교통물류연구사업 R&D-11기술혁신A04

탄소중립형 도로 기술개발 최종보고서(총괄)

2015. 4.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
협동연구기관 / 한국도로공사

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "탄소중립형 도로 기술개발" 과제의 최종보고서(총괄)로 제출합니다.

2015. 04.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원
주관연구책임자 : 노관섭

협동연구기관명 : 한국도로공사
협동연구책임자 : 이광호

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11기술혁신
A04</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2013.10.01.
~2015.03.31</td><td>단 계 구 분</td><td>3 / 3</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">교통물류연구사업 (전: 건설기술혁신사업)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">탄소중립형 도로 기술개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">1세부 : 탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발
2세부 : 탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>노관섭</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 185명
내부 : 185명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부:
7,967,000 천원
기업:
3,128,697 천원
계:
11,095,697 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국건설기술연구원
도로연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td>보고서면수</td><td>768</td></tr>
</table>

인류는 지구 온난화로 인한 기후변화와 생태계 파괴로 인한 여러 문제점들을 인식하고 교토의정서를 중심으로 전 세계적으로 대책 마련과 추진에 발 빠르게 나서고 있으며, 온실가스 배출 순위 세계 10위인 우리나라도 2008년부터 '저탄소 녹색성장'을 국가정책기조로 삼아 관련 법 및 계획의 수립과 이에 따른 관련 기술개발에 박차를 가하고 있음.

우리나라 전체 온실가스 배출량의 16%를 차지하고 있는 도로분야에서도 저탄소 녹색성장에 일조하기 위해서는 녹색도로 법/제도 등을 제정, 정비하고 탄소 모니터링을 통한 통합관리시스템을 구축할 필요가 있으며, 도로의 생애주기인 생산-유지관리-재활용 전단계의 CO_2 배출을 최소화하고, 발생된 CO_2를 흡수, 전환, 해소하는 환경친화형 도로 설계 및 시공기술을 개발할 필요가 있음.

또한, 자동차와 도로, 운전자와 도로, 그리고 교통/기후조건과 도로의 상관관계를 파악하고, CO_2 배출 최소화를 위한 도로 설계 기술과 재료 및 시공 기술을 개발할 필요가 있는데, 이와 같은 필요에 부응하기 위해 국토교통부의 2011년 건설기술혁신사업의 하나로 '탄소중립형 도로 기술개발 연구단'(주관: 한국건설기술연구원)이 2011년 11월 발족됨.

본 연구단 과제는 크게 두 개의 세부 과제와 그 아래 총 6개의 세세부(분야) 연구과제로 구성됨(당초에는 8개 세세부의 5차년 연구과제였으나, 3차년으로 단축 및 과제 축소됨).

1세부 : 탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발
- 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발
- 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발
- LCA기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발

2세부 : 탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발
- 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발
- 탄소 저감형 흙 포장 기술 개발
- DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 시설물 개발
- 폐아스콘 케미컬 기술을 활용한 도로 온실가스 흡수 공법 개발(2차년)
- 바이오 폴리머 콘크리트 도로포장 재료 개발(2차년)

색 인 어	한 글	탄소중립형 도로, 녹색도로, 온실가스, 녹색기술, 탄소저감
	영 어	Carbon Neutral Road, Green Highway, Greenhouse Gases, Green Technologies, Carbon Reduction

요 약 문

Ⅰ. 제 목

탄소중립형 도로 기술개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

개발과 성장위주의 발전을 해온 인류에게 최근 지구 온난화로 인한 기후변화 및 이로 인한 생태계 파괴 등의 문제는 인류의 생존에 위협이 될 수도 있다는 위기감이 전 세계적으로 확산되고 있으며, 인구증가와 경제성장에서 파생되는 전 지구적인 문제를 해결하기 위해 자연과 공존하면서 풍요로운 삶을 누리고자 '지속가능' 개념이 대두 되고 있다. 그리고 이러한 위기감에 대처하기 위해 교토의정서를 중심으로 글로벌 차원의 온실가스 저감 대책을 마련하고 추진 중에 있다.

온실가스 배출 순위 세계 10위인 우리나라도 이러한 위기에 대처하고 국제 공조를 위해 2008년부터 '저탄소 녹색성장'을 국가정책기조로 삼아 관련법 및 계획의 수립과 이에 따른 관련 기술개발에 박차를 가하고 있다.

우리나라 전체 온실가스 배출량의 16%를 차지하고 있는 도로분야에서도 저탄소 녹색성장에 일조하기 위해서는 녹색도로 법/제도 등을 제정, 정비하고 탄소 모니터링을 통한 통합관리시스템을 구축할 필요가 있으며, 도로의 생애주기인 생산-유지관리-재활용 전단계의 CO2 배출을 최소화하고, 발생된 CO_2를 흡수, 전환, 해소하는 환경친화형 도로 설계 및 시공기술을 개발할 필요가 있다.

또한, 자동차와 도로, 운전자와 도로, 그리고 교통/기후조건과 도로의 상관관계를 파악하고, CO_2 배출 최소화를 위한 도로 설계 기술과 재료 및 시공 기술을 개발할 필요가 있다. 이러한 필요성에 대응하기 위해 2011년 11월, 국토해양부(현 국토교통부)의 기술혁신사업의 하나인 '탄소중립형 도로 기술개발 연구단'이 한국건설기술연구원 주관으로 발족되어 도로분야에서 온실가스를 줄이기 위한 기술 및 관련 법 및 제도를 개발하고 있다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

(1) 탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발(1세부)

○ 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발

- 탄소중립형 도로의 법·제도화 기반 조성 및 방안 마련 그리고 녹색도로 인증제도 및 시스템 개발을 통하여 탄소 중립형 도로 기술 활용의 법·제도적 근거 및 기반 마련을 위함

· 주요 연구내용

- 탄소중립형 도로 개념의 법·제도화 필요성 및 타당성 도출

- 탄소중립형 도로 및 녹색도로 인증제도의 법적개념 정립

- 한국형 녹색도로 인증제 도입을 위한 도로유형별 특성을 반영한 평가지표 개발 및 가중치 설정(도로건설단계)

- 녹색도로 인증을 위한 설계·시공 단계 세부평가 항목별 평가방법 제시

- 녹색도로 평가를 위한 관련 데이터 수집 방법 및 평가절차 등의 체계 마련

- 녹색도로 인증시스템 개발을 위한 알고리즘 개발

- 녹색도로 인증시스템의 프로그램개발의 위한 기초연구

- 녹색도로인증제 평가지표 및 한국형 녹색도로 인증제 도입체계 개발

- 녹색도로인증제의 세부 구현방안 개발

- 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템의 프로그램 개발

- 녹색도로인증 모니터링 방안 마련

- 작성된 부문별 인증평가 매뉴얼 보완

○ 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발

- 녹색도로 건설을 지향하기 위한 탄소배출 산정기술을 통해 탄소관리시스템 개발, 그리고 녹색도로 기술 개발 및 상용화 촉진을 위한 투자 평가시스템 개발

· 주요 연구내용

- 녹색도로 탄소배출량 산정기법 개발

- 녹색도로기술 투자평가시스템 기능 및 모듈 설계 수행

- 녹색도로 탄소배출 산정기술 및 탄소관리시스템 개발

- 녹색도로 국가 인벤토리 DB 구축 기술 개발

- 도로 유형별, life cycle 단계별 탄소배출 원단위 구축

- 녹색도로 기술 투자평가시스템 개발

- 녹색도로 상용화 평가시스템 개발

- 녹색도로 평가시스템과 탄소관리시스템 통합연계 구축

- CO_2 저감기술 통합관리시스템 개발

○ LCA 기반 탄소저감형 도로설계 기술 개발

- LCA 기반 탄소저감형 도로설계 메커니즘 확립

· 주요 연구내용

- 도로조건별 차종별 탄소배출량 예측모형 개발
- 탄소배출량 측정장치 개발
- 탄소배출량과 공기, 공사비 등의 연계방안 도출
- 그린네트워크 도로설계기술 개발
- 이산화탄소 저감형 친환경 도로수목 시공 및 유지관리기술 개발
- 식재, 시공, 관리를 고려한 도로수목 기술 적용 시 이산화탄소 저감효과 산출

(2) 탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발(2세부)

○ 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발

- 활성산업부산물 결합재를 활용한 콘크리트 특성 연구 및 도로 온실가스 제거를 위한 도로시설용 TiO_2 콘크리트 공법 개발

· 주요 연구내용

- 탄소포집 격리용 시멘트 기반 결합재 개발 및 원천 기술 확보
- 활성산업부산물의 물리적·화학적 특성분석 수행
- 활성산업부산물 활용 콘크리트의 배합설계 및 CO2 포집 능력 평가
- 활성산업부산물 활용 콘크리트의 화학적·역학적 특성 분석
- 활성산업부산물 활용 콘크리트의 탄소흡수능력 정량화
- 광촉매(TiO2)의 종류 및 입자에 따른 NOx 제거 평가시스템 구축 및 효율평가
- 광촉매(TiO2) 콘크리트 재료의 내구성 및 환경하중저항성 평가
- 광촉매(TiO2) 콘크리트의 도로시설물에 대한 현장적용 평가
- 광촉매(TiO2) 콘크리트의 도로시설물에 대한 경제성분석
- 광촉매(TiO2) 콘크리트의 도로시설물 설계 및 지침안 제시

○ 탄소저감형 흙포장 기술개발

- 유, 무기계 바인더를 이용한 흙 포장 재료 특성 연구 및
- 탄소저감형 흙 포장 설계 지침(안) 작성

· 주요 연구내용

- 친환경 폴리머 혼합재료의 강도 특성 연구
- 친환경 복합안정처리 기층 재료 개발 수행
- 유, 무기계 바인더를 이용한 흙 포장 재료의 역학적 특성 분석 및 성능 평가
- 유기계, 무시멘트 무기계 흙 포장 시험시공
- 유, 무기계 흙 포장 설계 및 시공 지침(안) 작성

○ DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 시설물 개발

- 대기중 CO2를 10tonCO2/yr · m2 저감할 수 있는 DAC(Direct Air Capture) 기술을 활용한 CO2 포집 장치 개발

· 주요 연구내용

- DAC관련 선행연구 분석 및 기초 기술력 확보
- CO2 성능평가를 위한 실험장치 제작
- 최적용매 선택 및 연속운전을 통한 최적화 연구
- DAC 기술을 연계한 도로시설물 활용 기술 확보 수행
- DAC 기술을 적용한 인공나무(artificial tree) 개발
- DAC 기술을 적용한 인공나무(artificial tree) 시스템의 도로 적용성 평가
- 인공나무 시스템 설치 최적화를 위한 도로 적용성 성능평가

Ⅳ. 최종 연구성과

○ 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발연구

- 녹색도로의 법제도화를 위해 도로관련법과 저탄소녹색성장 기본법을 중심으로 기존 법령 일부를 개정 및 세부 법조항에 대한 개정 및 신설방안 마련

- 도로계획, 설계/시공 및 유지관리시의 녹색도로 노선지정에 대한 기준 마련

- 한국형 녹색도로인증제애 대한 세부 평가지표 확정 및 지표별 평가방법/절차등을 제시한 매뉴얼 개발

- 녹색도로 모니터링 시스템 개발

○ 녹색도로 탄소배출산정 및 평가시스템 개발

- 탄소관리시스템, 에너지자원 분석시스템, LCC 분석시스템, 의사결정 지원시스템, 상용화 시스템에 대하여 웹포탈 서비스를 위한 녹색도로기술 투자평가시스템(G-TIES, Green Highway-Technology Investment Evaluation System) 개발

- 사용자가 개별 시스템을 이용하여 기술평가, 사업평가, 도로망 평가 분석 가능

○ LCA기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발

- 종단경사와 종단평탄성을 고려한 실차실험을 통한 탄소배출량 예측모형 개발

- 도로의 설계부터 유지보수 대안까지 고려 가능한 생이주기비용분석모형 개발 및 소프트웨어 개발

- 도로의 중앙분리대, 경사지, 평지 등의 지형특성을 고려한 식재설계, 시공방법, 유지관리 기술개발

- 탄소저감형 선형조합 평가시스템 개발

- 그린네트워크 도로설계지침(안) 마련

- 탄소배출량을 측정할 수 있는 장치 개발

- 공정관리 최적화를 위한 프로세스 시뮬레이션 모델 제시

○ 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료개발

- 이산화탄소 흡수가 가능한 도로 재료 및 구조체 개발

- TiO2 콘크리트 재료를 이용한 도로시설물 적용방안 제시

○ 탄소저감형 흙포장 기술 개발

- 탄소저감형 흙포장 재료 개발

- 경일대학교 제4공학관 주차장 부지내 시험시공

- 경기도 연천군 한국건설기술연구원 SOC실증 연구센터 시험시공

○ DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 시설물 개발

- CO2포집이 가능한 인공나무 개발

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

○ 계획서 상에서 계획되었던 질적 및 양적 목표를 달성함

구분	특허 등록 (출원)	학술지 게재	SW 등록	신기술 지정	시제품 제작 (시작품)	현장 시험	표준/ 인증	정책 채택 (제안)	법령 반영	설계 기준	기술 실시	사업화 제품화	현장 적용
총괄	5 (10)	34	7	-	2 (1)	6	-	-	-	1	-	-	-
1세부	2 (5)	24	7	-	1 (1)	-	-	-	-	1	-	-	-
2세부	3 (5)	10	-	-	1	6	-	-	-	-	-	-	-

○ 자세한 사항은 제3장 참조

Ⅵ. 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

○ 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발연구

- 녹색도로 활성화 및 개발될 녹색도로 관련 기술시장의 성장

- 녹색도로 건설을 위한 평가체계 개발을 통한 에너지사용, 온실가스 배출저감, 대기오염 배출저감 등에 명확한 목표설정 및 관리 기능

○ 녹색도로 탄소배출산정 및 평가시스템 개발

- 녹색도로기술의 개발 및 적용시의 사전 효과분석
- 도로 사업의 설계시 대안별 비교분석을 통한 온실가스 저감 노력에 적용 가능
- 탄소배출통계 구축 시 활용 가능
- 국가의 온실가스 감축량 목표 설정과 감축 효과 평가

○ LCA기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발

- 탄소배출량 예측모형의 “교통시설 투자평가 지침”의 편익분석 부분의 개정에 참조가능
- 낙엽활엽 식재수종의 이식 활착률 증진을 위한 컨테이너 수목 이식기법의 활용
- 토목·SOC분야의 기본 및 상세설계 단계별 탄소저감계획에 활용
- 도로 선형계획시, 탄소저감을 위한 최적의 기하구조 적용 가능
- 물류차량의 온실가스 인벤토리 구축 및 감축 옵션 선정에 도움
- 도로 공사 계획시 각 공정의 비교, 친환경자제 및 공정 선택 등의 의사결정 지원 및 투자대비 경제성을 평가할 수 있는 통합 솔루션 제공 가능

○ 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료개발

- 국내 친환경 포장 기술의 발전 도모 가능
- 시멘트 및 콘크리트 관련 이산화탄소 발생량을 줄일 수 있는 기술 개발 가능

○ 탄소저감형 흙포장 기술 개발

- 친환경적이고 다양한 장점을 갖춘 흙포장 구현 가능
- 기술이전을 통한 개발 기술의 상용화

○ DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 시설물 개발

- DAC기술의 이전을 통한 해외사업 진출 지원 가능
- 도로 이외의 터널 주변 및 지하보도, 지하철역사 등 지하공간의 CO_2 저감에 활용

CONTENTS

Chapter 1 Research Overview ····· 29

1. Research Objectives ····· 29
2. Research Concept, Scope, and Features ····· 31
3. Related Researches ····· 38
4. Position of Research Product in Related Fields ····· 46

Chapter 2 Research Tasks and Results ····· 49

1. Categorization of Green Highway Technology ····· 49
2. Carbon Management System ····· 67

Chapter 3 Final Research Products and Implementation Cases ····· 625

Chapter 4 Research Achievements and Impacts ····· 653

1. Achievement of Final Research Objectives ····· 653
2. Technical Impact of Research Outcomes ····· 662
3. Economical Impact of Research Outcomes ····· 671
4. Policy Ravant Impact of Research Outcomes ····· 676

Chapter 5 Research Outcome Utilization and Further Study ····· 680

1. Plan for Utilizing Research Outcomes ····· 680
2. Further Study ····· 688

<제목 차례>

제1장 연구개발과제 개요 ····· 29

제1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 29

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 31

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 38

제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 46

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 49

제1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 49

제2절 연구수행과정 내용 및 결과 ····· 67

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 625

제1절 최종 연구성과 ····· 625

제2절 주요 연구성과(적용실적) ····· 646

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 653

제1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 653

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 662

제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 671

제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 676

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 680

제1절 연구성과 향후 활용 방안 ····· 680

제2절 추가연구 필요성 ····· 688

참고문헌 ····· 700

부록 ····· 738

부록1. 연구수행 주요 일정 ····· 739

부록2. 연구과제 주요 내용 요약 ····· 749

<표 차례>

<표 1-1> 탄소중립형 도로 기술개발 세부과제 및 담당 ····· 33
<표 1-2> 탄소중립형 도로 기술개발 연구단 운영위원회 구성 ····· 36
<표 2-1> 연구개발 추진전략 및 방법 ····· 50
<표 2-2> 연구수행 전략 및 방법 ····· 51
<표 2-3> 본 연구에서의 평가방법 ····· 56
<표 2-4> 연차별 연구목표 및 주요연구내용 ····· 62
<표 2-5> 연구수행방법 ····· 65
<표 2-6> 녹색도로와 관련된 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 조항 ····· 68
<표 2-7> 녹색도로와 관련된 도로법 조항 ····· 69
<표 2-8> 환경친화적인 도로건설 지침의 근거법 ····· 71
<표 2-9> 환경친화적인 도로건설 지침 목차 ····· 72
<표 2-10> 녹색도로와 관련된 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법 조항 ····· 73
<표 2-11> 녹색도로와 관련된 도시교통정비 촉진법 조항 ····· 75
<표 2-12> 녹색도로 도로 관련법·제도 ····· 75
<표 2-13> 녹색도로와 관련된 저탄소녹색성장기본법 조항 ····· 77
<표 2-14> 도로분야 법제연구 사례 ····· 78
<표 2-15> 건축법에 의한 관련분야 인증제도의 법적근거 ····· 80
<표 2-16> 건축법에 의한 관련분야 인증제도의 규칙/규정의 내용 ····· 81
<표 2-17> 건축법에 의한 관련분야 인증제도의 인센티브 규정 ····· 82
<표 2-18> 장애물 없는 생활환경 인증제도의 법적근거 ····· 83
<표 2-19> 녹색도로 건설에 대한 근거법 ····· 84
<표 2-20> 녹색도로 활성화를 위한 도로법 개정(안) ····· 85
<표 2-21> 녹색도로 활성화 위한 저탄소녹색성장기본법 개정(안) ····· 87
<표 2-22> 녹색도로기술 적용에 대한 저탄소녹색성장기본법 ····· 88
<표 2-23> 녹색기술의 범위 ····· 90
<표 2-24> 녹색기술 적용을 위한 녹색인증제 운영요령 개정(안) ····· 90
<표 2-25> 녹색도로 인증제도 시행을 위한 도로법 개정(안) ····· 92
<표 2-26> 대기오염비용 및 온실가스 원단위(2009년 기준) ····· 94
<표 2-27> 정책적 분석 항목 개정(안) ····· 94
<표 2-28> 총사업비관리지침 내용 ····· 96
<표 2-29> 녹색도로 활성화를 위한 지방교부세법에 의한 예산지원 법적근거 조항 ····· 97
<표 2-30> 녹색도로 재정지원을 위한 지방교부세법 개정(안) ····· 99
<표 2-31> 녹색도로 건설유도를 위한 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법 예산지원 법적근거 조항 ····· 101
<표 2-32> 국토교통부 녹색성장 추진계획 교통부문 추진과제 및 주요내용 ····· 105
<표 2-33> 국토교통부 녹색성장 추진계획 교통부문 추진과제 및 주요내용 (계속) ····· 106
<표 2-34> 서울시의 환경친화적 도로 확충 전략목표 및 기본방향 ····· 109
<표 2-35> 환경친화적인 도로 건설을 위한 단계별 사업내용 ····· 110
<표 2-36> 워싱턴주 GreenRoads 인증시스템 필수 의무조항 ····· 112
<표 2-37> 워싱턴주 GreenRoads 인증시스템 자발적 선택조항 및 포인트 ····· 113
<표 2-38> 일리노이주 I-LAST 인증시스템 평가항목 및 포인트 ····· 114
<표 2-39> 뉴욕주 GreenLITES 인증시스템 평가항목 및 포인트 ····· 117
<표 2-40> 녹색도로인증제 비교표 ····· 120

<표 2-41> 한국형 녹색도로인증제 평가지표(고속국도) ····· 123
<표 2-42> 한국형 녹색도로인증제 평가지표(일반국도) ····· 124
<표 2-43> 한국형 녹색도로인증제 인증지표(고속국도: 100점 만점) ····· 134
<표 2-44> 한국형 녹색도로인증제 인증지표(일반국도: 100점 만점) ····· 136
<표 2-45> 유지관리부문 녹색도로인증제의 국내 적용성 검토 ····· 159
<표 2-46> 한국도로공사 '유지관리 2020' 전략 세부과제 및 목표 ····· 162
<표 2-47> 한국도로공사 '고속도로 시설물 유지관리편람' ····· 165
<표 2-48> '고속도로 시설물 유지관리편람'의 녹색도로 인증지표 연관성 검토결과 ····· 171
<표 2-49> 국토교통부 '도로안전시설 설치 및 관리 지침' ····· 172
<표 2-50> '도로안전시설 설치 및 관리 지침'의 녹색도로 인증지표 연관성 검토결과 ····· 174
<표 2-51> '유지관리 부문' 녹색도로인증제 평가지표 초안 ····· 175
<표 2-52> 한국형 녹색도로인증제 인증지표(고속국도: 50점 만점) ····· 185
<표 2-53> 한국형 녹색도로인증제 인증지표(일반국도: 50점 만점) ····· 186
<표 2-54> '유지관리 부문' 녹색도로등급 및 배점 기준 값 ····· 197
<표 2-55> 한국형 녹색도로인증제 녹색도로등급 및 배점 기준 값 ····· 200
<표 2-56> 기존 탄소배출량 산정 방법과의 비교 ····· 220
<표 2-57> 도로 전생애주기 단계별 수집 데이터 ····· 223
<표 2-58> 도로 유형 구분 및 정의 ····· 226
<표 2-59> 탄소배출 인벤토리 구축 범위 ····· 228
<표 2-60> 시공단계 수집 데이터 리스트(일부 예시) ····· 229
<표 2-61> 운영단계 구간별 운영요소(예시) ····· 229
<표 2-62> 시공단계 탄소배출 인벤토리 DB 구축 결과 ····· 234
<표 2-63> 탄소배출량 인벤토리 검증 및 보완을 위한 검증결과표(일부) ····· 237
<표 2-64> 시공단계 사례분석 대상 ····· 238
<표 2-65> 시공단계 수집 데이터 리스트(일부 예시) ····· 238
<표 2-66> 유지관리단계 데이터 수집 ····· 239
<표 2-67> 운영단계 데이터 수집 ····· 239
<표 2-68> 고속국도 탄소배출량 산정 결과 ····· 240
<표 2-69> 일반국도 탄소배출량 산정 결과 ····· 240
<표 2-70> 고속국도 공사별 탄소배출량 산정 결과 ····· 240
<표 2-71> 일반국도 공사별 탄소배출량 산정 결과 ····· 241
<표 2-72> 운영단계 도로 유형별 탄소배출량 산정 결과 ····· 241
<표 2-73> 유지보수 공사별 탄소배출량 산정 결과(일부 예시) ····· 242
<표 2-74> 고속국도 및 일반국도 공종체계 ····· 243
<표 2-75> 표준공종체계 구축결과(일반국도, 토공 일부예시) ····· 244
<표 2-76> 도로 구간별 탄소배출 DB 및 원단위 구축 결과 ····· 244
<표 2-77> 시공단계 공종별 탄소배출 원단위 구축 결과(level 1) ····· 245
<표 2-78> 운영단계 탄소배출 DB 및 원단위 구축 결과 ····· 245
<표 2-79> 유지관리단계 탄소배출 DB 및 원단위 구축 결과 ····· 246
<표 2-80> 유지관리단계 공종별 탄소배출 원단위 구축 결과(포장공 예시) ····· 246
<표 2-81> 유지관리단계 공종별 탄소배출 원단위 구축 결과(교량공 예시) ····· 247
<표 2-82> 고속국도 시공단계 공종별 탄소배출 원단위 구축 결과(토공, level 4) ····· 248
<표 2-83> 탄소배출 DB 및 원단위 주요 검토의견 및 반영사항 ····· 249
<표 2-84> 탄소관리시스템 콘텐츠 구성 ····· 250
<표 2-85> 도로망평가 절차 ····· 268

<표 2-86> 탄소관리시스템 수요자 만족도 조사 평가서 ····· 273
<표 2-87> 탄소관리시스템 수요자 만족도 조사 결과 ····· 274
<표 2-88> 녹색도로 기술별 탄소배출량 산정결과 주요 검토의견 및 반영사항 ····· 275
<표 2-92> 기본분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 (도로종류별) - 시공 ····· 280
<표 2-93> 기본분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 (도로종류별) - 유지관리 ····· 281
<표 2-94> 기본분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 (도로종류별) - 운영 ····· 281
<표 2-95> 기본분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 (공사별) - 시공 ····· 281
<표 2-96> 탄소흡수용 도로재료 기술의 에너지 절감량 ····· 283
<표 2-97> 폴리머 콘크리트를 활용한 탄소저감형 흙포장 기술의 에너지 절감량 ····· 283
<표 2-98> 산업부산물과 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장 기술의 에너지 절감량 ····· 284
<표 2-99> 결정질 태양전지모듈의 연도별 평균 단위면적당 용량(W/㎡) ····· 285
<표 2-100> 에너지자원 분석시스템 기능 및 모듈 설계 전문가 검토 결과 ····· 292
<표 2-101> 에너지자원 분석시스템 수요자 만족도 조사 결과 ····· 293
<표 2-102> 국가 연구개발 사업의 과제 성격 별 비용 분류 기준 ····· 295
<표 2-103> 녹색도로기술 기술평가 단계 비용 항목 선정 ····· 296
<표 2-104> 기술 개발 단계별 비용 추정기법 적용 가능성 ····· 305
<표 2-105> LCC분석 시스템 기능 설계도 ····· 307
<표 2-106> LCC 분석 시스템의 구성 ····· 309
<표 2-107> LCC 분석시스템 기술평가 화면 자문의견 및 반영 여부 정리 ····· 310
<표 2-108> 차량 1대당 평균 통행시간 가치 ····· 313
<표 2-109> 일반도로 소음도 예측식 이격거리 관련 계수 (단위: m) ····· 316
<표 2-110> 도로별 소음도 예측식 ····· 316
<표 2-111> 소음가치의 평균원단위(2013년 기준)(단위: 원/dB·년·m) ····· 317
<표 2-112> 차량 1대당 평균 통행시간 가치 ····· 317
<표 2-113> 소음가치의 원단위(2013년 기준) ····· 319
<표 2-114> LCC 분석시스템 활용 테스트 수정 요청 및 반영 내역 ····· 320
<표 2-115> LCC 분석시스템 수요자 만족도 조사 주요 의견 및 반영 가능 여부 ····· 321
<표 2-116> LCC 분석시스템 매뉴얼 수요자 만족도 조사 주요 의견 및 반영 여부 ····· 322
<표 2-117> 저탄소도로개발 기술과제 리스트 ····· 323
<표 2-118> 녹색도로 기술 분류 ····· 323
<표 2-119> 계층별 가중치 산정 ····· 327
<표 2-120> 사업시행여부 검토 ····· 328
<표 2-121> 사업평가의 비용 및 편익 구분 ····· 331
<표 2-122> 도로부문 사업의 경제성 분석 결과 입력시트(예시) ····· 332
<표 2-123> 사업평가 경제성(B/C) 분석 결과(예시) ····· 333
<표 2-124> 분석대상 도로 공간적·시간적 범위 ····· 334
<표 2-125> 기술평가대상 녹색도로기술 평가자료 관리 ····· 345
<표 2-126> 녹색도로기술 투자평가시스템 포털 수요자 만족도 조사 결과 ····· 372
<표 2-127> Fitzpatrick의 주행속도 예측 모형 ····· 374
<표 2-128> FHWA의 주행속도 예측 모형 참조: G = 종단경사(%), R = 평면곡선반경(m) K = 종단곡선변화율(%/m) ····· 375
<표 2-129> 차종분류 비교 ····· 375
<표 2-130> 차종별 연료별 배출계수 ····· 376
<표 2-131> 분석구간 선정기준 검토 ····· 377
<표 2-132> 분석항목 ····· 377

<표 2-133> 대상구간 선형설계제원 분포-2차년도 ····· 378
<표 2-134> 대상구간 선형설계제원 분포-3차년도 ····· 378
<표 2-135> 독립변수 설명 ····· 382
<표 2-136> 승용차 주행속도 예측 모형 결과-평면곡선부 ····· 382
<표 2-137> 승용차 주행속도 예측 모형 결과-평면직선부 ····· 383
<표 2-138> 주행속도 예측식 검증을 위한 대상 도로의 기하구조 현황 ····· 383
<표 2-139> 검증대상지의 자료현황 및 주행속도 예측 결과 ····· 384
<표 2-140> 평면곡선부의 대응표본 t-검정 결과값 ····· 385
<표 2-141> 평면직선부의 대응표본 t-검정 결과값 ····· 385
<표 2-142> 주행속도 예측모형 결과(평면곡선부) ····· 385
<표 2-143> 주행속도 예측모형 결과(평면직선부) ····· 386
<표 2-144> 선형설계 제원 ····· 386
<표 2-145> 화물차 주행속도 검증 ····· 387
<표 2-146> 예측값과 실측값의 오차율 ····· 388
<표 2-147> 소형차 실험차량의 제원 ····· 390
<표 2-148> 종단평탄성-주행속도-차종(승용차)에 따른 연비 ····· 394
<표 2-149> 주행속도, 경사도, IRI를 고려한 연료소모량 예측모형 ····· 396
<표 2-150> 차종별 연료소모량 예측 파라미터 ····· 396
<표 2-151> 연료유형별 열량, 탄소배출 환산계수(국토교통부 고시 제2012-142) ····· 397
<표 2-152> 차종별 단충하중계수 (ESALF) ····· 403
<표 2-153> Markov연쇄 기반 포장상태지표별 등급 ····· 403
<표 2-154> 베이지안 마르코프 하자드 모형의 파라미터 및 기대수명 추정 ····· 404
<표 2-155> 연구과정 및 결과에 대한 전문가 평가 결과 ····· 411
<표 2-157> 실험포지의 구성 ····· 412
<표 2-158> 실험구 대조군 작성 ····· 413
<표 2-159> 복자기나무 컨테이너 시험구의 각 부위별 Biomass 비율 ····· 415
<표 2-160> 팥배나무 컨테이너 시험구의 각 부위별 Biomass비율 ····· 417
<표 2-161> 실험수목의 바이오매스(g)과 탄소저장량(g) 산정 ····· 419
<표 2-162> 식재 처리별 토양 수분함량(2014.8.13.) ····· 420
<표 2-163> 수종별 이산화탄소 흡수량 ····· 428
<표 2-164> 탄소흡수율이 높은 주요수종과 환경적응성 비교 ····· 428
<표 2-165> 최종 선정 수종 및 수종선정의 원칙 ····· 429
<표 2-166> 탄소저감 교목 하부 식생 ····· 431
<표 2-167> 평지형 측면부 인접지 구간별 식재 가능 수목 ····· 433
<표 2-168> 버팀목 설치 기준 ····· 437
<표 2-169> 버팀목 규격 ····· 438
<표 2-170> 선행연구의 관련분야 설계요소 ····· 440
<표 2-171> 기능에 따른 도로설계요소 ····· 441
<표 2-172> 형태에 따른 도로설계요소 ····· 441
<표 2-173> 주행속도 예측모형식 ····· 445
<표 2-174> 지표설정 ····· 448
<표 2-175> 지표검증을 위한 설문(예시) [도로선형 설계 평가지표] ····· 449
<표 2-176> 적합성 검증 [도로선형 설계 평가지표] ····· 450
<표 2-177> 적합성 검증 [횡단면 설계 평가지표] ····· 450
<표 2-178> 적합성 검증 [도로수목 설계 평가지표] ····· 450

<표 2-179> AHP척도의 의미 ····· 451
<표 2-180> 가중치 산정 최종지표 [도로선형 설계] ····· 453
<표 2-181> 가중치 산정 최종지표 [횡단면 설계] ····· 454
<표 2-182> 가중치 산정 최종지표 [도로수목 설계] ····· 455
<표 2-183> 대구광역시 녹지형 중앙분리대 현황조사 ····· 457
<표 2-184> 녹지중앙분리대 식재계획 사례 ····· 457
<표 2-185> 전문가 설문 조사 ····· 458
<표 2-186> 응답자 속성 ····· 459
<표 2-187> 4차로(20m)일 때 적절한 중앙분리대 폭원 ····· 459
<표 2-188> 6차로(30m)일 때 적절한 중앙분리대 폭원 ····· 460
<표 2-189> 녹지형 중앙분리대에 식재가능한 유형 선호도 ····· 461
<표 2-190> 4차로(20m)일 때 적절한 중앙분리대 폭원 ····· 462
<표 2-191> 6차로(30m)일 때 적절한 중앙분리대 폭원 ····· 462
<표 2-192> 녹지형 중앙분리대 식재 유형 선호도-4차로(20m) ····· 463
<표 2-193> 녹지형 중앙분리대 식재 유형 선호도-6차로(30m) ····· 463
<표 2-194> 집단별 도로규모에 따른 중앙분리대 폭원 선호도 ····· 464
<표 2-195> 전문가 집단에서 선정한 식재유형 ····· 464
<표 2-196> 일반인 집단에서 선호도가 높은 식재유형 ····· 465
<표 2-197> 중앙분리대 폭원 선정 기준 ····· 465
<표 2-198> 중앙분리대 폭원별 식재가능한 모든 식재유형 도출 ····· 466
<표 2-199> 탄소저감형 중앙분리대 폭원별 식재유형 도출 ····· 467
<표 2-200> 중앙분리대 폭원별 식재유형 이미지(예시, 1/2) ····· 468
<표 2-200> 중앙분리대 폭원별 식재유형 이미지(예시, 2/2) ····· 469
<표 2-201> 비탈면 기울기 선정 기준 ····· 470
<표 2-202> 비탈면 기울기별 식재가능한 모든 식재 유형 도출(1/2) ····· 470
<표 2-202> 비탈면 기울기별 식재가능한 모든 식재 유형 도출(2/2) ····· 471
<표 2-203> 탄소저감형 비탈면 기울기별 식재유형 도출 ····· 472
<표 2-204> 비탈면 기울기별 식재유형 이미지(예시, 1/2) ····· 473
<표 2-204> 비탈면 기울기별 식재유형 이미지(예시, 2/2) ····· 474
<표 2-205> 전문가 설문 조사 ····· 475
<표 2-206> 응답자 속성 ····· 476
<표 2-207> 탄소저감형 중앙분리대 식재유형에 대한 선호도 분석 ····· 478
<표 2-208> 탄소저감형 비탈면 식재유형에 대한 선호도 분석 ····· 479
<표 2-209> LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가 항목 ····· 482
<표 2-210> LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가 결과 ····· 482
<표 2-211> 가속도센서의 상세제원표 ····· 488
<표 2-212> DAS의 상세제원표 ····· 491
<표 2-213> Indicator의 상세제원표 ····· 492
<표 2-214> 차대동력계를 통한 Calibration 결과 ····· 492
<표 2-215> Equipment combinations breakdown structure of asphalt road construction 1 ····· 495
<표 2-216> Survey Overview ····· 498
<표 2-217> 5-point scale in terms of points (out of 100) ····· 499
<표 2-218> Adequacy of process control optimization model for carbon reduction (Survey 1) ····· 499
<표 2-219> Green Road handbook satisfaction for carbon reduction(Survey 2) ····· 500

<표 2-220> Process control optimization model feasibility survey for carbon reduction (Survey 1) ····· 503
<표 2-221> Results of the survey rationality ····· 503
<표 2-222> Green Road handbook satisfaction survey results for carbon reduction ····· 504
<표 2-223> Results of the survey rationality ····· 504
<표 2-224> 함침법을 적용한 이산화탄소 흡수제 제조 방법 ····· 506
<표 2-225> 탄소흡수용 페이스트 1차 배합표 ····· 509
<표 2-226> 탄소흡수용 페이스트 2차 배합표 ····· 509
<표 2-227> 기기분석 진행한 페이스트 배합표 ····· 510
<표 2-228> 탄소흡수용 모르타르 배합표 ····· 512
<표 2-231> 장기 노출 평가 현장 기상 및 교통량 결과 ····· 518
<표 2-232> 현장 장기 노출 평가용 시편 배합표 ····· 519
<표 2-233> 이산화탄소 흡수 실험 결과 비교 ····· 522
<표 2-234> 수정된 이산화탄소 흡수제 제조법을 적용한 이산화탄소 흡수용 페이스트 배합표 ····· 524
<표 2-235> 이산화탄소 흡수 실험 결과 비교 ····· 526
<표 2-236> 이산화탄소 흡수 속도 상수 비교 ····· 527
<표 2-237> 탄소 흡수 실험 전 후의 페이스트 표면 특성 FESEM 분석결과 ····· 530
<표 2-238> 탄소 흡수 실험 전 후의 페이스트 화학적 특성 XRF 분석 결과 ····· 531
<표 2-239> 입자상 모르타르 이산화탄소 흡수 실험 결과 ····· 533
<표 2-240> 시료별 흡수 실험 결과로 도출한 이산화탄소 흡수량 ····· 537
<표 2-241> 시료별 흡수 실험 결과로 도출한 이산화탄소 흡수 속도 상수 ····· 538
<표 2-242> 현장 도로 주변 이산화탄소 농도 ····· 544
<표 2-243> 모르타르의 배합 및 적용기법 ····· 546
<표 2-244> 광촉매 콘크리트 제작 및 NOx 제거효율 평가 실험계획 ····· 554
<표 2-245> 광촉매 콘크리트 사용배합 ····· 555
<표 2-246> TiO2 재료 물성 ····· 556
<표 2-247> 육안에 의한 표면상태 평가 기준표(ASTM C 672) ····· 560
<표 2-248> 현장 적용구간의 NOx 제거 효율 ····· 563
<표 2-249> TiO2 콘크리트의 표면박리저항성 실험 결과 ····· 567
<표 2-250> 입도 시험 결과 ····· 572
<표 2-251> CBR 시험 결과 ····· 574
<표 2-252> 유기계 고화제의 특성 ····· 577
<표 2-253> 공시체 제작 시 혼합비 ····· 580
<표 2-254> 일축압축강도 시험결과 ····· 581
<표 2-255> 공시체 제작 시 혼합비 ····· 582
<표 2-256> 첨가제의 구성성분 ····· 582
<표 2-257> 최적배합비(저강도) ····· 583
<표 2-258> 최적배합비(고강도) ····· 583
<표 2-259> 일축압축강도 시험결과 ····· 584
<표 2-260> 포장가속시험 혼합비 ····· 587
<표 2-261> 흙포장 현장시험시공 혼합비 ····· 592
<표 2-262> 흙포장 현장들밀도 시험 결과 ····· 593
<표 2-263> 흙포장 평판재하시험 결과 ····· 594
<표 2-264> 흡착제의 구조적 특성 ····· 596
<표 2-265> 실험에 사용된 CO_2 표준가스 조성 ····· 600

<표 2-266> 성능평가 실험조건 ····· 601
<표 2-267> 실험에 사용된 CO_2 표준가스 조성 ····· 605
<표 2-268> 유량에 따른 흡착제의 파과시간 ····· 606
<표 2-269> 흡착제별 CO_2 흡착량 ····· 607
<표 2-270> DAC 시스템 설치 가능한 도로시설물의 전기시설 유무 ····· 609
<표 2-271> 수송부문 온실가스 배출량 ····· 610
<표 2-272> DAC 기술을 적용한 도로시설물(안) 분석 ····· 612
<표 2-273> CO_2 포집 인공트리 장치의 세부사양 ····· 616
<표 4-1> 에너지자원 분석시스템의 기술적 개선사항 ····· 666
<표 4-2> LCC 분석시스템의 기술적 개선사항 ····· 667
<표 4-3> 의사결정 지원시스템의 기술적 개선사항 ····· 668

<그림 차례>

<그림 1-1> 연구배경 및 필요성 ····· 30
<그림 1-2> 탄소중립형 도로 기술개발 연구단 비전 및 목적 ····· 31
<그림 1-3> 탄소중립형 도로 기술개발 연구단 과제 구성 ····· 32
<그림 1-4> 탄소중립형 도로기술 적용 전(좌) · 후(우) 개념도 ····· 32
<그림 1-5> 탄소중립형 도로 기술개발 연구단 세부과제별 연계성 ····· 34
<그림 1-6> 연구단 구성 및 운영 체계 ····· 35
<그림 1-7> 탄소중립형 도로기술 연구단 홈페이지 ····· 36
<그림 1-8> 탄소중립형 도로 개발 기술을 적용한 녹색도로 모형 ····· 37
<그림 2-1> 1-1세부과제 개념도 ····· 49
<그림 2-2> 녹색도로기술 투자평가시스템 개발 TRM 구성도 ····· 53
<그림 2-3> 연구수행 절차 ····· 55
<그림 2-4> 연구수행절차 ····· 57
<그림 2-5> 연구 수행 전략 ····· 63
<그림 2-6> 연구 수행 방법론 ····· 64
<그림 2-7> 연구 수행 전략 ····· 66
<그림 2-8> 연구수행 절차 ····· 67
<그림 2-9> 녹색도로 건설절차 ····· 102
<그림 2-10> 2020년 저탄소 녹색사회 이미지 ····· 104
<그림 2-11> 국토교통부 도로정책 방향 변화 ····· 108
<그림 2-12> 경부고속도로 상부 덮개공원 ····· 108
<그림 2-13> 고창휴게소에 설치된 태양 집전시설 ····· 110
<그림 2-14> GreenRoads 녹색도로등급 분류 및 기준 ····· 113
<그림 2-15> GreenLITES 등급별 범위 ····· 115
<그림 2-16> GreenLITES 녹색도로등급 분류 및 기준 ····· 117
<그림 2-17> 한국형 녹색도로인증제 평가지표 및 등급 개발 방향 ····· 119
<그림 2-18> 한국형 녹색도로인증제 평가요소 규칙 ····· 120
<그림 2-19> 한국형 녹색도로인증제의 4대 핵심지표 ····· 121
<그림 2-20> 탄소중립형 도로기술 연구단의 녹색도로 기술체계 Tree ····· 122
<그림 2-21> 한국형 녹색도로인증제 <고속국도> 계층구조 모형 ····· 126
<그림 2-22> 한국형 녹색도로인증제 <일반국도> 계층구조 모형 ····· 126
<그림 2-23> 녹색도로설계/포장기술 평가항목별 가중치 ····· 128
<그림 2-24> 녹색환경 평가항목별 가중치 ····· 129
<그림 2-25> 녹색자원&에너지 평가항목별 가중치 ····· 129
<그림 2-26> 녹색교통(고속국도 부문) 평가항목별 가중치 ····· 130
<그림 2-27> 녹색교통(일반국도 부문) 평가항목별 가중치 ····· 131
<그림 2-28> 한국형 녹색도로 인증등급 ····· 144
<그림 2-29> 도로건설단계 녹색도로인증 매뉴얼 구성 ····· 145
<그림 2-30> INVEST 인증제도 종류 ····· 158
<그림 2-31> 기존 유지관리 프로그램에 포함된 뉴욕주 교통국의 녹색도로인증제 ····· 159
<그림 2-32> 유지관리 부문 평가분야 간 중요도 전문가 설문조사 예시 ····· 179
<그림 2-33> 도로관리단계(유지관리 부문) 녹색도로인증 매뉴얼 구성 ····· 198
<그림 2-34> 인증시스템 인증 흐름도 ····· 202
<그림 2-35> 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템 관리자/사용자 매뉴얼 ····· 219

<그림 2-36> 도로의 전생애단계에서의 탄소배출량 산정 절차 구성내용 ····· 221
<그림 2-37> 도로의 전생애단계 ····· 221
<그림 2-38> 도로 건설 시 포함되는 공사 및 세부공종 목록(고속도로 예시) ····· 222
<그림 2-39> 도로 시공단계의 공종별, 공사별 탄소배출량 산정 ····· 224
<그림 2-40> 유틸리티 사용에 따른 탄소배출량 산정 ····· 225
<그림 2-41> 한국도로공사 도로 안전점검 대상 구조물 구분(예시) ····· 226
<그림 2-42> A, B 지역 고속도로 건설공사 설계내역서(예시) ····· 227
<그림 2-43> 세부 공종의 조합을 통한 도로 유형별 탄소배출량 산정기법 ····· 227
<그림 2-44> 도로 시공단계 범위 ····· 228
<그림 2-45> 자재투입에 따른 탄소배출량 산정 ····· 230
<그림 2-46> 자재투입에 따른 탄소배출량 산정 ····· 231
<그림 2-47> 시공단계 탄소배출 인벤토리 DB 포맷 ····· 232
<그림 2-48> 운영단계 탄소배출 인벤토리 DB 포맷 ····· 233
<그림 2-49> 유지관리단계 탄소배출 인벤토리 DB 포맷 ····· 233
<그림 2-50> 녹색도로 기술별 탄소배출 인벤토리 DB 포맷 ····· 233
<그림 2-51> 운영단계 토공구간 탄소배출 인벤토리 구축 결과 ····· 234
<그림 2-52> 운영단계 교량구간 탄소배출 인벤토리 구축 결과 ····· 234
<그림 2-53> 운영단계 터널구간 탄소배출 인벤토리 구축 결과 ····· 235
<그림 2-54> 유지관리단계 탄소배출 인벤토리 구축 결과(일부 예시) ····· 235
<그림 2-55> 녹색도로 기술별 탄소배출 인벤토리 구축 결과(일부 예시) ····· 236
<그림 2-56> 녹색도로기술 투자평가시스템 및 탄소관리시스템 ····· 250
<그림 2-57> 기술평가 플랫폼 구성 ····· 251
<그림 2-58> 사업평가 플랫폼 구성 ····· 252
<그림 2-59> 도로망평가 플랫폼 구성 ····· 252
<그림 2-60> 탄소관리시스템 콘텐츠 구성 ····· 253
<그림 2-61> 탄소관리시스템 소개 메뉴(일부 예시) ····· 253
<그림 2-62> 탄소배출량 산정 방법 ····· 254
<그림 2-63> 시공단계 도로 구간별 탄소배출 원단위 ····· 255
<그림 2-64> 시공단계 공사별 배출원별(기본분석) 탄소배출 원단위 ····· 255
<그림 2-65> 시공단계 공종별(상세분석) 탄소배출 원단위 ····· 256
<그림 2-66> 운영단계 도로 구간별(기본분석) 탄소배출 원단위 ····· 257
<그림 2-67> 운영단계 도로 구간별, 배출원별 탄소배출 원단위 ····· 257
<그림 2-68> 유지관리단계 도로 구간별(기본분석) 원단위 ····· 258
<그림 2-69> 유지관리단계 공사별, 공종별(상세분석) 원단위 ····· 258
<그림 2-70> 기술적용효과 평가 수행절차 ····· 259
<그림 2-71> 기술평가 자료입력 화면 - 기본정보 입력 화면 ····· 259
<그림 2-72> 기술평가 자료입력 화면 - 시공단계 공종 선택 화면 ····· 260
<그림 2-73> 기술평가 분석결과 화면 - 시공단계 level 4 분석결과 ····· 260
<그림 2-74> 기술평가 운영단계 분석결과(예시) ····· 261
<그림 2-75> 기술평가 유지관리단계 분석결과(예시) ····· 261
<그림 2-76> 사업평가 수행절차 ····· 262
<그림 2-77> 사업평가 자료입력 화면 - 기본정보 입력 화면 ····· 262
<그림 2-78> 사업평가 자료입력 화면 - 시공단계 공종 선택 및 작업량 입력 화면 ····· 263
<그림 2-79> 사업평가 기본분석 시공단계 결과 화면 ····· 264
<그림 2-80> 사업평가 기본분석 운영단계 결과 화면 ····· 264

<그림 2-81> 사업평가 시공단계 상세분석 결과 - level 1 분석결과 ····· 265
<그림 2-82> 사업평가 시공단계 상세분석 결과 - level 4 분석결과 ····· 266
<그림 2-83> 사업평가 운영단계 분석결과 ····· 267
<그림 2-84> 사업평가 유지관리단계 분석결과(예시) ····· 267
<그림 2-85> 사업평가 종합결과 화면(예시) ····· 268
<그림 2-86> 도로망평가 현황조회 화면 ····· 269
<그림 2-87> 자재 탄소배출계수 데이터베이스 구축 결과 ····· 269
<그림 2-88> 자재, 에너지 및 장비 사용량 입력 화면(기술평가) ····· 270
<그림 2-89> 자재, 에너지 및 장비 사용에 따른 기술평가 결과 화면 ····· 270
<그림 2-90> 사업평가 운영단계 신재생에너지 입력 화면 ····· 270
<그림 2-91> 사업평가 운영단계 분석결과(신재생에너지) ····· 271
<그림 2-92> 고속국도 기본분석 탄소배출 원단위 구축 결과 ····· 271
<그림 2-93> 시공단계 기본분석 결과 화면 ····· 271
<그림 2-94> 사례구간 수작업 탄소배출량 산정 결과 ····· 272
<그림 2-95> 사례구간 탄소관리시스템 활용 탄소배출량 산정 결과 ····· 272
<그림 2-96> 에너지자원 시스템 대안 평가 기능 분류 ····· 279
<그림 2-97> 도로의 에너지사용과 탄소배출 ····· 280
<그림 2-98> 상세분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 - 시공(토공 level 4 예시) ····· 282
<그림 2-99> 상세분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 - 유지관리(고속국도 콘크리트 보수 예시) ····· 282
<그림 2-100> 결정질 태양전지모듈의 용량 및 면적 분포 ····· 284
<그림 2-101> 태양기상자원지도 연누적일사량 ····· 285
<그림 2-102> 로터 지름에 따른 회전면적 ····· 286
<그림 2-103> 풍력발전기 유형별 출력계수(Hau,2006) ····· 287
<그림 2-104> 풍력 기상자원지도 ····· 287
<그림 2-105> 풍력기상자원지도 ····· 287
<그림 2-106> 에너지자원 분석시스템의 모듈 구분 ····· 289
<그림 2-107> 기술평가(개발단계) 모듈 설계 ····· 289
<그림 2-108> 기술평가(적용단계) 모듈 설계 ····· 290
<그림 2-109> 사업평가(기분분석) 모듈 설계 ····· 290
<그림 2-110> 사업평가(상세분석) 모듈 설계 ····· 291
<그림 2-111> 도로망평가(상세분석) 모듈 설계 ····· 291
<그림 2-112> 시스템 수요자 만족도 조사 현장 ····· 292
<그림 2-113> LCC분석 방법론 설정 ····· 294
<그림 2-114> 녹색도로기술 기술평가 단계 비용 추정 ····· 295
<그림 2-115> 녹색도로기술 기술평가 단계 비용 설문조사지 양식 ····· 296
<그림 2-116> 녹색도로기술 기술평가 단계 비용 사례조사 결과 ····· 297
<그림 2-117> 녹색도로기술 Part 2: 사업화 단계 LCC 추정 개념 ····· 298
<그림 2-118> 국도 도로사업 설계 단계 비용 추정 단계 ····· 299
<그림 2-119> 국도 도로 사업 설계 및 시공 공종 구분 ····· 300
<그림 2-120> 국도 실시설계 내역서 - 비용 부문 사례 ····· 300
<그림 2-121> 국도 도로 사업 일반 유지관리 공종 ····· 301
<그림 2-122> 국도 도로 사업 보수 공종 및 비용 사례 ····· 302
<그림 2-123> 탄소중립형 도로 기술 도로 사업 설계 단계 반영 개념 ····· 302
<그림 2-124> 녹색도로기술 도로사업 적용 유지관리 단계 반영 개념 ····· 303

<그림 2-125> LCC분석 절차 ····· 304
<그림 2-126> 유지관리 비용 확률적 LCC분석 ····· 304
<그림 2-127> LCC 분석시스템 개요 ····· 308
<그림 2-128> 도로사업 설계 및 시공 공종 항목 분류 기준 사례 ····· 311
<그림 2-129> 기술평가 상세분석 산출 로직 예시화면 ····· 311
<그림 2-130> 기술평가 상세분석 유지관리 공종별 비용 산출을 위한 logic 예시화면 ····· 312
<그림 2-131> 시스템 테스트 검증 후 수정요청 사례(2차 검토 요청) ····· 319
<그림 2-132> 시스템 테스트 검증 후 최종본 사례- 기술개발비용 시제품 제작 ····· 320
<그림 2-133> 의사결정시스템 구성 ····· 324
<그림 2-134> 기술평가 단계별 분석절차 ····· 325
<그림 2-135> AHP 분석을 위한 계층구조 ····· 326
<그림 2-136> 정책적·기술적 타당성 분석 결과제시 ····· 328
<그림 2-137> 기술개발의 경제성 분석 절차 ····· 329
<그림 2-138> 기술특성에 따른 개발효과 검토 ····· 329
<그림 2-139> 기술개발의 경제적 타당성 제시 ····· 330
<그림 2-140> 기술적용 단계 분석결과 ····· 330
<그림 2-141> 사업평가의 경제성 분석(B/C) 절차 ····· 331
<그림 2-142> 실시설계 내역서 입력(예시) ····· 332
<그림 2-143> 사업평가의 경제성 분석 자료구성 ····· 333
<그림 2-144> 사례구간 기본정보 입력 ····· 334
<그림 2-145> 사례구간 설계내역서 입력 ····· 335
<그림 2-146> 사례구간 예비타당성 평가결과 입력 ····· 335
<그림 2-147> 녹색도로기술 적용에 따른 경제성 변화 ····· 336
<그림 2-148> 상용화 시스템 아키텍쳐_기술평가(개발 단계) ····· 337
<그림 2-149> 상용화 시스템 아키텍쳐_기술평가(적용 단계) ····· 338
<그림 2-150> 상용화 시스템 아키텍쳐_사업평가(기본분석) ····· 339
<그림 2-151> 상용화 시스템 아키텍쳐_사업평가(상세분석) ····· 340
<그림 2-152> 상용화 시스템 아키텍쳐_도로망평가 ····· 341
<그림 2-153> 기술평가의 이용자동선 구축 ····· 342
<그림 2-154> 사업평가의 이용자동선 구축 ····· 342
<그림 2-155> 도로망 평가의 이용자동선 구축 ····· 343
<그림 2-156> G-TIES 상의 상용화시스템 구축 ····· 344
<그림 2-157> 기술평가 기본정보 입력화면(예시) ····· 345
<그림 2-158> 사업평가 기본정보 입력화면(예시) ····· 346
<그림 2-159> 사업평가 공종정보 입력화면(예시) ····· 346
<그림 2-160> 표준공종체계 물량입력 ····· 347
<그림 2-161> 2차년도 녹색도로기술 투자평가시스템 구조도 ····· 348
<그림 2-162> 도로현장 적용평가 반영 ····· 348
<그림 2-163> 기준정보 DB구성 ····· 349
<그림 2-164> 녹색도로기술 자료입력 현황 ····· 350
<그림 2-165> 녹색도로기술 탄소배출량 산정 결과 ····· 350
<그림 2-166> 사례구간 기본정보 입력 ····· 350
<그림 2-167> 사례구간 설계내역서 입력 ····· 351
<그림 2-168> 사례구간 예비타당성 평가결과 입력 ····· 351
<그림 2-169> 사업평가 대안분석(경제성) 결과 검토 ····· 352

<그림 2-170> 시스템 논리 아키텍쳐 정의 ····· 353
<그림 2-171> 시스템 구조설계 추진 절차 ····· 355
<그림 2-172> 2차년 메인포털 화면 시안(1) ····· 357
<그림 2-173> 2차년 메인포털 화면 시안(2) ····· 357
<그림 2-174> 탄소관리시스템 구조 ····· 358
<그림 2-175> 녹색도로기술 투자평가시스템 구조 ····· 358
<그림 2-176> 녹색도로기술 투자평가시스템 통합 포털 설계 방안 ····· 359
<그림 2-177> 기준정보_공종정보 화면 ····· 359
<그림 2-178> 기준정보_배출계수 관리 화면 ····· 360
<그림 2-179> 활동량 등록 관리_설계 수량 입력 화면 ····· 360
<그림 2-180> 활동량 등록 관리_Data 등록 ····· 361
<그림 2-181> 온실가스 배출 정보 관리_공사별 온실가스 배출량 조회 ····· 361
<그림 2-182> 온실가스 배출 정보 관리_공사별 온실가스 배출원단위 조회 ····· 362
<그림 2-183> 화면설계_과제정보 등록 화면 ····· 363
<그림 2-184> 화면설계_설문조사 등록_실험 화면 ····· 363
<그림 2-185> 화면설계_설문조사 등록_시제품 화면 ····· 364
<그림 2-186> 화면설계_설문조사 등록_현장시공 화면 ····· 364
<그림 2-187> 화면설계_설문조사 등록_현장설치 화면 ····· 365
<그림 2-188> 기술개발 Part2 LCC 내역서 조회 화면 ····· 365
<그림 2-189> 기술개발 Part2 LCC 재료비 등록 화면 ····· 366
<그림 2-190> LCC분석통계_과제별 장비 비용 조회 화면 ····· 366
<그림 2-191> LCC분석통계_장비별 비용 조회 화면 ····· 366
<그림 2-192> LCC분석통계_연차별 비용 및 횟수 화면 ····· 367
<그림 2-193> LCC분석통계_기술별 LCC 분석 화면 ····· 367
<그림 2-194> 평가정보등록_기본정보 화면 ····· 368
<그림 2-195> 평가정보등록_세부정보_기술적 타당성 화면 ····· 369
<그림 2-196> 평가정보등록_세부정보_기술개발계획의 적절성 화면 ····· 369
<그림 2-197> 평가정보등록_세부정보_정책적 타당성 화면 ····· 370
<그림 2-198> 평가정보등록_세부정보_경제적 타당성 화면 ····· 370
<그림 2-199> 평가정보등록_세부정보_PM문답 화면 ····· 370
<그림 2-200> 평가결과조회_평가결과 화면 ····· 371
<그림 2-200> 성능 업데이트 및 데이터베이스 최적화 계획 ····· 371
<그림 2-201> 국도 32호선(신풍~우성구간) 개요 ····· 379
<그림 2-202> 국도 36호선(내덕~북일구간) 개요 ····· 380
<그림 2-205> 주행실험 전 장비 설치 및 점검 ····· 387
<그림 2-206> 도로선형에 의한 탄소배출량 산출 프로그램 (output) ····· 388
<그림 2-207> 차량의 운영기록계에 의한 탄소배출량 산출 프로그램 (output) ····· 389
<그림 2-208> 대형차 연비조사 노선 선정 ····· 390
<그림 2-209> 대표차량 및 차량제원 ····· 391
<그림 2-210> ㈜서울버스 차량등록현황 ····· 391
<그림 2-211> OBD-무선통신 기반 정보관리 시스템의 개발 ····· 392
<그림 2-212> 차량운행 관제시스템 홈페이지 ····· 392
<그림 2-213> 실시간 정보업데이트 현황 및 표출 ····· 393
<그림 2-214> PES를 활용한 노면평탄성 IRI 조사 ····· 393
<그림 2-215> 종단평탄성 – 연료소모량의 관계 (40, 60, 80, 100km/h 평균) ····· 394

<그림 2-216> Googol Earth®를 활용한 GPS정보 매칭 ····· 395
<그림 2-217> Markov process 기반 포장상태의 이산적인 변화과정 ····· 399
<그림 2-218> 두 조사시점 내에서의 상태변화경로 ····· 399
<그림 2-219> 포장상태등급의 변화와 조사계획의 관계 ····· 400
<그림 2-220> 마르코프 하자드 모형의 베이지안 추정(Han and Lee, 2014) ····· 401
<그림 2-221> 파라미터별 MCMC과정의 행보 (Trace-plot) ····· 405
<그림 2-222> MCMC괘적을 이용한 모수의 분포추정 예 (case: rutting b0,1) ····· 405
<그림 2-223> 균열의 파손과정과 기대수명의 분산영역 ····· 406
<그림 2-224> 소성변형의 파손과정과 기대수명의 분산영역 ····· 406
<그림 2-225> 종단평탄성(IRI)의 파손과정과 기대수명의 분산영역 ····· 407
<그림 2-226(a)> 파손지표의 확률밀도 ····· 407
<그림 2-226(b)> 파손지표의 누적분포 ····· 408
<그림 2-227> 기대수명의 통합결합확률밀도 ····· 408
<그림 2-228> 건설 및 유지보수 대안을 고려한 생애주기비용분석모형 소프트웨어 (초기화면) ····· 410
<그림 2-229> 생애주기비용분석 입력변수 입력 및 결과물 출력창 ····· 410
<그림 2-230> 복자기나무 컨테이너 시험구의 Biomass 평균 ····· 415
<그림 2-231> 팥배나무 시험구의 Biomass 평균 ····· 417
<그림 2-232> 경기도 안성시 7~8월 강수량 및 평균기온 변화 ····· 420
<그림 2-233> 줄기 및 엽온 측정 ····· 421
<그림 2-234> 식재 처리별 엽록소 형광반응(OJIP) 비교 ····· 421
<그림 2-235> 시기별 엽록소 형광반응(OJIP) 변화 ····· 422
<그림 2-236> 식재 처리별 광화학 생리지표 변화 비교 ····· 424
<그림 2-237> 시기별 광화학 생리지표 변화 비교 ····· 424
<그림 2-238> 광화학 에너지 플러스 효율 비교 ····· 425
<그림 2-239> 엽색도 및 PRI 변화 비교 ····· 426
<그림 2-240> 도로 중앙부(중앙분리대) 유형 ····· 431
<그림 2-241> 중앙부(중앙분리대) 수목 식재 유형 ····· 432
<그림 2-242> 평지형 측면부 인접 구간별 수목 식재 유형(예시) ····· 433
<그림 2-243> 경사형 측면부(가로변) 유형 ····· 434
<그림 2-244> 도로 측면부(가로변) 수목 식재 유형 ····· 434
<그림 2-245> 버팀목 유형 ····· 438
<그림 2-246> 탄소배출량 산정 및 도로선형 기하구조(안) 개발 방안 ····· 443
<그림 2-247> 상류부 평면곡선반경에 따른 상류부 평면곡선길이(안) ····· 445
<그림 2-248> 상류부 평면곡선반경에 따른 하류부 평면직선길이(안) ····· 445
<그림 2-249> 식수대가 없는 횡단구성요소의 조합 예 ····· 446
<그림 2-250> 식수대가 있는 횡단구성요소의 조합 예 ····· 446
<그림 2-251> 지표개발 프로세스 ····· 447
<그림 2-252> AHP 분석 Process ····· 451
<그림 2-253> AHP 분석 계층구조도 - 도로선형 설계 평가지표 ····· 452
<그림 2-254> AHP 분석 계층구조도 - 횡단면 설계 평가지표 ····· 453
<그림 2-255> AHP 분석 계층구조도 - 도로수목 설계 평가지표 ····· 454
<그림 2-256> 최적횡단 적용모형 개발 방안 ····· 456
<그림 2-257> 탄소저감형 LID 도로시설물 개념도(침투트렌치) ····· 480
<그림 2-258> 보도의 우수유입(침투트렌치)을 통한 무동력 관수시스템 ····· 480
<그림 2-259> LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 ····· 481

<그림 2-260> 선형조합 평가절차 ····· 483
<그림 2-261> 구간별 주행속도 및 탄소저감량 평가방안(예시) ····· 483
<그림 2-262> 장치 구성안 ····· 484
<그림 2-263> On-board 탄소배출량 측정 장치의 구성도 ····· 486
<그림 2-264> 장비의 설정 프로그램 ····· 487
<그림 2-265> 가속도센서의 부품배치도 ····· 489
<그림 2-266> DLC의 표준 핀 명칭 ····· 490
<그림 2-267> Indicator의 표시항목 ····· 491
<그림 2-268> Concrete slab casting basic logic ····· 496
<그림 2-269> Concrete slab casting simulation model ····· 496
<그림 2-270> The concept and process optimization studies performed procedures ····· 497
<그림 2-271> Duration, Cost, Carbon Emission For Project Management Optimization ····· 498
<그림 2-272> The resulting graph ····· 503
<그림 2-273> The resulting graph ····· 504
<그림 2-274> 본 과제에서 선정한 지지체 및 활성화제와 활성화 기법 ····· 508
<그림 2-275> 이산화탄소 흡수 실험 column 모식도 ····· 508
<그림 2-278> 탄소 흡수 콘크리트 실내 실험용 몰드 ····· 514
<그림 2-279> 콘크리트의 탄소 흡수 실내 실험용 반응조 설계도 ····· 515
<그림 2-280> 콘크리트의 탄소 흡수 실내 실험용 반응조 ····· 515
<그림 2-281> 콘크리트의 압축강도 실험 ····· 516
<그림 2-282> 콘크리트의 휨강도 실험 ····· 516
<그림 2-283> 콘크리트의 동결융해 저항성 실험 ····· 517
<그림 2-284> 장기 노출 평가 장소 (설치 전) ····· 517
<그림 2-285> 산업부산물의 자체 이산화탄소 흡수능 평가를 위한 이산화탄소 column 실험 결과 520
<그림 2-286> 혼합법으로 제조한 입자상 페이스트 이산화탄소 흡수 column 실험 결과 ····· 521
<그림 2-287> 함침법으로 제조한 입자상 페이스트 이산화탄소 흡수 column 실험 결과 ····· 521
<그림 2-288> W/B 비율 0.5일 때 활성화제 비율에 따른 페이스트의 column 실험 결과 ····· 525
<그림 2-289> W/B 비율 0.7일 때 활성화제 비율에 따른 페이스트의 column 실험 결과 ····· 525
<그림 2-290> 페이스트 배합 압축강도(재령 5일) ····· 527
<그림 2-291> 페이스트 배합 압축강도(재령 3일) ····· 528
<그림 2-292> SEM 사진 ····· 529
<그림 2-293> S100Ca10 배합비 입자상 페이스트의 TG/DTA 분석 결과 ····· 532
<그림 2-294> S100Ca20 배합비 입자상 페이스트의 TG/DTA 분석 결과 ····· 532
<그림 2-295> 입자상 모르타르 이산화탄소 흡수 실험 결과 ····· 533
<그림 2-296> 모르타르 압축강도 실험 결과 ····· 534
<그림 2-297> 슬럼프 실험 결과 ····· 535
<그림 2-298> 공기량 실험 결과 ····· 535
<그림 2-299> 시멘트 대체율에 따른 콘크리트 이산화탄소 흡수 실험 결과 ····· 536
<그림 2-300> 단위용적중량 실험 결과 ····· 538
<그림 2-301> 압축강도 실험 결과(CO2 노출) ····· 539
<그림 2-302> 압축강도 실험 결과(고순도 air 노출) ····· 539
<그림 2-303> 압축강도 실험 결과(동결융해 시험체 이용) ····· 540
<그림 2-304> 휨강도 실험 결과(노출 7일) ····· 541
<그림 2-305> 휨강도 실험 결과(노출 28일) ····· 541
<그림 2-307> 현장 장기 노출 장소 ····· 542

<그림 2-308> 장기 노출 평가를 위한 콘크리트 시편 설치 ····· 543
<그림 2-309> 장기 노출 시의 탄소 흡수능 평가를 위한 반응조 설치 ····· 543
<그림 2-310> 장기 노출 흡수능 평가 결과 ····· 544
<그림 2-311> 휨강도 실험 결과(현장 장기 노출 시험체) ····· 545
<그림 2-312> EDAX(EDS)를 이용한 TiO2 검출여부 분석 ····· 548
<그림 2-313> 치환배합에 대한 EDS 분석결과 ····· 548
<그림 2-314> 양생제 코팅에 대한 EDS 분석결과 ····· 549
<그림 2-315> 실리카계 표면침투제를 적용한 EDS 분석결과 ····· 549
<그림 2-316> 치환배합의 EDAX 분석결과 ····· 550
<그림 2-317> P-25의 EDAX 분석결과 ····· 551
<그림 2-318> CR-57의 EDAX 분석결과 ····· 551
<그림 2-319> NOx 제거 실험 장치의 원리도(ISO 22197-1) ····· 553
<그림 2-320> 도로시설용 광촉매 콘크리트의 NOx 제거 평가 시스템 ····· 553
<그림 2-321> 광촉매 콘크리트 시편 제작 ····· 555
<그림 2-322> TiO2 치환배합에 따른 NOx 농도 변화 ····· 557
<그림 2-323> 굳은 콘크리트에 대한 TiO2 표면침투의 NOx 농도 변화 ····· 557
<그림 2-324> 굳지 않은 콘크리트에 대한 TiO2 표면침투의 NOx 농도 변화 ····· 558
<그림 2-325> TiO2 적용방법에 따른 NOx 제거효율 ····· 559
<그림 2-326> 동결융해 저항성 실험 사용 패턴 ····· 559
<그림 2-327> TiO2 콘크리트의 환경하중저항성 실험 전경 ····· 560
<그림 2-328> TiO2 콘크리트의 현장적용성 평가 구간 ····· 561
<그림 2-329> TiO2 현장 적용 및 NOx 측정방안 ····· 561
<그림 2-330> TiO2 현장 표면살포 및 대기 중 NOx 농도 관측 ····· 562
<그림 2-331> TiO2 현장실험구간의 교통량 추이 ····· 563
<그림 2-332> 티타늄 침투깊이 분석 ····· 564
<그림 2-333> TiO2 적용방법에 따른 NOx 제거효율 ····· 565
<그림 2-334> 굳지 않은 콘크리트에 대한 TiO2 표면침투의 공용 후 NOx 제거효과 분석 ····· 566
<그림 2-335> TiO2 콘크리트의 상대동탄성계수 측정 결과 ····· 566
<그림 2-336> TiO2 표면살포 구간의 NOx 농도변화 ····· 568
<그림 2-337> TiO2 미살포 구간(비교구간)의 NOx 농도변화 ····· 569
<그림 2-338> 광촉매 반응이 활발한 시간대의 NOx 농도 변화 ····· 570
<그림 2-339> 광촉매 반응이 활발한 시간대의 교통량 변화에 따른 NOx 농도 변화 ····· 570
<그림 2-340> TiO2 살포 구간 및 미살포 구간의 NOx 농도변화 ····· 571
<그림 2-341> 광촉매 반응이 활발한 시간대의 NOx 농도 변화 ····· 571
<그림 2-342> 화강풍화토의 입도분포곡선 ····· 573
<그림 2-343> 화강풍화토의 다짐곡선 ····· 573
<그림 2-344> 시료의 수침과 CBR 시험 전경 ····· 574
<그림 2-345> 흙과 유기계 고화제의 결합 구조 ····· 576
<그림 2-346> 유기계 고화제의 성능 시험 ····· 577
<그림 2-347> 유기계 고화제 성능시험 ····· 578
<그림 2-348> 3일 일축압축시험 결과 ····· 581
<그림 2-349> 7일 일축압축시험 결과 ····· 581
<그림 2-350> 양생기간별 유기계 고화제의 일축압축강도 비교 ····· 584
<그림 2-351> 유기계 고화제의 양생기간에 따른 일축압축강도변화 ····· 584
<그림 2-352> 포장가속시험 포장단면 개략도 ····· 586

<그림 2-353> 포장가속시험 결과 측정 장비 ····· 588
<그림 2-354> 포장가속시험 후 흙포장 표면 관측결과 ····· 589
<그림 2-355> 포장가속시험 FWD 조사위치 ····· 589
<그림 2-356> 포장가속시험 결과 ····· 590
<그림 2-357> 처짐곡선을 이용한 동적지지력 산정 ····· 591
<그림 2-358> 포장구간별 유효계수 산정결과 ····· 591
<그림 2-359> 흙포장 현장시험시공 단면도 ····· 592
<그림 2-360> 흙포장 평판재하시험 ····· 594
<그림 2-361> 흙포장 단면확인 ····· 595
<그림 2-362> 흡착제의 EDS 분석 ····· 597
<그림 2-363> 흡착제의 BET 비표면적 분석 ····· 598
<그림 2-364> 흡착제의 SEM 분석 ····· 599
<그림 2-365> 흡수 실험에 사용된 sparger 형태의 흡수장치 공정도 ····· 600
<그림 2-366> 시간에 따른 흡수제 별 CO_2 흡수 성능 ····· 602
<그림 2-367> 흡수제 별 CO_2 흡수량 ····· 602
<그림 2-368> 시간에 따른 혼합흡수제 별 CO_2 흡수 성능 ····· 603
<그림 2-369> 혼합흡수제 별 CO_2 흡수량 ····· 603
<그림 2-370> MEA와 AMP의 첨가 비율에 따른 CO2 흡수량 ····· 604
<그림 2-371> 흡착 실험에 사용된 고정층 흡착장치 공정도 ····· 604
<그림 2-372> 유량에 따른 흡착제의 CO2 파과곡선 ····· 606
<그림 2-373> 흡착제별 CO_2 흡착량 ····· 607
<그림 2-374> DAC 기술 설치 시설물 선정 영향인자 ····· 608
<그림 2-375> 국내 교통 혼잡구간 비교 ····· 610
<그림 2-376> 시도별 온실가스 배출량 ····· 610
<그림 2-377> DAC 기술 적용 가능 공간 도출 ····· 611
<그림 2-378> CO_2 포집 인공트리 장치(외부 구조물) 디자인 ····· 614
<그림 2-379> CO_2 포집 인공트리 장치(저감장치) 설계 도면 ····· 615
<그림 2-380> CO_2 포집 인공트리 장치 제작 과정 ····· 617
<그림 2-381> CO_2 포집 인공트리 장치 현장 시험・시공 전경 ····· 619
<그림 2-382> 모니터링 시스템 구성 ····· 620
<그림 2-383> 시제품 현장 성능검증 결과(1~6주차) ····· 622
<그림 2-384> 시제품 현장 성능검증 결과(7~12주차) ····· 623
<그림 2-385> 시제품 현장 성능검증 결과(전체 3개월) ····· 624
<그림 5-1> G-TIES 홍보 유인물과 기술 소개 모형 ····· 682
<그림 5-2> 평가배점 기준 활용 예시 ····· 682
<그림 5-3> 설계 평가 시 설계 대안별 탄소배출량 분석 ····· 683
<그림 5-4> 탄소배출량 성능보증 평가 프로세스(안) ····· 683
<그림 5-5> 녹색기후기금 창단식 ····· 690
<그림 5-6> 국가 온실가스 배출계수 검증 체계 ····· 691
<그림 5-7> 미국의 INVEST 웹페이지 ····· 691
<그림 5-8> 일본의 신기술정보제공시스템 내 탄소관리 추가 ····· 692
<그림 5-9> G-TIES 추가 연구 수행 전략 ····· 693
<그림 5-10> 향후 추진 주요내용 ····· 695

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

○ 전 세계적으로 지구 온난화로 인한 기후변화와 생태계 파괴는 개발과 성장위주의 정책일로를 걷던 인류에게 더 이상 묵과할 수 없는 인류생존의 위협이 될 수도 있는 중차대한 사안이 되었다.

○ 지난 100년 세계 평균기온은 0.74℃ 상승했으며, 금세기 말 최고 6.4℃ 상승할 것으로 예상되고 있다 (IPCC 4차 보고서). 이에 따라 '저탄소 녹색성장 (Green Growth)'이 전 세계적인 주요 현안이 되었으며, '교토의정서'를 중심으로 글로벌 차원의 온실가스 저감 대책을 마련 및 추진 중이다.

○ 온실가스 배출 순위 세계 10위인 우리나라도 2008년 저탄소 녹색성장을 새로운 국가 성장 비전의 축으로 삼고 관련 법 및 계획의 수립과 이에 따른 관련 기술개발에 박차를 가하고 있다.

○ 우리나라 전체 온실가스 배출량의 16%를 차지하고 있는 도로분야에서도 저탄소 녹색성장에 일조하기 위해서는 녹색도로 법/제도 등을 제정, 정비하고 탄소 모니터링을 통한 통합관리시스템을 구축할 필요가 있으며, 도로의 생애주기인 생산-유지관리-재활용 전단계의 CO2 배출을 최소화하고, 발생된 CO_2를 흡수, 전환, 해소하는 환경친화형 도로 설계 및 시공기술을 개발할 필요가 있다.

※ 2011년 기준 국가 전체 온실가스 총 배출량(697.7백만tCO_2-e) 대비 도로건설 및 운영에 따른 온실가스 배출량 규모는 약 1.6%(11.1백만tCO_2-e), 수송 부문 중 도로교통 분야의 배출량 규모는 약 2.0%(도로교통 수송 전체 9.75% 중 기하구조 개선이나 지체감소 등 도로교통기술 적용으로 줄일 수 있는 대상을 20%로 계산, 13.6백만tCO2-e)이므로, 도로시설 관련 온실가스 배출량 규모는 총 3.6%(24.7백만tCO2-e).
이는 도로 시공 및 운영과 수송 등 직접배출만을 고려한 수치로 도로건설에 사용되는 시멘트 등 자재 생산으로 인해 배출되는 간접배출을 포함하면 이 수치는 증가될 것임.

○ 또한, 자동차와 도로, 운전자와 도로, 그리고 교통/기후조건과 도로의 상관관계를 파악하고, CO_2 배출 최소화를 위한 도로 설계 기술과 재료 및 시공 기술을 개발할 필요가 있다.

○ 이와 같은 필요성에 부응하기 위해 이 연구단 과제는 건설교통미래핵심기술(Green-up 30) 기획(2010)과 '탄소중립형 도로 기술개발기획'(2011)에 이어서 수행한 본과제 이다.



<그림 1-1> 연구배경 및 필요성

참고: 용어의 정의

o 탄소중립(Carbon Neutral)은 CO_2 발생 저감 및 발생한 CO_2의 흡수, 전환, 해소를 통하여 CO_2 발생효과가 '0'인 상태

o 탄소중립 도로(Carbon Neutralized Road)는 도로의 계획/설계/시공/운영/유지관리 등 전생애주기 동안 CO_2 발생을 최소화하고, 발생한 CO_2를 흡수, 전환, 해소하여 궁극적으로 CO_2 발생효과가 '0' 상태인 도로

o 본 과제의 탄소중립형 도로(CNR: Carbon Neutral Road)는 탄소중립도로를 완성하기 위한 전단계로 CO_2 발생효과가 60%(기존 대비 40% CO_2 감소) 수준인 도로

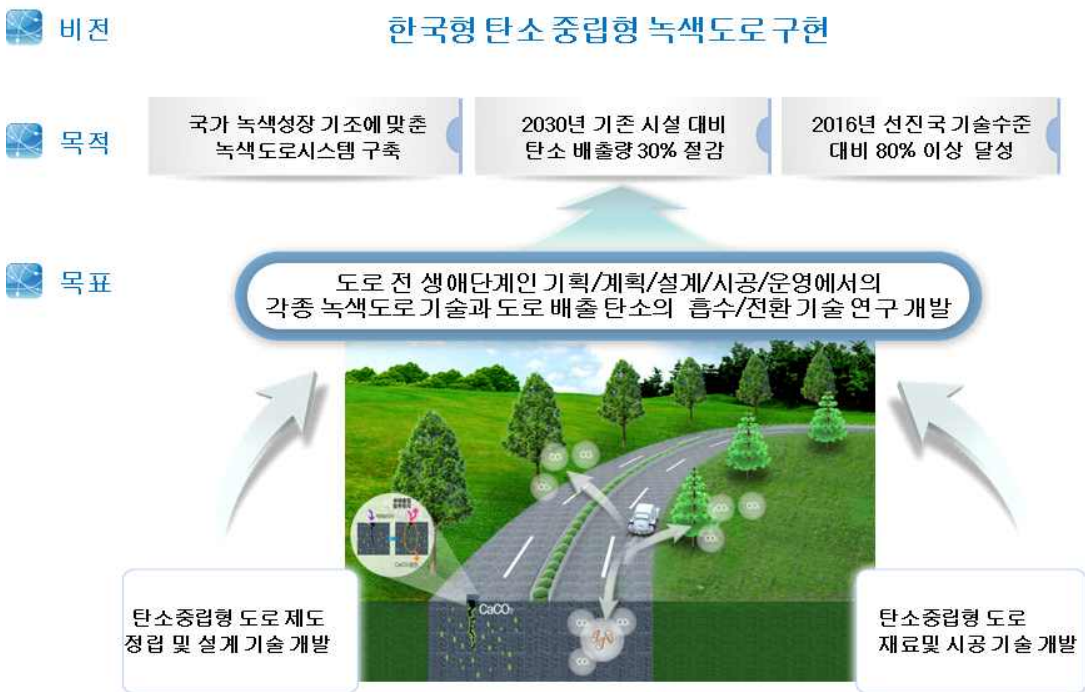
o 녹색도로(Green Highway)는 탄소중립형 도로(CNR)와 생태계를 위한 그린네트워크(Green Network), 도로에너지 하베스팅(Energy Harvesting)이 통합된 도로

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의

○ '탄소중립형 도로 기술개발 연구단'은 '한국형 탄소중립형 녹색도로 구현'이라는 비전을 가지고, '도로 전 생애단계인 기획/계획/설계/시공/운영에서의 각종 녹색도로 기술과 도로 배출 탄소의 흡수/전환 기술 연구 개발'을 목표로 하고 있다.

○ 이를 위해 크게 2개의 세부과제로(탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발, 탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술개발) 구성되어 있다.



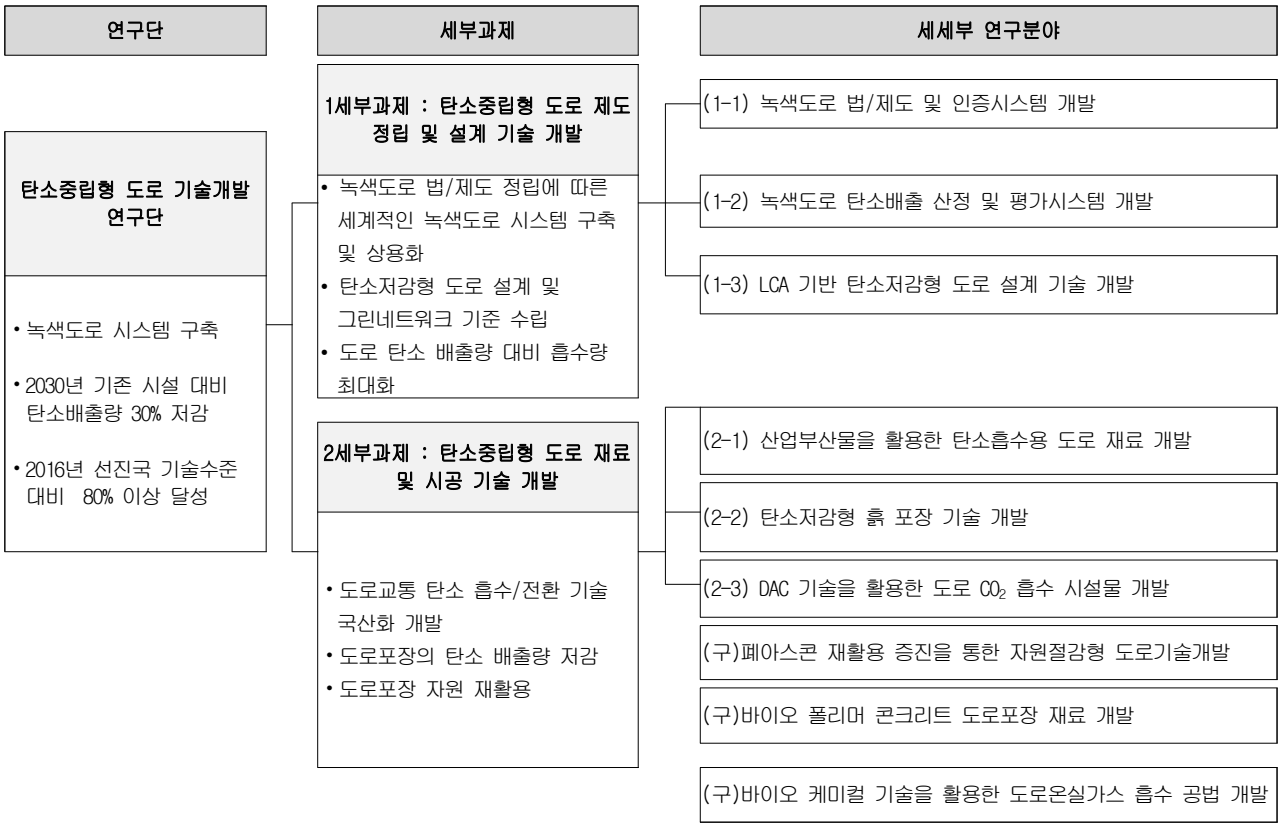
<그림 1-2> 탄소중립형 도로 기술개발 연구단 비전 및 목적

2. 연구개발의 범위 및 세부과제별 담당 구성

○ '탄소중립형 도로 기술개발 연구단'은 총 5차년의 연구기간동안 2개의 세부과제, 8개의 세부분야에 대한 연구를 수행할 계획이었으나, 2013년부터는 3차년을 마지막으로 연구분야가 2개의 세부과제 및 6개의 세세부분야 과제로 축소되어 진행되었다.

