

탄소저감형 콘크리트 구조재료 및 에너지 절감형 건축재료 · 자재 개발 최종보고서

2017. 06. 15.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

협동연구기관 / 한국건설생활환경시험연구원

한국건설기술연구원

국 토 교 통 부

국 토 교 통 과 학 기 술 진 흥 원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘탄소저감형 콘크리트 구조재료 및 에너지 절감형 건축재료·자재 개발’(연구개발 기간 : 2011.11.28 ~ 2017.06.15) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017 . 6 . 15 .

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원
주관연구책임자 : 이 세 현

1세부 협동연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원
협동연구책임자 : 조 재 우
2세부 협동연구기관명 : 한국건설기술연구원
협동연구책임자 : 이 세 현
3세부 협동연구기관명 : 한국건설기술연구원
협동연구책임자 : 채 창 우

공동연구기관명 : 유진기업(주) (주)대우건설
한국과학기술원 성균관대학교
충남대학교 지에스건설(주)
한라엔컴(주) 한국토지주택공사
(주)벽산 한양대학교
한국콘크리트학회

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	11기술혁신F04	해당 단계 연구 기간	2년 0개월	단계구분	(5)/(5)
연구사업명	중사업명	건설기술연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	탄소저감형 콘크리트 구조재료 및 에너지 절감형 건축재료·자재 개발			
	세부과제명	환경부하 저감형 건축재료 개발			
연구책임자	이세현	해당단계 참여 연구원 수	총: 179 명 내부: 157 명 외부: 22 명	해당단계 연구개발비	정부 : 2,699,000 천원 기업 : 1,864,971 천원 정부 외: 천원 계 : 4,563,971 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 776 명 내부: 668 명 외부: 108 명	총 연구개발비	정부 : 12,973,000 천원 기업 : 7,951,941 천원 정부 외: 천원 계 : 20,924,941 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국건설기술연구원(주관 및 협동) 1세부 : (재)한국건설생활환경시험연구원(협동), 유진기업(주), (주)대우건설, 성균관대학교, 충남대학교 2세부 : 지에스건설(주), 한라엔컴(주), 한국토지주택공사, (주)벽산 3세부 : 한양대학교, 한국콘크리트학회			참여기업명	1세부 : 한림에코텍, 시멘트협회, (유)삼학콘크리트, 일우PPC, (주)콘스텍, 태영, (주)제이엔티아이엔씨, 2세부 : 한국동서발전(주), 한국서부발전(주), 한국중부발전(주), (주)정석케미칼, (주)광스틸, (주)에이엠글로벌그린
국제공동연구	상대국명:			연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 안동대학교, 울산대학교, 인트켄, 스마트에코(주)			연구책임자: 배수호, 차수원, 양완희, 김 익	

- 본 연구는 대량의 탄소를 발생시키는 건설재료·자재산업의 CO2 발생저감을 목적으로 CO2 저감형 건설재료 기술, 환경부하 저감형 건축재료 기술 개발, CO2 통합관리기술 개발 등을 수행함.
- 시멘트 저감형 결합재를 사용한 콘크리트, 혼화재 다량치환 콘크리트, 무시멘트 콘크리트 등의 탄소저감형 콘크리트를 개발함.
- 비정질 강섬유 개발 및 이를 사용한 고인성 콘크리트를 개발함
- 단열콘크리트, 고단열 PC Wall, 단열도료, LEC 복합 단열 패널 등의 건축자재 개발을 통해 건축물의 단열효율을 높일 수 있는 기술을 확보하고 이를 EEH 실증 하우스에 적용함
- 양생공정을 단축하여 생산에너지 효율을 높인 LEC 압출성형패널 및 LEC 복합 단열 패널을 개발함.
- 주요 건축자재의 에너지 효율 등에 대한 DB 구축 및 선정시스템을 개발하여 공동주택용 건축자재 활용을 위한 기반을 구축함.
- 건설재료 전과정에 대한 CO2 통합관리시스템을 개발하여 사용재료의 CO2 저감 관리를 위한 기반을 구축함.

보고서 면수
: 185

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	○ 건설산업은 재료, 시공, 운용, 철거 등의 모든 단계에서 다량의 CO2를 발생시키는 산업으로 CO2 발생 저감을 위한 노력이 요구됨. ○ “탄소저감형 건설재료”는 대량의 탄소를 발생시키는 건설재료·자재산업에서 CO2 발생저감을 목적으로 재료기술 및 공정기술, 관리기술 등을 적용하여 CO2 저감의 건설재료 기술을 의미함. ○ 건설산업에 있어 탄소발생의 저감을 위해서는 CO2를 대량배출하는 건설재료의 CO2 저감기술 개발, 에너지 효율을 증대하여 탄소 발생을 저감시키는 환경부하 저감형 건축재료 기술 개발, 건설재료 발생 CO2의 효율적 관리를 통해 CO2 저감을 실현하는 CO2 통합관리기술 개발 등이 요구됨. ○ 본 연구 과제를 통해 건설재료 CO2 저감 핵심 기술을 개발하여 건설산업의 CO2 배출량 저감을 위한 기반기술을 확립하고, 궁극적으로 지속가능한 녹색건설 실현에 이바지 하고자 함.				
연구개발성과	○ 시멘트 저감형 결합재를 이용한 50MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술 개발 ○ 비소성 결합재를 활용한 CO2 저감형 콘크리트 개발 ○ 에너지 저감형 비정질 강섬유 개발 및 실용화 ○ Carbon Negative 시멘트 제조 및 활용기술 개발 ○ 열손실지수 30% 저감형 EEH 시스템 개발 ○ 공동주택 에너지저감형 건축자재(DB구축) 활용기술 개발 ○ LEC(Low Energy Curing) 내외장재 제조 및 공정기술 개발 ○ 건설재료 전과정 CO2 통합관리시스템 개발 ○ 탄소저감형 건설재료 활용을 위한 환경설계 및 녹색시방기준 개발				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 연구개발성으로 구축된 실증하우스를 통해 기술 홍보 ○ 1세부 건설재료의 CO2 저감 기술은 건설구조재료로 혼화제 제조업체, 시멘트 업체, 콘크리트 생산업체, PC 제조업체와 기술이전 등을 통한 사업화 추진 ○ 2세부 환경부하 저감형 건축재료 기술은 건축물의 단열성능 향상을 위해 PC 제조업체, 외장재, 마감재 및 내장재 등을 제조하는 건자재 회사와의 기술이전 등을 통한 사업화 추진 ○ 3세부 CO2 통합관리기술은 CO2 관리가 필요한 기업체들에 공개 활용됨으로써 건축물의 구현에 있어 사용되는 재료의 CO2 저감관리를 위한 기반기술로 활용 ○ 시멘트 저감형 결합재 활용 레미콘의 KS F 4009 인증 취득을 통한 친환경콘크리트, 저탄소 콘크리트로 시장 형성 ○ 본 연구결과의 실용화 제품화는 우선적으로 참여기업이 추진하는 것을 원칙으로 하며, 개발기술의 기술이전(기술실시계약) 추진				
핵심어 (5개 이내)	탄소저감형 건설재료	환경부하저감 형 건설재료	시멘트 저감형 결합재	고효율 에너지 건설자재	건설자재 LCI DB

SUMMARY

Purpose & Contents	○ The construction industry is an industry that generates a large amount of CO₂ at all stages of materials, construction, operation, demolition, etc., and efforts are needed to reduce CO₂ emissions. ○ Carbon-reducing construction materials refers to CO₂ reduction construction materials technology that applies material technology, process technology and management technology for the purpose of reducing CO₂ emission in construction material and material industry that generate large amount of carbon. ○ To reduce carbon emissions in the construction industry, the following are required: 1) Developing CO₂ reduction technology for construction materials that emits a large amount of CO₂ 2) Development of environment-friendly building materials technology to reduce carbon generation by increasing energy efficiency 3) Development of integrated CO₂ management technology to realize CO₂ reduction through efficient management of CO₂ generated from construction materials ○ This research project will contribute to the development of core technologies for CO₂ reduction of construction materials, the establishment of infrastructure technologies to reduce CO₂ emissions in the construction industry, and the realization of sustainable green construction.				
Results	○ 50MPa high performance concrete using cement abatement type binder ○ CO₂-reduced concrete using non-plastic binder ○ Development and practical use of energy-reduced amorphous steel fiber ○ Carbon Negative Cement manufacturing and utilization technology development ○ EEH system with reduced heat loss index 30% ○ Energy saving building material DataBase system utilization technology of apartment house ○ LEC(Low Energy Curing) interior and exterior materials and process technology development ○ CO₂ emission management system for construction materials ○ Environment design and green standard for carbon abatement type construction materials				
Expected Contribution	○ Technology promotion through the demonstration house constructed with R & D achievements ○ 1)CO₂ abatement technology of construction material is commercialized through technology transfer with admixture maker, cement maker, concrete maker, PC maker as construction construction material ○ 2)In order to improve the insulation performance of buildings, environment-friendly building materials technology is being commercialized through the transfer of technology with construction materials companies that manufacture PC manufacturers, exterior materials, finishing materials and interior materials. ○ 3)CO₂ integrated management technology is utilized as a base technology for CO₂ reduction management of materials used in the implementation of buildings by being publicly utilized for companies requiring CO₂ management ○ Using cement abatement type binder Remicon KS F 4009 certified to form environment-friendly concrete and low-carbon concrete market ○ The commercialization of the results of this study will be carried out primarily by the participating companies, and the technology transfer				
Keywords	Carbon-reducing construction materials	Environmental Load-reducing construction materials	Cement-reducing Binder	Energy Efficiency construction materials	Construction Materials LCI DB

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 국내외 기술 개발 현황	25
3. 연구 수행 내용 및 성과	61
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	92
5. 연구개발성과의 활용 계획	109
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	117
7. 연구개발성과의 보안등급	152
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	153
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	154
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	156
11. 기타 사항	157
12. 참고 문헌	158

< Contents >

1. Introduction	1
2. Relevant Research Review	25
3. Research Contents and Results	61
4. Achievement and Contribution of Research	92
5. Utilization Plan of Research Results	109
6. Collected Science Information of Overseas on Research Progress	117
7. Security Rating of R&D Achievement	152
8. Status of Research Facilities and Equipment Registered at NTIS	153
9. Implementation of Safety Measures in Laboratory such as R&D	154
10. Representative Research Results of R&D	156
11. The Others	157
12. References	158

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

- “탄소저감형 건설재료”란 기존의 대량의 탄소를 발생시키는 건설재료·자재산업에서 CO₂ 발생저감을 목적으로 재료기술 및 공정기술, 관리기술 등을 적용한 것으로 ‘CO₂ 발생을 근본적으로 저감하고, 에너지 소비 및 환경부하 저감이 가능하며 경제성이 확보된 건설재료의 생산, 공정, 재활용 등 관련 모든 기술(2010 국토해양 R&D 발전전략)’로 정의됨.
- 본 연구는 탄소저감형 건설재료 기술 개발을 목적으로 함에 있어 1) 생산시 대량의 CO₂를 발생하는 시멘트, 철강재료 등의 CO₂를 저감하기 위한 ‘CO₂ 배출저감형 건설구조재료’, 2) 에너지 효율을 증대하여 탄소를 저감하는 ‘환경부하 저감형 건축재료’, 3) 탄소저감 건설재료의 발생 CO₂를 효율적으로 관리함으로써 CO₂ 저감을 실현할 수 있도록 하는 건설재료에 대한 ‘CO₂ 통합관리기술’으로 구분하여 개발함.

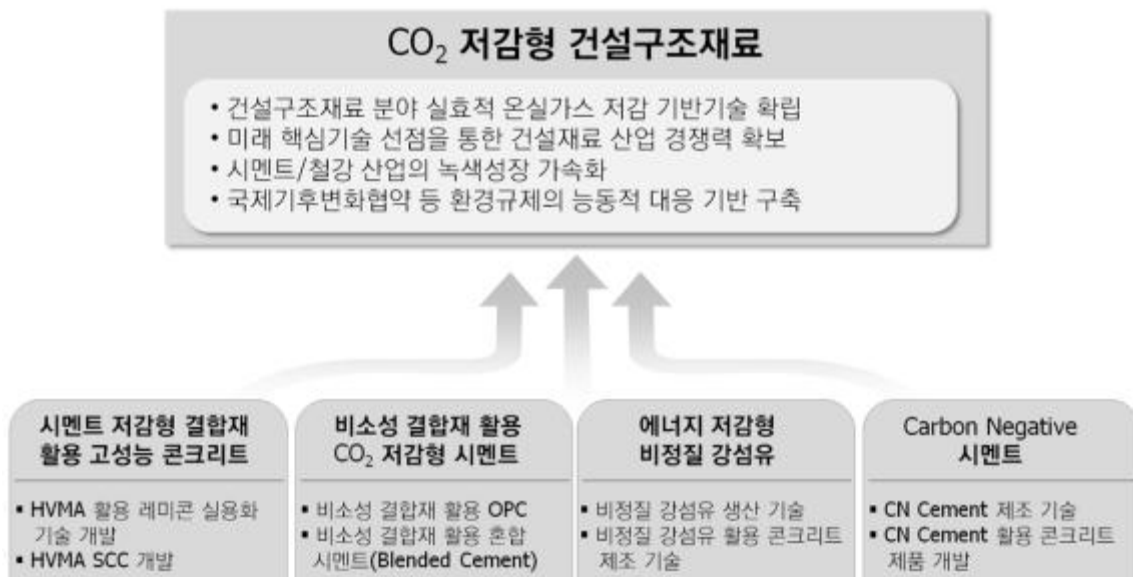


[그림 1-1] “탄소저감형 건설재료”의 분야와 추진전략

□ CO2 배출저감형 건설구조재료 개발

- 지구온난화 문제가 국제적 주요 이슈로 대두됨에 따라 국제 기후변화협약에 적극적으로 대응하고, 저탄소 녹색성장 실현을 위한 국가 온실가스 감축 목표 설정
 - 국가 감축 목표: 2020년까지 2005년(594백만톤) 대비 4%(23.8백만톤) 감축
 - 주요 업종별 감축율(배출 전망치(BAU) 대비): 시멘트 8.5%, 건설업 7.1%, 철강 6.5%
- 주택, 도로, 항만 등 사회간접자본시설 건설을 위한 주요재료인 시멘트, 콘크리트 및 철강을 생산하는 건설구조재료 산업은 국가 핵심산업으로서 지속가능한 건설 산업 성장을 위한 기술혁신 필요
 - 시멘트 및 철강 산업은 대표적 온실가스 多배출 산업으로서 국내 실정을 고려한 능동적이고, 실효적인 온실가스 저감을 위한 관련 기술개발 필수
- 본 연구는 ‘CO2 배출저감형 건설구조재료 개발’에 있어 다음의 건설구조재료 CO2 저감 핵심 기술을 개발하여 건설구조재료 산업의 CO2 배출량 저감을 위한 기반기술을 확립하고, 궁극적으로 지속가능한 녹색건설 실현에 이바지 하고자 함.

- (1) 시멘트 저감형 결합재를 이용한 고성능 콘크리트 실용화 기술
- (2) 비소성 결합재를 활용한 CO2 저감형 시멘트·콘크리트 개발
- (3) 에너지 저감형 비정질 강섬유 이용 실용화기술개발
- (4) Carbon negative cement 제조 및 활용 기술 개발



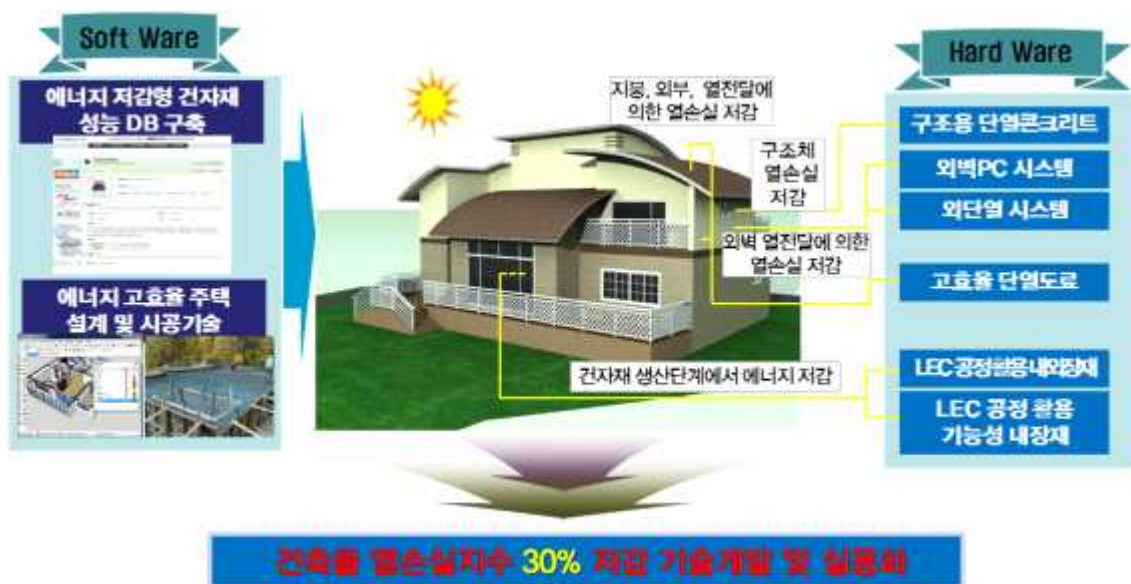
[그림 1-2] CO2 배출저감형 건설구조재료 개발의 요소 기술

□ 환경부하 저감형 건축재료 기술개발

- 본 연구는 “탄소저감형 콘크리트 구조재료 및 에너지 절감형 건축재료·자재 개발” 중 대량의 탄소를 발생시키는 건설재료·자재산업에서 건축물의 생산, 유지관리 과정에서 에너지 효율 증대를 통하여 탄소를 저감하는 ‘환경부하 저감형 건축재료 기술개발’을 목적으로 함.
- 본 연구는 ‘환경부하 저감형 건축재료’ 기술개발을 통해 고성능의 요소 건설재료를 개발하고, 이를 통합하여 건축물 열손실지수 30% 저감한 에너지 저감형 주택을 구현하기 위한 실용화 시스템을 구축하고자 함.

〈표 1-1〉 환경부하 저감형 건축재료 개발의 요소기술

과 제 명		요소기술
환경부하 저감형 건축재료 개발	(2세부) 열손실지수 30% 저감형 EEH 시스템 개발	EEH 시스템 구축기술 개발
		단열콘크리트 생산기술 개발
		고단열 복합 PC 외벽 시스템 개발
		고효율 에너지 저감형 단열도로 실용화 기술개발
	공동주택 에너지 저감형 건축자재 정보 활용기술 개발	공동주택 에너지 저감형 건축자재(DB구축) 활용 기술 개발
		LEC 공정에 의한 친환경 기능성 콘크리트계 건축 내외장재 및 시공기술 개발
	LEC 공정에 의한 친환경 기능성 콘크리트계 건축 내외장재 및 시공기술 개발	LEC 내외장재 제조 및 공정기술 개발
		LEC 내외장재의 환경기능성 부여 및 실용화 기 술개발



[그림 1-3] 환경부하 저감형 건축재료 기술 개발 프로세스

□ 건설재료의 CO2 통합관리기술 개발

- 본 연구는 건설자재의 생산 및 사용에 투입되는 에너지 사용에 의한 탄소배출량을 평가하고 이를 정량화함으로써 탄소배출권에 대한 미래건설산업 전반의 경제성을 확보할 수 있도록 ‘건설재료의 CO₂ 통합관리기술’을 개발하는 것을 목적으로 함.



[그림 1-4] 탄소저감형 건설재료 CO2 배출관리 시스템 구축 로드맵 수립

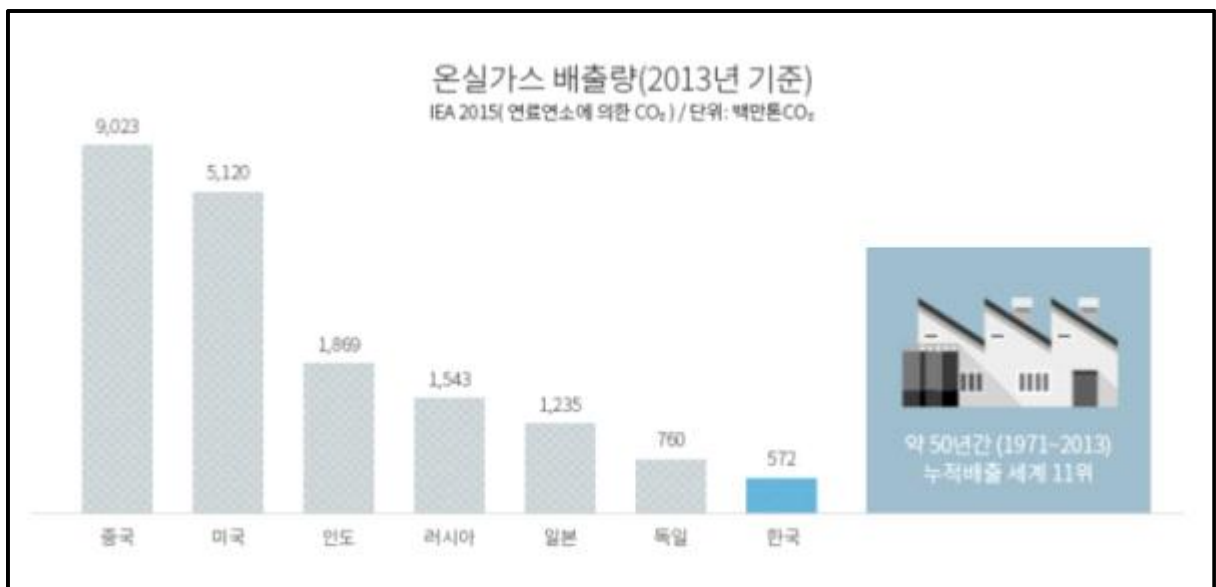


[그림 1-5] 건설자재 LCI DB 및 CO2 통합관리시스템 구축 마스터플랜

2. 연구개발의 필요성

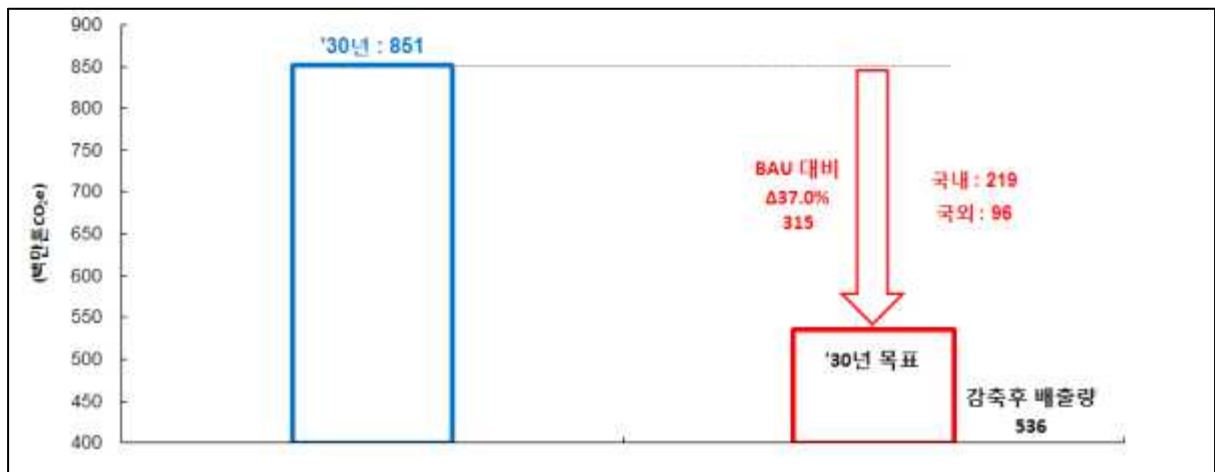
가. 연구개발의 배경

- 현재 전 세계는 IT 등 신기술의 발달로 4차산업 혁명의 진행이 이루어지고 있으며, 경제 규모 및 경제시장의 글로벌화 등이 심화되고 있음.
- 또한, 지구 환경의 지속가능성에 대하여 전세계가으로 함께 논의하고 있으며, 지구온난화 방지를 위한 전세계적 협력체계 구축을 하며 이에 대한 실천이 요구되고 있음.
- 따라서 건설분야에서도 4차산업 혁명으로의 진입, 글로벌화, 저에너지, 친환경, 녹색건설 증대 등을 위한 기술혁신의 요구 대두.
- 탄소배출권 거래제의 CO2 발생량 및 에너지 저감을 위한 녹색기술의 개발은 새로운 패러다임 및 신성장동력으로 대두됨.
- 국제 탄소배출량은 2008년 28.8Gt에서 2020년 34.5Gt, 2030년 40.2Gt로 계속 증가할 것으로 전망(IEA, World Energy Outlook).
- 우리나라의 CO2 배출량은 2005년 기준 4억9천440만톤에서 2014년 6억2천880만으로 2013년에 이어 2014년에도 OECD내에서 6위, 전세계에서 12위를 차지함.

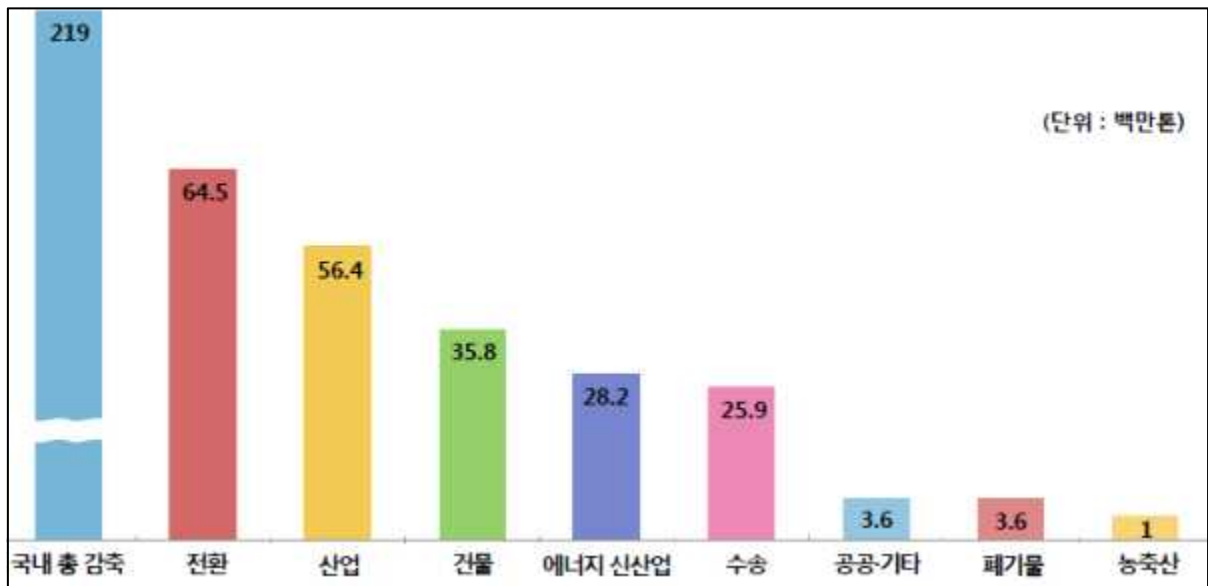


[그림 1-6] 국가별 온실가스 배출량(2013, IEA-World Energy Outlook)

- 우리나라는 2009년 국가 중기 온실가스 감축 목표로 2020년 배출전망치(770백만톤) 대비 30% 감축(569백만톤, 2005년(594백만톤) 대비 4% 감축) 제안함. 이후 2016년에 신기후체제의 기반이 되는 파리협정(2015년)을 채택하면서 2030년 배출전망치(851백만톤) 대비 37% 감축(536백만톤, 2005년 대비 10% 감축)을 새로운 목표로 수정함.
- 2030년 감축량 315백만톤중 국내에서는 전환(발전), 산업, 건물 등 8개 부문에서 219백만톤(BAU 대비 25.7%)을 감축. 이중 건물 부문은 35.8백만톤(18.1%) 감축 계획.



[그림 1-7] 2030년 국내 국가 온실가스 감축 목표



[그림 1-8] 2030년 국내 부문별 목표 감축량

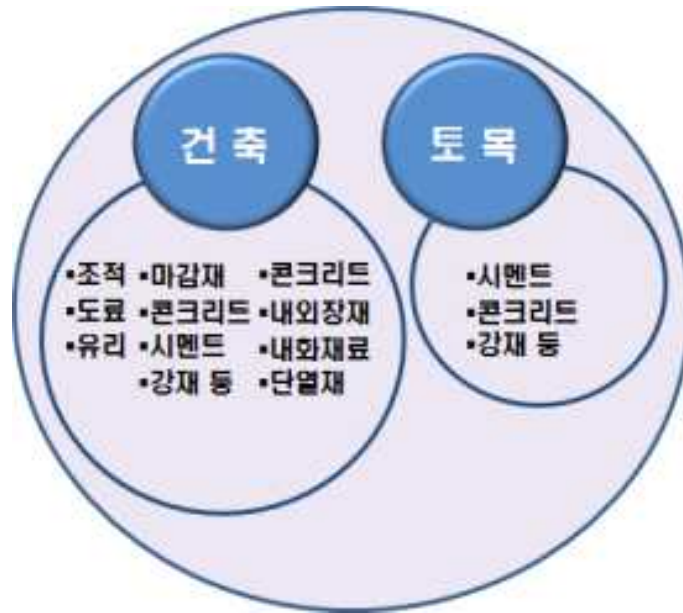
- 국내 온실가스 배출량 중 건설교통분야 비중은 42.3%로 높은 비중을 차지함.
- 이 중 건물부분의 탄소발생 감축은 제로에너지 빌딩 등 고효율 건축물 보급 확대, 노후 건축물 에너지 성능 개선, 건물 에너지관리 시스템(BEMS) 보급 확대 등을 통해 에너지 효율화 유도 계획.
- 한편, 온실가스 저감의 위한 방안은 에너지 효율 향상 기술, 탄소 포집 기술 및 새로운 에너지 생산 기술로 나누어 볼수 있음
- 이 중 에너지 효율향상은 31~53%의 가장 높은 기여도를 차지하여 온실가스 배출저감을 위한 최우선 정책으로 각 국가별로 추진함(IEA, 2006)

<표 1-2> CO₂ 배출저감 수단별 기여도 전망(~2050년)

저감수단	효율향상	탄소포집 저장	연료전환	재생 에너지 발전	원자력	바이오 연료 (수송)	기타
저감비중	31~53 %	20~28 %	11~16 %	5~16 %	2~10 %	6 %	1~3 %

- 건설분야에서 탄소발생은 건설재료 생산시, 시설물 등의 생애기간 동안 사용에 따른 건축물의 에너지 소비시 발생함.
- 건설재료·자재의 제조 및 생산 등을 위한 활동에는 반드시 공정 중에 에너지 및 화석 연료 등을 활용하게 되며, 이는 탄소발생의 주요 원인임. 따라서 건설재료·자재산업은 전형적인 탄소발생 산업으로 분류됨.
- 주요 건설재료·자재의 생산 등에 따른 이산화탄소 발생량은 시멘트 39백만톤/년, 철강 67백만톤/년, 콘크리트 43백만톤/년으로 추정됨.
- 건설은 건축분야와 토목분야로 구성되며, 건설재료¹⁾는 건축재료와 토목재료 전체를 포함한 개념임.

1) 건설재료는 시멘트 철강, 골재를 비롯하여 벽돌, 건축내외장재, 바닥재 등 건축물에 사용되는 모든 재료 및 자재를 의미함 (2010 국토해양 R&D 발전전략).



[그림 1-9] 건설재료의 개념

- 건축 및 구조물의 탄소발생은 건설재료 생산, 시공, 운용, 철거 등 생애기간 동안 이루어짐. 건설재료 측면에서 생애기간동안 탄소발생의 배출관리에 의한 종합적 탄소저감 관리 기술이 요구됨.
- 건설재료는 소재, 자재, 부품(시스템)의 3가지의 분류체계로 구분할 수 있음.

<표 1-3> 건설재료의 분류체계

건설소재(원료)	건설재료의 기반이 되는 소재 및 원료(시멘트, 골재, 강재, 플라이애쉬, 슬래그, 합성수지, 유리, 목재 등)
건설자재	소재, 원료를 활용하여 일정한 공정을 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)

- 건설재료·자재의 제조 및 생산, 설치, 활용 등을 위한 활동에는 반드시 공정 중에 에너지 및 화석연료 등을 활용하게 되며, 이는 탄소발생의 주요 원인임. 따라서 건설재료·자재산업은 전형적인 탄소발생 산업으로 분류됨.

- 또한 건축물의 사용에 따라 소비되는 에너지는 국가 전체 에너지사용의 25%를 차지함. 에너지 사용의 증가는 의한 탄소배출의 증가를 의미하며 건축물의 에너지 저감 및 탄소저감을 위해 단열성이 우수한 단열재료가 사용되어야 함.
- 정부차원에서는 2030년 배출전망치 대비 37% 온실가스 감축이라는 국가적 목표를 위해 건축물 에너지 절약 설계기준이 지속적으로 강화하고 있으며, 제로에너지주택을 2025년까지 공급한다는 목표를 수립함.
- 제로에너지주택은 패시브 설계기술로 2014년 기준 에너지 소요량의 46%를 절감하고 액티브 기술로 에너지 소요량의 60%를 공급하는 것을 목표로 함.
- 패시브 설계기술은 건축물에 요구되는 냉난방에 대한 요구 에너지 부하에 대한 저감 기술로 최근, 건축물 에너지 절약 설계기준 강화로 우수한 성능의 단열재료가 요구됨.
- 이러한 탄소발생의 저감을 위하여 CO₂를 대량배출하는 건설재료의 CO₂ 저감기술, 에너지 효율을 증대하여 탄소를 저감하는 환경부하 저감형 건축재료, 건설재료의 발생 CO₂를 효율적으로 관리함으로써 CO₂ 저감을 실현하는 CO₂ 통합관리기술의 개발이 요구됨.

나. 연구개발의 중요성

(1) 기술적 측면

- 현재 전 세계는 기술발전의 가속 및 경제규모의 거대화, 지구온난화 방지를 위한 전세계적 협력체계 구축 등 글로벌화가 심화되고 있으며, 이는 건설분야에서도 글로벌화, 녹색건설 증대 및 기술혁신의 요구 대두
- 에너지절감 및 경제성, 안전성을 고려한 건설재료의 고성능화에 대한 수요자의 요구증대 및 첨단 건설재료시장의 진입을 위한 고기능 첨단 건설재료 기술개발 필요
- 탄소저감 콘크리트 기술은 향후 미래 시멘트 및 콘크리트를 대체하는 첨단기술로 시멘트 및 콘크리트 시장진출이 긍정적임.
- “CO₂ 활용 및 처리 건설재료” 기술분야에서 국내외의 기술수준은 차이가 있으나 아직 모두 기초단계 수준으로 적극적인 기술개발을 통해 세계 1위 기술선점이 가능할 것으로 판단됨.
- 2008년 국내 전체 CO₂ 발생량은 6.6억톤으로 콘크리트산업에서 약 10% 정도 발생하는 것으로 조사되었으며, 대부분의 CO₂는 시멘트 제조시 발생하는 것으로 알려져 있음. 따라서 콘크리트 제조시 시멘트 사용량을 줄이는 것이 CO₂ 발생량을 저감하기 위한 방법.

- 이를 위하여 고로슬래그 미분말이나 플라이애시 등의 혼화재료의 성능개선 및 콘크리트 배합 조정을 통한 시멘트량을 저감하는 방법으로 온실가스의 대부분을 차지하고 있는 CO2 발생량 감소시킬 수 있음.
- 산업부산물의 재활용 측면에서 현재에도 다양한 방법으로 콘크리트 제조시 고로슬래그 미분말이나 플라이애시를 사용하고 있으나, 이는 콘크리트 제조원가 절감의 측면에서 사용하는 것으로 이산화탄소 저감에는 큰 효과가 없지만, 콘크리트 생산에서 혼화재료를 대량(약 80% 이상)으로 사용할 경우에는 이산화탄소를 크게 절감할 수 있음.
- 시멘트의 제조공정은 원료 공정, 소성 공정, 마무리 공정의 3 공정으로 크게 나누어지며 이중 소성공정에서의 석회석의 탈탄산 및 소성용 연료의 연소에 기인하는 것이 온실가스 배출량의 약 90%를 차지함.
- 국내 시멘트산업의 경우 지속적인 설비투자로 세계 최고수준의 에너지 원단위 실현하고 있기 때문에 설비 효율 향상을 통한 온실가스 배출 저감에는 한계가 있음.
- 건설산업에서 가장 많이 사용되는 콘크리트는 성형성, 강도 및 경제성이 우수한 재료이지만, 취성이 강하고 인성이 부족하여 철근을 보강하여 사용하고 있는데, 시멘트 복합재 자체가 인장, 휨, 전단응력 등을 부담하고 콘크리트 자체가 균열저항성, 초고강도 및 고내구성을 지닌다면 동일 하중에 대하여 부재 단면을 크게 축소시킬 수 있음.
- 기존 기술수준은 Slag를 시멘트 대비 최대 40%를 대체하여 콘크리트에 적용하는 것이 가능하나, 이러한 수준으로는 최근 급격히 증가하고 있는 Slag 발생량에 대응할 수 없음.
- Carbon Negative 시멘트, 콘크리트 기술은 OPC의 CO2 배출공정인 하소공정, 클링커소성 공정을 Low CO2 하소 및 클링커소성의 신공정으로 대체하고, CO2를 다량 흡수하도록 만들어 최종적으로 CO2 배출량보다 CO2 흡수량이 크도록 설계된 새로운 개념의 기술
- 20세대 이상의 공동주택은 ‘국가 온실가스 감축목표 설정방안(’09.11월)’에 따라 2025년 제로에너지주택 공급을 목표로 단계적으로 에너지 의무 절감율을 상향조정해야하는 지금의 시점에서 “환경부하 저감형 건축재료 기술”은 에너지절감, 친환경, 경제성을 충족시키는 현 국가 패러다임에 부합하는 기술임.



[그림 1-10] 정부 에너지저감 건축물 추진 Road Map

- 낮은 단열성능은 최근 관심이 높은 에너지 절약에 대한 사회적 요구에 반하며 발생하는 결로현상 등은 주거환경을 저해하는 요인으로도 작용하고 있음
- 건축물의 경우, 에너지 소비는 전체 에너지 사용량 가운데 약 25%, 온실가스 배출량은 13%를 차지하고 있어 건물의 냉방 및 난방에너지 절감을 위한 건축물 열성능 향상이 필요함.
- 세계적으로 주택의 에너지 절감 및 탄소 배출 억제를 위해서 단열성능을 향상시킨 외피 시스템의 필요성은 지속적으로 확대될 것으로 전망함.
- 신소재 단열재, 단열공법, 경량복합 외피시스템 제조기술 등 시공성과 단열성을 모두 갖춘 고성능 외피시스템 개발에 필요한 기술은 대부분 국외 기술에 의존하고 있어 국내 적용확대에 어려움이 있음.
 - ※ 일본의 SEKISUI PLASTICS CO LTD, FUJIO CONSTR CO LTD 등 전문연구 기관에서 탄소저감 및 에너지 절감을 위해 단열 성능이 강화된 PC 콘크리트 판넬 제조 방법에 대한 특허권 등 원천기술을 확보
- 기존 PC공법은 시공성 향상 및 원가절감 측면에서 다양한 장점을 가지고 있으나, 열교 부위가 많아져 단열성능이 취약. 향후 저에너지 주택시장에 대응하기 위해 기존 PC 공법에 적절한 소재와 공법을 개발하여 단열성능까지 고려한 복합 외피시스템의 개발이 요구됨.
- 건축물에 약 70% 이상 사용되는 콘크리트는 구조안전성이 매우 높은 재료이나 중량(밀도 2.3t/m³)에 대한 문제점과 단열성능(열전도율 1.5kcal/mh℃)이 낮다는 단점이 있음.
 - ※ 구조체의 단열성능 부족으로 단열재 시공은 필수적이며 공기 및 공사비 증대와 결로현상 등 주거환경을 저해하는 요인으로 작용함
- 따라서 구체 단열성을 향상시킬 수 있는 구조용 단열콘크리트 개발 및 주거환경 개선을 위한 열전재료의 기술개발이 요구됨.
- 경량성과 단열성을 갖춘 구조용 콘크리트 개발은 정부의 ‘저탄소 녹색성장’ 및 국토해양부의 ‘친환경 주택건설기준 및 성능’에 부응할 것으로 판단됨
- 냉방기 등의 효율적 사용을 위한 건축재료 중 상변화물질 혼입 고효율성 도장재의 사용은 차열성능을 이용해 실내 쾌적온도를 기존 대비 장시간 유지시키고 냉방기 사용시 또한 잠열성능에 따라 작동정지 후 보다 장시간 유지시킴으로서 에너지를 효율적으로 활용할 수 있음.
- 에너지 절감소재의 중요성이 증대됨에 따라 단열성이 우수하고 시공이 간편한 단열도료에 대한 수요가 증가되고 있으나, 대부분 원천기술은 국외기술에 의존하고 또한 기술의 검증이 어려운 상황임. 따라서 실용화가 가능한 단열도료 개발 및 객관적인 성능평가가 필요함.

- 콘크리트계 내외장재는 빠른 시간내에 구조적 성능을 발현하기 위해 고온양생, 오토클레이브 양생 등의 양생과정을 거치게 되며 이 양생과정에서 온도와 압력을 증가시키기 위한 에너지가 소비되고, 이는 CO2 발생의 원인이 됨.
- 친환경 건설자재의 사용증대 및 탄소저감의 실현을 위하여 콘크리트계 내외장재의 양생과정을 최소화하기 위한 Low Energy Curing 내외장재 기술의 개발이 필요함.



[그림 1-11] 건설재료의 오토클레이브 양생

- 건설부문은 타 산업과의 연계효과로 인해 온실가스 배출유발이 큰 산업이므로 국가적 차원에서 기후변화협약에 대한 효율적인 대응을 위한 전략이 필요하며 산업 및 건설현장에서 이를 적용하기 위한 시스템 마련이 요구됨
- 그러나 국내 구축된 LCI DB는 환경부, 지식경제부, 국토해양부 세 기관에 의해 개별적 개발 및 관리중임. 국토해양부에서 개발된 DB의 경우 전담 관리기관이 부재하여 데이터 베이스의 갱신 및 신뢰성 개선에 어려움이 있음



[그림 1-12] 국가 LCI DB 문제점

- 건설자재의 탄소배출량을 평가하고 이를 정량화하기 위한 체계가 필요하며 이를 현장에서 적용하기 위한 시스템 마련이 요구됨.
- 주요 건설재료의 LCCO₂ 평가 및 저감기술은 현재, 개발착수 중이거나 기획 중이며 구체적인 국내기술은 아직 구축되어 있지 않는 상태임.
- 건설산업의 탄소저감은 저탄소 건설재료의 정확한 측정과 평가를 기반으로 하는 원천요소의 기술개발이 필수적이며, 건설재료는 전과정에서 다양한 조건들이 개입되기 때문에 복잡한 단계들을 환경영향에 따라 체계적으로 평가하는 기술이 요구됨.
- 국내의 모든 시설물은 18종의 설계기준과 25종의 시방서 등 총 43종의 건설공사 기준에 의거하여 건설되나, 현재 탄소저감형 재료에 대한 가이드 및 시방서는 극히 제한적이므로 시공 및 사용단계에서 탄소저감형 건설재료를 활용함으로써 국가적인 온실가스 배출저감을 위한 시방서의 개발이 시급히 요구됨.
- 탄소배출을 저감시킬 수 있는 방안으로 시방서, 기준, 지침 등을 모두 포함하여 제시 필요
- 탄소저감형 건설재료를 사용한 기술은 콘크리트 구성재료의 생산, 콘크리트 구조물의 설계, 시공, 유지관리 및 보수보강, 해체, 폐기 및 재활용의 전과정에 걸쳐서 검토필요.
- 국내에서도 건축자재를 위주로 구축되어가는 전과정평가 및 DB 구축을 시멘트 콘크리트를 사용하는 건설산업 전체로 확대하며, 향후 체계적으로 구축된 DB를 활용하여 환경에 미치는 영향의 정량화 기술개발이 가능함.

(2) 경제산업적 측면

- “탄소저감형 건설재료” 시장은 세계 건설시장에서 연평균 4.6~5.6%의 지속적인 성장이 전망되는 등 새로운 시장 패러다임에 부합하여 시장진출이 용이할 것으로 예상됨.
- 시멘트 및 콘크리트는 건설공사시 사용되는 주요 구조재료로 성능향상 및 천연자원의 대체로 인한 시공비용의 절감 및 에너지 저감성능 향상으로 에너지 비용저감 기대가능
- HVMA 콘크리트 기술개발은 CO₂를 저감함으로 정부의 저탄소 녹색성장 정책에 부합할 수 있으며, 유연탄 화력발전소의 부산물인 플라이애시를 전량 재활용함으로써 기존의 매립에 의존하던 석탄재를 콘크리트 재료로 사용하여 석탄재 매립지를 감소할 수 있고, 종국적으로는 화력발전소의 수명 연장이 가능함.
- 고로슬래그 미분말은 제철소에 발생하는 부산물로서 이미 콘크리트용 혼화재료로 사용하고 있으나, 시멘트의 일부만 사용하는 방법을 개선시켜 대량활용함으로써 플라이애시와 같이 산업부산물의 전량 재활용이 가능하며, 슬래그를 분쇄, 가공하여 생산하므로, 고

로슬래그 미분말의 성능개선을 통하여 고부가가치 수익창출이 가능한 제품임.

- 따라서 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 대량 사용하는 HVMA 콘크리트는 국내 레미콘 시장에서 10%를 점유할 경우, 시장점유 효과가 4,450억원/년 정도 기대 가능하며, 정부 정책에 부합하는 친환경 콘크리트로서 해외 친환경 건설재료 시장 진출 기대 가능.
- 신기능·건설재료·자재의 개발에 따른 비용증대로 경제성 고려시 사용 불가사례 발생, 적정수준의 기능성과 경제성을 동시에 만족하는 비정질 강섬유 소재 및 재료 개발 필요.
- 비정질 강섬유는 일반 강섬유를 제조하는 공정에 비하여 일부 과정 축소로 인하여 비용 절감 기대 및 환경부하 저감요구 충족하므로 에너지 saving에 따른 원가절감효과와 CO2 저감효과 기대.
- 연간 4천만톤 이상의 CO2가 발생하는 시멘트 산업의 수요처로서 건설산업의 탄소저감을 위해서는 Negative cement 원천기술 확보가 필요함.
- 에너지 다소비 CO2 대량발생의 시멘트 산업의 일부를 CO2 제로형 소재 개발과 동시에 이를 활용한 콘크리트 제품 개발을 통한 탄소세 및 에너지 절감 가능.
- 국가 저탄소 녹색성장정책에 따른 녹색건설의 중요성 인식으로 그린빌딩, 그 홈 등 에너지절감 고효율 건축물 설계 및 시공이 증대되어 “환경부하 저감형 건축재료” 시장이 증대되고 있으며, 이에 단열성이 있는 건축재료의 중요성 부각됨.
- “환경부하 저감형 건축재료” 기술은 건축물의 전생애주기(Life Cycle)에 걸쳐 에너지저감 및 탄소저감효과를 지속시켜 장기적인 건축물의 운용비용 및 탄소발생에 따른 환경비용 저감이 가능한 기술임.
- 정부에서는 2009년 10월부터 친환경 주택의 설계 및 성능평가 지침을 작성하여 친환경 주택(구, 그린홈) 건설기준을 시행하고 있으며, 건물에너지 효율 등급/친환경 건축물 인증제도를 도입하여 단계적으로 총에너지 절감목표를 수립하였으며, 2025년 제로에너지 의무화를 추진중임.
- 친환경 주택은 태양열 및 태양광 시스템, 지역 및 풍력 시스템 등을 이용하는 Active System과 고성능 외단열 시스템, 고성능 고기밀 창호, 폐열 회수형 환기 장치, 자연채광 시스템 등의 Passive system 기술 분야로 구분되며, 현재국내의 친환경 주택은 Active System에 치중되어 개발되고 있어 초기 공사비용의 증가가 수반됨.
- 따라서 경제적인 관점에서 그린홈 개발은 passive system의 적용이 필요하며 단열효율이 우수한 “환경부하형 건축재료”는 Passive System의 필수기술로 친환경 주택의 에너지 효율 및 공사비용, 유지비 저감에 기여할 것으로 판단됨.



[그림 1-13] 친환경 주택 연도별 에너지 저감 목표

- 따라서 경제적인 관점에서 그린홈 개발은 passive system의 적용이 필요하며 단열효율이 우수한 “환경부하형 건축재료”는 Passive System의 필수기술로 친환경 주택의 에너지 효율 및 공사비용, 유지비 저감에 기여할 것으로 판단됨.
- CO2 저감 및 에너지 절감 정책에 의하여 지속적인 시장 성장이 예상되며, 시장 점유 및 기술 적용 확대를 위해서 각 재료의 단열성능은 물론 내구성, 시공성이 검증된 기술개발로 실용화가 이루어져야 함.
- 기후변화에 따른 실내 쾌적온도 유지를 위한 건축 재료적 접근이 매우 필요한 시점이며 이러한 접근은 에너지 저감 및 CO2 저감으로 직접적 경제효과를 창출할 수 있음.
- 외벽 단열효과로 인한 에너지 절감은 약 150,000toe/년으로 기대되며, 단열에 의한 냉난방 에너지 및 무양생공정 내외장재 생산에 따른 연료 절감비용은 약 1,040억원/년으로 기술개발 효과는 긍정적임.
- 국가차원에서 데이터베이스를 구축하여 주요 사업체를 대상으로 에너지 소비량 및 온실가스 배출량을 집계하고 관리하므로 기업차원에서는 기업의 온실가스 배출량 감축을 위한 산업공정체계 개선 및 실질적인 기술개발이 요구됨
- 건설자재의 공급측면에서 생산을 위한 원료채취 및 가공에 투입되는 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출을 저감하기 위하여 자재의 생산 시 배출되는 온실가스에 대한 규명이 필요함
- 이를 통하여 건축자재의 생산공정 중 온실가스 배출이 집중되는 공정에 대한 분석을 수행할 수 있고 이는 궁극적으로 공정개선을 통한 온실가스 저감을 유도하는 기술개발을 촉진할 것임
- LCCO2를 저감하기 위한 건설재료의 정량적인 평가 기술을 통해 미래건설산업 전반의 경제성을 예측 전망할 수 있으며 이를 고려하여 지속가능한 경제성장을 도모함

- 급속하게 성장하는 탄소배출권 거래시장의 규모를 고려할 때, 탄소저감형 건설재료의 활용을 위한 가이드 및 시방서의 개발은 미래성장 동력으로서 국내 건설시장의 경쟁력 향상에 크게 기여할 것으로 평가됨.
- 콘크리트 구조물의 설계단계로부터 환경영향을 미리 예측하고 목표와 비교하여, 미리 설정된 환경성능에 대해 검증하는 과정을 반복하는 경우, 구조물의 전과정 측면에서 경제적인 효과를 창출할 수 있음.

(3) 사회문화적 측면

- 국내 건설산업 규모는 GDP의 17%인 117조에 달하며, 이중 38%의 비중을 차지하는 건설재료는 대량의 CO2 발생 및 에너지를 소모하는 산업부문으로 근본적인 대책 필요
- 2030년 BAU대비 30% CO2 저감을 위해서 건설산업에서의 CO2 저감 기술개발이 필요
- 우리나라의 총에너지소비량은 2009년 243백만toe에서 2010년에는 259백만toe로 6.6% 증가하였으며, 올해는 전년대비 3.4% 증가하여 대략 267백만toe가 될 것으로 예측.
- 총 에너지의 96%를 해외에서 수입하고 있으며, 에너지수입 비용은 총 수입액의 29%로 국가경제에 큰 부담으로 인식됨.

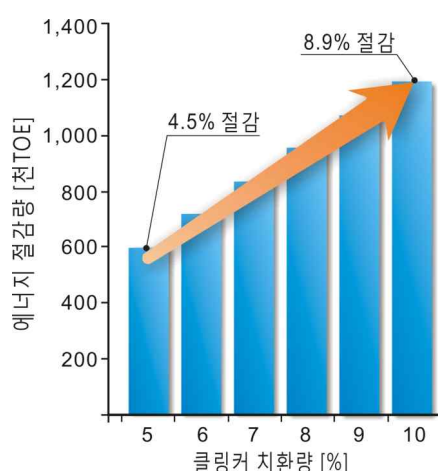


[그림 1-14] 부문별 온실가스 배출현황 (출처 : 에너지관리공단)

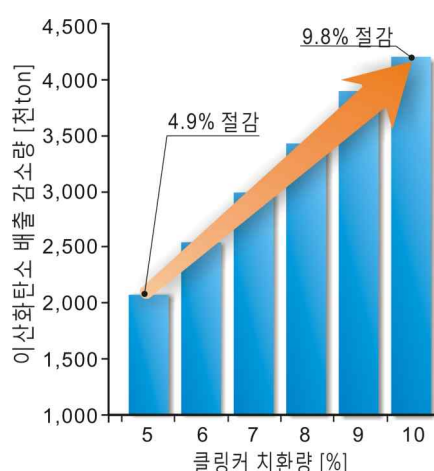
- 전 세계적으로 시멘트 산업에서 이산화탄소 배출량은 총 배출량의 5%에 해당하고, 우리나라의 경우는 전체 배출량의 8%정도를 차지하고 있기 때문에 전체 감축목표를 달성하기 위해서는 시멘트 산업에서의 이산화탄소 절감 노력이 절실히 필요함.
- 건설공사에서 중요한 재료인 콘크리트는 산업부산물인 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 대량 사용함으로써, 정부의 CO2 저감 목표 달성에 적극적으로 기여할 수 있으며, 특

히 건설공사에서 CO2를 대량으로 발생하는 시멘트와 콘크리트 분야에서는 CO2를 30% 이상 및 에너지 분야에서는 15% 이상 절감 가능

- 환경친화성을 고려한 건설재료 설계기반구축으로 중요한 건설재료인 콘크리트를 HVMA 콘크리트로 대체할 경우, 저탄소 녹색사회 실현.
- 비소성 혼합재 활용 CO2 저감형 시멘트는 시멘트분야의 획기적 에너지 소비량 절감 및 온실가스 배출량 감축(5% 추가 혼합의 경우)
 - 에너지 소비량 절감: 4.5% (600천 TOE 절감) 절감 효과
 - CO2 배출량 감소: 4.9% (약 209만톤 CO2 배출 감소) 감소 효과



a) 에너지 소비 절감량



b) CO2 배출 감소량

[그림 1-15] 비소성 결합재 활용 CO2 저감형 시멘트 기대효과

- 정부는 건축물을 최소기준으로 운영하면서 인센티브를 통한 높은 수준의 에너지절감 및 탄소저감을 유도하는 정책을 추진중임.
- 전 세계적으로 구조물 에너지 절감을 위한 제로에너지 주택의 건설과 Green 정책 도입이 시도되고 있으며, 이에 따라 우리나라도 정부의 저탄소 녹색성장 국정비전에 따라 2020 그린홈 100만호 사업 발표함.
- 에너지 효율화 등 에너지 효율적 사용을 위한 단열재료 및 내외장재 등의 건축재료 활용의 “환경부하 저감형 건축재료”가 필요함
- 정부에서는 2040년까지 2008년 기준 에너지 효율을 40% 이상 향상시킬 예정이며, 가정·상업분야에서 에너지 절감율을 최대한으로 향상시켜 주택 등의 에너지효율 향상을 위한 사회적 분위기가 지속될 전망이다.
- 따라서 건축물의 단열성 향상을 위한 “환경부하 저감형 건축재료”의 중요성은 매우 높은 상황임.



[그림 1-16] 국내 에너지효율 개선목표

- 건설재료 분야에서 전생애주기 온실가스 배출량을 산정하기 위한 방법론 및 재료별 온실가스 배출계수 등의 부재로 인하여 건축제품의 탄소라벨링을 위한 기초자료가 형성되어있지 않음.
- 건설재료의 탄소배출 평가기술 및 데이터베이스는 온실가스 배출량 산정의 객관성 및 신뢰도를 확보할 수 있도록 국가차원의 정립이 요구되나, 현재 전문성 및 대표성을 가진 국가 LCI DB가 구축되어있지 않아 건설 시 탄소저감형 건설재료의 선택기준이 부재함.
- 반 환경적 산업으로 인식되어온 건설재료에 대한 미래 LCCO2 배출량 예측에 근거한 환경부하의 정량적인 절감계획 수립 및 건설재료의 LCCO2를 고려한 최적설계 및 미래예측 기술 개발을 통한 탄소배출 저감관리 미래정책 수립 필요.
- 건설재료 LCCO2 평가기술의 발전을 통해 기업들에게 뚜렷한 산업발전방향 제안 및 법률 검토 가능.
- 저탄소녹색성장기본법, 친환경건축물인증제도 등 탄소거래정책에 대한 국가정책적인 요구성능을 만족시킬 수 있는 저탄소재료의 사용 가이드 및 시방서를 개발하여 건설시장의 탄소저감 재료의 활용 근거를 구축할 필요가 있음.
- 콘크리트 구조물의 전과정에 걸친 환경설계법을 도입함으로써 발주자의 환경에 대한 인식을 제고시키고, 건축가, 구조설계자 및 시공 관련 모든 건설 전문인력의 환경성에 대한 전문지식과 경각심을 높일 수 있음.



[그림 1-17] 건설재료 전과정 CO2 배출 평가 프로세스

3. 연구개발 범위

- “탄소저감형 콘크리트 구조재료 및 에너지 절감형 건축재료·자재 개발”은 1세부 CO2 배출저감형 건설구조재료 개발, 2세부 환경부하 저감형 건축재료 개발, 3세부 건설재료의 CO2 통합관리 기술 개발로 구성되며 각 세부과제의 구체적인 연구개발의 범위는 다음 <표 1-4>~<표 1-6>과 같음.

