팩터 15 이상) 실적이 있는 연구책임자가 신규과제를 신청할 경우 : 가점 1점
- 연구개발과제 선정 후 협약포기 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토해양기술 연구개발사업 관리지침」 제정('09. 6. 30) 이후 협약과제 대상) : 3점 감점
- 연구개발과제의 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토해양기술 연구개발사업 관리지침」 제정('09. 6. 30) 이후 협약과제 대상) : 3점 감점
- 기술 혹은 연구개발 아이템 제안자의 제안의견이 채택된 경우, 1년 내에 해당 연구자가 연구책임자로 신규과제 신청시 가점 2점

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. 국토해양부, 건설기술의 녹색성장 실행계획 (제2009-35호), 2009
7. 국토해양부, 건설기술의 녹색성장 추진계획, 2010
8. 국토해양부, 건축물에너지절약 설계기준 개정 (제2008-652호), 2008
9. 국토해양부외, 녹색도시·건축물 활성화 방안, 2009
10. 국토해양부, 생명이 흐르는 녹색국토와 해양, 현실로 다가와....., 국토해양부 보도자료, 2010. 12
11. 국토해양부, 친환경 주택의 건설기준 및 성능(제2010-421호), 2010
12. 국토해양부, 2010 국토해양 R&D 발전전략, 2010
13. 김민철 책임연구원, 일본의 녹색건설정책, 국토정책 Brief, 제263호, 2010. 2
14. 김우영, 2020년 건설상품과 기술예측, CERIK Journal, 2010. 4
15. 녹색성장위원회, 녹색성장 국가전략, 2009
16. 녹색성장위원회, 중점녹색기술개발 전략, 2009. 5
17. 대한건설정책연구원, 초고층복합빌딩시스템사업단 사전·상세기획 연구, 2008. 8
18. 대한민국 특허, 미생물을 이용한 친환경 콘크리트블록, 1020050010886
19. 대한민국 특허, 유효미생물을 이용한 고성능 자정 콘크리트 제조 방법, 공개번호, 1020100133148
20. Emporis Research, “국내 초고층 건축물 시장 확대 추이”, 세계초고층학회 (2008)
21. 에너지관리공단, 녹색성장을 위한 에너지·온실가스 감축 정책, 2010년 에너지·기후 변화 정책 종합설명회
22. 유광흠, 녹색건축 조성 활성화 방안, 한국법제연구원, 2010. 12
23. 이트레이드증권, 2009.10.19, 그린홈 시장의 성장 가능성 점검, 아트레이드 증권 리서치 센터 보도자료
24. 장규호 (2008), “각국 정부 지원 강화...日, 태양광 주택에 보조금·稅 혜택”, 한국경제 2008년 8월 17일
25. 장현승 외, 녹색 건설상품 진단 및 전망, 한국건설산업연구원, 2009.6

26. 중소기업청, 2009 연구장비 공동이용 지원사업 지원현황
27. 지식경제부, 2011년 지식경제부 업무계획, “다 함께 성장하는 선진경제로”, 2010
28. 최석인, 녹색성장과 녹색건설시장, CERIK Journal, 2010. 01
29. KAIST, 탄소나노튜브를 활용한 기능성, 초고강도경량 콘크리트 개발, 2010년도 핵심 연구, 2차년도 연차보고서
30. 한국건설교통기술평가원, 국토해양 R&D 발전전략, 2010
31. 한국건설교통기술평가원, U-Eco City 사업단 상세기획연구 보고서, 2008
32. 한국과학기술정보연구원, 친환경 건축자재, 2009
33. 한국법제연구원, 주요국가의 녹색성장, 기후변화 법령집Ⅱ, 2010
34. 한국법제연구원, OECD의 최근 기후변화대응에 관한 규범분석, 우리나라 녹색성장 규범비교를 중심으로, 2010. 12
35. 한국지질자원연구원, 광물탄산화법에 의한 CO₂ 고정화 기반기술 연구, 2009
36. 환경부, 건설폐기물 재활용 기본계획, 2006
37. 환경부, 친환경 상품구매 촉진에 관한법률, 2011
38. 환경부, 환경분야 녹색성장 실천계획, 2009
39. Bjorn Johannesson, Peter Utgenannt, Microstructural changes caused by carbonation of cement mortar, Cement and Concrete Research, 31, pp. 925~931, 2001
40. Cheng-Feng Chang, Jing-Wen Chen, The experimental investigation of concrete carbonation depth, Cement and Concrete Research, 36, pp. 1760~1767, 2006
41. De Muynck, W., Debrouwer, D., De Belie, N., Verstraete, W., 2008b. Bacterial carbonate precipitation improves the durability of cementitious materials. Cem. Concr. Res. 38 (7), 1005 - 1014.
42. GrobalInsight, 2007, <http://www.ihs.com>
43. International Energy Agency, Cement Technology roadmap 2009
44. Lowenstan, H.A., Weiner, S., 1988. On Biomineralization. Oxford University Press, New York.
45. 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
46. McGraw-Hill Construction, 2006. Market values projected based on MHC construction starts value for 2005 and forecasted starts value through 2010
47. McGraw-Hill Construction, 2008, Green building report

48. 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).
49. Willem De Muynck, Nele De Beliea,Willy Verstraete, Microbial carbonate precipitation in construction materials: A review, *Ecological Engineering* 36 (2010) 118 - 136.

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설기술혁신사업사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.