비매품/무료
93530
9 788972 079224
ISRN 978-89-7207-922-4

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.

17SCIP
-C085707
-04

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

2019

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

Construction & Transportation R&D Report

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

발 간 등 록 번 호
978-89-7207-922-4

R&D /
17SCIP-C085707-04

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

2019 . 3. .

주관연구기관 / 중앙대학교 산학협력단
공동연구기관 / 경북대학교 산학협력단
한국해양대학교 산학협력단
인하대학교 산학협력단
㈜평화엔지니어링
㈜디엠씨엠

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

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)

㈜평화엔지니어링 (대표자) 권 재 원 (인)

㈜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

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>17SCIP-C085707-04</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2014.10.24. ~2018.12.09.</td><td>단계구분</td><td>1 단계 (총 4차년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">건설기술연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA(Life Cycle Assessment) 기반 의사결정 시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 경 주</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총:104명 내부:104명 외부: - 명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부:3,268,000천원 기업:1,093,000천원 정부 외: - 천원 계: 4,361,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총:104명 내부:104명 외부: - 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:3,268,000천원 기업:1,093,000천원 정부 외: - 천원 계: 4,361,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">중앙대학교 산학협력단</td><td colspan="2">참여기업명:
아시아엔지니어링㈜
㈜셉코
㈜세운이앤씨</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명: -</td><td colspan="2">상대국 연구기관명: -</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: -</td><td colspan="2">연구책임자: -</td></tr>
<tr><td colspan="4">(핵심성과 1) 도로 환경부하 평가모델, (핵심성과 2) 교량 및 NATM 터널 환경부하 평가모델
◦ 도로, 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널의 기획/설계/유지관리 단계별 환경부하량 개산 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</td><td colspan="2">보고서 면수 :
본권 183 pages
별권 385 pages
부록 668 pages</td></tr>
</table>

〈 국문요약문 〉

<table>
<tr><td>연구의
목적 및 내용</td><td colspan="2">환경부하 저감형 SOC 시설물의 설계를 지원하기 위한 환경부하 시스템 개발 및 관련 인프라 구축을 통한 종합적인 환경부하 평가업무의 기반을 조성
◦ 도로 환경부하 개산 평가모델 개발
◦ 교량(PSC교, 강교) 및 NATM 터널 환경부하 개산 평가모델 개발
◦ LCI DB, 환경지표 연계 네트워크 레벨 SOC시설물 환경부하 평가시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발성과</td><td colspan="2">(핵심성과 1) 도로 환경부하 평가모델, (핵심성과 2) 교량 및 NATM 터널 환경부하 평가모델
◦ 도로, 교량(PSC교, 강교) 및 NATM터널의 기획/설계/유지관리 단계별 환경부하량 개산 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 시설물에 적합한 환경부하 평가 시스템</td></tr>
<tr><td>(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)</td><td>◦ 매뉴얼 : 2건
◦ 친환경성능평가지침 : 1건
◦ 기술실시계약 : 6건
◦ 특허 등록 : 2건 / 특허 출원 : 6건
◦ 국가 LCI DB 등록 : 6건
◦ 성과 홍보 : 5건</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td colspan="2">(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 상세설계별 환경적인 개선요인 도출 및 여러 대안 선정을 위한 의사결정 기준으로 활용
- 대규모 건설/토목 개발사업(SOC)의 설계 및 유지관리단계에서 발생되는 환경부하량을 산출 및 평가함으로써 친환경적인 의사결정 수단을 제시
(기대효과)
- 설계 대안에 대한 신속한 환경성 평가를 통한 친환경적 설계 및 환경부하 저감 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</td></tr>
<tr><td>핵심어
(5개 이내)</td><td>전과정평가</td><td>환경부하</td><td>사회기반시설물</td><td>환경부하
평가시스템</td><td>환경성능지표</td></tr>
</table>

〈 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/operatie 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 monitering 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. Environmental Load Assessment Model for Road ····· 1

Chapter 2. Environmental Load Assessment Model for PSC Bridge ····· 44

Chapter 3. Environmental Load Assessment Model for Steel Box Bridge · 163

Chapter 4. Environmental Load Assessment Model for Tunnel ····· 209

Chapter 5. LCI DB Construction and Linked Standardization Model ····· 262

Chapter 6. Environmental Performance Index of SOC facilities ····· 331

Chapter 7. Development of Network-level Environment Load Assessment System for SOC Facilities ····· 362

Chapter 8. References ····· 382

< 목 차 >

제 1 장 도로부 환경부하 평가모델 ····· 1

제 1 절 도로부 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB 구축 ····· 1

1. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크 ····· 1

2. 기초자료 수집 및 분석 ····· 2

제 2 절 기획단계 환경부하 평가모델 ····· 12

1. 기획단계 환경부하 평가모델의 개요 ····· 12

2. 사례 DB구축 ····· 13

3. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발 ····· 14

4. 평가모델 검증 ····· 18

제 3 절 설계단계 환경부하 평가모델 ····· 22

1. 설계단계 환경부하 평가모델의 개요 ····· 22

2. 환경부하 특성분석 ····· 23

3. CBR+표준물량 기반 환경부하 평가모델 개발 ····· 28

제 4 절 포장공 모델 ····· 34

제 5 절 기타공종 ····· 36

제 6 절 평가모델 검증 ····· 37

제 7 절 유지관리단계 환경부하 평가모델 ····· 39

1. 유지관리단계 환경부하 평가모델의 개요 ····· 39

2. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성 분석 ··· 40

3. 유지보수 공법 기반 환경부하 평가모델 ····· 42

4. 평가모델 검증 ····· 42

제 2 장 PSC교량 환경부하 평가모델 ····· 44

제 1 절 PSC교량 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축 ····· 44

1. 사업수행 단계별 환경부하fid 산정 프레임워크 ····· 44

2. 기초자료 수집 및 분석 ····· 47

3. 환경부하 영향요인 및 특성분석 ····· 49

제 2 절 기획단계 환경부하 평가모델 ····· 55

1. 기획단계 환경부하 평가모델 개요 ····· 55

2. 사례 DB 구축 ····· 58

3. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발 ····· 64

4. 평가모델 검증 ····· 69
제 3 절 설계단계 환경부하 평가모델 ····· 71
1. 설계단계 환경부하 평가모델 개요 ····· 71
2. 환경부하 특성분석 ····· 73
3. 표준물량 기반 환경부하 평가모델 개발 ····· 74
4. 평가모델 검증 ····· 94
제 4 절 유지관리단계 환경부하 평가모델 ····· 96
1. 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요 ····· 96
2. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성분석 ····· 97
3. 유지보수 공법 DB기반 환경부하 평가모델 개발 ····· 103
4. 평가모델 검증 ····· 114
제 5 절 PSC 교량 추가 시설물 ····· 115
1. IPC Girder교 ····· 115
2. PSC e-Beam교, DR Girder교 ····· 137
3. PSC Box Girder교 ····· 154

제 3 장 강교량 환경부하 평가모델 ····· 163
제 1 절 Steel Box 교량 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축 ····· 163
1. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크 ····· 163
2. 기초자료 수집 및 분석 ····· 165
3. 환경부하 영향요인 및 특성분석 ····· 167
제 2 절 기획단계 환경부하 평가모델 ····· 173
1. 기획단계 환경부하 평가모델 개요 ····· 173
2. 사례 DB 구축 ····· 175
3. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발 ····· 178
4. 평가모델 검증 ····· 182
제 3 절 설계단계 환경부하 평가모델 ····· 184
1. 설계단계 환경부하 평가모델 개요 ····· 184
2. 환경부하 특성분석 ····· 186
3. 표준물량 기반 환경부하 평가모델 개발 ····· 187
4. 평가모델 검증 ····· 200
제 4 절 유지관리단계 환경부하 평가모델 ····· 202
1. 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요 ····· 202

2. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성분석 ··202
3. 유지보수 공법 DB기반 환경부하 평가모델 개발 ·····205
4. 평가모델 검증 ·····208

제 4 장 터널 환경부하 평가모델 ·····209
제 1 절 터널 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축 ·····209
1. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크 ·····209
2. 기초자료 수집 및 분석 ·····210
3. 환경부하 영향요인 및 특성 분석 ·····211
4. 터널 시설물의 Cut-off 수준 분석 결과 ·····213
제 2 절 기획단계 환경부하 평가모델 ·····214
1. 기획단계 환경부하 평가모델 개요 ·····214
2. 사례 DB구축 ·····214
3. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발 ·····217
4. 평가모델 검증 ·····221
제 3 절 설계단계 환경부하 평가모델 ·····224
1. 환경부하 대표공종 및 단위물량, 소요자원DB 산정 ·····224
2. 설계단계 환경부하 평가모델 개요 ·····241
3. 평가모델 검증 ·····244
제 4 절 유지관리단계 환경부하 평가모델 ·····246
1. 유지관리단계 환경부하량 산정사례 및 주요 유지관리 항목조사 ··246
2. 터널 유지관리단계 환경부하 산정 사례 조사 ·····250
3. 터널 유지보수공종 조사 ·····254
4. 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요 ·····258

제 5 장 LCI DB 구축 및 연계 표준화 모델 ·····262
제 1 절 LCI DB 구축 개요 ·····262
1. LCI DB 구축 방법론 ·····262
2. LCI DB 구축 대상 선정 ·····265
제 2 절 LCI DB 개발 및 구축 ·····267
1. 기획·설계 단계 LCI DB 구축 ·····267
2. 유지관리 단계 LCI DB 구축 ·····295
3. LCI DB 구축 효과 ·····311

제 3 절 국가 LCI DB 개발 및 구축 ·····312
1. 국가 LCI DB 개발 개요 및 절차 ·····312
2. 국가 LCI DB 구축 결과 ·····313
제 4 절 LCI DB 연계 표준화 모델 개발 ·····323
1. 표준화 개요 ·····323
2. LCI DB 연계 결과 ·····324
3. 내역서 내 자재명과 LCI DB 매칭 결과 ·····327

제 6 장 SOC시설물 환경성능 지표 ·····331
제 1 절 국내외 환경지표 현황조사, 대상물질 및 적용범위 검토 ·····331
1. 평가목적에 따른 국내외 환경성능지표 현황 ·····331
2. SOC 시설물에 적용 가능한 인증 시스템 현황 ·····339
제 2 절 단계별 주요 환경부하량 추정기술 ·····344
1. 환경오염물질 적용 범위 및 구성항목 조사 ·····344
2. 추정기술 적용 사례 ·····346
제 3 절 복합 SOC 시설물에 적합한 평가항목 도출 ·····348
1. SOC 시설물 환경성능 지표 항목 분석 ·····348
2. 환경성능 지표 항목 시스템 연계 방안 ·····355
3. SOC 시설물 환경성능 평가 지침(안) 작성 ·····357

제 7 장 네트워크 레벨의 SOC시설물 환경부하 평가시스템 개발 ·····362
제 1 절 시스템 개요 및 개발 방향 ·····362
1. 환경부하 평가시스템 개요 ·····362
2. 시스템 설계 및 prototype 개발 ·····363
제 2 절 ECO-SOC 환경부하 평가시스템 ·····366
1. 기획단계 환경부하 평가 ·····366
2. 설계단계 환경부하 평가 ·····373
3. DB 조회 및 관리 ·····378

제 8 장 참고 문헌 ·····382

최종보고서(본 권) ····· 별 책

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 2 장 국내외 기술 개발 현황

제 3 장 연구 수행 내용 및 성과

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 5 장 연구개발성과의 활용 계획

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

제 7 장 연구개발성과의 보안등급

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

제 11 장 기타 사항

제 12 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 도로부 환경부하 평가모델

제 1 절 도로부 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB 구축

1. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크

○ 건설산업은 작업현장에 투입되는 장비의 사용과정과 자재의 생산과정에서 다량의 에너지를 소비함으로써 큰 환경부하를 발생시키고 있음. 이를 해결하기 위해서는 건설공사의 전과정에서 발생하는 잠재적 환경영향을 정량적으로 평가함으로써 유해요소를 감축하기 위한 노력이 필요함

○ 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

○ 최근 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)에서 제시하고 있는 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 환경영향을 정량적으로 평가하는 합리적인 방법론으로 주목받고 있음

○ LCA에서 환경적 영향을 평가하기 위한 정량적 지표로 사용하는 환경부하(Environmental Load)는 시설물의 전생애주기 동안 지구환경에 미치는 인자(온실가스, 오존층파괴가스, 산성비원인가스, 유해폐기물 등)들에 대한 지구환경부담 정도를 정량한 것임(이경회 & 이강희, 1996)

○ 환경부하를 산정하기 위해서는 각 생산공정에 투입되는 모든 자원량에 대한 정보를 파악하여야 하기 때문에 분석에 많은 인력과 시간이 필요한 단점을 가지고 있음(UNEP, 1996). 건설사업의 경우 설계가 완료되기 이전에는 이러한 정보를 파악하는 것이 불가능하고, 산업의 특성상 발주청의 주문자생산방식을 취하고 있기 때문에 표준화를 통한 데이터베이스(Database, DB)화 역시 곤란함

○ 따라서 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

○ 가용할 수 있는 정보의 양과 질이 제한적인 기획단계에서 환경부하량을 산정하기 위해 과거의 유사사례로부터 문제의 해결방안을 도출하는 사례기반추론(Case-based Reasoning, CBR)을 모델에 적용하고, 정보가 조금 더 정밀해지고 다양해지는 설계단계에서는 작업물량을 추정함으로써 투입자원량을 도출하고 이를 통해 환경부하량을 산출하는 LCA과정을 일부 모사한 대표공종 표준물량 기반의 모델을 적용함

○ [그림 1-1-1]은 각 사업단계에서 도로의 환경부하량을 추정하기 위한 모델의 프레임워크를 나타낸 것임



[그림 1-1-1] 도로 환경부하량 산정 프레임워크

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

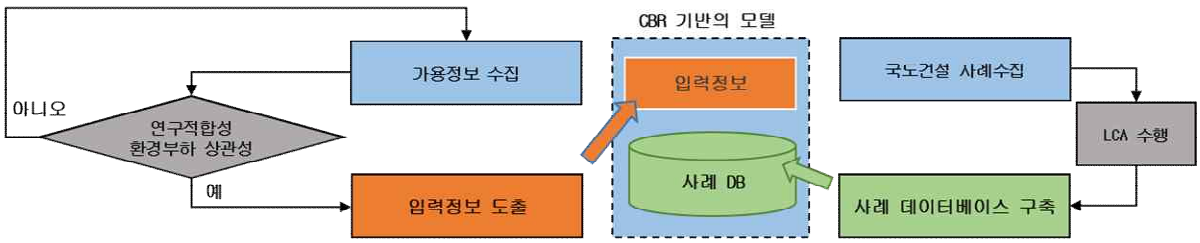
○ 배수공과 포장공은 공종의 여러 형태 중 대표성을 갖는 표준단면을 선정한 후 이로부터 도출한 표준작업물량과 설계기준에서 제시하는 표준자원량을 활용하여 환경부하량을 추정토록 모델을 구성함

○ 유지관리단계에서 적용될 환경부하량 추정 모델은 도로부의 유지보수 작업 중 대표성을 갖는 보수작업공종을 선정하고, 공용연수에 따른 보수횟수가 반영된 작업물량과 투입자원량으로부터 환경부하량을 산출하도록 계획함

2. 기초자료 수집 및 분석

○ 본 연구를 위해 수집해야 하는 기초자료는 [그림 1-1-2]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 1-1-2] 기초자료의 수집절차 및 활용방안

가. 기획단계의 가용정보

○ 기획단계와 설계단계 모델에 입력정보 항목을 상이하게 구성하여 너무 많은 항목을 갖도록 계획하면 모델의 복잡성을 가중시키게 됨. 따라서 입력정보는 사업수행단계의 진척에 따라 정보의 정밀도가 높아지는 공통항목을 갖도록 개발함

○ 설계단계는 기획단계보다 동일한 정보항목에 대하여 정밀도가 높아지고 기본설계가 완료됨으로써 도로의 노선이 확정되기 때문에 기획단계에서 확보할 수 없는 도로선형관련 정보를 가용할 수 있음. 따라서 기획단계의 입력정보를 선정한 후 설계단계에서는 선형관련 정보의 일부를 추가하는 형태로 모델을 계획함

○ 환경부하 평가모델에서 입력정보로 활용될 사업수행단계별 가용정보는 기존 문헌 연구를 통해 조사하고 연구의 적합성과 환경부하와의 상관성을 고려하여 입력정보로써 활용 가능한 정보를 도출함

○ 도로건설공사의 기획단계에서 가용정보를 활용하여 환경부하를 산정한 연구는 찾아보기 어려움. 따라서 연구실적이 비교적 많은 공사비추정 모델의 문헌을 참조하여 사업수행단계별 입력정보 항목을 조사함. [표 1-1-1]은 기존 연구문헌에서 제시하고 있는 도로 기획단계의 가용정보 목록임

[표 1-1-1] 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 1-1-2]와 같이 기획단계 가용정보 후보 목록을 도출함

[표 1-1-2] 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/, 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

○ 본 연구에서 분석을 위해 수집한 사례는 모두 국도건설공사로써 차로폭과 공기와 같은 정보는 대부분의 사례에서 유사한 값을 갖기 때문에 변별력 있는 정보로써 역할을 수행하지 못할 것으로 판단되어 제외함. 지역특성과 지형 또한 유사한 정보항목이기 때문에 지형으로 통합함

○ 총연장은 연구의 범위에 부합하도록 총연장에서 교량과 터널의 연장을 제외한 토공부연장으로 변경함. 그리고 연장과 폭원의 특성을 함께 나타낼 수 있는 토공부면적을 추가하여 총 11개의 기획단계 가용정보를 도출함

○ 환경부하량은 건설공사에 투입되는 자원과 상관성이 높음(권석현, 2008). 도로건설공사에서 소비되는 에너지의 90% 이상이 토공에서 발생함(박광호 외 3인, 2000). 이는 토공의 작업물량과 환경부하의 상관성이 높음을 의미함

○ 따라서 가용정보 항목이 토공작업과 상관성이 높을 경우 환경부하량에도 큰 영향을 미칠 수 있음. [표 1-1-3]은 토공의 대표적 공종인 흙쌓기와 가용정보의 상관성 분석 결과를 나타냄

[표 1-1-3] 흙쌓기와 가용정보의 상관성 분석결과

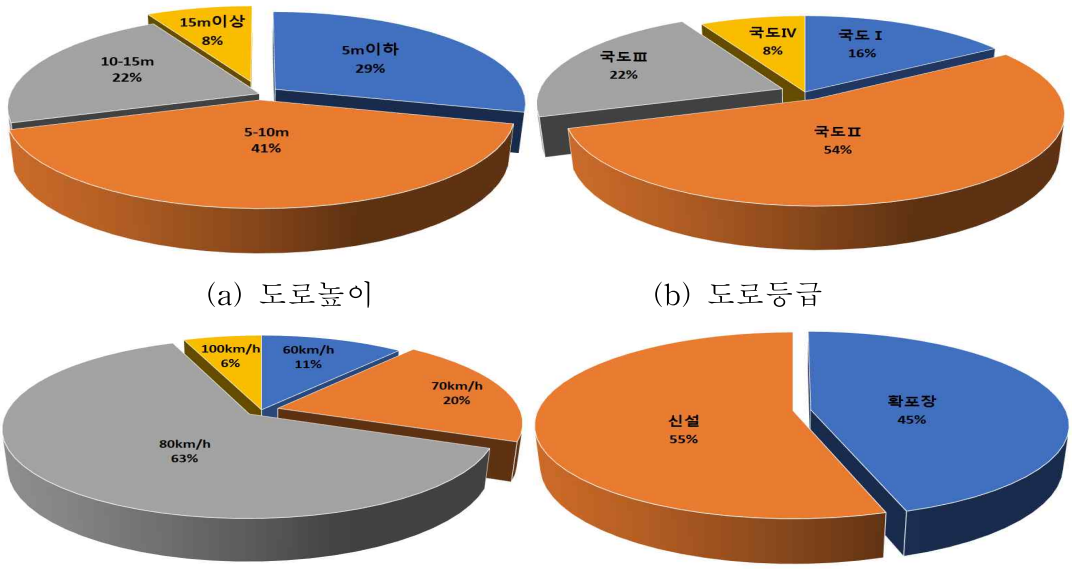
구분	Pearson 상관계수	유의확률
토공부연장	0.579	0.000119
도로높이	0.683	0.001938

○ 흙쌓기와의 상관성 분석결과 토공부연장은 상관계수가 0.579를 나타냄. 토공은 수평적 변화보다 수직적 변화에 더 큰 영향을 받을 것으로 판단되어 도로높이와의 상관성 분석을 수행함. 그 결과 상관계수가 토공부연장 보다 약 18% 향상된 0.683을 나타냄. [표 1-1-2]의 가용정보 목록에 도로높이를 추가하여 총 12개의 기획단계 가용정보를 도출함

나. 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 1-1-3]과 같음



(a) 도로높이 (b) 도로등급

(c) 설계속도 (d) 공사유형

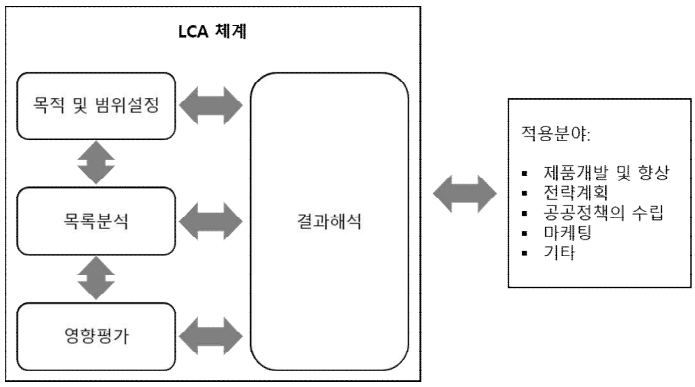
[그림 1-1-3] 수집된 사례의 특성

○ 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. 공사 유형별 분포는 신설과 확포장이 각각 55%와 45%로 조사되어 기존도로의 확포장 사례보다 신설공사의 사례가 더 많이 수집된 것으로 나타남

○ 수집된 국도건설공사 사례는 [그림 1-1-2]와 같이 LCA를 수행한 후 가용정보와 함께 사례 DB로 구축함

○ LCA는 [그림 1-1-4]와 같이 ISO14040 시리즈에 수행과 관련한 표준이 제시되어 있으며, 목적 및 범위설정, 목록분석, 영향평가, 결과해석의 4가지 단계로 구성됨



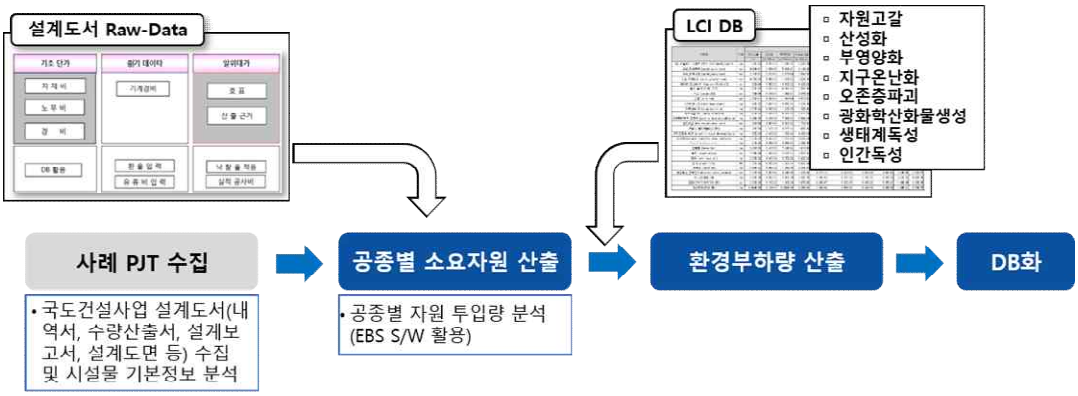
[그림 1-1-4] LCA 수행과정(ISO, 2006)

○ 일반적으로 [그림 1-1-4]의 LCA과정에서 가장 많은 분석시간이 필요한 목록분석과정에 투입자원과 에너지에 의해 배출되는 기능단위의 환경부하량을 미리 산출하여 DB화한 LCI DB를 활용함으로써 환경부하량 산출을 위한 노력과 시간을 단축할 수 있음

○ 국내에는 한국환경산업기술원에서 국가 LCI DB를 개발하여 제공하고 있으며, 해외에서는 에코인벤트(Ecoinvent)에서 제공하는 LCI DB가 많이 활용되고 있음

○ 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 1-1-5]는 국도건설공사 사례의 LCA과정을 도식화하여 나타낸 것임

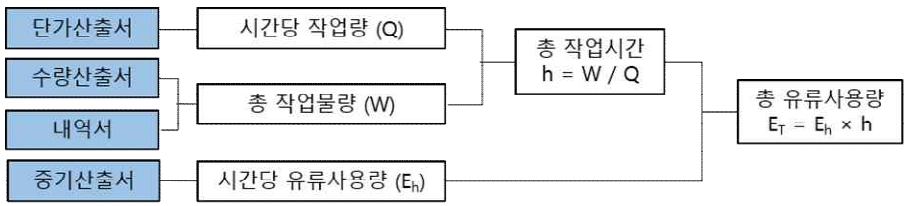


[그림 1-1-5] 국도건설공사 사례의 LCA를 통한 환경부하량 산출과정

○ LCA를 통해 각 사례의 환경부하량을 산정하기 위해 설계도서의 분석을 수행함으로써 건설공사에 투입되는 자원과 각 자원의 투입량을 조사함

○ 도로건설공사에 투입되는 자원은 크게 콘크리트, 철근, 시멘트, 합판, 못 등과 같이 작업에 직접 사용되는 건설자재와 장비에서 소비하는 에너지(휘발유, 경유)로 구분할 수 있음

○ 도로건설공사의 환경부하량을 산출하기 위해서는 투입되는 모든 자재와 그 투입량을 파악하여야 함. [그림 1-1-6]은 토공 중 흙깎기(토사)에 대한 자원량(경유소모량) 산출과정을 도식화하여 나타낸 것임



[그림 1-1-6] 흙깎기 작업의 경유 소비량 산출과정

○ 투입되는 자재와 그 수량은 공사비 내역서와 일위대가표, 중기산출서, 수량산출서 등의 분석을 통해서 수집할 수 있음. 최근에는 건설공사 설계 성과품이 EBS(Event Breakdown System for construction)와 같은 전자파일 형태로 제공되는 경우가 많음

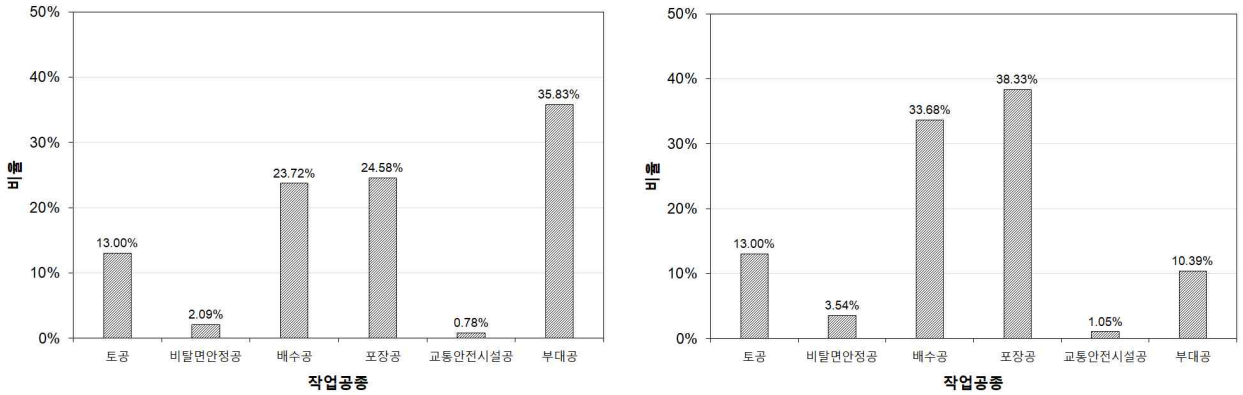
○ EBS 등의 전자파일이 함께 제공되는 사례는 이를 활용하여 투입되는 자재(자원)와 그 수량을 집계하고 그렇지 않은 사례에 대해서는 [그림 1-1-6]과 같이 설계도서 등의 분석을 수작업으로 수행하여 필요한 자료를 확보해야 함

○ LCA를 수행하여 산출한 환경영향범주별 환경부하량과 속성정보로 구성된 사례 DB는 [부록 A 1.2 ~ 1.3]과 같음

다. 환경부하 영향요인 및 특성 분석

(1) 특성분석

○ 수집된 국도건설공사를 대상으로 LCA를 수행하여 공종별 환경부하량 분포를 분석하여 [그림 1-1-7]에 제시함



(a) 공종별 자재수량 환원 전 (b) 공종별 자재수량 환원 후

[그림 1-1-7] 공종별 환경부하량 분포

○ 국도건설공사의 공종별 환경부하량 분포는 [그림 1-1-7]의 (a)와 같이 부대공이 가장 큰 35.8%를 나타냈으며, 다음은 포장공이 24.6%를 보임

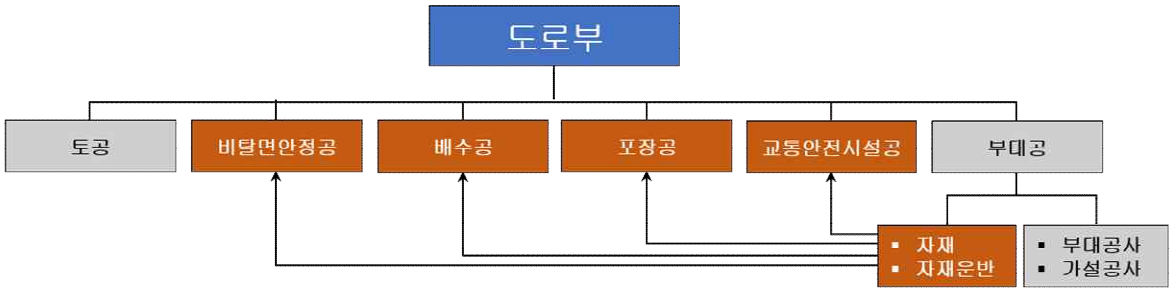
○ 배수공과 토공은 각각 23.7%와 13.0%를 나타냄. 비탈면안정공과 교통안전시설공은 국도건설공사 전체 환경부하량에 3%미만의 아주 작은 영향을 미치는 것으로 조사됨

○ 부대공은 건설공사를 수행하는데 필요한 부수적인 시설의 설치와 관련된 공종으로 구성되어 있기 때문에 국도건설공사의 주요한 작업공종으로 보기 어려움. 그럼에도 부대공의 환경부하량이 가장 크게 나타난 것은 부대공에 편성되어 있는 자재수량 때문으로 판단됨

○ 부대공에 편성되어 있는 자재는 본공사에 투입되는 철근, 레미콘과 같은 자재로써 항목관리의 편의상 부대공에 일괄적으로 편성하는 경우가 많음. 이러한 자재의 환경부하량이 본공사와 관련이 적은 부대공의 환경부하량을 상승시키는 요인이 됨

○ 공종별 환경부하 특성을 명확하게 분석하고 개발되는 모델에서 세부공종별 환경부하량이 정확하게 반영되기 위해서는 부대공에 편성된 자원(자재)을 본래 투입공종으로 환원하는 작업이 필요함

○ 수량산출서의 분석을 통해 [그림 1-1-8]과 같이 부대공에 편성된 자원에 대해 본래 투입공종으로의 환원작업을 수행함



[그림 1-1-8] 부대공 자재관련 공종의 환원작업

○ 부대공의 자재를 본래 투입공종으로 환원한 후 [그림 1-1-7]의 (b)와 같이 포장공과 배수공의 환경부하량 기여도가 각각 38.3%와 33.7%로 13.7%P와 10.0%P 증가함

○ 부대공의 환경부하량은 25.4%P가 감소함. 레미콘이나 철근과 같이 부대공에 편성된 자재의 사용량이 비교적 적은 비탈면안정공과 교통안전시설공은 2%P미만의 변화를 보임

○ [그림 1-1-7]의 (b)에 의하면 국도건설공사에서 발생하는 환경부하량은 포장공의 영향이 가장크며 다음은 배수공과 토공의 영향이 크게 나타남. 이 3가지 공종에 의해 발생하는 환경부하량은 전체의 85.0%에 달함

○ 8대 영향범주에 대한 에코포인트(Eco-point)의 분포를 보면 [표 1-1-4]와 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 1-1-4] 수집된 사례의 LCA결과

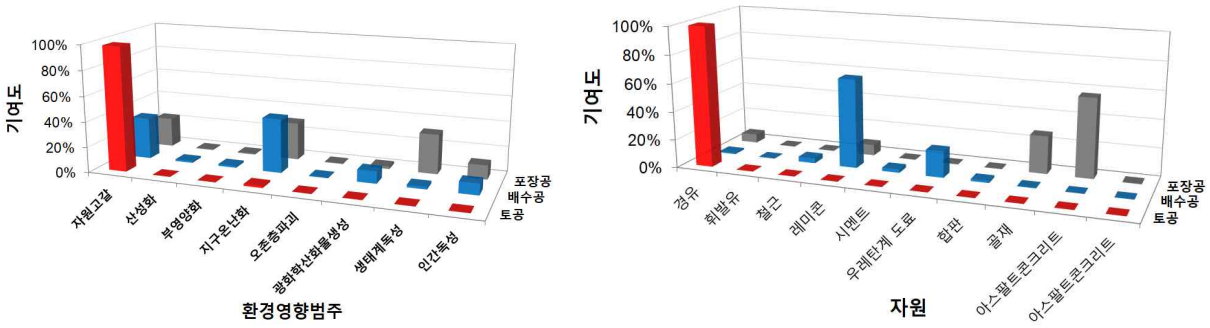
영향범주	에코포인트(Eco-point)	기여도(%)
자원고갈	1.88718E+03	36.45
산성화	4.72888E+01	0.91
부영양화	5.73090E+01	1.11
지구온난화	1.63465E+03	31.58
오존층파괴	2.19274E+01	0.42
광화학산화물생성	2.62033E+02	5.06
생태계독성	8.21723E+02	15.87
인간독성	4.44924E+02	8.59
합계	5.17703E+03	100.00

(2) 영향요인

○ 전체 에코포인트의 85.0%를 발생시키는 토공, 배수공, 포장공에서 사용하는 주요 자재의 환경부하에 대한 기여도를 분석하여 [그림 1-1-9]에 나타냄

○ [그림 1-1-9]의 (a)에 의하면 토공은 자원고갈의 영향이 가장 크게 나타나며 [그림 1-1-9]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 1-1-9] 환경부하 특성 영향요인

○ 지구온난화에 가장 큰 영향을 주고 있는 공종은 배수공과 포장공이며 이 두가지 공종의 주요 영향인자는 레미콘과 아스팔트콘크리트 그리고 골재임

○ 따라서 [표 1-1-4]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

○ 기획단계 가용정보 항목 중 환경부하와 상관성이 높은 정보들의 조합으로 기획단계 모델의 입력정보로 적용하고자 사례 DB에서 LCA를 통해 산출한 에코포인트를 종속변수로 [표 1-1-2]의 가용정보를 독립변수로 하는 다중회귀분석을 수행함

○ 가용정보 항목중 도로폭, 차로수, 토공부연장, 토공부면적은 다중공선성문제가 의심되어 제외하고 독립변수를 추가해 나가는 방식으로 종속변수의 영향요인을 도출함. [표 1-1-5]는 기획단계 가용정보의 조합에 대한 다중회귀분석 결과임

○ 기획단계 가용정보 조합 중 G군의 행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 설계속도가 0.544의 결정계수와 0.048의 유의확률을 보여 종속변수인 환경부하의 영향요인으로 도출됨

[표 1-1-5] 독립변수 조합에 의한 다중 회귀분석 결과

조합군	영향요인 후보군	상관계수 (R)	결정계수 (R2)	유의확률
A	행정구역, 도로높이	0.718	0.515	0.004
B	행정구역, 도로높이, 도로등급	0.719	0.517	0.029
C	행정구역, 도로높이, 지형	0.727	0.528	0.006
D	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형	0.727	0.529	0.038
E	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 토공부연장	0.727	0.529	0.063
F	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 토공부면적	0.728	0.529	0.062
G	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 설계속도	0.737	0.544	0.048
H	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 포장두께	0.727	0.529	0.063
I	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 포장재료	0.727	0.529	0.063
J	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 차로수	0.729	0.532	0.06
K	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 도로폭	0.728	0.530	0.062
L	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 설계속도, 차로수	0.738	0.545	0.076
M	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 설계속도, 포장재료	0.740	0.547	0.072
N	행정구역 도로높이, 도로등급 지형, 설계속도, 포장두께	0.738	0.544	0.076

제 2 절 기획단계 환경부하 평가모델

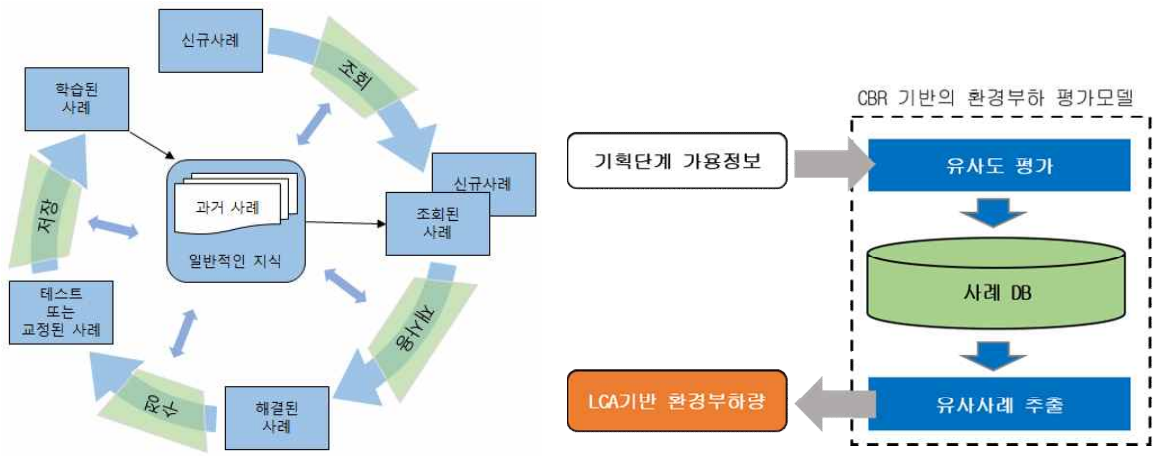
1. 기획단계 환경부하 평가모델의 개요

○ 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

○ 즉, 새로운 해결대안을 제시하는 혁신적인 기법이라기보다는 과거의 유사한 사례로부터 해결방안을 도출하는 추론기법이라고 할 수 있음(김광희 & 강경인, 2004)

○ 사례기반추론은 문제해결을 위하여 [그림 1-2-1]의 (a)와 같이 과거의 사례로부터 답을 찾는 과정(retrieve 및 reuse)과 해결된 문제를 다시 과거사례로 저장하여 추후 발생하는 문제에 다시 활용하는 과정(revise 및 retain)을 거치게 되며, 이러한 과정의 반복을 통해 그 정확도가 개선되어 나가는 특징을 가지고 있음



(a) CBR의 추론 과정 (b) 기획단계 모델의 개요

[그림 1-2-1] CBR의 추론 과정과 기획단계 모델의 개요

○ [그림 1-2-1]의 (b)는 기획단계 모델의 개요도를 도식화한 것이며 CBR모델을 통하여 환경부하량을 평가하는 과정은 다음과 같음

○ 환경부하량을 평가하고자 하는 신규사례의 입력정보[[표 1-1-2]에서 선정한 기획단계 가용정보)를 입력하면 환경부하량과 속성정보 항목으로 미리 구축하여 둔 사례 DB를 활용하여 각 속성정보의 유사도를 평가하게 됨. 유사도 평가결과로부터 신규입력된 사례와 가장 유사한 사례의 환경부하량을 추출함

○ 유사도가 높은 사례의 환경부하량을 유사도에 따라 가중치를 부여함으로써 신규사례의 환경

부하량을 산정함

○ CBR기반의 모델에서 추정 결과의 정확도를 높이기 위해서는 사례DB의 수량도 중요하지만 사례DB를 구성하는 속성정보(모델의 입력정보)의 다양성을 확보하는 것 또한 중요함

○ 속성정보의 다양성이 확보되지 못하면 유사도가 낮은 사례들이 유사사례로 추출이 됨. 이는 결국 최종 추정값의 오차를 높게 만드는 원인이 될 수 있음

2. 사례 DB구축

○ 앞절에서 [그림 1-1-5]의 과정을 통해 수집된 사례의 환경부하량을 산출하고 [표 1-1-2]에서 선정한 입력정보 항목과 함께 사례 DB를 구축함

○ 사례 DB는 CBR 기반의 기획단계 환경부하 평가모델에서 신규사례와의 유사도 평가에 의해 최적의 해답을 제시하기 위한 조회사례로써 활용되고 동시에 모델로부터 최종 추정된 환경부하량의 정확도를 평가하기 위한 검증 기준의 역할을 수행함

○ 사례 DB를 구축하기 위하여 [그림 1-2-2]과 같은 양식을 개발함. 각 속성정보 항목은 설계도서를 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 1-2-2] 사례 DB 양식

○ 본 연구에서 LCA를 수행하여 산출한 환경부하량은 자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물생성, 생태계독성, 인간독성의 8개 환경영향범주에 대한 특성화값과 가중화값임

○ LCA결과를 제품의 환경성에 관한 의사결정 수단으로 사용할 경우 모든 환경영향범주에 대한 단일 점수화는 매우 중요함(환경부, 2003)

○ 본 연구에서는 LCA를 통해 정량화된 8개 환경영향범주의 잠재적 환경영향을 [표 1-2-1에 나타낸 한국형환경영향지수를 활용하여 단일 점수화한 에코포인트를 산정함

[표 1-2-1] 한국형환경영향지수

환경영향범주		정규화계수	가중화	
구분	단위		계수	단위
자원고갈	1/yr	24.9	0.231	에코포인트 (eco-point)
산성화	kg SO2-eq	39.8	0.036	
부영양화	kg PO43-eq	13.1	0.038	
지구온난화	kg CO2-eq	5,530	0.288	
오존층파괴	kg CFC11-eq	0.0407	0.292	
광화학산화물생성	kg C2H4-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	

○ 에코포인트는 식 (1.1)과 같이 특성화값에 [표 1-2-1]의 정규화계수와 가중화계수를 적용하여 산정함

$$Ecopoint = \sum\left(\frac{C_i}{N_i} \times w_i\right) \quad \text{(식 1.1)}$$

○ C_i는 i환경영향범주의 특성화값, N_i는 i환경영향범주의 정규화계수, w_i는 i환경영향범주의 가중화계수임

○ [그림 1-2-2]에서 환경부하량 항목은 하나의 국도건설공사 사례에 대하여 특성화값 8개와 가중화값 8개, 그리고 가중화합계의 17개 환경부하량을 포함하고 있음

3. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발

가. 입력정보와 가중치

○ 기획단계 모델에 적용환 CBR 기반 모델에서 유사사례의 조회를 위해 사용한 방법은 최근접 추출방법(Nearest neighbor retrieval method)임.

○ 이는 사례 DB와 신규사례의 유사도를 평가하여 유사성이 높은 사례를 추출한 후 신규사례와의 가장 유사한 사례의 환경부하량이 크게 반영될 수 있도록 유사도점수를 가중화하여 환경부하량 산출에 사용함

○ CBR모델의 입력정보는 [표 1-1-5]과 같이 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 1-2-2]에 나타낸 12개의 가용정보를 모두 입력정보로 사용하고 유전자알고리즘(Genetic algorithm, GA)을 도입함

[표 1-2-2] 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	국도Ⅰ, 국도Ⅱ, 국도Ⅲ, 국도Ⅳ
설계속도	60km/h, 70km/h, 80km/, 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)

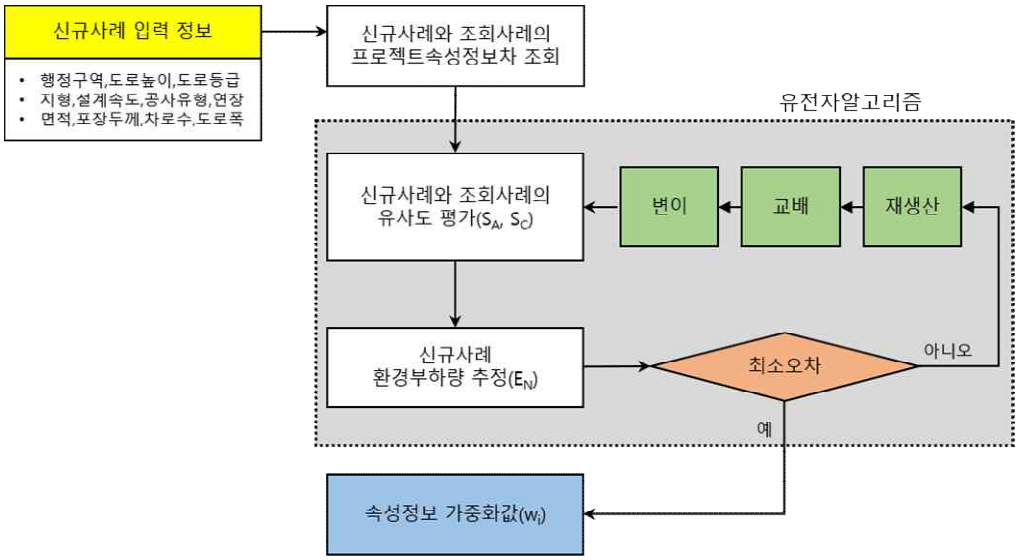
○ GA는 목적함수를 만족하는 최적의 해를 도출할 수 있는 장점을 가지고 있음. 따라서 CBR 모델에서 추정되는 환경부하량이 최소가 되는 속성정보(입력정보)의 유사도평가계수(속성정보가중치)를 도출하여 모델에 적용하면 오차를 감소시킬 수 있음

○ 유사도평가계수(속성정보가중치) 산정을 위한 GA의 목적함수는 식 (1.2)와 같음

$$Mimimize : R_{er} = \left| 1 - \frac{E_N}{E_L} \right| \qquad \text{(식 1.2)}$$

○ R_{er}은 추정된 환경부하량의 오차율, E_N은 모델에서 추정된 환경부하량, E_R은 LCA를 수행하여 산출한 환경부하량임

○ GA를 적용하여 모델에서의 오차를 최소화하는(목적함수를 만족하는) 속성정보가중치를 산정하는 과정(학습)은 [그림 1-2-3]와 같으며 GA 범용프로그램인 EVOLVER(ver 7.5)를 사용함



[그림 1-2-3] 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 3.12]와 같은 학습과정을 통해 도출한 속성정보가중치는 다음 [표 1-2-3]과 같음

[표 1-2-3] 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

나. 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 첫번째 단계인 신규사례와 조회사례의 속성정보에 대한 유사도 평가는 일정한 척도를 통해 정량적인 값으로 나타내야 하기 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 조회사례에 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 (1.3)과 같이 신규사례와 조회사례간 속성정보의 이격율로써 유사도를 평가함

$$S_{a_i} = \left| \frac{\text{조회사례 속성정보} - \text{신규사례 속성정보}}{\text{신규사례 속성정보}} \right| \quad \text{(식 1.3)}$$

○ 속성정보들의 유사도를 조합하여 평가한 신규사례와 조회사례의 유사도점수는 식 (1.4)과 같이 식 (1.3)의 속성정보 유사도에 GA를 통해 모델의 오차를 최소화시키기 위해 도출한 속성정보가중치를 곱하여 산정함

$$S_c = \sum_{i=1}^{n} \left(S_{a_i} \times w_i \right) \quad \text{(식 1.4)}$$

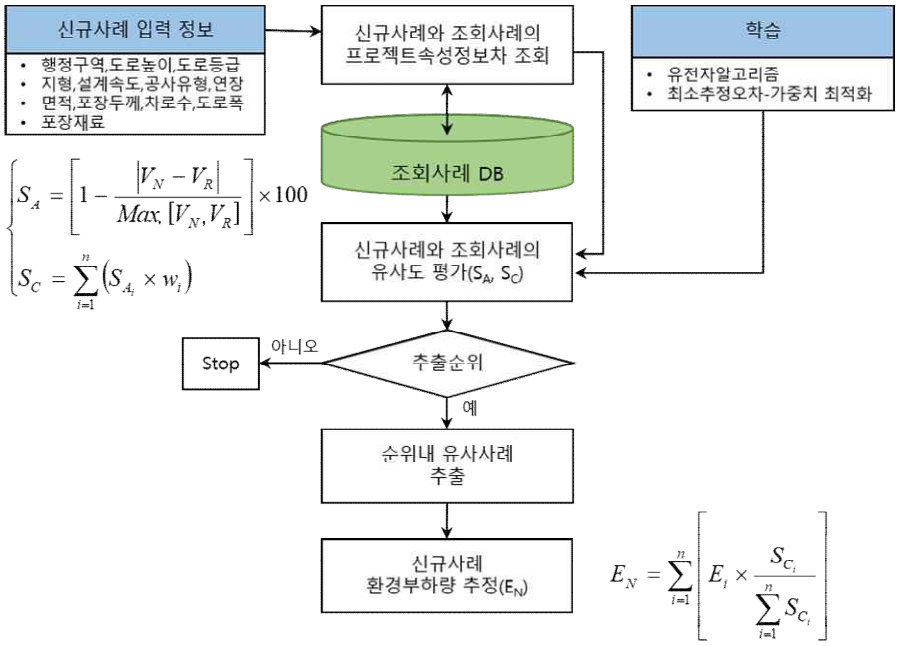
○ S_c는 신규사례에 대한 조회사례의 유사도점수, w_i는 i번째 속성정보의 가중치임

○ 유사사례의 추출규모는 3순위부터 7순위까지 실험을 수행하여 절대오차율과 표준편차가 가장 우수했던 5순위를 추출순위로 결정함

○ 추출된 사례는 유사도점수의 크기가 신규사례의 환경부하량에 반영되도록 식 (1.5)와 같이 산출함으로써 신규사례와 유사도가 높은 조회사례의 환경부하량 값이 최종 추정값에 가장 많이 반영될 수 있도록 모델을 구성함

$$E_N = \sum_{i=1}^{n} \left(E_i \times \frac{S_{c_i}}{\sum_{i=1}^{n} S_{c_i}} \right) \quad (1.5)$$

○ E_i는 유사사례로 추출된 사례의 환경부하량임. CBR기반의 기획단계 모델에 대한 알고리즘은 [그림 1-2-4]와 같음



[그림 1-2-4] CBR기반 기획단계 환경부하 평가모델

4. 평가모델 검증

가. 검증사례를 통한 모델의 평가

○ CBR 기반의 모델에서는 신규사례와 사례 DB가 중복이 되면 사례의 유사도가 과하게 평가되어 최종 추정값을 왜곡시킬 수 있음

○ 따라서 객관적으로 모델을 검증하기 위하여 앞서 구축한 사례 DB에서 20개를 임의로 제외한 후 80개를 CBR 모델에서 유사사례의 추출을 위한 조회사례로 사용하고 10개는 GA를 통한 학습에 사용함

○ 나머지 10개의 사례를 [그림 1-2-4]의 기획단계 모델에 적용하여 모델의 유효성을 평가함. [표 1-2-4]에 10개 사례에 대한 CBR 기반 모델의 추정값과 오차율을 나타냄

[표 1-2-4] 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

○ 검증사례 중 가장 작은 오차율을 나타낸 1번사례와 가장 큰 오차율을 보인 8번사례의 유사도점수를 조사하여 [표 1-2-5]에 제시함

○ CBR 기반의 모델에서 발생하는 오차는 신규사례와 조회사례의 속성정보차에 의해서 발생함 (김지훈, 2013)

○ 가장 작은 오차가 발생한 1번사례의 경우 유사도점수 평균이 84.3으로 조사되었으며, 가장 큰 오차가 발생한 8번사례의 경우 유사도점수 평균이 70.1을 보임

[표 1-2-5] 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 확충없이 속성정보의 차이에 의해 발생하는 오차를 보정할 수 있는 방법론을 개발하여 모델에 반영하고자 함

나. 오차의 보정을 통한 모델의 개선

○ 기존의 연구(김지훈, 2013; 김윤식, 2010)에서는 회귀방정식의 오차량을 활용하여 CBR 모델의 오차를 보정한 바 있음

○ 그러나 도로건설공사에는 속성정보와 환경부하량의 관계에 불확실성이 다수 존재함. 예를 들면 토공작업의 경우 토공량이 동일한 도로건설공사에서 토질의 구성비에 따라 전혀 다른 환경부하량을 나타낼 수 있음

○ 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

○ 오차량이 아닌 오차율로써 총 보정량을 산출하면 앞서 언급한 토공사의 불확실성과 같은 오차도 함께 반영될 수 있을 것으로 예상됨

○ 속성정보차에 의한 추출사례의 보정량(R_A)은 식 (1.6)과 같이 유사사례의 환경부하량에 회귀방정식으로부터 산출한 각 속성정보의 오차율을 적용하여 산정함

$$R_A = \sum\left(E_N \times \frac{\partial E}{E}\right) \quad \text{(식 1.6)}$$

○ [그림 1-2-4]에 나타낸 학습과정에서 GA의 목적함수는 모델에서 추정되는 환경부하량 오차의 최소화임. 따라서 이 목적함수를 만족하는 속성정보가중치를 유사도평가에 반영할 경우 모델의 정확도를 향상시킬 수 있음

○ 그러나 속성정보가중치에는 학습과정에서 발생한 오차가 반영되어 있으며, 이는 최종 추정값의 오차에도 영향을 미칠 것으로 예상됨

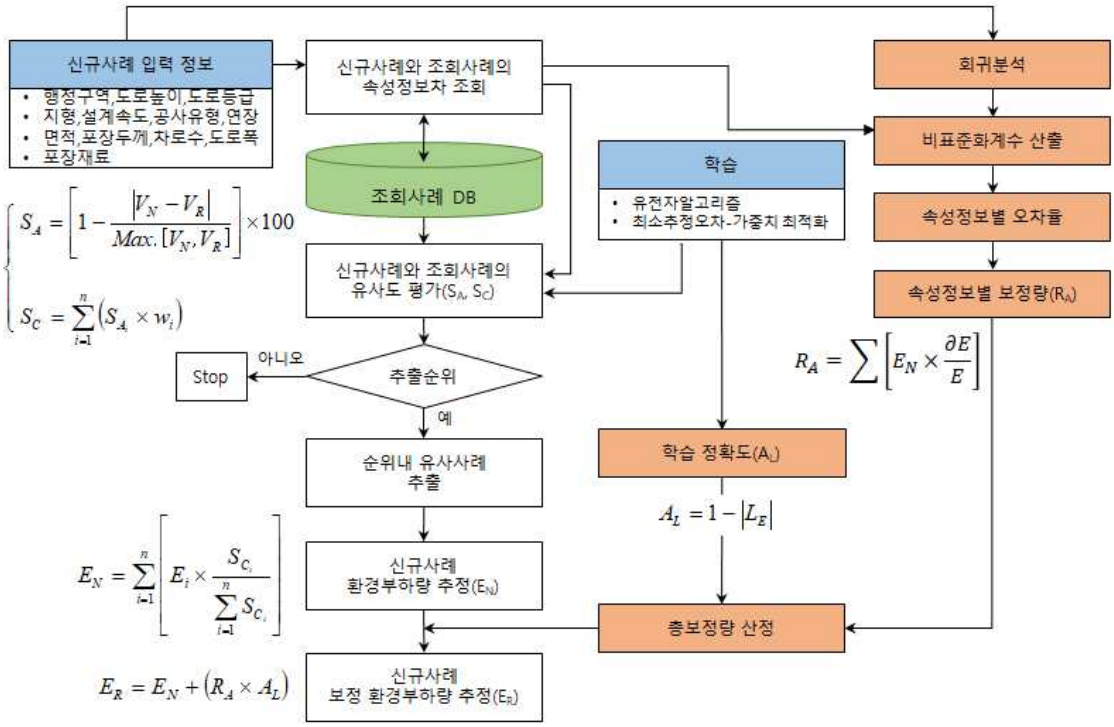
○ 학습과정의 오차를 소거하기 위하여 식 (1.7)과 같은 학습정확도(A_L) 개념을 도입함

$$A_L = 1 - |L_E| \quad \text{(식 1.7)}$$

○ 속성정보차에 의한 보정량과 학습과정에서 발생한 오차를 소거하기 위한 학습정확도를 반영한 CBR 기반 모델의 보정 환경부하량(E_R)은 식 (1.8)과 같음

$$E_R = E_N + (R_A \times A_L) \quad \text{(식 1.8)}$$

○ [그림 1-2-4]의 CBR 기반 기획단계 환경부하 평가모델에 식 (1.6), 식 (1.7), 식 (1.8)을 반영한 개선된 기획단계 환경부하 평가모델은 [그림 1-2-5]와 같음



[그림 1-2-5] 개선된 CBR 기반 환경부하 평가모델

○ 오차보정 모델이 적용된 [그림 1-2-15에 [표 1-2-4]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 1-2-6] 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

제 3 절 설계단계 환경부하 평가모델

1. 설계단계 환경부하 평가모델의 개요

○ 본 연구에서 정의 하는 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

○ LCA는 작업물량에 기반한 투입자원량을 이용하여 환경부하량을 산출하기 때문에 기획단계의 모델에서 적용한 CBR 기반의 모델로 정확도를 향상시키는 데는 한계가 있음

○ 설계단계에서 활용하기 의한 정밀한 모델을 개방하기 위해서는 LCA의 기본 프로세스에 충실하게 접근할 필요가 있음

○ 그러나 정밀한 결과 도출을 위해 너무 많은 입력정보를 설정하면 모델사용을 위한 과정에서 입력정보의 수집과 정리에 많은 시간을 소비하게 되고 이는 결국 모델의 복잡성을 가중시킬 뿐만 아니라 모델의 실효성을 떨어뜨리게 됨

○ 이에 본 연구에서는 기획단계에서 사용된 입력정보를 최대한 활용하고 실시설계 초기단계에서 확보 가능한 노선관련 정보를 추가하는 형태로 모델구성을 계획함

○ 실시설계 초기단계는 기획단계보다 더 상세한 정보의 수집이 가능하기 때문에 수집된 정보를 활용하여 작업물량을 산출하고 그로부터 자원량을 도출하여 환경부하량을 산출하는 LCA의 프로세스에 근접한 모델의 개발이 가능함

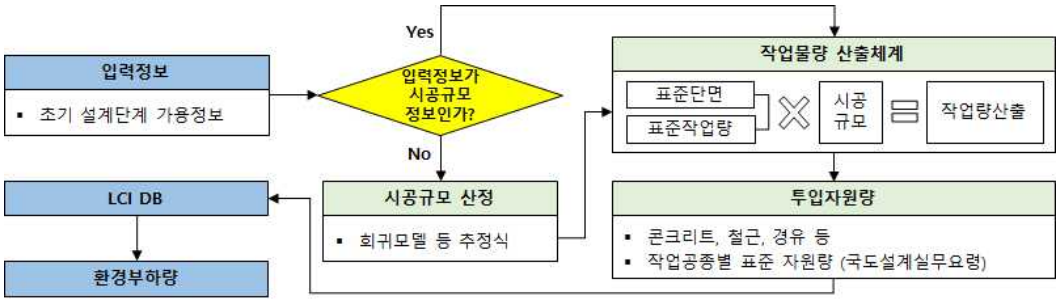
○ 따라서 정밀도가 높아진 [표 1-2-7]의 기획단계 입력정보와 실시설계 초기단계에서 확보 가능한 노선관련 정보를 활용하여 작업물량을 추정하고 이를 통해 투입자원량을 산출함으로써 환경부하량을 산정토록 모델구축 계획을 수립함

○ 도로부에 편성된 모든 공종의 작업물량을 도로의 속성정보로부터 추정하는 것은 불가능함. 따라서, 도로부를 구성하는 작업공종 중 환경부하에 영향이 큰 대표공종을 선정하고, 이들 대표공종만을 대상으로 환경부하량을 산정토록 함

○ 대표공종 이외의 공종(기타 공종)은 비율로써 반영하여 도로부 전체 환경부하량이 추정되도록 함

○ 정밀해진 기획단계의 입력정보와 설계단계에서 생산된 최소한의 정보를 활용하여 비교적 정확한 작업물량을 산출할 수 있으며, 작업물량에 기반한 설계단계의 모델은 기획단계 모델보다 정밀한 결과를 도출할 수 있을 것으로 예상됨

○ 작업물량은 [그림 1-3-1]에 타나낸 것과 같이 도로분야를 구성하는 공종인 토공, 비탈면안정공, 배수공, 포장공, 교통안전시설공, 부대공 중 도로분야의 환경부하량을 대표할 수 있는 공종(대표공종)을 선정하고 각 대표공종의 표준단면에 기초하여 작업물량을 산출하는 체계(작업물량산출체계)를 개발하여 모델에 적용코자 함



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

○ 작업물량산출체계는 해당공종을 대표하는 표준단면과 그로부터 산출한 표준작업량으로 구성됨

○ 각 대표공종별로 투입되는 자원량은 국도설계실무요령에서 제시하는 각 공종별 투입자원과 단위수량을 참조하여 표준자원 DB([부록A 1.4] 참조)로써 구축함

○ 산출된 작업물량에 표준자원 DB를 연계하여 산정한 각 공종별 투입자원량은 LCI DB로부터 도출한 기능단위의 환경부하량에 곱하여 환경부하량을 산정함

2. 환경부하 특성분석

가. 대표공종

○ 앞서 [그림 1-1-7]의 (a)에 나타낸 바와 같이 도로부의 각 공종별 환경부하량 분포는 도로의 주요 작업공종으로 보기 어려운 부대공이 가장 많은 35.8%를 보임

○ 이에 [그림 1-1-8]과 같이 수량산출서의 분석을 통해 부대공에 편성된 자재를 본래 투입되는 ○공종으로 환원하는 작업을 수행하여 [그림 1-1-7]의 (b)와 같이 포장공, 배수공의 영향이 13.7%P와 10.0%P 증가한 38.3%와 33.7%를 나타냄

○ 교량과 터널을 제외한 도로부의 환경부하량은 [표 1-3-1]과 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 1-3-1] 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

○ 토공, 배수공, 포장공의 도로부 대표공종은 수 백 여개의 세부작업공종으로 구성되어 있음. 이 모든 세부공종의 작업물량을 실시설계 초기단계의 가용정보만으로 산출하는 것은 불가능하기 때문에 대표공종 선정과 같은 방법으로 대표성을 갖는 세부작업공종(주요아이템)을 선정하여 모델에 반영하고 나머지 세부작업공종(마이너아이템)은 비율로써 반영토록 계획함

○ 주요아이템은 대표공종의 환경부하량을 90%이상 설명할 수 있는 세부작업공종의 조합으로 구성하며, 이들 주요아이템은 설계단계의 가용정보로부터 작업물량을 추정할 수 있어야 함

나. 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 1-3-2]은 토공의 세부작업공종별 환경부하량 분포임

○ 유용토운반(흙운반)이 토공의 세부작업공종 중 가장 많은 31.50%를 차지하고 있으며, 순쌓기운반이 24.27%, 흙깎기가 24.21% 환경부하를 발생시키고 있음

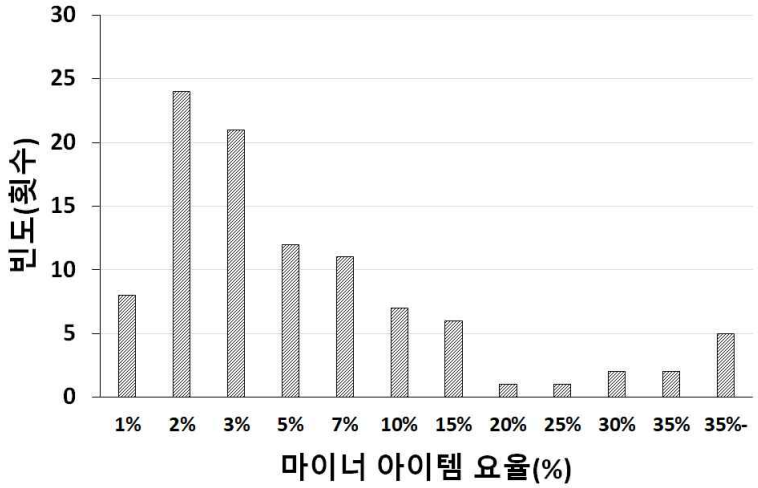
[표 1-3-2] 토공 세부작업공종의 환경부하량 분포

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 1-3-2]과 같이 2.0%~3.0%의 비율을 나타내는 사례가 45개로 가장 많음

○ 10%이내의 마이너아이템 비율을 나타내는 사례는 총 85개임. 즉, 국도건설공사의 토공에서 대표공종을 제외한 마이너아이템의 비율을 10%이하의 환경부하를 발생시키고 있는 것으로 조사됨



[그림 1-3-2] 토공의 마이너아이템 분포

○ 30% 이상의 비율을 나타내는 사례도 9건이 있는 것으로 조사됨. 이는 일반적이지 않은 사례들로써 현장여건의 특수성으로 인해 기존구조물깨기와 같은 공종에 과다한 작업물량이 편성되어 있거나 연약지반처리와 같은 특수공종이 반영된 경우임

○ 이러한 특수한 사례는 마이너아이템을 산정하기 위한 자료에서 제외하고 각 사례의 마이너아이템 비율을 산술평균한 결과 토공의 마이너아이템 비율은 3.12%가 산정됨. 표준편차는 2.15%임

다. 배수공의 환경부하 특성

○ 배수공 세부작업공종에 대한 환경부하량의 기여도를 분석한 결과 [표 1-3-3]와 같이 측구공이 48.11%로써 가장 큰 환경부하를 발생시키는 것으로 조사됨

○ 암거공은 28.75%를 나타냈으며 나머지 배수시설물들은 10%미만의 환경부하를 발생시키고 있음

○ 측구공과 암거공의 환경부하량이 상대적으로 크게 나타난 것은 이들 공종이 배수공의 세부작업공종 중 가장 많은 콘크리트를 소비하기 때문으로 판단됨

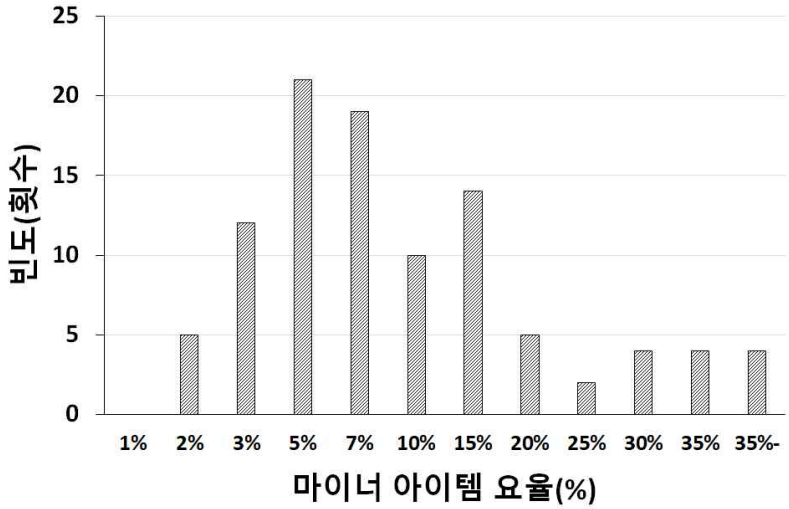
[표 1-3-3] 배수공 세부작업공종의 환경부하량 분포

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

○ 측구공, 암거공, 용수개거, 횡배수관공, 종배수관공은 배수공에서 발생하는 환경부하의 90.59%을 발생시키고 있는 세부작업공종으로써 배수공의 주요아이템으로 선정함

○ 100개의 사례 DB에서 배수공의 주요아이템을 제외한 마이너아이템의 비율을 분석한 결과 [그림 1-3-3]과 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 특이공종이 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



[그림 1-3-3] 배수공의 마이너아이템 분포

○ 일반적인 배수시설물이 과다하게 편성된 경우는 특이 사례라기보다는 수리계산 결과에 의한 편성이기 때문에 마이너아이템 비율의 선정과정에서 배제하는 것은 바람직하지 않아 보임

○ 따라서, 편차가 크게 나타나는 배수공의 마이너아이템 비율은 산술평균값이 아닌 중간값을 산정하는 것이 합리적이라 판단함. 중간값에 의해 산정된 배수공의 마이너아이템 비율은

6.07%임

라. 포장공의 환경부하 특성

○ 포장공은 도로부에서 발생하는 환경부하량 중 가장 많은 38.33%의 환경부하를 발생시키며, 이 중 약 93%가 포장공의 세부작업공중을 수행할 때 투입되는 자재에 의해 발생함

○ 포장공의 세부작업공종이 환경부하에 미치는 영향을 분석한 결과 [표 1-3-4]와 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

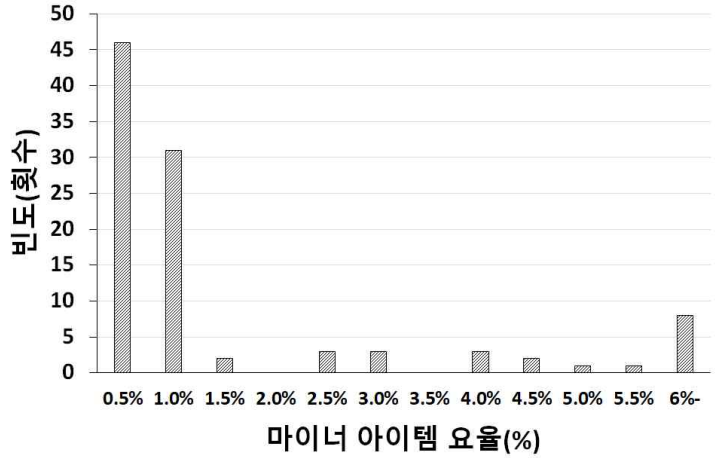
[표 1-3-4] 배수공 세부작업공종의 환경부하량 분포

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

○ [표 1-3-4]에 나타낸 결과에 의하면 아스팔트콘크리트 포설작업과 골재포설작업으로 인해 발생하는 환경부가 전체 환경부하의 91.21%에 달함. 이들과 함께 주요아이템으로 분류된 콘크리트 포장은 본선이 아닌 부체도로나 측도, 이설도로의 설치를 위한 작업공종임.

○ 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 1-3-4]에 제시함



[그림 1-3-4] 포장공의 마이너아이템 분포

○ 사례 DB로부터 도출한 포장공의 마이너아이템 비율은 100개중 77개의 사례가 1.0%를 나타냄. 다른 사례보다 상대적으로 크게 평가된 6% 이상의 마이너아이템 비율을 보인 사례는 보조기층과 동상방지층에 사용되는 골재를 현장에서 직접 생산하도록 설계된 특이사례로 조사됨

○ 또한 1.5%~5.5%의 분포를 나타내는 사례 또한 현장의 여건이 반영됨으로써 경계석이나 보도포장 작업이 과다하게 편성된 경우임

○ 따라서 이러한 사례들을 배수공과 같이 마이너아이템 비율 산정과정에서 배제하지 않고 중간값을 적용하여 산정함. 포장공의 마이너아이템 비율은 0.52%임

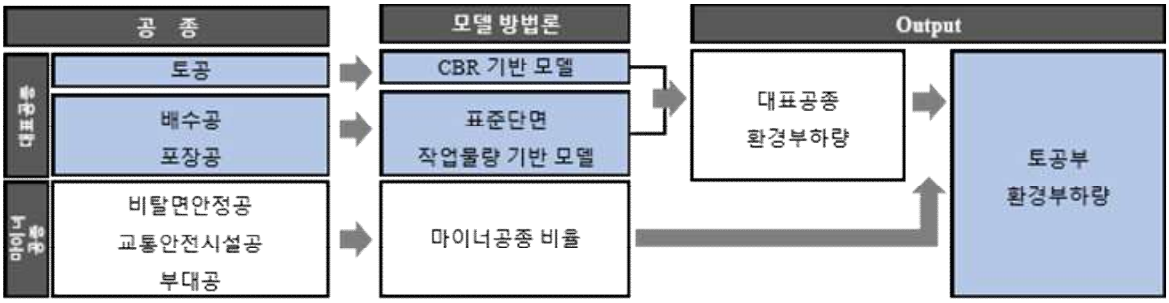
3. CBR+표준물량 기반 환경부하 평가모델 개발

○ 당초 설계단계 환경부하량 평가 모델은 [그림1-3-1]과 같이 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 절대오차율을 보여 비교적 양호한 결과를 도출하였던 CBR 방법론을 도입하여 [그림 1-3-5]와 같이 하이브리드 모델을 구축하는 것으로 계획을 변경함



[그림 1-3-5] 설계단계 하이브리드 모델의 개요

가. 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

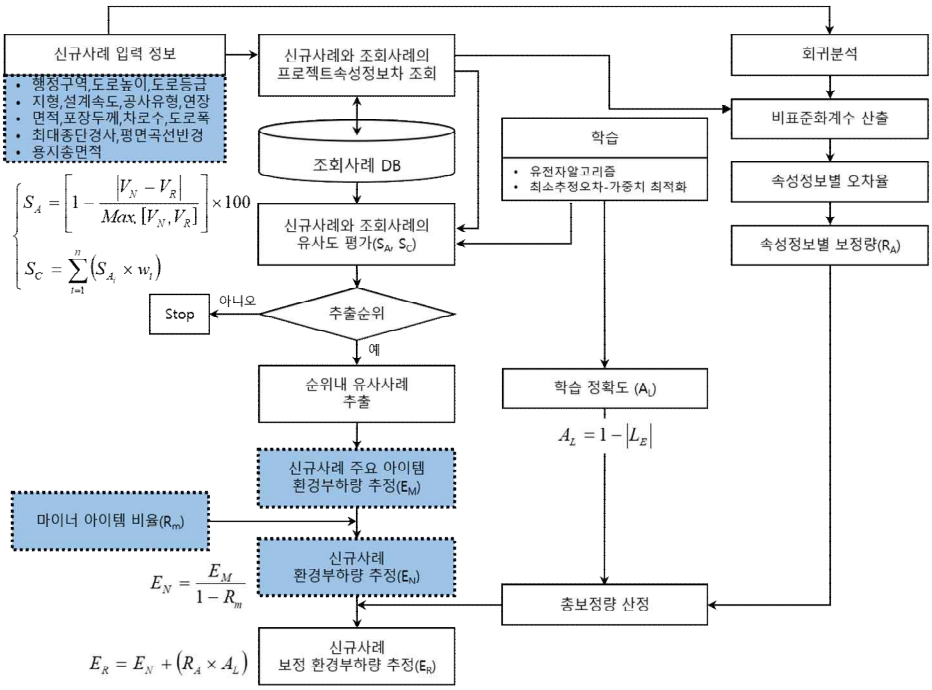
○ 설계단계에서 환경부하량을 평가하기 위한 토공모델의 입력정보는 [표 1-3-5]과 같이 기획단계에서 적용한 12개의 입력정보 항목에 설계단계에서 확보할 수 있는 3개의 도로선형 정보를 추가함

[표 1-3-5] 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 1-3-6]과 같이 토공 주요아이템의 환경부하량으로 설정함

○ CBR 기반 모델로부터 추정한 주요아이템의 환경부하량에 토공의 마이너아이템 비율을 적용하여 전체 토공의 환경부하량을 추정함



[그림 1-3-6] 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 1-3-6]에 나타냄

[표 1-3-6] 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

나. 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 1-3-5]의 토공 모델에 대한 입력정보를 활용하여 배수시설물의 작업물량을 추정하는 것이 가능할 것으로 판단됨

○ 수량산출서에서 배수공 세부작업공종의 작업물량을 산출하는 과정을 살펴보면, 배수시설이 설치될 시공규모(연장, 면적, 개소 등)를 결정한 후 해당 시설물의 표준단면에서 제시하는 단위시공규모당 작업량을 적용함

○ 이 과정을 배수공의 작업물량을 산출하는 과정에 그대로 모사하여 작업물량산출체계를 개발하고 모델에 반영함

○ 작업물량산출체계는 입력정보로 부터 시공규모를 추정하는 과정과 세부작업공종별 표준단면으로부터 도출한 표준작업량 DB를 포함하고 있음

○ [표 1-3-5]의 입력정보를 활용하여 배수시설의 시공규모를 결정하는 방법은 입력정보를 독립변수로 시공규모를 종속변수로 하는 다중회귀모델을 수립하여 적용함

○ 회귀모델의 유의성을 확인하기 위해 [표 1-3-4]에서 제시한 배수공의 주요아이템을 대상으로 다중회귀분석을 수행한 결과 [표 1-3-7]과 같은 결과를 보임

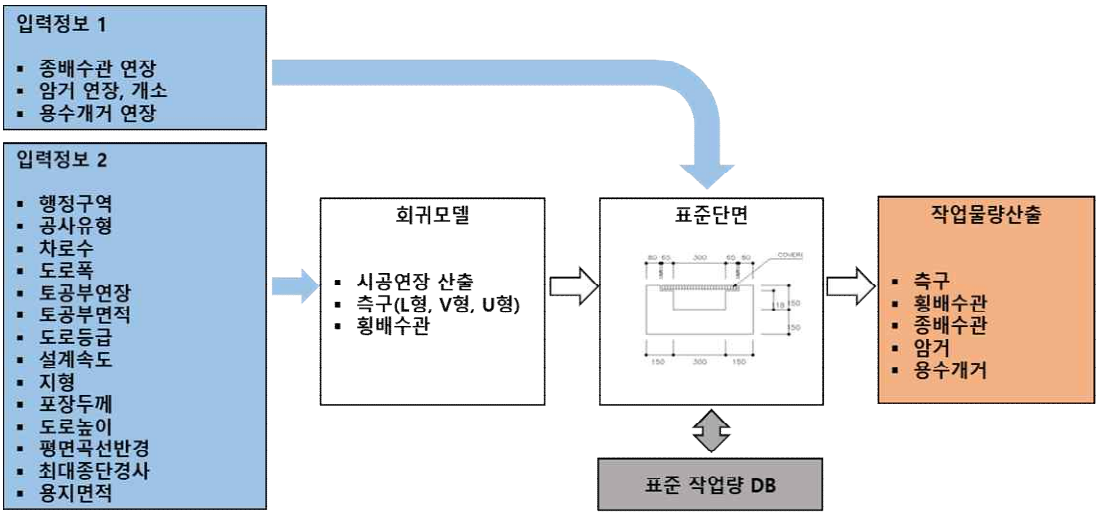
[표 1-3-7] 배수공 주요아이템의 다중회귀분석 결과

구분		R	R2	수정R2	F	유의확률
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
암거		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 보여 비교적 설명력이 우수한의 모델이 도출됨

○ 종배수관과 암거, 용수개거는 유의확률이 15%~57%에 달해 설명력이 있는 유의한 모델로 평가되지 못함. 종배수관, 암거, 용수개거는 도로의 제원보다는 현장여건이나 수리계산의 결과가 설계에 큰 영향을 주기 때문으로 판단됨

○ 측구(L형, V형, U형)와 횡배수관은 [표 1-3-5]의 입력정보를 활용하여 회귀모델로 부터 시공규모를 추정토록하고, 종배수관, 암거, 용수개거는 기본설계자료를 활용하거나 사용자가 경험적으로 직접 입력토록 [그림 1-3-7]과 같이 작업물량산출체계를 구성함



[그림 1-3-7] 배수공의 작업물량산출체계 개요도

○ 작업물량산출체계에서 시공규모 추정을 위한 회귀모델의 비표준화계는 [표1-3-8]과 같음

[표 1-3-8] 배수공 시공규모 추정을 위한 비표준화계수 목록

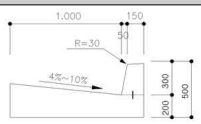
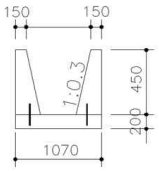
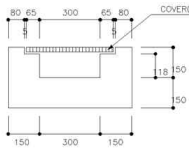
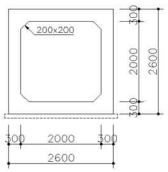
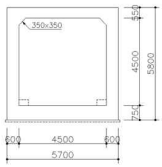
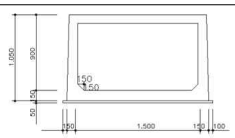
입력변수 (독립변수)		비표준화계수			
		L형측구	V형측구	U형측구	횡배수관
상수		25215.614	27298.109	-5269.695	2319.328
행정 구역	경기	3232.424	1063.611	1548.698	-190.241
	충남	-885.741	823.399	163.183	-611.275
	충북	5550.004	1974.210	-471.924	-214.174
	전남	9572.976	95.253	485.630	-422.104
	전북	991.048	40.469	-382.566	-734.360
	경남	-1885.449	704.392	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
	국도III	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

○ 배수공의 표준단면은 국토교통부의 국도표준도와 암거표준도를 참조하여 각 시설물별로 설

계과정에서 사용빈도가 높은 형식과 제원을 선정함.

○ 표준단면 선정에 최근의 설계 경향을 반영하기 위하여 도로설계분야 책임자급 실무자의 자문을 참조하였으며 [표 1-3-9]와 같이 배수공 주요아이템의 표준단면을 선정함

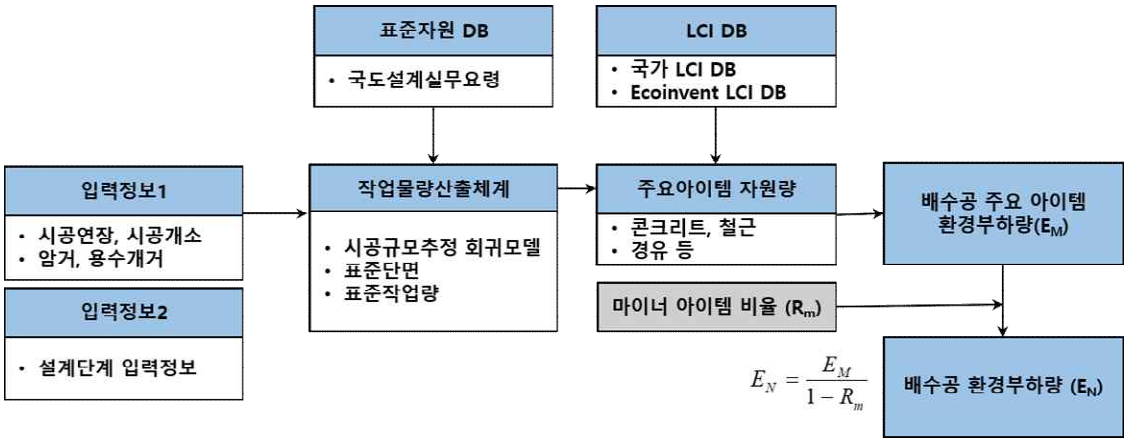
[표 1-3-9] 배수공 주요아이템의 표준단면

구분		구체		날개벽
		형식	표준단면	
측구	L형측구	형식-1		-
	V형측구	형식-1		-
	U형측구	형식-1		-
배수관	횡배수관	∅600mm	-	좌 60°, 우 60°
	종배수관	∅600mm	-	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 국도설계실무요령(국토교통부, 2013)을 기준으로 단위작업물량당 각 공종에 투입되는 자원량을 도출하여 DB(표준자원 DB)로 구축함

○ [그림 1-3-7]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 1-3-8]과 같음



[그림 1-3-8] 표준물량 기반 배수공의 환경부하량 평가모델 개요

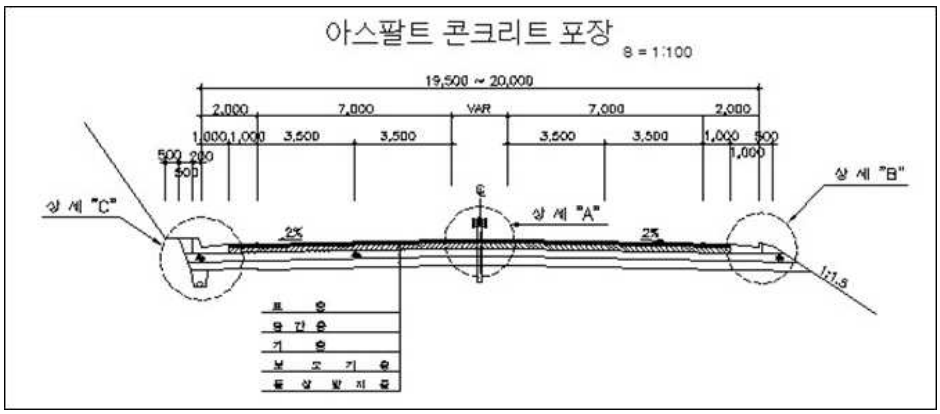
제 4 절 포장공 모델

○ 포장공의 주요아이템의 작업물량은 도로의 연장, 폭원 그리고 포설두께에 의하여 산출되는 면적 또는 부피의 값으로 표현됨

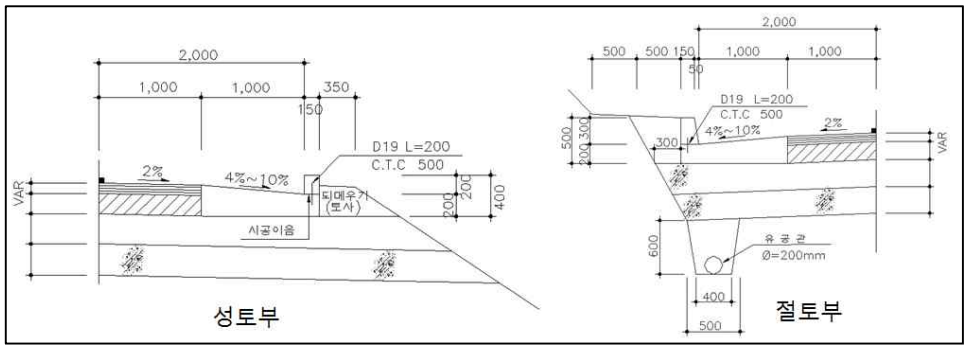
○ 이들 입력정보는 [표 1-3-5]와 같이 모델에 대한 기본정보항목에 포함되어 있음. 따라서 포장공 모델은 별도의 입력정보 없이 토공부연장, 도로폭, 포장두께만을 사용하여 작업물량을 산출토록 계획함

○ 포장공 모델에 적용한 도로의 단면은 국토교통부 국도표준도를 참조하여 [그림1-4-1]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 1-4-2]의 길어깨부 표준단면을 모델에 반영함



[그림 1-4-1] 본선부의 표준단면



[그림 1-4-2] 길어깨부 표준단면

○ 전체 분석구간에 대하여 모든 주요아이템의 길어깨부 수량을 표준화하여 산출하는 것은 불가능함

○ 이에 각 주요아이템의 본선과 길어깨부에 대하여 단위작업량(/m)을 산출한 후 본선수량에 대한 할증율을 제시함으로써 본선부의 작업물량산출과정만으로 길어깨부의 작업물량이 반영되도록 함

○ 각 주요아이템의 길어깨부에 대한 할증율은 [표 1-4-1]과 같음. 입력정보를 통해 본선부의 수량이 산출되면 [표 1-4-1]의 할증율을 적용하여 길어깨부 작업물량을 반영함

[표 1-4-1] 주요아이템별 길어깨부 할증율

주요 아이템		단위작업수량		할증율
		본선	길어깨	
보조기층		4.000	1.073	1.268
동상방지층		9.000	2.487	1.276
아스팔트 콘크리트	기층	20.000	2.000	1.100
	중간층	20.000	2.000	1.100
	표층	20.000	2.000	1.100

○ 아스팔트콘크리트와 골재포설 작업 외에 포장공의 주요아이템으로 선정된 콘크리트 포장은 국도 본선부 주변에 시공되는 부체도로 등을 위한 공종임

○ 국토해양부(2011)의 자료에 의하면 국도 10km를 건설할 때 부체도로는 평균 3.5km가 시공됨. 부체도로의 연장은 본선부에 포함되지 않지만 그 규모만으로 볼 때 환경부하량 산정과정에서 제외할 수 없음

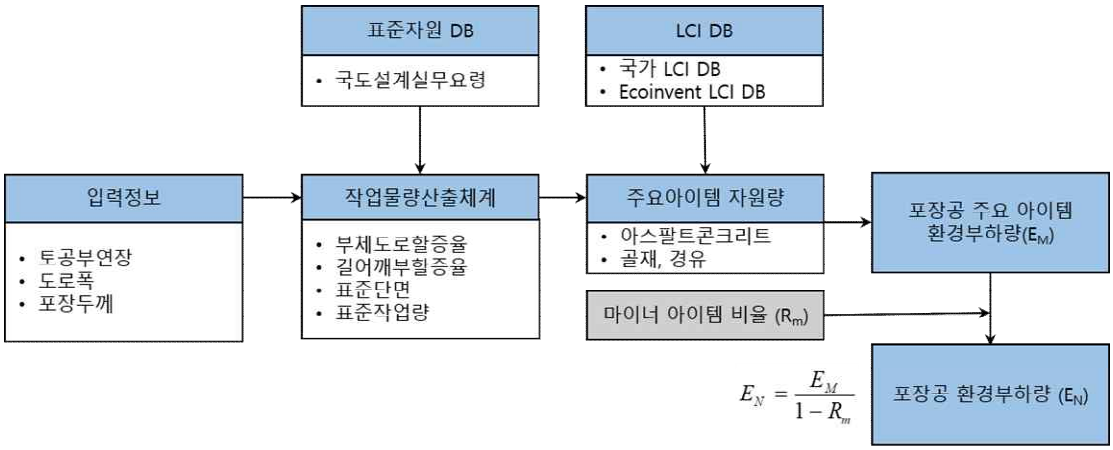
○ 부체도로는 도로가 설치되는 지역의 특성에 따라 그 규모가 결정되기 때문에 통계적 기법을 활용하여 그 규모를 추정하는 것은 불가능함

○ 따라서 본 연구를 위해 수집한 사례 DB를 대상으로 부체도로가 발생시키는 환경부하와 포장공 전체 환경부하의 상관분석을 통해 본선부 연장(토공부연장)의 할증 형태로 반영함

○ 100개의 사례 DB를 분석하여 산출한 부체도로의 본선연장에 대한 할증율은 1.12임. 즉, 입력정보 중 토공부연장이 100m 이면 모델에서 부체도로 할증량을 고려하여 토공부연장을 112m로 변경후 작업물량산출에 적용함

○ 포장공의 환경부하 평가모델은 [그림 1-4-3]와 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 1-4-3] 표준물량 기반 포장공의 환경부하량 평가모델 개요

제 5 절 기타공종

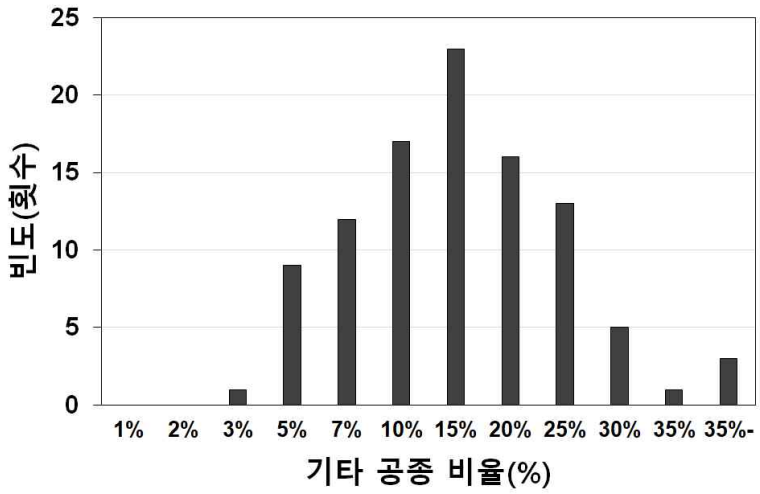
○ 본 연구에서 환경부하량을 산출하기 위하여 개발한 모델은 전체 환경부하량의 85%를 차지하는 토공, 배수공, 포장공의 대표공종을 대상으로 함

○ 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 1-5-1]과 같이 5.0%~25.0%임. 이를 산술평균하여 13.99%의 기타공종 비율을 산정함



[그림 1-5-1] 기타공종 비율 분포

제 6 절 평가모델 검증

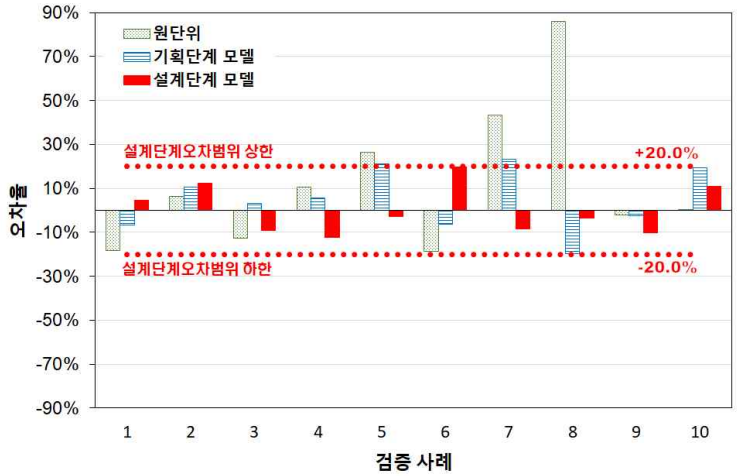
○ 각 대표공종의 환경부하량 평가모델을 조합하여 설계단계에서 도로부의 환경부하량 평가모델을 개발하고 사례 DB에서 10개의 사례를 추출하여 모델의 유효성을 검증함

[표 1-6-1] 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(절댓값)						9.42%				
표준편차						4.97%				

○ 10개의 사례를 활용하여 모델의 정확도를 검증한 결과 [표 1-6-1]와 같이 설계단계 환경부하량 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/m^2) 모델과 본 연구에서 함께 개발한 기획단계 모델 및 설계단계 모델의 정확도를 비교하여 [그림 1-6-1]에 제시함



[그림 1-6-.1] 설계단계 모델의 유효성 검증

○ 단위면적당 환경부하량을 통계적 방법에 의해 산출하여 적용한 원단위모델은 도로부의 연장과 폭원에 대한 정보만으로 간편하게 환경부하량을 산정할 수 있으나, 절대오차율 평균이 22.45%로써 가장 크게 조사됨

○ CBR방법론을 적용하여 본 연구에서 개발한 기획단계 환경부하량 평가모델은 원단위 모델보다 10.61%P의 정확도가 향상된 11.84%의 절대오차율을 나타냄

○ CBR방법론과 대표공종의 표준작업물량에 기반한 설계단계 환경부하 평가모델은 가장 정확도가 우수한 9.42%의 절대오차율 평균과 4.97%의 표준편차를 보여 예측값의 정확도 측면에서 유효한 모델임을 나타냄

제 7 절 유지관리단계 환경부하 평가모델

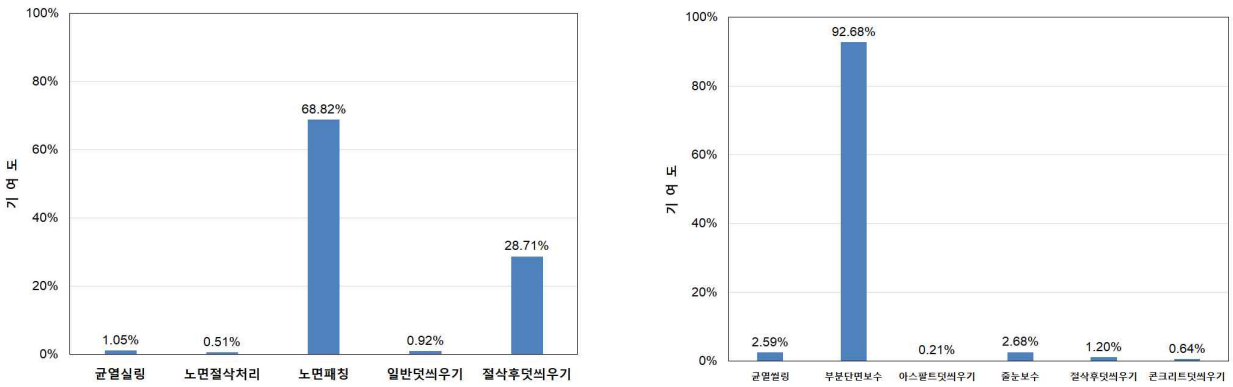
1. 유지관리단계 환경부하 평가모델의 개요

○ 도로부의 유지관리단계는 크게 보수부분과 운영부분으로 구분할 수 있음. 보수부분은 도로가 지속적으로 기능을 수행할 수 있도록 하기 위한 수선작업으로 구성되어 있으며, 운영부분은 도로의 편의성 유지와 운영에 필요한 관리적 측면을 포함함

○ 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 1-7-1]과 같음



(a) 아스팔트콘크리트 (b) 시멘트콘크리트

[그림 1-7-1] 포장보수 공법별 기여도

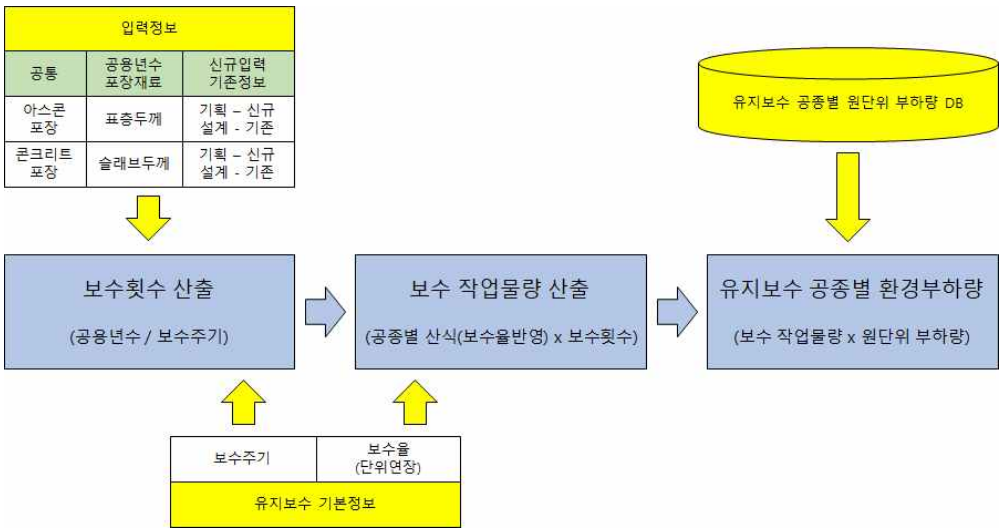
○ 아스팔트콘크리트 포장도로의 보수공법 중 가장 많이 수행되는 작업은 68.82%의 분포를 나타낸 노면패칭이며, 다음은 28.71%의 분포를 나타낸 절삭후덧씌우기임

○ 시멘트콘크리트 포장도로의 보수공법은 부분단면보수 작업이 92.68%로써 압도적으로 많이 수행되고 있는 것으로 조사됨. 균열씰링(보수), 줄눈보수, 절삭후덧씌우기는 1.20%~2.68%의 분포를 나타냄

○ 따라서, 도로부의 유지관리단계 환경부하 평가보델에 적용할 보수공종은 아스팔트콘크리트는 팻칭과 절삭후덧씌우기의 2개 공종을, 시멘트콘크리트는 부분단면보수, 균열보수, 줄눈보수, 절삭후덧씌우기의 4개 공종을 선정함

○ 모델에 반영하기 위해 선정한 각 유지보수공법의 작업물량을 산정하기 위하여 [그림 1-7-2]과 같이 시설물의 공용연수 동안 수행될 보수횟수를 산출하고 각 포장재료별 제원정보를 통해 산출한 작업물량에 적용함으로써 총 공용연수 동안 수행될 보수공사에서 소비되는 자원과 에너지량을 산출함

○ 유지보수작업으로 인해 발생이 예상되는 환경부하량은 유지보수공사에서 소비되는 자원과 에너지를 해당 LCI DB와 연계하여줌으로써 산정할 수 있음



[그림 1-7-2] 유지관리단계 환경부하량 평가모델의 개요

2. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성 분석

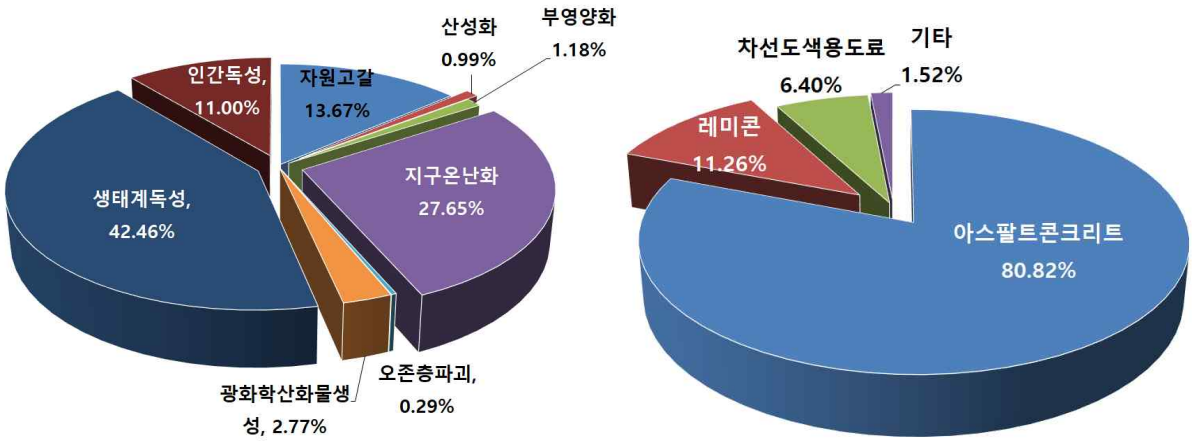
○ 유지보수작업의 환경부하 특성을 분석하기 위하여 기 수행된 포장면의 유지보수공사 사례를 수집하고 LCA를 통해 환경부하량을 산정하여 그 특성을 분석함

○ 수집된 사례는 밀양시에서 발주한 20개의 도로정비공사 사례로써 주요 제원정보와 LCA수행결과는 [표 1-7-1]과 같음

[표 1-7-1] 유지보수공사 사례

No	프로젝트명	공사기간 (일)	도로연장 (m)	포장보수 면적(m2)	eco-point
1	삼문중앙 도로정비공사	90	896	6,784	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	1,820	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

○ LCA를 통해 환경부하량을 산출한 유지보수공사 사례를 활용하여 8개 환경영향범주별 부하량의 기여도를 분석한 결과 [그림 1-7-3]의 (a)와 같이 생태계독성과 지구온난화가 각각 42.46%와 27.65%의 분포를 나타내 두가지 환경영향범주에 의한 환경부하는 전체의 70.11%를 차지함



(a) 환경영향범주별 특성 (b) 투입 자원별 환경부하 특성

[그림 1-7-3] 유지보수작업의 환경부하 특성

○ 유지보수공사의 투입되는 자원이 환경부하에 미치는 영향을 분석한 [그림 1-7-3]의 (b)에 의하면 아스팔트콘크리트가 전체 환경부하량의 80.82%를 점유하고 있으며 콘크리트(레미콘)는 11.26%의 분포를 나타내는 것으로 조사됨

3. 유지보수 공법 기반 환경부하 평가모델

○ 도로부의 유지관리단계 환경부하 평가모델에 적용된 유지보수작업은 [그림 1-7-1]의 분석결과로부터 도출하였으며 세부내용은 [표 1-7-2]과 같음

[표 1-7-2] 도로부 유지관리단계 모델의 적용공종 현황

구분	입력정보	유지보수공종				규격
		공법	보수주기 (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 슬래브두께	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)

4. 평가모델 검증

○ 유지관리단계 환경부하 평가모델은 도로건설공사의 기획 또는 설계단계에서 시설을 운용하면서 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 1-7-2]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 1-7-3] 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(절댓값)							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

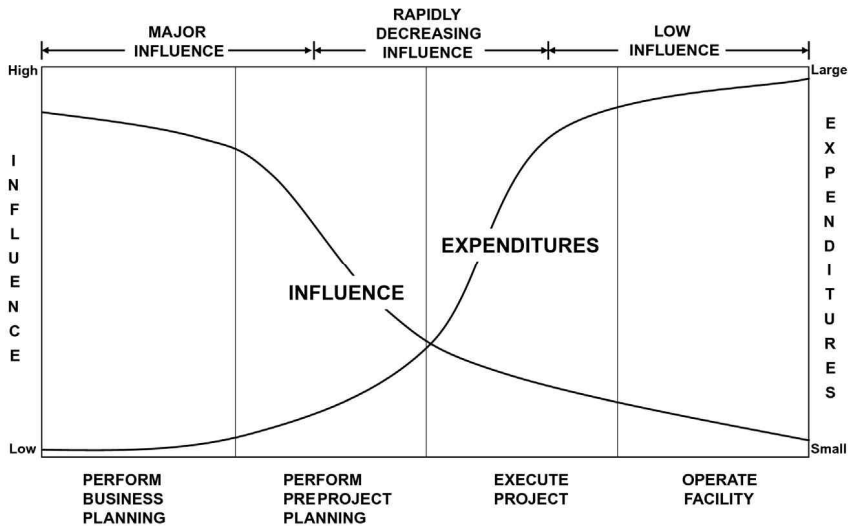
제 2 장 PSC교량 환경부하 평가모델

제 1 절 PSC교량 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축

1. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크

○ 최근 지구온난화, 미세먼지 등 환경 문제와 함께 건설 산업에서 발생하는 환경부하 평가에 대한 중요성도 커지고 있음. 건설 프로젝트의 사업수행 초기 단계에서 검토되는 다양한 설계대안에 대하여 환경부하를 신속히 평가하고, 환경측면에서 지속 가능한 설계대안을 선택하는 것은 중요하다고 할 수 있음. 그러나 건설 프로젝트 초반에 환경부하 평가와 관련한 의사결정을 지원하기 위한 연구가 미흡한 것이 현실임. 따라서 본 연구에서는 PSC 교량의 사업수행 단계별 개략적인 시설물 정보만으로 정량적인 환경부하량을 예측하는 모델을 제안하고자 함

○ 건설사업의 특성상 프로젝트의 수행기간이 매우 길고, 프로젝트에 소요되는 공사비의 크기가 매우 크기 때문에 초기단계에서의 의사결정은 전체 프로젝트를 수행하는데 있어서 매우 중요함. [그림 2-1-1]은 건설 Life cycle에서 프로젝트의 성패에 영향을 미치는 영향도(Influence)와 변경을 위해 소비되는 비용(Expenditure)을 보여줌(Gibson et. al., 1995). 사전사업계획(Pre-project planning) 단계의 초반부일수록 변경으로 인한 영향도가 증가하며, 이로 인한 비용이 감소하는 것을 나타내고 있음. 즉, 설계초기단계에서 고려되는 대안은 프로젝트 후반부에 다양한 측면에서 중요한 영향을 끼칠 수 있음. 그럼에도 불구하고 기존 대다수의 LCA 분석 결과들은 설계단계가 종료된 이후에 결과들을 기반으로 산출되는 방식으로 수행되어왔음. 본 연구에서는 주로 건설사업 의사결정 초기단계를 중심으로 시설물 계획 대안의 환경성을 평가할 수 있는 모델을 구축하고자 하였으며, 기존 시공단계뿐만 아니라 유지관리 단계 대안도 포함하여 분석이 가능한 환경부하 평가체계를 제안하였음



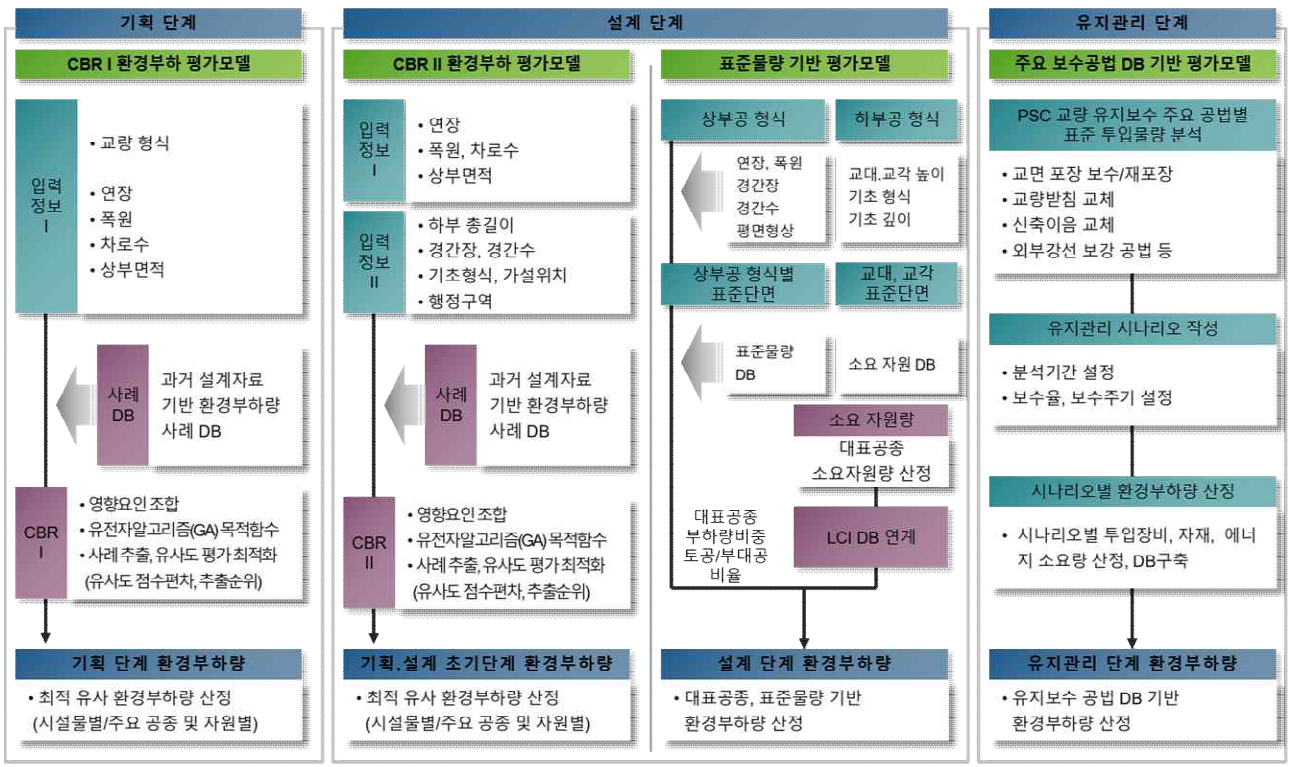
[그림 2-1-1] Influence and expenditures curve for project life cycle (Gibson et al., 1995, pp. 312)

○ 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

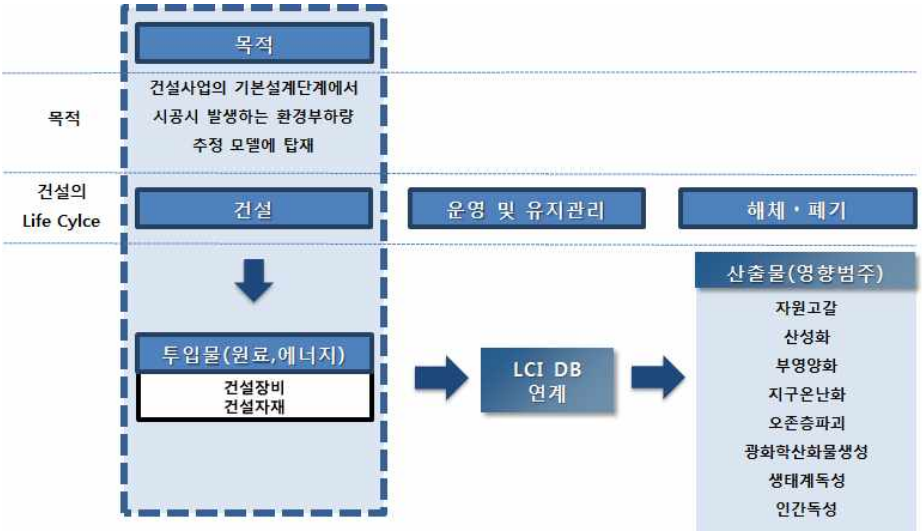
○ 유지관리단계에서는 교량의 점검 주기 및 유지관리 공법을 조사한 후 유지관리 시나리오를 작성하여 시나리오별 투입장비, 자재 및 에너지 소비량 DB를 구축하여 환경부하량을 예측하고자 하며, PSC 교량 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크는 [그림 2-1-2]와 같음



[그림 2-1-2] PSC교량 환경부하량 산정 프레임워크

○ 본 연구에서 환경부하량을 평가하기 위해 분석범위를 [그림 2-1-3]과 같이 설계초기 자료를 통해서 투입자원과 에너지를 파악할 수 있는 자재 생산 및 수송 단계와 시공단계로 설정하였음. 설계가 완료된 국도시설물의 설계 자료를 기반으로 PSC Beam 교의 각 사례별 투입

자재 및 에너지 소비량을 파악하였으며, 기존에 구축되어 있는 원단위 데이터(LCI DB)를 사용하여 환경부하량을 산출하였음



[그림 2-1-3] 전과정평가 수행 범위 및 방법

○ 환경부에서 운영하는 환경성적표지 제도는 전과정평가를 기반으로 제품 및 서비스에 대한 환경부하를 정량화하고 이를 공개함으로써 환경개선을 유도하는 제도임. 시행기관인 한국환경산업기술원에서는 전과정평가를 수행하기 위한 LCI DB로써 환경부와 산업통상자원부에서 개발한 국가 LCI DB를 제공하고 있음. 따라서 본 연구에서는 이를 고려하여 산업통상자원부에서 제시하는 자원고갈(Abiotic Resources Depletion, ARD), 산성화(Acidification, AC), 부영양화(Eutrophication, EU), 지구온난화(Global Warming, GW), 오존층파괴(Ozone Depletion, OD), 광화학산화물생성(Photochemical Oxidant Creation, POC), 생태계독성(Eco-Toxicity, ET), 인체독성(Human Toxicity, HT)의 8대 영향범주별로 분석범위를 설정하였음

○ 또한, PSC Beam교량의 환경부하량을 사례단위로 평가하기 위해서는 8대 영향범주별 환경부하량을 총량 개념으로 분석할 필요가 있음. 따라서 전과정평가를 통해 분석된 결과는 영향범주별 특성화 값뿐만 아니라 단일 단위로 변환된 가중화 값으로도 제시하고자 함. 이를 위하여 [표 2-1-1]과 같이 산출된 특성화 값에 산업통사자원부에서 제공하는 Korean Eco-Indicator의 정규화, 가중화 계수를 적용하여 eco-Point 단위로 환산하여 적용하였음

[표 2-1-1] 8대 환경영향범주별 정규화, 가중화 계수(산업자원부, 2003)

영향범주	ARD	AD	EU	GW	OD	POC	TET	HT
단위	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
정규화 계수	24.9	39.8	13.1	5530	0.0407	10.3	1.63	1480
가중화 계수	0.231	0.036	0.038	0.288	0.292	0.065	0.216	0.105
변환된 단위	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point