<표 1-4> 1세부 연구개발 범위

연구과제명	연구개발 범위	
HVMA 고강도 레미콘 실용화 기술개발 /HVMA SCC	최종 목표	- HVMA를 활용한 50MPa급 레미콘 제조기술 및 실용화 - 50MPa급 HVMA SCC의 개발 및 실용화
	연구 성과물	- 50MPa급 HVMA SCC - HVMA를 활용한 50MPa급 레미콘 제조 및 생산 - HVMA SCC 제조기술 및 기술지침개발 - 친환경적인 HVMA SCC의 등급화
	기술 성과수준	- 선진국과 동등 이상의 기술수준 확보 : HVMA 혼합률, 압축강도 및 내구수명 - 국내 레미콘 시장의 HVMA 콘크리트의 시장 진입
PC 제품용 고성능 무시멘트 콘크리트	최종 목표	- 구조용 고성능 무시멘트 콘크리트 개발 - 고성능 무시멘트 콘크리트를 적용한 PC 제품 실용화
	연구 성과물	- 고성능 무시멘트 콘크리트를 적용한 PC 제품 - 고성능 무시멘트 콘크리트 제조 및 품질관리 지침
	기술 성과수준	- 국내 무시멘트 콘크리트 제조 기술은 선진국 대비 50% 수준 - 고성능 무시멘트 콘크리트의 개발 및 실용화를 통해 국내 무시멘트 콘크리트 제조 기술을 90% 수준으로 증진
비소성 결합재 시멘트·콘크리트	최종 목표	- 비소성 결합재 활용 OPC/Blended Cement 개발 및 실용화
	연구 성과물	- 비소성 결합재 활용 OPC/Blended Cement 표준 (안) - 비소성 결합재 활용 프리믹스타입 모르타르 제품 - 비소성 결합재 활용 콘크리트(32MPa) 제조 기술 - 비소성 결합재 활용 섬유보강 콘크리트 제조 기술
	기술 성과수준	- 시멘트 제조에 있어서 비소성 결합재 활용 수준을 선진국 수준(20%)으로 증진 - 비소성 결합재 활용을 통한 CO2 9.8% 절감

연구과제명	연구개발 범위	
비소성 결합재와 자원 순환형 골재를 활용한 무시멘트 경량 콘크리트 개발 및 실용화	최종목표	- 비소성 결합재 및 자원 순환형 골재 활용 무시멘트 경량 콘크리트 개발 및 실용화
	연구 성과물	- 비소성 결합재와 자원 순환형 골재 활용 무시멘트 경량 콘크리트 적정 배합비 도출 - 비소성 결합재와 자원 순환형 골재 활용 무시멘트 경량 콘크리트 제조 기술 지침 및 품질 관리 지침
	기술 성과수준	- 비소성 결합재와 자원 순환형 골재 활용율 100% 무시멘트 경량 콘크리트 개발 - 비소성 결합재 및 자원 순환형 골재 활용 무시멘트 경량 콘크리트 (강도 30MPa, 밀도 1900 kg/m ³) 제조 기술 개발
에너지 저감형 비정질 강섬유	최종 목표	- 비정질 강섬유 혼입 및 슬래그를 사용한 마감모르타르 개발을 통한 CO ₂ 20% 이상 저감 - 비정질 강섬유 혼입 및 슬래그를 사용한 마감모르타르의 균열저감율 20%이상 향상, 부착 및 내구성능 향상 - 에너지 저감형 비정질 강섬유 이용 실용화기술개발
	연구 성과물	- 설계지침 등 성과물평가 2건 - 현장적용 보고서 평가 1건 - 에너지 저감형 비정질 강섬유를 적용한 주차장 바닥용 콘크리트 개발 - 에너지 저감형 비정질 강섬유 콘크리트 품질관리 지침개발
	기술 성과수준	- 비정질 강섬유의 실제 실용화를 통한 탄소저감형 건설재료 기술 확보 - 비정질 강섬유 개발로 세계시장 선점 기대 - 강섬유 등 강재 제조분야 CO ₂ 20% 절감 - 콘크리트 균열저감성능 20% 향상 - 고강도 강섬유 복합재 구성재료 산업부산물 대체율 30% 향상 - 비정질 강섬유 혼입 및 슬래그를 사용한 마감모르타르 개발을 통한 CO ₂ 20% 이상 저감 - 비정질 강섬유 혼입 및 슬래그를 사용한 마감모르타르의 균열저감율 20%이상 향상, 부착 및 내구성능 향상
고혼입 비정질 강섬유의 콘크리트내 분산 및 시공성 향상 기술 개발	최종목표	비정질 강섬유를 고혼입율로 보강한 콘크리트의 분산효율 증대, 확인 및 시공성 확보
	연구 성과물	비정질 강섬유의 효율적인 분산기술 - 비정질 강섬유의 분산성 평가기법 비정질 강섬유 시공성 확보기술
	기술 성과수준	비정질 강섬유를 고혼입율로 보강한 콘크리트의 시공성 확보 및 활용성 증대의 결과로서 CO ₂ 20% 감축

연구과제명	연구개발 범위	
Carbon Negative 시멘트	최종 목표	- CO2배출량 0%인 Carbon Negative 시멘트 개발
	연구 성과물	- Carbon negative 시멘트를 활용한 시제품 2건 (CO2 방출량 0kg CO2/시멘트 ton, 압축강도 32.5MPa) - Carbon negative 시멘트 및 콘크리트 제조기술
	기술 성과수준	- 세계적으로 개념 도입단계인 Carbon negative 시멘트·콘크리트 기술에 대한 기술 선점 및 원천기술 확보 - CO2 제로 배출형 Carbon negative 시멘트의 기술 확보와 Carbon negative 시멘트를 활용한 CO2 흡수형 콘크리트 제품 개발

<표 1-5> 2세부 연구개발 범위

연구과제명	연구개발 범위	
EEH 시스템 구축기술 개발	최종목표	- 공동주택에서의 열손실지수 30% 이상 저감된 에너지 고효율 실증하우스(EEH) 구축기술 확보
	연구 성과물	- 열손실지수 30% 이상 저감된 에너지 고효율 실증하우스 설계 및 시공기술
	주요 연구내용	- EEH 요소기술 분석 - 기존 공동주택 및 에너지 고효율 실증하우스 구축을 통한 EEH 설계·시공 기술 - 단열성능 예측을 위한 Simulation 기법 도입 및 평가 - 적용된 단열성능 향상기술의 장기간 monitoring
단열성능 향상 콘크리트 생산기술 개발	최종목표	- 열전도율을 보통콘크리트 대비 2배 이상 향상시킨 단열콘크리트 실용화 기술 개발
	연구 성과물	- 열전도율이 보통콘크리트 대비 2배 이상 향상된 단열 콘크리트 - 단열 콘크리트의 제조/생산설비 시스템 매뉴얼 1건 - 단열 콘크리트의 실용화 기술 매뉴얼 - 현장 시제품 1건(실증하우스 적용)
	주요 연구내용	- 단열성능 향상 콘크리트 개발(열전도율 2배 향상, 압축강도 24MPa 이상, 단위용적질량 2.0t/m ³ 이하) - 현장타설용 단열콘크리트 개발 - 단열성능 향상 콘크리트 양산을 위한 설비 개선

연구과제명	연구개발 범위	
공동주택 에너지저감형 건축자재(DB) 활용기술 개발	최종목표	- 에너지 저감형 건자재(창호, 단열재)의 성능 DB구축 - 공동주택의 외단열 설계, 시공 기준 제시
	연구 성과물	- 에너지 저감형 건자재의 성능 DB - 에너지 저감형 건자재의 설계, 시공 지침(지침) - 공동주택 외단열 설계 및 시공 지침
	주요 연구내용	- 단열형태별 열성능 시뮬레이션 - 에너지저감형 건자재를 선정하기 위한 DB 및 시스템 구축 - 공동주택의 외단열시스템 시방기준 및 설계지침 제안 - 공동주택 외단열시스템 에너지 소비 저감량 평가
LEC 내외장재 제조 및 공정기술 개발	최종목표	- LEC 내외장재 제조 및 실용화 기술 개발 - 저탄소 콘크리트 실용화 기술 및 기준 제정
	연구 성과물	- LEC 내외장재 배합기술 - LEC 내외장재 및 고성능 단열재료 생산기술 - 저탄소 콘크리트 성능 개선용 혼화재료 - 저탄소 콘크리트 KS / 표준시방서 안
	주요 연구내용	- LEC 생산을 위한 원자재 검토 및 배합 개발 - LEC 내외장재용 무기바인더 개발 - LEC 압출성형 패널 성능 평가 - 시멘트 사용량 저감에도 동일 요구 성능을 발휘하는 저탄소 콘크리트 제조기술 개발 - 저탄소 콘크리트 성능 개선용 혼화재료 - 저탄소 콘크리트 활성화를 위한 제도화 방안
고단열 복합 PC 외벽 시스템 개발 연구	최종목표	- 외벽체에서의 열교에 의한 에너지 손실을 줄이고 CO₂를 30% 저감 가능한 초경량 외피 시스템 개발
	연구 성과물	- 고단열 조립식 외피기술 - 설계 및 시공 메뉴얼 - TEST BED 적용
	주요 연구내용	- 에너지 저감 및 CO₂ 저감 가능 고단열 조립식 외피기술 개발 - 외장용 PC Wall 유닛 생산기반 구축 및 실증하우스 적용
고효율 에너지저감형 단열도료 실용화 기술개발	최종목표	- 상변화물질을 이용한 냉방 및 난방에너지 저감을 위한 복사 열 흡수 및 방출 에너지 저감 도료 개발 - 에너지절감효과가 5% 이상인 에너지저감형 단열도료의 개발
	연구 성과물	- 건물의 냉난방 부하 절감을 위한 친환경 에너지 절감 도료 시제품
	주요 연구내용	- 에너지 저감형 도료 개발을 위한 소재 개발 - 에너지 저감형 도료 성능 평가 - 도료 적용을 위한 상변화 물질의 소재 가공 기술 개발 - 상변화 물질을 혼입한 도장재료 개발

연구과제명	연구개발 범위	
LEC 압출패널과 단열재의 모듈화를 통한 단열성능 향상 패널 개발	최종목표	- 에너지 손실 최소화, CO ₂ 저감 및 시공성능을 높인 LEC 압출패널 + 단열재 모듈화 제품한 초경량 외피 시스템 개발
	연구 성과물	- LEC압출패널 + 단열재 모듈화 제품 구성 - 모듈화 제품 매뉴얼 및 시방서
	주요 연구내용	- LEC 패널+단열재의 모듈화 패널 개발 - 모듈화 패널 설계 및 시공 지침 제안
LEC 내외장재의 환경기능성 부여 및 실용화 기술개발	최종목표	- 내장재용 친환경·기능성 마감소재 개발 - 마감재 적합 모듈 개발
	연구 성과물	- 친환경·기능성 내장재용 내장 타일
	주요 연구내용	- 실내공기질 및 향균성능 향상을 위한 친환경, 기능성 소재 개발 - LEC 기능성 내장타일 특성 평가 및 시공 기술 개발 - LEC 기능성 내장타일 실증하우스 적용

<표 1-6> 3세부 연구개발 범위

연구과제명	최종목표	
건설자재 LCI DB 및 CO ₂ 통합관리시스템 구축	최종목표	- 건설재료 및 자재에 대하여 국제표준(ISO 14040s)의 요건에 맞는 전과정 목록(LCI) 데이터베이스 40개 개발 - 건설자재분야 탄소정보 활용도 향상을 위한 CO ₂ 배출 통합 관리시스템 구축
	연구 성과물	- ISO 14040s에 근거한 국가 LCI 데이터베이스 구축 표준 매뉴얼 개발 - ISO 14048(Data Documentation Format)에 근거하여 표준 데이터베이스 작성양식에 따라 DB 개발 - 탄소발자국 및 물발자국 관련 정보를 수록 - 건축 및 건설자재분야 LCCO ₂ 라벨링 제도 보완 - 건설재료 및 자재별 CO ₂ 배출원단위 및 환경성 정보 데이터베이스 활용 시스템 구축
	기술 성과수준	- 국제적 활용도가 가장 큰 LCI DB인 스위스 Eco-Invent 수준의 데이터 포맷 및 데이터베이스 개발 - 개별 자재의 환경성정보 및 마감부재의 조합별 인벤토리를 체계적으로 구축하여 웹페이지를 통하여 사용자들이 환경친화적인 자재에 대한 판단과 선택이 용이하도록 함

연구과제명	최종목표	
건설재료의 LCCO2 평가 및 탄소배출 저감관리	최종목표	- 건설재료의 생산, 사용 및 폐기분야에 따른 전 과정 CO2 배출량의 평가 및 저감 기술 개발
	연구 성과물	- 탄소저감형 건설재료의 온실가스 배출량 산정 지침 - 주요 투입원료별 및 주요 공정별 온실가스 배출계수 - 기존 국가 건축자재 환경성정보(LCI DB) 업데이트 DB
	기술 성과수준	- 세계 환경선진국 수준의 건설자재 전 과정 CO2 평가 및 저감 기술 확보로 건설분야 탄소저감 국가 정책 기여
탄소저감형 건설재료 활용을 위한 환경설계 및 녹색시방기준 개발	최종목표	- 저탄소 건설제품 활용을 위한 시방서 개발 - 저탄소 건설제품의 전생애주기에 걸친 환경영향 지표 제시 - 환경성능검증형 콘크리트 환경설계법 개발 - 건설현장의 환경관리 가이드라인 제시
	연구 성과물	- 탄소저감형 콘크리트 환경설계법 - 탄소저감형 건설재료 활용 녹색시방서 - 탄소저감형 콘크리트 시공기술 매뉴얼
	기술 성과수준	- 국제 수준의 가이드 및 시방서 개발 - 건설자재의 친환경적 사용 가이드라인과 재활용 및 재사용에 대한 방법과 실천사례를 정리한 매뉴얼 등을 공급하여 소비자의 의식을 고취하고 업체의 기술 수준 향상을 도모

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 관련기술 및 연구동향

가. CO2 배출저감형 건설구조재료 분야

- 한양대(2006, 2008)에서는 플라이애시와 바텀애시 등 석탄회 95%와 시멘트 5%로 구성된 결합재를 사용하여 알칼리 활성화제 및 양생조건 등에 대해 검토한 바 있음.
- 한국건설기술연구원(2008, 2009)에서 고로슬래그, 플라이애시 그리고 고로슬래그와 플라이애시의 조합, 그 외에 메타카올린, 석분, 유리분말 등에 대해 검토하였고, 이 연구에서 고로슬래그 기반 콘크리트에서는 시공성 향상 및 수축 저감 기술, 플라이애시 기반 콘크리트에서는 고온에서 반응성 향상기술(강도 70MPa), 상온에서 강도발현 기술(강도 30MPa) 등을 확보하고 있음.
- 전남대(2008) 등에서는 고로슬래그, 분말형 규산나트륨 및 경량골재를 사용하여 제조된 콘크리트의 역학적 특성을 평가한 바 있으며, 경량모래를 사용하지 않은 경우에는 91일 압축강도가 25MPa, 경량모래를 사용한 경우에는 3.4~16.5MPa으로 강도가 상당히 낮고, 건조수축도 크게 증가하고 있음.
- 전남대(2008) 등에서는 황토 기반 알칼리 활성화 콘크리트가 개발되었으나, 대부분 중합반응의 활성화를 위해 고온양생이 필요한 것으로 알려져 있음.
- 국내의 경우 시멘트산업의 온실가스 저감을 위한 방안으로 혼합시멘트의 사용증대와 관련된 일부 연구만을 수행하고 있는 실정이며, 신규 혼합재 추가 및 혼합재 사용 확대 관련 기술개발은 미흡한 실정임.
- 고로슬래그 및 플라이애시 등 산업부산물을 시멘트 대체로 활용하는 콘크리트 기술은 세계적인 수준에 도달했으나 Slag의 혼입률 40% 이상인 High Volume에 대한 연구와 기준이 마련되지 않아 실용화 미비
- 국내에서 무시멘트 기술에 대한 연구가 2000년대부터 이루어져 알칼리 활성화 고로슬래그를 사용하는 기술이 주류를 이루고 있으나, 구체적인 구조부재에 대한 적용 연구 및 실용화 기술개발이 부족한 실정임.
- 강섬유는 1960년대부터 연구·개발되어 1971년 미국 오하이오(Ohio)주의 트럭터미널에 처음 사용되었고, 국내에서는 1990년대초 서울지하철 공사에 처음으로 사용되었음.
 - 외국의 경우 도로, 터널 등의 토목공사 외에 공장·창고·주차장 등의 바닥에도 철근 대신에 사용되기도 하지만 국내에서는 비용문제 때문에 주로 터널공사위주로 사용되고

있음.

- 국내에서는 1990년대에 독일 기술진에 의해 부산 BEXCO 슬래브 공사에 적용하였으나, 외국기술에 의존도가 높아 적극적으로 도입이 되지 못하였음.
- 2000년대 들어 적은 공사기간에 우수한 평활도 및 고강도의 바닥이 요구되는 물류센터 및 자동화 창고건설이 활발해지면서 국내 기술진에 의해 기술이 도입되어 시공하고 있음.

○ 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.

○ 시멘트 산업에서 에너지 및 CO2를 절감하기 위하여 시멘트 modulus 조절 광화제를 활용한 저온소성 시멘트가 연구되어지고 있음.

○ 우리나라의 경우 이산화탄소 포집기술에 대한 검토는 하고 있지만 실제로 시멘트 공정에 적용한 예는 아직 없기 때문에, 세계적인 연구개발 추세에 맞추어 CCS에 대한 적극적인 검토가 필요함.

○ 따라서 적극적인 이산화탄소 감축을 위하여 혼합재 활용기술, CCS 기술 및 소성온도 저감기술 뿐만 아니라, 이산화탄소가 전혀 발생하지 않은 새로운 소재의 개발이 필요함.

○ Carbon negative cement 개발 및 활용기술에 대한 국내연구는 아직 시작단계이기 때문에 국내 업체의 보유기술이나, 구체적인 연구결과는 아직 없음.

<표 2-1> CO2 배출저감형 건설구조재료 분야 관련 기 수행 연구

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국내 업체 보유기술	(주)한일	지반 고화재	무시멘트 콘크리트를 적용하여 지반을 개량하는 기술
	KICT	무시멘트 콘크리트 배합 및 제조기술	고온 및 상온양생용 무시멘트 콘크리트
	(주)한일 시멘트	고활성시멘트 및 Semi-Belite시멘트 기술	초기강도 증진 자극제 개발 및 저온소성 세미 벨라이트 클링커 개발
	(주)고려 시멘트	저온소성기술	짙 광화제를 활용한 소성온도 저감기술

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국내 연구현황	한양대	석탄회계 지오폐리머 콘크리트 개발(2006년~2008년)	- 석탄회 95%와 시멘트 5%로 구성된 지오폐리머 콘크리트 제조기술
	전남대	바이오하우징연구사업단 (2005년~2015년)	무독성 친환경 재료를 이용한 공법 및 시스템 구축
	KICT	시멘트 제로 콘크리트 개발(2007년~2010년)	- 무시멘트 콘크리트용 결합재 개발 - 무시멘트 콘크리트용 활성화제 개발
	KICET	플라이애쉬를 사용한 비소성 무기결합재 제조기술 개발 (2004년5월~2006년4월)	알루미늄 실리케이트 활성화 기술 개발
	KICT	시멘트제로 콘크리트 기술개발 (2007년5월~2007년4월)	무시멘트용 활성화제 및 결합재 개발
	한국세라믹 학회	포틀랜드 시멘트의 물성에 미치는 혼합재의 영향	혼합재 활용 증대를 위한 시멘트 콘크리트 특성 기초 연구

나. 환경부하 저감형 건축재료 분야

(1) 에너지 고효율 주택(EEH) 관련 기술 및 연구

- 국내 건설업체가 최근 에너지 사용량을 획기적으로 줄이는 친환경 주택(본 연구에서는 에너지 고효율 하우스로 명명)개발에 경쟁적으로 나서고 있음
- 정부, 민간건설업체, 연구소등 에서 15개 이상의 에너지 고효율 주택 실증하우스 구축
- 국내에 에너지 절약형 주택개발의 시작은 2005년 대림산업이 경기도 용인에 기존 아파트 대비 냉난방 비용이 20~30%밖에 들지 않는 ‘3L(리터)하우스’ 를 처음으로 선보임
- 2009년 4월 에너지 절감형 주택 의무화 방안에 따라 아파트에 대해 에너지 효율등급 인증을 실시, 1등급 인증을 받은 건축물은 최대 15%까지 취·등록세를 감면
- 삼성물산은 지열을 이용한 냉난방시스템, 태양광발전, 이중외피시스템 등 68가지 친환경 기술을 적용한 ‘그린투모로우’ 주택을 2009년에 완공
- 대우건설은 2010년에 냉난방뿐 아니라 전력·급탕·환기에 들어가는 모든 에너지 소비율을 0으로 만든 ‘제너하임’ 을 선보임
- GS건설은 ‘지능형 전력망 기술(스마트 그리드)’ 을 적용해 실생활에서 사용하는 에너지

양을 줄이는 방법을 개발 중

- 공통적으로 외단열 시스템을 적용하였으며, 사용한 단열재의 두께는 대략 250~400mm이며, 열관류율 범위는 0.08~1.5W/m²K, 3중 기밀 시스템 창호를 공통적용



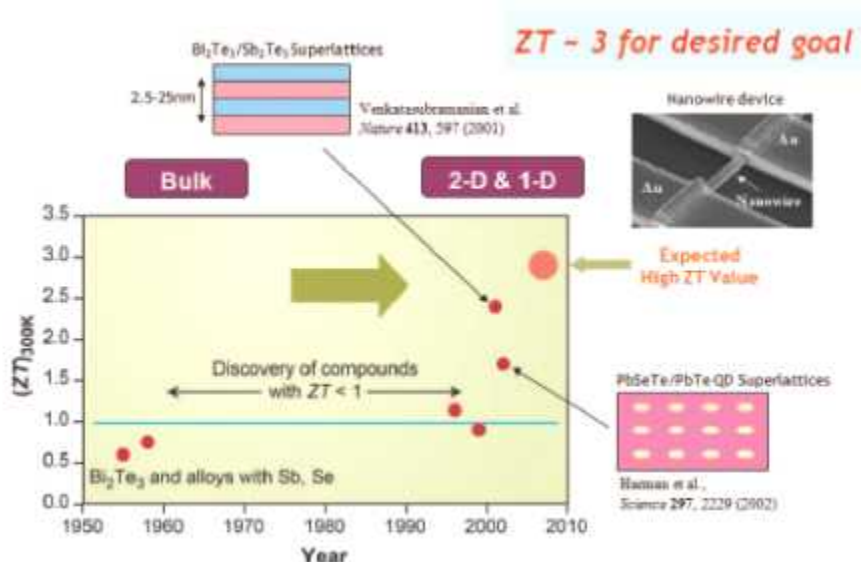
[그림 2-1] 각 건설사별로 건설된 에너지 고효율 주택

<표 2-2> 에너지 고효율 주택(EEH) 관련 기 수행 연구/사업

수행기관	연구과제명/사업	연구기간	주요 연구내용	발주기관
GS건설(주)	3Zero House 구축연구	2009~현재	친환경 지능형 주거	GS건설(주)
GS건설(주)	생활관 Micro-Grid 구축연구	2009~2011	신재생에너지 통합연구	GS건설(주)
에너지관리공단	그린홈 zero house	2009(완공)	시범단독주택	지식경제부
한국에너지기술연구원	ZeSH II	2009(완공)	실험용 단독주택	한국에너지기술연구원
삼성물산	Green Tomorrow	2009	실험용 단독주택	삼성물산
대우건설	제너하임	2010	체험주택	대우건설
대림산업	Eco-3L House	2006	실험용 공동주택	대림산업
한국건설기술연구원	HIP 그린홈	2010	시범단독주택	한국건설기술연구원
NH공사	그린홈 플러스	2010	친환경 공동주택	국토해양부
연세대학교 대림산업(주)	저에너지 친환경 공동주택 연구	2006.09 ~ 2011.05	공동주택 에너지 저감 연구	국토해양부
전자부품연구원	열조창호연구	2007.07 ~ 2012.06	열전도율 향상을 통한 에너지저감 연구	국토해양부
스마트그리드 연구단	스마트그리드 구축연구	2010~2030	건물 에너지효율을 최적화하는 시스템 개발	국토해양부
한국과학기술원	U-Space 구축기술	2008~2013	U-Space 기반기술 연구(에너지저감)	국토해양부

(2) 열전재료 관련 기술 및 연구

- 열전재료는 두 물질 사이에 전류를 인가함으로써 재료접합부 양단에 발열 및 냉각이 이루어지거나 역으로 두 물질간의 온도차에 의해 기전력이 발생하는 열전현상(thermoelectric)을 이용한 재료로 1950년대 Bi-Te계 열전소재가 개발된 이후 열전 성능지수가 상온에서 1 이하의 값으로 사용이 제한적 이었음
- 2000년대에 접어들면서 초격자 구조 혹은 양자 구속효과 등 나노소재 및 공정기술의 접목으로 열전성능 지수는 획기적인 개선을 보이고 있음
- 근래에 기존의 벌크재료 이외에 세라믹 oxides, Skutterudites, Clathrates, Half-Heusler 등과 같은 새로운 형태의 열전재료에 대한 개발이 수행됨.
- 실리콘 반도체, 미세구조 변경을 통한 금속의 반도체화, 산화물 반도체 등을 이용한 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
- 국내 열전재료 전문기업인 ACETEC은 가정용 와인 냉장고, 화장품 냉장고에서부터 산업용 온도 조절기에 이르기까지 다양한 분야에 열전 소자를 응용하고 있으며, 열전 소자의 효율을 높이기 위한 연구를 진행중



[그림 2-2] 실온에서 열전성능지수로 본 연도별 열전재료의 개발현황

- 한양대학교 이정호 교수 연구팀은 태양광 전지에 열전소자를 접목하여 태양 전지의 효율성을 향상시킬 수 있는 연구를 진행중
- 우리나라는 열전재료 분야에서 세계 5위권 수준이지만, 원천기술에서 미국, 일본에 뒤져 있음.
- 국내의 열전 관련 연구는 주로 Bi / Te계 화합물에 의한 냉각 / 가열 분야에 치중되고 있으며 주요 응용분야는 소형가전에 치중 되고 있는 상황임
- 건설산업에 실용적으로 활용하기 위해서는 재료자체의 효율성 향상 연구와, 적용가능한 형태의 자재개발 연구가 필요한 실정임

(3) 단열콘크리트 관련 기술 및 연구

- 비구조용 단열벽체 기술은 단열 성능을 비구조체에 적용이 많이 되어 있으나 구조체에 단열성능이 적용된 사례 및 기술은 없음
- 단열콘크리트 관련 기술 및 연구는 발포제에 의해 콘크리트 속에 무수한 기포를 골고루 독립적으로 분산시켜 중량을 가볍게 한 경량기포콘크리트와 경량골재 등 열전도율이 낮은 소재를 사용하여 열전달을 낮춘 콘크리트, PCM 등 신소재를 사용하여 열저장성을 높인 콘크리트 등이 있음
- 단열콘크리트의 연구는 수십년간 지속적으로 이루어져오고 있으나 슬래브 및 내부벽체 등 비구조용 부위에만 사용되는 한계를 나타냄
- 발포제에 의해 콘크리트 속에 무수한 기포를 골고루 독립적으로 분산시켜 중량을 가볍게 한 경량기포콘크리트는 경량성과 열전도율이 약 0.3(Kcal/mhr°C)으로 단열성이 높고, 가공이 용이하며, 내화성이 뛰어난 여러 가지 장점으로 주택의 온돌바닥의 소재로 널리 사용되고 있음
- 현 경량기포콘크리트는 낮은 강도와 높은 흡수성 및 건조수축의 발생량이 커 구조용으로 적용하기는 어려운 것으로 평가됨
- 경량골재 등의 소재를 사용한 콘크리트 등에 관한 연구는 상당히 이루어져 있으나 주목적은 경량화, 내화 등의 목적으로 본격적인 단열성능의 확보는 이루어지지 않은 실정임
- PCM 등의 신소재를 사용한 콘크리트의 연구는 매스콘크리트 등의 수화열에 의한 온도 균열을 억제하기 위한 수화열저감 기술로서 상변화물질을 활용한 연구가 진행되고 있으나 실용성이 낮은 것으로 나타남.
- 또한 PCM을 사용한 단열콘크리트에 대한 연구도 시범적으로 진행되고 있으나 경제성

측면에서 효율적이지 못한 것으로 평가되어 본격적인 기술의 실용화는 이루어지지 못한 실정임

- 종합하면, 비구조용 단열콘크리트의 연구는 수십년간 지속적으로 이루어져오고 있으며, 많은 연구개발 및 성과를 나타내었으나, 슬라브 및 내부벽체 등 비구조용 부위에만 사용되는 한계를 보였으며, 기존 연구 또한, 창호, 단열재를 통한 열관류율을 낮추기 위한 연구가 주를 이루었고, 콘크리트를 이용하여 건물 전체의(구조용 콘크리트 포함) 열관류율을 낮추기 위한 연구는 부족한 실정임

(4) 단열 PC벽체 및 외단열 관련 기술 및 연구

- GFRC(Glass Fiber Reinforces Concrete) 는 고강도 보강시멘트 패널이며 내알칼리성인 High-Zirconia Alkali-Resistant Glass Fiber를 3~5% 첨가하여 내구성을 증대시킨 재료로, 1969년 영국에서 개발됨.
- 국내에서도 일부 업체에서 제품을 생산하고 있으나, 대부분 외국과의 기술협약을 통해 제품을 생산하고 있어 국내 적용확대에는 비용측면에서 어려움이 있음.
- PC(Precast Concrete)를 이용한 고단열 벽체 시스템 기술분야는 국내업체로는 삼성 중공업이 주요특허 출원인으로서 원천기술을 확보하고 있는 실정임.
- 국내 일부 업체가, EPS단열재, 글라스울, 미네랄울 등의 외단열 시스템을 개발하여 적용하고 있으나 대부분 드라이비트를 이용한 습식공법으로 한정되어 있고 5층 이하의 저층 구조물에 적용하고 있으며, 주택시장이 가장 큰 5~30층 규모의 중저층에서는 시공성 및 경제성의 이유로 단열 PC벽체의 실적은 전무한 상태임
- 국내 외단열 공법은 주로 미국 제조사와의 기술제휴를 통하여 국내 시판하는 형식으로 도입되었으며, 단열재로 EPS보드를 사용하는 습식공법임
- EPS 습식공법은 건축물의 외벽 바탕면에 EPS보드를 접착하고 외부의 충격으로부터 단열재를 보호하기 위하여 단열재의 외측에 유리섬유 Mesh를 부착(함침)한 후 최종적으로 마감재를 바르는 방식으로 적용
- 이 후 외단열의 보급이 진행됨에 따라 유럽에서 사용되는 시스템 추가 도입 및 사용재료의 국산화 완료
- 최근 EPS 습식공법의 화재안전성, 구조안전성, 내구성, 내오염성 등의 문제에 대한 대체 공법으로 M/W, G/W을 적용한 건식, 습식, 반건식 외단열 공법의 개발이 진행됨
- M/W 습식공법의 경우 고정핀 및 스타터 트랙을 사용하여 구조적 안정성을 개선하고 내오염 도장 및 다양한 마감 디자인 구현이 가능하도록 하였으며, 단열재는 M/W을 사용하

여 방화가 요구되는 공동주택 고층부에 적용 가능

- M/W 반건식공법은 습식공법과 동일하게 단열재는 M/W를 사용하였으며 공동 주택의 고층부 적용을 목적으로 함
- G/W적용 건식공법은 석재나 대리석 마감재를 수직 수평부자재에 고정하는 방법의 공법으로 그라스울 단열재를 수직부자재에 삽입하는 구조로 단열재 절단이 없고 마감판넬 작업으로 인하여 공동주택의 저층부 적용하는 것을 목적으로 함
- 현재 국내에서 많이 적용되고 있는 습식공법의 경우 건식이나 반건식공법에 비하여 시공비가 저렴하다는 장점이 있지만, 완전 습식공법으로 시공되어 고층 공동주택 적용 시 작업공간 확보 등을 위한 가설구조물의 설치방법, 고층부 시공시 하층부의 오염우려 등의 시공성의 문제점 및 철저한 시공관리가 병행되지 않을 경우 품질 문제가 발생 할 수 있음
- 무기단열재를 적용한 습식공법의 경우 불연성이며 시공비용이 낮다는 장점이 있으나 EPS 보드를 사용하는 공법과 같이 마감재의 훼손 및 오염 및 장기적인 내구성 미확보 문제가 있음
- 반건식 공법의 경우 습식공법 대비하여 구조적 안정성을 확보하였다는 장점이 있으나, 시공비용이 높다는 단점이 있음
- 건식공법은 습식이나 반건식 공법에서는 부족한 다양하고 고급스러운 마감이 가능하며, 구조적 안정성 및 내구성 확보가 용이하나, 시공비용이 높음

(5) 건축 내외장재 관련 기술 및 연구

- 건축 및 건설용 전자재의 상당수는 시멘트를 주재료로 하며 대부분의 제품은 장기간의 양생 또는 조기생산을 위해 높은 수준의 열에너지를 소비함
- 이러한 전자재의 생산 에너지 저감(LEC)에 관한 직접적인 연구는 없었으며 혼화재료의 사용에 따른 양생조건의 변화 등에 대한 연구가 부분적으로 진행됨
- 국내 상압증기 양생을 통한 고강도 콘크리트 2차제품을 제조, 1차 양생만으로 2차 양생과 동일한 강도를 발현기술에 대한 연구는 실리카 흙 및 알루미늄이트계 혼화제를 이용하여 1차 양생에 의한 고강도 콘크리트 파일(HCP) 등이 있음
- 건축 내외장재 관련기술은 시공성의 향상 또는 고성능, 고기능성 부여를 중심으로 연구 및 기술개발이 이루어짐
- 국내기술은 주로 단열성능을 높이는 것보다 친환경적이고 조습능 흡착성능을 동시에 만족시킬 수 있는 기술개발에 집중함

- 기존에 많이 사용되던 스티로폼과 석면을 대체하여 인체에 무해한 물질을 사용하고, 불연성을 갖추기 위해 무기질 재료를 사용하려는 경향임
- 국내에서 내외장재의 석분 슬러지 재활용을 위한 연구는 단편적인 연구수행이 대부분이며, 사업화 진입 단계로 성공한 사례는 극히 미비한 실정임. 안정적인 석분 슬러지의 활용을 위해서는 대규모의 고정 설비구축이 요구되어 소규모 생산방식과 영세적인 규모를 갖추고 있는 것이 특징임.
- 국내 친환경 건축자재는 청정건강주택 건설기준의 시행(2010.12)에 따라 기술개발 및 연구 활성화의 초입 단계임.
- 건축 내외장재 제품에 각각의 개별기능(흡방습, 흡착, 항균, 항곰팡이, 실내공기질 개선 등)을 탑재한 일부제품은 있으나, 다기능성 복합제품 구현은 전무한 실정임.
- 또한, 최근의 기상이변 및 기후변화에 따른 실내주거 환경 악화로 인하여 항균 및 항곰팡이 적용 제품에 대한 소비자의 Needs 증가에 비해 대응 제품이 미비한 실정이며 관련 연구 Reference도 부족함.
- 국내 실내공기질 개선 및 항균소재 기술은 천연단백질의 복합소재, 유무기 복합재료 및 특수 처방기법을 적용한 마이크로 캡슐 Type 등 소재 및 적용기술의 초기단계에 있음.

(6) 단열도료 및 단열성 소재 관련 기술 및 연구

- 2000년대초 일부 페인트 업체에서 외국에서 단열 다공성 충전제 원료를 수입하여 단순 혼합하는 형태로 열차단 기능이 있는 도료가 도입되었으나 원료 및 색상의 불균일성과 취약한 내구성 등 성능에 문제점이 발생되고 있으며 외국사와의 기술제휴로 단열성능을 가진 페인트를 개발하였으나 독자적 기술개발에는 한계를 보이고 있음
- 따라서 바인더 합성, 단열성 부여, 필러의 분산, 색상의 다양화, 내구성 향상 및 외관제어 기술 등의 원천기술 확보가 시급한 실정임.
- 각사가 자체적으로 성능시험한 자료만 있을뿐 단열페인트의 성능평가를 위한 표준화된 시험방법이 확립되어 있지 않고, 객관적 비교 데이터도 갖추어 지지 않은 상태임.
- 국내 단열재시장은 무기 섬유질 단열재와 유기발포 단열재로 단순 양분된 상태이며 기존 단열재의 단점을 보완한 고품질 제품들이 개발되고 있음
- 비드법 2종 단열재는 비드법 1종에 대해 그라파이트, 탄소 등 성분 함유한 신소재로 그라파이트, 탄소 등 성분에 의한 복사열 저항효과와 마이크로셀 형성에 의한 셀내부 가스의 열저항 효과를 가짐
- 진공(VIP) 단열재는 주로 고급 냉장고, 보온용기 등의 단열패널로 사용되던 것을 내구성

과 시공성을 강화하여 고효율 건축용 단열재로 용도를 확대하고 있음

- 흡드 실리카(Fumed Silica FS)는 태양전지의 주원료인 폴리실리콘 생산시 부산물인 SiCl_4 를 이용하여 제조하며, 생산과정이 탄소와 전혀 관련없는 저탄소/친환경 공정으로 단열 성능이 일반 단열재의 8배 이상임.

(7) PCM 관련 기술 및 연구

- 국내에서는 난방을 위한 축열식 보일러에 적용될 수 있는 $65\sim 80^\circ\text{C}$ 의 상변화 온도를 갖는 상변화물질과 온돌 또는 실내난방 등에 적용할 수 있는 $20\sim 50^\circ\text{C}$ 상변화물질 그리고 냉방에 이용할 수 있는 $4\sim 10^\circ\text{C}$ 의 용점을 갖는 상변화물질에 주로 관심을 두고 기술개발이 이루어졌음.
- 최근에는 $25\sim 30^\circ\text{C}$ 에서 상전이하는 열저장용 상변화물질을 건축용 내·외장재로 활용하기 위한 기초연구가 수행되었음. 이는 주야간 외기온도의 변화에 따른 실내온도 변화를 억제하여 쾌적성을 유지하기 위한 passive적인 수단으로 상변화물질이 이용된 사례이며, 냉난방 에너지를 절감할 수 있는 것으로 보고되었음.
- 이와 함께 잠열 축열조의 설계 및 시스템 구성에 관한 기술적인 문제들도 있을 수 있음. 축열조 설계에 있어서는 열전달 유체의 온도변화에 따른 에너지 저장속도와 추출속도의 변화를 충분히 예상해야 하므로, 시스템의 설계변수와 요구조건, 그리고 주어진 제약조건에 따른 충분한 시뮬레이션이 우선적으로 요구됨
- 실내 쾌적온도 향상을 위한 상변화물질을 활용한 벽체 패널 연구가 진행되어 상변화물질을 이용한 차열 및 냉·난방기 on-off 조절에 의한 효율적 에너지 사용에 있어서는 매우 효과적인 기술로 평가되지만 시공 및 유지관리 측면에서 아직 문제가 있으며 경제성 등의 이유로 상용화 되지는 못한 실정임

<표 2-3> 환경부하 저감형 건축재료 국내 업체 보유기술 및 연구현황

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국내 업체 보유기술	삼성전자	화합물 반도체 열전재료 기술	벌크 소재에 대한 열전 성능지수 향상 (1.48)
	ACETEC	폐열 회수 발전 시스템	국내 열전 모듈 중 최고의 발전량
	삼성테크론	복합 기능성 열반사 단열재	폴리에스테르 장섬유층과 가교 발포폴리에틸렌 복합층

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국내 업체 보유기술	원코	투습방수 기능의 열반사 단열재	E-글라스파이버를 중심으로 고투습 알루미늄을 접합
	(주)케이씨씨	등록특허 제0816085호 비오염성 태양열 차단 단열 도료조성물	보로실리케이트 글라스, 실리케이트 세라믹 및 실리카 알루미나 세라믹 중에서 선택된 무기질 미립자를 적용한 도료 조성물
	삼화페인트공업 주식회사	등록특허 제0662602호 차열능을 가지는 방수재용 상도 조성물 및 이를 이용한도장방법	차열안료 35~45 중량%를 혼합한 열경화성 아크릴 수지를 포함하는 주제부와 이소시아네이트를 포함하는 경화제부를 부피비로 2:1 혼합 적용한 도료 조성물
	한국건설기술 연구원	폐지 활용 친환경 단열재	셀룰로스와 폴리프로핀계 수지를 혼합하여 수증기 발포방식으로 압출 성형
	한국테크윌	USA willisconstruction Co.,Inc와의 기술협약 Nippon NEG 기술협약	마감성, 내구성, 시공성, 의장성, 성형성 우수 경량화로 작업성 향상 및 원가절감
	삼성아코텍	압출성형경량콘크리트패널 생산 기술	경량성, 내화성, 차음성, 내구성, 시공성 향상 품질 및 작업성 향상/공기단축
	벽산베이스	경량 조립식 패널	경량성, 내구성, 안전성, 의장성, 마감성 우수 품질 및 작업성 향상/공기단축
	(주)SYC	건축용 복합기능형 나노다공성 세라믹 패널(내장용 타일)	무기소재를 사용, 수열합성법에 의한 패널 제조방법으로 복합기능성 나노 다공성 패널을 개발
국내 연구현황	한양대학교	열전 모듈을 활용한 태양전지 효율 향상	태양전지와 열전소자 접목
	대한토지 주택공사	장수명공동주택	내구성, 가변성을 만족하는 주택 기술 확보
	한국건설기술 연구원	건축물의 단열설계 및 시공 시스템 개발 연구	건물외피 단열성능과 관련한 설계, 시공의 적정성 확인을 위한 기술적 평가기법 개발, 설계, 시공 및 준공후 등 각 단계에서 단열성능 종합 성능평가기법 개발

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국내 연구현황	(사)대한건축 학회	폴리스티렌비드를 사용한 환경친화형 경량건자재 개발	폴리스티렌비드를 사용한 환경친화형 경량건자재 개발을 통해 복합적인 콘크리트의 성능 중 단열성능 부여
	콘크리트코리아	고성능 다기능콘크리트 연구	고성능 다기능 콘크리트 개발 및 활용기술의 연구 성과중 경량골재 콘크리트의 단열 성능 향상을 가져옴.
	대한주택공사	외벽의 단열성능 향상을 위한 적정 재료 및 공법 선정에 관한 연구	단열재료 및 공법의 실태조사 및 성능검토, 단열재료 및 공법의 개선안 작성, 개선안의 샘플시공 및 평가, 벽체유형별 단열재 적용기준 보완
	대한주택공사	고효율성 축열건자재 제조 및 이용기술 개발	시공성, 에너지 절감 및 실내 환경의 쾌적성 등이 부여된 국내 실정에 적합한 축열 건자재의 이용기술 개발
	(주)디오	내오염 성능을 가지는 고에너지 효율형 건물 피복용 단열도료 개발	내오염성 건물 피복용 단열도료
	알엔씨	고효율 적외선 반사 도료 상용화 기술개발	적외선 반사형 도료 개발
	한국세라믹 기술원	에너지 절감형 지능형 열교환 도료	에너지 절감 가능 열교환 도료
	한국건설기술 연구원	진공압출성형 시멘트 건축자재 및 그 성형방법 (특허)	시멘트, 규석분, 가소제, 세룰로오스 섬유등을 혼합하여 압출성형한 시멘트 건축자재
	충남대학교	탄소섬유 보강 콘크리트제 경량 외장 판넬 및 커튼월의 개발 연구	CRC 제조 기술 및 성형조건 최적화, CRC 판넬 시제품의 제조 및 성능 평가.

다. 건설재료의 CO2 통합관리기술 분야

(1) 건설자재 LCI DB 및 CO2 통합관리 시스템 관련 기술 및 연구

- 건축자재 및 건축물의 LCA에 대한 연구로 건축 분야에서는 건축자재의 LCA에 대한 연구, 건축물의 LCA에 대한 연구, 친환경건축물 인증제도에 대한 연구, 건축물 실내공기질 (IAQ) 관련 연구 등이 대표적임.
- 이러한 연구는 건축자재 단위에서부터 건축물 단위로 친환경성을 적용하고 평가하는 기술 및 제도를 포괄하는 것이며, 친환경성의 범위도 지구온난화, 오존층파괴, 산성화, 부영양화 등 지구환경과 관련된 부분에서부터 휘발성유기화합물(VOCs), 포름알데히드 방사량 등 거주자의 건강과 관련된 실내환경에 이르는 부분을 포함함.

〈표 2-4〉 건설재료 LCCO2 평가 및 CO2 통합관리 시스템 관련 기 수행 연구

수행기관	연구과제명	연구기간	주요 연구내용	발주기관
한국건설기술 연구원	친환경 건축자재평가 및 순환재활용기술	2000.1.~ 2000.12.	건축자재의 환경친화성 평가방법 정립	기관고유사업 (국무총리실)
한국건설기술 연구원	친환경 건축자재평가방법 제도화 방안 연구	2001.1.~ 2001.12.	환경친화성 평가방법의 제도화 방안	기관고유사업 (국무총리실)
한국건설기술 연구원	건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램개발연구	2002.12.~ 2004.12.	LCA에 의한 친환경 건축물 평가 기법의 적용	국토해양부
한국건설기술 연구원	친환경 건축물 인증제도 도입방안에 관한 연구	2002.5.~ 2004. 5.	친환경건축물의 성능지표 작성, 각 지표별 평가방법 개발	환경부
한국건설기술 연구원	국가 LCI DB 구축	2004.11.~ 2005.10.	13개 제품군에 대한 국가 LCI D/B 구축	국토해양부
한국건설기술 연구원	환경부 LCI D/B 개발 표준지침서 작성 및 LCI D/B 개발	2002.10.~ 2003.7.	LCI D/B 개발을 위한 표준지침서의 개발과 이를 이용한 데이터베이스 표준화	국토해양부
한국건설기술 연구원	환경부 LCI D/B 개발 및 LCA 소프트웨어(TOTAL) 개발 사업	2003.7.~ 2005.3	LCI D/B 모듈 개정, 전과정평가 소프트웨어 TOTAL 개발	국토해양부
한국건설기술 연구원	건설부문 온실가스 배출 분석연구	2006.6.~ 2006.12	건설분야의 온실가스 저감을 위한 대응 모색	국토해양부
한국건설기술 연구원	건축자재 환경성 정보 국가 DB 구축 사업	2006. 1.~ 2008. 6	국가 D/B의 구축, 환경경영체제 가이드 및 환경성정보 네트워크 시스템 마련	국토해양부
한양대학교	건축물 환경부하(LCCO2)평가 시스템 개발	2008.4.~ 2009.3.	건설재료 LCI DB 구축, 건축재료와 건설물 LCCO2 평가 기술 연구 및 시스템 개발	한양대

수행기관	연구과제명	연구기간	주요 연구내용	발주기관
한양대학교	이산화탄소 중립도시 구축을 위한 세부추진방안 연구	2008.9.~ 2009.9	행정중심복합도시를 탄소중립도시로 건설하기 위한 탄소중립 가이드라인 개발	행정중심복합 도시건설청
한양대학교	행복도시 첫마을 1단계 탄소중립 모니터링 연구용역	2009.5.~ 2009.6.	행복도시 첫마을 개발 사업의 친환경성능평가 및 개선방안	내공사
한양대학교	목적지향형 건축물 전 생애 환경부하 평가 프로그램 개발연구	2009.12.~ 2010.11.	건설재료, 건축물 구조별 LCI DB구축, 건축물 LCC02 평가 관리 시스템 및 프로그램 개발	(주)롯데건설
한양대학교	한국라파즈 석고보드를 이용한 건축물의 환경부하 및 경제성 평가 연구	2010.5.~ 2010.8.	석고보드를 이용한 장수명 공동주택의 전과정 CO2 평가 및 경제성 평가	(주)라파즈코리 아석고
한양대학교	콘크리트 산업 환경부하(CO2) 최적 설계 및 예측 시스템 개발	2010.5.~ 2013.4.	콘크리트 생산과정의 CO2 평가 기술 개발 최적설계시스템 구축 및 프로그램 개발	(재)한국연구 재단
환경부	TOTAL 프로그램 개발		재료 및 산업제품 환경성능평가	환경부
지식경제부	PASS 프로그램 개발		재료 및 산업제품 환경성능평가	지경부
한국건설기술 연구원	APESS 프로그램 개발	2005.7.~ 2008.6.	건설재료 및 건축물 환경성능평가, 친환경 건설재료 가이드 제공	국토부
환경산업 기술원	COOL 프로그램 개발		건설재료 및 건축물 환경성능평가, 성능인증 제공	환경부

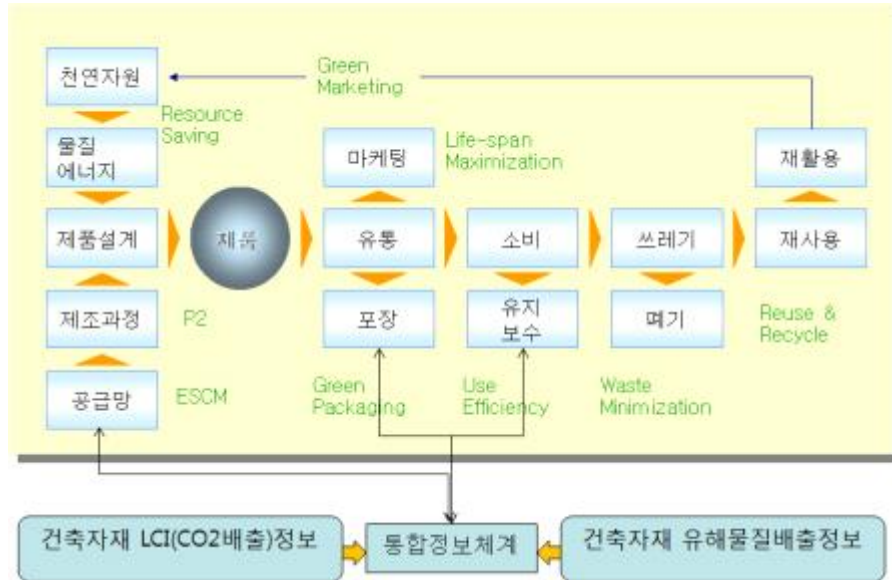
- 국내 LCI 평가 및 DB관리는 1990년대 후반 이후 환경부와 지식경제부를 중심으로 시행됨
- CO2 평가 및 LCI DB 관리는 1990년대 후반 이후 물질 및 제품, 서비스에 대한 환경영향 목록인 LCI DB(Life Cycle Inventory Database) 구축사업을 지식경제부 및 환경부 주관으로 추진하면서 시작되었음
- 국토해양부에서도 2005년부터 3년간 DB 개발사업을 추진하였으며 2010년 현재 지식경제부 및 환경부 관리 DB 450여개, 국토해양부 관리 DB 60여개를 개발 보급하였음
- 농촌진흥청에서는 식품의 안전성 확보 및 환경성 정보 제공을 위해 기초 농산물에 대한 국가 LCI DB 구축 사업을 2009년부터 진행하고 있으며 2010년 현재 약 30개의 농작물 및 농자재에 대한 LCI DB를 구축하고 탄소 성적을 산출하였음
- 식품의약품안전청 연구사업단은 2010년부터 ‘기후변화대응 식품안전관리 연구’를 통해 주요 식품에 대한 LCI DB구축 기반을 마련하여 식품업체별 제조, 보관, 유통에 따른 이산화탄소 발생량 정량화 연구를 수행함
- 환경부의 환경성적표지제도 전용 LCA 소프트웨어인 TOTAL (Tool for type III labelling

and LCA)를 제공하고 있으나 제조업에 국한되어서 건설재료를 적용하기에는 어려운 점이 있음.

