

17SCIP
-C085707
-04

SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 의사결정 시스템 개발 최종보고서 (본 권)

2019
국
토
교
통
부
국토교통과학기술진흥원

Construction & Transportation R&D Report

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
건설기술연구사업 최종보고서 (본권)

발 간 등 록 번 호
978-89-7207-921-7

R&D /
17SCIP-C085707-04

SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA(Life Cycle Assessment) 기반 의사결정 시스템 개발 최종보고서 (본 권)

2019 . 3. .

주관연구기관 / 중앙대학교 산학협력단
공동연구기관 / 경북대학교 산학협력단
한국해양대학교 산학협력단
인하대학교 산학협력단
(주)평화엔지니어링
(주)디엠씨엠

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의

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



제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

‘SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA(Life Cycle Assessment) 기반 의사결정 시스템 개발’(연구개발 기간 : 2014.10. 24 ~ 2018. 12. 09.) 과제의 최종보고서 (본권, 별권, 부록) 1부를 제출합니다.

2019 . 3 .

주관연구기관명 : 중앙대학교 산학협력단 (대표자) 김 원 용 (인)

공동연구기관명 : 경북대학교 산학협력단 (대표자) 임 기 병 (인)

한국해양대학교 산학협력단 (대표자) 김 정 렬 (인)

(주)평화엔지니어링 (대표자) 권 재 원 (인)

(주)DMCM (대표자) 권 석 현 (인)

인하대학교 산학협력단 (대표자) 서 태 범 (인)

주관연구기관책임자: 김 경 주 (인)

공동연구기관책임자: 김 병 수 (인)

경 갑 수 (인)

김 홍 문 (인)

권 석 현 (인)

황 용 우 (인)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17SCIP-C085707-04	해당 단계 연구 기간	2014.10.24. ~2018.12.09.	단계구분	1 단계 (총 4차년도)
연구사업명	중사업명	-			
	세부사업명	건설기술연구사업			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA(Life Cycle Assessment) 기반 의사결정 시스템 개발			
연구책임자	김 경 주	해당단계 참여 연구원 수	총:104명 내부:104명 외부: - 명	해당단계 연구개발비	정부:3,268,000천원 기업:1,093,000천원 정부 외: - 천원 계: 4,361,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총:104명 내부:104명 외부: - 명	총 연구개발비	정부:3,268,000천원 기업:1,093,000천원 정부 외: - 천원 계: 4,361,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	중앙대학교 산학협력단			참여기업명: 아시아엔지니어링(주) (주)셀코 (주)세운이앤씨	
국제공동연구	상대국명:	-		상대국 연구기관명:	-
위탁연구	연구기관명:	-		연구책임자:	-
(핵심성과 1) 도로 환경부하 평가모델, (핵심성과 2) 교량 및 NATM 터널 환경부하 평가모델 ◦ 도로, 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널의 기획/설계/유지관리 단계별 환경부하량 개선 평가모델 개발 (핵심성과 3) SOC시설물의 LCI DB ◦ SOC 시설물의 기획/설계/시공/유지관리 단계별 LCA 수행을 위해 필요한 LCI DB 구축 (핵심성과 4) SOC 시설물의 환경성능지표, (핵심성과 5) 네트워크 기반의 SOC 시설물 환경부하 평가 시스템 ◦ SOC 시설물을 평가할 수 있는 정성적, 정량적 환경성능지표와 평가 방법 ◦ LCI DB 및 환경성능지표를 적용하여 복합적인 Network 망으로 이루어진 SOC 시설물에 적합한 환경부하 평가 시스템				보고서 면수 :	
				본권 183 pages 별권 385 pages 부록 668 pages	

〈 국문요약문 〉

연구의 목적 및 내용	환경부하 저감형 SOC 시설물의 설계를 지원하기 위한 환경부하 시스템 개발 및 관련 인프라 구축을 통한 종합적인 환경부하 평가업무의 기반을 조성 ◦ 도로 환경부하 개선 평가모델 개발 ◦ 교량(PSC교, 강교) 및 NATM 터널 환경부하 개선 평가모델 개발 ◦ LCI DB, 환경지표 연계 네트워크 레벨 SOC시설물 환경부하 평가시스템 개발				
연구개발성과	(핵심성과 1) 도로 환경부하 평가모델, (핵심성과 2) 교량 및 NATM 터널 환경부하 평가모델 ◦ 도로, 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널의 기획/설계/유지관리 단계별 환경부하 량 개선 평가 모델 (핵심성과 3) SOC시설물의 LCI DB ◦ SOC 시설물의 기획/설계/시공/유지관리 단계별 LCA 수행을 위해 필요한 LCI DB 구축 (핵심성과 4) SOC 시설물의 환경성능지표, (핵심성과 5) 네트워크 기반의 SOC 시설물 환경부하 평가 시스템 ◦ SOC 시설물을 평가할 수 있는 정성적, 정량적 환경성능지표와 평가 방법 ◦ LCI DB 및 환경성능지표를 적용하여 복합적인 Network 망으로 이루어진 SOC 시 설물에 적합한 환경부하 평가 시스템				
	(정량적 성과) 총괄 ◦ 국내·외 논문 게재 : 24건(SCI 10건) ◦ 국내·외 학술발표대회 : 43건 ◦ LCI DB : 13건 ◦ S/W : 5건 ◦ 전문인력양성 : 석사(7), 박사(1)		◦ 매뉴얼 : 2건 ◦ 친환경성능평가지침 : 1건 ◦ 기술실시계약 : 6건 ◦ 특허 등록 : 2건 / 특허 출원 : 6건 ◦ 국가 LCI DB 등록 : 6건 ◦ 성과 홍보 : 5건		
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	(활용방안) - 대형 개발사업 사전설계 단계부터 환경성을 평가할 수 있는 도구 및 의사결정 시스템으로 활용 - 환경부, 지식경제부 등 국가 차원에서의 SOC 시설물에 대한 표준 공종 code 및 통합 LCI DB를 제공 - 시공사 및 설계사, 엔지니어링 업체 등에서의 초기 기획단계, 기본 및 상세설 계별 환경적인 개선요인 도출 및 여러 대안 선정을 위한 의사결정 기준으로 활용 - 대규모 건설/토목 개발사업(SOC)의 설계 및 유지관리단계에서 발생하는 환경 부하량을 산출 및 평가함으로써 친환경적인 의사결정 수단을 제시 (기대효과) - 설계 대안에 대한 신속한 환경성 평가를 통한 친환경적 설계 및 환경부하 저 감 지원 - 사업의 수행 단계 (기획, 설계, 유지관리) 별 환경관리 목표설정 및 모니터링 기준 제시 - 국가 차원에서의 건설사업 통합 LCI DB 연계 및 관리 가능 - 향후 환경오염 저감을 위한 국가 통합 목표 관리 지원				
핵심어 (5개 이내)	전과정평가	환경부하	사회기반시설물	환경부하 평가시스템	환경성능지표

＜ SUMMARY ＞

Purpose & Contents	Development of a decision support system to design SOC structure for reducing environmental load and Creating groundwork of assessment for comprehensive environmental load by constructing related infrastructure ◦ Developing an assessment-model for estimating environmental load on road ◦ Developing an assessment-model for estimating environmental load on bridges (PSC Beam, Steel Girder) and NATM tunnel ◦ Developing assessment-model for environmental load of SOC structure in network phase linked with LCI DB and environmental performance index				
Results	(Essential performance 1) model of environmental load on road, (Essential performance 2) Model of environmental load on NATM tunnel ◦ Model of phased environmental load on plan/design/operate and repair phase on NATM tunnel and bridge(PSC Beam, Steel) (Essential performance 3) LCI DB for SOC structure ◦ Creating LCI DB to conduct phased LCA on plan/design/operate and repair phase on SOC structure (Essential performance 4) Environmental performance index of SOC structure, (Essential performance 5) System to Estimate environmental load on SOC structure based in network ◦ Method and Environmental performance index to be able to estimate SOC structure quantitatively and qualitatively ◦ System to estimate environmental load for SOC structure composed of a combined network through applying LCI DB and environmental performance index				
	(Quantitative performance) total ◦ International and domestic paper publication: 24 case (SCI 10 case) ◦ International and domestic conference: 43 case ◦ LCI DB : 13 case ◦ S/w : 5 case ◦ Promotion of professional researchers : master 7, doctor 1		◦ Manual : 2 case ◦ Environmental performance assessment guidelines: 1 case ◦ Technical implementation contracts: 6 case ◦ Patent : Registration 2, Application 6 ◦ Registering a national LCI DB: 6 case ◦ Performance promotion: 5 case		
Expected Contribution	(Application plan) ◦ Using as a decision support system and a tool to estimate environmental effect from phase of preliminary design in a enormous construction project ◦ Producing comprehensive LCI DB and standard event code about SOC structure in dimension of department of government ◦ Using as a criteria of decision to select a alternative and draw a factor of revision about design in companies of engineering, design and construction ◦ Suggestion of method about decision for eco-friendly project by estimate environmental load occurred in phase of design and operate in a enormous SOC project (Effect) ◦ Supporting to reducing environmental load and eco-friendly design through estimating environmental effect promptly at phase of design alternative ◦ Suggesting a criteria of monitoring and setting a target of environmental management phased (plan, design, operate) ◦ It is possible to manage and connect comprehensive LCI DB in a dimension of Nation ◦ Supporting management of union object to reduce future environmental load.				
Keywords	Life Cycle Assessment	Environmental Load	Social Overhead Capital	Environmental Load Assessment System	Environmental Performance Index

< CONTENTS >

Chapter 1. Overview of Research	1
Chapter 2. Status of Domestic and Overseas Technology	23
Chapter 3. Contents and Result of Research	27
Chapter 4. Achievement of Objectives and Contribution to Related Field	162
Chapter 5. Utilization Plan on Research Results	167
Chapter 6. Overseas Science and Technology Information Collected During the Research Process	173
Chapter 7. Security Level of R&D Achievement	176
Chapter 8. Status of Research Facilities and Equipment Registered in the National Science and Technology Comprehensive Information System	176
Chapter 9. Implementation of Safety Measures in Laboratories due to R & D Tasks	176
Chapter 10. Representative Research Achievements of R & D Tasks	179
Chapter 11. Others	179
Chapter 12. References	180
Appendix	Supplement

< 목 차 >

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발 목적	1
제 2 절 연구개발의 필요성	7
제 3 절 연구개발 범위	12
 제 2 장 국내외 기술 개발 현황	 23
제 1 절 국내 기술개발 현황	23
제 2 절 해외 기술개발 현황	24
 제 3 장 연구 수행 내용 및 성과	 27
제 1 절 도로부 환경부하 평가모델	27
1. 도로부 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축	27
2. 기획단계 환경부하 평가모델	33
3. 설계단계 환경부하 평가모델	39
4. 유지관리단계 환경부하 평가모델	51
제 2 절 PSC교량 환경부하 평가모델	55
1. PSC교량 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축	55
2. 기획단계 환경부하 평가모델	58
3. 설계단계 환경부하 평가모델	64
4. 유지관리단계 환경부하 평가모델	71
제 3 절 강교량 환경부하 평가모델	76
1. 강교량 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축	76
2. 기획단계 환경부하 평가모델	80
3. 설계단계 환경부하 평가모델	85
4. 유지관리단계 환경부하 평가모델	89
제 4 절 터널 환경부하 평가모델	93
1. 터널 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축	93
2. 기획단계 환경부하 평가모델	97
3. 설계단계 환경부하 평가모델	102
4. 유지관리단계 환경부하 평가모델	109

제 5 절 LCI DB 구축 및 연계 표준화 모델	113
1. LCI DB 구축 개요	113
2. LCI DB 개발 및 구축	115
3. 국가 LCI DB 개발 및 구축	127
4. LCI DB 구축 효과	130
5. LCI DB 연계 표준화 모델 개발	131
제 6 절 SOC시설물 환경성능 지표	133
1. 기존 환경지표 현황조사 및 대상물질 및 적용범위 검토	133
2. 복합 SOC 시설물에 적합한 평가항목 도출	136
제 7 절 SOC시설물 환경부하 평가시스템	142
1. 환경부하 평가시스템 개요	142
2. 시설물별 환경부하 평가시스템 개발	145
3. 네트워크 환경부하 평가시스템 개발	152
제 8 절 연구개발 성과	155
1. 연구개발 성과목록	155
2. 핵심성과물별 세부성과	155
 제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	162
제 1 절 목표 달성도	162
제 2 절 관련 분야 기여도	164
 제 5 장 연구개발성과의 활용 계획	167
 제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	173
 제 7 장 연구개발성과의 보안등급	176
 제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ·	176
 제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 ...	176
 제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적	179

제 11 장 기타 사항	179
--------------------	-----

제 12 장 참고 문헌	180
--------------------	-----

최종보고서(별 권)	별 책
------------------	-----

- 제 1 장 도로부 환경부하 평가모델
- 제 2 장 PSC교량 환경부하 평가모델
- 제 3 장 강교량 환경부하 평가모델
- 제 4 장 터 널 환경부하 평가모델
- 제 5 장 LCI DB 구축 및 연계 표준화 모델
- 제 6 장 SOC시설물 환경성능 지표
- 제 7 장 네트워크 레벨의 SOC시설물 환경부하 평가시스템 개발
- 제 8 장 참고 문헌

최종보고서(부 록)	별 책
------------------	-----

- 부록 A. 환경부하 평가모델 DB
(사례 DB, 표준물량 DB, 소요자원 DB)
- 부록 B. 개발 LCI DB
- 부록 C. SOC 시설물 환경성능평가 지침(안)
- 부록 D. Test Bed 결과보고서
- 부록 E. 교육·평가 매뉴얼
- 부록 F. 시스템 매뉴얼

제 1 장 연구개발 개요

제 1 절 연구개발 목적

1. 연구개발 배경

- 2009년 말 제정된 「저탄소 녹색성장 기본법, 제 42조」에 따라 정부는 2030년까지 온실 가스 배출량을 BAU(Business As Usual, 온실가스 배출전망치) 대비 37% 감축하겠다는 국가의 중기 온실가스 감축목표를 확정하고(제 21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 채택된 파리협정, 2016년 11월 4일부터 발효), 이와 관련하여 에너지 목표관리제 시행, 배출권거래제 도입 등을 통해 실질적인 감축을 본격적으로 추진하고 있으며, 2015년부터 탄소배출권 거래제가 추진되고 있음
- 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 및 시장감시 등에 필요한 시스템을 구축하고 2014년 하반기부터 시범사업을 실시하고 있음
- 온실가스 배출 목표를 달성하기 위해 산업·건물·교통 등 각 부분별로 감축정책을 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 대안으로 대두되고 있음
- 이에 국토교통부에서는 건설업 분야의 본격적인 온실가스·에너지 목표관리제 시행에 앞서 관리업체 지정을 위하여 8개 건설업체를 대상으로 '13년 7월 시범사업 협약을 체결하고, '11년~'13년 명세서 검증을 수행하였음. 해당 절차에 따라 '14년 감축목표를 설정하고 감축이행 계획서를 수립, '14년에 감축을 이행하고 '15년에 실적을 확인하는 시범사업을 추진하였음
- '14년 6월에는 5개 건설업체(대우건설, 롯데건설, 삼성물산, 현대건설, GS건설)가 온실가스·에너지 목표관리업체로 최초 지정되었으며, '15년 감축목표 수립, '16년 감축이행, '17년 감축실적 확인 등 본격적인 목표관리 업무가 추진되고 있음
- 이처럼 에너지 다소비업종 중 하나인 건설 관련 공사의 효율적인 에너지 절약에 대한 필요성이 증대되고 있는 것이 현실임. 이에 국내외에서도 제도적으로 이를 뒷받침하는 다양한 정책을 적극적으로 마련하고 있음
- 지속가능한 개발을 전제로 한 국제적 환경규제 및 국가별 환경정책의 변화에 대응하기 위해 주요 선진국에서는 환경정책 수립 시 의사결정 지원을 위한 다양한 환경평가기법이 활용되

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

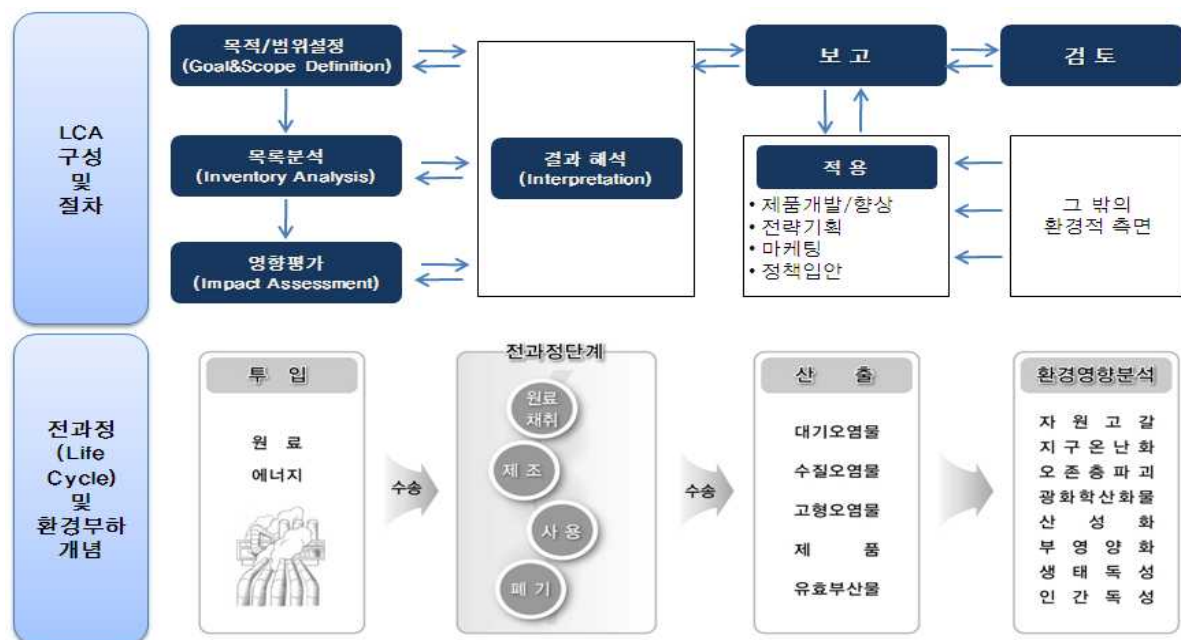
고 있으며 오염배출의 최소화, 폐기물 재활용 및 자원화, 공정의 환경친화성 향상 등의 목적을 종합적으로 지원하도록 노력하고 있음

- 2017년 미래창조과학부의 기후변화대응기술개발사업 시행계획 보도자료에 따르면, LCA방식의 온실가스 감축 산정기술 개발을 통하여 원천기술 단계부터 기술의 온실가스 감축 기여도를 판단하여 최적 가용기술을 도출해 나갈 계획이며, 탄소저감·탄소자원화 등 기초원천 핵심연구성과의 조기 실용화·상용화를 통해 온실가스 감축과 동시에 신 기후시장 선점에 기여하는 계기가 되기를 기대하고 있음
- 국토교통부에서는 환경과 건설이 조화를 이루고 지속가능한 발전을 추구하기 위해 환경친화적인 건설공사에 필요한 시책을 효율적으로 추진하여 건설산업 분야의 자원순환형 산업구조로의 전환을 가져오도록 2001년부터 5년마다 3차에 걸쳐 필요한 시책을 마련해오고 있음.
- 최근 3차 건설환경기본계획의 수립에서는 ‘사전예방 방식의 오염원 발생 저감 방안 마련’, ‘녹색인증제 대응방안 마련’, ‘자원순환 전과정(Life Cycle) 관리 방안 마련’ 등을 주요 과제로 제시하고 있음
- 이와 더불어 국내 건축분야에서 지속 가능한 개발의 실현을 목표로 인간과 자연이 서로 친화하며 공생할 수 있도록 계획도나 건축물의 입지, 자재선정 및 시공, 유지관리, 폐기 등 건축의 전 생애(Life Cycle)를 대상으로 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가를 통하여 건축물의 환경성능을 인증하는 녹색건축인증제도(G-SEED)가 활용되고 있음
- 2017년 3월 기준, 8,363건이 본인증과 예비인증을 통해 녹색건축인증을 받았으며, 녹색건축인증기준(공공건물의 경우 의무 인증, 민간은 일정 규모 이상 건물에는 인증 의무 부여) 개정을 통해 환경성적(탄소성적)표지 인증 자재 사용에 대한 가점을 확대하여 인증기업의 혜택이 강화되고 있음
- 환경성적표지 제도는 제품 및 서비스의 원료채취, 생산, 수송(유통), 사용, 폐기 등 전과정에서 발생한 환경성에 관한 정보(자원발자국, 탄소발자국, 오존층영향, 산성비, 부영양화, 광화학 스모그, 물발자국, 생태독성, 인체독성, 생물다양성)를 계량화하여 제품에 표시하는 제도로, 최근 우리나라에서는 녹색건축인증제도와 효율적으로 연계될 수 있는 방안을 논의하고 있으며, 말레이시아에서는 건설부문에 탄소발자국 인증을 도입한 사례가 있음
- 스웨덴 환경관리위원회의 Environmental Product Declaration, 일본 산업환경관리협회의 Eco-Leaf 등 8개국에서 시행하고 있으며, 환경성 정보 중 지구온난화 정보를 계량화하여 표시하는 탄소발자국 인증은 영국카본트러스트의 Carbon Reduction Label, 태국온실가스관리기구의 Product Carbon Footprint 등 12개국에서 시행하고 있음
- 이처럼 건설현장에서 건축물 및 토목시설물의 시공단계에서 발생하는 온실가스와 사용되는 에너지를 관리하고 저감을 유도하고 있으나, 목적물의 건설을 위하여 투입되는 자재 및 장비 사용에 따른 에너지량은 일정 수준 정해져 있으므로 이를 저감하는 것은 제한적임
- 시공단계에서 온실가스 발생량 및 에너지사용량 저감을 유도하는 사후대응형 관리체계에서 시설물의 기획 및 설계단계에서 예상되는 온실가스 발생량 및 에너지사용량을 추정하고 이를 최소화하는 사전저감형 건설 계획이 환경부하 저감에 더욱 효과적임

- 대규모 시설일수록 투입되는 자재의 종류 및 수량과 에너지사용량이 많기 때문에 토목시설물의 건설사업에 이를 적용할 경우 그 효과가 더욱 클 것으로 예상됨
- 이에 따라 기존에 관심이 집중되어 있는 건축물 부분 외에 건설/토목 공사를 포함한 인프라 부분, 플랜트 부분 등에 대한 특성을 고려하여 전방위적인 온실가스 저감 대책이 필요함. 그러나 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
- 또한 지구 온난화의 주요 원인인 CO2 뿐만 아니라 지구환경에 영향을 미치는 각종 오염물질을 고려한 종합적인 환경부하 감축 노력이 필요한 시점임

2. 연구개발 비전

- 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
- LCA[그림 1-1-1 참조]란 어떤 제품, 공정, 활동과 관련된 환경적 부담을 사용된 물질, 에너지 그리고 환경에 배출된 폐기물을 규명하여 정량화하고, 이러한 에너지, 물질의 사용과 환경배출의 영향을 평가하여 환경개선을 위한 기회를 찾아 평가하는 일련의 과정을 의미함(ISO 14040 Series, 2004)



[그림 1-1-1] LCA의 기본체계

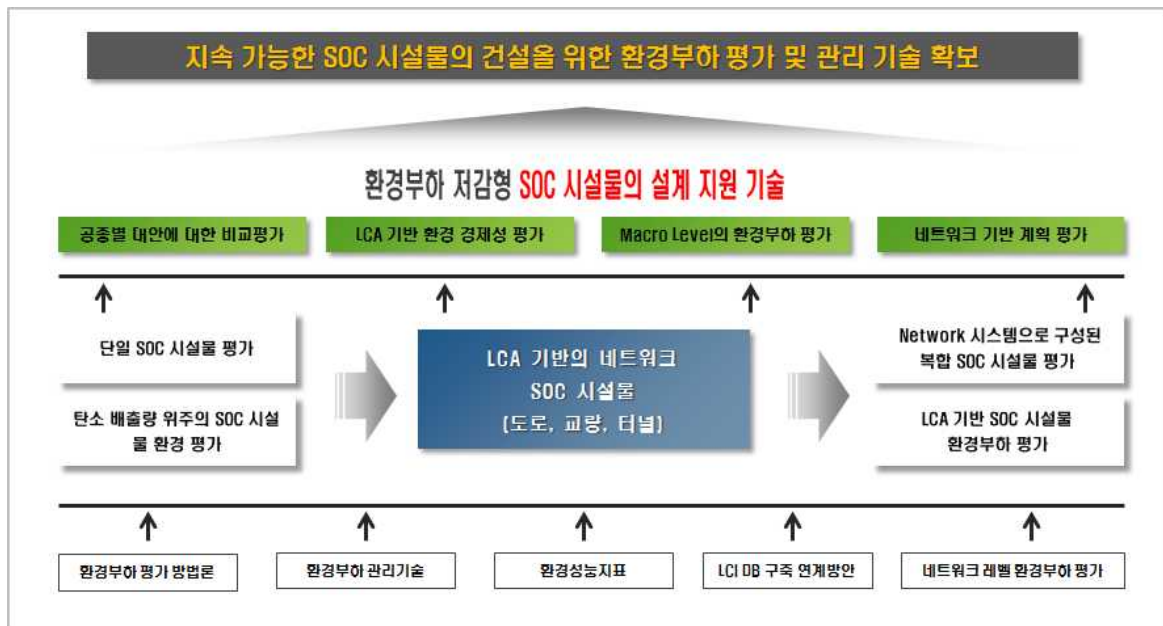


[그림 1-1-2] 환경영향 범주별 기준물질 및 영향

- 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, ‘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 신속한 의사결정이 필요한 사업 초기 단계에서 효율적인 의사결정에 한계가 있음
- 따라서, 실제적인 건설사업 기획 및 설계 초기단계에서 신속하고 효율적으로 환경성을 평가하고 대안을 선정할 수 있도록 지원하는 의사결정도구의 마련이 필요함
- 현행 건설부문 온실가스 저감대책은 주로 건축물 사용단계에 초점이 맞춰져 있으며 건설/토목 전반에 걸친 인프라 부분은 활발하게 논의되지 못하고 있는 실정임. 또한 지구온난화의 주요 원인인 CO₂ 뿐만 아니라 지구환경에 영향을 미치는 각종 오염물질을 고려한 종합적인

환경부하 감축 노력이 필요함

- 이에 본 연구에서는 SOC 건설사업의 사업수행 단계별 다양한 사업 및 설계대안에 대해 환경부하를 신속하고 정량적으로 평가하기 위한 도로시설물별 환경부하 평가모델을 개발하고 환경부하량 산정의 신뢰성을 향상하기 위해 신규 LCI DB 확충 및 연계 표준화모델을 구축하고자 함
- 또한 대단위로 설계·시공되는 SOC 시설물 특성을 고려하여 기획, 설계 및 유지관리단계에서의 효율적인 환경부하 평가 및 저감 지원을 위한 환경부하 평가시스템을 개발하고 Test bed를 통해 검증을 수행함으로써, 이를 보급하고 활용하기 위한 인프라를 구축하고자 함
- 이를 위해 「온실가스·에너지 목표관리제」의 중점 관리대상인 온실가스 발생량 및 에너지사용량 뿐만 아니라 환경성적표지의 환경성 정보를 모두 포함하는 8대 영향범주를 대상으로 환경부하를 추정하는 방법을 활용하고자 함



[그림 1-1-3] SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 환경부하 평가시스템 개발

3. 연구개발 최종 목표

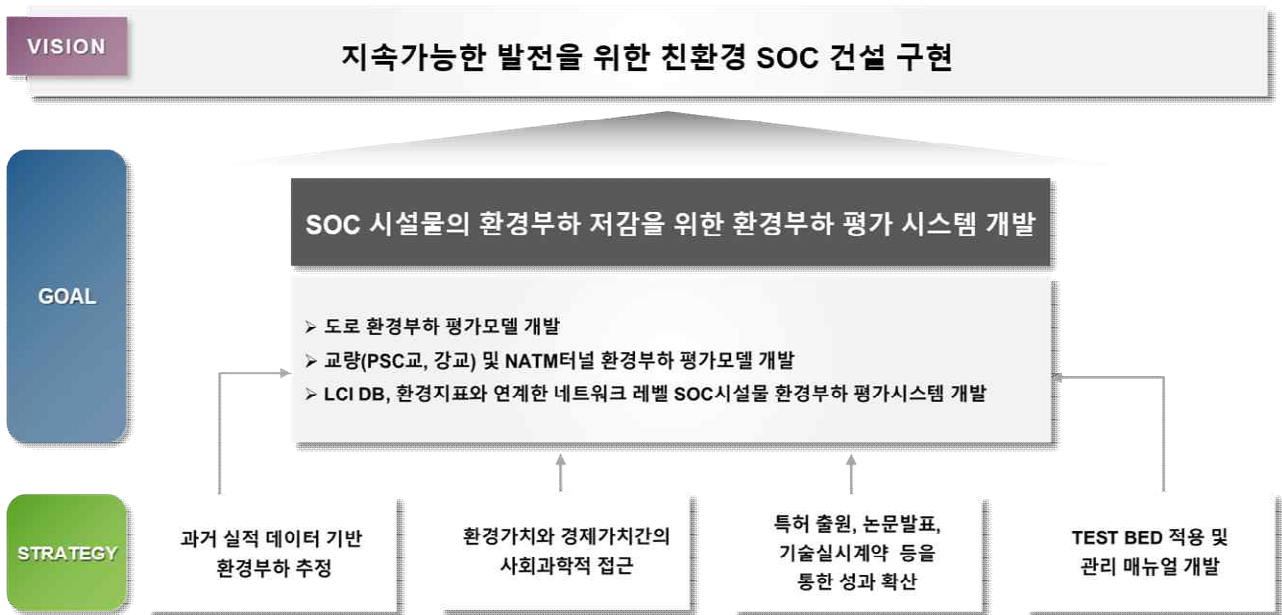
- 본 연구에서는 상하수도, 철도, 댐, 항만, 공항 등 다양한 SOC 시설물 중 도로를 대상으로 가장 적용빈도가 높은 터널, 교량 등의 시설물을 선정하여 단일 시설물과 복합 시설물의 기획/설계/시공/유지관리 단계별 환경부하 특성을 분석하고 평가모델을 개발하고자 함
- 연구의 비전 및 최종 목표는 [그림 1-1-3], [그림 1-1-4]와 같으며, 연구추진 방향은 다음과 같음
 - 사용자의 편의성을 고려하여 사업초기 적은 입력변수로 환경부하량 추정이 가능한 평가모델 개발
 - 전체 건설산업에 투입되는 대표 공종단위의 투입자원들을 고려하고, 평가의 신뢰도 확보를

위해 국내 특성을 반영한 추가 LCI DB 확충

- 설계대안에 대해 온실가스 외 LCA기반의 환경부하평가가 가능한 단계별 평가시스템

○ 이를 통해 달성하고자 하는 최종 연구목표는 다음과 같음

- SOC 건설사업의 사업수행 단계별 사업 및 설계 대안에 대해 환경부하를 신속하고 정량적으로 평가하기 위한 도로시설물별 환경부하량 평가모델 개발
- 신규 LCI DB 확충 및 연계 표준화모델 구축을 통한 종합적인 환경부하 평가업무의 기반 조성
- 기획단계에서의 환경부하 추정 및 설계단계에서의 친환경설계 대안 평가를 위한 환경부하 평가 시스템 개발, Test bed를 통한 검증



[그림 1-1-4] 연구의 최종 목표

* '환경부하'란 시설물 전생애주기 동안 지구환경에 영향을 미치는 인자(온실가스, 오존층파괴가스, 산성비원 인가스, 유해폐기물 등)들에 대한 지구환경 부담 정도를 정량화한 것임

제 2 절 연구개발의 필요성

- 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 요구가 커지고 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
- 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
- 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 미흡한 실정임
- 지속가능한 개발을 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
- 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, 폐적성, 주변 환경과의 조화 등 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가의 기반이며 본 연구에서 목표로 하는 핵심기술임
- 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
- 이에 따라 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
- 결과적으로 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 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 시점임
- 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
- 이와 같이 상기에 제시한 SOC 건설사업의 환경부하량을 신속하고 정량적으로 평가하기 위해 연구 내용을 크게 시설물별 평가모델 개발분야와 시스템 개발 분야로 구분하고, 각 연구 분야에 따라 추진하고자 하는 개발방향을 도출한 결과는 다음과 같음

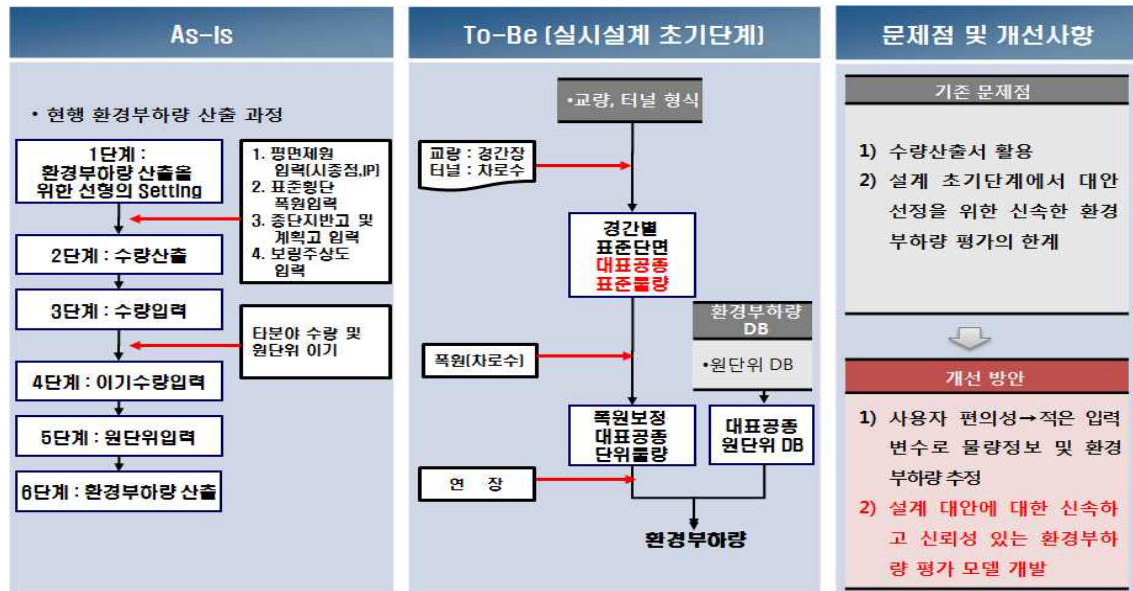
1. 도로, 교량(PSC교, 강교) 및 터널(NATM) 환경부하 평가모델 개발

- 현재 국토교통부에서 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인에서 환경부하 평가방법을 제시하고 있지만, 수량산출서 및 내역서 기반으로 자재, 장비량, 에너지 소비량을 산정하고 이를 바탕으로 탄소배출량을 산정하는 상세설계 완료 후 적용방법을 제시하고 있어 기획 및 기본설계단계에서 설계 대안에 대한 환경부하 평가가 현실적으로 불가함
- 또한 원단위 데이터를 활용한 환경부하 평가방법은 원단위를 만들기 위한 원천데이터가 한정된 특정구간의 자료에 기반을 두어 평가의 신뢰성에 문제가 제기되고 있음



[그림 1-2-1] 기획 및 기본설계 단계에서의 환경부하 추정 As-Is vs. To-Be

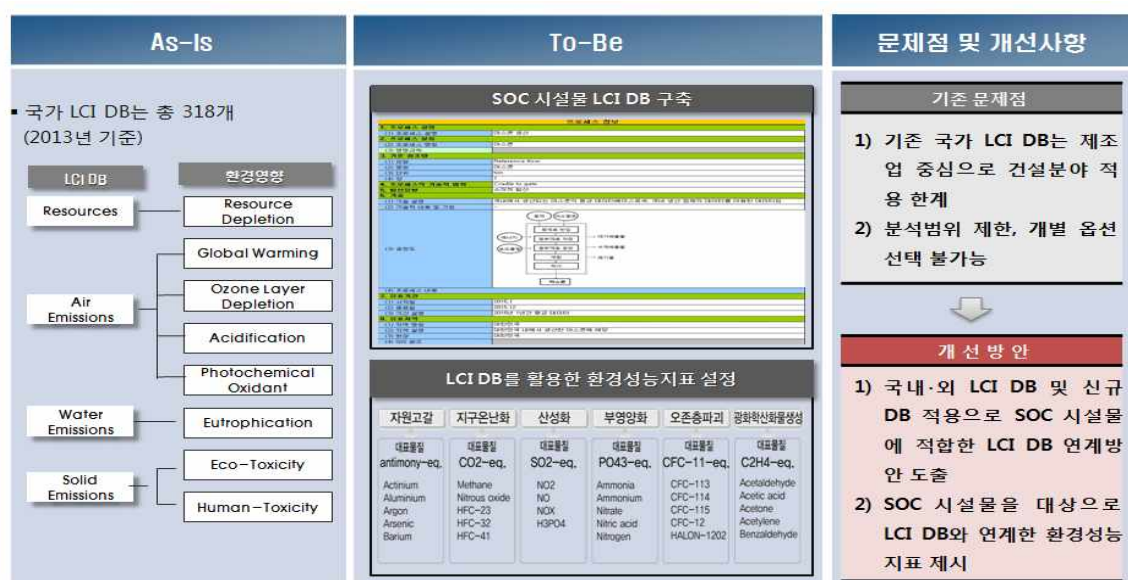
- 실시설계 초기단계에서의 환경부하 추정은 원단위 또는 상세 수량산출서를 바탕으로 부하량을 산정할 수 있음. 그러나 원단위 방법은 자료의 신뢰성 문제가 있으며, 상세 수량산출서를 이용하는 경우 설계 대안에 대한 신속한 환경부하량 산정에 한계가 있음
- 따라서 기획 또는 설계 초기 단계에서 단계별 최소한의 가용한 정보로 신속하고 신뢰성 있는 환경부하 평가를 할 수 있는 모델이 필요함



[그림 1-2-2] 실시설계 초기단계에서의 환경부하 추정 As-Is vs. To-Be

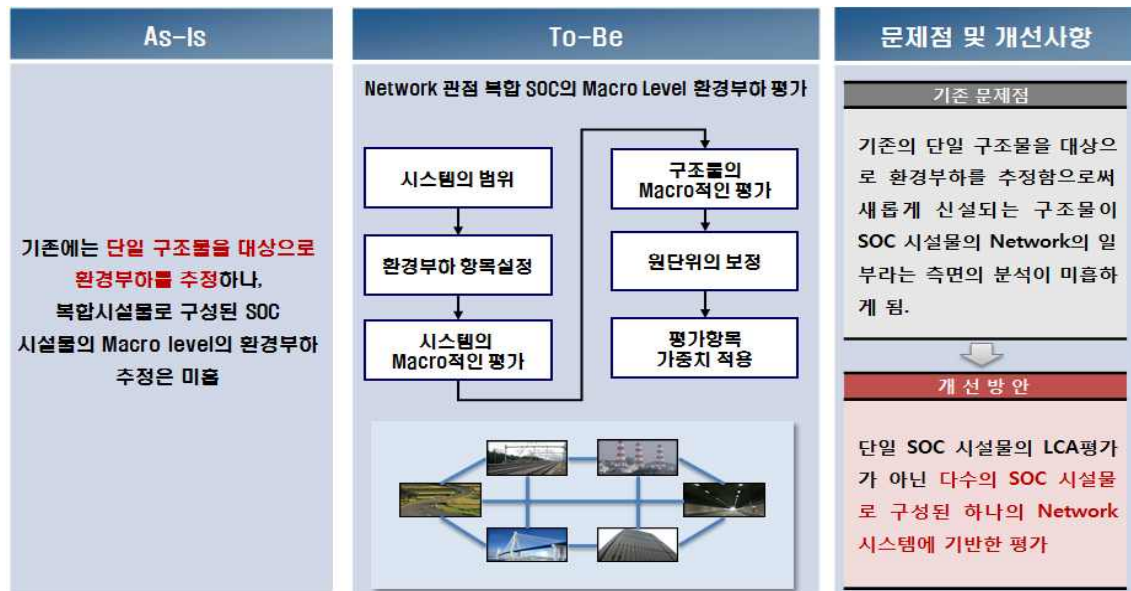
2. LCI DB, 환경지표와 연계한 네트워크 레벨의 SOC 시설물 환경부하 평가시스템 개발

- 국내의 환경부, 지식경제부에서 제공하는 국가 LCI DB는 318개로 대부분 제조업 중심으로 구성되어 있어 건설환경에 적용하기에는 분석범위나 적용방식에 제한이 있음. 특히, SOC 시설물에 대한 LCI DB는 아직도 기초적인 수준으로 건설분야를 위한 국가의 인벤토리 구축이 필요하며, 이를 위해 기존의 국가 LCI DB에 해외에서 가장 많이 적용되고 있는 LCI DB, 공중 구성 등의 네트워크를 고려한 LCI DB의 연계 모델 개발이 요구됨



[그림 1-2-3] LCI DB 및 환경성능지표의 As-Is vs. To-Be

- 현재 SOC시설물에 대한 환경부하 평가는 단일 시설물을 대상으로 하고 있으며, 도로, 교량, 터널 등 다양한 구조물이 서로 결합된 하나의 Network 관점의 복합시설물에 대한 Macro level의 환경부하 추정은 미흡하였음. 따라서 다수의 SOC시설물로 구성된 하나의 Network 시스템 관점으로 환경부하를 평가할 수 있는 기술 개발이 필요함

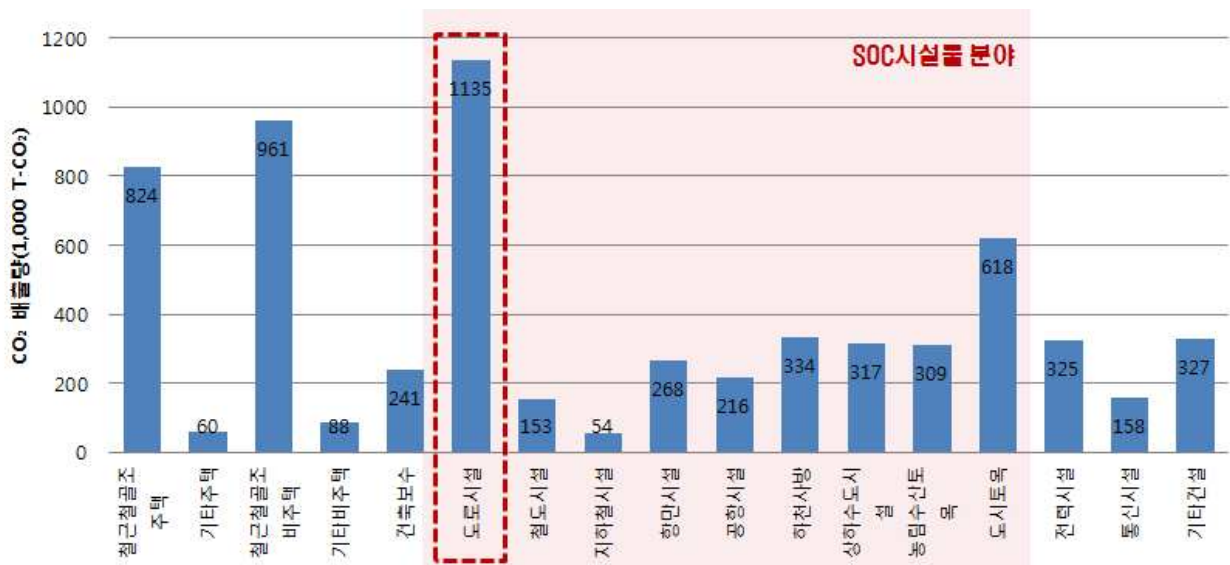


[그림 1-2-4] Network 관점 복합 SOC의 환경부하 평가 As-Is vs. To-Be

- 국내 기존 SOC 시설물 환경부하량 산정은 활용관점에서 대부분 상세설계나 시공단계에서의 성과물인 상세설계내역기반 주요자재 집계표, 일위대가(산근, 호표 등), 표준품셈 등을 고려하여 투입자재량, 중장비 에너지소비량을 산출하여 각각의 단위에 LCI DB를 적용하는 방식이며, 다량의 정보들이 활용되어 분석단계별로 많은 시간이 요구되므로, 이에 대한 개선이 필요함

제 3 절 연구개발 범위

- SOC 시설물의 경우, 공공사업의 특성상 그 지역의 독점적 성격이나 영리사업으로 성립되기 어렵기 때문에 정부나 공공기관에서 사업을 담당하며, 타 산업분야와 연계되어 있어 그 파급력이 크고, 가시적인 측면이 강할 뿐만 아니라 실질적으로 환경에 미치는 영향이 매우 큰 분야라고 할 수 있음
- 2006년 한국건설기술연구원에서 수행한 ‘건설부문 온실가스 배출분석 연구’에서 건설부문별 총 CO₂ 배출량을 분석한 결과, 도로시설이 가장 큰 것으로 나타남²⁾. 총 CO₂ 배출량은 건축 및 토목 건설 과정에서 직접적으로 소비된 에너지에 의해 발생된 CO₂ 를 뜻하며, 도로시설 부문이 1,135천Ton-CO₂ (17.8%), 철근철골조비주택부문이 961천Ton-CO₂ (15.0%), 철근철골조주택부문이 824천Ton-CO₂ (12.9%)의 순으로 나타남



[그림 1-3-1] 건설부문별 총CO₂ 배출량(T-CO₂)

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

- 한국도로공사에서 수행한 ‘능동형 저탄소 도로기술 및 정책 개발 연구(2009)’에서 도로건설공사의 건설부문 온실가스 배출량을 산정하였음. 도로건설공사의 단위 연장당 온실가스 배출량을 산정하기 위한 상기의 연구는 ‘06~’08 기간(3년) 동안 개통된 고속도로 12개 공구의 건설공사를 대상으로 하고 있으며, 시멘트 콘크리트 포장구간의 양방향 4차로를 기준으로 하고 있음
 - 대상구간의 총연장은 약 123km(도로 90km, 터널 16km, 교량 17km)이며, 터널공 전체의 89.4%가 NATM 공법, 교량은 Steel Box Girder(전체의 34.6%), PSC Beam(전체의 31.5%), RC Rahmen(전체의 13.3%), 기타(전체의 20.6%)로 구성됨. 교량에서는 Steel Box Girder 및 PSC Beam 교가 가장 높은 점유율을 나타내고, 터널에서는 NATM 공법이 대부분을 차지한다고 할 수 있음

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

- 연구수행을 위해 2000년 이후 완료된 설계자료(234개 도로설계 성과품)를 수집하여 분석한 결과, 터널은 NATM 공법이 113건으로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 교량에서는 PSC Beam 407건, Steel Box Girder 207건으로 적용 사례가 가장 많은 것으로 분석됨
- 본 연구에서는 상하수도, 철도, 댐, 항만, 공항 등 다양한 SOC 시설물 중 온실가스 배출량이 가장 높은 도로시설을 대상으로 하며, 도로 시설 중 가장 적용빈도가 높은 터널(NATM), 교량 형식에서 가장 일반적으로 적용되는 Steel Box Girder 및 PSC Beam교를 기본 시설물로 선정함. 또한, 최근에는 개량형 PSC Beam 공법이 개발되어 적용되고 있는바, 개량형 PSC Beam에서 적용 실적인 많은 IPC Girder, PSC e-Beam, DR Girder를 추가적으로 선정하고, PSC Box Girder교도 분석대상으로 선정하여 연구를 수행함
- 본 연구의 최종 목표는 도로시설물별 환경부하 특성을 분석하여 평가모델을 개발하고, 환경부하량 산정결과의 신뢰성을 향상하기 위해 신규 LCI DB 및 연계 표준화모델을 구축하고자 함. 또한 사업수행 단계별 다양한 사업 및 설계대안에 대해 환경부하를 신속하고 정량적으로 평가할 수 있는 평가 시스템을 개발하는 것이며, 연구 범위에 따른 주요 연구내용은 다음과 같음
- ‘시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인(국토해양부, 2011)’에서는 도로, 철도, 항만, 댐, 하천정비, 도시재생, 건축물을 대상으로 산정 기준을 제시하고 있는바, 본 연구의 범위인 도로 시설물외에 다양한 시설형식뿐만 아니라 철도, 건축물, 항만, 댐, 하천정비, 도시재생 등 건설부문 전반으로 적용대상을 확대하기 위해서는 향후 추가적인 연구 수행이 필요함. 또한 유럽, 미국, 일본, 호주 등 해외수준의 신뢰성을 확보하고 건설부문에 적합한 LCI DB를 제공하기 위해서는 LCI DB 인벤토리와 연계표준 개발이 지속적으로 수행되어야 함

1. 주요 연구 내용

가. 도로, 교량(PSC교, 강교) 및 터널(NATM) 시설물의 환경부하 평가모델 개발

- 도로, 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널을 대상으로 상세설계 이전 건설사업 초기 정보만으로 신속하게 건설사업의 환경부하를 평가하는 모델을 개발하여 최종 연구성과물인 환경부하 평가 시스템에 탑재하는 것을 목표로 함
- 이를 위해 기존 건설사업을 대상으로 사업 초기 환경부하량 산정을 위한 가용정보들을 분석하고 이를 평가하는 최적화 알고리즘을 구축하고자 함
- 또한, 시설물 설계 특성을 반영한 주요 공정별 환경부하 영향요인을 분석하여, CO₂ 등 오염물질들을 정량적으로 추정하여 친환경적인 설계를 지원하는 시스템을 구축하고자 함
- 세부 연구내용 및 범위는 다음과 같음
 - 환경부하량 평가방법론 조사 및 비교
 - 도로 시설물별 기획/설계/유지관리 단계 환경부하 평가모델 개발
 - 도로 시설물별 특성 및 환경부하 영향요인 상관성 분석
 - 기획/설계 단계 환경부하 평가모델 검증 및 최적화

- 유지관리 단계 공법별 환경부하 평가모델 검증 및 최적화
- 환경부하 평가시스템 설계 및 개발
- 환경부하 평가모델 검증 및 시스템 보완
- 환경부하 평가시스템 TEST BED 실시
- DB업데이트 및 관리기준 개발
- 모델 이론 교육자료 및 환경부하량 평가매뉴얼 작성

나. LCI DB 구축, 환경지표와 연계한 네트워크 레벨의 SOC 시설물 환경부하 평가 시스템 개발

- 기존의 SOC 시설물에 대한 환경부하 평가는 단일 시설물 위주의 개별적인 평가로 네트워크로 구성된 복합 SOC 시설물에 대한 Macro 레벨에서의 환경부하 평가가 어려움. 그러나 SOC시설물은 다양한 구조물이 서로 결합된 하나의 Network 시스템으로 볼 수 있으며, 시스템 관점에서 환경부하를 평가하는 연구가 필요함
- 이를 위하여 건설 및 유지보수 시 대량의 자재와 에너지가 투입되는 SOC 시설물에 대한 LCI DB를 구축하고, 개발되는 LCI DB는 국가 LCI DB 구축 방법론에 따른 결과물로 표준화된 국가 DB와의 연계가 가능하도록 할 예정임. 또한 이를 활용하여 지역적·공간적 네트워크 레벨의 복합 SOC 시설물을 평가할 수 있는 환경성능지표와 평가 방안을 제시하고, 각 공정 특성별 환경오염물질 배출을 정량화할 수 있는 시스템을 구축하고자 함
- 이를 통해 복합 SOC 시설물에 대한 주요 공정별 환경부하 영향요인 및 영향 특성을 분석하고, 주요 공정별 환경개선 효과를 산정할 수 있는 환경부하 평가 TOOL로 활용하고자 함. 이를 통해 네트워크망으로 이루어진 복합 SOC 시설물의 환경부하 배출량을 평가하여 최적의 설계 및 시공 의사결정 지원이 가능할 것으로 기대됨
- 세부 연구내용 및 범위는 다음과 같음
 - SOC 시설물의 기획/설계 및 유지관리 단계별 환경정보 표준체계 구축
 - 공법별 표준 공종 구성을 조합한 표준 공종 트리 작성
 - SOC 시설물의 LCI DB cut-off 수준 분석을 위한 내역서 분석
 - 기존 환경지표 현황조사, 대상물질 및 적용범위 검토
 - 복합 SOC 시설물에 적합한 평가항목 도출
 - SOC 건설 공법별 원단위 DB 산정 알고리즘 개발을 위한 표준 공종 트리 DB의 Code 화
 - SOC 시설물의 LCA 수행을 위한 결핍 LCI DB 도출 및 LCI DB 구축 대상 선정
 - 기획/설계, 유지관리 단계의 SOC 시설물의 LCI DB 구축
 - 시공 단계의 SOC 시설물의 LCI DB 구축
 - SOC 시설물의 환경성능지표 도출
 - 네트워크 레벨의 인프라 평가방안 제시
 - 국내외 LCI DB를 활용한 SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 개발
 - 네트워크 레벨의 SOC 시설물 환경부하 평가 시스템 개발

2. 연구개발 방법 및 범위

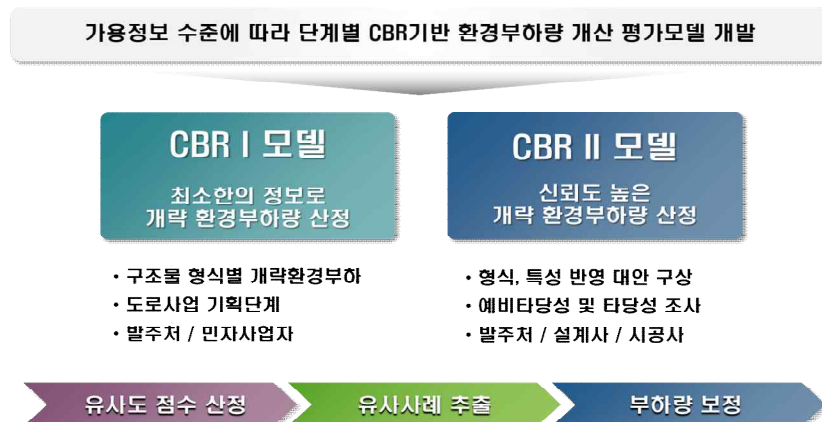
가. 도로, 교량(PSC교, 강교) 및 터널(NATM) 환경부하 평가모델 개발

(1) 환경부하량에 영향을 미치는 시설물 특성 요인 분석

- 건설사업의 특성상 프로젝트의 수행기간이 매우 길고, 프로젝트에 소요되는 공사비의 크기가 매우 크기 때문에 초기단계에서의 의사결정은 전체 프로젝트를 수행하는데 있어서 매우 중요함. 기존 환경부하량 평가는 상세 설계 자료를 바탕으로 각 사업 대안에 대해 투입되는 물량을 산출하고, 소요 자원량 및 공법별 장비 투입량을 산정한 후 환경범주별 부하량을 산정하였음. 사업 초기 단계에서 사업 대안에 대한 환경부하량을 신속하게 평가할 수 있는 방법론은 부재하다고 할 수 있음
- 이에 본 연구에서는 상세설계가 이루어지기 전에 사업 초기단계에 다양한 설계 대안에 대한 신속한 환경부하량 평가가 필요하므로, 수집된 시설물 특성 및 데이터를 분석함으로써 의사결정단계별 가용정보 범위 및 수준을 고려한 환경부하에 영향을 미치는 주요 인자를 분석함
- 따라서 사업 초기(기획)단계에 가용한 정보를 최대한 활용하여 환경부하량에 대한 신뢰성있는 평가를 할 수 있는 최적화된 모델을 구축하고자 개선예측 방법론을 비교·분석함
- 대표적인 공공시설물인 도로 시설물(도로, 교량(PSC교, 강교), NATM터널 등)을 대상으로 설계도서를 수집하고, 통계기법 및 데이터마이닝 방법론을 활용한 데이터 분석 및 환경부하량 개선 예측모델 구축하고자 함
- 또한 도로, 교량 및 터널 등 복합적으로 구성된 구간의 환경부하 추정은 각 부분(도로, 터널, 교량)에서 공사무량을 산출하고 이에 따라 발생하는 환경부하를 각기 산출한 후 합산하여 전체 도로사업에서의 환경부하량을 산정할 수 있음

(2) 기획단계 환경부하 평가모델 개발

- 기획단계에서 활용 가능한 제한된 정보를 바탕으로 기획단계 환경부하량 평가를 최적화하기 위해 다양한 데이터마이닝 기법(Case based Reasoning, 유전자 알고리즘 등)들을 활용하여 모델을 개발하고자 함



[그림 1-3-2] 기획단계 환경부하량 평가모델 개요

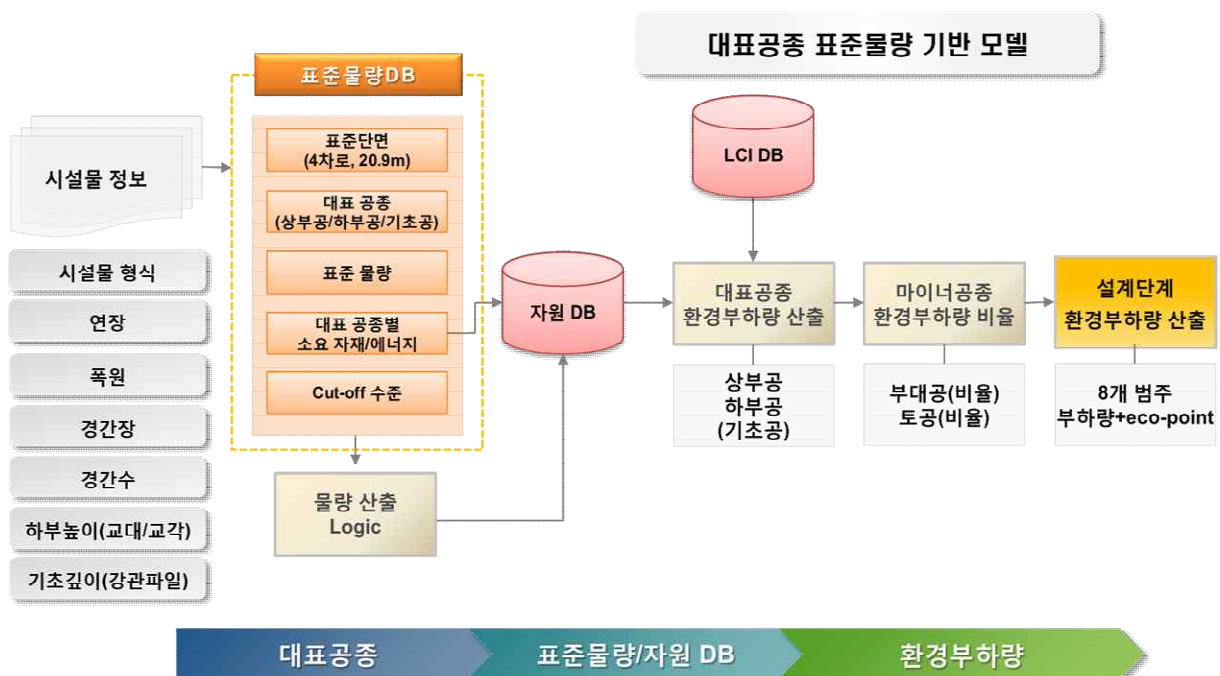
- 각 모델에 의한 환경부하량 예측치의 통계적 특성을 분석하여 통계적 관점에서의 최적 예측치를 얻기 위한 방법론을 모색하여 제시하고자 함

(3) 설계단계 환경부하량 개산예측 방법론 비교 및 환경부하량 주요 항목 분석

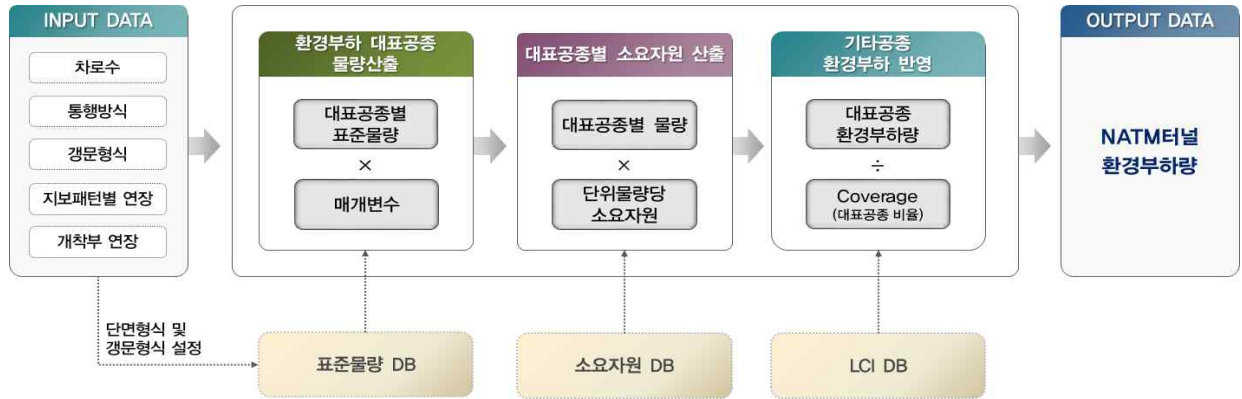
- 설계 초기단계에서 환경부하량 개산예측을 위해 다양한 통계방법론을 비교하고, 표준 설계량 기반의 환경부하량 개산 산정모델 개발을 위한 기초자료를 조사 수행함
- 시설물(도로, 교량(PSC교, 강교), 터널)의 환경부하 주요항목을 분석하고 주요 부위(Element)별 주요 환경부하 item 분석 및 대표 환경부하 공종을 선정하여 활용하고자 함

(4) 설계단계 환경부하 평가모델 개발

- 설계 초기단계에 가용한 정보만으로 다양한 설계 대안에 대한 신속한 환경부하량 평가를 필요로 하므로 이러한 정보들 중 환경부하량 평가를 위해 가용한 효과적인 정보를 도출하여 적용하고자 함. 상세설계 과정에 소요되는 시간 측면에서의 비효율성은 환경부하량 측면에서의 실질적인 설계 대안 평가를 불가능하게 하므로 신속한 평가를 지원할 수 있는 시설물 주요 부위별 표준 설계물량 기반의 환경 부하량 개산 예측 모델을 제시하고자 함
- 설계 초기단계에 가용한 최대 정보를 활용하여 신뢰성있는 환경부하량에 대한 평가를 지원할 수 있는 모델을 제시하고자 함. 이를 위해 시설물별 설계 특성을 반영한 환경부하 주요 공종(대표공종)을 선정하고, 대표공종별 표준물량을 이용한 환경부하 평가모델을 개발하고자 함



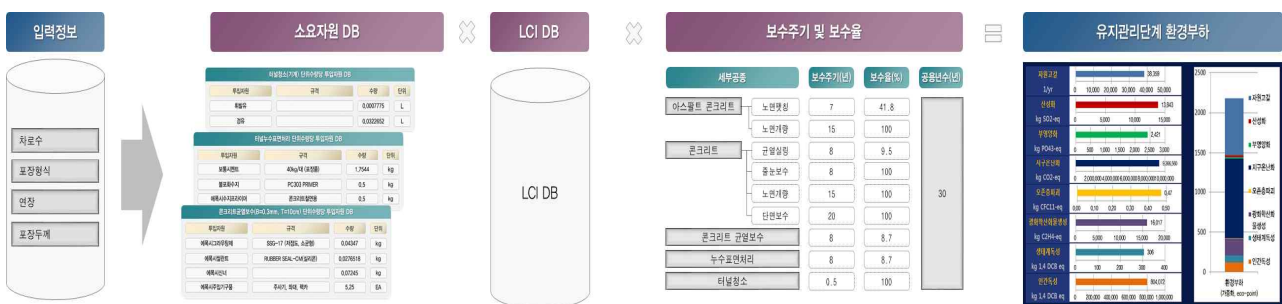
[그림 1-3-3] 설계단계 환경부하 평가모델 개요(교량)



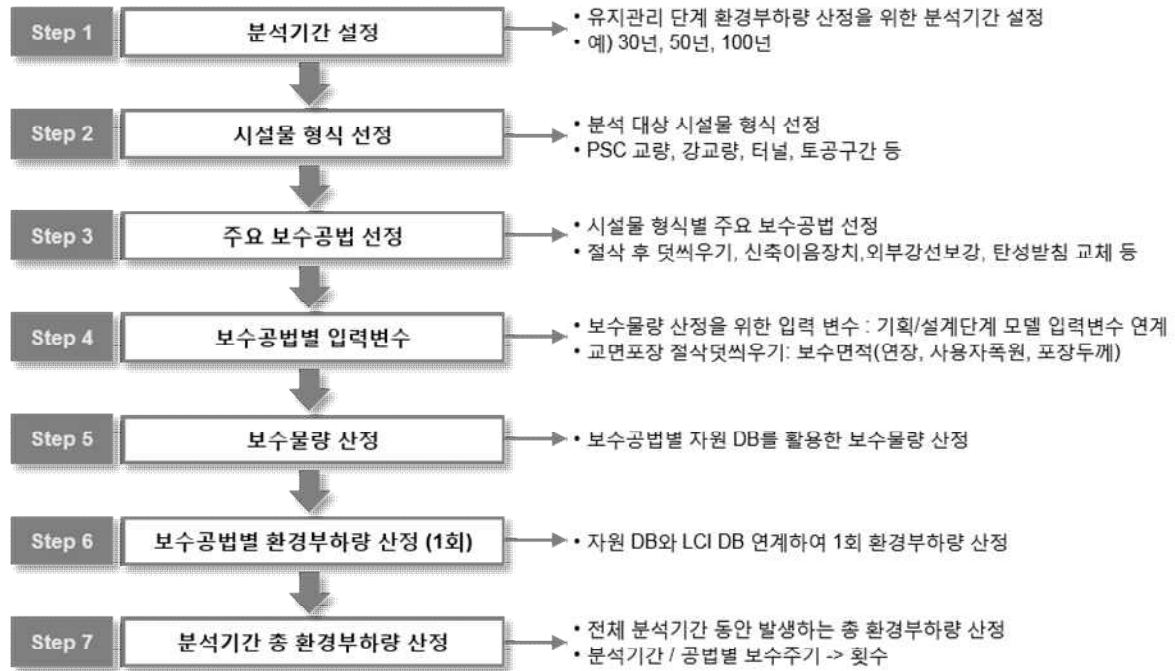
[그림 1-3-4] 설계단계 환경부하 평가모델 개요(터널)

(5) 유지관리단계 환경부하량 산정모델 개발

- 선행 연구문헌 및 사례조사를 통해 도로/교량/터널에 대한 유지관리비 및 환경부하량 산정 현황을 분석하여 도로/교량/터널 공사에 대한 유지관리 항목 및 주요 유지보수공법을 선정하여 적용함
- 선정한 유지관리비 항목에 대한 운영 사례조사 및 국도건설공사 중 교량, 도로포장 또는 환경기초시설 등의 유지관리비 산정 방법 등을 분석하여 도로/교량/터널 공사 유지관리 단계에서의 환경부하량 산정 방법론을 검토함
- 선정 항목에 대한 환경부하량 산출 또는 효율에 의한 환경부하량 산출을 통해 적용가능한 유지관리단계에서의 환경부하 평가 프로세스를 정립하고 환경부하량을 산정할 수 있는 모델을 개발하고자 함



[그림 1-3-5] 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요



[그림 1-3-6] 유지관리단계 환경부하량 산정 절차

(6) TEST BED를 통한 모델의 검증 및 보완

- 본 연구의 핵심성과인 도로시설물 환경부하 평가모델, LCI DB, 환경부하 평가시스템 등의 검증 및 적용성 평가를 위하여 실제 국도건설공사 기본 및 실시설계 프로젝트를 대상으로 TEST BED를 수행함
- TEST BED를 통한 모델 수정 및 보완
- 사용자 중심의 지원기능 검토 및 보완

(7) 환경부하량 산정 매뉴얼 개발을 통한 평가모델의 실무 적용성 증대

- 매뉴얼의 Framework 작성단계에서 현실성 및 타당성 확보를 위한 업무프로세스 분석
- 실무자 및 전문가 의견수렴을 통한 교육자료의 체계적 작성

나. LCI DB, 환경지표와 연계한 네트워크 레벨의 SOC 시설물 환경부하 평가시스템 개발

(1) SOC 시설물의 환경성능지표 개발

- 기존의 종합환경성능평가, 환경영향평가 등에서는 단위길이당 토공량, 폐기물 재활용 비율, 훼손수목 이식률 등을 지표로 활용하고 있음
- 국가별 환경개선정도를 평가하는 환경성과지수(EPI ; Environmental Performance Index)에는, 미세먼지(PM2.5), 일인당 SO₂, CO₂ 배출량 등을 지표로 설정하고 있으며, 환경지속성 지수(ESI ; Environmental Sustainability Index)는 20여개 항목에 대해 수질, 대기, 종 다양

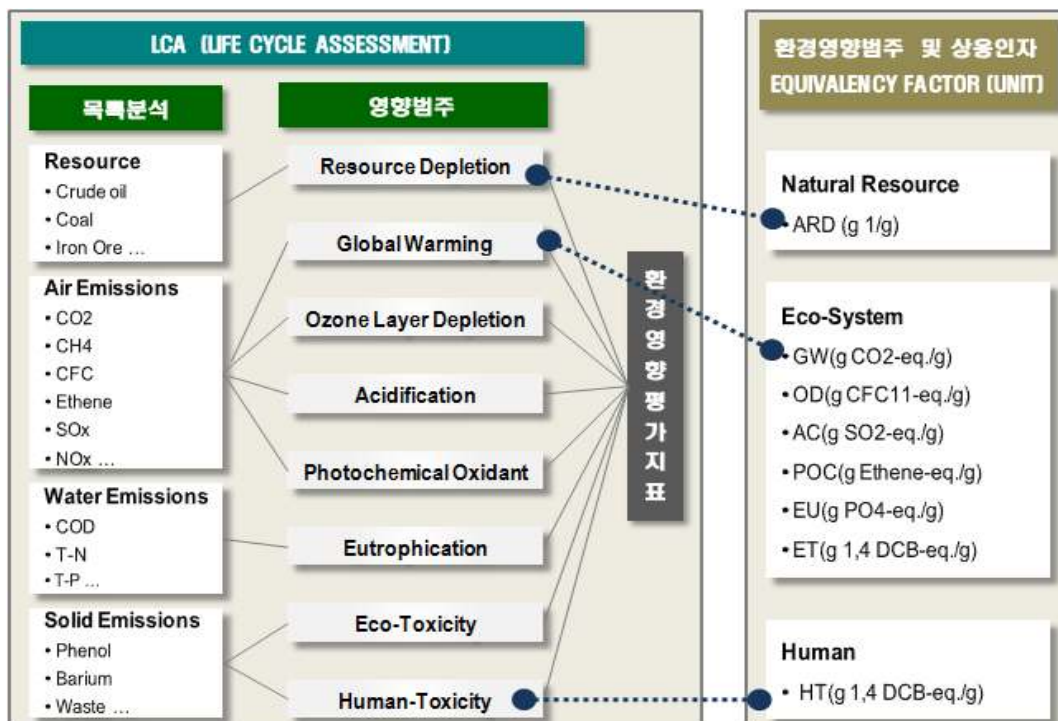
성 등 환경적인 요인 등을 평가하고 있음



[그림 1-3-7] 주요 방법론에 따른 환경영향 범주

※ 출처 : 홍태훈(2012), 전과정평가 (LCA) 방법을 이용한 건축물에 대한 환경영향평가방법, 건설관리학회논문집

- 본 연구에 적용하고자 하는 LCA category 내에는 환경영향범주별로 대기(지구온난화, 오존층 파괴 등), 수질(부영양화 등), 토양(토양생태독성 등), 생태계(인간독성 등)가 구분되어 있음. 따라서 각 category에 영향을 미치는 환경오염 물질의 정의 및 적용범위를 설정하고, 대표적인 환경배출물질을 통해 대기, 수질, 토양, 생태계에 대한 환경영향을 평가할 수 있는 환경성능지표를 설정하고자 함