2. 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

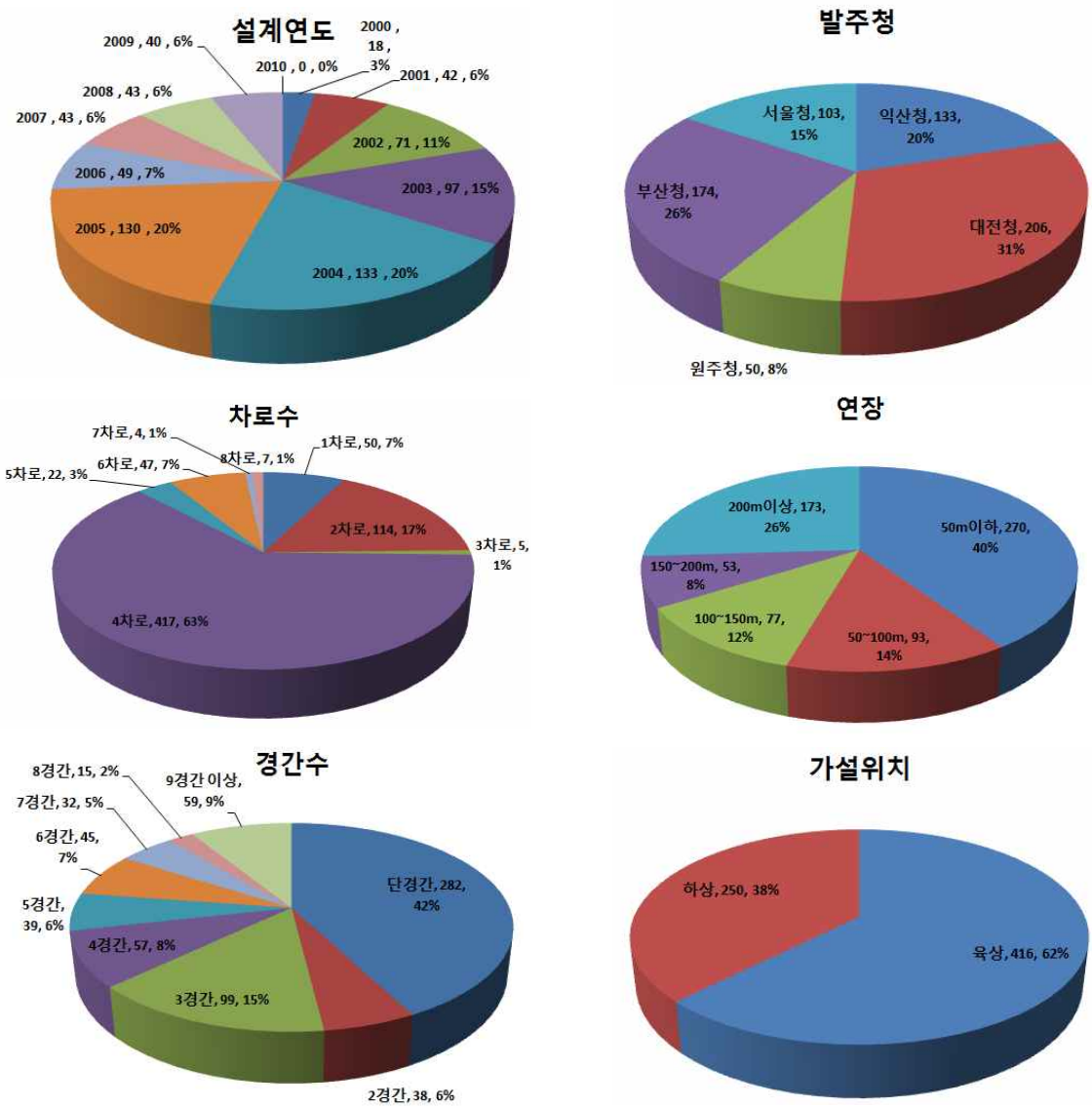
	사업명	사업특성													
		공사유형	발주처	행정구역	지역특성	왕복차선수	차선폭 (m)	총도로폭 (m)	총연장 (m)	토공연장 (m)	도로등급 국도x	설계속도 (km/h)	평면곡선반경 (m)	최대종단경사 (%)	지형
1	예산~신양 도로확장공사 실시설계 용역	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	7110	6699	2	80	280	4.00%	산간
2	김천시 관내 국도대체 우회도로(양천~어모) 건설공사	신설	부산	경북	농어촌	4	3.5	20	18400	13832	1	80	280	6.00%	평야
3	괴산~연풍(2공구) 도로 건설공사 실시설계(국도34호선)	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	8630	6184	1	80	280	4.00%	산간
4	경주시 국도대체우회도로(효현~내남)건설공사 실시설계	신설	부산	경남	농어촌	4	3.5	20	11533	6990	1	100	460	3.00%	산간
5	경주시 국도대체우회도로(내남~외동)	신설	부산	경남	농어촌	4	3.5	20	14800	8816	1	80	280	4.00%	산간
6	현내~송현진1 도로 건설공사 실시설계	확포장	원주	강원	농어촌	4	3.5	20	5100	4405	2	80	280	4.00%	산간
7	남일~보은(제1공구) 도로 건설공사 실시설계 용역 (1-1 공구)	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	6018	4564	1	80	280	4.00%	산간
8	구미시 관내국도대체우회도로(구포~덕산)건설공사 실시설계용역	신설	부산	경북	농어촌	4	3.5	20	14280	3406	2	80	280	4.00%	산간
9	평창~정선 도로건설공사 실시설계	확포장	원주	강원	농어촌	4	3.5	20	16420	9586	3	70	200	5.00%	산간
10	퇴계원~진접 도로건설공사 실시설계	확포장	서울	경기	농어촌	8	3.5	34	14510	11651	2	80	280	4.00%	평야
11	일패~와부 도로건설공사 실시설계	확포장	서울	경기	농어촌	4	3.5	20	8920	8716	3	70	200	5.00%	산간
12	진안~성수1 도로확장공사 실시설계용역 2단계	확포장	익산	전북	농어촌	4	3.5	20	7000	5484	3	70	200	5.00%	산간
13	괴산~연풍(1공구) 도로 확장공사	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	9400	7711	2	80	420	4.00%	산간
14	대덕연구단지 지원도로 건설공사 실시설계용역	확포장	대전	충남	도시부	6	3.5	35	2360	2100	2	80	280	4.00%	도심
15	병천~용두리 도로건설공사 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	3200	2798	2	80	280	4.00%	산간
16	진천IC~금왕(1공구) 도로 건설공사	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	11020	10367	2	80	280	4.00%	평야
17	진천~증평(제2공구) 도로건설공사 실시설계	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	11200	9322	2	80	280	4.00%	산간
18	내북~운암 도로건설공사	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	3500	2630	2	80	280	4.00%	산간
19	청주시 국도대체우회 도로(오동-구성) 건설공사 실시설계	신설	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	4020	3865	2	80	280	4.00%	평야
20	천안시 국도대체우회도로(음봉~영인) 건설공사	신설	대전	충남	농어촌	6	3.5	27	5960	5744	1	100	887	3.50%	산간
21	보령시 국도대체 우회도로(화산~옥동) 건설공사	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	6199	5087	2	80	280	4.00%	산간
22	부여 내산우회도로 건설공사 실시설계(**신양~신풍 2공구**)	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	4600	4208	2	80	280	4.00%	산간
23	서산시 국도대체우회도로(음암~성연) 건설공사	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	7651	6640	2	80	280	4.00%	산간
24	부여 은산 우회도로 축조 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	2890	2860	2	80	280	4.00%	평야
25	아산~천안 도로 건설공사 실시설계	신설	대전	충남	도시부	8	3.5	35.5	8990	8359	2	80	280	4.00%	도심
26	천안시 국도대체우회도로(배방~음봉) 건설공사 실시설계 용역	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	11892	8499	1	100	460	3.00%	산간
27	은행~옥천간 도로확장 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	6440	5220	2	80	280	4.00%	산간
28	귀래~목계 도로 건설공사 실시설계용역	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	9970	7830	2	80	280	4.00%	산간
29	충주시 국도대체 우회도로 용두-금가간 도로확장 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	10800	9100	2	80	280	4.00%	산간
30	성환~입장간 도로확장 및 포장공사 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	8319	7788	1	80	500	3.83%	산간
31	서천~서천판교 도로건설 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	10697	9877	2	80	280	4.00%	산간
32	대산~가곡 도로건설공사 실시설계 용역	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	23660	21584	2	80	280	4.00%	산간
33	신풍-우성 도로 건설공사	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	12073	10481	2	80	280	4.00%	산간
34	청주내덕~청원목일 도로건설공사 실시설계	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	13400	11428	2	80	280	4.00%	평야
35	청양~홍성 도로건설공사 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	23207	21472	3	70	200	5.00%	산간
36	부여규암우회도로 축조 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	7620	6690	2	80	280	4.00%	평야
37	성환우회도로 축조 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	8600	7172	2	80	280	4.00%	평야
38	단양~가곡 도로건설공사	확포장	대전	충북	농어촌	2	3.5	11	5320	3335	3	70	200	5.00%	산간
39	갈산~해미 도로건설공사 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	8010	7945	3	70	200	5.00%	평야
40	서천~서천IC등 3개노선 도로확장 및 포장공사 실시설계용역(수안보IC~3호선)	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	6100	5147	3	70	200	2.50%	산간

[그림 2-1-4] 자료수집 사업 목록 및 개요

○ 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 2-1-5]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

○ 설계완료 연도별로 수집된 데이터 현황은 2004년 설계완료 된 교량 20%, 2005년 설계완료 된 교량 20%, 2003년 설계완료 된 교량 15%, 2002년 설계완료 된 교량 11%, 2006년 설계완료 된 교량 7%, 2007년 설계완료 된 교량 6%, 2008년 설계완료 된 교량 6%, 2001년 설계완료 된 교량 6%, 2001년 설계완료 된 교량 6%, 2009년 설계완료 된 교량 6%로 조사됨



[그림 2-1-5] 기초자료 조사현황

○ 관리기관에 따른 데이터 수집 현황을 살펴보면 대전지방국토관리청 31%, 익산지방국토관리청 20%, 부산지방국토관리청 26%, 서울지방국토관리청 15%, 원주지방국토관리청 8%로 분류됨

○ 수집된 교량을 대상으로 차로수 현황을 살펴보면 4차로 교량 63%, 2차로 교량 17%, 1차로 7%, 6차로 7%, 5차로 교량 3%, 8차로 1%, 3차로 1%, 7차로 1%로 조사됨

○ 연장에 따른 현황은 0~50m 40%로 가장 많았으며, 그 다음으로는 200m 이상 26%, 50~100m 14%, 100~150m 12%, 150~200m 8% 순으로 나타남

○ 경간에 따른 현황은 단경간 42%, 3경간 15%, 9경간 이상 9%, 4경간 8%, 6경간 7%, 7경간 5%, 5경간 6%, 2경간 6%, 8경간 2% 순으로 나타났으며, 가설위치에 따른 현황은 육상이 62%, 하상이 38%로 분포됨

3. 환경부하 영향요인 및 특성분석

○ 환경부하 저감에 대한 사업수행 단계별 의사결정 지원을 위해 실시설계 이전에 환경부하량을 산정하는 모델에 활용될 수 있는 영향요인을 문헌조사 및 설계사례 분석을 통해 도출하였음. 본 연구는 PSC 교량의 사업수행단계별(기획/설계/유지관리) 가용정보를 기반으로 환경부하량을 개산 예측하여 평가할 수 있는 모델을 개발하는 것이므로 정보 활용성을 중심으로 영향요인들을 선정하여 분석함

○ 우선, 순 공사비와 환경부하량의 상관성 분석 결과 0.959**로 강한 양의 상관관계이며 순공사비가 증가하면 환경부하량이 증가하는 것으로 나타나므로 공사비 산정시 활용될 수 있는 사업수행단계별 가용정보를 조사하였음

[표 2-1-2] 순공사비와 환경부하량의 상관관계

상관계수			
구 분		환경부하량	소요자재/장비비
환경 부하량	Pearson 상관계수	1	
	유의확률 (양쪽)		
	N	20	
소요자재 장비비	Pearson 상관계수	.959**	1
	유의확률 (양쪽)	.000	
	N	20	20

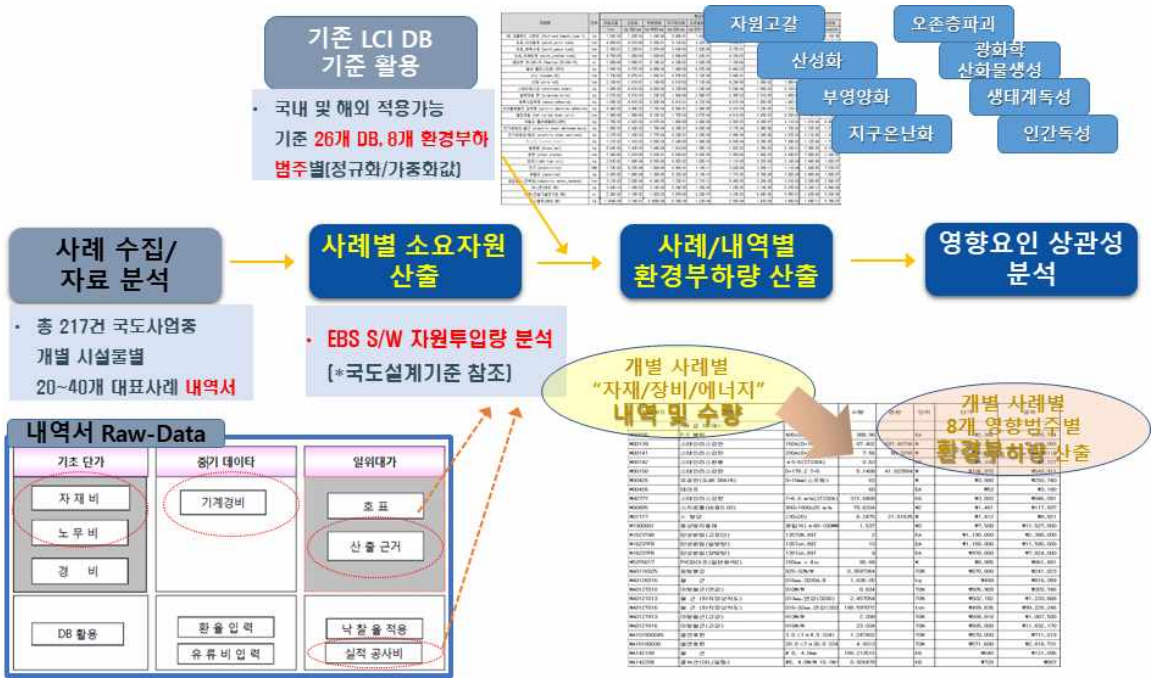
○ 선행 연구(김상귀, 2010)에 따르면 공사비 변동에 영향을 미칠 수 있는 영향요인으로 기획단계에서 가용할 수 있는 정보로는 교량형식, 연장, 차로수, 신설확포장, 가설위치 등이 있으며, 기본설계단계에서는 기획단계보다 더욱 구체적인 가용정보를 활용할 수 있으며, 사업수행단계별 가용정보는 [표 2-1-3]과 같음. 환경부하량 영향요인 후보군 조사 결과 기획/설계단계 가용정보는 연장, 폭원, 경간구성, 가설위치, 교량 상부·하부 및 기초형식, 가설공법, 교대·교각높이 등으로 도출되었음

[표 2-1-3] 사업수행단계별 가용정보(김상귀, 2010)

수행단계	공사비 추정목적	가용정보	입력항목	공사비 예측모델
기획단계	· 대상사업 경제성 분석 · 대안노선 평가 · 구조물 부분 공사비추정	· 연장/폭원 · 차로수/면적 · 구조물/토공 비율 · 구조물 형식 · 신설/확장,시공성.지장물 · 지역(육상,하상,산악,도심.평야)	· 교량형식 · 교량연장 · 차로수/폭원 · 신설확포장 · 가설위치(육상/하상)	사례기반추론
기본설계 초기	· 대안노선 비교 및 최적 노선 선정 · 구조물 위치/형식선정 · VE/LCC	· 노선 종,평면도 · 구조물 형식/위치 · 지반정보(물리탐사) · 시공성, 지장물 현황	· 상부 교량형식 연장 차로수 신설/확포장 가설위치(육상/하상) · 하부 하부 기초형식 교대/교각 높이 경간 구성(단/다경간)	표준단면에 의한 대표물량 방식
기본설계 최종	· 선형 평가 · 구조물 대안평가 · 가설공법 선정 · VE/LCC · 초기 예가산정	· 평면/종단/교차로 선형 · 토질시험(시추,조사) · 설계기준 · 가설공법	· 상부 교량형식 연장 폭원(차로수) 경간장 · 하부 하부 기초형식 교대/교각 높이 직교/사교 매스콘크리트 사용여부 교량받침 종류/개수 · 부대공/토공	
실시설계	· 공종별 세부설계 평가 · VE/LCC · 최종공사비산정	· 설계기준 · 상세물량 · 상세단가	-	상세 견적

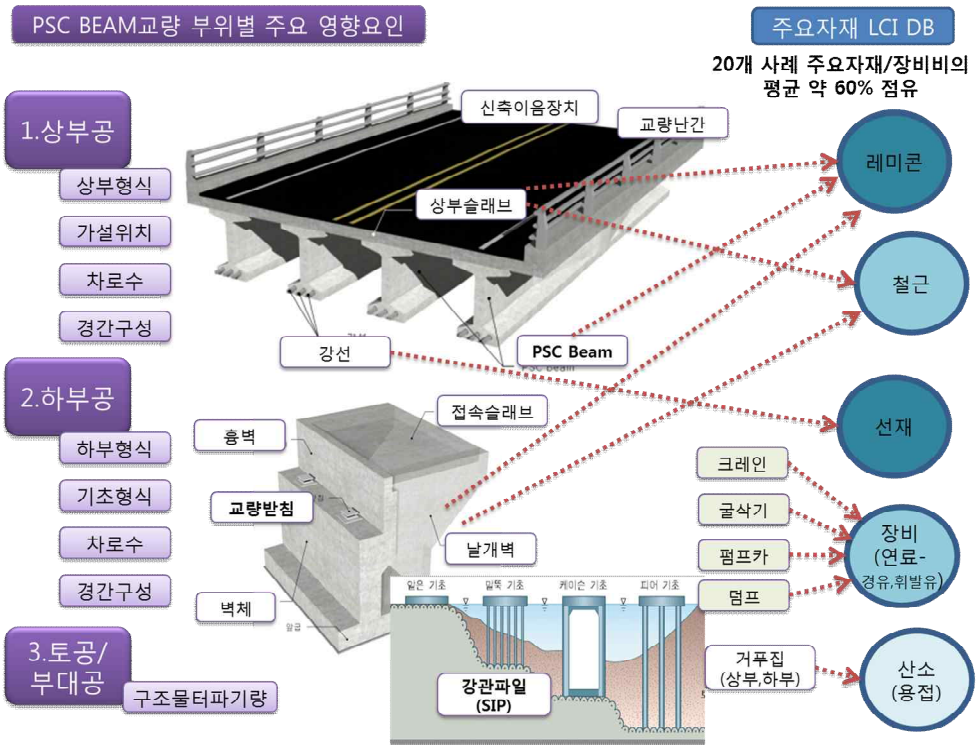
○ 수집된 PSC 교량 사례들의 환경부하량을 측정하기 위해서 상세한 투입자원 단위로 소요 자재・장비의 물량을 산출해야하기 때문에 실적공사비 기준의 사용이 적은 사례를 선정하였고, 가장 적용사례가 많은 PSC Beam 교를 대표 시설물로 선정하였음

○ 환경부하량을 산정하기 위해 다수의 데이터 추출 및 검토를 위해 EBS프로그램을 이용하여 내역서상의 소요 자재, 장비 및 투입자원을 산출하였음. 각 사례의 공종별로 집계된 소요자원은 엑셀로 변환하여 목록분석을 수행하였으며, 이때 내역서상에 실적공사비 및 계약단가로 입력되어 투입된 자원의 분석이 어려운 공종은 '표준품셈' 및 '국도건설공사 설계실무요령'을 참고하여 산출하였음. 특히, 내역서상에 실적공사비 입력 공종의 경우 표준품셈을 이용하여 직접 상세내역을 작성하여 산출하였고, 산출된 소요 자재 및 장비를 국내 건설분야에서 적용되고 있는 LCI DB(주요 자재별 원단위 환경부하량)와 연계하여 8개의 영향범주별로 환경부하량을 산출하였음. LCI DB는 산업통상자원부와 환경부에 의해 이미 구축되어 있는 국가 LCI DB를 활용하였으며, LCI DB가 없는 경우 유사 자재의 DB, 국내 구축 DB, 해외 DB 순으로 활용하였음



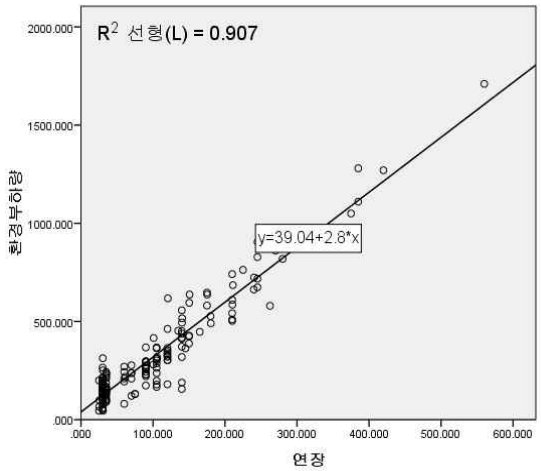
[그림 2-1-6] PSC Beam교량 사례 환경부하량 산출 절차

○ 환경부하량 사례 데이터베이스를 구축하기 위하여 수집된 국도 건설사업의 내역서, EBS 데이터파일, 수량산출서, 설계보고서, 설계도면 등을 분석하여 PSB Beam 교량의 경간수, 경간길이, 연장, 폭원, 상부면적, 사업구간, 발주청, 준공년도, 가설위치, 차로수, 기초형식, 공사비, 등 시설물 기본정보들을 집계하고, 교량 사례별 환경부하량 산정 결과는 부록에 수록하였음



[그림 2-1-7] PSC Beam교량 부위별 주요 영향요인과 주요자재

○170개 사례에 대하여 교량의 대표적인 정보인 연장과 상부면적에 대한 환경부하량의 산점도를 분석함. 연장과 상부면적이 증가함에 따라 환경부하량이 증가하는 경향을 보이며, 환경부하량과 PSC Beam 교의 연장은 높은 상관성을 가지는 것으로 나타남. 연장에 대한 환경부하량에 대해 기술통계량 분석을 실시한 결과, 평균은 3.5799, 표준편차는 1.1328, 최소값은 1.7365, 최대값 6.7398 으로 나타남. 상부면적에 대한 환경부하량에 대해 기술통계량 분석을 실시한 결과, 평균은 0.1718, 표준편차는 0.0453, 최소값은 0.1108, 최대값 0.2978로 분석됨



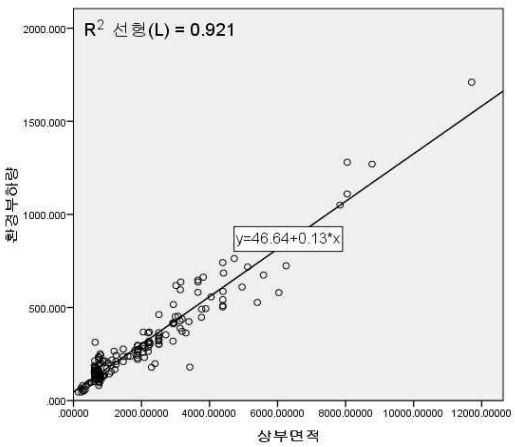
[그림 2-1-8] 연장 대비 환경부하량

[표 2-1-4] 연장당 환경부하량 기술통계량

기술통계량	본표본	10% 절사
N	170	154
범위	9.2043	5.0033
최소값	1.1164	1.7365
최대값	10.3207	6.7398
평균	3.6861	3.5799
표준편차	1.5230	1.1328
분산	2.3196	1.2833
왜도	1.3699	0.9392
첨도	2.5282	0.4675

[표 2-1-5] PSC Beam교의 영향범주별 원단위 환경부하량(eco-point/m)

원단위 환경부하량 (eco-point/연장(m))									
구분	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
연장(m)	1.1055	0.0523	0.0512	1.6793	0.0155	0.3344	0.0537	0.2879	3.5799



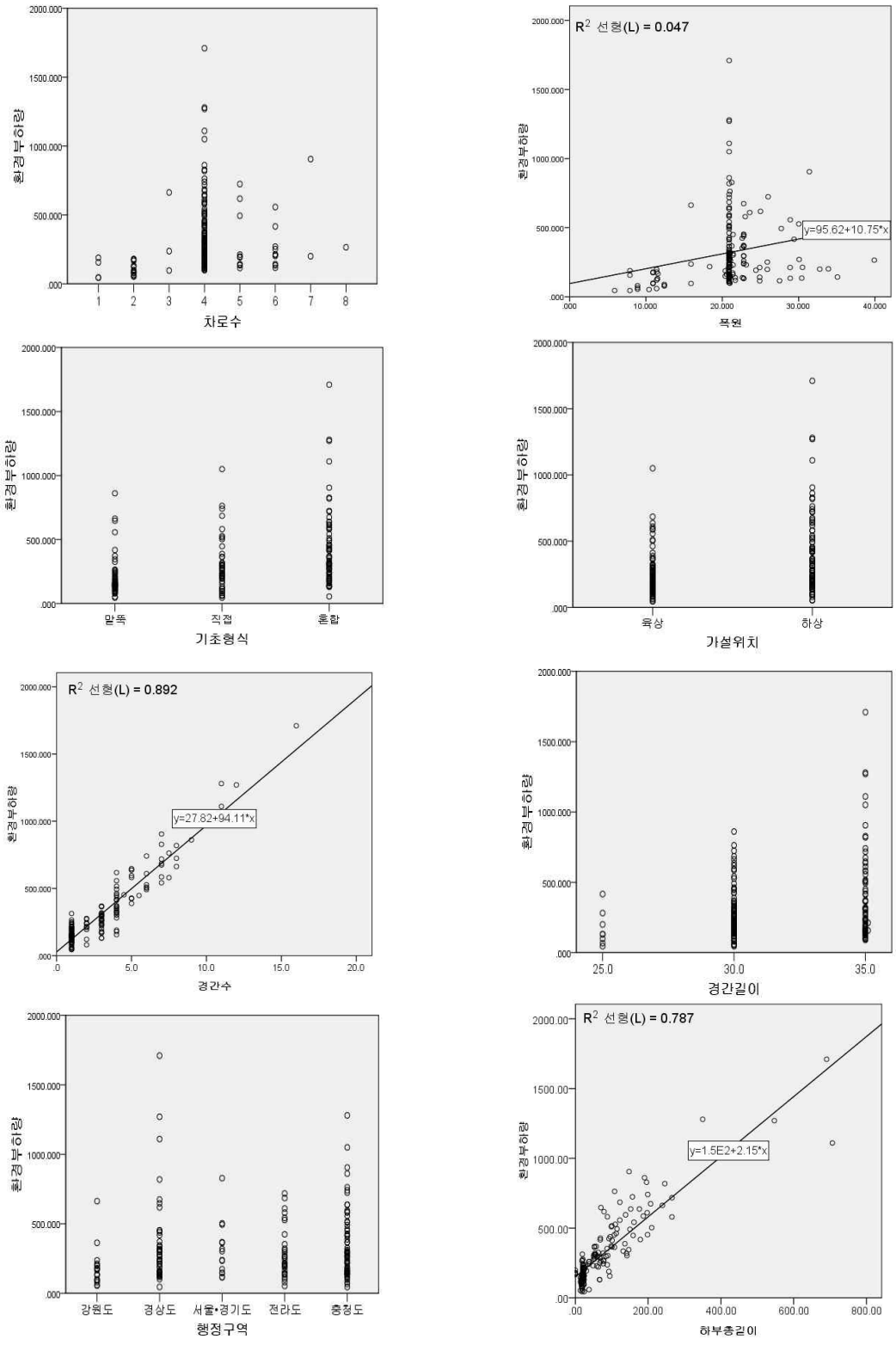
[그림 2-1-9] 상부면적 대비 환경부하량

[표 2-1-6] 상부면적당 환경부하량 기술통계량

기술통계량	본표본	10% 절사
N	170	154
범위	0.4389	0.1870
최소값	0.0525	0.1108
최대값	0.4915	0.2978
평균	0.1758	0.1718
표준편차	0.0602	0.0453
분산	0.0036	0.0021
왜도	1.5063	0.9514
첨도	3.9557	0.1236

[표 2-1-7] PSC Beam교의 영향범주별 원단위 환경부하량(eco-point/m^2)

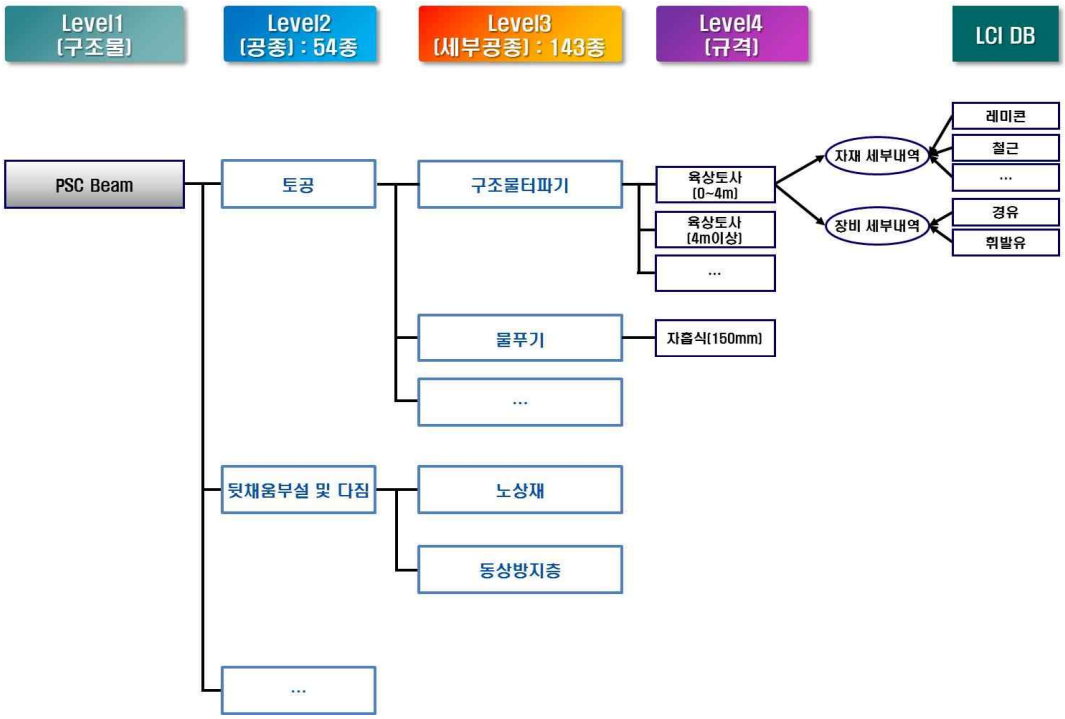
원단위 환경부하량 (eco-point/상부면적(m^2))									
구분	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
상부면적(m^2)	0.0530	0.0025	0.0025	0.0810	0.0007	0.0161	0.0026	0.0134	0.1718



[그림 2-1-10] 영향요인별 상관성 분석

○ 환경부하량은 투입된 자원량을 기반으로 산정되기 때문에 PSC Beam 교량의 규모와 관계되는 인자인 상부면적, 연장, 경간수, 하부총길이와 강한 양의 상관관계가 나타났으며, 환경부하량 추정모델 구축시 주요 영향요인으로 고려가 필요할 것으로 판단됨

○ 본 연구에서는 수집된 교량들의 환경부하를 산출하기 위해 각 사례별 상세한 투입자원단위로 소요 자재·장비 물량(kg, ton, ㎥등) 및 비용을 도출하였으며, 내역서상에 실적공사비 입력 공종의 경우 국도설계기준 및 표준품셈을 이용하여 상세내역을 개별적으로 산출하여 적용하였음. 산출된 소요자원별로 국내 건설분야에서 적용되고 있는 주요 자재별 원단위 환경부하량인 국내 LCI DB와 연계하여 8개의 영향범주별 환경부하를 산출할 수 있도록 이러한 절차 및 방법을 체계화한 사용자 기반의 환경부하 분석 데이터 서식은 다음과 같음



[그림 2-1-11] PSC 교량 환경부하량 분석 서식 구조



[그림 2-1-12] PSC 교량 환경부하량 분석 서식

제 2 절 기획단계 환경부하 평가모델

1. 기획단계 환경부하 평가모델 개요

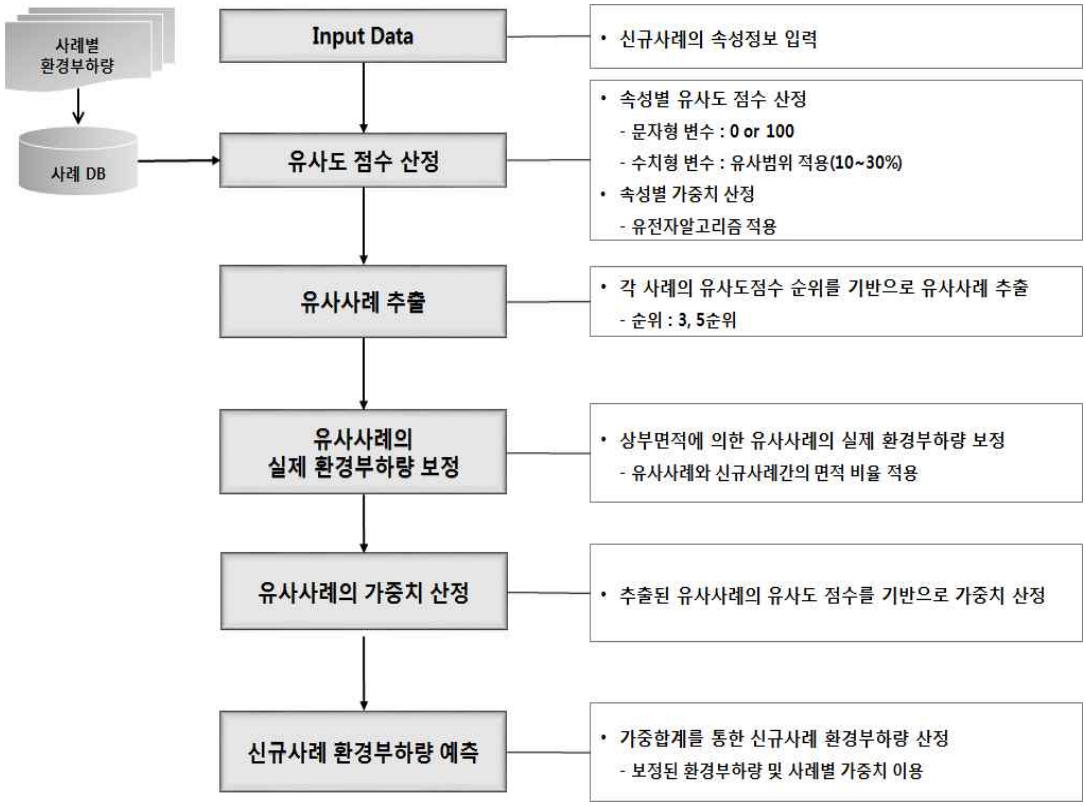
○ 사업 수행이 지속될수록 대안을 변경하기 어렵고 대안 변경으로부터 얻을 수 있는 이익이 감소하게 됨. 그러나 현재 수행되는 LCA 분석은 공사비와 BOQ(Bill of Quantity)가 어느 정도 확정된 기본설계 단계 이후에 환경부하량 평가가 가능하여 설계대안 선택 시 환경적 요소를 고려하기 어렵다는 단점이 있음. 즉, 건설 사업에서 발생하는 환경부하량을 절감시키기 위해서는 사업 초기단계에서 환경요소를 고려한 대안결정을 수행해야 할 필요성이 있음 (Joaquín Díaz and Laura Álvarez Antón, 2014). 이 단계에서 환경부하량을 미리 고려한다면, 최적 설계안을 미리 고려하여 환경적이고 경제적인 설계가 가능하며, 추후 시공단계에서의 설계 변경으로부터 발생하는 추가비용이나 공기연장 등의 낭비를 절감할 수 있음

○ 기존 환경영향평가 단계에서의 LCA기반 환경부하평가 방법들은 상세설계 결과를 기반으로 원단위 데이터를 활용하고 있어, 가용한 정보가 제한된 기획단계나 기본설계, 실시설계 초기단계에서의 환경부하평가가 어려워 신속한 대안선택이 필요한 사업초기 단계의 의사결정에 한계가 있음. 즉, 사업이 추진됨에 따라 단계별로 주요 설계사항에 대한 여러 대안들을 검토하게 되는데 현재는 환경부하량에 대한 분석은 미흡한 상황임. 그러한 원인으로는 현재 환경부하 산정 방법에서 상세설계 정보를 바탕으로 물량을 산출하여 환경부하량 산정에 필요한 주요 자재 및 에너지사용량에 대한 수량 정보가 필요하나, 기획 및 기본설계 단계에서는 이를 파악할 수 없어 환경부하량 산정이 불가능하다고 할 수 있음

○ 또한, 실시설계단계에서 상세 물량 정보로 환경부하를 산정하여 설계대안별 환경부하 비교시 상당한 시간 및 인력이 소요되어 잦은 설계대안의 변경에 따른 환경부하에 따른 의사결정 대응이 매우 어려운 한계가 있음. 이를 개선하기 위하여 본 연구에서는 사업 초기단계에서의 가용한 정보를 기반으로 보다 신뢰성 있는 환경부하량 추정을 지원하기 위해 기획단계 및 설계초기단계에 적용할 수 있는 사례기반추론(Case-Based Reasoning, CBR)을 활용한 환경부하 평가모델을 구축하고자 함

○ 실시설계 단계 이전에 기획단계에서 건설부지 위치에 따른 구조물의 설치 유무를 고려한 사업 대안별 환경부하량이 예측과 기본설계단계에서 구조물별로 최소한의 가용정보로 신속하게 시설물 대안별 환경부하량 비교가 가능한 의사결정 지원모델을 구축하고자 함

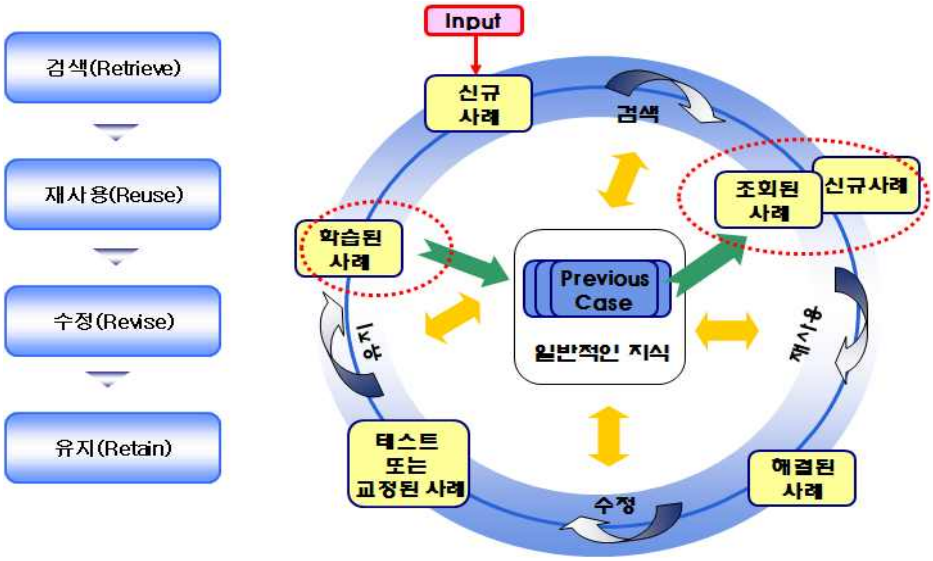
○ 즉, 사업 초기단계에서 제한된 정보를 바탕으로 신뢰성 있는 환경부하량의 추정을 지원하기 위하여, 기존에 설계가 완료된 사례의 환경부하량 DB를 바탕으로 신규 대상 시설물과 유사한 사례를 추출하고, 이를 기반으로 신규 시설물의 환경부하량을 추정하는 모델을 구축하였음. 본 모델은 예측하고자 하는 신규 PSC Beam 교량과 유사한 사례들을 구축된 환경부하량 사례 DB로부터 추출하고, 추출된 유사사례의 실제 환경부하량을 이용하여 신규 사례의 환경부하량을 추정할 수 있음. 사례기반추론 모델을 통해 환경부하량을 추정하는 절차는 다음 [그림 2-2-1]과 같음



[그림 2-2-1] 신규사례 환경부하량 추정 절차

○ 사례기반추론의 기본적인 아이디어는 인간이 사고하는 과정에서 과거의 문제에 사용되었던 해결책을 새로운 문제의 해결을 위해서 사용하는 것임. 즉, 사례기반추론은 전혀 새로운 해결안을 제시하는 혁신적인 기법이기 보다는 과거의 유사한 사례로부터 해결방안을 도출하는 추론기법임

○ 이러한 사례기반추론의 처리과정은 문제해결에 있어 기존 사례를 활용하는 사람의 의사결정 과정과 유사함. 사람이 새로운 문제에 부딪쳤을 때, 그들은 새로운 사례와 유사한 기존 사례를 생각하고, 다양한 방면에서 신규사례와 유사사례를 비교함으로써 최적의 대안을 제시 할 수 있게 됨. 다시 말해 기존 경험과 그로 인한 처리 결과를 비교함으로써 새로운 문제에 대한 처리방법을 결정할 수 있음. 사례기반추론에서 사례(Case)는 핵심 부분이며, 사례베이스(Case Base)는 이러한 사례들을 모아놓은 것임. 또한, 사례베이스(Case Base)에 내재된 값들은 인위적으로 만들어진 것이 아닌, 과거에 발생했던 실제값을 사용하고 새로운 문제를 해결함에 있어, 주어진 조건들에 적합한 과거 사례를 적용하거나 유추, 또는 변형하는 과정을 거치며 보다 개선된 해결안을 제시할 수 있음. 사례기반추론은 일반적으로 조회(Retrieve), 재사용(Reuse), 수정(Revise), 저장(Retain)의 4단계로 구성됨([그림 2-2-2] 참조)



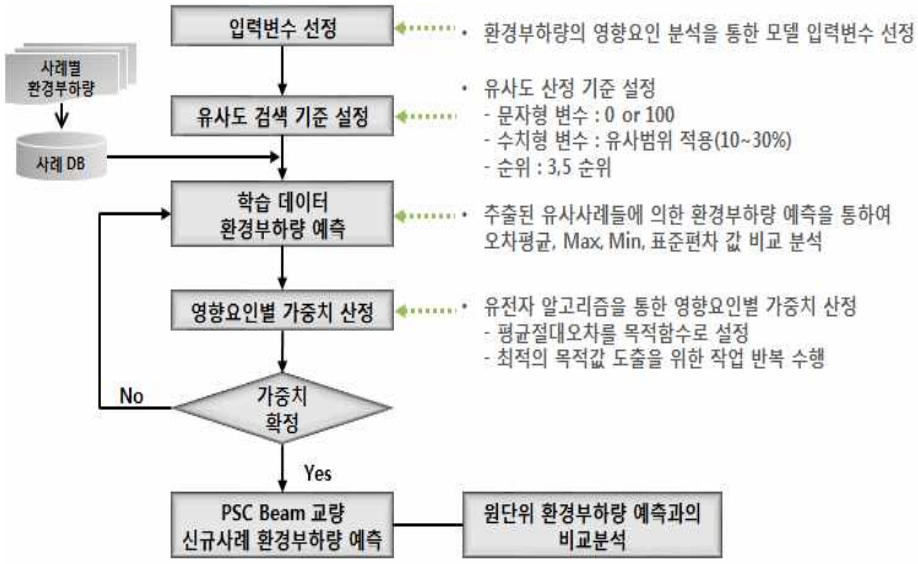
[그림 2-2-2] 사례기반추론 프로세스

○ 조회(Retrieve)단계는 구축된 조회사례 데이터베이스에서 가장 유사한 사례를 조회하는 단계이며, 재사용(Reuse)단계는 문제를 해결하기 위해 조회된 사례를 이용하여 분석하는 단계임. 수정(Revise)은 가장 유사한 사례를 추출한 이후에 새로운 문제의 특성을 반영하기 위하여 기존의 해를 수정하는 과정이며, 저장(Retain)은 문제해결에 적용된 새로운 해결책을 향후의 새로운 문제에 사용할 수 있도록 사례 데이터베이스에 저장하는 단계임. 이러한 사례기반추론의 정확도에 가장 큰 영향을 주는 유사사례 조회방법은 귀납적 조회방법(inductive retrieval method), 지식기반 조회방법(knowledge-based retrieval method), 최근접 추출방법(nearest-neighbor retrieval method)의 3가지로 구분할 수 있으며, 이 3가지 방법을 조합하여 사용하기도 함. 최근접 추출방법은 귀납적 추론방법에 비해 기존 사례가 적은 경우에 효율적으로 적용될 수 있으므로 본 모델에서는 유사사례 검색을 위하여 최근접 추출방법을 적용하였음

[표 2-2-1] 사례기반추론의 유사사례 조회방법

유사사례 조회방법	상 세 내 용
귀납적 조회방법	▪ 의사결정 맵을 작성하는 추론알고리즘에 의해 분석 ▪ 조회속도가 빠름 ▪ 사례 데이터가 누락될 경우 유사사례 조회 불가능
지식기반 조회방법	▪ 기존의 분야별 지식을 적용 ▪ 규칙기반 시스템과 유사
최근접 추출방법	▪ 사례 데이터베이스에서 일정한 유사성 척도 산정 ▪ 유사한 사례를 추출한 후 가중 합계하여 대응시킴 ▪ 사례의 수가 증가할수록 조회시간이 증가함 ▪ 사례의수가 적을수록 유리

○ 본 연구에서는 사례기반추론기반의 기획단계 환경부하 평가모델을 구축하기 위하여 다음 [그림 2-2-3]과 같은 절차에 맞춰 모델을 구축하고 유전자알고리즘을 활용하여 최적화하였음



[그림 2-2-3] 환경부하량 예측 모델의 구축 절차

2. 사례 DB 구축

○ 환경부하량 사례 데이터베이스를 구축하기 위하여 수집된 국도 건설사업의 내역서, EBS 데이터파일, 수량산출서, 설계보고서, 설계도면 등을 분석하여 PSC Beam교(170개)를 대상으로 선정하였으며, 선정된 교량의 경간수, 경간길이, 연장, 폭원, 상부면적, 사업구간, 발주청, 준공년도, 가설위치, 차로수, 기초형식, 공사비, 하부총길이 등 교량의 기본정보를 조사하였음

경간수	경간 길이 (m)	연장 (m)	폭원 (m)	상부면적 (m²)	하부면적 (m²)	행정구역	사업구간	행정구역	준공년도	가설 위치 (육상) (하상)	차로	기초형식 직접:1 말뚝:2 혼합:3	하부 총길이 (m)	공사비*
5	30	150	20.9	3135	316.1719	대전	신양신풍	충청도	200204	육상	4	1	136.00	₩3,015,383,525
4	30	120	20.9	2508	317.4226	대전	신양신풍	충청도	200204	육상	4	1	100.60	₩2,433,892,234
3	30	90	20.9	1881	0	대전	신양신풍	충청도	200204	육상	4	1	59.00	₩1,709,007,370
1	30	30	20.9	627	2268.5802	대전	배방음봉	충청도	200409	육상	4	2	20.00	₩1,049,779,186
1	30	30	20.9	627	2227.4369	대전	배방음봉	충청도	200409	육상	4	2	20.00	₩980,696,852

[그림 2-2-4] PSC Beam 교의 기본정보 조사 양식

○ 본 연구에서는 위와 같이 조사·집계한 사례 데이터들을 대상으로 다음과 같은 절차에 따라 환경부하량을 산정하였음

- 첫째, EBS 프로그램을 이용하여 사례별 투입자원 및 에너지 사용량을 분석하였으며,

이때 내역서상에 실적공사비로 입력되어 투입된 소요자원의 분석이 어려운 공종은 '표준품셈' 및 '국도건설공사 설계실무요령'을 참고하여 산출함

- 둘째, LCI DB 연계 기준에 따라 산출된 각 사례의 투입된 자재 및 에너지량에 LCI DB를 연계하여 8대 환경영향범주로 사례의 총 환경부하량을 산출하였으며, 연계과정에서 단위가 서로 다른 경우에는 그 자재의 제원을 파악하여 단위를 환산하여 연계함

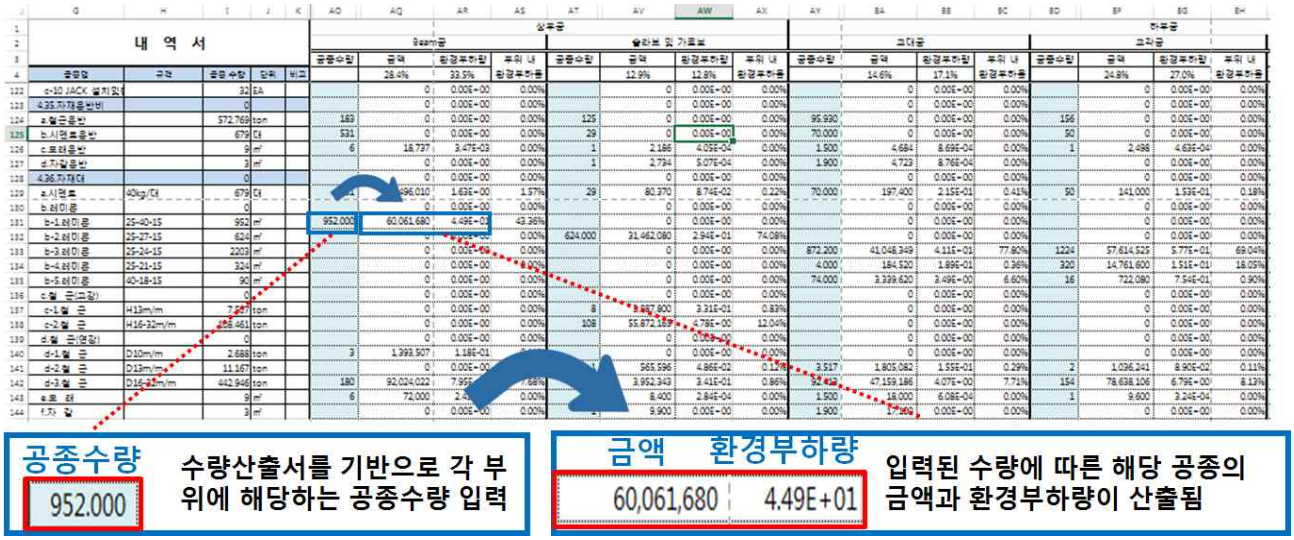
[표 2-2-2] LCI DB 연계 기준 (계속)

적용 DB명	DB 단위	대상 자재명	대상 자재 단위	비고
1종 포틀랜드 시멘트	kg	시멘트 (모든 종류)	포대	
전기로제강○철근	kg	철근 (모든 규격)	ton	
레미콘 (25-240-15)	㎥	레미콘 (모든 규격)	㎥	
		콘크리트 제품 (흄관, PC블록, 옹벽블록 등)	본	
			㎡	
선재	ton	PC강연선	kg	
		와이어 로프	m	
		용접봉	kg	
		나사, 못, 너트류	kg	
			set	
		철선	kg	
		결속선	kg	
		강섬유 보강재	kg	
전기로제강-형강	kg	형강	M/T	
		구조용 강관	m	
		환봉	ton	
		봉강	M/T	
		찬넬	㎡	
		강널말뚝	㎡	
		강관비계	m	
		꺽쇠	kg	
		앵글	kg	
		H-beam	M/T	
		강관말뚝	m	
발포폴리스티렌 (EPS)	kg	무늬거푸집	m2	
		스치로폴	m2	
경유	kg	경유	L	
휘발유	kg	휘발유	L	
전기	kwh	전기	kwh	
도료-우레탄계	ton	실런트(우레탄계)	kg	
아스팔트	kg	브라운 아스팔트	kg	
		아스팔트 프라이머	kg	
스테인레스	kg	스테인레스 제품 (스테인레스 강관, 스테인레스 환봉, 스테인레스 강판, 스테인레스 형강 등)	m	
			kg	
폴리에틸렌 테레프탈레이트 필름	kg	그리드	㎡	

[표 2-2-2] LCI DB 연계 기준

적용 DB명	DB 단위	대상 자재명	대상 자재 단위	비고
산소	ton	산소	L	
			병	
에폭시 접착제	kg	접착제 (모든 제품)	kg	
열연코일	ton	열연후판, 열연강판	ton	
후판	ton	강판, 후판, 평강	ton	
PVC	kg	PVC 관	m	
알루미늄 판	kg	알루미늄 제품 (알루미늄 판, 알루미늄분말, 알루미늄합금주물 등)	kg	
탄소강	kg	기계구조용탄소강	kg	
		탄소강주강품	kg	
		압력배관용탄소강관	m	
		드릴용 ROD	EA	
규산소다	kg	콘크리트혼화재 (숏크리트용급결제)	kg	
합판	m^3	합판 및 각재류, 비계목	m^3	
			m^2	
황동봉	kg	황동주물, 황동봉	kg	
모래	m^3	모래	m^3	
아스콘	ton	아스팔트 콘크리트, 아스콘	ton	
신축이음장치 (핑거형 No.50)	m	신축이음장치 (No.50 이하)	m	
신축이음장치 (핑거형 No.80)	m	신축이음장치 (No.80 이상)	m	
신축이음장치 (모자이크형 No.50)	m	모자이크형 신축이음장치 (No.50)	m	
신축이음장치 (모자이크형 No.80)	m	모자이크형 신축이음장치 (No.80 이상)	m	
아세틸렌	kg	아세틸렌	kg	
탄성받침	ea	탄성받침-1350	ea	신규 적용
	ea	탄성받침-1750	ea	
	ea	탄성받침-2000	ea	
PVC 파이프 (VG1)	m	VG1-25	m	
		VG1-50	m	
		VG1-100	m	
		VG1-125	m	
		VG1-150	m	
		VG1-200	m	
		VG1-250	m	
		VG1-300	m	
PVC 파이프 (VG2)	m	VG2-35	m	
		VG2-50	m	
		VG2-100	m	
		VG2-125	m	
		VG2-150	m	
		VG2-200	m	
		VG2-250	m	
		VG2-300	m	
중구경강관(강관)	kg	강관파일자재비, 전기저항용접강관파일, 강관파일(현장도착도), 강관pile, 스파이럴강관파일	m	
유공관(THP)	m	유공관-100	m	
		유공관-150	m	
		유공관-200	m	
		유공관-300	m	
		유공관-400	m	

- 셋째, PSC Beam 교의 부위별 환경부하량 산출을 위하여 수량산출서 및 설계도면의 분석을 통해 각 공종의 환경부하량을 부위별로 다시 분개함



[그림 2-2-5] 부위별 환경부하량 분개 작업

○ 위와 같은 절차 및 방법에 의해 수집사례 1건당 환경부하량 DB 구축 작업 소요시간은 다음 표와 같음

[표 2-2-3] 전체물량 환경부하량 DB 구축 소요 작업 시간

구 분		소요 시간 (man-hour)
기초 조사 & 분석 준비	• 사례 프로젝트의 기본 속성정보 조사 및 입력 • EBS 소스파일 수정 및 검토 • 공종별 투입 자원량 집계 • 엑셀파일로 변환	3시간 ~ 8시간 (man-hour)
환경부하량 산출	• 엑셀로 변환된 소요자원을 환경부하량 DB 서식에 입력한 후 LCI DB와 연계 • 자재대 등 타공종에 편성된 수량의 검토 및 본래 투입 공종으로 환원작업	3시간 ~ 5시간 (man-hour)
자재별 특성에 따른 8대범주 환경부하량 검토	• 산출된 환경부하량의 공종별, 자재별 특성 분석	2시간 ~ 4시간 (man-hour)
신뢰성 검토	• 오류검토 • 오류 발견시 수량산출서 등과 내역서 자료의 적합성 분석	2시간 ~ 4시간 (man-hour)
합 계		10시간 ~ 21시간 (man-hour) (EBS data 사용 불능시 4시간~7시간이 추가 발생됨)

[표 2-2-4] 공종별 환경부하량 DB 구축 소요 작업 시간

구 분		소요 시간 (man-hour)
기초 조사 & 분석 준비	• 사례 프로젝트의 기본 속성정보 조사 및 입력 • EBS 소스파일 수정 및 검토 • 공종별 투입 자원량 집계 • 엑셀파일로 변환	3시간 ~ 8시간 (man-hour)
공종별 환경부하량 산출	• 공종별 내역분기 • 엑셀로 변환된 소요자원을 환경부하량 DB 서식에 입력한 후 LCI DB와 연계 • 공종별 환경부하량 집계 및 사례 프로젝트별 집계 • 자재대 등 타공종에 편성된 수량의 검토 및 본래 투입 공종으로 환원작업	6시간 ~ 8시간 (man-hour)
공종별/자재별 특성에 따른 8대범주 환경부하량 검토	• 산출된 환경부하량의 공종별 특성 분석 • 오류 발견시 수량산출서 등과 내역서 자료의 적합성 분석	2시간 ~ 8시간 (man-hour)
신뢰성 검토	• 오류검토 • 오류 발견시 수량산출서 등과 내역서 자료의 적합성 분석	2시간 ~ 4시간 (man-hour)
합 계		11시간 ~ 24시간 (man-hour) (EBS data 사용 불능시 4시간~7시간이 추가 발생됨)

○ 기존의 사례DB 99건에 71건을 추가하여 총 170건의 PSC Beam교의 사례DB를 구축함. 170건의 차로수 현황은 4차로 교량 72%로 가장 많았으며, 2차로 교량 10%, 6차로 교량 6%, 5차로 교량 6%, 1차로 교량 2%, 7차로 교량 1% 순으로 분석됨. 경간에 따른 현황은 단경간 44%, 3경간 19%, 4경간 15%, 2경간 7%, 5경간 5%, 6경간 이상은 10%로 나타남. 가설위치 현황은 육상 54%, 해상 46%로 구성됨. 기초형식은 직접기초 26%, 말뚝기초 34%, 직접 및 말뚝 기초가 혼합되어 있는 형식 39%로 분류됨. 행정구역은 서울·경기도 8%, 강원도 12%, 충청도 36%, 전라도 18%, 경상도 26%로 나타남

○ 환경부하량 산정 사례 170건의 Cut-off 수준은 최소 72.43% ~ 최대 96.30%로 나타났으며, 평균은 89.80%로 분석됨

○ PSC Beam교 사례에 대한 기본정보 및 환경부하량 사례DB는 [표 2-2-5] 및 [표 2-2-6]과 같으며, 전체 DB는 [부록A 2.1~2.3] 에 수록함

[표 2-2-5] 사례 DB 구축 현황

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 2-2-6] 사례 DB 구축

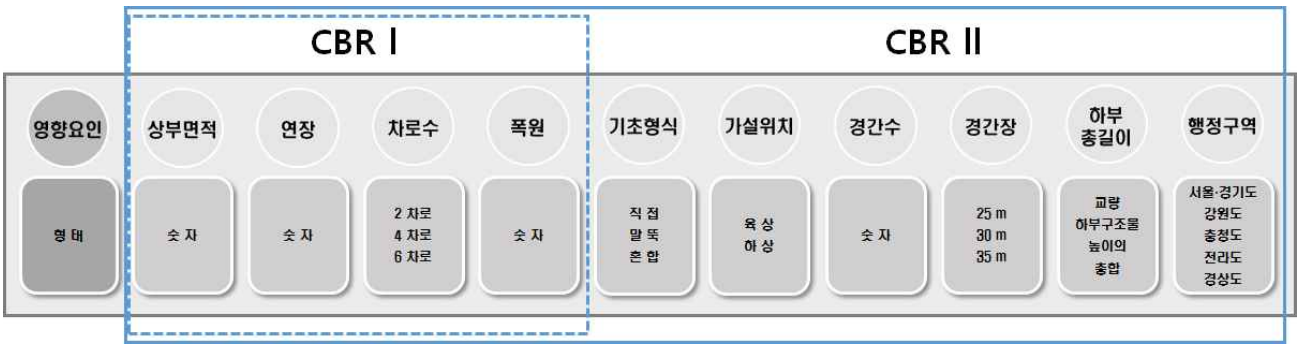
연번	교량명	경간수	경간길이(m)	연장(m)	폭원(m)	상부면적(m²)	사업구간	발주청	준공년도	가설위치(육상/하상)	차로수	기초형식 직접:1 말뚝:2 혼합:3
1	음실교	5	30	150	20.9	3135	신양신풍	대전	200204	육상	4	1
2	관불교	4	30	120	20.9	2508	신양신풍	대전	200204	육상	4	1
3	석남교	3	30	90	20.9	1881	신양신풍	대전	200204	육상	4	1
4	북수IC1교	1	30	30	20.9	627	배방음봉	대전	200409	육상	4	2
5	북수IC2교	1	30	30	20.9	627	배방음봉	대전	200409	육상	4	2
6	용두3교	7	35	245.3	31.4	7702.42	배방음봉	대전청	200307	하상	7	3
7	한내교	1	30	30	20.9	627	배방음봉	대전청	200307	육상	4	2
8	마치교	3	30	90	22.8	2052	청양~우성	대전	200512	육상	4	3
9	시전2교	4	30	120.16	20.9	2511.3231	청양~우성	대전	200707	육상	4	3
10	이화1교	4	35	140.46	20.9	2935.5722	청양~우성	대전	200707	하상	4	1
11	이화2교	5	35	175.23	20.9	3662.2443	청양~우성	대전	200707	하상	4	3
12	고석IC교	1	35.1	35.1	20.9	733.59	남일보은	대전	200312	육상	4	2
13	두산IC RAMP-A교	2	35	70	11.4	798	남일~보은(제1공구) 도로 건설공사	부산	200306	육상	2	2
14	오동2교	6	35	210	20.9	4389	남일보은	대전	200312	육상	4	3
15	용촌1교	4	35	140	28.9	4046	남일보은	대전	200312	육상	6	2
...												

3. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발

가. 영향요인 선정

○ '도로구조물 공사비 산정모델 및 기준개발' 연구 및 수집된 각 사례의 설계보고서의 분석을 통해 기획단계 및 기본설계단계에서 확보할 수 있는 가용정보를 바탕으로 영향요인 후보군을 도출하고, 환경부하량과의 상관관계를 분석함. 최종적으로 상부면적, 연장, 차로수, 폭원, 기초형식, 가설위치, 경간수, 경간길이, 하부 총길이, 행정구역을 영향요인으로 도출함

○ 본 연구에서는 사례기반추론 모델의 입력변수로서 사례의 주요한 특성들을 선정하기 위해 앞서 기본설계단계에서의 가용정보를 조사한 후 환경부하량에 영향을 미치는 주요 요인으로 선정하고, 상관성 분석을 수행함. 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



[그림 2-2-6] 유사도 평가를 위한 영향요인

나. 유사도 점수 산정 기준

○ 신규사례(추정하고자 하는 사례)와 기존사례(사례 DB)와의 유사도 검색시 유사도 점수가 높은 상위사례를 추출하기 위하여 편차(%)와 순위로 유사도 산정기준을 설정하였음. 편차(%)의 경우 5%, 10%, 15%, 20% 범위로 설정하였으며, 순위의 경우는 1순위, 2순위, 3순위, 4순위, 5순위로 각 모델별 차등범위로 설정하여 추정결과를 비교분석함. 추출된 유사사례의 수가 적으면 추정된 환경부하량 값은 소수의 사례에 지나치게 의존하는 경향이 생기게 되며, 반대로 추출된 유사사례의 수가 많으면 유사하지 않은 사례도 포함되어 신뢰도가 낮아질 수 있음. 비교분석 결과, CBR 1모델의 유사도 산정기준은 편차 15%, 4순위로 선정하였으며, CBR II모델의 경우 편차 15%, 5순위로 선정함

○ 신규사례(추정하고자 하는 사례)와 기존사례(사례 DB)간의 유사도 검색을 위하여 각 속성별 유사도 점수(I_{ij}) 부여 방법은 다음과 같음

[표 2-2-7] 속성별 유사도 점수 부여방법

영향요인 유형	유사도 점수 부여방법
문 자 열	대조되는 두 사례의 특성이 완전히 동일한 경우에만 점수 부여
수 치	두 수간의 거리에 의해 그 유사성이 결정되어 점수 부여

- 문자열 유사도 점수 : 일치 → 100점 / 불일치 → 0점
- 수치의 유사도 점수 :

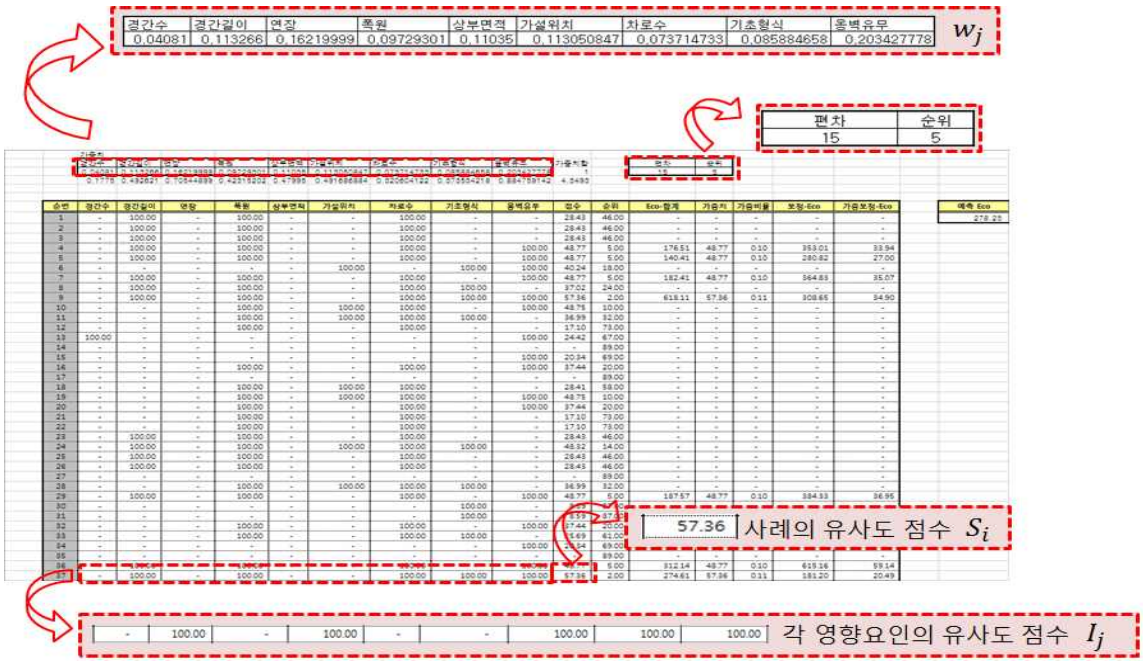
$$\left|\frac{\text{기존사례값} - \text{신규사례값}}{\text{신규사례값}}\right| \text{X100} \leq \text{편차(x\%)} \rightarrow \text{100점} \qquad \text{(식 2.2.1)}$$

$$\left|\frac{\text{기존사례값} - \text{신규사례값}}{\text{신규사례값}}\right| \text{X100} > \text{편차(x\%)} \rightarrow \text{0점} \qquad \text{(식 2.2.2)}$$

○ PSC Beam 교량의 경우 차로수, 기초형식, 가설위치, 경간장, 행정구역은 문자열 유사도 점수방법이 적용되고, 나머지 영향요인은 수치 유사도 점수방법이 적용됨. 자료의 형태 중 수치형 속성의 경우 유사도 점수를 부여하기 위한 유사범위를 임의로 설정할 수 있으며, 본 연구에서는 유사범위를 5%, 10%, 15%, 20% 범위로 설정하였음. 기존사례(사례DB)의 유사도 점수 부여는 각 영향요인 별 유사도 점수에 각 영향요인의 가중치를 부여하여 가중치가 부여된 각 영향요인의 유사도 점수를 합계하여 평가하며, 이러한 과정은 [그림 2-2-7]과 같음

$$S_i = \sum_{j}^{n} (I_j \times w_i) \qquad \text{(식 2.2.3)}$$

S_i : 사례i의 유사도 점수, I_j : 영향요인 j의 유사도 점수, w_j : 영향요인 j의 가중치



[그림 2-2-7] 기존사례(사례DB)의 유사도 점수 부여

다. 영향요인별 가중치 산정 및 환경부하량 보정

○ 본 연구에서는 최적화 이론에 기반한 유전자 알고리즘을 이용하여 학습사례의 추정 환경부하량과 실제 환경부하량 간의 오차를 최소화 하는 환경부하량 영향요인에 대한 가중치를 산정함

○ 유사도 점수를 산정하기 위하여 적용된 각 속성에 대한 가중치는 유전자 알고리즘을 적용하여 산정하였음. 유전자 알고리즘을 적용하기 위하여 본 연구에서는 Excel에서 제공하고 있는 최적해 찾기 프로그램을 이용하였으며, 다음과 같은 학습사례의 절대평균오차율(Mean absolute error rate, MAER)의 최소화를 목적함수로 설정하였음

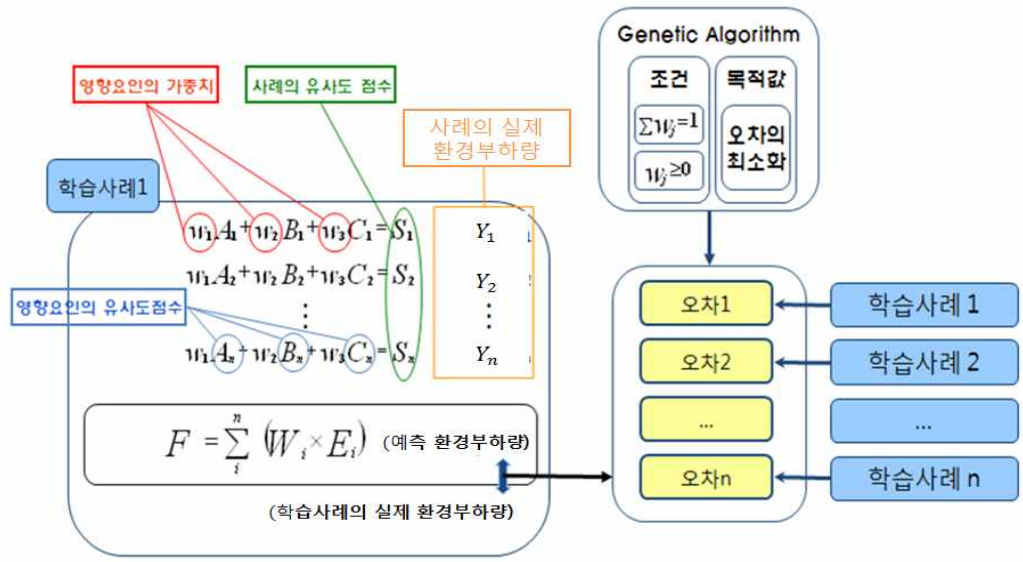
$$MAER = Average\left(\left|\frac{\text{추정된 환경부하량} - \text{실제 환경부하량}}{\text{실제 환경부하량}} \times 100\right|\right) \qquad \text{(식 2.2.4)}$$

○ 유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 가중치를 산정하는 방법은 다음과 같음. 먼저 기존사례를 바탕으로 사례베이스를 구성하고, 가중치 산정에 대한 학습의 과정을 다음과 같이 수행하며, 모델의 학습을 위한 학습사례는 각 속성이 다양하게 분포되도록 선정함

① 학습사례와 사례베이스에 저장되어 있는 각 사례를 대응하여 속성별 유사도 점수(I_{ij})를 산출

② 각 속성에 대한 가중치(w_j)는 학습과정을 통하여 학습사례에 대한 추정된 환경부하량의 절대평균오차를 최소화하고자 하는 목적함수를 만족시키기 위한 변수로 설정. 제한조건으로 속성에 대한 가중치는 0에서 1사이의 숫자($0 \le w_j \le 1$)로 하였으며, 모든 가중치의 합은 1이 되도록 설정($\sum w_j = 1$)

③ 산출한 속성별 유사도 점수에 가중치를 곱하여 학습사례에 대한 사례베이스에 저장된 각 사례의 유사도점수(S_i)를 산출



[그림 2-2-8] 유전자알고리즘을 이용한 사례학습 및 최적화

④ 산출된 사례별 유사도 점수를 기반으로 유사사례를 추출하고, 보정작업 및 가중합계를 통해 학습사례의 환경부하량을 추정. 또한 학습사례의 실제 환경부하량 값과 추정된 환경부하량 값을 비교하여 환경부하량의 오차율을 산출

⑤ 유전자 알고리즘을 적용하여 모든 학습사례에 대한 추정 환경부하량의 절대평균오차율(MAER)을 목적함수로 설정하고, 이를 만족시키는 최적의 속성별 가중치를 산정

○ 유전자알고리즘을 이용한 사례학습 및 최적화 프로세스는 [그림 2-2-8]과 같음

○ 최적의 유사범위와 순위를 적용하여 도출된 유사사례들의 환경부하량은 추정하고자 하는 신규사례에 적합하도록 보정이 필요함. 본 연구에선 유사도 산정기준에 따라 상위 유사사례를 추출하게 되며, 교량의 환경부하량이 상부면적에 비례하는 특성을 이용하여 추출된 상위 유사사례의 환경부하량을 신규사례(추정하고자 하는 사례)의 상부면적 비율로 보정하였음

$$E_i = \sum_{i}^{n}(R_i \times C_i) \qquad \text{(식 2.2.5)}$$

E_i : 유사사례i로부터 신규사례에 대한 추정 환경부하량

C_i : 유사도 점수가 상위인 유사사례i의 환경부하량

R_i : 신규사례의 유사사례i에 대한 상부면적 비율(신규사례의 면적/유사사례의 면적)

○ 앞선 방법론에 의해 신규 환경부하량 예측은 보정된 유사사례의 환경부하량들을 각각의 유사도점수를 바탕으로 산출된 가중치를 적용하여 가중평균값으로 이루어짐. 즉, 신규 환경부하량을 추정하기 위하여 추출된 상위 유사사례의 보정 환경부하량에 유사도 점수의 가중치를 곱함. 이러한 신규 사례에 대한 환경부하량 예측 값은 다음 식과 같음

$$W_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i} \qquad \text{(식 2.2.6)}$$

W_i : 추출된 유사사례 i의 유사도 가중치, n : 추출된 유사사례의 수

○ 신규 환경부하량 추정은 가중 평균값을 적용한 추정 환경부하량의 합이 됨

$$F = \sum_{i}^{n}(W_i \times E_i) \qquad \text{(식 2.2.7)}$$

F : 신규사례에 대한 추정 환경부하량

○ 유전자 알고리즘을 이용하여 CBR I 모델의 영향요인별 가중치를 최적화한 결과, 상부면적 0.33592, 연장 0.27604, 차로수 0.19362, 폭원 0.19443 으로 나타남

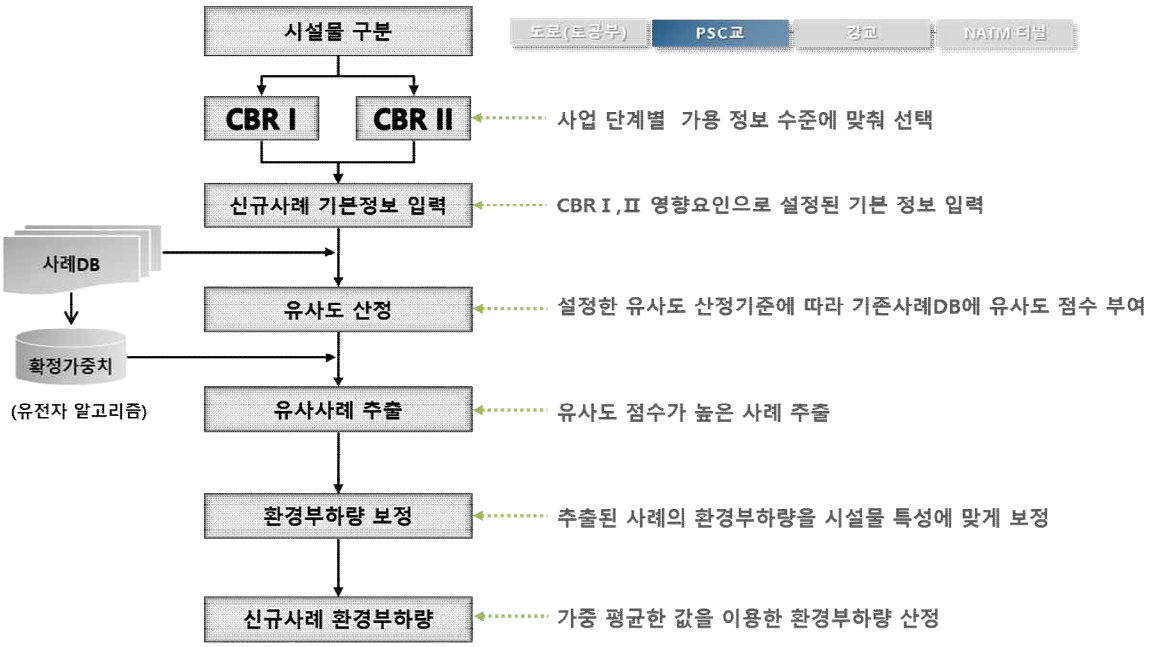
○ CBR II 모델의 영향요인별 가중치는 상부면적 0.16950, 연장 0.18312, 차로수 0.09627, 폭원

0.00977, 기초형식 0.00929, 가설위치 0.06547, 경간수 0.18288, 경간장 0.17425, 하부총길이 0.05221, 행정구역 0.05724 으로 나타남

[표 2-2-8] 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	경간장	하부총길이	행정구역
	0.16950	0.18312	0.09627	0.00977	0.00929	0.06547	0.18288	0.17425	0.05221	0.05724

○ 사례기반추론과 유전자 알고리즘을 활용한 기획단계 환경부하 모델의 환경부하량 산정 절차는 아래 그림과 같음. 신규 사례의 교량 형식이 선정되면 신규사례에 대한 기본정보로 연장, 폭원, 차로수, 상부면적을 입력하고, 입력된 신규사례를 사례 DB와 검색하여 유사도를 평가함. 학습사례를 통해 최적화된 편차, 순위, 가중치를 고려하여 유사도 점수를 산정하고 신규사례와 가장 유사한 사례의 환경부하량을 추출함. 그리고, 교량의 환경부하량은 상부면적에 비례하는 특성을 이용하여 추출된 상위 유사사례의 환경부하량을 상부면적 비율로 보정하고 유사도 점수의 가중치를 곱하여 신규사례의 환경부하량을 산정함



[그림 2-2-9] CBR기반 기획단계 환경부하평가 모델 개요도

4. 평가모델 검증

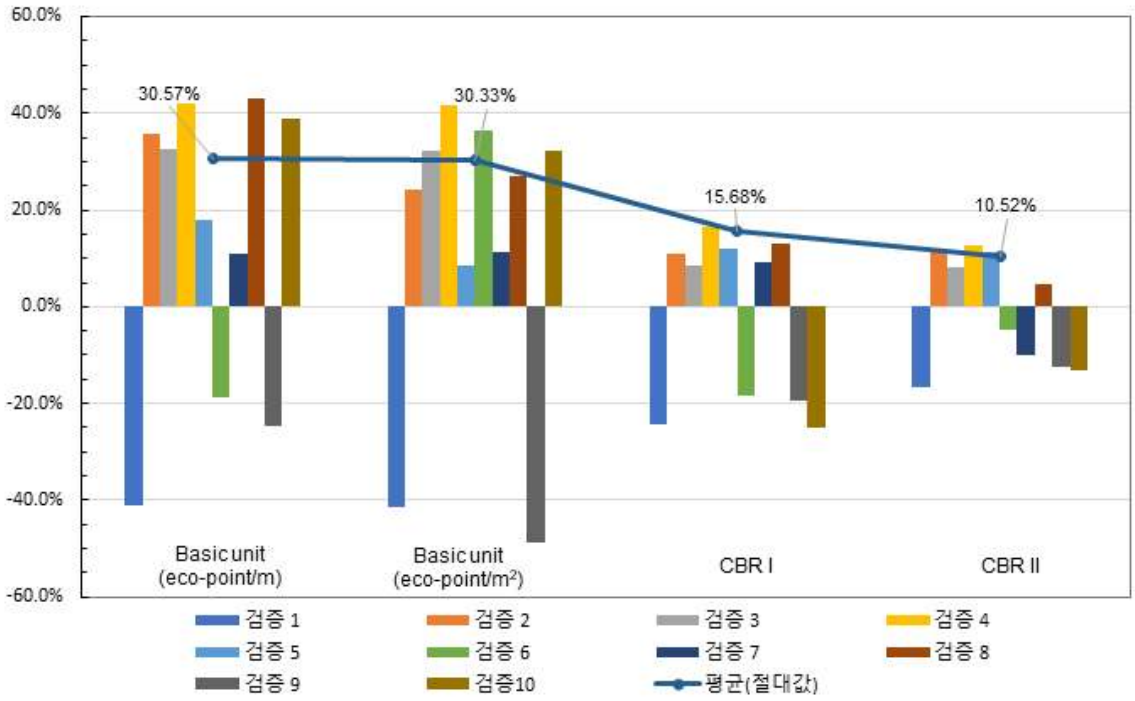
○CBR기반 기획단계 환경부하 평가모델의 검증을 위해서 본 연구에서 제시한 사례기반추론을 활용한 기획단계 환경부하량 개산 예측모델은 영향요인의 속성값이 다양하게 분포되도록 구성하여 새로운 검증사례를 선정하였고, 원단위 분석방법의 추정값을 비교함

[표 2-2-9] 검증사례 현황

번호	상부 면적 (m^2)	연장 (m)	차로수	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	90	4	22.8	직접	하상	3	30	전라도	37.00	89%	2.59E+02
3	1881	90	4	20.9	혼합	육상	3	30	전라도	76.66	76%	2.44E+02
4	2508	120	4	20.9	직접	육상	4	30	서울·경기도	141.85	94%	3.03E+02
5	1598.50	70.11	4	22.8	혼합	하상	2	35	서울·경기도	20.00	80%	2.38E+02
6	372	30	2	12.4	말뚝	하상	1	30	강원도	19.50	95%	7.87E+01
7	4956	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 2-2-10] CBR 모델 및 원단위 분석 모델의 결과 비교

구분	실제 환경부하량 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 (%)
검증 1	2.20E+02	1.66E+02	-24.41%	1.83E+02	-16.51%	1.29E+02	-41.26%	1.30E+02	-40.97%
검증 2	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%
검증 3	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%
검증 4	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%
검증 5	2.38E+02	2.66E+02	11.93%	2.65E+02	11.29%	2.58E+02	8.59%	2.81E+02	18.08%
검증 6	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%
검증 7	1.28.E+03	1.39E+03	9.26%	1.15E+03	-9.93%	1.42E+03	11.16%	1.41E+03	10.80%
검증 8	6.10E+02	6.89E+02	13.02%	6.38E+02	4.65%	7.74E+02	26.94%	8.71E+02	42.88%
검증 9	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%
평균(절댓값)		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%	



[그림 2-2-10] CBR기반 환경부하 평가모델 결과의 비교분석

○ 검증사례에 대한 환경부하량 실제값과 비교한 결과, 연장-환경부하 원단위 산정 방법은 평균 절대오차율은 30.33%이며, 오차범위는 -48.62%에서 +41.69%까지인 것으로, 상부면적-환경부하 원단위 산정 방법은 평균 절대오차율은 30.57%이며, 오차범위는 -40.97%에서 +42.88%까지인 것으로 나타남

○ 본 연구에서 제시한 기획단계 환경부하 추정모델인 CBR I의 평균 절대오차율은 15.68%이며, 오차범위는 -24.91%에서 +16.28%까지인 것으로 나타남. 사업 기획단계 이후 가용정보가 보다 구체화된 기본설계단계에서의 환경부하 추정모델인 CBR Ⅱ는 평균 절대오차율이 10.52%로 나타났으며, 오차범위는 -16.51%에서 +12.72%까지로 나타나 CBR I 모델보다 개선된 추정 결과를 나타내는 것으로 분석됨

○ CBR I, CBR Ⅱ 모두 추정목표 범위인 ±25% 이내에 들어오며, 원단위 방법보다 높은 신뢰도를 가지는 것으로 나타났으며, 기존의 기획단계 공사비 예측(AACE(American Association of Cost Engineers)의 기획단계 공사비 예측모델)의 목표인 하한값 -15%~-30%, 상한값 +20%~+50%와 비교해본 결과, 본 연구에서 제시하는 CBR I, CBR Ⅱ 모델은 적정한 수준의 신뢰도를 확보한 것으로 판단됨

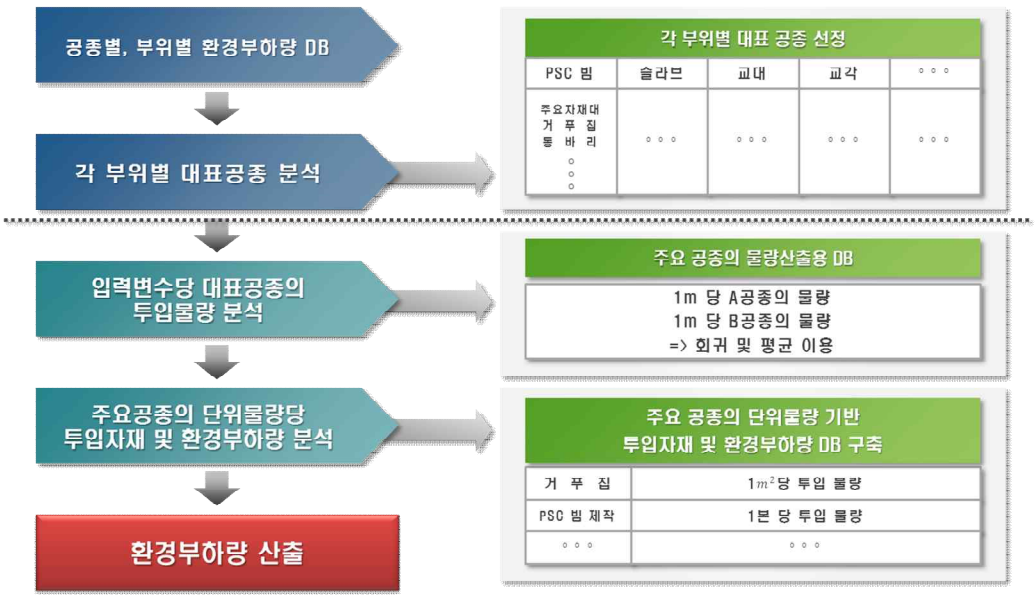
제 3 절 설계단계 환경부하 평가모델

1. 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 발생되는 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

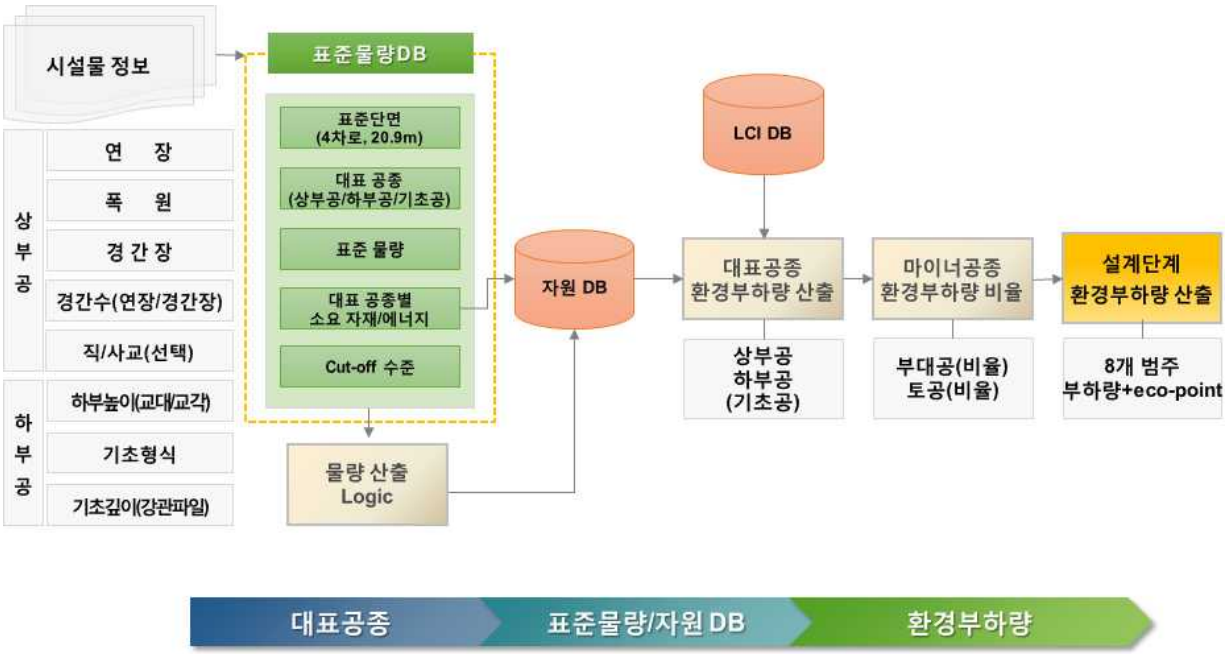
○ 설계가 진행됨에 따라 가용할 수 있는 정보의 수준이 높아지고, 이러한 정보를 활용하여 표준단면의 공종물량을 기반으로 보다 구체적인 환경부하량 산정이 가능하므로, 설계초기 단계에서는 대표공종의 단위물량을 이용한 환경부하량 개산예측 방법론을 적용하였음

○ 이를 위해 PSC Beam 교량공사에 수행되는 공종을 전반적으로 분석하여, 교량 부위별로 환경부하량에 높은 비율을 차지하는 대표공종을 선정하였음. 선정된 대표공종의 실제 투입물질을 분석하여, 교량 특성별 표준물량을 산출하고 공종별에 투입되는 소요자원과 연계하여 설계초기 단계에서 환경부하량을 산정하는 모델 프레임워크를 구축하였음. 또한, 본 연구에서 설계초기단계 환경부하량 산정 모델을 구축하기 위한 프로세스는 [그림 2-3-1]과 같음

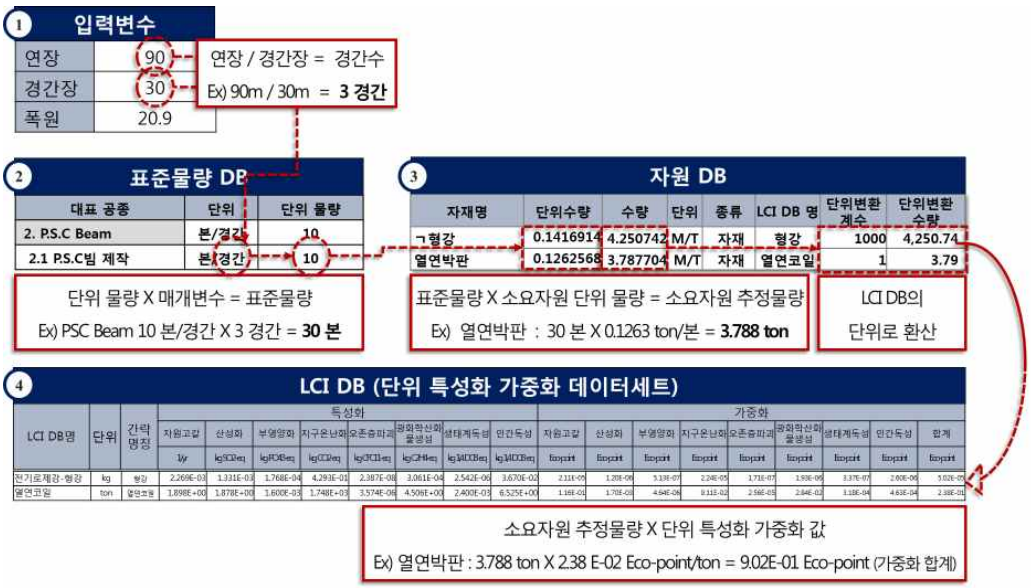


[그림 2-3-1] 설계단계 환경부하 평가모델 구축 프로세스

○ 교량 부위별 환경부하량을 산출하기 위해서 주요 공종의 물량과 주요공종의 단위 물량 당 환경부하량을 산출하는 과정이 필요하며, 구축된 부위별·공종별 환경부하량 DB를 분석하여 각 부위별 환경부하량 비율을 많이 차지하는 주요 공종을 선정하였음. 설계단계에서 가용한 정보를 기반으로 선정된 주요공종에 대한 물량 산출용 DB를 구축하며, 이때 구축된 DB를 이용하여 입력변수(가용정보)당 대표공종의 투입물질을 산정 할 수 있음. 다음으로 주요공종의 물량 DB와 연계될 각 주요공종에 투입되는 자원을 분석하여 단위 물량당 자원DB를 구축하고, 대표공종의 표준물량 DB와 단위 물량당 자원 DB를 연계하여 환경부하량 산정 모델을 구축할 수 있음. 최종적으로 본 연구에서 구축한 대표공종의 표준물량을 이용한 설계단계 환경부하 평가모델 개요는 [그림 2-3-2]와 같음



[그림 2-3-2] 표준물량 기반 설계단계 환경부하 평가모델 개요도



[그림 2-3-3] 소요 자원량과 LCI DB 연계 방법

○ 본 환경부하량 산정모델에서는 실제 교량공사의 공종을 분석하여 각 부위별 대표할 수 있는 공종을 선정하고, 표준단면을 바탕으로 한 표준단위물량을 통해 상세 물량을 산출함. 변수를 입력(연장, 경간장, 폭원 등)함으로써 신속하게 환경부하량을 추정할 수 있도록 표준물량 DB와 자원 DB를 LCI DB와 함께 연계 구성하였으며, 세 가지 데이터베이스는 엑셀을 기반으로 구축되었음. 다음으로 산출한 실제적인 물량에 대표공종별 소요되는 자원항목에 상응하는 LCI DB를 연계함으로써 환경부하량을 산정함([그림 2-3-3] 참조)

○ 따라서, 공종별 투입 소요자원의 변동이나 LCI DB의 추가 등의 변동요인의 반영이 용이하고, 기획단계에 비해 설계 초기단계의 증가한 가용정보를 바탕으로 좀 더 정확한 환경부하량 추정을 할 수 있을 것으로 판단됨

2. 환경부하 특성분석

○ 본 연구에서는 가장 일반적인 교량형식인 PSC Beam 교량을 대상으로 하며, 2000년 이후 완료된 36건의 설계자료를 분석하였음. 교량의 제원, 공종별 물량, 소요 자원 및 에너지를 파악하기 위해 설계보고서, 내역서, 수량산출서, 단가산출서, 설계도면 등의 설계 자료를 활용하였음. 수집한 자료를 기준으로 실제 교량 사례들의 환경부하량을 산출하고 교량부위별 환경부하량 점유비율과 공종별 환경부하 특성을 분석하였음

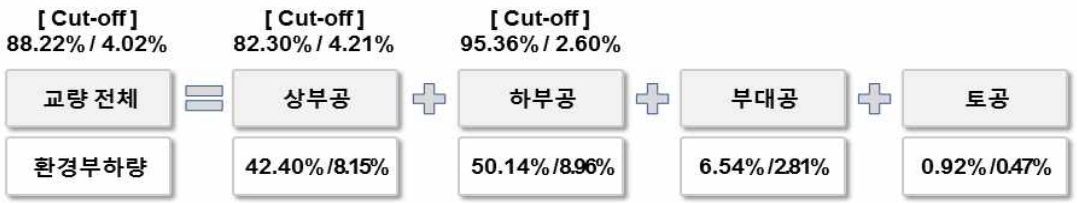
○ 또한, 공종별 환경부하량을 산출하기 위해 한국환경산업기술원(KEITI, Korea Environmental Industry & Technology Institute)에서 제공하는 국가 LCI DB를 기본적으로 활용하였고, 국가 LCI DB에 없는 항목에 대해서는 국토교통부에서 구축한 LCI DB, 해외 DB인 Ecoinvent의 LCI DB를 추가로 활용하였음

[표 2-3-1] PSC Beam교의 공종 분류체계

부위	부위별 해당공종	
① 상부공	PSC BEAM	PSC BEAM 제작, PSC BEAM 가설, PSC BEAM 전도방지, SOLE PLATE(PSC), 주요자재대 등
	슬래브, 가로보	거푸집, 동바리(목재4회, Deck Finisher용), 철근가공조립, 콘크리트타설, 표면처리, 교면방수(도막식), 시공이음(스티로폴), 스페이셔, 슬래브양생/면고르기, 주요자재대, 스페이셔 등
② 하부공	교대	거푸집, 접속 슬래브(다웰바 포함), 교량받침, 동바리, 비계, 시공이음(스치로폴), 배면방수(아스팔트방수), 주요자재대, 스페이셔 , 콘크리트양생, 수축줄눈(교대) 등
	교각	거푸집, 강재거푸집, 교량받침, 동바리, 비계(공통공사), 고철대(하부공 할증수량), 주요자재대, 스페이셔, 철근인상작업, 나사식이음 등
	기초	강관파일 천공 후 항타, 두부 및 선단보강, 강관파일자재비 등
③ 토공	터파기, 유용토, 구조물 뒷채움 및 앞성토, 되메우기 및 다짐, 물푸기, 면정리 및 청소, 세굴방지 사석채움 등	
④ 부대공	교량난간 및 중앙분리대, 교면 포장, 교량배수시설공, 교량점검시설, 교량부속시설, 신축이음, 공사용 가교/가도, 점검계단, 교대 보호공, NOTCH, 방호벽, 기초가시설, 실런트, 시추조사시험, 평판재하시험, 아스콘 및 아스팔트 , 원심력철근콘크리트관, Cover Plate, 수축줄눈(부대공) 등	

○ 본 연구에서는 PSC Beam 교량의 부위별/공종별 다양한 건설정보관리 관점에서 기본적으로 활용되고 있는 국내 '건설정보분류체계 적용기준'의 부위분류, 공종분류 관점을 고려하여 상부공(PSC Beam, 슬래브 및 가로보), 하부공(교대/교각/기초), 토공, 부대공으로 분류하였으며, 국도건설공사 설계실무 요령(국토교통부, 2015), 내역서 및 수량산출서를 토대로 공종 분류체계를 구성하였으며 [표 2-3-1]과 같음

○ 수집한 사례별 기초설계 자료를 바탕으로 교량의 부위별 공종별 환경부하 특성을 분석하였으며, PSC Beam교 전체 환경부하량에 대한 부위별 환경부하량 점유비율 결과, 상부공 42.40%, 하부공 50.14%, 부대공 6.54%, 토공 0.92% 차지하는 것으로 나타났으며, 상부공과 하부공이 교량 전체 환경부하량의 92.54%를 차지하는 것으로 분석됨



[그림 2-3-4] PSC Beam교 부위별 환경부하량 점유비율

3. 표준물량 기반 환경부하 평가모델 개발

가. 대표공정 선정

○ 교량 부위별 상위 몇개 공종이 환경부하량의 대부분을 차지하는 것으로 나타남에 따라 모든 공종을 고려하는 것은 비효율적이며, 본 연구에서는 공종 전체가 아닌 환경부하량을 많이 산출하는 상위 주요 공종만을 이용하여 신속하고 정확한 환경부하량을 산정하기 위해 대표공종을 선정함

○ 수량산출서를 기반으로 공종물량을 상부공, 하부공, 부대공, 토공으로 분개 후 각 부위의 공종별 환경부하량을 분석하고 각각의 부위별 환경부하량 점유비율을 파악함. 대표공종선정은 상부공과 하부공에 한에서 수행하였으며, 부대공과 토공의 환경부하량은 부위별환경부하량 점유비율을 상·하부공 모델의 결과값에 적용함으로써 산출함

○ 상·하부공의 공종별 환경부하량 비율은 다음 수식에 따라 산출하였으며, 하부공의 경우 교대/교각/기초로 분류하여 대표공종을 선정함

$$\text{공종별 환경부하량 비율} = \frac{\text{해당 공종의 환경부하량}}{\text{전체 공종의 총환경부하량}} \times 100(\%) \qquad \text{(식 2.3.1)}$$

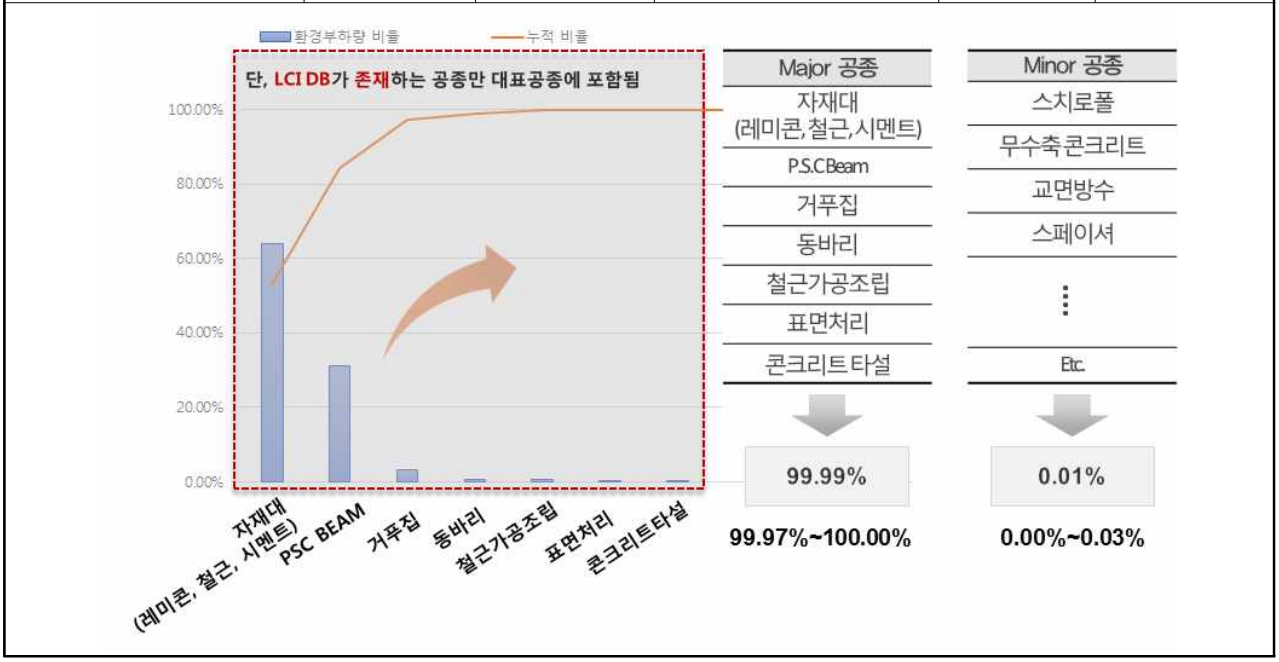
○ ‘시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인’에서 제시하는 배출원별 세부내역 분류기준을 적용하기 위하여, 자재에서 기인한 환경부하량과 에너지에서 기인한 환경부하량을 분리 하여 집계하고, 각각 우선순위로 올라온 공종들을 대표공종으로 선정하여 종합함. 또한, 설계 초기단계에서 활용 가능한 주요 설계정보를 통해 표준물량 산출이 가능한 공종을 추가적으로 대표공종으로 선정하였음

(1) 상부공의 대표공종 선정

○ 다음 표는 환경부하 배출원에 따라 투입자원을 자재와 에너지로 분류하여 집계한 상부공의 공종별 환경부하량 구성 비율을 나타내고 있음. PSC Beam교의 경우, 배출원 자재부분에서는 상위 5개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 3개 공종을 대표공종으로 선정함

[표 2-3-2] PSC Beam교 상부공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

자재로 인한 환경부하량			에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	65.05%	65.05%	P.S.C Beam	89.44%	89.44%
P.S.C Beam	30.11%	95.16%	표면처리(슬래브양생)	6.61%	96.05%
거푸집	3.22%	98.38%	콘크리트 타설	3.78%	99.83%
동바리	0.82%	99.20%			
철근가공조립	0.79%	99.99%			
Minor			Minor		
스치로폴	0.01%	100.00%	자재운반비 모래	0.13%	99.96%
자재비 모래	0.002%	100.00%	자재운반비 시멘트	0.04%	100.00%

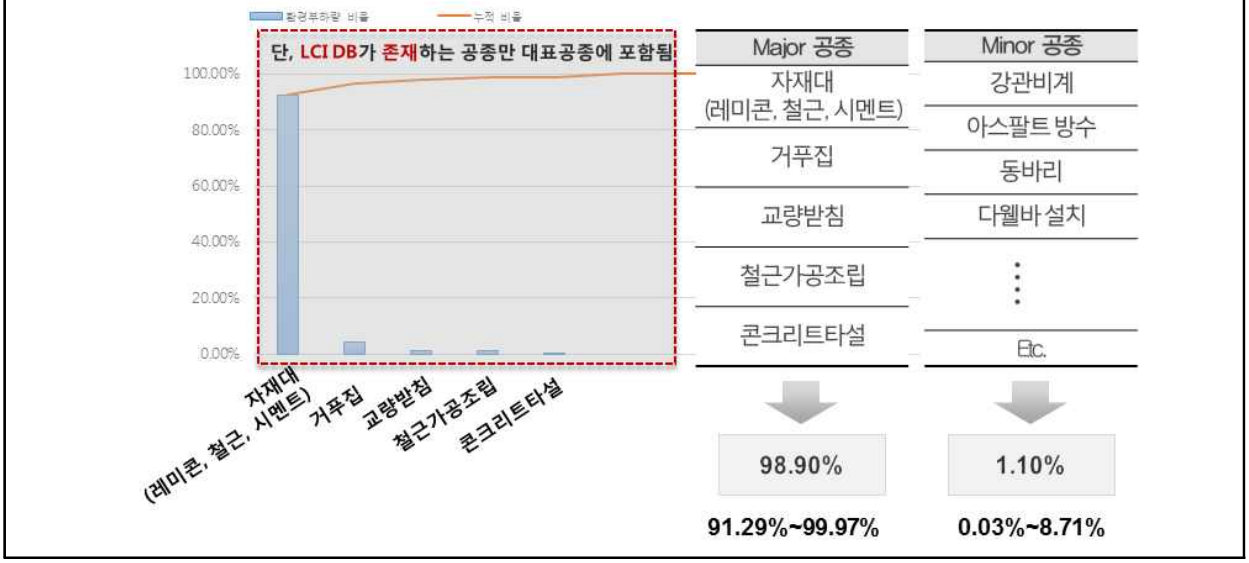


(1) 상부공의 대표공종 선정

○ 교량 하부공의 경우, 교대, 교각, 기초로 구분함. 교대공의 경우, 배출원 자재부분에서 상위 5개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 2개 공종을 대표공종으로 선정

[표 2-3-3] PSC Beam교 교대공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

자재로 인한 환경부하량			에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	92.72%	92.72%	콘크리트타설	77.58%	77.58%
거푸집	4.36%	97.07%	교량받침	22.08%	99.66%
교량받침	0.90%	97.98%			
철근가공조립	0.90%	98.87%			
콘크리트타설	0.03%	98.90%			
Minor			Minor		
강관비계	0.86%	99.76%	자재운반비 모래	0.29%	99.95%
아스팔트방수	0.19%	99.95%	무수축 콘크리트	0.03%	99.98%
동바리	0.02%	99.98%	자재운반비 시멘트	0.02%	100.00%
다웰바설치	0.01%	99.99%			
스치로폼	0.01%	100.00%			

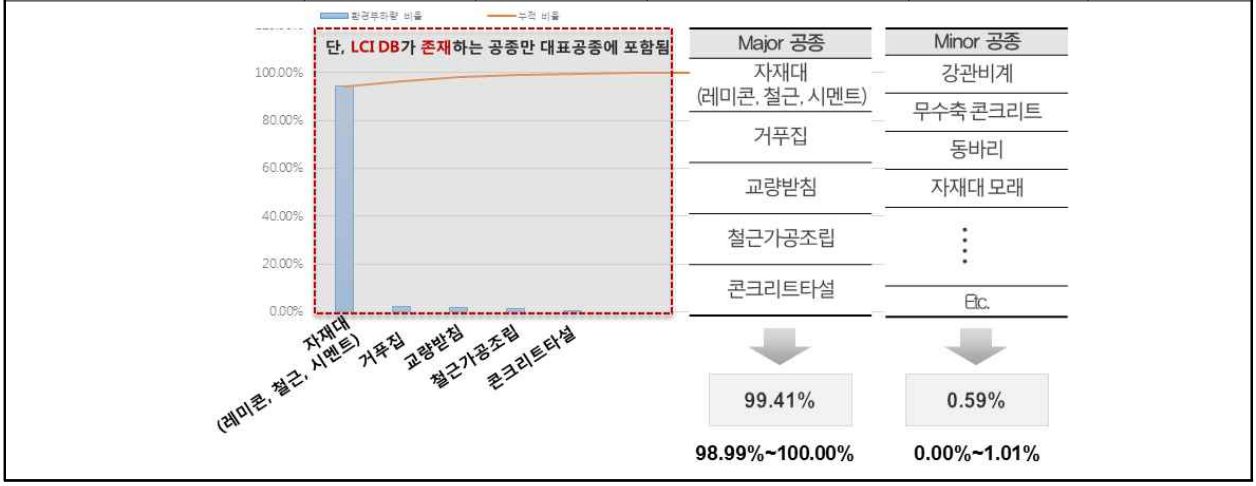


○ 교각공의 경우, 배출원 자재부분에서 상위 3개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 4개 공종을 대표공종으로 선정

○ 기초공의 경우, 배출원 자재부분에서 상위 3개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 2개 공종을 대표공종으로 선정

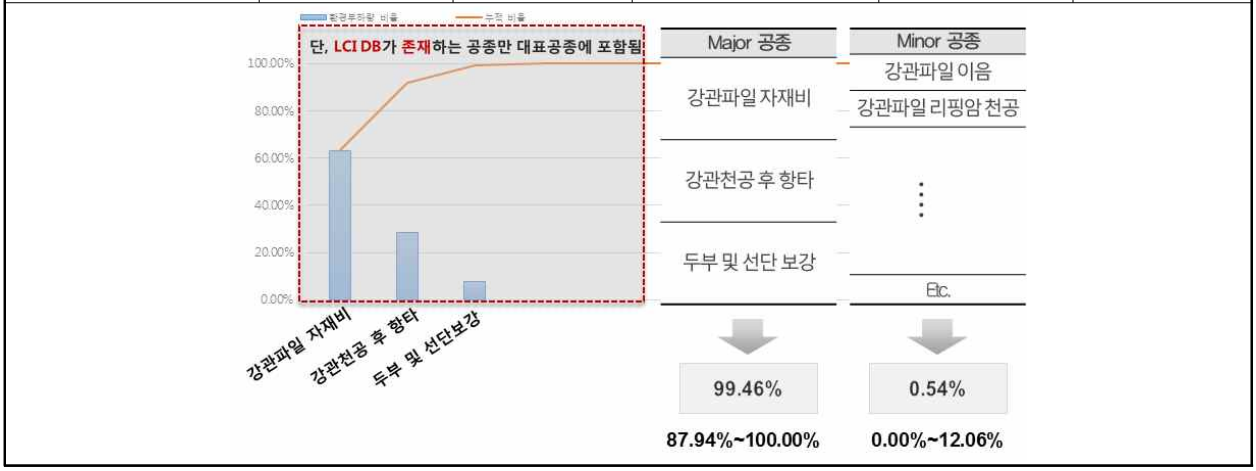
[표 2-3-4] PSC Beam교 교각공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

자재로 인한 환경부하량			에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	96.37%	96.37%	콘크리트타설	45.43%	45.43%
거푸집	1.97%	98.34%	철근가공조립	23.54%	68.97%
철근가공조립	1.16%	99.50%	교량받침	21.71%	90.68%
			거푸집	7.68%	98.36%
Minor			Minor		
강관비계	0.41%	99.91%	무수축 콘크리트	1.26%	99.62%
동바리	0.09%	100.00%	자재운반비 모래	0.38%	100.00%



[표 2-3-5] PSC Beam교 기초공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

기초공의 자재로 인한 환경부하량			기초공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
강관파일 자재비	87.15%	87.15%	강관천공 후 항타	98.38%	98.38%
두부 및 선단보강	10.36%	97.51%	두부 및 선단보강	0.66%	99.04%
강관천공 후 항타	1.83%	99.34%			
Minor			Minor		
강관파일이음	0.66%	100.00%	콘크리트타설 (펌프카)	0.73%	99.77%
			강관파일이음	0.23%	100.00%



○본 연구에서는 공종 전체가 아닌 환경부하량을 많이 산출하는 주요 공종만을 이용하여 신속하게 환경부하량을 산정하기 위해 대표공종을 선정하였음. 대표공종선정은 상·하부공(기초공)에 한해 수행하였으며, 부대공과 토공의 환경부하량은 부위별환경부하량 점유비율을 상·하부공 모델의 결과값에 적용하였음. 부위에 따라 집계한 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 선정하였으며, 상부공, 하부공의 대표공종 선정결과는 [표 2-3-6]과 같음. 상부공에서는 7개의 대표공종에 폭원과 연장으로 물량을 산정할 수 있는 교면포장을 추가함

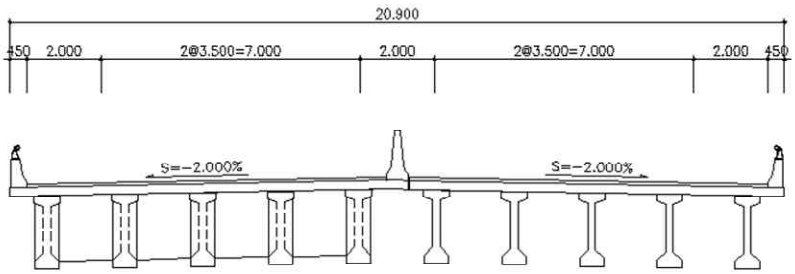
[표 2-3-6] PSC Beam교 부위별 대표공종 분석 결과

부위	대표공종	환경부하량 누적비율		Cut-off level	
		평균(%)	편차(%)	평균(%)	편차(%)
상부공	자재대(레미콘,철근,시멘트),PSC Beam, 거푸집, 동바리, 철근가공조립, 표면처리(슬래브양생), 콘크리트 타설, 교면포장(추가)	99.99	0.01	81.92	4.29
교대공	자재대(레미콘,철근,시멘트), 거푸집, 철근가공조립, 콘크리트 타설, 교량받침,	98.90	1.80	95.35	4.21
교각공	자재대(레미콘,철근,시멘트), 거푸집, 철근가공조립, 콘크리트 타설, 교량받침	99.41	0.28	93.91	4.37
강관파일공	자재대(강관파일), 강관천공후항타비, 두부및선단보강	99.46	3.69	93.41	3.44

나. 표준단면기반 표준물량 DB구축

(1) 상부공

○PSC Beam교량의 상부는 일반적으로 경간장 30m, 35m에 대해 표준단면으로 설계됨. 본 연구에서는 이러한 표준단면을 기반으로 공종별 물량산출 방법을 고려하여 단위물량을 산출하고자 함. 상부공의 표준단면을 세부적으로 설정하기 위하여, 국내에서 시행된 국도 건설 프로젝트의 PSC Beam교량 사례 중에서 30m, 35m 경간장을 대상으로 설계자료를 조사한 결과 4차로, 횡단폭원 20.9m, 경간 당 빔 본수 10본인 사례가 높은 분포로 나타남. 따라서 본 연구에서는 4차로, 폭원 20.9m, 경간 당 빔 10 본인 단면을 표준단면으로 선정함



4차선 횡단 구성

(0.45+2.0+2@3.5+2.0+2@3.5+2.0+0.45 = 20.9 m)

[그림 2-3-5] PSC Beam교량 상부공 표준단면

○ PSC BEAM교 4차로, 표준폭원 20.9m, 경간장 30m / 35m에 대한 표준 단위물량을 산정하고자 함. 경간별 4차로 표준폭원 20.9m에 해당하는 교량에 대하여 수량산출서 기반으로 각 공종별 단위물량을 조사하고, 이때 공종의 특성 및 물량단위를 고려하여 단위물량의 단위를 다양하게 고려하며, 대표공종에 포함되는 세부공종까지 고려하여 물량을 산출함. 대표공종별 단위물량 산정 방법은 다음과 같음

- PSC BEAM: 기존 설계 내역서상 PSC Beam에 대한 공종은 PSC Beam 제작, 설치, 전도방지 공종으로 구성되며, 수량산출서를 분석하여 4차로 한 경간(30m/35m)당 투입되는 PSC BEAM 개수를 구함(본수/경간). 이들 공종은 경간당 10본을 기준으로 단위물량을 산정

[표 2-3-7] 자재대 레미콘 공종의 부위별 물량산출방법

부위	산출방법
PSC Beam	투입자원 규격 : 강도 400kg/㎠ 레미콘 단위물량 : Girder 본 개수 당 레미콘 수량(㎥/본)
슬래브	투입자원 규격 : 강도 270kg/㎠ 레미콘 단위물량 : 연장 당 투입 레미콘 수(㎥/연장)
가로보	투입자원 규격 : 강도 270kg/㎠ 레미콘 단위물량 : 경간 당 가로보 설치 3개소 레미콘 수량 (㎥(가로보 3개소 설치)/경간)

- Sole Plate: 수량산출서를 분석하여 PSC Beam 1본당 투입되는 Sole Plate 공종의 수량을 구함. 공종 특성에 따라 빔 1본당 2개소를 단위물량으로 도출
- 자재대(레미콘, 시멘트): 수량 산출서를 분석하여 각 부위별(PSC BEAM/슬래브 및 가로보/교대/교각)로 물량 산출
- 철근가공조립 공종은 자재대 철근 공종의 할증수량을 제외한 순수 수량(NET)을 물량 산출됨
  - 평면선형(직교/사교)별 분류하여 콘크리트량에 대한 철근가공조립 수량의 평균 비율을 산출. 산출된 평균비율을 콘크리트의 단위물량과 곱하여 철근가공조립 물량을 산출
- 자재대(철근)
  - 철근 가공조립 산출과정과 동일하게 각 교량들의 선형별 분류 후, 선형별로 철근량과 철근가공조립 수량에 대한 할증 평균비율을 산출
  - 산출된 할증 비율을 철근가공조립 물량과 곱하여 철근 물량을 산출

[표 2-3-8] 철근가공조립 및 철근(자재대)의 물량산출 방법

구분		부위	단위	직교	사교	비고
철근가공조립 (Net수량)	30m	슬래브	ton	콘크리트 수량 × 0.1902	콘크리트 수량 × 0.1545	단위중량 비율
		가로보		콘크리트 수량 × 0.0974	콘크리트 수량 × 0.0892	
	35m	슬래브		콘크리트 수량 × 0.2166	콘크리트 수량 × 0.1889	
		가로보		콘크리트 수량 × 0.1045	콘크리트 수량 × 0.1176	
철근량 (Add수량)	30m	슬래브	ton	철근가공조립수량 × 1.0334	철근가공조립수량 × 1.0354	할증계수 비율
		가로보		철근가공조립수량 × 1.0329	철근가공조립수량 × 1.0383	
	35m	슬래브		철근가공조립수량 × 1.0390	철근가공조립수량 × 1.0328	
		가로보		철근가공조립수량 × 1.0249	철근가공조립수량 × 1.0387	

- 동바리(상부공의 경우)
  - 일반목재와 데크피니셔용으로 구성
  - 연장 당 투입되는 동바리의 공/㎥ 물량을 단위물량으로 산정(공/㎥/m)
- 거푸집
  - 수량산출서를 기반으로 상부공에 투입되는 합판거푸집 물량을 분석하여 연장 당 투입되는 거푸집 물량 (㎡)을 단위물량으로 산정(㎡/m)
- 슬래브양생(표면처리)
  - 슬래브양생과 데크피니셔로 구성되며, 물량이 동일하나, 투입되는 자재 및 장비의 차이로 인하여 개별적으로 물량 산출
  - 폭원 길이에서 방호벽과 중앙 분리대폭을 제외한 길이를 단위물량으로 산정

$$\text{표면처리 단위물량} = \text{폭원} - 0.45m \times 2(\text{방호벽 횡단폭}) - 1.0m(\text{중앙분리대 횡단폭})$$

- 콘크리트 타설 공종
  - 슬래브 부와 가로보 부에 해당하는 공종으로, 레미콘 타설량은 자재대(레미콘) 공종에서 슬래브와 가로보의 강도 270인 레미콘을 합쳐서 물량을 산출
  - 철근가공조립과 마찬가지로 순수 수량(NET)이므로 강도 270인 레미콘 물량을 할증률(101%)로 나누어 표준물량을 산출함

○ 표준물량 산출은 수량산출서를 바탕으로 실시설계 초기단계의 가용정보인 연장, 경간장, 폭원 등을 매개변수로 활용하여 도출함. 교량의 경간장(30m/35m)에 따라 단위물량이 전반적으로 차이를 보이기 때문에 경간장별로 나누어 단위물량을 산출하였음. 또한 교량의 직교·사교 여부에 따라 자재대 철근 공종과 철근가공조립의 단위물량이 차이를 보여 직교·사교 각각에 대하여 철근 관련 공종의 단위물량을 산출하였음. [표 2-3-9]는 표준물량 DB의 예시자료로써, 경간장 30m, 35m에 대한 표준물량 DB임

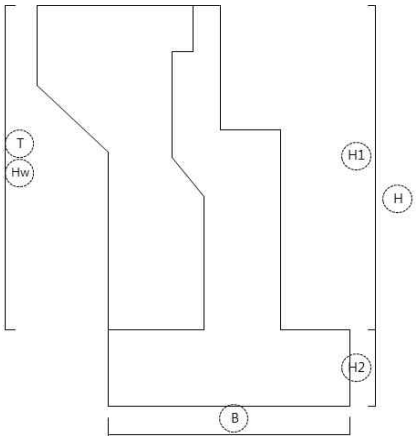
[표 2-3-9] PSC Beam교 상부공 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준물량 (직교/사교)	
		경간장 30m	경간장 35m
1. 자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
19-40-15 (PSC Beam)	㎥/본	23.048	33.618
25-27-15 (슬래브)	㎥/연장	5.375	5.305
25-27-15 (가로보)	㎥/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	본/경간	-	-
2.1 PSC Beam 제작	본/경간	10	
2.2 PSC Beam 설치	본/경간	10	
2.3 PSC Beam 전도방지	본/경간	10	
2.4 Sole Plate	ea/본	2	
3.거푸집		-	-
합판 3회	㎡/연장	18.452	19.254
4. 철근가공조립		-	-
4.1 복잡		-	-
PSC Beam	ton/본	4.434	5.927
슬래브	ton	레미콘수량/1.01X(0.1902/0.1545)	레미콘수량/1.01X(0.2166/0.1889)
가로보	ton	레미콘수량/1.01X(0.0974/0.0892)	레미콘수량/1.01X(0.1045/0.1176)
5. 동바리		-	-
5.1 데크 피니셔용	공/ ㎥/연장	2.644	2.729
5.2 일반 목재	공/ ㎥/연장	22.196	22.738
6.표면처리(슬래브양생)		-	-
6.1 슬래브 양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	
6.2 데크 피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	
7.콘크리트 타설			
7.1 철근(0~15m)	㎥	(슬래브+가로보 콘크리트 수량)/1.01	
8.교면 포장			
8.1 아스팔트 표층(T=80mm)	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	

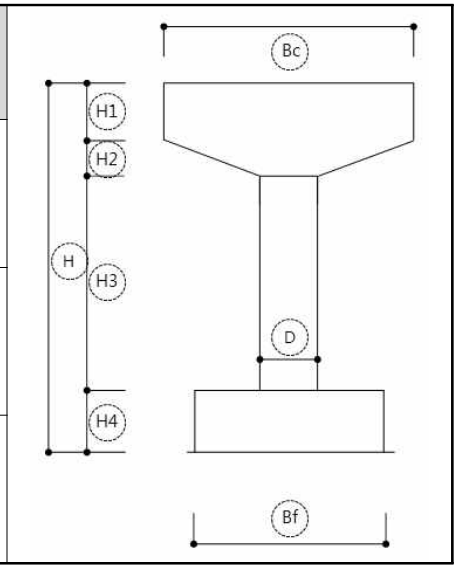
(2) 하부공

○ PSC Beam교의 경우, 교대·교각으로 나누어 표준단면 선정. 교대의 경우, 경간별로 30m/35m로 나누어 표준단면 선정

[표 2-3-10] 경간장별 교대공 대표단면 치수 (단위: m)

구분	본체 높이	기초 높이	교대 높이	날개벽 높이	날개벽 두께	기초 폭원	교대 길이	
기호	H1	H2	H	Hw	T	B	-	
30m 대표단면	6.6	1.4	8	6.6	0.6	5.2	10.445	
35m 대표단면	6.8	1.2	8	6.6	0.6	4.8	10.445	

[표 2-3-11] 경간장별 교각공 대표단면 치수 (단위: m)

구분	코핑 폭	기초 폭	기둥 직경	코핑 높이		기둥 높이	기초 높이	교각 높이	
기호	Bc	Bf	D	H1	H2	H3	H4	H	
30m 대표단면	10.00	8.00	2.5	1.50	1.00	VAR.	2.00	VAR.	
35m 대표단면	10.00	9.00	2.8	1.50	1.50	VAR.	2.20	VAR.	

