

환경부하 저감형 LCA(Life Cycle Assessment) 기반 설계 및 시공 기술 개발 기획

2014 . 4. 25.

주관연구기관 / 중앙대학교
공동연구기관 / (주) 도명이엔씨

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

귀 진흥원과 계약체결한 “ 환경부하 저감형 LCA(Life Cycle Assessment) 기반 설계 및 시공기술 개발 기획 ” 과제를 완료하고 보고서로 제출합니다.

2014 . 04 . 25

중앙대학교 산학협력단장 김원용

자문 위원

참여 연구원

- 주관 연구책임자
 - 중앙대학교 김경주 교수
- 공동 연구책임자
 - 권석현 대표이사
- 참여연구원
 - 중앙대학교 박사과정 윤원건
 - 중앙대학교 박사과정 이주현
 - 중앙대학교 석사과정 김인겸
 - 도명이앤씨 이정희 소장
 - 도명이앤씨 김상범 이사
 - 도명이앤씨 김민지 과장

- 강남대학교 윤준선 교수
- 경북대학교 김병수 교수
- 경북대학교 이동은 교수
- 경상대학교 강인석 교수
- 기획재정부 이철규 사무관
- 디투엔지니어링 이성욱 부사장
- 서울과학기술대학교 김성근 교수
- 서울연구원 권용훈 조사2팀장
- 세명대학교 손창백 교수
- 세종대학교 김한수 교수
- 연세대학교 고광백 교수
- 인하대학교 김영석 교수
- 평화엔지니어링 김명수 상무
- 한국건설기술연구원 이유섭 선임위원
- (주)글로텍 이재홍 팀장
- GS건설 기술연구소 김경민 선임연구원
- LH공사 토지주택연구원 김효진 연구위원

요 약 문

I. 제 목

환경부하 저감형 LCA(Life Cycle Assessment)기반 설계 및 시공기술 개발 기획

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

- 환경부하 저감형 LCA(Life Cycle Assessment)기반 설계 및 시공기술 개발을 위한 기술 전략을 수립하여 해당 핵심기술의 발전 정도를 예측하고 검토함으로써 핵심기술 분야의 미래 비전을 도출하고, 이를 달성하기 위한 기술적 대안의 단계별 기술개발 이정표를 제시하여 지속가능한 발전을 위한 친환경 SOC 건설 구현을 위한 기반을 조성하고자 함.

2. 연구의 필요성

- 전 세계적인 문제로 지구온난화 문제가 떠오르고 있으며, 주요 선진 국가에서 온실가스 저감을 위하여 국가별로 관련법 제정과 함께 감축목표를 세우고 해당부처마다 CO₂ 배출량을 감축하기 위한 정책 및 투자계획을 수립하고 추진 중에 있음.
- 국내 전체 탄소배출량 중 건설부문(산업분야 내 건설업, 건물분야 등 포함)이 약 21.2%로 높은 비중을 차지하고 있음. 건설 산업은 온실가스 배출, 에너지소비, 오염물질 유발 등 환경오염원인의 주범이 되는 산업으로 사업장의 배출규제가 강화될 것에 대비하여 사업추진단계에서 발생하는 환경부하량의 정량화 및 평가체계를 구축할 필요가 있음.
- 경제적 논리가 중시되어 환경적인 영향에 대한 고려가 미흡한 채 추진되던 과거 개발사업에서, 지속가능한 개발이라는 시대적 패러다임의 변화에 대응하기 위해 건설사업의 환경적 영향을 고려하고 이를 반영하는 다면적이고 종합적인 평가에 대한 사회적 요청이 커지고 있음.
- 에너지 다소비업종 중 하나인 건설 관련 공사의 효율적인 에너지 절약에 대한 필요성이 증대되고 있는 것이 현실이며, 이에 지속가능한 개발을 전제로

한 국제적 환경규제 및 국가별 환경정책의 변화에 대응하기 위해 주요 선진국에서는 환경정책 수립 시 의사결정 지원을 위한 다양한 환경평가기법이 활용되고 있으며 오염배출의 최소화, 폐기물 재활용 및 자원화, 공정의 환경친화성 향상 등의 목적을 종합적으로 지원하도록 노력하고 있음.

- 건설 분야의 탄소배출과 에너지 소비를 줄이기 위하여 시설물 유형별, 공종별, 건설사업 단계별로 이산화탄소 발생량과 에너지 사용량에 대한 사전예측을 통한 평가 및 통제하기 위한 방법론 구축이 시급함.
- 건설사업의 경제성, 환경성 등 다양한 지표들을 결정하고 사업 대안을 평가하여야하는 중요한 단계인 기획, 기본설계, 실시설계 초기단계에서 제한된 정보들만으로 사업의 환경부하량 및 환경경제성을 평가할 수 있는 평가 방법론 개발 및 관련 DB구축을 위한 지원 연구가 필요함.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 국내·외 동향 및 환경 분석
 - 해외 주요 각국 및 국내 환경 관련 정책 동향 분석을 실시하여 기획과제의 필요성을 부각함.
 - 기술적용 대상 시설물의 시장현황을 분석하기 위해 국내·외 SOC시장현황을 조사하였으며, 국내·외 환경 시장현황 조사를 통해 관련 기술들의 대상 시장에 대한 전망을 분석함.
 - 특허 및 논문, 관련 기술의 연구개발 현황 분석을 통해 국내 관련 기술 수준을 살펴보고, 본 연구와 기존 기술과의 차별성을 제시하였음.
- 연구개발과제 구성 및 추진전략 제시
 - 연구의 비전 및 목표를 제시하고, 본 연구의 핵심기술요소(CTE)를 제시하고, 핵심기술요소별 기술성숙도(TRL)의 단계별 목표 및 최종 목표를 제시하여 성공적인 연구수행을 위한 체계를 수립하고자 함.
 - 연구개발 과제의 구성 및 세부목표별 주요 연구내용과 연구의 추진전략을 제시하고, 기술로드맵 및 성과로드맵을 제시함.
- 사전 타당성 검토
 - 국가 전략적 중요성 및 상위계획과의 부합성에 대한 분석을 실시하여 정책적 타당성을 검토하였음.

- 기술개발 계획의 적정성, 기존 연구와의 중복성 및 연계성, 기술 수준 및 개발 성공가능성에 대한 분석을 통해 기술적 타당성 검토를 수행하였으며, 본 연구에 대한 경제적 타당성 검토 역시 수행하였음.
- 연구 소요 예산 · 인력투입 계획 및 과제 제안 요구서(RFP) 작성
 - 연구 내용 및 연구기간에 따른 소요예산과 인력투입 계획을 제시하였음.
 - 설정된 연구 목표와 내용, 추진전략 등을 바탕으로 과제 공모를 위한 RFP를 작성함.

IV. 연구개발결과

- 국내·외 동향 및 환경 분석 제시
 - 국내·외 정책 동향 및 연구의 발전 방향을 살펴보면, 건설 분야의 저탄소·저에너지·환경부하 저감 등을 위한 다양한 정책 등이 시행되고 있으며 이를 위한 기술 개발 연구도 추진 및 계획되고 있음.
 - 시장동향 분석 결과, 저탄소·친환경 기술의 수요가 증가할 것으로 전망되며, 기술 수준 조사 결과 국내 관련 기술의 수준은 다소 미흡한 것으로 나타나 정부 주도 및 지원 하에 기반 기술 개발을 통한 기술 경쟁력 확보가 시급함.
- 주요 연구개발 목표 및 내용
 - 본 연구의 비전은 ‘지속가능한 발전을 위한 친환경 SOC 건설 구현’이며, 연구개발 목표는 환경부하 저감형 SOC 시설물의 설계를 지원하기 위한 의사결정 시스템 개발 및 관련 인프라 구축을 통한 종합적인 환경부하 평가업무의 기반을 조성하는 것임.
 - 이를 위해 ‘SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 의사결정 시스템’을 개발하고자 하며, 주요 연구내용으로는 ‘도로시설물의 환경부하 평가모델 개발’, ‘교량 및 터널 시설물의 환경부하 평가모델 개발’, ‘네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발’임.
 - 본 연구의 추진전략으로는 신뢰할 수 있는 평가모델과 DB 구축 추진, 타 시설물로의 확장 가능성을 고려한 연구개발 추진, 환경가치와 경제가치를 고려한 사회과학적 접근을 통한 다면적이고 종합적인 환경부하 평가방법

마련, 연구성과의 적극적인 활용 유도 등을 제시함.

○ 연구개발 기간 및 예산

- 총 연구개발기간 : 2014년 ~ 2017년 (총 3년)
- 총 정부출연금 : 3,400백만원

V. 연구개발결과의 활용계획

○ 대형 개발사업의 사전설계 단계부터 환경성을 평가할 수 있는 도구 및 의사결정 시스템으로 활용

- 기획 단계에서부터 환경부하량을 산정함으로써, 최적의 친환경적 설계기법 도출
- 각 설계 대안별 환경성을 사전에 평가함으로써 시행착오에 따른 제반비용 절감이 가능하도록 시스템 지원
- 친환경적인 설계 평가 시스템을 도출하여 기본 설계 단계에서 객관적인 환경성 평가 솔루션 제시

○ 사업의 수행 단계별 환경부하량 추정을 위한 일관성 있는 기준 제시

- 발주처 차원에서는 정부 및 지방자치단체에서, 보다 신뢰성 있는 신규사업의 환경성 개선평가 업무에 활용
- 시공사 측면에서는 신규사업의 타당성 분석 및 대안 평가 등의 업무에 활용하기 위하여 내부 사업실행 실적의 데이터베이스화에 필요한 기초모델로 활용

○ 본 연구를 통해 개발된 SOC 시설물의 LCI DB 표준화 모델 및 연계 시스템은 SOC 시설물의 표준 공종 code 및 통합 LCI DB 연계를 통해 국가 차원에서의 건설사업 통합 LCI DB 연계 및 관리 가능

- 환경부, 지식경제부 등 국가 차원에서의 SOC 시설물에 대한 표준 LCI DB 연계 기술을 제공함으로써, 시공사 및 설계사, 엔지니어링 업체 등 관련 기업체에서 기본 및 상세설계별 환경적인 개선요인 도출, 초기 기획단계에서 다양한 대안들을 선정하는데 의사결정 기준으로 활용

○ 네트워크 환경을 고려한 환경성능 평가 지표 및 환경부하 평가 방안은 향후 환경오염 저감을 위한 국가 통합 목표 관리 등에 정책적으로 활용 가능

목 차

제 1 장 기술의 정의 및 필요성	1
1.1. 연구개요	1
1.2. 기술의 정의	2
1.3. 과제추진 필요성	2
1.3.1. 산업·경제적 측면	2
1.3.2. 사회·환경적 측면	3
1.3.3. 기술적 측면	5
제 2 장 국내·외 동향 및 환경 분석	8
2.1. 국내·외 정책동향	8
2.1.1. 국내 정책동향	8
2.1.2. 국외 정책동향	12
2.2. 국내·외 시장현황	25
2.2.1. 국내·외 SOC 시장현황	25
2.2.2. 국내·외 환경 시장현황	32
2.3. 기술동향 분석	40
2.3.1. 관련 기술개발 동향	40
2.3.2. 특허동향분석	66
2.3.3. 논문동향분석	73
2.3.4. 기존 기술과의 차별성	77
2.4. 기술수준조사	79
2.4.1. 기술 기능 전개	79
2.4.2. 요소기술 분석	80

2.4.3. 기술수준 분석	81
2.5. 종합분석	83

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략 86

3.1. 비전 및 목표	86
3.2. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표	87
3.2.1. 핵심기술요소(CTE) 도출	87
3.2.2. 핵심기술요소(CTE) 선정	87
3.2.3. 핵심기술요소(CTE) 목록	89
3.2.4. 연구개발내용 구성	90
3.2.5. 기술성숙도(TRL) 단계별 목표	91
3.3. 연구개발과제 구성	93
3.4. 세부목표별 주요 내용 및 추진전략	94
3.4.1. 연구개발 내용	94
3.4.2. 연구개발 추진전략	95
3.5. 기술로드맵 및 성과로드맵	96
3.5.1. 기술로드맵	96
3.5.2. 성과로드맵	97
3.6. 성과의 활용방안	98
3.6.1. 최종성과물 및 성과지표	98
3.6.2. 연차별 성과목표	99
3.6.3. 기술수요처 및 실용화 방안	99
3.6.4. 기술개발에 따른 미래상	101

제 4 장 사전타당성 검토 103

4.1. 정책적 타당성	103
--------------------	-----

4.1.1. 국가 전략적 중요성	103
4.1.2. 상위계획과의 부합성	104
4.1.3. 사업추진의지 및 관련 기관 협조 체계	105
4.1.4. 사업추진상의 위험요인과 대응방안	105
4.2. 기술적 타당성	106
4.2.1. 기술개발 계획의 적절성	106
4.2.2. 기존 연구와의 중복성 및 연계성	107
4.2.3. 기술 수준 및 개발 성공가능성	109
4.3. 경제적 타당성	110
4.3.1. 국내·외 시장 분석	110
4.3.2. 경제성 분석	114
4.3.3. 과학기술적 파급 효과	115
4.3.4. 예산 적정성	116
4.4. 종합평가 및 결론	117

제 5 장 소요예산 산정 및 인력투입계획 119

5.1. 전체 소요예산 및 인력투입계획	119
5.2. 세부 연구내용별 인력투입계획	120
5.3. 세부 연구내용별 소요예산	121

제 6 장 과제 제안요구서 122

제 7 장 참고문헌 132

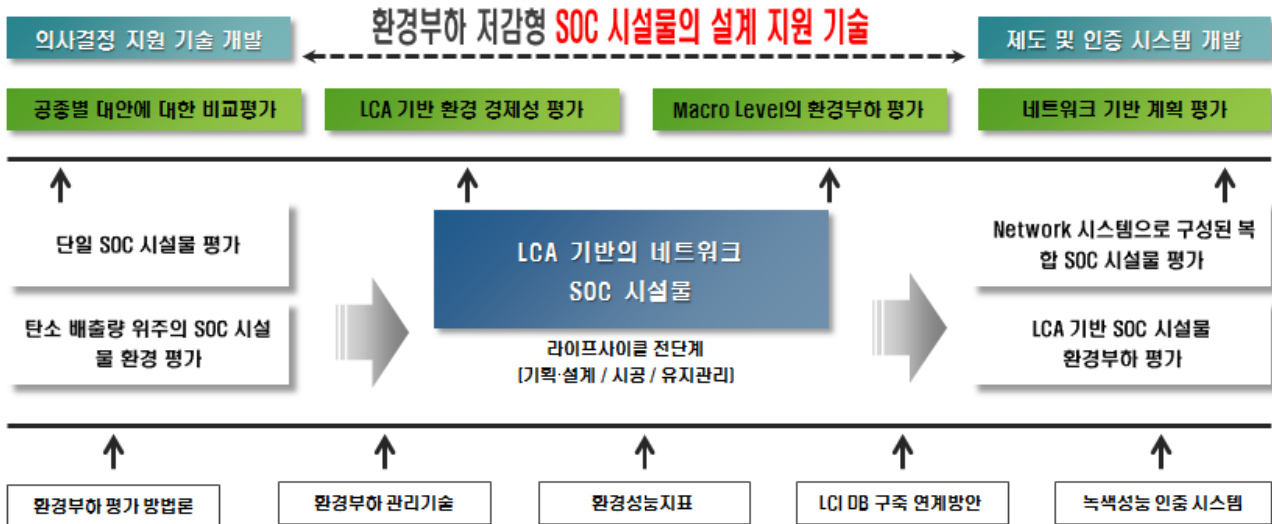
제 1 장 기술의 정의 및 필요성

1.1. 연구개요

- 2009년 말 제정된 「저탄소 녹색성장 기본법, 제 42조」에 따라 정부는 2020년까지 온실 가스 배출량을 BAU(Business As Usual, 온실가스 배출전망치) 대비 30% 감축하겠다는 국가의 중기 온실가스 감축목표를 발표하고, 이와 관련하여 에너지 목표관리제 시행, 배출권거래제 도입 등을 통해 실질적인 감축을 본격적으로 추진하고 있으며, 2015년부터 탄소배출권 거래제가 본격 도입될 예정이다.
- 온실가스 배출 목표를 달성하기 위해 산업·건물·교통 등 각 부분별로 감축 정책을 추진해야 하며, 그 중 전 세계 에너지 소비의 1/3, 자원소비의 40%, CO₂ 배출의 50%, 폐기물 배출의 20~30%를 차지하는 공중¹⁾인 건설공사에 대한 온실가스 감축 노력이 실현 가능한 하나의 대안으로 대두되고 있음.
- 이러한 목표를 달성하기 위한 녹색건설은 기존에 관심이 집중되어 있는 건축물 부분 외에 건설/토목 공사를 포함한 인프라 부분, 플랜트 부분 등에 대한 특성을 고려하여 전방위적인 온실가스 저감 대책이 필요하나, 현행 건설부분 온실가스 저감대책은 주로 건축물 사용단계에 초점을 맞추고 있으며, 건설/토목 전반에 걸친 인프라 부분에 있어서는 현재 일부 신재생 발전 분야 이외에 해외 시장에서도 녹색건설상품에 비해 상대적으로 활발하게 논의되지 못하고 있는 실정임.
- 이에 본 연구에서는 건설 분야의 탄소배출과 에너지 소비를 줄이기 위하여 SOC 시설물에 대한 LCA기반의 저탄소 및 저에너지 설계, 시공 및 유지관리 지원을 위한 의사결정 지원기술 및 이를 토대로 한 환경성능지표, LCI DB 구축 지원 기술 및 복합 SOC 시설물 환경부하 평가모델 개발을 기획하는 것이 주요 목표이며 이를 표현하면 다음의 그림 1과 같음.

1) 친환경건축물 인증제도 정보시스템[전자자료], (www.greenbuilding.re.kr)

지속 가능한 SOC 시설물의 건설을 위한 환경부하 평가 및 관리 기술 확보



[그림 1] SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 의사결정시스템 개발 기획

1.2. 기술의 정의

- 본 연구에서 제안하고자 하는 핵심기술인 ‘SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 의사결정 시스템’은 다음과 같이 정의될 수 있음.
- 단위 시설물에 비해 주변 현황과 시설물을 고려하여 대단위로 설계·시공되는 SOC 시설물 특성을 고려하여 기획, 설계, 시공 및 유지관리단계에서의 환경부하량 평가기술 및 환경부하 관리기술.

1.3. 과제추진 필요성

1.3.1 산업·경제적 측면

- 현재 우리나라는 1993년 12월 기후변화협약에 가입한 47번째 국가로 1인당 CO₂ 배출규모가 1.6톤에 달하는 정도로 높은 수준임. 교토의정서에서는 개발도상국으로 분류되어 온실가스 저감 의무대상국에서 제외 되었으나, 2차 공약기간(2013~2017)에는 자발적으로 온실가스 저감에 동참함.
- 온실가스 배출 순위 세계 8위이자 면적 및 1인당 배출량이 세계 최고 수준인 우리나라(CDIAC, 2010)는 2008년부터 ‘저탄소 녹색 성장’을 국가정책기조로

삼아 관련 법 계획의 수립과 이에 따른 관련 기술개발에 박차를 가하는 추세임.

- 2010년 저탄소 녹색성장 기본법, 저탄소 녹색성장 기본법 시행령, 지속 가능 교통물류 발전법 시행령 등이 제정되었으며 환경부에서는 국내 온실가스 배출 정보 데이터(인벤토리)관리업무를 전담하고, 녹색성장위원회와 함께 저탄소 녹색성장기본법에 따라 ‘국가 온실가스 종합정보센터(GIR)’를 설립하여 온실 가스 감축의 총괄 분석 및 평가기관을 운영하고 있음.
- 도로건설의 경우, 도로의 생애주기인 생산→유지관리→재활용 전 단계의 CO₂ 배출을 최소화하는 환경친화형 도로 설계 및 시공기술을 개발하기 위해 국토 교통부와 국토교통과학기술진흥원의 2011년 건설 기술 혁신사업의 하나로 ‘탄 소 중립형 도로 기술개발 연구단’이 2011년 11월 발족되었음. 이 연구단의 목 표는 국가 녹색 성장 기조에 맞춘 녹색도로 시스템 구축, 2030년 기존 시설 대비 탄소 배출량 30% 저감, 2016년 선진국 기술수준 대비 80% 이상 달성 등임.
- 세계적으로 주요 선진 국가는 온실가스 저감을 위하여 국가 별로 관련법 제정 과 함께 감축목표를 세우고 해당부처마다 CO₂ 배출량을 감축하기 위한 정책 및 투자계획을 수립하고 추진하고 있음.
- 국내 전체 탄소배출량 중 건설부문(산업분야 내 건설업, 건물분야 등 포함)이 약 21.2%로 높은 비중을 차지²⁾하고 있음. 건설 산업은 온실가스 배출, 에너 지소비, 오염물질 유발 등 환경오염원인의 주범이 되는 산업으로 사업장의 배 출규제가 강화될 것에 대비하여 사업추진단계에서 발생하는 환경부하량의 정 량화 및 평가체계를 구축할 필요가 있음.

1.3.2 사회·환경적 측면

- 전 세계적인 문제로 지구온난화 문제가 떠오르고 있으며, 온실가스 중 80%를 차지하는 이산화탄소 배출권 문제는 이미 전체의 이슈가 되고 있음
- 국내 탄소배출량 중 건설업에서는 21%의 높은 비중을 차지하고 있어, 건설 분야에서의 환경부하를 줄이기 위한 연구가 필요한 시점임.

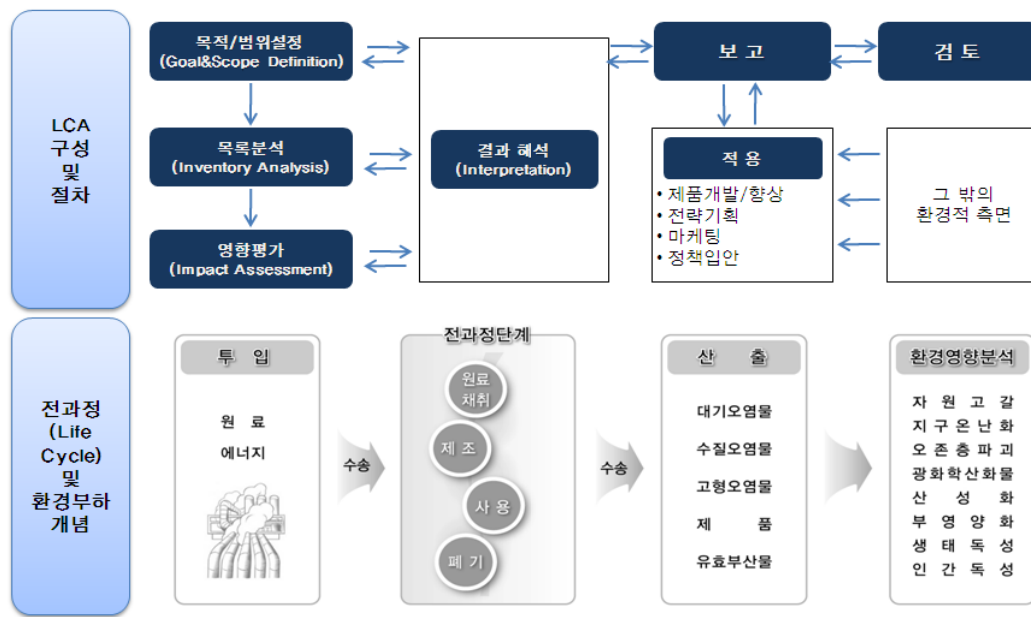
2) 제4차 건설기술진흥기본계획, 2009, 국토교통부

- 이와 더불어, 건설 사업이 복잡화, 다양화되면서 다양한 이념 및 가치들이 표출되고 있으며, 그 중 환경은 가장 중요한 가치들 중 하나로 여겨지고 있음. 새만금 간척사업이나 경부운하사업 등의 예에서 보듯이, 환경가치와 경제개발 가치 간의 대립 및 충돌에 따른 사회갈등을 종종 경험하게 되며, 이러한 충돌은 결국 막대한 사회적·경제적 비용을 초래하게 되는 결과를 가져옴.
- 경제적 논리가 중시되어 환경적인 영향에 대한 고려가 미흡한 채 추진되던 과거 개발 사업에서, 지속가능한 개발이라는 시대적 패러다임의 변화에 대응하기 위해 건설사업의 환경적 영향을 고려하고 이를 반영하는 다면적이고 종합적인 평가, 즉 건설사업의 환경영향을 고려한 타당성 검토 또는 환경을 고려한 경제성 분석 등에 대한 사회적 요청이 커지고 있음.
- 이를 위해 건설사업 추진 시 기획 및 설계초기 단계에서 SOC시설물의 유지관리단계까지 사업수행 단계별 환경부하에 대한 고려가 필요함.
 - 환경부하란 건물 전생애주기 동안 지구환경에 영향을 미치는 인자(온실가스, 오존층파괴가스, 산성비원인가스, 유해폐기물 등)들에 대한 지구환경 부담 정도를 정량화한 것으로(이강희, 1996) 우리나라는 경제규모에 비해 환경오염물질 배출량이 많으며, 이는 에너지 다소비업종의 비중 증가에 따른 영향이 큼.
- 에너지 다소비업종 중 하나인 건설 관련 공사의 효율적인 에너지 절약에 대한 필요성이 증대되고 있는 것이 현실이며, 이에 지속가능한 개발을 전제로 한 국제적 환경규제 및 국가별 환경정책의 변화에 대응하기 위해 주요 선진국에서는 환경정책 수립 시 의사결정 지원을 위한 다양한 환경평가기법이 활용되고 있으며 오염배출의 최소화, 폐기물 재활용 및 자원화, 공정의 환경친화성 향상 등의 목적을 종합적으로 지원하도록 노력하고 있음.
- 건설 산업은 전체산업 CO₂ 배출량의 약 30%를 차지하는 환경저해산업으로 간주되고 있음. 전체 화석연료의 1/4이상이 건설 산업에서 소비되고 있으며, 국내에서 배출되는 연간 공기오염물질 중에서 건설장비가 배출하는 오염물질은 6.8%를 차지하고 있다고 조사된 바 있음(김종엽 외 2인, 2004). 따라서 건설 산업에 발생하는 환경부하량을 정량적으로 평가하는 것은 필수적임.

1.3.3. 기술적 측면

- 전 세계적으로 친환경 설계 및 시공 기술을 도입하고자 하는 제도와 기술이 적용되고 있으나, 건축분야의 그린빌딩 및 주택에 관련된 에너지 기술이 주를 이루고 있으며, 아직까지 SOC 시설물과 관련된 녹색기술은 도로분야를 제외하고는 성숙기에 진입하기 전단계에 머물고 있는 실정임.
- 국내에서 SOC 시설물과 관련하여 수행된 탄소배출량 산정관련 연구는 고속도로 건설공사에서 온실가스 배출량을 산정하는 연구가 진행되었으나, 장비사용량과 일부 자재에 관한 탄소배출량만을 고려하고 있음.
- 기존 연구의 많은 부분들은 LCA분석 및 탄소배출량 산정에 필요한 LCI DB 구축에 치중하여 왔으며, 이를 활용하여 상세수준에서 투입 자원에 대한 환경부하량을 평가하는 연구와 일부 공종 및 건설자재들을 대상으로 친환경 기술을 평가하는 연구들을 수행해왔음.
- 특히 SOC 시설물의 탄소배출량 산정에 필요한 LCI DB 및 탄소 인벤토리 구축은 아직도 기초적인 수준으로 건설 분야를 위한 국가의 인벤토리 구축이 절실히 필요한 상황임.
- 또한 사업수행 초기단계에서의 다양한 사업 대안, 설계 대안을 환경측면에서 평가하고 의사결정을 할 수 있는 환경부하 평가방법론에 대한 연구는 부족함.
- 따라서 건설 분야의 탄소배출과 에너지 소비를 줄이기 위하여 시설물 유형별, 공종별, 건설사업 단계별로 이산화탄소 발생량과 에너지 사용량에 대한 사전예측을 통한 평가 및 통제하기 위한 방법론 구축이 시급함.
- 건설사업의 경제성, 환경성 등 다양한 지표들을 결정하고 사업 대안을 평가하여야하는 중요한 단계인 기획, 기본설계, 실시설계 초기단계에서 제한된 정보들만으로 사업의 환경부하량 및 환경경제성을 평가할 수 있는 평가 방법론 개발 및 관련 DB구축을 위한 지원 연구가 필요함.
- 또한, 경제성 설계의 개념 도입, 설계 VE 적용, 내진설계 개념의 도입 등 설계 기준의 변화에 따라 동일 시설물의 건설에 따른 환경부하량도 변화하게 됨. 이처럼 신규 공사의 환경부하량 예측에 영향을 주는 다양한 요소가 존재하고 있으나 이러한 변수들의 영향을 어떻게 반영할 것인지에 대한 방법론에 대한 연구는 부족하였으며, 이러한 점을 개선한 실무자들의 의사결정 (Decision Making)에 직접적으로 활용할 수 있는 평가모델의 구축이 필요함.

- 현재까지 수행된 LCA 관련 연구들은 주로 건설 산업에서 일반적으로 사용하는 시설물 분류를 이용하여 단일 시설물을 선택하여 생애주기 동안 발생하는 환경부하 평가가 대부분임.
- SOC시설물은 다양한 구조물이 서로 결합된 하나의 Network 시스템으로 볼 수 있으며, 시스템 관점에서 환경부하를 평가하는 방법은 기존의 연구들에서는 이루어지지 않아 이와 같은 연구 역시 시급한 실정임.
- 또한 SOC 시설물에 대한 기존의 환경부하 평가는 주로 탄소 배출량 위주의 평가였으나, 이를 확장하여 LCA기반의 ISO 환경부하 범주 중심의 평가에 대한 연구가 필요한 상황임.
- 주요 건축자재 및 재료의 생산과정에서 소요되는 내재에너지소비와 CO₂ 배출원단위를 산정한 연구(이강희, 2009)와 시공단계 공법 중 지정공사, 흙막이공사, 거푸집공사에 사용되는 각각의 공법분석을 통해 시공단계에 투입되는 자원을 분석하고 투입되는 자원에 따른 CO₂배출원단위를 산정한 연구(한승원, 2009)가 있지만 모두 CO₂ 배출량 분석에 치중되었으며, 대기, 수질, 토양 등에 영향을 미치는 종합적인 환경부하량을 산정하는 연구는 미흡하였음.
- 환경부하량 산정을 위한 LCA(Life Cycle Assessment)는 환경영향평가(Environmental Impact Assessment), 위해성 평가(Risk Assessment), 비용편익분석(Cost Benefit Analysis) 등과 함께 대표적인 의사결정도구 중의 하나로 ISO 14000 시리즈의 기술적 근간을 이루고 있어 다른 기법에 비해 국제적으로 중요성이 더욱 강조되고 있음.



[그림 2] LCA의 기본체계



[그림 3] 환경영향 범주별 기준물질 및 영향

- 건설부문 LCA는 건설 사업에 요구되는 자재들의 제조공정과 이들을 조합하여 공공시설물 건설, 운영 및 유지보수, 해체폐기의 전과정 동안 발생하는 환경부하(오염, 폐수, 비산먼지 등)를 정량화하여 환경성능을 평가하고 개선방안을

모색하는 의사결정도구임.

- 건설 환경에 대한 사후처리 개념이 아닌 사전예방을 통하여 오염발생을 저감시킬 수 있는 적극적이고 체계적인 평가방법이며, 앞으로 ‘환경과 조화로운 지속 가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development, ESSD)’의 이념을 실현시킬 수 있는 환경성 평가도구임(건설교통부, 2003).
- 그러나, 실제적으로 건설사업의 수행 대안에 대하여 환경부하량을 평가하고 환경 측면에서 지속 가능한 추진을 지원할 수 있는 평가 방법론이 제한적인 것이 현실임.
- 기존 환경영향평가는 상세 설계를 기반으로 상세 자재 및 장비 투입량을 산정하고, 이를 바탕으로 환경부하량을 산출하여 왔음.
- 이에 따라 가용한 정보가 제한된 사업 기획단계나 기본설계 단계에서는 사업 또는 설계 대안에 대한 환경부하량을 평가하는 것은 매우 어려우며, 특히 또한 신속한 의사결정이 필요한 사업초기 단계에서 효율적인 의사결정에 한계가 있음.
- 따라서, 실제적인 건설사업 기획 및 설계 초기단계에서 신속하고 효율적으로 환경성을 평가하고 대안을 선정할 수 있도록 지원하는 의사결정도구의 마련이 필요함.

제 2 장 국내·외 동향 및 환경 분석

2.1. 국내·외 정책동향

2.1.1. 국내 정책동향

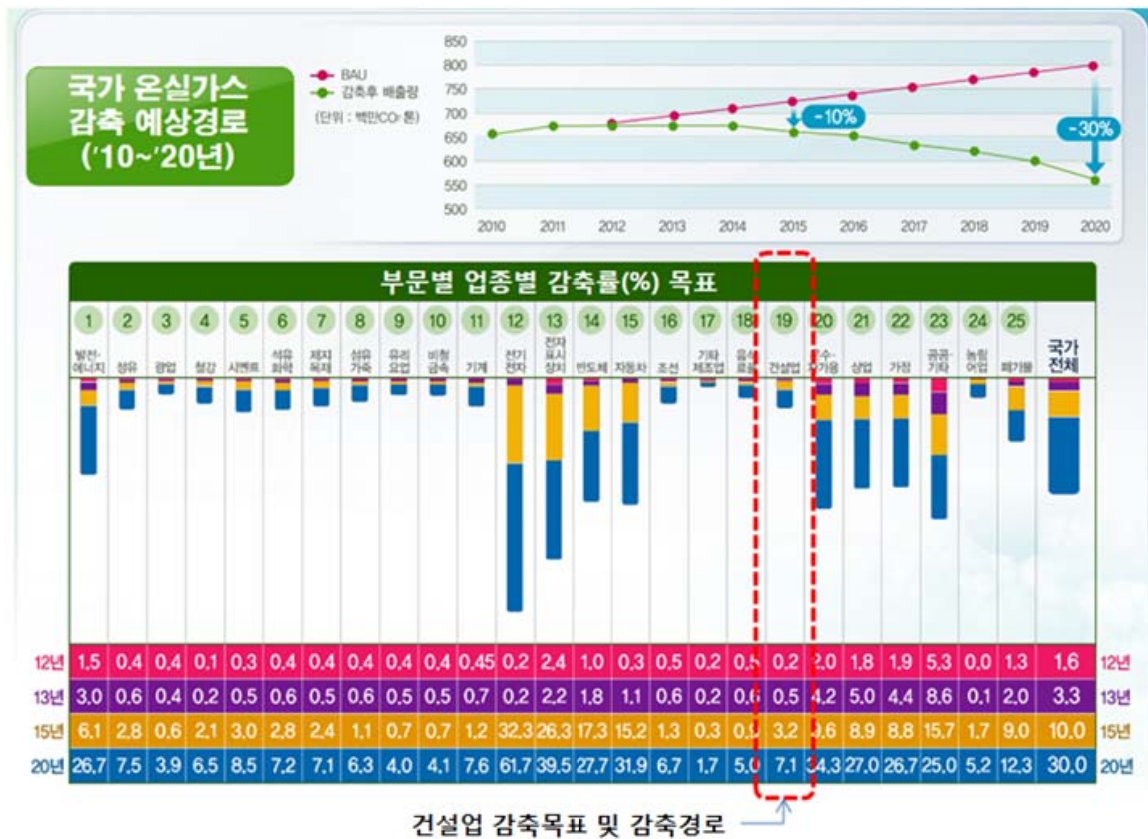
- 국내에서는 정부가 2008년 8·15 경축사에서 저탄소 녹색성장을 새로운 국가비전으로 선언한 이후, 이를 법 제도적으로 뒷받침하기 위하여 ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 제정하여 2010년 4월 14일부터 시행되었음.
- ‘저탄소 녹색성장 기본법’의 주요 내용으로는 녹색경제 녹색산업의 창출 및 단계적 전환 촉진, 녹색산업투자회사 설립, 기후변화 에너지 목표관리제 도입, 총량제한 배출권 등의 도입이 포함됨.
- ‘저탄소 녹색성장 기본법’의 제9조에 근거하여, 정부는 녹색성장 국가전략의

시행계획으로서 ‘녹색성장 5개년 계획(2009~2013)’을 수립하였으며 기후변화 적응 및 에너지 자립, 신성장동력 창출, 삶의 질 개선과 국가위상 강화라는 3대 전략 목표 아래 녹색성장을 지원하기 위해 총 107.4조원(‘09~’13) 투입을 계획함.



[그림 4] 녹색강국을 위한 3대전략 10대 정책방향
(자료 : 녹색성장 5개년(2009~2013) 계획(2009), 녹색성장위원회)

- 또한 정부는 2020년까지 온실 가스 배출량을 BAU(Business As Usual, 온실 가스 배출전망치) 대비 30% 감축하겠다는 국가의 중기 온실가스 감축목표를 발표하고, 각 부문별 업종별 감축목표를 설정함
- 각 관리기관(환경부, 국토교통부, 산업자원부 등)에서는 분야별 감축목표를 달성하기 위한 세부 방안을 수립 중에 있음
- 국토교통부에서는 건설업 온실가스 목표관리를 위한 위임기관으로 한국시설안전공단의 국가 녹색건축 사업 센터를 지정하고 2015년 건설업 목표관리 시행을 목표로 건설업 온실가스 저감 활동 유도 및 지원(안) 마련 중



[그림 5] 국가온실가스 감축목표 및 건설업 온실가스 감축목표

- 2015년부터 본격적으로 시행될 온실가스 배출권 거래제는 온실가스를 많이 배출하는 기업에 대해 일정량의 배출권을 할당하고, 기업으로 하여금 시장메커니즘을 활용하여 온실가스 감축의무를 달성하도록 하는 제도로 기업은 배출권 거래를 통해 비용절감이 가능하고, 감축설비 및 신재생에너지 등 기술개발 촉진에도 기여할 것으로 기대되고 있음.
- 이를 위해 환경부에서는 2014년 1월 ‘온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률’ 제22조에 따라 배출권 거래소로 주식회사 ‘한국거래소(Korea Exchange Inc.)’를 지정하였으며, 배출권 거래, 청산·결제 및 시장감시 등에 필요한 시스템을 구축하고 2014년 하반기부터 시범사업을 실시할 예정임.
- 국토교통부의 ‘국토해양 R&D 발전전략(2010.10)’에서는 저탄소 녹색국토·해양강국 실현을 비전으로 전 세계적으로 이슈가 되고 있는 온실가스 저감, 신재생에너지 개발 위주로 사업 체계를 개편(녹색건축사업, 물관리선진화사업, 녹색물류사업 신설)하고, 기초·원천 연구의 비중을 확대(16%→25~30%)

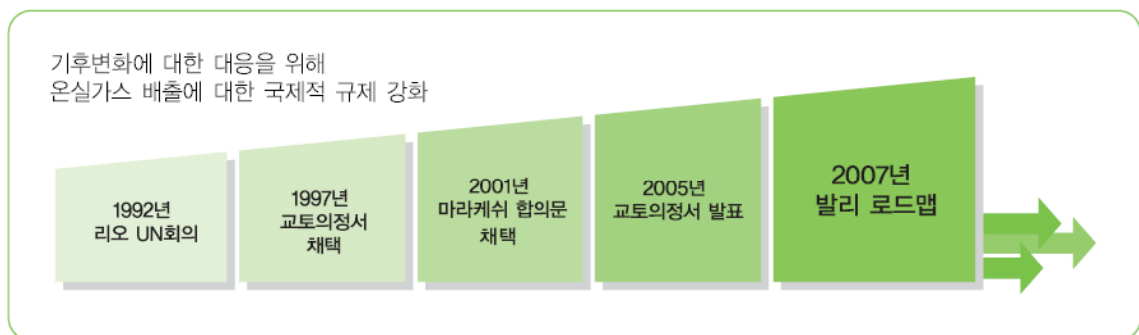
- 제4차 ‘건설기술진흥기본계획(2009.07)’에서는 건설은 녹색성장과 배치된다는 인식을 불식하고 새로운 시장 창출을 위하여 녹색성장의 주체가 되기 위한 비전과 목표를 제시함.
 - 건설 산업 녹색화를 위하여 기존 기술공학 위주의 기준에서 저탄소, 녹색성장 개념을 반영하여 건설기준 정비
 - 시설물별 CO₂ 발생량 및 에너지 사용량 평가방법 · 정량적 지표 마련 · 온실가스 배출 통계시스템 구축 등
- ‘건설엔지니어링 경쟁력 강화 방안(2011.10)’에 따르면 녹색성장/원천기술과 관련하여, SOC연구사업(R&D) 내 상시제안과제 중 설계 등 요소기술 개발과 관련된 연구를 중점적 지원.
- 건축 분야에서는 주택시설에 대해 기후변화 대응 및 저탄소 녹색 성장을 위해 에너지절약형 친환경주택(그린홈)의 건설기준 및 성능의 고시근거 마련을 위해 ‘주택건설기준 등에 관한 규정’을 개정하고(2009), ‘친환경 주택의 건설기준 및 성능’을 고시하였음(2010).
 - 고시의 주요 내용으로는 주택사업계획승인시 전용면적 60㎡초과(그 이하는 10%이상 절감) 주택의 총에너지를 15%이상 절감하도록 설계하여야 하며, 친환경 주택의 총 성능(에너지 절감율 또는 이산화탄소배출 절감율)은 난방, 급탕, 열원, 전력 등 4개 분야 및 14개의 평가요소 등을 포함하고 있음.
- 2013년 8월에 정부는 ‘창조형 국가건설기준 체계 구축방안’을 발표하여 복·상충 사례가 많은 건설기준은 통폐합해 코드화하고, 규격 중심의 건설기술기준 체계를 성능 중심으로의 변화를 추진하기로 함.
 - 성능 중심의 건설기준 체계 수립을 위해 2005년부터 2007년까지 ‘성능중심의 건설기술기준 개발 기본계획 수립- 기본계획 수립 및 성능기준 작성지침 개발’ 연구가 수행되었음.
 - 도로포장 및 콘크리트구조물 분야를 대상으로 성능기준을 개발하고 강구조물, 건축물 등 8개 시설물 분야를 대상으로 성능설계 및 시공 지침(안) 또는 편람 개발을 목표로 2006년부터 2011년까지 ‘성능중심의 건설기준 표준화’ 연구가 진행되었으며, 현재 시방서와 건설기준 표준화 작업을 위한 코드 개발이 진행되고 있고 이러한 작업이 마무리 되면 성능중심의 건설기준 작업이 계획 중에 있음.