- 건설재료의 고급화, 다양화, 고기능성화, 친환경제품화 등으로 인하여 건설재료의 시장규모는 중장기적으로 증가하며, 새로운 건설재료들 각각에 대한 지속적이고 체계적인 LCCO₂ 평가의 필요성 역시 증가할 가능성이 높음.
- 탄소성적표지제도의 법적 근거는 환경부고시 제2009-86호이며 탄소성적표지인증을 획득한 제품 및 서비스는 2011년 1월 현재 500여개에 이름. 이 중 건축자재나 관련 제품에 대한 인증도 증가하는 추세임

(2) 건설재료의 LCCO₂ 평가 및 탄소배출 저감관리 관련 기술 및 연구

- 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 있으며, 이들 중 영국과 일본, 스웨덴은 정부 주도이거나 정부의 지원하에 운영되는 제도이고, 미국은 공공의 성격을 가진 스텐포드 대학의 비영리기관에서 운영하고, 스위스와 프랑스는 대형 민간업체에서 직접 운영하고 있음
- 탄소라벨링제도의 운영을 통하여 장기적으로는 탄소저감 건설자재의 공급망시스템(SCM)을 구축하고 저탄소 건설자재가 시장에 공급될 수 있는 시스템을 마련하기 위한 것임



[그림 2-3] 저탄소 마감자재 공급을 위한 SCM

- 저탄소 건설자재의 적용확대를 위해서 필요한 기술은 공급망시스템(SCM) 구축, 저탄소 건설자재 정보체계구축, 저탄소 건설자재 인증제도의 운영 등이 필요함
- 저탄소 건설자재 인증제도는 건설자재의 특성을 반영한 탄소라벨링 제도와 유사함. 이에 대한 사례로는 독일의 AUB, 영국 BRE에서 운영하는 Environmental Profile 등이 있으며 2000년대 초반 시행 된 이후 많은 자재가 인증을 획득하고 있음
- 건설자재의 탄소저감 및 시장에서 활용확대를 위해서는 건설자재의 특성이 B2B(Business to Business)인 점을 감안하여 접근되고 있음. 즉, 건설자재는 소비자가 직접구매보다는 설계자 및 시공자 단계에서 구매결정이 나기 때문에 공공의 개입이 필요한 부분임

(3) 탄소저감형 건설재료 활용을 위한 환경설계 및 녹색시방서 관련 기술 및 연구

- 저탄소녹색건축물과 관련된 기술을 미래성장동력으로 인식하고 친환경/에너지 고효율 건축물로의 유도를 위한 인증제도를 도입하여 시행하고 있으며, 온실가스의 관리를 위해 제품의 탄소배출량 등을 표시하는 탄소라벨링 제도 등을 운용 중임
- 국내 탄소성적 표지제도는 2001년부터 시행중인 환경성적표지제도의 제도적 기반하에 개발 및 운영되고 있으며 탄소배출에 국한하여 인증을 부여함
- 탄소성적표지제도의 법적 근거는 환경부고시 제2009-86호이며 탄소성적표시인증을 획득한 제품 및 서비스는 2011년 1월 현재 500여개에 이름. 이 중 건축자재나 관련 제품에 대한 인증도 증가하는 추세임

〈표 2-5〉 건설재료의 CO2 통합관리기술 국내 업체 보유기술 및 연구현황

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국내 업체 보유 기술	에코시안	건설제품환경, 친환경공급망 관리 및 컨설팅 기술	해당기술 관련 DB 축적, 탄소경영 가이 드라인 개발 및 적용을 통해 전 과정평 가시스템을 통한 경영전략 수립
	에코네트웍	탄소라벨링, 기후변화(CDM), 에코디자인	탄소라벨링 (평가 및 인증), CDM (inventory 구축 및 평가와 검증), LCA 기술을 이용한 환경성적평가, 인증 (환경성적표지제도)
	스마트에코	건설재료, 건축물의 온실가스 목표관리 및 친환경설계 기술	건설관련 재료의 생산, 시공, 운영에 관 련하여 온실가스를 평가 및 저감관리 기 술
	한국건자재시험 연구센터	건설관련, 건설재료의 성능평가 기술	건설재료 LCI DB 구축 기술 건설재료 LCC02 평가 기술
	한국건설기술 연구원	건설재료 및 건축물의 성능평가 기술	건설재료 LCI DB 구축 기술 건설재료 및 건축물의 LCC02 평가기술
국내 연구 현황	교육과학기술부	이산화탄소저감 및 처리기술개발사업 (2008~2012)	발전소 및 제철소 등의 CO2 배출량의 분 석을 통해 분리/저장기술의 개발 이를 통한 CO2 저감 및 관리기술 개발
	지식경제부	건설안전 및 친환경 건자재표준화 기반구축	건설재료의 친환경성 및 안전성능 평가 고기능성 건설재료의 시공기술, 건설재료 관리 및 표준화
	지식경제부	기능성/친환경 건자재 성능평가 기술개발 및 표준화(2007~2010)	신공법 건설재료의 성능평가 기술 저감평가 및 관리 시스템 구축
	지식경제부	국가 LCI Database 구축(2004~2011)	자원순환 및 산업에너지기술 개발보급사 업의 일환으로 산업제품의 LCA를 위한 표준 DB 구축
	국토해양부	건축자재 환경성정보 국가 D/B 구축사업 (2005~2008)	건설교통R&D정책인프라사업의 일환으로 건설재료에 대한 환경성정보의 DB구축과 프로그램 및 네트워크구축.이를 통한 건 설재료 환경성정보 인증제도 마련
	환경부	국가기반산업/기초소재 별 국가표준 환경성 정보(LCI INFRA D/B)구축 (1998~2001)	환경성정보 DB의 표준화된 방법론 개발, 국내 환경성정보 DB 구축

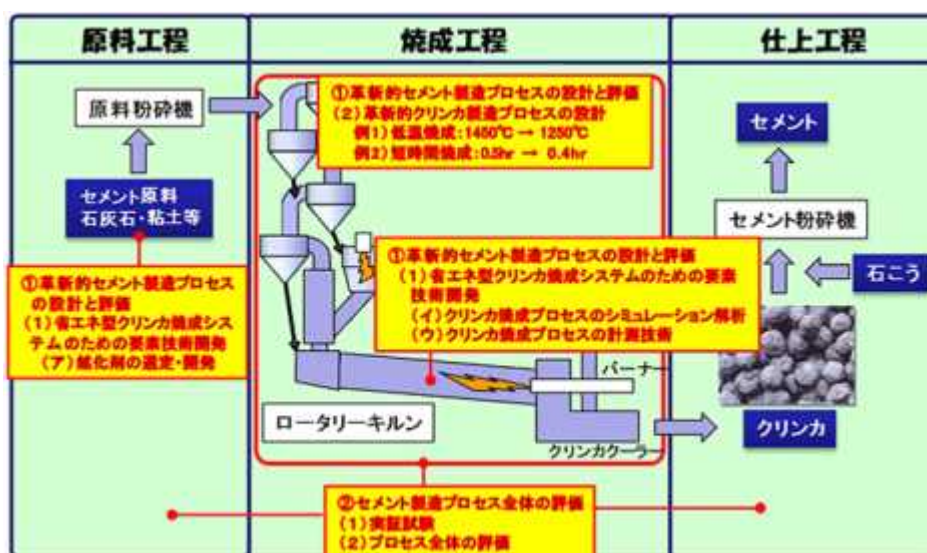
2. 국외 기술 및 산업 동향

가. CO2 배출저감형 건설구조재료 분야

- 1939년 R. Feret에 의해 슬래그가 콘크리트의 혼화제로 처음 사용이 시도되었고, 1940년에는 A. O. Purdon이 고로슬래그를 이용한 알칼리 활성화의 가능성을 보여주었음. 1959년에 Glukhosky가 최초로 알칼리성 시멘트의 이론적 근거를 마련하고 개발하여 주로 고로슬래그를 중심으로 수화반응을 활성화하기 위한 알칼리 활성화제의 개발 및 초기 급결 문제의 완화 방향으로 발전
- 1978년에는 프랑스의 Davidovits가 시멘트를 전혀 사용하지 않고 카올리나이트 광물질을 사용하여 중합반응(polymerization)에 의해 알칼리 활성화 콘크리트가 개발되었으나, 제조상의 문제와 경제성 등의 이유로 인해 연구가 이루어지지 않았음.
- 2000년 이후 환경문제가 사회적으로 이슈화됨으로써 2001년 미국에서는 ‘Vision 2030 : A Vision for the U. S. Concrete Industry’ 에서 친환경 콘크리트를 만들기 위한 계획을 발표하면서 본격적인 연구를 시작하였고, 호주에서는 2001년부터 ‘Low-Calcium Fly-Ash Based Geopolymer Concrete’ 프로젝트를 수행하기 시작하여 개발, 제조, 활용 기술 개발을 목표로 활발한 연구가 진행되고 있으며, 이밖에도 일본, 유럽 등 여러 나라에서 플라이애시, 고로슬래그 등 산업부산물을 이용한 알칼리 활성화 콘크리트 연구가 활발히 진행되어 일부 실용화가 이루어지고 있음.
- 최근 중국에서도 고로슬래그 및 석탄회를 활용한 무시멘트 콘크리트 관련 연구가 활발히 진행되고 있으며, 일부 블록 등 제작기술을 개발하여 현장적용 수준에 이르고 있음.
- 현재 고로 슬래그계 무시멘트 콘크리트 제조기술의 최고 기술보유국은 호주이고, 석탄회계와 천연 재료계는 프랑스, 구조부재 활용기술은 프랑스, 호주로서 전반적으로 무시멘트 콘크리트에 대한 최고 기술보유국은 프랑스와 호주로 분석
- 현재 HVMA 콘크리트 관련 사업을 수행하는 업체는 전 세계적으로 거의 없음. 그 중에서 Geopolymer Institute이라는 조직이 무시멘트 콘크리트 기술을 주도해 가고 있으며, 호주의 Wopfinger사의 SLAGSTAR 제품도 무시멘트 콘크리트 일종으로 현장에 적용하고 있음. 그러나 이들 업체는 관련 서적 판매, 관련 제품의 샘플 판매 그리고 학술활동 등을 수행하고 있으며, 아직까지 HVMA 콘크리트로 본격적으로 사업을 수행하는 업체는 없다고 볼 수 있음.
- 따라서 HVMA 콘크리트에 대해 집중으로 투자해서 기술개발이 이루어질 경우에는 국내 적용은 물론 해외시장에서도 충분히 기술을 선도할 수 있을 것으로 판단됨.
- 일본의 경우 시멘트산업의 온실가스 저감을 위하여 태평양시멘트 등 일본 주요 시멘트

관련업체가 참여하는 정부 주도의 “혁신적 시멘트 제조 프로세스 기반기술 개발” 연구개발 프로젝트 실시(2010년 ~2014년)

- 광화제 첨가 등에 의한 시멘트 소성온도 저하 기술, 소성 프로세스 시뮬레이션 기술 및 킬른 내부 상황 계측기술을 이용한 광물조성 변화와 소성과정 고도화 등 다양한 에너지 절약 기술 융합화를 통한 혁신적 시멘트 제조 공정 기반 기술 개발



[그림 2-4] 혁신적 시멘트 제조 프로세스 기반기술 개발(일본, 2010~2014)

- 캐나다의 경우 국가표준 CSN/CSA-A5에서 1980년대 초반부터 포틀랜드 시멘트에 석회석을 5%까지 혼합재로 사용할 수 있도록 규정함.
- PCA는 포틀랜드 시멘트에의 석회석 활용 증대를 위한 “The use of limestone in Portland cement” 보고서 발간
- 1998년 日本コンクリート工学会(일본 콘크리트공학협회)는 석회석 미분말 연구위원회를 통해 석회석 미분말의 시멘트 적용 가능성 연구
- 日本セメント協会(일본 시멘트 협회)는 2001년 석회석 미분말 전문위원회를 통해 Limestone Filler Cement를 활용한 모르타르 및 콘크리트의 유동성, 강도발현성, 내구성 등에 대한 연구 수행
- 강섬유는 1960년대부터 연구·개발되어 1971년 미국 오하이오(Ohio)주의 트럭터미널에 처음 사용되었음.
 - 일본은 스틸파이버를 이용한 차세대 고성능 콘크리트(UHPC) 실용화에 프랑스와 함께 이 분야에 대하여 선도하고 있음.
 - UHPC는 프랑스에서 개발되어, 유럽, 캐나다, 미국 등의 순으로 보급
 - 1997년 캐나다의 Sherbrook 보도 교량이 최초로 시공, 2002년 10월 일본의 태평양 시

멘트 회사가 사카다미라이교 완공

- 2002년 이후, 유럽과 미국에서 UHPC를 이용한 다양한 구조물의 시공되었고, 새로운 구조물에 대한 장기간의 모니터링을 동시에 실시하고 있으며, 이에 대한 설계기준을 마련
- 2002년 네덜란드에서는 해수 유입을 막는 게이트의 뒷면 트러스를 UHPC로 제작하여 강재를 대체하는 구조물로 적용
- 2003년 호주의 Sherlly Creek에 최초로 [그림 2.5]와 같은 차량교량이 단경간 19.6 m의 경간으로 건설
- 2004년 캐나다의 켈거리 경전철역을 UHPC를 이용하여 시공, [그림 2.6]에서 보는 바와 같이 종래의 콘크리트로서는 구현할 수 없는 형태의 쉘구조물을 시공
- 독일은 노후화된 44 m 2경간 콘크리트 박스거더 교량을 바닥판을 UHPC로, T형보는 고강도콘크리트로 합성된 교량으로 대체하는 작업을 2003년부터 기획하여 세부적 설계를 거쳐 2006년에 준공을 목표로 계획함.
- RPC를 개발한 프랑스에서는 초기에 구조 부재보다는 방음벽과 같은 비구조 부재에 주로 적용하였으나 현재는 2개의 고속도로 교량을 UHPC로 시공
- 미국의 McLean에 있는 미연방고속도로관리(FHWA)의 Turner-Fairbank 고속도로연구센터(TFHRC)는 UHPC의 적용성을 시험 중이며, TFHRC의 후원으로 Iowa주는 UHPC를 사용한 교량을 2005년 시공



[Sherlly Creek 교량에 거치된 UHPC I형 거더]

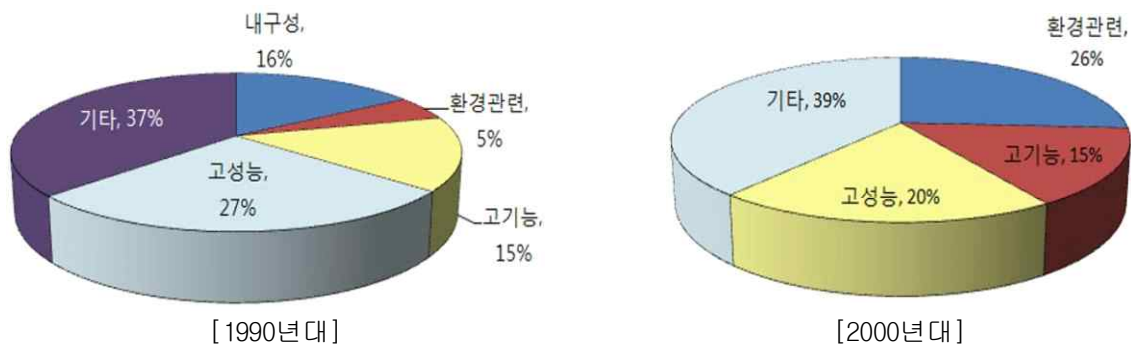


[UHPC로 시공한 캐나다 켈거리의 경전철역]

[그림 2-5] UHPC를 적용한 사례

- 2000년 이후, 환경문제가 사회적으로 이슈화됨으로써 2001년 미국에서는 ‘Vision 2030 : A Vision for the U. S. Concrete Industry’ 에서 친환경 콘크리트 계획을 발표하면서 알칼리활성화 시멘트에 대한 본격적인 연구를 시작함.
- 플라이애시를 사용한 경우, 상온에서는 강도발현이 30MPa을 넘지 못하는 수준으로 중합반응의 활성화를 위해서는 고온양생이 필요하나 아직까지 알칼리 활성화제, 양생온도와 양생시간에 대해 체계적으로 한 연구미비

- 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 2-6] 일본의 시멘트 콘크리트 관련기술 연구개발 동향 변화

- 시멘트 산업에서 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 연구가 전 세계적으로 진행되고 있으며, 고효율의 설비를 도입하고 대체연료 및 혼합시멘트의 활용 그리고 CCS 시스템을 도입하는 등의 노력을 기울고 있음.
- CO2 저감을 목적으로 혼합시멘트 활용하는 방안이 있음. 혼합시멘트를 적극 활용하기 위하여 국가 규격의 차이에 따라 유럽 및 캐나다 등에서는 혼합재 함량을 최대 95%(EN197-1 등)까지 허용하고 있을 뿐만 아니라, 허용 및 석회석 혼합시멘트 등 다양한 혼합시멘트가 규정되어 있음.
- 일본 등에서는 1종 보통포틀랜드시멘트의 첨가제 함량을 5%에서 그 이상으로 증량하기 위한 연구가 시도되고 있기도 함. 첨가제 함량을 증대시키기 위해서는 시멘트 물성을 저하시키지 않는 다양한 방법(예 : 자극제 적용 및 EMC 기술 활용 등)이 선행 개발되어야 하며, 또한 첨가제 종류/함량 등에 대한 구체적 연구 및 이에 따른 KS 표준(KS L 5201 등) 제·개정이 협의되어야 함.
- 유럽, 미국 등을 중심으로 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 적극적인 방법으로 최근 Oxy-fuel technology, Post-combustion technology를 이용한 CO2 capture and storage(CCS) 시스템을 적극적으로 검토하고 있으며, 2050년도까지는 전 세계 시멘트 공장의 절반을 CCS로 운용하려는 기본 계획이 있음.
- 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.

○ 세계 최대 시멘트 제조사인 Lafarge사에서 novacem 시멘트에 대한 투자를 2010년 9월에 체결하였으며, 공동판매 및 평가를 진행중

<표 2-6> CO₂ 배출저감형 건설구조재료 국내 업체 보유기술 및 연구현황

기술/연구	보유업체/연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국외 업체 보유 기술	Geopolymer Institute(프랑스)	석탄회 무시멘트 콘크리트	고온에서 석탄회 활성화
	Wopfinger(호주)	고로슬래그-황산염계 무시멘트 콘크리트	황산염 활성화제와 고로슬래그 이용한 기술
	Lafarge(프랑스)	석회석 혼합시멘트 생산기술	석회석 35% 혼합 시멘트 제조
	Novacem(영국)	Carbon negative cement	마그네슘실리케이트를 활용한 시멘트 생산
	Calera cement (캐나다)	Magnesia cement	석회석과 마그네사이트 등을 혼합한 시멘트 기술
국외 연구 현황	Curtin 대학 (호주)	저칼슘 플라이애시 기반 Geopolymer 콘크리트(2000~현재)	- 배합 및 제조기술 - 장기거동, 구조부재 활용성 평가 - 고온에서 50MPa
	Yamaguchi대학 (일본)	상온에서 지오폴리머 제조 기술(2000~현재)	- 플라이애시+석영+ 산화철+쇼돔실리케이트 등으로 중합반응 - 온습도 조절 건설자재 개발 - 상온에서 20~30MPa
	Monash대학 (호주)	고로슬래그계 무시멘트 콘크리트 제조기술	- 배합 및 제조기술 - 장기거동 및 내구성 평가 - 50~70MPa
	태평양 시멘트	시멘트 온실가스 저감 기술	광화제 선정 및 개발을 통한 시멘트 소성온도 저하 기술
	동경공업대학	ECM 시멘트 · 콘크리트술 (2008년 5월 ~ 2010년 월)	이산화탄소 저감 시멘트기술

나. 환경부하 저감형 건축재료 분야

(1) 에너지 고효율 주택(EEH) 관련 기술 및 연구

- 다양한 형태의 Zero Carbon House/Complex에 대한 실증 및 monitoring 연구가 진행중으로 영국 베드제드(BedZED) 생태주거단지, 스웨덴 하마비 등이 있음



[그림 2-7] 15년간 개발된 Zero Carbon House/complex

<표 2-7> 제로하우스 환경부하 저감형

구분	베드제드(BedZED)	하마비
개요	- 런던시 서튼지역 16,500㎡, 100호 규모(200여명 거주)로 조성(2000~2002) - 가동이 중단된 오수처리시설 부지에 친환경·탄소중립 커뮤니티 공간 조성 - Peabody Trust(사회주택공급자), BioRegional Development Group(사회적 기업: 자선 NGO), Bill Dunster Architects(설계) 공동 추진	- 스톡홀름 도심 남쪽 5km(8,000호, 17,500명) - 개발기간 : 1992년~2015년 - 개발방식 : 스톡홀름 시정부가 개발계획 수립, 시정부 및 스웨덴 교통부 개발비용 조달 : 토지 및 건축물은 시정부 소유, 주민들은 임대(주거 권한만 보유)
주요 특징	- 태양열 등 다양한 신재생 에너지 도입 - 우수 및 중수 이용 극대화 - 저탄소 녹색교통 시스템 구축 - 저탄소 에너지 절감 감축 : 난방수요 일반주택의 1/10수준 : 2중·3중 유리, 온실, 차양 등 설치 : 자연환기 및 내부온도 조절	- 세계적인 친환경을 선도하는 생태신도시 개발 모델 : 통합적 환경 등 스웨덴식 친환경 도시 개발 모델 제시 - 친환경적인 신재생 에너지를 통해 에너지의 대부분을 조달 : 식물비료도 유기 폐기물에서 생산

(2) 열전재료 관련 기술 및 연구

- 미국은 열전재료를 응용한 건설시스템 기술이 최근 신사업분야로 주목
 - 열전재료 : 재료 양면 또는 양단의 온도차로 기전력이 발생하는 일종의 발전재료로서 시설물 단열, 냉난방, 에너지 및 재료시스템
 - 1990년 미국 MIT 대학의 Dresselhaus는 열전소재를 양자점 및 초격자구조의 저차원 나노구조로 제조함으로써 열전 성능의 향상을 이룰 수 있다는 것을 이론적으로 제시하였음
- 나노 구조체의 고효율 열전재료에 관한 실제 연구개발은 2001년 미국의 RTI(Research Triangle Institute, NC)의 Venkatasubramanian 그룹에서 p-type Bi₂Te₃/Sb₂Te₃ 초격자를 이용하여 실온에서 열전 성능지수를 2.4까지 향상 시킨 연구결과를 발표한 이래로 많은 연구자들의 새로운 관심을 유발하고 있음
- 미국에서는 ONR(Office of Naval Research), DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) 등에서 이에 대한 연구개발에 집중투자 하고 있으며 Berkely, Havard, MIT 등에서 재료개발에서부터 초격자, 나노와이어, 나노점등의 구조를 이용한 고효율 열전소재 개발을 활발히 추진
- 미국의 열전재료 기업 BSST는 DOE의 지원을 받아 자동차에 적용 가능한 TEG(Thermo-Electric Generator)를 연구하고 있으며 TEG의 효율을 높이기 위해 ‘Y’ 자형 열전모듈 등을 연구중
- R&D Lab을 기반으로 하는 Hi-Z Technology는 열전재료를 다양한 응용분야에 적용 가능한 최소 열전성능 지수 ZT 값을 3 이상으로 보고 ZT값 향상을 위한 다양한 연구를 수행중
- 폐열이용분야에 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
- 일본은 통산성에서 주관하는 New Sunshine 계획에 열발전에 대한 연구를 포함함
 - ※ 가고시마 대학, 전자기술총합연구소, 동경기술연구소 등에서 열전소자, 열전발전 재료, 열전 발전시스템 평가기술 등에 대한 많은 연구진행 중.
- 열전재료관련 일본 연구소들은 원료가격이 저가인 산화물계, 철-규소계 등의 연구에 치중하고 있음
- NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)의 지원 아래 6개의 회사 및 대학이 참여하는 대형과제로 2002년부터 “Development for Advanced Thermoelectric Conversion Systems” 연구개발과제를 시작하고 있음

(3) 단열콘크리트 관련 기술 및 연구

- 유럽에서는 1950년대에 Thermo-con라 하여 경량기포 콘크리트를 단열성능이 확보된 콘크리트로 적용한 바 있음.
- 이후 콘크리트의 개발보다는 높은 단열성능의 단열재를 보강하여 부착시킨 형태로 사용하고 있으며, 소형주택 등에서는 단열재를 거푸집으로 하며 내부에 콘크리트를 채우는 insulating form이 널리 적용되고 있음
- 최근 콘크리트의 열전도율을 높이는 방법에 대한 연구가 부분적으로 진행된 바 있으나 아직 본격적인 단열콘크리트의 연구 및 개발은 이루어지지 않고 있음

(4) 단열 PC벽체 및 외단열 관련 기술 및 연구

- 단열재 종류별 및 공법별 외단열시스템이 다양하게 개발되고 있는 추세이며, 단열성능 향상을 위해 진공단열재를 이용한 외단열 시스템이 가장 많이 적용되고 있는 실정임
- 국외에서는 습식 시스템 및 건식 시스템 이외에도 결로에 대한 위험을 방지하기 위해 통기성 외단열 시스템의 개발도 활발히 진행되고 있음
- 또한, 시멘트보드와 단열재를 일체화하여 한 번에 앵커로 구조체에 박아 시공을 용이하게 한 시스템이 적용됨
- 일본은 건식, 통기식 외벽시스템을 주로 적용 (NITTTOBO, MAG, ASHAHI, PARAMOUNT, NOZAWA 등). 내구성 및 가변성 확보를 위하여 보+기둥+슬래브의 구조시스템을 바탕으로 구조체(Skeleton)과 비내력 구조로 구분하여 장수명 주택의 실현과 더불어 외부벽체의 기밀화를 통해서 외피부하 저감 및 리모델링 시 건설폐기물의 최소화
- 일본의 SEKISUI PLASTICS CO LTD, FUDO CONSTR CO LTD 등 전문연구 기관에서 탄소저감 및 에너지 절감을 위해 단열 성능이 강화된 PC 콘크리트 패널 제조 방법에 대한 연구 개발을 활발히 진행중에 있으며, 이에 대한 특허 권 등 원천기술을 확보하고 있음
- 미국은 습식, 건식, 통기식 외벽시스템 적용, 결로수 배출이 가능 한 외벽시스템 적용 Cabot사 등에서는 초단열 소재부품을 개발하여 시판 중에 있음

(5) 건축 내외장재 관련 기술 및 연구

- 단열성능을 가진 실내외장재에 대한 국외연구는 미국이 주를 이루고 있음
- 국내의 단열성능 향상방법과는 다르게 미국의 경우, 주로 단위 내외장재 내부에 큰 공간을 만들어 단열성능을 확보하려는 경향이 큰 것으로 나타남
- 국외의 경우 Gyprock社, Knauf社, CELENIT社, GRADIENT社 등에서 석고보드와 단열재, 단열재와 마감재, 단열재와 단열재 모듈화 제품을 생산하고 있음
- 생산 방식은 폴리올과 MDI접착을 통한 연속생산 방식을 채택
- 이러한 제품은 모듈화를 통한 단열/내화성능 개선 뿐만아니라 시공성 향상 및 공기단축의 효과 발생

(6) 단열도료 및 단열성 소재 관련 기술 및 연구

- 일본에서 도시 열섬방지를 위해 건물의 지붕 및 외벽에 도장함으로써 태양열을 차단하는 차열도료시장이 성장세를 보이고 있으며, 개정 에너지절약법이 시행됨과 동시에 친환경 추세가 확산되면서 태양열 차단도료가 공장건물을 비롯하여 각종 창고 및 탱크, 경기장, 체육시설, 최근에는 일반주택에도 널리 사용되고 있으며 아스팔트 및 콘크리트 포장도로에도 도장함으로써 도시 열섬현상을 완화할 수 있을 것으로 기대하면서 용도 창출에 박차를 가함.
- 최근 열교환도료(태양광선이 열교환도료를 도포한 도막에 닿으면 적외선 일부가 열에너지로 변환되어 급격히 도막내로 분산, 이동하는 원리)가 개발중이며 열교환도료는 시간의 경과에 따라 도막이 오염되거나 흠집이생겨도 변함없는 차열효과를 얻을 수 있는 도료이며 유해물질 및 악취 등을 선택적 흡착, 분해하는 환경개선형 도료의 개발이 진행됨
- 세계의 단열재 수요는 2014년까지 연간 5%의 증가율로 성장하여 약 230억 평방미터 규모에 달할 것으로 예측.
- 대부분의 신규 공업국의 단열재 수요는 향후에도 견고한 성장률을 보일 전망. 선진공업국에서는 단열재료의 매출이 2008년과 2009년의 세계적 경제위기에 의한 급격한 하락에서 회복할 것으로 예측
- 단열재 수요의 주요 성장촉진 요인은 주택용 건물의 건축에 대한 지출 확대가 될 전망
- 대형 미국시장의 촉진에 의해 북미의 단열재 시장은 2014년까지 가장 빠른 성장속도를 기록, 미국의 단열재 소비는 연간 7% 이상의 성장률을 기록할 것으로 전망
- 미국은 이미 기존 유리섬유 단열재 시장에서 우레탄폼 형태와 락울(Rock Wool), 재생 폴

리에서터 단열재로 흐름이 바뀜. 기존 유리섬유 단열재로는 충분한 단열성능 확보가 곤란한 것으로 해석됨.

(7) PCM 관련 기술 및 연구

- 상변화물질에 대한 연구는 약 60년 전부터 시작되었는데, 일본, 프랑스, 미국, 호주, 이스라엘 등 기술 선진국에서는 각 온도별 상변화물질을 이용한 열저장 매체 및 시스템에 대한 연구가 지속적으로 수행되어 왔음
- 저온용으로는 주로 파라핀계 물질과 무기수화물이 이용되었는데, 무기수화물의 경우, 잠열재의 안정성을 위한 조핵제 및 상변화물질을 담기 위한 용기개발 또는 encapsulation (마이크로캡슐화 포함), 그리고 이를 이용한 축열조 설계와 시스템 개발임.
- 최근 주요 상변화물질 시장점유 기업들(BASF, Entropy Solutions 등)은 새로운 방향의 상변화물질 개발에 많은 연구개발 비용 및 인력을 투입하고 있음. 새로운 연구방향은 잠열저장 능력의 향상, 효율을 향상시키기 위해 다른 상변화 온도기능을 갖는 새로운 상변화물질의 합성, 새로운 상변화물질 캡슐화 연구 등에 초점을 두고 있음
- 2세대 도료라고 할 수 있는 차열도료는 이미 일본에서 크고 작은 기업에서 개발한 수많은 종류의 차열도료가 보급되어 있으나 시간경과에 따른 도막오염이나 흠집발생 시 차열효과가 없어지는 문제점 있음. 또한 동절기에는 태양열 반사에 따른 건물의 축열성능을 저하시켜 난방부하를 증가시킬 수 있다는 문제점이 발생할 수 있음

<표 2-8>기술 선진국인 각 회사별 제품개발 현황

회사명	제품개발 현황
AI Technology사	- 마이크로형 전자집적 공정에서 사용하는 에폭시 소재에 대한 기술을 보유하고 있음. - 단열재 및 충전용으로 사용하는 접착제에 열적 흡수기능을 보유한 thermal interface material (TIM) 기술을 개발하였음.
Aster사 (인도)	- 건축 및 스틸하우스 관련분야의 회사로 0~29℃ 범위에서 상변화하는 PCM을 개발하여 통신 중계기나 냉장저장용으로 사용하고 있음. - 냉장시스템에서는 전력공급이 중단되는 경우에 backup용으로 사용이 가능하며, 0℃에서 16시간까지 유지가 가능하고 이러한 방법에 의해 압축기나 발전기의 부하를 줄일 수 있음.

회사명	제품개발 현황
National Gypsum사 (미국)	- 1925년에 설립되어 현재 미국 내에서 21군데 석고보드 공장을 갖고 있음. - 건자재 생산 및 공급 통합회사로 전 세계 wallboard 시장의 80%를 점유하고 있으며, Thermal Core라는 제품을 개발하여 시험 중에 있음. - 2009년11월에는 Thermal Core벽체 판넬에 BASF사 Micronal PCM을 혼합하여 Phoenix에서 개최된 Green build 2009에서 전시한 바 있음.
BASF사 (독일)	- 80여개국에 관계사를 두고 있는 다국적 기업으로 PCM 분야에서는 인간 쾌적성의 유지범위인 21, 23, 26℃에서 상변화하는 제품인 Micronal PCM을 개발하였음. - 본 제품은 dispersion 분말 형태로 건축용 보드, 플라스터 등에 혼합성이 용이하여 손쉽게 제품화되고 활용을 위한 최적으로 소재화 되었음 - 2005년부터 Micronal 대량생산 영업을 시작하였으며, 다른 건축자재들처럼 취급이 용이하고, 석고보드, 마감재 및 컴파운드 형태로 사용할 수 있음. 예를 들어, 3kg/㎡의 MPCM을 함유한 15mm 두께의 벽체보드의 성능이 9cm 두께의 콘크리트 벽체의 열저장량과 같은 용량임이 입증되었음. - 건설사들이 신제품 사용에 대체로 보수적이어서, 소비자들이 신제품을 사용하기에는 시간이 소요되기 때문에 제품 인지도를 높이기 위해 PCM 제품의 적용속도를 점차 확대하려 하고 있으며, 건자재 메이커들과 공동으로 Micronal 활용제품에 대한 시장개척을 하고 있음. - 2009년 8월 BASF는 세계에서 첫 번째로 carbon neutral 및 zero waste 도시인 UAE Masdar 시에서 건자재 및 시스템 분야의 최우수 공급업체로 선정.

<표 2-9> 환경부하 저감형 건축재료의 국외 업체보유기술 및 연구현황

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국외 업체 보유기술	BSST	TEG의 효율 향상 기술	‘Y’자형 열전모듈
	Hi-Z Tech.	열전 성능 향상 기술	2차원 박막형 열전
	DOE	자동차용 TEG 개발 프로젝트	자동차 폐열을 동력원으로 활용
	NEDO	고성능 열전소재	전자 엔트로피 조절을 통한 열전소재의 고성능화
	NASA	신소재 열전소자 개발	우주선용 열전소자 개발
	CAL-TECH	신소재 열전소자 개발	일반 휘발유엔진에서 배기구로 손실 되는 열에너지의 재활용 열전소자개발

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국외 업체 보유기술	Isover (유럽)	단열재 및 시스템	경량 필러를 시멘트 제품에 적용하여 건축물의 실내외장재에 적용함
	USA willisconstruc tion Co., Inc (미국)	경량 Precast wall Panel	일반 PC와 GFRC의 장점을 융합 두께 및 중량 감소 물리적 성능이 향상
	NITTOBO, MAG, ASHAHI 등(일본)	건식통기식외단열 시스템	보+기동+슬래브 구조시스템을 바탕으로 한 외피 시스템 외피의 기밀화 및 부하저감 리모델링 시 건설폐기물 최소화
	Cabot (미국)	습식, 건식, 통기식 외단열 시스템	결로수 배출이 가능한 외단열 시스템 적용 결로수 배출 가능
	BASF사 (독일)	PCM 제조 및 활용기술	인간 쾌적성의 유지범위인 21, 23, 26℃에서 상변화하는 제품인 Micronal PCM을 개발
	US Block Windows, Inc (U.S)	Construction block (2003.11.03.)	블록 내부에 밀폐된 공간을 만들어 공 기를 넣거나 단열가스를 충전.
	Cruise; Thomas E (U.S)	Insulated concrete masonry unit with low density heat bridges	콘크리트 벽돌의 내부에 공간을 만들고 절연코어를 삽입하여 저밀도 콘크리트 벽돌 생산
국외 연구현황	영국	BedZED	친환경 bed town
	스웨덴	Hamabi	생태 신도시
	중국 상하이	Dongtan	친환경 도시
	영국	Garratt Greenhouse	주거용 주택
	영국	Kingspan Lighthouse	신재생에너지 사용
	FUDO CONSTR CO LTD(일본)	HEAT INSULATING PC CONCRETE PANEL AND ITS MANUFACTURING METHOD 등	콘크리트에 단열 성능을 강화한 PC벽체 패널 제조 기술 및 제품 생산 기술

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국외 연구현황	Elsevier Sequoia S.A	Experimental tile with phase change materials (PCM) for building use	건설공사의 최적에너지 효율을 위한 PCM 포장공법을 적용하는 passive 단열시스템 기술
	Polyglass (미국)	신축성과 내오염성을 지닌 백색 지붕용 도료	Thermal emittance 0.90 Solar reflectance index 110 Solar reflectance, initial 0.87 Cool Roof Rating Council (CRRC®) 만족

다. 건설재료의 CO2 통합관리기술 분야

(1) 건설자재 LCI DB 및 CO2 통합관리 시스템 관련 기술 및 연구

- 현재 국외에서는 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 네덜란드 PRe 컨설팅사에서 개발한 소프트웨어로 2004년 현재 Ver 5.1까지 개발되어 있음. 이 프로그램은 ISO 규격에 따른 LCA 단계별 수행항목이 배열되어 있어, 해당 항목별로 내용을 기입하여 LCA를 수행하도록 되어 있음
- GaBi는 독일의 IKP와 PE Europe GmbH Leinfelden-Echterdingen사가 공동으로 개발한 프로그램으로 LCC 기능이 추가되어 다양한 환경관리 프로그램으로 활용할 수 있음
- 건설자재 CO2 평가 및 LCI DB와 관련한 기술은 전세계적으로 ISO 14040시리즈에 따른 평가방법론을 준용하며 세부 군별 지침이나 기준은 국가에 따라 별도 작성하고 있음
- 세부군별 기준에서 가장 앞선 나라는 독일이며, 독일은 이와 함께 건설자재의 탄소배출량 표시 및 LCI DB 공개 등에서 가장 앞선 기술을 보여 주고 있음. 우리나라의 기술 수준은 선진국 최고기술 수준에서 크게 차이가 나지는 않으나 데이터 확보를 위한 기간이 많이 필요함
- LCI DB 구축과 관련된 기술은 특정 국가가 특별히 보유하고 있지는 않으며 국제표준화

기구에서 제안하고 있는 기준을 공통적으로 활용하여 개발된 DB들이 호환성을 확보하도록 하고 있음

- 따라서 건설자재의 CO2 평가 및 LCI DB 관리 기술의 핵심은 평가기술이나 방법론에 있는 것이 아니라 DB의 수와 활용성에 있다고 할 수 있음
- 아울러 LCI DB의 개발 및 활용의 주체가 국가나 정부인지, 전문기관인지, 민간주도인지에 따라 기술 및 데이터품질의 수준이 차이가 나는데 대부분의 국가에서는 정부 또는 전문기관 주도로 이루어지고 있으며 우리나라의 상황도 유사함

<표 2-10> LCI DB 구축을 위한 해외 국가별 활동 수준

참여 주체	Africa	APEC	Europe	Americas	Global
국가 주도 또는 다정부 및 다국적 단체 주도 ²⁾	-	호주, 일본, 한국, 타이완, 싱가포르	덴마크, 스웨덴, 스위스	캐나다, 미국	-
전문 자문기관 및 연구기관 주도 ³⁾	-	-	덴마크, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 스위스, 독일, 이탈리아	미국	Boustead, TEAM, GaBi, SimaPro
산업체 주도 ⁴⁾	-	ISSF	-	ISSF ⁵⁾ , APC ⁶⁾	IISI ⁷⁾ , Nickel
학술단체 주도 ⁸⁾	이집트, 남아프리카 모리셔스	중국, 인도, 인도네시아, 말레이시아, 태국, 베트남	-	브라질, 칠레, 콜롬비아, 멕시코	-

2) Multi-organisational and/or National or Multigovernment : LCI 데이터베이스가 국가적 대표성을 지니고 공식적으로 접근이 가능한 경우. 일반적으로 정부차원의 재정적 지원을 받으면서 몇몇의 기관의 공동 협력 하에 개발됨.

3) Consultants and Research Institutes : 연구기관이나 전문 컨설팅 단체에서 개발하여 공개한 LCI 데이터베이스로서 일반 사용자는 DB 사용 수수료를 납부하게 됨.

4) Industry : 특정 산업 부분의 후원으로 개발된 LCI DB로 일부 집단에게만 공개되거나 정보의 접근에 수수료를 부과하게 됨.

5) International Stainless steel Forum

6) American Plastics Council

7) International Iron and Steel Institute

8) Academic, consultants etc. : 학술 단체 수준에서 개발된 LCI DB로서 정보가 일부 저널이나 출판물을 통해 한시적으로 공개되는 경우.

(2) 건설재료 LCCO2 평가 및 CO2 통합관리 시스템 관련 기술 및 연구

- 저탄소 건설재료의 적용확대를 위해 저탄소 건설재료가 공급될 수 있는 관리시스템이 개발되었으며, 이를 통해 건설재료의 LCCO2 평가가 상당히 활발하게 이루어짐.
- 건축재료와 관련해서 Sim Pro와 GaBi 프로그램이 건축관련 LCI DB를 가장 많이 구성하고 있는 것으로 알려져 있음
- Sim Pro는 네덜란드 PRe 컨설팅사에서 개발한 소프트웨어로 ISO 규격에 따른 LCA 과정의 단계별 해당 항목의 내용을 기입하여 LCA를 수행하도록 되어 있음
- 건설재료 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, 건설재료의 탄소배출량 표시 및 LCI DB 공개 등에서 가장 앞선 기술을 보유
- 국외의 LCA 평가프로그램은 ATHENA, Envest2, BREEAM, LEED, Eco-Indicator99 등 다수 존재하지만 대부분 건축물을 대상으로 한 것으로, 건설재료에 특화된 LCA 프로그램은 찾기 어려움.
- 호주는 건설재료와 시스템에 대한 생애주기 환경부하분석을 통한 환경개선을 적극유도하고 있음

(3) 탄소저감형 건설재료 현장 활용가이드 및 시방서 관련 기술 및 연구

- 세계적으로 건설재료와 관련된 세계적 연구를 선도하는 국가는 ISO, 영국 등 유럽국가, 미국 및 일본임.
- ISO TC19는 강재(steel)로서 고로 생산 강재 및 전기로 생산 강재(철근)의 환경성 선언에 대한 표준을 제정 중.
- ISO TC59는 건설(building construction)로서 건설제품의 환경성 선언에 대한 ISO 21930을 비롯하여 환경성 및 사용성에 대한 일련의 중요한 표준을 제정하였거나 제정 중.
- ISO TC71(제 71 기술위원회)는 콘크리트,철근콘크리트, 프리스트레스트콘크리트로서 제8분과위원회(SC8)에서 콘크리트 및 콘크리트 구조물의 환경경영에 대한 표준을 제정 중.
- 유럽의 국제콘크리트연맹(fib)의 제3기술위원회(Commission 3)는 환경설계법 연구에 선도적인 역할을 하고 있으며, 2004년 및 2009년 2회에 걸쳐서 환경설계법의 개념 및 일반원칙에 관한 보고서를 출판함.

- 영국의 경우, 건설현장으로 반입되는 모든 강재제품에 대하여 환경성 표지를 의무화한 바 있으며, 향후 시멘트, 콘크리트를 비롯한 많은 건설제품으로 확대될 전망. BREEAM은 건축물의 환경성능 평가체제로 가장 널리 알려져 있음. 또한, Sustainable Concrete로서 콘크리트의 설계 및 사용에서 온실가스 저감을 위한 가이드 및 기술개발을 추진함.
- 일본토목학회는 2006년 “콘크리트 구조물의 환경성능 검증에 대한 지침(안)” 간행. 일본건축학회는 2008년 “철근콘크리트조 건축물의 환경배려 시공지침(안)”을 출판함.
- 미국의 친환경 관련 연구는 크게 ANSI의 건설 관련 환경표준인 Standard 189.1(2009), ICC의 녹색건설 모델코드(안) IgCC(International green Construction Code), LEED, Green Globe 등 건축물의 환경성능 평가체계, BEES 등 LCI 데이터베이스 등이 있음.
- 향후 ISO, 유럽 fib, 일본 JSCE 등에서 개발 중인 콘크리트 환경설계법은 약 5년 내에 세 부적인 설계(안)이 완성되고, 실용 설계법으로 제시될 것으로 예상됨.
- 미국의 ICC가 제시하고 있는 IgCC는 현재 공청기간을 거쳐 2012년 3월 공식적인 모델코드로 채택될 것임. 미국 각 주정부가 이 모델코드를 채택하는 경우, 그 영향력은 가장 클 것으로 예상할 수 있음. IgCC는 포괄적이면서 법적인 강제 조항을 포함하고 건설산업의 전분야를 포함하므로, 사회경제적인 파급효과가 가장 클 것으로 예상할 수 있음.

<표 2-11> 건설재료의 CO2 통합관리기술의 국외 업체보유기술 및 연구현황

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국외 업체 보유 기술	AUB (독일)	건축재료의 환경성정보 공급망 시스템 구축	환경부하가 적은 건축재료 및 개별 건설재 료에 대한 환경부하 정보 제공
	국제표준화 기구	탄소라벨링, 환경라벨링, 환경경영에 대한 표준화 기술	제품의 환경성을 평가하고 정보를 시장에 제공할 수 있는 표준안 제공
	ETH (스위스)	개별적산법을 이용한 LCI DB 구축 기술	기초물질과 에너지, 수송, 폐기물에 대한 DB를 구축하고 에너지에 대한 범주를 전력, 오일, 천연가스, 석탄, 원자력, 수력, 목 재, 태양열, 관전지, 풍력 등으로 세분화하 여 DB를 개발하고 있음
	TU Delft (네덜란드)		총 8개 부분 400여개 이상의 물질 DB를 구 축하고 있으며, 세라믹, 섬유, 유리판, 금 속, 비금속, 고분자, 목재 등에 대한 세부 적인 DB가 포함되어 있음.
	Franklin사 (미국)		20년 이상 LCA를 수행하면서 미국의 폐기물 관리와 LCA DB를 축적하고 있음.

기술/ 연구	보유업체/ 연구기관	보유기술/연구과제명	기술 특징
국외 업체 보유 기술	건축연구소 (일본)	산업연관분석법을 이용한 LCI DB 구축 기술	여러 기관에서 산업연관표를 이용한 CO ₂ , SO _x , NO _x 배출량의 데이터베이스를 구축하는데 많은 연구를 수행하고 있음. 현재는 산업연관표에 의한 원단위데이터베이스가 세부적으로 구축되어 있으며 그 실용성에도 자리를 잡아가고 있음.
	카네기멜론 대학 (미국)		US Department of Commerce에 의해 발표된 485개의 산업부분에 대해 제품이나 서비스에 대해 다양한 환경배출, 자원요구, 경제거래 등을 조사
	JCI (일본)	콘크리트 환경배려 시공에 대한 기술지침	콘크리트 생산, 레미콘운송, 현장시공 등에 대한 탄소배출저감 기술
국외 연구 현황	BRE (영국)	건설재료의 환경프로파일	개별 건설재료의 생산, 사용 및 유지관리에 서의 지구환경영향 데이터
	Building Research Establishment (영국)	Envest2 프로그램 개발	세계 최초의 건축물 전생애 환경성능 평가 프로그램으로 BREEAM 평가와 연계가능 Web을 기반으로 하여 사용자가 해당사항을 체크하면 ECO Point라는 고유지수로 계산 건축물의 설계, 재료, 시공, 유지관리 전략 에 따른 환경부하의 차이를 비교분석하는 기능을 통해 설계초기단계의 의사결정 툴로 활용가능
	AUB (독일)	건축자재의 환경성정보 공급망 시스템 구축	환경부하가 적은 건축자재 및 개별 건설자 재에 대한 환경부하 정보 제공
	북미 (캐나다)	ATHENA Impact Estimator/ Eco Calculator 프로그램 개발	북미에서 사용 중인 공동주택 및 오피스 빌 딩의 구조시스템의 90%를 DB화, 1200가지의 조합을 통해 북미지역 건축물의 95%를 재현 하여 전생애주기 평가가 가능함 운영과정의 에너지사용량 시뮬레이션은 불 가능하나 사용자가 직접 입력하는 방식으로 생애주기 에너지사용량, 탄소배출량을 산출 가능
	일본건축학 회 (AIJ)	철근콘크리트조 건축물의 환경배려 시공지침	콘크리트의 제조 및 철근콘크리트조 건축물 의 시공 시 온실가스를 저감하기 위한 시공 지침 개발
	일본 토목학회 (JSCE)	콘크리트 구조물의 환경성능 검증지침	콘크리트 및 관련산업의 원단위 작성 등 환 경영향 평가방법 개발
	유럽콘크리 트협회 (FIB)	녹색 콘크리트구조물의 가이드라인	콘크리트 구조물의 환경설계 및 시공지침
	ISO TC 59	건축물의 지속가능개발	건설공사의 환경평가

3. 정부지원정책 현황

가. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

- 녹색성장 국가전략(녹색성장 위원회)
- 건설기술의 녹색성장 실행계획(2010 국토해양부)
- 2010 국토해양 발전전략(한국건설교통기술평가원)
- 제3차 건설산업진흥 기본계획(2008 국토해양부)
- 제4차 건설기술진흥 기본계획(국토해양부 수정계획)
- 친환경 상품 구매 촉진정책(환경부)
- 친환경 건축물 인증제도(2002 국토해양부)

나. 정부지원 정책사업 종류와 현황

<표 2-12> 친환경 관련 주요 정부지원정책

정부지원정책	내 용	담당부처
친환경건축물 인증제도	· 건축물의 생애주기 전체에 걸쳐 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가를 통해 건축물의 환경성능을 인정함으로써 친환경 건축물의 건설 유도를 촉진함 (근거 : 건축법 제 65조, 친환경건축물의 인증에 관한 규칙)	국토해양부, 환경부
건물에너지효 율 등급 인증제도	· 건축분야의 고효율에너지기자재 등의 사용 및 종합 에너지 시스템과의 연계성을 고려하여 일정 성능 이상의 에너지 효율을 높이는 건물에 대하여, 효율 등급 기준에 필요한 사항을 규정하여 에너지 효율 및 절약이 우수한 건물을 보급·촉진함 (근거 : 건축물 에너지효율등급 인증규정국토해양부고시 제 2009-1306호)	에너지 관리공단

건축물 에너지절약 설계기준	· 건축물 부위별 단열규정 명시, 일부 고효율 에너지기자재 적용 의무화, 에너지성능지표(EPI) 규정 마련 (근거 : 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙)	국토해양부 (의무)
건축물 에너지 관리기준	· 건축물을 유지관리함에 있어서 지켜야할 에너지 관리에 관한 기준을 정함. 건축물의 에너지 원단위 관리기준, 종합에너지관리기준, 부위별 에너지 관리기준으로 구분됨 (근거 : 에너지이용 합리화법 제 30조)	지식경제부 (의무)
신재생에너지 사용의무화 제도	· 공공기관이 발주하는 연면적 3천㎡ 이상의 신축건축물에 대해서 건축공사비의 5% 이상을 신재생에너지 설비에 의무적으로 사용하도록 하는 제도	지식경제부 (의무)
탄소성적표지 제도	· 제품과 서비스의 생산 및 수송, 유통, 사용, 폐기 등의 과정에서 발생하는 온실가스의 배출량을 제품에 표기하여 소비자에게 제공함으로써 시장주도로 저탄소 소비문화 확산에 기여함 (근거 : ISO 14040s, 탄소성적표지 인증업무 등에 관한 규정, 환경부 고시 제2009-86호)	환경부
환경성적표지 제도	· 환경성적표지제도는 시장에서 녹색소비자가 친환경제품에 대한 구매를 지원하기 위하여 제품에 대한 정확한 환경성 정보를 쉽고 투명하게 공개함으로써 잠재적으로 시장주도의 지속적인 환경개선을 유도 (근거 : ISO 14020s, 환경성적표지 작성지침 및 인증기준, 환경부 고시 제2002-30호)	환경부
온실가스 에너지 목표관리제도	· 정부가 관리업체(온실가스 다배출 및 에너지 다소비 업체)의 온실가스 배출량과 에너지 사용량에 대한 목표를 부과하고, 이에 대한 실적을 점검·관리해 나가는 제도로써 국가 온실가스 배출의 효율적 감축을 위하여 국가 전체 배출량의 60% 이상을 차지하는 470개 업체 및 사업장을 대상으로 온실가스 및 에너지 목표관리제를 추진 (근거 : ISO 14064, ISO 14065, 온실가스-에너지 목표관리 운영지침(안))	환경부

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 1세부

가. 1차년도

성과목표	연구 내용	연구 결과
비소성 결합재를 활용한 C02 저감형 시멘트 콘크리트 개발	■비소성 결합재 국내·외 현황 분석	○ 비소성 결합재 국내 현황 - 국내에서는 KS 규정에 적합한 슬래그나 포졸란 또는 플라이 애시 및 기타 첨가제 등을 시멘트의 5% 이내에서 혼합 가능 - 5%를 초과하여 혼합한 혼합시멘트에는 고로슬래그 시멘트, 플라이애시 시멘트, 포졸란 시멘트 등이 있음 ○ 비소성 결합재 국외 현황 - 1965년 독일에서 특수 용도용으로 20%치환 석회석 시멘트를 생산 - 1992년 영국 BS 7583 기준은 20%까지 석회석 시멘트를 허용 - 2004년 ASTM C 150은 Type I-V의 경우 5% 까지 허용
	■국내외기술수준 분석	○ 국내외 기술수준 분석 - 국내에서는 비소성 결합재로 석회석 미분말을 사용하지않음 - 일본에서는 석회석을 혼합용으로 사용하는 경우 CaCO₃ 함유량이 90%이상, Al₂O₃ 함유량이 1% 미만의 석회석 사용 - 미국은 CaCO₃ 70%이상 석회석을 5% 혼합사용 - 유럽은 CaCO₃ 75%이상 석회석을 6~35%까지 혼합 사용 가능
	■비소성 결합재 특성 분석	○ 비소성 결합재 특성 분석 - 국내 석회석의 점토함유량 및 유기탄소량(TOC)는 EN 기준을 만족 - 국내 석회석을 혼합재로 사용할 경우 미니슬럼프 결과를 증가 - 혼합 시멘트의 입도분포와의 관계를 볼 때에 De값과 n값이 작을수록 미니슬럼프 증가 - 석회석을 포함한 시멘트는 기준시멘트와 비교하여 평균 압축강도는 증가한다. 일부에서 약간 감소하는 결과도 있었지만 그 차이는 매우 미미하여 압축강도에 큰 영향을 미치지 않고 있다.
	■고분말도 혼화재 사용을 통한 반응성 증진	○ 고로슬래그 미분말 분말도 상향 조정(분말도 4000cm²/g 3종 →7000cm²/g 2종) : 강도 발현 우수, 점성 증가에 따른 작업성 저하, 단가 상승에 따른 경제성 저하 ○ 플라이애시 분말도 상향 조정 (분말도 3000cm²/g 2종 → 5000cm²/g 1종) :분말도 상향 대비 강도 발현이 미미, 단가 상승에 따른 경제성 저하
HVMA 고강도 레이콘 실용화 기술 개발	■혼화재 반응 촉진을 위한 조강특성 결합재 개발 및 적용	○ 고칼슘애시 적용 시 제지공정 및 열병합발전소에서 발생하는 고칼슘애시 중에 존재하는 CaO에 의한 혼합재의 포졸란 반응 촉진에 의해 수화물 생성이 지속적으로 진행되어 장기강도 증진 효과 기대. ○ 정제이수석고 및 천연무수석고 적용 시 : SO₃에 의해 고로슬래그미분말의 잠재수경성이 촉진되어 초기강도 발현이 향상
	■최적 혼화재료 대체율 도출	○ 고칼슘애시 및 석고를 적정 수준 이상 사용할 경우 강도 증진 효과가 기대 곤란, 오히려 강도 지연 발생. ○ 원자재별 최적 배합 조건 확인을 통해 실용화 가능성 확인.
에너지 저감형 비정질 강섬유이용 실용화 기술 개발	■비정질 강섬유 국내외 현황 및 특성 분석	○ SEVA社(프) 현황 분석 ○ 인장강도 분석

성과목표	연구 내용	연구 결과
Carbon negative cement 제조 및 활용기술 개발	▪원료조사 및 기초물성	○ Magnesium silicate 원료인 사문석과 마그네사이트 및 실리카흙, 플라이애쉬 슬래그미분말등의 화학분석, 성상분석을 통한 기초물성 분석을 통한 Carbon negative 시멘트 원료 가능성 검토
	▪소성온도에 따른 Carbon negative 시멘트 기초특성	○ 주요출발원료중의 하나 인 MgCO ₃ 의 활성화를 위하여 소성온도를 변화시킨 결과, 약 700℃로 소성시킨 시료에서 수화활성도 및 압축강도가 가장 높게 나타남.
	▪클링커 합성성원료 배합	○ 사문석 및 MgCO ₃ 원료에 포졸란 반응물질인 실리카흙을 첨가하고 그 외 반응첨가제로 Mg(OH) ₂ , MgCl ₂ 등을 첨가하여도 강도 증진효과를 볼 수 있었음.

나. 2차년도

성과목표	연구 내용	연구 결과
HVMA 고강도 레미콘 실용화 기술개발	▪조기강도 촉진방안 검토 및 개선안 마련	○ 알칼리 자극제 사용 가능성 확인
	▪재령에 따른 압축강도 검토	○ 재령별 압축강도 검토
	▪인장강도 및 탄성계수 검토	○ 역학적 검토
	▪50MPa급 HVMA SCC 배합설계	○ 최적의 물-분체비 평가
	▪화학혼화제 종류별 평가	○ 화학혼화제 종류 중 PC가 유동특성과 강도에서 최고 성능을 발현함.
HVMA SCC 개발 및 실용화	▪수화활성 원자재를 사용한 고성능 감수제 최적화	○ 알칼리 자극제 중 TP가 결합재 대비 0.025~0.05% 적용함으로써 장기강도 증진에 효과적임. ○ 조강성 보조제 두 종류의 혼합사용이 단독사용보다 유동성 개선되고 양호한 강도특성을 나타냄. ○ 최적 HVMA 혼화제는 일반 PC 대비 작업성 개선 뿐만 아니라 초기 및 장기재령의 강도가 전반적으로 향상됨.
	▪HVMA 콘크리트 적용 화학 혼화제 성능평가	○ 최적 HVMA 혼화제 감수율 21% 확보 ○ HVMA 콘크리트 재령 2일 10.3MPa 확보
	▪비교기술 CO ₂ 정량평가 및 개발기술 CO ₂ 발생량 및 저감량 예측	○ OPC 콘크리트 대비 개발한 HVMA 콘크리트의 CO ₂ 저감량은 80.1% 절감한 것으로 예측됨. ○ CO ₂ 저감을 위한 탁월한 연구성과가 예상됨.
PC제품용 고성능 무시멘트 콘크리트 개발 및 실용화	▪알칼리 자극제 및 혼화제 특성 분석	○ 알칼리 활성화제 종류 선정 ○ 알칼리 활성화제 첨가량별 모르타르 압축강도 발현 특성 평가 ○ SP제 종류별 모르타르 유동 특성 평가
	▪무시멘트 콘크리트 배합비 도출	○ 알칼리 활성화제 첨가량별 압축강도 특성 ○ 배합비별 압축강도 특성 (W/B, 단위수량) ○ 50 MPa급 무시멘트 콘크리트 배합비 도출
	▪양생방법에 따른 무시멘트 콘크리트 특성 변화	○ 고온, 수중, 기건 양생 시 강도 특성 변화

성과목표	연구 내용	연구 결과
비소성 결합재와 자원순환형 골재를 활용한 무시멘트 경량 콘크리트 개발 및 실용화	▪비소성 결합재와 자원 순환형 골재의 기초 특성 분석	○ CaO 함량: 플라이애쉬(4.41%), 슬래그(42.3%), XRD 분석결과: 플라이애쉬는 Mullite(10.3%), Quartz(34.4%), 비정질(55.3%)로 구성됨
	▪상온양생 가능한 무시멘트 경량 콘크리트의 적정 배합비 도출	○ Fresh 무시멘트 페이스트 적정 배합비 도출 - 분말형 알칼리제인 규산나트륨은 총 바인더 양의 16~20% - 액상형 알칼리제인 물유리는 총 바인더 양의 15~20%, 수산화나트륨 수용액 4 molarity 용액은 총 바인더 양의 28~32%, 물유리와 수산화나트륨 무게 ratio는 1: 2 - 슬래그 첨가량은 총 바인더 무게의 20~30%로 결정 - 물리적 특성: 응결 시간은 초결 (60분~100분), 종결 (100분~180분), 유동성은 초기 몰탈 플로우 150mm~220mm
	▪연구 성과 대비 해외특허 및 논문 동향과 비교 검토	○ 100% 바텀애쉬 골재 혼입 무시멘트 몰탈의 28일 압축강도는 27MPa이며, 40% 혼입시 40MPa 확보함.
비소성 결합재를 활용한 C02 저감형 시멘트 콘크리트 개발	▪해외 기술동향 분석 ▪비소성 결합재를 활용한 OPC 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성 평가	○ 국내에서는 석회석 미분말에 대한 품질규격이 제정되어 있지 않으며 기초적인 연구가 진행되고 있음 ○ 해외에서는 석회석 미분말을 첨가한 콘크리트의 수화반응, 유동성, 강도 및 내구성 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음. ○ 비소성 결합재를 혼입한 굳지않은 콘크리트의 특성 분석 결과 (1) 석회석 미분말을 10% 혼입한 경우 5% 혼입한 경우보다 유동성이 증가함. (2) 압축 및 휨강도 특성을 분석한 결과 석회석 미분말을 5% 및 10%치환하여도 강도저하를 보이지 않음을 확인. (3) 동결융해, 탄산화 특성 분석결과 석회석 미분말 5% 및 10% 치환한 콘크리트의 경우 동결융해 및 중성화 저항성에 있어서 뚜렷한 경향 없음. (4) 건조수축 시험결과, 석회석 미분말을 10%치환한 경우 5%치환한 시험체에 비하여 건조수축이 다소 증가하는 경향을 보였으나 큰 영향이 없는 것을 실험을 통해 확인함.
비소성 결합재를 활용한 C02저감형 콘크리트 활용기술 개발	▪비소성 결합재 활용한 OPC 콘크리트의 배합특성 분석 및 설계	○ 비소성 결합재 사용 콘크리트의 배합설계 도출
		○ 해외 기술동향과 과제성과 분석
		○ 굳지않은 콘크리트의 특성 분석(슬럼프, 공기량)
		○ 비소성 결합재를 활용한 콘크리트의 역학적 특성 평가
		○ 비소성 결합재를 활용한 콘크리트의 내구성 평가 - 촉진 탄산화, 동결융해, 건조수축 시험 수행
에너지 저감형 비정질 강섬유이용 실용화기술개 발	▪비정질 강섬유 콘크리트용 최적 혼화제 검토	○ 혼화제 종류별 유동성 평가
	▪유동성 확보기술	○ 굳지않은 콘크리트 특성 평가
	▪비정질 강섬유 콘크리트 최적배합	○ 콘크리트 최적배합

성과목표	연구 내용	연구 결과
비정질 강섬유 혼입 탄소저감형 마감모르타르 실용화 기술개발	■비정질 강섬유 및 슬래그 혼입 마감모르타르 최적배합도출	○ 비정질 강섬유 기존문헌 고찰 및 물성평가
		○ 비정질 강섬유 및 슬래그혼입 마감모르타르 물성평가
		○ 최적배합 도출
Carbon negative cement 제조 및 활용기술 개발	■최적 클링커 배합기술	○ 마그네시아 원료를 700℃ 이상으로 소성을 하여 활성 MgO를 제조한 후 원료로 사용하였으며, 사문석의 경우 약 180℃의 오토클레이브에서 NaHCO ₃ 포화수용액 중에서 약 5시간 정도 활성화 과정을 거쳐 또한 700℃ 이상에서 소성을 한 원료를 사용. ○ 각각의 원료의 배합비에 따른 물리적 특성을 검토하였으며, 또한 장기강도 증진 및 내구성 증진을 목적으로 실리카 흙, 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬를 배합.
	■수화반응 분석 및 반응 첨가제 영향 분석	○ MgO에 사문석 및 포졸란 물질을 첨가한 경우에는 수화 생성물로Mg(OH) ₂ 뿐만 아니라 Mg-Si계 수화물이 생성되게 되며 또한 비정질의 수화물이 생성되게 되어 장기강도 및 내구성이 향상. ○ 반응 첨가제로 MgCl ₂ 를 첨가한 경우 압축강도가 80MPa 정도로 특히 높았는데 이 경우 침상의 결정이 다량 생성되어 압축강도 증가에 기여 하였다고 판단됨.
	■재령별 중장기 변화분석	○ 수화시간의 경과에 따라 MgO는 전부 Mg(OH) ₂ 수화물로 변화하였으며, 사문석 및 포졸란 물질을 첨가함에 따라 Mg-Si 수화물 및 비정질 수화물이 생성됨. ○ 일정 배합비에서는 수화 28일에서 약 80Mpa 정도의 고강도의 특성을 나타내었으며, 중장기 변화분석을 위하여 촉진 동결융해 시험 결과 100cycle에서 동탄성계수가 90% 이상 유지가 되어 내구성도 우수함을 알수 있음.