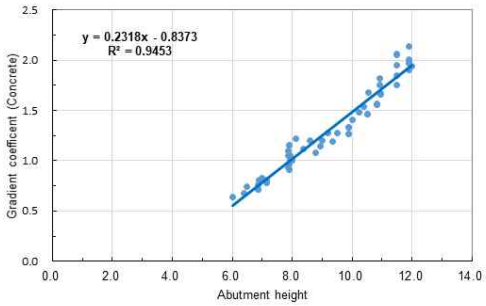
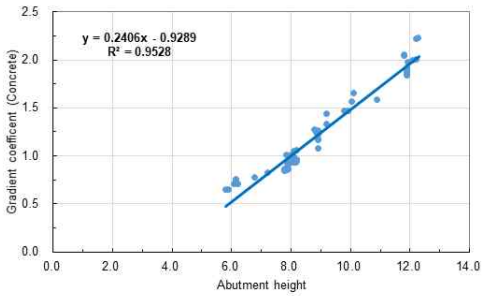
○ 교대의 경우 수량산출서를 기반으로 표준단면에서의 공종 특성 및 물량단위를 고려하여 공종별 단위물량을 산정. 형식별로 경간장과 기초형식에 따라 표준 단위물량을 산출

- 자재대(레미콘)
  - 부위에 따라 본체, 날개벽, 접속슬래브, 버림 콘크리트로 나누어 표준물량을 산출
  - 높이에 의한 증가율은 교대 높이를 변수로 한 일차식 도출하여 증가율 산출
  - 기초 길이, 폭원에 의한 증가율은 표준단면을 기준으로 증가하는 비율로 산출
  - 표준단면의 레미콘 물량에 교대길이, 높이에 의한 증가율 각각 곱하여 레미콘 물량 산출

[표 2-3-12] 교대 레미콘 물량 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
24Mpa	본체	M3	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가 × 높이에 의한 증가	단위물량 × 증가율
	날개벽	M3	추정물량 = 표준물량 × 높이에 의한 증가	
	접속슬래브	M3	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
16Mpa	버림콘크리트	M3	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
	접속슬래브	M3	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	

[표 2-3-13] 높이에 의한 레미콘 증가 산출 그래프

경간	30m	35m
레미콘(24Mpa) 본체+날개벽		
콘크리트 물량 증감비율	$y_c = 0.2318h_a - 0.8373$ y_c = 증감비율, h_a = 교대 높이	$y_c = 0.2406h_a - 0.9289$ y_c = 증감비율, h_a = 교대 높이

- 철근가공조립

  · 각 교량들을 경간(30m, 35m), 기초형식(직접,말뚝)으로 분류하여, 교량의 교대높이 구간별로 구분하여 콘크리트량에 대한 철근가공조립 수량 평균비율 산출

  · 산출된 비율을 콘크리트의 단위물량과 곱하여 철근가공조립 물량 산출

[표 2-3-14] 교대높이별 콘크리트-철근비

구분				6≤교대높이<8	8≤교대높이<10	10≤교대높이	비고
공종명	경간	기초 형식	단위				
철근 가공 조립 (Net수량)	30m	직 접	ton	0.08518	0.08655	0.11731	비율
		말 뚝	ton	0.09953	0.10464	0.12068	
	35m	직 접	ton	0.09360	0.09898	0.14692	
		말 뚝	ton	0.10854	0.10736	0.10234	

[표 2-3-15] 철근가공조립-철근량 할증률

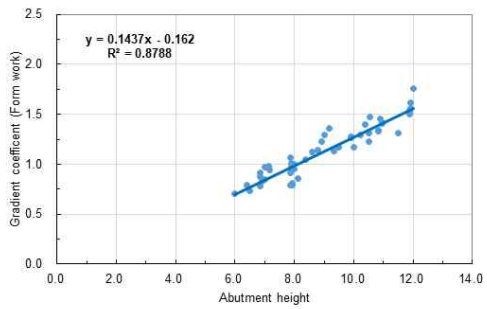
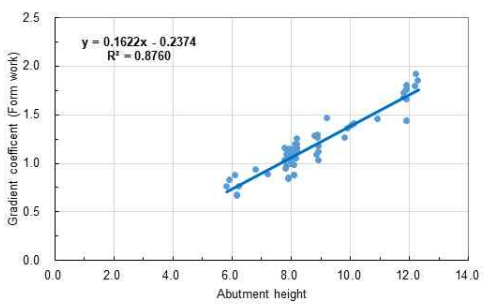
구분				할증률	비고
공종명	경간	기 초 형 식	단위		
자재대 철근 (할증수량)	30m	직 접	ton	철근가공조립수량 × 1.04989	비율
		말 뚝	ton	철근가공조립수량 × 1.05211	
	35m	직 접	ton	철근가공조립수량 × 1.04697	
		말 뚝	ton	철근가공조립수량 × 1.05379	

- 자재대(철근)
  - 경간(30m, 35m), 기초형식(직접, 말뚝)으로 분류하여, 철근가공조립에 대한 평균 할증비율 산출
  - 산출된 할증 비율을 철근가공조립 물량과 곱하여 철근 물량을 산출
- 콘크리트 타설
  - 부위별 레미콘 타설량에 레미콘물량 할증률(101%, 102%)로 나누어 표준물량 산출
- 거푸집
  - 부위에 따라 본체, 날개벽, footing, 접속슬래브, 버림 콘크리트로 나누어 표준물량을 산출하고, 높이에 의한 증가율은 교대 높이를 변수로 한 회귀식으로 산출
  - 기초 길이, 폭원에 의한 증가율은 표준단면의 폭원을 기준으로 증가율 산출
  - 표준단면의 거푸집 물량에 폭원, 기초길이, 높이에 의한 증가율 각각 곱하여 레미콘 물량 산출

[표 2-3-16] 교대 거푸집 물량 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
합판거푸집 - 3회	본체	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가× 높이에 의한 증가	단위면적 × 증가율
	날개벽	m^2	추정물량 = 표준물량 × 높이에 의한 증가	
합판거푸집 - 4회	Footing	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
	접속슬래브	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
합판거푸집 - 6회	버림 콘크리트	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
	접속슬래브	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	

[표 2-3-17] 높이에 의한 레미콘 증가 산출 그래프

경간	30m	35m
거푸집 본체+날개벽		
거푸집 물량 증감비율	$y_f = 0.1437h_a - 0.1620$ y_f= 증감비율, h_a = 교대 높이	$y_f = 0.1622h_a - 0.2374$ y_f= 증감비율, h_a = 교대 높이

- 교량받침

  · 경간에 따라 교량받침 종류 연계(30m-1350KN, 35m-1750KN)

  · 교대 당 교량 받침 5개소

[표 2-3-18] PSC Beam교 교대공 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준 물량	
		경간장 30m	경간장 35m
자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
25-24-15(본체)	㎥	164.718	155.210
25-24-15(날개벽)	㎥	18.985	20.504
25-24-15(접속슬래브)	㎥	28.870	
25-16-15(버림콘크리트)	㎥	5.808	5.717
25-16-15(접속슬래브버림)	㎥	7.464	
1.2 철근		-	-
본체	ton	철근가공조립(본체) × 할증률	
날개벽	ton	철근가공조립(날개벽) × 할증률	
접속슬래브	ton	철근가공조립(접속슬래브) × 1.03	
1.3 시멘트		-	-
무수축몰탈 (1:1)	kg	74.324 ×교량받침개수	51.918 ×교량받침개수
2. 거푸집		-	-
합판3회(본체)	㎡	152.469	148.425
합판3회(날개벽)	㎡	66.012	70.515
합판4회(footing)	㎡	43.806	37.944
합판4회(접속슬래브)	㎡	7.330	
합판6회(버림콘크리트)	㎡	3.189	3.242
합판6회(접속슬래브)	㎡	1.863	
3. 철근가공조립		-	-
3.1복잡		-	-
본체	ton	철근 펌프카, 15m이하(본체) × 철근비	
날개벽	ton	철근 펌프카, 15m이하(날개벽) × 철근비	
3.2보통		-	-
접속슬래브	ton	철근 펌프카, 15m이하(접속슬래브) × 0.19651	
4. 콘크리트 타설		-	-
4.1철근 펌프카, 15m이하		-	-
본체	㎥	본체 콘크리트/1.01	
날개벽	㎥	날개벽 콘크리트/1.01	
접속슬래브	㎥	접속슬래브 콘크리트/1.01	
4.2무근펌프카, vib제외		-	-
버림콘크리트	㎥	버림 콘크리트/1.02	
접속슬래브	㎥	접속슬래브 버림 콘크리트/1.02	
5. 교량받침		-	-
교량받침(1350KN)	EA/교대	5 (1350KN)	5 (1750KN)

○ 교각의 경우 수량산출서를 기반으로 표준단면에서의 공종 특성 및 물량단위를 고려하여 공종별 단위물량을 산정함. 형식별로 경간장과 기초형식에 따라 표준 단위물량 산출

- 자재대(레미콘)
  - 부위에 따라 Coping, Column, Footing, 버림 콘크리트 나누어 표준물량을 산출
  - Column의 지름은 대표단면의 지름으로 선정, 각 교각의 Column높이 곱하여 추정물량 산출

[표 2-3-19] 교각 레미콘 물량 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
레미콘 (24Mpa)	Coping	m^3	표준물량	단위물량 ×증가율
	Footing	m^3	표준물량	
	Column	m^3	추정물량 = $\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 (Columns높이 = 교각높이 - 대표단면Coping높이 - 대표단면Footing높이)	
레미콘 (16Mpa)	버림콘크리트	m^3	표준물량	

- 철근가공조립
  - 경간(30m, 35m), 기초형식(직접, 말뚝)으로 분류하여, 교량의 교대높이 구간별로 구분하여 콘크리트량에 대한 철근가공조립 수량 평균비율 산출
  - 산출된 단위중량 비율을 콘크리트의 단위물량과 곱하여 철근가공조립 물량 산출

[표 2-3-20] Column 높이별 콘크리트-철근비

구분				Column높이<10	10≤Column높이 < 15	15≤Column높이 < 20	20≤Column높이 < 25	25≤Column높이	비고
공종명	경간	기초형식	단위						
철근가공조립 (Net수량)	30m	직 접	ton	0.34639	0.26648	0.21116	0.18345	0.19850	비율
		말 뚝	ton	0.35981	0.24901	0.31662	0.31662	0.31662	
		공 통	ton	0.35645	0.25993	0.24631	0.18345	0.19850	
	35m	직 접	ton	0.37715	0.29484	0.18009	0.17505	0.15298	
		말 뚝	ton	0.28509	0.19534	0.16584	0.16785	0.20720	
		공 통	ton	0.33112	0.26996	0.17398	0.17197	0.17106	

- 자재대(철근)
  - 경간(30m, 35m), 기초형식(직접,말뚝)으로 분류하여, 철근가공조립에 대한 할증 평균비율 산출. 산출된 할증 비율을 철근가공조립 물량과 곱하여 철근 물량을 산출

[표 2-3-21] 철근가공조립-철근량 할증률

구분				할증률	비고
공종명	경간	기 초 형 식	단위		
자재대 철근 (할증수량)	30m	직 접	ton	철근가공조립수량 × 1.05465	단위중량 비율
		말 뚝	ton	철근가공조립수량 × 1.05212	
		공 통	ton	철근가공조립수량 × 1.05347	
	35m	직 접	ton	철근가공조립수량 × 1.05418	
		말 뚝	ton	철근가공조립수량 × 1.05360	
		공 통	ton	철근가공조립수량 × 1.05397	

- 콘크리트 타설

  · 부위별 레미콘 타설량에 레미콘물량 할증률(101%, 102%)로 나누어 표준물량 산출

- 거푸집

  · 부위에 따라 Coping, Column, Footing, 버림 콘크리트 나누어 표준물량을 산출

  · Column의 지름은 대표단면의 지름으로 선정, 각 교각의 Column높이 곱하여 추정물량 산출

[표 2-3-22] 교각 거푸집 물량 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
강재거푸집	Coping	m^2	표준물량	단위면적 ×증가율
	Column	m^2	추정물량 = $\pi \times D \times Column$높이 (Columns높이 = 교각높이 - 대표단면Coping높이 - 대표단면Footing높이)	
합판거푸집(4회)	Footing	m^2	표준물량	
합판거푸집(6회)	버림	m^2	표준물량	

- 교량받침

  · 경간에 따라 교량받침 종류 연계(30m-1350KN, 35m-1750KN)

  · 교각 당 교량 받침 10개소

○ 강관파일 기초는 직경508mm, 두께12mm를 표준 파일형식으로 선정하고, 교대 및 교각의 강관파일 본수를 각각 30개, 36개로 선정

○ 매스콘크리트의 경우, 깊이와 교량 폭원을 입력 변수로 활용하여 물량을 산출할 수 있으며, 폭원과 길이는 표준단면의 제원을 활용함

[표 2-3-23] 강관파일 부위별 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
강관파일 (508-12㎜)	강관파일자재비	m	강관파일깊이 ×파일본수 × 할증(1.05)	강관파일깊이 × 개수
	강관파일천공 후 항타	m	(강관파일깊이-0.2) × 파일본수	
	두부 및 선단보강	ea	교대: 30ea, 교각: 36ea	

[표 2-3-24] 매스콘크리트의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준 물량		
1. 매스콘크리트				
1.1 자재대 (레미콘)	m^3	교대	(기초폭원+0.2)x(기초길이+0.2)x(교량 폭원/20.9) x 매스콘크리트 깊이 x1.02	
		교각	(기초폭원+0.2)^2x(교량폭원/20.9)x 매스콘크리트 깊이 x1.02	
1.2 합판거푸집(6회)	m^2	교대	[(기초폭원+0.2)+(기초길이+0.2)x (교량폭원 / 20.9)]x2 x 매스콘크리트 깊이	
		교각	[(기초폭원+0.2)x2x(1+교량폭원/20.9)] x 매스콘크리트 깊이	
·기초 길이 (m)		교대: 10.445		교각: 8.0 (경간장 30m) 9.0 (경간장 35m)
·기초 폭원 (m)		교대: 5.2 (경간장 30m) 4.8 (경간장 35m)		

[표 2-3-25] PSC Beam교 교각공 대표공종의 표준물량 DB

대표공종	단위	표준물량	
		경간장 30m	경간장 35m
자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
25-24-15(Coping)	㎥	55.424	66.414
25-24-15(Footing)	㎥	129.280	139.986
25-24-15(Column)	㎥	$\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 ×1.01 (기둥높이= 교각 높이 - 4.5)	$\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 ×1.01 (기둥높이= 교각 높이 - 5.2)
25-16-15(버림콘크리트)	㎥	6.858	6.756
1.2 철근		-	-
Coping	ton	철근가공조립(Coping) × 할증률	
Footing	ton	철근가공조립(Footing) × 할증률	
Column	ton	철근가공조립(Column) × 할증률	
1.3 시멘트		-	-
무수축몰탈 (1:1)	kg	76.874×교량받침개수	54.923×교량받침개수
2. 거푸집		-	-
강재(Coping)	㎡	73.284	90.260
강재(Column)	㎡	$\pi \times D \times Column$높이 (기둥높이= 교각 높이 - 4.5)	$\pi \times D \times Column$높이 (기둥높이= 교각 높이 - 5.2)
합판4회(footing)	㎡	64.000	70.400
합판6회(버림콘크리트)	㎡	3.280	
3. 철근가공조립		-	-
3.1 매우 복잡		-	-
Coping	ton	콘크리트타설(Coping) ×철근비(0.17773)	콘크리트타설(Coping) ×철근비(0.15621)
Footing	ton	콘크리트타설(Footing) ×철근비(0.08684)	콘크리트타설(Footing) ×철근비(0.09693)
Column	ton	콘크리트타설(Column) × 철근비(높이별)	
4. 콘크리트 타설		-	-
4.1철근 펌프카, 15m이하		-	-
Coping	㎥	Coping 콘크리트/1.01	
Footing	㎥	Footing 콘크리트/1.01	
Column	㎥	Column 콘크리트/1.01	
4.2무근펌프카, vib제외		-	-
버림콘크리트	㎥	버림 콘크리트/1.02	
5. 교량받침		-	-
교량받침(1350KN)	EA	5 (1350KN)	5 (1750KN)

다. 소요자원 DB 구축

○ 표준물량 DB를 통해 도출된 추정물량과 LCI DB를 함께 연계하여 대표공종의 환경부하량을 산출하기 위해 대표공종의 단위당 소요자원의 목록과 수량을 정리한 자원DB를 구축하였음

○ 자원 DB는 표준품셈, 국도건설 설계실무요령을 기반으로 하여 가장 표준적인 대표종공의 소요자원 항목과 수량을 도출한 것으로, 경간(30m, 35m)에 따라 구분하여 부위별로 자원DB를 구축함. [표 2-3-26]은 소요 자원DB의 예시자료로써, 경간30m 상부공의 PSC Beam교 제작 공종에 대한 자원DB이며, 그 밖의 부위별 전체 자원DB는 [부록A 2.5] 에 수록함

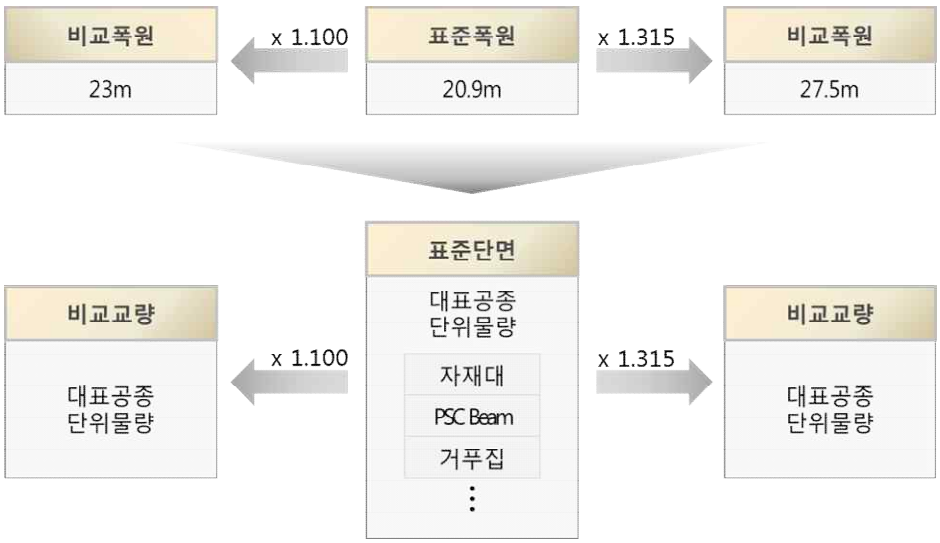
[표 2-3-26] PSC Beam교 상부공 자원 DB(30m)

공종명	규격	단위	자재명	규격	단위수량	단위	LCI DB 연결
14.PSC BEAM교							
14.a. PSC BEAM 제작	30M	본	철근(SD30A)	D=13m/m	-0.022496	M/T	철근
			ㄱ형강	75x75x6M/M 6.85KG/M	0.1416914	M/T	형강
			열연박판	3.0≤T<4.00 1219x2438M/M SS41	0.1262568	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(2종)	12.7M/M 3연선 774.0KG/KM	1.55	ton	선재
			육각볼트	M16x50mm	8.4571372	EA	선재
			육각볼트	M16x60mm	4.0571377	EA	선재
			육각볼트	M16x70mm	2.9428644	EA	선재
			미송각재	3.6x9.0cmx4.5cm (상품)	0.0355927	M3	합판
			나선형시즈관	65MM	96.99588	M	용융아연도금강판
			PVC파이프(일반용VG2)	100㎜ x 4m	1.365	M	vg2-100
			용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	6.9531518	KG	선재
			산소	99% 6000ℓ(기체) 40ℓ	0.3441099	병	산소
			아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	0.9253462	KG	아세틸렌
			플라이애쉬		77.018	KG	-
			PC 콘	Φ12.7MM	6	SET	-
			알미늄분말		5.558	KG	알루미늄 판
			경유	저유황(0.1%)	424.80371	L	경유
			고 철		14.96	KG	철근
14.b. PSC BEAM 가설	30M	본	경유	저유황(0.1%)	303.64412	L	경유
14.d. PSC BEAM 전도방지공	30M	본	철근(SD30A)	D=16m/m-32m/m	0.00618	M/T	철근
			와이어로우프(도금)	6x24 12.5M/M 1.080KG/M	20	M	선재
			미송각재	3.6x9.0cmx4.5cm (상품)	0.365	M3	합판
			턴버클	1"x12"	4	EA	-
			클립	5/8"	8	개	-
			고 철		6	KG	철근
14.c. SOLE PLATE 제작	30M	본	전기료		13.8474	KWH	전기
			열연박판	3.0≤T<4.00 914x1829M/M SS41	0.12089	M/T	열연코일
			용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	2.030952	KG	선재
			산소	99% 6000ℓ(기체) 40ℓ	0.115395	병	산소
			아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	0.30772	KG	아세틸렌
06.거푸집							
06.a.합판거푸집	3회	M2	보통철선	#8 4.0M/M 10.1M/KG	0.13369	KG	선재
			철못	N75 75x3.25M/M 25KG/상자	0.0922	KG	선재
			미송각재	3.6x9.0cmx4.5cm (상품)	0.0134889	M3	합판
			합판	T=12MM 내수합판	0.3656191	M2	합판
			중유	저유황	0.08759	L	-
...							

라. 표준물량 기반 설계단계 환경부하량 산정절차

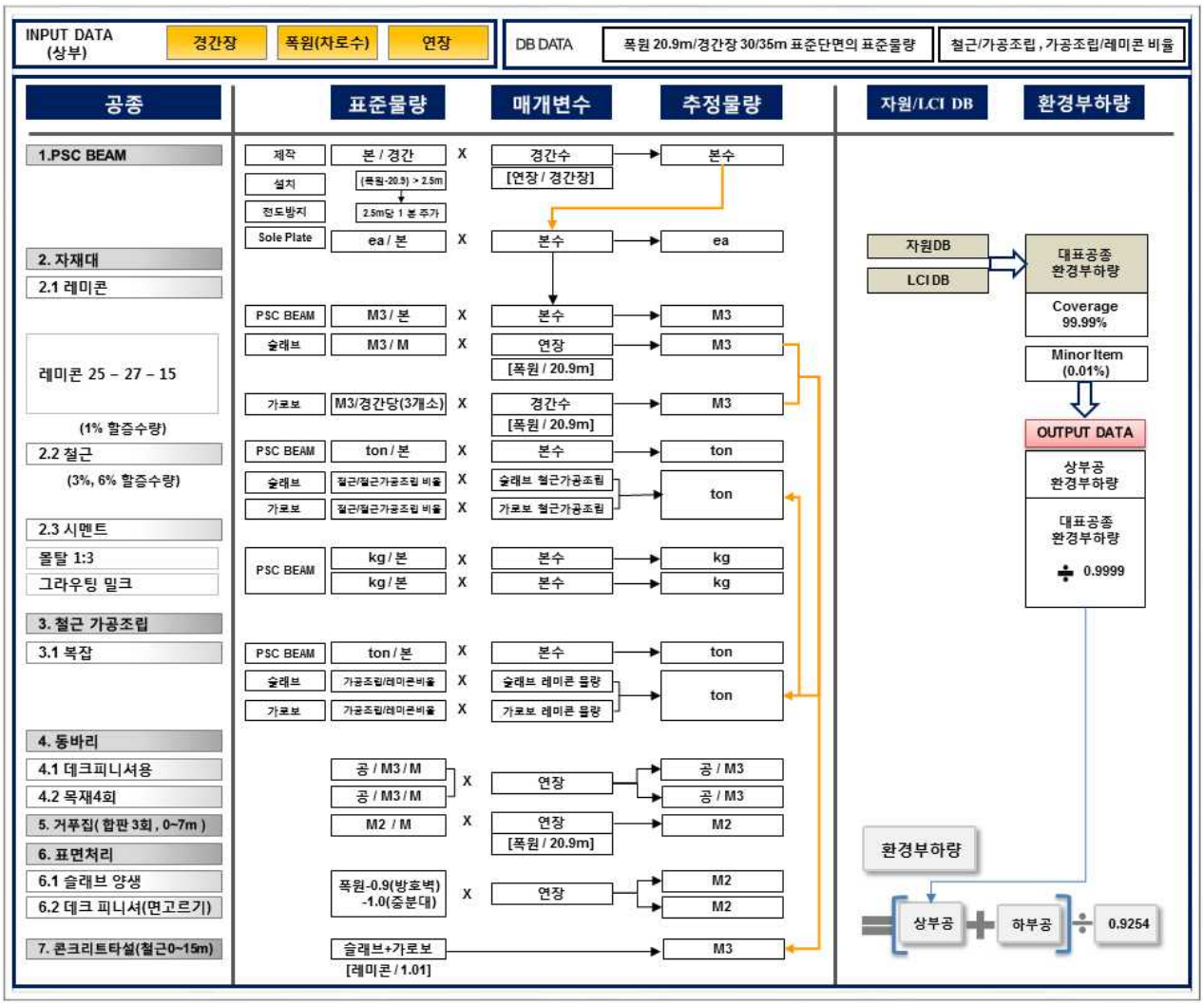
○ 본 연구에서 개발한 모델은 표준폭원으로 설정한 20.9m, 4차로를 기준으로 표준물량을 산출하였기 때문에 표준폭원 이외의 교량에 대한 물량추정을 위하여 폭원변화에 대응한 물량산출 방식이 필요함. 폭원변화 비율을 표준물량에 적용함으로써 표준폭원 이외의 교량에 대해 추정물량을 산출할 수 있음. 폭원변화 비율을 계산하고 이 비율을 표준폭원의 단위물량에 곱하여 비교폭원에 대한 단위물량을 보정하도록 하였음

$$\text{비교교량의 단위물량} = \text{표준폭원의 단위물량} \times \frac{\text{비교 폭원}(m)}{\text{표준 폭원}(20.9m)}$$



[그림 2-3-6] 폭원에 따른 표준물량 보정방법

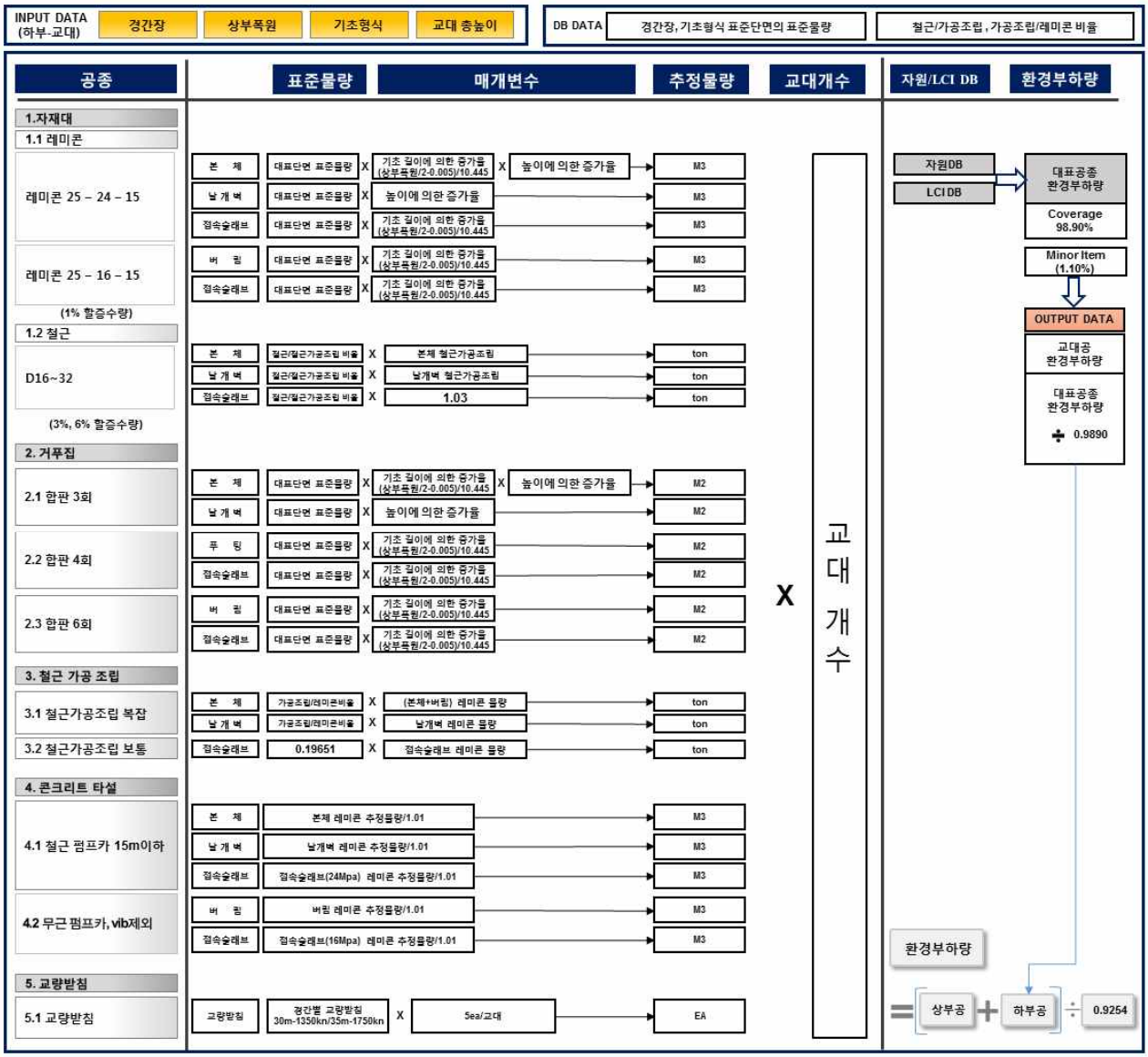
○ 상부공의 대표공종별 주요 물량을 산출하기 위한 입력변수로서 연장, 폭원, 경간장, 직교/사교 정보가 필요하며, PSC beam, 슬래브, 가로보의 공종별 주요 물량을 산출하는데 활용함. PSC Beam의 세부공종은 PSC Beam 제작 및 가설, 전도방지공, Sole Plate로 구성되며, PSC beam 본수로부터 주요 물량이 산정됨. Beam 본수는 1 경간당 Beam 본수에 대상 교량의 전체 경간수(경간수 = 연장 / 경간장)를 곱하여 계산되며, PSC Beam에 투입되는 주요 자재는 30m/35m 경간장의 표준단면 물량을 활용하여 계산되며, 교량의 폭원이 2.1m 이상의 변화폭을 갖는 경우, PSC Beam 본수는 2.1m 마다 1개 증가 또는 감소하게 됨. 그리고, 슬래브의 주요 물량은 교량의 연장과 폭원을 표준물량에 곱하여 계산되며, 가로보는 전체 경간수를 통해 산정할 수 있음. 이와 같은 방법으로 상부공의 대표공종의 주요 물량을 산출하고, 단위 자원량을 곱하여 상부공에 투입되는 전체 자원량을 구할 수 있음. 산정된 소요자원량을 해당 LCI DB와 연계하여 상부공의 대표공종에 발생되는 환경부하량을 계산하고 대표공종의 점유비율을 반영하여 상부공 전체 환경부하량을 산정하게 됨([그림 2-3-7] 참조)



[그림 2-3-7] PSC Beam교의 상부공 환경부하량 산정 프로세스

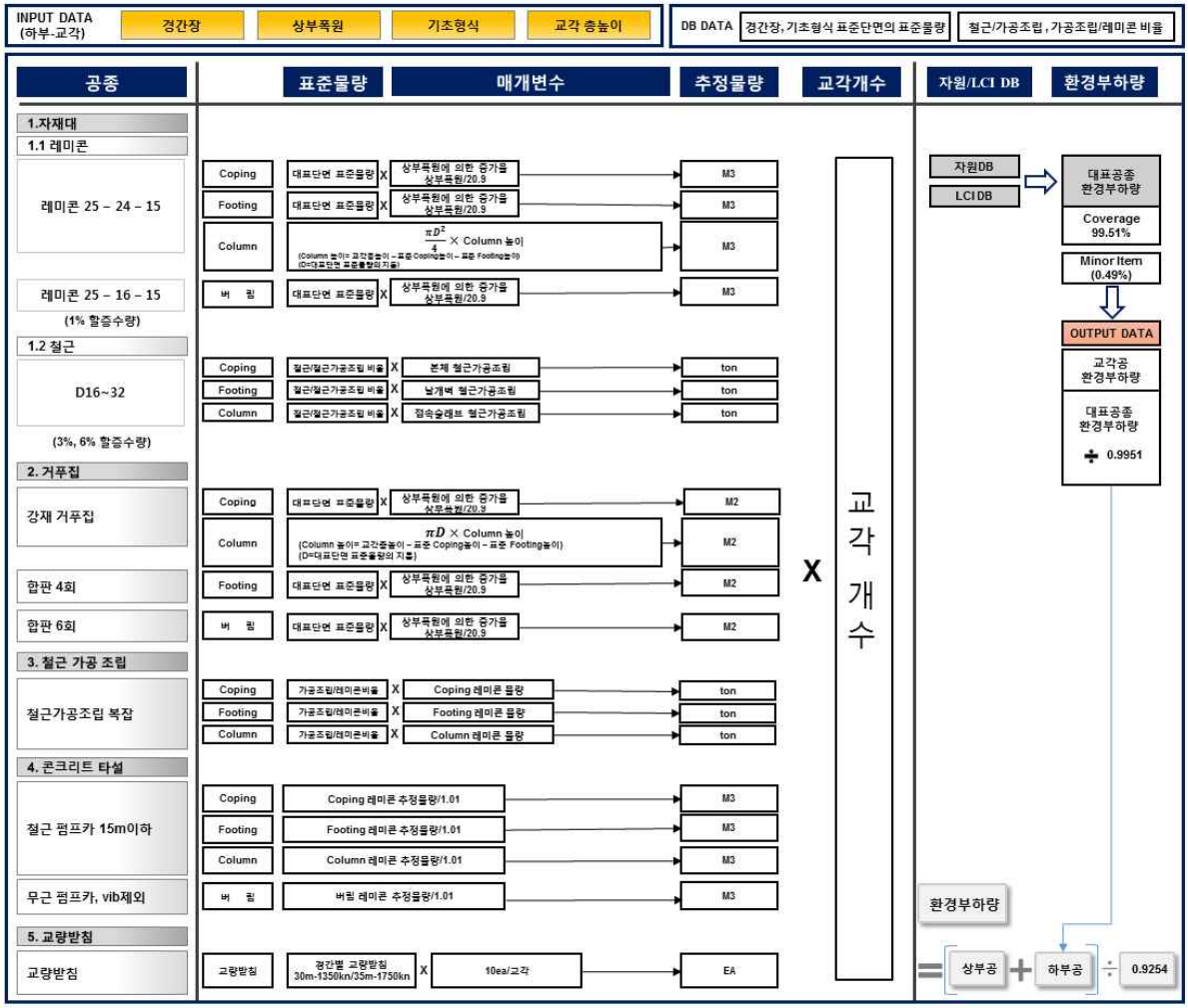
○ 하부공에 대한 입력변수로 상부공의 입력변수인 경간장, 폭원을 공유하고, 추가적으로 교대/교각의 높이, 기초형식, 기초 깊이에 대한 정보를 활용함. 입력변수를 입력하면 표준물량을 기반으로 만든 회귀식을 활용하여 콘크리트 및 거푸집의 증가계수를 구하고, 이 계수는 표준물량에 각각 곱해져 대표공종 중 레미콘와 거푸집의 물량을 산출함. 철근가공조립은 추정된 콘크리트 물량에 콘크리트-철근비를 곱하여 산정하고, 철근 할증계수를 곱하여 철근량을 구할 수 있음. 교량받침은 표준물량에 교량 폭원은 2.1m 이상의 변화가 있을 경우, 개수가 추가되거나 감소됨. 교대와 교각 1개소의 대표공종별 주요 물량을 산정하고, 경간수에 따른 교각 개소를 반영하여 전체 물량을 산정할 수 있음([그림 2-3-8], [그림 2-3-9] 참조)

○ 강관파일 기초와 매스콘크리트의 경우, 기초 깊이 입력변수와 표준물량을 참조하여 산정하고, 경간수에 따른 개소를 반영하여 전체 물량을 산정됨. 위와 같은 방법으로 산출된 대표공종의 추정물량은 자원 DB의 단위 자원량과 연계되어 추정물량에 대한 전체 소요자원량을 산출함. 이렇게 산정된 소요 자원의 수량과 LCI DB를 연계하여 하부공의 환경부하량을 추정할 수 있음([그림 2-3-10] 참조)

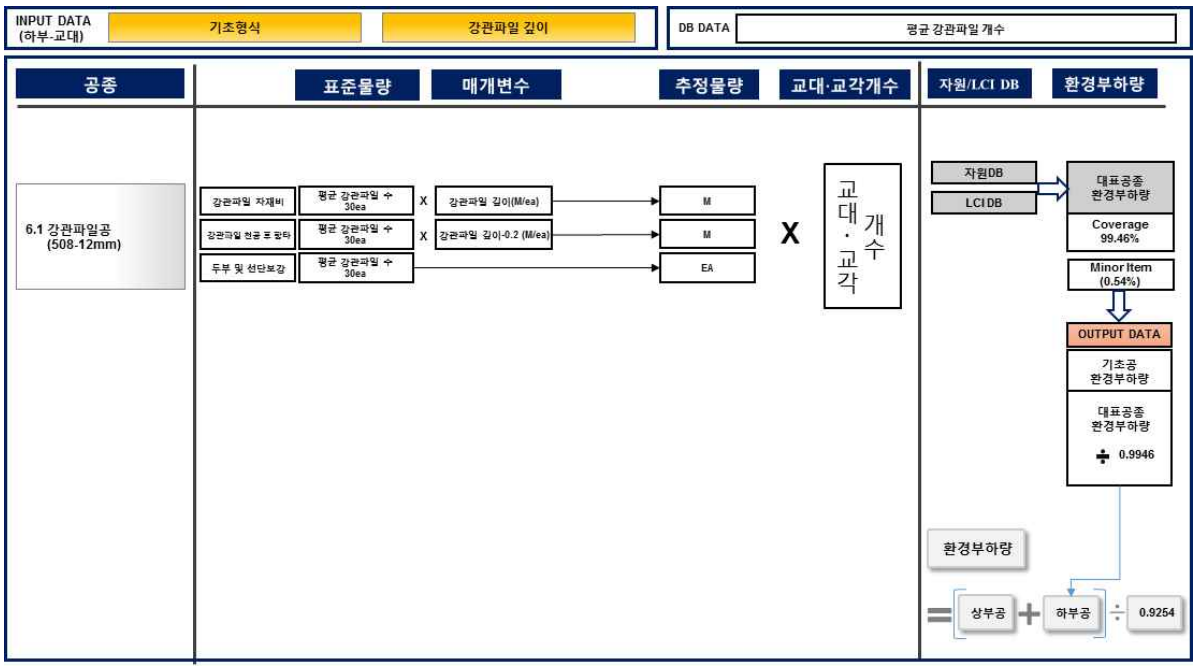


[그림 2-3-8] PSC Beam교의 교대공 환경부하량 산정프로세스

○ 표준물량 기반 추정모델에서 산출된 상부공, 하부공의 환경부하량 결과값에 토공, 부대공의 점유비율 적용하여 부대공, 토공의 환경부하량을 계산하고, 최종적으로 PSC Beam 교량의 전체 환경부하량을 추정할 수 있음



[그림 2-3-9] PSC Beam교의 교각공 환경부하량 산정프로세스



[그림 2-3-10] PSC Beam교의 강관파일 기초공 환경부하량 산정프로세스

4. 평가모델 검증

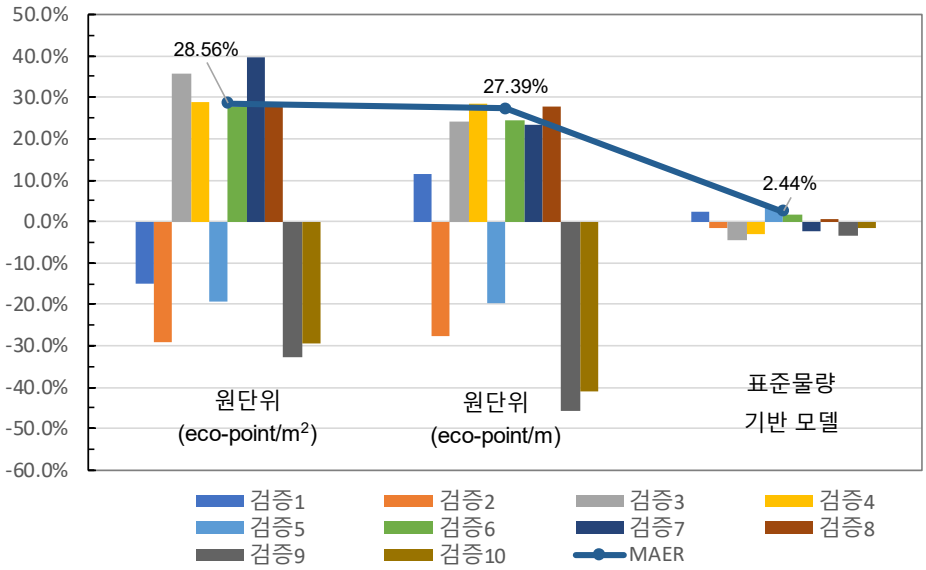
○ 본 연구에서는 제안모델의 정확도 및 신뢰성검증을 위해, 다음 [표 2-3-27]과 같이 10개의 검증사례를 선정함

[표 2-3-27] 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 2-3-28] 표준물량 기반 모델 및 원단위 분석 모델의 검증결과

검증사례	실제 환경부하량	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	%	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(절댓값)		28.56 %		27.39 %		2.44 %	
표준편차		29.16 &		28.92 %		2.58 %	



[그림 2-3-11] 표준물량 기반 모델의 검증결과

○ 검증사례에 대하여 실제 환경부하량을 기준으로 기획단계 모델과 함께 비교검증을 수행한 결과는 [표 2-3-28], [그림 2-3-11]과 같음

○ PSC Beam교 10개 검증사례에 대해 직접 산출한 환경부하량과 비교분석하여 절대평균오차율과 표준편차를 산출하였음. 교량의 상부면적과 연장에 대한 원단위 방식에 대한 절대평균오차율은 각각 28.56%, 27.39% 이며, 표준편차는 각각 29.16%, 28.92%로 나타남. 본 연구에서 제안된 모델은 절대평균오차율 2.44%, 표준편차 2.58%로 나타났으며, 환경부하량 추정시 일반적으로 활용되는 원단위 방식에 비해 높은 정확도를 갖는 것으로 분석됨. 또한, 환경부하량 추정결과의 편차범위도 원단위 방식과 비교하여 신뢰성 측면에서도 향상된 결과를 보여준다고 판단됨

○ 원단위 방식은 기초를 포함하여 하부공의 물량 및 기초형식에 의한 환경부하 특성을 반영할 수 없으며, 본 연구에서 제안한 모델은 하부공(기초공 포함)의 물량을 추정할 수 있기 때문에 원단위 방식과 비교하여 신뢰성 있는 환경부하량을 평가할 수 있음. 또한, 환경부하량 산정을 위한 입력 정보는 상부공은 연장, 폭원, 경간장 그리고 평면형상(직교/사교), 하부공은 교대/교각의 높이, 기초 형식 및 깊이 정보만 필요하며, 이러한 정보는 설계 초기단계에서 활용가능하며, 설계가 완료되기전에 설계하고자 하는 시설물의 환경부하량을 신속하고 신뢰성 있게 평가할 수 있기 때문에 친환경적인 설계를 유도할 수 있음

제 4 절 유지관리단계 환경부하 평가모델

1. 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요

○ 유지관리란 생애주기(Life Cycle)동안 적절한 관리를 수행하고 보유성능이 유지되도록 유지관리 계획수립, 조사, 진단, 보수 · 보강과 같은 일련의 작업을 반복적으로 시행하는 것이며, 유지관리의 각 단계에서 실시한 유지보수 작업내용을 명확하게 규정하여 유지관리에 관한 데이터베이스 확보에 도움이 되도록 하여야 함. 보수에는 주로 내력 이외의 기능을 회복시키는 것을 목적으로 한 행위로 정의되며, 구조물의 성능이 저하된 후에 대책을 시행하는 것이 일반적임

○ 보수의 필요성은 발생된 손상(균열 등)이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 따라야 하며, 이를 위해 교량유지관리매뉴얼 및 각종 기준(표준시방서 등)을 참조함. 보강의 경우는 부재안전율을 각종 기준에서 정하는 수치이상으로하기 위하여 어느 정도까지 부재단면 등을 증가시켜야 하는지를 판단하여야 함

- 보수 : 교량에 발생한 손상들 중에서 교량의 안전성에 심각한 영향을 주지 않는다고 판단하는 손상에 대해서는 보수조치를 수행함. 일반적으로 구조물의 보수는 결함이 있는 재료를 제거하거나 청소하여 손상된 구조물의 내구성, 방수성 등의 기능을 회복시켜 내하력 이외의 성능을 원래의 상태로 복원시키거나 구조물의 성능을 개선하는 것을 목적으로 함
- 보강 : 교량의 안전성에 심각한 영향을 준다고 판단하는 손상에 대해서는 보강공법을 적용하여 교량의 안전성을 확보해야 함. 보강은 구조물에 발생된 여러 가지 손상 중에서 구조물의 내하력을 설계 당시의 내하력 또는 그 이상으로 개선시키는 작업임
- 교체 : 발생된 손상이 심각하거나 노후도가 심해 보수·보강효과가 의심스럽거나 보수 · 보강보다는 교체나 개축이 유리하다고 판단되는 경우에는 교체조치를 취함

○ 시설물의 생애주기 동안 발생 가능한 유지보수공법의 환경부하량을 예측하기 위하여 연구문헌 및 사례조사를 통해 현황을 분석하여 PSC Beam교량에서 주로 사용되는 유지보수 공법을 조사하여 분석함



[그림 2-4-1] 유지보수 공법별 환경부하량 산정 개요

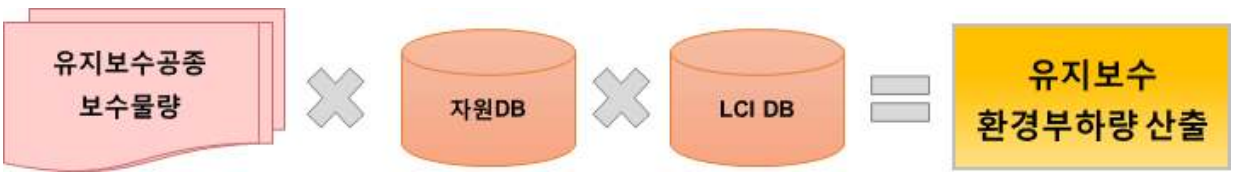
2. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성분석

○ 교량시설물 유지보수공사설계가이드(서울특별시 안전총괄본부, 2017), 유지보수 공종별 단가집(한국도로공사, 2016)을 참조하여 PSC Beam교의 주요 유지보수공법을 선정하고, 공법별 규격에 대해 보수 사례를 분석함. 유지보수 설계사례를 조사하여 공법별 입력변수를 정의하고, 주요 유지보수 공법별 소요자원 및 환경부하량 DB를 구축함

[표 2-4-1] 주요 유지보수 공법별 사례분석

공법명	규격	사례분석 건수
콘크리트 균열보수	균열폭 (b=0.3, 0.5, 1.0, 2.0,3.0, 5.0㎜)	36
	균열깊이 (t=100, 120, 150㎜)	
	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

○ 선정된 공법의 환경부하량을 산출하기 위해서 보수공종의 보수물량, 보수공법의 자원DB, LCI DB를 연계하는 프로세스를 정의하고, 유지보수 공법별로 필요한 입력변수를 정의하기 위해 최근 수행된 교량시설물의 유지보수 설계 자료를 분석함



[그림 2-4-2] 유지보수공법 환경부하량 산정 개요

○ 유지보수 사례분석

- 공법별로 분석된 환경부하량을 토대로 실제 보수사례의 설계도서를 참조하여 보수공사시 발생한 환경부하량을 분석함

- 보수공사 사례 개요

- **공 사 명 :** 00교 외 2개소 보수공사
- **위 치 :** 서울시 강변북로 도로시설물 (00교(사례1), 00000(사례2), 00000(사례3))
- **공사목적:** 본 공사는 00공단에서 관리중인 자동차전용도로상의 도로시설물에 대해 정밀점검 및 정밀안전진단 용역보고서, 정기점검, 계절적점검, 순찰점검 등 적출사항 등에 의거 보수가 필요하다고 제시된 사항을 적기에 정밀한 보수를 시행함으로써 시설물의 내구성 확보와 내구연한 증대 등 시설물의 안전성을 확보 하는데 공사의 목적이 있음
- **공사규모**
  - 균열보수 1,770m
  - 단면보수 72㎡
  - 신축이음장치 교체 55m
  - 점검통로 설치 6개소
  - 부대공 및 기타 1식 등

- 보수공사 사례1

시 설 명	종별	설계 하중	안전 등급	구조 형식	노선명
0 0 교	1종	DB-24	B (0.246)	PSC · 강박스거더, R.C라멘	강변북로
시설물 위치			준공일	시설물 규모 (총연장 6,709m)	
서울시 마포구 합정동(당산철교북단)~ 용산구 이촌동(원효대교북단)			1997년 12월	본선 : PSC박스거더, RC라멘 (B=18.4~25.9m, L=4,850m) 램프 : 강박스거더, RC라멘 (B=7.5m, L=1,859m)	

위치도



전경사진



· 유지보수 설계내역서 및 수량산출서를 분석한 결과, 보수공사 사례1의 공종별 보수물량은 균열보수(주간)는 285개소에 대해 1151.6m , 균열보수(야간)은 119개소에 대해 535.3m, 신축이음장치 #80, #150의 물량은 3개소에 대해 19.5m로 나타남

[표 2-4-2] 보수공사 사례1 보수물량

공종	규격	중분류	주,야간	수량	단위	비고	개소
균열보수	폭 0.3㎜ 이상	BOX내부	주간	0.6	m		2
균열보수	폭 0.3㎜ 이상	트럭크레인 5톤	주간	80.5	m		44
균열보수	폭 0.3㎜ 이상	바지선(예인선), 트럭크레인5톤	주간	1070.5	m	하상수심양호, 예인선접근가능구간2/3적용	239
균열보수	폭 0.3㎜ 이상	굴절차	야간	535.3	m	하상수심낮아 예인선접근불가구간1/3적용	119
신축이음장치	전면교체	No.80	야간	6.5	m		1
신축이음장치	전면교체	No.150	야간	13	m		2

[표 2-4-3] 보수공사 사례1 환경부하량 분석(특성화값)

보수공사 사례1		특성화값							
명칭	규격	자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성
		1/yr	kg SO_2-eq	kg PO_4^{3-}-eq	kg CO_2-eq	kg CFC11-eq	kg C_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
콘크리트 균열보수 (주간)	B=0.3㎜, t=100㎜	4.73E-01	2.14E-01	2.83E-02	3.66E+01	2.06E-06	3.75E-02	8.06E-04	6.34E+00
콘크리트 균열보수 (야간)	B=0.3㎜, t=100㎜	2.20E-01	9.94E-02	1.32E-02	1.70E+01	9.56E-07	1.74E-02	3.75E-04	2.95E+00
신축이음장치 보수공 NEW F/J	(#80), (b=38cm t=15cm)	2.51E+01	1.24E+01	1.41E+00	6.73E+03	1.12E-04	7.46E+00	7.79E-03	3.56E+02
합계		2.58E+01	1.27E+01	1.45E+00	6.79E+03	1.15E-04	7.52E+00	8.97E-03	3.65E+02

[표 2-4-4] 보수공사 사례1 환경부하량 분석(가중화값)

보수공사 사례1		가중화값								
명칭	규격	자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성	합계
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
콘크리트 균열보수 (주간)	B=0.3㎜, t=100㎜	4.38E-03	1.93E-04	8.21E-05	1.91E-03	1.48E-05	2.37E-04	1.07E-04	4.50E-04	2.99E-03
콘크리트 균열보수 (야간)	B=0.3㎜, t=100㎜	2.04E-03	8.99E-05	3.82E-05	8.86E-04	6.86E-06	1.10E-04	4.97E-05	2.09E-04	1.39E-03
신축이음장치 보수공 NEW F/J	(#80), (b=38cm t=15cm)	2.33E-01	1.12E-02	4.08E-03	3.51E-01	8.03E-04	4.71E-02	1.03E-03	2.53E-02	4.40E-01
합계		2.40E-01	1.15E-02	4.20E-03	3.53E-01	8.24E-04	4.74E-02	1.19E-03	2.59E-02	4.44E-01

- 보수공사 사례1의 보수물량과 앞서 정의한 균열보수, 신축이음장치 보수공의 환경부하량 산출프로세스를 활용하여 사례1의 환경부하량을 산출하였음. 그 결과 균열보수(주간)의 환경부하량은 2.99E-03(eco-point), 균열보수(야간)는 1.39E-03(eco-point), 신축이음장치 전면교체는 3.75E-01(eco-point)이며 사례1의 보수공사에 따른 총 환경부하량은 3.80E-01(eco-point)로 산출됨

- 보수공사 사례2

시 설 명	종별	설계 하중	안전 등급	구조 형식	노선명
00000	2종	DB-24	B (0.252)	Preflex- Beam	강변북로
시설물 위치			준공일	시설물 규모 (총연장 352m)	
서울시 용산구 동빙고동			1995년 7월	교량 : L=200m, B=6.5~26m (옹벽 : L=152m)	

위치도



전경사진



· 유지보수 설계내역서 및 수량산출서를 분석한 결과, 보수공사 사례2의 공종별 보수물량은 균열보수는 3개소에 대해 7.2m, 신축이음장치 #80의 물량은 2개소에 대해 11m로 나타남

[표 2-4-5] 보수공사 사례2 보수물량

공종	규격	중분류	주,야간	수량	단위	개소
균열보수	폭 0.3mm이상	지상구간(노면상)	주간	7.2	m	3
신축이음장치	전면교체	No.80	야간	11	m	2

[표 2-4-6] 보수공사 사례2 환경부하량 분석(특성화값)

보수공사 사례2		특성화값							
명칭	규격	자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성
		1/yr	kg SO_2-eq	kg PO_4^{3-}-eq	kg CO_2-eq	kg CFC11-eq	kg C_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
콘크리트 균열보수 (건식)	B=0.3㎜, t=100㎜	2.96E-03	1.34E-03	1.77E-04	2.29E-01	1.29E-08	2.34E-04	5.04E-06	3.96E-02
신축이음장치 보수공 NEW F/J	(#80), (b=38cm t=15cm)	1.42E+01	6.97E+00	7.93E-01	3.80E+03	6.31E-05	4.21E+00	4.39E-03	2.01E+02
합계		1.42E+01	6.97E+00	7.93E-01	3.80E+03	6.31E-05	4.21E+00	4.40E-03	2.01E+02

[표 2-4-7] 보수공사 사례2 환경부하량 분석(가중화값)

보수공사 사례2		가중화값								
명칭	규격	자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성	합계
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
콘크리트 균열보수 (건식)	B=0.3㎜, t=100㎜	2.74E-05	1.21E-06	5.13E-07	1.19E-05	9.22E-08	1.48E-06	6.68E-07	2.81E-06	1.87E-05
신축이음장치 보수공 NEW F/J	(#80), (b=38cm t=15cm)	1.08E-01	5.29E-03	1.74E-03	1.67E-01	4.19E-04	2.26E-02	5.63E-04	1.37E-02	2.12E-01
합계		1.08E-01	5.29E-03	1.75E-03	1.67E-01	4.19E-04	2.26E-02	5.64E-04	1.37E-02	2.12E-01

· 보수공사 사례2의 보수물량과 앞서 정의한 균열보수, 신축이음장치 보수공의 환경부하량 산출프로세스를 활용하여 사례1의 환경부하량을 산출하였음. 그 결과 균열보수의 환경부하량은 1.87E-05(eco-point), 신축이음장치 전면교체는 2.12E-01(eco-point)이며 사례2의 보수공사에 따른 총 환경부하량은 2.12E-01(eco-point)로 산출됨

- 보수공사 사례3

시 설 명	종별	설계 하중	안전 등급	구조 형식	노선명
00000	종외	DB-24	B (0.259)	Preflex- Beam	강변북로
시설물 위치			준공일	시설물 규모 (총연장 90m)	
서울시 용산구 서빙고동			1996년 4월	교량구간 : L = 90m, B = 22m	

위치도	전경사진
	

· 유지보수 설계내역서 및 수량산출서를 분석한 결과, 보수공사 사례3의 공종별 보수물량은 균열보수는 16개소에 대해 77m로 나타남

[표 2-4-8] 보수공사 사례3 보수물량

공종	규격	중분류	주,야	수량	단위	개소
균열보수	폭 0.3㎜이상	지상구간(노면상)	주간	47	m	3
균열보수	폭 0.3㎜이상	트럭크레인 5톤	주간	30	m	13

[표 2-4-9] 보수공사 사례3 환경부하량 분석(특성화값)

보수공사 사례3		특성화값							
명칭	규격	자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성
		1/yr	kg SO_2-eq	kg PO_4^{3-}-eq	kg CO_2-eq	kg CFC11-eq	kg C_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
콘크리트 균열보수 (건식)	B=0.3㎜, t=100㎜	3.16E-02	1.43E-02	1.89E-03	2.45E+00	1.37E-07	2.51E-03	5.39E-05	4.24E-01
합계		3.16E-02	1.43E-02	1.89E-03	2.45E+00	1.37E-07	2.51E-03	5.39E-05	4.24E-01

[표 2-4-10] 보수공사 사례3 환경부하량 분석(가중화값)

보수공사 사례3		가중화값								
명칭	규격	자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성	합계
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
콘크리트 균열보수 (건식)	B=0.3㎜, t=100㎜	2.93E-04	1.29E-05	5.49E-06	1.27E-04	9.86E-07	1.58E-05	7.14E-06	3.01E-05	2.00E-04
합계		2.93E-04	1.29E-05	5.49E-06	1.27E-04	9.86E-07	1.58E-05	7.14E-06	3.01E-05	2.00E-04

- 보수공사 사례의 보수물량과 앞서 정의한 균열보수, 신축이음장치 보수공의 환경부하량 산출프로세스를 활용하여 환경부하량을 산출하였음. 그 결과 균열보수의 환경부하량은 2.00E-04 (eco-point)이며, 사례3의 보수공사에 따른 총 환경부하량은 2.00E-04 (eco-point)로 산출됨

3. 유지보수 공법 DB기반 환경부하 평가모델 개발

○ 시설물의 유지관리 단계에서 발생되는 환경부하량을 산정하기 위한 모델을 구축하기 위하여 PSC Beam교량에서 주로 사용되는 유지보수공법을 선정함. 콘크리트 균열보수(건식, 습식), 신축이음장치 교체, 절삭후 아스팔트 덧씌우기, 교면재포장, 교량받침 교체, 외부강선 보강 등의 주요 유지보수 공법에 대해 환경부하량 산정을 위한 소요자원 DB를 구축함

○ 콘크리트 균열보수(건식)

- 콘크리트 균열보수공 건·습식, 균열폭(b=0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0mm), 균열깊이(t=100, 120, 150mm)의 규격에 대해 사례분석을 실시하고, 균열폭(b), 균열깊이(t)에 따라 물량계수(C_{Epoxy})를 적용하여 콘크리트 균열보수(건식) 공법의 소요자원을 분석함
- 콘크리트 균열보수(건식) 공법의 단위물량당 환경부하량을 산출한 결과, 에폭시주입제로 인한 환경부하량은 2.60E-06(eco-point)이고, V-Cut충전제로 인한 환경부하량은 5.25E-05(eco-point)임. 콘크리트 균열보수(건식) 공법의 단위물량당 환경부하량은 5.51E-05(eco-point)로 나타남

[표 2-4-11] 콘크리트 균열보수(건식)의 자원DB

자원명	규격	수량	단위	비고
에폭시주입제	건식저점도	0.0378	kg	b=0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0mm t=100, 120, 150mm
V-Cut충전제	EPOXY	0.765	kg	b=0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0mm t=100, 120, 150mm

*V-Cut충전제의 투입물량은 균열이 0.3mm 초과시 적용됨

[표 2-4-12] 에폭시주입제 물량계수(C_{Epoxy})

b(mm) / t(mm)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
100	1.000	1.667	3.333	6.667	10.000	16.667
120	1.200	2.000	4.000	8.000	12.000	20.000
150	1.500	2.500	5.000	10.000	15.000	25.000

[표 2-4-13] 콘크리트 균열보수(건식) 단위물량당 환경부하량 분석(특성화값)

콘크리트 균열보수 (건식)	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성
	1/yr	kg SO_2-eq	kg PO_4^{3-}-eq	kg CO_2-eq	kg CFC11-eq	kg C_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
에폭시주입제	4.11E-04	1.86E-04	2.46E-05	3.18E-02	1.79E-09	3.25E-05	7.00E-07	5.50E-03
V-Cut충전제	8.31E-03	3.76E-03	4.97E-04	6.43E-01	3.61E-08	6.59E-04	1.42E-05	1.11E-01
합계	8.72E-03	3.94E-03	5.22E-04	6.75E-01	3.79E-08	6.91E-04	1.49E-05	1.17E-01

[표 2-4-14] 콘크리트 균열보수(건식) 단위물량당 환경부하량 분석(가중화값)

콘크리트 균열보수 (건식)	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
에폭시주입제	3.81E-06	1.68E-07	7.13E-08	1.65E-06	1.28E-08	2.05E-07	9.28E-08	3.90E-07	2.60E-06
V-Cut충전제	7.70E-05	3.40E-06	1.44E-06	3.35E-05	2.59E-07	4.16E-06	1.88E-06	7.90E-06	5.25E-05
합계	8.08E-05	3.57E-06	1.51E-06	3.51E-05	2.72E-07	4.36E-06	1.97E-06	8.29E-06	5.51E-05

○ 콘크리트 균열보수(습식)

- 균열폭(b), 균열깊이(t)에 따라 물량계수(CEpoxy)를 적용하여 콘크리트 균열보수(습식) 공법의 소요자원을 분석함
- 콘크리트 균열보수(습식) 공법의 단위물량당 환경부하량을 산출한 결과, 에폭시주입제로 인한 환경부하량은 2.60E-06(eco-point)이고, V-Cut충전제로 인한 환경부하량은 5.25E-05(eco-point)임. 콘크리트 균열보수(습식) 공법의 단위물량당 환경부하량은 5.51E-05(eco-point)로 나타남

[표 2-4-15] 콘크리트 균열보수(습식)의 자원DB

자원명	규격	수량	단위	비고
에폭시주입제	건식저점도	0.0378	kg	b=0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0mm t=100, 120, 150mm
V-Cut충전제	EPOXY	0.765	kg	b=0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0mm t=100, 120, 150mm

*V-Cut충전제의 투입물량은 균열이 0.3mm 초과시 적용됨

[표 2-4-16] 에폭시주입제 물량계수(CEpoxy)

b(mm) / t(mm)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
100	1.000	1.667	3.333	6.667	10.000	16.667
120	1.200	2.000	4.000	8.000	12.000	20.000
150	1.500	2.500	5.000	10.000	15.000	25.000

[표 2-4-17] 콘크리트 균열보수(습식) 단위물량당 환경부하량 분석(특성화값)

콘크리트 균열보수 (습식)	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성
	1/yr	kg SO_2-eq	kg PO_4^{3-}-eq	kg CO_2-eq	kg CFC11-eq	kg C_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
에폭시주입제	4.11E-04	1.86E-04	2.46E-05	3.18E-02	1.79E-09	3.25E-05	7.00E-07	5.50E-03
V-Cut충전제	8.31E-03	3.76E-03	4.97E-04	6.43E-01	3.61E-08	6.59E-04	1.42E-05	1.11E-01
합계	8.72E-03	3.94E-03	5.22E-04	6.75E-01	3.79E-08	6.91E-04	1.49E-05	1.17E-01

[표 2-4-18] 콘크리트 균열보수(습식) 단위물량당 환경부하량 분석(가중화값)

콘크리트 균열보수 (습식)	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
에폭시주입제	3.81E-06	1.68E-07	7.13E-08	1.65E-06	1.28E-08	2.05E-07	9.28E-08	3.90E-07	2.60E-06
V-Cut충전제	7.70E-05	3.40E-06	1.44E-06	3.35E-05	2.59E-07	4.16E-06	1.88E-06	7.90E-06	5.25E-05
합계	8.08E-05	3.57E-06	1.51E-06	3.51E-05	2.72E-07	4.36E-06	1.97E-06	8.29E-06	5.51E-05

○ 신축이음장치 교체

- NEW F/J 신축이음장치 교체공 #50, #80의 규격에 대해 사례분석을 실시함. 유지보수 설계도서 사례를 분석하여 신축이음장치 교체공의 입력변수를 신축이음장치 규격(#50, #80), 폭원(m), 설치개소로 설정하였으며, 신축이음장치 교체공의 단위길이당(m) 환경부하량을 산출함
- 신축이음장치 교체공(#50)의 단위물량당 환경부하량을 산출한 결과, 단위길이당 환경부하량은 2.75E-02(eco-point)로 나타남

[표 2-4-19] 신축이음장치 교체공(NEW F/J #50) 단위길이당(m) 환경부하량 분석

자원명	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
이형철근	1.80E-04	1.33E-05	5.42E-06	1.92E-04	6.51E-07	2.09E-05	4.13E-06	1.27E-05	4.29E-04
결속선	1.67E-06	1.29E-07	2.72E-08	3.89E-06	4.02E-09	2.10E-07	1.13E-08	1.05E-07	6.06E-06
모래	5.54E-06	3.83E-07	2.15E-07	7.78E-06	5.07E-08	7.27E-07	3.31E-08	1.63E-06	1.64E-05
자연자갈	9.35E-05	3.52E-07	1.17E-08	9.30E-05	1.98E-06	2.11E-06	1.49E-06	2.75E-05	2.20E-04
초속경시멘트	4.69E-04	4.60E-05	1.54E-05	1.96E-03	4.03E-06	6.46E-04	5.22E-06	5.97E-05	3.20E-03
에폭시접착제	7.73E-05	3.41E-06	1.45E-06	3.36E-05	2.60E-07	4.17E-06	1.88E-06	7.93E-06	1.30E-04
에폭시희석재	4.23E-05	3.88E-06	1.60E-06	3.53E-05	3.56E-08	1.12E-06	4.88E-08	7.95E-07	8.52E-05
물	8.74E-07	1.06E-08	5.23E-09	2.67E-07	8.09E-13	2.22E-08	1.79E-11	1.15E-08	1.19E-06
스치로폴(평판)	4.40E-05	2.01E-05	9.70E-06	4.96E-04	2.43E-06	1.92E-04	3.47E-06	5.79E-04	1.35E-03
용접봉(연강용)	2.00E-05	1.54E-06	3.24E-07	4.65E-05	4.80E-08	2.51E-06	1.35E-07	1.25E-06	7.23E-05
휘 발 유	3.97E-05	2.71E-08	6.44E-09	6.99E-07	2.47E-10	1.74E-08	1.45E-10	4.48E-09	4.05E-05
경 유	6.39E-05	3.31E-08	7.25E-09	9.29E-07	1.97E-10	1.84E-08	1.15E-10	4.01E-09	6.49E-05
산업용전력	2.34E-05	1.11E-06	6.62E-07	3.77E-05	1.20E-10	3.17E-06	3.88E-12	1.15E-08	6.61E-05
New Finger Joint	8.87E-03	3.84E-04	1.91E-04	1.06E-02	2.23E-05	1.43E-03	1.51E-05	3.24E-04	2.18E-02
소계	9.94E-03	4.74E-04	2.26E-04	1.35E-02	3.18E-05	2.31E-03	3.16E-05	1.02E-03	2.75E-02

- 신축이음장치 교체공(#80)의 단위물량당 환경부하량을 산출한 결과, 단위물량당 환경부하량은 3.70E-02(eco-point)로 나타남

[표 2-4-20] 신축이음장치 교체공(NEW F/J #80) 단위길이당(m) 환경부하량 분석

자원명	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
이형철근	1.89E-04	1.39E-05	5.69E-06	2.01E-04	6.83E-07	2.19E-05	4.34E-06	1.34E-05	4.50E-04
결속선	1.76E-06	1.35E-07	2.85E-08	4.09E-06	4.22E-09	2.21E-07	1.19E-08	1.10E-07	6.36E-06
모래	6.38E-06	4.42E-07	2.47E-07	8.95E-06	5.84E-08	8.37E-07	3.82E-08	1.88E-06	1.88E-05
자연자갈	1.08E-04	4.05E-07	1.34E-08	1.07E-04	2.28E-06	2.43E-06	1.71E-06	3.16E-05	2.53E-04
초속경시멘트	5.40E-04	5.29E-05	1.77E-05	2.25E-03	4.64E-06	7.44E-04	6.01E-06	6.87E-05	3.69E-03
에폭시접착제	8.54E-05	3.77E-06	1.60E-06	3.71E-05	2.87E-07	4.61E-06	2.08E-06	8.76E-06	1.44E-04
에폭시희석재	4.67E-05	4.28E-06	1.77E-06	3.90E-05	3.93E-08	1.24E-06	5.39E-08	8.77E-07	9.40E-05
물	8.77E-07	1.07E-08	5.25E-09	2.68E-07	8.12E-13	2.23E-08	1.80E-11	1.16E-08	1.19E-06
스치로폴(평판)	4.84E-05	2.21E-05	1.07E-05	5.45E-04	2.67E-06	2.12E-04	3.81E-06	6.37E-04	1.48E-03
용접봉(연강용)	2.00E-05	1.54E-06	3.24E-07	4.65E-05	4.80E-08	2.51E-06	1.35E-07	1.25E-06	7.23E-05
휘 발 유	3.97E-05	2.71E-08	6.44E-09	6.99E-07	2.47E-10	1.74E-08	1.45E-10	4.48E-09	4.05E-05
경 유	7.20E-05	3.73E-08	8.17E-09	1.05E-06	2.21E-10	2.07E-08	1.30E-10	4.51E-09	7.31E-05
산업용전력	2.34E-05	1.11E-06	6.62E-07	3.77E-05	1.20E-10	3.17E-06	3.88E-12	1.15E-08	6.61E-05
New Finger Joint	1.22E-02	5.32E-04	2.75E-04	1.52E-02	2.53E-05	1.95E-03	1.69E-05	3.67E-04	3.06E-02
소계	1.34E-02	6.32E-04	3.14E-04	1.85E-02	3.60E-05	2.95E-03	3.51E-05	1.13E-03	3.70E-02

○ 절삭후 아스팔트 덧씌우기

- 절삭후 아스팔트 덧씌우기공법에 대해 사례분석을 실시함. 유지보수 설계도서 사례를 분석하여 절삭후 아스팔트 덧씌우기공(t=3cm, 얕은 절삭)의 입력변수를 보수 대상의 연장(m), 폭원(m)로 설정하였으며, 절삭후 아스팔트 덧씌우기의 단위면적당 환경부하량을 산출함
- 유지보수 환경부하량 산출 프로세스에 따라 경유, 아스콘의 물량에 절삭면적 계수($C_{경유}$)을 적용하여 자원DB를 정의하여 단위면적당 환경부하량을 산출함
- 2017년 건설공사 표준품셈의 기준에 따라 아스팔트콘크리트포설의 할증률은 2%, 역청포장 재료의 단위중량은 2350kg/m3를 적용하여 아스콘의 자원DB는 2.397kg으로 정의함. 경유 자원DB는 경유 185.28L에 절삭면적에 따른 면적계수 적용

[표 2-4-21] 절삭면적 계수($C_{경유}$)

절삭면적(a) / 주·야간	절삭면적≤ 5	5<절삭면적≤10	10<절삭면적≤15	15<절삭면적≤20	20<절삭면적≤40
주간	1.000	0.500	0.333	0.250	0.125
야간	1.312	0.656	0.437	0.328	0.164

*야간작업 할증은 25% 적용함(근로기준법 제55조)

[표 2-4-22] 절삭 후 덧씌우기(t=3cm)의 단위물량당(m^2) 환경부하량 분석

자원명	가중화값								
	자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
경유	3.68E-04	1.91E-07	4.18E-08	5.36E-06	1.13E-09	1.06E-07	6.63E-10	2.31E-08	3.74E-04
아스콘	6.00E-05	1.10E-05	1.45E-05	2.43E-04	2.47E-06	1.64E-05	5.57E-04	1.27E-04	1.03E-03
소계	4.28E-04	1.12E-05	1.45E-05	2.48E-04	2.47E-06	1.66E-05	5.57E-04	1.27E-04	1.41E-03

○ 교면재포장(Guss(mastic) Asphalt포장)

- 재포장(Guss(mastic) Asphalt포장) t=3cm, t=4cm의 규격에 대해 사례분석을 실시함. 유지보수 설계도서 사례를 분석하여 교면 재포장공의 입력변수를 재포장 대상의 연장(m), 폭원(m)로 설정하였으며, 교면재포장(t=3cm, t=4cm)의 단위면적당 환경부하량을 산출함

[표 2-4-23] 교면재포장(t=3cm) 단위면적당(m^2) 환경부하량 분석

자원명	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
경유	8.72E-04	4.51E-07	9.90E-08	1.27E-05	2.68E-09	2.51E-07	1.57E-09	5.47E-08	8.86E-04
프로판가스	8.91E-11	7.63E-06	4.57E-06	8.63E-05	1.01E-05	2.27E-05	2.11E-04	3.84E-05	3.81E-04
모래	1.35E-06	9.37E-08	5.25E-08	1.90E-06	1.24E-08	1.78E-07	8.10E-09	3.98E-07	4.00E-06
자연자갈	1.69E-08	6.35E-11	2.11E-12	1.68E-08	3.57E-10	3.80E-10	2.69E-10	4.96E-09	3.97E-08
석분	1.48E-06	1.03E-07	5.75E-08	2.08E-06	1.36E-08	1.95E-07	8.87E-09	4.36E-07	4.38E-06
AP(GUSS)	4.59E-06	8.44E-07	1.11E-06	1.86E-05	1.89E-07	1.26E-06	4.26E-05	9.73E-06	7.89E-05
TLA	2.42E-11	9.41E-07	5.78E-07	1.82E-05	7.96E-07	2.62E-06	3.07E-05	4.40E-06	5.82E-05
소계	8.80E-04	1.01E-05	6.47E-06	1.40E-04	1.11E-05	2.72E-05	2.85E-04	5.34E-05	1.41E-03

[표 2-4-24] 교면재포장(t=4cm) 단위면적당(m^2) 환경부하량 분석

자원명	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
경유	1.08E-03	5.61E-07	1.23E-07	1.58E-05	3.33E-09	3.12E-07	1.95E-09	6.79E-08	1.10E-03
프로판가스	1.09E-10	9.37E-06	5.62E-06	1.06E-04	1.24E-05	2.79E-05	2.59E-04	4.72E-05	4.68E-04
모래	1.80E-06	1.25E-07	7.00E-08	2.53E-06	1.65E-08	2.37E-07	1.08E-08	5.31E-07	5.33E-06
자연자갈	2.25E-08	8.47E-11	2.81E-12	2.24E-08	4.76E-10	5.07E-10	3.58E-10	6.62E-09	5.29E-08
석분	1.98E-06	1.37E-07	7.67E-08	2.78E-06	1.81E-08	2.60E-07	1.18E-08	5.82E-07	5.84E-06
AP(GUSS)	6.12E-06	1.13E-06	1.48E-06	2.47E-05	2.52E-07	1.68E-06	5.68E-05	1.30E-05	1.05E-04
TLA	3.23E-11	1.25E-06	7.70E-07	2.43E-05	1.06E-06	3.49E-06	4.09E-05	5.86E-06	7.76E-05
소계	1.09E-03	1.26E-05	8.13E-06	1.76E-04	1.37E-05	3.39E-05	3.57E-04	6.72E-05	1.76E-03

○ 교량받침 교체

- 교량받침 교체에 적용되는 MAS 공법, 컴퓨터 동시인상 공법, 컴퓨터 인상인하 공법에 대해 사례분석을 실시함. 유지보수 설계도서 사례를 분석하여 교량받침 교체공법의 입력변수를 연장(m), 폭원(m), 경간장(m)으로 설정하였으며, 단위물량당(교량받침 1개소) 환경부하량을 산출함. 연장과 폭원으로 교량받침 개소를 산출하고 경간장에 따라 교량받침의 규격을 선정할 수 있음

[표 2-4-25] MAS 공법의 단위물량당(교량받침 1개소) 환경부하량 분석

자원명		가중화값								
		자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성	합계
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
경유	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	6.12E-03
	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	6.55E-03

[표 2-4-26] 컴퓨터인상인하 공법의 단위물량당(교량받침 1개소) 환경부하량 분석

자원명	가중화값								
	자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
경유 (1000/2000KN)	5.38E-03	2.79E-06	6.11E-07	7.83E-05	1.66E-08	1.55E-06	9.69E-09	3.37E-07	5.46E-03

[표 2-4-27] 컴퓨터 동시인상 공법의 단위물량당(교량받침 1개소) 환경부하량 분석

자원명		가중화값								
		자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성	합계
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
1000KN	경유	4.72E-04	1.53E-05	6.14E-06	2.67E-04	1.99E-06	1.08E-04	1.16E-06	2.76E-05	8.99E-04
	용접봉 (연강용)	5.68E-06	4.36E-07	9.22E-08	1.32E-05	1.37E-08	7.14E-07	3.83E-08	3.55E-07	2.06E-05
	산소	1.39E-06	6.62E-08	3.92E-08	2.23E-06	7.09E-12	1.88E-07	1.57E-10	8.19E-08	4.00E-06
	아세칠렌	9.41E-12	2.49E-07	5.82E-07	3.23E-06	1.59E-08	2.39E-07	2.07E-05	2.69E-06	2.77E-05
	경유	8.07E-03	4.18E-06	9.15E-07	1.17E-04	2.48E-08	2.32E-06	1.45E-08	5.06E-07	8.19E-03
	소계	8.55E-03	2.02E-05	7.77E-06	4.03E-04	2.04E-06	1.12E-04	2.19E-05	3.13E-05	9.14E-03
2000KN	Plate	4.72E-04	1.53E-05	6.14E-06	2.67E-04	1.99E-06	1.08E-04	1.16E-06	2.76E-05	8.99E-04
	용접봉 (연강용)	5.68E-06	4.36E-07	9.22E-08	1.32E-05	1.37E-08	7.14E-07	3.83E-08	3.55E-07	2.06E-05
	산소	1.39E-06	6.62E-08	3.92E-08	2.23E-06	7.09E-12	1.88E-07	1.57E-10	8.19E-08	4.00E-06
	아세칠렌	9.41E-12	2.49E-07	5.82E-07	3.23E-06	1.59E-08	2.39E-07	2.07E-05	2.69E-06	2.77E-05
	경유	8.21E-03	4.25E-06	9.32E-07	1.19E-04	2.53E-08	2.36E-06	1.48E-08	5.15E-07	8.34E-03
	소계	8.69E-03	2.03E-05	7.78E-06	4.05E-04	2.04E-06	1.12E-04	2.19E-05	3.13E-05	9.29E-03

[표 2-4-28] 탄성받침 설치의 단위물량당(교량받침 1개소) 환경부하량 분석

자원명		가중화값								
		자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성	합계
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
1350KN	탄성받침	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
	경유	2.56E-03	1.32E-06	2.90E-07	3.72E-05	7.87E-09	7.36E-07	4.61E-09	1.60E-07	2.60E-03
	시 멘 트	8.81E-04	8.63E-05	2.89E-05	3.67E-03	7.56E-06	1.21E-03	9.80E-06	1.12E-04	6.01E-03
	소계	1.81E-02	5.80E-04	2.35E-04	1.25E-02	9.02E-05	4.21E-03	7.56E-05	1.52E-03	3.73E-02
1750KN	탄성받침	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
	경유	1.69E-03	8.74E-07	1.92E-07	2.46E-05	5.20E-09	4.86E-07	3.04E-09	1.06E-07	1.72E-03
	시 멘 트	6.15E-04	6.03E-05	2.02E-05	2.56E-03	5.28E-06	8.47E-04	6.85E-06	7.82E-05	4.20E-03
	소계	2.02E-02	6.62E-04	2.71E-04	1.33E-02	1.06E-04	4.50E-03	8.72E-05	1.80E-03	4.09E-02

○ 외부강선보강

- PSC Beam 30m, 35m 경간장에 적용되는 외부강선보강 공법에 대해 사례분석을 실시함. 유지보수 설계도서 사례를 분석하여 교량받침 교체공법의 입력변수를 연장(m), 폭원(m), 경간장(m)으로 정의하였으며, 단위물량당(PSC Beam 1본) 환경부하량을 산출함. 연장과 폭원으로 빔 개수를 산출하고 경간장에 따라 규격을 선정할 수 있음

[표 2-4-29] 외부강선보강의 단위물량당(본당) 환경부하량 분석

자원명		특성화값								
		자원고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간독성	합계
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
경간장 30m	보통철선	6.41E-07	4.92E-08	1.04E-08	1.49E-06	1.54E-09	8.05E-08	4.32E-09	4.01E-08	2.32E-06
	PC강선(2종)	1.09E-02	8.39E-04	1.77E-04	2.54E-02	2.63E-05	1.37E-03	7.37E-05	6.83E-04	3.95E-02
	나선형시즈관	5.69E-03	1.98E-03	4.22E-04	4.82E-03	3.78E-06	6.12E-04	1.75E-05	6.94E-05	1.36E-02
	경유	2.52E-04	1.31E-07	2.86E-08	3.67E-06	7.76E-10	7.26E-08	4.54E-10	1.58E-08	2.56E-04
	앵커볼트	5.06E-05	3.89E-06	8.21E-07	1.18E-04	1.22E-07	6.36E-06	3.41E-07	3.16E-06	1.83E-04
	PVC파이프 (수도용직관)	2.56E-03	3.77E-05	2.02E-05	9.94E-04	7.96E-05	1.40E-04	3.67E-05	3.50E-05	3.90E-03
	에폭시 FREP-접착제	7.15E-06	3.16E-07	1.34E-07	3.11E-06	2.41E-08	3.86E-07	1.74E-07	7.33E-07	1.20E-05
	소계	1.95E-02	2.86E-03	6.21E-04	3.14E-02	1.10E-04	2.13E-03	1.28E-04	7.91E-04	5.75E-02
경간장 35m	보통철선	7.37E-07	5.66E-08	1.20E-08	1.71E-06	1.77E-09	9.26E-08	4.97E-09	4.61E-08	2.67E-06
	PC강선(2종)	1.28E-02	9.79E-04	2.07E-04	2.97E-02	3.06E-05	1.60E-03	8.60E-05	7.97E-04	4.61E-02
	나선형시즈관	6.64E-03	2.31E-03	4.93E-04	5.62E-03	4.41E-06	7.14E-04	2.04E-05	8.10E-05	1.59E-02
	경유	2.94E-04	1.52E-07	3.34E-08	4.28E-06	9.06E-10	8.47E-08	5.30E-10	1.85E-08	2.99E-04
	앵커볼트	5.06E-05	3.89E-06	8.21E-07	1.18E-04	1.22E-07	6.36E-06	3.41E-07	3.16E-06	1.83E-04
	PVC파이프 (수도용직관)	2.56E-03	3.77E-05	2.02E-05	9.94E-04	7.96E-05	1.40E-04	3.67E-05	3.50E-05	3.90E-03
	에폭시 FREP-접착제	7.15E-06	3.16E-07	1.34E-07	3.11E-06	2.41E-08	3.86E-07	1.74E-07	7.33E-07	1.20E-05
	소계	2.23E-02	3.33E-03	7.21E-04	3.64E-02	1.15E-04	2.46E-03	1.44E-04	9.17E-04	6.64E-02

○ 주요 유지보수공법을 선정하고, 선정된 공법의 설계 자료, EBS 데이터 등을 분석하여 공법별 자원 DB를 구축하였으며, 고속도로 설계단계 LCC DB 개선 및 시스템 적용 연구(한국도로공사, 2014)를 참조하여 공법별 보수율 및 보수주기를 선정함

○ 교면포장의 보수 및 재포장, 외부강선 보강, 교량받침 교체, 신축이음 교체 등 주요 보수공법에 대한 기본정보는 아래 표와 같으며, 각 공법별 보수율과 보수주기를 산정하여 보수공법 적용시 발생되는 환경부하량을 산정할 수 있음. [표 2-4-31]은 분석기간 30년에 대한 주요 보수공법별 원단위 환경부하량을 산출한 것임

[표 2-4-30] 유지보수 공법별 기본정보

공법명	규격		입력변수	보수율	보수주기(년)
교면포장보수	절삭후 덧씌우기	얕은 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)			

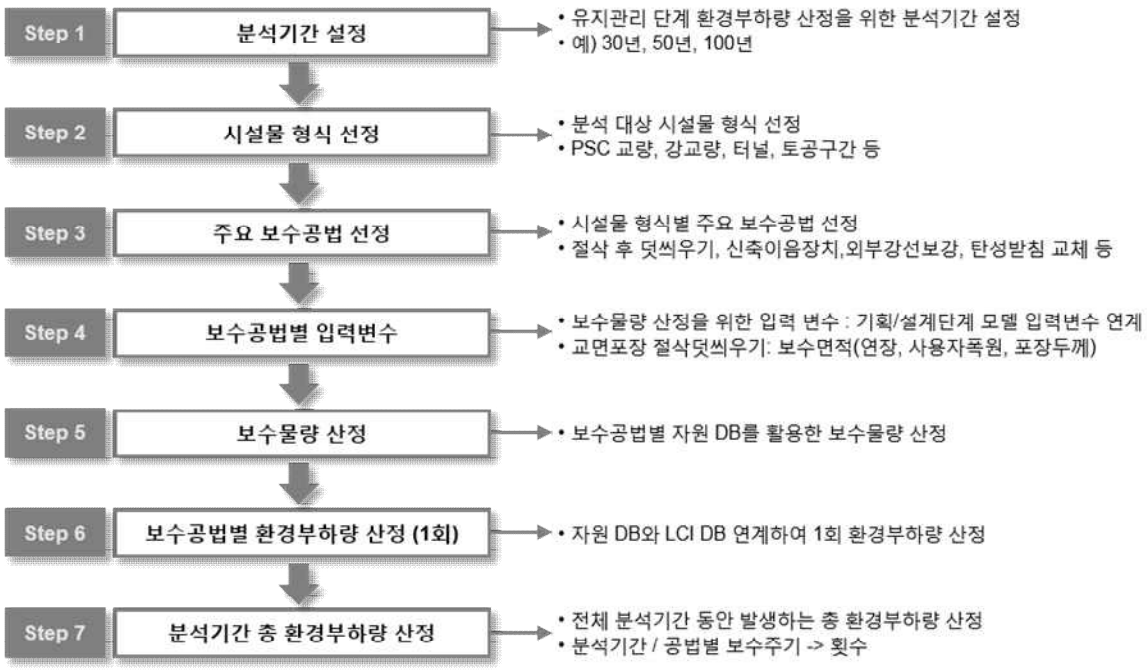
[표 2-4-31] 유지보수공법별 원단위 환경부하량(분석기간 : 30년)

유지보수 공법명	규 격		단위	단위환경부하량 (eco-point/회-m^2)	
				경간장 30m	경간장 35m
교면포장 보수	절삭후 덧씌우기	T=3cm, 얕은 절삭	M2	1.27754E-03	1.27754E-03
교면 재포장	재포장 두께	T=3cm	M2	1.28391E-03	1.28391E-03
		T=4cm	M2	1.60208E-03	1.60208E-03
외부 강선보강	PSC빔 보강	PSC빔 30m	본	9.16780E-04	-
		PSC빔 35m		-	9.07717E-04
탄성받침 교체	인상 공법	MAS공법 : 1000 KN	개소	1.95119E-04	1.67245E-04
		MAS공법 : 2000 KN		2.08813E-04	1.78983E-04
		컴퓨터 인상/인하 : 1000 KN		1.74319E-04	1.49416E-04
		컴퓨터 인상/인하 : 2000 KN		1.74319E-04	1.49416E-04
		컴퓨터 동시인상 : 1000 KN		2.91693E-04	2.50022E-04
		컴퓨터 동시인상 : 2000 KN		2.96417E-04	2.54072E-04
	탄성받침	1350 KN	ea	1.18957E-03	1.01963E-03
		1750 KN		1.30482E-03	1.11841E-03
신축이음장치 교체	신축이음장치	NEW F/J #50	M	1.67992E-03	1.43993E-03
		NEW F/J #80		2.25981E-03	1.93698E-03

[표 2-4-32] 유지보수공법별 환경부하량 분석

유지보수 공법명		가중화값								
		자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
		eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
절삭후덧씌우기 (t=3cm,얕은절삭)		3.69E-02	3.01E-05	1.86E-05	7.78E-04	2.58E-06	2.70E-05	5.57E-04	1.29E-04	3.84E-02
교면 재포장	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	1.41E-03
	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	1.76E-03
외부 강선 보강	경간장 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	5.75E-02
	경간장 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	6.64E-02
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	6.12E-03
	(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	6.55E-03
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	5.46E-03
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	9.14E-03
	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	9.29E-03
교량받침 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	3.73E-02
	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	4.09E-02
신축이음 장치 교체	F/J #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	2.75E-02
	F/J #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	3.70E-02

○ 유지보수 공법별 환경부하량을 설계 초기단계에서의 가용정보만을 이용하여 환경부하량을 산정 가능하도록 공법별 소요자원 DB를 구축함. 연장, 폭원, 경간장 등과 같은 기본정보를 입력변수로 하여 소요 자원량을 산정하고 LCI DB와 연계하여 보수공법별 1회에 해당하는 환경부하량을 산출하여 DB를 구축함. 그리고, 보수공법별 보수율, 보수주기를 설정하고 분석기간 동안에 발생 가능한 유지관리단계에서의 환경부하량을 추정하는 모델을 구축하였으며, 산정 절차를 아래 그림과 같음



[그림 2-4-3] 유지관리단계 환경부하량 산정 절차

[표 2-4-33] 유지보수 공법별 소요자원 DB(계속)

공법명		자원명	규격	수량	단위	LCI DB
절삭 후 덧씌우기 (얕은 절삭)		경유		1.816	L	경유
		아스콘		0.072	ton	아스콘
교면재포장 (t=3cm)		경유		4.303	L	경유
		프로판가스	일반용	2.423	KG	프로판가스
		모래	자연사(시내도착도)	0.009	㎥	모래
		자연자갈	#57 25-5mm (시내도착도)	0.022	㎥	순환골재
		석분	서울(시내도착도)	0.010	㎥	모래
		AP(GUSS)		5.501	KG	아스콘
		TLA		1.629	KG	아스팔트
		접착제(프라이머)	Multi Coat-B	0.300	L	-
교면재포장 (t=4cm)		경유		5.346	L	경유
		프로판가스	일반용	2.975	KG	프로판가스
		모래	자연사(시내도착도)	0.013	㎥	모래
		자연자갈	#57 25-5mm (시내도착도)	0.029	㎥	순환골재
		석분	서울(시내도착도)	0.014	㎥	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(2종)	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(2종)	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
	2000KN	경유		31.804	L	경유

[표 2-4-33] 유지보수 공법별 소요자원 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)	3.2㎜ KSE4301	0.177	KG	선재
	산소		60.480	ℓ	산소
	아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	0.026	KG	아세틸렌
	경유		39.804	L	경유
컴퓨터 동시인상 (2000KN)	Plate	12<T≤ 20	0.006	ton	후판
	용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	0.177	KG	선재
	산소		60.480	ℓ	산소
	아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	0.026	KG	아세틸렌
	경유		40.524	L	경유
교량받침 설치 (1350KN)	탄성받침	1350KN	1.000	EA	탄성받침-1350
	경유		12.623	L	경유
	시 멘 트		74.324	KG	시멘트
교량받침 설치 (1750KN)	탄성받침	1750KN	1.000	EA	탄성받침-1750
	경유		8.332	L	경유
	시 멘 트		51.918	KG	시멘트
신축이음장치 교체공(#50)	이형철근	D16M/M 1.560KG/M SD30A,30B	10.450	KG	철근
	결속선	#20 0.9㎜	0.052	kg	선재
	모래	자연사(시내도착도)	0.039	㎥	모래
	자연자갈	#57 25-5㎜ (시내도착도)	0.070	㎥	순환골재
	초속경시멘트	3시간에 실용강도 200kg/㎠ 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 900x1800㎜ (비중 0.015)	2.000	매	발포폴리스티렌
	용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	0.624	KG	선재
	휘 발 유		0.224	L	휘발유
	경 유		0.315	L	경유
	산업용전력		1.464	KWH	전기
	New Finger Joint	NO.50	1.000	M	신축이음-50
	블레이드	320~400㎜	0.005	개	-
신축이음장치 교체공(#80)	이형철근	D16M/M 1.560KG/M SD30A,30B	10.970	KG	철근
	결속선	#20 0.9㎜	0.055	kg	선재
	모래	자연사(시내도착도)	0.044	㎥	모래
	자연자갈	#57 25-5㎜ (시내도착도)	0.081	㎥	순환골재
	초속경시멘트	3시간에 실용강도 200kg/㎠ 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 900x1800㎜ (비중 0.015)	2.200	매	발포폴리스티렌
	용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	0.624	KG	선재
	휘 발 유		0.224	L	휘발유
	경 유		0.355	L	경유
	산업용전력		1.464	KWH	전기
	New Finger Joint	NO.80	1.000	M	신축이음-80
	블레이드	320~400㎜	0.005	개	-

4. 평가모델 검증

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

[표 2-4-34] 유지관리단계 환경부하 평가모델의 검증사례 정보

검증 사례	교량형식	연장(m)	폭원(m)	경간장(m)	준공년도	공사수행년도	보수공법	보수물량
검증1	PSC I	100.6	19.4	25	2002	2016	신축이음장치 교체	60.3(m)
검증2	PSC I	245.6	8.5	31	1977	2016	교면재포장	2097(m^2)
검증3	PSC I	120	40	24	1972	2014	탄성받침교체	90(개소)
검증4-1	PSC I	300.4	10	30	1989	2014	절삭 후 덧씌우기	2550(m^2)
검증4-2							탄성받침교체	40(개소)
검증4-3							신축이음장치 교체	43(m)
검증5	PSC I	270	10	30	1993	2015	외부강선보강	15(본)

[표 2-4-35] 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	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%
모델값		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	
검증2	교면재포장	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%
모델값		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	
검증3	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%
모델값		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	
검증4-1	절삭 후 덧씌우기	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%
모델값		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	
검증4-2	탄성받침교체	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%
모델값		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	
검증4-3	신축이음장치 교체	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%
모델값		3.67E-01	1.75E-02	8.36E-03	4.99E-01	1.17E-03	8.53E-02	1.17E-03	3.75E-02	1.02E+00	
검증5	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%
모델값		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 5 절 PSC 교량 추가 시설물

1. IPC Girder교

가. 기초자료 분석

○IPC Girder교 사례(60개)에 대해 환경부하량 사례DB를 구축하고, 연장에 대한 환경부하량에 대해 기술통계량 분석을 실시한 결과, 평균 3.8991, 표준편차 2.2615, 최소값 0.4814, 최대값 14.5675로 나타남

[표 2-5-1] IPC Girder교 연장당 환경부하량 기술통계량

기술통계량	본표본
N	60
범위	14.0861
최소값	0.4814
최대값	14.5675
평균	3.8991
표준편차	2.2615
분산	5.1146
왜도	-2.6720
첨도	10.0319

○기능단위를 연장으로 설정하여 원단위 환경부하량을 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

[표 2-5-2] IPC Girder교의 영향범주별 원단위 환경부하량 (eco-point/m)

원단위 환경부하량 (eco-point/연장(m))									
구분	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
연장(m)	1.7288	0.0774	0.0542	2.6573	0.0264	0.5765	0.1143	0.3961	5.631

○상부면적에 대한 환경부하량에 대해 기술통계량 분석을 실시한 결과, 평균은 0.1751 표준편차는 0.0244, 최소값은 0.1336, 최대값 0.1751로 나타남

[표 2-5-3] IPC Girder교 상부면적당 환경부하량 기술통계량

기술통계량	본표본
N	60
범위	0.0580
최소값	0.1336
최대값	0.1751
평균	0.1756
표준편차	0.0244
분산	0.0006
왜도	-1.8789
첨도	3.5037

○ 기능단위를 상부면적으로 설정하여 원단위 환경부하량을 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

[표 2-5-4] IPC Girder교의 영향범주별 원단위 환경부하량 (eco-point/m^2)

원단위 환경부하량 (eco-point/상부면적(m^2))									
구분	자원 고갈	산성화	부영 양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
상부면적(m2)	0.0812	0.0036	0.0025	0.1248	0.0012	0.0271	0.0054	0.0186	0.2644

가. IPC Girder교 사례기반추론 환경부하 평가모델

○ IPC Girder교 사례기반추론 환경부하 평가모델은 PSC Beam교 동일한 방법으로 개발하였음

○ 모델은 사업수행단계별 가용 정보가 다르다는 점을 반영하여 두 가지의 모델(CBR Ⅰ, CBR Ⅱ)로 구축함

○ CBR Ⅰ 모델은 사업기본구상 단계 시 획득할 수 있는 가장 기본적인 정보를 모델의 영향요인으로 선정하였으며, CBR Ⅱ 모델은 사업 예비타당성 조사 및 설계 초기단계에서 획득할 수 있는 세부적인 정보를 모델의 영향요인으로 선정함

[표 2-5-5] 선정된 영향요인

	CBR2									
	CBR1									
영향 요인	상부 면적	연장	차로수	폭원	기초 형식	가설 위치	경간 수	경간장 (m)	하부 총길이	행정 구역
형태	숫자	숫자	2차로 3차로 4차로 5차로 6차로 7차로 8차로 9차로	숫자	직접 말뚝 혼합	육상 육하 하상	숫자	25 30 35 40 45	교량 하부구조 물 높이의 총합	경기 경남 경북 전남 전북 제주 충남 충북

(1) 학습사례선정

○ 속성정보 가중치 도출을 위한 학습과정에 사용된 10개의 사례는 다음과 같음

[표 2-5-6] 학습사례 현황

	상부 면적 (㎡)	연장 (m)	차로 수	폭원 (m)	기초 형식	가설 위치	경간 수	경간 길이 (m)	행정 구역	하부 총길이 (m)	Cut-off	환경부하량 (eco-point)
1	732	35	4	20.9	말뚝	육상	1	35	전남	15.00	81.68%	1.45E+02
2	836	40	4	20.9	말뚝	육상	1	40	전남	20.00	85.75%	1.73E+02
3	941	45	4	20.9	말뚝	육상	1	45	충남	24.00	96.33%	1.69E+02
4	627	30	4	20.9	말뚝	육상	1	30	충남	18.60	82.57%	1.32E+02
5	1463	70	4	20.9	말뚝	육상	2	35	전북	18.60	83.88%	1.55E+02
6	1673	60	5	27.9	직접	육상	2	30	전남	18.44	83.82%	2.91E+02
7	627	30	4	20.9	직접	육상	1	30	경남	21.00	85.74%	1.34E+02
8	836	40	4	20.9	혼합	육상	1	40	충남	24.80	83.98%	1.48E+02
9	836	40	4	20.9	말뚝	육상	1	40	충남	20.00	77.20%	1.24E+02
10	840	40	4	21.0	직접	육상	1	40	경남	24.60	82.07%	2.36E+02

(2) 사례기반추론 모델 검증

○ 본 연구에서 제시한 사례기반추론을 활용한 I.P.C Girder 교에 대한 기획단계 환경부하량 개산 예측모델의 검증사례는 다음과 같은 5개를 선정함

[표 2-5-7] 검증사례 현황

	상부 면적 (㎡)	연장 (m)	차로 수	폭원 (m)	기초 형식	가설 위치	경간 수	경간 길이 (m)	행정 구역	하부 총길이 (m)	Cut-off	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

○ 유전자 알고리즘을 이용하여 CBR I 모델의 영향요인별 가중치를 산정해본 결과 상부면적 39.65%, 폭원 32.52%, 연장 25.22%, 차로수 2.61% 순으로 나타남

○ CBR II 모델의 영향요인별 가중치는 경간수가 27.36%로 가장 높게 나타났으며, 경간길이 16.70%, 폭원 16.35%, 연장 16.13%, 상부면적 10.82%, 가설위치 6.25%, 기초형식 5.91%, 하부길이 3.4%, 차로수 1.5%

[표 2-5-8] I.P.C Girder 교 환경부하량 산정모델의 가중치

구분	CBR을 이용한 기획단계 환경부하량 산정 모델의 영향요인별 가중치									
CBR Ⅰ	상부 면적	연장	차로수	폭원	-					
	0.3965	0.2522	0.0261	0.3252						
CBR Ⅱ	상부 면적	연장	차로수	폭원	기초 형식	가설 위치	경간수	경간 길이	하부 총길이	행정 구역
	0.1082	0.1613	0.0015	0.1635	0.0591	0.0625	0.2736	0.1670	0.0034	0

○ 본 연구에서 제시한 사례기반추론 모델과 환경부하량과의 상관관계가 매우 높은 연장, 상부면적을 이용한 원단위 분석방법의 예측 값을 비교함

[표 2-5-9] CBR 모델 및 원단위 분석 모델의 결과 비교

구분	실제 환경부하량 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 (%)
검증 1	1.66E+02	1.73E+02	4.05%	1.67E+02	0.56%	2.25E+02	35.50%	2.21E+02	32.97%
검증 2	1.37E+02	1.59E+02	16.00%	1.42E+02	3.94%	2.25E+02	64.66%	2.46E+02	80.15%
검증 3	3.00E+02	2.58E+02	-13.77%	2.50E+02	-16.66%	1.71E+02	-42.91%	1.83E+02	-38.88%
검증 4	1.20E+02	1.25E+02	4.05%	1.21E+02	0.56%	2.25E+02	87.15%	2.21E+02	83.66%
검증 5	4.93E+02	4.64E+02	-5.91%	5.22E+02	5.80%	2.25E+02	-54.33%	2.00E+02	-59.47%
평균(절댓값)		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%	

○ 5개 검증사례에 대한 환경부하 실제값과 비교한 결과, 단위연장에 의한 원단위 산정 방법은 절대오차율 평균이 56.91%이며, 오차범위는 -54.33%에서 +87.15%까지인 것으로 나타남. 단위상부면적당 원단위 산정 방법은 절대오차율 평균이 59.03%이며, 오차범위는 -59.47%에서 +83.66%까지인 것으로 조사됨

○ 반면에 본 연구에서 제시한 기획단계 환경부하 추정모델인 CBR Ⅰ의 절대오차율 평균은 8.76%이며, 오차범위는 -13.77%에서 16.00%까지인 것으로 나타남. 사업 기획단계 이후 가용정보가 보다 구체화된 기본설계단계에서의 환경부하 추정모델인 CBR Ⅱ는 절대오차율 평균이 5.50%로 나타났으며, 오차범위는 -16.66%에서 +3.94%까지로 나타나 CBR Ⅰ보다 향상된 추정 결과를 나타냄

나. IPC Girder교 설계단계 환경부하 평가모델

○ IPC Girder교 표준물량 기반 설계단계 환경부하 평가모델은 PSC Beam교 동일한 방법으로 대표물량과 설계 초기단계의 가용정보를 기반으로 한 모델을 개발하였음

○ 대표 물량은 연장별(30m, 35, 40m, 45m)로 교량 상부와 하부(교대, 교각) 기초로 구분 후 각각의 표준물량을 구축 후 모델을 개발하였음

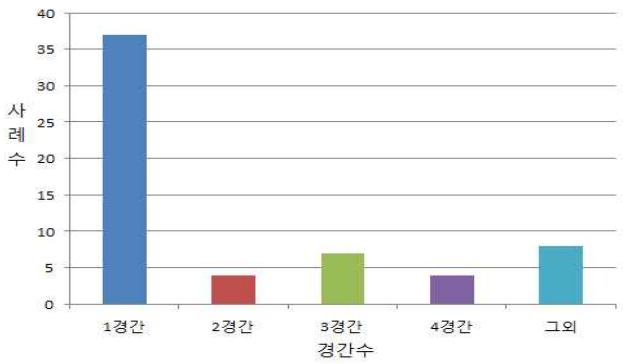
○ IPC Girder교는 PSC Beam교의 개량형이기 때문에 가용정보는 PSC Beam교와 동일함

(1) 표준단면 설정

(가) 상부공의 대표공종

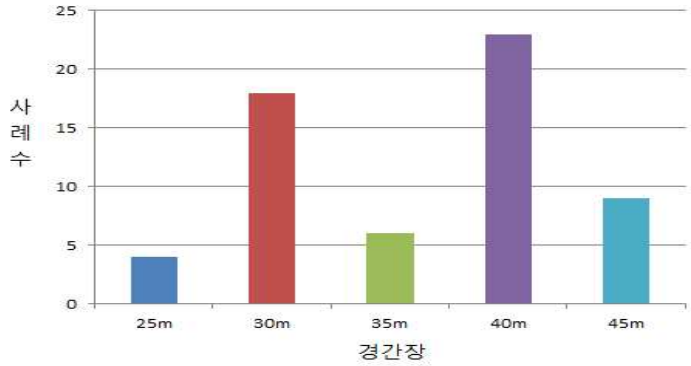
○ IPC Girder교량의 상부는 일반적으로 경간장 30m, 35m, 40m, 45m가 사용되기 때문에 상부공의 표준단면을 세부적으로 설정하기 위하여 빔개수와 경간장장 길이에 중점을 두고 표준단면 6개를 설정함

○ 수집한 사례를 보면 1경간이 37개(62%), 2경간이 4개(7%), 3경간(12%), 4경간(7%), 그 외(13%)를 차지하여 표준단면은 1경간으로 선정함



[그림 2-5-1] IPC Girder교량 경간 사례

○ 경간장은 25m, 30m, 35m, 40m, 45m 구성되어 있으며 수집한 사례를 보면 경간장25m 4개(7%), 경간장30m 18개(30%), 경간장35m 6개(10%), 경간장40m 23개(38%), 경간장45m 9개(15%)로 나타남에 따라 사례수가 가장 많은 30m, 35m, 40m, 45m를 표준단면으로 선정함



[그림 2-5-2] IPC Girder교량 경간장 사례

[표 2-5-10] 표준단면1~6 정보

	경간수	경간길이(m)	빔개수(개수)	폭원(m)
표준단면1	1	35	10	20.9
표준단면2	1	40	10	20.9
표준단면3	1	40	8	20.9
표준단면4	1	45	8	20.9
표준단면5	1	30	8	20.9
표준단면6	1	30	10	20.9

(나) 대표공종 선정

○ 대표공종은 두 가지 조건에 따라 선정함. 첫째, 환경부하량 비율이 높은 공종을 우선순위로 선정. 둘째, 설계 초기단계에서 활용가능한 주요 설계정보인 경간장, 경간수, 폭원을 통해 공종의 단위물량 산출이 가능한지 여부를 고려하여 대표공종을 선정

○ 공종별 환경부하량 비율 집계방식은 아래 [표 2-5-11]과 같이 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인에서 제시하는 배출원별 세부내역 분류기준을 적용하기 위하여 자재에서 기인한 환경부하량과 에너지에서 기인한 환경부하량을 분리하여 집계하고, 각각 우선순위로 올라온 공종들을 대표공종으로 선정하여 종합함

[표 2-5-11] 배출원에 따른 공종별 환경부하량 구성비율

상부공 자재로 인한 환경부하량			상부공 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적비율	공종명	비율	누적비율
자재대	76.45%	76.45%	IPC 거더교	81.37%	81.37%
IPC 거더교	21.37%	97.81%	철근운반	13.37%	94.68%
거푸집	0.79%	98.61%	표면처리	4.15%	98.41%
동바리	0.75%	99.36%	콘크리트타설	1.10%	99.95%
철근가공조립	0.62%	100%	모래운반	0.05%	100%

(다) 상부공 표준물량 DB 구출

○ 표준단면(경간장 30m~45m, 빔 개수 8~10개, 4차로m, 폭원 20.9m)에 대한 대표공종을 대상으로 상세물량을 추정하여 정확도 높은 추정모델을 구축 후 대표공종별 단위물량을 데이터베이스화함

○ 교량의 경간장(30m/35m/40m/45m), 빔 개수(8,10개)에 따라 단위물량이 전반적으로 차이를 보이기 때문에 경간장, 빔 개수별로 나누어 단위물량을 산출

○ 또한 교량의 직교/사교 여부에 따라 자재대 철근 공종과 철근가공조립의 단위물량이 차이를 보여 직교/사교 각각에 대하여 철근 관련 공종의 단위물량을 분석

[표 2-5-12] 대표공종의 단위물량 산출방법

대표 공종	단위	비고
1.자재대		
1.1 레미콘		
IPC BEAM (19-40-15)	㎥/본	단위물량 × 본수
슬래브 (25-27-15)	㎥/연장	단위물량 × 연장 × 경간수
1.2 철근		
IPC BEAM	ton/본	
슬래브	ton	철근가공조립(ton) × (평균할증률)
1.3 시멘트		
IPC BEAM	포대(40kg)	단위물량 × 본수
슬래브	포대(40kg)	단위물량 × 연장 × 경간수
2. IPC BEAM	본/경간	단위물량 × 연장 × 본수
제작	본/경간	단위물량 × 연장 × 본수
설치	본/경간	단위물량 × 연장 × 본수
전도방지	본/경간	단위물량 × 연장 × 본수
SOLE PLATE	ea/본	단위물량 × 연장 × 본수
3. 거푸집		
합판3회	㎡/연장	단위물량× 연장 × 경간수
4. 철근가공조립		
복잡		
IPC BEAM	ton/본	단위물량 × 본수
슬래브	ton	레미콘270(슬래브) × 단위중량(철근가공조립÷콘크리트량)
5. 동바리		
데크 피니셔용	공/ ㎥/연장	단위물량 × 연장 × 경간수
일반목재	공/ ㎥/연장	단위물량 × 연장 × 경간수
6. 표면처리		
슬래브양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)
데크피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)
7. 콘크리트 타설		
철근(0~15m)	㎥	(슬래브+가로보)/1.01
8. 교면포장	㎡	(폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대))×연장×경간수

[표 2-5-13] 표준단면1 : 경간장 35m, 빔개수 10개 표준물량 DB

대표 공종	단위	비고	수량
자재대			
1.1 레미콘			
IPC BEAM	㎥/본		38.500
슬래브	㎥/연장		6.200
1.2 철근			
IPC BEAM	ton/본		5.686
슬래브	ton	철근가공조립(ton) × (평균할증률)	45.735
1.3 시멘트			
IPC BEAM	포대(40kg)	포대/본수	3.4(포대)
슬래브	포대(40kg)	포대/본수	8.025(포대)
2. IPC BEAM	본/경간		
제작	본/경간		10
설치	본/경간		10
전도방지	본/경간		10
SOLE PLATE	ea/본		20
3. 거푸집			
합판3회	㎡/연장		14.565
4. 철근가공조립			
복잡			
IPC BEAM	ton/본		4.025
슬래브	ton	레미콘270(슬래브) × 단위중량(철근가공조립÷콘크리트량)	53.7168
5. 동바리			
데크 피니셔용	공/ ㎥/연장		4.325
일반목재	공/ ㎥/연장		13.825
6. 표면처리			
슬래브양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	786
데크피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	786
7. 콘크리트 타설			
철근(0~15m)	㎥	(슬래브+가로보)/1.01	250.480

[표 2-5-14] 표준단면2 : 경간장 40m, 빔개수 10개 표준물량 DB

대표 공종	단위	비고	수량
자재대			
1.1 레미콘			
IPC BEAM	㎥/본		41.500
슬래브	㎥/연장		5.900
1.2 철근			
IPC BEAM	ton/본		6.110
슬래브	ton	철근가공조립(ton) × (평균할증률)	31.654
1.3 시멘트			
IPC BEAM	포대(40kg)	포대/본수	11.25(포대)
슬래브	포대(40kg)	포대/본수	6.95(포대)
2. IPC BEAM	본/경간		
제작	본/경간		8
설치	본/경간		8
전도방지	본/경간		8
SOLE PLATE	ea/본		16
3. 거푸집			
합판3회	㎡/연장		16.579
4. 철근가공조립			
복잡			
IPC BEAM	ton/본		5.590
슬래브	ton	레미콘270(슬래브) × 단위중량(철근가공조립÷콘크리트량)	44.580
5. 동바리			
데크 피니셔용	공/ ㎥/연장		2.625
일반목재	공/ ㎥/연장		21.275
6. 표면처리			
슬래브양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	783
데크피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	783
7. 콘크리트 타설			
철근(0~15m)	㎥	(슬래브+가로보)/1.01	238.469

[표 2-5-15] 표준단면3 : 경간장 40m, 빔개수 8개 표준물량 DB

대표 공종	단위	비고	수량
자재대			
1.1 레미콘			
IPC BEAM	㎥/본		41.500
슬래브	㎥/연장		5.900
1.2 철근			
IPC BEAM	ton/본		6.110
슬래브	ton	철근가공조립(ton) × (평균할증률)	31.654
1.3 시멘트			
IPC BEAM	포대(40kg)	포대/본수	11.25(포대)
슬래브	포대(40kg)	포대/본수	6.95(포대)
2. IPC BEAM	본/경간		
제작	본/경간		8
설치	본/경간		8
전도방지	본/경간		8
SOLE PLATE	ea/본		16
3. 거푸집			
합판3회	㎡/연장		16.579
4. 철근가공조립			
복잡			
IPC BEAM	ton/본		5.590
슬래브	ton	레미콘270(슬래브) × 단위중량(철근가공조립÷콘크리트량)	44.580
5. 동바리			
데크 피니셔용	공/ ㎥/연장		2.625
일반목재	공/ ㎥/연장		21.275
6. 표면처리			
슬래브양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	783
데크피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	783
7. 콘크리트 타설			
철근(0~15m)	㎥	(슬래브+가로보)/1.01	238.469

[표 2-5-16] 표준단면4 : 경간장 45m, 빔개수 8개 표준물량 DB

대표 공종	단위	비고	수량
자재대			
1.1 레미콘			
IPC BEAM	㎥/본		50.750
슬래브	㎥/연장		5.933
1.2 철근			
IPC BEAM	ton/본		6.961
슬래브	ton	철근가공조립(ton) × (평균할증률)	38.805
1.3 시멘트			
IPC BEAM	포대(40kg)	포대/본수	4.125(포대)
슬래브	포대(40kg)	포대/본수	8.400(포대)
2. IPC BEAM	본/경간		
제작	본/경간		8
설치	본/경간		8
전도방지	본/경간		8
SOLE PLATE	ea/본		16
3. 거푸집			
합판3회	㎡/연장		16.687
4. 철근가공조립			
복잡			
IPC BEAM	ton/본		4.753
슬래브	ton	레미콘270(슬래브) × 단위중량(철근가공조립÷콘크리트량)	57.8322
5. 동바리			
데크 피니셔용	공/ ㎥/연장		
일반목재	공/ ㎥/연장		6.200
6. 표면처리			25.733
슬래브양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	
데크피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	855.000
7. 콘크리트 타설			855.000
철근(0~15m)	㎥	(슬래브+가로보)/1.01	

[표 2-5-17] 표준단면5 : 경간장 30m, 빔개수 8개 표준물량 DB

대표 공종	단위	비고	수량
자재대			
1.1 레미콘			
IPC BEAM	㎥/본		24.750
슬래브	㎥/연장		5.467
1.2 철근			
IPC BEAM	ton/본		4.3998
슬래브	ton	철근가공조립(ton) × (평균할증률)	45.735
1.3 시멘트			
IPC BEAM	포대(40kg)	포대/본수	2.500(포대)
슬래브	포대(40kg)	포대/본수	5.800(포대)
2. IPC BEAM	본/경간		
제작	본/경간		8
설치	본/경간		8
전도방지	본/경간		8
SOLE PLATE	ea/본		16
3. 거푸집			
합판3회	㎡/연장		15.372
4. 철근가공조립			
복잡			
IPC BEAM	ton/본		4.102
슬래브	ton	레미콘270(슬래브) × 단위중량(철근가공조립÷콘크리트량)	31.193
5. 동바리			
데크 피니셔용	공/ ㎥/연장		1.700
일반목재	공/ ㎥/연장		13.233
6. 표면처리			
슬래브양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	570.000
데크피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	570.000
7. 콘크리트 타설			
철근(0~15m)	㎥	(슬래브+가로보)/1.01	165.640

[표 2-5-18] 표준단면6 : 경간장 30m, 빔개수 10개 표준물량 DB

대표 공종	단위	비고	수량
자재대			
1.1 레미콘			
IPC BEAM	㎥/본		22.500
슬래브	㎥/연장		5.533
1.2 철근			
IPC BEAM	ton/본		3.744
슬래브	ton	철근가공조립(ton) × (평균할증률)	21.104
1.3 시멘트			
IPC BEAM	포대(40kg)	포대/본수	2.200(포대)
슬래브	포대(40kg)	포대/본수	7.267(포대)
2. IPC BEAM	본/경간		
제작	본/경간		10
설치	본/경간		10
전도방지	본/경간		10
SOLE PLATE	ea/본		20
3. 거푸집			
합판3회	㎡/연장		12.843
4. 철근가공조립			
복잡			
IPC BEAM	ton/본		3.470
슬래브	ton	레미콘270(슬래브) × 단위중량(철근가공조립÷콘크리트량)	31.573
5. 동바리			
데크 피니셔용	공/ ㎥/연장		1.333
일반목재	공/ ㎥/연장		9.767
6. 표면처리			
슬래브양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	570.000
데크피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	570.000
7. 콘크리트 타설			
철근(0~15m)	㎥	(슬래브+가로보)/1.01	167.660

(라) 하부공 표준물량 DB 구출

○ 하부공은 구조적 독립성으로 인해 교대, 교각, 기초 별로 물량산출 체계가 다른점을 고려하여 각각 대표공종을 선정

○ 교대공과 교각공은 세부구성상 동일한 5개의 공종이 대표공종으로 선정하였으며 5개의 대표공종은 교대, 교각 전체 환경부하량의 98.71%, 99.50%를 차지하는 것으로 나타남

○ 강관파일기초공은 3개의 공종이 대표공종으로 선정되었으며, 기초 전체 환경부하량의 99.46%를 차지하는 것으로 나타남

(1) 교대 표준단면 설정

○ 교대의 경우 교대높이와 밀접한 영향이 있는 것으로 연장보다는 교대높이에 영향을 받음. 이에 30m, 35m, 40m, 45m 경간장 중 경간장30m, 교대높이 10m를 표준단면1로 선정함. 그리고 경간장 40m, 교대높이 9.9m를 표준단면2로 선정함.