[그림 1-3-8] 환경지표와 연계한 LCA 평가절차

(2) 기획/설계 및 유지관리 단계 LCI DB 구축

- SOC 시설물의 내역서 분석을 통해 시설물별 Cut-off 수준을 도출하고, 분석 결과에 따라 Cut-off 수준을 80% 이상 만족하도록 LCI DB를 구축하고자 함
- 구축 우선순위에 따라 선정된 대상 자재에 대해 국가 LCI DB 수준으로 DB를 구축할 계획임

(3) 문헌 및 업체 조사 실시

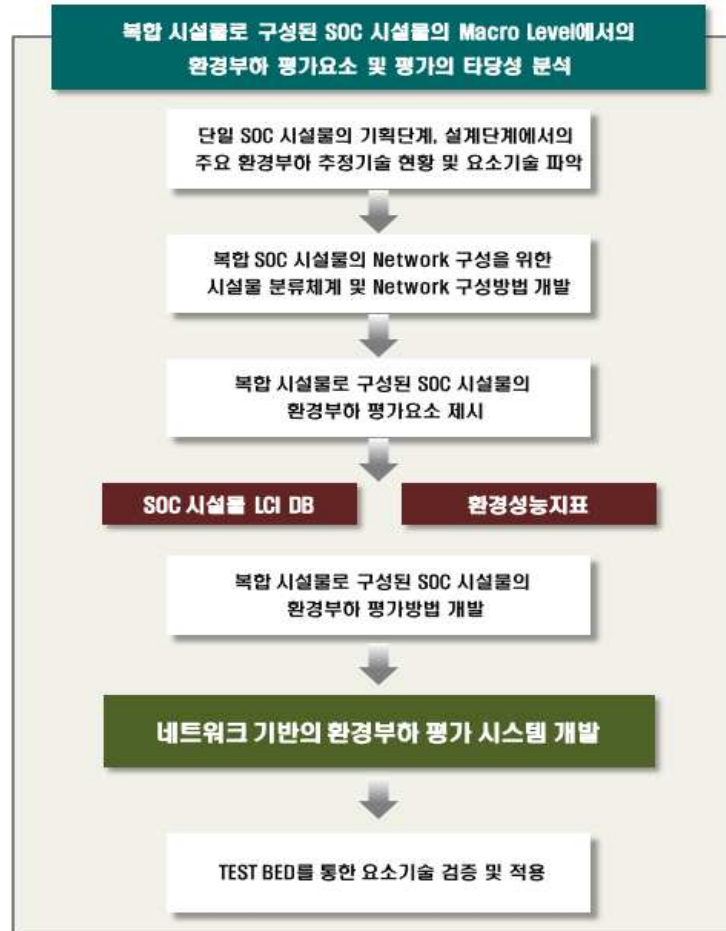
- LCI DB 구축 대상 자재의 기초정보 수집을 위해 문헌 조사를 실시하고, 국내 시장 점유율을 고려하여 조사 대상 업체를 선정하고, 선정된 업체를 대상으로 투입되는 에너지 및 원료, 배출되는 제품, 부산물, 오염물질 등의 종류와 양을 파악하여 정량화하고자 함
- LCI DB 구축방법은 산업연관분석법, 개별적산법, 조합법이 있으나 본 연구에서는 제품의 생산에서 폐기까지의 데이터를 구체적으로 조사하여 축적하는 방법인 개별적산법에 따라 데이터의 근거가 명확하고 정확도가 높은 국가 LCI DB 수준의 DB를 구축하고자 함
- 본 연구에서는 환경정보표준체계의 방법론을 준용하여 데이터 범위 설정→데이터 수집→데이터 처리→할당→LCI DB 구축 순으로 LCI DB 구축을 실시하고자 함
- 업체 조사를 통해 수집된 데이터를 바탕으로 물질 수지 및 에너지 수지를 활용하여 데이터의 타당성을 검증하고 사용된 방법론에 대한 내부 검토를 수행함
- 검토된 데이터를 바탕으로 기능단위당 투입물과 산출물에 대한 공정데이터인 Gate to Gate 데이터를 산출하여 LCI DB를 구축하되, 구축된 LCI DB는 외부전문가 검증 및 정밀검토를 통해 SOC 시설물의 LCA 수행 데이터베이스로 연계하여 활용 가능
- 해당 DB는 국가 LCI DB 형식과 같이 프로세스정보, 모델링 및 타당성 확인, 관리정보, 투입물 및 산출물 시트로 구분하여 구축하고자 함

(4) SOC 시설물의 LCI DB 연계 표준화 모델 개발

- SOC 시설물 환경부하평가를 위해서는 투입 자재 및 장비별 LCI DB 연계 기준이 필요함. 일반적으로 투입되는 자재 및 장비의 연료와 일치하는 LCI DB를 연계하는 것을 원칙으로 하나, 내역서 상의 자재는 규격 및 단위가 다양하여 완벽히 일치하는 LCI DB를 찾는 것이 어려운 실정임
- 따라서 환경부하평가지 LCI DB 연계가 표준화된 내용에 따라 진행 될 수 있도록 표준화 모델을 개발하고자 함

성을 분석하고, 각 요소별 환경오염물질 배출 정량화 시스템을 구축함으로써 네트워크 단위의 환경개선 효과를 산정할 수 있는 환경부하 평가 Tool을 제시하고자 함

- 또한 SOC 시설물에 대한 기존의 환경부하 평가는 주로 탄소 배출량 위주의 평가였으나, 이를 확장하여 LCA기반의 ISO 환경부하 범주 중심의 평가모델을 구축하고자 함



[그림 1-3-10] 네트워크 환경부하 평가

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

- 기존 환경부하평가 관련 S/W 및 시스템은 주로 제조업 중심의 DB를 바탕으로 환경성적표지제도에 활용되거나, 건축물 위주의 환경부하량 및 이산화탄소 배출량 평가를 위한 시스템으로 활용되고 있음
 - TOTAL(한국환경산업기술원) : 환경성적표지전용 LCA 소프트웨어
 - K-LCA(건기연) : 건설공종 별 건축자재 입력을 통한 상세 평가
 - ECO-pia(삼성) : 에너지 및 건축자재 직접입력을 통한 공동주택 평가
 - LOCAS (롯데) : 건축물의 CO2배출량 평가
- 토목분야에서는 시공단계에서의 공정 및 장비 운영에 따른 이산화탄소 배출량 평가 위주로 제한적으로 개발되어 있음
 - 목적지향형 건설구조물 전과정 CO2 최적평가관리 시스템(2011, 한양대)
 - 건설프로젝트 일정정보를 활용한 CO2 배출량산출 시스템(2012, 경북대)
 - 저탄소 도로노선 선정을 위한 실감형 시뮬레이터 (2012, 연세대)
- 최근에는 BIM을 활용한 공정관리 및 이산화탄소 배출 평가 시스템이 개발되고 있으나 역시 대부분 건축물 중심의 초기 단계 수준인 것으로 파악됨
 - BIM기반 건축설계와 CO2 발생량 예측을 위한 건축설계 톨의 DB 및 Library 개발 (2012, 울산대)
 - 최적설계대안 선정을 위한 건축물 생애주기에 따른 BIM 기반 CO2 배출량 측정 시스템 (2012, 숭실대)
- 건설공사 시 발생하는 환경부하와 온실가스 배출량에 대해 환경부와 지경부에서 LCI DB 및 탄소인벤토리 구축이 활성화 되고 있으나, 건설 분야에 적용할 수 있는 LCI DB는 미흡하여 분석에 제한이 있음
 - 국가 LCI DB 정보망에서 제공하는 국가 LCI DB : 총 417개 수준
 - 국가 LCI DB 중 SOC 시설물에 적용 가능한 DB : 187개
 - 영국은 1,700여개, 일본은 에너지, 서비스 등 총 1,030여개

전과정 단계	데이터범주	개수	전과정 단계	데이터범주	개수
물질 및 부품제조	건축자재	26	가공 공정	금속가공	13
	고무	8		부품가공	0
	금속	51		플라스틱가공	24
	기초부품	30	수송	육상수송	20
	기초화학물질	92		항공수송	0
	수자원	11		해상수송	22
	에너지	23	폐기	매립	3
	펄프·종이	9		소각	10
	플라스틱	37		재활용	16
	기타	20		기타	2
합계		417개			

➡

SOC 시설물 적용 가능 LCIDB	
명칭	개발기관
1종 포틀랜드시멘트	산업통상자원부
도로 슬래그 시멘트	환경부
레미콘 25-210-12	산업통상자원부
순환골재	환경부
전기로제강-철근	산업통상자원부
전기아연도금강판	환경부
후판	환경부
강화유리	환경부
리드선	산업통상자원부
전기	산업통상자원부
중유	산업통상자원부
경유	환경부
공업용수	환경부
...	...
합계	187

[그림 2-1-1] SOC 시설물에 적용 가능한 DB

제 2 절 국외 기술개발 현황

- 현재 국외의 여러 나라들 중 유럽, 미국, 일본, 호주 등에서 LCA에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 유럽은 LCA 연구에 관한 리더로서 방법론, LCI DB 구축, 프로그램 개발에 관한 많은 연구를 수행하고 있고, 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 DB가 이미 구축되어 있음
- 건설 사업 분야에서 건설자재의 전과정적 측면을 고려한 평가 소프트웨어 활용, 지속가능한 건설 사업의 환경오염부하를 줄이기 위한 각종 인증 프로그램을 도입하여 적용하고 있음
 - 미국(NIST) : LCA(환경성), LCC(경제성) 평가를 ASTM으로 표준화
 - 핀란드(VTT) : 건설 시나리오에 대한 LCA 및 시나리오별 비교평가
 - 일본(KAJIMA) : 건축 산업의 전과정에 걸친 CO2 규명
 - 네덜란드(INTRONBRE) : 각종 국가 기반시설 건설시 LCA 활용
 - 영국(BRE) : 건축자재의 환경성을 LCA 기법을 이용하여 계량화
 - 호주(RMIT) : 건축자재 및 시스템에 대한 환경개선효과 정량화
 - 스웨덴(IVL) : 도로건설, 유지보수, 폐기의 전과정에 걸친 환경영향제시
- 국외에서는 건설자재의 전과정적 측면을 고려한 평가 S/W가 개발 및 활용되고 있으며, 건설 산업분야의 환경부하를 줄이기 위한 각종 활동을 진행 중임
 - EU : Gabi(IKP), TEAMTM(FR/US), SimaPRO(NL), LCAiT(SW), LCAid(AUS),

LISA(AUS), BEES(US), Boustaed(UK), ECo Quantum(NL), KCL-ECO(FIN), PEMS(UK'US), LCA(DA)

- 캐나다 : CO₂ 배출량 파악 및 대안으로 인한 저감량(추정치) 산정
- 일본 : 정부 주도에 의한 LCA의 시스템적 접근
- 호주 : 인프라시설에 대한 연구를 중심으로 빌딩, 원재료, 철, 광물, 포장재 등과 같은 시설의 LCI DB 구축
- 그 외 국가에서 개발한 LCI DB 및 상업적 소프트웨어에 활용가능한 LCI DB를 전문적으로 개발, 보급하고 있음
 - Ecoinvent(스위스) : 가장 범용적으로 활용, 10개 이상의 소프트웨어에 사용, 40여개국에 적용 가능, 4,000여개 DB 제공
 - SimaPro DB(네덜란드) : SimaPro 및 타사 11개 DB 제공, 국내 소프트웨어와 연동 가능
 - TEAM impact(프랑스) : Ecobilan 인증/운영, 450개 LCI DB 제공
 - GaBi DB(독일) : 2,300여개로 전문가 평가, GaBi 프로그램에 내장
 - Austrian LCI DB(호주) : 알루미늄, 콘크리트, 에너지 등 다수의 DB
- 제품의 생산부터 친환경적인 공정, 친환경 자재의 소비시장의 확대를 유도하는 정책을 마련하여 시행중이며, 이와 관련된 제품에 대한 정보를 제공하여 환경개선을 유도하고 있음
 - 환경자재정책(Environmental Product Declarations, EPD) : 제품의 전과정에서의 환경정보 제공, 친환경 제품의 소비 유도
 - 건설자재지령(Construction Products Directive, CPD) : 건설 자재에 대한 환경정보 제공
- 2009년 한국도로공사에서 수행한 ‘능동형 저탄소 도로기술 및 정책 개발’ 연구에서는 2006년부터 2008년까지 3년동안 개통된 고속도로 12개 공구의 건설공사를 대상으로 단위 연장당 온실가스 배출량을 산정함
 - 온실가스를 CO₂만으로 한정하였다는 점과 적은 수의 사례로 탄소배출량 원단위를 산정하여 데이터의 신뢰도 확보가 미흡함
- 2011년 국토교통부에서는 도로, 철도, 항만, 댐, 하천정비, 도시재생 및 건축물을 대상으로 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인을 배포하였으며, 해당 시설물의 시공에서부터 운영, 해체단계까지 전생애주기(Life Cycle)에 걸쳐서 발생하는 온실가스배출량 산정 방법을 제시하였음
 - 국토교통부의 ‘시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인’에서는 상세설계후의 수량산출서 및 내역서 기반으로 자재, 에너지 소비량을 산정하고 이를 바탕으로 탄소배출량을 산정하는 적용방법을 제시하고 있어, 기획 및 기본설계단계에서 설계대안에 대한 환경부하 평가가 현실적으로 불가함
- 또한 최근 일부 연구에서 제시된 주요 자재별 원단위(/kg, /m 등) 데이터를 활용한 환경부하 평가방법은 원단위를 만들기 위한 원천데이터가 한정된 특정구간의 자료에 기반을 두어 평가의 신뢰성에 문제가 제기되고 있음

- 기존 SOC 시설물 환경부하량 산정은 활용관점에서 대부분 상세설계나 시공단계에서의 성과물인 상세설계내역기반 주요자재집계표, 일위대가(산근, 호표 등), 표준품셈 등을 고려하여 투입자재량, 중장비 에너지소비량을 산출하여 각각의 단위에 LCI DB를 적용·환산하는 방식
- 다량의 정보들이 활용되어 수행해야할 분석단계별로 많은 시간이 요구됨
- 본 연구의 기술개발을 위한 기존 방식에서의 개선방향은 다음과 같이 요약됨



[그림 2-1-2] 환경부하 추정 모델 적용 As-Is vs. To-Be

[표 2-1-1] 환경부하 추정 모델 개선방향

기존 환경부하량 산정방식	새로운 발전 방향
• 시공전 상세설계 단계의 정보를 기반으로 하여 투입자원에 대한 환경부하량을 평가하는 관리중심의 산정 방식으로 사업초기단계에서 대안 선정을 위한 신속한 환경부하량 평가에 한계를 나타냄 • 환경부하 평가를 위한 입력정보가 장비사용량과 일부 자재에 관해서만 이루어지며, LCI DB 적용성도 미흡함 • 현행 SOC 시설물의 환경부하 평가는 주로 탄소(CO2) 및 온실가스 위주의 배출량 산정으로 종합적인 환경부하 평가가 미흡함	▶ 사용자의 편의성을 고려하여 사업초기 적은 입력변수로 환경부하량 추정이 가능한 평가모델 개발을 통해 설계 대안에 대한 신속하고 신뢰성 있는 환경부하량을 평가함 ▶ 전체 건설산업에 투입되는 대표 공종단위의 투입자원들을 모두 고려함 ▶ 국내 특성을 반영한 추가 LCI DB 확충 ▶ LCA기반의 ISO 환경부하 범주 중심의 종합적인 환경부하 평가모델 구축을 통해, 기존에 집중되어 있는 탄소배출량 외에 8가지 환경평가 범주, 즉 부영영화, 산성화 등 대기, 수질, 토양, 생태계에 영향을 미치는 다양한 환경오염물질 배출량 평가가 가능함

제 3 장 연구 수행 내용 및 성과

제 1 절 도로부 환경부하 평가모델

1. 도로부 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB 구축

가. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크

- 건설사업을 친환경적으로 시행하기 위해서는 사업의 기획단계에서부터 건설공사에 투입되는 자재와 장비 그리고 공법 등에 대한 환경적 검토가 수행되어야 하며 사업수행단계별 의사결정과정에서 이에 대한 객관적 자료가 제공되어야 함
- 건설사업의 환경성이 결정되는 사업초기의 의사결정과정에 LCA를 기반으로 하는 자료를 제공할 수 없음. 본 연구는 이를 개선하기 위하여 사업 초기단계에서 가용할 수 있는 정보를 기반으로 보다 신뢰성 있는 환경부하량을 추정할 수 있는 모델을 개발하고자 함
- [그림 3-1-1]은 각 사업단계에서 도로의 환경부하량을 추정하기 위한 모델의 프레임워크를 나타낸 것임

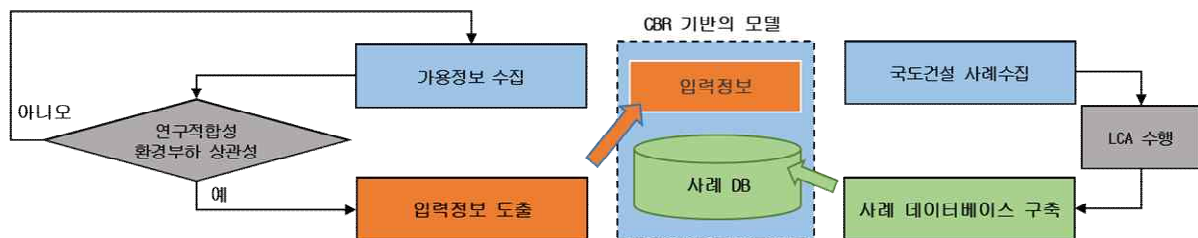


[그림 3-1-1] 도로부 환경부하량 산정 프레임워크

- CBR기반의 모델로 개발되는 기획단계 모델은 신규사례의 입력정보와 사례 DB의 속성정보 간의 유사도 평가를 통해 신규사례와 가장 유사한 사례의 환경부하량을 사례 DB에서 추출

하고 유사도의 순위에 따라 가중 평균하여 신규사례의 환경부하량을 추정함

- 설계단계 모델은 2가지 방법론을 혼용한 하이브리드 모델의 형태로 개발함. 현장여건에 따라 다양한 변수가 존재하여 작업물량 추정과정을 표준화하기 곤란한 토공은 기획단계 모델에서 사용하는 CBR 방법론을 동일하게 적용함
- 배수공과 포장공은 공종의 여러 형태 중 대표성을 갖는 표준단면을 선정한 후 이로부터 도출한 표준작업물량과 설계기준에서 제시하는 표준자원량을 활용하여 환경부하량을 추정토록 모델을 구성함
- 유지관리단계에서 적용될 환경부하량 추정 모델은 도로부의 유지보수 작업 중 대표성을 갖는 보수작업공종을 선정하고, 공용연수에 따른 보수횟수가 반영된 작업물량과 투입자원량으로부터 환경부하량을 산출하도록 계획함
- 본 연구를 위해 수집해야 하는 기초자료는 [그림 3-1-2]와 같이 크게 2가지로 구분할 수 있음. 하나는 각 사업수행단계에서 환경부하량을 추정하기 위한 모델에서 입력정보의 역할을 수행해야 하는 사업수행단계별 가용정보 목록이고, 다른 하나는 모델을 개발하는 과정에서 각종 통계분석에 활용하고 CBR 모델의 사례 DB로써 역할을 수행할 사례자료임



[그림 3-1-2] 기초자료의 수집절차 및 활용방안

(1) 기획단계의 가용정보

- 기획단계와 설계단계 모델에 입력정보 항목을 상이하게 구성하여 너무 많은 항목을 갖도록 계획하면 모델의 복잡성을 가중시키게 됨
- 설계단계는 기획단계보다 동일한 정보항목에 대하여 정밀도가 높아지고 기본설계가 완료됨으로써 도로의 노선이 확정되기 때문에 기획단계에서 확보할 수 없는 도로선형관련 정보를 가용할 수 있음
- 환경부하 평가모델에서 입력정보로 활용될 사업수행단계별 가용정보는 기존 문헌 연구를 통해 조사하고 연구의 적합성과 환경부하와의 상관성을 고려하여 입력정보로써 활용 가능한 정보를 도출함. (수정 두 번 띄우기)[표 3-1-1]은 기존 연구문헌에서 제시하고 있는 도로 기획단계의 가용정보 목록임

[표 3-1-1] 기존연구의 기획단계 가용정보 목록

연구자	가용정보 목록	비고
국토해양부(2011)	발주처, 공사유형, 차로수, 총도로폭, 총연장, 도로등급, 설계속도, 행정구역, 지역특성, 지형	11개
김선국(2000)	공사종류, 도로종류, 도로위치, 포장종류, 공기, 도로연장, 도로폭, 차로수	8개
곽수남(2007)	건설지역, 공사유형, 계약형태, 공기, 도로연장, 도로폭, 교량연장, 지하도연장, 터널연장	9개
건설교통부(1999)	도로연장, 도로폭, 왕복차로수, 포장종류	4개

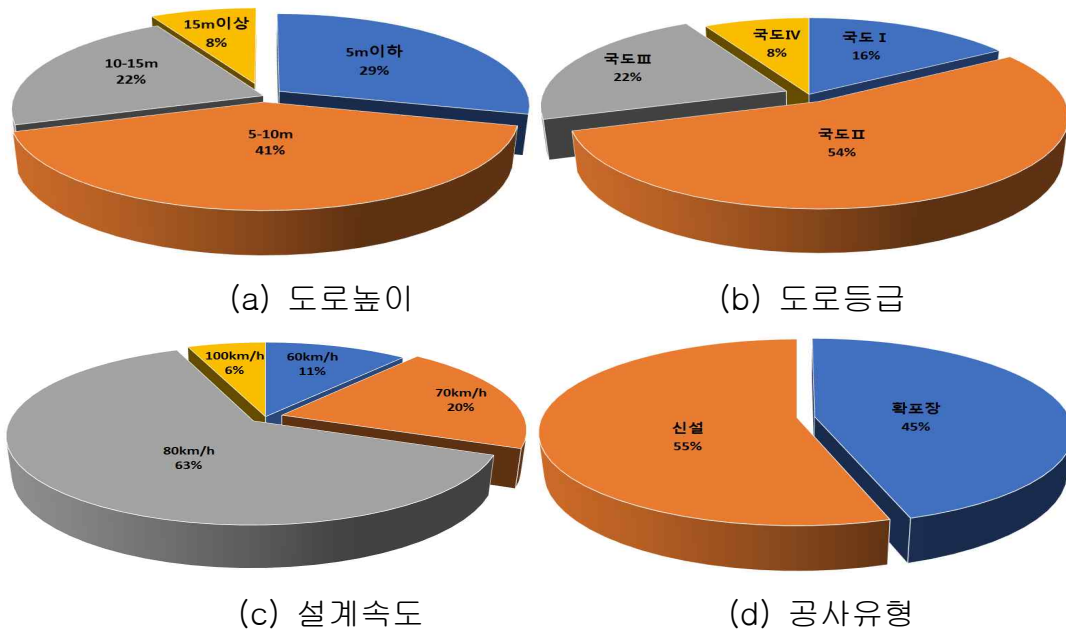
- 연구문헌의 고찰을 통해 나타난 정보 중 행정구역, 공사지역과 같이 동일한 항목을 나타내는 정보는 하나의 형태로 통합하고 본 연구의 범위에 부합하지 않는 교량연장, 지하도연장, 터널연장과 같은 정보는 제외하여 [표 3-1-2]와 같이 기획단계 가용정보 후보 목록을 도출함

[표 3-1-2] 기획단계 가용정보 후보목록

정보목록	세부 내용	비고
발주처	각 지방 국토관리청	
공사유형	신설, 확포장	
차로수	왕복 2차로, 4차로, 6차로, 8차로	
총도로폭	본선차로와 길어깨 등이 포함된 도로의 폭	
총연장	도로 본선부의 총연장	토공부연장
도로등급	국도Ⅰ, 국도Ⅱ, 국도Ⅲ, 국도Ⅳ	
설계속도	60km/h, 70km/h, 80km/h, 100km/h	
행정구역	국도가 건설되는 특별시, 광역시, 도	
지형	도심지역, 평야지역, 산간지역	
포장재료	아스팔트콘크리트, 시멘트콘크리트	
토공부면적	토공부연장 x 총도로폭	신규추가
도로높이	도로의 평균 높이	신규추가

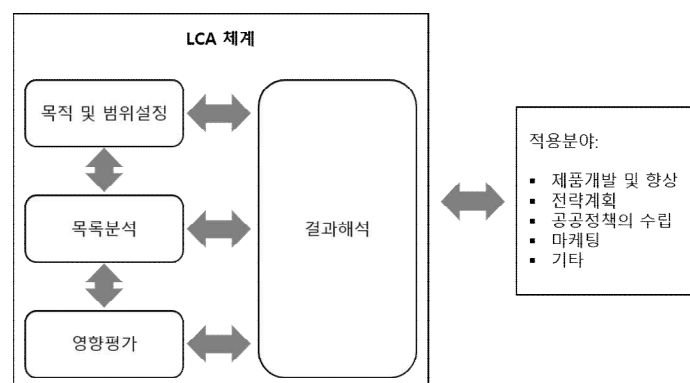
(2) 국도건설공사 사례

- 본 연구를 위해 수집하는 두번째 기초자료인 도로건설공사 사례는 국내에서 수행된 국도건설공사를 대상으로 234개를 수집하였으며, 그 중 100개를 분석대상으로 선정함
- 분석대상으로 선정된 100개의 사례에 대한 주요 특성별 분포는 [그림 3-1-3]과 같음



[그림 3-1-3] 수집된 사례의 특성

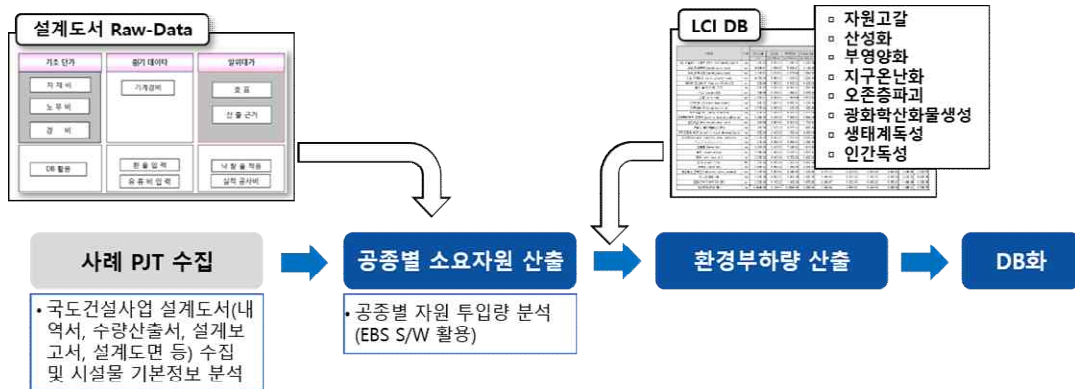
- 수집된 사례의 도로높이별 분포를 보면 최소 0.3m에서 최대 28m까지 다양하였으며 5~10m의 높이를 갖는 사례가 41%로서 가장 많은 분포를 나타냄. 5m이하와 10~15m의 도로 높이를 갖는 사례는 각각 29%와 22%를 나타냄
- 도로등급은 국도Ⅱ가 54%로 가장 많았으며 설계속도는 80km/h가 63%의 분포를 보임. 공사유형별 분포는 신설과 확포장이 각각 55%와 45%로 조사되어 기존도로의 확포장 사례보다 신설공사의 사례가 더 많이 수집된 것으로 나타남
- 수집된 국도건설공사 사례는 [그림 3-1-4]와 같이 LCA를 수행한 후 가용정보와 함께 사례 DB로 구축함



[그림 3-1-4] LCA 수행과정(ISO, 2006)

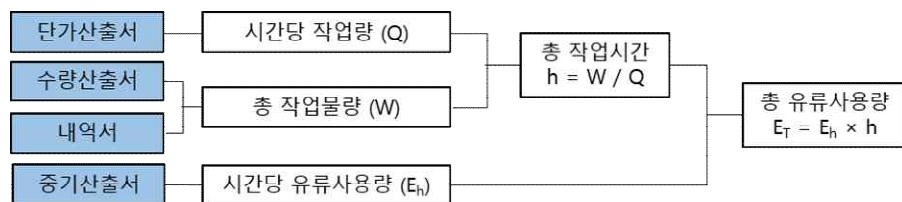
- 본 연구에서는 국가 LCI DB를 우선 적용하고 여기에서 누락된 자원에 대해서는 에코인벤트에서 제공하는 자료와 본 연구단에서 자체 개발한 DB를 활용함

- LCI DB를 활용할 경우 투입되는 자원과 에너지에 대한 수량을 파악한 후 기능단위로 환산하고 LCI DB에서 해당자원 또는 에너지의 기능단위별 환경부하량을 곱해주면 환경부하량을 산출할 수 있음. [그림 3-1-5]는 국도건설공사 사례의 LCA과정을 도식화하여 나타낸 것임



[그림 3-1-5] 국도건설공사 사례의 LCA를 통한 환경부하량 산출과정

- LCA를 통해 각 사례의 환경부하량을 산정하기 위해 설계도서의 분석을 수행함으로써 건설공사에 투입되는 자원과 각 자원의 투입량을 조사함
- 도로건설공사의 환경부하량을 산출하기 위해서는 투입되는 모든 자재와 그 투입량을 파악하여야 함. [그림 3-1-6]은 토공 중 흙깎기(토사)에 대한 자원량(경유소모량) 산출과정을 도식화하여 나타낸 것임



[그림 3-1-6] 흙깎기 작업의 경유 소비량 산출과정

- 투입되는 자재와 그 수량은 공사비 내역서와 일위대가표, 중기산출서, 수량산출서 등의 분석을 통해서 수집할 수 있음.

다. 환경부하 영향요인 및 특성 분석

(1) 특성분석

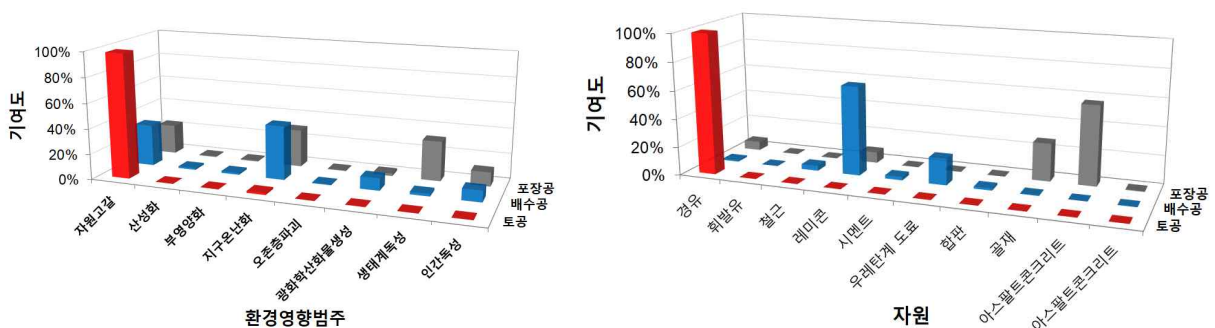
- 8대 영향범주에 대한 에코포인트(eco-point)의 분포를 보면 [표 3-1-3]과 같이 자원고갈이 36.5%로써 가장 크게 나타났으며, 지구온난화와 생태독성이 각각 31.6%와 15.9%를 보임
- 8개 환경영향범주 중 자원고갈과 지구온난화의 영향은 전체 에코포인트의 68.1%에 달함

[표 3-1-3] 수집된 사례의 LCA결과

영향범주	에코포인트(eco-point)	기여도(%)
자원고갈	1.88718E+03	36.45
산성화	4.72888E+01	0.91
부영양화	5.73090E+01	1.11
지구온난화	1.63465E+03	31.58
오존층파괴	2.19274E+01	0.42
광화학산화물생성	2.62033E+02	5.06
생태계독성	8.21723E+02	15.87
인간독성	4.44924E+02	8.59
합계	5.17703E+03	100.00

(2) 영향요인

- 전체 에코포인트의 85.0%를 발생시키는 토공, 배수공, 포장공에서 사용하는 주요 자재의 환경부하에 대한 기여도를 분석하여 [그림 3-1-7]에 나타냄
- [그림 3-1-7]의 (a)에 의하면 토공은 자원고갈의 영향이 가장 크게 나타나며 [그림 3-1-7]의 (b)를 보면 토공의 주요 영향인자는 경유임. 즉, 자원고갈은 도로건설공사에 사용되는 장비에서 소모되는 에너지(경유)의 영향임



(a) 환경영향범주별 기여도

(b) 주요 자재의 기여도

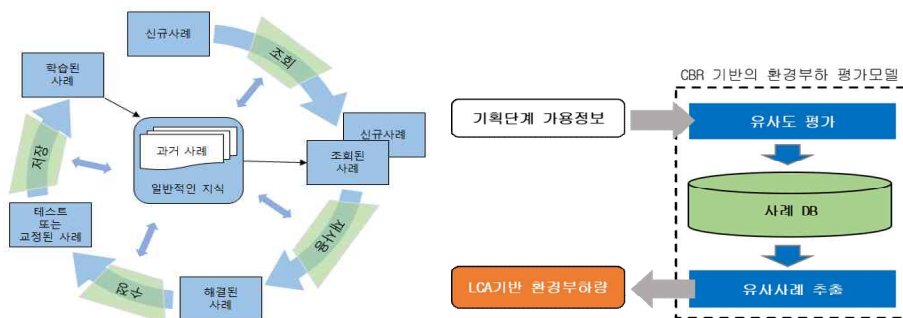
[그림 3-1-7] 환경부하 특성 영향요인

- 지구온난화에 가장 큰 영향을 주고 있는 공종은 배수공과 포장공이며 이 두 가지 공종의 주요 영향인자는 레미콘과 아스팔트콘크리트 그리고 골재임
- 따라서 [그림 3-1-7]에서 전체 에코포인트의 31.6%를 발생시키는 지구온난화의 주된 원인은 레미콘, 아스팔트콘크리트, 골재임
- 생태계독성에 가장 영향이 큰 공종은 포장공이며, 포장공에서 환경부하의 주된 요인은 아스팔트콘크리트와 골재임. 즉, 도로건설공사를 통해서 발생하는 환경부하 중 생태계독성의 주요 영향인자는 아스팔트콘크리트와 골재임

2. 기획단계 환경부하 평가모델

가. 기획단계 환경부하 평가모델의 개요

- 도로건설공사의 기획단계에서 가용할 수 있는 정보만을 활용하여 LCA기반의 환경부하량을 추정할 수 있는 모델을 개발하기 위하여 과거의 유사사례로부터 해결책을 도출하는 CBR방법론을 적용함
- CBR은 인간의 사고과정에서 새로운 문제를 해결하기 위하여 과거에 사용되었던 해결책을 활용한다는 점에서 착안하여 개발된 방법론임



(a) CBR의 추론 과정

(b) 기획단계 모델의 개요

[그림 3-1-8] CBR의 추론 과정과 기획단계 모델의 개요

나. 사례 DB구축

- 앞절에서 [그림 3-1-5]의 과정을 통해 수집된 사례의 환경부하량을 산출하고 [표 3-1-2]에서 선정한 입력정보 항목과 함께 사례 DB를 구축함
- 사례 DB를 구축하기 위하여 [그림 3-1-9]와 같은 양식을 개발함. 각 속성정보 항목은 설계 도서를 통해 조사하고 환경부하량은 LCA를 수행하여 산출된 값을 사용함

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	사례	속성정보												환경부하량
2		행정구역	성토고	도로등급	지형	설계속도	공사유형	토공부연장	토공부면적	포장두께	차로수	포장재료	총도로폭	
3														

[그림 3-1-9] 사례 DB 양식

- 본 연구에서 LCA를 수행하여 산출한 환경부하량은 자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물생성, 생태계독성, 인간독성의 8개 환경영향범주에 대한 특성화값과 가중화값임
- 본 연구에서는 LCA를 통해 정량화된 8개 환경영향범주의 잠재적 환경영향을 [표 3-1-4]에 나타난 한국형환경영향지수를 활용하여 단일 점수화한 에코포인트를 산정함

[표 3-1-4] 한국형 환경영향지수

환경영향범주		정규화계수	가중화	
구분	단위		계수	단위
자원고갈	1/yr	24.9	0.231	에코포인트 (eco-point)
산성화	kg SO ₂ -eq	39.8	0.036	
부영양화	kg PO ₄ -eq	13.1	0.038	
지구온난화	kg CO ₂ -eq	5,530	0.288	
오존층파괴	kg CFC11-eq	0.0407	0.292	
광화학산화물생성	kg C ₂ H ₄ -eq	10.3	0.065	
생태계독성	kg 1,4 DCB-eq	1.63	0.216	
인간독성	kg 1,4 DCB-eq	1,480	0.105	

다. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하량 평가모델 개발

(1) 입력정보와 가중치

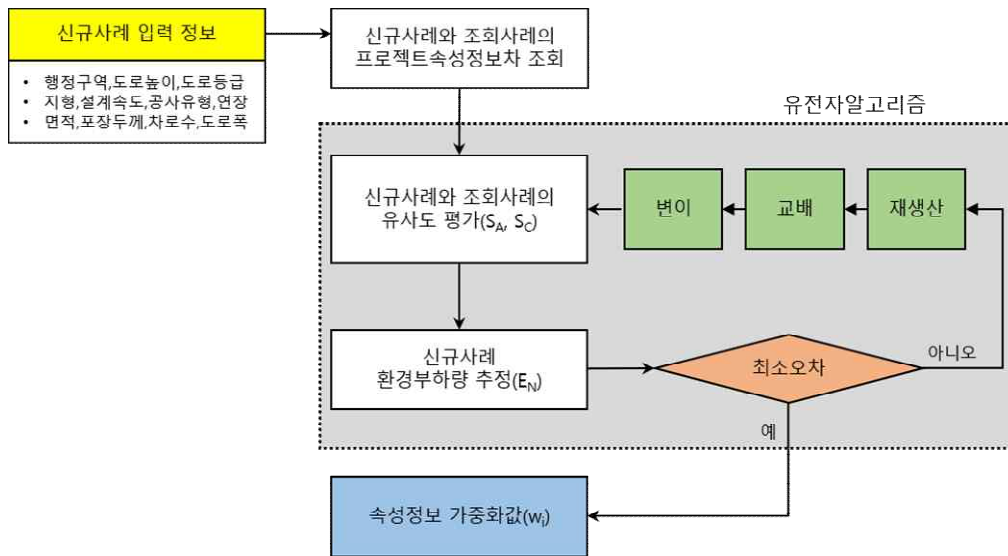
- 기획단계 모델에 적용한 CBR 기반 모델에서 유사사례의 조회를 위해 사용한 방법은 최근접 추출방법(Nearest neighbor retrieval method)임.
- CBR모델의 입력정보는 다중회귀분석을 통해 도출한 행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 설계속도를 적용하고자 하였으나, 기초연구단계에서 모델구축 후 검증을 수행한 결과 약 30%의 큰 오차가 발생함
- 모델의 정확도를 높이기 위하여 [표 3-1-5]에 나타난 12개의 가용정보를 모두 입력정보로 사용하고 유전자알고리즘(Genetic algorithm, GA)을 도입함

[표 3-1-5] 기획단계 모델의 입력정보

정보목록	세부 내용
발주처	각 지방 국토관리청
공사유형	신설, 확포장
차로수	왕복 2차로, 4차로, 6차로, 8차로
총도로폭	본선차로와 길어깨 등이 포함된 도로의 폭
토공부연장	도로 토공부의 연장(총연장-교량연장-터널연장)
도로등급	국도 I, 국도 II, 국도 III, 국도 IV
설계속도	60km/h, 70km/h, 80km/h, 100km/h
행정구역	국도가 건설되는 특별시, 광역시, 도
지형	도심지역, 평야지역, 산간지역
포장재료	아스팔트콘크리트, 시멘트콘크리트
토공부면적	토공부연장 x 총도로폭
도로높이	도로의 평균 높이

- GA는 자연진화의 법칙인 적자생존과 자연도태의 원리에 의해 최적의 해를 점진적으로 개선해 나가는 방법론으로써 집단의 해를 추출하는데 유리한 방법론임(임소연, 2010)

- GA를 적용하여 모델에서의 오차를 최소화하는(목적함수를 만족하는) 속성정보가중치를 산정하는 과정(학습)은 [그림 3-1-10]과 같으며 GA 범용프로그램인 EVOLVER(ver 7.5)를 사용함



[그림 3-1-10] GA를 활용한 속성정보가중치 산정과정

- GA의 매개변수는 De Jong(1975)이 제안한 최적값인 개체군 50~100, 교배율 0.6이하를 참조하여 반복실험을 통해 개체군 100, 교배율 0.5, 변이율 0.2를 선정함
- 목적함수값이 10,000세대동안 0.01%의 범위에서 변화가 없을 경우 연산을 정지하도록 설정함
- [그림 3-1-10]와 같은 학습과정을 통해 도출한 속성정보가중치는 다음 [표 3-1-6]과 같음

[표 3-1-6] 속성정보별 가중치

속성정보	가중치	속성정보	가중치	속성정보	가중치
행정구역	0.010710596	설계속도	0.178388417	포장두께	0.039117788
도로높이	0.243894868	공사유형	0.000584213	차로수	0
도로등급	0.019035346	토공부연장	0.241097893	포장재료	0
지형	0.066170006	토공부면적	0.125346202	총도로폭	0.075654672

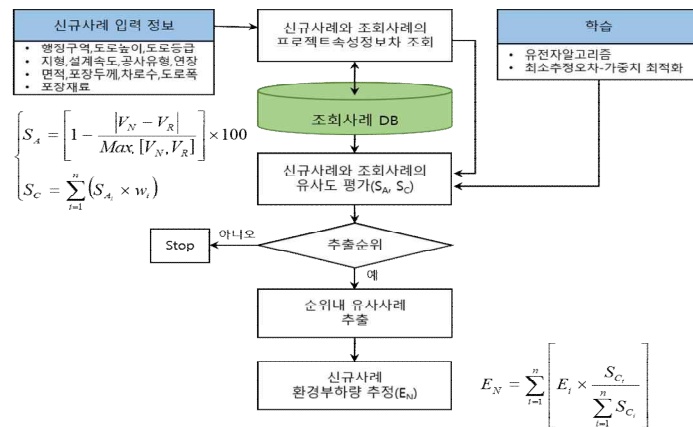
(2) 유사도 평가와 환경부하량 산정

- 최종 선정된 기획단계 모델의 입력정보는 행정구역, 공사유형, 지형과 같이 입력값을 정량적으로 나타낼 수 없는 정성변수와 도로높이, 토공부연장, 총도로폭과 같이 정량적인 값으로 나타낼 수 있는 변수로 구분할 수 있음
- CBR에서 첫 번째 단계인 신규사례와 조회사례의 속성정보에 대한 유사도 평가는 일정한 척도를 통해 정량적인 값으로 나타내야하기 때문에 입력정보를 정성변수와 정량변수로 구분한 후 서로 다른 방법을 적용하여 수행하며, 모든 속성정보의 유사도는 상대적 비교가 용이하도록 0에서 100까지의 범위를 갖도록 구성함

- 정성변수는 문자열로 구성된 정보로써 신규사례와 조희사례에 대한 속성정보간의 차이를 정량적으로 표현하는 것이 불가능하기 때문에 두 정보가 일치하는 경우에만 100을 부여하고 서로 상이할 경우에는 0을 부여함
- 속성정보가 정량적인 값으로 표현되는 변수는 식 (3.1)와 같이 신규사례와 조희사례간 속성정보의 이격율로서 유사도를 평가함

$$S_{a_i} = \left| \frac{\text{조희사례 속성정보} - \text{신규사례 속성정보}}{\text{신규사례 속성정보}} \right| \quad (\text{식 } 3.1)$$

- CBR기반의 기획단계 모델에 대한 알고리즘은 [그림 3-1-11]과 같음



[그림 3-1-11] CBR기반 기획단계 환경부하 평가모델

라. 평가모델의 검증

(1) 검증사례를 통한 모델의 평가

- 모델을 검증하기 위하여 앞서 구축한 사례 DB에서 20개를 임의로 제외한 후 80개를 CBR 모델에서 유사사례의 추출을 위한 조희사례로 사용하고 10개는 GA를 통한 학습에 사용함
- 나머지 10개의 사례를 [그림 3-1-11]의 기획단계 모델에 적용하여 모델의 유효성을 평가함. [표 3-1-7]에 10개 사례에 대한 CBR 기반 모델의 추정값과 오차율을 나타냄

[표 3-1-7] 기획단계 모델의 검증 결과

검증사례	환경부하량(eco-point)		오차율 (%)
	LCA	모델산정	
1	7.2928E+03	7.3702E+03	1.06
2	7.0489E+03	7.8405E+03	11.23
3	5.6171E+03	5.2767E+03	-6.06
4	4.0128E+03	3.6321E+03	-9.49
5	5.8830E+04	8.0359E+03	36.59
6	6.7198E+03	5.4273E+03	-19.23
7	4.4979E+03	5.5511E+03	23.41
8	1.0680E+03	1.6929E+03	58.51
9	3.6672E+03	2.5750E+03	-29.78
10	8.3529E+03	9.0665E+03	8.54

- 10개의 사례를 모델에 적용하여 검증한 결과 - 29.78%~58.51%의 오차가 발생하여 20.39%의 절대오차율 평균을 나타냄. 표준편차는 17.44%임
- 10개의 사례 중 5개의 사례는 10%내외의 양호한 절대오차율이 도출되었으나 5개의 사례는 20%이상, 최대 58.51%의 절대오차율을 보여 모델의 정확도 개선을 위한 방법론의 도입이 필요할 것으로 판단됨
- 가장 작은 오차가 발생한 1번사례의 경우 유사도점수 평균이 84.3으로 조사되었으며, 가장 큰 오차가 발생한 8번사례의 경우 유사도점수 평균이 70.1을 보임

[표 3-1-8] 검증사례의 유사도평가 결과

구 분	추출순위별 유사도 점수					절대오차율 (%)
	1	2	3	4	5	
1번 검증사례	85.3	85.2	84.9	84.1	82.2	1.06
8번 검증사례	77.8	74.9	67.9	66.0	63.9	58.51

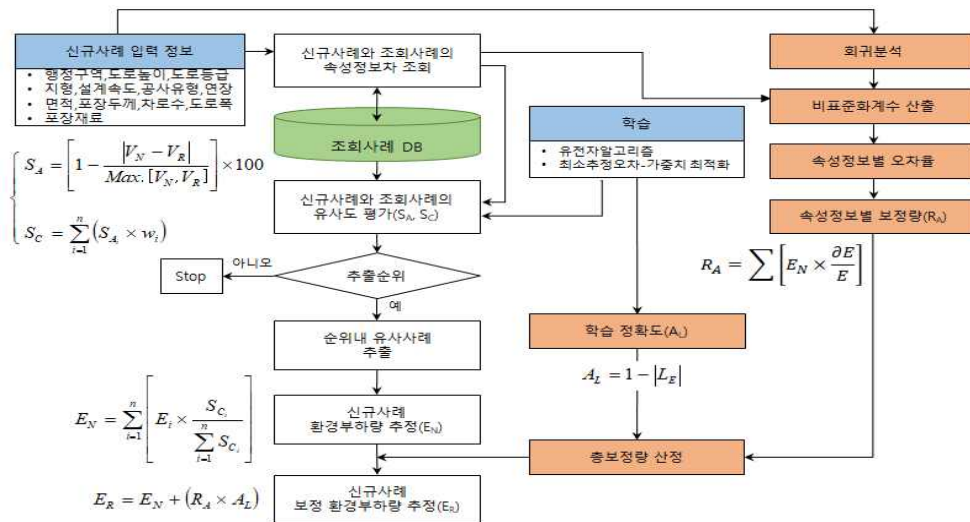
- 유사도점수가 낮게 평가되었다는 것은 신규사례와 조회사례의 속성정보간에 유사성이 낮다는 것을 의미함
- 이를 해결하기 위해서는 조회사례 DB의 확충을 통해 다양성을 확보하여야 하나 사례를 수집하고 LCA를 수행하여 환경부하량을 산출하는 작업은 많은 시간과 노력을 필요로함. 따라서 본 연구에서는 조회사례 DB의 확충 없이 속성정보의 차이에 의해 발생하는 오차를 보정할 수 있는 방법론을 개발하여 모델에 반영하고자 함

(2) 오차의 보정을 통한 모델의 개선

- 도로건설공사에는 속성정보와 환경부하량의 관계에 불확실성이 다수 존재함.
- 건설공사의 규모가 커짐에 따라 이러한 불확실성에 의한 오차도 커질 것으로 판단되나 회귀방정식의 오차량에 의한 보정방법은 이러한 오차를 반영하기 어려움

- 본 연구에서는 회귀모델에서 각 독립변수에 의해 발생한 종속변수의 오차율은 CBR 모델에서 추정된 환경부하량에서도 유사할 것이라는 가정하에 회귀방정식의 오차율에 의한 보정방법을 제안함
- 속성정보차에 의한 추출사례의 보정량(R_A)은 식 (3.2)와 같이 유사사례의 환경부하량에 회귀방정식으로부터 산출한 각 속성정보의 오차율을 적용하여 산정함

$$R_A = \sum \left(E_N \times \frac{\partial E}{E} \right) \quad (\text{식 } 3.2)$$



[그림 3-1-12] 개선된 CBR 기반 환경부하 평가모델

- 오차보정 모델이 적용된 [그림 3-1-12]에 [표 3-1-7]와 동일한 검증사례를 적용한 결과 - 19.64%~23.21%의 오차율이 조사되어 11.84%의 절대오차율 평균을 나타냄
- 오차를 보정하기 전 20.39% 보다 8.55%P의 오차율이 감소하는 효과를 보임. 표준편차 또한 17.44%에서 8.12%로 9.32%P가 감소하여 모델의 정확도에 대한 신뢰도가 향상됨

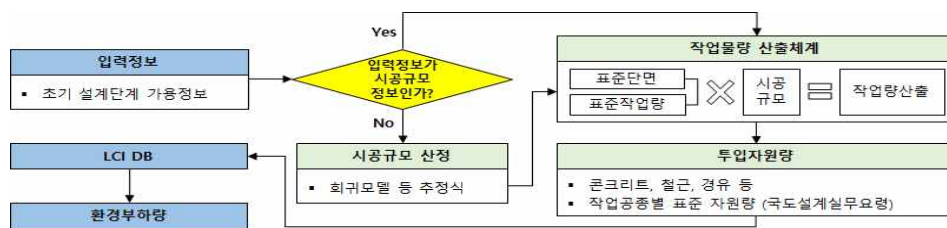
[표 3-1-9] 개선된 CBR 기반 기획단계 모델의 검증 결과

검증사례	환경부하량(eco-point)		오차율(%)	
	LCA	개선모델	기존모델	개선모델
1	7.2928E+03	6.7990E+03	1.06	-6.77
2	7.0489E+03	7.7978E+03	11.23	10.62
3	5.6171E+03	5.7861E+03	-6.06	3.01
4	4.0128E+03	4.2383E+03	-9.49	5.62
5	5.8830E+04	7.1265E+03	36.59	21.14
6	6.7198E+03	6.2980E+03	-19.23	-6.28
7	4.4979E+03	5.5419E+03	23.41	23.21
8	1.0680E+03	8.5829E+02	58.51	-19.64
9	3.6672E+03	3.5706E+03	-29.78	-2.63
10	8.3529E+03	9.9787E+03	8.54	19.46
절대오차율 평균			20.39	11.84
표준편차			17.44	8.12

3. 설계단계 환경부하 평가모델

가. 설계단계 환경부하 평가모델의 개요

- 본 연구에서 정의하는 설계단계는 기본설계가 완료되어 도로의 노선이 확정되고 공사물량에 대한 대략적인 정보를 파악할 수 있는 실시설계 초기단계를 의미함
- 따라서 LCA를 직접적으로 수행하기는 어려우나 LCA에 필요한 자원량과 관련한 정보를 일부 파악할 수 있기 때문에 기획단계 모델보다 더 정밀한 모델의 개발을 목표로 함
- 본 연구에서는 기획단계에서 사용된 입력정보를 최대한 활용하고 실시설계 초기단계에서 확보 가능한 노선관련 정보를 추가하는 형태로 모델구성을 계획함



[그림 3-1-13] 표준단면의 작업물량에 기반한 환경부하량 평가모델 개요

나. 환경부하 특성분석

(1) 대표공종

- 교량과 터널을 제외한 도로부의 환경부하량은 [표 3-1-10]와 같이 토공, 배수공, 포장공에 의해 85%를 설명할 수 있음
- 또한 이 공종들은 도로부를 대표하는 작업공종으로 볼 수 있으며, 가용정보를 통해 작업물량을 추정하는 것이 가능할 것으로 예상되어 토공, 배수공, 포장공을 설계단계 모델에 적용할 대표공종으로 선정함

[표 3-1-10] 공종별 환경부하량 분포

공종		에코포인트(eco-point)	기여도(%)	
			공종	누계
대표공종	포장공	1.9939E+03	38.33	38.33
	배수공	1.7518E+03	33.68	72.01
	토공	6.7636E+02	13.00	85.02
마이너공종	부대공	5.4052E+02	10.39	91.82
	비탈면안정공	1.8415E+02	3.54	95.41
	교통안전시설공	5.4650E+01	1.05	100.0

(2) 토공의 환경부하 특성

- 도로부의 토공은 흙깎기, 흙쌓기, 흙운반이 주요 세부작업공종으로 구성되어 있음
- 사례 DB로부터 토공을 구성하고 있는 모든 세부작업공종의 환경부하량을 도출한 후 토공의

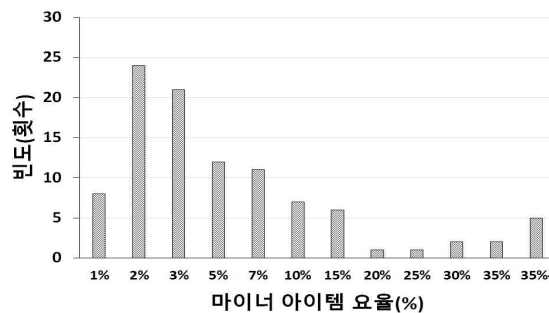
환경부하량에 대한 기여도를 분석함

○ [표 3-1-11]은 토공의 세부작업공종별 환경부하량 분포임

[표 3-1-11] 토공 세부작업공종의 환경부하량 분포

공 종		에코포인트(eco-point)	기여도(%)	
			공종	누계
주요아이템	유용토운반	2.1685E+02	31.50	31.50
	순쌓기운반	1.6708E+02	24.27	55.78
	흙깎기	1.6668E+02	24.21	79.99
	흙쌓기	6.9534E+01	10.10	90.09
	사토	5.0750E+01	7.37	97.47
마이너아이템	기타	1.7436E+01	2.53	100.0

- 유용토운반, 순쌓기운반, 흙깎기, 흙쌓기, 사토가 토공에서 발생하는 환경부하의 97.47%를 차지하고 있음. 이 들 세부작업공종을 토공의 주요아이템으로 선정함
- 100개의 사례 DB에서 토공의 주요아이템을 제외한 나머지공종(마이너아이템)의 비율을 분석한 결과 [그림 3-1-14]와 같이 2.0%~3.0%의 비율을 나타내는 사례가 45개로 가장 많음
- 10%이내의 마이너아이템 비율을 나타내는 사례는 총 85개임. 즉, 국토건설공사의 토공에서 대표공종을 제외한 마이너아이템의 비율을 10%이하의 환경부하를 발생시키고 있는 것으로 조사됨



[그림 3-1-14] 토공의 마이너아이템 분포

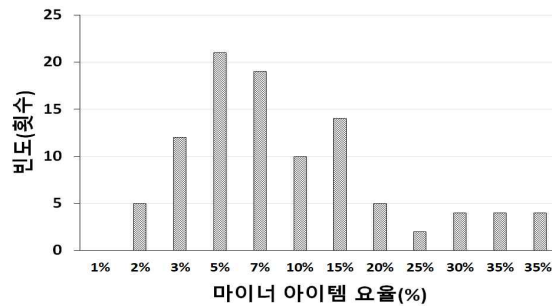
(3) 배수공의 환경부하 특성

- 측구공, 암거공, 용수개거, 횡배수관공, 종배수관공은 배수공에서 발생하는 환경부하의 90.59%를 발생시키고 있는 세부작업공종으로써 배수공의 주요아이템으로 선정함
- 100개의 사례 DB에서 배수공의 주요아이템을 제외한 마이너아이템의 비율을 분석한 결과 [그림 3-1-14]와 같이 52개의 사례가 3.0%~7.0%의 비율을 나타냈으며, 30%이상의 마이너아이템 비율을 보이는 사례도 12개에 달함
- 30%이상의 마이너아이템 비율을 나타낸 사례는 석축쌓기, 수로이설, 옹벽설치 등과 같은 특

이공종이 편성되기도 하였지만 횡배수관과 같은 일반 배수시설의 수량이 과다하게 반영된 경우도 있는 것으로 조사됨. 전체적으로 배수공의 마이너아이템 비율은 2.0%~65.0%로써 편차가 크게 나타남

[표 3-1-12] 배수공 세부작업공종의 환경부하량 분포

공 종		에코포인트(eco-point)	기여도(%)	
			공종	누계
주요아이템	측구공	8.5481E+02	48.11	48.11
	암거공	5.1092E+02	28.75	76.86
	용수개거	1.1219E+02	6.31	83.17
	횡배수관공	9.7016E+01	5.46	88.63
	종배수관공	3.4699E+01	1.95	90.59
마이너아이템	기타	1.6729E+01	9.41	100.0



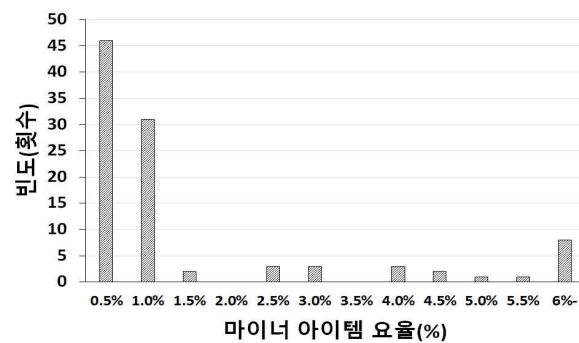
[그림 3-1-15] 배수공의 마이너아이템 분포

(4) 포장공의 환경부하 특성

- 포장공은 도로부에서 발생하는 환경부하량 중 가장 많은 38.33%의 환경부하를 발생시키며, 이 중 약 93%가 포장공의 세부작업공종을 수행할 때 투입되는 자재에 의해 발생함
- 포장공의 세부작업공종이 환경부하에 미치는 영향을 분석한 결과 [표 3-1-13]과 같이 아스팔트콘크리트 기층포설이 가장 많은 30.86%의 환경부하를 발생시킴
- 아스팔트콘크리트 표층포설은 17.37%, 아스팔트콘크리트 중간층포설은 15.25%의 환경부하가 발생함. 이들 아스팔트콘크리트의 포설작업과 여기에 투입되는 자재에 의해 발생하는 환경부하는 전체 포장공 환경부하량의 63.49%에 달함
- 아스팔트콘크리트와 골재포설작업, 부체도로 등의 콘크리트 포장작업으로 인해 발생하는 환경부하는 포장공 전체 부하량의 99.18%를 설명할 수 있음. 이들 세부작업공종을 포장공의 주요아이템으로 선정함
- 토공 및 배수공과 동일한 방법으로 포장공의 마이너아이템 비율을 분석하여 [그림 3-1-16]에 제시함

[표 3-1-13] 배수공 세부작업공종의 환경부하량 분포

공 종		에코포인트(eco-point)	기여도(%)	
			공종	누계
주요아이템	아스콘기층포설	6.3066E+02	30.86	30.86
	아스콘표층포설	3.5505E+02	17.37	48.24
	동상방지층포설	3.4442E+02	16.85	65.09
	아스콘중간층포설	3.1164E+02	15.25	80.34
	보조기층포설	2.2219E+02	10.87	91.21
	콘크리트포장	1.6272E+02	7.96	99.18
마이너아이템	기타	1.6805E+01	0.82	100.0



[그림 3-1-16] 포장공의 마이너아이템 분포

다. CBR+표준물량 기반 환경부하량 평가모델 개발

- 당초 설계단계 환경부하량 평가 모델은 대표공종의 표준물량에 기반한 모델로 계획함
- 대표공종의 표준물량을 산출하여 DB화하기 위해서는 각 공종을 대표하는 표준단면을 선정하여야 함
- 그러나 도로부 토공을 구성하는 흙깎기, 흙쌓기 등의 작업은 지반조사와 같은 현장여건에 따라 작업방법과 수량이 상이하게 나타나기 때문에 그 단면을 표준화하고 작업량을 DB화하는 것은 불가능함
- 이에 토공에는 기획단계 모델에서 11.84%의 절대오차를 보여 비교적 양호한 결과를 도출하였던 CBR 방법론을 도입하여 [그림 3-1-17]와 같이 하이브리드 모델을 구축하는 것으로 계획을 변경함



[그림 3-1-17] 설계단계 하이브리드 모델의 개요

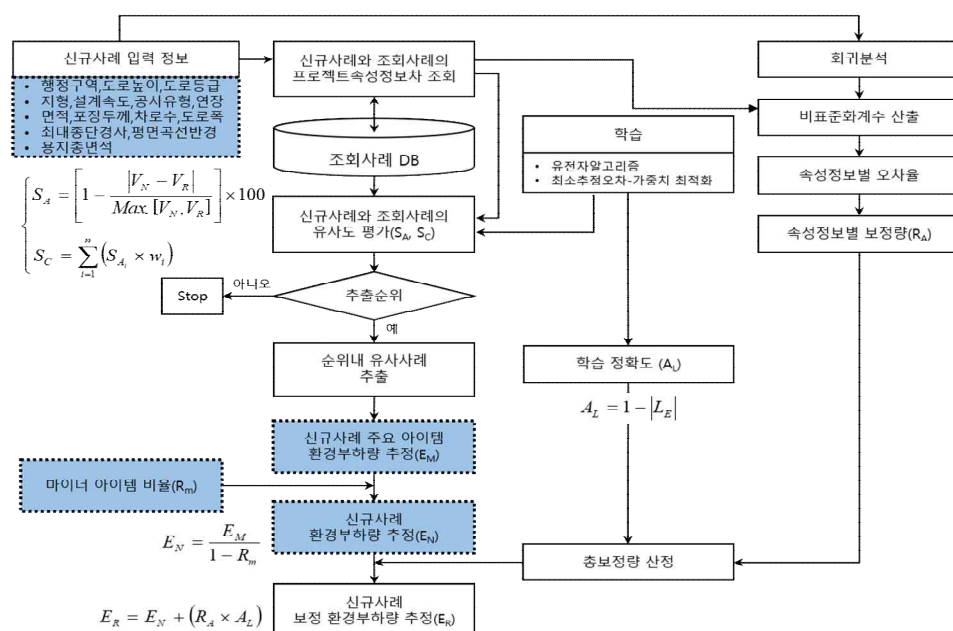
(1) 토공 모델

- 토공 모델은 기획단계에서 사용한 CBR방법론을 동일하게 적용함. 다만 설계단계에는 기본설계가 완료되어 도로의 노선이 확정되기 때문에 선형과 관련한 정보를 확보할 수 있음
- 또한 기획단계에서 사용된 정보항목의 내용이 더욱 정밀해지기 때문에 이를 활용하여 추정값 정확도를 향상시킬 수 있음
- 설계단계에서 환경부하량을 평가하기 위한 토공모델의 입력정보는 [표 3-1-14]과 같이 기획단계에서 적용한 12개의 입력정보 항목에 설계단계에서 확보할 수 있는 3개의 도로선형 정보를 추가함

[표 3-1-14] 설계단계 토공 모델의 입력정보

구분	설계단계 입력정보	
	기획단계 입력정보	도로선형 정보
정보목록	행정구역, 공사유형, 차로수 도로폭, 토공부연장, 토공부면적 도로등급, 설계속도, 지형 포장두께, 포장재료, 도로높이	평면곡선반경 최대종단경사 용지면적

- 설계단계의 CBR 기반 토공 모델에서 최종 추정하는 환경부하량은 다른 대표공종(배수공, 포장공) 모델과의 알고리즘 표준화를 위해 [그림 3-1-18]과 같이 토공 주요아이템의 환경부하량으로 설정함
- CBR 기반 모델로부터 추정한 주요아이템의 환경부하량에 토공의 마이너아이템 비율을 적용하여 전체 토공의 환경부하량을 추정함



[그림 3-1-18] CBR 기반 토공의 환경부하량 평가모델

- 모델에서 발생하는 오차를 감소시키기 위해 GA를 통해 도출하여 유사도 평가과정에 적용한 속성정보가중치는 모델의 입력정보와 최종 추정되는 목표값이 변경되었기 때문에 새로운 학습을 통해 설계단계 모델 구성에 맞게 다시 도출하였으며 [표 3-1-15]에 나타냄

[표 3-1-15] 설계단계 CBR 기반 토공 모델의 속성정보별 가중치

속성정보	가중치	속성정보	가중치	속성정보	가중치
행정구역	0.042104394	설계속도	0.039172652	포장두께	0.031481163
도로높이	0.136949767	공사유형	0.019526684	차로수	0.073398997
도로등급	0.055434824	토공부연장	0.116646782	포장재료	0
지형	0.104517631	토공부면적	0.040002078	총도로폭	0.103262281
평면곡선반경	0.032996037	최대종단경사	0.063144635	용지면적	0.141362076

(2) 배수공 모델

- 배수공은 도로에 배수시설물을 설치하기 위한 작업공종으로서 도로면의 물을 배수시켜 도로의 안전을 도모하고 도로 이외의 지역에 흐르는 유출수를 배수시키는 역할을 수행함(송주일 외 3인, 2011). 따라서 시설물의 규모와 작업수량 등은 도로의 특성 보다는 수리계산 결과에 의해 결정됨
- 그러나 대부분의 배수시설은 도로내부 혹은 그 이웃한 곳에 종방향 또는 횡방향으로 설치되는 경우가 많기 때문에 도로의 연장, 폭원과 같은 제원정보와 높은 상관성을 보임
- 따라서 도로의 제원정보 등을 포함하고 있는 [표 3-1-14]의 토공 모델에 대한 입력정보를 활용하여 배수시설물의 작업물량을 추정하는 것이 가능할 것으로 판단됨
- [표 3-1-14]의 입력정보를 활용하여 배수시설의 시공규모를 결정하는 방법은 입력정보를 독립변수로 시공규모를 종속변수로 하는 다중회귀모델을 수립하여 적용함
- 회귀모델의 유의성을 확인하기 위해 배수공의 주요아이템을 대상으로 다중회귀분석을 수행한 결과 [표 3-1-16]과 같은 결과를 보임

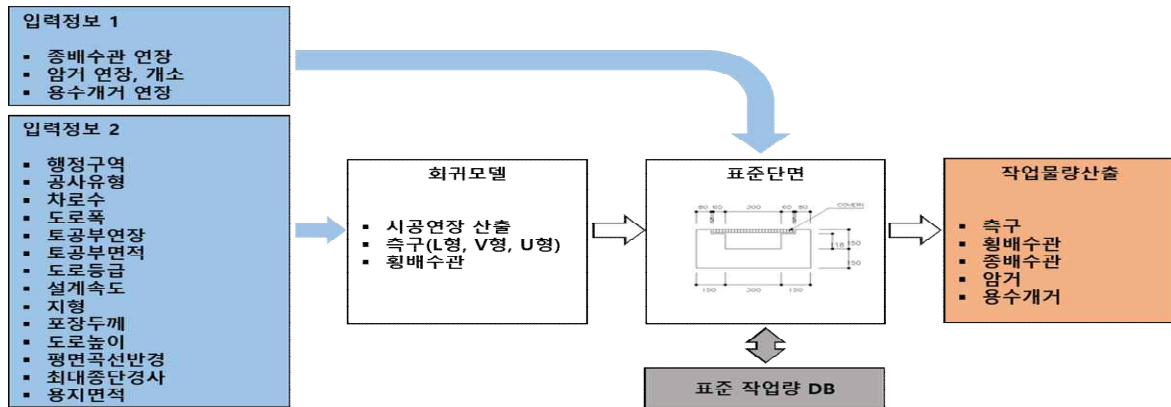
[표 3-1-16] 배수공 주요아이템의 다중회귀분석 결과

구분		R	R2	수정R2	F	유의 확률
측구	L형측구	0.938	0.881	0.806	11.738	0.000
	V형측구	0.945	0.893	0.825	13.237	0.000
	U형측구	0.831	0.691	0.484	3.347	0.000
횡배수관		0.895	0.800	0.671	6.190	0.000
종배수관		0.705	0.497	0.161	1.480	0.150
압거		0.919	0.845	0.420	1.988	0.159
용수개거		0.901	0.812	-0.013	0.984	0.568

- 측구와 횡배수관은 수정결정계수가 0.484~0.825를 나타냈으며 F값 또한 3.347~13.237을 보

여 비교적 설명력이 우수한 모델이 도출됨

- 측구(L형, V형, U형)와 횡배수관은 [표 3-1-16]의 입력정보를 활용하여 회귀모델로 부터 시공규모를 추정토록하고, 종배수관, 암거, 용수개거는 기본설계자료를 활용하거나 사용자가 경험적으로 직접 입력토록 [그림 3-1-19]와 같이 작업물량산출체계를 구성함



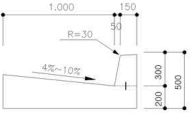
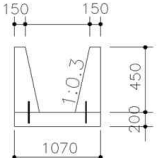
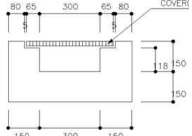
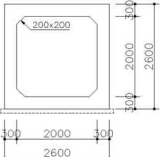
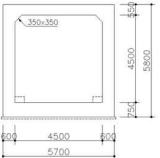
[그림 3-1-19] 배수공의 작업물량산출체계 개요도