○ 1세부과제는 '탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발'로 탄소중립형 도로를 포함하는 녹색도로 건설 및 관리를 위한 법제도와 녹색도로 설계와 관련된 연구주제로 구성되어 있다. 2세부과제는 '탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술개발'로 도로 재료 및 시공에 관한 연구주제로 구성되어 있다.

○ 과제의 전체적인 구성 및 연구목표는 다음과 같다.



<그림 1-3> 탄소중립형 도로 기술개발 연구단 과제 구성

※ (구) 과제는 2차년도 종료과제



<그림 1-4> 탄소중립형 도로기술 적용 전(좌) · 후(우) 개념도

○ '탄소중립형 도로 기술개발 연구단'은 한국건설기술연구원이 주관 및 연구단을 맡고 있으며, 한국도로공사가 협동기관으로 2세부 주관을 맡고 있다.

○ 본 과제는 2개의 세부과제와 세부과제별로 3개의 세세부과제(분야 과제)로 구성되어 있다. 세세부과제별 연구과제(주제)와 담당기관 및 책임자는 다음과 같다.

<표 1-1> 탄소중립형 도로 기술개발 세부과제 및 담당

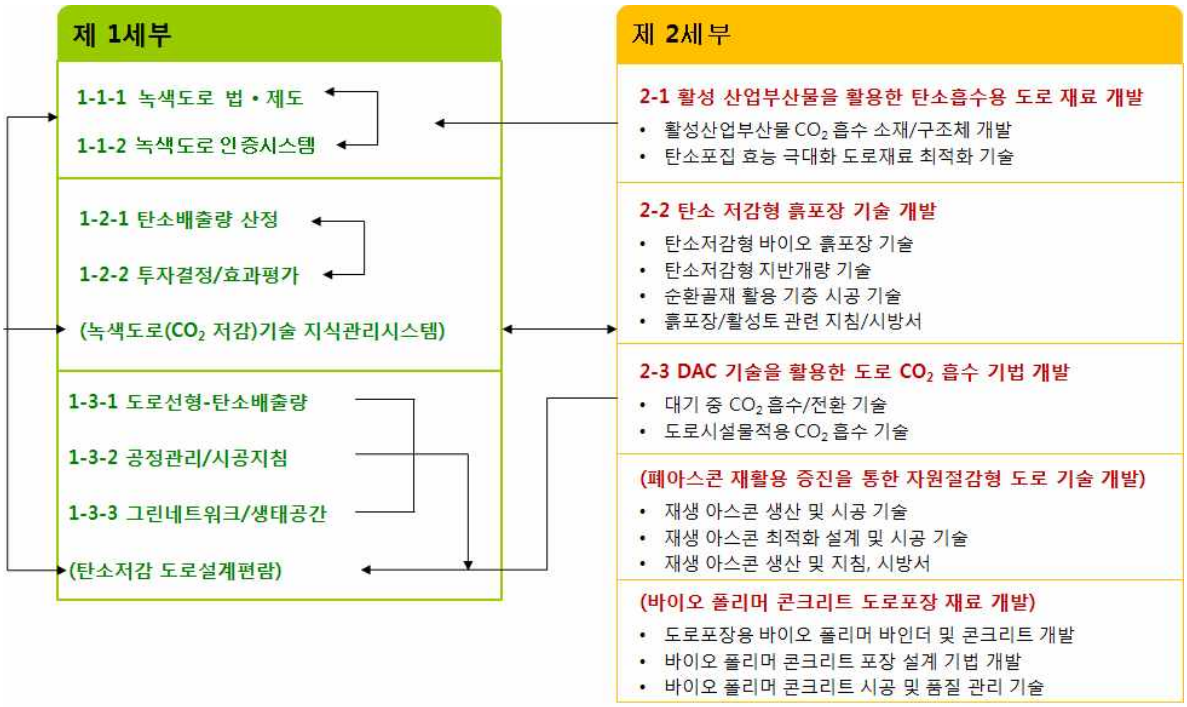
구분	과제번호	과제명	연구기관	책임자
연구단		**탄소중립형 도로 기술개발**	건설연	노관섭
1세부	**주관**	**탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발**	건설연	노관섭
	1-1	**녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발**	교통연	조한선
	1-1-1	녹색도로 및 기술관련 법/기준/제도 개발	교통연	조한선
	1-1-2	녹색도로 인증체계 개발	건설연	구재동
	1-1-3	녹색도로 인증시스템 개발	로드코리아	이진각
	1-2	**녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발**	건설연	백종대
	1-2-1	녹색도로기술 투자평가시스템 개발 -LCC분석시스템 및 에너지/자원 분석시스템	건설연	백종대
	1-2-2	녹색도로 기술 투자효과 평가시스템 개발 -의사결정 시스템 및 상용화 시스템	서울시립대	손의영
	1-2-3	녹색도로 탄소배출량 산정 및 탄소관리시스템 개발	에스오알지	박광호
	1-2-4	녹색도로기술 투자평가시스템 개발	솔루티스	황태연
	1-3	**LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발**	건설연	유인균
	1-3-1	도로선형 및 차량에 따른 탄소배출량 산정	건설연	유인균
	1-3-2	탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발	동부엔	손원표
	1-3-3	탄소저감형 도로수목 시공, 유지관리 기술개발	한경대	박청인
	1-3-4	On-board 탄소배출량 측정장치 개발	허즈앤티	김창용
	1-3-5	공법, 장비운용 등을 조합한 최적 녹색시공기법 개발	도명이엔씨	권석현
2세부	**협동**	**탄소중립형 도로 탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발**	도로공사	이광호
	2-1	**활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발**	세종대	송지현
	2-1-1	활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료 개발	세종대	송지현
	2-1-2	도로온실가스 제거를 위한 도로시설용 TiO_2 콘크리트 공법 개발	강릉원주대	이승우
	2-2	**탄소 저감형 흙 포장 기술 개발**	건설연	이용수
	2-2-1	폴리머 콘크리트를 활용한 탄소저감형 흙 포장 기술개발	건설연	이용수
	2-2-2	산업부산물과 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장 기술 개발	경일대	유지형
	2-3	**DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 시설물 개발**	아주대	홍민선

3. 과제 연계성

○ 탄소중립형 도로연구단은 녹색도로 구현을 위한 전 도로사업 단계와 관련하여 기술과 정책을 연구 개발하였다.

○ 이를 위하여, 다음과 같은 연구과제의 연계성을 갖고 있는데, 즉, 제도·인증 시스템(1-1분야), 설계·시공 기술가이드(1-3 및 2세부), 그리고 탄소관리·투자평가 시스템(1-2분야)의 각 분야별 연구결과가 유기적으로 상호 연계가 되어 있다.

○ 즉, 2세부과제에서 개발되는 도로재료 및 시공기술 연구결과는 1세부과제의 설계기술 연구결과와 함께 '탄소저감을 위한 녹색도로기술 편람(안)'에 수록하여 녹색도로 건설 및 관리를 위해서 적용할 수 있는 가이드를 제시하였다. 또한 본 편람은 일반도로 건설이나 유지관리에 있어서, 보다 좋은 도로한경 개선을 위한 도로설계에 적용할 수 있다. 그리고 이들 단위기술들은 녹색도로 인증시스템 및 탄소관리·투자평가 시스템(1-2분야)에서 반영하고 있다.



<그림 1-5> 탄소중립형 도로 기술개발 연구단 세부과제별 연계성

4. 추진 체계

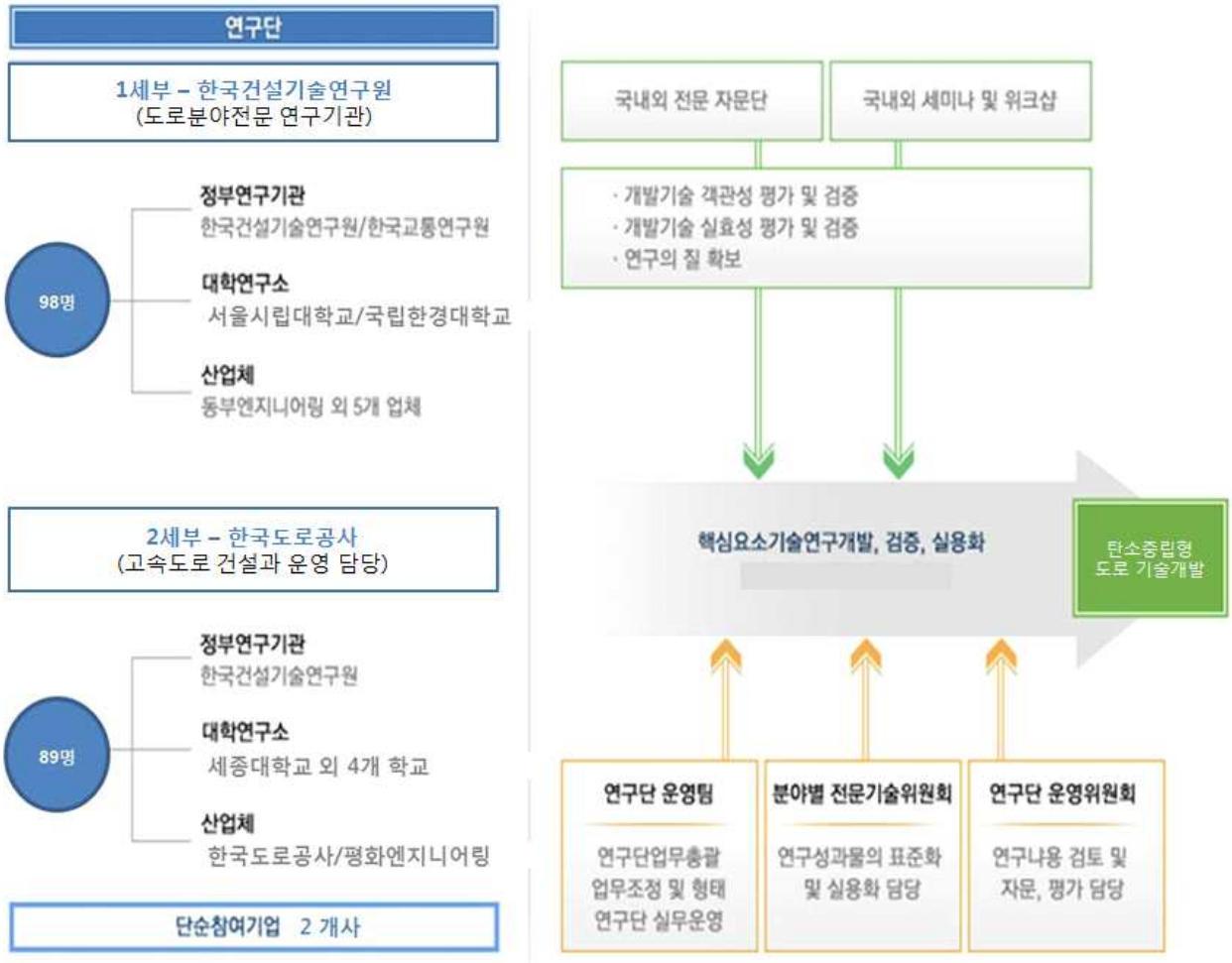
○ 본 연구단의 연구는 실용화 중심의 연구개발 사업으로 정부출연연구기관, 산업체 및 학계 컨소시움을 구성하여 공동연구를 수행하도록 관련 전문기관과 전문가가 융합된 산·학·연 연구조직 체계를 갖추었다.

○ 도로분야 전문 연구기관인 정부출연기관으로 한국건설기술연구원이 연구단 운영과 1세부과제 총괄 책임기관으로, 우리나라 고속도로의 건설과 운영을 담당하고 있는 한국도로공사의 도로교통연구원이 2세부과제 총괄 책임기관으로 참여하며, 정책 관련하여 교통분야 전문 정부출연연구기관인 한국교통연구원이 참여하고, 각 분야의 산학연 연구팀 조직으로 최적의 연구진을 구성하였다.

○ 국내의 최적 연구진 구성을 통하여 연구를 추진하나, 연구 방법론 및 연구 내용과 개발 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 연구 수행 과정에서 국내외 전문가 자문단을 구성하고, 국내외 세미나 및 워크샵 개최를 통해 개발된 기술의 자문 수행 및 실효성을 검증하였다.

○ 또한 연구단 차원에서 연구 성과물의 표준화 및 실용화를 위하여 분야별 전문기술위원회와 연구내용 검토 및 자문, 평가 등을 위한 연구단 운영위원회를 구성하여 운영하였다. 연구단 운영위원회는 국내 산·학·연·관에서 본 과제와 관련한 저명한 전문가 및 연구단을 통해 개발되는 기술의 특허를 위한 전문가로 구성되어 있다. 운영위원회는 매 차년도별 중간단계와 마무리 단계에서 회의를 개최하였다.

○ 연구업무 연락을 위하여 월 1, 2회의 연구단 '알림'을 발송하였고, 연구진 소통과 협업을 위하여 연구단 차원의 워크샵 개최, 세부과제별 및 연구분야별 정기적 회의를 가졌다. 또한 연구진 간의 원활한 소통을 도모하고 정보 및 자료의 공유와 대외적 홍보를 위하여 연구단 전용 홈페이지를 운영하였으며, 홍보 자료를 발간 배포하였다.



<그림 1-6> 연구단 구성 및 운영 체계

<표 1-2> 탄소중립형 도로 기술개발 연구단 운영위원회 구성

구분	성명	소속	직책	분야	비고
위원장	노관섭	한국건설기술연구원	선임연구위원	도로	연구단장, 1세부 책임
위원	이광호	한국도로공사 도로교통연구원	연구실장	포장	2세부 책임
	이용재	중앙대학교	교수	도로교통, 제도	
	최재성	서울시립대학교	교수	도로설계	
	오흥운	경기대학교	교수	교통/탄소관리	
	서영찬	한양대학교	교수	포장	
	양 현	진우엔지니어링	사장	도로설계	
	조경화	국제특허법률사무소 미래연	변리사	특허	
당연직	최용현	국토교통부	사무관	도로기준	

주) 국토교통부 전임 과제 담당관 : 이상규, 백봉기, 정상 사무관



<그림 1-7> 탄소중립형 도로기술 연구단 홈페이지

5. 연구기간 및 예산

○ 본 연구는 총 2년 11개월 동안 3차년 과제로 수행되었으며, 총 연구비는 정부출연금 기준으로 79억원이 소요되었다.

- 연구 기간 : 2011년 11월 28일 ~ 2015년 3월 31일(2년 11개월)

※ 공백기간 : 2013년 4월 28일 ~ 9월 30일(5개월)

- 연구비 : 79억원(정부출연금 기준)

구분		계	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
기간	수행	'11.11~'15.03 (3년5월)	'11.11~'12.06 (8개월)	'12.06~'13.04 (10개월)	'13.10~'15.03 (1년6개월)	-	-
	당초	'11.11~'16.09 (4년10개월)	'11.11~'12.06 (8개월)	'12.07~'13.04 (10개월)	'13.05~'14.04 (12개월)	'14.05~'15.04 (12개월)	'15.05~'16.09 (1년4개월)
예산	수행	79억원	4억	21억	54억	-	-
	당초	157억원	4억	21억	51억	45억	36억



<그림 1-7> 탄소중립형 도로 개발 기술을 적용한 녹색도로 모형

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 1세부 과제-탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발

가. 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발(1-1)

○ 교육과학기술부에서 추진한'녹색도로를 위한 법제연구'는 녹색도로인증제 도입/적용을 위한 측정지표, 설정등급 및 매뉴얼 개발이나 제도적 기반 구축 등과는 무관한 법학적인 관점에서 녹색도로의 개념 및 요건에 관한 기초연구이다.

○ '녹색도로를 위한 법제연구'는 법학적인 관점에서 녹색도로의 개념 및 요건에 관한 기초연구로 본 연구에서 주로 연구하게 될 녹색도로인증제 도입/적용을 위한 측정지표, 설정등급 및 매뉴얼 개발이나 제도적 기반 구축에 관한 내용은 없다.

○ 본 1-1-2세세부 연구진이 참여하여 최근 한국도로공사 발주한 연구용역인"저탄소 녹색도로 인증제도 지표 개발 및 평가 설정 연구(2012)"를 수행하였으며, 상기 연구는 도로부문에 있어서도 고속도로에 한정된 연구이고 미국 워싱톤주의 GreenRoads 인증제와의 호환성을 유지하기 위해 관련 지표개발 및 평가방법 설정을 수행하였다.

○ 1-1분야에서 수행하게 될 녹색도로인증제도 개발은 향후 녹색도로기술 및 관련 산업을 활성화 시킬 수 있고, 이를 통해 지속적으로 도로부분에서 탄소배출량을 줄일 수 있는 사업이 추진될 수 있는 동력이 될 수 있다.

나. 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발(1-2)

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비고
국토해양부	건설기술혁신사업	교통부문 온실가스 저감 및 통합관리 기술	71	2009.12.28~2013.9.28
국토해양부	건설기술혁신사업	녹색건축물 활성화를 위한 온실가스 배출량 평가 및 통합인증시스템 구축	0.7 (1차년도)	2011.12.16~2015.6.29
국토해양부	첨단도시개발사업	탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 개발	2 (1차년도)	2011.12.16~2016.6.29
교육과학기술부	지역대학우수과학자지원	LCC를 고려한 도로시설물의 자산가치관리 방안		
국토해양부	건설기반기술혁신사업	건설부분의 LCA 활용방안에 관한 연구		
국토해양부	철도투자평가 편람개선연구	철도투자평가편람개선연구		
국토해양부	건설교통R&D 정책인프라사업	건설공사 적정공사비 산정 및 관리시스템 구축	102	

연구과제명	검토의견
교통부문 온실가스 저감 및 통합관리 기술	· 도로, 철도, 항공, 해운 등 개별 수단별 온실가스 배출계수 및 활동도 자료 수집을 통해 교통부문 온실가스 인벤토리 개발
녹색건축물 활성화를 위한 온실가스 배출량 평가 및 통합인증시스템 구축	· 빌딩 Life-cycle을 통해 발생하는 에너지와 온실가스 DB 및 지원시스템을 구축하고, 이를 통합 인증시스템으로 개발
탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 개발	· 도시 공간-교통-환경을 연계하여, 건축물, 토지이용, 자동차 탄소배출량을 예측하고, 실시간으로 측정 관리하는 시스템 개발
건설공사 적정공사비 산정 및 관리시스템 구축	· 종단경사 변화에 따른 환경 경제성 평가를 통해 적정공사비 산정을 검토
건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구	· 건축분야의 전과정에 걸친 환경평가를 수행하여 건축물의 축조에 따른 에너지 소비 및 지구온난화 환경부하 등을 측정함. 이를 통해 건축물 건설시의 시행지침안과 환경성능인증제 도입을 위한 기본방안을 마련함

다. LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발(1-3)

○ 국내의 경우 도로공사 공정관리 요소기술로 주로 공정과 공사비 연계를 위한 디지털 수량산출 기준 마련 또는 공종별 작업조나 생산성 등에 관한 연구 등 세부 작업들에 대한 정보를 얻기 위한 연구가 이루어 진 바 있으나, 도로공사의 공정 간 유기적 연계성을 고려한 전체적인 공정관리 최적화를 위한 요소 기술 개발은 매우 부족함. 따라서 도로 공사와 같이 수평으로 반복적인 건설공사에 적합한 선형 공정계획 기법과 주요 공정들의 유기적 구성에 관한 분석이 가능한 네트워크 공정관리 기법(CPM)의 적절한 융합을 통한 공정관리 최적화 기술을 개발하고자 한다.

○ 저탄소 도로노선 선정을 위한 실감형 시뮬레이터 개발 연구(교육과학기술부 중견연구자지원사업)는 도로 설계 단계에서 도로 노선을 결정할 때 환경부하량 및 비용 예측을 위한 시뮬레이터를 개발하는 연구이지만, 본 연구는 시공 및 유지관리 공사 단계에서 발생 가능한 탄소량 저감과 공기와의 상관관계를 고려한 공정관리 최적화 모델을 개발하는 것이므로 적용 시점과 관리 대상이 모두 상이하다.

○ 본 연구에서는 도로건설의 유형별 다양한 장비의 조합이 공사기간과 비용, 탄소배출량의 관점에서 최적화 대안을 제시하고자 하므로, GIS기법을 적용한 다양한 건설 환경에서의 탄소배출량 제어기법 개발(부산대학교 산학협력단) 연구와 차별화 된다.

○ 건설생산의 효율성제고를 위한 건설기계장비 활용도 향상(한국건설관리학회) 연구는 건설기계 프로세스 분석 측면에서 일부 중복성이 있으나 기계의 조합에 따른 프로세스 모델링으로 인한 건설장비 운용 측면의 탄소배출량 산정의 관점에서 차별화 된다.

연구과제명	검토의견
친환경 지능형 도로 설계 기술 개발(2010)	· 도로설계 시 환경피해 최소화 측면에서 고려해야 할 수많은 인자들을 최신 IT기술을 적용하여 경제성을 고려한 안전하고 친환경적인 최적의 설계가 가능한 미래 지향적 도로설계 기술을 개발함
지능형도로 통합설계 프로그램 개발(2010)	· 정성적으로 평가되던 환경성을 정량화하여 설계에 반영할 수 있도록 GIS 및 AHP를 활용한 친환경 도로노선 선정 기법 및 프로그램 개발 · 경제성, 안전성을 고려한 구조물 형식 선정 프로그램 개발
고속주행 여건을 고려한 환경시설 설치방안 (스마트1-2-1)(2010)	· 로드킬을 예방할 수 있는 생태통로의 설계기법 개발을 위해 환경부, 국토해양부 자료 및 각종 논문을 통해 생태통로의 유형별 특성, 동물크기별 유도울타리 설치방법을 제시함 (3차년도 연구종료) · 4차년도부터는 연구성과의 실용성을 극대화하기 위해 감지시스템 등의 장치개발에 주력
스마트하이웨이디자인기술 개발(2010) 및 도로경관디자인 기술개발(2011)	· 도로의 **경관과 디자인을 고려한 설계시스템**과 경관의 계획과 평가를 위한 VR평가시스템을 구축, 쾌적성과 심미성을 갖춘 **경관디자인 도로** 구현을 목적으로 함

2. 2세부 과제-탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발

가. 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발(2-1)

(1) 국내 기술 및 산업 동향

○ 시멘트 및 콘크리트 생상과정에서 발생하는 CO_2 를 줄이기 위한 기술 개발의 필요성은 국·내외에서 폭넓게 인식되고 있으며, 선진국을 중심으로 새로운 기술을 선도하기 위한 연구가 진행되고 있다.

(가) 시멘트 저감형 고성능 콘크리트 기술

○ 플라이애시 및 고로슬래그 등의 산업부산물의 활용을 증대시키기 위한 기술로서 일반적인 혼입수준에서는 이미 많은 기술이 확보됨. 하지만 혼입량을 증대시키기 위한 기술의 개발은 지속적인 연구개발이 필요하다.

○ 또한 Geopolymer 기술을 이용한 시멘트 대체소재의 개발은 기후변화의 주요 원인중 하나인 이산화탄소 배출을 시멘트 생산에 비해 80% 이상 저감시킬 수 있으며, 열저항선, 화학저항성, 기계적 특성이 매우 우수하고, 중금속을 고정화할 수 있기 때문에 폐기물 처리에 적용 가능하다.

○ 현재 소각재를 geopolymer 소재로 재활용하고자 하는 연구는 매우 미흡한 상태이며, 소각재의 경우 성상이 다양하고 유해성분을 다량 함유하고 있기 때문에 소각재를 이용하여 geopolymer 제조시 압축강도 발현에 영향을 줄 수 있다.

(나) 무시멘트 콘크리트 기술

○ 산업부산물을 활용하고 알칼리 활성화 경화기술의 개발이 진행 중이나, 도로 포장 및 구조체 적용은 아직 미진한 수준이다.

○ 고로슬래그는 기존의 지오폴리머 콘크리트 분야에서 시멘트 대체용으로는 사용되어왔으나, 이산화탄소 흡수에 관해서는 아직 밝혀진 바 없다.

○ 국내의 경우 전남대 "바이오하우징 연구사업단"의 '무시멘트 콘크리트' 연구와 대우 건설의 '탄소배출저감 콘크리트개발' 등의 연구가 있었으며, 그 외 몇몇 대학에서 소규모 연구가 수행된 바가 있다.

(다) 이산화탄소 포집 기술

○ 우리나라의 경우 이산화탄소 포집기술에 대한 검토는 하고 있지만 실제로 시멘트 공정에 적용한 예는 아직 없음. 특히 탄소 흡수 흡착 기술 (CCS, Carbon Capture and Sequestration) 개발에 적극적인 검토가 필요하다.

(2) 국외 기술 및 산업 동향

(가) 영국

○ Climate change bill 정책을 통하여 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 80% 감축을 목표로 하고 있다.

○ 기후변화법(Climate Change Act)에서 탄소 예산 도입, 배출목표 달성방안을 수립한 후 기업보고서에 계획으로 반영하고자 한다.

(나) 미국

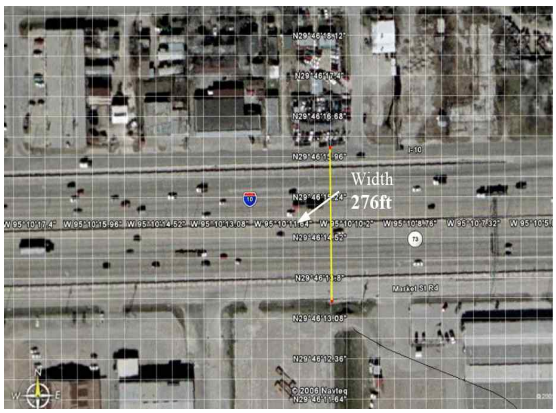
○ 2001년 국가에너지정책(NEP, National Energy Policy) 수립으로 에너지 효율화와 에너지 절감을 국가 에너지 정책의 핵심으로 강조하고 있다.

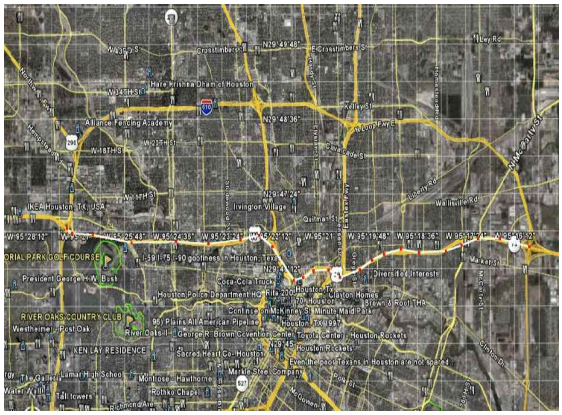
○ 2005년 에너지정책법(Energy Policy Act 2005)에서는 에너지 효율을 보다 강조하며 신재생에너지 사용 확대의 기본방침으로 각 부문별 에너지 효율화에 대한 정책적 수단을 제공하고 있다.

○ 2020년부터 주거용, 2025년부터 비주거용 제로 에너지 건축물 의무화를 목표로 하고 있으며, 에너지부(Department of Energy)의 "Building America" 사업 등을 통해 다양한 지원추진 중이다.

○ International Energy Agency(IEA) 에서는 Cement Technology Roadmap 2009에서 2050까지 시멘트 산업의 탄소배출저감 기술에 대한 방향을 제시하고 있다.

○ 콘크리트의 CO_2 저감을 위한 원천기술 개발을 목표로 "Concrete Sustainability Hub" 연구 센터가 2009년 10월 미국 MIT에 설립 되었으며, PCA(Portland Cement Association)와 RMC(Ready-Mixed Concrete) Research & Education Foundation 으로 부터 5년간 $10 million의 예산지원을 받기로 하였다.





Houston지역 광촉매 도로포장을 위한 포장면적 계산자료

○ 미국의 경우, Texas, Houston지역의 고속도로를 포함한 자동차도로와 인도의 보도 블록에 적용할 목적으로, Lamar대학의 연구진을 중심으로 2006년부터 본격적인 연구개발에 착수하였고, Houston지역 자동차도로에 광촉매 포장을 적용할 목적으로, 포장면적을 계산할 때, 그 계산방법을 제시한 연구개발 연차보고서상의 자료이다.

(다) 유럽

○ 유럽의 경우 최근 그린 콘크리트 개발 연구가 다수 수행되어왔으며, 대표적인 연구과제는 다음과 같다.

- TESCOP(Technology Solutions in the Life Cycle of Concrete Products) European Funding 1997-2000.
- Green Concrete, Danish Funding, 1997-2000
- Concrete for Environment, Nordic Funding, 2001-2003
- ECOserve Network, European Funding, 2003-2006
- CO_2 Uptake during the Concrete Life Cycle, Nordic Funding, 2004-2005
- BioCrete, European Funding, 2005-2007

○ 벨기에의 경우 광촉매 블록포장을 시공하여, 약 1년 후 동지역의 대기 오염이 약20% 감소하는 결과를 보고하였다.





광촉매 콘크리트 블록 포장 적용 사례 (벨기에)

(라) 일본

○ 정부의 주요 시책인 '교토의정서 목표 달성계획(2005년)'은 온실가스 배출량을 1990년 대비 6%를 삭감하기 위한 지구온난화 대책 추진에 관한 기본방향을 설정하였다.

○ 환경행동계획 2008 수립, CO2 삭감은행, 친환경 대출 등을 통해 시민들의 자발적 CO2 감축 노력을 유도하고 있다.

○ 2008년 '저탄소 사회구현을 위한 국가행동계획'을 수립하여 2050년까지 60~80% 온실가스 감축목표를 제시하고, 이를 위한 에너지 자립 및 장수명 주택 등 핵심기술 개발을 추진중이다.

○ 일본에서는 방음벽과 가드레일 등 도로 시설물에 광촉매를 코팅하여 도로변에서 발생되는 대기오염물질을 저감하는데 활용하고 있으나 현장 적용은 아직 초기 단계이다.

○ 일본의 경우 Osaka, Chiba, Chigasaki & Saitama-Shintoshin 지역의 50,000m^2의 면적에 광촉매 콘크리트 블록 포장을 시공하였다. 이러한 시공들에 관한 연구결과에 의하면, 광촉매 도로 포장은 주행중인 자동차에 의하여 배출되는 NOx의 15%를 분해하며, 도로변 가로수보다 NOx분해효과가 탁월하고, 대도시지역의 모든 주도로와 인도 보도블럭, 건물외장재에 광촉매 기능을 부여할 경우에는 공기의 질이 80%향상 된다고 예측되고 있다.



일본의 광촉매 콘크리트 블록 포장 적용 사례

(마) 세계적인 다국적 산업체

○ 저탄소 콘크리트 개발에 대해 산업체에서도 큰 관심을 갖고 연구를 수행하고 있다. 대표적인 회사와 연구 개발 분야는 다음과 같다.

- Novacem : CO_2 발생이 없고 경화 후 CO_2 를 흡수할 수 있는 시멘트 개발
- Calera : CO_2 를 70~90%까지 줄일 수 있는 시멘트 및 골재 대체 재료 개발
- Cenin : CO_2 배출량을 줄일 수 있는 시멘트 및 골재 대체 재료 개발
- Denka : Geopolymer를 활성화시켜 결합재로 사용할 수 있게 해주는 화학 혼화제 개발

○ EU를 중심으로 한 선진국에서는 온실가스 감축 기술 시장이 태동기를 거쳐 도약/성숙 단계를 진입하였다.

나. 탄소저감형 흙 포장 기술 개발(2-2)

○ 흙 포장 가술분야에 대한 전체 특허의 동향을 살펴보면, 대체로 한국특허와 일본특허에 의해 특허활동이 주도되고 있는 것으로 분석된다.

- 일본특허의 경우, 1990년대 초반부터 2000년대 중반까지 특허활동이 두드러졌고, 최근 5년간 감소추세를 보임.

- 한국특허는 2000년대까지만 해도 미비한 특허활동을 보였으나, 이 후 뚜렷한 증가추세를 보이고 있음.

○ 흙 포장 기술 분야에서 미국특허와 유럽특허의 특허건수는 매년 3건이하로 특허활동이 한국과 일본특허에 비해 저조하다.

○ 우리나라에서는 무기계에 특허활동이 집중되어 있는 것으로 나타났으며, 1990년대 후반부터 전반적으로 상승추세에 있다.

○ 유기계중 아크릴과 에폭시만을 바인더로 사용한 특허는 없다.

○ 탄소저감 흙 포장 설계 및 품질관리 기준이 없다.

○ 강도만 고려하는 획일적인 품질관리 기준으로 통일된 기준이 없다.

○ 도로 등급에 따른 흙 포장 기준 및 적용 사례가 없다.

○ 주로 시멘트 콘크리트를 이용한 포장 방법으로 탄소 저감 효과 미약하다.

○ 흙 포장과 관련된 국내 논문은 약 20여편이 있으며 대부분 무기계바인더를 이용한 흙 포장 재료의 특성에 관한 논문으로 재료의 역학적 특성을 밝히는데 집중되어 있다.

다. DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 기술 개발(2-3)

○ 현재 지구상에서 배출되는 CO2는 년간 260억ton으로 추산되며, 그 중 40%는 점오염원(발전소 등), 50%는 비점오염원(운송수단 및 빌딩 등)에서 그 외 10%는 공장에서 배출되고 있다.

○ 발전소에서 배출되는 CO2 포집 및 저장 기술은 국내·외에서 막대한 R&D 투자 자금으로 개발되고 있으나 배출량의 50%를 차지하는 자동차 등 비점오염원에서 배출되는 CO2 포집에 대한 연구는 진행된 바 없으며, 이에 대두된 것이 DAC(Direct Air Capture) 기술이다.

○ DAC 기술은 대기 중 CO2를 능동적으로 포집하는 기술로서 미국, 캐나다의 연구기관에서 지난 7~8년간 집중적으로 연구가 수행되었으며 저효율, 고비용의 단점이 부각되어 미국 물리학회(APS) 주관으로 2년간 DAC 기술의 사업타당성 조사연구(feasibility study of project)를 수행하였고, 2011년 6월에 최종결과물을 발표하였다.

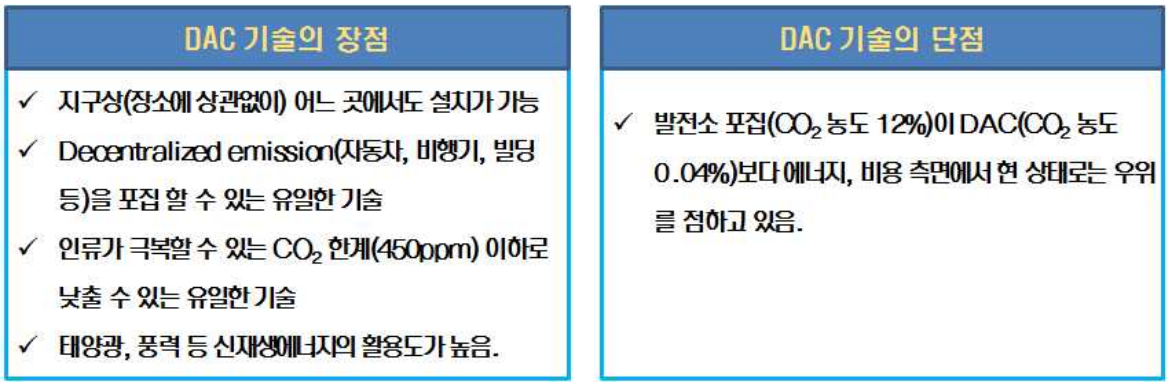
○ 미국 물리학회에서 발표된 내용은 다음과 같다.

「DAC 기술의 장점」

- 지구상(장소에 상관없이) 어느 곳에서도 설치가 가능함.
- Decentralized emission(자동차, 비행기, 빌딩 등)을 포집 할 수 있는 유일 한 기술임.
- 인류가 극복할 수 있는 CO2 한계 농도(450ppm) 이하로 낮출 수 있는 유일한 기술임.
- 태양광, 풍력 등 신재생에너지의 활용도가 높음.
- 기존 구조물(도로시설물, 인공트리)을 이용할 수 있음.

「DAC 기술의 단점」

- 발전소 포집(CO2 농도 12%)이 DAC(CO2 농도 0.04%)보다 에너지, 비용 측면에서 현 상태로는 우위를 점하고 있음.
- 포집된 CO2를 압축・운송・저장하는 발전소 포집과는 달리 이에 대한 기술 개발이 이루어져야 함.



DAC 기술의 장・단점 비교

제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치(차별화방안)

1. 1세부 과제-탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발

가. 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발(1-1)

○ 도로분야에서의 녹색도로의 설계·시공·운영 측면에서의 녹색도로 인증제 평가지표 및 인증제도 관련 프로그램 개발 사례가 없다.

○ 본 1-1-2세세부 연구에서 개발하고자 하는'녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발'은 기존의 연구와는 다르게 고속도로 뿐만 아니라, 국도, 지방도, 시군구도 등 모든 도로유형을 대상으로 하고 있어 평가지표 부문에서 차별성이 있다.

○ 또한, 구체적인 세부평가지표 및 등급설정에 있어서도 기 수행된 연구와는 달리 외국에서 시행하고 있는 특정 녹색도로인증시스템을 차용하여 개발하는 것이 아니라, 본 연구단의 연구를 수행을 통해서 개발되는 녹색기술들을 중심으로 세부평가항목 등을 설정하고 있다.

나. 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발(1-2)

유사 연구과제명	차별화 방안
교통부문 온실가스 저감 및 통합관리 기술	·유사과제는 교통수단별로 교통운영적인 관점으로 초점을 맞춤 - 본 분야는 도로 건설/관리 전반적인 생애주기를 고려한 탄소배출량을 산정할 계획임
녹색건축물 활성화를 위한 온실가스 배출량 평가 및 통합인증시스템 구축	·유사과제는 녹색건축물 관리를 위하여 건물단위의 온실가스 DB와 인증시스템을 구축함 - 본 분야는 녹색도로 관리를 위하여 도로 재료, 시공, 유지관리 중심으로 생애주기를 고려하여 탄소배출량을 산정할 예정임
탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 개발	·유사과제는 도시 교통과 관련된 건축물-토지-자동차로부터의 탄소배출량을 예측하고 실시간으로 CO2를 측정, 평가, 관리하는 시스템임 - 본 분야는 도시계획 보다는 도로 설계, 시공, 유지관리 측면에서의 탄소배출량을 예측 산정할 예정임
LCC를 고려한 도로시설물의 자산가치관리 방안	·유사과제는 LCC(Life-cycle Cost)를 기반으로 도로시설물의 자산가치관리 방안을 제시함 - 본 분야는 LCA(Life-cycle Assessment) 기법을 활용하여 다각적인 평가기준을 고려하여 탄소중립형 도로 건설을 위한 전반적인 사항을 고려할 예정임
건설부분의 LCA 활용방안에 관한 연구	·유사과제는 건설부분의 LCA기법을 환경물질 전반 인벤토리 구축을 위한 개략적인 기준을 고려함 - 본 분야는 LCA기법을 통하여 도로 건설/관리를 세부적으로 구분한 후 통합하는 종합개념으로 수행할 예정임
철도투자평가편람개선연구	·유사과제는 철도투자를 유도하기 위한 투자평가시스템 개선과 관련된 내용이었음 - 본 분야는 탄소 중립형 도로 측면에서 재료, 시공, 운영, 유지관리 등과 관련된 생애주기를 고려한 에너지/자원, 비용, 경제성 분석 등 투자평가시스템을 좀 더 확장해 전개할 예정임
건설공사 적정공사비 산정 및 관리시스템 구축	·국내 운전자의 운전행태를 반영하지 못하여 환경경제성의 평가의 정확성이 떨어짐

다. LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발(1-3)

○ 현재 국내 토목공사 부문의 경우 대부분 체계적인 공정관리가 이루어지고 있지 않으며 공정관리 주요 관점이 주로 공사비 최소화에 초점을 맞추고 있어 CO2, Duration, Cost 등을 종합적으로 고려한 공정관리에 대한 연구가 없다.

○ 또한 국내 도로공사 현장에서 주로 적용되고 있는 공정관리 도구는 여전히 Bar chart가 주를 이루고 있어 (이규선외 1명, 2011) 공정관리 최적화 기법 적용에 한계가 있다.

○ 이에, 국내 도로공사 공정관리에 효과적으로 적용될 수 있는 공정관리 기법을 제시함으로써 체계적인 공정관리 확대를 도모함. 탄소 저감형 공정관리의 주요 인자로 CO2, Duration, Cost 등을 종합적으로 고려한 탄소 저감형 공정관리계획과 Work section division, Resource allocation 등 효율적인 공사 관리를 실현할 수 있는 네트워크 기반 최적화 공정관리 가이드라인을 제시하고자 한다.

연구과제명	차별화 방안
친환경 지능형 도로 설계기술 개발(2010)	·탄소발생의 감소(선형, 구조물), 탄소발생 회피(선형), 탄소흡수(횡단면) 관점에서 도로선형 및 횡단면 설계기법, 최적 구조물 선정기법 등을 통한 그린네트워크 도로설계기술을 개발하고자 함
지능형도로 통합설계 프로그램 개발(2010)	·교량 구조물의 계획 및 설계시 탄소발생을 최소화할 수 있는 구조 · 재료 · 시공 · 경관 및 환경 측면을 고려하여 최적의 교량형식선정 기법을 개발하고자 함
스마트하이웨이디자인기술 개발(2010) 및 도로경관디자인 기술개발(2011)	·탄소발생량의 감소, 탄소발생 회피, 탄소흡수를 고려한 도로선형 및 횡단면 설계기법, 구조물 형식선정 기법의 개발을 목표로 함 ·기존 과제에서 제시한 경관을 고려한 친환경 설계기법을 탄소 감소, 회피, 흡수를 통한 탄소저감 관점에서 접근하여 연구를 수행하고자 함

2. 2세부 과제-탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발

가. 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발(2-1)

○ 기존의 시멘트 콘크리트포장의 산업부산물 활용기술은 이미 상용 가능한 수준으로 분석되었다.

○ 하지만 산업부산물의 활용을 통한 간접적이고 수동적인 탄소저감기술 한계가 있으 며, 탄소를 흡착 포집하여 적극적이고 능동적인 친환경 도로포장기술 개발은 미약하다.

○ 연구 개발하고 있는 소재에서 고로슬래그 자체가 이산화탄소를 흡수하는 것이 아니며, 산업부산물 사용량이 증대함에 따라 기존의 포틀랜드 시멘트 사용을 감소시키고 (수동적 저감), 본 연구의 탄소포집 활성화 기술을 통하여 추가적으로 탄소를 흡수 저감하는 (능동적 저감) 기술이다.

○ 본 연구에서는 산업부산물인 고로슬래그의 표면을 활성/개질시켜 이산화탄소 포집흡수능을

극대화 시키고자 함. 또한 단순히 이산화탄소 흡수능만 극대화 시키는 것이 아니라 적정 강도를 동시에 확보할 수 있는 최적의 배합비율을 도출하고자 실험을 진행하고 있다.

○ 저탄소 발생 결합재의 개발뿐만 아니라 기존 시멘트의 사용량 감소, 콘크리트 재료의 물리·화학적 특성 제어, 저탄소 콘크리트의 구조물 적용까지를 모두 포함하여 모든 콘크리트 구조물에서 CO_2 발생을 최소화 할 수 있는 새로운 차원의 연구가 필요하다.

○ 이러한 연구를 수행하기 위해서는 재료 개발분야, 재료의 물리.화학적 특성 검증 분야, 정밀계측 및 스마트 센싱 분야, 구조 해석 분야의 학제적 집단연구가 요구되며, 연구센터에서 각기 다른 전문분야를 갖는 우수 연구 인력들이 공동으로 연구를 진행하는 것이 필수적이다.

○ 연구의 특성상 원천기술의 확보가 무엇보다 중요하며, 단기간의 실험중심 연구만으로는 원천기술의 확보와 현장 적용이 불가능함. 장기간에 걸쳐 이른바 바탕을 둔 메커니즘의 규명과 재료 모델의 개발, 실험을 통한 검증, 실제 문제에 대한 적용성 검토가 모두 이루어져야 한다.

나. 탄소저감형 흙 포장 기술 개발(2-2)

○ 산책로, 자전거도로 뿐만 아니라 차량 통행이 가능한 일반도로에 흙 포장을 적용하기 위해 도로 등급에 따른 흙 포장 설계기준이 필요하다.

○ 탄소 저감 흙 포장의 성능 및 품질관리 기준이 정립되어야 한다.

○ 탄소저감 흙 포장 기술은 시멘트와 아스팔트를 사용하지 않으므로 탄소 배출량을 30%이상 줄일 수 있다

○ 현장 발생 현지토를 이용하므로 운반과정 및 시공기간 단축으로 탄소발생량과 경제적 비용을 절감 할 수 있다.

○ 무시멘트 콘크리트에 대한 기술은 현재 상용화 수준이나 도로포장재료에 대한 연구 개발은 미흡한 실정이다.

- 무시멘트 무기계 바인더를 이용한 복합안정처리 재료에 대한 포장설계 및 시공 지침 개발

다. DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 기술 개발(2-3)

○ 국외 기술동향에 따르면 air extractor 1대는 연간 90,000톤의 CO2 처리가 가능하며, 현재 이를 위한 현장적용 시험을 진행 중인데 본 연구에서도 2차년도에 수행된 연구결과를 바탕으로 시제품 개발에 따른 공정 최적화를 통하여 국내 비점오염원에서 발생되는 CO2를 혁신적으로 저감할 수 있을 것으로 판단된다

○ 현재 미국과 캐나다에서 DAC 기술을 활용한 활발한 연구가 진행 중이며, 기술수준은 요소기술 개발이 완료되어 현장적용 중에 있다.

○ 국내에서는 DAC 기술의 연구는 태동하며, 본 연구에서 수행 중인 기술개발이 최초임. 따라서 현재 개발 중이 기술은 향후 선진국가의 DAC 기술 수준과 유사한 수준에 이를 것으로 판단된다.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

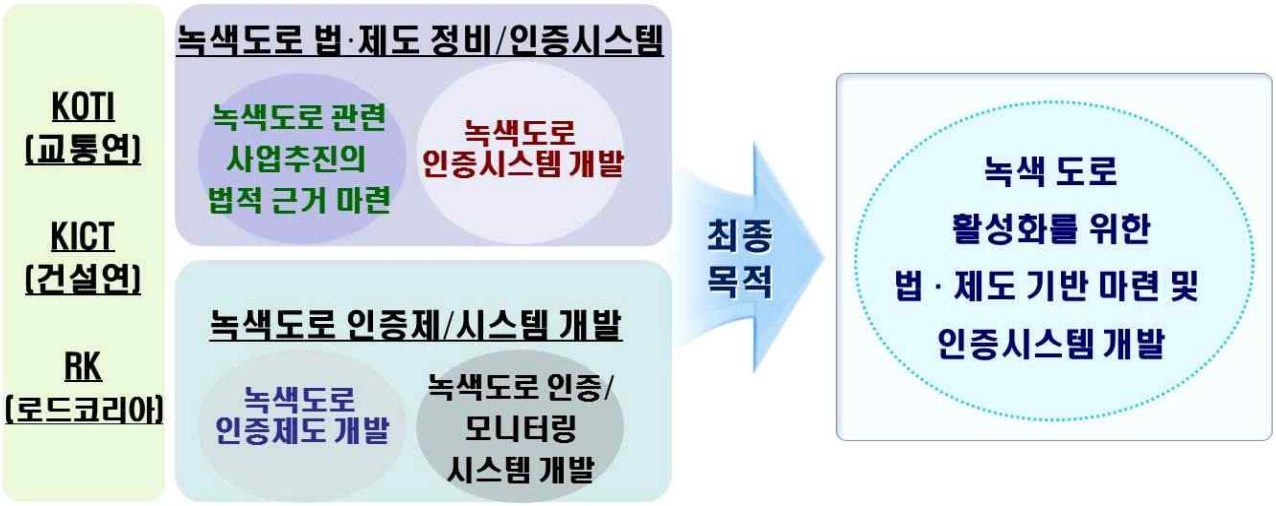
제1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 1세부 과제-탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발

가. 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발(1-1)

○ 1차년도에는 탄소중립형 도로 개념의 법・제도화 필요성, 타당성 도출을 통한 법적개념 정립과 녹색도로인증제도의 도입 타당성 및 도입방향을 설정하였고, 2차년도는 녹색도로 법・제도의 개정(안) 및 녹색도로 인증을 위한 세부평가 항목 및 지표를 포함하는 녹색도로 인증제도 체계를 마련하였으며, 3차년도에서는 녹색도로인증제도의 세부 구현방안을 마련하고 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템의 프로그램을 개발하였다.

○ 1-1세부과제는 3개 기관(한국교통연구원, 한국건설기술연구원, ㈜로드코리아)이 참여하고 있으며, 한국교통연구원은 녹색도로 및 녹색도로 인증제도의 법제화방안을 마련하고, 녹색도로 인증제도의 설계/시공 시 및 유지관리단계에서 도로교통운영 부문 개발을 담당하고 있고, 한국건설기술연구원은 녹색도로인증제도의 평가지표 및 녹색도로 인증제도의 설계/시공 시 녹색도로설계, 환경, 자원&에너지 및 유지관리단계에서 도로/부대시설, 에너지/온실가스관리, 녹색활동부문의 한국형 녹색도로 인증제도 개발을 담당하고 있으며, ㈜로드코리아는 한국교통연구원 및 한국건설기술연구원의 연구결과를 바탕으로 녹색도로 인증 및 모니터링시스템의 시작품 개발을 담당하고 있다.



<그림 2-1> 1-1세부과제 개념도

<표 2-1> 연구개발 추진전략 및 방법

연구범위	연구수행방법
▪ 녹색도로 법/제도 개정안 ▪ 녹색도로인증제 평가지표 및 한국형 녹색도로 인증제 도입체계 개발 ▪ 녹색도로인증제 세부 구현 방안 개발 ▪ 녹색도로 인증평가 매뉴얼 ▪ 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템 프로그램 개발	<녹색도로 법/제도 개정안> ▪ 도로관련법에서의 녹색도로 적용가능성 분석 및 관련법과의 상충조사를 통한 입법방안 도출 ▪ “탄소중립형 도로 기술” 연구성과물의 기존 관련법과의 상충조사를 통한 법적한계성 조사 및 보완사항 도출 ▪ 유사 인증제도 및 관련법 검토를 통한 한국형 녹색도로인증제 도입을 위한 법적근거 마련 <건설단계 녹색도로 인증지표> ▪ 기존 연구결과 검토를 통한 인증평가 지표 설정 ▪ 전문가 대상 AHP 분석을 통한 평가항목 가중치 설정 ▪ 시범사업을 통한 평가지표 보완 및 등급범위 설정 ▪ 기존 연구결과를 통한 인증제 도입 효과 조사 <유지관리단계 녹색도로 인증지표> ▪ 미국 뉴욕주 유지관리단계 녹색도로인증지표 조사 및 국내 적용성 검토 ▪ 국내 도로시설물 유지관리주체의 관리활동 지침 및 매뉴얼 조사 ▪ 한국형 유지관리단계 녹색도로인증지표 개발 <녹색도로 인증 및 모니터링 프로그램> ▪ 공동연구 기관 및 전문가 의견 수렴을 통한 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템 프로그램 구현 방안 도출 ▪ 시스템 프로그램 구현을 위한 기초 연구 진행 ▪ 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템 구현을 위한 사용자 요구사항 도출 ▪ 시스템 Flow Chart를 기반으로 한 단위 프로세스 구현 ▪ 녹색도로 인증 시스템과 모니터링 시스템 연계 ▪ 시스템 테스트 및 디버깅 ▪ 테스트 구간 선정 및 적용을 통한 인증결과 검증

나. 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발(1-2)

“녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발”에서는 총 6개의 시스템(「탄소관리시스템」, 「에너지자원 분석 시스템」, 「LCC분석 시스템」, 「의사결정 지원시스템」, 「상용화시스템」, 「녹색도로기술 투자평가시스템」)으로 구성이 되어있으며, 각 시스템별 연구수행 전략 및 방법론은 다음과 같다.

(가) 탄소관리시스템

○ 탄소관리시스템의 연구수행 전략 및 방법론은 다음과 같다.

<표 2-2> 연구수행 전략 및 방법

연차	연구내용	연구수행 전략 및 방법
1차 년도	· 연구자료 및 동향 조사 - 국내외 기술개발 정책 프로그램 현황 분석 - 도로 관련 탄소배출량 산정기술 현황 분석	· 국내외 시행되고 있는 여러 환경 친화적인 건설 기술개발 정책 프로그램 조사 및 분석 · 국내외 건축자재 환경성능평가제도, 토목 도시 분야 탄소배출량 산정에 관한 연구 등 탄소배출량 산정 관련 적용사례 조사 및 분석 · 도로의 탄소배출량 산정기술 적용성 평가에 활용
	· 탄소배출량 산정기술 분석 - 국제 표준 가이드라인 분석 - 국내 적용 산정기술 분석	· IPCC 2006 가이드라인, 지자체 온실가스 배출량 산정지침서, 기업 온실가스 배출량 산정지침서, 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인 등 국가차원에서 정립된 수행지침서 벤치마킹
2차 년도	· 녹색도로 탄소배출량 산정기술 개발 - 녹색도로 탄소배출량 산정 절차 제시 - 공사별 탄소배출량 산정 기술 개발	· 도로건설시 토공사, 배수 및 옹벽공사, 교량공사, 터널공사 등 공사 및 세부공종별 탄소배출량 산정기술 개발 · 1차년도 정립된 탄소배출량 산정 기술 준용 · 녹색도로 탄소배출량 산정 절차에 따른 사례분석 결과 feedback을 통해 탄소배출량 산정기술 보완
	· 도로 유형별 탄소배출량 산정기법 제시 - 토공부, 터널부, 교량부로 구분	· 토공부, 터널부, 교량부의 도로 유형별 탄소배출량 산정기술 개발 · 녹색도로 탄소배출량 산정 기술 활용 · 도로 유형별 사례분석 결과 feedback을 통해 탄소배출량 산정기술 보완
3차 년도	· 녹색도로 국가 인벤토리 설계 및 구축	· IPCC 및 WRI/WBCSD 등 국제표준에 부합하는 인벤토리 설계 방법 제시 · 개발한 인벤토리 설계 방법에 따른 도로의 life cycle 단계별, 녹색도로 기술별 탄소배출 인벤토리 DB 구축
	· 도로의 탄소배출 DB 및 원단위 구축	· 도로를 고속국도, 일반국도로 구분하고 각 도로를 구조물 유무에 따라 토공부, 교량부, 터널부로 구분하여 각 유형별 탄소배출 DB 구축 · 도로의 Life cycle 단계별 탄소배출 DB 구축 · Life Cycle 각 단계마다 사례분석(시공단계: 실시설계내역서 분석, 운영단계: 인벤토리 및 명세서 분석, 유지보수단계: 유지보수공사 내역서 분석 등)을 통한 원단위 구축
	· 녹색도로기술별 탄소저감량 예측	· 녹색도로기술중 1-3분야 및 2세부 과제에서 개발되는 기술에 대해서는 각 분야별 연구팀과의 협업을 통해 탄소저감량을 정량화 하고 기술개발 시 탄소저감량을 정량적으로 예측 · 도로 확충계획에 따른 탄소배출 Baseline 산정 및 녹색도로 기술 적용에 따른 탄소저감 효과를 반영하여 2030년 기준 도로부문 탄소배출량 예측 · 녹색도로 기술별 탄소저감량 산정 결과를 활용하여 도로 1km, 30년 운영 에 따른 각 기술별 탄소중립률 산정

	· 녹색도로 탄소관리시스템 개발	· 국가 탄소배출계수, 본 연구를 통해 개발되는 녹색도로 인벤토리, 도로의 탄소배출 DB 및 원단위를 활용해 탄소배출량을 산정하고 관리할 수 있는 기능 및 모듈 설계 - 탄소배출량 산정과 관리에 대한 알고리즘 개발 후 Web 상 프로그램 구현은 1-2 분야 참여기관인 솔루티스와 협업
	· 녹색도로 탄소관리시스템 검증·보완 및 고도화	· 수작업 결과와 녹색도로 탄소관리시스템을 통해 자동으로 도출되는 결과와의 상호 비교를 통해 검증 및 보완 - 각 단계마다 탄소배출량을 산정하고 관리하기 위해 입력된 자료와 출력된 자료의 상호 비교 · 현장 적용을 통해 탄소관리시스템의 편의성 개선 및 기능 개선
	· 탄소관리시스템의 현장적용을 통한 탄소관리 목표 설정	· 탄소관리시스템을 현장에 적용해 현재 배출되는 탄소배출량을 베이스라인으로 산정하고 추가로 도입 가능한 기술에 대해 저감량을 예측해 저감 목표, 배출 목표 등 설정
	· 녹색도로기술 투자평가시스템 통합 포탈과의 시스템 연계	· 탄소관리시스템의 모듈을 G-TIES로 구현되는 녹색도로기술 투자평가시스템 통합 - 녹색도로기술 투자평가시스템과의 연계를 위한 상용화시스템 개발

(나) 에너지자원 분석 시스템

○ 에너지자원 분석 시스템의 연구수행 내용 및 추진절차는 다음과 같다.

- 에너지/자원 분석시스템 기능 정의
- 국내외 동향 파악
- 기존 문헌 및 유사 시스템 검토
- 에너지/자원 분석 범위 및 방법론 정립
- 에너지/자원 분석시스템 기능 및 모듈설계
- 에너지/자원 분석시스템 기능 및 모듈설계 전문가 검토 및 보완
- 에너지/자원 분석시스템 플랫폼 설계
- 국토교통부 보유 기존 시스템과의 DB 공유 연계 및 보완
- 에너지/자원 분석시스템 기능보완 (실제 설계데이터를 이용한 기능 및 모듈 검토)
- 에너지/자원 분석시스템 사용자 만족도 조사를 통한 검증 및 보완
- 에너지/자원 분석시스템 사용자 매뉴얼 작성
- 에너지/자원 분석시스템 사용자 매뉴얼 잠정수요자 검토 및 보완
- 에너지/자원 분석시스템에 대한 수요처(국토교통부) 홍보
- 최종 보고서 작성

(다) LCC분석 시스템

○ LCC분석 시스템의 연구수행 내용 및 추진절차는 다음과 같다.

○ 1차년도는 LCC 분석시스템 구상 단계로 G-TIES 전체 시스템 내 LCC 분석시스템의 역할을 모색하고, 기존 연구 현황 분석을 통해 시스템 기본체계를 구상하였다. 2차년도는 LCC 분석시스템 기능 및 모듈 설계 단계로 LCC 분석시스템의 기능을 확정하고, 기능 수행을 위한 모듈을 설계하였다. 동시에 기능별 산출 알고리즘과 결과 값 표출을 위한 사전 조사를 실시하여 모듈 설계를 보완하였다.

○ 마지막, 3차년도에는 기 설계된 기능별 모듈을 기반으로 LCC 분석시스템 플랫폼 개발하고, 녹색도로기술 상용화시스템과 연계하였으며, LCC 분석시스템 테스트 및 검증, 매뉴얼 작성 및 최종 보완 연구를 수행하였다.



<그림 2-2> 녹색도로기술 투자평가시스템 개발 TRM 구성도

(라) 의사결정 지원시스템

○ 의사결정 지원시스템의 연구수행 내용 및 추진절차는 다음과 같다.

○ 본 연구의 최종 성과물은 이론적 아이디어 개발에 속하는 것으로서, 녹색도로에 대한 투자를 유도할 수 있는 평가시스템 구축이다. 이를 위해 1차년에는 국내·외 기존 평가시스템 고찰 및 관련 연구들을 검토하여 해당 시스템의 전체적인 틀을 구상하였다. 이후 2차년도 연구에서는 경제적 분석 및 정책적 분석의 기존의 평가항목 개선 및 새로운 평가항목 발굴 등 보다 구체적인

사항에 대한 연구를 통해 각 항목의 평가방법 들을 연구하고, 각 항목을 하나의 종합할 수 있는 평가시스템의 틀을 구축하였다. 마지막으로 1·2차 년도에 연구된 내용을 종합하여 최종적인 의사결정시스템을 구축하였으며, 실제 설계데이터를 통해 시스템을 검증하고, 향후 해당 시스템을 이용하게 될 사용자들의 활용성을 향상시키기 위한 매뉴얼을 구축하였다.

○ 본 연구는 현재 국가재정법에 의해 시행되고 있는 도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침에 근거하여 녹색도로 투자를 유도할 수 있도록 하는 평가시스템을 구축하는 것을 목표로 진행하였으며, 지침에서 제시하고 있는 바와 같이 경제성 분석과 정책적 분석으로 구분하여 시스템을 개발하였다.

○ 경제성 분석의 경우 경제적 편익과 비용으로 구분되어 있는 만큼, LCC, 탄소, 에너지·자원 등의 다른 세부과제에서 제시된 비용을 대입함으로써 정확성을 향상시켰으며, 편익의 경우 역시 비용과 동일하게 다른 세부과제에서 제시된 결과를 비용화 하여 분석에 활용하였다.

○ 이밖에 연구개발 사업의 특성상 비정형성, 결과의 불확실성, 효과의 잠재성 및 간접성 등 타당성을 계량화하여 파악하기 어려운 정성적 평가항목의 경우 각 항목을 종합하여 평가할 수 있는 다기준분석 방법을 활용하도록 시스템을 구축하였다.

(마) 상용화시스템

○ 상용화시스템의 연구수행 내용 및 추진절차는 다음과 같다.

○ 녹색도로기술 상용화시스템은 G-TIES 내 개별 분석시스템의 연계체계 구축을 통한 효율적 분석체계 구축과 개별 분석시스템의 구동을 위한 기초자료의 통합관리, 이용자동선 최적화를 통한 편의성 극대화를 목적으로 개발되었다.

○ 위와 같은 이유로 상용화시스템은 별도의 분석기능은 존재하지 않으며, 개별 시스템의 분석과정을 통합하여 보다 체계적이고 종합적인 정보의 제공이 이루어 질 수 있도록 컨텐츠와 알고리즘을 설계하였다.

○ G-TIES의 중심을 이루고 있는 LCC, 탄소관리, 에너지/자원 분석, 의사결정 시스템의 경우 각각의 시스템에 따라 분석방법이 상이하지만 분석에 필요로 하는 정보는 유사한 성격을 가지고 있어 이를 통합하여 관리할 경우 이용자의 추가적인 작업을 상당부분 감소할 수 있으며, LCC, 탄소관리, 에너지/자원 분석 시스템의 분석결과는 의사결정 분석과정의 중요 정보가 됨으로 이를 체계적으로 연계할 필요가 있다.

(바) 녹색도로기술 투자평가시스템

○ 상용화시스템의 연구수행 내용 및 추진절차는 다음과 같다.

○ 본 과제에 적용한 방법론은 반복적이고 점진적인 개발 진행을 통해 개발자와 각 기관 연구

팀이 협업을 최적화하여 시스템의 품질 확보를 할 수 있는 현장 중심의 연구수행 방법이다. 녹색도로기술 투자평가시스템의 개발을 위해서는 4단계의 수행과정이 필요하며, 이는 기능정의, 기능확정, 개발, 테스트로 구성된다.

○ 각 연구 기관에서 세부 시스템에 대한 기능 및 모듈설계가 완료된 후, 기능 정의가 선행되고 개발팀의 검토 및 보완 작성 후 협의하여 확정한다. 기능 정의에는 시스템 기능 정의, 기능 간의 데이터 및 사용자 작업 연계 흐름 설계를 진행하고 각 기능별 상세설계를 수행하는 화면설계 및 데이터 분류체계 정의를 통한 화면 컨텐츠 정의, 프로세스 및 계산식 정의가 포함된다.

○ 기능별 요구사항과 데이터 정의에 기반하여 화면에 표출되어야 하는 구체적 기능을 설계하고, 주요 기능을 중심으로 화면의 구성설계를 진행하고 시스템의 모습을 예측할 수 있는 프로토타입 개발 및 확정 후 실제 개발을 진행한다. 이때에는 프로토타입의 화면을 바탕으로 DB를 설계하고, 실제 화면과 DB 프로시저 개발을 수행한다.

○ 세부 시스템의 개발에 따라 단위 테스트 및 통합 테스트를 통해 시스템의 오류 및 수정사항을 확인하고 이를 보완하는 과정이 필요하다.



<그림 2-3> 연구수행 절차

다. LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발(1-3)

“LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발”과제는 총 5개의 과제(「도로선형 및 차량에 따른 탄소배출량 산정」,「탄소저감형 도로수목 시공, 유지관리 기술개발」,「탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발」,「On-board 탄소배출량 측정장치 개발」,「공법, 장비운용 등을 조합한 최적 녹색시공 기법 개발」)로 구성되어 있다. 각 과제별 연구수행 전략 및 방법론은 다음과 같다.

(가) 도로선형 및 차량에 따른 탄소배출량 산정

본 연구과제에서 목표로 하고 있는 1) 도로선형을 고려한 차종별 탄소배출량 산정모형 개발 2) 노면조건을 고려한 차종별 탄소배출량 예측모형 개발, 3) 확률통계기법을 활용한 포장의 파손모형 개발, 4) 탄소배출량 및 생애주기비용 최소화를 위한 생애주기비용분석모형 개발을 주제로 연구수행의 방법, 과정, 내용, 결과에 대해 서술하기로 한다.

① 도로선형을 고려한 차종별 탄소배출량 산정모형

○ 배출량에 영향을 주는 요인으로는 차량특성(차종연비, 연식), 기후조건(온도, 습도), 교통조건(속도, 가·감속도, 교통량), 도로조건(기하구조)등이 존재한다.

○ 도로선형 설계일관성 평가에서는 도로선형의 일관성, 주행속도의 일관성, 차량군 안전성 등이 안전성을 평가하는 중요한 요소이며, 본 연구에서는 연속구간에서 설계의 일관성만을 검토하고자 한다.

○ 설계일관성을 반영한 저탄소 도로설계 평가지표 연구에서는 도로선형 설계일관성과 차량 온실가스 배출량에 대해서 다음과 같이 다양한 요소를 고려하고 상호간 결합된 방법을 종합적으로 검토하고자 한다.

<표 2-3> 본 연구에서의 평가방법

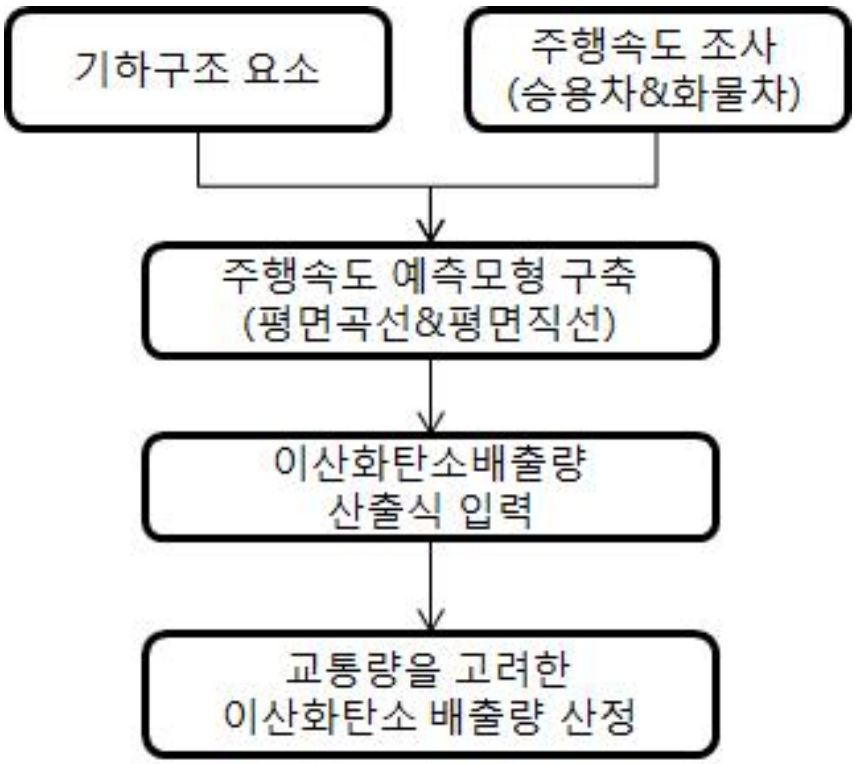
차량 온실가스 배출	도로선형 설계일관성		선정 여부
차량특성	-		×
기후조건	-		×
교통조건	주행속도의 일관성	- 단일구간의 일관성 평가	×
		- 연속구간 일관성 평가	○
	차량군 안전성	- 속도편차	×

고려사항
☞ 기하구조 - 평면곡선반경 - 평면직선 - 종단경사 ☞ 주행특성 - 속도(V85) ☞ 탄소배출량 - 기하구조 조건별 ☞ 차량특성 - 승용차 - 화물차

○ 기하구조 요소와 승용차 및 화물차의 실제 주행속도 측정을 바탕으로 주행속도 예측모형 구축을 구축하고자 한다.

○ 예측된 주행속도값은 이산화탄소 배출량 산출식의 인풋(Input) 값으로 사용하며, 실제 도로 구간에서는 교통량의 반영이 중요한 요소이므로, 이를 고려한 최종 이산화탄소 배출량 산정의 기초 자료로 이용된다.

○ 기 수행된 국/내외 연구를 바탕으로 차량의 주행속도에 영향을 미치는 기하구조 요소를 파악하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 도로의 기하구조 요소와 차량 특성(승용차/화물차)별 주행속도 예측모형을 산정하고자 한다.



<그림 2-4> 연구수행절차

② 노면조건을 고려한 차종별 탄소배출량 산정모형

○ 탄소배출량 예측모형은 다양한 도로조건, 특히 포장의 상태와 경사도를 기반으로 개발되어야 하기 때문에 공학적, 기계적 실내실험을 통해서는 구현이 어렵다. 따라서 실차실험을 통한 경험적 모형구축을 기본전략으로 한다.

○ 상대적으로 실차실험이 용이한 승용차의 경우 대표차종을 선택한 후 연비측정 OBD를 장착하고 도로의 평탄성이 상이한 실험도로를 선정하여 연료소모량의 편차를 측정하여 모형식을 개발한다.

○ 대형차의 경우 버스 및 운전자 섭외를 통한 1회성 조사로는 신뢰성 있는 모형 구축이 어렵기 때문에 버스회사와의 공조체계를 통해 대량의 자료, 빅데이터를 구축하고 모형식을 개발한다.

○ 단일노선 혹은 짧은 대상구간으로는 다양한 도로특성에 대한 정보를 수집하기 어렵기 때문에 충분한 구간연장과 여러 노선을 선정하여 모형을 구축한다.

○ 모형구축에 버스주행속도 등 운영특성의 프로파일, 연료소모량 프로파일, 운전특성의 프로파일이 모두 필요하므로, 전문OBD(On-Board Diagnostic)장비 및 자동차 전문가를 자료수집에 참여시킨다.

○ 포장파손의 이력자료 구축을 위해 노면평탄성 전문조사장비를 활용하고, 차선간의 포장상태 Bias를 최소화하기 위해 버스의 주요 이동 경로를 따라 포장상태를 조사한다.

○ 탄소배출량 예측모형은 활용의 용이성을 위해 다중회귀(Multiple Regression)을 통해 영향력을 일반화하여 주요 해외연구성과 등과 비교하여 결과를 검증한다.

○ 연료소모량의 탄소배출량 전환은 국토교통부 고시 중 연료소모량 기반 환산법인 Tier 2 (국토교통부 고시 제2013-633, 제2012-142)를 따른다.

○ 데이터 수집 및 구축, 포장상태 조사, 모형구축 등 연구과정 전반에 대해 1)교통전문가, 2)포장전문가, 3)경제성전문가를 각각 섭외하여 연구의 정합성에 대해 검증한다.

③ 도로포장의 파손모형

○ 포장의 파손상태를 대표하는 지표로써 균열(crack), 소성변형(rutting), 종단평탄성(IRI)을 대상으로 파손모형을 구축하고, 연도별 탄소배출량 및 생애비용추정을 지원할 수 있도록 모형을 구축한다.

○ 생애주기비용분석은 물론 자산관리, 리스크 관리를 지원할 수 있도록 파손모형의 전제조건을 설정하고 이를 충족할 수 있는 파손모형을 구축한다.

○ 포장의 시계열 자료는 국도 포장관리시스템(Pavement Management System)에서 수집된 연도별 상태자료를 수집하고 이를 시계열 자료로 가공하여 분석자료를 구성한다.

○ 포장층의 두께에 따라 결정되는 포장강도지수(SNP: Structural Number of Pavement)와 차량하중(ESAL; Equivalent Single Axle Loads)의 영향을 고려한 포장파손모형을 개발하여, 설계변수와 교통류 특성이 포장파손속도에 영향을 줄 수 있도록 설계한다.

○ 해당내용에 대한 검증은 국제과학기술논문 인용색인 SCI 저널의 게재를 통해 수행한다.

④ 도로설계와 유지보수 대안을 고려한 생애주기비용모형

○ 생애주기비용분석모형의 “Input - System - Output”을 설정하고, 시스템 형식으로 모형을 개발하고 이를 소프트웨어로 개발한다.

○ 생애주기비용의 항목은 크게 관리자비용과 이용자 비용으로 구분한다. 여기서 이용자 비용은 과업의 대상인 탄소배출관련 비용 이 외에도 분석과정에서 쉽게 예측이 가능한 연료비, 통행시간비, 사고비용을 포함한다.

○ 상기 개발된 차종별 탄소배출량 모형과 본 과제의 2차 년도에서 개발된 승용차 탄소배출량 모형을 탑재한다.

○ 포장상태 이력의 장기 프로파일을 분석할 수 있도록, 포장파손모형에서 도출된 파손함수를 연도별 상태추정에 활용할 수 있는 로직을 개발하여 탑재한다 (유지보수 효과포함).

○ 프로그램은 불특정 다수의 이용자가 쉽게 사용할 수 있도록, 전문 프로그래밍 언어가 아닌 Excel VBA프로그램을 이용하여 개발하도록 한다. 또한, 입력변수만 한 창에서 입력하도록 설계하고, 결과물을 PDF로 출력할 수 있도록 한다.

(나) 탄소저감형 도로수목 시공, 유지관리 기술개발

○ 수목은 생장 과정 시 광합성을 통하여 대기 중의 이산화탄소를 흡수하고 수목(식물)의 몸체를 구성하는 물질은 대부분 탄소를 포함하고 있으므로 오늘날 문제시 되는 대기 중 탄소의 저감에 효과가 있을 것으로 추측된다.

○ 기존 연구를 보면 수목이 생장하면서 여러 해 동안 축적한 총탄소량을 의미하는 '탄소저장량' 및 한 해 동안 흡수한 탄소량을 의미하는 '탄소흡수량' 등과 같이 수목의 탄소 흡수·저장량과 관련하여 수치화, 정량화된 결과를 확인할 수 있다.

○ 도로 개설시 성토와 절토로 이루어져 식생 성장에 불리한 여건에서 단시일내의 수목의 활착은 오염물질 저감의 중요한 요인이다. 식생성장이 토양여건과 수목식재 후 관리가 철저하게 이루어지지 않는 가로수목의 조기 활착을 위한 이식식재방법 검증이 필요하며 이에 따른 적절한 식재방법 및 유지관리체계가 필요하다.

○ 이처럼 수목의 탄소저장량 및 탄소흡수량을 고려하여 탄소 흡수·저장력이 높은 수종 식재를 통해 도로로부터 발생하는 탄소를 효과적으로 저감할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

(다) 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발

○ 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발을 위한 연구수행 전략 및 방법론은 다음과 같다.

연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법
2차년도	탄소저감형 그린네트워크 도로설계요소 도출	▪ 도로의 설계요소 중 탄소 저감 및 흡수가 가능한「탄소저감형 그린네트워크 설계요소」 도출
	탄소저감형 그린네트워크 도로 설계프로세스 개발	▪ 도로설계 절차에 따른 「탄소저감형 그린네트워크 도로기술」의 적용을 통한 '탄소저감형 그린네트워크 도로'실현 ▪ 탄소배출 여건분석 → 탄소저감 목표량 설정 → 탄소감소계획수립 → 그린네트워크 설계기법 적용 → 탄소 저감량 평가 프로세스 개발
	설계요소별 기법의 방향 설정	▪ 탄소저감형 그린네트워크 도로설계요소별 기법의 기본방향설정
3차년도	탄소저감형 그린네트워크 도로설계기법 개발	▪ 설계요소를 도로선형, 횡단면, 도로수목(한경대 연구) 등으로 구분하여 탄소저감을 위한 설계기법 개발 ▪ 도로선형설계기법 개발 - 주행속도 및 탄소발생량 예측 모형식 개발 - 주행속도 일관성 확보 위한 기하구조 기준(안) 개발 ▪ 횡단면 설계기법 개발 - 탄소흡수원 확보를 위한 최적의 횡단모형 개발 및 VR 구축 - 녹지중분대, 비탈면 기울기 완화, 라운딩 기법 개발 - 탄소저감을 위한 LID 도로시설물 개발 및 시작품 제작 ▪ 최적의 기법을 적용하기 위한 효과평가 방법 개발 - 지표개발을 통한 최적의 기법 적용방안 마련
	탄소저감형 선형조합 평가시스템 개발	▪ 주행속도 및 탄소발생량 모형식 산정 연구성과 반영을 통한 프로그램 알고리즘 구성 ▪ 주행시뮬레이션을 통한 기하구조 조건별 주행속도 및 탄소발생량 제시 ▪ 기존 설계프로그램 연동 및 3D 주행시뮬레이션 통한 실무적용성 확대
	탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 정립	▪ 탄소저감을 위한 그린네트워크 도로설계지침(안) 마련 - 각 설계요소별(도로선형, 횡단면, 도로수목) 설계기법 제시 - 각 기법은 탄소저감을 위한 녹색도로 편람(안) 설계부문에 활용

(라) On-board 탄소배출량 측정장치 개발

○ On-board 탄소배출량 측정장치 개발을 위한 연구수행 전략 및 방법론은 다음과 같다.

연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법
2차년도	■ Base-line 장비 구축 및 승용차 탄소배출량 측정	- 도로조건별 승용차 탄소배출량 측정 - 탄소배출량 측정장치 Base-line 설정 장비 구축
3차년도	■ 탄소배출량 측정장치 개발 ■ 화물차 탄소배출량 측정	- 탄소배출량 측정장치 시제품 제작 - 탄소배출량 측정장치 하중관련 S/W 개발 - 측정장치 시작품 및 시제품 성능평가 - 화물차 적재량에 따른 탄소배출량 측정

(마) 공법, 장비운용 등을 조합한 최적 녹색시공 기법 개발

○ 국내의 경우 도로공사 공정관리 요소기술로 주로 공정과 공사비 연계를 위한 디지털 수량산출 기준 마련이나, 공종별 작업조의 생산성에 관한 연구 등 세부 작업들에 대한 정보를 얻기 위한 연구가 이루어진 바 있으나, 도로공사의 공정 간 유기적 연계성을 고려한 전체적인 공정관리 최적화를 위한 요소 기술 개발은 매우 부족한 실정이다.

○ 도로 및 단지공사에서 토공계획을 위한 프로그램의 부재로 인해 계획자의 주관적 판단에 의존한 의사결정과 무수히 많은 기능 대안 존재 등으로 인해 최적 대안 도출이 어려우며, 장시간 소요 등의 문제가 발생되고 있다. 이러한 문제로 인해 토공계획 수정을 통한 향상효과가 크지 않을 것이라는 계획자들의 인식이 조사되었다. (백현기, 2011)

○ 공종의 효율적인 수행을 통한 공기 및 공사비 절감은 생산성 향상의 주요 요소가 되고 있으며 국내 건설산업의 향후 발전방향이 되고 있으며, 많은 물량의 작업이 반복적으로 수행되는 특성을 가진 도로, 댐, 항만, 고층빌딩과 같은 유형의 건설사업에 있어서 작업과정을 시간과 비용의 측면에서 최적화 하기 위한 도구로 시뮬레이션(simulation) 기법을 활용할 경우 전체 사업에서 시간과 비용의 절감에 대한 잠재적 기대 효과가 매우 클 것으로 예상된다. (김경주, 2000)

○ 탄소 저감에 대한 대부분의 연구들은 시설물의 생애 주기동안 발생하는 탄소 발생량을 예측하고 어떤 단계에서 환경부하를 많이 발생시키는지에 관한 분석과 사용되는 건설재료를 달리하여 탄소배출을 줄이는 방안을 제시하는 것이 대부분이다. 새로운 공사 프로세스, 효과적인 작업계획 및 시공법을 적용하여 탄소배출을 줄이기 위한 연구는 미흡한 실정이다.

○ 이에 본 보고서에서는 토공물량의 이동을 최적화하여 토공작업 시 투입되는 다양한 건설장비의 효율적인 움직임과 운영을 통한 생산성 향상과 CO_2 절감목표를 달성해야 한다.

○ 본 연구의 수행전략 및 방법론은 다음과 같다.

- 공정관리, 장비운용 등 도로시공 방법의 조합을 통한 시공관리 방안 도출
- 시공절차에 따른 주공정의 건설장비 조합 산정
- 도로건설장비의 개별 효율성 및 조합 효율성 산정
- 다양한 공사의 조건에 따른 건설장비 조합 산정
- 프로세스 시뮬레이션 모델링 기술을 활용한 모델개발 및 테스트
- 시뮬레이션 결과의 분석 및 장비운용의 최적화 대안 도출

2. 2세부 과제-탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발

가. 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발(2-1)

○ 본 연구에서는 산업부산물을 활용하여 이산화탄소 흡수가 가능한 도로재료를 개발하고자 연구 개발 단계를 크게 기초 기술 개발 단계(2차년도) 와 현장 활용4가능성 확보 단계(3차년도)로 나눠서 진행하였다.

○ 기초 기술 개발 단계인 2차년도에서는 산업부산물을 활용하여 이산화탄소 흡수가 가능하도록 활성화 시키는 기법을 개발을 한 후 소재의 특성을 확인하였다.

○ 2차년도에서 개발된 기술 및 소재를 바탕으로 모르타르, 콘크리트를 제조하고 이산화탄소 흡수능을 평가하고 도로재료로써의 활용가능성을 평가하였다.

<표 2-4> 연차별 연구목표 및 주요연구내용

연차	연구목표	주요연구내용
2차년도	탄소 포집 격리용 시멘트 기반 결합재 개발 및 원천기술 확보	▪ 탄소포집 활성화 기법 개발 ▪ 탄소포집 격리용 시멘트기반 결합재의 물리적 특성 분석 ▪ 탄소포집 격리용 시멘트기반 결합재의 화학적 특성 분석 ▪ 활성 산업부산물을 활용한 시멘트의 역학적 특성 분석
3차년도	활성산업부산물 결합재를 활용한 콘크리트 특성 연구	▪ 활성산업부산물 활용 콘크리트의 배합설계 ▪ 실내실험 - 활성산업부산물 활용 콘크리트의 화학적 특성 분석 - 활성산업부산물 활용 콘크리트의 역학적 특성 분석 - 활성산업부산물 활용 콘크리트의 CO_2 포집능력 평가 - 활성산업부산물 활용 콘크리트의 탄소흡수능력 정량화 - 역학적 특성 및 내구특성 분석(압축강도 및 휨강도, 동결융해저항성 분석) ▪ 현장 모사 실험 - 역학적 특성 및 내구특성 분석(압축강도 및 휨강도, 동결융해 저항성 분석) ▪ 현장 장기 노출 평가

○ 본 연구는 대기오염물질 저감을 위한 광촉매 콘크리트 포장 개발을 목표로 하고 있으며, 이에 대한 연구 추진전략 및 방법은 다음과 같다.



<그림 2-5> 연구 수행 전략

○ 본 연구의 성공적인 연구 수행을 실시하기 위해 다음과 같은 4가지의 큰 목표를 분류 하였다.

- 친환경성[NOx 등 유해가스 흡수/제거] 기술 개발
- 광촉매 콘크리트의 구조적/기능적 성능 확보
- 광촉매 콘크리트의 효율성 증진
- 최적의 광촉매 적용에 따른 경제성 확보

○ 친환경성 기술 개발을 위한 부분에서는 TiO_2 콘크리트를 이용한 온실가스 제거 효과에 관련한 문헌 연구를 우선으로 실시하고, TiO_2 재료를 이용한 최적 제작 방안을 검토한다.