다. 3차년도

성과목표	연구 내용	연구 결과
HVMA 고강도 레미콘 실용화 기술개발	▪최적의 50MPa 배합설계 선정	○ 배합설계 도출
	▪건조수축 및 자기수축 평가	○ 압축강도 50MPa급 역학적 특성 확인
	▪탄산화, 동결융해 및 염해저항성	○ 압축강도 50MPa급 내구성 확인
	▪HVMA SCC 적용 PC 제품 검토	○ 철도침목 적용성 확인
	▪HVMA 콘크리트 최적 배합설계	○ 유동성 확보를 위해 W/B 26~30%가 만족함 ○ 압축강도, 탄성계수는 W/B 24, 26% 만족함
	▪HVMA 콘크리트 최적 배합설계	○ 유동성 확보를 위해 W/B 26~30%가 만족함 ○ 압축강도, 탄성계수는 W/B 24, 26% 만족함
	▪HVMA 콘크리트 최적배합비 결정	○ 유동성과 압축강도 결과를 종합적으로 분석한 결과 W/B : 26%, S/a : 44.7%, W : 155kg인 HVMA배합 선정
	▪HVMA 콘크리트 역학적특성 평가	○ 압축강도 53.4, 인장강도 5.73 MPa, 탄성계수 33.2 GPa 확보 ○ 수화열 평가 OPC보다 최고온도가 29.6℃ 저감됨.
	▪HVMA 콘크리트 내구특성 평가	○ 황산 및 황산염 침지시험결과 OPC 보다 저항성이 뛰어남. ○ 알칼리골재반응시험 0.01% 확보(0.1% 미만)
HVMA SCC 개발 및 실용화	▪역학적 특성	○ 압축강도 - 재령 28일 : 63.9 MPa (목표 50 MPa 이상) - 재령 56일 : 72.1 MPa (목표 60 MPa 이상) ○ 쪼갬인장강도 : 재령 28일 : 4.2 MPa
	▪내구 특성	○ 탄산화 깊이 : 재령 28일 탄산화 깊이 : 23 mm ○ 염소이온 확산계수 : 재령 7일 1.5×10^{-12} m ² /s 이하 ○ 동결융해 : 300 사이클까지 상대동탄성계수 (90% 이상)
	▪수축 특성	○ 자기수축 - 재령 28일 동안 약 1225 μ m (AAS모르타르)/ 470 μ m (AAS콘크리트) ○ 건조수축 - 재령28일 동안 약 1,800 μ m (AAS모르타르)
PC제품용 고성능 무시멘트 콘크리트 개발 및 실용화	▪무시멘트 경량 콘크리트 역학적 성능 평가	○ 단위용적질량(bulk density)이 1.8~2.0t/m ³ , 압축강도 20MPa 이상일 때, 연구성과지표 탄성계수 20.8GPa (15GPa 이상)달성함. KCI 구조설계기준 탄성계수 예측식과 비교하여, 예측식 수정. ○ 쪼갬인장강도: 밀도 1.8~2.0 ton/m ³ 에서 압축강도 20~50MPa를 확보하였으며, 쪼갬인장강도는 2.9MPa를 달성. ○ 실제 휨응력(σ)과 KCI 콘크리트 파괴계수(f_r)를 비교한 결과, 바텀애쉬 골재 크기에 따라 휨응력이 상당한 차이를 나타냄. 바텀애쉬 굵은 골재 혼입시 휨강도 3.16MPa 로서 휨강도 향상에 효과적.
	▪무시멘트 경량 콘크리트 환경영향 평가	○ 중금속 용출관련 ANSI 61-2007a (미국) 기준에 의거 실험을 수행하였고, Pb, Cu, Cd, As, Hg, Cr 총 6개 중금속 용출을 시험함. ○ 5개 중금속에서 0.05ppm 이하의 용출농도를 보임으로써 ANSI 기준을 만족하였으나, As(비소)는 기준(1.0ppb)을 약간 상회하였음(10ppb). 그러나 ANSI 기준은 미국 음용수 기준의 1/10 수준임을 감안하면, 미국 음용수 기준과 비슷한 수치를 나타낸 것으로, 양호한 중금속 용출상태를 보임.

성과목표	연구 내용	연구 결과
	■무시멘트 경량 콘크리트의 지칭 개발	○ 경량 콘크리트 패널의 제조 배합비 및 제조 방법 제시 ○ 양생 방법 및 품질 관리 지침 제시 ○ 경량 콘크리트 패널의 성능, 용도, 규격 및 치수 제시
비소성 결합재를 활용한 CO2 저감형 시멘트 콘크리트 개발	■비소성 결합재 활용 OPC 활용 기반 구축	○ 비소성 결합재 활용 시멘트 모르타르 역학적성능평가 - 비소성 결합재 치환에 따른 모르타르 압축강도 ○ 건조수축 및 자기수축 평가 ○ 비소성 결합재 활용 시멘트 콘크리트 성능평가 - 탄산화, 동결융해 및 염해저항성 검토 - 콘크리트 내구 특성 평가 ○ 일반 포틀랜드 시멘트 KS 규격 개정
	■비소성 결합재 활용 OPC 활용 기반	○ 비소성 결합재 활용 콘크리트의 역학적 특성 평가 - 압축강도, 휨강도 시험 수행
비소성 결합재를 활용한 CO2저감형 콘크리트 활용기술 개발	■비소성 결합재 사용 BC (Blended Cement) 콘크리트의 특성 분석	○ 비소성 결합재 활용 콘크리트의 기초물성 분석 - 공기량, 슬럼프 경시변화/굳지않은 콘크리트 볼리딩, - 콘크리트의 응결특성 분석(초결, 종결) ○ 비소성 결합재 활용 콘크리트의 내구성 평가 - 촉진탄산화, 동결융해, 건조수축 시험 수행
	■고혼입 상태에서의 비정질 강섬유 배합설계	○ 섬유 혼입률이 0.4% 넘게 되면 고성능 감수제 및 저점도 증점제를 사용하여 유동성 확보 및 골재분리현상 방지 필요 함 ○ 상대적으로 겉보기 부피가 큰 비정질 강섬유의 혼입률과 일반 강섬유의 혼입률은 서로 다른 것으로 볼 필요 있음
에너지 저감형 비정질 강섬유이용 실용화기술개발	■전자현미경에 의한 미세구조 관찰	○ 전반적으로 섬유의 분산성은 양호하며 시멘트 매트릭스와의 결합구조도 안정적으로 관찰 - 섬유의 혼입률이 증가할수록, 섬유의 길이가 증가 할수록 섬유간격은 좁아지고 분산성은 상대적으로 나빠지는 것으로 관찰 ○ 0.2% 혼입률 : 섬유의 간격은 544~912μm 정도로 섬유의 길이가 증가할수록 섬유간의 간격은 좁아지는 것으로 관찰 ○ 0.4% 혼입률 : 섬유의 간격은 488~834μm 정도로 섬유의 길이가 증가할수록 섬유간의 간격은 좁아지는 것으로 관찰 ○ 0.6% 혼입률 : 섬유의 간격은 189~759μm 정도로 섬유길이에 따른 섬유간격의 폭이 넓으며 전반적으로 섬유의 길이가 증가할수록 섬유간의 간격은 좁아지는 것으로 관찰 ○ 0.8% 혼입률 : 섬유의 간격은 196~350μm 정도로 섬유간격이 가장 좁게 나타났으며, 섬유의 길이가 길수록 섬유간격은 좁아짐
고혼입 비정질 강섬유의 콘크리트내 분산 및 시공성 향상 기술 개발	■굳지않은 콘크리트의 품질관리 및 검사	○ 슬럼프 : 섬유길이/혼입률이 증가할수록, 작업성은 나빠짐. ○ 공기량 : 섬유길이/혼입률 변화에 대한 공기량 변화는 일정하지 않음 ○ 역슬럼프 : 섬유길이 및 혼입률이 증가 할 수록 작업성은 나빠지며, 경향은 슬럼프 시험결과 보다 훨씬 크게 유동성 감소 ○ 베베시험 : 섬유길이 및 혼입률 증가로 유동성 감소를 보여주지만, 역슬럼프시험에 의한 유동성 변화가 더욱 뚜렷하게 관찰 됨 ○ 슬럼프, 역슬럼프, 베베시험에 의한 비정질강섬유의 유동성변화는 역슬럼프시험에 의한 유동성변화를 통한 굳지 않은 콘크리트의 품질관리에 보다 효과적인 것으로 판단 됨 - 비정질강섬유를 고혼입상태로 균질한 콘크리트를 생산하기 위해서는 강제식 트윈샤프트형 믹서가 적절한 것으로 판단됨

성과목표	연구 내용	연구 결과
	▪비정질 강섬유 부착강도 특성검토	○ JCI-SF8 「Method of Test for Bond of Fibers」에 의거하여 실험 - 최대 인발하중은 후크형 강섬유와 유사하게 나타났으나 표면적이 약 2.2배 정도 크기 때문에 부착강도가 낮게 나타남. - 후크형 강섬유 : Pullout 발생 / 비정질 강섬유 : Fracture 발생
	▪비정질 강섬유 콘크리트용 최적 혼화제 검토	○ 비정질 강섬유 콘크리트용 최적 혼화제 검토 - 섬유 혼입량이 증가함에 따라 유동성이 점차 감소 - 비정질 강섬유를 분산시키기 위한 최적의 혼화제는 폴리카르본산계 고성능 감수제가 가장 우수
	▪비정질 강섬유 콘크리트 특성평가	○ 비정질 강섬유 혼입 콘크리트 역학적 특성 - 압축강도의 경우 비정질 강섬유 혼입 콘크리트 배합에서 Plain(무혼입)배합과 동등이상의 강도 발현(목표 24MPa이상 강도 발현) - 휨강도의 경우 비정질 강섬유 혼입량이 증가할수록 휨강도가 향상(목표 Plain(무혼입)대비 29% 증가)
	▪비정질 강섬유 콘크리트 내구특성평가	○ 비정질 강섬유 혼입 콘크리트 내구성 평가 - 비정질 강섬유 혼입량에 따라 건조 수축량 감소(Plain 대비 23% 감소) - 동결융해 실험 결과 비정질 섬유 혼입량에 따라 상대 동탄성계수 및 내구성 지수는 유사한 값을 나타냄 (90Cycle기준 95이상)
비정질 강섬유 혼입 탄소저감형 마감모르타르 실용화 기술개발	▪비정질 강섬유 콘크리트 CO2 저감	○ LCC02 평가
	▪비정질 강섬유 혼입 마감 모르타르의 성능 평가 및 현장적용 지침(안)	○ 길이변화 (강섬유 길이별 길이변화 수축량 측정) ○ 열성능 평가(열전도율 측정) ○ 현장적용을 위한 Mock-Up 진행 ○ 현장적용 (포스코 그린빌딩)
Carbon negative cement 제조 및 활용기술 개발	▪물리화학적 성능 검증	○ 압축강도는 배합비에 따라 40~80M 정도로 높게 나타났으며, 특히 기존 시멘트가 강알칼리성임에 비해 Carbon negative 시멘트는 pH가 약 8.9로 중성에 가까움.
	▪Total CO2 발생량 분석 및 검증	○ 일반적인 OPC 생산에서 원료에서 발생하는 CO2는 시멘트 생산 시 투입량의 대략 50% 정도의 CO2 가 발생(에너지 사용량 제외) ○ Carbon negative 시멘트의 경우 배합비에 따라 약 15~20%를 발생하는 반면 45일 후의 CO2 흡착량은 약 25~40%로 원료에서는 CO2 발생량보다 사용중의 CO2 흡수량이 더 많음.
	▪Carbon negative cement를 이용한 제품 배합설계	○ 사문석 및 MgCO3원료에 포졸란 반응물질 그리고 반응촉진제등을 사용한 Carbon negative 시멘트에 W/C비 및 유동특성 실험을 통하여 최적의 배합비 도출.

라. 4차년도

성과목표	연구 내용	연구 결과
HVMA 고강도 레미콘 실용화 기술개발	▪Mock Up 실험	○ 압축강도 52.7MPa, 인장강도 4.70 MPa, 슬럼프 플로 680mm 확보 ○ HVMA가 OPC보다 최고온도 29.6℃ 저감됨.
	▪HVMA레미콘 Test Bed 적용 및 시공성	○ 압축강도 61.6MPa, 인장강도 4.59 MPa, 슬럼프 플로 590mm 확보
	▪수화열 해석 평가	○ 온도균열지수가 상부 3.19 이상, 중앙부 2.95 이상 확보 가능한 것으로 나타나 균열 발생을 보다 안정적으로 제한할 수 있는 것으로 예측됨
HVMA SCC 개발 및 실용화	▪중장기 모니터링(수화열, 길이변화, 강도)	○ 최고온도가 59.2℃로 레퍼런스 콘크리트보다 29.3℃ 저감하였으며, 길이변화 특성과 균열 특성에서도 우수한 결과를 보임.
	▪내구성 보완실험(탄산화 저항성, 염분 저항성)	○ 충분한 양생이 진행될 경우 탄산화 저항성이 향상됨. ○ HVMA 콘크리트가 일반 콘크리트보다 염화물 저항성이 우수한 것으로 나타남.
	▪시공성 예측의 적정성 평가를 위한 Mock-up test	○ Mock-up test
	▪간이 단열수화열 시험에 의한 온도 발현 특성 검토	○ 수화열 시험 수행
PC제품용 고성능 무시멘트 콘크리트 개발 및 실용화	▪PC부재의 구조거동 실험	○ 휨강도 실험 - 예측값과 실측값의 오차 3.3% (목표 10%이하) ○ 전단강도 실험 - 예측값과 실측값의 오차 11.9% (목표 20%이하)
	▪고성능 무시멘트 콘크리트의 PC부재 설계 및 제작	○ PC공장 부재 제작 - 2종류의 시제품 제작
비소성 결합재를 활용한 CO2 저감형 시멘트 콘크리트 개발	▪비소성결합재(석회석미분말) 사용 BC(Blended Cement)의 기초물성평가	○ 시멘트 생산업체(3곳)로부터 혼합시멘트를 수급받아 석회석미분말 치환율(10%, 15%, 25%, 35%)에 따른 BC의 비중, 분말도, 안정도 및 응결시간 등이 측정되었음 - 석회석미분말 치환율이 증가할수록, BC 비중은 감소하였으며, 응결시간 및 안정도는 기존 OPC와 동등 수준을 나타내었음. 분말도는 석회석미분말 35% 치환 시 가장 큰 것으로 나타났음
	▪비소성결합재(석회석미분말) 사용 BC(Blended Cement) 모르타르의 역학적 성능평가	○ 석회석미분말 치환율(10%, 15%, 25%, 35%)에 따른 BC 모르타르의 압축강도 측정 - 석회석미분말 10% 및 15% 치환시, 기존 OPC와 동등 수준의 압축강도특성(28일 압축강도 50MPa 수준)을 알 수 있으며, 25% 및 35%로 고혼입시, 강도는 다소 저하되는 경향은 보이나 32.5MPa 이상으로 구조체가 아닌 다른 용도로 사용이 가능함.
	▪비소성결합재(석회석미분말) 사용 BC(Blended Cement)의 미세구조분석	○ 석회석미분말 치환율(15%, 25%, 35%)에 따른 BC의 수은압입법을 통한 공극특성 분석, 시차열분석(TG/DTA) 등을 수행하였음 - MIP결과, 28일 재령에서의 15%의 석회석미분말 치환 시편의 공극구조가 가장 밀실한 것으로 측정되었음 - TG분석결과, 석회석미분말 함량이 증가할수록 무게 변화가 커짐을 알 수 있었음

성과목표	연구 내용	연구 결과
비소성 결합재를 활용한 CO2저감형 콘크리트 활용기술 개발	■비소성 결합재를 사용한 BC 콘크리트 활용기반 구축	○ 비소성 결합재를 사용한 BC 콘크리트의 배합 특성 분석 및 설계
		○ 비소성 결합재를 사용한 BC 콘크리트의 역학적 특성 평가
		○ 구조재료 적용을 위한 기초 실험 - 압축강도, 탄성계수, 부착강도 등
비소성 결합재와 자원순환형 골재를 활용한 무시멘트 경량 콘크리트 개발 및 실용화	■무시멘트 경량 콘크리트 내구성 평가	○ 내산성: 제조한 무시멘트 경량 콘크리트를 황산 용액에 침지 후 KS L 5105에 의거하여 압축강도를 측정함. 28일 동안 황산용액에 침지후, 측정된 압축강도는 OPC 11.8MPa, 무시멘트 콘크리트 32.1MPa임. ○ 염소침투저항성: 밀도 1.8~2.0 ton/m3 에서 압축강도 20~50MPa를 확보하였으며, 쪼갬인장강도는 2.9MPa를 달성함.
	■무시멘트 경량 콘크리트 단열성능 평가	○ KS F 4040에 의거하여 KCL에서 열전도율 실험을 수행함. 정량적 목표치인 열전도율 0.8W/mK 이하를 확보 (0.51W/mK) 하였음. ○ 무시멘트 경량 콘크리트의 밀도가 1.4~1.6사이 일 때, 열전도율 0.50~0.60을 나타냈고, 밀도가 1.8일 때, 열전도율 0.66을 나타냄.
	■무시멘트 경량 콘크리트의 실증하우스 시작품 제작	○ 무시멘트 경량 콘크리트의 시작품 제작 - 크기: 3cm(두께)*50cm(폭)*250cm(길이) - 압축강도: 40MPa, 휨강도: 6MPa, 탄성계수: 15GPa 확보
에너지 저감형 비정질 강섬유이용 실용화기술개 발	■비정질 강섬유 콘크리트 제조기술개발	○ 비정질 강섬유 혼입 콘크리트 제조 및 B/P생산 - 레이콘 B/P 생산을 위해 비정질 강섬유 보강 콘크리트 생산 - 믹싱 시 골재, 비정질 강섬유, 배합수의 혼합에 따라 비정질 강섬유의 뭉침현상은 육안으로 발견되지 않음.
	■비정질 강섬유 콘크리트 균열특성 평가	○ 비정질 강섬유 보강 콘크리트 균열 특성 - 일반콘크리트에 비해 70% 균열 저감
	■비정질 강섬유 콘크리트 Mock-Up Test	○ 비정질 강섬유 보강 콘크리트의 역학적 특성 - 압축강도의 경우 비정질 강섬유 혼입 콘크리트 배합에서 Plain(무혼입)배합과 동등이상의 강도 발현(Plain 대비 6.5% 강도 증가) - 휨강도의 경우 비정질 강섬유 15kg/m³를 혼입한 콘크리트의 휨강도가 가장 높게 나타남.(목표 Plain 대비 19% 증가) - 인장강도의 경우 비정질 강섬유 혼입량이 증가할수록 강도가 향상(목표 Plain 대비 13% 증가)
	■비정질 강섬유 콘크리트 실증하우스 적용	○ 비정질 강섬유 혼입 콘크리트 실증하우스 적용 - 비정질 강섬유 보강 콘크리트의 주차장 및 보행자 통로 타설 완료 - 현장타설 시 문제점 없음.
비정질 강섬유 혼입 탄소저감형 마감모르타르 실용화 기술개발	■비정질 강섬유 혼입 탄소저감형 마감 모르타르의 실증화 평가	○ 탄소저감형 건설재료 실증하우스 적용
		○ 비정질 강섬유 혼입 마감모르타르 에너지 성능 평가

성과목표	연구 내용	연구 결과
고혼입 비정질 강섬유의 콘크리트내 분산 및 시공성 향상 기술 개발	■역학적 특성평가(휨성능) ■내구성평가(건조수축) ■시제품 제작 ■현장적용	○ 휨강도 - 비정질강섬유 : 10mm : 0.3% 혼입률 →44% 증가, 0.6%혼입률→26% 증가 : 20mm : 0.3% 혼입률 →40% 증가, 0.6%혼입률→57% 증가 : 30mm : 0.3% 혼입률 →30% 증가, 0.6%혼입률→63% 증가 - 일반강섬유 : 30mm : 0.3% 혼입률 →13% 증가, 0.6%혼입률→13% 증가 ○ 휨잔여강도 - 비정질강섬유 : 10mm : 0.3% 혼입률 → 0.7MPa, 0.6%혼입률→ 0.5 MPa : 20mm : 0.3% 혼입률 → 0.7MPa, 0.6%혼입률→ 2.8 MPa : 30mm : 0.3% 혼입률 → 1.8MPa, 0.6%혼입률→ 2.7 MPa - 일반강섬유 : 30mm : 0.3% 혼입률 → 1.9MPa, 0.6%혼입률→ 2.9 MPa ○ 휨인성 - 비정질강섬유 : 10mm : 0.3% 혼입률 → 11.2kN-mm, 0.6%혼입률→ 9.2kN-mm : 20mm : 0.3% 혼입률 → 11.3kN-mm, 0.6%혼입률→ 23.3kN-mm : 30mm : 0.3% 혼입률 → 15.0kN-mm, 0.6%혼입률→ 25.0kN-mm - 일반강섬유 : 30mm : 0.3% 혼입률 → 16.0kN-mm, 0.6%혼입률→ 22.0kN-mm ○ 비정질강섬유를 혼입한 결과 길이가 증가할수록, 혼입률이 증가할수록 휨 성능이 전반적으로 향상되며, 일반강섬유와 비교시 동등 혹은 이상의 결과를 나타냄.
		○ 건조수축 - 섬유길이가 증가할수록, 혼입률이 증가할수록 건조수축에 대한 균열제어가 우수한 것으로 나타남. - 일반강섬유와 비교시 동등 및 이상의 건조수축 결과를 보임.
		○ LEFC 적용 - 비정질강섬유 길이 10mm를 전체부피당 0.5% 혼입하여 LEFC의 휨강도 및 균열제어 향상을 목적으로 적용하여 시제품 제작(다양한 반투명콘크리트 휨성능 향상 목적으로 적용) - 향후 파티션, 조형물, 간판 등 다양한 종류의 LEFC에 비정질강섬유 적용 예정
		○실증하우스 간판 - 4차년도 실증하우스 건물 간판에 다양한 투명봉 및 파이프가 적용된 LEFC를 제작하여 건물 홍보용으로 제작하여 설치 (강섬유+투명재질+조명) - 내후성을 지속적으로 모니터링 진행 중
Carbon negative cement 제조 및 활용기술 개발	■물리화학적 성능 및 내구성 평가	○ 사문석 및 마그네사이트 그리고 반응첨가제인 실리카흄, 플라이애쉬 슬래그미분말들을 첨가하고 반응촉진제로 MgCl₂등을 첨가하였을 경우 내수성, 안정성 및 내구성이 우수 ○ 압축강도는 배합비에 따라 40~80M 정도로 높게 나타났다. 또한 안정도 및 동결융해 평가에서도 우수함.
	■Carbon negative시멘트를 이용한 시제품 제조	○ Carbon negative 시멘트를 이용하여 블록 및 패널 제품의 시제품을 제조 하였다. 또한 Carbon negative 시멘트의 특성을 살려 내산 몰탈,속경성 몰탈, 부착성 몰탈등의 적용성을 검토.
	■실증하우스 적용성 평가	○ 사문석 및 MgO3원료에 반응촉진제등을 사용한 Carbon negative 시멘트를 사용하여 압축강도 37.6N/mm², 휨강도 5.6 N/mm² 의 물리적 특성을 가지고 200mm*200mm* 60mm 사이즈의 블록 제품을 제조하여 실증하우스의 바닥에 시공.

마. 5차년도

성과목표	연구 내용	연구 결과
HVMA 고강도 레이콘 실용화 기술개발	HVMA 고강도 레이콘 실용화 기술개발	○ 동일강도 영역에서 HVMA 계열이 PL보다 W/B가 낮게 배합설계 되었으나, 경제성 및 CO2 저감량 우수 ○ 다량의 혼화재 사용으로 유동성 증진효과 우수 ○ 설계기준강도 24, 30 MPa 확보, PL배합 대비 동등 수준 ○ HVMA 계열이 PL 배합보다 우수한 염해저항성 확보 ○ HV2가 PL배합보다 최고온도 14.5 °C 저감
		○ HVMA 고강도 레이콘 2차 현장 적용성 평가 - 압축강도 63.1 MPa, 슬럼프 플로 650 mm 목표치 달성 - HVMA가 Reference보다 최고온도 14.4 °C 저감
		○ HVMA 고강도 콘크리트 제조 및 품질관리 지침(안) 작성
		○ 25-50-600 탄소배출량인증 획득(한국환경산업기술원)
HVMA SCC 개발 및 실용화	HVMA SCC 활용기반 구축	○ 현장적용성 검증 ○ 수치해석 기법을 활용한 온도균열 및 수축균열 평가 ○ HVMA SCC 제조기술 및 품질관리 지침 개발 ○ 친환경적인 HVMA SCC의 등급화 방안 수립
PC제품용 고성능 무시멘트 콘크리트 개발 및 실용화	고성능 무시멘트 콘크리트 활용 기반 구축	○ 고성능 무시멘트 콘크리트의 제조 기술 및 품질관리 지침 개발 ○ 고성능 무시멘트 콘크리트 PC부재의 장기거동 실험 및 해석적 평가
비소성 결합재를 활용한 CO2 저감형 시멘트 콘크리트 개발	비소성 결합재 활용 시멘트 · 콘크리트 기술개발	○ 비소성 결합재 활용 시멘트 콘크리트 내구성능 평가 - 압축강도, 동결융해 저항성, 탄산화, 길이변화 등 ○ 비소성 결합재 활용 시멘트 KS표준 제정
비소성 결합재를 활용한 CO2저감형 콘크리트 활용기술 개발	비소성 결합재 사용 섬유보강 콘크리트 개발	○ 고인성 섬유보강 콘크리트 연구동향
		○ 섬유보강 콘크리트의 사용 재료특성 분석
		○ 고인성 섬유보강 콘크리트의 역학적 특성 평가 - 압축강도, 휨강도, 직접인장강도 등

2. 2세부

가. EEH 시스템 구축 기술 및 단열콘크리트 배합 개발(GS건설)

년 차	연구 내용	연구 결과
1차년도	EEH 시스템 구축 관련 자료조사 및 분석	- EEH 요소기술 분석 - 국내외 실증하우스 조사 및 분석 - 평가방법 조사 및 분석 - 에너지효율 및 단열해석방법 조사
2차년도	EEH 요소기술 구축	- 국내 에너지 고효율 주택 추가 조사 및 분석 - 부위별 사용재료 및 적용기술의 패턴 분석 - 적용기술의 성능 조사 및 에너지 효율 증대를 통한 절감 효과 분석 - 레퍼런스 하우스(일반공동주택) 구축을 위한 에너지 고효율 재료 조사 및 기술 검토 - 총에너지 및 조건별 에너지 분석을 통한 detail review 및 solution 제안 - 각 부위별 부재단위 단열해석 및 부재실험을 통한 단열성능평가
	레퍼런스 하우스 설계를 통한 CO₂ 배출량 평가 및 저감 방안 검토	- reference house 구축을 위한 설계 및 기술검토 - CO₂ 배출의 저감방안 연구
	단열콘크리트 배합설계 프로세스 구축 I	- 단열재료 조사 및 국내외 열전도율 시험 방법 조사 분석 - 단열콘크리트 제조를 위한 원재료 분석 및 선정 - 단열 재료별 배합설계 기술 구축 - 하이브리드 타입의 단열콘크리트 배합설계 프로세스 구축
3차년도	일반 공동주택 구축	- 비교용 일반 공동주택 구축 - EEH 기술이 집약된 실증주택과 비교분석을 위해 기존 기술을 사용한 일반 공동주택의 설계 및 구축 - 계절별 내부온도 및 에너지효율 등 예측 및 monitoring 실시 - Simulation을 통한 성능평가 기법 조사
	EEH 구축을 위한 설계기술 개발	- Simulation을 통한 성능평가 기법 확보 - 실증주택을 대상으로 에너지 효율성을 시뮬레이션하고 평가하기 위한 평가기법을 확보하였다. - 계측을 통한 Simulation Feedback - Simulation을 통한 계측치와 실증주택 Monitoring을 통한 실제계측치와의 신뢰도 분석 실시 - 해외자문 결과를 반영한 EEH 설계 - Simulation을 통한 EEH 사전 성능평가

년 차	연구 내용	연구 결과
	단열콘크리트 배합설계 프로세스 구축 II	- 단열콘크리트 최적 재료 선정 및 최적 배합 개발 - 단일(경량골재, HMS, 마이크로 기포제) 재료 및 복합재료 재료를 대상으로 최적 배합 개발 - 단열콘크리트 배합 매뉴얼 작성 - 재료별 사용량에 따른 성능 - 재료별 배합방법 및 배합순서와 품질관리 방안 - 단열콘크리트 성능 평가 - 물리적/역학적 특성 및 내구성 평가
4차년도	EEH 구축기술 개발	- 열손실지수 30% 저감된 EEH 구축 - 한국건설기술연구원에 지상4층 규모의 실증하우스 설계 및 구축완료 - EEH에 적용할 수 있는 연구 또는 개발된 단열 기술 평가 및 선정 - 계절별 내부온도 및 에너지효율 등 계측 및 monitoring 실시 - 온/습도계, 전력량계, 표면온도계를 통한 계측 - Simulation을 통한 성능평가 - 시뮬레이션 프로그램 선정
	단열콘크리트 배합설계 프로세스 구축 III	- 단열콘크리트 내구특성 평가(탄산화, 동결융해저항성, 투수성 등) - 실증하우스 적용을 통한 단열콘크리트 에너지저감 효과 평가
5차년도	EEH Monitoring을 통한 성능평가 및 Simulation tool 구축	- 장기계측을 통한 적용된 단열기술의 성능평가 및 feedback - 실증하우스 층별 모니터링 수집정보 - 층별 냉방 에너지 사용량의 차이는 2 ~ 32%까지 차이가 나타남 - 층별 난방 에너지 사용량의 차이는 38 ~ 87%까지 차이가 나타남 - 계측결과를 활용한 Simulation기법 feedback 및 신뢰도 평가 - 각 발열 요소들의 발열량, 발열 스케줄, 발열 특성을 시뮬레이션 모델에 반영 - 에너지효율 평가를 위한 신뢰도 높은 simulation tool 구축
	EEH 적용기술 Feedback 및 EEH 구축 Guideline 제시	- 적용된 단열기술의 시공성 평가 - 난방에너지사용량이 많은 공동주택인 경우 전체적인 에너지 절감율이 63.63~69.55%로 나타남 - EEH적용에 따른 보완점 도출 - 동절기 난방시스템과 하절기 냉방시스템 효율에 대한 설비적 보정 필요 - EEH 구축 Guideline 제시 - 에너지시뮬레이션 Baseline은 건물재료 특성별, 지역별, 기후별 등의 다양한 범위에서 에너지사용량을 비교검토할 수 있는 자료로 활용이 가능함.

나. 단열성능 향상 콘크리트 생산 기술 개발(한라엔컴)

년 차	연구 내용	연구 결과
1차년도	국내외 단열성능향상 콘크리트 기술수요조사	단열성능향상 콘크리트 관련 문헌조사 (국내외 학술지 및 연구논문 조사)
	레미콘 생산설비 현황조사 및 분석	- 레미콘 생산설비 요소별 조사 및 분석 - 레미콘 생산설비 효율성 분석
2차년도	기존의 생산 설비에 의한 단열성능향상 콘크리트 제조 및 생산 효율성 평가	- 단열성능향상 재료 사용하여 실내에서 에너지 저감형 콘크리트 개발(목표 강도 및 열전도율 2배 향상 만족) - 단열성능향상 재료 사용하기 위해 기존 레미콘 생산설비에 가설장비 설치, 에너지 저감형 콘크리트 생산 - 실내실험과 B/P실험과 비교분석 실시
	단열성능향상 콘크리트 생산설비 개선 및 보완사항 도출	- 레미콘 생산 설비 분석 - 생산 설비 요소별 분석 - 골재 이송 부문, ② 분체 이송 부문 - 사용수 및 혼화제 이송 부문, ④ 믹서 부문 - 생산 설비 효율성 분석 - 믹싱효율 분석, ② 공정효율 분석 - 단열성능향상 재료 사용하여 에너지 저감형 콘크리트 목표 달성하기 위한 생산설비 개선 및 보완사항 도출 - 고분자, 밀도 분체용 펌프 시스템구축 - 기포제 투입 시스템 장비 구축 - 골재 투입 시스템 구축 - 가설장비 설치 후 적용가능성 평가
	보통콘크리트의 테스트베드를 통한 CO₂ 배출량 평가 및 저감방안 검토	건물내 사용단계에서의 CO₂ 배출량 평가 시뮬레이션 분석 및 저감방안 검토
	기술동향조사	- 국내외 에너지 저감형 콘크리트 관련 기술자료수집 및 분석 - 비구조용 콘크리트 2차제품
3차년도	단열성능향상 콘크리트 생산설비 개선	- 단열성능향상 콘크리트의 원활한 생산을 위한 기존 레미콘 설비 개선 - 고분말·저밀도 규조토 미분말 적용 설비 부문 - 고점성 마이크로기포제 적용 설비 부문 - 다공성 경량골재 적용 설비 부문
	단열성능향상 콘크리트 제조/생산 프로세스 구축	- 단열성능향상 재료 특성 분석 - 고분말·저밀도 규조토 미분말 - 고점성 마이크로기포제 - 다공성 경량골재 - 단열성능향상 재료 특성을 고려한 제조/생산 프로세스 구축 - 단열성능향상 재료 투입순서 및 방법 분석 - 마이크로기포제 발생원리, 믹싱방법, 믹싱시간
	개선된 생산 설비에 의한 단열성능 향상 콘크리트 제조 및 생산효율성 평가	- B/P를 이용한 단열성능향상 콘크리트 생산 및 Mock-Up Test - 콘크리트 물리·역학적 특성 분석 - 콘크리트 열전도·열관류 특성 분석

년 차	연구 내용	연구 결과
		(열전도율, 열관류율) 실내실험에서의 단열성능향상 콘크리트 내구성 평가 (길이변화, 동결융해 저항성, 중성화, 투수성, 탄성계수)
	단열성능향상 콘크리트 제조/생산 매뉴얼 작성	- 제조/생산 매뉴얼 구축 - 생산설비 매뉴얼 구축
4차년도	단열성능향상 콘크리트 생산설비 개선	- 단열성능향상 콘크리트 생산설비 개선 - 고분말·저밀도 규조토 미분말 적용 설비 구축 - 규조토 미분말 특징(밀도 0.5 g/cm³, 분말도 200,000 cm²/g(포틀랜드 시멘트의 약 70배))으로 인한 기존 레이콘 설비 이용시 비산 먼지 발생, 고결현상 등의 문제점 발생 이에 따른 기존 B/P 설비로는 적용이 어려움 - 이에 단열성능향상 콘크리트 생산을 위한 저밀도 고분말 이송 설비, 저장조, 계량조 설비 구축 - 경량골재 이송방법 개선
	실증하우스 현장 적용 및 성능 평가	- 보통콘크리트 대비 열전도율 2배 이상 향상된 단열성능향상 콘크리트의 실증하우스 현장 적용 및 성능 평가 - 연구단 실증하우스 2~3층 현장 적용 - 단열성능 향상 콘크리트 성능 평가 (압축강도 : 24MPa 이상, 열전도율 : 2배 개선) - 슬럼프 경시변화 : 유동성 양호 - 골재 부립현상 개선 등 - 열관류율 평가 (보통콘크리트 3.03 W/m²K, 단열성능향상 콘크리트 2.32 W/m²K)
	보통콘크리트와의 단열성능 비교 평가	- 보통콘크리트와의 단열성능 비교 평가 - 단열성능향상 콘크리트와 보통콘크리트로 구성된 모니터링실에서의 단열성능 비교평가 실시(1차) 4차년도 1차 : 실내 온도변화 비교 5차년도 2차 : 목표온도 도달 및 유지시 사용된 전력량(비) 평가 3차 : 기타 단열성능 평가
	단열성능향상 콘크리트 제조/생산 매뉴얼 개선	- 단열성능향상 콘크리트 제조/생산 매뉴얼 개선 - 실용화를 위한 제조/생산 기술 매뉴얼 개선 - 생산설비 매뉴얼 개선 - 품질특성 및 기준에 관한 지침
5차년도	단열성능 향상 콘크리트의 단열성능, 에너지절감, CO₂저감 평가	- 단열성능 비교평가 - 외기변화에 따른 온도변화 개선, 에너지 사용량 저감 - 에너지절감 및 CO₂저감 비교 평가 - 일반콘크리트 대비 난방에너지 사용량 5% 절감
	단열성능향상 콘크리트의 실용화 기술 매뉴얼 보완 및 개선	- 단열성능 향상 콘크리트 제조/생산 매뉴얼 등 보완 - 단열성능 향상 콘크리트 단열성능 시험 방법 제시
	경제성 평가	단열성능 향상 콘크리트 배합별 원가 및 에너지 효율 분석
	기술동향조사	해외특허, 논문동향과 과제 성과와의 비교검토

다. 공동주택 에너지 저감형 건축자재(DB구축) 활용 기술 개발(LH)

년 차	연구 내용	연구 결과
1차년	국내외 단열설계 및 시공기술 조사	- 국내외 에너지 저감형 건축자재 카탈로그 수집 및 분석 - 관련 해외 전시회 방문을 통한 자료 수집 - 국내외 건설사 방문을 통한 설계 및 시공 현황조사 - 국내외 기술 수준 분석
	국내외 에너지 저감형 건축자재 조사	- 건축자재의 보유 성능 항목 조사 - 건축물 부위별 요구 성능 항목 조사 - 설계, 시공 현황 분석
2	에너지 저감형 건축자재의 성능평가	- 문헌 및 인터넷을 이용한 에너지 저감형 건축자재의 성능기준 조사 - 열전도율, 기밀성 등 에너지 저감 성능 시험
	- 단열형태별 열성능 시뮬레이션	- 열전도율 측정장치 등을 이용한 단열재 물성 시험 - 기존 연구 등의 활용한 시뮬레이션 모델 설정 - 국내외 기술수준 조사·분석 및 전문가 자문
3	에너지 저감형 건축자재의 DB구축	- 국내외 기술 수준 분석 2차년도 분석결과 및 전문가 자문 등을 통한 DB구성 항목 및 분류체계 수립 - DB전문가(IT)를 활용한 DB 설계 및 구축
	- 단열형태별 열성능 시뮬레이션	2차년도에 설정한 모델을 활용하여 열성능분석을 하고 그 결과를 바탕으로 에너지 소비량 해석 에너지 소비량해석을 통하여 기존 공법과 제안 공법의 CO₂ 발생량을 비교 분석하고 제안기술의 CO₂ 저감량 예측 - 국내외 관련 연구결과와 비교 - 전문가 자문 실시
	- Mock-up 실험	- 기본설계(한국토지주택의 기본 주택형 도출) - Test Bed 설계 및 시공 - 실시설계 및 시공은 전문업체 용역 처리 - 시공지침(안) 제시
4	부위별 자재선정 의사결정 시스템 구축	- 부위별 요구성능 및 자재별 보유성능 조사 - 부위별 적정 자재 선정 시스템 구축 - 목표 열관류율을 만족시키는 단열재 선정 시스템 구축 - DB내 재검색 기능
	에너지 저감형 건축자재의 설계 및 시공 기준 마련	외단열 시스템 설계 및 시공 지침(안) 개발
	Mock-up 실험	- 에너지 소비량 70% 저감 공동주택 외단열 시공 - Mock up 에너지 소비량 모니터링 계획 수립 및 실시
5	에너지 저감형 건축자재의 설계 및 시공 지침 작성	- 외단열 공법 설계 지침 작성 - 외단열 공법 시공 지침 작성
	결과분석 및 보완	- 외단열 시스템 적용시 난방에너지 사용량 57% 절감 - 외단열 시스템 적용시 CO₂저감량 54.2%

라. LEC 내외장재 제조 및 공정기술 개발(KICT)

년 차	연구 내용	연구 결과
1차년도	기존 내외장재 현황분석	- 본 연구의 target 목표 설정 - 국내 콘크리트 2차 제품은 크게 패널, 보드 및 텍스로 구분 - 패널과 보드는 제품 생산 후 상온양생, 2차, 3차 양생을 실시하며 텍스, 석고보드는 상온양생만 실시 - 시장성과 생산성, 적용성 등을 비교 했을 시 콘크리트 내외장용 패널이 적용 가능성 가장 우수 - 기존 내외장재의 배합특성 및 원료 소재 분석 - 적용 가능한 패널과 보드류 제품의 배합 및 원료 비교 분석 - 패널 제품군의 경우 칼슘질 재료와 규산질 재료를 고온, 고압 오토클레이브양생을 이용 수열 합성 반응하여 제품 생산 - C/S 몰비, 제품 성능에 따라 배합비는 바뀌나 기본적인 배합 특성은 동일함 - 보드류 경우 석고를 원료로 한 석고보드, 수열합성반응을 이용 CRC보드와 규산 칼슘보드 등이 있음 - 국내 조강용 혼화재를 적용, 3차 양생 배제 후 제품을 생산하나 최종제품 품질저조 문제점 있음
	LEC 콘크리트 내외장재용 무기질 원료소재 분석	- 조강성 무기질 원료소재 분석 - 조강성 무기질 원료 자료 분석을 통해 적용 가능한 재료 선정 - 조강용 재료 중 C-S-A를 기반으로 하는 아원계 초속경 시멘트와 미분말시멘트, 수화 시 발열이 활발한 생석회를 대체 재료로 선정 - 선정된 재료의 종류와 대체율, 양생 방법을 달리하여 응결 및 강도 등 기초 특성평가 - 선행 기초 실험 결과 재료 및 배합조정을 통해 양생 배제 및 차수줄임의 가능성 파악 - 자원순환형 무기질 원료소재분석 - 폐기물, 기타 산업부산물을 이용한 무기소재 비교분석 - 플라이애쉬, 고로슬래그 등은 장기 강도에 유리하지만 초기 강도 발현을 저조, 적용 가능성 저하
2차년도	내외장재용 무기질 원료 설정	- 조강성 무기질원료 선정 및 성능평가 - 조강용 재료 중 CSA, CA, 초속경, 조강, 고로슬래그, 석고 등을 이용하여 9가지 결합재를 선정 - 폐자원, 산업부산물 등의 자원순환형 무기질 재료 선정 및 성능 평가 - 산업부산물중 철강산업에서 발생하는 부산물인 환원슬래그 이용 - 환원슬래그는 Ca와 Al이 90% 이상을 차지하는 칼슘알루미나계 조강성 재료로 발열량이 높고, 반응율과 활성도가 높음 - LEC 콘크리트 내외장재 성능발현을 위한 최적의 무기질 원료 소재 개발 - LEC 기술구현을 위해 결합재를 기존 시멘트에 50%

년 차	연구 내용	연구 결과
		대체하여 고로슬래그와 무수석고, 환원슬래그를 이용 기존 내외장재 생산시 발생하는 CO₂양과 개발기술 적용시 발생하는 CO₂양 비교평가
	내외장재용 최적 배합도출	- LEC 콘크리트 내외장재의 최적성능 발현 위한 무기질 원료의 혼합비율 구성 및 배합 도출 9가지 조강성 재료를 선정 후 적용 가능한 재료선정 - 선 재료 선정 실험 후 고로슬래그와 석고, 환원슬래그를 선정 - 선정된 재료를 이용하여 최적배합 실험진행 - LEC 기술구현을 위한 무기질결합재 선정 후 내구성능 검토
3차년도	저에너지 양생 건축 자재 생산용 급결성 무기 결합재의 물리적 특성 검토	- 저에너지 양생용 CA 무기결합재 특성 검토 - CA 무기결합재의 물리적 특성 : 밀도 2.97g/cm³, 분말도 5,200(cm²/g) - CA 무기결합재의 화학적 조성 - CA 무기결합재의 양생조건에 따른 물리 역학적 특성 평가 - 수중양생조건에서의 치수안정성 검토 - 고압증기양생에서의 팽창도 검토
	LEC 콘크리트 내외장재의 제조 및 공정기술 개발	- LEC 압출성형패널 제조 - 슬래그+석고+하소카올린+무수망초를 이용한 조강성 결합재 기존 시멘트 결합재 40% 대체 - 조기수화 촉진을 위한 CAC 혼화제 결합재에 5% 혼입 - LEC 압출성형패널 최적배합 선정 - 결합재, 혼화제, 섬유 등을 이용한 최적배합 도출 - 결합재 40% 대체, pp섬유 대체 가능성 확인 - LEC 내장타일 제조 - 개발 결합재 이용 내장타일 제조 - 기능성 내장타일 물성만족
	LEC 건축 내장용 패널 모듈개발	- 모듈화 단열 제품 시작품 / 샘플 제작 6종 처방 시제품 생산 완료 - 성능 평가 완료 - 기계적 물성 평가(굴곡강도, 압축강도) - 단열성(0.07W/m·K), 내충격성(깨짐없음) - 양산제품 평가
	LEC 콘크리트 내외장재의 성능 평가	- LEC 압출성형패널 물성 평가 - 단위용적질량 : 1.35~1.78 g/cm³ - 압축강도 : 35.7~49.9 MPa - 휨강도 : 10.2~17.4 MPa
	제품 시방서 및 시공 지침(안) 작성	- LEC 압출패널 제품시방서(안) 작성 - 자재관리 - 공정관리 - 품질관리
	LEC 압출성형패널 내구성 평가	- LEC 압출성형패널 배합비에 따른 공학적 및 내구성 검토 - 참여기업 벽산 현장 플랜트를 이용하여 외벽 50T 및 내벽 50T, 30T 제품생산
4차년도	LEC 압출성형패널 내구성 평가	- LEC 압출성형패널 배합비에 따른 공학적 및 내구성 검토 - 참여기업 벽산 현장 플랜트를 이용하여 외벽 50T 및 내벽 50T, 30T 제품생산

년 차	연구 내용	연구 결과
		- 동결융해 150사이클 후 질량변화율 4.37%, 길이변화율 0.22%, 강도변화율 12.2%로 나타남 - 내구성 지수는 크게 저하하지 않아 양호한 것으로 평가
	▪ LEC 콘크리트 압출패널 시공 기술개발	▪ LEC 압출성형패널 제조 - 슬래그+석고+하소카올린+무수망초를 이용한 조강성 결합재 기존 시멘트 결합재 40% 대체 - 조기수화 촉진을 위한 CAC 혼화제 결합재에 5% 혼입 - 결합재 40% 대체, pp섬유 대체 가능성 확인 ▪ 개발 제품의 실증하우스 적용
	▪ 시방서(메뉴얼) 초안 작성	▪ LEC 압출패널 시공 지침(안) 작성
	▪ 단열도료 실증하우스 적용	▪ 하이브리드 PCM 도료 활용한 도장형(내장/외장)과 미장형(모르타르)로 구분하여 마감 공법에 대한 성능 및 물성 평가 - 개발 공법의 물성(강도, 내구성, 부착강도)평가 실험 - 개발 공법의 열적 성능 평가(열전도율, 열전달량, 온도분포) - 개발 공법에 사용된 소재의 경제성 분석 ▪ 단열도료 Test-Bed 현장적용 - 실증하우스 개발제품인 단열도료 한개 공간 적용 - 레퍼런스 하우스 기존 제품 단열도료 한개 공간 적용 - 현장적용 후 실시간 열성능 및 기타성능 모니터링 실시
	▪ 고효율 에너지 저감형 도료 실용화 기술 개발	▪ 최적의 복사열 흡수 및 방출 에너지 절감 도료용 상변화 물질 선정 - 분산안정성 확보 (열안정성, 냉동안정성) - 열반사율(UV/visnirspecohotometo) : 50 이상 - 열전도율(KS L 9016) : 0.2 이하 - 열 관류율(KS L 9016) : 1.5 이상 - 표면복사율(자체시험, KS F 2277) : 5℃ 이상 ▪ 외부용 KS M 6010 1종 2급 물성 확보 ▪ 내부용 KS F 4715 내장 벽 바름재 물성확보
	▪ 저탄소 콘크리트 시험적용 및 성능 모니터링	▪ 저탄소 콘크리트 Test-Bed 현장적용 - 실증하우스 개발제품인 저탄소콘크리트 골조 및 기초 적용 - 현장적용 후 강도 및 내구성 등 성능 모니터링 중
5차년도	▪ 시제품 제작	▪ LEC 압출성형패널 최종 시제품 제작 - 결합재, 혼화제, 섬유 등을 이용한 최적배합 적용 - 35T, 50T의 2종 생산 - 압축강도, 휨강도, 밀도, 함수율, 흡수율 등 규격 만족
	▪ 제품 시방서 및 시공 지침(안) 작성	▪ LEC 압출성형패널 제품 시방서 및 시공지침(안) 제안
	▪ 현장적용	▪ EEH 실증하우스 적용
	▪ ECO 콘크리트 KS 및 시방서 작성	▪ ECO 콘크리트 KS 개정(안) 작성 ▪ ECO 콘크리트 시방서 개정(안) 작성

마. LEC 압출패널과 단열재의 모듈화를 통한 단열성능 향상 패널 개발(벽산)

년 차	연구 내용	연구 결과
4차년도	LEC압출패널 + 단열재 모듈화 제품개발	- LEC압출패널 + 단열재 모듈화 제품 구성방안 검토 - 모듈화 제품 성능 평가 - 규격별 열관류율(W/m²K) : 35T-0.983, 50T-0.954 - 단열재와의 장기부착강도 : 0.05~3.1 MPa로 문제 없음 - 적용부위별 시공방법 검토 - 일체형에 따른 적정시공 방법 검토 - 간이 시공을 통한 시공성 평가
	Test-Bed 모듈화 제품 적용 및 평가	- 시제품 제작 및 내구성 평가(내동결융해성, 옥외폭로 시험 등) - 내동결융해성 시험결과 이상 없음 - 옥외폭로에 따른 색상변화 시험 결과 이상 없음 - 모니터링을 통한 에너지 소비량 및 CO2저감량 분석 - 내동결융해성 시험결과 이상 없음 - 옥외폭로에 따른 색상변화 시험 결과 이상 없음
5차년도	Test-Bed 평가	- 에너지 소비량 및 CO2 저감량 등 - 에너지 소비량 측정 결과, 난방에너지의 경우 23% 절감 - CO2 저감량은 기존 시공법 대비 20% 절감됨 - CO2 저감량은 기존 생산법 대비 67% 절감됨
	관련 매뉴얼 및 시방서 작성	LEC압출패널+단열재 모듈화 제품 매뉴얼 및 시공 지침(안) 작성
	사업화 방안 수립	설비 투자 및 타당성 평가를 통한 LEC 복합모듈 패널 사업구조 개선안 제안 및 최종 양산 계획 검토

바. 고단열 PC 외벽 시스템 개발(현대산업개발)

년 차	연구 내용	연구 결과
2차년도	외벽 유형 분류 및 유형별 성능 목표, Prototype 모델 개발	- 단열 복합 PC 시스템으로 5가지 프로토타입이 제시 및 분석 - 내단열 PC의 경우, 일반 습식골조공사에서 발생하는 슬래브와 벽체 연결부의 열교를 방지 및 층간방화를 위해 100mm 이격하여 무기질 단열 설치. 지지철물 비노출로 마감성 우수. - 민판의 PC패널 구조의 경우, 기존의 PC구조에 단열을 붙인 구조로 시공 및 제작이 용이하나 운반 및 양중 효율성 저하. - 실내측 리브형상의 PC패널구조는 경량화 가능 및 실내측 리브의 중공부를 설비 전기 배관 설치공간으로 활용 가능. 하지만 리브형상에 따라 몰드제작비용 상승 및 별도 마감 필요. - 단열측 리브 형성 구조는 리브형 구조로 박판 구현 가능 및 중량 감소로 양중 및 운반 비용 절감. 형상화된 리브형 단열판을 통한 몰드 대체로 작업성 우수, 경제적 제작 가능. - 중단열 시스템의 경우, 마감판 지지를 위한 별도의 전단연결재 필요, 이에 따른 열교 발생 및 전단부착성능 확보를 위한 개선이 필요, 경량화 어려움.
	시뮬레이션을 통한 외단열 시스템의 에너지 성능 분석	PC조인트 단열 공법, 지지핀 간격, 리브형태, 리브 간격, 지지핀 물성치에 따른 에너지 성능 편차에 대한 열성능 시뮬레이션
3차년도	최적 외피시스템 시작품 생산	- 주요 단열재 성능비교 - 시작품에 적용할 단열재로는 기본물성이 준수하고 경제성과 부착강도가 뛰어난 비드법 보온판 2종 2호를 선정 - 단열재와 콘크리트의 부착강도가 단열재 자체의 인장강도 보다 크기 때문에 발생한 것으로 분석 - 밀도가 높은 1호, 2호 EPS 적용 - 단위부재 모듈 설계 - 프로토타입에 대한 열성능 분석을 통해 외단열 복합 PC 커튼월 단위부재의 모듈 설계를 실시(일반콘크리트, 경량콘크리트 폴리머 콘크리트 3종) - 부재상세 검토 - 시작품 제작을 위한 부재 검토를 실시 - 단열재 EPS 1종 2호 두께 220mm 사용, 콘크리트 27, 30MPa - 연결부재 검토 - 제작된 Unit의 양중 및 적재를 위하여 상부 타설면에 4개의 인양고리 설치홀을 매립하고 상측부에 PC Unit 현장시공용 M16 인서트 2개 매립 - 현장시공시 파스너와 고정되는 임베디드 플레이트를 4개 설치하였으며 단열재 파손을 방지할 수 있는 슈(shoe)는 하측부 임베디드 플레이트와 고정되어 사용할 수 있도록 계획

년 차	연구 내용	연구 결과
	Mock-up Test	- Mock-up Site 구축 - 현대산업개발 여주 PC공장내 실증주택 부지에 Site를 구축 - Pilot 몰드 제작 및 시작품 제작 - 시작품 생산을 위한 강재몰드 제작 실시 및 제작된 몰드는 PC 공장내 생산라인에 설치 - Mock-Up 시험을 위한 시작품 제작 총 4개의 Unit 제작 4개 Unit에 대해 Mock-up 시험을 통한 현장 시공성 및 작업성을 파악하여 개선점을 도출 - 현장 품평회 평가 의견 및 피드백 2013년 11월 8일 현대산업개발 여주 PC공장에서 PC Unit Mock-Up 시험에 대한 현장 품평회 실시함 - Test-Bed 적용 대상 검토 - 적용부위는 4층 사방향 외벽 및 옥상 파라펫 구간이며 사방향외벽은 구간을 나누어 외단열 PC Unit 및 외단열 GFRC로 구분하여 적용 - PC 설계 및 구조 검토 - PC Unit은 3가지 타입으로 구분(Type 1, Type 2, Type 3)하고 적용된 모든 타입은 패시브 건축물 에너지 성능기준을 만족할 수 있는 모델로 계획 - 외단열 PC Unit의 향후 적용성을 고려하여 적용부위는 4층 전체외벽 및 옥상 파라펫 구간이며 사방향 외벽은 구간을 나누어 외단열 PC Unit(Type 1, 2) 및 외단열 GFRC(Type 3)로 구분 적용 - 부자재 개발 : 보호 고정장치 - 외단열 PC-Wall의 측면을 보호하고 단열재와 콘크리트 벽체 및 마감재를 서로 고정시켜 일체화를 유도하는 보호 고정장치를 개발
4차년도	최종시작품 성능 평가	공인시험인증 기관(KCL)을 통해 기밀성능, 수밀성능, 구조성능, 잔류변형, 층간변위 시험결과, 모든 시험에서 허용치를 만족
	실증하우스 적용 및 평가	- 생산성 평가 - EEH Test-bed 시공을 위해 총 29부재를 PC공장에서 생산하였고 생산 Flow 완성 - 과도한 증기양생 온도, 마감 모르타르 등에 문제가 발생했으나, 개선사항 적용 후 품질 확보 1부재 생산에 1일, 1몰드가 필요했으며, 공장생산능력에 따라 대량생산 가능 - 시공성 평가 1세대(84m²)시공을 통하여 시공 Flow 완성 - 외단열 PC-Wall 적용을 위해 골조 공사 오차 관리가 철저히 필요, 코너부재 생산 시 조립 오차 관리 필요 - 부재 1개당 설치시간은 약 40분(시공인원 6인) 소요, 부재개수 최소화하는 것이 시공성 향상에 유리 - 에너지 및 CO2 저감량 평가 - Test-bed 모델로 Reference와 실증주택의 에너지 시뮬레이션 비교 실시 - 벽체 외에 동일 조건으로 분석 결과, 실증주택의 연간

년 차	연구 내용	연구 결과
		난방에너지 소비량은 42.4% 저감 가능 - 외단열 PC-Wall이 내단열 방식보다 생산단계에서 약 35%, 운영단계에서 약 41% CO₂ 저감이 가능한 것으로 예상 ■ 경제성 및 공기분석 - 실제 공동주택(벽식구조) 1개동을 대상으로 분석 - 외단열 PC-Wall이 기존 내단열 보다 약 2%, 기존 외단열 보다 약 20% 경제성 우수 - 외단열 PC-Wall의 공기단축 효과는 총별공기 25%, 동별공기 22% 단축 가능할 것으로 예상 ■ 쾌적성 평가 및 기밀성 평가 - Reference와 실증하우스 비교 결과, PMV값은 유사했으나, 쾌적성 변동 폭은 외단열 PC-Wall이 우수 - Blower Door 측정을 통해 Reference와 실증하우스 비교 결과, 외단열 PC-Wall이 약 15% 기밀성능 우수
	■ 실용화 방안 검증	■ 생산 기반 구축 - 당사 계열사인 현대 PCE에서 EEH Test-bed 적용을 위한 외단열 PC-Wall 생산을 통해 생산성 검증 ■ 실용화 방안 수립 - 연구 종료 후, 현대 PCE로 기술 이전 - 단계별 현장 적용(당사 부속동, 소규모시설) 예정

사. 고효율 에너지 저감형 단열도로 실용화 기술 개발(정석케미칼)