- 작업물량산출체계에서 시공규모 추정을 위한 회귀모델의 비표준화계수는 [표 3-1-17]과 같음

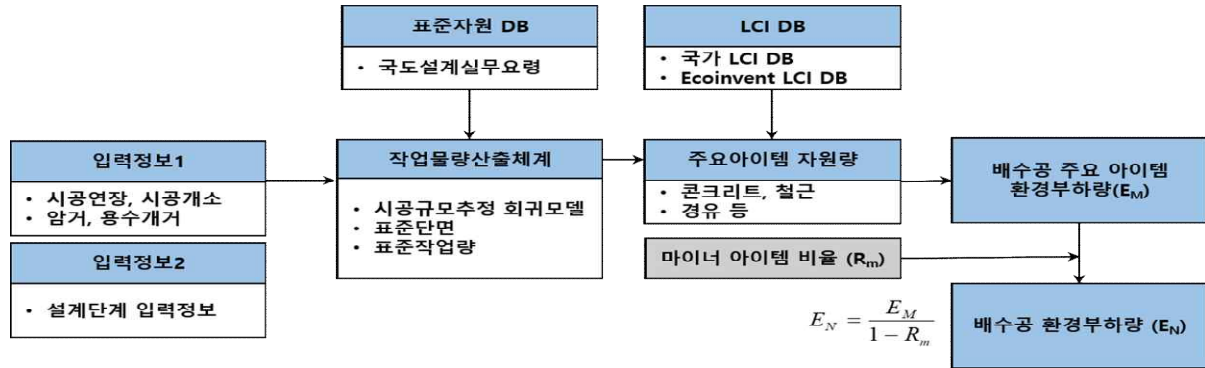
[표 3-1-17] 배수공 시공규모 추정을 위한 비표준화계수 목록

입력변수 (독립변수)		비표준화계수			
		L형측구	V형측구	U형측구	횡배수관
상수		25215.614	27298.109	-5269.695	2319.328
행정 구역	경기	3232.424	1063.611	1548.698	-190.241
	충남	-885.741	823.399	163.183	-611.275
	충북	5550.004	1974.210	-471.924	-214.174
	전남	9572.976	95.253	485.630	-422.104
	전북	991.048	40.469	-382.566	-734.360
	경남	-1885.449	704.392	268.590	-637.180
	제주	-6273.368	3533.822	5.028	-1591.358
도로높이		-16.436	6.015	170.028	27.398
도로 등급	국도 I	11503.077	3987.528	-754.818	709.618
	국도 II	4385.482	1841.658	-746.642	362.157
	국도 III	10234.950	3164.634	565.506	622.292
지형(산간)		4178.558	2705.004	-141.509	124.324
설계속도		-1.632	-200.761	32.369	-16.359
공사유형(신설)		-2974.294	-201.836	-466.160	-382.485
토공부연장		-0.186	-0.503	-0.004	-0.040
토공부면적		0.113	0.074	0.009	0.011
포장두께		-122.687	-90.763	5.783	13.700
차로수		5843.591	3810.342	130.289	346.769
도로폭		-2337.412	-1278.940	-22.547	-159.048
평면곡선반경		9.388	5.723	2.538	0.577
최대종단경사		-136491.714	-78497.283	25452.480	-4446.012
용지면적		0.013	0.007	0.001	0.001

[표 3-1-18] 배수공 주요아이템의 표준단면

구분		구체		날개벽
		형식	표준단면	
측구	L형측구	형식-1		-
	V형측구	형식-1		-
	U형측구	형식-1		-
배수관	횡배수관	Ø600mm	-	좌 60°, 우 60°
	종배수관	Ø600mm	-	면벽
암거	수로암거	2.0×2.0 토피 5.0m		내공 2.0m 45°
	통로암거	4.5×4.5 토피 5.0m		내공 4.5m 평형식
용수개거		형식-1 폭 1.5m		-

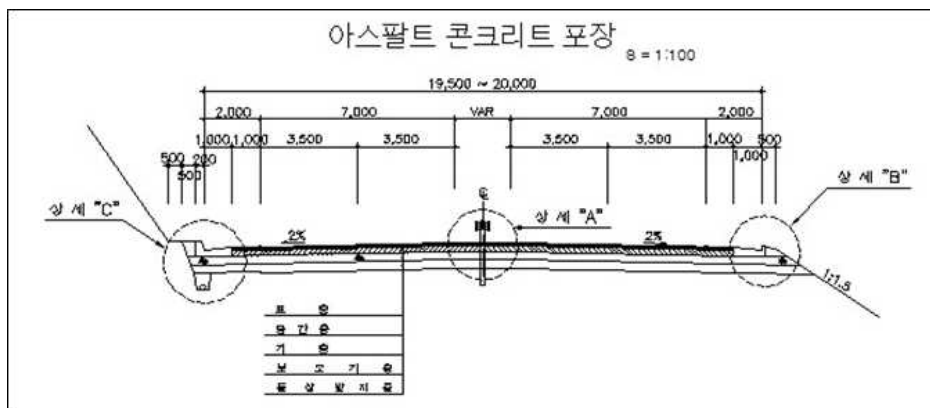
- 주요아이템에 투입되는 자원은 국토설계실무요령(국토교통부, 2013)을 기준으로 단위작업물량당 각 공종에 투입되는 자원량을 도출하여 DB(표준자원 DB)로 구축함
- [그림 3-1-19]의 작업물량산출체계에서 산정한 작업물량에 표준자원 DB를 곱하여 주요아이템에서 소비하는 자원량을 산출하고 여기에 각 자원의 LCI DB를 적용함으로써 배수공 주요아이템의 환경부하량이 산출됨
- 배수공 전체의 환경부하량은 주요아이템의 환경부하량에 마이너아이템 비율을 적용하여 산정함. 표준물량 기반의 배수공 환경부하량 평가모델의 개요는 [그림 3-1-20]과 같음



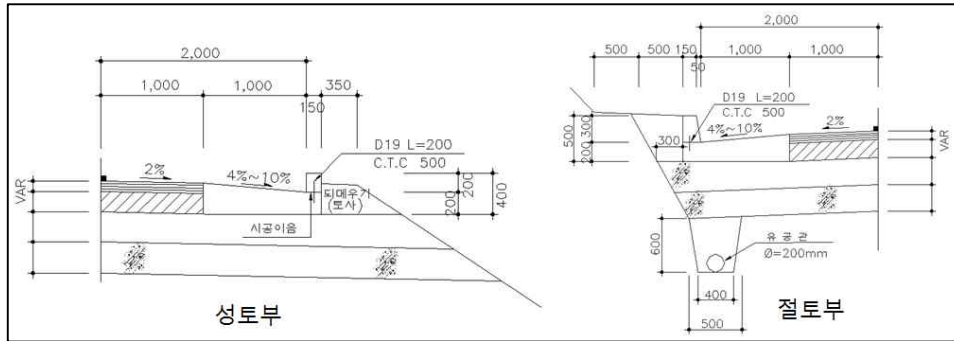
[그림 3-1-20] 표준물량 기반 배수공의 환경부하량 평가모델 개요

(3) 포장공 모델

- 포장공의 주요아이템의 작업물량은 도로의 연장, 폭원 그리고 포설두께에 의하여 산출되는 면적 또는 부피의 값으로 표현됨
- 이들 입력정보는 모델에 대한 기본정보항목에 포함되어 있음. 따라서 포장공 모델은 별도의 입력정보 없이 토공부연장, 도로폭, 포장두께만을 사용하여 작업물량을 산출토록 계획함
- 포장공 모델에 적용한 도로의 단면은 국토교통부 국토표준도를 참조하여 [그림 3-1-21]과 같이 폭원 20.0m인 4차로 아스팔트콘크리트 포장도로를 선정함
- 본선부 표준단면에서 L형측구와 절성토부 다이크가 시공되는 길어깨부는 그 수량이 본선부와 비교하여 작아 보이지만 도로부 전체 연장을 고려할 경우 무시할 수 없는 환경부하량이 발생함. 이에 [그림 3-1-22]의 길어깨부 표준단면을 모델에 반영함

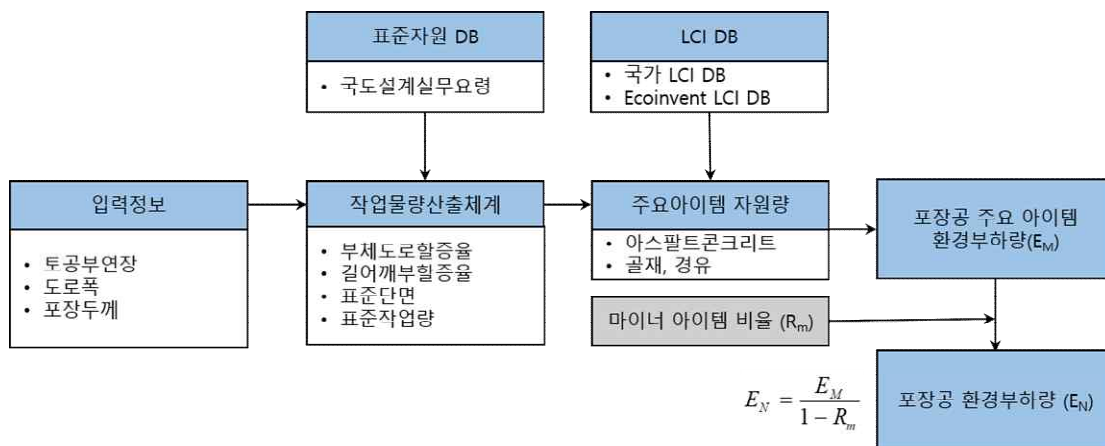


[그림 3.21] 본선부의 표준단면



[그림 3-1-22] 길어깨부 표준단면

- 포장공의 환경부하 평가모델은 [그림 3-1-23]과 같이 작업물량산출체계와 표준자원 DB로 구성된 배수공 모델과 동일한 알고리즘으로 구성됨
- 다만 포장공은 연장과 폭원, 두께 정보만으로 작업물량을 직접 산출할 수 있기 때문에 작업물량산출체계에 배수공에서와 같이 시공규모를 추정하기 위한 회귀모델은 필요치 않음

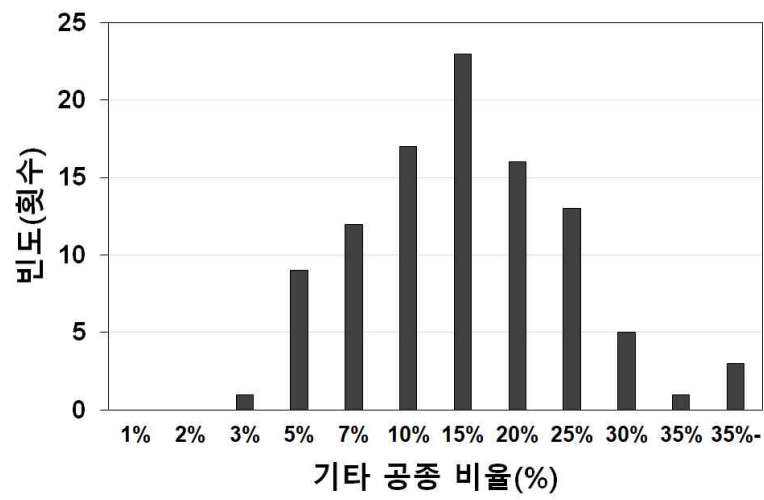


[그림 3-1-23] 표준물량 기반 포장공의 환경부하량 평가모델 개요

(4) 기타공종

- 본 연구에서 환경부하량을 산출하기 위하여 개발한 모델은 전체 환경부하량의 85%를 차지하는 토공, 배수공, 포장공의 대표공종을 대상으로 함
- 대표공종 외에 도로부를 구성하는 비탈면안정공, 교통안전시설공, 부대공의 환경부하량은 비율로써 반영토록 모델을 개발함
- 사례 DB로부터 산출한 기타공종의 환경부하량 분담비율은 2.4%~50.7%임
- 전체 환경부하량에 대한 비율이 지나치게 크거나 작은 사례를 보면 포장공 작업으로 구성된 기존도로유지보수 항목이 부대공에 편성되어 있거나 방음벽과 같은 시설이 현장여건으로 인해 과소 편성된 특이 사례임
- 특이 사례를 제외한 81개의 사례를 대상으로 조사한 기타공종 비율은 [그림 3-1-24]와 같이

5.0%~25.0%임. 이를 산술평균하여 13.99%의 기타공종 비율을 산정함



[그림 3-1-24] 기타공종 비율 분포

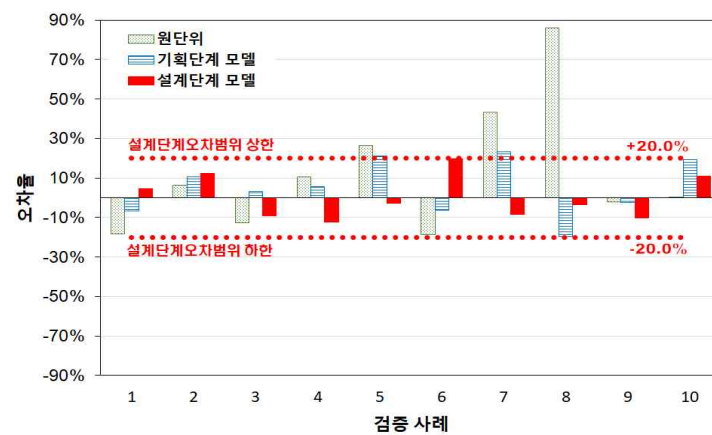
라. 평가모델의 검증

- 각 대표공종의 환경부하량 평가모델을 조합하여 설계단계에서 도로부의 환경부하량 평가모델을 개발하고 사례 DB에서 10개의 사례를 추출하여 모델의 유효성을 검증함

[표 3-1-19] 설계단계 모델의 검증 결과

검증 사례	eco-point									
		자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태독성	인간독성	합계
1	①	1.67836E+03	5.73438E+01	8.93092E+01	1.93796E+03	2.49470E+01	2.94381E+02	9.77770E+02	5.07612E+02	5.56768E+03
	②	2.17422E+03	7.75790E+01	7.42977E+01	1.56164E+03	2.32805E+01	2.96578E+02	1.10980E+03	5.09164E+02	5.82656E+03
2	①	1.40199E+03	3.75166E+01	5.92084E+01	1.14445E+03	2.01127E+01	1.39274E+02	7.52510E+02	4.06966E+02	3.96204E+03
	②	1.66297E+03	5.55731E+01	5.66124E+01	1.17675E+03	2.04613E+01	2.14796E+02	8.35277E+02	4.27096E+02	4.44953E+03
3	①	1.63681E+03	5.72738E+01	6.92849E+01	1.90019E+03	2.51080E+01	3.38072E+02	8.93674E+02	4.97224E+02	5.41764E+03
	②	1.84684E+03	6.23652E+01	6.12370E+01	1.32973E+03	2.39160E+01	2.45412E+02	8.70725E+02	4.82328E+02	4.92255E+03
4	①	1.86649E+03	4.80358E+01	5.55439E+01	1.65555E+03	2.02606E+01	2.85810E+02	7.53912E+02	4.06944E+02	5.09255E+03
	②	1.79466E+03	5.75803E+01	5.38770E+01	1.11202E+03	1.61509E+01	2.01732E+02	8.53494E+02	3.66609E+02	4.45612E+03
5	①	1.45803E+03	3.31587E+01	2.27848E+01	1.41163E+03	1.88571E+01	2.52621E+02	4.74519E+02	3.41159E+02	4.01276E+03
	②	1.82372E+03	5.40651E+01	4.59258E+01	9.23009E+02	1.63219E+01	1.56754E+02	5.52696E+02	3.20327E+02	3.89282E+03
6	①	3.65008E+03	7.88580E+01	1.18799E+02	3.28680E+03	3.38112E+01	5.92748E+02	1.32794E+03	6.91256E+02	9.78030E+03
	②	4.95366E+03	1.50824E+02	1.43663E+02	3.01329E+03	4.64794E+01	5.79287E+02	1.85138E+03	9.56529E+02	1.16951E+04
7	①	1.66722E+03	3.42314E+01	4.35890E+01	1.17107E+03	1.55866E+01	1.48154E+02	1.00283E+03	3.84198E+02	4.46687E+03
	②	2.00723E+03	4.10810E+01	4.18046E+01	8.91653E+02	1.41555E+01	1.68908E+02	6.20098E+02	3.01719E+02	4.08665E+03
8	①	1.70132E+03	3.11435E+01	3.69548E+01	9.86967E+02	1.57472E+01	1.56201E+02	4.43647E+02	2.95202E+02	3.66718E+03
	②	1.85105E+03	3.69553E+01	3.72429E+01	7.62727E+02	1.11262E+01	1.51207E+02	4.54329E+02	2.30561E+02	3.53520E+03
9	①	2.41598E+03	6.19851E+01	8.49037E+01	2.16833E+03	2.87621E+01	3.03985E+02	1.36038E+03	6.24588E+02	7.04891E+03
	②	2.43378E+03	8.43172E+01	8.06937E+01	1.68014E+03	2.39666E+01	3.21961E+02	1.18473E+03	5.30239E+02	6.33983E+03
10	①	2.04755E+03	4.88442E+01	3.58370E+01	1.77208E+03	2.31037E+01	3.00978E+02	1.06445E+03	4.96910E+02	5.78974E+03
	②	2.49289E+03	7.17575E+01	7.38847E+01	1.64852E+03	2.43727E+01	3.21488E+02	1.23855E+03	5.47337E+02	6.41880E+03
오차율 범위						-12.50% ~ 19.58%				
평균오차율(절대값)						9.42%				
표준편차						4.97%				

- 10개의 사례를 활용하여 모델의 정확도를 검증한 결과 [표 3-1-19]와 같이 설계단계 환경부 하량 평가모델은 -12.50%~19.58%의 오차율 범위를 나타냈으며, 절대오차율 평균은 9.42%, 표준편차는 4.97%를 보여 우수한 예측값의 정확도를 나타냄
- 모델의 유효성을 평가하기 위하여 실무에서 간편하게 사용할 수 있는 원단위(eco-point/m²) 모델과 본 연구에서 함께 개발한 기획단계 모델 및 설계단계 모델의 정확도를 비교하여 [그림 3-1-25]에 제시함

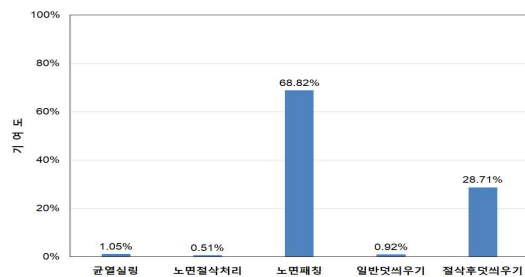


[그림 3-1-25] 설계단계 모델의 유효성 검증

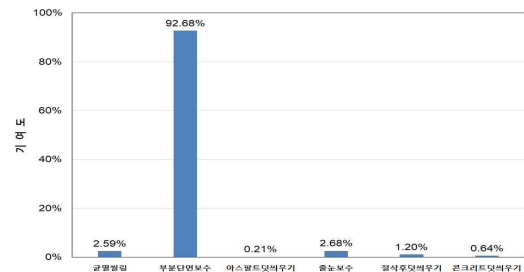
4. 유지관리단계 환경부하 평가모델

가. 유지관리단계 환경부하 평가모델의 개요

- 유지관리단계의 환경부하량을 산정하기 위해서는 유지보수작업에 투입되는 자원과 에너지에 의한 부하량과 도로의 편의성(가로등 및 신호등이 소비하는 에너지, 도로의 운용을 위한 조직이 소비하는 자원과 에너지 등) 유지과정에서 소비되는 에너지 등이 고려된 부하량이 모두 산출되어야 함
- 그러나 현실적으로 후자와 관련된 자료를 확보하는 데는 어려움이 있음. 따라서 도로부의 유지관리단계 환경부하량 평가모델은 유지보수작업의 환경부하량 산정에 중점을 둠
- 도로부의 유지보수작업은 포장부의 보수를 위한 작업이 주를 이룸. 도로 포장의 주재료는 아스팔트콘크리트와 시멘트콘크리트로써 이들 재료의 보수를 위한 주요 공법은 [그림 3-1-26]과 같음



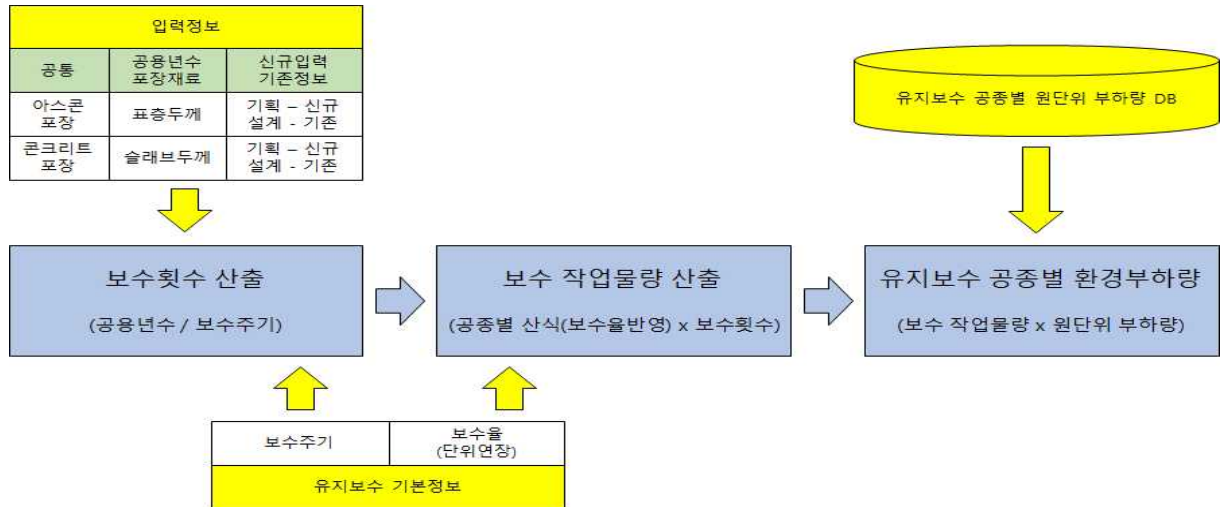
(a) 아스팔트콘크리트



(b) 시멘트콘크리트

[그림 3-1-26] 포장보수 공법별 기여도

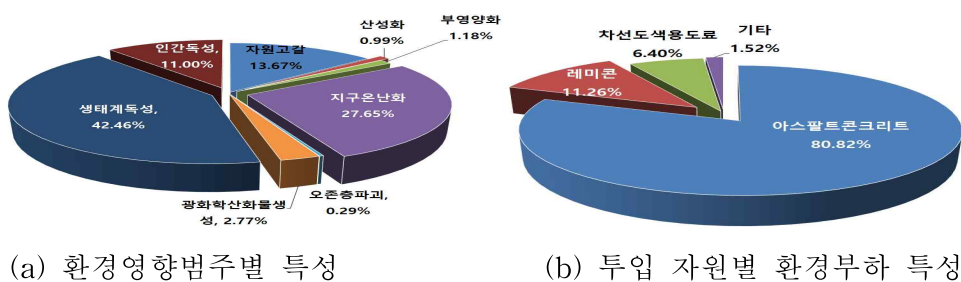
- 따라서, 도로부의 유지관리단계 환경부하 평가모델에 적용할 보수공종은 아스팔트콘크리트는 패칭과 절삭후덧씌우기의 2개 공종을, 시멘트콘크리트는 부분단면보수, 균열보수, 줄눈보수, 절삭후덧씌우기의 4개 공종을 선정함
- 모델에 반영하기 위해 선정한 각 유지보수공법의 작업물량을 산정하기 위하여 [그림 3-1-27]과 같이 시설물의 공용연수 동안 수행될 보수횟수를 산출하고 각 포장재료별 제원정보를 통해 산출한 작업물량에 적용함으로써 총 공용연수 동안 수행될 보수공사에서 소비되는 자원과 에너지량을 산출함



[그림 3-1-27] 유지관리단계 환경부하량 평가모델의 개요

나. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성 분석

- 유지보수작업의 환경부하 특성을 분석하기 위하여 기 수행된 포장면의 유지보수공사 사례를 수집하고 LCA를 통해 환경부하량을 산정하여 그 특성을 분석함
- 수집된 사례는 밀양시에서 발주한 20개의 도로정비공사 사례로써 주요 제원정보와 LCA수행 결과는 [표 3-1-20]과 같음
- LCA를 통해 환경부하량을 산출한 유지보수공사 사례를 활용하여 8개 환경영향범주별 부하량의 기여도를 분석한 결과 [그림 3-1-28]의 (a)와 같이 생태계독성과 지구온난화가 각각 42.46%와 27.65%의 분포를 나타내 두가지 환경영향범주에 의한 환경부하는 전체의 70.11%를 차지함



[그림 3-1-28] 유지보수작업의 환경부하 특성

- 유지보수공사의 투입되는 자원이 환경부하에 미치는 영향을 분석한 [그림 3-1-28]의 (b)에 의하면 아스팔트콘크리트가 전체 환경부하량의 80.82%를 점유하고 있으며 콘크리트(레미콘)는 11.26%의 분포를 나타내는 것으로 조사됨

[표 3-1-20] 유지보수공사 사례

No	프로젝트명	공사기간 (일)	도로연장 (m)	포장보수 면적(m2)	eco-point
1	삼문중앙 도로정비공사	90	896	6784	1.40E+00
2	가곡벚꽃길 정비공사	50	626	3,333	6.16E+00
3	삼문 도로정비공사	50	110	3,303	1.04E+01
4	해천 도로정비공사	50	297	1,633	2.99E+00
5	운내 도로정비공사	60	252	1,438	3.46E+00
6	상양촌 도로정비공사	50	533	2,133	6.33E+00
7	수산도시 계획도로	50	280	2,960	5.55E+00
8	송지 도로정비공사	45	295	4,109	7.68E+00
9	박물관앞 도로정비공사	60	153.8	1,944	3.53E+00
10	수산대평간 도로정비공사	60	1820	13,520	2.46E+00
11	내송 도로정비공사	50	374	1,197	2.08E+00
12	대평 도로정비공사	60	410.5	2,253	3.97E+00
13	작평 도로정비공사	60	592.0	2,157	3.93E+00
14	이연 도로정비공사	50	607.0	3,864	6.59E+00
15	금천 도로정비공사	50	374	1,197	6.63E+00
16	시도 9호선 도로정비공사	50	755	5,545	9.50E+00
17	덕곡 도로정비공사	50	126.4	1,264	3.26E+00
18	가산 도로정비공사	50	321.2	3,212	5.47E+00
19	밀양 배수장 도로정비공사	50	1,465.9	10,612	1.79E+00
20	시가지 도로정비공사	60	299	2,990	6.27E+00

다. 유지보수 공법 기반 환경부하량 평가모델

- 도로부의 유지관리단계 환경부하 평가모델에 적용된 유지보수작업은 [그림 3-1-28]의 분석 결과로부터 도출하였으며 세부내용은 [표 3-1-21]과 같음

[표 3-1-21] 도로부 유지관리단계 모델의 적용공종 현황

구분	입력정보	유지보수공종				규격
		공법	보수 주기 (년)	보수율 (/m)	작업공종	
아스팔트 콘크리트	공용연수 포장재료 표층두께	팻칭	7	41.8%	노면팻칭	T=7.5cm이하
		노면개량	15	100.0%	절삭후덧씌우기	T=5cm
					절삭후덧씌우기	T=7cm
시멘트 콘크리트	공용연수 포장재료 슬래브 두께	균열보수	8	9.5%	균열보수(에폭시주입)	B=3mm, T=30cm
		줄눈보수	8	100.0%	팽창줄눈보수	B=20mm, T=75mm
					세로줄눈보수	B=4mm, T=75mm
					가로수축줄눈보수	B=8mm, T=18mm
		노면개량	15	100.0%	절삭덧씌우기	T=5cm
		단면보수	20	100.0%	부분단면보수	T=10cm
					부분단면보수	T=15cm

- 유지보수 작업공종의 하위에는 세부작업내역이 존재하며, 각 세부내역의 단위자원량은 한국도로공사(2016)의 유지보수 단가집을 참조함
- 유지보수 작업에는 기존의 시공내역서에 존재하지 않는 특수한 자원이 일부 사용되며, 이러한 자원은 국내외 LCI DB로부터 확보할 수 없음
- 모델의 정확도를 확보하기 위해 목록분석작업을 통해 이러한 자원의 LCI DB를 자체 개발하고 모델에 반영함(제5절 참조)

라. 평가모델의 검증

- 유지관리단계 환경부하 평가모델은 도로건설공사의 기획 또는 설계단계에서 시설을 운영하면서 보수작업으로 발생이 예상되는 환경부하량을 포함한 생애주기 관점의 환경영향을 평가하기 위하여 개발함
- 따라서, 모델의 정확도평가 기준은 도로부의 설계단계 모델에 대한 평가 기준인 -20%~20%를 동일하게 적용함
- [표 3-1-22]의 유지보수공종을 적용하여 개발한 도로부 유지관리단계 환경부하 평가모델의 정확도 검증을 위해 앞서 수집한 20개의 사례 중 무작위로 5개를 추출하고 입력정보를 모델에 적용함으로써 최종 추정된 결과를 비교함

[표 3-1-22] 유지관리단계 모델의 검증결과

검증 사례		가중화값 (단위:eco-point)								환경 부하량 (eco-point)	오차율 (%)
		자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성		
검증 #1	LCA	1.97E+00	1.58E-01	1.79E-01	3.43E-00	3.06E-02	1.13E-01	6.56E+00	1.52E+00	1.40E+01	5.40%
	모델	3.55E+00	1.30E-01	1.66E-01	2.84E+00	2.96E-02	1.93E-01	6.36E+00	1.45E+00	1.47E+01	
검증 #2	LCA	6.93E+00	5.78E-02	7.70E-02	1.46E+00	1.40E-02	4.96E-02	3.10E+00	7.11E-01	6.16E+00	14.13%
	모델	1.56E+00	6.32E-02	8.12E-02	1.39E+00	1.45E-02	9.44E-02	3.13E+00	7.11E-01	7.03E+00	
검증 #3	LCA	5.70E-01	3.96E-02	4.18E-02	9.90E-01	9.98E-03	1.04E-01	1.35E+00	3.61E-01	3.46E+00	-10.69%
	모델	7.30E-01	2.74E-02	3.51E-02	6.00E-01	6.26E-03	4.08E-02	1.35E+00	3.07E-01	3.09E+00	
검증 #4	LCA	5.63E-01	5.48E-02	7.57E-02	1.37E+00	1.32E+00	5.45E-02	2.78E+00	6.39E-01	5.55E+00	12.85%
	모델	1.40E+00	5.62E-02	7.21E-02	1.23E+00	1.29E-02	8.39E-02	2.78E+00	6.31E-01	6.26E+00	
검증 #5	LCA	8.31E-01	7.94E-02	1.00E-01	1.88E+00	1.74E-02	6.42E-02	3.82E+00	8.80E-01	7.68E+00	13.98%
	모델	2.00E+00	7.81E-02	1.00E-01	1.71E+00	1.79E-02	1.17E-01	3.85E+00	8.76E-01	8.75E+00	
평균오차(절대값)							11.41%				
표준편차							3.63%				

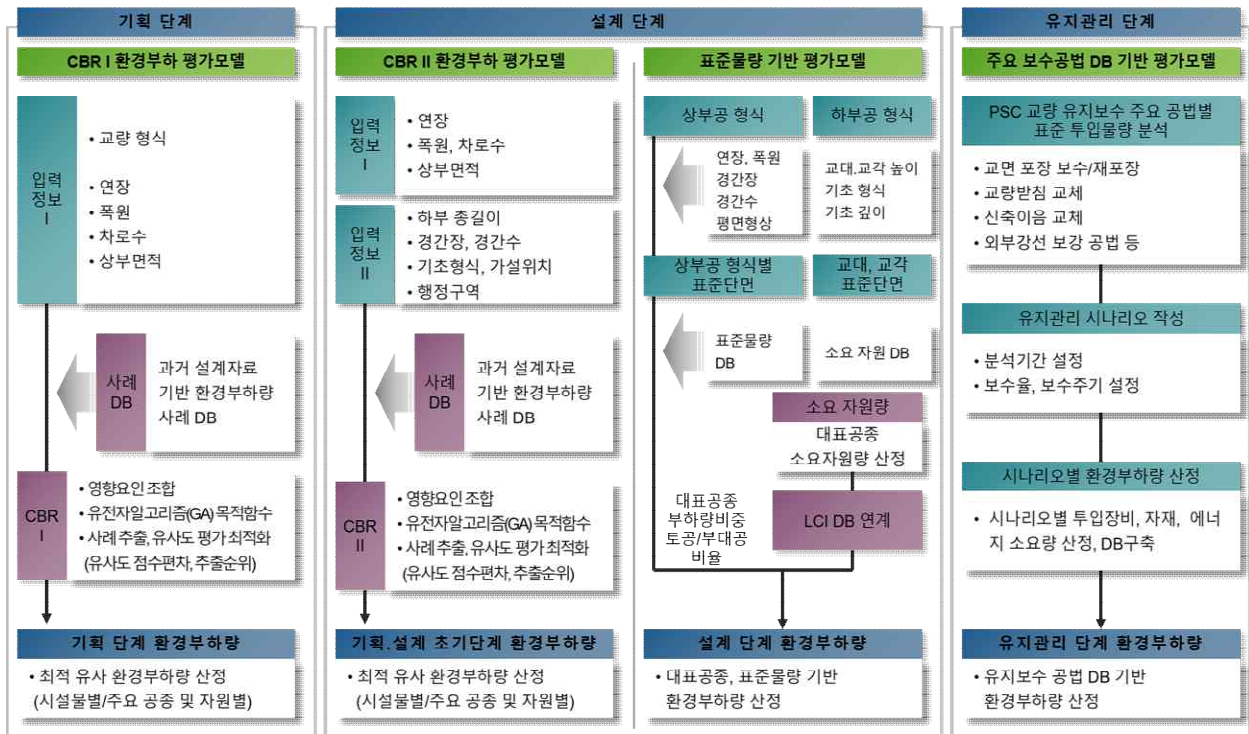
- 모델로부터 산정된 유지관리단계 환경부하량의 오차범위는 -10.69%~14.13%로써 개발한 모델의 정확도 검증기준으로 설정한 -20%~20%내에 위치하는 결과를 보임
- 절대오차율평균은 11.41%이며 표준편차는 3.63%를 나타내 비교적 정확한 추정결과를 도출하는 유효한 모델임을 보임

제 2 절 PSC교량 환경부하 평가모델

1. PSC교량 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축

가. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크

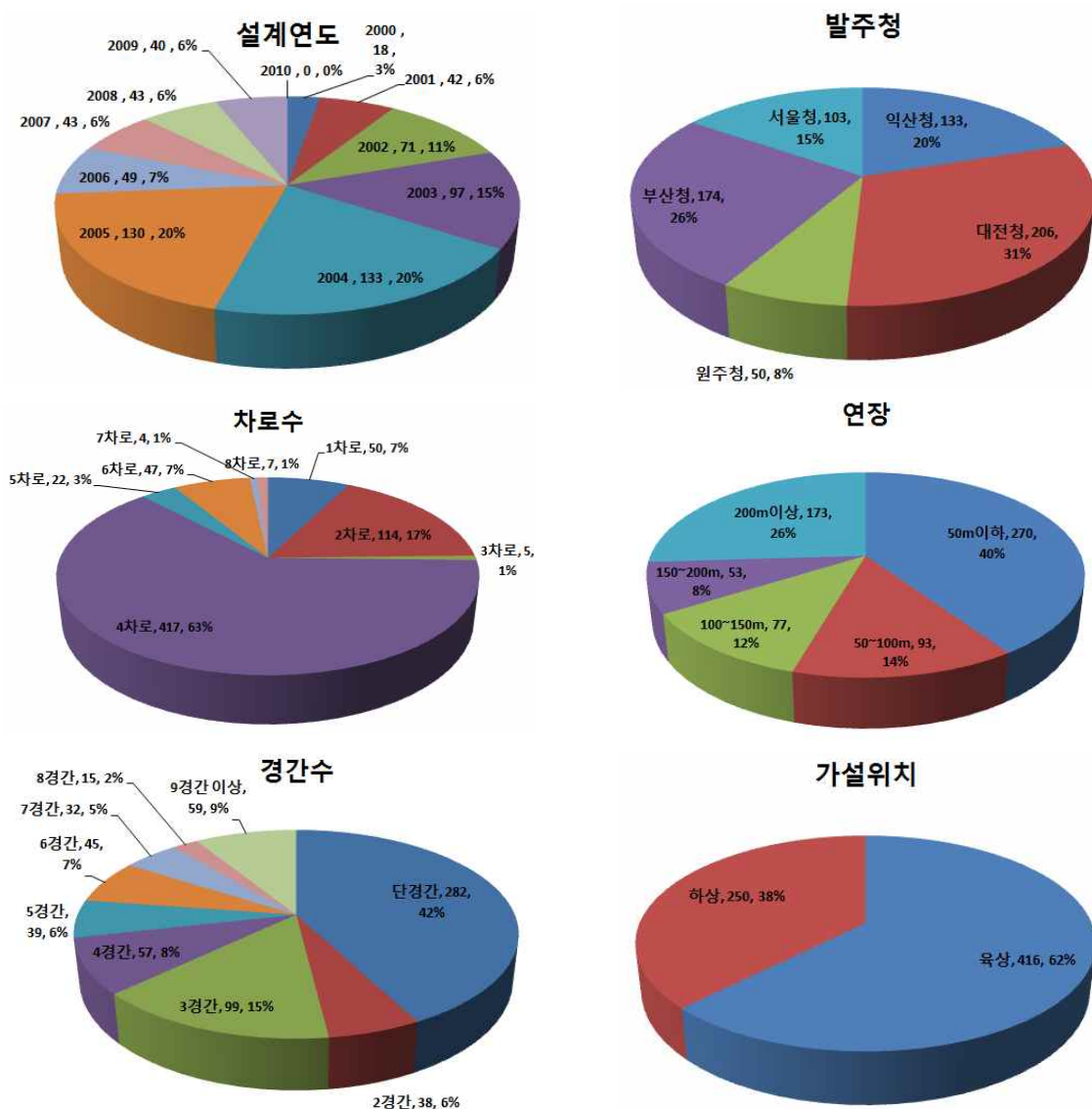
- 건설사업 수행단계별 활용할 수 있는 가용정보의 수준이 상이하므로 기획/설계/유지관리 단계별 특성을 고려한 환경부하 평가모델 프레임워크를 구축하였음. 기 수행된 설계자료들을 분석하여 가용정보 수준을 검토하고 주요 설계인자를 근거로 수행단계별 영향요인을 도출함
- 기획단계에서는 가용정보가 극히 제한적이므로 교량형식, 연장/폭원 등 환경부하량에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 활용 가능한 것으로 분석되었고 이 정보만을 가지고 사례기반추론(CBR I)을 이용하여 기획단계 환경부하량을 예측하고자 함
- 설계 초기단계에서는 기획단계에 비해 보다 상세한 설계인자를 활용할 수 있는 것으로 나타났으며, 기획단계 환경부하 평가 모델(CBR I)에 교량의 상·하부 및 기초 형식, 경간구성, 하부총길이(교대/교각 높이), 가설공법, 행정구역 등의 설계 기본정보를 추가하여 확장된 환경부하 평가모델(CBR II) 구축이 가능할 것으로 분석됨. 또한 환경부하량에 영향을 크게 미치는 공종을 선정하여 대표공종별 표준물량 기반의 설계단계 평가모델을 구축함
- 유지관리단계에서는 교량의 점검 주기 및 유지관리 공법을 조사한 후 유지관리 시나리오를 작성하여 시나리오별 투입장비, 자재 및 에너지 소비량 DB를 구축하여 환경부하량을 예측하고자 하며, PSC교량 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크는 [그림 3-2-1]과 같음



[그림 3-2-1] PSC교량 환경부하량 산정 프레임워크

나. 기초자료 수집 및 분석

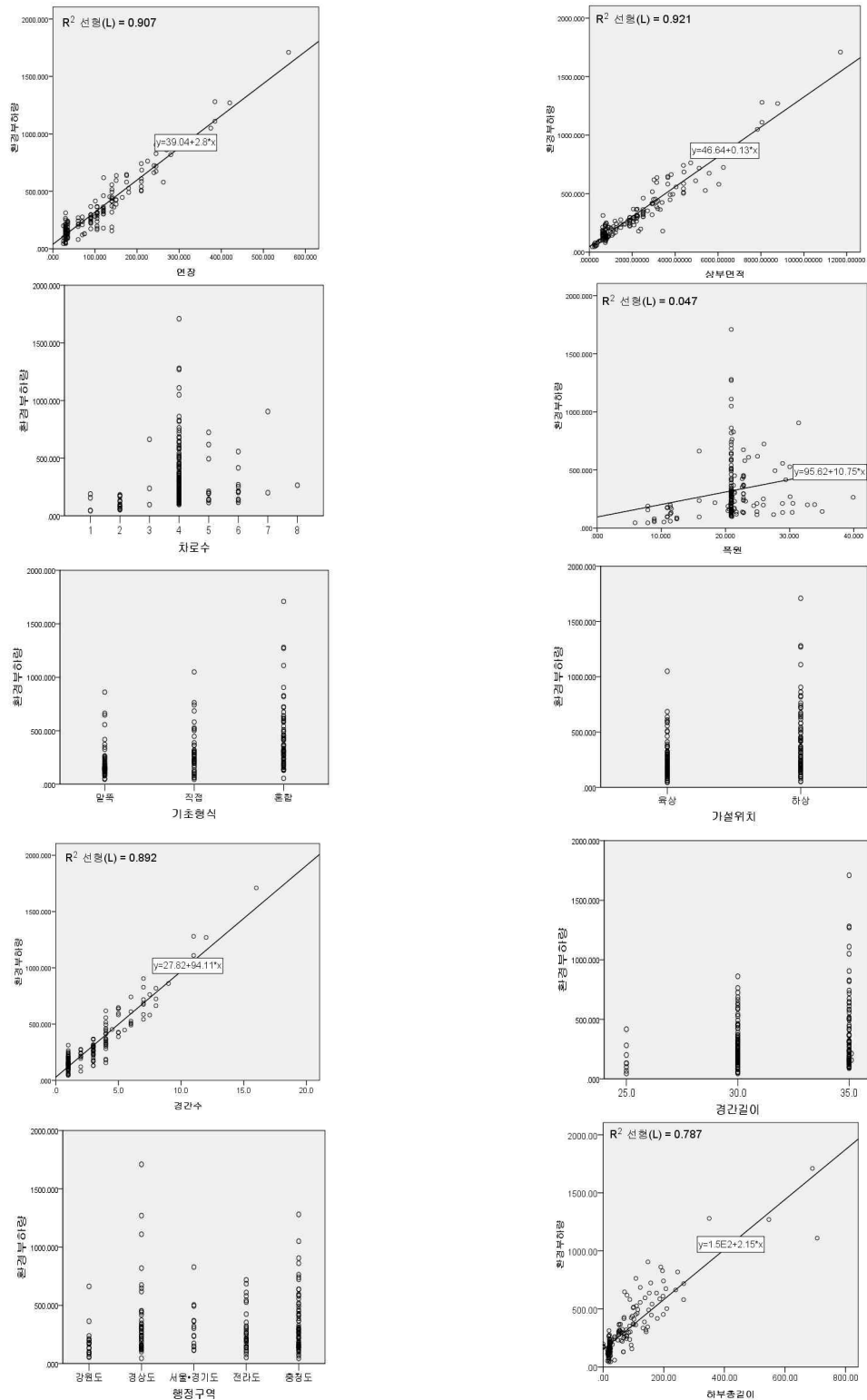
- 본 연구에서는 환경부하량 분석을 위한 기초자료로 2000년 이후로 설계 완료된 일반국도의 신설 및 확·포장공사 234개 사업을 대상으로 설계보고서, 수량산출서, 설계내역서, 단가산출서, 구조물도 등을 조사하였음
- 수집된 234개 사업에서 본 연구의 대상 구조물인 교량(PSC교, 강교)의 형식별 수집된 데이터 현황은 PSC Beam교 61%(407개), 강교 31%(207개), PSC Box교 8%(56개) 등으로 집계되었으며, 설계연도, 발주청, 차로수, 연장, 경간수, 가설위치별 수집 데이터 현황은 [그림 3-2-2]와 같음
- 수집한 기초 설계자료를 바탕으로 교량의 부위별, 공종별 환경부하 특성을 분석하고, CBR 기반 모델 개발을 위한 환경부하량 산정한 결과를 사례 DB로 구축하고 표준물량 및 표준단면을 설정하기 위한 기초자료로 활용함



[그림 3-2-2] 기초자료 조사현황

다. 환경부하 영향요인 및 특성 분석

○ 사례 DB에 구축된 170개 사례에 대하여 영향요인별로 환경부하량과의 상관성을 분석하였으며, [그림 3-2-3]과 같이 환경부하량에 대해 높은 상관성을 가지는 것으로 나타남

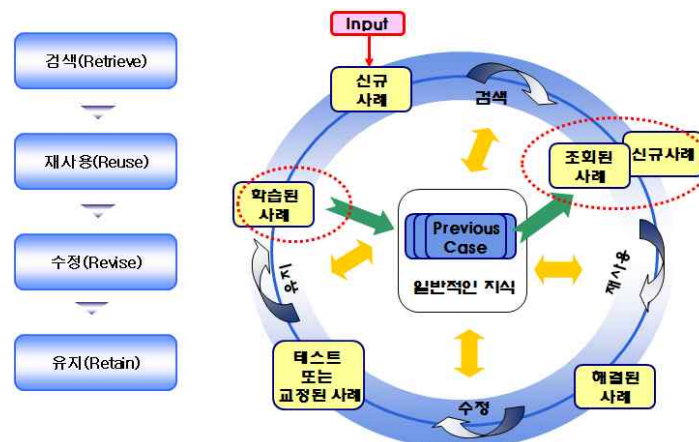


[그림 3-2-3] 영향요인별 상관성 분석

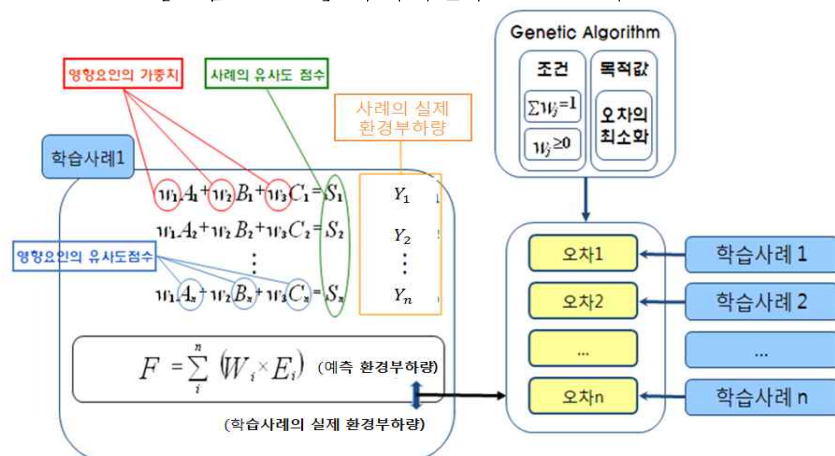
2. 기획단계 환경부하 평가모델

가. 기획단계 환경부하 평가모델 개요

- 사업 초기단계에서 제한된 정보를 바탕으로 신뢰성있는 환경부하량을 산정하기 위하여, 기존에 설계가 완료된 사례의 환경부하량 사례DB를 구축하고 신규 시설물과 유사한 사례를 추출하여 이를 기반으로 신규 시설물의 환경부하량을 추정할 수 있는 사례기반추론(CBR, Case Based Reasoning)을 이용한 환경부하 평가모델을 개발하고자함
- 사례기반추론의 기본적인 아이디어는 인간이 사고하는 과정에서 과거의 문제에 사용되었던 해결책을 새로운 문제의 해결을 위해서 사용하는 것이며, 과거의 유사한 사례로부터 해결방안을 도출하는 추론기법임 ([그림 3-2-3] 참조)
- 유전자 알고리즘(GA, Genetic Algorithm)을 영향요인에 대한 가중치 산정에 적용하였으며, 적용방법은 그림 3.2.5와 같음. 환경부하 영향요인별 유사도 점수에 영향요인의 가중치를 곱하여 사례베이스(Case base)에 저장되어 있는 각 사례와의 유사도 점수를 산정하고 조회된 사례로부터 신규사례의 환경부하량을 예측하고 추정편차를 구하는 학습과정을 수행함. 유전자알고리즘을 이용하여 추정 환경부하량 편차 평균값을 최소화(목적함수)하는 환경부하량 추정 영향요인에 대한 가중치를 산정함 ([그림 3-2-3] 참조)



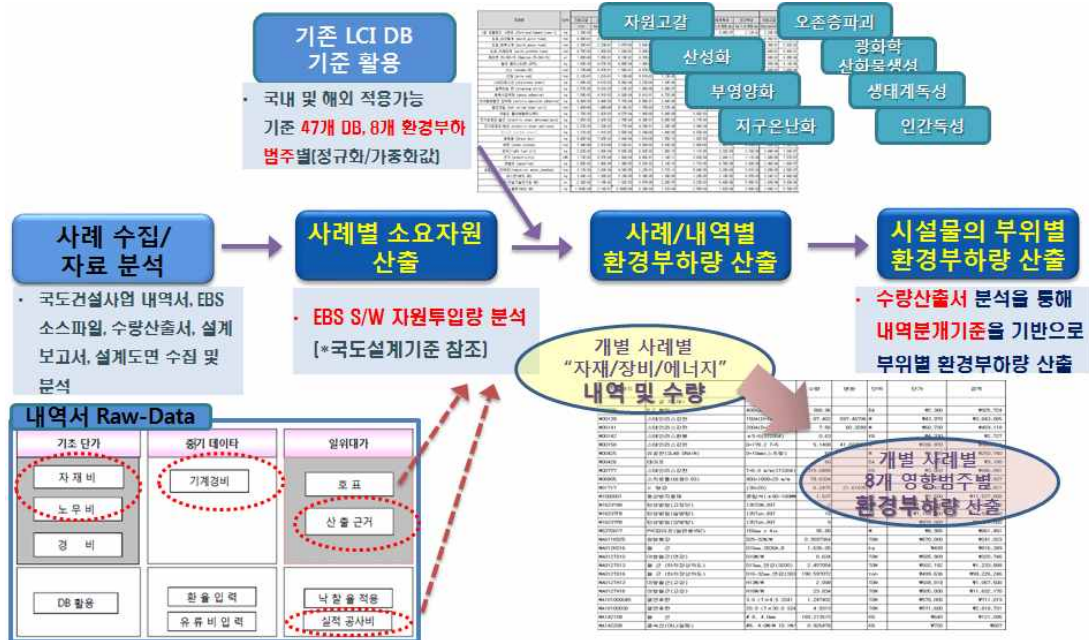
[그림 3-2-4] 사례기반추론 프로세스



[그림 3-2-5] 유전자알고리즘을 이용한 사례학습 및 최적화

나. 사례 DB구축

- 수집된 국도 건설사업의 내역서, EBS 파일, 수량산출서, 설계보고서, 설계도면 등을 분석하여 PSC Beam교의 경간수, 경간길이, 연장, 폭원, 상부면적, 사업구간, 발주청, 준공년도, 가설위치, 차로수, 기초형식, 공사비, 하부총길이 등 시설물 기본정보들을 집계하고, [그림 3-2-6]과 같이 환경부하량 사례 데이터베이스를 구축하였음 (PSC교량, IPC Girder 사례DB는 부록에 수록함)



[그림 3-2-6] 사례 DB 구축 프로세스

[표 3-2-1] 사례 DB 구축 현황(PSC Beam교)

속성		사례수	속성		사례수	속성		사례수
차로수	3이하	24	경간수	1	70	가설 위치	육상	92
	4	123		2	11		하상	78
	5	10		3	30			
	6	10		4	24			
	7이상	3		5	8			
				6이상	16			
계		170			170			170

속성		사례수	속성		사례수	속성		사례수
기초 형식	직접	45	행정 구역	서울 · 경기도	14	Cut-off 수준	70% 대	3
	말뚝	58		강원도	20		80% 대	68
	혼합	67		충청도	61		90% 대	96
				전라도	31			
				경상도	44			
계		170			170			170

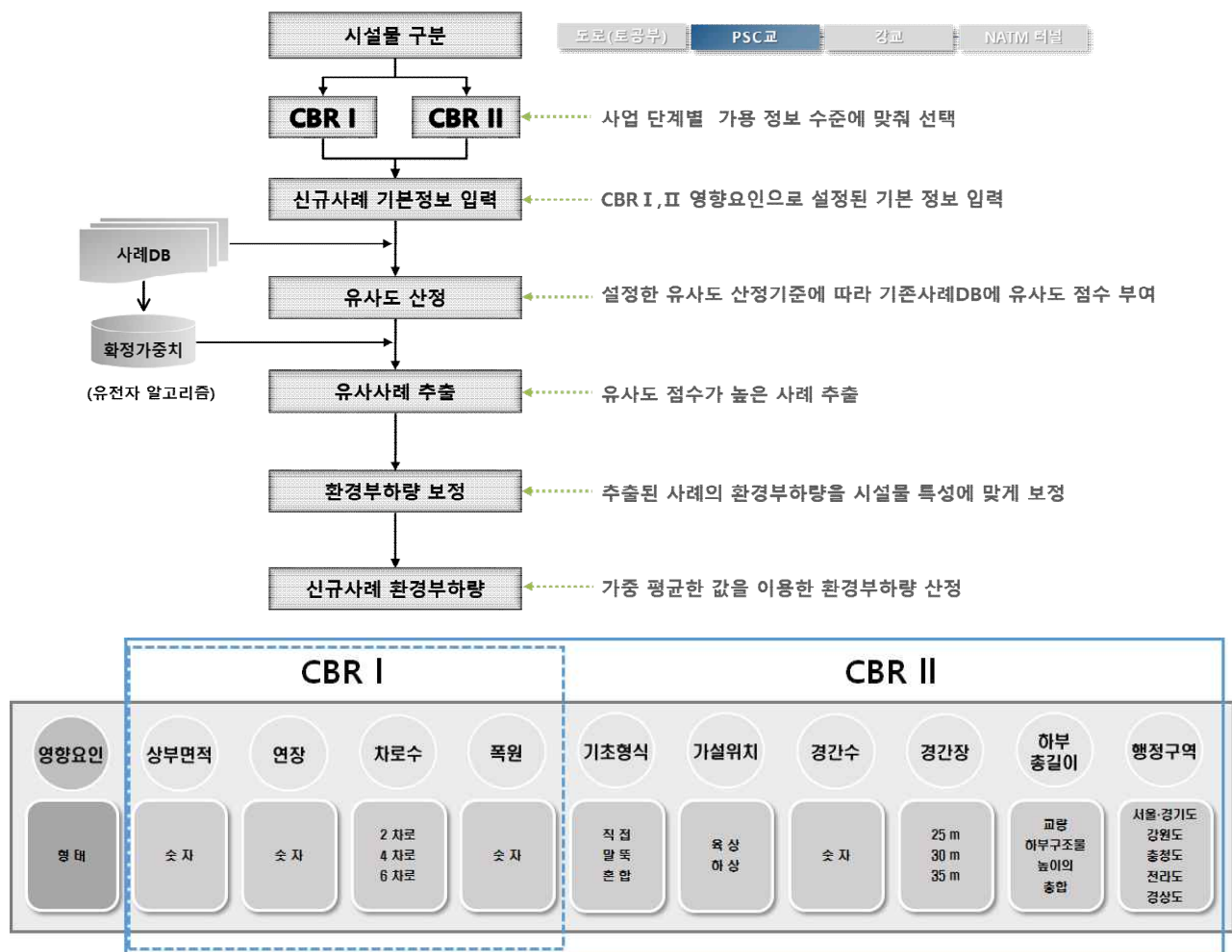
[표 3-2-2] 사례 DB 구축 현황(IPC Girder)

속성		사례수	속성		사례수	속성		사례수
차로수	3이하	4	경간수	1	38	가설 위치	육상	43
	4	50		2	5		육하	10
	5	3		3	9		하상	7
	6	1		4	5			
	7이상	2		5	1			
				6이상	2			
계		60			60			60

속성		사례수	속성		사례수	속성		사례수
기초 형식	직접	14	행정 구역	서울 · 경기도	2	Cut-off 수준	70% 대	11
	말뚝	31		강원도	30		80% 대	37
	혼합	15		충청도	13		90% 대	12
				전라도	14			
				경상도	1			
계		60			60			60

다. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발

- CBR 기반 기획단계 환경부하 평가모델은 수집한 설계자료를 활용하고, 설계 사례별로 환경부하량을 산정하여 부하특성 분석을 통해 영향요인을 도출하였음. 그리고, 영향요인별로 유사도 평가방법에 따라 유사도 점수를 산출하여 신규 사례의 환경부하량을 추정할 수 있음. 또한 유사도 점수 산정시 사례학습을 통한 영향요인별 유사도 평가방법을 유전자 알고리즘을 활용하여 최적화하였으며, 최종 산정된 영향요인별 PSC Beam교, IPC Girder 가중치는 [표 3-2-3], [표 3-2-4]와 같음
- CBR 기반 기획단계 환경부하량 평가모델은 사업수행단계별 가용 정보 수준이 상이함에 따라 두 가지 모델(CBR I, CBR II)로 구성됨. CBR I 모델은 사업의 기획단계 시 활용할 수 있는 가장 기초적인 정보인 상부면적, 교량 연장, 폭원, 차로수를 모델의 영향요인 즉, 입력변수로 선정함. CBR II 모델은 사업 예비타당성 조사 및 설계 초기단계 시 획득할 수 있는 설계 정보를 모델의 입력변수로 선정하였으며, CBR I 모델의 입력변수에 경간장, 경간수(=연장/경간장), 하부 총길이(교대/교각 전체 하부높이, 일방향), 기초형식, 가설위치 그리고 행정구역의 입력변수가 추가되어 활용됨
- 추가시설물 IPC Girder도 PSC Beam과 동일한 방법으로 진행됨



[그림 3-2-7] CBR 기반 환경부하량 평가모델

[표 3-2-3] PSC Beam교 환경부하량 산정모델의 가중치

구분	CBR을 이용한 기획단계 환경부하량 산정 모델의 영향요인별 가중치									
CBR I	상부면적	연장	차로수	폭원	-					
	0.33592	0.27604	0.19362	0.19443						
CBR II	상부면적	연장	차로수	폭원	기초형식	가설위치	경간수	경간길이	하부총길이	행정구역
	0.16950	0.18312	0.09627	0.00977	0.00929	0.06547	0.18288	0.17425	0.05221	0.05724

[표 3-2-4] 환경부하량 산정모델의 가중치(IPC Girder)

구분	CBR을 이용한 기획단계 환경부하량 산정 모델의 영향요인별 가중치									
CBR I	상부면적	연장	차로수	폭원	-					
	0.39649	0.25221	0.02609	0.32521						
CBR II	상부면적	연장	차로수	폭원	기초형식	가설위치	경간수	경간길이	하부총길이	행정구역
	0.10820	0.16129	0.00147	0.16347	0.05912	0.06247	0.27358	0.16701	0.00339	0.00002

라. 평가모델 검증

- 본 연구에서 제시한 CBR 기반 기획단계 환경부하 평가모델에 대해 영향요인의 속성값이 다양하게 분포되도록 구성하여 PSC Beam교는 검증사례 10개, IPC Girder는 검증사례 5개를 검증함. CBR 모델과의 비교를 위하여 PSC Beam교는 검증사례 DB를 제외한 160개의 사례, IPC Girder는 검증사례를 제외한 45개의 사례를 바탕으로 원단위 환경부하량을 산정하였음

[표 3-2-5] PSC Beam교의 영향범주별 원단위 환경부하량

구분	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
원단위 환경부하량 (eco-point/m)									
연장(m)	1.1055	0.0523	0.0512	1.6793	0.0155	0.3344	0.0537	0.2879	3.5799
원단위 환경부하량 (eco-point/m ²)									
상부면적(m ²)	0.0530	0.0025	0.0025	0.0810	0.0007	0.0161	0.0026	0.0134	0.1718

[표 3-2-6] 영향범주별 원단위 환경부하량(IPC Girder)

구분	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
원단위 환경부하량 (eco-point/m)									
연장(m)	1.7288	0.0774	0.0542	2.6573	0.0264	0.5765	0.1143	0.3961	5.631
원단위 환경부하량 (eco-point/m ²)									
상부면적(m ²)	0.0812	0.0036	0.0025	0.1248	0.0012	0.0271	0.0054	0.0186	0.2644

[표 3-2-7] 기획단계 모델 검증용 사례 정보(PSC Beam교)

번호	상부 면적(m ²)	연장 (m)	차로 수	폭원 (m)	기초 형식	가설 위치	경간수	경간 길이(m)	행정 구역	하부 총길이(m)	Cut-off level	환경부하량 (eco-point)
1	737.45	35	4	21.07	직접	육상	1	35	충청도	23.55	94%	2.20E+02
2	2052.00	90	4	22.8	직접	하상	3	30	전라도	37.00	89%	2.59E+02
3	1881.00	90	4	20.9	혼합	육상	3	30	전라도	76.66	76%	2.44E+02
4	2508.00	120	4	20.9	직접	육상	4	30	서울경기	141.85	94%	3.03E+02
5	1598.50	70.11	4	22.8	혼합	하상	2	35	서울경기	20.00	80%	2.38E+02
6	372.00	30	2	12.4	말뚝	하상	1	30	강원도	19.50	95%	7.87E+01
7	4956.00	210	4	23.6	혼합	육상	6	35	전라도	197.30	76%	6.10E+01
8	8046.50	385	4	20.9	혼합	하상	11	35	충청도	350	79%	1.28E+01
9	930.25	30.5	6	30.5	말뚝	육상	1	30	충청도	21.47	91%	2.13E+02
10	764.75	35	2	10.9	직접	하상	1	35	강원도	23.72	93%	9.47E+01

[표 3-2-8] 기획단계 모델 검증용 사례 정보(IPC Girder)

번호	상부 면적(m ²)	연장 (m)	차로 수	폭원 (m)	기초 형식	가설 위치	경간수	경간 길이(m)	행정 구역	하부 총길이(m)	Cut-off level	환경부하량 (eco-point)
1	836.00	40	4	20.9	말뚝	육상	1	40	충북	24.00	85%	1.66E+02
2	932.00	40	4	23.3	말뚝	육상	1	40	경남	19.60	84%	1.37E+02
3	692.80	30.39	4	22.8	말뚝	육상	1	30	전남	22.56	87%	3.00E+02
4	836.00	40	4	20.9	말뚝	육상	1	40	전남	18.00	76%	1.20E+02
5	756.00	40	4	18.9	혼합	하상	1	40	전북	17.00	90%	4.93E+02

[표 3-2-9] CBR 기반 모델의 검증결과(PSC Beam교)

구분	실제 환경 부하량 eco-point	사례기반 추론모델				원단위 분석			
		CBR I		CBR II		연장-환경부하		상부면적-환경부하	
		예측값 eco-point	오차율 (%)	예측값 eco-point	오차율 (%)	예측값 eco-point	오차율 (%)	예측값 eco-point	오차율 (%)
검증1	2.20E+02	1.66E+02	-24.41%	1.83E+02	-16.51%	1.29E+02	-41.26%	1.30E+02	-40.97%
검증2	2.59.E+02	2.88E+02	11.07%	2.89.E+02	11.38%	3.22E+02	24.16%	3.53E+02	35.85%
검증3	2.44.E+02	2.64E+02	8.42%	2.64.E+02	8.25%	3.22E+02	32.21%	3.23E+02	32.60%
검증4	3.03.E+02	3.54E+02	16.59%	3.42.E+02	12.72%	4.30E+02	41.69%	4.31E+02	42.11%
검증5	2.38E+02	2.66E+02	11.93%	2.65E+02	11.29%	2.58E+02	8.59%	2.81E+02	18.08%
검증6	7.87.E+01	6.44E+01	-18.23%	7.49.E+01	-4.88%	1.07E+02	36.39%	6.39E+01	-18.84%
검증7	1.28.E+03	1.39E+03	9.26%	1.15E+03	-9.93%	1.42E+03	11.16%	1.41E+03	10.80%
검증8	6.10E+02	6.89E+02	13.02%	6.38E+02	4.65%	7.74E+02	26.94%	8.71E+02	42.88%
검증9	2.13.E+02	1.71E+02	-19.32%	1.86.E+02	-12.56%	1.09E+02	-48.62%	1.60E+02	-24.80%
검증10	9.47.E+01	7.11E+01	-24.91%	8.23.E+01	-13.05%	1.25E+02	32.34%	1.31E+02	38.76%
평균오차(절대값)		15.68%		10.52%		30.33%		30.57%	
최대		16.28%		12.72%		41.69%		42.88%	
최소		-24.91%		-16.51%		-48.62%		-40.97%	

[표 3-2-10] CBR 기반 모델의 검증결과(IPC Girder)

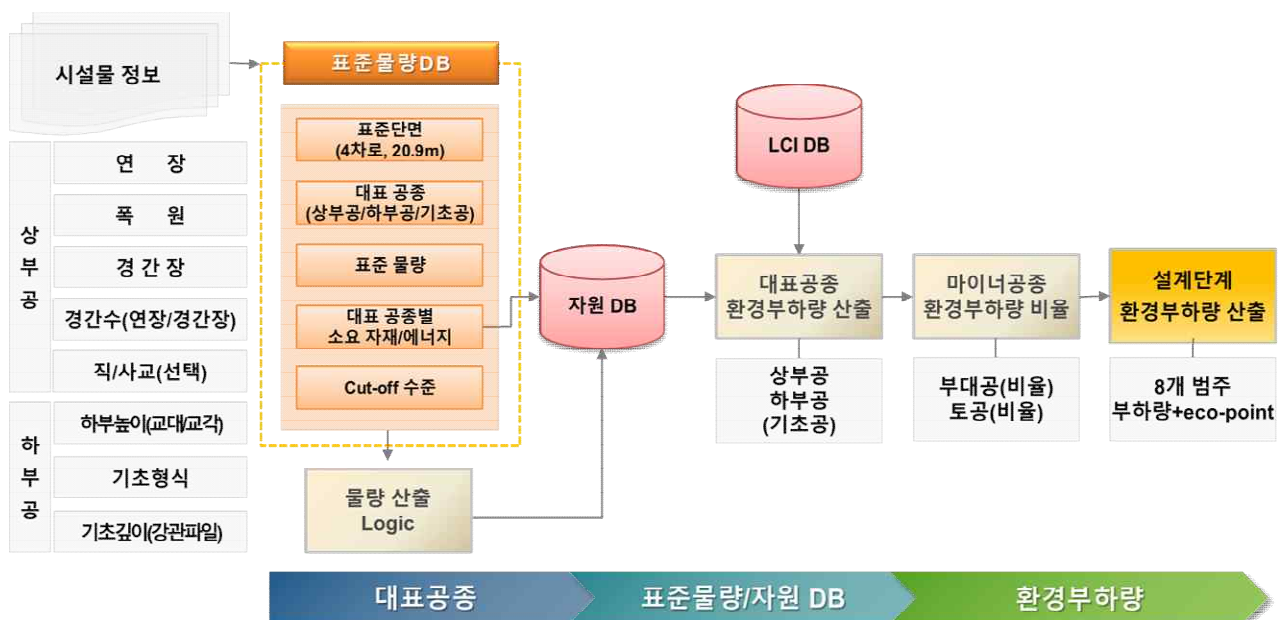
구분	실제 환경 부하량 eco-point	사례기반 추론모델				원단위 분석			
		CBR I		CBR II		연장-환경부하		상부면적-환경부하	
		예측값 eco-point	오차율 (%)	예측값 eco-point	오차율 (%)	예측값 eco-point	오차율 (%)	예측값 eco-point	오차율 (%)
검증1	1.66E+02	1.73E+02	4.05%	1.67E+02	0.56%	2.25E+02	35.50%	2.21E+02	32.97%
검증2	1.37E+02	1.59E+02	16.00%	1.42E+02	3.94%	2.25E+02	64.66%	2.46E+02	80.15%
검증3	3.00E+02	2.58E+02	-13.77%	2.50E+02	-16.66%	1.71E+02	-42.91%	1.83E+02	-38.88%
검증4	1.20E+02	1.25E+02	4.05%	1.21E+02	0.56%	2.25E+02	87.15%	2.21E+02	83.66%
검증5	4.93E+02	4.64E+02	-5.91%	5.22E+02	5.80%	2.25E+02	-54.33%	2.00E+02	-59.47%
평균오차(절대값)		8.76%		5.50%		56.91%		59.03%	
최대		16.00%		3.94%		87.15%		83.66%	
최소		-13.77%		-16.66%		-54.33%		-59.47%	

○ 검증사례에 대해 직접 산출한 환경부하량과 비교분석하여 절대평균오차율(MAER, Mean absolute error rate)과 표준편차(standard deviation)를 산출하였으며, [표3-2-9], [표 3-2-10]과 같이 분석됨. PSC Beam교의 경우, 상부면적과 연장에 대한 원단위 방식에 대한 절대평균오차율은 각각 30.33%, 30.57% 이며, IPC Girder의 경우, 상부면적과 연장에 대한 원단위 방식에 대한 절대평균오차율은 각각 56.91%, 59.03%으로 나타남. 본 연구에서 제안된 모델은 PSC Beam교의 경우, 절대평균오차율 15.68%, 10.52%, IPC Girder의 경우, 절대평균오차율 8.76%, 5.50%으로 산출됨. 환경부하량 추정시 일반적으로 활용되는 원단위 방식에 비해 높은 정확도를 갖는 것으로 나타났으며, 환경부하량 추정결과의 편차범위도 원단위 방식과 비교하여 신뢰성 측면에서도 향상된 결과를 보여준다고 할 수 있음

3. 설계단계 환경부하 평가모델

가. 설계단계 환경부하 평가모델 개요

- SOC 시설물에 투입되는 자원은 설계단계에서 대부분 결정되며, 환경부하량을 줄이기 위한 활동은 설계단계에서 이루어져야 함. 기존의 상세설계 자료를 바탕으로 하는 개별적산법에 기반한 방법론은 설계가 완료되어야만 적용할 수 있으며, 설계가 진행되면서 대상 시설물에 대한 다양한 설계 대안에 대해 검토가 이루어지는 단계에서는 적용하기 어려움. 또한, 데이터 마이닝, 통계적 방법 등에 기반한 방법론은 시설물의 전체 환경부하량을 추정하는 연구가 대부분이며, 시설물 건설시 공종별 투입물질에 의해 발생하는 환경부하의 연관관계 및 특성을 파악할 수 없는 한계가 있음. 이에 본 연구에서는 설계 초기단계에서 시설물 형식 및 규모를 결정하는 주요 설계인자를 이용하여 시설물의 공종별 투입물질과 환경부하량을 추정할 수 있는 모델을 개발하고자 함
- 설계가 진행됨에 따라 가용할 수 있는 정보의 수준이 상세해지고, 이러한 설계 정보를 활용하여 대상 시설물의 공종별 물량을 기반으로 보다 구체적인 환경부하량 산정이 가능함. 실제 PSC Beam 교량 공사에서 수행되는 공종을 분석하여, 주요 부위별/공종별로 환경부하량이 높은 비중을 차지하는 주요 공종을 대표공종으로 선정함. 그리고, 상부 및 하부 표준단면을 토대로 표준물량 DB를 구축하고 환경부하 평가모델을 개발함
- 설계 초기단계에서 이용 가능한 연장, 폭원, 하부 높이, 기초 깊이/형식 등과 같은 기본적인 설계인자를 이용하여 상부공, 하부공, 기초공에 대해 대표공종별 표준 물량과 주요 투입자재 및 소요 에너지를 산정할 수 있는 모델 및 데이터베이스를 구축하고, 소요자원을 LCI DB와 연계하여 최종적으로 환경부하량을 산출하는 모델을 구축함