○ TiO_2 콘크리트의 구조적/기능적 성능 확보를 위해 압축강도 및 휨강도와 같은 기본 물성치를 측정하여 내구성을 평가하며 동결융해 및 표면 박리 저항성 시험을 실시하여 환경하중에 대한 저항성을 확인한다.

○ 기존의 개발된 TiO_2에 대한 제거 효과 분석과 EDS 분석을 통한 최종 적용 방안을 도출하여 TiO_2의 효율성 증진을 이루고자 하였으며, 현장 시험 시공을 실시하여 도로온실가스 저감에 따른 경제성 분석을 실시한다.



<그림 2-6> 연구 수행 방법론

나. 탄소저감형 흙 포장 기술 개발(2-2)

○ 기존 흙포장의 단점을 보완하기 위하여, 자전거 및 관리용 소형트럭(1.0Ton트럭)까지 이용 가능한 도로의 흙포장 기술을 개발하고자 한다. 특히 하중지지능력 관점에서 필요한 소요강도를 만족하는 흙포장의 혼합비를 제시하고, 현장시험시공을 통해 흙포장의 내구성을 확인할 것이다. 또한 흙포장의 설계 및 시공 지침(안)을 작성하여, 설계, 시공 및 품질관리 기준을 제시하고자 한다.

첫째, 본 연구는 유기계열(폴리머계, 아크릴 수지계)과 무기계열 첨가제(비 시멘트계)를 이용한 흙포장에 대한 공학적 특성 분석을 위해 일반 현장에서 쉽게 접할 수 있는 화강 풍화토를 평가대상 토질로 선정하고, 각각의 시료에 대한 물성시험과 다짐시험을 통한 기본적인 흙의 특성을 분석하였다.

둘째, 흙포장의 소요강도를 만족하고, 경제성을 고려한 최적의 혼합비를 찾기 위해 유기계열의 폴리머계 접착제와 물의 혼합비(무게기준), 유기계열의 폴리머계 접착제, 아크릴 수지계 접착제와 물의 혼합비(무게기준), 유기계열의 폴리머계 접착제, 아크릴 수지계 접착제, 무기계열(비 시멘트계)의 첨가제 와 물의 혼합비(무게기준)에 따른 강도특성을 분석하였다.

셋째, 최적 혼합비로 제작된 흙포장의 성능을 평가하기 위해 압축, 인장강도 특성을 분석하였다. 또한 동결 융해 특성과 환경특성을 분석하여 흙포장의 환경에 대한 저항력 및 유해물질 배출기준을 확인하였다.

넷째, 흙포장의 현장 시험 시공을 통해 지지력, 계절특성 등을 평가하여 장기적 내구성을 확인하였다.

다섯째, 흙포장의 설계 방법 및 품질 기준이 없어 각 공법의 기준에 맞추어 설계 및 시공이 이루어 졌으며, 해결을 위한 방안으로 흙포장의 설계 지침(안)을 작성하였다.

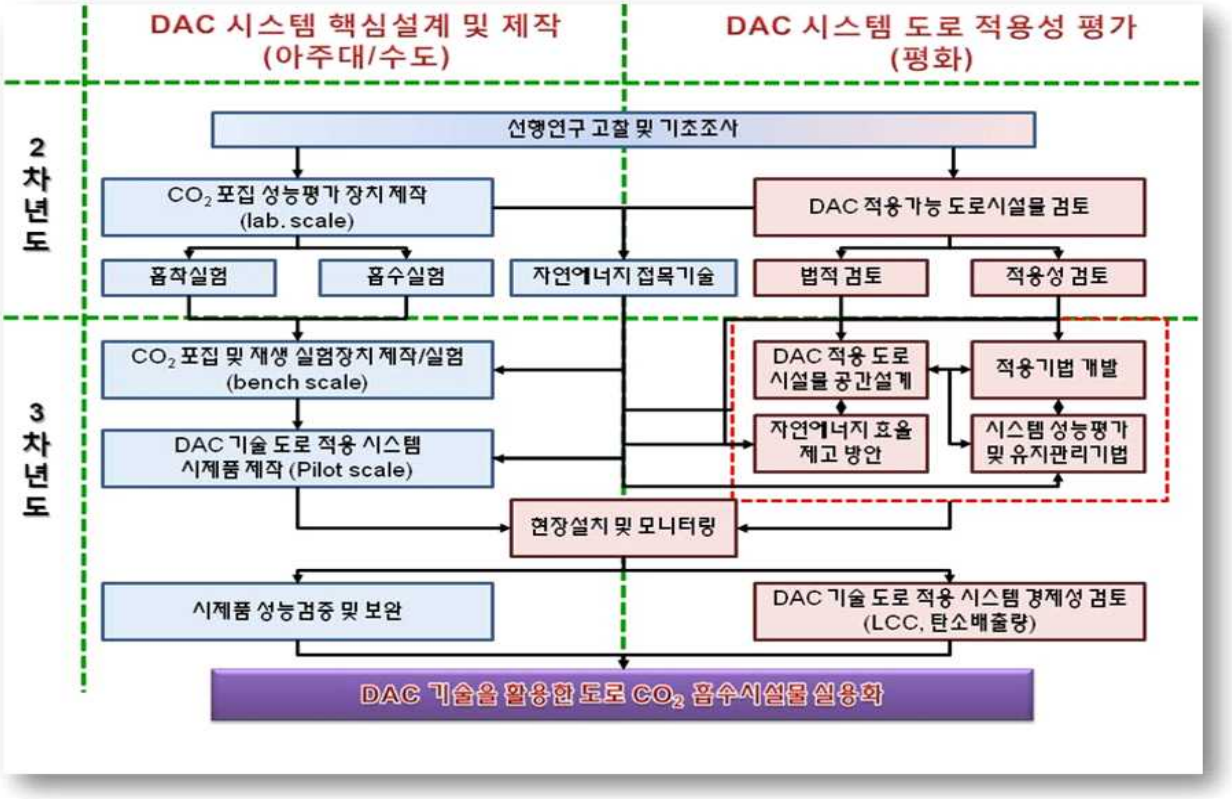
○ 본 연구에서는 기존 흙 포장에서 시멘트를 대체하기 위한 무기계 바인더를 이용하여 무시멘트 무기계 습식 흙포장 재료에 대한 물리, 역학적 특성시험을 실시할 것이며, 그 결과를 이용하여 무시멘트 무기계 습식 흙 포장 재료의 도로 포장 재료로써 적용 가능성을 평가할 것이다. 또한 흙 포장 재료의 강도특성 개선과 도로 포장 재료로써 내구성 및 공용성을 분석·평가할 것이다. 본 연구를 위한 연구추진전략은 그림 1.1과 같으며, 세부적인 연구범위와 연구수행방법은 아래와 같다.

<표 2-5> 연구수행방법

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근 방법)
▪ 무시멘트 무기계 탄소저감형 습식 흙포장 최적배합비	▪ 산업부산물과 무기계 바인더의 배합비별 강도특성 평가 - KS F 2405 방법으로 재령별 압축강도 검토 - KS F 2408 방법으로 휨강도 검토 ▪ 최적배합비를 이용한 내구성 평가 - KS F 2456 방법으로 동결융해 특성 검토
▪ 무시멘트 무기계 바인더를 이용한 습식 흙포장 공용성 평가	▪ 현장시험시공을 통한 공용성 평가 - 포장가속시험 및 FWD 시험을 통한 차량 반복하중에 의한 동적지지력 및 유효계수 변화 검토 - FWD 시험결과를 이용한 적정 포장두께 산정
▪ 무시멘트 무기계 바인더를 이용한 습식 흙포장 시험시공	▪ 현장시험시공 및 장기모니터링 - 흙포장 도로의 시공성 및 지지특성 평가 - 장기 모니터링을 통한 계절 영향 특성 평가
▪ 무기계 바인더를 이용한 습식 흙포장 설계 및 시공지침(안) 작성	▪ 흙 포장 설계 및 품질시공 지침(안) - 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 습식 흙 포장 설계지침및 시공지침(안) 작성

다. DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 기술 개발(2-3)

○ 본 연구의 수행에 대한 전체적인 추진전략은 다음과 같다.



<그림 2-7> 연구 수행 전략

○ 본 연구는 2차년도부터 참여하여 수행중에 있으며, 2차년도에는 선행연구 및 기초 기술 조사의 일환으로 CO_2 포집 메카니즘 확보 및 성능평가, DAC 기술적용이 가능한 도로시설물의 적용성 검토를 실시였으며, 3차년도에는 성능평가를 통한 CO_2 포집·재생 장치의 제작과 신재생에너지를 활용한 CO_2 저감 최적화 연구, 그리고 이를 토대로 DAC 기술을 활용한 CO_2 흡수 도로시설물 시제품을 제작하였다.

○ 또한 시제품의 현장설치와 모니터링 시스템을 구축하여 현장 검증을 실시하였고, 동시에 모니터링 결과를 바탕으로 유지관리 방안 및 적용시스템의 경제성 검토를 실시하여 이를 통한 실용화 방안 등을 수립하여 기술개발을 완료하였다.

제2절 연구수행과정 내용 및 결과

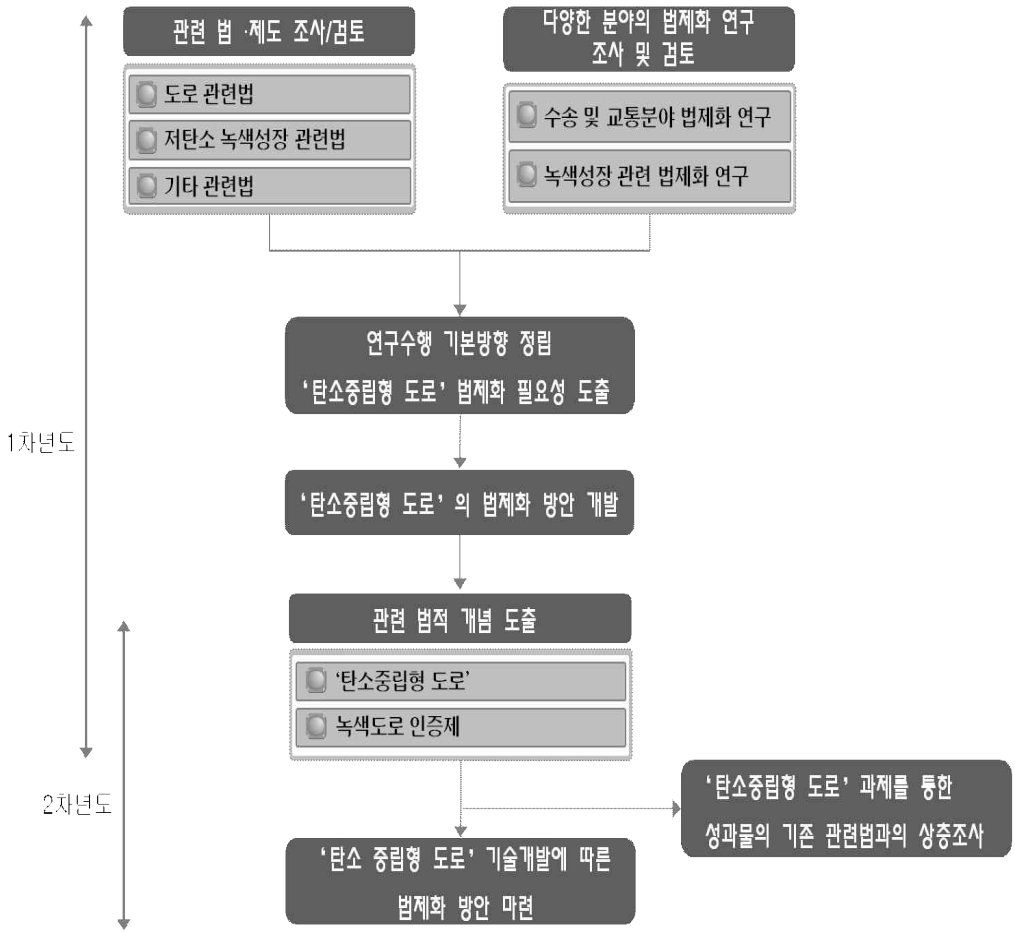
1. 1세부 과제-탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발

가. 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발(1-1)

(가) 녹색도로 및 기술관련 법/기준/제도 개발

① 녹색도로관련 법·제도 검토

○ 1차년도에 수행한 관련분야 법·제도 검토내용 및 2차년도에 추가적으로 검토한 내용은 녹색도로 관련 법 및 법제연구 검토를 통해 녹색도로의 법제화 필요성 및 법제화 방안을 도출하고, 유사 인증제도 검토를 통해 녹색도로 인증제도의 법제화 방안을 마련하고자 한다.



<그림 2-8> 연구수행 절차

㉮ 관련법 검토

○ 본 연구에서는 녹색도로와 관련된 법을 검토하고, 관련법 이외에 관련법제 연구 및 유사 인증제도를 검토하였다.

○ 녹색도로는 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염 물질의 배출을 최소화하면서 안전하고 쾌적한 이동성을 확보하는 도로라는 것에 중점을 두어 관련법과의 상충 및 조치사항을 검토하였다.

■ 국토의 계획 및 이용에 관한 법률

○ 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 대해 녹색도로 노선지정에 대한 법적 근거와 조치사항에 대해 검토하였고, 제3조(국토 이용 및 관리의 기본원칙)에서 1호 “국민생활과 경제활동에 필요한 토지 및 각종 시설물의 효율적인 이용과 원활한 공급”이 녹색도로 목적에 부합한다.

○ 녹색도로 건설 활성화 측면에서 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령 제2조(기반시설) ②항 도로부분에 녹색도로 추가 가능여부를 검토하였으나 기존 도로항목들과 녹색도로의 위계가 적합하지 않으므로 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령에 녹색도로에 대한 법률 적용은 어렵다고 판단하였다.

<표 2-6> 녹색도로와 관련된 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 조항

국토의 계획 및 이용에 관한 법률
제3조(국토 이용 및 관리의 기본원칙) 국토는 자연환경의 보전과 자원의 효율적 활용을 통하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 이루기 위하여 다음 각 호의 목적을 이룰 수 있도록 이용되고 관리되어야 한다. <개정 2012.2.1> **1. 국민생활과 경제활동에 필요한 토지 및 각종 시설물의 효율적 이용과 원활한 공급** 2. 자연환경 및 경관의 보전과 훼손된 자연환경 및 경관의 개선 및 복원 3. 교통·수자원·에너지 등 국민생활에 필요한 각종 기초 서비스 제공 4. 주거 등 생활환경 개선을 통한 국민의 삶의 질 향상 5. 지역의 정체성과 문화유산의 보전 6. 지역 간 협력 및 균형발전을 통한 공동번영의 추구 7. 지역경제의 발전과 지역 및 지역 내 적절한 기능 배분을 통한 사회적 비용의 최소화 8. 기후변화에 대한 대응 및 풍수해 저감을 통한 국민의 생명과 재산의 보호
국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령
제2조(기반시설) ①「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」(이하 "법"이라 한다) 제2조제6호 각목외의 부분에서 "대통령령이 정하는 시설"이라 함은 다음 각호의 시설(당해 시설 그 자체의 기능발휘와 이용을 위하여 필요한 부대시설 및 편익시설을 포함한다)을 말한다. <개정 2005.9.8, 2008.5.26, 2009.11.2> 1. 교통시설 : 도로·철도·항만·공항·주차장·자동차정류장·궤도·운하, 자동차 및 건설기계검사시설, 자동차 및 건설기계운전학원 2. 공간시설 : 광장·공원·녹지·유원지·공공공지 3. 유통·공급시설 : 유통업무설비, 수도·전기·가스·열공급설비, 방송·통신시설, 공동구·시장, 유류저장 및 송유설비 4. 공공·문화체육시설 : 학교·운동장·공공청사·문화시설·체육시설·도서관·연구시설·사회복지시설·공공직업훈련시설·청소년수련시설 5. 방재시설 : 하천·유수지·저수지·방화설비·방풍설비·방수설비·사방설비·방조설비 6. 보건위생시설 : 화장시설·공동묘지·봉안시설·자연장지·장례식장·도축장·종합의료시설 7. 환경기초시설 : 하수도·폐기물처리시설·수질오염방지시설·폐차장 ② 제1항에 따른 기반시설중 도로·자동차정류장 및 광장은 다음 각 호와 같이 세분할 수 있다. <개정 2008.1.8, 2010.4.29> 1. 도로 가. 일반도로 나. 자동차전용도로 다. 보행자전용도로 라. 자전거전용도로 마. 고가도로 바. 지하도로 2. 자동차정류장 가. 여객자동차터미널 나. 화물터미널 다. 공영차고지 라. 공동차고지(「화물자동차 운수사업법」 제48조 또는 제50조에 따른 협회 또는 연합회가 설치하는 경우에만 해당한다) 3. 광장 가. 교통광장 나. 일반광장 다. 경관광장 라. 지하광장 마. 건축물부설광장 ③ 제1항 및 제2항의 규정에 의한 기반시설의 추가적인 세분 및 구체적인 범위는 국토교통부령으로 정한다.

■ 도로 관련법

◎ 도로법

○ 도로법에 대해 녹색도로 노선지정에 대한 법적 근거와 조치사항에 대해 검토하였다. 도로법 제22조(도로정비 기본계획의 수립)에서 ②항 3호 “환경친화적인 도로의 건설방안”과 동법 시행령 제10조(심의회의 기능) 5호 “환경친화적 도로 등에 관한 사항”이 녹색도로 목적에 부합하는지를 검토하였다.

○ 환경친화적인 도로는 환경과 조화된 도로건설을 위해 환경훼손 저감방안 등에 대한 설계기법을 주로 다루고 있다.

○ 도로건설 단계별 탄소 및 온실가스 배출 저감부분을 다루고 있는 녹색도로와는 별개의 개념이므로 도로법에 “녹색도로”에 대한 별도의 조항이 신설되어야한다. 도로계획 시 녹색도로 노선지정을 하기 위해서는 도로법에 녹색도로에 대한 정의와 녹색도로 건설에 대한 근거가 제정되어야 한다.

○ 녹색도로에 대한 정의, 녹색도로 등급, 노선지정에 대한 법은 도로법 제23조의2(대도시권혼잡도로 개선)와 같은 형식으로 도로법 제 23조의3(녹색도로 지정)으로 추가 조항을 신설해야 할 것으로 검토된다.

<표 2-7> 녹색도로와 관련된 도로법 조항

도로법
제22조(도로정비 기본계획의 수립) ① 도로의 관리청은 10년 단위로 그 소관 도로의 장기적인 정비방향을 제시하는 도로정비 기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)을 수립하여야 한다. ② 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. 1. 도로정비의 목표 및 방향 2. 도로의 정비·관리계획 3. 환경친화적인 도로의 건설방안 4. 소요재원의 조달방안 5. 그 밖에 국토교통부장관이나 도로의 관리청이 체계적인 도로정비를 위하여 필요하다고 인정하는 사항 ③ 도로 관리청은 기본계획이 수립된 날부터 5년마다 그 타당성을 검토하여 필요하면 기본계획을 변경하여야 한다. ④ 도로 관리청이 기본계획을 수립하거나 변경하려면 관계 행정기관의 장(특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사가 도로의 관리청이면 국토교통부장관을, 시장·군수 또는 구청장이 도로의 관리청이면 특별시장·광역시장·특별자치시장 또는 도지사를 각각 포함한다)과 협의하여야 한다. <개정 2012.6.1> ⑤ 도로 관리청은 제1항에 따라 기본계획을 수립하거나 변경하면 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 그 내용을 고시하여야 한다.
제23조의2(대도시권 교통혼잡도로 개선) ① 국토교통부장관은 지방자치단체가 도로 관리청인 도로 중 대도시권의 주요 간선도로로서 도시권의 교통혼잡을 개선하고 물류의 흐름을 원활하게 하기 위하여 개선이 필요한 구간(이하 "대도시권 교통혼잡도로"라 한다)에 대하여 각 권역별로 5년마다 개선

사업계획을 수립하여야 한다.

② 제1항에 따른 개선사업계획(이하 이 조에서 "사업계획"이라 한다)에는 다음 각 호의 내용이 포함되어야 한다.

1. 사업계획의 목표
2. 사업계획의 대상 도로
3. 연차별 사업계획
4. 사업계획의 시행을 위한 총투자 규모
5. 사업계획의 시행에 소요되는 재원의 조달방안
6. 그 밖에 대통령령으로 정하는 사항

③ 국토교통부장관은 사업계획을 수립하고자 할 때에는 관계 중앙행정기관의 장 및 지방자치단체의 장과 협의하여야 한다.

④ 도로 관리청은 사업계획에 따라 매년 대도시권 교통혼잡도로의 개선을 위한 세부 사업계획을 수립하고 시행하여야 한다.

⑤ 국토교통부장관은 도로 관리청이 제4항에 따라 세부 사업계획을 시행하는 데 드는 비용의 일부를 대통령령으로 정하는 바에 따라 지원할 수 있다.

⑥ 대도시권 교통혼잡도로의 대상 기준, 관리방법 등 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

제61조(자동차 전용도로의 지정) ① 관리청은 교통이 현저히 폭주하여 차량의 능률적인 운행에 지장이 있는 도로(고속국도는 제외한다) 또는 도로의 일정한 구간에서 원활한 교통 소통을 위하여 필요하면 대통령령으로 정하는 바에 따라 자동차 전용도로 또는 전용구역(이하 "자동차 전용도로"라 한다)을 지정할 수 있다. 이 경우 그 지정하려는 도로에 둘 이상의 관리청이 있으면 관계되는 관리청이 공동으로 지정하여야 한다.

② 자동차 전용도로를 지정할 때에는 해당 구간을 연결하는 일반교통용의 다른 도로가 있어야 한다.

③ 제1항에 따라 자동차 전용도로를 지정할 때 도로 관리청이 국토교통부장관이면 경찰청장의 의견을, 특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사이면 관할 지방경찰청장의 의견을, 시장·군수 또는 구청장이면 관할 경찰서장의 의견을 각각 들어야 한다. <개정 2012.6.1>

④ 관리청은 제1항에 따른 지정을 하는 때에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 이를 공고하여야 한다. 그 지정을 변경하거나 해제하는 때에도 또한 같다.

⑤ 자동차 전용도로의 구조 및 시설기준 등 자동차 전용도로의 지정에 관하여 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다.

도로법 시행령

제10조(심의회의 기능) 심의회는 다음 각 호의 사항을 심의한다. <개정 2010.9.17>

1. 도로(제12조의2에 따른 지선 및 제14조의2에 따른 지정국도를 포함한다) 노선의 지정, 변경 및 해제에 관한 사항
2. 접도구역의 지정에 관한 사항
3. 도로의 구조 등에 관한 사항
4. 도로의 건설재원·장기계획 등에 관한 사항
5. 환경친화적 도로의 건설에 관한 사항
6. 유료도로인 국도 및 고속국도의 통행료에 관한 사항
7. 도로 간의 중복투자, 도로에 대한 과잉투자 여부 등에 관한 사항
8. 도로에 관한 사항으로서 국토교통부장관이 심의에 부치는 사항

제56조(자동차 전용도로의 지정 공고 등) 관리청은 자동차 전용도로를 지정한 때에는 법 제61조제4항에 따라 다음 각 호의 사항을 공고하고 지체 없이 국토교통부장관에게 보고하여야한다.

1. 도로의 종류 및 노선명
2. 구간

3. 통행의 방법
4. 지정의 이유
5. 해당 구간에 일반교통용의 다른 도로가 있다는 취지의 표지
6. 그 밖에 필요한 사항

도로의 구조·시설에 관한 규칙

제1조(목적) 이 규칙은 「도로법」 제37조 및 제61조에 따라 도로를 신설 또는 개량하거나 자동차 전용도로를 지정하는 경우 그 도로의 구조 및 시설에 적용되는 최소한의 기준을 규정함을 목적으로 한다.
제2조(정의)
9. "자동차 전용도로"란 간선도로로서 「도로법」 제61조에 따라 지정된 도로를 말한다.

◎ 환경친화적인 도로건설 지침

○ 환경친화적인 도로건설 지침」은 환경정책기본법 제23조, 동 법시행령 제11조의 규정 및 도로법 제37조, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제48조에 의거하여 시행되었다.

<표 2-8> 환경친화적인 도로건설 지침의 근거법

법 령	조 항	내 용
환경정책 기본법	23조	제23조(환경친화적 계획기법등의 작성·보급) ① 정부는 환경에 영향을 미치는 행정계획 및 개발사업이 환경적으로 건전하고 지속가능하게 계획되어 수립·시행될 수 있도록 환경친화적인 계획기법 및 토지이용·개발기준(이하 "환경친화적 계획기법등"이라 한다)을 작성·보급할 수 있다. ② 환경부장관은 국토환경을 효율적으로 보전하고 국토를 환경친화적으로 이용하기 위하여 국토에 대한 환경적 가치를 평가하여 등급으로 표시한 환경성 평가지도를 작성·보급할 수 있다. ③ 환경친화적 계획기법등과 환경성 평가지도의 작성 방법 및 내용 등 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.
환경정책 기본법 시행령	11조	제11조(환경친화적 계획기법등의 작성방법 및 내용) 법 제23조제1항에 따른 환경친화적 계획기법등(이하 "환경친화적 계획기법등"이라 한다)은 행정계획 및 개발사업의 유형과 입지별 특성 등을 고려하여 해당 행정계획 및 개발사업에 관한 법령을 주관하는 중앙행정기관의 장이 작성하되, 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. 이 경우 법령을 주관하는 중앙행정기관의 장은 미리 환경부장관과 협의하여야 하며, 환경부장관과 공동으로 환경친화적 계획기법 등에 관한 사항을 고시할 수 있다. 1. 환경친화성 지표에 관한 사항 2. 환경친화적 계획 기준 및 기법에 관한 사항 3. 환경친화적인 토지의 이용·관리 기준에 관한 사항 4. 그 밖에 행정계획 및 개발사업이 지속가능하게 계획되어 수립·시행될 수 있게 하기 위하여 필요한 사항
도로법	37조	제37조(도로의 구조·시설 등) ① 도로의 구조 및 시설, 도로의 유지·안전점검 및 보수(補修)는 국토교통부령으로 정하는 기준에 따른다. ② 국토교통부장관은 제1항에 따른 기준을 정하려면 도로공사에 따르는 자연생태계의 훼손을 최소화하고 도로구조나 교통의 안전을 확보할 수 있도록 하여야 한다.
도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙	48조	제48조(도로의 구조 등에 관한 세부적인 기준) 이 규칙에서 정한 사항 외에 도로의 구조 및 시설의 기준에 관한 세부적인 사항은 국토교통부장관이 정하는 바에 따른다.

<표 2-9> 환경친화적인 도로건설 지침 목차

제1장 총칙	제2장 환경친화적인 도로노선 선정	제3장 항목별 도로설계기법
1.1 목적 1.2 적용범위 1.3 지침의 구성 1.4 용어의 정의	2.1 추진절차 2.2 항목별 검토 사항	3.1 지형・지질 3.2 동・식물 3.3 수리・수문 3.4 토지이용 3.5 대기질 3.6 수 질 3.7 토 양 3.8 폐기물 3.9 소음・진동 3.10 위락・경관

○ 이 지침의 목적은 환경친화적인 도로건설을 위하여 도로설계자, 관련 행정기관 등이 계획・설계・시공 시 활용할 수 있도록 도로노선 선정방안과 항목별 도로설계기법을 제시하는 데 있으며, 환경친화적인 도로노선 선정과 항목별 도로설계기법으로 구분된다.

○ 제2장 환경친화적 도로노선 선정의 주요내용은 환경친화적인 도로노선선정을 위하여 기본・실시 단계에서 도로노선계획・설계 시 고려하여야 할 항목별 검토사항과 추진절차에 대하여 설명하고 있다.

○ 제3장 항목별 도로설계기법의 주요내용은 각각의 항목별 여러 검토요소 중에서 “환경영향평가 작성 등에 관한 규정”에서 제시한 도로사업의 총 10개 주요 평가항목에 대하여 환경훼손 저감방안에 대한 설계기법을 제시하고 있다.

- 지형·지질: 노선 우회방안, 땅깎기·흙쌓기 규모축소, 비옥토 처리, 토취장 복구 등
- 동·식물: 자연생태계 보전지역 회피방안, 훼손수목 재활용, 식생제거지 복원, 도로변 대체서식지 조성 등
- 수리·수문: 수질관련 보호지역 우회통과방안, 수로차단에 대한 대책 수립 등
- 토지이용: 기존 지형변화를 최소화하는 토지이용계획을 수립, 도로 건설 후 폐도 및 기존 도로 활용방안 등
- 대기질: 지역의 대기질현황, 인구밀도, 영향정도 등을 고려하여 저감방안 수립 등
- 수질: 수환경상 보전가치가 있는 지역 우회방안, 비점오염물질유출 저감 대책 등
- 토양: 공사범위 최소화, 재식생, 배수구 개량, 토양 보전 대책 등
- 폐기물: 법규정과 방침에 따라 처리방법, 저감방안 수립 등
- 소음·진동: 토공·발파·항타 공사 시 저감방안, 방음벽 설치와 노면개량 등 운영 시 저감방안 등
- 위락·경관: 도로 선형설계, 경관을 고려한 대형구조물 및 방음별 설치 등

○ 이처럼 이 지침은 환경훼손 저감방안에 대한 설계기법을 주로 다루고 있는 것으로, 도로의 설계・건설・운영의 전 과정에서부터 탄소 및 온실가스 배출 저감을 위한 내용은 다루고 있지 않아 본 과제와 연관성이 없으며, 본 과제에서 추진 중인 “녹색도로”와는 별개의 개념이다.

■ 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법

○ 녹색도로의 활성화를 위해서는 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법 제3조 및 동법 시행령 9조에 녹색도로의 장기적 확충 및 개선에 관한 사항이 조항으로 들어갈 가능성을 검토하였다.

○ 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법 제3조 2항 및 동법 시행령 9조 1항의 각호의 내용은 대도시권 교통문제를 광역적인 차원에서 효율적으로 해결하기 위한 내용으로 도로 건설 단계별 탄소 및 온실가스 배출 저감부분을 다루고 있는 녹색도로와 위계가 맞지 않는다.

<표 2-10> 녹색도로와 관련된 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법 조항

대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법
제3조(대도시권 광역교통기본계획의 수립) ① 국토교통부장관은 대도시권의 효율적인 광역교통 관리를 위하여 관계 중앙행정기관의 장과 대도시권에 포함된 행정구역을 관할하는 특별시장·광역시장 또는 도지사(이하 "시·도지사"라 한다)의 의견을 들어 20년 단위의 대도시권 광역교통기본계획(이하 "광역교통기본계획"이라 한다)을 수립하여야 한다. ② 광역교통기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. 1. 대도시권 광역교통의 현황 및 장기적인 교통 수요의 예측에 관한 사항 2. 광역교통기본계획의 목표 및 단계별 추진전략에 관한 사항 3. 광역교통체계의 개선 및 광역교통 수요의 관리에 관한 사항 4. 광역교통시설의 장기적인 확충 및 다른 교통시설과의 연계에 관한 사항 5. 대도시권 대중교통수단의 장기적인 확충 및 개선에 관한 사항 6. 광역교통시설의 건설에 필요한 재원(財源) 조달의 기본방향과 투자의 우선순위에 관한 사항 7. 그 밖에 대도시권 광역교통의 개선을 위하여 대통령령으로 정하는 사항 ③ 국토교통부장관은 광역교통기본계획을 결정하거나 변경하려면 「국가통합교통체계효율화법」 제106조에 따른 국가교통위원회(이하 "위원회"라 한다)의 심의를 거쳐야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 위원회의 심의를 거치지 아니한다. ④ 국토교통부장관은 제3항에 따라 광역교통기본계획을 결정하거나 변경할 때에는 위원회의 심의 전에 공청회를 열어 주민과 관계 전문가 등으로부터 의견을 들어야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 그러하지 아니하다. ⑤ 국토교통부장관은 제3항에 따라 결정되거나 변경된 광역교통기본계획을 대통령령으로 정하는 바에 따라 고시하고 관계 중앙행정기관의 장 및 시·도지사에게 통보하여야 한다.
대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법 시행령
제9조(대규모개발사업의 범위 등) ①법 제7조의2제1항에서 "대도시권의 광역교통에 영향을 미치는 대규모 개발사업 등 대통령령으로 정하는 사업"이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업으로서 그 면적(제5호 내지 제8호의 경우에는 시설계획지구의 면적을 말한다)이 100만제곱미터 이상이거나 수용인구 또는 수용인원이 2만명 이상인 것(이하 "대규모개발사업"이라 한다)을 말한다. <개정 2000.4.12, 2001.4.30, 2002.12.26, 2003.11.29, 2005.6.30, 2006.3.8, 2006.3.29, 2007.4.20, 2009.7.30, 2012.4.27>

1. 「택지개발촉진법」에 의한 택지개발사업
2. 「주택법」에 의한 주택건설사업 및 대지조성사업
3. 「도시개발법」에 의한 도시개발사업
4. 삭제 <2001.4.30>
5. 「관광진흥법」에 의한 관광지조성사업 및 관광단지조성사업
6. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 유원지설치사업
7. 「온천법」에 의한 온천개발사업
8. 「자연공원법」에 의한 공원사업
9. 삭제 <2008.11.11>
10. 「지역균형개발 및 지방중소기업 육성에 관한 법률」에 의한 지역종합개발사업
11. 삭제 <2008.11.11>
12. 「경제자유구역의 지정 및 운영에 관한 특별법」에 따른 경제자유구역 개발사업
13. 삭제 <2008.11.11>
14. 그 밖에 다른 법률에서 광역교통개선대책의 수립대상으로 규정한 사업

②법 제7조의2제1항에 따른 광역교통개선대책의 수립시기는 별표 2와 같다. <개정 2001.4.30, 2007.4.20>

③광역교통개선대책에 포함되어야 할 내용은 다음 각호와 같다. <개정 2001.4.30, 2012.8.22>

1. 대규모개발사업의 시행으로 발생하는 교통수요의 예측·분석에 관한 사항
1의2. 대규모개발사업의 시행에 따른 광역교통의 문제점에 관한 사항
2. 교통시설의 개선·확충계획에 관한 사항
3. 환승시설의 개선·확충계획에 관한 사항
4. 대중교통수단의 운영계획에 관한 사항
5. 교통안전시설에 관한 사항
6. 그 밖에 대규모개발사업에 따른 광역적인 교통수요의 원활한 처리를 위하여 필요한 사항

④시·도지사는 대규모개발사업에 대한 광역교통개선대책을 수립함에 있어서 필요하다고 인정하는 경우에는 관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장 또는 대규모개발사업의 시행자에게 필요한 자료의 제출을 요구할 수 있다. <개정 2001.4.30>

⑤시·도지사는 법 제7조의2제3항에 따라 광역교통개선대책의 확정통보를 받은 때에는 그 내용을 관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장과 당해 대규모개발사업의 시행자에게 통보하여야 한다. <개정 2001.4.30, 2007.4.20>

⑥관계 중앙행정기관의 장 및 지방자치단체의 장은 제5항의 규정에 의하여 시·도지사로부터 광역교통개선대책을 통보받은 후에 소관별 추진계획을 수립하여야 하며, 대규모개발사업에 관한 허가·인가·승인 또는 협의 등(이하 "허가등"이라 한다)을 하는 때에는 그 사업의 시행자가 이행하여야 할 사항을 당해 허가등의 조건으로 하는 등 광역교통개선대책의 충실한 이행에 필요한 조치를 하고 그 결과를 광역교통개선대책을 통보받은 날부터 1개월 이내에 관할 시·도지사에게 통보하여야 한다. <신설 2001.4.30>

⑦제2항 내지 제6항 외에 광역교통개선대책의 수립 및 사후관리에 관한 세부적인 내용은 국토교통부장관이 따로 정한다.

■ 도시교통정비 촉진법

○ 녹색도로 활성화를 위해 녹색도로 확대에 대한 내용이 포함될 수 있는 법으로 도시교통정비 촉진법 제13조(도시교통의 개선명령)를 검토하였다.

○ 도시교통정비 촉진법은 도시교통 개선에 대한 내용으로 녹색도로 건설에 대한 내용은 동법

제13조(도시교통의 개선명령) 1항에 녹색도로에 대한 호를 신설하여야 하나 기존 각호의 내용과 도로 건설 단계별 탄소 및 온실가스 배출 저감부분을 다루고 있는 녹색도로와는 위계가 맞지 않는다.

<표 2-11> 녹색도로와 관련된 도시교통정비 촉진법 조항

도시교통정비 촉진법
제13조(도시교통의 개선명령) ① 국토교통부장관은 도시교통정비지역에서 도시교통의 개선을 위하여 필요한 경우 해당 지역을 관할하는 특별시장·광역시장·도지사 또는 특별자치도지사(이하 "시·도지사"라 한다)에게 다음 각 호의 사항을 명할 수 있다. 1. 둘 이상의 지방자치단체 간의 버스노선의 신설 및 변경 운영 2. 버스 공동배차제의 실시 3. 교통산업 종사원의 근로환경 개선 4. 여객자동차터미널·화물터미널·정류소 및 환승시설의 설치·운영 5. 교통수단간 환승요금제의 실시 6. 택시 사업구역의 확대 또는 축소 7. 교통시설의 확충(해당 시·도지사가 관할하는 교통시설에만 해당한다) 8. 제15조에 따른 교통영향분석·개선대책(제20조제1항 및 제3항에 따라 사업계획등에 반영된 것을 포함한다)의 이행(시·도지사가 사업시행자이거나 교통시설의 관리청인 경우만 해당한다) 9. 그 밖에 도시교통의 원활한 소통을 위하여 필요한 사항 ② 제1항에 따른 명령을 받은 시·도지사는 실시계획을 수립하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. 이 경우 제5조제3항 및 제5항을 준용한다. ③ 시장이나 군수는 대중교통의 운영개선을 위하여 필요하면 대중교통수단을 운영하는 자에게 제1항 각 호의 사항을 명할 수 있다. 이 경우 명령의 내용이 제4조에 따른 교통권역의 다른 행정구역과 관련되는 경우에는 시장이나 군수는 대통령령으로 정하는 바에 따라 그 교통권역을 관할하는 도지사·시장·군수 또는 해당 교통시설의 관리청과 협의하여야 한다.

■ 기타 관련법

○ 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 도로법, 대도시권 광역교통관리에 관한 특별법, 도시교통정비 촉진법 외에 녹색도로 관련법으로는 도로와 관련하여 고속국도법, 유료도로법, 사도법, 한국도로공사법 등이 있으며 녹색성장 관련법으로는 저탄소녹색성장기본법, 지속가능교통물류발전법, 대기환경보전법, 수도권대기환경개선에관한특별법 등이 있다.

<표 2-12> 녹색도로 도로 관련법·제도

구 분	법 령	기 본 목 적
도로 관련법	고속국도법	· 고속국도에 관하여 「도로법」에 규정된 것 외에 그 노선의 지정, 도로의 구조관리 및 보전 등에 필요한 사항을 규정
	유료도로법	· 이 법은 유료도로의 신설·개축·유지 및 관리 등에 관한 사항을 규정
	사도법	· 사도의 설치, 관리사용 및 구조에 관한 사항을 규정
	한국도로공사법	· 한국도로공사를 설립하여 도로의 설치·관리와 그 밖에 이에

		관련된 사업을 할 수 있게 규정
녹색성장 관련법	저탄소녹색 성장기본법	· 저탄소녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 녹색기술과 녹색산업을 새로운 성장동력으로 활용함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 저탄소 사회 구현을 통하여 국민의 삶의 질을 높이고 국제사회에서 책임을 다하는 성숙한 선진 일류국가로 도약하는 데 이바지함을 목적으로 함
	지속가능 교통물류발전법	· 기후 변화, 에너지 위기 및 환경보호 요구 등 교통물류 여건 변화에 대응하는 지속가능 교통물류정책의 기본방향과 그 수립 및 추진 등에 관한 사항을 규정
	대기환경보전법	· 대기오염으로 인한 국민건강이나 환경에 관한 사항을 규정(자동차에 대한 규정)
	수도권대기환경 개선에 관한특별법	· 수도권지역의 대기환경을 개선하기 위하여 종합적인 시책을 규정(저공해 자동차의 보급·구매, 노후차량의 조기폐차 지원 등)

○ 도로 건설 단계별 탄소 및 온실가스 배출 저감부분을 다루고 있는 녹색도로와 관련된 법으로는 저탄소녹색성장기본법 제3조(저탄소 녹색성장 추진의 기본원칙) 1호 “정부는 기후변화·에너지·자원 문제의 해결, 성장동력 확충, 기업의 경쟁력 강화, 국토의 효율적 활용 및 쾌적한 환경 조성 등을 포함하는 종합적인 국가 발전전략을 추진한다.”와 6호 “정부는 자연자원과 환경의 가치를 보존하면서 국토와 도시, 건물과 교통, 도로·항만·상하수도 등 기반시설을 저탄소 녹색성장에 적합하게 개편한다.”가 있으며 녹색도로 건설에 대한 근거법이 될 수 있다.

○ 동법 47조에 제시된 교통부문의 온실가스 관리는 주로 교통수단에 대한 온실가스 관리에 대한 내용으로 도로 건설 단계에서 발생한 온실가스에 대해 다루고 있는 조항은 없다.

○ 저탄소녹색성장기본법 제47조(교통부문의 온실가스 관리)와 같은 교통(도로)시설부문의 온실가스 관리 조항이 신설되어야 할 것으로 판단한다.

<표 2-13>녹색도로와 관련된 저탄소녹색성장기본법 조항

저탄소녹색성장 기본법
제3조(저탄소 녹색성장 추진의 기본원칙) 저탄소 녹색성장은 다음 각 호의 기본원칙에 따라 추진되어야 한다. **1. 정부는 기후변화·에너지·자원 문제의 해결, 성장동력 확충, 기업의 경쟁력 강화, 국토의 효율적 활용 및 쾌적한 환경 조성 등을 포함하는 종합적인 국가 발전전략을 추진한다.** 2. 정부는 시장기능을 최대한 활성화하여 민간이 주도하는 저탄소 녹색성장을 추진한다. 3. 정부는 녹색기술과 녹색산업을 경제성장의 핵심 동력으로 삼고 새로운 일자리를 창출·확대할 수 있는 새로운 경제체제를 구축한다. 4. 정부는 국가의 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 성장잠재력과 경쟁력이 높은 녹색기술 및 녹색산업 분야에 대한 중점 투자 및 지원을 강화한다. 5. 정부는 사회·경제 활동에서 에너지와 자원 이용의 효율성을 높이고 자원순환을 촉진한다. **6. 정부는 자연자원과 환경의 가치를 보존하면서 국토와 도시, 건물과 교통, 도로·항만·상하수도 등 기반시설을 저탄소 녹색성장에 적합하게 개편한다.** 7. 정부는 환경오염이나 온실가스 배출로 인한 경제적 비용이 재화 또는 서비스의 시장가격에 합리적으로 반영되도록 조세(租稅)체계와 금융체계를 개편하여 자원을 효율적으로 배분하고 국민의 소비 및 생활 방식이 저탄소 녹색성장에 기여하도록 적극 유도한다. 이 경우 국내산업의 국제경쟁력이 약화되지 않도록 고려하여야 한다. 8. 정부는 국민 모두가 참여하고 국가기관, 지방자치단체, 기업, 경제단체 및 시민단체가 협력하여 저탄소 녹색성장을 구현하도록 노력한다. 9. 정부는 저탄소 녹색성장에 관한 새로운 국제적 동향(動向)을 조기에 파악·분석하여 국가 정책에 합리적으로 반영하고, 국제사회의 구성원으로서 책임과 역할을 성실히 이행하여 국가의 위상과 품격을 높인다. **제47조(교통부문의 온실가스 관리)** ① 자동차 등 교통수단을 제작하려는 자는 그 교통수단에서 배출되는 온실가스를 감축하기 위한 방안을 마련하여야 하며, 온실가스 감축을 위한 국제경쟁 체제에 부응할 수 있도록 적극 노력하여야 한다. ② 정부는 자동차의 평균에너지소비효율을 개선함으로써 에너지 절약을 도모하고, 자동차 배기가스 중 온실가스를 줄임으로써 쾌적하고 적정한 대기환경을 유지할 수 있도록 자동차 평균에너지소비효율기준 및 자동차 온실가스 배출허용기준을 각각 정하되, 이중규제가 되지 않도록 자동차 제작업체(수입업체를 포함한다)로 하여금 어느 한 기준을 택하여 준수토록 하고 측정방법 등이 중복되지 않도록 하여야 한다. ③ 정부는 온실가스 배출량이 적은 자동차 등을 구매하는 자에 대하여 재정적 지원을 강화하고 온실가스 배출량이 많은 자동차 등을 구매하는 자에 대해서는 부담금을 부과하는 등의 방안을 강구할 수 있다. ④ 정부는 하이브리드 자동차, 수소연료전지 자동차 등 저탄소·고효율 교통수단의 제작·보급을 촉진하기 위하여 재정·세제 지원, 연구개발 및 관련 제도 개선 등의 방안을 강구할 수 있다.

■ 소결

○ 녹색도로 건설에 대한 법적 근거가 될 수 있는 법률로는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 3조(국토이용 및 관리의 기본원칙)과 저탄소녹색성장기본법 제3조(저탄소 녹색성장 추진의 기본원칙) 등이 녹색도로 건설에 대한 근거법이 될 수 있다.

○ 녹색도로 건설 활성화 측면에서 개정 및 신설이 필요한 법률로는 도로법 제22조(도로정비기본계획 수립)에 조항, 도로법에 녹색도로 정의에 대한 조항, 도로법 시행령 10조(심의회 기능)에 녹색도로 건설에 관한 사항 등이 있으며, 저탄소녹색성장기본법 제47조(교통부문의 온실가스 관리)에 신설 조항이 필요하다.

○ 국내의 도로정책은 '녹색도로나 녹색도로 건설' 등과 같이 도로부문에서의 저탄소 녹색성장 구현을 지향하고 있지만, 관련법을 검토한 결과, 기본법이라 할 수 있는 도로법을 포함한 도로관련법에서 도로분야의 저탄소 녹색성장 및 환경대책과 관련한 구체적인 조항 없이 "환경친화적인 도로건설 방안" 조항만을 언급하고 있는 것을 알 수 있다.

○ 녹색도로와 관련 있다고 판단하여 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법, 도시교통정비촉진법, 유료도로법, 고속국도법, 건축법 등을 검토하였지만 도로 건설 단계별 탄소 및 온실가스 배출 저감부분을 다루고 있는 녹색도로와 위계가 맞지 않아 법률 신설 및 개정 대상에서 제외되었다.

○ 도로관련법 이외에 도로분야에서의 녹색성장과 관련한 법령으로 지속가능교통물류발전법, 대기환경보전법, 수도권대기환경개선에관한특별법 등이 있으나, 도로의 계획·건설·관리 등 도로사업 전생애주기(Life Cycle)에서의 환경에 대한 영향이 최소화 되도록 하는 조항이 없다.

■ 도로분야 법제연구

○ 대부분의 교통부문 법제연구가 신교통수단 또는 수송(물류)과 관련한 연구로 도로의 계획, 설계, 시공, 운영, 유지관리 등 전생애주기에서의 CO_2 발생을 최소화하기 위한 녹색도로, 녹색도로와 같은 법제연구 및 법적 개념은 없는 실정이다.

<표 2-14> 도로분야 법제연구 사례

구 분	내 용
오준근 (1995)	「도로의 건설·관리 관련법제의 현황과 개선방안」 - 도로의 효율적인 설치·관리 및 유지를 위한 현행 도로법의 문제점를 도출하여 도로법 개정안을 마련하고자 함
한국 법제연구원 (1999)	「유료도로법제의 개선방안」 - 유료도로관계 법제의 합리적 개선을 위한 참고자료 제공 목적 - 향후 통행료 개선방안의 원칙을 제시
김창규 (2000)	「일본의 유료도로법제 연구」 - 일본 유료도로 제도의 운영 현황 및 관련법제도를 소개 - 일본 유료도로의 사업주체, 정비 및 허가절차, 유료도로사업자의 도로관리상의 법적 지위, 요금제도, 유료도로사업의 재원 등을 소개
성형곤외 1 (2005)	「교통계획 관련 법률체계의 현안과 정비방향 수립」 - 대도시권 광역교통관리에 관한 특별법, 도시교통정비촉진법을 중심으로 현황 및 문제점을 분석하고, 국내·외 유사사례를 고찰하여 제도적 개편 방향을 설정함
국토교통부	「도로분야 제도개선 및 도로법령체계 정비방안 연구」

(2008)	- 합리적인 도로투자 체계 및 안정적인 재원확보방안 도출 - 도로계획·건설·관리 등에 대한 전반적인 도로관련 제도 개선방안 도출 - 도로관련 법령체계를 전면적으로 정비하기 위한 도로법령 개정(안)제시
한국 교통연구원 (2008)	「도로상 위험물운송관리를 위한 법제화 방향 연구」 - 미비한 도로부문 위험물 운송에 대한 관련 법률의 정비 및 관리체계를 확립하기 위해 위험물 운송과 관련된 국·내외 기준분석을 통해 위험물운송 관리체계의 기본방향 및 법률 신설의 필요성 도출
한국 법제연구원 (2009)	「신교통수단 도입에 따른 교통법제 정비방안 연구」 - 도로와 철도분야의 신교통수단을 분류하고, 신교통수단의 도입에 따른 건설 및 운영과정에서의 문제해결을 위한 연구 - 해외사례를 참조하여 신교통수단의 도입에 따른 법적인 문제의 해결방안 도출
한국 법제연구원 (2010)	「수송 및 교통분야에서의 녹색성장관련 법제 개선방안 연구」 - 주요 선진국(미국, 영국, 일본, 중국, 독일)들의 교통부문에서의 온실가스 배출감축 정책에 대한 법적비교 분석을 통한 우리나라 관련법제의 개선방향을 도출
법제처 (2011)	「온실가스 배출규제 법제에 관한 발전방안 연구」 - 배출권거래제 등 온실가스 배출규제에 대한 국제규범의 현황 및 최근의 국제적 동향을 분석/제시 - 우리나라 온실가스 배출규제 법제를 분석하여 온실가스 배출규제 법제의 발전방안을 제시

㈏ 인증 관련 유사제도 검토

○ 녹색도로 인증제도의 법제화는 유사제도 검토를 통해 법제화 방안을 찾고자하며, 유사제도로는 건축법에 의한 관련분야 인증제도(친환경건축물의 인증제도, 지능형건축물의 인증제도, 건축물 에너지 효율등급 인증제도), 장애물 없는 생활환경 인증제도 등이 있다.

■ 건축법에 의한 관련분야 인증제도

○ 「친환경건축물 인증제도」는 건축법 제65조(친환경건축물의 인증)에 근거하여 시행되고, 「친환경 건축물의 인증에 관한 규칙」에 의해 제도화되었다.

- 이 제도는 설계와 시공 유지, 관리 등 전 과정에 걸쳐 에너지 절약 및 환경오염 저감에 기여한 건축물에 대한 친환경 건축물 인증을 부여하는 제도로, 지속 가능한 개발의 실현을 목표로 인간과 자연이 서로 친화하며 공생할 수 있도록 계획된 건축물의 입지, 자재선정 및 시공, 유지관리, 폐기 등 건축의 전 생애(Life Cycle)를 대상으로 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가를 통하여 건축물의 환경성능을 인증하는 제도임
- 주요내용은 공동주택, 복합건축물(주거), 업무용 건축물, 학교시설, 판매시설, 그 밖의 건축물 등 모든 용도의 신축 건물을 대상으로 건축주나 건축물 소유자 등이 인증기관에 인증을 신청하여 인증을 받는 절차 등에 관한 것으로, 인증을 받게 되면 지방세감면, 환경개선부담금 경감, 건축기준완화의 혜택을 받게 되고, 서울시의 경우 이외에도 인증비용 지원, 용적율 완화 등의 혜택을 받게됨

○ 「지능형건축물 인증제도」는 건축법 제65조2(지능형건축물의 인증)에 근거하여 시행되고, 「지능형건축물의 인증에 관한 규칙」에 의해 제도화되었다.

- 이 제도는 건물의 지능화 수준에 대한 객관적인 정보를 제공하여, 초기 투자주체, 건설주체, 소유주체, 관리주체 및 사용주체가 쉽게 지능형 건축물에 대한 수준을 파악함으로써 지능형 건축물에 대한 기술적·경제적 가치를 제고하게 해주고, 지식정보화 사회에 대응하여 지능형 건축물에 대한 사회적 역할과 기능적 역할을 부여해 주는 제도임
- 주요내용은 인증기준에 따라 건축물을 주거용과 비주거용으로 구분하고, 건축계획 및 환경, 전기 및 정보통신, 시설경영관리 등 각 분야별로 필수항목, 평가항목, 가산항목으로 구분/평가하여 5개의 등급으로 인증을 받는 절차 등에 관한 것으로, 인증을 받게 되면, 각 등급에 따라 건축기준 완화 혜택을 받게 됨

○ 「건축물 에너지 효율등급 인증제도」는 건축법 제66조2(건축물의 에너지효율등급 인증)에 근거하여 시행되었다.

- 이 제도는 건물의 에너지 성능이나 주거환경의 질과 같은 객관적인 정보를 제공받고, 건물의 가치를 인정받음으로서 건설사업주, 소유주체, 관리주체 및 건물 사용자 등 건물과 관련된 모두에게 이익이 돌아가도록 하기 위한 제도임
- 주요내용은 20세대 이상의 신축 공동주택, 업무용 건축물, 공공건물 등을 대상으로 건축주, 건축물 소유자 또는 시공자가 운영기관 및 인증기관에 신청을 하여 인증을 받는 절차 등에 관한 것으로, 인증을 받게 되면 지방세 감면, 건축기준 완화, 조달청 입찰참가자격 심사 시 가점부여, 환경개선부담금 경감 등의 혜택을 받게 됨

○ 건축법에 의한 관련분야 인증제도의 법적근거를 나타낸 것이다.

<표 2-15> 건축법에 의한 관련분야 인증제도의 법적근거

건축법
제65조(친환경건축물의 인증) ① 국토교통부장관과 환경부장관은 지속가능한 개발의 실현과 자원절약형이고 자연친화적인 건축물의 건축을 유도하기 위하여 공동으로 친환경건축물 인증제도를 실시한다. ② 국토교통부장관은 환경부장관과 협의하여 인증기관을 지정하고 제1항에 따른 친환경건축물의 인증을 하게 할 수 있다. ③ 친환경건축물의 인증을 받으려는 자는 제2항에 따른 인증기관에 인증을 신청하여야 한다. ④ 국토교통부장관과 환경부장관은 다음 각 호의 사항을 포함하여 친환경건축물의 인증 기준을 공동으로 고시한다. 1. 인증 기준 및 절차 2. 표시 활용 방법 3. 유효기간 4. 수수료 5. 인증 등급 등 **⑤ 제2항과 제3항에 따른 인증기관의 지정 기준, 지정 절차 및 인증 신청 절차 등에 관하여 필**

요한 사항은 국토교통부와 환경부의 공동부령으로 정한다.

제65조의2(지능형건축물의 인증) ① 국토교통부장관은 지능형건축물[Intelligent Building]의 건축을 활성화하기 위하여 지능형건축물 인증제도를 실시한다.

② 국토교통부장관은 제1항에 따른 지능형건축물의 인증을 위하여 인증기관을 지정할 수 있다.

③ 지능형건축물의 인증을 받으려는 자는 제2항에 따른 인증기관에 인증을 신청하여야 한다.

④ 국토교통부장관은 건축물을 구성하는 설비 및 각종 기술을 최적으로 통합하여 건축물의 생산성과 설비 운영의 효율성을 극대화할 수 있도록 다음 각 호의 사항을 포함하여 지능형건축물 인증기준을 고시한다.

1. 인증기준 및 절차
2. 인증표시 홍보기준
3. 유효기간
4. 수수료
5. 인증 등급 및 심사기준 등

⑤ 제2항과 제3항에 따른 인증기관의 지정 기준, 지정 절차 및 인증 신청 절차 등에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다.

⑥ 허가권자는 지능형건축물로 인증을 받은 건축물에 대하여 제42조에 따른 조경설치면적을 100분의 85까지 완화하여 적용할 수 있으며, 제56조 및 제60조에 따른 용적률 및 건축물의 높이를 100분의 115의 범위에서 완화하여 적용할 수 있다.

제66조의2(건축물의 에너지효율등급 인증) ① 국토교통부장관과 지식경제부장관은 에너지성능이 높은 건축물의 건축을 확대하고, 건축물의 효과적인 에너지관리를 위하여 공동으로 건축물 에너지효율등급 인증제를 시행한다.

② 국토교통부장관은 지식경제부장관과 협의하여 대통령령으로 정하는 에너지 관련 전문기관을 인증기관으로 지정하고, 건축물 에너지효율등급 인증 업무를 위임할 수 있다.

③ 건축물 에너지효율등급 인증을 받으려는 자는 제2항에 따른 인증기관에 인증을 신청하여야 한다.

④ 국토교통부장관과 지식경제부장관은 다음 각 호의 사항을 포함하여 건축물 에너지효율등급 인증기준을 공동으로 고시한다.

1. 인증 기준 및 절차
2. 효율등급 평가기준
3. 인증서 및 인증마크의 활용
4. 수수료
5. 인증 등급 등

⑤ 건축물 에너지효율등급 인증을 받는 건축물의 경우에는 제66조제2항에 따른 설계기준을 준수하지 아니할 수 있다.

○ 건축법 관련 인증제도의 규칙/규정 내용을 나타낸 것이다.

<표 2-16> 건축법에 의한 관련분야 인증제도의 규칙/규정의 내용

친환경건축물의 인증에 관한 규칙	지능형건축물의 인증에 관한 규칙	건축물 에너지효율등급 인증규정
제1조(목적) 이 규칙은 「건축법」 제65조제5항에서 위임된 친환경건축물 인증과 인증기관 지정 등에 관한 사항을 규정함을 목적	제1조(목적) 이 규칙은 「건축법」 제65조의2제5항에서 위임된 지능형건축물 인증기관의 지정 기준, 지정 절차 및 인증 신청 절차	제1조(목적) 이 규정은 국토교통부장관과 지식경제부장관이 고시한 “건축물 에너지효율등급 인증규정”(이하 “고시”라 한다)을 운영

으로 한다. 제2조(적용 대상) 제3조(인증기관의 지정) 등 제4조(인증기관의 비밀보호 의무) 제5조(인증기관 지정의 취소) 제6조(인증의 신청) 제7조(인증심사) 제8조(인증서 발급 등)	등에 관한 사항을 규정함을 목적으로 한다. 제2조(적용 대상) 제3조(인증기관의 지정) 등 제4조(인증기관의 비밀보호 의무) 제5조(인증기관 지정의 취소) 제6조(인증의 신청) 제7조(인증심사) 제8조(인증서 발급 등) 제9조(인증의 취소) 제10조(재심사 요청) 제11조(예비인증의 신청 등) 제12조(인증을 받은 지능형건축물의 사후관리) 제13조(인증운영위원회 구성·운영 등)	하기 위하여 필요한 사항에 대해 규정하고 고시 제6조2항에서 정한 시행세칙으로 운영함을 목적으로 한다. 제2조(정의) 제3조(적용대상) 제4조(신청 및 인증절차) 제5조(에너지효율등급 평가) 제6조(신청서류 및 인증수수료) 제7조(운영위원회 구성 및 운영) 제8조(인증기관에 대한 사후관리 등) 제9조(보칙)

○ 건축법에 의한 관련분야 인증제도의 인센티브 규정을 나타낸 것으로 친환경건축물의 인증과 건축물 에너지효율등급 인증의 경우 건축법과 건축법 시행령에 의해 별도의 인센티브 규정을 법제화하였고, 지능형건축물의 인증은 해당 조항에 인센티브 규정을 명문화하였다.

<표 2-17> 건축법에 의한 관련분야 인증제도의 인센티브 규정

건축법	건축법 시행령
제66조(건축물에 관한 효율적인 에너지 이용과 친환경 건축물 건축의 활성화) ① 국토교통부장관은 지식경제부장관이나 환경부장관과 협의하여 건축물에 관한 효율적인 에너지 이용과 친환경 건축물 건축의 활성화를 위한 종합대책을 수립·시행하여야 한다. <개정 2011.5.30> ② 국토교통부장관은 건축물에 대한 효율적인 에너지 관리와 친환경 건축물 건축의 활성화를 위하여 필요한 설계·시공·감리 및 유지·관리에 관한 기준을 정하여 고시할 수 있다. <개정 2011.5.30> ③ 허가권자는 자원 절약적이고 환경 친화적인 건축물의 건축을 활성화하기 위하여 대통령령으로 정하는 기준에 적합한 건축물에 대하여 제42조에 따른 조경설치면적을 100분의 85까지 완화하여 적용할 수 있으며, 제56조 및 제60조에 따른 용적률 및 건축물의 높이를 100분의 115의 범위에서 완화하여 적용할 수 있다. <개정 2011.5.30> ④ 허가권자는 자원 절약적이고 환경 친화적인 건축물의 건축 및 유지·관리를 위한 정책을 수립하여 시행하여야 한다. <신설 2011.5.30> ⑤ 지방자치단체는 제2항에 따른 고시의 범위에	제91조(건축물에 관한 효율적인 에너지 이용과 친환경 건축물의 활성화) ① 국토교통부장관은 법 제66조제1항에 따라 건축물에 관한 효율적인 에너지 이용을 위한 종합대책을 수립·시행하기 위하여 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 지식경제부장관 등 관계 중앙행정기관의 장과 협의기구를 구성하여 운영할 수 있다. ② 법 제66조제3항에서 "대통령령으로 정하는 기준에 적합한 건축물"이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 건축물을 말한다. <개정 2011.11.30> 1. 법 제65조에 따라 친환경건축물 인증을 받은 건축물 2. 법 제66조제2항에 따라 효율적인 에너지 관리를 위한 설계기준에 맞게 설계된 건축물이나 건축폐자재를 건축물의 신축공사를 위한 골조공사에 100분의 15 이상 사용한 건축물 3. 법 제66조의2에 따라 건축물 에너지효율등급 인증을 받은 건축물 ③ 국토교통부장관은 제2항 각 호의 어느 하나에 해당하는 건축물에 대하여 법 제66조제3항에 따라 건축기준을 완화하여 적용하기 위한 세부기준을 정

서 건축기준 완화 기준 및 재정지원에 관한 사항을 조례로 정할 수 있다. <신설 2011.5.30> [제목개정 2011.5.30]	하여 고시할 수 있다. <개정 2011.11.30> ④ 삭제 <2011.11.30> ⑤ 삭제 <2011.11.30> [전문개정 2008.10.29] [제목개정 2011.11.30]

■ 장애물 없는 생활환경 인증제도

○ 「장애물 없는 생활환경 인증제도」는 교통약자의이동편의증진법 및 장애인・노인・임산부 등의편의증진보장에관한법률에 따라 장애인, 노인 등이 도시, 교통수단, 건축물 등을 접근・이용・이동하는데 불편이 없는 생활환경의 구축 및 조성을 촉진하는 제도이다.

○ 이 제도는 「교통약자의 이동편의 증진법」 제17조의2제5항을 근거로「장애물 없는 생활환경 인증에 관한 규칙」이 마련되고,「장애물 없는 생활환경 인증제도 시행지침」을 통해 제도화 되었다.

○ 「장애물 없는 생활환경 인증제도 시행지침」은 장애인, 노인 등의 교통약자들이 지역, 교통수단, 건축물을 이용하는데 불편함이 없는 생활환경 구축 및 조성을 촉진하고자 장애물 없는 생활환경 인증제도의 운영에 필요한 세부사항을 규정한 것이다.

<표 2-18> 장애물 없는 생활환경 인증제도의 법적근거

교통약자의이동편의증진법	장애물 없는 생활환경 인증에 관한 규칙	장애물 없는 생활환경 인증제도 시행지침
제17조의2(교통수단 등 인증) ① 국토교통부장관은 교통약자가 안전하고 편리하게 이동할 수 있도록 이동편의시설을 설치한 교통수단・여객시설 및 도로에 장애물 없는 생활환경 인증(이하 "인증"이라 한다)을 할 수 있다. ② 국토교통부장관은 교통약자의 안전하고 편리한 이동을 위하여 교통수단・여객시설 및 도로를 계획 또는 정비한 시・군・구(자치구를 말한다. 이하 같다) 및 대통령령으로 정하는 지역에 대하여 인증을 할 수 있다. ③ 국토교통부장관은 제1항 및 제2항에 따른 인증업무를 효과적으로 수행하기 위하여 인증기관을 지정할 수 있다. ④ 국토교통부장관은 필요하다고 인정하면 제1항 및 제2항에 따른 인증 및 제3항에 따른 인증기	제1조(목적) 이 규칙은 「교통약자의 이동편의 증진법」 제17조의2제5항에서 위임된 장애물 없는 생활환경 인증과 인증기관 지정 등에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다. 제2조(적용 대상) 제3조(인증기관의 지정) 제4조(인증기관의 의무 등) 제5조(인증기관 지정의 취소) 제6조(인증의 신청) 제7조(인증심사) 제8조(인증심사기준 등) 제9조(인증서 발급 등) 제10조(인증의 취소) 제11조(재심사 요청) 제12조(예비인증의 신청 등) 제13조(인증운영위원회의 구성・운영 등)	제1장 총칙 제1조(목적) 이 지침은「교통약자의 이동편의 증진법」및「장애인・노인・임산부 등의 편의증진보장에 관한 법률」에 따라 장애인, 노인 등이 지역, 교통수단, 건축물 등을 접근・이용하는데 불편이 없는 생활환경의 구축 및 조성을 촉진하고자 장애물 없는 생활환경 인증제도의 운영에 필요한 세부사항을 규정함을 목적으로 한다. 제2장 인증운영위원회 제3장 인증기관 제4장 인증심사기준 제5장 인증절차 등 제6장 보칙 부 칙

관의 지정을 보건복지가족부장관과 공동으로 할 수 있다. ⑤ 제1항 및 제2항에 따른 인증의 신청권자와 인증 기준·절차 및 취소, 제3항에 따른 인증기관의 지정, 그 밖에 인증제도의 실시에 필요한 사항은 국토교통부령(제4항의 경우 보건복지가족부와의 공동부령)으로 정한다.		

■ 소결

○ 녹색도로 인증제도는「녹색도로의 인증에 관한 규칙」과 같이 시행규칙 제정을 통한 법제화 방안을 제시할 수 있을 것으로 보이며, 녹색도로 인증과 인증기관 지정 등에 관한 사항을 명문화하고,「장애물 없는 생활환경 인증제도 시행지침」과 같이「녹색도로 인증제도 시행지침」을 제정하여 인증제도 운영에 필요한 세부사항을 규정하는 방안을 제시할 수 있을 것으로 판단하였다.

② 녹색도로의 법제화 방안 마련

○ 녹색도로의 법제화는 크게 세 가지로 구분할 수 있으며, 첫 번째는 녹색도로 활성화를 위한 법제화이고, 두 번째는 개발된 녹색도로기술을 적용하기 위한 법제와이며, 세 번째는 녹색도로 인증제도 시행을 위한 법제화이다.

㉮ 녹색도로 건설에 대한 근거법 및 법제화 방안

○ 녹색도로 건설에 대한 근거법으로는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제3조(국토 이용 및 관리의 기본원칙)과 저탄소 녹색성장 기본법 제3조(저탄소 녹색성장 추진의 기본원칙) 1호, 6호가 있다.

<표 2-19> 녹색도로 건설에 대한 근거법

국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제3조(국토 이용 및 관리의 기본원칙)
국토는 자연환경의 보전과 자원의 효율적 활용을 통하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 이루기 위하여 다음 각 호의 목적을 이룰 수 있도록 이용되고 관리되어야 한다.
저탄소 녹색성장 기본법 제3조(저탄소 녹색성장 추진의 기본원칙) 1호, 6호
1. 정부는 기후변화·에너지·자원 문제의 해결, 성장동력 확충, 기업의 경쟁력 강화, 국토의 효율적 활용 및 쾌적한 환경 조성 등을 포함하는 종합적인 국가 발전전략을 추진한다. 6. 정부는 자연자원과 환경의 가치를 보존하면서 국토와 도시, 건물과 교통, 도로·항만·상하수도 등 기반시설을 저탄소 녹색성장에 적합하게 개편한다.

○ 녹색도로 활성화를 위한 법제화는 도로법 및 저탄소녹색성장기본법 개정 및 법조항 신설(안)을 통해 녹색도로 건설 근거를 마련하고자 한다.

<표 2-20> 녹색도로 활성화를 위한 도로법 개정(안)

도로법 현행	도로법 개정(안)
제22조(도로정비 기본계획의 수립) ① 도로의 관리청은 10년 단위로 그 소관 도로의 장기적인 정비방향을 제시하는 도로정비 기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)을 수립하여야 한다. ② 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. 1. 도로정비의 목표 및 방향 2. 도로의 정비·관리계획 3. 환경친화적인 도로의 건설방안 4. 소요재원의 조달방안 5. 그 밖에 국토교통부장관이나 도로의 관리청이 체계적인 도로정비를 위하여 필요하다고 인정하는 사항 ③ 도로 관리청은 기본계획이 수립된 날부터 5년마다 그 타당성을 검토하여 필요하면 기본계획을 변경하여야 한다. ④ 도로 관리청이 기본계획을 수립하거나 변경하려면 관계 행정기관의 장(특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사가 도로의 관리청이면 국토교통부장관을, 시장·군수 또는 구청장이 도로의 관리청이면 특별시장·광역시장·특별자치시장 또는 도지사를 각각 포함한다)과 협의하여야 한다. <개정 2012.6.1> ⑤ 도로 관리청은 제1항에 따라 기본계획을 수립하거나 변경하면 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 그 내용을 고시하여야 한다.	**제22조(도로정비 기본계획의 수립)** ① 도로의 관리청은 10년 단위로 그 소관 도로의 장기적인 정비방향을 제시하는 도로정비 기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)을 수립하여야 한다. ② 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. 1. 도로정비의 목표 및 방향 2. 도로의 정비·관리계획 3. 환경친화적인 도로의 건설방안 **4. 녹색도로의 건설방안** 5. 소요재원의 조달방안 6. 그 밖에 국토교통부장관이나 도로의 관리청이 체계적인 도로정비를 위하여 필요하다고 인정하는 사항 ③ 도로 관리청은 기본계획이 수립된 날부터 5년마다 그 타당성을 검토하여 필요하면 기본계획을 변경하여야 한다. ④ 도로 관리청이 기본계획을 수립하거나 변경하려면 관계 행정기관의 장(특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사가 도로의 관리청이면 국토교통부장관을, 시장·군수 또는 구청장이 도로의 관리청이면 특별시장·광역시장·특별자치시장 또는 도지사를 각각 포함한다)과 협의하여야 한다. <개정 2012.6.1> ⑤ 도로 관리청은 제1항에 따라 기본계획을 수립하거나 변경하면 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 그 내용을 고시하여야 한다.
조항 신설	**제23조의3(녹색도로 노선지정)** ① 국토교통부장관은 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하면서 안전하고 쾌적한 이동성을 확보하기 위한 도로(이하 "녹색도로"라 한다)에 대하여 녹색도로 노선을 지정할 수 있다. ② 제1항에 따른 노선지정 시에는 다음 각 호의 내용이 포함되어야 한다. 1. 사업계획의 목표 2. 사업계획의 대상 도로 3. 연차별 사업계획 4. 사업계획의 시행을 위한 총투자 규모 5. 사업계획의 시행에 소요되는 재원의 조달방안 6. 그 밖에 대통령령으로 정하는 사항

	③ 국토교통부장관은 사업계획을 수립하고자 할 때에는 관계 중앙행정기관의 장 및 지방자치단체의 장과 협의하여야 한다. ④ 도로 관리청은 사업계획에 따라 녹색도로 지정을 위한 세부 사업계획을 수립하고 시행하여야 한다. ⑤ 국토교통부장관은 도로 관리청이 제4항에 따라 세부 사업계획을 시행하는 데 드는 비용의 일부를 대통령령으로 정하는 바에 따라 지원할 수 있다. ⑥ 녹색도로의 대상 기준, 관리방법 등 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.
제37조(도로의 구조·시설 등) ① 도로의 구조 및 시설, 도로의 유지·안전점검 및 보수(補修)는 국토교통부령으로 정하는 기준에 따른다. ② 국토교통부장관은 제1항에 따른 기준을 정하려면 도로공사에 따르는 자연생태계의 훼손을 최소화하고 도로구조나 교통의 안전을 확보할 수 있도록 하여야 한다.	제37조(도로의 구조·시설 등) ① 도로의 구조 및 시설, 도로의 유지·안전점검 및 보수(補修)는 국토교통부령으로 정하는 기준에 따른다. ② 국토교통부장관은 제1항에 따른 기준을 정하려면 도로공사에 따르는 자연생태계의 훼손을 최소화하고 도로구조나 교통의 안전을 확보하고 **탄소 배출을 최소화**하여야 한다.

도로법 시행령 현행	도로법 시행령 개정(안)
제10조(심의회의 기능) 심의회는 다음 각 호의 사항을 심의한다. <개정 2010.9.17> 1. 도로(제12조의2에 따른 지선 및 제14조의2에 따른 지정국도를 포함한다) 노선의 지정, 변경 및 해제에 관한 사항 2. 접도구역의 지정에 관한 사항 3. 도로의 구조 등에 관한 사항 4. 도로의 건설재원·장기계획 등에 관한 사항 5. 환경친화적 도로의 건설에 관한 사항 6. 유료도로인 국도 및 고속국도의 통행료에 관한 사항 7. 도로 간의 중복투자, 도로에 대한 과잉투자 여부 등에 관한 사항 8. 도로에 관한 사항으로서 국토교통부장관이 심의에 부치는 사항	**제10조(심의회의 기능)** 심의회는 다음 각 호의 사항을 심의한다. <개정 2010.9.17> 1. 도로(제12조의2에 따른 지선 및 제14조의2에 따른 지정국도를 포함한다) 노선의 지정, 변경 및 해제에 관한 사항 2. 접도구역의 지정에 관한 사항 3. 도로의 구조 등에 관한 사항 4. 도로의 건설재원·장기계획 등에 관한 사항 5. 환경친화적 도로의 건설에 관한 사항 **6. 녹색도로의 건설에 관한 사항** 7. 유료도로인 국도 및 고속국도의 통행료에 관한 사항 8. 도로 간의 중복투자, 도로에 대한 과잉투자 여부 등에 관한 사항 9. 도로에 관한 사항으로서 국토교통부장관이 심의에 부치는 사항
조항 신설	**제00조(녹색도로의 지정 공고 등)** 관리청은 녹색도로를 지정한 때에는 법 제23조의3에 따라 다음 각 호의 사항을 공고하고 지체 없이 국토교통부장관에게 보고하여야 한다. 1. 도로의 종류 및 노선명 2. 구간 3. 지정의 이유 4. 지정 기간 5. 그 밖에 필요한 사항

조항 신설	**제00조의1(녹색도로의 노선지정기준)** 관리청은 법 제23조의3 제1항에 따른 녹색도로의 노선지정 시 다음 각 호의 요건을 갖추어야 한다. 1. 도로건설단계(설계/시공 시)에는 녹색도로설계&포장기술, 녹색환경, 녹색자원&에너지, 녹색교통 등 총 4개 분야로 인증평가를 실시하여 인증기준 이상의 점수를 획득한 도로 2. 도로관리단계(운영 및 유지관리(설계/시공시 포함))에는 도로시설, 부대시설물, 교통운영관리, 에너지&온실가스관리, 녹색활동 등 총 5개 분야로 인증평가를 실시하여 인증기준 이상의 점수를 획득한 도로

- 도로법 제22조(도로정비 기본계획의 수립) 2항에 녹색도로의 건설 방안에 관한 조항을 신설하여 도로정비 기본계획 수립 시 녹색도로가 반영될 수 있는 근거를 마련함

- 도로법 시행령 제10조(심의회의 기능)에 녹색도로의 건설에 관한 사항을 신설하여 도로정책심의회 시 녹색도로 건설에 관한 사항도 심의할 수 있도록 근거를 마련함

- 도로법 제23조의3(녹색도로 노선지정)에 녹색도로에 대한 정의, 등급, 노선지정의 내용으로 조항을 신설하여 녹색도로의 건설 방안을 마련하고 도로관리청차원에서 녹색도로의 노선을 지정토록 함

- 동 법 제37조(도로의 구조·시설 등)에서 도로부문에서의 탄소배출을 저감시키기 위한 방안으로 도로의 구조 및 시설 측면에서 법적 근거를 마련함

- 동 법 시행령“녹색도로의 지정 공고 등”조항을 신설하여 법 제00조에 따라 도로 이용자에게 공고하도록 함

- 동 법 시행령“녹색도로의 노선지정기준”조항을 신설하여 법 제00조의1의 기준에 따라 녹색도로를 지정하도록 함

○ 녹색도로 건설을 위한 저탄소녹색성장기본법의 개정 및 신설방안은 다음과 같다.

- 저탄소녹색성장기본법 제47조(교통부문의 온실가스 관리)에서는 온실가스 저감을 위해 교통수단인 자동차만을 다루고 있으므로 교통의 다른 한 부문인 교통시설에 대해 온실가스를 저감시킬 수 있는 근거조항을 추가 함

<표 2-21> 녹색도로 활성화 위한 저탄소녹색성장기본법 개정(안)

저탄소녹색성장기본법(현행)	저탄소녹색성장기본법(개정안)
제47조(교통부문의 온실가스 관리) ① 자동차 등 교통수단을 제작하려는 자는 그 교통수단에서 배출되는	

온실가스를 감축하기 위한 방안을 마련하여야 하며, 온실가스 감축을 위한 국제경쟁 체제에 부응할 수 있도록 적극 노력하여야 한다. ② 정부는 자동차의 평균에너지소비효율을 개선함으로써 에너지 절약을 도모하고, 자동차 배기가스 중 온실가스를 줄임으로써 쾌적하고 적정한 대기환경을 유지할 수 있도록 자동차 평균에너지소비효율기준 및 자동차 온실가스 배출허용기준을 각각 정하되, 이중규제가 되지 않도록 자동차 제작업체(수입업체를 포함한다)로 하여금 어느 한 기준을 택하여 준수토록 하고 측정방법 등이 중복되지 않도록 하여야 한다. ③ 정부는 온실가스 배출량이 적은 자동차 등을 구매하는 자에 대하여 재정적 지원을 강화하고 온실가스 배출량이 많은 자동차 등을 구매하는 자에 대해서는 부담금을 부과하는 등의 방안을 강구할 수 있다. ④ 정부는 하이브리드 자동차, 수소연료전지 자동차 등 저탄소·고효율 교통수단의 제작·보급을 촉진하기 위하여 재정·세제 지원, 연구개발 및 관련 제도 개선 등의 방안을 강구할 수 있다.	**현 행**
조항 신설	**제47조의2(교통시설부문의 온실가스 관리)** ① 정부는 도로·철도·항만·공항 등 교통시설을 건설·관리·운영함에 있어서 온실가스를 감축하기 위한 방안을 마련하여야 한다. ② 정부는 교통시설 중 온실가스 배출량이 많은 시설에 대하여 특별한 대책을 수립하여야 한다. ③ 정부는 ①항 및 ②항의 규정에 따라 온실가스 저감을 위하여 녹색기술을 적용하는 자에 대해 재정적 지원을 강화하고 세제 지원 등 인센티브 제공방안을 마련하여야 한다.

㉯ 녹색도로기술 적용을 위한 법제화 방안

○ 저탄소녹색성장기본법의 제2조 3항 “녹색기술”에 “녹색도로기술”을 추가할 경우 본 과제에서 개발될 기술들은 녹색기술 인증을 받아야 한다.

<표 2-22> 녹색도로기술 적용에 대한 저탄소녹색성장기본법

저탄소녹색성장기본법 제2조(정의) 3항
“녹색기술”이란 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술(관련 융합기술을 포함한다) 등 사회·경제 활동의 전 과정에 걸쳐 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하는 기술을 말한다.

저탄소녹색성장기본법 제32조(녹색기술·녹색산업의 표준화 및 인증 등)

① 정부는 국내에서 개발되었거나 개발 중인 녹색기술·녹색산업이 「국가표준기본법」 제3조제2호에 따른 국제표준에 부합되도록 표준화 기반을 구축하고 녹색기술·녹색산업의 국제표준화 활동 등에 필요한 지원을 할 수 있다. ② 정부는 녹색기술·녹색산업의 발전을 촉진하기 위하여 녹색기술, 녹색사업, 녹색제품 등에 대한 적합성 인증을 하거나 녹색전문기업 확인, 공공기관의 구매의무화 또는 기술지도 등을 할 수 있다. ③ 정부는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 제2항에 따른 적합성 인증 및 녹색전문기업 확인을 취소하여야 한다.

1. 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 인증이나 확인을 받은 경우
2. 중대한 결함이 있어 인증이나 확인이 적당하지 아니하다고 인정되는 경우

④ 제1항 내지 제3항에 따른 표준화, 인증 및 취소 등에 관하여 그 밖에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

저탄소녹색성장기본법 시행령 제19조(녹색기술・녹색사업의 적합성 인증 및 녹색전문기업 확인)

① 중앙행정기관의 장은 소관 분야에 대하여 법 제32조제2항에 따라 녹색기술・녹색사업(녹색산업 설비・기반시설의 설치, 녹색기술・녹색산업의 응용・보급・확산 등 녹색성장과 관련된 경제활동으로서 경제적・기술적 파급효과가 큰 사업을 말한다)에 대한 적합성 인증(녹색기술의 경우에는 인증된 녹색기술이 적용된 제품에 대한 확인을 포함한다) 및 녹색전문기업의 확인(이하 "녹색인증"이라 한다)을 한다. <개정 2012.12.27> ② 녹색인증을 받으려는 자는 소관 중앙행정기관의 장에게 녹색인증을 신청하며, 신청을 받은 소관 중앙행정기관의 장은 신청한 내용을 평가하는 기관(이하 "평가기관"이라 한다)을 지정하여 녹색인증의 평가를 의뢰하여야 한다. ③ 평가기관의 평가 결과를 확인하고 녹색인증의 여부를 결정하기 위하여 관련 중앙행정기관 공동으로 녹색인증심의위원회(이하 "인증위원회"라 한다)를 둔다. ④ 소관 중앙행정기관의 장은 제2항에 따른 녹색인증의 신청 접수 및 평가기관의 평가 업무의 지원 등에 관한 업무를 「산업기술 혁신 촉진법」제38조에 따른 한국산업기술진흥원에 위탁한다. ⑤ 소관 중앙행정기관의 장은 제2항에 따라 녹색인증을 신청한 자에게 인증에 필요한 비용을 부담하게 할 수 있다. ⑥ 제1항부터 제5항까지에서 규정한 사항 외에 녹색인증의 대상・기준・절차・방법, 평가기관의 지정, 인증위원회의 구성・운영 등 녹색인증에 필요한 사항은 기획재정부장관, 교육과학기술부장관, 문화체육관광부장관, 농림수산식품부장관, 지식경제부장관, 환경부장관, 국토교통부장관 및 방송통신위원회위원장이 공동으로 정하여 관보에 고시한다.” “녹색기술"이란 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술(관련 융합기술을 포함한다) 등 사회·경제 활동의 전 과정에 걸쳐 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하는 기술을 말한다.

○ 녹색기술 인증은 저탄소녹색성장기본법 제32조(녹색기술 녹색산업의 표준화 및 인증 등), 시행령 제19조(녹색기술·녹색사업의 적합성 인증 및 녹색전문기업 확인) 및 “녹색인증제 운영요령”에 근거하여 운영되고 있으며, 제4조(녹색기술 및 녹색산업의 인증대상)에 인증대상 녹색기술을 정의하고 있음. 녹색기술을 대분류, 중분류, 소분류 등으로 나누어 관리하고 있으며, 신재생에너지, 탄소저감, 그린IT 등 10대 분야 총 85개 사업으로 나뉘어져 있다.

○ 녹색인증은 전담기관인 한국산업기술진흥원의 기업성장팀에서 업무를 총괄하고, 녹색인증 평가기관에서 기술우수성, 녹색성을 평가하여 인증을 하고 있다.

<표 2-23> 녹색기술의 범위

대분류	중분류	소분류	핵심(요소)기술
01. 신재생에너지	8	42	206
02. 탄소저감	10	73	287
03. 첨단수자원	9	33	143
04. 그린IT	15	66	397
05. 그린차량・선박	8	21	163
06. 첨단그린주택도시	4	17	78
07. 신소재	13	42	140
08. 청정생산	4	10	106
09. 친환경농식품	6	21	108
10. 환경보호 및 보전	8	33	122
총 계	85	358	1,750

○ 녹색기술 대분류 중 하나인 “02. 탄소저감” 기술 안에는 ‘CCS’, ‘Non-CO2 온실가스처리’, ‘원자력’, ‘에너지저장’, ‘청정원료’, ‘히트펌프’, ‘신광원 고효율 조명’, ‘소형 열병합 기술’, ‘에너지 다소비기기 및 산업공정 고효율화’, ‘핵융합’ 등 10개의 중분류로 구분되어 있다.