2.1.2. 국외 정책동향

1) 주요 각국의 환경 관련 정책동향

- 지구온난화 문제를 해결하기 위해 선진국을 중심으로 국가 간 기후협약을 체결하고, 글로벌 차원의 대응을 추진 중에 있음.
- 교토의정서, 발리 로드맵 등을 통해 온실가스 감축방안 마련
- 다보스(Davos) 포럼, APEC 정상회담 등에서 지구온난화가 주요 의제로 채택

| 국가 간 기후변화 협약 체결 경과 |



[그림 6] 국가 간 기후변화 협약 체결 경과

(자료 : 녹색성장 5개년(2009~2013) 계획(2009), 녹색성장위원회)

[표 1] 국가 간 기후변화 협약 주요 내용

연도	협약	주요 내용
2007	발리로드맵	· 2009년 말까지 2013년 이후 온실가스 감축 목표 설정
2005	교토의정서 발효	· 온실가스 감축 1차 의무공약기간('08~' 12) 이행준비 및 교토 메커니즘 활용
2001	마라케쉬 합의문 채택	· 교토의정서 구체적인 이행방안 마련 · 경제성장 감축목표 방안 제시
1997	교토의정서 채택	· 37개 선진국과 EU대상으로 온실가스 배출 감축 협의
1992	리오 UN 환경개발회의	· 기후변화에 관한 국가연합 협약(UNFCCC ³⁾)

(자료 : 녹색성장 5개년(2009~2013) 계획(2009), 녹색성장위원회)

3) United Nation Framework Convention on Climate Change ‘기후변화에 관한 유엔 기본협약’ 으로 1992년 리우 정상회의에서 세계가 공동으로 기후변화에 대응하기 위한 목적으로 탄생

- 카타르 도하에서 열린 제18차 기후변화협약 당사국총회(COP18)에서 교토의 정서 개정안이 채택(2013.01~2020.12)됨에 따라 2020년 이후 전 세계 모든 국가들에 적용 가능한 새로운 기후 변화체제를 2015년까지 수립하기로 함.



[그림 7] 기후변화협약 Milestone

- 각국의 주요 건설정책에서 CO₂ 저감, 에너지난 대처, 이상기후로 인한 자연재해 대응, 건설기술의 융복합화 등이 주요 과제로 대두되고 있음

- 도로와 철도, 항만, 공항 등의 에너지 절감, 친환경 토목공사, 설계·시공 프로세스 개선, 건설재료 및 자원혁신, 효율적 운영 등 기술요소와의 결합이 주요 관심사로 부각되고 있음.

① 일본

- 일본은 ‘저탄소 사회구현’을 경제운용의 모토로 설정하는 등 건설 환경 변화에 발빠르게 대응하는 중에 ‘신성장전략’, 제4기 과학기술기본계획(‘11~’15)에서는 지진 재해로부터의 부흥·재생의 실현, 그린 이노베이션, 라이프 이노베이션과 기초연구 및 인재육성을 최우선 정책과제로 삼고 있음.

- 지구온난화에 대응하기 위한 일본의 저탄소 및 환경 정책 사례는 다음 [표 2]와 같음.

[표 2] 일본의 저탄소 및 환경 정책 사례와 주요내용

정책사례		주요내용
지구온난화대책 추진에 관한 법률		· 지구 온난화 대책 추진계획, 전국 지구온난화 방지 활동 추진센터(JCCCA)
		· 산업 13~15%, 주거 21~24%, 운송 19~20%, 에너지전환 35~41%
		· 태양광발전: 주택, 공공부문, 산업에 설치
에너지 면적 이용 촉진		· 도시계획간급정비: 미활용 에너지 및 신재생에너지 공동기반시설 정비 및 네트워크화 추진
녹화, 녹지보전		· 녹색의 거점 창조 · 사유지의 효과적인 녹색창출 · 도시의 자연환경 보전
하수도 자원·에너지 유효이용		· 탄화오일을 석탄 대체연료로서 화력발전소에서 사용 · 바이오가스를 자동차의 연료로 공급
스쿨 뉴딜 Cool Earth 에너지 혁신기술계획		· 2020년 경 태양광 발전을 20배 증가 목표
저탄소 사회구축 행동 계획		· 건축물 무 배출(신축 공공건물 2030년까지 무배출화), 에코하우스(3년간 300만호) · 에너지 절약주택 보수공사 비용 세액공제, 에너지 수습, 구조개혁 설비투자 즉시 상각
저탄소형 도시지역 만들기	집약형 도시구조	· 대규모 집객시설 등의 도시 기능 적정 배치 · 중심시가지에 도시기능을 직접 촉진 · 도시·지역 종합 교통 전략 추진
	지구·가구 단위의 포괄적인 환경 대책	· 선도적 도시환경 형성촉진사업 제도 · 코디네이터 파견 · 실험에 대한 재정 지원
	200년 주택보급 추진	· 장수주택 보급을 위한 법제도 정비 · 초장기주택시범사업 실시 · 초장기주택에 대한 주택금융상품 개발 · 초장기주택추진 환경정비사업의 창설

- 일본의 국토교통성은 교토협약상의 온실가스 저감 목표를 달성하기 위해 2010 회계연도 동안 건물부문에서 3,800만 톤, 하수도부문에서 90만 톤, 그리고 에너지 고효율장비 사용 부문에서 20만 톤의 이산화탄소 저감 목표 설정하였음.
- 공공건물 건설 시 적용하도록 ‘녹색 공공건물 가이드라인’을 설정하고 예산을

배정하였으며 기존 건물 개보수 방안과 ‘학교 뉴딜⁴⁾’ 정책을 수립하였음.

- 일본은 2008년 글로벌 금융 위기 하에서 그린뉴딜 개념을 도입하여 환경산업 육성을 통한 적극적인 경기부양을 추진하였으며 환경성이 발표한 「녹색경제사회를 위한 혁신 보고서」에 그 기본골격이 담겨 있음.
- 기본골격은 ① 환경부문의 공공지출을 통한 새로운 수요창출, ② 환경 관련 산업의 장려, ③ 환경관련 기술의 개발, ④ 환경 중심의 지역공동체 활성화, ⑤ 환경관련 소비의 장려, ⑥ 환경관련 정책에 대한 국제적 공조 등임(김민철, I. Shinichi, 2010).

② 유럽

- 탄소배출권 거래제를 가장 효율적으로 추진하고 있는 EU의 경우는 PF7(‘07~’13), ‘전략적 에너지 기술 계획(Strategic Energy Technology Plan)’, ‘인텔리전트 에너지 프로그램(Intelligent Energy-Europe Programme)’, ‘유럽 2020: 스마트하고 지속가능하며 포괄적인 성장 전략’ 등의 추진을 통해 녹색성장에 가장 적극적임.
- 영국은 탄산가스배출량을 1990년 대비 80% 감축하고, 탄산가스감축을 위한 5년 단위의 탄소 예산 제도 수립을 골자로 2008년 「기후변화법」 제정을 통한 정책 인프라 구축을 추진하고 있으며, 에너지 절약을 위해 에너지 사용세를 부과하고 있음.
- 영국은 기후변화 정책을 세계에서 가장 적극적으로 추진하고 있는 곳으로 2020년까지 1990년 대비 온실가스 배출량을 최소 20%로 감축하는 목표로 에너지 감축을 실행하고 있으며 EU-ETS와 같은 배출권 거래 제도를 시행해 2007년 기준 세계 탄소시장 70%를 점유하고 있음.
- 또한 개정된 「지구온난화대책 추진법」에 의해 기초 지자체 단위로 ‘지구온난화대책계획’ 수립을 의무화하여 도시구조 대응책을 마련하도록 하여 지자체별로 지구 온난화 대책을 실시하고 있으며, 신/재생 에너지 도입 촉진, 공공교통기관, 녹지 기타 지역 환경 정비 및 개선에 관한 방침 검토를 의무화함.
- ‘탄소저감형 건설재료 기술 개발 기획보고서’에 따르면, 영국은 다음 [표 3]과 같은 정책이 수행되어지고 있음.

4) 내진 설계 및 태양광 발전설비 확충 등의 내용을 담고 있음.

[표 3] 영국의 주요 환경 정책사례 및 내용

정책사례	주요내용
Climate Change Bill	· 관련특별법 : 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 80% 감축
기후변화법 (Climate Change Act)	· 탄소예산 도입 → 배출목표 달성방안 · 기업보고서에 계획으로 반영 · 1회용 봉투 사용금지
에너지법 (Energy Act)	· 원자력 발전시설 개발을 보완 · 신·재생에너지 확대 · 탄소 포집 및 스마트 등 신기술 적용지원 · 에너지 분산 정책 · EU 입법 및 에너지 감소정책
계획법 (Planning Act)	· 주택의 에너지 효율 문제 · 대규모 에너지 기반시설사업 가속화 · 단열재 설치 등 주택 에너지 절약프로그램 (68 GBP)
계획정책지침 (PPS : Planning Policy Statement)	· 공간계획에 대한 국가정책 지침 제공 · 개발계획과정에 저탄소 고려 · 지방정부의 계획이 국가정책 및 지역정책의 방향에 적용되도록 제도적 보완장치 · PPS1(기후변화대응체계 수립지침), PPS13(교통), PPS22(재생가능에너지) 등
Climate Change Levy	· 탄소세 또는 기후변화부담금 도입

○ 독일의 주요 환경 정책사례 및 내용은 다음 [표 4]와 같음.

[표 4] 독일의 주요 환경 정책사례 및 내용

정책사례	주요내용
1차 대책	· 신·재생에너지 · 난방수요의 14%를 재생에너지로 공급 → 신규재생에너지 사용 의무화, 기존건물 보조금 증액 · 건물에 대한 에너지 효율화 요건 강화
2차 대책	· 기반시설구축 · 신축주택 및 기존주택의 에너지 효율 30% 개선 · 심야 저장 난방기구의 이용 배제 · Smart Metering 도입 · 임대용 자산 난방비 배분 → 공동소비 비율 축소
재정 지원	· 건물에너지 효율화 위해 30억 유로 투입
환경세 (Eco-Tax)	· 친환경 조세개혁 도입에 관한 법률 제정

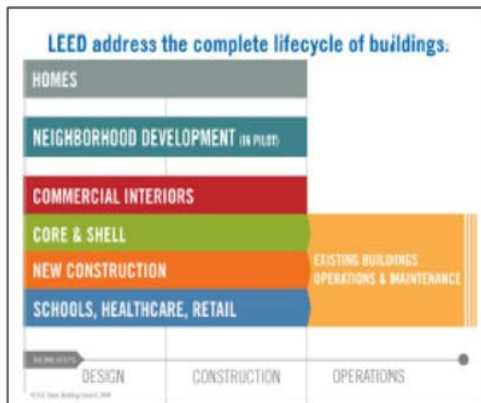
- 독일은 2000년 이후 지속적인 제도적 보완을 통해 기후변화 완화 및 적응을 위한 재원을 마련하고 있음.
- 2013년 이후부터 배출권거래제를 시행하고 있으며, 또한 2009년 발효된 ‘재생가능 열에너지 규정’에 따라 모든 신축건축물의 열에너지 1% 이상을 재생가능 에너지원으로 공급하도록 하고 있음.

③ 미국

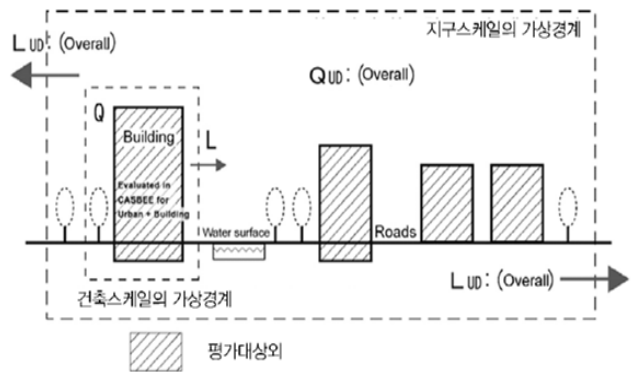
- 미국 경쟁력 강화 계획(American Competitiveness Initiative)을 통해 미국의 위상 회복을 시도하고 있는 가운데, 극도의 침체 상태인 건설 산업에서 건설 통합 및 자동화, 진화된 인공두뇌빌딩 시스템, 재해·화재 연구, 제로 에너지, 고성능 빌딩, 지속가능한 인프라 재료 등의 분야에 R&D 투자의 초점을 두고 있음.
- 미국은 1993년 국가 건설사업 혁신을 위해 국가건설목표(NGG)를 통해 에너지 사용량 50% 저감, 폐기물과 공해배출량의 50% 저감 등의 정책목표를 제시한 바 있음.
- 최근에 미국은 ‘Code Green’의 정책으로 친환경 SOC 투자를 통한 녹색산업 육성에 대대적인 투자가 예상되고 있음. 2009년에서 2010년 중 친환경 SOC 투자에 290억 달러, 녹색산업 육성에 540억 달러 투자를 계획하였으며, 녹색 인증을 받은 빌딩의 경우 세금 혜택의 인센티브를 부여하기로 함.

2) 건설 분야 친환경 시설물 인증제도 관련 동향

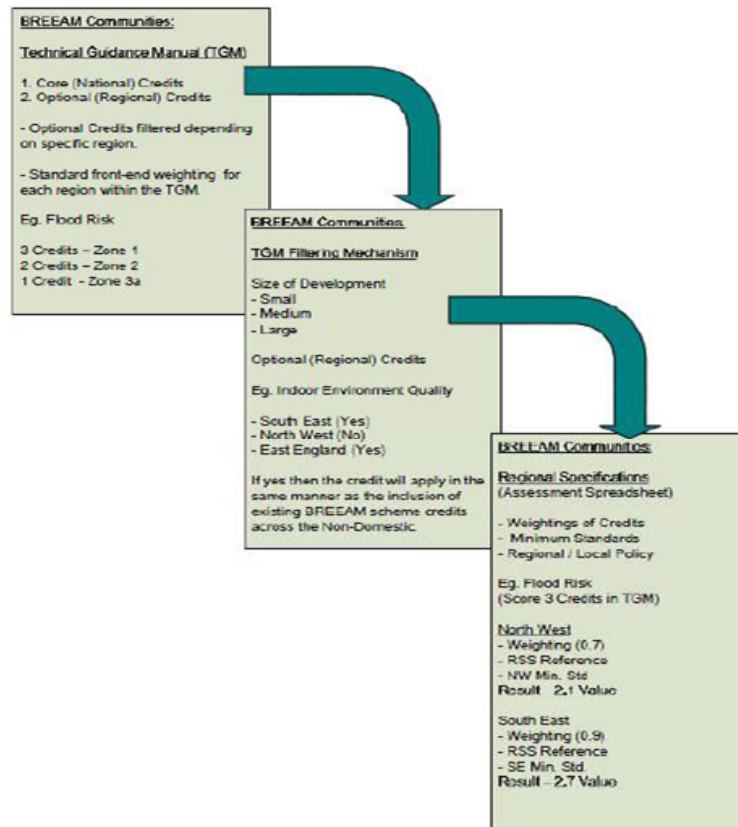
- 건설 분야의 시설물에 대한 친환경 인증제도 관련 해외 동향을 살펴보면 다음 [그림 8]과 같음.



a. LEED의 라이프사이클을 고려한 평가-미국



b. GASBEE 가상경계를 고려한 기본개념-일본



c. Online of the BREEAM-C issue filter mechanism-영국

[그림 8] 국외 친환경 인증제도 process

- LEED는 현재까지 입증된 환경평가기술을 토대로 건물전체의 관점에서 환경 성능을 평가하고 건축시장을 활성화시키기 위하여 USGBC(미국친환경건축물 협회)가 개발한 친환경건축물 인증제도로, 미국 50개주와 전 세계 30여 개국

에서 LEED를 건물의 에너지 효율과 친환경성을 나타내는 기준으로 삼고 있으며, 전 세계적으로 이를 준용한 친환경 인증 제도를 개발하고 있음.

- BREEAM은 영국에서 시행 중인 환경성능인증제도로 건물의 환경영향을 평가하기 위해 영국 건축연구소와 민간 기업이 공동으로 개발하였으며, 친환경건축을 유도할 수 있는 설계도구이며 이와 함께 건축물 친환경성능 평가 및 인증 프로그램으로 널리 사용되고 있음. 특히 BREEAM은 환경에 미치는 건물의 광범위한 영향에 대한 최근의 과학적 지식들을 포함하고 있으며 환경개선 효과를 제공해 주고 있음.
- CASBEE는 일본의 국토교통성 지원 하에 산, 학, 관이 공동으로 개발하여 환경보호의식을 높이고 환경부하 절감을 위해 일본에서 개발된 건축물 종합 환경성능 평가시스템이라 할 수 있으며 건축물의 생애주기 동안 건축물의 종합 환경성능을 평가하는 도구임. 환경성능 효율지수를 통해 도시 건축 환경의 환경적 품질 및 성능을 평가할 수 있음.

[표 5] LEED-ND 지표 항목 및 Category 구성

구분	항목
입지와 연결성	입지관리
	상하수도 기반시설에 대한 접근
	멸종위기종과 생태적 환경에 대한 요구
	습지와 수환경 보존
	농지보존
	범람지역 개발 제외
	브라운필드 재개발
	최우선 브라운필드 개발
	자동차 의존도 저감
	자전거 네트워크와 보관소
	직주근접
	가파른 경사지 보호
	서식지와 습지 보호를 위한 배치계획
	서식지와 습지의 복원
	서식지와 습지보호 관리 계획
근린의 양식과 디자인	걷기 좋은 거리
	압축적 개발
	연결되고 개방된 커뮤니티
	다양한 편의시설

	다양한 소득계층의 수용
	주차시설의 환경부하 감소
	가로의 연결성
	대중교통시설
	교통수요관리
	접근성이 좋은 공공공간
	모든 사람의 접근 가능성
	주민참여와 참여 유도 활동
	식품의 지역생산
	가로수가 식재와 가로의 그늘 조성
	근린지역 내 학교
지속가능한 기반시설과 건축물	건축물의 친환경성 평가와 인증
	건축물 에너지 효율 최소기준지표
	건축물 물절약 최소기준
	건설 활동으로 인한 오염방지
	조경용수 절약
	기존 건물의 재사용
	역사적 건물의 보전과 재이용
	대지내 환경이 변형을 최소화하는 배치계획
	우수관리
	열섬현상 완화
	일조에 따른 점위
	구역단위 냉난방
	에너지 효율이 높은 기반시설
	하수관리
	재활용 재료를 사용한 기반시설
	폐기물 처리 기반시설
	광해저감
혁신적 설계과정	혁신적 디자인
	인증 전문가 및 관련 전문가의 참여
	지역 우선과제 이행 접수

[표 6] BREEAM-communities 지표 항목 및 Category 구성

구분	항목
기후와 에너지	홍수위험평가
	우수부하시설
	우수저장시설
	열섬 현상
	에너지 효율

	대지 내 재생에너지 생산
	소규모 재생에너지
	기반시설 확보
	상수소비 절감
장소생성	효율적 토지이용
	조경계획
	녹지공간
	지역인구
	디자인 설명서
	구매가능 주택
	범죄예방 디자인
	활기찬 건물 전면 방법을 고려한 공간
커뮤니티	주민참여
	노약자 및 장애인을 위한 유니버설 디자인
	소유권
	정보제공
생태와 종 다양성	생태조사 실시
	종 다양성 확보 계획
	지역수종
교통과 이동	교통수요관리
	교통서비스간격
	교통시설
	기본적 편의시설
	자전거 도로 네트워크
	자전거 편의시설
	자동차 공동사용 클럽
	주차공간의 활용
	주차시설
	보행자 우선구역
	교통영향
자원	낮은 환경 부하
	지역생산 재료
	재생재료를 이용한 도로건설
	효율적 물 사용
	퇴비화 시설
	지하수
경제	사업의 성격
	지역 노동력과 기술
	고용창출
	신규사업
	투자유치
건축물	국내건물
	국외건물

[표 7] CASBEE-UD 지표 항목 및 Category 구성

대분류	중분류	항목
Q1 자연환경	여름철 보행공간 내 미기후에 대한 고려	기류를 이용한 열섬효과 저감
		그늘조성을 통한 열섬효과 저감
		녹지 및 개방된 수공간 조성을 통한 열섬효과 저감
		열배출 장치의 위치에 대한 고려
	지형의 보존과 고려	기존 지형의 특성을 고려한 배치와 건물형태
		표토의 보존
		토양오염에 대한 고려
	수환경의 보존과 고려	수환경의 보존
		대수층의 보존
		수질에 대한 고려
	서식지의 보존과 고려	가능한 자연자원의 수집
		자연자원의 보존 및 복원
		생태네트워크 환경 조성
		적합한 서식지 조성 및 제공
	기타 대상지내 환경에 대한 고려	쾌적한 대기 소음 진동환경 조성
		풍환경의 개선
		일조의 확보
Q2 서비스 기능	공급 및 관리 시스템	기반시설 공급 및 관리체계의 신뢰성
		상하수도 및 에너지 공급관리시스템의 수요변화와 혁신적 기술개발에 대한 적응성
	정보시스템	정보시스템의 신뢰성
		정보시스템의 수요변화와 혁신적 기술개발에 대한 적응성
		유용성
	교통시스템	교통체계의 충분한 수용력
		보행공간의 안정성 확보
	재난 및 범죄방지	자연재해로부터 위기의식
		넓은 대피장소로서 오픈스페이스 확보
		적절한 대피로 제공
	일상생활의 편리성	범죄예방조치
		일상적 상점과 편의시설까지의 거리
		의료 및 복지시설과의 거리
		교육 및 문화시설과의 거리
Q3 지역커뮤 니티에 공헌	유니버설 디자인에 대한 고려	
	지역자원이 이용	지역의 인력과 기술, 산업의 활용
		지역의 역사 문화 및 자연환경 보존
	사회기반시설 조성에 기여	
	좋은 커뮤니티양성을 위한 고려	지역의 활력과 교류증진을 위한 커뮤니티 시설 혹은 오픈 스페이스 조성
		주민참여의 다양한 기회제공
L1 미기후	여름철 주변지역 열환경에 대한	도시맥락과 경관형성
		주변과의 조화
		바람을 방해하지 않는 건물 배치
		바닥 포장 재료에 대한 고려

입면 조경에 대한 환경적 영향	영향고려	건물 외장 재료에 대한 고려
		열낭비에 대한 고려
	주변지질 환경에 대한 피해 저감	토양오염에 대한 고려
		지반침하 최소화
	주변에 영향을 미치는 대기오염 방지	공기오염원 관리조치
		이동수단관련 조치
		대기정화 계획
	주변에 영향을 미치는 소음 진동 악취 발생 방지	소음에 의한 영향 저감
		진동에 의한 영향 저감
		악취에 의한 영향 저감
	주변에 풍해와 일조방해 저감	풍해의 저감
		일조방해 저감
L2 사회적 기반시설	상수공급에 대한 부하 저감	조명과 광고판에 의한 광공해 방지
		건물 외벽과 조경재료에 의한 눈부심 방지
	하수처리에 대한 부하 저감	우수사용 장려
		여러 가지 물순환 시스템 사용
	배수와 중수처리 부하 저감	투수형 바닥마감재와 침투 트랜치
		연못과 저수지를 이용한 우수유출 감소
	쓰레기 처리 부하 저감	중수 재사용
		중간 저류조 설치
		쓰레기 수집소 설치
	교통부하에 대한 고려	쓰레기 압출 및 퇴비화 설비
		쓰레기의 분류와 처리 처분
L3 지역환경 관리	지구온난화에 대한 고려	환승을 통한 전체 교통량 감소
		효율적 지역 교통망 구축
	지역전체를 위한 효율적 에너지 사용	재생에너지 지역 네트워크
		지역 연계를 통한 전력 및 난방부하 감소
	환경적으로 책임있는 공사관리	지역 고효율 에너지 설비
		시공관리
		지역전체를 위한 효율적 에너지 사용
		모니터링 관리
		주변에 영향을 미치는 대기오염 방지
		교통부하에 대한 고려
	지역 교통계획	ISO14001 인증
		건설폐기물 저감노력
		공사기간 중 에너지 소비 저감 활동
		구역 외부에 미치는 공사와 관련된 영향 저감
	모니터링 관리시스템	지구환경을 고려한 공사재료
		인체유해물질 사용 억제

- SOC 관련 인증제도로는 미국, 유럽 등 국가에서는 녹색 성과평가를 위해서 온실가스 발생량만을 가지고 평가하기 보다는 경제적·사회적·환경적 지표를 다양하게 사용하고 있으며, 도로의 생애주기동안 혁신적이며 경제적인 환경 및 녹색성 확보에 대한 연구 수행 중임.

[표 8] 선진국 녹색도로 인증제도 및 시스템

미국 환경보호국	영국	일본 국토 교통성
· Smartway Transport Partnership 프로그램 · TEA-21 평가지침 · 시애틀 natural drainage system	· 녹색물류 정책안 · 저 배출구역을 지정하여 탄소배출량을 조절	· 교통체증으로 인한 CO₂ 감축을 위해 에코드라이브 보급 · 일본 26개 지역에서 에코로드 정책 시스템 실시

- 미국의 경우 ‘HR 5161 Green Transportation Infrastructure Research and Technology Transfer ACT: 녹색 교통 인프라 연구 활성화 법령’을 마련·추진 중이며, 녹색인증 및 평가제도와 관련해서 대학 연구소 및 민간기업 중심으로 녹색도로 건설에 사용되는 재료와 자원에 대한 평가 시스템을 시범적으로 운영하고 있음.

[표 9] 미국의 친환경 도로 인증제도

Greenroads (워싱턴주)	I-LAST (일리노이주)	Green LITES (뉴욕주)
· University of Washington의 연구소 및 CH2MLL 민간기업을 중심으로 인증시스템 개발 · 도로시설물에 대한 녹색도 측정 기준 정립 · 그린빌딩인증제도 (Leadership in Energy & Environmental Design, LEED)와 유사	· 일리노이 교통국의 지속가능발전 그룹, 토목학회 등과 합작하여 지속가능수행 매트릭스 시스템 · I-LAST(Illinois Livable and Sustainable Transportation) 인증 시스템 적용 · 신규 및 기존 고속도로 사업 중심 적용	· 프로젝트 인증시스템인 Green LITES(Leadership In Transportation and Environmental Sustainability) 시행 · Green LITES는 사람들의 이익과 경제적 관점, 환경적인 호환성의 균형에 중점을 둠 · 지속가능한 도로사업에 적용, 설계 단계에서 적용되는 인증 시스템

- 이중 Greenroads는 포장기술(19%), 재료 및 자원(21%), 시공단계 활동(13%) 등 시공관련 분야와, 환경 및 수자원(19%), 접근성과 자산(28%)로 평가항목 구성되며, 소음저감, 우수관리, 폐기물 관리를 포함하여 최소 요구 기준을 제시하고 있음. 설계와 시공 중의 도로사업을 평가하여 실버, 골드,

에버그린 등급으로 인증 구분하여 도로의 설계와 시공 단계에서의 친환경성 확보에 중점을 두고 신규 도로사업 혹은 도로개선사업 평가하는데 활용되고 있음.

2.2. 국내·외 시장현황

2.2.1. 국내·외 SOC 시장 현황

1) 국내 SOC 시장현황

○ 시설물별 SOC 투자 규모

- 2004년부터 2012년까지의 SOC시설물별 재정투자 추이를 살펴보면, SOC시설물에 대한 투자규모는 2004년 이후 2009년까지 글로벌 금융위기 대응 등으로 인해 점차적으로 증가하였다가 2010년 이후 다시 감소하였음.
- [표 10]의 자료에 따르면, 2004년부터 2012년까지 각 부문별 재정투자 평균 추이에서 SOC시설물 중 도로분야의 투자비중이 36.9%로 가장 큼.

[표 10] SOC 분야내 각 부문별 재정투자 추이

(단위: 조 원)

부 문	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	평균	비중(%)
□ SOC 분야	17.4	18.3	18.4	18.4	20.5	25.5	25.1	24.4	23.1	21.5	100%
· 도로	<u>8.1</u>	<u>7.7</u>	<u>7.4</u>	<u>7.5</u>	<u>8.1</u>	<u>9.6</u>	<u>8</u>	<u>7.4</u>	<u>7.8</u>	<u>8.0</u>	<u>36.9%</u>
· 철도·도시철도	4.3	4.9	4.6	4.8	5.3	6.3	5.3	5.4	6.1	5.2	24.3%
· 해운·항만	1.7	1.9	1.9	2.1	2.1	2.1	1.9	1.6	1.6	1.9	8.7%
· 항공·공항	0.4	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	1.0%
· 물류 등 기타	0.6	0.7	1	1.1	2.2	2.2	2.2	2.2	1.9	1.6	7.3%
· 수자원	1.7	1.9	2.2	1.6	2.8	2.8	5.1	5	2.9	2.9	13.4%
· 지역 및 도시	0.4	0.5	0.5	0.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.1	5.2%
· 산업단지	0.3	0.3	0.4	0.4	0.9	0.9	0.9	1	1	0.7	3.1%

(자료: 기획재정부 및 국토교통부 내부자료)

- 기획재정부의 2013~2017년 국가재정운용계획에 따르면, 경제위기 이전 (2005~2008년)의 SOC 예산은 연간 18~20조원 수준의 규모로 유지되었으나

2009년 경제위기 극복을 위해 25조원 규모로 대폭 확대된 이후 '10~'13년 평균 24.4조원 규모까지 확대되었음.

- 도로시설물은 국가기간망을 구성하는 중요한 네트워크 SOC 시설물로 투자액의 비중이 전체 시설물 중 약 34.6%로 타시설물에 비해 그 규모가 가장 크며, 필수시설에 대한 투자는 지속될 전망이다.

[표 11] SOC 분야 투자계획

(단위: 십억 원)

구분	'13	'14	'15	'16	'17	평균	비중(%)
□ SOC 분야	24,302	23,262	21,991	20,538	19,222	21,863	100%
· 도로	8,645	8,371	7,690	6,914	6,167	7,557	34.6%
· 철도·도시철도	6,859	6,591	6,274	5,847	5,324	6,179	28.3%
· 해운·항만	1,509	1,489	1,522	1,533	1,535	1,518	6.9%
· 항공·공항	82	100	150	199	366	179	0.8%
· 물류 등 기타	1,917	1,980	1,888	1,965	1,984	1,947	8.9%
· 수자원	2,731	2,351	2,165	2,057	1,921	2,245	10.3%
· 지역 및 도시	1,630	1,483	1,409	1,344	1,261	1,425	6.5%
· 산업단지	929	896	891	678	664	812	3.7%

(자료: 2013~2017년 국가재정운용계획(2013), 기획재정부)

- 국토교통통계누리(<http://stat.mltm.go.kr>)의 2008년부터 2013년간 도로 투자 실적 현황에 따르면 도로 신설 및 확충에 투자비중이 높음.

[표 12] 도로 투자 실적 현황

(단위: 억 원, %)

구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	금액	비중
계	79,259	94,069	77,817	72,638	76,896	90,691	81,895	100.0%
고속도로건설	9,293	14,544	11,405	11,474	14,469	16,234	12,903	15.8%
국도건설	36,642	48,368	42,712	39,575	37,970	42,347	41,269	50.4%
도로관리	7,652	10,075	8,452	9,071	9,782	11,164	9,366	11.4%
민자도로건설및관리	16,464	12,266	5,956	4,151	5,899	11,058	9,299	11.4%
지자체도로건설지원	9,105	8,170	8,757	7,762	7,555	8,541	8,315	10.2%
기타	103	646	535	605	1,221	1,347	743	0.9%

○ 신규 건설 및 유지관리 분야 시장 현황

- 2010년 국내 SOC 중 교통분야의 유지 및 보수 투자액의 추정치를 살펴보면, GDP의 약 0.85%를 신규투자, 0.26%를 교통분야 유지보수에 투자하는 것으로 추정.

[표 13] 국내 SOC(교통) 유지·보수 투자 추정(2010년)

구분	GDP	도로			철도			합계		
		신규 건설	유지 보수	전체	신규 건설	유지 보수	전체	신규 건설	유지 보수	전체
투자액 (조원)	1,173	5.60	2.21	7.81	4.40	0.81	5.21	10.00	3.02	13.02
GDP 의 %	100.00	0.48	0.19	0.67	0.38	0.07	0.44	0.85	0.26	1.11

※ 전 체 : 2010년도 SOC 예산 및 국가재정운용계획(안) 참조
 유지보수 : 국토교통부의 2010 도로보수현황, 한국철도공사 연도별 시설업무자료(고속철 포함), 서울메트로, 서울도시철도공사, 대전·대구·광주·부산 도시철도공사 경영공시 자료 참조
 신규건설 : 전체 투자액에서 유지·보수 투자액을 차감한 금액
 (자료: 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년))

○ 1970년대 중반 이후부터 1990년대까지 교통시설을 중심으로 SOC시설을 지속적으로 확충하여 도로, 도시철도, 항만시설 등 SOC시설의 스톡(Stock)이 상당량 증가함.

- 도로는 2005년 기준으로 1962년 대비 3.77배로 증가하였으며, 철도는 1.11배로 증가
- 1970년대 중반부터 도로, 교량을 비롯한 교통시설이 집중적으로 건설되었기 때문에 20년 이상 된 노후교량을 비롯해 안전 및 유지관리의 대상이 되는 시설이 점점 증가할 것으로 예상됨⁵⁾

5) 제2차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2007), 건설교통부

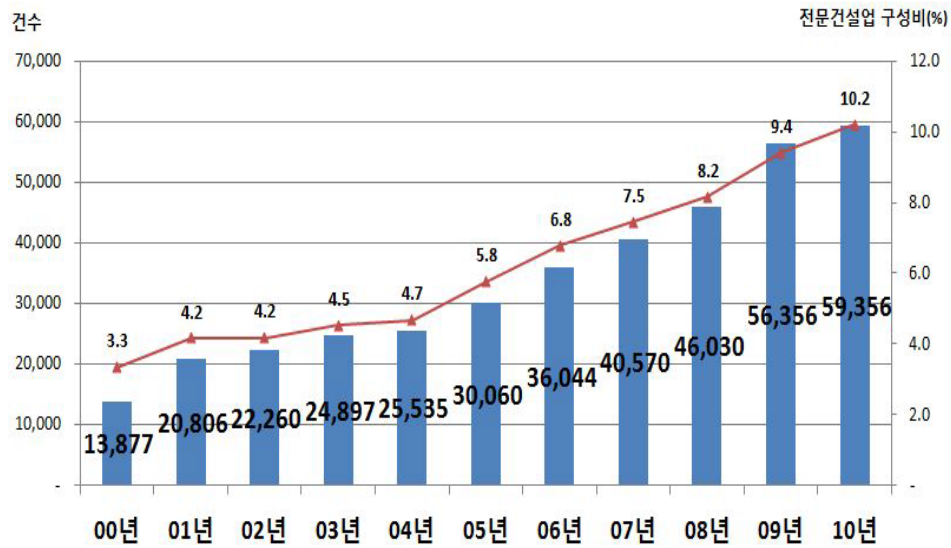
[표 14] 교통부문별 시설스톡 추이

구분	도로연장			철도연장			도시철도연장			상수도 보급률		
	(km)	대비	증감률	(km)	대비	증감률	(km)	대비	증감률	(%)	대비	증감률
1962	27,169	1	-	3,032	1	-	-	-	-	-	-	-
1970	40,244	1.48	48.1%	3,193	1.05	5.3%	-	-	-	32.4	1.55	-
1980	46,951	1.73	16.7%	3,135	1.03	-1.8%	68.6	7.23	-	54.6	2.61	68.5%
1990	56,715	2.09	20.8%	3,091	1.02	-1.4%	123.0	12.95	79.3%	78.5	3.76	43.8%
1993	61,301	2.26	8.1%	3,098	1.02	0.2%	161.5	17.02	31.3%	81.1	3.88	3.3%
1995	74,237	2.72	21.1%	3,101	1.02	0.1%	194.6	20.51	20.5%	82.9	3.97	2.2%
1997	84,968	3.13	14.5%	3,118	1.03	0.5%	250.9	26.45	28.9%	84.5	4.04	1.9%
1999	87,534	3.22	3.0%	3,119	1.03	0.0%	362.4	38.20	44.4%	86.1	4.12	1.9%
2001	91,396	3.36	4.4%	3,125	1.03	0.2%	401.4	42.31	10.8%	87.8	4.20	2.0%
2002	96,037	3.53	5.1%	3,129	1.03	0.1%	411.5	43.38	2.5%	88.7	4.24	1.0%
2003	97,252	3.58	1.3%	3,140	1.04	0.4%	411.5	43.38	0.0%	89.4	4.28	0.8%
2004	100,278	3.69	3.1%	3,374	1.11	7.5%	423.5	44.60	2.9%	90.1	4.31	0.8%
2005	102,293	3.77	2.0%	3,374	1.11	7.5%	470.8	49.56	11.2%	90.7	4.34	0.7%

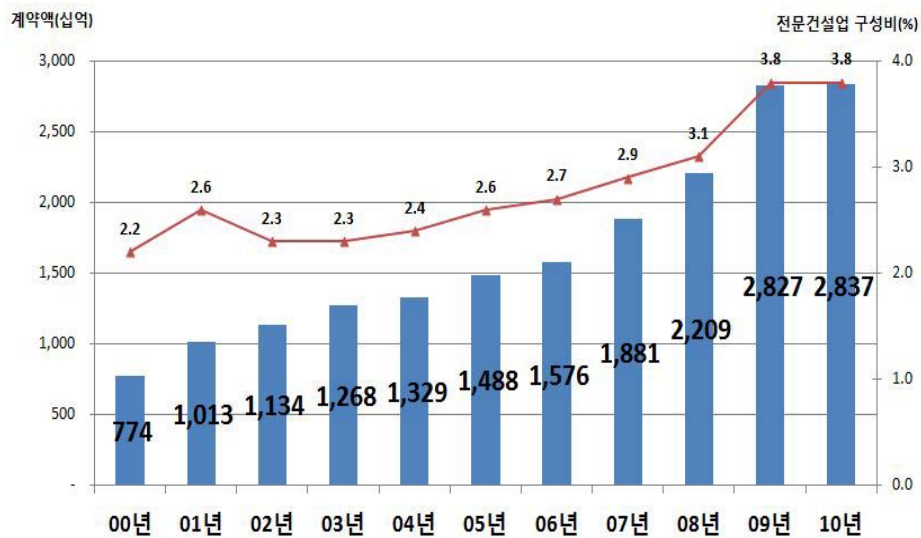
주: 도시철도연장은 1974=1.0, 상수도 보급률은 1965=1.0으로 할 때 지수

(자료 : 제2차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2007), 건설교통부)

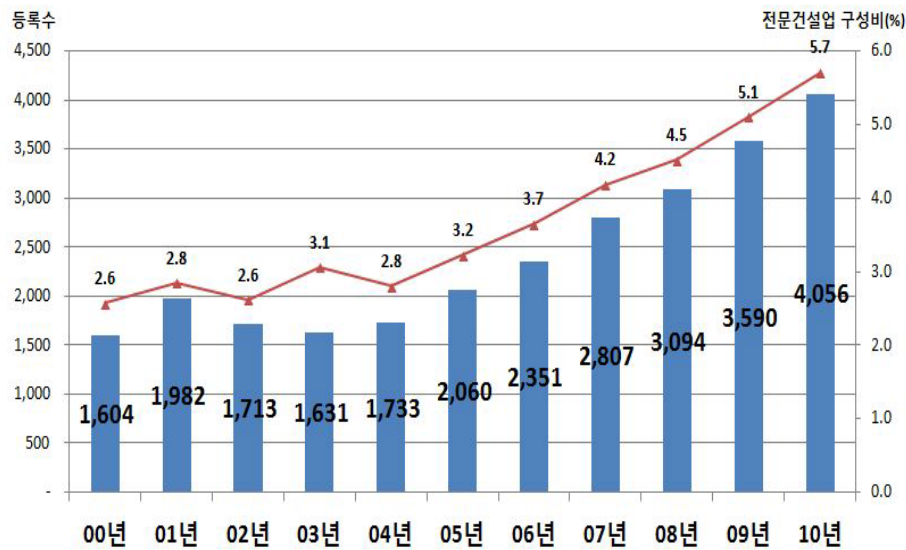
- 해외 선진국의 경우 대부분의 기반 시설물은 50~60년대에 건설되어 90년대 이후 노후화에 따른 유지관리의 투자가 증가하고 있음. 국내 대부분의 기반 시설물들은 70~80년대에 건설되어 선진국들과 비슷한 경로를 따라간다면 2010년경 이후부터 유지관리에 많은 투자가 이루어질 것으로 전망.
- 국내 시설물 유지관리 시장동향을 살펴보면, 시설물 유지·보수공사 연간 건수, 시장규모(계약금액) 및 유지관리업체수가 지속적으로 증가하고 있음.