년 차	연구 내용	연구 결과
2차년도	고효율 에너지 저감형 도로 기초 제조기술 개발	- 최적의 복사열 흡수 및 방출 에너지 절감 도로용 상변화 물질 선정 - 분산안정성 확보 (열안정성, 냉동안정성) - 열반사율(UV/visnirspecohotometo) : 50 이상 - 열전도율(KS L 9016) : 0.2 이하 - 열 관류율(KS L 9016) : 1.5 이상 - 표면복사율(자체시험, KS F 2277) : 5℃ 이상
	고효율 에너지 저감형 도로 생산 핵심기술 개발	
	도로용 PCM 선정 (국내) 및 열적성능평가	- PCM의 경우 건축용으로 제조되고 있는 회사가 없음. 따라서, 본 연구진과 교류 중인 미세 캡슐화 회사를 통해 건축용 PCM의 제조 기술 제안 및 제품화 - PCM 종류별 열적성능 확인 실험 - TG/DTA를 통한 PCM 캡슐, 비캡슐의 용융점 및 열 성능 비교 실험 결과, PCM 캡슐의 열 성능 저하 없음 확인
	선정된 PCM 열적성능 및 열적 내구성능 평가	- PCM 온도별 열 성능 평가 실험 결과 - 각기 다른 조건(온도특성)으로 제조된 캡슐형 PCM을 TG/DTA 실험 결과, 열용량, 용융점에 대한 확인 가능 - PCM 내구성 평가 실험 - PCM 가열 및 냉각의 1000회 반복에 따른 내구성 문제 없음 - PCM 캡슐입자 크기별 PCM 혼입 사용에 따른 팽창도 실험 (모르타르) - PCM 부피팽창 문제는 5μm 이하의 PCM 캡슐타입의 형성으로 적정화 가능 - PCM 캡슐화 제조 방법 제안 - In-situ 중합법을 통한 캡슐형 상변화 물질 제조 기술 방법 제안
3차년도	고효율 에너지 저감형 도로 양산화 기반 기술 개발	- 복사열 흡수 및 방출 에너지 저감 도로 제조기술 - 외부용 KS M 6010 1종 2급 물성 확보 - 다양한 색상 구현 - 내부용 KS F 4715 내장 벽 바름재 물성 확보 - PCM 최종 선정 및 평가
	건축자재용 상변화물질 D/B 구축	TG/DTA, XRF 등 보유 평가 장비를 이용하여 상변화물질의 종류(유·무기계)에 따른 물성 및 성능 평가를 통해 건축재료로서의 상변화물질 D/B를 구축함.
	PCM 부상 및 영킴 방지 성능 평가	도로 적용 시 PCM의 사용 전 상태가 유지되어야 하나 일부 슬러리형 PCM 제품의 PCM 분말이 부상하여 굳어지는 경향이 있으므로 이를 해결하기 위한 평가
	PCM 도로 활용 마감 공법 개발	온도 대에 따른 PCM 도로 활용한 도장형(내장/외장)과 미장형(모르타르)으로 구분하여 마감 공법에 대한 성능 및 물성 평가
	하이브리드 PCM 도로 활용 마감 공법 개발	하이브리드 PCM 도로 활용한 도장형(내장/외장)과 미장형(모르타르)로 구분하여 마감 공법에 대한 성능 및 물성 평가

아. LEC 내외장재 환경기능성 부여 및 실용화 개발(금호석유화학)

년 차	연구 내용	연구 결과											
1차년도	친환경 건축자재 target 설정	- 현재 친환경 법규 또는 규격은 주로 방산량에 대한 사항으로 다양한 인증제도 및 규제로 구성됨 - 친환경 건축자재는 바름재형, 보드형, 페인트형 등으로 분류됨 - 기능성 건축자재는 황토, 숯, 규조토 등의 자연소재를 혼합한 형태로 개발됨											
	마감용 복합소재 제조기술 분석	- 친환경 원료로 규조토, 숯에 대한 성분 및 미세구조 분석 실시 - BET(비표면적), SEM(구조) 분석 - 항균제 처방에 따른 항균성/항곰팡이성 평가 - Hybrid 항균제 처방에 따른 항균성/항곰팡이성 평가											
2차년도	친환경 기능성 소재개발	- 국내·외 제품 분석 및 흡방습/흡착 평가 - 제품 성분 / 조성 분석 완료 - 다공성(알로펜), 흡착제(아미드계분해제) - 흡방습, 흡착 성능 평가 - Lab 처방 샘플 물성 평가 결과, 관련 기준 만족 - 흡방습(65g/m²), 흡착(65.6%), - 항균(4.7), 항곰팡이(1.0)											
	CO₂ 저감량 제시 및 경제성 연계 검토	- 기술비교대상 CO₂ 발생량 평가 - 개발기술 CO₂ 발생량 예측 및 저감량 예측											
3차년도	LEC 친환경·기능성 내장 마감재 제시	- 시생산 완료 / 시작품 제작 및 평가 - 흡착(60), 흡방습(63g/m²) - 생산 설비 보완 (연속공정) - 샘플 생산 금형 제작											
	시생산 및 양산 Test 진행	- 시생산 완료 [㈜씨엔에스] 1차 시작품 및 성능평가(실내공기질, 항균성능 등)											
	Test Bed 적용 및 모니터링	Test Bed 적용 검토 및 제품 생산											
4차년도	LEC 내장 타일의 최적배합 도출 및 성능평가	- 시생산 완료 [㈜씨엔에스] 2차 시제품 및 성능평가 완료 - 성능 평가 - 흡착분해 : 6,447μg/m³ - 내약품성 : 변색 없음 - 꺾임강도 : 66N/cm 이상											
	LEC 기능성 내장타일 시공 기술개발 및 Test-Bed 평가	- Test Bed 적용 완료 (4층, 침실3) - Monitoring - 흡착분해능 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th><실증하우스></th><th><Ref 하우스></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1차</td><td>12μg/m³</td><td>31μg/m³</td></tr> <tr> <td>2차</td><td>13μg/m³</td><td>65μg/m³</td></tr> <tr> <td>3차</td><td>47μg/m³</td><td>63μg/m³</td></tr> </tbody> </table>		<실증하우스>	<Ref 하우스>	1차	12μg/m ³	31μg/m ³	2차	13μg/m ³	65μg/m ³	3차	47μg/m ³
	<실증하우스>	<Ref 하우스>											
1차	12μg/m ³	31μg/m ³											
2차	13μg/m ³	65μg/m ³											
3차	47μg/m ³	63μg/m ³											

3. 3세부

가. 1차년도

핵심성과 (요소기술)	연구 내용	연구 결과
탄소저감형 연구단 개발 건설재료 및 T/B LCCO ₂ 평가	▪ 건설자재 기존 LCI DB 활용성 평가	▪ EcolInvent 등 해외 LCI DB 목록 조사 ▪ 탄소성적표지 인증 시 활용되는 건축자재 목록 조사 및 대상 목록의 국내 생산여부 조사 ▪ 기 구축된 LCI DB 활용성 평가
환경부하 저감을 위한 건설자재 인증제도 및 정책제안	▪ 건설자재 LCI DB 구축 로드맵 수립	▪ 건설자재 LCI DB 구축 동향 조사 및 분석 ▪ 건설재료 및 자재에 적합한 LCI DB 구축 관련 국제표준 조사 ▪ LCI DB 구축 로드맵 수립
건설자재의 환경성정보 및 인증제도의 통합관리시스템	▪ 건설자재분야 CO₂ 배출관리를 위한 시스템 구축 로드맵 수립	▪ 국내외 환경영향 평가분야 기술개발 정도 분석 ▪ 국내외 친환경건설자재 시장 및 관련 기술수준 분석 ▪ 국내외 저탄소 건축자재 및 탄소배출 관련 제도 운영현황 조사 및 분석 ▪ CO₂ 배출관리 시스템 구축 로드맵 수립
건설재료 전과정 CO ₂ 배출량 평가 지침	▪ 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 평가 대상 선정	▪ 공동주택 5개 단지사례 사무소 건축물 6개동 사례를 대상으로 주요 CO₂ 배출 건설재료 선정 ▪ 건축재료의 전생애 단계별 입출력 물질의 종류 및 특성 분석 ▪ 건축재료의 전생애 단계별 환경영향 평가요소 도출 ▪ 건축재료의 전생애 CO₂ 평가 프로세스(흐름도) 도출
건설재료 LCI DB를 활용한 환경성평가 S/W	▪ 기존 건설재료 LCI DB 조사 및 업데이트 대상 선정	▪ 환경부/국토부/지경부 국가 LCI DB 업데이트 대상 건설재료 선정 ▪ 건설재료의 재료군별 평가절차 및 배출계수 산정식 도출 ▪ 건설재료 LCI DB 업데이트 방안 도출 ▪ 국가 건설재료 LCI 모듈별 데이터 검증
자료수집 및 분석	▪ ISO TC Report, fib, AIJ, JSCE 등 국외 자료 분석	▪ ISO TC Report, IgCC 등 친환경 표준 분석 ▪ AIJ, JSCE 등 친환경 시공지침 분석 ▪ 국내외 건설제품 및 서비스의 환경영향평가관련 자료 분석

나. 2차년도

핵심성과 (요소기술)	연구 내용	연구 결과
주요 건설자재의 LCI DB 제·개정	ISO 14048(Data Documentation Format)에 근거하여 표준 데이터베이스 작성양식에 따라 DB 개발	- 건설재료 5개(건축자재 2개, 공통자재 3개)에 대한 LCI DB 개발 - 경량기포콘크리트 블록, 경량기포콘크리트 패널. 건축자재 2개에 대한 LCI DB 개발 - 각재, 건조 시멘트 모르타르, 백색 포틀랜드 시멘트. 공통자재 3개에 대한 LCI DB 개발 - 작성한 LCI DB로부터 환경발자국 계산 - 작성한 LCI DB에 대한 환경발자국 표준계수표 제시
탄소저감형 연구단 개발 건설재료 및 T/B LCCO ₂ 평가	연구단 개발자재에 대한 탄소저감형 건설재료의 LCCO₂ 평가지침	- 연구단 개발 자재의 LCCO₂ 평가를 위한 데이터 수집 및 보고서 작성 - 연구단 개발자재 LCCO₂ 평가계획 수립 - 비교대상기술 CO₂ 발생량 평가 및 개발기술 CO₂ 발생량 추정
환경부하 저감을 위한 건설자재 인증제도 및 정책제안	- LCI DB 활용 및 포맷 표준화 계획 수립 - 건설분야 인증제도(안) 개발	- 탄소저감형 건설재료의 EPD 인증을 위한 건설분야 PCR의 기본적인 모듈 및 핵심 과정에 대한 자료 수집 - PCR 프로그램의 요건 및 체계 제안 - 건설분야 탄소인증제도 개발을 위한 기초연구
건설자재의 환경성정보 및 인증제도의 통합관리시스템	개별 데이터 모듈과 활용 소프트웨어 간의 호환성 증진 방안 마련	- CO₂ 통합관리 시스템 구축 체계 수립 위한 국내외 환경정보 네트워킹 현황 및 체계 파악 - 기존의 DB와의 연계가 가능하도록 통합관리시스템 웹페이지 기본설계
건설재료 전과정 CO ₂ 배출량 평가 지침	건설재료 전과정 CO₂ 배출량 평가 체계 개발	- 건설재료별 분류체계 구축 - 전과정 CO₂ 배출량 평가대상 건설재료 범위선정 - 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 평가범위 선정
	건설재료 전과정 CO₂ 평가 지침(안) 개발	- 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 산출방법론 구축 - 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 평가지침(안) 작성 및 제안 - 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 평가지침(안) 전문가 유효성 검토
	건설재료 LCI DB 업데이트 및 DB 검토	- 국가 건설재료 LCI 모듈별 데이터 검증 - 본 과제 LCI DB 모듈별 데이터 검증 - 건설재료 LCI DB 업데이트 방안 도출 및 평가
환경설계 및 녹색시방서 체계 구축	탄소저감형 건설재료 활용시방서 체계 구축	- 기존 시방서 및 설계기준 등과의 연계방안 개발 - 성능중심형 환경설계법의 이론적 배경 연구 및 개발 - 건설산업에서의 탄소배출 정량화 - 국내외기술수준 분석

다. 3차년도

핵심성과 (요소기술)	연구 내용	연구 결과
주요 건설자재의 LCI DB 제·개정	▪ 건설재료 및 자재에 대하여 국제표준(ISO 14040s)의 요건에 맞는 전과정 목록(LCI) 데이터베이스 15개 개발 ▪ ISO 14048(Data Documentation Format)에 근거하여 표준 데이터베이스 작성양식에 따라 DB 개발	▪ LCI DB 개발 - 건설재료 15개(건축자재 2개, 공통자재 8개) - 화강석, 프리캐스트 콘크리트(HCS) - 순환 굵은골재, 순환 잔골재, 데크플레이트, 레디믹스트 콘크리트 25-21-120, 25-24-120, 25-24-150, 고로슬래그미분말, 정제 플라이애시 - 가열 아스팔트 콘크리트 기층용 BB-2, 가열 아스팔트 콘크리트 표층용 WC-2, WC-5, 콘크리트파일(PHC파일), 프리캐스트 콘크리트(구조용 일반PC)
탄소저감형 연구단 개발 건설재료 및 T/B LCCO ₂ 평가	▪ 연구단 개발 자재의 LCCO₂ 평가를 위한 생산공정 및 물질흐름 분석	▪ 연구단 개발 자재의 LCCO₂ 평가를 위한 생산공정 데이터수집 및 물질흐름 분석 (15건)
환경부하 저감을 위한 건설자재 인증제도 및 정책제안	▪ 건설분야 탄소인증제도(안) 개발을 위한 기초연구	▪ 탄소저감형 건설자재 통합관리 체계 개발 ▪ 건설분야 탄소인증제도(안) 마련
건설자재의 환경성정보 및 인증제도의 통합관리시스템	▪ 통합관리시스템 기본설계 및 시험운영(안) 개발	▪ 기존의 데이터베이스와의 연계가 가능하도록 건설재료의 CO₂ 통합관리 웹페이지 구축 ▪ 통합관리시스템 기본설계 ▪ 웹페이지 시험운영(안) 매뉴얼 작성
건설재료 전과정 CO ₂ 배출량 평가 지침	▪ 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 평가 체계 구축	▪ 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 평가지침 체계 구축 ▪ ISO 21930 및 EN 15804를 준용한 건설재료 시스템 경계 구성
	▪ 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 평가지침(PCR)개발	▪ 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 공통지침 개발 ▪ 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 작성지침 개발(콘크리트, 시멘트, 도료) ▪ 건설재료 환경부하 저감기술 평가지침 개발(에너지 저감기술, 자원저감기술, 폐기물저감기술)
	▪ 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 평가지침(PCR)유효성 검토	▪ 건설재료별 전과정 CO₂ 배출량 평가지침 전문가 및 생산업체 의견 수렴 ▪ 건설재료별 전과정 CO₂ 배출량 평가지침 보완
환경설계 및 녹색 시방서(안) 작성	▪ 성능중심형 콘크리트 환경설계법(안) 제시	▪ 환경설계법 일반사항, 시스템경계, 구성재료, 시공에 대한 연구에 근거한 환경설계법
	▪ 탄소저감형 건설재료 활용시방서(안) 작성	▪ 탄소저감형 건설재료 활용 시방서 콘텐츠 개발 ▪ 온실가스 배출 감소 메커니즘 작성 ▪ 국내외기술수준 분석

라. 4차년도

핵심성과 (요소기술)	연구 내용	연구 결과
주요 건설자재의 LCI DB 제·개정	■ 건설자재 및 자재에 대하여 국제표준(ISO 14040s)의 요건에 맞는 전과정 목록(LCI) 데이터베이스 개발 ■ ISO 14048(Data Documentation Format)에 근거하여 표준 데이터베이스 작성양식에 따라 DB 개발	■ 건설자재 12개(건축자재 4개, 공통자재 2개, 설비 1개, 시공 2개, 토목자재 3개)에 대한 LCI DB 개발 ■ 이중바닥재(스틸콘크리트), 카펫타일(PP), 카펫타일(나일론), 점토벽돌. 건축자재 4개에 대한 LCI DB 개발 ■ 레디믹스트 콘크리트 20-60-600, 레디믹스트 콘크리트 25-50-600. 공통자재 2개에 대한 LCI DB 개발 ■ 태양광 발전 시스템. 설비 1개에 대한 LCI DB 개발 ■ 로더, 불도저. 시공 2개에 대한 LCI DB 개발 ■ 재활용 가열 아스팔트 혼합물 기층용 BB-2, 재활용 가열 아스팔트 혼합물 표층용 WC-2, 재활용 가열 아스팔트 혼합물 표층용 WC-4. 토목자재 3개에 대한 LCI DB 개발
탄소저감형 연구단 개발 건설자재 및 T/B LCCO ₂ 평가	■ 연구단 개발 자재 및 테스트베드 건물의 LCCO₂ 평가	■ 연구단 개발 자재의 LCCO₂ 평가(9건) 및 연구단 실증하우스의 LCA 수행을 통한 탄소배출량 및 잠재저감량 분석
환경부하 저감을 위한 건설자재 인증제도 및 정책제안	■ 건설자재 인증제도 보완 및 인증기준 마련	■ G-SEED M 건설자재 인증제도 시행을 위한 설명회 개최 ■ 인증제도 인증기준(안) 마련 ■ 시범인증을 위한 자료 수집 (3건)
건설자재의 환경성정보 및 인증제도의 통합관리시스템	■ CO₂ 통합관리시스템 구축	■ 통합관리시스템 구축 ■ 시스템 운영 매뉴얼 개발
건설자재 LCI DB를 활용한 환경성평가 S/W	■ 건설자재 LCI DB를 활용한 환경성 평가 S/W 개발	■ 건설자재 부위별 환경성 평가 로직 구축 ■ 건설자재 LCI DB를 활용한 환경성 평가 S/W 평가 BETA ver. 및 DB 구축
	■ 건설자재 LCI DB를 활용한 환경성 평가 S/W 적용	■ 건설자재 환경성 평가 데이터 수집 ■ 건설자재 LCI DB를 활용한 환경성 평가 S/W 적용성 검토
건설자재 전과정 CO ₂ 배출량 평가 지침	■ 건설자재 전과정 CO₂ 배출량 평가지침(PCR)개발	■ 바닥재 전과정 CO₂ 배출량 작성지침 개발 ■ 단열재 전과정 CO₂ 배출량 작성지침 개발
콘크리트 환경설계기준(안)	■ 콘크리트환경설계기준 개선안	■ 국내외 환경 설계 연구동향 ■ 콘크리트 구조물의 성능요구사항 작성 ■ 차년도별 연구개발 추진 현황 및 계획 ■ 환경설계 기준 (안) 보완
친환경 녹색시방서(안)	■ 친환경녹색시방서 및 해설 개선안	■ 친환경 녹색시방서 및 해설(안) 보완 ■ 친환경 녹색시방서 주요 내용(해설)에 대한 내용 수정 및 검토 ■ 환경관리 목록 확인 ■ 인벤토리 D/B 확보(부록편 수록)

핵심성과 (요소기술)	연구 내용	연구 결과
실무매뉴얼(안) 현장 적용성 검토 및 실용성 보완	테스트베드 적용을 통한 현장적용성 검토	- 실무매뉴얼(안) 보완 - 테스트베드 적용을 통한 기준(안) 보완
	BAT 시스템 적용성 분석 및 적용 예제집	- 실무매뉴얼 보완 - 재료 및 배합 관련 BAT 구성 - 콘크리트의 LCC02 평가 및 CO2 저감기술 제시

마. 5차년도

핵심성과 (요소기술)	연구 내용	연구 결과
주요 건설자재의 LCI DB 제·개정	- 건설재료 및 자재에 대하여 국제표준(ISO 14040s)의 요건에 맞는 전과정 목록(LCI) 데이터베이스 11개 개발 - ISO 14048(Data Documentation Format)에 근거하여 표준 데이터베이스 작성양식에 따라 DB 개발	- 건설재료 12개(건축자재 3개, 공통자재 2개, 건축자재 3개)에 대한 LCI DB 개발 - 발포 폴리스티렌 판, 우레탄 판, 유리면 판. 건축자재 3개에 대한 LCI DB 개발 - 건축용 실리콘실란트 1액형, 건축용 실리콘실란트 2액형에 대한 LCI DB 개발 - 알루미늄폼, 유로폼, 가열 아스팔트 콘크리트 기층용 BB-3, 가열 아스팔트 콘크리트 중간층용 MC-1, PE수도관, PE하수관. 토목자재 6개에 대한 LCI DB 개발
탄소저감형 연구단 개발 건설재료 및 T/B LCCO ₂ 평가	- 연구단 Test Bed 탄소평가 - 저탄소 콘크리트 성능 및 저감량 평가	탄소저감형 연구단 사용단계 에너지 소비량 시뮬레이션 결과값을 근거로 LCCO₂ 평가 수행
환경부하 저감을 위한 건설자재 인증제도 및 정책제안	- 녹색건축인증 자재 활용을 위한 EPD 시범인증 지원 - 정책제안	- EPD 시범인증지원 (레드믹스트 콘크리트 제품 3건) - G-SEED 2016 개정 (재료 및 자원, 혁신항목에 건설재료 및 건축물의 LCA 개념 도입하여 전면 개정)
건설자재의 환경성정보 및 인증제도의 통합관리시스템	통합관리시스템 구축	- 시스템 (http://www.g-seed-m.org/) - 운영자/사용자 매뉴얼 작성
건설재료 LCI DB를 활용한 환경성평가 S/W	건설재료 LCI DB를 활용한 환경성 평가 S/W 보완 개발	- 주요 건축자재 7종 기반 내재 탄소배출량 평가기술 개발 - 친환경건축물 인증제도(G-SEED) 연계지원기술 개발 - 건설재료 LCI DB를 활용한 환경성 평가 S/W 실무매뉴얼 개발
건설재료 전과정 CO ₂ 배출량 저감 가이드라인	건설재료 전과정 CO₂ 배출량 저감 가이드라인 개발	- EPD 인증 사례분석기반 건설재료 전과정 CO₂ 배출 저감 기술 기술자료조사 - 건설재료별 환경성능 평가 시 공통적으로 포함해야 할 공통 영향범주와 개별 환경영향 범주를 선정

핵심성과 (요소기술)	연구 내용	연구 결과
		▪ 건설재료 전과정 CO₂ 배출량 저감가이드라인
탄소저감형 건설재료 활용을 위한 환경설계 및 녹색시방 기준 개발	▪ 콘크리트환경설계기준(안) 완성	▪ 콘크리트환경설계기준 완성 및 활용방안 ▪ 콘크리트 구성재료 및 콘크리트 구조물의 전과정에 대한 환경설계법 제시, 검증, 보완을 통한 제정
	▪ 친환경녹색시방서(안) 완성	▪ 친환경 녹색시방서 완성 및 활용방안
	▪ 실무매뉴얼 및 예제집(안) 완성	▪ 실무매뉴얼 및 예제집 완성 및 활용방안
	▪ 건설현장 환경 가이드라인	▪ 가이드라인 제시 ▪ 국내외기술수준 분석

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 최종목표 및 연구성과물 달성도

(1) 1세부

세세부명	최종목표 (핵심성과)	연구성과물	년차	달성율
시멘트 저감형 결합재를 이용한 50MPa급 고성능 콘크리트 실용화 기술 개발	HVMA를 활용한 50MPa급 레미콘 제조기술 및 실용화 (유진)	- HVMA를 활용한 50MPa급 레미콘 제조기술	3,4	100%
		- HVMA SCC 시공지침(안)	5	100%
	50MPa급 HVMA SCC의 개발 및 실용화 (대우)	- 50MPa급 HVMA SCC	3,4	100%
		- HVMA SCC 제조기술 및 기술지침개발	5	100%
	고성능 무시멘트 콘크리트를 적용한 PC 제품 실용화 (성균관대)	- 고성능 무시멘트 콘크리트를 적용한 PC 제품	4,5	100%
		- 고성능 무시멘트 콘크리트 제조 및 품질관리 지침	5	100%
비소성 결합재를 활용한 C02 저감형 콘크리트 개발	비소성 결합재 활용 OPC/Blended Cement 개발 및 실용화 (KCL)	- 비소성 결합재 활용 OPC/Blended Cement 표준 (안)	5	100%
		- 비소성 결합재 활용 프리믹스타입 모르타르 제품	4	100%
		- 비소성 결합재 활용 콘크리트(32MPa) 제조 기술	4,5	100%
	비소성 결합재 활용 OPC 및 BC 활용기반 구축 및 기술 개발 (충남대)	- 비소성 결합재 활용 OPC 콘크리트 개발	2	100%
		- 비소성 결합재 활용 BC 콘크리트 개발	3,4	100%
		- 비소성 결합재 활용 섬유보강 콘크리트 제조 기술	5	100%

세세부명	최종목표 (핵심성과)	연구성과물	년차	달성율
비소성 결합재를 활용한 CO2 저감형 콘크리트 개발	비소성 결합재와 자원 순환형 골재 활용 무시멘트 경량 콘크리트 개발 및 실용화 (KAIST)	- 비소성 결합재와 자원 순환형 골재 활용 무시멘트 경량 콘크리트 적정 배합비 도출	2,3,4	100%
		- 비소성 결합재와 자원 순환형 골재 활용 무시멘트 경량 콘크리트 제조 기술 지침 및 품질 관리 지침	3,4	100%
에너지 저감형 비정질 강섬유 이용 실용화 기술개발 (포스코)	에너지 저감형 비정질 강섬유 이용 실용화 기술개발 (포스코)	- 에너지 저감형 비정질 강섬유 혼입 콘크리트	3,4	100%
		- 에너지 저감형 비정질 강섬유 콘크리트 품질관리 지침	4	100%
	비정질 강섬유 혼입 탄소저감형 마감 모르타르 실용화 기술 개발 (포스코건설)	- 비정질 강섬유 혼입 마감 모르타르 개발	3,4	100%
		- 비정질 강섬유 혼입 마감 모르타르 현장 적용 지침 및 품질관리 지침	4	100%
	복합섬유 보강 고강도 복합재 제조 및 활용기술 개발 (KICT)	- 100MPa급 섬유보강 복합재 및 이를 이용한 PC제품	4	100%
		- 고강도 복합재 제조 및 시공지침 개발	4	100%
Carbon Negative 시멘트 제조 및 활용기술 개발	CO ₂ 배출량 0%인 Carbon Negative 시멘트 개발 (세라믹기술원)	- Carbon negative 시멘트 개발 (CO ₂ 방출량 0kg CO ₂ /시멘트 ton, 압축강도 32.5MPa)	3	100%
		- Carbon negative 시멘트를 활용한 시제품	4	100%

(2) 2세부

세세부명	최종목표 (핵심성과)	연구성과물	년차	달성율
열손실지수 30% 저감형 EEH 시스템 개발	열손실지수 30% 이상 저감된 에너지 고효율 실증하우스 구축기술 확보 (GS)	- 열손실지수 30% 이상 저감된 에너지 고효율 실증하우스 설계 및 시공기술	4,5	100%
	단열성을 2배 이상 향상시킨 현장타설용 단열콘크리트 생산기술 개발 (한라엔컴)	- 열전도율이 보통콘크리트 대비 2배 이상 향상된 단열 콘크리트	3,4	100%
		- 단열 콘크리트의 제조/생산설비 시스템 매뉴얼	4,5	100%
		- 단열 콘크리트의 실용화 기술 매뉴얼	5	100%
	경량의 조립식 고단열 복합 PC Wall 개발 (현대산업개발)	- 고단열 조립식 외피기술	3,4	100%
		- 설계 및 시공 매뉴얼	3,4	100%
	고효율 에너지저감형 단열도로 개발 (정석케이칼)	- 건물의 냉난방 부하 절감을 위한 친환경 에너지 절감 도로 시제품	3	100%
공동주택 에너지저감형 건축자재(DB구축) 활용기술 개발	에너지 저감형 건축자재의 설계 시공 지침 개발 (LH)	- 에너지 저감형 건축자재의 성능 DB 구축	4	100%
		- 에너지 저감형 건축자재의 선정시스템 프로그램 개발	5	100%
		- 공동주택 외단열 설계 및 시공 지침	4,5	100%
LEC(Low Energy Curing) 내외장재 제조 및 공정기술 개발	LEC(Low Energy Curing) 내외장재 제조 및 공정기술 개발 (KICT)	- LEC 콘크리트 내외장재 제조 기술	3	100%
		- LEC 콘크리트 내외장재 생산 기술	4,5	100%
		- 저탄소 콘크리트 KS 개정(안) 및 표준시방서(안)	5	100%
	LEC 압출패널과 단열재의 모듈화를 통한 단열성능 향상 패널 개발 (벽산)	- LEC 복합 단열 패널 개발	4,5	100%
	실내공기질 및 항균성능 향상형 마감재 개발 및 적용기술 개발 (금호석유화학)	- 친환경·기능성 내장재용 마감재료 개발	3	100%
		- 마감재 적용기법 개발	3,4	100%

(3) 3세부

세세부명	최종목표 (핵심성과)	연구성과물	년차	달성율
건설재료 전과정 CO ₂ 통합관리 시스템 개발	건설재료 및 자재에 대한 LCI DB 및 CO ₂ 배출 통합관리시스템 구축 (KICT)	- ISO 14040s에 근거한 국가 전과정 목록(LCI) DB 구축 및 표준 매뉴 얼 개발	3,4,5	100%
		- 건설재료 및 자재별 CO ₂ 배출 통 합관리시스템 구축	3,4,5	100%
	건설재료의 LCCO ₂ 평가 및 탄소배출 저감관리 (한양대)	- 건설재료 전과정 CO ₂ 배출량 평가 지침	3	100%
		- 건설재료 LCI DB를 활용한 환경성 평가 S/W	3,4,5	100%
		- 건설재료 전과정 CO ₂ 배출량 저감 가이드라인	4,5	100%
탄소저감형 건설재료 활용을 위한 환경설계 및 녹색시방기준 개발	탄소저감형 건설재료 활용을 위한 환경설계 및 녹색시방기준 개발 (한국콘크리트 학회)	- 탄소저감형 콘크리트 환경설계법	4,5	100%
		- 탄소저감형 건설재료 활용 녹색시 방서	4,5	100%
		- 탄소저감형 콘크리트 시공기술 매 뉴얼	5	100%

나. 양적 성과지표 달성도

(1) 총괄

구분	사업연계지표	목표건수	달성건수	증빙
5차년도	특허출원	3	2	특허출원서
	특허등록	3	7	특허등록증
	국내 학술지 논문게재	18	17	논문집
	국외 학술지 논문게재	6	15	논문집
	국내 학술 발표	19	28	발표논문
	국외 학술 발표	3	4	발표논문
	KS 개정	1	1	개정고시
	지침/시방서/KS(안)	5	8	제안
	시제품 제작	1	1	
	S/W 등록	2	3	등록증
	홍보	3	40	기고/게시
4차년도	특허출원	8	8	특허출원서
	특허등록	6	6	특허등록증
	국내 학술지 논문게재	26	22	논문집
	국외 학술지 논문게재	9	8.5	논문집
	국내 학술 발표	28	45	발표논문
	국외 학술 발표	7	9	발표논문
	KS 제안	1	1	개정고시
	인증서	0	1	인증서
	지침/시방서	6	6	제안
	S/W 개발	1	1	시연
	홍보	5	17	기고/게시
3차년도	특허출원	17	8	특허출원서
	특허등록	2	7	특허등록증
	국내 학술지 논문게재	28	21	논문집
	국외 학술지 논문게재	7	10	논문집
	국내 학술 발표	31	42	발표논문
	국외 학술 발표	8	14	발표논문
	KS 개정	1	1	개정고시
	지침/시방서/KS(안)	2	2	제안
	S/W 개발	1	1	시연
	홍보	2	4	기고/게시

구분	사업연계지표	목표건수	달성건수	증빙
2차년도	특허출원	7	8	특허출원서
	국내 학술지 논문게재	17	12	논문집
	국외 학술지 논문게재	0	1	논문집
	국내 학술 발표	33	51	발표논문
	국외 학술 발표	4	5	발표논문
	지침/시방서	3	3	제안
	홍보	2	1	기고/게시
1차년도	특허출원	0	2	출원서
	국내 학술지 논문게재	3	2	논문집
	국내 학술회의 발표	15	24	발표논문
	홍보	1	1	기고/게시
총괄	특허출원/등록	35	28	특허출원서
	특허등록	11	20	특허등록증
	국내 학술지 논문게재	89	72	논문집
	국외 학술지 논문게재	25	35.5	논문집
	국내 학술 발표	126	190	발표논문
	국외 학술 발표	22	32	발표논문
	KS 제*개정	2	2	개정고시
	인증서	0	1	인증서
	지침/시방서/KS(안)	16	19	제안
	시제품 제작	1	1	
	S/W 개발	2	2	시연
	S/W 등록	2	3	등록증
	홍보	13	63	기고/게시

(2) 1세부

구분		사업연계지표	목표건수	달성건수	증빙
1세부	5차년도	특허출원	-	1	특허등록증
		특허등록	2	3	특허등록증
		국내 학술지 논문게재	4	5	논문집
		국외 학술지 논문게재	4	5	논문집
		국내 학술 발표	8	12	발표논문
		국외 학술 발표	-	2	발표논문
		KS 개정	1	1	개정고시
		지침/시방서	3	3	지침/시방서
		홍보	-	1	기고/게시
	4차년도	특허출원	4	2	특허출원서
		특허등록	3	3	특허등록증
		국내 학술지 논문게재	7	9	논문집
		국외 학술지 논문게재	5	5.5	논문집
		국내 학술 발표	13	21	발표논문
		국외 학술 발표	4	4	발표논문
		KS 제안	1	1	개정고시
	3차년도	특허출원	8	5	특허출원서
		특허등록	1	4	특허등록증
		국내 학술지 논문게재	10	6	논문집
		국외 학술지 논문게재	3	5	논문집
		국내 학술 발표	15	21	발표논문
		국외 학술 발표	2	4	발표논문
		KS 개정	1	1	개정고시
	2차년도	특허출원	3	4	특허출원서
		국내 학술지 논문게재	6	7	논문집
		국내 학술 발표	12	25	발표논문
		국외 학술 발표	3	3	발표논문
	1차년도	국내특허출원	0	2	출원서
		국내 학술회의 발표	4	11	발표논문
	총괄	특허출원/등록	15	14	특허등록증
		특허등록	6	10	특허등록증
		국내 학술지 논문게재	27	27	논문집
		국외 학술지 논문게재	12	15.5	논문집
		국내 학술 발표	52	90	발표논문
		국외 학술 발표	9	13	발표논문
		KS 제*개정	2	2	개정고시
		시방서/지침(안)	3	3	지침/시방서
		홍보		1	기고/게시

(3) 2세부

구분		사업연계지표	목표건수	달성건수	증빙
	5차년도	특허출원	3	1	특허출원서
		특허등록	1	4	특허등록증
		국내 학술지 논문게재	9	7	논문집
		국외 학술지 논문게재	1	4	논문집
		국내 학술 발표	9	11	발표논문
		국외 학술 발표	2	1	발표논문
		지침/시방서/KS	2	5	제안
		시제품 제작	1	1	
		S/W 등록	1	2	등록증
		홍보	2	38	기고/게시
	4차년도	특허출원	4	6	특허출원서
		특허등록	3	3	특허등록증
		국내 학술지 논문게재	12	5	논문집
		국외 학술지 논문게재	2	1	논문집
		국내 학술 발표	11	13	발표논문
		국외 학술 발표	1	2	발표논문
		인증서		1	인증서
		지침/시방서	6	6	제안
		S/W 개발	1	1	시연
		홍보	3	9	기고/게시
	3차년도	특허출원	9	3	특허출원서
		특허등록		2	특허등록증
		국내 학술지 논문게재	14	11	논문집
		국외 학술지 논문게재	2	1	논문집
		국내 학술 발표	11	16	발표논문
		국외 학술 발표	2	3	발표논문
		지침/시방서	2	2	제안
		S/W 개발	1	1	시연
		홍보	1	1	기고/게시
	2차년도	특허출원	3	3	특허출원서
		국내 학술지 논문게재	8	3	논문집
		국외 학술지 논문게재		1	논문집
		국내 학술 발표	12	14	발표논문
국외 학술 발표		1	2	발표논문	
지침/시방서		3	3	제안	
홍보		2	1	기고/게시	
1차년도	국내 학술지 논문게재	1	0	논문집	
	국내학술회의 발표	7	6	발표논문	
	홍보	1	1	기고/게시	
총괄	특허출원/등록	19	13	출원서/등록증	
	특허등록	4	9	특허등록증	
	국내 학술지 논문게재	44	26	논문집	
	국외 학술지 논문게재	5	7	논문집	
	국내 학술 발표	50	60	발표논문	
	국외 학술 발표	6	8	발표논문	
	인증서		1	인증서	
	지침/시방서/KS	13	16	개정고시	
	시제품 제작	1	1		
	S/W 개발	2	2	등록증	
	S/W 등록	1	2	등록증	
	홍보	9	50	기고/게시	

(4) 3세부

구분		사업연계지표	목표건수	달성건수	증빙
1세부	5차년도	국내 학술지 논문게재	5	5	논문집
		국외 학술지 논문게재	1	6	논문집
		국내 학술 발표	2	5	발표논문
		국외 학술 발표	1	1	발표논문
		S/W 등록	1	1	등록증
		홍보	1	1	기고/게시
	4차년도	국내 학술지 논문게재	7	8	논문집
		국외 학술지 논문게재	2	2	논문집
		국내 학술 발표	4	11	발표논문
		국외 학술 발표	2	3	발표논문
		홍보	2	8	기고/게시
	3차년도	특허출원			특허출원서
		특허등록	1	1	특허등록증
		국내 학술지 논문게재	4	4	논문집
		국외 학술지 논문게재	2	4	논문집
		국내 학술 발표	5	5	발표논문
		국외 학술 발표	4	7	발표논문
		홍보	1	3	기고/게시
	2차년도	특허출원	1	1	특허출원서
		국내 학술지 논문게재	3	2	논문집
		국내 학술 발표	9	12	발표논문
	1차년도	국내 학술지 논문게재	2	2	출원서
		국내 학술회의 발표	4	7	발표논문
	총괄	특허출원	1	1	특허출원서
		특허등록	1	1	특허등록증
		국내 학술지 논문게재	18	19	논문집
		국외 학술지 논문게재	8	14	논문집
		국내 학술 발표	24	40	발표논문
		국외 학술 발표	7	11	발표논문
		S/W 등록	1	1	등록증
		홍보	4	12	기고/게시

2. 관련 분야 기여도

가. CO₂ 배출저감형 건설구조재료 개발

(1) HVMA

- 국내 시멘트 생산량은 연간 5,000만 톤 정도이고, 콘크리트 시장은 연간 123백만^{m³} 정도가 레디믹스트 콘크리트 공장에서 생산되고 있으며, 연간 8조원 정도의 시장이 형성되고 있음. 시멘트 대체재로 사용되는 플라이애시와 고로슬래그는 2010년도 기준으로 연간 각각 750만톤, 1,300만톤 발생. 이 중에서 시멘트 저감형 고성능 콘크리트에 50% 정도 사용되는 경우를 가정할 경우, 920만 톤의 CO₂ 저감효과가 있을 것으로 분석됨.
- 레미콘 1m³의 단위 결합재량 평균 333 kg/m³ 이며, 결합재중 단위 시멘트량 약 75%일 경우 시멘트량 250 kg/m³에서 발생하는 CO₂는 시멘트에서만 약 200 kg/m³, 단위 시멘트량을 25%로 감소시킬 경우 CO₂ 발생량 66.6 kg/m³, 따라서 레미콘 1m³에서 시멘트를 25%만 사용하고, 75%를 혼화재료로 대체할 경우, CO₂는 시멘트에서만 66.6kg/m³으로 약 33.3%로 저감 가능함. 따라서, HVMA 콘크리트에서 시멘트 25% 사용시 현재의 CO₂ 발생량을 시멘트에서만 1/3로 감축 가능
- 현재 레미콘의 혼화재료(고로슬래그 미분말, 플라이애시) 사용량을 시멘트 대비 20%에서 50%로 증대시 연간 약 3,000억원 제조원가 절감, 가능하여 건설공사에서 CO₂ 저감과 콘크리트 제조비 절감

(가) HVMA Concrete 제조 기술 발달

- 정부의 저탄소 녹색성장 정책에 부합하여 다양한 분야에서 탄소저감의 노력으로 건설분야, 특히 콘크리트 제조 분야에서 탄소저감을 위한 HVMA 콘크리트 적극 사용
- 산업부산물인 석탄재(플라이애시), 제철소 부산물인 슬래그의 가공기술 발달과 고부가가치 제품으로 부각
- 조기강도용 화학 혼화제 기술력 향상 및 시장 확대
- 혼화재료 대량 사용에 따른 콘크리트의 조기강도 확보를 위한 첨가제(알칼리 자극제, 수화 반응 촉진제 등)의 생산성 향상, 기술력 증대
- 현재 레미콘의 혼화재료(고로슬래그 미분말, 플라이애시) 사용량을 시멘트의 20%에서 50%로 증대시 연간 약 3,000억원 제조원가 절감, 가능하여 건설공사에서 CO₂ 저감과 콘크리트 제조비 절감

(나) 산업부산물의 적극 활용으로 재활용을 극대화

- 화력발전소 부산물인 플라이애시의 재활용을 상승으로 매립 석탄회 감소, 나아가 석탄화력 발전소의 수명연장 기대
- 정부에서의 혼화재료 사용 적극 권장 KS 표준에 탄소저감형 콘크리트 및 관련 재료(고로슬래그 미분말, 플라이애시, 콘크리트용 화학혼화제 등) 인증
- 건축공사표준시방서, 콘크리트표준시방서 등 건설공사 관련 시방서에 HVMA 콘크리트공사 표준시방서 마련

(다) 정부의 탄소배출권 규제 완화 가능

- 레미콘 1m³의 단위 결합재량 평균 333kg/m³ (○○레미콘), 결합재중 단위 시멘트량 약 75%일 경우 시멘트량 250kg/m³에서 발생하는 CO₂는 시멘트에서만 약 200kg/m³
- 단위 시멘트량을 25%로 감소시킬 경우 CO₂ 발생량 66.6kg/m³ 따라서 레미콘 1m³에서 시멘트를 25%만 사용하고, 75%를 혼화재료로 대체할 경우, CO₂는 시멘트에서만 66.6kg/m³으로 약 33.3%로 저감 가능
- 국내 레미콘 생산량 약 1억2천만m³(한국레미콘공업협회)이고, HVMA 콘크리트에서 시멘트 25% 사용 시 현재의 CO₂ 발생량을 시멘트에서만 1/3로 감축 가능

(2) 무시멘트 콘크리트

(가) 기술적 기대성과 및 파급효과

- 국내의 해양 환경 콘크리트 개발 중점 분야는, 고로슬래그/플라이애시 등 결합재를 혼합하는 방식으로, 시멘트와의 배합 비율 조정에 기인하는 것으로 첨가제 사용량 증진에 기술적인 한계가 있어, 탄소 저감과 성능 개선이 크게 진척되지 못하고 있다. 따라서 본 연구를 통해 고로슬래그/플라이애시 등의 결합재를 100% 수준으로 치환할 수 있다면 해양 환경 콘크리트의 환경적 측면과 함께 성능 개선 효과를 크게 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

(나) 사회경제적 기대성과 및 파급효과

- 국내 시멘트 산업의 온실가스 배출량은 3,900만톤으로 산업부문 총배출량의 18.9%(2004년 기준)에 달하며, 에너지 소비량은 3,878천TOE으로 전체 산업에서 4위를 차지하는 등 큰 비중을 차지하고 있다. 이는 시멘트 산업뿐만 아니라 시멘트를 주요 재료로 사용하고 있는 건설 산업의 비용측면에서 경쟁력을 약화시키는 요인이 된다. 따라서 본 연구를 통해 고성능 무시멘트 콘크리트를 개발 및 실용화를 통해 막대한 온실가스를 배출하는 시멘트의 사용량을 줄임으로써 시멘트 생산량 감소로 인한 시멘트 산업의 변화를 가져올

수 있다. 또한 시멘트 대체재를 통해 에너지 절감 효과 및 건설 산업의 건설비용의 감소 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

(다) 전략적 측면의 기대성과 및 파급효과

- 선진국을 중심으로 온실가스 저감을 위하여 혼합시멘트 사용을 확대하는 반면, 국내 시멘트 시장은 보통 포틀랜드 시멘트 위주로 혼합시멘트 점유율은 유럽에 비하여 낮은 실정이다. 따라서 혼합시멘트의 점유율을 높이는 데 힘쓰는 한편, 무시멘트 콘크리트의 제조 기술 및 실용화를 통해 국내 무시멘트 원천기술을 보유한다면 국내 건설 산업의 국제 경쟁력을 강화시킬 수 있으며, 양적인 성장 뿐만 아니라 질적인 성장(녹색 성장)을 추구하는 국가 이미지에 대한 재고도 이뤄질 수 있을 것으로 생각된다.

(라) CO₂ 저감 기대효과

- 시멘트 1톤 생산 시 CO₂ 약 1.2톤이 생산되어 온실가스의 주배출원으로 인식되고 있으며, 2009년 현재 국내 시멘트 생산량은 53,826,000톤(출처: 2009년 광공업 동태조사, 통계청)으로 국내 연간 시멘트 생산으로부터 배출되는 CO₂ 양은 약 52.5백만 톤(우리나라 전체 CO₂ 배출량의 약 10%)이다. 선진국은 온실가스 저감을 위하여 혼합시멘트 사용을 확대하는 반면, 국내 시멘트 시장은 보통 포틀랜드 시멘트 위주로 혼합시멘트 점유율은 유럽에 비하여 낮은 실정이다. 최근 슬래그 시멘트 생산증가로 보통 포틀랜드시멘트 점유율이 낮아지고 있으나 80% 이상을 차지한다. 따라서 시멘트 생산량의 1%만 감소하여도 연간 60만톤 이상의 CO₂ 저감 효과를 기대할 수 있다. 고성능 무시멘트 콘크리트는 시멘트를 사용하지 않는 콘크리트이므로 이러한 시멘트 생산량 감소효과를 크게 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 비소성 결합재 활용 시멘트

- 친환경 녹색기술의 전 세계적 패러다임에 부합하는 기술개발로 기술경쟁력을 향상시킴.
- 환경저해 산업으로 인식되는 시멘트 산업의 지속가능 녹색성장(Green Groth) 기반기술 확립할 수 있음.
- 21세기 한국의 신 성장동력인 “저탄소 녹색성장”에 부합되는 건설재료 분야의 지속가능 융합 산업분야 개발로 국가경쟁력을 강화하는데 기여함.
- 탄소저감형 건설재료의 활용근거 제시에 따른 친환경 건설재료 기술개발 촉진에 기여
- 순환자원 활성화, 온실가스 저감, 에너지 소비저감 등의 녹색기술 실용화를 유도하는 국가 저탄소 녹색정책에 부합하여 탄소저감형 건설재료 기술을 개발 및 실용화함으로써 국가 온실가스 목표저감 달성에 기여할 것으로 판단됨.

- CO2 저감 및 순환자원의 활용 등 전세계적 녹색기술 패러다임에 의해 콘크리트 시장에서도 그린콘크리트 시장의 점차 확대되고 있어 석회석 미분말 혼합재를 치환한 비소성 콘크리트가 개발되 경우 관련 시장 점유는 충분히 가능할 것으로 판단됨.

나. 환경부하 저감형 건축재료 개발

(1) 에너지 고효율 주택(EEH)

- 외피의 열성능 보정된 에너지시뮬레이션 모델로 난방설정온도에 따른 2009년 레퍼런스 하우스와 2015 실증하우스 연간에너지사용량 분석 결과, 20℃ 설정일 경우에 레퍼런스 하우스 난방에너지 사용량은 366.14~368.54 kWh로 나타났으며, 실증하우스는 151.97~209.11 kWh로 약 157.03~216.57 kWh 에너지절감량이 나타남.
- 난방에너지사용량에서는 레퍼런스하우스가 1,339.92~1,511.32 kWh로 나타났고, 실증하우스가 411.32~420.50 kWh로 900~1,090 kWh로 상당히 많은 에너지절감량을 보였음.
- 난방에너지사용량이 많은 공동주택인 경우의 특성과 유사한 결과로, 전체적인 에너지 절감율이 63.63~69.55%로 나타남.
- 이러한 에너지시뮬레이션 Baseline은 건물재료 특성별, 지역별, 기후별 등의 다양한 범위에서 에너지사용량을 비교검토 할 수 있는 자료로 활용이 가능함.

(2) 단열콘크리트

- 단열콘크리트에 관한 현재의 기술은 발포제에 의해 콘크리트 속에 무수한 기포를 골고루 독립적으로 분산시켜 중량을 가볍게 한 경량기포콘크리트를 제조하여 경량성과 열전도율이 약 0.3(Kcal/mhr℃)으로 단열성이 높고, 가공이 용이하며, 내화성이 뛰어난 여러 가지 장점이 평가되고 있으며, 주택의 온돌바닥의 소재로 널리 사용되고 있음.
- 그 외 단열콘크리트 관련 기술로서 경량골재 등 열전도율이 낮은 소재를 사용하여 열전달을 낮춘 콘크리트, PCM 등 신소재를 사용하여 열저장성을 높인 콘크리트 등이 있음
- 본 연구로 개발된 단열콘크리트를 건축물의 내외부 단열성 확보를 통해 마감재의 사용저감을 통해 건축물의 공간 활용 증대가 기대되며, 단열성능향상이 내외부 온·습도차에 의해 발생하는 결로현상을 완화시켜 지하 및 주거공간의 환경 개선이 기대됨.
- 에너지 Saving을 목적으로하는 건축물에 사용시 실내에너지 사용량을 일반콘크리트 타설 때보다 약 5~7% 절감할 수 있으며, Co2 또한 저감이 가능하여 에너지 고효율 건축물에 이용시 효과가 있을 것으로 판단되어, 냉난방 에너지 절감에 따른 개인 및 사회의 에너지 비용 절감이 가능함.

- 열손실지수 30%이상 저감한 EEH로 감소될 온실가스는 에너지 절감분에 대한 1차에너지 환산으로 통해 CO2 저감량으로 계산되어 활용될 수 있음.

(3) 공동주택 에너지 저감형 건축자재(DB구축) 활용 기술

- 본 연구에서는 공동주택의 에너지 소비량 저감을 위하여 사용되는 각종 에너지 저감형 건축자재의 DB를 구축하고 이를 활용한 자재선정 시스템을 개발함.
- 건축자재 DB는 단열재, 창호재 등에 대한 각종 특성과 설계 및 시공상세도, 시방서 등을 포함하여 건축물의 설계 및 시공단계에서 자재의 적절한 선택 및 적용에 기여하여 에너지 저감형 건축자재의 활용 활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대.
- DB를 활용한 자재선정시스템은 건축물의 설계 단계에서 요구되는 열관류율을 충족시킬 수 있는 단열재 등의 선정에 있어서 부재를 구성하는 재료의 층수와 종류를 선정하면 열관류율을 만족하는 단열재 등의 목록을 작성하고 이를 바탕으로 재검색 할 수 있는 기능을 통하여 종래의 부재별 계산을 하지 않고도 소요성능을 충족시키는 자재를 선정할 수 있도록 하여 설계업무를 쉽고 효율적으로 할 수 있을 것으로 기대.
- 본 연구에서 외단열 설계를 위하여 선형열관류율 계산 방법을 제시함.
- 이는 모서리 부분 등의 열전달을 명확하게 할 수 있으며 이를 통하여 효과적인 외단열 설계를 할 수 있을 것으로 기대됨.
- 제시한 외단열 공법의 설계 및 시공지침(안)은 외단열 건축물의 설계 및 시공의 기준으로 활용할 수 있을 것으로 기대함.

(4) LEC 내외장재 제조 기술

- 건축 및 건설용 건자재의 상당수는 시멘트를 주재료로 하며 이러한 제품은 장기간의 양생 또는 조기생산을 위해 높은 수준의 열에너지를 소비함.
- 이러한 건자재의 생산 에너지 저감(LEC)에 관한 연구는 현재까지 거의 진행된 바 없어, 본 연구를 통한 개발사항은 향후 건축자재의 생산 산업분야에 파급될 효과가 매우 큰 것으로 판단됨.
- 이러한 건자재의 생산 에너지 저감(LEC)에 관한 연구는 현재까지 거의 진행된 바 없어, 본 연구를 통한 개발사항은 향후 건축자재의 생산 산업분야에 파급될 효과가 매우 큰 것으로 판단됨.
- LEC모듈화 패널의 실증하우스 전력소비량을 산출한 결과, 기존 시공법 대비 18.5%의 에너지 절감효과를 나타냄.

- LEC의 일환으로 저탄소 콘크리트 활성화제는 시멘트 사용량에 대한 큰 폭의 저감을 통해 시멘트 생산시 발행하는 탄소발생량의 저감의 효과가 클 것으로 판단됨.
- LEC 내장 타일의 경우, 실내공기질 개선에 대한 효과와 함께, 온습도에 대한 민감도 개선의 효과가 있음.

(5) 기타 기술

- 고성능 외단열 PC WALL의 에너지 성능 평가 결과, 기존 내단열 방식을 적용한 세대의 난방 에너지 소비량은 81.7kWh/m^2 이며, 외단열 PC-Wall을 적용한 세대는 47.1kWh/m^2 로 분석됨.
- 공동주택에 기존 내단열 벽체를 대신해 외단열 PC-Wall을 적용할 경우 난방 에너지 소비량은 약 40% 절감될 것으로 예상되며, 이에 따른 에너지 비용도 절감될 것으로 판단됨
- 기존 내단열 방식과 외단열 PC-Wall의 생산단계 및 운영단계의 CO_2 배출량으로 생산 단계에서는 약 35%, 운영 단계에서는 약 40% CO_2 절감가능한 것으로 분석됨.
- PCM을 사용한 도료를 통한 에너지 사용량은 하절기 3.8%, 동절기 4.33%가 절감되는 것으로 나타남.

다. 건설재료의 CO_2 통합관리기술 개발

(1) 건축자재 산업의 환경성 진단

- 본 연구의 결과로 개발된 탄소저감형 건설재료의 LCCO_2 평가 기술을 향후 건축자재 산업의 각 공정에 대한 환경성정보를 규명하기 위한 노력을 유발하고, 그에 따라 자재생산업체 자체의 공정개선 노력을 위한 유용한 정보를 제공과 더불어 관련 환경산업 및 건설 산업의 기술개발에 대한 파급효과 유도 가능. 또한, 건축생산과 관련하여 설계자나 시공자가 환경적으로 우선하는 건축자재를 사용하도록 유도함으로써 건축생산 현장의 환경성을 제고하며 유사 자재별로 환경성 개선 노력을 유발시켜 지구환경적인 측면과 소비자건강 측면에서 성능이 향상된 자재의 개발과 사용을 촉진 가능.
- 특화된 분야에 대한 환경적 전문지식이 없는 소비자라 할지라도 본 연구를 통해 개발된 평가기술을 활용하여 평가된 제품의 환경정보를 쉽게 이해할 수 있을 것이며, 건축 제품의 인체유해성 뿐만 아니라 지구적 차원의 환경적 영향을 고려하는 소비활동 가능. 그리하여 모두 지구환경에 커다란 영향을 미치는 인자로서 건축물과 건축자재에 대한 인식을 가지고 건설업체나 자재생산업체로 하여금 지구환경과 인간을 모두 고려하는 생산활동을 하도록 유도하는 계기 가능.

(2) 친환경적 콘크리트 구성 재료의 기술개발 촉진

- 탄소저감형 건설재료를 사용한 기술은 콘크리트 구성재료의 생산, 콘크리트 구조물의 설계, 시공, 유지관리 및 보수보강, 해체, 폐기 및 재활용의 전과정에 걸쳐서 검토가 될 것이며, 탄소배출을 저감시킬 수 있는 상위기준으로서 표준, 시방서, 기준, 여러 가지 지침 등의 개발은 현장에서 직접 적용하고, 탄소저감 건설재료의 상용화에 초석을 마련할 뿐만 아니라 관련 기술 개발 촉진 가능. 국내에서도 건축 자재를 위주로 구축되어가는 전과정평가 DB 및 평가 기술을 시멘트 콘크리트를 사용하는 건설 산업 전체로 확대하며, 향후 체계적으로 구축된 DB를 활용하여 환경에 미치는 영향을 정량화하여 나타낼 수 있는 기술의 개발 가능.

(3) 탄소시장에 탄력적으로 대응할 수 있는 기반 마련

- 기후변화협약에 따라 온실가스인 이산화탄소 감축이 국가의 절대 의무가 되고 있는 가운데 인간의 경제 활동에 따른 환경비용을 시장의 원리에 따라 효율적으로 지불할 수 있도록 국제배출권거래(IET: International Emission Trading)시장 형성. 과거 인류의 생존 활동은 부존자원의 유한성에 대한 인식이 없이 무분별하게 행해져왔으나 이제는 저탄소 사회를 구축하여 활동의 결과에 대한 환경적 영향을 탄소를 기준으로 수치적으로 측정하고 그에 따른 환경비용 지불. 즉, 사회는 화석연료 기반의 경제구조에서 탄소가 재화의 가치를 지니는 구조로 전환.
- 우리나라도 이러한 변화에 따라 배출권 시장 도입을 위하여 국가적 차원에서 산업·가정·수송 등 전 부문에서 체계적으로 온실가스를 줄일 수 있는 기반을 점차 마련해 나가고 있다. 따라서 건축 및 건설 분야에서 탄소시장에 탄력적으로 대응할 수 있는 구조로 전환하는 것이 시급하며, 이 과정에서 본 연구를 통해 개발된 LCCO₂ 평가기술 및 핵심 개발 건축제품의 환경성 데이터베이스가 유용한 활용 가능.