[그림 3-2-8] 설계단계 환경부하량 평가모델 개요

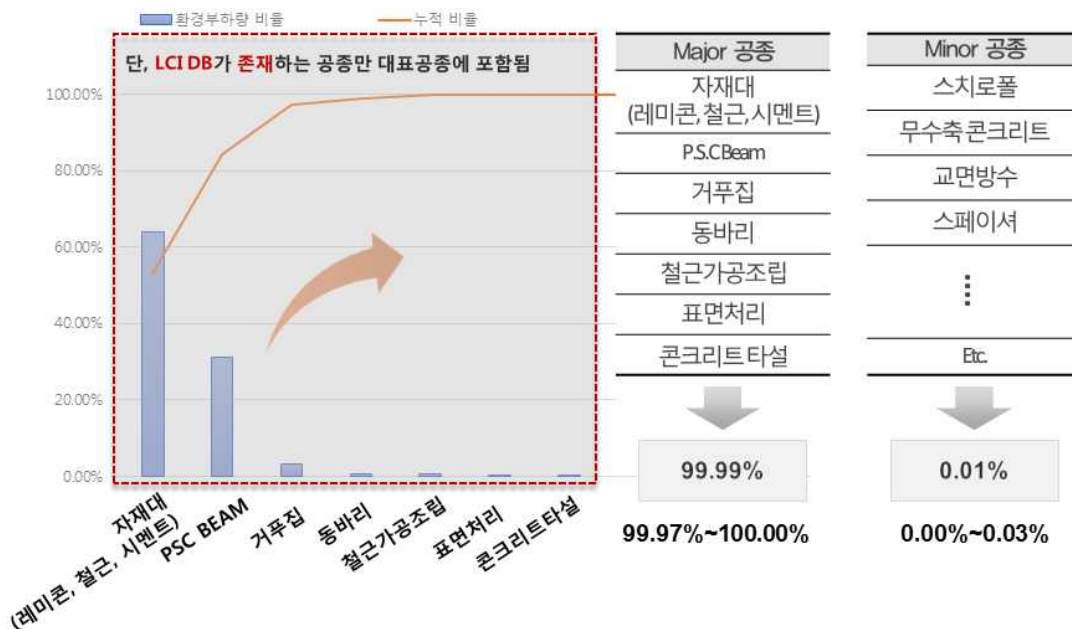
나. 환경부하 특성분석

- 국도 도로건설 프로젝트의 수량산출서, 내역서, 실시설계 보고서, 설계도면 등의 기초 설계자료를 대상으로 36건의 사례에 대해 환경부하량을 산출하고, 교량의 부위별/공종별 환경부하 특성을 분석함. PSC Beam교 전체 환경부하량에 대한 부위별 환경부하량 점유비율 결과가 다음 그림과 같이 분석됨



[그림 3-2-9] PSC Beam교 부위별 환경부하량 점유비율

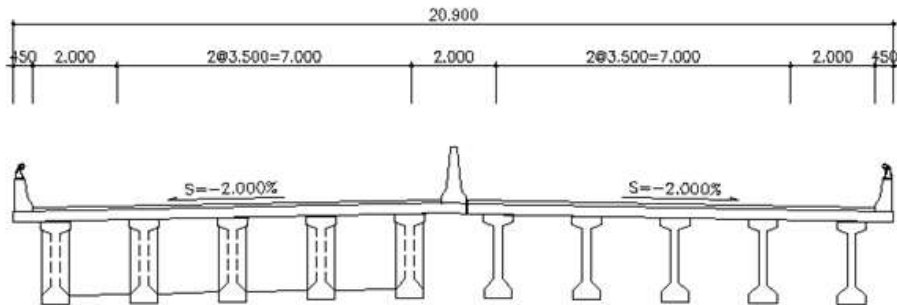
- 본 연구에서는 공환경부하량을 많이 배출하는 주요 공종만을 이용하여 신속하게 환경부하량을 산정하기 위해 대표공종을 선정함. 대표공종선정은 상·하부공(기초공)에 한해서 수행하였으며, 부대공과 토공의 환경부하량은 부위별환경부하량 점유비율을 상·하부공 모델의 결과값에 적용함
- 공종별 환경부하 중 자재와 에너지별로 비율이 높은 공종을 우선순위로 하여 대표공종을 선정하였으며, 설계 초기단계에서 활용 가능한 주요 설계정보를 통해 표준물량 산출이 가능한 공종을 추가적으로 대표공종으로 선정하였음([그림 3-2-10] 참조). 하부공(기초공)에 대한 대표공종은 별권에 수록함



[그림 3-2-10] PSC Beam교 상부공 대표공종

다. 표준물량 기반 환경부하량 평가모델 개발

○PSC Beam교 4차로, 폭원 20.9m을 표준단면으로 설정함



[그림 3-2-11] 상부공 대표단면(PSC Beam교)

[표 3-2-11] PSC Beam교 대표공종의 표준물량 DB

표공종	단위	경간장 30m	경간장 35m
		수량(직교/사교)	수량(직교/사교)
1. 자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
19-40-15 (PSC Beam)	m³/본	23.048	33.618
25-27-15 (슬래브)	m³/연장	5.375	5.305
25-27-15 (가로보)	m³/경간당 (3개소)	25.951	37.800
1.2 철근		-	-
PSC Beam	ton/본	4.552	6.151
슬래브	ton	가공조립X(1.0334/1.0354)	가공조립X(1.0390/1.0328)
가로보	ton	가공조립X(1.0329/1.0383)	가공조립X(1.0249/1.0387)
1.3 시멘트		-	-
몰탈(1:3)	kg	111.18	148.920
그라우팅 밀크	kg	397.500	598.500
2. P.S.C Beam		-	-
2.1 PSC Beam 제작	본/경간	10	10
2.2 PSC Beam 설치	본/경간	10	10
2.3 PSC Beam 전도방지	본/경간	10	10
2.4 Sole Plate	ea/본	2	2
3. 거푸집		-	-
합판 3회	m²/연장	18.452	19.254
4. 철근가공조립		-	-
4.1 복잡		-	-
PSC Beam	ton/본	4.434	5.927
슬래브	ton	레미콘/1.01X(0.1902/0.1545)	레미콘/1.01X(0.2166/0.1889)
가로보	ton	레미콘/1.01X(0.0974/0.0892)	레미콘/1.01X(0.1045/0.1176)
5. 동바리		-	-
5.1 데크 피니셔용	공/m²/연장	2.644	2.729
5.2 일반 목재	공/m²/연장	22.196	22.738
6. 슬래브 양생(표면처리)		-	-
6.1 슬래브 양생	m²/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	
6.2 데크 피니셔	m²/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	
7. 콘크리트 타설		-	-
7.1 철근(0~15m)	m³	레미콘(슬래브+가로보)/1.01	
8. 교면포장		-	-
8.1 아스팔트 표층(T=80mm)	m²/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	

- 수량산출서를 기반으로 표준단면에서의 공종 특성 및 물량단위를 고려하여 공종별 단위물량을 산정하고 형식별로 경간장과 직교/사교 여부에 따라 표준 단위물량 DB를 구축함. 대표공종의 환경부하량을 산출하기 위해 대표공종의 단위 소요자원의 목록과 수량을 정리한 자원 DB를 구축함 ([표 3-2-11], [표 3-2-12] 참조)
- 교량 하부는 설계자료를 근거로 가장 일반적으로 설계되는 단면의 제원(교대: H 8.0m, 교각: 코핑폭 10.0m/직경 2.5m/2.8m)을 활용하여 표준물량을 산정함. 교대 콘크리트와 거푸집 물량은 표준단면의 콘크리트 물량에 높이별 증감비율을 곱하여 물량을 산정할 수 있으며, 증감비율 산정식은 [표 3-2-13]과 같음. 교대의 철근물량은 콘크리트 물량에 교대높이별 철근비율을 곱하여 산정하는 방법을 적용([표 3-2-14] 참조)

[표 3-2-12] 상부공(PSC Beam 제작) 자원DB(경간장 30m)

공종명	규격	단위	자재명	규격	단위수량	단위	LCI DB 연결
14.a. PSC BEAM 제작	30M	본	철근(SD30A)		-0.0225	M/T	철근
			ㄱ형강	75x75x6M/M 6.85KG/M	0.141691	M/T	형강
			열연박판	3.0≤T<4.00, 1219x2438M/M	0.126257	M/T	열연코일
			보통철선	#8 4.0M/M 10.1M/KG	0.03	KG	선재
			직선결속선	#20 4.5M/M	28.768	KG	선재
			PC강연선(2중)	12.7M/M, 3연선, 774.0KG/KM	1.5498	ton	선재
			육각볼트	M16x50mm	8.457137	EA	선재
			육각볼트	M16x60mm	4.057138	EA	선재
			육각볼트	M16x70mm	2.942864	EA	선재
			미송각재	3.6x9.0cmx4.5cm (상품)	0.035593	m ³	합판
			나선형시즈관	65MM	96.99588	M	용융아연도금강판
			PVC파이프(일반용VG2)	100mm x 4m	1.365	M	PVC관(VG2)_D=100
			용접봉(연강용)	3.2mm KSE4301	6.953152	KG	선재
			산소	99% 6000 ℓ (기체) 40 ℓ	0.34411	병	산소
			아세틸렌	98% (용접용) 1kg=853 ℓ	0.925346	KG	아세틸렌
			고 철		14.95542	KG	선재
			플라이애쉬		77.018	KG	-
			PC 콘	Φ12.7MM	6	SET	-
			알루미늄분말		5.558	KG	알루미늄 판
			경유	저유황(0.1%)	424.8037	L	경유

- 교각의 콘크리트와 거푸집 물량은 표준단면의 물량을 산정하는 방법을 적용하고, 철근물량의 경우는 [표 3-2-15]과 같이 교각 높이별 철근비율을 곱하여 산정함(하부공(기초공) 표준물량 DB 및 자원 DB는 별권 및 부록에 수록함)

[표 3-2-13] 교대 콘크리트 및 거푸집 물량 증감비율

공종명	증감비율 산정식	비 고
콘크리트 물량 증감비율	$y_c = 0.2318h_a - 0.8373$ (경간장 30m) $y_c = 0.2406h_a - 0.9289$ (경간장 35m)	y_c = 증감비율, h_a = 교대 높이
거푸집 물량 증감비율	$y_f = 0.1437h_a - 0.1620$ (경간장 30m) $y_f = 0.1622h_a - 0.2374$ (경간장 35m)	y_f = 증감비율, h_a = 교대 높이

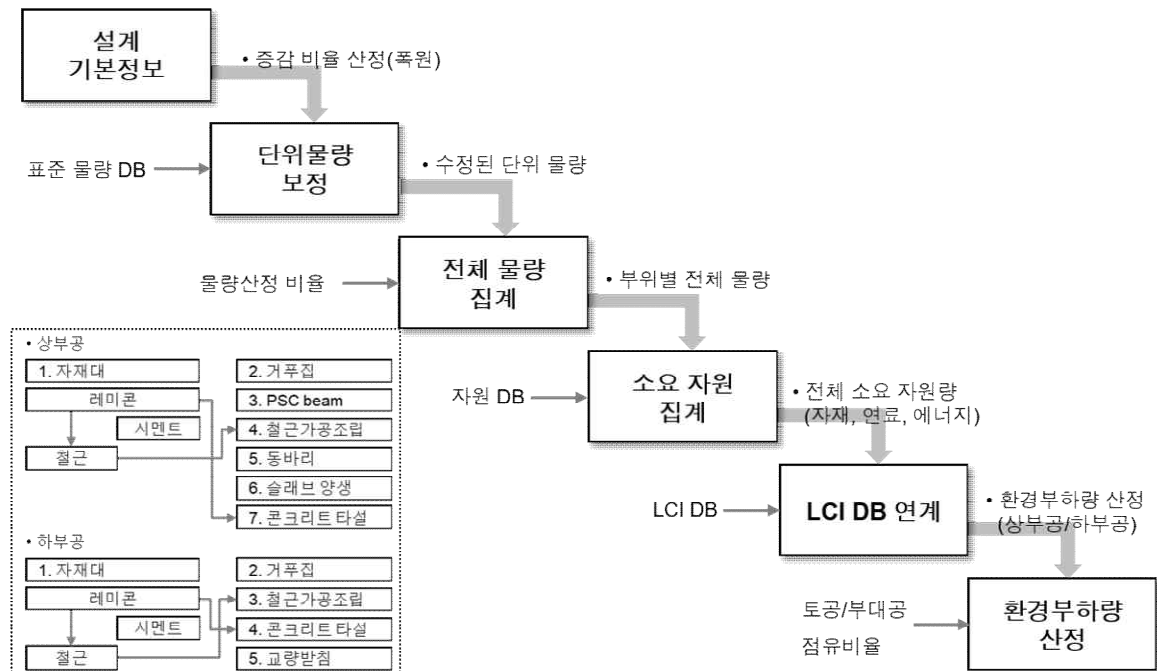
[표 3-2-14] 교대높이별 콘크리트-철근 비율

경간장	기초형식	교대높이< 8.0m		8.0m ≤교대높이< 10.0m		10.0m ≤교대높이		할증비율
30m	직접기초	0.08518	stdev. 0.90%	0.08655	stdev. 0.91%	0.11731	stdev. 3.60%	1.04989
	강관파일	0.09953	stdev. 1.96%	0.10464	stdev. 0.77%	0.12068	stdev. 0.26%	1.05211
35m	직접기초	0.09360	stdev. 0.39%	0.09898	stdev. 2.17%	0.14692	stdev. 2.55%	1.04697
	강관파일	0.10854	stdev. 1.57%	0.10736	stdev. 1.12%	0.10234	stdev. 1.04%	1.05379

[표 3-2-15] 교각 기둥높이별 콘크리트-철근 비율

경간장	기초형식	기둥높이< 10.0m		10.0m ≤기둥높이< 15.0m		15.0m ≤기둥높이< 20.0m	
30m	직접기초	0.34639	stdev. 2.34%	0.26648	stdev. 2.75%	0.21116	stdev. 2.94%
	강관파일	0.35981	stdev. 4.60%	0.24901	stdev. 3.96%	0.31662	stdev. 1.52%
	공동(평균)	0.35645	stdev. 4.12%	0.25993	stdev. 3.10%	0.24631	stdev. 5.94%
35m	직접기초	0.37715	stdev. 6.59%	0.29484	stdev. 2.96%	0.18009	stdev. 2.40%
	강관파일	0.28509	stdev. 2.08%	0.19534	stdev. 3.96%	0.16584	stdev. 0.84%
	공동(평균)	0.33112	stdev. 6.67%	0.26996	stdev. 5.41%	0.17398	stdev. 1.98%
경간장	기초형식	20.0m ≤기둥높이< 25.0m		25.0m ≤기둥높이		합증비율	
30m	직접기초	0.18345	stdev. 2.11%	0.19850	stdev. 0.87%	1.05465	
	강관파일	0.31662	stdev. 1.52%	0.31662	stdev. 1.52%	1.05212	
	공동(평균)	0.18345	stdev. 2.11%	0.19850	stdev. 0.87%	1.05347	
35m	직접기초	0.17505	stdev. 1.49%	0.15298	stdev. 0.75%	1.05418	
	강관파일	0.16785	stdev. 1.86%	0.20720	stdev. 1.99%	1.05360	
	공동(평균)	0.17197	stdev. 1.55%	0.17106	stdev. 2.99%	1.05397	

- 연장, 폭원, 경간장
- 교대/교각 높이, 기초형식 및 깊이



[그림 3-2-12] 설계단계 환경부하 평가모델의 산정 프로세스

- 표준물량 기반 설계단계 모델은 PSC Beam교의 상부공, 하부공의 대표공종별 표준물량 DB, 공종별 소요되는 단위자원 DB로 구성되며, 물량 산출을 위한 입력정보를 통해 전체 자원량을 산정하고 LCI DB와 연계하여 환경부하량을 산출할 수 있음. [그림 3-2-12]는 입력정보에 따라 표준물량 DB로부터 대표공종의 물량을 구하고, 자원 DB를 활용하여 전체 소요 자원량을 산정한 후 LCI DB 연계를 통해 교량 전체의 환경부하량을 산정하는 프로세스를 나타냄
- PSC Beam교 외 추가시설물인 PSC Box교, IPC 거더교, PSC e-Beam교, DR 거더교에 대한 표준물량 DB, 자원 DB는 부록에 수록하였으며, 설계단계 환경부하량 산정 프로세스는 PSC Beam교와 동일함

라. 평가모델 검증

- PSC beam교 10개 검증사례에 대해 직접 산출한 환경부하량과 비교분석하여 절대평균오차율과 표준편차를 산출하여 검증함([표 3-2-16], [표 3-2-17] 참조)
- 상부면적과 연장에 대한 원단위 방법의 절대평균오차율은 각각 28.56%, 27.39% 이며, 표준편차는 각각 29.16%, 28.92%로 나타났으며, 본 연구에서 제안된 모델은 절대평균오차율 2.44%, 표준편차 2.58%로 나타남. 환경부하량 추정시 일반적으로 활용되는 원단위 방식에 비해 높은 정확도를 나타내며, 환경부하량 추정결과의 편차범위도 원단위 방식과 비교하여 신뢰성 측면에서도 향상된 결과를 보여줌

[표 3-2-16] 설계단계 모델 검증용 사례 정보

기본 정보	검증1	검증2	검증3	검증4	검증5	검증6	검증7	검증8	검증9	검증10
연장 (m)	30	30	90	210	35	105	210	375	30	35
폭원 (m)	15.9	20.4	22.8	20.9	21	21.4	23.6	20.9	25.9	24.88
경간장(m)	30	30	30	30	35	35	35	35	30	35
평면형상 (직교/사교)	사교	직교	직교	직교	사교	사교	사교	직교	직교	직교
교대높이 (m)	7.89	19.99	8.41	8.00	10.25	8.00	9.02	11.51	10.99	12.03
교각높이 (m)	-	-	9.25	29.46	-	12.38	20.03	24.91	-	-
기초형식	강관파일	강관파일	직접기초	직접기초	강관파일	강관파일	혼합기초	직접기초 (mass)	직접기초 (mass)	직접기초 (mass)
기초깊이 (m)	6.75	11.4	-	-	12.5	9.45	8.8	-	-	-

[표 3-2-17] 표준물량 기반 모델 및 원단위 분석 모델의 검증결과

검증사례	실제 환경부하량 eco-point	원단위(상부면적) (eco-point/m ²)		원단위(연장) (eco-point/m)		설계단계 모델	
		산정결과	오차율	산정결과	오차율	산정결과	오차율
		eco-point	%	eco-point	%	eco-point	%
검증1	9.62E+01	8.19E+01	-14.86	1.07E+02	11.59	9.84E+01	2.27%
검증2	1.49E+02	1.05E+02	-29.27	1.07E+02	-27.75	1.46E+02	-1.62%
검증4	2.60E+02	3.53E+02	35.84	3.22E+02	24.16	2.48E+02	-4.49%
검증3	5.86E+02	7.54E+02	28.76	7.52E+02	28.38	5.68E+02	-3.08%
검증5	1.56E+02	1.26E+02	-19.21	1.25E+02	-19.83	1.62E+02	3.66%
검증6	3.02E+02	3.86E+02	27.75	3.76E+02	24.40	3.08E+02	1.83%
검증7	6.10E+02	8.51E+02	39.62	7.52E+02	23.28	5.97E+02	-2.12%
검증8	1.05E+03	1.35E+03	28.17	1.34E+03	27.79	1.05E+03	0.42%
검증9	1.98E+02	1.33E+02	-32.62	1.07E+02	-45.79	1.91E+02	-3.47%
검증10	2.12E+02	1.50E+02	-29.48	1.25E+02	-40.93	2.09E+02	-1.46%
평균오차(절대값)		28.56 %		27.39 %		2.44 %	
표준편차		29.16 %		28.92 %		2.58 %	

[표 3-2-18] 설계단계 모델 검증용 사례 정보(PSC BOX)

기본 정보		검증1	검증2	검증3
연장 (m)		460	655.47	420
폭원 (m)		20.4	14.4	21.2
경간장(m)		135	105	100
교대	교대높이 (m)	11	9.87	10.9
	기초형식	직접	말뚝	직접
	말뚝길이 (m)	-	22.5	-
	매스깊이 (m)	-	-	1.5
교각	교각높이 (m)	21.4	16.24	27.9
	기초형식	직접	말뚝	직접
	말뚝길이 (m)	-	11	-
	매스깊이 (m)	-	-	-

[표 3-2-19] 표준물량 기반 모델 및 원단위 분석 모델의 결과 비교(PSC BOX)

검증사례	실제 환경부하량	원단위 (eco-point/m)		설계단계 모델 (eco-piont)	
		산정결과	오차율	산정결과	오차율
	eco-point	eo-point	%	eco-point	%
검증1	3.80.E+03	2.91.E+03	23.28%	4.29E+03	-12.85 %
검증2	3.23.E+03	4.15.E+03	-28.68%	2.96E+03	8.21 %
검증3	2.45.E+03	2.66.E+03	-8.77%	2.78E+03	-13.78 %
평균오차(절대값)		20.25 %		11.61 %	
표준편차		10.30 %		2.98 %	

○ IPC Girder교 5개 검증사례에 대한 직접 산출한 환경부하량과 비교분석하여 절대평균오차율과 표준편차를 산출하여 검증함. 산출된 환경부하량은 IPC Girder교의 상부, 하부(교대/교각/기초) 각각의 환경부하량을 합산하였으며 검증사례5개에 대하여 추정된 오차율은 2.73%~13.53%로 나타났으며 오차평균은 9.43%, 표준편차 4.30%로 분석됨([표 3-2-21] 참조)

[표 3-2-20] 설계단계 모델 검증용 사례 정보(IPC Girder)

구분	사례1	사례2	사례3	사례4	사례5
연장 (m)	30m	40m	40m	35m	120m
폭원 (m)	20.9m	20.9m	20.9m	20.9mm	31.6
경간장 (m)	30m	40m	40m	35m	40m
평면형상(직교/사교)	직교	사교	사교	사교	직교
교대높이 (m)	8.8m	12.0m	10.0m	10.2m	7.5m
교각높이 (m)	무	무	무	9.3m	20.6m
기초형식	말뚝	말뚝	말뚝	말뚝	혼합
차로수	4차로	4차로	4차로	4차로	4차로

[표 3-2-21] 설계단계 모델 검증결과(IPC Girder)

구분	추정값	실제값	오차율	오차절대값
사례1	9.04E+01	1.05E+02	-13.74%	-13.74%
사례2	1.50E+02	1.60E+02	-6.37%	-6.37%
사례3	1.42E+02	1.46E+02	-2.73%	-2.73%
사례4	1.16E+02	1.34E+02	-13.53%	-13.53%
사례5	4.51E+02	5.07E+02	-11.05%	-11.05%
오차평균	9.48%			
표준편차	4.30%			

4. 유지관리단계 환경부하 평가모델

가. 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요

- 유지관리란 생애주기(Life Cycle)동안 적절한 관리를 수행하고 보유성능이 유지되도록 유지 관리 계획수립, 조사, 진단, 보수·보강과 같은 일련의 작업을 반복적으로 시행하는 것으로써, 시설물의 생애주기 동안 발생 가능한 유지보수공법의 환경부하량을 예측하기 위하여 각종 연구문헌 및 유지보수 사례를 통해 현황을 조사하고, PSC Beam교량에서 주로 사용되는 유지보수공사 공법을 수집하여 분석을 실시함



[그림 3-2-13] 유지보수 공법별 환경부하량 산정 개요

나. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성 분석

- PSC Beam교의 주요 유지보수공법을 선정하여 공법별 규격에 대해 사례(77건) 분석함. 유지 보수 설계사례를 조사하여 공법별 입력변수를 정의하고, 주요 유지보수 공법별 자원 및 환경 부하량 DB를 구축함

[표 3-2-22] 주요 유지보수 공법별 사례분석

공법명	규격	사례분석 건수
콘크리트 균열보수	균열폭 (b=0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0mm)	36
	균열깊이 (t=100, 120, 150mm)	
	건식, 습식	
신축이음장치 교체공	NEW F/J #50, (b=33cm t=15cm)	2
	NEW F/J #80, (b=38cm t=15cm)	
절삭후 아스팔트 덧씌우기	절삭면적(a) (5이하, 5~10, 10~15, 15~20, 20~40)	10
	주간, 야간	
교면재포장 (Guss(mastic) Asphalt)	T(포장두께)=3cm	1
	T(포장두께)=4cm	1
	합계	50
외부강선보강	PSC Beam	5
탄성받침교체	MAS공법 (1000KN, 2000KN, 3000KN, 4000KN)	17
	컴퓨터 동시인상 공법 (1000KN, 2000KN, 3000KN, 4000KN)	
	컴퓨터 인상인하 공법 (1000KN, 1500KN, 2000KN, 2500KN, 3000KN, 3500KN, 4000KN, 4500KN, 5000KN)	
	합계	22

[표 3-2-23] 유지보수공법별 환경부하량 분석

유지보수 공법명		가중화값							
		자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
절삭후덧씌우기 (얇은절삭)		4.28E-04	1.12E-05	1.45E-05	2.48E-04	2.47E-06	1.66E-05	5.57E-04	1.27E-04
교면재 포장 (t=3cm)		8.80E-04	1.01E-05	6.47E-06	1.40E-04	1.11E-05	2.72E-05	2.85E-04	5.34E-05
교면재 포장 (t=4cm)		1.09E-03	1.26E-05	8.13E-06	1.76E-04	1.37E-05	3.39E-05	3.57E-04	6.72E-05
외부강선보강 (PSC빔=30m)		1.95E-02	2.86E-03	6.21E-04	3.14E-02	1.10E-04	2.13E-03	1.28E-04	7.91E-04
외부강선보강 (PSC빔=35m)		2.23E-02	3.33E-03	7.21E-04	3.64E-02	1.15E-04	2.46E-03	1.44E-04	9.17E-04
MAS 공법	(1000KN)	6.02E-03	3.12E-06	6.83E-07	8.76E-05	1.85E-08	1.73E-06	1.08E-08	3.78E-07
	(2000KN)	6.45E-03	3.34E-06	7.31E-07	9.38E-05	1.98E-08	1.85E-06	1.16E-08	4.04E-07
컴퓨터 인상인하 (1000KN, 2000KN)		5.38E-03	2.79E-06	6.11E-07	7.83E-05	1.66E-08	1.55E-06	9.69E-09	3.37E-07
컴퓨터 동시인상	(1000KN)	8.55E-03	2.02E-05	7.77E-06	4.03E-04	2.04E-06	1.12E-04	2.19E-05	3.13E-05
	(2000KN)	8.69E-03	2.03E-05	7.78E-06	4.05E-04	2.04E-06	1.12E-04	2.19E-05	3.13E-05
교량 받침 교체	(1350KN)	1.81E-02	5.80E-04	2.35E-04	1.25E-02	9.02E-05	4.21E-03	7.56E-05	1.52E-03
	(1750KN)	2.02E-02	6.62E-04	2.71E-04	1.33E-02	1.06E-04	4.50E-03	8.72E-05	1.80E-03
신축 이음 장치 교체	(#50)	9.94E-03	4.74E-04	2.26E-04	1.35E-02	3.18E-05	2.31E-03	3.16E-05	1.02E-03
	(#80)	1.34E-02	6.32E-04	3.14E-04	1.85E-02	3.60E-05	2.95E-03	3.51E-05	1.13E-03

다. 유지보수공법 기반 환경부하량 평가모델 개발

[표 3-2-24] 유지보수공법별 기본정보

공법명	규격		입력변수	보수율	보수주기(년)
교면포장보수	절삭후 덧씌우기	얇은 절삭(t=3cm)	연장, 폭원 (부분보수면적)	9.2%	6
교면재포장	재포장 두께	t=3cm	연장, 폭원 (상부면적)	100%	10
		t=4cm			
외부강선보강	PSC빔 보강	30m	연장, 경간장, 폭원	100%	30
		35m			
교량받침 교체	인상공법	MAS 공법(1000KN)	연장, 경간장, 폭원	100%	23
		MAS 공법(2000KN)			
		컴퓨터 인상인하 (1000KN)			
		컴퓨터 인상인하 (2000KN)			
		컴퓨터 동시인상 (1000KN)			
		컴퓨터 동시인상 (2000KN)			
	교량받침 설치	1350KN			
		1750KN			
신축이음장치 교체	신축이음장치	NEW F/J # (50)	폭원, 설치개소	100%	22
		NEW F/J # (80)			

- 교량시설물 유지보수공사 설계가이드(서울특별시 안전총괄본부, 2017)와 유지보수 공종별 단가집(한국도로공사, 2016)을 참조하여 주요유지보수공법을 선정하고, 선정된 공법의 EBS 데이터파일을 활용하여 공법별 자원 DB를 구축하였으며, 고속도로 설계단계 LCC DB 개선 및 시스템 적용 연구(한국도로공사, 2014)를 참조하여 공법별 보수율 및 보수주기를 선정함

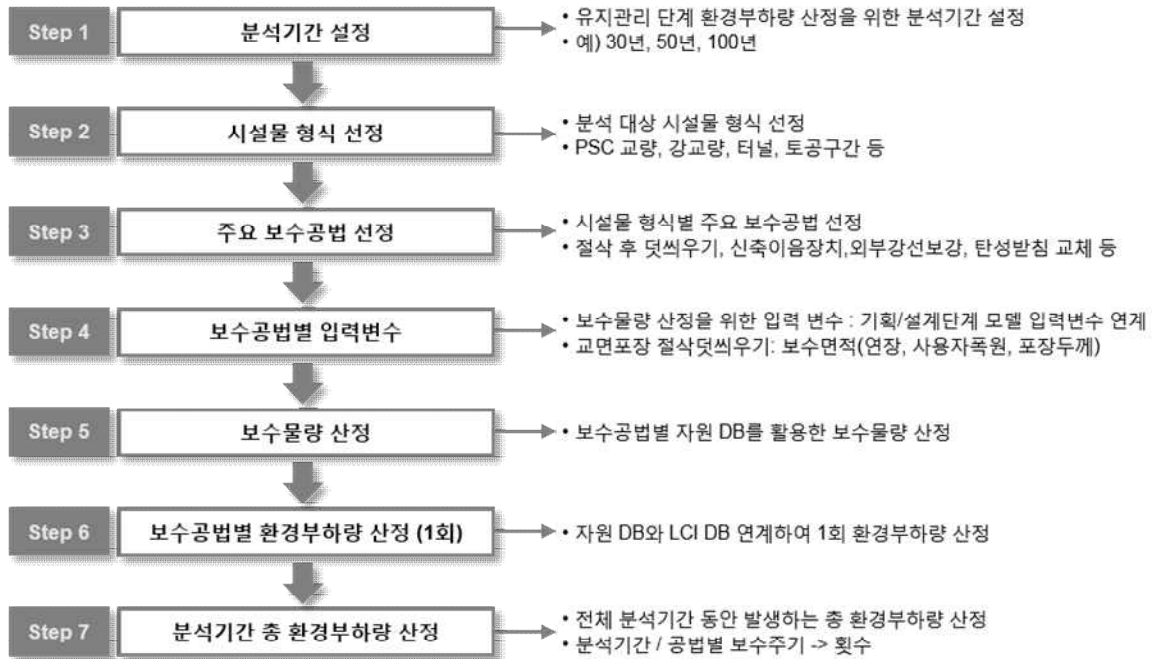
[표 3-2-25] 유지보수 공법별 자원 DB(계속)

공법명	자원명	규격	수량	단위	LCI DB
절삭 후 덧씌우기 (얇은 절삭)	경유		1.816	L	경유
	아스콘		0.072	ton	아스콘
교면재 포장 (t=3cm)	경유		4.303	L	경유
	프로판가스	일반용	2.423	KG	프로판가스
	모래	자연사(시내도착도)	0.009	m³	모래
	자연자갈	#57 25-5mm (시내도착도)	0.022	m³	순환골재
	석분	서울(시내도착도)	0.010	M3	모래
	AP(GUSS)		5.501	KG	아스콘
	TLA		1.629	KG	아스팔트
	접착제(프라이머)	Multi Coat-B	0.300	L	-
교면재 포장 (t=4cm)	경유		5.346	L	경유
	프로판가스	일반용	2.975	KG	프로판가스
	모래	자연사(시내도착도)	0.013	m³	모래
	자연자갈	#57 25-5mm (시내도착도)	0.029	m³	순환골재
	석분	서울(시내도착도)	0.014	M3	모래
	AP(GUSS)		7.335	KG	아스콘
	TLA		2.173	KG	아스팔트
	접착제(프라이머)	Multi Coat-B	0.300	L	-
외부강선보강 (PSC빔=30m)	보통철선	#20 0.9M/M 200.4M/KG	0.020	KG	선재
	PC강선(2중)	15.2mm 1.105KG/KM	0.34	ton	선재
	나선형시즈관	66mm	61.800	M	용융아연도금강판
	경유		1.244	L	경유
	앵커볼트	16x200mm (5/8"x8")	4.200	EA	선재
	PVC파이프 (수도용직관)	100mm x 4m	4.000	M	PVC VG1-100
	에폭시 FREP- 접착제	KH - 300	0.071	KG	에폭시접착제
	스트렌드콘 (긴장정착구)	7mm	4.000	SET	-
	연마석(평형지석)	150*25,G계 녹색	0.030	EA	-
외부강선보강 (PSC빔=35m)	보통철선	#20 0.9M/M 200.4M/KG	0.023	KG	선재
	PC강선(2중)	15.2mm 1.105KG/KM	0.398	ton	선재
	나선형시즈관	66mm	72.100	M	용융아연도금강판
	경유		1.452	L	경유
	연마석(평형지석)	150*25,G계 녹색	0.030	EA	선재
	PVC파이프 (수도용직관)	100mm x 4m	4.000	M	PVC VG1-100
	에폭시 FREP- 접착제	KH - 300	0.071	KG	에폭시접착제
	스트렌드콘 (긴장정착구)	7mm	4.667	SET	-
	앵커볼트	16x200mm (5/8"x8")	4.200	EA	-
MAS 공법(1000KN)	경유		29.718	L	경유
MAS 공법(2000KN)	경유		31.804	L	경유

[표 3-2-20] 유지보수 공법별 자원 DB

공법명	자원명	규격	수량	단위	LCI DB
컴퓨터 인상인하 (1000KN, 2000KN)	경유		26.550	L	경유
컴퓨터 동시인상 (1000KN)	Plate	12<T≤ 20	0.006	ton	후판
	용접봉(연강용)	3.2mm KSE4301	0.177	KG	선재
	산소		60.480	ℓ	산소
	아세틸렌	98% (용접용) 1kg=853 ℓ	0.026	KG	아세틸렌
	경유		39.804	L	경유
컴퓨터 동시인상 (2000KN)	Plate	12<T≤ 20	0.006	ton	후판
	용접봉(연강용)	3.2mm KSE4301	0.177	KG	선재
	산소		60.480	ℓ	산소
	아세틸렌	98% (용접용) 1kg=853 ℓ	0.026	KG	아세틸렌
	경유		40.524	L	경유
교량받침 설치 (1350KN)	탄성받침	1350KN	1.000	EA	탄성받침-1350
	경유		12.623	L	경유
	시멘트		74.324	KG	시멘트
교량받침 설치 (1750KN)	탄성받침	1750KN	1.000	EA	탄성받침-1750
	경유		8.332	L	경유
	시멘트		51.918	KG	시멘트
신축이음장치 교체공(#50)	이형철근	D16M/M 1.560KG/M SD30A, 30B	10.450	KG	철근
	결속선	#20 0.9mm	0.052	kg	선재
	모래	자연사(시내도착도)	0.039	m³	모래
	자연자갈	#57 25-5mm (시내도착도)	0.070	m³	순환골재
	초속경시멘트	3시간에 실용강도 200kg/cm² 이상	39.600	KG	시멘트
	에폭시접착제	CW-205 (신구콘크리트습윤면접착제)	0.768	kg	에폭시접착제
	에폭시희석재	고급 (에폭시도료)	0.192	KG	에폭시계도료
	물		41.536	ℓ	공업용수
	스치로폴(평판)	4호 100x 900x1800mm (비중 0.015)	2.000	매	발포폴리스티렌
	용접봉(연강용)	3.2mm KSE4301	0.624	KG	선재
	휘발유		0.224	L	휘발유
	경유		0.315	L	경유
	산업용전력		1.464	KWH	전기
	New Finger Joint	N0.50	1.000	M	신축이음-50
	블레이드	320~400mm	0.005	개	-
	이형철근	D16M/M 1.560KG/M SD30A, 30B	10.970	KG	철근
신축이음장치 교체공(#80)	결속선	#20 0.9mm	0.055	kg	선재
	모래	자연사(시내도착도)	0.044	m³	모래
	자연자갈	#57 25-5mm (시내도착도)	0.081	m³	순환골재
	초속경시멘트	3시간에 실용강도 200kg/cm² 이상	45.600	KG	시멘트
	에폭시접착제	CW-205 (신구콘크리트습윤면접착제)	0.848	kg	에폭시접착제
	에폭시희석재	고급 (에폭시도료)	0.212	KG	에폭시계도료
	물		41.696	ℓ	공업용수
	스치로폴(평판)	4호 100x 900x1800mm (비중 0.015)	2.200	매	발포폴리스티렌
	용접봉(연강용)	3.2mm KSE4301	0.624	KG	선재
	휘발유		0.224	L	휘발유
	경유		0.355	L	경유
	산업용전력		1.464	KWH	전기
	New Finger Joint	N0.80	1.000	M	신축이음-80
	블레이드	320~400mm	0.005	개	-

- 선정된 유지보수 공법별 환경부하량을 설계초기단계에서의 가용정보만을 이용하여 산정가능하도록 연장, 폭원, 경간장 등과 같은 기본정보를 입력변수로 하여 보수물량을 산정하고 LCI DB와 연계하여 보수공법별 환경부하량(1회)에 해당하는 환경부하량을 산출하여 DB를 구축함. 그리고, 보수공법별 보수율, 보수주기를 고려하여 분석기간 동안에 발생 가능한 유지관리 단계에서의 환경부하량을 추정하는 모델을 구축함 ([그림 3-2-14] 참조)



[그림 3-2-14] 유지관리단계 환경부하량 산정 절차

라. 평가모델 검증

- 유지보수 공법별 검증사례에 대해 환경부하량을 산출하고 유지관리단계 모델의 환경부하량과 비교분석을 실시함. 본 연구에서 제안된 모델은 보수공법별로 -12.76% ~ 8.72%로 나타났으며, 신뢰성있는 환경부하량 추정결과를 보여줌

[표 3-2-26] 유지관리단계 모델의 검증결과

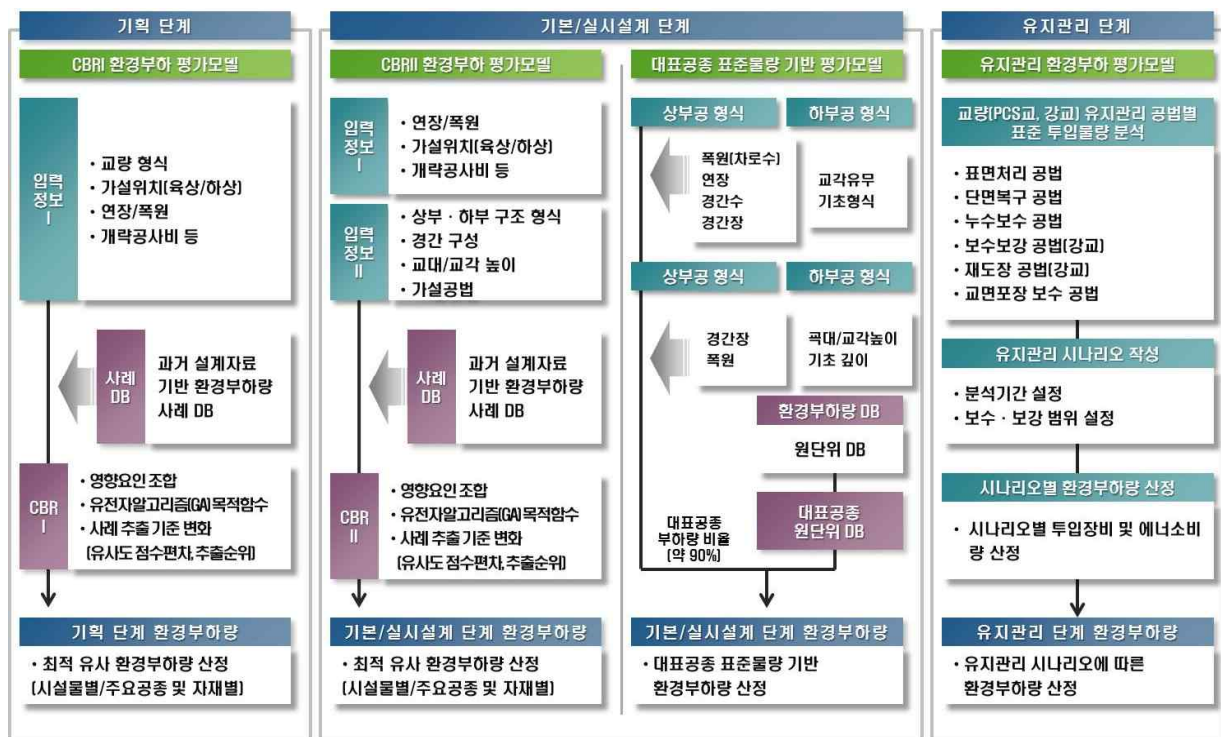
검증 사례	보수공법	가중화값 (단위:eco-point)								총 환경부하량 (eco-point)	오차율 (%)
		자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성		
검증1 모델값	신축이음장치 교체	6.02E-01	2.61E-02	1.32E-02	7.32E-01	1.40E-03	9.69E-02	9.49E-04	2.04E-02	1.49E+00	8.72%
검증2 모델값	교면재포장	5.87E-01	2.79E-02	1.35E-02	8.03E-01	1.76E-03	1.33E-01	1.73E-03	5.58E-02	1.62E+00	
검증3 모델값	탄성받침교체	2.10E-01	3.86E-02	5.05E-02	8.48E-01	8.63E-03	5.75E-02	1.95E+00	4.44E-01	3.60E+00	-9.35%
검증4-1 모델값	철삭 후 덧씌우기	2.03E+00	2.33E-02	1.51E-02	3.26E-01	2.54E-02	6.28E-02	6.62E-01	1.25E-01	3.27E+00	
검증4-2 모델값	탄성받침교체	2.71E+00	6.72E-02	2.75E-02	1.24E+00	1.03E-02	4.43E-01	9.58E-03	1.67E-01	4.68E+00	-5.44%
검증4-3 모델값	탄성받침교체	2.55E+00	5.70E-02	2.30E-02	1.22E+00	8.76E-03	4.10E-01	9.26E-03	1.48E-01	4.43E+00	
검증5 모델값	외부강선보강	2.56E-01	4.71E-02	6.17E-02	1.04E+00	1.05E-02	7.02E-02	2.38E+00	5.43E-01	4.40E+00	-12.76%
검증6 모델값	외부강선보강	1.17E+00	3.07E-02	3.96E-02	6.78E-01	6.75E-03	4.52E-02	1.52E+00	3.48E-01	3.84E+00	
검증7 모델값	외부강선보강	8.54E-01	2.45E-02	9.91E-03	5.18E-01	3.67E-03	1.70E-01	3.41E-03	6.21E-02	1.65E+00	3.89%
검증8 모델값	외부강선보강	9.40E-01	2.33E-02	9.42E-03	5.02E-01	3.61E-03	1.68E-01	3.03E-03	6.09E-02	1.71E+00	
검증9 모델값	외부강선보강	3.82E-01	1.65E-02	8.23E-03	4.55E-01	9.58E-04	6.17E-02	6.51E-04	1.39E-02	9.39E-01	8.31%
검증10 모델값	외부강선보강	3.67E-01	1.75E-02	8.36E-03	4.99E-01	1.17E-03	6.53E-02	1.17E-03	3.75E-02	1.02E+00	
검증11 모델값	외부강선보강	2.74E-01	4.01E-02	8.71E-03	4.45E-01	1.62E-03	3.02E-02	1.85E-03	1.12E-02	8.12E-01	6.14%
검증12 모델값	외부강선보강	2.92E-01	4.29E-02	9.31E-03	4.70E-01	1.65E-03	3.20E-02	1.93E-03	1.19E-02	8.62E-01	

제 3 절 강교량 환경부하 평가모델

1. 강교량 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB 구축

가. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크

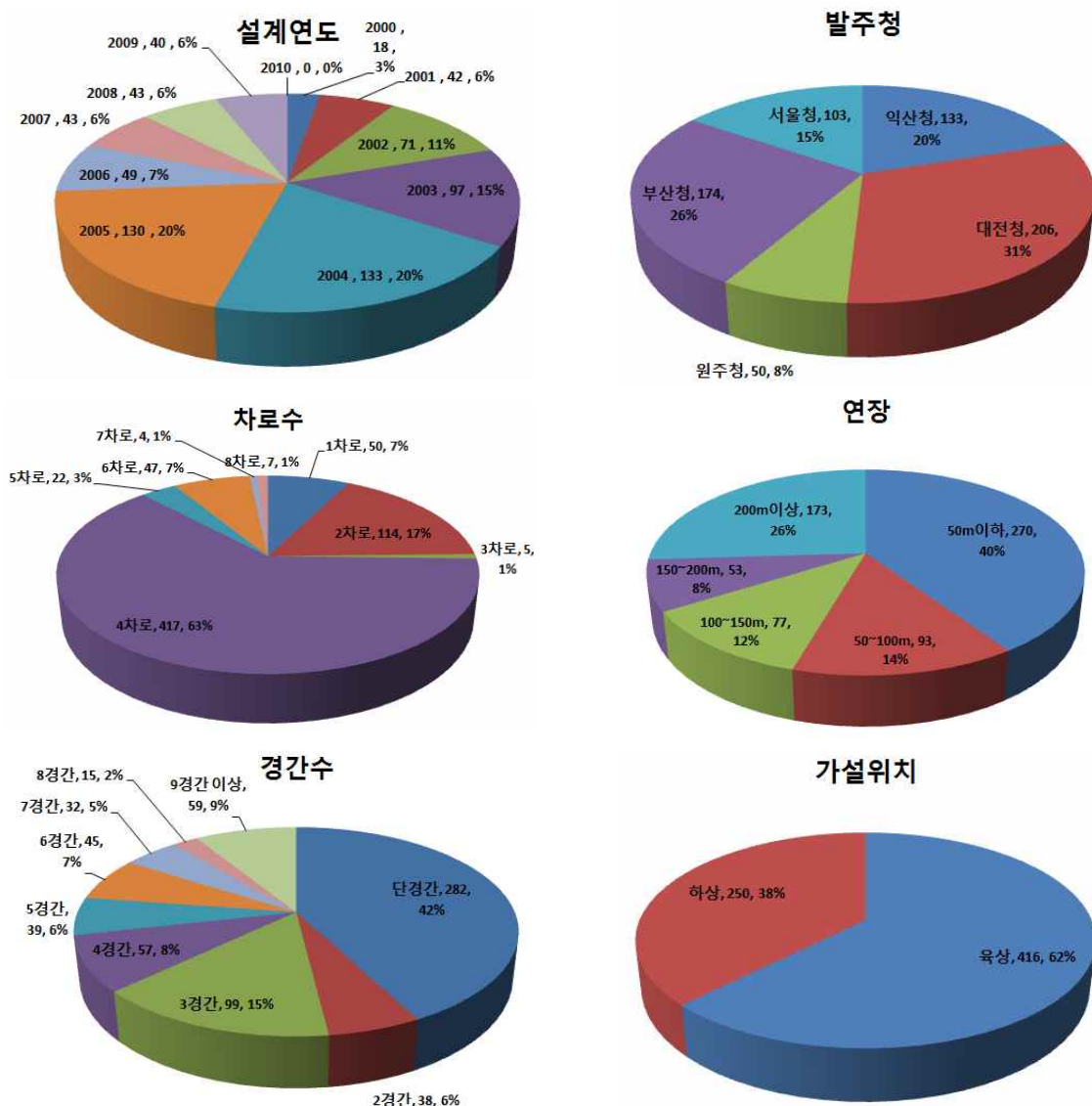
- 사업수행단계별 가용정보의 수준이 다르므로 기획/설계/유지관리 단계에 따른 환경부하 평가 모델이 달라짐. 과거 수행되어 완료된 실적 사례들의 데이터베이스를 구축하여 사업수행단계별 가용정보를 기반으로 환경부하를 추정하는 의사결정 프레임워크를 구축함
- 예산산정 및 사업의 규모를 측정하는 기획단계에서는 가용정보가 극히 제한적임. 교량형식, 가설위치(육상/하상), 연장/폭원 등이 환경부하량에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 나타남. 따라서 이 정보만을 사용하여 사례기반추론(CBR1)을 이용하여 기획단계에서의 환경부하량을 예측하고자 함
- 설계단계에서는 기획단계에 비해 구체적인 가용정보를 활용할 수 있음. 기획단계 환경부하 평가 모델(CBR1)의 가용정보에 교량의 상·하부 기초 형식, 경간구성, 교대/교각높이 등의 가용정보를 추가하여 확장된 환경부하 평가모델(CBR2)을 구축함. 또한 환경부하량에 영향을 크게 미치는 대표 공종을 선정하고 대표공종 표준물량 기반의 평가모델을 구축함
- 유지관리단계에서는 교량의 점검 주기 및 유지관리 공법을 조사한 후 유지관리 시나리오를 작성하여 시나리오별 투입장비 및 에너지소비량을 통한 환경부하량을 산정함



[그림 3-3-1] 강교량 환경부하량 산정 Framework

나. 기초자료 수집 및 분석

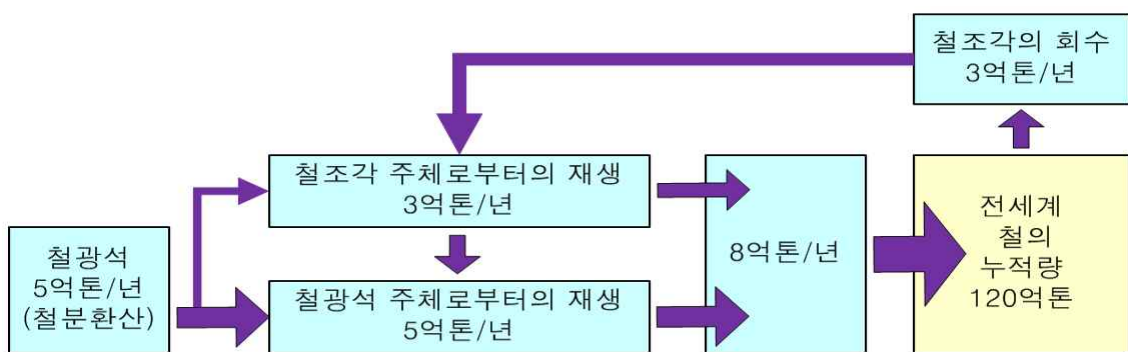
- 본 연구에서는 환경부하량 분석을 위한 기초자료로 2000년 이후로 설계완료된 일반국도의 신설 및 확·포장공사 234개 사업을 대상으로 설계보고서, 수량산출서, 설계내역서, 단가산출서, 구조물도 등의 데이터를 수집하였음
- 수집된 234개 사업에서 본 연구의 대상 구조물의 형식별 수집된 데이터 현황은 PSC Beam 교 61%(407개), 강교 31%(207개), PSC Box교 8%(56개)로 집계되었으며, 설계연도, 발주청, 차로수, 연장, 경간수, 가설위치별 수집 데이터 현황은 [그림 3-3-2]와 같음
- 수집한 기초 설계자료를 바탕으로 교량의 부위별, 공종별 환경부하 특성을 분석하고, CBR 기반 모델 개발을 위한 환경부하량 산정한 결과를 사례 DB로 구축하고 표준물량 및 표준단면을 설정하기 위한 기초자료로 활용함



[그림 3-3-2] 기초자료 조사현황

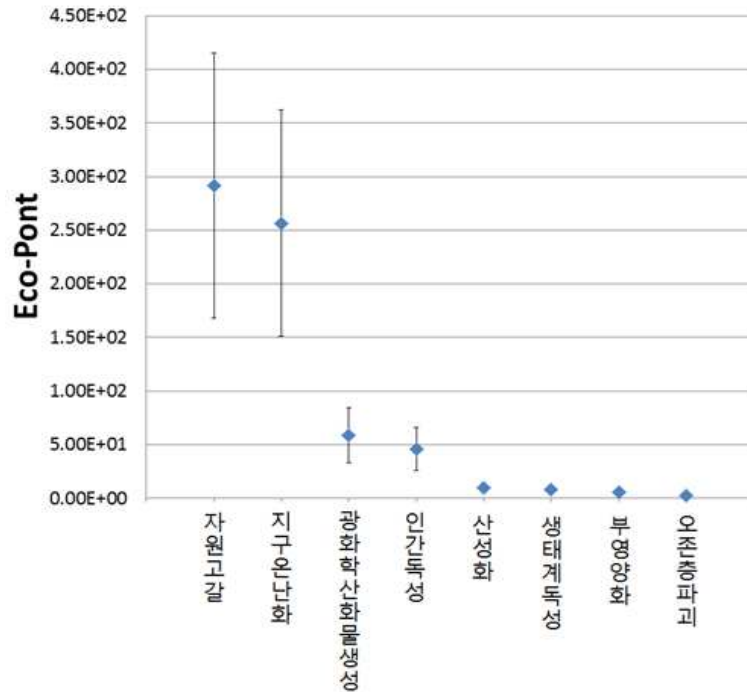
다. 환경부하 영향요인 및 특성 분석

- 강재는 저렴한 가격, 강도, 가공성, 신뢰성, 공급안정성에 따라 공급되는 소재의 약 50%, 금속계에서는 약 90%를 차지하고 있으며, 풍부한 자원과 재활용성이 뛰어나 생태계와 조화를 이룬 원소의 하나로 유해성이 없다는 기본적 성질을 살려 사회의 기초 소재로 제공되고 있음
- 세계의 조강생산은 연간 약 8억톤이고, 생산된 철은 사회 인프라를 주체로 현재 약 120억톤이 축적되어 있고, 사회 축적량의 3% 미만 정도가 철조각으로 회수되며, 철광석을 원료로 하는 제조 프로세스와 철조각을 원료로 하는 제조 프로세스와의 공존에 의해 순환시스템이 성립하고 있음



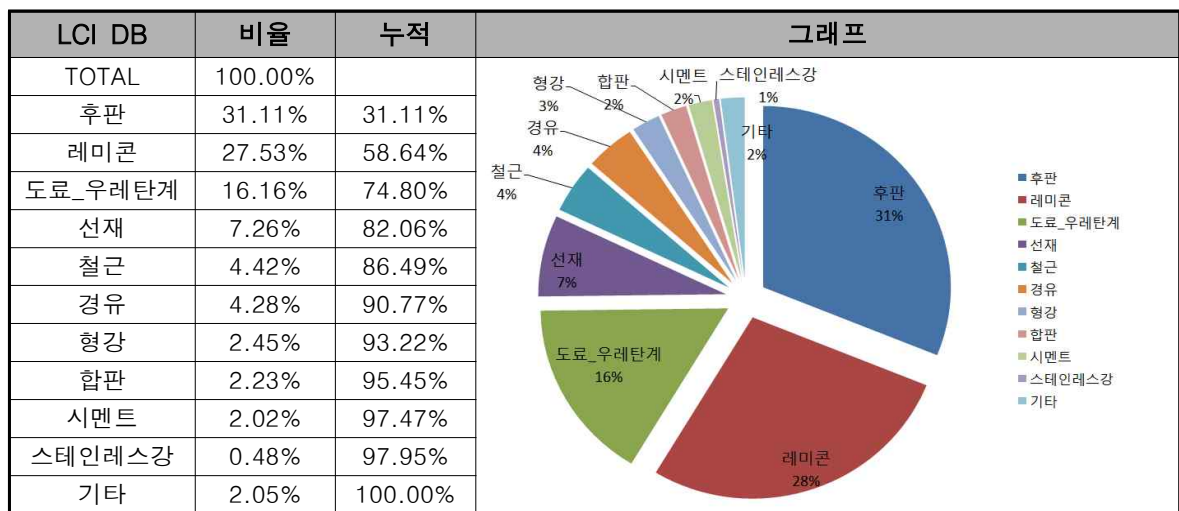
[그림 3-3-3] 철의 순환시스템

- 수집된 DB에서 강교에 대한 환경부하량 산정을 위하여 EBS프로그램에서 사용가능한 강교를 대상으로 내역을 분석하였으며, 강교 내역서상의 소요자재, 장비 및 투입비용을 산출함
- 영향요인별 환경부하량과의 상관관계를 분석하였으며, 환경영향범주 중 평균값은 자원고갈, 지구온난화, 광화학산화물생성, 인간독성 순으로 큰 것을 알 수 있으며, 편차가 큰 편이지만 강교량에서 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있음
- 강교에 투입된 자재와 연계된 각 LCI DB별 환경부하량 평균 비율을 비교하여 분석함. 후판이 31%로 가장 높은 값을 가지며, 레미콘 28%, 도료_우레탄계 16%, 선재 7%, 철근 4%, 경유 4%, 형강 3%, 합판 2%, 시멘트 2%, 스테인레스강 1%, 기타 2%로 나타남

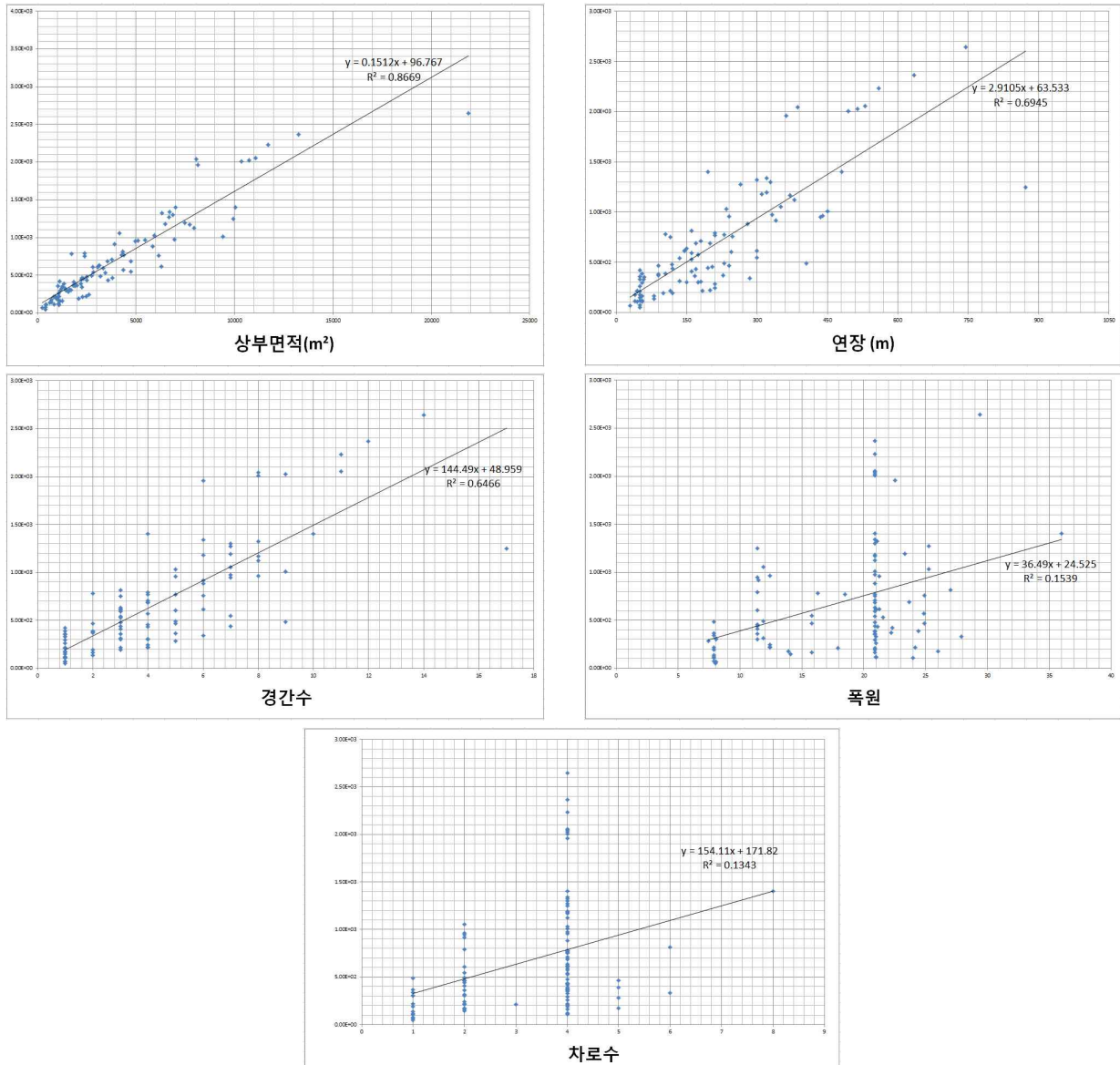


[그림 3-3-4] 8가지 환경영향범주의 평균값과 표준편차

[표 3-3-1] 100개 강교의 LCI DB별 환경부하량 평균 비율



- 환경부하량 산정에 활용할 수 있는 가용정보를 가지고 환경부하량과의 상관성 분석을 실시함. 상부면적, 연장 및 경간수와 환경부하량과의 관계를 분석한 결과, 결정계수 R^2 값이 0.8669, 0.6945, 0.6466으로 상관성이 높은 것으로 나타남. 원과 차로수는 다른 영향인자와 비교했을 경우, 상대적으로 환경부하량과의 상관성이 낮은 것으로 나타남



[그림 3-3-5] 영향요인별 상관성 분석

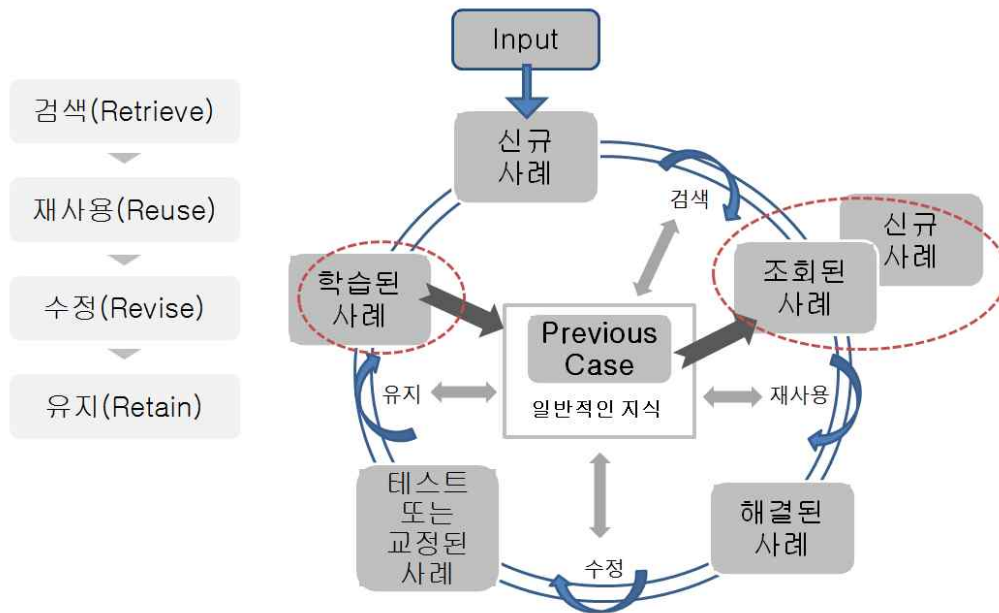
2. 기획단계 환경부하 평가모델

가. 기획단계 환경부하 평가모델 개요

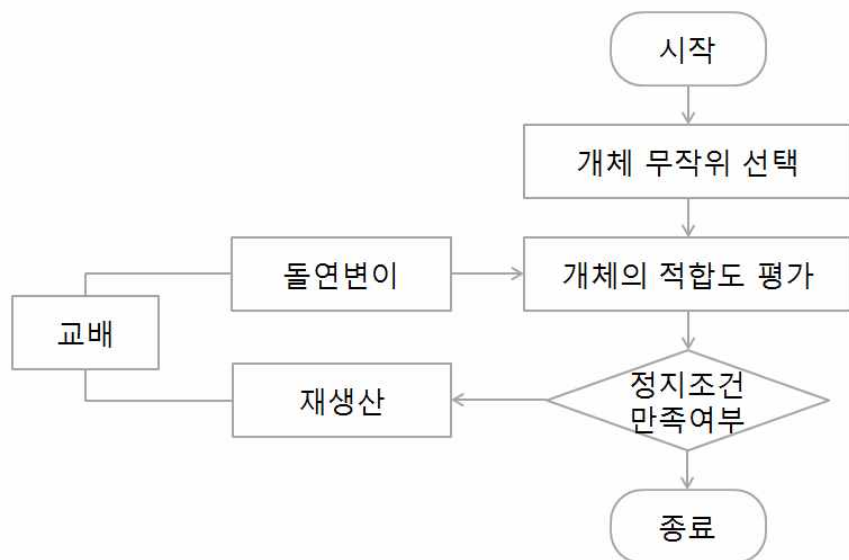
- 사업초기단계에서 제한된 정보를 바탕으로 신뢰성 있는 환경부하량의 추정을 지원하기 위하여, 기존에 설계가 완료된 사례의 환경부하량 DB를 바탕으로 신규 대상 시설물과 유사한 사례를 추출하고, 이를 기반으로 신규 시설물의 환경부하량을 추정하기 위하여 모델 개발에 사례기반추론(Case Based Reasoning)을 이용하였음
- 사례기반추론을 이용하여 프로젝트 초기 기획 및 기본설계단계의 강교의 환경부하량 예측모델을 구축하기 위해서 최소의 예측오차를 얻기 위한 사례의 유사도 산정 및 유사사례의 추출에 필요한 속성별 가중치를 산정하기 위한 방안으로 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)

을 활용하였음

- 유전자 알고리즘은 선택(selection), 교차(crossover), 돌연변이(mutation)의 세 가지 연산자로 구성되며 이들 연산자 적용의 과정을 [그림 3-3-6]에 나타냄



[그림 3-3-6] 사례기반추론 기본프로세스



[그림 3-3-7] 유전자 알고리즘 연산자 적용 과정

나. 사례 DB구축

- 환경부하량 사례 데이터베이스를 구축하기 위하여 수집된 국도 건설사업의 내역서, EBS 파일, 수량산출서, 설계보고서, 설계도면 등을 분석하여 130개의 강교를 대상을 선정하였음
- 선정된 강교량의 경간수, 연장, 폭원, 상부면적, 사업구간, 발주청, 준공년도, 가설위치, 차로수, 가시설, 기초형식, 공사비 등 시설물의 기본정보를 집계하였음
- EBS 프로그램을 이용하여 사례별 투입자원 및 에너지 사용량을 분석하였으며, 이때 내역서상 실적공사비로 입력되어 투입된 소요자원의 분석이 어려운 공종은 ‘표준품셈’ 및 ‘국도건설공사 설계실무요령’을 참고하여 산출하였음

[표 3-3-2] 사례 DB 구축 현황

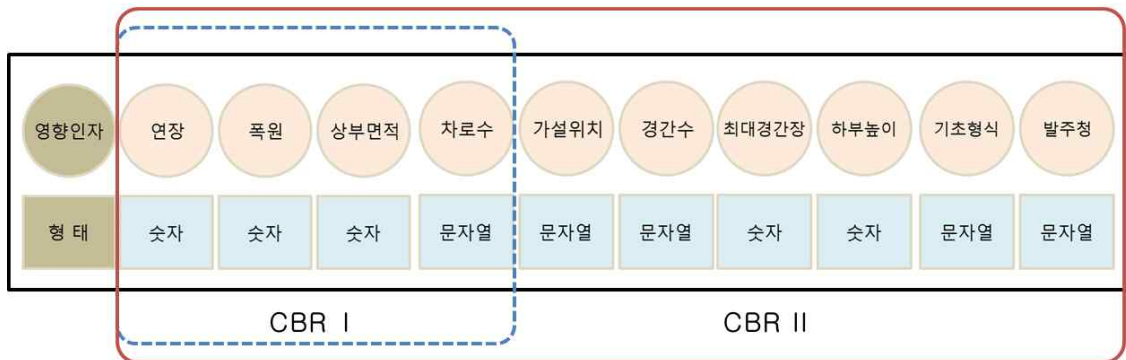
속성		사례수	속성		사례수	속성		사례수
교량 형식	STB	129	경간수	1	26	차로수	1차로	16
				2	13		2차로	24
				3	19		3차로	1
				4	16		4차로	82
	일면 Arch	1		5	15		5차로	4
				6	13		6차로	2
				7이상	28		8차로	1
계		130			130			130

속성		사례수	속성		사례수	속성		사례수
기초 형식	직접	49	가설 위치	육상	70	Cut-off 수준	최소	71.39%
	말뚝	41		하상	60		최대	96.44%
	혼합	40					평균	87.82%
계		130			130			

다. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발

- CBR 기반 기획단계 환경부하 평가모델은 수집한 설계자료를 활용하고, 설계 사례별로 환경부하량을 산정하여 부하특성 분석을 통해 영향요인을 도출하였음. 그리고, 영향요인별로 유사도 평가방법에 따라 유사도 점수를 산출하여 신규 사례의 환경부하량을 추정할 수 있음. 또한 유사도 점수 산정시 사례학습을 통한 영향요인별 유사도 평가방법을 유전자 알고리즘을 활용하여 최적화하였으며, 최종 산정된 영향요인별 가중치는 [표 3-3-3]과 같음
- CBR I 모델은 사업기본구상 단계 시 획득할 수 있는 가장 기본적인 정보를 모델의 영향요인으로 선정하였으며, 입력 변수는 연장, 폭원, 상부면적, 차로수, 가설위치를 사용하였음
- CBR II 모델은 사업 예비타당성 조사 및 설계 초기단계 시 획득할 수 있는 세부적인 정보를 모델의 영향요인으로 선정하였으며, 입력 변수는 CBR I 모델의 입력 변수인 연장, 폭원,

상부면적, 차로수, 가설위치에 경간수, 최대경간장, 교각높이, 기초형식을 추가하여 10가지 입력 변수를 사용하였음



[그림 3-3-8] 모델의 입력변수 및 입력변수의 DATA 형태

[표 3-3-3] 강교 환경부하량 산정모델의 가중치

구분	CBR을 이용한 기획단계 환경부하량 산정 모델의 영향요인별 가중치									
CBR I	연장	폭원	상부면적	차로수	-					
	0.00067	0.42130	0.47587	0.10216						
CBR II	연장	폭원	상부면적	차로수	가설위치	경간수	최대경간장	하부높이	기초형식	발주청
	0.03555	0.14272	0.12580	0.11996	0.11992	0.11050	0.00945	0.15167	0.09180	0.09264