(2) 교대 대표공종 선정

○ 교대 전체 환경부하량의 98.71%를 차지하는 자재대, 거푸집, 철근가공조립, 콘크리트, 교량받침을 대표공종으로 설정함

○ 교대공의 경우 배출원 자재부분에서 상위 5개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 2개 공종을 대표공종으로 선정

[표 2-5-19] 하부 교대공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

교대공의 자재로 인한 환경부하량			교대공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적비율	공종명	비율	누적비율
Major			Minor		
자재대(레미콘, 철근, 시멘트)	92.72%	92.72%	콘크리트 타설	77.58%	77.58%
거푸집	4.36%	97.07%	교량받침	22.08%	99.66%
교량받침	0.90%	97.98%			
철근가공조립	0.90%	98.87%			
콘크리트타설	0.03%	98.90%			
Minor			Minor		
강관비계	0.86%	99.76%	자재운반비 모래	0.29%	99.95%
아스팔트방수	0.17%	99.95%	무수축 콘크리트	0.03%	99.98%
동바리	0.02%	99.98%	자재운반비 시멘트	0.02%	100.00%
다웰바설치	0.01%	99.99%			
스치로폼	0.01%	100.00%			

○ 교대의 경우 수량산출서를 기반으로 표준단면에서의 공종 특성 및 물량단위를 고려하여 공종별 단위물량을 산정함. 형식별로 기초형식 여부에 따라 표준단위물량을 산출함

[표 2-5-20] 하부 교대 대표공종 단위물량 산정방법

대표공종		단위	단위물량 산정방법
1.자재대			
레미콘 (24Mpa)	본체	㎥	표준물량 × 교대 길이에 의한 증가 × 높이에 의한 증가
	날개벽		표준물량 × 높이에 의한 증가
	적속슬래브		표준물량 × 교대 길이에 의한 증가
레미콘 (16Mpa)	버림콘크리트		표준물량 × 교대 길이에 의한 증가
	접속슬래브		표준물량 × 교대 길이에 의한 증가
철근	본체	ton	철근가공조립(ton) × 할증률
	날개벽		철근가공조립(ton) × 할증률
	접속슬래브		철근가공조립(ton) × 1.03
2.거푸집			
합판 3회	본체	㎡	표준물량 × 교대 길이에 의한 증가 × 높이에 의한 증가
	날개벽		표준물량 × 높이에 의한 증가
합판 4회	Footing		표준물량 × 교대 길이에 의한 증가
	접속슬래브		표준물량 × 교대 길이에 의한 증가
합판 6회	버림콘크리트		표준물량 × 교대 길이에 의한 증가
	접속슬래브		표준물량 × 교대 길이에 의한 증가
3.철근가공조립			
복잡	본체	ton	콘트리트 수량 × 철근비
	날개벽		콘트리트 수량 × 철근비
보통	접속슬래브		콘트리트 수량 × 0.19651
4.콘크리트 타설			
철근펌프카 15m이하	본체	㎥	레미콘(24Mpa)본체 물량/1.01
	날개벽		레미콘(24Mpa)날개벽 물량/1.01
	접속슬래브		레미콘(24Mpa)접속슬래브 물량/1.01
무근펌프카 vib제외	버림		레미콘(16Mpa)버림콘크리트 물량/1.01
	접슥슬래브		레미콘(16Mpa)접속슬래브 물량/1.01
5.교량받침			
교량받침(1350,1750KN)		ea	5ea/1교대

[표 2-5-21] 하부 교대 표준단면1 : 경간장 30m 표준물량

대표공종	부위	표준물량	상부폭원에 의한 증가율	높이별 증가율	추정물량
자재대					
1.1 레미콘					
24MPa	본체	839.195	1.000	1.023	858.245
	날개벽	126.902	1.000	1.023	129.783
	접속슬래브	144.349	1.000	1.023	144.349
16MPa	버림	26.928	1.000	1.023	26.928
	접속슬래브	36.995	1.000	1.023	36.995
1.2 철근					
d16-32	본체	73.360			77.380
	날개벽	11.093			11.345
	접속슬래브	28.926			36.340
1.3 시멘트					
무수축몰탈		114.492			457.967
2. 거푸집					
합판3회	본체	790.746	1.000	1.570	1241.550
	날개벽	404.926	1.000	1.570	635.774
합판4회	푸팅	48.046	1.000	1.570	48.046
	접속슬래브	7.792	1.000	1.570	7.792
합판6회	버림콘크리트	3.369	1.000	1.570	3.369
	접속슬래브	1.1764	1.000	1.570	1.764
3.철근가공조립					
철근가공조립복잡	본체	70.418			74.276
	날개벽	10.648			10.890

[표 2-5-22] 하부 교대 표준단면1 : 경간장 30m 표준물량

대표공종	부위	표준물량	상부폭원에 의한 증가율	높이별 증가율	추정물량
철근가공조립보통	접속슬래브	28.084			35.281
4.콘크리트					
철근펌프카,15m이하	본체	830.886			849.747
	날개벽	125.646			128.498
	접속슬래브	142.920			142.920
무근펌프카,vib제외	버림	26.661			26.400
	접속슬래브	36.629			36.270
5.교량받침					
교량받침	135KN	4			4

[표 2-5-23] 하부 교대 표준단면2 : 경간장 40m 표준물량

대표공종	부위	표준물량	상부폭원에 의한 증가율	높이별 증가율	추정물량
자재대					
1.1 레미콘					
24MPa	본체	816.166	1.000	1.058	863.830
	날개벽	153.566	1.000	1.058	162.535
	접속슬래브	132.053	1.000	1.000	132.053
16MPa	버림	26.524	1.000	1.000	26.524
	접속슬래브	30.500	1.000	1.000	30.500
1.2 철근					
d16-32	본체	70.528			76.939
	날개벽	13.270			14.045
	접속슬래브	26.462			32.574
1.3 시멘트					
무수축몰탈		1392.482			5569.928
2. 거푸집					
합판3회	본체	793.913	1.000	1.570	1057.651
	날개벽	478.691	1.000	1.570	637.712
합판4회	푸팅	173.600	1.000	1.570	173.600
	접속슬래브	46.692	1.000	1.570	46.392
합판6회	버림콘크리트	13.500	1.000	1.570	13.50
	접속슬래브	8.082	1.000	1.570	8.082
3.철근가공조립					
철근가공조립복잡	본체	67.693			13.481

[표 2-5-24] 하부 교대 표준단면2 : 경간장 40m 표준물량

대표공종	부위	표준물량	상부폭원에 의한 증가율	높이별 증가율	추정물량
자재대					
1.1 레미콘					
	날개벽	12.737			31.626
철근가공조립보통	접속슬래브	25.692			
4.콘크리트			855.277		
철근펌프카,15m 이하	본체	808.085	160.925		
	날개벽	152.046	130.746		
	접속슬래브	130.746	26.004		
무근펌프카,vib 제외	버림	26.661	29.902		26.400
	접속슬래브	36.629			36.270
5.교량받침					
교량받침	135KN	4			4

(3) 교각 표준단면 설정

○ 교각의 경우 교각의 높이와 밀접한 영향이 있는 것으로 연장보다는 교각 높이에 영향을 받기 때문에 경간장 40m, 교각높이 11.0m를 표준단면1, 경간장 45m, 교각높이 27.8m를 표준단면 2로 선정함

(4) 교각 대표공종 선정

○ 교각의 경우 배출원 자재부분에서 상위 3개공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 4개 공종을 대표공종으로 선정함

[표 2-5-25] 하부 교각공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

교각공의 자재로 인한 환경부하량			교각공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	96.37%	96.37%	콘크리트타설	45.43%	45.43%
거푸집	1.97%	98.34%	철근가공조립	23.54%	68.97%
철근가공조립	1.16%	99.50%	교량받침	21.71%	90.68%
			거푸집	7.68%	98.36%
Minor			Minor		
강관비계	0.41%	99.91%	무수축 콘크리트	1.26%	99.62%
동바리	0.09%	100.00%	자재운반비 모래	0.38%	100.00%

○ 교각의 경우 수량산출서를 기반으로 표준단면에서의 공종 특성 및 물량단위를 고려하여 공종별 단위물량을 산정함. 또한, 형식별로 경간장과 기초형식 여부에 따라 표준 단위물량을 산출함

[표 2-5-26] 하부 교각 대표공종 단위물량 산정방법

대표공종		단위	단위물량 산정방법
1.자재대			
레미콘 (24Mpa)	Coping	㎥	표준물량
	Footing		표준물량
	Column		$\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이
레미콘 (16Mpa)	버림콘크리트		표준물량
철근	Coping	ton	철근가공조립(ton) × (할증률)
	Footing		철근가공조립(ton) × (할증률)
	Column		철근가공조립(ton) × (할증률)
2.거푸집			
강재	Coping	㎡	표준물량
	Column		$\pi \times D \times Column$높이
합판 4회	Footing		표준물량
합판 6회	버림콘크리트		표준물량
3.철근가공조립			
매우복잡	Coping	ton	콘트리트 수량 × 철근비
	Footing		콘트리트 수량 × 철근비
	Column		콘트리트 수량 × 철근비
4.콘크리트 타설			
철근펌프카 15m이하	본체	㎥	레미콘(24Mpa)본체 물량/1.01
	날개벽		레미콘(24Mpa)날개벽 물량/1.01
	접속슬래브		레미콘(24Mpa)접속슬래브 물량/1.01
무근펌프카 vib제외	버림		레미콘(16Mpa)버림콘크리트 물량/1.01
5.교량받침			
교량받침(1350,1750KN)		ea	10ea/1교대

[표 2-5-27] 하부 교각 표준단면 1 : 경간장 40m 표준물량

대표공종(경간 40m)	부위	단위	표준물량	상부폭원에 의한 증가율	추정물량
1.1.레미콘					
24MPa	Coping	M³	450.359	1.000	450.359
	Footing	M³	1227.150	1.000	1227.150
	Column	M³	115.022		115.022
16MPa	버림	M³	51.800	1.000	51.800
1.2.철근 d16-32	Coping	ton	169.115		169.115
	Footing	ton	460.808		460.808
	Column	ton	43.192		43.192
1.3.시멘트		KG/M³	936.337		3745.347
2.거푸집					
강재거푸집	Coping	M²	538.356	1.000	538.356
	Column	M²	273.319		273.319
합판4회	Footing	M²	540.000	1.000	540.000
합판6회	버림	M²	22.080	1.000	22.080
3.철근가공조립					
철근가공조립매우복잡	Coping	ton	160.530		160.530
	Footing	ton	437.418		437.418
	Column	ton	40.999		40.999
4.콘크리트					
철근펌프카,15m이하	Coping	M³	445.900		445.900
	Footing	M³	1215.000		1215.000
	Column	M³	113.883		113.883
무근펌프카, vib제외	버림	M³	50.784		50.784
5.교량받침	1750KN	5ea/교각1당	4		4

[표 2-5-28] 하부 교각 표준단면 2 : 경간장 45m 표준물량

대표공종(경간 45m)	부위	단위	표준물량	상부폭원에 의한 증가율	추정물량
1.1.레미콘					
24MPa	Coping	M³	309.640	1.000	309.640
	Footing	M³	569.832	1.000	568.832
	Column	M³	105.768		105.768
16MPa	버림	M³	27.434	1.000	27.434
1.2.철근 d16-32	Coping	ton	56.123		56.123
	Footing	ton	103.101		103.101
	Column	ton	19.171		19.171
1.3.시멘트		KG/M³	1744.428		6977.712
2.거푸집					
강재거푸집	Coping	M²	346.310	1.000	346.310
	Column	M²	192.846		192.846
합판4회	Footing	M²	281.600	1.000	281.600
합판6회	버림	M²	13.120	1.000	13.120
3.철근가공조립					
철근가공조립매우복잡	Coping	ton	53.249		53.249
	Footing	ton	97.822		97.822
	Column	ton	18.189		18.189
4.콘크리트					
철근펌프카,15m이하	Coping	M³	306.574		306.574
	Footing	M³	563.200		563.200
	Column	M³	104.721		104.721
무근펌프카, vib제외	버림	M³	26.896		26.896
5.교량받침	1750KN	5ea/교각1당	4		4

(5) 기초 표준단면 설정

○ 기초의 경우 강관파일 공종 직경508mm, 두께12mm를 표준 파일형식으로 지정하였으며 기초당 강관파일 개수 30개로 지정함

(6) 기초 대표공종 선정

○ 기초의 경우 배출원 자재부분에서 상위 3개공종, 배출원 에너지 부분에서는 상위 2개 공종을 대표공종으로 선정함

[표 2-5-29] 하부 기초 자재, 에너지별 환경부하량 비율

기초공의 자재로 인한 환경부하량			기초공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
강관파일 자재비	87.15%	87.15%	강관천공후 항타	98.38%	98.38%
두부 및 선단보강	10.36%	97.51%	두부 및 선단보강	0.66%	99.04%
강관천공 후 항타	1.83%	99.34%			
Minor			Minor		
강관파일이음	0.66%	100.00%	콘크리트타설 (펌프카)	0.73%	99.77%
			강관파일이음	0.23%	100.00%

[표 2-5-30] 하부 기초 강관파일 부위별 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
강관파일 (508-12mm)	강관파일자재비	m	추정물량 = 강관파일깊이 × 30ea × 할증(1.05)	강관파일깊이 × 30ea
	강관파일천공 후 항타	m	추정물량 = (강관파일깊이-0.2) × 30ea	
	두부 및 선단보강	ea	추정물량 = 30ea	30ea

다. IPC Girder교 설계단계 환경부하 평가모델 검증

○ 구축한 모델의 정확도가 실제 사례의 환경부하량 값과 얼마나 차이가 나는지 검증하기 위하여 검증사례 5개에 대해 모델의 추정 환경부하량 값과 실제 사례의 환경부하량 값의 차이를 실제값으로 나눠서 각각 검증을 실시함

[표 2-5-31] 하부 기초 강관파일 부위별 산출방법

구분	사례1	사례2	사례3	사례4	사례5
차로수	4차로	4차로	4차로	4차로	4차로
기초형식	말뚝	말뚝	말뚝	말뚝	혼합
경간장	30m	35m	40m	40m	40m
경간구성	단경간	3경간	단경간	단경간	3경간
연장	30m	35m	40m	40m	120m
폭원	20.9m	20.9m	20.9m	20.9m	31.6
직교/사교	직교	사교	사교	사교	직교
교대높이	9.3m	7.0m	12.0m	10.0m	7.5m
교각높이	무	13.4m	무	무	20.6m

○ 본 연구에서 제시하고자 하는 모델은 도로시설물 중 교량에 한 부분인 IPC 거더 교량 전체의 환경부하 추정모델이며 상부와 하부(교대/교각/기초) 각각의 환경부하량을 합산하여 산출

[표 2-5-32] 검증결과

구분	추정값	실제값	오차율	오차절댓값
사례1	1.04E+02	1.06E+02	-1.62	1.62%
사례2	2.83E+02	2.57E+02	+10.14%	10.14%
사례3	1.50E+02	1.60E+02	-6.37%	6.37%
사례4	1.42E+02	1.46E+02	-2.73%	2.73%
사례5	4.51E+02	5.07E+02	-11.05%	11.05%
오차평균	6.38%			
표준편차	3.79%			

○ 검증사례 1~5의 오차율은 -1.62% ~ -11.05%로 나타났으며 오차평균은 6.38%, 표준편차 3.79%로 분석됨

2. PSC e-Beam교, DR Girder교

가. 기초자료 분석

○ PSC e-Beam교 사례(18개)에 대해 환경부하량 사례DB를 구축하고, 연장에 대한 환경부하량에 대해 기술통계량 분석을 실시한 결과, 평균은 3.2493, 표준편차는 1.6239, 최소값은 0.5247, 최대값 6.0814로 나타남

[표 2-5-33] PSC e-Beam교 연장당 환경부하량 기술통계량

기술통계량	본표본	10% 절사
N	18	16
범위	30.2903	5.5566
최소값	0.4887	0.5247
최대값	30.7790	6.0814
평균	4.6254	3.2493
표준편차	6.7344	1.6239
분산	45.3515	2.6371
왜도	3.8149	-0.1337
첨도	15.4986	-0.6596

○ 기능단위를 연장으로 설정하여 원단위 환경부하량을 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

[표 2-5-34] PSC e-Beam교의 영향범주별 원단위 환경부하량 (eco-point/m)

원단위 환경부하량 (eco-point/연장(m))									
구분	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
연장(m)	1.0640	0.0449	0.0343	1.5946	0.0123	0.2924	0.0432	0.1835	3.2493

○ 상부면적에 대한 환경부하량에 대해 기술통계량 분석을 실시한 결과, 평균은 0.1650, 표준편차는 0.0685, 최소값은 0.0318, 최대값 0.2910로 나타남

[표 2-5-35] PSC e-Beam교 상부면적당 환경부하량 기술통계량

기술통계량	본표본	10% 절사
N	18	16
범위	1.4770	0.2592
최소값	0.0318	0.0318
최대값	1.5088	0.2910
평균	0.2327	0.1650
표준편차	0.3262	0.0685
분산	0.1064	0.0047
왜도	3.9087	-0.1303
첨도	16.0430	0.1729

○ 기능단위를 상부면적으로 설정하여 원단위 환경부하량을 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

[표 2-5-36] PSC e-Beam교의 영향범주별 원단위 환경부하량 (eco-point/m^2)

원단위 환경부하량 (eco-point/상부면적(m^2))									
구분	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
상부면적(m^2)	0.0537	0.0023	0.0018	0.0810	0.0006	0.0149	0.0022	0.0094	0.1650

○ DR Girder교 사례(6개)에 대해 환경부하량 사례DB를 구축하고, 연장에 대한 환경부하량에 대해 기술통계량 분석을 실시한 결과, 평균은 1.0383, 표준편차는 1.1676, 최소값은 0.0360, 최대값 3.0624로 나타남

[표 2-5-37] DR Girder교 연장당 환경부하량 기술통계량

기술통계량	본표본
N	6
범위	3.0264
최소값	0.0360
최대값	3.0624
평균	1.0383
표준편차	1.1676
분산	1.3633
왜도	1.1448
첨도	0.9253

○ 기능단위를 연장으로 설정하여 원단위 환경부하량을 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

[표 2-5-38] DR Girder교의 영향범주별 원단위 환경부하량 (eco-point/m)

원단위 환경부하량 (eco-point/연장(m))									
구분	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
연장(m)	0.3222	0.0151	0.0131	0.5128	0.0042	0.0955	0.0123	0.0630	1.0383

○ 상부면적에 대한 환경부하량에 대해 기술통계량 분석을 실시한 결과, 평균은 0.1650, 표준편차는 0.0685, 최소값은 0.0318, 최대값 0.2910로 나타남

[표 2-5-39] DR Girder교 상부면적당 환경부하량 기술통계량

기술통계량	본표본
N	6
범위	0.1297
최소값	0.0014
최대값	0.1311
평균	0.0631
표준편차	0.0606
분산	0.0037
왜도	0.0586
첨도	-2.7969

○ 기능단위를 상부면적으로 설정하여 원단위 환경부하량을 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

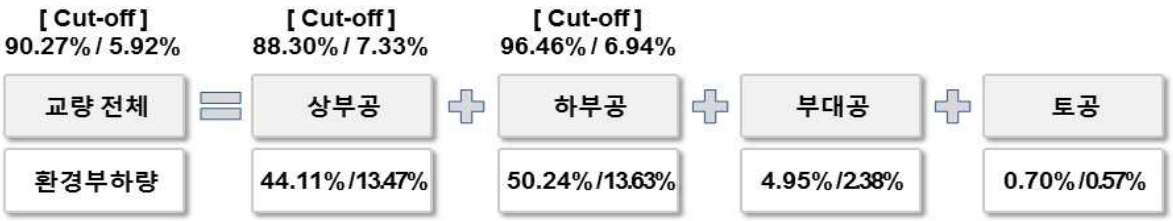
[표 2-5-40] DR Girder교의 영향범주별 원단위 환경부하량 (eco-point/m^2)

원단위 환경부하량 (eco-point/상부면적(m^2))									
구분	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
상부면적(m^2)	0.0195	0.0009	0.0008	0.0314	0.0002	0.0059	0.0008	0.0036	0.0631

나. PSC e-Beam교, DR Girder교 설계단계 환경부하 평가모델

○ PSC e-Beam교, DR Girder교에 대해 표준물량 기반 설계단계 환경부하 평가모델을 PSC Beam교 동일한 방법으로 개발함

○ 수집한 사례별 기초설계 자료를 바탕으로 교량의 부위별 공종별 환경부하 특성을 분석함. PSC e-Beam교의 경우, 전체 환경부하량에 대한 부위별 환경부하량 점유비율 결과가 다음 그림과 같이 분석됨



[그림 2-5-3] E Beam교 부위별 환경부하량 점유비율

○ DR Girder교의 경우, 전체 환경부하량에 대한 부위별 환경부하량 점유비율 결과가 다음그림과 같이 분석됨



[그림 2-5-4] DR Girder교 부위별 환경부하량 점유비율

(1) 대표공종 선정

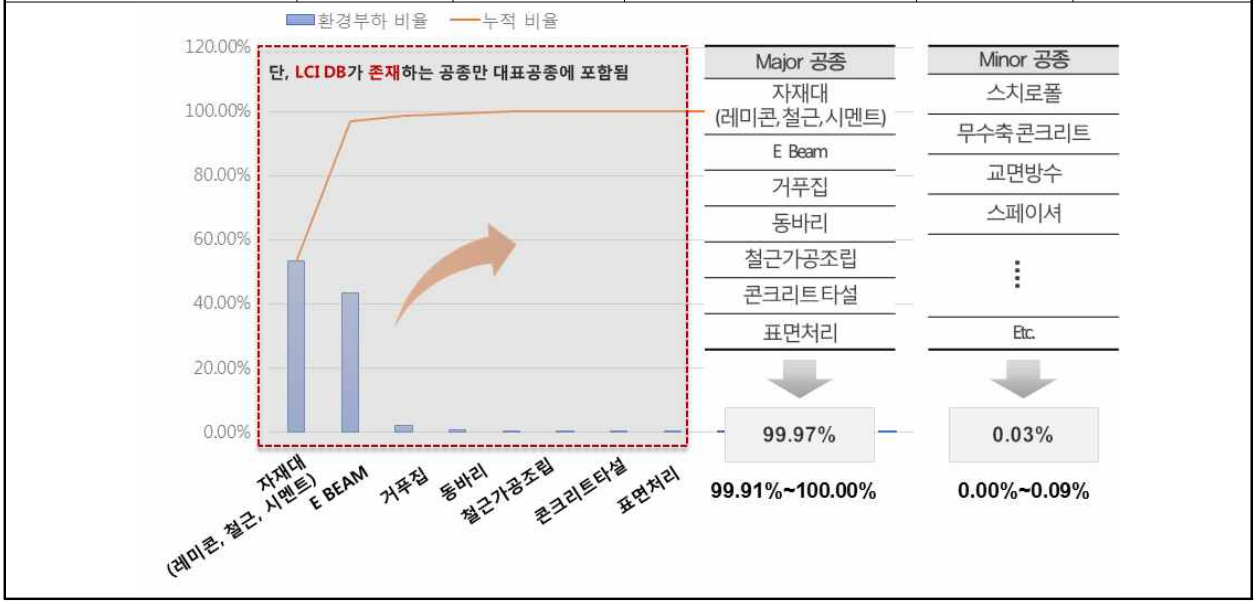
(가) 상부공의 대표공종

○ 환경부하 배출원에 따라 투입자원을 자재와 에너지로 분류하여 집계한 상부공의공종별 환경부하량 구성비율을 나타내고 있음

○ PSC e-Beam교의 경우, 배출원 자재부분에서는 상위 6개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 3개 공종을 대표공종으로 선정

[표 2-5-41] PSC e-Beam교 상부공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

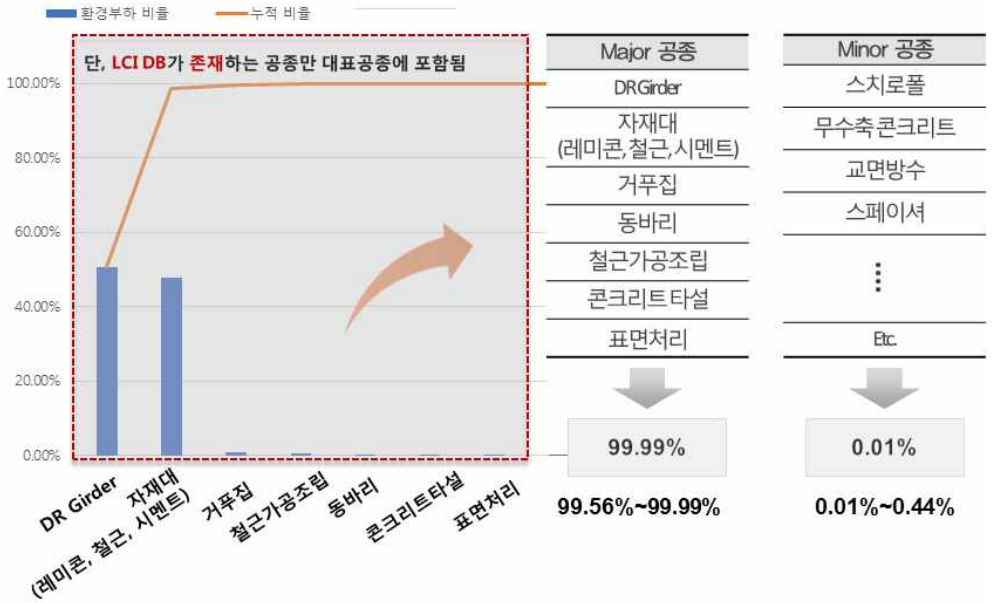
상부공의 자재로 인한 환경부하량			상부공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	53.79%	53.79%	E-Beam교	84.07%	84.07%
E-Beam교	43.16%	96.95%	콘크리트 타설	9.85%	93.92%
거푸집	1.93%	98.87%	표면처리(슬래브양생)	1.69%	95.61%
동바리	0.68%	99.56%			
철근가공조립	0.43%	99.99%			
표면처리(슬래브양생)	0.001%	99.99%			
Minor			Minor		
콘크리트 타설	0.003%	99.99%	자재운반비 철근	3.59%	99.2%
자재대 모래	0.003%	100.00%	자재운반비 모래	0.75%	99.95%
스치로폴	0.003%	100.00%	자재운반비 시멘트	0.05%	100.00%



○ DR Girder교의 경우, 배출원 자재부분에서는 상위 5개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 5개 공종을 대표공종으로 선정

[표 2-5-42] DR Girder교 상부공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

상부공의 자재로 인한 환경부하량			상부공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
DR GIRDER교	49.59%	49.59%	DR GIRDER교	83.67%	83.67%
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	47.59%	97.18%	동바리	4.32%	88.00%
동바리	1.35%	98.53%	콘크리트 타설	3.77%	91.77%
거푸집	0.97%	99.50%	철근가공조립	1.06%	92.83%
철근가공조립	0.38%	99.88%	표면처리(슬래브양생)	1.03%	93.86%
Minor			Minor		
자재대 모래	0.11%	99.99%	자재운반비 모래	6.14%	100.00%
스치로폴	0.003%	100.00%			



(나) 하부공의 대표공종 선정

○ 교량 하부공의 경우, 교대, 교각, 기초로 나누어 대표공종 선정. PSC e-Beam교 교대공의 경우, 배출원 자재부분에서 상위 5개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 2개 공종을 대표공종으로 선정

[표 2-5-43] PSC e-Beam교 교대공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

교대공의 자재로 인한 환경부하량			교대공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	94.09%	94.09%	콘크리트 타설	80.56%	80.56%
거푸집	4.39%	98.48%	교량받침	12.31%	92.88%
철근가공조립	0.85%	99.33%			
콘크리트 타설	0.01%	99.34%			
교량받침	0.005%	99.35%			
Minor			Minor		
강관비계	0.50%	99.85%	자재운반비 철근	6.68%	99.56%
아스팔트 방수	0.11%	99.96%	자재운반비 모래	0.33%	99.89%
다웰바 설치	0.02%	99.98%	무수축 콘크리트	0.10%	99.99%
스치로폴	0.01%	99.99%	자재운반비 시멘트	0.01%	100.00%
동바리	0.01%	100.00%			
무수축 콘크리트	0.001%	100.00%			
자재비 모래	0.0004%	100.00%			

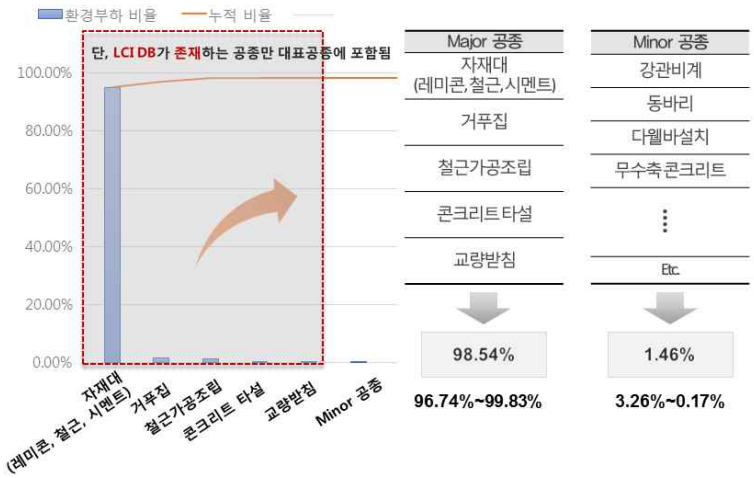


○ PSC e-Beam교 교각공의 경우, 배출원 자재부분에서 상위 5개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 4개 공종을 대표공종으로 선정

○ PSC e-Beam교 기초공의 경우, 배출원 자재부분에서 상위 3개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 2개 공종을 대표공종으로 선정

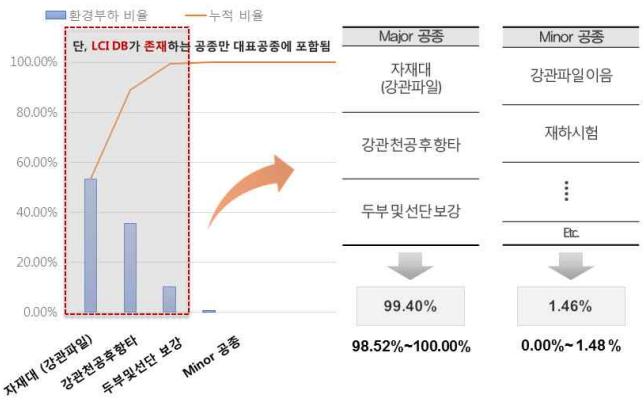
[표 2-5-44] PSC e-Beam교 교각공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

교각공의 자재로 인한 환경부하량			교각공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	95.22%	95.22%	콘크리트 타설	56.34%	56.34%
거푸집	1.90%	97.12%	교량받침	11.63%	67.97%
철근가공조립	1.32%	98.44%	거푸집	10.33%	78.30%
콘크리트 타설	0.02%	98.46%	철근가공조립	9.09%	87.39%
교량받침	0.02%	98.48%			
Minor			Minor		
강관비계	1.46%	99.94%	자재운반비 철근	12.07%	99.46%
동바리	0.06%	100.00%	자재운반비 모래	0.48%	99.95%
무수축 콘크리트	0.005%	100.00%	자재운반비 시멘트	0.05%	100.00%
자재비 모래	0.001%	100.00%			



[표 2-5-45] PSC e-Beam교 기초공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

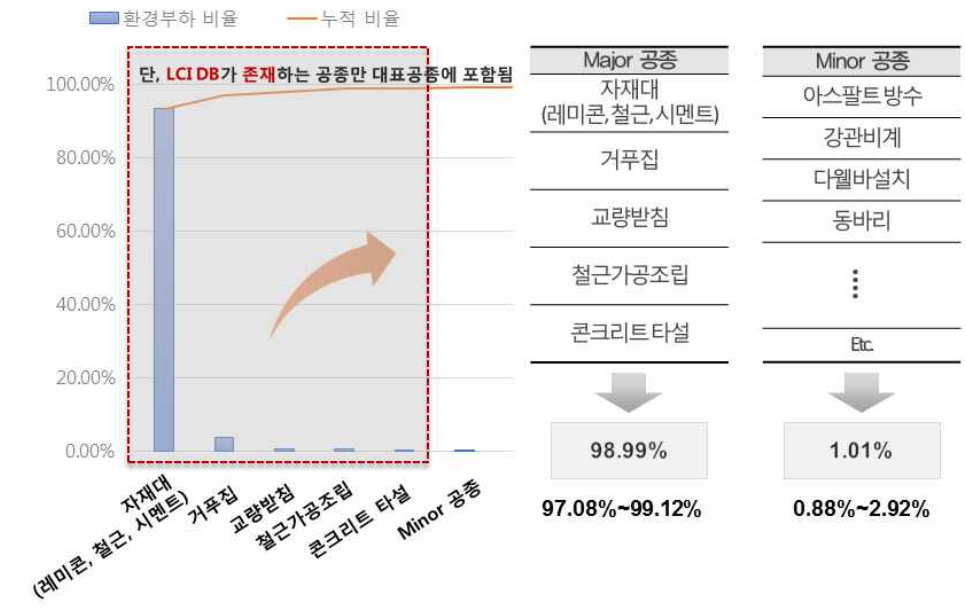
기초공의 자재로 인한 환경부하량			기초공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
강관파일 자재비	55.51%	55.51%	강관천공후항타	48.63%	48.63%
강관천공후항타	34.25%	89.76%	두부 및 선단 보강	25.80%	74.44%
두부 및 선단 보강	9.77%	99.53%			
Minor			Minor		
강관파일이음	0.47%	100.00%	강관파일이음	25.56%	100.00%



○ DR Girder교 교대공의 경우, 배출원 자재부분에서 상위 4개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 2개 공종을 대표공종으로 선정

[표 2-5-46] DR Girder교 교대공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

교대공의 자재로 인한 환경부하량			교대공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	93.64%	93.64%	콘크리트 타설	57.62%	57.62%
거푸집	3.75%	97.39%	교량받침	24.68%	82.30%
철근가공조립	0.83%	98.22%			
교량받침	0.77%	98.99%			
Minor			Minor		
강관비계	0.85%	99.84%	자재운반비 모래	17.70%	100.00%
아스팔트 방수	0.13%	99.97%			
다웰바 설치	0.02%	99.99%			
동바리	0.01%	100.00%			
스치로폴	0.002%	100.00%			



○ DR Girder교 교각공의 경우, 배출원 자재부분에서 상위 4개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 4개 공종을 대표공종으로 선정

○ DR Girder교 기초공의 경우, 배출원 자재부분에서 상위 3개 공종, 배출원 에너지부분에서는 상위 2개 공종을 대표공종으로 선정

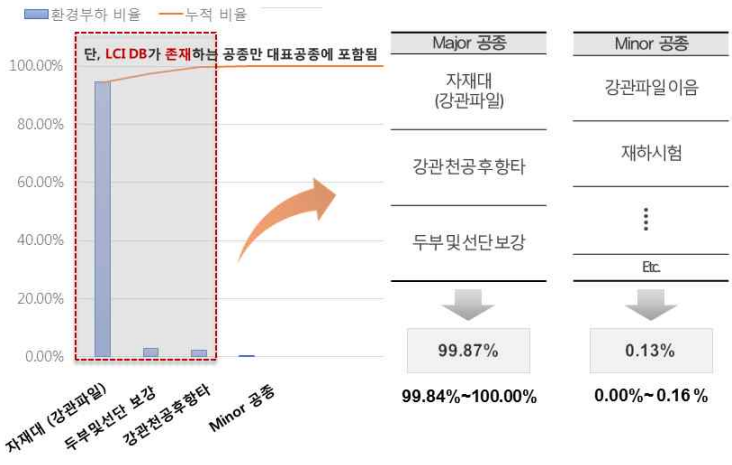
[표 2-5-47] DR Girder교 교각공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

교각공의 자재로 인한 환경부하량			교각공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
자재대 (레미콘,철근,시멘트)	94.26%	94.26%	콘크리트 타설	46.57%	46.57%
교량받침	1.57%	95.83%	교량받침	28.33%	74.90%
거푸집	1.47%	97.31%	거푸집	2.80%	77.70%
철근가공조립	1.13%	98.43%	철근가공조립	5.51%	83.21%
Minor			Minor		
강관비계	1.33%	99.76%	자재운반비 모래	15.47%	98.68%
동바리	0.23%	100.00%	동바리	1.32%	100.00%
자재비 모래	0.001%	100.00%			



[표 2-5-48] DR Girder교 기초공 자재, 에너지별 환경부하량 비율

기초공의 자재로 인한 환경부하량			기초공의 에너지로 인한 환경부하량		
공종명	비율	누적 비율	공종명	비율	누적 비율
Major			Major		
강관파일 자재비	96.71%	96.71%	강관천공후항타	98.16%	98.16%
두부 및 선단 보강	3.01%	99.73%	두부 및 선단 보강	1.73%	99.89%
강관천공후항타	0.14%	99.87%			
Minor			Minor		
강관파일이음	0.13%	100.00%	강관파일이음	0.11%	100.00%



(2) 표준물량 DB구축

(가) 상부공의 표준물량 DB구축

○ 4차로, 폭원 20.9m을 표준단면으로 설정하며, 경간당 빔 본수는 PSC e-Beam교, DR Girder 교는 8본으로 설정함

○ 대표공종의 단위물량 산정방법은 PSC Beam교와 동일하며, 경간장 40m, 45m에 대하여 표준 단위물량을 산출

[표 2-5-49] PSC e-Beam교 상부공 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준물량 (직교/사교)	
		경간장 40m	경간장 45m
1. 자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
19-40-15 (E BEAM)	㎥/본	40.338	50.572
25-27-15 (슬래브)	㎥/연장	5.355	4.15
25-27-15 (가로보)	㎥/경간당 (3개소)	27.811	35.599
1.2 철근		-	-
E BEAM	ton/본	6.106	6.151
슬래브	ton	가공조립X(1.0306/1.0359)	가공조립X(1.0384/1.0361)
가로보	ton	가공조립X(1.0349/1.0406)	가공조립X(1.0322/1.0406)
1.3 시멘트		-	-
몰탈(1:3)	kg/본	148.920	148.920
그라우팅 밀크	kg/본	558.600	598.500
2. E Beam	본/경간	-	-
2.1 E빔 제작	본/경간	8	8
2.2 E빔 설치	본/경간	8	8
2.3 E빔 전도방지	본/경간	8	8
2.4 SOLE PLATE	ea/본	2	2
3. 거푸집		-	-
합판 3회	㎡/연장	5.262	7.819
4. 철근가공조립		-	-
4.1 복잡		-	-
E BEAM	ton/본	5.926	7.027
슬래브	ton	콘크리트수량X(0.1649/0.1783)	콘크리트수량X(0.1868/0.1753)
가로보	ton	콘크리트수량X(0.1436/0.1317)	콘크리트수량X(0.1436/0.1317)
5. 동바리		-	-
5.1 데크 피니셔용	공/ ㎥/연장	2.710	3.264
5.2 일반 목재	공/ ㎥/연장	10.904	13.989
6. 표면처리(슬래브양생)		-	-
6.1 슬래브 양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	
6.2 데크 피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	
7.콘크리트 타설		-	-
7.1 철근(0~15m)	㎥	(슬래브+가로보)/1.01	
8.교면포장	㎥	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	

[표 2-5-50] DR Girder교 상부공 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준물량 (직교/사교)	
		경간장 40m	경간장 45m
1. 자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
19-40-15 (DR Girder)	㎥/본	33.861	43.694
25-27-15 (슬래브)	㎥/연장	4.250	5.322
25-27-15 (단부가로보)	㎥/2개소	8.077	6.877
25-27-15 (프리캐스트가로보 현타부)	㎥/경간당 (3개소)	12.078	16.998
19-40-15 (연속부 가로보)	㎥/연속부	25.544	27.705
1.2 철근		-	-
DR Girder	ton/본	4.241	5.578
슬래브	ton	철근가공조립 복잡 (슬래브) X (직교: 1.0316 / 사교: 1.0369)	
프리캐스트 가로보 현타부	ton	철근가공조립 복잡 (프리캐스트 가로보 현타부) X (직교: 1.0387 / 사교: 1.0444)	
가로보(단부, 연속부)	ton	철근가공조립 복잡 (단부, 연속부 가로보) X (직교: 1.0391 / 사교: 1.0448)	
1.3 시멘트		-	-
몰탈(1:3)	kg	147.772	174.930
그라우팅 밀크	kg	1054.400	1212.400
2. DR Girder	본/경간	-	-
2.1 DR Girder 제작	본/경간	8	8
2.2 DR Girder 설치	본/경간	8	8
2.3 DR Girder 전도방지	본/경간	8	8
2.4 Sole Plate	ea/본	2	2
2.5 Pre Deck	㎡/연장	(폭원-1.9-1.2*경간당 DR거더 제작본수) * 연장	
2.6 프리캐스트 가로보	본/경간 (3개소)	3*(경간당 DR거더 제작본수 - 2) *경간수 * 폭원비율	
3.거푸집		-	-
합판 3회	㎡/연장	3.566	5.322
4. 철근가공조립		-	-
4.1 복잡		-	-
DR Girder	ton/본	4.157	5.416
슬래브	ton	레미콘 (슬래브)/1.01 X (직교: 0.1261 / 사교: 0.1363)	
프리캐스트 가로보 현타부	ton	레미콘 (프리캐스트 가로보 현타부)/1.01 X (직교: 0.1762 / 사교: 0.1616)	
가로보(단부, 연속부)	ton	레미콘 (단부, 연속부 가로보)/1.01 X (직교: 0.0669 / 사교: 0.0613)	
5. 동바리		-	-
5.1 데크 피니셔용	공/ ㎥/연장	1.889	4.477
5.2 일반 목재	공/ ㎥/연장	18.068	11.371
6.슬래브 양생(표면처리)		-	-
6.1 슬래브 양생	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	
6.2 데크 피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	
7.콘크리트 타설		-	-
7.1 철근(0~15m)	㎥	(레미콘 슬래브 + 레미콘 가로보)/1.01	
8.교면포장	㎥	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)	

(나) 하부공의 표준물량 DB구축

○PSC e-Beam교, DR Girder교의 하부공 표준단면은 PSC Beam교와 동일하며, 경간장 40m, 45m에 대하여 표준 단위물량을 산출함

[표 2-5-51] PSC e-Beam교 교대공 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준물량	
		경간장 40m	경간장 45m
1. 자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
25-24-15(본체)	㎥	119.244	125.737
25-24-15(날개벽)	㎥	10.637	13.994
25-24-15(접속슬래브)	㎥	28.870	
25-16-15(버림 콘크리트)	㎥	4.778	5.103
25-16-15(접속슬래브)	㎥	7.464	
1.2 철근		-	-
본체	ton	철근가공조립(본체) × 철근 할증률	
날개벽	ton	철근가공조립(날개벽) × 철근 할증률	
접속슬래브	ton	철근가공조립(접속슬래브) × 1.03	
1.3 시멘트		-	-
무수축 몰탈(1:1)	kg	52.464 ×교량받침개수	93.998 ×교량받침개수
2. 거푸집		-	-
합판 3회(본체)	㎡	113.153	164.328
합판 3회(날개벽)	㎡	45.542	58.607
합판 4회(푸팅)	㎡	25.090	29.890
합판 4회(접속슬래브)	㎡	7.330	
합판 6회(버림 콘크리트)	㎡	2.645	3.029
합판 6회(접속슬래브)	㎡	1.863	
3. 철근가공조립		-	-
3.1 복잡		-	-
본체	ton	철근 펌프카, 15m이하(본체) × 철근비	
날개벽	ton	철근 펌프카, 15m이하(날개벽) × 철근비	
3.2 보통		-	-
접속슬래브	ton	철근 펌프카, 15m이하(접속슬래브) × 0.1965	
4. 콘크리트 타설		-	-
4.1 철근펌프카, 15m이하		-	-
본체	㎥	본체 콘크리트/1.01	
날개벽	㎥	날개벽 콘크리트/1.01	
접속슬래브	㎥	접속슬래브 콘크리트/1.01	
4.2 무근펌프카, vib제외		-	-
버림 콘크리트	㎥	버림 콘크리트/1.02	
접속슬래브	㎥	접속슬래브 버림 콘크리트/1.02	
5. 교량받침		-	-
교량받침	ea	4	

[표 2-5-52] PSC e-Beam교 교각공 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준물량	
		경간장 40m	경간장 45m
1. 자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
25-24-15(Coping)	㎥	55.424	66.414
25-24-15(Footing)	㎥	129.280	139.986
25-24-15(Column)	㎥	$\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 ×1.01 (기둥높이= 교각 높이 - 4.5) (기둥직경 : 2.5 m)	$\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 ×1.01 (기둥높이= 교각 높이 - 5.2) (기둥직경 : 2.8 m)
25-16-15(버림 콘크리트)	㎥	6.858	6.756
1.2 철근		-	-
Coping	ton	철근가공조립(Coping) × 철근 할증률	
Footin	ton	철근가공조립(Footing) × 철근 할증률	
Column	ton	철근가공조립(Column) × 철근 할증률	
1.3 시멘트		-	-
무수축 몰탈(1:1)	kg	76.874 ×교량받침개수	54.923 ×교량받침개수
2. 거푸집		-	-
2.1 강재거푸집		-	-
Coping	㎡	73.284	90.26
Column	㎡	$\pi \times D \times Column$높이 (기둥높이= 교각 높이 - 4.5)	$\pi \times D \times Column$높이 (기둥높이= 교각 높이 - 5.2)
2.2 합판거푸집		-	-
합판 4회(Footing)	㎡	64.000	70.400
합판 6회(버림 콘크리트)	㎡	3.280	3.280
3. 철근가공조립		-	-
3.1 매우복잡		-	-
Coping	ton	콘크리트타설(Coping) ×철근비(0.17773)	콘크리트타설(Coping) ×철근비(0.15621)
Footing	ton	콘크리트타설(Footing) ×철근비(0.08684)	콘크리트타설(Footing) ×철근비(0.09693)
Column		콘크리트타설(Column) × 철근비(높이별)	
4. 콘크리트 타설		-	-
4.1 철근펌프카, 15m이하		-	-
Coping	㎥	25-24-15(Coping)/1.01	
Footing	㎥	25-24-15(Footing)/1.01	
Column	㎥	25-24-15(Column)/1.01	
4.2 무근펌프카, vib제외		-	-
버림 콘크리트	㎥	25-16-15(버림 콘크리트)/1.02	
5. 교량받침		-	-
교량받침	ea	4	

■ DR Girder교의 경우, 경간장 40m, 45m에 대하여 표준 단위물량을 산출

[표 2-5-53] DR Girder교 교대공 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	경간장 40m	경간장 45m
1. 자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
25-24-15(본체)	㎥	119.244	125.737
25-24-15(날개벽)	㎥	10.637	13.994
25-24-15(접속슬래브)	㎥	28.870	
25-16-15(버림 콘크리트)	㎥	4.778	5.103
25-16-15(접속슬래브)	㎥	7.464	
1.2 철근		-	-
본체	ton	철근가공조립(본체) × 철근 할증률	
날개벽	ton	철근가공조립(날개벽) × 철근 할증률	
접속슬래브	ton	철근가공조립(접속슬래브) × 1.03	
1.3 시멘트		-	-
무수축 몰탈(1:1)	kg	52.464 ×교량받침개수	93.998 ×교량받침개수
2. 거푸집		-	-
합판 3회(본체)	㎡	113.153	164.328
합판 3회(날개벽)	㎡	45.542	58.607
합판 4회(푸팅)	㎡	25.090	29.890
합판 4회(접속슬래브)	㎡	7.330	
합판 6회(버림 콘크리트)	㎡	2.645	3.029
합판 6회(접속슬래브)	㎡	1.863	
3. 철근가공조립		-	-
3.1 복잡		-	-
본체	ton	철근 펌프카, 15m이하(본체) × 철근비	
날개벽	ton	철근 펌프카, 15m이하(날개벽) × 철근비	
3.2 보통		-	-
접속슬래브	ton	철근 펌프카, 15m이하(접속슬래브) × 0.1965	
4. 콘크리트 타설		-	-
4.1 철근펌프카, 15m이하		-	-
본체	㎥	본체 콘크리트/1.01	
날개벽	㎥	날개벽 콘크리트/1.01	
접속슬래브	㎥	접속슬래브 콘크리트/1.01	
4.2 무근펌프카, vib제외		-	-
버림 콘크리트	㎥	버림 콘크리트/1.02	
접속슬래브	㎥	접속슬래브 버림 콘크리트/1.02	
5. 교량받침		-	-
교량받침	ea	4	

[표 2-5-54] DR Girder교 교각공 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준물량	
		경간장 40m	경간장 45m
1. 자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
25-24-15(Coping)	㎥	55.424	66.414
25-24-15(Footing)	㎥	129.280	139.986
25-24-15(Column)	㎥	$\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 ×1.01 (기둥높이= 교각 높이 - 4.5) (기둥직경 : 2.5 m)	$\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 ×1.01 (기둥높이= 교각 높이 - 5.2) (기둥직경 : 2.8 m)
25-16-15(버림 콘크리트)	㎥	6.858	6.756
1.2 철근		-	-
Coping	ton	철근가공조립(Coping) × 철근 할증률	
Footin	ton	철근가공조립(Footing) × 철근 할증률	
Column	ton	철근가공조립(Column) × 철근 할증률	
1.3 시멘트		-	-
무수축 몰탈(1:1)	kg	76.874	54.923
2. 거푸집		-	-
2.1 강재거푸집		-	-
Coping	㎡	73.284	90.26
Column	㎡	$\pi \times D \times Column$높이 (기둥높이= 교각 높이 - 4.5)	$\pi \times D \times Column$높이 (기둥높이= 교각 높이 - 5.2)
2.2 합판거푸집		-	-
합판 4회(Footing)	㎡	64.000	70.400
합판 6회(버림 콘크리트)	㎡	3.280	3.280
3. 철근가공조립		-	-
3.1 매우복잡		-	-
Coping	ton	콘크리트타설(Coping) ×철근비(0.17773)	콘크리트타설(Coping) ×철근비(0.15621)
Footing	ton	콘크리트타설(Footing) ×철근비(0.08684)	콘크리트타설(Footing) ×철근비(0.09693)
Column		콘크리트타설(Column) × 철근비(높이별)	
4. 콘크리트 타설		-	-
4.1 철근펌프카, 15m이하		-	-
Coping	㎥	25-24-15(Coping)/1.01	
Footing	㎥	25-24-15(Footing)/1.01	
Column	㎥	25-24-15(Column)/1.01	
4.2 무근펌프카, vib제외		-	-
버림 콘크리트	㎥	25-16-15(버림 콘크리트)/1.02	
5. 교량받침		-	-
교량받침	ea	4	

(3) 소요자원 DB 구축

○ 표준물량 DB를 통해 도출된 추정물량과 LCI DB를 함께 연계하여 대표공종의 환경부하량을 산출하기 위해 대표공종의 단위당 소요자원의 목록과 수량을 정리한 자원DB를 구축하였음

○ 자원 DB는 표준품셈, 국도건설 설계실무요령을 기반으로 하여 가장 표준적인 대표종공의 소요자원 항목과 수량을 도출한 것으로, 경간(40m, 45m)에 따라 구분하여 부위별로 자원DB를 구축함. [표 2-5-55]는 소요 자원DB의 예시자료로써, 경간40m 상부공의 PSC e-Beam교 제작공종에 대한 자원DB이며, 그 밖의 부위별 전체 자원DB는 [부록A 4.4]에 수록함

[표 2-5-55] PSC e-Beam교 상부공 자원DB(경간장 40m)

공종명	규격	단위	자재명	규격	단위수량	단위	LCI DB 연결
14.E BEAM교							
14.a. E BEAM 제작	40m	본	ㄱ형강	75x75x6M/M 6.85KG/M	0.2782871	M/T	형강
			열연박판	4.5≤T<6.00 914x1829M/M SS41	0.2442906	M/T	열연코일
			열연후판	9.0 <T≤ 20.0 2438x6096mm SS41	0	M/T	열연코일
			열연후판	20.0 <T≤ 30.0 2438x6096mm SS41	0.2981	M/T	열연코일
			보통철선	#8 4.0M/M 10.1M/KG	0.08	KG	선재
			직선결속선	#20 4.5M/M	50.656	KG	선재
			PC강연선(2종)	15.2M/M 3연선	3,141.60	KG	선재
			철못	N75 75x3.25M/M 25KG/상자	7.98	KG	선재
			고장력볼트	M16x70mm (너트.와셔포함)	18.128006	SET	선재
			스터드볼트	M22x100	0	EA	선재
			스터드볼트	M22x150	32.96	EA	선재
			혼화제		8.498	KG	-
			미송각재	3.6mx3.6cmx3.6cm (상품)	1.5608808	M3	합판
			미송판재	3.6m x 30cm x 2.4cm (상품)	0.06384	M3	합판
			나선형시즈관	45mm	66.22	m	용융아연도금강판
			나선형시즈관	75mm	238.121	m	용융아연도금강판
			PC 콘(유지보수용 4T)	(φ15.2mm*4)	4	SET	-
			PC 콘(일반용 12T)	(φ15.2mm*12)	12	조	-
			꺽 쇠	3부 10mm~150mm	29.3664	KG	형강
			용접봉(연강용)	3.2mm KSE4301	12.924973	KG	선재
			산소	99% 6000ℓ(기체) 40ℓ	0.7343282	L	산소
			아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	1.9679343	KG	아세틸렌
			고철설	용해용(상) (매입가)	177.12912	KG	-
14.b. E BEAM 가설	40m	본	경 유		153.07148	L	경유
14.d. E BEAM 전도방지공		본	이형철근	D16m/m, 1.560kg/m	21.63	KG	철근
			와이어로우프(흑선)	6x7 10m/m, 0.364kg/m	0.26244	KG	선재
			각재(외송)		0.0104286	M3	합판
			용접봉(연강용)	3.2mm KSE4301	5.28	KG	선재
			고철설	용해용(상) (매입가)	0.0534	KG	철근
			턴버클	1"×12"	0.1142857	EA	-
			클 립	5" / 8	0.2285714	EA	-
14.c. SOLE PLATE 제작		본	열연후판	30.0 <T≤ 40.0 2438x6096mm SS41	1.1	M/T	열연코일
			용접봉(연강용)	3.2mm KSE4301	18.48	KG	선재
			산소	99% 6000ℓ(기체) 40ℓ	1.05	L	산소
			아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	2.8	KG	아세틸렌
			고철대	용해용(상) (매입가)	0.1	M/T	열연코일

[표 2-5-56] DR Girder교 상부공 자원DB(경간장 40m)

공종명	규격	단위	자재명	규격	단위수량	단위	LCI DB 연결
14.DR Girder							
14.a. DR Girder제작	40M	본	철근(SD30A)	D=13m/m	0.0002724	M/T	철근
			ㄱ형강	50x50x5/M	0.019455	M/T	형강
			ㄱ형강	75x75x6M/M 6.85KG/M	0.0727422	M/T	형강
			열연박판	4.5≤T<6.00 914x1829M/M SS41	0.180912	M/T	열연코일
			열연후판	9.0 <T≤ 20.0 2438x6096mm SS41	0.0911078	M/T	열연코일
			철선(직선결속선)	#20 3.5M/M	1.386348	KG	선재
			직선결속선	#20 4.5M/M	32.888	KG	선재
			PC강연선(2종)	12.7M/M 3연선 774.0KG/KM	2,018.10	KG	선재
			육각볼트	M16x50mm	4.3595737	EA	선재
			육각볼트	M16x60mm	8.2347373	EA	선재
			미송각재	3.6m x 3.6cm x 3.6cm (상품)	0.0439878	M3	합판
			PVC파이프(일반용VG2)	100㎜ x 4m	2.1	M	vg2-100
			용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	8.124836	KG	선재
			산소	99% 6000ℓ(기체) 40ℓ	0.4615893	병	산소
			아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	1.241229	KG	아세틸렌
			고 철		0.0965187	M/T	-
			쉬스관	Φ75㎜	80.36604	M	용융아연도금강판
			쉬스관	Φ80㎜	128.89908	M	용융아연도금강판
			정착구	350x350 15가닥용	6	set	-
			2차정착구(재긴장용)	15.2㎜ 7가닥용	2	set	-
			보호캡	7가닥용	4	set	-
			2차 정착공(고정용)	15.2㎜ 7가닥용	2	SET	-
			PC강연선(비부착)	15.2M/M 7연선	0.6825	M/T	선재
			혼화제	그라우팅 MILK 용	10.472	KG	-
			플라이애쉬		146.608	KG	-
			경 유		47.736	L	경유
			경유	저유황(0.1%)	24.430896	L	경유
			전기료		55.389572	KWH	전기
14.b.DR거더 가설	40M	본	경유	저유황(0.1%)	242.70593	L	경유
14.d. DR거더 전도방지공		본	직선결속선	#20 4.5M/M	0.0312	KG	선재
			턴버클	1"x12"	0.1142857	EA	-
			클립	5/8"	0.2285714	개	-
			원형철근	D=16M/M	6.4272	KG	철근
			와이어로프	10mm-6X24 FC 도금	0.36	M	-
			각재	외송	0.0104286	M3	합판
14.c. SOLE PLATE 제작		본	전기료		13.8474	KWH	전기
			열연박판	3.0≤T<4.00 914x1829M/M SS41	0.12089	M/T	열연코일
			용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	2.030952	KG	선재
			산소	99% 6000ℓ(기체) 40ℓ	0.115395	병	산소
			아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	0.30772	KG	아세틸렌
2.5. PRE DECK		M2	레 미 콘	40-21-15	0.10706	M3	레미콘
			철근(SD30A)	D=16m/m-32m/m	0.0412	M/T	철근
			직선결속선	#20 4.5M/M	0.26	KG	선재
			실런트	우레탄계	0.1866667	kg	도료-우레탄계
2.6. PRE CAST 가로보		본	레 미 콘	40-21-15	0.45046	M3	레미콘
			철근(SD30A)	D=13m/m	0.03571	M/T	철근
			직선결속선	#20 4.5M/M	0.221	KG	선재
			미송각재	3.6m x 3.6cm x 3.6cm (상품)	0.08	M3	합판
			안전발판	경량발판	0.1022223	ea	-
			용접봉	산소 3.2MM	1.92	kg	선재
			실런트	우레탄계	4.725	kg	도료-우레탄계

3. PSC Box Girder교

가. 대표공종의 단위물량을 이용한 교량의 환경부하 평가모델 개발

○ PSC Beam교 개발방법과 동일함

나. 기초자료 수집 및 수집사례 환경부하 특성 분석

(1) 기초자료 수집 및 현황

○ 자료수집은 PSC Beam교 수집방법과 동일

○ 기초자료는 FCM공법의 PSC BOX교 3건을 수집

(2) 수집사례 환경부하 특성 분석

○ 수집한 사례별 기초설계 자료를 바탕으로 교량의 부위별 공종별 환경부하 특성을 분석함

○ 분석 결과, PSC BOX교(FCM)의 전체 환경부하량 중 상부공이 64.8%, 하부공(교대, 교각, 기초)이 29.9%를 차지하는 것으로 나타나, 설계단계 환경부하 평가모델 개발 시 표준물량 및 소요자원DB 구축 대상 공종으로 선정함

○ 부대공 및 토공의 환경부하량은 5.3%로 나타나, 상부공 및 하부공에 의해 산출된 환경부하량에 부대공 및 토공의 비율만큼 환경부하량을 반영하여 최종적으로 전체 환경부하량을 산출함

(3) 대표공종 선정

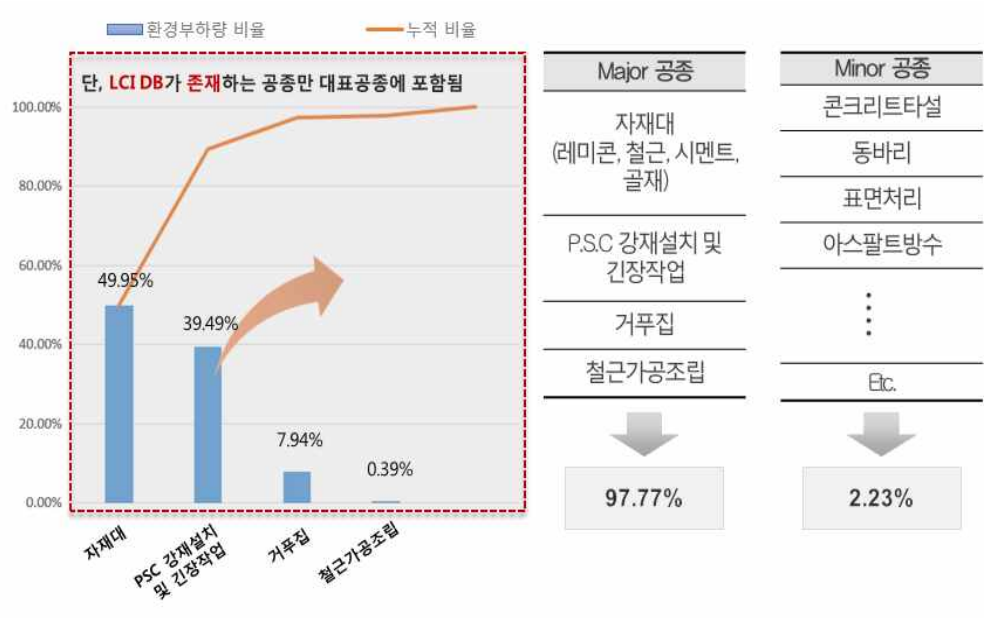
○ 대표공종 선정방법은 PSC Beam교와 동일

○ 상부공 : PSC BOX교(FCM) 상부공의 경우, 상위 4개 공종을 대표공종으로 선정

○ 다음 표는 상부공의 공종별 환경부하량 구성비율을 나타내고 있음

[표 2-5-57] PSC BOX교(FCM) 상부공의 환경부하량 비율

상부공의 환경부하량			
구분	공종명	비율	누적 비율
Major	자재대(레미콘,철근,시멘트,골재)	49.95%	49.95%
	P.S.C 강재설치 및 긴장작업	39.49%	89.44%
	거푸집	7.94%	97.39%
	철근가공조립	0.39%	97.77%
Minor	콘크리트 타설 등	2.23%	100.00%



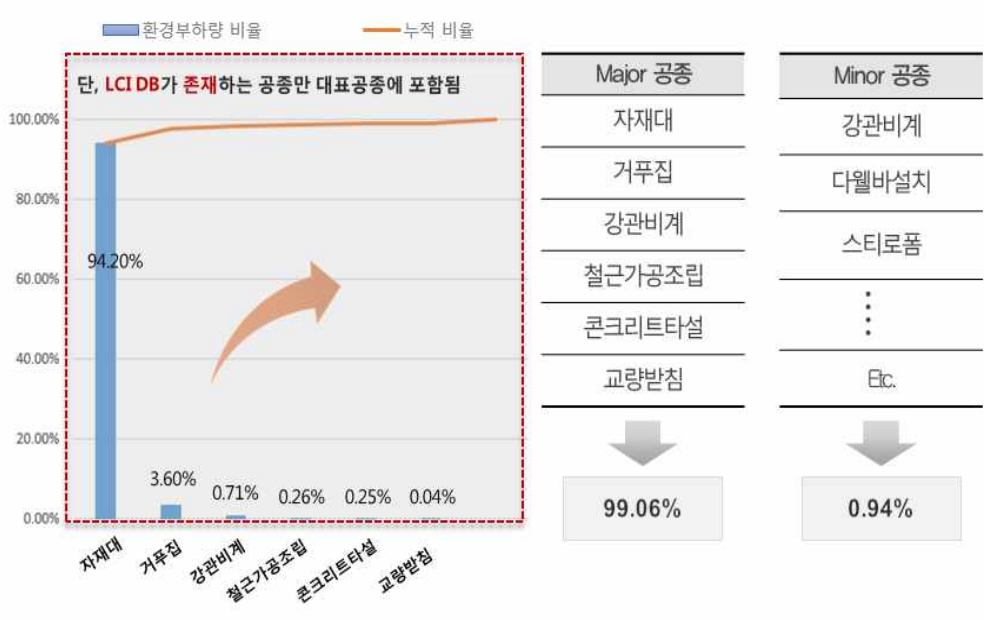
[그림 2-5-5] PSC BOX교(FCM) 상부공 대표공종

○ 하부공 : PSC BOX교 교대공의 경우, 상위 6개 공종을 대표공종으로 선정

○ 교량 하부공의 경우, 교대, 교각, 기초로 나누어 대표공종 선정

[표 2-5-58] PSC BOX교(FCM) 하부(교대공)의 환경부하량 비율

하부(교대공)의 환경부하량			
구분	공종명	비율	누적 비율
Major	자재대	94.20%	94.20%
	거푸집	3.60%	97.80%
	강관비계	0.71%	98.51%
	철근가공조립	0.26%	98.77%
	콘크리트타설	0.25%	99.02%
	교량받침	0.04%	99.06%
Minor	강관비계, 다웰바설치 등	0.87%	100.00%



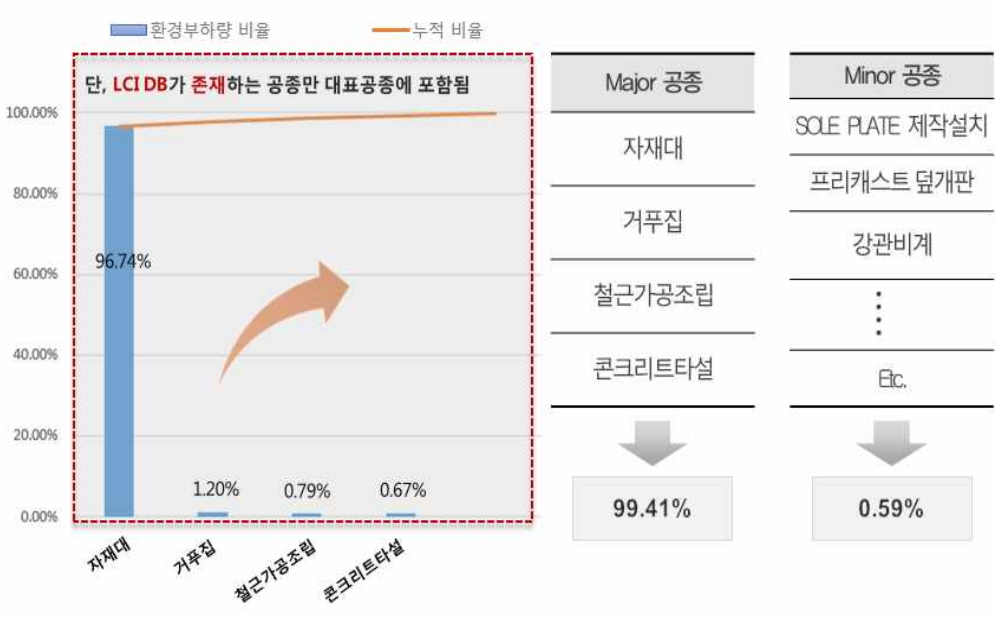
[그림 2-5-6] PSC BOX교(FCM) 하부(교대공) 대표공종

○ PSC BOX교(FCM) 교각공의 경우, 상위 4개 공종을 대표공종으로 선정

○ 자재대, 거푸집, 철근가공조립, 콘크리트타설 공종 4개 공종이 교각 부위의 전체 환경부하량의 99.41%를 차지하는 Major 공종으로 분석되었음

[표 2-5-59] PSC BOX교(FCM) 하부(교각공)의 환경부하량 비율

하부공의 환경부하량			
구분	공종명	비율	누적 비율
Major	자재대	96.74%	96.74%
	거푸집	1.20%	97.94%
	철근가공조립	0.79%	98.73%
	콘크리트타설	0.67%	99.41%
Minor	SOLE PLATE 제작설치 등	0.59%	100.00%



[그림 2-5-7] PSC BOX교(FCM) 하부(교각공) 대표공종

○ PSC BOX교(FCM) 기초공의 경우, 수집된 3개 사례가 각각 강관파일, 현장타설말뚝, 우물통기초로 기초형식에 따라 세부공종 구성 및 환경부하 비율이 서로 다르기 때문에, 주로 많이 쓰이는 직접기초와 강관파일기초를 이용하여 모델을 개발

[표 2-5-60] PSC BOX교(FCM) 기초공의 기초형식별 세부공종 구성 및 환경부하 비율

둔남천교		
기초형식		강관파일
하부(기초공) 환경부하 비율		1.8%
하부(기초공) 100% 중	강관파일공	72.06%
	주요자재대	27.94%
백석교		
기초형식		현장타설말뚝
하부(기초공) 환경부하 비율		2.6%
하부(기초공) 100% 중	파일공	35.18%
	자재대	64.82%
장계대교		
기초형식		우물통기초
하부(기초공) 환경부하 비율		26.4%
하부(기초공) 100% 중	자재대	92.45%
	콘크리트타설	2.99%
	강관파일	2.51%
	우물통	1.57%
	거푸집	0.4%
	기타	0.08%

다. 표준단면기반의 표준물량 DB 구축

○ 대표공종의 단위물량 산정방법은 PSC Beam교와 동일하며, 경간장 100m, 폭원 11.8m를 표준단면으로 설정하여 표준물량 산출

[표 2-5-61] PSC BOX 표준물량(상부공)

대표공종	단위	표준물량
1. 자재대		
1.1 레미콘		
19-40-15(저발열)	M3	콘크리트 타설*1.01
1.2 철근		
D16~32mm	TON	철근가공조립*1.03
1.3 시멘트		
그라우팅밀크	KG	468.9
2. PSC강재설치 및 긴장작업		
2.1 쉬스관 조립		
D110/113mm	M	1741.63
D100/113mm	M	666.986
2.2 정착장치 설치		
22x15.2mm(긴장)	EA	69.139
19x15.2mm(긴장)	EA	69.139
22x15.2mm(고정)	EA	69.139
19x15.2mm(고정)	EA	69.139
2.3 PSC 강재설치		
직선배치	TON	64.955
2.4 긴장작업		
22x15.2mm(일단)	EA	34.45
19x15.2mm(일단)	EA	34.45
22x15.2mm(양단)	EA	34.45
19x15.2mm(양단)	EA	34.45
3. PSC BOX 설치		
3.1 Form Traveller		
운영료	회	72
3.2 Tower Crane		
사용료	개월	64
설치 및 해제	회	4
3.3 작업용 승강기		
사용료	개월	64
설치 및 해제	회	4
3.4 가시설		
주두부 가시설	식	IF(연장-(경간장*경간수)<=50,1개,2개)
측경간 가시설	식	IF(연장-(경간장*경간수)<=50,1개,2개)
KEY SEG 가설설치	식	1
4. 거푸집		
합판 1회	M2	394.737
합판 3회	M2	654.785
합판 4회	M2	284.400
5. 철근가공조립		
복잡	TON	213.93
6. 콘크리트 타설		
철근,펌프카, 15m이하	M3	1274.16
7. 교면포장		
아스팔트,8cm	M2	(폭원-0.9-0.5)*연장

[표 2-5-62] PSC BOX 표준물량(교대공)

대표공종	단위	표준물량
1. 자재대		
1.1 레미콘		
25-24-15	M3	콘크리트타설(본체)*1.01
25-16-15	M3	콘크리트타설(버림)*1.02
1.2 철근		
D13㎜	TON	철근가공조립*0.0148
D16~32㎜	TON	철근가공조립*0.9852
1.3 시멘트		
무수축몰탈	M3	0.343
2. 거푸집		
합판 3회	M3	1.112*콘크리트타설*0.8009
합판 4회	M3	1.112*콘크리트타설*0.1868
합판 6회	M3	1.112*콘크리트타설*0.0123
3. 철근가공조립		
복잡	TON	콘크리트 타설*0.082
4. 콘크리트 타설		
4.1 본체, 철근,펌프카, 15m이하	M3	5.185*폭원*교대높이
4.2 버림, 무근	M3	(폭원+0.2)*(8.5+0.2)*0.1
5. 교량받침		
일방향 4000kN	EA	3

[표 2-5-63] PSC BOX 표준물량(교각공)

대표공종	단위	표준물량
1. 자재대		
1.1 레미콘		
25-27-15	M3	콘크리트 타설(본체+코핑+푸팅)*1.01
25-16-15	M3	콘크리트 타설(버림)*1.02
1.2 철근		
H13㎜	TON	철근가공조립*1.06*0.1
H16~32㎜	TON	철근가공조립*1.06*0.9
1.3 시멘트		
무수축몰탈	M3	1.979
2. 거푸집		
2.1 합판거푸집	M2	
합판 4회	M2	(폭원+폭원)*2*기초높이
합판 6회	M2	(폭원+0.2)*(폭원+0.2)*0.1*2
2.2 강재거푸집	M2	
강재거푸집(코핑)	M2	87.5
강재거푸집(기둥)	M2	π*(기둥가로/2)*(기둥세로/2)*(교각높이-코핑높이-기초높이)
3. 철근가공조립		
매우복잡	TON	0.265*(콘크리트타설 본체+코핑+푸팅)
4. 콘크리트 타설		
4,1 철근,펌프카, 15m이하(본체)	M3	229.406
4.2 철근,펌프카, 15m이하(코핑)	M3	(코핑폭*5-2.75*2.5)*코핑길이
4.3 철근,펌프카, 15m이하(푸팅)	M3	폭원*폭원*기초높이
4.4 무근	M3	(폭원+0.2)*(폭원+0.2)*0.1
5. 교량받침		
일방향 4000kN	EA	3

[표 2-5-64] PSC BOX 표준물량(기초공-Mass콘크리트)

대표 공종	단위	교대	교각
1. 자재대			
1.1 레미콘			
40-18-15(Mass Con’c)	㎥	(기초폭+0.2)*(폭원+0.2)*매스깊이*(폭원/11.8)	(폭원+0.2)*(폭원+0.2)*매스깊이*(폭원/11.8)
2. 거푸집			
합판 6회(Mass Con’c)	㎡	((기초폭+0.2)*(폭원/11.8)+(기초길이+0.2)*2)*매스깊이	((기초폭+0.2)*(폭원/11.8)+(기초길이+0.2)*2)*매스깊이
3. 콘크리트 타설			
무근펌프카(Mass Con’c)	㎥	레미콘/1.02	레미콘/1.02

[표 2-5-65] PSC BOX 표준물량(기초공-강관파일공)

대표 공종	단위	교대	교각
1. 강관파일공			
1.1 강관파일공(508-12㎜)			
강관파일자재비	m	30*말뚝길이*1.05	36*말뚝길이*1.05
강광파일 천공 후 항타	m	30*(말뚝길이-0.2)	36*(말뚝길이-0.2)
두부 및 선단보강(볼트식)	ea	30	36

라. 소요자원 DB 구축

○ 표준물량 DB를 통해 도출된 추정물량과 LCI DB를 함께 연계하여 대표공종의 환경부하량을 산출하기 위해 대표공종의 단위당 소요자원의 목록과 수량을 정리한 자원DB를 구축하였음

○ 자원 DB는 표준품셈, 국도건설 설계실무요령을 기반으로 하여 가장 표준적인 대표종공의 소요자원 항목과 수량을 도출한 것으로, 다음의 표는 소요자원 DB의 예시자료로써, 그 밖의 부위별 전체자원 DB는 [부록A 6.5]에 수록함

[표 2-5-66] PSC BOX 소요자원 DB(상부공 일부)

공종명	규격	단위	자재명	규격	단위수량	단위	LCI DB
01.자재대							
01.a.레미콘		m3					
01.a.1.레미콘	19-40-15	m3	레미콘	19-40-15(저발열)	1	M3	레미콘
01.b.철근		ton					
01.b.2철근	D16~32mm	ton	이형철근	D16-32㎜(현장도착도)	1	TON	철근
01.c.시멘트		KG					
01.c.1.그라우팅밀크		KG	시 멘 트	1Kg/ⓐ	1	kg	시멘트
02.PSC강재설치 및 긴장작업							
02.a.쉬스관 조립		M					
02.a.1.쉬스관 조립	D110/113mm	M	쉬스관	D110/113 MM	1.08	M	용융아연도금강판
02.a.2.쉬스관 조립	D100/113mm	M	쉬스관	D100/103 MM	1.08	M	용융아연도금강판
02.b.정착장치 설치		EA					
02.b.1.정착장치 설치	22x15.2mm	EA	긴장정착구	E-22x15.2 MM(긴장)	1	SET	DB X
02.b.2.정착장치 설치	19x15.2mm	EA	긴장정착구	E-19x15.2 MM(긴장)	1	SET	DB X
02.b.4.정착장치 설치	22x15.2mm	EA	긴장정착구	E-22x15.2 MM(고정)	1	SET	DB X
02.b.5.정착장치 설치	19x15.2mm	EA	긴장정착구	E-19x15.2 MM(고정)	1	SET	DB X
02.c.PSC 강재설치		TON					DB X
02.c.1.PSC 강재설치	직선배치	TON	고철	중량A 매입가	0.05	TON	선재
			강연선(VSL)	Φ15.2 ㎜	1.05	TON	선재
			경유	저유황	23.1068	L	경유

[표 2-5-67] PSC BOX 소요자원 DB(교대공 일부)

공종명	규격	단위	자재명	규격	단위 수량	단위	LCI DB
01.자재대							
01.a.레미콘							
01.a.2.레미콘	25-24-15	m3	레미콘	25-24-15	1	M3	레미콘
01.a.3.레미콘	25-16-15	m3	레미콘	25-16-15	1	M3	레미콘
01.b.철근							
01.b.1.철근	D13mm	ton	이형철근	D13㎜ (현장도착도)	1	TON	철근
01.b.2.철근	D16~32mm	ton	이형철근	D16-32㎜ (현장도착도)	1	TON	철근
01.c.시멘트		KG					
01.c.1.그라우팅밀크		KG	시 멘 트	1Kg/ⓐ	1	kg	시멘트
04.거푸집							
04.b.합판거푸집	3회	m2	보통철선	#8 4.0M/M 10.1M/KG	0.13369	KG	선재
			철못	N75 75x3.25M/M 25KG/상자	0.0922	KG	선재
			미송각재	3.6x9.0cmx4.5cm (상품)	0.01349	M3	합판
			합판	T=12MM 내수합판	0.36562	M2	합판
			중유	저유황	0.08759	L	중유
04.c.합판거푸집	4회	m2	보통철선	#8 4.0M/M 10.1M/KG	0.11629	KG	선재
			철못	N75 75x3.25M/M 25KG/상자	0.0802	KG	선재
			미송각재	3.6x9.0cmx4.5cm (상품)	0.01173	M3	합판
			합판	T=12MM 내수합판	0.31803	M2	합판
			중유	저유황	0.07619	L	중유
04.d.합판거푸집	6회	m2	보통철선	#8 4.0M/M 10.1M/KG	0.10063	KG	선재
			철못	N75 75x3.25M/M 25KG/상자	0.0694	KG	선재
			미송각재	3.6x9.0cmx4.5cm (상품)	0.01015	M3	합판
			합판	T=12MM 내수합판	0.27521	M2	합판
			중유	저유황	0.06593	L	중유

마. 평가모델 검증

○ PSC BOX교에서 3개의 검증사례에 대해 직접 산출한 환경부하량과 비교분석하여 절대평균 오차율과 표준편차를 산출하여 검증함

○ 검증사례 3개에 대하여 추정된 오차율은 8.21%~13.78%로 나타났으며 오차평균은 11.61%, 표준편차 2.98%로 분석됨

[표 2-5-68] 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 2-5-69] 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	eco-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(절댓값)		20.25 %		11.61 %	
표준편차		10.30 %		2.98 %	

제 3 장 강교량 환경부하 평가모델

제 1 절 Steel Box 교량 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축

1. 사업수행 단계별 환경부하 산정 프레임워크

○ 건설 분야 환경부하 평가 관련 연구 동향을 살펴보면, 국내에서는 LCA(Life Cycle Assessment)의 방법론과 이를 적용하는 측면에서 지속적인 연구가 이루어지고 있으며, LCA 방법론에 대한 연구는 일찍이 1995년부터 시작되어 LCA의 개론과 외국의 영향평가 방법론에 대한 사례들을 분석한 연구 자료들이 국내에 발간되기 시작하였음

○ 건설 산업에서 환경부하 측정 및 평가와 관련된 방법론은 두 가지가 있으며, 첫째는 전과정을 대상으로 산업연관분석을 사용하는 간접적인 환경부하 추정방식이고, 둘째는 건설단계(혹은 해체단계)에서 건설자원을 사용한 직접적인 환경부하 추정방식임

○ 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

○ 기존 SOC 시설물 환경부하량 산정은 활용관점에서 대부분 상세설계나 시공단계에서의 성과물인 상세설계내역서 기반 주요자재집계표, 일위대가(산근, 호표 등), 표준품셈 등을 고려하여 투입자재량, 중장비 에너지소비량을 산출하여 각각의 단위에 LCI DB를 적용·환산하는 방식으로 다량의 정보들을 활용하게되어 정확도는 확보될 수 있으나 수행해야할 분석단계별로 많은 시간이 요구됨

○ 이에 본 연구에서는 사업수행단계별 가용정보의 수준이 다르므로 기획/설계/유지관리 단계에 따른 환경부하 평가모델이 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 3-1-1] 강교량 환경부하량 산정 Framework

○ 환경부에서 운영하는 환경성적표지 제도는 전과정평가를 기반으로 제품 및 서비스에 대한 환경부하를 정량화하고 이를 공개함으로써 환경개선을 유도하는 제도임. 시행기관인 한국환경산업기술원에서는 전과정평가를 수행하기 위한 LCI DB로써 환경부와 산업통상자원부에서 개발한 국가 LCI DB를 제공하고 있음. 따라서 본 연구에서는 이를 고려하여 산업통상자원부에서 제시하는 자원고갈(Abiotic Resources Depletion, ARD), 산성화(Acidification, AC), 부영양화(Eutrophication, EU), 지구온난화(Global Warming, GW), 오존층파괴(Ozone Depletion, OD), 광화학산화물생성(Photochemical Oxidant Creation, POC), 생태계독성(Eco-Toxicity, ET), 인체독성(Human Toxicity, HT)의 8대 영향범주별로 분석범위를 설정하였음

2. 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

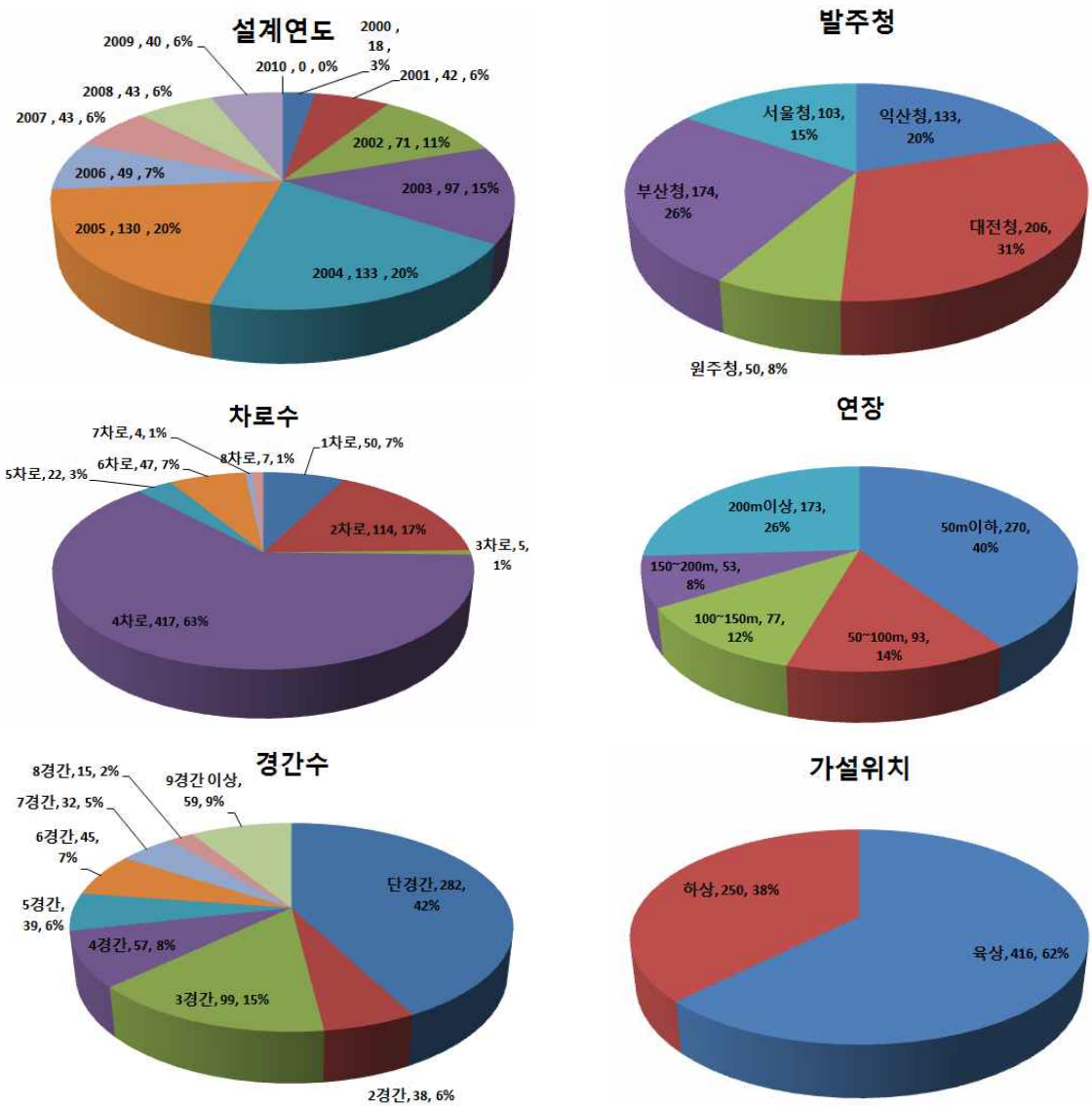
	사업명	사업특성													
		공사유형	발주처	행정구역	지역특성	왕복차선수	차선폭 (m)	총도로폭 (m)	총연장 (m)	토공연장 (m)	도로등급 국도x	설계속도 (km/h)	평면곡선반경 (m)	최대종단경사 (%)	지형
1	예산~신양 도로확장공사 실시설계 용역	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	7110	6699	2	80	280	4.00%	산간
2	김천시 관내 국도대체 우회도로(양천~어모) 건설공사	신설	부산	경북	농어촌	4	3.5	20	18400	13832	1	80	280	6.00%	평야
3	괴산~연풍(2공구) 도로 건설공사 실시설계(국도34호선)	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	8630	6184	1	80	280	4.00%	산간
4	경주시 국도대체우회도로(효현~내남)건설공사 실시설계	신설	부산	경남	농어촌	4	3.5	20	11533	6990	1	100	460	3.00%	산간
5	경주시 국도대체우회도로(내남~외동)	신설	부산	경남	농어촌	4	3.5	20	14800	8816	1	80	280	4.00%	산간
6	현내~송현진1 도로 건설공사 실시설계	확포장	원주	강원	농어촌	4	3.5	20	5100	4405	2	80	280	4.00%	산간
7	남일~보은(제1공구) 도로 건설공사 실시설계 용역 (1-1 공구)	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	6018	4564	1	80	280	4.00%	산간
8	구미시 관내국도대체우회도로(구포-덕산)건설공사 실시설계용역	신설	부산	경북	농어촌	4	3.5	20	14280	3406	2	80	280	4.00%	산간
9	평창~정선 도로건설공사 실시설계	확포장	원주	강원	농어촌	4	3.5	20	16420	9586	3	70	200	5.00%	산간
10	퇴계원~진접 도로건설공사 실시설계	확포장	서울	경기	농어촌	8	3.5	34	14510	11651	2	80	280	4.00%	평야
11	일패~와부 도로건설공사 실시설계	확포장	서울	경기	농어촌	4	3.5	20	8920	8716	3	70	200	5.00%	산간
12	진안~성수1 도로확장공사 실시설계용역 2단계	확포장	익산	전북	농어촌	4	3.5	20	7000	5484	3	70	200	5.00%	산간
13	괴산~연풍(1공구) 도로 확장공사	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	9400	7711	2	80	420	4.00%	산간
14	대덕연구단지 지원도로 건설공사 실시설계용역	확포장	대전	충남	도시부	6	3.5	35	2360	2100	2	80	280	4.00%	도심
15	병천~용두리 도로건설공사 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	3200	2798	2	80	280	4.00%	산간
16	진천IC~금왕(1공구) 도로 건설공사	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	11020	10367	2	80	280	4.00%	평야
17	진천~증평(제2공구) 도로건설공사 실시설계	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	11200	9322	2	80	280	4.00%	산간
18	내북~운암 도로건설공사	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	3500	2630	2	80	280	4.00%	산간
19	청주시 국도대체우회 도로(오동-구성) 건설공사 실시설계	신설	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	4020	3865	2	80	280	4.00%	평야
20	천안시 국도대체우회도로(음봉~영인) 건설공사	신설	대전	충남	농어촌	6	3.5	27	5960	5744	1	100	887	3.50%	산간
21	보령시 국도대체 우회도로(화산~옥동) 건설공사	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	6199	5087	2	80	280	4.00%	산간
22	부여 내산우회도로 건설공사 실시설계(**신양~신풍 2공구**)	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	4600	4208	2	80	280	4.00%	산간
23	서산시 국도대체우회도로(음암~성연) 건설공사	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	7651	6640	2	80	280	4.00%	산간
24	부여 은산 우회도로 축조 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	2890	2860	2	80	280	4.00%	평야
25	아산~천안 도로 건설공사 실시설계	신설	대전	충남	도시부	8	3.5	35.5	8990	8359	2	80	280	4.00%	도심
26	천안시 국도대체우회도로(배방~음봉) 건설공사 실시설계 용역	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	11892	8499	1	100	460	3.00%	산간
27	은행~옥천간 도로확장 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	6440	5220	2	80	280	4.00%	산간
28	귀래~목계 도로 건설공사 실시설계용역	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	9970	7830	2	80	280	4.00%	산간
29	충주시 국도대체 우회도로 용두-금가간 도로확장 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	10800	9100	2	80	280	4.00%	산간
30	성환~입장간 도로확장 및 포장공사 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	8319	7788	1	80	500	3.83%	산간
31	서천~서천관교 도로건설 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	10697	9877	2	80	280	4.00%	산간
32	대산~가곡 도로건설공사 실시설계 용역	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	23660	21584	2	80	280	4.00%	산간
33	신풍-우성 도로 건설공사	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	12073	10481	2	80	280	4.00%	산간
34	청주내덕~청원목일 도로건설공사 실시설계	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	13400	11428	2	80	280	4.00%	평야
35	청양~홍성 도로건설공사 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	23207	21472	3	70	200	5.00%	산간
36	부여규암우회도로 축조 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	7620	6690	2	80	280	4.00%	평야
37	성환우회도로 축조 및 포장공사 실시설계	신설	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	8600	7172	2	80	280	4.00%	평야
38	단양~가곡 도로건설공사	확포장	대전	충북	농어촌	2	3.5	11	5320	3335	3	70	200	5.00%	산간
39	갑산~해미 도로건설공사 실시설계	확포장	대전	충남	농어촌	4	3.5	20	8010	7945	3	70	200	5.00%	평야
40	서천~서천IC등 3개노선 도로확장 및 포장공사 실시설계용역(수안보IC~3호선)	확포장	대전	충북	농어촌	4	3.5	20	6100	5147	3	70	200	2.50%	산간

[그림 3-1-2] 자료수집 사업 목록 및 개요

○ 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 3-1-2]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

○ 설계완료 연도별로 수집된 데이터 현황은 2004년 설계완료 된 교량 20%, 2005년 설계완료 된 교량 20%, 2003년 설계완료 된 교량 15%, 2002년 설계완료 된 교량 11%, 2006년 설계완료 된 교량 7%, 2007년 설계완료 된 교량 6%, 2008년 설계완료 된 교량 6%, 2001년 설계완료 된 교량 6%, 2001년 설계완료 된 교량 6%, 2009년 설계완료 된 교량 6%로 조사됨



[그림 3-1-3] 기초자료 조사현황

○ 관리기관에 따른 데이터 수집 현황을 살펴보면 대전지방국토관리청 31%, 익산지방국토관리청 20%, 부산지방국토관리청 26%, 서울지방국토관리청 15%, 원주지방국토관리청 8%로 분류됨

○ 수집된 교량을 대상으로 차로수 현황을 살펴보면 4차로 교량 63%, 2차로 교량 17%, 1차로 7%, 6차로 7%, 5차로 교량 3%, 8차로 1%, 3차로 1%, 7차로 1%로 조사됨

○ 연장에 따른 현황은 0~50m 40%로 가장 많았으며, 그 다음으로는 200m 이상 26%, 50~100m 14%, 100~150m 12%, 150~200m 8% 순으로 나타남

○ 경간에 따른 현황은 단경간 42%, 3경간 15%, 9경간 이상 9%, 4경간 8%, 6경간 7%, 7경간 5%, 5경간 6%, 2경간 6%, 8경간 2% 순으로 나타났으며, 가설위치에 따른 현황은 육상이 62%, 하상이 38%로 분포됨

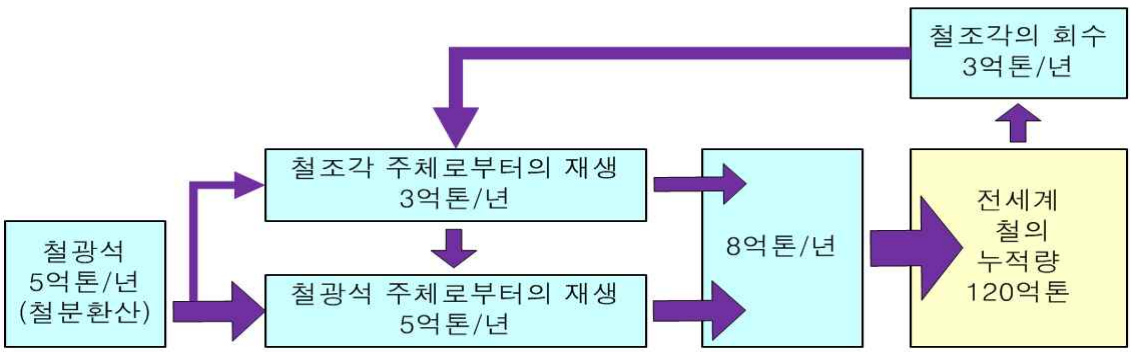
3. 환경부하 영향요인 및 특성분석

○ 철은 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

○ 건설분야는 강재수요의 절반(연간 약 3천만톤)을 점유하는 철강업의 최대 사용자이고, 또한 토목구조물의 경우에는 건설에너지의 70% 이상을 자재가 차지하고 자재의 90%를 철과 시멘트가 차지하므로, 강구조물에서 철강 건설재에 대한 환경부하의 기본특성을 인식하는 것은 중요함

○ 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

○ 철강의 제조에 이용하는 천연자원 가운데에 철광석은 연간 약 10억톤을 소비하고 있지만, 철광석 매장량이 약 2500억톤인 점과, 사회 축적의 증가와 함께 철조각의 발생량과 재활용이 증가하고, 장기적으로는 철광석의 사용 증가율이 서서히 감소할 것으로 예상되기 때문에 다른 자원과 비교하여 천연자원 고갈의 문제는 상대적으로 작으며, 부수적 원료로서 사용하고 있는 귀중한 희소금속에 대해서는 이것을 절감한 철강제품의 개발을 추진하고 있음



[그림 3-1-4] 철의 순환 시스템

○ 또한, 철강제품은 수요자의 가공단계를 거쳐 건축•토목, 자동차, 기계용 등 다양한 제품으로 사회에서 이용되는 생산재이므로 사용자의 환경요구나 용도에 대응하여 장수명(고내식성), 고강도, 고강성, 고가공성, 내화성 등의 고성능 철강제품을 개발함으로써, 제품이 사용될 단계에서 자원소비의 저감에 기여할 수 있음

○ 수집된 DB에서 강교에 대한 환경부하량 산정을 위해 EBS프로그램에서 사용가능한 강교를 21개를 대상으로 내역을 분석하였으며, 대상 교량의 제원 및 개요를 [표 3-1-1]에 나타내었음

○ 대상 강교의 환경부하량 산정을 위해 EBS프로그램을 이용하여 강교 내역서상의 소요자재, 장비 및 투입자원 비용을 [그림 3-1-5]와 같이 산출함

[표 3-1-1] 대상교량의 제원 및 개요

연번	경간수	연장 (m)	폭원 (m)	상부면적 (m²)	사업구간	발주청	준공 년도	가설 위치	차로	가시설	공사비
1	1	45	17.9	805.5	소천~서면	부산	2004	하상	3	무	1,617,205,362
2	3	160	11.4	1824	소천~서면	부산	2004	하상	2	유	3,587,490,190
3	8	495	20.9	10345.5	농소~어모	부산	2004	육상	4	유	13,673,775,472
4	8	386.3	20.9	8073.67	농소~어모	부산	2004	하상	4	무	13,709,833,249
5	1	50	21	1050	농소~어모	부산	2004	육상	4	무	1,556,882,622
6	6	320.7	20.9	6702.63	농소~어모	부산	2004	하상	4	무	8,681,404,011
7	2	90	20.9	1881	농소~어모	부산	2004	하상	4	무	2,380,852,378
8	6	247.5	24.9	6162.75	농소~어모	부산	2004	육상	4	유	5,053,985,883
9	2	80	7.9	632	농소~어모	부산	2004	하상	1	무	919,554,849
10	5	228	7.9	1801.2	농소~어모	부산	2004	하상	1	무	2,562,656,400
11	3	145	21.24	3079.8	어모~상주	부산	2003	하상	4	유	5,359,266,406
12	3	167	11.4	1903.8	진동~마산	부산	2005	육상	2	무	3,404,277,904
13	1	50	20.9	1045	진동~마산	부산	2005	육상	4	무	2,387,074,500
14	7	320	23.34	7468.8	현동~임곡	부산	2004	하상	4	무	11,280,843,491
15	4	195	36	7020	현동~임곡	부산	2004	하상	8	무	10,039,941,953
16	17	872.5	11.4	9946.5	효현~내남	부산	2002	하상	4	유	14,474,336,404
17	9	405	7.9	3199.5	효현~내남	부산	2002	하상	1	유	5,578,890,989
18	6	285	7.9	2251.5	효현~내남	부산	2002	하상	1	유	4,029,197,445
19	3	160	21.57	3451.2	효현~내남	부산	2002	하상	4	유	6,530,084,139
20	14	745	29.4	21903	효현~내남	부산	2002	하상	4	유	31,323,401,945
21	1	40	26	1040	효현~내남	부산	2002	육상	5	무	1,826,164,843

자원코드	자원명	규격	수량	단위	단가	금액	비고
	<장 비>						
E0001010019	불도우저(무한궤도)	19 TON	7.9211088	HR	73,675	583,587	E=E
E0001010032	불도우저(무한궤도)	32 TON	10.2857058	HR	97,586	1,003,740	E=E
E0002010070	굴삭기(유압식백호우)	0.7 M3	62.1345654	HR	52,497	3,261,878	E=E
E0002011070	굴삭기(유압식백호우)+브레카0.7 M3	0.7 M3	9.945448	HR	61,203	608,691	E=E
E0003020172	로우더(타이어)	1.72 M3	3.4794	HR	57,701	200,764	E=E
E0005020036	모우터그레이더	3.6 (일반용)	3.025249	HR	65,531	198,247	E=E
E0006020150	덤프트럭	15 TON	25.2288569	HR	55,182	1,392,178	E=E
E0006020200	덤프트럭	20 TON	3.5497147	HR	65,545	232,666	E=E
E0013060044	진동로울러(자주식)	4.4 TON	44.048729	HR	24,086	1,060,957	E=E
E0016300080	램 머	80 KG	318.3098808	HR	14,122	4,495,172	E=E
E0021010010	무한궤도 크레인	10 TON (0.29 M3)	38.802964	HR	49,409	1,917,215	E=E

[그림 3-1-5] 강교 소요자원산출의 예

○ 강교에 대한 자재 분석 현황을 [표 3-1-2]에 나타냄

[표 3-1-2] 자재 분석 현황

자재 \ 연번	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
후판	33.48%	40.46%	61.39%	37.80%	62.26%	56.19%	67.30%	58.15%	57.83%	57.40%	49.43%
철근	18.05%	15.31%	7.11%	9.39%	5.50%	7.63%	6.33%	7.43%	7.39%	8.82%	21.04%
레미콘	17.77%	12.67%	5.60%	8.29%	6.45%	6.40%	6.28%	7.58%	7.15%	7.94%	0.00%
도료_아크릴계	1.18%	1.41%	3.45%	3.89%	2.49%	3.06%	2.41%	3.11%	3.20%	3.28%	1.66%
장비 (경유,휘발유 합)	2.34%	3.71%	2.42%	3.22%	2.34%	2.52%	1.82%	2.40%	2.57%	2.31%	9.07%
선재	0.01%	2.11%	1.58%	1.86%	1.16%	1.41%	1.10%	1.46%	1.30%	1.39%	1.94%
탄소강	2.49%	2.70%	1.39%	1.73%	1.09%	1.28%	1.07%	1.28%	6.18%	1.23%	1.68%
도료_에폭시계	1.19%	1.37%	1.57%	1.77%	1.12%	1.39%	1.09%	1.40%	1.45%	1.48%	1.47%
산소	0.80%	0.90%	0.85%	0.98%	0.62%	0.76%	0.57%	0.72%	0.72%	0.75%	1.15%
도료_우레탄계	1.00%	1.07%	0.94%	1.61%	0.87%	0.86%	0.95%	1.13%	1.07%	1.08%	0.84%
스테인레스강	0.29%	0.38%	0.38%	0.12%	0.55%	0.33%	0.45%	0.66%	0.25%	0.51%	0.69%
시멘트	0.03%	0.36%	0.02%	0.73%	3.82%	0.99%	0.02%	0.78%	0.63%	0.37%	5.41%
형강	0.62%	2.37%	0.13%	11.60%	0.01%	3.18%	0.03%	0.86%	0.57%	0.29%	3.07%
알루미늄판	0.02%	0.01%	0.07%	0.07%	0.06%	0.07%	0.06%	0.05%	0.09%	0.09%	0.13%
전기	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
황동봉	0.04%	0.04%	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.03%	0.01%	0.01%
모래	0.00%	0.00%	0.69%	0.78%	0.52%	0.61%	0.48%	0.64%	0.63%	0.65%	0.68%
경유	0.48%	0.06%	0.01%	0.01%	0.02%	0.00%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%
에폭시접착제	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
기타(LCI DB 미연계)	20.18%	15.07%	12.37%	16.16%	11.12%	13.30%	10.03%	12.34%	8.91%	12.38%	1.73%
합계	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

○ LCI DB(Life Cycle Inventory)의 가중화 값을 사용하여 130개 대상 교량에 대하여 환경부하량을 산정하였으며, 국가 LCI DB, 국내 LCI DB 및 해외 LCI DB 중 47가지 항목을 사용함

○ 환경부하량 산정을 위해 [그림 3-1-6]에 나타낸 LCI DB와 소요자재 목록을 비교분석 하였음

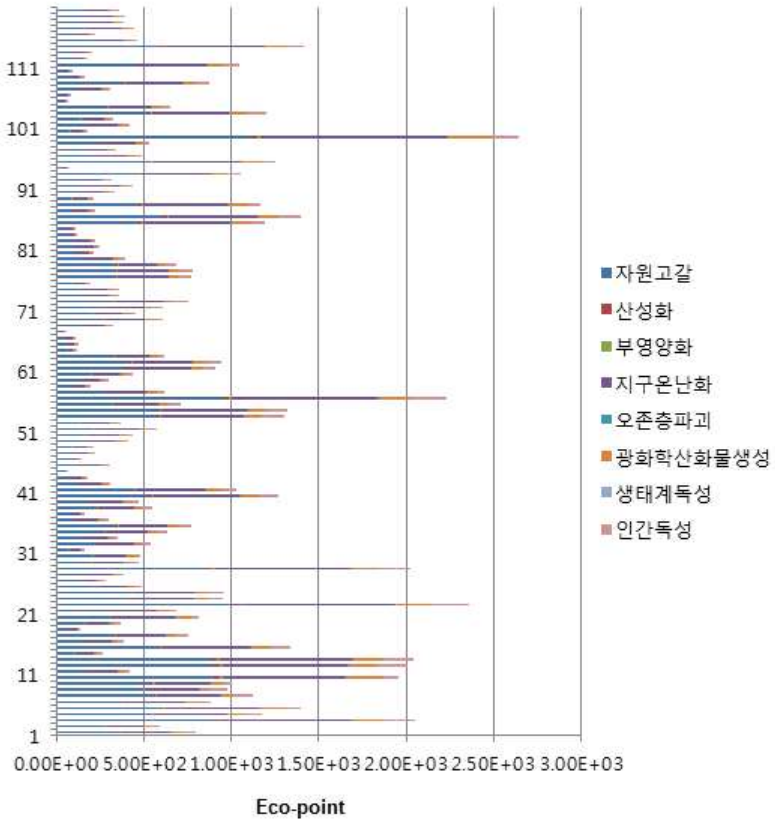
○ LCI DB와 소요자재별 환경부하량을 산정하고 Eco-piont로 나타낸 가중화를 [그림 3-1-7] 및 [그림 3-1-8]에 나타내었음

○ 각 LCI DB의 어떤 항목이 강교량에 영향을 미치는지 알기 위해 130개 교량에 대하여 8가지

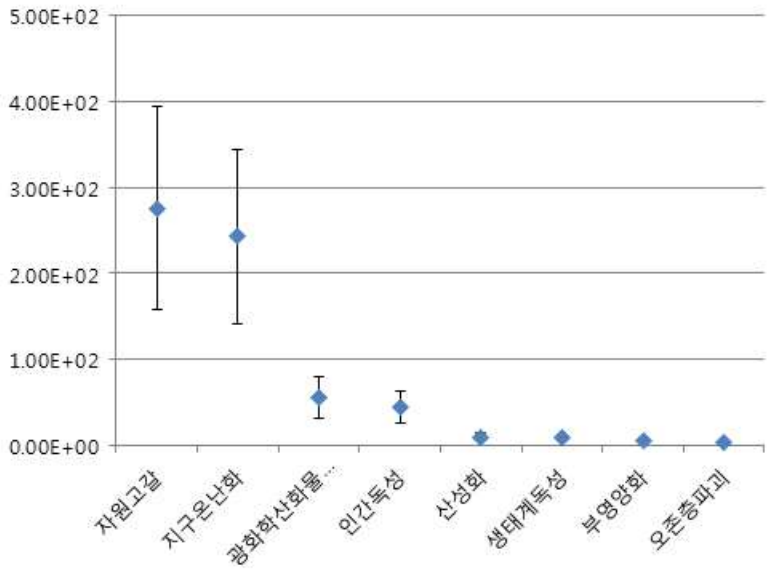
인자의 평균과 편차를 구한 결과, 자원고갈, 지구온난화, 광화학산화물생성, 인간독성, 산성화, 생태계독성, 부영양화, 오존층파괴 순으로 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있음

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		자재명	단위	특성화							
3				자원고갈	산성화	부영양화	지구온난화	오존층파괴	광화학산화물생성	생태계독성	인간독성
4				1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
5		1종 포틀랜드 시멘트 [Portland Cement_type 1]	kg	1.28E-03	1.28E-03	1.34E-04	9.48E-01	1.42E-08	2.59E-03	9.95E-07	2.12E-02
6		도료_아크릴계 [paint_acryl type]	ton	4.80E+01	4.91E+00	5.30E-01	9.12E+02	3.02E-05	3.83E-01	2.56E-03	5.21E+01
7		도료_에폭시계 [paint_epoxy type]	ton	2.35E+01	2.23E+01	2.87E+00	3.54E+03	2.58E-05	9.27E-01	1.92E-03	5.83E+01
8		도료_우레탄계 [paint_urethan type]	ton	4.75E+03	1.05E+03	1.03E+02	3.89E+05	1.20E-01	4.16E+02	1.27E+01	1.80E+05
9		레미콘 25-240-15 [Remicon 25-240-15]	m³	1.80E+00	7.05E-01	8.19E-02	4.29E+02	3.83E-05	1.15E+00	1.43E-03	5.41E+01
10		발포 폴리스티렌 [EPS]	kg	1.59E-03	4.57E-03	6.88E-04	1.96E+00	6.97E-08	6.46E-03	5.38E-06	1.68E+00
11		산소 [oxygen,02]	ton	1.73E+00	8.47E-01	1.56E-01	4.97E+02	1.14E-08	3.44E-01	1.37E-05	1.34E+01
12		선재 [wire rod]	ton	2.10E+01	1.81E+01	1.19E+00	9.51E+03	7.13E-05	4.24E+00	1.08E-02	1.88E+02
13		스테인레스강 [stainless steel]	kg	1.08E-02	4.61E-03	9.05E-04	3.23E+00	1.24E-06	5.54E-04	1.85E-03	5.31E+00
14		알루미늄 판 [aluminum strip]	kg	2.57E-02	9.01E-03	1.23E-03	1.96E+00	2.08E-07	2.30E-03	2.51E-05	1.85E+00
15		에폭시접착제 [epoxy adhesive]	kg	1.09E-02	4.91E-03	6.50E-04	8.41E-01	4.72E-08	8.61E-04	1.85E-05	1.46E-01
16		아크릴에멀젼 접착제 [acrylic emulsion adhesive]	kg	9.46E-03	3.48E-03	7.15E-04	8.56E-01	2.84E-08	5.01E-04	7.24E-05	1.21E-01
17		열연코일 [hot rolled steel coil]	ton	1.90E+00	1.88E+00	8.10E-02	1.75E+03	3.57E-06	4.51E+00	2.40E-03	6.53E+00
18		저밀도 폴리에틸렌[LDPE]	kg	1.75E-03	2.42E-03	4.57E-04	1.86E+00	3.00E-08	3.92E-03	9.30E-07	3.11E-02
19		전기로제강-철근 [electric steel deformed bars]	kg	1.85E-03	2.43E-03	1.79E-04	4.38E-01	8.68E-09	3.17E-04	2.98E-06	1.72E-02
20		전기로제강-형강 [electric steel sections]	kg	2.27E-03	1.33E-03	1.77E-04	4.29E-01	2.39E-08	3.06E-04	2.54E-06	3.67E-02
21		탄소강 [carbon steel]	kg	1.21E-02	1.91E-03	3.55E-04	2.34E+00	1.84E-08	6.53E-04	9.26E-05	7.09E-02
22		황동봉 [brass bar]	kg	8.60E-03	7.43E-03	7.44E-04	1.81E+00	1.95E-10	1.82E-03	2.76E-03	6.10E-01
23		후판 [steel plates]	ton	7.94E+00	2.81E+00	3.53E-01	8.55E+02	5.54E-05	2.85E+00	1.46E-03	6.49E+01
24		경유[light fuel oil]	kg	2.63E-02	1.40E-04	9.55E-06	6.82E-02	1.05E-10	1.11E-05	3.32E-09	2.16E-04
25		전기 [electricity]	kWh	1.73E-03	8.37E-04	1.56E-04	4.95E-01	1.14E-11	3.43E-04	2.00E-11	1.11E-04
26		휘발유 [gasoline]	kg	2.65E-02	1.86E-04	1.38E-05	8.32E-02	2.14E-10	1.71E-05	6.76E-09	3.92E-04
27		공업용수_전북권[Industrial water_Jeonbuk]	ton	3.13E-03	2.83E-04	4.34E-05	1.23E-01	2.71E-12	8.48E-05	3.26E-09	3.91E-03
28		아스콘(해외 DB)	kg	3.49E-10	1.30E-02	3.18E-09	5.38E-05	1.39E-05	1.29E-05	2.18E-05	6.07E-03
29		모래(건설기술연구원 DB)	m³	2.36E-02	1.10E-02	1.92E-03	3.87E+00	2.20E-07	3.23E-03	6.48E-06	5.95E-01
30		아스팔트(해외 DB)	kg	1.604E-09	2.14E-01	6.808E-08	6.39E-04	1.22E-04	2.55E-04	1.42E-04	3.80E-02

[그림 3-1-6] LCI DB



[그림 3-1-7] 환경영향범주 결과



[그림 3-1-8] 8가지 환경영향범주의 평균값과 표준편차

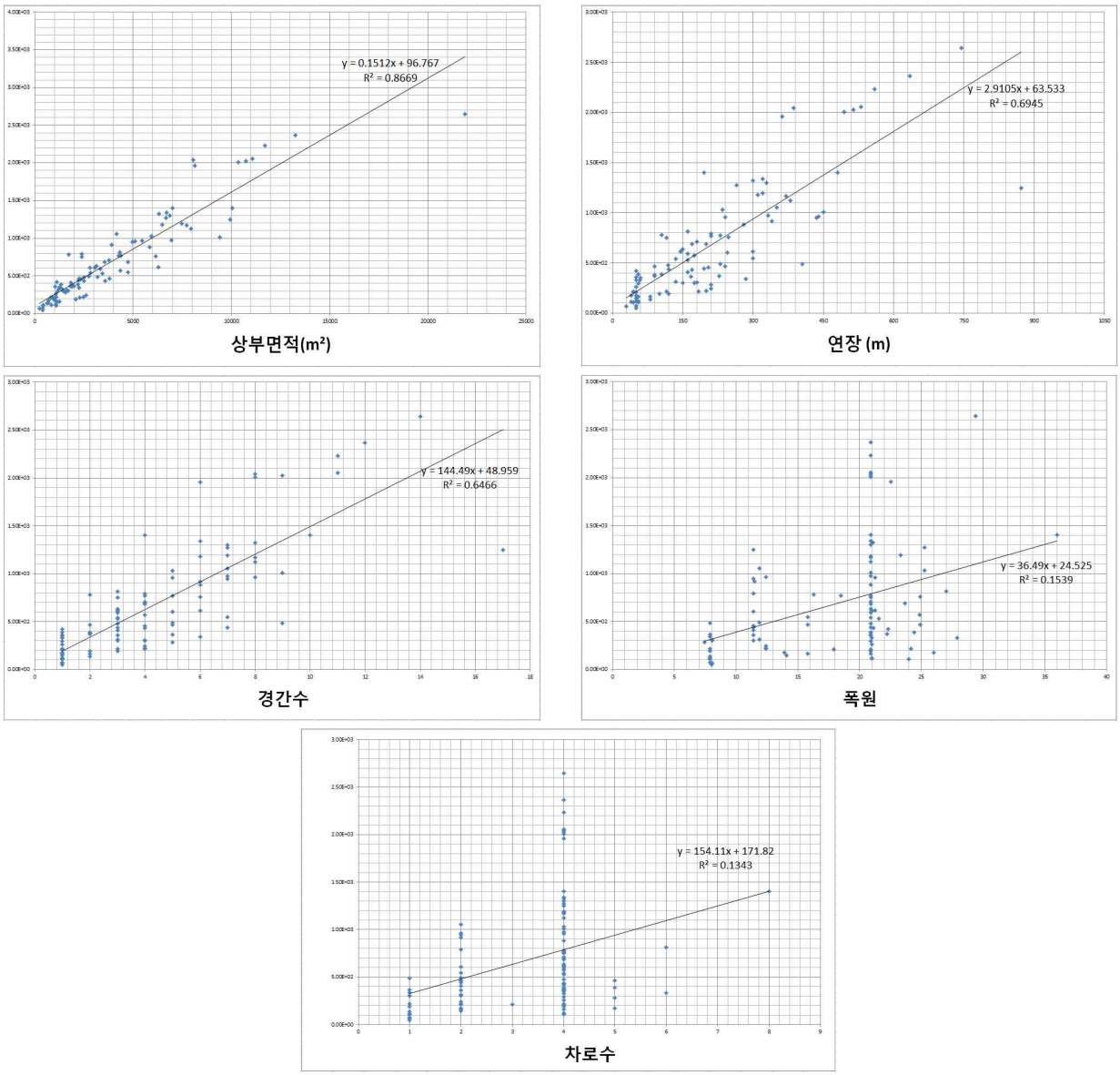
○ 기획단계에서 환경부하량 산정에 활용할 수 있는 가용정보를 가지고 130개 강교에 대한 환경부하량과의 상관성 분석을 실시하여 [그림 3-1-9]에 나타냄

○ 향후 더 많은 강교의 DB를 분석하여 환경부하량과 소요자재와의 관계에 대한 DB구축이 필

요할 것으로 판단됨

○ [그림 3-1-9]에 나타낸 교량 연장 및 경간수와 환경부하량과의 관계를 분석한 결과, 강교의 특성상 연장 및 경간수와의 상관성은 낮은 것으로 나타남

○ 강교의 경우, 공장에서 제작되어 현장에 가설되기 때문에 강재 사용량과 환경부하량이 매우 밀접한 관계가 있을 것으로 판단되나, 아직 DB가 많이 구축되지 않았기 때문에 향후 강교 DB구축을 통한 분석이 필요할 것으로 판단됨



[그림 3-1-9] 영향요인별 상관성 분석

제 2 절 기획단계 환경부하 평가모델

1. 기획단계 환경부하 평가모델 개요

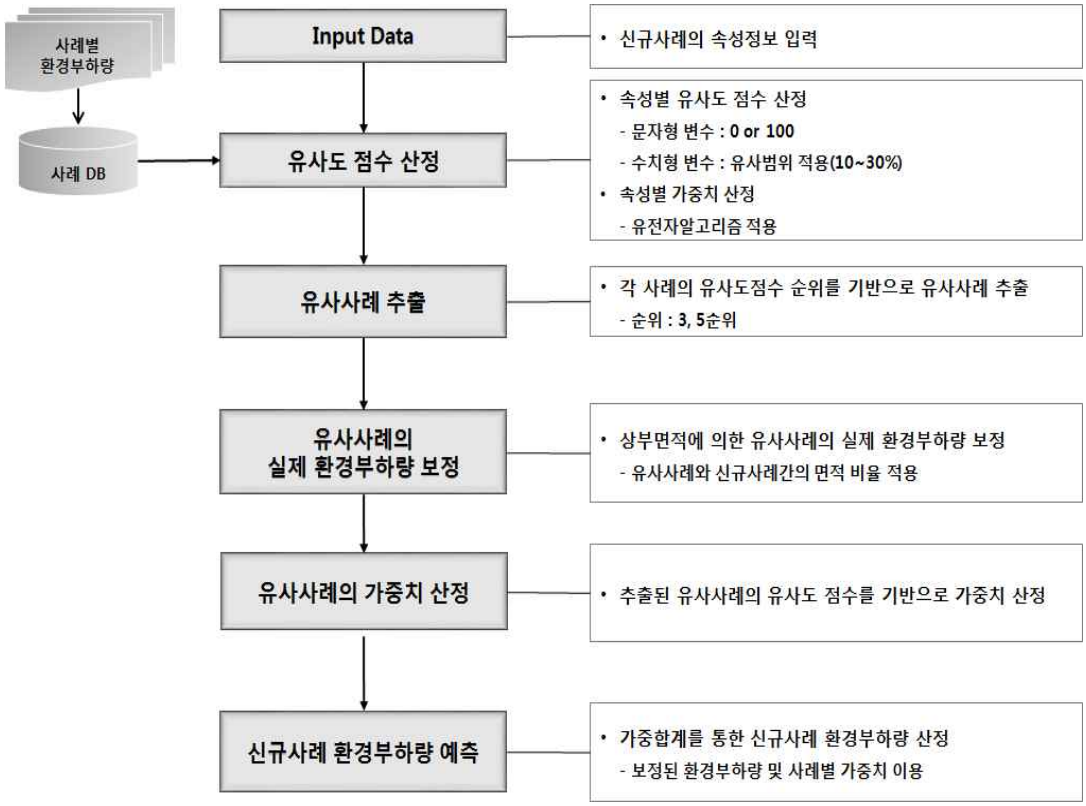
○ 도로 건설사업초기 단계에서의 의사결정은 대안노선에 대한 기초 현황정보들을 비교하여 최적노선을 선정하고, 구조물의 위치 및 형식을 선정하기 위한 것임. 이를 위해 적용 시설물에 대한 구체적인 정의가 이루어지기 이전에 개략적인 형식에 대한 대안 평가를 필요로 함