[그림 9] 시설물 유지·보수공사 연간 건수
(자료: 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년))



[그림 10] 시설물 유지·보수공사 연간 시장규모(계약금액)
(자료: 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년))



[그림 11] 시설물 유지관리업체 등록 수

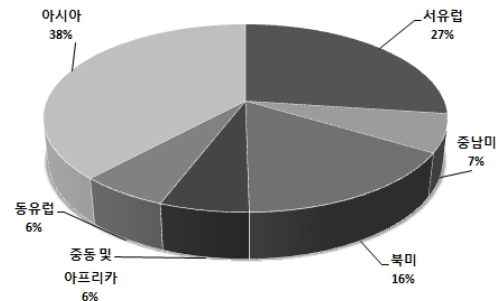
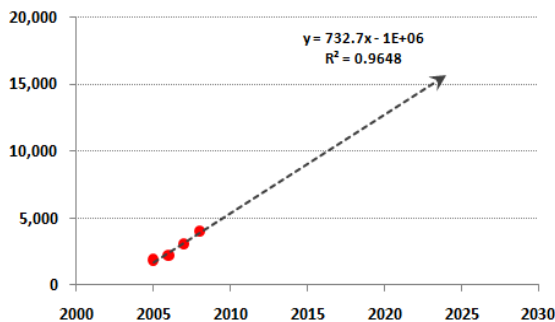
(자료: 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년))

- 국토교통부가 2012년 12월에 고시한 「제3차 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 기본계획(2013~2017)」에 따르면, 국민 안전을 확보하기 위해 3S(Safe, Sustainable, Smart) 시설물로의 전환을 통한 종합적인 시설안전의 구현을 추구하고 있음.
 - ‘Sustainable’은 ‘자연과 함께 하는 시설물’을 의미하며, 안전 및 유지관리가 저탄소·친환경적으로 이루어지고 이상기후 등 자연재해에 적극 대응할 수 있는 시설물을 목표로 하고 있음.
 - 향후 10년 시설안전 분야에 영향을 미칠 주요 메가트렌드 중 ‘기후변화’에 대한 시설안전 관련 이슈로 저탄소·친환경형 보수·보강재료 및 신공법 개발이 요구되고 있음.
- 선진국의 유지관리 분야의 투자가 확대되고 있으며, 국내 유지관리 시장 또한 점차 증가하는 추세이고 특히 시설물의 안전 및 유지관리의 정책적 방향이 저탄소·친환경적인 기술을 요구함에 따라 관련 기술의 수요가 증가할 것으로 전망됨.

2) 국외 SOC 시장현황

- 세계 플랜트 시장은 '08년 6조 5천억 달러에서 '13년 8조 4천억 달러 규모로 연평균 5.3% 성장하였으며⁶⁾, 이 중 해외 플랜트 및 SOC 시장 규모는 '08년 기준 4,050억 달러 수준⁷⁾으로 지속적으로 증가하고 있는 것으로 분석됨.
- 또한 기존의 서유럽과 아시아 외에 중남미의 시장 비중이 점차 증가하고 있는 것으로 나타남. 기존 연평균 성장률을 바탕으로 2030까지의 세계 플랜트 및 SOC 시장의 규모를 전망하면 다음의 그림과 같음.

(단위 : 억 달러)



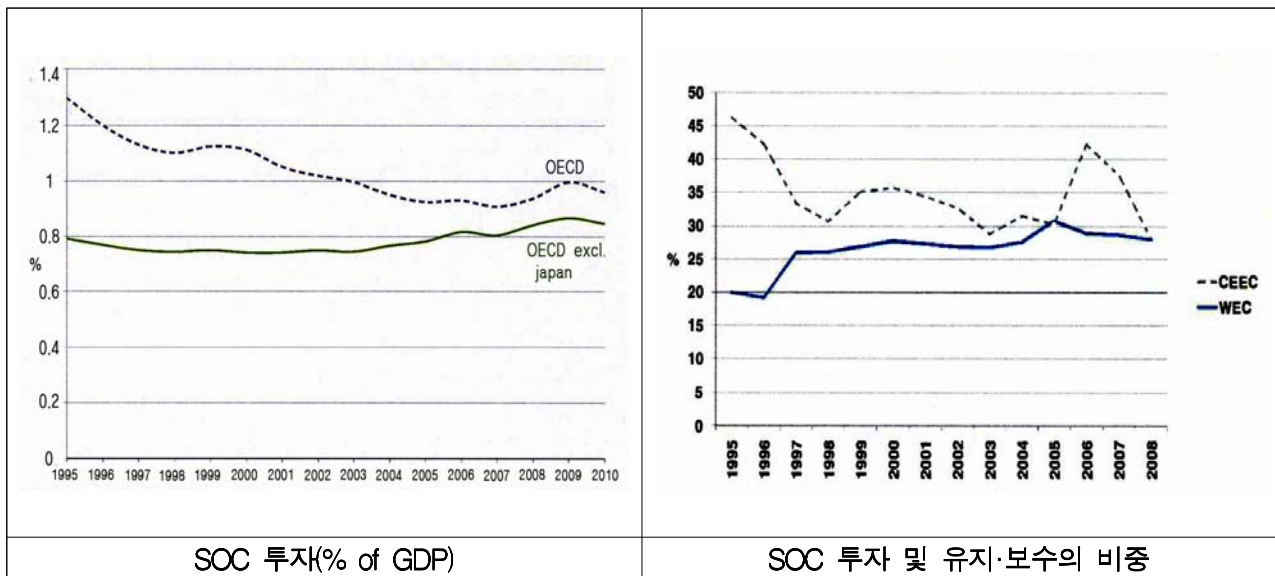
[그림 12] 세계 플랜트 및 SOC 시장 규모와 동향
(자료 : 해외건설시장 동향(2009), Global Insight)

- 세계 경제 및 산업 분석기관인 Global Insight에서 2009년부터 2019년까지 세계 건설시장은 연평균 3.9%의 실질성장률을 보일 것으로 전망하였으며, 2009년 6조 3천억 달러의 규모를 보였던 세계 건설시장이 2014년 9조 달러, 2019년 13조 달러에 이를 것으로 전망함.
- 신규 건설 및 유지관리 분야 시장현황
 - 신규 건설 및 유지관리 분야의 해외 현황을 살펴보면, OECD 회원국은 GDP의 약 1%를 SOC(교통)에 투자하는 것으로 나타났으며, 그 중 신규건설은 0.7%, 유지·보수에는 0.3%를 투자하는 것으로 나타남⁸⁾.

6) 해외건설시장 동향, Global Insight, 2009

7) 해외건설시장 동향, Engineering New Record 각호

8) 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년), 국토교통부



※ OECD International Transport Forum, Statistics Brief 2012(CEEC: 중앙 및 동유럽 국가, WEC: 서유럽국가)

[그림 13] OECD 회원국의 SOC(교통) 유지·보수 투자 추이(1995~2010년)

(자료: 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년))

2.2.2. 국내·외 환경 시장현황

1) 국내 환경 시장현황

- 산업자원부 등의 자료에 따르면 건설 산업 단독의 에너지소비는 2007년 418.1천 TOE로 우리나라 최종 에너지의 0.2%를 차지하고 있고, 2001년 이후 연평균 9.6% 감소하였으며, 건물용으로 43.7%, 수송용 29.8%, 건설기계용 14.5%, 기타 11.9%로 분류됨.(에너지경제연구원, 에너지총조사보고서, 2002-2008(제 8-10호))

[표 15] 건설업 용도별 에너지 소비

(단위 : TOE, %)

구 분	2001	2004	2007	증가율(%) '01 ~ '07
건설기계	461,153.6	34,701.0	60,698.8	-25.2
수 송	247,947.6	111,222.8	124,717.5	-9.4
건 물	46,674.3	149,241.9	182,872.8	21.5
기 타	149,525.5	92,514.9	49,800.7	-14.5
합 계	905,301	387,680.6	418,089.8	-10.5

- 미국에서 개발되어 전 세계 150개국 이상에서 사용되고 있는 온실가스 감축정책의 분석 모형 중 하나인 LEAP 시스템⁹⁾을 이용하여 우리나라 산업부문의 에너지소비 현황 및 추세를 파악하고 이를 바탕으로 산업부문에 이용 가능한 에너지관련 정책 및 기술옵션을 통해 저감 잠재량을 파악할 수 있음. 각 산업부분의 활동도, 부가가치 등을 토대로 2030년까지의 산업 부문별 온실가스 배출량을 전망한 결과는 다음의 표와 같음.

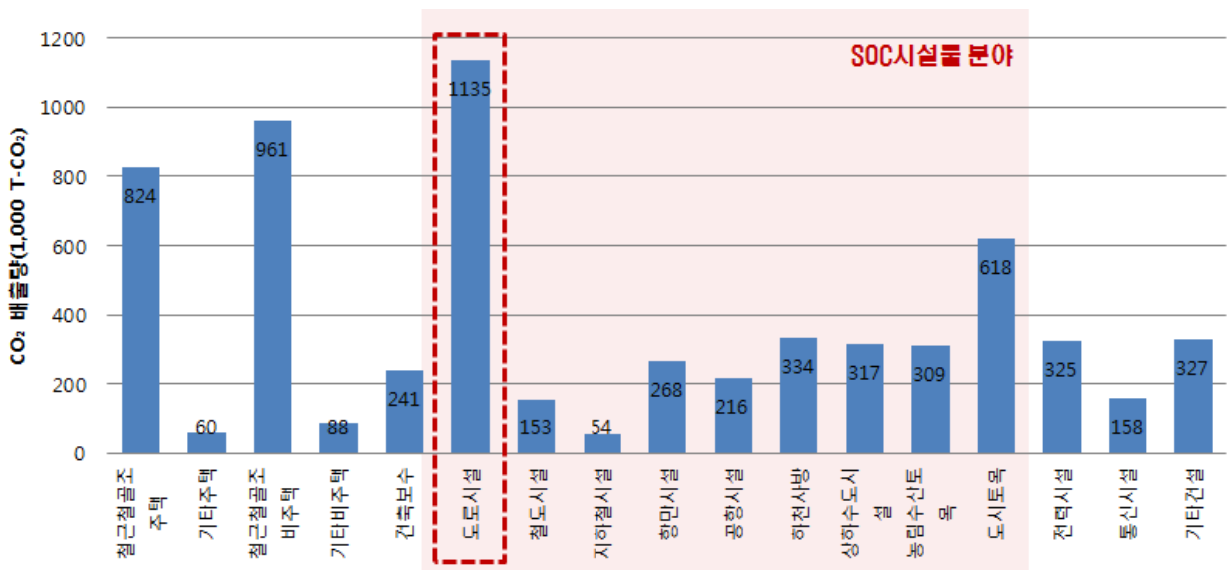
[표 16] 산업부문 온실가스 배출량 전망(BAU, 2007~2030) (단위 : 천tCO₂, %)

구 분	2007	2013	2020	2030	증가율(%) '07 ~ '30
농림어업	10,348.4	11,593.2	12,675.1	15,514.7	1.7
광 업	234.8	269.7	277.3	338.8	1.5
제 조 업	114,137.5	149,770.4	203,452.5	300,020.0	4.1
건 설 업	952.3	1,058.3	1,227.5	1,618.5	2.2
합 계	125,673	162,691.6	217,632.4	317,492	3.9

- 2006년 한국건설기술연구원에서 수행한 ‘건설부문 온실가스 배출분석 연구’에서 건설부문별 총 CO₂ 배출량을 분석한 결과, 도로시설이 가장 큰 것으로 나타남¹⁰⁾.
- 총 CO₂ 배출량은 건축건설 및 토목건설 과정에서 직접적으로 소비된 에너지에 의해 발생된 CO₂를 뜻하며, 도로시설부문이 1,135천Ton-CO₂ (17.8%), 철근철골조비주택부문이 961천Ton-CO₂ (15.0%), 철근철골조주택부문이 824천Ton-CO₂ (12.9%)의 순으로 나타남.

9) 이지환, 저탄소 녹색성장을 위한 우리나라 산업부문 온실가스 배출 현황 및 전망, 계명대학교 석사학위논문, 2010

10) 에너지투입량에 에너지의 탄소함유량을 이용하여 추정하였으며, 대체적으로 많은 국가들이 자국의 온실가스를 추정할 때에 사용하고 있는 IPCC 탄소배출계수(IPCC carbon emission factor)를 인용하여 사용하였음.



[그림 14] 건설부문별 총CO₂ 배출량(T-CO₂)

(자료 : 건설부문 온실가스 배출 분석 연구(2006), 한국건설기술연구원)

- 녹색건설 관련 국내 시장의 경우 2012년 건설수주는 103조원으로 전망되고 있으며 부문별로 공공부문 건설수주가 29조원 정도에 이를 것으로 전망한 바 있음. 그리고 국내 녹색건설시장 규모는 2015년까지 25조에 달할 것으로 추정되었음.
- 주요 녹색건설 상품으로는 건물·도시 리모델링, SOC시설물 녹색건설화, 폐기물 및 폐수처리시설, 노후화된 시설물 개선 시장 등이 부상할 것으로 전망하였음¹¹⁾.
- 또한 한국건설산업연구원은 “2020년 한국 건설 산업의 주요 이슈 및 트렌드 예측” 보고서(2011)를 통하여 향후 파급효과가 클 건설상품으로 녹색인프라 구축, 건물 배출가스 제로도시, 한중 해저터널, 한일 해저터널 등으로 조사되었다고 함. 특히 녹색인프라는 국제화, 수출기여도, 국가경쟁 기여도, 국가경쟁력 제고 등의 측면에서 매우 중요하다고 언급한 바 있음.
- 한편 국내 환경산업 시장규모는 1999년 9조원, 2005년 19조원, 2010년 32조원에 달할 것으로 전망되었음. 국내 환경 시장규모는 1999년 기준으로 세계 환경산업 시장의 약 2%에 해당하는 미미한 수준으로 부문별로는 환경서비스업 43%, 환경자원이용업 32%, 환경설비업 25%의 비중을 나타내고 있음.¹²⁾

11) 건설 산업연구원, 녹색건설세미나 자료, 2010

12) 국립환경연구원, 산업연구원 등의 자료를 근거로 삼성지구환경연구소에서 추정

[표 17] 국내 환경산업의 시장규모 전망

(단위: 억 달러)

구 분	1999년	2005년	2010년	연평균 성장률(%)	
				1999년 ~2005년	2005년 ~2020년
환경서비스업	38,980	78,850	136,390	12.5	11.6
환경자원이용업	28,380	62,770	118,540	14.1	13.6
환경설비업	22,610	46,350	62,620	12.7	6.2
합 계	89,970	187,970	317,550	13.1	11.1

- 시장성장률로 보면 1999년~2005년 13.1%, 2005년~2010년 11.1%의 비교적 높은 편으로, 특히 환경자원이용업의 시장성장률이 높아지는 반면 환경설비업은 국내 환경기초시설의 투자가 어느 정도 마무리되어 가고 있어 시장성장률이 급격하게 낮아 질 전망이다.
- 특히 국내 환경산업 시장은 민자유치 방식의 확대, 소프트웨어 분야의 비중 증대 등 구조적 변화가 나타나기 시작할 것으로 전망됨. 즉 정부, 특히 지방자치단체의 재원 부족으로 환경기초시설에 대한 민자유치가 활발하게 수행될 것이며, 환경산업에 있어 건설, 설비제작 등 하드웨어 비중은 감소하고 진단 및 컨설팅, 운영사업 등 소프트웨어 분야에서 시장기회가 증가할 것으로 예측된 바 있음.
- 환경관련 시장의 부문별 규모를 살펴보면 2000년 기준 우리나라의 환경오염 방지지출 총규모는 7조 9,690억 원으로 이중 정부 부분이 약 4조 1천억 원, 민간부분이 3조 5천억 원, 가계 부분이 3천억 가량을 차지하고 있음. 오염매체별로는 수질/토양 오염이 약 3조 7천억 원으로 가장 많고 폐기물이 2조 7천억 원, 대기 부분이 1조 2천억 원 순으로 나타났음.
- 환경오염방지지출 통계를 주요 선진국과 비교해 보면 편제기준이 달라 일률적인 국제비교는 어려우나 선진국 기준에 맞추어 조정해 볼 경우, 우리나라의 환경오염방지지출 수준은 미국, 독일, 일본에 비해 여전히 낮게 나타나고 있음.

[표 18] 환경오염방지지출의 대GDP비율 (%)

	선진국				한국2)			
	' 75	' 80	' 85	' 90	' 94	' 98r	' 99	' 00p
미 국	1.74	1.82	1.71	1.65	1.75	1.62	1.65	1.53
독 일	1.32	1.39	1.46	1.58	1.653)	1.25	1.31	1.21
일 본	0.96	1.59	1.16	0.96	..	0.91	0.91	0.80

주: 1) 각국의 포괄범위 차이로 단순비교는 어려움

·미국 : 정부, 기업(금융보험부동산, 개인서비스업 제외), 가계 포함

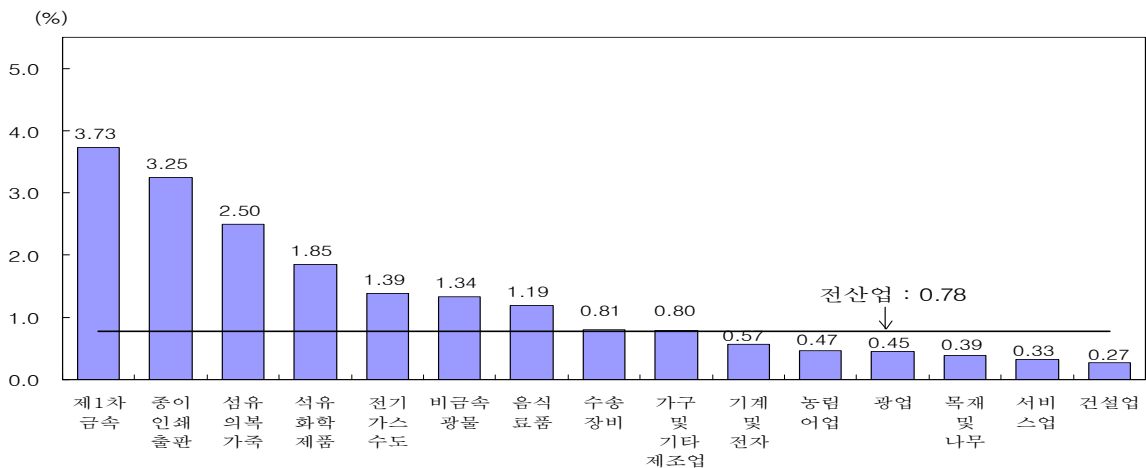
·독일 : 정부(하수도배관시설 제외), 기업(광공업, 전기가스수도업, 건설업)포함, 가계 제외

·일본 : 정부부문만 포함

2) 비교대상국가 기준으로 조정한 수치임

3) ' 92년 수치임

자료 : 미상무성 경제분석국, Survey of Current Business, 1996. 9월



[그림 15] 업종별 환경지출부담률 (2000년 기준)

(자료 : OECD, Pollution Abatement and Control Expenditure in OECD Countries, 1990, 1996)

- 2000년 기준 업종별 환경지출 부담률은 위의 [그림 15]과 같으며, 전체 산업 평균 0.78%, 이중 건설업은 0.27%로 매우 낮은 것으로 나타났다.
- 생애주기를 기반으로 한 환경평가를 시행하기 위해서는 기초자료로서 재료의 환경부하를 파악할 필요가 있음. 인벤토리 DB(Inventory DataBase, IDB)는 LCA 평가 시 중요한 기초자료 중 하나로서, 시멘트 1kg을 사용한다고 할 때 CO₂가 얼마만큼 발생하는지와 같이 재료와 환경영향간의 관계를 결정하는 것

입.¹³⁾

- 그러나 현재 우리나라의 국가 LCI DB는 1998~2003년까지 기초소재 및 부품제조, 수송 등의 분야에 대한 총 318개로 구축되어 있으나 (지식경제부, 환경부), 이는 주로 제조업 중심으로 건설 환경이 고려되지 않아 실제 건설 분야에 적용 가능한 DB는 불과 60여개로 신뢰성 있는 탄소배출량 산정에는 미흡함. 따라서 DB의 한계로 인해 해외 DB를 활용하거나 분석 범위를 제한하고 있는 실정임.
- 뿐만 아니라 기존의 DB는 제조업 중심으로 산업특성에 따른 개별 옵션 선택이 불가능하고, 무엇보다 신소재 및 신기술 개발에 따른 탄소저감량 및 환경영향 등을 고려할 수 없어 이에 대한 보정이 필요한 실정임.
- 각 산업계에서는 가격경쟁 품질경쟁, 디자인 경쟁 이후 녹색 시장에 대한 경쟁이 매우 치열하며, 각 사별 로드맵, 목표 수립 및 연구개발이 진행 중임. 사회기반시설물을 비롯한 토목/건설공사 시 발생하는 환경부하와 온실가스 배출량에 대해서는 현재 LCI DB 및 탄소인벤토리 구축 등이 활성화 되고 있으나, 이를 활용하여 환경성을 종합적이고 정량적으로 평가하는 도구는 미비한 실정임.
- 국내외에서는 PASS(지식경제부), TOTAL(환경부) 외에도 Gabi(IKP), SimaPro(PRe-Consultant) 등의 소프트웨어가 다수 개발된 상황이나, 초보자 및 사용자들의 접근이 어렵고, 제조업 중심의 시스템 구성으로 건설 환경이 고려되지 않았다는 문제점이 있음.
- 이중 정부에서 개발한 PASS, TOTAL 등의 프로그램은 지식경제부와 환경부에서 주도적으로 개발하여 환경성적표지 등에 사용되고 있으나, 초보자의 접근이 어렵고, 제조업 중심으로 한정되어 있어 건설 단계에 전반적으로 사용하기에는 제한적임. 그 외, 건축물의 에너지 절약측면의 평가 tool과 친환경적 설계 등을 평가할 수 있는 software 들이 개발되어 있음.
- 그 외 건설단계 건설공종 별 전체 건축자재 입력을 통한 상세 평가가 가능한 한국건설기술연구원의 K-LCA, 추계모델식과 에너지 사용량 및 건축자재 직접입력방식을 통해 공동주택 평가를 위한 S-건설의 ECO-pia, 건축물의 CO₂ 배출량 평가를 위한 L-건설의 LOCAS 등이 개발되어 있으나, CO₂부분에 한

13) 이유화, 일본 도로 인프라 건설 LCA 평가기술 개발, 도로정책, 제 52호, pp5-6, 2012

정되어 있거나 건축물 에너지 효율 등 일부 범위에만 적용되고 있는 실정임.

2) 국외 환경 시장현황

- 녹색 건설 관련 세계시장의 규모는 2007년 기준으로 약 4.6조 달러로 추산되며, 연평균 3.4% 정도씩 성장하여 2012년에는 5.5조 달러에 이를 것으로 추정하고 있음. 플랜트 및 SOC 시장규모는 연평균 5.3%씩 증가하여 2013년 8조 4천억 달러에 이를 것으로 전망되었음.
- EU 시장의 경우에는 2020년까지 에너지 소비의 20%를 줄여 매년 600억 유로를 절감할 수 있을 것으로 예측하고 있으며, 지속가능한 건설시장 규모도 790억 유로로 전망하고 있음. 특히 2020년 녹색건설시장 규모는 126억 유로에 이를 것으로 전망하고 있음. 또한 법적 구속력이 발생하는 2020년까지 목표로 온실가스를 1990년 대비 20% 삭감과 재생에너지 비율 20% 증가를 목표로 설정하고 있음.
- 미국의 건설투자는 2005년 1조 5천억 달러에서 계속 감소하여 2010년 기준으로 9,830억 달러로 시장이 축소됨. 하지만 건설시장은 축소되고 있지만 전체 건설시장에서 그린건설의 규모는 매년 늘어나고 있는 추세이며 2013년 그린빌딩 시장규모는 1400억 달러에 이를 예정임. 2008년에 세계금융위기로 경기가 침체되자 오바마 대통령은 이른 바 ‘그린뉴딜정책(Green New Deal)’을 통해 청정에너지 산업 부문에 향후 10년간 1500억 달러를 투자하여 5백만개의 그린일자리 창출을 목표로 하여 친환경적 경제체제로의 전환을 계획하여 추진하였음. 또한 저탄소 경제 구축 기반을 위해 탄소배출을 2050년까지 80% 감축 및 연간 에너지 고효율 주택 100만 채 건설 등의 비전을 제시하였음.
- 국제금융위기로 인프라 투자가 위축된 상황이지만 “그린건설” 시장은 지속적으로 커지는 것으로 나타남. 그린건설시장을 주도하는 시장이 기존에는 유럽(EU)이었으나 점차 녹색시장에 무관심했던 미국, 캐나다, UAE 및 필리핀과 인도 등과 같은 개발도상국에 의하여 형성되고 있음. 특히 미국의 경우에는 친환경 건설기술 개발 및 자재, 시공법 변화에 R&D 투자를 꾸준히 하고 있는 것으로 조사됨.
- 한편 세계 환경산업 시장의 성장 추이를 살펴보면 2006년에서 2010년 까지

연평균 3.4%로 꾸준한 증가율을 유지하며 2010년에는 총 8,028억 달러를 기록했음. 미국은 가장 큰 환경시장 규모를 기록하였으나, 미국 등 선진국은 상대적으로 성장 정체기를 맞은 내수시장으로 인해 해외진출에 초점을 맞출 것이며 특히 개발도상국, 중동, 동유럽 국가들이 대상이 될 것으로 예상됨.

- 이러한 개발도상국 시장은 선진국에 비하여 덜 발달되었기에 지난 10년 동안 1993년 8%대에서 2003년 12%로 상당히 빠르게 성장해 왔으며, 앞으로도 성장률이 가속화되어 2010년 이후 세계 환경 시장 규모의 18%에 이를 것으로 예상된 바 있음. 14)

[표 19] 세계 환경시장 성장 추이 (2006~2010년)

국가	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	연평균성장률
미국	257.2	277.3	293.6	292.1	298.5	3.8
독일	55.0	58.1	60.5	60.6	62.5	3.2
영국	33.5	35.2	36.4	35.7	36.2	2.0
프랑스	30.1	31.1	31.5	31.2	31.6	1.2
일본	98.4	101.2	100.5	95.8	97.6	-0.2
중국	18.8	21.7	25.2	27.8	32.0	14.2
한국 ¹⁵⁾	8.5	9.1	9.5	9.7	10.3	4.9
전 세계	703.5	749.7	781.8	776.1	802.8	3.4

- 주요국의 분야별 환경시장을 EBI의 분류체계 기준으로 살펴보면 환경 선진국과 비교하여 상대적으로 우리나라가 취약한 환경 분야는 설비 및 정보시스템, 폐기물관리장비, 컨설팅 및 엔지니어링, 복원/산업 서비스, 수처리서비스, 수자원, 자원회수 분야를 들 수 있으며, 이와 관련한 시장 확대를 위하여 정부의 지원책 마련이 요구됨.

14) EBI(Environmental Business Internation, Inc., San Diego, California)

15) 주) 환경산업 통계조사의 분류체계 차이로 인해 과소평가 되어있음. 한국환경산업기술원, 「환경산업 현황과 통계 인프라 개선방향」, 2012.8

2.3. 기술동향 분석

2.3.1. 관련 기술개발 동향

1) 국내 기술개발 동향

- 국내 관련 기술개발 동향은 ① 친환경 건설 관련 연구, ② 건설 분야 환경부하 평가기술 관련 연구, ③ LCI DB 구축 및 지원 관련 연구로 구분하여 조사하였음.

① 친환경 건설 부문 연구개발 동향

- 친환경 건설 부문의 기술동향은 다음과 같음.

- 전 세계적으로 기후 변화 및 에너지 위기가 범국가적인 화두로 떠오르면서 온실가스 저감을 위한 그린에너지 산업 혁신이 관심사가 되고 있으며, 탄소저감 기술을 이용한 다양한 신기술들이 개발되고 있음.

- 국내에서도 에너지 소비 및 탄소배출 저감을 위해 여러 산업 분야에서 친환경 재료 및 기술들을 개발하고 있으며, 건설 산업 분야에서는 환경오염저감, 에너지효율성 향상 및 온실가스 저감을 목표로 신재생·청정에너지, 친환경 기술, IT기술 등을 활용한 녹색건설기술들에 대한 연구개발이 진행되고 있음.

- 최근 5년간 건설 분야 친환경 및 저탄소 관련 국내 연구 현황을 공법 및 기법, 장비, 자재 및 재료, S/W 및 시스템 개발 분야로 분류하여 요약하면 다음과 같음.

■ 공법 및 기법 개발

- 공법 및 기법 개발 분야에서는 주로 건축물의 이산화탄소 배출량 산정 및 평가, 저감 기술 등에 관한 연구들이 진행되고 있음. 토목분야에서는 시공 단계에서 이산화탄소 저감을 위한 공법 개발 연구 등이 진행되어 옴.

연구자	소속	연구기관	내용	연도
노상영 외	한양대학교	한양대학교 친환경건축 연구센터	공동주택 개보수에 따른 건축자재의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 분석	2007
김정용 외	한양대학교	한양대학교 친환경건축 연구센터	에너지소비량 및 이산화탄소 배출량 분석을 통한 건축 바닥 컴포넌트의 친환경 성능 평가에 관한 연구	2008
신동우	아주대학교	한국연구재단	친환경건축 폐기물 처리 및 재활용 시스템 기술 개발	2009
신성우외	한양대학교 에리카캠퍼스	한국연구재단	자원절감형 친환경건축 구법시스템 개발	2009
신은철	인천대학교	한국산학연합회 (한국산업기술평가관리원)	저탄소 녹색성장을 위한 친환경 도로 연약지반 처리공법 개발	2009
강성중 외	건국대학교	한국연구재단	사용자 인터랙션을 통한 탄소 배출량 산정을 위한 정보디자인	2010
박효선	연세대학교	한국연구재단	시공단계에서의 건축물 CO ₂ 배출량 평가 및 절감 기술 개발	2010
이재용 외	경운대학교		에너지자원 : 탄소 배출량 산정을 위한 GIS 적용연구	2010
홍태훈	연세대학교	한국연구재단	교육시설물의 CO ₂ 저감을 위한 유지관리 프로세스 개발	2010
김병수	경북대학교	한국연구재단	토공장비조합에 따른 공사기간 및 이산화탄소 배출량의 상관성 분석	2011
노관섭	한국건설기술연구원	국토교통과학기술진흥원	탄소중립형 도로 기술 개발	2011
손병훈	대구공업대학교	한국연구재단	도시 내 노후건축물의 라이프사이클 단계별 CO ₂ 저감 계획기법 개발	2011
정영선 외	한국건설기술연구원 외	건축환경 및 친환경 자재기술 표준화 사업의 지원	건축물 생애과정에서의 이산화탄소 배출량 계산 프로세스에 관한 연구	2011
조윤희	중앙대학교	국토교통과학기술진흥원	저탄소 녹색공항 포장 시공 및 유지관리 기법 개발	2011
한승원	서울시립대학교	한국연구재단	시공단계 공법에 따른 투입자원과 이산화탄소 배출량에 관한 연구	2011
김인한 외	경희대학교 국제캠퍼스	한국연구재단	개방형 BIM기반 저탄소 설계 및 거대구조물 유지관리 건설기술 개발	2012
김재준	한양대학교	한국연구재단	친환경 지능형 건축 Component 시스템 개발	2012
손영환	서울대학교	한국연구재단	CO ₂ 배출량 분석을 통한 산업부산물과 준설토의 경제성 평가 및 지속가능한 재활용 방안 연구	2012
태성호	한양대학교	국토교통부	CO ₂ 배출량 절감을 위한 콘크리트 배합설계 기술개발	2012
황성도	한국건설기술연구원	한국건설기술연구원 (산업기술연구회)	저비용 저탄소 아스팔트 포장공법 개발	2012

■ 장비 관련 분야

- 장비 관련 분야에서는 시공단계에서 환경부하 저감을 위한 건설 현장에서의 자동화 장비에 관한 연구와 토공사, 포장공사 등에서 많은 비중을 차지하고 있는 건설 기계장비의 운영 및 작업을 지능화 및 효율화하여 에너지 소모를 줄이고 온실가스의 배출을 감소시키고자 하는 연구가 진행되어 옴.

연구자	소속	연구기관	내용	연도
신성우	한양대학교	한국연구재단	친환경 지향 건설 자동화 시스템 개발	2009
서종원외	한양대학교	국토교통과학기술진흥원	탄소저감형 건설장비 운영기반 스마트 시공 시스템 기획	2012

■ 자재 및 재료 개발 분야

- 자재 및 재료 개발 분야에서는 다양한 재료들을 활용한 친환경 자재 개발에 관한 연구들이 다수 진행되고 있으며, 이산화탄소 배출을 최소화하는 콘크리트 생산기술 등도 활발히 연구되고 있음.

연구자	소속	연구기관	내용	연도
이광호	한국도로공사	국토교통과학기술진흥원	장수명 친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발	2009
김윤용	충남대학교	한국연구재단	순환형 폐기물을 이용한 친환경, 고내구성 섬유복합재 Eco-ECC의 개발 및 내진구조 적용에 대한 연구	2010
양승현	전북대학교 익산캠퍼스	한국산학연합회 (한국산업기술평가관리원)	친환경 기능성 마그네슘계를 이용한 저알칼리 몰탈 콘크리트 결합재	2010
이장화	한국건설기술연구원	한국산업기술평가관리원	바텀애시를 다량 활용한 CO ₂ 배출 저감형 콘크리트 기술 개발	2010
이병호	경상대학교	한국산학연합회 (한국산업기술평가관리원)	매립회를 활용한 친환경 건축내장재 개발	2010
차철용	실크로드시앤티	한국산업기술평가관리원	유/무기 융합재료를 활용한 LCCO ₂ 저감형 고내구성 콘크리트 배합설계기술 개발	2010
박상순	한양대학교 에리카캠퍼스	한국산학연합회 (한국산업기술평가관리원)	순환골재와 FRP rebar를 이용한 저탄소 프리캐스트 콘크리트 생산기술 개발	2011
박성식	경북대학교	한국산업기술평가관리원	미생물을 이용한 친환경 바이오그라우팅 개발	2011

연구자	소속	연구기관	내용	연도
서정인	우석대학교	한국산학연합회 (한국산업기술평가관리원)	비소성시멘트를 활용한 친환경 맨홀 개발	2011
이광준	서남대학교	한국산학연합회 (한국산업기술평가관리원)	붕괴사면복구용 친환경 식생매트 개발	2011
장영일	충남대학교	한국산학연합회 (한국산업기술평가관리원)	2차 코팅된 순환골재를 이용한 자원순환형 저탄소 투수성콘크리트 제품의 개발	2011
정상진	단국대학교 (죽전)	한국산학연합회 (한국산업기술평가관리원)	친환경성 및 에너지 저감형 단열 시스템 거푸집 개발	2011
하기주	경일대학교	한국산학연합회 (한국산업기술평가관리원)	건설산업부산물을 이용한 CO2 저감형 친환경 지오폐리머 섬유복합재 및 콘크리트 제품 개발	2011
홍원기	경희대학교	한국연구재단	저탄소 장수명 공동주택용 합성 라멘 프레임 개발	2011
김병우외	성균관대학교	국토교통과학기술진흥원	바이오 기술 적용 친환경 마감재 개발	2012
김화중외	경북대학교	국토교통과학기술진흥원	해양설치용 인공리프 블록의 친환경재료 개발	2012
박동천외	한국해양대학교	국토교통과학기술진흥원	폐콘크리트를 원료기반으로 하는 저탄소형 재생시멘트 개발	2012
박성기외	(주)에스에이치투	국토교통과학기술진흥원	저탄소 콘크리트를 적용한 고성능 콘크리트 폰튼 제조 기술 개발	2012
송하영	한밭대학교	한국연구재단	저탄소 무기결합재를 활용한 친환경 내·외장재 인조석재 개발에 관한 연구	2012
안기용	한양대학교 에리카캠퍼스	한국연구재단	친환경형 CO2 저감형 무시멘트 콘크리트 개발 및 건축, 토목현장적용	2012
안남식	세종대학교	한국연구재단	친환경 geopolymers 플라이애쉬 콘크리트에 관한 실험적 연구	2012
이동렬	건설기술정책연구원	한국연구재단	건설/산업 폐기물을 이용한 친환경 고인성 고내구성 섬유복합재료(ECO-ECC) 개발 및 내진구조 적용 연구	2012
이세현외	한국건설기술연구원	국토교통과학기술진흥원	환경부하 저감형 건축재료 개발	2012
이승연	한국건설기술연구원	국토교통과학기술진흥원	순환자원을 이용한 탄소저감형 건축자재 실용화	2012
형원길	영남대학교	한국연구재단	광산지역 지반침하 및 오염방지를 위한 환경부하 저감형 무기결합재 및 충전재 개발	2012

■ S/W 및 시스템 개발

- S/W 및 시스템 개발 분야에서는 건축물 위주의 환경부하량 및 이산화탄소 배출량 모니터링 및 평가를 위한 시스템 개발 연구가 진행되어 오고 있으며, 토목분야에서는 시공단계에서의 공정 및 장비 운영에 따른 이산화탄소 배출량 평가 위주의 제한적인 연구가 선행되어 옴.

연구자	소속	연구기관	내용	연도
이동은 외	경북대학교	한국연구재단	프로젝트 자원투입 정보를 활용한 탄소 배출량 산출 시스템	2010
최형림 외	동아대학교	지식경제부 지방 기술혁신사업	Green Port 구현을 위한 물류장비 탄소 배출 모니터링 시스템	2010
태성호	한양대학교	한국연구재단	콘크리트 산업 환경부하(CO2) 최적 설계 및 예측 시스템 개발	2010
신성우	한양대학교 에 리 카 캠퍼스	교육과학기술부	목적지향형 건설구조물 전 과정 CO2 최적 평가 관리 시스템(GB-COAS) 개발	2011
김성근	서울과학기술대학교	한국연구재단	탄소저감과 자동화를 위한 멀티 에이전트 기반 토공시스템	2012
김세용	고려대학교	국토교통과학기술진흥원	탄소저감 도시계획 시스템 개발	2012
김형관	연세대학교	한국연구재단	저탄소 도로노선 선정을 위한 실감형 시뮬레이터 개발	2012
박원준	한양대학교 에리카 캠퍼스	한국연구재단	순환자원을 활용한 환경부하저감형 콘크리트의 최적 성능설계/평가 시스템 개발	2012
우세진	울산과학기술대학교	한국산업기술평가관리원	BIM기반 건축설계와 CO ₂ 발생량 예측을 위한 건축설계 툴의 DB 및 Library 개발	2012
이동은 외	경북대학교	한국연구재단	건설 프로젝트 일정정보를 활용한 이산화탄소 배출량 산출 시스템	2012
최윤기	송실대학교	한국산업기술평가관리원	최적설계 대안 선정을 위한 건축물 생애주기에 따른 BIM 기반 CO ₂ 배출량 측정 시스템 개발	2012
최항	(주)GS건설	국토교통과학기술진흥원	탄소저감 스마트 도시에너지관리 시스템 개발	2012

- 국내 건설사들의 친환경 기술 개발 동향을 살펴보면, 주로 공동주택 등 건축물을 대상으로 하여 신재생에너지를 통한 화석에너지 대체에 따른 탄소배출량 저감, IT 융합을 통한 에너지 효율 증대, 친환경 자재 사용 등 친환경 기술 적용 상품 개발에 주력하고 있음.