라. 평가모델 검증

- 사례기반추론을 활용한 기획단계 환경부하량 개선 예측모델은 영향요인의 속성값이 다양하게 분포되도록 구성하여 학습사례 10개, 검증사례 5개를 선정함. 사례기반 추론 모델과의 비교를 위하여 학습사례 및 검증사례 DB를 제외한 115개의 사례를 바탕으로 강교의 환경부하량을 산정하였음

[표 3-3-4] 검증사례 현황

	연장	폭원	상부면적	차로수	가설위치	경간수	최대경간장	하부높이	기초형식	발주청	환경부하량
1	119.2	20.9	2491.28	4	육상	3	55	13.15013	1	대전	4.79E+02
2	105	20.9	2194.5	4	하상	2	55	9.757	1	익산	3.88E+02
3	267	21	5607	4	하상	5	58	14.14283	1	부산	1.07E+03
4	245	11.4	2793	2	하상	5	50	13.42133	1	서울	6.08E+02
5	167	11.4	1903.8	2	육상	3	67	7.895	1	부산	3.62E+02

- 5개 검증사례에 대한 환경부하 실제값과 비교한 결과, 상부면적-환경부하 원단위 산정 방법은 평균 절대오차율은 4.66%이며, 오차범위는 -11.35%에서 +9.11%까지인 것으로 나타남. 연장-환경부하 원단위 산정 방법은 평균 절대오차율은 26.62%이며, 오차범위는 -13.71%에서 +59.91%까지인 것으로 나타남
- 반면에 본 연구에서 제시한 기획단계 환경부하 추정모델인 CBR I의 평균 절대오차율은 10.09%이며, 오차범위는 -18.73%에서 +10.57%까지인 것으로 나타남. 사업 기획단계 이후 가용정보가 보다 구체화된 기본설계단계에서의 환경부하 추정모델인 CBR II는 평균 절대오차율이 3.47%로 나타났으며, 오차범위는 -6.02%에서 +2.98%까지로 나타나 CBR I보다 더욱 정확한 추정 결과를 나타냄
- CBR I, CBR II 모두 추정목표 범위인 $\pm 25\%$ 이내에 들어오며, CBR 모델이 원단위 분석기법보다 더 좋은 신뢰도를 가지는 것으로 나타났으며, 기존의 기획단계 공사비 예측(AACE의 기획단계 공사비 예측모델)의 목표인 하한값 -15%~-30%, 상한값 +20%~+50%와 비교해본 결과, 본 연구에서 제시하는 CBR I, CBR II 모델의 신뢰도는 적절한 것으로 판단됨

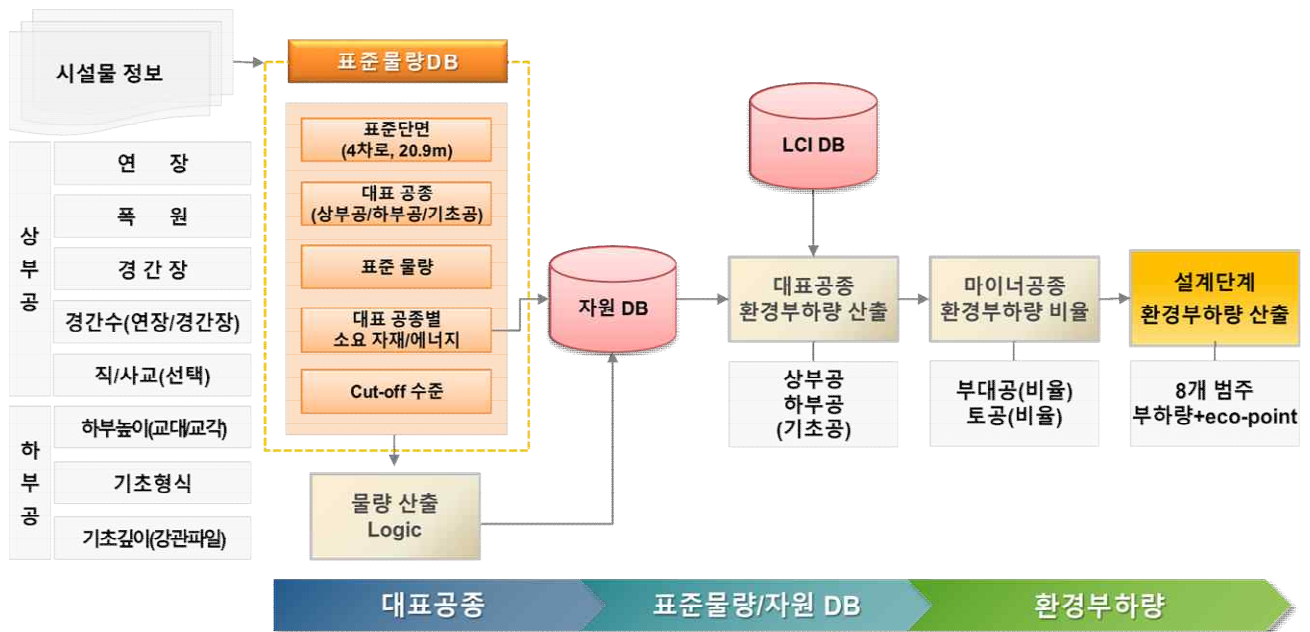
[표 3-3-5] CBR 모델 및 원단위 분석 모델의 결과 비교

구분	실제 환경 부하량 eco-point	사례기반 추론모델				원단위 분석			
		CBR I		CBR II		상부면적-환경부하		연장-환경부하	
		예측값 eco-point	오차율 (%)	예측값 eco-point	오차율 (%)	예측값 eco-point	오차율 (%)	예측값 eco-point	오차율 (%)
검증 1	4.79E+02	4.79E+02	0.01%	4.93E+02	2.93%	4.81E+02	0.34%	4.13E+02	13.71%
검증 2	3.88E+02	4.29E+02	10.57%	3.87E+02	0.27%	4.23E+02	9.11%	3.64E+02	6.17%
검증 3	1.07E+03	8.70E+02	18.73%	1.01E+03	5.96%	1.08E+03	1.04%	9.26E+02	13.53%
검증 4	6.08E+02	5.05E+02	16.92%	6.21E+02	2.16%	5.39E+02	11.35%	8.49E+02	39.75%
검증 5	3.62E+02	3.47E+02	4.17%	3.40E+02	6.02%	3.67E+02	1.43%	5.79E+02	59.91%
평균(절대값)		10.09%		3.47%		4.66%		26.62%	
최대		10.57%		2.98%		9.11%		59.91%	
최소		-18.73%		-6.02%		-11.35%		-13.71%	

3. 설계단계 환경부하 평가모델

가. 설계단계 환경부하 평가모델 개요

- 대표공종의 단위물량을 이용한 환경부하량 개산예측 방법론으로써, 강교의 설계가 진행됨에 따라 가용할 수 있는 정보의 수준이 높아지며 가용 정보를 바탕으로 표준단면의 공종물량을 기반으로 보다 구체적인 환경부하량 산정이 가능함
- 강교 사례의 기초 설계 자료를 수집하고 수집된 사례의 부위별 공종별 환경부하량을 산출하였으며, 수집된 데이터의 부위에 따른 공종별 환경부하량 비율을 분석하여 대표공종을 선정함
- 표준단면을 바탕으로 대표공종에 대한 단위 물량 산출을 통해 표준물량 DB를 구축함. 대표공종에 대한 소요자원의 단위물량을 ‘국도건설 설계실무요령(2016)’을 바탕으로 산출하여 자원 DB를 구축하였으며, 표준단면의 대표공종별 단위수량과 소요자원의 단위수량을 LCI DB와 연계하여 환경부하량을 산정함

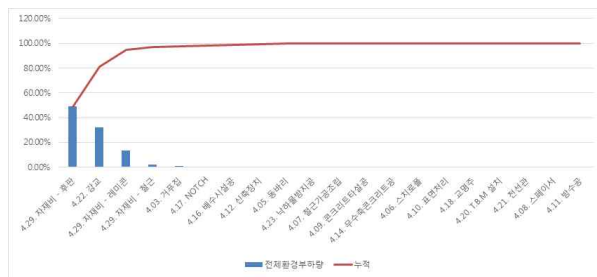


[그림 3-3-9] 설계단계 환경부하 평가모델 개요

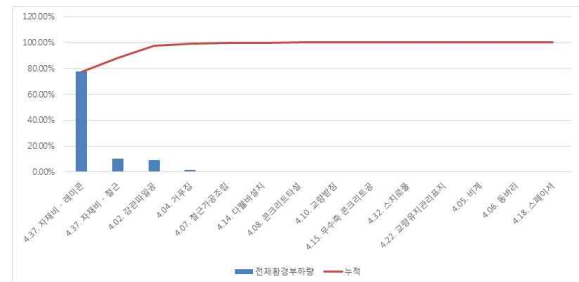
나. 환경부하 특성분석

- 환경부하량을 많이 배출하는 주요 공종만을 이용하여 신속하게 환경부하량을 산정하기 위해 대표공종을 선정함. 대표공종선정은 상·하부공(기초공)에 한해서 수행하였으며, 부대공과 토공의 환경부하량은 부위별환경부하량 점유비율을 상·하부공 모델의 결과값에 적용함
- 공종별 환경부하 중 자재와 에너지별로 비율이 높은 공종을 우선순위로 하여 대표공종을 선정하였으며, 설계 초기단계에서 활용 가능한 주요 설계정보를 통해 표준물량 산출이 가능한 공종을 추가적으로 대표공종으로 선정하였음

- 상부공의 대표공종을 분석한 결과, 자재비-후판, 강교, 자재비-레미콘, 자재비-철근 순으로 전체 환경부하량 비율이 큰 것을 알 수 있음. 전체 8개 공종이 전체 환경부하량의 99.25%를 차지함. 강교량의 특성상 후판과 도료의 수량이 크므로 환경부하량에서도 마찬가지로 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있음
- 하부공의 대표공종을 분석한 결과, 자재비-레미콘, 자재비-철근, 강관파일공의 순으로 비율이 큰 것을 알 수 있음. 상위 8개의 공종이 전체 환경부하량의 99.98%를 차지하는 것으로 나타남



[그림 3-3-10] 강교 상부공 대표공종



[그림 3-3-11] 강교 하부공 대표공종

다. 표준물량 기반 환경부하 평가모델 개발

- 수량산출서를 기반으로 표준단면에서의 공종 특성 및 물량단위를 고려하여 공종별 단위물량을 산정하고 형식별로 경간장에 따라 표준 단위물량 DB를 구축함. 대표공종의 환경부하량을 산출하기 위해 대표공종의 단위 소요자원의 목록과 수량을 정리한 자원 DB를 구축함
- 표준물량 기반 설계단계 모델은 강교의 상부공, 하부공의 대표공종별 표준물량 DB, 공종별 소요되는 단위자원 DB로 구성되며, 물량 산출을 위한 입력정보를 통해 전체 자원량을 산정하고 LCI DB와 연계하여 환경부하량을 산출할 수 있음
- 입력정보에 따라 표준물량 DB로부터 대표공종의 물량을 구하고, 자원 DB를 활용하여 전체 소요 자원량을 산정한 후 LCI DB 연계를 통해 교량 전체의 환경부하량을 산정하는 프로세스임

[표 3-3-6] 강교 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	수량
43. 자재대		
43.b. 레미콘	m3/연장	7.566
43.c. 철근	ton/연장	1.395
43.d. 강판	ton/면적	0.342
07.거푸집		
07.a. 거푸집	m²/연장	12.979
09. 동바리		
09.b. 일반 목재	공/ m³/연장	17.884
09.c. 데크 피니셔용	공/ m³/연장	4.044
10. 철근가공조립		
10.a. 현장가공 및 조립		
10.a.3. 복잡	ton/연장	철근/1.03
11. 콘크리트 타설		
11.a. 콘크리트 타설	m3/연장	레미콘/1.01
14. 강교		
14.a. 강교 제작	ton/면적	경간장×(-0.000531+0.368631)×폭원
14.b. 강교 운반	ton/면적	
14.b. 강교 가설	ton/면적	
14.d. 강교 도장		
14.d.1. 강교 외부도장, 공장	m2/면적	2.091
14.d.2. 강교 외부도장, 현장	m2/면적	1.939
14.d.3. 강교 내부도장, 공장	m2/면적	3.170
14.d.4. 강교 연결판도장, 공장	m2/면적	0.714
14.d.5. 강교 외부볼트도장, 현장	m2/면적	0.201
14.d.6. 강교내부볼트도장, 현장	m2/면적	0.136
14.d.7. 외부포장면도장, 공장	m2/면적	0.589
17.표면처리		
17.b. 슬래브 양생	m³/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)
17.a. 데크 피니셔	m³/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)
18.교면포장		
18.b. 교면포장	m³	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)

[표 3-3-7] 상부공(강교 제작) 자원 DB

대표공종 정보			자원 DB			
공종명	규격	단위	자재명	규격	단위수량	LCI DB
14.a. 강교 제작		ton	원형봉강	16M/M 1.580KG/M SS41	0.007954	철근
			철근(SD30A)	D=16m/m-32m/m	0.0004845	철근
			ㄱ형강	100x100x10M/M 14.90KG/M	0.000009	형강
			용접봉(연강용)	3.2mm KSE4301	28	선재
			산소	99% 6000ℓ(기체) 40ℓ	2.5	산소
			프로판가스	일반용	10	LPG
			고 철		0.1003117	철근
14.b. 강교 운반		ton	STUD	D22*150	20.0216226	선재
			경유	저유황(0.1%)	5.6324888	경유
14.b. 강교 가설		ton	철근(SD30A)	D=16m/m-32m/m	0.0001048	철근
			보통철선	#8 4.0M/M 10.1M/KG	0.1309477	선재
			고장력볼트	M22x80mm (너트.와셔포함)	31.1737147	선재
			비계목	360mm 낙엽송 말구=3-6cm	0.0818423	DB X
			안전발판	300x3000중량=18kg(PSP대용)	0.0130948	DB X
			경유	저유황(0.1%)	31.9218645	경유

라. 평가모델의 검증

- 강교량 10개에 대한 검증사례를 직접 산출한 환경부하량과 비교분석하여 절대평균오차율과 표준편차를 산출하여 검증함

[표 3-3-8] 설계단계 모델 검증용 사례 정보

기본 정보	검증1 주산교	검증2 신용IC교	검증3 아천교	검증4 요천2교	검증5 장국교	검증6 초곡교	검증7 효문교	검증8 차동2교	검증9 문산교	검증10 대평2교
연장 (m)		90.0	320.0	332.5	380.0	500.0	80.0	170.0	50	50
폭원 (m)	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	21.14	21.0	20.9
최대경간장(m)	60	45	55	47.5	50	70	40	45	50	50
교대 높이 (m)	7.800	10.905	11.31	8.403	8.712	8.540	8.888	6.908	11.00	12.339
교각 높이 (m)	7.000	10.335	11.040	9.995	8.903	10.042	8.368	20.051	-	-
기초 형식	강관파일	강관파일	혼합기초	직접기초	직접기초	혼합기초	말뚝기초	혼합기초	말뚝기초	직접기초
기초 깊이 (m)	10.475	10.000	11.541	-	-	6.500	9.000	18.750	9.000	-

[표 3-3-9] 표준물량 기반 모델 및 원단위 분석 모델의 결과 비교

검증사례	실제 환경부하량 eco-point	원단위		설계단계 모델	
		산정결과	오차율	산정결과	오차율
		eco-point	%	eco-point	%
검증 1	6.189E+02	6.356E+02	2.70%	6.546E+02	5.77%
검증 2	4.311E+02	3.524E+02	-18.26%	4.329E+02	0.42%
검증 3	1.340E+03	1.204E+03	-10.15%	1.341E+03	0.07%
검증 4	1.235E+03	4.231E+02	-65.74%	1.248E+03	1.05%
검증 5	1.431E+03	6.268E+02	-56.20%	1.417E+03	-0.98%
검증 6	2.009E+03	1.864E+03	-7.22%	1.921E+03	-4.38%
검증 7	3.389E+02	2.004E+02	-40.87%	3.789E+02	11.80%
검증 8	6.939E+02	4.338E+02	-37.48%	7.458E+02	7.48%
검증 9	2.665E+02	1.219E+02	-54.26%	2.619E+02	-1.73%
검증 10	2.646E+02	3.593E+02	35.79%	2.593E+02	-2.00%
평균오차(절대값)		25.17%		1.75%	
표준편차		29.90%		4.76%	

4. 유지관리단계 환경부하 평가모델

가. 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요

- 유지관리란 완공된 시설물의 기능을 보전하고 시설물 이용자의 편의와 안전을 높이기 위하여 시설물을 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하며 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개량·보수·보강에 필요한 활동임
- 교량구조물에서 부대시설물은 교량 본체 구조물의 수명과 동일한 수명을 갖는 것이 바람직하나, 외적조건 및 환경조건이 원인이 되어 본체구조물 공용수명 중에 보수보강이 이루어져야 함
- 강교량에서 대부분의 유지보수공법은 다른 형식의 교량과 유사하나, 강교량만의 대표적인 보수공법은 재도장임. 강교량의 재도장은 도막의 열화나 녹의 발생 등의 결함이 진행하지 않는 시점에서 재도장을 할 필요가 있음
- 녹이 두드러지게 진행하면 녹을 제거하는데 노력과 비용이 많이 필요하게 되므로 강교량의 내구성을 유지하기 위하여 적절한 재도장을 실시할 필요가 있음



[그림 3-3-12] 유지보수공법 환경부하량 산정 개요

나. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성 분석

- 강교의 주요 유지보수공법을 선정하고 공법별 유지보수 설계사례를 조사하여 공법별 입력변수를 정의하고 자원 및 환경부하량 DB를 구축함
- 도장공의 자원 DB를 분석한 결과 도료, 희석재, 물, 경유 등의 자재가 포함됨
- 도료의 종류가 매우 다양하나 LCI DB는 아크릴계, 에폭시계, 우레탄계, 수용성에멀전계의 4가지로 분류되어 있어 자원 DB의 각 도료에 대한 세밀한 분석이 필요함

보수·보강 일람표					보수·보강 일람표															
구분		손상내용		손상물량	보수방안	구분		손상내용		손상물량	보수방안									
바닥판		B-C	균열(0.2mm이하)	200.6m/201EA	표면보수	B	균열(0.2mm이하)	18.6m/19EA	표면보수	B	균열(0.2mm이하)	18.6m/19EA	표면보수							
			박리	1.1m ² /2EA	표면보수		박리	1.2m ² /5EA	표면보수		박리	1.2m ² /5EA	표면보수							
			재료분리	0.5m ² /1EA	단면보수		박리	0.05m ² /1EA	단면보수		박리	0.05m ² /1EA	단면보수							
강박스 거더	내부	A-B	데크플레이트 부식	0.03m ² /1EA	바탕처리 및 재도장	강박스 거더	내부	B	데크플레이트 부식	0.05m ² /3EA	바탕처리 및 재도장	강박스 거더	내부	B	데크플레이트 부식	0.05m ² /3EA	바탕처리 및 재도장			
			부식	1m ² /14EA	바탕처리 및 재도장				도장박리	0.06m ² /6EA	바탕처리 및 재도장				윤활유누출(PIT)	23EA	지속관찰	부식	0.54m ² /6EA	바
			윤활유누출(PIT)	39EA	지속관찰					점검등 불량	2EA					지속관찰	부식		0.15m ² /6EA	바탕처리 및 재도장
	외부		점검등 불량	2EA	지속관찰		외부		점검등 불량	2EA	지속관찰		외부		점검등 불량	2EA	지속관찰			
			판기구 용트재결 불량	1EA	지속관찰				도장박리	0.01m ² /1EA	바탕처리 및 재도장				균열(0.2mm이하)	10.1m/14EA	표면보수	박리, 돌출	0.34m ² /2EA	단면보수
			균열(0.2mm이하)	4.7m/8EA	표면보수					마감불량	0.48m ² /44EA					단면보수	재료분리, 파손		0.05m ² /1EA	바탕처리 및 재도장
	교대	C	균열(0.3mm이상)	0.3m/1EA	주입보수		교대	B	균열(0.2mm이하)	0.01m ² /1EA	바탕처리 및 재도장		교대	B	균열(0.2mm이하)	0.01m ² /1EA	바탕처리 및 재도장			
			당상균열	1.5m ² /1EA	표면보수				균열(0.2mm이하)	10.1m/14EA	표면보수				박리, 돌출	0.34m ² /2EA	단면보수	균열(0.2mm이하)	10.1m/14EA	표면보수
			박리, 파손	4.26m ² /3EA	단면보수					마감불량	0.48m ² /44EA					단면보수	재료분리, 파손		0.05m ² /1EA	바탕처리 및 재도장
	교각	B-C	철근노출	0.17m ² /3EA	단면보수(방청)	하부구조	교각	B-C	제수	26.75m ² /5EA	물고임방지턱 우려한방수	하부구조	교각	B-C	제수	26.75m ² /5EA	물고임방지턱 우려한방수			
			마감불량	0.37m ² /37EA	단면보수				균열(0.2mm이하)	77.3m/60EA	표면보수				균열(0.2mm이하)	77.3m/60EA	표면보수			
			누수오염	16.25m ² /3EA	물고임방지턱 우려한방수				균열(0.3mm이상)	1m/1EA	주입보수				균열(0.3mm이상)	1m/1EA	주입보수			
	교량받침	A-B	균열(0.2mm이하)	44.9m/33EA	표면보수	교량받침	A-B	A-B	철근노출	0.06m ² /3EA	단면보수(방청)	교량받침	A-B	A-B	철근노출	0.06m ² /3EA	단면보수(방청)			
			박리	0.08m ² /1EA	표면보수				균열(0.2mm이하)	2.2m/8EA	표면보수				균열(0.2mm이하)	2.2m/8EA	표면보수			
			철근노출	0.08m ² /2EA	단면보수(방청)				당상균열	0.1m ² /1EA	표면보수				당상균열	0.1m ² /1EA	표면보수			
	신축이음	C	파손	0.01m ² /1EA	단면보수	신축이음	C	C	철근노출	0.01m ² /1EA	단면보수(방청)	신축이음	C	C	철근노출	0.01m ² /1EA	단면보수(방청)			
			균열(0.2mm이하)	0.6m/3EA	표면보수				재료분리, 파손	0.31m ² /2EA	단면보수				재료분리, 파손	0.31m ² /2EA	단면보수			
			박리, 파손	0.2m/4EA	단면보수				발침본체 부식	0.05m ² /1EA	바탕처리 및 재도장				발침본체 부식	0.05m ² /1EA	바탕처리 및 재도장			
	교면포장	D	철근노출	0.04m ² /3EA	단면보수(방청)	교면포장	D	D	복재강재부식	8m/4EA	신축이음장치 교체 (J1, J2)	신축이음	D	D	복재강재부식	8m/4EA	신축이음장치 교체 (J1, J2)			
			발침본체 부식	0.42m ² /3EA	바탕처리 및 재도장				교우재 열화	10m/1EA					신축이음장치 교체	교우재 열화		10m/1EA	신축이음장치 교체	
			볼트부식	9EA	바탕처리 및 재도장				이음철 회격	0.45m ² /2EA					이음철 회격	0.45m ² /2EA		이음철 회격		
	신축이음	C	본체 강재부식	17m/4EA	신축이음	C	C	포타재 균열(0.3mm이상)	23m/51EA	신축이음	C	C	포타재 균열(0.3mm이상)	23m/51EA	신축이음	C	C	포타재 균열(0.3mm이상)	23m/51EA	
			교우재 파손	11.4m/1EA				J1, J2	균열				3.75m/2EA	지속관찰				균열	3.75m/2EA	지속관찰
			이음철 회격	0.15m ² /1EA					신축이음장치 교체				당상균열	2580.5m/11EA				지속관찰	당상균열	2580.5m/11EA
	교면포장	D	이음부 단자	0.5m/1EA	교면포장	D	D	철근부 당상균열	142m/2EA	교면포장	D	D	철근부 당상균열	142m/2EA	교면포장	D	D	철근부 당상균열	142m/2EA	
			포타재균열(cw=0.3mm이상)	20.6m/47EA				지속관찰	철근부 파손				1.13m/3EA	단면보수				철근부 파손	1.13m/3EA	단면보수
			당상균열	1997m/13EA				지속관찰	철근부 파손				1.13m/3EA	단면보수				당상균열	1997m/13EA	지속관찰
	교면포장	D	철근부 균열	7m/2EA	지속관찰	교면포장	D	D	철근부 균열	7m/2EA	지속관찰	교면포장	D	D	철근부 균열	7m/2EA	지속관찰			
			철근부 당상균열	50m/1EA	지속관찰				철근부 당상균열	50m/1EA	지속관찰				철근부 당상균열	50m/1EA	지속관찰			
			결재탈락	0.01m ² /1EA	지속관찰				결재탈락	0.01m ² /1EA	지속관찰				결재탈락	0.01m ² /1EA	지속관찰			
	교면포장	D	철근부 파손	0.2m/1EA	단면보수	교면포장	D	D	철근부 파손	0.2m/1EA	단면보수	교면포장	D	D	철근부 파손	0.2m/1EA	단면보수			
			유도배수관 연결불량	1EA	배수관 교체				유도배수관 연결불량	1EA	배수관 교체				유도배수관 연결불량	1EA	배수관 교체			
			균열(0.2mm이하)	18.1m/17EA	지속관찰				균열(0.2mm이하)	18.1m/17EA	지속관찰				균열(0.2mm이하)	18.1m/17EA	지속관찰			
	교면포장	D	균열(0.3mm이상)	1.2m/1EA	주입보수	교면포장	D	D	균열(0.3mm이상)	1.2m/1EA	주입보수	교면포장	D	D	균열(0.3mm이상)	1.2m/1EA	주입보수			
			당상균열(피복부측, 복발생)	15.2m ² /2EA	단면보수(방청)				당상균열(피복부측, 복발생)	15.2m ² /2EA	단면보수(방청)				당상균열(피복부측, 복발생)	15.2m ² /2EA	단면보수(방청)			
			미세 당상균열(0.1mm이하)	638m/10EA	지속관찰				미세 당상균열(0.1mm이하)	638m/10EA	지속관찰				미세 당상균열(0.1mm이하)	638m/10EA	지속관찰			
	교면포장	D	박리	3.92m ² /39EA	표면보수	교면포장	D	D	박리	3.92m ² /39EA	표면보수	교면포장	D	D	박리	3.92m ² /39EA	표면보수			
			세굴	2m ² /1EA	재성토				세굴	2m ² /1EA	재성토				세굴	2m ² /1EA	재성토			

[그림 3-3-13] 강교량 보수·보강 일람 예시

강재도장 손상발생 현황			
구분	손상내용	손상물량	보수방안
바닥판	데크플레이트 부식	0.03m ² /1EA	바탕처리 및 재도장
강박스 거더	내부 부식	1m ² /14EA	바탕처리 및 재도장
	외부 부식	0.15m ² /6EA	바탕처리 및 재도장
교량받침	발침본체 부식	0.42m ² /3EA	바탕처리 및 재도장
	볼트부식	9EA	바탕처리 및 재도장

[그림 3-3-14] 강교량의 도장 손상발생 현황 예시

[표 3-3-10] 강교량의 주요 유지보수 공법

공법명		규격
콘크리트 균열보수		균열폭 (b=0.3, 0.5, 1.0, 2.0,3.0, 5.0mm)
		균열깊이 (t=100, 120, 150mm)
		건식, 습식
신축이음장치 교체공		NEW F/J #50, (b=33cm t=15cm)
		NEW F/J #80, (b=38cm t=15cm)
절삭후 아스팔트 덧씌우기		절삭면적(a) (5이하, 5~10, 10~15, 15~20, 20~40)
		주간, 야간
교면재 포장 (Guss(mastic) Asphalt)		T(포장두께)=3cm
		T(포장두께)=4cm
외부강선보강		PSC Beam
탄성받침교체		MAS공법 (1000KN,2000KN,3000KN,4000KN)
		컴퓨터 동시인상 공법 (1000KN,2000KN,3000KN,4000KN)
		컴퓨터 인상인하 공법 (1000KN,1500KN,2000KN,2500KN,3000KN,3500KN,4000KN,4500KN,5000KN)
강교 재도장	Nox강재 중방식 도장	부분재도장(상도 및 중도)
		전면재도장(상도, 중도 및 하도)
	슈퍼락실드공법 도장	부분재도장(상도 및 중도)
		전면재도장(상도, 중도 및 하도)
	Prost공법 도장	부분재도장(상도 및 중도)
		전면재도장(상도, 중도 및 하도)
	코러실 중방식도장	부분재도장(상도 및 중도)
		전면재도장(상도, 중도 및 하도)

다. 유지보수공법 기반 환경부하 평가모델 개발

- 서울특별시 안전총괄본부의 교량시설물 유지보수공사 설계가이드와 한국도로공사의 유지보수 공종별 단가집을 참조하여 주요 유지보수공법을 선정하고, 선정된 공법의 EBS 설계 자료를 분석하여 공법별 자원 DB를 구축함
- 공법별 보수율 및 보수주기는 한국도로공사의 고속도로 설계단계 LCC DB 개선 및 시스템 적용 연구 및 일본 강교량 유지보수 연구 사례를 참조하여 선정함
- 선정된 유지보수 공법별 환경부하량을 설계초기단계에서의 가용정보만으로 산정가능하도록 연장, 폭원, 경간장 등과 같은 기본정보를 입력변수로 물량을 산정하고 LCI DB와 연계하여 공법별 환경부하량을 산출하는 모델을 구축함. 보수공법별 보수율, 보수주기를 직접 입력하여 분석기간 동안 발생 가능한 환경부하량을 산정할 수 있도록 함

[표 3-3-11] 강교량의 유지보수공법별 기본정보

공법명	규격		입력변수	보수율	보수주기(년)
교면포장보수	절삭후 덧씌우기	얇은 절삭(t=3cm)	연장, 폭원 (부분보수면적)	9.2%	6
교면재 포장	재 포장 두께	t=3cm	연장, 폭원 (상부면적)	100%	10
		t=4cm			
교량받침 교체	인상공법	MAS 공법(50m 이하)	연장, 경간장, 폭원	100%	23
		MAS 공법(2000KN)			
		컴퓨터 인상인하 (1000KN)			
		컴퓨터 인상인하 (2000KN)			
		컴퓨터 동시인상 (1000KN)			
		컴퓨터 동시인상 (2000KN)			
	교량받침 설치	3500kN 4500kN			
신축이음장치 교체	신축이음장치	NEW F/J # (50) NEW F/J # (80)	폭원, 설치개소	100%	22
강교 재도장	NOX강재중방식 도장	부분재도장	연장, 폭원	5%	5
		전면재도장		50%	30
	슈퍼락설드공 법도장	부분재도장		5%	5
		전면재도장		50%	30
	Prost공법도장	부분재도장		5%	5
		전면재도장		50%	30
	코리실중방식 도장	부분재도장		5%	5
		전면재도장		50%	30

라. 평가모델의 검증

- 유지보수 공법별 검증사례에 대해 환경부하량을 산출하고 유지관리 모델의 환경부하량과 비교분석을 실시하여 유지관리단계 환경부하량 산정 모델을 검증함

[표 3-3-12] 유지관리단계 모델의 검증결과

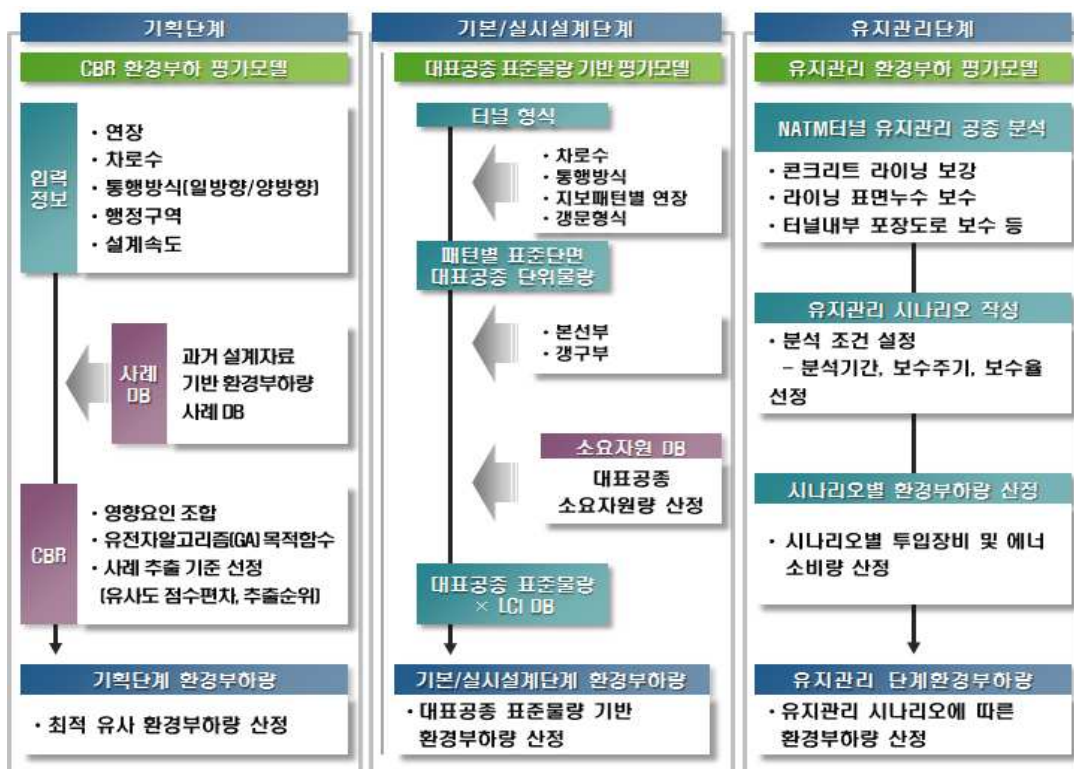
검증 사례	보수공법	가중화값 (단위:eco-point)								총 환경부하량 (eco-point)	오차율 (%)
		자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성		
검증1	재도장	1.35E+00	3.04E-02	9.69E-03	6.26E-01	2.58E-02	7.96E-02	5.07E-02	3.84E-01	2.56E+00	-7.03
모델값		1.26E+00	2.83E-02	9.02E-03	5.82E-01	2.40E-02	7.41E-02	4.72E-02	3.57E-01	2.38E+00	
검증2	신축이음장치 교체	1.19E-01	5.69E-03	2.71E-03	1.62E-01	3.82E-04	2.77E-02	3.79E-04	1.22E-02	3.30E-01	-3.94
모델값		1.07E-01	2.71E-03	3.50E-03	6.00E-02	5.95E-04	4.00E-03	1.35E-01	3.07E-02	3.43E-01	
검증3	신축이음장치 교체	2.43E-01	1.16E-02	5.51E-03	3.29E-01	7.76E-04	5.64E-02	7.71E-04	2.49E-02	6.71E-01	-13.41
모델값		2.37E-01	6.02E-03	7.77E-03	1.33E-01	1.32E-03	8.87E-03	2.99E-01	6.81E-02	7.61E-01	
검증4-1	신축이음장치 교체	1.21E-01	5.78E-03	2.76E-03	1.65E-01	3.88E-04	2.82E-02	3.86E-04	1.24E-02	3.36E-01	-13.39
모델값		1.19E-01	3.01E-03	3.89E-03	6.65E-02	6.60E-04	4.44E-03	1.50E-01	3.41E-02	3.81E-01	
검증4-2	절삭후 덧 씌우기	1.76E-02	4.60E-04	5.95E-04	1.02E-02	1.01E-04	6.82E-04	2.29E-02	5.21E-03	5.79E-02	17.79
모델값		1.48E-02	3.76E-04	4.86E-04	8.31E-03	8.27E-05	5.54E-04	1.87E-02	4.26E-03	4.76E-02	
검증5	신축이음장치 교체	1.19E-01	3.01E-03	3.89E-03	6.65E-02	6.62E-04	4.43E-03	1.49E-01	3.41E-02	3.80E-01	0.13
모델값		1.19E-01	3.01E-03	3.89E-03	6.65E-02	6.60E-04	4.44E-03	1.50E-01	3.41E-02	3.81E-01	

제 4 절 터널(NATM) 환경부하 평가모델

1. 터널 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축

가. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크

- 터널 건설사업의 기획/설계/유지관리 단계별 환경부하 평가모델을 구축하기 위하여, 각 수행 단계에서 활용가능한 정보수준을 검토하여 단계별 특성에 맞는 영향인자를 평가모델의 입력 정보로 활용함
- 기획단계에서는 알 수 있는 설계정보가 매우 제한적이기 때문에 연장, 차로수, 통행방식, 행정구역 등 환경부하량에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 활용 가능한 것으로 분석되었으며, 이 정보만으로 사례기반추론(CBR)을 이용하여 기획단계 환경부하량을 예측하고자 함
- 설계단계에서는 사례기반으로 추론하는 기획단계 평가모델과는 달리, 환경부하량에 크게 영향을 미치는 대표공종을 선정하여, 선정된 대표공종의 표준물량을 기반으로 환경부하량을 추정 기법을 구축함. 터널의 차로수, 통행방식, 갱문형식, 지보패턴별 연장, 개착구간 연장을 입력정보로 하여 설계단계에서의 환경부하량을 예측함
- 유지관리단계에서는 터널(NATM)의 유지보수 주요공법을 분석하여, 주요 보수공법별 자재 및 에너지 소비량 DB구축하고, 보수공법의 보수주기 및 보수율을 반영하여, 유지관리단계에서의 환경부하량을 예측하고자함



[그림 3-4-1] 터널(NATM) 환경부하량 산정 프레임워크

나. 기초자료 수집 및 분석

- 환경부하 분석을 위한 데이터베이스(DB) 구축을 위해 수집된 2000년 이후 설계 완료된 일반 국도공사 234개 사업 중 터널(NATM)은 113개이며, 다른 국도공사 터널자료를 수집하여 총 133개를 수집하였으며, 준공년도, 발주청, 연장, 환기방식에 대한 기초수집자료 분석을 실시하였음
- 기초자료 중 내역자료가 미흡하여 터널 공사를 위해 투입된 자원 및 에너지사용량 산정이 불가능한 14개 사례를 제외한 119개 터널사례에 대해 환경부하량 사례데이터베이스를 구축하였으며, 사례별 터널의 차로수, 통행방식, 연장, 환기방식 및 기본적인 사업개요는 다음 [표 3-4-1]와 같음

[표 3-4-1] 터널(NATM) 기초자료 구축(일부)

구분	터널명	차로수	통행방식	연장(m)	환기방식	사업구간	준공년도	발주청
1	황강터널	2	양방향	282	자연	양구~남면	2004	원주청
2	신동전터널	3	일방향	1,080	기계	현동~임곡	2004	부산청
3	고로치터널	2	일방향	1,856	자연	진안~적상	2004	익산청
4	조금재터널	2	일방향	1,010	자연	진안~적상	2004	익산청
5	진북터널	2	일방향	1,669	자연	진동~마산	2005	부산청
6	삼계터널	2	일방향	1,760	자연	무계~삼계	2007	부산청
7	봉현터널	3	일방향	510	자연	성남~장호원	2004	서울청
8	정개터널	3	일방향	3,870	기계	성남~장호원	2004	서울청
9	차산터널	2	일방향	3,980	기계	광주~양수	2004	서울청
10	포곡1터널	2	일방향	4,176	기계	용인~포곡	2004	서울청
11	포곡2터널	2	일방향	627	자연	용인~포곡	2004	서울청
12	철정터널	2	일방향	669	자연	구성포~두촌간	2000	원주청
13	솔치재터널	2	양방향	770	기계	평창~정선	2007	원주청
14	정선터널	2	양방향	1,874	기계	평창~정선	2007	원주청
15	고사1터널	2	일방향	1,140	자연	태백~미로	2007	원주청
16	고사2터널	2	일방향	1,215	자연	태백~미로	2007	원주청
17	차구터널	2	일방향	740	자연	태백~미로	2007	원주청
18	용대2터널	2	일방향	1,778	자연	북면~용대	2004	원주청
19	전재터널	3	일방향	880	기계	새말~안흥	2005	원주청
20	문티터널	2	일방향	1,640	자연	인포~보은	2009	대전청

- 선정된 119개 터널사례에 대한 내역서를 분석하여 총 자재 및 에너지 사용량(경유, 휘발유, 전기 등)을 집계하였음
- 분석시 실적공사비 공종은 국도설계요령의 단가산출요령의 기준에 의거하여 표준품셈으로 변환하여 자재 및 장비사용에 따른 연료사용량을 직접 산출함. 산출된 자재 및 장비사용에 따른 연료사용량에 LCI DB를 연계하여 환경부하량을 산정함
- 분석된 119개 터널사례 중 감천터널에 대한 소요자원 산출 및 집계 결과 예시는 다음 [그림 3-4-2], [그림 3-4-3]과 같음

Project		001	감천터널		합계금액	
						4,625,262,041
차량종류	차량번호	구간	구간	구간	구간	구간
전	후					
M000005		25-240-15	17,804	NO	48,559	671,027,004
M070006		40-210-8	113	NO	44,659	5,040,817
M070008		40-190-8	25	NO	39,854	997,550
M000009		25-210-8	1,190	NO	44,709	52,634
M0101010		세종대 (상지도)	529	NO	7,300	35,361,300
M027000		안 소	998	6000 x (718) 40 x	6,161	6,161
M000011		신원리	3,548	NO	61,872	217,170,320
M000012		보통시행도	14,811	NO	2,432	41,767,000
M070003		일제강점기	26,587	NO	132	3,763,000
M070009		일제강점기	10,790	NO	132	1,424,368
M00000		고양도복수시행도	2,028	NO	450	933,156
M001015		다양성	71,276	NO	500,000	35,638,000
M001012		다양성	79,858	NO	500,000	35,329,000
M001009		다양성	59,577	NO	500,000	29,789,000
M001006		다양성	51,891	NO	500,000	25,800,500
M001016		다양성	14,801	NO	500,000	7,495,500
M000020		다양성	13,888	NO	500,000	6,383,333
M000022		다양성	12,542	NO	500	6,271,000
M070005		다양성	3,651	NO	15,838	57,769,312
M070009		다양성	3,854	NO	3,212	12,430,468
M070004		다양성	11,554	NO	657	7,581,109
M000016		다양성	299,019	NO	1,633	488,394
M010021		다양성	110,389	NO	658	77,051
M010011		다양성	106,915	NO	443	47,363
M000007		다양성	5,947	NO	588,000	3,525,471
M000003		다양성	4,873	NO	488,019	2,343,488

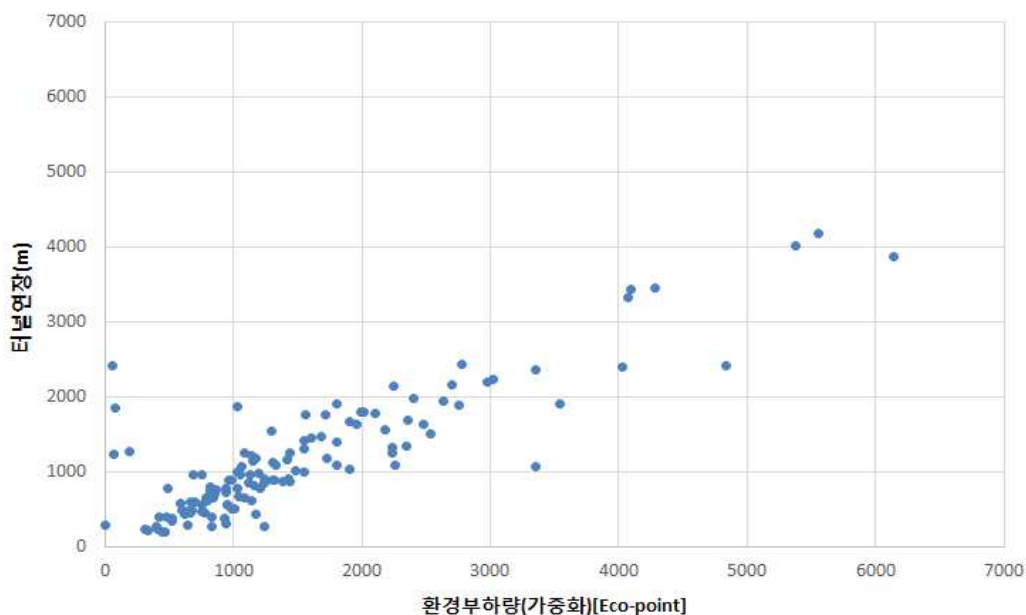
[그림 3-4-2] 소요자원 산출(감천터널)

소요자원 집계표			
	재료비 합	구분비	물량 합계
시멘트	265,058,295	5.73%	4143767.1
아크릴계도료	-	0.00%	0.0
에폭시계도료	-	0.00%	0.0
우레탄계도료	-	0.00%	0.0
레미콘	877,118,205	18.96%	18095.2
EPS	-	0.00%	0.0
사스	6,161	0.00%	52.8
선재	1,893,570	0.04%	3.0
스테인레스강	-	0.00%	0.0
알루미늄판	-	0.00%	0.0
에폭시접착제	-	0.00%	0.0
아크릴에멀전접착제	-	0.00%	0.0
열연강판	-	0.00%	0.0
LDPE	-	0.00%	0.0
철근	147,035,853	3.18%	294071.7
철강	6,266,737	0.14%	11713.1
탄소강	78,402,607	1.70%	101532.6
합금	-	0.00%	0.0
후판	3,057,970	0.07%	5.8
금속	1,156,544,789	25.00%	1272319.2
전기	-	0.00%	0.0
화발물	5,344,772	0.12%	3399.5
공인물수	-	0.00%	0.0
아스팔트	-	0.00%	0.0
모래	36,361,300	0.79%	4981.0
아스팔트	-	0.00%	0.0
기타	2,048,171,781	44.28%	0.0
	4,625,262,041	100.00%	

[그림 3-4-3] 소요자원 집계(감천터널)

다. 환경부하 영향요인 및 특성 분석

- 터널의 환경부하량에 영향을 미치는 인자를 도출하기 위하여 영향요인 후보군과 환경부하량 간의 상관성 분석을 수행하였음. 상관성 분석에 사용된 환경부하량 사례 데이터는 Cut-off 수준이 현저히 낮은 사례(70%이하)를 제외한 127개의 환경부하량 사례 데이터를 활용하였음
- 연속형 변수인 터널의 연장 및 설계속도와 환경부하량간의 상관성 분석을 Pearson 상관계수를 통해 수행한 결과 통계적으로 유의한 관계가 있는 것으로 나타남



[그림 3-4-4] 영향요인 상관성 (터널연장 vs 환경부하량)

[표 3-4-2] 연장 및 설계속도와 환경부하량간의 상관관계

구 분		연장	설계속도	환경부하량
연장	Pearson 상관	1		
	유의확률 (양측)			
	N	91		
설계속도	Pearson 상관	.377**	1	
	유의확률 (양측)	.000		
	N	91	91	
환경부하량	Pearson 상관	.950**	.440**	
	유의확률 (양측)	.000	.000	
	N	91	91	91
**p<.01				

- 범주형 변수인 차로수(2/3/4차로), 방재등급(1/2/3/4등급), 행정구역(경기/강원/경남 등)은 환경부하량간의 상관관계를 분석하기 위하여 일원배치 분산분석(One-way ANOVA(ANalysis Of VAriance))를 수행하였음. 범주형 변수인 통행방식(일방향/양방향), 환기방식(자연/기계)은 두 집단간의 차이를 확인하는 독립표본 t 검정을 수행하였음. 이때 환경부하량은 터널 연장에 따른 환경부하량 증감효과를 제거하기 위하여 연장당 환경부하량(eco-point/m)으로 분석을 실시하였음
- 차로수, 방재등급, 행정구역에 대한 일원배치 분산분석 결과 집단간의 연장당 환경부하량 차이가 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며, 갭문형식은 차이가 없는 것으로 나타남. 또한 통행방식과 환기방식에 대한 독립표본 t검정 결과, 통행방식은 집단간의 연장당 환경부하량 차이가 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으나 환기방식은 차이가 없는 것으로 나타남

[표 3-4-3] 차로수, 방재등급, 행정구역, 갭문형식별 집단간의 일원배치 분산분석 결과

구 분		차로수	방재등급	행정구역	갭문형식
분산의 동질성	유의확률	.996	.000	.001	.170
ANOVA	유의확률	.000	.000	.014	.118

[표 3-4-4] 통행방식, 환기방식별 집단간의 독립표본 t검정 결과

구 분		통행방식	환기방식
Levene의 등분산 검정	유의확률	.000	.032
독립표본 t검정	t	-2.764	.616
	유의확률	.011	.540

2. 기획단계 환경부하 평가모델

가. 기획단계 환경부하 평가모델 개요

- 신규 터널사업의 사업 대안에 대한 환경부하량을 예측하기 위하여 앞서 구축한 환경부하량 사례 DB로부터 예측하고자 하는 신규 터널과 유사한 사례들을 추출하고 이를 이용하여 신규 사업의 환경부하량을 추정하는 사례기반추론 방법을 이용한 환경부하량 예측모델을 구축 하였으며, 그 과정은 다음과 같음

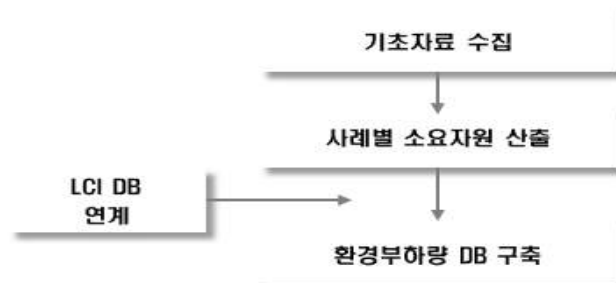


[그림 3-4-5] 기획단계 환경부하량 산정 모델 프로세스

나. 사례 DB구축

(1) 환경부하 사례 데이터베이스(DB) 구축

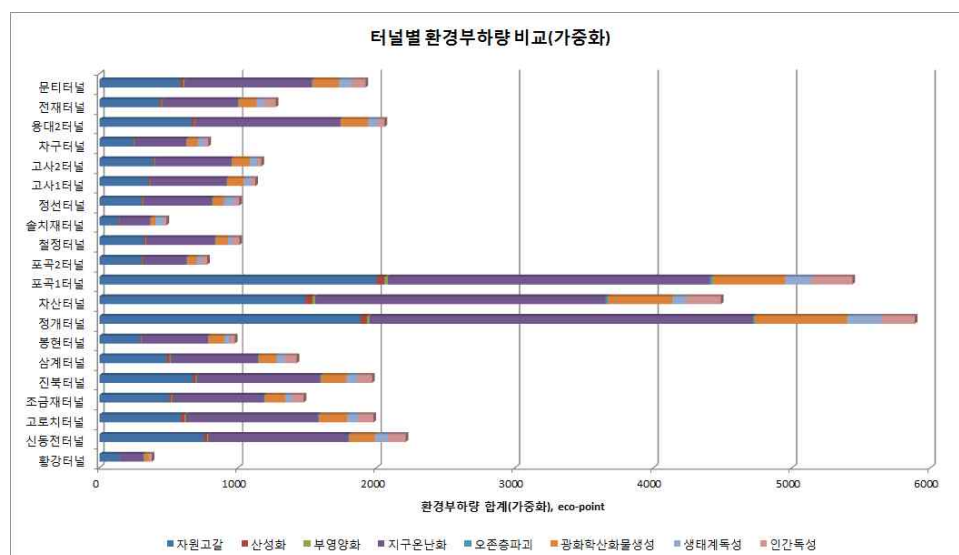
- 환경부하 사례 데이터베이스(DB) 구축을 위하여 2000년 이후 일반국도건설공사의 설계자료 (설계보고서, 물량내역서, 단가산출서, 도면 등)를 수집한 후 터널사례별로 소요자원을 산출함
- 산출된 소요자원별로 LCI DB와 연계하여 환경부하량을 산정하고 이를 터널 사례별로 데이터베이스화하여 기획단계 환경부하량 예측 모델의 사례 데이터베이스로 활용함



[그림 3-4-6] 환경부하 사례 데이터베이스 구축 절차

(2) 환경부하량 산정 및 환경부하 사례 데이터베이스(DB) 구축

- 환경부하량 산정 방법론은 LCA 국제 규격인 ISO 14040, 14044의 LCA분석(영향평가)에 대한 기본적인 규칙에 따라 산정하였으며, ISO에서 제시하고 있는 규칙을 준용하면서, 세부 영향평가 방법론은 한국 기준인 Korea Indicator(2003)에 따라 8대 영향평가 범주에 대한 환경부하량을 산출하였음
- Korea Indicator(2003)는 산업자원부의 환경성 지표 방법론으로 Damage 범위, 임계 Damage, 상응되는 Damage 수준 등을 국내 현실에 맞게 규정하고, 외국에서 개발된 환경성 지표 방법론을 개선한 한국형 Eco-indicator 방법론임
- 터널 사례별 환경부하량 산정 결과는 다음과 같음



[그림 3-4-7] 터널별 환경부하량 산정 결과(일부)

다. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발

(1) 터널(NATM) 특성 분석 및 기획 및 설계 초기단계 가용정보 분석

- 최적노선 선정은 현지여건과 노선이 통과하게 될 지역의 도시계획, 토지이용계획 등 각종 관련계획을 종합적으로 검토하여 우선 2~3개의 비교노선을 선정하고 선정된 각 노선에 대한 사회적·경제적·기술적 타당성과 교통 및 환경적 고려사항 등을 종합적으로 비교하여 검토한 후 결정하게 됨
- 최적노선 선정을 위한 비교노선 선정시 출입시설, 교량, 터널 등의 위치 및 형식이 잠정 결정되는데 이때 고려할 사항 중 경제적 측면은 최적노선을 선정하는데 있어 매우 중요한 역할을 하게 됨. 실제 터널(NATM)의 사업이 진행됨에 따라 가용한 정보들을 구체화하면 다음 그림과 같음



[그림 3-4-8] NATM터널 단계별 가용정보 분류

(2) 영향요인

- 터널의 환경부하량에 영향을 미치는 인자를 도출하기 위하여 영향요인 후보군과 환경부하량 간의 상관성 분석을 수행하였음
- 상관성 분석에 사용된 환경부하량 사례 데이터는 앞서 산정한 130개 데이터 중 Cut-off 수준이 현저히 낮은 3개 사례(70% 이하)를 제외한 127개의 환경부하량 사례 데이터를 활용하였음. 최종적으로 다음과 같은 영향요인을 선정함

[표 3-4-5] 터널(NATM)의 환경부하 영향요인

터널(NATM)의 환경부하 영향요인				
연장	차로수	통행방식	설계속도	행정구역

(3) 영향요인별 가중치 산정 및 유사도 점수산정

- 기존 사례를 통한 새로운 신규 사례의 환경부하량 예측값의 오차를 최소화하고자 하는 목적 함수와 이에 영향을 미치는 환경부하량 영향요인의 가중치는 선형관계를 갖지 않는 비선형 관계로, 영향요인의 가중치를 산정하기 위해 유전자 알고리즘을 적용하였음
- 유전자 알고리즘을 이용하여 복수의 학습사례에 대한 환경부하량을 추정하고, 추정 환경부하량의 절대평균 오차율(Mean absolute error rates, MAER)을 최소로 하는 가중치를 산정하였음. 산정된 영향요인별 가중치는 다음과 같음

[표 3-4-6] 영향요인별 가중치 산정 결과

영향요인	차로수	통행방식	연장	설계속도	행정구역
가중치	0.2344	0.0392	0.3829	0.3385	0.0050

- 유사사례 추출을 위한 유사도 점수 산정시, 영향요인 중 차로수, 통행방식, 설계속도, 행정구역은 문자열 유사도 점수방법을 적용하였으며 연장은 수치 유사도 점수방법을 적용하였음
- 문자열 유사도는 특성이 일치할 경우 100점, 불일치할 경우 0점의 유사도 점수가 부여되며, 수치열 유사도는 속성이 유사 범위 이내인 경우 100점, 범위를 벗어나면 0점이 부여

[표 3-4-7] 유사도 점수 부여방법

구 분	유사도 점수 부여방법
문자열	대조되는 두 사례의 특성이 완전히 동일한 경우에만 점수 부여
수치	속성값의 편차에 의해 유사성이 결정되어 점수 부여 $\left \frac{V_{\text{기준사례}} - V_{\text{대상사례}}}{V_{\text{대상사례}}} \right \times 100 \leq \text{범위}$

라. 평가모델의 검증

- 사례기반추론을 활용한 기획단계 터널 환경부하량 예측모델은 10개 터널을 선정하여 검증함. 또한 기존에 원단위를 활용한 환경부하 추정 방법으로 산정된 결과를 제시하여 본 연구의 모델과의 비교분석을 통해 예측 성능을 검증하였음
- 다음 [표 3-4-8]의 원단위 값은 본 연구에서 사례DB에 구축된 환경부하량으로 산출하였음

[표 3-4-8] 터널(NATM)의 영향범주별 환경부하량 원단위(eco-point/차로수/m)

원단위	가중화 (단위: eco-point/차로수/m)								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성	합계
	0.2116	0.0075	0.0031	0.3022	0.0021	0.0638	0.0388	0.0376	0.6667

- 모델 검증에 활용된 터널의 정보는 다음 [표 3-4-9]과 같음

[표 3-4-9] 검증사례 입력정보

사례번호	차로수	통행방식	연장(m)	설계속도(km/h)	행정구역
Case 1	2	일방향	1630	80	전남
Case 2	2	일방향	772	80	경북
Case 3	2	일방향	344	80	경기
Case 4	2	양방향	878	60	경북
Case 5	2	일방향	1856	80	전북
Case 6	2	일방향	695	80	충남
Case 7	3	일방향	1890	100	충남
Case 8	3	일방향	3870	100	경기
Case 9	3	일방향	1080	100	경기
Case 10	4	양방향	300	80	전북

○ 터널의 기획단계 환경부하량 예측모델 검증 결과는 다음 [표 3-4-10]과 같음

[표 3-4-10] 사례기반추론 모델과 원단위 산정 방법의 결과 비교

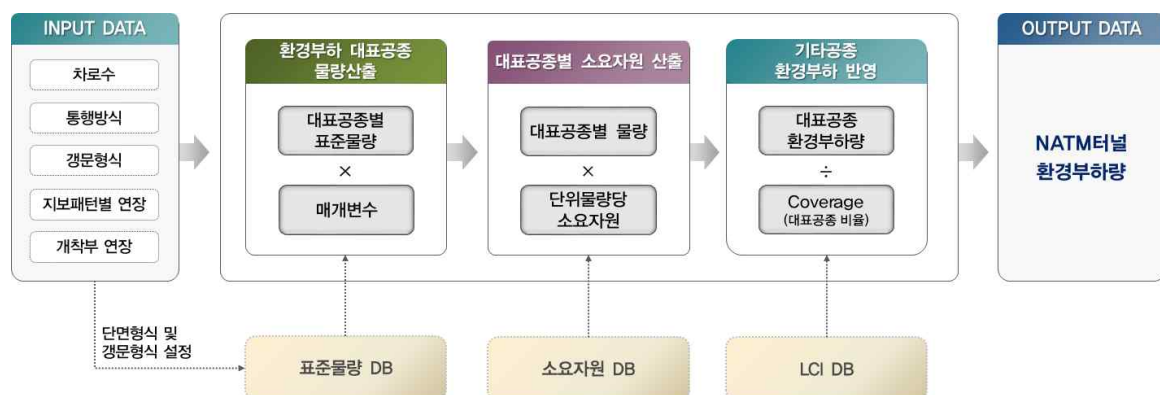
Case	실제 환경부하량 (eco-point)	사례기반추론 모델		원단위 산정 방법	
		추정값 (eco-point)	오차율 (%)	추정값 (eco-point)	오차율 (%)
Case 1	1741.6	1995.6	-14.6%	2173.4	-24.8%
Case 2	934.0	991.9	-6.2%	1029.4	-10.2%
Case 3	527.5	434.8	17.6%	458.7	13.0%
Case 4	970.2	1057.5	-9.0%	1170.7	-20.7%
Case 5	1998.2	2232.6	-11.7%	2474.8	-23.8%
Case 6	837.7	862.6	-3.0%	926.7	-10.6%
Case 7	2761.7	3038.1	-10.0%	3780.2	-36.9%
Case 8	6076.0	7056.1	-16.1%	7740.4	-27.4%
Case 9	1772.0	1820.7	-2.7%	2160.1	-21.9%
Case 10	924.6	930.8	-0.7%	800.0	13.5%
평균 절대오차율		9.2%		20.3%	
오차범위		-16.1% ~ 17.6%		-36.9% ~ 13.5%	

○ 10개 검증사례에 대한 환경부하 실제값과 비교한 결과, 원단위 산정 방법의 평균 절대오차율은 20.3%이며, 오차범위는 -36.9%에서 +13.5%까지인 것으로 나타난 반면, 본 연구에서 기획단계의 추정모델로 제시한 사례기반추론 모델은 평균 절대오차율 9.2%, 오차범위는 -16.1%에서 +17.6%까지 인 것으로 나타나 원단위 산정 방법과 비교하여 보다 정확한 추정 결과를 나타내었음

3. 설계단계 환경부하 평가모델

가. 설계단계 환경부하 평가모델 개요

- 환경부하는 투입되는 자원소요량(자재 및 장비 사용에 따른 에너지 사용량)에 기초하여 산출되기 때문에 공사 물량에 따라 결정되므로, 이러한 점에 착안하여 설계단계 평가모델은 설계 초기 단계의 정보로 개략적인 물량을 추정하여 이를 기반으로 환경부하를 추정하는 모델을 제안
- 다만 모든 공종에 대해서 설계초기 단계의 정보로 물량을 추정하는 것은 불가능하기 때문에 공종별로 환경부하를 비교분석하여 환경부하가 큰 대표공종만을 물량 추정 대상 공종으로 선정
- 본 연구에서는 이러한 입력변수를 활용하여 터널(NATM)의 설계 초기단계에서 환경부하를 추정하기 위한 방법론으로 환경부하가 큰 주요 대표 공종들을 분석하여 이에 해당하는 공종들의 단위물량 및 소요자원들을 산정하고 이를 LCI DB와 연결시켜 환경부하를 추정할 수 있는 환경부하 대표공종의 단위물량 기반 추정 방법을 이용함
- 이러한 방법론으로 개발하고자 하는 설계단계 평가모델 구성도는 다음 그림과 같음



[그림 3-4-9] 대표공종 표준물량기반 환경부하 평가모델 개요

- 설계단계 평가모델의 입력변수로 차로수, 통행방식, 지보패턴(T1~T6)별 연장, 개착부 연장, 갱문형식을 사용함
- 차로수 및 통행방식 입력변수에 따라 단면유형이 결정되고 표준물량DB에서 해당되는 유형의 표준물량이 적용됨
- 터널 구조 설계의 가장 큰 특징은 일반 구조물에 비하여 지형·지질 등 지반 조건에 영향을 크게 받기 때문에 지반 타입에 따른 지보패턴과 단면의 구성은 설계단계의 중요한 영향요인으로 이에 따라 터널의 공종 구성 및 수량, 소요자원들이 달라지므로, 지보패턴별 연장(TYPE1~6까지 각각의 연장)을 입력변수로 활용
- 갱문형식은 ‘갱문 및 개착구간’ 공종의 환경부하 추정을 위한 표준물량이 설정하기 위한 입력변수이며, 갱문형식에 따라 설정된 표준물량에 개착부 연장을 매개변수로 하여 갱문 및 개

착구간의 물량을 추정

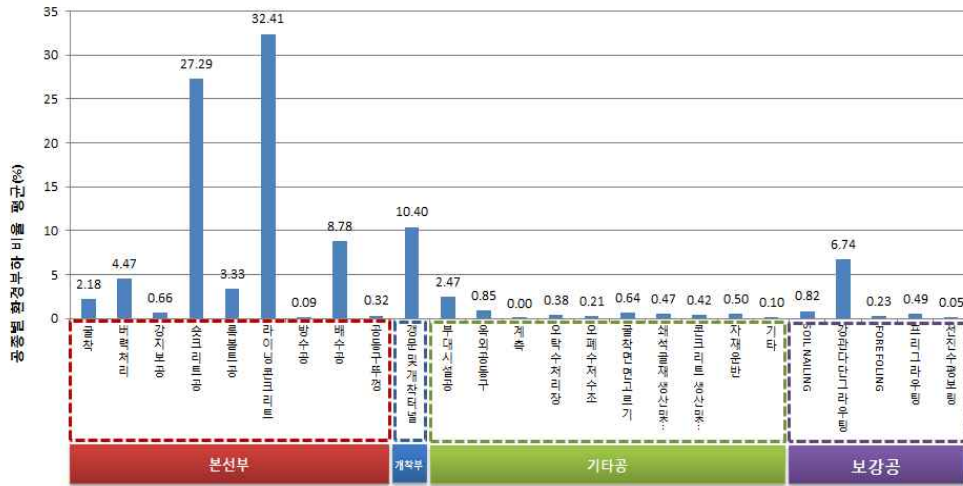
- 대표공종의 표준물량이 설정되면 지보패턴별 연장과 개착부 연장이 물량을 추정하기 위한 매개변수로 이용되며, 각각의 연장은 해당되는 공종별로 적용
- 이렇게 추정된 대표공종별 물량에 소요자원DB의 각 대표공종별 단위물량당 소요자원들의 수량이 적용되어 총 투입된 자재 및 에너지 사용량이 산출되고 이를 LCI DB와 연계하여 대표공종의 환경부하량을 산출
- 산출된 대표공종의 환경부하량에 대표공종이 전체 공종에서 차지하는 비율(Coverage)로 나누어 기타공종의 환경부하량을 반영하여 최종적으로 전체 터널의 환경부하량을 추정함



[그림 3-4-10] 터널(NATM) 설계단계 환경부하 평가모델

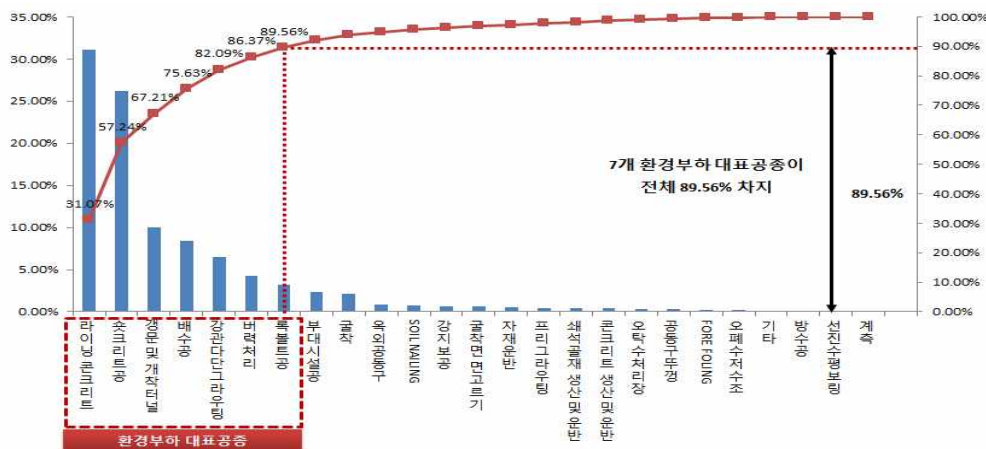
나. 환경부하 특성분석

- 터널(NATM)에서 환경부하가 큰 주요 공종을 선정하기 위하여 20개 터널(NATM) 사례에 대한 공종별 환경부하 비율 분석을 실시하였음



[그림 3-4-11] 공종별 환경부하 비율(%)

- 공종별 환경부하 비율 분석 결과, 환경부하량을 가장 많이 차지하는 공종은 라이닝콘크리트 공종으로 32.41%를 차지하였으며 다음으로는 숏크리트공이 27.29%를 차지함
- 개착부의 갯문 및 개착터널 공종은 전체 환경부하량의 10.40%를 차지함
- 기타공에 해당하는 공종의 환경부하량은 전체의 환경부하량의 5.8%로 나타나 미미한 것으로 분석되었음
- 강관다단그라우팅 공종은 6.74%를 차지하여 보강공 중 주요 환경부하 공종으로 분석됨
- 터널(NATM)의 주요 환경부하 대표공종을 선정하기 위하여 환경부하가 큰 공종순으로 누적 비율을 산정한 결과는 다음 그림과 같음



[그림 3-4-12] 환경부하 대표공종 선정

다. 표준물량 기반 환경부하 평가모델 개발

(1) 환경부하 대표공종별 표준물량 산정

- 터널(NATM)의 환경부하 대표공종으로 선정된 공종은 버력처리, 숏크리트공, 록볼트공, 라이닝콘크리트, 배수공, 강판다단그라우팅, 갯문 및 개착터널이며, 7개 대표공종이 전체 환경부하량의 89.56%를 차지하는 것으로 나타남
- 본 연구에서는 지보패턴별 표준단면도와 수량 산출근거를 참고하여 산출할 수 있는 공종의 경우, 수집된 설계자료 중 해당하는 단면 형식의 해당 공종 물량을 조사하여 산출
- 라이닝콘크리트 공종 중 배면 그라우팅 공종은 ‘국도건설공사 설계 실무요령(국토교통부, 2013)’의 수량산출요령에서 1m당 0.1m³로 산출하도록 기준이 제시되어 있어, 이처럼 산출 기준값이 제시되어 있는 공종의 경우에는 이를 해당 공종의 표준물량으로 적용
- 이와 같은 방법들을 활용하여 단면 유형별로 환경부하 대표공종의 각 세부공종별로 표준물량을 산출하였으며, 다음 표는 버력처리 공종에 대한 표준물량을 나타내었음(전체 환경부하 대표공종별 표준물량은 별권에 수록)

[표 3-4-11] 단면 유형별 버력처리 공종의 표준물량 DB(일부)

공종분류	표준물량		단위
	2차로 / 일방향	2차로 / 양방향	
1. 버력처리			
a. 전단면 버력처리			
a-1 버력처리 (표준단면-1)	77.815	79.583	m³
a-2 버력처리 (표준단면-2)	77.815	79.583	m³
a-3 버력처리 (표준단면-3)	79.519	81.747	m³
b. 반단면 버력처리			
b-1 버력처리 (표준단면-4)			
b-1-a 버력처리(상부)	49.880	53.200	m³
b-1-b 버력처리(하부)	31.970	30.194	m³
b-2 버력처리 (표준단면-5)			
b-2-a 버력처리(상부)	50.595	53.936	m³
b-2-b 버력처리(하부)	32.283	31.144	m³
b-3 버력처리 (표준단면-6)			
b-3-a 버력처리(상부)	50.596	53.936	m³
b-3-b 버력처리(하부)	32.500	31.144	m³
c. 숏크리트 버력처리			
c-1 숏크리트 버력처리(표준단면-1)	0.545	0.405	m³
c-2 숏크리트 버력처리(표준단면-2)	0.545	0.405	m³
c-3 숏크리트 버력처리(표준단면-3)	0.665	0.631	m³
c-4 숏크리트 버력처리(표준단면-4)	0.807	0.902	m³
c-5 숏크리트 버력처리(표준단면-5)	0.895	1.069	m³
c-6 숏크리트 버력처리(표준단면-6)	0.895	1.069	m³
c-7 숏크리트 버력처리(갯구부)	0.222	0.222	m³