○ 따라서 본 과제에서 개발될 “녹색도로기술”을 “탄소저감” 기술 중 하나의 중분류로 구성하는 방안이 바람직하다고 판단된다. 소분류, 핵심(요소)기술 및 기술수준은 차후 관련기술들이 개발되는 성과를 토대로 결정해야할 사안이다.

<표 2-24> 녹색기술 적용을 위한 녹색인증제 운영요령 개정(안)

인증대상 녹색기술 현행			인증대상 녹색기술 개정(안)		
대분류	중분류		대분류	중분류	
01. 신재생에너지	8		01. 신재생에너지	8	
02. 탄소저감	10	01. CCS	02. 탄소저감	11	01. CCS
		02. Non-CO2 온실가스처리			02. Non-CO2 온실가스처리
		03. 원자력			03. 원자력
		04. 에너지저장			04. 에너지저장
		05. 청정연료			05. 청정연료
		06. 히트펌프			06. 히트펌프
		07. 신광원 고효율 조명			07. 신광원 고효율 조명
		08. 소형열병합			08. 소형열병합
		09. 에너지 다소비 기기 및 산업공정 고효율화			09. 에너지 다소비 기기 및 산업공정 고효율화
		10. 핵융합			10. 핵융합
					11. 녹색도로기술
03. 첨단수자원	9		03. 첨단수자원	9	
04. 그린IT	15		04. 그린IT	15	
05. 그린차량・선박	8		05. 그린차량・선박	8	
06. 첨단그린주택도시	4		06. 첨단그린주택도시	4	
07. 신소재	13		07. 신소재	13	
08. 청정생산	4		08. 청정생산	4	
09. 친환경농식품	6		09. 친환경농식품	6	
10. 환경보호 및 보전	8		10. 환경보호 및 보전	8	
총 계	85		총 계	**86**	

㉰ 녹색도로 인증제도 법제화 방안

○ 녹색도로 인증제는 설계 및 시공 중의 도로건설사업을 대상(필요에 따라서는 도로교통 운용 및 유지관리 단계까지 포함)으로 친환경 녹색도로 건설을 위한 일련의 활동을 평가하여 등급을 부여하는 제도이다.

○ 녹색도로 인증제도 시행을 위한 법제화는「친환경 건축물 인증제도」의 사례와 같이 저탄소녹색성장기본법에 녹색도로 인증제도를 정의하고,「녹색도로 인증에 관한 규칙」을 신설하여 제도화하는 것이며, 필요 시「장애물 없는 생활환경 인증제도 시행지침」과 같이 지침화하여 녹색도로 인증제도를 구체화 할 수 있다.

○ 녹색도로 인증제도 시행을 위한 도로법의 개정은 아래표와 같다.

- 도로법“녹색도로 인증”조항을 신설하여 도로부문 탄소저감을 위한 녹색도로 인증제도 실시의 근거를 마련함

- 동법 제23조의4(녹색도로의 인증)에서 녹색도로에 대한 인증 기준 및 절차, 표시활용방법, 유효기간, 인증등급의 내용으로 조항을 신설하여 녹색도로의 건설을 유도하기 위한 인증제도 시행안을 마련함

- 신설 조항에 근거하여“녹색도로 인증에 관한 규칙”을 신설하여 녹색도로의 적용대상, 인증기관 등에 관한 사항을 규정토록 함

- 필요 시“녹색도로 인증제도 시행지침”을 신설하여 녹색도로 인증제도의 운영에 필요한 세부사항을 규정토록 함

<표 2-25> 녹색도로 인증제도 시행을 위한 도로법 개정(안)

「도로법」 현행	「도로법」 개정(안)
조항 신설	**제23조의4(녹색도로의 인증)** ① 국토교통부장관은 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하면서 안전하고 쾌적한 이동성을 확보하기 위한 도로(이하 "녹색도로"라 한다)의 건설을 유도하기 위하여 녹색도로의 인증제도를 실시한다. ② 국토교통부장관은 인증기관을 지정하고 제1항에 따른 녹색도로의 인증을 하게 할 수 있다. ③ 녹색도로의 인증을 받으려는 도로의 관리청은 제2항에 따른 인증기관에 인증을 신청하여야 한다. ④ 국토교통부장관은 다음 각 호의 사항을 포함하여 녹색도로의 인증 기준을 공동으로 고시한다. 1. 인증 기준 및 절차 2. 표시 활용 방법 3. 유효기간 4. 인증 등급 등 ⑤ 제2항과 제3항에 따른 인증기관의 지정 기준, 지정 절차 및 인증 신청 절차 등에 관하여 필요한 사항은 국토교통부의 부령으로 정한다.
-	녹색도로 인증에 관한 규칙(신설)
규칙 신설	**제1조(목적)** 이 규칙은「저탄소녹색성장기본법」제00조에서 위임된 녹색도로 인증과 인증기관 지정 등에 관한 사항을 규정함을 목적으로 한다. **제2조(적용 대상)** **제3조(인증기관의 지정) 등** **제4조(인증기관의 비밀보호 의무)** **제5조(인증기관 지정의 취소)** **제6조(인증의 신청)** **제7조(인증심사)** **제8조(인증서 발급 등)** **제9조(인증의 취소)** **제10조(재심사 요청)** **제11조(예비인증의 신청 등)** **제12조(인증운영위원회의 구성·운영 등)**

㉮ 녹색도로 인증제도 시행방안

○ 녹색도로 인증제도 시행은 도로건설 절차에 따라 도로계획 시 녹색도로로 노선을 지정하는 경우와 설계 및 시공단계에서 녹색도로로 노선을 지정하는 경우 그리고 도로 유지/관리 시 녹색도로로 노선을 지정하는 경우 등 3가지 경우로 구분할 수 있다.

■ 도로계획 시 녹색도로 노선 지정

◎ Step 1: 도로계획 시 녹색도로로 노선 지정

○ 도로계획 시 녹색도로 건설 기준에 따라 녹색도로 및 등급 지정한다.

○ 녹색도로 및 등급 지정을 위한 기준 마련이 필요하며 녹색도로 지정 시 등급을 고려하여 예산을 도출해야한다.

○ 시설개량사업의 경우 녹색기술을 활용한 시설개량사업에 사업 우선순위 부여방안이 필요하다.

- 시설개량 사업 중 해당 도로가 녹색도로로 건설되어야 하는 당위성 등을 검토하여 우선순위를 부여하는 방안에 대한 검토가 필요함

○ 녹색도로 건설사업 우선순위 부여를 위한 근거 마련이 필요하다.

- 국가통합교통체계효율화법 제18조(타당성 평가)에서는“공공교통시설의 신설·확장 또는 정비사업이 포함된 국가기간교통망계획, 중기투자계획 등을 수립하거나 공공교통시설 개발사업을 시작하기 전에 제2항에 따른 투자평가지침에 따라 해당 계획 또는 사업의 타당성을 평가해야 한다.”고 명시되어 있으며, 동법 시행령 제18조(투자평가지침의 내용 등) ①1항 6호“투자우선순위 등 종합평가방법”의 따라 투자평가지침에 의해 건설사업의 우선순위가 결정되므로 투자평가지침의 내용을 일부 개정할 필요가 있음

- 현재의 투자평가지침으로 녹색도로를 평가할 경우 일반도로와 차별성이 없는 실정임

- 녹색도로는 시공단계에서 녹색도로기술을 적용하여 대기오염물질 및 온실가스 배출을 최소화하여 건설된 도로이므로 일반도로를 건설할 경우와는 차별화를 시켜야함

- 즉, 일반도로 건설 시 배출되는 대기오염물질과 온실가스를 기준으로 녹색도로 건설 시 저감되는 양을 금액으로 환산하여 녹색도로 건설기간 동안에 대기오염절감 및 온실가스 저감 비용을 편익으로 반영하는 방안을 고려해야 함

- 그리고 차량에서 배출되는 대기오염물질 및 온실가스를 도로에서 흡수하거나, 저탄소 도로포장 공법 등이 적용될 녹색도로를 기존 투자평가지침에서 평가할 경우 편익산출 시 일반도로와 차별성이 없음

- 투자평가지침에서의 대기오염물질 배출 원단위는 환경부(2001)에서 제시한 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용의 결과를 소비자 물가지수를 이용하여 2009년 가격으로 보정하여 적용하고 있으며, 온실가스 절감편익은 화폐화에 한계가 있고 적절한 사례가 미흡한 실정으로, 해외의 이산화탄소의 잠재적가격 평균치, 이산화탄소 포집·제거비용 및 흡수원 비용 등

을 종합적으로 고려하여 톤당 161,400원으로 적용함

- 대기오염물질 및 온실가스 저감편익은 대기오염비용과 온실가스의 원단위와 차량별·속도별 대기오염 및 온실가스 배출계수를 이용하여 산정하기 때문에 같은 기하구조 조건을 갖은 녹색도로와 일반도로는 같은 편익이 산출됨

- 녹색도로에 대한 대기오염절감 및 온실가스 저감편익 산출 시 차량에서 배출되는 대기오염물질 및 온실가스 중 녹색도로에서 흡수되는 오염물질 및 온실가스 양을 고려한 원단위를 새롭게 산출하거나 녹색도로 오염물질 흡수율을 반영한 대기오염비용 산출식이 개발되어 투자평가지침에 반영되어야 함

<표 2-26> 대기오염비용 및 온실가스 원단위(2009년 기준)

(단위: 원/kg)

구 분	CO	HC(voc)	NOx	PM		CO_2
				도시부	비도시부	
원단위	10,426	12,117	12,546	842,436	77,789	161.4

자료: 철도투자평가편람 전면개정 연구, 한국철도시설공단, 한국교통연구원, 2010
주: CO2의 가치는 2007년 기준으로 설정된 가치로, 소비자물가지수 1.076을 적용하여 2009년도로 환산함
그 외 오염비용은 2008년 가치를 기준으로, 소비자물가지수 1.028을 적용하여 2009년도로 환산함

◎ Step 2: 예비타당성(기획재정부) 및 본 타당성

○ 녹색도로는 일반도로에 비해 경제적 타당성이 나오기 어려우므로, 이에 대한 대책이 필요하다.

- 예비타당성(기획재정부)지침의 경우 녹색도로에 대한 경제성 분석과 정책적 분석을 통해 향후 녹색도로 사업 타당성을 확보하는 방안 등이 있으며 이에 대한 추가 검토가 필요함

- 예비타당성지침 경제성분석 부분의 녹색도로 사업타당성 확보방안은 Step 1의 투자평가지침에 대한 일반도로와 녹색도로의 차별화 방안을 동일한 방법으로 적용하며 녹색도로에 대한 사업타당성이 확보될 것임

<표 2-27> 정책적 분석 항목 개정(안)

중분류	세부평가항목(현행)	세부평가항목(개정안)
지역균형발전	▪ 지역낙후도 ▪ 지역경제 파급효과	▪ 지역낙후도 ▪ 지역경제 파급효과
정책의 일관성 및 추진의지	▪ 관련 계획 및 정책방향성과의 일치성 ▪ 사업추진 의지 및 선호도 ▪ 사업의 준비 정도	▪ 관련 계획 및 정책방향성과의 일치성 ▪ 사업추진 의지 및 선호도 ▪ 사업의 준비 정도
사업추진상의 위험요인	▪ 재원조달 가능성 ▪ 환경성	▪ 재원조달 가능성 ▪ 환경성
사업특수 평가항목	▪ 국고 지원의 적합성	▪ 국고 지원의 적합성 ▪ **녹색도로기술 적용**

- 개발된 녹색도로기술의 활용·촉진을 위하여 정책적 분석 항목 중 사업특수평가항목의 세부평가항목으

로 “녹색도로기술 적용”에 대한 평가항목을 제시함으로써 향후 녹색도로 활성화에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단됨

※ 도로계획 시 녹색도로로 지정되었기 때문에 예비타당성단계에서 이미 총사업비가 확정된 것으로 보아야 하므로 추가 예산확보는 필요 없음

◎ Step 3: 기본/실시 설계업체선정

○ 녹색도로 설계계획에 따라 설계업체를 선정한다.

- 업체 선정 시 녹색도로 설계실적에 가산점 부여 방안이 마련되어야 함
- 업체 선정 시 설계 건당 가산점을 부여할 것인지 설계 연장을 고려할 것인지에 대한 가산점 부여 방안 검토가 필요함

○ 설계도면에 인증한다.

◎ Step 4: 시공 업체선정

○ 녹색도로 건설계획에 따라 시공업체를 선정한다.

- 업체 선정 시 녹색도로 시공실적, 관련 교육이수 등에 따라 업체에 가산점 부여 방안이 마련되어야 함

◎ Step 5: 해당 도로가 인증

○ 녹색도로 인증기관에 의뢰하여 녹색도로로 인증을 받는다.

■ 설계/시공단계 시 녹색도로 노선 지정

○ 도로계획 시 녹색도로로 지정되지 않고 설계 및 시공단계에서 녹색도로로 노선을 지정하는 경우의 녹색도로 인증제도 시행방안은 다음과 같다.

◎ Case I: 설계와 시공 분리 발주

○ Step 1: 기본/실시 설계 업체선정

- 기술심사가 있는 제안사업 형태로 입찰을 시행하는 경우로 “녹색도로 노선”으로 설계하여 제안할 시 기술타당성 및 예산의 적정성 등을 평가하여 설계업체를 선정함
- 예산증가액 및 녹색도로평가기준을 평가지표로 설정할 필요가 있으며 업체 선정 시 녹색도로 설계실적에 가산점을 부여하고 설계도면에 녹색인증을 하도록 함

○ Step 2: 예산 증가 시 예산 반영

- 고속국도, 국도의 경우 국토교통부 주관으로 기획재정부에 총 사업비변경을 신청하여 예산을 확보하여야 함
- 지방도. 시군도의 경우 지자체 주관으로 “녹색도로노선”으로 행정자치부(혹은 국토교통

부) 및 기획재정부에 총 사업비변경을 신청하여 추가예산을 확보하여야 함

- 녹색도로의 활성화를 위해서는 녹색도로 건설을 위한 총사업비 변경이 가능하도록 지침을 개정하고 녹색도로 건설을 위한 총사업비 변경 시 우선순위를 부여하도록 지침을 개정해야함

- 녹색도로 건설에 대한 총사업비 관리지침 개정은 17조 3항"㈜ 중대한 변경은 대형 신규구조물 설치, 일부구간의 차로 수 변경(도로, 철도), 신규 내역 및 공종추가, 전체노선의 1/3 이상 변경, 녹색도로지정 등이 있는 경우"로 개정해야함

<표 2-28> 총사업비관리지침 내용

「총사업비관리지침」 현행	「총사업비관리지침」 개정
제17조(기본설계 과정) ①중앙관서의 장은 기본설계를 시행함에 있어서 예비타당성조사 및 타당성조사·기본계획에서 정한 총사업비를 감안하여 설계내용이 적절히 관리될 수 있도록 노력하여야 한다. ②중앙관서의 장은 기본설계 과정에서 사업물량을 과도하게 산정하거나 불필요한 기능이 포함되지 않도록 하고, 합리적인 사유 없이 당초의 사업 규모를 변경하여서는 아니된다. ③중앙관서의 장은 기본설계 과정에서 사업내용과 규모 등에 중대한 변경이 있는 경우 미리 기획재정부장관과 사업규모, 총사업비 및 사업기간 등을 협의하여야 한다. (주) 중대한 변경은 대형 신규 구조물 설치, 일부 구간의 차로 수 변경(도로, 철도), 신규 내역 및 공종 추가, 전체노선의 1/3 이상 변경 등이 있는 경우	제17조(기본설계 과정) ①중앙관서의 장은 기본설계를 시행함에 있어서 예비타당성조사 및 타당성조사·기본계획에서 정한 총사업비를 감안하여 설계내용이 적절히 관리될 수 있도록 노력하여야 한다. ②중앙관서의 장은 기본설계 과정에서 사업물량을 과도하게 산정하거나 불필요한 기능이 포함되지 않도록 하고, 합리적인 사유 없이 당초의 사업 규모를 변경하여서는 아니된다. ③중앙관서의 장은 기본설계 과정에서 사업내용과 규모 등에 중대한 변경이 있는 경우 미리 기획재정부장관과 사업규모, 총사업비 및 사업기간 등을 협의하여야 한다. (주) 중대한 변경은 대형 신규 구조물 설치, 일부 구간의 차로 수 변경(도로, 철도), 신규 내역 및 공종 추가, 전체노선의 1/3 이상 변경, **녹색도로 노선지정** 등이 있는 경우

○ Step 3: 시공 업체선정

- 업체 선정 시 녹색도로 시공실적, 관련 교육이수 등에 따라 업체에 가산점 부여 방안이 마련되어야 함

○ Step 4: 해당 도로가 인증

- 녹색도로 인증기관에 의뢰하여 녹색도로로 인증 받음

◎ Case II: 설계/시공 동시 발주

○ Step 1: 설계/시공 업체선정

- 설계시공일괄입찰사업(T/K) 및 대안설계사업 등 기술심사가 있는 제안사업 형태로 입찰 시행하는 경우로 설계/시공 시 녹색도로 건설에 대한 예산증가액이 없음

- 정해진 사업비 예산범위 내에서"녹색도로노선"으로 설계하여 제안하는 경우 기술타당성 및 예산의 적정성 등을 평가하여 업체를 선정함

- 업체 선정 시 녹색도로 설계실적에 가산점을 부여하고 설계도면에 녹색인증 하도록 함

○ Step 2: 해당 도로가 인증

- 녹색도로 인증기관에 의뢰하여 녹색도로로 인증 받음

■ 유지/관리 시 녹색도로 노선 지정

◎ 국도/고속국도

○ 도로관리청별 녹색도로 관련 기술 활용 유지/관리 시 인증기관에 인증을 신청하고 및 국토교통부에 예산을 신청한다.

○ 유지/관리 시 녹색도로 및 등급 지정을 위한 기준 마련이 필요하다.

○ 녹색기술 활용 유지/보수 시 해당 사업에 우선순위 부여 방안이 필요하고 이에 대한 근거 마련이 필요하다.

- 녹색기술 활용 유지/보수 시 해당 사업에 대한 우선순위 부여 방안은 “가. 도로계획 시 녹색도로 노선지정”부문에서 제시한 방안과 동일함

◎ 지자체 관리도로

○ 지자체 별 녹색도로 관련 기술 시행 시(지자체 예산) 인증기관에 인증을 신청한다.

○ 녹색도로 활성화를 위해서 인증 받은 도로가 많은 지자체에 행정자치부차원에서 특별교부금 교부 및 재정인센티브가 필요하다.

- 지방교부세법 제9조(특별교부세의 교부) 및 동법 시행령 제9조의2(특별교부세의 교부기준 등)를 근거로 중앙정부는 지방자치단체에 교부하는 재원인 특별교부금을 교부할 수 있음

- 지자체는 지방교부세법 시행규칙 제9조(특별교부세의 교부신청)에 따라 신청할 수 있으며, 제10조(특별교부세 교부기준)에 산정항목 및 교부기준 등이 명시돼있음

<표 2-29> 녹색도로 활성화를 위한 지방교부세법에 의한 예산지원 법적근거 조항

지방교부세법
제9조(특별교부세의 교부) ① 특별교부세는 다음 각 호의 구분에 따라 교부한다. **1. 기준재정수요액의 산정방법으로는 파악할 수 없는 지역 현안에 대한 특별한 재정수요가 있는 경우: 특별교부세 재원의 100분의 30에 해당하는 금액** 2. 보통교부세의 산정기일 후에 발생한 재해를 복구하거나 재해예방을 위한 특별한 재정수요가 생기거나 재정수입이 감소한 경우: 특별교부세 재원의 100분의 50에 해당하는 금액 **3. 국가적 장려사업, 국가와 지방자치단체 간에 시급한 협력이 필요한 사업 또는 지역 역점시책 등 특별한 재정수요가 있을 경우: 특별교부세 재원의 100분의 20에 해당하는 금액** ② 행정자치부장관은 제1항 제2호에 따라 교부한 금액이 사용하고 남을 것으로 예상되면 그 잔액을 지방행정 및 재정운용 실적이 우수한 지방자치단체에 재정 지원을 하기 위한 재원으로 사용할 수 있다. 이 경우 우수한 지방자치단체의 선정 기준은 대통령령으로 정한다. ③ 행정자치부장관은 지방자치단체의 장이 제1항 또는 제2항에 따른 특별교부세의 교부를 신청하는 경우에는 이를 심사하여 특별교부세를 교부한다. 다만, 행정자치부장관이 필요하다고 인정하는 경우에는 신청이 없는 경우에도 일정한 기준을 정하여 특별교부세를 교부할 수 있다. <신설 2011.3.7> ④ 행정자치부장관은 제1항 또는 제2항에 따른 특별교부세의 사용에 관하여 조건을 붙이거나 용도를 제한할 수 있다. <신설 2011.3.7>

⑤ 지방자치단체의 장은 제4항에 따른 교부조건의 변경이 필요하거나 용도를 변경하여 특별교부세를 사용하고자 하는 때에는 미리 행정자치부장관의 승인을 받아야 한다. <신설 2011.3.7>

⑥ 특별교부세의 운영에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. <개정 2011.3.7>

[전문개정 2009.2.6]

지방교부세법 시행령

제9조의2(특별교부세의 교부기준 등) ① 법 제9조제1항에 따른 특별교부세의 교부대상별 교부기준은 다음 각 호와 같다.

1. 법 제9조제1항제1호에 따른 특별교부세: 지방공공시설의 설치 등으로 인하여 특별한 재정수요가 있는 경우에 교부

2. 법 제9조제1항제2호에 따른 특별교부세: 각종 재해 등으로 인하여 드는 지방비 부담분을 보전할 필요가 있는 경우에 교부

3. 법 제9조제1항제3호에 따른 특별교부세: 지역경제 활성화, 주민생활 안정, 지방행정기능 강화, 국가적 행사 관련 시책 또는 그 밖의 주요 시책으로 인하여 특별한 재정수요가 있는 경우에 교부

② 법 제9조제2항에 따른 지방행정 및 재정운용 실적이 우수한 지방자치단체의 선정기준은 다음 각 호와 같다.

1. 행정·재정 분야 운용실적에 대하여 국가가 실시하는 평가에서 우수한 성과를 거둔 지방자치단체

2. 주민복지, 지역경제, 지역개발, 민원서비스, 정보화 등의 분야에서 우수한 실적을 거둔 지방자치단체

3. 그 밖에 국가정책의 추진에 적극적으로 협력하는 등의 사유로 행정자치부장관이 인정하는 지방자치단체

③ 특별교부세는 해당 재정수요가 있는 사업이 차질 없이 수행될 수 있도록 최대한 빨리 교부되어야 한다.

[전문개정 2011.12.30]

지방교부세법 시행규칙

제9조(특별교부세의 교부신청) ① 지방자치단체는 법 제9조에 따른 특별교부세를 교부받으려면 사업의 필요성, 투자효과, 재원계획 등을 종합하여 판단한 후 신청하여야 한다.

② 제1항에 따라 특별교부세의 교부를 신청하는 경우에는 다음 각 호의 서류를 첨부하여야 한다.

1. 사업계획
2. 재원계획
3. 그 밖에 특별교부세의 교부에 필요한 관련 서류

③ 법 제9조제1항제1호에 따른 특별교부세 중 토목·건축 관련 신설 사업으로서 20억원 이상이 필요한 사업은 설계비 등의 예산을 반영한 후 신청하여야 한다.

제10조(특별교부세 교부기준) 영 제9조의2제1항 및 제2항에 따라 배분하는 특별교부세의 교부대상별 산정항목과 그 교부기준 등은 [별표 8]과 같다.

제11조(특별교부세의 집행) 특별교부세는 교부 목적에 따라 해당 연도 예산에 계상하여 집행한다. 다만, 회계연도 중에 용도가 지정되고 필요한 금액이 전부 교부된 경우에는 「지방재정법」 제45조 단서에 따라 추가경정예산 성립 전에 사용할 수 있다.

[별표 8]

특별교부세의 교부대상별 산정항목 및 교부기준 등(제10조 관련)

교부대상	산정항목	교부기준 및 대상사업
1. 법 제9조 1항제1호에 따른 특별교부세	가. 도로·교통 사업	[교부기준] 지방자치단체가 시설·관리하는 도로·교통사업 중 해당 연도에 특별히 시행해야 할 사유가 있어 지방자치단체가 지원을 요구하는 경우 교부대상의 적정성 및 재정능력 등을 고려하여 지원할 수 있다. [교부대상] ① 주거환경 개선, 도로 정비 등 도로 관련 사업 ② 교통체증 우심지역(尤甚地域) 정비 등 교통 관련 사업
3. 법 제9조 제1항제3호에 따른 특별교부세	바. 그 밖의 주요 시책	[교부기준] 국가(행정자치부) 및 지방자치단체가 추진하는 그 밖의 주요 시책 사업에 대하여 지원이 필요한 경우 심사하여 소요사업비의 일부를 지원할 수 있다.
4. 우수 지방자치단체 재정 지원	가. 지방자치단체 평가	[교부기준] · 정부합동평가 및 행정자치부 자체평가 결과 행정·재정 분야 등에서 우수한 성적을 거둔 지방자치단체에 대하여 일정 규모의 재정 지원을 하되, 사업신청을 받아 심사한 후 지원하고, 필요시 행정자치부장관은 지방자치단체의 요구가 없더라도 우수 지방자치단체에 대하여 지원할 수 있다. <우수 분야> ① 행정혁신 ② 대민서비스 혁신 ③ 보건복지 ④ 환경관리 ⑤ 지역경제 ⑥ 지역개발 ⑦ 문화관광 ⑧ 안전관리 ⑨ 그 밖의 분야 · 교부금액 = 행정자치부장관이 정하는 지원액

○ 녹색도로 활성화를 위한 지방교부세법의 개정은 다음과 같다.

- '지방교부세법 시행규칙 제10조(특별교부세 교부기준)에서 교부기준 및 대상사업에 녹색도로 관련 사업을 반영하여 녹색도로 건설 시 정부재정지원방안 근거를 마련함

<표 2-30> 녹색도로 재정지원을 위한 지방교부세법 개정(안)

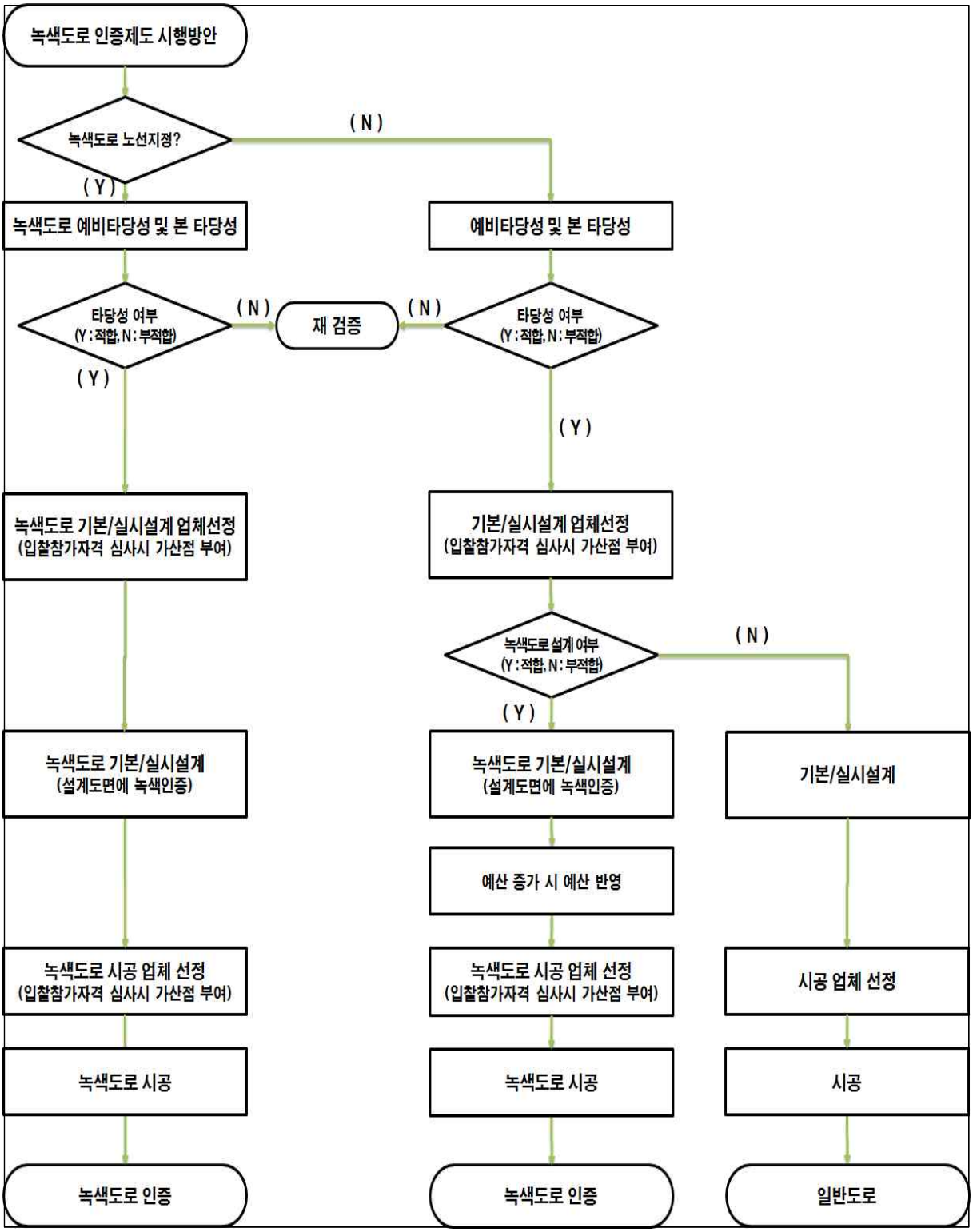
지방교수세법 시행규칙 현행 특별교부세법 교부대상별 산정항목 및 교부기준 등(제10조 관련)			지방교수세법 시행규칙 개정(안) 특별교부세법 교부대상별 산정항목 및 교부기준 등(제10조 관련)		
교부대상	산정항목	교부기준 및 대상사업	교부대상	산정항목	교부기준 및 대상사업
1. 법 제9조 1항제1호에 따른 특별 교부세	가. 도로·교통 사업	[교부기준] 지방자치단체가 시설·관리하는 도로·교통사업 중 해당 연도에 특별히 시행해야 할 사유가 있어 지방자치단체가 지원을 요구하는 경우 교부대상	1. 법 제9조 1항제1호에 따른 특별교부세	가. 도로·교통사업	[교부기준] 지방자치단체가 시설·관리하는 도로·교통사업 중 해당 연도에 특별히 시행해야 할 사유가 있어 지방자치단체가 지원을 요구하는 경우 교부대상의 적정성 및 재

		의 적정성 및 재정능력 등을 고려하여 지원할 수 있다. [교부대상] ① 주거환경 개선, 도로 정비 등 도로 관련 사업 ② 교통체증 우심지역(尤甚地域) 정비 등 교통 관련 사업			정능력 등을 고려하여 지원할 수 있다. [교부대상] ① 주거환경 개선, 도로 정비 등 도로 관련 사업 ② 교통체증 우심지역(尤甚地域) 정비 등 교통 관련 사업 **③ 녹색도로 관련 사업 등**
3. 법 제9조 1항제3호에 따른 특별교부세	바. 그 밖의 주요 시책	[교부기준] 국가(행정자치부) 및 지방 자치단체가 추진하는 그 밖의 주요 시책 사업에 대하여 지원이 필요한 경우 심사하여 소요사업비의 일부를 지원할 수 있다.	3. 법 제9조 1항제3호에 따른 특별교부세	바. 그 밖의 주요 시책	[교부기준] 국가(행정자치부) 및 지방 자치단체가 추진하는 그 밖의 주요 시책 사업에 대하여 지원이 필요한 경우 심사하여 소요사업비의 일부를 지원할 수 있다. [교부대상] **① 국가장려사업(녹색도로 관련 사업 등)**
4.우수지방자치단체 재정지원	가.지방자치단체 평가	[교부기준] · 정부합동평가 및 행정자치부 자체평가 결과 행정·재정 분야 등에서 우수한 성적을 거둔 지방자치단체에 대하여 일정 규모의 재정 지원을 하되, 사업신청을 받아 심사한 후 지원하고, 필요시 행정자치부장관은 지방자치단체의 요구가 없더라도 우수 지방자치단체에 대하여 지원할 수 있다. <우수 분야> ① 행정혁신 ② 대민서비스 혁신 ③ 보건복지 ④ 환경관리 ⑤ 지역경제 ⑥ 지역개발 ⑦ 문화관광 ⑧ 안전관리 ⑨ 그 밖의 분야 · 교부금액 = 행정자치부장관이 정하는 지원액	4. 우수지방자치단체 재정지원	가.지방자치단체 평가	[교부기준] · 정부합동평가 및 행정자치부 자체평가 결과 행정·재정 분야 등에서 우수한 성적을 거둔 지방자치단체에 대하여 일정 규모의 재정 지원을 하되, 사업신청을 받아 심사한 후 지원하고, 필요시 행정자치부장관은 지방자치단체의 요구가 없더라도 우수 지방자치단체에 대하여 지원할 수 있다. <우수 분야> ① 행정혁신 ② 대민서비스 혁신 ③ 보건복지 **④ 환경관리(녹색도로)** ⑤ 지역경제 ⑥ 지역개발 ⑦ 문화관광 ⑧ 안전관리 ⑨ 그 밖의 분야 · 교부금액 = 행정자치부장관이 정하는 지원액

○ 녹색도로의 건설을 유도하기 위해서는 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법 제10조(광역교통시설에 대한 재정 지원 등)와 같이 도로 유지/관리 시 녹색도로 노선 지정에 대한 예산지원 관련법이 마련되어야 한다.

<표 2-31> 녹색도로 건설유도를 위한 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법 예산지원 법적근거 조항

대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법
제10조(광역교통시설에 대한 재정 지원 등) ① 광역교통시행계획에 따라 지방자치단체의 장이 시행하는 광역교통시설(광역철도는 제외한다)의 건설 및 개량에 필요한 비용은 대통령령으로 정하는 바에 따라 국고에서 보조하여야 한다. ② 국가와 지방자치단체는 다음 각 호의 구분에 따라 광역철도의 건설 또는 개량 사업에 필요한 비용을 분담한다. 1. 국가가 사업을 시행하는 경우: 노선의 기능, 이용자 수의 비율 및 국가와 지방자치단체의 재정 등을 고려하여 대통령령으로 정하는 금액 2. 국가와 지방자치단체가 민간기업과 공동으로 설립한 법인이 사업을 시행하는 경우: 민간기업이 부담하는 비용을 공제한 사업비에 대하여 제1호에 준하여 산정(算定)한 금액 3. 지방자치단체가 사업을 시행하는 경우: 국가의 경우 「도시철도법」 제14조제1항에 따라 매년도 예산으로 지방자치단체에 지원하는 도시철도건설 자금에 대한 보조·융자 비율에 준하여 산정한 금액 4. 지방자치단체가 민간기업과 공동으로 설립한 법인이 사업을 시행하는 경우: 국가의 경우 민간기업이 부담하는 비용을 공제한 사업비에 대하여 제3호에 준하여 산정한 금액 ③ 제2항에 따라 지방자치단체가 부담하는 비용을 관계 시·도가 분담하는 경우에는 관계 시·도의 광역철도 구간에 실제 들어간 사업비를 기준으로 분담한다. 다만, 관계 시·도지사가 서로 협의하여 분담률을 따로 정하는 경우에는 그러하지 아니하다. ④ 제3항에 따라 시·도가 부담하는 비용을 해당 시·도와 관계 시·군 또는 구(자치구를 말한다)가 분담하는 경우 그 분담률은 시·도지사가 관계 시장·군수 또는 구청장과 협의하여 정한다. ⑤ 제2항부터 제4항까지의 규정에도 불구하고 신도시 건설 등 특정한 개발사업으로 인하여 광역철도의 건설 또는 개량이 필요하게 되는 경우에는 국토교통부장관과 관계 지방자치단체의 장이 협의하거나 관계 지방자치단체의 장이 협의한 후 위원회의 심의를 거쳐 분담률을 따로 정할 수 있다. ⑥ 광역철도의 건설 또는 개량이 「사회기반시설에 대한 민간투자법」에 따른 민간투자사업으로 시행되는 경우 국가나 지방자치단체가 사업시행자에게 같은 법 제53조에 따라 보조금을 교부할 때에는 제2항부터 제5항까지의 규정을 적용하지 아니한다. ⑦ 지방자치단체는 광역교통시설이 원활히 건설될 수 있도록 제1항 및 제2항에 따른 각 지방자치단체의 비용 분담분을 다른 사업에 우선하여 그 해 예산에 계상하여야 한다. ⑧ 제1항 및 제2항에 따라 지방자치단체가 부담하여야 하는 비용을 해당 예산에 계상하지 아니하는 경우 국가는 그 보조금 또는 분담분의 반환을 청구할 수 있으며, 다른 광역교통시설에 대한 재정지원을 중단하거나 축소할 수 있다. [전문개정 2012.1.17]



<그림 2-9> 녹색도로 건설절차

■ 소결

○ 도로계획 시 녹색도로 노선지정에 대한 기준 마련하였다.

- 투자평가지침과 예비타당성지침의 경제성 분석 부분에서 일반도로와 녹색도로와의 차별성으로 도로건설 단계에서 배출되는 온실가스 및 오염물질 고려방안과 녹색도로 온실가스 및 오염물질 흡수율을 고려한 대기오염비용 원단위 개정방안 등이 있음

- 예비타당성지침의 정책적 분석에서는 사업특수평가항목의 세부평가항목으로“녹색도로기술 적용”항목을 신설함

- 설계/시공업체 가산점 부여방안을 마련함

○ 설계/시공단계 시 녹색도로 노선지정에 대한 기준 마련하였다.

- 녹색도로 건설을 위한 총사업비 변경에 대한 우선순위를 부여하도록 지침 개정이 필요함

- 설계 시공업체 가산점 부여방안을 마련함

○ 유지/관리 시 녹색도로 노선지정에 대한 기준 마련하였다.

- 국도/고속도로의 경우 해당사업에 우선순위 부여방안이 필요하며 이에 대한 근거 마련이 필요함

- 지자체 관리도로의 경우 녹색도로 활성화를 위해 행정자치부차원에서 특별교부금 교부 및 재정인센티브가 필요함

- 녹색도로의 건설을 유도하기 위해서는 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법에서와 같이 도로 유지/관리 시 녹색도로 노선 지정에 대한 예산지원 관련법이 마련되어야 함

(나) 한국형 녹색도로 인증체계 개발

① 녹색도로 국내·외 사례 검토

㉮ 국내 사례

■ 온실가스 저감을 위한 국내 정책 분석

◎ 국가 온실가스 감축목표

○ 2009년 11월 정부 국무회의에서 2020년 국가 온실가스 감축목표를 '배출전망치(BAU) 대비 30% 감축'으로 결정하였고, 분야별로 온실가스 감축정책 추진을 시사한 바 있다.

○ 정부에서는 '녹색성장 기술개발에 따른 적극적인 온실가스의 감축을 통해 첫째, 선진국의 탄소 무역장벽에 대비하고, 둘째, 유가변동에 취약한 에너지 패러다임의 변화를 통하여 국가의 에너지 안보를 향상시켜야 하며, 셋째, 세계적으로 급팽창하고 있는 녹색시장을 선점할 것'을 제시하였다.

○ 마지막으로 '저탄소 녹색성장은 정부정책과 산업기술만으로는 달성될 수 없으며, 소비와 교통생활에서 의식주 전반에 이르기까지 녹색생활, 녹색습관(Green habit)이 정착되어야 가능하다'고 강조하면서 '정부·기업·국민이 삼위일체가 되어 줄 것'을 당부하였다.

○ 또한 녹색성장위원회는 그림에서 보는 바와 같이 체계적인 감축잠재량 분석 및 3가지 감축 시나리오를 제시하고 공청회, 부처 협의 등을 통하여 최종적으로 배출전망 대비 30% 감축안을 설정하였다.

○ 온실가스 배출 기업에게는 온실가스 배출 감축을 위하여 준비 시간을 제공하고, 녹색기술 산업에는 녹색시장 선점을 통한 성장기회를 제공하고 있다. 그리고 녹색성장위원회를 중심으로 온실가스 감축기술에 대한 투자 확대 및 온실가스 감축 노력을 집중하여 녹색산업을 새로운 성장 동력으로 육성하여 친환경 녹색 기술개발을 추진하고자 노력하고 있다.



<그림 2-10> 2020년 저탄소 녹색사회 이미지

◎ 국토교통부 녹색성장 추진계획

○ 국토교통부는 녹색성장 정책기조에 근거한 장기적 관점의 국토교통부 녹색성장 추진계획을 수립하여, 저탄소 녹색성장에 실질적으로 기여할 수 있는 기술개발을 추진하고 있다.

○ 국토교통부는 건설, 교통, 도시, 수자원 등 국토 정책 전 분야에 저탄소 녹색성장 개념을 내재화하고, 이를 통해 우리 국토와 국민생활 전반의 녹색혁명으로 확산하며, 재난으로부터 안전한 국토 기반 조성 등을 효율적·체계적으로 추진하기 위해 부처별로 세부 추진계획을 수립하였다.

○ 국토교통부 녹색성장 추진계획의 교통부문 추진과제 및 주요 내용을 살펴보면 다음과 같다.

<표 2-32> 국토교통부 녹색성장 추진계획 교통부문 추진과제 및 주요내용

추진 과제	추진 방향	주요 내용
교통수요 관리정책 강화	교통수요 관리 강화	· 혼잡통행료 확대 및 IT기반 원격근무 · 자동차 공동이용제도 도입 · 에코드라이브 보급 및 활성화
	저탄소형 스마트 교통시스템 구축	· ITS 및 첨단기술 이용 · 통합교통정보센터 설치
	녹색교통권역 조성	· 녹색교통 대책지역 지정 · 권역별 자동차 통행 총량제 실시 · 복합환승센터 개발 및 역세권 개발
생활밀착형 자전거·보행 활성화	대중교통과 자전거 연계 강화	· 대중교통과 연계한 자전거 시설 확충 · 자전거 편의시설 확충
	안전한 자전거 도로망 구축	· 생활밀착형 자전거 도로망 조성
	사람중심으로 보행환경 개선	· 보행환경 개선 · 보행문화 개선
승용차 보다 빠르고 편리한 대중교통 구현	버스의 서비스 경쟁력 확보	· 광역급행버스, 간선급행버스(BRT) 확대 · 고속도로 휴게소 환승, 대중교통 사각지대 해소
	도시·광역철도 서비스 확대	· 대도시권 철도망 확대 · 운행방식 개선
	전국 고속화 철도망 구축	· 경부 2단계·호남 고속철도(KTX) 조기 완공 · 노선 고속화
녹색교통기술 개발 및 보급	친환경자동차 상용화 기반 구축	· 친환경자동차의 상용화 기반구축을 위한 제도 정비 · 첨단자동차 안전성 평가 시험설비 구축 및 안전성 평가 기술개발 · 전기자동차의 주행 및 충전안전성 연구·사업 추진
	첨단 녹색교통수단 개발	· 최고 400㎞/h급 차세대 고속열차 개발 · 도시형 자기부상열차(110㎞/h급) 차량 개발 · 버스, 철도의 장점을 결합한 바이모달 트램 개발 · 무가선 저상트램 시스템 개발 추진 · 컨테이너 무인운송 시스템 개발
	항공기 엔진효율 제고	· 클린 경량항공기를 자체 기술로 개발

<표 2-33> 국토교통부 녹색성장 추진계획 교통부문 추진과제 및 주요내용 (계속)

추진 과제	추진 방향	주요 내용
Green Highway를 위한 흡수원 확대	Green Highway 추진	· 로화수(路·花·樹) 프로젝트 추진
철도·연안 해운 위주의 녹색물류 체계 구축	컨테이너 2단 적재 열차운행 추진	· 경전선에 우선 시설 개선
	철도 복합일관 수송 확대	· 화물자동차와 연계서비스 강화
	녹색교통수단으로 전환 촉진	· 도로수송 화물을 철도 및 연안 해운으로 전환 촉진
	연안 해운 활성화 지원	· 신용보증기금 보증을 통해 원활한 자금 조달 지원 · 항만시설 사용료를 지속 감면하고, 면세유 공급 또는 유가보조금 확대
	경인 아라뱃길 수운 활성화	· 중국 항과의 항로개설 추진 · R/S(River/Sea) 선박 설계 및 건조 지원
	탄소배출 저감형 물류체계 구축	· 전국 물류단지를 권역별 집배송시스템 형태로 개편 · 화물차 물류거점 통과정보를 활용한 공차운행 최소화 · 녹색물류인증제 도입으로 온실가스 저감 우수사례 발굴 및 보급 · 항공기의 단거리 경제적 항로 개발 · 물류산업 및 기술 전문 인력 양성교육 지원 · 경유화물차를 LNG화물차로 전환 지원 · 위험물 운송차량의 철저한 관리
	Green Port 구축 및 친환경 항만물류시설 개발	· Green Port 구축 종합계획 마련 · 녹색항만물류 서비스 제공을 위한 기술개발 및 적용확대 · 해양교통시설물에 녹색에너지 활용 및 해상교통 관제 관련 국산화 기술개발
	선박부문 온실가스 감축 및 에너지 효율화	· 에너지절약형 선박 및 선박용 탄소포집 기술개발 추진 · 차세대 친환경에너지(NGH) 해상운송 기술개발 · 선박 온실가스 관리시스템 구축

○ 또한 국토교통부는 친환경 녹색국토 창출을 위한 도로사업 효율화 방안을 추진하여 국토경쟁력을 제고시키고자 하고 있다.[1)]

○ 국토교통부 도로사업 효율화를 위한 추진과제 내용을 살펴보면 아래와 같다.

<표 2-33> 국토교통부 도로사업 효율화를 위한 추진과제 및 주요 내용

추진 과제	추진 방향	주요 내용
도로사업의 종합계획체계 확립	종합계획과 도로계획 간 정합성 제고	· 공간 및 종합계획과 연계 · 개발사업과 연계
	교통수단 간 종합관리체계 정립	· 교통수단 간 상호 연계되도록 투자계획 조정
	주요 도로망에 대한 통합적 계획체계 수립	· 도로위계체계 정립 · 도로기능별 연계 · 도로사업 조정 · 도로사업 심의기능 강화
도로사업방식 및 시설기준 효율화	도로사업 방식 효율화 및 다양화	· 단순 용량 확대 지양 · 도로용량 확장방식 다양화
	도로시설 설계기준 합리화	· 설계속도 기준 유연화 · 친환경 및 경관도로 기준 강화
	도로사업 절차 체계화	· 지속가능한 도로 건설 · 주민의견 수렴 확대
도로사업 투자 평가시스템 강화	도로사업 타당성 조사체계 강화	· 도로사업별 타당성 명확하게 제시
	교통 수요예측 신뢰성 및 정확성 제고	· 수요예측 기초자료 보완 · 수요예측 업무 내실화
	도로사업에 대한 성과평가체계 강화	· 지연사업 재평가제 도입 · 완공사업 사후평가 개선
도로시설 관리체계 선진화	도로 유지관리 기능 일원화 및 전문화	· 전문기관을 활용한 도로유지관리 위탁 방안
	광역권 도로·교통정책 총괄 관리	· 수도권 도로·교통 효율화 · 비수도권 도로·교통 통합성 제고

1) 국토교통부·기획재정부·행정안전부·국가경쟁력강화위원회, 『친환경 녹색국토 창출을 위한 도로사업 효율화 방안』, 2010. 6. 23.

○ 최근 2010년에 들어서 국토교통부의 도로정책부서에서는 정부의 녹색성장과 온실가스 감축 목표에 기여하기 위해 기존 도로정책의 패러다임을 변화시키는 새로운 정책들을 추진하고 있다.

○ 최근 도로정책은 '인간, 환경, 효율성 등을 중심으로 한 정책 패러다임 대전환'이라는 목표 아래 안전과 환경 위주, 도시부 투자 병행, 용량 보강 등을 중심으로 전환되었고, 세부 목표를 달성하기 위해 다양한 정책이 추진되고 있다.

개발 위주	⇨	환경·안전 위주
지방부 위주 투자	⇨	도시부 투자 병행
도로의 획일적 확장	⇨	용량 보강 사업 중심
하드웨어 중심 개발	⇨	소프트웨어 개발
재정투자 중심사업 추진	⇨	민간투자 확대

<그림 2-11> 국토교통부 도로정책 방향 변화

■ 기타 도로부문 온실가스 저감정책 추진 사례

◎ 고속도로 상충부 공원 제안사례

○ 서울특별시의 서초구는 도심을 가로지르는 경부고속도로 상부공간에 대단위 친환경 데크공원을 조성하는 계획을 수립하고 추진 중에 있다.

- 최근 재원마련 문제 및 한국도로공사와 서초구 간의 입장 차이를 극복하지 못해 본격적으로 추진하고 있지는 못하지만, 새로운 패러다임을 적용하여 기존 도로의 적극적인 활용계획을 제시한 사례로 그 의미가 있음

- 서초구에서 제안한 도로상충부 공원을 통해 절대적으로 부족한 도심지 녹지공간을 획기적으로 확보하는 동시에, 고속도로로 인해 단절된 지역 간 생활권을 연결하여 지역 커뮤니티도 회복하고 도시민들의 건강·문화·휴식 편익 등 삶의 질을 향상하는 등 지역의 새로운 랜드마크로 탈바꿈 할 수 있음



<그림 2-12> 경부고속도로 상부 덮개공원

◎ 서울시의 환경친화적 도로 확충전략

○ 서울시는 2007년 도로정비 기본계획 수정계획을 수립함에 있어서, 『환경친화적인 도로 확충전략』을 수립한 바 있다. 해당 전략에서 제시하고 있는 도로의 부문별 기본방향은 표 1.30에서 설명하고 있는 바와 같다.

- 서울시에서는 크게 5가지의 환경친화적인 도로 확충목표를 수립하여 '자연 순응도로, 푸른 도로, 조용한 도로, 아름다운 도로, 인간중심적인 도로'를 구축하고자 하였음

<표 2-34> 서울시의 환경친화적 도로 확충 전략목표 및 기본방향

목 표	기본방향	
자연 순응 도로 확충	터널입구	주변 환경 및 지역 특성을 고려한 터널 입구
		터널입구의 절개지 최소화
		자연식생의 단절이 없는 터널 입구
	생태통로	산책로와 생태통로의 목표 명확화
		이동대상목표 명확화
		서울을 형성하는 녹지축과 연계 검토
푸른 도로 확충	가로수 식재수종 다양화 및 외관관리	
	도로변 수목의 생육환경 개선	
	가로 녹지량의 확충	
조용한 도로 확충	소음 발생이 최소화되는 도로 기하구조로 개선	
	도로교통 소음 발생의 최소화	
	환경기준에 맞는 도로교통 소음관리	
아름다운 도로 확충	내부 경관과 외부 경관이 좋은 도로	
	야간 경관이 아름다운 도로	
	건너는 공간에서 머무는 공간으로의 도로	
인간중심 도로 확충	걷기 쉬운 거리	
	안전한 거리	
	장애인 등 교통약자를 위한 Barrier Free 거리	

◎ 도로시설을 활용한 태양에너지 생산

○ 도로시설을 활용한 태양에너지 생산은 이미 국내에서도 일부 적용되고 있다.

- 실례로 대전-통영 간 고속도로의 고창휴게소에서는 태양 집전시설을 휴게소 부지에 설치하여 휴게소에서 필요한 전력의 일부를 태양에너지를 통해 수급하고 있음

- 또한 경상남도 통영시청의 주차장 지붕에 태양에너지 집광판으로 설치하여 시청 청사에서 필요한 일부 전력을 태양에너지로 수급하고 있음

- 이와 같은 노력은 비록 소극적이고 도로의 일부 시설에 제한적으로 설치되어 운영하고 있는 방안이나, 도로시설이 훌륭한 태양에너지 생산 공간으로 활용될 수 있는 가능성을 제시하고 있다고 볼 수 있음



<그림 2-13> 고창휴게소에 설치된 태양 집전시설

◎ 환경친화적 녹색도로

○ 저탄소 녹색성장 국정방향이 결정되기 이전에도 도로부문에서는 도로에 의한 환경피해를 최소화하고자, 환경친화적인 도로 설계 및 시공방법 개발을 위한 노력이 이전부터 추진되고 있다.

- 이는 2004년에 제정되고, 2010년에 2차 개정된「환경친화적인 도로건설지침」을 통해 도로건설의 정책결정 및 계획단계에서부터 설계 및 공사, 유지관리단계까지 시공에 따른 환경 영향을 최소화하여 '인간과 환경에 좋은 도로' 건설을 목표로 도로사업을 추진하고자 함

- 환경친화적인 도로는 노선 선정에서 완공 및 유지관리 단계까지 환경성을 우선 고려하는 도로를 지칭하며, 다음과 같은 세부적인 노력이 수반되는 도로임

<표 2-35> 환경친화적인 도로 건설을 위한 단계별 사업내용

구 분	세부 내용
도로 계획단계	· 자연환경 측면에서 보전 가치가 있는 지역은 원칙적으로 우회 · 우회가 어려운 경우 위주로 터널이나, 교량 설치
도로 설계단계	· 친환경적인 비탈면 처리방법, 교량 및 터널 설치방법, 생태통로 설치방법 등 적용 · 경제성 위주의 도로 건설보다는 경관 보호 및 안정성 위주 도로 건설 추진 · 로드킬 방지, 주변 환경과 조화되는 방음벽 설치
도로 시공단계	· 도로공사 중 발생되는 각종 오염과 소음을 저감할 수 있는 시설 설치
도로 유지관리단계	· 생태계 단절 최소화를 위한 생태통로 정비 및 확대 · 기타 도로주변 환경 영향 최소화를 위한 노력 지속 추진

○ 또한 국내에서는 ITS 기술을 통한 온실가스 감축형 도로교통운영과 저탄소 중온형 아스팔트 포장공법 적용 등을 통한 온실가스 저감형 도로시공 등이 적용되고 있으나, 아직 초보적인 단계에서 추진되고 있다.

㉯ 국외 사례

■ 미국의 친환경 녹색도로 인증제 개요

○ 미국은 오래전부터 환경보호청(EPA)을 중심으로 상업용 및 일반 건물에서 배출하는 이산화탄소를 기후변화의 주요 요인으로 인식하고 건설 분야에 관심을 가져왔으며, 그 일환으로 미국그린빌딩위원회(USGBC)에서는 건축물에 대하여 친환경성을 평가하는 'Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)' 평가인증체계를 개발하였다.

○ 미국의 도로분야는 시장규모가 매년 96조원 이상으로 건설분야 다음으로 환경적인 영향이 큼에도 불구하고 지속가능발전 활동이 미진하다는 평가를 받아 왔으며, 이에 따라 정부는 건설부문의 LEED 평가인증체계를 도로부문에 적용하여 녹색도로등급 평가를 포함하는 포괄적인 인증시스템을 마련하였다.

○ 현재 뉴욕주 교통부에서는 LEED를 바탕으로 한 Green Leadership In Transportation and Environmental Sustainability(GreenLITES)를, 워싱턴주 교통부에서는 GreenRoads 인증시스템을 미국 워싱턴대학과 CH2M HILL사가 개발하였으며, 일리노이주의 경우 I-LAST(Illinois Livable and Sustainable Transportation) 인증시스템을 일리노이주 교통국과 일리노이 토목학회, 교통건축업자협회가 공동으로 개발하여, 다양한 도로 건설 프로젝트에 시범적으로 적용하고 있다.

○ 현재 오리건주 교통부에서 GreenRoads 인증시스템을 도로 건설 프로젝트에 시범적으로 적용하고 있으며, 그 외에도 GreenRoads 인증시스템의 타당성을 평가하기 위하여 24개의 다양한 파일럿 프로젝트들에 적용하고 있다. 또한 뉴욕주 교통부에서는 모든 도로설계에 GreenLITES 인증시스템을 적용하고 있으며, 일리로이주 교통국에서는 I-LAST 인증시스템을 신규 및 기존도로 사업에 적용하고 있다.

■ 워싱턴주 GreenRoads 인증시스템

○ GreenRoads 제도 평가시스템은 아래와 같은 규칙을 가지고 있다.

- 직접적이고 이해하기 쉬워야 함. 비전문가들도 GreenRoads 제도 평가시스템을 이해할 수 있어야 하며, 이해하기 쉽게 하기 위해 과도하게 상세한 것보다는 단순화하는 것이 중요함
- 경험적 사실에 근거하고 기존의 가치 있는 기술의 사용함을 원칙으로 함. 이를 위해 가능한 한 기존의 툴과 기술을 사용하여 평가 받아야 함
- 파급영향과 상응하는 포인트를 부여하여야 함
- 녹색도로는 기존 도로의 보존사업에서부터 새로운 도로건설 개발에 적용할 수 있어야 하며, 도시는 물론 지방 도로건설 사업에도 적용할 수 있는 광범위한 영역을 포함할 수 있도록 신축성을 가짐
- 지속적인 혁신을 추구하여 시간에 따라 더 우수한 아이디어, 더욱 완벽한 지식 그리고 첨단 기술을 통해 녹색도로는 갱신되고 변화되어야 함

- 최소 관료주의를 원칙으로 함. 인증획득을 위해서 제출되어져야 할 서류들이 필요하지만, 이 서류들은 기존의 서류에서 나오거나 기존의 서류를 통해 만들어내는데 있어서 간단하면서도 많은 비용이 소요되지 않아야 함

- 녹색도로는 규제적인 요건을 초과하는 지속가능성에 근거하여 혁신을 추구하고 설계와 시공결정을 촉진해야 함

○ 워싱턴주 GreenRoads 인증시스템은 도로 신설확장 및 시설개량 등 모든 도로사업의 설계와 건설 시에 적용되며, 녹색도로등급은 '필수 의무조항(Project Requirements)'과 '자발적 선택조항(Voluntary Credits)'으로 분류된 세부항목을 평가하여 이루어진다.

- '프로젝트 필수요건(PR)'은 녹색도로가 갖추어야 할 최소한을 의미하며, 녹색도로인증을 획득하기 위해서는 모두 항목이 충족되어야 함. 평가지표로는 환경영향평가, 생애주기비용분석, 품질관리계획 등의 11가지 세부항목으로 구성되어 있으며, 시행여부(Pass/Fail) 방식으로 평가하고 있음

<표 2-36> 워싱턴주 GreenRoads 인증시스템 필수 의무조항

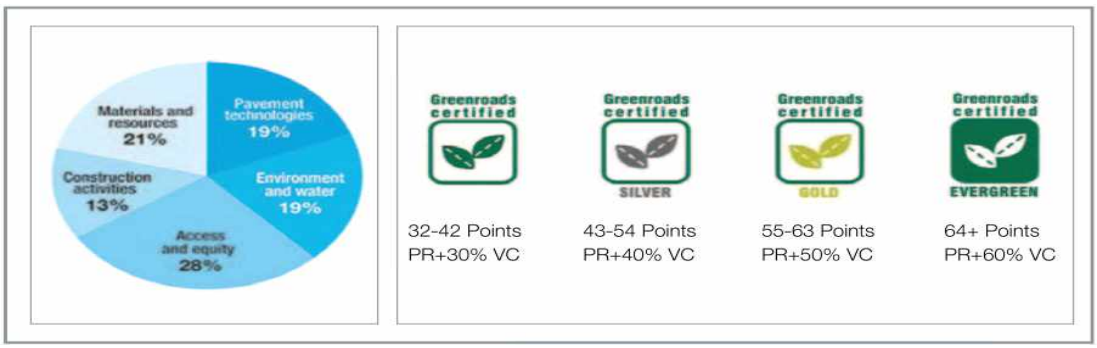
의무조항		설 명
PR-1	Environmental Review Process	환경성 검토
PR-2	Life Cycle Cost Analysis(LCCA)	생애주기 비용 검토
PR-3	Life Cycle Inventory(LCI)	생애주기 Inventory 검토
PR-4	Quality Control Plan	품질 관리 계획
PR-5	Noise Mitigation Plan	소음 저감 계획
PR-6	Waste Management Plan	폐기물 관리 계획
PR-7	Pollution Prevention Plan	오염 방지 계획
PR-8	Low-Impact Development(LID)	빗물 관리 계획
PR-9	Pavement management System	포장 관리 계획
PR-10	Site Maintenance Plan	현장 유지관리 계획
PR-11	Education Outreach	교육 및 홍보

- '자발적 선택조항'은 '필수 의무조항'을 만족한 상황에서 추가로 적용한 녹색도로 기술력에 대하여 37개 항목으로 평가하며, 포장기술, 재료 및 자원, 시공 등 설계 및 시공단계 항목이 중점을 이루고 있음. 이와 함께 환경과 수자원(소음 저감, 빗물 관리, 폐기물 관리 등), 접근성과 자산(무동력 교통수단의 활성화, 친환경 ITS 운용 등)에 대하여 평가함

<표 2-37> 워싱턴주 GreenRoads 인증시스템 자발적 선택조항 및 포인트

분 류	평가항목	포인트
Project Requirements	필수 의무조항 11개 항목	Req. (Y/N)
Environment & Water	1. Environmental Management System 2. Runoff Flow Control 3. Runoff Quality 4. Stormwater Cost Analysis 5. Site Vegetation 6. Habitat Restoration 7. Ecological Connectivity 8. Light Pollution	21
Access & Equity	1. Safety Audit 2. Intelligent Transportation Systems 3. Context Sensitive Solutions 4. Traffic Emissions Reduction 5. Pedestrian Access 6. Bicycle Access 7. Transit & HOV Access 8. Scenic Views 9. Cultural Outreach	30
Construction Activities	1. Quality Management System 2. Environmental Training 3. Site Recycling Plan 4. Fossil Fuel Reduction 5. Equipment Emission Reduction 6. Paving Emission Reduction 7. Water Use Tracking 8. Contractor Warranty	14
Materials & Resources	1. Life-cycle Assessment 2. Pavement Reuse 3. Earthwork Balance 4. Recycled Materials 5. Regional Materials 6. Energy Efficiency	23
Pavement Technology	1. Long-Life Pavement 2. Permeable Pavement 3. Warm Mix Asphalt 4. Cool Pavement 5. Quiet Pavement 6. Pavement Performance Tracking	20
Total Voluntary Credit Points		108
Custom Credits	Custom Credit Title	10
Grand Total		118

○ 녹색도로등급 평가는 필수 의무조항 및 자발적 선택조항 각 평가항목 당 부여되는 1~5Points, 자체 가산점 10Points를 포함하여 총 118Points에 기준하여 적용되고, 친환경성 및 지속가능성이 높은 순으로 에버그린(Evergreen), 골드(Gold), 실버(Silver), 인증(Certified)등급으로 부여되며, '에버그린'은 60% (64Points) 이상, '골드'는 50~60% (54~63Points), '실버'는 40~50% (43~53Points), '인증'은 30~40% (32~42Points) 수준의 '자발적 선택조항'을 만족하였을 경우 부여된다.



<그림 2-14> GreenRoads 녹색도로등급 분류 및 기준

■ 일리노이주 I-LAST 인증시스템

○ I-LAST 인증시스템은 Greenroads와 마찬가지로 신규 및 기존 도로사업에 적용하며, 다른 주의 고속도로 프로젝트에는 적용하지 않는다.

○ I-LAST에서 정의하는 지속 가능성은 환경적 자원의 최소화, 에너지 소비 최소화, 고속도로의 역사적/경관적/심미적 특성 강화 및 보호, 시설물과 커뮤니티, 자연환경 및 경제적 환경의 균형 고려 등의 내용으로 구성되어 있다.

<표 2-38> 일리노이주 I-LAST 인증시스템 평가항목 및 포인트

분 류	평가항목	포인트
Planning	P-1 Context sensitive solution	8
	P-2 Lane use/community planning	11
Design	D-1 Alignment Selection	13
	D-2 Context sensitive design	9
Environmental	E-1 Protect, Enhance or Restore Wildlife and its Habitat	20
	E-2 Trees and Plant Communities	18
	E-3 Noise Abatement	9
Watal Quality	W-1 Reduce impervious area	10
	W-2 Stormwater treatment	14
	W-3 Construction practices to protect water quality	10
Transportation	T-1 Traffic operations	9
	T-2 Transit	9
	T-3 Improve Bicycle & Pedestrian Facilities	18
Lighting	L-1 Reduced electrical consumption	12
	L-2 Stray Light Reduction	4
Materials	M-1 Materials	19
Innovation	I-1 Innovation	3

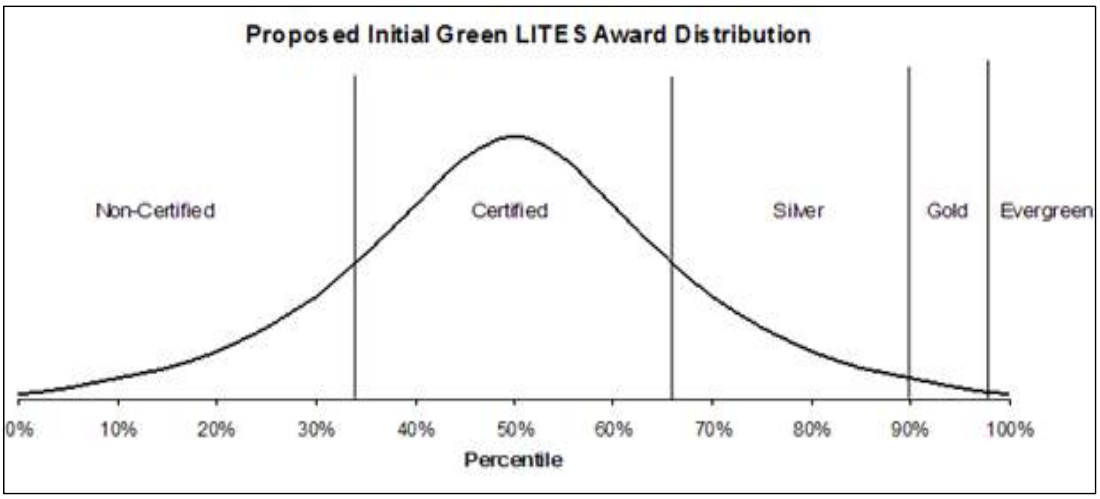
■ 뉴욕주 GreenLITES 인증시스템

○ 뉴욕주 교통부에서는 도로 및 교통시설의 설계, 운영 및 유지 관리에 있어서 환경에의 영향을 최소화하고, 지속가능 발전을 도모하기 위한 교통-환경 지속가능 평가프로그램인 GreenLITES를 개발하여 적용하고 있다.

○ 뉴욕주 GreenLITES 인증시스템의 녹색도로등급은 총 5개 분야, 21개의 평가항목으로 구분되며, 각 평가항목당 세부적인 평가기준으로 나뉘어져 각 평가기준 시행 여부에 따라 포인트가 부여된다.

○ GreenLITES 인증시스템의 녹색도로등급은 각 평가기준당 획득한 포인트를 전체 합산하여 획득한 포인트에 따라 5단계로 나누어 부여된다.

- 인증 실패(Non-certified) 단계 : 0~14points
- 인증(Certified) 단계 : 15~29points
- 실버(Silver) 단계 : 30~44points
- 골드(Gold) 단계 : 45~59points
- 에버그린(Evergreen) 단계 : 60points 이상



<그림 2-15> GreenLITES 등급별 범위

㉰ 시사점

○ 국내 교통부문은 2010년도 기준 국가 에너지 소비의 19.8%, 온실가스 총 배출량의 16.7%에 달하고 있고, 교통수단별 온실가스 배출량에서 도로부문의 비중이 약 80%를 차지하고 있다.

○ 또한, 향후 국민경제 규모 확대, 국제교역증대 등으로 인해 중장기(2019년)적으로 교통수요가 지속적으로 증가할 전망(한국교통연구원, 국가기간교통망계획 수정계획 연구, 2007.6)이어서 이에 따른 에너지소비와 온실가스 배출량이 지속적으로 증가할 전망이다.

○ 이처럼 도로부문에서의 에너지 사용량과 온실가스 배출량이 많다는 것은 달리 말하면 감축 여력도 크다는 의미여서, 최근 도로부문의 에너지 및 온실가스 배출저감을 위한 정책 및 기술개발이 활발히 이루어지고 있다.

○ 그러나, 이러한 노력에도 불구하고 개발되는 기술 및 정책에 대한 녹색도(綠色度) 측정시스템 부재로 인해 도로부문은 녹색산업과는 동떨어진 산업으로 인식되어져 왔다.

○ 이에 최근 미국을 중심으로 도로시설물에 대한 녹색도(綠色度) 측정을 위한 노력이 이루어지고 있으며, 미국 워싱톤주 및 오레곤주의 경우 도로설계/시공부문의 녹색도로 인증제도를 운영하고 있으며, 미국 뉴욕주의 경우는 설계 및 시공분야 뿐만 아니라 유지관리 부문에서도 녹색인증시스템을 운영하고 있다.




○ 미국에서의 녹색도로 인증제도 시행의 주목적은 적용하는 주(州)마다 다소 상이하다.

- 뉴욕주의 경우 지역에 건설되는 시설물에 대한 주민들의 환경적 요구사항 및 참여도가 높아 이를 반영하는 수단으로 적용. 또한, 교통국의 도로시설물에 대한 환경적인 평가지표가 여러 규정에 산재되어 있어 이를 녹색도로로 통합하여 시행

- 오레곤주의 경우 녹색도로인증을 통해 침체되어 있는 관련 산업의 부흥을 목적으로 도입 시행

○ 미국 워싱톤주에서 운영하고 있는 GreenRoads 제도는 도로분야에 있어서 세계 최초로 개발 · 적용된 인증제도이며, 미국 도로교통부문에서 인정하고 있는 3개 평가시스템[2] 중 하나이다.

○ 이에 본 연구진에서는 1차년도에 미국 GreenRoads 제도 국내 적용성 검토결과, 도로건설공사 수행을 통해서 직접적으로 목적물을 구체화하는데 요구되는 자재, 시공, 포장, 수자원 등 평가항목에서는 국내 법제도에 의무적으로 시행되고 있지 않아도 국내 도로설계 및 시공 수행에 있어서 상당부분 반영되어 시행되고 있다.

○ 반면에 미국의 제도와 정책에 따라 수행되고 있는'접근성과 형평성'에 해당하는 부분은 우리나라 실정에 맞게 변경할 필요성이 있다.

○ 최근 우리나라 환경부 등 정부차원에서 도입 추진 중에 있는'PR-8. LID(Low Impact Development)'와 'EW-4. 우수비용 분석', 'AE-8. 제한적 문제인식 해결(CSS)', 'AE-9. 문화적 봉사활동', 'A-7. 수자원 사용추적', 'PT-1. 장수명 포장재', 'PT-3. 중온아스팔트' 및 'PT-4. 열섬완화 차열성 포장공법' 항목 등 8개 항목에 대해서는 향후 한국형 GreenRoads 제도도 도입 시에 세부평가지표 설정 시에 고려할 필요가 있다.

○ 따라서 미국적 상황에 따라 적용되고 있는 일부 항목을 제외하고는 국내 도입 적용시 큰 문제점이 없다고 판단되었다.

○ 향후 한국형 GreenRoads 제도를 도입하기 위한 기초연구로써 활용될 수 있을 것이라고 판단되며, 이를 위해서 구체적인 세부평가지표 개발이 추가적으로 이루어질 필요가 있다.

○ 미국 뉴욕주에서도 미국 워싱톤주의 GreenRoads 제도를 벤치마킹하여 자체적으로 GreenLITES 제도를 운영하고 있는데 세부평가지표 측면에서 유사한 측면이 많다.

---

2) 미국에서 인정된 도로교통부문의 3개 평가시스템은 Green Leadership in Transportation Environmental Sustainability (GLTES), Greenroads, and Illinois-Livable and Sustainable Transportation(I-LAST)임(※출처 : Maryland State Highway Administration, 2011)

<표 2-39> 뉴욕주 GreenLITES 인증시스템 평가항목 및 포인트

분 류	평가항목	포인트
Sustainable Sites	Alignment Selection	13
	Context Sensitive Solutions	15
	Land Use/Community Planning	20
	Protect, Enhance or Restore Wildlife Habitat	19
	Protect, Plant or Mitigate for Removal of Trees or Plant Communities	14
Water Quality	Stormwater Management(Volume & Quality)	10
	Best Management Practices(BMPs)	10
Materials & Resources	Reuse of Materials	32
	Recycled Content	16
	Local Materials	4
	Bio-Engineering Techniques	8
	Hazardous Material Minimization	6
Energy & Atmosphere	Improved Traffic Flow	29
	Reduce Electrical Consumption	10
	Reduce Petroleum Consumption	15
	Improve Bicycle & Pedestrian Facilities	35
	Noise Abatement	12
	Stray Light Reduction	3
Innovation/ Unlisted	Innovation	4
	Unlisted	2
	NYCDOT Street Design Manual	1



<그림 2-16> GreenLITES 녹색도로등급 분류 및 기준

② 한국형 녹색도로 인증지표 도입체계 개발

㉮ 한국형 녹색도로인증제 개요

○ 한국형 녹색도로인증제는 단순히 도로의 일반적인 기능 향상을 위한 도로설계 및 건설 등의 물리적 차원의 평가가 아닌 설계 및 시공 중인 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 평가시스템을 의미한다.

○ 또한 한국형 녹색도로인증제는 ① 친환경 도로계획, 설계 및 시공을 통한 탄소배출 저감, ② 도로사업으로 인한 생태계 및 환경에 미치는 영향 최소화, ③ 지속가능 도로·교통 운영관리를 통한 탄소관리 및 이동성/안전성 향상, ④ 에너지 절약 및 생상을 통한 도로부문의 녹색성장 기여 등 궁극적으로 삶의 질을 향상시키는 데 세부목적을 두고 있다.[3)]

○ 한국형 녹색도로인증제의 객관적인 인증기준을 마련하기 위해 인증대상을 도로유형별로 고속국도와 일반국도로 구분한다.

○ 국내외 유사인증제의 사례를 볼 때 평가분야에는 설계, 시공, 운영, 유지관리 등 전 과정이 포함되어 있다. 도로의 경우 도로의 설계, 건설, 이용 등 전 과정이 환경에 영향을 미치고 있으므로 인증제도의 효과를 제고하기 위해 도로의 설계, 건설, 운영, 유지관리 등 생애주기 전체를 대상으로 인증체계를 도입할 필요가 있다.

○ 녹색도로인증제를 통해 녹색도로로 인증 받은 이후에도 교통량의 변화, 도로시설의 노후 등 많은 상황 변화가 예상되므로, 지속적으로 인증기준을 만족하도록 하기 위해 유지관리가 필요하므로 3년의 인증유효기간을 두고 정기적으로 인증기준 충족여부를 심사·관리하도록 한다.

- 1차 인증(도로건설단계) : 설계 및 시공 시
- 2차 인증(도로관리단계) : 설계 및 시공 + 운영 및 유지관리

㉯ 한국형 녹색도로 인증지표(도로건설단계)

■ 한국형 녹색도로인증제 평가요소 도출

○ 녹색도로인증제가 갖는 '목표'를 우선 설정하고, 설정된 목표 달성을 위한 구체적 노력 및 관련 기술을 도출하였다.

○ 또한, 도출된 기술은 평가지표로써 적용할 수 있는지도 판단하여 최종 평가요소를 도출하였다.

○ 본 연구에서는 국내·외 현황분석을 통해 다음과 같은 목표들을 제시하였다.

1) 건설단계에서 발생하는 환경오염을 최소화 하는 도로

2) 건설단계에서 발생하는 탄소배출량을 저감시킬 수 있는 녹색기술형 도로

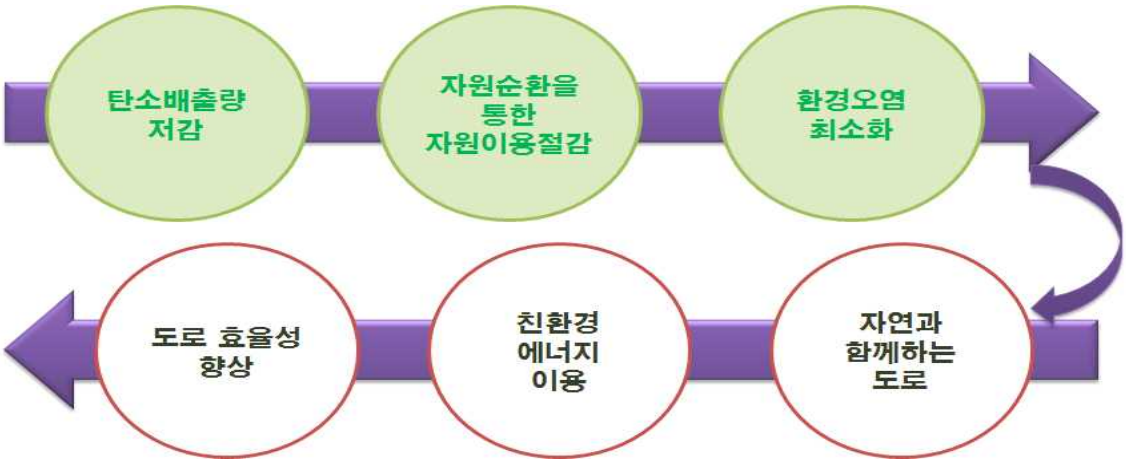
3) 한국교통연구원, 『도로부문 온실가스 저감을 위한 녹색도로 등급체계 도입방안 연구』, 2011. 11.

3) 자원순환 및 재생에너지를 사용해서 자원을 효율적으로 이용하는 도로

4) 친환경 신재생에너지 이용을 통한 화석에너지 사용을 최소화하는 깨끗한 도로

5) 도로 효율성을 향상시켜서, 교통지체로 인한 에너지 낭비를 줄이고, 친환경대중교통 인프라를 구축하여 대중교통을 활성화 할 수 있는 도로

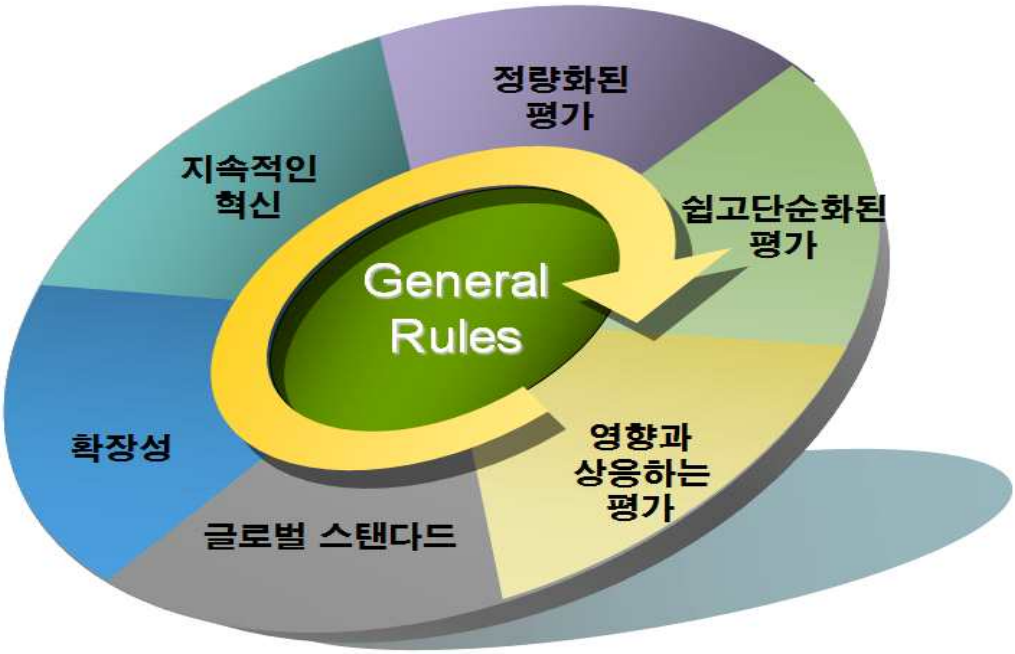
6) 지역경관 및 동식물을 보호하는 자연과 함께하는 도로



<그림 2-17> 한국형 녹색도로인증제 평가지표 및 등급 개발 방향

○ 본 연구에서는 국내 건설정책 및 환경에 적합한 인증제를 완성하기 위해서 우선 앞선 국외 지표들의 특성을 분석하고 국내 전문가 자문을 통해 한국형 녹색도로인증제 평가시스템 평가요소의 개발을 위한 일반적인 규칙을 도출하였다.

1) 녹색도로건설을 위한 신기술 및 신공법 등 새롭고 혁신적인 방법론의 적용을 위한 시스템이 탄력적, 개방적으로 운영되어야 함
2) 평가결과의 신뢰성 확보를 위해서 정량화된 평가방식이 되어야 함. 어느 누가 평가하더라도 평가결과가 일관성 있게 되어 평가의 신뢰성을 확보해야 함
3) 직접적이고 이해하기 쉬워야 함. 비전문가들도 녹색도로인증제 평가시스템을 이해할 수 있어야 하며, 이해하기 쉽게 하기 위해 과도하게 상세한 것보다는 단순화하는 것이 중요함
4) 영향과 상응하는 평가항목으로 구성되어야 함
5) 글로벌 스탠다드에 상응하도록 평가시스템을 구성하고 운영되어야 함
6) 일반국도, 고속국도, 신규도로, 확장도로 등 모든 형태의 도로에 적용



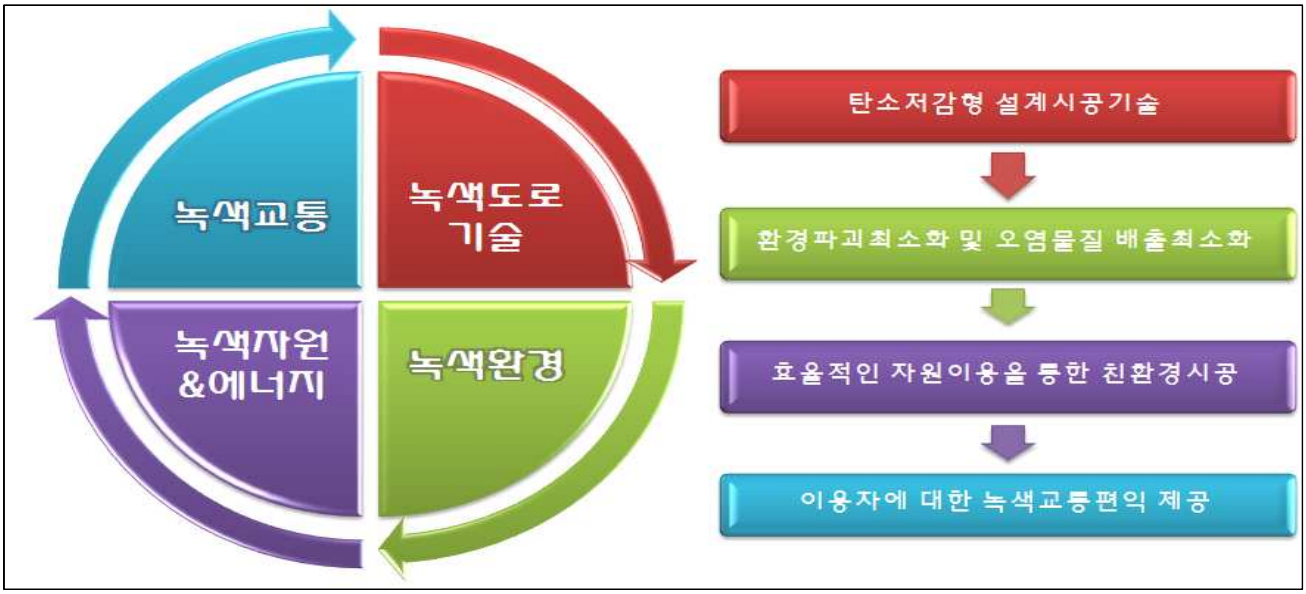
<그림 2-18> 한국형 녹색도로인증제 평가요소 규칙

○ 본 연구에서는 기존 사례와는 다르게 고속국도뿐만 아니라 국도(지방도, 시군구도 포함)의 모든 도로유형을 대상으로 평가지표를 개발하였다.