(4) 건설시장의 탄소저감 재료의 활용근거 제공

- 녹색건설기술 패러다임 하에 저탄소녹색성장기본법, 친환경건축물인증제도 등 탄소거래 정책에 대한 국가정책적인 요구성능을 만족시킬 수 있는 저탄소재료의 사용 가이드 및 시방서를 개발하여 건설시장의 탄소저감 재료의 활용 근거 구축 필요. 뿐만 아니라 콘크리트 구조물의 전과정에 걸친 환경설계법을 도입함으로써 발주자의 환경에 대한 인식을 제고시키고, 건축가, 구조설계자 및 시공 관련 모든 건설 전문인력의 환경성에 대한 전문지식과 경각심 향상. 탄소배출권 거래시장의 규모의 급속한 성장에 따라 탄소저감형 건설재료의 활용을 위한 가이드 및 시방서의 개발은 미래성장 동력으로서 국내 건설시장의 경쟁력 향상에 크게 기여 가능. 콘크리트 구조물의 설계단계로부터 환경영향을 미리 예측하고 목표와 비교하여, 미리 설정된 환경성능에 대해 검증하는 과정을 반복하는

경우, 구조물의 전과정 측면에서 경제적인 효과 창출 가능.

(5) 타산업에 미치는 효과

○ 건축업체의 원칙적인 친환경경영에 대한 노력을 유도할 수 있다는 점 외에, 건축자재의 원자재를 생산하는 모든 관련된 업체들(유리, 알루미늄, 철강, 제지, 목재 관련 업체 등) 또한 환경친화적인 원자재를 공급하라는 요구를 받게 되므로, LCCO₂를 통한 환경성 분석의 영향은 거의 모든 산업계 전반에 미침. 또한 전과정평가를 통해 구축된 LCI DB 성격상 원자재의 DB들은 같은 원자재를 사용하는 대신 다른 산업분야의 환경영향평가 수행에도 직접 적용될 수 있는 형태로 구축되므로, 산업계 전반에 걸쳐 그 영향은 매우 큼.

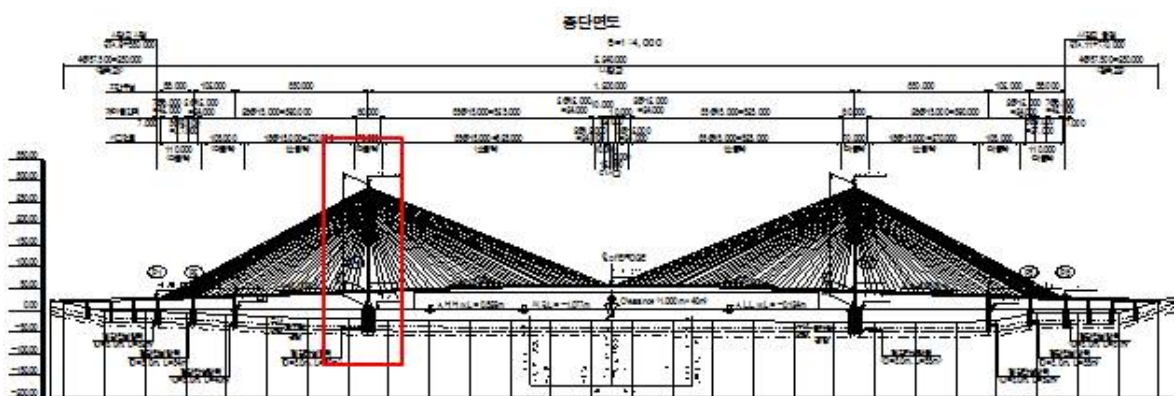
- 건축자재업체의 환경 친화적인 생산체제 도입
- 건축 관련 원자재 LCI D/B 구축 사업의 촉진(산업 자원부, 환경부에서 시행)
- 운송 및 건설 중장비, 시공기계, 플랜트 등 건설관련 설비산업의 환경부하 저감 유도
- 건축자재 생산업체의 친환경 건축자재 개발/제조 유도
- 시공업체의 친환경 건축물 설계 유도
- 원자재 생산업체의 제품 환경성 개선 및 환경성정보 관리 유도

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 실용화·제품화 방안

○ HVMA 콘크리트

- KS F 4009 레미콘의 항목에 친환경 콘크리트, 저탄소 콘크리트로서 HVMA 콘크리트 적용을 추진.
- HVMA 콘크리트를 KS 제품으로의 등록뿐 아니라 정부와 학계, 그리고 건설 회사 등과의 긴밀한 협조를 통해 관련 법규의 개정, HVMA 콘크리트 생산 및 수요처에 인센티브 부여 등의 정책 공유 추진.
- HVMA 콘크리트는 수화열 저감, 장기강도 증진 등의 장점이 있으므로, 대규모 콘크리트 구조물의 기초매트, 단면이 큰 매스콘크리트 등의 구조물에 적용이 가능할 것으로 기대. 특히 초고층 빌딩을 건설시 요구되는 기초매트 부위의 수화열 저감 및 고강도 확보에 대한 적용 가능.
- HVMA 콘크리트는 CO2를 감소시킨 콘크리트이므로, 이러한 HVMA 콘크리트 사용처를 사전에 파악한 후 중점적으로 홍보하여, 탄소저감 수요가 발생하는 대형 건설회사, 정부발주의 대규모 프로젝트에서도 적용 추진.
- 교량 및 매스콘크리트 구조물 현장 적용을 위한 HVMA SCC 시공 지침(안)을 활용예정 : 다량의 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 활용하여, 아래 그림과 같이 교량 주탑 공사 중, 현장 타설 말뚝, 기둥 및 코핑부 등에 적용할 예정임.



[그림 5-1] HVMA SCC 콘크리트 시공 지침(안) 적용가능 부위(교량 주탑 공사 등)

○ 고성능 무시멘트 PC

- PC부재는 공기 단축과 품질관리가 용이하다는 장점으로 현재 건설현장에 많이 적용되고 있음. 따라서 이러한 PC제품에 고성능 무시멘트 콘크리트를 적용한다면 고성능 무

시멘트 콘크리트의 실용화는 쉽게 이뤄질 것으로 판단됨

- 또한 무시멘트 콘크리트의 제조 기술 및 품질관리 지침 개발을 통해 무시멘트 콘크리트 기술을 표준화한다면 고성능 무시멘트 콘크리트를 이용한 PC 제품의 실용화가 더욱 용이할 것으로 판단.

○ 비소성 결합재

- 시멘트협회를 통해 국내 시멘트 제조사의 적극적 참여 유도, 본 과제에서 개발된 기술을 직접 활용하여 CO2 저감형 시멘트 제품화 실현 가능.
- 본 연구를 통해 획득한 특허와 mock-up test 및 실험시제품을 바탕으로 현장 적용성을 높임.
- 자원 순환형 골재 및 결합재를 활용한 무시멘트의 표준 기준을 정립함으로써 실용화 및 제품화를 용이하도록 유도.
- KS L 5201 포틀랜드 시멘트의 개정 또는 추가적인 석회석 포틀랜드 시멘트의 KS 제정을 추진하여 시멘트 제조 시 CO2 저감 효과 극대화하며, 용도에 따른 혼합시멘트 활용에 대한 기준 마련 추진
- 재료가 생산되는 발전소 인근 지역을 우선적으로 적용함으로써 재료의 실용성 및 이점을 검증할 수 있을 것으로 기대.
- 비소성 결합재를 활용한 CO2 저감형 시멘트(Ordinary Portland Cement)는 기존 사용 OPC와 동일하게 범용적으로 건축·토목 현장에서 활용 가능할 것으로 판단됨.
: Blended Cement는 콘크리트 2차제품, 토목공사 등 기존 혼합시멘트의 용도에 적합할 것으로 예상됨.

○ 비정질 강섬유

- 비정질 강섬유를 활용한 시멘트 복합체의 배합기술을 조성물 단위의 특허를 추진하고 이를 바탕으로 시제품 형식으로 참여기업에 기술 이전을 실시함. 참여기업은 연구기간동안 효율적인 비정질 강섬유 혼입 시멘트 복합체의 시공법을 별도로 개발하여 실용화를 가속함.
- 비정질 강섬유를 활용한 콘크리트 배합기술에 대하여 조성물 단위의 특허를 추진하고 이를 바탕으로 시제품을 개발하여 실용화를 가속함.
- 비정질 강섬유, 고기능성 강섬유 및 유기섬유가 복합적으로 혼입된 고강도 및 고인성의 복합재를 이용하여 제작한 구조요소 합성거푸집을 철근콘크리트 구조 및 SRC 구조의 건축물 기둥공사에 거푸집 겸 구조체로 활용하여 피복 단계의 내구성을 증가시키고 compaction 효과에 의한 구조내력을 증진시키면서 습식 거푸집의 사용을 지양하여 경제성과 탄소발생량을 줄일 수 있는 부재를 구성함.
- 에너지 저감형 비정질 강섬유를 활용한 콘크리트는 기존 강섬유 콘크리트 용도와 동일하게 건축, 토목 등 건설생산현장에서 다양하게 활용할 수 있을 것으로 판단됨.
- 구조부재 합성 영구거푸집 : 비정질 및 고기능성 강섬유와 유기섬유 등, 복합섬유 활

용을 인장 및 인성거동이 우수하고 동시에 내화구조에 적합한 영구거푸집을 제작, 기동 및 보 요소 등, 구조요소 콘크리트 공사에 적용

○ Carbon negative cement

- 원천소재기술로서 개발성공시 건설산업 전반에 걸쳐 파급효과가 크며 시멘트 대체품분야 및 이를 활용한 콘크리트 제품으로의 활용이 기대됨.
- Carbon negative cement의 개발과 이를 활용한 CO2 흡수형 콘크리트 2차제품(블록, 보드류)으로 참여기업(일우 PPC)을 중심으로 제품화 할 예정임

○ EEH 시스템 구축기술 개발

- EEH(Energy Efficiency House) 구축을 바탕으로 장기간 monitoring 및 분석을 통하여 simulation을 거쳐 한국형 EEH의 설계 및 시공을 위한 Guideline 제시
- 기성 제품의 D/B 및 기존 기술들을 활용하여 모든 단열재료 및 시스템에 대한 사전 평가 후, 열손실지수 30% 이상 저감이 가능한 최적 기술들을 선별하여 검증에 대한 시간을 단축하고 안전한 현장 적용을 도모
- 에너지 고효율 주택인 실증주택을 구축하여, 2세부에서 개발된 단열콘크리트, 고단열 복합 PC 외벽시스템, 단열도료 및 단열 보드 기술 등 에너지 저감 기술을 적용 평가하여 현장적용에 관한 D/B구축

○ 단열콘크리트 시공 실용화 기술 개발

- 단열성능향상 콘크리트 생산설비를 개선하여 안정적인 제조/생산 기술매뉴얼을 작성하고 상시재료의 공급과 안정적인 생산이 가능하도록 한 제조/생산 설비시스템을 구축할 것임.
- 실증하우스 현장적용 후 발생하는 개선사항을 보완하고 실용화·제품화할 계획임.
- 안정된 품질의 단열성능향상 콘크리트는 향후 건축물의 구조용 단열벽체 뿐만 아니라 플랜트, 토목구조물의 단열이 요구되는 부분(Pipe coating)등에도 적용 가능한 원천기술을 확보하여 적극적인 활용을 할 수 있을 것으로 사료됨.
- 제로에너지 및 친환경 건축물 등 에너지 절감을 목적으로한 건축물에 활용될 것임.

○ 공동주택 에너지 저감형 건축자재(DB구축) 활용 기술 개발

- 개발된 에너지 저감형 건축자재 DB 및 자재선정시스템은 Web 상에서 구현할 수 있도록 개발되었음
- 건축자재 DB 및 자재선정시스템은 LH의 공동주택 건설의 공사 실무 적용 뿐 아니라 건축설계사무소, 건설회사 등에서 쉽게 접근하여 다양한 민간 친환경 건축공사의 구현에 활용할 수 있음.

○ 외단열 공법의 설계 및 시공지침 개발

- 개발한 공동주택 외단열 공법의 설계 및 시공지침을 포함하는 LH공사 전문시방서 개정을 추진하고 있음.

- 향후 건축공사표준시방서 등의 외단열 공법 항목의 제·개정을 추진할 예정임.

○ LEC 내외장재 제조 및 공정기술 개발

- LEC (Low Energy Curing) 기술의 핵심인 저에너지 양생용 결합재에 대한 가격 및 제품 공급방안에 대한 구체성 및 대안 마련 후 사업화 가능함.
- 기존 외벽재의 단순한 패턴을 보완하여 다양한 무늬의 패널 생산을 통해 모듈화 패널의 디자인을 다양화 하여 적용범위를 확대의 필요성이 대두됨. 따라서 제품 규격화를 통한 생산효율 증대를 통한 패널 단가 저감과 시공법 개선을 통한 시공비 절감을 통해 가격 경쟁력을 향상시키기 위한 방안 필요.
- 본 연구개발은 벽산(음성 Base 패널 공장)에서 현장 설비를 이용한 시제품 생산이 진행되고 있으며, 이후 타 참여기업으로 기술이전 계획.
- 제품의 규격화를 통한 생산효율 증대를 통한 패널 단가 저감과 시공법 개선을 통한 시공비 절감을 통해 가격 경쟁력을 향상시키고자 하며 다양한 무늬 적용을 통해 고객 Needs 충족.
- 제품 디자인 개선을 위해 요업세라믹의 디자인을 고려, Pilot 단계에서 롤스탬프 기법을 적용하여 디자인 적용 가능성 검토결과 기존 배합에서 나무결무늬(송판무늬)를 적용이 가능한 것으로 나타났으며, 추후 다양한 무늬를 적용을 통해 시장 Trend에 대응 가능함.

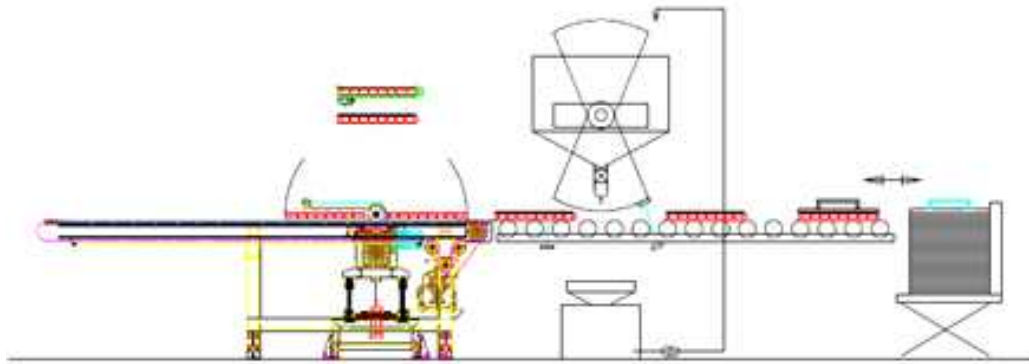
1. 패널 단가 down	2. 시공법개선 (시공비절감)	3. 무늬패널 생산 (송판무늬, 민무늬)
제품규격 변경 27T 35T 대비 = 87% 50T 대비 = 72% ※ 규격단순화 (대량생산) 현재 10mm 단위 주문생산 2760 = 35 kg/m² 석재 = 81 kg/m²	L-Clip+□-PIPE+용접 (대형 장변형 패널용) Anch+clip+고정철물 (중소형 판재용) 21% 절감 가능 ※ 시공법 단순화 	 〈송판무늬〉 송판무늬 롤스탬프 [롤스탬프 교체가능]  재판 압출 상형롤

[그림 5-2] 규격화 및 디자인을 통한 원가 절감 및 디자인 개선 방안

		
(a) 송판무늬 적용 Pilot test		(b) 적용 결과

[그림 5-3] 송판무늬 적용 결과

- 개발기술을 제품화하여 생산 및 보급하기 위해서는 다음과 같이 생산설비의 추가 및 보완을 통해 제품화 계획.



[그림 5-4] 모듈화패널 제조공정도(안)

○ 저탄소 콘크리트 개발 및 활용

- 시멘트 다량 치환의 저탄소 콘크리트를 KS F 4009 레디믹스트 콘크리트의 종류로 삽입하도록 개정 추진.
- 저탄소 콘크리트의 배합 및 강도, 슬럼프 등의 품질에 영역 제안함.
- 또한 콘크리트 표준시방서 중 친환경 콘크리트공사 항목으로 저탄소 콘크리트 삽입 개정 추진.
- 추진 중인 KS 규격과 합치되는 내용으로 보다 상세한 사항을 규정함으로써 저탄소 콘크리트의 활용 및 레미콘 생산에 바로 적용하기 위한 기술사항 제시함.

○ 건설재료의 LCCO2 평가기술 및 탄소배출 저감 관리기술 개발

- 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.

○ 건설자재 LCI DB 및 CO2 통합관리시스템

- 웹 기반 건설재료의 LCI 네트워크 구축 정보 활용방안 적용 검토.
- 국토해양부 및 환경부와의 온실가스 배출량 산정지침 및 탄소라벨링 인증제도의 적용 방안 검토.
- 환경부 산하 한국환경산업기술원의 환경성적표지 제도 적용 진행.
- 실증하우스의 현장적용시 현장적용 시방서의 활용 및 검토.
- 개별 마감자재의 환경성정보 및 마감부재의 조합별 인벤토리를 체계적으로 구축하여 사용자들이 환경 친화적인 자재를 우선적으로 사용할 수 있도록 유도.
- 건설재료 탄소라벨링 제도의 통합적 모델 제시 및 시스템의 표준화 활용.

○ 탄소저감형 건설재료 활용 가이드 및 시방서 개발

- 건설자재의 친환경적 사용 가이드라인과 재활용 및 재사용에 대한 방법과 실천사례를 정리한 매뉴얼 등을 공급 활용.
- 연구를 통해 제안된 환경성능 검증형 시공지침을 콘크리트표준시방서 개정에 활용.

2. 사업화 및 기술이전방안

○ HVMA 콘크리트

- 국내 레미콘은 연간 8조원 정도의 큰 시장을 갖고 있고, HVMA 레미콘 제조시 사용되는 원재료는 고로슬래그 미분말, 플라이애시와 화학혼화제가 가장 중요한 재료라고 할 수 있음
- 따라서 HVMA 콘크리트는 고로슬래그 미분말 제조회사와 플라이애시 정제회사, 그리고 혼화제 회사를 중심으로 HVMA 콘크리트에 적합한 재료들을 납품할 수 있도록 품질관리가 요구.
- 이러한 원재료 회사를 중심으로 HVMA 레미콘 제조에 필요한 원재료를 생산할 수 있는 회사에 기술이전 검토 가능. 또한 국내에 900개 정도의 레미콘 회사가 있으므로, 중소 레미콘 회사를 중심으로 HVMA 콘크리트를 제조 가능한 회사에 HVMA 콘크리트 제조 기술 이전 기대.

○ 고성능 무시멘트 PC

- 고성능 무시멘트 콘크리트 기술을 콘크리트 2차제품에 확대 적용하기 위한 기술이전 실시협약(2016년 10월)의 체결을 통해 다양한 2차 제품으로의 적용 확대, 특히 내화확성이 요구되는 하수관거 등에 적용하는 방안을 계획하고 있음.
- 최근의 정부 및 민간에서 친환경건축재료에 대한 폭발적인 관심과 잠재력을 감안할 때 건설자재시장 규모의 상당부분이 친환경건설재료로 재편될 것이며, 관련업체와 연

계하여 고성능 무시멘트 콘크리트 PC 제품의 사업화는 높은 가능성을 가지고 있다고 판단됨.

○ 비소성 결합재

- 국내 화력발전회사와의 기술협약을 통한 자원 순환형 골재활용을 위한 공동연구 및 시범사업 시행.
- 교육과학기술부에서 주관하는 이산화탄소 저감 및 처리기술개발사업(CDRS)과의 연계를 통한 비소성 결합재와 자원 순환형 골재를 활용한 건설재료생산 및 활용기반 구축 추진.
- 대규모 SOC 기관(한국전력 자회사등)과의 기술협약을 통한 비소성 결합재와 자원 순환형 골재를 활용한 경량 콘크리트의 대규모 시범사업 시행 추진.
- 지식경제부 기술표준원의 우수재활용제조제품(GR)에 대한 제품 표준안 제시 및 관련 제품 제조산업 활성화를 통한 수요처 확대 추진.
- 본 연구에서 개발한 비소성 결합재와 자원 순환형 골재를 활용한 무시멘트 경량 콘크리트를 기존의 시멘트를 사용하는 비구조물 및 구조물에 적용하는 연구를 통하여 개발된 재료의 적용성을 높이며, 장기적인 물리/화학적 안정성에 대한 후속연구 등으로 발전시킬 수 있음.

○ 비정질 강섬유

- 포스코는 발생하는 Slag를 슬래그 대량활용 콘크리트 기술에 활용함으로써 Slag의 유효처리 기술로 활용하며, Slag Concrete 제조 및 현장 적용을 위한 다각화 노력 수행 중임.
- 확보된 비정질 강섬유 시멘트 복합체 조성물 특허와 신소재에 대한 경제성 향상을 통해 참여기업 또는 일반 경쟁기술 이전을 통하여 사업화 추진
- 비정질 강섬유 시멘트 복합체의 강섬유 형상과 재질의 개선 후속 연구와 구조적 성능에 대한 검증 연구를 통하여 이 재료를 내진 보강재료 및 기존 구조물의 보강재료로 활용.

○ Carbon negative cement

- 참여기업들을 중심으로 콘크리트 제품에 대한 사업화를 추진할 것이며, 양회협회사를 통하여 Carbon negative cement 제조에 대한 기술 이전을 추진할 것임.
- Carbon negative cement의 원천기술 확보를 통한 원료의 안정적인 공급 방법과 신뢰성 확보 및 실증연구에 대한 후속연구 추진 계획임.

○ EEH 시스템 구축기술

- EEH 적용기술 중 공동주택 뿐만아니라 중·소형 주택에 적용될 수 있는 요소기술에 대해 중소기업체를 대상으로 기술이전 추진으로 EEH 요소기술 활성화 추진.
- 다양한 부처에서 추진중인 친환경 주택 프로젝트 수주에 적극 활용.

○ 단열콘크리트 시공 실용화 기술

- 단열성능향상 콘크리트의 제조 및 배합, 타설 방법 등 원천기술의 축적과 함께 다양한 기술이전 기회 모색이 가능할 것으로 보임.
- 안정된 품질의 단열 성능이 확보된 콘크리트는 향후 건축물의 구조용 단열벽체뿐만 아니라 플랜트, 토목구조물의 단열이 요구되는 부분(Pipe coating)등에도 적용가능한 원천기술로 적극적인 기술이전 추진.
- 단열성능향상 콘크리트 기술의 적극적인 홍보 및 타 레미콘 생산사와의 기술이전 계약을 통하여 기술을 활성화하며, 기술 이전시 생산 및 시공에 대한 기술 지도를 통하여 원활한 기술이전 추진.

○ 공동주택 에너지 저감형 건축자재 DB 및 자재선정시스템

- 개발된 에너지 저감형 건축자재 DB 및 자재선정시스템은 Web 상에서 구현되어 LH 공사 내부 뿐 아니라 건축사 사무소, 건설회사 등에서 쉽게 접근하여 사용할 수 있음.
- 외단열 공법의 설계 및 시공지침은 LH공사 전문시방서 개정시 반영을 추진하고 있으며, 향후 건축공사 표준시방서 등의 개정에 반영을 추진할 예정임.

○ LEC 내외장재 제조 및 공정기술

- 향후 사업화 방안으로 현 개발 기술 적용 제품 이외의 블록, 보드, 파일 등의 콘크리트 2차 제품 생산업체로 기술이전을 검토하고 기술이전 실시 계획.
- LEC (Low Energy Curing) 기술은 다양한 콘크리트 2차제품 생산공정에 적용할 수 있는 것으로 블록, 패널, 타일 등 2차 증기양생, 3차 오토클레이브 양생을 실시하여 생산하는 제품에 적용이 가능함. Target 제품 개선방안, 사업화, 제조공정 개선방안과 압출성형패널에 적용하였을 시 기대되는 경제성 및 CO2 저감 등은 다양한 제품군에 적용하였을 때 그 효과는 더 클 것으로 기대.

○ 건설자재 LCI DB, CO2 통합관리시스템 및 전과정 CO2 평가 기법

- 향후 전과정 평가지침을 이용하여 건설자재통합정보시스템 내에 건설자재 CO2 배출량 DB 구축에 활용할 수 있음.
- 전과정평가를 통해 구축된 LCI DB 성격상 원자재의 DB들은 같은 원자재를 사용하는 대신 다른 산업분야의 환경영향평가 수행에도 직접 적용될 수 있음.
- 향후 CO2 통합관리기술은 CO2 관리가 필요한 기업체들에 공개 활용됨으로써 건축물의 구현에 있어 사용되는 재료의 CO2 저감관리를 위한 기반기술로 활용.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 비소성 결합재와 자원순환형 골재를 활용한

무시멘트 경량 콘크리트 관련 국제 연구 동향

- 스위스에서는 지구온난화와 더불어 토목건설분야에서도 친환경을 지향하는 노력이 지속되어 왔음. 이에 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해 알칼리 활성화재의 산화규소와 알루미늄이 다량 함유된 부산물의 산업적인 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음.
- 특히 알칼리 활성화 슬래그는 높은 강도를 발현할 수 있으며 적절한 활성화재의 사용은 신속한 작업뿐만 아니라 화학적 침식에 대한 높은 저항성과 내구성을 가질 수 있음. 일례로 알칼리 활성화 슬래그에서 형성된 주요 수화 생성물과 그들의 구성, 형태, 공간적인 특성에 대한 연구가 있음. 이 연구에서는 수화물 형성에서 슬래그 구성의 영향을 평가하기 위해 산화알루미늄의 함량이 다른 두 종류의 슬래그를 사용하였고, 골재의 공극률과 다른 알칼리성 활성화재를 사용하는 수화도를 연구함으로써 미세구조적 특성과 압축강도 사이의 관계를 평가하였음. 산화알루미늄 함량이 높은 슬래그는 함량이 낮은 슬래그보다 더욱 빠른 반응을 보였으며, C-S-H로부터 높은 알루미늄 흡수율이 관측됨.
- 스페인에서 건축 자재 산업은 포틀랜드 시멘트 클링커 및 온실 가스 배출량 감축을 위한 지속적인 노력을 하고 있음. 따라서 콘크리트의 결합재로서 포틀랜드 시멘트를 대체할 수 있는 대안을 개발하는 데 현재 관심이 급증하고 있으며, 또한 포틀랜드 시멘트는 극한 환경에서의 내구성 문제로 어려움을 겪기 때문에 모든 건설 용도에 대체 가능한 이상적인 결합재를 개발 중임. 칼슘알루미늄네이트 시멘트, 칼슘 설포알루미늄네이트 시멘트, 알칼리 활성화 시멘트, 황산염 시멘트로 대표될 수 있는 4가지 유망한 결합재에 대해 논의되고 있으며, 관련 연구가 수행중임.
- 미국 환경청은 폐기물관리의 효율을 증대시키기 위하여 각 도시 및 산업폐기물 처리는 ‘자원 보전 재생법’ 및 ‘폐기물 부담법’에 의해 관리되고 있으며, 순환골재 사용에 대한 포괄적인 조달지침(Comprehensive Procurement Guideline) 프로그램을 통해 재활용 건설자재 사용을 권장하고 있음
- 미국 콘크리트 학회(American Concrete Institute)에 따르면, 제방, 그라우트, 터널 및 광산 채움 및 벽 보강재 등에 Controlled low-strength material(CLSM)이 사용되고 있으며, 최근 산업부산물을 사용한 CLSM 개발에 관한 다양한 연구가 수행중에 있음. CLSM 제조시 플라이 애쉬 및 고로 슬래그 분말과 같은 산업부산물을 대량으로 사용하여 비용 저감 및 소요 압축강도 확보함

- 콘크리트의 천연 모래를 대체할 수 있는 바닥재 골재를 사용한 연구가 진행중에 있으며, CLMS를 제조하는데 있어 소각용 바닥재에 대한 예비 연구 및 후기 강도 증가에 대한 다양한 연구가 진행중임
 - 알칼리 활성화제 및 적절한 경화 온도는 비소성 결합재의 압축 강도에 영향을 미치는 중요한 요소로 플라이 애쉬의 경우 상온에서 낮은 반응성을 가지므로 충분한 기계적 성질을 얻기 위해 60도 이상이 필요함을 밝힘
- 일본에서는 플라이 애쉬를 기반으로 하는 지오폐리머의 특성을 밝히기 위해 다양한 연구를 수행중임. Nagoya Institute of Technology에서는 석탄 플라이 애쉬 분말을 이용하여 지오폐리머-제올라이트 하이브리드 재료의 합성방법을 개발하였으며, 화산재를 이용한 지오폐리머를 제조하고 화산재 내의 실리카 함량이 지오폐리머의 내구성에 미치는 영향을 연구하여 화산재 지오폐리머의 적용 가능성에 대해 검토함.
- 일본 철도종합기술연구소에서는 비소성 결합재를 이용한 지오폐리머 콘크리트를 철도산업에 적용하기 위하여 플라이 애쉬를 주재료로 하여 PC 침목을 제조하였으며, 이 과정에서 지오폐리머 PC 콘크리트를 일반 콘크리트의 생산 공정인 ‘제조→증기양생→탈형→프리스트레싱’ 순서에 맞춰서 시험생산 하였음. 이 공정으로 제조한 지오폐리머 PC 콘크리트는 1일 압축강도가 69.3MPa로 탈형 기준강도인 14.7MPa보다 약 4.7배 높으며, 프리스트레스 도입 가능 강도인 39.2MPa보다 약 1.8배 높아 1일차에 프리스트레스 도입이 가능한 것으로 나타났고, JIS E 1202 기준에 따라 침목 요구특성 실험을 한 결과, 규정된 조건으로 실시한 모든 시험에서 균열의 발생 없이 요구특성을 만족하여 지지용량을 충분히 확보할 수 있는 것으로 밝혀짐. 이와 같이 일본에서는 지오폐리머 콘크리트를 실제 공장 라인에 적용하여 특성화된 제품생산을 시도하고 있으며, 보다 향상된 품질을 구현하기 위해 노력하고 있음.

2. 건설자재 LCI DB 및 CO₂ 통합관리시스템 관련 국제 연구 동향

가. 국외 환경정책 동향

기후변화 영향으로 인한 물리적 피해가 가시적으로 확산되면서 기후변화 적응 비용이 증대되어 각 국가별 상황에 맞는 기후변화적응 정책이 주요 이슈로 부각되었다. 기후변화로 인한 경제적 손실은 매년 세계 GDP의 5~20%에 이를 것으로 전망⁹⁾되며 앞으로 2030년 전 지구적 차원의 적응 비용은 GDP의 0.06~0.21%로 추정¹⁰⁾되고 있다. 기후변화적응이 글로벌 아젠더로 부상하면서 주요 선진국들은 이미 국가 차원의 적응전략을 마련하고 장기적인 환경정책을 마련하여 실시하고 있다.

9) 스톤 보고서, 2006

10) UNFCCC, 2007

국제 환경정책 동향을 살펴보면 유럽연합 국가들이 온실가스 배출 저감 추진에 가장 적극적으로 행동을 취하고 있으며 세계 최초의 온실가스 거래 프로그램인 배출권거래제(EU-ETS:European Union Emission Trading System)를 2005년 1월부터 실시하였다. 영국은 자체적으로 2010년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 20% 감축을 목표로 기후변화프로그램을 운영 중이며 이 프로그램에는 기후변화부과금(CCL : Climate Change Levy)와 배출권거래제, 기후변화 자발적 협약, 에너지 효율향상 실행(EEC: Energy Efficiency Commitment) 등이 포함된다. 또한 독일은 최초로 환경라벨제도 도입 시행한 국가로 1977년 블루엔젤이라는 환경라벨을 시작함. 유럽의 환경라벨은 에코라벨로서 1992년에 도입되고 LCA에 따라 인증하며 서비스에 대해서도 에코라벨 인증작업을 개시함. 노르딕 국가에서는 노르딕스완이라는 공동환경라벨 운영하며 세 가지 환경라벨 모두 LCA에 근거하여 평가하고 있다.

유럽 이외의 국가 중, 일본은 1998년 [지구온난화대책추진법]을 제정하고 에너지효율 향상 등을 통한 이산화탄소 감축추진을 위해 에너지이용합리화 관련법의 일부를 개정하였고 일본 국제협력은행(JBIC)이 2007년부터 탄소배출권을 전자적으로 거래할 수 있는 신규시장을 개설하였다. 그리고 미주 지역에서도 국가차원의 기후변화 영향 및 적응프로그램을 개설하여 최우선 국가 기후변화 연구 프로그램 등을 수행하고 있다.

<표 6-1> 선진국들의 기후변화 대응 정책 동향

국 가	기후변화 대응 주요 정책
영국	• 기후변화영향프로그램 (UK Climate Impacts Programme: UKCIP, 1997년 설립) • 기후변화프로그램 (The UK Climate Change Programme, 2006) • 기후변화법 (Climate Change Act, 2008) • 기후변화예측 (2009) • 부처별 적응계획 (2010) • 국가기후변화적응프로그램 (2012)
독일	• 90년대 후반부터 신재생에너지 중심의 에너지정책을 추진 • 에코효율성 혁명인 제3차 산업혁명 주도 • 미래비전 : 환경기술자
프랑스	• 정부 조직 개편을 통해 녹색혁명을 준비 • 환경에너지 지속가능성 국토부 설치 (부총리급, 2008) • 환경 포럼을 통해 녹색혁명의 방향과 과제 결정 • 저탄소사회 장기대책 발표 (2008)
미국	• 전지구 기후연구 프로그램 (2002) • 정부 기후변화 적응대책 위원회 (2009)
캐나다	• 기후변화 영향 및 적응 프로그램 (Climate Change Impacts and Adaptation Programme : CCIAP)
호주	• 국가 기후변화 적응 프로그램 (National Climate Change Adaptation Programme, 2008년 수립)
일본	• 후쿠다 비전 (2008) • Cool Earth 50 에너지혁신 기술계획 수립 (2008)

나. 건설공사의 지속가능성 분야 국제표준 제정 현황

국제적 논의가 강화되고 있는 기후변화 협약과 관련하여 지구 온난화 영향에 대한 관심이 급증하면서, 제품의 생산에서 사용 및 폐기에 이르는 활동에서 발생하는 온실가스에 대한 영향평가가 중요시되고 있다. 전지구적인 수준의 환경파괴를 억제하고 지구 온난화의 주범으로 지목되는 이산화탄소의 배출을 줄이기 위해 국제표준화기구, OECD, WTO 등과 같은 국제기구 및 각 국 정부에서 환경친화적 제품을 시장 메커니즘에 따라 육성, 강화하려는 강력한 의지와 함께 다양한 제도 및 정책을 수립하고 시행하고 있으며, 특히 유럽을 중심으로 제품관련 환경정책을 통합하고자 하는 노력이 확대되고 있다.

현재 건축제품 분야의 환경성능 평가 방법에 대한 국제적인 표준 제정은 유럽표준화 위원회(CEN)의 TC 350(Sustainability of construction works)과 국제표준화기구(ISO)의 TC 59(Building Construction)의 주도로 이루어지고 있다. 유럽지역의 표준화 정책은 표준화를 수단으로 세계 시장에서 유럽산업의 경쟁력을 강화하는 것을 목표로 하기 때문에 공적 표준을 만드는 기관인 ISO 등의 국제 표준화 기관의 활동을 주도하고 있으며, 현재 유럽연합에 속한 국가들이 ISO 간사국의 61%를 차지하고 있다. 표준을 수단으로 시장을 획득하려는 유럽의 표준화 정책으로 인하여 결과적으로 전세계 주요 분야에 대한 표준과 강제기준의 대부분은 유럽에서 탄생하고 있는 실정이다. 유럽표준화 위원회(CEN)의 TC 350에서는 현재 건축제품의 환경성 선언 방법과 데이터 수집방법에 대한 표준 1건과 건축물의 지속가능성과 환경성과 평가에 대한 표준 2건을 제정한 상태이다. 그리고 건설공사의 지속가능성 달성을 위하여 건축물의 사회경제적 성능을 평가할 수 있는 기준과 건축물의 환경성과에 대하여 기업간 커뮤니케이션을 위한 표준 등을 개발하고 있다.

〈표 6-2〉 유럽의 건설공사 지속가능성 분야 표준제정 현황

상태	표준 번호	범주	내용
제정	CEN/TR 15941:2010	환경제품선언	데이터의 선택과 사용을 위한 방법론
제정	EN 15643-1:2010	건축물 지속가능성 평가	제 1부 : 기본 구조
제정	EN 15643-2:2011	건축물 평가	제 2부 : 환경성과의 평가를 위한 기본 구조
승인	prEN 15643-3	건축물 평가	제 3부 : 사회적 성과의 평가를 위한 기본 구조
승인	prEN 15643-4	건축물 평가	제 4부 : 경제적 성과의 평가를 위한 기본 구조
승인	FprEN 15978	건축물 환경성과 평가	산정론 (Calculation method)
승인	FprEN 15942	환경제품선언	기업간 커뮤니케이션을 위한 형식적 원칙
승인	FprEN 15804	환경제품선언	건설제품의 PCR 핵심 규칙
초안	표준명 미정	건축물 사회적 성과 평가	방법론

또한 국제표준화기구(ISO)의 TC59에서는 건축 및 토목공학에 사용되는 건축요소 및 부품의 성능 요건에 대한 일반규칙을 제정하고 있으며 하위 분과위원회인 SC17 (Sustainability in building construction)에서 건축제품 및 건설 시공과 관련된 지속가능성에 대한 표준을 제정하고 있다.

TC59/SC17과 협력체계를 유지하고 있는 주요 기구로는 TC59/SC14 (Design Life), TC205 (Building Environment Design), TC 207/SC 3 (Environmental Labeling), 및 TC 207/SC5 (Life Cycle Assessment)가 있다. 현재까지 TC59/SC17에서 제정 완료된 표준은 ISO 15392, ISO/TS 21929-1, ISO 21930 및 ISO 21931-1으로 4건이고 이를 바탕으로 제정된 표준의 구체적인 적용 방안에 대한 기준을 개발하고 있다. 다음의 표는 국제표준화 기구 TC 59/SC17에서 제정 완료되었거나 개발중인 표준에 대해 정리한 것이다.

〈표 6-3〉 ISO의 건설공사 지속가능성 분야 표준제정 현황

상태	표준 번호	범주	내용
제정	ISO 15392:2008	건설공사의 지속가능성	일반 원칙
제정	ISO/TS 21929-1:2006	지속가능성 지표	건축물의 지속가능성 지표 개발을 위한 기본 구조
제정	ISO 21930:2007	건축제품의 환경선언	일반 원칙
제정	ISO 21931-1:2010	건설공사의 환경성과 평가 방법	제 1부 : 건축물
개발중	ISO/NP TS 12720	지속가능성의 일반 원칙	활용 지침
개발중	ISO/DIS 21929-1	지속가능성 지표	제 1부 : 건축물 분야의 지표개발과 핵심 집합의 개발
개발중	ISO/CD 21929-2	지속가능성 지표	제 2부 : 토목공사 분야의 지표개발을 위한 기본 구조
개발중	ISO/DTR 21932	건설공사의 지속가능성	용어 정리 (Terminology)

다. 국외 탄소라벨링 동향 조사

저탄소 건설자재의 적용확대를 위한 체계는 정부 주도형 사업이 있고 민간주도형 사업이 있다. 선진국은 기업 자체 또는 유통업체를 중심으로 한 탄소성적표지 제도 도입을 활발하게 하고 있으며, 실제로 탄소배출량 저감에 따른 에너지 사용 비용 절감 및 매출 향상 효과를 거두고 있다. 그리고 일부 선진국에서는 탄소라벨 제도의 법제화가 논의되고 있다. 일본은 2008년 ‘신경제성장전략’을 통해 저탄소사회를 비전으로 제시하고 환경/에너지 의제를 국가 최상의 의제로 격상하여 기후변화 대응을 신 성장동력의 기회로 만들기 위한 전략을 마련하였다.

〈표 6-4〉 각 국의 탄소라벨링 제도 비교

구분	영국	프랑스	스위스	미국	일본	스웨덴
제도명	Carbon reduction label	Indice carbon	Climatop	Climate conscious carbon label	-	Climate declaration
데이터 수집범위	전과정	전과정	전과정	전과정	전과정	전과정
환경측면 고려범위	기후변화	기후변화 재활용성 등	기후변화 재활용성 등	기후변화	기후변화	기후변화
정보 제공방식	환경성 선언	환경성 선언	상대적 우수 등급제	상대적 우수 등급제	환경성 선언	환경성 선언
대상제품	전제품	B2C	B2C	전제품	전제품	전제품
인증마크						

라. 국외 온실가스 감축 관련 에너지 목표관리제 추진 현황

세계 주요국들은 온실가스 감축 연계성을 고려하여 산업정책을 추진하고 있으며 온실가스와 에너지를 동시에 절감할 수 있는 목표관리제도를 시행 중에 있다. 국제협정 상황 및 자국 연건 등에 따라 자발 또는 강제성, 인센티브와 벌칙이 다양하게 도입되었다.

완전 자발형의 대표사례는 핀란드와 호주에서 운영하고 있는 제도로 감축목표 달성 여부에 대한 외부검증이 불필요하며, 네덜란드와 프랑스에서 운영하고 있는 제도는 준강제형 목표관리제로서 목표달성 시 환경규제완화 등 완전 자발형에 비하여 강력한 인센티브를 제공하고 있다. 또한 영국, 덴마크 및 캐나다에서는 감축실정에 대한 MRV(온실가스 보고 검증제도)를 시행하고 탄소세와 연계된 강제수단을 적용하고 있다.

〈표 6-5〉 각 국의 온실가스 감축 관련 에너지 목표관리제 추진 현황

국가	프로그램	연도	인센티브								패널티			
			홍보	정보	지도	평가	금융	배출권	세제	탄소세	환경규제	가중규제	벌금	에너지세
완전 자발형														
호주	Greenhouse Challenge	1996 ~ 현재	○	○	○									
캐나다	Industry Program for Energy Conservation	1975 ~ 2003	○	○	○	○	○							
핀란드	Action Program for Industrial Energy Conservation	1992 ~ 1997	○				○							

국가	프로그램	연도	인센티브							패널티				
			홍보	정보	지도	평가	금융	배출권	세제	탄소세	환경규제	가중규제	벌금	에너지세
핀란드	Agreement on the Promotion of Energy Conservation in Industry	1997 ~ 현재	○	○	○	○	○							
프랑스	Voluntary Agreement on CO2 Reduction	1996 ~ 2002	○	○	○		○							
아일랜드	The Self Audit Scheme	1994 ~ 1997	○	○	○									
한국	VA System for Energy Conservation & Reduction of GHG Emission	1998 ~ 현재	○	○	○		○							
스웨덴	EKO-Energy Program	1994 ~ 2002	○	○	○	○								
대만	Energy Auditing System	2002 ~ 2020	○	○	○	○								
미국	Climate VISION	2003 ~ 현재	○	○	○	○								
준 강제형														
프랑스	AERES Negotiated Agreement	2002 ~ 현재	○		○			○					○	
독일	Declaration of German Industry on Global Warming Prevention	1995 ~ 2000	○											
독일	Agreement on Climate Protection	2000 ~ 2012							○	○				
일본	Keldanren Voluntry Action Plan on the Environment	1997 ~ 현재	○											
네덜란드	Long Term Agreements on Industrial Energy Efficiency	1989 ~ 2000	○	○	○	○	○		○		○			
네덜란드	Benchmarking Covenants	2001 ~ 2012	○	○			○		○		○			
뉴질랜드	Vas to Limit Carbon Dioxide Emission	1995 ~ 2000	○		○				○					
한국	온실가스 - 에너지 목표관리제	2010 ~ 현재	○	○	○		○		○		○	○	○	
완전 강제형														
캐나다	Large Final Emitters Program	2003 ~ 2012		○	○	○		○	○			○	○	
덴마크	Agreements on Industrial Energy Efficiency	1993 ~ 현재		○	○	○	○			○				○
아일랜드	Negotiated Energy Agreements Pilot Project	2002 ~ 2003		○		○	○			○				○
뉴질랜드	Negotiated Greenhouse Agreements	2003 ~ 2012						○		○				○
스위스	CO2 Law Voluntary Measure	2000 ~ 2012						○		○				○
영국	Climate Change Agreements	2001 ~ 2013	○	○	○	○	○	○		○				○

마. 해외 LCI DB 데이터베이스 구축 현황

국외에서는 화학, 자동차, 전자, 반도체 산업을 중심으로 학계 및 국가 차원에서 활발한 LCA 수행과 LCI DB 구축이 진행되고 있다. 2010년 기준으로 LCI DB 모듈 개발 실적은 유럽연합이 약 2600여개, 일본 476개, 미국 355개 정도이다. 해외에서 LCI DB를 활용하기 위한 소프트웨어로는 TEAM, GaBi, Sima Pro, LCAiT 등이 있으며 건축자재와 관련해서는 SimaPro와 GaBi 프로그램이 건축 관련 LCI D/B를 가장 많이 사용되는 것으로 알려져 있다. 또한 국제기구인 UNEP(국제연합환경계획) 및 SETAC(환경독성화학회)의 지원 하에 Life Cycle Initiative를 결성하고 전과정평가 기법 등의 개발 및 개발도상국의 자질개발(capacity building)등을 지원하는 프로그램을 수행하고 있다.

이러한 LCI DB를 활용하는 소프트웨어는 TEAM, GaBi, Sima Pro, LCAiT 등이 있다. 건축자재와 관련해서는 SimaPro와 GaBi 프로그램이 건축 관련 LCI DB를 가장 많이 구성하고 있는 것으로 알려져 있다. SimaPro(System for Integrated Environmental Assessment of Products)는 네덜란드 PRe 컨설팅사에서 개발한 소프트웨어로 2011년 현재 Ver. 7.2까지 개발되어 있다. 이 프로그램은 ISO 규격에 따른 LCA 단계별 수행항목이 배열되어 있어, 해당 항목별로 내용을 기입하여 LCA를 수행하도록 되어 있다. GaBi(Ganzliche Bilanzierung)는 독일의 IKP와 PE Europe GmbH Leinfelden-Echterdingen사가 공동으로 개발한 프로그램으로 2010년 현재 Ver. 4까지 개발되어 있다. GaBi 프로그램은 사용자가 많은 양의 데이터 처리와 제품의 전과정 모델링을 용이하게 수행하도록 도와주며 LCC 기능이 추가되어 다양한 환경관리 프로그램으로도 활용될 수 있다.

① 유럽

유럽은 1980년대 이후 정부와 학계를 비롯하여 산업부문에서 다양한 분야에 대하여 세분화되고 지역특성을 반영한 LCI DB 개발을 선도해오고 있다. 특히 독일, 스웨덴 및 스위스는 가장 긴 개발역사를 가지고 있으며 방대한 LCI DB를 축적해왔다. 이 나라들의 현재 주요 관심사는 각 LCI DB 간 비교가능성 및 호환성을 개선하는 일이다.

독일은 2001년부터 LCI DB 구축을 위한 전문가 네트워크를 형성하기 시작하여 정부의 협조 하에 지속적인 LCI DB 업데이트를 실시해왔으며 학문적인 LCA 연구와 산업계에서 실질적인 요구 사이의 간격을 좁히는 것을 목표로 하고 있다. 스웨덴은 1996년에 스웨덴 국립 LCA 센터인 CPM(Center for Environmental Assessment of Product and Material System)을 설립하여 1998년에 SIPNE@CPM이라는 LCI DB를 구축하였다. SIPNE@CPM은 공개 데이터베이스로서 인터넷을 통하여 자유롭게 접근이 가능하며 정보의 내용은 이해하기 쉽고 투명하게 작성되어있다. 스위스의 LCA 관련 활동들은 1990년대부터 집중적으로 활발히 전개되었고, 특히 에너지 시스템, 원료 공급, 수송 및 폐기관리 시스템에 걸친 매우 광범위한 분야에

대하여 체계적인 LCI DB를 구축하였다. 2000년도에 ETH 연구소와 Swiss Federal Office의 협업 하에 개발된 Ecoinvent LCI DB가 가장 대표적이다.

그 밖의 유럽 국가들에서 운영 중인 LCA 관련 단체들(SETAC-Europe, LCANET, CHAINET 등) 사이에서 정보 교류가 활발히 일어나고 있으며, 서로 다른 단체에서 개발된 LCI 모듈을 교환할 수 있는 방법을 모색하고 있다. 그리하여 SPOLD(Society for the Promotion of Lifecycle Development)에서는 ISO/TC 14048 보고 원칙에 근거하여 유럽에서 가장 빈번하게 쓰이는 LCA 프로그램에서 개발된 전과정 목록 간 호환이 가능할 수 있도록 데이터 포맷을 개발하였다. 유럽에서 주로 쓰이는 LCA 프로그램으로는 CMLCA, GaBi, KCL-eco, SimaPro, TEAM 및 Umberto가 있다. 유럽위원회(EC : European Commission)에서는 LCA 기법을 제품의 환경영향을 평가하기 위한 현존하는 모든 툴 중 최우선적인 방법이라 결론짓고 유럽 LCI 모듈의 정확도를 향상시키고 데이터 값의 정확도를 향상시키고자 유럽 내에서 운영되고 있는 각종 LCI DB 간의 원활한 교류를 가능케 할 수 있는 기반인 European Platform of Life Cycle Assessment를 개발 중에 있다.

② 아시아 지역

아시아 태평양 지역에서 LCA 관련 활동은 일본을 선두로 각종 국제 학술활동 및 교류 등을 통하여 2000년대 이후로 활발해지는 양상을 보인다. APEC 소속 국가들의 국제적인 포럼을 통하여 국제적인 수준의 협력을 촉구하고 선진국은 개발도상국에게 LCA 기법을 전수하여 아시아 지역적 특성에 적합한 통합적인 LCI DB를 구축하고자 하였다. 일본은 우선 JEMAI(Japan Environmental Management Association for Industry)를 설립하고 한국을 비롯한 호주와 태국, 싱가포르 인도네시아, 말레이시아 등지의 동남아 국가들과의 협력 관계를 구축하여 에너지와 기초 재료 분야의 공동적인 LCI DB를 개발하였다. 또한 일본은 자국의 산업 실정에 맞는 LCI DB를 LCA 목록분석 방법론 중의 하나인 산업연관분석 기법을 활용한 국가 DB를 구축하였다.

호주에서는 호주 LCA 학회(ALCAS; Australian LCA Society)가 선두에 서서 학계, 전문 컨설팅 협회 및 산업관련 종사자들의 밀접한 협력관계 하에 각종 플라스틱 제품, 유리 제품, 알루미늄 제품, 보드류, 가공목류를 비롯한 전력 및 열에너지 분야와 다양한 수송수단에 대한 LCI DB를 구축하였다. 그리고 호주 CSIRO(Commonwealth Scientific and REsearch Organisation) 기구의 주관으로 국가 LCI DB를 위한 데이터 수집 프로토콜을 개발 중에 있다.

그 밖의 아시아 지역 중에서 중국은 학계에서 LCA 관련 연구를 주도해오고 있는데 주력 개발 분야는 폐기물 재활용 및 에너지 시스템과 관련된 환경성 평가이다. 반면, 타이완에서 LCA 연구는 정부와 산업기술연구센터(ITRI; Industrial Technology Research Institute)의 주도로 약 10년 이상 진행되어오고 있으며 자국민을 위한 “Do-It-Pro” 라는 자체 LCA 프로그램

램을 개발하였다. 그 밖에도 싱가포르, 베트남 등지에서도 제품의 환경영향평가의 중요성을 인식하고 자국 실정에 맞는 LCI DB 구축 및 LCA 프로그램 개발을 진행 중이다.

③ 미국과 캐나다

먼저 미국에서는 여러 대학과 연구단체에서 수행된 LCI 개별 모듈을 기반으로 하는 데이터베이스가 구축되었다. 2001년 미국 에너지성(DoE; US Department of Energy) 과 GSA(General Services Administration)의 주도로 그동안 각종 정부 기관, 컨설팅 단체 및 산업관련 기구들에서 필요와 목적에 따라 개별적으로 개발되어오던 데이터베이스를 통합하는 일이 있었다. 국가재생에너지연구실(NREL; National Renewable Energy Laboratory)에서 개발된 LCI DB를 공개하였으며 웹페이지를 통하여 정보를 다운로드할 수 있도록 하였다.

캐나다는 이미 10 여년 전 원자재 분야의 LCI DB를 구축하여 웹페이지를 통하여 무료로 공개하였으나 2004년 이후로는 접속이 불가능한 상태이다. 이 데이터베이스는 산업체에서 수집한 원자재의 cradle-to-gate 정보를 기초로 구축이 되었는데, 분야는 플라스틱, 강철, 알루미늄, 유리, 종이류 및 가공목재류이다.

④ 해외 LCI DB 활용 방안

해외 LCI DB 구축 주체는 국가 주도 또는 다정부 및 다국적 단체의 주도, 전문 자문기관 및 연구기관의 주도, 산업체 주도, 학술단체 주도로 크게 4가지로 구분될 수 있다. 지역별로 구분하여 각 나라별 LCI DB 구축 참여 주체를 살펴보면 다음의 표와 같다.

아시아 태평양 지역에서는 국가가 주도하여 환경성정보를 구축하거나 일부 학술단체에서 산업 활동의 환경영향을 인식하고 제품의 LCI DB를 구축을 위한 연구 등을 자체적으로 시작하는 경향을 보인다. 유럽 지역은 북유럽 국가를 중심으로 정부 및 전문 연구기관에 의한 LCI DB 구축이 활발히 이루어지고 있다. 반면, 미국과 캐나다는 국가와 전문 연구기관의 주도로 LCI DB 구축이 후발적으로 이루어지기 시작하였지만 DB의 활용이 일반적인 단계에까지 이르지 못한 상태이다. 그리고 산업체에서는 ISSF(International Stainless steel Forum), APC(American Plastics Council), IISI(International Iron and Steel Institute) 등의 국제적인 기업의 주도로 DB 구축이 진행되고 있다.

〈표 6-6〉 LCI DB 구축을 위한 국가별 활동 수준 비교

참여 주체	Africa	APEC	Europe	Americas	Global
국가 주도 또는 다정부 및 다국적 단체 주도	-	호주, 일본, 한국, 타이완, 싱가포르	덴마크, 스웨덴, 스위스	캐나다, 미국	-
전문 자문기관 및 연구기관 주도	-	-	덴마크, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 스위스, 독일, 이탈리아	미국	Boustead, TEAM, GaBi, SimaPro
산업체 주도	-	ISSF	-	ISSF, APC	IISI, Nickel
학술단체 주도	이집트, 남아프리카 모리셔스	중국, 인도, 인도네시아, 말레이시아, 태국, 베트남	-	브라질, 칠레, 콜롬비아, 멕시코	-

해외에서 개발되어 사용되고 있는 LCI 데이터베이스 중 가장 널리 활용되고 있는 것은 스위스에서 개발한 EcoInvent LCI DB이다. EcoInvent는 총 3,954개 LCI 모듈이 개발되었고 이 중 본 연구에서 탄소저감형 건축자재의 LCA를 수행할 때 활용될 수 있는 건축자재 및 시공 관련 데이터베이스는 총 795개 모듈이다. 그러나 국내와 해외의 산업 실정이 다르므로 데이터베이스의 정밀도를 높이기 위하여 가급적 해외 LCI DB는 차선택으로 활용하는 것이 효과적이라고 판단된다.

〈표 6-7〉 Eco Invent 범주별 모듈 수

범 주	모듈	범 주	모듈	범 주	모듈
agricultural means of production	195	hydro power	67	plastics	73
agricultural production	100	insulation materials	17	solar collector systems	24
chemicals	370	lignite	42	transport systems	208
construction materials	89	metals	370	washing agents	30
mortar and plaster	13	natural gas	322	waste management	428
construction processes	19	nuclear power	110	water supply	11
electricity	272	oil	169	wind power	20
glass	27	paintings	19	wood energy	125
hard coal	111	paper & cardboard	67	wooden materials	115

3. 건설재료 전과정 CO2 배출량 평가 및 저감 관리기술 관련 국제 연구 현황

가. 친환경 건설재료 설계기준

- ISO/TC 71에서 요구하는 레미콘 출하 시 관련된 자료에 CO2 배출량 표기 등이 예상되지
만 이에 대한 자료구축 및 평가프로그램 마련을 위한 지원은 없는 실정임.
- International Code Council (ICC)는 2010년도에 International Green Construction Code
(IGCC)를 공개버전 1.0을 출판하였으며, 2012년도에는 버전 2.0의 출판과 함께 정식 모델
코드로 채택하였음.
- 모든 설계기준에 대한 우선권과 사법적 권한을 갖는 IGCC에서는 전과정 평가에 의한 구
조물 프로젝트의 CO2 배출량이 기존 비슷한 규모의 건축물 대비 20% 이상이 절감됨을
증명할 것을 요구하고 있음.
- 유럽의 Model Code 2010에서는 지속가능성 설계를 향후 중요 설계개념으로 정의하고 있
으며, 성능범주는 사용성, 구조적 안전성 및 지속가능성에 대해 정의하고 있음. 특히 지
속가능성의 성능범주는 CO2 절감을 포함한 환경영향, 사회에 대한 영향 및 미적 요구조
건 등을 요구함.
- 네덜란드의 경우 2012년부터 주거, 오피스 (바닥면적 100m2 이상) 건물의 신축 공사를
대상으로 건설재료 환경영향평가 결과서를 의무적으로 제출하여 친환경 건설재료 활성
화를 유도하고 있음.