(2) 환경부하 대표공종별 소요자원DB 구축

- 환경부하 대표공종별 표준물량 산정에 따른 소요자원(투입자재량 및 에너지 사용량)을 산출하기 위하여 환경부하 대표공종별로 일위대가 및 단가산출서를 분석하여 소요자원 DB를 구축
- 다음의 표는 숯크리트공(표준단면-1) 1m³당 소요자원 DB이며, 그 밖에 소요자원 DB는 별권에 수록

[표 3-4-12] 숯크리트공(표준단면-1) 1m³당 소요자원 DB

공종 분류	수량	단위	자원명	규격	수량	단위	LCI DB 연결
2. 숯크리트공 a. 숯크리트공 (표준단면-1)	1	m³	경 유		16.267	L	경유
			콘크리트혼화재 (고유동화제)	LIGACE-F 20kg/통	4.900	kg	기타
			콘크리트혼화재 (숯크리트용급결제)	ECONEX-SHO P-L (액체)	24.480	kg	규산소다
			시멘트	BULK	0.480	ton	시멘트
			세골재 (상차도)	모래	1.030	m³	모래
			쇄석골재	19mm	0.572	m³	자갈

(3) 환경부하 대표공종의 표준물량 기반 평가모델 개발

- 공종별 환경부하 분석을 통해 선정된 대표공종의 각 공종별 표준물량의 물량산출 방법은 다음의 표와 같음

[표 3-4-13] 환경부하 대표공종별 물량산출 및 환경부하 산정 방법

환경부하 대표공종		단위	물량산출 방법	환경부하 산정
버력처리	T1~T6, 갱구부	m³	= 단위물량 × 지보패턴별 연장 (T1~T6, 갱구부)	물량 산출에 따른 공종별 소요자원DB 적용 ↓ 소요자원 산출 (투입 자재량 및 에너지 사용량) ↓
숯크리트공	T1~T6, 갱구부	m³		
록볼트공	T1~T6, 갱구부	조		
라이닝 콘크리트	강재동바리 및 거푸집	set	2set	
	철근콘크리트타설	m³	= 단위물량 × 지보패턴 T6 연장	
	무근콘크리트타설	m³	= 단위물량 × 지보패턴별(T1~T5) 연장	

환경부하 대표공종		단위	물량산출 방법	환경부하 산정
	철근가공조립	ton	= 단위물량 × 지보패턴(T5+T6) 연장	소요자원별 LCI DB 연결을 통한 대표공종의 환경부하 산정 ↓ 기타공종의 환경부하 반영 (=대표공종 환경부하/ coverage)
	라이닝신축이음	m	= 단위물량 × 본선부 연장	
	배면그라우팅	m³	= 단위물량 × 본선부 연장	
배수공	맹암거	m	= 단위물량 × 총 연장	
	PVC PIPE	m	= 단위물량 × 본선부 연장	
	배수로 주름관	m	= 단위물량 × 본선부 연장	
	합판거푸집	m²	= 단위물량 × 본선부 연장	
	무근콘크리트타설	m³	= 단위물량 × 지보패턴별(T1~T6) 연장	
	철근가공조립	ton	= 단위물량 × 본선부 연장	
강관다단 그라우팅	풍화암	공	= 단위물량 × 개착부 연장	
	연암	공	= 단위물량 × 지보패턴 T6 연장	
갱문 및 개착터널	면벽형		면벽형 1식 물량산출	
	원통절개형		= 단위물량 × 개착부 연장	
	벨마우스형		= 단위물량 × 개착부 연장	

라. 평가모델 검증

- 5개의 2차로 터널 검증사례에 대하여 원단위 방법, 기획단계 및 설계단계 추정모델의 결과를 각각 비교하여 추정 정확도를 비교·분석함

[표 3-4-14] 검증사례 입력정보

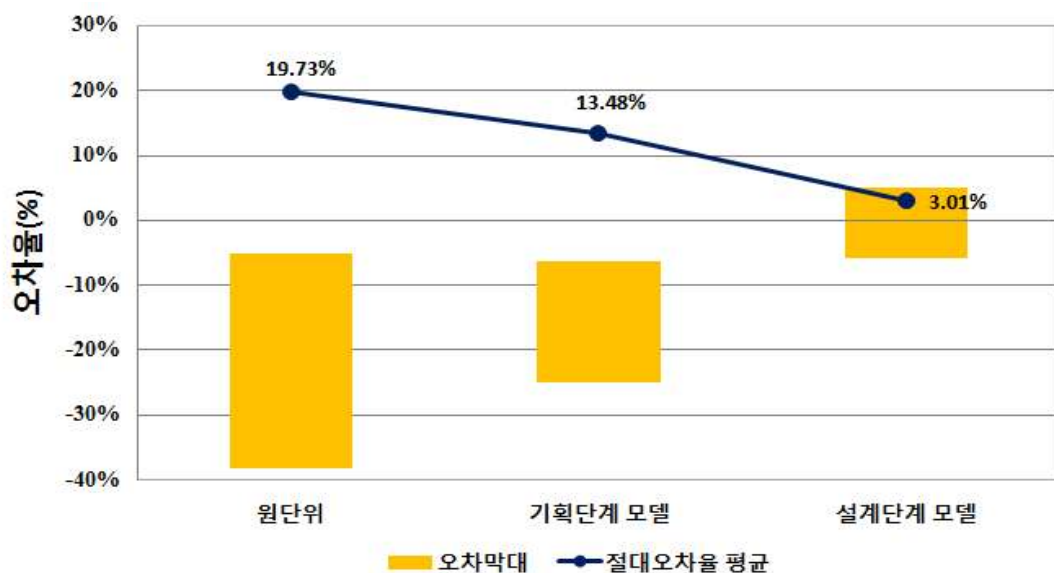
검증사례 번호		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
차로수		2	2	2	2	2
통행방식		일방향	일방향	일방향	양방향	양방향
갱문 형식	방향1 / 시점부	원통절개	면벽	벨마우스	벨마우스	벨마우스
	방향1 / 종점부	면벽	면벽	벨마우스	면벽	벨마우스
	방향2 / 시점부	면벽	면벽	벨마우스	-	-
	방향2 / 종점부	원통절개	면벽	벨마우스	-	-
개착 구간 연장 (m)	방향1 / 시점부	30	5	20	20	17
	방향1 / 종점부	3	5	20	3	17
	방향2 / 시점부	3	5	20	-	-
	방향2 / 종점부	30	5	20	-	-
	합계(개착부)	66	20	80	23	34
지보 패턴별 연장 (m)	TYPE1	165	0	52	55	63
	TYPE2	680	98	124	172	260
	TYPE3	589	300	179	365	0
	TYPE4	237	231	208	166	0
	TYPE5	77	66	45	61	16
	TYPE6	72	57	72	36	20
	합계(본선부)	1820	752	680	855	359
총 연장(m)		1886	772	760	878	393

- 5개 검증사례에 대한 환경부하 실제값과 원단위 방법, 기획단계 및 설계단계 추정모델간 비교한 결과는 다음과 같음

[표 3-4-15] 터널 검증사례 결과비교(원단위 방법, 기획/설계단계 추정모델)

Case	실제값 (eco-point)	원단위 산정방법		기획단계 추정모델 (사례기반추론)		설계단계 추정모델 (표준물량 기반)	
		추정값 (eco-point)	오차율 (%)	추정값 (eco-point)	오차율 (%)	추정값 (eco-point)	오차율 (%)
1	1736.4	2399.0	-38.2%	2170.3	-25.0%	1736.1	0.0%
2	934	981.984	-5.1%	991.9	-6.2%	886.5	5.1%
3	831	966.72	-16.3%	946.1	-13.9%	815.4	1.9%
4	970.2	1116.816	-15.1%	1057.5	-9.0%	992.4	-2.3%
5	403.5	499.896	-23.9%	457.5	-13.4%	426.8	-5.8%
평균 절대오차율		19.7%		13.5%		3.0%	
오차범위		-38.2% ~ -5.1%		-25.0% ~ -6.2%		-5.8% ~ 5.1%	

- 원단위 산정 방법(차로수×연장당 eco-point)은 평균 절대오차율 19.7% 이며, 오차범위는 -38.2 ~ -5.1%로 나타났으며, 사례기반추론 방법론을 이용한 기획단계 추정모델은 평균 절대오차율이 13.5%이며, 오차범위는 -25.0% ~ -6.2%로 나타남. 표준물량 기반 설계단계 추정모델은 평균 절대오차율이 3.0%이며, 오차범위는 -5.8% ~ 5.1%로 나타남
- 환경부하 추정 시 일반적으로 활용되던 기존의 원단위 방법에 비해, 본 연구에서 제시한 사례기반추론 기반 기획단계 추정모델과 환경부하 대표공종의 표준물량 기반 설계단계 추정모델의 평균 절대오차율 및 오차범위가 적어 정확도 측면에서 향상된 결과를 보여줌



[그림 3-4-13] 원단위 방법과 기획/설계단계 추정모델 오차범위 및 절대오차율 평균 비교

4. 유지관리단계 환경부하 평가모델

가. 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요

(1) 유지관리단계 환경부하 산정 사례 및 주요 유지관리 항목 조사

- 서울시의 2016년도 자동차전용도로 유지보수공사 설계가이드에서 터널 유지보수 관련 공종은 콘크리트 열화단면제거, 콘크리트 표면보수, 콘크리트 단면보수, 콘크리트 균열보수가 있음
- 한국도로공사의 2016년도 유지보수단가집에서 터널 유지보수 관련 공종은 터널보수(균열보수, 누수보수, 타일보수, 전기시설보수, 전화시설보수, 배수시설보수, 환기시설보수, 기타)과 청소 공종이 존재하며, 토목구조물 관련 유지보수 공종으로는 콘크리트 균열보수, 터널누수 표면처리, 터널내부타일붙임보수 공종과 터널청소(기계/인력) 공종이 조사됨
- 터널 구조물에 대한 유지관리단계 환경부하 산정과 관련된 문헌조사 결과, 터널의 내구연한 동안 유지관리 공종, 공법 및 주기를 산정하고, 투입되는 건설자재 및 장비에 따른 환경부하량을 추정하는 방법이 일반적임

(2) 유지관리단계 환경부하 평가 방법론 검토

- 터널(NATM)의 유지관리 단계 환경부하를 산출하기 위해 유지보수 공종의 보수물량, 보수공법의 자원DB, LCI DB를 연계하는 프로세스를 다음과 같이 정의



[그림 3-4-14] 터널(NATM)의 유지관리 단계 환경부하 산정 개요

나. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성 분석

- 서울시의 2016년 자동차전용도로 유지보수 공사 설계가이드(도로 및 시설물 편)와 한국도로공사의 2016년도 유지보수단가집을 참조하여 터널의 유지관리 공종으로 선정한 보수공법은 다음 표와 같음

[표 3-4-16] 터널 유지관리보수 공종

대표공종	세부공종
콘크리트 균열보수	건식/습식/마이크로시멘트/BICS공법/SKI공법, B=0.3/0.5/1.0mm, t=100/120/ 150/180/200/250/300mm
터널내부포장보수	아스팔트/콘크리트
터널누수표면처리	
터널청소	기계/인력

- 유지보수 공종별 일위대가를 참고하여 소요자원DB를 구축하였으며, 유지보수 공종 전체는 별권에 수록하였음. 예시로 콘크리트 균열보수(B=0.3mm, t=100mm) 및 터널누수 표면처리 소요자원 DB는 다음과 같음

[표 3-4-17] 콘크리트균열보수(B=0.3mm, t=100mm) 소요자원DB

공종명	규격	수량	단위	비고	
콘크리트균열보수	B=0.3mm, t=100mm	1	m	2017년 관내 도로 시설물유지보수공사	
자원명	규격	수량	단위	단가	금액
에폭시주입제	저점도	0.036	Kg	20,000	1,800

[표 3-4-18] 터널누수표면처리 소요자원DB

공종명	규격	수량	단위	비고	
터널누수표면처리		1	m ²	2016년 한국도로공사 유지보수 단가집	
자원명	규격	수량	단위	단가	금액
보통시멘트	40kg/대 (포장품)	1.7544	KG	87.273	153
불포화수지	PC303 PRIMER	0.5	KG	11,600	5,800
에폭시수지프라이머	콘크리트철면용	0.5	KG	6,500	3,250

다. 유지보수공법 기반 환경부하 평가모델 개발

(1) 유지관리단계의 환경부하 특성

- 유지관리 단계의 특성에 맞는 환경부하를 추정하기 위해서는 보수율을 산정하는 것이 가장 중요함. 실제 유지보수 이력에 근거한 보수주기 및 보수물량의 추정방법을 적용하여 보다 객관적이고 신뢰성 있는 결과 값을 얻을 수 있음
- 유지관리 단계의 환경부하는 향후 유지보수 방법 및 물량에 따라 달라지는 추정치이기 때문에 신뢰할 수 있는 수준의 실제 유지보수 자료에 근거하여 산정하는 것이 중요함
- 보수주기 및 보수율은 한국도로공사 기술심사처에서 제공한 ‘포장, 터널, 사면 생애주기비용

(LCC) 분석 연구 최종보고서(2008)’를 기준으로 보수주기 및 보수율을 인용하고, 보수횟수는 다음 식과 같이 산정하였음

$$\text{보수횟수} = \text{공용년수} / \text{보수주기}$$

- 공용년수는 기본적으로 30년을 주기로 잡았으며 보수주기 및 보수율, 공용년수는 사용자가 수정이 가능. 다음 표는 터널 유지관리단계 대표공종들의 보수주기 및 보수율임

[표 3-4-19] 대표공종의 보수주기 및 보수율

항목		보수주기	보수율	공용년수
아스팔트 콘크리트	노면팻칭	7	41.8	30
	노면개량	10	100.0	
콘크리트	균열실링	8	9.5	
	줄눈보수	8	100.0	
	노면개량	15	100.0	
	단면보수	20	100.0	
콘크리트 균열보수		8	8.7	
터널누수보수		8	8.7	
터널청소		0.5	100.0	

(2) LCI DB 연계

- 환경부하량을 추정하기 위해 각 공종들에 포함된 자원들과 알맞은 LCI DB를 연결한 후, 각 DB의 변환단위와 변환계수를 적용
- 예를 들면, 휘발유 같은 경우 ‘L’단위를 사용하지만 환경부하를 추정할 때 Kg 단위로 변경해야 하므로, 단위를 변경할 때 적용할 변환계수를 산정하여 계산
- 다음 표는 터널 유지관리단계에서 필요한 소요자원에 따른 LCI DB와 변환단위 및 변환계수임

[표 3-4-20] 소요자원에 따른 필요 LCI DB

소요자원	LCI DB	변환단위	변환계수
속경성 아스팔트 유제	속경성 아스팔트 유제	L	208
휘발유	휘발유	Kg	0.75
Disel	Disel	Kg	0.83
아스팔트 콘크리트	아스팔트콘크리트	Ton	0.001
에폭시그라우팅제	에폭시접착제	Kg	1
에폭시셀란트	에폭시셀란트	Kg	1
콘크리트용프라이머	아스팔트	Kg	1
콘크리트혼화제(양생제)	양생제	Kg	1
콘크리트	레미콘	M3	1
초속경시멘트	초속경시멘트	Kg	1

소요자원	LCI DB	변환단위	변환계수
쇄석자갈	자갈	Kg	2,000
콘크리트혼화제(AE 감수제)	규산소다	Kg	1
시멘트	시멘트	Kg	40

라. 평가모델 검증

- 5개의 터널을 대상으로 실제 환경부하량과 유지관리단계 모델의 환경부하량을 비교분석하여 검증함

[표 3-4-21] 검증사례 입력정보

사례번호	차로수	터널내부포장종류	연장 (m)	포장두께
Case 1	3	아스팔트	1890	5
Case 2	2	아스팔트	1157	5
Case 3	2	콘크리트	575	10
Case 4	2	콘크리트	560	10
Case 5	2	아스팔트	748	5

[표 3-4-22] 유지관리단계 모델 환경부하 산정 결과

Case	오차율	유지관리단계 모델 추정값 (eco-point)	실제 환경부하량 (eco-point)
Case 1	-0.87%	0.34700	0.34400
Case 2	24.26%	0.00377	0.00498
Case 3	-1.47%	0.00063	0.00062
Case 4	14.29%	0.00060	0.00070
Case 5	18.66%	0.00081	0.00100
평균 절대오차율		11.91%	
오차범위		-0.87% ~ 24.26%	

- 5개 터널의 실제 유지보수 시 환경부하량과 유지관리단계 모델에서의 환경부하량을 비교한 결과, 평균 절대오차율이 11.91%로 나타났으며, 오차범위는 -0.87%~24.26% 로 나타남
- 터널의 유지관리보수 사례가 많지 않을뿐더러, 유지관리 공종별로 보수율에 대한 정확한 산정 값이 없기 때문에 검증에 한계가 있음

제 5 절 LCI DB 구축 및 연계 표준화 모델

1. LCI DB 구축 개요

가. LCI DB 구축 방법론

- LCI DB란 LCA 수행을 위한 제품 1단위(기능단위)의 생산에 필요한 원자재의 채취 및 소재/부품가공, 수송, 제품사용, 폐기까지의 제품 시스템으로 투입되는 자원의 양과 제품시스템에서 환경으로 버려지는 배출물과 폐기물의 발생량을 목록화한 데이터를 말함
- LCI DB 구축방법은 산업연관분석법, 개별적산법, 조합법이 있으나 본 연구에서는 제품의 생산에서 폐기까지의 데이터를 구체적으로 조사하여 축적하는 방법인 개별적산법에 따라 데이터의 근거가 명확하고 정확도가 높은 LCI DB를 구축함
- LCI DB 구축은 환경정보표준체계의 방법론 및 국가 LCI DB 표준지침서를 준용하여 결핍자재 항목 선정 -> 참여업체 선정 -> 공정흐름도 결정 -> 공정데이터 수집 -> 데이터 계산 -> 업체 GtG(Gate to Gate) 목록 산출 -> LCI DB 구축 단계로 진행되어짐
- 구축된 LCI DB 중 외부전문가 검증 및 정밀검토를 통해 신뢰성이 높은 자재에 대한 국가 LCI DB 등록 수행



[그림 3-5-1] LCI DB 구축 절차

나. LCI DB 구축 대상 선정

(1) 기획 및 설계 단계

- 1, 2차년도 내역서 분석 결과, 내부연구진 의견, 각 자재별 구축 가능성(단일소재사용, 배합 비율 이용 가능 등)을 고려하여 구축시급성이 높은 결핍 DB 중 대상 항목 선정
- 선정된 결핍 DB 중 Cut-off 증가율 및 주요 재질, 관련 규격(KS 기준) 등을 검토하여 공통 시설물 관련 3개 자재(아스콘, 유공관, PVC관), 도로 시설물 관련 1개 자재(가드레일), 터널 시설물 관련 1개 자재(스틸그레이팅), 교량 시설물 관련 4개 자재(포트받침, 탄성받침, 강관, 신축이음장치) 총 9개 자재에 대한 LCI DB 구축 수행
- 구축 수행된 9개의 자재 중 업체 조사 신뢰성 및 표준화 가능성이 높은 포트받침, 탄성받침에 대해 국가 LCI DB 등록 절차에 따른 국가 LCI DB 등록 수행

[표 3-5-1] 기획 및 설계 단계 구축 대상 LCI DB 목록

No	자재명	Cut-off 증가율(%)	자재 적용 주요 시설	비고
1	아스콘	0.77%	공통	2차년도 DB 구축
2	신축이음장치	1.76%	교량	2차년도 DB 구축
3	강관	1.52%	교량	3차년도 DB 구축
4	스틸그레이팅	0.53%	터널	3차년도 DB 구축
5	가드레일	0.85%	도로	3차년도 DB 구축
6	유공관	0.57%	공통	3차년도 DB 구축
7	PVC관	0.10%	공통	3차년도 DB 구축
8	탄성받침	3.98%	교량	국가 LCI DB 등록 (3차년도)
9	포트받침	5.41%	교량	국가 LCI DB 등록 (4차년도)

(2) 유지관리 단계

- 시설물별 주요 유지보수 공법에 따른 내역서 분석 결과를 활용하여 주요 유지보수 DB 결핍 리스트 도출
- 선정된 결핍 DB 중 내부연구진 의견, 각 자재별 구축 가능성 등을 고려하여 구축시급성이 높은 도로 시설물 관련 2개 자재(속경성 아스팔트, 콘크리트 혼화제), 주요 공통시설물 관련 3개 자재(초속경 시멘트, 건식 에폭시 주입제, 습식 에폭시 주입제) 총 5개 자재에 대한 LCI DB 구축 수행

[표 3-5-2] 유지관리 단계 구축 대상 LCI DB 목록

No	자재명	자재 적용 주요 시설	비고
1	속경성 아스팔트(유제)	도로	4차년도 DB 구축
2	콘크리트 혼화제(양생제)	도로	4차년도 DB 구축
3	초속경시멘트	도로, 교량	4차년도 DB 구축
4	에폭시주입제(건식)	교량, 터널	4차년도 DB 구축
5	에폭시주입제(습식)	교량, 터널	4차년도 DB 구축

2. LCI DB 개발 및 구축

가. 기획 설계 단계 LCI DB 구축

(1) 아스콘

○ 아스콘 1ton 생산시 LCI DB 구축 수행

○ 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 아스콘 1ton 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 생태계독성과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 54.70%, 23.81%로 높게 나타남

[표 3-5-3] 아스콘 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 아스콘	공정 흐름도	
기능	· 도로 포장이나 주차장 시공과 관련하여 필수 · 범용적으로 사용되는 시공자재		
기능단위	· 아스콘 1ton 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 2015년 기준 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· 순환골재(환경부, 2010) · 아스팔트(ecoinvent 2.2V) · B-C유(환경부, 2003)

[표 3-5-4] 아스콘 1ton 생산시 특성화 결과

자재명	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성
		1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
아스콘	ton	8.99E-02	1.25E-01	6.11E-02	6.48E+01	4.80E-06	1.86E-02	5.85E-02	2.49E+01

[표 3-5-5] 아스콘 1ton 생산시 가중화 결과

자재명	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
아스콘	ton	8.34E-04	1.13E-04	1.77E-04	3.37E-03	3.45E-05	1.17E-04	7.75E-03	1.77E-03	1.42E-02

(2) 신축이음장치

- 신축이음장치(모자이크형, 핑거형) 1m 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 신축이음장치 1m 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 지구온난화와 자원고갈에 미치는 영향이 각각 50.88%, 38.28%로 높게 나타남

[표 3-5-6] 신축이음장치 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 신축이음장치(핑거형, 모자이크형)	공정 흐름도	
기능	· 교량에 있어 상판 단부의 신축에 의한 이음을 원활하게 연결시키기 위한 장치		
기능단위	· 신축이음장치 1m 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 2015년 기준 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· 후판(환경부, 2003) · 선재(환경부, 2003) · EPDM(환경부, 2003)

[표 3-5-7] 신축이음장치 1m 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층파괴	광화학산화물생성	생태계독성	인간독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
신축이음장치	핑거형 No.50	m	8.27E-01	4.53E-01	5.17E-02	2.23E+02	3.77E-06	1.73E-01	2.23E-04	6.67E+00
	핑거형 No.80	m	1.06E+00	5.55E-01	6.91E-02	2.76E+02	4.20E-06	2.30E-01	2.36E-04	7.38E+00
	모자이크형 No.50	m	1.03E+00	4.58E-01	6.29E-02	2.12E+02	3.96E-06	2.66E-01	1.69E-04	6.72E+00
	모자이크형 No.80	m	1.24E+00	5.60E-01	8.19E-02	2.73E+02	3.96E-06	3.07E-01	1.69E-04	6.73E+00

[표 3-5-8] 신축이음장치 1m 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층파괴	광화학산화물생성	생태계독성	인간독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
신축이음장치	핑거형 No.50	m	7.68E-03	4.10E-04	1.50E-04	1.16E-02	2.71E-05	1.09E-03	2.95E-05	4.73E-04	2.15E-02
	핑거형 No.80	m	9.85E-03	5.02E-04	2.01E-04	1.44E-02	3.01E-05	1.45E-03	3.13E-05	5.23E-04	2.70E-02
	모자이크형 No.50	m	9.59E-03	4.14E-04	1.83E-04	1.11E-02	2.84E-05	1.68E-03	2.24E-05	4.76E-04	2.34E-02
	모자이크형 No.80	m	1.15E-02	5.07E-04	2.38E-04	1.42E-02	2.84E-05	1.94E-03	2.24E-05	4.77E-04	2.90E-02

(3) 강관

- 강관(중구경 기준) 1kg 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 강관 1kg 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 59.12%, 33.46%로 높게 나타남

[표 3-5-9] 강관 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 강관(중구경 기준)	공정 흐름도	
기능	· 내부의 빈 공간이 있고 봉 형태를 띠는 철강제품으로 유전개발용, 일반 배관용 구조용으로 유체의 흐름을 보조함		
기능단위	· 강관 1kg 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 2015년도 연간 데이터(2015. 1.1 ~ 2015. 12.31) · 데이터 수집업체 공장 지역(인천) 현장 데이터 수집	주요 연결 LCI DB	· 후판(환경부, 2005) · 수용성 에멀전수계 도료(환경부, 2003) · 알키드에나멜 바니쉬계 도료(환경부, 2003) · 공업용수(환경부, 2013)

[표 3-5-10] 강관(중구경) 1kg 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
강관	중구경	kg	8.87E-03	9.58E-04	9.72E-07	8.95E-01	4.90E-08	6.46E-05	2.23E-05	8.09E-02

[표 3-5-11] 강관(중구경) 1kg 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
강관	중구경	kg	8.23E-05	8.66E-07	2.82E-09	4.66E-05	3.51E-07	4.08E-07	2.95E-06	5.74E-06	1.39E-04

(4) 스틸그레이팅

- 스틸그레이팅(총 16개 규격) 1ea 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 스틸그레이팅(총 16개 규격) 1ea 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈, 지구온난화, 인간독성에 미치는 영향이 각각 34.51%, 27.70%, 20.87%로 높게 나타남

[표 3-5-12] 스틸그레이팅 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 스틸그레이팅(1-32-200, 1-25-200, 1-44-300, 1-32-300, 1-50s-400, 1-32-400, 1-32-500, 1-25-500)	공정 흐름도	
기능	· 도로, 인도, 공원, 운동장 등의 상하수도 배수관로 또는 배수구의 빗물 받아용에 사용되는 건설재료로서 이물질 유입을 방지하고 악취를 차단함		
기능단위	· 스틸그레이팅(총 16개 규격별) 1ea 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 최신 10년 이내 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· 용융아연도금강판(환경부, 2005) · 스테인레스강(환경부, 2005)

[표 3-5-13] 스틸그레이팅 1ea 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층파괴	광화학물질생성	생태계독성	인간독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
스틸그레이팅	1-32-200	ea	2.55E+00	1.10E+00	1.70E-03	4.96E+01	1.15E-05	2.52E-02	9.05E-03	3.71E+01
	1-25-200	ea	2.17E-01	2.99E-01	1.09E-03	3.11E+01	4.79E-06	1.99E-02	4.19E-03	1.72E+01
	1-44-300	ea	4.90E-01	6.42E-01	2.50E-03	6.99E+01	1.15E-05	4.28E-02	1.01E-02	4.14E+01
	1-32-300	ea	4.09E-01	4.79E-01	2.17E-03	5.83E+01	1.10E-05	3.21E-02	9.74E-03	3.99E+01
	1-50s-400	ea	7.61E-01	1.05E+00	3.83E-03	1.09E+02	1.67E-05	6.99E-02	1.46E-02	5.98E+01
	1-32-400	ea	4.34E-01	6.81E-01	2.08E-03	6.23E+01	7.61E-06	4.51E-02	6.50E-03	2.67E+01
	1-32-500	ea	1.19E+00	1.90E+00	5.65E-03	1.71E+02	2.01E-05	1.26E-01	1.71E-02	7.01E+01
	1-25-500	ea	6.51E-01	9.40E-01	3.22E-03	9.32E+01	1.33E-05	6.25E-02	1.16E-02	4.73E+01

[표 3-5-14] 스틸그레이팅 1ea 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point
스틸 그레이팅	I-32-200	ea	3.24E-03	3.38E-04	5.48E-06	2.58E-03	7.28E-05	1.59E-04	1.20E-03	2.63E-03	1.02E-02
	I-25-200	ea	2.02E-03	2.70E-04	3.17E-06	1.62E-03	3.44E-05	1.26E-04	5.55E-04	1.22E-03	5.84E-03
	I-44-300	ea	4.54E-03	5.80E-04	7.26E-06	3.64E-03	8.26E-05	2.70E-04	1.34E-03	2.94E-03	1.34E-02
	I-32-300	ea	3.80E-03	4.33E-04	6.28E-06	3.04E-03	7.87E-05	2.03E-04	1.29E-03	2.83E-03	1.17E-02
	I-50s-400	ea	7.06E-03	9.49E-04	1.11E-05	5.67E-03	1.20E-04	4.41E-04	1.93E-03	4.24E-03	2.04E-02
	I-32-400	ea	4.03E-03	6.16E-04	6.03E-06	3.25E-03	5.46E-05	2.85E-04	8.61E-04	1.89E-03	1.10E-02
	I-32-500	ea	1.10E-02	1.71E-03	1.64E-05	8.89E-03	1.44E-04	7.92E-04	2.26E-03	4.97E-03	2.98E-02
	I-25-500	ea	6.04E-03	8.50E-04	9.34E-06	4.85E-03	9.55E-05	3.94E-04	1.53E-03	3.36E-03	1.71E-02

(5) 가드레일

- 가드레일(표준가드레일, 단부레일) 1ea 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 가드레일 1ea 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈, 지구온난화에 미치는 영향이 각각 51.63%, 41.61%로 높게 나타남

[표 3-5-15] 가드레일 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 표준가드레일(4.0x350x4330) · 단부레일(4.0x350x765)	공정 흐름도	
기능	· 도로에서 차의 사고 방지를 위하여 차량의 도로 이탈을 방지하고 보행자 및 시설물을 보호하는 방호시설		
기능단위	· 표준가드레일, 단부레일 1ea 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 최신 10년 이내 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· 열연코일(환경부, 2003) · 후판(환경부, 2003)

[표 3-5-16] 가드레일 1ea 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
가드 레일	표준 가드레일	ea	7.09E-01	1.50E-01	1.02E-02	1.11E+02	9.50E-07	3.19E-02	2.43E-03	1.45E+00
	단부 가드레일	ea	2.46E-01	6.51E-02	6.54E-03	3.23E+01	7.90E-07	6.89E-03	7.41E-04	1.32E+00

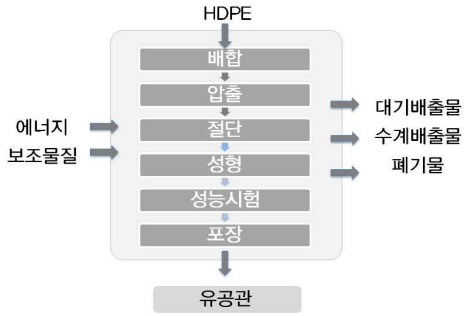
[표 3-5-17] 가드레일 1ea 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point
가드레일	표준 가드레일	ea	6.58E-03	1.35E-04	2.97E-05	5.78E-03	6.82E-06	2.01E-04	3.21E-04	1.03E-04	1.32E-02
	단부 가드레일	ea	2.28E-03	5.89E-05	1.90E-05	1.68E-03	5.67E-06	4.35E-05	9.81E-05	9.39E-05	4.28E-03

(6) 유공관

- 유공관(5개 규격) 1m 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 유공관 1m 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈, 지구온난화에 미치는 영향이 각각 71.25%, 23.71%로 높게 나타남

[표 3-5-18] 유공관 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 유공관(T.H.P) - D=100, D=150, D=200, D=300, D=400	공정 흐름도	
기능	· 매립지의 침출수를 배출하고 운동장/ 골프장/도로 등에서 하부에 생산되는 지하수를 신속히 배출함		
기능단위	· 유공관(총 5개 규격) 1m 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제 외한 원료취득단계부터 가공/제조단 계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경 계로 정의		
데이터 품질	· 최신 10년 이내 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· HDPE(산업통상자원부, 2000) · Plastic Extrusion(산업통상자원부, 2000)

[표 3-5-19] 유공관 1ea 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 오염물 생성	생태계 독성	인간 독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
유공관 (THP)	D=100	m	1.07E-01	6.82E-03	1.29E-03	6.36E+00	8.42E-08	6.65E-03	8.44E-05	9.56E-02
	D=150	m	2.26E-01	1.43E-02	2.71E-03	1.34E+01	1.77E-07	1.40E-02	1.77E-04	2.01E-01
	D=200	m	3.87E-01	2.46E-02	4.65E-03	2.30E+01	3.04E-07	2.40E-02	3.04E-04	3.45E-01
	D=300	m	8.10E-01	5.15E-02	9.73E-03	4.80E+01	6.35E-07	5.02E-02	6.37E-04	7.22E-01
	D=400	m	1.19E+00	7.55E-02	1.43E-02	7.04E+01	9.31E-07	7.36E-02	9.33E-04	1.06E+00

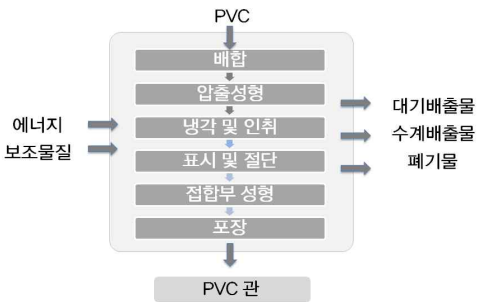
[표 3-5-20] 유공관 1ea 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 오염물 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point	eco- point
유공관 (THP)	D=100	m	9.96E-04	6.17E-06	3.74E-06	3.31E-04	6.04E-07	4.20E-05	1.12E-05	6.78E-06	1.40E-03
	D=150	m	2.09E-03	1.30E-05	7.86E-06	6.96E-04	1.27E-06	8.82E-05	2.35E-05	1.43E-05	2.94E-03
	D=200	m	3.59E-03	2.23E-05	1.35E-05	1.20E-03	2.18E-06	1.51E-04	4.03E-05	2.45E-05	5.04E-03
	D=300	m	7.52E-03	4.66E-05	2.82E-05	2.50E-03	4.56E-06	3.17E-04	8.44E-05	5.12E-05	1.05E-02
	D=400	m	1.10E-02	6.83E-05	4.13E-05	3.66E-03	6.68E-06	4.64E-04	1.24E-04	7.50E-05	1.55E-02

(7) PVC관

- PVC관(VG1(일반관); 8개규격, VG2(얇은관); 8개규격,) 1m 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 PVC관 생산시 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 65.58%, 25.48%로 높게 나타남

[표 3-5-21] PVC관 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	- PVC관 - VG1(25, 50, 100, 125, 150, 200, 250, 300) - VG2(35, 50, 100, 125, 150, 200, 250, 300)	공정 흐름도	
기능	· 폴리염화비닐(PVC) 재질로서 일반 유체를 수송함		
기능단위	· PVC관(VG1, VG2) 1m 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 최신 10년 이내 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· PVC(산업통상자원부, 2001)

[표 3-5-22] PVC관(VG1) 1m 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학물질 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
PVC관 (VG1)	D=35	m	8.51E-05	1.25E-06	6.74E-07	3.31E-05	2.65E-06	4.65E-06	1.22E-06	1.17E-06	1.30E-04
	D=50	m	2.13E-04	3.14E-06	1.69E-06	8.28E-05	6.63E-06	1.16E-05	3.06E-06	2.92E-06	3.25E-04
	D=100	m	6.39E-04	9.42E-06	5.06E-06	2.48E-04	1.99E-05	3.49E-05	9.17E-06	8.75E-06	9.75E-04
	D=125	m	8.48E-04	1.25E-05	6.71E-06	3.30E-04	2.64E-05	4.63E-05	1.22E-05	1.16E-05	1.29E-03
	D=150	m	1.26E-03	1.86E-05	9.98E-06	4.90E-04	3.92E-05	6.88E-05	1.81E-05	1.73E-05	1.92E-03
	D=200	m	1.93E-03	2.84E-05	1.52E-05	7.48E-04	5.99E-05	1.05E-04	2.76E-05	2.64E-05	2.94E-03
	D=250	m	2.92E-03	4.30E-05	2.31E-05	1.14E-03	9.09E-05	1.60E-04	4.19E-05	4.00E-05	4.45E-03
	D=300	m	4.13E-03	6.08E-05	3.26E-05	1.60E-03	1.28E-04	2.25E-04	5.92E-05	5.65E-05	6.29E-03

[표 3-5-23] PVC관(VG2) 1m 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학물질 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
PVC관 (VG2)	D=35	m	6.82E-05	1.01E-06	5.40E-07	2.65E-05	2.12E-06	3.72E-06	9.79E-07	9.34E-07	1.04E-04
	D=50	m	9.90E-05	1.46E-06	7.83E-07	3.85E-05	3.08E-06	5.40E-06	1.42E-06	1.36E-06	1.51E-04
	D=100	m	3.30E-04	4.87E-06	2.61E-06	1.28E-04	1.03E-05	1.80E-05	4.74E-06	4.52E-06	5.04E-04
	D=125	m	5.21E-04	7.67E-06	4.12E-06	2.02E-04	1.62E-05	2.84E-05	7.47E-06	7.13E-06	7.94E-04
	D=150	m	7.49E-04	1.10E-05	5.93E-06	2.91E-04	2.33E-05	4.09E-05	1.08E-05	1.03E-05	1.14E-03
	D=200	m	1.25E-03	1.84E-05	9.88E-06	4.85E-04	3.89E-05	6.82E-05	1.79E-05	1.71E-05	1.90E-03
	D=250	m	1.88E-03	2.76E-05	1.48E-05	7.29E-04	5.84E-05	1.02E-04	2.69E-05	2.57E-05	2.86E-03
	D=300	m	2.63E-03	3.87E-05	2.08E-05	1.02E-03	8.18E-05	1.44E-04	3.77E-05	3.60E-05	4.01E-03

나. 유지관리 단계 LCI DB 구축

(1) 속경성 아스팔트

- 속경성 아스팔트 1ℓ 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 속경성 아스팔트 1ℓ 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈과 생태계 독성에 미치는 영향이 각각 46.10%, 28.28%로 높게 나타남

[표 3-5-24] 속경성 아스팔트 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 속경성아스팔트(RC(C)-1,2,3,4) - 양이온계 유화 아스팔트	공정 흐름도	
기능	· 특수 유화제를 사용하여 아스팔트를 물속에 미세한 입자상으로 분산하여 만든 제품으로 프라임코팅용, 택코팅용, 표면처리용으로 사용		
기능단위	· 속경성아스팔트 1ℓ 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 최신 10년 이내 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· Asphalt(Ecoinvent 2.2V) · Fatty acid(산업통상자원부, 2008) · 공업용수(환경부, 2013)

[표 3-5-25] 속경성 아스팔트 1ℓ 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
속경성 아스팔트	RS(C)-1,2,3,4	ℓ	2.15E-03	4.31E-04	8.15E-05	1.40E-01	4.43E-08	1.70E-04	9.23E-05	2.48E-02

[표 3-5-26] 속경성 아스팔트 1ℓ 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
속경성 아스팔트	RS(C)-1,2,3,4	ℓ	1.99E-05	3.90E-07	2.37E-07	7.30E-06	3.18E-07	1.07E-06	1.22E-05	1.76E-06	4.32E-05

(2) 콘크리트 혼화재

○ 콘크리트 혼화재 1ℓ 생산시 LCI DB 구축 수행

○ 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 콘크리트 혼화재 1ℓ 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 61.38%, 19.29%로 높게 나타남

[표 3-5-27] 콘크리트 혼화재 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 콘크리트 혼화재(양생제, 수성 에멀전)	공정 흐름도	
기능	· 콘크리트 활주로, 포장도로, 교량 공사 등에 사용되어 콘크리트 표면에 충분한 수분을 유지하여 수화작용을 돕고, 표면의 건조수축 및 균열을 방지함		
기능단위	· 콘크리트 혼화재 1ℓ 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 최신 10년 이내 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· Paraffin(Ecoinvent 2.2V) · 공업용수(환경부, 2013)

[표 3-5-28] 콘크리트 혼화재 1ℓ 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
콘크리트 혼화재	Econex-e	ℓ	1.23E-02	2.16E-03	3.21E-04	3.54E-01	1.84E-08	2.59E-04	2.71E-04	1.82E-01

[표 3-5-29] 콘크리트 혼화재 1ℓ 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
콘크리트 혼화재	Econex-e	ℓ	1.14E-04	1.95E-06	9.32E-07	1.84E-05	1.32E-07	1.63E-06	3.59E-05	1.29E-05	1.86E-04

(3) 초속경 시멘트

○ 초속경 시멘트 1kg 생산시 LCI DB 구축 수행

○ 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 초속경 시멘트 1kg 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 지구온난화와 자원고갈에 미치는 영향이 각각 34.40%, 22.03%로 높게 나타남

[표 3-5-30] 초속경시멘트 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 초속경시멘트(jet cement) - 압축강도: 3시간 이후 25N/mm ² 이상	공정 흐름도	
기능	· 경화가 빠르고 단시간에 강도발현이 크다는 특징을 이용하여 주로 긴급공사와 보수공사 등에 사용		
기능단위	· 초속경시멘트 1kg 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 최신 10년 이내 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· 1종 포틀랜드 시멘트(산업통상자원부, 2002) · 황산(환경부, 2003) · 탄산칼슘(환경부, 2003) · Calcium oxide(환경부, 2013) · Aluminium oxide production(Ecoinvent 2.2V)

[표 3-5-31] 초속경시멘트 1kg 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
초속경시멘트	3시간이후 : 25N/mm ² 이상	kg	4.05E-03	3.87E-03	6.44E-04	1.13E+00	3.55E-08	1.12E-03	2.09E-04	4.80E-01

[표 3-5-32] 초속경시멘트 1kg 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
초속경시멘트	3시간이후 : 25N/mm ² 이상	kg	3.76E-05	3.50E-06	1.87E-06	5.87E-05	2.54E-07	7.05E-06	2.77E-05	3.40E-05	1.71E-04

(4) 에폭시 주입제(건식, 습식)

- 에폭시 주입제(건식, 습식) 1kg 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 에폭시 주입제 1kg 생산시 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 49.55%, 20.62%로 높게 나타남

[표 3-5-33] 에폭시주입제 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 에폭시 주입제(건식, 습식)	공정 흐름도	
기능	· 콘크리트 구조물의 소균열 부위 주입용으로 교량, 터널 등 다양한 곳에 투입하여 철근부위 부식방지 및 강도 복원의 기능을 수행		
기능단위	· 에폭시 주입제 1kg 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 최신 10년 이내 데이터 · 해당지역: 대한민국	주요 연결 LCI DB	· 에폭시 수지(산업통상자원부, 2005) · Fatty acid(산업통상자원부, 2008) · 카프로락탐(환경부, 2012)

[표 3-5-34] 에폭시주입제 1kg 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층파괴	광화학산화물생성	생태계독성	인간독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
에폭시 주입제	건식	kg	1.59E-02	8.50E-03	9.07E-04	1.82E+00	1.62E-07	1.22E-03	2.70E-04	7.07E-01
	습식	kg	9.03E-02	1.86E-02	1.17E-02	3.94E+00	2.03E-06	7.56E-03	4.03E-04	3.78E+00

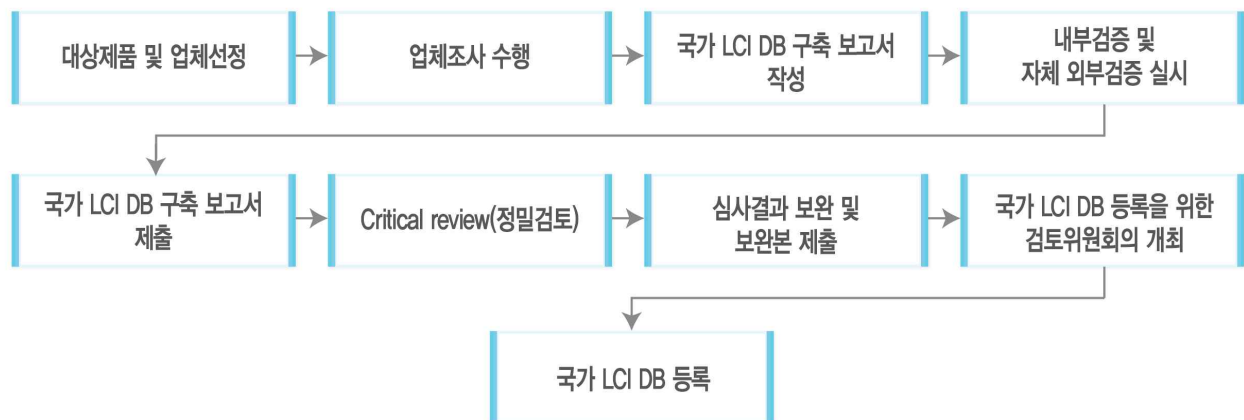
[표 3-5-35] 에폭시주입제 1kg 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층파괴	광화학산화물생성	생태계독성	인간독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
에폭시 주입제	건식	kg	1.47E-04	7.69E-06	2.63E-06	9.49E-05	1.16E-06	7.71E-06	3.57E-05	5.02E-05	3.47E-04
	습식	kg	8.38E-04	1.68E-05	3.40E-05	2.05E-04	1.46E-05	4.77E-05	5.34E-05	2.68E-04	1.48E-03

3. 국가 LCI DB 개발 및 구축

가. 국가 LCI DB 개발 개요 및 절차

- LCI DB 중 자료의 신뢰성 및 표준화 가능성이 높은 자재에 대해 연구수행기관 이외의 외부 전문가 정밀검토 수행을 통해 국가 LCI DB 등록 수행
- 현재 국가 LCI DB는 한국환경산업기술원에서 구축 및 관리하고 있으며 ISO 14044의 절차에 따라 개발한 국가 LCI DB를 체계적으로 검증 및 관리·운영하고 있으며 최근에는 국가 LCI DB 표준지침서 개정사업을 진행하고 있음
- 본 과업을 통해 구축된 LCI DB의 객관적 검증을 위해 현재 국가 LCI DB와 관련하여 외부적으로 알려져 있는 환경산업기술원을 통한 인증 및 등록 수행



[그림 3-5-2] 국가 LCI DB 구축 절차

[표 3-5-36] 국가 LCI DB 구축 보고서 목차 및 작성내용

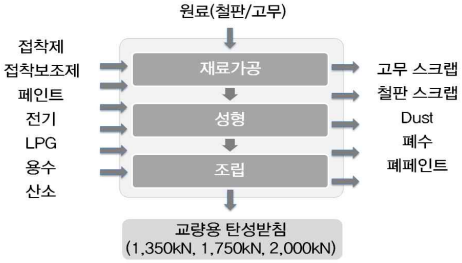
구분		작성내용
제품 개요	연구목적	· 대상제품 선정 및 LCA 수행 이유 기술
	제품특성	· 대상제품 특성 기술
범위 정의	시장 조사 및 대상업체 선정	· 업체명, 생산량, 업체점유율 등 기술을 통해 업체 선정 이유 명시
	기능단위 설정	· 기능, 기능단위 등 정의
	시스템 경계	· 대상제품 생산에 대한 시스템 경계 설정
	제외기준	· Cut-off 기준 명시
	데이터 범주	· 대상제품 생산에 따른 원료물질, 보조물질, 산출물 등 명시
	데이터 품질	· 시간적 범위, 지역적 범위, 기술적 범위 명시
	가정 및 제한사항	· 각 단계별 가정 및 제한사항 명시
전과정 목록분석	할당	· 할당방법 기준 등 기술
	공정흐름도 작성	· 대표적인 공정흐름도 작성
	데이터 수집 및 계산	· 데이터 출처, 연결 DB명 등 작성
	목록분석 결과	· 주요 항목에 대한 전과정 목록분석 결과 작성
	전과정 영향평가 결과	· 영향범주별 특성화 결과 작성
	구축 LCI 데이터베이스 검토	· 대표성 확보 방안, 해외 데이터베이스 비교 결과 작성

나. 국가 LCI DB 구축 결과

(1) 탄성받침

- 탄성받침 1,350kN, 1,750kN, 2,000kN 규격 1ea 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 교량용 탄성받침 1,350kN, 1,750kN, 2,000kN 규격의 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 51.18%, 30.52%로 높게 나타남

[표 3-5-37] 탄성받침 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 탄성받침 1,350kN, 1,750kN, 2,000kN	공정 흐름도	
기능	· 교량 상부구조의 하중을 지지하고 하부구조의 수평력 크기를 감소시킴		
기능단위	· 교량용 탄성받침 1,350kN, 1,750kN, 2,000kN 1개 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 2015년도 연간 데이터(2015. 1.1 ~ 2015. 12.31) · 데이터 수집업체 공장 지역(천안, 함안) 현장 데이터 수집	주요 연결 LCI DB	· 후판(환경부, 2005) · 천연고무(환경부, 2003) · Solvent, organic, unspecified, at plant (Ecoinvent, 2007)

[표 3-5-38] 탄성받침(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN) 1ea 생산시 특성화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성
			1/yr	kg SO ₂ -eq	kg PO ₄ ³⁻ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CFC11-eq	kg C ₂ H ₄ -eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
탄성받침	1350kN	ea	1.58E+00	5.45E-01	7.09E-02	1.68E+02	1.15E-05	4.74E-01	4.97E-04	1.99E+01
	1750kN	ea	1.93E+00	6.64E-01	8.64E-02	2.05E+02	1.41E-05	5.78E-01	6.06E-04	2.43E+01
	2000kN	ea	2.12E+00	7.30E-01	9.50E-02	2.25E+02	1.55E-05	6.36E-01	6.67E-04	2.67E+01

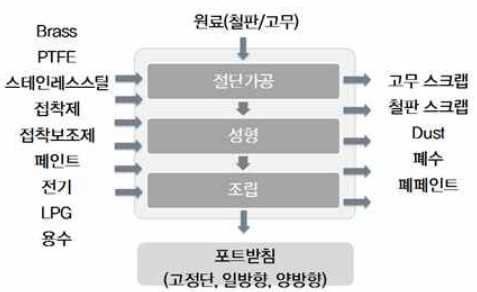
[표 3-5-39] 탄성받침(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN) 1ea 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원 고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	인간 독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
탄성받침	1350kN	ea	1.47E-02	4.93E-04	2.06E-04	8.76E-03	8.26E-05	2.99E-03	6.58E-05	1.41E-03	2.87E-02
	1750kN	ea	1.79E-02	6.01E-04	2.51E-04	1.07E-02	1.01E-04	3.65E-03	8.03E-05	1.72E-03	3.50E-02
	2000kN	ea	1.97E-02	6.60E-04	2.76E-04	1.17E-02	1.11E-04	4.02E-03	8.84E-05	1.89E-03	3.85E-02

(2) 포트받침

- 포트받침 고정단(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN), 일방향(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN), 고정단(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN) 규격 1ea 생산시 LCI DB 구축 수행
- 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 포트받침 규격의 특성화 및 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 51.18%, 30.52%로 높게 나타남

[표 3-5-40] 포트받침 LCI DB 구축 결과

구분	내용	구분	내용
대상제품 및 규격	· 포트받침 고정단(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN), 일방향(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN), 양방향(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN)	공정 흐름도	
기능	· 교량 상부구조의 수직력 및 수평력을 안전하게 교각에 전달하고 Disk의 압축으로 회전변위를 수용하여 온도 변화에 따른 수평변위를 수용하는 장치		
기능단위	· 포트받침 고정단, 일방향, 양방향 1kg 생산		
시스템 경계	· 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지 (Cradle to Gate)를 시스템 경계로 정의		
데이터 품질	· 2016년도 연간 데이터(2016. 1.1 ~ 2016. 12.31) · 데이터 수집업체 공장 지역(천안, 함안) 현장 데이터 수집	주요 연결 LCI DB	· 후판(환경부, 2005) · 천연고무(환경부, 2003) · 스테인레스강(환경부, 2005) · tetrafluoroethylene, at, plant (Ecoinvent, 2007)

[표 3-5-41] 포트받침 고정단, 일방향, 양방향 규격별(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN) 1ea 생산시 가중화 결과

자재명	규격	단위	자원고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층파괴	광화학산물생성	생태계독성	인간독성	합계
			eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
포트받침 고정단	3,000kN	ea	2.74E-02	8.18E-04	3.61E-04	1.89E-02	9.78E-05	5.19E-03	8.14E-04	2.01E-03	5.56E-02
	5,000kN	ea	3.93E-02	1.19E-03	5.21E-04	2.66E-02	1.43E-04	7.60E-03	1.06E-03	2.91E-03	7.93E-02
	7,000kN	ea	8.17E-02	2.47E-03	1.08E-03	5.54E-02	2.97E-04	1.58E-02	2.20E-03	6.04E-03	1.65E-01
포트받침 양방향	3,000kN	ea	1.71E-02	7.35E-04	3.51E-04	3.92E-02	1.51E-01	3.28E-03	6.95E-03	6.85E-03	2.25E-01
	5,000kN	ea	2.90E-02	1.26E-03	6.01E-04	6.77E-02	2.63E-01	5.63E-03	1.17E-02	1.14E-02	3.90E-01
	7,000kN	ea	5.63E-02	2.49E-03	1.19E-03	1.38E-01	5.45E-01	1.08E-02	2.43E-02	2.33E-02	8.02E-01
포트받침 일방향	3,000kN	ea	3.38E-02	1.26E-03	5.77E-04	5.26E-02	1.65E-01	6.67E-03	7.56E-03	8.18E-03	2.75E-01
	5,000kN	ea	5.15E-02	1.95E-03	8.96E-04	8.42E-02	2.74E-01	1.02E-02	1.22E-02	1.29E-02	4.48E-01
	7,000kN	ea	1.00E-01	3.84E-03	1.77E-03	1.70E-01	5.64E-01	1.97E-02	2.51E-02	2.61E-02	9.11E-01

4. LCI DB 구축 효과

- 구축된 LCI DB의 각 시설별(도로, 교량, 터널) 환경부하평가지 적용 결과
- 신규 LCI DB 구축에 따라 각 시설의 환경부하량은 평균적으로 2.79% 증가
- 신규 LCI DB 구축에 따라 Cut-off는 평균 6.76% 증가
 - 시설별로 교량(PSC교)에서의 반영후와 반영전의 Cut-off 증가가 10.64%로 가장 높았고 터널 시설의 경우 약 9.4% 수준의 Cut-off 증가를 보임. 도로, 교량(강교)에서는 약 3~4% 수준의 Cut-off 증가를 보임

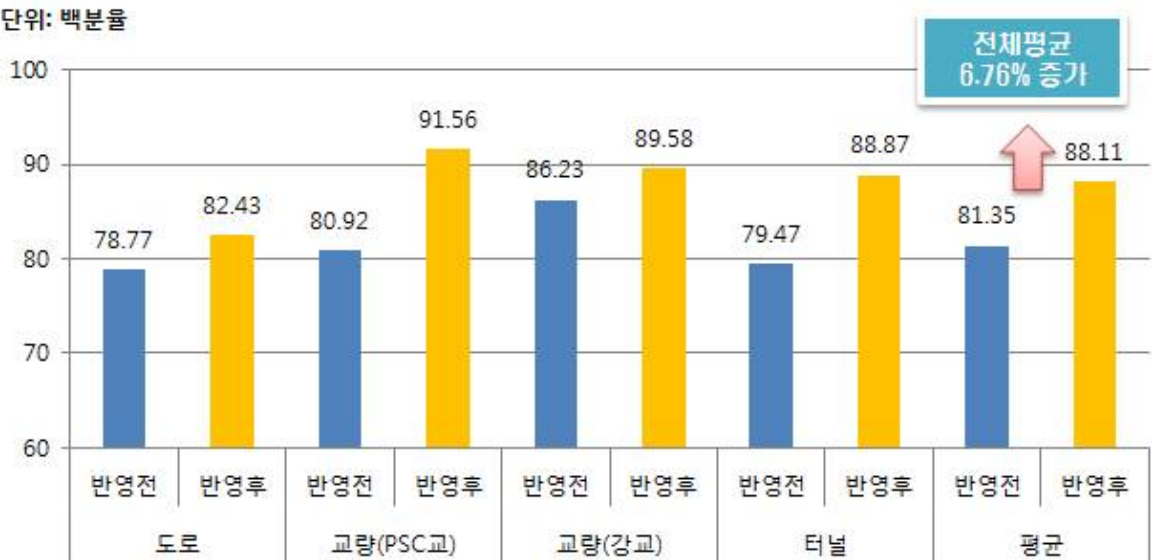
[표 3-5-42] 신규 LCI DB 구축에 따른 환경부하량 평균 증가율

구분	도로			교량(PSC교)			교량(강교)			터널		
	반영전 (eco-point)	반영후 (eco-point)	증가율 (%)	반영전 (eco-point)	반영후 (eco-point)	증가율 (%)	반영전 (eco-point)	반영후 (eco-point)	증가율 (%)	반영전 (eco-point)	반영후 (eco-point)	증가율 (%)
환경부하량 (평균)	5.09 E+03	5.31 E+03	4.40	3.15 E+02	3.20 E+02	1.53	6.49 E+02	6.58 E+02	1.36	1.62 E+03	1.68 E+03	3.88
주요 적용 LCI DB	가드레일, 아스콘			탄성받침, PVC관, 강관, 신축이음장치			탄성받침, 포트받침, PVC관, 유공관, 신축이음장치			강관, 스틸그레이팅, PVC관, 유공관		

[표 3-5-43] 신규 LCI DB 구축에 따른 Cut-off 변화

구분	도로			교량(PSC교)			교량(강교)			터널		
	반영전 (%)	반영후 (%)	증가 (%)	반영전 (%)	반영후 (%)	증가 (%)	반영전 (%)	반영후 (%)	증가 (%)	반영전 (%)	반영후 (%)	증가 (%)
Cut-off	78.77	82.43	3.66	80.92	91.56	10.64	86.23	89.58	3.35	79.47	88.87	9.40

단위: 백분율



[그림 3-5-3] LCI DB 구축에 따른 시설별 평균 Cut-off 증가율

5. LCI DB 연계 표준화 모델 개발

가. 표준화 개요

- SOC 시설물 환경부하평가를 위해서는 투입 자재 및 장비별 LCI DB 연계 기준이 필요함. 일반적으로 투입되는 자재 및 장비의 연료와 일치하는 LCI DB를 연계하는 것을 원칙으로 하나, 내역서 상의 자재는 규격 및 단위가 다양하여 완벽히 일치하는 LCI DB를 찾는 것이 어려운 실정임. 따라서 환경부하평가지 LCI DB 연계가 표준화된 내용에 따라 진행 될 수 있도록 표준화 모델 개발
- SOC 시설물 적용 가능한 LCI DB를 대상으로 적용 가능한 내역서 내 자재명을 도출함. 아래 그림과 같이 적용 자재와 DB의 단위가 일치하지 않는 경우 단위 환산 정보를 포함하여 정보를 제공함

나. LCI DB 연계 결과

- 내역서 자재명과 LCI DB 명칭이 다를 경우 자재의 재질, 함유비율, 업체자문 등을 바탕으로 연계가능한 LCI DB 매칭
- 내역서 내 자재 단위와 LCI DB 단위가 다를 경우 KS 규격 등의 공인된 기준 및 업체조사 결과를 바탕으로 환산정보 제공

[표 3-5-44] LCI DB에 따른 연계 가능 자재명 매칭 및 단위환산정보 정리 결과

LCI DB 명			연계 가능 자재명	연계자재 단위환산정보		
자재명	세부규격	단위		단위	주요 환산 인자	환산기준
시멘트	1종 포틀랜드 시멘트 [Portland Cement_type 1]	kg	보통시멘트, 분말시멘트	포대, 대	40kg/대	1포대 평균 중량
EPS	발포 폴리스티렌 [EPS]	kg	문양거푸집(스치로폴), 압출발포폴리스틸렌단열재, 무늬거푸집재(스치로폴), 스티로폴(압출발포)	m2	0.4, 0.75, 0.6	내역서상 면적, 높이, 비중값 이용
규산소다	규산소다[sodium silicate, spray powder 80%, at plant]<RER>	kg	콘크리트혼화제(양생제), 혼화제(CON생산용), 혼화제(무수축물탈, CON용), 콘크리트혼화제(숏크리트응급결재)	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
우레탄계 도료	도료_우레탄계 `	ton	실런트, 탄성실란트	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
레미콘	레미콘 25-240-15 [Remicon 25-240-15]	m3	VR관, 기어형세굴방지블럭(0.5ton, 10ton), 보강토블럭, 블록종류, 보호블럭, 흙관	본	0.724, 0.492	VR관, 흙관 1본당 중량
선재	선재 [wire rod]	ton	Bolt nut, PC강연선, 강섬유보강재, 결속선, 고장력 볼트 너트, 나사 못 너트류, 못, 보통철선, 볼트, 볼트 너트, 앵커볼트, 어니일링, 와이어 로프, 와이어메쉬, 용접봉, 육간볼트, 직선결속선, 철선, 철못	Set, ea, 조, m2	0.000336, 0.000217, 0.000233	표준 볼트 규격 단위 중량표, 06' desing Data book, 업체 와이어메쉬 규격 참고
스테인레스 강	스테인레스강 [stainless steel]	kg	구조용 스테인레스 강관, 스테인레스 강판, 스테인레스 형강, 스테인레스 환봉,	m	12.121, 4.962, 3.702	구조용 스테인레스 강관 SUS304 단위 중량표

LCI DB 명			연계 가능 자재명	연계자재 단위환산정보		
자재명	세부규격	단위		단위	주요 환산 인자	환산기준
			스테인레스원형관, 스테인레스강관, 스테인레스판, 용접봉(스테인레스)			
신축이음 장치	평거형(No 50, 88), 모자이크 형(No 50, 80)	m	신축이음, 신축이음장치(F/J), 신축이음장치(모자이크)	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
아스팔트	아스팔트[mastic asphalt, at plant]<CH>	kg	브라운 아스팔트, 아스팔트(브라운), 아스팔트프라이머	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
아크릴에멀전 접착제	아크릴에멀전 접착제 [acrylic emulsion adhesive]	kg	아크릴계 접착제	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
알루미늄판	알루미늄 판 [aluminum strip]	kg	알루미늄분말, 알루미늄합금주물	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
에폭시접착제	에폭시접착제 [epoxy adhesive]	kg	모든접착제(아크릴계제외), 접착제	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
열연코일	열연코일 [hot rolled steel coil]	ton	열연박판, 열연후판	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
형강	전기로제강-형강 [electric steel sections]	kg	형강종류(H형강, L형강, ㄱ형강), 환봉, 봉강, 강널말뚝, 강관비계, 꺾쇠, 앵글, H-beam, 강관말뚝	m	2.14, 0.829, 0.884	구조용 강관 단위 중량표, 각형강관 규격 및 단위 중량표
철근	전기로제강-철근 [electric steel deformed bars]	kg	원형봉강, 이형철근	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
탄성받침	1,350kN, 1,750kN, 2,000kN	ea	탄성받침 135ton, 탄성받침 1,750kN, 탄성받침	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
포트받침	고정단, 일방향, 양방향(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN)	ea	포트받침 고정단 300ton, 포트받침 양방향 7,000kN	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
탄소강	탄소강 [carbon steel]	kg	Button BIT, Drill Rod, 일반배관용탄소강관, 철구, 철판	개, SET, m	5.6, 9.42, 18.58	Grat Wall Diamond Drill Co.,Ltd사 Button Bit 제품 참고, SANDVIK사 제품 카다로그 참고
합판	합판	m3	각재종류, 내수합판, 목재, 미송각재, 미송원목, 보통합판, 외송각재, 외송판재	m2	0.012	내역서상 합판 높이(두께) 이용
황동봉	황동봉[brass bar]	kg	황동주물	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
후판	후판[steel plates]	ton	Plate, 강판	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
경유	경유 [light fuel oil]	kg	경유	ℓ	0.83	경유 비중
휘발유	휘발유 [gasoline]	kg	휘발유	ℓ	0.75	휘발유 비중
산소	산소 [oxygen, O2]	ton	산소	병, ℓ	1.429	산소 밀도
순환골재	순환골재 [Recycled Aggregate]	kg	순환골재, 모든골재 포함	m3	2,000	자갈이 섞인 모래 단위 중량(표준품셈)
속경성 아스팔트	RC(C)-1,2,3,4	ℓ	속경성아스팔트(유제)	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
콘크리트 혼화제	Econex-e	ℓ	콘크리트혼화제(양생제)	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
규산소다	규산소다	kg	콘크리트혼화제(무숙촉제)	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		
에폭시 주입제	건식, 습식	kg	에폭시주입제, 에폭시접착제	내역서상 단위와 LCI DB 단위 일치		

제 6 절 SOC시설물 환경성능 지표

1. 기존 환경지표 현황조사 및 대상물질 적용범위 검토

가. 환경성능지표 추정기술 파악

- SOC 사업의 경우 비용 최소화와 같은 경제성에 초점이 맞추어져 있어 자연환경과 생태계에 대한 이해가 부족한 상태로 추진되고 있음
- 도로, 교량, 터널과 같은 대규모 SOC 사업의 환경성이 확보되기 위해서는 사업구상단계, 노선선정단계, 노선설계단계에서 일관성 있게 환경성이 고려되어야 하지만 환경영향평가 대상 도로개발사업인 경우 모든 단계에서 환경성에 대한 고려가 미흡한 실정임
- 특히 노선선정 등 기획단계는 도로계획의 토대가 되는 중요한 단계로 사회·환경적 영향, 경제적 효과, 건설비용, 도로구조의 기술적 부문 등을 종합적으로 고려하며, 신설 노선의 경우 마을에 미치는 영향, 주변건물의 영향, 자연경관과 생태계훼손정도를 검토하여야 함
- 국내·외에서 다양한 종류의 환경평가관련 지표의 개발 또는 연구가 진행되었으나 정량적인 의사결정을 위한 지표 또는 지수의 개발은 지극히 미미한 실정임. 가장 유사한 레벨에서의 기존 연구개발 사례는 전통적으로 활용되어 온 레오폴드 매트릭스가 있으나 이는 최적대안을 선정하는데 활용하는 의사결정기법의 하나이며 지표 또는 지수 산정과는 거리가 멀다고 할 수 있음
- 기존에 적용되었던 환경지표는 대부분 환경영향평가 항목을 기초로 하여 각각의 카테고리에 따라 기준 항목에 대한 독립적인 점수를 제공하는 것으로 친환경건축물인증제도, 녹색도로인증제도, 녹색건축인증제 등 국내·외에서 기 운영중인 인증제도와 유사한 형태를 보임
- 도로건설에 의한 환경영향은 그 영향 자체로 끝나지 않고 간접영향(Indirect Impact), 누적영향(Cumulative Impact), 상호작용 영향(Impact Interaction)으로 이어질 수 있어 이를 고려하는 것이 바람직함
- 도로건설과 관련하여 발생 가능한 환경영향은 도로정비계획 → 기본계획 → 실시설계 → 시공 단계별로 다양함

나. SOC 시설물에 적용 가능한 인증 시스템 현황

- 국내의 경우 환경오염 및 에너지 소비를 줄일 수 있는 친환경건축물을 촉진하기 위해 지난 1999년 친환경건축물 시범인증을 시작으로 2002년부터 공동주택을 대상으로 본격적인 인증을 시행함
- 2003년에는 주거복합 및 업무용 건축물로 확대하였으며, 2005년에는 학교시설 등의 공공건축물, 그리고 2006년에는 판매시설 및 호텔 등의 숙박시설까지 모든 용도의 신축건축물을 대상으로 확대 시행하여 매년 급격한 상승을 보이고 있음

○ 이와 같은 친환경건축물 인증제도는 「건축법」 제65조에 의거하여 지속 가능한 개발의 실현과 자원절약형, 자연친화적인 건축을 유도하기 위하여 실시되었고, 2008년 국토해양부령 제15호 「친환경건축물의 인증에 관한 규칙」과 국토해양부 고시 「친환경건축물 인증기준」에 근거하고 있음

○ 친환경건축물 인증제도의 내용 및 평가항목은 아래 [표 3-6-1]과 같음

[표 3-6-1] 친환경건축물 인증제도 내용 평가항목

구분	공동주택	주거복합		업무용	학교	판매시설	숙박시설
		주거	비주거				
인증등급	최우수 : 74점 이상 우수 : 66점 이상	최우수 : 80점 이상 우수 : 70점 이상					
시행일	2010년 7월 1일						
운영기관	환경부, 국토교통부						
인증기관	한국에너지기술연구원, LH공사, 크레비즈인증원, (사)한국교육환경연구원						
부문	부문	4개부문 토지이용 및 교통, 에너지자원 및 환경부하, 생태환경, 실내환경					
	세부분문	9개부문 : 토지이용, 교통, 에너지, 재료 및 자원, 대기오염, 유지관리, 생태환경, 실내환경					

○ 국외 친환경 건축물 가이드라인은 국가별 평가 tool을 만들어 인증기관에서 수수료를 받고 인증서를 발행하고 있으며, 친환경건물에 대한 마케팅 효과와 다양한 인센티브 부여로 인증 취득이 증가하는 추세임

○ 향후 CO₂ 저감 및 에너지 저감을 위한 요구에 따라 인증취득은 더욱 증가할 것으로 보이며, 다양한 인증제도간의 국제적 기준 확립을 통한 통합기준제정의 노력이 필요함

○ 국외 친환경 건축물 가이드 현황으로는 아래 [표 3-6-2]와 같음

[표 3-6-2] 국외 친환경 건축물 가이드라인

제도명	LEED	BREEAM	CASBEE	QSAS																
국가	미국	영국	일본	카타르																
																				
인증 단계	설계인증/시공인증(선택) 통합인증 (선택)	설계 인증/시공인증 /사후관리	예비심사/본심사	예비심사/본심사																
등급	80점 이상 :Platinum 60~79점 : Gold 50~59점 : Silver 40~49점 : Certified	70% - EXCELLENT 55% - VERY GOOD 40% - GOOD 25% - PASS	S : BEE of 3.0 이상 A : BEE of 1.5 ~2.99 B+ : BEE of 1 ~1.49 B- : BEE of 0.5 ~0.99 C : BEE of 0 ~0.49	<table><tr><th>Score</th><th>Certification Level</th></tr><tr><td>X<0</td><td>-</td></tr><tr><td>0.0≤X<0.5</td><td>★</td></tr><tr><td>0.5≤X≤1.0</td><td>★★</td></tr><tr><td>1.0<X≤1.5</td><td>★★★</td></tr><tr><td>1.5<X≤2.0</td><td>★★★★</td></tr><tr><td>2.0<X≤2.5</td><td>★★★★★</td></tr><tr><td>2.5<X≤3.0</td><td>★★★★★</td></tr></table>	Score	Certification Level	X<0	-	0.0≤X<0.5	★	0.5≤X≤1.0	★★	1.0<X≤1.5	★★★	1.5<X≤2.0	★★★★	2.0<X≤2.5	★★★★★	2.5<X≤3.0	★★★★★
Score	Certification Level																			
X<0	-																			
0.0≤X<0.5	★																			
0.5≤X≤1.0	★★																			
1.0<X≤1.5	★★★																			
1.5<X≤2.0	★★★★																			
2.0<X≤2.5	★★★★★																			
2.5<X≤3.0	★★★★★																			
평가 내용	실내공기질 (건강) 에너지 및 대기 수자원 효율 지속가능 대지계획 자원 및 재료 지역우선 인센티브 디자인혁신	관리운영 (Management&Operation) 건강과 웰빙 에너지/교통/수자원 재료 및 폐기물 생태오염 토지사용	실내 환경/실외 환경 에너지/자원과 재료 부지의 환경 서비스성능 (기능성/ 내진 및 면진 설비의 신뢰성/수납공간)	연결성 대지/에너지/수자원 재료/실내 환경 문화 및 경제적 가치 관리 및 운영																