- 구체적인 세부평가항목 및 지표 설정 측면에서도 국내에서 개발되는 녹색기술들을 중심으로 국내에서 달성 가능한 현실성을 반영

<표 2-40> 녹색도로인증제 비교표

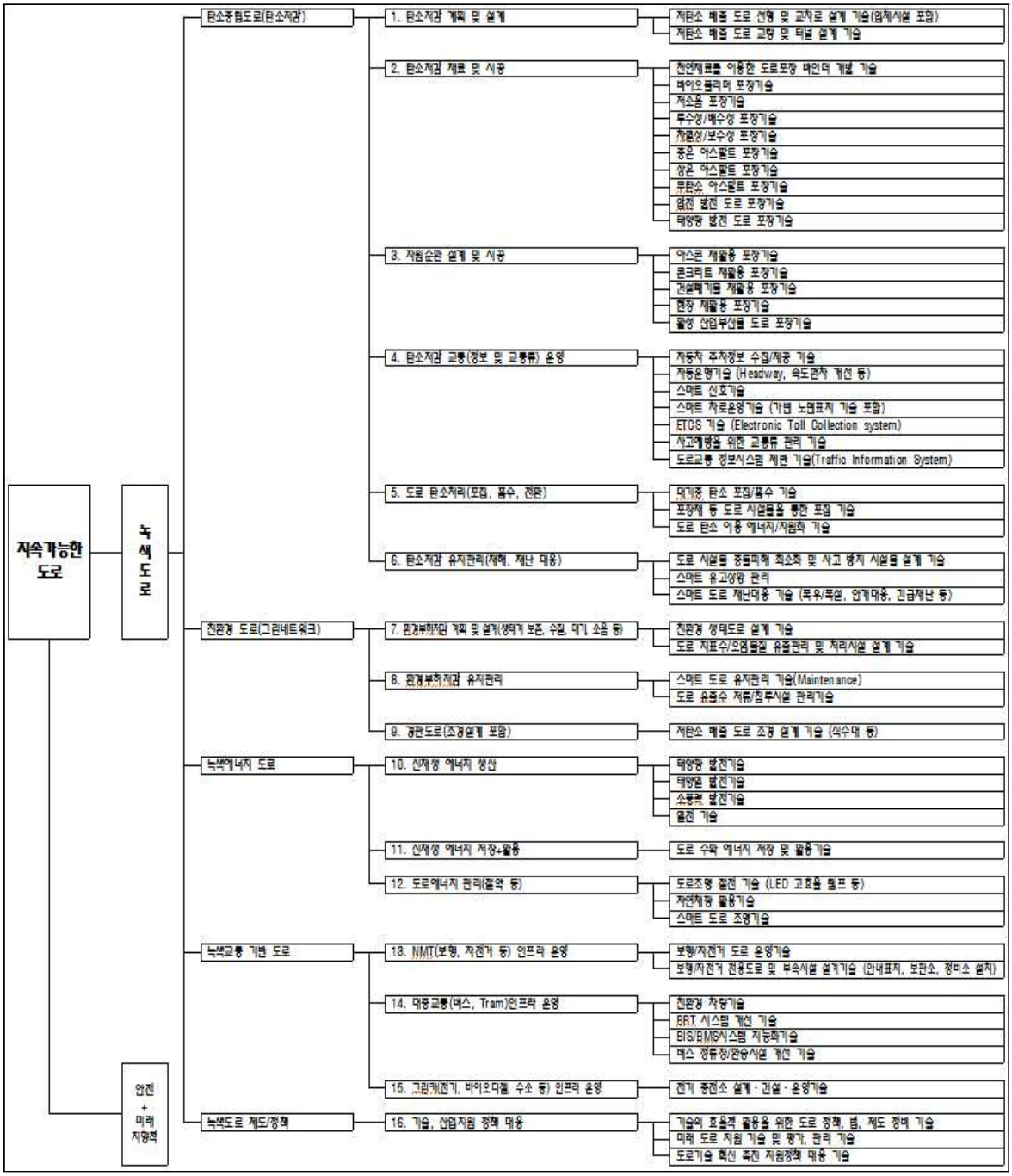
구 분	그린로드	그린라이트	한국형 녹색도로
적용대상	모든 도로	모든 도로	고속국도, 일반국도
적용범위	신설, 개량	신설, 개량, 보수 등	신설, 개량
기본평가 항목	필수항목(11개)+자발적항목 5분야(37개 항목)	5분야 21개 평가항목	4개 분야 38~40개 항목
세부항목	37개	178개	49~53개
추가항목	1개 항목 10점	3개 항목 10점	1개 항목 10점
총점	118점	278점	110점
최고등급 획득구간	총점 중 60%이상	총점 중 21.6%이상	총점 중 60%이상
인증등급 단계	5개 등급	5개 등급	5개 등급



<그림 2-19> 한국형 녹색도로인증제의 4대 핵심지표

○ 본 연구에서 개발한 4개의 평가분야별 핵심목표는 다음과 같다.

1) '녹색도로설계/포장기술'의 최종목표는 도로포장의 탄소배출량의 절감시키고, 최적의 도로선형 기술을 통해서 환경파괴를 최소화 하는 기술을 적용하는 것
2) '녹색환경'의 최종목표는 환경오염 최소화를 통한 깨끗한 도로건설, 자연과 함께하는 친환경도로, 지역과 함께하는 도로 등이 핵심 목표임
3) '녹색자원&에너지' 최종목표는 자원순환을 통한 자원의 효율적 이용, 친환경 그린에너지 생산 및 이용, 자원이동의 최소화 등이 핵심 목표임
4) '녹색교통'의 최종목표는 도로이용자의 편익 및 안전을 향상시키고, 지능형녹색도로 운영을 통한 에너지 효율성 향상, 친환경 교통을 위한 인프라를 제공하는 것임



<그림 2-20> 탄소중립형 도로기술 연구단의 녹색도로 기술체계 Tree

○ 설정한 4대 핵심지표에 해당 지표를 달성하기 위한 세부 기술지표를 설정하였으며, 세부 기술지표는 탄소중립형도로 연구단에서 작성한 기술트리에 나온 녹색기술을 핵심지표에 맞게끔 분류하였다. 분류된 각각의 기술지표들에 해당하는 세부기술로 다시 분개하였으며, 분개된 세부기술이 인증제도의 평가지표가 된다.

○ 최종 도출한 도로건설단계 한국형 녹색도로인증제 평가지표는 다음과 같다.

<표 2-41> 한국형 녹색도로인증제 평가지표(고속국도)

평가분야	코드	평가항목	평가지표
녹색도로 설계/포장기술(Green Road Design/Pavement Technologies)	GT1	친환경도로설계	환경영향평가
			친환경 도로노선선정
	GT2	탄소저감형 도로설계	그린네트워크 도로설계기술
			탄소저감형 시공관리기술
	GT3	도로경관디자인	도로경관디자인기술
	GT4	저소음포장	저소음포장기술
	GT5	장수명포장	장수명포장기술
	GT6	투수성포장	투수성/배수성포장기술
	GT7	열섬완화차열성포장	차열성/보수성포장기술
	GT8	저탄소아스팔트포장	중온(상온)아스팔트기술
	GT9	저탄소 흙포장	탄소저감형 흙포장기술
	GT10	포장 LCCA분석	포장구간에 대한 LCCA분석
	GT11	생애주기환경비용분석	생애주기환경비용분석
녹색환경 (Green Environment)	GE1	교통오염 절감 (도로 탄소포집/흡수)	도로 탄소포집/흡수기술
			교통오염 절감기술
	GE2	우수관리(도로유출수관리)	우수흐름관리
			우수수질
			우수유출수 비용분석
	GE3	소음완화	소음완화계획수립
	GE4	폐기물관리	폐기물관리계획수립
	GE5	오염방지관리	오염방지계획수립
	GE6	저영향개발	저영향개발 수립
	GE7	현장녹지화	현장식생
	GE8	서식지복원	서식지보원
	GE9	생태학적 연관성	동물보호
	GE10	빛공해 저감	빛공해 현상
	GE11	문화복지	문화복지
	GE12	환경교육	환경교육
	GE13	장비온실가스 배출저감	장비온실가스 배출저감
	GE14	수자원계획수립	수자원추적
녹색자원&에너지 (Green Resources &Energy)	RE1	자원순환기술	아스콘-콘크리트 재활용 기술
			현장재활용계획
			활성 산업부산물 도로 기술
	RE2	신재생에너지 생산	신재생에너지 생산
	RE3	에너지효율	에너지효율기술
			자연채광 활용기술
	RE4	토공사균형	토공사균형
	RE5	순환골재	순환골재
	RE6	지역자재	지역자재
	RE7	친환경자재	환경친화적자원사용
녹색교통 (Green Traffic System)	TS1	교통류관리	다인승차량관리
			연속류제어
	TS2	접근성관리	도로접근성관리 (교통상충완화포함)
	TS3	지능형교통시스템	교통정보시스템
			자동요금징수시스템
			돌발상황관리시스템
	TS4	그린카 기반시설	그린카 기반시설
	TS5	도로재난대응기술	도로재난대응기술
	TS6	교통안전진단	교통안전진단

<표 2-42> 한국형 녹색도로인증제 평가지표(일반국도)

평가분야	코드	평가항목	평가지표
녹색도로 설계/포장기술(Green Road Design/Pavement Technologies)	GT1	친환경도로설계	환경영향평가
			친환경 도로노선선정
	GT2	탄소저감형 도로설계	그린네트워크 도로설계기술
			탄소저감형 시공관리기술
	GT3	도로경관디자인	도로경관디자인기술
	GT4	저소음포장	저소음포장기술
	GT5	장수명포장	장수명포장기술
	GT6	투수성포장	투수성/배수성포장기술
	GT7	열섬완화차열성포장	차열성/보수성포장기술
	GT8	저탄소아스팔트포장	중온(상온)아스팔트기술
	GT9	저탄소 흙포장	탄소저감형 흙포장기술
	GT10	포장 LCCA분석	포장구간에 대한 LCCA분석
	GT11	생애주기환경비용분석	생애주기환경비용분석
녹색환경 (Green Environment)	GE1	교통오염 절감 (도로 탄소포집/흡수)	도로 탄소포집/흡수기술
			교통오염 절감기술
	GE2	우수관리(도로유출수관리)	우수흐름관리
			우수수질
			우수유출수 비용분석
	GE3	소음완화	소음완화계획수립
	GE4	폐기물관리	폐기물관리계획수립
	GE5	오염방지관리	오염방지계획수립
	GE6	저영향개발	저영향개발 수립
	GE7	현장녹지화	현장식생
	GE8	서식지복원	서식지보원
	GE9	생태학적 연관성	동물보호
	GE10	빛공해 저감	빛공해 현상
	GE11	문화복지	문화복지
	GE12	환경교육	환경교육
	GE13	장비온실가스 배출저감	장비온실가스 배출저감
	GE14	수자원계획수립	수자원추적
녹색자원&에너지 (Green Resources &Energy)	RE1	자원순환기술	아스콘-콘크리트 재활용 기술
			현장재활용계획
			활성 산업부산물 도로 기술
	RE2	신재생에너지 생산	신재생에너지 생산
	RE3	에너지효율	에너지효율기술
			자연채광 활용기술
	RE4	토공사균형	토공사균형
	RE5	순환골재	순환골재
	RE6	지역자재	지역자재
	RE7	친환경자재	환경친화적자원사용
녹색교통 (Green Traffic System)	TS1	교통류관리	회전교차로
			단속류제어
			2+1차로
	TS2	접근성관리	도로접근성관리(교통상충완화포함)

	TS3	지능형교통시스템	교통정보시스템
			돌발상황관리시스템
	TS4	그린카 기반시설	그린카 기반시설
	TS5	도로재난대응기술	도로재난대응기술
	TS6	교통안전진단	교통안전진단
	TS7	대중교통	BRT노선구축
			BIS/BMS
	TS8	보행자/자전거도로	보행자도로
			자전거도로

■ 도로건설단계 중요도 분석(설문조사)

○ 설문조사 목적

- 본 설문조사는 한국형 녹색도로인증제(고속국도 및 일반국도)에 필요한 평가항목 중요도(가중치) 설정을 위해 전문가 조사를 통해 중요도를 통계적으로 도출하기 위함

○ 설문조사 대상

- 국내 고속국도 및 국도 설계·시공 및 운영과 직간접적으로 관련된 국내 발주청(정부기관/공사), 대학교, 국책연구소, 설계/컨설팅회사 등의 최소 경력 10년 이상의 전문가 22명을 대상으로 서면 및 온라인으로 수행함

○ 설문조사 내용 및 방법

- 본 연구에서 설문은 연구진 및 자문위원들의 단계적 검토를 통해 도출한 '한국형 녹색도로인증제'의 목표에 따른 평가분야(4개 분야)별 평가항목(고속국도 각 분야별 총 38개, 일반국도 각 분야별 총 40개) 및 평가지표(고속국도 각 분야별 총 49개, 일반국도 각 분야별 총 53개)를 대상으로 함

- 전문가 설문조사는 계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process) 방법을 이용하여 가중치를 설정하였으며, 쌍대비교를 통한 설문조사 방법을 이용함

- 본 연구에서 사용한 계층화분석법은 9점 척도를 이용하였음

○ 평가를 수행함에 앞서 다양한 항목들을 평가하기 때문에 평가 시 공통적으로 고려해야할 기본 원칙을 아래와 같이 제시하였다.

중요도 평가시 공통적으로 고려해야할 기본 원칙(1)

- 기본적인 기술의 경우 가장 낮은 중요도를 가짐
- 유사한 기술의 경우 비용이 높은 기술이 더 높은 중요도를 가짐

중요도 평가시 공통적으로 고려해야할 기본 원칙(2)

- 저 : 기존에 보편적으로 사용되고 있는 기술
- 중 : 기존에 존재하나 비용이나 기타문제로 사용이 잘 안되는 기술
- 고 : 기존에 존재하거나 신기술이나 녹색측면에서 파급효과가 큼



<그림 2-21> 한국형 녹색도로인증제 <고속국도> 계층구조 모형



<그림 2-22> 한국형 녹색도로인증제 <일반국도> 계층구조 모형

■ 도로건설단계 중요도 분석 결과

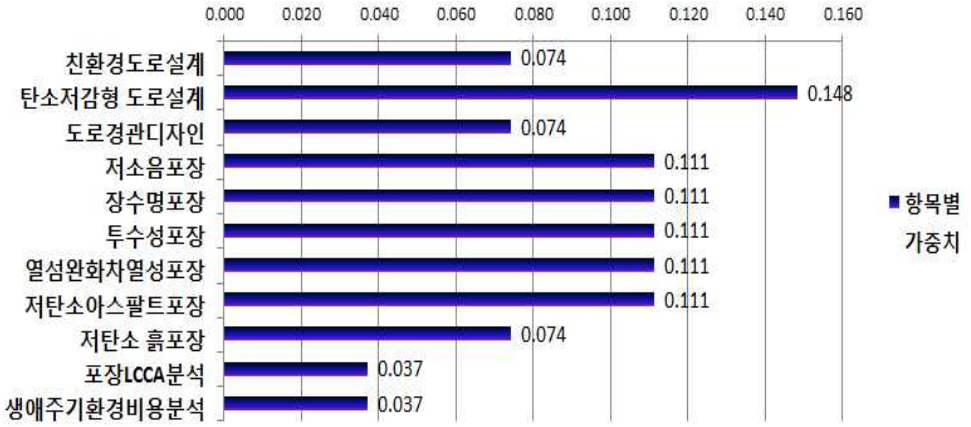
○ 본 설문에서는 각 분류수준(대·중·소 3단계 계층)별 상대적 중요도 인식정도를 전문가 그룹 22명을 대상으로 별도로 수행하였다.

○ 조사결과 우선 최상위 계층인 「평가분야」에서는 약 8% 정도의 차이로 '녹색환경' 분야(0.35)가 '녹색도로설계/포장기술' 분야(0.27) 보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났으며, '녹색교통' 분야(0.17)이 가장 낮은 것으로 나타났다.

평가분야	평가목표	가중치	우선순위
녹색도로설계/포장기술 (Green Road Design-Pavement Technologies)	1. 도로포장의 탄소 배출량의 절감 2. 최적의 도로선형기술을 통한 환경파괴의 최소화	0.27	2
녹색환경 (Green Environment)	1. 환경오염최소화 2. 오염물질배출저감 3. 자연과 공존하는 도로 4. 지역과 함께하는 도로	0.35	1
녹색자원&에너지 (Green Resources & Energy)	1. 자원순환을 통한 자원의 효율적 이용 2. 신재생에너지 생산 및 이용 3. 자원이동의 최소화	0.21	3
녹색교통 (Green traffic System)	1. 도로이용자편익 및 안전 향상 2. 스마트 도로운영을 통한 에너지 효율성 향상 3.친환경교통을 위한 인프라제공	0.17	4

○ 2단계 계층인 「평가항목」에서는 우선 첫 번째 '녹색도로설계/포장기술' 부문 9개 세부평가항목 중 '탄소저감형도로설계'가 약 3.7% 정도의 차이로 2순위인 '저소음포장', '장수명포장', '투수성포장', '열섬완화 차열성 포장', '저탄소아스팔트포장'(이상 0.111로 동일) 보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났으며, '포장LCA분석', '생애주기환경비용분석'(이상 0.037로 동일)이 가장 낮은 것으로 나타났다.

1. 평가분야	가중치	우선순위	2. 평가항목	가중치 (LOCAL)	우선순위
녹색도로설계/포장기술 (Green Road Design-Pavement Technologies)	0.27	2	GT1 친환경도로설계	0.074	3
			GT2 탄소저감형 도로설계	0.148	1
			GT3 도로경관디자인	0.074	3
			GT4 저소음포장	0.111	2
			GT5 장수명포장	0.111	2
			GT6 투수성포장	0.111	2
			GT7 열섬완화 차열성포장	0.111	2
			GT8 저탄소아스팔트포장	0.111	2
			GT9 저탄소흙포장	0.074	3
			GT10 포장LCCA분석	0.037	4
			GT11 생애주기환경비용분석	0.037	4



<그림 2-23> 녹색도로설계/포장기술 평가항목별 가중치

○ 두 번째 '녹색환경' 부문 14개 세부평가항목 중 '우수관리(도로유출수관리)'가 약 2.8% 정도의 차이로 2순위인 '교통오염 절감(도로 탄소포집/흡수)' (0.143)보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났으며, '소음완화', '폐기물관리', '오염방지관리', '저영향개발', '현장녹지화', '서식지복원', '생태학적연관성', '빛공해저감', '문화복지', '장비온실가스 배출저감', '수자원계획수립'(이상 0.057로 동일)이 가장 낮은 것으로 나타났다.

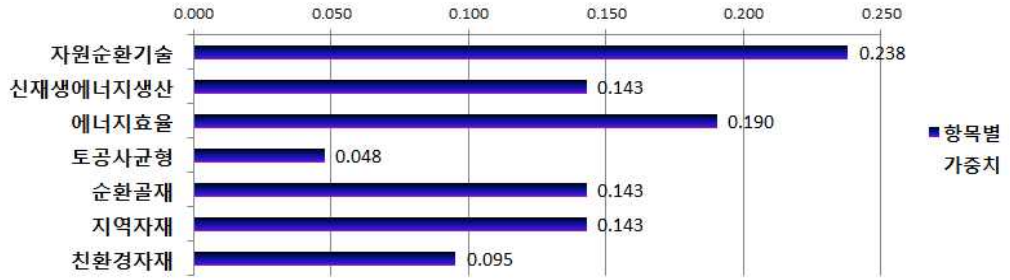
1. 평가분야	가중치	우선순위	2. 평가항목	가중치 (LOCAL)	우선순위
녹색환경 (Green Environment)	0.35	1	GE1 교통오염 절감(도로 탄소포집/흡수)	0.143	2
			GE2 우수관리(도로유출수관리)	0.171	1
			GE3 소음완화	0.057	3
			GE4 폐기물관리	0.057	3
			GE5 오염방지관리	0.057	3
			GE6 저영향개발	0.057	3
			GE7 현장녹지화	0.057	3
			GE8 서식지복원	0.057	3
			GE9 생태학적 연관성	0.057	3
			GE10 빛공해저감	0.057	3
			GE11 문화복지	0.057	3
			GE12 환경교육	0.057	3
			GE13 장비온실가스 배출저감	0.057	3
			GE14 수자원계획수립	0.057	3



<그림 2-24> 녹색환경 평가항목별 가중치

○ 세 번째 '녹색자원&에너지' 부문 7개 세부평가항목 중 '자원순환기술'이 약 9% 정도의 차이로 2순위인 '에너지효율'(0.190) 보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났으며, '토공사균형'(0.048)이 가장 낮은 것으로 나타났다.

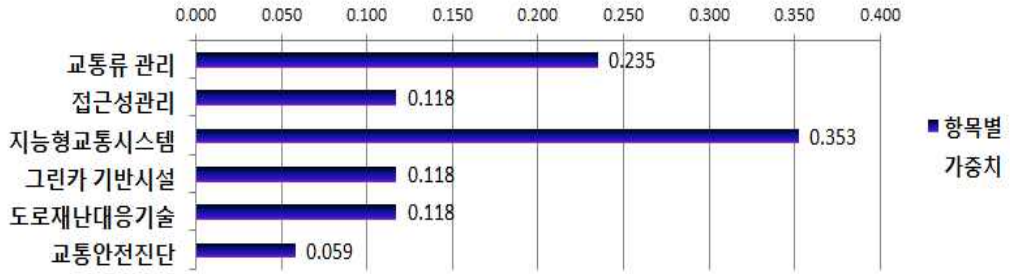
1. 평가분야	가중치	우선순위	2. 평가항목	가중치 (LOCAL)	우선순위
녹색자원&에너지 (Green Resources & Energy)	0.21	3	RE1 자원순환기술	0.238	1
			RE2 신재생에너지생산	0.143	3
			RE3 에너지효율	0.190	2
			RE4 토공사균형	0.048	5
			RE5 순환골재	0.143	3
			RE6 지역자재	0.143	3
			RE7 친환경자재	0.095	4



<그림 2-25> 녹색자원&에너지 평가항목별 가중치

○ 네 번째 ‘녹색교통’ 부문 6개 세부평가항목 중 ‘지능형교통시스템’이 약 11.8% 정도의 차이로 2순위인 ‘교통류관리’(0.235) 보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났으며, ‘교통안전진단’(0.059)이 가장 낮은 것으로 나타났다.

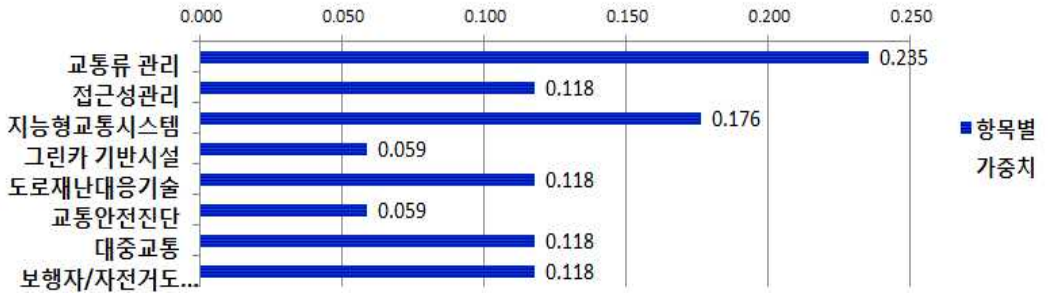
1. 평가분야	가중치	우선순위	2. 평가항목	가중치 (LOCAL)	우선순위
녹색교통 (Green traffic System)	0.17	4	TS1 교통류관리	0.235	2
			TS2 접근성관리	0.118	3
			TS3 지능형교통시스템	0.353	1
			TS4 그린카기반시설	0.118	3
			TS5 도로재난대응 기술	0.118	3
			TS6 교통안전진단	0.059	4



<그림 2-26> 녹색교통(고속국도 부문) 평가항목별 가중치

○ 또한, 고속국도외 ‘일반국도’분야에서는 앞선 ‘녹색도로설계/포장기술’, ‘녹색환경’, ‘녹색자원/에너지’ 3개 부문 평가항목은 모두 동일한 반면에, ‘녹색교통’ 부문 평가항목은 일반국도의 특성상 다소 차이가 있으므로 별도로 중요도를 조사하였다. 그 결과 7개 세부평가항목 중 ‘교통류관리’가 약 5.9% 정도의 차이로 2순위인 ‘지능형교통시스템’ (0.176) 보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났으며, ‘그린카기반시설’, ‘교통안전진단’(이상 0.059로 동일)이 가장 낮은 것으로 나타났다.

1. 평가분야	가중치	우선순위	2. 평가항목	가중치 (LOCAL)	우선순위
녹색교통 (Green traffic System)	0.17	4	TS1 교통류관리	0.235	1
			TS2 접근성	0.118	3
			TS3 지능형교통시스템	0.176	2
			TS4 그린카기반시설	0.059	4
			TS5 도로재난대응 기술	0.118	3
			TS6 교통안전진단	0.059	4
			TS7 대중교통	0.118	3
			TS8 보행/자전거도로	0.118	3



<그림 2-27> 녹색교통(일반국도 부문) 평가항목별 가중치

○ 마지막 3단계 계층인 「평가지표」의 경우 대부분 평가항목 자체가 평가지표가 되도록 하였으나, 일부 포괄적으로 정의된 항목의 경우 세부지표로 나누어 평가하도록 구성하였기 때문에 세부 중요도를 개별적으로 조사하였음

- 각 분야/평가항목별 '세부평가지표'의 GLOBAL 가중치는 아래 <식>에 의해 산정

<식> 평가분야 가중치 × 평가항목별 가중치(LOCAL) × 평가지표의 가중치(LOCAL)

○ 첫 번째 '녹색도로설계/포장기술' 부문에서는 '친환경도로설계'의 경우 2개의 세부평가지표인 '환경영향평가'와 '친환경 도로노선 선정'이 동일한 중요도를 가지는 것으로 나타났다. 또한, '탄소저감형 도로설계' 의 경우 2개의 세부평가지표 중 '그린네트워크 도로설계기술'이 약 50% 정도의 차이로 '탄소저감형 시공관리기술'(0.250)보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났다.

1. 평가 분야	2. 평가항목	3. 평가지표	가중치 (LOCAL)	우선 순위	가중치 (GLOBAL)
녹색도로설계/포장기술 (0.27)	GT1 친환경도로 설계*	환경영향평가	0.500	1	0.01
		친환경 도로노선 선정	0.500	1	0.01
	GT2 탄소저감형 도로설계*	그린네트워크 도로설계기술	0.750	1	0.03
		탄소저감형 시공관리기술	0.250	2	0.01
	GT3 도로경관디자인	도로경관디자인기술	평가항목과 동일		0.02
	GT4 저소음포장	저소음 포장기술	평가항목과 동일		0.03
	GT5 장수명포장	장수명 포장기술	평가항목과 동일		0.03
	GT6 투수성포장	투수성/배수성 포장기술	평가항목과 동일		0.03
	GT7 열섬완화 차열성포장	차열성/보수성 포장기술	평가항목과 동일		0.03
	GT8 저탄소아스팔트포장	중온아스팔트기술	평가항목과 동일		0.03
	GT9 저탄소흙포장	탄소저감형 흙포장기술	평가항목과 동일		0.02
	GT10 포장LCCA 분석	포장구간에 대한 LCCA분석	평가항목과 동일		0.01
	GT11 생애주기환경비용분석	생애주기환경비용분석	평가항목과 동일		0.01

○ 두 번째 ‘녹색환경’ 부문에서는 ‘교통오염 절감(도로 탄소포집/흡수)’의 경우 2개의 세부평가지표 중 ‘도로 탄소포집/흡수기술’이 약 20% 정도의 차이로 ‘교통오염 절감기술’(0.400)보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났다. 또한, ‘우수관리(도로유출수관리)’의 경우 3개의 세부평가지표 중 ‘우수흐름관리’가 약 17% 정도의 차이로 2순위인 ‘우수수질’(0.333)보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났으며, ‘우수유출수 비용분석’(0.167)이 가장 낮게 나타났다.

1. 평가 분야	2. 평가항목	3. 평가지표	가중치 (LOCAL)	우선 순위	가중치 (GLOBAL)
녹색환경 (0.35)	GE1 교통오염 절감(도로 탄소포집/흡수)*	도로탄소포집/ 흡수기술	0.600	1	0.03
		교통오염 절감기술	0.400	2	0.02
	GE2 우수관리(도로유출수관리)*	우수흐름관리	0.500	1	0.03
		우수수질	0.333	2	0.02
		우수유출수 비용분석	0.167	3	0.01
	GE3 소음완화	소음완화계획수립	평가항목과 동일		0.02
	GE4 폐기물관리	폐기물관리계획수립	평가항목과 동일		0.02
	GE5 오염방지관리	오염방지계획수립	평가항목과 동일		0.02
	GE6 저영향개발	저영향개발 수립	평가항목과 동일		0.02
	GE7 현장녹지화	현장식생	평가항목과 동일		0.02
	GE8 서식지복원	서식지보원	평가항목과 동일		0.02
	GE9 생태학적 연관성	동물보호	평가항목과 동일		0.02
	GE10 빛공해저감	빛공해현상	평가항목과 동일		0.02
	GE11 문화복지	문화복지	평가항목과 동일		0.02
	GE12 환경교육	환경교육	평가항목과 동일		0.02
	GE13 장비온실가스 배출저감	장비온실가스 배출저감	평가항목과 동일		0.02
	GE14 수자원계획수립	수자원추적	평가항목과 동일		0.02

○ 세 번째 ‘녹색자원/에너지’ 부문에서는 ‘자원순환기술’의 경우 3개의 세부평가 지표 중 ‘아스콘-콘크리트 재활용기술’과 ‘활성 산업부산물 도로기술’이 약 20% 정도의 차이로 ‘현장재활용계획’(0.200)보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났다. 또한, ‘에너지효율’에서는 2개의 세부평가지표인 ‘에너지효율기술’과 ‘자연채광 활용기술’이 동일한 중요도를 가지는 것으로 나타났다.

1. 평가 분야	2. 평가항목	3. 평가지표	가중치 (LOCAL)	우선 순위	가중치 (GLOBAL)
녹색자원/에너지 (0.21)	RE1 자원순환기술*	아스콘-콘크리트 재활용 기술	0.400	1	0.02
		현장재활용계획	0.200	2	0.01
		활성 산업부산물 도로 기술	0.400	1	0.02

	RE2 신재생에너지생산	신재생에너지 생산	평가항목과 동일		0.03
	RE3 에너지효율*	에너지효율기술	0.500	1	0.02
		자연채광 활용기술	0.500	1	0.02
	RE4 토공사균형	토공사균형	평가항목과 동일		0.01
	RE5 순환골재	순환골재	평가항목과 동일		0.03
	RE6 지역자재	지역자재	평가항목과 동일		0.03
	RE7 친환경자재	환경친화적자원사용	평가항목과 동일		0.02

○ 네 번째 ‘녹색교통’ 고속국도 부문에서는 ‘교통류관리’의 경우 2개의 세부평가 지표인 ‘다인승차량관리’와 ‘연속류제어’가 동일한 중요도를 가지는 것으로 나타났다. 또한, ‘지능형교통시스템’의 경우 3개의 세부평가지표 중 ‘교통정보시스템’이 약 17% 정도의 차이로 ‘자동요금징수시스템’(0.333)보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났다.

1. 평가 분야	2. 평가항목	3. 평가지표	가중치 (LOCAL)	우선 순위	가중치 (GLOBAL)
녹색교통 (0.17)	TS1 교통류관리*	다인승차량관리	0.500	1	0.02
		연속류제어	0.500	1	0.02
	TS2 접근성관리	도로접근성관리 (교통상충완화포함)	평가항목과 동일		0.02
	TS3 지능형교통시스템*	교통정보시스템	0.500	1	0.03
		자동요금징수시스템	0.333	2	0.02
		돌발상황관리시스템	0.167	3	0.01
	TS4 그린카기반시설	그린카기반시설	평가항목과 동일		0.02
	TS5 도로재난대응 기술	도로재난대응 기술	평가항목과 동일		0.02
	TS6 교통안전진단	교통안전진단	평가항목과 동일		0.01

○ 마지막으로 ‘녹색교통’ 일반국도 부문에서는 ‘교통류관리’의 경우 3개의 세부평가지표 중 ‘단속류제어’가 약 25% 정도의 차이로 ‘회전교차로’, ‘2+1차로’ (0.250) 보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났고, ‘지능형교통시스템’의 경우 2개의 세부평가지표 중 ‘교통정보시스템’이 약 33% 정도의 차이로 ‘돌발상황관리시스템’(0.333)보다는 중요하게 판단되고 있는 것으로 나타났다. ‘보행/자전거 도로 운영기술’의 경우 2개의 세부평가지표인 ‘자전거도로’와 ‘보행자도로’가 동일한 중요도를 가지는 것으로 나타났으며, ‘대중교통’에서는 ‘BRT노선구축’, ‘BIS/BMS’가 동일한 중요도를 가지는 것으로 나타났다.

1. 평가 분야	2. 평가항목	3. 평가지표	가중치 (LOCAL)	우선 순위	가중치 (GLOBAL)
녹색교통 (0.17)	TS1 교통류관리*	회전교차로	0.250	2	0.01
		단속류제어	0.500	1	0.02
		2+1차로	0.250	2	0.01
	TS2 접근성관리	도로접근성관리 (교통상충완화포함)	평가항목과 동일		0.02
	TS3 지능형교통시스템*	교통정보시스템	0.500	1	0.02
		돌발상황관리시스템	0.167	3	0.01
	TS4 그린카기반시설	그린카기반시설	평가항목과 동일		0.01
	TS5 도로재난대응 기술	도로재난대응 기술	평가항목과 동일		0.02
	TS6 교통안전진단	교통안전진단	평가항목과 동일		0.01
	TS7 대중교통*	BRT노선구축	0.500	1	0.01
		BIS/BMS	0.500	1	0.01
	TS8 보행자/자전거도로*	보행자도로	0.500	1	0.01
		자전거도로	0.500	1	0.01

■ 도로건설단계 평가지표별 배점

○ 앞선 중요도 설문조사 분석결과를 통해 총 100점 만점을 기준으로 환산하여 각 항목별 배점을 아래와 같이 고속국도와 일반국도로 구분하여 산정하였다.

○ 또한, 고속국도와 일반국도를 대상으로 2차례 걸친 시범사업 수행을 통해 현장 적용성 및 적절성 검토를 수행하고 이에 대한 결과를 Feedback하여 평가항목 및 지표, 인증점수를 조정하였다.

◎ 평가지표 총괄

<표 2-43> 한국형 녹색도로인증제 인증지표(고속국도: 100점 만점)

평가분야	코드	평가항목	평가지표	인증 점수
녹색도로설계/포장기술 (Green Road Design-Pavement Technologies) (총 27점)	GT1	친환경도로설계	환경영향평가	1
			친환경 도로노선선정	1
	GT2	탄소저감형도로설계	그린네트워크 도로설계기술	3
			탄소저감형 시공관리기술	1
	GT3	도로경관디자인	도로경관디자인기술	2
	GT4	저소음포장	저소음포장기술	3
	GT5	장수명포장	장수명포장기술	3
	GT6	투수성포장	투수성/배수성포장기술	3
	GT7	열섬완화차열성포장	차열성/보수성포장기술	3
	GT8	저탄소아스팔트포장	중온(상온)아스팔트기술	3
	GT9	저탄소 흙포장	탄소저감형 흙포장기술	2
	GT10	포장LCCA분석	포장구간에대한LCCA분석	1

	GT11	생애주기환경비용분석	생애주기환경비용분석	1
녹색환경 (Green Environment) (총 35점)	GE1	교통오염 절감 (도로 탄소포집/흡수)	도로 탄소포집/흡수기술	3
			교통오염 절감기술	2
	GE2	우수관리 (도로유출수관리)	우수흐름관리	3
			우수수질	2
			우수유출수 비용분석	1
	GE3	소음완화	소음완화계획수립	2
	GE4	폐기물관리	폐기물관리계획수립	2
	GE5	오염방지관리	오염방지계획수립	2
	GE6	저영향개발	저영향개발 수립	2
	GE7	현장녹지화	현장식생	2
	GE8	서식지복원	서식지보원	2
	GE9	생태학적 연관성	동물보호	2
	GE10	빛공해저감	빛공해현상	2
	GE11	문화복지	문화복지	2
	GE12	환경교육	환경교육	2
	GE13	장비온실가스 배출저감	장비온실가스 배출저감	2
	GE14	수자원계획수립	수자원추적	2
녹색자원/ 에너지 (Green Resources & Energy) (총 21점)	RE1	자원순환기술	아스콘-콘크리트 재활용 기술	2
			현장재활용계획	1
			활성 산업부산물 도로 기술	2
	RE2	신재생에너지 생산	신재생에너지 생산	3
	RE3	에너지효율	에너지효율기술	2
			자연채광 활용기술	2
	RE4	토공사균형	토공사균형	1
	RE5	순환골재	순환골재	3
	RE6	지역자재	지역자재	3
	RE7	친환경자재	환경친화적자원사용	2
녹색교통 (Green traffic System) (총 17점)	TS1	교통류관리	다인승차량관리	2
			연속류제어	2
	TS2	접근성관리	도로접근성관리 (교통상충완화포함)	2
	TS3	지능형교통시스템	교통정보시스템	3
			자동요금징수시스템	2
			돌발상황관리시스템	1
	TS4	그린카 기반시설	그린카 기반시설	2
	TS5	도로재난대응기술	도로재난대응기술	2
	TS6	교통안전진단	교통안전진단	1

<표 2-44> 한국형 녹색도로인증제 인증지표(일반국도: 100점 만점)

평가분야	코드	평가항목	평가지표	인증점수
녹색도로설계/포장기술 (Green Road Design-Pavement Technologies) (총 27점)	GT1	친환경도로설계	환경영향평가	1
			친환경 도로노선선정	1
	GT2	탄소저감형도로설계	그린네트워크 도로설계기술	3
			탄소저감형 시공관리기술	1
	GT3	도로경관디자인	도로경관디자인기술	2
	GT4	저소음포장	저소음포장기술	3
	GT5	장수명포장	장수명포장기술	3
	GT6	투수성포장	투수성/배수성포장기술	3
	GT7	열섬완화차열성포장	차열성/보수성포장기술	3
	GT8	저탄소아스팔트포장	중온(상온)아스팔트기술	3
	GT9	저탄소 흙포장	탄소저감형 흙포장기술	2
	GT10	포장LCCA분석	포장구간에대한LCCA분석	1
	GT11	생애주기환경비용분석	생애주기환경비용분석	1
녹색환경 (Green Environment) (총 35점)	GE1	교통오염 절감 (도로 탄소포집/흡수)	도로 탄소포집/흡수기술	3
			교통오염 절감기술	2
	GE2	우수관리(도로유출수관리)	우수흐름관리	3
			우수수질	2
			우수유출수 비용분석	1
	GE3	소음완화	소음완화계획수립	2
	GE4	폐기물관리	폐기물관리계획수립	2
	GE5	오염방지관리	오염방지계획수립	2
	GE6	저영향개발	저영향개발 수립	2
	GE7	현장녹지화	현장식생	2
	GE8	서식지복원	서식지보원	2
	GE9	생태학적 연관성	동물보호	2
	GE10	빛공해저감	빛공해현상	2
	GE11	문화복지	문화복지	2
	GE12	환경교육	환경교육	2
	GE13	장비온실가스 배출저감	장비온실가스 배출저감	2
	GE14	수자원계획수립	수자원추적	2
녹색자원/에너지 (Green Resources & Energy) (총 21점)	RE1	자원순환기술	아스콘-콘크리트 재활용 기술	2
			현장재활용계획	1
			활성 산업부산물 도로 기술	2
	RE2	신재생에너지 생산	신재생에너지 생산	3
	RE3	에너지효율	에너지효율기술	2
			자연채광 활용기술	2
	RE4	토공사균형	토공사균형	1
	RE5	순환골재	순환골재	3
	RE6	지역자재	지역자재	3
	RE7	친환경자재	환경친화적자원사용	2
녹색교통 (Green traffic System) (총 17점)	TS1	교통류관리	회전교차로	1
			단속류제어	2
			2+1차로	1
	TS2	접근성관리	접근성관리	2
	TS3	지능형교통시스템	교통정보시스템	2
			돌발상황관리시스템	1
	TS4	그린카 기반시설	그린카 기반시설	1
	TS5	도로재난대응기술	도로재난대응기술	2
	TS6	교통안전진단	교통안전진단	1
	TS7	대중교통	BRT노선구축	1
			BIS/BMS	1
	TS8	보행자/자전거도로	보행자도로	1
			자전거도로	1

◎ 세부평가지표 및 기준

○ 3차년도에는 2차년도에서 개발된 녹색도로인증제 세부평가항목을 바탕으로 최종 도출한 한국형 녹색도로인증제 평가지표별로 국내 기술수준과 개발방향에 대한 기초 문헌조사와 본 연구단별 도로/환경/교통분야 전문가와 논의 및 고속국도와 일반국도를 대상으로 2차례에 걸친 시험사업 수행하고 이에 대한 결과를 바탕으로 세부 평가기준을 마련하였다.

■ 녹색도로설계/포장기술(고속국도 & 일반국도)

코드	평가항목	평가지표	배점	평가기준
GT1	친환경 도로설계	환경영향평가	1	<1점> 환경영향평가 시행 <0점> 환경영향평가 미시행
		친환경 도로노선선정	1	<1점> 환경성, 지역성, 경관성, 안전성, 경제성 위주로 개선하여 자연 훼손을 최소화하는 등 환경친화적인 노선 방안을 제시 <0점> 환경친화적인 노선 방안을 미제시
GT2	탄소저감형 도로설계	그린네트워크 도로설계기술	3	<3점> 다음 각 항목 당 점수 부여 ① 주행속도 일관성 확보를 위한 평면 및 종단선형, 선형조합 등 탄소저감형 도로선형설계기법 적용시 : 1점 ② 도로 횡단면 구성요소 중 탄소흡수원 확보가 가능한 기법 적용시 : 1점 ③ 도로 횡단면(중앙분리대, 환경시설대, 비탈면 등)에서 도로수목 설계기법 적용을 통한 탄소흡수원 확보시 : 1점 <0점> 상기 항목에 대한 설계 미적용
		탄소저감형 시공관리기술	1	시공 및 공정관리 계획시 체계적인 공법 개선 및 장비 조합을 통해 공정 최적화 검토 여부 <1점> 다음 아래의 검토 내용중 2개 이상 검토 내용 포함 - Activity별 단위 공종 단계부터 최적 알고리즘 구축을 통해 전체 공정의 시공 효율 개선 - 탄소발생 저감 및 공사비/공사 기간 등의 최적화로 환경영향 최소화 - 탄소저감과 연계한 공정계획(안) 비교 후, 공정 이행에 따른 최적안 적용 - 장비규모 및 투입대수를 고려한 작업조 투입 - 최적의 장비조합을 통한 시공효율 개선 <0점> 검토 미시행
GT3	도로경관 디자인	도로경관 디자인기술	2	<2점> 다음 각 항목 당 점수 부여 ① 관련 법령에 의해 친환경/경관설계 수행된 내용 포함시 : 1점 ② 관련 법령에 의해 시설물 디자인 수행된 내용 포함시 : 1점 <0점> 관련 법령에 의해 친환경/경관설계, 시설물 디자인 수행된 내용 미포함
GT4	저소음포장	저소음포장기술	3	<3점> 고속국도 포장공사에 있어서 저소음 포장공법으로 시공하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 저소음 포장공법 미적용
GT5	장수명포장	장수명포장기술	3	<3점> 전체 포장 표면적의 50%이상 시공하는 것으로 설계/계획되었을 때 <2점> 전체 포장 표면적의 30%이상-50%미만 시공하는 것으로 설계/계획되었을 때 <1점> 전체 포장 표면적의 30%미만 시공하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 장수명 포장 미적용
GT6	투수성포장	투수성/배수성 포장기술	3	<3점> 고속국도 포장공사에 있어서 투수성 포장재로 시공하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 투수성 포장 미적용

GT7	열섬완화 차열성포장	차열성/보수성 포장기술	3	<3점> 고속국도 포장공사에 있어서 차열성 포장재로 시공하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 차열성 포장재 미적용
GT8	저탄소 아스팔트포장	중온(상온)아스팔트기술	3	<3점> 고속국도 포장공사에 있어서 중온 아스팔트로 시공하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 중온 아스팔트 포장 미적용
GT9	저탄소 흙포장	탄소저감형 흙포장기술	2	<2점> 저탄소 흙포장공법으로 시공하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 저탄소 흙포장공법 미적용
GT10	포장LCCA 분석	포장구간에 대한 LCCA분석	1	<1점> 도로포장부분 생애주기분석(LCCA) 수행 <0점> 도로포장부분 생애주기분석 (LCCA) 미수행
GT11	생애주기환경 비용분석	생애주기환경비용 분석	1	<1점> 도로건설부분 생애주기환경분석(LCA) 수행 <0점> 도로건설부분 생애주기환경분석(LCA) 미수행
계			27	

■ 녹색환경(고속국도 & 일반국도)

코드	평가항목	평가지표	배점	평가기준
GE1	교통오염 절감 (도로탄소포집/흡수)	도로 탄소포집/흡수기술	3	<3점> 공용 중 도로 내 대기 중 배출 CO2 저감대책 수립 <0점> 공용 중 도로 내 대기 중 배출 CO2 저감대책 미수립
		교통오염 절감기술	2	<2점> 교통오염 저감대책 수립 <0점> 교통오염 저감대책 미수립
GE2	우수관리 (도로유출수관리)	우수흐름관리	3	<3점> 관련 법령에 의한 우수흐름에 따른 사전재해영향성 검토 실시 <0점> 관련 법령에 의한 우수흐름에 따른 사전재해영향성 검토 미실시
		우수수질	2	<2점> 관련 법에 의한 우수수질을 위한 계획 수립 <0점> 관련 법에 의한 우수수질을 위한 계획 미수립
		우수유출수 비용분석	1	<1점> 우수 유용성 및 처리 등을 위한 시설물에 대한 LCC 분석 수행 <0점> 우수 유용성 및 처리 등을 위한 시설물에 대한 LCC 분석 미수행
GE3	소음완화	소음완화 계획수립	2	<2점> 소음진동 관리법령에 의거하여 건설소음 저감계획을 수립 <0점> 소음진동 관리법령에 의거하여 건설소음 저감계획을 미수립
GE4	폐기물관리	폐기물관리 계획수립	2	<2점> 프로젝트 계획 수립, 적용, 규정된 시공 및 철거 폐기물 유지 관리에 대한 계획 수립 <0점> 프로젝트 계획 수립, 적용, 규정된 시공 및 철거 폐기물 유지 관리에 대한 계획 미수립
GE5	오염방지관리	오염방지 계획수립	2	<2점> 환경영향평가법 등 관련 법령에 의한 오염방지계획 수립 <0점> 환경영향평가법 등 관련 법령에 의한 오염방지계획 미수립
GE6	저영향개발	저영향개발 수립	2	<2점> 계획 수립 <0점> 계획 미수립
GE7	현장녹지화	현장식생	2	▪ 도로건설공사 수행에 있어서 다음과 같이 식재에 대한 요구사

				항을 충족시 ① 급속히 퍼지지 않고 침략적이지 않은 식물종 식재(생태계 변화에 영향을 미치지 않은 식물종 식재) ② 녹지 조성기간이 지난 후 물을 사용하지 않거나 물사용이 적은 식물종 식재 ③ 토종 지역 식물종 우선적으로 식재 <2점> 현장녹지화를 위한 식재 등 계획 요구사항 2개이상 충족 <1점> 현장녹지화를 위한 식재 등 계획 요구사항 1개 충족 <0점> 현장녹지화를 위한 식재 등 계획 미수립
GE8	서식지복원	서식지보원	2	<2점> 다음 각 항목중 하나에 해당하는 경우 ① 동식물 및 경관 등 환경 훼손 및 파괴되지 않는 프로젝트의 경우 ② 위의 ①항 이외의 프로젝트에서 환경 훼손 및 파괴를 최소화할 수 있는 계획 수립 <0점> 동식물 및 경관 등 환경 훼손 및 파괴가 예상되는 프로젝트의 경우, 이를 최소화할 수 있는 계획 미수립
GE9	생태학적 연관성	동물보호	2	<2점> 신규 시설물 설치 또는 기존 시설물에 대해 재평가 후 개량 ▫ 신규로 건설되는 야생동물 전용 횡단 구조물 및 보호용 울타리 설치 ▫ 기존 시설물에 대해 사전환경영향조사를 통해 구조적 결함, 불충분한 사이즈, 노후화 및 불충분한 배수로 및 야생 동물 울타리를 향상 또는 개량 <1점> 기존 시설물의 단순 개량 ▫ 구조적 결함, 불충분한 사이즈, 노후화 및 불충분한 기존 시설물에 대해 배수로 및 야생 동물 울타리를 향상 또는 개량 <0점> 서식지간 단절 저감방안 미실시
GE10	빛공해저감	빛공해현상	2	<2점> 관련 법령에 의해 조명시설 설치 계획 수립 <0점> 관련 법령에 의해 조명시설 설치 계획 미수립
GE11	문화복지	문화복지	2	<2점> 다음 각 항목 당 점수를 부여하되, 총점 2점이 넘지 않도록 함 ① 도로이용자를 위해 도로표지판이나 부속시설물(휴게소 등)에 인근 지역의 국가/지역문화재 또는 시설물에 대한 정보 제공 : 1점 ② 도로시설물이나 부속시설물에 해당 지역의 고고학적/역사적/문화적/자연적/오락적/경관적인 특성을 반영하여 설계 : 1점 ③ 도로시설물이나 부속시설물에 해당 지역의 고고학적/역사적/문화적/자연적/오락적/경관적인 특성을 반영하여 시설물이나 장치물 제공(예, 기념관, Artwork 사진 설치, 벽화 등) : 2점 <0점> 문화복지에 관한 시설계획 미수행
GE12	환경교육	환경교육	2	<2점> 환경교육 계획 수립 <0점> 환경교육 계획 미수립
GE13	장비온실가스 배출저감	장비온실가스 배출저감	2	<2점> 건설장비 온실가스 배출저감 계획 수립 <0점> 건설장비 온실가스 배출저감 계획 미수립
GE14	수자원계획 수립	수자원추적	2	<2점> 물사용 및 처리계획 수립 <0점> 물사용 및 처리계획 미수립
계			35	

■ 녹색자원&에너지(고속국도 & 일반국도)

코드	평가항목	평가지표	배점	평가기준
RE1	자원순환기술	아스콘-콘크리트 재활용 기술	2	<2점> 아스콘-콘크리트 재활용 적용 <0점> 아스콘-콘크리트 재활용 미적용
		현장재활용계획	1	<1점> 건설폐기물 재활용 계획 수립 <0점> 건설폐기물 재활용 계획 미수립
		활성 산업부산물 도로 기술	2	<2점> 페타이어, 플라이애시, 고로슬래그, 회수더스트의 산업부산물을 도로포장 공사에 재활용 적용 <0점> 페타이어, 플라이애시, 고로슬래그, 회수더스트의 산업부산물을 도로포장 공사에 재활용 미적용
RE2	신재생에너지 생산	신재생에너지 생산	3	<3점> 신재생에너지 사용 계획 수립 <0점> 신재생에너지 사용 계획 미수립
RE3	에너지효율	에너지효율기술	2	<2점> 조명 등 시설에 있어 에너지절약형 시스템 구축 계획 제시 <0점> 조명 등 시설에 있어 에너지절약형 시스템 구축 계획 미제시
		자연채광 활용기술	2	<2점> 터널구간 자연채광시스템 적용 <0점> 터널구간 자연채광시스템 미적용
RE4	토공사균형	토공사균형	1	<1점> 토양의 이동 최소화 방안 수립 <0점> 토양의 이동 최소화 방안 미수립
RE5	순환골재	순환골재	3	<3점> 순환골재 및 순환골재재활용품 30% 사용 <2점> 순환골재 및 순환골재재활용품 20% 이상 30% 미만 사용 <1점> 순환골재 및 순환골재재활용품 20% 미만 사용 또는 사용량 구체적 미명시 <0점> 순환골재 및 순환골재재활용품 미사용
RE6	지역자재	지역자재	3	<3점> 3개 이상의 주요 자재에 대한 지역자재 활용도 85% 이상 <2점> 3개 이상의 주요 자재에 대한 지역자재 활용도 60%-85% 구간 <1점> 다음 각 항 중 어느 하나에 해당할 경우, ① 3개 이상의 주요 자재를 활용하고 있으나 구체적 사용율 미제시 ② 3개 이상의 주요 자재에 대한 지역자재 활용도 60% 미만 ③ 3개 미만의 지역자재 활용계획서 제출 <0점> 지역자재 활용계획서 미제출
RE7	친환경자재	환경친화적자원 사용	2	<2점> 도로 건설에 친환경자재 적용, 다음 각 항목 당 점수 부여 ① 친환경 자원 활용 계획 있을시 : 1점 ② 친환경인증 건설자재 활용 계획 있을시 : 1점 <0점> 도로 건설에 친환경자재 미적용
계			21	

■ 녹색교통(고속국도)

코드	평가항목	평가지표 (고속국도)	배점	평가기준
TS1	교통류관리	다인승차량관리	2	고속국도상에 다음 다인승차로를 구축 및 운영할 경우 점수 부여 - 다인승차량(HOV) 전용차로 구축 및 운영 - 간선급행버스(BRT) 차로 구축 및 운영 <2점> 다인승차량(HOV), 간선급행버스(BRT) 전용차로 2개 모두 전용차로를 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <1점> 다인승차량(HOV), 간선급행버스(BRT) 전용차로 중 1개의 전용차로를 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 다인승차로 미적용
		연속류제어	2	고속국도 상에 다음 연속류제어시스템을 구축 및 운영할 경우 점수 부여 - 가변제한속도 구축 및 운영 - 램프미터링시스템 구축 및 운영 - 가변차로제어시스템 구축 및 운영 <2점> 가변제한속도, 램프미터링시스템, 가변차로제어시스템 중 2개 이상의 연속류제어시스템 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <1점> 가변제한속도, 램프미터링시스템, 가변차로제어시스템 중 1개 이상의 연속류제어시스템 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 연속류제어시스템 미적용
TS2	접근성관리	도로접근성관리 (교통상충 완화포함)	2	고속국도상에서 IC 유출입교통류와 통과교통류를 분리하도록 운영할 경우 점수 부여 <2점> 유출입교통류와 통과교통류를 분리하는 시스템을 설계/계획되었을 때 <0점> 접근관리시스템 미적용
TS3	지능형 교통시스템	교통정보시스템	3	고속국도 상에 다음과 같은 교통정보시스템을 구축 및 운영할 경우 점수 부여 - 차량검지시스템 - 가변전광표지 (Variable Message Sign) - 인터넷 등을 통한 기본 교통정보 제공 <3점> 차량검지시스템, 가변전광표지, 인터넷을 통한 교통정보 제공 모두 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <2점> 차량검지시스템, 가변전광표지, 인터넷을 통한 교통정보 제공 중 2개의 교통정보시스템을 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <1점> 차량검지시스템, 가변전광표지, 인터넷을 통한 교통정보 제공 중 1개의 교통정보시스템을 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 교통정보시스템 미적용
		자동요금징수 시스템	2	고속국도 상에 자동요금징수시스템을 구축 및 운영할 경우 점수 부여 <2점> 자동요금징수시스템을 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을때 <0점> 자동요금징수시스템 미적용
		돌발상황 관리시스템	1	고속국도 상에 돌발상황관리시스템을 구축 및 운영할 경우 점수 부여

				<1점> 돌발상황관리시스템을 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 돌발상황관리시스템 미적용
TS4	그린카 기반시설	그린카기반시설	2	고속국도 휴게소에 전기차 등 그린카 충전소를 설치할 경우 점수 부여 <2점> 고속국도 휴게소에 전기차 등 그린카 충전소를 설치하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 그린카 미적용
TS5	도로재난 대응기술	도로재난대응기술	2	<2점> 다음 각 항목 당 점수 부여 ① 기본교통정보제공 시스템 있을시 : 1점 ② 주의구간 안전운행지원 시스템(노면 결빙, 파손, 안개구간 등) 있을시 : 1점 ③ 재난방재 시설(태풍, 화재 등) 있을시 : 1점 <0점> 상기 항목에 대한 시설 미설치
TS6	교통 안전진단	교통안전진단	1	<1점> 관련법에 의해 교통안전진단 실시한 내용이 수록된 자료 제출 <0점> 관련법에 의해 교통안전진단 실시한 내용이 수록된 자료 미제출
계			17	

■ 녹색교통(일반국도)

코드	평가항목	평가지표(국도)	배점	평가기준
TS1	교통류관리	회전교차로	1	일반국도상에 회전교차로를 구축 및 운영할 경우 점수 부여 - 회전교차로는 교통류가 신호등 없이 교차로 중앙의 원형교통섬을 중심으로 회전하여 교차부를 통과하도록 하는 평면교차로를 말함 <1점> 회전교차로 구축 및 운영을 설계/계획하였을 때 <0점> 회전교차로 구축 및 운영 미적용
		단속류제어	2	첨단신호제어시스템, 신호연동화, 비신호교차로 등의 단속류제어시스템에 대한 설계/시공 계획을 수립한 경우 점수 부여 - 첨단신호제어시스템, 신호연동화, 비신호교차로 등의 단속류제어시스템을 구축 및 운영할 경우 점수 부여 <2점> 단속류제어시스템 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <1점> 교차로 교통운영최적화(신호연동, 비신호운영 등)를 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획 되었을 때 <0점> 단속류제어시스템 미적용
		2+1차로	1	일반국도 상에 2+1차로 도로를 구축 및 운영할 경우 점수 부여 - 2+1차로 도로는 방향별로 추월차로를 교대로 제공하여 양방향 2차로 도로의 추월수요에 의한 지체를 최소화할 수 있는 3차로 도로를 말함 <1점> 2+1차로 도로가 전체 구간 중 일부분 설계/계획되었을 때 <0점> 2+1차로 도로 미적용
TS2	접근성관리	도로접근성관리 (교통상충 완화포함)	2	일반국도상에서 주변 토지이용 유출입교통류, 통과교통류 및 회전교통류를 분리하도록 운영할 경우 점수 부여 <2점> 유출입교통류, 통과교통류 및 회전교통류를 분리하는 접근관리시스템을 설계/계획되었을 때 <0점> 접근관리시스템 미적용
TS3	지능형	교통정보시스템	2	일반국도상에 다음과 같은 교통정보시스템을 구축 및 운영할 경

	교통시스템			우 점수 부여 - 차량검지시스템 - 가변전광표지 (Variable Message Sign) - 인터넷 등을 통한 기본 교통정보 제공 <2점> 차량검지시스템, 가변전광표지, 인터넷을 통한 교통정보 제공 중 2개의 교통정보시스템을 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <1점> 차량검지시스템, 가변전광표지, 인터넷을 통한 교통정보 제공 중 1개의 교통정보시스템을 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 교통정보시스템 미적용
		돌발상황 관리시스템	1	<1점> 돌발상황관리시스템(대형사고발생 실시간 모니터링) 있을시 <0점> 돌발상황관리시스템(대형사고발생 실시간 모니터링) 미설치
TS4	그린카 기반시설	그린카기반시설	1	일반국도 상에 전기차 등 그린카 충전소를 설치 및 운영할 경우 점수 부여 <1점> 전기차 등 그린카 충전소를 설치 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 그린카 기반시설 미적용
TS5	도로재난 대응기술	도로재난대응기술	2	<2점> 다음 각 항목 당 점수 부여 ① 기본교통정보제공 시스템 있을시 : 1점 ② 주의구간 안전운행지원 시스템(노면 결빙, 파손, 안개구간 등) 있을시 : 1점 ③ 재난방재 시설(태풍, 화재 등) 있을시 : 1점 <0점> 상기 항목에 대한 시설 미설치
TS6	교통 안전진단	교통안전진단	1	<1점> 관련법에 의해 교통안전진단 실시한 내용이 수록된 자료 제출 <0점> 관련법에 의해 교통안전진단 실시한 내용이 수록된 자료 미제출
TS7	대중교통	BRT노선구축	1	일반국도상에 간선급행버스(BRT) 전용차로를 구축 및 운영할 경우 점수 부여 - 간선급행버스(BRT) 전용차로는 기존 또는 신규 도로상에 차선 등을 이용하여 다른 교통수단과 분리된 BRT 자동차만 이용할 수 있는 차로를 말함 <1점> 간선급행버스(BRT) 전용차로를 구축 및 운영하는 것으로 설계/계획되었을 때 <0점> 간섭급행버스(BRT) 전용차로 미적용
		BIS,/BMS	1	<1점> BIS/BMS 적용, 다음 각 항목 당 점수 부여 ① BIS시스템 있을시 : 0.5점 ② BMS시스템 있을시 : 0.5점 <0점> BIS/BMS 미적용
TS8	보행자/자전거도로	보행자도로	1	<1점> 보행자도로 폭원 2.0m 이상 적용 <0.5점> 보행자도로 폭원 1.1m 이상 2.0m 미만 적용 <0점> 보행자도로 미적용
		자전거도로	1	<1점> 자전거도로 폭원 1.5m 이상 적용 <0.5점> 자전거도로 폭원 1.1m 이상 1.5m 미만 적용 <0점> 자전거도로 미적용
계			17	

■ 한국형 녹색도로 인증지표(도로건설단계)

○ 도로건설단계에서는 녹색도로설계/포장기술, 녹색환경, 녹색자원&에너지, 녹색교통 등 총 4개 분야로 구분한다.

○ 평가항목은 고속국도 38개, 일반국도 40개로, 이에 대한 평가지표는 고속국도 49개 일반국도 53개로 하였다.

○ 인증점수는 평가지표에 따른 평가기준에 따라 부여되는 1~3점, 신기술 적용 및 자체가산점(제안형 점수) 10점을 포함하여, 총 110점 만점으로 한다.

- 녹색도로설계/포장기술 : 11개 평가항목, 13개 평가지표, 해당배점 27점
- 녹색환경 : 14개 평가항목, 17개 평가지표, 해당배점 35점
- 녹색자원&에너지 : 7개 평가항목, 10개 평가지표, 해당배점 21점
- 녹색교통(고속국도) : 6개 평가항목, 9개 평가지표, 해당배점 17점
- 녹색교통(일반국도) : 8개 평가항목, 13개 평가지표, 해당배점 17점

○ 도로건설단계의 평가항목별 배점 총합을 근거하여 해당 도로의 녹색도로등급을 부여하고, 녹색도로등급 단계는 크게 4단계로 구분한다.

○ 녹색도로등급은 친환경성 및 지속가능성 등이 높은 순으로 에버그린, 골드, 실버, 인증등급으로 구분하며, '에버그린'은 60%이상, '골드'는 50~59.9%, '실버'는 40~49.9%, '인증'은 30~39.9% 수준의 배점 획득률(%)을 만족하였을 경우 부여된다.

- 에버그린 : 60점 이상
- 골드등급 : 50~59.9점 구간
- 실버등급 : 40~49.9점 구간
- 인　　증 : 30~39.9점 구간



<그림 2-28> 한국형 녹색도로 인증등급

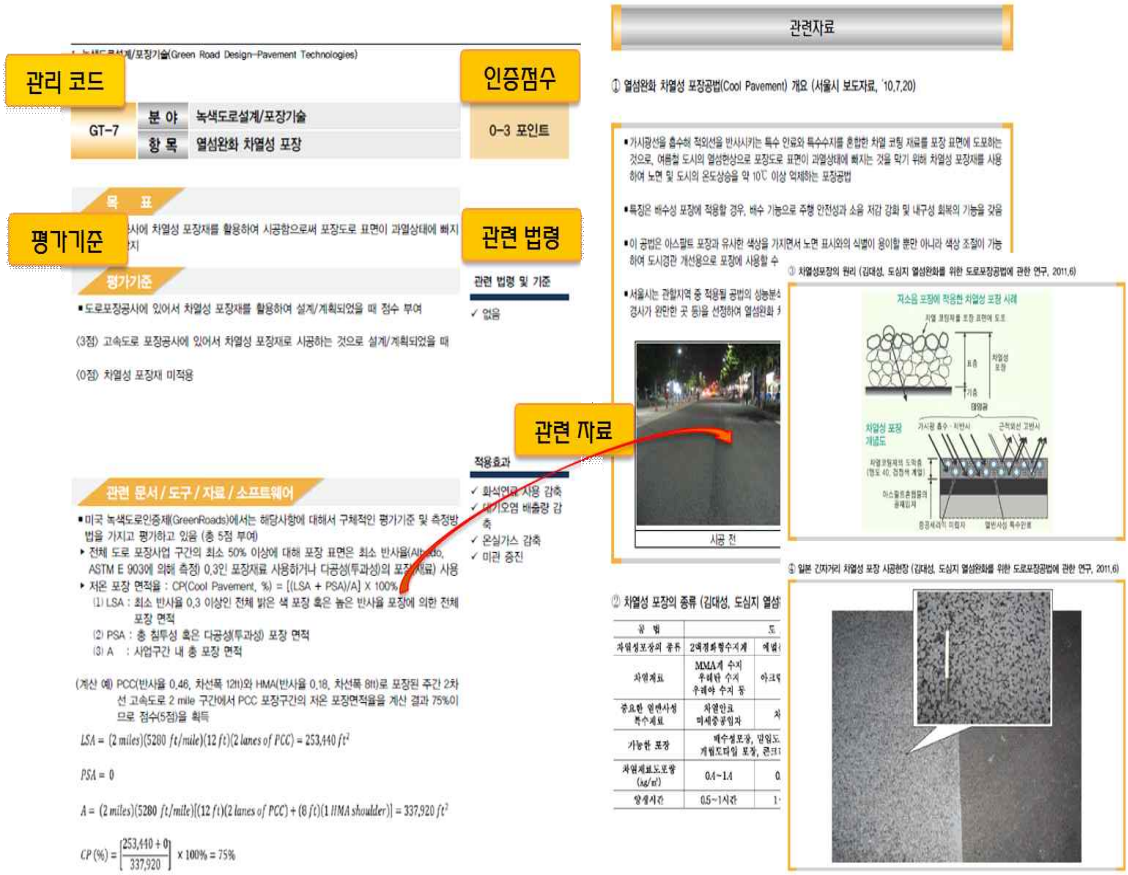
■ 한국형 녹색도로인증 매뉴얼 작성(도로건설단계)

○ 국내 실정에 적합하게 운영될 수 있는 녹색도로 인증제도를 위한 매뉴얼을 작성하기 위해 가장 우선 본 녹색도로 인증제도의 벤치마킹 대상인 미국 워싱턴주의 GreenRoads 매뉴얼의 국내 적용성 여부를 파악하고, 적용 타당한 항목은 일부 수정·보완하여 한국형 녹색도로인증제 매뉴얼 작성에 활용하고, 부적절한 항목은 제외하였다.

○ 또한, 한국형 녹색도로인증제 평가매뉴얼 작성을 위해서 본 연구진에서는 본 연구단에서 제시된 녹색도로기술 Tree 상의 세부기술에 대한 국내 설계/시공시 적용여부, 관련 법제도 현황 및 사례, 국내 기술수준에 대해서 연구단의 해당 연구진을 대상으로 기초조사와 자문을 실시하였다.

○ 조사된 결과와 고속국도, 일반국도를 대상으로 2차례 걸친 시범사업 수행을 통해 현장 적용성 및 적절성 검토를 수행하여 이에 대한 결과를 바탕으로 본 인증제도의 평가를 위한 평가지표별 세부 매뉴얼을 작성하였다.

○ 매뉴얼은 평가자가 평가업무 수행에 용이하도록 지표별 목표, 평가기준, 적용효과, 관련법령 및 기준, 관련문서&예시 등으로 구성되며, 모든 항목에서 정량적 기준을 제시하고자 하였다.



<그림 2-29> 도로건설단계 녹색도로인증 매뉴얼 구성

■ 녹색도로인증시스템 시범사업 실시(도로건설단계)

◎ 고속국도

○ 한국형 녹색도로인증제 시범사업은 한국도로공사의 고속국도 제14호선 함양~울산간 건설공사(제30공구)를 대상으로 하였으며, 각 평가지표별 평가수행을 위한 관련자료 요청 후 연구진과 전문가 POOL이 「평가매뉴얼」을 기준으로 수행하였다.

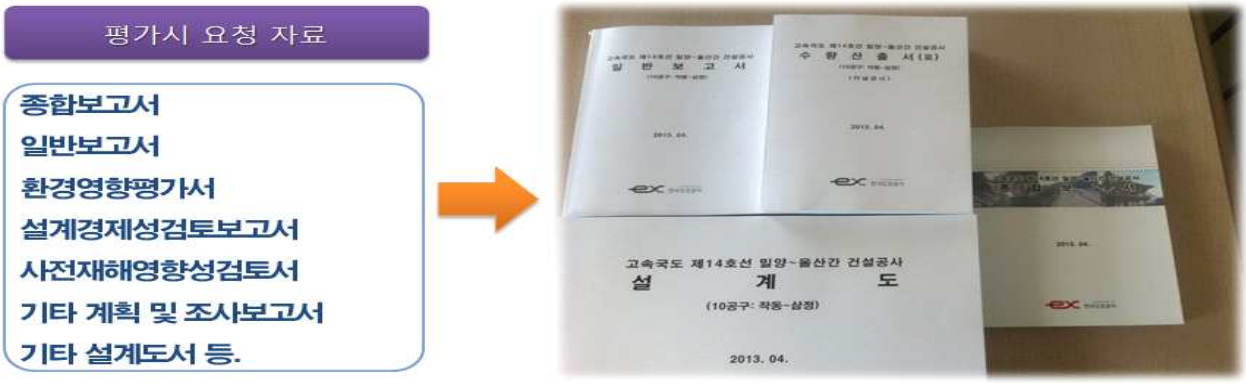
○ 본 사례연구를 위해서 설계 자료와 보고서 등 사업자가 제공한 자료와 한국도로공사와 국토교통부의 자료를 활용하였으며, 필요시에는 현장 방문과 관련 담당자 면담 등을 통해 추가 정보 입수를 수행하였다.

○ 사업개요

설계속도	• 본선 : 100km/h • 연결로 : 60km/h
교통량	• 개통년도 : 43,777대(2018년) • 목표년도 : 47,057대(2037년)
과 업 규 모	• 연 장 : L = 6.35km • 폭 원 : B = 23.4m (왕복4차로), 분리구간 = 11.7m (편도2차로) • 출 입 시 설 : 1개소(울주분기점) • 교 량 : 8 개소 / 1,866.0 m - 장 대 교 : 8 개소/ 1,866.0 m (작동3교,대복1, 2교, 율리교, 울주JCT R-A, B, C, D교) • 터 널 : 8개소 / 4,146m (상,하행분리) - 울산방향 : 4개소 / 2,037 m - 밀양방향 : 4개소 / 2,109 m

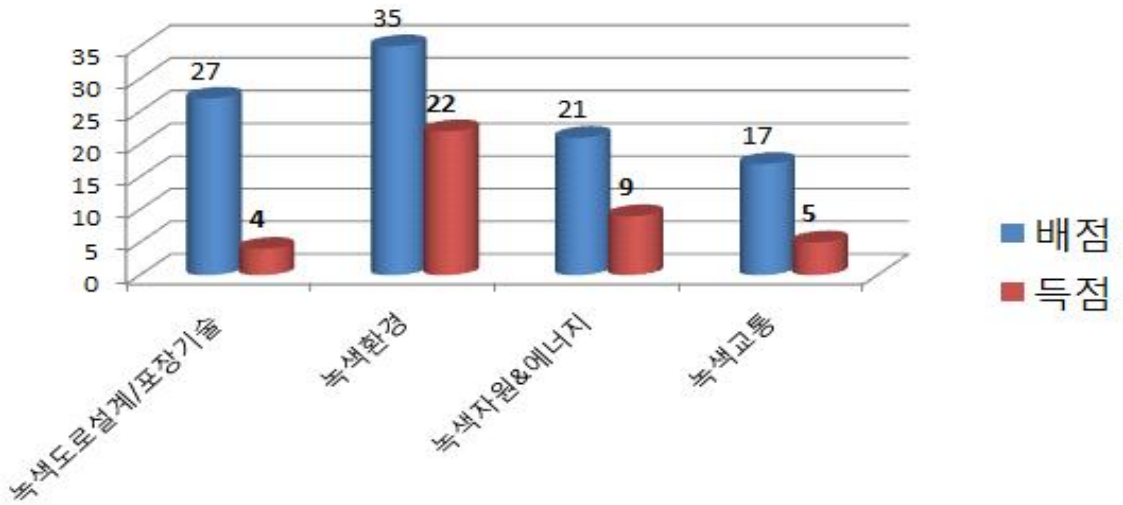


- 평가 근거자료 : 종합보고서, 일반보고서, 환경영향평가서, 사전재해영향성검토서, 설계경제성검토보고서, 설계도, 수량산출서 등



○ 평가결과 : 총 획득점수 40점으로 실버등급이 부여되었음

사 업 명 / 평가부문	고속국도 제14호선 함양~울산간 건설공사(제30공구)
녹색도로설계/포장기술 (Green Road Design/Pavement Technologies) (총 27점)	4
녹색환경(Green Environment) (총 35점)	22
녹색자원&에너지(Green Resources & Energy) (총 21점)	9
녹색교통(Green Traffic System) (총 17점)	5
총 획득점수	40
인증 여부	실버



○ 본 연구에서 개발한 녹색도로의 인증 점수 시스템에 따른 각 평가항목-지표별 평가 점수 및 결과는 아래와 같다.

※ 핵심지표 : 녹색도로설계/포장기술(Green Road Design/Pavement Technologies)

코드	평가항목	평가지표	득점/배점	평가결과/이유
GT1	친환경 도로설계	환경영향평가	1 / 1	환경영향평가법에 의거하여 환경영향평가를 시행하였으며, 환경피해 저감방안 제시로 1점을 획득 ☞ 근거자료 : 종합보고서 5-114p, 일반보고서 3-484, 환경영향평가서
		친환경 도로노선선정	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT2	탄소저감형 도로설계	그린네트워크 도로설계기술	0 / 3	현재 새로 개발중인 기술로 반영되지 않음(탄소저감형 도로설계지침(안))
		탄소저감형 시공관리기술	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT3	도로경관 디자인	도로경관 디자인기술	2 / 2	경관설계 가이드라인(고속국도 디자인 가이드라인)에 의해 경관분석 및 설계 시행, 교량, 터널(터널내부 포함), 방음벽등 시설물 디자인 시행 ☞ 근거자료 : 종합보고서 5-114p, 일반보고서 3-489 , 일반보고서 2-7
GT4	저소음포장	저소음포장기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT5	장수명포장	장수명포장기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT6	투수성포장	투수성/ 배수성 포장기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT7	열섬완화차열성포장	차열성/ 보수성 포장기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT8	저탄소아스팔트포장	중온(상온) 아스팔트기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT9	저탄소 흙포장	탄소저감형 흙포장기술	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT10	포장LCCA 분석	포장구간에 대한 LCCA분석	1 / 1	포장구간에 대한 LCCA 분석 수행으로 1점 획득 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-405
GT11	생애주기 환경비용분석	생애주기 환경비용분석	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
계			4 / 27	

※ 핵심지표 : 녹색환경(Green Environment)

코드	평가항목	평가지표	득점/배점	평가기준
GE1	교통오염 절감(도로 탄소포집/흡수)	도로 탄소포집/흡수기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		교통오염 절감기술	2 / 2	개통후 소음영향 최소화를 위한 방음벽 설치, 건설시 발생하는 대기·수질·소음·진동에 대한 저감대책을 수립 ☞ 근거자료 : 종합보고서 5-102, 5-114p, 일반보고서 3-469, 3-489
GE2	우수관리(도로유출수관리)	우수흐름관리	3 / 3	자연재해 대책법에 의거 사전재해영향성 검토 실시 ☞ 근거자료 : 사전재해영향성 검토 보고서
		우수수질	2 / 2	본 공사 수행후 운영시 비점오염 저감대책 수립으로 2점을 획득 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-490
		우수유출수 비용분석	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GE3	소음완화	소음완화계획수립	2 / 2	공사중 소음·진동 영향을 저감하기 위해 가설방음판넬을 설치하고, 교량공사시 저소음·진동 항타공법 적용하였으며, 터널공사시 사전발파예고제, 가설방음판넬, 방음문 등의 저감대책 실시 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-484
GE4	폐기물관리	폐기물관리 계획수립	2 / 2	건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률에 따라 폐기물 전환/처리 계획을 수립 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-484
GE5	오염방지관리	오염방지계획수립	2 / 2	환경영향평가법 등 관련 법령에 의해 건설활동에 따른 영향요인 및 오염저감 계획 수립 ☞ 근거자료 : 종합보고서 5-114p, 일반보고서 3-484
GE6	저영향개발	저영향개발 수립	1 / 2	공사시 생환환경 피해 저감을 위한 대책 수립, 운영시 비점오염저감시설 설치 ☞ 근거자료 : 종합보고서 5-119, 일반보고서 3-474
GE7	현장녹지화	현장식생	2 / 2	현장내 비옥토 활용 및 보존가치가 높은 참나무류를 훼손수목 이식수종으로 계획을 수립하였고, 자생수종을 활용하여 녹지조성을 계획함 세부 계획은 국토부 보고 승인 완료 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-35, 491, 협의내용반영결과 별첨1,2
GE8	서식지복원	서식지복원	0 / 2	산림훼손 최소화 계획을 수립하기 위해 노력하였으나 복원 및 보존된 서식지의 면적과 이를 위한 비용 분석이 미비함 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-484
GE9	생태학적 연관성	동물보호	2 / 2	야생동물 통로와 차량 도로 시설 경계 향상 및 차량과 야생동물 충돌 사고 감소를 대비한 신규 시설물 설치로 2점 획득 ☞ 근거자료 : 종합보고서 5-96
GE10	빛공해저감	빛공해현상	2 / 2	터널 안전시설의 일환인 터널내 시선유도(LED) 등에 대한 검토로 터널조명 설치 반영 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-472

GE11	문화복지	문화복지	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GE12	환경교육	환경교육	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GE13	장비온실가스 배출저감	장비온실가스 배출저감	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GE14	수자원계획 수립	수자원추적	2 / 2	건설중 사용한 물에 대한 처리계획 수립으로 2점을 획득 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-489
계			22/ 35	

※ 핵심지표 : 녹색자원&에너지(Green Resources & Energy)

코드	평가항목	평가지표	득점/ 배점	평가기준
RE1	자원순환기술	아스콘-콘크리트 재활용 기술	2 / 2	재생아스팔트콘크리트 설계 반영(915.58ton) ☞ 근거자료 : 수량산출서(I-2) 포장 및 부대공
		현장재활용계획	1 / 1	'건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률' 및 '폐기물관리법'에 명시된 건설폐기물의 재활용 등 계획 수립으로 1점 획득 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-489
		활성산업부산물 도로 기술	2 / 2	산업부산물인 스크리닝스 설계 반영 ☞ 근거자료 : 수량산출서 및 설계예산서
RE2	신재생 에너지 생산	신재생에너지 생산	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
RE3	에너지효율	에너지효율기술	2 / 2	터널내에 에너지 절약형 조명시설인 LED 조명 설치 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-472
		자연채광 활용기술	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
RE4	토공사균형	토공사균형	1 / 1	본 사업구간에 절토량과 성토량을 균형을 맞추었으며 암유용 계획 수립 ☞ 근거자료 : 종합보고서 5-114
RE5	순환골재	순환골재	1 / 3	보조기층용 순환골재 15% 설계반영 ☞ 근거자료 : 수량산출서(I-2) 포장 및 부대공
RE6	지역자재	지역자재	0 / 3	※ 시공계획분야 관련자료 미흡 본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
RE7	친환경자재	환경친화적 자원사용	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
계			9 / 21	

※ 핵심지표 : 녹색교통(Green Traffic System)

코드	평가항목	평가지표(고속국도)	득점/배점	평가기준
TS1	교통류관리	다인승차량관리	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		연속류제어	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
TS2	접근성관리	도로접근성관리(교통상충완화포함)	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
TS3	지능형 교통시스템	교통정보시스템	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		자동요금징수시스템	2 / 2	한국도로공사 고속도로는 전자요금징수시스템을 전구간 운용중이므로 2점을 획득, 현재 구체적인 설치계획 근거는 알수가 없음
		돌발상황관리시스템	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
TS4	그린카 기반시설	그린카 기반시설	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
TS5	도로재난 대응기술	도로재난대응기술	2 / 2	기본교통정보제공 시스템 및 위험도 분석을 통한 터널방재설비 계획으로 2점 획득 ☞ 근거자료 : 일반보고서 3-384, 3-446
TS6	교통안전진단	교통안전진단	1 / 1	교통안전진단이 포함된 교통영향분석 및 개선대책 수립 ☞ 근거자료 : 교통영향분석·개선대책 보고서
계			5 / 17	

◎ 일반국도

○ 일반국도에 대한 시범사업은 국도 36호선(보령～울진)중 청주시 상당구 율량동～청원군 북이면 옥수리 구간을 대상으로 하였으며, 각 평가지표별 평가수행을 위한 관련자료 요청 후 연구진과 전문가 POOL이 「평가매뉴얼」을 기준으로 수행하였다.

○ 본 사례연구를 위해서 설계 자료와 보고서 등 사업자가 제공한 자료를 활용하였으며, 필요시에는 현장 방문과 관련 담당자 면담 등을 통해 추가 정보를 입수하였다.

○ 대상사업명 : 국도 36호선(보령-울진)중 청주시 상당구 율량동～청원군 북이면 옥수리 구간('14.1월 개통)

○ 사업개요

구 분		청주내덕～청원북일	비고
설 계 노 선		국도 36호선	
위 치	시 점	충청북도 청주시 상당구 율량동	
	종 점	충청북도 청원군 북이면 옥수리	
도 로 연 장		13.4 Km	
도 로 폭		20.0 m (4차로)	

◦ 설계기준

1) 도로의 구분 : 지방부 주간선도로, (국도Ⅰ)
기존도로(4차로)와 분리하여 별도의 노선으로 도로기능을 차별화 하므로서, 지방부 주간선도로로서의 기능을 최대한 확보하기 위하여 자동차 전용도로로 계획

2) 도로폭 : 20.0m (4차로)

3) 설계하중 : DB - 24, DL - 24 또는 전차하중으로 하되 불리한 응력을 주는 하중

○ 공사개요

1) 토 공
(1) 흙 깍 기 : 1,243,445m3
토 사 : 689,579m3 리핑암 : 384,879m3 발파암 : 168,987m3
(2) 흙 쌓 기 : 1,901,755m3
노 상 : 153,484m3 노 체 : 1,683,793m3 녹지대 : 64,478m3
(3) 순 쌓 기 : 494,112m3

2) 배 수 공
(1) 암거 : 1,791m/55개소
(2) 배수관 : 3,167m/156개소, 용수로 개거 : 5,261 m
(3) L형측구 : 13,349m , 성토부 L형측구 : 22,625m
(4) V형측구 : 20,225m , U형 측구 : 11,432m, 산마루 측구 : 4,851m

3) 구 조 물 공
(1) 교 량 : 장대교량(L≥100m) 766m/4개소, 소교량(L≤100m) 688m/19개소
지하차도 155.0m/1개소
(2) 터 널 공 : 1037m / 2개소 (분리터널)

4) 포 장 공
(1) 표층 아스콘 : 3,092a (t=5cm), 256a (t=8cm), 9a (t=10cm)

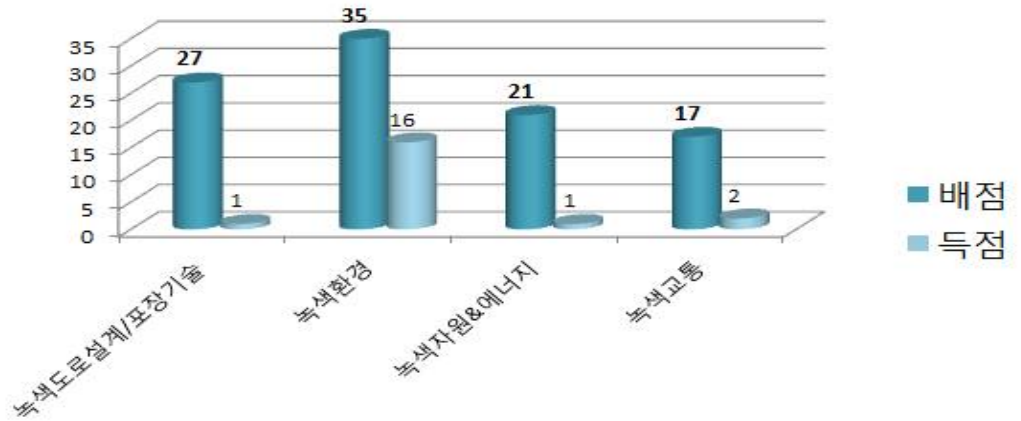
(2) 중간층아스콘 : 2,728a (t=6cm)
(3) 기층 아스콘 : 221a (t=10cm), 2,681a (t=14cm), 35a (t=15cm), 10a (t=16cm)
(4) 보 조 기 층 : 1,028m3 (t=10cm), 78,824m3 (t=20cm), 910m3 (t=25cm), 283m3 (t=30cm)
(5) 동상방지층 : 189m3 (t=20cm), 4,648m3 (t=25cm), 3,653m3 (t=30cm), 152,343m3 (t=45cm)
(6) 콘 크 리 트 : 1,469m3 (t=15cm), 7,421m3 (t=20cm), 20m3 (t=30cm),
2,335m3 (터널 콘크리트), 15m3 (린 콘크리트)

5) 부대공 / 안전시설공
(1) 가드 레일 : 23,498m
(2) 방 음 벽 : 776m / 6개소
(3) 교통표지판 : 251개, 안내표지판 : 111개
(4) 낙석방지책 : 2,638m

○ 평가 근거자료 : 종합보고서, 종합보고서 부록, 설계도, 수량산출서 등

○ 평가결과 : 총 획득점수 20점으로 녹색도로등급을 부여받지 못하였음

사 업 명 / 평가부문	국도 36호선(보령-울진) 중 청주시 상당구 율량동~청원군 북이면 옥수리 구간
녹색도로설계/포장기술 (Green Road Design/Pavement Technologies) (총 27점)	1
녹색환경(Green Environment) (총 35점)	16
녹색자원&에너지(Green Resources & Energy) (총 21점)	1
녹색교통(Green Traffic System) (총 17점)	2
총 획득점수	20
인증 여부	미인증



○ 본 연구에서 개발한 녹색도로의 인증 점수 시스템에 따른 각 평가항목-지표별 평가점수 및 결과는 아래와 같다.