<표 6-8> Environmental Performance Regulations in the Netherlands

Environmental Performance Regulation	■ Dutch Building Decree에서 규정(2013.01.01.) ■ Building Decree 2012의 5.2 조항에 근거 ■ 대상 : 주거, 오피스 (바닥면적 100m2 이상) 건물의 신축 공사 ■ 시기 : 환경허가(Environmental Permit) 제출시	
Tool	■ Environmental performance building and Infrastructure works 방법론에 의거하여 환경영향 성적 산출. ■ LCI DB는 네덜란드 국가 환경DB(NMD)를 우선적으로 적용해야함.	
Determination Method	■ 시공&유지단계에서 투입된 재료의 환경성(impact)평가-설계도면 근거 ■ 대안제시를 통한 의사결정 지원 ■ 자원추출-가공-운송-사용-해체단계를 고려한 LCA ■ NEN8006:2004 규격에 근거(EPD 포함)*NEN8006은 EN15804의 모태가 됨. ■ 제품(product) 수준으로 개발된 방법. (https://www.milieudatabase.nl/index.php?q=english-documents)	
Database (NMD)	- Ecoinvent2.2기반의 SimaPro포맷 ■ Product cards ■ Basic profiles ■ Base- or background processes	- Product cards ■ 제품의 기능단위 ■ 제품 구성요소 ■ 내구수명, 수선주기

특성화 단계에서 고려되는 환경영향 범주	- CML 특성화 방법론 기반 11개 환경영향범주를 대상으로 함 ■ 자원고갈: 연료가 아닌 자원 ■ 자원고갈: 연료 ■ 지구온난화 ■ 오존층 파괴 ■ 광화학 산화물 ■ 산성화 ■ 부영양화 ■ 인간독성 ■ 생태독성: 담수 ■ 생태독성: 해수 ■ 생태독성: 토양
-----------------------	---

나. 건설재료 설계지침 및 전과정 평가 관련 국제 동향

<표 6-9> 지속가능 콘크리트의 설계지침 및 전과정 평가절차의 개발에 대한 국제동향

ISO /국가	추진내용	추진성과 및 전망	건축자재 전과정 평가 프로그램 및 개요
ISO	TC 207(환경위원회)에서 관련 표준제정	시멘트, 골재 등 건축제품의 환경성 표시 및 선언에 대한 세부 국제표준으로 발전하고 있음.	환경성적 표지제도 및 전과정에 의한 각 건축재료의 CO2 평가 절차를 요구하고 있음.
	콘크리트, 철근콘크리트 및 프리스트레스트 콘크리트 관련 표준제정을 위해 TC71 설치.	콘크리트, 콘크리트 구조물 환경영향을 위해 ISO 13315 시리즈 개발 중.	
일본	2004년 “환경배려형 철근콘크리트 공사 연구 소위원회” 구성함.	2008년 “철근콘크리트조 건축물의 환경배려 시공지침(안)·동해설”을 출판함.	eco MA 평가대상 : CO2, 경제성 자재범위 : 콘크리트
미국	Green Concrete Council 설치. IBU 산하의 ICC에서 모델코드 개발을 추진함.	지속가능콘크리트시방서 출판(IGCC 등) 콘크리트의 전과정 평가 기반의 시멘트 사용을 줄이기 위한 연구추진	BEES 평가대상 : 에너지, 경제성 자재범위 : 150가지 건축자재 특징 : 환경영향력/경제성평가
유럽	Task Group에 의한 설계지침 개발 추진.	2020년까지 1990년 대비 온실가스 감축목표를 30%로 상향하며 2050년까지 목표 감축량은 80%임. 성능중심형 콘크리트 시방서 마련 진행 중 (CEN Guide 4 등) 시멘트 사용을 줄이기 위한 다양한 연구 추진	Gabi 평가대상 : 에너지 자재범위 : 650여 가지의 건축자재 특징 : 다수의 변수 민감도 분석

다. 환경설계법

(1) ISO 13315 시리즈 현황 분석

- 전통적인 콘크리트 구조물의 설계는 구조적 안전성 설계, 사용성 설계 및 내구성 설계
- 지속가능한 발전이 중요시되는 21세기를 맞아 환경성 설계는 새로운 개념의 설계법으로서 현재 ISO/TC71/SC8 및 fib 등에서 성능중심형 설계법 (Performance based design) 으로서의 설계 개념이 개발 중
- ISO/TC71/SC8 현황 :
 - ISO 13315-1 은 현재 FDIS (Final draft international standard) 이며, 제목은 Environmental management of concrete and concrete structures - General principle로서 환경설계법의 목적과 범위, 용어 정의, 전과정평가에 의한 방법론 등의 일반체계 정립 단계
 - ISO 13315-2 는 System boundary (시스템 경계) 이며, 전과정평가를 실시하기 위한 시스템 경계의 표준화를 목적으로 함. 현재 WD (Working draft) 로서 2012년 6월 코스타리카에서 개최되는 제18차 ISO/TC71 총회에서 정식 CD (Committee draft) 로 상정될 것으로 예상
 - 우리나라는 2008년 ISO/TC71/SC8 설립 시부터 참여하여 일본, 미국 등과 함께 환경설계법을 공동 개발 중

(2) ISO 13315 시리즈 구성

- 13315 시리즈는 그림과 같이 총 8개 표준으로 구성될 예정임.
- 우리나라는 이 과제 수행을 통한 연구의 결과로서 3번 (구성 재료) 및 8번(환경성 표지 및 선언)의 개발에 중요한 역할을 수행할 수 있을 것으로 예상됨.

13315-1 일반원칙 (현재 FDIS)

13315-2 시스템 경계 (현재 WD)

13315-3 콘크리트 구성재료

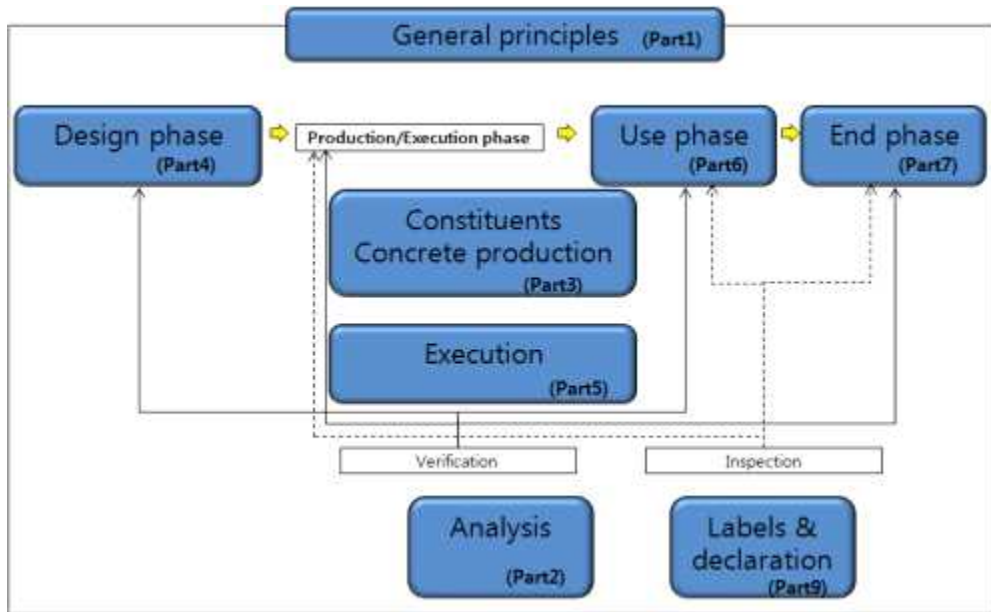
13315-4 설계단계

13315-5 시공단계

13315-6 사용단계

13315-7 종료단계

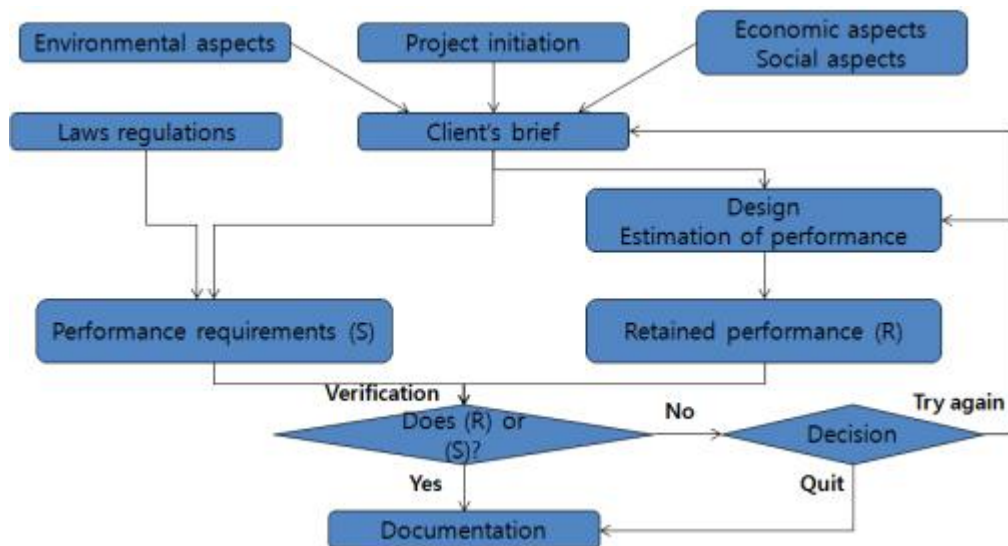
13315-8 레이블 및 선언



[그림 6-1] ISO 13315 시리즈 구성

(3) ISO 13315 시리즈 흐름도

- ISO 13315 시리즈 환경설계법의 흐름도는 그림과 같음
- 환경설계법은 ISO 14040, 14044 전과정평가 (LCA)를 환경성능 예측 및 검증의 도구로 하고 있음.



[그림 6-2] ISO 13315 시리즈 흐름도

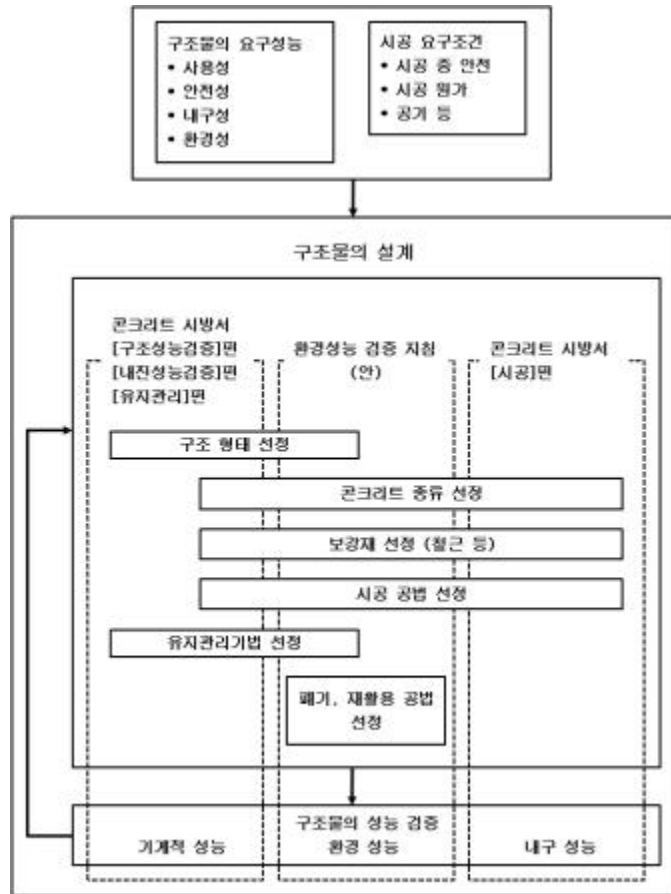
라. 환경시방서

(1) 일본 건축학회 (AIJ) : 철근콘크리트조 건축물의 환경 배려 시공 지침 분석

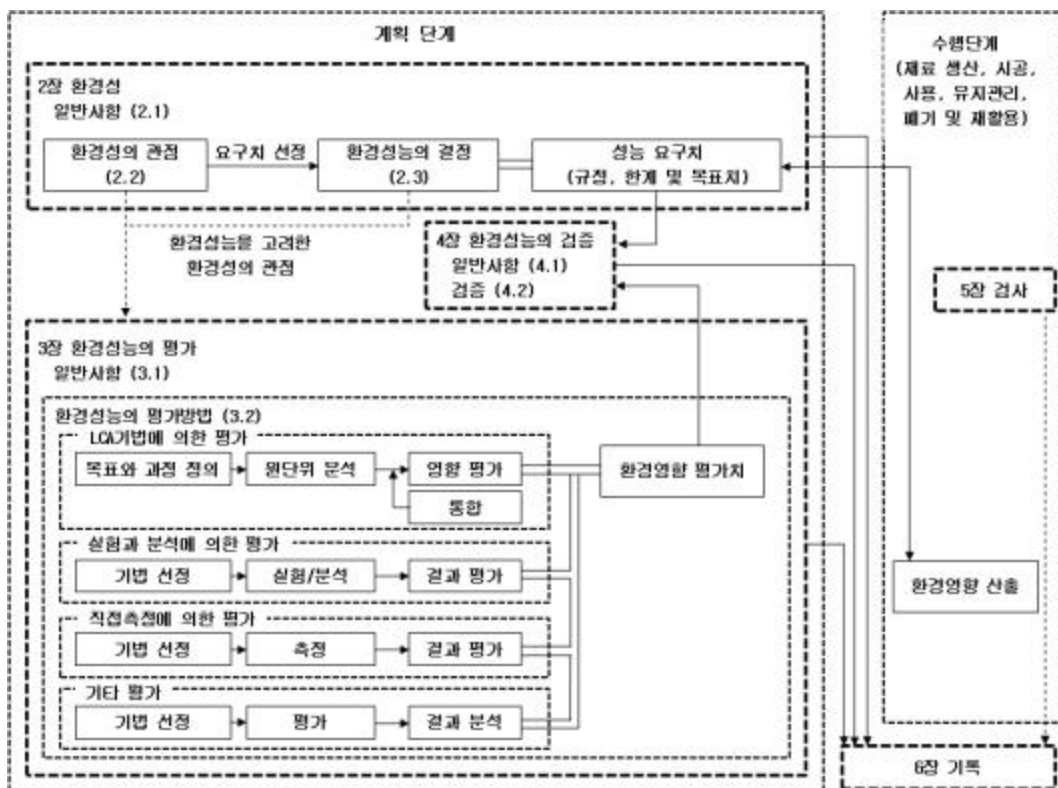
- 2004년 4월 일본건축학회(AIJ)는 「환경배려형 철근콘크리트공사 연구 위원회」를 구성
- 2008. 9 일본 건축학회 시공지침(안) 발간
- 물질 문명의 발달과 공업화는 지구 온난화, 생태계 파괴, 자원고갈, 폐기물 누적 등 지구 규모에 있어서 다양한 환경문제를 야기
- 일본의 총 원자재 투입량의 약 25%, CO2 총 배출량의 약 10%, 폐기물의 30~40%를 콘크리트 관련 산업이 점유
- 콘크리트의 제조 및 철근콘크리트 구조 건축물의 시공에 있어서 발생하는 환경부하를 저감하기 위한 방안을 검토
- 환경배려 시공지침의 목적은 “건축공사표준시방서 JASS5 철근콘크리트공사”에 상응하도록 구성

(2) 일본 토목학회 (JSCE) : 콘크리트 구조물의 환경 성능 검증

- 1997년 교토의정서에서는 참여 국가에 대해 2008년부터 2012년 사이에 CO2 및 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2 % 이상 감축하도록 결의하고 일본에 대하여 6% 감축을 요구
- 1997년부터 콘크리트 산업의 지속 가능한 발전에 대한 연구를 시작
- 1999년 「콘크리트의 환경영향평가를 위한 연구위원회」를 구성
- 2005년에 「콘크리트 구조물의 환경성능 검증 지침(안) 작성
- 일반사항, 환경성, 환경성능의 평가, 환경성능의 검증, 검사 및 기록 등 총 6개 장으로 구성
- 콘크리트 구조물의 환경성에 대한 명확한 정의와, 이를 평가하고 검증하기 위한 방법 등을 제시



[그림 6-3] 콘크리트 구조물의 설계 시 본 지침의 위치



[그림 6-4] 친환경성능을 고려하는 설계과정의 흐름도

(3) fib : Environmental design of concrete structures - general principles
(bulletin 47)

- 2008. 8 보고서 발간
- 지속가능발전에 대한 위기의식 고취
- 지속가능 건설의 기본방향제시
- 지속가능 콘크리트 구조물의 환경설계 방안 기초를 제시
- ISO/DIS 13315-1 환경설계법-일반사항과 내용 일치
- 콘크리트와 콘크리트 구조물의 전과정에 걸친 환경경영의 전반적인 체계와 기본규칙을 규정
- fib 환경설계의 목적
 - 구조물의 수명연장
 - 건설재료사용방법과 재활용방법을 통한 CO_2 발생 절감
 - 환경을 고려한 신개념의 설계 활성화
 - 안전성, 사용성, 내구성을 접목한 환경설계 정립
 - 구조물 종류와 사용성을 고려하여 요구환경 성능과 구조성능을 증가하는 설계 (Performanace Based Design(PBD):성능중심설계) CO_2 , SO_x , NO_x 와 같은 매연량, 자원 사용량, 에너지사용량, 폐기물발생량을 절감할 수 있는 성능 개선 방법 개발

4. 미국 VHSC CEMENT COMPANY 시멘트 대체 혼합재 제품 현황

○ Pozzo Slag 제품

- 수화반응성이 낮은 플라이애시 개질화 변환 공정을 통한 시멘트 대체 혼합재 제품
- 변환 기술 프로세스에 대한 특허권을 보유 (기계적/화학적 공정)
- 검토 결과에 따른 플라이애시의 개질화 변환기술 공정

① 분쇄공정 (기계적 공정) - 플라이애시의 분쇄

: 입자크기(72%) 감소/비표면적(73%) 증가

: 반응 비표면적의 증가에 따른 수화 반응성 증가로 판단됨

② 첨가제 혼합 (화학적 공정) - 수화 촉진(자극)을 위한 기타 첨가제 첨가

○ 보통 포틀랜드 시멘트와 생산방식과의 차별화 부각

- OPC 생산의 경우 초기 투자 비용이 크고, 소성으로 인하여 많은 생산비용 및 이산화탄소 발생의 주원인
- VHSC 제품의 경우 소성 공정 없이 분쇄 및 혼합 공정으로 생산
- : 시멘트 대비 초기 플랜트 설치비용 / 제조비용 / 이산화탄소 배출 감소(탄소배출권)

○ VHSC 제시 가능 대체율 : Pozzo-Slag의 경우 60%까지 대체 가능 (70%이상 사용량 조건 시험 진행 중)

- 일반적인 플라이애시 적용율 조건 15~20%와 비교

○ Pozzo Slag의 경우 보통 포틀랜드 시멘트와 혼용 사용 결합재를 의미하는 것으로 판단

- 제품명의 경우 Pozzo Slag이지만 실제 플라이애시를 적용한 제품
- Pozzo Slag 단독 / OPC와 혼합하여 혼합시멘트로 판매 가능한 것으로 제시
- 세부적인 사항은 재확인 필요[자료상으로는 판단하기엔 무리임]

○ 소성공정이 불필요

- 분쇄 및 첨가 공정에 의한 공정

○ 제품의 형태

- Pozzo Slag 단독 판매 (혼화재)
- OPC와 혼합판매 (혼합시멘트)

○ 기존 콘크리트 제품 생산 공정과 동일 적용 가능

- 결합재 조건에서 Pozzo-Slag의 대체 생산 : Pozzo-Slag의 단독 적용 조건은 아님

5. Annual Conference of JSMCWM 2014 연구 현황

가. CO2 저감기술 및 폐기물 재활용관련 국제연구동향 파악

- 현재 연구단에서 진행되는 CO2 저감 관련 연구와 산업폐기물인 Slag 재활용 관련 연구 내용을 소개하고 외국에서 진행 중인 관련 연구동향을 파악하여 보다 양질의 연구서비스를 제공
- 선진 외국의 연구동향 파악으로 현재 국내 연구의 부족한 점 및 참고내용을 선정하여 현 수행하고 있는 연구와 접목 및 차후 R&D연구 제안 등을 통해 보다 폭넓고 가치있는 연구수행에 도움

나. 건설 산업 관련 CO2 저감기술에 대한 정보수집

- 2014년도 국가 R&D사업인 “LEC 내외장재 제조 및 공정기술 개발(4차년도)”은 저에너지양생(Low Energy Curing)용 결합재를 이용하여 콘크리트 2차 제품 생산 시 시행하고 있는 3차양생 중 Autoclave 양생을 배제하여 양생에서 소비되는 화석연료 사용억제를 통한 CO₂ 저감 기술로 건설 산업 및 콘크리트 2차 제품 관련 CO₂ 저감 기술, 산업폐기물의 건설 산업에서 재이용 현황 및 관련 기술 등에 대한 선진기술 정보의 획득이 필요.
- 음향관련 전시회를 통하여 최신 음향계측장비의 동향을 파악하여 차후연구원 연구업무 수행에 적합한 장비선정에 기초적 자료를 확보

다. 산업폐기물의 건자재 재활용 기술 및 소재파악

- 철강슬래그의 건자재로 적용 소재 및 기술에 대한 정보 획득
- 새로운 건축 신소재에 대한 국내 적용가능성 조사
- 국내 적용 가능한 신소재 개발의 새로운 아이디어 창출

라. 주요 연구 소개

- Annual Conference of JSMCWM은 7개 session의 32개의 주제로 구성되어 있으며, Annual Conference of JSMCWM은 건설폐기물뿐만 아니라, 생활폐기물, 산업폐기물 등 사회전반에 걸친 다양한 폐기물 처리 및 재활용 분야를 포함하고 있음 건설폐기물분야 논문은 총 13편, Slag 처리 및 재활용 관련 논문 7편, CO2 및 LCA 관련 논문 12편이 발표되었으며, Slag 처리 및 재활용 (Recycling)으로 수행과제 결과가 발표되었음.

(1) 이외 유사 연구에 해당하는 주요 Session은 다음과 같음

- LCA · 低炭素社会
- 建設廃棄物 · 副産物 · 無機性廃棄物の資源化
- 発電 · 熱利用
- 熱処理における放射性物質の挙動
- 3R / Waste management
- Recycling

(2) 학회 발표논문 및 연구동향 파악

- 사회전반에 걸친 폐기물 처리 및 재활용, 이를 위한 정책, 국가별 현황 등에 대한 연구가 활발하게 진행되어 발표되었으며, 또한 각 주제별로 논문발표 이외에 별도의 토론 Session을 마련하여 분야별 전문가들이 모여 토론회를 가짐.
- 각 국가별 폐기물 처리 및 재활용에 대한 정책과 Process 구성에 대하여 발표하였으며 국내 폐기물 정책 및 처리 Process에 대하여 환경부 담당 사무관에 발표가 있었으며 산업전반에서 발생하는 다양한 형태의 폐기물에 대한 특징과 그 종류별 적절한 처리기술에 대하여 발표가 이루어졌으며, 발생 전단계에서 발생을 최소화하는 방법, 필연적으로 발생하는 폐기물의 발생 후 처리방법에 대한 논문이 발표되었으며 각 폐기물 종류별 재활용처 개발과 관련된 연구내용이 주를 이룸.
- CO₂ 저감 기술과 관련된 LCA 기술과 관련하여 기존에 사용되는 Tool의 문제점을 분석하고 이를 개선한 Tool과 기법 개발에 대한 내용과 사회 각 분야별 CO₂ 저감, 포집, 저장에 대한 논문이 발표되었으며 국내에서도 다양하게 이루어지고 있는 무기질 및 유기질을 이용한 CO₂ 포집에 대한 연구가 상당수 발표됨.
- 또한 철강 산업 부산물인 Slag에 대한 내용으로 콘크리트에 Slag 사용 시 큰 문제가 되었던 Free CaO와 MgO에 대하여 다른 접근이 시도된 연구가 소개됨.

6. 국제 Concrete 2015 & RILEM Week 연구 현황

가. ‘Research into practice’ 관련 국제연구동향 파악

- Concrete2015 & RILEM week 컨퍼런스에서는 전 세계 20여개의 나라에서 약 540명의 인사가 참석하여 18개 주제에 대하여 총 160편의 논문이 발표되었는데, 이 중 50%는 학교나 연구기관에서 발표되었고, 50%는 기업이나 산업계 현장 기술자들에 의해 발표됨.
- 학교나 연구기관에서 근무하는 연구자들에게는 현장적용성이 우수한 실용적인 주제를 요구하였고, 기업이나 산업계 현장 기술자들에게는 R&D와 밀접하게 관련 있는 주제를 요구함에 따라 ‘Research into practice’에 대한 광범위한 논의의 장이 마련됨.
- 현장에서 발생하고 있는 문제점 등을 파악하여 이에 대한 해결책을 제공하거나 혁신적인 건설재료 개발, 효과적인 모니터링 공법 개발, 친환경재료 사용 등 현장 건설 구조물에 적용한 모범적인 사례에 대한 소개는 국내 연구진과 기업에서 참고하여 함께 개선해야 할 점으로 판단됨.
- 특히, 전 세계 콘크리트 관련 분야에 있는 전문가들과 함께 건설재료, 디자인, 현장시공 전반에 걸쳐 지식과 실용화를 한 단계 진화시키기 위한 노력이 돋보였고, Keynote presentation에서는 이러한 방향을 잘 반영함.

나. 69th RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction materials, Systems and Structures)과 공동개최로 유럽 전문가들과의 연구동향 파악

- 호주 콘크리트 학회 ‘Concrete Institute of Australia’와 유럽공동연구조직 ‘RILEM’과 함께 개최한 이번 컨퍼런스에서는 국제적인 협력과 교류의 중요성을 다시 한 번 실감할 수 있었으며, RILEM 제2차세계대전 후 황폐화된 유럽의 여러나라를 재건하는데 뜻을 모아 1947년 파리에 설립되었는데, 현재는 다소 의미가 달라졌지만 여전히 건설분야와 관련된 재료 및 기술 개발 그리고 현장 적용에 많은 기여를 하고 있음.
- 특히, 35~40여개의 committee는 특정 주제를 가지고 5년간의 활동을 통해 현재 이슈화되고 있는 핵심 문제를 해결하는데 앞장서고 있는데, 이중 Technical committee 255-FRS, Technical committee 256-SPF에서는 화재와 관련해서 폴리머와 콘크리트의 화재안전성에 초점을 두고 현재 연구활동을 진행하고 있으며, 컨퍼런스에서는 Keynote Session에서 ‘Paving the path towards sustainable concrete’라는 주제로 지속가능한 콘크리트 구조물과 관련한 최신연구동향을 발표하였고, 일반 Session에서는 Documentation of bridge deck construction using industrially produced internally cured, high performance가 주로 다루어짐.

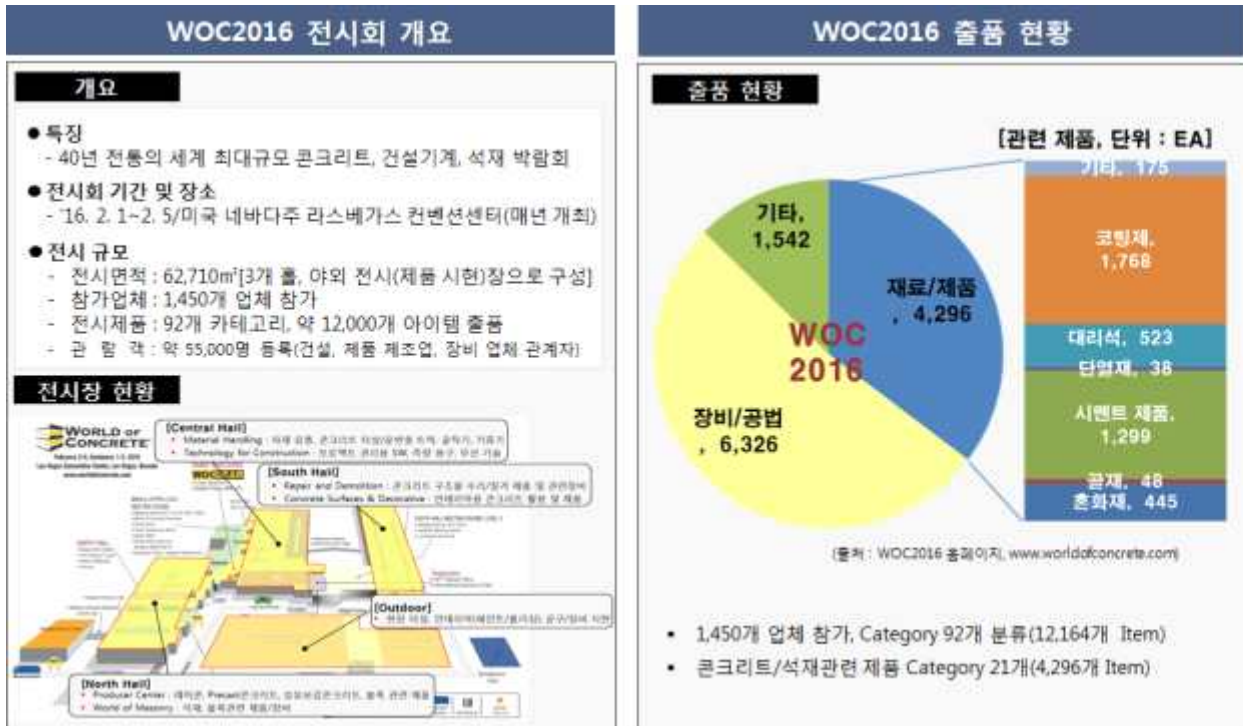
다. Smart structures lab. 견학

- 최근 Swinburne University에서는 150억 규모의 예산을 투자해서 ‘Smart structure laboratory’를 건설하였으며, 이 중 Multi-Axis substructure testing system은 전 세계 최초로 3D 구조실험이 가능하도록 설계되었는데, 1 m 두께의 슬라브 기반위에 메인 구조장비를 설치한 후 5 m 높이의 L모양 벽에 다중 로딩 시스템을 함께 적용하여 cycling test와 twist test 및 hybrid 시뮬레이션을 동시에 관찰할 수 있는 장비임.
- 이 밖에도 Instron 5MN four-column static testing machine, MTS 1MN hydraulic universal testing machine, MTS 250 kN dynamic UTM high rate test machine, Instron 100 kN dynamic testing machine with temperature chamber, Instron very high speed testing machine, MTS electro magnetic machine 등 다양한 장비를 구축하고 있음.

라. Monash University 방문

- 호주 G8 대학 중 하나인 Monash University에서 Civil Engineering Department에 신입 Lecturer로 부임한 한국인 교수 면담을 수행하였으며, ARC Linkage와 DECRA 프로젝트는 호주에 거주하지 않은 해외 연구자들이 자유연구 주제로 호주 정부에 연구비를 신청할 수 있는 프로그램인데, 반드시 호주의 기관을 하나이상 선택해서 그 기관을 통해 신청해야함.
- 이상의 연구비 신청과 관련하여 Monash University의 Dr Kim은 KICT 건축도시연구소 뿐만 아니라 도시 및 교통 분야에 대한 공동연구 진행에 깊은 관심이 있고, 연구를 추진하고자 할 경우 적극 협력 의사를 밝힘.

7. WOC 2016



1 시멘트 제품

전시 제품	특이사항	기대효과 및 고려사항
산화 착색제*	● Stain Acid Reaction - 산화착색제에 금속산화물과 콘크리트(CaOH)의 중화반응 통해 <u>미세구조에 착색</u> - 자연스러운 색상 발현(재료 질감 표현) - 기존 페인팅 비교 <u>내구성</u>	✓ 컬러 BACE 색상 다양화 ✓ 고내구성 확보 → 색상구현 검증/경제성 검토 → 공정 적용 가능성 검토
폴리머 콘크리트** / 컬러골재** / 경량골재**	● 골재/안료 이용 컬러 콘크리트 - 시멘트 콘크리트 대비 <u>고내구성, 고강도 구현 가능</u> - 고가의 수지 이용에 따른 출가 상승	✓ 대리석 무늬 다양화 → 기존 설비 생산 가능성 검토 → 제조원가 분석
허니컴 + 보드	● 허니컴 보드 적용한 경량패널 - 금속제(알루미늄) 박판을 이용한 - 패쇄 공극을 가진 <u>허니컴 보드</u> 합치 - 시멘트 타설방식을 통한 복합경량패널 구현 - <u>경량성 및 자중성/단열성 확보</u>	✓ 경량패널 구현 기술 현황 파악 → 구현 가능성 검토 → 생분 입고/비교 평가 및 성능 검증 필요

Source

* KEMICO : <http://www.kemiko.com/>, ButterField : www.butterfieldcolor.com/

** Polytek : www.polytek.com , *** Dur-a-flex : www.dur-a-flex.com , Kleincoinc : www.kleincoinc.com #4 Poraver : www.poraver.com

2 외단열 시스템

전시 제품/기술	세부내용	기대효과 및 검토
• LathNet *  - 단열재 - 배수매트 - 금속라스	- 단열재와 바탕면 사이 통기시스템 - 습식공법용 - 금속 라스+배수 매트 적용 - 마연 도금으로 코팅처리된 금속라스 - 원활한 배수시스템을 통한 <u>바탕면 열화 방지</u>	✓ 외단열 시스템 내구성 향상 → 금속라스+배수 매트 적용에 따른 내구성 평가 필요 → 시공성 및 경제성 평가 필요
• ECONWALL **  - 단열재 - 스페이서 (Spacer)	- 단열재&거푸집 통합시스템 - 단열재(EPS, XPS)를 거푸집으로 활용 <u>양단열 효과</u> <u>비철원 및 시공용이성에 따른 공사비 절감효과</u> - 단열효과 상승(외단열 대비 약 28% ↑)	✓ 외단열시스템공법 개발 및 거푸집용 XPS 신제품 개발 → 거푸집으로 사용하기 위한 최소 필요강도 산출 필요 → 국내 시공기술 보유/경험 업체 검토
• THERMOMASS ***  - 단열재 - FRP - 콘크리트 타설 공간	- FRP스페이서를 이용한 중단열 시스템 - FRP(Glass fiber reinforced plastic, 섬유강화플라스틱) <u>열교현상 최소화</u> <u>고내구성</u> - 철근 등등 이상의 물성보유	✓ 단열시스템/단열재 사용용도 및 기술개발 현황 파악 → 거푸집으로 사용하기 위한 최소 필요강도 산출 필요 → 국내 시공기술 보유/경험 업체 검토

Source

* <http://www.mortarnet.com/> , ** <http://econwall.com/> *** <http://www.thermomass.com/>

	THE HOME DEPOT	LOWE'S HOME IMPROVEMENT
업체 현황	① 설립일 : 1978년 ② 현황 - 본사 : 아틀랜타(미국) - 미국 內 소매기업 2위 (1위 Walmart) - 매장수 : 2,000개 운영 (미국, 캐나다, 멕시코, 중국)	① 설립일 : 1946년 ② 현황 - 본사 : 노스캐롤라이나(미국) - 인테리어 자재백화점 2위 (1위 HOME DEPOT) - 매장수 : 1,710개 운영 (미국, 캐나다, 멕시코, 중국)
주요 공급 업체	1. 석고보드 / 천장재 ① 제조사[USG] / 제품명[SHEETROCK] - DIY Small Size ② 제조사[PABCO] - 다양한 사이즈 / 제품군 보유 ③ 흡음 천장재 : 제조사[USG] / 제품명[RADAR] 2. 단열재 ① GW : Owens Corning [EcoTouch] - 다양한 제품 보유 ② XPS : Owens Corning [FOAMULAR] ③ EPS : INSULFOAM [R-TECH] - 온박/필름 부착 제품 ④ 반사단열재 : Reflectix	1. 석고보드 / 천장재 ① 제조사[Certainteed] / 제품명[Diamondback] ② 제조사[USG] - 다양한 사이즈 / 제품군 보유 ③ 흡음 천장재 : 제조사[USG] / 제품명[RADAR] 2. 단열재 ① GW : Johns Manville - 다양한 제품 보유 ② EPS : INSULFOAM [R-TECH] - 온박/필름 부착 제품 ③ 반사단열재 : Reflectix
주요 시사점	✧ 소비자 DIY(Self Interior) 가능하게 다양한 제품 종류와 가격 보유함 ✧ 건축자재 뿐만 아니라 다양한 인테리어 소품, 가전제품, 공구 등의 제품 구비함 ✧ 인테리어 자재 백화점 공급 가능 제품 개발을 통해 마케팅 효과와 소비자와의 접근성 확대 필요함	

3 주요 제품

석고 / 시멘트 보드

▶ 표면 요철 보드



요철무늬

- 타일/퍼티 접착성 향상을 위한 [요철무늬 석고/시멘트 보드](#)
- 제품명 : Diamondback®
- 제조업체 : CerainTeed
- 규격 : 1.27cm x 0.91m x 1.52m
- 가격 : \$ 9.78

▶ 다양한 규격 제품



- [DIY/소규모 마감작업용](#)
- 제품명 : HardieBacker®
- 제조업체 : JamesHardie
- 다양한 규격
- 가격 : 규격별 \$ 4.98 ~ \$ 14.49

▶ 다양한 크기



• EPS Bead

- [EPS Bead](#) [혼인](#)
[강한 석고/시멘트 보드](#)
- 제품명 : PermaBase Plus®
- 제조업체 : PermaBASE
- 규격 : 1.11cm x 0.91m x 1.52m
- 가격 : \$ 10.47

유기단열재

▶ 재단선 프린팅



재단선 프린팅

- 사용자 가공 편의를 위한 [가공선 프린팅/코팅](#)
- 제품명 : Energy Guard™
- 제조업체 : GAF
- 규격 : 0.5~2" x 4' x 8'

▶ 양면 라미네이트



- <제품 구조> • [내구성 증대 효과](#)
- [열반사 효과](#)
 - 제품명 : R-Tech
 - 제조업체 : Rmax
 - 가격 : \$ 12.98

▶ 열반사 단열재



- [열반사 효과 단열재](#)
- 제품명 : Reflectix®
- 제조업체 : Reflectix
- 가격 : \$ 10.85~

무기 단열재 / 기타

▶ 뿔칠용 글라스울



- 제품명 : AttiCat
- 제조업체 : Owens Corning
- 뿔칠 장비 대여
- 가격 : \$ 32~60

▶ 기타 : R-Value 성능 표시



- [단열재 성능과 R-value 표시](#)
- [미국 등 선진국에서 사용](#)
- 단열재 판매를 위해 장안
- 일반적으로 열저항 값 의미
- 단위 : ft²·F·h/Btu 사용

8. Architecture & Construction Materials 2015

구분	내용	비고
명칭	Architecture & Construction Materials 2015	 
전시시간	2015. 03.03(화)~06(금) [4일]	
전시장	Toyo Big Sight	
전시품목	[일반 건축 및 전자재 제품 ZONE] 실내 및 외관 장식제품, 바닥재, 지붕재, 접착제 등 [주택 리모델링 ZONE] 리모델링 건축자재, 소프트웨어, 유지 보수 등 [기타] 광촉매 제품, 목재 및 가구 제품 등	
전시규모	290업체 / 630 부스	
참관대상	공무점, 주택 시공사, 설계 사무소, 건설회사 등	

1) 안전(Safety), 안심, 안가(Low Cost) 홍보를 통한 제품 및 기업 Brand화

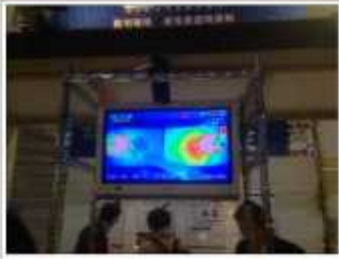
➢ 안가(Low Cost) : 건축자재 가격 + 유지 비용 절감이 되는 건축 기술



- ❖ 벽산 관점에서도 제품 및 기업의 Brand화 전략 필요 → 안전, 내화 기업, 지구 온난화에 대한 노력
- ❖ 미래 시장 관점에서 안전 관련 제품 영역 확대 필요하다고 사료(외단열, 내화, 화재 등)

2) 주요 성능 실험을 통한 제품 시현

차열 성능[적외선촬영]



차열 성능[촉감]



외단열 시공



단열 성능



공기투과 성능



단열 성능



- ❖ 제품의 성능을 소비자가 이해하기 쉽게 표현 및 홍보하는 노력 필요

3) 중고주택 리모델링 활성화

➢ 2020년 동경 올림픽 개최, 건설투자 확대, 일본 노후주택의 리폼 시기 도달

광촉매 페인트



요업계 사이딩



요업계 사이딩



목조 : GW단열재



목조 : XPS 단열재 시공



이중바닥재



- ❖ 일본 건축 시장 규모 19조엔(약180조).
- ❖ 2011년 3.11 대지진 이후 일본 내 건축자재 공급이 수요를 따라가지 못하는 상황
- ❖ 따라서 정부 정책 상 건설투자 확대 및 중고주택의 유통 및 리모델링 활성화 되고 있음

9. BATIMAT 2015(파리 국제건축박람회)

2. BATIMAT 2015 업체현황

About BATIMAT2015

1. 100년 전통의 2년마다 개최되는 세계 최대 규모의 건축자재 종합 전시회
2. 주제 : 에너지 효율 자재와 절약형 건축물, 편의성, IT 융합
3. 48개국 2,800여 업체 출품 및 141개국 45만 여명 참가 예정
4. 특히 단열재 및 기능성제품에 대한 제품동향 파악
 - 유럽국가들의 단열기준이 법적으로 강화되는 추세
 - 부피단열재 두께를 늘리는 추세임

활용계획

1. 구조부재, 단열재, 기초소재 등에 관한 최신 시장 및 기술동향 파악
 - 국책과제 실증하우스 적용기술과의 비교
2. IT 융합기술관련 정보 수집
3. 단열재 적용기준에 대한 추세 및 시공기술에 대한 전문가 회의 참석
4. 에너지 효율 자재 및 적용건축물에 대한 성능평가자료 및 현장방문 추진



GS건설주식회사

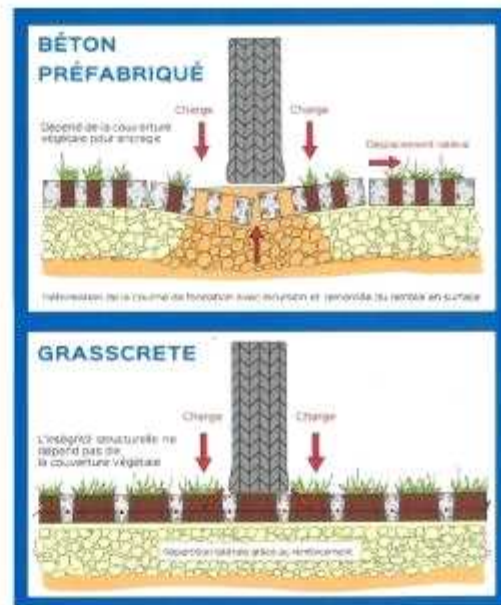
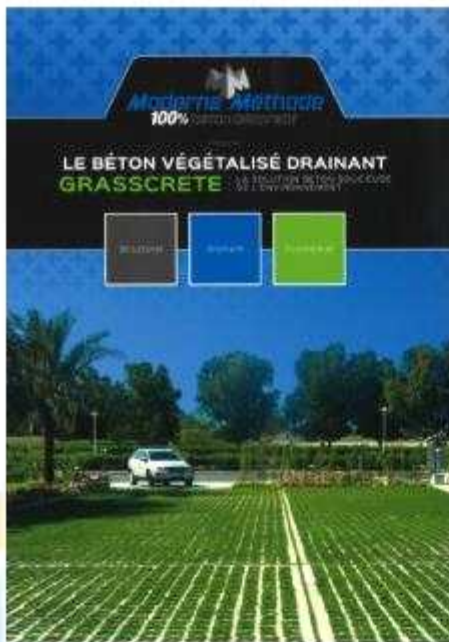
2. BATIMAT 2015 업체현황



- 총 9개 전시관
- Structure, indoor & outdoor fittings, joinery & fenestration을 중심으로 전시관람
- 각 업체별 특이사항 및 연락처 교환

GS건설주식회사

3. BATIMAT 2015 전시



기존 우수블럭/콘크리트의 단점 보완

GS건설주식회사

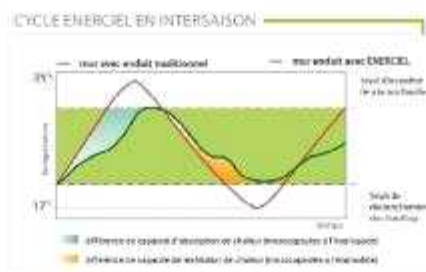
3. BATIMAT 2015 전시



Floor heating system



PCM – thermoregulant (온도조절)



GS건설주식회사

3. BATIMAT 2015 전시



- Screed underlay (NF DTU 52.10)
- 20 dB impact sound reduction
- Compatible with thermal underlays and heating floors
- Soft membrane, waterproofing

GS건설주식회사

3. BATIMAT 2015 전시



다양한 종류의 부니플로미트



열고 및 기밀을 높이기 위한 다양한 제품

GS건설주식회사

10. 제1차 PEF Forum (독일 베를린, 2013. 10. 7. ~ 11.)

가. 회의 목적

- 2013년 4월에 EU에서 정식으로 발표한 건축자재 등 모든 제품과 자재들에 대한 환경발자국을 산정하고 이를 공개하도록 하는 EU 차원의 인증제도 도입에 대한 구체적인 계획 소개
- 국내 건축자재 업체 및 향후 인증제도 도입 시에 반영해야 할 국제동향을 사전에 파악함으로 국제흐름에 맞는 인증제도 및 탄소발자국을 산정할 수 있는 기반 마련

나. 회의 주요 내용

- EU 관계자의 인증제도 방향에 대한 발표에 이어 이번 시범사업에 참가하는 기업 및 단체들로부터 구체적인 계획을 소개하는 것으로 구성
- 논의 결과, 시범사업은 2015년까지 2차례에 걸쳐 수행한 이후에 2016년부터 3년간의 시범사업 결과에 대한 정리를 통해 2020년에 인증제도를 출범할 예정임을 확인
- 이번 회의를 토대로 국제 사회의 환경발자국 흐름은 앞으로 단일환경이슈에서 복합환경 이슈로 전환되며, 제품중심에서 기업중심으로 확장되고, 일반 제조업에서 음식료, 건설분야로 단계적으로 확대될 것으로 정리됨

11. SETEC Europe 19th LCA Case Study Symposium (이탈리아 로마, 2013. 11. 10. ~ 14.)

가. 회의 목적

- 발표주제 : 한국의 국가 LCI 데이터베이스 개발 현황 : 건설분야를 중심으로
- 발표제목 : The development of life cycle inventory database in Korea-in the context of the construction industry
- 발표개요 : 포스터 발표

나. 건설분야 LCA 관련 연구 정보 수집

- 건설분야 전과정 지속가능성 평가 방법론에 대한 정립 및 수행에 대한 논의
- Zero energy building 관련 정책에 대함 기초 자료로써 LCA 수행 사례 제시

- 건축물의 LCA 수행 사례 공유
- Green building의 평가 방법론으로써의 LCA 소개
- 건축물뿐만 아니라, 건축폐기물 등의 재활용 방법에 대한 LCA 수행 사례가 제시되는 등 건축분야에 대해서는 건축물의 LCA를 넘어서 파생 연구가 다각도로 수행 중에 있음.

12. Sustainable building 2014 conference (스페인, 2014.10.27.~31.)

가. 개요

- [Sustainable building conference]는 건축분야의 지속가능성에 대한 논의가 중점적으로 이루어지는 학회로서 전세계 국가를 이동하면서 매년 개최되는 국제학회이다. 스페인 바르셀로나에서 개최된 Sustainable building 2014는 전세계 2000여명의 참가자들이 참석한 가운데 144개의 세션, 225개의 포스터가 발표되었다. Sustainable building 2014에서 논의된 주된 내용은 대주제인 “Is sustainability still possible? The role of the building sector”에 대한 대답으로 현재 건축분야가 직면해있는 환경문제, 지속가능성 증진을 위한 솔루션, 앞으로 해결해야 할 과제 등에 대해 다양한 연구가 소개됨.

나. Sustainable building 주요내용

- Sustainable building 2014를 한 마디로 요약하자면 ‘건축분야 지속가능성의 현재를 돌아보다.’로 정리할 수 있다. 건축분야에서의 지속가능성이란 무엇인가를 정의하고, 지속가능성을 향상시키기 위한 다양한 시도를 다뤘던 이전의 연구들이 현재는 그 어느 수준에 와 있는지, 그리고 옳은 방향으로 잘 가고 있는지에 대한 중간평가를 하는 내용들이 컨퍼런스의 주가 됨.
- Sustainable building 2014에서 가장 많이 언급되었던 주제는 Cradle to Cradle 개념이었다. 이는 기존의 waste management에서 한 발 더 나아간 개념으로 단순한 폐기물의 재활용 기술 개발을 넘어 부가가치 높은 재이용, 재활용 방안을 찾고자 하는 노력이라 할 수 있다. Cradle to Cradle이 주요 주제라는 사실은 건축물의 지속가능성에서 ‘자원’이 핵심적인 가치로 자리 잡았다는 사실을 대변한다. Sustainable building 2014는 건축분야의 환경과 관련한 주제가 ‘기후변화’에서 ‘자원’으로 이동하는 과도기라는 의미를 담고 있고, ‘기후변화’라는 주제에서는 그 동안의 연구로 인한 결과 및 활용에 대한 이야기가 주를 이루었고, ‘자원’ 부문에서는 건축분야에서 자원을 어떤 시각으로 바라봐야 하는지, 자원생산성을 측정하고자 하는 노력과 방법에 대한 제기 그리고 지속가능성에 자원을 어떤 방식으로 반영을 할 지에 대한 고민들이 주된 내용으로 다뤄졌다.

○ 자원

- 건축분야의 화두는 Dematerialization으로 CtC를 통한 해결책 마련 필요
- CtC 활성화를 위한 기술, 품질, 경제성, 환경성에 대한 종합적 접근
- 건축분야 자원 순환성을 결정짓는 건자재의 Returnability 개념 제시(건축, 해체는 비즈니스 섹터이지만 폐기물 처리는 공공분야이기 때문에 해체후 Returnability를 통한 순환흐름 필요)
- 자원생산성 평가를 위한 방법론 제시(LCA 영향평가 인자를 활용한 광물 중심의 접근법 소개_EN15084/A;2013)
- 제조업과 건설업의 융합을 통한 CtC 선순환 고리 마련(CtC design 등)
- Waste management를 위한 tool 및 시스템 개발 연구

○ 기후변화

- Zero emission building/Passive house 사례에 대한 공유 및 탄소발자국/LCA를 활용한 ZEB 평가 결과 제시
- 건축분야 에너지 효율성 제고를 위한 방안 제시 및 대안별 결과 비교
- 건축분야 저탄소 생산을 넘어 저탄소 소비 및 생활 패턴을 위한 방안 제시
- 기후변화 대응 환기시스템으로 인해 발생하는 실내 공기질 문제 제시

○ 전과정평가

- 건축분야의 전과정평가지 할당 및 데이터베이스 사용에 대한 민감도 연구
- ZEB 대안으로의 목자재 사용으로 인한 온실가스 감축량 산정 연구
- 소비자의 니즈를 반영한 건축분야 weighting factor 개발 연구
- 종다양성에 대한 환경영향 특성화 방법론 개발 연구

○ 지속가능성

- 건축분야에서의 지속가능성에 대한 정의 제시
- 지속가능성을 평가하고 위한 지표개발 연구

13. Eco Design 2015 (일본 도쿄, 2015.12.2..~5)

가. 동향 정보

- Sustainability Assessment of High-rise and High-Density Urban Structures(고민도 도시 건축물의 지속가능성 평가)
 - 도쿄의 고층, 고밀도 건축물에 대한 환경적, 경제적 평가(지속가능성)
 - 제한된 공간에서 환경 개선을 위한 공공용지 및 녹지 확대방안
 - 경제적 지표 : 건설비용, 휴식 공간의 경제적 가치
 - 환경적 지표 : 녹지공간
 - case study : Nihonbashi Tokyo
 - 고층건물에 대한 최적의 친환경적 면적의 높이와 부피 비율을 도출하고 공공용지 증가가 미치는 경제적 효과 분석
 - 렌탈비가 높고 건물의 면적이 클수록 더 효과적임
- The method of composition of plant raw brick(식물성 천연 벽돌의 개발과 활용)
 - 현재 거의 모든 건물 및 도보의 기본 재료는 시멘트와 모래로 구성되어 있음
 - 시멘트에 식물의 씨앗을 포함하여 햇빛과 비를 이용해 담벽이나 바닥(도보)에서 자연적으로 식물이 자랄 수 있는 식물성 천연 벽돌 개발
 - 건물과 건물 사이의 담장 및 사이드 보드블록 등에 적용 가능
 - 식물 성장 원리 및 과정
- 지속가능한 건축물 디자인의 핵심요소 : 내구성

제7장. 연구개발성과의 보안등급

1. 보안등급의 분류

보안	일반
	○

2. 결정사유

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규칙 제24조의 4에 분류기준에 따른 보안과제가 아닌 일반과제로 분류함
--

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
KCL	시차열분석 기	Rigaku Thermo Evo II Plus	1	2014.03 .18	78,650	바이오컨버 전스	KCL 본관 4층 실험실	NFEC-2014 -08-19076 5
KCL	X선 회절 분석기	Rigaku Miniflex 600	1	2015.03 .31	75,350	아이랩	KCL 본관 4층 실험실	NFEC-2015 -08-20411 1

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의

안전 조치 이행 실적

본 과제의 참여기관은 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」에 따른 연구실 안전조치 이행계획(해당 연구실안전점검 및 정밀안전진단실시, 참여연구원의 교육훈련 및 건강검진실시, 보험가입 등) 및 기타 당해 연구개발사업 수행 시 필요한 연구실 안전 확보 계획 등을 기관 별로 수행함.

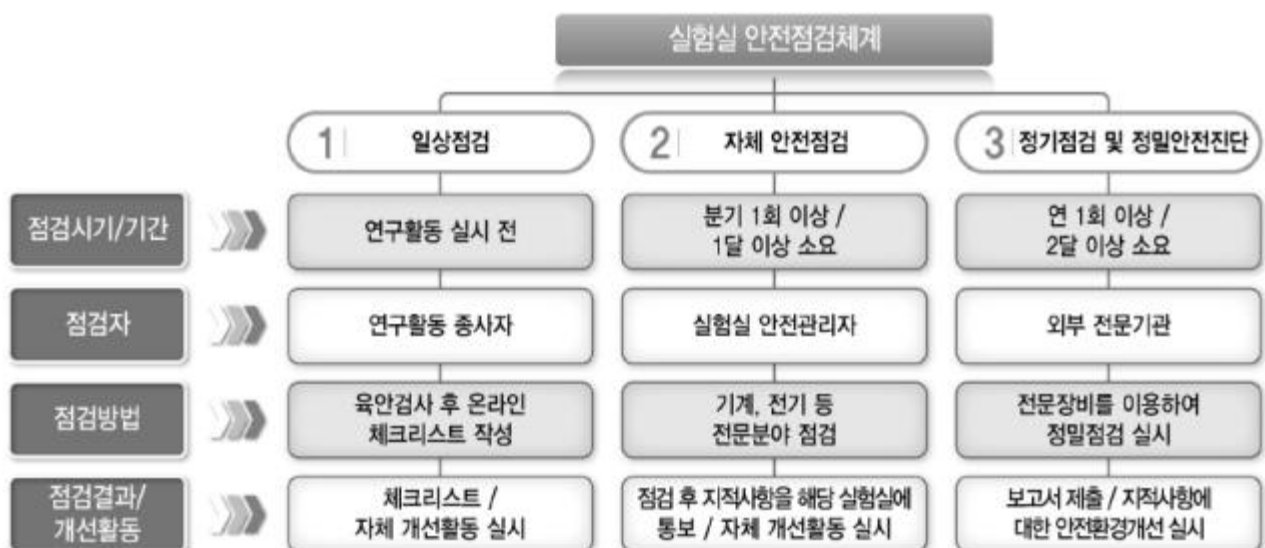
1) 실험실 일상 점검

- 연구활동 시작 전 각 실험실 책임자가 육안으로 장비 및 시설을 매일 점검

2) 실험실 정기 점검

- 내용 : 콘크리트 실험실의 일반안전, 위생안전, 전기안전, 소방안전 등의 전문분야 점검
- 실시 : 매월 각 실험실을 주기적으로 점검

3) 실험실 안전점검체계 및 실시



4) 실험실 안전관련 순찰 일지

[안전/환경/소방/위험물 순찰 일지]

점검일 :

점검자 :

검	점검자	반응담당	공정장
제			

※ 브로이러의 집수통 밝은 점검항목에서 가선, 브로이러 필요한 문제점 발견

구분	점검항목	아주 좋음	좋음	보통	나쁨	아주 나쁨
화	1. 배관 작업대 및 기기 설비는 철결하여 도구, 장비들은 정위치 하여 있는가?					
	2. 롤보, 계단용 팔 받치, 등크레고 쓸무 등은 출구에 방치되지 않았는가?					
	3. 안전 및 경고 표지판은 잘 위치해 있으며 식별되어 있는가?					
	4. 작업자 안전보호구 착용은 잘 이루어지고 있는가?					
	5. 기계의 방호장치는 적절하여 편리 상태는 양호한가? (고동실에 등)					
	6. 출몰금지 구역에 대한 권리는 잘 이루어지고 있는가? (출몰금지 등)					
	7. 전기배선의 외상 및 단락부분은 이상 없는가?					
	8. 현장내에서 낙하물 위험이 있는 곳은 없는가?					
	9. 지게차는 정해진 안전규정으로 운수하고 있는가?					
	10. 협력업체 및 외부공사 업체의 안전수칙 준수 여부?					
환경	11. 폐기물의 용기는 적절하여 적절히 분리하고 있으며 깨끗한가?					
	12. 원료 저장소, 폐기물처리장의 주변 환경 상태					
	13. 바닥에 물이 고이는 곳이나 누수되는 곳 및 파손 곳이 있는가?					
소방 및 위험물	14. 위험(유독)물은 안전하고 적절하게 보관하고 있는가?					
	15. 현장에 비치된 비상물 보호장치의 편리 상태는?					
	16. 소화시설의 편리상태는 양호한가? (소화기, 소화전, 화재경보기 등)					
	17. 가스관련 시설 유출되는 곳이 있는가?					
기타	18. 인화성 물질 주변에 화재위험은 없는가?					
	19. 현장에서 미나지 물막은 잘 지켜지고 있는가?					
20	공장 외곽 전차 상태는 어떠한가? (물길 상태, 외곽 등차리 파손 여부 등)					

장소	문제점 및 개선할 사항	즉각적인 시정 및 대책	향후개선대책	책임자

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번 호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Effects of the fineness of limestone powder and cement on the hydration and strength development of PLC concrete	KCL	협동	Construction building and materials	1.490	2017.03	단독	SCI
2	논문	Economic Analysis for Setting Appropriate Repair Cycles on the Fixed Materials and Facilities in the Public Rental Housing	KICT	주관	Advances in Materials Science and Engineering	1.299	2016.08	단독	SCIE
3	논문	Assessment of Construction Cost Saving by Concrete Mixing the Activator Material	KICT	협동	sustainability	1.343	2016.05.05	단독사사	SCIE
4	특허	단열효과가 우수한 경량콘크리트 조성물	GS건설	공동	대한민국		2014.12.22	단독	
5	특허	주요 자재를 이용한 건축물의 전과정 환경영향 평가방법	한양대학교	공동	대한민국	-	2014.04.23	단독	-

제11장. 기타 사항

○ 해당사항 없음.