건설사	주요 내용
롯데건설	축물의 전 생애 기간 동안 이산화탄소(CO2) 배출량을 평가하는 프로그램 개발을 추진
두산건설	건축물의 환경부하 최적화 디자인, 에너지 절감을 위한 친환경 기술 적용 및 친환경 자재, 첨단 IT 적용 시도
현대건설	신재생에너지와 친환경 저에너지 기술 개발 상품들을 적용한 친환경 녹색 아파트 단지 조성 및 개발
대우건설	세대 내 냉난방과 전력, 급탕, 취사 등 모든 에너지 소비를 60% 자체 생산 에너지와 40%의 외부 유출을 차단하는 절감에너지로 충당하여 에너지 소비율 0%인 주택 상품 개발
삼성물산	제로에너지, 제로이미션, 그린 IT 기술 등의 적용을 통해 건축물 에너지 효율 기술 실용화 노력
대림산업	공사 중 배출되는 이산화탄소 및 건설 폐기물 최소화를 위한 친환경 건축 현장 관리 시스템인 그린 컨스트럭션(Green Construction) 적용

② 건설분야 환경부하 평가 기술 부문 연구개발 동향

- 건설 분야 환경부하 평가 관련 연구 동향을 살펴보면, 국내에서는 LCA(Life Cycle Assessment)의 방법론과 이를 적용하는 측면에서 많은 연구가 이루어지고 있으며, LCA 방법론에 대한 연구는 일찍이 1995년부터 시작되어 LCA의 개론과 외국의 영향평가 방법론에 대한 사례들을 분석한 연구 자료들이 국내에 발간되기 시작하였음.
- 건설 산업에서 환경부하 측정 및 평가와 관련된 방법론은 두 가지가 있으며, 첫째는 전과정을 대상으로 산업연관분석을 사용하는 간접적인 환경부하 추정 방식이고, 둘째는 건설단계(혹은 해체단계)에서 건설자원을 사용한 직접적인 환경부하 추정방식임.
- 산업연관분석을 사용하여 환경부하를 측정 및 분석한 주요 연구들은 다음과 같음.
 - 송두삼과 이승복(1997)은 건설 전과정에서 발생하는 환경부하를 평가하기

위해 전과정평가(LCA)를 수행하였으며, 시공단계까지(재료 제조, 운송, 시공)는 산업연관분석(Input-Output Analysis)을 사용하고, 운영단계는 직접에너지(난방, 취사, 가전)비용과 장기수선비용을 생애비용(LCC: Life Cycle Cost)분석을 실행하여 에너지비용을 산출하였음. 전과정에서 각 단계별 에너지 소요비용은 단위가격(원/L), 단위열량(Mcal/L), CO₂배출량원단위(kg-c/Mcal)를 참조하여 환경부하를 정량화하였으며, 특히 시공단계에서 에너지소요비용은 “양중, 조명, 가공, 냉방”을 대상으로 함.

- 서성원 외 2인(1998)은 건설공종(건축공사, 기계공사, 전기공사 등)을 분류하고, 각 공종별로 요구되는 주요자재를 정의함으로써 공종별 · 자재별 CO₂배출량에 대한 기여도를 분석하였음.
 - 서성원과 황용우(1998)는 주택을 형태별(단독주택, 아파트, 연립주택, 다세대주택)로 구분하고, 건설 전과정평가(LCA)를 수행하여 단계별(건설, 사용, 해체 및 수송) CO₂배출의 주요 요인을 도출하였음. 특히, 건설단계에서 CO₂배출량은 자재사용량에 산업연관표로부터 획득된 자재별 탄소배출원단위(kg-C/kg)를 곱하여 추정하였음.
 - 김종엽 외 2인(2003)은 건축물 전과정에서 환경부하를 평가하기 위한 기초자료로써 산업연관분석을 통한 국내 실정에 적합한 건설자재 별 CO₂배출량원단위를 제시하였음.
 - 권석현(2006)은 공공건설을 대상으로 건설, 운영 및 유지보수, 그리고 해체과정에서 발생하는 환경부하량을 전과정평가(LCA)를 적용하여 산출하고, 환경오염원의 화폐가치 환산을 통한 건설사업의 환경경제성 평가모델을 제시함.
 - 정근주(2008)는 공동주택을 대상으로 탄소세가 공사원가 및 운영에너지비용에 끼치는 영향정도를 분석하였음. 정영철 외 3인(2010)은 지붕방수공사를 대상으로 공법별(아스팔트방수, 비노출형 시트방수, 도막방수, 노출형 시트방수)로 CO₂배출량을 산출하여 비교분석하였음. 이병윤 외 2인(2010)은 조적벽을 대상으로 벽체유형별(예, 시멘트 벽돌벽, 블록벽, 점토벽돌벽)로 CO₂배출비용을 포함한 건설원가를 비교분석함.
- 건설단계(혹은 해체단계)에서 건설 자원에 의해 현장에서 직접 발생하는 환경부하를 측정 및 분석하는 연구들은 다음과 같음.
- 권석현(2006)은 건설, 해체 및 폐기단계에서 장비유형별 사용시간과 에너지소비량을 산출하여 CO₂배출량을 환산하는 연구를 수행하였음.

- 정종석외 5인(2008)은 폐콘크리트 재활용을 위해 구조물 해체와 골재생산과정에서 장비사용으로 인한 CO₂배출량을 산출함.
- 황용우 외 2인(2000)과 Kim et al.(2010)은 도로공사를 대상으로 온실가스 배출에 주요 영향을 주는 공정과 장비를 도출하기 위하여 장비유형별 작업능력을 고려하여 CO₂배출량을 정량화하는 연구를 수행함.
- 위와 같이, 국내 환경부하 평가 기술 관련 연구동향을 살펴보면 건축분야의 연구자들은 시설물의 사용 및 유지 과정에서 상당한 환경부하가 발생하는 건축프로젝트의 특성에 대응하여 간접적인 접근법인 산업연관분석을 통한 전과정평가(LCA) 기법을 적용해왔음. 한편, 토목분야의 연구자들은 기계화 시공이 일반화된 토목·건설(혹은 해체)과정에서 건설장비의 연료소비에 의해 발생하는 CO₂배출량을 정량화하는 연구에 비중을 두어왔음.
- 따라서 기존 연구들은 다양한 분류기준(즉, 재료별, 공종별, 건설 단계별)에 따라 건설활동으로 인한 환경부하를 정량화함으로써 주요 관리대상을 도출하고, 계획단계에서 환경부하가 적은 대체 재료와 공법을 선정하는데 기여해왔음.
- 또한, 초기부터 CO₂ 배출 등 환경부하량의 정량적 추정 및 평가를 위한 LCA의 할당방법 영향평가방법, LCA를 이용한 의사결정, 친환경적인 설계(Design for Environment, DfE), 간략화된 LCA, 환경성과 경제성의 비교 등 다양한 방법론들이 제시되어 왔으며, 건축물, 고속도로 등과 같은 인프라시설에 대한 연구도 계속해서 진행되고 있음. 현재 국내 산업자원부와 환경부에서도 에너지소비에 대한 환경부하량의 DB 작업을 지속적으로 진행하고 있음.
- 이렇게 국내에서 수행되어진 관련 연구내용을 각 주제별로 분류하여 살펴보면 다음과 같음.

[주제 1 : LCA 평가방법론 및 적용]

연구자/제목	서성원(1998) / 건설 산업에 따른 CO ₂ 배출량의 정량적 평가 -건설자재를 중심으로 -
대상	건설자재
방법론	산업연관표 분석
내용	· 국내 405부문의 모든 산업간 재화이동을 기록한 1990년 산업연관표를 이용 이산화탄소 배출량을 정량화하며, 주거용건물의 공정별 이산화탄소 배출량을 계산 · 대부분의 건설자재의 주요 이산화탄소 배출원인은 각 자재의 생산공정에서 소비되는 직접적인 에너지로 인해 야기되는 것으로 판단함

연구자/제목	박광호(2000) / 고속도로의 전과정에 따른 환경부하 평가를 위한 데이터베이스 구축
대상	고속도로 시설물
방법론	산업연관법을 활용한 전과정평가의 구체적인 방법론을 제시
내용	· 고속도로를 대상으로 전과정에서 발생하는 SOX, NOX, CO ₂ 등의 배출물질들을 정량화하여 건설분야의 환경부하량을 평가할 수 방안을 제시
연구자/제목	황용우(2000) / 도로건설에 따른 CO ₂ 배출량 평가
대상	도로
방법론	CO ₂ 배출량 계산
내용	· 지구온난 화의 가장 큰 요인이 되고 있는 이산화탄소에 초점을 맞추어, 도로 건설 시 건설장비의 사용에 의해 발생하는 이산화탄소배출량을 공정별로 정량화 · 건설장비의 경우 덤프트럭, 불도저의 이산화탄소 배출량이 가장 많은 것으로 파악하였으며, 공정별로는 토공사에서 가장 많은 이산화탄소를 배출하는 것으로 파악
연구자/제목	유호천외(2001) / 건축 시공단계에서 LCA방법론에 의한 에너지소비량과 환경부하량 연구
대상	공항포장
방법론	·전과정평가기법(LCA) 활용
내용	·시공단계에서 에너지소비량과 환경부하량을 산출하기 위해 철근, 시멘트, 유리, 시멘트벽돌, 레미콘 등 5대요소를 중심으로 운반 및 가공하는데 소요되는 건설기기와 이에 대한 각각의 에너지 소비량을 분석하여 하나의 데이터체계를 정리하였다. 각 자재별 방법론 정립에 의한 근거와 전과정 공정도에 따라 건축시공부분에 사용되는 건설기기의 data를 수집, 분석 및 현 APT공사 추세에 따른 보편적인 data를 마련하고 확립된 기준인 자재별 ton당 분석을 적산법에 의해 에너지소비량과 이산화탄소량을 구체적으로 산출하며 LCA분석 프로그램을 통해 환경부하량을 산출하였음.
연구자/제목	이승민(2006) / 친환경건축물 인증평가 프로그램 개발에 관한 연구
대상	건축물
방법론	사례분석
내용	· 건축물의 토지이용, 교통, 에너지 등의 평가항목을 기반으로 한 인증평가 작업은 현재 수작업으로 수행되어 자체평가서를 제출 하는 신청인과 그것을 심사하는 심사위원 등에게 작업의 번거로움 을 주며 많은 작업시간을 소모한다고 지적 · 이에 외국의 친환경건축물 인증평가 프로그램을 검토하여 인증평가작업을 효율적으로 수행가능한 국내 친환경건축물 인증평가 프로그램을 개발
연구자/제목	전해표(2007) / 건설 분야의 환경영향평가를 위한 전과정 평가 적용방법에 관한 연구
대상	토공, 우수공, 연약지반 처리
방법론	전과정평가(LCA)
내용	· 토공, 우수공, 연약지반 처리 등의 전과정 평가 적용과 골재, 알루미늄 표면처리, 그라우팅 등의 전과정 평가 적용을 통하여 환경 부담이 큰 공정 및 원자재를 식별하여 공사계획의 친환경성을 도모 · 전과정평가가 건설 분야에 효율적이고 생산적으로 적용되어 건설 활동의 환경영향을 객관적이고 정량적으로 평가하고 그 결과를 바탕으로 의사결정에 필요한 환경정보를 제공

연구자/제목	손취림(2012) / LCA기법을 이용한 산업용 철골구조 건물의 환경성평가 및 방법론 개발
대상	철골구조건물
방법론	·전과정평가기법(LCA) 활용 ·Simplified LCA방법론 제안
내용	·산업용 철골구조 건물을 대상으로 전과정평가기법을 활용하여 건축물의 전과정에서 발생하는 환경성을 분석 및 평가하여 산업용 철골구조 건물의 환경성 database를 구축하고 건축물 전과정평가의 수행용이성을 위한 방법론을 제안
연구자/제목	민성규(2013) / LCA분석을 활용한 공항포장의 환경부하 저감방안 수립을 위한 연구
대상	공항포장
방법론	·전과정평가기법(LCA) 활용 ·일반공항포장과 광역편대포장의 특성을 고려한 LCA분석 후 환경부하 배출량 비교
내용	·공항시설물 중 공항포장분야를 대상으로 환경부하를 평가하면서 일반공항포장과 비교, 또한 공항포장의 환경부하량 저감을 위한 방안을 제시하고 제시된 저감방안의 실제 사례 적용과 LCA분석을 통하여 환경부하 저감효과를 정량적으로 확인
연구자/제목	장주환(2013) / 경량콘크리트패널적용을 통한 공동주택의 생산성 및 환경부하 평가에 관한 연구
대상	건축 경량건식벽체
방법론	·전과정평가기법(LCA) 활용 ·생산성 시뮬레이션모델링 기법
내용	·공동주택의 경량건식벽체의 요구성능을 분석 및 평가하고 시공계획단계와 시공단계에서 생산성을 비교분석하고 장비 및 노무자의 최적 자원계획을 도출할 수 있는 시뮬레이션기법을 통해 생산성 시뮬레이션 모델의 개발로 생산성 향상방안을 제시하였다. 그리고 환경부하인 CO2배출량의 평가를 통하여 친환경적 주택성능공법임을 확인하고 경량콘크리트 패널의 적용 활성화 기준을 제시하였다.

[주제 2 : 환경성과 경제성 비교 및 연계]

연구자/제목	정종영(2001) / 제품의 전과정을 고려한 환경성과 경제성의 통합평가에 관한 연구-정유제품시스템에의 적용
대상	정유제품시스템
방법론	· 환경성 평가는 전과정평가, 경제성 평가는 총비용평가를 활용 · 환경성과 경제성의 통합평가는 BEES(Building for Environmental and Economic Sustainability) 모델의 방법론을 이용
내용	· 여러 가지 대안이 될 수 있는 공정이나 제품의 선택에 있어서 의사결정자에게 환경적, 경제적으로 모두 우수한 제품이나 공정을 선택할 수 있는 방법론을 제공

연구자/제목	박기학(2003) / 염료산업 공정과정의 전과정평가 및 경제성 평가에 관한 연구
대상	염료생산 공정
방법론	전과정평가(LCA)
내용	· 국내 대표적인 염료생산업체를 대상으로 염료생산 공정에 대한 환경성을 전과정 평가기법으로 산정 · 유틸리티 비용, 폐기물 관리비용, 규제 준수비, 향후 환경부담금 등을 고려한 경제성 평가를 동시에 수행하여 사례대상에 적용함으로써 친환경적이고 경제적인 최적 대안 선정을 도모
연구자/제목	박광호(2004)/ 건설사업의 환경적, 경제적, 사회적 평가를 위한 TBL(Triple Bottom Line) 통합모델의 개발
대상	건설사업
방법론	전과정평가(LCA)
내용	· 건설사업의 환경적, 경제적, 사회적 평가를 위한 TBL(Triple Bottom Line) 통합모델을 제안 · 비용평가를 위해 인간건강에 피해비용 및 생태계 피해에 대한 목적세 형태의 기존 연구결과를 활용하여 한계성을 가짐
연구자/제목	박찬혁(2005) / 폐플라스틱 재활용에 대한 전과정평가와 비용편익분석에 관한 연구
대상	폐플라스틱 재활용 공중
방법론	전과정평가(LCA)전과정평가, 비용편익분석
내용	· 다양한 폐플라스틱의 재활용 방법에 대한 환경성과 경제성을 비교하여 폐플라스틱의 효율적인 재활용 방안을 제시 · LCA 기법을 활용하여 환경성을 평가하고 비용-편익분석을 통하여 경제성을 분석하였으며, 이 분석결과를 통하여 통합 환경성·경제성지수를 산정
연구자/제목	권석현, 김경주 등(2009) / 건설사업의 환경경제성 평가 모델 개발
대상	공공시설물(도로, 교량, 터널, 철도, 환경시설물등)
방법론	전과정평가(LCA), 조건부가치측정법(CVM)
내용	· 기존의 연구는 LCI DB 구축에 치중하고 있어 그 활용방안에 대한 연구가 미비하다고 판단하였으며, 국내의 환경경제성 평가를 수행 하는데 있어 LCA결과와의 연결이 부족한 문제점을 파악 · 이에 LCA 결과를 활용하여 산출되는 환경영향범주별 환경 부하량에 대한 환경비용을 산출하여, 건설사업으로 인한 환경피해에 대한 좀 더 실제적인 환경경제성을 평가 · 이를 위하여 환경영향의 화폐가치 환산을 위한 조사 설계를 통해 환경오염원의 환경비용을 산정하였으며, 구축된 환경경제성 평가모델과 산정된 환경비용을 건설사업의 지속가능성을 판단할 수 있는 환경경제성 평가모델을 제안
연구자/제목	조승연(2009)/ 환경비용을 고려한 GLLCC 분석모형 개발
대상	외부경관조명
방법론	LCC, LCA
내용	· 외부경관조명을 대상으로 LCC 및 지구온난화에 영향을 미치는 이산화탄소에 대한

	연구범위로 환경을 고려한 평가모형을 제안 · 에너지소비와 이산화탄소 등 온실가스 배출이 많은 외부경관조명기구에 대하여 환경비용을 탄소배출권가격에서 형성된 거래비용을 이용하여 지구온난화에 대한 환경비용을 추정
연구자/제목	김윤덕외3인(2011) / LCC-LCA 통합분석에 의한 친환경 건설기술 평가방법
대상	건축물
방법론	LCC, LCA
내용	· 친환경 기술의 가치평가시 경제적 요소뿐만 아니라 환경적 요소를 고려한 경제적 가치를 종합적으로 판단할 수 있는 LCC-LCA 통합 경제성 분석방법을 활용하여 사례에 적용함으로써 그 타당성을 검증 · 본 연구의 결과는 발주자가 프로젝트 기획시 건축물에 적용할 친환경 기술의 선정에 위한 의사결정에 도움을 줄 수 있다고 제시

[주제 3 : 폐기물 성상별 CO₂ 배출량 산정 시스템 개발]

연구자/제목	손병훈(2010) / 건축구조물 유형별 해체에 따른 이산화탄소 배출량 평가에 관한 연구
대상	상업용 및 주거용 시멘트 벽돌조 건축물
방법론	실측/폐기물 물량산정
내용	· 해체현장에서 건축물 구조별 샘플조사를 통하여 건설폐기물 발생량을 분석 · 샘플해체 대상지를 선정하고, 대상 건축물을 실측, 실측에 의해 설계도면 작성, 주변정리 및 내장제 해제작업, 생활폐기물 반출, 구조체 해체, 건설폐기물 선별, 건설폐기물 계량의 과정을 통해 건설폐기물 성상별 발생패턴을 파악하고, 발생량 원단위 산정 · 건축구조물 해체단계에서의 연료소비량 산정 및 목록분석을 통한 건축구조물 해체시의 CO₂ 발생량 예측할 수 있는 프로그램 제시 · 해체 현장마다 폐기물의 발생패턴이나 발생량 패턴을 보여주지 않음으로써 폐기물 발생량 추정의 신뢰성 한계
연구자/제목	김창학, 김효진(2006) / 건설해제공사의 폐기물 통합관리 시스템의 개발
대상	공동주택
방법론	전과정평가(LCA), 회귀분석
내용	· 공동주택의 도면을 실측 분석하고, 바닥면적별 폐기물량에 대한 체적을 산출 · 해체 후의 폐기물 발생량을 산정하기 위하여 재료별 중량환산계수 및 부피환산계수를 적용(시험시공 결과를 적용) · 공동주택 바닥면적 및 세대수를 근거로 22개 폐기물을 산출할 수 있는 전산 시스템 개발 · 원단위 산정결과와 신뢰성 검증 부족(기존 표준품셈을 이용한 폐기물량 산정과 오차가 큼)

연구자/제목	권석현(2011) / 해체·폐기단계의 CO ₂ 평가기법 개발
대상	건축구조물
방법론	LCA와 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC) 기법
내용	· 해체공사로 인해 발생하는 건설폐기물량은 건설표준품셈에 의해 추정하고, 해체현장 주변현황을 고려하여 폐기물 운반 및 처리방안을 계획 · 해체기술 실태와 해체공법 조사하고, 고층빌딩 해체작업 프로세스 개발 · 해체공사의 공정 및 투입 Resource 분석을 통한 전과정 환경평가 기법 정립 · 전과정평가(LCA) 기법을 활용한 해체공사 환경부하량 산출 및 환경비용 분석모델 개발 · 해체·폐기 단계에서 발생하는 LCCO₂ 평가 프로그램 개발

[주제 4 : 시스템 개발 / LCI DB구축]

연구자/제목	이관호(2002) / 건축물의 환경성과 경제성을 고려한 평가 프로그램을 개발
대상	공동주택
방법론	LCA 기법
내용	· 공동주택 건설시 생애주기 단계별 발생하는 CO₂ 배출량을 LCA 기법으로 산출하고 환경부하 및 비용항목에 대한 DB를 구축 · 구축된 DB와 건축물 환경부하 및 비용평가 분석모델을 전산화하여 그 적용성을 검토하였으나, 다양한 환경오염물질에 대한 평가가 부족
연구자/제목	박광태(2007) / 환경비용을 고려한 건축기계설비분야의 총 비용 산출에 관한 연구-열원시스템 사례분석을 중심으로
대상	건축기계설비
방법론	LCA와 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC) 기법
내용	· 건물의 환경성과 경제성을 LCA와 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC) 기법을 통합하여 평가할 수 있는 세부적인 방법론을 제시 · 비용 산출을 전제하여 기계설비 관련 공사의 환경부하 및 환경영향평가에 대한 주요 DB를 구축
연구자/제목	건설교통부(현 국토교통부, 2003) / 건설부분의 LCA 활용방안에 관한 연구
대상	-
방법론	전과정평가(LCA), E-EIO 분석방법(Expanded Energy Input-Output Analysis)
내용	· 공정 시스템 전 과정에서 발생하는 환경오염물질을 객관적으로 정량화하여 환경 위해성을 평가하는 기법인 전과정평가를 국내 건설 전 분야에 적용 및 활용을 위해 시스템 범위 설정, 생애주기고려, 목록분석, 영향평가, 결과해석 등의 방법론 제시 · 에너지 투입산출방법(Energy Input- Output Aalysis, EIO)을 확장한 E-EIO 분석방법(Expanded Energy Input-Output Analysis) 이용하여 연구에서 건설자재 46개 제품군, 445개 건설자재 및 26개 제품군, 95개의 건설장비에 대한 LCI DB 구축
연구자/제목	조균형(2007) / 건축물의 환경성능 평가를 위한 프로그램 개발
대상	건축물
방법론	전과정평가(LCA)
내용	· LCA가 건축물의 환경성능을 평가하고 환경적으로 건전한 행위발생을 유도할 수 있

	는 유용한 틀로 활용되기에는 많은 현실적 제약사항들이 있다고 파악 · 이에 건축물의 환경성능을 평가하기 위한 LCA 수행의 현실화를 목표로 한 프로그램의 개발과 건축물 환경성능 평가수행에 필요한 기반데이터를 구축 · 논문에서 개발한 프로그램은 건축물의 환경성능평가에 특성화되며, 동시에 환경성과 경제성을 총 비용(Total Cost)의 개념으로 통합, 분석할 수 있는 TCA(Total Cost Assessment)수행이 가능한 프로그램을 개발
연구자/제목	백정훈 외4인(2011) / 건축물 계획단계 LCCO ₂ 평가시스템의 필요요소에 관한 연구
대상	건축물, 기존 LCCO ₂ 평가시스템
방법론	사례분석
내용	· 기개발된 LCCO₂ 평가프로그램은 실시설계 이후에 자재물량을 직접 입력하는 방식으로 최적의 환경부하 저감 전략을 입안하는데 한계가 있음을 지적하며 계획단계에서 건축물의 에너지 성능개선 전략수립을 목적으로 한 시미즈 건설의 GEM-21P와 다이세시 건설의 Carbon Navigator를 조사대상 프로그램으로 선정후, 두 프로그램에 대해서 LCCO₂ 산출방법과 시스템의 구조에 대한 비교분석을 실시 · 이를 바탕으로 계획단계에서 건축물의 기본정보만으로 건축물의 전 생애 환경부하를 평가할 수 있는 시스템 구축의 필요요소를 공사구분별 인벤토리 구축과 용도별/구조별/공정별 자재 단위물량, 시공/운영단계의 에너지 사용량 추정등으로 제한하였으나, 다양한 환경부하량을 종합적으로 평가하는데는 제한적임

○ 국토교통부에서는 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인(2012)을 통해 도로, 철도, 항만, 댐, 하천정비, 도시재생, 건축물에 대한 계획 및 설계, 시공, 운용, 해체 및 재활용 단계에서의 각 시설물별 탄소배출량 산정 기준과 프로그램을 제시하였음.

- 그러나 이 가이드라인에서는 시공 및 운영단계에서 투입되는 자원(자재 및 장비)의 양을 산정하고, 생산에 투입된 연비를 적용하는 방식으로 탄소배출량 산정방안을 제시하고 있으며, 계획 및 설계단계에서는 시공 및 운용 단계에 산정하는 방식을 적용하도록 규정하고 있음.
- 즉 계획 및 설계단계를 시설물을 건설하기 위한 준비 단계로 시공시 투입 자재량, 에너지사용량 등 설계내역서를 작성하는 단계로 실시설계가 완료되는 시점까지로 정의하였으며, 계획 및 설계 단계에서 탄소배출량은 시공, 운용, 해체 및 재활용 단계에서의 탄소배출량의 배출전망치(BAU)를 산정하여 탄소배출량 최소 설계를 계획하도록 하고 있음. 따라서 계획 및 설계 단계에서의 탄소배출량 평가 방법은 별도로 제시하고 있지 않음.
- 이는 설계 내역서가 작성된 후 상세한 자원투입에 대한 정보를 전제로 탄소배출량 산정이 가능한 방법으로 실제 기본 및 실시설계 수행과정에서 정보가 제한된 시점에서 가용한 정보를 바탕으로 신속하게 설계대안을 평가하는데 한계를 가짐.

작업별 에너지 소비량	=	작업량 (unit)	x	단위작업량당 장비 사용시간 (hr/unit)	x	연비 (L/hr)
----------------	---	---------------	---	--------------------------------	---	--------------

[작업별 에너지 소비량 산정식]

- 공중 : 방수 및 배수 공사
- 세부공종 : 맨암거
- 투입자재명 : 부직포
- (식 2-1) 적용 투입자재량 산정
- 맨암거 k-3 D200 형식의 투입자재량(부직포) : 1,367.05 m²
- 작업량과 자재투입량을 추출하는 과정(예)

2809	k 맨암거		0
2810	k-1 D150	유공관	0 M
2811	k-2 D200	유공관	0 M
2812	k-3 D200	유공관, 부직포 포함	1179 M
2813	k-4 D300	유공관	0 M
2814	k-5 D350	유공관과 부직포 포함	28271 M

작업량	x	일위대가 상 자재 투입율	=	공중별 투입자재량
1,179 m	x	1.1595 (m ² /m)	=	1,367.05 m ²
맨암거 k-3 D200형식의 투입자재량(부직포) 산출				

17430	2. 부직포	
17431	1) 지재비 : 1.1595 M2/M * 650 = 753.6	
17432	2) 설치비 (유공관의 50 %)	
17433	노무비 : (LAL1 + LAL2) * 0.50 = 13,711.9	

- 맨암거 k-3 D200형식의 부직포 투입량 산정

작업량	x	일위대가 상 자재 투입율	=	공중별 투입자재량
1,179 m	x	1.1595 (m ² /m)	=	1,367.05 m ²
맨암거 k-3 D200형식의 투입자재량(부직포) 산출				

[그림 16] 도로 시설물의 시공단계 공중별 투입자재량 산정 예시

③ LCI DB 구축 및 지원 기술 부문 연구개발 동향

- LCI DB 구축 및 지원기술 관련 연구 동향을 살펴보면, 건설공사시 발생하는 환경부하와 온실가스 배출량에 대해 현재 LCI DB 및 탄소인벤토리 구축 등이 활성화 되고 있으나, 건설 전분야에 적용할 수 있는 LCI DB 구축이 미흡한 실정임.
- 국가 LCI DB란 LCA 수행 목적에 따라 정해진 시스템 경계에 따라 자원 및 에너지의 투입, 오염물배출 등 투입물 및 산출물을 정량적으로 분석하는 절차를 말함.
- LCA를 수행하기 위해서는 제품의 원료채취, 제품제조, 사용, 폐기, 수송에 대한 전과정에 대한 데이터 수집이 필요하나 현실적으로 모든 자료 수집이 불가하여 정확성과 신뢰성을 보장하는 LCI DB를 활용하는 것임.

[표 21] 국내외 LCI DB 및 탄소배출계수 적용 현황

구분	특징	현황
한국	· 환경부 및 지경부에서 제공하는 기존의 LCI 데이터베이스에서 기후변화에 대한 영향만 고려하여 탄소배출계수로 적용	· 원료 및 에너지 생산 143개 · 연료원별 사용 112개 · 화학반응 공정 43개 · 수송모드 6개, 폐기물 처리방법 27개
영국	· Footprint Expert의 Reference Database에서 제공	· 농업화학물질 10개 · 수송 146개, 연료 146개 · 사용 9개, 전력 205개 · 제품 236개, 승객 수송 38개 · 원료물질 411개, 화학물질 57개 · 기타 지구온난화지수, 폐기물 비율 등 452개
일본	· “산업기술종합연구소”에서 개발하였으며, 통계자료, 연구보고서 등을 참고하여 적용 (2011년 3월 업데이트)	· 에너지 49개, 서비스 26개 · 제품 853개 · 폐기처리 4개 · 수송 99개

- LCI DB는 크게 국가 차원에서의 현황을 파악하는 것과 기업의 사업장 단위에서 DB를 구축하는 것으로 나뉘는데, 국가 차원의 LCI DB는 온실가스의 배출 현황을 파악하여 기후변화 대응 정책을 수립하고 감축정책을 발굴하며, 이행

결과를 평가하기 위한 것임.

- 현재 국가 LCI DB 및 탄소배출계수를 운영관리하기 위해서 먼저, 목표 및 방법론, 배출계수 등을 선택하여 DB 구축 계획을 수립하고, 활동자료의 수집 등을 통해 DB를 구축하며, 전문가 검토 등을 통해 관련 DB를 평가하고 마지막으로 DB 산정 시스템의 효율성을 평가하여 개선안을 제시하고 있음.
- 우리나라의 경우 2007년 국가 온실가스 배출량 작성시 국가 온실가스 인벤토리협의회와 제3자 검증, 전문가 검토 등을 거쳐 온실가스 통계를 작성한바가 있음.
- 국가 LCI DB는 일반적으로 하향식 통계로 산정을 위해 에너지수출입 통계 등을 사용하게 되며, 이는 국가 정책방향 설정 등에 활용되나, 실제 부문별 세부적인 현황을 파악하기 위해서는 구체적이고 실제적인 통계 DB가 필요한 실정임.
- 특히 SOC 시설물에 적합한 LCI DB를 구축하기 위해서는 기존의 국내 LCI DB를 활용하는 것은 물론, 건설/토목 사업에 적합한 DB를 연계, 활용할 수 있는 방안이 필요함.
- 일반적으로 환경평가는 특정한 사회경제적 편익을 위해 시행되는 개발 사업이 유발하는 환경적 영향을 사전적으로 평가하는 체계적인 제도적 절차로, 지속가능발전 이행을 위해 필수적인 수단임.
- 그러나 현행 환경평가는 영향요인을 매우 세부적이고 전문적으로 평가하기 때문에 사업으로 인한 시간적, 지리적으로 광범위한 전 생애주기의 환경적 파급효과를 분석하는 데 한계가 있음.
- 따라서 이러한 환경평가의 문제점을 해결하기 위해 SOC 시설물을 대상으로 LCA 평가에 활용되는 LCI DB와 연계한 환경성능지표를 제시함으로써, SOC 시설물에 대한 주요 공정별 환경부하 영향요인 및 영향 특성을 분석하고, 각 공정 특성별 환경오염물질 배출 정량화 시스템을 구축함으로써 주요 공정별 환경개선 효과를 산정할 수 있는 환경부하 평가 도구의 제시가 필요함.

[표 22] 국내외 LCI DB 내 환경성능지표 Category (예시)

구분	NO.	Category	
국내 LCI DB	1	자원고갈	
	2	지구온난화	
	3	오존층파괴	
	4	광화학산화물생성	
	5	산성화	
	6	부영양화	
	7	생태독성	수계생태독성
	8		해양생태독성
	9		토양생태독성
	10	인간독성	
국외 Ecoinvent LCI DB	1	Acidification	
	2	Ecotoxicity, chronic, in water	
	3	Ecotoxicity, acute, in water	
	4	Ecotoxicity, chronic, in soil	
	5	Ecotoxicity, in sewage treatment plants	
	6	Global warming, GWP 20a	
	7	Global warming, GWP 100a	
	8	Global warming, GWP 500a	
	9	Human toxicity, via air	
	10	Human toxicity, via surface water	
	11	Human toxicity, via soil	
	12	Land filling, hazardous waste	
	13	Land filling, radioactive waste	
	14	Non-renewable resources, aluminium	
	15	Non-renewable resources, antimony	
	16	Non-renewable resources, brown coal	
	17	Non-renewable resources, cadmium	
	18	Non-renewable resources, coal	
	19	Non-renewable resources, cobalt	
	20	Non-renewable resources, copper	

구분	NO.	Category
	21	Non-renewable resources, gold
	22	Non-renewable resources, iron
	23	Non-renewable resources, lead
	24	Non-renewable resources, manganese
	25	Non-renewable resources, mercury
	26	Non-renewable resources, molybdenum
	27	Non-renewable resources, natural gas
	28	Non-renewable resources, nickel
	29	Non-renewable resources, oil
	30	Non-renewable resources, palladium
	31	Non-renewable resources, platinum
	32	Non-renewable resources, silver
	33	Non-renewable resources, tantalum
	34	Non-renewable resources, tin
	35	Non-renewable resources, zinc
	36	Eutrophication, terrestrial eutrophication
	37	Eutrophication, separate N potential
	38	Eutrophication, separate P potential
	39	Eutrophication, combined potential
	40	Photochemical ozone formation, impacts on vegetation
	41	Photochemical ozone formation, impacts on human health
	42	Renewable resources, wood
	43	Stratospheric ozone depletion, ODP total

[표 23] 종합환경성능평가항목

범주	중분류	소분류(지표)
생태적 측면	동식물	훼손수목 면적률
		훼손수목 이식률
		식물현존량 변화
		순생산량 변화
		생태종 변화
		원형녹지보전
		수목밀식지수
	토양 · 지형 · 지질	비옥도 발생량
		지형변동률
		비옥도 재활용률
		절성토량비
		상대고도
		단위길이당 토공량
		단위면적당 토공량
자원보전적 측면	수질	사면발생률
		오수 배출비
		지하수 사용률
		우수 저류량
		1인당 오수 배출량
		중수 이용률
		중수 시설량
		홍수 유출량 변화량
		하천 변형률
	폐기물	수변완충공간비율
		1인당 폐기물 발생량
		1일 폐기물 발생량
		폐기물 재활용 비율
		재생건자재의 활용률
어메니티적 측면	쾌적성	임목폐기물 활용률
		1인당 공공시설 용지 면적
		1인당 공원 · 녹지 면적
		자전거도로 비율
		커뮤니티 형성지표

※ 참조 : 「환경평가와 지속가능 발전지표 연계 운용에 관한 연구」, 한국환경정책평가연구원, 2007

2) 국외 기술개발 동향

○ 해외 LCA 연구동향을 살펴보면, 유럽, 미국, 일본, 호주에서 LCA에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있음.

■ 유럽은 LCA 연구에 관한 리더로서 방법론, 목록분석(Life Cycle Inventory,

LCI) DB 구축, 프로그램 개발에 관한 많은 연구를 수행하고 있음.

- 일본의 경우 정부 주도에 의한 LCA의 시스템적 접근을 수행하고 있으며, 민간건설부분에서도 친환경 자재 및 공법을 사전에 검토하여 반영할 수 있도록 실제 실적 데이터에 기반한 건축물의 전생애주기동안의 CO₂ 배출량을 분석 및 평가하는 프로그램 개발을 완료하였거나 진행 중임.
 - 미국의 ASTM(American Society for Testing and Materials)은 건축재료 및 자재의 전과정평가, 그린빌딩 디자인, 건설 및 운용에 관한 지침을 마련하고, NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 BEES(Building for Environmental and Economic Sustainability)를 개발하여 경제적인 뿐만 아니라 친환경적인 건축자재의 선택을 지원하고 있으며, 도로시설, 발전시설 및 수처리시설에 관한 환경부하 평가를 통하여 발주자의 투자 우선순위를 결정할 수 있는 지원도구 개발에 노력을 기울이고 있음.
- 국제 표준화 기구(International Standardization Organization, ISO)의 LCA 표준화위원회(ISO/TC207/SC5)에서는 ISO14000 인증이라는 이름으로 일반에 널리 알려진 환경경영체제의 표준화를 담당하는 기술위원회이자 환경경영의 도구로 사용되는 LCA 기법의 표준화를 담당하고 있는 분과위원회로서 여기에서의 규격제정 작업의 기술위원회(Technical Committee, SC)를 중심으로 수행되며 세부 분야별 실무 작업의 분과위원회(Sub-Committee, SC) 또는 작업반(Working Group, WG) 단위로 이루어짐. '93년 11월의 파괴회의'를 시작으로 여러 차례 회의를 거친 결과 각 WG별로 표준화 작업에 있어 많은 진전이 있었으며 그 현황은 다음의 [ISO 14040 전과정영향평가규격현황]과 같음.

[표 24] ISO 14040 전과정평가규격현황

규 격	명 칭	개 요
14040	전과정 평가 일반원칙 및 절차	·ISO 14040의 기본원칙과 절차에 대해 서술
14041	목적 및 범위설정, 전과정 목록분석	·LCA의 첫 단계인 목적 및 범위 설정과, 두 번째 단계인 전과정 목록 분석의 수행절차에 대한 규격기술
14042	전과정 영향평가	·목록분석결과를 이용하여 전과정 영향평가에 대한 규격을 기술
14043	전과정평가, 해석	·LCA수행결과를 현실적으로 적용하기 위해 연구의결과를 평가해석에 대한 규격을 기술
14047	14042 규격의 적용 예	·전과정 영향평가에 대한 이해를 돕기 위하여 예제를 제공
14048	영향평가 데이터 문서포맷	·LCA에서 수집되고 처리된 데이터의 효율적인 관리를 위한 데이터 포맷 제공
14049	14041의 적용 예	·목적 및 범위설정과 목록분석을 다루고 있는ISO14041의 이해를 돕기 위하여 예제를 제공

- 주로 해외에서는 건설 사업 분야에서 건설자재의 전과정적 측면을 고려한 평가 소프트웨어가 개발 및 활용되고 있으며, 지속가능한 개발 목표로 건설 사업 분야의 환경오염부하를 줄이기 위한 각종 활동을 진행하고 있음. 이러한 연구 활동들을 각 국가별로 살펴보면 다음 아래 표와 같음.

[표 25] 국가별 LCA 적용현황(권석현, 2008)

국 가	목 적	사업내용	주관/연구기관
미 국	· 환경경제성이 우수한 건축자재 구매 의사결정 지원 · 미국 EPA 녹색구매 프로그램 일환으로 개발	· 환경성 평가도구로서 LCA, 경제성 평가도구로서 LCC를 ASTM으로 표준화 · 이를 통합하여 의사결정해 주는 BEES라는 방법론과 S/W 개발	미국 NIST (표준협회)
핀란드	· 도로공사 등 각종 토목공사 시 건설자재, 공사, 건설폐기물 처리 등을 환경 친화적으로 전환하기 위한 방법 모색	· 건설 산업에 대한 LCI DB 구축 · 다양한 건설 시나리오에 대한 LCA 수행 · 시나리오별 비교평가 수행	도로공사 VTT
스웨덴	· 도로 유지보수의 중요성을 LCA 관점에서 규명	· 도로건설, 유지보수, 폐기의 전과정에 걸친 환경영향 규명 및 각종 의사결정 지원	도로공사 IVL
네덜란드	· 하수도시설 등 국가 기간산업에 대한 환경영향을 LCA 기법을 통해 규명	· 각종 국가 기반시설 건축 시 환경성을 LCA 기법을 통해 규명 · 환경 친화적인 설계 지원	콘크리트협회 시멘트협회 INTRON, BRE
영 국	· 건축자재 인증프로그램	· 건축자재의 환경성을 LCA 기법을 이용하여 계량화	BRE 인증기관
호 주	· LCA 기법을 이용하여 환경 친화적인 건축 산업으로의 전환	· LCA 수행을 통하여 건축자재 및 시스템에 대한 환경개선 기회 규명	환경부 RMIT
일 본	· 건축폐기물의 재활용비율 증대	· 건축 산업의 전과정에 걸친 CO₂ 규명	KAJIMA 건설회사

- 현재 국외의 여러 나라들 중 유럽, 미국, 일본, 호주 등에서 LCA에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음. 유럽은 LCA 연구에 관한 리더로서 방법론, LCI DB 구축, 프로그램 개발에 관한 많은 연구를 수행하고 있음. 일본의 경우 정부 주도에 의한 LCA의 시스템적 접근을 수행하고 있으며, 호주의 경우 인프라시설에 대한 연구를 중심으로 빌딩, 원재료, 철, 광물, 포장재 등과 같은 시설의 LCI DB를 구축하였음.