※ 핵심지표 : 녹색도로설계/포장기술(Green Road Design/Pavement Technologies)

코드	평가항목	평가지표	득점/ 배점	평가결과/이유
GT1	친환경 도로설계	환경영향평가	1 / 1	환경영향평가법에 의거하여 환경영향평가를 시행하였으며, 환경피해 저감방안 제시로 1점을 획득 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-505p
		친환경 도로노선선정	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT2	탄소저감형 도로설계	그린네트워크 도로설계기술	0 / 3	현재 새로 개발중인 기술로 반영되지 않음(탄소저감형 도로설계지침(안))
		탄소저감형 시공관리기술	0 / 1	※ 시공계획분야 관련자료 미흡 본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT3	도로경관 디자인	도로경관 디자인기술	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT4	저소음포장	저소음포장기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT5	장수명포장	장수명포장기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT6	투수성포장	투수성/ 배수성 포장기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT7	열섬완화차열 성포장	차열성/ 보수성 포장기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT8	저탄소아스팔 트포장	중온(상온) 아스팔트기술	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT9	저탄소 흙포장	탄소저감형 흙포장기술	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT10	포장LCCA 분석	포장구간에 대한 LCCA분석	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GT11	생애주기 환경비용분석	생애주기 환경비용분석	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
계			1 / 27	

※ 핵심지표 : 녹색환경(Green Environment)

코드	평가항목	평가지표	득점/배점	평가기준
GE1	교통오염 절감(도로 탄소포집/흡수)	도로 탄소포집/흡수기술	0 / 3	현재 새로 개발 중인 기술로 반영되지 않음
		교통오염 절감기술	2 / 2	개통 후 소음영향 최소화를 위한 방음판넬 설치, 건설시 발생하는 대기·수질·소음·진동에 대한 저감 대책을 수립 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-508
GE2	우수관리(도로유출수 관리)	우수흐름관리	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		우수수질	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		우수유출수 비용분석	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GE3	소음완화	소음완화계획수립	2 / 2	공사 중 소음·진동 영향을 저감하기 위해 가설방음판넬을 설치하였음 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-510
GE4	폐기물관리	폐기물관리 계획수립	2 / 2	건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률에 따라 폐기물 전환/처리 계획을 수립 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-509
GE5	오염방지관리	오염방지계획수립	2 / 2	환경영향평가법 등 관련 법령에 의해 건설활동에 따른 영향요인 및 오염저감 계획 수립 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-508
GE6	저영향개발	저영향개발 수립	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GE7	현장녹지화	현장식생	2 / 2	지역특성과 향토성을 갖추며 주위경관과 조화될 수 있는 수종 선정, 구입과 이식 및 유지관리가 용이한 수종 선정 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-438
GE8	서식지복원	서식지복원	0 / 2	동·식물상훼손 최소화 계획을 수립하기 위해 노력하였으나 복원 및 보존된 서식지의 면적과 이를 위한 비용 분석이 미비함 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-508
GE9	생태학적 연관성	동물보호	2 / 2	서식지가 단절되지 않고 이동을 원할하게 하기위해 생태통로(5개소)를 설치 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-508
GE10	빛공해저감	빛공해현상	2 / 2	관련 법령(도로 부대시설 표준도 <도로조명(국부조명)> (건설교통부))에 의해 도로 및 터널 등에 대한 조명시설 설치 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-446, 6-454
GE11	문화복지	문화복지	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GE12	환경교육	환경교육	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GE13	장비온실가스 배출저감	장비온실가스 배출저감	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
GE14	수자원계획 수립	수자원추적	2 / 2	건설중 사용한 물에 대한 처리계획 수립으로 2점을 획득 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-507
계			16/ 35	

※ 핵심지표 : 녹색자원&에너지(Green Resources & Energy)

코드	평가항목	평가지표	득점/배점	평가기준
RE1	자원순환기술	아스콘-콘크리트 재활용 기술	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		현장재활용계획	1 / 1	'건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률' 및 '폐기물관리법'에 명시된 건설폐기물의 재활용 등 계획 수립으로 1점 획득 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-509
		활성산업부산물 도로 기술	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
RE2	신재생 에너지 생산	신재생에너지 생산	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
RE3	에너지효율	에너지효율기술	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		자연채광 활용기술	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
RE4	토공사균형	토공사균형	0 / 1	토공수행시 776,148㎥의 토량 부족 예상되므로 점수 획득 못함 ☞ 근거자료 : 종합보고서 6-505
RE5	순환골재	순환골재	0 / 3	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
RE6	지역자재	지역자재	0 / 3	※ 시공계획분야 관련자료 미흡 본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
RE7	친환경자재	환경친화적 자원사용	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
계			1 / 21	

※ 핵심지표 : 녹색교통(Green Traffic System)

코드	평가항목	평가지표(국도)	득점/배점	평가기준
TS1	교통류관리	회전교차로	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		단속류제어	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		2+1차로	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
TS2	접근성관리	도로접근성관리 (교통상충완화포함)	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
TS3	지능형교통 시스템	교통정보시스템	0 / 2	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		돌발상황관리시스템	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
TS4	그린카 기반시설	그린카 기반시설	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
TS5	도로재난대응 기술	도로재난대응기술	1 / 2	터널내 방재설비 설치로 1점 획득 ☞ 근거자료 : 일반보고서 6-494
TS6	교통안전 진단	교통안전진단	1 / 1	교통영향분석·개선대책을 수립함 ☞ 근거자료 : 일반보고서 1-3, 교통영향 평가서
TS7	대중교통	BRT노선구축	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		BIS/BMS	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
TS8	보행자/ 자전거도로	보행자도로	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
		자전거도로	0 / 1	본 사업에 적용된 근거가 없어 점수를 획득하지 못함
계			2 / 17	

㉰ 한국형 녹색도로 인증지표(도로관리단계 유지관리 부문)

■ 유지관리 부문 녹색도로인증제 벤치마킹 분석

※ INVEST (Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool)

○ Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool(INVEST)는 미국연방도로국(FHWA)에서 개발하여 2012년부터 실행하고 있는 녹색도로 인증제도 (Tool)이다.

○ 기본적으로 INVEST는 도로와 연관된 전 생애주기를 다루고 있으며, GreenLITES와 같이 3개의 모듈로 구성되어 있다. INVEST의 3개의 모듈은 도로의 첫 번째 생애주기인 'Planning', 두 번째로 설계/시공을 담당하는 '프로젝트개발 (Project Development)' 그리고 마지막으로 '유지관리 (Operation & Maintenance)'로 이루어졌다.



<그림 2-30> INVEST 인증제도 종류

○ INVEST 개발목적은 실제적이며, 웹기반으로 개발되었으며, 자발적인 모범 사례(Voluntary Best Practices), 평가지표 (Assessment criteria)를 개발하여 도로교통의 정책, 프로세스, 절차, 실행에 지속가능성 구현을 목적으로 개발되었다.

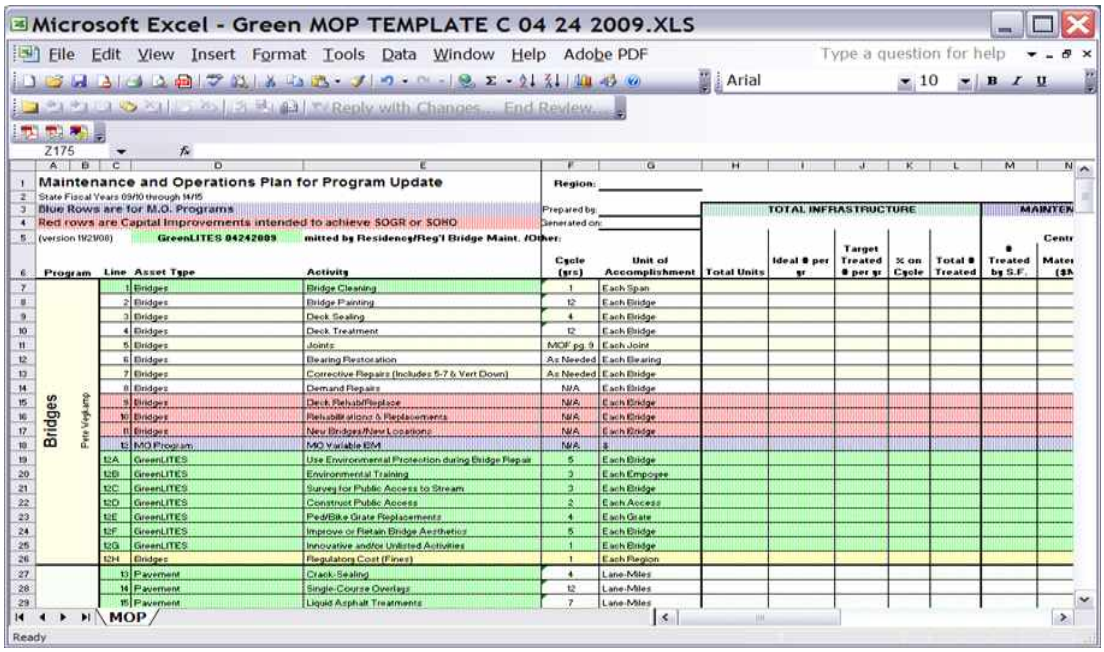
○ INVEST의 개발목적이 도로와 연관된 기관의 자발적인 지속가능성 (녹색도록)에 초점을 두고 있으므로 중앙정부, 주정부, 지방정부, 도로관리주체, 건설업등 모든 부분에서 사용할 수 있다.

○ INVEST는 다른 종류의 인증제도와 다르게 '평가지표 (Credit)'의 획득여부로 인증을 제공하지 않으며, 모범 사례 (Best Practices)를 중심으로 자체 평가하는 녹색도로 인증제도다.

○ INVEST인증제도는 미국이 모든 교통과 연관된 기관이 비교 평가하여 지속가능성을 실행하는 목적을 두고 있다.

※ 미국 뉴욕주 교통국의 유지관리 지표

○ 유지관리단계에 적용할 수 있는 녹색도로인증제 평가지표 개발을 위해서 뉴욕주 교통국에서 유지관리단계에서 적용하고 있는 그린라이트(GreenLITES) 제도를 참고하였다.



<그림 2-31> 기존 유지관리 프로그램에 포함된 뉴욕주 교통국의 녹색도로인증제

○ 그린라이트 제도는 기존 유지관리 프로그램에 지속가능성(sustainability) 개념을 추가한 것으로 여기서 지속가능개념은 UN committee에서 정의한 triple bottom 개념, 즉 사회적 요소, 경제적 요소와 환경적 요소를 종합한 개념을 사용하고 있다.

○ 또한, 유지관리단계에서 적용하고 있는 그린라이트(GreenLITES) 제도는 설계 및 시공단계에서 개별 프로젝트에 대한 인증을 부여하고 있는 제도와 다르게 평가대상이 뉴욕주 교통국 산하 지역유지관리사무소다.

- 뉴욕주 교통국에서 내부적인 관리/경영을 위한 프로그램으로 자체적으로 행하는 유지관리 활동을 계획, 점검, 평가하는 것을 목표로 하고 있음

○ 본 연구에서는 미국 뉴욕주 교통국에서 시행하고 있는 유지관리부문 녹색도로인증제의 세부 평가항목에 대해서 국내 기준에 대한 적합성과 도로 건설사업 적용에 대한 적합성을 검토하였다.

<표 2-45> 유지관리부문 녹색도로인증제의 국내 적용성 검토

뉴욕주 녹색도로인증제 지표(유지관리부문)	국내 적합성	고속국도 적합성	일반국도 적합성
Bridges (교량)			
▪ Bridge cleaning 교량청소	○	○	○
▪ Environmental Training 환경교육	○	○	○
▪ 도보로 이용할 수 있는 교량	○	×	○
▪ Add public access; replace Ped/Bike Grates(자전거로 이용할 수 있는 교량)	○	×	○
▪ 교량에 미적인 요소를 첨가	○	○	○
▪ 기존 페인트 제거시 특수 기법 사용	○	○	○

▪ Dust-Free Concrete Preparation Tools의 사용	○	○	○
▪ 보수시 화학약품들이 떨어지는 것을 방지하는 프로세스	○	○	○
▪ 혁신활동	○	○	○
▪ 벌금	○	○	○
Pavement (포장)			
▪ 크랙을 매꿀때 (Crack-Sealing) 50%이상 리싸이클 자원이 활용된 제품 사용	○	○	○
▪ 포장시 현장 리싸이클	○	○	○
▪ 재생아스팔트를 사용한 포장	○	○	○
▪ 청소작업시 환경친화적인 청소제품을 사용	○	○	○
▪ 콘크리트나 아스팔트의 재활용 및 재생 (3자에 의한 사용)	○	○	○
▪ 보행자나 자전거 이용자들을 위한 길어깨 (shoulder) 개선	○	×	○
Drainage (배수)			
▪ 도로청소(Sweeping)	○	○	○
▪ 막힌 배수유역청소	○	○	○
▪ 암거 유지관리/청소	○	○	○
▪ 홍수에 의한 유실방지	○	○	○
▪ 불법배수로 추적 및 보고	○	○	○
▪ 암거/파이프 교체	○	○	○
▪ 법규위반으로 벌금부과	○	○	○
신호 및 조명			
▪ 지능형 교통신호조절기인 2070 커버젼의 사용	×	×	×
▪ 보행신호시 카운트다운 타이머를 설치	○	×	○
▪ 교통흐름을 원활하게 해주는 타이밍 신호	○	×	○
▪ 고속도로조명을 LED로 교체	○	○	○(도로)
눈과 얼음			
▪ 스노우펜스 (mechanical and/or living)	×	×	×
▪ 도로교통/날씨정보시스템	○	○	○
▪ 제설제(소금/염화칼슘) 살포에 관한 교육/훈련	○	○	○
▪ 여분의 제설제의 저장과 지하수 보호	○	○	○
▪ 환경친화적인 제설제 및 제빙제(de-icer) 사용	○	○	○
자체시설물			
▪ 탱크/펌프의 보수와 뉴욕주 DEC 규정 (※시설물의 환경보전에 관한 규정)	○	○	○
▪ CNG사용시설	○	○	○
▪ 에너지 효율 향상을 위한 시설물 조사	○	○	○
▪ 에너지 효율 향상을 위한 시설 교체(유리창, 문, 벽체 단열, 천장 단열, HVAC 시설 등)	○	○	○
▪ 타이머 부착 온도조절기 사용	○	○	○
▪ 에너지절약 관련 훈련	○	○	○
▪ 시설물이나 조경에서 미적인 면을 개선하는 시공	○	○	○
▪ 시설물에서 나오는 쓰레기의 리싸이클(재활용)	○	○	○
▪ 사슴쓰레기 컴포스팅 설비	×	×	×
▪ ADA기준 장애인시설	○	○	○

▪ 화학물질 보관	○	○	○
▪ 청소프로그램 참여	○	○	○
▪ 구매시 재활용품/지역생산품 우선구매	○	○	○
▪ 차선도색시 수처리회사 사용	○	○	○
▪ 도색시 총 페인트 유출로 인한 오염수준을 측정	○	○	○
▪ 석유저장 관련 벌금 부과	○	○	○
노변관리, 옹벽, 신호 및 기타활동			
▪ 침식 및 침전관리	○	○	○
▪ 잔재제거	○	○	○
▪ 지역의 사회적 정의 증진	○	○	○
▪ 임시주차지역(카풀이용자)	○	×	○
▪ 미적 효과를 높이는 노변가림막 설치	○	○	○
▪ 서식지 보존 및 야생동식물 폐사 축소	○	○	○
▪ 야생화나 야생식물의 보호	○	○	○
▪ 잔디깍기 횟수의 축소	○	○	○
▪ 강화된 쓰레기 투척 관리 및 수거	○	○	○
▪ 침입종(invasive species) 제어	○	○	○
▪ 살초제(herbicide)대신 대체재 사용	○	○	○
▪ AAH(Adapt-a-Highway) 파트너쉽 (지역주민의 고속도로 청소 및 관리프로그램)	○	○	○(도로)
▪ 침식/침전관리에 사용되는 재생(리사이클)	○	○	○
▪ 과태료부과	○	○	○
▪ 미적인 가치를 높인 가드레일	○	○	○
▪ 충돌충격완화제 (impact attenuator)의 교체	○	○	○
▪ 펜스의 수리나 교체	○	○	○
▪ 차량, LNG설치	○	○	○
▪ 차량 공회전 방지	○	○	○
▪ 배기가스저감기	○	○	○
▪ LNG트럭의 사용	○	○	○
▪ 진공청소기를 이용한 도로청소	○	○	○
▪ 대체에너지를 사용하는 차량	○	○	○
▪ 방음벽의 관리/수리/설치	○	○	○
▪ 유지보수작업에서 발생하는 소음의 감축	○	○	○
▪ 일반베터리 리사이클	○	○	○
▪ 공공교통시설(버스, 페리, 운하)로 전환 용이 시설 설치	○	○	○
▪ 자전거, 보행자, 장애인을 위한 시설확충시	○	×	○
▪ 장애인(ADA)의 접근성	○	×	○
▪ 환경영향평가, 소음진동측정, 습지에 관한 연구보고서	○	○	○

○ 검토결과, 미국의 기준과 환경에 의한 조명시설 설치, 사슴쓰레기 컴포스팅 설비 등의 항목과 고속도로 건설사업에 적합하지 않은 몇 개의 항목을 제외하고는 대부분 국내 적용에 무리가 없는 것으로 판단하였다.

※ 한국도로공사의 '유지관리 2020' 전략

○ 한국도로공사에서는 지속적으로 증가하고 있는 유지관리비용과 고속도로 시설물에 대한 고객의 높은 요구수준을 해결하기 위하여 2012년 1월에 '유지관리 2020' 전략을 수립하였다.

○ 해당 전략은 단기, 중기 및 장기로 구분하여 총 166개의 세부과제를 도출하여 고속도로 유지관리 업무를 수행함에 있어서 비용, 안전, 고객만족 차원에서 세계 일류 기업으로 발돋움하고자 한다.

○ 한국도로공사의 '유지관리 2020' 전략목표를 달성하기 위해 추진될 166개 세부과제를 부문별로 정리하면 다음과 같다.

<표 2-46> 한국도로공사 '유지관리 2020' 전략 세부과제 및 목표

구분	과 제 명	비고
도로관리	▪ 유지관리비용 절감 중장기 Master plan 수립	비용절감
	▪ 비용예산 절감 성과 관리방안 수립	비용절감
	▪ 자본예산 투자 효율화 방안 수립	비용절감
	▪ 유지보수공사 단가 적정성 검토	비용절감
	▪ 조직 운용비용 절감을 위한 지사 최적 관리연장 검토	비용절감
	▪ 본사 현장점검 통합 및 효율화 방안 수립	비용절감
	▪ 유지관리부서 사기진작 방안 수립	비용절감
	▪ 도로관리원 탄력적 운영방안 수립	비용절감
	▪ 도로개량사업 통합발주 추가 확대 방안 수립	비용절감
	▪ 사용자 중심의 hi-유지관리시스템 개선	비용절감
	▪ 고속도로 유지관리 수준 평가를 위한 등급 기준 산정	비용절감
	▪ 본사 현장점검 통합 및 효율화 방안 수립	비용절감
	▪ 유지관리부서 사기진작 방안 수립	비용절감
	▪ 안전경영 내실화 및 신규과제 발굴	시설물안전
	▪ 불법점용물 처리 세부기준 수립	시설물안전
도로포장	▪ 포장보수 면처리 적정장비 적용으로 단가 효율화	비용절감
	▪ 포장상태 조사분석비용 단가조정	비용절감
	▪ 콘크리트 포장 단면보수재 신기술 신공법 도입	비용절감
	▪ GIS 기반의 HI-PMS 통합연계 구축	비용절감
	▪ 포장 LCC 분석 및 자산관리체계 구축	비용절감
	▪ GIS 기반의 HI-PMS 통합연계 구축	비용절감
	▪ 포장 LCC 분석 및 자산관리체계 구축	비용절감
	▪ 장기공용 포장노후구간 관리방안 수립	시설물안전
	▪ 주행쾌적성(평탄성, wandering) 향상	고객만족
도로개량	▪ 정체나들목 소규모 시설개량	비용절감
	▪ 외부 수탁사업 "장래 유지관리비" 반영 방안 수립	비용절감
	▪ 중앙분리대 개량형식 개선(덧씌우기→상단보강)	비용절감
	▪ 구형 가드레일 저비용 성능향상 추진	비용절감
	▪ 공사 하자관리 강화를 위한 개선방안 수립	비용절감
	▪ 유지관리기술 선순환 체계 구축	비용절감
	▪ 도로개량 이력관리 체계 구축	비용절감
	▪ 소규모 유지보수 적용공법 표준화 방안 수립	비용절감

	▪ 노후 시설물 내구성 향상 방안 수립	시설물안전
	▪ 회차로 설치곤란 영업소 간이 회차로 설치	고객만족
	▪ 휴게소 진입연결로 개량 및 주차장 확장	고객만족
도로방재	▪ 선진 제설체계 구축	비용절감
	▪ 재난관리 조직 효율적 운영방안 수립	비용절감
	▪ 실시간 재난관리시스템 구축 및 선진화	비용절감
	▪ 풍수해 취약지점별 대응 시나리오 구축	시설물안전
	▪ 배수불량 재난대비 관리방안 강구	시설물안전
	▪ 시설물 피해가 적은 친환경 제설방안 수립	시설물안전
	▪ 토석류에 의한 재해 예방대책 수립	시설물안전
	▪ 재난시 고객중심 교통통제 홍보방안 개선	고객만족
구조물관리	▪ 경제적인 교면포장용 조강콘크리트 발굴 추진	비용절감
	▪ 바닥판 손상정도에 따른 저비용 교면포장 공법기준 수립	비용절감
	▪ 구조물 유지관리 원가절감 시스템 구축	비용절감
	▪ 교량 전면개량을 대체할 부재별 리모델링 방안 수립	비용절감
	▪ 투자효율 극대화를 위한 사업우선순위 선정기준 수립	비용절감
	▪ 구조물 담당자 기술력 향상을 위한 유지관리 실무자료집 개정	비용절감
	▪ 구조물 기술정보 공유시스템 구축	비용절감
	▪ 구조물 전문가 양성 프로그램 마련	비용절감
	▪ 구조물 노후화에 대비한 유지관리체계 개선	비용절감
	▪ 주행안전성 향상을 위한 난간방호벽 성능 개선	교통안전
	▪ 분리형 탄성받침 등 안전 취약부재 보강방안 수립	시설물안전
	▪ 강교 내부 우수유입 차단대책 마련	시설물안전
	▪ 구조물 소규모 보수공사 품질 향상방안 마련	시설물안전
	▪ 신축이음장치 내구수명 연장방안 수립	시설물안전
	▪ 홍수위 부족 교량 관리체계 개선방안 수립	시설물안전
구조물안전	▪ 정밀점검 및 안전진단 용역대가 개선	비용절감
	▪ 교면 배수시설 설치기준 개선	비용절감
	▪ 정밀안전진단 주기 변경을 통한 정밀점검 비용 절감	비용절감
	▪ 휴대용 수중점검 장비 개발	비용절감
	▪ 교량별 맞춤형 점검 매뉴얼 제작	비용절감
	▪ 신속한 보수·보강을 위한 기술지원제도 도입	비용절감
	▪ 모바일 점검체계 정착 및 적용범위 확대	비용절감
	▪ 영상 및 계측을 통한 상시 구조물 점검체계 구축	비용절감
	▪ 점검이 어려운 장대교량 점검 시행방법 개선	시설물안전
	▪ 주요 관찰대상 구조물 선정 및 관리기준 개선	시설물안전
	▪ 설계단계 교량점검방법 사전 검토제 도입	시설물안전
	▪ 구조물 점검일정 알리미 시스템 구축	시설물안전
	▪ 3D 레이져 스캔을 통한 교대변위발생 교량 관리 추진	시설물안전
	▪ 제설염화물에 의한 구조물열화 예방대책 수립	시설물안전
	▪ 첨단 점검기법 실용화 및 확대적용	시설물안전
	▪ 프리캐스트형 교량 개축 공법 적용 추진	고객만족
건축	▪ 휴게소 가변형 화장실 설치로 비용 최소화	비용절감
	▪ 지사 건축직 부재에 따른 효율적인 건축물 관리방안 수립	비용절감
	▪ 하이패스 차로 차별화된 캐노피 디자인 개발	교통안전
	▪ 휴게소 식품안전을 위한 시설물 구축 방안 수립	고객만족
	▪ 지역특색을 반영한 휴게소・톨게이트 디자인 개선 추진	고객만족
설비	▪ 에너지 절약형 요금소 개발 추진	비용절감
	▪ 휴게소 오수처리시설 양방향 통합설치방안 수립	비용절감
	▪ 경제적 터널 방재시설 설계기준 수립	비용절감
	▪ 에너지 절약형 시설물 설치 추진	비용절감
	▪ 터널 원격 통합관리시설 구축	비용절감
	▪ 고비용 터널 방재시설을 개선한 방연에어커튼 설치	비용절감
	▪ 효율적인 터널관리시스템 구축 중장기 계획 수립	비용절감
	▪ 터널 화재사고 대응능력 및 관리체계 강화	교통안전
	▪ 터널 피난연결통로 차단문 개발	시설물안전
	▪ 건물 및 위험물 시설 점검방법 개선	시설물안전
	▪ 특수시설물(방음터널 등) 방재대책 수립	시설물안전
전기	▪ 터널 조명 보수율, 조도기준 개선 추진	비용절감
	▪ 전기, 유류 에너지 절약 추진	비용절감
	▪ 건물조명 LED 교체 확대방안 수립 및 추진	비용절감

	▪ KS기준 미달 터널조명 환경 개선방안 수립	교통안전
	▪ 정전대비 안전관리체계 구축	시설물안전
	▪ 가로등 밝기조절(조광제어) 기법 도입 및 효과분석	고객만족
	▪ 가로등 등기구 구조 개선으로 눈부심 방지 추진	고객만족
	▪ LED 도로조명 도입으로 연색성 기능 강화	고객만족
조경	▪ 갓길 삭초 기계화 단계적 추진	비용절감
	▪ 저비용 녹지대 지피식물 다양화 추진	비용절감
	▪ 수목원 특화식물 발굴, 활용을 통한 원가 절감	비용절감
	▪ 조경수목 염화물 피해예방 대책 마련	비용절감
	▪ 고속도로 비탈면 녹화 설계 및 시공지침 개선	비용절감
	▪ 졸음운전 예방을 위한 직선구간 경관 다양화	교통안전
	▪ 로화수 1000 프로젝트 추진	고객만족
	▪ 이용고객 중심의 휴게소 휴게공간 배치 개선	고객만족
기계관리	▪ 공용장비 기계화 추진(그라인딩머신, 배수구준설차)	비용절감
	▪ 교통사고 접보 체계 다변화 및 견인 출동네트워크 개선	비용절감
	▪ 노면낙하물 수거장치 확대	교통안전
	▪ 재난대응력 강화를 위한 장비 및 기반시설 확충	교통안전
	▪ 고객 노선체험단 구성 운영	고객만족
	▪ 사고처리 목표시간 단축 효과분석 및 개선대책 수립	고객만족
교통관리	▪ 교통정보 통합 데이터베이스 활용 추진	비용절감
	▪ 본사이전 대비 궁내동 교통센터 운영방안 수립	비용절감
	▪ 교통관련 분석자료 설계분야 피드백 추진	비용절감
	▪ 소송 등 피해보상분석을 통한 대책 마련	교통안전
	▪ 교통정보 서비스 개선	고객만족
	▪ 버스전용차로 효과분석 및 타당성 검토	고객만족
	▪ 최고 제한속도 상향에 따른 효과분석	고객만족
교통개선	▪ 전국 고속도로(우회도로 포함) OD 구축	비용절감
	▪ 상시 교통량 조사체계 구축	비용절감
	▪ 야간 표지판 시인성 향상을 위한 조명식 도로표지 확대 도입	교통안전
	▪ 고객이 공감하는 고속도로 정체구간 개선 추진	고객만족
	▪ 진입로 신호조절 확대적용 검토	고객만족
	▪ 경부선 천안분기점 이북 전구간 갓길차로 설치	고객만족
	▪ 영업소 진입교통량 조절 확대 추진	고객만족
	▪ M-office 환경과 연계한 도로표지관리시스템 구축	고객만족
	▪ 신 표지체계 구축	고객만족
교통사고조사	▪ 지사 교통상황 관리 체계 개선	비용절감
	▪ 안전순찰 업무 활성화 방안 수립	비용절감
	▪ 외주 안전순찰 관리 개선방안 수립	비용절감
	▪ 사망사고 줄이기 경진대회 개최	교통안전
	▪ 헬기를 활용한 응급구조 시스템 확대	교통안전
	▪ 교통사고 분석시스템 고도화 추진	교통안전
	▪ 고속도로 2차사고 예방 대책 수립	교통안전
교통안전	▪ 졸음사고 예방을 위한 “졸음 쉼터” 설치	교통안전
	▪ 교통상황별 가변속도 제어시스템 도입	교통안전
	▪ 도로안전도 평가 프로그램(KoRAP) 도입	교통안전
	▪ 안개관리 종합대책 수립	교통안전
	▪ 사고 잦은 곳 개선 추진	교통안전
	▪ 교통안전 체험센터 설치	교통안전
	▪ 과적차량 단속 강화 추진	시설물안전
	▪ 적재불량차량 단속 강화 추진	시설물안전
교통정보통합	▪ 도로전광표지 문안표출 및 갓길차로 자동운영 확대	교통안전
	▪ 교통사고 자동감지 체계 전국 확대	교통안전
	▪ 교통관리시스템 안정적 운영	고객만족
	▪ CCTV 영상 인터넷 제공 확대	고객만족
	▪ 수요자 맞춤형 교통정보 서비스 확대	고객만족
	▪ 국도 및 시가지도로 교통정보 연계체계 구축	고객만족
교통방송	▪ 주행차량 전방 자동알림 기능 개선	교통안전
	▪ 교통상황과 도로기상정보 통합제공	교통안전
	▪ 맞춤형 교통정보 서비스 개선	고객만족
	▪ CCTV 기반의 문자·음성방송 확대	고객만족
	▪ 권역별 교통방송 제공 확대	고객만족

	▪ 소셜 네트워크 기반의 교통방송 제공	고객만족
	▪ 교통정보 검증체계 구축	고객만족
	▪ 교통정보 제공범위 확대	고객만족
	▪ 모바일 교통방송 구현	고객만족
운영	▪ 주말 교통예보팀 운영	비용절감
	▪ 교통예보 전문가 육성 방안 수립	비용절감
	▪ 교통안전문화 정착을 위한 홍보	교통안전
	▪ 민간업체 교통사고 정보 연계	교통안전
	▪ 교통예보서비스 개발	고객만족
	▪ 교통정체 해소를 위한 특별소통대책 확대	고객만족
	▪ 교통예보 지원시스템 고도화	고객만족

※ 한국도로공사의 '고속도로 시설물 유지관리편람' 업무내용

○ '유지관리 2020' 전략 이외에도 한국도로공사에서는 일선 현장의 도로관리자들이 보다 효과적으로 활용할 수 있는 실무지침서인 '고속도로 시설물 유지관리편람'을 2009년 9월에 발간하였다.

○ 고속도로 유지관리 효율성을 향상하기 위하여 실무담당자에서 기관장까지 도로시설물 관리에 필요한 최신 기준 및 지침 등을 신속하고 정확하게 파악할 수 있도록 6개 분야 105개 항목(세부항목 포함할 경우 140개)으로 체계화하였다.

○ 한국도로공사의 '고속도로 시설물 유지관리편람'에 포함된 140개 업무항목을 부문별로 정리하면 다음과 같으며, 굵은 글씨로 된 부분은 녹색도로와 관련된 항목이다.

- 녹색도로와 관련성 여부는 환경보호와 에너지 보존, 자연재해로부터의 피해방지, 대체에너지 사용여부, 스마트 교통시스템 등과 관련 깊은 유지관리 항목을 토대로 판단함

<표 2-47> 한국도로공사 '고속도로 시설물 유지관리편람'

구 분	업 무 명	주요 내용
일반 사항	도로점용 관리	▪ 도로점용 허가절차 및 불법 점용시설물에 대한 조치사항
	도로점용(정보통신시설)	▪ 정보통신시설 도로점용 산정기준 및 감면기준
	접도구역 관리	▪ 도로경계선으로부터 일정구역을 접도구역으로 지정(도로종류에 따라 접도 폭 상이)
	폐도 관리	**▪ 확장 및 선형개량공사로 발생된 폐도의 효율적 관리(고속도로 설계단계에서부터 폐도발생 최소화 및 활용계획 수립)**
	하자 관리	▪ 하자관리요령 및 하자관리 업무흐름도(연 2회 이상 실시)
	풍수해 예방대책	**▪ 우기 전까지 풍수해 취약지점 해소 및 풍수해 최소를 위한 준비조치 사항(자체 풍수해 예방대책 수립, 교육 및 훈련실시, 유관기관 협조체계 강화, 장비 및 물자 운용계획 수립 등)**
	풍수해 대비·대응	**▪ 호우특보에 따른 비상근무 기준 및 피해발생시 신속한 대응을 통한 풍수해 최소화**
	사면점검 관리	▪ 대상사면별 점검 종류 및 시기, 보고기한 명기 ▪ 정기점검: 월 1회 이상 혹은 반기 1회 이상, 정밀점검: 준공후 6개월 이내, 2년 1회 이상, 일상점검: 수시
	사면점검 관리 : 사면유지관리시스템 관리	▪ 사면유지관리시스템에 사면현황 및 점검, 보수·보강실적기록·관리
	사면점검 관리 : 시특법 2종 시설물 관리	▪ 2종 시설물(절토사면, 옹벽)의 안전성과 효용성 증진을 위한 유지관리
	사면점검 관리 : 관찰대상지점 및 특정관리대상시설 지정	▪ 재난 및 안전관리기본법에서 정하는 시설(비탈면, 옹벽)에 대한 체계적인 안전관리로 재난발생 요인 사전 제거

	·관리 요령	
	설해 예방 및 대응	**▪ 설해의 예방(11.15~다음해 3.15) 및 신속한 대응으로 고객피해 최소화**
	재난관리업무관련 Hi-MAN 운영	▪ Hi-MAN 시스템을 통해 실시간 교통소통 정보, 재난상황관리, 기상상황 확인
	연간단가 계약제도	▪ 지사 발주 도급공사에 대하여 유지보수 전문업체와 연간단가계약 체결 후, 작업지시를 통하여 수시 보수 시행
	포장상태 조사 및 분석	▪ 자동화장비를 활용 고속도로 포장상태 조사, 분석 및 평가 ▪ 평가결과(HPCI)에 따른 보수대상구간 결정 및 사업계획 수립절차
	시설개량 업무절차	▪ 시설개량업무 주요절차 및 관련 법령
	갓길차로제	▪ 비상주차대, 신호기 등 안전시설 보완 후 갓길을 가변차로로 변환하여 교통혼잡 발생시 주행차로로 활용하는 단기적 도로용량 증대기법
	고속도로 통행제한	▪ 통행제한의 정의 및 원인, 종류, 기준 제시
	고속도로 정기교통량조사	▪ 교통량조사 목적 및 방법, 통계자료 제공
	제한차량 단속설비	▪ 제한차량단속의 목적 및 단속설비 종류
	교통사고 : 대형교통사고 보고체계	▪ 대형 교통사고시 긴급 보고 체계
	교통사고 : 노면잡물피해 손해배상	▪ 노면잡물피해 손해 배상 검토 방안
	고속도로 안전순찰	▪ 안전순찰 목적 및 임무, 종류, 근무제도
	원인자부담금 징수업무	▪ 공사가 유지관리하는 고속국도에 대하여 이용자의 행위로 인해 도로자산이 손괴된 경우 그 원인자에게 피해를 원상복구하게 하거나 부과기준에 따라 실복구에 소요되는 비용을 산출·부과
	장비관리 운영	▪ 장비운영에 관한 업무 기준(등록, 고유번호 부여, 배차, 기록관리 등)
	장비관리 운영 : 자동차 보험	▪ 자동차 보험 가입 및 절차
	장비관리 운영 : 긴급자동차 지정 및 운영	▪ 긴급자동차 지정 및 운영기준
	장비관리 운영 : 장비별 소화기 보유기준	▪ 장비별 소화기 보유기준, 종류, 점검요령
	장비관리 운영 : 차량후면 안전도색 기준	▪ 차량 후면 안전도색 기준, 제작방법 등
	장비관리 운영 : 보유장비 교체 및 불용	▪ 공사 보유장비의 점검 및 교체, 노후도 평정표 기록, 불용판정 기준
	장비관리 운영 : 보유장비 임대기준	▪ 공사 보유장비의 임대 기준 (시기, 운영, 제한, 산정 등)
	장비관리 운영 : 보유장비 안전순찰차 관리운영	▪ 안전순찰차 관리운영 기준(휴대품목, 통합컨트롤러(차량용 PC와 Touch Screen 모니터를 통해 전광판과 경광등 및 탑재식 카메라를 작동하고 장비운행일지를 전산화하여 출력할 수 있는 장치))
	장비관리 운영 : 공용장비 통합관리 운영	▪ 공용장비 통합관리 운영업무
	장비관리 운영 : 긴급 제설작업 지원	▪ 하절기 공용장비 통합운영팀이 동절기는 제설장비 긴급지원팀으로 편성되어 긴급 제설작업 지원 업무 수행
	구조물 점검 : 정기점검	▪ 경험과 기술을 갖춘자에 의한 순찰정도 수준의 점검이나 전반적 외관상태를 관찰하여 중대한 결함의 가능성 조기발견
	구조물 점검 : 정밀점검	▪ 시설물의 현 상태를 정확히 판단하고 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터의 변화를 확인하여 현재의 사용요건 만족여부 판단
	구조물 점검 : 수중점검	▪ 1회/5-6년마다 교량붕괴 방지를 위한 수중부 교량 기초점검(잠수 점검과 수중 초음파탐사) 실시 ▪ 세굴 발생 중점 관리교량 : 1회/2-3년
	구조물 점검 : 하자점검	▪ 건설 시공사의 책임시공 유도 및 효율적인 하자점검 시행으로 구조물

		(교량, 터널, 난간, 교면포장 등)의 내구수명 연장(하자점검 주기 : 2회/년)
	구조물점검 : 주요관찰대상 구조물 점검	▪ 주요관찰대상 구조물 238개소에 대한 설계하중 미달, 노후구조물 중점관리를 통한 구조물 안전성 확보 ▪ 테마점검 월1회, 집중 및 관리실태 점검 각 연1회, 정밀안전진단 5~6년 1회
	정밀안전진단	▪ 정밀안전진단 개요 및 실시기준, 시행체계
	화재발생시 긴급조사체계	**▪ 교량 및 터널 내 화재발생시 구조물 손상평가 및 긴급피해조사 기준 마련** **▪ 신속한 재난 대응 및 2차 피해 예방**
	지진발생시 대응체계	**▪ 지진발생시 신속한 피해조사를 위한 대응체계 구축**
	비관리청 구조물 이관	▪ 비관리청 구조물 이관관리(시행절차(건설시), 이관협의 절차(유지관리시))
	건축물 점검	▪ 건축물 점검기준(시기, 대상물, 점검사항)
	특정관리대상시설(건축물)관리	▪ 특정관리대상시설 관리기준(시설범위, 대상, 시기, 점검기준, 기록관리 등)
	건축 인·허가 관리	**▪ 건축물 신축 및 증축관련 인·허가 관리(업무 및 처리 절차, 대상시설물)**
	개발제한구역 관리	**▪ 개발제한구역내 건축물 인·허가 관리(관리계획 수립범위, 계획서 작성기준, 수립절차 흐름)**
	시설 수탁사업 관리	▪ 휴게시설 수탁사업 시행기준(사업 범위 및 대상, 사업타당성 검토, 절차)
	터널화재 비상대응	**▪ 터널(화재)사고시 긴급대처 방안, 비상훈련 실시현황, 매뉴얼 보유현황**
	에너지절약 추진업무	**▪ 에너지 이용효율 향상을 위한 합리적 운용 및 설정된 절감목표의 이행실태에 대한 점검 및 평가를 통하여 고유가 대응방안 마련**
	푸른 고속도로 가꾸기	**▪ 기조성 수림대의 관리역할에 중점을 둔 종합적인 도로경관 개선**
도로 부문	접도구역 표주 및 표지의 설치기준	▪ 접도구역 표주의 설치는 노선번호와 노선별 일련번호를 부여 설치 ▪ 효율적인 관리기준 수립
	낙석방지시설 설치기준	▪ 낙석방지시설의 기능, 규격, 설치, 유지관리에 관한 사항을 기술함으로써 도로관리자가 낙석방지시설을 설치·관리하는 업무 수행
	배수시설 설치기준 관리	▪ 배수시설별 설치기준 관리(성토부 도수로 규격변경, 절토사면 배수시설규격 개선, 횡단 배수관 규격변경, 노면배수(길어깨부)처리방안 등)
	자동염수분사설비	▪ 제설취약구간 염수분사설비 설치를 통한 신속한 강설 대응(11.15~ 다음해 3.15)
	하이패스 염수분사설비	▪ 하이패스 차로 이용고객의 주행안전 확보 및 교통사고 예방(11.15~ 다음해 3.15)
	고속도로 이정표지 설치방안	▪ 선진형 고속도로 이정관리 체계 구축 ▪ 이정표와 유지관리시스템의 일치를 통한 효율 향상
	포장보수	**▪ 고속도로 포장상태를 조사·분석하여 예방적 유지관리시행** **▪ 파손 및 손상된 부분을 보수·보강** **▪ 포장상태지수(HPCI)별 평가표**
	노면미끄럼 관리	▪ 노면미끄럼 조사기준 및 조사대상 구간선정 절차 ▪ 미끄럼 마찰값 관리기준 및 보수공법 결정
	연약지반 관리	▪ 연약지반 관리방안 및 보수방안
	콘크리트포장 줄눈관리	▪ 콘크리트포장 줄눈 관리 기준(조사 및 전체 줄눈의 건전도 평가, 보수절차, 이력관리)
	길어깨포장 관리	▪ 접속부 벌어짐 구간, 접속부 단차 및 포장 파손구간 보수 방안
	다이아몬드 그라인딩	▪ 콘크리트 포장면에 종방향으로 미세한 홈을 형성하여 평탄성 개선, 마

		찰력향상, 타이어 마찰소음을 저감시키는 표면 조직 개선 공법
	개질아스팔트 공용성 등급 결정 및 설계적용방안	**▪ 개질아스팔트 혼합물 설계 적용시 제품명이 아닌 아스팔트 공용성 등급(PG : Performance Grade) 규격을 명기하도록 한 기준에 따라 공용성 등급 결정 및 설계적용 방법 규정**
	중앙분리대	▪ 중앙분리대 종류 및 형상의 부분별 기능, 성능기준 및 충돌시험결과
	중앙분리대 개구부	▪ 중앙분리대 개구부 설치기준, 중분대(토공용) 개구부 긴급개폐시설 ▪ 터널 입·출구 조기개방시설, 중분대(토공용)개구부 가드레일 충돌시험결과
	가드레일	▪ 가드레일 기능 및 설치위치, 시험기준, 성능평가기준(안), 충돌시험결과 등
	긴급제동시설	▪ 긴급제동시설 정의 및 설치기준(설치대상, 기준, 현황, 유지관리 등)
	버스정류장, 비상주차대	**▪ 버스정류장, 비상주차대 설계기준 및 운영 방안**
	휴게시설	**▪ 휴게시설 설치 및 주차장설계(설치간격, 면적, 산출기준, 종류 등)**
	영업소	▪ 영업소 설계 기준(차로수 산정방법, 시설계획 산정기준, 광장부 설계기준 등)
	회차로	▪ 회차로 설치 기준(회차대상, 설치방법 등)
	방음벽	**▪ 방음벽 설치장소 대상지역, 석면폐기물 적정처리, 타사업자 방음시설 설치, 지역별 표준 설계풍하중 및 방음벽 미관설계 기준, 소음 분쟁예방 등**
	고속도로 방풍벽	**▪ 고속도로 방풍벽 설계기준**
교통 및 안전 부문	도로표지 설치·운영 : 도로안내표지	▪ 신설 및 확장노선의 도로안내표지 검토절차 ▪ 도로표지의 관리에 관한 사항 ▪ 안내지명 선정기준 ▪ 도로표지의 규격 및 색채, 도안 ▪ 표지판 설치각도 조정
	도로표지 설치·운영 : 교통안전표지	▪ 교통안전표지 종류 및 검토절차
	도로표지 설치·운영 : 갈매기표지	▪ 갈매기표지의 규격 및 설치방법(대상, 규격, 설치방법)
	도로표지 설치·운영 : 결로방지 표지	▪ 결로 방지시설의 적용기준(결로방지시설 종류, 공법선정흐름도, 적용위치 등)
	도로표지 설치·운영 : 관광지안내표지	▪ 관광지 안내표지 설치기준(설치방법, 규격, 위치, 안내범위 등)
	도로표지설치·운영 : 주파수, 교통정보 안내표지	▪ 주파수 및 교통정보안내 표지설치
	도로표지설치·운영 : 운행제한공고 표지	▪ 운행제한 공고 표지 설치 도안
	도로표지설치·운영 : 차로지정표지	▪ 차로지정표지(설치방법, 정비방안 등)
	도로표지 설치·운영 : 나들목 표지 설치도	▪ IC 표지설치 기준
	도로표지 설치·운영 : 분기점 표지 설치도	▪ JCT 표지설치기준
	차선도색 : 차선의 규격	▪ 차선의 종류 및 설치기준(선 종류 및 규격, 색상기준)
	차선도색 : 시행주기	**▪ 도료의 종류 및 적용 기준**
	차선도색 : 장비운용 방법	▪ 차선도색 공사시행방법(차로별 시행방법, 장비투입방법 등)
	차선도색 : 가·감속 차로	▪ IC 및 JCT, 휴게소부 가·감속차선 설치기준
	차선도색 : 터널, 교량구간	▪ 터널 및 교량구간 차선 설치기준
	차선도색 : 노면문자	▪ 노면문자 및 기호 설치기준
	교통안전점검	▪ 운영단계 노선에 대한 교통안전점검 시행기준

		▪ 일상점검 : 상시, 정기점검 : 연 1회, 특별점검 : 필요시
	교통안전진단	▪ 교통안전진단의 시행기준(도로안전진단(RSA) 시행절차, 시행방안 등)
	사고취약지점 개선	▪ 사고취약지점 선정 및 개선사업 시행기준, 절차 등
	공사장 교통관리 기준	▪ 공사장 교통관리 기준(교통제한 시 고려사항, 안전관리책임자 주요임무, 안전시설 설치시 유의사항 등)
	교통안전시설 설치 및 관리 : 시선유도표지	▪ 시선유도표지 설치 및 관리기준
	교통안전시설 설치 및 관리 : 시선유도봉	▪ 시선유도봉 설치 및 관리기준
	교통안전시설 설치 및 관리 : 충격흡수시설	▪ 충격흡수시설 설치 및 관리기준(성능등급, 설치장소, 성능검사기준, 충격흡수시설 유지관리 요령 등)
	교통안전시설 설치 및 관리 : 노면요철포장	▪ 노면요철포장 설치 및 관리기준(설치기준, 설치장소 등)
	교통안전시설 설치 및 관리 : 터널입구부 안전시설	▪ 터널 입구부 안전시설 설치기준
	하이패스 안전시설	▪ 하이패스 안전시설 종류 및 설치기준
구조물 부문	**교면포장**	**▪ 유지관리 현장의 교면포장 및 바닥판 손상유형별 보수·보강공법 적용기준 수립**
	신축이음장치	▪ 교량 신축이음장치의 사용연수, 파손유형 등 사용실태 검토를 통해 유지관리에 유리한 형식적용
	교량보강용 부착공법	▪ 콘크리트 교량의 보강을 위해 시행중인 강판, 섬유류 등을 이용한 부착공법 문제점 개선을 위한 세부 적용기준
	교량 방호울타리	▪ 교량 현장여건별 방호울타리 설치 기준
	강교도장	▪ 강교 도장 재도장 주기, 방법 선정시 강교 도장관리시스템을 통하여 합리적인 선정을 통한 강교도장 내구수명 향상 및 안전성 제고
	고정식 교량점검시설	▪ 교대 및 교각의 상시점검 및 유지보수 등을 위해 설치하는 교량 점검시설 설치기준 개선으로 구조물 점검의 내실화 도모
	교량점검차	▪ 교량점검차 적정운영을 통한 교량점검 환경개선
	점검장비	▪ 정기점검 및 정밀점검시 필요한 점검장비 기준 수립 ▪ 첨단 점검장비 도입
	구조물 알칼리 골재반응	▪ 구조물 알칼리 골재 반응 발생 예방대책, 보수·보강 방안 및 관리방안
	교량 부속시설물	▪ 박스형 교량에서의 교량 부속시설물의 잦은 도난 사고 예방 대책
	교량청소	**▪ 교량 콘크리트 부재의 열화 가속화로 주기, 방법 등 청소 시행** **▪ 콘크리트 보호재료 적용 및 교대·교각 두부 유도배수 처리**
	교량하부 차폐휀스	▪ 고속도로 교량하부 공간의 불법시설물 적치, 쓰레기 투기 등으로 인한 도시환경미관저해 및 구조물관리 애로사항 발생에 대한 관리방안 수립
	홍수위 관측시설	▪ 우기대비 하천교량에 대한 유지관리방안
	암거표지판	**▪ 암거 고유명칭 부여로 유지관리 효율성 도모 및 이용자에게 암거에 대한 정보제공으로 고객서비스 제고**
	통로암거 물고임 방지	**▪ 통로암거 물고임 방지를 위한 배수를 고려한 예방적 유지관리**
	파형강판 암거	**▪ 공용중 파형강판 암거의 유지관리 방안**
시설 부문	건축물 구조물 유지관리	▪ 철근 콘크리트 공종의 점검기준 및 보수방법(점검부위 및 방법, 철근콘크리트 구조체의 균열보수공법 선정표 등)
	건축물 미장 유지관리	▪ 미장 공종의 점검기준 및 보수방법(결함 유형 및 점검방법, 점검사항, 조치사항 등)
	건축물 방수 유지관리	▪ 방수 공종의 보수방법(옥상방수층 누수보수, 옥상방수층 균열 및 파단부 보수, 옥상방수층 물고임 보수, 옥상방수층 들뜸부 보수 등)

	건축물 타일 유지관리	▪ 타일 공종의 점검기준 및 보수방법(점검대상, 보수방법 등)
	건축물 도장 유지관리	▪ 도장 공종의 점검기준 및 보수방법(점검대상, 평가항목, 보수방법 등)
	건축물 수장 유지관리	▪ 수장 공종의 점검기준 및 보수방법(점검방법, 점검사항 등)
	건물기계설비 관리	▪ 건물기계설비 유지관리 시설물별 정비횟수, 시간 등 관리기준
	터널기계설비(환기 및 방재) 관리	▪ 터널 기계설비(환기 및 방재) 유지관리 대상시설물, 점검주기 및 시간(분), 운전기준, 보수 및 교체기준
	오수처리시설 관리	**▪ 오수처리시설 고도처리공정 유지관리 매뉴얼**
	주유시설 기술관리	**▪ 주유시설 설치, 관리(검사대상 및 주기)기준 및 기름 유출시 대응**
	요금소 및 항온항습기 관리	▪ 요금소 및 항온항습기 유지관리 점검 항목 및 주기
	전기시설물 유지관리	▪ 전기시설물 유지관리, 점검, 안전관리 및 비상조치에 대한 기준
	전기 유지보수용 자재 수급관리	▪ 유지관리용 본사 조달 전기자재 적정수량 보유(재고수준 산정 및 운영기준)
	전기안전관리자 선임·검사	▪ 전기안전관리자 선임기준 - 자가용전기시설 : 전기수전용량 75kw이상, 정기검사 실시 - 일반용 전기시설 : 전기수전용량 75kw이하, 정기검사 실시
	장터널 운영·관리	▪ 시설물의 기능유지 및 터널내 긴급상황 적기처리(장대터널 운영 및 관리점검, 운영관리용역 관리, 용역관리대상 시설)
	수목관리	**▪ 상황별 수목관리 방법(식재 경과년수, 식재장소 등을 고려한 관리) 및 수목관리를 위한 주요 유지관리 공종(수목전정, 수목시비, 수목관수)**
	녹지대 관리	**▪ 환경 친화적인 녹지대 조성 및 효율적인 녹지대 유지관리 도모**
	조경시설물 관리	**▪ 노후화를 방지하는 예방보전과 손상에 대한 보수, 교환(유지점검 착안사항, 시설물별 관리요령 등)**
	비탈면 녹화관리	**▪ 자생종 중심의 생태복원형 비탈면녹화 추진**
	야생동물 보호시설관리	**▪ 생태통로 사후관리 및 모니터링 기준** **▪ 야생동물 유도울타리 설치 및 관리기준**
ITS부문	**교통·터널관리시스템 (FTMS, TTMS)**	**▪ 고속도로 교통정보 수집에 필요한 차량검지기(VDS), 도로전광표지(VMS), CCTV를 설치하여 교통·터널관리시스템(FTMS, TTMS)에 적용함**
	요금징수설비(TCS)	▪ 요금징수설비의 설치 업무(기계실과 차로간 네트워크 설치기준, 접지기준, 답판 및 프레임 설치 기준 등)
	제한차량 단속설비	▪ 제한차량 단속설비의 설치 업무(축하중 검출기, 차량대수분리기 및 높이감지기, 높이측정기, 제한차량표지판, 차로형 주제어기 등)
	하이패스 시스템	▪ 하이패스시스템의 설치(통합차로제어기, 차량감지기 및 차종분류장치, 운전자표시기, 갠트리 등)

○ 검토결과, 한국도로공사의 유지관리 업무에서는 지속가능한 친환경 도로를 위한 업무내용이 다수 포함되어 있으므로, 해당 업무내용을 중심으로 지속가능성과 친환경성을 강조한 인증지표를 구성한다면 보다 수월하게 국내 적용이 가능할 것으로 판단된다.

○ 한국도로공사 유지관리 업무내용 중 미국 뉴욕주 '녹색도로인증제(GreenLITES)'와 한국도로공사의 '유지관리 2020'과 중복된 업무를 제외한 뒤, 관련성 높은 업무나 업무내용 중 녹색도로와 일부분만 연관성이 있는 업무를 통합·조정하면 다음과 같다.

- 통합·조정한 업무 중에서 오수처리시설, 방음벽과 관련된 업무는 'GreenLITES'와 '유지관리 2020'에서도 다루고 있으나, '유지관리편람' 업무내용과는 성격이 상이하거나, 보다 구체적임

- 방음벽의 경우, 방음벽의 설치, 관리 등의 업무 외에도 교체시 친환경 제품이나 내구성이 높은 제품의 사용여부에 대한 내용이 포함되었으며, 오수처리시설은 시설설치 여부와 함께 정기적인 수질검사와 유지관리 이행 여부를 확인하는 업무를 포함시킴

<표 2-48> '고속도로 시설물 유지관리편람'의 녹색도로 인증지표 연관성 검토결과

구분	한국도로공사 업무명		통합·조정 업무명	주요업무내용
도로부문 (교량, 터널, 포장, 배수 등)	▪ 폐도 관리	→	▪ 폐도 관리	▪ 도로설계단계에서부터 폐도발생 최소화 및 활용계획 수립
	▪ 차선도색 : 시행주기	→	▪ 친환경 도료사용	▪ 중금속 없는 친환경적 차선페인트 사용
	▪ 포장보수 ▪ 개질아스팔트 공용성 등급 결정 및 설계적용방안 ▪ 교면포장		유지관리 2020 및 GreenLITES의 도로포장시 신기술, 재활용사용 등의 업무와 유사	
	▪ 교량청소		GreenLITES업무(교량 및 터널청소)와 중복	
	▪ 암거표지판 ▪ 통로암거 물고임 방지 ▪ 파형강판 암거		GreenLITES업무(암거 유지관리/청소, 암거/파이프교체)와 중복	
부대시설물 부문 (노변, 옹벽, 건축물 등 기타시설물)	▪ 건축 인·허가 관리 ▪ 개발제한구역 관리	→	▪ 도로구간내 건축물 인·허가 관리	▪ 건축물 신축 및 증축관련 또는 개발제한구역내 건축물 인·허가 관리
	▪ 주유시설 기술관리	→	▪ 주유시설 오염측정	▪ 주유시설 기름 유출여부조사 및 시설설치에 따른 오염수준 측정
	▪ 오수처리시설 관리	→	▪ 오수처리시설 유지관리	▪ 유지관리 점검기록 작성 ▪ 항목별 수질분석 실시
	▪ 방음벽	→	▪ 친환경 방음벽 제품사용	▪ 방음벽 설치 및 교체시 친환경제품(예: 일체형 HDPE 칼라) 사용 및 미관면에서 자연친화적이거나 내구성이 우수하여 잦은 교체가 필요없는 제품사용 여부
	▪ 고속도로 방풍벽	→	▪ 고속도로 방풍벽 설치	▪ 방풍벽의 관리/수리/설치
	▪ 야생동물 보호시설관리		GreenLITES업무(서식지 보존 및 야생동식물 폐사 축소)와 중복	
	▪ 푸른 고속도로 가꾸기 ▪ 수목관리 ▪ 녹지대 관리 ▪ 조경시설물 관리 ▪ 비탈면 녹화관리		유지관리 2020 및 GreenLITES의 침입종 제어, 야생화나 야생식물의 보호 등의 업무와 유사	
	▪ 버스정류장, 비상주차대		GreenLITES업무와 중복	
	▪ 휴게시설		GreenLITES업무와 중복	
교통운영 관리부문	▪ 풍수해 예방대책 ▪ 풍수해 대비·대응	→	▪ 재난·재해시 비상대책체계 및 매뉴얼	▪ 풍수해, 화재, 지진 등 재난·재해시 도로상에서 발생하는 사고를 예

	▪ 설해 예방 및 대응 ▪ 화재발생시 긴급조사체계 ▪ 지진발생시 대응체계 ▪ 터널화재 비상대응		마련	방 및 대응하는 사전계획 수립 여부
	▪ 교통·터널관리시스템(FTMS, TTMS)		유지관리 2020업무(도로교통정보시스템, CCTV 등)와 중복	
에너지 사용량 및 온실가스 배출량 감소부문	▪ 에너지절약 추진업무	→	▪ 에너지절약 추진업무 실태 평가	▪ 에너지 이용의 합리적 운용 여부 실태와 설정된 절감목표의 이행실태에 대한 점검·평가

※ 국토교통부의 '도로안전시설 설치 및 관리 지침' 업무내용

○ 국토교통부 예규인 '도로안전시설 설치 및 관리 지침'은 시설유도시설, 조명시설, 차량방호안전시설, 기타시설 등 총 4편으로 구분되며, 기타시설에는 미끄럼방지시설, 과속방지턱, 낙석방지시설 등 10개 시설로 재구성되어 있다.

○ '도로안전시설 설치 및 관리 지침'은 각 도로시설물에 대한 목적, 범위, 기능 및 종류, 설치 및 설계 등에 대한 내용이 포함되어 있으며, 본 연구에서는 앞선 다양한 업무내용은 제외하고 유지관리업무만을 조사하여 다음과 같이 정리하였으며, 굵은 글씨로 된 부분은 녹색도로와 관련된 항목이다.

- 이 중 긴급제동시설과 노면요철포장은 지침에 별도의 유지관리업무에 대한 내용이 없어 아래 표에는 포함되지 않았음

<표 2-49> 국토교통부 '도로안전시설 설치 및 관리 지침'

구분	업무명	주요내용
도로 시설물	시선유도시설(시선유도표지, 갈매기, 표지병) : 점검	▪ 통상 순회점검을 실시 ▪ 점검항목(반사상태, 설치상태, 파손유무, 오염정도 등) ▪ 시선유도표지의 경우 반사성능은 입사각 0°, 관측각 0.2°에서 측정하여 최소 50cd/lx·㎡ 이상이어야 함
	시선유도시설 : 청소 및 관리	▪ 연 최소 2회 청소 및 반사체 오염이 심한 곳은 횟수 늘림
	시선유도시설 : 보수	▪ 이상 있는 경우 즉각 보수 및 교체 실시, 시설 관리자는 충분한 여유분의 재고 보유
	조명시설 : 유지보수 관리자의 확인 항목	**▪ 유지보수 관리자는 설계자로부터 조명시설의 설계 시에 산정된 항목들을 전달받아 유지보수에 적용**
	조명시설 : 점검	**▪ 정기점검은1년에2회(3월,10월) 이상 ▪ 점등상태, 조명기구, 등주와 기초, 배선과 전기설비 점검**
	조명시설 : 청소 및 광원의 교체	**▪ 정기적으로 열화상황에 따라 도장하며, 오염정도와 광원 수명에 따라 청소방법 및 광원을 교체함**
	조명시설 : 조명의 측정 및 기록	**▪ 연1~2회 조명을 측정하고 기록 및 관리하며, 청소와 보수를 실시한 경우에도 기록, 관리**
	차량방호 안전시설 : 점검	▪ 방호울타리, 충격흡수시설은 월 1회 이상 정기점검 및 재해 직후에 점검(단, 충격흡수시설은 일상 순회 점검시)

	차량방호 안전시설 : 보수 및 기록	▪ 방호울타리, 충격흡수시설은 변형 및 파손시 즉각교체, 도장 등 실시, 제설작업시 손상 주의 ▪ 방호 울타리는 연 1~2회 세척하며(비포장도로는 월 1회) ▪ 시공 및 보수, 파손에 관한 기록을 유지하여 다음 시공에 활용
	미끄럼방지포장 : 점검	▪ 일상 순회 점검시 점검 및 재해 직후에 점검
	미끄럼방지포장 : 보수 및 기록	▪ 변형 및 파손시 즉각 보수(결함이 전체적일 때 재시공 권유) ▪ 시공 및 보수, 파손에 관한 기록을 유지하여 다음 시공에 활용
	과속방지턱 : 점검	▪ 통상 순회점검을 실시(파손여부, 색상퇴화정도 등)
	과속방지턱 : 청소 및 관리	▪ 연 2회 이상 실시
	과속방지턱 : 보수 및 기록	▪ 변형 및 파손시 즉각보수 ▪ 시공 및 보수, 파손에 관한 기록을 유지하여 다음 시공에 활용
	도로반사경 : 점검	▪ 거울면의 설치 높이 및 설치각도, 거울면의 오염 및 파손 상태, 지주의 변형 및 파손상태, 도장상태, 기초상태 등 점검
	도로반사경 : 보수 및 기록	▪ 이상 발견시 즉각보수, 연 4회 세척실시, 시공 및 보수, 파손에 관한 기록을 유지
	장애인안전시설 : 점검	▪ 정기 점검시 파손, 변형, 마모 정도와 유효폭 확보 및 장애물 제거 등 점검 실시
	도로반사경 : 보수 및 기록	▪ 파손시교체하며, 점형블록의 경우 돌출점의 높이가 3.5mm 이하, 선형블록인 경우 3.0mm이하이며 점자블록으로 교체함 ▪ 시공 및 보수, 파손에 관한 기록을 유지
	도로반사경 : 공사구간의 임시 장애인 안전시설	▪ 임시 보도 설치시 유효폭을 확보하고, 보도와 차도의 높이차를 제거, 유도선 설치
	낙석방지시설 : 점검	▪ 일상점검(변형 및 이상정도), 정기점검(변형 및 이상정도, 절개면 위험도, 낙석규모 예측 등), 임시점검(장마철, 태풍 등 안정도 낮은 시기에 변형 및 재해여부 점검) 실시
	낙석방지시설 : 유지관리	▪ 낙석방지망, 낙석방지 울타리 검토 후 대책
	도로전광표시 : 점검	▪ 정기 점검 실시(표출 문자 밝기, 표시면 LED 소자, 도트, 모듈의 정상동작 여부, 전원공급 상태 등)하며, 연 1~2회 청소실시
	도로전광표시 : 유지관리	▪ 장애 발생시 비상 대응 체계는 사전에 마련하며, 신속히 복구
	악천후구간, 터널 및 장대교량 설치 시설(장대교량) : 점검	▪ 정기점검(시선유도표지의 시인 장애 여부, 도로전광표지 점검), 수시점검(시선유도시설)
	악천후구간, 터널 및 장대교량 설치시설(장대교량) : 기록	▪ 시공 및 보수, 파손에 관한 기록을 유지하여 다음 시공에 활용
	무단횡단금지시설 : 점검	▪ 월 1회 이상 점검을 실시하여 파손 및 오염시 교체 또는 세척
	무단횡단금지시설 : 기록	▪ 시공 및 보수, 파손에 관한 기록을 유지

○ 검토결과, 국토교통부의 도로안전시설물 유지관리업무에서는 주로 시설물의 점검과 관리, 기록 등에 대한 업무로 구성되어 있으며, 그 중 지속가능한 친환경 도로와 직접적으로 관련된 도로시설물은 조명시설 정도로만 한정할 수 있다.

- 낙석방지시설 및 악천후구간, 터널 및 장대교량 설치 시설 등 안전과 관련된 시설물도 지속가능한 친환경 도로의 범위에 포함된다는 여지는 있을 수 있으나 앞절에서 제시한 녹색도로와 관련성 여부 기준에 맞춰 본 연구에서는 안전에 대한 광범위한 개념 대신 친환경성에 초점을 맞춤

○ 국토교통부의 도로안전시설물 유지관리업무 중 '녹색도로인증제(GreenLITES)'와 '유지관리 2020'와 중복된 업무를 제외한 뒤, 관련성 높은 업무나 업무내용 중 녹색도로와 일부분만 연관성이 있는 업무를 통합·조정하면 다음과 같다.

- ‘녹색도로인증제(GreenLITES)’와 ‘유지관리 2020’의 경우 조명시설을 LED로 교체하거나, 밝기조설, 눈부심 방지 등에 대한 업무는 포함되어 있으므로 여기에서는 조명시설을 오랫동안 효과적으로 사용할 수 있도록 하는 청소 및 유지관리 업무를 추가적으로 포함시킴

<표 2-50> ‘도로안전시설 설치 및 관리 지침’의 녹색도로 인증지표 연관성 검토결과

구분	국토교통부 업무명		통합·조정 업무명	주요업무내용
부대시설물 부문 (노변, 옹벽, 건축물 등 기타시설물)	▪ 조명시설 : 유지보수 관리자의 확인 항목 ▪ 조명시설 : 점검 ▪ 조명시설 : 청소 및 광원의 교체 ▪ 조명시설 : 조명의 측정 및 기록	→	▪ 조명시설 청소 ▪ 조명시설 유지관리	▪ 정기적인 조명시설 청소여부 ▪ 조명시설의 조명측정 및 점검, 기록 등의 유지관리업무 수행 ※ 유지관리 2020의 가로등 관련 업무내용은 제외시킴

■ 유지관리 부문 녹색도로인증 평가지표 개발

◎ 녹색도로인증 평가지표 초안 개발

○ 유지관리부문의 지표의 경우 미국 뉴욕주 교통국에서 시행하고 있는 기존의 유지관리프로그램(MOP; Maintenance and Operations Plan)과 연동시킨 녹색도로인증제(GreenLITES)와 같이 유지관리부문의 한국형 녹색도로인증제를 한국도로공사의 ‘유지관리 2020’ 전략, ‘고속도로 시설물 유지관리편람’, 국토교통부의 ‘도로안전시설 설치 및 관리 지침’과 연동시켜 지표를 개발하고자 하였다.

○ 그러나, 앞서 살펴본 바와 같이 미국 뉴욕주의 유지관리부문 녹색도로인증제(GreenLITES)는 뉴욕주 교통국 산하 기관의 유지관리활동을 평가하기 위한 것이고, 한국도로공사의 ‘유지관리 2020’ 전략은 본사 차원에서 수행해야 되는 업무로 주로 구성되어 있어 서로 활용목적 자체에 차이가 있다.

- ‘고속도로 시설물 유지관리편람’ 과 ‘도로안전시설 설치 및 관리 지침’의 경우에도 현재 수행중인 업무에 대한 매뉴얼적인 성격이 강하므로 인증평가업무와는 목적이 다름

○ 또한, 평가방식 및 내용 측면에서도 한국도로공사의 ‘유지관리 2020’ 전략에 대한 평가에 있어서도 대부분 Pass or Fail 방식으로 평가하도록 하고 있어 지수화하기 곤란하였으며, 전략내용도 미국의 지표와는 달리 세부적인 수준까지 정의되어 있지 않다.

- ‘고속도로 시설물 유지관리편람’ 과 ‘도로안전시설 설치 및 관리 지침’의 경우에는 설치와 구성요건 등에 대해서는 자세한 기준이 마련되어 있으나, 유지관리업무는 주로 점검, 관리, 기록 등에 대한 이행여부만을 중심으로 구성되어 있어 지수화하기 어려움

○ 이에 본 연구진에서는 뉴욕주 교통국의 유지관리부문 녹색도로인증제에 대한 국내 적용성과 고속도로 건설사업에 대한 적합성을 검토하고 이를 바탕으로 한국도로공사의 ‘유지관리 2020’

전략과 '고속도로 시설물 유지관리편람', 국토교통부의 '도로안전시설 설치 및 관리 지침'중 유지관리부문 녹색도로인증제 설정 목표와 부합하는 일부 항목과 융합하여 지표 초안을 마련하였다.

- 세부지표는 도로건설공사의 도로부문(교량, 터널, 포장, 배수 등) 부대시설물 관리부문(노변, 옹벽, 도로관리건축시설물 등), 교통운영관리부문, 에너지 사용량 및 온실가스 배출량 감소부문, 에너지 생산 및 공급부문, 기타부문으로 총 6개 부문으로 구분함

<표 2-51> '유지관리 부문' 녹색도로인증제 평가지표 초안

구 분	유지관리부문 녹색도로인증제 지표	평가기준	비고
도로부문 (교량, 터널, 포장, 배수 등)	▪ 교량 및 터널 청소	경간 당(교량) 1차선-100미터 당 (터널)	GreenLITES
	▪ 교량 등 구조물에 미적인 요소를 첨가	각 개소 당	"
	▪ 교량 등 구조물에 기존 페인트 제거시 특수 기법 사용	각 개소 당	"
	▪ 교량 등 구조물의 보수시 화학약품들이 떨어지는 것을 방지하는 기법 사용	작업자 당	"
	▪ 크랙을 매꿀때 (Crack-Sealing) 50%이상 리싸이클 자원이 활용된 제품 사용	1차선-100미터 당	"
	▪ 도로 포장시 현장 리싸이클	1차선-100미터 당	"
	▪ 재생아스팔트를 사용한 포장	1차선-100미터 당	"
	▪ 청소작업시 환경친화적인 청소제품을 사용	1,000리터 당	"
	▪ 콘크리트나 아스팔트의 재활용 및 재생 (3자에 의한 사용)	1톤 당	"
	▪ 막힌 배수유역청소	배수시설 당	"
	▪ 암거 유지관리/청소	10미터 당	"
	▪ 홍수에 의한 유실방지	각 위치 당	"
	▪ 불법배수로 추적 및 보고	보고 1건 당	"
	▪ 암거/파이프 교체	교체 건당	"
	▪ 휴게소 오수처리시설 양방향 통합 설치	설치 건당	유지관리 2020
	▪ 고비용 터널 방재시설을 개선한 방연에어커튼 설치	설치 건당	"
	▪ 터널 피난연결통로 차단문 설치	설치 건당	"
	▪ 도로개량사업 통합발주	발주 건당	"
	▪ 포장보수 면처리 적정장비 적용(단가 효율화)	장비 적용건당	"
	▪ 콘크리트 포장 단면보수재 신기술 신공법 도입/적용	적용건당	"
	▪ 도로포장의 주행쾌적성(평탄성) 향상	적용프로젝트 당	"
	▪ 폐도 관리	적용프로젝트 당	유지관리편람
	▪ 친환경 도료사용	1차선-100미터 당	"
부대시설물 부문 (노변, 옹벽, 건축물 등 기타시설물)	▪ 휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물이나 조경에서 미적인 면을 개선하는 시공	시설물 당	GreenLITES
	▪ 장애인시설 설치	설치개소 당	"
	▪ 휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물의 도색시 총 페인트유출로 인한 오염수준을 측정	시설물 당	"
	▪ 침식 및 침전관리	각 개소 당	"
	▪ 잔재제거	각 개소 당	"

	▪ 임시주차지역(카풀이용자)	각 개소 당	"
	▪ 미적효과를 높이는 노변가림막 설치	각 개소 당	"
	▪ 서식지 보존 및 야생동식물 폐사 축소	활동 당	"
	▪ 야생화나 야생식물의 보호	활동 당	"
	▪ 잔디깍기 횟수의 축소	1차선-100미터 당	"
	▪ 강화된 쓰레기 투척관리 및 수거	1차선-100미터 당	"
	▪ 침입종(invasive species) 제어	1차선-100미터 당	"
	▪ 살초제(herbicide)대신 대체재 사용	1차선-100미터 당	"
	▪ 미적인 가치를 높인 가드레일	10미터 당	"
	▪ 충돌충격완화제 (impact attenuator)의 교체	교체건 당	"
	▪ 펜스의 수리나 교체	10미터 당	"
	▪ 방음벽의 관리/수리/설치	평방미터 당	"
	▪ 유지보수작업에서 발생하는 소음의 감축	작업 장소 당	"
	▪ 버스 등 대중교통시설으로 전환 용이 시설 설치	각 시설 당	"
	▪ 휴게소 가변형 화장실 설치로 비용 최소화	각 개소 당	유지관리 2020
	▪ 지역특색을 반영한 휴게소·톨게이트 디자인 개선 추진	시설물 당	"
	▪ 주행안전성 향상을 위한 난간방호벽 성능 개선	각 개소 당	"
	▪ 갓길 삭초 기계화 단계적 추진	적용프로젝트 당	"
	▪ 저비용 녹지대 지피식물 다양화 추진	적용프로젝트 당	"
	▪ 졸음운전 예방을 위한 직선구간 경관 다양화	적용프로젝트 당	"
	▪ 이용고객 중심의 휴게소 휴게공간 배치 개선	시설물 당	"
	▪ 졸음사고 예방을 위한 "졸음 쉼터" 설치	각 개소 당	"
	▪ 정체나들목 소규모 시설개량	적용프로젝트 당	"
	▪ 중앙분리대 개량형식 개선(덧씌우기→상단보강)	각 개소 당	"
	▪ 구형 가드레일 저비용 성능향상 추진	각 개소 당	"
	▪ 회차로 설치곤란 영업소 간이 회차로 설치	각 개소 당	"
	▪ 휴게소 진입연결로 개량 및 주차장 확장	각 개소 당	"
	▪ 노면낙하물 수거장치 확대	각 개소 당	"
	▪ 도로구간내 건축물 인·허가 관리	적용프로젝트 당	유지관리편람
	▪ 주유시설 오염측정	각 개소 당	"
	▪ 오수처리시설 유지관리	각 개소 당	"
	▪ 친환경 방음벽 제품사용	교체 건당	"
	▪ 고속도로 방풍벽 설치	시설물 당	"
	▪ 조명시설 청소	시설물 당	도로안전시설
	▪ 조명시설 유지관리	시설물 당	"
교통운영 관리부문	▪ 교통정보시스템 점검 및 유지관리	시설물 당	VMS 설치 및 운영방안연구
	▪ 실시간 버스정보제공(BIS) 및 버스관리(BMS) 시스템 점검 및 유지관리	각 개소 당	-
	▪ 돌발상황관리시스템 점검 및 유지관리	시설물 당	-
	▪ 연속류제어시스템 점검 및 유지관리	시설물 당	FHWA
	▪ 단속류제어시스템 점검 및 유지관리	시설물 당	서울시
	▪ 자동요금징수시스템 점검 및 유지관리	시설물 당	-
에너지 사용량 및 온실가스 배출량 감소부문	▪ CNG(Compressed Natural Gas) 사용 시설	사용시설 당	GreenLITES
	▪ 휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물의 타이머 부착 온도조절기 사용	사용시설 당	"
	▪ 에너지절약 관련 훈련 실시	교육생 당	"
	▪ 휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물에서 나오는 쓰레기의 리싸이클(재활용)	시설물 당	"
	▪ 배기가스저감기 장착한 도로시설물 관리 차량	차량 당	"
	▪ 대체에너지를 사용하는 도로시설물 관리 차량	차량 당	"
	▪ 고속도로조명, 경고사인, 경고등을 LED로 교체	교체 건당	GreenLITES 유지관리 2020
	▪ 건물조명 LED 교체 확대방안 수립 및 추진	시설물 당	유지관리 2020
	▪ 가로등 밝기조절(조광제어) 기법 도입/적용	각 개소 당	"
	▪ 가로등 등기구 구조 개선으로 눈부심 방지 추진	각 개소 당	"
	▪ 에너지 절약형 요금소 개발 추진	각 개소 당	"
	▪ 에너지 절약형 시설물 설치 추진	시설물 당	"

	▪ 에너지절약 추진업무 실태 평가	적용프로젝트 당	유지관리편람
에너지 생산 및 공급부문	▪ 도로공간을 활용한 태양광 에너지 생산 및 활용	시설물 당	추가지표
	▪ 도로공간을 활용한 풍력 에너지 생산 및 활용	시설물 당	“
	▪ 도로에서 주행하는 차량통행을 활용한 압전발전 에너지 생산 및 활용	시설물 당	“
	▪ 도로지하의 지열을 통한 에너지 생산 및 활용	시설물 당	“
	▪ 도로부지 주변 및 교량 하단부 하천활용 소수력 발전 에너지 생산 및 활용	시설물 당	“
	▪ 도로상의 빗물집수를 통한 수자원 확보	설치개소 당	“
	▪ 지하공간을 통한 통신 및 전력망 구축	설치개소 당	“
	▪ 전기자동차 통행을 위해 필수적인 충전시설 및 충전 인프라 구축	설치개소 당	“
기타부문	▪ 시설물 관리를 위한 환경교육	교육생 당	GreenLITES
	▪ 제설제(소금/염화칼슘) 살포에 관한 교육/훈련	교육생 당	“
	▪ 환경친화적인 제설제 및 제빙제(de-icer) 사용	1톤 당	“
	▪ 구매시 재활용품/지역생산품 우선구매	지역 당	“
	▪ 지역의 사회적 정의 증진	각 위치 당	“
	▪ 지역주민과의 고속도로 청소 및 관리프로그램 운영	실시프로그램 당	“
	▪ 교통안전문화 정착을 위한 홍보	홍보 건당	유지관리 2020
	▪ 교통안전 체험센터 설치	설치 건당	“
	▪ 과적차량 단속 강화 추진	단속횟수 당	“
	▪ 적재불량차량 단속 강화 추진	단속횟수 당	“
	▪ 사망사고 줄이기 경진대회 개최	개최 건당	“
	▪ 사고 잦은 곳 개선 추진	개선프로젝트 당	“
	▪ 공용장비 기계화 추진(그라인딩머신, 배수구준설차)	기계화 장비 당	“
	▪ 고객 노선체험단 구성 운영	실시프로그램 당	“
	▪ 에코드라이빙 보급 및 운전자 교육	교육생 당	추가지표

◎ 녹색도로인증 평가지표 최종안 도출

○ 1차 개발된 한국형 유지관리단계 지표 초안을 바탕으로 연구단, 연구진과의 업무협의 및 관련 전문가 의견을 수렴 결과 아래와 같다.

- 2개로 분리되어 있는 에너지 부문(에너지 절감과 생산으로 분리되어 있는 지표를 에너지 절감 및 생산으로 통합하여 변경)을 1개로 통합

- 부가적으로 인식되어져서 자칫 소홀하게 다루어질 가능성이 있는‘기타부문’의 용어를‘녹색활동 부문’으로 변경

- 또한, 세부지표 측면에서 국내 실정에 맞지 않는 지표 삭제(야생동식물 폐사 축소 등)하였고, 구체적인 활동내용을 알 수 없는 지표 삭제(‘사고 잦은 곳 개선 추진’,‘정체나들목 소규모 시설개량’등)

- 전체적으로 고속국도 및 일반국도에서 모두 적용할 수 있는 지표로 재구성하고, ‘중분류’ 신설로 평가지표 재 그룹핑(‘교통운영관리 부문’의 경우 고속국도 및 일반국도로 구분함)

○ 최종적으로 도로관리단계의 인증 시 유지관리활동을 평가하기 위해서 크게 5개 분야로 구분하여 평가지표 도출하였다.

- “도로시설 부문”,“부대시설물 부문”,“교통운영관리 부문”,“에너지 & 온실가스 관리 부문”,“녹색활동 부문”

○ 또한 평가기준(점수부여 기준)에 있어서도 미국의 경우 평가목적이 산하 지역사무소의 유지관리활동에 대해 평가를 수행하고 이를 순위화하는 것이 목적이므로 점수의 상한선이 거의 없고 상대평가의 형태로 수행되고 있다.

○ 이에 반해 한국형 유지관리단계 녹색인증지표는 도로건설단계(설계 및 시공)의 연장선에서 인증을 받은 도로에 대해 유지관리단계에서 평가를 수행하여 등급 상승, 유지, 강등이 이루어지기 때문에 절대평가의 형태로 수행한다.

○ 이에 따라 평가기준(점수부여 기준)에 있어서도 도로연장당, 개소당, 차선당, 설치건당으로 부여했던 기준을 적용 프로젝트당 부여하는 방향으로 재설정하였다.

○ 결과적으로 미국의 사례를 벤치마킹하여 일차적으로 설정된 평가지표 및 평가기준은 재조정하였다.

- 도로시설 : 4개 평가항목, 7개 평가기준
- 부대시설물 : 5개 평가항목, 8개 평가기준
- 교통운영관리(고속국도) : 4개 평가기준, 13개 평가지표
- 교통운영관리(일반국도) : 4개 평가기준, 12개 평가지표
- 에너지&온실가스관리 : 4개 평가기준, 6개 평가지표
- 녹색활동 : 4개 평가항목, 6개 평가기준

■ 유지관리 부문 중요도 분석

◎ 녹색도로인증 기준의 우선순위 선정을 위한 가중치 설정

○ 유지관리 부문의 녹색도로인증제 도입체계 개발을 위한 항목별 배점산정을 위해 유지관리 부문 평가분야(대분류 수준) 및 각 부문별 평가항목(중분류 수준)에 대한 전문가 설문조사를 수행하여 가중치를 설정하였다.

○ 전문가 설문조사는 계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process) 방법을 이용하여 가중치를 설정하였으며, 쌍대비교를 통한 설문조사를 이용하였다.

○ 본 연구에서 사용한 계층화분석법은 9점 척도를 이용하였으며, 설문조사는 총 7가지 유형으로 실시하였다.

- Part 1. 유지관리 부문 평가분야 간 중요도
- Part 2. 도로시설 부문 평가항목 간 중요도
- Part 3. 부대시설물 부문 평가항목 간 중요도
- Part 4. 교통운영관리 부문 평가항목 간 중요도(고속국도)
- Part 5. 교통운영관리 부문 평가항목 간 중요도(일반국도)
- Part 6. 에너지 및 온실가스 관리 부문 평가항목 간 중요도
- Part 7. 녹색활동 부문 평가항목 간 중요도

○ 총 10명의 관련분야 전문가를 대상으로 AHP 설문조사를 수행하였으며, 비일관성지수가 0.15이하인 설문자의 응답을 대상으로 가중치를 산정하였다.