다. 단계별 주요 환경부하량 추정기술 적용 사례

- 한국농어촌공사 발주 사업의 입찰안내서상에서는 유지관리성 평가항목으로 ‘시설물 생애주기 비용(LCC) 및 LCA(전과정평가) 등을 고려한 설계 적정성’을 평가지표로 제시하였음
- 또한 지방자치단체 발주의 하수관로정비 임대형 민자사업(BTL)의 기본계획단계에서는 사업 계획서 작성지침사항으로 저탄소 녹색성장의 향상방안 항목에 ‘자재의 LCC/LCA 분석’을 제시하였음
- 그 외에 수행요건으로 명시되어 있지는 않으나, 국내 건설사업에 환경영향평가가 수행된 도로, 교량, 철도, 항만 등 SOC사업 사례들은 [표 3-6-3]과 같음
- 대안별 초기건설, 유지관리, 해체폐기단계의 LCA 분석을 수행하고, 8가지 환경영향범주(자원 고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물, 산성화, 부영양화, 생태독성, 인간독성)별 환경 부하량을 산정하였으며, 환경영향범주 중 지구온난화 주요물질(CO₂, SO₂, NO₂, CO)을 중심으로 대안별로 산출·비교하였음

[표 3-6-3] SOC 공사의 LCA 수행사례

사업분야	사업명
도로, 교량	압해~암태(2공구) 도로건설공사
	하의~신의간 연도교 건설공사
	초지대교~인천(2-2공구) 도로개설 공사
	대구테크노폴리스 진입도로 건설공사(1공구)
	청주테크노폴리스 진입도로 건설공사
	동도~서도 연도교 가설공사
	동대구역 고가교 개체 및 확장공사
항만	부산항신항방파제 보강공사
	부산항신항웅동지구 1단계 항만배후단지 (제1공구)조성공사
	부산항신항웅동지구 1단계 항만배후단지 (제2공구)조성공사
	인천신항 진입도로 및 호안축조공사(2공구)
	포항영일만항 남방파제(1단계 1공구) 축조공사
	울산신항 북방파제 제3공구
	부산항 신항 송도 준설토투기장 호안축조공사
철도	대구도시철도3호선 6공구(명덕로구간)
	호남고속철도 제4-2공구 노반신설 기타 공사
	서울지하철 9호선 3단계 919공구 건설공사
	수도권 고속철도(수서~평택) 제4공구 건설공사
	경부고속철도와 동해남부선 연결선
	서해선(홍산~송산) 복선전철 제5공구 건설공사
	서해선(홍산~송산) 복선전철 제4공구 건설공사

2. 복합 SOC 시설물에 적합한 평가항목 도출

가. LCA 방법론에 따른 환경영향범주 및 기준 설정

- Center of Environmental Science of Leiden University (CML)를 중심으로 하는 과학자 그룹은 환경영향 평가를 위한 범주화의 특성화 방법으로 메카니즘에 따라 환경영향 범주를 구분하여 제시함
- EDIP(Environmental Design of Industrial Products) 2003은 덴마크 Technical University의 IPU(Institute for Production Development)에 의해 개발된 LCIA 방법론으로, 지구온난화와 오존층 파괴라는 전지구적인 환경영향 뿐만 아니라, 부영양화와 같은 지역적 특성에 영향을 받는 다양한 종류의 지역적 환경영향을 제시함
- TRACI(The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts)는 US Environmental Protection Agency (EPA)에 의해 개발된 LCIA 방법론으로, 사회적으로 널리 인정되는 근거를 바탕으로 다양한 환경영향범주에 대한 특성화 지수를 제시함
- 환경성적표지제도는 국제 표준화 규격(ISO 14020s) 중의 하나인 Type III Environmental Declaration ISO/TR 14025로서 LCA 방법론을 바탕으로 환경친화성을 계량화 하여 객관적인 환경성 정보를 전달하도록 하는 제도임
- 환경성적표지제도는 미국, 일본, 캐나다, 스웨덴 등에서 활발하게 시행되고 있으며 대한민국에서는 ‘환경 기술개발 및 지원에 관한 법률’을 통해 2001년부터 시행되고 있음
- LCIA 방법론에서 정의하는 환경영향 범주는 [표 3-6-4]와 같음
- 또한 국내·외 환경지표 중 LCA category (지구온난화, 오존층 고갈, 산성화, 부영양화)와 연계하여 활용 가능한 지표를 도출하면 다음과 같음

[표 3-6-4] 주요 방법론에 따른 환경영향 범주

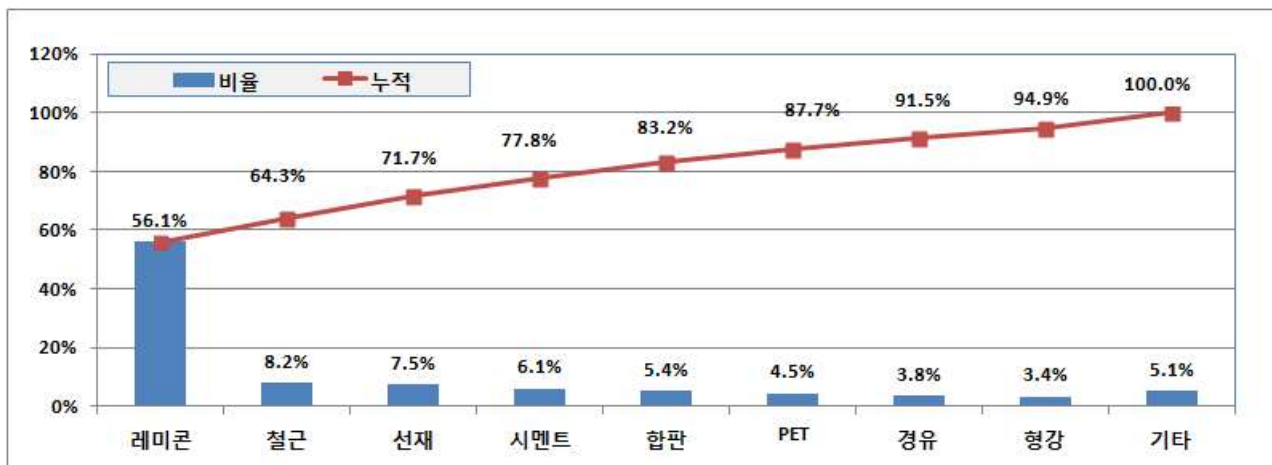
LCIA 방법론	환경영향범주
CML 2001	Abiotic depletion, Global warming, Ozone layer depletion, Acidification, Eutrophication, Photochemical oxidation, Freshwater aquatic ecotoxicity, Marine aquatic ecotoxicity, Human toxicity, Terrestrial ecotoxicity
EDIP 2003	Global warming, Stratospheric ozone depletion, Acidification, Terrestrial eutrophication, Aquatic Eutrophication, Photochemical ozone formation, Human toxicity, Ecotoxicity
TRACI	Global warming, Ozone layer depletion, Smog formation, Acidification, Eutrophication, Human health cancer, Human health noncancer, Human health criteria pollutants, Eco-toxicity, Fossil fuel depletion, Land use, Water use
환경성적 표지제도	Abiotic depletion, Global warming, Ozone layer depletion, Acidification, Eutrophication, Photochemical oxidation

나. 주요 투입물질에 대한 환경영향 분석

- SOC 시설물 내역서를 분석하여 주요 투입 자재 및 에너지를 도출하여 국내외 LCI DB 47개를 이용하여 분석하였음. 분석결과를 토대로 각 시설물별 환경부하에 영향을 미치는 주요 투입물질을 도출하였음
- SOC 시설물별 환경부하 분석을 실시하되, 시설물별 투입 자원에 대한 환경부하 비율 상위순으로 제시하였으며 투입물질별 환경부하량 비율은 다음과 같음

[표 3-6-5] 투입물질별 환경부하량 비율(교량)

자원명	비율	누적
레미콘	56.10%	56.10%
철근	8.15%	64.26%
선재	7.49%	71.74%
시멘트	6.06%	77.80%
합판	5.35%	83.15%
PET	4.51%	87.66%
경유	3.84%	91.50%
형강	3.40%	94.90%
⋮	⋮	⋮

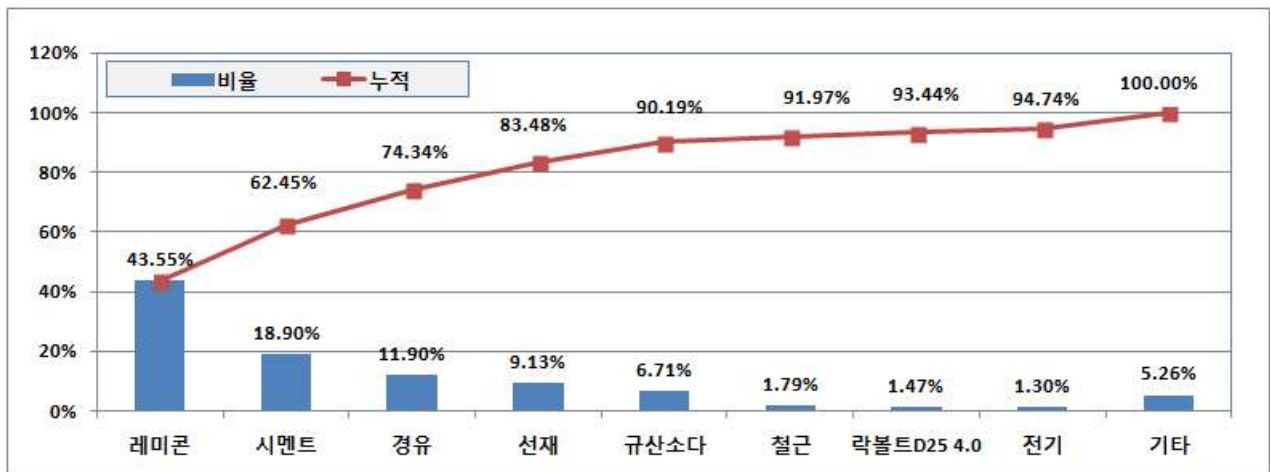


[그림 3-6-2] 투입물질별 환경부하량(교량)

- 교량을 대상으로 적용가능 한 LCI DB를 이용하여 환경부하량을 분석한 결과 레미콘 56.10%, 철근 8.15%, 선재 7.49%, 시멘트 6.06, 합판 5.35%, PET 4.51% 순으로 나타남

[표 3-6-6] 투입물질별 환경부하량 비율(터널)

자원명	비율	누적
레미콘	43.55%	43.55%
시멘트	18.90%	62.45%
경유	11.90%	74.34%
선재	9.13%	83.48%
규산소다	6.71%	90.19%
철근	1.79%	91.97%
락볼트D25 4.0	1.47%	93.44%
전기	1.30%	94.74%
⋮	⋮	⋮

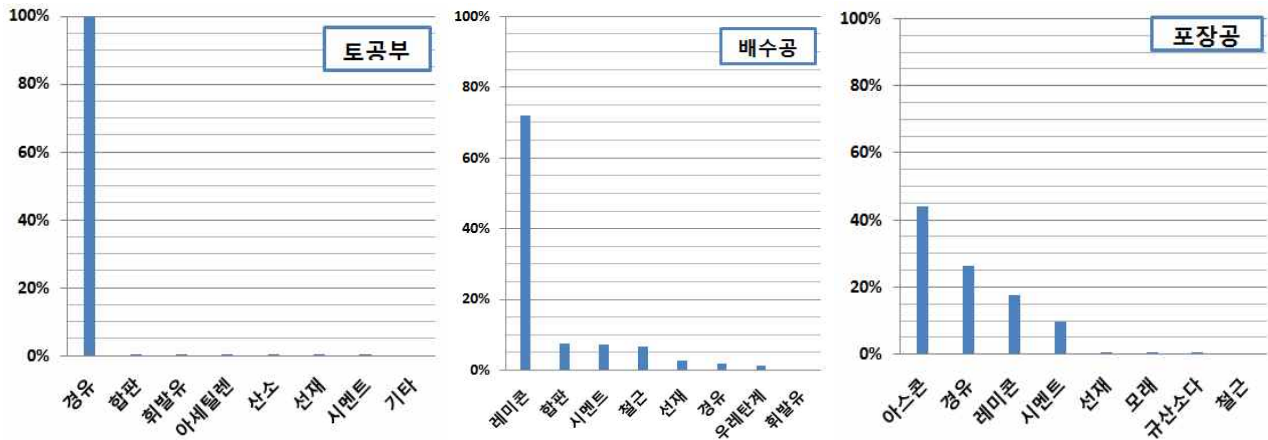


[그림 3-6-3] 투입물질별 환경부하량(터널)

○ 터널을 대상으로 적용가능한 LCI DB를 이용하여 환경부하량을 분석한 결과 레미콘 43.55%, 시멘트 18.90%, 경유 11.90%, 선재 9.13%, 합판 규산소다 6.71%, 철근 1.79% 순으로 나타남

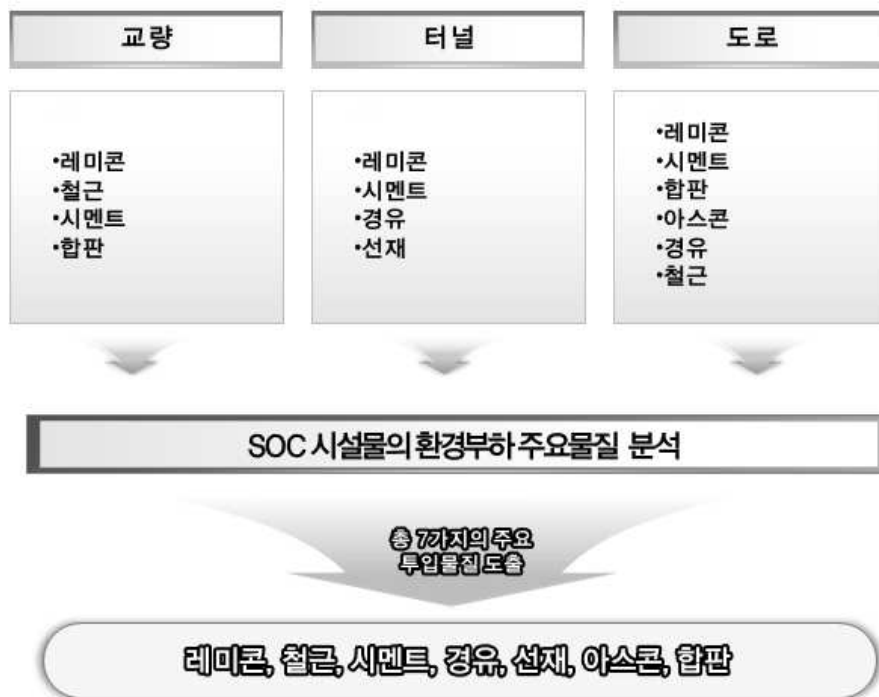
[표 3-6-7] 투입물질별 환경부하량 비율(도로)

토공부		배수공		포장공	
자원명	비율	자원명	비율	자원명	비율
경유	99.87%	레미콘	72.12%	아스콘	44.1%
합판	0.07%	합판	7.48%	경유	26.3%
휘발유	0.03%	시멘트	7.16%	레미콘	17.6%
아세틸렌	0.02%	철근	6.71%	시멘트	9.5%
산소	0.00%	선재	2.66%	선재	0.53%
선재	0.00%	경유	1.94%	모래	0.49%
시멘트	0.00%	우레탄계도료	1.34%	규산소다	0.46%
기타	0.00%	휘발유	0.12%	철근	0.37%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮



[그림 3-6-4] 투입물질별 환경부하량(도로)

- 도로를 대상으로 분석한 결과 토공부의 경우 경유 99.8%로 대부분을 차지하였으며, 배수공은 레미콘, 합판 시멘트, 철근의 비중이 95%수준, 포장공은 아스콘, 경유, 레미콘, 시멘트의 비중이 97% 수준으로 나타남
- SOC 시설물에 소요되는 자재에 에너지원 등 주요투입 물질을 분석한 결과 총 7가지의 물질을 다음과 같이 도출하였음



[그림 3-6-5] SOC 시설물의 환경부하 주요 투입물질 분석

- 주요 투입자재 7개 중 LCI DB 구축중인 아스콘을 제외하고 6개를 대상으로 잠재적인 환경영향을 분석한 결과 지구온난화 범주에서는 CO₂가 97% 이상으로 압도적인 것으로 나타

났고, 오존층파괴 범주에서는 halon-1301, halon-1211이 96% 이상을 차지하는 것으로 나타났음. 산성화에서는 SOx, Nox가 100% 가까이 차지하며, 부영양화 범주의 주요 배출물은 질소 산화물(NOx, NH3, N)이 대부분인 것으로 나타났음

다. 기준 물질 및 주요 환경오염지표 도출

- SOC 시설물에 적합한 환경성능지표 기준물질을 설정하기 위하여 네가지 단계로 접근함
- 첫번째, OECD, WB, 네덜란드, 일본 등에서 활용하고 있는 국내외 환경지표, 환경기준 및 환경지수에서 규정하고 있는 오염물질을 토대로 주요 환경배출물질을 검토하였음
- 이는 실제 배출량이나 침전량을 기준으로 측정하는 환경영향평가와 관련된 항목으로, 환경규제의 기준이 되는 오염물질임. 예를 들어, 국내 대기환경기준이나 배출허용기준에 따르면 대기질과 연관되는 주요 오염물질은 CO2, CO, PM10, NOx, SO2, VOC 등이며, 수계는 TSS, COD, BOD, TN, TP, 중금속 등이 주요 오염물질로 검토되고 있음
- 이처럼 국내외 환경오염지표 항목과, LCA 환경영향 범주별 기준물질을 토대로 대기, 토양, 수계 분야로 구분하여 각각 대표적인 환경 배출물질을 도출하였으며 그 결과는 아래와 같음
- 기존 국내외 자료를 통해 제시된 항목은 향후 환경성능지표 도출시 주요 환경배출물질을 정의하는데 있어 신뢰도와 활용도를 높이는데 활용할 수 있을 것으로 판단됨

[표 3-6-8] LCA 기준 물질 및 주요 환경오염지표 도출

LCA		국내외 환경지표						
Category	Eq.Unit	구분	OECD	WB	네덜란드	영국	EPI	ESI
지구온난화	CO2	대기	CO2	CO2	CO2, CH4, N2O,	CO2,	PM 2.5, CO2	TSP, VOCs, CFC, CO2
오존층고갈	CFC11		CF4	CF4	CFC5, Halon	CFC5, O3, CO, TSP, VOCs		
산성화	SO2	대기, 토양	NOx, SOx, NH3	NOx, SOx,	SO2, NOx, NH3	SO2, NOx	SO2, NOx	SO2, NO2
부영양화	PO4	수계	N, P	N, P	N, P	COD, BOD, N, P	-	DO, N, P, TSS

- 둘째, LCI DB를 활용하여 목록분석(OUTPUT) 결과를 기준으로 최상위에 있는 환경배출물질을 검토하였음. 이때에는 SOC 시설물에 주로 투입되는 물질에 의해 배출되는 오염물질을 대기, 수계, 토양으로 분류하여 분석하였음
- 단, 여기에서는 LCA 환경영향범주 중 대기, 수질 등의 구분이 모호한 자원고갈과 광화학산화물생성 범주를 제외하였으며, 폐기물(Technosphere)과 연계하여 인간독성/생태독성 범주와 함께 추가로 분석하였음
- 셋째, LCI DB를 활용하여 주요 투입되는 물질에 대한 목록 분석 결과를 다시 한번 분류화 및 특성화 과정을 거쳐 잠재적인 환경부하로 분석하였음

- 분석결과 가장 상위에 있는 오염물질을 기준으로 제시하되, 기존의 LCA 환경영향 범주별 상응인자와 환경배출물질을 연계하여 환경배출물질은 대기, 수계, 토양에 대한 기준 오염물질 항목으로 제시하되, LCA 분류화 및 특성화 과정을 거친 잠재적인 환경부하값을 제시함
- SOC 주요 투입물질 7개중 DB 분석이 가능한 5개를 대상으로 목록분석에 의한 주요 환경배출물질과, 분류화/특성화를 거친 잠재적 환경영향 물질을 분석하였음. 총합 90% 이상의 비율을 차지하는 오염물질을 기준으로 제시함

[표 3-6-9] 목록 분석값과 특성화 결과값 해석

구분		레미콘	철근	시멘트	경유	선재
목록 분석 결과	대기	· CO2 (91.8%) · CO(7.6%)	· CO2 (97.9%)	· CO2 (91.0%) · CO (8.7%)	· CO2 (97.7%)	· <i>unspecified</i> (84.0%) · CO2 (15.8%)
	수계	· <i>unspecified</i> (95.1%) · Cl- (2.78%) · DS (1.3%) · SS (0.3054%)	· Ds (53.0%) · Cl- (38.48%) · S04-- (5.3%) · SS (1.3%)	· DS (47.0%) · Cl- (41.6%) · S04--(4.5%) · SS (3.1%)	· <i>unspecified</i> (99.8%) · DS (0.06%) · Cl- (0.03%)	· <i>unspecified</i> (89.8%) · DS (5.0%) · Cl- (2.8%) · S04--(1.0%)
	토양	· SiO2 (30.6%) · limestone (24.9%) · <i>unspecified</i> (24.0%) · gravel (13.5%)	· <i>unspecified</i> (83.6%) · steel scrap (13.5%)	· limestone (45.4%) · <i>unspecified</i> (43.7%) · soft coal (5.0%) · gypsum (2.0%)	· crude oil (94.5%) · natural gas (5.2%)	· limestone (31.1%) · iron ore (14.9%) · iron(Fe) (12.7%) · hard coal (9.6%) · pulverized coal (8.5%)
분류화, 특성 화결 과	지구 온난화	· CO2 (97.8%)	· CO2 (97.2%)	· CO2 (98.2%)	· CO2 (99.8%)	· CO2 (99.3%)
	오존층 파괴	· halon-1301 (99.99%)	· halon-1301 (99.99%)	· halon-1301 (99.99%)	· halon-1301 (99.97%)	· halon-1301 (99.7%)
	산성화	· NOx (62.0%) · SO2 (37.9%)	· SO2 (99.7%)	· NOx (56.0%) · SO2 (43.9%)	· SO2 (69.7%) · NOx (30.3%)	· SO2 (63.5%) · NOx (33.8%)
	부영양 화	· NOx (99.2%)	· Nitrogenous matter (49.5%) · NH3 (22.6%) · COD (18.9%)	· NOx (99.6%)	· NOx (82.3%) · Nitrogenous matter (13.8%) · phoshorous matter (3.1%)	· NOx (95.2%)

제 7 절 SOC시설물 환경부하 평가시스템

1. 환경부하평가 시스템 개요

가. ECO-SOC 평가 프로그램 개요

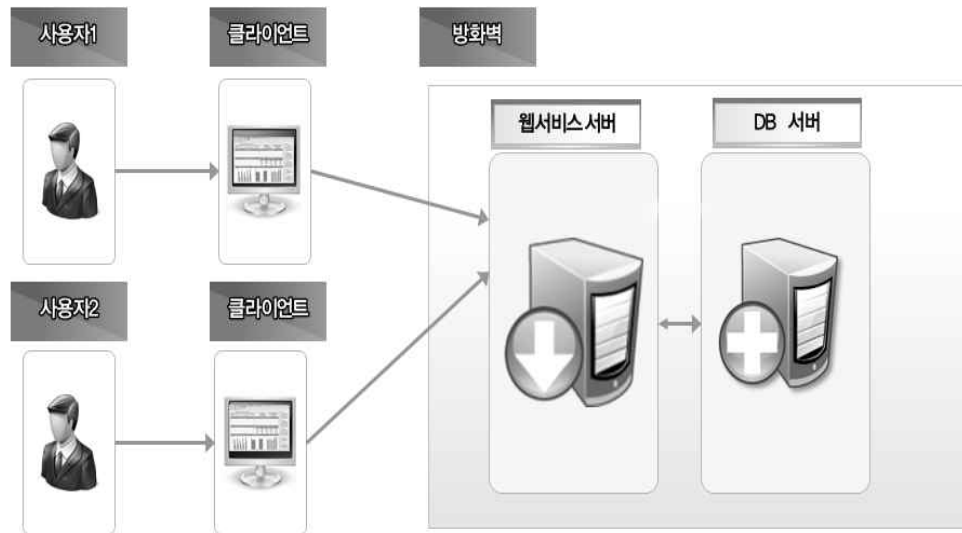
- 토목/건설공사시 발생하는 환경부하와 평가에 대해서는 현재 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory, LCI) DB가 구축되어 활용되고 있으나, 이를 활용하여 네트워크 레벨의 SOC 시설물을 종합적이고 정량적으로 평가하는 tool은 없는 실정임
- 따라서 도로시설물의 영향요인 정보 입력으로 프로그램 사용을 단순화하고, 데이터 단계별 입력 및 시스템 관리로 초보자 및 사용자의 접근이 용이한 환경부하량평가 프로그램 모듈을 구축하여 신뢰성 있고 쉽게 활용 가능한 환경평가 tool을 제시함
- 사용자 중심의 UI개선, 사업단계별 정보수준에 따른 모델의 구축, 기타 표준공종체계와 연계가능한 code 구성 등 향후 확장성, 편의성을 고려한 프로그램을 설계하여, 시각화하고자 함
- 이를 위하여 환경부하량 산출기법인 LCA 기법을 활용하여 각 시설물 특성을 충분히 고려한 평가 모델링을 체계화하고, CBR 기법을 통해 설계수준에 따라 각 시설물의 환경부하량을 평가할 수 있는 환경부하량평가 시스템을 구축함
- 최종 시스템은 설계단계 및 유지관리 단계와 연동하여 생애주기(Life Cycle)동안 발생하는 환경부하량을 정량적으로 평가하고, 각 대안별 노선을 비교·평가하여 사용자의 의사결정을 지원하는데 활용할 수 있을 것으로 기대됨
- 본 프로그램은 WEB 호스팅을 기반으로 windows Server 2012 이상에서 구현이 가능하며, IIS 7.0 이상, MSSQL 2012 이상을 적용함

[표 3-6-10] 시스템 구축 환경

구 분	내 용
server 사양	- HP DL320e Gen8 Server - CPU : Intel Xeon E3-1221v3 (3.1GHz/4-core/8MB/80W, HT) Processor - Memory : RAM 8GB - HDD : 1TB*2 - OS : MS Win Server 2012 Standard 5CLT User CAL - 24" LCD Monito
DB	- Maria DB 10.0
Web Server	- Tomcat 6.0
백신	- V3 Net
개발언어	- JAVA 1.7 / JSP
개발 tool	- Egov Eclipse 3.2

- 프로그램 개발 언어는 JAVA 1.7을 사용하였으며, 인터넷 접속을 통하여 프로그램 구현시 프로그램과 DB가 자동 업데이트 되도록 하였음

- 해당 프로그램은 각 대상물과 프로젝트, 투입 장비 등 각 단계별로 사용자가 분석에 필요한 DB를 사용목적에 맞게 추가/생략이 가능하도록 구성하였음. 발생하는 환경부하량에 대하여 8가지 환경영향범주별로 구분하여 도식화하여 나타낼 수 있도록 모듈을 구축함
- 향후 복수의 프로젝트에 대한 분석결과를 한 화면에서 비교분석이 가능하도록 구성되어 있어, LCA 결과에 따른 환경부하량 배출 총량 SOC시설물의 계획안, 비교안에 대한 노선별 환경성 비교가 용이하도록 구성하였음

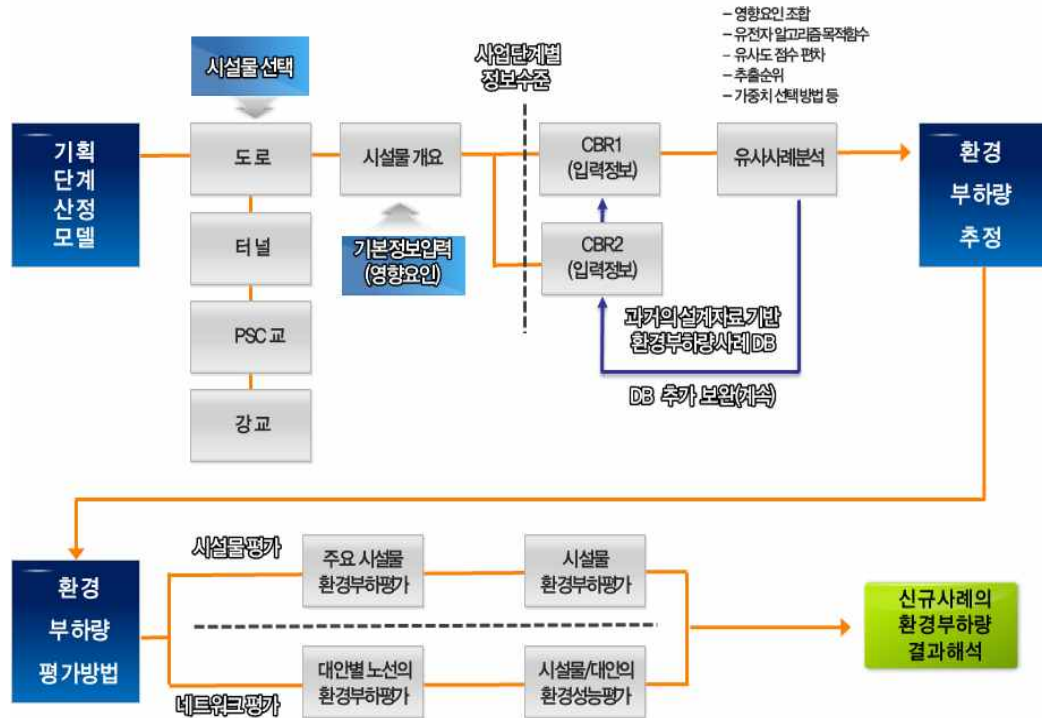


[그림 3-6-6] 프로그램 개발환경

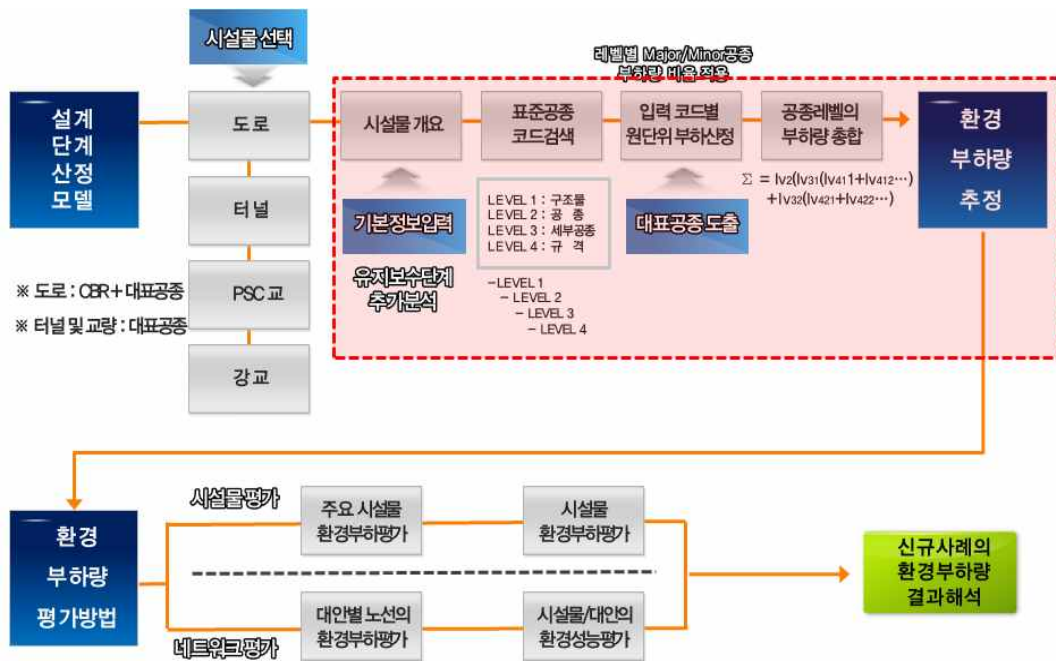
- 동시사용자 접속이 가능한 환경으로 구성하고, 3 tier 환경 구성으로 외부의 DB 접근을 막아 해킹 또는 자료 유출을 최소화 하고자 함
- 다수의 클라이언트 접속에도 부하를 조절할 수 있는 웹서비스로 안정적이고 빠른 환경을 제공하되, 어디서든지 쉽게 접속 할 수 있도록 함

나. 시스템 설계 및 prototype 개발

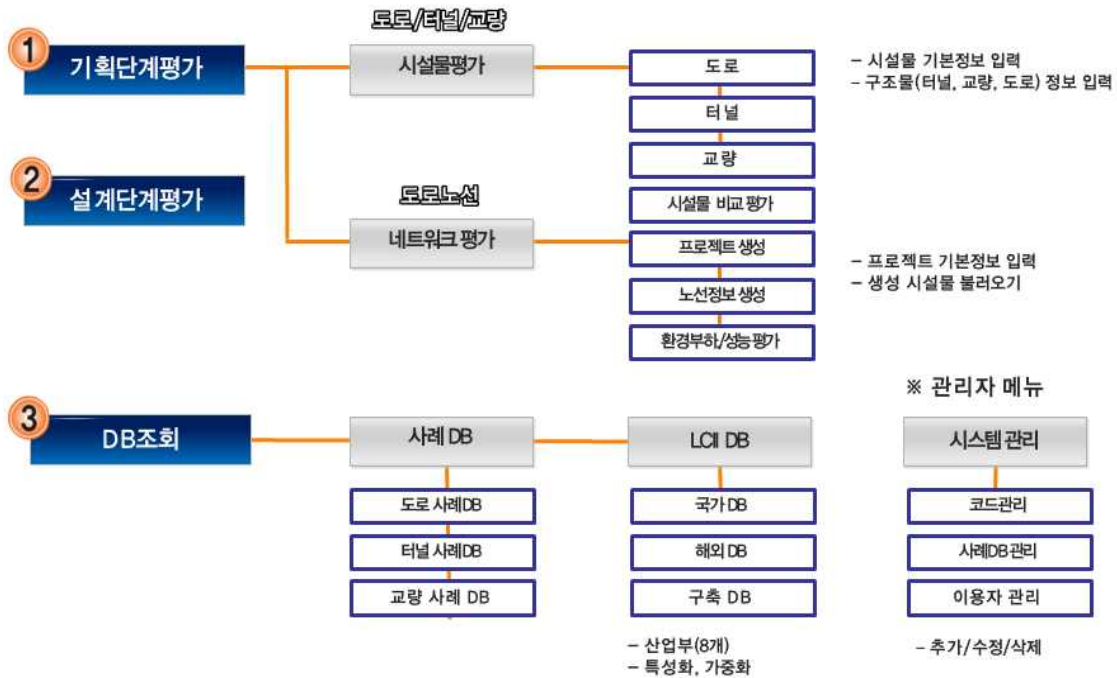
- 여러지역의 다양한 S/W 사용자의 접근성 및 시스템 활용을 고려하여 웹 기반으로 구축하고 사용자, 관리자로 구분하여 사용 주체별 권한설정을 통해 시스템 활용성 및 보안성을 확보하였음
- SOC시설물의 환경부하 산출 방법론에 대한 이해도가 부족하고 수집 데이터의 종류와 양이 방대하여 시설물의 환경부하평가 접근이 쉽지 않음. 이에 입력정보의 최소화, 결과해석의 다양화 등을 통한 사용자 중심의 UI개선, 사업단계별 정보수준에 따른 표준모델의 구축, DB 확장 및 수정이 용이하도록 code화 등 향후 확장성, 편의성을 고려한 프로그램을 설계하였음
- 해당 프로그램의 구성 모듈 및 process는 다음과 같음



[그림 3-6-7] 기획단계 환경부하추정 system logic



[그림 3-6-8] 설계단계 환경부하추정 system logic



[그림 3-6-9] ECO-SOC 환경부하 평가 시스템 메뉴 logic

2. 시설물별 환경부하평가 시스템 개발

가. 기획단계의 시설물 평가 시스템

- SOC 시설물의 환경부하평가는 크게 시설물과 네트워크 단위의 평가가 가능하도록 구성하였음
- 시설물별 환경부하평가(①) : 도로/터널/교량 각각의 단위시설물을 개별 평가하는 방법
- 네트워크 환경부하평가(②) : 도로사업 노선을 구성하고 있는 도로/터널/교량 형태의 시설의 네트워크 단위로 평가할수 있는 방법



[그림 3-6-10] 시스템 초기 접속 화면



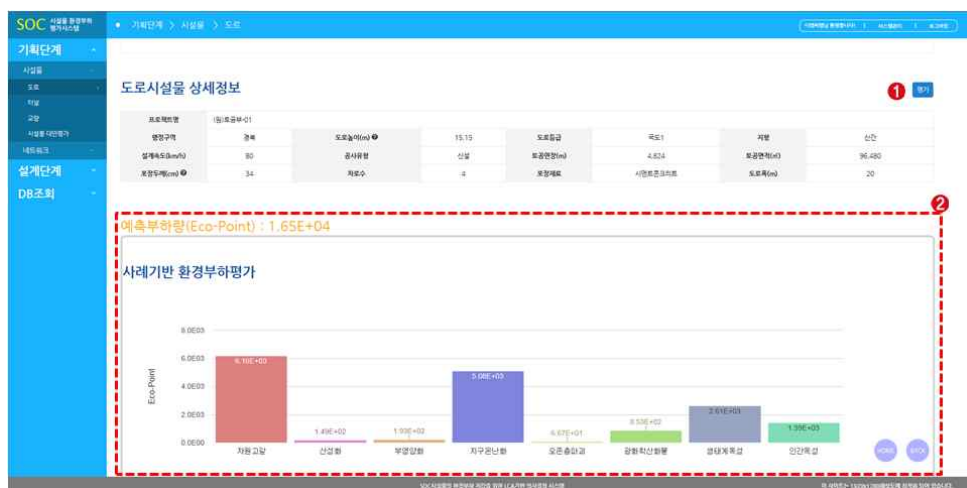
[그림 3-6-11] 시설물 정보 입력화면(기획단계)

- 시설물은 도로/터널/교량으로 구분하여 생성이 가능하고 각 시설물의 정보는 기획단계에 가용한 정보들로 구성되어 있음
- 시설물별 입력정보는 다음 표와 같으며 신규 팝업창을 통하여 입력하도록 구성하였음

[표 3-6-11] 단일 시설물 입력

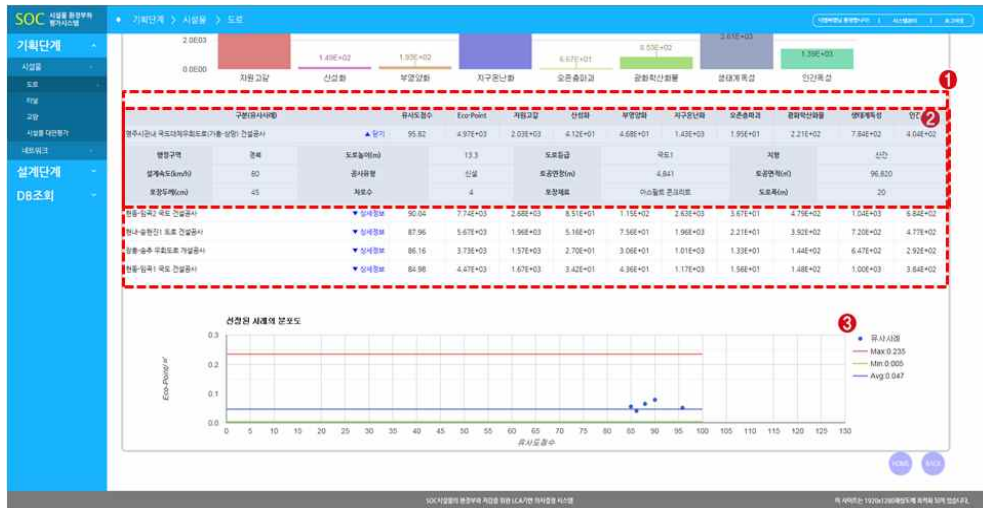
시설물	내 용
도 로	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 설계속도, 공사유형, 토공연장, 토공면적, 포장두께 차로수, 포장재료, 도로폭
터 널	차로수, 통행방식, 연장, 설계속도, 행정구역
교 량	교량종류, 연장, 폭원, 상부면적, 차로수, 경간수, 경간길이(PSC교) 최대경간장(강교), 행정구역, 가설위치, 기초형식, 하부높이

- 각 시설물에 대한 환경부하평가는 정보 및 결과화면을 페이지 넘김 없이 한 화면에서 결과조회가 가능하도록 구성하여 작업창의 효율성을 높였으며 프로그램 사용성을 개선하였음



[그림 3-6-12] 기획단계 환경부하 평가 결과화면(1)

- 예측부하량에 사용된 유사사례는 유사도 점수가 높은순으로 사용자에게 제공되며 상세정보 보기 클릭을 유도하여 기존에 설계된 유사한 사업의 정보를 확인할 수 있음



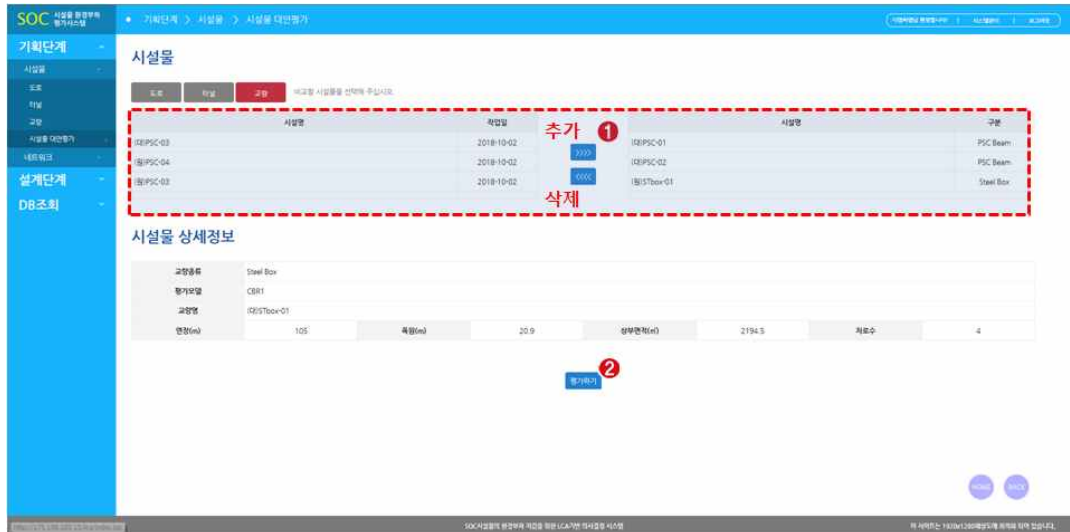
[그림 3-6-13] 기획단계 환경부하 평가 결과화면(2)

- 유사사례 시설물의 단위면적당 환경부하량(Eco-point)은 유사도에 따라 신규사례 환경부하량과 비교가 가능하도록 시각화 하였으며, 시설물별 유사도 점수 편차, 유사도 점수 순위 등은 다음 표와 같으며 시설물 모델 특성에 따라 다르게 적용하였음

[표 3-6-12] 평가시스템 유사도 적용 기준

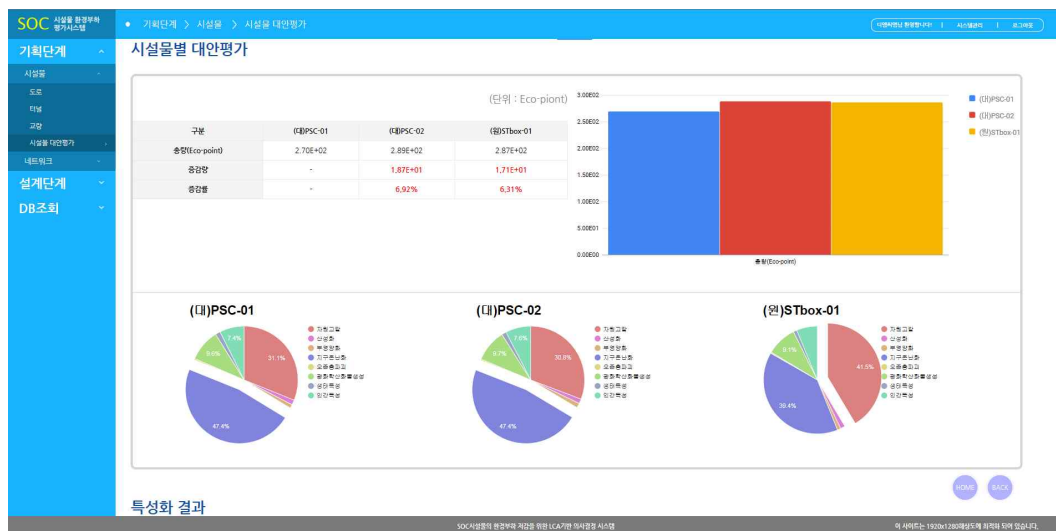
시설물	유사사례 추출순위	유사도 점수 산정기준	
		문자열	숫자열
도로	5순위	일치	공종별 유사율 차등 적용
교량	5순위	일치	유사율 10% 이내 적용
터널	2순위	일치	유사율 8% 이내 적용

※ 유사율 = (입력사례/조회사례) * 100



[그림 3-6-14] 시설물 환경부하평가 결과 화면(1)

- 각 단일 시설물별 환경부하평가지 생성했던 시설물 정보를 조회하여 상대 비교평가를 할수 있도록 구성되어 있으며, 동일한 시설물 비교뿐만 아니라 도로, 터널, 교량의 다른 시설물 교차 비교가 가능함
- 시설물별 환경부하 비교 평가는 사업 초기 기획단계에서 건설부지 위치에 따른 구조물의 설치 유무를 고려한 사업 대안별 환경부하량 예측이 및 구조물별 최소한의 가용정보로 신속하게 시설물 대안별 환경부하량 비교 평가가 가능하도록 구성하였음



[그림 3-6-15] 시설물 환경부하평가 결과 화면(2)

- 비교 대상으로 선택된 시설물들은 단계별 환경부하 및 절감량, 절감률을 제시하여 상대적인 환경부하량 비교 평가가 가능함

- LCA기반의 ISO 환경부하 범주 중심의 평가방법 구축을 통해, 기존에 집중되어 있는 탄소배출량 외에 LCA Category내의 환경평가 범주, 즉 부영영화, 산성화 등 대기, 수질, 토양, 생태계에 영향을 미치는 다양한 환경오염물질 배출량을 확인할 수 있음

나. 설계단계의 시설물 평가 시스템

- SOC 시설물의 설계단계의 환경부하평가는 기획단계 시설물 평가와 동일하게 시설물로 구분되어 평가가 가능함
- 시설물은 도로/터널/교량으로 구분하여 생성이 가능하고 각 시설물의 정보는 설계초기단계에 가용한 정보들로 구성되어 있음
- 시설물별 입력정보는 다음 표와 같으며 신규 팝업창을 통하여 입력하도록 구성하였음

[그림 3-6-16] 시설물 정보 입력화면(설계단계)

[표 3-6-13] 설계단계 시설물 평가 시스템 입력정보

시설물 구분		입력정보
도로	토공부	행적구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 설계속도, 공사유형, 토공부 연장, 토공부 면적, 차로수, 포장재료, 도로폭, 평면곡선반경, 최대종단경사, 용지총면적, 포장두께, 종배수관 연장, 용수개거 연장, 암거연장, 암거개소
교량	PSC beam	연장, 폭원, 경간장, 평면형상 교대높이, 교각높이
	Steel Box	연장, 폭원, 경간수, 경간구성, 교대높이, 교각높이
	IPC girder	연장, 폭원, 경간장, 평면형상 교대높이, 교각높이
	E-beam	연장, 폭원, 경간장, 평면형상 교대높이, 교각높이
	DR girder	연장, 폭원, 경간장, 평면형상 교대높이, 교각높이
	PSC box	연장, 폭원, 경간장, 평면형상 교대높이, 교각높이
터널	NTAM	차로수, 통행방식, 포장재료, Type연장(본선부), 갱문연장(개착부), 갱문형식(개착부)

- 또한 설계단계 환경부하평가지 유지보수공법별 환경부하량 산정 로직을 추가하여 생애주기를 고려한 환경부하평가가 가능하도록 모듈을 구축하였음
- 설계단계 입력 정보창에 유지보수단계 추가입력 창을 추가로 생성하여 사용자 선택에 따라 유지보수단계를 고려한 생애주기 환경부하평가로 시스템 결과 해석의 다양성을 도모하였음

[표 3-6-14] 유지보수단계 시설물 평가 시스템 입력 정보

시설물 구분		해당 시설물 환경부하 입력 정보	
		시설물별 주요 유지보수공법	비고
도로	토공부	팻칭, 노면개량, 균열보수, 줄눈보스 노면개량, 단면보수	해당하는 유지보수 공법의 보수주기(년) 및 보수율(%) 제공
교량	PSC beam	재포장두께, 탄성받침 교체 공법 및 규격, 신축이음 교체 개소 및 규격, 외부강선보강(콘크리트 교량), 재도장(강교량)	
	PSC box		
	IPC girder		
	E-beam		
	DR girder		
	Steel Box		
터널	NTAM	콘크리트 포장 슬래브 두께, 콘크리트 균열보수, 누수표면처리, 터널청소	

- 유지보수단계의 환경부하분석은 각 시설의 특성을 반영하여 주요 보수공법별 환경부하량을 산정하여 보수주기 및 보수율을 반영한 환경부하량이 제공됨. 보수주기와 보수율을 기본값으로 제공하고 필요시 사용자가 수정 가능하도록 설계함
- 생애주기를 고려한 life cycle 환경부하량 분석을 위해서는 분석기간이 필수적으로 입력되어야 하며 최소값 30년부터 최대 100년까지 설정으로 각 시설물별 시공단계 뿐만 아니라 유지보수단계를 포함한 전 생애주기의 환경부하를 비교 검토하여 최적 대안을 모색 할 수 있음

[그림 3-6-17] 시설물 정보 입력화면(유지보수단계)

- 각 시설물에 대한 환경부하평가는 기획단계 환경부하평가 와 동일한 형태로 정보 및 결과화면을 페이지 넘김 없이 한 화면에서 결과 조회가 가능하도록 구성하여 작업창의 효율성을 높였으며 프로그램 사용성을 개선함



[그림 3-6-18] 설계단계 환경부하 평가 결과화면(1)

- 예측된 환경부하량은 각 공종별 대표공종으로 분류되어 결과창으로 보여지며 해당되는 대표공종에 대한 세부공종 환경부하량은 아래 그림과 같이 구분하여 세분화하여 제공함



[그림 3-6-19] 설계단계 환경부하 평가 결과화면(2)

3. 네트워크 환경부하평가 시스템 개발

가. 네트워크 시설물 구성 방법

- SOC 시설물의 네트워크 구성방법을 위해서 대상 단일 시설물 즉, 교량, 터널, 도로를 포함하는 노선전체에 대한 환경부하 평가가 가능하며, 기획 및 설계단계에서의 각 대안별 노선에 대한 비교평가가 가능함

[표 3-6-15] 환경부하 평가 절차도



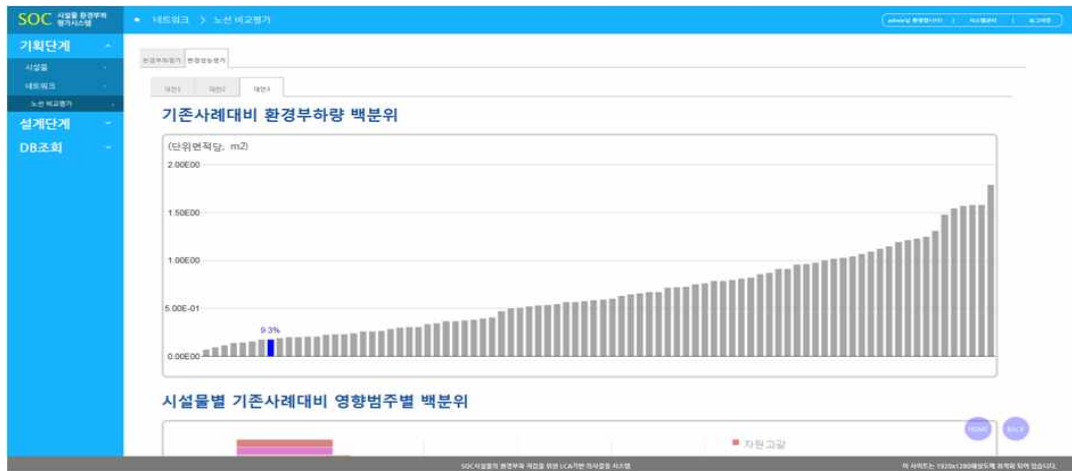
- 네트워크 단위의 도로노선 평가에 앞서 해당 노선 프로젝트 생성이 필요하며, 구성에 필요한 정보로는 프로젝트명, 담당자, 설계년도, 발주기관, 설계기관, 진행상황, 행정구역에 대한 정보가 요구됨

[그림 3-6-20] 프로젝트 생성 화면(도로노선)

[그림 3-6-21] 노선정보 생성 화면

- 앞서 생성된 프로젝트의 노선정보를 입력하여 생성하는 화면으로 노선정보를 각 대안별로 구성하고, 최대 5개까지 생성이 되도록 설계되어 있어 동시에 비교평가가 가능함
- 시설물별 부하평가와 동일하게 좌측에는 기존에 입력된 시설물 정보를 우측에는 평가하고자 대상 시설물을 선택할 수 있도록 추가/삭제 기능을 구현하였음
- 입력된 시설물은 연장정보가 포함된 선형의 형태로 표현되며 사용자는 대안별 정보를 손쉽게 파악할 수 있는 도구로 활용 가능함
- 설계단계 평가에서는 사용자가 해당 사업의 사업 노선 이미지 파일을 삽입하여 단순선형의 형태가 아닌 입체적 형태로 정보를 제공함으로써 네트워크 단위의 도로노선을 시각화하여 활용 가능 하도록 설계하였음

나. 대안 노선별 비교 평가 시스템



[그림 3-6-22] 도로노선의 환경성능 백분위 적용화면(1)

- 노선별 비교평가에서는 기존에 설계가 완료된 시설물 및 노선의 단위면적당 환경부하량을 활용하여, 신규사례의 환경부하 추정량을 상대적으로 평가하여 제시하였으며 이를 통해 네트워크 단위에서 생성된 각 대안은 환경부하 추정량에 대한 절대값(Eco-Point)과 함께 각 대안들간 상대적 비교(백분위)로 환경 성능에 대한 정보가 제공됨



[그림 3-6-23] 시설물별 환경성능 백분위 적용 화면(2)

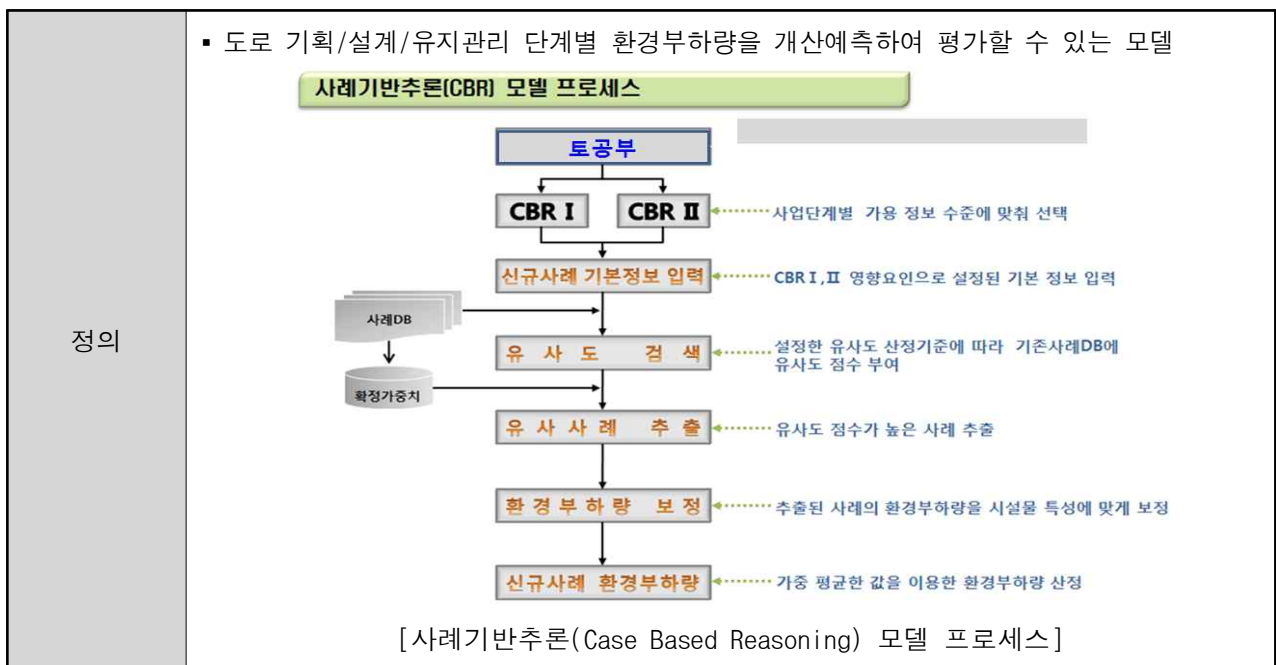
제 8 절 연구개발 성과

1. 연구개발 성과 목록

연번	연구기관	핵심성과물	성과유형	설 명
1	▪ 공동-경북대학교	도로 환경부하 평가모델	소프트웨어	도로의 기획/설계/유지관리 단계별 환경부하량을 개선 예측하여 평가할 수 있는 모델의 개발
2	▪ 주관-중앙대학교 ▪ 공동-한국해양대학교 ▪ 공동-(주)평화엔지니어링	교량(PSC교, 강교) 및 NATM 터널 환경부하 평가모델	소프트웨어	교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널의 기 획/설계/유지관리 단계별 환경부하량 을 개선 예측하여 평가할 수 있는 모 델
3	▪ 공동-인하대학교	SOC시설물의 LCI DB	기타	SOC 시설물의 기획/설계/유지관리 단계별 LCA 수행을 위해 필요한 LCI DB 구축
4	▪ 공동-(주)디엠씨엠	SOC 시설물의 환경성능지표	공법·기법	SOC 시설물을 평가할 수 있는 정 성적, 정량적 환경성능지표와 평 가방법
5	▪ 공동-(주)디엠씨엠 ▪ 공동-인하대학교	네트워크 기반의 SOC 시설물 환경부하 평가 시스템	소프트웨어	LCI DB 및 환경성능지표를 적용하 여 복합적인 Network 망으로 이루 어진 SOC 시설물에 적합한 환경성 능평가 시스템

2. 핵심성과물별 세부 성과

가. 성과명 : 도로 환경부하 평가모델



정의	[대표 공종의 단위 물량을 이용한 환경부하량 산정 개념도]	
목적	기존 상세설계를 통한 환경부하 평가의 소요되는 시간 측면에서의 비효율성을 개선하기 위해 기획 및 설계 초기/유지관리 단계에 가용한 정보를 활용하여 다양한 설계 대안에 대한 신속한 환경부하량을 평가할 수 있는 모델을 개발하고자 함	
성능목표	(기존기술 수준) - 기존 환경부하 추정방식은 설계가 완료되고 난 후 상세설계 정보를 바탕으로 하기 때문에 상세설계 이전 기획 및 설계 초기단계에서의 환경 계획 및 관리를 위한 환경부하 추정은 현실적으로 불가 (개발기술 수준) - 기획 및 설계 초기에 가용한 기본 정보만으로 다양한 설계 대안에 대한 신속한 환경부하량 추정 가능 (개발기술 수준 설정근거) - 현재 SOC사업의 환경부하 추정은 실시설계 단계의 상세한 설계정보를 필요로 하여 기획 및 설계 초기단계(기본설계 단계)에서의 환경부하 평가는 현실적으로 불가함. 본 연구에서는 기존의 실적 데이터를 중심으로 사례 데이터베이스를 구축하고 이를 기반으로 기획 및 설계초기단계에서도 환경부하 추정이 가능한 평가모델을 구축하고자 함	
성과달성 책임자 (소속기관)	김병수(경북대학교 산학협력단)	
소요기간	' 14.10 ~ ' 18.12(4년 2개월, 4년차)	
성과달성 확인방법	질 적 성과	1차년도 - 도로 설계내역서, 수량산출서 등 시설물 자료수집 및 사례DB구축 - 환경부하 영향요인 상관성 분석, 환경부하량 분석 서식 개발 2차년도 - 도로 기획단계 환경부하 평가모델 개발 - 환경부하 주요항목 및 Minor items 환경부하 분석 3차년도 - 도로 설계단계 환경부하 평가모델 개발, 도로 유지관리 공법 조사 4차년도 - 유지관리 공법별 표준 투입물량 분석 - 도로 유지관리단계 환경부하 평가모델 개발
	달 성 확인	1차년도 - 보고서를 통한 자료수집 및 구축 여부, 환경부하 영향요인 도출의 적정성, 환경부하 분석서식 개발 여부 등의 확인 2차년도 - 환경부하 평가모델의 테스트, 보고서를 통한 환경부하 주요항목 및 Minor items 분석 결과 확인 3차년도 - 환경부하 평가모델의 테스트, 유지관리 공법 조사 결과 확인 4차년도 - 환경부하 평가모델의 테스트, 보고서를 통한 유지관리 공법 표준 투입물량 분석 결과의 확인
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	국내 : 2건(출원), 1건(등록)
	논문 저작	국내 : 4건, 국외 : 4건
	S/W	5건(공동)
	신기술	-
	기타	학술발표: 13건, 매뉴얼: 1건(공동)

나. 성과명 : 교량(PSC교, 강교) 및 NATM 터널 환경부하 평가모델

정의	▪ 교량(PSC교, 강교) 및 NATM 터널 환경부하 평가모델 [사례기반추론(Case Based Reasoning) 모델 프로세스] [표준물량 기반 환경부하량 산정 개념도]
목적	▪ 기존 상세설계를 통한 환경부하 평가의 소요되는 시간 측면에서의 비효율성을 개선하기 위해 기획 및 설계 초기/유지관리 단계에 가용한 정보를 활용하여 다양한 설계 대안에 대한 신속한 환경부하량을 평가할 수 있는 모델을 개발하고자 함
성능목표	(기존기술 수준) ▪ 기존 환경부하 추정방식은 설계가 완료되고 난 후 상세설계 정보를 바탕으로 하기 때문에 상세설계 이전 기획 및 설계 초기단계에서의 환경 계획 및 관리를 위한 환경부하 추정은 현실적으로 불가 (개발기술 수준) ▪ 기획 및 설계 초기에 가용한 기본 정보만으로 다양한 설계 대안에 대한 신속한 환경부하량 추정 가능 (개발기술 수준 설정근거) ▪ 현재 SOC사업의 환경부하 추정은 실시설계 단계의 상세한 설계정보를 필요로 하여 기획 및 설계 초기단계(기본설계 단계)에서의 환경부하 평가는 현실적으로 불가함. 본 연구에서는 기존의 실적 데이터를 중심으로 사례 데이터베이스를 구축하고 이를 기반으로 기획/설계초기단계에서도 환경부하 추정이 가능한 평가모델을 구축하고자 함
성과달성 책임자 (소속기관)	▪ 김경주(중앙대학교 산학협력단) ▪ 경갑수(한국해양대학교 산학협력단), 김홍문((주)평화엔지니어링)

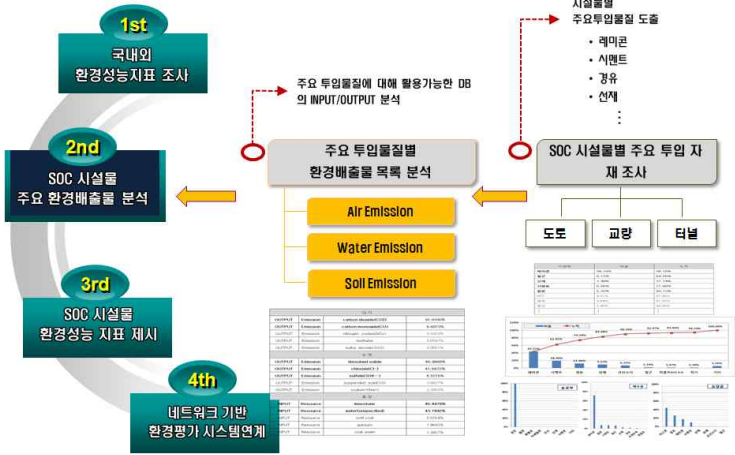
소요기간	' 14.10 ~ ' 18.12(4년 2개월, 4년차)		
성과달성 확인방법	질적 성과	1차년도	- 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널 설계내역서, 수량산출서 등 시설물 자료수집 및 사례DB구축 - 환경부하 영향요인 상관성 분석 - 환경부하량 분석 서식 개발
		2차년도	- 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널 기획단계 환경부하 평가모델 개발 - 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널 환경부하 주요항목 및 Minor items 환경부하 분석
		3차년도	- 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널 설계단계 환경부하 평가모델 개발 - 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널 유지관리 공법 조사
		4차년도	- 유지관리 공법별 표준 투입물량 분석 - 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널 유지관리단계 환경부하 평가모델 개발
	달성 확인	1차년도	보고서를 통한 자료수집 및 구축 여부, 환경부하 영향요인 도출의 적정성, 환경부하 분석서식 개발 여부 등의 확인
		2차년도	환경부하 평가모델의 테스트, 보고서를 통한 환경부하 주요항목 및 Minor items 분석 결과 확인
		3차년도	환경부하 평가모델의 테스트, 보고서를 통한 유지관리 공법 조사 결과 확인
		4차년도	환경부하 평가모델의 테스트, 보고서를 통한 유지관리 공법 표준 투입물량 분석 결과의 확인
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록		국내 : 4건(출원), 1건(등록)
	논문 저작		국내 : 7건, 국외 : 5건
	S/W		5건(공동)
	신기술		-
	기타		학술발표: 21건, 매뉴얼: 1건(공동), 기술실시계약: 6건(공동)

다. 성과명 : SOC시설물의 LCI DB

정의	▪ SOC 시설물의 기획/설계/시공/유지관리 단계별 LCA 수행을 위해 필요한 LCI DB구축 [LCI DB 구축 프로세스]
목적	▪ 기 구축된 LCI DB는 SOC 시설물의 투입 원부자재를 커버하는데 한계가 있어 LCI DB 구축을 통해 SOC 시설물의 단계별 LCA 수행의 신뢰도를 높이하고자 함

성능목표	(기존기술 수준) ▪ SOC 시설물의 LCA 수행 시 적용 가능한 기 구축 국가 LCI DB의 경우 투입 원부자재의 약 40%수준임 (개발기술 수준) ▪ 본 연구를 통해 개발된 LCI DB를 적용하여 SOC 시설물의 LCA 수행 신뢰도를 60% 까지 높이고자 함 (개발기술 수준 설정근거) ▪ SOC시설물의 LCA 분석을 위해서는 LCI DB 구축이 선행 되어야 하나 현재 기 구축된 국내 LCI DB의 SOC 시설물 투입 원부자재의 커버율은 40% 수준으로 LCA 수행 신뢰도를 높이기 위하여 LCI DB 구축되어야 함		
성과달성 책임자 (소속기관)	▪ 황용우(인하대학교)		
소요기간	▪ ' 14.10 ~' 18.12(4년 2개월, 4년차)		
성과달성 확인방법	질적 성과	1차년도	• 설계 내역서, 수량산출서 등 시설물 자료수집 및 Cut-off 수준분석
		2차년도	• 투입 물량, 투입비용, 공종별 발생빈도 등 상대적 중요도를 고려한 LCI DB 구축 대상 선정 • 상대적 중요도가 가장 높은(ex: 투입물량, 비용 및 발생빈도가 높아 LCI DB 구축 시급성 최상위)자재 등을 대상으로 LCI DB 구축
		3차년도	• 기획/설계 단계 결핍 LCI DB 자재를 대상으로 개별적산법에 따라 구축 대상의 제조사 현장 조사를 통해 기능단위당 Gate to Gate 데이터를 산출하여 LCI DB 구축(결핍 DB 목록 중 투입물량, 비용 및 발생빈도가 높아 LCI DB 구축 시급성 상위 자재 대상)
		4차년도	• 유지관리 단계 Cut-off 수준을 만족 할 수 있도록 개별적산법에 따라 구축 대상의 제조사 현장 조사를 통해 기능단위당 Gate to Gate 데이터를 산출하여 LCI DB 구축 • 기획/설계 단계, 유지관리 단계 환경부하평가시 LCI DB 연계가 용이하도록 표준화 모델 개발
	달성 확인	1차년도	• 보고서를 통한 자료수집 및 Cut-off 수준 분석 결과 확인
		2차년도	• 투입 원부자재별 투입 물량, 투입 비용, 공종별 발생빈도 등의 기초자료가 작성된 보고서를 통한 구축 대상 선정 결과 확인
		3차년도	• 기능단위당 투입물과 산출물에 대한 공정데이터가 작성된 보고서를 통해 LCI DB 구축 결과 확인
		4차년도	• 기능단위당 투입물과 산출물에 대한 공정데이터가 작성된 보고서를 통해 LCI DB 구축 결과 확인 • LCI DB 표준화 연계 방안에 대하여 작성된 보고서를 통해 표준화 모델 확인
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록		국내 : -
	논문		국내 : 2건, 해외 : -
	저작		-
	S/W		5건(공동)
	신기술		-
	기타		학술발표: 3건, LCI DB: 13건, 국가 LCI DB 등록: 6건