○ 교량시설물의 경우 예비타당성 조사단계에서 의사결정시 이용할 수 있는 가용 정보는 대단히 제한적이며 연장, 폭원, 차로수, 가설위치(육상/하상)등을 꼽을 수 있음. 타당성 조사 및 기본설계가 진행됨에 따라 교량은 연장에 따른 경간구성(단경간/다경간), 교대 및 교각의 높이, 개략적 지반 정보 등에 대한 추가정보를 확보할 수 있음

○ 본 연구에서는 CBR1 과 CBR2로 두가지의 모델을 제안하고자 하며, 시설물별 가용정보 수준 및 특성에 따라 하나 또는 2단계로 나누어 차별적으로 적용이 가능함

○ CBR1은 기획단계(예비타당조사)에서 연장, 폭원, 차로수 등 일부 정보만을 바탕으로 환경부하량 추정을 위한 용도로 사용될 수 있음. 또한, CBR2는 타당성 조사 및 기본설계단계에서 연장, 폭원, 차로수, 가설위치, 경간수, 하부공간면적, 등의 좀 더 상세 정보를 이용하여 보다 신뢰성 있는 환경부하량 산정을 위한 용도로 사용될 수 있음

○ 사업 초기단계에서 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 추정하는 모델을 구축하였음. 본 모델은 예측하고자 하는 신규 강교량과 유사한 사례들을 구축된 환경부하량 사례 DB로부터 추출하고, 추출된 유사사례의 실제 환경부하량을 이용하여 신규 사례의 환경부하량을 추정할 수 있음. 사례기반추론 모델을 통해 환경부하량을 추정하는 절차는 다음 [그림 3-2-1]과 같음



[그림 3-2-1] 신규사례 환경부하량 추정 절차

○ 사례기반추론의 기본적인 아이디어는 인간이 사고하는 과정에서 과거의 문제에 사용되었던 해결책을 새로운 문제의 해결을 위해서 사용하는 것임. 즉, 사례기반추론은 전혀 새로운 해결안을 제시하는 혁신적인 기법이기 보다는 과거의 유사한 사례로부터 해결방안을 도출하는 추론기법임

○ 사례기반추론의 정확도에 가장 큰 영향을 주는 유사사례 조회방법은 귀납적 조회방법(inductive retrieval method), 지식기반 조회방법(knowledge-based retrieval method), 최근접 추출방법(nearest-neighbor retrieval method)의 3가지로 구분할 수 있으며, 이 3가지 방법을 조합하여 사용하기도 함. 최근접 추출방법은 귀납적 추론방법에 비해 기존 사례가 적은 경우에 효율적으로 적용될 수 있으므로 본 모델에서는 유사사례 검색을 위하여 최근접 추출방법을 적용하였음

○ 최근접 추출방법은 귀납적 추론방법에 비해 기존 사례가 적은 경우에 효율적으로 적용될 수 있으므로 본 모델에서는 유사사례 검색을 위하여 최근접 추출방법을 적용함. 사례베이스에 저장되어 있는 사례들과의 비교를 위한 속성을 찾고, 각 속성별 속성유사도(Attribute Similarity)를 산정한 다음, 각 속성별로 산정된 속성가중치(Attribute Weight)를 속성유사도에 곱하여, 각 속성별 가중치가 적용된 유사도 점수(Weighted Attribute Similarity)를 산정함. 이렇게 구해진 속성별 유사도 점수는 합산되어 사례유사도(Case Similarity)를 계산하며, 이러한 과정을 거쳐 사례 유사도 점수가 가장 높은 사례, 즉 대상 사례와 가장 유사한 사례를 제시함



[그림 3-2-2] 최근법 추출방법 프로세스

2. 사례 DB 구축

○ 환경부하량 사례 데이터베이스를 구축하기 위하여 수집된 국도 건설사업의 내역서, EBS 데이터파일, 수량산출서, 설계보고서, 설계도면 등을 분석하여 130개의 강교량을 대상으로 선정하였으며, 선정된 교량의 경간수, 경간길이, 연장, 폭원, 상부면적, 사업구간, 발주청, 준공년도, 가설위치, 차로수, 기초형식, 공사비, 하부높이 등 교량의 기본정보를 조사하였음

○ 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

연번	교량명	경간수	경간구성(m)	최대경간장(m)	연장 (m)	폭원 (m)	상부면적 (m²)	사업구간	발주	준공년도	가설 위치 (육상) (하상)	가설 위치 (수정)	교각높이	기초형식 직접:1 말뚝:2 혼합:3
	사례 구축한 데이터													
1	성북교	1	55	55	55	20.9	1149.5	보령~서천(2공구)	대전	2009년 1월	육상	100%	1	1
2	신구교	3	40+50+45	50	135	20.9	2821.5	보령~서천(2공구)	대전	2009년 1월	하상	86%	11.229	3
3	주야천1교	1	60	60	60	20.9	1254	보령~서천(2공구)	대전	2009년 1월	하상	100%	1	2
4	주산교	3	45+60+45	60	150	20.9	3135	보령~서천(2공구)	대전	2009년 1월	하상	87%	7	2
5	창암교	4	45+2@60+45	60	210	20.9	4389	보령~서천(2공구)	대전	2009년 1월	하상	43%	7.166333333	1
6	우산교	7	45+5@50+45	50	340	28.0	9520	임곡~현동	부산	2004년 6월	육상	73%	17.95	2
7	두명1교	1	55	55	55	20.9	1149.5	보령~서천(3공구)	대전	2005년 11월	육상	97%	1	2
8	음내A교	2	2@40	40	80	15.8	1264	보령~서천(3공구)	대전	2005년 11월	하상	65%	12.5	3
9	음내B교	7	3@40+(40+2@50+40)	50	300	15.8	4740	보령~서천(3공구)	대전	2005년 11월	육상	76%	20.98356667	1
10	음내C교	5	45+3@50+45	50	240	15.8	3792	보령~서천(3공구)	대전	2005년 11월	육상	65%	16.56825	3
11	답운교	1	45	45	45	17.9	805.5	소천~서면	부산	2004년 12월	하상	100%	1	3
12	광덕천교	3	50+60+50	60	160	11.4	1824	소천~서면	부산	2004년 12월	하상	27%	15.919455	1
13	서천1교	6	42.5+4@52.5+42.5	52.5	295	12.4	3658	양구~인제	원주	2004년 11월	하상	17%	8.392333333	1
14	서천2교	6	4@57.5+2@50	57.5	330	12.4	4092	양구~인제	원주	2004년 11월	하상	38%	15.937	1
15	성지교	3	35+45+35	45	115	20.9	2403.5	정읍~신태인	익산	2003년 9월	하상	100%	7.75	2
16	효문교	2	2@40	40	80	20.9	1672	정읍~신태인	익산	2003년 9월	육상	100%	8.368	2
17	활구지천교	6	50+2@60+2@65+50	65	350	35.5	12414.5	송산~진안	서울	2004년 9월	하상	29%	14.8278	3
18	진안육교	3	45+65+45	65	155	35.5	5497.85	송산~진안	서울	2004년 9월	육상	100%	10.8149	3
19	무지교	6	6@45	45	270	20.9	5643	신복~용산	원주	2005년 10월	육상	82%	21.0742	2
20	졸문교	4	4@48	48	144	20.9	3009.6	신복~용산	원주	2005년 10월	하상	0%	23.628	2

[그림 3-2-3] 강교량의 기본정보 조사 양식

[표 3-2-1] LCI DB 연계 기준 (계속)

적용 DB명	DB 단위	대상 자재명	대상 자재 단위	비고
1종 포틀랜드 시멘트	kg	시멘트 (모든 종류)	포대	
전기로제강○철근	kg	철근 (모든 규격)	ton	
레미콘 (25-240-15)	㎥	레미콘 (모든 규격)	㎥	
		콘크리트 제품 (흄관, PC블록, 옹벽블록 등)	본	
			m2	
선재	ton	PC강연선	kg	
		와이어 로프	m	
		용접봉	kg	
		나사, 못, 너트류	kg	
			set	
		철선	kg	
		결속선	kg	
		강섬유 보강재	kg	
전기로제강-형강	kg	형강	M/T	
		구조용 강관	m	
		환봉	ton	
		봉강	M/T	
		찬넬	m	
		강널말뚝	m	
		강관비계	m	
		꺽쇠	kg	
		앵글	kg	
		H-beam	M/T	
		강관말뚝	m	
발포폴리스티렌 (EPS)	kg	무늬거푸집	m2	
		스치로폴	m2	
경유	kg	경유	L	
휘발유	kg	휘발유	L	
전기	kwh	전기	kwh	
도료-우레탄계	ton	실런트(우레탄계)	kg	
아스팔트	kg	브라운 아스팔트	kg	
		아스팔트 프라이머	kg	
스테인레스	kg	스테인레스 제품 (스테인레스 강관, 스테인레스 환봉, 스테인레스 강판, 스테인레스 형강 등)	m	
			kg	
폴리에틸렌 테레프탈레이트 필름	kg	그리드	m2	

[표 3-2-2] LCI DB 연계 기준

적용 DB명	DB 단위	대상 자재명	대상 자재 단위	비고
산소	ton	산소	L	
			병	
에폭시 접착제	kg	접착제 (모든 제품)	kg	
열연코일	ton	열연후판, 열연강판	ton	
후판	ton	강판, 후판, 평강	ton	
PVC	kg	PVC 관	m	
알루미늄 판	kg	알루미늄 제품 (알루미늄 판, 알루미늄분말, 알루미늄합금주물 등)	kg	
탄소강	kg	기계구조용탄소강	kg	
		탄소강주강품	kg	
		압력배관용탄소강관	m	
		드릴용 ROD	EA	
규산소다	kg	콘크리트혼화재 (숏크리트용급결제)	kg	
합판	㎥	합판 및 각재류, 비계목	㎥	
			m2	
황동봉	kg	황동주물, 황동봉	kg	
모래	㎥	모래	㎥	
아스콘	ton	아스팔트 콘크리트, 아스콘	ton	
신축이음장치 (핑거형 No.50)	m	신축이음장치 (No.50 이하)	m	
신축이음장치 (핑거형 No.80)	m	신축이음장치 (No.80 이상)	m	
신축이음장치 (모자이크형 No.50)	m	모자이크형 신축이음장치 (No.50)	m	
신축이음장치 (모자이크형 No.80)	m	모자이크형 신축이음장치 (No.80 이상)	m	
아세틸렌	kg	아세틸렌	kg	
포트받침 고정단	ea	1,000kN ~ 10,000kN	ea	
포트받침 양방향	ea	1,000kN ~ 10,000kN	ea	
포트받침 일방향	ea	1,000kN ~ 10,000kN	ea	
속경성 아스팔트(유제)	ℓ	속경성 아스팔트(유제)	ℓ	
콘크리트혼화재(양생제)	ℓ	콘크리트혼화재(양생제)	ℓ	
초속경시멘트	kg	초속경시멘트	kg	
에폭시 주입제(건식)	kg	에폭시 주입제(건식)	kg	
에폭시 주입제(습식)	kg	에폭시 주입제(습식)	kg	

○ 기존의 사례DB 100건에 30건을 추가하여 총 130건의 Steel Box교의 사례DB를 구축함. 130건의 차로수 현황은 4차로 교량 72%로 가장 많았으며, 2차로 교량 10%, 6차로 교량 6%, 5차로 교량 6%, 1차로 교량 2%, 7차로 교량 1% 순으로 분석됨. 경간에 따른 현황은 단경간 44%, 3경간 19%, 4경간 15%, 2경간 7%, 5경간 5%, 6경간 이상은 10%로 나타남. 가설위치 현황은 육상 54%, 해상 46%로 구성됨. 기초형식은 직접기초 26%, 말뚝기초 34%, 직접 및 말뚝 기초가 혼합되어 있는 형식 39%로 분류됨. 행정구역은 서울·경기도 8%, 강원도 12%, 충청도 36%, 전라도 18%, 경상도 26%로 나타남

○ 환경부하량 산정 사례 170건의 Cut-off 수준은 최소 71.39% ~ 최대 96.44%로 나타났으며, 평균은 89.80%로 분석됨

○ 강교량 사례에 대한 기본정보 및 환경부하량 사례DB는 [표 3-2-2]와 같으며, 전체 DB는 [부록A 7.1~7.3]에 수록함

[표 3-2-2] 사례 DB 구축 현황

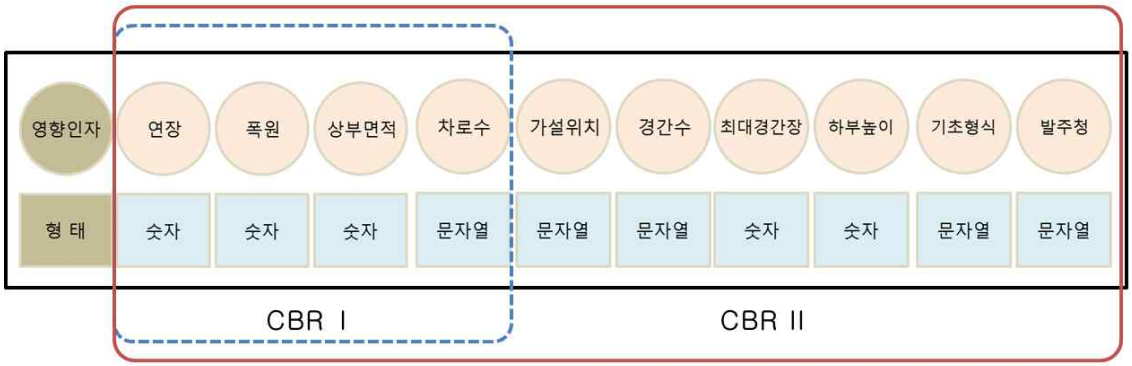
속성		사례수	속성		사례수	속성		사례수
교량 형식	STB	129	경간수	1	26	차로수	1차로	16
				2	13		2차로	24
				3	19		3차로	1
				4	16		4차로	82
	일면 Arch	1		5	15		5차로	4
				6	13		6차로	2
				7이상	28		8차로	1
계		130			130			130
속성		사례수	속성		사례수	속성		사례수
기초 형식	직접	49	가설 위치	육상	70	Cut-off 수준	최소	71.39%
	말뚝	41		하상	60		최대	96.44%
	혼합	40					평균	87.82%
계		129			130			

3. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발

가. 영향요인 선정

○ '도로구조물 공사비 산정모델 및 기준개발' 연구 및 수집된 각 사례의 설계보고서의 분석을 통해 기획단계 및 기본설계단계에서 확보할 수 있는 가용정보를 바탕으로 영향요인 후보군을 도출하고, 환경부하량과의 상관관계를 분석함. 최종적으로 연장, 폭원, 상부면적, 차로수, 가설위치, 경간수, 최대경간장, 하부높이, 기초형식, 행정구역을 영향요인으로 도출함

○ 본 연구에서는 사례기반추론 모델의 입력변수로서 사례의 주요한 특성들을 선정하기 위해 앞서 기본설계단계에서의 가용정보를 조사한 후 환경부하량에 영향을 미치는 주요 요인으로 선정하고, 상관성 분석을 수행함. CBR I 모델은 사업의 기획단계 시 활용할 수 있는 가장 기초적인 정보인 연장, 폭원, 상부면적, 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 가설위치, 경간수, 최대경간장, 하부높이, 기초형식, 행정구역의 입력변수가 추가되어 활용됨



[그림 3-2-4] 모델의 입력변수 및 입력변수의 DATA 형태

나. 유사도 점수 산정 기준

○ 신규사례(추정하고자 하는 사례)와 기존사례(사례 DB)와의 유사도 검색시 유사도 점수가 높은 상위사례를 추출하기 위하여 편차(%)와 순위로 유사도 산정기준을 설정하였음. 편차(%)의 경우 5%, 10%, 15%, 20% 범위로 설정하였으며, 순위의 경우는 1순위, 2순위, 3순위, 4순위, 5순위로 각 모델별 차등범위로 설정하여 추정결과를 비교분석함. 추출된 유사사례의 수가 적으면 추정된 환경부하량 값은 소수의 사례에 지나치게 의존하는 경향이 생기게 되며, 반대로 추출된 유사사례의 수가 많으면 유사하지 않은 사례도 포함되어 신뢰도가 낮아질 수 있음. 비교분석 결과, CBR Ⅰ모델의 유사도 산정기준은 편차 15%, 4순위로 선정하였으며, CBR Ⅱ모델의 경우 편차 15%, 5순위로 선정함

○ 신규사례(추정하고자 하는 사례)와 기존사례(사례 DB)간의 유사도 검색을 위하여 각 속성별 유사도 점수(I_{ij}) 부여 방법은 다음과 같음

[표 3-2-3] 속성별 유사도 점수 부여방법

영향요인 유형	유사도 점수 부여방법
문 자 열	대조되는 두 사례의 특성이 완전히 동일한 경우에만 점수 부여
수 치	두 수간의 거리에 의해 그 유사성이 결정되어 점수 부여

- 문자열 유사도 점수 : 일치 → 100점 / 불일치 → 0점
- 수치의 유사도 점수 :

$$\left|\frac{\text{기존사례값} - \text{신규사례값}}{\text{신규사례값}}\right| \text{X100} \leq \text{편차(x\%)} \rightarrow \text{100점} \qquad \text{(식 3.2.1)}$$

$$\left|\frac{\text{기존사례값} - \text{신규사례값}}{\text{신규사례값}}\right| \text{X100} > \text{편차(x\%)} \rightarrow \text{0점} \qquad \text{(식 3.2.2)}$$

○ 강교량의 경우 차로수, 기초형식, 가설위치, 경간장, 행정구역은 문자열 유사도 점수방법이 적용되고, 나머지 영향요인은 수치 유사도 점수방법이 적용됨. 자료의 형태 중 수치형 속성

의 경우 유사도 점수를 부여하기 위한 유사범위를 임의로 설정할 수 있으며, 본 연구에서는 유사범위를 5%, 10%, 15%, 20% 범위로 설정하였음. 기존사례(사례DB)의 유사도 점수 부여는 각 영향요인 별 유사도 점수에 각 영향요인의 가중치를 부여하여 가중치가 부여된 각 영향요인의 유사도 점수를 합계하여 평가함

$$S_i = \sum_{j}^{n}(I_j \times w_i) \qquad \text{(식 3.2.3)}$$

S_i : 사례i의 유사도 점수, I_j : 영향요인 j의 유사도 점수, w_j : 영향요인 j의 가중치

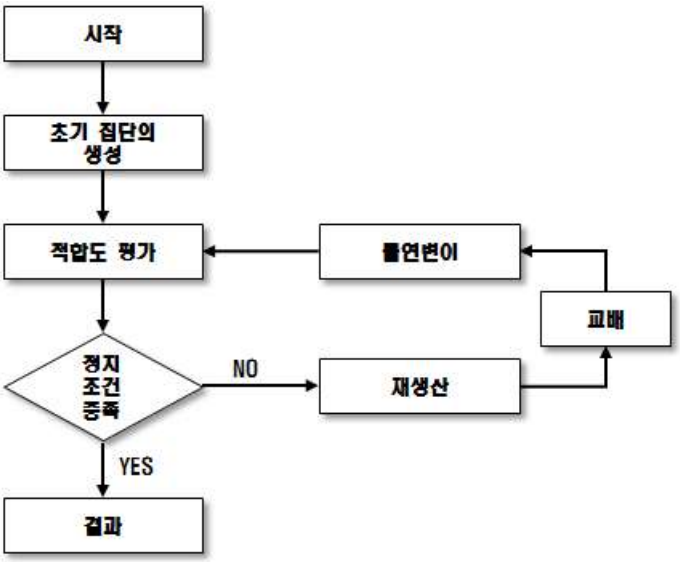
다. 영향요인별 가중치 산정 및 환경부하량 보정

○ 본 연구에서는 최적화 이론에 기반한 유전자 알고리즘을 이용하여 학습사례의 추정 환경부하량과 실제 환경부하량 간의 오차를 최소화 하는 환경부하량 영향요인에 대한 가중치를 산정함

○ 유전자알고리즘은 자연 진화의 법칙인 적자생존과 자연도태의 원리를 토대로 최적의 해를 찾는 알고리즘으로서, 두 개의 부모 유전자로부터 그들 자손의 유전자를 형성하는 유성생식과 자연환경에서 일어나는 진화원리를 흉내 내는 것을 모태로 발전한 문제해결 방식임

○ 복잡한 문제해결 과정에서 점진적으로 문제를 개선해 나가는 방법을 이용함. 유전자알고리즘은 [그림 3-2-5]와 같이 적합도 평가, 재생산, 교배, 돌연변이의 4단계를 거치게 됨

○ 초기단계에 해가 될 수 있는 개체들은 해 공간 내에서 무작위로 선택되거나 경험적인 방식을 이용하여 선택됨. 선택된 개체들은 적합도 평가를 통해 선별되는 과정을 거치게 되며 재생산과정에서 적합도가 높게 평가된 개체들을 선택하여 다음 세대에 전이하고, 그렇지 못한 개채들은 소멸시킴. 적합도 평가에서 선택된 개체들은 교배를 통해 재결합되고 유전정보 교환과정을 통해 돌연변이에서 새로운 개체를 만들어냄. 진화가 거듭될수록 적합도가 높은 개체들로 변화하게 되고, 최적의 해로 수렴하게 되며, 한세대 동안 이러한 과정을 거친 집단은 다시 평가되어 최적의 해가 발견될 때까지 반복됨. 유전자알고리즘에서 해를 도출하는 과정은 한 개의 해를 위한 과정보다는 집단을 단위로 추출하며, 도출되는 결과가 결정적이기 보다는 확률적이라는 특성을 가지고 있음



[그림 3-2-5] 유전자 알고리즘 연산자 적용 과정

○ 유전자 알고리즘을 이용하여 CBR I 모델의 영향요인별 가중치를 최적화한 결과, 연장 0.00067, 폭원 0.42130, 상부면적 0.47587, 차로수 0.10216으로 나타남

○ CBR II 모델의 영향요인별 가중치는 연장 0.03555, 폭원 0.14272, 상부면적 0.12580, 차로수 0.1196, 경간수 0.11050, 최대경간장 0.009445, 하부높이 0.15167, 기초형식 0.09180, 발주청 0.09264로 나타남

[표 3-2-4] 강교량 환경부하량 산정모델의 가중치

구분	CBR을 이용한 기획단계 환경부하량 산정 모델의 영향요인별 가중치									
CBR I	연장	폭원	상부 면적	차로수	-					
	0.00067	0.42130	0.47587	0.10216						
CBR II	연장	폭원	상부 면적	차로수	가설 위치	경간수	최대 경간장	하부 높이	기초 형식	발주청
	0.03555	0.14272	0.12580	0.11996	0.11992	0.11050	0.00945	0.15167	0.09180	0.09264

○ 사례기반추론과 유전자 알고리즘을 활용한 기획단계 환경부하 모델의 환경부하량 산정 절차는 아래 그림과 같음. 신규 사례의 교량 형식이 선정되면 신규사례에 대한 기본정보로 연장, 폭원, 차로수, 상부면적을 입력하고, 입력된 신규사례를 사례 DB와 검색하여 유사도를 평가함. 학습사례를 통해 최적화된 편차, 순위, 가중치를 고려하여 유사도 점수를 산정하고 신규사례와 가장 유사한 사례의 환경부하량을 추출함. 그리고 교량의 환경부하량은 상부면적에 비례하는 특성을 이용하여 추출된 상위 유사사례의 환경부하량을 상부면적 비율로 보정하고 유사도 점수의 가중치를 곱하여 신규사례의 환경부하량을 산정함

4. 평가모델 검증

○ CBR기반 기획단계 환경부하 평가모델의 검증을 위해서 본 연구에서 제시한 사례기반추론을 활용한 기획단계 환경부하량 개산 예측모델은 영향요인의 속성값이 다양하게 분포되도록 구성하여 새로운 검증사례를 선정하였고, 원단위 분석방법의 추정값을 비교함

[표 3-2-5] 검증사례 현황

	연장	폭원	상부면적	차로수	가설위치	경간수	최대경간장	하부높이	기초형식	환경부하량
1	200	23.675	4735	4	sea	4	55	15.35233	3	6.85E+02
2	105	20.9	2194.5	4	sea	2	55	10.5911	1	3.88E+02
3	150	11.4	1710	2	sea	3	58	10.91	3	3.01E+02
4	230	18.5	4259	4	sea	5	50	5.4	2	7.72E+02
5	872	11.4	9946.5	4	sea	17	65	19.3403	1	1.25E+03

[표 3-2-6] CBR 모델 및 원단위 분석 모델의 결과 비교

구분	실제 환경부하량 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 (%)
검증 1	6.85E+02	7.57E+02	10.51	6.82E+02	-0.44	6.84E+02	-0.10	9.21E+02	34.45
검증 2	3.88E+02	4.25E+02	9.54	3.60E+02	-7.22	3.59E+02	-7.4	4.27E+02	10.01
검증 3	3.01E+02	3.16E+02	4.98	3.12E+02	3.65	5.13E+02	70.52	3.33E+02	10.50
검증 4	7.72E+02	6.98E+02	-9.59	6.91E+02	-10.49	7.88E+02	2.04	828E+02	7.31
검증 5	1.25E+03	1.45E+03	16.00	1.70E+03	36.00	2.99E+03	138.84	1.93E+03	54.77
평균(절대값)		6.29		4.30		43.78		23.41	
최소		-9.59		-10.49		-7.4		7.31	
최대		16.00		36.00		138.84		54.77	

○ 검증사례에 대한 환경부하량 실제값과 비교한 결과, 연장-환경부하 원단위 산정 방법은 평균 절대오차율은 43.78%이며, 오차범위는 -7.4%에서 +138.84%까지인 것으로, 상부면적-환경부하 원단위 산정 방법은 평균 절대오차율은 23.41%이며, 오차범위는 7.31%에서 +54.77%까지인 것으로 나타남

○ 본 연구에서 제시한 기획단계 환경부하 추정모델인 CBR 1의 평균 절대오차율은 6.29%이며, 오차범위는 -9.59%에서 +16.00%까지인 것으로 나타남. 사업 기획단계 이후 가용정보가 보

다 구체화된 기본설계단계에서의 환경부하 추정모델인 CBR ll는 평균 절대오차율이 4.30%로 나타났으며, 오차범위는 -10.49%에서 +36.00%까지로 나타나 CBR l 모델보다 개선된 추정결과를 나타내는 것으로 분석됨

○ CBR Ⅰ, CBR Ⅱ 모두 추정목표 범위인 ±25% 이내에 들어오며, 원단위 방법보다 높은 신뢰도를 가지는 것으로 나타났으며, 기존의 기획단계 공사비 예측(AACE(American Association of Cost Engineers)의 기획단계 공사비 예측모델)의 목표인 하한값 -15%~-30%, 상한값 +20%~+50%와 비교해본 결과, 본 연구에서 제시하는 CBR Ⅰ, CBR Ⅱ 모델은 적정한 수준의 신뢰도를 확보한 것으로 판단됨

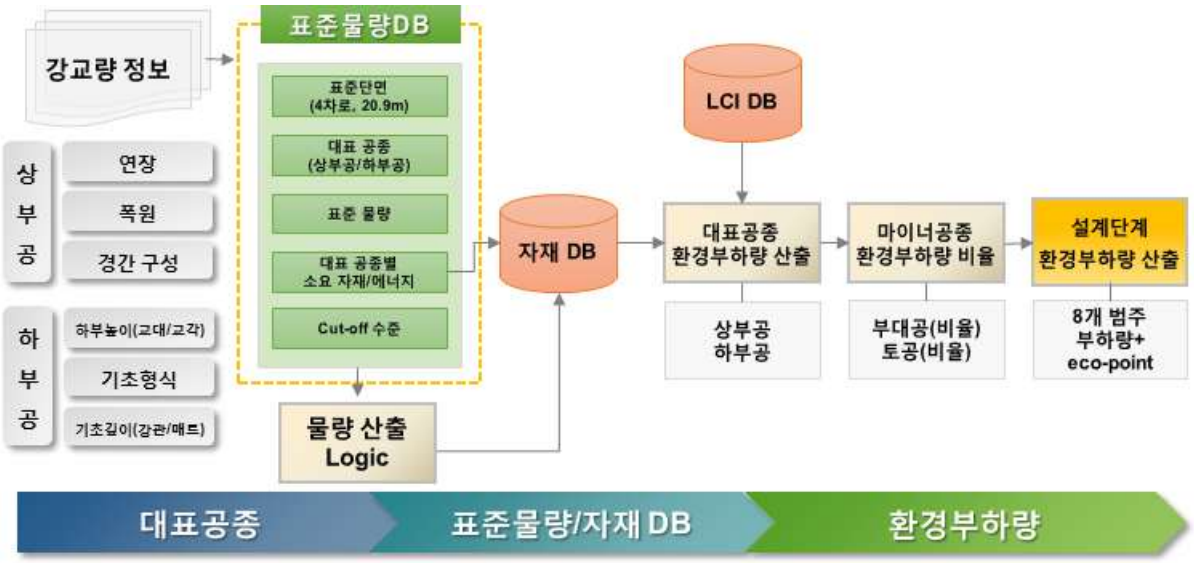
제 3 절 설계단계 환경부하 평가모델

1. 설계단계 환경부하 평가모델 개요

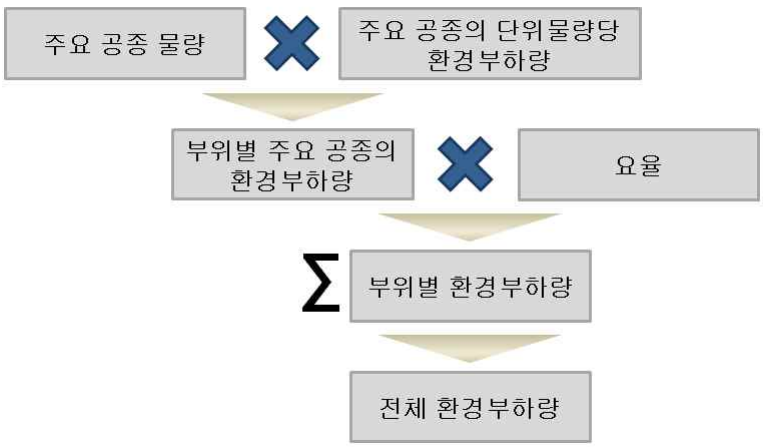
○ SOC 시설물에 투입되는 자원은 설계단계에서 대부분 결정되며, 환경부하량을 줄이기 위한 활동은 설계단계에서 이루어져야 함. 기존의 상세설계 자료를 바탕으로 하는 개별적산법에 기반한 방법론은 설계가 완료되어야만 적용할 수 있으며, 설계가 진행되면서 대상 시설물에 대한 다양한 설계 대안에 대해 검토가 이루어지는 단계에서는 적용하기 어려움. 또한, 데이터 마이닝, 통계적 방법 등에 기반한 방법론은 시설물의 전체 환경부하량을 추정하는 연구가 대부분이며, 시설물 건설시 공종별 투입물질에 의해 발생되는 환경부하의 연관관계 및 특성을 파악할 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 높아지고, 이러한 정보를 활용하여 표준단면의 공종물량을 기반으로 보다 구체적인 환경부하량 산정이 가능하므로, 설계초기 단계에서는 대표공종의 단위물량을 이용한 환경부하량 개산예측 방법론을 적용하였음

○ 교량 부위별 환경부하량을 산출하기 위해서 주요 공종의 물량과 주요공종의 단위 물량 당 환경부하량을 산출하는 과정이 필요하며, 구축된 부위별·공종별 환경부하량 DB를 분석하여 각 부위별 환경부하량 비율을 많이 차지하는 주요 공종을 선정하였음. 설계단계에서 가용한 정보를 기반으로 선정된 주요공종에 대한 물량 산출용 DB를 구축하며, 이때 구축된 DB를 이용하여 입력변수(가용정보)당 대표공종의 투입물질을 산정 할 수 있음. 다음으로 주요공종의 물량 DB와 연계될 각 주요공종에 투입되는 자원을 분석하여 단위 물량당 자원DB를 구축하고, 대표공종의 표준물량 DB와 단위 물량당 자원 DB를 연계하여 환경부하량 산정 모델을 구축할 수 있음. 최종적으로 본 연구에서 구축한 대표공종의 표준물량을 이용한 설계단계 환경부하 평가모델 개요는 [그림 3-3-1]과 같음



[그림 3-3-1] 표준물량 기반 설계단계 환경부하 평가모델 개요도



[그림 3-3-2] 대표공종의 단위물량을 이용한 환경부하량 산정 모델

○ 본 환경부하량 산정모델에서는 실제 교량공사의 공종을 분석하여 각 부위별 대표할 수 있는 공종을 선정하고, 표준단면을 바탕으로 한 표준단위물량을 통해 상세 물량을 산출함. 변수를 입력(연장, 경간장, 폭원 등)함으로써 신속하게 환경부하량을 추정할 수 있도록 표준물량 DB와 자원 DB를 LCI DB와 함께 연계 구성하였으며, 세 가지 데이터베이스는 엑셀을 기반으로 구축되었음. 다음으로 산출한 실제적인 물량에 대표공종별 소요되는 자원항목에 상응하는 LCI DB를 연계함으로써 환경부하량을 산정함([그림 3-3-2] 참조)

○ 따라서, 공종별 투입 소요자원의 변동이나 LCI DB의 추가 등의 변동요인의 반영이 용이하고, 기획단계에 비해 설계 초기단계의 증가한 가용정보를 바탕으로 좀 더 정확한 환경부하량 추정을 할 수 있을 것으로 판단됨

2. 환경부하 특성분석

○ 본 연구에서는 가장 일반적인 교량형식인 Steel Box 교량을 대상으로 하며, 2000년 이후 완료된 25건의 설계자료를 분석하였음. 교량의 제원, 공종별 물량, 소요 자원 및 에너지를 파악하기 위해 설계보고서, 내역서, 수량산출서, 단가산출서, 설계도면 등의 설계 자료를 활용하였음. 수집한 자료를 기준으로 실제 교량 사례들의 환경부하량을 산출하고 교량부위별 환경부하량 점유비율과 공종별 환경부하 특성을 분석하였음

○ 또한, 공종별 환경부하량을 산출하기 위해 한국환경산업기술원(KEITI, Korea Environmental Industry & Technology Institute)에서 제공하는 국가 LCI DB를 기본적으로 활용하였고, 국가 LCI DB에 없는 항목에 대해서는 국토교통부에서 구축한 LCI DB, 해외 DB인 Ecoinvent의 LCI DB를 추가로 활용하였음

[표 3-3-1] 환경부하 분석용 공종 분류

구분	공종	구분	공종
기초공	토공	부대공	교량받침
	강관파일공		신축이음
	구조물뒷채움		교면방수
	앞성토		다웰바 설치
	세굴방지용 사석채움		무수축 콘크리트
	저면매트		아스팔트 방수
	블록식보강토옹벽공		배수 시설공
상부공	강교		교명판 및 설명판
	스치로폴		점검용 계단
	스페이셔		NOTCH
	콘크리트 양생		난간설치
	콘크리트 생산		중분대
	비파괴검사		방호벽
	운반		교량유지관리표지
	자재대		안전점검통로
	고재대		낙하물 방지공
하부공	거푸집		COVER PLATE
	강관비계		교통안전 점검비
	동바리		실런트
	철근가공조립		DRAIN BOARD
	콘크리트 타설		PVC PIPE
	표면처리		전선관
	교대 보호블럭		초기우수처리장치
기타공	측량 기준점 설치		강교내부유지관리시설
	가도 및 축도		
	가교		
	가시설		
	도면보관함		
	오탁방지망		

○ 본 연구에서는 강교량의 부위별/공종별 다양한 건설정보관리 관점에서 기본적으로 활용되고 있는 국내 '건설정보분류체계 적용기준'의 부위분류, 공종분류 관점을 고려하여 상부공, 하부공, 토공, 부대공으로 분류하였으며, 국도건설공사 설계실무 요령(국토교통부, 2015), 내역서 및 수량산출서를 토대로 공종 분류체계를 구성하였음

○ 수집한 사례별 기초설계 자료를 바탕으로 교량의 부위별 공종별 환경부하 특성을 분석하였으며, 대표공종 중 상부공의 강교에서의 환경부하 특성 분석한 결과, 전체 환경부하량에 대한 부위별 환경부하량 점유비율 결과, LCI DB 중 상부공의 강교부분에서 상위 10개 항목은 표 18에 나타낸 바와 같이 후판, 도료_우레탄계, 선재, 도료_아크릴계, 도료_에폭시계, 프로판가스, 산소, 탄소강, 모래, 형강 순임을 알 수 있음

[표 3-3-2] 25개 강교의 상부공의 강교에서의 환경부하량 평균

자재명	환경부하량 Eco-point	환경부하량%	환경부하량 누적%
TOTAL	3.00E+02	100.00%	
후판	1.38E+02	45.98%	45.98%
도료_우레탄계	1.18E+02	39.52%	85.49%
선재	3.46E+01	11.52%	97.02%
도료_아크릴계	2.86E+00	0.95%	97.97%
도료_에폭시계	2.01E+00	0.67%	98.64%
프로판가스	1.48E+00	0.49%	99.13%
산소	8.06E-01	0.27%	99.40%
탄소강	7.64E-01	0.25%	99.66%
모래	2.43E-01	0.08%	99.74%
형강	2.41E-01	0.08%	99.82%
기타	5.45E-01	0.18%	100.00%

3. 표준물량 기반 환경부하 평가모델 개발

가. 대표공정 선정

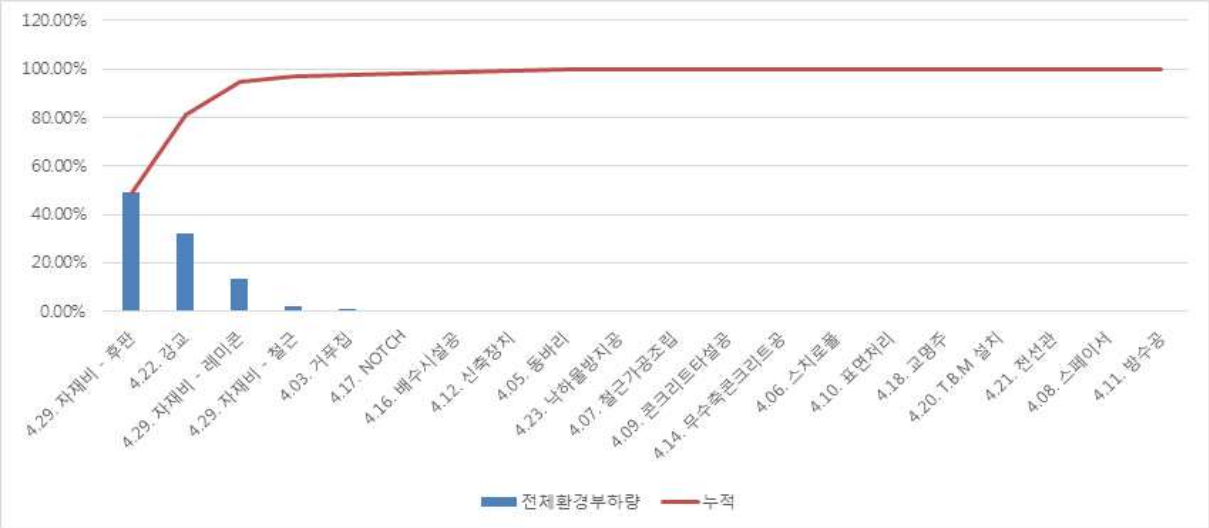
○ 교량 부위별 상위 몇개 공종이 환경부하량의 대부분을 차지하는 것으로 나타남에 따라 모든 공종을 고려하는 것은 비효율적이며, 본 연구에서는 공종 전체가 아닌 환경부하량을 많이 산출하는 상위 주요 공종만을 이용하여 신속하고 정확한 환경부하량을 산정하기 위해 대표공종을 선정함

○ 환경부하량을 많이 배출하는 주요 공종만을 이용하여 신속하게 환경부하량을 산정하기 위해 대표공종을 선정함. 대표공종선정은 상·하부공(기초공)에 한에서 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 3-3-3] 강교 상부공 대표공종



[그림 3-3-4] 강교 하부공 대표공종

나. 표준단면기반 표준물량 DB구축

(1) 상부공

○ 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

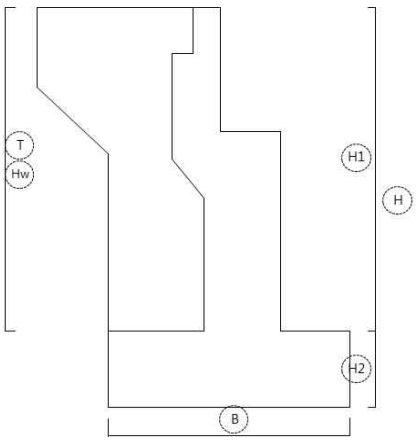
[표 3-3-3] 강교 대표공종의 표준물량 DB

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	㎡/연장	12.979
09. 동바리		
09.b. 일반 목재	공/ ㎥/연장	17.884
09.c. 데크 피니셔용	공/ ㎥/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	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)
17.a. 데크 피니셔	㎡/연장	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)
18.교면포장		
18.b. 교면포장	㎥	폭원-0.9(방호벽)-1.0(중분대)

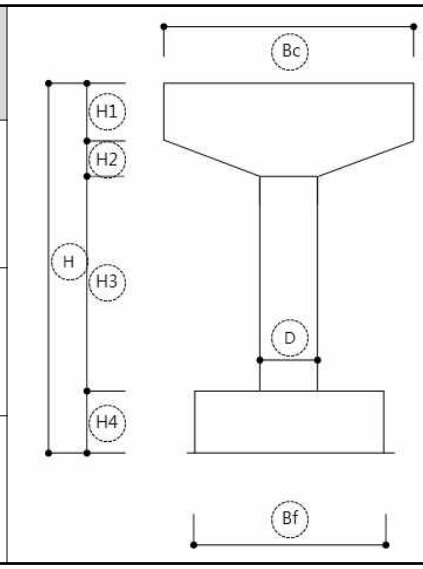
(2) 하부공

○ 강교량의 경우, 교대·교각으로 나누어 표준단면 선정. 교대의 경우, 경간별로 50m 미만/50m 이상으로 나누어 표준단면 선정

[표 3-3-4] 경간장별 교대공 대표단면 치수 (단위: m)

구분	본체 높이	기초 높이	교대 높이	날개벽 높이	날개벽 두께	기초 폭원	교대 길이	
기호	H1	H2	H	Hw	T	B	-	
50m 미만 대표단면	6.6	1.4	8	6.6	0.6	5.2	10.445	
50m 이상 대표단면	6.8	1.2	8	6.6	0.6	4.8	10.445	

[표 3-3-5] 경간장별 교각공 대표단면 치수 (단위: m)

구분	코핑 폭	기초 폭	기둥 직경	코핑 높이		기둥 높이	기초 높이	교각 높이	
기호	Bc	Bf	D	H1	H2	H3	H4	H	
50m 미만 대표단면	10.00	8.00	2.5	1.50	1.00	VAR.	2.00	VAR.	
50m 이상 대표단면	10.00	9.00	2.8	1.50	1.50	VAR.	2.20	VAR.	

○ 교대의 경우 수량산출서를 기반으로 표준단면에서의 공종 특성 및 물량단위를 고려하여 공종별 단위물량을 산정. 형식별로 경간장과 기초형식에 따라 표준 단위물량을 산출

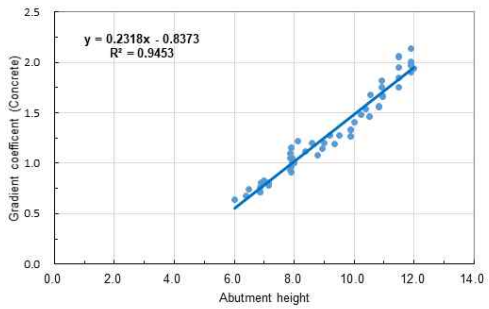
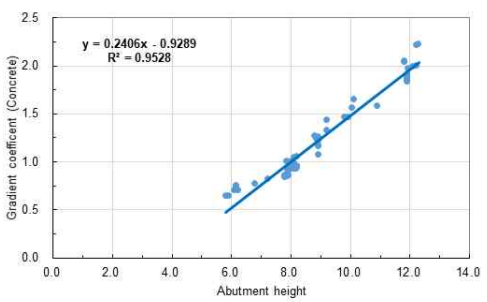
- 자재대(레미콘)
  - 부위에 따라 본체, 날개벽, 접속슬래브, 버림 콘크리트로 나누어 표준물량을 산출
  - 높이에 의한 증가율은 교대 높이를 변수로 한 일차식 도출하여 증가율 산출
  - 기초 길이, 폭원에 의한 증가율은 표준단면을 기준으로 증가하는 비율로 산출

· 표준단면의 레미콘 물량에 교대길이, 높이에 의한 증가율 각각 곱하여 레미콘 물량 산출

[표 3-3-6] 교대 레미콘 물량 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
24Mpa	본체	M3	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가 × 높이에 의한 증가	단위물량 × 증가율
	날개벽	M3	추정물량 = 표준물량 × 높이에 의한 증가	
	접속슬래브	M3	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
16Mpa	버림콘크리트	M3	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
	접속슬래브	M3	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	

[표 3-3-7] 높이에 의한 레미콘 증가 산출 그래프

경간 구분	50m 미만	50m 이상
레미콘(24Mpa) 본체+날개벽		
콘크리트 물량 증감비율	$y_c = 0.2318h_a - 0.8373$ y_c = 증감비율, h_a = 교대 높이	$y_c = 0.2406h_a - 0.9289$ y_c = 증감비율, h_a = 교대 높이

- 철근가공조립

· 각 교량들을 경간(50m 미만, 50m 이상), 기초형식(직접,말뚝)으로 분류하여, 교량의 교대높이 구간별로 구분하여 콘크리트량에 대한 철근가공조립 수량 평균비율 산출

· 산출된 비율을 콘크리트의 단위물량과 곱하여 철근가공조립 물량 산출

[표 3-3-8] 교대높이별 콘크리트-철근비

구분				6≤교대높이<8	8≤교대높이<10	10≤교대높이	비고
공종명	경간	기초 형식	단위				
철근 가공 조립 (Net수량)	50m 미만	직 접	ton	0.13209	0.13069	0.13193	비율
		말 뚝	ton	0.10453	0.12159	0.11149	
	50m 이상	직 접	ton	0.16414	0.12376	0.13133	
		말 뚝	ton	0.12308	0.11244	0.10371	

[표 3-3-9] 철근가공조립-철근량 할증률

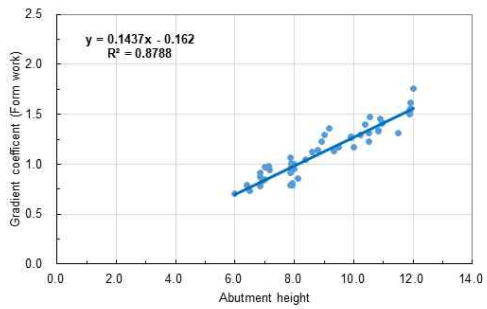
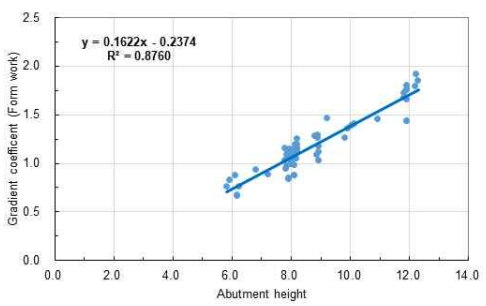
구분				할증률	비고
공종명	경간	기 초 형 식	단위		
자재대 철근 (할증수량)	50m 미만	직 접	ton	철근가공조립수량 × 1.04837	비율
		말 뚝	ton	철근가공조립수량 × 1.04383	
	50m 이상	직 접	ton	철근가공조립수량 × 1.05201	
		말 뚝	ton	철근가공조립수량 × 1.04511	

- 자재대(철근)
  - 경간(50m 미만, 50m 이상), 기초형식(직접, 말뚝)으로 분류하여, 철근가공조립에 대한 평균 할증비율 산출
  - 산출된 할증 비율을 철근가공조립 물량과 곱하여 철근 물량을 산출
- 콘크리트 타설
  - 부위별 레미콘 타설량에 레미콘물량 할증률(101%, 102%)로 나누어 표준물량 산출
- 거푸집
  - 부위에 따라 본체, 날개벽, footing, 접속슬래브, 버림 콘크리트로 나누어 표준물량을 산출하고, 높이에 의한 증가율은 교대 높이를 변수로 한 회귀식으로 산출
  - 기초 길이, 폭원에 의한 증가율은 표준단면의 폭원을 기준으로 증가율 산출
  - 표준단면의 거푸집 물량에 폭원, 기초길이, 높이에 의한 증가율 각각 곱하여 레미콘 물량 산출

[표 3-3-10] 교대 거푸집 물량 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
합판거푸집 - 3회	본체	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가× 높이에 의한 증가	단위면적 × 증가율
	날개벽	m^2	추정물량 = 표준물량 × 높이에 의한 증가	
합판거푸집 - 4회	Footing	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
	접속슬래브	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
합판거푸집 - 6회	버림 콘크리트	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	
	접속슬래브	m^2	추정물량 = 표준물량 × 교대 길이에 의한 증가	

[표 3-3-11] 높이에 의한 레미콘 증가 산출 그래프

경간	50m 미만	50m 이상
거푸집 본체+날개벽		
거푸집 물량 증감비율	$y_f = 0.1437h_a - 0.1620$ y_f= 증감비율, h_a = 교대 높이	$y_f = 0.1622h_a - 0.2374$ y_f= 증감비율, h_a = 교대 높이

- 교량받침

  · 경간에 따라 교량받침 종류 연계(50m 미만-3,000kN, 50m 이상-4,500KN)

  · 교대 당 교량 받침 4개소

[표 3-3-12] 강교량 교대공 대표공종의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준 물량	
		50m 이하	50m 이상
자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
25-24-15(본체)	㎥	164.718	155.210
25-24-15(날개벽)	㎥	18.985	20.504
25-24-15(접속슬래브)	㎥	28.870	
25-16-15(버림콘크리트)	㎥	5.808	5.717
25-16-15(접속슬래브버림)	㎥	7.464	
1.2 철근		-	-
본체	ton	철근가공조립(본체) × 할증률	
날개벽	ton	철근가공조립(날개벽) × 할증률	
접속슬래브	ton	철근가공조립(접속슬래브) × 1.03	
1.3 시멘트		-	-
무수축몰탈 (1:1)	kg	74.324 ×교량받침개수	51.918 ×교량받침개수
2. 거푸집		-	-
합판3회(본체)	㎡	152.469	148.425
합판3회(날개벽)	㎡	66.012	70.515
합판4회(footing)	㎡	43.806	37.944
합판4회(접속슬래브)	㎡	7.330	
합판6회(버림콘크리트)	㎡	3.189	3.242
합판6회(접속슬래브)	㎡	1.863	
3. 철근가공조립		-	-
3.1복잡		-	-
본체	ton	본체 콘크리트 × 철근비	
날개벽	ton	날개벽 콘크리트 × 철근비	
3.2보통		-	-
접속슬래브	ton	접속슬래브 콘크리트 × 0.19651	
4. 콘크리트 타설		-	-
4.1철근 펌프카, 15m이하		-	-
본체	㎥	본체 콘크리트/1.01	
날개벽	㎥	날개벽 콘크리트/1.01	
접속슬래브	㎥	접속슬래브 콘크리트/1.01	
4.2무근펌프카, vib제외		-	-
버림콘크리트	㎥	버림 콘크리트/1.02	
접속슬래브	㎥	접속슬래브 콘크리트/1.02	
5. 교량받침		-	-
포트받침	EA/교대	4 (3,000KN)	4 (4,500KN)

○ 교각의 경우 수량산출서를 기반으로 표준단면에서의 공종 특성 및 물량단위를 고려하여 공종별 단위물량을 산정함. 형식별로 경간장과 기초형식에 따라 표준 단위물량 산출

- 자재대(레미콘)
  - 부위에 따라 Coping, Column, Footing, 버림 콘크리트 나누어 표준물량을 산출
  - Column의 지름은 대표단면의 지름으로 선정, 각 교각의 Column높이 곱하여 추정물량 산출

[표 3-3-13] 교각 레미콘 물량 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
레미콘 (24Mpa)	Coping	M3	표준물량	단위물량 ×증가율
	Footing	M3	표준물량	
	Column	M3	추정물량 = $\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 (Columns높이 = 교각높이 - 대표단면Coping높이 - 대표단면Footing높이)	
레미콘 (16Mpa)	버림콘크리트	M3	표준물량	

- 철근가공조립
  - 경간(50m 미만, 50m 이상), 기초형식(직접, 말뚝)으로 분류하여, 교량의 교대높이 구간별로 구분하여 콘크리트량에 대한 철근가공조립 수량 평균비율 산출
  - 산출된 단위중량 비율을 콘크리트의 단위물량과 곱하여 철근가공조립 물량 산출

[표 3-3-14] Column 높이별 콘크리트-철근비

구분				Column높이<10	10≤Column높이 < 15	15≤Column높이 < 20	20≤Column높이 < 25	25≤Column높이	비고
공종명	경간	기초형식	단위						
철근가공조립 (Net수량)	50m 미만	직 접	ton	0.3670	0.2505	0.2555	0.2417	0.2121	비율
		말 뚝	ton	0.3753	0.2198	0.2415	0.2417	0.2121	
	50m 이상	직 접	ton	0.3880	0.2525	0.2228	0.1884	0.1727	
		말 뚝	ton	0.3607	0.2057	0.2218	0.1863	0.2097	

- 자재대(철근)
  - 경간(50m 미만, 50m 이상), 기초형식(직접,말뚝)으로 분류하여, 철근가공조립에 대한 할증 평균비율 산출. 산출된 할증 비율을 철근가공조립 물량과 곱하여 철근 물량을 산출

[표 3-3-14] 철근가공조립-철근량 할증률

구분				할증률	비고
공종명	경간	기 초 형 식	단위		
자재대 철근 (할증수량)	50m 미만	직 접	ton	철근가공조립수량 × 1.0530	단위 중량 비율
		말 뚝	ton	철근가공조립수량 × 1.0529	
	50m 이상	직 접	ton	철근가공조립수량 × 1.0538	
		말 뚝	ton	철근가공조립수량 × 1.0535	

- 콘크리트 타설
  - 부위별 레미콘 타설량에 레미콘물량 할증률(101%, 102%)로 나누어 표준물량 산출
- 거푸집
  - 부위에 따라 Coping, Column, Footing, 버림 콘크리트 나누어 표준물량을 산출
  - Column의 지름은 대표단면의 지름으로 선정, 각 교각의 Column높이 곱하여 추정물량 산출

[표 3-3-15] 교각 거푸집 물량 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
강재거푸집	Coping	m^2	표준물량	단위면적 ×증가율
	Column	m^2	추정물량 = $\pi \times D \times Column$높이 (Columns높이 = 교각높이 - 대표단면Coping높이 - 대표단면Footing높이)	
합판거푸집(4회)	Footing	m^2	표준물량	
합판거푸집(6회)	버림	m^2	표준물량	

- 교량받침
  - 경간에 따라 교량받침 종류 연계(50m 미만-3,000kN, 50m 이상-4,500KN)
  - 교각 당 교량 받침 8개소

○ 강관파일 기초는 직경508mm, 두께12mm를 표준 파일형식으로 선정하고, 교대 및 교각의 강관파일 본수를 각각 30개, 36개로 선정

○ 매스콘크리트의 경우, 깊이와 교량 폭원을 입력 변수로 활용하여 물량을 산출할 수 있으며, 폭원과 길이는 표준단면의 제원을 활용함

[표 3-3-16] 강관파일 부위별 산출방법

구분			산출방법	비고
공종명	부위	단위		
강관파일 (508-12mm)	강관파일자재비	m	강관파일깊이 ×파일본수 × 할증(1.05)	강관파일깊이 × 개수
	강관파일천공 후 항타	m	(강관파일깊이-0.2) × 파일본수	
	두부 및 선단보강	ea	교대: 30ea, 교각: 36ea	

[표 3-3-17] 매스콘크리트의 표준물량 DB

대표 공종	단위	표준 물량		
1. 매스콘크리트				
1.1 자재대 (레미콘)	m^3	교대	(기초폭원+0.2)x(기초길이+0.2)x(교량 폭원/20.9) x 매스콘크리트 깊이 x1.02	
		교각	(기초폭원+0.2)^2x(교량폭원/20.9)x 매스콘크리트 깊이 x1.02	
1.2 합판거푸집(6회)	m^2	교대	[(기초폭원+0.2)+(기초길이+0.2)x (교량폭원 / 20.9)]x2 x 매스콘크리트 깊이	
		교각	[(기초폭원+0.2)x2x(1+교량폭원/20.9)] x 매스콘크리트 깊이	
·기초 길이 (m)		교대: 10.445		교각: 8.0 (경간장 50m 미만) 9.0 (경간장 50m 이상)
·기초 폭원 (m)		교대: 5.2 (경간장 50m 미만) 4.8 (경간장 50m 이상)		

[표 3-3-18] 강교량 교각공 대표공종의 표준물량 DB

대표공종	단위	표준물량	
		50m 미만	50m 이상
자재대		-	-
1.1 레미콘		-	-
25-24-15(Coping)	㎥	55.424	66.414
25-24-15(Footing)	㎥	129.280	139.986
25-24-15(Column)	㎥	$\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 ×1.01 (기둥높이= 교각 높이 - 4.5)	$\frac{\pi \times D^2}{4} \times Column$높이 ×1.01 (기둥높이= 교각 높이 - 5.2)
25-16-15(버림콘크리트)	㎥	6.858	6.756
1.2 철근		-	-
Coping	ton	철근가공조립(Coping) × 할증률	
Footing	ton	철근가공조립(Footing) × 할증률	
Column	ton	철근가공조립(Column) × 할증률	
1.3 시멘트		-	-
무수축몰탈 (1:1)	kg	76.874×교량받침개수	54.923×교량받침개수
2. 거푸집		-	-
강재(Coping)	㎡	73.284	90.260
강재(Column)	㎡	$\pi \times D \times Column$높이 (기둥높이= 교각 높이 - 4.5)	$\pi \times D \times Column$높이 (기둥높이= 교각 높이 - 5.2)
합판4회(footing)	㎡	64.000	70.400
합판6회(버림콘크리트)	㎡	3.280	
3. 철근가공조립		-	-
3.1 매우 복잡		-	-
Coping	ton	Coping 콘크리트×철근비(0.17773)	Coping 콘크리트×철근비(0.15621)
Footing	ton	Footing콘크리트×철근비(0.08684)	Footing콘크리트×철근비(0.09693)
Column	ton	Column 콘크리트 × 철근비(높이별)	
4. 콘크리트 타설		-	-
4.1철근 펌프카, 15m이하		-	-
Coping	㎥	Coping 콘크리트/1.01	
Footing	㎥	Footing 콘크리트/1.01	
Column	㎥	Column 콘크리트/1.01	
4.2무근펌프카, vib제외		-	-
버림콘크리트	㎥	버림 콘크리트/1.02	
5. 교량받침		-	-
포트받침	ea	8 (3,500N)	8 (4,500KN)

다. 소요자원 DB 구축

○ 표준물량 DB를 통해 도출된 추정물량과 LCI DB를 함께 연계하여 대표공종의 환경부하량을 산출하기 위해 대표공종의 단위당 소요자원의 목록과 수량을 정리한 자원DB를 구축하였음

○ 자원 DB는 표준품셈, 국도건설 설계실무요령을 기반으로 하여 가장 표준적인 대표종공의 소요자원 항목과 수량을 도출한 것으로, 경간에 따라 구분하여 부위별로 자원DB를 구축함. [표 3-3-20]은 소요 자원DB의 예시자료로써, 상부공의 강교 제작공종에 대한 자원DB이며, 그 밖의 부위별 전체 자원DB는 [부록A 7.5]에 수록함

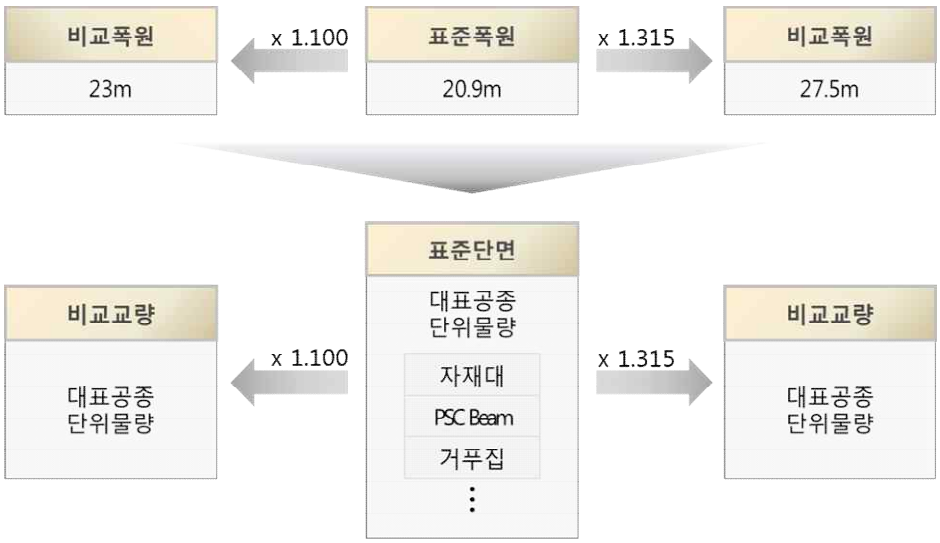
[표 3-3-19] 상부공(강교 제작) 자원 DB

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)	3.2㎜ KSE4301	28	선재
			산소	99% 6000ℓ(기체) 40ℓ	2.5	산소
			프로판가스	일반용	10	LPG
			고 철		0.1003117	철근
			STUD	D22*150	20.0216226	선재
14.b. 강교 운반		ton	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. 표준물량 기반 설계단계 환경부하량 산정절차

○ 본 연구에서 개발한 모델은 표준폭원으로 설정한 20.9m, 4차로를 기준으로 표준물량을 산출하였기 때문에 표준폭원 이외의 교량에 대한 물량추정을 위하여 폭원변화에 대응한 물량산출 방식이 필요함. 폭원변화 비율을 표준물량에 적용함으로써 표준폭원 이외의 교량에 대해 추정물량을 산출할 수 있음. 폭원변화 비율을 계산하고 이 비율을 표준폭원의 단위물량에 곱하여 비교폭원에 대한 단위물량을 보정하도록 하였음

$$\text{비교교량의 단위물량} = \text{표준폭원의 단위물량} \times \frac{\text{비교 폭원}(m)}{\text{표준 폭원}(20.9m)}$$



[그림 3-3-5] 폭원에 따른 표준물량 보정방법

○ 상부공의 대표공종별 주요 물량을 산출하기 위한 입력변수로서 연장, 폭원, 경간구성 정보가 필요하며, 강교제작의 공종별 주요 물량을 산출하는데 활용함. 강교량의 세부공종은 강교제작, 강교운반, 강교도장으로 구성되며, 강교의 총물량으로부터 주요 물량이 산정됨. 이와 같은 방법으로 상부공의 대표공종의 주요 물량을 산출하고, 단위 자원량을 곱하여 상부공에 투입되는 전체 자원량을 구할 수 있음. 산정된 소요자원량을 해당 LCI DB와 연계하여 상부공의 대표공종에 발생되는 환경부하량을 계산하고 대표공종의 점유비율을 반영하여 상부공 전체 환경부하량을 산정하게 됨

○ 하부공에 대한 입력변수로 상부공의 입력변수인 경간장, 폭원을 공유하고, 추가적으로 교대/교각의 높이, 기초형식, 기초 깊이에 대한 정보를 활용함. 입력변수를 입력하면 표준물량을 기반으로 만든 회귀식을 활용하여 콘크리트 및 거푸집의 증가계수를 구하고, 이 계수는 표준물량에 각각 곱해져 대표공종 중 레미콘와 거푸집의 물량을 산출함. 철근가공조립은 추정된 콘크리트 물량에 콘크리트-철근비를 곱하여 산정하고, 철근 할증계수를 곱하여 철근량을 구

할 수 있음

○ 강관파일 기초와 매스콘크리트의 경우, 기초 깊이 입력변수와 표준물량을 참조하여 산정하고, 경간수에 따른 개소를 반영하여 전체 물량을 산정됨. 위와 같은 방법으로 산출된 대표공종의 추정물량은 자원 DB의 단위 자원량과 연계되어 추정물량에 대한 전체 소요자원량을 산출함. 이렇게 산정된 소요 자원의 수량과 LCI DB를 연계하여 하부공의 환경부하량을 추정할 수 있음

○ 표준물량 기반 추정모델에서 산출된 상부공, 하부공의 환경부하량 결과값에 토공, 부대공의 점유비율 적용하여 부대공, 토공의 환경부하량을 계산하고, 최종적으로 강교량의 전체 환경부하량을 추정할 수 있음

4. 평가모델 검증

○ 본 연구에서는 제안모델의 정확도 및 신뢰성검증을 위해, 다음 [표 3-3-21]과 같이 10개의 검증사례를 선정함

[표 3-3-20] 설계단계 모델 검증용 사례 정보

기본 정보	검증1	검증2	검증3	검증4	검증5	검증6	검증7	검증8	검증9	검증10
연장 (m)	160.0	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 3-3-21] 표준물량 기반 모델 및 원단위 분석 모델의 결과 비교

검증사례	실제 환경부하량	원단위		설계단계 모델	
		산정결과	오차율	산정결과	오차율
	Eco-point	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%	

○ 검증사례에 대하여 실제 환경부하량을 기준으로 기획단계 모델과 함께 비교검증을 수행한 결과는 [표 3-3-22]와 같음

○ 강교량 10개 검증사례에 대해 직접 산출한 환경부하량과 비교분석하여 절대평균오차율과 표준편차를 산출하였음. 교량의 원단위 방식에 대한 절대평균오차율 및 표준편차는 각각 25.17%, 29.90%으로 나타남. 본 연구에서 제안된 모델은 절대평균오차율 1.75%, 표준편차 4.76%로 나타났으며, 환경부하량 추정시 일반적으로 활용되는 원단위 방식에 비해 높은 정확도를 갖는 것으로 분석됨. 또한, 환경부하량 추정결과의 편차범위도 원단위 방식과 비교하여 신뢰성 측면에서도 향상된 결과를 보여준다고 판단됨

○ 원단위 방식은 기초를 포함하여 하부공의 물량 및 기초형식에 의한 환경부하 특성을 반영할 수 없으며, 본 연구에서 제안한 모델은 하부공(기초공 포함)의 물량을 추정할 수 있기 때문에 원단위 방식과 비교하여 신뢰성 있는 환경부하량을 평가할 수 있음. 또한, 환경부하량 산정을 위한 입력 정보는 상부공은 연장, 폭원, 하부공은 교대/교각의 높이, 기초 형식 및 깊이 정보만 필요하며, 이러한 정보는 설계 초기단계에서 활용가능하며, 설계가 완료되기 전에 설계하고자 하는 시설물의 환경부하량을 신속하고 신뢰성 있게 평가할 수 있기 때문에 친환경적인 설계를 유도할 수 있음

제 4 절 유지관리단계 환경부하 평가모델

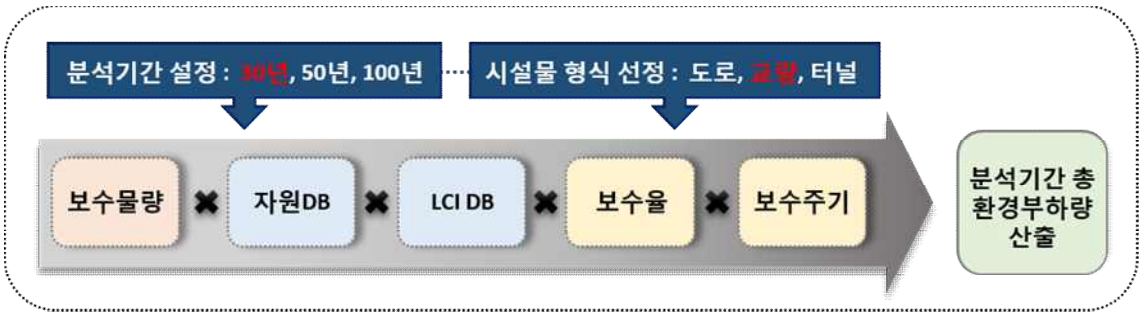
1. 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요

○ 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

○ 시설물의 생애주기 동안 발생 가능한 유지보수공법의 환경부하량을 예측하기 위하여 연구문헌 및 사례조사를 통해 현황을 분석하여 강교량에서 주로 사용되는 유지보수 공법을 조사하여 분석함

○ 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 3-4-1] 유지보수 공법별 환경부하량 산정 개요

2. 기초자료 수집 및 주요 유지보수 공법별 환경부하 특성 분석

○ 교량시설물 유지보수공사설계가이드(서울특별시 안전총괄본부, 2017), 유지보수 공종별 단가집(한국도로공사, 2016)을 참조하여 강교의 주요 유지보수공법을 선정하고, 공법별 규격에 대해 보수 사례를 분석함. 유지보수 설계사례를 조사하여 공법별 입력변수를 정의하고, 주요 유지보수 공법별 소요자원 및 환경부하량 DB를 구축함

○ 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

구분			손상내용	손상물량	보수방안
바닥판		B~C	균열(0.2mm이하)	200.6m/201EA	표면보수
			박태	1.1㎡/2EA	표면보수
			재료분리	0.5㎡/1EA	단면보수
			데크플레이트 부식	0.03㎡/1EA	바탕처리 및 재도장
강박스거더	내부	A~B	부식	1㎡/14EA	바탕처리 및 재도장
			용접불량(PIT)	39EA	지속관찰
			점검등 물량	2EA	지속관찰
			환기구 볼트체결 물량	1EA	지속관찰
	외부		부식	0.15㎡/6EA	바탕처리 및 재도장
하부구조	교대	C	균열(0.2mm이하)	4.7m/8EA	표면보수
			균열(0.3mm이상)	0.3m/1EA	주입보수
			망상균열	1.5㎡/1EA	표면보수
			박리, 파손	4.26㎡/3EA	단면보수
			철근노출	0.17㎡/3EA	단면보수(방청)
			마감불량	0.37㎡/37EA	단면보수
			누수오염	16.25㎡/3EA	물고임방지턱 우레탄방수
	교각	B~C	균열(0.2mm이하)	44.9m/33EA	표면보수
			박태	0.08㎡/1EA	표면보수
			철근노출	0.08㎡/2EA	단면보수(방청)
			파손	0.01㎡/1EA	단면보수
교량받침		A~B	균열(0.2mm이하)	0.6m/3EA	표면보수
			박리, 파손	0.2㎡/4EA	단면보수
			철근노출	0.04㎡/3EA	단면보수(방청)
			받침본체 부식	0.42㎡/3EA	바탕처리 및 재도장
			볼트부식	9EA	바탕처리 및 재도장
신축이음		C	본체 강재부식	17m/4EA	J1,J2 신축이음장치 교체
			고무재 파손	11.4㎡/1EA	
			이물질 퇴적	0.15㎡/1EA	
			이음부 단차	0.5m/1EA	
			포타재균열(cw=0.3mm이상)	20.6m/47EA	
교면포장		D	망상균열	1997㎡/13EA	지속관찰
			접속부 균열	7m/2EA	지속관찰
			접속부 망상균열	50㎡/1EA	지속관찰
			골재탈락	0.01㎡/1EA	지속관찰
			접속부 파손	0.2㎡/1EA	단면보수
기타부재	배수시설	C	유도배수관 연결불량	1EA	배수관 교체
	측 및 중앙분	C	균열(0.2mm이하)	18.1m/17EA	지속관찰
			균열(0.3mm이상)	1.2m/1EA	주입보수
			망상균열(피복부족, 폭찰상)	15.2㎡/2EA	단면보수(방청)
			미세 망상균열(0.1mm이하)	638㎡/10EA	지속관찰
			박태	3.92㎡/39EA	표면보수
	교량 하부		세굴	2㎡/1EA	재성토

보수*보강 일람표

구분			손상내용	손상물량	보수방안
바닥판		B	균열(0.2mm이하)	18.6m/19EA	표면보수
			박태	1.2㎡/5EA	표면보수
			박리	0.05㎡/1EA	단면보수
			데크플레이트 부식	0.05㎡/3EA	바탕처리 및 재도장
강박스거더	내부	B	도장박리	0.06㎡/6EA	바탕처리 및 재도장
			용접불량(PIT)	23EA	지속관찰
			부식	0.54㎡/6EA	바
			점검등 물량	2EA	지속관찰
	외부		부식	0.32㎡/14EA	바탕처리 및 재도장
			도장박리	0.01㎡/1EA	바탕처리 및 재도장
하부구조	교대	B	균열(0.2mm이하)	10.1m/14EA	표면보수
			박리, 들뜸	0.34㎡/2EA	단면보수
			마감불량	0.48㎡/44EA	단면보수
			재수	26.75㎡/5EA	물고임방지턱 우레탄방수
	교각	B~C	균열(0.2mm이하)	77.3m/60EA	표면보수
			균열(0.3mm이상)	1m/1EA	주입보수
			철근노출	0.06㎡/3EA	단면보수(방청)
교량받침		A~B	균열(0.2mm이하)	2.2m/8EA	표면보수
			망상균열	0.1㎡/1EA	표면보수
			철근노출	0.01㎡/1EA	단면보수(방청)
			재료분리, 파손	0.31㎡/2EA	단면보수
			받침본체 부식	0.05㎡/1EA	바탕처리 및 재도장
신축이음		C	본체강재부식	8m/4EA	신축이음장치 교체 (J1, J2)
			고무재 열화	10m/1EA	
			이물질 퇴적	0.45㎡/2EA	
			포타재 균열(0.3mm이상)	23m/51EA	
교면포장		D	균열	3.75m/2EA	지속관찰
			망상균열	2580.5㎡/11EA	지속관찰
			접속부 망상균열	142㎡/2EA	지속관찰
			접속부 파손	1.13㎡/3EA	단면보수
기타부재	배수시설	C	배수관불량	1EA	배수관 교체
	측 및 중앙분	C	균열(0.2mm이하)	25.8m/32EA	지속관찰
			균열(0.3mm이상)	25.4m/20EA	주입보수
			망상균열	0.5㎡/1EA	지속관찰
			박태	9.83㎡/61EA	표면보수
			재료분리	1.5㎡/1EA	단면보수
			철근노출	1.52㎡/2EA	단면보수(방청)

[그림 3-4-2] 강교량 보수·보강 일람 예시

강재도장 손상발생 현황

구분		손상내용	손상물량	보수방안
바닥판		데크플레이트 부식	0.03㎡/1EA	바탕처리 및 재도장
강박스거더	내부	부식	1㎡/14EA	바탕처리 및 재도장
	외부	부식	0.15㎡/6EA	바탕처리 및 재도장
교량받침		받침본체 부식	0.42㎡/3EA	바탕처리 및 재도장
		볼트부식	9EA	바탕처리 및 재도장

[그림 3-4-3] 강교량의 도장 손상발생 현황 예시

[표 3-3-1] 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
교면재포장 (Guss(mastic) Asphalt)		T(포장두께)=3cm
		T(포장두께)=4cm
받침교체		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)
	슈퍼락쉴드공법 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)

3. 유지보수 공법 DB기반 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

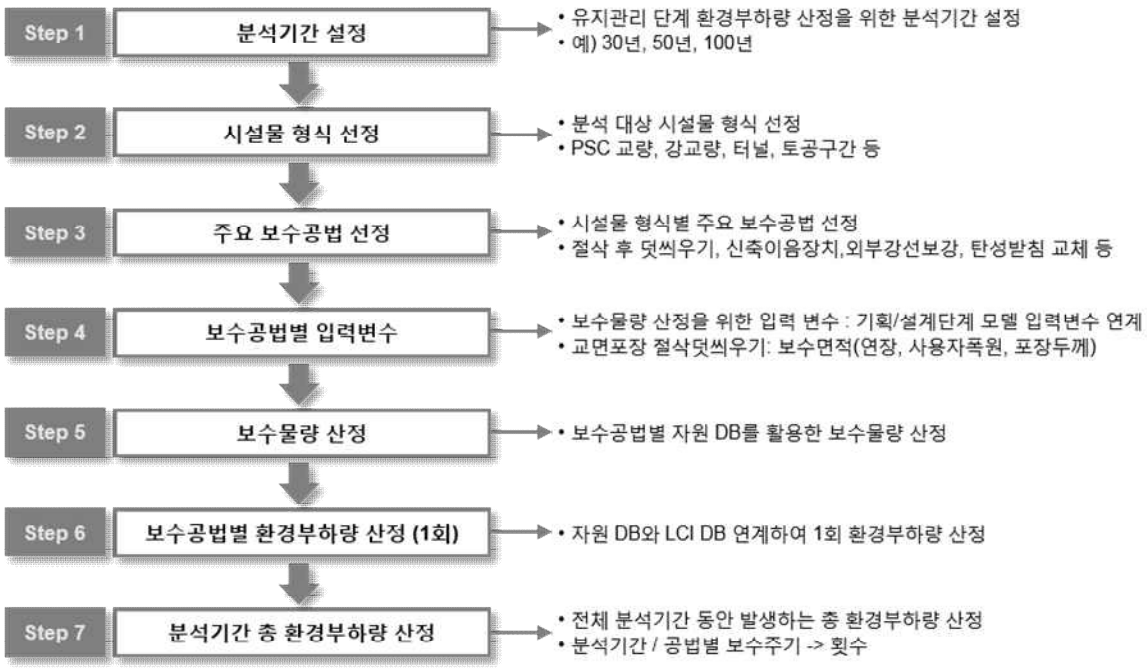
○ 공법별 보수율 및 보수주기는 한국도로공사의 고속도로 설계단계 LCC DB 개선 및 시스템 적용 연구 및 일본 강교량 유지보수 연구 사례를 참조하여 선정함

○ 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 3-3-2] 강교량의 유지보수공법별 기본정보

공법명	규격		입력변수	보수율	보수주기 (년)
교면포장보수	절삭후 덧씌우기	얕은 절삭(t=3cm)	연장, 폭원 (부분보수면적)	9.2%	6
교면재포장	재포장 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)	폭원, 설치개소	100%	22
		NEW F/J #(80)			
강교 재도장	NOX강재중방식 도장	부분재도장	연장, 폭원	5%	5
		전면재도장		50%	30
	슈퍼락쉴드공법도장	부분재도장		5%	5
		전면재도장		50%	30
	Prost공법도장	부분재도장		5%	5
		전면재도장		50%	30
	코러실중방식 도장	부분재도장		5%	5
		전면재도장		50%	30

○ 유지보수 공법별 환경부하량을 설계 초기단계에서의 가용정보만을 이용하여 환경부하량을 산정 가능하도록 공법별 소요자원 DB를 구축함. 연장, 폭원, 경간장 등과 같은 기본정보를 입력변수로 하여 소요 자원량을 산정하고 LCI DB와 연계하여 보수공법별 1회에 해당하는 환경부하량을 산출하여 DB를 구축함. 그리고, 보수공법별 보수율, 보수주기를 설정하고 분석기간 동안에 발생 가능한 유지관리단계에서의 환경부하량을 추정하는 모델을 구축하였으며, 산정 절차를 아래 그림과 같음



[그림 3-4-4] 유지관리단계 환경부하량 산정 절차

[표 3-4-3] 유지보수 공법별 소요자원 DB(계속)

공법명		자원명	규격	수량	단위	LCI DB
절삭 후 덧씌우기 (얕은 절삭)		경유		1.816	L	경유
		아스콘		0.072	ton	아스콘
교면재포장 (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	-
교면재포장 (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	-
MAS 공법	1000KN	경유		29.718	L	경유
	2000KN	경유		31.804	L	경유

[표 3-4-33] 유지보수 공법별 소요자원 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)	3.2㎜ KSE4301	0.177	KG	선재
	산소		60.480	ℓ	산소
	아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	0.026	KG	아세틸렌
	경유		39.804	L	경유
컴퓨터 동시인상 (2000KN)	Plate	12<T≤ 20	0.006	ton	후판
	용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	0.177	KG	선재
	산소		60.480	ℓ	산소
	아세칠렌	98% (용접용) 1kg=853ℓ	0.026	KG	아세틸렌
	경유		40.524	L	경유
교량받침 설치 (1350KN)	탄성받침	1350KN	1.000	EA	탄성받침-1350
	경유		12.623	L	경유
	시 멘 트		74.324	KG	시멘트
교량받침 설치 (1750KN)	탄성받침	1750KN	1.000	EA	탄성받침-1750
	경유		8.332	L	경유
	시 멘 트		51.918	KG	시멘트
신축이음장치 교체공(#50)	이형철근	D16M/M 1.560KG/M SD30A,30B	10.450	KG	철근
	결속선	#20 0.9㎜	0.052	kg	선재
	모래	자연사(시내도착도)	0.039	㎥	모래
	자연자갈	#57 25-5㎜ (시내도착도)	0.070	㎥	순환골재
	초속경시멘트	3시간에 실용강도 200kg/㎠ 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 900x1800㎜ (비중 0.015)	2.000	매	발포폴리스티렌
	용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	0.624	KG	선재
	휘 발 유		0.224	L	휘발유
	경 유		0.315	L	경유
	산업용전력		1.464	KWH	전기
	New Finger Joint	NO.50	1.000	M	신축이음-50
	블레이드	320~400㎜	0.005	개	-
신축이음장치 교체공(#80)	이형철근	D16M/M 1.560KG/M SD30A,30B	10.970	KG	철근
	결속선	#20 0.9㎜	0.055	kg	선재
	모래	자연사(시내도착도)	0.044	㎥	모래
	자연자갈	#57 25-5㎜ (시내도착도)	0.081	㎥	순환골재
	초속경시멘트	3시간에 실용강도 200kg/㎠ 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 900x1800㎜ (비중 0.015)	2.200	매	발포폴리스티렌
	용접봉(연강용)	3.2㎜ KSE4301	0.624	KG	선재
	휘 발 유		0.224	L	휘발유
	경 유		0.355	L	경유
	산업용전력		1.464	KWH	전기
	New Finger Joint	NO.80	1.000	M	신축이음-80
	블레이드	320~400㎜	0.005	개	-

4. 평가모델 검증

○ 유지보수 공법별 검증사례에 대해 환경부하량을 산출하고 유지관리단계 모델의 환경부하량과 비교분석을 실시함. 본 연구에서 제안된 모델은 보수공법별로 -13.41% ~ 17.79%로 나타났으며, 신뢰성 있는 환경부하량 추정결과를 보여줌

[표 2-4-4] 유지관리단계 환경부하 평가모델의 검증사례 정보

검증 사례	교량형식	연장(m)	폭원(m)	경간구성	준공년도	공사수행년도	보수공법
검증1 복교1교 목포	STB	261.0	16.24	33+45+33+3@50	2001	2017	재도장
검증2 복교1교 서울	STB	261.0	12.15	33+45+33+3@50	2001	2017	신축이음장치 교체
검증3 보청교 상주	STB	290.0	12.14	55+3@60+55	2007	2017	신축이음장치 교체
검증4-1	STB	290	12.14	55+3@60+55	2007	2017	신축이음장치 교체
검증4-2							절삭후 덧씌우기
검증5	STB	290	12.14	55+3@60+55	2007	2017	신축이음장치 교체

[표 2-4-5] 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 덧씌우기	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 장 터널 환경부하 평가모델

제 1 절 터널 환경부하량 산정 프레임워크 및 DB구축

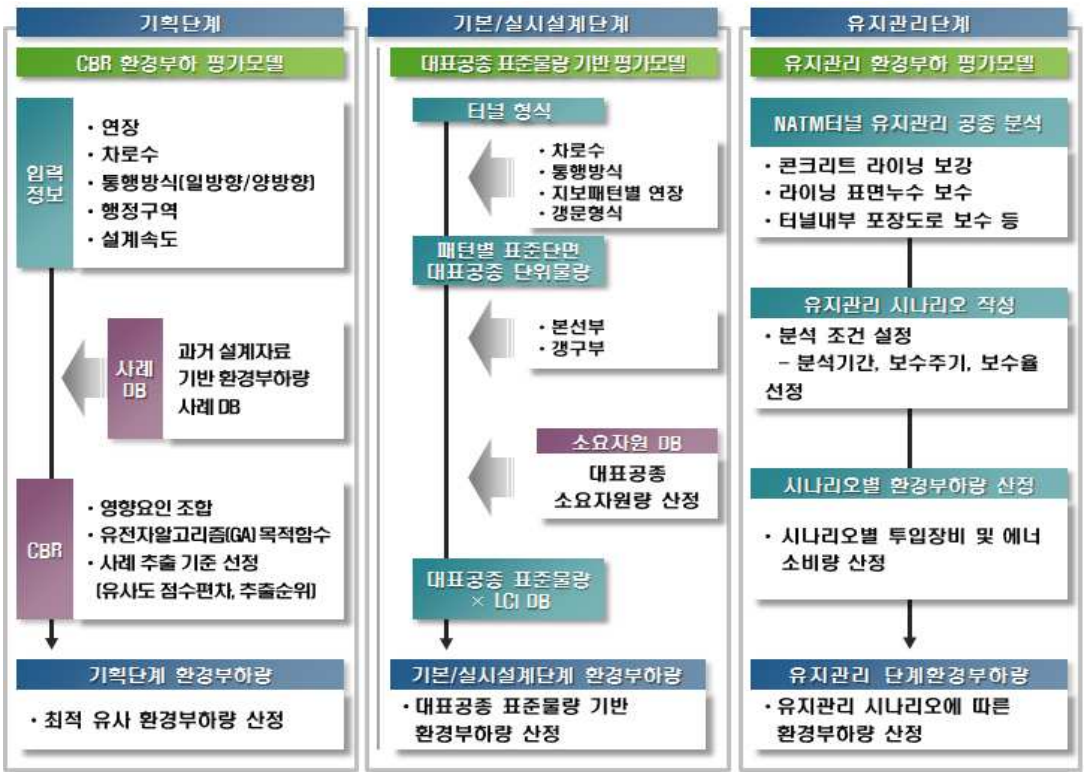
1. 사업수행 단계별 환경부하량 산정 프레임워크

○ 터널 건설사업의 기획/설계/유지관리 단계별 환경부하 평가모델을 구축하기 위하여, 각 수행단계에서 활용가능한 정보수준을 검토하여 단계별 특성에 맞는 영향인자를 평가모델의 입력정보로 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

2. 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 4-1-1]와 같음(전체 사례DB 기본정보 현황은 부록 수록)

[표 4-1-1] 터널(NATM) 기초자료 구축(일부)

	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

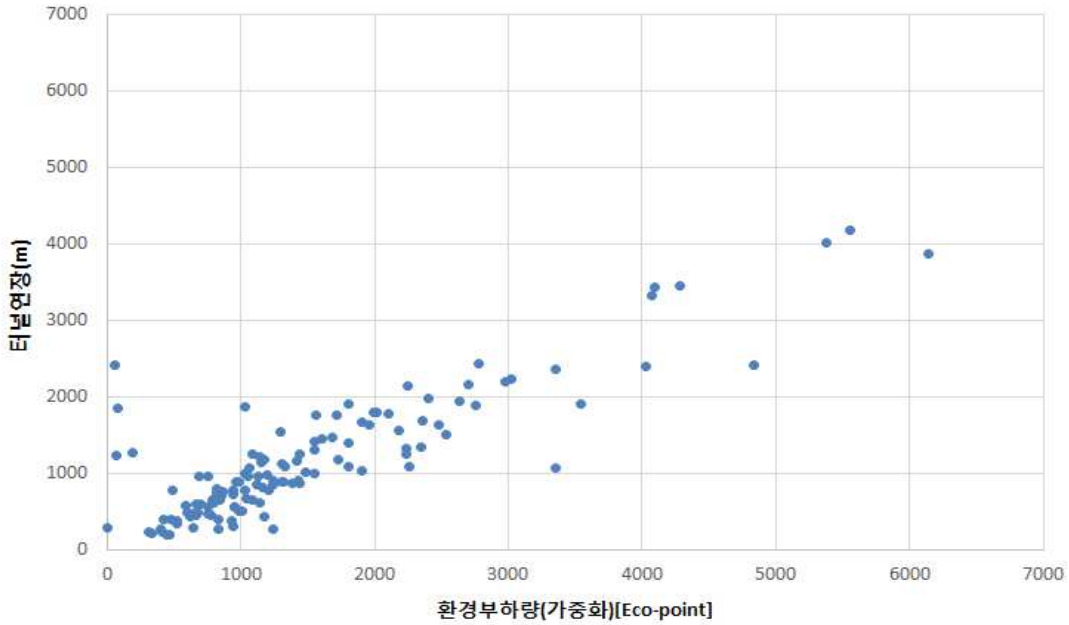
○ 선정된 119개 터널사례에 대한 내역서를 분석하여 총 자재 및 에너지 사용량(경유, 휘발유, 전기 등)을 집계하였음

○ 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

3. 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 4-1-2] 영향요인 상관성 (터널연장 vs 환경부하량)

[표 4-1-2] 연장 및 설계속도와 환경부하량간의 상관관계

		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, 갱문형식은 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 4-1-3] 차로수, 방재등급, 행정구역, 갱문형식별
집단간의 일원배치 분산분석 결과

		차로수	방재등급	행정구역	갱문형식
분산의 동질성	유의확률	.996	.000	.001	.170
ANOVA	유의확률	.000	.000	.014	.118

[표 4-1-4] 통행방식, 환기방식별 집단간의 독립표본 t검정 결과

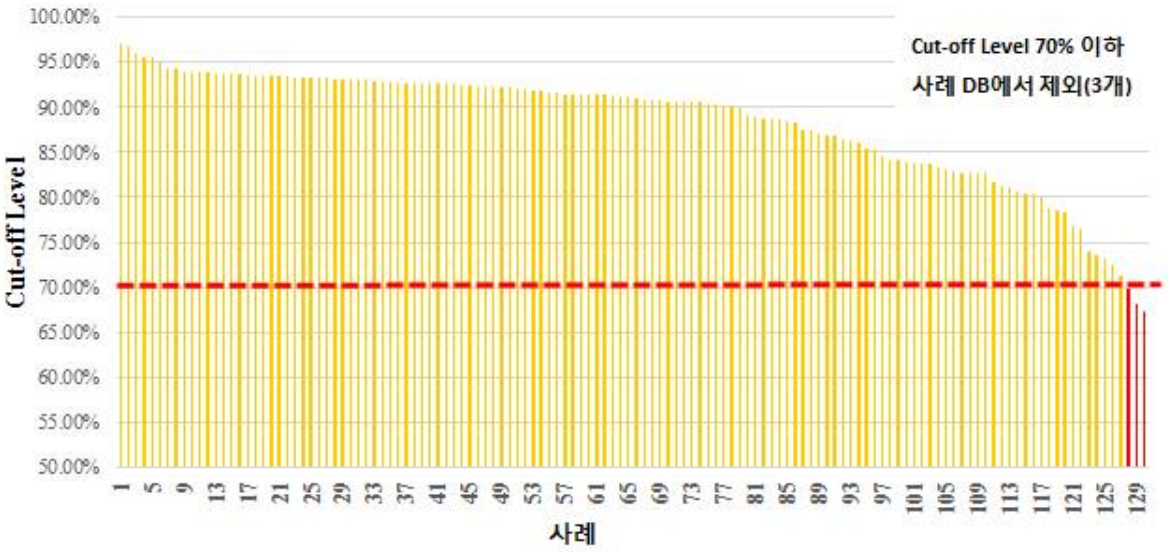
		통행방식	환기방식
Levene의 등분산 검정	유의확률	.000	.032
독립표본 t검정	t	-2.764	.616
	유의확률	.011	.540

4. 터널 시설물의 Cut-off 수준 분석 결과

○ 전체 130개 터널 중 127개 터널사례에 대한 환경부하량 산정 결과, 평균 Cut-off level은 88.87%로 나타남

○ 폭약 및 뇌관류 관련 자재가 전체 재료비 기준 약 10%를 차지(전체 Cut-off level의 약 10%)하고 있으나, 자재 특성상 생산과정의 보안으로 인해 투입물과 산출물을 분석하여 구축되는 LCI DB 구축이 불가

○ 최소 70%이상 사례만을 기획단계 환경부하 예측모델의 사례 DB에 포함하였으며, 70%이하 3개 사례는 예측모델의 사례 DB 구축 시 제외함

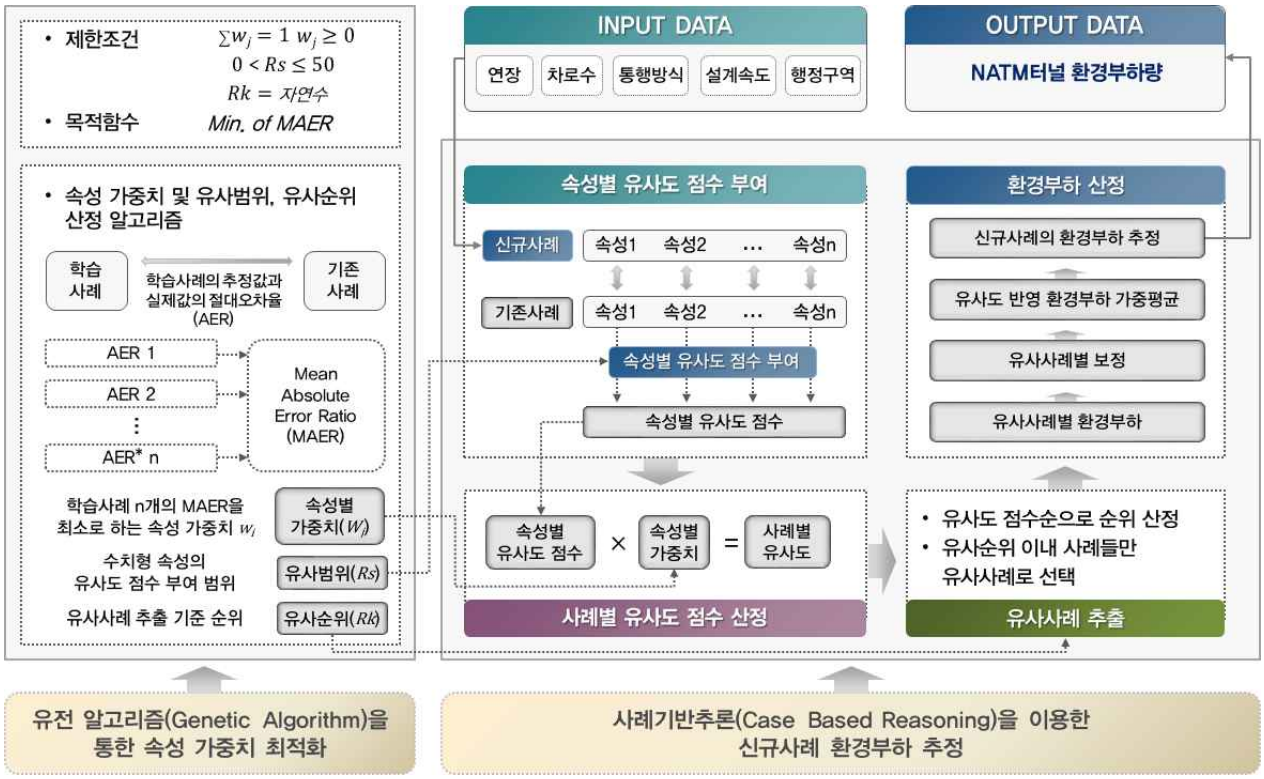


[그림 4-1-3] NATM터널의 환경부하량 사례 Cut-off level 현황

제 2 절 기획단계 환경부하 평가모델

1. 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 구축하였으며, 그 과정은 다음과 같음



[그림 4-2-1] NATM터널 기획단계 환경부하 평가모델 개요

2. 사례 DB구축

○ 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 4-2-2] 사례 DB 구축 프로세스

○ 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

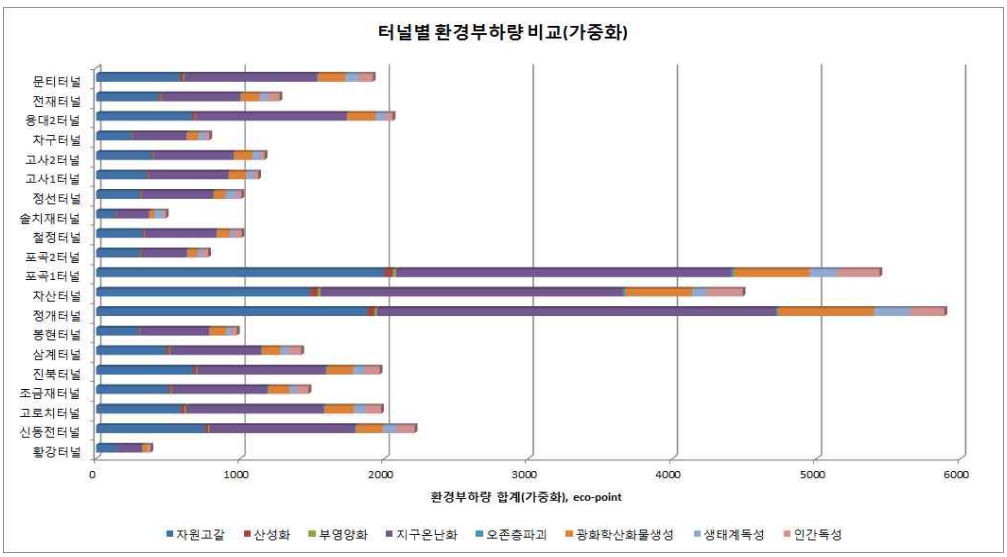
○ Korea Indicator(2003)는 산업자원부의 환경성 지표 방법론으로 Damage 범위, 임계 Damage, 상응되는 Damage 수준 등을 국내 현실에 맞게 규정하고, 외국에서 개발된 환경성 지표 방법론을 개선한 한국형 Eco-indicator 방법론임

○ 환경부하 사례 DB를 구축하기 위하여 수집된 설계 데이터의 범위는 일반국도의 신설 및 확·포장 공사로 시행된 공사의 설계보고서, 수량내역서, 단가산출서, 설계도면 등임

○ 환경부하 사례 DB는 속성정보 DB와 환경부하 DB로 이루어지며, 속성정보 DB는 수집된 과거 설계 데이터를 바탕으로 사례별 속성정보를 조사하고 이를 데이터베이스화하여 구축됨

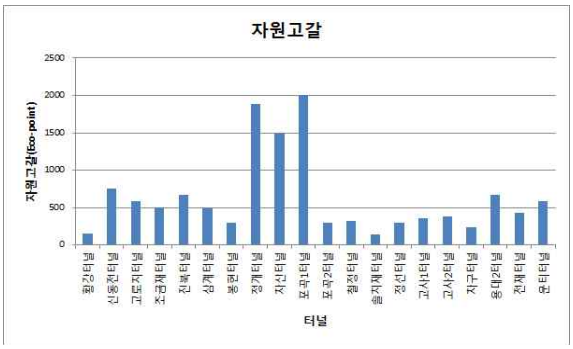
○ 환경부하 DB는 수집된 과거 설계 데이터를 분석하여 소요자원(자재 및 에너지 사용량)을 산출하고 LCI DB와 연결하여 사례별 환경부하를 산정하여 구축

○ 총 133개의 터널 중 일부 터널에 대한 환경부하 산정한 결과는 다음과 같으며, 전체 사례DB 산정결과는 부록에 추가

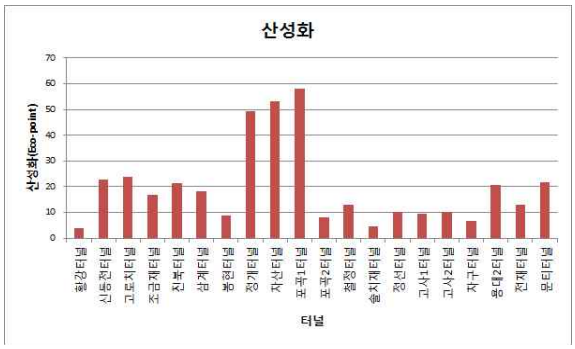


[그림 4-2-3] 터널별 환경부하량 산정 결과(일부)

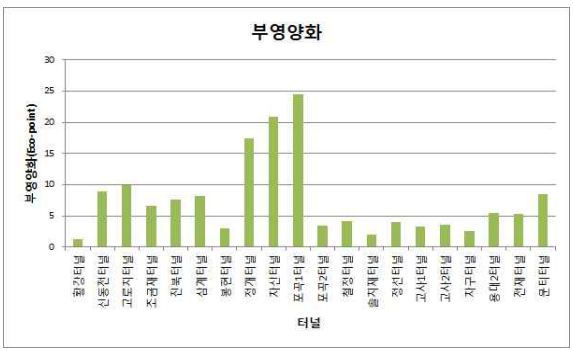
○ 분석된 터널 사례를 환경영향 범주별로 비교해보면 다음과 같음



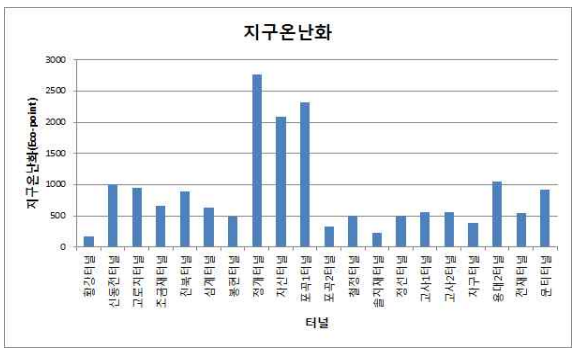
[그림 4-2-4] 자원고갈



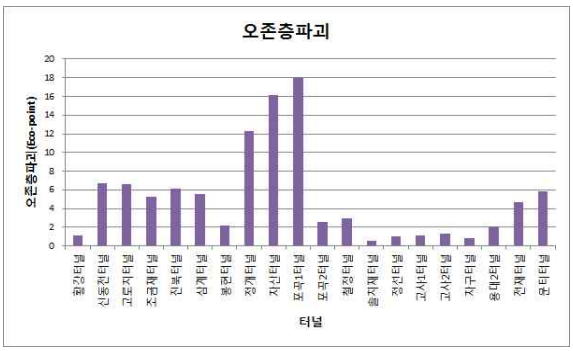
[그림 4-2-5] 산성화



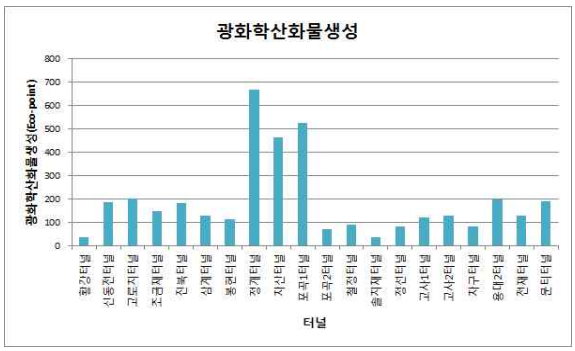
[그림 4-2-6] 부영양화



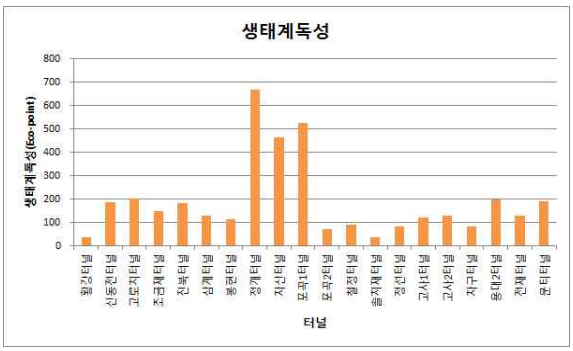
[그림 4-2-7] 지구온난화



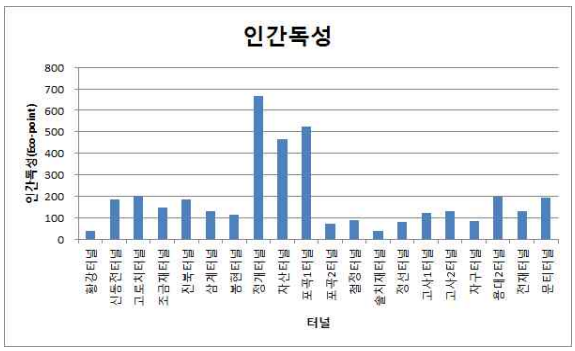
[그림 4-2-8] 오존층파괴



[그림 4-2-9] 광화학산화물생성



[그림 4-2-10] 생태계독성



[그림 4-2-11] 인간독성

3. CBR(사례기반추론) 기반 환경부하 평가모델 개발

가. 영향요인

○ 터널의 환경부하량에 영향을 미치는 인자를 도출하기 위하여 영향요인 후보군과 환경부하량 간의 상관성 분석을 수행하였음

○ 상관성 분석에 사용된 환경부하량 사례 데이터는 앞서 산정한 102개 데이터 중 Cut-off 수준이 현저히 낮은 11개 사례(70% 이하)를 제외한 91개의 환경부하량 사례 데이터를 활용하였음. 최종적으로 다음과 같은 영향요인을 선정함

[표 4-2-1] 터널(NATM)의 환경부하 영향요인

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

○ 기존 사례를 통한 새로운 신규 사례의 환경부하량 예측값의 오차를 최소화하고자 하는 목적함수와 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 4-2-2] 영향요인별 가중치 산정 결과

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

나. 유사도 점수산정 및 환경부하 산정

○ 유사사례 추출을 위한 유사도 점수 산정시 영향요인 중 차로수, 통행방식, 설계속도, 행정구역은 문자열 유사도 점수방법을 적용하며, 연장은 수치 유사도 점수방법을 적용

○ 문자열 유사도는 특성이 일치할 경우 100점, 불일치할 경우 0점의 유사도 점수가 부여되며, 수치 유사도는 속성이 유사범위(Rs) 이내인 경우 100점, 범위를 벗어나면 0점이 부여됨

[표 4-2-3] 유사도 점수 부여방법

	유사도 점수 부여방법
문자열	일치 → I = 100점, 불일치 → I = 0점
수치	$\left\| \frac{V_{기존사례} - V_{대상사례}}{V_{대상사례}} \right\| \times 100 \leq$ 유사범위(Rs) → I = 100점 그렇지 않은 경우 → I = 0점

○ 사례별 유사도 점수 산정식은 다음과 같음

$$S_i = \sum_{j}^{n} (I_{ij} \times w_j) \qquad \text{(식 4.1)}$$

여기서, i = 사례식별번호(1～m)
j = 속성식별번호(1～n)
m = 사례 데이터베이스 갯수
n = 속성(영향요인) 갯수
S_i = 사례i의 유사도 점수
I_{ij} = 사례i의 속성(영향요인)j의 유사도 점수
w_j = 속성(영향요인)j의 가중치

○ 사례별 유사도 점수(S_i)에 따라 순위가 산정되며, 신규사례의 환경부하 추정을 위해 어느 순위까지 유사 사례로 추출할 것인지에 대한 유사순위(Rk) 기준이 필요

○ 만약 1순위만을 유사 사례로 선정하는 경우 가장 유사한 사례가 선택되겠지만 신규사례의 환경부하량 예측치가 선택된 소수의 사례에 지나치게 의존할 수 있으며, 반대로 유사순위의 범위를 넓혀 많은 수의 유사사례를 선정할 경우 비교적 유사성이 떨어지는 사례도 포함될 수 있음

○ 유사순위(Rk) 및 유사범위(Rs)는 학습사례를 통한 속성 가중치 최적화 과정에서 학습사례들의 절대오차율을 최소로 하는 목적함수를 통한 최적 해를 탐색할 때, 속성 가중치와 함께 유사순위, 유사범위를 찾고자 하는 해로 포함하여 산출

○ 추출된 유사사례들의 환경부하량은 사례별 유사도 점수로 가중평균하여 터널 연장 및 차로수에 대한 보정을 거친 후 합산하여 환경부하를 추정

○ 유사도 점수에 의한 가중평균은 선택된 모든 유사사례의 점수 총합에 대한 해당 유사사례의 점수의 비만큼 유사사례의 환경부하를 반영하는 것이며, 유사도 점수가 높은 사례 일수록 환경부하량 추정 시 해당 유사사례의 환경부하가 더 많이 반영됨

○ 연장에 대한 보정은 터널의 특성상 연장에 따라 환경부하 값이 선형적으로 변화하기 때문에 이를 보정하기 위함이며, 차로수는 추정하고자 하는 신규사례와 유사사례로 추출된 사례의

차로수가 다른 경우 이를 보정하기 위하여 적용

○ 유사도 점수와 연장 및 차로수에 대한 보정을 통해 산출되는 환경부하 추정값은 다음 식과 같음

$$W_{is} = \frac{S_{is}}{\sum_{is} S_{is}} \qquad \text{(식 4.2)}$$

$$E = \sum_{is} (W_{is} \times L_{is} \times N_{is} \times O_{is})$$

여기서, is = 추출된 사례번호

W_{is} = 유사사례is에 대한 유사도 가중치

E = 추정 환경부하량

L_{is} = 유사사례is의 터널 연장에 대한 신규 사례 터널의 연장의 비
(추정할 터널의 연장/유사사례is의 터널 연장)

N_{is} = 신규사례의 차로수와 유사사례is의 차로수에 따른 보정계수

O_{is} = 유사사례i의 환경부하량

○ 신규사례의 차로수와 추출된 유사사례i의 차로수에 따른 보정계수(N_i)는 다음 표와 같음

○ 차로수에 따른 보정계수는 환경부하 사례 DB에서 차로수별로 연장당 환경부하량을 산출하고 이를 이용하여 신규사례와 유사사례의 차로수에 따른 비율을 산출

○ 차로수에 대한 보정과정은 영향요인 중 차로수 이외에 나머지 속성들의 유사도가 높아 추정하고자 하는 터널의 차로수와 동일하지 않은 사례가 유사사례로 추출되었을 때 환경부하 추정치의 오차가 커지는 문제를 해결하기 위하여 적용

[표 4-2-4] 신규사례의 차로수와 추출된 유사사례의 차로수에 따른 보정계수

신규사례 / 유사사례	2차로	3차로	4차로	연장당 환경부하량 (가중화 합계, Eco-point/m)
2차로	1	1.2844	2.3931	1.3092
3차로	0.7786	1	1.8632	1.6816
4차로	0.4179	0.5367	1	3.1331

다. 유전 알고리즘을 이용한 최적 속성 가중치 산정

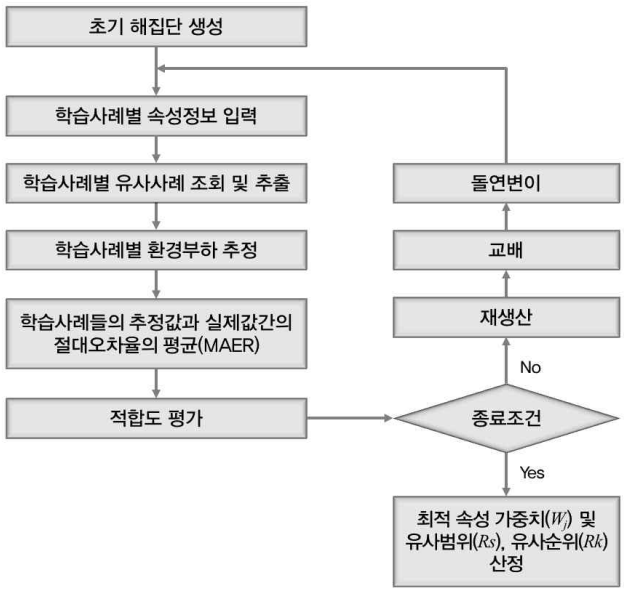
○ 유사사례는 어떠한 속성(영향요인)이 환경부하에 더 큰 영향을 미치는지 각 속성간의 중요도가 반영되어 추출되어야 하며, 이를 반영하기 위해 속성별 가중치를 적용하여 사례별 유사도 점수를 산정

○ 본 연구에서는 이러한 속성별 가중치를 산정하기 위하여 임의의 학습사례들을 선정하여 이

들의 환경부하량 실제값과 본 연구의 추정모델을 통해 추정된 환경부하량간의 오차를 목적함수로 설정하고 이를 최소로 하는 최적 속성 가중치(최적 해)를 유전 알고리즘을 이용하여 산정

○ 이 목적함수와 속성 가중치간의 관계는 선형관계를 갖지 않는 비선형 관계이므로 기존 선형 및 비선형 최적화 알고리즘을 사용하는 경우 지역 최소점의 문제가 발생할 수 있으나, 유전 알고리즘은 적자생존 원리를 기반으로 시행착오를 통해 최적화된 해를 찾는 방법으로 전체 탐색영역에서 가장 좋은 해를 찾는 전역 최적화 기법으로 이러한 문제를 해결할 수 있음

○ 본 연구에서 속성별 최적 가중치 산정을 위해 평가모델에 적용된 유전 알고리즘을 표현하면 다음 그림과 같음



[그림 4-2-12] 속성별 최적 속성 가중치(wj) 및 유사범위(Rs), 유사순위(Rk) 산정을 위해 적용된 유전 알고리즘

○ 학습사례를 통한 최적 속성 가중치를 산정할 때, 수치형 속성의 유사도 점수 부여 시 설정되는 유사범위(Rs)와 유사사례 추출의 기준이 되는 유사순위(Rk) 역시 유전 알고리즘을 통해 최적 해가 도출됨

○ 최적 해 도출 시 제한조건 및 목적함수는 다음과 같음

· 제한조건 : 1) $\sum w_j = 1 \quad w_j \geq 0$ (식 4.3)

2) $0 \leq Rs \leq 50$

3) $Rk =$ 자연수

○ 첫번째 제한조건은 속성 가중치 wj는 0보다 커야하고, 속성별 가중치의 합은 1이라는 조건으로 이는 각 속성별로 유사도 점수가 100점을 기준으로 부여되며, 속성별 가중치를 적용하여 속성별 유사도 점수 합산을 통한 사례별 유사도 점수 산정 시 100점을 기준으로 산출하

기 위함

○ 두번째는 찾고자 하는 유사범위(Rs) 해의 범위를 0부터 50%까지로 제한한 것이며, 이는 유전자 알고리즘을 이용하여 최적 속성 가중치 계산 시 유사범위(Rs)의 최대치를 설정해 줌으로써 최적 해를 찾기 위한 시간을 단축하기 위함

○ 마지막 제한조건은 유사순위(Rk)를 자연수로 제한한 것임

· 목적함수 : Min. of MAER

$$MAER = \frac{\sum_{1}^{n} AER_i}{n} \quad \text{(식 4.4)}$$

여기서, $AER_i = \left| \frac{AE_i - EE_i}{AE_i} \right| \times 100\%$

AE_i = 학습사례i의 실제 환경부하

EE_i = 학습사례i의 추정 환경부하

MAER = n개의 학습사례 절대오차율의 평균(Mean Absolute Error Ratio)

AER = 절대오차율(Absolute Error Ratio)

○ 목적함수는 n개의 학습사례 절대오차율의 평균(MAER)을 최소로 하는 해를 찾는 것이며, 본 연구에서는 다양한 조건의 속성값으로 임의 선택된 7개 사례를 학습사례로 활용하였음(n=7)

○ 위와 같은 과정으로 유전 알고리즘을 통해 도출된 최적 해(속성별 가중치 wj, 유사범위(Rs), 유사순위(Rk))는 다음 표와 같으며, 이 결과들을 본 연구의 평가모델에 적용하였음

[표 4-2-5] 유전 알고리즘을 이용한 유사범위, 유사순위 및 속성 가중치 최적화 결과

유사 범위 (Rs)	유사 순위 (Rk)	속성 가중치(wj)					MAER
		차로수	통행방식	연장	설계속도	행정구역	
19	5	0.1541	0.1456	0.3449	0.0648	0.2906	14.3%

4. 평가모델 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 4-2-8]의 원단위 값은 본 연구에서 사례DB에 구축된 환경부하량으로 산출하였음

[표 4-2-6] NATM터널의 영향범주별 환경부하량 원단위(eco-point/차로수/m)

원단위	가중화 (단위: eco-point/차로수/m)								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성	생태계 독성	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 입력정보는 다음 [표 4-2-9]와 같음

[표 4-2-7] 검증사례 입력정보

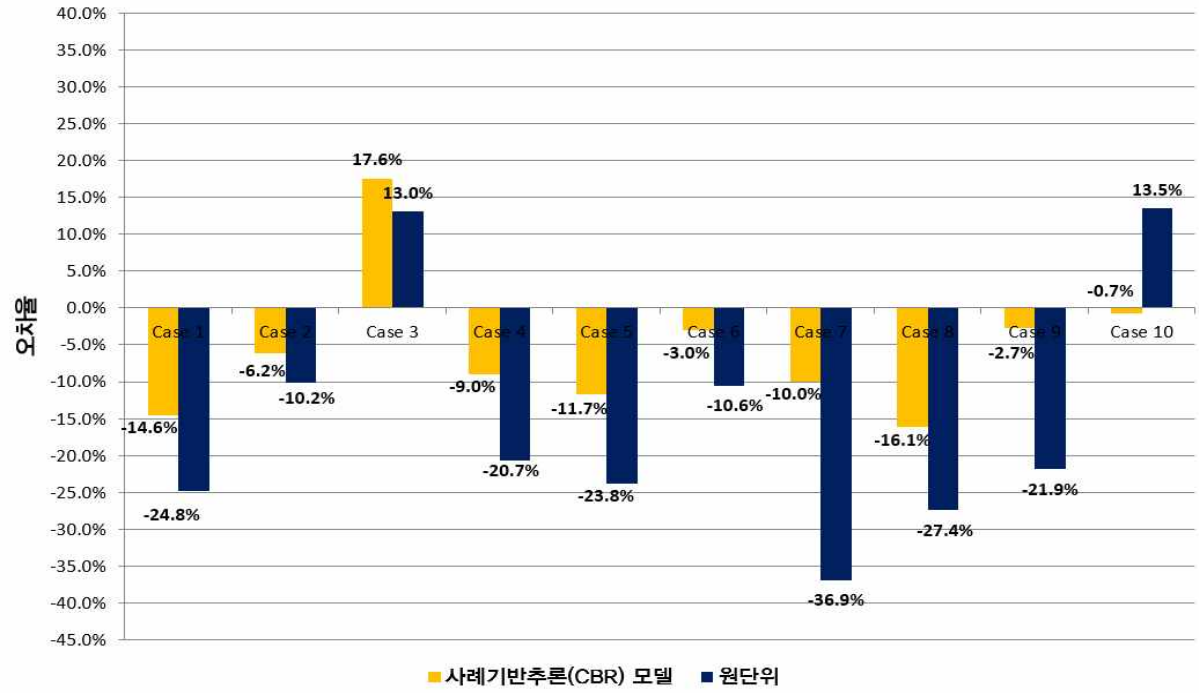
사례번호	차로수	통행방식	연장(m)	설계속도(km/h)	행정구역
Case 1	2	일방향	1630	80	전남
Case 2	2	일방향	772	80	경북
Case 3	2	일방향	344	80	경기
Case 4	2	양방향	878	60	경북
Case 5	2	일방향	1856	80	전북
Case 6	2	일방향	695	80	충남
Case 7	3	일방향	1890	100	충남
Case 8	3	일방향	3870	100	경기
Case 9	3	일방향	1080	100	경기
Case 10	4	양방향	300	80	전북