Part 1. 평가분야 간 중요도

평가분야	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같음		약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요	평가항목
중요도	9:1		8:2		7:3		6:4		5:5		4:6		3:7		2:8		1:9	중요도
도로 부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	부대시설물 부문
도로 부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	교통운영관리 부문
도로 부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	에너지 및 온실가스 관리 부문
도로 부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기타부문
부대시설물 부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	교통운영관리 부문
부대시설물 부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	에너지 및 온실가스 관리 부문
부대시설물 부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기타부문
교통운영관리부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	에너지 및 온실가스 관리 부문
교통운영관리부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기타부문
에너지 및 온실가스 관리 부문	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기타부문

<그림 2-32> 유지관리 부문 평가분야 간 중요도 전문가 설문조사 예시

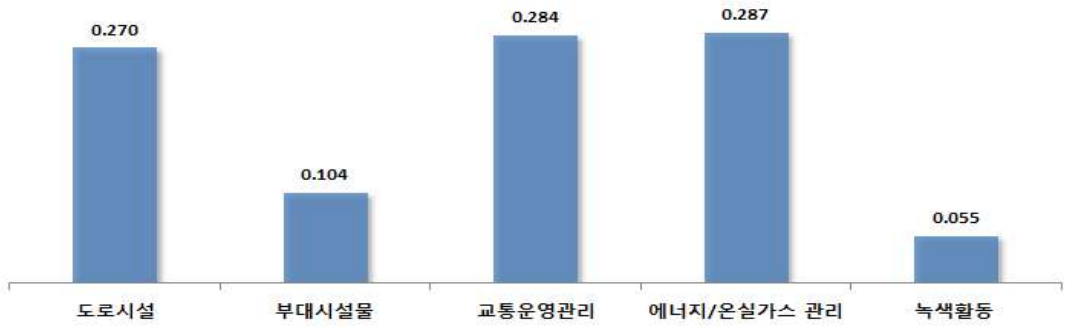
◎ 유지관리 부문 중요도 분석 결과



○ 유지관리 부문 평가분야 간 중요도

- 평가분야 간 중요도는 “도로시설 부문”, “부대시설물 부문”, “교통운영관리 부문”, “에너지 및 온실가스 관리 부문”, “녹색활동 부문”에 대한 설문조사를 수행함

평가분야	가중치	우선순위
도로시설 부문	0.270	3
부대시설물 부문	0.104	4
교통운영관리 부문	0.284	2
에너지 및 온실가스 관리 부문	0.287	1
녹색활동 부문	0.055	5
가중치 합	1.000	-

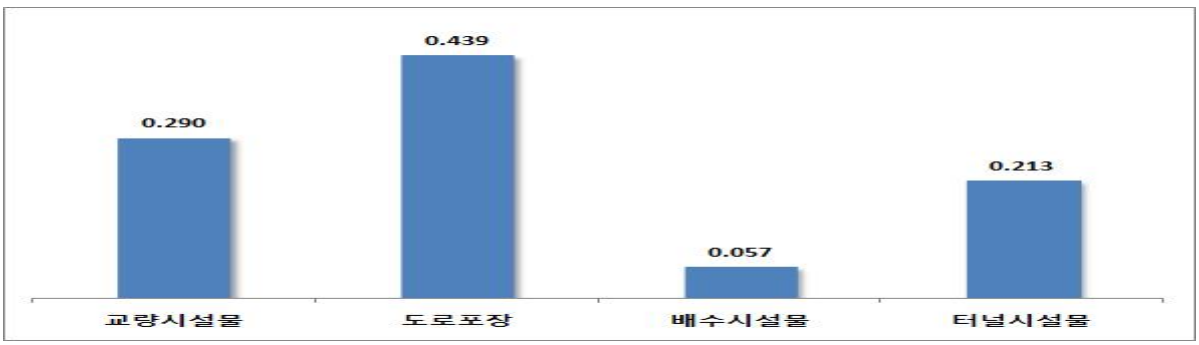


- 도로관리단계(유지관리) 5개 평가분야 간 중요도 설문조사 결과, “에너지 및 온실가스 관리 부문”의 가중치가 가장 높게 나타났으며, “교통운영관리 부문”, “도로시설 부문”, “부대시설물 부문”, “녹색활동 부문” 순으로 우선순위가 결정됨

○ 도로시설 부문 평가항목 간 중요도

- 평가항목 간 중요도는 “교량시설물”, “도로포장”, “배수시설물”, “터널시설물”에 대한 설문조사를 수행함

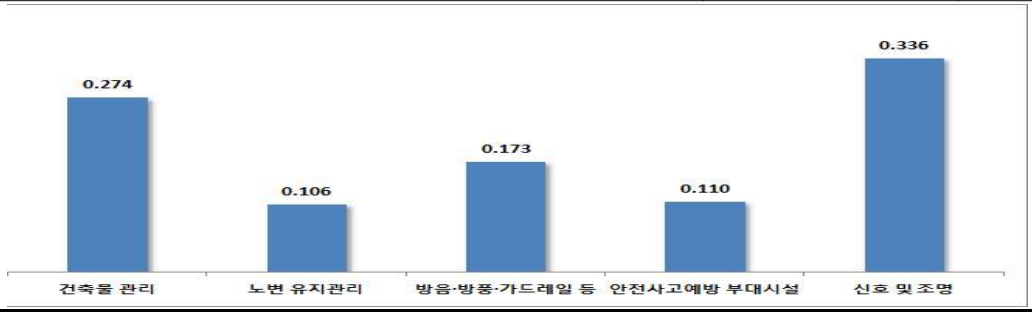
평가항목	가중치	우선순위
교량시설물	0.290	2
도로포장	0.439	1
배수시설물	0.057	4
터널시설물	0.213	3
가중치 합	1.000	-



- 도로시설 부문에서 평가항목 간 중요도 설문조사 결과, “도로포장”의 가중치가 가장 높게 나타났으며,“교량시설물”,“터널시설물”,“배수시설물”순으로 우선순위가 결정됨

○ 부대시설물 부문 평가항목 간 중요도

평가항목	가중치	우선순위
건축물 관리	0.274	2
노변 유지관리	0.106	5
방음·방풍·가드레일 등	0.173	3
안전사고예방 부대시설	0.110	4
신호 및 조명	0.336	1
가중치 합	1.000	-



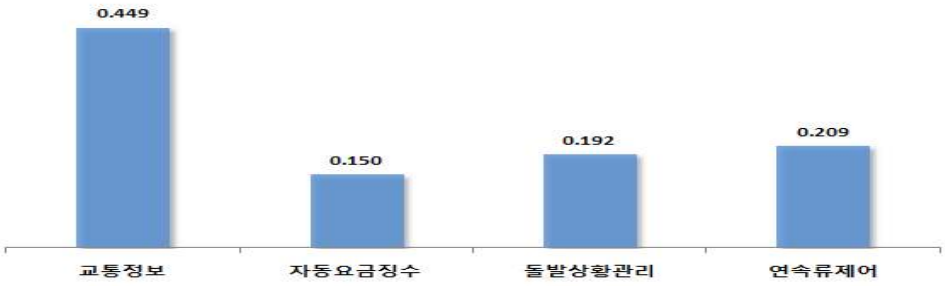
- 평가항목 간 중요도는 “건축물 관리”, “노변 유지관리”, “방음·방풍·가이드레일 등”, “안전사고예방 부대시설”, “신호 및 조명”에 대한 설문조사를 수행함

- 부대시설물 부문에서 평가항목 간 중요도 설문조사 결과, “신호 및 조명”의 가중치가 가장 높게 나타났으며,“건축물 관리”,“노변 유지관리”,“방음·방풍·가드레일 등”,‘안전사고예방 부대시설“ 순으로 우선순위가 결정됨

○ 교통운영관리 부문 평가항목 간 중요도(고속국도)

- 평가항목 간 중요도는 “교통정보시스템 점검 및 유지관리”,“자동요금징수시스템 점검 및 유지관리”,“돌발상황관리시스템 점검 및 유지관리”,“연속류 제어시스템 점검 및 유지관리”에 대한 설문조사를 수행함

평가항목	가중치	우선순위
교통정보시스템 점검 및 유지관리	0.449	1
자동요금징수시스템 점검 및 유지관리	0.150	4
돌발상황관리시스템 점검 및 유지관리	0.192	3
연속류 제어시스템 점검 및 유지관리	0.209	2
가중치 합	1.000	-



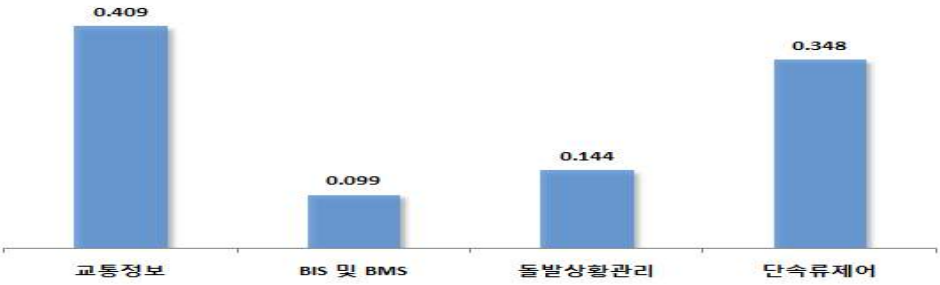
- 고속국도 부문에서 평가항목 간 중요도 설문조사 결과, “교통정보시스템 점검 및 유지관

리”의 가중치가 가장 높게 나타났으며, “연속류 제어시스템 점검 및 유지관리”, “돌발상황관리시스템 점검 및 유지관리”, “자동요금징수시스템 점검 및 유지관리”순으로 우선순위가 결정됨

○ 교통운영관리 부문 평가항목 간 중요도(일반국도)

- 평가항목 간 중요도는“교통정보시스템 점검 및 유지관리”, “BIS 및 BMS 점검 및 유지관리”, “돌발상황관리시스템 점검 및 유지관리”, “단속류 제어시스템 점검 및 유지관리”에 대한 설문조사를 수행함

평가항목	가중치	우선순위
교통정보시스템 점검 및 유지관리	0.409	1
BIS 및 BMS 점검 및 유지관리	0.099	4
돌발상황관리시스템 점검 및 유지관리	0.144	3
단속류 제어시스템 점검 및 유지관리	0.348	2
가중치 합	1.000	-



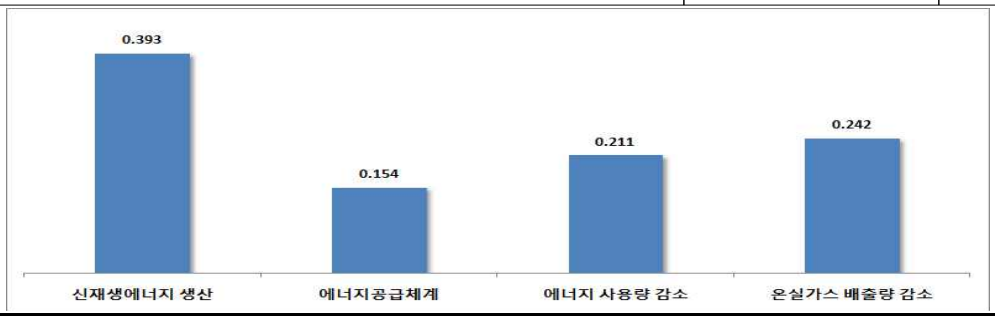
- 일반국도 부문에서 평가항목 간 중요도 설문조사 결과, “교통정보시스템 점검 및 유지관리”의 가중치가 가장 높게 나타났으며, “단속류 제어시스템 점검 및 유지관리”, “돌발상황관리시스템 점검 및 유지관리”, “BIS 및 BMS 점검 및 유지관리”순으로 우선순위가 결정됨

- 고속국도와 일반국도 모두“교통정보시스템 점검 및 유지관리”항목의 가중치가 가장 높음

○ 에너지 및 온실가스 관리 부문 평가항목 간 중요도

- 평가항목 간 중요도는“신재생에너지 생산”, “에너지공급체계”, “에너지 사용량 감소”, “온실가스 배출량 감소”에 대한 설문조사를 수행함

평가항목	가중치	우선순위
신재생에너지 생산	0.393	1
에너지공급체계	0.154	4
에너지 사용량 감소	0.211	3
온실가스 배출량 감소	0.242	2
가중치 합	1.000	-

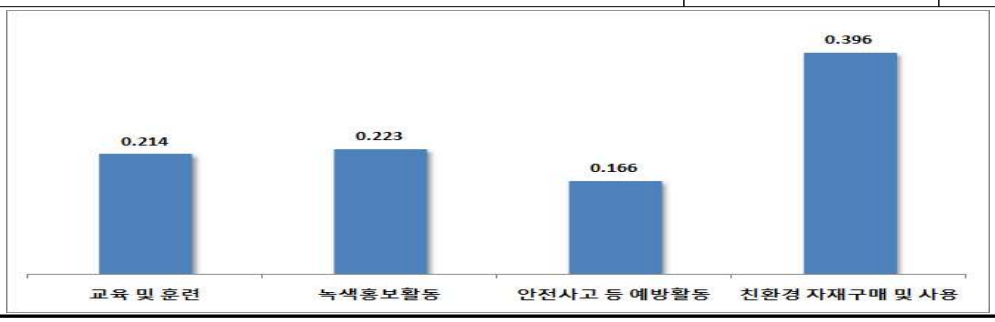


- 에너지 및 온실가스 관리 부문에서 평가항목 간 중요도 설문조사 결과, “신재생에너지 생산”의 가중치가 가장 높게 나타났으며, “온실가스 배출량 감소”, “에너지 사용량 감소”, “에너지공급체계“ 순으로 우선순위가 결정됨

○ 녹색활동 부문 평가항목 간 중요도

- 평가항목 간 중요도는“교육 및 훈련”, “녹색홍보활동”, “안전사고 등 예방활동”, “친환경 자재구매 및 사용”에 대한 설문조사를 수행함

평가항목	가중치	우선순위
교육 및 훈련	0.214	3
녹색홍보활동	0.223	2
안전사고 등 예방활동	0.166	4
친환경 자재구매 및 사용	0.396	1
가중치 합	1.000	-



- 녹색활동 부문에서 평가항목 간 중요도 설문조사 결과, “친환경 자재구매 및 사용”의 가중치가 가장 높게 나타났으며, “녹색홍보활동”, “교육 및 훈련”, “안전사고 등 예방활동“ 순으로 우선순위가 결정됨

■ 유지관리 부문 등급체계 마련

◎ 유지관리 부문 평가지표별 배점

○ 미국 뉴욕주 교통국의 유지관리 부문 녹색도로인증제(GreenLITES)에서도 일부 평가지표에

는 평가점수를 부여하고 있지만 전반적으로 평가점수는 미정인 상태이며, 현재 시범적용을 통해 매년 평가지표가 수정, 보완 및 개발이 이루어지고 있다.

○ 이에 한국형 유지관리 부문의 녹색도로인증제 도입ㆍ정착 및 활용을 위해서는 도로건설공사에서 현재 시행하고 있는 유지관리 활동에 대해서 면밀한 조사를 수행한 후, 세부지표당 중요도에 대해 전문가 설문을 통하여 적정한 평가배점을 부여한다.

○ 유지관리 부문의 총점은 도로건설단계(설계 및 시공)의 녹색도로인증제 총점이 100점으로 설정되어, 건설단계와 관리단계의 중요도를 고려하여 총점은 50점으로 설정한다.

○ 설정된 총점 50점에 대해서 앞서 시행한 평가분야 간(대분류 수준) 및 각 부문별 평가항목(중분류 수준) AHP 설문분석 결과를 반영하여 점수를 부여한다.

<표 2-52> 한국형 녹색도로인증제 인증지표(고속국도: 50점 만점)

평가분야	코드	평가항목	평가기준	인증점수
도로시설 (Road Facilities) (총 14점)	RF1	교량시설물	교량 점검	4
			친환경 교량 유지관리 활동	
	RF2	도로포장	도로포장 보수/보강/교체 활동	6
			친환경 포장재료 사용	
	RF3	배수시설물	배수시설물 점검	1
	RF4	터널시설물	터널 청소	3
			터널 안전활동	
부대시설물 (Auxiliary Facilities) (총 5점)	AF1	건축물 (도로관리 및 휴게시설 등)	친환경 건축물 관리활동	1.4
	AF2	노변 유지관리활동	안전관리활동	0.5
			환경관리활동	
	AF3	방음·방풍·가드레일 등	안전관리활동	0.9
			환경관리활동	
	AF4	안전사고예방 부대시설	안전사고 예방 부대시설 설치	0.6
	AF5	신호 및 조명	시설 점검	1.6
			친환경 개선활동	
교통운영관리 (Traffic Management) (총 14점)	TM1	교통정보 시스템	현장시설물 외관 청소	5
			가변전광표지 통신상태 및 화면표출 상태점검	
			차량검지기 통신상태 및 자료수집 상태점검	
			교통정보제공시스템 신뢰성 점검	
	TM2	돌발상황관리 시스템	돌발상황관리를 위한 CCTV 영상부 외관청소 및 점검	3
			돌발상황관리를 위한 CCTV 제어기부 및 통신부 점검	
			돌발상황관리시스템 신뢰성 점검	
	TM3	연속류제어 시스템	연속류제어시스템을 위한 시설물 외관 청소	4
			제어기상태 및 통신상태 점검	
			알고리즘 점검	
			신호기 표출상태 점검	
	TM4	자동요금징수 시스템	자동요금징수시스템 통신 점검	2
			자동요금징수시스템 시설물 외관 청소 및 점검	
에너지 및 온실가스관리 (Energy& GHGs) (총 14점)	EG1	신재생에너지 생산	신재생에너지 생산 활동	6
	EG2	에너지 공급체계	에너지공급체계 구축	2
	EG3	에너지사용량 감소	도로시설물 에너지 사용량 감소 활동	3
			부대시설물 에너지 사용량 감소 활동	
			에너지사용량 감소를 위한 정책 추진	
	EG4	온실가스 배출량 감소	온실가스 배출량 감소 활동	3
녹색활동 (Green Activity) (총 3점)	GA1	교육 및 훈련	녹색교육 및 훈련 실시	0.6
	GA2	녹색홍보활동	녹색홍보활동	0.7
	GA3	안전사고 등 예방활동	안전사고 예방 홍보 활동	0.5
			도로 안전사고 예방활동	
	GA4	친환경자재구매·사용	친환경 자재 구매	1.2
			친환경 자재 사용	

<표 2-53> 한국형 녹색도로인증제 인증지표(일반국도: 50점 만점)

평가분야	코드	평가항목	평가기준	인증점수
도로시설 (Road Facilities) (총 14점)	RF1	교량시설물	교량 점검	4
			친환경 교량 유지관리 활동	
	RF2	도로포장	도로포장 보수/보강/교체 활동	6
			친환경 포장재료 사용	
	RF3	배수시설물	배수시설물 점검	1
	RF4	터널시설물	터널 청소	3
			터널 안전활동	
부대시설물 (Auxiliary Facilities) (총 5점)	AF1	건축물 (도로관리 및 휴게시설 등)	친환경 건축물 관리활동	1.4
	AF2	노변 유지관리활동	안전관리활동	0.5
			환경관리활동	
	AF3	방음·방풍·가드레일 등	안전관리활동	0.9
			환경관리활동	
	AF4	안전사고예방 부대시설	안전사고 예방 부대시설 설치	0.6
	AF5	신호 및 조명	시설 점검	1.6
			친환경 개선활동	
교통운영관리 (Traffic Management) (총 14점)	TM1	교통정보시스템	현장시설물 외관 청소	5
			가변전광표지 통신상태 및 화면표출 상태점검	
			차량검지기 통신상태 및 자료수집 상태점검	
			교통정보제공시스템 신뢰성 점검	
	TM2	돌발상황관리 시스템	돌발상황관리를 위한 CCTV 영상부 외관청소 및 점검	3
			돌발상황관리를 위한 CCTV 제어기부 및 통신부 점검	
			돌발상황관리시스템 신뢰성 점검	
	TM3	단속류제어 시스템	첨단교통신호제어시스템 신호기 외관 청소 및 점검	4
			첨단교통신호제어시스템 제어기/통신상태 및 알고리즘 점검	
			교차로 교통운영최적화 신뢰성 점검	
	TM4	BIS/BMS	버스정보제공(BIS) 및 버스관리(BMS)시스템 외관 청소	2
			버스정보제공(BIS) 및 버스관리(BMS)시스템 점검	
에너지 및 온실가스관리 (Energy& GHGs) (총 14점)	EG1	신재생에너지 생산	신재생에너지 생산 활동	6
	EG2	에너지 공급체계	에너지공급체계 구축	2
	EG3	에너지사용량 감소	도로시설물 에너지 사용량 감소 활동	3
			부대시설물 에너지 사용량 감소 활동	
			에너지사용량 감소를 위한 정책 추진	
	EG4	온실가스 배출량 감소	온실가스 배출량 감소 활동	3
녹색활동 (Green Activity) (총 3점)	GA1	교육 및 훈련	녹색교육 및 훈련 실시	0.6
	GA2	녹색홍보활동	녹색홍보활동	0.7
	GA3	안전사고 등 예방활동	안전사고 예방 홍보 활동	0.5
			도로 안전사고 예방활동	
	GA4	친황경자재구매·사용	친환경 자재 구매	1.2
			친환경 자재 사용	

◎ 유지관리 부문 세부평가지표 및 기준

○ 유지관리 부문 각 부문별 평가항목(중분류 수준)을 바탕으로 이에 해당하는 세부평가기준을 다음과 같이 마련하였다.

※ 도로시설 (고속국도 & 일반국도)

<table>
<tr><th>코드</th><th>평가항목</th><th>배점</th><th>평가기준</th></tr>
<tr><td>RF1</td><td>교량시설물</td><td>4</td><td>■ 교량시설물에 대한 점검 및 친환경 유지관리 활동에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 교량점검
▸ 친환경 교량 유지관리 활동

<4점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<3점> 두 가지 세부분류 중 3개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<2점> 두 가지 세부분류 중 2개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<1점> 두 가지 세부분류 중 1개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td rowspan="2">교량 점검</td><td>평가대상구간 교량 청결상태 점검</td><td>적용 프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td>평가대상구간 교량 안전 점검</td><td>적용 프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td rowspan="3">친환경 교량 유지관리 활동</td><td>교량 등 구조물에 미적인 요소를 첨가</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>교량 등 구조물에 기존 페인트 제거시 특수 기법 사용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>교량 등 구조물의 보수시 화학 약품들이 떨어지는 것을 방지하는 기법 사용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>RF2</td><td>도로포장</td><td>6</td><td>■ 도로포장에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 도로포장 보수/보강/교체 활동
▸ 친환경 포장재료 사용

<6점> 두 가지 세부분류 중 6개 이상 점검항목을 수행한 경우
<5점> 두 가지 세부분류 중 5개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<4점> 두 가지 세부분류 중 4개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<3점> 두 가지 세부분류 중 3개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<2점> 두 가지 세부분류 중 2개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<1점> 두 가지 세부분류 중 1개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td rowspan="5">도로포장 보수/보강/교체 활동</td><td>크랙을 매꿀때 (Crack-Sealing) 50%이상 리싸이클 자원이 활용된 제품 사용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>도로 포장시 현장 리싸이클</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>포장보수 면처리 적정장비 적용 (단가 효율화)</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>콘크리트 포장 단면보수재 신기술 신공법 도입/적용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>도로포장의 주행쾌적성 향상</td><td>적용</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td></td><td></td><td>프로젝트당</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">친환경
포장재료 사용</td><td>재생아스팔트를 사용한 포장</td><td>적용
프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>콘크리트 및 아스팔트의 재활용 및 재생</td><td>적용
프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>RF3</td><td>배수시설물</td><td>1</td><td>■ 배수시설물에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 배수시설물 점검

<1점> 세부분류 점검항목 중 2개 이상을 수행한 경우
<0점> 세부분류 점검항목 중 2개 미만을 수행한 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동
주기</th></tr>
<tr><td rowspan="4">배수시설물 점검</td><td>막힌 배수유역청소</td><td>적용
프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td>암거 유지관리/청소</td><td>적용
프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td>홍수에 의한 도로유실방지</td><td>적용
프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td>불법배수로 추적 및 보고</td><td>적용
프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>RF4</td><td>터널시설물</td><td>3</td><td>■ 터널시설물에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 터널 점검
▸ 터널 안전활동

<3점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<2점> 두 가지 세부분류 중 2개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<1점> 두 가지 세부분류 중 1개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동
주기</th></tr>
<tr><td>터널 점검</td><td>터널 청소</td><td>적용
프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td rowspan="2">터널 안전활동</td><td>고비용 터널 방재시설을 개선한
방연에어커튼 설치</td><td>적용
프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>터널 피난연결통로 차단문 설치</td><td>적용
프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">계</td><td>14</td><td></td></tr>
</table>

※ 부대시설물 (고속국도 & 일반국도)

코드	평가항목	배점	평가기준
AF1	건축물 관리 (도로관리 및 휴게시설 등)	1.4	■ 친환경 건축물 관리활동에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함 ▸ 친환경 건축물 관리활동 <1.4점> 세부분류에 대한 2개 점검항목을 수행한 경우 <0점> 세부분류에 대한 1개 이하 점검항목을 수행한 경우 ■ 세부 평가기준

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td rowspan="7">친환경 건축물 관리활동</td><td>휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물이나 조경에서 미적인 면을 개선하는 시공</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물에서의 장애인시설 설치</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물의 도색시 총 페인트유출로 인한 오염수준을 측정</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물에서 나오는 쓰레기의 리싸이클(재활용)</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>지역특색을 반영한 휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물의 디자인 개선 추진</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>오수처리시설 유지관리</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>AF2</td><td>노변
유지관리</td><td>0.5</td><td>
■ 노변 유지관리의 안전 및 환경관리활동에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 안전관리활동
▸ 환경관리활동

<0.5점> 두 가지 세부분류에 대해 각각 1개 이상 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류 중 한 가지 세부분류에 대한 점검항목을 수행한 경우와 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td rowspan="3">안전관리활동</td><td>침식 및 침전관리</td><td>적용 프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td>잔재제거</td><td>적용 프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td>노면낙하물 수거장치 확대</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td rowspan="8">환경관리활동</td><td>미적효과를 높이는 노변가림막 설치</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>야생화나 야생식물의 보호</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>잔디깍기 횟수의 축소</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>강화된 쓰레기 투척관리 및 수거</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>침입종(invasive species) 제어</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>살초제(herbicide)대신 대체재 사용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>저비용 녹지대 지피식물 다양화 추진</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>도로상의 빗물집수를 통한 수자원 확보</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>AF3</td><td>방음·방풍·가드레일 등</td><td>0.9</td><td>
■ 방음·방풍·가드레일 등 설치물에 유지관리의 안전 및 환경관리활동에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 안전관리활동
▸ 환경관리활동

<0.9점> 두 가지 세부분류에 대해 각각 1개 이상 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류 중 한 가지 세부분류에 대한 점검항목을 수행한 경우와 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td rowspan="5">안전관리활동</td><td>충돌충격완화제 (impact attenuator)의 교체</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>방음벽의 관리/수리/설치</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>주행안전성 향상을 위한 난간방호벽 성능 개선</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>구형 가드레일 저비용 성능향상 추진</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>방풍벽 설치 및 점검</td><td>적용 프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td rowspan="2">환경관리활동</td><td>친환경 방음벽 제품사용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>미적인 가치를 높인 가드레일</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>AF4</td><td>안전사고예방 부대시설</td><td>0.6</td><td>■ 안전사고 예방 부대시설에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 안전사고 예방 부대시설 설치

<0.6점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<0점> 세부분류에 대한 1개 이하 점검항목을 수행한 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td rowspan="2">안전사고 예방 부대시설 설치</td><td>졸음운전 예방을 위한 직선구간 경관 다양화</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>졸음사고 예방을 위한 “졸음 쉼터” 설치</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>AF5</td><td>신호 및 조명</td><td>1.6</td><td>■ 신호 및 조명시설에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 시설 점검
▸ 친환경 개선활동
<1.6점> 두 가지 세부분류에 대해 모든 점검항목을 수행한 경우
<0.8점> 두 가지 세부분류 중 한 가지 세부분류에 대한 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류에 대해 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td>시설 점검</td><td>신호 및 조명시설 청소</td><td>적용 프로젝트당</td><td>1회/년</td></tr>
<tr><td>친환경 개선활동</td><td>신호 및 조명(가로등) 등기구 구조 개선으로 눈부심 방지 추진</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">계</td><td>5</td><td></td></tr>
</table>

※ 교통운영관리(고속국도)

코드	평가항목	배점	평가기준
TM1	교통정보 시스템	5	■ 차량검지시스템, 가변전광표지, 교통정보제공시스템에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함 ▸ 현장시설물 외관 청소 ▸ 가변전광표지 통신상태 및 화면표출 상태 점검 ▸ 차량검지기 통신상태 및 자료수집 상태 점검 ▸ 교통정보제공시스템 신뢰성 점검 <5점> 네 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <3점> 네 가지 세부분류 중 3개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <2점> 네 가지 세부분류 중 2개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우

<1점> 네 가지 세부분류 중 1개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<0점> 네 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준

세부 분류	점검항목	평가기준	활동 주기
시설물 외관 청소	현장에 설치된 시설물의 외관 청결상태 점검	각 개소 당	1회/월
가변전광표지 점검	가변전광표지의 통신상태 점검	각 개소 당	4회/년
	가변전광표지 화면표출상태 점검	각 개소 당	1회/월
차량검지기 점검	차량검지기 통신상태 점검	각 개소 당	4회/년
	차량검지기 자료수집 상태 점검	각 개소 당	4회/년
교통정보제공시스템 신뢰성 점검	교통정보 정확도 점검 (실시간 교통상황 비교)	-	수시

TM2	돌발상황 관리시스템	3	■ 돌발상황관리시스템에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함 ▸ 돌발상황관리를 위한 CCTV 영상부 외관청소 및 점검 ▸ 돌발상황관리를 위한 CCTV 제어기부 및 통신부 점검 ▸ 돌발상황관리시스템 신뢰성 점검 <3점> 세 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <2점> 세 가지 세부분류 중 2개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <1점> 세 가지 세부분류 중 1개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <0점> 세 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우 ■ 세부 평가기준
TM3	연속류 제어 시스템	4	■ 가변제어속도, 램프미터링시스템, 가변차로제어시스템에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함 ▸ 연속류제어시스템을 위한 시설물 외관 청소 ▸ 제어기상태 및 통신상태 점검 ▸ 알고리즘 점검 ▸ 신호기 표출상태 점검 <4점> 네 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <3점> 네 가지 세부분류 중 3개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <2점> 네 가지 세부분류 중 2개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <1점> 네 가지 세부분류 중 1개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <0점> 네 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우 ■ 세부 평가기준

세부 분류	점검항목	평가기준	활동 주기
CCTV 영상부 외관청소 및 점검	CCTV 외관구조/청결상태 및 기능점검	각 개소 당	1회/월
	CCTV 렌즈 상태, 영상 상태 점검	각 개소 당	1회/월
CCTV 제어기 및 통신부 점검	제어기 상태, 통신상태 점검	각 개소 당	1회/월
돌발상황관리 시스템 신뢰성 점검	돌발상황 검지 알고리즘 점검 (알고리즘 정확성, 알고리즘 신뢰성 등)	시설물 당	2회/년
	돌발상황관리시스템 정확도 점검 (정보제공 여부, 돌발상황 처리방법 등)	시설물 당	4회/년

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td>시스템 외관청소</td><td>연속류제어시스템을 위해 도로에 설치되어 있는 시스템들의 외관 청결상태 점검 (신호기, 제어기, VMS 등)</td><td>각 개소 당</td><td>1회/월</td></tr>
<tr><td>제어기/통신기상태 점검</td><td>연속류제어시스템 제어기/통신상태 점검 (센서, 제어기, 통신정보 등)</td><td>시설물 당</td><td>4회/년</td></tr>
<tr><td>알고리즘 점검</td><td>연속류제어시스템 알고리즘 점검 (시스템 구현 정확도검증 및 현장검증)</td><td>시설물 당</td><td>2회/년</td></tr>
<tr><td>신호기 표출상태 점검</td><td>연속류제어시스템을 위한 신호기 표출 점검 (전구상태, 검지기상태, 신호기위치 등)</td><td>시설물 당</td><td>1회/월</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>TM4</td><td>자동요금
징수
시스템</td><td>2</td><td>
■ 자동요금징수시스템에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 자동요금징수시스템 통신상태 점검
▸ 자동요금징수시스템 시설물 외관 청소 및 점검

<2점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<1점> 두 가지 세부분류 중 1개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td>통신상태 점검</td><td>자동요금징수 통신상태 점검 (차량분류, 차량감지, 안테나상태, 차로제어 등)</td><td>시설물 당</td><td>4회/년</td></tr>
<tr><td rowspan="4">시설물 외관청소 및 점검</td><td>자동요금징수를 위한 시스템들의 외관 청결상태 점검</td><td>시설물 당</td><td>1회/월</td></tr>
<tr><td>차량분류장치 점검</td><td>시설물 당</td><td>4회/년</td></tr>
<tr><td>안내전광판 및 운전자표시기 화면표출 상태 점검</td><td>시설물 당</td><td>1회/월</td></tr>
<tr><td>차단기 존재 경우 차단기 상태 점검</td><td>시설물 당</td><td>수시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">계</td><td>14</td><td></td></tr>
</table>

※ 교통운영관리(일반국도)

코드	평가항목	배점	평가기준
TM1	교통정보 시스템	5	■ 고속국도와 동일함
TM2	돌발상황 관리시스템	3	■ 고속국도와 동일함
TM3	단속류 제어 시스템	4	■ 첨단교통신호제어시스템, 교차로 교통운영최적화에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함 ▸ 첨단교통신호제어시스템 신호기 외관 청소 및 점검 ▸ 첨단교통신호제어시스템 제어기/통신상태 및 알고리즘 점검 ▸ 교차로 교통운영최적화 신뢰성 점검 <4점> 세 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <2점> 세 가지 세부분류 중 2개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <1점> 세 가지 세부분류 중 1개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우 <0점> 세 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우 ■ 세부 평가기준

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td rowspan="2">신호기 외관 청소 및 점검</td><td>교통신호기 외관청소</td><td>교차로 당</td><td>1회/월</td></tr>
<tr><td>교통신호기 표출상태 점검</td><td>교차로 당</td><td>1회/월</td></tr>
<tr><td rowspan="2">첨단교통신호제어 시스템 점검</td><td>첨단교통신호제어시스템 제어기상태 및 통신상태 점검</td><td>교차로 당</td><td>4회/년</td></tr>
<tr><td>첨단교통신호제어시스템 알고리즘 점검</td><td>교차로 당</td><td>2회/년</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교통운영최적화 신뢰성 점검</td><td>교통신호 최적화 점검</td><td>교차로 당</td><td>2회/년</td></tr>
<tr><td>신호연동화 점검 및 보완적용</td><td>교차로 당</td><td>2회/년</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>TM4</td><td>BIS 및 BMS</td><td>2</td><td>■ 버스정보제공시스템 및 버스관리시스템에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 버스정보제공(BIS) 및 버스관리(BMS) 시스템 외관 청소
▸ 버스정보제공(BIS) 및 버스관리(BMS) 시스템 점검

<2점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<1점> 두 가지 세부분류 중 1개에 대한 모든 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td>시스템 외관 청소</td><td>BIS/BMS를 위해 도로에 설치되어 있는 시스템들의 외관 청결상태 점검 (VMS, 제어기 등)</td><td>각 개소 당</td><td>1회/월</td></tr>
<tr><td rowspan="3">시스템 점검</td><td>BIS/BMS 제어기상태 및 통신상태 점검</td><td>각 개소 당</td><td>4회/년</td></tr>
<tr><td>BIS/BMS 알고리즘 점검</td><td>각 개소 당</td><td>2회/년</td></tr>
<tr><td>BIS/BMS를 위한 화면 표출상태 점검</td><td>각 개소 당</td><td>1회/월</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">계</td><td>14</td><td></td></tr>
</table>

※ 에너지 및 온실가스 관리 (고속국도 & 일반국도)

코드	평가항목	배점	평가기준
EG1	신재생 에너지 생산	6	■ 신재생에너지 생산에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함 ▸ 신재생에너지 생산활동 <6점> 세부분류 중 4개 이상 점검항목을 수행한 경우 <5점> 세부분류 중 3개에 대한 점검항목을 수행한 경우 <4점> 세부분류 중 2개에 대한 점검항목을 수행한 경우 <3점> 세부분류 중 1개에 대한 점검항목을 수행한 경우 <0점> 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우 ■ 세부 평가기준

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td rowspan="5">신재생에너지 생산활동</td><td>도로공간을 활용한 태양광 에너지 생산 및 활용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>도로공간을 활용한 풍력 에너지 생산 및 활용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>도로에서 주행하는 차량통행을 활용한 압전발전 에너지 생산 및 활용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>도로지하의 지열을 통한 에너지 생산 및 활용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>도로부지 주변 및 교량 하단부 하천활용 소수력 발전 에너지 생산 및 활용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>EG2</td><td>에너지
공급체계</td><td>2</td><td>■ 에너지공급체계에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 에너지공급체계 구축

<2점> 세부분류에 대해 2개 이상 점검항목을 수행한 경우
<1점> 세부분류에 대해 1개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<0점> 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td rowspan="3">에너지공급체계 구축</td><td>지하공간을 통한 통신 및 전력망 구축</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>전기자동차 통행을 위해 필수적인 충전시설 및 충전인프라 구축</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>전기자동차 충전시설 설치, 점검 및 유지관리</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>EG3</td><td>에너지
사용량 감소</td><td>3</td><td>■ 에너지 사용량에 유지관리의 안전 및 환경관리활동에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 도로시설물 에너지사용량 감소 활동
▸ 부대시설물 에너지사용량 감소 활동
▸ 에너지 사용량 감소를 위한 정책추진

<3점> 세 가지 세부분류 중 3개 이상 점검항목을 수행한 경우
<2점> 세 가지 세부분류 중 2개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<1점> 세 가지 세부분류 중 1개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<0점> 세 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table>
<tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr>
<tr><td>도로시설물 에너지사용량 감소 활동</td><td>도로조명, 경고사인, 경고등을 LED로 교체</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td rowspan="3">부대시설 에너지 사용량 감소 활동</td><td>건물조명 LED 교체 확대방안 수립 및 추진</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>휴게시설 및 도로관리를 위한 건축물의 타이머 부착 온도조절기 사용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>에너지 절약형 건축 시설물(휴게시설, 도로시설물 관리 건축물, 요금소 등) 설치 추진</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">에너지 사용량 감소를 위한 정책추진</td><td>에너지절약 추진업무 실태 평가</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
<tr><td>가로등 밝기조절(조광제어) 기법 도입/적용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>EG4</td><td>온실가스
배출량 감소</td><td>3</td><td>■ 온실가스 배출량 감소에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>▸ 온실가스 배출량 감소

<3점> 세부분류 중 모든 점검항목을 수행한 경우
<2점> 세부분류 중 2개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<1점> 세부분류 중 1개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<0점> 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table><tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr><tr><td rowspan="3">온실가스 배출량 감소 활동</td><td>CNG(Compressed Natural Gas) 사용 시설</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>배기가스저감기 장착한 도로시설물 관리 차량</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>대체에너지를 사용하는 도로시설물 관리 차량</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">계</td><td>14</td><td></td></tr>
</table>

※ 녹색활동 (고속국도 & 일반국도)

<table>
<tr><th>코드</th><th>평가항목</th><th>배점</th><th>평가기준</th></tr>
<tr><td>GA1</td><td>교육 및 훈련</td><td>0.6</td><td>■ 녹색교육 및 훈련 실시에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 녹색교육 및 훈련 실시

<0.6점> 세부분류 중 2개 이상 점검항목을 수행한 경우
<0점> 세부분류 중 1개 이하 점검항목을 수행하였을 경우와 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table><tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr><tr><td rowspan="4">녹색 교육 및 훈련 실시</td><td>시설물 관리를 위한 환경교육</td><td>프로그램당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>에너지절약 관련 훈련 실시</td><td>프로그램당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>제설제(소금/염화칼슘) 살포에 관한 교육/훈련</td><td>프로그램당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>에코드라이빙 보급 및 운전자 교육</td><td>프로그램당</td><td>발생시</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>GA2</td><td>녹색
홍보활동</td><td>0.7</td><td>■ 녹색홍보활동에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 녹색홍보활동

<0.7점> 세부분류에 대해 모든 점검항목을 수행한 경우
<0점> 세부분류 중 1개 이하 점검항목을 수행하였을 경우와 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table><tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr><tr><td rowspan="2">녹색홍보활동</td><td>✓ 지역주민과의 고속도로 청소 및 관리프로그램 운영</td><td>프로그램당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>✓ 고객 노선체험단 구성 운영</td><td>프로그램당</td><td>발생시</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>GA3</td><td>안전사고 등</td><td>0.5</td><td>■ 안전사고 등 예방활동에 유지관리의 안전 및 환경관리활동에 대하여 평가기준에</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>예방활동</td><td></td><td>준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 안전사고 예방 홍보 활동
▸ 도로 안전사고 예방활동

<0.5점> 두 가지 세부분류 중 각 세부분류 활동을 각각 1개 이상 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류 중 어느 한 가지 세부분류 활동에만 점검항목을 수행한 경우와 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table><tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr><tr><td rowspan="3">안전사고 예방 홍보 활동</td><td>교통안전문화 정착을 위한 홍보</td><td>프로그램당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>교통안전 체험센터 설치</td><td>프로그램당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>사망사고 줄이기 경진대회 개최</td><td>프로그램당</td><td>발생시</td></tr><tr><td rowspan="3">도로 안전사고 예방활동</td><td>과적차량 단속 강화 추진</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>적재불량차량 단속 강화 추진</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>차선 점검 및 재도색</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>GA4</td><td>친환경 자재구매 · 사용</td><td>1.2</td><td>■ 친환경 자재구매 · 사용에 대하여 평가기준에 준하는 유지관리를 수행할 경우 점수를 부여함
▸ 친환경 자재 구매
▸ 친환경 자재 사용

<1.2점> 두 가지 세부분류 중 가 세부분류 활동을 각각 1개 이상 점검항목을 수행한 경우
<0.6점> 두 가지 세부분류 중 1개에 대한 점검항목을 수행한 경우
<0점> 두 가지 세부분류에 대한 모든 점검항목을 수행하지 않은 경우

■ 세부 평가기준
<table><tr><th>세부 분류</th><th>점검항목</th><th>평가기준</th><th>활동 주기</th></tr><tr><td>친환경 자재 구매</td><td>자재 구매시 재활용품/지역생산품 우선구매</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr><tr><td rowspan="2">친환경 자재 사용</td><td>환경친화적인 제설제/제빙제(de-icer) 및 도료 사용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr><tr><td>청소 작업시 환경친화적인 청소제품을 사용</td><td>적용 프로젝트당</td><td>발생시</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">계</td><td>3</td><td></td></tr>
</table>

■ 한국형 녹색도로 인증지표(도로관리단계 유지관리 부문)

○ 도로관리단계(유지관리)에서는 도로시설, 부대시설물, 교통운영관리, 에너지&온실가스관리, 녹색활동 등 총 5개 분야로 구분한다.

○ 평가항목은 23개 평가항목으로 하였다.

○ 인증점수는 평가항목 당 평가기준에 따라 부여되는 0.5~6점, 신기술 적용 및 자체가산점(제안형 점수) 5점을 포함하여, 총 55점 만점으로 한다.

- 도로시설 : 4개 평가항목, 7개 평가기준, 해당배점 14점
- 부대시설물 : 5개 평가항목, 8개 평가기준, 해당배점 5점
- 교통운영관리(고속국도) : 4개 평가항목, 13개 평가기준, 해당배점 14점

- 교통운영관리(일반국도) : 4개 평가항목, 12개 평가기준, 해당배점 14점
- 에너지&온실가스관리 : 4개 평가항목, 6개 평가기준, 해당배점 14점
- 녹색활동 : 4개 평가항목, 6개 평가기준, 해당배점 3점

○ 도로관리단계(유지관리)의 평가항목별 배점 총합을 근거하여 해당 도로의 녹색도로등급을 부여하고, 녹색도로등급 단계는 크게 4단계로 구분한다.

○ 녹색도로등급은 친환경성 및 지속가능성 등이 높은 순으로 에버그린, 골드, 실버, 인증등급으로 구분하며, '에버그린'은 60%이상, '골드'는 50~59.9%, '실버'는 40~49.9%, '인증'은 30~39.9% 수준의 배점 획득률(%)을 만족하였을 경우 부여된다.

○ 도로관리단계(유지관리)의 녹색도로등급은 건설단계에서 부여한 점수 범위를 참고하여 이와 균등한 비율로 점수를 배분하여 녹색도로등급을 부여한다.

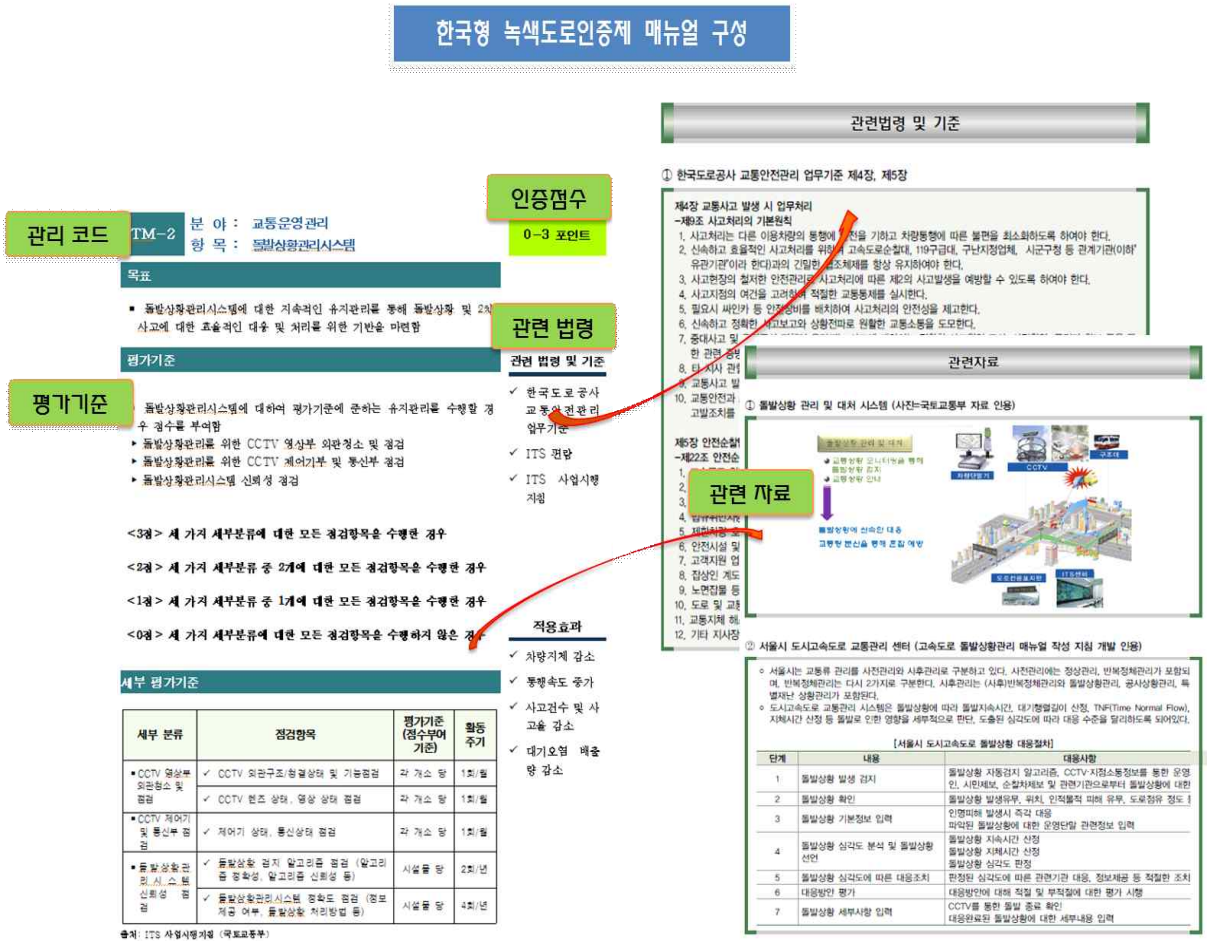
○ 도로관리단계 등급 설정은 벤치마킹 대상이 되는 국가나 시스템이 없기 때문에 본 과업에서는 일차적으로 상기와 같은 방식으로 설정하고, 추후 충분하고 의미 있는 실적통계가 축적이 되면 이를 조정키로 한다.

<표 2-54> '유지관리 부문' 녹색도로등급 및 배점 기준 값

녹색도로 등급	배점 획득률(%)	배점 기준 값 (point)	비고
인증	30~39.9	15~19.9점 구간	
실버	40~49.9	20~24.9점 구간	
골드	50~59.9	25~29.9점 구간	
에버그린	60 이상	30점 이상	

■ 한국형 녹색도로인증 매뉴얼 작성(도로관리단계 유지관리 부문)

○ 도로건설단계와 마찬가지로 도로관리단계(유지관리)의 녹색도로인증제에 대한 평가를 위해 각각의 평가지표별 일반인이나 평가자가 쉽게 이해하고 평가업무에 용이하도록 세부 분류별 점검항목을 마련하였으며, 관련 법령 및 기준, 관련 자료 등의 내용이 담겨있는 매뉴얼을 작성하였다.



<그림 2-33> 도로관리단계(유지관리 부문) 녹색도로인증 매뉴얼 구성

③ 한국형 녹색도로인증제 등급체계 개발

㉮ 한국형 녹색도로인증제 정의

○ 녹색도로 인증제는 단순히 도로의 일반적인 기능 향상을 위한 도로설계 및 건설 등의 물리적 차원의 평가가 아닌, 설계 및 시공중인 도로건설사업을 대상으로(도로 운영 및 유지관리 단계까지 포함) 친환경 녹색도로 건설을 위한 일련의 활동을 평가하여 등급을 부여하는 제도로, 에너지 및 온실가스 배출측면에서의 효율성 극대화 및 적극적인 온실가스 저감 목표를 포함하는 광범위한 평가시스템을 의미한다.

㉯ 적용범위

○ 국내의 모든 도로가 환경훼손을 최소화 하고 삶의 질을 높이는 지속가능성을 담은 도로환경 조성이 필요하나, 우선은 녹색도로의 건설과 관리가 더욱 필요한 고속국도와 일반국도 등의 간선도로에 적용하는 것으로 한다.

㉰ 인증단계

○ 녹색관련 인증제의 평가분야에서는 대부분 설계, 시공, 운영, 유지관리 등 전 과정을 포함하고 있다. 도로의 경우도 도로의 설계, 건설, 이용 등 전 과정이 환경에 영향을 미치고 있으므로 인

증제도의 효과를 제고하기 위해 도로의 설계, 건설, 운영, 유지관리 등 도로의 생애 주기 전체를 대상으로 인증체계를 도입할 필요가 있다.

○ 녹색도로로 인증을 받은 이후에도 교통량의 변화, 도로시설의 노후 등 많은 상황변화가 예상되므로, 지속적으로 인증기준을 만족하도록 하기 위해서는 건설단계에서 인증된 녹색도로의 유지관리가 필요하다.

○ 따라서 인증단계는 2단계로 구분한다. 1차 인증은 설계 및 시공의 도로건설 단계에 수행한다. 2차 인증은 운영 및 유지관리의 도로관리 단계에서 수행한다. 2차 인증은 인증유효기간을 3년으로 하고, 정기적으로 인증기준 충족여부를 심사·관리하는 것으로 한다.

○ 기존 도로에 대한 인증을 수행할 경우에도 1차 인증(도로건설 단계)의 조건을 적용하는 것을 기본으로 한다.

■ 도로건설단계의 인증 구성

○ 설계/시공 단계에는 녹색도로설계/포장기술, 녹색환경, 녹색자원&에너지, 녹색교통 등 총 4개 분야로 구분한다.

○ 평가항목은 고속국도 38개, 일반국도 40개로, 이에 대한 평가지표는 고속국도 49개, 일반국도: 53개로 하였다.

○ 인증점수는 평가지표에 따른 평가기준에 따라 부여되는 1~3점, 신기술 적용 및 자체 가산점(제안형 점수) 10점을 포함하여, 총 110점 만점으로 한다.

- 녹색도로설계/포장기술 : 11개 평가항목, 13개 평가지표, 해당배점 27점
- 녹색환경 : 14개 평가항목, 17개 평가지표, 해당배점 35점
- 녹색자원 & 에너지 : 7개 평가항목, 10개 평가지표, 해당배점 21점
- 녹색교통(고속국도) : 6개 평가항목, 9개 평가지표, 해당배점 17점
- 녹색교통(일반국도) : 8개 평가항목, 13개 평가지표, 해당배점 17점

■ 도로관리단계의 인증 구성

○ 운영 및 유지관리 단계에서는 교통운영관리, 도로시설, 부대시설물, 에너지 & 온실가스관리, 녹색활동 등 총 5개 분야로 구분한다.

○ 평가항목은 23개의 평가항목으로 하였다.

○ 인증점수는 평가항목 당 세부적인 평가기준에 따라 부여되는 0.5~6점, 신기술 적용 및 자체 가산점(제안형 점수) 5점을 포함하여, 총 55점 만점으로 한다.

- 도로시설 : 4개 평가항목, 7개 평가기준, 해당배점 14점
- 부대시설물 : 5개 평가항목, 8개 평가기준, 해당배점 5점
- 교통운영관리(고속국도) : 4개 평가항목, 13개 평가기준, 해당배점 14점

- 교통운영관리(일반국도) : 4개 평가항목, 12개 평가기준, 해당배점 14점
- 에너지 & 온실가스관리 : 4개 평가항목, 6개 평가기준, 해당배점 14점
- 녹색활동 : 4개 평가항목, 6개 평가기준, 해당배점 3점

■ 녹색도로 인증등급의 부여

○ 도로건설단계(설계/시공 시)와 도로관리단계(설계/시공 시 + 운영 및 유지관리)의 평가지표 및 평가항목별 배점 총합을 기준으로 해당 도로의 녹색도로 등급을 부여한다.

○ 녹색도로 등급은 4단계로 구분한다. 등급 단계는 친환경성 및 지속가능성 등이 높은 순으로 에버그린, 골드, 실버, 인증등급으로 구분하며, '에버그린'은 60%이상, '골드'는 50~59.9%, '실버'는 40~49.9%, '인증'은 30~39.9% 수준의 배점 획득률(%)을 만족하였을 경우 부여된다.

<표 2-55> 한국형 녹색도로인증제 녹색도로등급 및 배점 기준 값

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	

㉮ 소결

○ 본 연구에서는 국내도로를 녹색도로 측면에서 평가할 수 있는 평가항목 및 평가기준 등을 마련하고, 도로의 생애주기 동안 지속적으로 평가하고 개선하기 위한 기준으로 활용할 수 있는 녹색도로 등급체계를 개발하였다.

○ 이를 토대로 도로건설단계 및 도로운영단계의 온실가스 배출량을 평가할 수 있는 방안을 마련하고, 녹색도로인증제에 대한 인증평가를 위해 각각의 평가지표별 일반인이나 평가자가 쉽게 이해하고 평가업무에 용이하도록 세부 분류별 점검항목을 마련하였으며, 관련법령 및 기준, 관련

자료 등의 내용이 담겨있는 매뉴얼을 작성하였다.

○ 국내·외 녹색도로 관련 현황조사 및 사례조사를 통해 해외 선진국의 녹색도로인증제에 대한 조사를 수행하였으며, 본 연구에서 수행하고자 하는 도로교통운영 관련 시스템들의 효과분석 사례를 조사하여 녹색도로 인증지표 도출을 위한 기반을 마련하였다.

○ 사전조사 및 현황조사를 기반으로 하여 도로건설단계 및 도로관리단계의 평가지표를 도출하였으며, 전문가 설문조사를 통한 계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 통해 평가항목 및 평가지표 간 중요도를 산출하고, 이를 근거로 항목별 배점을 부여하였다.

○ 본 연구에서 수행한 한국형 녹색도로인증제 평가지표 및 도입체계 개발은 미래 녹색도로 인증제도 도입을 위한 기초연구 및 기반연구로써 작용 할 것으로 기대된다.

○ 향후 한국형 녹색도로 인증제도가 도입·적용이 된다면, 녹색도로 설계 및 시공 시 설계용역업체 또는 시공업체 선정 및 녹색사업 평가 시 활용이 가능할 것으로 판단된다.

○ 또한 녹색도로 건설을 위한 인증평가 체계 개발을 통해 에너지 사용, 온실가스 배출저감, 대기오염 배출저감 등의 목표설정 및 체계적인 관리가 가능해 질 것이며, 도로 시설물 자재・공법・장비 선정 및 지원 시스템 개발의 기반기술로 활용이 가능 할 것으로 기대된다.

(다) 녹색도로 인증 및 모니터링시스템 개발

① 녹색도로 인증시스템 개발

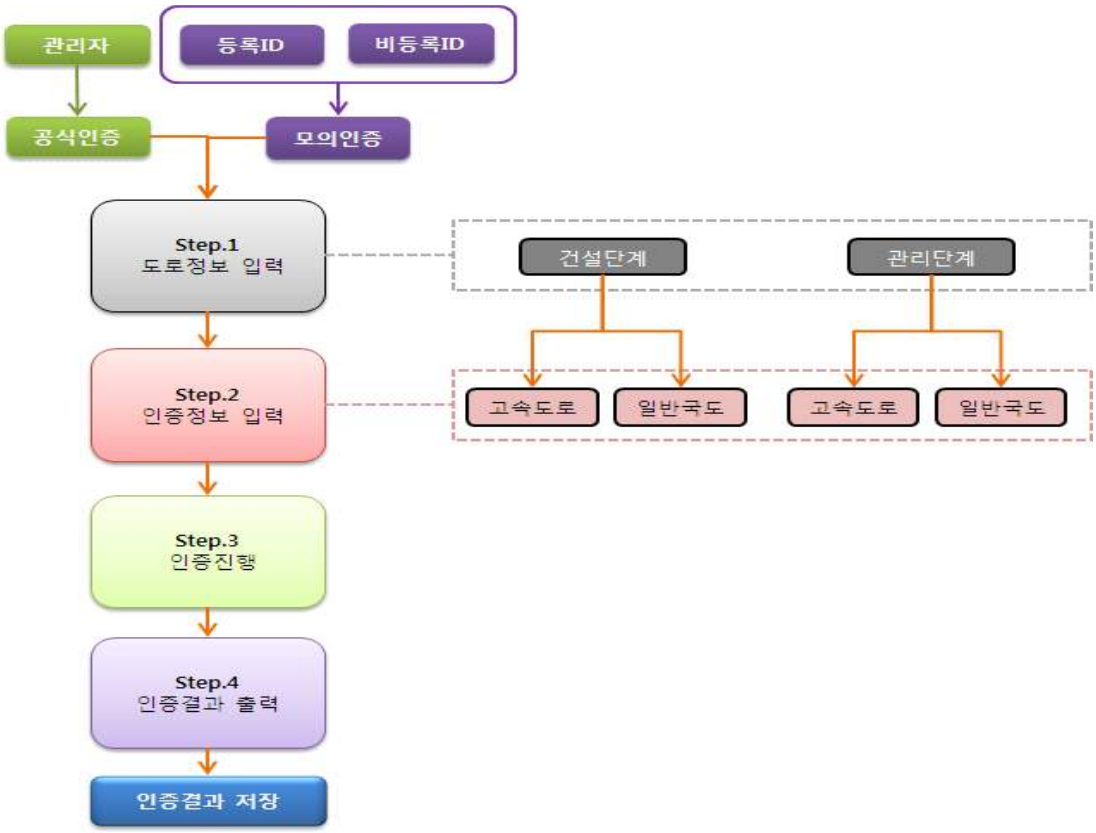
㉮ 녹색도로 인증제시스템 개요

○ 국내 도로 환경을 고려한 녹색도로 인증시스템이 존재하지 않는다.

○ 국내 도로 기준에 적합한 녹색도로 인증제를 기반으로 녹색도로를 인증할 수 있는 시스템을 구현한다.

■ 인증시스템 흐름도

○ 녹색도로 인증시스템은 인증 주체 및 인증 단계, 도로 유형 등에 따라 인증 절차에 조금씩 차이가 있다. 인증 주체 구분은 관리자와 일반 사용자로 구분하며, 인증 단계는 건설 단계 및 관리 단계, 도로 유형은 고속국도 및 일반국도로 구분하여 각각의 조건 조합으로 인증 절차가 달라짐. 인증 시스템의 인증 진행 흐름은 아래 그림과 같다.



<그림 2-34> 인증시스템 인증 흐름도

■ 개발 환경

구 분	내 용
Operating System	Windows XP
Development Tool	Visual C# 2010
Database Server	Oracle 10g
Web Server	IIS (Internet Information Service)
Component	- ChartFX 8 - Spread Studio 8

㉯ 녹색도로 인증시스템의 구성

■ 녹색도로 인증시스템 사용자 요구사항

○ 녹색도로 인증시스템을 구성하기 위하여 공동연구 기관 및 시스템 개발 전문가와 여러 번의 회의를 통하여 시스템에 요구되는 사용자 인터페이스 및 기능 등을 도출하고 이를 시스템에 반영하기 위하여 사용자 요구사항 정의서를 작성하였다.

※정의서 표지

요구사항 정의서

사업명	녹색도로 인증시스템 개발
주관기관	한국건설기술연구원

2014년 1월

한국도로공사 1호 벤처기업
(주) 로드코리아

※ 문서관리 페이지

문서번호. RK-14-C18-1		작성년월일. 2014. 01. 07	변경코드.
작성자. 이 재 한	검토자.	승인자.	문서관리자.
녹색도로 인증시스템 개발		TASK명. 사용자 요구사항 파악	문서명. 요구사항 정의서

문서 버전 관리표

버 전	일 자	내 용	작성자	비 고	확 인
1	2014. 01. 07	최초 작성	이재한		

※ 단위 프로세스 관리 페이지

녹색도로 인증시스템 개발	작성년월일	문서번호	변경코드
	2014. 01. 07	RK-14-C18-001	
	문서명 요구사항 정의서		

업무영역	인증시스템 개발	단위시스템	인증 및 모니터링 시스템 개발		
순서	요구 ID	요구 항목	근거	범주	채택여부
1	RK_001	인증시스템 기능 구분	A	신규	○
2	RK_002	입력 데이터 관리	A	신규	○
3	RK_003	인증 항목	A	신규	○
4	RK_004	인증 단계	A	신규	○
5	RK_005	인증 등급	A	신규	○
6	RK_006	GIS map 표출	A	신규	○
7	RK_007	인증 이력 출력	A	신규	○
8	RK_008	인증모드설정	A	신규	○
9	RK_009	모니터링 정보 표출	A	신규	○
10	RK_010	모의 인증	A	신규	○

※ 근거 : 제안요청서(A), 제안서(B), 사업수행계획서(C), 면담(D), 회의록(E), 기타(Z)
※ 범주 : 신규(신규 추가기능), 개선(현행 개선기능)
※ 채택 : 채택(○), 부분채택(△), 미채택(×)

※ 세부항목 페이지

녹색도로 인증시스템 개발	작성년월일	문서번호	변경코드
	2014. 01. 07	RK-14-C18-001	
	문서명 요구사항 정의서		

업무영역	인증시스템 개발	작성자	이 재 한
서브시스템		작성일	2014. 01. 07
요구항목		요구 ID	RK_001
요구사항	내 용		근거
	* 인증 및 모니터링 시스템으로 구분 - 인증 단계 (건설 및 관리로 구분) - 신설도로 및 기존 유지관리 도로 구분 - 인증 등급은 4등급으로 표현 - 평가 항목에 대한 점수를 관리자가 입력 - 입력 방식 (사용자 입력, 파일 입력 병행)		구분 신규
면담사항	*		
구현방안	* 인증시스템 - 평가 항목에 점수 부여에 대한 방법은 사용자 입력 및 엑셀 파일 입력 방식을 제공한다. - 인증 진행을 위하여 적용 도로에 대한 설정 항목을 제공한다. - 인증 후 등급 표출은 모니터링을 감안하여 네트워크 형태로 제공한다. * 모니터링 시스템 - 인증 이력에 대한 데이터베이스를 구성한다. - 인증 도로에 대한 현장 사진을 등록하고 제공한다. - 인증 도로에 대한 추가 정보를 제공한다. - 인증 단계 및 항목별 평가 점수를 확인할 수 있도록 정보를 제공한다.		
전제조건	* 인증 도로에 대한 GPS 정보 획득이 선행되어야 함.		
비 고			

■ 데이터베이스 테이블의 구성

○ 녹색도로 인증시스템을 통하여 인증 등급이 부여된 도로에는 다양한 정보들이 포함되어 있다. 인증 대상이 되는 도로에서 대한 정보, 도로에 대한 녹색도로 평가를 수행하기 위한 평가지표 및 매뉴얼, 인증 수행 후 나타나는 인증결과에 대한 정보 등을 들 수 있다. 이러한 정보들은 한 번의 인증을 통하여 사용자에서 표현되고 사라지는 것이 아니라 녹색도로에 대한 지속적인 관리가 필요함으로 저장되고 관리되어야 한다. 이러한 정보들을 저장하기 위하여 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템에서는 다수의 데이터베이스 테이블을 생성하여 해당 정보들을 저장하고, 모니터링 시스템을 기반으로 이러한 정보를 확인할 수 있도록 구성하였다.

◎ 사용자정보 테이블

○ 녹색도로에 대한 인증 진행 및 체계적인 인증이력 데이터 관리를 위하여 인증을 주관하는 주체에 대한 정보가 필요하다. 인증을 주관하는 주체로는 관리자 및 일반사용자로 분류할 수 있으며, 사용자정보 테이블은 이러한 인증 주체에 대한 정보를 저장하고 있는 테이블로써, 로그인 및 모니터링 진행시 참조되어 사용된다.

	Field Name	Data Type	설명
1	USERID	VARCHAR2(20)	사용자 ID
2	PASSWD	VARCHAR2(20)	비밀번호
3	USERNAME	VARCHAR2(30)	사용자 이름
4	EMAIL	VARCHAR2(50)	이메일
5	HP	VARCHAR2(20)	휴대폰
6	SEX	VARCHAR2(10)	성별
7	BIRTH	VARCHAR2(20)	생년월일
8	MEMEDATE	VARCHAR2(20)	가입날짜

◎ 도로정보 테이블

○ 도로정보 테이블은 녹색도로 인증 진행시 Step.1에서 입력되는 정보를 저장하는 테이블로, 인증 대상이 되는 도로에 대한 정보 및 인증 진행 후 결과로 나타나는 점수, 등급 등을 저장하는 필드로 구성되어 있다. 이 테이블은 일반 텍스트 및 이미지 파일, GPS 정보 파일 등을 모두 저장할 수 있도록 생성하였으며, 녹색도로 모니터링 시스템에서도 인증이력리스트와 연계되어 참조된다.

	Field Name	Data Type	설명
1	USERID	VARCHAR2(20)	사용자 ID
2	APPLY_DATE	VARCHAR2(50)	인증일자
3	CER_STEP	VARCHAR2(20)	인증단계
4	RAOD_TYPE	VARCHAR2(20)	도로유형

5	MAKE_GUBUN	VARCHAR2(20)	공사구분
6	ROAD_NAME	VARCHAR2(50)	도로명
7	ROAD_NUM	VARCHAR2(5)	도로번호
8	DIR	VARCHAR2(20)	방향
9	LANE	VARCHAR2(5)	차로
10	TOT_LANE	VARCHAR2(5)	전체차로수
11	PAVEKIND	VARCHAR2(20)	포장형식
12	SJ	VARCHAR2(10)	시점 이정
13	JJ	VARCHAR2(10)	종점 이정
14	LEN	VARCHAR2(10)	연장
15	JGYEAR	VARCHAR2(10)	준공(공사)년도
16	PIC	BFILE	현장 사진 이미지
17	SHAPE	SDO_GEOMETRY	도로선형 GPS
18	S_DATE	VARCHAR2(20)	공사 시작일
19	J_DATE	VARCHAR2(20)	공사 종료일
20	M_COST	VARCHAR2(15)	비용
21	ORDER_COM	VARCHAR2(20)	발주청
22	DESIGN_COM	VARCHAR2(20)	설계사
23	CON_COM	VARCHAR2(20)	시공사
24	ADMIN_COM	VARCHAR2(20)	감리사

◎ 평가매뉴얼 테이블

	Field Name	Data Type	설명
1	USERID	VARCHAR2(20)	사용자 ID
2	PASSWD	VARCHAR2(20)	비밀번호
3	USERNAME	VARCHAR2(30)	사용자 이름
4	EMAIL	VARCHAR2(50)	이메일
5	HP	VARCHAR2(20)	휴대폰
6	SEX	VARCHAR2(10)	성별
7	BIRTH	VARCHAR2(20)	생년월일
8	MEMEDATE	VARCHAR2(20)	가입날짜

	Field Name	Data Type	설명
1	EFIELD_CODE	VARCHAR2(2)	평가분야 코드
2	EFIELD	VARCHAR2(30)	평가분야
3	EITEM_CODE	VARCHAR2(3)	평가항목 코드
4	EITEM	VARCHAR2(50)	평가항목
5	EINDEX_CODE	VARCHAR2(5)	평가지표 코드
6	EINDEX	VARCHAR2(50)	평가지표
7	EBASIS_CODE	VARCHAR2(8)	평가기준 코드
8	EBASIS	VARCHAR2(300)	평가기준
9	EPOINT	NUMBER(3,1)	평가기준별 배점
10	TOT_POINT	NUMBER(3,1)	평가항목 배점

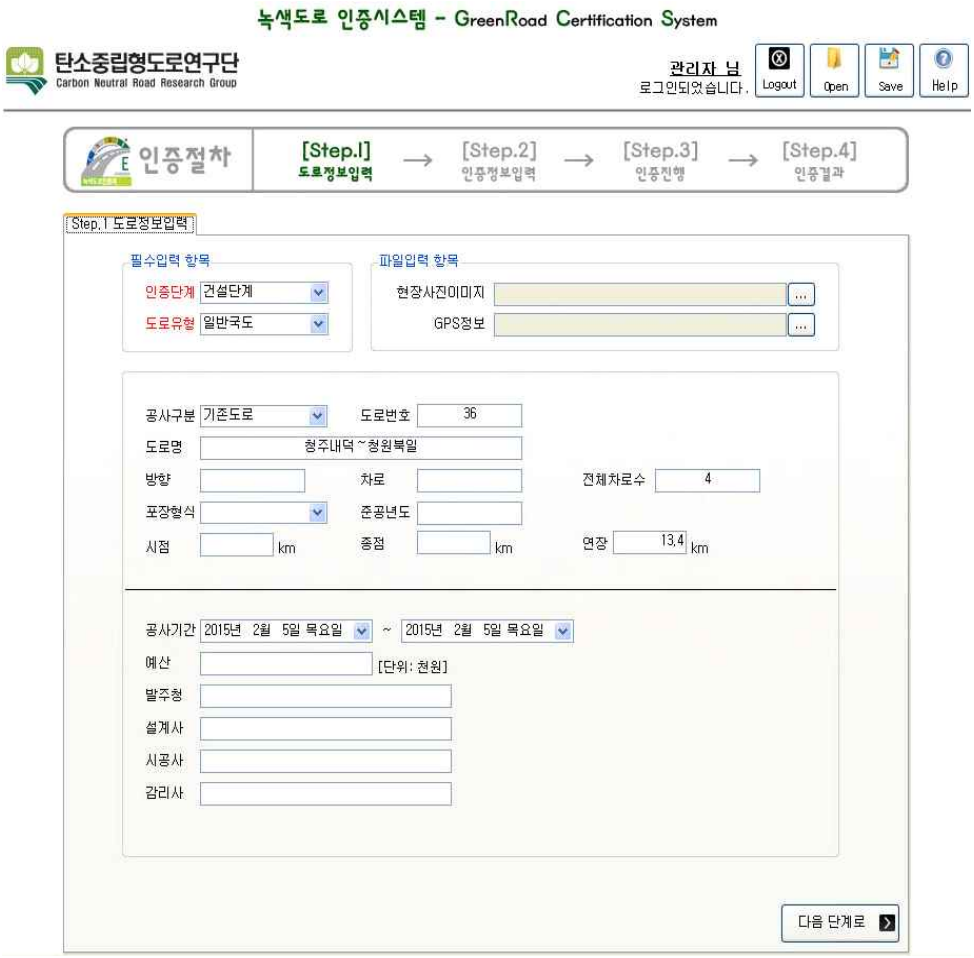
◎ 임시저장정보 테이블

○ 녹색도로 인증시스템을 이용하여 녹색도로 인증을 진행할 경우 도로정보 및 인증평가 정보 등을 입력하게 된다. 이러한 정보를 입력할 시 처음부터 한 번에 모두 입력 후 인증을 진행할 경우도 있지만, 시간 관계상 중간 중간 입력 정보를 저장했다 다시 불러들여 인증평가를 진행해야 할 경우가 존재한다. 이러한 경우 현재까지 입력된 정보를 임시적으로 저장할 수 있는 장치가 필요하며 이를 저장하기 위하여 임시정보저장 테이블을 구성하였다.

○ 이 테이블은 도로정보 및 평가 항목 정보 등을 모두 포함하고 있어 테이블 형태 또한 두 테이블의 필드를 모두 포함하는 형태를 가진다.

■ 녹색도로 인증시스템의 구성

◎ 도로정보 입력 (Step.1)



○ 녹색도로 인증시스템은 시스템 흐름도에서 볼 수 있듯이 인증을 수행주체에 따라 관리자에 의해 수행되는 정식 인증과 일반 사용자에 의하여 진행되는 모의 인증으로 구분할 수 있다. 또한 인증을 수행하는 단계에 따라 건설단계 또는 관리 단계로 구분될 수 있으며, 인증 대상이 되는 도로 유형에 따라 고속국도 또는 일반국도로 분리되어 각 기준에 따른 평가 지표 및 관리 기준 등이 달라질 수 있다.

○ 관리자가 녹색도로에 대한 인증을 진행하는 경우, 인증 대상인 도로의 설계 내역서 등의 자료를 근거로 하여 인증을 진행하고 그 결과로 나오는 녹색도로 인증등급을 부여할 수 있다. 또한 인증 결과 정보를 데이터베이스에 저장하여 인증 이력에 대한 부분을 체계적으로 관리할 수 있도록 하였다.

○ 일반 사용자가 모의 인증을 진행하는 경우, 이 경우는 도로부문의 설계, 시공, 운영, 유지관리에 종사하는 관계자가 모의적으로 인증을 진행하여 현재 사용자가 관리하고 있는 도로가 녹색도로에 어느 정도 부합되는지를 판단할 수 있도록 미리 인증 등급을 확인해 볼 수 있는 방법을 제공한다. 모의 인증의 경우 사용자가 인증시스템에 등록되어 있을 경우 해당 ID별로 인증 결과를 데이터베이스에 저장할 수 있으며, 해당 ID로 인증을 진행한 도로에 대하여 인증결과 정보를 확인할 수 있다.

○ 등록되지 않은 사용자가 인증을 진행하였을 경우 해당 도로에 대한 인증결과 정보는 데이터베이스에 저장할 수 없으며 해당 결과에 대한 파일 저장 기능을 두어 활용할 수 있도록 구성하였다. 관리자 및 로그인을 진행한 일반 사용자의 경우 인증 결과 이력은 모니터링 시스템을 활용하여 확인할 수 있도록 하였다.

○ 관리자의 아이디는 인증기관에 의해 미리 등록된 관리자 ID를 바탕으로 인증을 진행할 수 있으며, 일반 사용자의 경우 “회원가입”을 통하여 ID를 등록하고 인증을 진행하거나 가입하지 않은 상태에서도 인증 진행이 가능하도록 구성하였다. 녹색도로에 대한 인증 이력이 데이터베이스 저장되고 장기적으로 관리되기 위해서는 반드시 “로그인” 과정을 거쳐야 한다.

○ 녹색도로에 대한 인증을 진행하기 위하여 인증 대상이 되는 도로의 정보 입력이 필요하며, 이 단계에서는 이러한 도로 정보를 입력하도록 구성되었다. 이 단계에서 입력되는 정보의 유형은 크게 필수 항목과 부가항목으로 구분되며, 필수항목의 경우 인증 진행시 평가항목 및 기분을 구분하는 중요 항목으로 반드시 입력하여야 다음 단계로 진행할 수 있도록 하였다. 부가 항목의 경우 반드시 입력하지 않아도 되나 추구 모니터링 시스템을 이용하여 인증 결과를 확인할 시 사용자의 이해를 돕기 위해 되도록 입력할 수 있는 항목은 모두 입력할 것을 권유한다. 도로 정보 입력 항목은 총 21개의 항목으로 구성되며, 필수항목 2개, 일반항목 19개로 이루어져 있다.

구 분	항 목 명
필수항목	- 인증단계 (도로건설단계 또는 도로관리단계) - 도로유형 (고속국도 또는 일반국도)
부가항목	- 공사구분 (신설도로 또는 기존도로) - 도로명 및 도로번호 - 방향 - 차로 및 전체 차로수 - 포장형식 - 도로의 시·종점 및 연장 - 준공(또는 공사)년도 - 현장 사진 이미지(1장, JPG형식) - 도로 선형에 대한 GPS좌표 - 공사기간 (시작·종료일) - 예산 - 발주청, 설계사,시공사,감리사

○ 이 단계에서 선택되는 필수 항목에 따라 다음 단계에서의 평가항목이 정해지며, 필수 항목으로 나타날 수 있는 경우는 아래와 같다.

	도로 유형	
인증 단계	도로건설단계 / 고속국도	도로건설단계 / 일반국도
	도로관리단계 / 고속국도	도로관리단계 / 일반국도

○ 도로정보 입력 시 대부분의 입력 방식은 컨트롤 박스를 이용하여 선택 및 입력이 가능하며, 현장 이미지 및 GPS 입력은 별도의 파일을 불러들여 입력하여야 한다. 현장 사진 이미지의 경우 1장의 JPG형식 이미지를 불러올 수 있으며, GPS의 경우 경위도 좌표가 표기되어 있는 xls 파일 형태의 엑셀 데이터로 불러들일 수 있다.

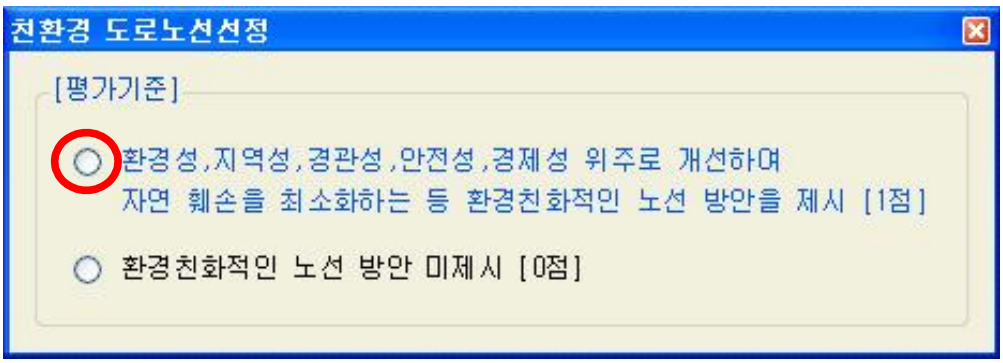
◎ 인증정보 입력 (Step.2) - 건설단계, 고속국도의 경우



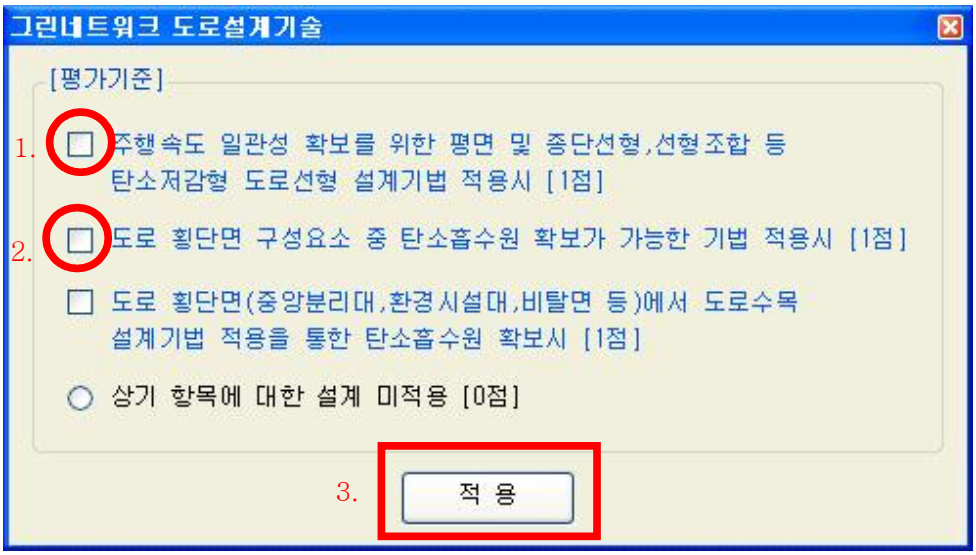
○ Setp.1에서 도로에 대한 정보를 입력하고 “다음 단계로” 버튼을 누를 경우, 해당 인증 단계 및 도로유형에 해당하는 평가 항목 정보 입력 페이지가 나타난다. Step.2는 도로 정보 입력 시 건설단계에 대한 고속국도 및 일반국도, 관리단계에 대한 고속국도 및 일반국도에 대한 각각의 평가지표 입력 페이지가 존재하며, 고속국도와 일반국도에 대한 공통 항목 및 각 도로유형에 맞는 개별 항목들로 구성되어 있다.

○ Step.2에서의 각 평가 지표별 인증 점수 배점은 해당 항목의 우측에 보이는 입력 박스를 마우스 왼쪽 버튼을 클릭한 후 나타나는 해당 항목의 평가지표 창에서 진행할 수 있다. 해당 항목의 평가 지표 창에서 대상 도로에 적합한 항목이 있으면 마우스로 선택하여 배점을 진행하며, 복수 개의 배점 항목을 선택하는 경우 해당 평가 기준을 선택하고 하단의 적용 버튼을 눌러 배점을 진행한다.

- 하나의 평가 기준이 적용되는 경우 (대부분의 평가 항목 배점 유형)



- 2개 이상의 기준이 적용되는 경우



○ 녹색도로 인증시스템에서는 인증에 필요한 정보 입력 방식을 두 가지로 지원한다.

○ 사용자가 프로그램의 Step.1과 Step.2단계를 통하여 도로 및 평가지표에 대한 정보를 입력하는 방식과 사용자의 편의를 위하여 파일을 통하여 이 작업을 대체 수행할 수 있는 방법을 제공한다. Step.1, Step.2 단계에서 입력해야 하는 정보들을 미리 구성된 형식에 맞게 사용자가 엑셀 파일에 입력을 하고, 추후 프로그램에서 정보가 입력되어 있는 파일을 읽어 들여 도로정보 및 각각의 평가지표에 대한 배점을 프로그램이 인식하도록 하는 방식을 제공한다. 단, 현장사진 이미지 및 도로선형에 대한 GPS좌표는 기존에 프로그램을 통하여 파일 단위로 입력하는 방식으로 수행해 주어야 한다. 파일 입력 시 파일의 정보 구성 형태는 도로정보에 대한 입력 시트 및 인증 평가 배점 정보를 입력하는 시트로 구성된다. 사용자는 도로정보 입력 시트를 먼저 작성하고, 인증단계 및 도로 유형에 따라 건설단계 시트 또는 관리단계 시트 중 하나를 선택하여 해당 항목의 배점을 기재하는 방식으로 구성되어 있다.