라. 성과명 : SOC 시설물의 환경성능지표

정의	▪ SOC 시설물을 평가할 수 있는 정성적, 정량적 환경성능지표와 평가방법  [종합환경성능 평가 프로세스]		
목적	▪ SOC 시설물별 주요투입 자재에 대한 환경부하에 미치는 물질 정의 및 적용범위를 설정하고, 대표적인 환경배출물질을 통해 환경부하를 평가할 수 있는 환경성능지표 설정, 평가 방안 제시하고, 네트워크 기반의 환경평가 시스템과 연계방안을 검토		
성능목표	(기존기술 수준) ▪ 기존 사전타당성평가, 종합환경성능평가, 환경영향평가 등은 시간적, 지리적으로 광범위한 SOC 시설물의 전 생애주기의 환경적 파급효과를 분석하는데 한계가 있음 (개발기술 수준) ▪ 정성적/정량적 평가를 위한 분석항목, 적용범위, 평가 지표 및 객관적 평가 Tool 제공 (개발기술 수준 설정근거) ▪ SOC 시설물의 환경성능지표의 활용성 및 신뢰성을 비교·검토하고, 국내 LCI DB와 연계하여 종합환경성능을 평가함		
성과달성 책임자 (소속기관)	▪ 권석현 ((주)디엠씨엠)		
소요기간	▪ ' 14.10 ~ ' 17.08 (2년 10개월, 3년차)		
성과달성 확인방법	질 적 성과	1차년도	• 기존 국내외 환경성능 지표 현황조사, 평가지표 대상 범위 설정
		2차년도	• SOC 시설물에 대한 환경성능 평가지표 제시
		3차년도	• 환경성능지표와 LCI DB 연계를 통한 친환경 평가 지침 제시
	달 성 확인	1차년도	• 관련 현황 자료조사 및 적정 평가방안 도출
		2차년도	• 연구결과의 성과 확산과 홍보를 위한 국내 논문 게재 건수 • 주요 공정별 환경개선 효과를 산정할 수 있는 평가지표 제시여부
		3차년도	• 복합 SOC 시설물에 대한 친환경성능평가 지침 제시 여부
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	국내 : -, 국외 : -	
	논문 저작	국내 : -, 국외 : 1건	
	S/W	-	
	신기술	-	
	기타	학술발표: 2건, 성능평가지침: 1건	

마. 성과명 : 네트워크 기반의 SOC 시설물 환경부하평가 시스템

정의	LCI DB 및 이와 연계한 환경성능지표 활용, 네트워크 기반의 복합 SOC 시설물에 대한 환경오염물질 배출 정량화 시스템 구축  [환경부하평가 시스템 프로세스]		
목적	복합 네트워크망(도로, 교량, 터널)으로 구성된 SOC시설물의 단계별 환경부하 평가방법 개발 및 평가		
성능목표	(기존기술 수준) - 단일 시설물 위주의 개별적인 평가로 네트워크로 구성된 복합 SOC 시설물에 대한 환경부하 평가가 어려움 (개발기술 수준) - 단일의 시설물이 아닌 복합적인 Network 망으로 이루어진 SOC시설물의 공종 특성에 따른 친환경적 요소를 도출하여 환경오염이 가장 적은 최적의 복합 SOC 시설물을 평가할 수 있는 환경성능평가 프로세스 구축 (개발기술 수준 설정근거) - 개발 시스템의 테스트베드 적용을 통해 신뢰성 및 활용성을 검증하고, 해당 S/W에 대한 지적 재산을 확보		
성과달성 책임자 (소속기관)	권석현 ((주)디엠씨엠), 황용우(인하대학교)		
소요기간	' 14.10 ~ ' 18.12 (4년 2개월, 4년차)		
성과달성 확인방법	질적 성과	1차년도	단일/복합 SOC 시설물의 주요 환경부하 평가기술 현황 파악
		2차년도	기획단계 시스템 구성을 위한 프로세스 모델링, 프레임워크 구축
		3차년도	설계단계 시스템 구성을 위한 프로세스 모델링, 프레임워크 구축
		4차년도	복합 SOC 시설물의 환경성능평가 시스템 개발
	달성 확인	1차년도	단일/복합 SOC 시설물의 구성 및 환경부하평가 요소기술 조사
		2차년도	- 연구결과의 성과 확산과 홍보를 위한 학술회의 발표 - 시스템 구현을 위한 데이터 모듈, 프로세스 구성여부
		3차년도	- 지적재산권 확보 여부 - 시스템 구현을 위한 데이터 모듈, 프로세스 구성여부
		4차년도	- 네트워크 기반의 SOC 시설물 환경부하평가 시스템 완성, 사용자 편의성 및 현장 적용성 확대 - 환경부하시스템 사용자 매뉴얼 개발 여부
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록		국내 : -, 국외 : -
	논문		국내 : 1건, 국외 : -
	저작		-
	S/W		5건(공동)
	신기술		-
	기타		학술발표: 4건, 기술실시계약: 6건(공동)
			사용자 시스템 매뉴얼: 1건

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1 절 목표 달성도

가. 최종 연구목표

구 분	내 용				
최종 목표	■ 본 연구의 최종목표는 SOC 건설사업을 대상으로 사업 수행단계별 환경부하량 평가모델 개발, 신규 LCI DB 및 표준화 모델구축, 환경부하 평가시스템을 개발하여 합리적인 환경부하 평가를 위한 인프라를 조성하는 것임 ■ 본 연구분야의 최종 성과물의 유형은 소프트웨어이며, 소프트웨어 분야의 TRL6는 S/W 프로토타입 모델의 성능 및 신뢰성 평가단계로 개발 기술이 실제 환경에서 구현될 수 있도록 발전시키는 단계로, S/W 프로토타입의 테스트를 완료하고 개별 모듈을 구성하는 기능 요소들이 통합 작동됨을 시험하고 적합한 신뢰도를 갖추었는지를 수요자 또는 고객의 실제 사용 환경과 유사한 환경에서 검증을 목표로 하고 있음 연구분야 (최종 성과 기준) (연구분야1) 도로 환경부하 평가모델 개발 (연구분야2) 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널 환경부하 평가모델 개발 (연구분야3) LCI DB, 환경지표와 연계한 네트워크 레벨의 SOC시설물 환경부하 평가시스템 개발 환경부하 평가 시스템 개발 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> ☐ TRL 1 - 이론적 연구단계 ☒ TRL 2 - 기술적 개념정립 단계 ☒ TRL 3 - 실험적 증명 단계 ☒ TRL 4 - 실험실 성능평가 단계 ☒ TRL 5 - 유사환경 시험 단계 ☒ TRL 6 - 유사환경 기술시험 단계 </td> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: top;"> 기초연구 단계 (1차년도) 실험 단계 (2·3차년도) 현재 TRL 최종 TRL 시작품 단계 (4차년도) 실용화 단계 사업화 단계 </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> ☐ TRL 7 - 실제환경 시작품 데모 단계 ☐ TRL 8 - 시작품 설치 및 성능시험 단계 ☐ TRL 9 - 현장적용/사업화 단계 </td> <td></td> </tr> </table> [최종 목표 TRL] ■ 4차년도 주요 연구목표는 도로시설물별 설계단계 개산 예측모델의 검증 및 최적화, 유지관리단계 개산 예측모델의 개발 및 검증, Cut-off 80% 충족을 위한 신규 LCI DB 구축 및 연계 표준화 모델 개발, 네트워크 기반의 복합 SOC 환경부하 평가시스템 개발을 완료하는 것임. 또한, 본 연구의 핵심성과인 도로시설물 환경부하 평가모델, LCI DB, 환경부하 평가시스템 등의 검증 및 평가를 위하여 실제 국도건설공사 설계 프로젝트를 대상으로 Test bed를 수행하고자 함	☐ TRL 1 - 이론적 연구단계 ☒ TRL 2 - 기술적 개념정립 단계 ☒ TRL 3 - 실험적 증명 단계 ☒ TRL 4 - 실험실 성능평가 단계 ☒ TRL 5 - 유사환경 시험 단계 ☒ TRL 6 - 유사환경 기술시험 단계	기초연구 단계 (1차년도) 실험 단계 (2·3차년도) 현재 TRL 최종 TRL 시작품 단계 (4차년도) 실용화 단계 사업화 단계	☐ TRL 7 - 실제환경 시작품 데모 단계 ☐ TRL 8 - 시작품 설치 및 성능시험 단계 ☐ TRL 9 - 현장적용/사업화 단계	
☐ TRL 1 - 이론적 연구단계 ☒ TRL 2 - 기술적 개념정립 단계 ☒ TRL 3 - 실험적 증명 단계 ☒ TRL 4 - 실험실 성능평가 단계 ☒ TRL 5 - 유사환경 시험 단계 ☒ TRL 6 - 유사환경 기술시험 단계	기초연구 단계 (1차년도) 실험 단계 (2·3차년도) 현재 TRL 최종 TRL 시작품 단계 (4차년도) 실용화 단계 사업화 단계				
☐ TRL 7 - 실제환경 시작품 데모 단계 ☐ TRL 8 - 시작품 설치 및 성능시험 단계 ☐ TRL 9 - 현장적용/사업화 단계					
세부 목표	○ (연구분야 1,2) 도로, 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널 환경부하 평가모델 개발 - 연구목표 : 통합 시스템 개발을 위한 도로, 교량(PSC교, 강교), NATM터널 설계단계 환경부하 평가모델 최적화 및 유지관리단계 모델구축, DB 표준화 및 알고리즘 최적화를 통해서 도로시설물 환경부하 평가 시스템 개발 지원함 - 설계단계 환경부하량 개산예측 모델 최적화 및 주요 기능개발 - 유지관리단계 환경부하량 개산 산정모델 개발 및 알고리즘 설계 - 전체 평가모델 검증 및 시스템 주요 기능 개발 지원 ○ (연구분야 3) LCI DB, 환경지표 연계한 네트워크 레벨의 SOC 시설물 환경부하 평가시스템 - 연구목표 : 환경정보표준체계 방법론을 준용하여 기획/설계/유지관리단계 LCI DB 및 연계 표준화 모델을 구축하고, 단계별 분석 시스템 프로세스 모델링을 구성함. 그리고, SOC시설물의 기획/설계/유지관리단계의 환경부하 평가시스템 개발하고 Test bed를 통해 검증함 - SOC 시설물 기획/설계 단계의 환경부하평가 Cut-off율 80% 충족 위한 LCI DB 구축 완료 - 유지관리 주요 공법의 환경부하량 평가를 위한 LCI DB 연계 실시 - 업체 조사를 통해 구축이 필요한 유지관리단계 LCI DB 구축 - SOC 시설물 단계별 프로토타입 및 프로세스 모델링 완성 - 기획/설계/유지관리단계 네트워크 레벨의 평가 시스템 Test Bed 적용/검증				

나. 연구목표 및 달성도

구 분		목 표	실 적	달성도(%)	비 고
국외 논문 게재	SCI	7	8	-	
	비SCI	-	-	-	
	계	7	8	114.3%	
국내 논문 게재	SCI	-	2	-	
	비SCI	16	14	-	
	계	16	16	100%	
특허 출원	국내	6	6	-	
	국외	-	-	-	
	계	6	6	100%	
특허 등록	국내	-	2	추가 실적	
	국외	-	-		
	계	-	2		
인력 양성	석사	-	7	추가 실적	
	박사	-	1		
	계	-	8		
기술 이전	계약 건수	1	6	600%	
	계약액	-	49.5백만원		
	징수액	-	49.5백만원		
국제 표준화	기고서 제출	-	-	-	
	기고서 채택	-	-	-	
	표준안 채택	-	-	-	
국내 표준화	기고서 제출	-	-	-	
	기고서 채택	-	-	-	
	표준안 채택 (국가LCI DB)	1	6	600%	
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문	-	-	-	
	연구시설·장비	-	-	-	
	기술요약정보	-	-	-	
	생명자원	생명정보	-	-	
		생물자원	-	-	
		신 품종	-	-	
	소프트웨어	5	5	100%	
기타	화학물	-	-	-	
	친환경성능지침	1	1	100%	
	시제품	-	-	-	
	성과 홍보	-	5	추가 실적	
	일자리 창출	-	-	-	

제 2 절 관련 분야 기여도

[기술적 측면]

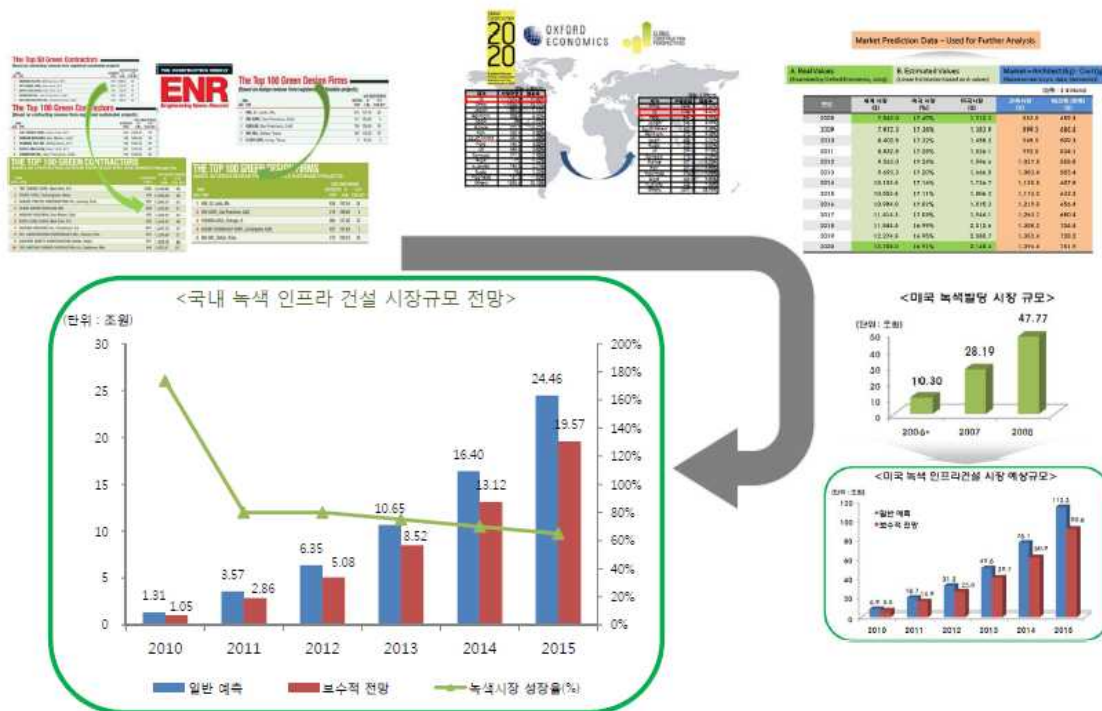
- SOC 시설물은 단위 시설물에 비해 주변 현황과 시설물을 고려하여 대단위로 설계, 시공되므로, 종합적으로 친환경성을 평가할 수 있는 체계적인 의사결정 방안을 개발할 수 있는 기반 확립이 가능함
- 주로 건설산업에서 일반적으로 사용하는 시설물 분류를 이용하여 단일 시설물을 선택하여 생애주기동안 발생하는 환경부하 평가가 대부분이었음. 하지만 SOC시설물은 다양한 구조물이 서로 결합된 하나의 네트워크 시스템으로 볼 수 있으며, 시스템 관점에서 환경부하를 평가하는 방법을 제공
- SOC 시설물에 대한 탄소저감 목표관리 체계가 부재하여 SOC 시설물의 에너지 및 탄소저감 목표관리를 지원할 수 있는 SOC 시설물의 환경성능 지표 개발 및 SOC 시설물 관련 LCI DB 구축 지원 기술개발과 SOC 친환경 인증제도 도입방안 발굴 전략 수립을 통해 기술·제도가 연계된 최적의 관리체계 구축이 기대됨
- 결집 자재에 대한 LCI DB 구축을 통해 환경부하 평가 시스템의 신뢰성을 향상시키고 국가 LCI DB 등록을 통해 국가 표준으로 활용할 수 있는 데이터베이스를 제공하고, 사회기반시설(도로, 교량(PSC교, 강교), 터널(NATM)) 환경부하 추정 소프트웨어 기술 활용 기반 확보
 - SOC 시설물의 기획/설계단계 시 정성적/정량적 평가를 위한 분석항목, 적용범위, 평가 지표 및 객관적 평가기준 제공(입찰안내서상 절차 및 평가기준 등)
 - 각 시설물별 모듈 DB를 활용하여 SOC 시설물별 단위당 적정 환경부하량 기준 제공으로 기존설계안 및 대안설계안의 환경성능을 평가하여 친환경 의사결정지원에 활용
 - 과거 유사 규모의 시설물에 대한 환경부하량을 근거로 환경부하 저감 목표치 설정을 통한 설계사의 환경부하 저감형 설계대안 개발 유도
 - 발주처의 신규사업 추진 시 환경부하량 저감 목표 기준 제시
 - 각 공종에 투입되는 건설자재의 환경부하 영향도에 대한 평가 자료 제시로 친환경 건설자재 개발 유도
- 철도, 건축물, 항만, 댐, 하천정비, 도시재생 등 건설부문 전반으로 적용대상을 확대하고 국외 수준의 신뢰성 확보와 건설부문에 적합한 LCI DB를 제공하기 위해서는 LCI DB 인벤토리와 연계표준 개발을 위한 향후 추가적인 연구 수행이 필요함

[경제적·산업적 측면]

- 건설사업이 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

- 2030년까지의 산업 부문별 온실가스 배출량을 전망한 결과, 건설업은 2030년까지 2.2%의 증가율을 나타낼 것으로 예상 (이지환, 「저탄소 녹색성장을 위한 우리나라 산업부문 온실가스 배출 현황 및 전망」, 2010)
- 2015년 건설업의 온실가스 목표관리 시행을 목표로 건설업 온실가스 저감 활동 유도 및 지원방안 마련, 국토부의 건물 및 교통부분에서 각각 8.34%, 2.07% 감축 목표 수립 (국가 온실가스 종합 정보센터)
- 녹색건설과 관련하여 향후 파급효과가 클 주요 녹색건설 상품으로 다음과 같은 항목이 부상할 것으로 전망되었음



[그림 4-2-1] 국내 녹색건설 인프라 시장 전망

(출처 : 녹색인프라 발전방향, 건설산업의 녹색건설시장 확대전략 세미나)

- 건물·도시 리모델링, 사회간접시설 녹색건설화, 폐기물 및 폐수처리시설, 노후화된 시설물 개선 시장 (한국 건설산업연구원, 「건설산업의 녹색건설시장 확대전략 세미나」, 2010)
- 녹색 인프라 구축, 건물 배출가스 제로도시, 한중 해저터널, 한일 해저터널 (한국 건설산업연구원, 「2020년 한국건설 산업의 주요 이슈 및 트렌드 예측 보고서」, 2011)
- 국내의 녹색건설시장은 탄소배출권시장, 신재생에너지시장, 그린 빌딩 시장을 중심으로 에너지와 빌딩에서 인프라 영역까지 확대되고 있으며 이에 대한 보다 적극적인 대응과 투자가 필요한 시점임

- 본 연구를 통해 환경부하 저감 및 에너지효율 향상 등 친환경 시장을 조성하고 핵심 주력 산업의 녹색화를 통한 부가가치 창출 효과 및 환경적 기대효과는 다음 표와 같음

[표 4-2-1] 환경적 기대효과 (출처: 녹색성장위원회)

구분	2012	2020	2030
부가가치창출액(백만원)	293,070	1,714,293	12,937,932
고용창출효과(명)	3,079	19,573	163,130
환경적 기대효과(백만 CO ₂ 톤)	0.3	1.0	2.0

[사회적 측면]

- 본 연구를 통해 건설분야의 탄소배출 및 환경부하, 에너지 소비를 줄이기 위하여 공공시설물 유형별, 공종별, 건설사업 단계별로 종합적인 환경부하 발생량에 대한 사전 평가 및 통제가 가능하여 자재생산, 설계, 건설, 유지관리, 폐기 등 전과정을 대상으로 에너지 및 자원의 절약, 오염물질의 배출감소, 쾌적성, 주변환경과의 조화 등 환경에 미치는 영향 최소화가 가능
- LCA기반의 ISO 환경부하 범주 중심의 종합적인 환경부하 평가모델 구축을 통해, 기존에 집중되어 있는 탄소배출량 외에 8가지 환경평가 범주, 즉 부영양화, 산성화 등 대기, 수질, 토양, 생태계에 영향을 미치는 다양한 환경오염물질 배출량 평가가 가능함
- SOC 시설물은 단위 시설물에 비해 주변 현황과 시설물을 고려하여 대단위로 설계, 시공되므로, 종합적으로 친환경성을 평가할 수 있는 체계적인 의사결정 방안의 개발이 필요함. 이에 건설사업 기획 및 설계 초기단계에서 신속하고 효율적으로 환경성을 평가하고 대안을 선정할 수 있도록 지원하는 의사결정도구의 마련이 시급함
- 본 연구개발 결과는 대형 개발 사업에서 친환경 공정선택을 위한 의사결정을 지원함으로써 궁극적으로 환경부하량을 감축하여 환경오염으로 인해 소요되는 사회적 기회비용을 감소시켜 지속가능한 성장에 일조할 수 있음
- 또한, 개발될 네트워크 기반의 환경부하량 평가시스템은 복합 SOC 시설물의 설계, 시공에 따른 환경오염 배출량을 계량화함으로써 건설관련 전 산업의 친환경 기술개선 및 관련 업계의 성장에 기여할 수 있을 것으로 기대됨

제 5 장 연구개발성과의 활용계획

- 사업수행 단계별 환경부하량 산정 절차 및 환경부하 관리 프로세스와 역할분담을 규정하는 지침서와 개산 환경부하량 산정 기초자료에 관한 데이터베이스로 활용
 - SOC 시설물의 기획/설계단계서 정성적/정량적 평가를 위한 분석항목, 적용범위, 평가 지표 및 객관적 평가 기준 제공
 - 환경부하량 평가지침 및 데이터베이스 구축 가이드라인 제공
 - 데이터베이스로 구축한 기존의 사회기반시설(도로, 교량, 터널)과 유사한 신규 프로젝트의 기획 및 기본설계, 실시설계 초기단계에서 신뢰성 있는 환경부하량 평가를 위한 기초자료 제공
- 본 연구개발의 성과물을 통해 대형 개발사업의 사전설계 단계부터 환경성을 평가할 수 있는 도구로 활용
 - 건설사업의 기획단계에서부터 객관적인 환경성 평가 솔루션을 제시하고, 개발 시스템을 발주처, 설계사, 시공사 등 의사결정 지원을 위해 실무자들이 직접 활용 가능하도록 보급
- 본 연구에서 개발된 건설사업의 기획, 설계, 유지관리단계에서의 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 활용하여 과거 유사 규모의 시설물에 대한 환경부하량을 근거로 환경부하 저감 목표치 설정을 통한 설계사의 환경부하 저감형 설계대안 개발을 유도하고, SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 국가 통합 목표 관리에 정책적으로 활용
 - 시공사 측면에서는 신규 사업의 타당성 분석 및 대안 평가 등의 업무에 활용하기 위하여 내부 사업실행 실적의 데이터베이스화에 필요한 기초모델로 활용
 - 설계사는 시설물별 환경부하 평가모듈을 이용하여 SOC 시설물별 단위당 적정 환경부하량 기준을 통한 기존설계안 및 대안설계안의 환경성능을 평가하여 환경부하를 저감할 수 있는 설계대안 개발에 활용하고, 네트워크 평가모듈을 이용하여 도로사업의 기획 및 기본설계 등 설계초기단계에서 환경부하를 최소화하는 노선 선정에 활용
- 또한 사전타당성 검토, 환경영향평가 등과 연계한 환경평가지표를 개발하여 멀티 환경성 평가 시스템을 구축함으로써, 사용자가 각종 설계 대안에 대한 환경성 평가 시 활용
 - 실제 도로사업을 대상으로 환경부하 평가모델과 시스템 검증(Test-bed)을 실시함으로써 본 연구결과물의 신뢰성을 향상시키고, 성과보급 및 상용화할 계획
- 본 연구를 통해 개발된 SOC시설물의 LCI DB 표준화 모델 및 연계시스템은 SOC 시설물의 표준 공종 code 및 통합 LCI DB 연계를 통해 국가차원에서의 건설사업 통합 LCI DB 연계 및 관리 가능
 - 환경부, 지식경제부 등 국가차원에서의 SOC시설물에 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 선정하는 데 의사결정 기준으로 활용

- 결집 자재에 대한 LCI DB를 신규로 구축하여, 환경부하 평가 시스템의 신뢰성을 향상시키고 이를 국가 LCI DB(現, 한국환경산업기술원 운영)로 등록하여 토목시설물의 LCA분석을 위한 국가 표준으로 활용할 수 있는 데이터베이스를 제공

- 본 연구성과의 실용화 및 상용화를 위하여, 평가알고리즘/모델 특허, S/W 등록, 기술실시계약 등을 통한 지적재산권 확보 및 최종성과물의 실용화 계획을 수립하여 기술사업화 실시

- 본 연구의 핵심성과인 환경부하 평가시스템은 환경부하 평가 및 정보시스템 분야의 전문가 검증 및 신규 SOC 시설물을 대상으로 한 Test bed 적용 및 분석을 통하여 시스템의 신뢰성을 확보하고 사용자 편의성 개선

- 시스템 시연회를 실시하여 전문가 및 사용자의 의견수렴하여 신뢰도 검증, UI개선, 시스템 보완

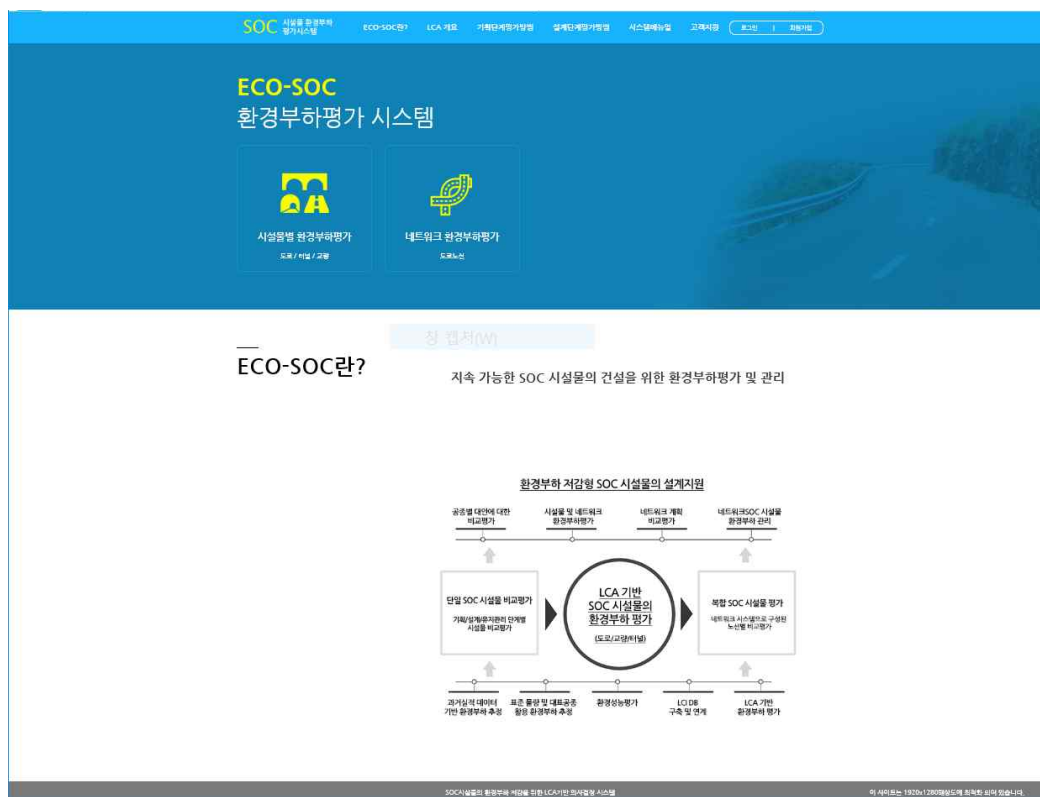
- 환경부하 평가 모델, 개발 시스템 및 LCI DB에 대한 검증 및 평가는 Test-Bed를 실시하여 적용성 평가

- 제품화 계획

- 제품명 : SOC 시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA기반 환경부하 평가 시스템

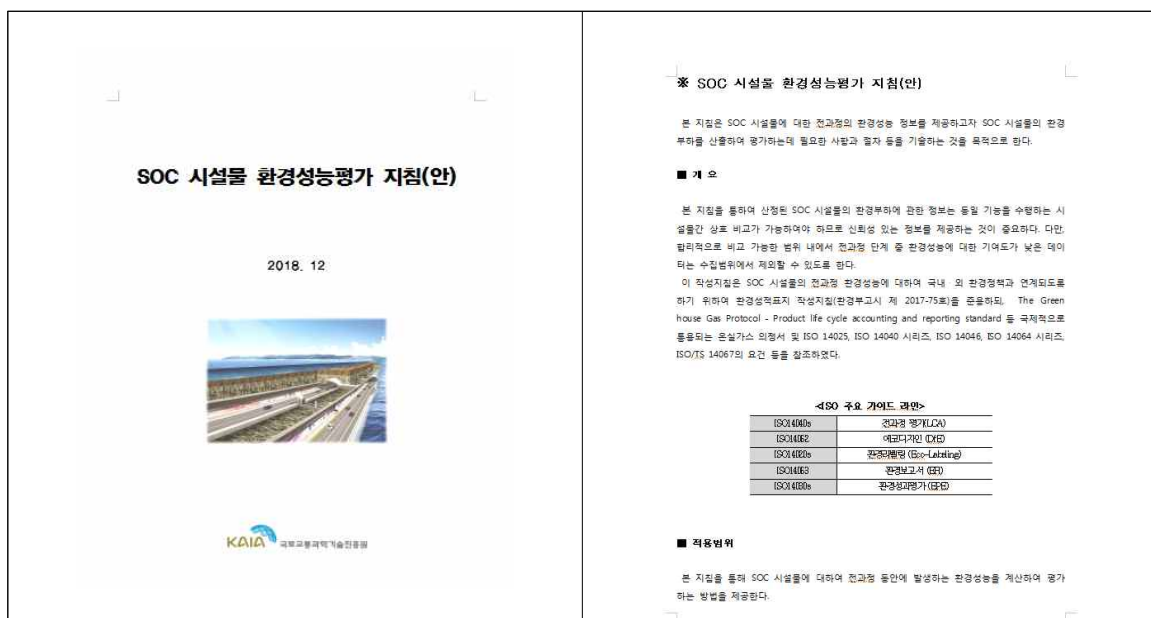
- 시범운영 기간 동안 홍보와 병행하여 회원가입 유도

- 회원을 대상으로 시범운영기간 경과 후 2020년부터 시스템 사용 유료화



[그림 5-1-1] ECO-SOC 환경부하 평가 시스템

- 도로 건설사업뿐만 아니라 환경부하 평가의 저변확대를 위해 SOC 사업 전반에 대한 환경부하 평가실시에 대한 제도화 및 DB 확충 방안 등의 정책 제언활동 추진
 - 사업초기 단계에서 경제성 평가에만 초점을 둔 기존의 사업 타당성 검토 방식에서 벗어나 기존 요소기술 평가를 위한 경제성 평가 방법론의 한계를 보완할 수 있는 사회, 환경적 요소를 결합한 새로운 평가 틀의 개선/구축 필요성을 홍보
 - SOC 건설사업에서의 환경부하 평가 확대를 위한 법/제도/정책 개선을 위해 관련 법/제도/정책 인프라 분석 및 문제점을 도출하고, 이해관계자의 요구사항 및 개선 수요조사 등을 진행
 - 관련부처/기술수요처/사용자 요구개선 방안 검토와 전문가 공청회 등을 통하여 해당 전문가들의 의견을 수렴하고 테스트베드 적용 결과 피드백을 통하여 개선안을 수정, 보완하여 최종적으로 해당부처, 지자체 등 대상으로 제도화 및 DB 확충에 대한 정책 제언 활동 지속적으로 추진
- 본 과제의 연구성과물인 “SOC 시설물 환경성능평가 지침(안)”을 활용하여 환경부하량을 산정하는데 필요한 사항과 절차 등을 제도/정책개선에 활용
 - 해당 지침을 통해 SOC 시설물의 전과정 환경성능에 대하여 국내·외 환경정책과 연계하고 환경성적표지 작성지침(환경부고시 제 2017-75호)을 준용하였으며, The Green house Gas Protocol - Product life cycle accounting and reporting standard 등 국제적으로 통용되는 온실가스 의정서, ISO 14025, ISO 14040 시리즈, ISO 14046, ISO 14064 시리즈, ISO/TS 14067의 요건 등을 참조하여 작성
 - 전생애 단계별로 환경부하량 추정방법, 데이터 수집방법, 투입자재 및 에너지 소비량 산정 기준을 제공하고 분석 신뢰도에 영향을 주는 cut-off 수준 명시



<그림 5-1-2> SOC 시설물 환경성능평가지침(안) 활용예(계속)

<표 5-1-1> 환경부하 평가를 위한 RFP 요구사항(예시)

(1) 분석방법의 적정성	① 평가범위 경계설정의 적정성 ② 환경부하 추정 방법의 적정성 ③ 투입자재량 산정의 적정성 ④ 장비사용에 따른 에너지 소비량 산정의 적정성
(3) 신뢰수준의 적정성	① 생애주기를 고려한 환경부하평가 산정 (건설단계/유지관리단계) ② 연결된 자재의 LCI DB의 신뢰수준 적정성 ③ 제외기준(Cut-off) 수준의 신뢰도(%) ④ 투입물질의 단위변환 신뢰수준 적정성
(3) 결과해석의 적정성	① 주요 범주별 특성화/가중화 결과 해석 ② 시설물별(주요공종) 산출결과 해석의 적정성 ③ 네트워크 기반의 산출결과 해석의 적정성 (시설물 조합에 따른 원안/대안의 평가)
(4) 효과분석의 적정성	① 원안 대비 환경부하 저감 효과 ② 시설물별 원단위 환경부하평가 제시 (연장당, 면적당, 기존사례 대비 백분위) ③ 친환경 설계계를 통한 환경비용 절감 효과

KFE 제6장 평가에 관한 사항 (5) 설계평가지표 및 배점기준표			○ 행정지원 요구사항 - 제안자는 본 민간투자사업의 추진과 관련하여 인·허가 등 정부(지자체 포함)의 제정투입을 요하지 않는 지원요구사항이 있는 경우에 가능한 구체적으로 구분하여 기술하여야 함.	
전문분야 (가중치)	세부평가항목	배점	○ 저탄소 녹색성장의 향상방안 - 친환경 공법 선정 : 하수관로정비공사와 관련된 공법 중 환경에 미치는 악영향을 최소화 할 수 있는 공법선정 제시 - 친환경 자재선정 : 자재의 LCC/LCA분석을 통해 생산단계에서 이산화탄소 발생량이 적은 자재를 선정하고, “친환경상품의 구매촉진에 관한 법률”에 따른 구매계획을 제시하며, 제시된 제품이 친환경 상품임을 입증할 수 있는 자료를 부속서류에 첨부함. - 폐기물발생 최소화 : 건설기간 중 발생할 수 있는 폐기물의 양을 최소화 하고 효과적으로 처리할 수 있는 방안을 제시	
	가. 계획성	40		
	① 기본계획 대비 지구별 추가 저수량 이상 확보계획, 확보방법의 적정성			
	② 주요시설물(댐, 어수토방수로, 취수시설 등)의 형식, 규모, 기능 설정 및 배치 계획의 적정성			
	③ 기초자료 분석 및 설계기준 적용의 적정성			
	④ 설계의 적정성 등 검토(VF) 내용 및 설계반영의 적정성			
	⑤ 공종별 신기술·신공법 적용의 적정성			
	나. 유지관리성	20		
	① 시설물의 운영·보수·관리 등 유지관리계획의 적정성			
	② 시설물 생애주기비용(LCC) 및 LCA(전과정평가) 등을 고려한 설계 적정성			
농어업토목 (40%)	유지관리비 절감을 위한 시설계획의 적정성			
	③ 공사기간 중 농수공업 대책의 적정성			
	④ 준공 후 농업용수와 하천유지용수 공급 계획의 적정성(저수지 물관리, 운영관리 적정성)			
	다. 시공성	20		
	① 주요 공종별 공정·시공 및 품질 계획의 적정성 (시공 중 농업용수 공급계획 포함)			
	② 주요공종 공법선정의 적정성 및 시공 용이성			
	③ 주요 자재, 건설장비 선정의 적정성			
	④ 공사중 예상되는 문제점(홍수 등)에 대한 대처방안 적정성			
	라. 안전성	10		
	① 설계홍수량에 대비한 시설물의 규모의 적정성			
토질 및 기초 (15%)	② 상·하류 영향 검토 및 대책의 적정성			
	③ 시설물 안전관리계획 및 공사 전, 중, 후 안전관리대책 수립의 적정성			
	마. 기타	10		
	① 지역업체 참여 확대 및 지역장비 활용계획 등 지역경제 활성화 기여도			
	② 사업 수행할 때 문제점 분석 및 대응방안 수립의 적정성			
	③ 저수지 주변 및 지역개발 계획과의 연계성(이주단지 개발 등)			
	소 계	100		
	가. 계획성	30		
	① 지반특성 및 수리특성을 고려한 주요시설물의 위치, 기초형식 등의 선정에 대한 적정성			
	② 주요구조물 기초처리의 계획 및 연약지반 처리대책의 적정성			
	③ 토질특성 분석 및 설계정수 산정의 적정성			
	나. 시공성	20		
	① 주요 시설물(댐, 도로), 기초지반 시공계획의 적정성			
	② 다짐 등 시공계획의 적정성			
	다. 안전성	30		
	① 주요시설물 기초 안정성 검토 및 기초지반 처리의 적정성			
	② 유수전환시설(가배수시설, 가물막이), 주요 절·성토 사면의 안정성 검토의 적정성			
	③ 호안, 비탈면 보호대책 및 세굴방지대책의 적정성			
	④ 내진 등을 고려한 시설물 안전성 확보 방안 적정성			
	라. 기타	20		
	① 재료원별 매질량, 매질위치 선정의 적정성			
	② 침투수 등을 고려한 가물막이 계획 및 안정성 검토의 적정성			
	소 계	100		

제3장 사업관리 및 운영계획

제1절 시설운영계획

- 시설안전관리계획은 시설의 운영시 발생할 수 있는 각종 사고에 대비한 긴급재난대책을 수립하여 제출함.
- 환경친화적 운영계획은 시설에서의 폐기물 운반 및 처리계획, 대기 및 악취처리계획, 소음 및 진동처리계획을 제출함.
- 시설운영계획의 적정성은 시설에 대한 효율적·창의적 운영방안을 기술하며, 시설물별 운영방법, 유입 및 방류 보증치 관리계획, 원가절감계획, 물품 장비투입계획 등을 수립함
- 연도별 운영비용 예산 투입계획에 대하여는 세부항목으로 구분하여 작성하고 산출근거 및 관련자료 등을 첨부하여 제출하여야 함
- 운영비용 산정의 적정성과 경제성을 판단할 수 있는 객관적인 자료를 작성하여 제출함

[그림 5-1-3] 환경부하 평가관련 기준(사례)

[사업화 계획]

- 기술실시계약을 체결한 기업(1차 참여기업, 2차 전문용역기업)이 도로건설 사업을 대상으로 환경부하 평가용역 수행, 환경부하 평가시스템의 서비스가 본격적으로 개시되는 2020년부터 사업화 기업을 대상으로 기술적인 지원 수행
- 참여기업인 (주)디엠씨엠에서 ECO-SOC 시스템의 서버 운영 및 유지보수를 주관하여 담당하고, 시범운영 기간 동안 사용자 의견수렴을 통해 시스템 점검/보완을 추진 예정. 그 외 기술 이전 기업은 개발시스템의 통상실시권을 허여하고, 평가모델, 표준물량 및 자원 DB, LCI DB 인벤토리에 대한 유지보수는 개발한 기관에서 지원하고자 함
- 참여기업인 (주)디엠씨엠, (주)평화엔지니어링, 그리고 제3자 기업은 SOC시설물 환경부하 평가 시스템을 활용하여 환경부하 의사결정 컨설팅 및 기타 용역을 수행하여 시범운영 기간인 2019년 매출 5.0억원, 본격 사업화 단계인 2020년 매출 10.0억원 목표로 사업화 추진함
- 최근 발주기관(공공기관 및 지자체)에서 제시하고 있는 입찰안내서에는 환경부하 평가(LCA)를 고려한 친환경 설계 유도 및 평가 적정성 확보를 요구하고 있으며 이에 따라 개발 시스템을 활용한 컨설턴트 및 기술용역 실시로 사업화 실시
- 건설사업에 필요한 LCI DB 결핍으로 현재 국내에서 사용중인 평가 프로그램은 SOC 사업 분석에 맞지 않는 실정으로 신규 DB 개발 및 추가를 통한 시스템 실용화 및 상용화. 시공사, 설계사 등을 대상으로 의사결정에 지원가능 한 대안별 평가 레포트 제공으로 환경부하 평가 기술 컨설턴트 실시
- 건설공사에 사용 가능한 국내 LCI DB는 한계가 있으므로 기 구축되어 있는 국외 DB들을 국내 환경에서 적용 가능하도록 하고, 철도, 건축물, 항만, 댐, 하천정비, 도시재생 등 건설부문 전반으로 적용대상을 확대하고 건설부문에 적합한 LCI DB 개발을 위한 후속 연구추진



[그림 5-1-4] 연구성과(ECO-SOC 환경부하 평가시스템) 활용 및 실용화/사업화 추진 계획

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

- LCI DB는 제품에 대한 전과정평가를 수행하는 기초데이터로, 해외에서 개발되어 활용되고 있는 LCI DB는 아래와 같음

[표6-1-1] 국가별 LCI DB

국가	DB 명칭	지역적 경계	비용
EU	European LCD (ELCD)	유럽	무료
스위스	Ecoinvent	전세계	유료
덴마크	EDIP	덴마크	유료
	LCA food		
네덜란드	IVAM LCA Data	네덜란드	유료
호주	The Austrlian Life Cycle Inventory Database Initiative	호주	무료
캐나다	Canadian Raw Materials Database	캐나다	무료
미국	U.S. Life Cucle Inventory Database	미국	무료

*출처 : 환경성적표지인증 <http://www.epd.or.kr/lci/internationalDb>

- ELCD(European reference Life Cycle Database)는 EU국가를 중심으로 주요 자재, 에너지 사용, 운송 및 폐기물 분야에 대한 LCI DB를 제공하고 있으며, 각 지역 전문협회 등을 통해 무료로 배포하였음 (<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD>). 해당 DB는 ISO 14040 및 14044 Series을 준용하여 개발되었으며, 환경배출물 및 자원소모를 중심으로 구성되어 있음. XML 언어를 기반으로 XSL, XSLT, Schema 형식으로 되어있으며 엑셀로 전환이 가능하고, BRE EnvPro DB, CMLCA, Ecoinvent, EDIP, EIME, eVerdEE, DIM, GaBi, KCL-ECO, LCA Evaluator, LEGEP, MIPS, openLCA, Sabento, SimaPro, Sirii/SPINE, TEAM/DEAM, trainEE, UMBERTO 등의 프로그램 및 DB와 호환이 가능함. 그러나 2018년 6월말 ELCD는 DB의 제공을 중단하였음. 현재는 개별 DB 제작자가 자체 node를 구축하여 DB를 관리하고 있으며, 현재 EU의 연구 프로젝트에서 개발된 LCI DB 중 일부만을 공유할 수 있음 (<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN>)
- 스위스에서 개발된 Ecoinvent는 비영리를 목적으로 수천개의 자재에 대해서 환경에 미치는 영향을 체계적으로 문서화하여 제공하고 있음. 전문 연구기관 및 LCA 컨설턴트의 자문을 통해 국제적으로 LCI DB를 공급하고 있으며, 온라인을 통해 DB의 이용이 가능함
- SimaPro, Umberto, Gabi, OpenLCA, Regis, EMIS, QUANTIS SUITE 2.0, iPOINT Compliance, AMEEdiscove 등에서 사용하고 있으며, DB format은 XML 언어를 기반으로 XSL, XSLT, Schema 기술이 적용되었음. 또한 ISO/TS 14048 series 규정을 준수하여 작성되었고, 대부분의 LCA 소프트웨어 tool과 호환이 가능하며, 편집 tool을 통해 DB 형식의 변경이 가능함. 2018년 8월 기준 23째 Version인 3.5 Ver.이 배포되었음. 최신 version의 DB에는 농업, 어업, 폐기물 처리, 알루미늄, 무연탄, 펄프, 골판지(containerboard) 등에 대한 DB가 업데이트 되었고, 5개 sector에 걸쳐 2,000개 이상의 새로운 Data Set이 보완되었음

○ 이 중 본 과제의 SOC 시설물의 환경부하 평가에 활용 가능한 ecoinvent DB의 3.5 Ver. 업데이트 내용을 요약하면 다음과 같음

- 펄프생산, 골판지 DB : 유럽 펄프협회 및 건축자재 협회에서 수집된 황산염 펄프(sulfate pulp), 골판지(corrugated board) 생산 공정 추가
- 알루미늄 DB : 국제 알루미늄 협회에서 제공하는 1,2차 알루미늄 생산 및 전기생산 공정 추가
- 폐기물 처리 DB : 비위생 매립지, 소각, 매립 등 150여개의 새로운 폐기물 처리 공정 확대. 37개 유럽 국가의 도시고형 폐기물에 대한 DB 보완
- 무연탄 DB : 전세계 95% 이상의 무연탄 제조회사의 DB를 수집하여 제공. 인도와 남아프리카의 석탄 광산에 대한 자료가 보완되었고, 주요 배출물(emissions) 자료를 업데이트하여 제공
- 전기 DB : 전세계에서 통계적으로 대표성을 가지는 발전량의 100%를 커버할 수 있고, 142개 국가의 DB를 포함하고 있음. 국가배출량, 지역배출량에 대한 현사용량 및 전망치에 대한 분석 가능. 태양광 집열장치 등 새로운 DB 추가



© ecoinvent / 2018
activity overview for ecoinvent database
version 3.5, August 2018
system model Undefined

The activity overview lists basic information about datasets.
Each line represents an output to technosphere. Multifunctional datasets will therefore appear more than once.

Meaning of the fields in the "activity overview" tab

activity related information

activity uid	Identifier for the dataset.
activity name	Name of the activity. The same activity name often appear in many different geographies
geography	Dataset representative of this geography (abbreviation). See the tab "geographies" for long names and exhaustive list.
time period	Datasets are classified according to the type of activity they model.
ISIC number	Datasets are classified according to the type of activity they model.
special activity type	Activities can be ordinary transforming activity, market activity, import activity or market group.
inherence status	Datasets can be a parent, a child, or none of the above.
tags	Additional information entered by the data provider
technology level	Technologies can be Undefined, New, Modern, Current, Old or Outdated. This information is used in determining the marginal process in the Substitution.
constrained market	Markets can be constrained or unconstrained. This information is required in the Substitution, consequential, long-term linking algorithm.

product related information

group	Outputs to technosphere are classified in one of two groups: ReferenceProduct or ByProduct.
product name	Each product has a unique name, independent of the dataset producing it.
CPC number	Products are classified according to their product name.
CPC description	Products are classified according to their product name.
unit	Unit of the product listed
APOS classification	The Allocation at the point of substitution linking algorithm treats material for treatment (mft) and non-mft differently.
cut-off classification	The Allocation, cut-off by classification linking algorithm treats allocatable products, wastes and recyclables differently.

Other tabs

geographies	List of long name and abbreviation for all geographical entities included in the database
elementary exchanges	List of the name, compartment and subcompartment of all elementary exchanges included in the database (aka. emissions and resources)
compartments	List of compartment and subcompartments in which elementary exchanges can be taken from or emitted in
intermediate exchanges	List of all the intermediate exchanges (aka. products and services) produced and consumed by datasets in the database

For more detailed information, please contact ecoinvent at support@ecoinvent.org

	A	B	C	D	E
	activity uid	activity name	geography	time period	ISIC
1	2178	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of wood ash mixture, pure, landfarming	Europe without SE	2000-2005
2	2179	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	market for waste polyethylene	EU	2010-2015
3	2180	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	electricity, high voltage, import from RO	EU	2010-2015
4	2181	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	membrane filtration, for membrane filtration	EU	2010-2015
5	2182	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	membrane filtration, for membrane filtration	EU	2010-2015
6	2183	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of tailwater to estuary	EU	1990-1995
7	2184	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of tailwater to estuary	EU	1990-1995
8	2185	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of tailwater to estuary	EU	1990-1995
9	2186	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
10	2187	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
11	2188	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
12	2189	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
13	2190	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
14	2191	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
15	2192	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
16	2193	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
17	2194	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
18	2195	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
19	2196	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	treatment of used wooden pulp sealer	EU	2010-2015
20	2197	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
21	2198	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
22	2199	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
23	2200	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
24	2201	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
25	2202	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
26	2203	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
27	2204	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
28	2205	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
29	2206	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
30	2207	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
31	2208	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
32	2209	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
33	2210	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
34	2211	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
35	2212	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
36	2213	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
37	2214	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
38	2215	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
39	2216	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
40	2217	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
41	2218	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
42	2219	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
43	2220	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
44	2221	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
45	2222	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
46	2223	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
47	2224	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
48	2225	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
49	2226	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
50	2227	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
51	2228	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
52	2229	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
53	2230	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
54	2231	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
55	2232	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
56	2233	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
57	2234	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
58	2235	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
59	2236	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
60	2237	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
61	2238	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
62	2239	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
63	2240	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
64	2241	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
65	2242	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
66	2243	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
67	2244	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
68	2245	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
69	2246	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
70	2247	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
71	2248	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
72	2249	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
73	2250	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
74	2251	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
75	2252	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
76	2253	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
77	2254	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
78	2255	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
79	2256	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
80	2257	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
81	2258	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
82	2259	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
83	2260	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
84	2261	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
85	2262	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
86	2263	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
87	2264	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
88	2265	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
89	2266	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
90	2267	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
91	2268	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
92	2269	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
93	2270	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
94	2271	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
95	2272	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
96	2273	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
97	2274	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
98	2275	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
99	2276	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013
100	2277	50d4d4f1-64f1-48b6-85d6-51f9b6c4d1	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	EU	2009-2013

[그림 6-1-1] ecoinvent Version 3.5 (2018.8) (출처: <https://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-35>)

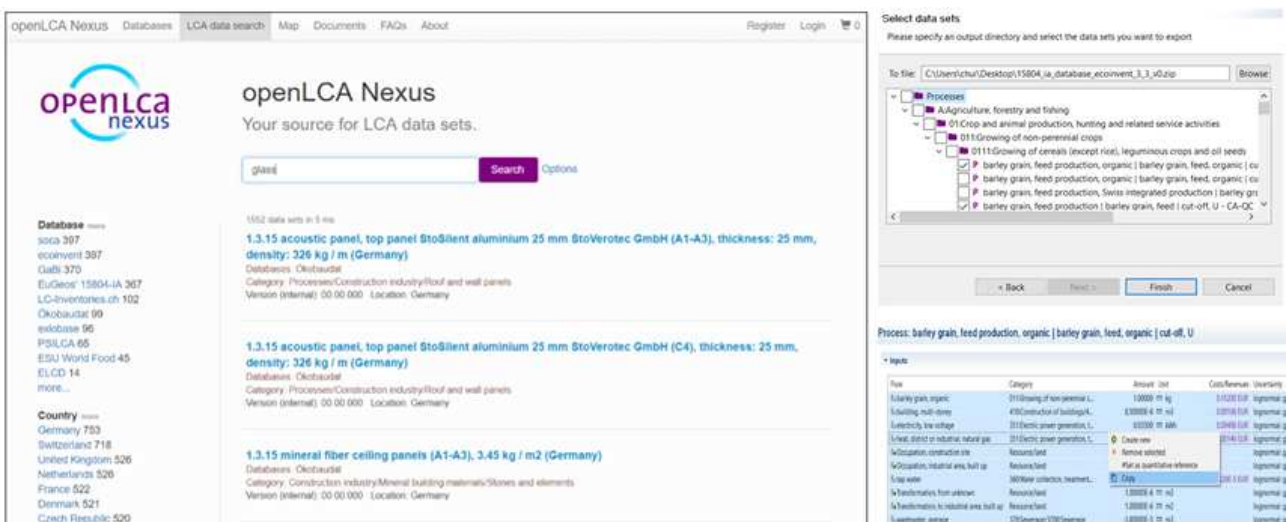
○ 상기에 제시한 바와 같이 Ecoinvent와 같은 LCI DB는 시판용 program 외에도 open source software에 이용되고 있음

○ 이 중 가장 활용빈도가 높은 OpenLCA는 2006년 GreenDelta에 의해 개발되어 환경부하평가 및 지속가능성평가에 활용되고 있음. 별도의 수수료 없이 사용가능하며, source code가 개방되어 있어 누구나 변환하여 사용할 수 있음

○ OpenLCA는 환경을 고려한 다양한 평가 과정에 활용되고 있으며, 2017년 11월 1.7.0 Version으로 업데이트되어 제공되고 있음(www.openLCA.org)

- LCA, Life Cycle Costing (LCC), Social Life Cycle Assessment (S-LCA)

- Carbon & water footprints
 - Environmental Product Declaration (EPD)
 - United States Environmental Protection Agency (EPA)
 - Design for the Environment label
 - Integrated Product Policy (IPP)
- 이 프로그램에는 LCA data source로 115,000개의 data set이 활용되고 있고, 관련 DB는 openLCA Nexus website (<https://nexus.openlca.org>)에서 이용 가능함. 여기서 사용하고 있는 LCI DB는 Ecoinvent DB(ecoinvent centre), GaBi DB(PE International) 및 ELCD DB(EU의 Joint Research Centre)와 같은 세계 최고 수준의 LCI DB를 변환하여 활용하고 있음
- OpenLCA의 Nexus에서 제공하는 DB는 쉽게 호환이 가능하며, 웹사이트를 통해 관련 data set 및 참조 data를 검색할 수 있음. 검색 엔진을 통해 데이터 공급자, 위치, 범주, 가격 및 유효 연도별로 DB를 분류할 수 있으며, 이를 통해 필요한 LCA 데이터를 쉽게 선택할 수 있음
- Ecoinvent 외 NREL과 같은 EcoSpold 1 format의 DB, GaBi에서 사용되고 있는 모든 DB, Social Hot Spots에서 사용되는 DB 등을 검색하여 사용할 수 있으며, EcoSpold또는 ILPD형식의 DB는 OpenLCA에서 별도와 변환과정 없이 적용이 가능함
- 뿐만 아니라 Ecoinvent는 OpenLCA 변환 소프트웨어, 혹은 매크로와 같은 간단한 도구를 사용하여 적절한 형식으로 DB를 변환하여 사용이 가능함. 그러나 source가 다른 여러 LCI DB에서 복수의 DB를 가져오거나, 특정 LCIA방법을 사용하여 분석하기 위해서는 수차례의 변환 과정이 필요함. 관련 DB의 변환 및 데이터 관리도 해당 웹사이트에서 가능함



[그림 6-1-2] openLCA Nexus의 DB 검색 엔진 및 DB 변환 Tool

제 7 장 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		◎
결정 사유	본 연구개발사업은 <국토교통부소관 연구개발사업 운영규정> 제7장 연구개발사업의 보안 및 정보관리, 제47조의 4(보안등급 분류기준)에 명시된 보안등급 분류에 따라 일반과제로 구분됨	

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

○ 해당사항 없음

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적

가. 연구실 안전관리 개요

○ 연구실 안전사고를 예방하고 연구실의 안전성을 확보하고자 연구실안전관리규정에 의거 연구실 정기점검 및 정밀안전진단 실시, 연구활동 종사자의 교육 및 검진을 통한 안전성 확보, 사고 발생시 초동대응을 통한 인적, 물적 피해를 최소화 하고자함

나. 연구실 안전관리 조직 및 담당업무

구 분	담당 업무
총장 및 계열 부총장	연구실 안전관리 총괄
연구환경안전관리자 (종합안전관리운영실)	- 연구(실험)실 안전관리 총괄 관리 - 연구활동종사자 안전교육 운영 관리 - 상시 연구활동종사자 건강검진 진행 - 연구(실험)실 안전점검 진행 (정기점검, 정밀안전진단) - 관련법, 안전수칙 교육 및 홍보 - 법 이행사항 보고 외부 점검 수행
계열 연구환경담당자 / 학과담당자	- 계열 연구(실험)실 안전관리 관리 - 연구활동종사자 안전교육 홍보 및 이수현황 관리 - 상시 연구활동종사자 건강검진 홍보 및 현황 관리 - 연구(실험)실 안전점검 관리(정기점검, 정밀안전진단) - 관련법, 안전수칙 교육 및 지도 - 각종 폐기물 처리 지침 준수 및 교육
연구실안전관리자 (정,부)	- 연구(실험)실 실별 안전관리 총괄 관리 - 연구활동종사자 안전교육 홍보 및 이수현황 관리 - 상시 연구활동종사자 건강검진 홍보 및 현황 관리 - 연구(실험)실 안전점검 대비 일지 작성 - 관련법, 안전수칙 교육 및 지도 - 각종 폐기물 처리 지침 준수 및 교육 - 위험물 및 유해인자별 MSDS 비치 및 교육 - 각종 폐기물 처리 지침 준수 및 교육
(상시)연구활동종사자	- 연구실 안전교육 및 건강검진 참여 - 연구(실험)실 안전점검 실시 - 각종 폐기물 처리 지침 준수 폐기 - 위험물 및 유해인자별 MSDS 확인 후 실험

다. 연구실 안전관리

(1) 위험도에 따른 연구실 등급 관리

- A등급 : 가연성가스, 인화성 시약, 유해화학물질, 다량의 폐액배출, 독극물, 생물 및 동물, 방사성 동위원소, 위험성이 높은 기계장비가 설치된 실험실
- B등급 : 일반시약, 소규모 인화성 시약, 불연성가스, 소량의 폐수발생실험실
- C등급 : 이화학실험을 수행하지 않는 전기, 설계, 컴퓨터 관련 실험실

(2) 연구실 정기점검 및 정밀안전진단

- 일 상 점 검 : 연구실안전관리자 책임하에 일일 및 월별 점검 실시하여 특이사항 종합안전관리운영실로 보고
- 정 기 점 검 : 연구실 등급에 따라 종합안전관리운영실 주관하에 교내 전체 연구실에 대한 안전점검을 실시하여 문제점 개선 조치(1회/년)
- 정밀안전진단 : 외부 전문기관에 의뢰하여 교내 위험등급 A, B등급 연구실에 대하여 정밀안전진단을 실시하고 문제점 도출 및 개선 조치(1회/년)

(3) 연구실 안전교육

- 관 련 근 거 : 연구실안전환경 조성에 관한 법률 제18조 및 연구실안전관리규정 18조(안전교육)에 의거 교내 연구활동종사자에 대하여 교육 실시
- 교 육 대 상 : 과학기술분야 학과(부)생 및 대학원생, 위험등급 A, B등급 연구실에 상시 근무하는 대학원 수료생 및 연구원
- 교 육 방 법 : 재학생(학부생, 대학원생)은 일괄 등록되며, 위험등급 A, B등급 상시 연구활동종사자의 경우 학과에서 취합 후 종합안전관리운영실로 대상 인원 제출
- 교육 이수시간 : 학기당 6시간, 연간 12시간 이수해야 하며, 이수증 연구실 앞 게시

구분	교육 대상	시간	교육 내용
정기	(상시)연구활동종사자	6시간이상 /학기	• 연구실 안전환경 조성 법령에 관한 사항 • 연구실내 유해·위험요인에 관한 사항 • 안전한 연구개발 활동에 관한 사항 • 물질보건 안전자료에 관한 사항 • 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항
특별	중대사고 및 필요시 (상시) 연구활동종사자	2시간이상	• 연구실내 유해·위험 요인에 관한 사항 • 안전한 연구개발 활동에 관한 사항 • 물질안전보건자료에 관한 사항 • 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항

(4) 연구실 건강검진

- 관련 근거 : 연구실안전환경 조성에 관한 법률 시행규칙 제10조, 연구실안전관리규정 21조(건강검진)
- 검진 대상 : 위험등급 A, B등급 연구실에 상주하는 상시연구활동종사자
- 검진 방법 : 위험등급 A, B등급 연구실 유해인자에 따른 상시 연구활동종사자 특수 검진 실시(매년)

(5) 연구실 안전 보험

- 관련 근거 : 연구실안전환경 조성에 관한 법률 제14조, 연구실안전관리규정 20조(보험가입)
- 보험 대상 : 과학기술분야 학과(부)생 및 대학원생, 위험등급 A, B등급 연구실에 상시 근무하는 대학원 수료생 및 연구원
- 보험 보상 한도
 - 상해사망 : 1인당 1억원
 - 상해, 후유장애 : 1인당 1억원 한도로 장애등급별 정액 보상
 - 부상 : 1인당 1천만원 한도로 상해등급별 정액 및 실손 보상
- 보험 청구 절차 : 연구실안전관리자가 연구활동종사자에 대한 사고경위서 및 보험청구서를 작성하여 종합안전관리운영실로 제출하며, 종합안전관리운영실에서는 사고 경위 및 피해 상황을 검토하여 보험금 청구 및 안전조치 이행

라. 2018년 연구실안전관리 이행 계획

- 연구실 위험등급별 조정 및 조정에 따른 환경 개선 조치
- 연구실 환경개선공사 실시
- 연구실 정밀안전진단 실시
- 계열별 안전용품 수요조사를 실시하여 위험요소에 따른 안전용품 지급
- 안전교육 우수학과 안전용품 포상
- 연구실 실내 공기질 측정 및 안전조치 시행

마. 유전자변형생물체(LMO) 연구시설 및 수입 신고 현황(해당사항 없음)

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

연번	구분 (논문/ 특허/기 타)	연구 실적명 (논문명/특허명/기타)	소속 기관명	일자
1	특허	토목 시설물의 사업기획단계 환경 부하량 산정 장치 및 방법 (특허 등록번호 : 제 10-1735072 호)	중앙대	2017.05
		사례기반추론 기법에 의한 도로토공부의 환경 부하량 예측 시스템 및 그 방법 (특허 등록번호 : 제 10-1812007 호)	경북대	2017.12
2	논문 (SSCI)	LCA based environmental impact estimation model (학술지명: Environmental Impact Assessment Review)	중앙대	2017.03
	논문 (SCIE)	Development of environmental load estimating model for road planning phase: focus on road earthwork (학술지명: KSCE Journal of Civil Engineering)	경북대	2018.03
	논문 (SCIE)	Development of Environmental Loads Estimation Model in the Planning Stage of Steel box Girder Bridges (학술지명: International Journal of Steel Structures)	해양대	2018.03
	논문 (SCIE)	Environmental Load Estimating Model of NATM Tunnel based on Standard Quantity of Major Works in the Early Design Phase (학술지명: KSCE Journal of Civil Engineering)	평화	2017.08
3	국가 LCI DB	일반 LCI DB(교량용 탄성받침 1,750kN)의 국가 LCI DB 인정	한국환경 산업기술원	2017.06
		일반 LCI DB(포트받침 고정단/양방향/일방향 (3,000kN, 5,000kN, 7,000kN))의 국가 LCI DB 인정		2018.03
		일반 LCI DB(교량용 탄성받침 1,350kN, 2,000kN)의 국가 LCI DB 인정		2018.12
4	S/W	에스오씨(SOC)시설물의 기획단계 환경부하평가 시스템 (등록번호 : C-2017-004250) 등 5건	중앙대	2017.01 2018.11
5	기술 이전	SOC시설물 환경부하평가 시스템 관련 기술의 통상실시권 허여 계약 (기술실시계약) 등 6건	중앙대	2017.02 2018.11

제 11 장 기타 사항

○ 해당사항 없음

제 12 장 참고 문헌

- [1] Aamodt, A., Plaza, E., 1994. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*. 7(1), 39-59
- [2] Aurora L. Sharrard, H. Scott Matthews, A.M.ASCE and Robert J. Ries (2008), Estimating Construction Project Environmental Effects Using an Input-Output-Based Hybrid Life-Cycle Assessment Model, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol.14, No.4, pp. 327-336
- [3] Cho, N., Yun, W. G., Lee, W. R., and Kim, K. J., 2016. An Analysis of the Characteristics of Environmental Impact for PSC Beam Bridges using Life Cycle Assessment. *J. of the Korean Society of Civil Engineers*. 36(2), 297-305
- [4] Collings, D. (2006). "An environmental comparison of bridge forms." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Bridge Engineering*, Vol. 159, No. 4, pp. 163-168
- [5] Gibson Jr., G.E., Kaczmarowski, J.H., and Lore Jr., H.E.(1995). "Preproject-Planning Process for Capital Facilities" *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 121, No. 3, pp. 312-318
- [6] Hammervold, J., Reenaas, M., and Brattebø, H. (2011). "Environmental life cycle assessment of bridges." *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 18, No. 2, pp. 153-161
- [7] ISO (2006), Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006), The International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- [8] Jeong, K., Ji, C., Koo, C., Hong, T., and Park, H. S. (2015). "A model for predicting the environmental impacts of educational facilities in the project planning phase." *Journal of Cleaner Production*, Vol. 107, pp. 538-549
- [9] Junnila S. and Horvath A. (2003). "Life-cycle environmental effects of an office building." *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 9, No. 4, pp. 157-166
- [10] KEITI(Korea Environmental IndustryTechnology Institute), 2015. Korea LCI Database Information Network, KEITI, Available at: http://www.edp.or.kr/lci/lci_db.asp (Accessed: November 1, 2015)
- [11] KICT(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology), 2015. Korea LCI Database for Construction Materials, KICT, Available at: <http://apess.kict.re.kr> (Accessed: November 1, 2015)
- [12] Kim, J., Lee, S., and Sohn, J. (2004). "An Estimation of the Energy Consumption & CO2 Emission Intensity during Building Construction." *Journal of the Architectural*

Institute of Korea Planning & Design, Vol. 20, No. 10, pp.319-326

- [13] Kwon, S. (2008). Development of Assessment Models for Environmental Economics of Construction Projects, PhD Thesis, Chung-Ang University, Seoul, Republic of Korea
- [14] Li xiaodong, Su Shu, Zhang Zhihui and Kong Xiangqin (2017). "An integrated environmental and health performance quantification model for pre-occupancy phase of buildings in China." *Environmental Impact Assessment Review* 63 (2017) 1-11
- [15] Liu C., Ahn C., An X., and Lee S. (2013). "Life-cycle assessment of concrete dam construction: comparison of environmental impact of rock-filled and conventional concrete." *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 139, No. 12, DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000752
- [16] Lizhen Huang, Rolf Andre Bohne, Amund Bruland, Pal Drevland Jakobsen and Jardar Lohne (2015), Environmental impact of drill and blast tunnelling : life cycle assessment, *Journal of Cleaner Production*, No. 86, pp. 110-117
- [17] Ministry of Land, Infrastructure and Transport., 2011. Guide-line to Assessment of CO2 Emission for Facilities
- [18] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLTMA), Republic of Korea (2009). The 4th Construction Technology Development Action Plan
- [19] Moon, H., Hyun, C., and Hong, T. (2014). "Prediction model of CO2 emission for residential buildings in South Korea." *Journal of Management in Engineering*, Vol. 30, No. 3, 04014001
- [20] Priatla, K., Ariaratnam, S., and Cohen A. (2012). "Estimation of CO2 emissions from the life cycle of a potable water pipeline project." *Journal of Management in Engineering*, Vol. 28, pp. 22-30, DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000069.
- [21] S. Y. Min, T. K. Kim, J. S. Lee and H. H. Einstein (2008), Design and construction of a road tunnel in Korea including application of the Decision Aids for Tunneling - A case study, *Tunnelling and Underground Space Technology*, No.23, pp.91-102
- [22] Shamir Ghumra, Miles Watkins, paul Phillips, Jacqui Glass, Matthew W. Frost and Jane Anderson (2009), Developing and LCA-based tool for infrastructure projects, Loughborough University
- [23] UNEP (1996), Life cycle assessment: what it is and how to do it
- [24] UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change), 2015. Submission by the Republic of Korea Intended Nationally Determined Contribution
- [25] UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change), 2016. Synthesis

- [26] United Nations Environment Programme(UNEP) (2006). Sustainable Buildings and Construction Initiative
- [27] USGBC(U.S. Green Building Council), 2010. Pilot Credit 1 : Life Cycle Assessment of Building Assemblies and Materials. LEED(Leadership in Energy and Environmental Design) Pilot Credit Library
- [28] Woo, J. (2011). Sustainable Optimum Design Evaluation System Development by Environmental and Economical Efficiency of Life Cycle of the Apartment Houses, PhD Thesis, Hanyang University, Seoul, Republic of Korea
- [29] 권석현 (2008), 건설사업의 환경경제성 평가모델 개발 연구, 박사학위논문, 중앙대학교
- [30] 김광희, 강경인 (2004), “사례기반추론 기법을 이용한 공동주택 초기공사비 예측에 관한 연구”, 대한건축학회논문집(구조계), Vol.20, No5, pp.83-92
- [31] 김윤식 (2010), 사업초기단계의 공사비 예측을 위한 CBR기반 MRA 보정모델, 석사학위논문, 서울시립대학교
- [32] 문진석, 주기범, 서명배, 강인석 (2014), 전과정평가기법에 의한 도로건설공사 환경부하량 평가 연구, 한국건설관리학회 논문집, Vol.15, No.6, pp. 83-91
- [33] 박광호 (2004), 건설사업의 환경적, 경제적, 사회적 평가를 위한 TBL 통합 모델의 개발, 인하대학교, 박사학위논문
- [34] 이경희, 이강희 (1996), “건축활동에 따른 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 추정”, 대한건축학회논문집, 제12권, 제7호, pp.197-204
- [35] 정영선, 최경석, 강재식, 이승언 (2008), 건축물의 환경부하 평가를 위한 LCA 프로그램 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, Vol.24, No.5, pp.259-266
- [36] 조효남, 선종완, 김충완, 민대홍 (2004), 지하도로시설물의 LCC예측 모델 및 시스템 개발, 한국전산구조공학회 가을 학술발표회 논문집, pp.157-162
- [37] 건설교통부 (1999), 공사실적자료에 의한 건설사업비산정시스템개발에 관한 연구
- [38] 건설교통부 (2006), 지하도로시설물(터널, 지하차도)의 LCC 예측모델 및 시스템 개발 3차년도 최종보고서
- [39] 국토교통부 (2013), 국토표준도
- [40] 국토교통부 (2014), 환경부하 저감형 LCA 기반 설계 및 시공 기술 개발 기획, 건설기술연구사업 기획보고서

- [41] 국토해양부 (2011), 도로구조물(교량, 터널) 공사비 산정모델 및 기준 개발 최종 연구보고서
- [42] 국토해양부 (2011), 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인
- [43] 국토해양부 (2012), 국도의 노선계획·설계지침
- [44] 국토교통부 (2016), 국도건설공사 설계실무 요령
- [45] 산업통상자원부(2003), 환경친화적 산업기반 구축을 위한 환경경영 표준화사업
- [46] 서울특별시 안전총괄본부(2017), 교량시설물 유지보수공사 설계가이드
- [47] 서울특별시 시설관리공단 도로교통본부(2016), 「2016년도 자동차전용도로」 유지보수공사 설계가이드
- [48] 한국건설기술연구원(2006), 건설부문 온실가스 배출 분석 연구
- [49] 한국도로공사 기술심사처 (2008), 포장, 터널, 사면 생애주기비용(LCC)분석 연구 최종보고서
- [50] 한국도로공사 (2009), 능동형 저탄소 도로기술 및 정책 개발 연구
- [51] 한국도로공사 (2014), 고속도로 설계단계 LCC DB 개선 및 시스템 적용 연구
- [52] 한국도로공사 (2016), 유지보수 공종별 단가집
- [53] 한국시설안전공단 (2011), 시설물의 보수·보강 방법 및 수준결정에 관한 연구(콘크리트 교량·터널)



주 의

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