○ 터널의 기획단계 환경부하량 예측모델 검증 결과는 다음 [표 4-2-10]과 같음

[표 4-2-8] 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 추정결과를 나타내었음



[그림 4-2-13] 기획단계 평가모델(CBR)과 원단위 산정방법의 오차율 비교

제 3 절 설계단계 환경부하 평가모델

1. 환경부하 대표공종 및 단위물량, 소요자원DB 산정

가. 단면유형 설정

○ 터널 구조물 설계의 가장 큰 특징은 일반 구조물에 비하여 지형·지질 등 지반 조건에 영향을 크게 받기 때문에 지반 타입에 따른 지보패턴과 단면의 구성이 설계단계의 중요한 영향요인이므로, 단면과 지반정보에 따라 설계되는 터널의 공종 구성 및 수량, 소요자원들이 달라지므로 설계단계 평가모델에서는 단면과 지반정보를 입력변수로 활용

○ 터널의 단면은 일반적으로 시설한계를 만족하는 가운데 터널의 안전성과 운전자의 주행성, 교통안전, 방재 등을 고려하여 결정되나, 설계 초기단계에 상세히 설계되지 않은 상황에서는 이러한 단면의 크기를 정확히 알 수 없으므로 개략적인 물량산출을 위한 단면 설정 시 터널의 폭 중 대부분을 차지하는 차도의 폭, 즉 차로수가 큰 영향요인이라 할 수 있음

○ 통행방식 방식에 따라서도 단면의 크기가 달라질 수 있는데 이는 양방향(대면통행방식)일 경우 중앙차선에 일정간격을 두는 경우가 많기 때문에 터널의 환경부하 대표공종별 표준물량 산정을 위하여 먼저 단면의 크기를 결정짓는 차로수와 통행방식으로 단면 유형을 분류

○ 환경부하 분석을 위하여 수집한 102개의 터널 설계자료를 분석한 결과, 2차로 터널은 일방향과 양방향 모두 존재하였으며, 3차로는 일방향만, 4차로는 양방향 터널만이 존재하였음

○ 그 밖의 유형의 터널이 있을 수 있으나, 수집된 102개 사례 중 그에 해당하는 사례는 없었으므로 극소수의 사례로 판단되어 본 연구에서는 4가지 단면 유형에 따른 환경부하 대표공종별 단위물량을 산정하는 것으로 한정하였음

[표 4-3-1] 수집된 102개 터널 설계자료 중 차로수별 통행방식 집계결과

구분	2차로	3차로	4차로	합계
일방향	72	8	0	80
양방향	18	0	4	22
합계	90	8	4	102

나. 대표공종별 환경부하 특성

(1) 라이닝 콘크리트

○ 20개 터널 사례의 라이닝 콘크리트 공종의 주요 자재별 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-2], [표 4-3-3], [그림 4-3-1]과 같음. 라이닝 콘크리트 공종이 해당되는 전체 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출함. 라이닝 콘크리트 공종에서 환경부하량이 큰 주요 자재는 레미콘, 후판, 시멘트, 철근, 선재로 나타남

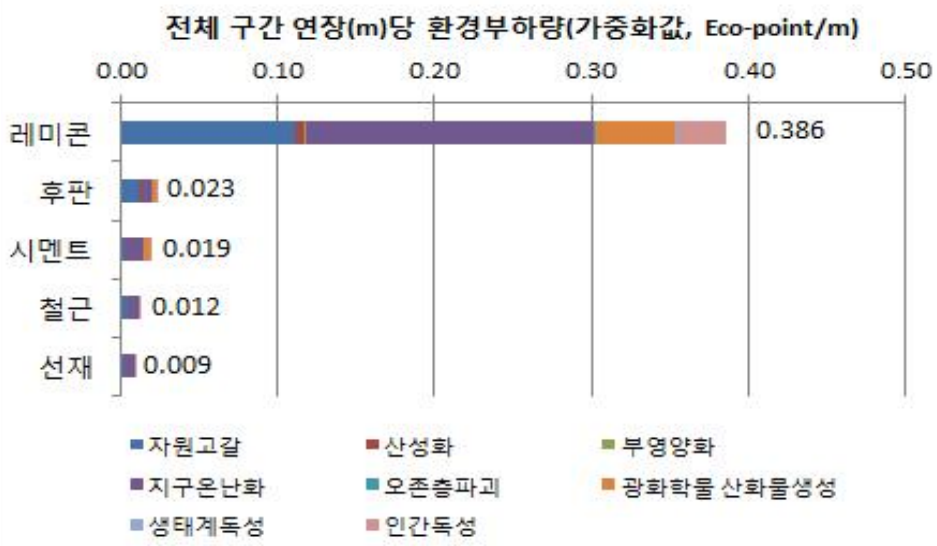
○20개 터널 사례의 라이닝 콘크리트 공종의 전체 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-4], [표 4-3-5]와 같으며, 라이닝 콘크리트 공종의 환경부하량은 자원고갈과 지구온난화 범주가 77.5%의 비율을 차지함

[표 4-3-2] 라이닝 콘크리트 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

자재	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
레미콘	11.9624	5.7757	0.6707	3513.3933	0.0003	7.8456	0.0128	443.2067
후판	1.2927	0.4285	0.0538	130.3718	0.0000	0.4352	0.0002	11.7899
시멘트	0.2556	0.1390	0.0001	233.3328	0.0000	0.5988	0.0002	5.2256
철근	0.5179	0.1241	0.0003	122.3033	0.0000	0.0884	0.0008	4.7938
선재	0.1844	0.2547	0.0168	133.9818	0.0000	0.0051	0.0002	2.6430

[표 4-3-3] 라이닝 콘크리트 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

자재	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
레미콘	0.1109	0.0052	0.0019	0.1830	0.0022	0.0495	0.0017	0.0314	0.3860
후판	0.0120	0.0004	0.0002	0.0068	0.0001	0.0027	0.0000	0.0008	0.0230
시멘트	0.0024	0.0001	0.0000	0.0122	0.0000	0.0038	0.0000	0.0004	0.0189
철근	0.0048	0.0001	0.0000	0.0064	0.0000	0.0006	0.0001	0.0003	0.0123
선재	0.0017	0.0002	0.0000	0.0070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0092



[그림 4-3-1] 라이닝 콘크리트 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

[표 4-3-4] 라이닝 콘크리트 공종의 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

라이닝 콘크리트	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	15.0188	7.0165	0.7800	4265.7216	0.0003	9.1704	0.0240	477.9587

[표 4-3-5] 라이닝 콘크리트 공종의 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

라이닝 콘크리트	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	0.1425	0.0063	0.0023	0.2222	0.0024	0.0579	0.0032	0.0339	0.4706

(2) 숏크리트공

○ 20개 터널 사례의 숏크리트 공종의 주요 자재별 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-6], [표 4-3-7], [그림 4-3-2]와 같음. 숏크리트 공종이 해당되는 전체 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출함. 숏크리트 공종에서 환경부하량이 큰 주요 자재는 시멘트, 선재, 자갈, 레미콘, 규산소다, 경유로 나타남

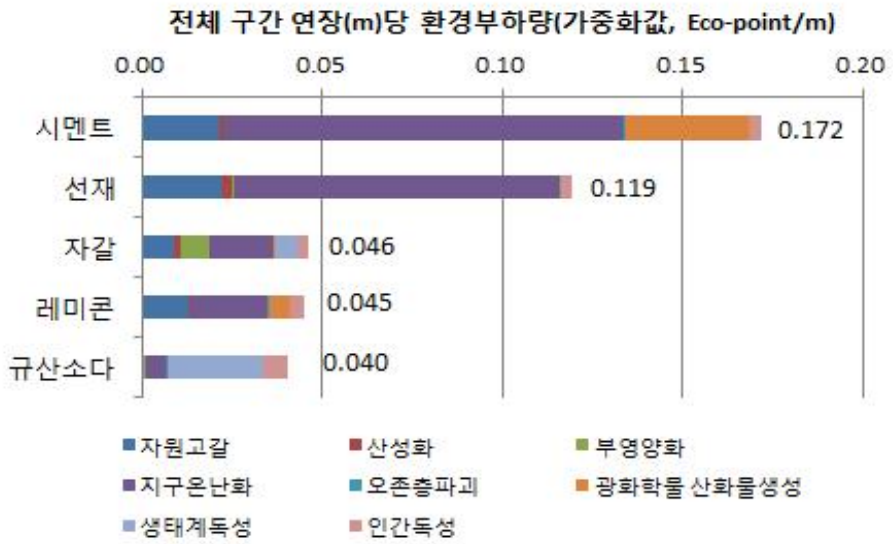
○ 20개 터널 사례의 숏크리트 공종의 전체 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-8], [표 4-3-9]와 같으며, 숏크리트 공종의 환경부하량은 지구온난화 범주가 55.2%를 차지함

[표 4-3-6] 숏크리트 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

자재	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
시멘트	2.3334	1.2689	0.0014	2129.9644	0.0000	5.4664	0.0022	47.7019
선재	2.3828	3.2911	0.2168	1731.1206	0.0000	0.0664	0.0020	34.1491
자갈	0.9584	1.7043	2.8981	335.7803	0.0000	0.0689	0.0467	41.6650
레미콘	1.3869	0.6696	0.0778	407.3282	0.0000	0.9096	0.0015	51.3835
규산소다	0.0000	0.3770	0.2140	116.1245	0.0000	0.0302	0.2011	88.1995
경유	2.4276	0.0129	0.0009	6.2918	0.0000	0.0010	0.0000	0.0199

[표 4-3-7] 숏크리트 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

자재	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
시멘트	0.0216	0.0011	0.0000	0.1109	0.0002	0.0345	0.0003	0.0034	0.1721
선재	0.0221	0.0030	0.0006	0.0902	0.0001	0.0004	0.0003	0.0024	0.1191
자갈	0.0089	0.0015	0.0084	0.0175	0.0001	0.0004	0.0062	0.0030	0.0460
레미콘	0.0129	0.0006	0.0002	0.0212	0.0003	0.0057	0.0002	0.0036	0.0448
규산소다	0.0000	0.0003	0.0006	0.0060	0.0001	0.0002	0.0266	0.0063	0.0402
경유	0.0225	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0229



[그림 4-3-2] 숏크리트 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

[표 4-3-8] 숏크리트 공종의 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

숏크리트공	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	9.6607	7.3847	3.4178	4750.5420	0.0001	6.5603	0.2535	265.8812

[표 4-3-9] 숏크리트 공종의 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

숏크리트공	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	0.0896	0.0067	0.0099	0.2474	0.0008	0.0414	0.0336	0.0189	0.4483

(3) 갱문 및 개착터널

○ 20개 터널 사례의 갱문 및 개착터널 공종의 주요 자재별 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-10], [표 4-3-11], [그림 4-3-3]과 같음. 갱문 및 개착터널 공종이 해당되는 개착구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출함. 갱문 및 개착터널 공종에서 환경부하량이 큰 주요 자재는 레미콘, 선재, 철근, 시멘트, 경유로 나타남

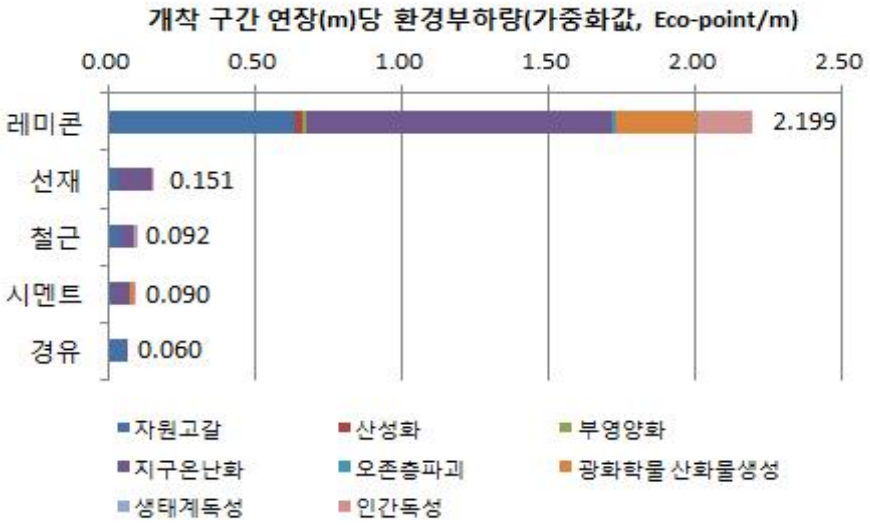
○ 20개 터널 사례의 갱문 및 개착터널 공종의 전체 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-12], [표 4-3-13]과 같으며, 갱문 및 개착터널에서 환경부하량은 자원고갈, 지구온난화, 광화학산화물생성 범주가 90%를 차지함

[표 4-3-10] 갱문 및 개착터널 공종의 주요 자재별 개착구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

자재	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
레미콘	68.1567	32.9074	3.8216	20017.8259	0.0018	44.7007	0.0731	2525.2037
선재	3.0153	4.1648	0.2744	2190.6610	0.0000	0.0840	0.0025	43.2143
철근	3.8661	0.9261	0.0022	912.9444	0.0000	0.6600	0.0062	35.7838
시멘트	1.2137	0.6600	0.0007	1107.8856	0.0000	2.8433	0.0012	24.8118
경유	6.3350	0.0336	0.0023	16.4191	0.0000	0.0027	0.0000	0.0520

[표 4-3-11] 갱문 및 개착터널 공종의 주요 자재별 개착구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

자재	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
레미콘	0.6321	0.0298	0.0111	1.0426	0.0128	0.2821	0.0097	0.1792	2.1994
선재	0.0280	0.0038	0.0008	0.1141	0.0001	0.0005	0.0003	0.0031	0.1507
철근	0.0359	0.0008	0.0000	0.0475	0.0001	0.0042	0.0008	0.0025	0.0919
시멘트	0.0113	0.0006	0.0000	0.0577	0.0001	0.0179	0.0002	0.0018	0.0895
경유	0.0588	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0597



[그림 4-3-3] 갱문 및 개착터널 공종의 주요 자재별 개착구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

[표 4-3-12] 갱문 및 개착터널 공종의 개착구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

갱문 및 개착터널	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
개착구간 연장(m)당 환경부하량	83.4776	38.9304	4.1211	24358.1270	0.0018	48.5053	0.0870	2663.3906

[표 4-3-13] 갱문 및 개착터널 공종의 개착구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

갱문 및 개착터널	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
개착구간 연장(m)당 환경부하량	0.7757	0.0352	0.0112	1.2687	0.0132	0.3061	0.0115	0.1890	2.6113

(4) 배수공

○ 20개 터널 사례의 배수공의 주요 자재별 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-14], [표 4-3-15], [그림 4-3-4]와 같음. 배수공이 해당되는 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출함. 배수공에서 환경부하량이 큰 주요

자재는 레미콘, 철근, 경유, 선재, 형강으로 나타남

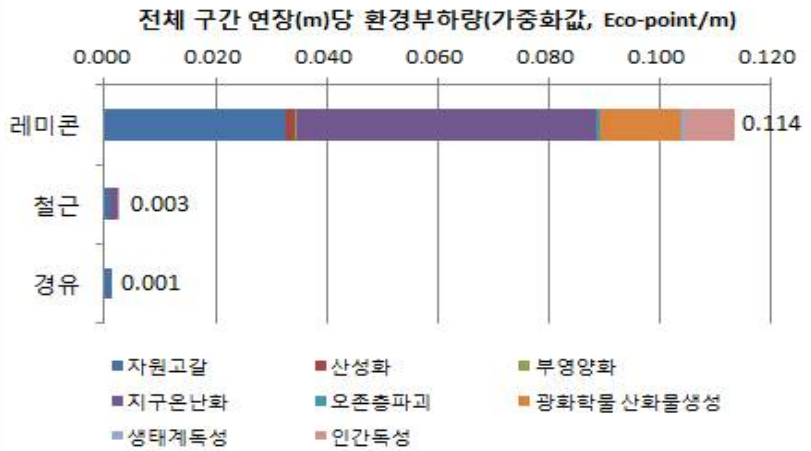
○ 20개 터널 사례의 배수공의 전체 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-16], [표 4-3-17]과 같으며, 배수공에서 환경부하량은 자원고갈, 지구온난화, 광화학산화물생성 범주가 89.1%를 차지함

[표 4-3-14] 배수공의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

자재	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
레미콘	3.5239	1.7014	0.1976	1034.9849	0.0001	2.3112	0.0038	130.5610
철근	0.1037	0.0248	0.0001	24.4757	0.0000	0.0177	0.0002	0.9594
경유	0.1253	0.0007	0.0000	0.3246	0.0000	0.0001	0.0000	0.0010
선재	0.0087	0.0120	0.0008	6.2905	0.0000	0.0002	0.0000	0.1241
형강	0.0180	0.0106	0.0014	3.4068	0.0000	0.0024	0.0000	0.2912

[표 4-3-15] 배수공의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

자재	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
레미콘	0.0327	0.0015	0.0006	0.0539	0.0007	0.0146	0.0005	0.0093	0.1137
철근	0.0010	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0025
경유	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012
선재	0.0001	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004
형강	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004



[그림 4-3-4] 배수공의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

[표 4-3-16] 배수공의 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

배수공	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	3.8110	1.7522	0.2003	1072.1733	0.0001	2.3328	0.0040	132.1084

[표 4-3-17] 배수공의 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

배수공	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	0.0353	0.0016	0.0006	0.0558	0.0007	0.0147	0.0005	0.0094	0.1187

(5) 강관다단그라우팅

○ 20개 터널 사례의 강관다단그라우팅 공종의 주요 자재별 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-18], [표 4-3-19], [그림 4-3-5]와 같음. 강관다단그라우팅 공종이 해당되는 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출함. 강관다단그라우팅 공종에서 환경부하량이 큰 주요 자재는 규산소다, 경유, 탄소강, 시멘트, 전기로 나타남

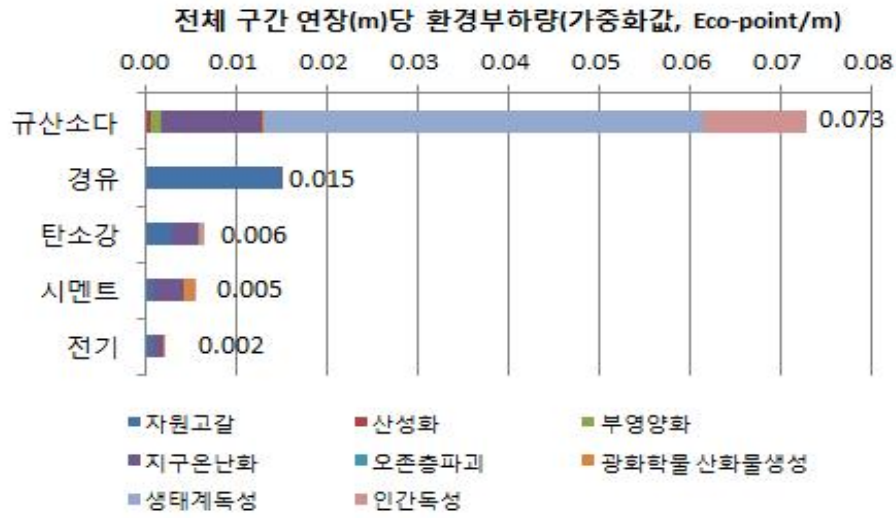
○ 20개 터널 사례의 강관다단그라우팅 공종의 전체 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-20], [표 4-3-21]과 같으며, 강관다단그라우팅의 환경부하량은 자원고갈, 지구온난화, 생태계독성 범주가 85.1%를 차지함

[표 4-3-18] 강관다단그라우팅 공종의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

자재	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
규산소다	0.0000	0.6858	0.3892	211.2254	0.0000	0.0550	0.3657	160.4311
경유	1.5931	0.0085	0.0006	4.1290	0.0000	0.0007	0.0000	0.0131
탄소강	0.2984	0.0473	0.0006	57.8961	0.0000	0.0162	0.0023	1.7547
시멘트	0.0735	0.0400	0.0000	67.0664	0.0000	0.1721	0.0001	1.5020
전기	0.0703	0.0341	0.0063	20.1676	0.0000	0.0140	0.0000	0.0045

[표 4-3-19] 강관다단그라우팅 공종의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

자재	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
규산소다	0.0000	0.0006	0.0011	0.0110	0.0001	0.0003	0.0485	0.0114	0.0730
경유	0.0148	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0150
탄소강	0.0028	0.0000	0.0000	0.0030	0.0000	0.0001	0.0003	0.0001	0.0064
시멘트	0.0007	0.0000	0.0000	0.0035	0.0000	0.0011	0.0000	0.0001	0.0054
전기	0.0007	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0018



[그림 4-3-5] 강관다단그라우팅 공종의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

[표 4-3-20] 강관다단그라우팅 공종의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

강관다단 그라우팅	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	2.0549	0.8272	0.3983	364.1991	0.0000	0.2606	0.3681	164.0292

[표 4-3-21] 강관다단그라우팅 공종의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

강관다단 그라우팅	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	0.0191	0.0007	0.0012	0.0190	0.0001	0.0016	0.0488	0.0116	0.1021

(6) 버력처리

○ 20개 터널 사례의 버력처리 공종의 주요 자재별 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-22], [표 4-3-23], [그림 4-3-6]과 같음. 버력처리 공종이 해당되는 전체 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출함. 버력처리 공종에서는 경유와 휘발유에 의해 환경부하가 발생하는 것으로 나타났으며, 휘발유는 아주 미미하며 대부분 경유에 의한 것으로 나타남

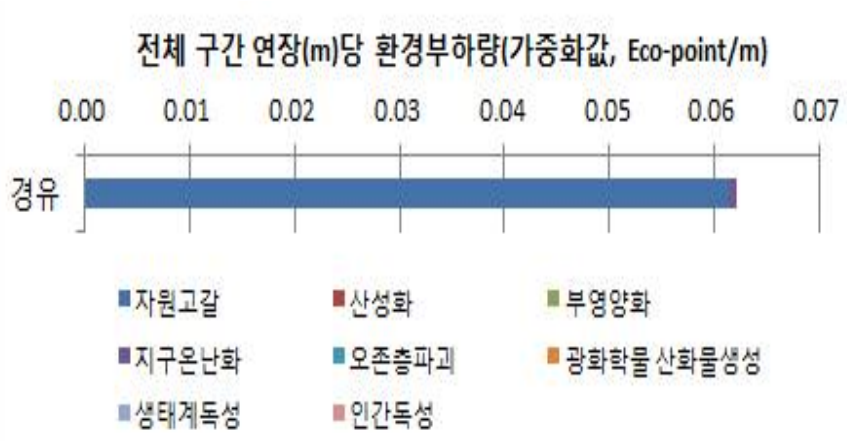
○ 20개 터널 사례의 버력처리 공종의 전체 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-24], [표 4-3-25]와 같으며, 버력처리에서 환경부하량은 자원고갈 범주가 94%를 차지함

[표 4-3-22] 버력처리 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

자재	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
경유	6.6074	0.0351	0.0024	17.1250	0.0000	0.0028	0.0000	0.0542
휘발유	0.0016	0.0000	0.0000	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

[표 4-3-23] 버력처리 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

자재	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
경유	0.0613	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0623
휘발유	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



[그림 4-3-6] 버력처리 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

[표 4-3-24] 버력처리 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

버력처리	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	6.6090	0.0351	0.0024	17.1301	0.0000	0.0028	0.0000	0.0542

[표 4-3-25] 버력처리 공종의 주요 자재별 전체 구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

버력처리	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	0.0613	0.0000	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0623

(7) 록볼트공

○ 20개 터널 사례의 록볼트공의 주요 자재별 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-26], [표 4-3-27], [그림 4-3-7]과 같음. 록볼트공이 해당되는 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출함. 록볼트공에서 환경부하량이 큰 주요 자재는 록볼트D25 4m, 록볼트D25 5m, 경유, 전기, 시멘트, 록볼트D25 3m, 탄소강으로 나타남

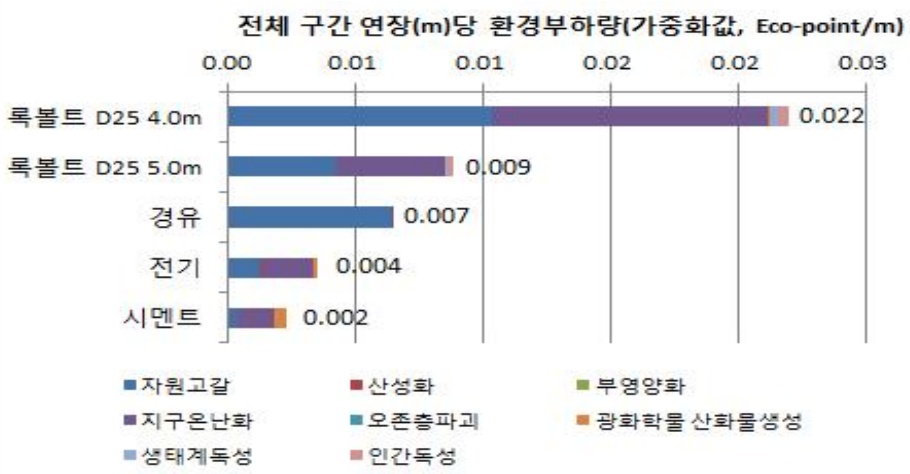
○ 20개 터널 사례의 록볼트공의 전체 환경부하량(특성화값, 가중화값)은 다음 [표 4-3-28], [표 4-3-29]와 같으며, 록볼트공에서 환경부하량은 자원고갈과 지구온난화 범주가 94.8%를 차지함

[표 4-3-26] 록볼트공의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

자재	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
록볼트 D25 4.0m	1.1216	0.0112	0.0021	207.4796	0.0000	0.0178	0.0022	5.8484
록볼트 D25 5.0m	0.4480	0.0045	0.0008	82.8720	0.0000	0.0071	0.0009	2.3360
경유	0.6893	0.0037	0.0003	1.7865	0.0000	0.0003	0.0000	0.0057
전기	0.1336	0.0649	0.0121	38.3535	0.0000	0.0266	0.0000	0.0086
시멘트	0.0326	0.0177	0.0000	29.7573	0.0000	0.0764	0.0000	0.6664
록볼트 D25 3.0m	0.1089	0.0011	0.0002	20.1403	0.0000	0.0017	0.0002	0.5677
탄소강	0.0781	0.0124	0.0002	15.1440	0.0000	0.0042	0.0006	0.4590

[표 4-3-27] 록볼트공의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

자재	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
록볼트 D25 4.0m	0.0104	0.0000	0.0000	0.0108	0.0000	0.0001	0.0003	0.0004	0.0221
록볼트 D25 5.0m	0.0042	0.0000	0.0000	0.0043	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0088
경유	0.0064	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0065
전기	0.0012	0.0001	0.0000	0.0020	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0035
시멘트	0.0003	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0024
록볼트 D25 3.0m	0.0010	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021
탄소강	0.0007	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0017



[그림 4-3-7] 록볼트공의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

[표 4-3-28] 록볼트공의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(특성화값)

록볼트공	특성화값							
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계독성	인간 독성
	1/yr	kg SO2-eq	kg PO43-eq	kg CO2-eq	kg CFC11-eq	kg C2H4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	2.6446	0.1234	0.0178	403.1014	0.0000	0.1375	0.0055	10.8287

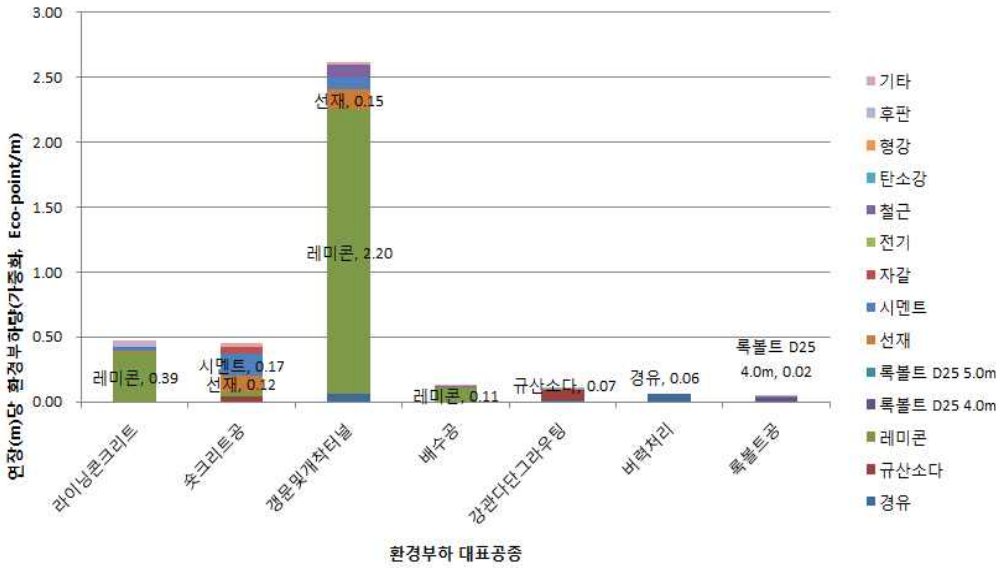
[표 4-3-29] 록볼트공의 주요 자재별 전체 터널구간 연장(m)당 환경부하량(가중화값)

록볼트공	가중화값								
	자원 고갈	산성화	부영양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물생성	생태계 독성	인간 독성	합계
	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point	eco-point
전체 구간 연장(m)당 환경부하량	0.0246	0.0001	0.0001	0.0210	0.0000	0.0009	0.0007	0.0008	0.0481

(8) 환경부하 대표공종별 환경부하 비교 분석

○ 환경부하 대표공종별 비교 분석을 위하여 대표공종별로 단위연장(m)당 환경부하량을 산정하였음

○ 라이닝콘크리트공, 숏크리트공, 배수공, 강관다단그라우팅공, 버력처리공, 록볼트공은 전체 터널 연장당 환경부하량이며, 갱문 및 개착구간 공종은 개착구간 연장당 환경부하량임



[그림 4-3-8] 환경부하 대표공종별 연장당 환경부하량(eco-point/m)

○ 갱문 및 개착터널 공종에서 환경부하량이 가장 큰 것으로 나타났으며, 이는 개착구간의 연장이 전체 터널연장에 비해 짧으나 상대적으로 많은 물량의 레미콘이 투입되는 때문인 것으로 분석됨

○ 전체 구간을 대상으로 할 경우, 라이닝콘크리트 공종과 숏크리트 공종에서 환경부하량이 큰 것으로 나타남

다. 대표공종별 표준물량 산정

○ 터널(NATM)의 환경부하 대표공종으로 선정된 공종은 버력처리, 숏크리트공, 록볼트공, 라이닝콘크리트, 배수공, 강관다단그라우팅, 갱문 및 개착터널이며, 이 7개 대표공종이 전체 환경부하량의 89.56%를 차지하는 것으로 나타남

○ 설계단계 모델에서는 2차로 터널을 대상으로 하여, 7개 환경부하 대표공종의 공종별 표준물량을 산정

○ 환경부하 대표공종별 표준물량 산출방법은 각 공종의 특성을 고려하여 달리 적용하였으며, 다음 표는 버력처리 공종 중 전단면 버력처리 공종의 표준물량을 산출한 결과임

[표 4-3-30] 버력처리 공종 중 전단면 버력처리 공종의 표준물량 산출

버력처리 (표준단면-1)		버력처리 (표준단면-2)		버력처리 (표준단면-3)	
사례	표준물량 (TYPE1 m당)	사례	표준물량 (TYPE2 m당)	사례	표준물량 (TYPE3 m당)
1	77.174	1	77.174	1	79.017
2	78.010	2	78.010	2	79.897
3	77.538	3	77.538	3	79.380
4	77.444	4	77.444	4	78.792
5	78.704	5	78.704	5	80.295
6	78.307	6	78.307	6	79.891
7	78.377	7	78.377	7	79.967
8	78.153	8	78.153	8	80.016
9	76.016	9	76.016	9	77.857
10	78.430	10	78.430	10	80.082
평균	77.815	평균	77.815	평균	79.519
표준편차	0.758	표준편차	0.758	표준편차	0.722

○ 터널 설계 시 일반적인 물량산출 방법으로는 지반조건에 따른 표준단면별(지보패턴별 TYPE1~6)로 1m당 투입되는 물량을 산출하여 전체 연장에 대한 총 물량을 산출함

○ 따라서 지보패턴별 표준단면도와 수량 산출근거를 참고하여 산출할 수 있는 공종의 경우, 수집된 설계자료 중 해당하는 단면 형식의 해당 공종의 물량을 조사하여 산출함

○ 환경부하 대표공종 중 배수공의 세부공종인 합판거푸집(3회 0-7m) 공종의 경우, 조사된 사례별로 물량 차이가 큰 것으로 나타나 사분위수를 이용하여 이상치(Outlier)를 제거한 후 평균값을 산출하여 적용

○ 이상치의 기준은 제1사분위수에서 사분위 범위의 1.5배보다 작거나 제3사분위수에서 사분위 범위의 1.5배보다 큰 경우이며, 사분위 범위는 제3사분위수에서 제1사분위수의 차이

○ 이러한 공종으로는 숏크리트 공종, 라이닝콘크리트 공종, 배수공, 강관다단그라우팅 공종의 일부 세부공종이 해당되며, 사례별 터널 특성에 따라 투입되는 물량이 상이하여 비롯된 것으로 판단됨

○ 다음 표는 이상치를 제거하고 산출한 배수공의 합판거푸집(3회 0-7m) 공종에 대한 표준물량 예시임

[표 4-3-31] 배수공 중 합판거푸집(3회 0-7회) 공종의 표준물량 산출

배수공 - 합판거푸집(3회 0-7회)		
사례	이상치 제거 전	이상치 제거 후
	표준물량(본선부 ㎥당)	표준물량(본선부 ㎥당)
1	2.100	2.100
2	2.490	2.490
3	0.300	0.300
4	4.063	이상치 제거
5	0.651	0.651
6	0.645	0.645
7	0.695	0.695
8	0.552	0.552
9	0.690	0.690
10	0.647	0.647
평균	1.283	0.974
표준편차	1.152	0.721
제1사분위	0.646	
제3사분위	1.749	
사분위범위	1.103	
제1사분위-1.5×사분위범위	-1.009	
제3사분위+1.5×사분위범위	3.403	

○ 라이닝콘크리트 공종 중 배면그라우팅 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 부록에 수록)

[표 4-3-32] 단면 유형별 버력처리 공종의 표준물량 DB

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(갱구부)	0.222	0.222	m3

라. 환경부하 대표공종별 소요자원DB 구축

(1) 환경부하 대표공종별 소요자원 DB 구축

○ 환경부하 대표공종별 표준물량 산정에 따른 소요자원(투입자재량 및 에너지 사용량)을 산출하기 위하여 환경부하 대표공종별로 일위대가 및 단가산출서를 분석하여 소요자원DB를 구축

○ 다음 표는 숏크리트공(표준단면-1) 1m3당 소요자원 DB임(그밖에 소요자원 DB는 부록에 수록)

[표 4-3-33] 숏크리트공(표준단면-1) 1m3당 소요자원 DB

공종 분류	수량	단위	자원명	규격	수량	단위	LCI DB 연결
2. 숏크리트공 a. 숏크리트공 (표준단면-1)	1	m3	경유		16.267	L	경유
			콘크리트혼화재 (고유동화제)	LIGACE-F 20kg/통	4.900	kg	기타
			콘크리트혼화재 (숏크리트용급결제)	ECONEX-SHOP-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

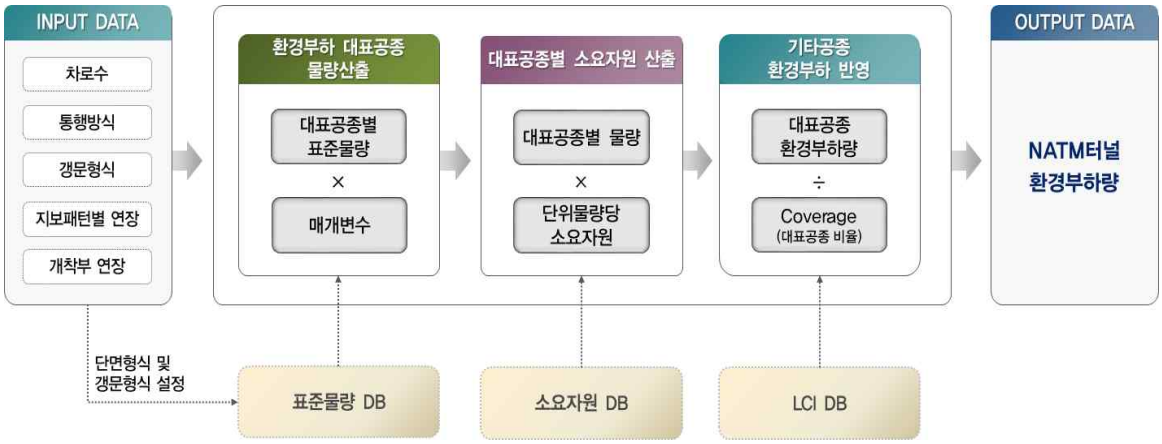
2. 설계단계 환경부하 평가모델 개요

○ 환경부하는 투입되는 자원소요량(자재 및 장비 사용에 따른 에너지 사용량)에 기초하여 산출되기 때문에 공사 물량에 따라 결정되므로, 이러한 점에 착안하여 설계단계 평가모델은 설계초기 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 NATM터널의 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 4-3-9] 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 입

력변수이며, 갱문형식에 따라 설정된 표준물량에 개착부 연장을 매개변수로 하여 갱문 및 개착구간의 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 4-3-10] NATM터널 설계단계 환경부하 평가모델

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

[표 4-3-34] 환경부하 대표공종별 물량산출 및 환경부하 산정 방법

환경부하 대표공종		단위	물량산출 방법	환경부하 산정
버력처리	T1~T6, 갱구부	㎥	= 단위물량 × 지보패턴별 연장 (T1~T6, 갱구부)	물량 산출에 따른 공종별 소요자원DB 적용 ↓ 소요자원 산출 (투입 자재량 및 에너지 사용량) ↓ 소요자원별 LCI DB 연결을 통한 대표공종의 환경부하 산정 ↓ 기타공종의 환경부하 반영 (=대표공종 환경부하/ coverage)
숏크리트공	T1~T6, 갱구부	㎥		
록볼트공	T1~T6, 갱구부	조		
라이닝 콘크리트	강재동바리 및 거푸집	set	2set	
	철근콘크리트타설	㎥	= 단위물량 × 지보패턴 T6 연장	
	무근콘크리트타설	㎥	= 단위물량 × 지보패턴별(T1~T5) 연장	
	철근가공조립	ton	= 단위물량 × 지보패턴(T5+T6) 연장	
	라이닝신축이음	m	= 단위물량 × 본선부 연장	
	배면그라우팅	㎥	= 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	㎥	= 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	

3. 평가모델 검증

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

[표 4-3-35] 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

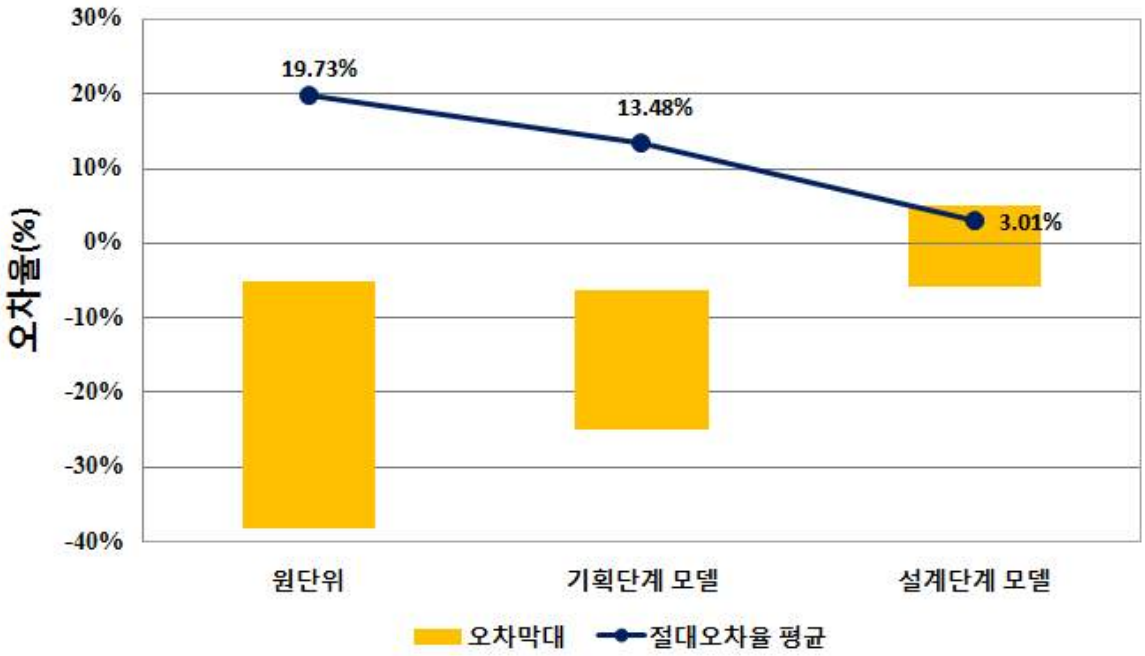
○5개 검증사례에 대한 환경부하 실제값과 원단위 방법, 기획단계 및 설계단계 추정모델 간 비교한 결과는 다음과 같음

[표 4-3-36] 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 4-3-11] 원단위 방법과 기획/설계단계 추정모델 오차범위 및 절대오차율 평균 비교

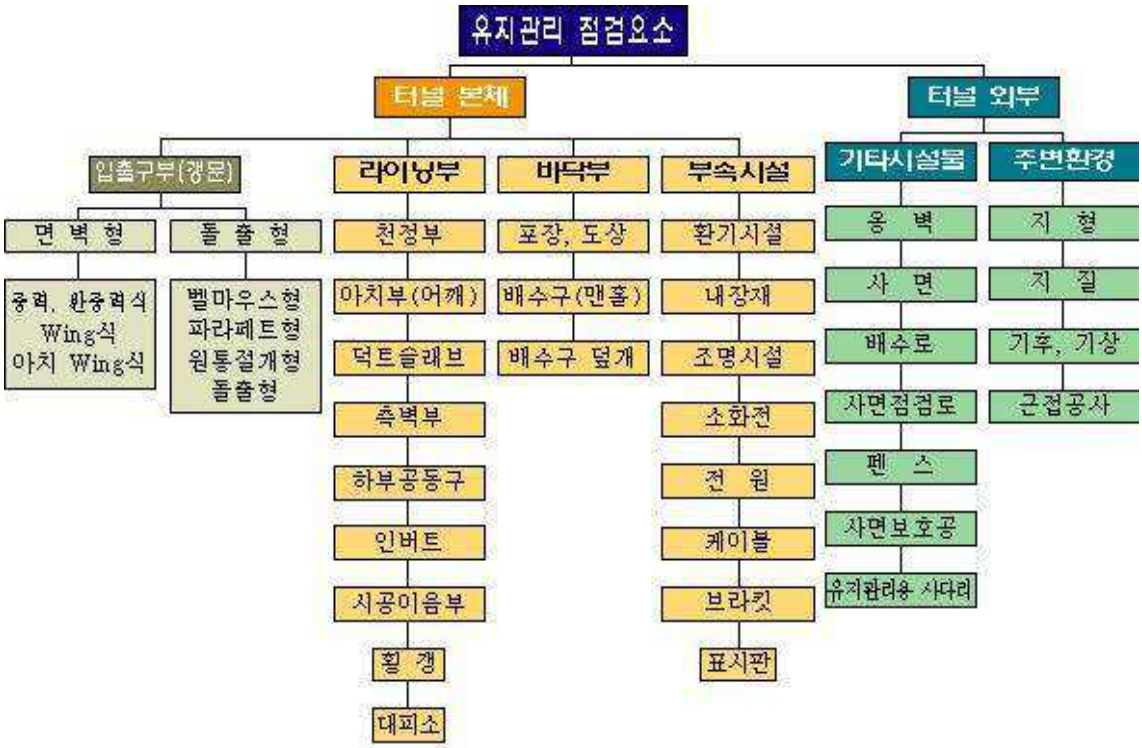
제 4 절 유지관리단계 환경부하 평가모델

1. 유지관리단계 환경부하량 산정 사례 및 주요 유지관리 항목 조사

○ 터널(NATM)의 유지관리 시 발생하는 환경부하량을 추정하는 모델을 개발하기 위하여, 터널의 주요 유지관리 항목 및 유지보수 공법을 문헌자료를 활용하여 조사하였으며, 기존에 수행된 연구들 중에서 터널의 유지관리에 따른 환경부하를 산정한 방법에 대한 사례분석을 수행

○ 터널 시설물 주요 유지관리 항목 조사를 하여, 2011년 한국시설안전공단의 '시설물의 보수·보강 방법 및 수준결정에 관한 연구(콘크리트 교량·터널)'에서 터널 시설물의 유지관리 및 우선순위 선정을 위하여 유지관리 항목 및 터널의 상태평가 방식에 관한 연구를 수행

○ 터널 시설물은 크게 터널 본체와 외부로 구분하며, 본체는 입출구부(갱문), 라이닝부, 바닥부, 부속시설로 나뉘며, 터널 외부는 기타시설물과 주변환경으로 구분



[그림 4-4-1] 터널 시설물 구성 (한국시설안전공단, 2011, p. 295)

○ 구성요소별로 구조물뿐만 아니라 환기시설, 조명시설, 운영비용 등 다양한 유지관리 비용이 소요되나, 현실적인 조건상 모든 유지관리 분야를 포함하는 것이 불가능하여 라이닝만을 대상으로 분석을 수행

[표 4-4-1] 터널의 유지관리항목(한국시설안전공단, 2011, p.296)

구성요소	유지관리 항목
구조물	◦ 라이닝부 : 균열, 누수, 공동, 박리, 박락, 파손, 탈락, 노후화, 콘크리트부식, 중성화, 내공축소, 단차(편압) ◦ 바닥부 : 포장면보수, 재포장 ◦ 기타시설물 : 옹벽, 사면 ◦ 갱문 : 균열, 공동
환기시설	◦ 환풍기(제트팬 등) ◦ 계측기 : 교통량 측정기, 풍향/풍속계, CO 감지기, 가시도 계측기, 화재 감지기 ◦ 기타
방재시설	◦ 소화설비 : 소화기, 소화전, 물분무설비 ◦ 경보설비 : 비상경보(비상벨) 설비, 정보표지판, 비상방송설비, 비상전화, 라디오재방송설비, 감시용텔레비전(CCTV) ◦ 피난설비 : 비상조명등, 유도표지판 ◦ 소화활동설비 : 제연설비, 무선통신보조설비, 연결송수관설비, 비상콘센트설비 ◦ 비상전원설비 : 비상용전원설비
조명시설	◦ 기본조명, 입출구 완화조명, 터널 입출구 접속도로 조명, 비상조명, 기타
터널운용비용	◦ 가로등 및 터널 등의 운용비용과 환기 및 방재관련 비용 ◦ 인건비 및 설비운용비용

○ 원칙적으로 라이닝 결함지수의 세부요소인 균열, 누수, 파손 및 손상, 재질열화(박리, 층 분리 및 박락, 백태, 철근노출, 중성화, 염화물) 등에 따라 보수·보강 물량을 추정하여야 하며, 각각의 요소는 라이닝 결함지수에 따른 복합적인 특성을 가지고 있음

○ 상세한 분석을 위하여 정밀안전진단보고서의 외관망도를 이용하여 변상별 물량정보(균열길이, 누수면적, 손상면적, 백태면적 등)의 조사가 필요하며, 시설물정보관리종합시스템에서 유지보수 이력이 있고, 보수 물량 기록이 중복되지 않은 자료를 조사하여야 함

○ 기존 사례 조사 결과, 터널의 결함지수는 대부분이 균열결함점수에 의해 좌우되며, 누수, 백태는 비교적 작은 부분을 차지하고 있는 것으로 나타남

○ 다음은 터널분류에 따른 터널별 상태평가 결함등급 및 결함점수와 결함지수 산출방법임

- 라이닝 결함지수는 터널주변 항목점수를 제외한 라이닝만의 결함점수인 총점 36점(조적식, 무근 콘크리트 : 26점)으로 계산되며 터널 결함지수는 라이닝의 결함점수 및 터널주변 항목점수를 모두 합한 총점 42점(조적식, 무근콘크리트 : 32점)으로 계산하여 상태등급평가를 산정

- 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따라 라이닝 지수 산출 시 필요한 각 요소별 결함등급을 바탕으로 터널의 건전성 평가 방법을 제시

- 터널주변 상태 지수는 불변하는 것으로 설정하고 라이닝 지수만을 적용하여 터널 건전지수를 평가(터널주변(배수상태, 지반상태, 갱문상태, 특수조건)은 양호하다는 전제하에 터널결함지수 산출)

[표 4-4-2] NATM터널(철근콘크리트 라이닝) 결함지수 산출 사례
(한국시설안전공단, 2011, p.297)

결함등급			a	b	c	d	e
			0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f
라이닝	균열		1~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누수		1	2	3	4	5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		중성화	0	1	2	3	4
		염화물	0	1	1	2	2
터널주변	배수상태		오염됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내 : 2~3		
					영향범위 외 : 1		
	갱문상태		손상 : 1				
특수조건			전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3				
라이닝 결함지수 (f) = $\frac{\sum 결함점수}{36}$, 터널결함지수 (F) = $\frac{\sum 결함점수}{42}$							

[표 4-4-3] 터널 상태평가 방식 사례 (한국시설안전공단, 2011, p.298)

항목	균열	손상	누수	재질열화			터널주변				합계
				박리	박락	백태	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	특수 조건	
결함 점수	5.2	0.8	3.0	1.0	1.4	0.6	1	2	1	1	17.0

결함지수	0.53
터널상태 평가등급	c

○ 결함 요소는 균열, 누수, 파손 및 손상, 재질열화(박리, 층 분리 및 박락, 백태, 철근노출, 중성화, 염화물)로 구성되며, 각각은 터널 결함등급을 산술평균한 결함점수로 표시

○ 라이닝 결함지수의 세부요소인 균열, 누수, 파손 및 손상, 재질열화 등에 따라 보수·보강 물량을 추정하는 것이 적절

○ 터널 보수공법은 크게 균열, 누수, 열화에 따라 구분되며, 균열시 주로 사용되는 보수공법은 표면피복공법, 주입공법, 충전공법, 침투성공법 등이 있으며, 실제로는 주입공법이 주로 적용

되고 있음

○ 한국도로공사에서 수행한 '포장, 터널, 사면 생애주기비용(LCC) 분석 연구'에서 도출된 시설물 유지관리 보수 주기 및 보수율과 유지관리 비용 중 터널의 구조물부는 다음과 같음

○ 전문가 및 실무자를 대상으로 한 설문조사에 의해 수집된 터널의 각 유지관리 요소의 보수주기, 보수율 및 비용이며, 단가비용은 설계가 기준으로 직접공사비(제잡비 제외)를 의미

○ 공동 및 균열에 대한 보수 단가가 상대적으로 높게 나타났으며, 다른 요소는 미미한 수준

[표 4-4-4] 터널의 구조물부 유지관리 및 보수주기 (한국도로공사, 2008, p.141)

터널유지관리요소의 주기 및 보수율			최초보수주기			최초보수율		
			평균 보수 주기	표준 편차	coefficient of variance	평균 보수율(%)	표준 편차	coefficient of variance
구조물부	라이닝부	균열누수 보수	7.59	2.68	0.35	8.70	6.90	0.79
	바닥부	포장면 보수	7.27	2.88	0.40	22.78	28.49	1.25
		재포장	8.13	2.66	0.33	13.13	8.64	0.66
	갱문	균열	5.65	2.84	0.50	17.78	25.94	1.46
		공동	8.35	2.97	0.36	9.44	5.98	0.63
	기타시설물 (선택영역)	옹벽	7.80	2.71	0.35	12.27	9.38	0.76
		사면	6.29	3.07	0.48	13.00	9.54	0.73

[표 4-4-5] 터널 각 유지관리 요소의 비용발생 단가

터널 각 유지관리요소의 세목별 비용발생 단가			평균단가(천원/㎡)
구조물부	라이닝부	균열	87.60
		누수	50.00
		공동	175.00
		박리, 박락	10.00
		파손, 탈락	30.00
		노후화-콘크리트부식	10.00
	바닥부	포장면보수	100.00
		재포장	138.00
	기타시설물	옹벽	113.33 (천원/m)
		사면	135.00 (천원/m)
	갱문	균열	30.00
		공동	30.00

2. 터널(NATM) 유지관리단계 환경부하량 산정 사례 조사

가. 건설사업의 환경적, 경제적, 사회적 평가를 위한 TBL 통합모델의 개발(박광호, 2004)

○ 2003년 말에 준공된 총 연장 4.4km, 2차로(분리터널, 2개) C터널을 분석대상으로 하였으며, 기능단위는 터널 연장 1km로 설정하였고 분석기간은 터널의 설계 목표연도인 50년을 적용함

○ 유지관리 단계에서는 터널 내 포장의 유지보수공사를 대상으로 함

○ 터널의 유지관리단계에서 사용되는 건설자재 및 장비에 대하여 고려하였으며, 건설자재의 경우 아스콘, 스테인레스 등이 사용되며, 터널의 내구수명을 50년, 각 자재의 교체 주기를 다음 표와 같이 설정하였을 때, 터널의 내구수명 동안 주기에 맞게 유지관리 작업을 수행

○ 이때 사용한 건설자재의 사용량을 다음 표에 나타내었으며 건설장비 사용에 따른 에너지 사용량을 다음 표에 나타내었음

[표 4-4-6] 터널의 유지관리 단계 건설자재 사용량

자재	주기(년)	면적 또는 길이	면적당 수량	수량
아스콘	11	0.1m2	37,800 ton/m2	7,076.16 ton
스테인레스	5	1,000 EA	9 kg/EA	18,000 kg

[표 4-4-7] 터널의 유지관리 단계 건설장비 및 에너지 소비량

공종	건설 장비	QR	Q	시간당 에너지소비량 (L/hr)	에너지 소비량 (L)
포장공	Asphalt finisher (3.0m)	17,690 ton	48.52 ton/hr	8.0	2,916.8
	Water tank (5,500L)	17,690 ton	48.52 ton/hr	10.2	3,718.9
	Tire roller (8-15ton)	37,800 m2	324 m2/hr	11.7	1,365.0
	Tandom roller (10-14ton)	37,800 m2	405 m2/hr	8.4	784.0
	Makadam roller (10-12ton)	37,800 m2	660 m2/hr	9.2	526.9

○ 영향평가방법은 지구온난화, 산성화, 부영영화 등의 환경문제에 대한 환경영향범주별 평가방법과 환경영향의 최종 수용체(Receptor), 즉 인간이나 생태계 등에 어느 정도의 피해를 주는가를 산정하는 방법이 있음

○ 여기서 후자의 경우 피해를 받는 대상에 대한 영향을 산정한다고 하여 피해 산정형(Damage oriented or Risk oriented) 또는 End-point LCIA(Life Cycle Impact Assessment, 영향평가방법), 전자의 경우 환경 문제형 또는 Mid-point LCIA로 불림

○ 터널의 유지관리 단계에서 환경영향범주별 환경부하 산정 결과는 다음 표와 같음

[표 4-4-8] Mid-point LCIA 방법을 이용한 환경부하 산정 결과(NATM 터널)

환경영향범주	ARD	GW	OD	POC	AC	EU	ET	HT	Total
유지관리단계	1.63E+05	1.77E+05	1.11E+05	1.7.40E+05	1.37E+05	3.86E+05	7.23E+05	3.08E+05	1.94E+06

나. 건설사업의 환경경제성 평가모델 개발(권석현, 2008)

○ 분석대상은 수도권에 위치한 터널로 연장 850.0m, 편도 2차로 병렬터널 형식이며, 터널에 대한 기능단위는 터널연장 1km로 설정하였고 분석기간은 토목구조물 설계 내구수명인 100년을 적용함

○ 터널의 운영 및 유지보수단계에서의 환경부하량은 사용되는 건설자재와 투입되는 건설장비에 의해 산정

○ 분석기간 100년 동안 라이닝 보수 및 보강 작업에 사용되는 건설자재 및 수량은 다음 표와 같으며, 투입되는 건설장비에 따른 에너지 소비량은 다음 표와 같음

[표 4-4-9] 운영 및 유지보수단계 주요 건설자재 및 수량

건설자재	단 위	수 량
시 멘 트	ton	3,339.0
경 유	ton	119.9

주) 경유량은 투입장비 에너지소비량의 총계를 ton 단위로 환산한 값(1 ℓ =0.905ton)

[표 4-4-10] 운영 및 유지보수단계 투입장비 및 에너지소비량

건설장비	규 격	총사용시간 (hr)	연료소비량 (ℓ/hr)	에너지소비량 (ℓ)
불도우저(무한궤도)	19 ton	23.3	25.0	583.0
로우더(무한궤도)	1.72 ㎥	178.2	14.6	2601.4
로우더(타이어)	1.72 ㎥	46.3	9.8	453.7
로우더(타이어)	2.87 ㎥	267.8	16.4	4391.4
덤프트럭	15 ton	2511.4	15.9	39931.7
콘크리트 믹서트럭	6.0 ㎥	836.5	13.0	10874.5
공기압축기(이동식)	17.0 ㎥/Min	924.5	23.5	21725.5
물탱크(살수차)	5500 ℓ	212.3	9.3	1974.6
발전기	250 kW	194.1	38.3	7433.3
숏크리트 타설기	분사로봇트	2364.8	18.0	42566.6

○ 터널의 운영 및 유지관리 단계에서 환경영향범주별 환경부하 산정 결과는 다음 표와 같음

[표 4-4-11] 터널의 운영 및 유지보수단계 환경부하 산정 사례 결과

(단위 : ton-eq/ton)

환경영향범주	표기	운영 및 유지보수단계
자원고갈	ARD	2.90E+01
지구온난화	GW	1.06E+04
오존층파괴	OD	6.81E-04
광화학산화물생성	POC	3.32E-01
산 성 화	AC	1.41E+01
부영양화	EU	1.58E-02
생태독성	ET	2.11E+05
인간독성	HT	9.06E+02

다. Life cycle assessment of Norwegian road tunnel (Lizhen Huang at el., 2015)

○ 분석대상은 노르웨이의 표준 도로 터널로 67m2의 단면적을 가지는 연장 3km의 터널을 대상으로 하였으며, 이를 위해 2004년부터 2011년까지의 도로 터널 공사와 과거 20년간 노르웨이의 암반 터널의 굴착 실무사례를 조사하여 전과정 목록분석(Life cycle inventory)을 수행

○ 기능단위는 100년 수명을 가지는 1m 표준 노르웨이 도로 터널로 정의함

○ 터널의 운영단계는 환기 및 조명(Ventilation&Lighting)에 투입되는 전기를, 유지관리단계에서는 포장과 터널 라이닝(Pavement&Tunnel lining)에 투입되는 자갈, 역청, 콘크리트, 경유 등을 고려하여 환경부하를 산정함

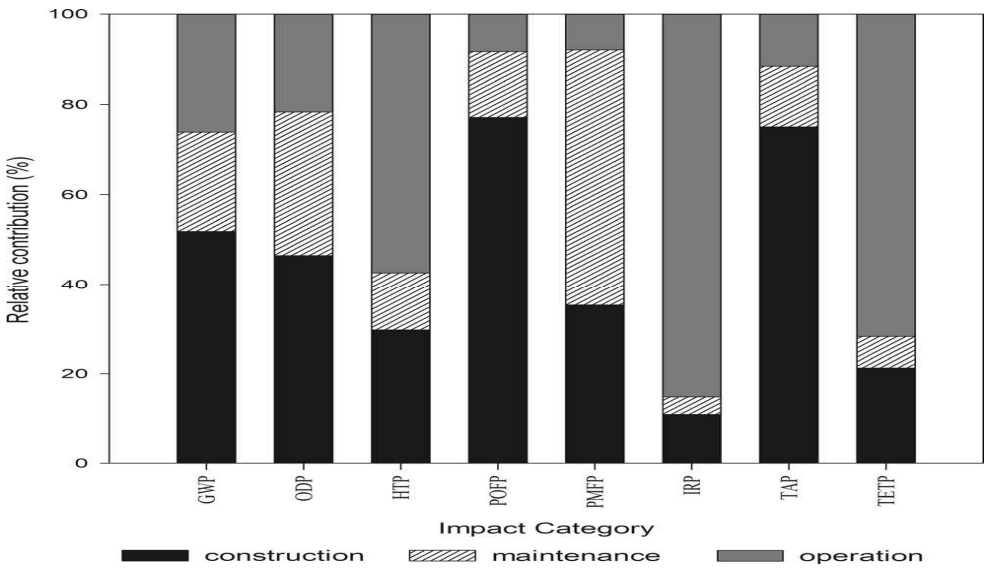
○ 포장의 내구연한은 8년으로 하여 100년간 13번의 재포장이 이루어지는 것으로 가정하였으며, 터널 라이닝은 터널 내구연한동안 2번 변화하는 것으로 가정하여 환경부하를 추정함

[표 4-4-12] Inventory data sources, assumptions and allocation procedures at maintenance and operation stage for the foreground system(Huang et al., 2015)

Process	Inputs	Data sources	Comments and allocation
Ventilation and lighting	Electricity	Statens vegvesen report NR.132 (NPRA 2012), Statistics Norway (SSB 2012)	The consumption of electricity is calculated by the annual cost and price of electricity.
Pavement and tunnel lining	Crushed aggregate, bitumen, concrete, steel, PP, PE, diesel, electricity	Tenders, Sund (1996), Stripple(2001), handbook 021 (NPRA 2004)	The service lifetime of pavements is assumed to be 8 years. Therefore, the pavement will be replaced 13 times during 100 years. Tunnel lining will be changed twice during the tunnel lifetime according to the estimation done by Miliutenko et al.(2012). Crushed aggregates are obtained from the market 30km away.

○ 유지관리 단계에서 쇄석 골재와 역청 사용으로 인하여, 터널의 내구연한(100년)동안 발생하는 미립자 물질 형성(Particulate matter formation) 영향범주의 환경부하 중 58%를 차지하는 것으로 나타남

○ 운영단계에서는 전기 소비로 인하여 터널의 내구연한(100년)동안 발생하는 인간독성(Human toxicity), 이온화 방사선(Ionising radiation), 육생 생태계 독성(Terrestrial ecotoxicity) 영향범주의 환경부하 중 각각 57%, 85%, 72%를 차지하는 것으로 나타남



[그림 4-4-2] The relative contribution of each stage to the total environmental impacts (Huang et al., 2015)

3. 터널 유지보수공종 조사

○ 유지보수 공법에 따른 환경부하 산출을 위하여, 앞서 조사한 주요 유지관리 항목인 균열, 누수, 열화 등에 대한 유지보수 공법 및 유지보수 시 투입되는 자재 및 에너지 사용량 산출을 위하여 각 유지보수 공종의 일위대가를 조사함

가. 2016년도 자동차전용도로 유지보수공사 설계가이드(서울특별시시설관리공단 도로교통본부)

○ 2016년 서울시 시설관리공단의 도로교통본부 주요사업인 「설계지원시스템 구축운영 계획」의 일환으로 「자동차전용도로 유지보수공사 설계가이드」가 작성 및 배포됨

○ 제1편 도로시설물 분야에서는 콘크리트단면 보수공 등 154개 호표, 제2편 교면방수 및 포장 분야에서 아스팔트포장 절삭 및 덧씌우기공 등 33개 호표, 제3편 도로부속시설물 분야에서 가드레인 판교체 등 236개 호표가 작성됨

○ 이 설계가이드는 도로 교통 본부 산하 부서에서 발주하는 자동차전용도로 유지보수공사 설계 예정가격 산정 시 기초자료로 활용될 예정

○ 설계가이드를 참조하여 터널과 관련된 유지보수 공종 및 일위대가를 조사

- 콘크리트 열화단면제거, 기계(착암기) - 5/10/15/20/30mm
- 콘크리트 표면보수(침투식) - 터널및지하차도 내부(주간/야간)/터널및지하차도 천장
- 콘크리트 단면보수 - t=10/20/30mm, 일반/철근노출, 터널및지하차도 내부(주간/야간)/터널및지하차도 천장
- 콘크리트 균열보수 - 건식/습식, B=0.3/0.5mm, t=100/120/150mm

○ 일위대가표를 참고하여 단위수량당 투입 자재 및 장비를 조사하고, 장비의 시간당 연료소비량을 이용하여 에너지사용량을 산출

○ 유지보수 공종 중 콘크리트 열화단면제거, 기계(착암기) 15mm의 단위수량당 투입 자재 및 에너지사용량은 다음 표와 같으며, 각 유지보수 공종별 소요자원DB는 부록에 수록

[표 4-4-13] 콘크리트균열보수(B=0.3mm, t=100mm) 소요자원DB

공종명	규격	수량	단위	비고	
콘크리트 열화단면제거, 기계(착암기)	15㎜	1	㎡	2016년 서울시 자동차 전용도로 설계가이드	
자원명	**규격**	**수량**	**단위**	**단가**	**금액**
해머드릴비트	TE-CX-17/22	0.0067	EA	33,700	225
경유		0.7440	L	1,080	804

[표 4-4-14] 터널 유지보수 공종별 일위대가

호표	공종	규격	단위	재료비	노무비	경비	총액
3	콘크리트 열화단면제거, 기계(착암기),15㎜	1	㎡	1,320	7,866	421	9,607
4	콘크리트 열화단면제거, 기계(착암기),30㎜	1	㎡	2,165	13,213	703	16,081
5	콘크리트 열화단면제거, 기계(착암기),5㎜	1	㎡	280	1,779	93	2,152
6	콘크리트 열화단면제거, 기계(착암기),10㎜	1	㎡	1,040	6,087	328	7,455
7	콘크리트 열화단면제거, 기계(착암기),20㎜	1	㎡	1,600	9,645	514	11,759
12	콘크리트 표면보수(침투식,일반,터널및지하차도내부)	1	㎡	7,480	4,091	0	11,571
13	콘크리트 표면보수(침투식,일반,터널및지하차도내부,야간)	1	㎡	7,480	7,471	0	14,951
17	콘크리트 표면보수(침투식,터널및지하차도 천장)	1	㎡	7,480	4,803	0	12,283
24	콘크리트 단면보수(t=10㎜,일반,터널및지하차도내부)	1	㎡	44,075	23,947	0	68,022
25	콘크리트 단면보수(t=10㎜,일반,터널및지하차도내부,야간)	1	㎡	44,075	43,730	0	87,805
30	콘크리트 단면보수(t=10㎜,터널및지하차도 천장)	1	㎡	44,075	25,014	0	69,089
35	콘크리트 단면보수(t=20㎜,일반,터널및지하차도내부)	1	㎡	80,075	34,345	0	114,420
36	콘크리트 단면보수(t=20㎜,일반,터널및지하차도내부,야간)	1	㎡	80,075	62,718	0	142,793
41	콘크리트 단면보수(t=20㎜,터널및지하차도 천장)	1	㎡	80,075	35,412	0	115,487
46	콘크리트 단면보수(t=30㎜,일반,터널및지하차도내부)	1	㎡	116,075	34,345	0	150,420
47	콘크리트 단면보수(t=30㎜,일반,터널및지하차도내부,야간)	1	㎡	116,075	62,718	0	178,793
52	콘크리트 단면보수(t=30㎜,터널및지하차도 천장)	1	㎡	116,075	35,412	0	151,487
57	콘크리트 단면보수(t=30㎜,철근노출,터널및지하차도내부)	1	㎡	116,420	47,601	0	164,021
58	콘크리트 단면보수(t=30㎜,철근노출,터널및지하차도내부,야간)	1	㎡	116,420	86,925	0	203,345
63	콘크리트 단면보수(t=30㎜,철근노출,터널및지하차도 천장)	1	㎡	116,420	48,668	0	165,088
64	콘크리트 균열보수(건식, B=0.3㎜, t=100㎜)	1	m	1,167	16,243	0	17,410
65	콘크리트 균열보수(건식, B=0.3㎜, t=120㎜)	1	m	1,299	16,243	0	17,542
66	콘크리트 균열보수(건식, B=0.3㎜, t=150㎜)	1	m	1,507	16,243	0	17,750
67	콘크리트 균열보수(건식, B=0.5㎜, t=100㎜)	1	m	1,621	16,243	0	17,864
68	콘크리트 균열보수(건식, B=0.5㎜, t=120㎜)	1	m	1,847	16,243	0	18,090
69	콘크리트 균열보수(건식, B=0.5㎜, t=150㎜)	1	m	2,188	16,243	0	18,431
70	콘크리트 균열보수(습식, B=0.3㎜, t=100㎜)	1	m	1,394	16,243	0	17,637
71	콘크리트 균열보수(습식, B=0.3㎜, t=120㎜)	1	m	1,570	16,243	0	17,813
72	콘크리트 균열보수(습식, B=0.3㎜, t=150㎜)	1	m	1,847	16,243	0	18,090
73	콘크리트 균열보수(습식, B=0.5㎜, t=100㎜)	1	m	1,999	16,243	0	18,242
74	콘크리트 균열보수(습식, B=0.5㎜, t=120㎜)	1	m	2,301	16,243	0	18,544
75	콘크리트 균열보수(습식, B=0.5㎜, t=150㎜)	1	m	2,755	16,243	0	18,998

나. 2016년도 한국도로공사 유지보수단가집(한국도로공사)

○ 한국도로공사의 2016년도 유지보수단가집의 유지보수 작업공종 분류 중 터널과 관련된 공종은 다음과 같음

[표 4-4-15] 터널 유지보수 관련 세부공종

공 종	세 부 공 종
350 터널보수	351 균열보수
	352 누수보수
	353 타일보수
	354 전기시설보수
	355 전화시설보수
	356 배수시설보수
	357 환기시설보수
	358 기 타
700 청 소	706 터 널

○ 한국도로공사의 2016년도 유지보수단가집의 유지보수 작업공종 분류 중 터널과 관련된 공종은 다음과 같음

[표 4-4-16] 터널 유지보수 공종별 일위대가

공종명	규격	수량	단위	재료비	노무비	경비	합계
콘크리트균열보수	B=0.3mm,T=10cm	1	M	43,052	26,103	783	69,938
콘크리트균열보수	B=0.3mm,T=15cm	1	M	43,346	26,103	783	70,232
콘크리트균열보수	B=0.3mm,T=20cm	1	M	43,639	26,103	783	70,525
콘크리트균열보수	B=0.3mm,T=25cm	1	M	43,933	26,103	783	70,819
콘크리트균열보수	B=0.3mm,T=30cm	1	M	44,226	26,103	783	71,112
콘크리트균열보수	B=0.5mm,T=20cm	1	M	44,733	26,103	783	71,619
콘크리트균열보수	B=0.5mm,T=10cm	1	M	43,755	26,103	783	70,641
콘크리트균열보수	B=0.5mm,T=15cm	1	M	44,244	26,103	783	71,130
콘크리트균열보수	B=0.5mm,T=18cm	1	M	44,407	26,103	783	71,293
콘크리트균열보수	B=0.5mm,T=30cm	1	M	45,711	26,103	783	72,597
콘크리트균열보수	B=1mm,T=12cm	1	M	45,837	26,103	783	72,723
콘크리트균열보수	B=1mm,T=15cm	1	M	46,489	26,103	783	73,375
콘크리트균열보수	B=1mm,T=18cm	1	M	46,978	26,103	783	73,864
콘크리트균열보수(건식균열)	B=1mm,T=20cm	1	M	47,467	26,551	796	74,814
콘크리트균열보수(습식균열)	B=1mm,T=20cm	1	M	47,467	26,103	783	74,353
콘크리트균열보수	B=5mm,T=20cm	1	M	69,336	26,103	783	96,222
콘크리트균열보수	B=10mm,T=20cm	1	M	96,673	26,103	783	123,559
콘크리트균열보수(HIS,건식)	B=2mm, T=15CM	1	M	44,696	26,103	783	71,582
콘크리트균열보수(HIS,건식)	B=2mm,T=30CM	1	M	67,376	26,103	783	94,262
콘크리트균열보수(폴리우레탄계,습식)	B=2mm,T=15CM	1	M	40,160	26,103	783	67,046
콘크리트균열보수(폴리우레탄계,습식)	B=2mm,T=30CM	1	M	58,304	26,103	783	85,190
콘크리트균열보수(마이크로시멘트)	B=0.5mm,T=25CM (균열누수)	1	M	19,744	26,103	783	46,630
콘크리트균열보수(BICS공법)	B=0.5, T=10CM	1	M	20,268	26,103	783	47,154
콘크리트균열보수(BICS공법)	B=0.5, T=15CM	1	M	21,059	26,103	783	47,945
콘크리트균열보수(BICS공법)	B=0.5, T=18CM	1	M	21,322	26,103	783	48,208
콘크리트균열보수(BICS공법)	B=0.5, T=20CM	1	M	21,849	26,103	783	48,735
콘크리트균열보수(BICS공법)	B=0.5, T=30CM	1	M	23,429	26,103	783	50,315
콘크리트균열보수(BICS공법)	B=1.0, T=12CM	1	M	23,689	26,103	783	50,575
콘크리트균열보수(BICS공법)	B=1.0, T=15CM	1	M	24,742	26,103	783	51,628
콘크리트균열보수(BICS공법)	B=1.0, T=18CM	1	M	25,532	26,103	783	52,418
콘크리트균열보수(BICS공법)	B=1.0, T=20CM	1	M	26,322	26,103	783	53,208
콘크리트균열보수(SKI공법, 건식)	B=(0.3~1.0mm), T=(100~150mm)	1	M	13,322	93,333	2,799	109,454
콘크리트균열보수(SKI공법, 건식)	B=(3~5mm), T=(100~150mm)	1	M	19,003	112,563	3,376	134,942
콘크리트균열보수(SKI공법, 습식)	B=(0.3~1.0mm), T=(100~150mm)	1	M	21,224	125,761	3,772	150,757
콘크리트균열보수(SKI공법, 습식)	B=(3~5mm), T=(100~150mm)	1	M	25,904	136,938	4,108	166,950
터널누수표면처리		1	M2	9,203	25,822	306	35,331
터널내부타일붙임보수	떠붙이기적용	1	M2	12,490	48,249	1,350	62,089
터널청소(기계)	주간	1	M2	59	148	185	392
터널청소(인력)	주간	1	M2	1,181	5,264	796	7,241

4. 유지관리단계 환경부하 평가모델 개요

○ 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, 터널누수표면처리, 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

가. 유지관리단계 환경부하 평가 방법론 검토

○ NATM터널의 유지관리 단계 환경부하를 산출하기 위해 유지보수 공종의 보수물량, 보수공법의 자원DB, LCI DB를 연계하는 프로세스를 다음과 같이 정의



[그림 4-4-3] NATM터널의 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 4-4-17] 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

○ 예시로 콘크리트 균열보수(B=0.3mm, t=100mm) 및 터널누수 표면처리 소요자원 DB는 다음과 같음

[표 4-4-18] 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 4-4-19] 터널누수표면처리 소요자원DB

공종명	규격	수량	단위	비고	
터널누수표면처리		1	m2	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 환경부하량 평가모델 개발

(1) 유지관리단계의 환경부하량 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

보수횟수 = 공용년수/보수주기

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

[표 4-4-20] 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 4-4-21] 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
에폭시씰란트	에폭시씰란트	Kg	1
콘크리트용프라이머	아스팔트	Kg	1
콘크리트혼화제(양생제)	양생제	Kg	1
콘크리트	레미콘	M3	1
초속경시멘트	초속경시멘트	Kg	1
쇄석자갈	자갈	Kg	2,000
콘크리트혼화제(AE 감수제)	규산소다	Kg	1
시멘트	시멘트	Kg	40

라. 평가모델의 검증

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

[표 4-4-22] 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 4-4-23] 유지관리단계 모델 환경부하 산정 결과

Case	오차율	유지관리단계 모델	실제 환경부하량
		추정값 (Eco-point)	(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

제 5 장 LCI DB 구축 및 연계 표준화 모델

제 1 절 LCI DB 구축 개요

1. 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 [그림 5-1-1]과 같이 결핍 자재 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 5-1-1] LCI DB 구축 절차

가. 참여 업체 선정

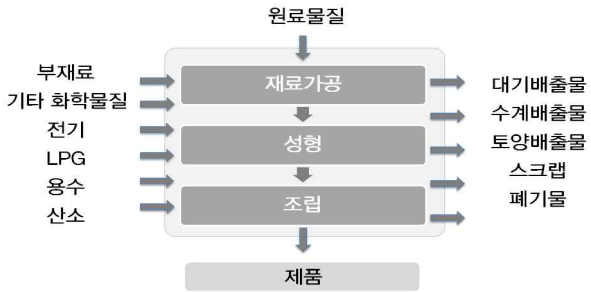
○ 구축 대상 자재가 선정된 후, 데이터베이스 구축을 위한 대상 자재의 국내 생산 업체 및 시장 점유율 등의 기초자료 조사 실시

○ 독점 생산업체를 제외하고 일반적으로 2개 업체 이상의 참여를 원칙으로 하며 대상업체들의 국내 시장 점유율을 바탕으로 참여 업체 선정(국가 LCI DB의 경우 참여 업체의 국내 시장 점유율이 통상 50% 이상이어야 함)

나. 공정흐름도 결정

○ 참여 업체 선정 후 업체마다의 고유한 공정 특성을 파악하고, 표준이 될 수 있는 대표단위 공정 흐름도 작성하며 예시는 [그림 5-1-2]과 같음

○ 공정흐름도의 제품의 흐름을 수직흐름으로 표시하며 제품의 흐름에는 공정에 투입되는 원료와 중간제품, 최종제품 등이 포함됨

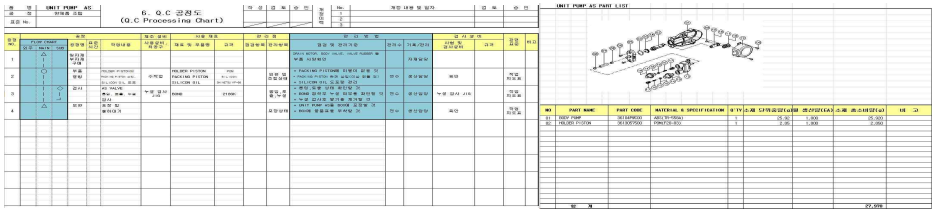


[그림 5-1-2] 공정흐름도 예시

다. 공정데이터 수집

○ 대표단위공정 흐름도가 결정되면 공정데이터 수집을 위한 데이터 조사서를 작성함

○ 데이터 조사서는 원자재 정보, 제품 생산량, 대기 및 수계 배출 현황, 유틸리티 사용량, 원료물질 수송정보, 스크랩 및 폐기물 발생 등 데이터 분석을 위한 모든 관련 정보를 담을 수 있도록 작성해야 하며 QC공정도, Part List, 공정데이터 등의 관련 데이터를 같이 수집함



[그림 5-1-3] 데이터 조사서, QC 공정도, Part List 등 수집 양식

라. 데이터 계산

○ 수집된 데이터를 바탕으로 대상 자재의 기능단위(규격 등) 기준으로 업체별 생산량 등 평균값 산출 근거를 이용하여 데이터를 전환 후 수직적, 수평적 합산 방법을 통해 국가 평균 데이터 산출

○ 계산된 데이터를 바탕으로 물질 수지 및 에너지 수지를 활용하여 데이터의 타당성을 검증하고 사용된 방법론에 대한 내부 검토를 실시함

마. 업체 GtG 목록 산출

○ 검토된 데이터를 바탕으로 기능단위당 투입물과 산출물에 대한 공정데이터인 Gate to Gate 데이터를 산출

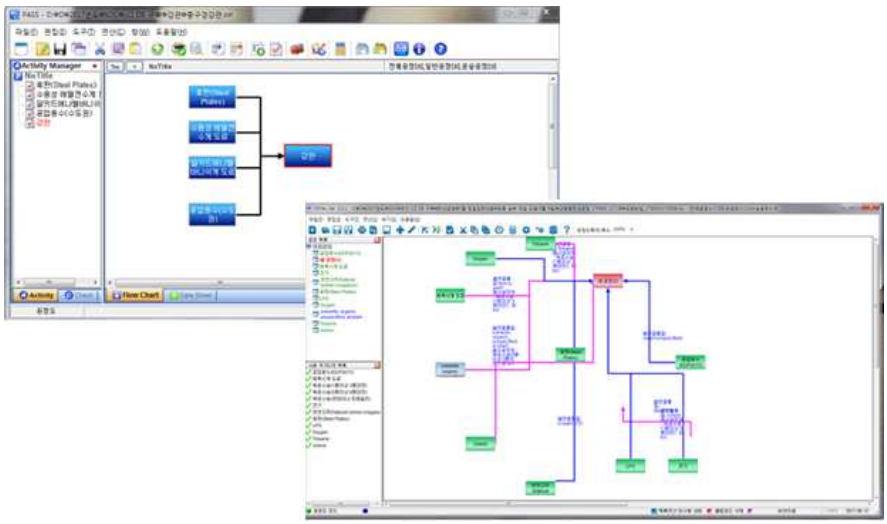
○ 외부전문가 검증을 통한 데이터 신뢰성 확보

바. LCI DB 구축

○ Total, PASS 등의 상용화된 LCA 분석 프로그램을 이용하여 [그림 5-1-4]와 같이 상하위 데이터베이스 연결

○ 상하위 데이터베이스 연결시 환경부 및 산업통상자원부에서 개발한 LCI 데이터베이스와 Ecoinvent(www.ecoinvent.org) 등의 해외 데이터베이스 활용

○ 구축된 LCI DB의 국가 LCI DB 제정을 위해서는 국가 LCI DB 표준지침서(2003, 환경부)를 준용한 구축 보고서 작성 및 외부 정밀검토 위원회를 통한 최종 LCI DB 검토 필요



[그림 5-1-4] LCI DB 구축을 위한 데이터베이스 연계 예시(PASS, TOTAL)

2. LCI DB 구축 대상 선정

가. 참여 업체 선정

○ 1, 2차년도 내역서 분석 결과, 내부연구진 의견, 각 자재별 구축 가능성(단일소재사용, 배합비율 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 수행하였으며 세부적인 결핍 DB 목록 구축 및 진행결과는 [표 5-1-5]와 같음

○ 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 5-1-1] 구축 시급성이 높은 결핍 DB 목록 및 구축 결과

구분	No.	자재명	Cut-off 증가율	주요 내역서상 단위	DB 구축 진행결과
공통	1	시트파일	2.15%	m	-
	2	PC강연선	0.22%	kg	-
	3	**유공관**	**0.57%**	**m**	**3차년도 DB 구축**
	4	**PVC관**	**0.10%**	**m**	**3차년도 DB 구축**
도로	5	**아스콘**	**4.61%**	**ton**	**2차년도 DB 구축**
	6	**가드레일**	**0.85%**	**ea**	**3차년도 DB 구축**
	7	방음벽	1.05%	m	-
	8	차량충격흡수시설	0.21%	ea	-
	9	피복제	0.34%	g	-
	10	거적	0.72%	m2	-
터널	11	**스틸그레이팅**	**0.53%**	**ea**	**3차년도 DB 구축**
	12	강섬유보강제	5.88%	kg	-
	13	방수쉬트	4.72%	m2	-
	14	유동화제	0.56%	kg	-
	15	NATM RESIN	0.46%	ea	-
교량	16	**신축이음장치**	**1.58%**	**m**	**2차년도 DB 구축**
	17	**포트받침**	**5.41%**	**ea**	**국가 LCI DB 등록 (4차년도)**
	18	**탄성받침**	**3.98%**	**ea**	**국가 LCI DB 등록 (3차년도)**
	19	**강관**	**1.52%**	**kg**	**3차년도 DB 구축**

*1, 2차년도 내역서 분석 기준

나. 유지관리 단계

○ 시설물별 주요 유지보수 공법에 따른 내역서 분석 결과(3차년도, 4차년도)를 활용하여 주요 유지보수 DB 결핍 리스트 도출하였으며 세부 조사 결과는 [표 5-1-2]와 같음

○ 선정된 결핍 DB 중 내부연구진 의견, 각 자재별 구축 가능성 등을 고려하여 [표 5-1-3]과 같이 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 5-1-2] 유지관리 단계 결핍 DB 목록 조사 결과

구분	자재명	규격
도로	유로폼패널	600*1200
	내부코너패널	(200+220)*1200
	공(헌)드럼	매출가
	속경성 아스팔트(유제)	RS(C)-1,2,3,4 P/K(200ℓ)
	노면파쇄기팁날	소모비
	콘크리트혼화재(양생제)	ECONEX-E 수성 200ℓ/DM
	초속경시멘트	3시간에 실용강도 200kg/㎠ 이상
	콘크리트혼화재(무수축제)	초속경용
	···	···
교량	에폭시주입제	건식저점도
	V-Cut충전제	EPOXY
	에폭시주입제	습식저점도
	V-Cut충전제	EPOXY
	초속경시멘트	3시간에 실용강도 200kg/㎠ 이상
	블레이드	320~400㎜
	접착제(프라이머)	Multi Coat-B
	···	···
터널	IHS 93	에폭시계
	IHS 94	폴리우레탄
	MICRO CEMENT SLURRY	-
	불포화수지	PC303 PRIMER
	세라탑(표면마감용코팅제)	HCT-300TS,투명
	세라탑(프라이머)	CT-300TS,투명
	세제(빅베어)	-
	에폭시 주입제	건식저점도
	···	···

*3,4차년도 유지관리공법별 내역서 분석 기준

[표 5-1-3] 유지관리 단계 구축 대상 LCI DB

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

제 2 절 LCI DB 개발 및 구축

1. 기획·설계 단계 LCI DB 구축

가. 아스콘

(1) 대상제품 일반 정보

○ 아스콘은 아스팔트 콘크리트(Asphalt Concrete)를 줄인 명칭으로 아스팔트, 아스팔트 혼합물, 아스팔트 콘크리트, 포장용 가열 아스팔트 혼합물 등 여러 가지로 호칭되고 있음

○ 일반적으로 아스콘은 아스팔트(Asphalt)와 굵은 골재(Aggregate), 잔골재(Sand) 또는 포장용 채움재(MineralFiller)를 가열하거나 상온으로 혼합한 것이며, 도로 포장이나 주차장 등에 주로 사용됨.

(2) 기능단위 설정

○ 아스콘은 도로 포장이나 주차장 시공과 관련하여 필수·범용적으로 사용되는 시공자재로서의 용도가 주기능임. 기능단위는 1ton 생산으로 설정하였으며, 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-1]과 같음.

[표 5-2-1] 아스콘 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 도로 포장이나 주차장 시공 등에 사용되는 시공자재
기능단위	· 아스콘 1ton 생산
기준흐름	· 아스콘 1ton

(3) 시스템 경계

○ 아스콘 생산시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-1]과 같이 정의함



[그림 5-2-1] 아스콘 생산 시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 상위/하위흐름 단계 및 수송 단계의 시간적 범위가 최근 10년 이내 데이터로 정의하였지만, 10년 이내 데이터의 부재 시에는 가장 최신의 데이터를 사용하였으며, 데이터 부재 시에는 유사 데이터를 사용하거나 data gap으로 처리함

○ 아스콘제조를 위해 구축된 설비에 따른 환경부하는 고려하지 않음

○ 아스콘의 주원료인 골재 및 아스팔트에 대한 환경부하를 고려하였으며, 주원료 수송에 따른 환경부하 또한 고려함. 단 보조물질 수송에 대한 환경부하는 고려하지 않음. 원부자재 수송에 따른 환경부하를 적용하기 위해 공개된 국가 데이터베이스를 적용함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

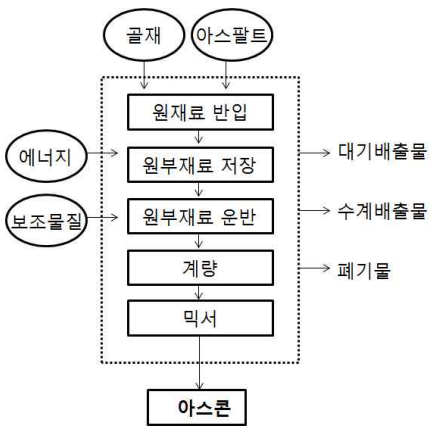
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-2]와 같음

[표 5-2-2] 아스콘 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최근 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 아스콘 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 아스콘 생산 공정은 원부재료 저장, 원부재료 운반, 계량, 믹서 공정으로 구분되며 세부 공정흐름도는 [그림 5-2-2]와 같음



[그림 5-2-2] 아스콘 제조 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

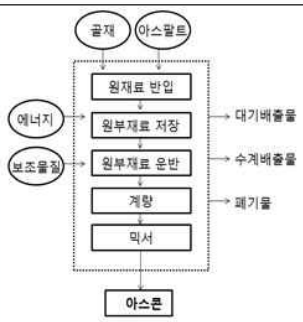
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-3]과 같음

[표 5-2-3] 아스콘 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	순환골재		V		순환골재	환경부	2010
		아스팔트		V		아스팔트	Ecoinvent(2.2V)	-
	유틸리티	전기		V		전력	산업통상자원부	2000
		B-C유		V		B-C 유	환경부	2003

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	아스콘 생산
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	아스콘
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	아스콘
(3) 단위	ton
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내에서 생산되는 아스콘의 평균 데이터베이스로써, 국내 생산 업체의 데이터를 이용한 데이터임
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	2015.1
(2) 종료일	2015.12
(3) 기간 설명	2015년 1년간 평균 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생산한 아스콘에 해당
(3) 현장	대한민국
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-3] 아스콘 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 아스콘 LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-4], [표 5-2-5]와 같음

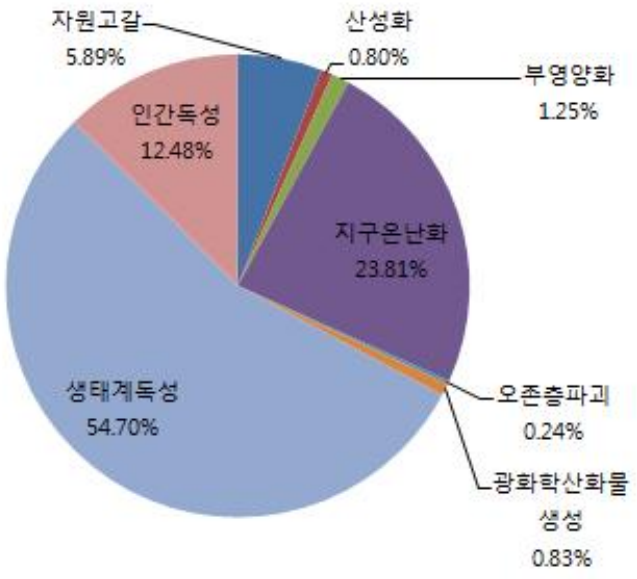
○ 아스콘 1ton 생산시 가중화 결과 영향범주 중 생태계독성, 지구온난화에 미치는 영향이 각각 54.70%, 23.81%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-4]와 같음

[표 5-2-4] 아스콘 1ton 생산시 특성화 결과

자재명	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_2H_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 5-2-5] 아스콘 1ton 생산시 가중화 결과

자재명	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
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



[그림 5-2-4] 아스콘의 영향범주별 가중화 비율

나. 신축이음장치

(1) 대상제품 일반 정보

○ 신축이음장치는 교량에 있어 상판 단부의 신축에 의한 이음을 원활하게 연결시키기 위한 장치로 온도 변화나 하중에 의한 탄성 변형으로 인해 거더 끝에서는 거더의 신축이나 회전이 생기기 때문에 상판이나 세로 거더의 단부에는 이것에 대응하기 위한 신축이음장치를 설치함.

○ 모자이크형 신축이음장치는 상부형식은 가운데 MIDDLE FINGER와 양쪽 EDGE FINGER로 구성되며, 하부구조는 MIDDLE RAIL과 중공 BOX로 구성됨. 신축량은 No. 50 ~ 300으로 내구성과 주행성이 뛰어나며, 저소음형 신축이음장치임.

(2) 기능단위 설정

○ 신축이음장치는 교량 시공과 관련하여 필수·범용적으로 사용되는 시공자재로서의 용도가 주기능임. 기능단위는 1m 생산으로 설정하였으며, 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-6]과 같음.

[표 5-2-6] 신축이음장치 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 교량에 있어 상판 단부의 신축에 의한 이음을 원활하게 연결시키기 위한 장치
기능단위	· 신축이음장치 모자이크형 1m 생산
기준흐름	· 신축이음장치 모자이크형 1m

(3) 시스템 경계

○ 신축이음장치 생산시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-5]와 같이 정의함



[그림 5-2-5] 신축이음장치 생산 시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

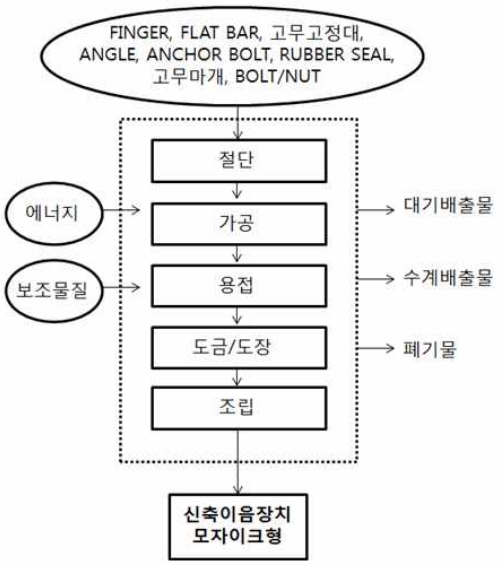
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-7]과 같음

[표 5-2-7] 신축이음장치 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최근 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 가드레일 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 신축이음장치 생산 공정은 원료 절단, 가공, 용접, 도금/도장, 조립 공정으로 구분되며 세부공정 흐름도는 [그림 5-2-6]과 같음



[그림 5-2-6] 신축이음장치 제조공정 흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

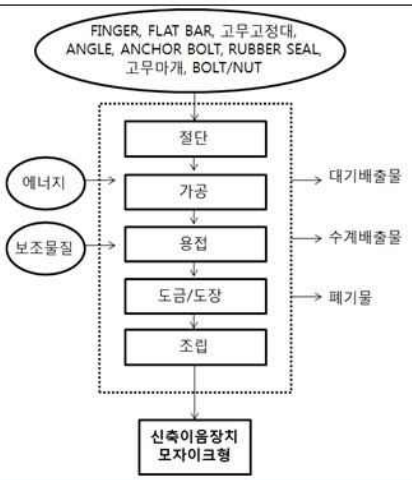
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-8]과 같음

[표 5-2-8] 신축이음장치 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	일반구조용압연강재		V		후판	환경부	2005
		Wire rod		V		선재	환경부	2003
	보조물질	프로필렌디에 고무		V		천연고무	환경부	2003
	유틸리티	전기		V		전력	산업통상자원부	2000

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	신축이음장치 모자이크형 No.50 생산
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	신축이음장치 모자이크형 No.50
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	신축이음장치 모자이크형 No.50
(3) 단위	m
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수평적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내에서 생산되는 신축이음장치 모자이크형 No.50의 평균 데이터베이스로써, 국내 유일 생산 업체의 데이터를 이용한 데이터임
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	2015.1
(2) 종료일	2015.12
(3) 기간 설명	2015년 1년간 평균 데이터

[그림 5-2-7] 신축이음장치 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 신축이음장치 LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-9], [표 5-2-10]과 같음

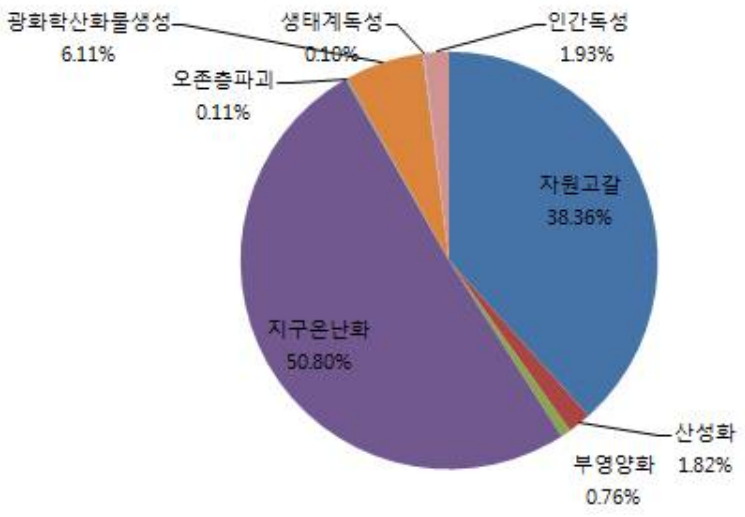
○ 신축이음장치 1m 생산시 가중화 결과 영향범주 중 지구온난화, 자원고갈에 미치는 영향이 각각 50.80%, 38.36%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-8]과 같음

[표 5-2-9] 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_2H_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 5-2-10] 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



[그림 5-2-8] 신축이음장치의 영향범주별 가중화 비율

다. 강관

(1) 대상제품 일반 정보

○ 강관(steel pipe)이란 단면형상이 원형 또는 각형으로 내부가 비어 있는 강재를 의미함

○ 강관은 소재에 따라 보통강 강관과 특수강 강관으로 나눠지며, 이음매의 유무에 따라 각각 무계목 강관(Seamless pipe)과 용접 강관(Welded pipe)으로 구분됨

○ 국내 강관업계의 종류별 생산 능력을 검토하여 가장 생산 비율이 높고 일반적으로 이용되는 전기용접 방식의 중구경강관을 대상 규격으로 선정

(2) 기능단위 설정

○ 강관은 내부의 빈 공간이 있고 봉 형태를 띠는 철강제품으로 주요 용도는 유전개발용, 일반 배관용, 구조용 배관 등임. 기능단위는 강관 1kg 생산으로 설정하였으며. 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-11]과 같음.

[표 5-2-11] 강관 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 내부의 빈 공간이 있고 봉 형태를 띠는 철강제품으로 유전개발용, 일반배관용 구조용으로 유체의 흐름을 보조함
기능단위	· 강관 1kg 생산 (중구경강관 기준)
기준흐름	· 강관 1kg

(3) 시스템 경계

○ 강관 생산 시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-9]와 같이 정의함



[그림 5-2-9] 강관 생산 시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

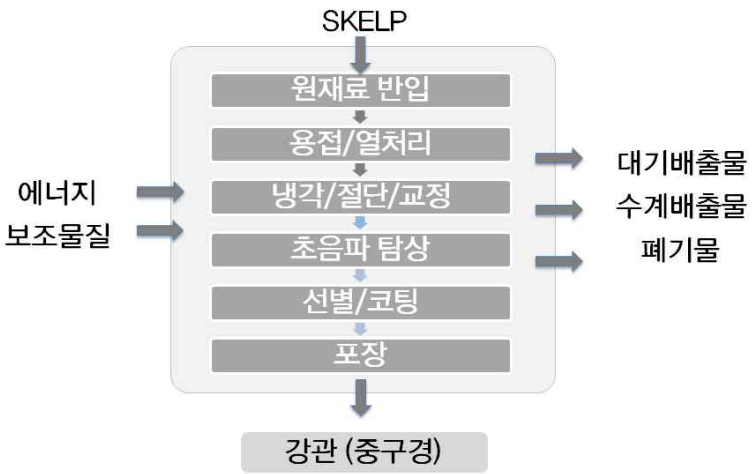
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-12]와 같음

[표 5-2-12] 강관 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	2015년도 연간 데이터(2015. 1.1 ~ 2015. 12.31)
지역적 범위	해당 지역 데이터	데이터 수집업체 공장 지역(인천) 현장 데이터 수집
기술적 범위	-	각 시설의 강관 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 강관의 생산 공정은 철판이 반입되어 용접/열처리되어 냉각/절단/교정, 초음파 탐상 공정을 거쳐 최종 검사를 위한 선별/코팅 공정으로 구분되며 세부 공정 흐름도는 [그림 5-2-10]과 같음



[그림 5-2-10] 강관 생산 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

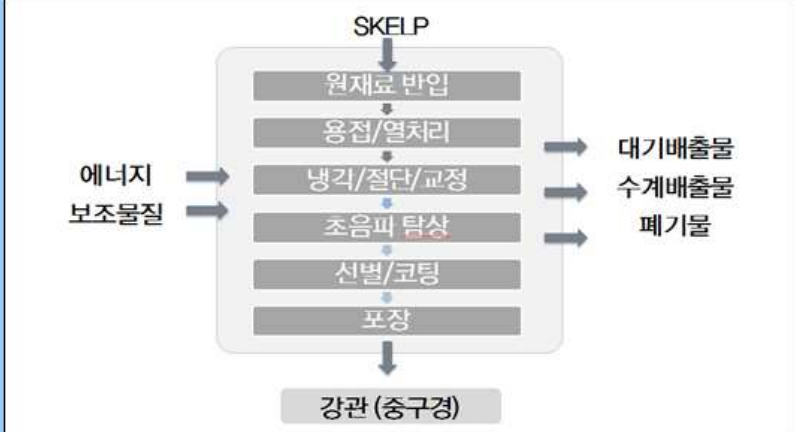
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-13]과 같음

[표 5-2-13] 강관 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	SKELP	V			후판	환경부	2005
	보조물질	EMULSION	V			수용성 에멀젼수계 도료	환경부	2003
		VARNISH	V			알키드에나멜 바니쉬계 도료	환경부	2003
	유틸리티	용수		V		공업용수(EDP2013)	환경부	2013

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	철판을 주원료로한 ERW 방식의 중구경강관 생산
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	강관(중구경)
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	강관
(3) 단위	kg
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 강관의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	2015.1
(2) 종료일	2015.12
(3) 기간 설명	2015년 1년간 평균 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생상되는 강관
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-11] 강관(중구경) LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 강관 LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-14], [표 5-2-15]와 같음

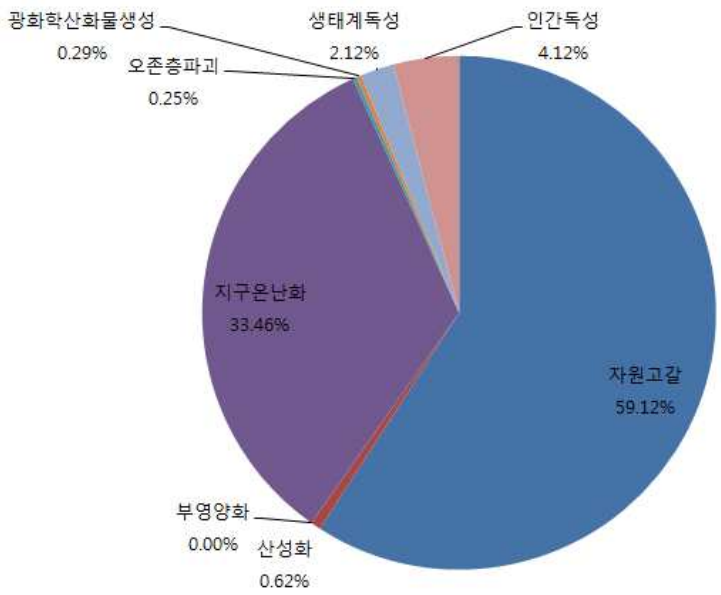
○ 강관 1kg 생산 시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 59.12%, 33.46%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-12]와 같음

[표 5-2-14] 강관(중구경) 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_2H_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 5-2-15] 강관(중구경) 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
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



[그림 5-2-12] 강관(중구경강관)의 영향범주별 가중화 비율

라. 스틸그레이팅

(1) 대상제품 일반 정보

○ 스틸그레이팅이란 도로, 인도, 공원, 운동장 등의 상 · 하수도 배송관로 또는 배수구의 빗물받이용에 사용되는 것으로 뚜껑과 받침으로 구성

○ 스틸그레이팅은 형태 및 용도에 따라 격자형 뚜껑, 기능형 뚜껑, 레이저가공 디자인형 뚜껑, 프레스가공 디자인형 뚜껑, 받침, 기능형 받침으로 구성

○ 스틸그레이팅 종류 중 업체 자문을 통해 가장 일반적인 격자형 스틸그레이팅 제품을 대상으로 선정

(2) 기능단위 설정

○ 스틸그레이팅은 도로, 인도, 공원, 운동장 등의 상 · 하수도 배송관로 또는 배수구의 빗물받이용에 사용되는 건설재료로서 이물질 유입 방지기능과 악취차단 등의 기능을 가지고 있음. 기능단위는 스틸그레이팅 각 규격별 1ea 생산으로 설정하였으며. 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-16]과 같음.

[표 5-2-16] 스틸그레이팅 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 도로, 인도, 공원, 운동장 등의 상 · 하수도 배송관로 또는 배수구의 빗물받이용에 사용되는 건설재료로서 이물질 유입을 방지하고 악취를 차단함
기능단위	· 스틸그레이팅 1ea 생산 (I-32-200, I-25-200, I-44-300, I-32-300, I-50s-400, I-32-400, I-32-500, I-25-500)
기준흐름	· 스틸그레이팅 1ea (I-32-200, I-25-200, I-44-300, I-32-300, I-50s-400, I-32-400, I-32-500, I-25-500)

(3) 시스템 경계

○ 스틸그레이팅 생산 시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-13]과 같이 정의함



[그림 5-2-13] 스틸그레이팅 생산 시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

○ 유틸리티(전력, 용수) 데이터 조사결과의 신뢰성 부족으로 유틸리티 부분은 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

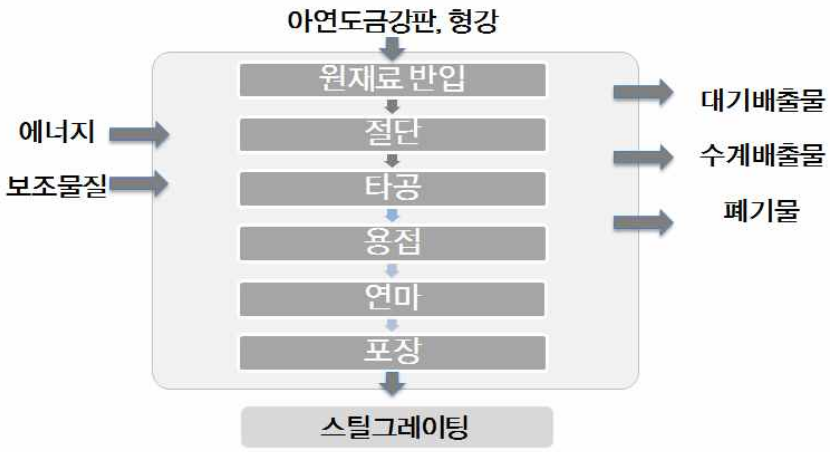
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-17]과 같음

[표 5-2-17] 스틸그레이팅 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최근 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 스틸그레이팅 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 스틸그레이팅의 생산 공정은 아연도금강판, 형강등의 원재료가 반입되어 절단, 타공, 용접, 연마 공정을 거쳐 최종제품이 포장되는 공정으로 구분되며 세부 공정 흐름도는 [그림 5-2-14]와 같음



[그림 5-2-14] 스틸그레이팅 생산 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-18]과 같음

[표 5-2-18] 스틸그레이팅 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	그레이팅		V		용융아연도금강판	환경부	2005
		프레임		V		스테인레스강	환경부	2005

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	도로, 인도, 공원, 운동장 등의 상하수도 배송관로 또는 배수구의 빗물받이용에 사용되는 격자형 스틸그레이팅
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	스틸그레이팅
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	스틸그레이팅
(3) 단위	ea
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 스틸그레이팅의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	- 
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	-
(2) 종료일	-
(3) 기간 설명	최신 10년 이내 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생상되는 스틸그레이팅
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-15] 스틸그레이팅 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 스틸그레이팅 LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-19], [표 5-2-20]과 같음

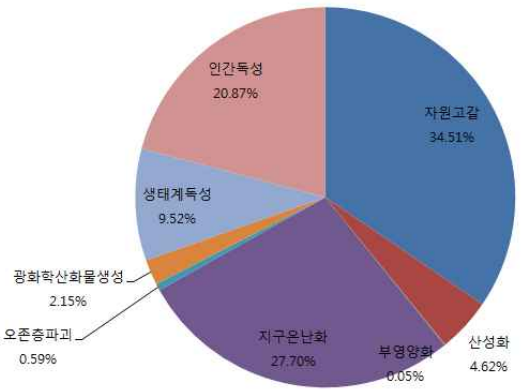
○ 스틸그레이팅 1ea 생산시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈, 지구온난화, 인간독성에 미치는 영향이 각각 34.51%, 27.70%, 20.87%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-16]과 같음

[표 5-2-19] 스틸그레이팅 1ea 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_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
스틸그레이팅	I-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
	I-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
	I-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
	I-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
	I-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
	I-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
	I-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
	I-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 5-2-20] 스틸그레이팅 1ea 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
스틸그레이팅	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



[그림 5-2-16] 스틸그레이팅의 영향범주별 가중화 결과 비율(평균)

마. 가드레일

(1) 대상제품 일반 정보

○ 가드레일은 도로로부터 자동차가 굴러 떨어질 염려가 있는 구간의 도로가에 설치한 안전시설로 교통사고 시 추락이나 중앙선 침범 등으로 인한 2차 피해를 방지하지 하기 위해 설치되며, 주로 금속으로 만듦

○ 도로 시설 내역서 분석 사례의 투입된 가드레일의 제품명 및 규격 분석 결과 표준레일(4.0x350x4330)과 단부레일(4.0x350x765)의 사용 비율이 각각 57.1%, 25.7%로 높게 나타남

○ 도로 시설 내역서 분석 결과를 바탕으로 사용 비율이 높은 표준레일(4.0x350x4330), 단부레일(4.0x350x765)을 조사 대상 규격으로 선정

(2) 기능단위 설정

○ 가드레일은 도로에서 차의 사고 방지 및 도로 이탈 방지를 위해 필수·범용적으로 사용되는 방호자재로 기능단위는 표준가드레일과 단부레일로 구분하여 각각의 대상 품목 1개 생산으로 설정하였으며, 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-21]과 같음.

[표 5-2-21] 가드레일 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 도로에서 차의 사고 방지를 위하여 차량의 도로 이탈을 방지하고 보행자 및 시설물을 보호하는 방호시설
기능단위	· 표준가드레일, 단부레일 1ea 생산
기준흐름	· 표준가드레일, 단부레일 1ea

(3) 시스템 경계

○ 가드레일 생산시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-17]과 같이 정의함



[그림 5-2-17] 가드레일 생산시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

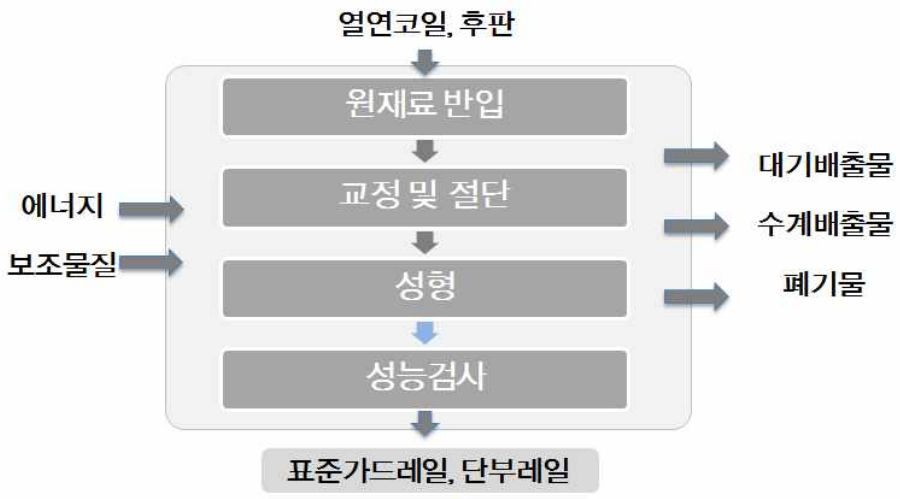
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-22]와 같음

[표 5-2-22] 가드레일 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최근 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 가드레일 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 가드레일 생산 공정은 열연코일과 후판이 투입되어 교정 및 절단, 성형을 거쳐 최종 성능을 검사하는 공정으로 구분되며 세부 공정 흐름도는 [그림 5-2-18]과 같음



[그림 5-2-18] 가드레일 생산 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

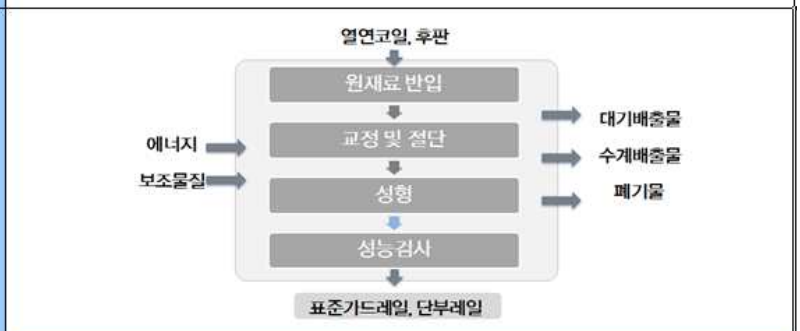
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-23]과 같음

[표 5-2-23] 가드레일 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	레일		V		열연코일	환경부	2003
		지주		V		후판	환경부	2003
	유틸리티	전기		V		전기	산업통상자원부	2000

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	도로에서 차의 사고 방지를 위하여 차량의 도로 이탈을 방지하고 보행자 및 시설물을 보호할 목적으로 설치되는 표준가드레일(4.0×350×4,000), 단부레일(4.0×350×765)
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	표준가드레일(4.0×350×4,000), 단부레일(4.0×350×765)
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	표준가드레일(4.0×350×4,000), 단부레일(4.0×350×765)
(3) 단위	ea
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 표준가드레일의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	-
(2) 종료일	-
(3) 기간 설명	최신 10년 이내 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생산되는 표준가드레일
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-19] 표준가드레일, 단부레일 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 가드레일 LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-24], [표 5-2-25]와 같음

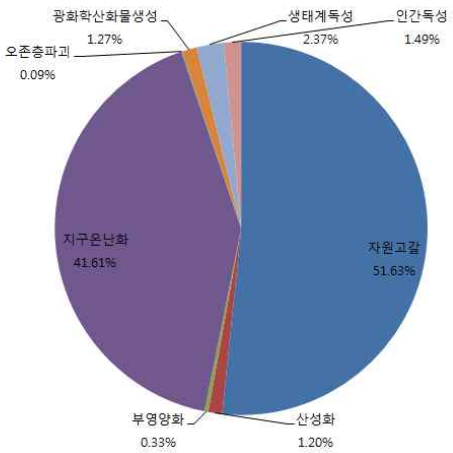
○ 가드레일 1ea 생산시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈, 지구온난화에 미치는 영향이 각각 51.63%, 41.61%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-20]과 같음

[표 5-2-24] 가드레일 1ea 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_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
가드레일	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 5-2-25] 가드레일 1ea 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
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



[그림 5-2-20] 가드레일의 영향범주별 가중화 결과 비율(평균)

바. 유공관

(1) 대상제품 일반 정보

○ 유공관은 HDPE(High Density Polyethylene: 고밀도 폴리에틸렌)을 주재료로 생산된 관으로 매립지의 침출수를 배출하고 운동장/골프장/도로 등에서 하부에 생성되는 지하수를 신속히 배출하는 기능을 함

○ 유공관의 종류는 주요 용도 및 특징에 따라 PE DC 유공관, 고압 유공관, 이중벽 PE 유공관, PE 압력 유공관, T.H.P 유공관 등으로 구분되며 시공시 제품의 특성 및 현장여건에 맞는 제품이 사용됨

(2) 기능단위 설정

○ 유공관은 고밀도 폴리에틸렌 재질로 매립지의 침출수를 배출하고 지하수를 배출하는 용도가 주기능임. 기능단위는 T.H.P 유공관의 각각 호칭에 따라 총 5개 규격으로 설정하였으며 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-26]과 같음.