[표 26] 국가별 LCI/LCA에 기초한 환경성능 평가방안 (자료 : 건설교통부, 2003)

국 가	명 칭	내 용
미 국	LEED	▪ 친환경 인증제도
캐 나 다	BEPAC	▪ 건물의 환경성능 평가기준
영 국	BREEAM	▪ 건물의 환경평가 프로파일
네덜란드	MRPI	▪ 환경관련 자재정보
프 랑 스	XP P01010-1	▪ 건설자재의 환경질
덴 마 크	MVDB	▪ 건축자재에 대한 환경자재정책(EPD)
핀 란 드	RT	▪ 환경 정책
스 웨 덴	EPD	▪ 환경자재정책(EPD)
독 일	Baustoff-Okobilanzen	▪ 건축자재 및 건축물의 LCA
유럽연합	CEMPC	▪ 건설자재 환경정보 제공을 위한 지침

- 국외의 경우, 일본의 대형 토목공사에 이용되는 시판용 프로그램 들은 대부분 토목적산법을 기반으로 하여 장비 운용에 따른 에너지, CO₂ 절감량 등을 산정할 수 있도록 되어있어, 친환경적인 공정설계에 이용가능하고, 각 단계별 시물레이션 기능이 포함되어 있어 운용이 매우 유연함.
- 일본의 일반 시판용 소프트웨어와 건축학회 제공 소프트웨어는 차이가 있으며, 시판용인 경우 산업연관표 DB를 이용하지 않고 있으며, 철강/자동차 등의 각 산업 분야에서 GaBi / Simapro / JEMAI / LCA Support / Easy LCA 등 총 5가지 LCA 중 하나는 사용하고 있고, SONY, Cannon 등 대부분의 회사는 자체 프로그램을 개발하여 사용하고 있음. 일본의 경우 경제성 평가를 포함한 다면적인 환경성 평가 프로그램들이 개발되어 있으며, Tree구조 입력방식의 간이/상세평가가 가능한 시즈미건설의 GEM-21, LCA 기반의 탄소배출량 평가 프로그램인 다이세이건설의 카본네이게이터(aurora)가 있으나 CO₂평가 수준이 높지 않으며 자체적으로 설정한 표준건축물에 대한 상대적인 수준의 평가만 가능함.

[표 27] 일본 환경성 평가 프로그램의 개발 현황

구분	특 성
대림조 건설	▪ CO₂, cost 분석 가능 ▪ 제안, 설계초기단계에 사용 가능 ▪ 생산금액당 원단위, 사용자재 중량단위로 배출량 산정 ▪ 수입 자재의 경우 해외에서의 생산단계까지 고려 ▪ 공사 cost만으로 공사에 투입된 건설자재 추정 후 CO₂ 평가 가능 ▪ 동적 열부하 이론을 기반으로 냉/난방시설 등의 정밀한 simulation 가능
가츠마 건설	▪ 3가지 version의 프로그램 개발(L-LEAST11, K-LEAST22, K-LEAST33, K-LCW4) ▪ CO₂, SOx, NOx, Cost 등 분석 가능 ▪ 에너지 절약 기술 적용 시 환경부하량 절감 예측 가능 ▪ 건설업 관련 보고서를 참고, 고정자재량의 원단위 matrix 사용 ▪ 공사 기본설계에 포함된 내벽/외벽 면적에 맞추어 환경부하 계산 ▪ 버전에 따라 공조, 위생이 포함되거나 option 선택 가능 ▪ Life Cycle Waste 폐기 당시의 투입 자재량을 입력할 경우 폐기량 추정 가능
일본 건설성 건축연구소	▪ CO₂, 에너지, NOx, SOx, 분진, BOD, COD, SS, 물량, ELU, 폐기량 추정가능 ▪ 분석가능 항목이 11가지로 매우 다양함 ▪ 산업연관표 이용, 2002년에 개정된 개정판을 제외하고 프로그램 공개
호타 건설	▪ CO₂, cost, NOx, SOx 등 계산 가능 ▪ 건설사업 LCA 검토 등에 사용 가능 ▪ 엑셀 기반의 프로그램

① 유럽

○ 네덜란드의 The Ministry of Housing, Spatial Planning and Environmental등 건축 관련 4개의 주요 조직에 의하여 1994년부터 건축 산업의 LCA평가 프로그램 개발이 시작되었으며, 건축 산업의 LCA에 대한 계산방법은 1996년 4월에 구체화되었고, 신뢰성 평가 및 유용한 정보제공의 검증은 1996년 10월에 마무리되었음.

- Eco-Quantum이라 불리는 건축 산업의 LCA평가 프로그램은 건축물 원자재의 채취에서부터 건축물의 최종폐기, 재사용까지 고려하고 있으며, 이 방법은 주거용이나 상업용 건축물에 모두 적용될 수 있도록 설계되어 있음.

○ 핀란드의 경우 VTT(건축기술연구소)를 중심으로 건축 산업의 LCA가 행해지고 있고, 범위는 재료생산, 수송, 시공, 유지, 해체 등 건축물의 라이프사이클

각 단계로 설정 될 수 있으며, 이 결과에서 얻은 환경영향 데이터를 이용한 마케팅, 제품의 표시, 시스템매니지먼트, 제품설계에 활용하고 있음.

- 최근 영국 레딩대학의 Iris X. Han외2인(2011)은 “MODEL-BASED LIFE CYCLE COST AND ASSESSMENT TOOL FOR SUSTAINABLE BUILDING DESIGN DECISION” 연구를 통해 건물자산의 생애주기에 걸친 LCC와 LCA 도구와의 연계를 위해 ICTs(Information and Communication Technologies) 기반의 BIM(Building Information Modeling)을 활용하여 비용과 환경적 영향을 함께 고려하는 Tool을 개발하였으며, 이를 통해 발주자, 설계자, 건적담당자등이 지속적으로 건물 설계의 의사결정에 도움을 줄 것으로 기대하고 있음.

② 미국

- ASTM(American Society for Testing and Material)에서는 건축재료, 자재의 LCA와 주거용 Green Building 디자인, 사양, 건설과 운영에 대한 지침을 제시하고 있으며, SFTAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에서는 건축자재의 LCA에 대한 검토를 하고 있음.
- 미국의 대표적인 LCA Tool은 미국 정부가 친환경적인 건축자재의 선택을 지원하기 위해 1994년 미국 NIST에 의뢰하여 개발한 BEES(Buildings for Environmental and Economic Sustainability) 프로그램이며, 이 프로그램은 건축자재의 환경성 뿐만 아니라 경제성을 동시에 고려할 수 있도록 만들어졌으며 건축주 및 정부의 투자 우선순위 의사결정을 위한 지원도구 개발을 목적으로 하고 있음.

③ 일본

- 건축물의 LCA에 관한 연구를 1990년대 초부터 추진해온 일본은 건설성 건축연구소에서 1997년 LCA계산 프로그램을 발표하였고, 건설대신 영선부에서는 1998년 3월에 책정한 환경배려형 관청시설 계획지침을 포함하여 신청사의 LCCO₂ 30% 저감을 달성하기 위한 그린화 기술 선정시트, 그린청사 체크시트, 청사판 LCCO₂ 계산법 등의 프로그램을 1999년 8월에 발표한바 있음. 여기서 가장 주도적으로 영향력 있게 연구를 진행하고 있는 곳은 일본건축학회

이며 학회 내 지구환경위원회 산하의 LCA지침책정소위원회에서 1999년 11월에 ‘건물의 LCA지침(안)-지구온난화방지를 위한 LCCO₂를 중심으로’를 발표하였음.

- 현재 일본에서는 건축물의 설계, 자재의 제조·유통, 시공, 운영·유지관리, 개보수, 폐기처분에 이르는 Life-Cycle의 각 단계별로 전체 산업에서 다양한 제품과 서비스가 투입되기 때문에 이것을 전부 포괄할 수 있는 LCA를 단기간에 실용적으로 수행하는 것은 매우 어렵다는 판단하에 이를 대체할 수 있는 수단으로 모든 산업 간의 경제적 관계를 망라하는 산업연관표를 응용한 데이터베이스에 대한 연구를 진행하고 있음.
- 일본의 경우에는 연구를 통해 새로운 기술에 의한 온실가스 저감효과를 반영할 수 있는 DB를 개발하기 위하여 적산법을 활용하여 산출한 상세 DB를 기본으로, 산업연관표를 이용하여 추계치를 보정하는 방법을 활용하여 개별 품목에 대한 환경부하 인벤토리를 개발하였음. 이를 활용하여 에코시멘트 등 환경을 배려한 새로운 재료의 환경부하를 DB를 통해 수시로 갱신할 수 있고, 재료의 환경부하를 반영한 평가를 수행 할 수 있는 기초를 마련하였음.
- 아래의 표는 일본의 전체 건설과정에서 건물의 라이프사이클과 환경부하의 관계를 나타낸 자료로 건물의 수명을 35년 기준으로 할 때, 건설 과정에서 22.7%¹⁶⁾, 운용단계에서 47.7%의 탄소를 발생시키는 것으로 나타남.

[표 28] 건물의 라이프사이클과 환경부하 (일본 건설성)

구 분	평균적 오피스 (35년 수명)		
	CO ₂ 방출량 (kg-C/m ² · year)	환경부하치 (%)	
건 설	9.7	22.7	건설 22% 갱신 15% 해체·폐기 5% 수선 10% 운용 48%
갱 신	6.3	14.6	
수 선	4.5	10.4	
운 용	20.6	47.7	
해체·폐기	2.0	4.6	
합 계	43.1	100.0	

16) 건설교통부, 친환경적 건설 산업 및 엔지니어링 육성방안 강구, 2002

- 국제 표준화 기구(ISO) 뿐만 아니라 국내에서의 LCA 가이드라인이 제시된 현 상황에서 이러한 여러 가지 연구들이 진행되는 것은 LCA가 적용되는 분야마다 다른 특성을 고려해야 하는 점과 데이터의 일반화, 규격화 등이 요구되는 LCA의 특성 때문으로 판단되며, 최근 LCA 연구는 환경측면에 국한된 평가뿐만 아니라 경제성이나 사회성, 기능성 측면까지도 고려한 연구들이 시도되고 있음
- 또한 해외에서 환경과 경제의 가치에 기반하여 연구되었던 환경오염 피해에 대한 비용평가 현황을 대기 및 수질분야로 나누어 보면 다음 <표 3>과 같으며, 조건부가치측정법(CVM), 헤도닉 기법 등에 의한 설문조사를 통하여 환경오염 피해비용에 대한 연구가 진행되고 있지만, 건설 사업으로 인해 발생할 수 있는 환경피해에 대한 연구는 미비한 실정임.

[표 29] 환경오염 피해비용 평가현황

분 야	평가대상	연구방법	추 정 액
수질오염	Monogahela강의 수질개선에 따른 편익(Desvousges et al., 1987)	CVM	가구당 평균 \$25 ~ 60
	서유럽 알사스 지방 지하수 수질보전 가치 (Stenger et al., 1998)	CVM	양분선택방법:692F 직접질문방법:709F
대기오염	미국 로스앤젤레스 지역 대기질(TSP, NO2) 영향 (Brookshire et al., 1982)	CVM, 헤도닉 기법	CVM:\$11 ~ 22.06(\$5.55 ~ 28.18) 헤도닉:\$15.44 ~ 45.92(\$33.17 ~ 128.46)

2.3.2. 특허동향분석

1) 분석 개요

- ‘환경부하 저감형 LCA기반 설계 및 시공 기술 개발 기획’ 연구에서 제시하는 기술이 국내외적으로 어느 수준에서 기술을 개발하고 있는 지를 거시적으로 판단하기 위해 관련 기술에 대한 특허 동향 조사를 실시함.
- 이를 위해 국가과학기술정보센터(<http://patent.ndsl.kr/>)를 통해 특허를 검색하였으며, 1993년부터 2012년까지 출원 공개된 한국, 일본, 유럽 및 미국 특허를 분석 대상으로 하였음.
- 일반적으로 한국 및 일본과 유럽의 특허제도는 조기공개와 같은 특별한 경우를 제외하고 특허출원 후 18개월이 경과된 후에 출원관련 정보를 공개하고 있어서 최근 3 년간은 출원된 특허는 미공개 특허가 다수 존재하기 때문에 최근에는 그

래프에서 나타난 결과보다 훨씬 많은 특허출원이 있었을 것으로 추정할 수 있음.

2) 분석 방법

- 특허 동향 분석방법은 세부 기술별 ① 20년 동안(1993~2012)의 누적 특허출원건수 분석 및 연도별 동향 ② 특허활동지수 분석을 수행하였음.

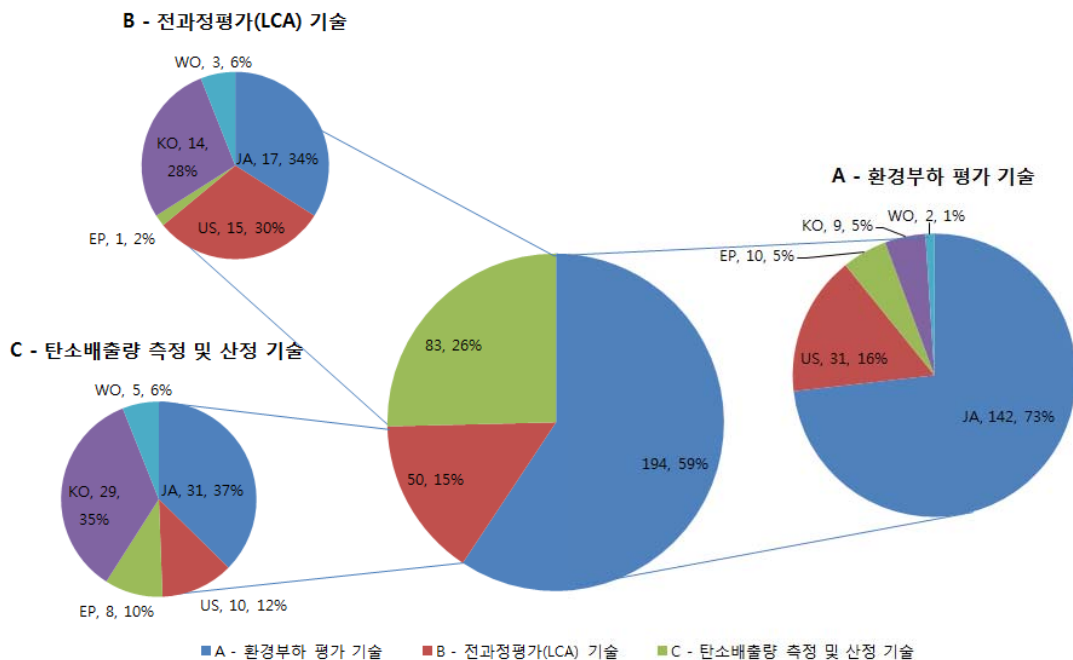
[표 30] 분석 대상 기술 분류 및 기술 범위

분석대상 기술	분류기호	검색개요(기술범위)
1. 환경부하 평가 기술	A	환경부하 평가, 환경부하 측정, 환경부하량 산정, Environmental load...
2. 전과정평가 기술	B	전과정 평가, 전과정 분석, Life cycle assessment, Life cycle analysis, Life cycle inventory...
3. 이산화탄소 배출량 측정 기술	C	탄소 배출량 측정, 탄소 배출량 산정, 탄소 배출량 평가, CO ₂ emission...

3) 분석결과

① 세부기술별 특허 분포

- 세부기술별 출원 점유율은 환경부하 평가 기술 분야가 총 194건으로 약 59%, 그 다음 탄소배출량 측정 및 산정기술 분야가 83건으로 약 26%, 전과정평가(LCA) 관련 기술 분야가 50건으로 약 15%의 비중을 차지하고 있음



[그림 18] 세부기술별 특허분포

○ A-환경부하 평가 기술 분야

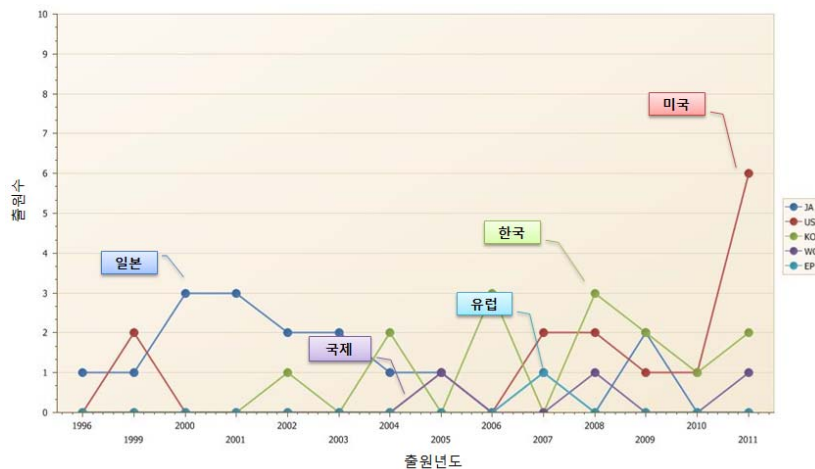
- 환경부하 평가 기술 분야에서는 일본이 142건(73%)으로 가장 많고, 그 다음 미국이 31건(16%), 유럽 10건(5%), 한국 9건(5%) 순임.
- 환경부하 평가 기술 분야의 분석기간 내 연도별 특허 동향은 다음과 같음.



- 일본의 경우 2000년도 초반 관련 분야의 특허 출원이 활발하였으나 최근 그 경향이 감소하는 추세를 보이고 있음. 한국의 경우 해외국가에 비해 관련 분야의 특허 출원이 미흡.

○ B-전과정 평가(LCA) 기술 분야

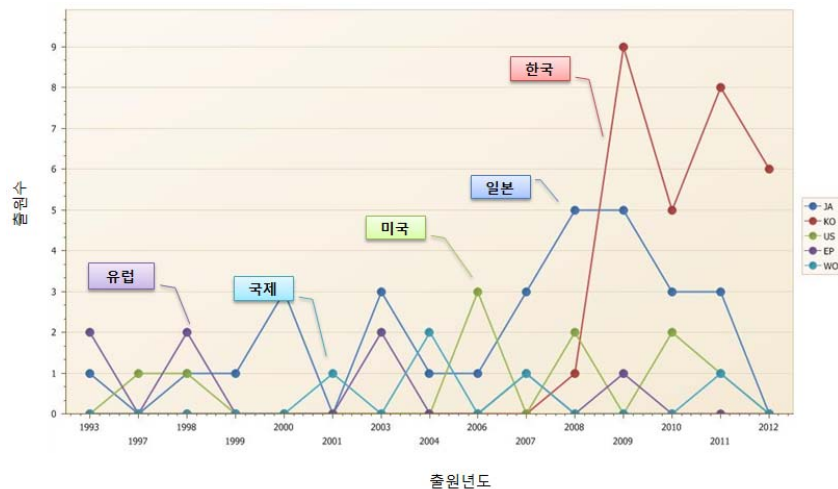
- 전과정(LCA) 평가 기술 분야에서는 일본이 17건(34%)으로 가장 많고, 그 다음 미국이 15건(30%), 한국 14건(28%), 유럽 1건(2%) 순임.
- 전과정 평가 기술 분야의 분석기간 내 연도별 특허 동향은 다음과 같음.



- 미국의 경우 최근 관련 분야의 특허 출원이 증가하는 경향을 보이며, 한국 역시 과거에 비해 최근 관련 분야의 특허 출원이 증가하는 경향을 보이고 있음.

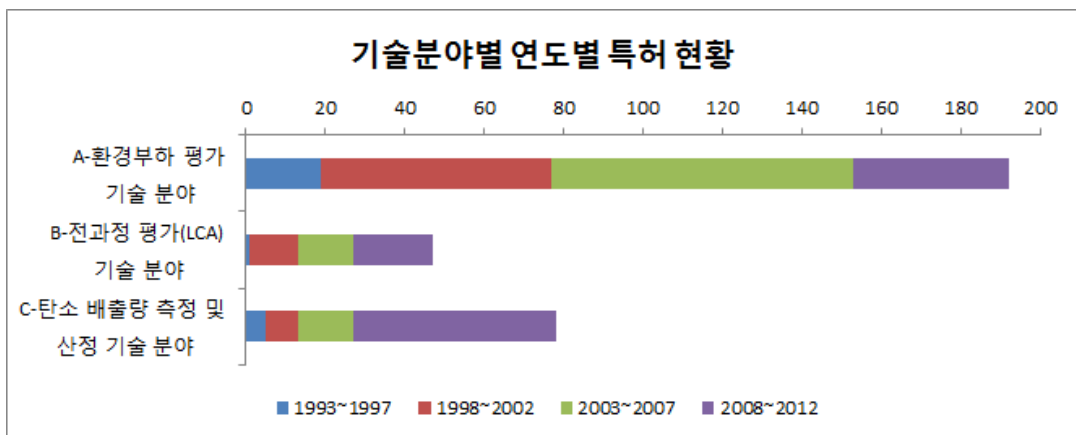
○ C-탄소 배출량 측정 및 산정 기술

- 탄소 배출량 측정 및 산정 기술 분야에서는 일본이 31건(37%)으로 가장 많고, 그 다음 한국이 29건(35%), 미국 10건(12%), 유럽 8건(10%) 순임.
- 탄소 배출량 측정 및 산정 기술 분야의 분석기간 내 연도별 특허 동향은 다음과 같음.



- 탄소 배출량 측정 및 산정 분야에서 한국이 2000년대 후반 이후부터 특허 출원이 해외 국가에 비해 상당수 증가하는 모습을 보이고 있음.

○ 기술분야별 연도별 특허출원(등록) 추이



- 본 연구와 관련된 기술의 특허 가운데 환경부하 평가 기술 분야들이 가장 많이 출원(등록)되었으며, 2008년 이후부터 탄소 배출량 측정 및 산정 기술 분야의 특허 출원(등록)이 활발해지는 경향을 보이고 있음.

	A - 환경부하 평가 기술 분야				B - 전과정 평가(LCA) 기술 분야				C - 탄소 배출량 측정 및 산정 기술 분야			
	일본	미국	유럽	한국	일본	미국	유럽	한국	일본	미국	유럽	한국
1993	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0
1994	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	4	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1997	4	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1998	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0
1999	3	2	3	0	1	2	0	0	1	0	0	0
2000	6	1	3	0	3	0	0	0	3	0	0	0
2001	5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
2002	21	3	2	1	2	0	0	1	0	0	0	0
2003	12	5	0	1	2	0	0	0	3	0	2	0
2004	15	2	1	0	1	0	0	2	1	0	0	0
2005	15	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2006	3	2	0	1	0	0	0	3	1	3	0	0
2007	11	2	0	1	1	2	1	0	3	0	1	0
2008	8	2	1	0	0	2	0	3	5	2	0	1
2009	10	0	0	0	2	1	0	2	5	0	1	9
2010	5	0	0	0	0	1	0	1	3	2	0	5
2011	5	2	0	4	0	6	0	2	3	1	0	8
2012	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
합계	142	31	10	9	17	15	1	14	31	10	8	29

- 본 연구 관련 기술별 각국의 특허 출원(등록)을 종합비교한 결과, 일본이 관련 특허 출원(등록)이 가장 많아 관련 연구개발이 다른 국가에 비해 활발한 것으로 나타남.

② 특허활동지수¹⁷⁾ 분석

	한국		미국		일본		유럽		국제	
	AI	건수	AI	건수	AI	건수	AI	건수	AI	건수
A	0.29	9	0.93	31	1.26	142	0.89	10	0.34	2
B	1.76	14	1.75	15	0.59	17	0.34	1	1.96	3
C	2.20	29	0.70	10	0.64	31	1.66	8	1.97	5

- 주요 국가의 특허활동지수를 분석한 결과, 한국의 경우 전과정 평가(LCA) 기술(B)와 탄소 배출량 측정 및 산정 기술(C) 분야가 환경부하 평가기술 분야(A)에 비해 다소 활발한 활동을 보이고 있음.
- 미국의 경우 전과정 평가(LCA) 기술(B) 분야, 일본의 경우 환경부하 평가기술 분야(A), 유럽의 경우 탄소 배출량 측정 및 산정 기술(C) 분야가 타 분야에 비해 활발한 것으로 나타남.

③ 주요 특허목록

- A-환경부하 평가 기술

순번	발명의 명칭	공개번호 (등록번호)	출원인	공개일자 (등록일자)
1	ENVIRONMENTAL LOAD EVALUATION DEVICE AND ENVIRONMENTAL LOAD EVALUATION METHOD	JP-0252679	FUJITSU LTD	20121220
2	SYSTEM FOR ASSESSING AN ENVIRONMENTAL LOAD OF BUILDING DURING LIFE CYCLE	US-0090972	Shin, Sung Woo	20130411
3	Environment load amount calculating apparatus and method in construction, and recording medium storing program for executing method of the same in computer	10-2012-0124246	(주)도명이엔씨	20121113
4	ENVIRONMENTAL LOAD EVALUATION METHOD, ENVIRONMENTAL LOAD EVALUATION DEVICE, AND ENVIRONMENTAL LOAD EVALUATION PROGRAM	JP-0226588	FUJITSU LTD	20121115
5	ENVIRONMENTAL LOAD DISPLAY DEVICE, CALCULATION METHOD FOR THE SAME, AND PROGRAM	JP-0079271	NEC COMMUN SYST LTD	20120419

17) 특허활동지수(Activity Index): 상대적 집중도를 살펴보기 위한 지표로서, 그 값이 1보다 큰 경우에는 상대적 특허 활동이 활발함을 나타내며 구하는 방법은 아래와 같음.

$$A.I. = \frac{(\text{특정기술분야의 특정출원인 건수}) / (\text{특정기술분야 전체 건수})}{(\text{특정출원인총건수}) / (\text{전체총건수})}$$

○ B-전과정 평가(LCA) 기술

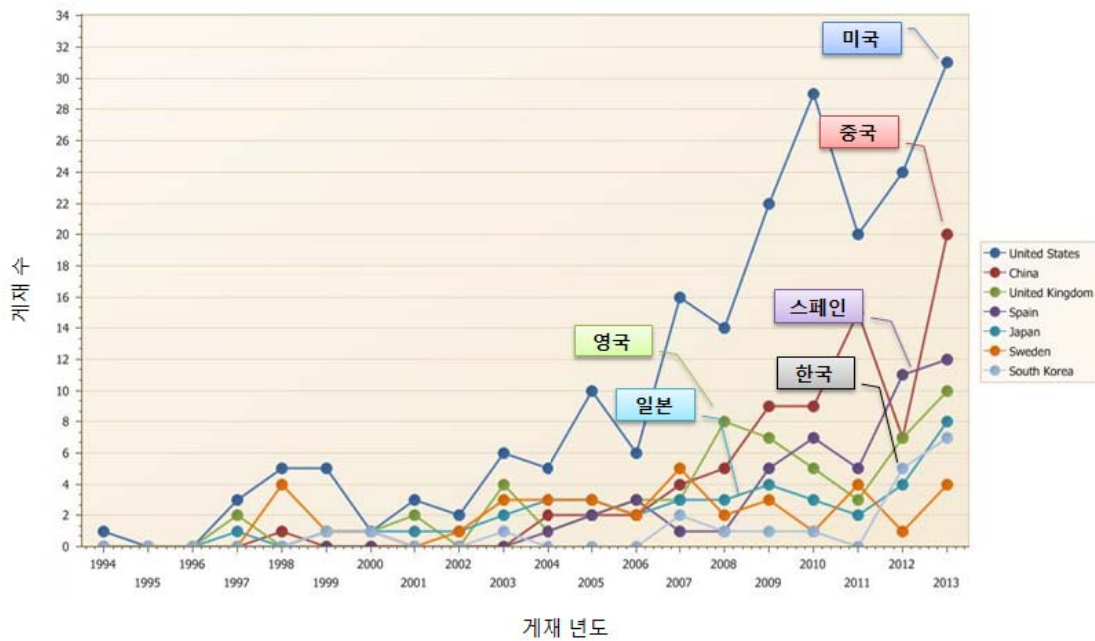
순번	발명의 명칭	공개번호 (등록번호)	출원인	공개일자 (등록일자)
1	Management of metadata for life cycle assessment data	US-8495064	Microsoft Corporation	20130723
2	Aggregation of Life Cycle Impact Assessment Data and Generation of Life Cycle Impact Assessments and Scoring	US-0066672	MICROSOFT CORPORATION	20130314
3	Automating Life Cycle Inventory Data Collection	US-0066752	MICROSOFT CORPORATION	20130314
4	Assessment apparatus for whole process of managing environmental facilities	10-2010-0104053	주식회사 포스코아이씨티 ;환경관리공단;	20100929
5	BUILDING LIFE CYCLE ASSESSMENT SYSTEM	JP-0265178	SHIMIZU CORP	20040924

○ C-탄소배출량 모니터링

순번	발명의 명칭	공개번호 (등록번호)	출원인	공개일자 (등록일자)
1	SYSTEM FOR ASSESSING CO2 EMISSION OF CONSTRUCTION USING INTER-INDUSTRY RELATION TABLE	10-2013-0039806	연세대학교 산학협력단;	20130423
2	System for monitoring carbon gas of vehicle based of carbon emission, device thereof	10-2013-0031749	동아대학교 산학협력단;	20130329
3	VEHICLE EMISSION MONITORING DEVICE AND METHOD THEREOF	US-0173132	AUTOMOTIVE RESEARCH & TEST CENTER	20120705
4	CO2 EMISSION SUPPRESSION AMOUNT CALCULATION SYSTEM	JP-0014215	HITACHI LTD	20120119
5	CALCULATION METHOD FOR CARBON DIOXIDE EMISSION AMOUNT IN SHEET METAL WORKING SYSTEM	JP-0028372	AMADA CO LTD	20110210

2.3.3. 논문동향분석

○ 건설 분야의 LCA 관련 주요 국가별 논문동향을 살펴보면 다음과 같음.

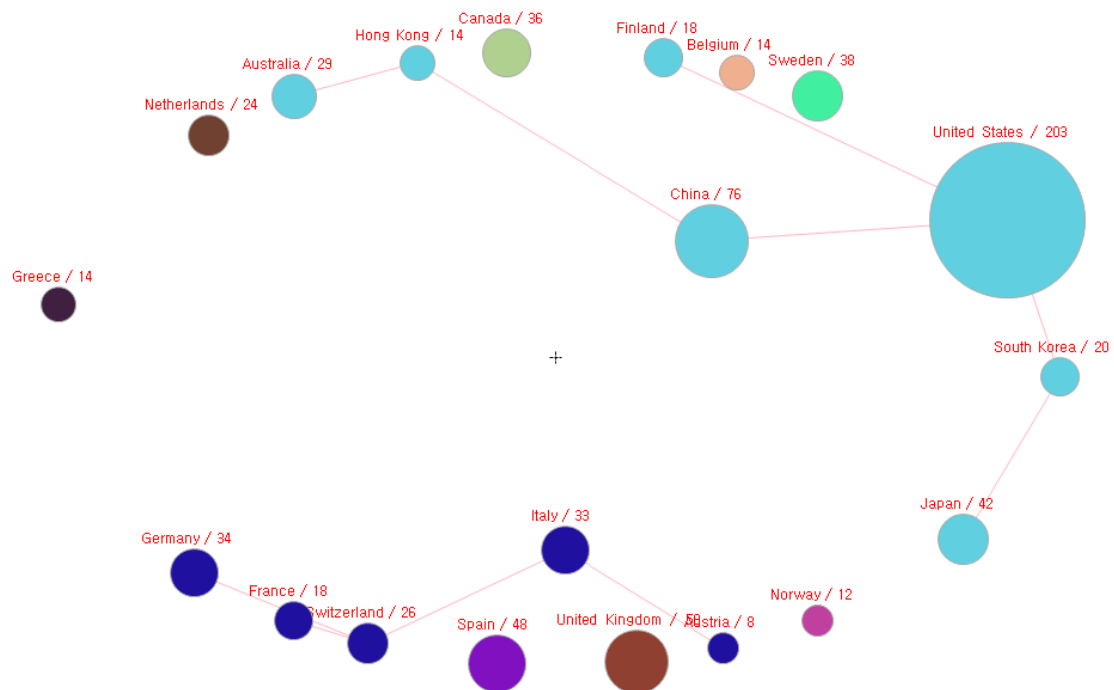


[그림 23] 건설 분야 LCA 관련 주요 국가의 연도별 논문동향



[그림 24] 건설 분야 LCA 관련 주요 국가별 논문 수

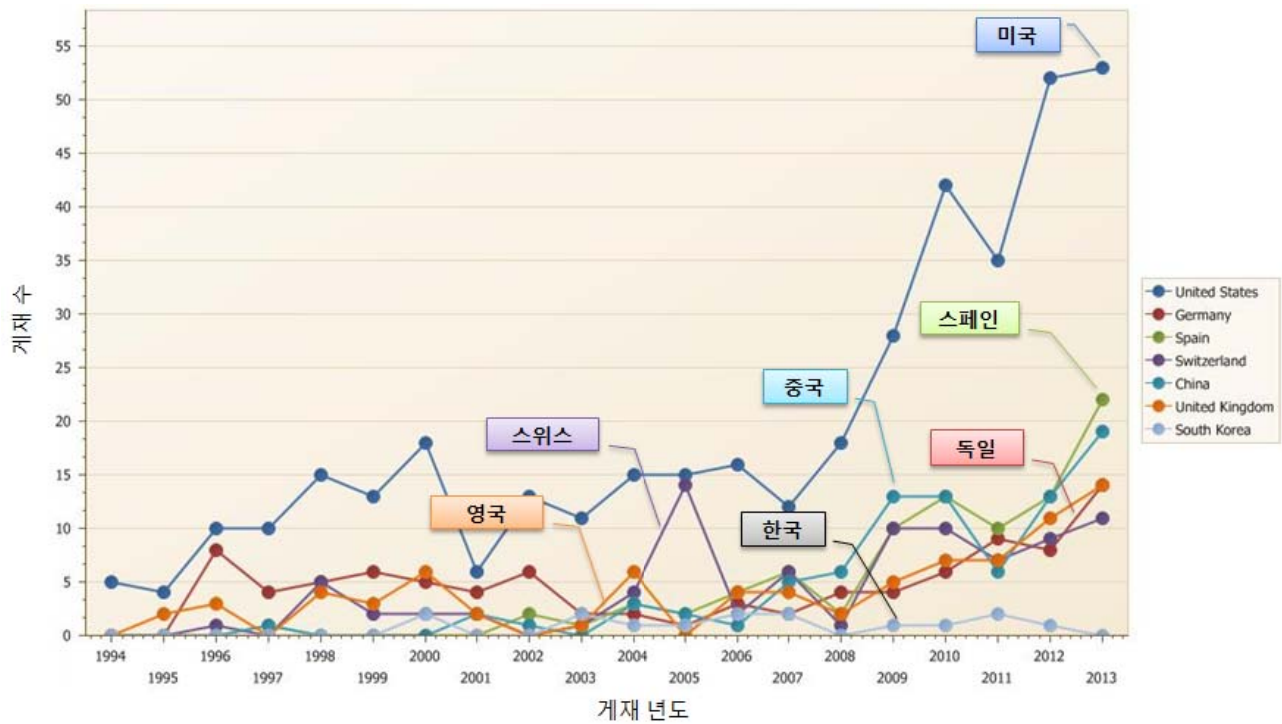
- 최근 20년간 건설 분야의 LCA 관련 연구논문의 동향을 살펴보면 미국의 관련 기술 개발연구가 가장 활발한 것으로 나타나며, 2000년대 중반 이후 중국, 영국, 스페인 등 주요 국가들 역시 논문의 수가 증가하는 추세를 보이고 있음.
- 한국은 최근 2~3년간의 논문의 수가 소폭 증가하였으나 미국과 중국, 유럽에 비해 논문의 수가 상당히 저조함. 2008년 이후 저탄소 녹색성장을 기조로 한 정부의 정책과 더불어 관련 분야의 연구개발이 다소 활발해지고 있는 것으로 판단됨.



[그림 25] 건설 분야 LCA관련 논문 네트워크 분석

- 최근까지 건설 분야 LCA관련 연구동향을 네트워크 분석을 통해 살펴보면, 미국을 중심으로 중국, 한국, 일본 등의 국가가 공동 및 협력연구가 이루어지고 있는 모습을 보이며, 독일, 이탈리아, 스위스 등의 유럽국가들 간에도 긴밀한 협력 연구가 이루어지고 있음을 알 수 있음.

○ LCI DB 관련 주요 국가별 논문동향을 살펴보면 다음과 같음.

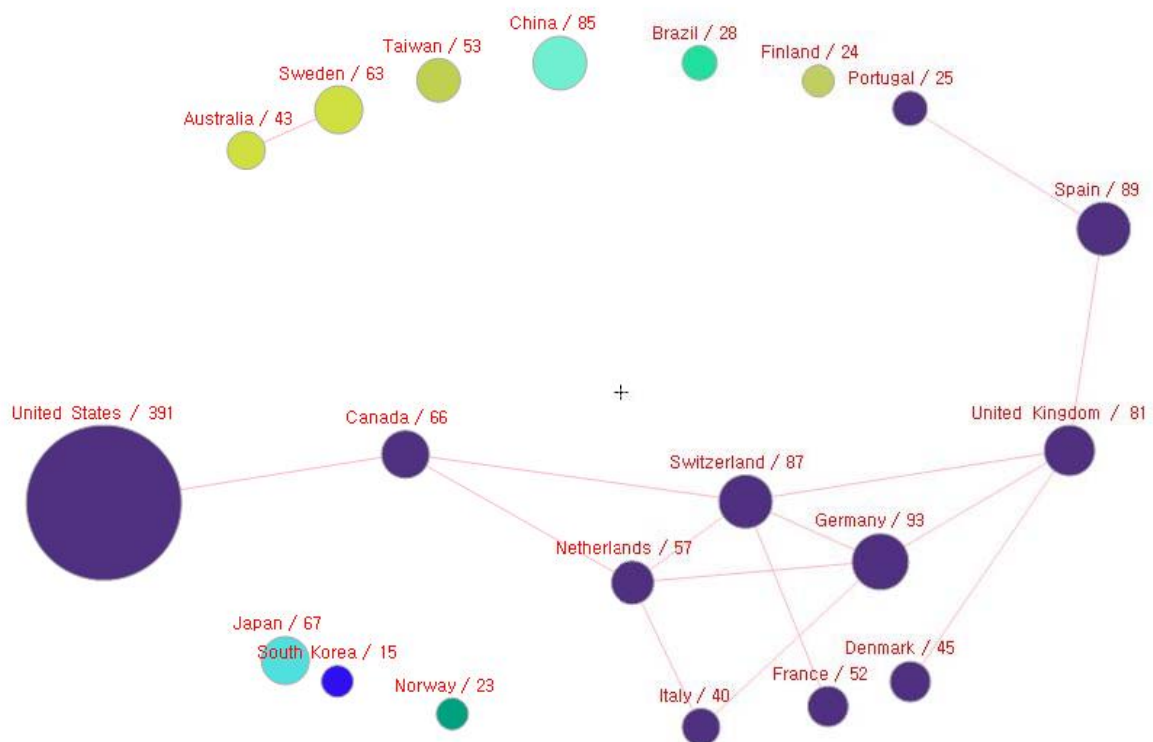


[그림 26] 건설 분야 LCI DB 관련 주요 국가의 연도별 논문동향



[그림 27] 건설 분야 LCI DB 관련 주요 국가별 논문 수

- 최근 20년간 공학 및 환경과학 분야의 LCI DB 관련 연구논문의 동향을 살펴 보면 미국의 관련 기술 개발연구가 가장 활발한 것으로 나타나며, 그 밖에 독일, 스페인, 스위스, 영국 등을 중심으로 유럽에서 관련 연구가 활발한 것으로 나타남.
- LCI DB와 관련된 연구는 LCA의 기본 근간이 되는 정보를 제공하는 기초연구로 볼 수 있으나 한국은 미국과 유럽, 중국에 비해 관련 연구가 정량적으로 상당히 부족한 것으로 나타남.

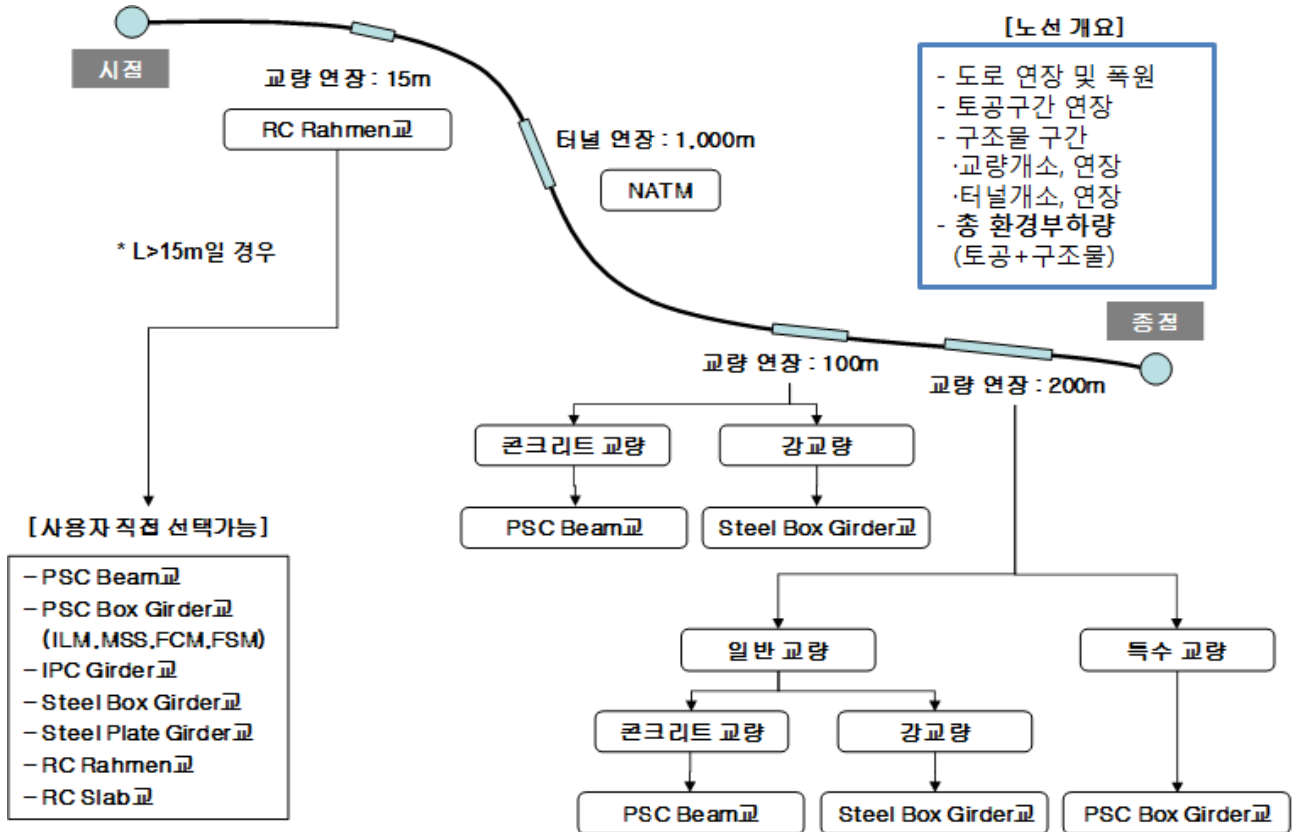


[그림 28] 건설 분야 LCI DB 관련 논문 네트워크 분석

- 최근 20년간 공학 및 환경과학 분야의 LCI DB 관련 연구동향을 네트워크 분석을 통해 살펴보면, 미국과 유럽을 중심으로 공동 및 협력연구가 긴밀히 이루어지고 있는 모습을 보임.