제12장. 참고 문헌

- 1) A. Bilodeau, V. M. Malhotra, and D. M. Golden, "Mechanical Properties of Structural Lightweight Concrete Incorporating High-Volume of Fly Ash", ACI International SP 172, Supplementary Papers, pp.43-64, 1999. 10.
- 2) Crammond, N. J., "The thaumasite form of sulfate attack in the UK", Cement and Concrete Composite, Vol.15, pp.809-818, 2003.
- 3) Hartshorn, S. A., Sharp, J. H., and Swamy, R. N., "Thaumasite Formation in Portland-Limestone Cement Pastes", Cement and Concrete Research, Vol.29, pp.1331-1340, 1999.
- 4) Skalny. J., Marchand. J., and Odler. J., "Sulfate Attack on Concrete", 1st Published by Spon Press. London. UK, pp.43-114, 2002.
- 5) Bleszynski, R., Hooton, R. D., Thomas, M. D. A., and Rogers, C. A., "Durability of Ternary Blend Concrete with Silica Fume and Blast-Furnace Slag: Laboratory and Outdoor Exposure Site Studies", ACI Materials Journal, Vol.99, No.5, pp.499-508, 2002.
- 6) Santhanam, M., Cohen, M. D., and Olek, J., "Mechanism of Sulfate Attack : A Fresh Look Part 2 : Proposed Mechanisms", Cement and Concrete Research, Vol.33, No.3, pp.341-346, 2003.
- 7) Neville, A. M., "The confused World of Sulfate Attack on Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.34, pp.1275-1296, 2004.
- 8) Ramazan D., Ibrahim T., Mehmet B. K., "Relation- ship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral admixed concrete", Cement and Concrete Research, 34, 2004, pp. 2329-2336.
- 9) Nordtest Method, NT-BUILD 492, Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials, Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments, Nordtest, Finland, 1999.
- 10) Papadakis. V. G., Vayenas, C. G., and Fardis, M. N., "Physical and Chemical Characteristics Affecting the Durability of Concrete," J. of ACI Material, ACI, 1991, pp. 186-196.
- 11) Shanahan, N., and Zayed, A., "Cement Composition and Sulfate Attack Part", Cement and Concrete Research, Vol.37, No.4, 618-623, 2007.
- 12) JSTM C 7401, "Method of test for chemical resistance of concrete in aggressive solution", 1999, pp.1-10.
- 13) Monteny, J., Vincke, E., Beeldens, A., Taerwe, L., Van Gemert, D., and Verstraete, W.,

"Chemical, Microbiological, and in Situ Test Methods for Biogenic Sulfuric Acid Corrosion of Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 30, No. 4, 2000, pp. 623-634.

- 14) Halit Y., Mert Y., Husyinn Y., Serdar A., Selcuk T., "Mechanical properties of reactive powder concrete containing high volumes of ground granulated blast furnace slag", Cement & Concrete Composite, Vol. 32, 2010, pp. 639-648.
- 15) 박상숙, 강화영, 한관수, "알칼리 활성화반응을 이용한 플라이애쉬/슬래그 시멘트 개발(1)-압축강도 및 산 저항성-", 대한환경공학회지 29권 7호, 2007, pp.801-809.
- 16) 송진규, 양근혁, 김진우, 김병조, "고로슬래그와 나트륨계열 활성화화제를 이용한 무시멘트 모르타르의 특성", 대한건축학회 논문집, 26권, 6호, 2010, pp.61-68.
- 17) 조병완, 박민석, 박승국, "알칼리 활성화에 의한 플라이애쉬 모르타르의 강도 발현 및 경화 메커니즘", 한국콘크리트학회 논문집, Vol.18, No.4, 2006, pp.449-458.
- 18) 양근혁, 송진규 (2007). "알칼리 활성화를 이용한 무시멘트 콘크리트의 구조 성능 및 적용", 한국콘크리트학회지 제19권, 2호, pp. 42-48.
- 19) 정연백, 양근혁, (2015) "목표 탄소배출량 저감을 고려한 콘크리트 구조물의 설계 절차", 한국건설순환자원학회, 제3권, 제2호, pp 115-121.
- 20) 홍기남, 박재규, 정규산, 한상훈, 김재현 (2015). "알칼리 활성 슬래그 콘크리트의 내구성 : 콘크리트의 염소이온 확산" 한국안전학회지, 제30권, 제4호, pp. 120-127.
- 21) Bakharev. T., "Effect of elevated temperature curing on properties of alkali-activated slag concrete", Cement and Concrete Research, No.29, 1999, pp.1619-1625.
- 22) Douglas E., Bilodeau A., Brandstetr J. and Malhotra V. M., "Alkali Activated Ground Granulated Blast-furnace Slag Concrete Preliminary Investigation", Cement and Concrete Research, Vol.21, 1991, pp.101-108.
- 23) F. A. and P. F., "Alkali-Activated Slag Cements: Kinetic Studies", Cement and Concrete Research, Vol.27, No.3, 1997, pp.359-368.
- 24) Liao, X. and Gu, J., "A calorimetry study of Alkali Activated Slag", Chiness Ceramic Society, Vol.9, 1995, pp.20-25.
- 25) Shi C., Pavel V. K., and Della R., "Alkali-Activated Cements and Concretes", Taylor & Francis, 2006.
- 26) Wang. S. D., Pu, X. C., Scrivener, K. L., and Pratt, P. L "Alkali-Activated Slag Cement and Concrete a Review of Properties and Problems", Advances in Cement Research, No.27, 1995, pp.93-102.
- 27) Wu, X., Zhu, H., Hou, X. and Li, H., "Hydration of slag cement based radioactive waste forms", Cement and Concrete Research, Vol.29, 1999, pp.1103~1106.
- 28) Collins, F.G. and Sanjayan, J.G. (1999). "Workability and mechanical properties of alkali

activated slag concrete”, *Cement and Concrete Research*, 29, 455–458.

- 29) Shazali, M. A., Baluch, M. H., Al-Gadhib, A. H. (2006). “Predicting Residual Strength in Unsaturated Concrete Exposed to Sulfate Attack”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 18, No. 3, pp. 343–354.
- 30) Haha, M. B., Le Saout, G., Winnefeld, F., & Lothenbach, B. (2011). Influence of activator type on hydration kinetics, hydrate assemblage and microstructural development of alkali activated blast-furnace slags. *Cement and Concrete Research*, 41(3), 301–310.
- 31) Palomo, A., Grutzeck, M. W., & Blanco, M. T. (1999). Alkali-activated fly ashes: a cement for the future. *Cement and concrete research*, 29(8), 1323–1329.
- 32) J.G.S. van Jaarsveld, J.S.J. van Deventer, G.C. Lukey / The effect of composition and temperature on the properties of fly ash- and kaolinite-based geopolymers.
- 33) T.R. Naik, R.N. Kraus, B.W. Ramme, Y.M. Chun, R. Kumar High-carbon fly ash in manufacturing conductive CLSM and concrete, *Chem Eng J*, 89 (1 - 3) (2002), pp. 63–73.
- 34) Kim HK, Lee HK. Effects of high volume of fly ash, blast furnace slag, and bottom ash on flow characteristics, density, and compressive strengths of high-strength mortar. *ASCE's J Mater Civil Eng*; 2012. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000624, accepted for publication.
- 35) 순환골재 활성화 방안 연구, 2014. 12. 한국건설기술연구원.
- 36) Takeda, H., Hashimoto, S., Honda, S., & Iwamoto, Y. (2010). In-situ formation of novel geopolymer - z.
- 37) Takeda, H., Hashimoto, S., Honda, S., & Iwamoto, Y. (2010). In-situ formation of novel geopolymer - zeolite hybrid bulk materials from coal fly ash powder. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 118(1380), 771–774.
- 38) Hashimoto, S., Takeda, H., Machino, T., Kanie, H., Honda, S., & Iwamoto, Y. (2014). Fabrication and Characterization of Geopolymers from Japanese Volcanic Ashes. In *Advances in Science and Technology* (Vol. 92, pp. 1–7). Trans Tech Publications.
- 39) UEHARA, M., “Research Regarding New Environmental Load-Reducing Concrete Using Coal Ash by Employing Geopolymer Method”, *Railway Technology Avalanche*, No. 32, 2010.
- 40) R. D. Hooton, M. Nkken, and M. D. A. Thomas, ““Portland-Limestone Cement: State of the Art Report and Gap Analysis for CSA A 3000,”” *Cement Assoc. Canada*, 3053 3–5 (2007).
- 41) B. Lothenbach, G. L. Saout, E. Gallucci, and K. Scrivener, “Influence of Limestone on

- the Hydration of Portland Cements,”” Cement Concrete Res., 38 848-60 (2008).
- 42) 시멘트산업에서의 녹색기술, 월간세라믹(2011) 4월 제 14권, 제2호.
 - 43) 이승헌, “우리나라 시멘트 산업의 경쟁력 강화를 위한 기술개발 동향 및 발전방향”, 월간세라믹(2011) 11월 제282호.
 - 44) 이승헌, 박정수, 이정인, 조재우, “보통 포틀랜드 시멘트 페이스트의 유동특성에 미치는 석회석 미분말의 영향”, 한국세라믹학회지, Vol.50, No.2, pp.149-156 (2013).
 - 45) Heikal, M.; El-Didamony, H.; Morsy, M. S. Limestone-filled pozzolanic cement. Cem. Concr. Res. 2000, 30, 1827 - 1834.
 - 46) El-Didamony, H.; El-Alfi, E. Addition of limestone in the low heat portland cement. Ceramics-Silikáty. 1999, 44, No. 4, 146-150.
 - 47) E. Sakai, S. Hoshino, Y. Ohba, M. Daimon, "Fluidity of Cement paste with various types of inorganic powders", Proc. 10th Int'l Cong. Chem. Cement, 2 2-8 (1997).
 - 48) S. H. Lee, H. J. Kim, E. Sakai, and M. Daimon, ""Effect of Particle Size Distribution of Fly Ash-Cement System on the Fluidity of Cement Pastes,"" Cement Concrete Res., 33 763-68 (2003).
 - 49) 이승헌, 임영진, 조재우, “소량 혼합재로서 석회석과 고로슬래그를 복합 사용한 보통 포틀랜드 시멘트의 수화특성”, 한국콘크리트학회지, Vol.27, No.1, pp.3-9 (2015).
 - 50) Zelic, J.; Krstulovic, R.; Tkalec, E.; Krolo, P. Durability of the hydrated limestone-silica fume Portland cement mortars under sulphate attack. Cem. Concr. Res. 1999, 29, 819 - 826.
 - 51) Stark, J.; Freyburg, E.; Lohmer, K. Investigations into the influence of limestone additions to Portland cement clinker phases on the early phase of hydration, Modern Concrete Materials : Binders, Additions and Admixtures; Thomas Telford, 1999.
 - 52) Tsivilis, S.; Batis, G.; Chaniotakis, E.; Grigoriadis, G.; Theodossis, D. Properties and behavior of limestone cement concrete and mortar. Cem. Concr. Res. 2000, 30, 1679 - 1683.
 - 53) K, D. W.; Justnes, H.; Lothenbach, B.; M, B. H. The effect of limestone powder additions on strength and microstructure of fly ash blended cements. 13th Int. Congr. Chem. Cem. 2011, 1 - 7.
 - 54) Palm, S.; Proske, T.; Rezvani, M.; Hainer, S.; Muller, C.; Graubner, C.A. Cements with a high limestone content - Mechanical properties, durability and ecological characteristics of the concrete. Constr. Build. Mater. 2016, 30, 308-318.
 - 55) Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties and Materials, 3rd edition, Mc Graw Hill, 2006.
 - 56) 김태상, 정상화, 최영철, 송하원, “슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 공극구조와 염화물 확산

계수와의 관계에 대한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회지, Vol.21, No.5, pp.639-647(2009)

- 57) G. Sua-iam, N. Makul, Utilization of limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete incorporating high volumes of untreated rice husk ash as fine aggregate, *Constr. Build. Mater.* 38 (2013) 455 - 464.
- 58) Rizwan SA, Bier TA. Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars. *Constr. Build Mater.* 2012;27:398 - 403.
- 59) M. Nehdi, S. Mindess, P.-C. Aïtcin, Optimization of high strength limestone filler cement mortars, *Cem. Concr. Res.* 26 (6) (1996) 883 - 893.
- 60) L. Svermova, M. Sonebi, P.J.M. Bartos, Influence of mix proportions on rheology of cement grouts containing limestone powder, *Cem. Concr. Compos.* 25 (7) (2003) 737 - 749.
- 61) A.A. Ramezani-pour, E. Ghiasvand, I. Nickseresht, M. Mahdikhani, F. Moodi, Influence of various amounts of limestone powder on performance of Portland limestone cement concretes, *Cem. Concr. Compos.* 31 (10) (2009) 715 - 720.
- 62) S. Tsivilis, E. Chaniotakis, G. Kakali, G. Batis, An analysis of the properties of Portland limestone cements and concrete, *Cem. Concr. Compos.* 24 (2002) 371 - 378.
- 63) S. Tsivilis, J. Tsantilas, G. Kakali, E. Chaniotakis, A. Sakellariou, The permeability of Portland limestone cement concrete, *Cem. Concr. Res.* 33 (2003) 1465 - 1471.
- 64) N. Voglis, G. Kakali, E. Chaniotakis, S. Tsivilis, Portland-limestone cements. Their properties and hydration compared to those of other composite cements, *Cem. Concr. Compos.* 27 (2005) 191 - 196.
- 65) K. Celik, M.D. Jackson, M. Mancio, C. Meral, A.-H. Emwas, P.K. Mehta, P.J.M. Monteiro, High-volume natural volcanic pozzolan and limestone powder as partial replacements for Portland cement in self-compacting and sustainable concrete, *Cem. Concr. Compos.* 45 (2014) 136 - 147.
- 66) K. Turk, S. Demirhan, The mechanical properties of engineered cementitious composites containing limestone powder replaced by microsilica sand, *Can. J. Civ. Eng.* 40 (2013) 151 - 157.
- 67) V. Bonavetti, V. Donza, E. Rahhal, E. Irassar, Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement, *Cem. Concr. Res.* 30 (5) (2000) 703 - 708.
- 68) K. De Weerd, H. Justnes, K.O. Kjellsen, Fly ash - limestone ternary composite cements: synergetic effect at 28 days, *Nordic Concr. Res.* 42 (2) (2010) 51 - 70.
- 69) R. Spitek, Influence of limestone powder content and size on transport properties of self-consolidating concrete (Master's thesis), University of Nevada, Las Vegas, USA,

2014.

- 70) K. De Weerd, H. Justnes, Microstructure of binder from the pozzolanic reaction between lime and siliceous fly ash and the effect of limestone addition, in: W. Sun, K. van Breugel, C. Miao, G. Ye, H. Chen (Eds.), Microstructure Related Durability of Cementitious Composites, RILEM, Bagneux, France, 2008, pp. 107 - 116.
- 71) 강민기 외, 단열성능 향상 콘크리트의 에너지 절감효과 분석, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 325-326, 2015.10
- 72) 강혜민, 이준성(2012), “외단열시스템 활성화를 위한 설계-시공통합관리 방안: 공동주택 사례분석에 기초하여”, 『대한건축학회논문집』, 28(11): 157~166.
- 73) 구보경, 임재한, 송승영(2011), “통계분석을 통한 내, 외단열 공동주택 벽-슬라브 접합부 열교부위의 선형 열관류율 예측에 관한 연구”, 『대한건축학회논문집』, 27(8): 305~312.
- 74) 권영호, 병용계 고유동 콘크리트의 배합설계 요인 및 공학적 특성에 관한 연구, 충남대학교 대학원 박사학위논문, 2001.
- 75) 김국한 외, An experimental study on thermal conductivity of concrete, 한국콘크리트학회 논문집, 13(4), 2003.
- 76) 김상철, 엄태용, 배합조건에 따른 고유동콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제 7권 1호, 1995, pp. 19-24.
- 77) 김연희, 에너지 절약형 외단열 공동주택의 설계 상세도 도출 및 에너지 성능 분석, 이화여대 대학원 석사학위 논문, 2011
- 78) 김용직, 최연왕, 김영진, 경량골재를 사용한 자기충전 콘크리트의 건조수축률 예측, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, Vol. 20, No. 2, 2008, pp.341-344.
- 79) 김용직, 최연왕, 문한영, 경량굵은골재 밀도에 따른 자기충전콘크리트의 배합설계, 대한토목학회 논문집, 제 25권, 제 2A호, 2005, pp. 455-462.
- 80) 김지현 외, 기능성 건축자재 개발을 위한 다공성 천연광물 소재의 휘발성유기화합물의 (VOCs) 흡착성능평가연구, 한국건축친환경설비학회 논문집, 2011.9, 115-121
- 81) 문선혜, 윤용상, “공동주택에서 선형열손실이 외피의 단열성능에 미치는 영향”, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, 2011.
- 82) 문한영, 최연왕, 김용직, 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 온수양생법에 의한 강도 추정, 대한토목학회 논문집, 제 21권, 제 6-A호, 2001, pp. 967-976.
- 83) 문한영, 최연왕, 김용직, 열수양생법에 의한 고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 강도 추정, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 16, No. 1, 2004, pp. 102-110.
- 84) 박상숙, 강화영, 한관수, “알칼리 활성반응을 이용한 플라이애쉬/슬래그 시멘트 개발(1)-압축강도 및 산 저항성-”, 대한환경공학회지 29권 7호, 2007, pp.801-809.
- 85) 박영신 외, 단열성능향상 콘크리트 개발을 위한 기초적 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 32(2), 563-564, 2012.10

- 86) 박영신, 구조용 단열콘크리트의 열전도 특성에 관한 연구, 건국대학교 대학원, 박사학위논문, 2014.
- 87) 박영신 외, 구조토 미분말과 경량골재를 사용한 콘크리트의 내구 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 459-460, 2014.10
- 88) 박영신 외, 단열성능 향상 콘크리트의 실구조물 적용에 따른 길이변화 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 317-318, 2015.05
- 89) 송병창 외 5, 공동주택의 외단열시스템 개발 타당성 연구, 대한주택공사 부설 주택연구소, 1999.05
- 90) 송진규, 양근혁, 김진우, 김병조, "고로슬래그와 나트륨계열 활성화제를 이용한 무시멘트 모르타르의 특성", 대한건축학회 논문집, 26권, 6호, 2010, pp.61-68.
- 91) 신광섭, 그린건축물, Total Energy Solution 구현세미나, 산업교육연구소, 2011.
- 92) 안상기, 김상철, 엄태용, 최수홍, 이두재, 고유동콘크리트 개발 및 실용화를 위한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제 8권 1호, 1996, pp. 42-47.
- 93) 양근혁, 송진규, "알칼리 활성화를 이용한 무시멘트 콘크리트의 구조성능 및 적용", 콘크리트학회지, 19권, 2호, 2007, pp.42-48.
- 94) 이윤규, 친환경 기능성 건축자재의 적용기술, 한국그린빌딩협의회지, v.11 n.3, 2010.09
- 95) 이종성, 이도현, 전명훈, 공동주택의 단열형태별 선형열관류율 평가, LHI Journal, 2014, 5(4), 315-323
- 96) 이종성 외, 공동주택 단지내 신재생에너지 적용을 위한 성능평가 및 도입방안 연구, 토지주택연구원, 2010.05
- 97) 이충국, 에너지 제로하우스와 고단열, Total Energy Solution 구현세미나, 산업교육연구소, 2011.
- 98) 조병완, 박민석, 박승국, "알칼리 활성화에 의한 플라이애쉬 모르타르의 강도 발현 및 경화 메커니즘", 한국콘크리트학회 논문집, Vol.18, No.4, 2006, pp.449-458.
- 99) 천진희, 김경아, 친환경측면에서 본 국내 실내건축자재의 현황 조사 및 분석, 디자인학연구 66, 2006.8, 133-144
- 100) 최보혜, 외단열시스템 적용에 따른 공동주택 외피의 에너지 성능 평가, 아화여대 대학원 석사학위 논문, 2009
- 101) 다중이용시설 등의 실내공기질관리법, 법률 제10789호. 2011.6.7
- 102) 실내공기질공정시험기준, 환경부고시 제2010-24호, 2010.3.5.
- 103) 콘크리트 표준시방서, 한국콘크리트학회, 2009.
- 104) 콘크리트 구조물의 환경영향 및 CO2 평가, 한국콘크리트학회, 2013.
- 105) 에너지관리공단, 선진국 기후변화 대응정책, 2001.
- 106) 한국건설기술연구원, 저에너지 친환경 공동주택 기술개발, 국토해양부, 2006~2011
- 107) 한국건설기술연구원, 새집증후군 저감을 위한 주요 건축자재의 시공기술 개발, 환경부,

2010

- 108) 한국건설기술연구원, 기능성 건축자재 실태조사 및 관리방안 연구, 한국공기청정협회, 2008
- 109) 한국토지주택공사), 친환경주택 성능평가 프로그램 개선및 패시브 설계 가이드라인 수립 연구. 2013.
- 110) 한국토지주택공사, 공동주택 에너지 저감형 건축자재(DB구축)활용 기술 개발, 2014
- 111) (사)한국패시브건축협회, 외단열미장마감공법 설계 및 시공 지침 Ver 1.5 2014.06
- 112) (사)대한건축학회, 외단열 미장공사 기준 및 관리방안 마련 연구, 2015.10
- 113) 대한주택공사, 외단열 공법의 실용성 평가, 1988.06
- 114) 한국토지주택공사, LH건축표준상세도
- 115) KS L 2002 강화유리, 한국표준협회
- 116) KS L 2003 복층유리, 한국표준협회
- 117) KS L 2004 접합유리, 한국표준협회
- 118) KS L 2005 무늬유리, 한국표준협회
- 119) KS L 2006 망 판유리 및 선 판유리, 한국표준협회
- 120) KS L 2008 열선 흡수 판유리, 한국표준협회
- 121) KS L 2012 플롯트 판유리 및 마판유리, 한국표준협회
- 122) KS L 2014 열선반사유리, 한국표준협회
- 123) KS L 2015 배강도 유리, 한국표준협회
- 124) KS L 2016 창 유리용 필름, 한국표준협회
- 125) KS L 2017 저방사 유리, 한국표준협회
- 126) KS L 9102 인조 광물섬유 단열재, 한국표준협회, 2014
- 127) KS L 9106 미네랄 울 단열재, 한국표준협회
- 128) KS L 9104 세라믹 섬유 블랭킷, 한국표준협회
- 129) KS L 9109 규산칼슘 보온재, 한국표준협회
- 130) KS M 3880 셀룰로오스 폼 단열재, 한국표준협회
- 131) KS M 3808 발포 폴리스티렌(PS)단열재, 한국표준협회, 2011
- 132) KS M 3809 경질 폴리우레탄 폼 단열재, 한국표준협회, 2006
- 133) KS M 3862 발포 폴리에틸렌 보온재, 한국표준협회
- 134) KS M ISO 4898 경질 발포 플라스틱-건축물 단열재-규격서, 한국표준협회, 2013
- 135) KS M ISO 9774 건물용 단열재-특성 선정 지침서, 한국표준협회, 2012
- 136) KS F 4714 발수성 펄라이트 보온재, 한국표준협회
- 137) KS F 4715 얇은 마무리용 벽 바름재, 한국표준협회, 2007
- 138) KS F 4716 시멘트계 마탕 바름재, 한국표준협회, 2001
- 139) KS F 3702 질석, 한국표준협회

- 140) KS F 4708 염기성 탄산마그네슘 보온재, 한국표준협회
- 141) KS F 3504 석고보드, 한국표준협회
- 142) A. M. Neville, Properties of Concrete, Fourth Edition, 1996, pp. 567-574.
- 143) A. Yahia, M. Tanimura and Y. Shimoyama, Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, Cement and Concrete Research, Volume 35, Issue 3, 2005, pp.532-539.
- 144) B. Felekoglu, K. Tosun, B. Baradan, A. Altun, B. Uyulgan, The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self compacting repair mortars, Cement and Concrete Research, Volume 36, 2006, pp. 1719-1726.
- 145) Bakharev. T., "Effect of elevated temperature curing on properties of alkali-activated slag concrete", Cement and Concrete Research, No.29, 1999, pp.1619-1625.
- 146) C. L. Hwang and M. F. Hung, Durability design and performance of self-consolidating lightweight concrete, Construction and Building Materials, Vol. 19, 2005, pp. 619-626.
- 147) Douglas E., Bilodeau A., Brandstetr J. and Malhotra V. M., "Alkali Activated Ground Granulated Blast-furnace Slag Concrete:Preliminary Investigation", Cement and Concrete Research, Vol.21, 1991, pp.101-108.
- 148) F. A. and P. F., "Alkali-Activated Slag Cements: Kinetic Studies", Cement and Concrete Research, Vol.27, No.3, 1997, pp.359-368.
- 149) Fre'de'ric K., Joseph V., Jean J. R.(2007) "Energetic efficiency of room wall containing PCM wallboard: A full-scale experimental investigation", 「Energy and Buildings」
- 150) Helmut W., Andreas B., Jochen F.(2005), "PCM-facade-panel for daylighting and room heating", 「Solar Energy」, vol. 78, 177 - .186
- 151) H. Okamura, Self-Compacting High Performance Concrete, 1999, Social System Institute, Tokyo.
- 152) H. Okamura, K. Maekawa, K. Ozawa, High Performance Concrete, 1998, Gihoudou Pub., Tokyo.
- 153) J. E. Wallevik, Relationship between the Bingham parameters and slump, Cement and Concrete Research, Volume 36, 2006, pp. 1214-1221.Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J. and Rangan, B. V., "On the Development of Fly ash-Based Geopolymer Concrete", ACI Materials Journal, Vol.101, No.6, 2004, pp. 467-472.
- 154) J. Y. Petit, E. Wirquin and B. Duthoit, Influence of temperature on yield value of highly flowable micromortars made with sulfonate-based superplasticizers, Cement and Concrete Research, Volume 35, Issue 2, 2005, pp. 256-266.
- 155) L. D. Schwartzentruher, Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a Self Compacting Concrete(SCC), Cement and Concrete Research, Vol. 36, 2006, pp.

1203-1213.

- 156) Liao, X. and Gu, J., "A calorimetry study of Alkali Activated Slag", Chinese Ceramic Society, Vol.9, 1995, pp.20-25.
- 157) Luisa F. C., Cecilia C., Miquel N., Marc M.(2007) "Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings, Ron Leppers", 「Oihana Zubillaga Energy and Buildings」, Vol. 39, 113-119Maha A., Andre B., Heert S., Daniel Quenard(2006), "Thermal testing and numerical simulation of a prototype cell using light wallboards coupling vacuum isolation panels and phase change material", 「Energy and Building s」, vol.38, 673-681
- 158) Markus K., Beat L.(2004), "Development of a thermally activated ceiling panel with PCM for application in lightweight and retrofitted buildings", 「Energy and Building s」, vol. 36, 567 - 578
- 159) M. Lachemi, K. M. A. Hossain, V. Lambros, P. C. Nkinamubanzi and N. Bouzoubaa, Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 6, 2004, pp. 917-926.
- 160) M. Lachemi, K. M. A. Hossain, V. Lambros, P. C. Nkinamubanzi and N. Bouzoubaa, Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement paste, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 2, 2004, pp. 185-193.
- 161) M. Wecharatana and J. W. Liskowitz, Properties of high-performance concrete fly-ash concrete, International Conference on High-Performance concrete, SP-159, 1994, pp. 429-444.
- 162) N. Nagamoto and K. Ozawa, Mixture properties of self-compacting, high-performance concrete, International Conference on High-Performance Concrete, SP-172, 1999, pp. 623-636.
- 163) N. Su and B. Miao, A new method for the mix design of medium strength flowing concrete with low cement content, Cement and Concrete Composite, Vol. 25, Issue 2, 2003, pp. 215-222.
- 164) N. Su, K. C. Hsb and H. W. Chai, A simple mix design method for self-compacting concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 31, Issue 12, 2001, pp. 1799-1807.
- 165) N. tregger, L. Ferrara and S. P. Shah, Identifying viscosity of cement paste from mini-slump-flow test, ACI materials journal, Vol. 105, No. 6, 2008, pp. 558-566.
- 166) P. C. Aitcin, High-Performance Concrete, 1998, France, E & FN Spon.
- 167) P. C. Aitcin, The use of superplasticizers in high performance concrete, High-Performance Concrete, 1993, France, E & FN Spon.

- 168) P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro, Concrete : Microstructure, Properties and Materials, Third Edition, 2006, pp. 574–586.
- 169) S. Mindess, J. F. Young, D. Darwin, Concrete, 2003, pp. 165–190.
- 170) Shi C., Pavel V. K., and Della R., "Alkali-Activated Cements and Concretes", Taylor & Francis, 2006.
- 171) Stritih U, Novak P. (1996) "Solar heat storage wall for building ventilation", 「World renewable energy congress(WREC)」 , 268–271
- 172) T. K. Erdem, K. H. Khayat and A. Yahia, Correlating rheology of self-consolidating concrete to corresponding concrete-Equivalent mortar, ACI materials journal, Vol. 106, No. 2, 2009, pp. 154–160.
- 173) V. E. Pentalla, Effects of micro-porosity on the compression strength and freezing durability of high strength concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 41, No. 148, 1989, pp.171–181.S. A. Rizwan and T. A. Bier, Self-consolidating mortars using various secondary raw materials, ACI materials journal, Vol. 106, No. 1, 2009, pp. 25–32.
- 174) Wang. S. D., Pu, X. C., Scrivener, K. L., and Pratt, P. L "Alkali-Activated Slag Cement and Concrete:a Review of Properties and Problems", Advances in Cement Research, No.27, 1995, pp.93–102.
- 175) Wu, X., Zhu, H., Hou, X. and Li, H., "Hydration of slag cement based radioactive waste forms", Cement and Concrete Research, Vol.29, 1999, pp.1103~1106.
- 176) Y. W. Choi, Y. J. Kim, H. C. Shin, H. Y. Moon, An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 36, 2006, pp. 1595–1602.
- 177) Mills, A. F. (1995), Heat and mass transfer.
- 178) Physibel (2013), Trisco manual & pilot book.
- 179) The Freedonia Group, World Siding(Cladding), OIC, 2015.11
- 180) IMARC Services Pvt, Gypsum Board Market – Industry Trends, Manufacturing Process, Plant Setup, Machinery, Raw Materials, Cost and Revenue, 2016
- 181) EN ISO 14683 (2005), Thermal bridges in building construction– Linear thermal transmittance – Simplified methods and default values.
- 182) ISO 10211 (2013), Thermal bridges in building construction –Heat flows and surface temperature – Detailed calculations.
- 183) 1996 IPCC Guidelines for National GHG Inventories(1996)
- 184) 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories(2006)
- 185) A. M. Neville, Properties of Concrete, Fourth Edition, 1996, pp. 567–574

- 186) A. Yahia, M. Tanimura and Y. Shimoyama, Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, *Cement and Concrete Research*, Volume 35, Issue 3, 2005, pp.532-539
- 187) ANSI/ASHRAE/USGBC/IES, Standard 189.1, Standard for the Design of High-Performance Green Buildings, 2009
- 188) ASTM/AIA/ANSI/ASHRAE/USGBC/IES, International Green Construction Code, P.V. 2, 2011
- 189) B. Felekoglu, K. Tosun, B. Baradan, A. Altun, B. Uyulgan, The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self compacting repair mortars, *Cement and Concrete Research*, Volume 36, 2006, pp. 1719-1726
- 190) Bakharev. T., "Effect of elevated temperature curing on properties of alkali-activated slag concrete", *Cement and Concrete Research*, No.29, 1999, pp.1619-1625
- 191) BREEAM office 2005, Building Research Establishment Ltd, 2005
- 192) Bribian IZ, Uson AA, Scarpellini S. Life cycle assessment in buildings: state-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment* 2009;44:818-25
- 193) Bribian IZ, Uson AA, Scarpellini S. Life cycle assessment in buildings: state-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment* 2009;44:818-25
- 194) C. L. Hwang and M. F. Hung, Durability design and performance of self-consolidating lightweight concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 19, 2005, pp. 619-626
- 195) D. Streimikiene, S. Girdzijauskas. Assessment of post-Kyoto climate change mitigation regimes impact on sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13:129-41
- 196) D. Streimikiene, S. Girdzijauskas. Assessment of post-Kyoto climate change mitigation regimes impact on sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13:129-41
- 197) Douglas E., Bilodeau A., Brandstetr J. and Malhotra V. M., "Alkali Activated Ground Granulated Blast-furnace Slag Concrete:Preliminary Investigation", *Cement and Concrete Research*, Vol.21, 1991, pp.101-108
- 198) Environmental Impact Assessment & Whole Life Cost. <http://www.envest2.bre.co.uk>.
- 199) EU-ETS, 온실가스 배출량 모니터링 보고 가이드라인(2007)
- 200) F. A. and P. F., "Alkali-Activated Slag Cements: Kinetic Studies", *Cement and Concrete Research*, Vol.27, No.3, 1997, pp.359-368

- 201) fib, Environmental design of concrete structures – general principles, bulletin 47, 2008
- 202) fib, Environmental design of concrete structures – general principles, bulletin 47, 2009
- 203) fib, Environmental design, bulletin 28, 2004, pp.74
- 204) H. Okamura, K. Maekawa, K. Ozawa, High Performance Concrete, 1998, Gihoudou Pub., Tokyo
- 205) H. Okamura, Self-Compacting High Performance Concrete, 1999, Social System Institute, Tokyo
- 206) Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M. J. and Rangan, B. V., "On the Development of Fly ash-Based Geopolymer Concrete", ACI Materials Journal, Vol.101, No.6, 2004, pp. 467-472
- 207) International Standard ISO 14025: Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures
- 208) International Standard ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, 2006
- 209) International Standard ISO 14044: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines, 2006
- 210) International Standard ISO 14064-1:2006: Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals
- 211) International Standard ISO 14064-2:2006: Greenhouse gases – Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements
- 212) International Standard ISO 14064-3:2006: Greenhouse gases – Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions
- 213) International Standard ISO 14065:2007: Greenhouse gases – Requirements for greenhouse gas validation and verification bodies for use in accreditation or other forms of recognition
- 214) International Standard ISO 21930:2007: Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products
- 215) International Standard ISO 21931-1:2010: Sustainability in building construction – Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works – Part 1: Buildings
- 216) International Standard ISO/TS 14048:2002: Environmental management – Life cycle

assessment - Data documentation format

- 217) IPCC, 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인, 2006
- 218) ISO 13315-1, Environmental Management of Concrete and Concrete Structures - General principles, International Standard, Geneva, Switzerland, 2012
- 219) ISO 14001, Environmental management systems - requirements with guidance for use, International Organization for Standardization, 2nd ed., Geneva, Switzerland, 2004
- 220) ISO 14040 : 2006 Environmental Management-Life Cycle assessment- principles and framework, 2006
- 221) ISO 21930, Sustainability in building construction-Environmental declaration of building products, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2007
- 222) ISO TC 59/SC17 CD 21929 Sustainability indicators
- 223) ISO TC 59/SC17 CD 21931 Framework for assessment of environmental performance of buildings
- 224) ISO TC 59/SC17 CD 21932 Terminology
- 225) ISO TC 59/SC17 CD21930 Environmental declaration of building products
- 226) ISO/DIS 13315-1, Environmental management of concrete and concrete structures - general principles, Geneva, Switzerland, 2010.
- 227) ISO/DIS 13315-2, Environmental management of concrete and concrete structures - system boundaries, Geneva, Switzerland, 2010.
- 228) ISO/WD 13315-2, Environmental Management of Concrete and Concrete Structures - System boundary and inventory data, Draft International Standard, Geneva, Switzerland, 2012.
- 229) J. E. Wallevik, Relationship between the Bingham parameters and slump, Cement and Concrete Research, Volume 36, 2006, pp. 1214-1221.
- 230) J. Y. Petit, E. Wirquin and B. Duthoit, Influence of temperature on yield value of highly flowable micromortars made with sulfonate-based superplasticizers, Cement and Concrete Research, Volume 35, Issue 2, 2005, pp. 256-266.
- 231) Jong-Jin Kim, Breanda Rigdon, Sustainable Architecture Module: Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials, National Pollution Prevention Center for Higher Education, 1998
- 232) JSCE, Recommendation of Environmental Performance Verification for Concrete Structures (draft), JSCE Guidelines for Concrete No. 7, 2006.
- 233) K. Sakai 외 Task Group 3.3 위원 (2004) FIB State-of-the-Art Report on

Environmental Design, ISSN 1562-3610, ISBN 2-88394-068-1, Published by Sprint-Digital-Drunk, Stuttgart, Germany

- 234) Kang-Hee Lee, Chang-U Chae, An Estimation Method of the Life-Cycle Energy and CO₂ of Buildings, 3rd International Symposium on Architectural Interchanges in Asia, 2000
- 235) Kawai, K., Sugiyama, T., Kobayashi, K., and Sano, S., "Inventory data and case studies for environmental performance evaluation of concrete structure construction," Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 3, No. 3, pp. 435~456, 2005.
- 236) Kenji Kawai, "Environmental Impact Evaluation of Concrete", 한국콘크리트학회 2010년 봄 학술대회 특별강연, 2010. 5
- 237) Koji SAKAI and Kenji KAWAI, "JSCE Guidelines for Concrete No.7; Recommendation of Environmental Performance Verification for Concrete Structures (Draft)", JSCE, 2006
- 238) Koji Sakai and Kenji Kawai, "Recommendation of Environmental Performance Verification for Concrete Structures (Draft)," JSCE Guidelines for Concrete No.7, JSCE, 2006.
- 239) L. D. Schwartzentruber, Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a Self Compacting Concrete(SCC), Cement and Concrete Research, Vol. 36, 2006, pp. 1203-1213.
- 240) LCA In Sustainable Architecture. <http://www.lisa.au.com>
- 241) LCA In Sustainable Architecture. <http://www.lisa.au.com>
- 242) LCI 데이터베이스 표준지침서, 환경부, 2003. 5.
- 243) LEED-NC v2.1 Reference Guide, United States Green Building Council(USGBC), 2005
- 244) Li Z. A new life cycle impact assessment approach for building. Building and Environment 2006;41:1414-22
- 245) Li Z. A new life cycle impact assessment approach for building. Building and Environment 2006;41:1414-22
- 246) Liao, X. and Gu, J., "A calorimetry study of Alkali Activated Slag", Chinese Ceramic Society, Vol.9, 1995, pp.20-25.
- 247) M, A, Curran, P, Notten, Summary of global life cycle inventory data resources, SETAC/UNEP Life Cycle Initiative, 2006
- 248) M. Lachemi, K. M. A. Hossain, V. Lambros, P. C. Nkinamubanzi and N. Bouzoubaa, Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement paste, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 2,

- 2004, pp. 185-193.
- 249) M. Lachemi, K. M. A. Hossain, V. Lambros, P. C. Nkinamubanzi and N. Bouzoubaa, Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 6, 2004, pp. 917-926.
 - 250) M. Wecharatana and J. W. Liskowitz, Properties of high-performance concrete fly-ash concrete, International Conference on High-Performance concrete, SP-159, 1994, pp. 429-444.
 - 251) N. Nagamoto and K. Ozawa, Mixture properties of self-compacting, high-performance concrete, International Conference on High-Performance Concrete, SP-172, 1999, pp. 623-636.
 - 252) N. Su and B. Miao, A new method for the mix design of medium strength flowing concrete with low cement content, Cement and Concrete Composite, Vol. 25, Issue 2, 2003, pp. 215-222.
 - 253) N. Su, K. C. Hsb and H. W. Chai, A simple mix design method for self-compacting concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 31, Issue 12, 2001, pp. 1799-1807.
 - 254) N. tregger, L. Ferrara and S. P. Shah, Identifying viscosity of cement paste from mini-slump-flow test, ACI materials journal, Vol. 105, No. 6, 2008, pp. 558-566.
 - 255) P. C. Aitcin, High-Performance Concrete, 1998, France, E & FN Spon.
 - 256) P. C. Aitcin, The use of superplasticizers in high performance concrete, High-Performance Concrete, 1993, France, E & FN Spon.
 - 257) P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro, Concrete : Microstructure, Properties and Materials, Third Edition, 2006, pp. 574-586.
 - 258) PRESCO WP2. Inter-comparison and Benchmarking of LCA-based Environmental Assessment and Design Tool Final Report; 2005
 - 259) PRESCO WP2. Inter-comparison and Benchmarking of LCA-based Environmental Assessment and Design Tool Final Report; 2005.
 - 260) S. A. Rizwan and T. A. Bier, Self-consolidating mortars using various secondary raw materials, ACI materials journal, Vol. 106, No. 1, 2009, pp. 25-32.
 - 261) S. Mindess, J. F. Young, D. Darwin, Concrete, 2003, pp. 165-190.
 - 262) Sakai, K., "Environmental Design for Concrete Structures," Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 3, No. 1, 2005, pp. 17~28.
 - 263) Seo, S. W. and Hwang, Y. W., Estimation of CO2 Emission in Life Cycle of Residential Buildings, Journal of Construction Engineering and Management, 2001, pp.414~418.
 - 264) SETAC, A Conceptual Framework For Life-Cycle Imapct Assessment, 1993

- 265) SETAC, A Technical Framework for Life-Cycle Assessment, 1991
- 266) Shi C., Pavel V. K., and Della R., "Alkali-Activated Cements and Concretes", Taylor & Francis, 2006.
- 267) Sungho Tae, and Jeehwan Woo, The Technology and Policy for Sustainable Building and Urban In South Korea, Sustainable Building Technology and Urban Development, 2010.
- 268) Sungho Tae, and Jeehwan Woo, The Technology and Policy for Sustainable Building and Urban In South Korea, Sustainable Building Technology and Urban Development, 2010.
- 269) Sungho Tae, Sungwoo Shin, Jeehwan Woo, Seungjun Roh, The Development of Apartment House Life Cycle CO2 Simple Assessment System Uenng Standard Apart- ment Houses of South Korea, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2010
- 270) Sungho Tae, Sungwoo Shin, Jeehwan Woo, Seungjun Roh, The Development of Apartment House Life Cycle CO2 Simple Assessment System Uenng Standard Apart- ment Houses of South Korea, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2010
- 271) T. K. Erdem, K. H. Khayat and A. Yahia, Correlating rheology of self-consolidating concrete to corresponding concrete-Equivalent mortar, ACI materials journal, Vol. 106, No. 2, 2009, pp. 154-160.
- 272) V. E. Pentalla, Effects of micro-porosity on the compression strength and freezing durability of high strength concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 41, No. 148, 1989, pp.171-181.
- 273) Wang. S. D., Pu, X. C., Scrivener, K. L., and Pratt, P. L "Alkali-Activated Slag Cement and Concrete:a Review of Properties and Problems", Advances in Cement Research, No.27, 1995, pp.93-102.
- 274) WRI/WBCSD, The Greenhouse Gas Protocol, WRI/WBCSD, Revised edition(2004)
- 275) Wu, X., Zhu, H., Hou, X. and Li, H., "Hydration of slag cement based radioactive waste forms", Cement and Concrete Research, Vol.29, 1999, pp.1103~1106.
- 276) Y. W. Choi, Y. J. Kim, H. C. Shin, H. Y. Moon, An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 36, 2006, pp. 1595-1602.
- 277) 강혜진 외, 공동주택 건축자재의 친환경성능평가에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 Vol.27 No.1, 2007
- 278) 강혜진, 강수연, 박진철, 이언구, ZEB디자인 프로세스에 관한 연구, 한국태양에너지학회

논문집, 30권, 2호, 2010. pp.39~45.

- 279) 건설교통부, “건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구”, 최종보고서, 2004
- 280) 건설교통부, 건축물의 LCA를 위한 원단위작성 및 프로그램 개발 연구, 한국건설기술연구원, 2004.
- 281) 국토해양부, [Green-up 30] (별권 1) 탄소저감형 건설재료 기술개발 기획보고서, 한국건설기술연구원, 2011
- 282) 국토해양부, 2010 국토해양 R&D 발전전략, 2010
- 283) 국토해양부, 건설기술의 녹색성장 실행계획 (제2009-35호), 2009
- 284) 국토해양부, 건축물에너지절약 설계기준 개정 (제2008-652호), 2008
- 285) 국토해양부, 친환경 주택의 건설기준 및 성능(제2010-421호), 2010
- 286) 권석현 외 3명, LCI DB를 활용한 해체공사 환경경제성 평가, 한국건설관리학회, 2008
- 287) 권석현, 김경주, 김병수, 김상범, LCI DB를 활용한 해체공사환경경제성 평가, 한국건설관리학회, 2008
- 288) 권석현, 김경주, 김병수, 김상범, LCI DB를 활용한 해체공사환경경제성 평가, 한국건설관리학회, 2008.
- 289) 권영호, 병용계 고유동 콘크리트의 배합설계 요인 및 공학적 특성에 관한 연구, 충남대학교 대학원 박사학위논문, 2001.
- 290) 김상용 외, “환경전과정평가”, 시그마프레스, 1993
- 291) 김상철, 엄태용, 배합조건에 따른 고유동콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제 7권 1호, 1995, pp. 19-24.
- 292) 김성우, 정종식, 문정민, 정기석, 노재동, 정재우, “전과정평가분석도구”, 한국전과정평가학회 연구논문집, 2001. 11.
- 293) 김용직, 최연왕, 김영진, 경량골재를 사용한 자기충전 콘크리트의 건조수축률 예측, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, Vol. 20, No. 2, 2008, pp.341-344.
- 294) 김용직, 최연왕, 문한영, 경량골재 밀도에 따른 자기충전콘크리트의 배합설계, 대한토목학회 논문집, 제 25권, 제 2A호, 2005, pp. 455-462.
- 295) 김윤용, 저탄소 녹색건설산업을 위한 친환경 건설재료의 개발 및 적용, 한화건설 기술지, 2009
- 296) 김익, 허탁, 전과정평가 기법을 적용한 국내 주요 플라스틱에 대한 환경영향 분석, 전과정평가 논문집, 2002. 12.
- 297) 김익, 환경경영 국제표준화 동향과 산업계 대응, 대한상공회의소
- 298) 김종엽, 이승언, 손장열, 공동주택 신축단계에서의 에너지소비 및 CO2 배출 특성 평가, 대한건축학회논문집(계획계), 21권 4호, 2005.
- 299) 녹색성장위원회, 녹색성장 5개년계획(2009~2013), 2009. 7.

- 300) 녹색성장위원회, 녹색성장 국가전략, 2009
- 301) 녹색성장위원회, 중점녹색기술개발 전략, 2009. 5
- 302) 문한영, 최연왕, 김용직, 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 온수양생법에 의한 강도 추정, 대한토목학회 논문집, 제 21권, 제 6-A호, 2001, pp. 967-976.
- 303) 문한영, 최연왕, 김용직, 열수양생법에 의한 고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 강도 추정, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 16, No. 1, 2004, pp. 102-110.
- 304) 미국 EPA, Mandatory Reporting of Greenhouse Rule(2009)
- 305) 박광호외 3인, 고속도로의 수명주기에 따른 환경부하 평가, 대한토목학회 논문집 제3회-D호 2000년 5월
- 306) 박광호외 3인, 고속도로의 수명주기에 따른 환경부하 평가, 대한토목학회 논문집 제3회-D호 2000년 5월
- 307) 박상숙, 강화영, 한관수, "알칼리 활성반응을 이용한 플라이애쉬/슬래그 시멘트 개발(1)-압축강도 및 산 저항성-", 대한환경공학회지 29권 7호, 2007, pp.801-809.
- 308) 박종일, 성지현, 양인목, "Environmental Performance Evaluation and Verification Programs for Sustainable Development", 한국전과정평가학회 연구논문집, 2003. 12.
- 309) 산업자원부, "전문경영시스템 인증제 도입 기반 구축 산업기술기반조성에 관한 보고서", 2003. 8.
- 310) 산업자원부, "환경친화 제품설계를 위한 DfE 기술 개발", 2003. 3.
- 311) 산업자원부, "환경친화적 산업기반 구축을 위한 환경경영 표준화사업", 2003. 9.
- 312) 손우진, 강혜정, 이연구, 친환경 건축물의 LCA 평가도구 비교분석 연구, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, 2009.
- 313) 송진규, 양근혁, 김건우, 김병조, "고로슬래그와 나트륨계열 활성화제를 이용한 무시멘트 모르타르의 특성", 대한건축학회 논문집, 26권, 6호, 2010, pp.61-68.
- 314) 신동희, 권은선, 정종연, 문승식, 허진호, LCA 기법을 적용한 제품의 우선순위 선정 방법론, 한국전과정평가학회 연구논문집, 2003. 12.
- 315) 신성우, '국내친환경건축방향', 2007년도제1차친환경건축물성능평가와설계기술, 2006, pp.3~25.
- 316) 신성우, 지속가능한 초고층건축산업 방향, 제11차한국초고층건축포럼-초고층사회의기술변화와한국경쟁력, 2009, pp.3~20.
- 317) 신성우, 태성호, 저탄소 녹색성장을 위한 지속가능건축·도시환경산업기술과 정책, 콘크리트학회지제21권4호, pp.28~34.
- 318) 신인중, "일본의 친환경건축물 평가시스템의 소개", 설비/공조·냉도·위생, 11월, 2004, pp.58~64.
- 319) 실내 환경평가의 사례분석을 통한 국내외 친환경건축물 인증제도의 비교분석연구, 대한건축학회논문집계획계, 제23권 제8호, pp.229~236.

- 320) 안상기, 김상철, 엄태용, 최수홍, 이두재, 고유동콘크리트 개발 및 실용화를 위한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제 8권 1호, 1996, pp. 42-47.
- 321) 양근혁, 송진규, "알칼리 활성화화를 이용한 무시멘트 콘크리트의 구조성능 및 적용", 콘크리트학회지, 19권, 2호, 2007, pp.42-48.
- 322) 에너지관리공단, 기업 온실가스 배출량 산정 지침(2006)
- 323) 오수호, "국내외 친환경건축물 인증제도 및 사례", 2007년도 제1차 친환경건축물 성능평가와 설계기술, 2006년, pp.38~70.
- 324) 유영호, 친환경 저에너지 건축기술, 녹색기술정보포털, 2010.9.7.
- 325) 윤영채 외, 지구온난화 방지를 위한 실효적 방안 연구, 사회과학연구 Vol.20 No.1, 2009
- 326) 윤영채 외, 지구온난화 방지를 위한 실효적 방안 연구, 사회과학연구 Vol.20 No.1, 2009
- 327) 이강희, 공동주택 건설공사에서의 공중에 대한 LCA 적용 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 19권, 2호, 2003.
- 328) 이강희, 양재혁, 주요 건축자재의 에너지 소비와 이산화탄소배출 원단위 산정 연구, 대한건축학회논문집 계획계 제25권 제6호, pp. 43~50, 2009.06
- 329) 이강희, 양재혁, 주요 건축자재의 에너지 소비와 이산화탄소배출 원단위 산정 연구, 대한건축학회논문집 계획계 제25권 제6호, pp. 43~50, 2009.06.
- 330) 이보삼, 노재동, 이건모, "제품의 환경성 표시/인증을 위한 표준화(Type III 프로그램)", 한국전과정평가학회 연구논문집, 1999. 11.
- 331) 이보삼, 정재우, 박종일, "National Life Cycle Inventory Database Project", 한국전과정평가학회 연구논문집, 2003. 12.
- 332) 이시영외 3인, 전과정평가(LCA)를 이용한 공공시설물에서의 환경부하량에 따른 환경영향평가에 관한 연구 -S-댐 비상여수로 건설사업 사례연구-, 대한토목학회 기술기사 제5권 제5호 2008년 5월
- 333) 이시영외 3인, 전과정평가(LCA)를 이용한 공공시설물에서의 환경부하량에 따른 환경영향평가에 관한 연구 -S-댐 비상여수로 건설사업 사례연구-, 대한토목학회 기술기사 제5권 제5호 2008년 5월
- 334) 이홍석, 건축물 폐기단계에서 에너지소비량과 이산화탄소 발생량에 관한 기초 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 2001.12
- 335) 이홍석, 건축물 폐기단계에서 에너지소비량과 이산화탄소 발생량에 관한 기초 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 2001.12
- 336) 일본 JVETs, 모니터링 및 보고 가이드라인 Ver. 3.1(2009)
- 337) 日本建築學會 建築と地球環境特別委員會, 建築が地球環境に与える影響, 1992
- 338) 日本建築學會, 鐵筋コンクリート 콘크리트造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説, 2008, 133 pp.
- 339) 일본건축학회, 철근콘크리트조 건축물의 환경배려 시공지침(안), 2008

- 340) 정영선, 주거건물의 전과정에 따른 이산화탄소 배출량 예측모델에 관한 연구. 학위논문 (박사) 서울시立大學校 大學院 : 建築工學科.), 2010.
- 341) 정재우, 박종일, 노재동, 이보삼, "Development of LCA Software "KAB LCA", 한국전과정평가학회 연구논문집, 2002. 11.
- 342) 정재우, 이보삼, 노재동, "비교가능성을 고려한 제품(냉장고)의 LCA 수행을 위한 연구", 한국전과정평가학회 연구논문집, 2001. 11.
- 343) 정종연, 위영철, 허진호, 문승식, 김만영, 전과정 목록분석 정보망의 역할 및 활용극대화 방안, 전과정평가 논문집, 2002. 12.
- 344) 조대연, 건설교통분야의 미래유망 녹색기술. 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집. 2009, pp 151-152).
- 345) 조병완, 박민석, 박승국, "알칼리 활성화에 의한 플라이애쉬 모르타르의 강도 발현 및 경화 메커니즘", 한국콘크리트학회 논문집, Vol.18, No.4, 2006, pp.449-458.
- 346) 지식경제부, 에너지목표관리 계획서 및 실적보고 작성 지침서(2010)
- 347) 채창우, 건설재료의 환경친화성 평가와 가치공학적 개념의 도입, 건설기술정보지, 1999. 2
- 348) 채창우, 건축재료의 친환경적 사용을 위한 방안, 건설기술인 2002. 1
- 349) 채창우, 건축재료의 환경친화성 평가방법에 대한 고찰, 주공하우진 2004. 2
- 350) 채창우, 서치호, "건축자재의 환경친화성 평가방법에 관한 연구" 대한건축학회 논문집, 2000. 12
- 351) 채창우, 친환경 건축물 관련 국제규격 제정 현황, 설비공학, 2003. 10
- 352) 한국건설교통기술평가원, 건설교통 미래핵심기술 수준조사·분석 연구 보고서, (주)리서치랩, 2011
- 353) 한국건설교통기술평가원, 건축물의 LCA(Life Cycle Assessment)를 위한 원단위작성 및 프로그램개발연구, pp.79~109, 2004.12
- 354) 한국건설기술연구원, 건축물 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구, 2002~2004
- 355) 한국건설기술연구원, 건축물 환경성능 인증제도 도입방안, 환경부, 1999
- 356) 한국건설기술연구원, 건축자재 환경성정보 국가 DB 구축사업 중간보고서, 2007
- 357) 한국건설기술연구원, 건축자재 환경성정보 국가 DB 구축사업 최종보고서, 2008
- 358) 한국건설기술연구원, 기후변화협약 대응 건축물 에너지절약 중장기대책 연구, 건설교통부, 1999
- 359) 한국건설기술연구원, 친환경 건축물 인증기준 작성 연구 -공동주택, 주상복합, 사무소-, 환경부, 2003~2004
- 360) 한국건설기술연구원, 친환경 건축물 인증심사 기준 개선 및 인증제도 활성화 방안 연구, 국토해양부, 2009

- 361) 한국건설기술연구원, 친환경 건축자재 평가 및 순환재활용 기술, 2000
- 362) 한국건설기술연구원, 친환경 건축자재 평가기법 제도화 방안 연구, 2001
- 363) 한국건설기술연구원, 친환경건축자재 평가 및 순환재활용기술, 2000
- 364) 한국건설기술연구원, 한옥 환경성 평가 및 한옥건축 활성화 추진방안 연구, 국토해양부, 2010
- 365) 한국건자재시험연구원, 전력산업연구개발 사업계획서, 2007, pp.41-42
- 366) 한국과학기술원, 국토해양기술연구개발계획서, 2011, pp.43
- 367) 한국생산기술연구원 국가청정생산지원센터, "국가 LCI Database 구축 방법론 및 관리 • 보급확산 방안", 2004. 12.
- 368) 한국인정원, "ISO 전문 분야별 경영시스템 사례집", 2003. 8.
- 369) 한국인정원, "ISO 전문 분야별 인증제도 동향", 2003. 8.
- 370) 한국인정원, "공공부문의 환경경영시스템(ISO 14001)", 2003. 10.
- 371) 한국콘크리트학회, 콘크리트와 환경, 한국콘크리트학회 친환경콘크리트위원회, 2010
- 372) 한국환경산업기술원, 국가 LCI 데이터 베이스.(www.edp.or.kr/lcidb)
- 373) 한국환경산업기술원, 탄소성적표지 작성지침, 2009
- 374) 한귀현, 환경법상 배출권거래제도에 관한 연구, 공법학연구 Vol.9 No.2, 2006
- 375) 한영수, 복원 아스팔트 포장에 활용되는 재생재료의 LCA, 한국과학기술정보연구원
- 376) 한영수, 복원 아스팔트 포장에 활용되는 재생재료의 LCA, 한국과학기술정보연구원
- 377) 허탁, 안중우, 정재춘, 전과정평가의 기본원리, 한국경영자총협회, 1995
- 378) 환경부, LCI 데이터베이스 표준지침서, 2003. 5
- 379) 환경부, 배출권 거래제 시범사업 배출량 산정/보고 가이드라인(2009)
- 380) 환경부, 지자체 온실가스 배출량 산정지침(2010)
- 381) 환경부, 탄소성적표지 인증업무 등에 관한 규정, 환경부고시 제2009-10호, 2009.2.2.
- 382) 환경부, 환경성적표지 공통기준 개발, 2003. 5
- 383) 환경성적표지제도 길라잡이, 환경부 • 환경마크협회 • 환경관리공단 • 환경보전협회, 2004.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 건설기술연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발 성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.