[표 5-2-26] 유공관 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 매립지의 침출수를 배출하고 지하수를 배출함
기능단위	· 유공관(T.H.P) 1m (총 5개 규격)
기준흐름	· 유공관(T.H.P) 1m 생산

(3) 시스템 경계

○ 유공관은 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-21]과 같이 정의함



[그림 5-2-21] 유공관 생산시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

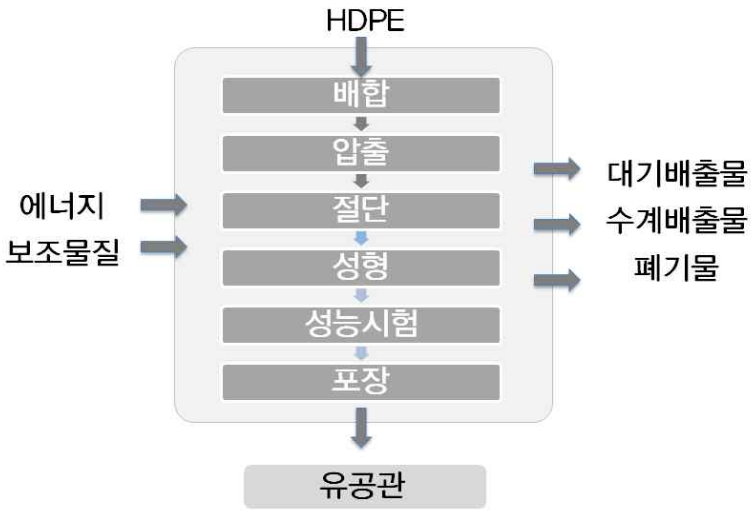
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-27]과 같음

[표 5-2-27] 유공관 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최근 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 유공관 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 유공관 생산 공정은 HDPE 원재료가 투입되어 배합, 압출, 절단, 성형, 성능시험 공정으로 구분되며 세부 공정 흐름도는 [그림 5-2-22]와 같음



[그림 5-2-22] 유공관 생산 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-28]과 같음

[표 5-2-28] 유공관 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	HDPE		V		HDPE(파이프)	산업통상자원부	2000
				V		Plastic Extrusion (PE pipe)	산업통상자원부	2000

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	매립지의 침출수를 배출하고 지하수를 배출하는 기능의 HDPE 재질의 T,H,P 유공관
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	THP 유공관
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	THP 유공관
(3) 단위	m
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 THP 유공관의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	- 
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	-
(2) 종료일	-
(3) 기간 설명	최신 10년 이내 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생상되는 THP 유공관
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-23] 유공관 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 유공관(THP) LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-29], [표 5-2-30]과 같음

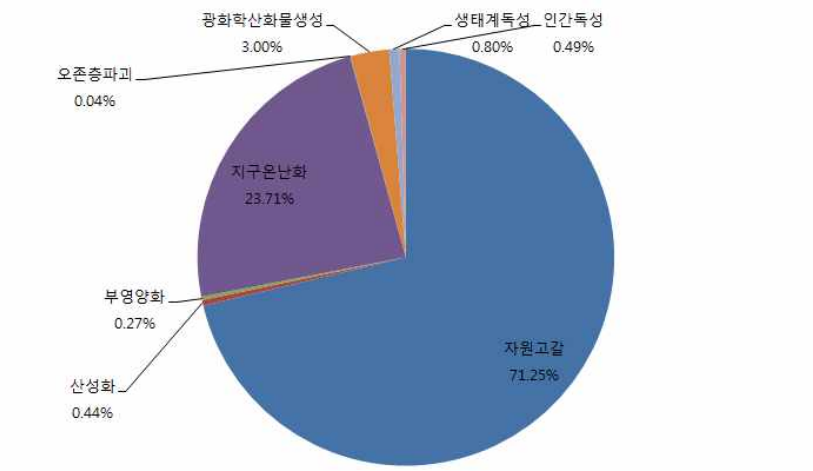
○ 유공관(THP) 1m 생산시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈, 지구온난화에 미치는 영향이 각각 71.25%, 23.71%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-24]와 같음

[표 5-2-29] 유공관 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_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
유공관 (T.H.P)	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 5-2-30] 유공관 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
유공관 (T.H.P)	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



[그림 5-2-24] 유공관(THP)의 영향범주별 가중화 결과 비율(평균)

사. PVC관

(1) 대상제품 일반 정보

○ PVC관은 PVC(Poly Vinyl Chloride, 폴리염화비닐)을 주재료로 생산된 관으로 고분자 중합체인 염화비닐 분말에 열안정제, 착색제, 윤활제 등을 첨가형 약 150~160℃ 정도로 가열하면서 압출 성형에 의해 제조됨

○ PVC관은 KS M 3404(일반용 경질 염화비닐관)에 의해 관의 종류, 모양 등이 표준화되어 있음

○ 도로, 터널, 교량 시설 내역서 분석 사례의 투입된 PVC관 제품명 및 규격 분석 결과 PVC관은 VG1(일반관), VG2(얇은관)으로 구분되며 호칭지름에 따라 최소 35mm에서 300mm까지 다양하게 나타남

(2) 기능단위 설정

○ PVC관은 폴리염화비닐 재질로 일반 유체 수송에 사용하기 위하여 설치되는 용도가 주기능임. 기능단위는 PVC관 VG1(일반관), VG2(얇은관)의 각각 호칭에 따라 총 16개 규격으로 설정하였으며. 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-31]과 같음.

[표 5-2-31] PVC관의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 폴리염화비닐(PVC) 재질로서 일반 유체를 수송함
기능단위	· PVC관(VG1, VG2) 1m (총 16개 규격)
기준흐름	· PVC관(VG1, VG2) 1m 생산

(3) 시스템 경계

○ PVC관은 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-25]와 같이 정의함



[그림 5-2-25] PVC관 생산시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

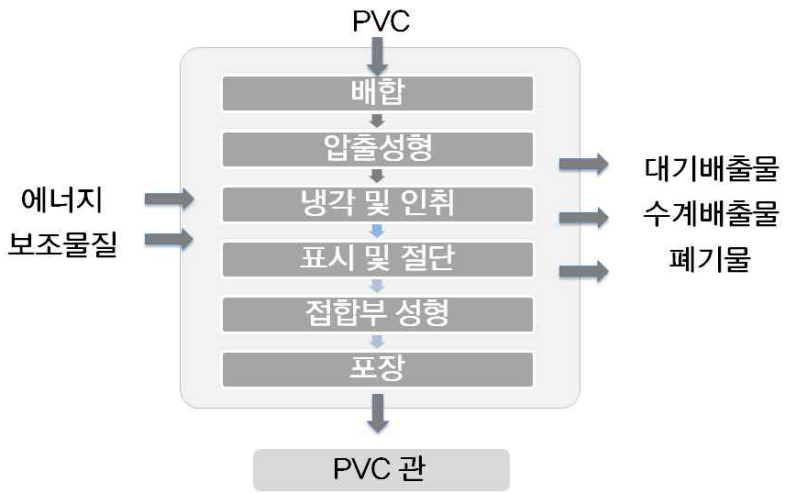
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-32]와 같음

[표 5-2-32] PVC 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최근 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 PVC관 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ PVC관 생산 공정은 PVC 원재료가 투입되어 배합, 압출성형, 냉각 및 인취, 표시, 절단, 접합부 성형 공정으로 구분되며 세부 공정 흐름도는 [그림 5-2-26]과 같음



[그림 5-2-26] PVC관 생산 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

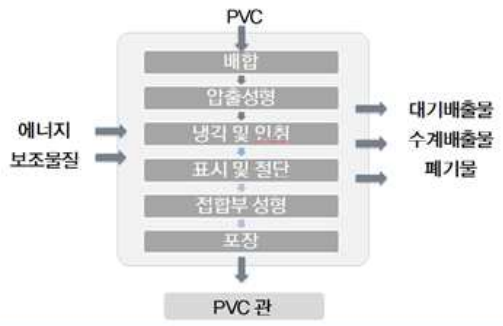
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-33]과 같음

[표 5-2-33] PVC 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	PVC		V		PVC	산업통상자원부	2001
	유틸리티	전기		V		전기	산업통상자원부	2000

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	일반 유체 수송에 사용하기 위하여 설치되는 폴리염화비닐 재질의 PVC관
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	PVC관_VG1, PVC_VG2
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	PVC관_VG1, PVC_VG2
(3) 단위	m
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 PVC관_VG1(일반관), PVC_VG2(얇은관)의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	- 
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	-
(2) 종료일	-
(3) 기간 설명	최신 10년 이내 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생산되는 PVC_VG1(일반관), PVC_VG2(얇은관)
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-27] PVC관 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 PVC관(VG1) LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-34], [표 5-2-35]와 같음

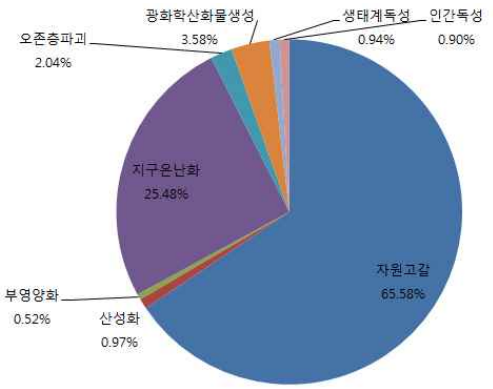
○ PVC관(VG1) 1m 생산시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈, 지구온난화에 미치는 영향이 각각 65.58%, 25.48%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-28]과 같음

[표 5-2-34] PVC관(VG1) 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
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 5-2-35] PVC관(VG2) 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
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



[그림 5-2-28] PVC관(VG1)의 영향범주별 가중화 결과 비율(평균)

2. 유지관리 단계 LCI DB 구축

가. 속경성 아스팔트

(1) 대상제품 일반 정보

○ 특수 유화제를 사용하여 아스팔트를 물속에 미세한 입자상으로 분산하여 만든 제품으로 프라임코팅용, 택코팅용, 표면처리용으로 사용

○ 유화아스팔트는 특수 유화제를 사용하여 아스팔트를 물속에 미세한 입자상으로 분산혼합시켜 제조한 암갈색의 용액

(2) 기능단위 설정

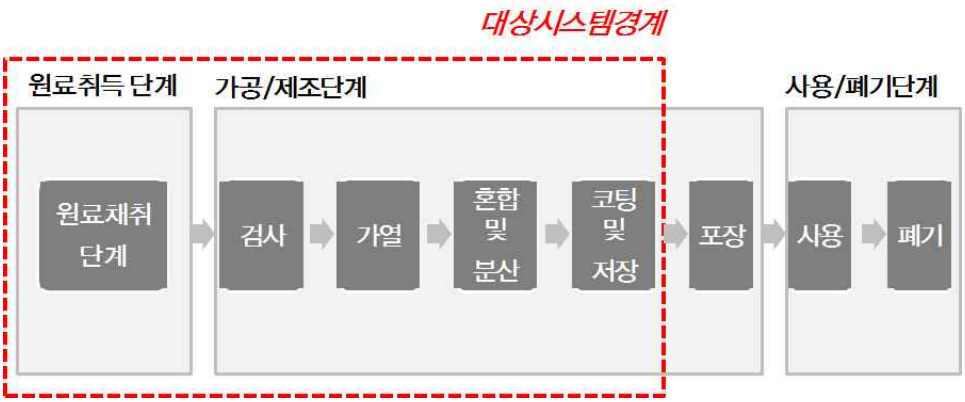
○ 속경성 아스팔트는 특수 유화제를 사용하여 아스팔트를 물속에 미세한 입자상으로 분산하여 만든 제품으로 프라임코팅용, 택코팅용, 표면처리용으로 사용. 기능단위는 1ℓ 생산으로 설정하였으며, 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-36]과 같음.

[표 5-2-36] 속경성 아스팔트 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 특수 유화제를 사용하여 아스팔트를 물속에 미세한 입자상으로 분산하여 만든 제품으로 프라임코팅용, 택코팅용, 표면처리용으로 사용
기능단위	· 속경성 아스팔트 1ℓ 생산
기준흐름	· 속경성 아스팔트 1ℓ

(3) 시스템 경계

○ 속경성 아스팔트 생산 시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득 단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-29]와 같이 정의함



[그림 5-2-29] 속경성 아스팔트 생산 시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

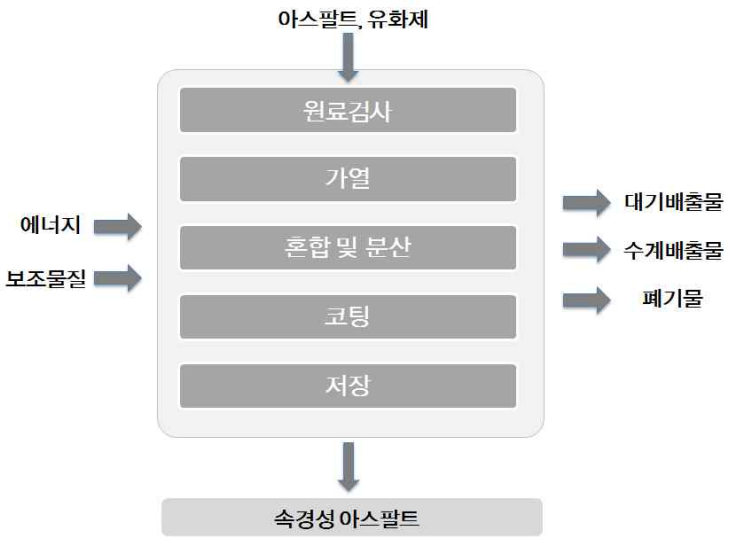
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-37]과 같음

[표 5-2-37] 속경성 아스팔트 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최신 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 속경성 아스팔트 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 속경성 아스팔트의 생산 공정은 검사, 가열, 혼합 및 분산, 코팅 및 저장, 포장으로 구분되며 세부 공정흐름도는 [그림 5-2-30]과 같음



[그림 5-2-30] 속경성 아스팔트 생산 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

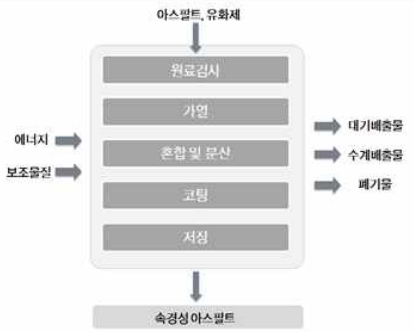
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-38]과 같음

[표 5-2-38] 속경성 아스팔트 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	Asphalt	V			Mastic asphalt, at plant	Ecoinvent(2.2V)	-
	보조물질	유화제(지방산)	V			Fatty acid	산업통상자원부	2008
		Water	V			공업용수(EDP2013)	환경부	2013
	유틸리티	전력		V		전력	산업통상자원부	2000

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	특수유화제를 사용하여 아스팔트를 물속에 미세한 입자상으로 분산하여 만든 제품으로 프라임 코팅용, 택코팅용, 표면처리용으로 사용되는 속경성 아스팔트
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	속경성 아스팔트
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	속경성 아스팔트
(3) 단위	ℓ
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 속경성 아스팔트의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	-
(2) 종료일	-
(3) 기간 설명	최신 10년 이내 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생상되는 속경성 아스팔트
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-31] 속경성 아스팔트 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 속경성 아스팔트 LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-39], [표 5-2-40]과 같음

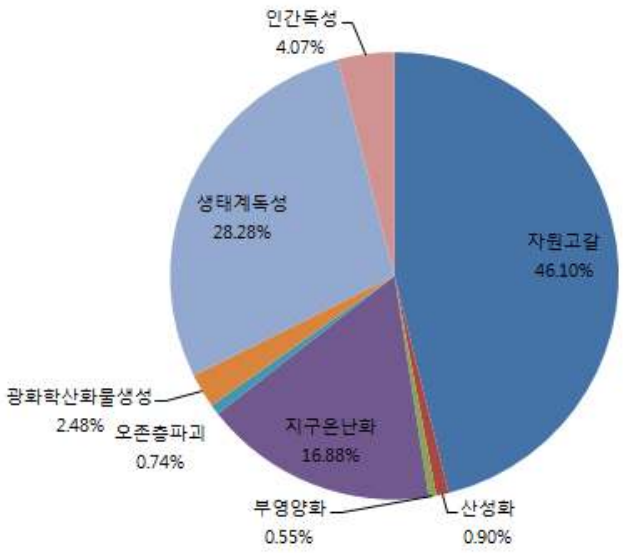
○ 속경성 아스팔트 1ℓ 생산 시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈과 생태계독성에 미치는 영향이 각각 46.10%, 28.28%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-32]와 같음

[표 5-2-39] 속경성 아스팔트 1ℓ 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_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
속경성 아스팔트	RS(C)-1,2,3,4 P/K(200ℓ)	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 5-2-40] 속경성 아스팔트 1ℓ 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
속경성 아스팔트	RS(C)-1,2,3,4 P/K(200ℓ)	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



[그림 5-2-32] 속경성 아스팔트의 영향범주별 가중화 비율

나. 콘크리트 혼화제

(1) 대상제품 일반 정보

○ 콘크리트 혼화제는 물리적, 화학적, 물리·화학적 작용으로 경화중인 콘크리트나 경화된 콘크리트의 성질을 개선시키기도 하고 경제성을 높이는 목적으로 사용

○ 혼화제는 콘크리트 제조의 기본재료인 시멘트, 골재, 물 이외에 부가적으로 가해져 콘크리트에 특수한 성은을 부여하거나 성질을 개신하기 위해 첨가되는 재료로 그 사용량이 시멘트에 대해 1% 미만인 물질을 칭하고 있음

(2) 기능단위 설정

○ 콘크리트 활주로, 포장도로, 교량 공사 등에 사용되어 콘크리트 표면에 충분한 수분을 유지하여 수화작용을 돕고, 표면의 건조수축 및 균열을 방지하는 기능을 하며 기능단위는 1ℓ 생산으로 설정하였으며, 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-41]과 같음.

[표 5-2-41] 콘크리트 혼화제 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 콘크리트 활주로, 포장도로, 교량 공사 등에 사용되어 콘크리트 표면에 충분한 수분을 유지하여 수화작용을 돕고, 표면의 건조수축 및 균열을 방지함
기능단위	· 콘크리트 혼화제 1ℓ 생산
기준흐름	· 콘크리트 혼화제 1ℓ

(3) 시스템 경계

○ 콘크리트 혼화제 생산 시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-33]과 같이 정의함



[그림 5-2-33] 콘크리트 혼화제 생산 시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

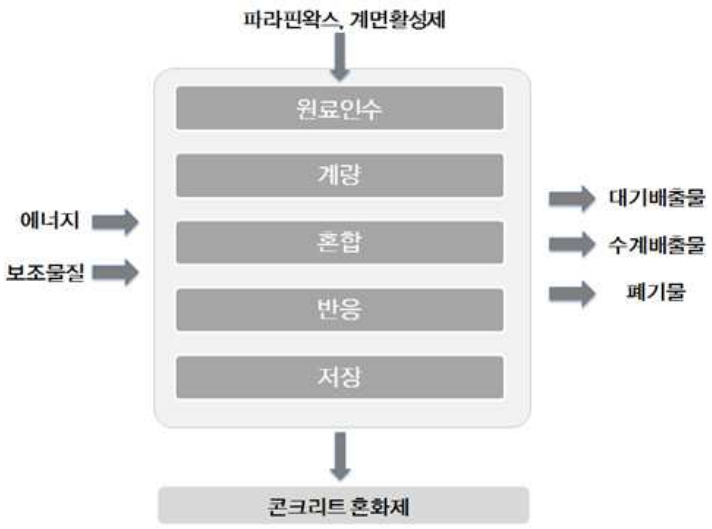
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-42]와 같음

[표 5-2-42] 콘크리트 혼화제 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최신 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 콘크리트 혼화제 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 콘크리트 혼화제의 생산 공정은 원료인수, 계량, 혼합, 반응, 저장으로 구분되며 세부 공정흐름도는 [그림 5-2-34]와 같음



[그림 5-2-34] 콘크리트 혼화제 생산 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

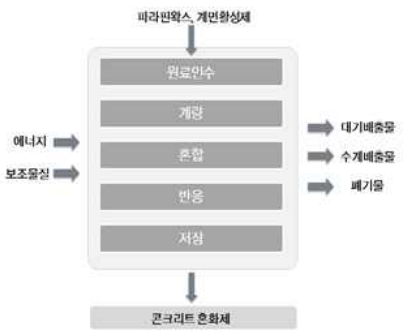
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-43]과 같음

[표 5-2-43] 콘크리트 혼화제 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	파라핀 왁스	V			Paraffin, at plant	Ecoinvent(2.2V)	-
	보조물질	Water	V			공업용수(EDP2013)	환경부	2013
	유틸리티	전력		V		전력	산업통상자원부	2000

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	콘크리트 활주로, 포장도로, 교량 공사 등에 사용되어 콘크리트 표면에 충분한 수분을 유지하여 수화작용을 돕고, 표면의 건조수축 및 균열을 방지하는 기능을 하는 콘크리트 혼화제
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	콘크리트 혼화제
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	콘크리트 혼화제
(3) 단위	ℓ
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 콘크리트 혼화제의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	-
(2) 종료일	-
(3) 기간 설명	최신 10년 이내 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생상되는 콘크리트 혼화제
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-35] 콘크리트 혼화제 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 콘크리트 혼화제 LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-44], [표 5-2-45]와 같음

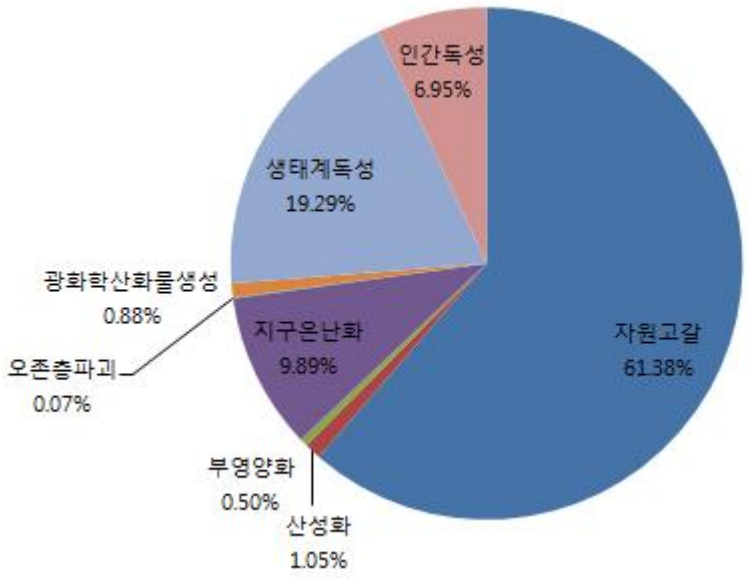
○ 콘크리트 혼화제 1ℓ 생산 시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈과 생태계독성에 미치는 영향이 각각 61.38%, 19.29%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-36]과 같음

[표 5-2-44] 콘크리트 혼화제 1ℓ 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_2H_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 5-2-45] 콘크리트 혼화제 1ℓ 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
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



[그림 5-2-36] 콘크리트 혼화제 영향범주별 가중화 비율

다. 초속경 시멘트

(1) 대상제품 일반 정보

○ 초속경 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트 성분에 칼슘설포알루미네이트계(Calcium Sulfo Aluminate) 급경성 클링커 광물을 첨가 혼합하여 제조한 초속경 시멘트로서, 기본적인 재료 특성은 기존의 콘크리트에 사용되는 포틀랜드 시멘트와 유사한 시멘트임

○ 실용화 되어 있는 대부분의 초속경시멘트는 포틀랜드 시멘트와 칼슘설포알루미네이트계 광물을 주재료로 하여 석고와 응결촉진제 및 응결지연제 및 유동화제를 혼합한 것

(2) 기능단위 설정

○ 초속경 시멘트는 경화가 빠르고 단시간에 강도발현이 크다는 특징을 이용하여 주로 긴급공사와 보수공사 등에 사용됨. 기능단위는 1kg 생산으로 설정하였으며, 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-46]과 같음.

[표 5-2-46] 초속경 시멘트 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 경화가 빠르고 단시간에 강도발현이 크다는 특징을 이용하여 주로 긴급공사와 보수공사 등에 사용
기능단위	· 초속경 시멘트 1kg 생산
기준흐름	· 초속경 시멘트 1kg

(3) 시스템 경계

○ 초속경 시멘트 생산 시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-37]과 같이 정의함



[그림 5-2-37] 초속경 시멘트 생산 시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

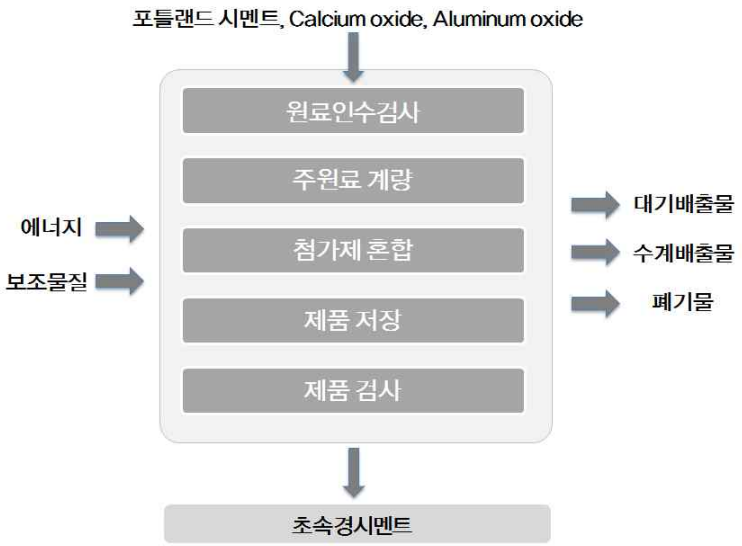
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-47]과 같음

[표 5-2-47] 초속경 시멘트 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최신 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 초속경 시멘트 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 초속경 시멘트의 생산 공정은 원료인수 검사, 주원료 계량, 첨가제 혼합, 제품저장, 제품검사로 구분되며 세부 공정흐름도는 [그림 5-2-38]과 같음



[그림 5-2-38] 초속경 시멘트 생산 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

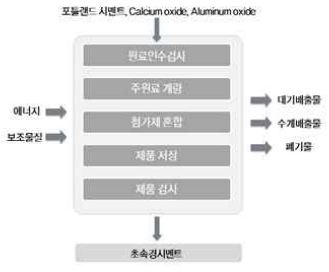
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-48]과 같음

[표 5-2-48] 초속경 시멘트 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조	원료물질	Portland Cement	V			1종 포틀랜드 시멘트	산업통상자원부	2002
	보조물질	Sulfuric acid	V			황산	환경부	2003
		Calcium salt	V			탄산칼슘	환경부	2003
		CAO	V			Calcium oxide	환경부	2013
		AI203	V			Aluminium oxide production	ecoinvent 2.2V	-
		S03	V			sulphur trioxide, at plant	ecoinvent 2.2V	-
		SI02	V			Si02 production	ecoinvent 2.2V	-
		Fe203	V			산화철(Ferric Oxide)	환경부	2003
	유틸리티	전력		V		전력	산업통상자원부	2000

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	경화가 빠르고 단시간에 강도발현이 크다는 특징을 이용하여 주로 긴급공사와 보수공사 등에 사용되는 초속경 시멘트
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	초속경 시멘트
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	초속경 시멘트
(3) 단위	kg
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 초속경 시멘트의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	-
(2) 종료일	-
(3) 기간 설명	최신 10년 이내 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생산되는 초속경 시멘트
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-39] 초속경 시멘트 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 초속경 시멘트 LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-49], [표 5-2-50]과 같음

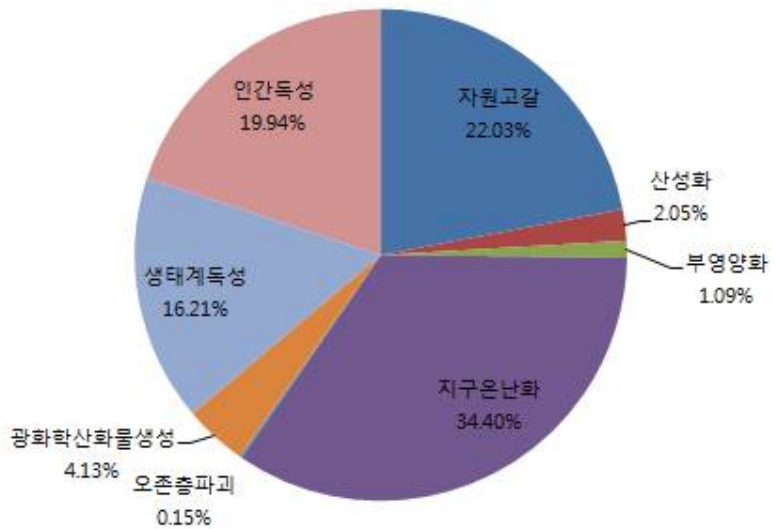
○ 초속경 시멘트 1kg 생산 시 가중화 결과 영향범주 중 지구오난화과 자원고갈에 미치는 영향이 각각 34.40%, 22.03%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-2-40]과 같음

[표 5-2-49] 초속경 시멘트 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_2H_4-eq	kg 1,4 DCB eq	kg 1,4 DCB eq
초속경 시멘트	3시간이후 :25N/mm2 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 5-2-50] 초속경 시멘트 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
초속경 시멘트	3시간이후 :25N/mm2 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



[그림 5-2-40] 초속경 시멘트의 영향범주별 가중화 비율

라. 에폭시 주입제(건식, 습식)

(1) 대상제품 일반 정보

○ 에폭시 주입제는 콘크리트 구조물의 소균열 부위의 주입용으로 교량, 댐 등 다양한 곳에 주입할 수 있도록 가공된 제품임

○ 에폭시 주입제는 경화 후 강력한 물리적 강도를 나타내며 철근부위 부식방지 및 방청효과가 우수하여 콘크리트 강도복원에 크게 기여함

○ 에폭시 주입제는 사용 환경에 따라 건식, 습식으로 구분되며 점도에 따라 다양한 규격이 사용됨

(2) 기능단위 설정

○ 콘크리트 구조물의 소균열 부위 주입용으로 교량, 터널 등 다양한 곳에 투입하여 철근부위 부식방지 및 강도 복원의 기능을 수행하며 기능단위는 1kg 생산으로 설정하였으며, 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-2-51]과 같음.

[표 5-2-51] 에폭시 주입제(건식, 습식) 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 콘크리트 구조물의 소균열 부위 주입용으로 교량, 터널 등 다양한 곳에 투입하여 철근부위 부식방지 및 강도 복원의 기능을 수행함
기능단위	· 에폭시 주입제 건식, 습식 1kg
기준흐름	· 에폭시 주입제 건식, 습식 1kg 생산

(3) 시스템 경계

○ 콘크리트 혼화제 생산 시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득 단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-2-41]과 같이 정의함



[그림 5-2-41] 에폭시 주입제(건식, 습식) 생산 시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

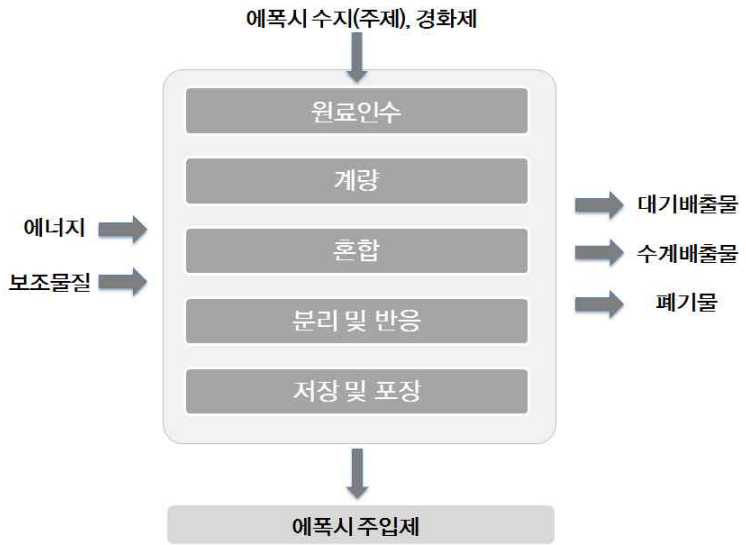
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-2-52]와 같음

[표 5-2-52] 에폭시 주입제(건식, 습식) 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	최신 10년 이내 데이터
지역적 범위	해당 지역 데이터	대한민국
기술적 범위	-	각 시설의 에폭시 주입제(건식, 습식) 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 에폭시 주입제의 생산 공정은 원료인수, 계량, 혼합, 분리 및 반응, 저장 및 포장으로 구분되며 세부 공정흐름도는 [그림 5-2-42]와 같음



[그림 5-2-42] 에폭시 주입제 생산 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

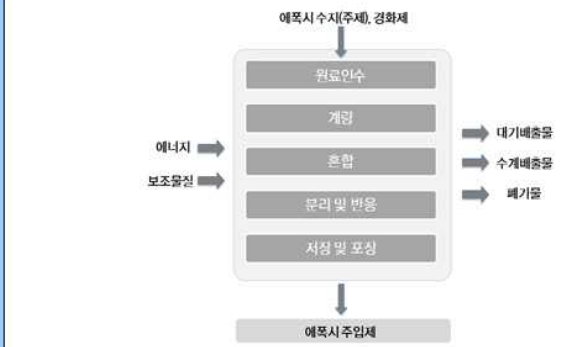
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-2-53]과 같음

[표 5-2-53] 에폭시 주입제 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	데이터 출처*			LCI 데이터베이스		
			A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
제조 (건식)	원료물질	에폭시 수지	V			에폭시 수지	산업통상자원부	2005
	보조물질	Amido-Amine Resin	V			Fatty acid	산업통상자원부	2008
제조 (습식)	원료물질	에폭시 수지	V			에폭시 수지	산업통상자원부	2005
	보조물질	Polyamidoamine	V			카프로락탐	환경부	2012

*A: 실측, B: 계산, C: 추정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	콘크리트 구조물의 소균열 부위 주입용으로 교량, 터널 등 다양한 곳에 투입하여 철근부위 부식방지 및 강도 복원의 기능을 수행하는 에폭시 주입제(건식, 습식)
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	에폭시 주입제(건식, 습식)
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	에폭시 주입제(건식, 습식)
(3) 단위	kg
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 에폭시 주입제(건식, 습식)의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	-
(2) 종료일	-
(3) 기간 설명	최신 10년 이내 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생상되는 에폭시 주입제(건식, 습식)
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-2-43] 에폭시 주입제 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 에폭시 주입제(건식, 습식) LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-2-54], [표 5-2-55]와 같음

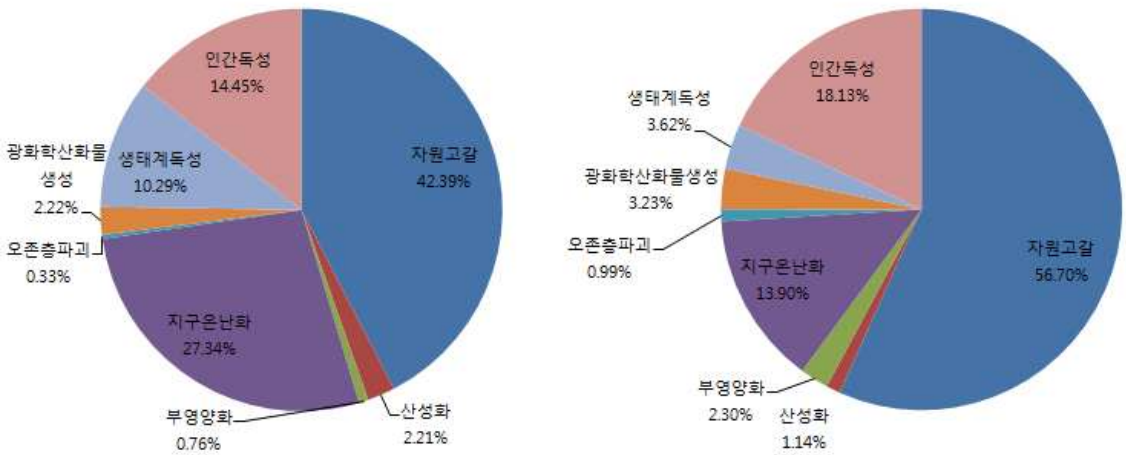
○ 에폭시 주입제(건식) 1kg 생산 시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 42.39%, 27.34%로 높게 나타났으며. 에폭시 주입제(습식) 1kg 생산 시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈과 인간독성에 미치는 영향이 각각 56.70%, 18.13%로 높게 나타남. 세부 결과는 [그림 5-2-44]와 같음

[표 5-2-54] 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_2H_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 5-2-55] 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



[그림 5-2-44] 에폭시 주입제의 영향범주별 가중화 비율(좌- 건식, 우-습식)

3. LCI DB 구축 효과

○ 구축된 LCI DB의 각 시설별(도로, 교량, 터널) 환경부하평가시 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

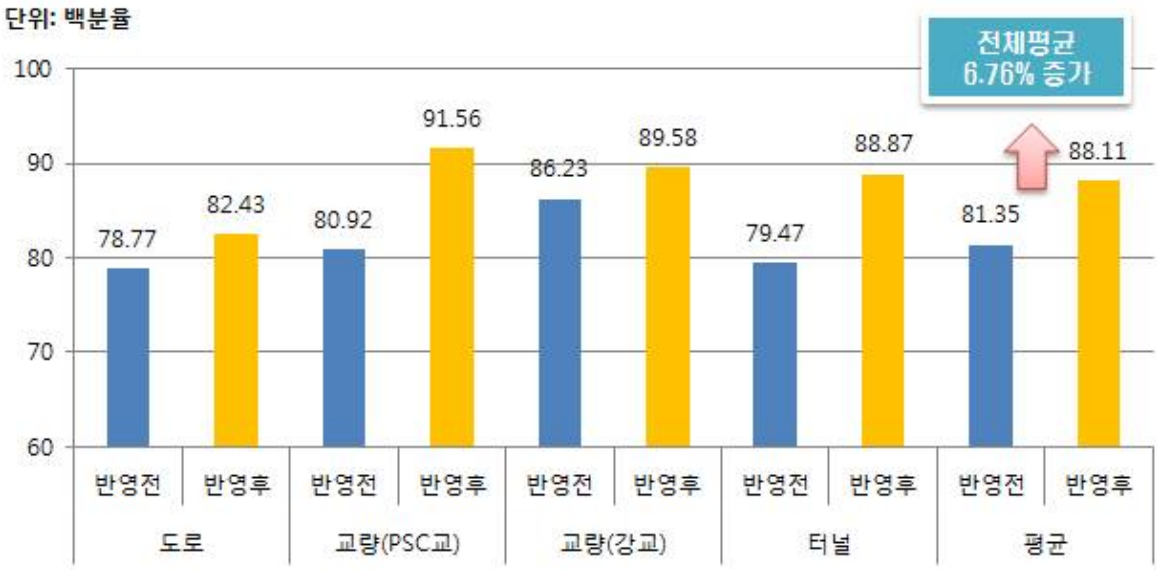
◦ 시설별로 교량(PSC교)에서의 반영후와 반영전의 Cut-off 증가가 10.64%로 가장 높았고 터널 시설의 경우 약 9.4% 수준의 Cut-off 증가를 보임. 도로, 교량(강교)에서는 약 3~4% 수준의 Cut-off 증가를 보임

[표 3-5-56] 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	3.20E +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 3-5-57] 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



[그림 5-2-45] LCI DB 구축에 따른 시설별 평균 Cut-off 증가율

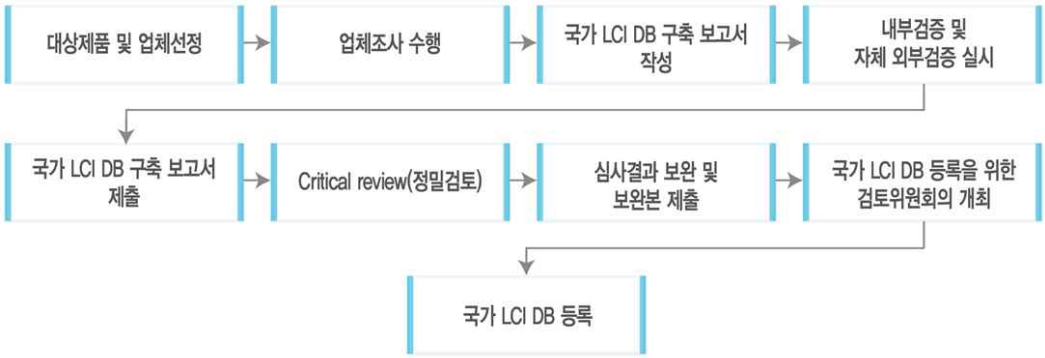
제 3 절 국가 LCI DB 개발 및 구축

1. 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. 세부적인 절차는 [그림 5-3-1]과 같음.

○ 본 과업을 통해 구축된 LCI DB의 객관적 검증을 위해 현재 국가 LCI DB와 관련하여 외부적으로 알려져 있는 환경산업기술원을 통한 인증 및 등록 수행



[그림 5-3-1] 국가 LCI DB 구축 절차

[표 5-3-1] 국가 LCI DB 구축 보고서 목차 및 작성내용

구분		작성내용
연구목적		· 대상제품 선정 및 LCA 수행 이유 기술
제품 개요	제품특성	· 대상제품 특성 기술
	시장 조사 및 대상업체 선정	· 업체명, 생산량, 업체점유율 등 기술을 통해 업체 선정 이유 명시
범위 정의	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
	할당	· 할당방법 기준 등 기술
전과정 목록 분석	공정흐름도 작성	· 대표적인 공정흐름도 작성
	데이터 수집 및 계산	· 데이터 출처, 연결 DB명 등 작성
	목록분석 결과	· 주요 항목에 대한 전과정 목록분서 결과 작성
	전과정 영향평가 결과	· 영향범주별 특성화 결과 작성
	구축 LCI 데이터베이스 검토	· 대표성 확보 방안, 해외 데이터베이스 비교 결과 작성

2. 국가 LCI DB 구축 결과

가. 탄성받침

(1) 대상제품 일반 정보

○ 교량용 탄성받침은 교량이나 건축물의 상부구조에서 작용하는 수직하중을 안전하게 지지함과 동시에 수평이동을 허용함으로서 하부구조에 작용하는 과도한 수평력의 크기를 줄여주고 또한 완충효과의 기능도 수행하는 적층형 고무탄성체를 말함

○ 부식이 거의 없어 유지관리에 큰 어려움이 없으며 시공이 간편한 경제적이기 때문에 도로공사에서 발주하는 PSC교량 및 고속철도용 교량 등에 많이 사용

(2) 기능단위 설정

○ 탄성받침은 교량 상부구조의 하중을 지지하고 하부구조의 수평력 크기를 감소시키는 용도가 주기능임. 기능단위는 1,350kN, 1,750kN, 2,000kN 1ea 생산으로 설정하였으며. 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-3-2]와 같음.

[표 5-3-2] 교량용 탄성받침 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 교량 상부구조의 하중을 지지하고 하부구조의 수평력 크기를 감소시킴
기능단위	· 교량용 탄성받침 1,350kN, 1,750kN, 2,000kN 1개 생산
기준흐름	· 교량용 탄성받침 1,350kN, 1,750kN, 2,000kN 1개

(3) 시스템 경계

○ 탄성받침 생산시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-3-2]와 같이 정의함



[그림 5-3-2] 교량용 탄성받침 생산시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 반면 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

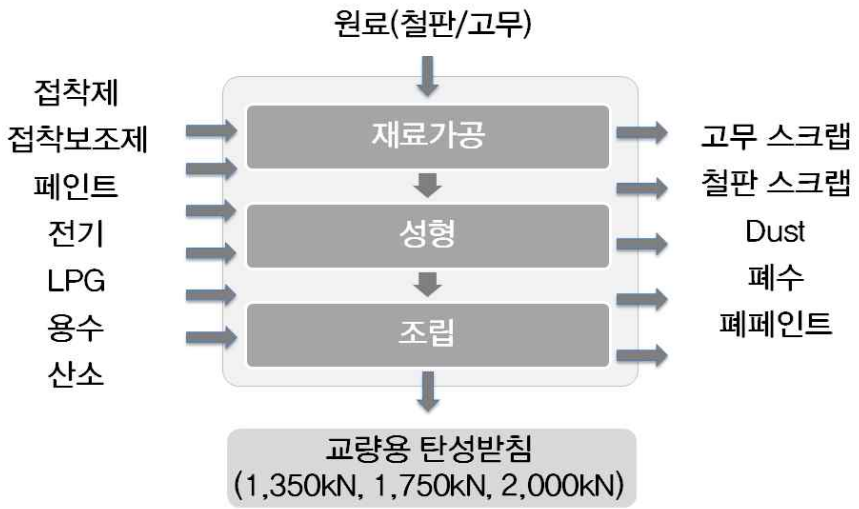
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-3-3]과 같음

[표 5-3-3] 교량용 탄성받침 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	2015년도 연간 데이터(2015. 1.1 ~ 2015. 12.31)
지역적 범위	해당 지역 데이터	데이터 수집업체 공장 지역(천안, 함안) 현장 데이터 수집
기술적 범위	-	각 시설의 교량용 탄성받침 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 투입되는 재료의 가공 공정, 가공된 재료를 통해 고무탄성체를 생산하는 성형공정, 탄성받침의 상하판을 조립하는 조립공정으로 구분되며 세부 공정흐름도는 [그림 5-3-3]과 같음



[그림 5-3-3] 교량용 탄성받침 제조 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

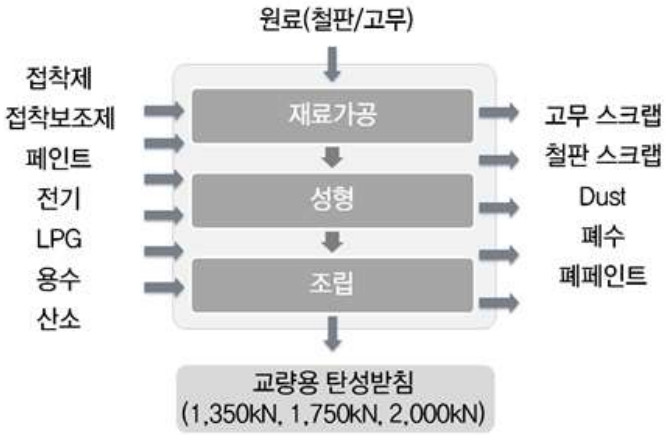
○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-3-4]와 같음

○ LPG의 경우 연소로 인한 직접 배출량은 IPCC 방법론에 따라 산정함

[표 5-3-4] 교량용 탄성받침 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	단위	데이터출처			LCI 데이터베이스		
				A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
수송	1톤 트럭	접착제 (자일렌)	km	V			육로수송 (1톤이상 3톤미만)	환경부	2012
		페인트	km	V					
		접착보조제 (톨루엔)	km	V					
	5톤 트럭	접착제 (솔벤트)	km	V			육로수송 (5톤이상 8톤미만)	환경부	2012
	컨테이너 트레일러	철판	km	V			육로수송 (컨테이너 트레일러	환경부	2012
		천연고무	km	V					
제조	원료물질	철판	kg	V			후판	환경부	2005
		천연고무	kg	V			천연고무(Natural rubber-coagulum)	환경부	2003
	보조물질	접착제 (솔벤트)	kg	V			Solvent, organic, unspecified, at plant	Ecoinvent	2007
		접착제 (자일렌)	kg	V			Xylene	산업통상 자원부	2000
		페인트	kg	V			에폭시계 도료	환경부	2003
		접착보조제	kg	V			Toluene	산업통상 자원부	2000
	유틸리티	산소	kg		V		Oxygen	환경부	2003
		전기	kWh		V		전기	산업통상 자원부	2000
		용수	kg		V		공업용수(EDP2013)	환경부	2013
		LPG	kg		V		LPG	산업통상 자원부	2007
	대기 배출물	Dust	kg		V		Dust	기본흐름	-
		CO2	kg		V		Carbon dioxide	기본흐름	-
		CH4	kg		V		methane	기본흐름	-
		N2O	kg		V		nitrous oxide	기본흐름	-
	수계 배출물	폐수	kg		V		Water emission (Waste water)	기본흐름	-
	폐기물	철스크랩	kg	V			Industrial waste	기본흐름	-
		고무스크랩	kg	V			Industrial waste	기본흐름	-
		폐페인트	kg	V			Industrial waste	기본흐름	-

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	교량 상부구조의 하중을 지지하고 하부구조의 수평력 크기를 감소시키는 기능을 수행하는 탄성받침
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	탄성받침(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN)
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	탄성받침(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN)
(3) 단위	ea
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 탄성받침(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN)의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	2015.1
(2) 종료일	2015.12
(3) 기간 설명	2015년 1년간 평균 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생산되는 탄성받침(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN)
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-3-4] 탄성받침 LCI DB 프로세스 정보

(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 탄성받침 LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-3-5], [표 5-3-6]과 같음

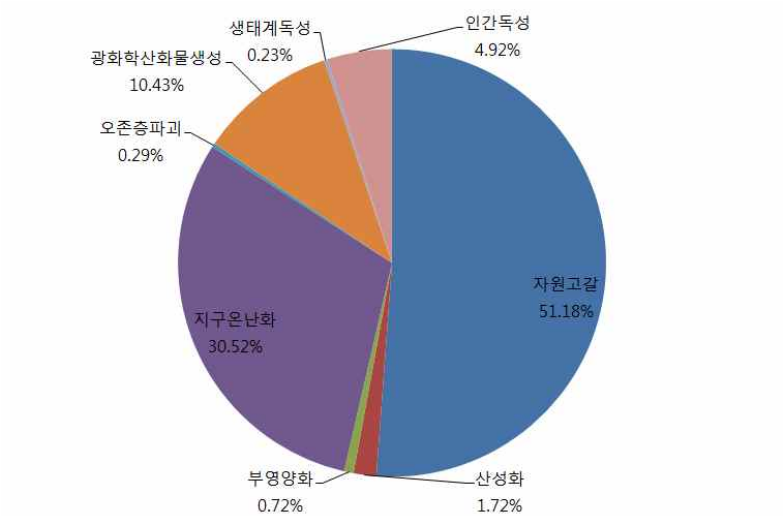
○ 탄성받침 1ea 생산시 가중화 결과 영향범주 중 자원고갈, 지구온난화에 미치는 영향이 각각 51.18%, 30.52%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-3-5]와 같음

[표 5-3-5] 탄성받침(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN) 1ea 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_2H_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 5-3-6] 탄성받침(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN) 1ea 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
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



[그림 5-3-5] 교량용 탄성받침(1,350kN, 1,750kN, 2,000kN)의 영향범주별 가중화 결과 비율(평균)

나. 포트받침

(1) 대상제품 일반 정보

○ 포트받침은 교량 받침 형식으로 적절한 Bearing 배치를 하여 상부구조물의 수직력 및 수평력을 안전하게 교각에 전달하고 Disk의 압축으로 회전변위를 수용하여, 온도변화 등에 따른 상부구조물의 수평변위를 PTFE(불소수지)와 Stainless의 미끄럼 작용으로 수용할 수 있는 장치

○ 포트받침은 기능에 따라 고정 포트받침, 일방향가동 포트받침, 전방향가동 포트받침으로 구분됨

(2) 기능단위 설정

○ 포트받침은 교량 상부구조의 수직력 및 수평력을 안전하게 교각에 전달하고 Disk의 압축으로 회전변위를 수용하여 온도 변화에 따른 수평변위를 수용하는 장치로 기능단위는 포트받침 형식 구분에 의하여 고정단, 일방향, 양방향 각 형식별로 규격(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN)에 따른 1ea 생산으로 설정하였으며, 본 연구에서 설정한 주요 기능 및 기능단위, 기준흐름은 [표 5-3-7]과 같음.

[표 5-3-7] 포트받침 생산의 기능 및 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	· 교량 상부구조의 수직력 및 수평력을 안전하게 교각에 전달하고 Disk의 압축으로 회전변위를 수용하여 온도 변화에 따른 수평변위를 수용하는 장치
기능단위	· 포트받침 고정단, 일방향, 양방향 각각 3,000kN, 5,000kN, 7,000kN 1개 생산
기준흐름	· 포트받침 고정단, 일방향, 양방향 각각 3,000kN, 5,000kN, 7,000kN 1개

(3) 시스템 경계

○ 포트받침 생산시 시스템 경계는 사용/폐기단계에서의 환경영향을 제외한 원료취득단계부터 가공/제조단계까지(Cradle to Gate)를 시스템 경계로 [그림 5-3-6]과 같이 정의함



[그림 5-3-6] 포트받침 생산 시 시스템 경계

(4) 제외 기준

○ 투입물의 질량 및 에너지, 환경 관련성에 대한 추가적인 고려를 하지 않고 제품의 생산과정의 모든 투입물 및 산출물을 포함하는 것을 원칙으로 함

○ 반면 제품 생산과 직접적인 연관이 없는 사무시설 및 편의시설 등은 제외하였으며, 가공/제조단계에서 포장공정은 표준화되어 있지 않고 실제 제품의 기능 및 품질에 영향을 미치는 요인이 아니므로 시스템 경계에서 제외함

(5) 데이터 품질

○ 데이터는 크게 현장데이터와 공개된 일반데이터(국가 및 해외 LCI 데이터베이스)로 구분되며 대상 제품을 생산하는 최종 생산단계에 대해서는 현장 데이터를 사용하는 것을 원칙으로 하고, 그 상위 및 하위공정의 기술계 흐름에 대해서는 공개된 일반데이터를 사용함

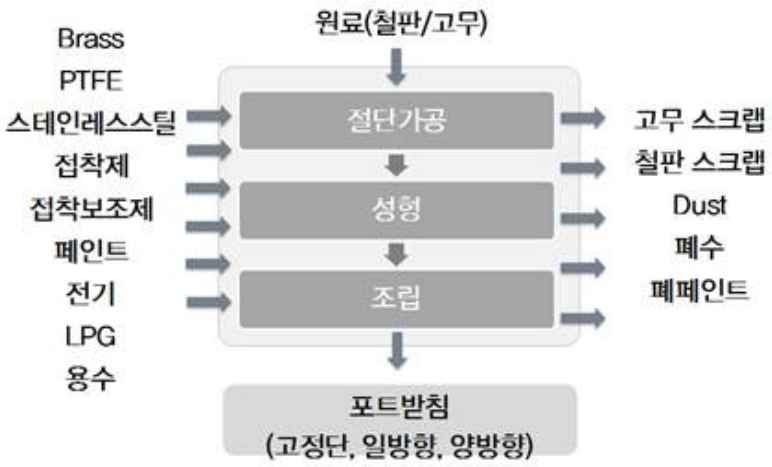
○ LCI 데이터베이스 구축 시에 적용된 데이터 품질요건은 [표 5-3-8]과 같음

[표 5-3-8] 포트받침 생산 데이터 품질요건

구분	상 · 하위 흐름	대상모듈 생산단계
시간적 범위	최신 데이터	2016년도 연간 데이터(2016. 1.1 ~ 2016. 12.31)
지역적 범위	해당 지역 데이터	데이터 수집업체 공장 지역(천안, 함안) 현장 데이터 수집
기술적 범위	-	각 시설의 포트받침 생산 기술

(6) 공정흐름도 작성

○ 투입되는 재료의 규격별 사이즈에 맞추기 위한 절단가공공정, 자재용접 및 고무결합을 위한 성형공정, 포트받침의 상하판을 조립하는 조립공정으로 구분되며 세부 공정 흐름도는 [그림 5-3-7]과 같음



[그림 5-3-7] 포트받침 제조 공정흐름도

(7) 데이터 수집 및 계산

○ 데이터 수집은 참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 데이터 조사서를 통하여 업체 현장데이터를 수집하였으며 세부 데이터 수집 결과는 [표 5-3-9]와 같음

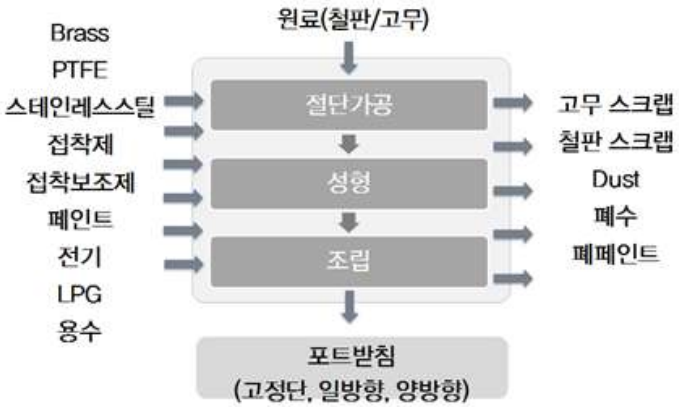
○ 보안상의 문제 또는 데이터 유실 등으로 인해 포트받침 생산 시 사용되는 보조물질의 투입량이 누락된 경우, 업체 자문에 따라 공정상의 유사성을 바탕으로 타 업체 데이터값을 적용함

[표 5-3-9] 포트받침 생산 데이터 출처 및 데이터베이스 연계

단계	구분	물질명	단위	데이터출처			LCI 데이터베이스		
				A	B	C	데이터베이스명	출처	년도
수송	1톤 트럭	소켓(탄소강)	km	V			육로수송 (1톤이상 3톤미만)	환경부	2012
		에폭시접착제	km	V					
		PTFE	km	V					
	2.5톤 트럭	스테인레스강판	km	V					
		황동	km	V					
	컨테이너 트레일러	철판	km	V			육로수송 (컨테이너 트레일러	환경부	2012
		천연고무	km	V					
제조	원료물질	철판	kg	V			후판	환경부	2005
		천연고무	kg	V			천연고무(Natural rubber-coagulum)	환경부	2003
		스테인레스강판	kg	V			스테인레스강	환경부	2005
		PTFE	kg	V			tetrafluoroethylene, at plant	Ecoinvent	2007
		황동	kg	V			황동봉	산업통상자원부	2000
		소켓(탄소강)	kg	V			탄소강	환경부	2005
		에폭시접착제	kg	V			에폭시접착제	환경부	2007
	유틸리티	전력	kWh		V		전력	산업통상자원부	2000
		공업용수	kg		V		공업용수(EDP2013)	환경부	2013
	대기배출물	Dust	kg		V		Dust	기본흐름	-
	수계배출물	폐수 오염부하량*	kg		V		국가산단폐수종말처리	환경부	2012
	폐기물	철스크랩	kg	V			Industrial waste	기본흐름	-
		고무스크랩	kg	V			Industrial waste	기본흐름	-

*발생되는 폐수는 업체에서 자체처리 하지 않고 위탁하여 처리함
*2016년 기준 천안제5 산단 오염부하농도(BOD, COD, SS)를 적용하여 오염부하량 산정

(8) 프로세스 정보

프로세스 정보	
1. 프로세스 설명	
(1) 프로세스 설명	교량받침 형식 중 하나로 적절한 Bearing 배치를 하여 상부구조물의 수직력 및 수평력을 안전하게 교각에 전달하고 Disk의 압축으로 회전변위를 수용하여 온도변화 및 미끄럼 작용을 수용하는 기능을 하는 포트받침
2. 프로세스 분류	
(2) 프로세스 명칭	포트받침(고정단, 일방향, 양방향)
(3) 명명규칙	
3. 기준 참조량	
(1) 유형	Reference flow
(2) 명칭	포트받침 형식(고정단, 일방향, 양방향)별 규격3,000kN, 5,000kN, 7,000kN
(3) 단위	ea
(4) 양	1
4. 프로세스의 기술적 범위	Cradle to gate
5. 합산유형	수직적 합산
6. 기술	
(1) 기술 설명	국내 건설산업에서 사용되는 포트받침(고정단, 일방향, 양방향)의 평균 데이터베이스
(2) 기술적 내용 및 기능	-
(3) 공정도	
(4) 프로세스 내용	
7. 유효기간	
(1) 시작일	2016.1
(2) 종료일	2016.12
(3) 기간 설명	2016년 1년간 평균 데이터
8. 유효지역	
(1) 지역 명칭	대한민국
(2) 지역 설명	대한민국 내에서 생상되는 포트받침(고정단, 일방향, 양방향)
(3) 현장	대한민국 각지
(4) GIS 참조	

[그림 5-3-8] 포트받침 LCI DB 프로세스 정보

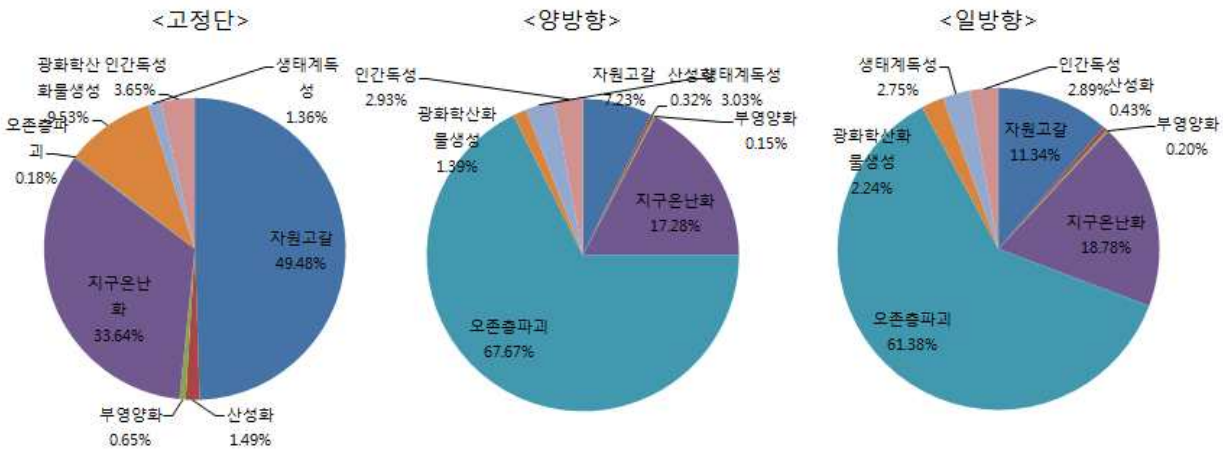
(9) 영향평가 결과(특성화, 가중화)

○ 구축된 포트받침 고정단(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN), 일방향(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN), 고정단(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN) LCI DB를 이용하여 산업통상자원부 영향평가 방법론을 기준으로 8대 영향 범주에 대한 영향평가를 수행하였으며 세부 결과는 [표 5-3-10]과 같음

○ 산업통상자원부 영향평가 방법론을 이용한 포트받침 고정단 형식의 가중화 결과 8대 영향범주 중 자원고갈과 지구온난화에 미치는 영향이 각각 49.48%, 33.64%로 높게 나타남. 포트받침 양방향 형식과 일방향 형식의 경우 오존층파괴에 미치는 영향이 각각 67.67%, 61.38%로 높게 나타났으며 세부 결과는 [그림 5-3-9]와 같음

[표 5-3-10] 포트받침 고정단, 일방향, 양방향 규격별(3,000kN, 5,000kN, 7,000kN) 1ea 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
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



[그림 5-3-9] 포트받침의 영향범주별 가중화 비율

제 4 절 LCI DB 연계 표준화 모델 개발

1. 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 환경부하평가시 LCI DB 연계가 표준화된 내용에 따라 진행 될 수 있도록 표준화 모델 개발하였으며 세부 절차는 [그림 5-4-1]과 같음

○ 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 제공

○ 단위 환산정보는 KS 규격 등 공인된 정보를 우선으로 하며, 해당 정보가 없을 경우 업체조사를 통해 기능 단위와 일치하는 단위환산 정보를 제공할 수 있도록 함

○ 내역서 내 자재명과 LCI DB명이 일치하고, 내역서 상의 단위와 기능단위가 일치하는 경우는 표준화 내용에서 제외함



[그림 5-4-1] 표준화 모델 개발 절차

DB 명: 선재 [wire rod]
DB 가능단위: 1 ton

적용 자재명	단위	단위환산정보
PC 강연선	km	- KS D 7002 규격에 따라 단위 환산
...	...	...

기호	호칭[㎜]	공칭단면적[㎟]	단위무게[kg/km]
SWPC1AN	2.9	6.605	51.8
SWPC1AL	3.5	9.621	75.5
SWPC1BN	4.0	12.570	98.7
SWPC1BL	4.5	15.900	125.0
SWPD1N SWPD1L	5.0	19.640	154.0
...	...	...	...

[그림 5-4-2] LCI DB 연계 표준화 예시

2. LCI DB 연계 결과

가. 국가, 국내, 해외 DB 연계 목록 도출

○ 국내외 기구축 LCI DB 검토를 통한 연계 가능한 LCI DB 목록 도출(국가 LCI DB 및 국내 구축 DB 35건, 해외 DB 5건)하였으며 세부 목록 도출 결과는 [표 5-4-1]과 같음.

[표 5-4-1] SOC 시설물 연계 가능 LCI DB 도출 결과(국가 DB, 국내 DB, 해외 DB)

구분	자재명	규격등	출처
국가 LCI DB	시멘트	1종 포틀랜드 시멘트 [Portland Cement_type 1]	산업통상자원부, 2002
	아크릴계도료	도료_아크릴계 [paint_acryl type]	환경부, 2003
	에폭시계도료	도료_에폭시계 [paint_epoxy type]	환경부, 2003
	우레탄계도료	도료_우레탄계 [paint_urethan type]	환경부, 2003
	에멀젼계도료	도료_수용성 에멀젼계 [paint_emulsion type]	환경부, 2003
	레미콘	레미콘 25-240-15 [Remicon 25-240-15]	산업통상자원부, 2003
	EPS	발포 폴리스티렌 [EPS]	산업통상자원부, 2001
	산소	산소 [oxygen,02]	환경부, 2003
	선재	선재 [wire rod]	환경부, 2003
	스테인레스강	스테인레스강 [stainless steel]	환경부, 2005
	알루미늄판	알루미늄 판 [aluminum strip]	산업통상자원부, 2001
	에폭시접착제	에폭시접착제 [epoxy adhesive]	환경부, 2007
	아크릴에멀전접착제	아크릴에멀전 접착제 [acrylic emulsion adhesive]	환경부, 2007
	열연코일	열연코일 [hot rolled steel coil]	환경부, 2003
	LDPE	저밀도 폴리에틸렌[LDPE]	산업통상자원부, 2000
	철근	전기로제강-철근 [electric steel deformed bars]	산업통상자원부, 2002
	형강	전기로제강-형강 [electric steel sections]	산업통상자원부, 2002
	탄소강	탄소강 [carbon steel]	환경부, 2005
	황동봉	황동봉 [brass bar]	산업통상자원부, 2000
	후판	후판 [steel plates]	환경부, 2005
	경유	경유[light fuel oil]	환경부, 2003
	전기	전기 [electricity]	산업통상자원부, 2000
	휘발유	휘발유 [gasoline]	산업통상자원부, 2001
	중유	중유[heavy fuel oil]	환경부, 2003
	윤활유	윤활유(Lubricating oil)	환경부, 2003
	공업용수	공업용수_전북권[Industrial water_Jeonbuk]	환경부, 2003
	순환골재	순환골재 [Recycled Aggregate]	환경부, 2010
	신나류	신나류	환경부, 2003
	용융아연도금강판	용융아연도금강판(Hot-dipped galvanized steel sheet)	환경부, 2005
	LPG	LPG	산업통상자원부, 2007
	PET	폴리에틸렌 테레프탈레이트 필름 [PET film, polyethylene terephthalate film]	환경부, 2009
국내 구축 DB	모래	모래	국토교통부, 2006
	합판	합판	국토교통부, 2006
	타일	타일	국토교통부, 2006
	자갈	자갈	국토교통부, 2006
해외 DB	아스팔트	아스팔트[mastic asphalt, at plant]<CH>	Ecoinvent 2.2V
	PVC	PVC[polyvinylchloride, at regional storage]<RER>	Ecoinvent 2.2V
	규산소다	규산소다[sodium silicate, spray powder 80%, at plant]<RER>	Ecoinvent 2.2V
	프로판가스	프로판가스[liquefied petroleum gas, at service station]<CH>	Ecoinvent 2.2V
	아세틸렌	아세틸렌[acetylene, at regional storehouse]<CH>	Ecoinvent 2.2V

나. 신규 DB 연계 목록 도출

○ 신규 LCI DB 구축을 통한 연계 가능한 LCI DB 목록 도출하였으며 세부 목록 도출 결과는 [표 5-4-2], [표 5-4-3]과 같음

[표 5-4-2] SOC 시설물 연계 가능 LCI DB 도출 결과(2, 3차년도 구축 DB)

구분	자재명	규격등	출처
2차년도 구축 DB	아스콘	아스콘	자체구축(2차년도)
	신축이음장치	핑거형 No.50	자체구축(2차년도)
		핑거형 No.80	자체구축(2차년도)
		모자이크형 No.50	자체구축(2차년도)
		모자이크형 No.80	자체구축(2차년도)
3차년도 구축 DB	강관	중구경강관	자체구축(3차년도)
	스틸그레이팅	I-32-200	자체구축(3차년도)
		I-25-200	자체구축(3차년도)
		I-44-300	자체구축(3차년도)
		I-32-300	자체구축(3차년도)
		I-50s-400	자체구축(3차년도)
		I-32-400	자체구축(3차년도)
		I-32-500	자체구축(3차년도)
		I-25-500	자체구축(3차년도)
	탄성받침	1350kN	자체구축(3차년도)
		1750kN	자체구축(3차년도)
		2000kN	자체구축(3차년도)
	가드레일	4.0x350x4000(표준 가드레일)	자체구축(3차년도)
		4.0x350x765(단부레일)	자체구축(3차년도)
	T.H.P 유공관	D=100	자체구축(3차년도)
		D=150	자체구축(3차년도)
		D=200	자체구축(3차년도)
		D=300	자체구축(3차년도)
		D=400	자체구축(3차년도)
	PVC 파이프 (VG1)	D=25	자체구축(3차년도)
		D=50	자체구축(3차년도)
		D=100	자체구축(3차년도)
		D=125	자체구축(3차년도)
		D=150	자체구축(3차년도)
		D=200	자체구축(3차년도)
		D=250	자체구축(3차년도)
		D=300	자체구축(3차년도)
	PVC 파이프 (VG2)	D=35	자체구축(3차년도)
		D=50	자체구축(3차년도)
		D=100	자체구축(3차년도)
		D=125	자체구축(3차년도)
		D=150	자체구축(3차년도)
		D=200	자체구축(3차년도)
		D=250	자체구축(3차년도)
		D=300	자체구축(3차년도)

[표 5-4-3] SOC 시설물 연계 가능 LCI DB 도출 결과(4차년도 구축 DB)

구분	자재명	규격등	출처
4차년도 구축 DB	포트받침 고정단	고정단_2,000kN	자체구축(4차년도)
		고정단_2,500kN	자체구축(4차년도)
		고정단_3,000kN	자체구축(4차년도)
		고정단_3,500kN	자체구축(4차년도)
		고정단_4,000kN	자체구축(4차년도)
		고정단_4,500kN	자체구축(4차년도)
		고정단_5,000kN	자체구축(4차년도)
		고정단_5,500kN	자체구축(4차년도)
		고정단_6,000kN	자체구축(4차년도)
		고정단_7,000kN	자체구축(4차년도)
		고정단_8,000kN	자체구축(4차년도)
		고정단_9,000kN	자체구축(4차년도)
		고정단_10,000kN	자체구축(4차년도)
	포트받침 양방향	양방향_2,000kN	자체구축(4차년도)
		양방향_2,500kN	자체구축(4차년도)
		양방향_3,000kN	자체구축(4차년도)
		양방향_3,500kN	자체구축(4차년도)
		양방향_4,000kN	자체구축(4차년도)
		양방향_4,500kN	자체구축(4차년도)
		양방향_5,000kN	자체구축(4차년도)
		양방향_5,500kN	자체구축(4차년도)
		양방향_6,000kN	자체구축(4차년도)
		양방향_7,000kN	자체구축(4차년도)
		양방향_8,000kN	자체구축(4차년도)
		양방향_9,000kN	자체구축(4차년도)
		양방향_10,000kN	자체구축(4차년도)
	포트받침 일방향	일방향_2,000kN	자체구축(4차년도)
		일방향_2,500kN	자체구축(4차년도)
		일방향_3,000kN	자체구축(4차년도)
		일방향_3,500kN	자체구축(4차년도)
		일방향_4,000kN	자체구축(4차년도)
		일방향_4,500kN	자체구축(4차년도)
		일방향_5,000kN	자체구축(4차년도)
		일방향_5,500kN	자체구축(4차년도)
		일방향_6,000kN	자체구축(4차년도)
		일방향_7,000kN	자체구축(4차년도)
		일방향_8,000kN	자체구축(4차년도)
		일방향_9,000kN	자체구축(4차년도)
		일방향_10,000kN	자체구축(4차년도)
	속경성 아스팔트(유제)	RS(C)-1,2,3,4 P/K(200ℓ)	자체구축, 2018
	콘크리트혼화재 (양생제)	ECONEX-E 수성 200ℓ/DM	자체구축, 2018
	초속경시멘트	3시간에 실용강도 200kg/㎠ 이상	자체구축, 2018
	에폭시 주입제	건식 저점도	자체구축, 2018
		습식 저점도	자체구축, 2018

3. 내역서 내 자재명과 LCI DB 매칭 결과

가. LCI DB 명칭 매칭

○ 내역서 자재명과 LCI DB 명칭이 다를 경우 자재의 재질, 함유비율, 업체자문 등을 바탕으로 연계가능한 LCI DB 매칭하였으며 세부 결과는 [표 5-4-4]와 같음

[표 5-4-4] LCI DB에 따른 연계 가능 자재명 매칭 결과

LCI DB 명		연계 가능 자재명
자재명	세부규격	
시멘트	1종 포틀랜드 시멘트 [Portland Cement_type 1]	보통시멘트. 분말시멘트
EPS	발포 폴리스티렌 [EPS]	문양거푸집(스치로폴), 압출발포폴리스틸렌단열재. 무늬거푸집재(스치로폴), 스티로폴(압출발포)
규산소다	규산소다[sodium silicate, spray powder 80%, at plant]<RER>	콘크리트혼화재(양생제), 혼화제(CON생산용), 혼화제(무수축몰탈, CON용), 콘크리트혼화재(숏크리트응급결재)
우레탄계도료	도료_우레탄계 [paint_urethan type]	실런트, 탄성실란트
레미콘	레미콘 25-240-15 [Remicon 25-240-15]	VR관, 기어형세굴방지블럭(0.5ton, 10ton), 보강토블럭, 블록종류, 보호블럭, 흄관
선재	선재 [wire rod]	Bolt nut, PC강연선, 강섬유보강제, 결속선, 고장력 볼트 넛트, 나사 못 너트류, 못, 보통철선. 볼트, 볼트 너트, 앵커볼트, 어니일링, 와이어 로프, 와이어메쉬, 용접봉, 육간볼트, 직선결속선, 철선, 철못
스테인레스강	스테인레스강 [stainless steel]	구조용 스테인레스 강관, 스테인레스 강판, 스테인레스 형강, 스테인레스 환봉, 스테인레스원형관, 스테인레스강관, 스테인레스판, 용접봉(스테인레스)
신축이음장치	핑거형(No 50, 88), 모자이크형(No 50, 80)	신축이음, 신축이음장치(F/J), 신축이음장치(모자이크)
아스팔트	아스팔트[mastic asphalt, at plant]<CH>	브라운 아스팔트, 아스팔트(브라운), 아스팔트프라이머
아크릴에멀전 접착제	아크릴에멀전 접착제 [acrylic emulsion adhesive]	아크릴계 접착제
알루미늄판	알루미늄 판 [aluminum strip]	알루미늄분말, 알루미늄합금주물
에폭시접착제	에폭시접착제 [epoxy adhesive]	모든접착제(아크릴계제외), 접착제
열연코일	열연코일 [hot rolled steel coil]	열연박판, 열연후판
형강	전기로제강-형강 [electric steel sections]	형강종류(H형강, L형강, ㄱ형강), 환봉, 봉강, 강널말뚝, 강관비계, 꺽쇠, 앵글, H-beam, 강관말뚝
철근	전기로제강-철근 [electric steel deformed bars]	원형봉강, 이형철근
탄성받침	1,350kN, 1,750kN, 2,000kN	탄성받침 135ton, 탄성받침 1,750kN (고정단, 양방향, 일방향)
탄소강	탄소강 [carbon steel]	Button BIT, Drill Rod, 일반배관용탄소강관, 철구, 철편
합판	합판	각재종류, 내수합판, 목재, 미송각재, 미송원목, 보통합판, 외송각재, 외송판재
황동봉	황동봉 [brass bar]	황동주물
후판	후판 [steel plates]	Plate, 강판

나. 단위환산정보 작성

○ 내역서 내 자재 단위와 LCI DB 단위가 다를 경우 KS 규격 등의 공인된 기준 및 업체조사 결과를 바탕으로 환산정보를 작성하였으며 세부 결과는 [표 5-4-5]와 같음

[표 5-4-5] LCI DB에 따른 단위환산정보 작성

<table>
<tr><th colspan="3">LCI DB 구분</th><th rowspan="2">단위환산정보</th></tr>
<tr><th>자재명</th><th>세부규격</th><th>단위</th></tr>
<tr><td>시멘트</td><td>1종 포틀랜드 시멘트 [Portland Cement_type 1]</td><td>kg</td><td>· 시멘트 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 포대(대), TON으로 단위가 포대(대)일 경우 일반적인 시멘트 1포대당 중량을 이용하여 단위환산
<table>
<tr><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td>포대, 대</td><td>40kg/1포대(대)</td><td>1포대 평균 중량</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>EPS</td><td>발포 폴리스티렌 [EPS]</td><td>kg</td><td>· EPS 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 m2으로 자재 규격상 비중 값을 이용하여 kg 단위환산
ex) 20 x 900 x 1800mm(비중 0.02)의 규격일 경우
(20/1000) x (0.02 x 1000) = 0.4
<table>
<tr><th>규격</th><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td>20x900x1800mm(비중 0.020)</td><td>m2</td><td>0.4</td><td rowspan="3">면적 x 높이 x 비중</td></tr>
<tr><td>30x900x1800mm (비중 0.025)</td><td>m2</td><td>0.75</td></tr>
<tr><td>20x900x1800mm (비중 0.030)</td><td>m2</td><td>0.6</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>레미콘</td><td>레미콘 25-240-15 [Remicon 25-240-15]</td><td>m3</td><td>· 레미콘 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 m3로 LCI DB단위와 일치하나 일부 자재에 대해 본으로 단위가 기재될 경우 단위환산
· 호칭지름 800mm 기준으로 레미콘 1m3 무게 약 2,300kg 적용
<table>
<tr><th>자재</th><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td>VR관</td><td>본</td><td>0.724</td><td>1본 = 1,675kg</td></tr>
<tr><td>흄관</td><td>본</td><td>0.492</td><td>1본 = 1,230kg</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>경유</td><td>경유 [light fuel oil]</td><td>kg</td><td>· 경유 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 ℓ로 일반적인 경유 비중을 이용하여 단위환산
<table>
<tr><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td>ℓ</td><td>0.83</td><td>경유 비중(0.83kg/ℓ)</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>휘발유</td><td>휘발유 [gasoline]</td><td>kg</td><td>· 휘발유 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 ℓ로 일반적인 휘발유 비중을 이용하여 단위환산
<table>
<tr><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td>ℓ</td><td>0.75</td><td>경유 비중(0.75kg/ℓ)</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>산소</td><td>산소 [oxygen,02]</td><td>ton</td><td>· 산소 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 ℓ, 병으로 일반적인 산소 1ℓ 밀도를 이용하여 단위환산
<table>
<tr><th>규격</th><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td>99% 6000ℓ(기체) 40ℓ</td><td>병</td><td>0.008574</td><td>1병 = 6,000ℓ
산소 1ℓ = 1.429g</td></tr>
<tr><td>6000ℓ</td><td>ℓ</td><td>0.00000143</td><td>산소 1ℓ = 1.429g</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="3">LCI DB 구분</th><th rowspan="2">단위환산정보</th></tr>
<tr><th>자재명</th><th>세부규격</th><th>단위</th></tr>
<tr><td>스테인레스강</td><td>스테인레스강 [stainless steel]</td><td>kg</td><td>· 스테인레스강 연계 가능 자재의 내역서상 주요단위는 ton, kg, M 이며 구조용 스테인리스 강관(원형관)의 경우 내역서상 단위가 M이므로 구조용 스테인레스 강관 SUS 304 단위 중량표를 참고하여 단위 환산
<table>
<tr><th>규격</th><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td>Φ165.2 t=3mm</td><td>M</td><td>12.121</td><td rowspan="8">구조용 스테인레스 강관 SUS304 단위 중량표</td></tr>
<tr><td>Φ101.6 t=2mm</td><td>M</td><td>4.962</td></tr>
<tr><td>Φ76.3 t=2mm</td><td>M</td><td>3.702</td></tr>
<tr><td>Φ63.5 t=2mm</td><td>M</td><td>3.064</td></tr>
<tr><td>Φ63.5 t=1mm</td><td>M</td><td>1.56</td></tr>
<tr><td>Φ50.8 t=2mm</td><td>M</td><td>2.431</td></tr>
<tr><td>Φ50.8 t=1.5mm</td><td>M</td><td>1.842</td></tr>
<tr><td>Φ50.8 t=0.8mm</td><td>M</td><td>1.557</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>선재</td><td>선재 [wire rod]</td><td>ton</td><td>· 선재 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 kg, ton이나 일부 나사, 볼트, 와이어메쉬 수량은 Set, m2등의 단위이므로 볼트, 너트 단위 환산표 등을 참고하여 단위 환산
<table>
<tr><th>자재</th><th>규격</th><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td rowspan="4">고장력볼트</td><td>M20x40mm</td><td>set</td><td>0.000336</td><td rowspan="7">표준 볼트 규격 단위 중량표</td></tr>
<tr><td>M16x50mm</td><td>set</td><td>0.000217</td></tr>
<tr><td>M16x60mm</td><td>set</td><td>0.000233</td></tr>
<tr><td>M16x75mm</td><td>set</td><td>0.000257</td></tr>
<tr><td>BOLT NUT</td><td>M19x50mm</td><td>EA</td><td>0.000361</td></tr>
<tr><td>육각볼트</td><td>M16x70mm</td><td>EA</td><td>0.000249</td></tr>
<tr><td>앵커볼트</td><td>16x200mm</td><td>EA</td><td>0.000376</td></tr>
<tr><td>볼트 넛트</td><td>M22×70</td><td>조</td><td>0.000555</td><td rowspan="7">06' desing Data book 참고</td></tr>
<tr><td>볼트 넛트</td><td>M24×75</td><td>조</td><td>0.000737</td></tr>
<tr><td rowspan="5">고장력 볼트 넛트</td><td>H22×80</td><td>조</td><td>0.000585</td></tr>
<tr><td>H22×85</td><td>조</td><td>0.000600</td></tr>
<tr><td>H22×90</td><td>조</td><td>0.000615</td></tr>
<tr><td>H22×95</td><td>조</td><td>0.000630</td></tr>
<tr><td>H22×100</td><td>조</td><td>0.000645</td></tr>
<tr><td rowspan="5">와이어매쉬</td><td>#8 Φ4.0×150×150</td><td>m2</td><td>0.00136</td><td rowspan="5">업체 와이어매쉬 규격 참고</td></tr>
<tr><td>#8 Φ4.0×100×100</td><td>m2</td><td>0.00204</td></tr>
<tr><td>#6 Φ4.8×150×150</td><td>m2</td><td>0.00204</td></tr>
<tr><td>#6 Φ4.8x100x100</td><td>m2</td><td>0.00304</td></tr>
<tr><td>#4 Φ5.8x150x150</td><td>m2</td><td>0.00272</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>순환골재</td><td>순환골재 [Recycled Aggregate]</td><td>kg</td><td>· 순환골재 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 kg, M3 으로 내역서상 단위가 M3인 경우 표준품셈의 자갈이 섞인 모래 단위중량을 이용하여 환산
<table>
<tr><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td>M3</td><td>2,000</td><td>자갈이 섞인 모래 단위중량(표준품셈)
1M3 = 2,000kg</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="3">LCI DB 구분</th><th rowspan="2">단위환산정보</th></tr>
<tr><th>자재명</th><th>세부규격</th><th>단위</th></tr>
<tr><td>형강</td><td>전기로제강-형강 [electric steel sections]</td><td>kg</td><td>· 형강 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 kg, ton이나 일부 구조용 강관, 비계파이프 등의 자재는 주요 단위가 M 이므로 구조용 강관 및 각형강관 규격 및 단위 중량표를 참고하여 단위환산
<table>
<tr><th>자재</th><th>규격</th><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td rowspan="4">구조용강관</td><td>Φ63.5㎜×1.4㎜</td><td>M</td><td>2.14</td><td rowspan="4">구조용 강관 (KS D 3537) 단위 중량표</td></tr>
<tr><td>Φ25㎜×1.4㎜</td><td>M</td><td>0.829</td></tr>
<tr><td>Φ25㎜×1.5㎜</td><td>M</td><td>0.884</td></tr>
<tr><td>Φ39㎜×1.4㎜</td><td>M</td><td>1.267</td></tr>
<tr><td rowspan="2">비계파이프 (단관비계)</td><td>ϕ48.6x2.4</td><td>M</td><td>2.63</td><td rowspan="2">각형강관 규격 및 단위 중량표</td></tr>
<tr><td>6000x48.6x2.3㎜</td><td>M</td><td>15.78</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>탄소강</td><td>탄소강 [carbon steel]</td><td>kg</td><td>· 탄소강 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 M, 개, SET 등으로 다양하며 업체제품 카탈로그, 일반배관용 탄소강관 규격 및 단위 중량표를 참고하여 단위환산
<table>
<tr><th>자재</th><th>규격</th><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td>BUTTON BIT</td><td>105㎜,SOIL NAILING용</td><td>개</td><td>5.6</td><td>Grat Wall Diamond Drill Co.,Ltd사 Button Bit 제품 참고</td></tr>
<tr><td rowspan="2">DRILL ROD</td><td>(40.5M/M*1.5M)</td><td>SET</td><td>9.42</td><td rowspan="2">SANDVIK사 제품 카다로그 참고</td></tr>
<tr><td>(40.5M/M*3.0M)</td><td>SET</td><td>18.58</td></tr>
<tr><td rowspan="5">일반 배관용 탄소강관 (백관)</td><td>완제품(Φ200*5.85)</td><td>M</td><td>30.4</td><td rowspan="5">일반배관용 탄소강관 (KS D 3507) 규격 및 단위 중량표</td></tr>
<tr><td>완제품(Φ150*4.85)</td><td>M</td><td>19.2</td></tr>
<tr><td>완제품(Φ100*4.5)</td><td>M</td><td>12.2</td></tr>
<tr><td>완제품(Φ50*3.65)</td><td>M</td><td>5.12</td></tr>
<tr><td>완제품(Φ40*3.25)</td><td>M</td><td>3.63</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>합판</td><td>합판</td><td>m3</td><td>· 합판 연계 가능 자재의 내역서상 주요 단위는 m3이나 일부 내수합판, 준내수합판 등의 자재는 주요단위가 m2이므로 내역서 규격 상의 합판 높이, 두께 등을 이용하여 단위환산
<table>
<tr><th>자재</th><th>규격</th><th>단위</th><th>단위환산인자</th><th>환산기준</th></tr>
<tr><td rowspan="2">내수합판</td><td>12x 1210x2420㎜ (1급T-I)</td><td>m2</td><td>0.012</td><td rowspan="2">내역서상 합판 높이(두께) 이용</td></tr>
<tr><td>1220*2440(t=12)</td><td>m2</td><td>0.012</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

제 6 장 SOC시설물 환경성능 지표

제 1 절 국내외 환경지표 현황조사, 대상물질 및 적용범위 검토

1. 평가목적에 따른 국내외 환경성능지표 현황

가. 국내 환경지표

○ 국내 도로건설과 관련하여 고려해야 할 단계별 환경평가 사항은 아래 [표 6-1-1]과 같음[1)]

[표 6-1-1] 도로건설 단계별 환경고로 또는 환경평가 사항

구분	도로건설단계	환경평가	환경평가의 목적	근거
정책	국토종합계획	환경친화적 교통체계 구축 및 지원	• 산간훼손 방지, 환경오염 감소	국토종합계획(1999)
	국가기간 교통망 계획	교통정책의 효율성(Efficiency)과 형평성(Equity)의 조화	• 환경오염 감소	국가기간 교통망계획(1999)
		전략환경평가	• 환경영향의 평가를 통한 복수의 대안 검토	전략환경평가업무 처리규정(2004)
기본 구상	도로정비 기본계획	사전환경성 검토	• 입지의 타당성, 주변환경과의 조화여부 등을 검토하여 환경친화적인 합리적 대안	환경정책기본법(2006) 사전환경성검토 업무편람(2004)
		전략환경평가	• 환경영향의 평가를 통한 복수의 대안 검토	전략환경평가업무처리 규정(2004)
	예비 타당성 조사	개략적인 환경성 검토	• 환경문제 발생가능성 여부	예비타당서조사지침(2004)
노선 선정	타당성조사	도로편람에 의한 환경영향조사	• 환경오염 및 민원문제 발생여부	도로편람(2004)
	기본설계	사전환경성검토	• 입지의 타당성, 주변 환경과의 조화여부 등을 검토하여 환경친화적인 합리적 대안	환경정책기본법(2006) 사전환경성검토업무편람(2004)
실시 설계	실시설계	사전환경성검토 환경영향평가	• 입지의 타당성, 주변 환경과의 조화여부 등을 검토하여 환경친화적인 합리적 대안	환경정책기본법(2006) 사전환경성검토 업무편람(2004) -환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법
공사	공사	건설환경관리	• 공사의 시행과정에서 발생되는 환경훼손에 대한 방지	건설환경관리 표준 시방서(건교부, 2004)
운영	운영	사후환경조사	• 사후 환경관리 및 저감방안 이행여부	환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법

1) 한국환경정책·평가연구원(2007), 전략환경평가 제도의 효율적 운영기법 마련을 위한 연구(제 2부, 계획유형별 시범사례)

○ 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 다양하며 그 영향의 크기는 아래[그림 6-1-1]과 같음



[그림 6-1-1] 도로건설사업 단계별 환경영향 분석

[표 6-1-2] 도로건설 단계별 환경고로 또는 환경평가 사항

환경평가	환경평가의 목적	평가내용
생활환경	대기질	PM10, NOX 등의 발생량
		대기환경규제지역 통과여부
		환경관련 계획의 목표와 비교
	수질	수질보전지역 통과여부
		비점오염 발생량 산정
	소음	소음영향지역(ex:1-2km)
		환경관련 계획의 목표와 비교
	위락·경관	파편화
		환경관련 계획의 목표와 비교
자연생태	국토생태축 및 생물서식공간	단절 및 파편화
		환경관련 계획의 목표와 비교
	토지잠식	토지잠식
자원에너지	지구온난화	CO2 발생량
	에너지	에너지 소비
사회환경	지역사회단절	주거지단절
		환경관련 계획의 목표와 비교

나. 국제 환경지표

(1) OECD

○ 환경지표의 개념은 다양하게 정의될 수 있지만, OECD는 환경지표의 개념을 현상 또는 환경상태에 관한 정보를 제공해 주는 파라미터 또는 파라미터에서 도출된 수치로 정의함

○ 환경지표 개발의 목적은 환경상태의 변화와 그 추세를 파악하고, 환경문제에 대처하기 위한 환경정책 목적의 달성 정도를 평가함으로써 일반 국민에 대해 효과적으로 환경정보를 전달하는데 있음

○ 핵심 환경지표는 환경성과 및 발전을 평가하는데 목적이 있으며, 주요 환경지표는 일반국민에 대한 정보전달, 분야별 지표는 환경과 관련 정책간 통합 도모, 연계차단지표는 지속가능발전의 달성 정도를 파악하는데 목적이 있음

[표 6-1-3] OECD의 단기 적용 가능 지표

<table>
<tr><th>지표항목</th><th>압력지표</th><th>상태지표</th><th>대응지표</th></tr>
<tr><td>기후변화</td><td>- CO2 배출량</td><td>- 온실가스 대기농도
- 지구평균기온</td><td>- 에너지사용량</td></tr>
<tr><td>오존층 고갈</td><td>- CFCS 소비량</td><td>- CFC의 대기농도</td><td></td></tr>
<tr><td>부영양화</td><td>- N, P를 측정한 비료의 소비량</td><td>- 선택된 하천의 BOD, DO N,P</td><td>- 생물학적, 화학적 하수처리시설에 연결된 인구 비율</td></tr>
<tr><td>산성화</td><td>- NOX와 SOX 배출량
- 암모니아 배출량</td><td>- 산성침전물의 농도 (pH, SO4, NO3)</td><td>- 대기오염 감소를 위한 지출</td></tr>
<tr><td>유독물 오염</td><td rowspan="2">- 유해폐기물발생량</td><td>- 하천의 Pb, Cd, Cr, Cu 중금속 농도
- 선택된 지역의 SO2, NO2 분진 농도</td><td rowspan="2">- 납 미포함 석유의 시장점유율</td></tr>
<tr><td>도시 환경질</td></tr>
<tr><td>생물 다양성/경관</td><td rowspan="3">- 토지사용 변화
- 폐기물발생량
• 도시폐기물
• 산업폐기물
• 핵폐기물
• 유해폐기물
- 수자원이용 원단위</td><td>- 알려진 종 중 위협 내지 멸종된 종의 수</td><td rowspan="3">- 국토면적 중 보호지역 면적 비율
- 폐기물의 수집과 처리를 위한 지출
- 폐기물 재활용률</td></tr>
<tr><td>폐기물 발생</td><td rowspan="2">적용불가</td></tr>
<tr><td>수자원</td></tr>
<tr><td>산림자원</td><td></td><td>- 산림의 면적과 분포</td><td></td></tr>
<tr><td>어자원</td><td>- 어획량</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>토양감소 (사막화와 침식)</td><td rowspan="2">- 토지이용 변화
- 인구성장과 밀도
- GDP 성장
- 산업과 농업생산
- 에너지 공급과 구조
- 도로 교통량과 스톡</td><td rowspan="2">적용불가</td><td rowspan="2">- 오염방지와 감소를 위한 지출
- 환경에 대한 일반여론</td></tr>
<tr><td>일반지표</td></tr>
</table>

○ OECD 핵심환경지표(Core Environmental Indicators : CEI)는 OECD 회원국에 적용되고 국제적으로 이용 가능한 최소한의 공통적으로 합의된 지표라고 할 수 있음. 이 지표는 환경상태의 변화 및 발전을 점검할 수 있는 기본지표 이며 환경정책의 분석과 환경정책의 성과를 판단할 수 있는 주요 정책수단이 될 수 있음

○ 환경이슈의 종류에 따라 기후변화, 오존층 파괴, 부영영화, 산성화, 독성오염, 도시 환경상태, 생물다양성, 문화적 상태, 쓰레기 지표는 환경용량의 사용과 관련되어 '환경의 질'을 다루며, 수자원, 산림자원, 어족자원, 토양오염(사막화, 침식), 물질자원, 사회경제, 분야별 및 일반지표는 자원의 기능 등 자연자원의 양적인 측면을 다루고 있음

○ 분야별 환경지표(Sectoral Environmental Indicators : SEI)란 교통, 에너지, 농업 등 환경과 밀접한 관련분야에 환경적 관심사를 통합하기 위해 사용되는 지표로서 각 분야의 정책 결정자에게 환경과의 연관성을 고려하도록 촉구하는데 목적이 있음

○ 주요 환경지표(Key Environmental Indicators : KEI)는 40~50개에 달하는 기존의 핵심지표가 수적으로 너무 많고 포괄하는 내용도 다양하여 핵심적인 이슈를 파악하기 곤란하고 일반국민이 이해하기에 어려움이 많다는 지적에 따라 개발되었음

○ 연계차단지표(Decoupling Environmental Indicators : DEI)란 경제성장과 환경 오염간 상호관계를 어느 정도 차단하는지를 측정하는 지표를 말함

○ 일반적으로 환경오염 증가율이 경제성장률에 비해 낮을 때 연계차단이 달성되었다고 할 수 있으며, 연계차단 정도에 따라 상대적 연계차단과 절대적 연계차단으로 나누기도 함

○ OECD가 제시한 환경지표 중에서 현재 자료의 이용이 어느 정도 가능하고 단기간 내에 적용이 가능한 환경지표를 아래 (표 3)과 같이 제시하였음

○ OECD에서 제시하고 있는 단기 적용 가능 지표는 기후변화, 오존층 변화, 부영양화 등 총 13개 항목에 대하여 PSR 체계로 구분되어 있음

(2) 세계은행

○ 세계은행의 환경지표 체계는 환경부문을 크게 원천지표, 오염지표, 생명지원지표, 인간영향지표로 구분하고 있음

○ 이러한 4부문에 대하여 PSR 체계에 따라 개별 구성지표를 제시하고 있으며 이러한 세계은행의 지표구분 방법은 OECD의 구분방법과 크게 다르지 않음

○ 세계지표의 원천지표는 OECD의 자연자원부문, 오염지표는 환경문제부문에 해당되고 생명지원지표와 인간영향부문에서 일반적인 수질과 대기질 지표를 제시해 주고 있음

○ 세계은행의 환경지표는 [표 6-1-4]와 같음

[표 6-1-4] 세계은행 환경지표

지표군	지표항목	압력지표	상태지표	대응지표
원천지표	1. 농업 a. 토지질 b. 기타	- 부가가치/총생산물 - 인간에 의한 토양 이용	- 국부중 경작지의 비율 - 기후등급과 토양질 저하	- 농촌/도시의 교역조건
	2. 산림	- 토지사용변화	- 지역, 량, 분포 : 산림가치	- 투입/산출비용, 주요 이용자, 재활용율
	3. 해양자원	- 오염물질, 어족수요	- 해양어족의 서톨	- 국제협약 적용범위 비율
	4. 물	- 이용원 단위	- 인구 접근성(총중량비)	- 물의 효율적 이용조치 - 물질균형/NNP
	5. 하부토양자산 a. 화석연료 b. 금속, 광물	- 채취율(s) - 채취율(s) - 채취율(s)	- 국부중 하부토양 자산비율 - 확인된 매장량 - 확인된 매장량	- 에너지 보조금 - 투입/산출비용, 주요 이용자, 재활용률
오염지표	1. 기후변화 a. 온실가스 b. 성층오존	- CO2 배출량 - CFCS 소비량	- 온실가스 대기농도 - CFCS 대기농도	- NNP의 에너지 효율 - 국제협약 적용 범위(%)
	2. 산성화	- S0X, NOX 배출량	- pH, SOX, NOX 농도	- 오염방지 지출
	3. 부영양화	- P, N 사용량	- 강의 BOD, P, N 농도	- 폐기물 처리인구 비율
	4. 유독물	- 위험폐기물 발생/부하	- 강의 납, 카드뮴 농도 등	- 납 미함유 석유 비율
생명지원지표	1. 생물 다양성	- 토지이용 변화	-서식지	- 보호지역 %
	2. 해양	- 위험 받는 종, 멸종된 종의 비율	-	-
	3. 특정토지(습지)	-	-	-
인간영향지표	1. 건강 a. 수질 b. 대기질 c. 직업적 노출 등	- 질병부담(일/인) - 에너지 수요	- 기대수명 - 용존산소, 대장균 - 분진, SO2 농도	- 건강에 소비된 NNP의 비율, 예방주사 - 안전한 물 접근성
	2. 식품안전과 질	-	-	-
	3. 주거/도시	- 인구밀도(인/㎢)		- 주거에
	4. 폐기물	- 산업, 도시폐기물 발생량	- 누적량	- 수집과 처리 지출비용, 재활용율
	5. 자연재산	-	-	-

(3) 지속가능발전 관련 지수 및 지표

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

○ 아래[표 6-1-5]는 지속가능발전 관련 지수·지표의 특성을 비교한 내용임

[표 6-1-5] 지속가능발전 관련 지수·지표 특성 비교

구 분	환경지속성지수(ESI)	환경성과지수(EPI)	지속가능발전지표(SDI)
개 념	- 환경·사회·경제 조건을 바탕으로 지속가능한 성장을 할 수 있는 국가역량을 계량화·비교	- 환경개선정도를 계량화한 지수로 국가별 환경개선노력을 평가	- 환경, 경제, 사회지표의 변화추이 분석을 통해 지속가능발전을 위한 현재의 상황을 개괄적으로 평가
작성기관	- 세계경제포럼(WEF) (예일대/컬럼비아대학)	- 세계경제포럼(WEF) (예일대/컬럼비아대학)	- 각 국가 및 기관
지표구성	- 5개 분야 76개 지표환경의 질, 환경오염부하량, 환경위해취약성, 사회·제도적 대응능력, 국제적 책임공유	- 6개 분야 16개 지표대기질, 수자원, 생물다양성, 자연자원, 환경보건, 지속가능 에너지	- 4개 분야, 지표수는 국가별 상이사회, 경제, 환경, 제도
평가방법	- 지표별 현재치를 산출하고 이를 국가별로 순서화(지수화)하여 상대적으로 비교 평가	- 변수별로 목표치를 설정, 그 달성도를 지수화 하여 평가	- 지표별 변동추이를 분석하여 현재의 지속가능발전 상황을 개괄적으로 평가
한계점	• 각종 국제기구 통계자료의 정확성과 신뢰성 한계 • 통계자료가 없는 경우 추정자료를 사용, 불확실성 노출 • 상대적 비교로 수치가 개선되어도 순위가 하락하는 사례 발생 • 주관기관 의도에 따라 변수를 조정하여 평점 및 순위조정 가능	• 실제 정부정책의 성과를 측정하고 있지 않고 지표의 목표치와의 달성도만을 표시, ESI와 차별화 미약 • 대기질, 수자원 등 모든 분야에서 변수의 신뢰도 제고를 위한 보완이 필요	• 지표의 기초자료가 미흡하고 일관성이 적어 국가간 수준을 비교하기 곤란 • 자료가 나라마다 달라 체계적이고 일관된 지표 개발 곤란 • 지표가 정책분석에 체계적으로 연결되지 못하고, 지표간 통합과 연계, 지수화가 어려운 문제점 내포

○ 환경지속성지수(Environmental Sustainability Index)는 현재의 환경·사회·경제 조건을 바탕으로 지속가능한 성장을 할 수 있는 국가역량을 계량화·비교하는 국제평가지수이며 세계경제포럼(WEF)의 후원으로 美 예일대/컬럼비아대학이 개발·연구하여 2001년과 2002년 발표하였으며 2005년은 코카콜라사의 후원을 받아 수행한 결과를 다보스 포럼에서 발표하였음

○ 환경성과지수(Environmental Performance Index)는 각국의 환경개선정도(Performance)를 계량화한 지수로 국가별 환경개선노력을 평가하는 지표이며 06년도 EPI 평가변수는 '05년도 ESI 평가변수 중 대기질, 생물다양성 등 환경과 관련된 6개 분야의 평가변수를 활용하였음

○ 지속가능발전지표(Sustainable Development Index)는 환경, 경제, 사회 요소 가운데 대표성이 있는 변수를 개관함으로써 현재와 미래에 영향을 미치는 정보를 확보하여 지속가능발전을 위한 현재의 상황을 평가하는 수단임

○ 지속가능발전지수는 지속가능발전에 대한 통합적 정보를 제공함으로써 지속가능한 국가 발전을 평가하고, 국제적으로 지속가능성을 비교하고 국가 및 기관별로 차이가 있으나, 일반적

으로 사회, 경제, 환경, 제도 등 4개 분야별로 평가항목을 설정하고 이를 파악하기 위한 지표를 설정함

다. 국가별 환경지표

(1) 네덜란드

○ 매년 환경상태(State of Environment)를 토대로 1년 단위의 환경정책을 수립하고, 4년마다 환경전망을 토대로 국가환경정책계획(NEPP) 수립하고 있음

○ 1989년에 NEPP를 만든 이후 4번째 NEPP4(2001)에서는 미래세대를 위한 지속가능한 발전과 관련된 분야(생물다양성의 감소, 기후변화, 자연자원의 과도한 이용, 건강에 대한 위협 등)의 지표개발에 중점을 두고 있음. 아래 표는 환경부문별로 압력지표만 제시한 형태로 이루어져 있으며, 아래 [표 6-1-6]는 네덜란드 환경지표를 요약한 내용임

[표 6-1-6] 네덜란드의 환경문제 부문 지표

지표항목	지표	배출량 및 배출목표	비고
기후변화	- 온실가스로 알려진 - CO2, CH4, N2O의 연간배출량 및 CFCS, 할론 사용량의 가중합계	- 1990 : 244 - 1995 : 205 - 2000 : 198 Ceq	- CO2 등가물(Ceq)로 표시 - 지구온난화 잠재력(GWP)이 환가요소
오존층 고갈	- 오존고갈 화합물인 CFCS와 할론 연간 사용량의 가중합계	- 1990 : 9803 - 1995 : 54 - 2000 : 0 Oeq	- 오존고갈 등가물(Oeq)로 표시 - 오존고갈 잠재력(Oeq)이 환가요소
산성화	- SO2, NOX, NH3 등 산복합물의 연간 침전량의 가중합계	- 1990 : 4700 - 1995 : 4000 - 2000 : 240 Aeq	- 산성화 등가물(Aeq)로 표시 - 산성잠재력이 환가요소
부영양화	- P와 N으로 표시한 인산염 및 질산염의 연간 배출량의 가중합	- 1990 : 275 - 1995 : 95 Eeq	- 부영양화 등가물(Eeq)로 표시
유독성 물질의 전파	- 농업용 살충제, 기타 살충제, 유독물질, 방사능 물질의 연간 배출량의 가중합계	- 1990 : 242 - 1995 : 196 - 2000 : 139 Deq	- 전파등가물(Deq)로 표시
고형폐기물의 처분	- 연간 투기된 고체폐기물 총량	- 1990 : 15.5 - 2000 : 5 Weq	- 처분등가물(Weq)로 표시 - 현재 상이한 폐기물을 그 독성의 면에서 비교가 불가능함, 따라서 폐기물 흐름의 비가중합을 토대로 산출함
지역 환경의 교란	- 냄새와 소음으로 피해를 입는 인구 비율	- 1990 : 58 - 2000 : 41 Neq	- 방해등가물(Neq)로 표시

(2) 영국

○ 영국은 지속가능한 발전을 위한 분야를 그룹화하고 이에 따른 지표들을 제시하였으며 는 영국의 주요문제 부문과 이를 평가하기 위한 지표는 [표 6-1-7]과 같음

[표 6-1-7] 영국의 환경지표

환경문제	핵심목표 및 환경문제	지표
토지사용	- 이용가능한 한정된 토지량에 대해 경합하는 수요의 균형을 맞춤 (개발용 -특히 주택용- 토지수요의 증대, 도시 중심가의 활력과 생존력의 유지)	- 도시개발에 포함된 토지 - 가구수 - 개발을 위해 도시토지의 재이용 - 나대지의 스톡과 개간 - 도로 건설 및 도시외곽 면적 - 정규여행 및 지출 - 도시내 녹지공간
수자원	- 소비자의 필요를 충족시키는 적절한 수자원의 이용가능성을 확보하는 한편, 물환경을 지속적으로 유지시키고, 효율적인 물 사용을 장려함 (수자원/공급, 물소비, 취수의 영향)	- 허가취수량과 유효강수량 - 유량 부족의 완화 - 용도별 취수량 - 공공용수의 수요와 공급 - 스프레이 관개용 취수량
기후변화	- 지구온난화와 기후변화에 기여할수도 있는 온실가스 배출량을 제한함 (지구전체의 배출량과 영국의 기여도)	- 온실가스 방사율 - 지구기온 변화 - 온실가스 배출량 - 발전소의 이산화탄소 배출량
오존층 고갈	- 성층권 오존고갈을 야기하는 물질의 대기중 배출을 억제함 (지구전체의 배출량과 영국의 기여도)	- 추정된 염소 부하량 - 관측된 오존고갈 - 오존고갈물질 배출량 - CFCS 소비량
산 침전	- 산 배출량을 제한하고 적절한 토지관리 관행을 확보함	- 산성화의 잠정 임계부화 초과 - 발전소 이산화황과 질산 배출량 - 도로수송수단의 질산 배출량
대기	- 자연생태계, 인간건강 및 삶의 질에 대한 역효과 위험을 줄이기 위하여 대기오염을 통제함 (도시대기질, 광화학적 오염)	- 오존, 이산화질소, 분진농도 - 휘발성 유기화합물 배출량 - 일산화탄소, 납 배출량 - 대기오염 방지를 위한 지출
담수질	- 수질 및 물환경의 유지 및 개선함. 이를 위하여 폐수 배출량과 오염을 관리하여 음용수 및 여가를 위한 수질을 유지함	- 강의 수질-COD, BOD - 강속과 지하수속 질소 - 강의 인 - 강과 지하수의 살충제 - 오염사건의 예방과 방지 - 물취소, 처리, 분배 관련지출 - 하수처리 관련 지출
토양	- 식량 및 기타 생산물을 위한 제한된 자원으로서 그리고 중요한 유기체를 위한 생태계로서의 토양을 보호함	- 토양질 - 표토속의 중금속
폐기물	-폐기물 생산량을 최소화하고, 생산된 폐기물을 최적으로 이용하며, 폐기물에 기인한 오염을 최소화함(폐기물의 생성과 재활용, 폐기물로부터의 에너지 회복, 폐기물의 최종정리)	- 가정폐기물 - 산업/상업폐기물과 특정폐기물 - 가정폐기물 재활용과 퇴비화 - 물질 재활용 - 폐기물을 이용한 에너지 - 매립되는 폐기물

(3) 일본

○ 일본은 '03년 수립된 '자원순환형사회 건설을 위한 기본계획'의 이행을 평가하기 위해 물질순환계정(Material Flow Account)을 개발하고 이에 따라 목표치를 설정하고 있음

○ 물질순환계정의 내용을 표현하기 위해 자원생산성, 재순환사용률, 최종폐기물처분량 등의 지표를 개발하여 지난 10년간 OECD 회원국의 자동차 공해 대책을 평가함

(4) 독일

○ 정책결정자 및 일반국민의 인식 제고를 위해 대기, 수질, 토양, 에너지, 기초물질, 기후변화 등 6개 분야에 대해 환경지표(Environmental Barometer)를 개발하여 각 분야별 목표달성정도를 평가함

○ DUX라는 환경지수를 활용하여 6개 각 지표를 점수로 환산(출발점 0점, 목표달성시 1000점)하여 통합적인 1개의 지수를 개발(6개 목표 전부 달성시 6천점)한 것으로 일반국민들이 환경상태의 변화와 환경정책 성과를 쉽게 이해 가능하도록 함

(5) 캐나다

○ 지속가능발전을 목표로 새로운 농업정책전략(2003-2008)을 채택하였으며, 동 전략에서 경제, 사회, 환경 3개축을 토대로 지속발전 가능한 환경지표를 선정·정의하였음

○ 동 전략은 환경적으로 지속가능한 농업을 달성하기 위해 대기, 수질, 토양, 생물다양성 및 농장관리 등 5개 분야를 선정하여 각 분야를 대표할 수 있는 온실가스 배출량 등 측정 가능한 지표를 설정함

2. SOC 시설물에 적용 가능한 인증 시스템 현황

가. 국내외 친환경 인증 시스템 현황

(1) 한국형 녹색도로 인증제

○ 한국형 녹색도로인증제는 도로설계 및 건설 등의 물리적 차원의 평가가 아닌 설계 및 시공중인 도로건설사업을 대상으로(도로교통 운영 및 유지관리 단계까지 포함) 친환경 녹색도로 건설을 위한 일련의 활동을 평가하여 등급을 부여하는 제도로 '에너지 및 온실가스 배출 측면에서의 효율성 극대화' 및 '적극적인 온실가스 저감' 목표를 포함하는 광범위한 평가시스템임

○ 국토교통부 R&D - 탄소중립형도로 기술개발 연구단을 통해 한국교통연구원과 한국건설기술연구원이 공동으로 개발하였으며, 도로의 설계, 건설, 운영, 유지관리 등 생애주기 전체를 대상으로 인증체계를 개발하여 평가(안)이 최종 도출되었음

○ 고속국도와 일반국도를 대상으로 인증후에도 지속적으로 인증기준을 만족하도록 하기 위해 유지관리가 필요하므로 3년의 인증유효기간을 두고 정기적으로 인증기준 충족여부를 심사·관리하도록 하고 있음

○ 설계 및 시공 시에는 총 4개 분야, 평가항목(고속국도: 38개, 일반국도: 40개), 평가지표(고속국

도: 49개, 일반국도: 53개)로 구분되며, 평가지표에 따른 평가기준에 따라 총 100점으로 구성됨

○ 운영 및 유지관리에서는 총 5개 분야, 23개의 평가항목으로 구분되며, 평가항목 당 세부적인 평가기준에 따라 총 50점으로 구성됨

○ 도로건설단계(설계 및 시공 시)와 도로관리단계(운영 및 유지관리)의 평가지표 및 평가항목별 배점 총합(총 150점 만점)을 기준으로 해당 도로의 녹색도로등급을 부여하고, 녹색도로등급은 크게 4단계로 구분함

○ 녹색도로등급 단계는 친환경성 및 지속가능성 등이 높은 순으로 에버그린, 골드, 실버, 인증 등급으로 구분하며, '에버그린'은 60%이상, '그린'은 50~59.9%, '실버'는 40~49.9%, '인증'은 30~39.9% 수준의 배점 획득률(%)을 만족하였을 경우 부여됨

[표 6-1-8] 한국형 녹색도로 등급

녹색도로 등급	배점 획득률(%)	배점 기준 값		Symbol (예시)
		도로건설단계 (총 100점)	도로관리단계 (총 150점)	
인증 (Certified)	30~39.9	30~39.9점 구간	45~59.9점 구간	
실버 (Silver)	40~49.9	40~49.9점 구간	60~74.9점 구간	
골드 (Gold)	50~59.9	50~59.9점 구간	75~89.9점 구간	
에버그린 (Evergreen)	60 이상	60점 이상	90점 이상	

(2) 국외 친환경 SOC 인증관련 제도

○ SOC 시설 분야는 건축물과 비교할 때 안정적으로 정착되기 어려운 점이 있음. 즉, 건축물은 사용자와 공급자가 명백히 나뉘어 있고, 소비자와 근접한 상품이므로 에너지 사용량, 온실가

스 배출량 등에 있어 가시적 효과가 매우 크지만 SOC 시설물의 경우 인증제도를 도입했을 때 생겨나는 혜택과 가시적 효과가 불분명함

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

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

[표 6-1-9] 선진국 녹색도로 인증제도 및 시스템

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

a. Greenroads(워싱턴주)

○ 미국의 Greenroads 인증제는 워싱턴주가 4년간 500만달러를 투입하여 미국 워싱턴대학교와 CH2M HILL,inc가 산학 공동연구과제로 개발한 녹색도로 인증 기준임

○ Greenroads는 그린빌딩 인증제도인 LEED와 그 성격이 유사하며 인증등급 또한 Certified, Silver, Gold, Evergreen의 4단계로 이루어져 있음[그림 6-1-6]



[그림 6-1-6] Greenroads Certification Levels

○ Greenroads 인증제는 의무적 사항과 자발적 사항으로 구분되어 있음

○ Project Requirement(PR)로 표현되어 있는 의무적 사항은 세부적으로 친환경 검토, 생애주기 비용 검토, 도로포장 생애주기 분석, 포장품질 관리 계획, 소음 저감 계획, 폐기물 활용 계획, 오염방지 계획, 빗물오염 및 활용 계획, 포장관리 계획, 현장관리 계획, 교육 및 홍보 총 11

개의 항목으로 구성되어있음

○ 자발적 사항은 환경/수자원, 접근성/자산, 시공단계 활동, 재료/자원, 포장기술에 걸친 총 5개의 카테고리로 나뉘어 있고 또한 각 카테고리는 마찬가지로 여러 세부항목으로 구성되어져 있음

○ 각 항목별 배점은 1점에서 최대 5점까지 지속적인 성장요인에 따른 영향을 고려하여 다양하게 매겨져 있고 총점은 118점으로 취득 점수에 따라 등급별로 인증을 받고 있으며,(표 22) 이러한 인증 기준은 신규 도로사업 뿐만 아니라 기존 도로의 성능개선 사업에도 적용이 가능함

○ Greenroads의 큰 특징 중 하나는 요구 기준의 적용성임. 인증제가 요구하는 기준과 표준절차 및 항목은 정해져 있지만 발주기관과 사업장의 위치에 따라 지형과 기후에 유연하도록 가변적인 운영을 하도록 만들어 놓음

○ 또한 설계·시공단계에서의 초점을 두고 있음, 자발적 항목의 구성요소 중 시공단계활동(13%), 재료/자원/(21%), 포장기술(19%)의 세 항목은 시공단계에서의 친환경성 확보에 관한 요구조건으로 도로건설 시공에 있어 Greenroads 인증제만이 가지는 특성임

b. GreenLITES(뉴욕 주)

○ GreenLITES는 Greenroads와 LEED의 성격과 흡사하며 교통 인프라 프로젝트의 지속 가능한 통합 지원 프로그램임

○ 뉴욕주 교통국(New York State Department of Transportation, NYS DOT)에 의해 시행되었고 초기에는 개별적인 프로젝트의 환경적 지속 가능성을 평가하기 위한 도구로 사용하였음

○ 이후 경제성, 사회성, 환경성을 접목하여 프로그램 범위의 지역에서 접근이 가능하고, 프로젝트의 계획과 투자, 운영활동, 유지 프로그램 지역적 투자 등의 성격을 갖춘 인증 시스템이 되었음

○ GreenLITES는 설계를 포함하는 환경적인 영향을 최소화하고, 지속 가능한 도로사업을 기초로 함

○ 아래 [그림 6-1-7]은 Green LITES의 인증등급으로 LEED, Greenroads와 유사하게 네가지의 단계로 분류하고 있음



[그림 6-1-7] GreenLITES Certification Levels

○ GreenLITES는 환경의 강화와 보호, 에너지와 자연원천의 보호, 역사적·경관적·심미적으로 의미

가 있는 프로젝트의 보호, 공공기관의 교통계획으로의 개입 확대, 스마트 성장과 건선한 토지 이용 실행의 통합, 새롭고 혁신적인 접근법의 설계 등을 교통의 지속 가능성으로 정의하고 있음

○ GreenLITES 시스템은 이용 구성원들의 이익과 경제적인 부분, 환경적인 호환의 균형이 이루어지는 지속 가능성에 대하여 강조하고 있음

○ GreenLITES는 문서상의 설계 단계에서 행해지는 인증 시스템이라는 점으로 설계를 포함하는 프로젝트를 기초로 하는 타 인증시스템과 구별됨

○ 따라서 사업 입찰 전에 설계서를 통하여 GreenLITES의 인증이 가능한 특징을 가지고 있어, 입찰시의 입찰 서류의 평가에 활용될 수 있음

c. CEEQUAL(영국)

○ 영국은 법적 의무사항인 한경영향평가(EIA)와는 별도로 SOC 시설물, 즉 토목사업의 환경성 평가 및 인증제도(CEEQUAL; Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Award Scheme)를 토목학회의 주관 하에 개발하여 사용하고 있음.