2.3.4. 기존 기술과의 차별성

- 기존의 건설 사업에 대한 환경영향을 평가하는 기술들은 주로 탄소배출량에 초점을 맞추고 있음. 본 기획연구에서는 ISO의 LCA 분석 기준인 환경영향 범주 중심의 평가를 가능케 하는 기술 개발을 제안하고자 함.
- 국내에서 SOC 시설물과 관련하여 수행된 탄소배출량 산정관련 연구는 고속도로 건설공사에서 온실가스 배출량을 산정하는 연구가 진행되었으나, 장비 사용량과 일부 자재에 관한 탄소배출량만을 고려하고 있음. 또한 기존 연구의 많은 부분들은 LCA분석 및 탄소배출량 산정에 필요한 LCI DB 구축에 치중하여 왔으며, 이를 활용하여 상세수준에서 투입 자원에 대한 환경부하량을 평가하는 연구와 일부 공종 및 건설자재들을 대상으로 친환경 기술을 평가하는 연구들을 수행해왔음.
- 본 연구에서는 SOC 시설물에 대한 환경부하 평가를 위해 기존에 집중되어 있는 탄소배출량 외에 LCA category내의 부영양화, 산성화 등 대기, 수질, 토양, 생태계에 영향을 미치는 다양한 환경오염물질 배출량을 평가하고자 함.
- 환경부하량을 평가하는 기존의 기술들은 상세설계단계의 정보를 기반으로 하여 투입 자원에 대한 환경부하량을 평가하는 관리중심의 환경부하량 산정 방식으로 이는 기획 및 설계 초기단계에서 대안 선정을 위한 신속한 환경부하량 평가의 한계를 가지고 있음.
- 본 기획연구에서 제안하는 기술은 상세설계 이전 개략정보 기반의 의사결정 지원 중심의 환경부하량 산정방식으로 기획 및 설계단계에서 설계 대안에 대한 신속하고 신뢰성 있는 환경부하량 평가 모델 개발을 통해 사용자의 편의성을 고려하여 적은 입력 변수로 환경부하량을 추정할 수 있음.



[그림 29] 도로사업 대안별 환경부하 평가 예시

- 또한 기존의 SOC 시설물에 대한 환경부하 평가는 단일 시설물 위주의 개별적인 평가로 네트워크로 구성된 복합 SOC 시설물에 대한 Macro 레벨에서의 환경부하 평가가 어려움.
- 이에 따라 본 연구에서는 단일의 시설물이 아닌 Network 망으로 이루어진 복합 SOC 시설물에 적용하여 환경부하를 추정하고 그에 따라 환경부하 저감을 위한 방법론 개발을 통해 기존 연구와 차별성을 두고자함.

2.4. 기술수준조사

2.4.1. 기술 기능 전개(FAST; Function Analysis System Technique)

- 본 연구의 기술 기능 전개에서 목적기능은 SOC 시설물의 환경부하 저감이며, 기본기능으로는 SOC 시설물의 라이프 사이클(기획, 설계, 시공, 유지관리) 단계별 환경부하의 최소화로 구분하였음.
- 각 기본기능별로 SOC시설물의 각각의 라이프 사이클(기획, 설계, 시공, 유지관리) 단계에서 환경부하를 최소화하는 2차 기능을 전개하였으며, 2차 기능별로 관련 있는 요소 기술들을 전개하고 매칭하였음.



[그림 30] 기술 기능 전개도(FAST Diagram)

2.4.2. 요소기술 분석

○ 각 기본기능과 2차 기능별로 추출된 요소기술에 대하여 세부 기술을 정리하였음.

- 각 기술에 대하여 현재 국내 기술을 그대로 적용하는지, 외국 기술도입이나 연구개발을 통해 기술보완이 필요한지, 새롭게 개발하여야 하는 기술인지 구분하였음.

요소기술	세부 기술	기술보완		개발필요	
		도입	개발	국가	민간
데이터마이닝 기술	환경부하량 평가 최적화 알고리즘 기술		○	○	
	공정별 시설물 주요 부위별 표준물량산정 모델 구축		○	○	
	데이터 마이닝 기법을 이용한 환경부하량 예측 기술		○	○	
전과정평가 (LCA) 기술	SOC시설물의 기획단계 LCA 평가 기술		○	○	
	SOC시설물의 설계단계 LCA 평가 기술		○	○	
	LCI Database 연계 기술		○	○	
환경부하량 평가 기술	SOC시설물의 기획단계 환경부하 평가모델 구축		○	○	
	SOC시설물의 설계단계 환경부하 평가모델 구축		○	○	
친환경 공정계획 기술	작업공정유형 분류		○	○	
	작업공정 시나리오 분석 및 설정		○	○	
	LCA기반 친환경 공정계획 기술		○	○	
장비조합 최적화 기술	장비조합 영향요소 분석 기술		○	○	
	장비조합 환경부하 평가기술		○	○	
자원추적 기술	센서 기반 자원가동 추적 기술	○		○	
	실시간 환경부하 총량 관리 기술		○	○	

○ 세부 기술에 대한 정의는 다음과 같음.

- **데이터마이닝 기술** - 대량의 데이터로부터 새롭고 의미 있는 정보를 추출하는 기술로, 본 연구에서는 과거 데이터를 기반으로 데이터마이닝 기술 및 예측기법을 활용한 환경부하량 평가에 활용되는 세부기술임.

- 전과정평가(LCA) 기술 - 건설부문의 전과정평가(LCA)는 건설 사업에 요구되는 자재들의 제조공정과 이들을 조합하여 공공시설물 건설, 운영 및 유지보수, 해체폐기의 전과정 동안 발생하는 환경부하를 정량화하여 환경성능을 평가하고 개선방안을 모색하는 의사결정 도구 또는 기술임.
- 환경부하량 평가 기술 - 시설물 전생애주기 동안 지구환경에 영향을 미치는 인자(온실가스, 오존층파괴가스, 산성비원인가스 등)들에 대한 지구환경 부담 정도를 정량화 한 것으로 이를 추정하거나 평가하는 기술 또는 체계.
- 친환경 공정계획 기술 - 시공단계 시 환경부하 저감을 위한 다양한 관점에서 친환경 공정계획 수립 및 평가를 지원하는 기술
- 장비조합 최적화 기술 - 시공단계 시 환경부하 저감을 위한 장비 선정 및 조합 등에 따른 친환경 자원계획 수립 및 평가를 지원하는 기술
- 자원추적 기술 - USN, Nano sensor, RFID, Zigbee 등의 첨단 센서 기반의 자원가동 추적 및 환경부하 총량 관리 기술

2.4.3. 기술수준 분석

○ 요소기술별 기술수준

평가대상	평가요소							
요소기술	기술수준							
	미국		유럽		일본		대한민국	
	상대수 준 (%)	격차 기간 (년)	상대수 준 (%)	격차 기간 (년)	상대수 준 (%)	격차 기간 (년)	상대수 준 (%)	격차 기간 (년)
데이터마이닝 기술	100.0	0.0	94.7	0.6	93.2	1.3	81.1	3.4
전과정평가(LCA) 기술	88.1	1.7	100.0	0.0	88.8	2.1	77.6	4.3
환경부하량 평가기술	90.9	1.4	100.0	0.0	93.2	1.3	78.8	4.0
친환경 공정계획기술	94.7	0.7	100.0	0.0	93.1	1.1	78.6	3.4
장비조합 최적화 기술	94.7	0.9	100.0	0.0	88.5	1.7	77.1	4.0
자원추적 기술	94.8	0.6	100.0	0.0	87.3	1.9	75.4	4.7

- 요소기술별 기술수준 분석 결과, 데이터마이닝 기술은 미국의 기술수준이 가장 높은 것으로 나타났으며 그밖에 전과정평가(LCA) 기술, 환경부하량 평가 기술, 친환경 공정계획기술, 장비조합 최적화 기술 및 자원추적 기술은 유럽의 기술수준이 가장 높은 것으로 나타남.
- 우리나라는 각 요소기술별 상대수준이 선진국에 비해 약 75~80% 정도인 것으로 나타났으며, 약 3~5년의 기술 수준 격차기간이 있는 것으로 분석됨.

○ 요소기술별 기술적 중요도 및 기술개발 잠재력

평가대상	평가요소							
요소기술	기술적 중요도			기술개발 잠재력				
	중요도 (100점 척도)	시급성 (C,E,L)	파급효과 (5점 척도)	인력	자금	인프라	지원 제도	산학연 협력
				(5점 척도)				
데이터마이닝 기술	85.7	C57E43L0	4.0	2.9	2.4	2.9	2.6	2.9
전과정평가(LCA) 기술	87.1	C71E29L0	4.1	3.6	2.7	3.0	3.1	3.3
환경부하량 평가기술	82.9	C86E14L0	4.3	3.6	2.6	3.1	3.0	3.3
친환경 공정계획기술	79.3	C29E71L0	4.0	3.3	2.7	2.4	2.7	2.9
장비조합 최적화 기술	77.9	C29E71L0	3.6	3.6	2.6	2.7	2.7	3.0
자원추적 기술	81.4	C71E29L0	3.9	2.7	2.0	2.0	2.1	2.0

- 요소기술별 기술적 중요도에 대한 분석 결과, 전과정평가(LCA) 기술과 환경부하량 평가기술이 중요도, 시급성 및 파급효과 등이 전반적으로 큰 것으로 나타남.
- 기술개발 잠재력은 요소기술이 최상위 기술수준에 도달하기 위해 기술개발에 필요한 투입요소 측면의 충분한 정도를 나타내며 자금, 인프라, 지원제도 등이 인력과 산학연 협력에 비해 미흡한 것으로 나타남.

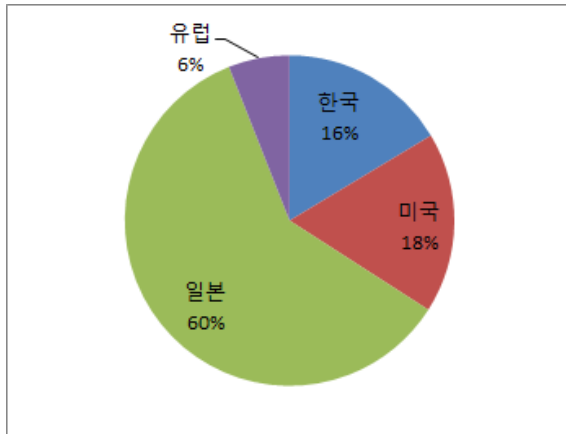
2.5. 종합분석

- 해외 주요 각국의 건설정책에서 CO₂ 저감, 에너지난 대처, 이상기후로 인한 자연재해 대응, 건설기술의 융복합화 등이 주요 과제로 대두되고 있으며, 도로와 철도, 항만, 공항 등의 에너지 절감, 친환경 토목공사, 설계·시공 프로세스 개선, 건설재료 및 자원혁신, 효율적 운영 등 기술요소와의 결합이 주요 관심사임.
- 국내에서도 저탄소 녹색성장을 기조로 하여 수립된 ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 바탕으로 녹색성장 5개년 계획, 온실 가스 배출량 30% 감축 등 다양한 정책 등이 추진되고 있으며, 건설 분야 역시 관계 부처에서 녹색성장의 주체가 되기 위한 노력들이 지속되고 있음.
- 2004년부터 2012년까지 국내 SOC 시설물별 투자 비중을 살펴보면 도로 분야가 가장 크며, 향후에도 도로시설에 대한 투자는 지속될 전망이다.
- 국내 70~80년대 건설된 기반 시설물의 노후화에 따른 향후 SOC 시설물 유지관리 분야에 많은 투자가 이루어질 것으로 전망되며, 시설물 유지·보수공사 관련 시장이 지속적으로 증가하고 있는 추세를 보이고 있음. 또한 시설물의 안전 및 유지관리의 정책적 방향이 저탄소·친환경적인 기술을 요구함에 따라 관련 기술의 수요가 증가할 것으로 전망됨.
- 국내·외 환경산업시장은 지속적으로 성장할 것으로 예측되며, 특히 국내 환경산업에 있어 건설, 설비제작 등 하드웨어 비중은 감소하고 진단 및 컨설팅, 운영사업 등 소프트웨어 분야에서 시장기회가 증가할 것으로 예측된 바 있음.
- 국내·외 정책 방향 및 시장동향 분석 결과 저탄소·친환경 기술의 수요가 증가할 것으로 전망되나, 기술 수준 조사 결과 국내 관련 기술의 수준은 다소 미흡한 것으로 나타남.

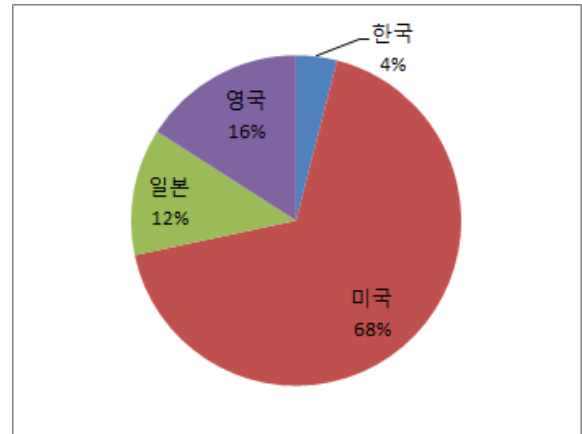
요소기술	국내 기술 수준	선진 기술 수준
데이터마이닝	81.1	100
전과정평가(LCA) 기술	77.6	100
환경부하량 평가기술	78.8	100
친환경 공정계획기술	78.6	100
장비조합 최적화 기술	77.1	100
자원추적 기술	75.4	100

○ 특허 및 논문 동향 분석 결과, 본 연구와 관련된 기술력이 타 선진국에 비해 부족함.

- 특허 : 환경부하 평가 기술, 전과정평가 기술, 이산화탄소 배출량 측정 기술
- 논문 : 건설 분야 LCA 및 LCI DB 관련 연구 논문



[그림 31] 주요국 관련 기술의 특허 총량 비교



[그림 32] 주요국 관련 기술의 논문 총량 비교

○ SWOT 분석

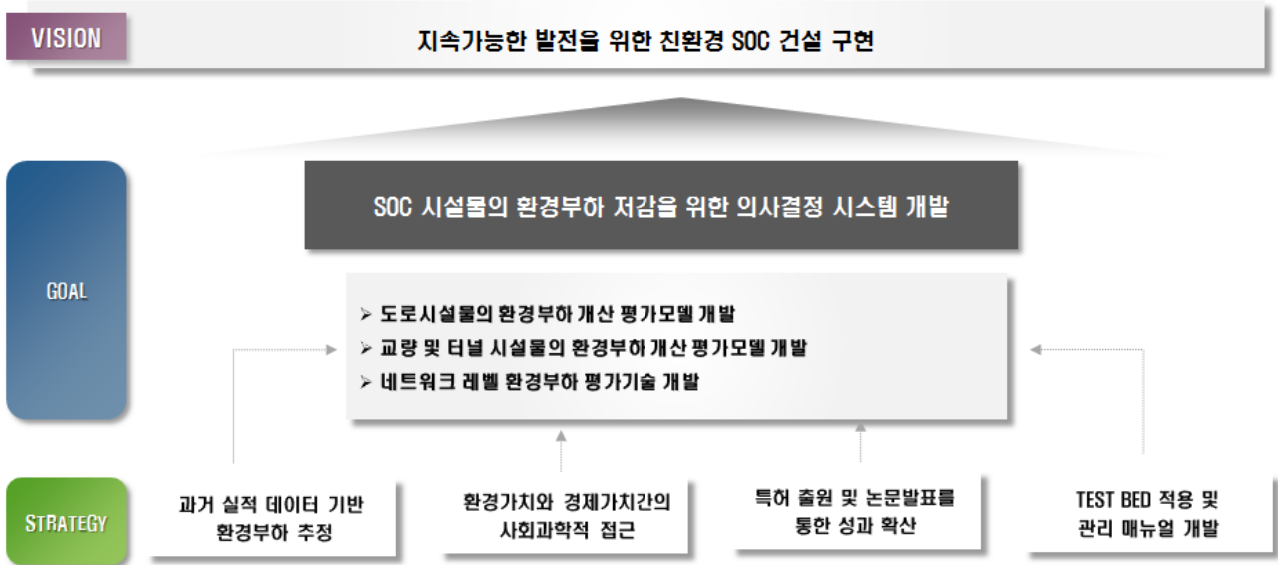
	강점(S)	약점(W)
	· 개발과 성장 위주에서 지속가능한 녹색성장으로의 패러다임 변화에 대한 정부 대응 의지 확고 · 건설 분야의 환경부하 저감에 대한 산·학·연·관의 관심 증대 및 정부의 최근 R&D 투자 확대 · 국내 탄소배출권 거래제 시행(예정)에 따른 시장 창출 가능성 증대	· 탄소 및 온실가스 중심의 저감 기술 개발 치중 · 시공단계 위주의 건설자재 및 장비 사용에 관한 탄소 저감 기술 개발은 활발하나, 다양한 설계 대안에 대한 환경부하 평가를 위한 의사결정지원도구 부재 · 친환경 기술개발 분야의 인프라 부족
	기회(O)	위협(T)
	· 삶의 질 개선에 대한 요구 증대로 건설 분야에서 환경가치의 중요성 확대 · 건설부분 온실가스 저감 대책은 주로 건축물 사용단계에 초점, SOC시설물에 대한 환경부하 저감 대책 요구 증대 · 에너지 다소비업 중 하나인 건설업에 효율적인 에너지 절약 및 환경부하 저감에 대한 필요성 증대 · 기업 이미지 제고 및 건설 산업 이미지의 녹색화 추진	· 주요 선진 국가들의 온실가스 저감을 위한 관련법 제정, 정책 및 투자 계획 확대와 함께 관련 기술개발에 박차 · 국내 건설기업의 경제성 위주의 사업 추진 및 환경가치에 대한 인식 미흡으로 인한 건설업에 대한 여론 악화 · 국내 건설경기 침체로 인한 건설기업의 환경부하 저감 의지 부족 우려

- SO전략 (Strength-Opportunity) : 강점극대화, 기회활용
 - 개발과 성장 위주의 건설 산업에서 삶의 질 개선 요구에 부응하는 지속가능한 녹색성장을 실현시키는 연구개발 추진
 - 산·학·연·관의 건설 분야 환경부하 저감에 대한 관심 증대 및 R&D 투자 증가와 함께 건설 산업의 녹색 이미지 제고 및 요구되는 녹색 기술 개발을 통한 신성장 동력 기반 조성
- ST전략 (Strength-Threat) : 강점극대화, 위협 최소화
 - 주요 선진국들의 관련 정책 및 투자 등을 분석하고 연구 개발을 벤치마킹하여 단기간 내에 실현가능한 기술 개발에 집중 투자
 - 산·학·연의 관심 증대 및 정부 R&D 투자 확대에 따른 기업의 적극적인 저탄소·친환경 기술 개발 유도하고 새로운 시장 창출 및 진입 기회 마련
- WO전략 (Weakness-Opportunity) : 약점 보완, 기회 활용
 - SOC 시설물에 대한 환경부하 저감대책이 요구됨에 따라 현 탄소 및 온실가스 중심의 저감 기술 개발에서 확대된 종합적인 환경부하 저감 기술 개발 추진
 - 건설사업의 추진과정에서 환경가치와 경제 가치를 고려한 최적의 의사결정을 가능케 하는 기술 개발 추진
- WT전략 (Weakness-Threat) : 약점 보완, 위협 최소화
 - 국내 건설기업의 환경가치에 대한 인식 전환과 더불어 관련 기술 개발의 선점을 통한 기업의 발전 기회를 마련할 수 있도록 지속적인 연구 개발 투자 및 인프라 구축
 - 녹색 관련 정책 추진에 따른 기업의 사업 추진 과정에서의 다양한 옵션에 따른 환경가치를 고려할 수 있는 의사결정체계 기반 조성을 위한 관련 기술 개발 확대

제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

3.1. 비전 및 목표

- SOC 시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA(Life Cycle Assessment)기반 의사결정 시스템 개발 연구의 비전, 연구목표, 연구내용 및 추진방향은 다음과 같음.



[그림 33] 연구의 비전, 목표 및 전략

- 연구개발 목표는 환경부하 저감형 SOC 시설물의 설계를 지원하기 위한 의사결정 시스템 개발 및 관련 인프라 구축을 통한 종합적인 환경부하 평가업무의 기반을 조성하는 것임.
- ‘SOC 시설물의 환경부하 저감을 위한 의사결정 시스템’의 개발 달성 여부는 다음과 같은 항목과 기준에 의하여 평가함.

항목	평가기준
도로시설물 환경부하 평가모델	- 자료 수집의 충실성 - 개발된 평가모델의 신뢰성 검증 - 기획/설계/유지관리단계 환경부하 개선 평가모델의 적정성
교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델	- 자료 수집의 충실성 - 개발된 평가모델의 신뢰성 검증 - 기획/설계/유지관리단계 환경부하 개선 평가모델의 적정성
네트워크 레벨의 환경부하 평가기술	- SOC 시설물의 환경성능지표 개발 유무 - LCI DB 연계 표준화 모델 및 시스템 개발 유무 - 도로, 교량 및 터널로 구성되어 네트워크를 이루는 SOC 시설물의 환경부하 평가항목 및 평가방안 제시 유무 및 적정성

3.2. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

3.2.1. 핵심기술요소(CTE) 도출

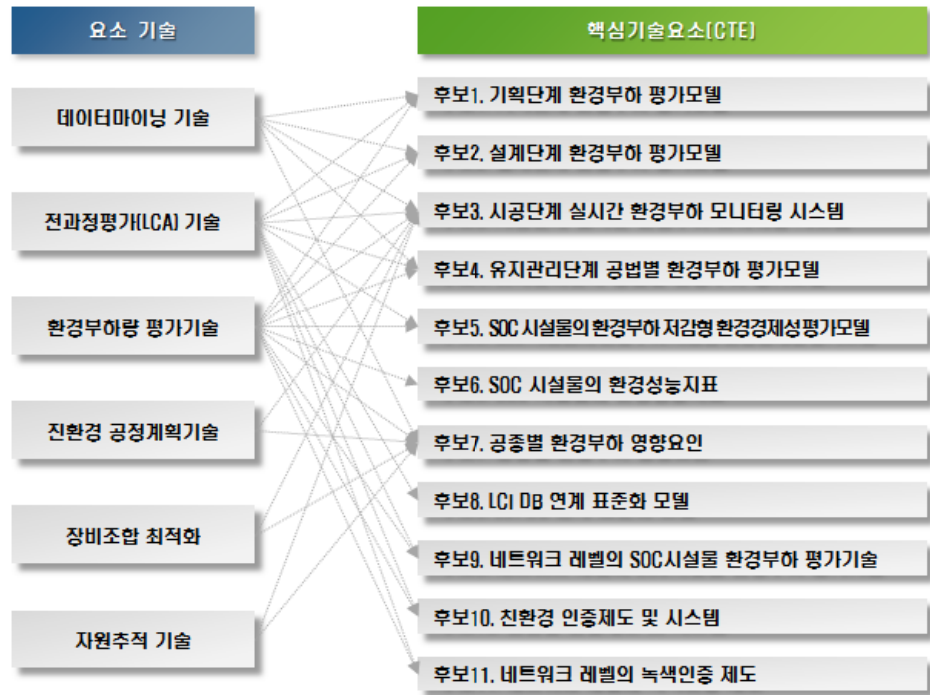
- 핵심기술요소(Critical Technology Elements, CTE)는 과제의 성패를 좌우하는 중요한 기술로서 개발기술이 완성되기 위하여 충족되어야 할 필수기술로, 기술개발 최종 목표의 성공여부를 결정짓는 소재나 부품, 시스템으로 그 자체로 시연이 가능하여 시험평가 항목에 대한 측정이 가능하여야 함.
- 따라서 본 연구의 필요성, 비전 및 목표에 따라 달성해야하는 핵심기술요소(CTE) 후보를 도출하면 다음과 같음.

No.	CTE명
후보1	기획단계 환경부하 평가모델
후보2	설계단계 환경부하 평가모델
후보3	시공단계 실시간 환경부하 모니터링 시스템
후보4	유지관리단계 공법별 환경부하 평가모델
후보5	SOC 시설물의 환경부하 저감형 환경경제성 평가모델
후보6	SOC 시설물의 환경성능지표
후보7	공종별 환경부하 영향요인
후보8	LCI DB 연계 표준화 모델
후보9	네트워크 레벨의 SOC시설물 환경부하 평가기술
후보10	친환경 인증제도 및 시스템
후보11	네트워크 레벨의 녹색인증 제도

- 앞서 서술한 기술 기능 전개도(FAST Diagram)에서 도출된 요소기술들을 본 연구개발의 최종 목표 성과물 중심의 핵심기술요소(CTE)와 연계하여 표현하면 다음과 같음.

3.2.2. 핵심기술요소(CTE) 선정

- 도출된 핵심기술요소(CTE) 후보리스트에서 최종 핵심기술요소를 선정하기 위하여 체크리스트를 활용하였으며, 본 기획연구의 정책·시장·기술 등 동향 및 환경 분석을 통하여 평가함.



체크리스트	후보 1	후보 2	후보 3	후보 4	후보 5	후보 6	후보 7	후보 8	후보 9	후보 10	후보 11	비고
1. 이 기술이 환경부하 저감 에 직접적으로 영향을 미치는가?	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	반드시 충족
2. 해당기술이 타연구개발의 기술과 중복성이 없는 것으로 확인되었는가?	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×	×	
3. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?												하나 이상 충족
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발 시 변경된 기술인가?						○						
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?						○		○	○	○	○	
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?	○	○		○	○	○		○	○		○	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	○	×	○	○	○	×	○	○	×	×	

○ 후보3(시공단계 실시간 환경부하 모니터링 시스템), 후보7(공종별 환경부하 영향요인), 후보10(친환경 인증제도 및 시스템), 후보11(네트워크 레벨의 녹색인증제도)은 타사업에서 진행 중인 연구내용과 일부 유사하여 제외하였음.

■ 이 중 후보3의 경우 「탄소중립형 도로 기술 개발」 연구단의 연구내용 중,

‘LCA 기반 탄소저감형 도로설계 기술개발’ 세부 연구과제는 공법, 장비 운용 등을 조합한 최적 녹색 시공기법 개발을 포함하고 있어, 본 연구에서는 시공 단계의 환경부하 평가 관련 기술은 연구 규모와 연구기간을 고려하여 시공단계만을 제외한 기획 및 설계, 유지관리 단계의 환경부하 평가기술 개발을 추진하는 것이 타당한 것으로 판단됨.

- 후보7의 경우 ‘녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발’ 세부 연구과제 중 도로건설시 토공사, 배수 및 옹벽공사, 교량공사, 터널공사 등 공사 및 세부공종별 탄소배출량 산정기술 개발이 포함되어 중간연구결과로 이미 제시되어 있으므로, 본 연구과제 추진 시 별도의 연구보다는 기존 연구결과를 활용하는 것이 타당하다고 판단됨.
- 후보 10과 11은 한국국토연구원의 ‘도로부분 온실가스 저감을 위한 녹색도로 등급체계 도입방안 연구’ 및 국토교통과학기술진흥원의 건설기술혁신사업인 「탄소중립형 도로 기술 개발」 연구단 중 ‘녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발’ 세부 연구과제와 연구 내용이 유사함. 또한 저탄소 녹색성장기본법에 따라 국토교통부 등에서 추진 중인 「녹색기술 및 녹색사업 인증」 분야 중 ‘첨단그린주택도시/U-City/Eco-Road 조성’ 과도 연관성이 커 도로시설물에 대한 별도의 인증시스템은 필요하지 않은 것으로 판단됨.

3.2.3. 핵심기술요소(CTE) 목록

○ 선정된 핵심기술요소(CTE)의 최종 기술성숙도(Technology Readiness Level)¹⁸⁾는 다음과 같음.

CTE	유형	CTE명	최종 TRL
1	소프트웨어	기획단계 환경부하 평가모델	TRL 6 (S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계)
2	소프트웨어	설계단계 환경부하 평가모델	TRL 6 (S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계)
3	소프트웨어	유지관리단계 공법별 환경부하 평가모델	TRL 6 (S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계)
4	소프트웨어	SOC 시설물의 환경부하 저감형 환경경제성 평가모델	TRL 6 (S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계)
5	공법·기법	SOC 시설물의 환경성능지표	TRL 4 (성능검증)
6	공법·기법	LCI DB 연계 표준화 모델	TRL 5 (유사환경검증)
7	공법·기법	네트워크 레벨의 SOC 시설물 환경부하 평가기술	TRL 5 (유사환경검증)

18) 기술성숙도(Technology Readiness Level) : 개발기술의 성숙도 또는 이행단계를 평가하기 위한 정량화된 지표.

- 기획단계 환경부하 평가모델(CTE1), 설계단계 환경부하 평가모델(CTE2), 유지관리단계 공법별 환경부하 평가모델(CTE3), SOC시설물의 환경부하 저감형 환경경제성 평가모델(CTE4)는 소프트웨어 유형으로 목표하고자 하는 최종 TRL은 S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계인 TRL6임.
 - 소프트웨어 유형의 TRL6은 개발 기술이 실제 환경에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계로 실제 운용환경과 유사한 환경에서 S/W 프로토타입 모델의 테스트를 완료하고 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하고 적합한 신뢰도를 갖추었는지를 수요자 또는 고객의 실제사용 환경과 유사한 환경에서 검증함. 해당 S/W에 대한 특허 출원이 이루어지는 단계.
- SOC시설물의 환경성능지표(CTE5)는 공법·기법 유형으로 목표하고자 하는 최종 TRL은 실험실 환경에서 Bench scale 규모의 성능 및 신뢰성 평가 단계인 TRL4임.
 - 공법·기법 유형의 TRL4는 개념 증명 또는 타당성 확인을 위해 Bench scale(실험실용 크기, 소규모)모델을 시험 제작하여 성능을 검증하는 단계로 최종 운영 시스템/환경과의 차이점을 고려하여 실험실 규모의 테스트 결과를 분석하는 단계임.
- LCI DB 연계 표준화 모델(CTE6) 및 네트워크 레벨의 SOC시설물 환경부하 평가기술(CTE7)은 공법·기법 유형으로 목표하고자 하는 최종 TRL은 유사 환경에서 Bench scale 규모의 성능 평가 및 신뢰성을 시험하는 단계인 TRL5임.
 - 공법·기법 유형의 TRL5는 거의 모든 측면에서 최종 환경과 유사한 상태에서 기본적인 Bench scale모델의 성능을 시험하는 단계로 실험실 규모의 테스트 결과 및 실험실과 최종 운영 시스템/환경과의 차이점에 관한 분석을 포함함. TRL 4단계의 실험실 환경에 개발된 기술의 정확도와 신뢰도를 유사환경 하에서 향상시키는 단계임.

3.2.4. 연구개발내용 구성

- 기획전문위원 전문가 활용을 통한 의견 수렴 및 반영
 - 관련 분야의 정부기관, 연구원 및 학계 전문가 뿐만 아니라 실질적인 수요처인 시공사 및 설계사에 속한 전문가로 기획전문위원회를 구성하여 정기적인 회의 및 서면 의견수렴을 실시하였음
- 정부 및 관계기관 의견 수렴

- 본 연구과제 관련 기획재정부, 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원의 해당 담당자와의 회의 및 서면 질의응답을 통해 연구개발과제 구성, 예산의 적정성, 연구성과의 활용 등에 관한 의견을 수렴하여 반영하였음

○ 연구개발내용 구성 시 중점 고려사항

- 본 연구는 SOC시설물을 대상으로 하고 있으나 그 종류가 다양하고 시설물별 특성이 서로 상이하기 때문에 연구규모와 연구기간을 고려하여 구체적인 연구대상 시설물의 선정이 필요함.
- 향후 연구개발을 통한 기술의 적용과 활용이라는 측면을 고려하여, 앞서 분석한 국내외 시장현황 분석(p.26)과 본 연구내용과의 적합성을 토대로 대상 시설물을 ‘터널 및 교량을 포함한 도로시설물’로 선정하였음.
- 또한 신규건설 및 유지관리 시장현황 분석에 따르면, 향후 유지관리에 대한 투자가 증가할 것으로 전망되고 있으며(p.28), 유지관리 분야의 저탄소·친환경 구현의 정책방향을 추진함에 따라¹⁹⁾ SOC시설물의 유지관리 단계에서 발생할 수 있는 환경부하를 평가하여 저감할 수 있는 기술개발이 반드시 필요할 것으로 판단됨.

- 연구개발내용 구성 시 중점 고려사항과 핵심기술요소(CTE) 선정 결과 등을 반영하여 연구개발내용을 구성하였으며, 세부목표별 해당 CTE, 중요도 및 확보방안을 정리하면 다음 표와 같음.

세부목표별	CTE	중요도			확보방안		
		높음 (H)	중간 (M)	낮음 (L)	소관기관 단독개발 (R)	공동개발 (C)	외부 아웃소싱 (I)
도로시설물 환경부하 평가 모델 개발	CTE1 CTE2	○				○	
교량 및 터널시설물 환경부하 평가모델 개발	CTE3 CTE4						
네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발	CTE5 CTE6 CTE7						

3.2.5. 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

- 세부목표별 핵심기술요소의 최종 TRL을 달성하기 위하여 현재 TRL과 단계별 마일스톤 목표 TRL을 설정하였음.

19) 제3차 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 기본계획 2013~2017(2012), 국토교통부

○ ‘도로시설물 환경부하 평가모델 개발’의 단계별 TRL 목표

세부목표	도로시설물 환경부하 평가모델 개발			유형	소프트웨어	
프레임워크		선행단계	시제품 제작 및 시연	현장적용		제품화/실용화
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
			1차년도		2차년도	3차년도(종료)
마일스톤 일정		'14.04	'15.09	'16.09		'17.09
CTE No.	기술명					
CTE 1	도로시설물 기획단계 환경부하 평가모델		TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 6
CTE 2	도로시설물 설계단계 환경부하 평가모델		TRL 2	TRL 2	TRL 4	TRL 6
CTE 3	도로시설물 유지관리단계 공법별 환경부하 평가모델		TRL 2	TRL 2	TRL 2	TRL 6
CTE 4	도로시설물 환경경제성 평가모델		TRL 2	TRL 2	TRL 2	TRL 6

○ ‘교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델 개발’의 단계별 TRL 목표

세부목표		교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델 개발		유형	소프트웨어	
프레임워크		선행단계	시제품 제작 및 시연	현장적용	제품화/실용화	
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL			
			1차년도	2차년도	3차년도(종료)	
마일스톤 일정		‘14.04	‘15.09	‘16.09	‘17.09	
CTE No.	기술명					
CTE 1	교량 및 터널 기획단계 환경부하 평가모델	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 6	
CTE 2	교량 및 터널 설계단계 환경부하 평가모델	TRL 2	TRL 2	TRL 4	TRL 6	
CTE 3	교량 및 터널 유지관리단계 공법별 환경부하 평가모델	TRL 2	TRL 2	TRL 2	TRL 6	
CTE 4	교량 및 터널시설물 환경경제성 평가모델	TRL 2	TRL 2	TRL 2	TRL 6	

○ ‘네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발’의 단계별 TRL 목표

세부목표		네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발		유형		공법·기법			
프레임워크		선행단계		시제품 제작 및 시연		현장적용		제품화/실용화	
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL						
			1차년도		2차년도		3차년도 (종료)		
마일스톤 일정		‘14.04		‘15.09		‘16.09		‘17.09	
CTE No.	기술명								
CTE 5	SOC 시설물의 환경성능지표		TRL 2	TRL 2		TRL 3		TRL 4	
CTE 6	LCI DB 연계 표준화 모델		TRL 3	TRL 3		TRL 4		TRL 5	
CTE 7	네트워크 레벨의 SOC 시설물 환경부하 평가기술		TRL 3	TRL 3		TRL 4		TRL 5	

3.3. 연구개발과제 구성

○ 연구과제의 구성 및 주요 연구내용은 다음과 같음.



- ‘도로시설물 환경부하 평가모델 개발’의 연구개발내용으로는 도로시설물의 기획단계, 설계단계, 유지관리단계 각각의 환경부하 평가모델 개발과 이를 기반으로 의사결정 시스템 개발을 포함하고 있음.
- ‘교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델 개발’의 연구개발내용으로는 교량 및 터널 시설물의 기획단계, 설계단계, 유지관리단계 각각의 환경부하 평가모델 개발과 이를 기반으로 의사결정 시스템 개발을 포함하고 있음.
- ‘네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발’의 연구개발내용으로는 SOC 시설물에 대한 환경성능지표를 제시하고, SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 및 시스템 개발을 통해 최종적으로 지역적·공간적인 SOC 시설물 네트워크의 환경부하 평가 방안을 제시하고자 함.