○ 토목엔지니어협회(ICE)가 개발한 평가제도로 공공부문 SOC 시설물 전체를 대상으로 디자인 및 건설 단계의 환경 이슈를 관리한 건설 프로젝트에 대해 수여하고 있음

○ 해당 프로젝트가 최소한의 법정 기준을 준수하는지 여부에 따라, 20% 이상일 경우 Pass, 25-40%까지 Good, 70% 이상 Very Good, 75% 이상인 경우 Excellent 등급을 부여하고 있음

d. I-LAST(일리노이 주)

○ I-LAST(Illinois Livable and Sustainable Transportation) 인증시스템은 일리노이주 교통국(Illinois Department of Transportation, Illinois DOT)과 일리노이 토목학회(American Council of Engineering, ACEC-Illinois), 교통건축업자협회(Illinois Road and Transportation on Builders Association, IRTBA)가 공동으로 개발한 지속 가능한 수행 메트릭 시스템(sustainable perfornmace metric system)임

○ I-LAST 인증시스템은 Greenroads와 마찬가지로 신규 및 기존 도로사업에 적용하며, 다른 주의 고속도로 프로젝트에는 적용하지 않음

○ I-LAST 인증시스템은 고속도로 프로젝트에서 지속 가능한 잠재적인 결과들을 도출할 수 있는 포괄적인 리스트를 제공하는 것을 목적으로 함

○ 또한 교통 프로젝트에서 생존율, 지속 가능성, 친환경적 효과를 산정할 시 좀 더 효과적이고 간단한 방법으로 수행하는 것, 교통산업에서 지속 가능한 다양한 활동들의 사용을 기록하는 것이 목적임

○ I-LAST에서 정의하는 지속 가능성은 환경적 자원의 최소화, 에너지 소비 최소화, 고속도로의 역사적·경관적·심미적 특성 강화 및 보호 그리고 시설물과 커뮤니티, 자연환경 및 경제적 환경의 균형 고려 등임

제 2 절 단계별 주요 환경부하량 추정기술

1. 환경오염물질 적용 범위 및 구성항목 조사

가. 환경부하량 추정기술 적용 범위 및 기준

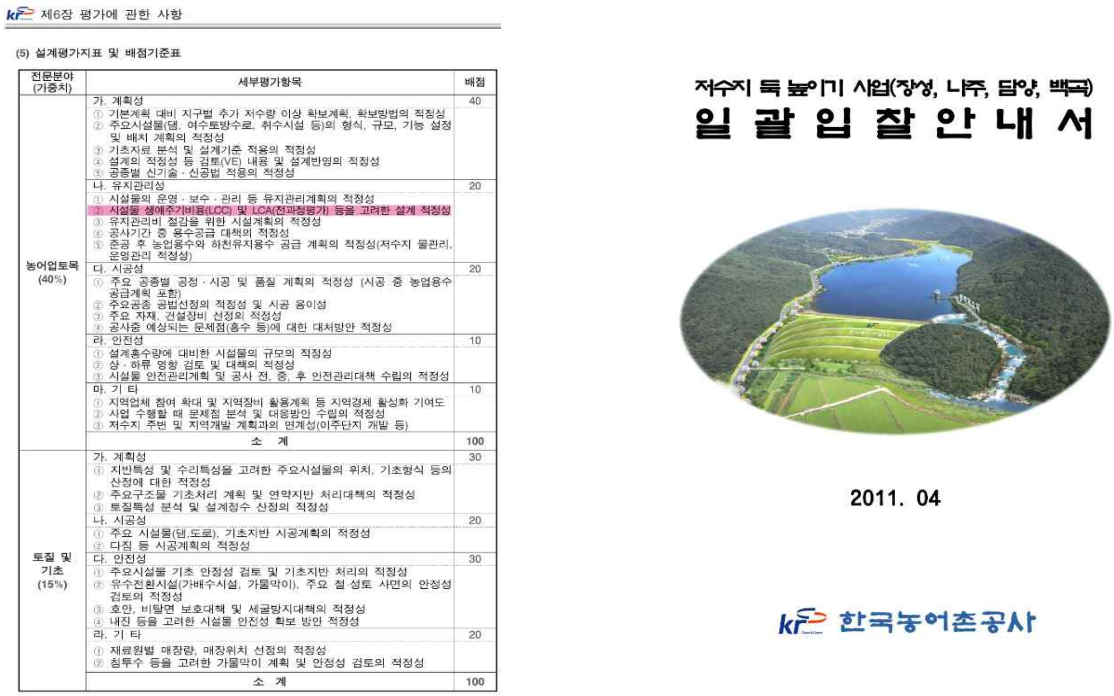
○ 건설산업에 LCA를 적용하기 위해서는 ISO140140에 근거해 대상 건설공종을 하나의 제품으로 간주하여 시스템의 전 과정에 대한 평가를 수행할 수 있음. 그러나 건설산업은 그 특성상 Life Cycle이 길고, 구조 및 형식에 따라 환경영향의 증감이 크기 때문에 일체형 또는 시스템형 구조물에 대한 다양한 해석방법 등을 고려하여야 함

○ 현재 SOC 시설물에 대한 환경부하량 평가는 단일 시설물을 대상으로 하고 있으며, 국내 도로, 교량, 터널을 대상으로 한 환경부하량 추정 관련 연구들은 대부분 초기건설단계부터 유지보수단계, 해체폐기단계로 구분하여 단일로 환경영향 평가를 수행하는 것이 대부분임

○ 모든 건설공사에 환경부하 평가를 수행하고 있는 실정은 아니나 특정기관 발주의 건설사업의 경우 입찰안내서상 일반지침, 설계지침 등을 고려하여 세부평가항목을 반영하여 입찰도서를 작성하여야 함

나. 요소기술 및 구성항목

○ 요소기술 및 환경부하 구성항목 세부평가 항목 예시로, 아래 [그림 6-2-1]과 같이 한국농어촌공사 발주 사업의 입찰안내서상에서는 유지관리성 평가항목으로 '시설물 생애주기비용(LCC) 및 LCA(전과정평가) 등을 고려한 설계 적정성'을 평가지표로 제시하였음



제6장 평가에 관한 사항

(5) 설계평가지표 및 배점기준표

전문분야 (가중치)	세부평가항목	배점
농어업토목 (40%)	가. 계획성	40
	① 기본계획 대비 지구별 추가 저수량 이상 확보계획, 확보방법의 적정성 ② 주요시설물(댐, 여수토방수로, 취수시설 등)의 형식, 규모, 기능 설정 및 배치 계획의 적정성 ③ 기초지료 분석 및 설계기준 적용의 적정성 ④ 설계의 적정성 등 검토(VE) 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 ③ 유지관리비 절감을 위한 시설계획의 적정성 ④ 공사기간 중 용수공급 대책의 적정성 ⑤ 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 ② 상 · 하류 영향 검토 및 대책의 적정성 ③ 시설물 안전관리계획 및 공사 전, 중, 후 안전관리대책 수립의 적정성	
	마. 기 타	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
토질 및 기초 (15%)	가. 계획성	30
	① 지반특성 및 수리특성을 고려한 주요시설물의 위치, 기초형식 등의 산정에 대한 적정성 ② 주요구조물 기초처리 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. 기 타	20
	① 재료원별 매장량, 매장위치 선정의 적정성 ② 침투수 등을 고려한 가물막이 계획 및 안정성 검토의 적정성	
	소 계	100

저수지 둑 높이기 사업(장성, 나주, 담양, 백곡)

일 괄 입 찰 안 내 서

2011. 04

한국농어촌공사

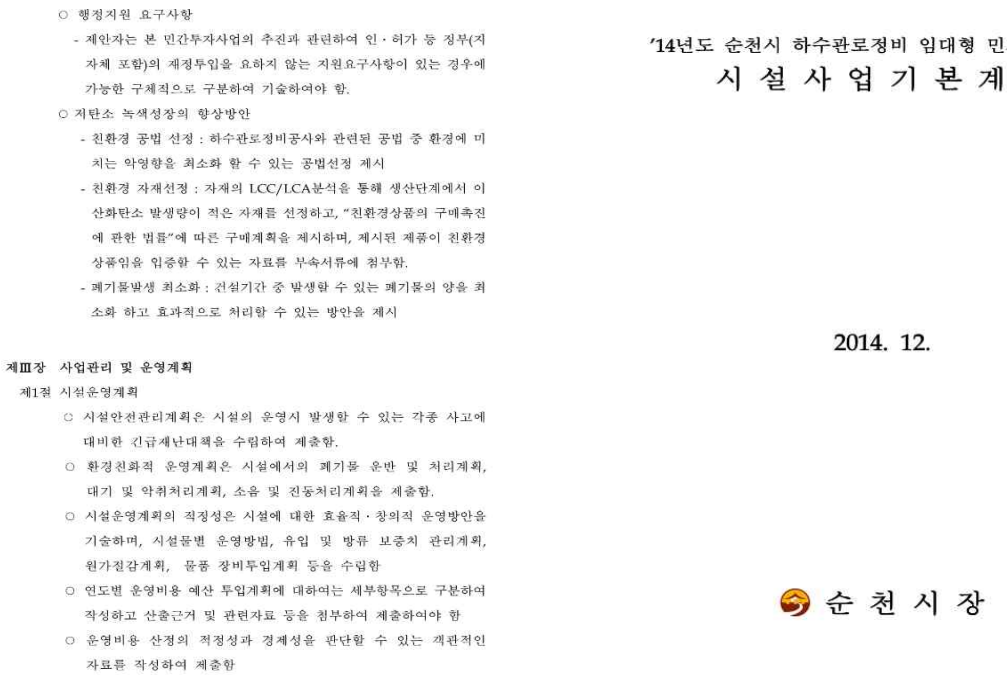
[그림 6-2-1] 저수지 둑 높이기 사업(입찰안내서)

○ 또한 지방자치단체 발주의 하수관로정비 임대형 민자사업(BTL)의 기본계획단계에서는 사업계획서 작성지침사항으로 저탄소 녹색성장의 향상방안 항목에 '자재의 LCC/LCA 분석'을 제시하였음. 아래 [그림 6-2-2]는 사업계획서 지침사항을 보여주고 있음

[표 6-2-1] 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
항만	부산항신항방파제 보강공사
	부산항신항웅동지구 1단계 항만배후단지 (제1공구)조성공사
	부산항신항웅동지구 1단계 항만배후단지 (제2공구)조성공사
	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

○ 대안별 초기건설, 유지관리, 해체폐기단계의 LCA 분석을 수행하고, 8가지 환경영향범주(자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 광화학산화물, 산성화, 부영양화, 생태독성, 인간독성)별 환경부하량을 산정하였음



○ 행정지원 요구사항
- 제안자는 본 민간투자사업의 추진과 관련하여 인·허가 등 정부(지자체 포함)의 재정투입을 요하지 않는 지원요구사항이 있는 경우에 가능한 구체적으로 구분하여 기술하여야 함.

○ 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 친환경상품임을 입증할 수 있는 자료를 부속서류에 첨부함.
- 폐기물발생 최소화 : 건설기간 중 발생할 수 있는 폐기물의 양을 최소화 하고 효과적으로 처리할 수 있는 방안을 제시

제Ⅲ장 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

'14년도 순천시 하수관로정비 임대형 민자사업(BTL)

시 설 사 업 기 본 계 획

2014. 12.

순 천 시 장

[그림 6-2-2] 하수관로정비 임대형 민자사업(BTL) 시설사업기본계획서

2. 추정기술 적용 사례

가. 하의~신의간 연도교 건설공사

○ 위치 : 전라남도 신안군 하의면 봉도리~하태서리

○ 연장 : 1.345km(해상장대교량 520m, 도로 825m)

○ 차로수 : 왕복 2차로

○ 설계속도 : 70km/hr

○ 교차로 : 2개소(봉도, 하태)

○ 공사기간 : 착공일로부터 1,800일(60개월)

■하의~신의간 연도교 건설공사

사업 개요

- 위치 : 전라남도 신안군 하의면 봉도리~하태서리
- 연장 : 1.345km(해상장대교량 520m, 도로 825m)
- 차로수 : 왕복2차로
- 설계속도 : 70km/hr
- 교차로 : 2개소(봉도, 하태)
- 공사기간 : 착공일로부터 1,800일(60개월)

LCA 분석 적용사례

LCA(Life Cycle Assessment) 기법을 활용한 전과정 환경평가

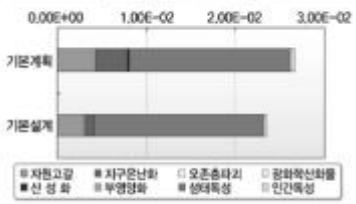
LCA 평가방안

정보수집 및 분석	비교안별 LCA 평가	환경경제성 평가
•교량 건설공사시 소요자재 및 시공장비 투입량 분석 •비교안별 형식 및 공법 검토	•LCA 평가를 통한 비교안별 환경부하량 산출 •환경친화적 설계방안 제시	•조건부 가치측정법 활용 •환경오염물질에 대한 환경비용 환산으로 경제적 절감효과 제시

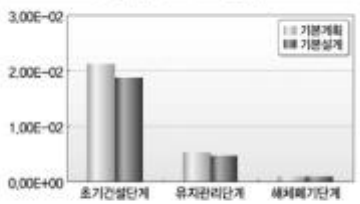
비교안별 LCA 분석

구 분	기본계획	기본설계
초기건설	2.12E-02	1.87E-02
유지관리	5.30E-03	4.67E-03
해체폐기	1.48E-04	1.15E-04
LCA	2.66E-02	2.35E-02
절감율(%)	-	▼11.9

비교안별 LCC 분석



단계별 LCA 분석



지구온난화 주요물질 산출

(단위 : ton)

구 분	CO_2	SO_2	NO_2	CO	계	절감량
기본계획	6.47E+04	7.08E+01	1.20E+02	1.29E+01	6.49E+04	4.67E+04
기본설계	1.82E+04	1.15E+01	4.61E+01	1.42E+01	1.82E+04	-

•LCA 평가결과 기본설계는 기본계획 대비 환경지수 3.18E+03 감소로 환경부하량 11.9% 절감
•지구온난화 주요물질 산출결과 4.67E + 04ton 절감 효과

[그림 6-2-3] 하의~신의간 연도교 건설공사 LCA 적용 사례

나. 울산신항 북방파제 제3공구

○ 위치 : 울산광역시 남구 용연동 전면해상

○ 사업범위 : 방파제 1,000m, 부대시설 1식

■울산신항 북방파제 제3공구

사업 개요

• 위치 : 울산광역시 남구 용연동 전면해상 • 사업범위 : 방파제 1,000m, 부대시설 1식

LCA 분석 적용사례

9.2.2 본 과업의 LCA 분석

▶ 비교안별 LCA 분석

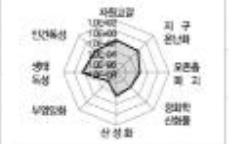
영 향 범 주	기초조사	기본설계	저감효과
자 원 고 갈	2.63E-02	1.70E-02	9.30E-03
지 구 온 난 화	1.16E-02	7.55E-03	4.10E-03
오 존 층 파 괴	4.25E-04	2.74E-04	1.51E-04
광화학산화물	9.41E-05	6.09E-05	3.33E-05
산 성 화	4.82E-04	3.12E-04	1.70E-04
부 영 양 화	2.57E-06	1.66E-06	9.11E-07
생 태 독 성	3.80E-02	2.45E-02	1.35E-02
인 간 독 성	7.54E-03	4.87E-03	2.67E-03
L C A (계)	8.44E-02	5.45E-02	2.99E-02

기 초 조 사



L C A	8.44E-02
상 대 비	1.55
절 감 율	-

기 본 설 계



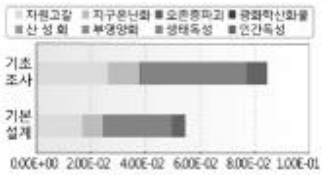
L C A	5.45E-02
상 대 비	1.00
절 감 율	35.4%

검토결과 • 기본설계는 기초조사 대비 단면 최적화로 소요자재 물량 감소 및 자원재활용, 케이슨 대형화 적용 등을 통한 소요에너지 최소화를 통해 환경부하량 2.99E-02(35.4%) 절감

▶ 단계별 LCA 분석

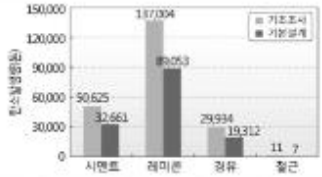
구 분	초기건설단계	유지관리단계	해체폐기단계	LCA(계)	절 감 율
기 초 조 사	6.70E-02	1.68E-02	6.55E-04	8.44E-02	-
기 본 설 계	4.33E-02	1.08E-02	4.22E-04	5.45E-02	35.4%

비교안별 LCA



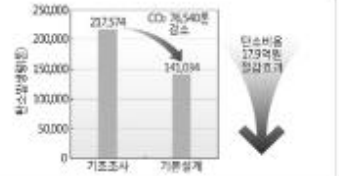
• 환경부하량 35.4% 절감
➡ 친환경적 설계반영

주요 자재별 탄소발생량 분석



• 방파제 최적 단면형식 적용
➡ 온실가스 76,540톤 감축

저탄소 녹색성장 효과



• CO_2 76,540톤 저감
➡ 비용 17.9억원 절감효과

검토결과 • 기본설계는 기초조사 대비 CO_2 76,540톤(35.2%) 저감 및 17.9억원 편익발생

[그림 6-2-4] 울산신항 북방파제 제3공구 건설공사 LCA 적용 사례

제 3 절 복합 SOC 시설물에 적합한 평가항목 도출

1. SOC 시설물 환경성능 지표 항목 분석

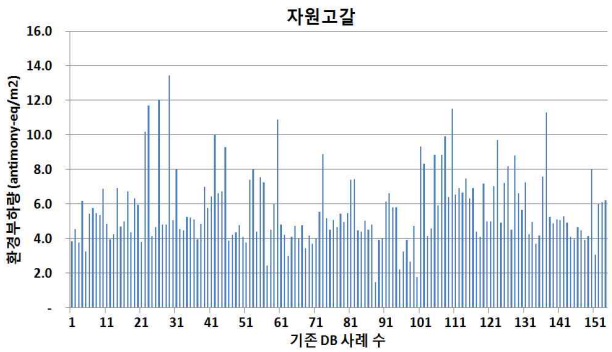
가. 시설물별 주요 투입물질에 대한 환경영향 분석

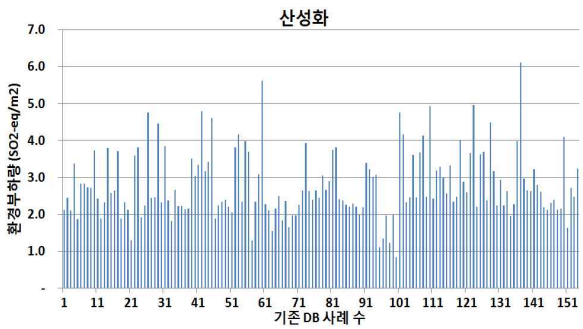
(1) 영향범주별 환경부하 평가(PSC beam교)

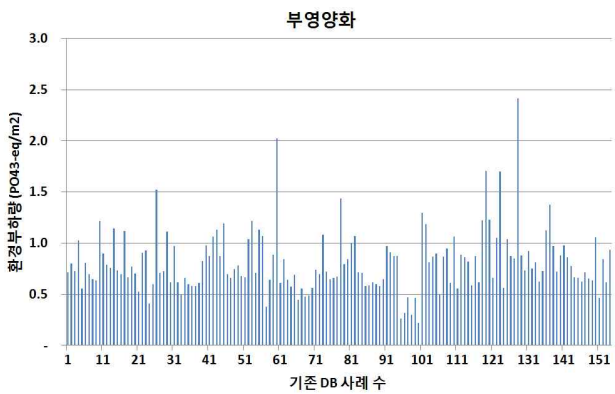
○ SOC 시설물의 환경지표 설정을 위하여 대기, 수계, 토양 및 생태계 등에 잠재적으로 미칠 수 있는 영향을 분석하였음

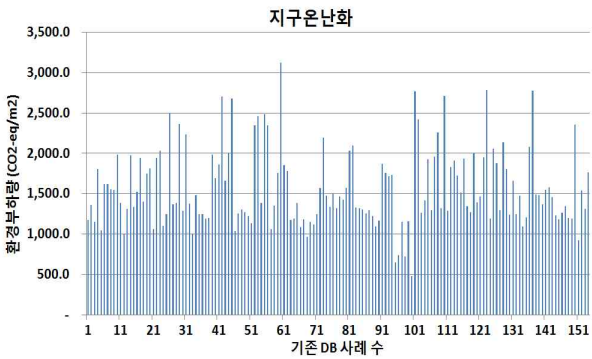
○ 시설물별 영향범주 평가기준에 따라 기존 시설물의 데이터베이스 자료를 활용하여 단위면적당 환경부하량 발생량을 산정하고, 신규사례 평가시 환경성에 대한 평가 척도로 활용하고자 함. 이를 위하여 환경부하 평가 시스템과 연계를 통해 상대적인 환경성 비교가 가능하도록 구성하였음

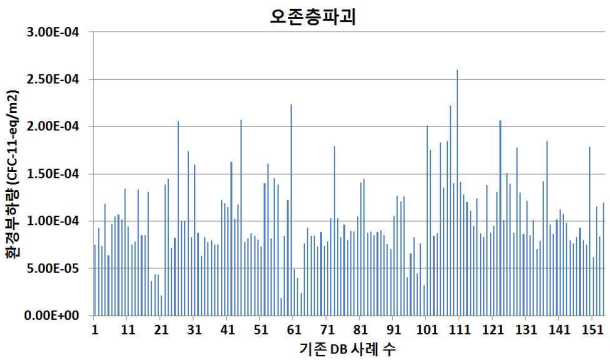
○ PSC beam교 150여개의 사례를 대상으로 단위면적당 환경부하량을 위에서 제시한 6가지 범주별 주요 인자를 기준으로 부하량을 산정하였고, 기존 사례분석을 통한 환경부하량의 평균값은 [그림 6-3-1]과 같음

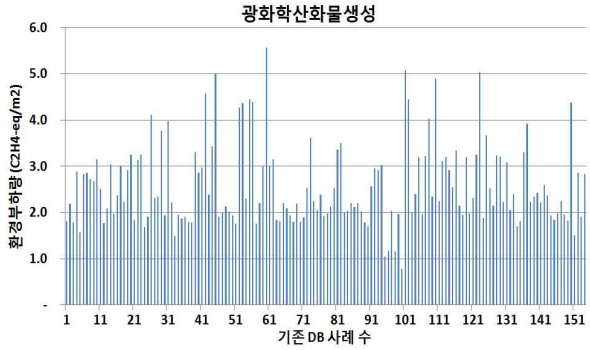












[그림 6-3-1] PSC beam교의 영향범주별 환경부하량(m^2당)

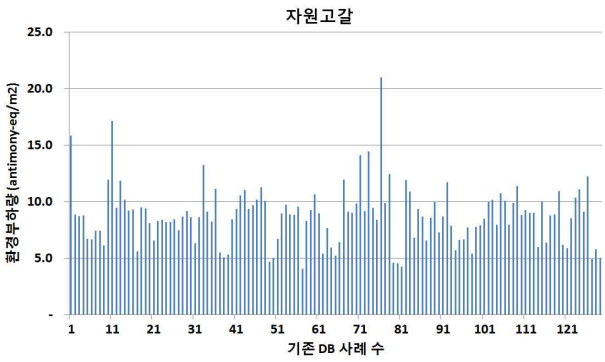
[표 6-3-1] PSC beam교의 단위면적당 평균부하량(m^2당)

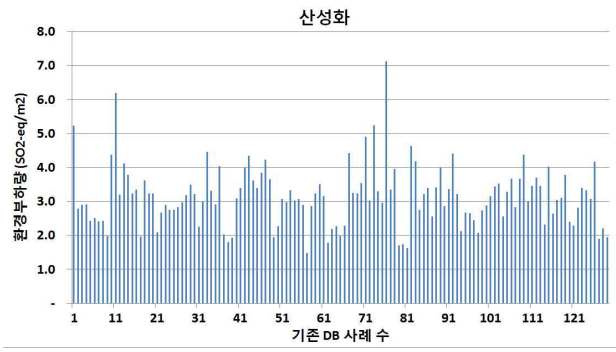
평가기준		산술평균	가중평균	평균값 오차율(%)
영향범주	주요물질(단위)			
자원고갈	kg antimony eq./kg	5.68	5.23	8.6
산성화	kg SO2-eq/kg	2.79	2.59	7.7
부영양화	kg PO43--eq/kg	0.81	0.76	6.6
지구온난화	kg CO2-eq/kg	1,564.18	1,464.08	6.8
오존층고갈	kg CFC11-eq/kg	0.00105	0.00096	9.4
광화학산화물	kg C2H4-eq/kg	2.57	2.37	8.4

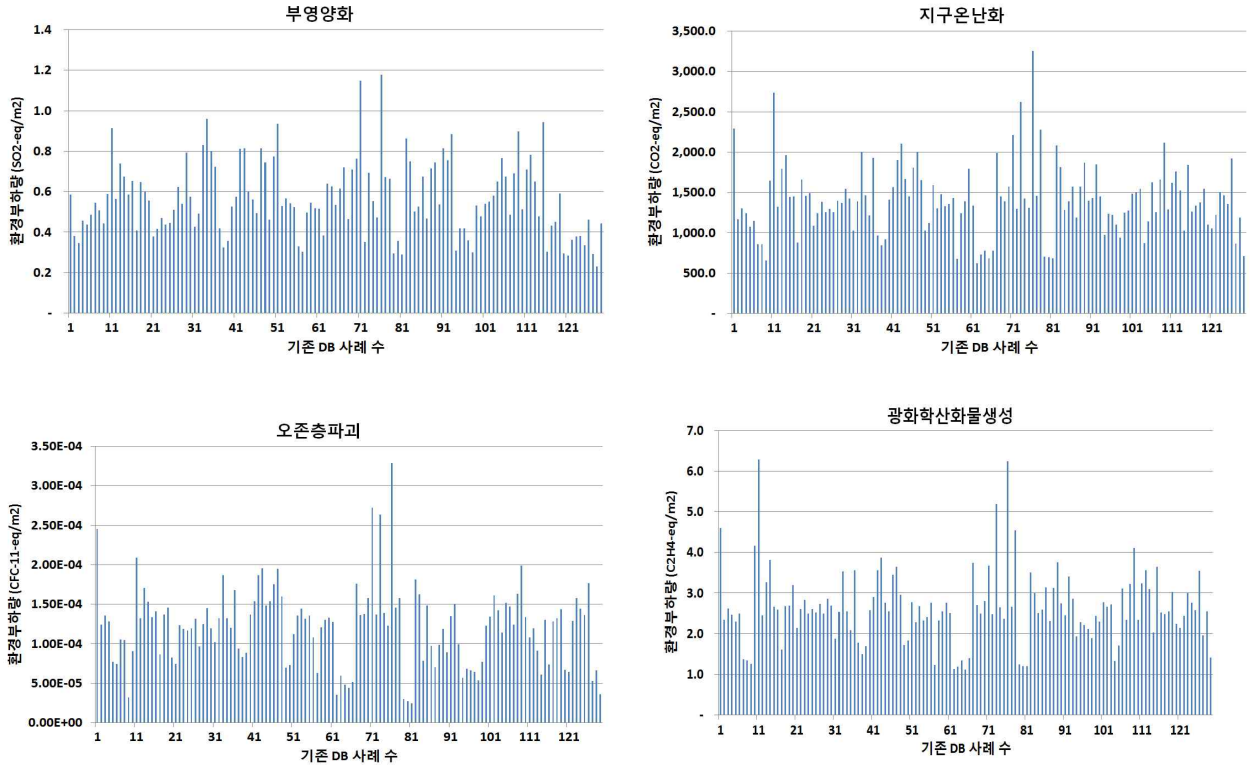
○ 영향범주별 단위면적당 평균부하량 산정결과 자원고갈 5.23~5.68kg antimony eq./kg, 산성화 2.59~2.89kg kg SO_2-eq/kg 부영양화 0.76~0.81kg PO_4^{3-}-eq/kg, 지구온난화 1,464.08~1,546.18kg CO_2-eq/kg, 오존층고갈 0.00096~0.00105kg CFC11-eq/kg, 광화학산화물 2.37~2.57kg C_2H_4-eq/kg으로 분석되었음. 사업특성에 따라 단위면적당 환경부하가 높은 사례들이 포함됨에 따라 PSC beam교의 경우는 가중 평균값이 산술평균의 값보다 낮게 나타남

(2) 영향범주별 환경부하 평가(Steel Box교)

○ Steel Box교 130여개의 사례를 대상으로 단위면적당 환경부하량을 위에서 제시한 6가지 범주별 주요인자물질 기준으로 부하량 산정을 실시하였고 기존 사례분석을 통한 환경부하량의 평균값은 [그림 6-3-2]와 같음







[그림 6-3-2] PSC beam교의 영향범주별 환경부하량(m^2당)

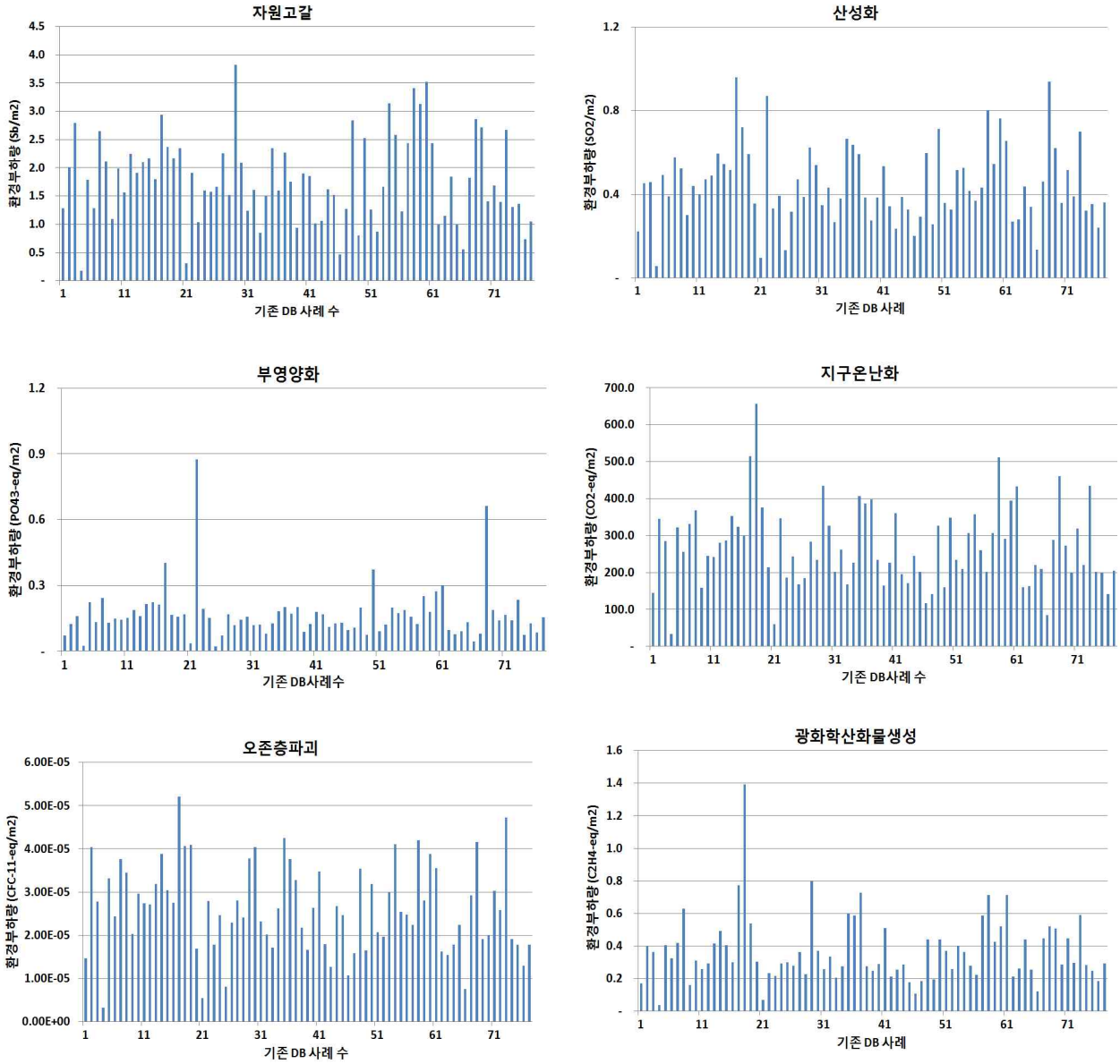
[표 6-3-2] Steel Box교의 단위면적당 평균부하량(m^2당)

평가기준		산술평균	가중평균	평균값 오차율(%)
영향범주	주요물질(단위)			
자원고갈	kg antimony eq./kg	8.74	8.68	0.69
산성화	kg SO2-eq/kg	3.14	3.08	1.95
부영양화	kg PO43--eq/kg	0.57	0.54	5.56
지구온난화	kg CO2-eq/kg	1,403.5	1,372.3	2.27
오존층고갈	kg CFC11-eq/kg	0.000122	0.000123	-0.81
광화학산화물	kg C2H4-eq/kg	2.64	2.27	16.3

○ 영향범주별 단위면적당 평균부하량 산정결과 자원고갈 8.68~8.74 kg antimony-eq/kg, 산성화 3,08~3.14kg SO_2-eq/kg, 부영양화 0.54~0.57kg PO_4^{3-}-eq/kg, 지구온난화 1,372.3~1,403.5kg CO_2-eq/kg, 오존층고갈 0.000122~0.000123kg CFC11-eq/kg, 광화학산화물 2.27~2.64kg C_2H_4-eq/kg으로 분석되었으며, PSC beam교와 비교하여 지구온난화값을 제외하고는 단위당 환경부하량이 큰 것으로 나타남

(3) 영향범주별 환경부하 평가(토공부)

○ Steel Box교 130여개의 사례를 대상으로 단위면적당 환경부하량을 위에서 제시한 6가지 범주별 주요인자물질 기준으로 부하량 산정을 실시하였고 기존 사례분석을 통한 환경부하량의 평균값은 [그림 6-3-3]과 같음



[그림 6-3-3] 토공부의 영향범주별 환경부하량(m^2당)

[표 6-3-3] 도로부(토공)의 영향범주별 단위면적당 평균부하량(m^2당)

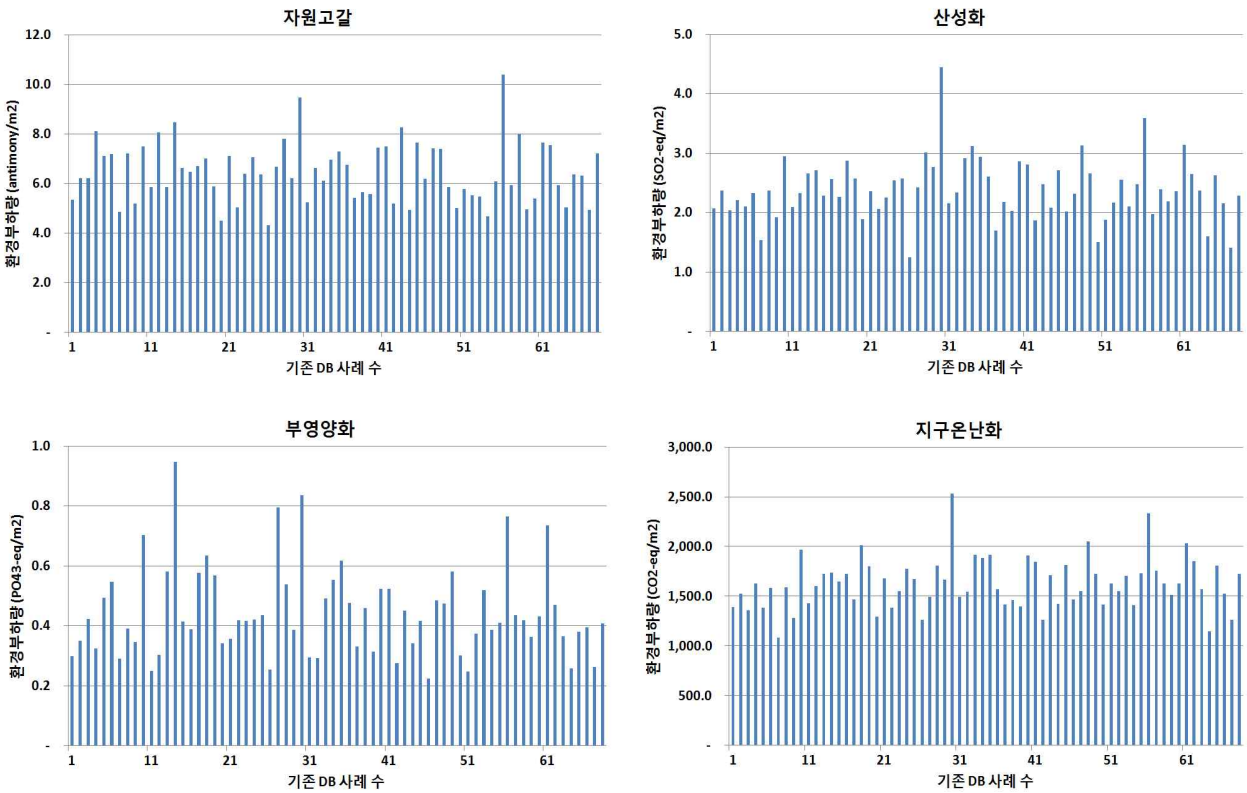
평가기준		산술평균	가중평균	평균값 오차율(%)
영향범주	주요물질(단위)			
자원고갈	kg antimony eq./kg	1.79	1.72	4.07
산성화	kg SO2-eq/kg	0.45	0.42	7.14
부영양화	kg PO43--eq/kg	0.15	0.14	7.10
지구온난화	kg CO2-eq/kg	260.77	252.16	3.41
오존층고갈	kg CFC11-eq/kg	0.000026	0.000025	4.00
광화학산화물	kg C2H4-eq/kg	0.37	0.33	12.1%

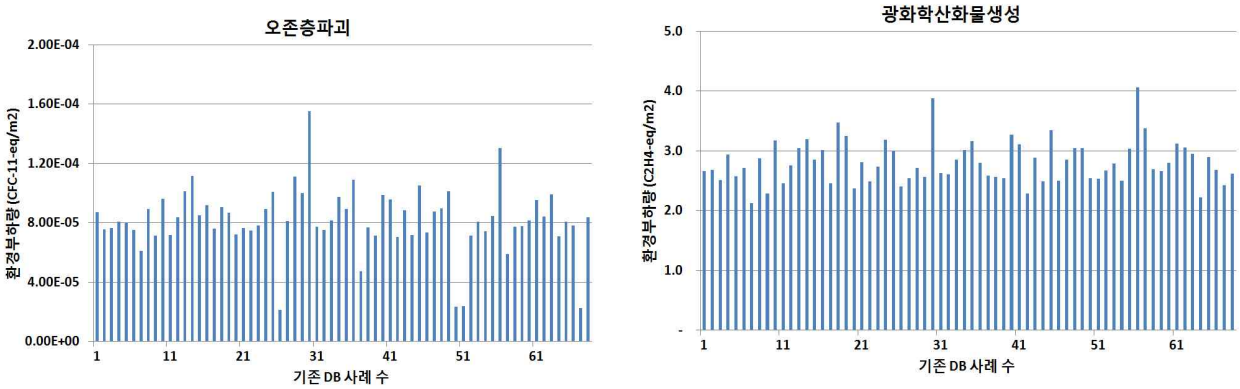
○ 영향범주별 단위면적당 평균부하량 산정결과 자원고갈 1.72~1.79 kg antimony-eq/kg, 산성화 0.42~0.45kg SO_2-eq/kg 부영양화 0.14~0.15kg PO_4^{3-}-eq/kg, 지구온난화 252.16~260.77kg CO_2-eq/kg, 오존층고갈 0.000025~0.000026kg CFC11-eq/kg, 광화학산화물 0.33~0.37kg C_2H_4-eq/kg으로 분석됨

○ 도로부의 경우 교량의 단위당 환경부하량과 비교하여 평균부하량이 낮은 것으로 나타났으며 교량 시설물은 주요 자재인 레미콘과 철근이 환경부하에 영향을 많이 미치는 만큼 상대적으로 토공부에 투입되는 주요 자재 및 장비사용에 따른 에너지원에 따른 부하량이 적은 것으로 나타남

(4) 영향범주별 환경부하 평가(NATM터널)

○ NATM 터널 70여개의 사례를 대상으로 단위면적당 환경부하량을 위에서 제시한 6가지 범주별 주요인자물질 기준으로 부하량 산정을 실시하였고 기존 사례분석을 통한 환경부하량의 평균값은 다음 [그림 6-3-4]과 같음





[그림 6-3-4] NATM 터널의 영향범주별 환경부하량(m^2당)

[표 6-3-4] 도로부(토공)의 영향범주별 단위면적당 평균부하량(m^2당)

평가기준		산술평균	가중평균	평균값 오차율(%)
영향범주	주요물질(단위)			
자원고갈	kg antimony eq./kg	1.79	1.72	4.07
산성화	kg SO2-eq/kg	0.45	0.42	7.14
부영양화	kg PO43--eq/kg	0.15	0.14	7.10
지구온난화	kg CO2-eq/kg	260.77	252.16	3.41
오존층고갈	kg CFC11-eq/kg	0.000026	0.000025	4.00
광화학산화물	kg C2H4-eq/kg	0.37	0.33	12.1%

○ 영향범주별 단위면적당 평균부하량 산정결과 자원고갈 6.36~6.45 kg antimony-eq/kg, 산성화 2.35~2.39kg SO_2-eq/kg 부영양화 0.41~0.44kg PO_4^{3-}-eq/kg, 지구온난화 1606.44~1627.08kg CO_2-eq/kg, 오존층고갈 0.000081~0.000082kg CFC11-eq/kg, 광화학산화물 2.76~2.81kg C_2H_4-eq/kg으로 분석됨

○ NATM 터널의 경우 교량의 단위당 환경부하량과 비교하여 평균부하량은 유사한 형태로 분석되었으며, 지구온난화의 경우 다른 교량시설물 대비 다소 증가하는 것으로 나타남

○ 기타 시설물에 대한 원단위 평균부하량도 동일하게 구성하여 분석하였으며 시설물별 분석결과 교량 및 터널 시설물에 환경부하에 영향을 크게 미치는 자재들이 투입되어 토공부 보다 상대적으로 단위당 환경부하량이 높게 나타나는 경향을 보임

(5) 영향범주별 환경부하 평가(네트워크)

○ 도로노선의 네트워크 환경부하평가에 DB를 구축하기 위하여 각 시설물별로 수집된 자료를 토대로 사업별 부하량을 합산하고 정규화하여 산출하였음. 정규화 과정 및 구축된 DB는 다음 표와 같음

○ 네트워크 평가는 각 시설물의 Eco-Point 의 합을 기준으로 부하량을 산정하였고, 각 사업에 포함되는 시설물별 규모와 부하량을 DB로 구축하여 활용하였음

[표 6-3-5] 네트워크 성능평가를 위한 데이터 베이스 구축

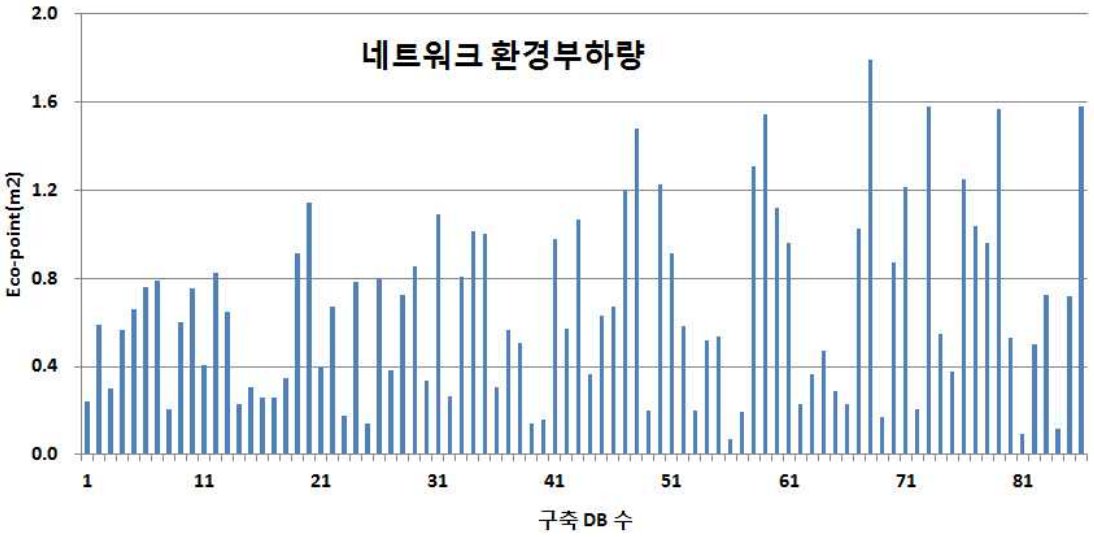
사례 DB	도로		PSC교		St, Box교		NATM		합계	
	연장 (m)	부하량 (E-point)	연장 (m)	부하량 (E-point)	연장 (m)	부하량 (E-point)	연장 (m)	부하량 (E-point)	연장 (m)	부하량 (E-point)
예산 ~ 신양도로확장공사	6,699	4,498	315	1,182	-	-	-	-	7,014	5,680
괴산 ~ 연풍(2공구)도로건설공사	6,184	7,293	-	-	-	-	3,038	3,562	9,222	10,855
경주시국도대체우회도로건설공사	7,607	7,241	805	2,011	2,508	5,423	2,414	3,116	13,334	17,792
경주시국도대체우회도로(내남~외동)	8,956	10,137	-	-	-	-	5,109	5,782	14,065	15,918
현내 ~ 송현진1도로건설공사	4,351	5,665	-	-	-	-	1,330	1,478	5,681	7,143
괴산 ~ 연풍(1공구)도로확장공사	7,711	5,883	-	-	-	-	-	-	7,711	5,883
진천I.C ~ 금왕(1공구)도로건설공사	10,367	8,174	-	-	-	-	-	-	10,367	8,174
진천 ~ 증편(제2공구)도로건설공사	8,289	10,384	270	734	350	963	2,063	2,606	10,972	14,687
내북~운암도로건설공사	2,630	2,969	415	1,479	-	-	-	-	3,045	4,448
천안시국도대체우회도로건설공사	5,743	5,848	-	-	-	-	-	-	5,743	5,848
보령시국도대체우회도로건설공사	5,087	5,617	422	1,776	635	2,364	-	-	6,144	9,757
부여내산우회도로건설공사	4,208	3,429	-	-	-	-	-	-	4,208	3,429
부여은산우회도로축조및포장공사	2,860	2,352	-	-	-	-	-	-	2,860	2,352
아산~천안도로건설공사	8,359	9,721	-	-	-	-	-	-	8,359	9,721
천안시국도대체우회도로건설공사	8,499	9,025	335	1,406	724	2,972	-	-	9,558	13,404
은행 ~ 옥천간도로확장및포장공사	5,220	4,201	431	1,302	396	1,800	-	-	6,047	7,303
귀래 ~ 목계 도로 건설공사	7,860	6,299	-	-	761	2,281	396	787	8,987	9,368
성환 ~ 입장간 도로확장 및 포장공사	7,788	7,049	-	-	210	678	-	-	7,998	7,727
부여규암우회도로 축조 및 포장공사	6,690	5,977	450	1,554	-	-	-	-	7,140	7,531
성환우회도로 축조 및 포장공사	7,172	6,553	-	-	-	-	-	-	7,172	6,553
영동-용산 도로건설공사	1,303	1,378	-	-	-	-	-	-	1,303	1,378
금산IC~도계 도로 확장공사	5,222	3,892					1,790	2,054	7,012	5,946
무주~설천2 도로확장공사	5,847	3,568	350	1,028	105	338	725	2,087	7,027	7,070
정읍 ~ 신태인(1공구) 도로건설공사	8.114	7.429	180	821	115	752	370	950	8.779	9.951
적상-무주I.C간 도로확장 및 포장공사	6,114	5,093	-	-	-	-	878	1,290	6,992	6,383
광양시 국도대체우회도로 건설공사	4,296	6,450	390	1,077	115	218	6,930	8,318	11,731	16,063
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
총 91건										

○ 구축된 DB를 활용하여 각 시설물의 특성에 따른 규모와 환경부하량을 고려하여 정규화 과정을 거쳐 사례노선의 단위면적당 환경부하량을 산출하였고 정규화 과정은 다음 [표 6-3-6]과 같음

[표 6-3-6] 네트워크 도로노선의 환경부하 정규화

구분	산출과정
연장 비율	· 총연장 / 각 시설물의 연장
부하량 비율	· 총부하량 / 각 시설물의 부하량
연장대 부하량 비율	· 시설물의 연장 비율 / 각 시설물의 부하량 비율
정규화	· 시설물의 연장대부하량 비율 / 연장대 부하량 비율 총합
부하량의 정규화	· 시설물의 부하량 × 정규화 값
보정된 부하량의 정규화	· 부하량의 정규화 / 폭원보정값

○ 네트워크 도로노선 사업 90여개의 사례DB를 면적당 환경부하량으로 보정하여 신규 네트워크 노선 평가시에 성능평가 기준자료로 활용하였음



[그림 6-3-5] 네트워크 노선의 영향범주별 환경부하량(m^2당)

2. 환경성능 지표 항목 시스템 연계 방안

가. 시설물별 환경성능 평가

○ 앞서 제시한 SOC 시설물 영향범주별 평가 기준에 따라 환경성능지표를 활용하여 신규 사례에 대해 환경성능의 상대적 평가가 가능하도록 구성하였음

○ 시설물별 환경성능 추정은 6가지 영향범주로 구축된 데이터베이스를 활용하고자하며 유사사례를 조회하여 추정된 신규 시설물의 환경성능을 상대적으로 평가할 수 있도록 데이터를 오름차순으로 정렬하여 백분위 기준을 설정하였음

[표 6-3-7] 시설물별 백분위 적용 기준

구분		활용 DB 수	시스템 적용
도로(토공부)		78	기존 사례DB의 오름차순 정렬에 따른 신규사례의 백분위 추정
교량	PSC빔	154	
	강교	130	
NATM터널		68	

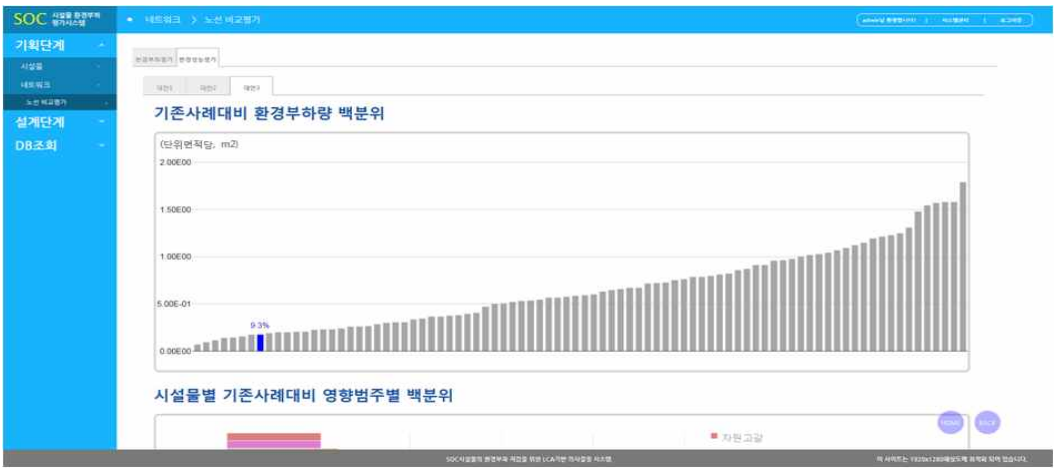


[그림 6-3-6] 시설물별 환경성능 시스템 적용화면

○ 기존사례데이터의 오름차순 정렬에 따른 백분위를 활용으로 추정된 신규사례 결과값의 백분위를 제공하여 사용자는 기획단계 및 사업초기시 기존사례 대비 시설물의 환경부하를 개략적으로 비교평가 할 수 있는 도구로 활용 가능함

나. 네트워크 환경성능 평가

○ 시설물별 환경부하평가와 동일한 형태로 기존 사례의 단위면적당 환경부하량을 정렬하고, 신규사례의 환경부하 추정량을 상대적으로 평가하여 제시하였음. 이를 통해 네트워크 단위에서 생성된 각 대안은 환경부하 추정량에 대한 절댓값(Eco-Point)와 함께 각 대안들간 상대적 비교(백분위)로 환경 성능에 대한 정보가 제공됨



[그림 6-3-7] 시설물별 환경성능 시스템 적용화면

3. SOC 시설물 환경성능 평가 지침(안) 작성

가. 지침 개요

(1) 개 요

○ SOC 시설물에 대한 전과정의 환경성능 정보를 제공하고자 SOC 시설물의 환경부하를 산출하여 평가하는데 필요한 사항과 절차 등을 기술하는 것이 목적임

○ 작성지침은 SOC 시설물의 전과정 환경성능에 대하여 국내외 환경정책과 연계되도록 하기 위하여 환경성적표지 작성지침(환경부고시 제 2017-75호)을 준용하되, The Greenhouse Gas Protocol - Product life cycle accounting and reporting standard 등 국제적으로 통용되는 온실가스 의정서 및 ISO 14025, ISO 14040 시리즈, ISO 14046, ISO 14064 시리즈, ISO/TS 14067의 요건 등을 참조하였음

(2) 평가 범위 설정

○ SOC 시설물의 평가범위와 그에 따른 단계별 분석 대상은 다음 표와 같으며 평가 범위와 단계별 평가 대상이 변경된 경우 변경 내용에 관한 정확한 근거를 제시해야 함

[표 6-3-8] SOC 시설물 평가 범위 및 단계별 분석 대상

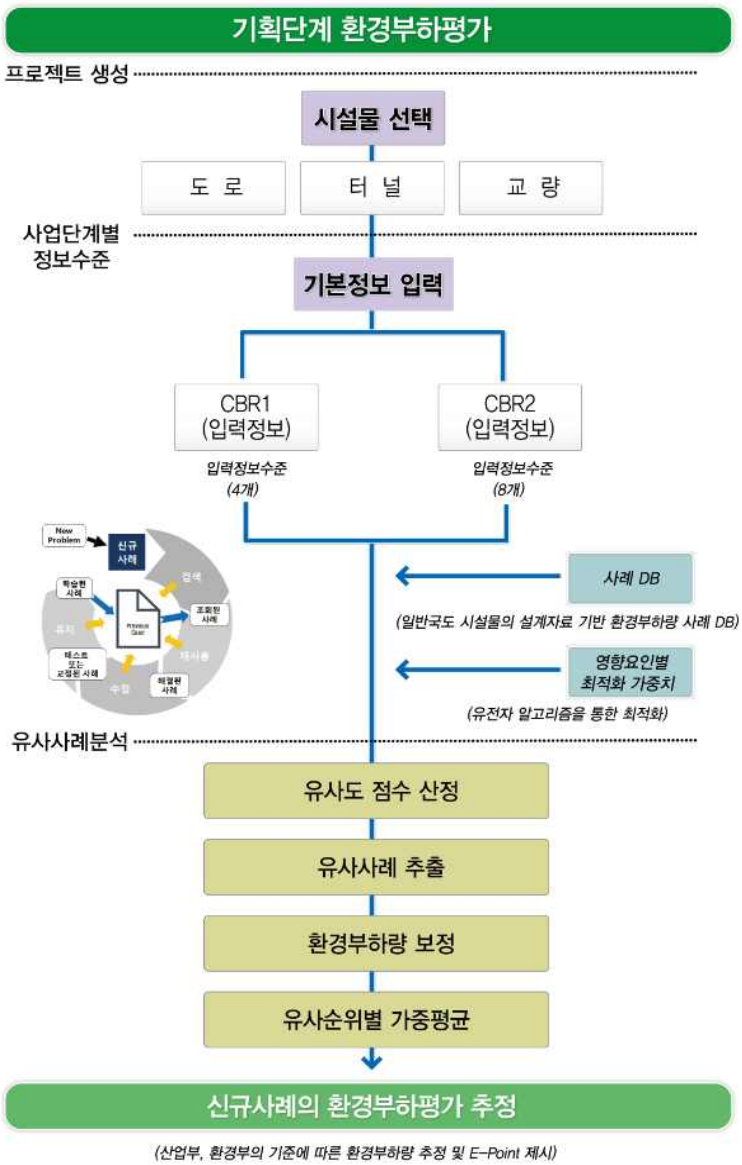
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>평가범위</th><th>입력정보</th><th>분석방법</th></tr>
<tr><td rowspan="4">시공 단계</td><td>기획 단계</td><td rowspan="4">토공사, 교량공사, 터널공사, 포장공사, 배수 및 옹벽공사 등을 포함한 대상 시설물 건설 공사 전체</td><td>시설물 기본정보 (연장, 폭원, 차로수 등)</td><td>CBR기반</td></tr>
<tr><td>설계 초기단계</td><td>시설물 부위별 기본정보 (하부높이, 기초형식 등)</td><td>대표공종의 표준설계 물량 기반</td></tr>
<tr><td rowspan="2">설계 완료단계</td><td>시멘트, 레미콘 등 사용되는 모든 자재</td><td rowspan="3">설계도서 활용</td></tr>
<tr><td>불도저, 덤프트럭 등 사용되는 모든 장비</td></tr>
<tr><td>유지 관리 단계</td><td>유지보수 (수선/재보수)</td><td>SOC 시설물 유지보수를 위한 수선 및 교체</td><td>설계완료단계와 동일</td></tr>
</table>

(3) 기획 및 설계초기단계

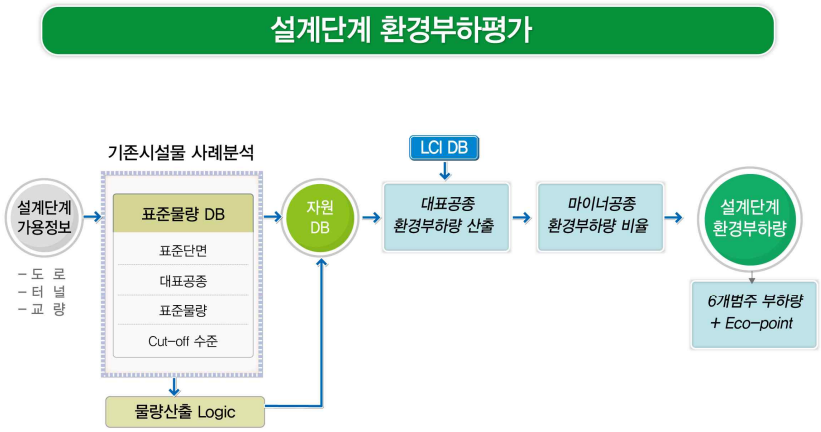
○ 도로 시설물의 기획단계의 환경부하량을 산정하고자 할 때 상기의 평가 범위 및 경계를 설정한 후 평가에 필요한 데이터를 수집해야함

○ 기획/설계초기단계에서 수집해야 하는 자료는 다음과 같고, SOC 건설사업 기획 및 설계초기

단계에서는 적용 시설물에 대한 구체적인 정의가 이루어지기 이전이므로, 개략적인 형식에 대한 정보를 활용하여 환경부하량을 산정함



[그림 6-3-8] 기획단계 환경부하량 추정방법



[그림 6-3-9] 설계초기단계 환경부하량 추정방법

○ 환경부하량을 산출하기 위해서는 각 공종에 투입되는 자원에 대한 산출이 필요하며, 이러한 자원의 투입량을 산출하기 위하여 공사물량이 제시되어야 함. SOC 시설물의 기획단계에서는 이러한 공사물량을 추정하기 어려워 과거 설계자료를 활용하여 평가함

○ 사례기반추론(CBR, Case Based Reasoning)기법은 기획단계에서 가용할 수 있는 정보를 바탕으로 과거조회사례 DB에서 유사한 특성정보를 지닌 프로젝트를 추출하여 신규사례의 환경부하량을 예측하는데 활용할 수 있음

○ 설계초기단계는 시공시 투입되는 자재량, 에너지사용량 등의 정보를 구체적으로 파악하기 어려우므로 시설물별 표준물량과 대표공종 정보를 활용하여 설계초기단계에서 환경부하량을 추정함. 기획/설계초기설계 단계 분석에 필요한 기존 사례정보 및 LCI DB는 산업통상자원부, 환경부 및 국토교통부에서 제공하고 있는 DB를 활용하여 분석해야함

(4) 기획 및 설계초기단계

○ SOC 시설물의 환경부하량을 산정하고자 평가 범위 및 경계 설정이 완료되면, life cycle 단계별 환경부하량을 산정하기 위해 필요한 데이터를 수집해야함. 투입 자재에 따른 환경부하량을 산정하기 위한 전 단계로 수집된 data(설계내역서, 일위대가 등)를 이용하여 공종별 투입자재량을 산출함

○ 내역서에서 투입되는 자재가 직접 집계되는 경우 해당 투입물량을 사용하고, 내역서가 세부공종으로 작성된 경우 일위대가(호표, 산근 등), 표준품셈을 활용하여 투입 자재량을 산정함. 장비 사용에 따른 에너지 소비량은 각 장비에서 사용되는 에너지원별(경유, 휘발유, 전력 등) 소비량을 기반으로 산정함

○ 장비사용에 따른 에너지 소비량은 작업량을 통해 장비 사용시간을 산정하고 연비를 곱하여 에너지 소비량을 산정함. 장비별 에너지 소비량은 중기기초자료 및 에너지소비율(연비), 표준품셈 등을 바탕으로 산정하며, 기타 평가자가 인정하는 공신력 있는 자료를 사용하여 산정할 수 있음

(5) 유지관리단계

○ 각 부위별 시설물별 유지보수공사(수선 및 교체)에 이루어지는 자재 및 장비의 사용량을 계산하고 산출방법은 설계완료단계와 동일함

(6) 제외기준

○ 설계초기단계 및 설계완료단계로 투입되는 물질 중 누적 질량을 기준으로 90% 이상 기여하는 모든 물질에 대한 환경성능을 평가함. 다만, 질량 기준에서 제외되더라도 환경에 미치는 영향이 큰 물질에 대해서는 추가적으로 환경성능 평가에 포함시켜야 함

○ SOC 시설물의 경우 현실적으로 질량을 파악하기는 어려우므로 누적질량은 단위공정 또는 투입물의 공사비로 대체하여 누적비를 산정할 수 있음. 추가적으로 포함시켜야 하는 물질은 개별지침에서 별도로 정할 수 있음

나. 환경성능 결과 산출

○ 모든 계산 절차는 문서화하여야 하며, 가정 및 제한사항은 반드시 서술하고 설명하여야 함. 수집한 데이터의 타당성 확인을 위하여 투입물량과 산출물량은 일치하여야 함. 만일 일치하지 않는다면 이에 대한 사유를 명확히 제시해야함

○ 데이터를 활용한 환경성능 평가는 <부속서>를 따름

(1) 영향평가 결과 산출

○ 전과정 영향평가 결과는 영향범주별 특성화 결과이어야 함

○ 영향범주로는 '자원고갈', '지구온난화', '오존층파괴', '산성화', '부영양화', '광화학 산화물생성'을 포함하며, 추가적으로 '생태독성', '인체독성', '수자원 영향', '생물다양성 영향'을 포함할 수 있음. 필수 6대 영향범주 중 일부를 제외하는 경우에는 이에 대한 사유를 <별표1>의 전과정평가 수행결과보고서에 명시하여야 함. 또한, 영향범주별 특성화 인자는 <부속서>를 적용하여야 함

○ 전과정 영향평가 결과를 작성하는 경우에는 <별표 1>의 전과정평가 수행결과보고서 양식을 활용함

(2) 시설물별 원단위 환경부하량 산출

○ 원단위 환경부하량 결과는 범주별 특성화 결과이어야 하며 영향평가 산출 결과를 이용하여 도로, 교량, 터널 시설물을 대상으로 6가지 영향범주별 원단위(m, m^2) 환경부하량을 제시함

○ 분석 영향범주로는 '자원고갈', '지구온난화', '오존층파괴', '산성화', '부영양화', '광화학 산화물생성'을 포함함. 필수 6대 영향범주 중 일부를 제외하는 경우에는 이에 대한 사유를 <별표 1>의 전과정평가 수행결과보고서에 명시하여야 함. 또한, 전과정 영향평가 결과 작성시 기존 시설물 사례를 대상으로 원단위 평균부하량을 분위 기준에 따라 작성함

○ 전과정 영향평가 결과로 산출되는 영향범주별 원단위 환경부하량 분위는 1/4분위, 2/4분위,

3/4분위, 4/4분위로 구분되며 영향범주별 분위 기준은 <부속서2>를 적용하여야 함

○ 전과정 영향평가는 선택적 요소와 의무적 요소로 구분할 수 있으며 본 지침에서는 의무적 요소 즉, 영향범주 및 범주별 지표 및 모델을 선택하는 단계, LCI 결과를 분류하는 분류화 단계, 범주별 지표의 특성화를 계산하는 특성화 단계까지를 의무적으로 평가하고 선택적 요소인 범주별 지표의 상대적인 영향의 정규화, 그룹화, 가중화 과정은 지침 범위에서 제외하도록 함

제 7 장 네트워크 레벨의 SOC시설물 환경부하평가 시스템 개발

제 1 절 시스템 개요 및 개발 방향

1. 환경부하평가 시스템 개요

가. 평가프로그램 개발 개요

○ 현재 국내에서는 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory, LCI) DB가 구축되어 Total, Pass 등과 같은 프로그램에 활용되고 있으나, 토목/건설공사시 발생하는 환경부하와 평가에 대해 시설물을 종합적이고 정량적으로 평가하는 tool은 없는 실정임

○ 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 설계하고자 함

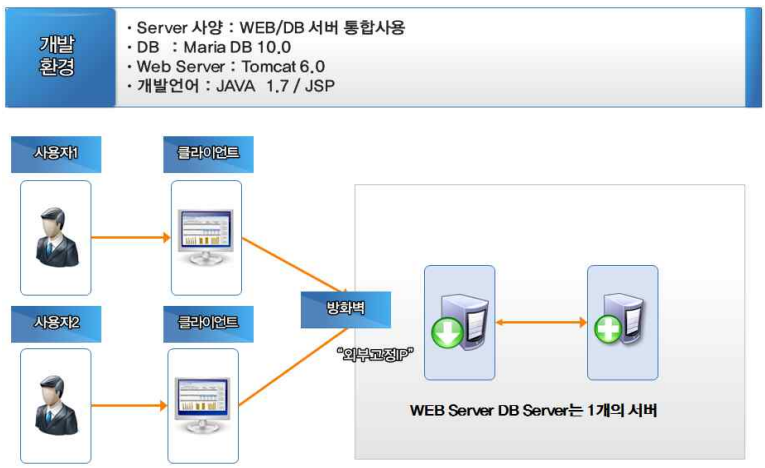
○ 따라서 도로시설물(도로, 터널, 교량)의 기획단계에서부터 설계단계에 이르기까지 사업단계별 가용한 영향요인 정보 입력으로 프로그램 사용을 단순화하고, 데이터 단계별 입력 및 시스템 관리로 초보자 및 사용자의 접근이 용이한 환경부하량평가 프로그램 모듈을 구축하여 신뢰성 있고 쉽게 활용 가능한 환경평가 tool을 제시하고자 함

○ 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 구축하고자 함

나. 시스템 개발 환경

○ 본 프로그램은 WEB 호스팅을 기반으로 windows Server 2012 이상에서 구현이 가능하며, IIS 7.0 이상, MSSQL 2012 이상을 적용함

○ 프로그램 개발 언어는 JAVA 1.7 / JSP를 사용하였으며, 인터넷 접속을 통하여 프로그램 구현시 프로그램과 DB가 자동 업데이트 되도록 하였음



[그림 7-1-1] 시스템 개발 환경

○ 현재는 시스템 수정 및 보완이 용이하도록 임시서버를 개설하여 운영하고 있으며 연구종료 후에는 연구개발기관에 서버를 이전하여 유지 및 운영하고자 함

○ 동시사용자 접속이 가능한 환경으로 구성하고, 3tier 환경 구성으로 외부의 DB 접근을 막아 해킹 또는 자료 유출을 최소화 하고자 함

2. 시스템 설계 및 prototype 개발

가. 주요 시스템 설계 내용

○ 여러지역의 다양한 S/W 사용자의 접근성 및 시스템 활용을 고려하여 웹 기반으로 구축하고 사용자, 관리자로 구분하여 사용 주체별 권한설정을 통해 시스템 활용성 및 보안성을 확보함

○ SOC시설물의 환경부하 산출 방법론 및 가이드라인을 활용하고자 하는 경우 방법론에 대한 이해도 부족 및 수집 데이터의 종류와 양이 방대하여 시설물의 환경부하 평가 수행 시 어려움을 보완하기 위해 초보사용자도 이해하고 사용하기 쉽도록 인터페이스를 개발함

나. 시스템 prototype 개발

○ 전체적으로 단순하고 빠른 정보전달을 위해 플랫디자인(plat design) 컨셉으로 디자인을 설정하였고 UI 프론트엔드 개발시 jquery ui 소스를 전적으로 활용하여 모션효과 및 자동스크롤로 사이트에 역동성을 가미함(1920×1280 해상도 최적화)

○ 즉각적인 정보전달을 위해 아이콘 디자인을 단톤의 플랫 디자인 형식의 픽토그램을 사용하여 솔루션 진입이 쉽게 이루어지도록 구성함



[그림 7-1-2] 시스템 초기 접속 화면

■ 시설물별 환경부하평가(❶) : 도로/터널/교량 각각의 단위시설물을 개별 평가하는 방법

■ 네트워크 환경부하평가(❷) : 도로사업 노선을 구성하고 있는 도로/터널/교량 형태의 시설물의 네트워크 단위로 평가할 수 있는 방법

○ 평가에 사용된 기본 요소 기술들에 대한 설명, 평가 방법 등의 기본정보를 시스템 사용자에게 제공 할 수 있도록 상단바에 메뉴를 구성하고 메인화면 상단 메뉴에 웹페이지 오토스크롤 기능을 적용하여 프로그램 사용자 정보제공에 용이하도록 구성함

○ 스크롤 다운시 상단메뉴의 네비게이트를 편리하게 (특정 페이지나 섹션으로 이동하기 위해 스크롤 업시키지 않아도 되도록) 하기 위해 상단메뉴를 고정함

○ 섹션 이동시 상단 고정메뉴에 현재의 섹션 위치를 표시해 주는 기능을 넣어 사용자가 현재 어떤 내용을 열람하는 중인지 쉽게 알 수 있도록 구성하였고 상단 메뉴에서 각각의 메뉴 클릭시 해당 섹션으로 자동 스크롤 기능을 구현하였음



[그림 7-1-3] ECO-SOC 개요도

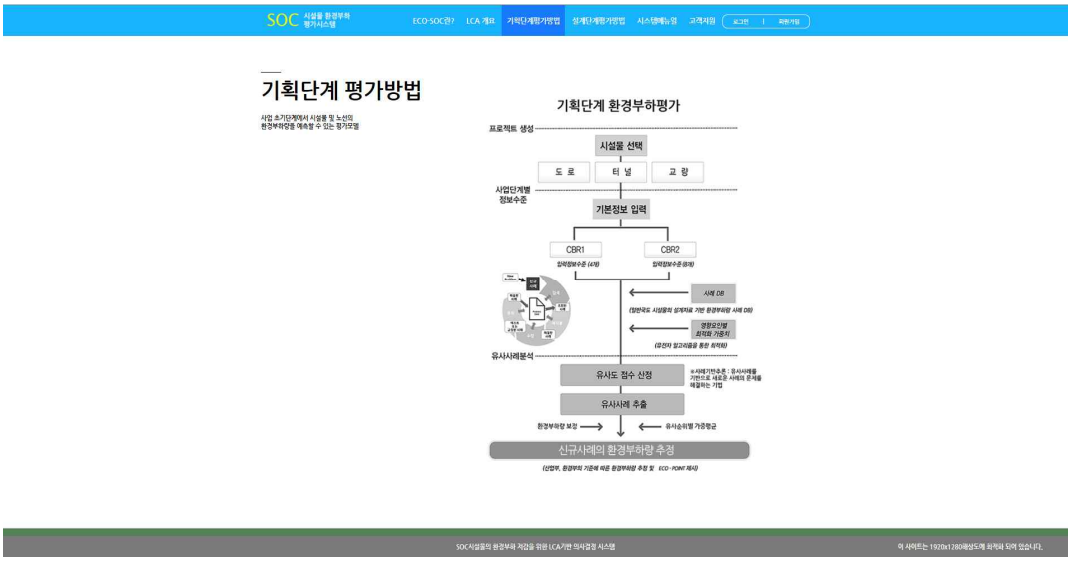


[그림 7-1-4] LCA 분석의 개요도

■ Eco-SOC : 환경부하 저감형 SOC 시설물의 설계지원에 대한 평가모델에 대한 설명 제공

■ LCA 개요 : 평가모델 분석에 사용된 전과정 평가의 정의, 구성요소, 수행절차, 결과해석 및 활용 등의 내용을 수록하여 LCA 평가 기법의 정보 제공

■ 기획단계 평가방법 : 사업초기 단계에서 시설물 및 노선의 환경부하량을 예측할 수 있는 평가모델로 프로젝트 생성단계부터 유사사례 분석을 통한 신규사례의 환경부하량을 추정하는 프로세스 정보 제공



[그림 7-1-5] 기획단계 평가방법 개요

■ 설계단계 평가방법 : 설계초기단계인 기본설계시 투입되는 자재량, 에너지사용량 등의 정보를 구체적으로 파악하기 어려우므로 시설물별 표준물량과 대표공종 정보를 활용하여 설계초기단계에서 환경부하량을 추정하는 방법임



[그림 7-1-6] 설계단계 평가방법 개요

■ 시스템 매뉴얼 및 고객지원 : 초기사용자에게 제공되는 프로그램 사용법, 해당 컨텐츠 및 기능에 대한 설명, 해석 절차 방법 수록

제 2 절 ECO-SOC 환경부하평가 시스템

1. 기획단계 환경부하평가

가. 단일시설물 생성 및 환경부하평가

○ 시설물은 도로/터널/교량으로 구분하여 생성이 가능하고 각 시설물의 정보는 기획단계에 가용한 정보들로 구성되어 있음



[그림 7-2-1] 시설물 입력화면 - 기획단계

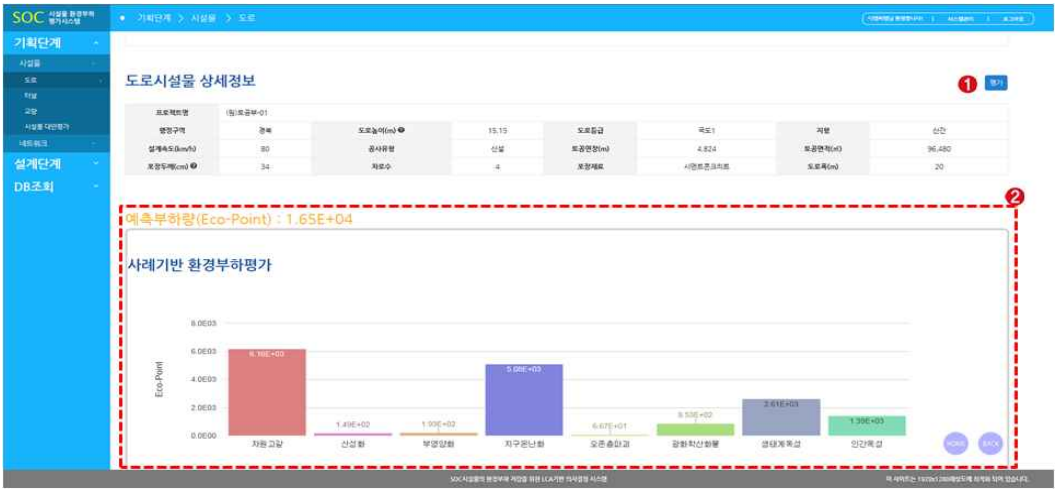
○ 시설물별 입력정보는 다음 표와 같으며 신규 팝업창을 통하여 입력하도록 구성함

[표 7-2-1] 단일 시설물 입력정보

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, 경간길이PSC교), 최대경간장(강교), 행정구역, 가설위치, 기초형식, 하부높이

○ 생성된 시설물의 입력 정보는 상세정보로 표현이 되며 평가하기 버튼을 통하여 8대 영향범주별 예측부하량 추정이 가능함

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



[그림 7-2-2] 시설물 환경부하평가 결과 화면(1) - 기획단계



[그림 7-2-3] 시설물 환경부하평가 결과 화면(2) - 기획단계

○ 예측부하량에 사용된 유사사례는 유사도 점수가 높은순으로 사용자에게 제공되며 상세정보 보기 클릭을 유도하여 기존에 설계된 유사한 사업의 정보를 확인할 수 있도록 구성함

○ 유사사례 시설물의 유사도 점수 대비 원단위 환경부하량(Eco-point)으로 표현하여 유사도에 따라 신규사례 환경부하량과 비교가 가능하도록 시각화 하였으며 입력대상 시설물의 규모(유사도 점수)와 환경부하량(원단위)과의 관계를 파악이 가능하도록 정보 제공

○ 시설물별 유사도 점수 편차, 유사도 점수 순위 등은 다음 표와 같으며 시설물 모델 특성에 따라 다르게 적용되었음

[표 7-2-2] 평가시스템 유사도 적용 기준

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

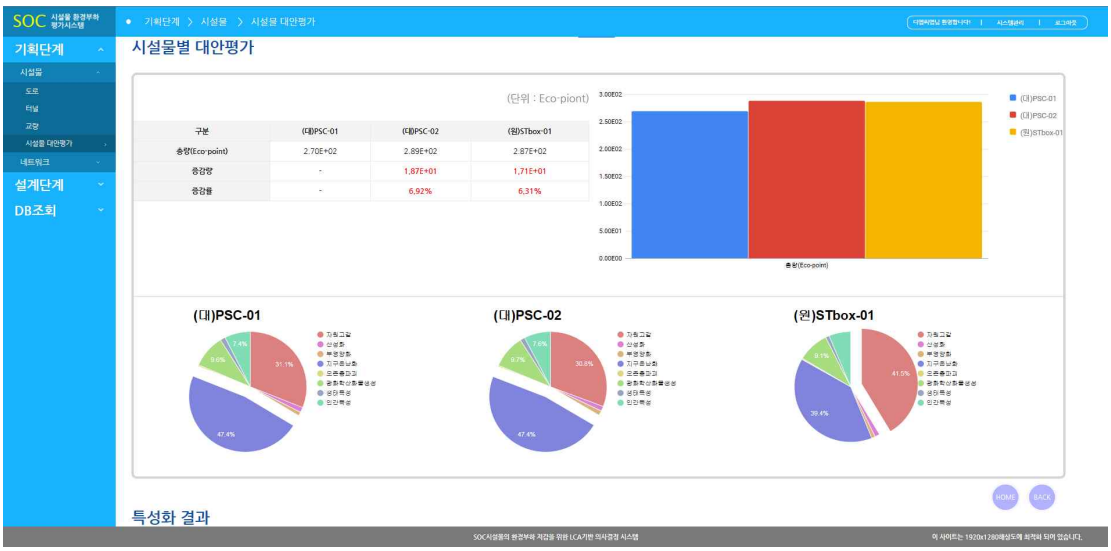
나. 시설물별 환경부하 비교 평가



[그림 7-2-4] 시설물별 환경부하 비교평가 화면 - 기획단계

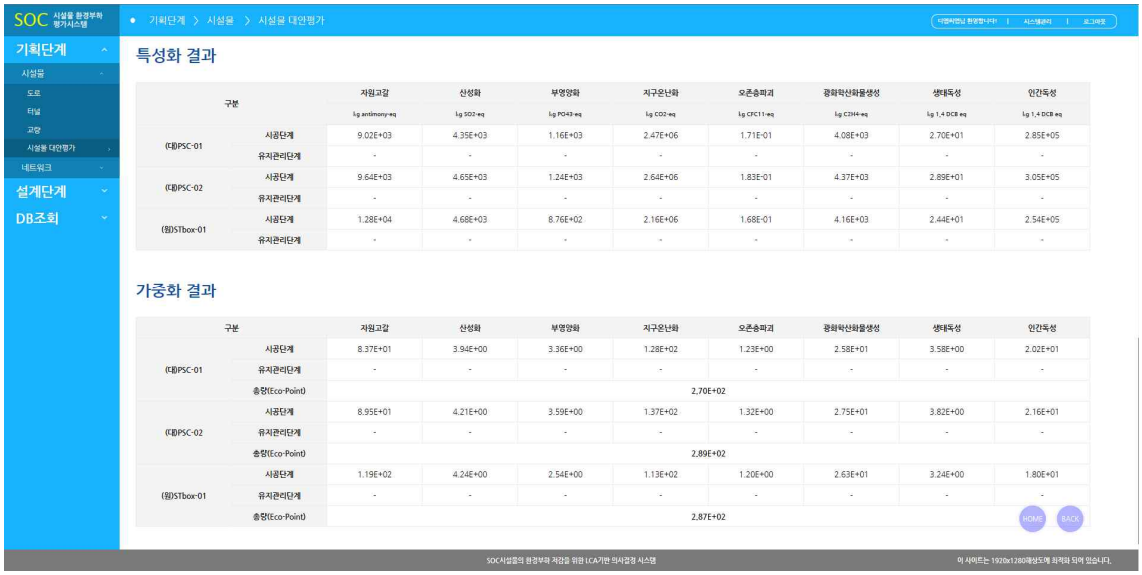
○ 각 단일 시설물별 환경부하평가시 생성했던 시설물 정보를 조회하여 상대 비교평가를 할 수 있도록 구성되어 있으며, 동일한 시설물 비교뿐만 아니라 도로, 터널, 교량의 교차 비교가 가능함

○ 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 구성함



[그림 7-2-5] 시설물별 환경부하 비교평가 결과화면(1) - 기획단계

○ 비교 대상으로 선택된 시설물들은 단계별 환경부하 및 절감량, 절감률을 제시하여 상대적인 환경부하량 비교 평가가 가능하도록 구성



[그림 7-2-6] 시설물별 환경부하 비교평가 결과화면(2) - 기획단계

○ 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 배출량 제시함

다. 네트워크 환경부하평가



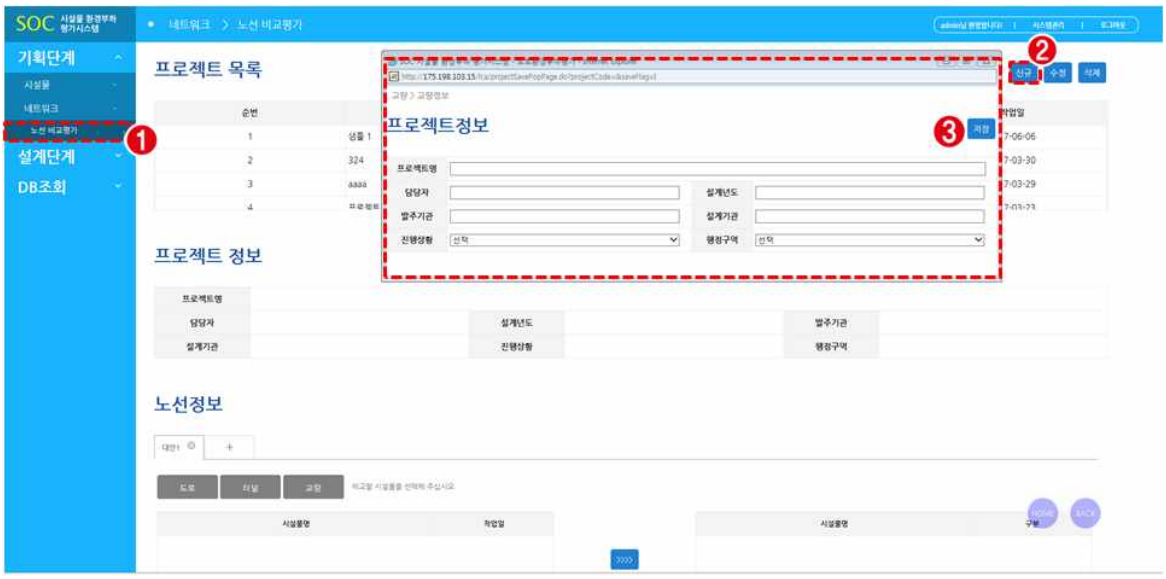
[그림 7-2-7] 네트워크 환경부하평가 초기화면

○ 평가방법은 메인화면의 네트워크 환경부하량 컨텐츠를 통한 평가가 가능하며 평가화면 좌측 층별 구조 메뉴에서도 연동되어 가능함

[표 7-2-3] 환경부하 평가 절차도

시설물별 환경부하평가 절차	네트워크 환경부하평가 절차
01 step 평가단계 선택 기획 / 계획단계 설계단계 02 step 시설물 생성 / 정보입력 도로 터널 교량 03 step 환경부하 평가 주요시설물 환경부하량 추정 시설물별 환경부하량 비교평가 **신규사례의 환경부하량 추정** (산업부, 환경부의 기준에 따른 환경부하량 추정 및 Eco-Point 제시)	01 step 평가단계 선택 기획 / 계획단계 설계단계 02 step 시설물 생성 / 정보입력 대안 1 대안2 대안... 도로 도로 터널 터널 교량 교량 03 step 환경부하 평가 시설물/대안별 환경성능평가 대안별 노선의 환경부하 비교 평가 **신규사례의 환경부하량 추정** (산업부, 환경부의 기준에 따른 환경부하량 추정 및 Eco-Point 제시)

○ 초기 사용자의 경우 시스템의 사용법, 분석에 적용된 평가 방법, 절차 등에 대한 정보가 없어 사용상의 어려움이 있다고 판단하여 시설물 및 네트워크 평가시 필요한 절차를 제공함



[그림 7-2-8] 프로젝트 생성 화면(도로노선) - 기획단계

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

○ 노선 프로젝트의 정보는 평가에 필요한 데이터베이스와는 관련이 없으며 시설물 생성과 마찬가지로 신규입력/수정/삭제가 가능함

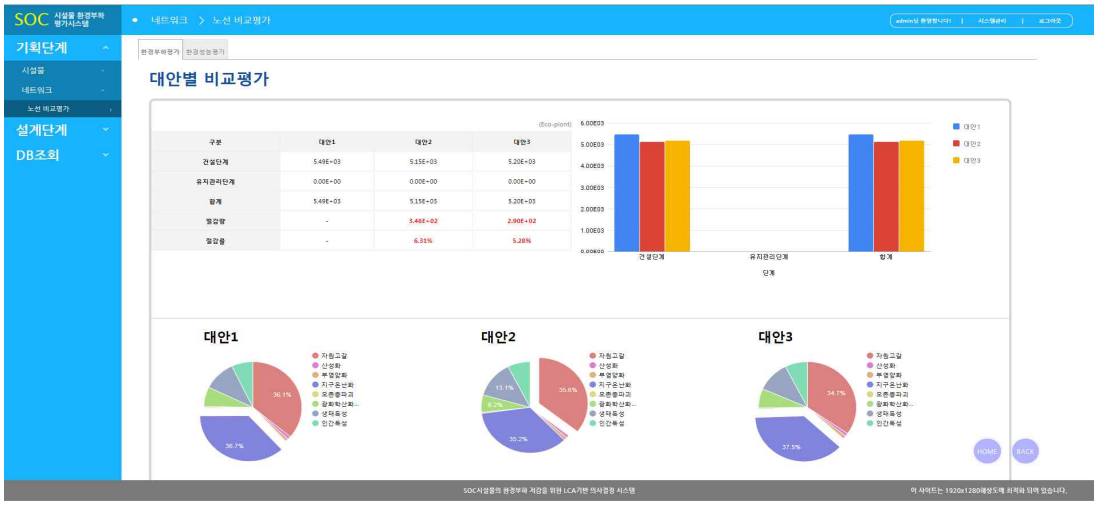


[그림 7-2-9] 노선정보 생성 화면 - 기획단계

○ 앞서 생성된 프로젝트의 노선정보를 입력하여 생성하는 화면으로 노선정보를 각 대안별로 구성하고, 최대 5개까지 생성이 되도록 설계되어 있어 동시에 비교평가 가능하도록 구성

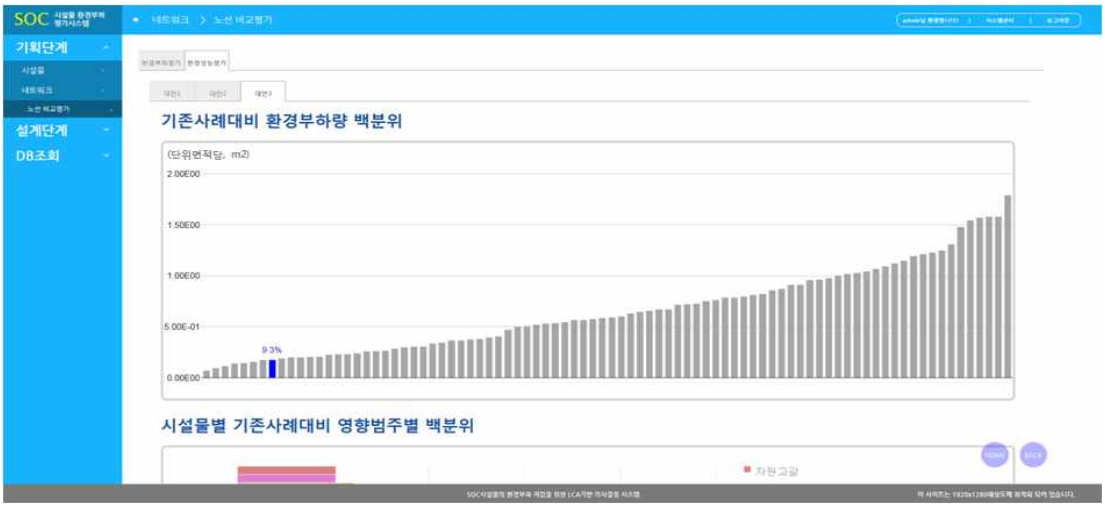
○ 시설물별 부하평가와 동일하게 좌측에는 기존에 입력된 시설물 정보를 우측에는 평가하고자 대상 시설물을 선택할 수 있도록 추가/삭제 기능을 구현함

○ 입력된 시설물은 연장정보가 포함된 선형의 형태로 표현되며 사용자는 대안별 정보를 손쉽게 파악할 수 있는 도구로 활용 가능함



[그림 7-2-10] 노선비교평가 결과화면 - 기획단계

○ 시설물별 비교평가와 동일하게 환경평가 범주, 즉 부영영화, 산성화 등 대기, 수질, 토양, 생태계에 영향을 미치는 다양한 환경오염물질 배출량 제시함



[그림 7-2-11] 도로노선의 환경성능 백분위

○ 노선별 비교평가에서는 환경성능평가가 가능하고 기존 설계완료된 시설물 및 노선의 면적당 부하량의 기준정보를 활용하여 환경부하량의 백분위를 제시함으로써 추정된 네트워크 도로노선 또는 단위시설물의 상대적인 환경부하량의 지표를 제공함



[그림 7-2-12] 시설물별 환경성능 백분위

○ 시설물별 환경성능 백분위는 기존 설계 완료된 시설물의 대기, 수계, 토양, 폐기물 등 생태계에 영향을 미치는 주요물질 6개를 대표물질을 선정하였고 주요 대표물질은 다음 [표 7-2-4]와 같음

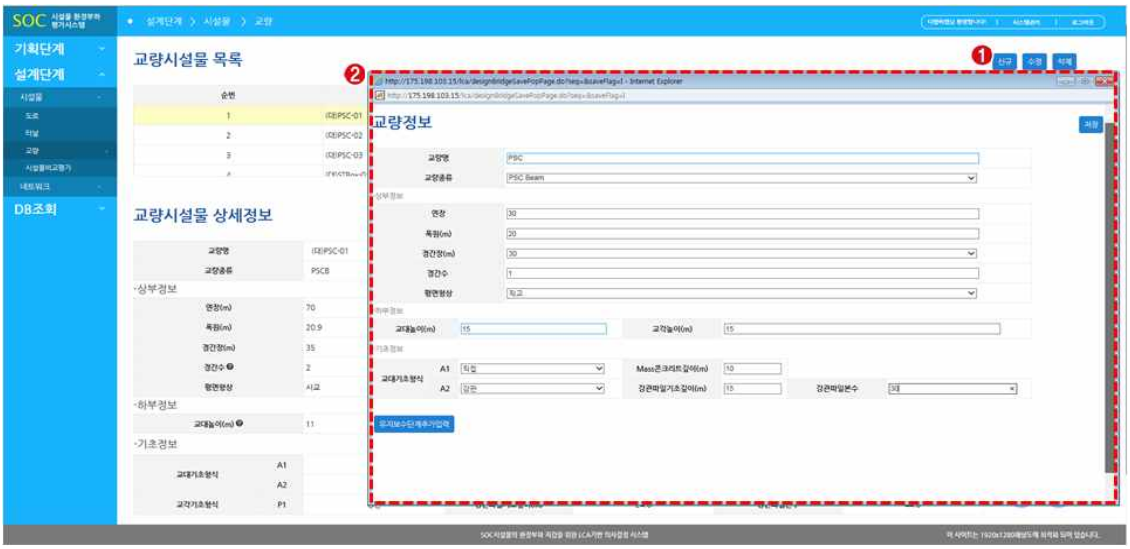
[표 7-2-4] 환경성능 주요 대표물질

구분	자원고갈	산성화	부양양화	지구 온난화	오존층 파괴	광화학 산화물 생성
주요물질	antimony	SO2	PO_4^{3-}	CO2	CFC-11	C2H4

2. 설계단계 환경부하평가

가. 단일시설물 생성 및 환경부하평가

○ 시설물은 도로/터널/교량으로 구분하여 생성이 가능하고 각 시설물의 정보는 설계단계에 가용한 정보들로 구성되어 있음



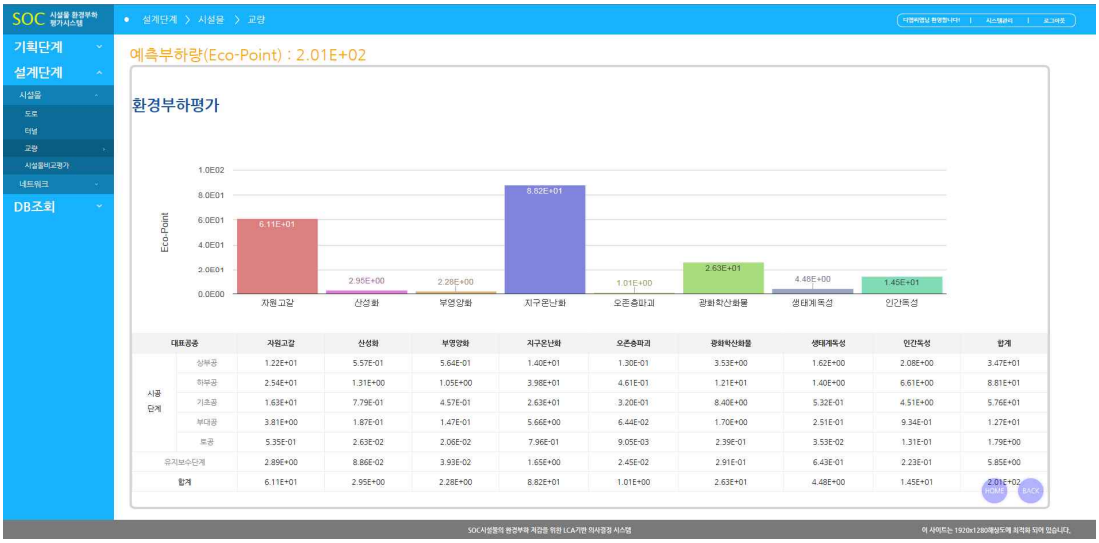
[그림 7-2-13] 시설물입력정보 화면- 설계단계

○ 시설물별 입력정보는 다음 표와 같으며 신규 팝업창을 통하여 입력하도록 구성함

[표 7-2-5] 단일 시설물 입력정보

시설물		내 용
도로	기본	행정구역, 도로높이, 도로등급, 지형, 설계속도, 공사유형, 토공부연장, 토공부면적, 차로수, 포장재료, 총도로폭, 평면곡선반경, 최대종단경사, 용지총면적
	포장두께	기층, 중간층, 표층, 보조기층, 동상방지층, 린, 슬래브
	배수시설	종배수관연장, 용수개거, 수로암거연장 및 개소, 통로암거연장 및 개소
교량	상부정보	연장,폭원, 경간장, 경간수, 평면형상, 경간구성정보
	하부정보	교대높이, 교각높이,
	기초정보	기초형식, Mass콘크리트 깊이, 강관파일본수
터널	기본정보	차로수, 통행방식, 포장재료
	본선부정보	각 TYPE별 연장(1~6)
	개착부정보	갱문형식, 갱문연장

○ 각 시설물별 시설물 입력정보는 공종별 또는 부위별로 구분되며 환경부하평가 결과시 공종별 세부환경부하량을 제공함



[그림 7-2-14] 시설물별 환경부하평가 결과하면(1) - 설계단계



[그림 7-2-15] 시설물별 환경부하평가 결과하면(1) - 설계단계

○ 해당 대표공종을 클릭하게 되면 각 대표공종의 세부공종별 환경부하량 내림차순으로 제공되어 사용자는 해당 부위 또는 공종중 어느 세부공종에서 환경부하가 많이 발생하는지 손쉽게 파악이 가능함

- 기본적으로 산정되는 시설물별 대표공종 산정방식은 동일하며 시설물 특성에 따라 다음[표 7-2-6]과 같이 모델이 적용되어 있음

[표 7-2-6] 설계단계의 시설물별 대표공종

시설물	대표공종
도로	토공, 포장공, 배수공
교량	상부공, 하부공, 기초공
터널	버력처리공, 숏크리트공, 락볼트공, 라이닝콘크리트공, 배수공, 강관다단그라우팅공, 갱문 및 개착터널공

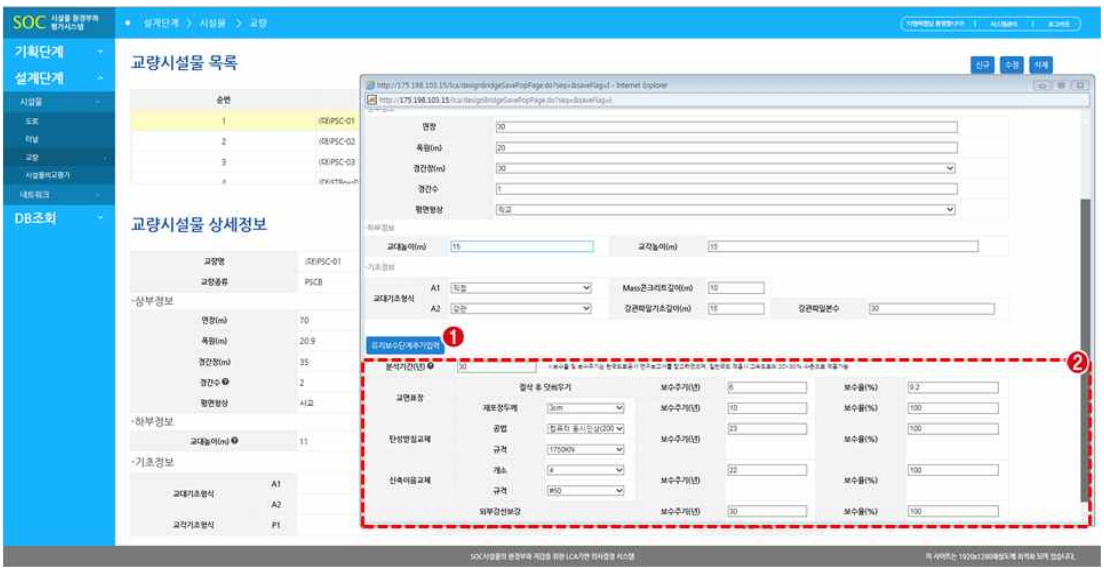
○ 또한 사용자는 필요에 따라 유지보수단계를 고려한 생애주기 환경부하평가가 가능하며 해당 기능은 설계단계 시설물별 입력창 정보 입력시에 유지보수단계 추가입력 버튼을 클릭하여 정보 입력이 가능함

○ 제공되는 보주주기 및 보수율을 바탕으로 분석기간내 발생되는 유지관리단계의 환경부하량 연산되어 시공단계 뿐만 아니라 유지관리단계를 포함한 환경부하량 산출이 가능함

○ 주요 유지보수공법을 대상으로 하여 입력창을 간소화하였고 도로공사지침에 따른 보수주기 및 보수율을 기본으로 제공함으로 편의성 및 사용성을 확보함

[표 7-2-7] 유지관리단계 시설물별 주요 보수공법

시설물	주요보수공법
도로	팻칭,노면개량, 균열보수, 줄눈보수
교량	절삭 후 덧씌우기, 탄성받침교체, 신축이음교체, 외부강선보강, 재도장
터널	균열실링, 줄눈보수, 노면개량, 단면보수, 누수표면처리, 터널청소

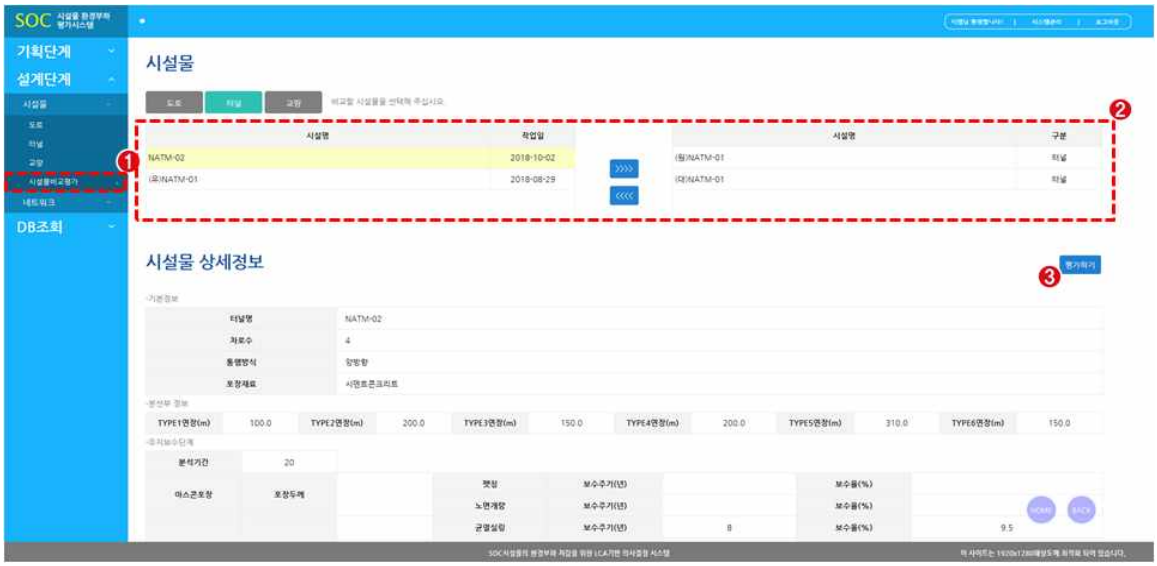


[그림 7-2-16] 유지보수단계 추가입력 화면



[그림 7-2-17] 유지보수단계 평가결과 화면 - 설계단계

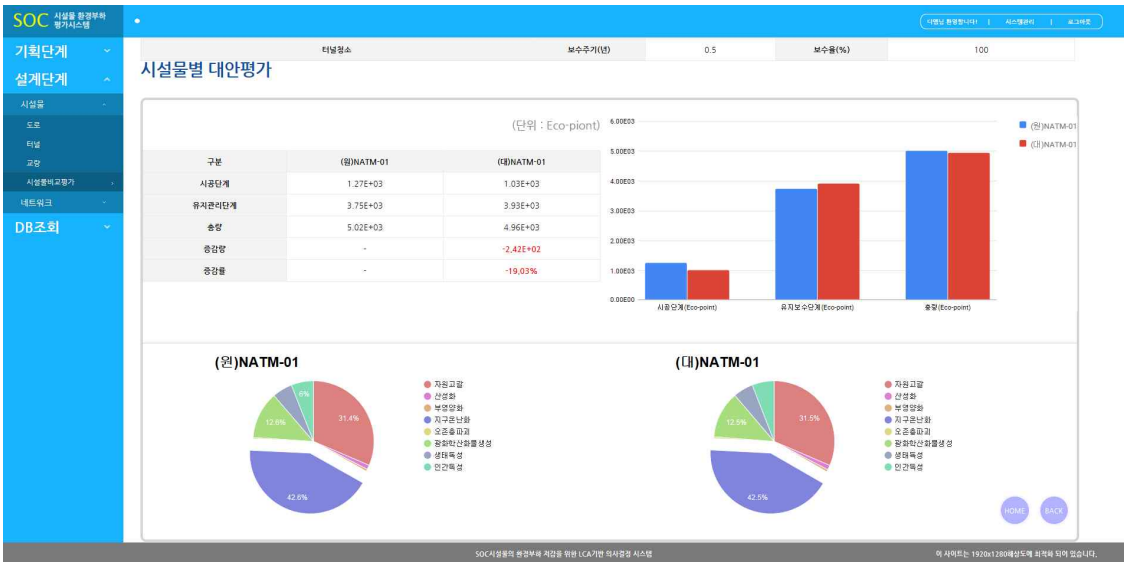
나. 시설물별 환경부하 비교 평가



[그림 7-2-18] 시설물별 환경부하 비교평가 화면 - 설계단계

○ 기획단계 모델과 마찬가지로 각 단일 시설물별 환경부하평가시 생성했던 시설물 정보를 조회하여 상대 비교평가를 할 수 있도록 구성되어 있으며, 동일한 시설물 비교뿐만 아니라 도로, 터널, 교량의 교차 비교가 가능함

○ 추가적으로 시설물 생성단계에서 유지관리단계 정보를 포함하고 있는 시설물들은 시공단계 유지관리단계로 구분되어 비교 평가가 가능하고 특성화, 가중화의 8대 범주별 환경부하결과값을 제공함

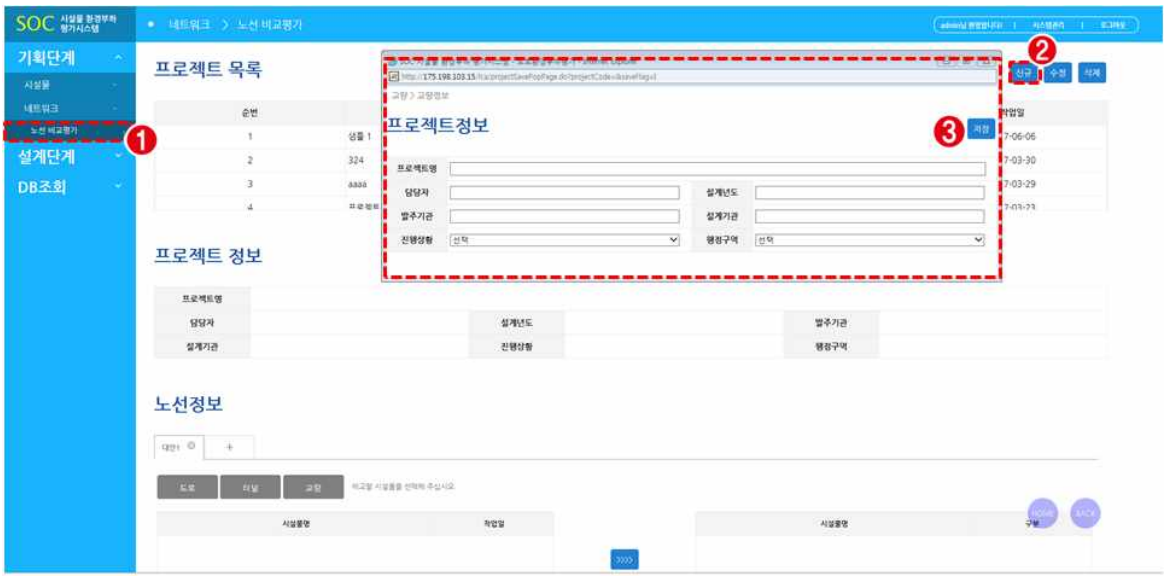


[그림 7-2-19] 시설물별 환경부하 비교평가 결과화면(1) - 설계단계

○ 시공단계와 유지관리단계를 포함한 총량을 비교할 수 있는 비교표 및 그래프 결과화면 제공

다. 네트워크 환경부하평가

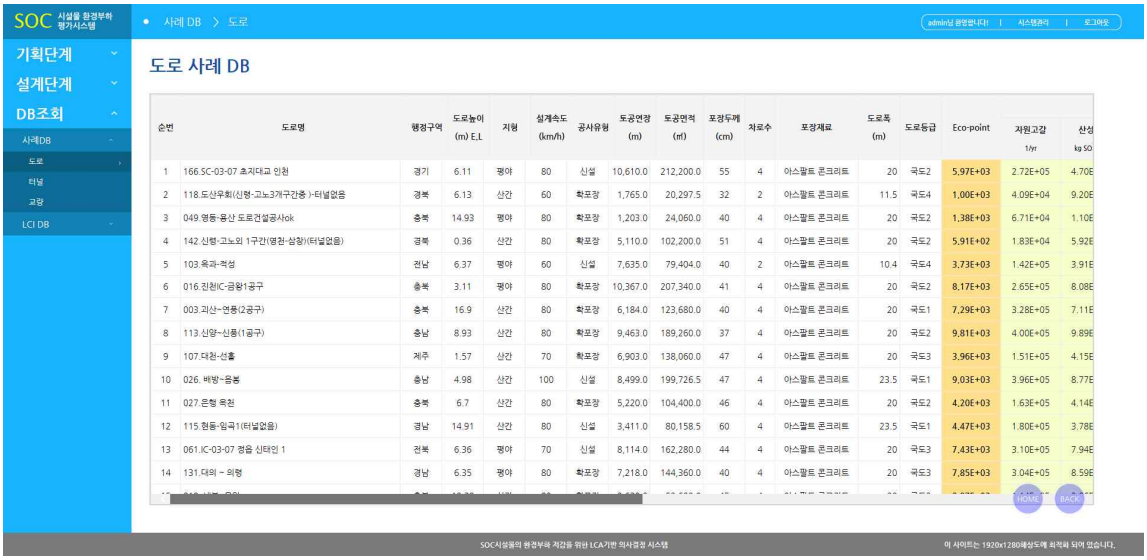
※ 프로젝트 생성화면은 기획단계 평가와 동일하게 구성



[그림 7-2-20] 프로젝트 생성 화면(도로노선) - 설계단계

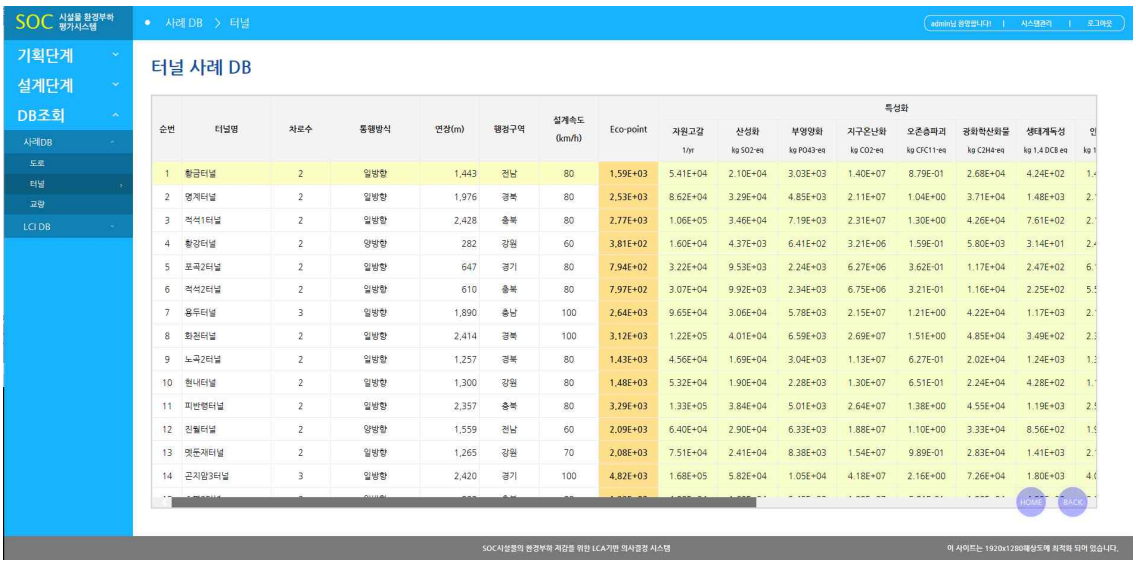
3. DB 조회 및 관리

가. 사례DB



[그림 7-2-21] 도로사례 DB 조회

○ 도로사례의 DB는 도로명, 행정구역, 지형, 설계속도, 공사유형을 포함한 총 12개의 대표정보가 확인 가능하여, 추가적으로 특성화, 가중화 및 Eco-point 결과값이 제공됨



[그림 7-2-22] 터널사례 DB 조회

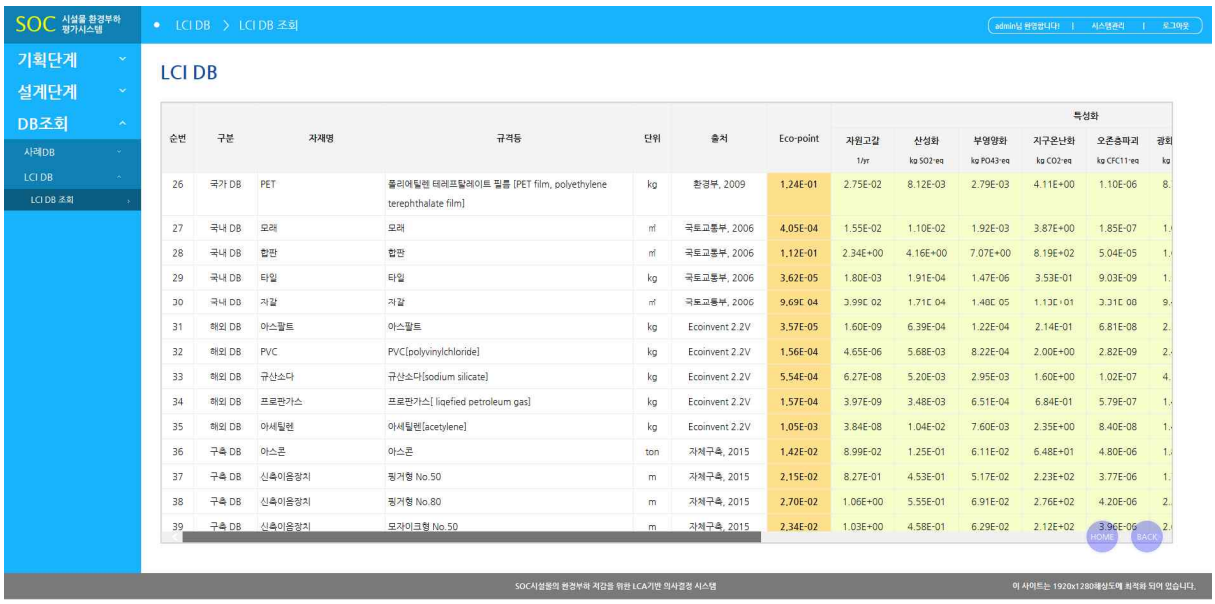
○ 터널사례의 DB는 차로수, 통행방식, 연장, 행정구역 총 4개의 대표정보가 확인 가능하여, 추가적으로 특성화, 가중화 및 Eco-point 결과값이 제공됨



[그림 7-2-23] 교량사례 DB 조회

○ 교량사례의 DB는 교량형식에 PSC beam교와 Steel Box교로 구분되어 정보가 제공되고 경간수, 경간길이, 연장, 폭원, 상부면적 행정구역 등 총 10개의 대표정보가 확인 가능하여, 추가적으로 특성화, 가중화 및 Eco-point 결과값이 제공됨

나. LCI DB



[그림 7-2-24] LCI DB 조회

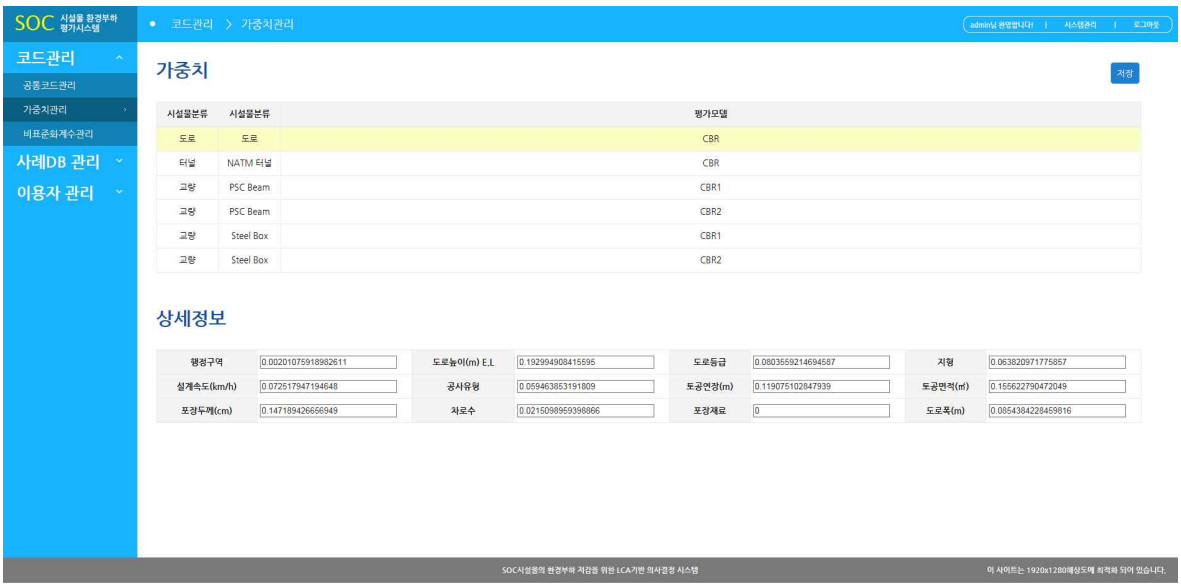
○ SOC 시설물에 환경부하분석에 사용된 모든 LCI DB 목록을 확인할 수 있으며 국내DB, 해외DB, 구축DB로 총 131개의 DB가 구축되어 있음

다. 시스템 관리자 메뉴



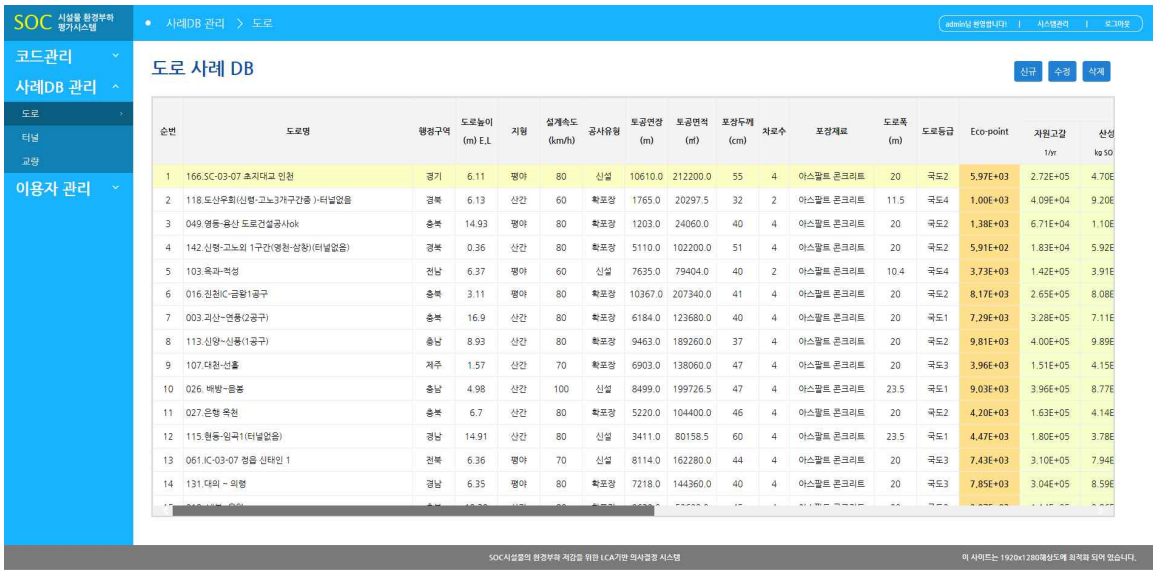
[그림 7-2-25] 공통코드 관리

○ 시스템 DB 구성에 사용된 코드관리는 좌측에 상위 코드분류, 오른쪽에 하위 코드 형태의 제작 되었으며, 연구종료 후 DB 유지관리가 용이하도록 체계적으로 코드분류체계를 적용함



[그림 7-2-26] 가중치 관리

○ 기획단계 유사사례 조회시 사용되는 시설물별 가중치를 관리할 수 있으며, 관리자 계정으로 허가받은 사용자는 상세가중치를 수정할 수 있음. 기타 유사도점수에 영향을 미치는 유사도 순위, 유사도 점수산정 등의 관리정보창으로 구성됨



[그림 7-2-27] 사례DB 관리

○ 사용자에게 제공되는 사례DB와 동일한 형태로 구성되어 있으나 DB를 추가/수정/삭제 할 수 있는 권한을 부여하여 추가 분석된 기초DB의 업데이트를 용이하게 할 수 있도록 구성함

○ 향후 대규모 수정 작업시 excel 형태의 입력 템플릿을 표준화하여 보다 손쉽게 DB관리가 이루어지도록 설계함



[그림 7-2-28] 이용자 관리

○ 웹기반 시스템으로 사용자 접속의 관리, 외부의 DB 접근관리에 용이하도록 회원가입방식을 통하여 사용자 계정을 관리함

제 8 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 tof 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

Report on the Aggregate effect of the intended nationally determined contributions

[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] 이경회, 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), 국도표준도

[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)



ISBN 978-89-7207-922-4

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.