3.4. 세부목표별 주요 내용 및 추진전략

3.4.1. 연구개발 내용

	세부목표	연구개발 내용
SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 의사결정 시스템 개발	도로시설물 환경부하 평가모델 개발	○ 도로시설물 기획/설계/유지관리 단계 환경부하 평가모델 개발 ■ 도로시설물 특성 및 환경부하 영향요인 상관성 분석 ■ 환경부하량 평가방법론 조사 및 비교 ■ 기획/설계 단계 환경부하 평가모델 개발 및 최적화 ■ 유지관리 단계 공법별 환경부하 평가모델 개발 및 최적화 ■ 도로시설물 환경경제성 평가모델 개발 및 최적화 ○ 평가모델 검증 및 시스템 개발 ■ 평가모델 TEST BED 실시 ■ 평가모델 DB업데이트 및 관리기준 개발 ■ 모델 이론 교육자료 및 환경부하량 평가매뉴얼 작성 ■ 시스템 개발
	교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델 개발	○ 교량 및 터널 시설물 기획/설계/유지관리 단계 환경부하 평가모델 개발 ■ 교량 및 터널 시설물 특성 및 환경부하 영향요인 상관성 분석 ■ 환경부하량 평가방법론 조사 및 비교 ■ 기획/설계 단계 환경부하 평가모델 개발 및 최적화 ■ 유지관리 단계 공법별 환경부하 평가모델 개발 및 최적화 ■ 교량 및 터널 시설물 환경경제성 평가모델 개발 및 최적화 ○ 평가모델 검증 및 시스템 개발 ■ 평가모델 TEST BED 실시 ■ 평가모델 DB업데이트 및 관리기준 개발 ■ 모델 이론 교육자료 및 환경부하량 평가매뉴얼 작성 ■ 시스템 개발
	네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발	○ SOC시설물의 환경성능지표 개발 ■ EPI, ESI 등²⁰⁾ 기존 환경지표 벤치마킹 ■ 환경영향범주별 환경부하 배출물질 및 적용 범위 검토 ■ 주요 환경오염물질 정의 및 적용범위 검토 ■ SOC 시설물에 대한 환경성능지표 항목 도출 ■ 지표항목에 따른 정량적, 정성적 평가 방안 제시 ○ SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 및 시스템 개발 ■ SOC 시설물의 기획/설계 및 유지관리 단계별 환경정보 표준체계 구축 ■ 공법별 표준 공종 구성을 조합한 DB의 Code화 ■ 국내외 LCI DB를 활용한 SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 개발 ■ 네트워크 환경을 고려한 LCI DB 프로세스 모듈 구성 및 시스템 개발 ○ 지역적·공간적 SOC 시설물 네트워크의 환경부하 평가기술 개발 ■ 환경평가, 친환경 인증제관련 국내외 관련 시스템의 벤치마킹 ■ 사전타당성검토, 환경영향평가 등과의 연계방안 도출 ■ 환경성능지표 항목과 연계한 SOC 시설물 평가항목 도출 ■ 네트워크 레벨의 인프라 세부 평가항목 제시 ■ 시범 적용을 통한 평가항목, 체계 수정 보완 ■ 테스트베드를 통한 SOC 시설물의 환경부하 시범평가 ■ SOC 개발 사업에의 정부 활용방안 제시

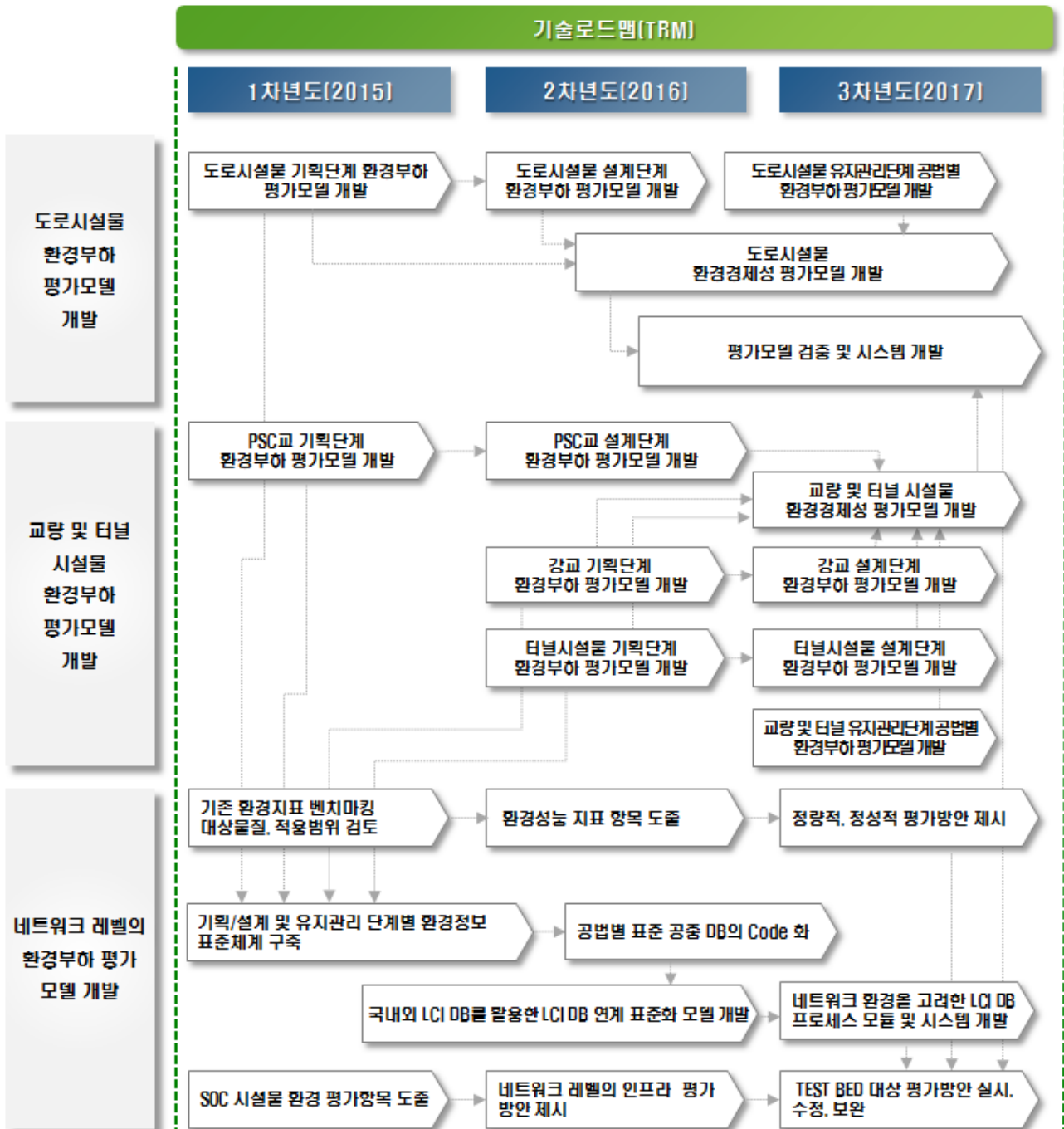
20) 국가별 환경개선정도를 평가하는 환경성과지수(EPI ; Environmental Performance Index)에는, 미세먼지(PM2.5), 일인당 SO₂, CO₂ 배출량 등을 지표로 설정하고 있으며, 환경지속성지수(ESI ; Environmental Sustainability Index)는 20여개 항목에 대해 수질, 대기, 종 다양성 등 환경적인 요인 등을 평가하고 있음.

3.4.2. 연구개발 추진전략

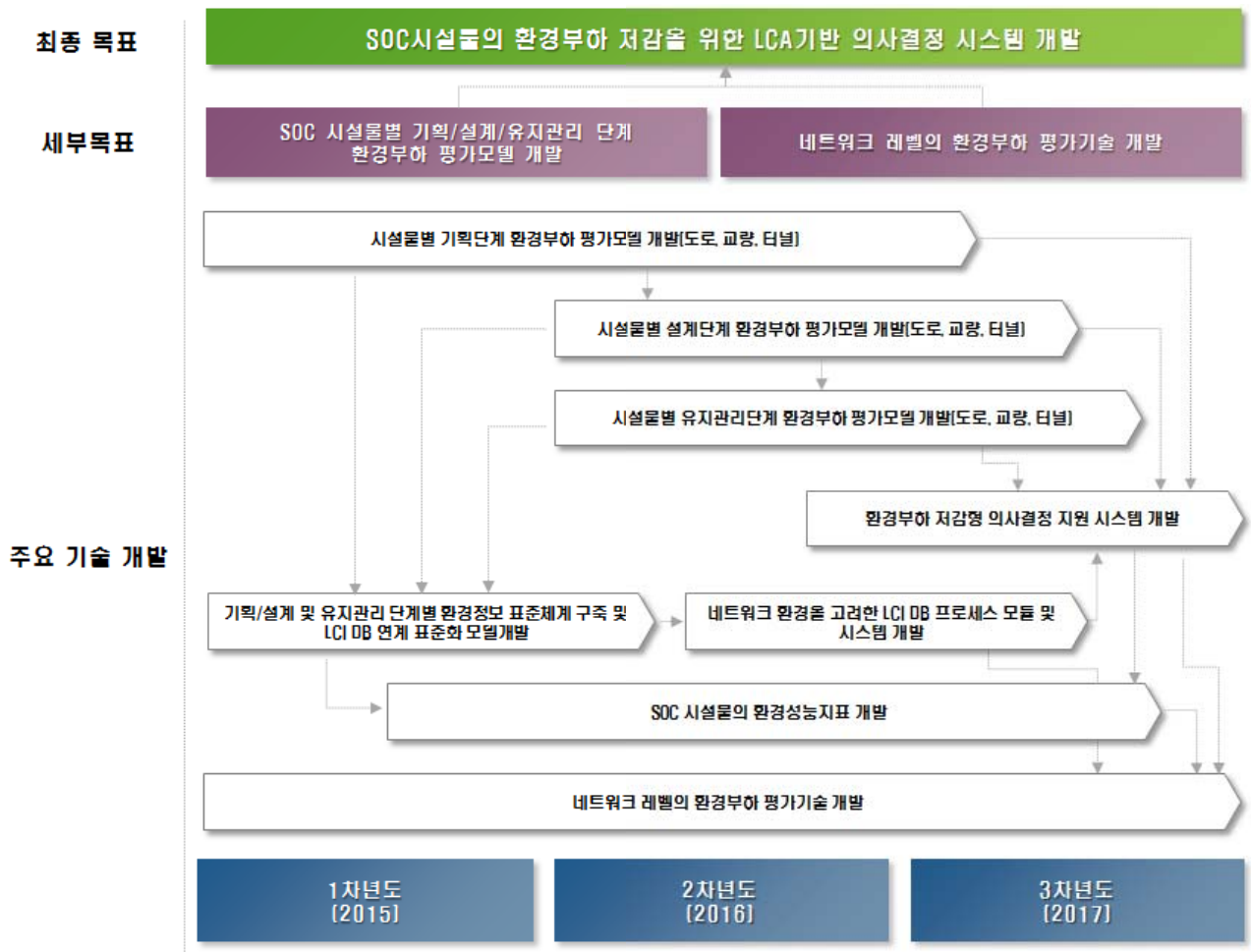
- 본 연구는 과거 SOC 시설물의 실적 데이터를 기반으로 하여, 향후 건설사업의 추진 시 환경부하 평가를 통한 의사결정을 지원하는 시스템을 개발하는 연구로 신뢰할 수 있는 평가모델과 데이터베이스를 구축할 수 있도록 추진.
- 본 연구는 SOC시설물 중에서도 비중이 가장 큰 교량 및 터널을 포함하는 도로시설물을 대상으로 하되, 모든 기술 개발에 있어 타시설물로의 확장 가능성을 염두에 두고 개발하여 향후 종합적인 SOC시설물에 대한 환경부하 저감을 위한 의사결정 시스템으로 활용이 가능하도록 추진함.
- 환경가치와 경제가치를 고려한 사회과학적인 접근을 통해, 건설사업의 환경적 영향과 경제성을 반영하는 다면적이고 종합적인 평가로 활용 가능하도록 추진함.
- TEST BED를 통해 평가모델을 검증하여 결과의 신뢰성을 확보하고, 평가모델에 대한 DB 업데이트 및 관리기준 제시, 모델 이론 교육자료 및 환경부하량 평가 매뉴얼 제공을 통해 연구 성과의 적극적인 활용을 유도할 수 있도록 추진함.
- 본 연구에서는 기획/설계 단계 및 유지관리 단계별, 공법별로 네트워크 환경을 고려한 SOC 시설물의 표준화된 공종 구성을 조합하여 DB화하고, 기구축된 국가 DB 및 해외 LCI DB와 연계하여 활용할 수 있는 방안을 제시.
- 이를 위하여 도로시설물, 교량 및 터널시설물 등 SOC 시설물에 대한 표준 공종에 대한 Code를 구성하고 표준화 모델을 개발하여 추후 국가 LCI DB에 연계하여 확장할 수 있는 시스템으로 개발을 추진토록 함.
- 또한 LCI DB내 input data에 따른 환경성능 평가지표를 설정하여 실제 SOC 시설물을 대상으로 TEST BED를 선정하고 시범평가를 실시하고자 함. 이를 통해 지역적·공간적인 네트워크 레벨에서의 환경부하 평가의 활용성을 검증하여 활용성을 높이고, 향후 SOC 개발 사업에의 정부 활용 방안을 제시.
- 연구 성과의 활용을 극대화하기 위하여 연구수행단계에서 실수요자인 발주처, 설계사 및 시공사 등 사용자의 참여를 통한 연구개발 추진.
- 본 연구과제 종료 후 SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 종합적인 의사결정 시스템 업그레이드가 지속적으로 이루어질 수 있도록 후속 연구로 타 SOC시설물에 대한 환경부하 평가모델 개발 연구가 필요함.

3.5. 기술로드맵 및 성과로드맵

3.5.1 기술로드맵



3.5.2 성과로드맵



3.6. 성과의 활용방안

3.6.1. 최종성과물 및 성과지표

세부목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
도로시설물 환경부하 평가모델 개발	1	논문(SCI)	게재논문건수	편	1	0.3	- 환경부하평가기술 1편
	2	논문 (국내학술지)	게재논문건수	편	1	0.2	- 환경부하평가기술 2편
	3	학술발표	발표논문건수	편	3	0.1	- 환경부하평가기술 총4편
	4	지식재산권	특허 등 지식재산권 등록건수	건	1	0.2	- 환경부하평가기술 특허출원 1건
	5	지침/매뉴얼	지침/매뉴얼 제안 건수	건	1	0.2	- 환경부하평가기술 매뉴얼 1건
교량 및 터널 환경부하 평가모델 개발	1	논문(SCI)	게재논문건수	편	1	0.3	- 환경부하평가기술 1편
	2	논문 (국내학술지)	게재논문건수	편	1	0.2	- 환경부하평가기술 2편
	3	학술발표	발표논문건수	편	3	0.1	- 환경부하평가기술 총4편
	4	지식재산권	특허 등 지식재산권 등록건수	건	1	0.2	- 환경부하평가기술 특허출원 1건
	5	지침/매뉴얼	지침/매뉴얼 제안 건수	건	1	0.2	- 환경부하평가기술 매뉴얼 1건
네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발	1	논문(SCI)	게재논문건수	편	1	0.3	- SOC 시설물 환경성능지표 관련 SCI 1편
	2	논문 (국내학술지)	게재논문건수	편	1	0.2	- SOC 시설물 LCI DB 관련 논문 1편
	3	학술발표	발표논문건수	편	3	0.1	- SOC 시설물 환경성능지표 적용 사례 학술발표 3편
	4	지식재산권	특허 등 지식재산권 등록건수	건	1	0.2	- LCI DB 연계시스템 특허출원 1건
	5	지침/매뉴얼	지침/매뉴얼 제안 건수	건	1	0.2	- SOC 시설물에 적용 가능한 지침/매뉴얼 1건

3.6.2. 연차별 성과목표

세부목표	성과지표		연차별 목표			
			1차년도	2차년도	3차년도	계
도로시설물 환경부하 평가모델 개발	1	논문(SCI)			1	1
	2	논문(국내학술지)		1		1
	3	학술발표	1	1	1	3
	4	지식재산권			특허출원1	1
	5	지침/매뉴얼			1	1
교량 및 터널 환경부하 평가모델 개발	1	논문(SCI)			1	1
	2	논문(국내학술지)		1		1
	3	학술발표	1	1	1	3
	4	지식재산권			특허출원1	1
	5	지침/매뉴얼				1
네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발	1	논문(SCI)			1	1
	2	논문(국내학술지)		1		1
	3	학술발표	1	1	1	3
	4	지식재산권			1	1
	5	지침/매뉴얼			1	1
논문(SCI)		논문(국내학술지)	학술발표	지식재산권	지침/매뉴얼	
3		3	9	3	3	

3.6.3. 기술수요처 및 실용화 방안

연구 과제	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 의사결정 시스템 개발	도로시설물 기획 및 설계, 유지관리단계 환경부하 평가 시스템	국토교통부 및 관련 발주처 민간기업체	정부/민간기업체에 환경부하량 평가 프로그램 보급
	교량 및 터널시설물 기획 및 설계, 유지관리단계 환경부하 평가 시스템	국토교통부 및 관련 발주처 민간기업체	정부/민간기업체에 환경부하량 평가 프로그램 보급
	SOC 시설물 LCI DB 표준화 모델 및 연계 시스템	환경부, 지식경제부 등 국가 LCI DB 통합관리 시스템, 국토교통부	건설/토목산업에 적합한 국가 통합 LCI DB 구축 지원
	SOC 시설물에 적용 가능한 지침/매뉴얼	시공사 및 설계사, 엔지니어링 업체 등	기본 및 상세설계별 환경적인 개선 요인 도출, 초기 기획단계에서 다

		관련 기업체	양한 대안들을 선정하는데 의사결정 기준으로 활용
	SOC 시설물에 대한 환경성능지표 및 네트워크 기반 환경부하 평가 방안	법제처, 국토교통부	에너지 사용 모니터링, 온실가스 배출저감 등 환경오염 저감을 위한 통합 목표 관리에 활용

- 본 연구개발의 성과물을 통해 대형 개발사업의 사전설계 단계부터 환경성을 평가할 수 있는 도구 및 의사결정 시스템으로 활용
 - 기획 단계에서부터 환경부하량을 산정함으로써, 최적의 친환경적 설계기법 도출
 - 각 설계 대안별 환경성을 사전에 평가함으로써 시행착오에 따른 제반비용 절감이 가능하도록 시스템 지원
 - 친환경적인 설계 평가 시스템을 도출하여 기본 설계 단계에서 객관적인 환경성 평가 솔루션 제시
- 본 연구에서 개발된 건설사업의 기획, 설계, 유지관리 단계에서의 환경부하량 추정 기법은 사업의 수행 단계별 환경부하량 추정을 위한 일관성 있는 기준을 제시
 - 발주처 차원에서는 정부 및 지방자치단체에서 보다 신뢰성 있는 신규 사업의 환경성 개선평가 업무에 활용
 - 시공사 측면에서는 신규 사업의 타당성 분석 및 대안 평가 등의 업무에 활용하기 위하여 내부 사업실행 실적의 데이터베이스화에 필요한 기초모델로 활용
- 본 연구를 통해 개발된 SOC 시설물의 LCI DB 표준화 모델 및 연계 시스템은 SOC 시설물의 표준 공종 code 및 통합 LCI DB 연계를 통해 국가 차원에서의 건설사업 통합 LCI DB 연계 및 관리 가능
 - 환경부, 지식경제부 등 국가 차원에서의 SOC 시설물에 대한 표준 LCI DB 연계 기술을 제공함으로써, 시공사 및 설계사, 엔지니어링 업체 등 관련 기업체에서 기본 및 상세설계별 환경적인 개선요인 도출, 초기 기획단계에서 다양한 대안들을 선정하는데 의사결정 기준으로 활용
- 네트워크 환경을 고려한 환경성능 평가 지표 및 환경부하 평가 방안은 향후 환경오염 저감을 위한 국가 통합 목표 관리 등에 정책적으로 활용 가능

3.6.4 기술개발에 따른 미래상(As-Is vs. To-Be)

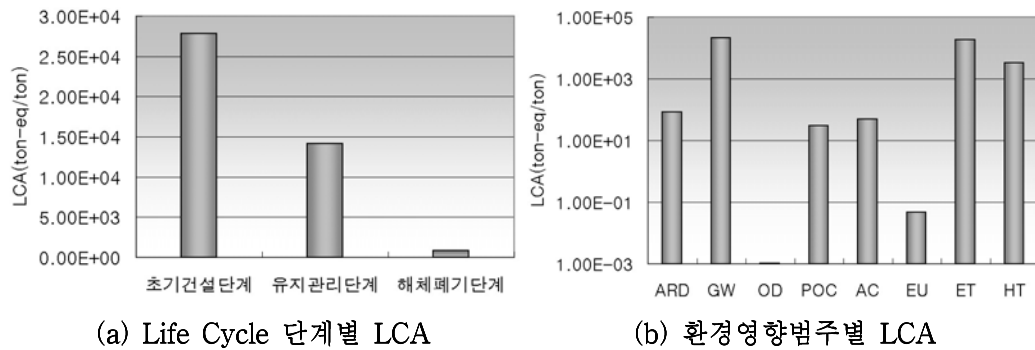
- 본 연구에서 개발하고자 하는 기술을 활용하여, 도로, 교량 및 터널 시설물 건설 사업 시 기획 및 설계, 유지관리단계에서 다양한 대안에 환경부하량을 평가하여 최적의 의사결정을 지원함.
- 기존의 탄소배출량 위주의 평가에서 벗어나 ISO의 환경영향 범주의 종합적인 환경부하를 평가함.
- 본 연구의 기술 활용을 예상하면, 수자원 보호구역 근처의 교량건설 사업수행 시 다양한 설계 대안에 대한 환경부하량 평가 및 비교 분석을 통해 환경부하가 최소인 교량 건설 수행 가능.
- 총 연장 323.0m(왕복 4차로)의 Steel Box Girder교인 교량시설물의 환경부하평가 사례²¹⁾
 - Life Cycle 단계별 LCA와 환경영향 범주별(지구온난화, 생태독성, 인간독성, 자원고갈, 산성화, 광화학산화물생성, 부영양화, 오존층파괴) LCA 분석 수행.

[표 55] 교량시설 LCA 분석 사례

(단위 : ton-eq/ton)

환경영향범주	표기	건설단계	운영 및 유지보수단계	해체폐기단계	LCA
자원고갈	ARD	5.30E+01	2.63E+01	4.22E+00	8.35E+01
지구온난화	GW	1.36E+04	7.22E+03	4.83E+01	2.09E+04
오존층파괴	OD	6.47E-04	2.54E-04	1.61E-04	1.06E-03
광화학산화물생성	POC	1.82E+01	1.16E+01	1.61E-02	2.98E+01
산 성 화	AC	3.21E+01	1.67E+01	4.46E-01	4.93E+01
부영양화	EU	3.00E-02	1.63E-02	1.73E-03	4.80E-02
생태독성	ET	1.21E+04	5.76E+03	5.39E+02	1.84E+04
인간독성	HT	2.04E+03	1.08E+03	2.25E+02	3.35E+03

21) 건설사업의 환경경제성 평가모델 개발 연구(2008), 권석현, 중앙대학교 대학원 박사학위 논문



[그림 38] 교량시설 LCA 결과 사례

- 수자원 보호구역임을 고려하여 수질에 영향을 미치는 환경영향 범주별 LCA 결과를 반영하여 환경부하를 최소화시키는 설계 대안을 선정할 수 있도록 의사결정을 지원할 수 있음.

○ 본 연구의 기술개발에 따른 미래상은 다음과 같음.

AS-IS	TO-BE
·현행 SOC 시설물의 환경부하 평가는 상설설계 단계의 정보를 기반으로 하여 투입자원에 대한 환경부하량을 평가하는 관리중심의 산정 방식으로 설계 초기단계에서 대안 선정을 위한 신속한 환경부하량 평가의 한계를 가지고 있음	·사용자의 편의성을 고려하여 적은 입력 변수로 환경부하량 추정이 가능한 평가 모델 개발을 통해 설계 대안에 대한 신속하고 신뢰성 있는 환경부하량을 평가함.
·현행 SOC 시설물의 환경부하 평가는 탄소 및 온실가스 위주의 배출량 산정으로 종합적인 환경부하 평가가 미흡함.	·LCA기반의 ISO 환경부하 범주 중심의 종합적인 환경부하 평가모델 구축을 통해, 기존에 집중되어 있는 탄소배출량 외에 LCA Category내의 환경평가 범주, 즉 부영영화, 산성화 등 대기, 수질, 토양, 생태계에 영향을 미치는 다양한 환경오염물질 배출량 평가가 가능함.
·기존의 SOC 시설물에 대한 환경부하 평가는 단일 시설물 위주의 평가로 네트워크로 구성된 복합 SOC 시설물에 대한 Macro 레벨에서의 환경부하 평가가 어려움.	·복합 SOC 시설물 환경부하 평가모델 개발을 통해, 네트워크망으로 이루어진 복합 SOC 시설물의 환경부하량을 평가하여 최적의 의사결정 지원이 가능함.

제 4 장 사전타당성 검토

4.1. 정책적 타당성

4.1.1. 국가 전략적 중요성

1) 국가 차원에서의 필요성

- 해외 주요 선진국은 지속가능한 개발을 전제로 한 국제적 환경규제 및 국가별 환경정책의 변화에 대응하고자, 환경정책 수립 시 의사결정 지원을 위한 다양한 환경평가기법이 활용되고 있으며 오염배출의 최소화, 폐기물 재활용 및 자원화, 공정의 환경친화성 향상 등의 목적을 종합적으로 지원하도록 노력하고 있음.
- 특히 에너지 다소비업종 중 하나인 건설 분야에서 저탄소 및 저에너지 관련 기술 개발이 요구되고 있음. 국내에서는 친환경 자재 및 공법을 활용한 건축물 시공 및 건축물의 운영단계에서 에너지 소비를 줄이기 위한 시스템 개발 등 건축분야의 관련 연구는 활발하나 토목분야의 관련 연구는 다소 미흡.
- 본 연구는 건설 사업에서 환경부하 평가 방법론 및 의사결정 지원 시스템 개발을 통해 건설 사업이 환경에 미치는 영향을 최소화하는 것으로 해외 주요 선진국의 주요 정책 방향에 부합한다고 볼 수 있으며, 우리나라 국가 차원에서도 관련 기술 개발이 반드시 필요할 것으로 판단됨.
- 국내 온실가스 배출량 중 건설 분야 비중은 21.2%로 높은 비중을 차지하며, 국내 온실가스 감축목표는 2020년 배출전망치(BAU) 대비 30% 감축 설정, 건설 분야에서는 2020년 배출전망치(BAU) 대비 31% 감축 목표를 설정하였음(국토해양 R&D 발전전략).
- 본 연구에서는 기획 및 설계단계에서 설계 대안에 따른 환경부하량을 추정하여 환경부하를 저감할 수 있는 의사결정시스템 개발을 목표로 하여 온실가스 배출량 뿐만 아니라 종합적인 환경부하량을 고려한 최적의 의사결정 방법론을 개발하는 것으로 환경부하 저감을 위한 정책적 목표에 부합함.
- 본 연구의 성과물은 건설 분야의 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 하나의 도구로 활용가능성이 크며, 그동안 건설 사업에서 등한시되어 오던 환경요인을 고려한 정책 방향 수립 및 건설사업 추진을 지원할 것으로 사료됨.

2) 정부 지원의 타당성

- SOC 시설물은 공공성이 강한 분야로, 국민의 생명 및 생활과 밀접한 관련이 있으나, 사업의 특성상 그 지역의 독점적 성격이나 영리사업으로 성립되기 어려워 정부나 공공기관에서 사업을 담당하게 됨. 따라서 공공사업 특성상 정부의 집중관리와 투자를 통한 신뢰성 확보와 객관화된 기준 마련이 필요함.
- SOC 시설물에 대한 환경부하 평가는 자재생산, 설계, 건설, 유지관리, 폐기 등 전과정을 대상으로 에너지 및 자원의 절약, 오염물질의 배출감소, 쾌적성, 주변 환경과의 조화 등 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가의 기반이며 본 연구에서 목표로 하는 핵심기술임.
- 저탄소 녹색성장을 위해 건설 산업의 환경부하 저감은 필수적인 기술이며, 특히 SOC 시설물은 국가적 차원의 전략적 지원이 필요한 기초연구분야로서, 경제적·사회적 중요성과 중장기적 파급효과가 큰 정책 차원의 기반 구축 연구로 정부 지원이 필수적인 분야라 할 수 있음.
- 또한, 우리나라는 Post-교토체제에서 온실가스 감축 의무국은 아니지만 2020년까지 자발적으로 온실가스를 줄이기로 함에 따라 녹색건설기술 연구가 초창기인 현재 건설사업의 환경부하를 평가하고 관리할 수 있는 방법론 및 기술개발을 시급히 추진하여 글로벌 녹색기술을 선도할 필요가 있음.
- 정부의 성능중심의 건설기준 체계 구축 추진에 따라, 향후 성능시방이 도입되면 해당 SOC시설물에 대한 환경성능에 대한 요구사항으로 활용 될 수 있을 것으로 예상됨.
- 신규 사업 발주 시 발주자가 시설물에 대한 환경성능 요구수준을 설정할 때 기초데이터로 활용할 수 있을 것으로 예상됨.

4.1.2. 상위계획과의 부합성

- 정부의 녹색성장 관련 주요 정책으로는 녹색성장 국가전략(녹색성장 위원회), 그린IT국가전략기획(녹색성장위원회), 국토해양 R&D 발전전략(국토교통부), 신재생에너지기본계획(전 지식경제부), 제5차 건설기술진흥기본계획(국토교통부)등이 있으며 본 연구와 부합성이 높은 상위 유관계획임.
- 본 연구는 저탄소 녹색성장 기본법 및 동법 시행령 등의 상위 법령과도 연관성을 가짐.

- 또한, 국가경쟁력 확보를 위한 필수적인 핵심기술들을 제시한 국가기술지도 (National Technology Road Map, NTRM)에서 건설정보화기술, 첨단 인프라 건설기술이 주요 항목으로 선정되어 있으며, 본 연구의 성과물인 SOC 시설물을 대상으로 한 환경부하 저감형 LCA기반 의사결정시스템은 상기 항목에 포함되는 필수 기술임.

4.1.3. 사업추진의지 및 관련 기관 협조 체계

- 국토교통부는 저탄소 녹색성장 실현을 비전으로 전 세계적으로 이슈가 되고 있는 온실가스 저감, 신재생에너지 개발 위주로 사업체계를 개편하고, 기초·원천 연구의 비중을 확대하는 등 관련 기술 개발 연구에 적극적인 추진 의지를 가지고 있음.
- 국토교통부의 건설교통기술연구개발사업 중장기계획수립연구(2012)에서 중점 추진분야 및 전략프로젝트로 탄소저감형 스마트 설계 및 시공기술 분야를 선정하여 관련 기술 개발 연구들을 수립 및 기획하여 현재 추진 중이거나 향후 추진예정에 있음.
- 본 연구과제의 해당 담당부처인 국토교통부 기술기준과 및 관계기관과의 본 연구성과의 활용과 관련된 회의를 수행하였으며, 향후 연구개발과정에서 기술 개발 성공가능성을 극대화할 수 있도록 유기적인 협력체계를 구성함.

4.1.4. 사업추진상의 위험요인과 대응방안

- 본 연구는 SOC시설물의 기획 및 설계 초기, 유지관리 단계의 환경부하 저감을 위한 의사결정 시스템 개발 연구로 사업추진상의 법·제도적 리스크는 없는 것으로 판단됨.
- 과거 SOC 시설물의 실적 데이터를 기반으로 하여 신규 시설물 건설공사 시 환경부하량에 대한 예측모델 개발 연구이므로 연구개발 과정에서 철저한 검증 과정을 거쳐 신뢰성 있는 평가모델의 개발이 필수적임.
- 보다 정확한 환경부하 예측을 위해 데이터 마이닝 기술 및 예측기법을 활용하여 평가모델의 신뢰성을 향상시키고, 가능한 많은 사례를 대상으로 하여 연구성과에 대한 검증을 실시하도록 함

4.2. 기술적 타당성

4.2.1. 기술개발 계획의 적절성

1) 연구의 목표, 내용, 성과의 구체성

○ 연구 목표의 구체성

- 본 연구의 비전은 ‘지속가능한 발전을 위한 친환경 SOC 건설 구현’으로, ‘지속가능한 발전’이라는 전세계적인 건설 트렌드에 부합하며 본 연구의 주요 목적인 환경부하 저감을 통해 ‘친환경 SOC 건설 구현’이라는 포부를 제시하고 있음.
- 본 연구의 주목표는 ‘환경부하 저감 및 환경비용 10% 절감’ 과 ‘선진국 대비 기술수준 90% 확보’ 로 정량적으로 제시하여 목표를 구체적으로 삼고 있으며, 세부연구목표로 성과물 단위의 ‘도로시설물 환경부하 평가모델 개발’, ‘교량 및 터널 시설물의 환경부하 평가모델 개발’, ‘네트워크 레벨 환경부하 평가기술 개발’로 제시하였음.
- ‘SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 의사결정 시스템 개발’ 연구는 SOC시설물의 계획 및 설계, 유지관리 단계에서 발생하는 환경부하를 최소화 하기 위한 LCA기반의 의사결정을 지원하는 기술을 개발하는 것으로서 연구의 목적이 명확함.
- 본 연구개발을 위한 전략으로 ① 과거 실적 데이터 기반의 환경부하 추정, ② 환경가치와 경제가치 간의 사회과학적 접근, ③ 특허 출원 및 논문발표를 통한 성과의 확산, ④ TEST BED 적용 및 관리 매뉴얼 개발을 제시하여, 명확한 전략을 수립하여 연구가 기획되었으며, 이를 이해하기 쉽도록 도식화하여 제시하였음.

○ 연구 내용 및 성과의 구체성

- 본 연구개발을 위한 핵심기술요소(CTE)를 도출하여 이를 반영하여 연구내용을 구성하였으며 목표 및 성과가 명확히 설정되었음.
- 핵심기술요소(CTE)를 선정하고 유형별 현재 기술성숙도(TRL) 수준 및 최종 목표 TRL을 설정함에 따라 정량적이고 구체적인 성과목표가 설정된 것으로 판단됨.

○ 기술 개발시 연구성과의 우수성

- 현재 SOC시설물에 대한 환경부하 추정기법은 주로 탄소배출만을 추정하는 일부 제한적인 방법이며, 상세한 설계정보를 바탕으로 하여 환경부하 추정에 있어 많은 시간 및 비용이 소요되고 있음.
- 본 연구에서 목표로 하는 기술이 개발될 경우, 신규 사업추진 시 본 연구의 성과를 활용하여 설계초기단계에 개략적인 정보로 신속하고 신뢰성 있는 환경부하 추정 및 환경성 개선평가 업무에 활용이 가능한 장점이 있어, 발주처, 시공사 및 설계사, 엔지니어링 업체 등에서 신속히 환경부하를 평가할 수 있는 평가기법 및 기술로 활용이 가능할 것으로 판단됨.
- 특히, 시공사 및 설계사는 환경부하를 고려한 설계 대안 선정을 위한 의사결정 지원 시스템으로 활용가능하며, 또한 신규 사업의 타당성 분석 및 대안 평가 등의 업무에 활용하기 위하여 내부 사업실행 실적의 데이터베이스화에 필요한 기초모델로도 활용할 수 있음.

2) 세부 연구목표와 연구 내용의 적절성

- 세부 목표인 ‘도로시설물 환경부하 평가모델 개발’과 ‘교량 및 터널시설물 환경부하 평가모델 개발’은 시설물별 사업수행단계별 환경부하 평가모델 개발이 주요 연구내용으로 명확한 연구 성과물을 설정하고 있음.
- ‘네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발’ 세부목표는 SOC 시설물에 적합한 환경성능지표를 제시하고, SOC 시설물의 특성을 반영한 LCI DB의 연계 및 지원기술 개발을 통해 지역적·공간적 SOC 시설물 네트워크의 환경부하 평가 방안을 제시하고자 함.

4.2.2. 기존 연구와의 중복성 및 연계성

- 기존 연구와의 중복성 조사는 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 자료 및 각 부처 R&D 관련 자료를 이용하여 수행되었으며, 1차적으로 기획연구진이 중복 가능성이 있는 연구과제들을 스크리닝 한 후 전문위원들을 통해 중복 여부에 대한 정밀 진단을 추진하였음.

유사과제	• 부처명 : 국토교통부 • 사업명 : 기술정책과 발주 연구용역과제 • 과제명 : 시설물 온실가스배출량 산정 및 데이터베이스 개발
------	--

	• 과제현황 : 기개발
과제내용	• 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인 마련 및 배포(2011.08) - 도로, 철도, 건축물, 항만, 댐, 하천정비, 도시재생 분야 • 실시설계 내역서 및 수량산출서 등을 이용한 공종별 투입 자재량 및 에너지 소비량 산정을 통한 탄소배출량 산정 • 건설 프로세스 전과정에서 배출되는 온실가스 총량을 계산하는 표준화된 방법 제시 • 계획 및 설계 단계에서 탄소배출량 평가 방법은 별도로 제시하고 있지 않음 • 상세설계 수준의 정보 필요로 기획 및 기본설계 단계에서 설계 대안별 신속한 환경부하 평가 어려움 • 탄소 및 온실가스 위주의 배출량 산정으로 종합적인 환경부하 평가 미흡
본 연구의 차별성	• 본 연구에서는 상세설계 이전 개략정보를 기반으로 하여 설계 대안에 대해 신속하고 신뢰성 있는 환경부하량 평가 기술을 개발하는 것으로 유사과제 연구와 차별성을 가지고 있음. • 본 연구는 탄소 및 온실가스 뿐만 아니라 ISO분석기준인 LCA Category내의 환경범주, 즉 부영영화, 산성화 등 대기, 수질, 토양, 생태계에 영향을 미치는 다양한 환경오염 배출량을 평가할 수 있는 방법론을 개발하는 것으로 유사과제 연구와 차별성을 가지고 있음.
본 연구와의 연계성	• 본 연구과제의 환경부하 추정을 위한 과거 데이터 기반의 DB 구축 시 유사과제의 탄소배출량 산정 방법론 연계

유사과제	• 부처명 : 국토교통부 • 사업명 : 건설기술혁신사업 • 과제명 : 탄소중립형 도로 기술 개발 • 과제현황 : 진행중(2011~2015)
과제내용	• 도로 전생애단계별 각종 녹색도로 기술과 도로 배출 탄소의 흡수/전환기술 개발 • 탄소중립형 도로 제도 및 설계기술 개발, 도로재료 및 시공기술 개발로 한국형 탄소중립형 녹색도로 구현 목표 • 연구범위 중 네트워크 도로설계기술은 설계속도와 도로선형, 구조물의 형식은 재료, 경관, 수목식재 측면만을 고려 • 탄소배출량 산정 및 평가, 관리 시스템에 한정되어 있어 종합적인 환경평가 미흡 • 단일 도로 시설물에 대한 평가 위주
본 연구의 차별성	• 본 연구는 탄소 및 온실가스 뿐만 아니라 ISO분석기준인 LCA Category내의 환경범주, 즉 부영영화, 산성화 등 대기, 수질, 토양, 생태계에 영향을 미치는 다양한 환경오염 배출량을 평가할 수 있는 방법론을 개발하고자 함이며 유사과제 연구와 차별성을 가지고 있음. • 기존의 단일 시설물 위주의 환경부하 평가에서 확장하여 본 연구에서는 Network 망으로 이루어진 복합 SOC 시설물에 적용하여 환경부하를 추정하고 그에 따라 환경부하를 저감 할 수 있는 기술개발이 목표임.
본 연구와의 연계성	• 본 연구과제의 네트워크 레벨의 SOC 시설물 환경부하 평가기술 개발 시 녹색도로 인증과 관련된 평가항목 및 방법 연계

4.2.3. 기술 수준 및 개발 성공가능성

1) 기술수준 및 역량분석

○ 기술동향분석으로부터 파악된 국내 기술 수준

- 국내 친환경 건설 분야의 연구개발 및 환경부하 평가 기술 관련 동향 및 국외 LCA 연구동향을 분석하였으며, 또한 특허와 논문의 정량적 분석을 수행하여 거시적인 측면의 연구 개발 수준을 주요 선진국과 비교를 제시하여 국내 기술 수준 파악이 적정히 이루어졌음.
- 또한 기술 동향 조사 및 분석 결과를 바탕으로 기존의 기술과 본 연구에서 개발하고자 하는 기술과의 차별성을 명확하게 제시하였음.

○ 특허 동향분석을 통한 보유기술 수준 검토

- ‘SOC시설물 환경부하 저감을 위한 LCA기반 의사결정 시스템’ 연구에 대한 관련 기술의 특허 동향을 분석한 결과, 환경부하 평가기술 및 전과정 평가(LCA) 기술 분야의 경우 한국은 미국 및 일본에 비해 특허 출원이 다소 미흡. 탄소 배출량 측정 및 산정 분야에서는 한국이 2000년대 후반 이후부터 특허출원이 상당수 증가하는 경향을 보임.
- 특허동향 분석 결과 환경부하 평가 기술 및 전과정 평가 기술의 국내 특허시장은 아직 도입·발전기에 있는 것으로 판단되며 관련 보유 기술 수준은 낮다고 볼 수 있음.

○ 기술 수준 조사 결과

- 본 연구개발을 위한 요소기술을 기술 기능 전개를 통해 도출하였으며, 요소 기술별 기술 수준, 기술적 중요도 및 기술개발 잠재력을 조사하였으며 그 결과 현재 관련 기술의 국내 수준이 선진국에 비해 미흡한 것으로 분석되어 본 연구 개발이 더욱 필요할 것으로 판단됨.

2) 기술개발의 성공가능성

- 현재 SOC시설물의 환경부하 평가 기술 등에 대한 원천기술이 해외에 비해 다소 미흡하나, 과거 관련 요소기술의 연구가 국내에서도 활발히 이루어지고 있어 본 연구의 기술개발 성공가능성은 긍정적인 것으로 분석됨.
- 현재의 국내 기술개발수준과 잠재역량을 파악하고 있으며, 환경 분석을 통한 추진전략 제시를 통해 기술개발 성공 가능성은 높을 것으로 판단됨.

- SOC시설물의 환경부하 평가 기술을 개발하기 위하여 국내외 전문가를 활용하여 산학연 체계를 구축함.
- 연구 성과의 목표 및 성과지표가 구체적으로 설정되어 있으며, 연구 성과의 실용화를 위한 목표 성과물 및 예상 기술 수요처, 실용화 방안 등을 제시하여 명확한 연구방향으로 기술개발 성공 가능성을 기대할 수 있음.

4.3. 경제적 타당성

4.3.1. 국내·외 시장 분석

- 경제성 분석은 EBI(Environmental Business International) 분류체계를 기준으로 주요국의 환경시장을 분류한 자료를 활용하여 본 연구과제와 가장 유사한 분야인 컨설팅 및 엔지니어링 서비스 시장의 규모를 적용하였음.

[표 59 주요국의 분야별 환경시장 (2008년)]

(단위: \$bil)

	USA	W Europe	Japan	Korea 주1)	Total\$	Total%
장비						
수장비 및 화학제품	24.6	14.2	5.0	4.3	63.2	13.2%
대기오염방지	19.1	8.9	2.8	3.0	45.0	9.4%
설비 및 정보시스템	3.2	2.3	0.9	0.2	9.3	2.0%
폐기물관리장비	10.5	11.1	6.8	0.5	36.6	7.7%
공정 및 방지기술	1.9	0.8	0.5	0.6	4.4	0.9%
서비스						
고형폐기물관리	54.2	36.8	27.1	22.6	141.5	29.6%
유해폐기물관리	9.2	6.2	3.4		22.9	4.8%
컨설팅 및 엔지니어링	24.8	11.7	1.1	1.0	45.2	9.5%
복원/산업 서비스	12.3	17.9	3.4	0.3	45.7	9.6%
분석서비스	1.8	1.3	0.5	0.8	5.3	1.1%
수처리서비스	41.7	27.9	9.1	8.9	101.0	21.1%
자원						
수자원	40.6	25.7	11.7	2.2	111.6	23.3%
자원회수	12.7	21.7	10.5	2.0	50.0	10.5%
청정에너지 및 에너지 ^{주2)}	36.9	36.2	17.6	-	98.9	20.7%
Total\$	293.6	222.5	100.5	46.3	781	
Total%	37.6%	28.5%	12.9%	-	100%	

* 출처: EBI(Environmental Business International, Inc., San Diego, Calif.

주1) 2010년 기준 환경산업통계조사 보고서의 녹색환경산업분류표를 EBI 환경산업분류체계에 매칭하여 계산 (분류체계의 차이로 인해 가장 유사한 분류에 매칭)

주2) EBI 환경산업분류체계는 신재생에너지분야를 합산하여 집계되고 있으나, 환경산업통계조사는 신재생 에너지분야 (폐자원에너지화분야는 합산)가 제외되어 조사되기 때문에 수치 미기입

- 국내 시장의 경우 기획재정부의 2013~2017년 국가재정운용계획 중 SOC시설물에 대한 투자예산 중 도로시설물에 대한 투자예산을 기초로 해당시장 규모를 산정하였음. 2013년부터 2017년까지의 **평균 7조 5570억 원**을 기준(표 11 참조)으로 하였음. 국내 환경 산업의 연평균 성장률은 11.61%를 적용하였음(표 17 참조).
- 편익을 분석하기 위하여 관련 시장은 R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산할 수 있도록 국내시장규모, 시장점유율, 기술성공률, 기술기여도, 부가가치비중, R&D기여율 등을 고려하였음.
 - 국내시장 규모 : 기술개발 과제추진을 통한 연구결과물이 파급되는 산업의 국내시장규모
 - 시장점유율 : 해당산업의 관련 국내시장에서의 점유 비율
 - 기술성공률 : 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사결과에 의하면 정부 연구개발(R&D) 성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사되었으며 이를 준용하여 적용
 - 기술기여도 : 제품공법에서 기술이 차지하는 비중, 기술가치 평가과정에서 기술기여도 적용방법은 전문가의 주관적 판단에 의하거나 관행적으로 적용하는 방법이 있음. 전문가판단법의 일종인 AHP를 적용하여 기술기여도를 산정한 이영찬(2006)의 연구에서는 사업가치 구성요소를 기술자산, 시장자산, 인적자산으로 구분하고 이중 기술자산의 상대적 중요도, 기술기여도를 29.7%로 산출한 바 있음. 기술기여도를 일률적으로 적용하는 방법은 일반적으로 33%나 25%를 적용함. 본 분석에서는 25%를 적용
 - 부가가치비중 : 부가가치비중은 한국은행의 2009년 산업연관표를 기준으로 건설업종의 40.1%를 적용
 - R&D 기여도 : 본 연구과제를 통해 달성된 기술 개선비 중 KISTEP에서 작성된 “09 R&D분야 예비 타당성 조사수행을 위한 지침 연구”의 R&D 사업의 효과분석 사례에서는 R&D 기여도를 10.9% 혹은 30.6%로 적용하였음. 본 분석에서는 10.9% 적용

(단위 : 억 원)

국내시장 - 총괄							
	국내SOC시설 투자규모 (①)	관련시장규모 (②)	기술성공률 (③)	기술기여도 (④)	부가가치비중 (⑤)	R&D기여도 (⑥)	누계
2015	75,570	1,632	490	122	49	5	5
2016		1,822	546	137	55	6	11
2017		2,033	610	152	61	7	18
2018		2,269	681	170	68	7	25
2019		2,532	760	190	76	8	34
2020		2,825	848	212	85	9	43
2021		3,153	946	236	95	10	53
2022		3,519	1,056	264	106	12	65
2023		3,927	1,178	295	118	13	78
2024		4,383	1,315	329	132	14	92
2025		4,891	1,467	367	147	16	108
2026		5,459	1,638	409	164	18	126
2027		6,092	1,828	457	183	20	146
2028		6,798	2,040	510	204	22	168
2029		7,587	2,276	569	228	25	193
2030		8,467	2,540	635	255	28	221
2031		9,449	2,835	709	284	31	252
2032		10,545	3,164	791	317	35	286
2033		11,769	3,531	883	354	39	325
2034		13,134	3,940	985	395	43	368
비고		11.6%	30.0%	25.0%	40.1%	10.9%	

- ① 기획재정부의 2013~2017년 국가재정운용계획 중 도로시설물에 대한 투자예산 중 2013년부터 2017년까지의 평균 7조 5570억 원 적용.
- ② 관련 시장규모는 2010년 기준 환경산업통계 조사보고서의 녹색 환경 산업분류표를 활용하여 컨설팅 및 엔지니어링 서비스 2.16% 적용. 국립환경연구원, 산업연구원 등에서 제시한 국내 환경서비스업, 환경자원이용업 등의 2020년까지의 연평균성장률 11.6% 적용
- ③ 2010년 산업기술연구회에 대한 정부 연구개발성과 사업화성공률 30% 준용
- ④ AHP를 활용한 기술자산의 상대적 중요도 중 기술기여도 25% 적용
- ⑤ 한국은행의 2009년 산업연관표 기준 건설업중 40.1% 적용

⑥ KISTEP, R&D분야 예비타당성 조사수행을 위한 지침연구를 통해 제시한 R&D 사업기여도 10.9% 적용

○ 국외 시장의 경우 2013년 기준 SOC 및 플랜트 시장 8조 4천억 달러를 기준으로(그림 15 참조) 연평균 5.3% 성장률을 적용하였음.

(단위 : 억 달러)

해외시장-총괄			
	SOC 및 플랜트시장규모 (①)	관련시장규모 (②)	누계
2013	84,000	7,980	7,980
2014	88,452	8,403	16,383
2015	93,140	8,848	25,231
2016	98,076	9,317	34,548
2017	103,274	9,811	44,360
2018	108,748	10,331	54,691
2019	114,512	10,879	65,569
2020	120,581	11,455	77,024
2021	126,972	12,062	89,087
2022	133,701	12,702	101,788
2023	140,787	13,375	115,163
2024	148,249	14,084	129,247
2025	156,106	14,830	144,077
2026	164,380	15,616	159,693
2027	173,092	16,444	176,137
2028	182,266	17,315	193,452
2029	191,926	18,233	211,685
2030	202,098	19,199	230,884
2031	212,809	20,217	251,101
2032	224,088	21,288	272,389
비고	5.3%	9.5%	

① Global Insight(2009), 2013년 기준 세계 플랜트 시장 규모 8조 4천억 달러 및 연평균 5.3% 성장률 적용

② 2010년 기준 환경산업통계조사 보고서의 녹색환경산업분류표 활용, 컨설팅 및 엔지니어링 서비스 9.5% 적용

4.3.2. 경제성 분석

- 해당 연구과제의 경제성을 분석하기 위하여 국내 시장을 대상으로 순현재가치 (NPV ; Net Present Value), 편익/비용비율(B/C ; Benefit-Cost Ratio) 및 내부수익률(IRR ; Internal Rate of Return) 분석을 실시하였음. 편익은 R&D 사업으로 인한 관련 시장의 규모로 설정하되 연구개발 사업 추진으로 인한 추가 창출 생산액의 기댓값과 부가가치 창출비율 등을 활용하였음.

$$\blacksquare \text{ Benefit} = (\text{국내시장규모} \times \text{시장점유율} \times \text{기술성공률} \times \text{기술기여도}) \\ \times (\text{부가가치비중} \times \text{R\&D 기여도})$$

- 비용은 3년간의 R&D에 투자되는 연구개발 비용을 활용하였음.

$$\blacksquare \text{ Cost} = \text{3개년간 R\&D 투자비용}$$

(단위 : 억 원)

	R&D 투자비용	누계
2015	4	4
2016	16.5	20.5
2017	17.5	38

- 경제성을 분석하기 위하여 2015년부터 20년간 B/C와 NPV 및 IRR을 산정하였으며, 여기서 할인율은 KEW 일반지침(2007)의 5.5%를 적용하였음.
 - B/C : 수익과 비용의 비율을 이용하여 경제성을 평가하는 방법으로 $B/C \geq 1$ 의 경우 경제성 있는 것으로 판단
 - NPV : 사업의 투자비에 대한 고정된 수익률을 기준으로 하여 그 현존 가치를 평가하는 것으로 간략하게 수익률 평가가 가능한 순현재가치 (NPV) 분석방법을 적용
 - IRR : 초기투자비용 대비 연간수익을 수익률로 평가하는 방법으로 산출 IPR 값과 목표수익률과의 비교를 통해 산출. $IPR \geq \text{목표수익률}$ 의 경우 경제성 있는 것으로 판단
- 해당 연구개발사업의 B/C는 순현재가치를 기준으로 5.44, NPV는 149, IRR은 43.9%로 나타나 투자비용 대비 편익이 큰 것으로 나타나 경제적 타당성을 확보하고 있는 것으로 분석됨.

	비용(Cost)		편익(Benefit)		B/C		NPV	
	실제 (Ct)	순현재가치 (Ct/(1+r)^t)	실제 (Ct)	순현재가치 (Ct/(1+r)^t)	실제	순현재가치	실제	순현재가치
2015	4.00	3.79	5.35	5.07	1.34	1.34	1.35	1.28
2016	16.50	14.82	5.97	5.36	0.36	0.36	-10.53	-9.46
2017	17.50	14.90	6.66	5.68	0.38	0.38	-10.84	-9.23
2018			7.44	6.00			7.44	6.00
2019			8.30	6.35			8.30	6.35
2020			9.26	6.72			9.26	6.72
2021			10.34	7.11			10.34	7.11
2022			11.54	7.52			11.54	7.52
2023			12.87	7.95			12.87	7.95
2024			14.37	8.41			14.37	8.41
2025			16.03	8.90			16.03	8.90
2026			17.89	9.41			17.89	9.41
2027			19.97	9.96			19.97	9.96
2028			22.29	10.53			22.29	10.53
2029			24.87	11.14			24.87	11.14
2030			27.76	11.78			27.76	11.78
2031			30.98	12.47			30.98	12.47
2032			34.57	13.19			34.57	13.19
2033			38.58	13.95			38.58	13.95
2034			43.05	14.76			43.05	14.76
계	38.00	33.52	368.09	182.25	9.69	5.44	330.09	148.73

4.3.3. 과학기술적 파급 효과

- 해당 기술의 개발에 따른 관련 시장의 경제적 파급효과를 산업연관계수를 활용하여 산정하였음. 한국은행의 2009년 자료²²⁾ 중 건설 분야의 고용유발계수를 활용하여 간접적인 파급효과를 경제 가치로 환산한 결과는 다음과 같음.

22) 한국은행, 우리나라의 고용구조 및 노동연관효과, 2009.7

(단위: 명/10억 원)

구 분	취업유발계수			고용유발계수		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007
1. 농림수산물	51.1	50.2	46.8	7.2	7.5	7.3
2. 광산품	10.4	10.1	10.3	8.3	8.0	8.3
3. 제조업	10.1	9.6	9.2	7.2	6.9	6.6
4. 전력, 가스, 수도	3.6	3.5	3.5	3.2	3.1	3.1
5. 건설	16.6	17.3	16.8	14.8	15.2	14.8
55. 건축	18.4	19.2	18.6	16.4	16.9	16.3
56. 토목 및 특수 건설	15.9	16.6	16.5	13.8	14.2	14.1
6. 서비스	18.4	18.2	18.1	12.6	12.6	12.6
전 산업	14.7	14.3	13.9	9.9	9.7	9.5

- 20년간의 편익 368억 원을 기준으로 관련시장 성장에 따른 취업자수는 약 618명, 고용자수는 544명인 것으로 분석되었음.

4.3.4. 예산 적정성

- 유사 연구개발 사업과의 비교 등을 활용한 정부연구개발 투자비 규모의 적정성, 세부 사업/과제별 사업비의 적정성을 비교분석하였음.
- 국토교통부에서 수행한 유사사업의 연구비를 비교분석한 결과 연구기간 대비 사업비 규모는 연구단 규모로 수행된 타 과제와 연구 규모와 연구기간, 참여 과제수, 기업부담금 여부 등에서 직접적인 비교는 불가능하나 10개 내외의 세부 과제수 대비 본 연구과제의 연구비는 적정 수준으로 판단됨.
- 연구의 성공은 예산지원 정도에 따라 결정될 수 있기 때문에 과제지원 기관의 적극적인 예산지원이 중요할 것임.

구분	연구비	연구기간	세부 과제수	세세부 과제수	연구내용
장수명/친환경 도로포장 연구단	173억 원	5년	2	11개	환경친화적 도로포장 및 저소음 포장공법 개발
탄소중립형 도로 연구단	216억 원	4년	2	9개	도로에서 발생하는 CO ₂ 저감

4.4. 종합평가 및 결론

1) 정책적 타당성 분석

- ‘SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 의사결정 시스템 개발’ 연구는 토목분야의 건설 사업이 환경에 미치는 영향을 저감하기 위한 연구로 에너지 다소비업종 중 하나인 건설 분야에서 저탄소 및 저에너지 관련 기술 개발이 요구되고 있으며 우리나라에서도 국가차원에서 관련 기술 개발이 필요함.
- 저탄소 녹색성장을 위해 건설 산업의 환경부하 저감은 필수적이며, SOC시설물은 특히 공공성이 강한 분야로 경제적·사회적 중요성과 중장기적 파급효과가 큰 정책 차원의 기반 구축 연구로 정부 지원이 필수적임.
- 본 연구의 목표는 해외 주요 선진국의 주요 정책 방향, 녹색성장 국가전략, 그린IT 국가전략기획, 국토해양 R&D 발전전략 등 국내 친환경 관련 정책 및 온실가스 배출 감축 목표 등 상위계획과의 부합성을 가지고 있음.

2) 기술적 타당성 분석

- 본 연구의 비전 및 주목표가 구체적으로 제시되었으며, 명확한 연구개발 전략 수립과 함께 이를 도식화하여 제시하였음.
- 본 연구의 연구내용 및 성과는 핵심기술요소(CTE) 및 기술성숙도(TRL)를 통해 정량적이고 구체적으로 설정하여 제시하였음. 또한 세부목표별 연구개발내용 역시 명확하게 제시되어 있음.
- 본 연구와 중복 가능성이 있는 연구들을 조사하여 중복성 및 연계성에 대한 정밀 진단을 추진하여 제시하였음.
- 본 연구와 관련된 기술수준 및 역량분석 결과 국내 수준이 선진국에 비해 미흡한 것으로 분석되었으며, 본 연구 개발이 더욱 필요할 것으로 판단됨. 현재 SOC 시설물의 환경부하 평가기술 등에 대한 관련 기술의 원천 기술이 해외에 비해 다소 미흡하나 관련 요소기술의 연구가 국내에서도 활발히 이루어지고 있어 본 연구의 기술개발 성공가능성은 긍정적임.

3) 경제적 타당성 분석

- 본 연구에서는 국내 SOC 시장 투자 규모를 대상으로 국내 환경서비스업, 환경자원이용업 기준 환경시장의 연평균 성장률, 환경 컨설팅 및 엔지니어링 서비스 분야 시장 점유율 등을 기준으로 20년간의 대상 시장 규모를 예측하였음. 이를 토대로 기술성공률, 연구개발 사업 추진으로 인한 추가 창출 생산액의 기댓값과 부가가치 창출비율 등의 factor를 활용하여 R&D에 의한 관련 시장의 편익을 분석하였음.
- 20년간의 편익과 3개년간 R&D 투자비용을 토대로 국내 시장을 대상으로 경제성 분석을 실시한 결과 해당 연구개발사업의 B/C는 순현재가치를 기준으로 5.44, NPV는 149, IRR은 43.9%로 나타나 투자비용 대비 편익이 큰 것으로 나타나 경제적 타당성을 확보하고 있는 것으로 분석됨.
- 그 외 건설 분야의 고용유발계수를 활용하여 간접적인 파급효과를 경제 가치로 환산한 결과 20년간의 관련시장 성장에 따른 취업자수는 약 618명, 고용자수는 544명인 것으로 나타나 해당 R&D에 의한 경제, 사회적 가치가 큰 것으로 평가됨.

제 5 장 소요예산 산정 및 인력투입계획

5.1 전체 소요예산 및 인력투입계획

○ 본 연구의 과제 추진 기간은 3년이며, 소요예산은 다음과 같음.

(단위 : 백만 원)

구분		2014	2015	2016	소계
연차별 연구비	정부	300	1,500	1,600	3,400
	민간	100	150	150	400
합계		400	1,650	1,750	3,800
총 연구비	정부	3,400		총 연구기간	3년
	민간	400			
	총합계	3,800			

○ 비목별 소요예산

(단위 : 백만 원)

비목		2014	2015	2016	합계	구성비(%)
인건비	내/외부 인건비	243	934	1,005	2,182	57.4%
직접비	연구장비재료비	5	40	40	85	2.2%
	연구활동비	46	231	241	518	13.6%
	연구과제추진비	20	151	159	330	8.7%
	연구수당	31	124	130	285	7.5%
간접비		55	170	175	400	10.5%
합계		400	1,650	1,750	3,800	100.0%

○ 본 연구의 소요예산 및 기간을 고려하여 최적의 연구수행이 이루어질 수 있도록 인력투입을 계획하였음.

구분	1차년도 (2014)	2차년도 (2015)	3차년도 (2016)
선임급	5	9	10
연구원급	14	42	45

5.2. 세부 연구내용별 인력투입계획

연구개발 내용	2014	2015	2016
(1) 도로시설물 환경부하 평가모델 개발			
(1-1) 도로시설물 기획/설계/유지관리 단계 환경부하 평가모델 개발 ■ 도로시설물 특성 및 환경부하 영향요인 상관성 분석 ■ 환경부하량 평가방법론 조사 및 비교 ■ 기획/설계 단계 환경부하 평가모델 개발 및 최적화 ■ 유지관리 단계 공법별 환경부하 평가모델 개발 및 최적화 ■ 도로시설물 환경경제성 평가모델 개발 및 최적화	선임급 2 연구원급 5	선임급 3 연구원급 14	선임급 3 연구원급 15
(1-2) 평가모델 검증 및 시스템 개발 ■ 평가모델 TEST BED 실시 ■ 평가모델 DB업데이트 및 관리기준 개발 ■ 모델 이론 교육자료 및 환경부하량 평가매뉴얼 작성 ■ 시스템 개발			
(2) 교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델 개발			
(2-1) 교량 및 터널 시설물 기획/설계/유지관리 단계 환경부하 평가모델 개발 ■ 교량 및 터널 시설물 특성 및 환경부하 영향요인 상관성 분석 ■ 환경부하량 평가방법론 조사 및 비교 ■ 기획/설계 단계 환경부하 평가모델 개발 및 최적화 ■ 유지관리 단계 공법별 환경부하 평가모델 개발 및 최적화 ■ 교량 및 터널 시설물 환경경제성 평가모델 개발 및 최적화	선임급 2 연구원급 5	선임급 3 연구원급 14	선임급 4 연구원급 15
(2-2) 평가모델 검증 및 시스템 개발 ■ 평가모델 TEST BED 실시 ■ 평가모델 DB업데이트 및 관리기준 개발 ■ 모델 이론 교육자료 및 환경부하량 평가매뉴얼 작성 ■ 시스템 개발			
(3) 네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발			
(3-1) SOC시설물의 환경성능지표 개발 ■ EPI, ESI 등 기존 환경지표 벤치마킹 ■ 환경영향범주별 환경부하 배출물질 및 적용 범위 검토 ■ 주요 환경오염물질 정의 및 적용범위 검토 ■ SOC 시설물에 대한 환경성능지표 항목 도출 ■ 지표항목에 따른 정량적, 정성적 평가 방안 제시	선임급 1 연구원급 4	선임급 3 연구원급 14	선임급 3 연구원급 15
(3-2) SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 및 시스템 개발 ■ SOC 시설물의 기획/설계 및 유지관리 단계별 환경정보 표준체계 구축 ■ 공법별 표준 공중 구성을 조합한 DB의 Code화 ■ 국내외 LCI DB를 활용한 SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 개발 ■ 네트워크 환경을 고려한 LCI DB 프로세스 모듈 구성 및 시스템 개발			
(3-3) 지역적·공간적 SOC 시설물 네트워크의 환경부하 평가기술 개발 ■ 환경평가, 친환경 인증제관련 국내외 관련 시스템의 벤치마킹 ■ 사전타당성검토, 환경영향평가 등과의 연계방안 도출 ■ 환경성능지표 항목과 연계한 SOC 시설물 평가항목 도출 ■ 네트워크 레벨의 인프라 세부 평가항목 제시 ■ 시범 적용을 통한 평가항목, 체계 수정 보완 ■ 테스트베드를 통한 SOC 시설물의 환경부하 시범평가 ■ SOC 개발 사업에의 정부 활용방안 제시			
합계	선임급 5 연구원급 14	선임급 9 연구원급 42	선임급 10 연구원급 45

5.3. 세부 연구내용별 소요예산

(단위 : 백만 원)

연구개발 내용		구분	2014	2015	2016	합계	구성비
(1) 도로시설물 환경부하 평가모델 개발		정부	90	450	490	1,030	30.3%
(1-1)	도로시설물 기획/설계/유지관리 단계 환경부하 평가모델 개발	정부	90	280	300	635	19.7%
(1-2)	평가모델 검증 및 시스템 개발	정부	0	170	190	395	10.6%
(2) 교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델 개발		정부	90	450	510	1,050	30.9%
(2-1)	교량 및 터널 시설물 기획/설계/유지관리 단계 환경부하 평가모델 개발	정부	90	280	315	650	20.1%
(2-2)	평가모델 검증 및 시스템 개발	정부	0	170	195	400	10.7%
(3) 네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발		정부	120	600	600	1,320	38.8%
(3-1)	SOC시설물의 환경성능지표 개발	정부	35	173	173	381	11.2%
(3-2)	SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 및 시스템 개발	정부	55	254	254	563	16.6%
(3-3)	지역적·공간적 SOC 시설물 네트워크의 환경부하 평가기술 개발	정부	30	173	173	376	11.1%
합계		정부	300	1500	1600	3,400	100%

※ 연구개발 내용별 민간 출연금은 별도 구성.

제 6 장 과제 제안요구서

연구개발과제명	SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA(Life Cycle Assessment)기반 의사결정 시스템 개발
1. 연구개발 목표	○ 환경부하 저감형 SOC 시설물의 설계를 지원하기 위한 의사결정 시스템 개발 및 관련 인프라 구축을 통한 종합적인 환경부하 평가업무의 기반 조성 － 도로시설물 환경부하 평가모델 개발 － 교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델 개발 － 네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 에너지 다소비업종 중 하나인 건설 관련 공사의 효율적인 에너지 절약에 대한 필요성이 증대되어, 이에 지속가능한 개발을 전제로 한 국제적 환경규제 및 국가별 환경정책의 변화에 대응하기 위해 주요 선진국에서는 환경정책 수립 시 의사결정 지원을 위한 다양한 환경평가기법이 활용되고 있으나, 국내에서는 건설사업 추진 시 환경부하 저감을 위한 환경부하 평가 방법론 및 의사결정 지원 도구가 미흡한 것이 현실임. ○ 경제적 논리가 중시되어 환경적인 영향에 대한 고려가 미흡한 채 추진되던 과거 개발 사업에서, 지속가능한 개발이라는 시대적 패러다임의 변화에 대응하기 위해 건설사업의 환경적 영향을 고려하고 이를 반영하는 다면적이고 종합적인 평가에 대한 사회적 요청이 커지고 있음. □ 기술동향 ○ 유럽은 LCA 연구에 관한 리더로서 방법론, 목록분석(Life Cycle Inventory, LCI) DB 구축, 프로그램 개발에 관한 많은 연구를 수행하고 있음. ○ 일본의 경우 정부 주도에 의한 LCA의 시스템적 접근을 수행하고 있으며, 민간건설부분에서도 친환경 자재 및 공법을 사전에 검토하여 반영할 수 있도록 실제 실적 데이터에 기반한 건축물의 전생애주기동안의 CO2 배출량을 분석 및 평가하는 프로그램 개발을 완료하였거나 진행 중임. ○ 미국의 ASTM(American Society for Testing and Materials)은 건축재료

및 자재의 전과정평가, 그린빌딩 디자인, 건설 및 운용에 관한 지침을 마련하고, NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 BEES(Building for Environmental and Economic Sustainability)를 개발하여 경제적인 뿐만 아니라 친환경적인 건축자재의 선택을 지원하고 있으며, 도로시설, 발전시설 및 수처리 시설에 관한 환경부하 평가를 통하여 발주자의 투자 우선순위를 결정할 수 있는 지원도구 개발에 노력을 기울이고 있음.

- 국내에서는 건축물의 사용 및 유지 과정에서 상당한 환경부하가 발생하는 건축프로젝트의 특성에 대응하여 간접적인 접근법인 산업연관분석을 통한 전과정평가(LCA)와 관련하여 건축분야에서 주로 연구가 수행되었으며, 토목분야에서는 기계화 시공이 일반화된 토목·건설(혹은 해체)과정에서 건설장비의 연료소비에 의해 발생하는 CO2배출량을 정량화하는 연구에 비중을 두어왔음.
- 반면에, 시공단계 이전의 사업수행 초기단계에서의 다양한 사업 대안, 설계 대안을 환경측면에서 평가하고, 의사결정을 할 수 있는 환경부하 평가 방법론에 대한 연구는 부족한 실정임. 따라서 건설사업의 경제성, 환경성 등 다양한 지표들을 결정하고 사업 대안을 평가하여야 하는 중요한 단계인 기획, 기본설계, 실시설계 초기단계에서 제한된 정보들만으로 사업의 환경부하량 및 환경경제성을 평가할 수 있는 평가 방법론 개발 및 관련 DB 구축 지원 연구 필요. 또한 Macro한 관점의 복합 SOC시설물의 네트워크 관점의 환경부하 평가 역시 필요함.

3. 연구개발내용

□ 연구내용

- 도로시설물 환경부하 평가모델 개발
 - 도로시설물 기획/설계/유지관리 단계 환경부하 평가모델 개발
 - 도로시설물 특성 및 환경부하 영향요인 상관성 분석
 - 환경부하량 평가방법론 조사 및 비교
 - 기획/설계 단계 환경부하 평가모델 개발 및 최적화
 - 유지관리 단계 공법별 환경부하 평가모델 개발 및 최적화
 - 도로시설물 환경경제성 평가모델 개발 및 최적화
 - 평가모델 검증 및 시스템 보완
 - 평가모델 TEST BED 실시

- 평가모델 DB업데이트 및 관리기준 개발
- 모델 이론 교육자료 및 환경부하량 평가매뉴얼 작성

※ 핵심기술요소(CTE) 및 단계별 기술성숙도(TRL) 목표

세부목표		도로시설물 환경부하 평가모델 개발		유형		소프트웨어			
프레임워크		선행단계		시제품 제작 및 시연		현장적용		제품화/실용화	
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL						
			1차년도		2차년도		3차년도 (종료)		
마일스톤 일정		'14.04		'15.09		'16.09		'17.09	
CTE No.	기술명								
CTE 1	도로시설물 기획단계 환경부하 평가모델		TRL 2	TRL 3		TRL 4		TRL 6	
CTE 2	도로시설물 설계단계 환경부하 평가모델		TRL 2	TRL 2		TRL 4		TRL 6	
CTE 3	도로시설물 유지관리단계 공법별 환경부하 평가모델		TRL 2	TRL 2		TRL 2		TRL 6	
CTE 4	도로시설물 환경경제성 평가모델		TRL 2	TRL 2		TRL 2		TRL 6	

○ 교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델 개발

- 교량 및 터널 시설물 기획/설계/유지관리 단계 환경부하 평가모델 개발

- 교량 및 터널 시설물 특성 및 환경부하 영향요인 상관성 분석
- 환경부하량 평가방법론 조사 및 비교
- 기획/설계 단계 환경부하 평가모델 개발 및 최적화
- 유지관리 단계 공법별 환경부하 평가모델 개발 및 최적화
- 교량 및 터널 시설물 환경경제성 평가모델 개발 및 최적화

- 평가모델 검증 및 시스템 보완

- 평가모델 TEST BED 실시
- 평가모델 DB업데이트 및 관리기준 개발
- 모델 이론 교육자료 및 환경부하량 평가매뉴얼 작성

※ 핵심기술요소(CTE) 및 단계별 기술성숙도(TRL) 목표

세부목표		교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델 개발		유형		소프트웨어	
프레임워크		선행단계		시제품 제작 및 시연		현장적용	제품화/실용 화
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1차년도		2차년도		3차년도 (종료)
마일스톤 일정		'14.04	'15.09	'16.09		'17.09	
CTE No.	기술명						
CTE 1	교량 및 터널 기획단계 환경부하 평가모델	TRL 2	TRL 3	TRL 4		TRL 6	
CTE 2	교량 및 터널 설계단계 환경부하 평가모델	TRL 2	TRL 2	TRL 4		TRL 6	
CTE 3	교량 및 터널 유지관리단계 공법별 환경부하 평가모델	TRL 2	TRL 2	TRL 2		TRL 6	
CTE 4	교량 및 터널시설물 환경경제성 평가모델	TRL 2	TRL 2	TRL 2		TRL 6	

○ 네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발

－ SOC시설물의 환경성능지표 개발

- EPI, ESI 등 기존 환경지표 벤치마킹
- 환경영향범주별 환경부하 배출물질 및 적용 범위 검토
- 주요 환경오염물질 정의 및 적용범위 검토
- SOC 시설물에 대한 환경성능지표 항목 도출
- 지표항목에 따른 정량적, 정성적 평가 방안 제시

－ SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 및 시스템 개발

- SOC 시설물의 기획/설계 및 유지관리 단계별 환경정보 표준체계 구축
- 공법별 표준 공종 구성을 조합한 DB의 Code화
- 국내외 LCI DB를 활용한 SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 개발
- 네트워크 환경을 고려한 LCI DB 프로세스 모듈 구성 및 시스템 개발

－ 지역적·공간적 SOC 시설물 네트워크의 환경부하 평가기술 개발

- 환경평가, 친환경 인증제관련 국내외 관련 시스템의 벤치마킹
- 사전타당성검토, 환경영향평가 등과의 연계방안 도출
- 환경성능지표 항목과 연계한 SOC 시설물 평가항목 도출
- 네트워크 레벨의 인프라 세부 평가항목 제시
- 시범 적용을 통한 평가항목, 체계 수정 보완
- 테스트베드를 통한 SOC 시설물의 환경부하 시범평가
- SOC 개발 사업에의 정부 활용방안 제시

※ 핵심기술요소(CTE) 및 단계별 기술성숙도(TRL) 목표

세부목표		네트워크 레벨의 환경부하 평가기술 개발		유형		공법·기법	
프레임워크		선행단계		시제품 제작 및 시연		현장적용	제품화/실용 화
마일스톤		현재 TRL	마일스톤 목표 TRL				
			1차년도		2차년도		3차년도 (종료)
마일스톤 일정		'14.04	'15.09	'16.09		'17.09	
CTE No.	기술명						
CTE 5	SOC 시설물의 환경성능지표	TRL 2	TRL 2	TRL 3		TRL 4	
CTE 6	LCI DB 연계 표준화 모델	TRL 3	TRL 3	TRL 4		TRL 5	
CTE 7	네트워크 레벨의 SOC 시설물 환경부하 평가기술	TRL 3	TRL 3	TRL 4		TRL 5	

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
- 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립
 - 연구내용, 개발기술, 성과물간 연계가 표출되는 기술개발 및 성과 로드맵 수립
 - 실질적인 기술사업화 추진을 위한 실시기업 연계 및 실시기업의 기술 개발 참여도 확대전략 수립
 - 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축
 - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴
 - 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영
 - 개발결과물의 특허출원 등을 통한 실수요처 기술이전 적극 추진 및 활용성 도모
 - 본 연구는 과거 SOC 시설물의 실적 데이터를 기반으로 하여, 향후 건설사업의 추진 시 환경부하 평가를 통한 의사결정을 지원하는 시스템을 개발하는 연구로 신뢰할 수 있는 평가모델과 데이터베이스를 구축할 수 있도록 추진.
 - 본 연구는 SOC시설물 중에서도 비중이 가장 큰 교량 및 터널을

포함하는 도로시설물을 대상으로 하되, 모든 기술 개발에 있어 타 시설물로의 확장 가능성을 염두에 두고 개발하여 향후 종합적인 SOC시설물에 대한 환경부하 저감을 위한 의사결정 시스템으로 활용이 가능하도록 추진함.

- 환경가치와 경제가치를 고려한 사회과학적인 접근을 통해, 건설사업의 환경적 영향과 경제성을 반영하는 다면적이고 종합적인 평가로 활용 가능하도록 추진함.
- 기개발된 저탄소 자재 및 공법 등과의 연계성을 고려한 연구 추진
- 네트워크 환경을 고려한 SOC 시설물에 대한 표준 공종 Code를 구성하고 표준화 모델을 개발하여 추후 국가 LCI DB에 연계하여 확장할 수 있는 시스템으로 개발을 추진
- 또한 SOC 시설물을 대상으로 시범평가 통해 지역적·공간적인 네트워크 레벨에서의 환경성능 평가 지표 및 환경부하 평가의 활용성을 검증하고, 향후 SOC 개발 사업에의 정부 활용 방안을 제시
- TEST BED를 통해 평가모델을 검증하여 결과의 신뢰성을 확보하고, 평가모델에 대한 DB 업데이트 및 관리기준 제시, 모델 이론 교육자료 및 환경부하량 평가매뉴얼 제공을 통해 연구성과의 적극적인 활용을 유도할 수 있도록 추진함.

- 추진체계
- 본 공모과제는 기초·원천, 실용화 등 다양한 성격의 연구를 포함하므로, 산학연 공동연구진 구성을 지향함
 - ※ 관련 기술을 확보한 연구기관 및 성과물을 활용할 수 있는 산업체 참여 유도
 - 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장 제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
 - 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용
 - 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문
 - 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진

체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

- 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요

5. 최종성과물

- 주요 최종성과물**
- 연구의 최종 성과물은 ‘SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 의사결정 시스템’으로 다음과 같은 평가모델을 포함하고 있어야 함.
 - 기획, 설계, 유지관리 단계별 도로시설물 환경부하 평가모델
 - 기획, 설계, 유지관리 단계별 교량 및 터널 시설물 환경부하 평가모델
 - 사용자를 위한 시스템 교육자료 및 환경부하 평가 매뉴얼
 - SOC시설물의 환경성능을 나타내는 환경성능지표
 - SOC시설물의 LCA기반 환경부하 평가를 위한 LCI* Database와의 정보 연계 표준화 모델 및 시스템
 - * LCI(Life Cycle Inventory) : 생애주기 전과정에 대한 환경성 정보
 - 지역적·공간적 SOC 시설물 네트워크의 환경부하 평가기술
 - 도로, 교량 및 터널로 구성되어 네트워크를 이루는 SOC시설물의 환경부하 평가기술(평가항목 및 평가방안 등)

6. 활용방안 및 기대효과

- 활용방안**
- 대형 개발사업의 사전설계 단계부터 환경성을 평가할 수 있는 도구 및 의사결정 시스템 제공
 - 기획 단계에서부터 환경부하량을 산정함으로써, 최적의 친환경적 설계 기법 도출
 - 각 설계 대안별 환경성을 사전에 평가함으로써 시행착오에 따른 제반 비용 절감이 가능하도록 시스템 지원
 - 친환경적인 설계 평가 시스템을 도출하여 기본 설계 단계에서 객관적인 환경성 평가 솔루션 제시
 - 사업의 수행 단계별 환경부하량 추정을 위한 일관성 있는 기준 제시
 - 발주처 차원에서는 정부 및 지방자치단체에서 보다 신뢰성 있는 신규 사업의 환경성 개선평가 업무에 활용

	- 시공사 측면에서는 신규 사업의 타당성 분석 및 대안 평가 등의 업무에 활용하기 위하여 내부 사업실행 실적의 데이터베이스화에 필요한 기초모델로 이용 가능 ○ 국가 차원에서 건설사업 통합 LCI DB 연계 및 관리 가능 - 환경부, 지식경제부 등 국가 차원에서 SOC 시설물에 대한 표준 공종 code 및 통합 LCI DB 연계 기술 제공 - 시공사 및 설계사, 엔지니어링 업체 등 관련 기업체에서 기본 및 상세 설계별 환경적인 개선요인 도출, 초기 기획단계에서 다양한 대안들을 선정하는데 의사결정 기준으로 활용 ○ 네트워크 환경을 고려한 환경성능 평가 지표 및 환경부하 평가 방안 제시 - 환경오염 저감을 위한 국가 통합 목표 관리 시 정책적 활용
□ 기대효과	○ 건설사업의 환경오염 저감을 위한 정책 활용을 통한 친환경 SOC 건설 구현 ○ 환경부하 저감 및 환경비용 10% 절감 예상 ○ 환경부하 평가 및 친환경 SOC 건설기술의 선진국 대비 기술수준 90% 이상 확보
7. 연구개발기간 및 소요예산	○ 총 연구개발기간 : 2014.09 ~ 2017.09 (3년) - 1차년도 연구개발기간 : 2014.09 ~ 2015.09 (12개월) ○ 총 정부출연금 : 3,400백만원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 300백만원 이내 ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수 ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
8. 기 타	○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참

고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

- 연구개발계획서에 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하

는 기업에 한함

- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
 - 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
 - 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「분산공유형 건설연구 인프라 구축」 과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용
- ※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

제 7 장 참고문헌

- 건설교통부(2002), 친환경적 건설 산업 및 엔지니어링 육성방안 강구
- 건설교통부(2003), 건설부분의 LCA 활용방안에 관한 연구
- 건설교통부(2007), 제2차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2007)
- 국토교통부(2009), 제4차 건설진술진흥기본계획
- 국토교통부(2010), 국토해양 R&D 발전전략
- 국토교통부(2011), 건설엔지니어링 경쟁력 강화 방안
- 국토교통통계누리(<http://stat.mltm.go.kr>)
- 국토교통부(2013), 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)
- 권석현(2008), ‘건설사업의 환경경제성 평가모델 개발 연구’, 중앙대학교 박사학위 논문
- 기획재정부(2013), 2013~2017년 국가재정운용계획
- 김민철, Shinichi ISASHIKI, ‘일본의 녹색건설 정책’, 국토정책 Brief(263) 2010 1-8
- 김종엽 외 2인(2004) ‘건축물 건설단계에서의 에너지소비량 및 CO₂배출량 원단위 산출’, 대한건축학회 논문집 : 계획계, Vol.20 No.10, [2004]
- 녹색건축인증제(<http://www.g-seed.or.kr/>) 전자자료
- 녹색성장위원회(2009), 녹색성장 5개년(2009~2013) 계획
- 미상무성 경제분석국(1996), Survey of Current Business
- 에너지경제연구원, 에너지총조사보고서 2002-2008(제8-10호)
- 이강희 외 1인(1996), ‘건축활동에 따른 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 추정’, 대한건축학회 논문집 Vol.12 No.7 [1996]
- 이강희 외 1인(2009) ‘주요 건축자재의 에너지소비와 이산화탄소 배출원단위 산정 연구’, 대한건축학회 논문집 : 계획계, Vol.25 No.6, [2009]

이영찬 외 2인(2006), ‘AHP를 이용한 기술기여도 산정에 관한 연구’, 산업경영시스템 학회지, Vol.29 No.4

이유화(2012), 일본 도로 인프라 건설 LCA 평가기술 개발, 도로정책 제 52호 5-6

이지환(2001), 저탄소 녹색성장을 위한 우리나라 산업부문 온실가스 배출 현황 및 전망, 계명대학교 석사학위논문

한국건설기술연구원(2006), 건설부분 온실가스 배출 분석 연구

한국건설산업연구원(2010), 녹색건설세미나

한국건설산업연구원(2011), 2020년 한국 건설 산업 주요 이슈 및 트렌드 예측

한국은행(2009), 우리나라의 고용구조 및 노동연관효과

한국환경산업기술원(2012), 환경산업 현황과 통계 인프라 개선방향

한국환경정책평가연구원(2007), 환경평가와 지속가능 발전지표 연계 운용에 관한 연구

EBI(Environmental Business International) Research Report

Engineering News Record 각호, 해외건설시장 동향

Global Insight(2009), 해외건설시장 동향

Iris X. Han 외 2인(2011), ‘Model-based Life Cycle Cost And Assessment Tool For Sustainable Building Design Decision’

ISO 14040(1997), “Environmental Management -Life Cycle Assessment- Principles and Framework, International Organization for Standardization”.

ISO 140141(1998), “Environmental Management -Life Cycle Assessment- Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, International Organization for Standardization”

ISO 14049(2000), “Illustrative Examples on how to Apply ISO 14041-Life Cycle Assessment-Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, International Organization for Standardization”

OECD(1990, 1996), Pollution Abatement and Control Expenditure in OECD Countries