- 도로정보 입력 시트 형태 : 녹색도로 인증시스템의 Step.1에 해당하는 입력 항목을 시트로 구성하였으며, 각 항목에 대한 설명 및 입력방법을 기재하여 사용자가 활용할 수 있도록 구성함

도로정보			설명	
			입력 형식	입력방법
필수항목	인증단계		건설단계 / 관리단계	선택
	도로유형		고속도로 / 일반국도	선택
파일입력	현장사진이미지		C:₩Test.jpg (경로+파일명+확장자)	키보드 입력
	GPS정보		C:₩GPS.xls (경로+파일명+확장자)	키보드 입력
일반항목	공사구분		기존도로 / 신설도로	선택
	도로번호		1, 1번 등	키보드 입력
	도로명		00고속도로, 00국도, 국도0호선 등	키보드 입력
	방향		양방향, 상행, 하행, 00방향 등	키보드 입력
	차로		1, 1차로 등	키보드 입력
	전체차로수		4, 4차로 등	키보드 입력
	포장형식		아스팔트토공, 아스팔트교면, 콘크리트JCP, 콘트리트CRCP, 콘트리트교면	선택
	준공년도		1995, 1995년 등	키보드 입력
	시점(km)		0, 0.0 등	키보드 입력
	종점(km)		100, 100.0 등	키보드 입력
	연장(km)		100, 100.0 등	키보드 입력
	공사시작일		2013.01.05	키보드 입력
	공사종료일		2014.12.31	키보드 입력
	예산(단위:천원)		2000000	키보드 입력
	발주청		발주청 명	키보드 입력
	설계사		설계사 명	키보드 입력
	시공사		시공사 명	키보드 입력
	감리사		감리사 명	키보드 입력

- 건설단계 입력 시트 형태(일부)

건설 단계

고속도로			일반국도		
평가분야	평가항목	배점	평가분야	평가항목	배점
녹색도로설계/포장기술	환경영향평가		녹색도로설계/포장기술	환경영향평가	
	친환경도로 노선선정			친환경도로 노선선정	
	그린네트워크 도로설계기술			그린네트워크 도로설계기술	
	탄소저감형 시공관리기술			탄소저감형 시공관리기술	
	도로경관 디자인기술			도로경관 디자인기술	
	저소음 포장기술			저소음 포장기술	
	장수명 포장기술			장수명 포장기술	
	투수성/배수성 포장기술			투수성/배수성 포장기술	
	차열성/보수성 포장기술			차열성/보수성 포장기술	
	중온(상온) 아스팔트기술			중온(상온) 아스팔트기술	
	탄소저감형 흙포장기술			탄소저감형 흙포장기술	
	포장구간에 대한 LCCA분석			포장구간에 대한 LCCA분석	
	생애주기 환경비용 분석			생애주기 환경비용 분석	
녹색환경	도로탄소포집/흡수기술		녹색환경	도로탄소포집/흡수기술	
	교통오염 절감기술			교통오염 절감기술	
	우수호름관리			우수호름관리	
	우수수질			우수수질	
	우수유출수 비용분석			우수유출수 비용분석	
	소음완화 계획수립			소음완화 계획수립	
	폐기물관리 계획수립			폐기물관리 계획수립	
	오염방지 계획수립			오염방지 계획수립	
	저영향개발수립			저영향개발수립	
	현장식생			현장식생	
	서식지복원			서식지복원	
	동물보호			동물보호	
	빛공해현상			빛공해현상	
	문화복지			문화복지	
	환경교육			환경교육	
	장비온실가스 배출저감			장비온실가스 배출저감	
	수자원추적			수자원추적	
녹색자원/에너지	아스콘-콘크리트 재활용 기술		녹색자원/에너지	아스콘-콘크리트 재활용 기술	
	현장재활용계획			현장재활용계획	
	활성 산업부산물 도로기술			활성 산업부산물 도로기술	
	신재생에너지 생산			신재생에너지 생산	
	에너지효율기술			에너지효율기술	
	자연채광 활용기술			자연채광 활용기술	

- 관리단계 입력 시트 형태(일부)

관리 단계

고속도로			일반국도		
평가분야	평가항목	배점	평가분야	평가항목	배점
도로시설	교량시설물		도로시설	교량시설물	
	도로포장			도로포장	
	배수시설물			배수시설물	
	터널시설물			터널시설물	
부대시설물	건축물 (도로관리 및 휴게실 등)		부대시설물	건축물 (도로관리 및 휴게실 등)	
	노변 유지관리 활동			노변 유지관리 활동	
	방음,방풍 가드레일 등			방음,방풍 가드레일 등	
	안전사고 예방 부대시설			안전사고 예방 부대시설	
	신호 및 조명			신호 및 조명	
교통운영관리	교통정보시스템		교통운영관리	교통정보시스템	
	돌발상황관리시스템			돌발상황관리시스템	
	연속류제어시스템			단속류제어시스템	
	자동요금징수시스템			BIS 및 BMS	
에너지 및 온실가스 관리	신재생에너지 생산		에너지 및 온실가스 관리	신재생에너지 생산	
	에너지 공급체계			에너지 공급체계	
	에너지 사용량 감소			에너지 사용량 감소	
	온실가스 배출량 감소			온실가스 배출량 감소	
녹색활동	교육 및 훈련		녹색활동	교육 및 훈련	
	녹색홍보활동			녹색홍보활동	
	안전사고 등 예방활동			안전사고 등 예방활동	
	친환경 자재구매,사용			친환경 자재구매,사용	

○ 녹색도로 인증시스템의 Step.2에 해당하는 입력 항목을 시트로 구성하였으며, Step.1에서의 인증 단계 선택에 따라 해당 시트 페이지를 선택하여 배점을 진행할 수 있도록 하였다. 또한 단계에 따라 도로 유형을 하나의 시트에서 분리하여 구성하였으며, 도로 유형에 맞는 시트 열을 확인하여 착오 없이 고속국도의 경우 배점은 “D”열에, 일반국도의 경우 “H”열에 입력하여야 한다.

○ 이렇게 도로정보 및 인증평가항목(평가배점)에 대한 작성이 완료되면 파일을 저장하고, 녹색도로 인증시스템의 파일 열기 메뉴를 통하여 해당 파일을 읽어 들이면 파일에 기재되어 있는 정보를 기반으로 Step.1과 Step.2의 페이지 정보가 기재된다. 기재된 정보를 확인 후 추가적으로 현장사진 이미지 및 GPS정보 파일 등을 선택한 후 기존의 시스템을 이용한 방법과 동일하게 인증을 진행할 수 있다.

◎ 인증 진행 (Step.3)



○ Step.2 에서 각 평가지표에 대한 배점을 끝내고 하단에 있는 “인증시작” 버튼을 눌러 실질적인 인증을 시작한다. 평가 요소별 점수가 집계되고 자동적으로 인증결과를 출력 페이지로 이동한다.

◎ 인증결과 출력 및 저장(Step.4)



○ 녹색도로에 대한 인증이 완료되면 Step.4 에서 인증결과를 요약하여 나타낸다.

○ Step.4의 구성은 Step.1에서 입력한 인증 대상이 되는 도로의 정보, 인증 등급에 대한 범례 및 인증결과 점수·등급, 그리고 평가 분야별 총점을 그래프로 표현하여 나타낸다. 또한 각 평가 항목에 대하여 그 항목이 어떠한 기준에 의하여 배점을 받았는지 확인할 수 있도록 평가 항목별 배점 및 평가기준을 제시하여 사용자가 인증 결과에 대한 이해를 높일 수 있도록 구성하였다.

③ 녹색도로 모니터링시스템 개발

㉮ 녹색도로 모니터링 시스템의 개요

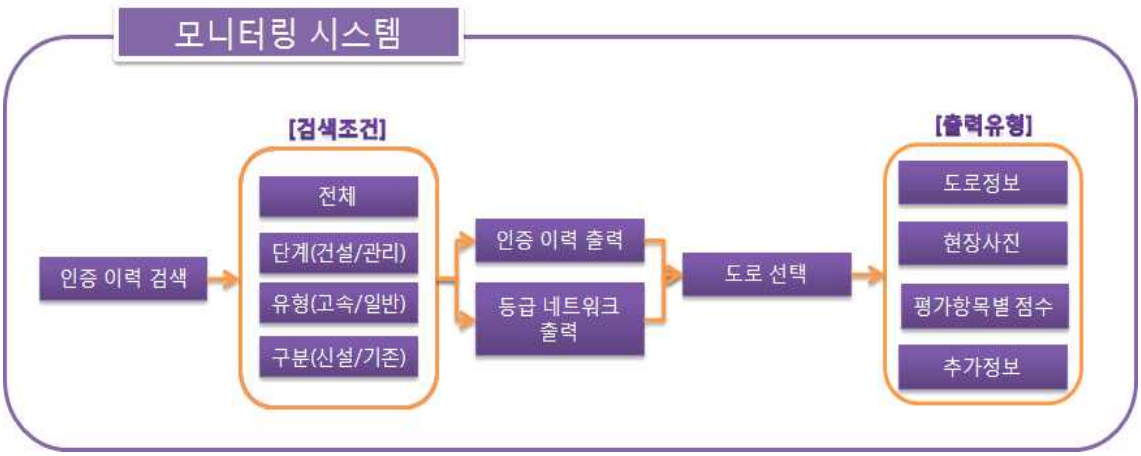
○ 녹색도로 인증시스템을 이용하여 인증이 진행된 도로에 대한 인증 결과를 지속적이고 체계적으로 관리할 수 있는 시스템이 없다.

○ 녹색도로 인증시스템의 인증 이력 데이터베이스를 연계하여 인증 데이터를 확인하고 활용할 수 있는 시스템을 개발하였다.

○ 녹색도로 모니터링 시스템은 인증 이력 항목들을 기준으로 사용자가 원하는 항목 단위로 검색이 가능하며, 인증 대상인 도로의 정보, 인증결과에 대한 세부 정보 및 인증 등급 네트워크를 표현하여 사용자가 인증 결과에 대한 이해를 쉽게 할 수 있도록 구성하였다.

■ 모니터링 시스템 흐름도

○ 녹색도로 모니터링 시스템은 구동 시 전체 인증 이력을 출력하며, 사용자가 원하는 검색조건에 따라 다음과 같은 흐름으로 모니터링을 진행할 수 있다.



■ 개발 환경

구 분	내 용
Operating System	WindowsXP
Development Tool	Visual C# 2010
Database Server	Oracle 10g
Web Server	IIS (Internet Information Service)
Component	Spread Studio 8 Geoserver 2.6.1 Openlayers 2.13

㉯ 녹색도로 모니터링 시스템의 구성

■ 모니터링 시스템의 구성

○ 녹색도로 모니터링 시스템은 인증 이력을 효율적으로 표현하기 위하여 인증이력리스트, 도로정보 출력부, 인증 등급 네트워크, 인증결과 세부항목 출력부 등으로 구성하였다.



◎ 인증이력 리스트

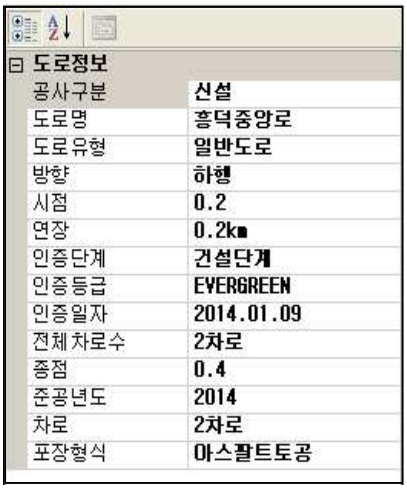
○ 인증이력 리스트는 녹색도로 인증시스템에 의하여 인증이 완료된 결과 목록을 나타낸다.

○ 데이터베이스에 존재하는 도로정보, 인증결과 테이블 등을 참조하여 인증이력 리스트를 구성하고, 리스트 구성 항목으로는 인증일자, 인증단계, 인증등급, 도로유형, 공사구분, 도로명 등으로 이루어져 있어 사용자가 원하는 항목으로 정렬할 수 있도록 하였다.

인증일자	인증단계	인증등급	도로유형	공사구분	도로명
2014.01.09	건설단계	EVERGREEN	고속도로	신설도로	00고속도로
2014.01.16	건설단계	GOLD	일반국도	신설도로	00도
2014.01.19	관리단계	EVERGREEN	고속도로	기존도로	00고속도로
2014.01.24	건설단계	SILVER	고속도로	신설도로	00고속도로
2014.02.04	건설단계	GOLD	일반국도	신설도로	00도로

◎ 도로정보

○ 녹색도로 인증시스템으로 인증을 진행할 당시 Step.1에서 입력했던 도로정보를 나타내는 부분으로 인증이력리스트에서 선택한 도로에 대한 정보 및 현장사진 이미지를 나타낼 수 있도록 구성하였다.



도로정보	
공사구분	신설
도로명	흥덕중앙로
도로유형	일반도로
방향	하행
시점	0.2
연장	0.2k■
인증단계	건설단계
인증등급	EVERGREEN
인증일자	2014.01.09
전체차로수	2차로
종점	0.4
준공년도	2014
차로	2차로
포장형식	아스팔트토공



◎ 인증도로 네트워크

○ 녹색도로 인증시스템으로 인증등급을 받은 도로에 대한 네트워크를 표현하는 부분으로 사용자가 한 눈에 녹색도로에 대한 등급별 분포를 확인할 수 있으며, 검색 조건에 따라 특정 등급에 대한 네트워크를 표현할 수 있도록 구성하였다.

○ “브이월드” 사이트에서 제공하는 GIS 지도를 배경지도로 사용하여 그 위에 도로의 선형을 나타내는 GPS좌료 정보를 읽어 들여 전체 인증도로 및 특정 선택도로에 대한 선형을 인증등급에 따라 색깔별로 표현할 수 있도록 구성하였다.

○ GIS 지도로 구성되어 있어 해당 도로에 대한 확대/축소가 편리하며 해당 도로에 대한 선형을 선택하였을 경우 간략한 정보를 확인할 수 있도록 하였다.



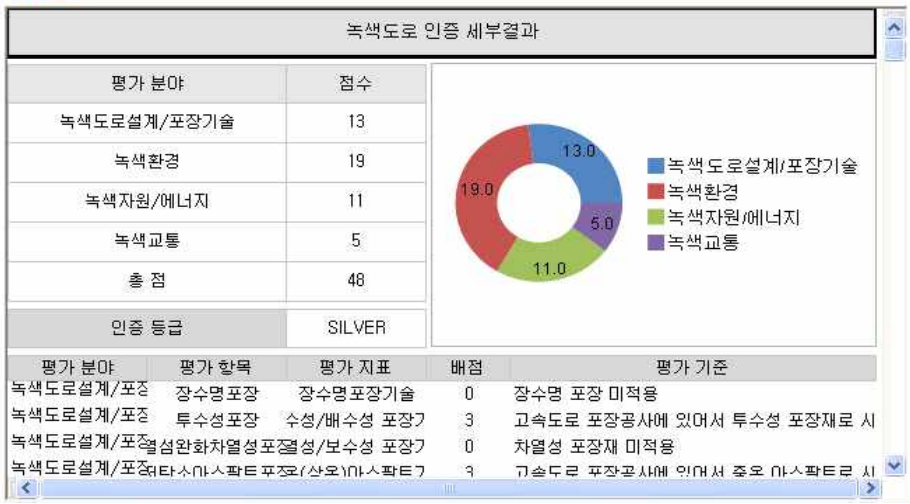




◎ 인증세부결과

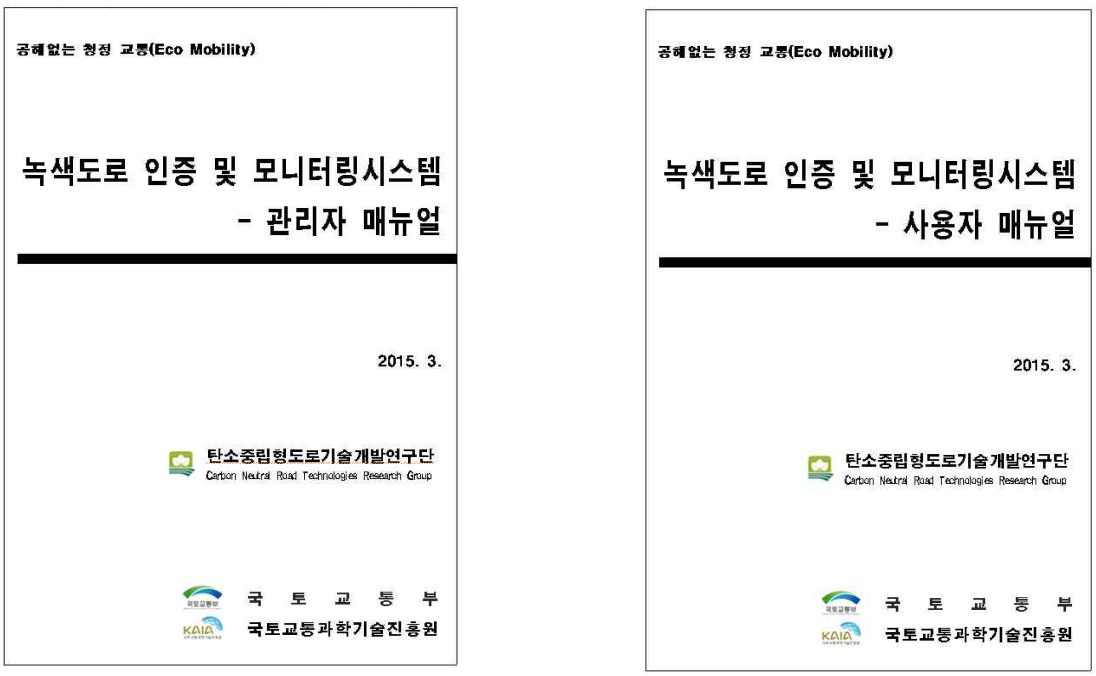
○ 인증이력 리스트에서 선택한 하나의 도로에 대한 인증 결과에 대한 세부적인 데이터를 표현하는 부분으로, 각 평가항목 및 평가지표에 대한 인증결과 데이터를 요약하여 보고서 형태로 출력하는 부분이다.

○ 평가에 적용된 항목에 대한 배점 현황 및 전체 배점, 배점에 대한 평가기준 등을 표출해 줌으로써, 해당 도로에 대한 인증등급 설명 자료로 활용할 수 있다.



㉰ 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템 매뉴얼 작성

○ 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템을 이용하여 인증 및 모니터링을 진행하기 위하여 관리자 및 일반사용자를 구분하여 작성하였으며, 관리자 매뉴얼의 경우 시스템 구동을 위하여 필요한 환경설정 부분을 추가하여 사용자가 시스템을 쉽게 이해하고 사용할 수 있도록 시스템 매뉴얼을 작성하였다.



<그림 2-35> 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템 관리자/사용자 매뉴얼

나. 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발(1-2)

① 탄소관리시스템

㉮ 탄소배출량 산정절차 제시

■ 도로 전생애단계에서의 탄소배출량 산정기술 개발

◎ 기존 탄소배출량 산정 방법 검토

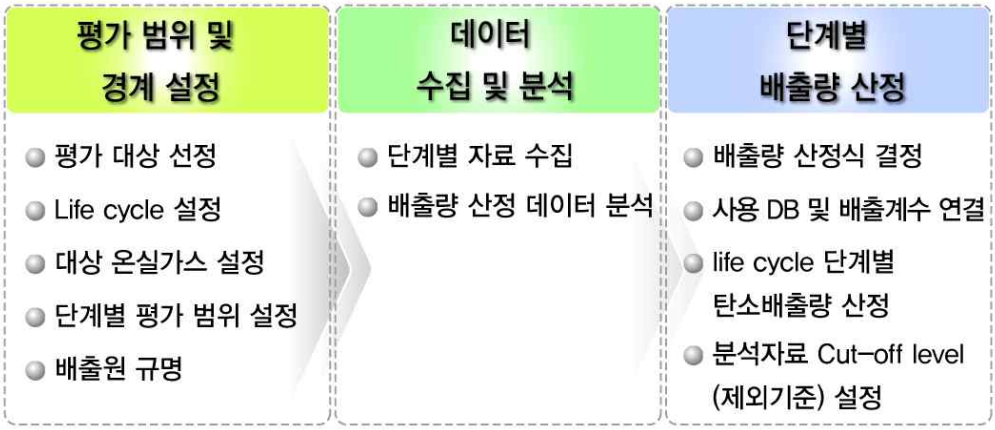
○ 기존 탄소배출량 산정 방법에서는 공사, 공종 및 세부 공종 수준에서의 탄소배출량 산정 방법은 제시하지 않았으며, 도로 유형에 따른 자재 및 장비사용의 차이를 고려하지 않고 일반적인 도로의 탄소배출량 산정 방법을 제시하였다. 이에 따라 기존 탄소배출량 산정 방법 검토를 통해 기존 산정 방법의 한계점을 파악하고 이를 보완하여 신뢰성 높은 탄소배출량 산정 방법을 제시한다.

<표 2-56> 기존 탄소배출량 산정 방법과의 비교

구분	기존 탄소배출량 산정 방법	녹색도로 탄소배출량 산정 방법
평가 범위	· 시공, 운영, 해체 및 재활용의 Life cycle 전단계 고려	· 계획 및 설계, 시공, 운영의 도로의 전생애단계 고려 · 도로 건설공사의 공종체계를 검토하여 공사, 공종 등 세부 공종 수준의 배출량 산정 가능
탄소 배출량 산정 방법	· 시공단계의 경우 자재 / 장비 사용으로 구분하여 배출량 산정 방법을 제시하여 도로의 전체 탄소배출량은 산정 가능하나 공사, 공종 및 세부 공종수준에서의 배출량 산정 방법은 제시하지 않음 · 도로 유형에 따라 투입 자재 및 사용 장비의 종류에 차이가 있으나, 유형에 따른 차이가 탄소배출량 산정 방법에 반영되지 않음 · 운영단계의 경우 유지보수 공사 / 시설물 운영으로 구분하여 배출량 산정 방법 제시	· 도로 건설공사 표준공종분류체계, 설계내역서 등의 검토를 통해 도로 건설공사의 공종체계를 파악하여 공사, 공종 등 세부 공종 수준의 배출량 산정 가능 · 도로 관련 법령, 설계자료 및 관리지침 등을 검토하여 도로 유형을 토공부, 교량부, 터널부로 구분하여 각 유형별 탄소배출량 산정 방법 제시 · 운영단계의 경우 유지보수 공사 / 시설물 운영으로 구분하여 배출량 산정 방법 제시
시범 분석	· 탄소배출량 산정 방법을 적용하여 고속도로에 대한 시범 분석 수행	· 도로를 고속도로, 일반도로로 구분하고 유형별로 토공부, 교량부, 터널부로 세분류하여 각각의 경우에 대한 시범 분석 수행(예정)

◎ 도로 전생애단계에서의 탄소배출량 산정 절차

○ 탄소배출량 산정 절차는 국토교통부의 가이드라인을 준용하여 평가 범위 및 대상 설정, 데이터 수집, 전생애주기 단계별 탄소배출량 산정의 단계로 구성하였으며, 별도로 공사별, 공종별 탄소배출량을 산정할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2-36> 도로의 전생애단계에서의 탄소배출량 산정 절차 구성내용

◎ 평가범위 및 대상 설정

□ 도로의 전생애주기 설정

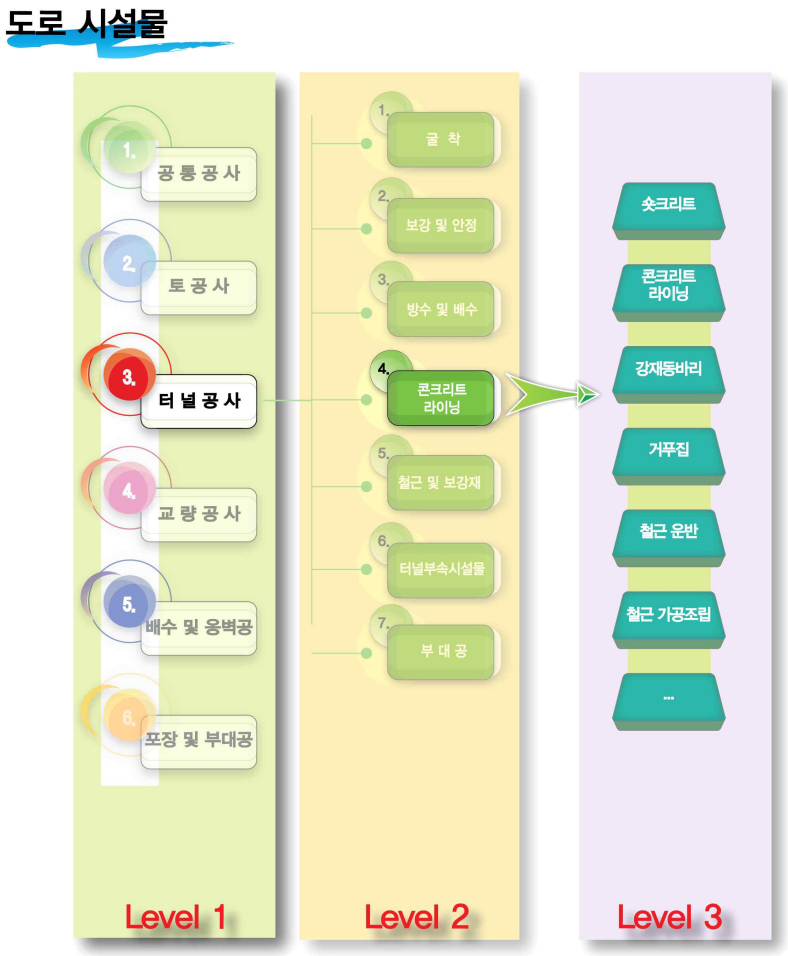
○ 도로의 전생애주기는 계획 및 설계 / 시공 / 운영단계로 구분할 수 있으며, 각 단계 별로 평가범위를 확정할 수 있다.



<그림 2-37> 도로의 전생애단계

□ 도로의 전생애주기 단계별 평가범위 설정

○ 시공단계는 도로를 크게 기능별, 유형별로 구분하여 평가 범위 및 대상을 구체적으로 제시하였다. 기능별로 고속도로, 일반도로 등 관리주체를 구분하며, 유형별은 토공부, 교량부, 터널부 등 유형별로 구분하였다. 고속도로의 경우 시공단계에 포함되는 공통공사, 토공사, 배수 및 옹벽공사, 교량공사, 터널공사, 포장 및 부대공사의 6개 공사를 시공단계의 평가범위로 설정하였으며, 일반도로의 경우 시공단계에 포함되는 토공, 비탈면안정공, 배수공, 구조물공, 터널공, 포장공, 교통안전시설공, 부대공의 8개 공사를 시공단계의 평가범위로 설정하였다. 상기 고속도로 및 일반도로의 시공단계 공사에 포함되는 공종 및 세부 공종 수준에서 탄소배출량을 산정할 수 있도록 세부 공종 수준까지 시공단계의 범위에 포함하며, 세부 공종별로 투입되는 자재생산과 운반, 장비사용에 따른 에너지 소비를 평가범위에 포함하며, 공사의 특성에 따라 기존구조물 철거에 따른 발생폐기물 처리 및 재활용 등을 범위에 포함할 수 있다.



<그림 2-38> 도로 건설 시 포함되는 공사 및 세부공종 목록(고속도로 예시)

○ 운영단계의 평가범위는 분석 대상 도로의 위치, 교통량, 관리차량 운행횟수, 그리고 휴게소 및 관리동 사용 패턴에 따라 사용되는 유틸리티와 수명이 다르기 때문에 이를 복합적으로 고려해야 하며, 주기적인 유지보수 공사가 이루어지는 경우 평가 범위로 선정함을 원칙으로 한다.

◎ 데이터 수집

○ 탄소배출량 산정을 위한 전생애주기 단계별 기초자료 수집을 위해 시공단계에서는 설계내역서와 설계내역서의 정보가 포함된 적산프로그램파일, 주요 자재별 집계표, 중기사용내역서 등 설계 관련 자료를 수집한다.

○ 탄소배출량 산정을 위한 전생애주기 단계별 기초자료 수집을 위해 운영단계에서는 유지보수 공사 / 시설물 운영으로 인한 유틸리티 사용으로 구분하여 유지보수 공사의 경우 시공단계와 동일한 자료를 수집하며, 시설물 운영의 경우 관리비 청구서, 부속시설물의 전력사용 데이터 등을 수집한다. 데이터의 신뢰도 확보를 위하여 최소 1년 이상의 데이터를 수집해야 한다.

<표 2-57> 도로 전생애주기 단계별 수집 데이터

시공	운영
・실시설계 내역서(보고서) ・일위대가(호표, 단가산출) ・적산프로그램 파일 ・주요 자재별 집계표 ・단가산출총괄표(노임, 재료비, 경비 포함) ・내역서 총괄표 ・원가계산서 ・기계경비총괄표 ・중기사용내역서	<유지보수> ・유지보수 공사가 이루어진 경우, 개·보수 등에 사용된 자재 및 장비 사용량 - 공사내역서(시공 단계와 동일) - 유지보수 주기, 지침, 보수공사 실적 내역서 <유틸리티> ・연간 관리비 청구서 - 공동수도사용량, 공동전력사용량, 난방비 등 - 가로등 및 조명탑, 터널 내 조명기기 사용으로 인한 전력 사용량

◎ 도로 전생애주기 단계별 탄소배출량 산정기술 개발

○ 시공단계는 도로 건설공사의 세부 공종(최하위 공종)에 투입되는 자재와 장비 사용으로 구분하여 탄소배출량을 산정한다. 공종별 투입자재량을 산정하기 위해서는 분석대상의 설계내역서, 일위대가 호표 및 산근, 표준품셈 등을 활용하여 투입자재량을 산정한다. 단, 시공단계 내역서 상 자재별 기능단위와 자재별 탄소배출계수의 기능단위가 상이할 수 있으므로 탄소배출량 산정 시 기능단위를 일치시켜야 한다.

○ 시공단계 설계내역서 일위대가 등을 이용하여 공종별 투입자재량을 산출 하였다.

공종별 투입자재량 = 작업량(unit) x 일위대가 상 자재 투입물량(ton, m_3, m 등/unit)

○ 장비사용에 따른 에너지 사용량은 설계내역서 상의 장비 사용시간 또는 시간당 작업량에 연비를 곱하여 장비별 에너지 사용량을 산출할 수 있다.

○ 시공단계의 수집된 데이터(설계내역서, 일위대가, 중기사용내역서 등)를 이용하여 건설장비의 작업별, 장비별 에너지 사용량을 산출하였다.

작업별 에너지 사용량 = 작업량(unit) x 1/시간당 작업량(unit/hr) x 연비(L/hr)

작업별 에너지 사용량 = 작업량(unit) x 단위 작업량당 장비 사용시간(hr/unit) x 연비(L/hr)

○ 시공단계 자재 투입 공종은 장비 사용 없이 자재만을 사용하는 공종을 사용하며 탄소배출량 산정은 자재별 투입물량에 DB(탄소배출계수)의 곱으로 산정하였다. 자재의 DB는 “국가 LCI 데이터베이스 정보망”, “탄소성적표지용 배출계수” 및 연구진 구축 DB를 적용하는 것을 원칙으로 하며, 관련 배출계수가 존재하지 않는 경우 국내에서 구축된 유사 DB를 적용하며, 불가피한 경우 해외 DB를 적용하였다.

자재투입에 따른 CO_2 배출량 = 투입자재량 x 자재의 DB(탄소배출계수)

○ 시공단계 장비 투입 공종은 자재 사용 없이 장비만을 사용하는 공종을 사용하며 탄소배출량 산정은 장비별 에너지 사용량과 에너지원의 순발열량, 에너지원별 배출계수의 곱으로 산정하였다. 에너지원별 순발열량은 에너지법 시행규칙의 에너지열량환산표의 순발열량을 적용하고 배출계수는 IPCC 2차 또는 4차 보고서의 배출계수를 적용하여 산정하였다.

장비사용에 따른 CO_2 배출량(tCO_2) = 에너지사용량(unit) x 순발열량(kcal/unit) x 탄소배출계수(tC/kcal) x 산화율 x 44/12(tCO_2/tC)

○ 시공단계 자재 및 장비 사용 공종은 자재 및 장비를 동시에 사용하는 공종을 사용하며 탄소배출량 산정은 자재 및 장비 탄소배출량의 산정 방법을 동시에 적용하였다.

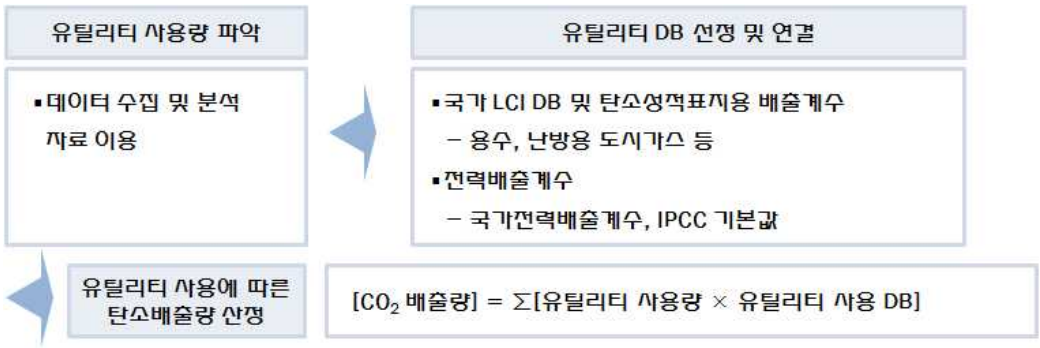
○ 시공단계의 세부 공종별로 탄소배출량을 산정한 후 산정결과를 합산하여 공종, 공사, 시설물(도로) 등의 상위 단계 수준에서의 탄소배출량 산정이 가능하다.



<그림 2-39> 도로 시공단계의 공종별, 공사별 탄소배출량 산정

○ 운영단계 탄소배출량은 유틸리티 사용에 의한 탄소배출량과 유지보수 공사 수행에 따른 탄소배출량으로 구분하여 산정한다. 운영단계는 도로를 구성하는 구조물별 수명을 고려해 IPCC 2006 온실가스 인벤토리 가이드라인에서 제시하는 방법을 토대로 산정된 연간 온실가스 배출량을 3년간 운영자료를 토대로 평균 원단위로 산정하고 이 원단위에 구조물 수명을 곱해 산정하였다.

○ 구조물별 수명은 도로 유지관리지침과 보수지침을 통해 산정할 수 있다.



<그림 2-40> 유틸리티 사용에 따른 탄소배출량 산정

○ 유틸리티 사용에 따른 탄소배출량은 대상 유틸리티 사용량에 해당 DB(탄소배출계수)를 곱하여 산정하였다.

○ 운영단계 유틸리티 전력사용량에 전력의 탄소배출계수의 곱으로 산정하였다.

전력 사용에 따른CO_2 배출량 ($kgCO_2$) = 전력사용량(kWh) x 전력사용에 따른 DB($kgCO_2$/kWh)

○ 운영단계 유틸리티 도시가스 사용량에 도시가스의 순발열량 배출계수의 곱으로 산정하였다.

도시가스 사용에 따른CO_2 배출량($kgCO_2$) = 도시가스 사용량(m^3) x 순발열량(kcal/m^3) x 탄소배출계수(kgC/kcal) x 산화율 x 44/12($kgCO_2$/kgC)

○ 운영단계 유틸리티 상수도 사용량과 배출계수의 곱으로 산정하였다.

상수도사용에 따른 CO_2 배출량($kgCO_2$) = 상수도사용량(m^3) x 탄소배출계수($kgCO_2$/m^3)

○ 도로시설물 운영 중 에너지원으로 사용될 수 있는 것은 전력, 도시가스, LNG가 대부분이지만, 일부 휴게소에서 지역발전과 연계해 외부에서 스팀을 공급받아 사용하는 경우가 존재한다. 외부 스팀의 경우 스팀의 DB를 이용해 산정할 수 있으며, 이와 관련된 내용은 온실가스・에너지 목표관리제에서 정하는 산정지침에 따라 산정할 수 있다. 유틸리티별 탄소배출계수는 국제 온실가스 표준(IPCC 가이드라인), 국가 LCI DB, 탄소성적표지용 탄소배출계수를 활용한다.

○ 유지보수공사 주기는 “지방공기업법 시행규칙” 건축물 등의 내용연수표에 따라 포장도로, 교량, 터널 등의 도로 및 도로에 포함되는 구조물의 수명을 20년으로 정의하며, 도로의 노면포장의 경우 평균 10년 주기로 재포장하므로 노면포장의 주기는 10년으로 정의한다. 년간 유지보수실적과 해당 내역서를 이용해 탄소배출량을 산정하며, 탄소배출량 산정방법은 시공단계와 동일하다.

○ 탄소배출량 산정 결과의 신뢰성 검증은 분석 대상의 재료비를 기준으로 검증한다. 분석대상의 설계내역서 상 재료비의 90% 이상을 분석했을 경우 탄소배출량 산정 결과에 신뢰성이 있다고 판단할 수 있으며, 설계내역서의 산정근거가 불분명한 항목(실적공사비, 견적단가 등)이 존재하는 경우 해당 내용을 제외하고 90%를 준수할 수 있도록 한다.

㉯ 탄소배출량 산정기법 제시(토공부, 터널부, 교량부)

■ 도로 유형 정의

◎ 관련 법령 검토

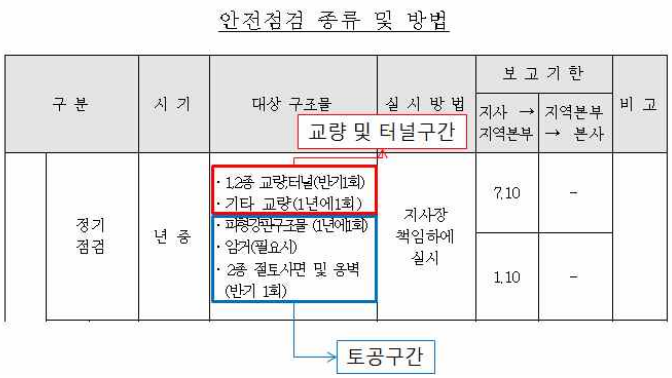
○ '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(국토교통부령 제456호)' 검토 결과, [고속도로]와 [일반도로]로 구분하고 있으며, [도로법] 제8조에 따라 고속도로를 제외한 도로가 일반도로이고, 기능에 따라 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로로 구분된다.

<표 2-58> 도로 유형 구분 및 정의

유형	정의	
고속도로	·[도로법] 제8조 및 제9조에 따른 고속국도 ·중앙분리대에 의하여 양 방향이 분리되고 입체교차를 원칙으로 하는 도로	
	구분	도로의 종류
	고속도로	· 도시고속도로를 제외한 전국에 위치한 고속도로
	도시고속도로	· 도시지역에 위치한 고속도로
일반도로	·[도로법]에 따른 고속도로를 제외한 도로 ·기능에 따라 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로로 구분	
	구분	도로의 종류
	주간선도로	· 일반국도, 특별시도 · 광역시도
	보조간선도로	· 일반국도, 특별시도 · 광역시도, 지방도, 시도
	집산도로	· 지방도, 시도, 군도, 구도
	국지도로	· 군도, 구도

◎ 도로 설계 및 관리 규정 등 관련 자료 검토

○ 한국도로공사의 "도로관리규정" 중 도로시설물의 정기점검 구조물 구분을 참조하여 파형강판구조물, 암거, 옹벽, 절토사면 등을 포함하는 토공구간과 토공구간을 제외한 교량, 터널구간으로 구분하여 관리하고 있다.



<그림 2-41> 한국도로공사 도로 안전점검 대상 구조물 구분(예시)

○ 본 연구를 통해 개발한 도로의 전생애주기를 고려한 탄소배출량 산정기술을 적용한 시범사례 분석 결과, 고속도로의 시공 시 공통공사, 토공사, 배수 및 옹벽공사, 교량공사, 포장 및 부대공사, 터널공의 6개 공사로 구분하여 내역서를 작성하는 것으로 나타났으며, 6개 공사 중 모든 구간에 공통으로 적용되는 공통공사, 배수 및 옹벽공사, 포장 및 부대공사를 제외하면 토공구간(토공사), 교량구간(교량공사), 터널구간(터널공)으로 구분하는 것으로 분석됐다.

내역서

공종명	규격	수량	단위	재료비	
				단가	금액
	제3공구	1	식		37,062,583,697
A. 공통공사		1	식	2,252,600,384	2,252,600,384
D. 토 공 사		1	식	3,143,536,079	3,143,536,079
H. 배수 및 옹벽공사		1	식	1,605,721,818	1,605,721,818
K. 교량공사		1	식	5,030,576,966	5,030,576,966
L. 포장 및 부대공사		1	식	5,589,985,651	5,589,985,651
N. 터 널 공		1	식	19,440,162,799	19,440,162,799
		0			
A. 공통공사		1	식		2,252,600,384
_AA 가설 공사(1)		0			1,645,386,025
...AA1000 임시시설		0			1,353,637,197
....AA1100 교통처리용 우회도로		0	SUM		
....AA1200 공사용진입로및 가도		0			155,296,737
.....AA1201 공사용 진입도로		1	SUM	138,532,216	138,532,216
.....AA1202 공사용 가도		1	SUM	16,764,521	16,764,521

A지역 고속도로 건설공사 설계내역서(예시)

내역서

공종명	규격	수량	단위	재료비	
				단가	금액
		1	식		23,962,333,054
A. 공통공사		1	식	796,797,589	796,797,589
D. 토 공 사		1	식	3,960,263,378	3,960,263,378
H. 배수 및 옹벽공사		1	식	2,382,418,658	2,382,418,658
K. 교량공사		1	식	12,211,614,022	12,211,614,022
L. 포장 및 부대공사		1	식	4,611,239,407	4,611,239,407
		0			
A. 공통공사		1	식		796,797,589
AA. 가설 공사(1)		0			655,595,747
AA1000 임시시설		0			224,974,053
AA1100 교통처리용 우회도로		1	SUM	166,422,211	166,422,211
AA1200 공사용진입로및 가도		0			58,551,842
AA1201 공사용 진입도로		0	SUM		
AA1202 공사용 가도		1	SUM	58,125,818	58,125,818

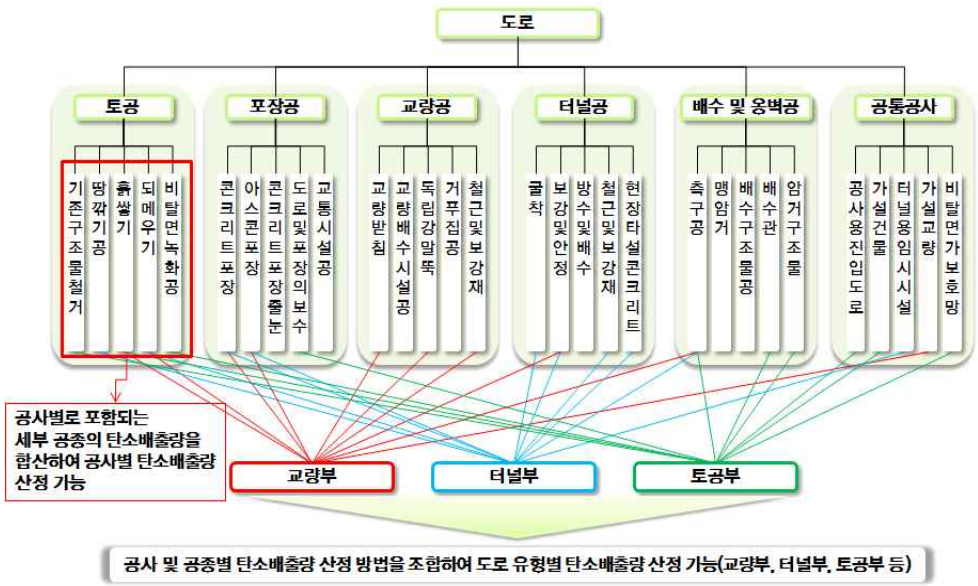
B지역 고속도로 건설공사 설계내역서(예시)

<그림 2-42> A, B 지역 고속도로 건설공사 설계내역서(예시)

○ 도로 관련 법령 및 관리 지침 검토 결과 도로를 기능별로 구분하여 고속도로 및 일반도로로 구분하고, 도로 설계 자료 검토 결과 토공부, 교량부, 터널부로 구분하여 각각의 유형별로 탄소배출량 산정절차를 개발해야 할 필요가 있다.

■ 도로 유형별 탄소배출량 산정기법 개발

○ 연구를 통해 개발한 세부 공종별 탄소배출량 산정방법과 도로 건설공사 공종체계를 활용하여 상위 단계의 탄소배출량을 산정할 수 있도록 산정기법을 개발하였으며, 도로 유형 구분 기준에 따라 토공부, 교량부, 터널부 각각의 유형에 포함되는 공사 및 세부 공종을 파악하여 유형별로 탄소배출량을 산정할 수 있는 기법을 개발하였다.



<그림 2-43> 세부 공종의 조합을 통한 도로 유형별 탄소배출량 산정기법 (고속도로 예시)

㉰ 녹색도로 국가 인벤토리 설계 및 구축

■ 고속국도, 일반국도에 대한 유형별(토공부, 터널부, 교량부) 탄소배출량 인벤토리 구축 방법 제시

◎ 인벤토리 구축 범위 설정

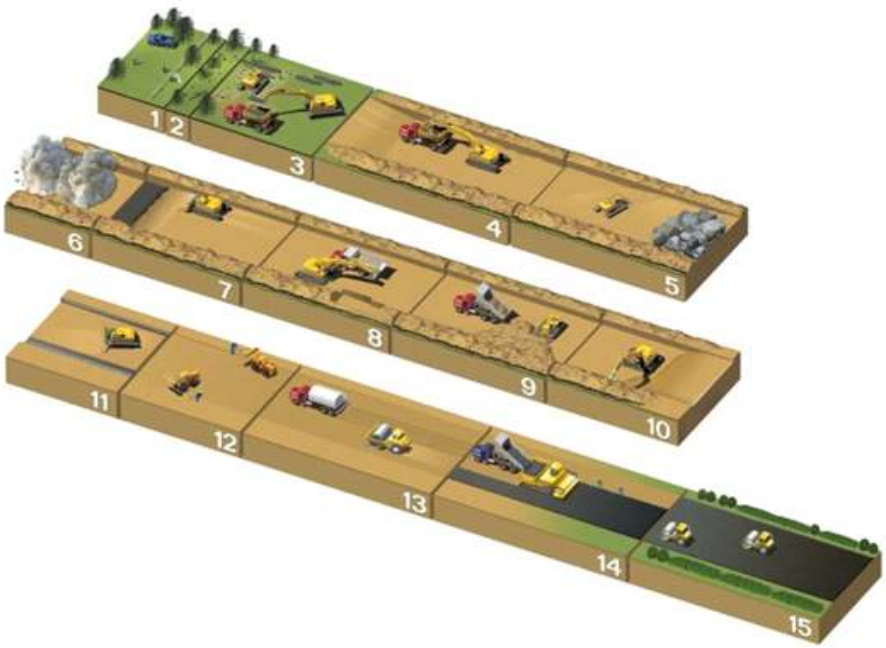
□ 시공단계

○ 도로를 기능별, 유형별로 구분하여 시공단계 탄소배출 인벤토리 구축 범위를 설정한다. 도로를 한국도로공사, 지방국토관리청 등 관리주체별로 구분하여 고속국도, 일반국도의 기능별로 구분하고, 기능별로 구분한 대상 도로를 토공부, 교량부, 터널부의 유형별로 구분한다.

<표 2-59> 탄소배출 인벤토리 구축 범위

구분	구축 범위
기능별 구분	· 고속국도, 일반국도(관리주체별 구분)
유형별 구분	· 토공부, 교량부, 터널부(구간별 구분)

○ 또한 도로를 기능별, 유형별로 구분한 후 각 기능별, 유형별로 포함되는 공사에 속하는 공종 및 최하위 공종까지 시공단계 탄소배출 인벤토리 구축 범위에 포함한다.



<그림 2-44> 도로 시공단계 범위

□ 운영단계

○ 도로에 포함된 조명설비, 환기팬, CCTV 등 기계설비의 운용 및 사무소, 관리동, 관리차량 등의 운용을 운영단계의 범위에 포함하며, 운영요소의 에너지 사용량 외에 온실가스 흡수원, 신재생에너지 설비 적용에 따른 에너지 생산 등의 탄소저감요소 또한 운영단계의 범위에 포함한다.

□ 유지관리단계

○ 도로의 포장도 보수 및 구조물 보수를 유지관리단계의 범위로 설정하며, 포장도 보수 및 구조물 보수 공사에 속하는 공종 및 하위 공종까지 유지관리단계 탄소배출 인벤토리 구축 범위에 포함한다.

◎ 데이터 수집

○ 시공, 운영, 유지관리 등 도로의 전생애주기 단계별 탄소배출 인벤토리 구축을 위하여 필요한 데이터를 수집하는 단계이다.

□ 시공단계

○ 탄소배출 인벤토리 구축 범위 설정 시 분류한 기능별로 데이터를 수집한다. 고속국도는 한국도로공사에서 일반국도는 각 지방국토관리청을 통해 데이터를 수집하며 실시설계내역서(보고서 포함), 일위대가(호표, 단가산출) 등 설계 관련 데이터를 수집한다. 데이터 수집 시 최근에 발주한 공사 위주로 수집하며, 가능한 특정 도로의 연속된 공구가 있는 공사 위주로 수집함을 원칙으로 한다.

<표 2-60> 시공단계 수집 데이터 리스트(일부 예시)

수집 데이터 리스트
· 실시설계내역서(보고서) · 일위대가(호표, 단가산출) · 적산프로그램 파일(설계내역서 정보 포함) · 주요 자재별 집계표 · 중기사용내역서 등

□ 운영단계

○ 도로 구간에 포함된 영업소 및 관리동, 기계설비, 관리차량 등의 에너지 사용 데이터를 수집한다. 데이터 수집 시 실제 사용되는 데이터를 활용하되 데이터의 신뢰도 확보를 위해 최소 1년 이상의 데이터를 확보함을 원칙으로 한다. 에너지 사용 데이터 수집 시 탄소배출 인벤토리 구축 범위 설정단계에서 분류한 도로 유형별 분류에 따라 토공, 교량, 터널의 구간별로 포함되는 운영요소별로 세분화하여 각각의 에너지 사용량을 수집한다.

<표 2-61> 운영단계 구간별 운영요소(예시)

구분	공통	토공	교량	터널
운영요소	· 관리차량 · AVC · CCTV · VDS · 조명설비 등	· 보일러 · 발전기 · 식당 · 톨게이트 · 조명탑 등	· 조명탑 등	· 환기팬 · 비상발전기 등

□ 유지관리단계

○ 도로의 포장도 보수 및 구조물 보수 공사별 내역서를 수집하며, 수집해야 하는 데이터는 시공단계의 수집 데이터 리스트와 동일하다.

◎ 탄소배출량 산정

○ 탄소배출 인벤토리 구축을 위한 탄소배출량 산정 시 국토교통부의 “시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인(2010)” 및 본 연구에서 개발한 도로 전생애주기 단계별 탄소배출량 산정 기술을 적용하여 도로 전생애주기 단계별 탄소배출량을 산정한다.

□ 시공단계

○ 시공단계의 탄소배출량 산정은 도로 건설공사의 세부 공종(최하위 공종)에 투입되는 자재와 장비 사용으로 구분하여 탄소배출량을 산정한다.

◇ 자재투입에 따른 탄소배출량 산정

○ 설계내역서, 일위대가 등 수집한 데이터를 이용하여 공종별 투입자재량을 산정한다. 내역서에서 투입되는 자재가 직접 집계되는 경우 해당 투입물량을 사용하고, 내역서가 세부 공종으로 작성된 경우 일위대가(호표, 산근 등), 표준품셈을 활용하여 자재투입량을 산정한다.

○ 자재투입량 산정 후 자재별 탄소배출계수의 곱으로 자재투입에 따른 탄소배출량을 산정한다. 자재의 탄소배출계수는 국가 LCI 데이터베이스 정보망의 탄소성적표지용 배출계수를 이용하며, 관련 배출계수가 존재하지 않는 경우 국내에서 구축된 DB를 우선적으로 이용하고 자체 구축 DB, 해외 유사 DB의 순으로 적용한다.

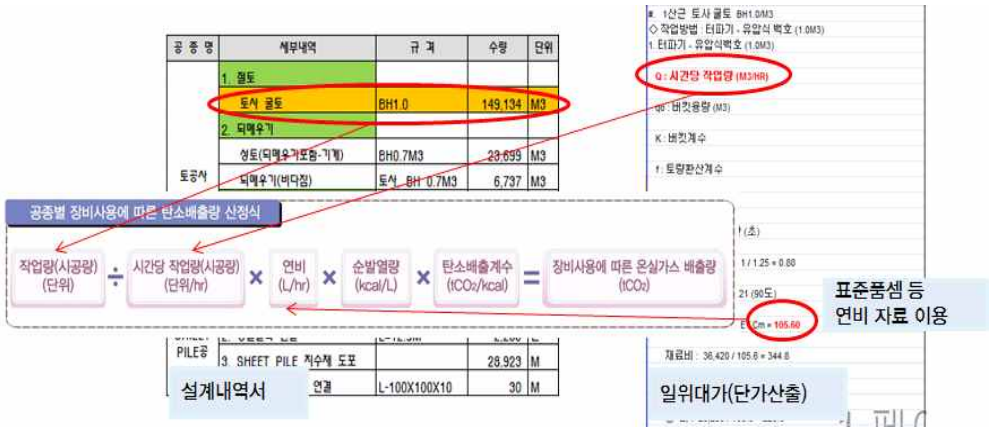


<그림 2-45> 자재투입에 따른 탄소배출량 산정

◇ 장비사용에 따른 탄소배출량 산정

○ 장비사용에 따른 에너지 소비량은 각 장비에서 사용되는 에너지원별 소비량을 기반으로 산정된다. 설계내역서의 작업량을 통해 장비 사용시간을 산정하고 각 장비별 표준연비를 곱하여 에너지 소비량을 산정한다. 장비별 에너지 소비량은 중기기초자료, 표준품셈 등을 바탕으로 산정한다.

○ 장비별 에너지 소비량 산정 후 에너지원별 순발열량과 탄소배출계수의 곱으로 장비사용에 따른 탄소배출량을 산정한다. 에너지원별 순발열량은 에너지법 시행규칙의 에너지열량환산표를 이용하며, 에너지원별 탄소배출계수는 국가 LCI 데이터베이스 정보망의 탄소성적표지용 배출계수를 이용한다.



<그림 2-46> 자재투입에 따른 탄소배출량 산정

□ 운영단계

○ 운영단계의 탄소배출량은 2006 IPCC 국가 인벤토리 구축방법과 도로의 운영단계 탄소배출량 산정방법을 이용하여 산정한다.

$$\text{운영단계에서의 탄소배출량}(tCO_2-eq.) = \sum(EC_i \times CEF_i)$$

EC_i : Energy Consumtion I 의 년간 소비량
CEF_i : Carbon Emissions Factor I 의 탄소배출계수
i : 에너지원(전기, 디젤, 휘발유 등)

□ 유지관리단계

○ 유지관리단계의 탄소배출량 산정은 시공단계의 탄소배출량 산정과 동일한 방법을 이용하여 유지보수 공사별, 공종별 탄소배출량을 산정한다.

◎ 탄소배출 인벤토리 구축

□ 시공단계

○ 시공단계 탄소배출량 산정 결과를 활용하여 본 연구를 통해 개발한 도로 표준공종체계에 따라 토공, 터널공 등 8개 공사의 단위연장당 탄소배출 인벤토리 및 공사별 포함된 최하위 공종의

단위작업량당 탄소배출 인벤토리와 토공, 교량, 터널의 3종류의 도로 유형별 탄소배출 인벤토리를 구축한다. 최하위 공종별 탄소배출량 산정 결과를 공사별, 도로 유형별로 각각 집계하여 탄소배출량을 산정한 후 사례분석 대상 도로의 구간별 도로 연장으로 나누어 단위연장당 탄소배출 원단위를 산정하여 인벤토리를 구축하며, 최하위 공종별 탄소배출량 산정 결과를 각 공종의 작업량으로 나누어 단위작업량당 탄소배출 원단위를 산정하여 인벤토리를 구축한다.

□ 운영단계

○ 수집한 데이터를 바탕으로 토공, 교량, 터널 구간별 탄소배출량을 산정한 후 사례분석 대상 도로의 구간별 도로 연장으로 나누어 단위연장당 탄소배출 원단위를 산정하여 인벤토리를 구축한다.

□ 유지관리단계

○ 유지관리단계 탄소배출량 산정 결과를 활용하여 토공, 교량, 터널의 3종류의 도로 유형별 탄소배출 인벤토리를 구축한다. 최하위 공종별 탄소배출량 산정 결과를 도로 유형별로 집계하여 탄소배출량을 산정한 후 사례분석 대상 도로의 구간별 도로 연장으로 나누어 단위연장당 탄소배출 원단위를 산정하여 인벤토리를 구축한다.

■ 인벤토리 포맷 개발 및 구축

◎ 인벤토리 포맷 개발

□ 시공단계 인벤토리 포맷 개발

○ 공사별, 공종별 탄소배출 원단위의 배출원별 탄소배출정보 및 상세배출원 정보를 조회할 수 있도록 공사별, 공종별 탄소배출 인벤토리 DB 포맷을 개발하였다.

공종	기존구조물깨기	최하위공종	무근콘크리트깨기	규격	T=30CM미만(백호0.7㎥)	Unit	1	m3
공정 및 탄소배출 정보								
탄소배출원	장비 사용		공종 level	4	포함구간	☑ 토공	☐ 교량	☑ 터널
탄소배출정보 ($kgCO_2$-e/unit)	배출원	배출량	상세배출원					
	Scope 1	7.98	굴삭기(0.7m^3)					
	Scope 2	-						
	Scope 3	-						
	Total	7.98	탄소배출량:		7.98	$kgCO_2$-e/	m3	

<그림 2-47> 시공단계 탄소배출 인벤토리 DB 포맷

□ 운영단계 인벤토리 포맷 개발

○ 도로 유형별 탄소배출 원단위의 배출원별 탄소배출정보 및 상세배출원 정보를 조회할 수 있도록 토공, 교량, 터널의 도로 유형별 탄소배출 인벤토리 DB 포맷을 개발하였다.

관리번호	1-1-1	공종명	토공	Unit	1	km·yr	
공정 및 탄소배출 정보							
터널과 교량을 제외한 일반도로 구간 중 영업소 운영 시 에너지 사용에 따른 온실가스 배출							
탄소배출정보 (tCO_2-e/unit)	배출원	배출량	상세배출원				
	직접배출(Scope 1)	8.44	보일러, 비상발전기, 식당 지사 설비 (차량, 장비) 도로교통차, 살수차, 시설관리차, 안전순찰차, 업무차, 염화물살포기 덤프 15톤, 로우더, 중형버스, 유지보수차, 빔리프터				
	간접배출(Scope 2)	19.19	AVC, CCTV, VDS, VMS, 가로등, 영업소, 조명등, 자재보관창고, 지하통로배수펌프				
	기타간접배출(Scope 3)	-					
	Total	27.64	탄소배출량:		27.64	tCO_2-e/	km·yr

<그림 2-48> 운영단계 탄소배출 인벤토리 DB 포맷

□ 유지관리단계 인벤토리 포맷 개발

○ 도로 유형별 탄소배출 원단위의 배출원별 탄소배출정보 및 상세배출원 정보를 조회할 수 있도록 토공, 교량, 터널의 도로 유형별 탄소배출 인벤토리 DB 포맷을 개발하였다.

관리번호	1-1-1	공종명	슬러리실			Unit	1	m^2
공정 및 탄소배출 정보								
포장체 표면에 아스팔트 및 콘크리트 재료를 포설하는 공종								
탄소배출원	자재 및 장비 사용	도로구분	고속국도	포장유형	아스팔트	포함구간	☑토공	☑교량 ☑터널
탄소배출정보 ($kgCO_2$-e/unit)	배출원	CO_2	상세배출원					
	Scope1	0.161	슬러리슬 기계, 굴삭기					
	Scope2	-	-					
	Scope3	0.000	표층용아스팔트					
	Total	0.161	탄소배출량:		0.161	$kgCO_2$-e/	m2	

<그림 2-49> 유지관리단계 탄소배출 인벤토리 DB 포맷

□ 녹색도로 기술별 인벤토리 포맷 개발

○ 녹색도로 기술 탄소배출 원단위의 배출원별 탄소배출정보 및 상세배출원 정보를 조회할 수 있도록 탄소배출 인벤토리 DB 포맷을 개발하였으며, 녹색도로 기술의 적용 단계별로 기존 기술 및 녹색도로 기술의 탄소배출량 및 탄소배출 저감량 정보를 포함하였다.

관리번호	1-1-1	기술명	활성산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료		Unit	1	tCO2-e/km
기술 개요							
콘크리트 슬래브 및 보조기층을 흙포장으로 대체하여 자재절감에 따른 탄소배출량 저감							
탄소배출정보 (tCO_2-e/unit)	단계	항목	기존 기술	녹색도로 기술	저감량	탄소저감요소	
	시공	직접배출(Scope1)	3.837	1.151	2.686	시멘트 사용량 저감	
		간접배출(Scope2)	-	-	-	-	
		기타간접배출(Scope3)	-	-	-	-	
		Total	3.837	1.151	2.686	-	
	운영	에너지 사용	-	-	-	-	
		온실가스 흡수	-	0.825	0.825	고로슬래그 활성화를 통한 온실가스 포집	
		신재생에너지	-	-	-	-	
		Total	-	0.825	0.825	-	
	유지보수	표면처리	-	-	-	-	
		소파보수	-	-	-	-	
		덧씌우기	-	-	-	-	
		재포장	-	-	-	-	
		기타보수	-	-	-	-	
		Total	-	-	-	-	
	합계		3.837	0.326	3.511	탄소저감량	3.511 tCO2-e/km

<그림 2-50> 녹색도로 기술별 탄소배출 인벤토리 DB 포맷

◎ 인벤토리 구축

□ 시공단계 인벤토리 구축

○ 본 연구를 통해 개발한 도로 표준공종체계에 따라 토공, 교량공 등 8개 공사에 포함된 최하위 공종 수준의 탄소배출 인벤토리 DB를 구축하여 고속국도 1,205개, 일반국도 1,639개 총 2,844개의 탄소배출 인벤토리를 구축하였다.

<표 2-62> 시공단계 탄소배출 인벤토리 DB 구축 결과

공사	토공	배수공	구조물공	교량공	터널공	포장공	안전시설공	부대공	합계
고속국도	67	211	12	279	349	125	96	66	1,205
일반국도	95	120	92	707	302	130	89	104	1,639

□ 운영단계 인벤토리 구축

○ 토공, 교량, 터널의 3개 도로 유형별, 배출원별로 세분화하여 탄소배출 인벤토리 DB 를 구축하였다.

관리번호	1-1-1	공종명	토공	Unit	1	km·yr	
공정 및 탄소배출 정보							
터널과 교량을 제외한 일반도로 구간 중 영업소 운영 시 에너지 사용에 따른 온실가스 배출							
탄소배출정보 (tCO_2-e/unit)	배출원	배출량	상세배출원				
	직접배출(Scope 1)	8.44	보일러, 비상발전기, 식당 지사 설비 (차량, 장비) 도로교통차, 살수차, 시설관리차, 안전순찰차, 업무차, 염화물살포기 덤프 15톤, 로우더, 중형버스, 유지보수차, 빔리프터				
	간접배출(Scope 2)	19.19	AVC, CCTV, VDS, VMS, 가로등, 영업소, 조명등, 자재보관창고, 지하통로배수펌프				
	기타간접배출(Scope 3)	-					
	Total	27.64	탄소배출량:		27.64	tCO_2-e/	km·yr

<그림 2-51> 운영단계 토공구간 탄소배출 인벤토리 구축 결과

관리번호	1-1-2	공종명	터널	Unit	1	km·yr	
공정 및 탄소배출 정보							
터널 관리를 위한 관리차량 운영에 따른 온실가스 배출							
탄소배출정보 (tCO_2-e/unit)	배출원	배출량	상세배출원				
	직접배출(Scope 1)	5.02	지사 설비 (차량, 장비) 도로교통차, 살수차, 시설관리차, 안전순찰차, 업무차, 염화물살포기 덤프 15톤, 로우더, 중형버스, 유지보수차, 빔리프터				
	간접배출(Scope 2)	550.91	가로등, 환기팬, 부전기실				
	기타간접배출(Scope 3)	-					
	Total	555.93	탄소배출량:		555.93	tCO_2-e/	km·yr

<그림 2-52> 운영단계 교량구간 탄소배출 인벤토리 구축 결과

관리번호	1-1-3	공종명	교량	Unit	1	km·yr	
공정 및 탄소배출 정보							
교량 관리를 위한 관리차량 운영에 따른 온실가스 배출							
탄소배출정보 (tCO_2-e/unit)	배출원	배출량	상세배출원				
	직접배출(Scope 1)	5.02	지사 설비 (차량, 장비) 도로교통차, 살수차, 시설관리차, 안전순찰차, 업무차, 염화물살포기 덤프 15톤, 로우더, 중형버스, 유지보수차, 빔리프터				
	간접배출(Scope 2)	0.51	VMS, 도로안내표지판, 조명등, 가로등, 도로결빙방지시설				
	기타간접배출(Scope 3)	-					
	Total	5.53	탄소배출량:		5.53	tCO_2-e/	km·yr

<그림 2-53> 운영단계 터널구간 탄소배출 인벤토리 구축 결과

□ 유지관리단계 인벤토리 구축

○ 토공, 교량, 터널의 3개 도로 유형별, 배출원별로 세분화하여 탄소배출 인벤토리 DB를 구축하였다.

관리번호	1-1-1	공종명	슬러리실			Unit	1	m^2
공정 및 탄소배출 정보								
포장체 표면에 아스팔트 및 콘크리트 재료를 포설하는 공종								
탄소배출원	자재 및 장비 사용	도로구분	고속국도	포장유형	아스팔트	포함구간	☑토공	☑교량 ☑터널
탄소배출정보 ($kgCO_2$-e/unit)	배출원	CO_2	상세배출원					
	Scope1	0.161	슬러리실 기계, 굴삭기					
	Scope2	-	-					
	Scope3	0.000	표층용아스팔트					
	Total	0.161	탄소배출량:			0.161	$kgCO_2$-e/	m2

관리번호	1-1-2	공종명	표면평탄작업			Unit	1	m^2
공정 및 탄소배출 정보								
탄소배출원	자재 및 장비 사용	도로구분	고속국도	포장유형	아스팔트	포함구간	☑토공	☑교량 ☑터널
탄소배출정보 ($kgCO_2$-e/unit)	배출원	CO_2	상세배출원					
	Scope1	1.236	그라인딩장비, 로더(타이어), 살수차					
	Scope2	-	-					
	Scope3	-	-					
	Total	1.236	탄소배출량:			1.236	$kgCO_2$-e/	m2

<그림 2-54> 유지관리단계 탄소배출 인벤토리 구축 결과(일부 예시)

□ 녹색도로 기술별 인벤토리 구축

○ 본 연구에서 개발한 녹색도로 기술의 시공, 운영, 유지관리 등 기술의 적용 단계별로 탄소배출량 및 저감량을 산정하였다.

관리번호		1-1-1	기술명	활성산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료		Unit	1	tCO2-e/km
기술 개요								
콘크리트 슬래브 및 보조기층을 흙포장으로 대체하여 자재절감에 따른 탄소배출량 저감								
	단계	항목	기존 기술	녹색도로 기술	저감량	탄소저감요소		
탄소배출정보 (tCO_2-e/unit)	시공	직접배출(Scope1)	3.837	1.151	2.686	시멘트 사용량 저감		
		간접배출(Scope2)	-	-	-	-		
		기타간접배출(Scope3)	-	-	-	-		
		Total	3.837	1.151	2.686	-		
	운영	에너지 사용	-	-	-	-		
		온실가스 흡수	-	0.825	0.825	고로슬래그 활성화를 통한 온실가스 포집		
		신재생에너지	-	-	-	-		
		Total	-	- 0.825	0.825	-		
	유지관리	표면처리	-	-	-	-		
		소파보수	-	-	-	-		
		덧씌우기	-	-	-	-		
		재포장	-	-	-	-		
		기타보수	-	-	-	-		
		Total	-	-	-	-		
	합계		3.837	0.326	3.511	탄소저감량	3.511	tCO2-e/km

관리번호		1-1-2	기술명	탄소저감형 흙포장		Unit	1	tCO2-e/km
기술 개요								
콘크리트 슬래브 및 보조기층을 흙포장으로 대체하여 자재절감에 따른 탄소배출량 저감								
	단계	항목	기존 기술	녹색도로 기술	저감량	탄소저감요소		
탄소배출정보 (tCO_2-e/unit)	시공	직접배출(Scope1)	303.203	245.418	57.785	동상방지층 및 보조기층 포설 시 사용 건설장비 저감		
		간접배출(Scope2)	-	-	-	-		
		기타간접배출(Scope3)	1,447.356	1,100.171	347.185	동상방지층, 보조기층, 콘크리트 포설 시 시멘트 사용 저감		
		Total	1,750.559	1,345.589	404.969	-		
	운영	에너지 사용	-	-	-	-		
		온실가스 흡수	-	-	-	-		
		신재생에너지	-	-	-	-		
		Total	-	-	-	-		
	유지관리	표면처리	-	-	-	-		
		소파보수	-	-	-	-		
		덧씌우기	-	-	-	-		
		재포장	-	-	-	-		
		기타보수	-	-	-	-		
		Total	-	-	-	-		
	합계		1,750.559	1,345.589	404.969	탄소저감량	404.969	tCO2-e/km

관리번호		1-1-3	기술명	무시멘트, 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장		Unit	1	tCO2-e/km
기술 개요								
콘크리트 슬래브 및 보조기층을 흙포장으로 대체하여 자재절감에 따른 탄소배출량 저감								
	단계	항목	기존 기술	녹색도로 기술	저감량	탄소저감요소		
탄소배출정보 (tCO_2-e/unit)	시공	직접배출(Scope1)	-	-	-	-		
		간접배출(Scope2)	-	-	-	-		
		기타간접배출(Scope3)	285.514	136.063	149.452	콘크리트 대체용 자재 투입		
		Total	285.514	136.063	149.452	-		
	운영	에너지 사용	-	-	-	-		
		온실가스 흡수	-	-	-	-		
		신재생에너지	-	-	-	-		
		Total	-	-	-	-		
	유지관리	표면처리	-	-	-	-		
		소파보수	-	-	-	-		
		덧씌우기	-	-	-	-		
		재포장	-	-	-	-		
		기타보수	-	-	-	-		
		Total	-	-	-	-		
	합계		285.514	136.063	149.452	탄소저감량	149.452	tCO2-e/km

<그림 2-55> 녹색도로 기술별 탄소배출 인벤토리 구축 결과(일부 예시)

■ 도로 유형별 인벤토리 및 녹색도로 기술별 탄소배출량 인벤토리 검증 및 보완

○ ISO 14064-3, WRI/WBCSD GHG Protocol, IPCC 가이드라인 등 탄소배출 인벤토리 검증 지침을 준용해 탄소배출 인벤토리 검증 및 보완을 위한 검증결과표를 작성하였다. 작성한 검증결과표에 대한 타당성을 평가하기 위하여 자체 평가 및 외부전문가 검증을 실시하였다.

○ 구축한 탄소배출 인벤토리의 검증을 위하여 도로 및 탄소 관련 전문가 3인으로 구성된 검증위원회를 구성하였으며, “ISO 14064-3의 A.2.2.4 전문가 활용” 기준에 따라 검증을 실시하였다.

<표 2-63> 탄소배출량 인벤토리 검증 및 보완을 위한 검증결과표(일부)

구분	ISO 14064-3	내용	도로 유형별 인벤토리	
			고속국도	
타당성 평가 또는 검증의 보증수준, 목표, 기준 및 적용범위	4.3.1	보증수준	시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인에 따라 90% Cut-off	
	4.3.2	목표	국내 고속국도에 대한 탄소배출량 산정	
	4.3.3	기준	시공단계: 도로 1km 건설(왕복 4차로 기준) 운영단계: 도로 1km(왕복 4차로 기준) 운영 유지관리 단계: 1년간 이루어지는 1km(왕복 4차로 기준) 간헐적으로 이루어지는 유지관리공사	
	4.3.4	적용범위	시공, 운영, 유지관리단계를 포함함	
	…	…	…	
타당성평가 또는 검증 접근 방법	4.4.1	일반사항	발생된 중요한 불일치에 대한 리스크	적정 온실가스 배출계수의 미채택
			온실가스 프로젝트의 관리를 통해 중요한 불일치를 예방하거나 검증할 수 없는 리스크	시공단계 설계내역서의 변경, 시공단계 공사시점
	4.4.2	타당성평가 또는 검증 계획	내부 검증 후 외부 전문가집단으로 이루어진 검증위원회 실시	
	4.4.3	샘플링 계획	방대한 양의 데이터를 취급하므로 인벤토리내 계산 데이터 중 공종별로 100개의 표본을 두어 계산과정에 대한 검증 실시	
…	…	…	…	

㉮ 도로의 탄소배출 DB 및 원단위 구축

■ 실시설계보고서 기준 사례분석 실시

◎ 데이터 수집

□ 시공단계

○ 탄소배출 인벤토리 구축 범위 설정 시 분류한 기능별로 데이터를 수집하였다. 고속국도는 한국도로공사에서 일반국도는 각 지방국토관리청을 통해 데이터를 수집하였으며 실시설계내역서(보고서 포함), 일위대가(호표, 단가산출) 등 설계 관련 데이터를 수집하였다.

<표 2-64> 시공단계 사례분석 대상

구분	명칭	연장(km)		
		총연장	터널	교량
고속국도	부산외곽순환고속도로건설공사 2공구	4.06	1.32	1.41
	부산외곽순환고속도로건설공사 7공구	1.86	-	2.90
	부산외곽순환고속도로건설공사 9공구	7.42	7.14	-
	상주～영덕간 고속도로건설공사 1-1공구	1.60	-	0.46
	88올림픽고속도로(담양～성산간) 12공구	13.00	1.37	3.88
일반국도	대산～석문간 도로건설공사	13.86	0.53	1.46
	보령～태안 도로건설공사 실시설계 2공구	6.14	-	1.75
	설악～청평간 도로건설공사	3.90	0.92	0.82
	태백～미로간 도로건설공사	6.50	3.55	1.61
	영월～방림간 도로건설공사 1공구	11.16	1.75	60.84

<표 2-65> 시공단계 수집 데이터 리스트(일부 예시)

수집 데이터 리스트
· 실시설계내역서(보고서)
· 일위대가(호표, 단가산출)
· 적산프로그램 파일(설계내역서 정보 포함)
· 주요 자재별 집계표
· 중기사용내역서 등

□ 운영단계

○ 사례분석 대상 도로 구간에 포함된 영업소 및 관리동, 기계설비, 관리차량 등의 에너지 사용 데이터를 수집하였다. 에너지 사용 데이터 수집 시 탄소배출 인벤토리 구축 범위 설정단계에서 분류한 도로 유형별 분류에 따라 토공, 교량, 터널의 구간별로 포함되는 운영요소별로 세분화하여 각각의 에너지 사용량을 수집하였다.

□ 유지관리단계

○ 연간 도로 유지보수 실적 관련 통계와 도로의 포장도 보수 및 구조물 보수 공사별 내역서를 수집하여 탄소배출량을 산정하였다. 포장도 보수 및 구조물 보수 공사별 내역서 수집 시 서울지방국토관리청 소속 수원국토관리사무소 및 의정부국토관리사무소에서 2012년 및 2013년 2년간에 걸쳐 수행한 유지보수 공사 내역서를 수집하였다.

<표 2-66> 유지관리단계 데이터 수집

필요 항목	조사자료명	관리기관	내용
도로 유지보수 실적	도로 유지보수 통계자료(1977~2012)	국토교통부 도로관리과	· 고속도로, 일반도로의 연간 유지보수 물량 · 토공, 터널, 교량 각 구간의 유지보수 실적
유지보수 총 연장	도로 유지보수 통계자료(1977~2012)	국토교통부 도로관리과	· 고속도로, 일반도로의 연간 도로 유지보수 연장
유지보수 공법	도로설계 편람(2012)	국토교통부	· 각 유지관리 항목의 정의
적용 장비사용, 자재투입량	건설공사 표준품셈(2013)	대한건설진흥회	· 일당 시공량, 작업량, 사용장비, 사용자재 등
탄소배출 DB	국가 LCI DB, Ecoinvent 등	산업통상자원부, 국토교통부, 건설기술연구원등	· 작업량, 자재투입량에 따른 탄소배출계수
유지보수 공사 내역서	유지보수 공사 내역서	지방국토관리청	· 포장도 보수, 구조물 보수 등 도로 유지보수 공사 내역

<표 2-67> 운영단계 데이터 수집

구분	배출원		연료	에너지 소비량(Unit/yr)			상세배출원
				2008년	2009년	평균	
토공	1	고정연소	등유(L)	93,524	61,920	77,722	· 영업소 - 톨게이트, 영업소 기계실, 정비동
			LPG(kg)	2,418	674	1,546	
		이동연소	경유(L)	100,056	115,357	107,707	· 차량 - 도로교통차, 살수차, 시설관리차, 안전순찰차, 염화물살포기, 덤프 15톤, 로우더, 빔리프터, 업무차, 중형버스, 지휘순찰차
			가솔린(L)	3,017	3,345	3,181	
	2		전력(kwh)	2,133,582	2,663,015	2,398,299	· 가로등, CCTV, AVC, VDS, VMS, 자재보관창고, 지하통로 배수펌프, 도로결빙방지시설, 영업소, 조명탑, 월동자재보관창고, 지하통로 조명등, 지하통로배수펌프
터널	1	이동연소	경유(L)	11,688	13,476	12,582	· 토공 이동연소 배출원과 동일
			가솔린(L)	352	391	372	
	2		전력(kwh)	7,352,105	8,741,665	8,046,885	· 가로등, 환기팬, 부전기실
교량	1	이동연소	경유(L)	25,746	29,683	27,715	· 토공 이동연소 배출원과 동일
			가솔린(L)	776	861	819	
	2		전력(kwh)	19,807	16,299	18,053	· 가로등, VMS, 조명등 등

◎ 사례분석 결과

□ 시공단계

○ 고속국도 및 일반국도 각 5개의 사례를 대상으로 각 사례별 탄소배출량을 산정하였다. 탄소배출량 산정 시 도로 건설공사의 세부 공종(최하위 공종)에 투입되는 자재와 장비 사용으로 구분하여 탄소배출량을 산정하였다.

<표 2-68> 고속국도 탄소배출량 산정 결과

구분	A고속국도 2공구	A고속국도 7공구	A고속국도 9공구	B 고속국도	C 고속국도
연장길이(km)	4.06	1.86	7.42	1.60	13.00
포함 구조물	교량, 터널	교량	터널	교량	교량, 터널
온실가스 배출량 (tCO_2-eq)	39,959	22,094	71,378	23,916	114,896
온실가스 배출 원단위 (tCO_2-eq/km)	9,842	11,878	9,619	14,947	8,838

<표 2-69> 일반국도 탄소배출량 산정 결과

구분	D 일반국도	E 일반국도	F 일반국도	G 일반국도	H 일반국도
연장길이(km)	13.86	6.14	3.90	6.50	11.16
포함 구조물	교량, 터널	교량	교량, 터널	교량, 터널	교량, 터널
온실가스 배출량 (tCO_2-eq)	83,696	32,183	14,331	107,026	71,924
온실가스 배출 원단위 (tCO_2-eq/km)	6,038	5,244	3,674	16,465	6,444

○ 공사별 탄소배출량 산정 결과, 고속국도 및 일반국도 모두 교량공, 터널공의 탄소배출량이 가장 높게 나타났다.

<표 2-70> 고속국도 공사별 탄소배출량 산정 결과

구분	A고속국도 2공구	A고속국도 7공구	A고속국도 9공구	B 고속국도	C 고속국도
토공사	5,134	3,191	11,543	3,478	5,522
배수공	251	612	98	2,902	2,340
구조물공	1	0.1	-	168	877
교량공	16,531	16,031	-	14,267	44,991
터널공	16,033	-	53,018	-	49,407
포장공	1,836	1,849	1,270	1,625	11,118
안전시설공	19	124	11	520	212
부대공	154	287	5,439	955	430

<표 2-71> 일반국도 공사별 탄소배출량 산정 결과

구분	D 일반국도	E 일반국도	F 일반국도	G 일반국도	H 일반국도
토공사	10,362	488	805	3,975	7,651
배수공	19,405	5,724	160	2,770	11,179
구조물공	2,034	422	169	102	-
교량공	24,860	22,525	4,968	27,601	11,803
터널공	9,476	-	7,098	59,007	29,914
포장공	15,945	2,271	733	12,578	9,371
안전시설공	154	78	1	63	122
부대공	1,460	675	397	932	1,884

□ 운영단계

○ 토공, 교량, 터널의 도로 유형별 탄소배출량 산정 결과, 터널 구간의 탄소배출량이 3,809.23 tCO_2-eq/yr로 가장 높게 나타났다.

<표 2-72> 운영단계 도로 유형별 탄소배출량 산정 결과

구분	배출원		연료	평균(tCO_2-eq/yr)
토공	1	고정배출원	등유	196.28
			LPG	4.52
		이동배출원	경유	287.33
			휘발유	7.13
	2		전력	1,125.77
	합계			1,621.03
터널	1	이동배출원	경유	33.57
			휘발유	0.83
	2		전력	3,774.83
	합계			3,809.23
교량	1	이동배출원	경유	73.94
			휘발유	1.83
	2		전력	7.75
	합계			83.52

□ 유지관리단계

○ 유지관리단계의 탄소배출량 산정을 위하여 수원 및 의정부 국토관리사무소에서 2012 ~ 2013년에 걸쳐 수행한 유지보수 공사 내역서 40여건을 수집하여 내역서 분석을 통하여 공사별 장비사용에 따른 에너지 사용량 및 시멘트, 아스콘 등 건설자재 사용량을 산정하였다.

○ 공사별 에너지 사용량 및 건설자재 사용량 산정 결과를 바탕으로 해당 에너지원 및 자재별 탄소배출계수를 연동하여 공사별 탄소배출량을 산정하였다.

<표 2-73> 유지보수 공사별 탄소배출량 산정 결과(일부 예시)

관리청	년도	사업명	탄소배출량 (tCO_2-eq)
수원	2012	국도77호선 교면포장공사(1차)	647.63
		국도45호선 보수공사	16.66
		국도77호선 교면포장공사(2차)	100.13
		국도45호선 보수공사	0.17
		국도45호선 내진보강공사	10.95
	2013	국도45호선 교면포장공사(1차)	474.37
		관내 도로시설물 정비공사	36.20
		국도45호선 교면포장공사(2차)	0.92
		국도 17호선 보수공사	9.89
		국도38호선 교면포장공사	3.08
		국도45호선 교면포장공사	0.18
		국도 37호선 구조물 보수공사	44.06
		…	…
의정부	2013	국도77호선 배수시설 개선공사	16.86
		국도1호선 도로포장 정비공사	15.65
		국도37호선 도로포장 정비공사	7.98
		국도47호선 도로포장 정비공사(1차)	5.72
		국도47호선 도로포장 정비공사(2차)	4.73
		의정부국토 서부권역 차선도색공사	4.27
		의정부국토 중부권역 차선도색공사	6.43
		국도1호선 배수시설 정비공사	14.79
		관내 방음시설 정비공사	6.67
		국도37호선 포장보수공사	15.59
		…	…

■ 도로 표준공종체계 구축

◎ 표준공종체계 구축의 필요성

○ 고속국도 및 일반국도는 해당 도로의 관리주체별로 공사 및 공종체계가 상이하고 설계내역 작성 시 작업자별로 설계내역 작성 방식이 달라 탄소배출 DB 및 원단위를 활용하여 도로분야의 탄소배출량 산정 시 실제 현장에서 작성하는 설계내역과 본 연구를 통해 구축한 탄소배출 DB 및 원단위를 정확히 대응시키기 어려워 구축한 탄소배출 DB 및 원단위를 활용하기 어렵다.

○ 고속국도의 경우 한국도로공사의 공종체계에 따라 설계내역을 작성하며, 일반국도의 경우 각 지방국토관리청의 공종체계에 따라 설계내역을 작성하여 고속국도 및 일반국도의 공종체계가 상이하며, 내역작성 구간에 포함된 모든 교량의 설계내역을 분류하지 않고 작성하는 경우와 교량별로 세분화형 작성하는 등 작업자에 따라 내역작성 방식이 상이하다.

<표 2-74> 고속국도 및 일반국도 공종체계

고속국도	- 공통공사, 토공사, 터널공사, 교량공사, 배수 및 옹벽공사, 포장 및 부대공사의 6개 공사로 구분하여 각 공사별 포함 공종에 따라 내역 작성
일반국도	- 토공, 비탈면안정공, 배수공, 구조물공, 터널공, 포장공, 교통안전시설공, 부대공의 8개 공사로 구분하여 각 공사별 포함 공종에 따라 내역을 작성하며, 교량 및 옹벽은 구조물공으로 포함

○ 또한 한국도로공사 및 지방국토관리청의 설계내역 공종체계는 7 ~ 8단계 이상의 하위 공종체계로 작성되어 있어 해당 체계에 맞추어 탄소배출 DB 및 원단위 구축 시 탄소배출 DB 및 원단위 공종체계가 지나치게 세분화되어 구축한 성과물의 활용성, 이용편이성이 저하될 수 있다. 이에 따라 고속국도 및 일반국도에 범용적으로 적용할 수 있으며 도로의 공종체계를 4단계 이하로 정리하여 탄소배출 DB 및 원단위의 활용성 및 이용편이성을 증대시킬 수 있도록 도로의 표준공종체계를 구축할 필요가 있다.

◎ 표준공종체계 구축 결과

○ 고속국도 및 일반국도에 범용적으로 적용할 수 있는 표준공종체계 구축을 위하여 국토교통부, 한국도로공사 등 도로 관련 기관에서 개발한 도로 설계 관련 지침서, 시방서 등을 참고하였다. 참고한 지침서, 시방서는 국토교통부의 수량산출기준지침서, 한국도로공사의 도로공사 표준시방서 및 고속도로공사 전문시방서 등으로, 해당 지침서 및 시방서를 참고하여 도로의 공종체계를 최대 4단계로 설정하였다.

○ 표준공종체계 구축 시 고속국도 및 일반국도에 범용적으로 적용할 수 있도록 고속국도 및 일반국도의 공사(1단계)를 토공, 배수공, 구조물공, 교량공, 터널공, 포장공, 안전시설공, 부대공의 8개 공사로 확정하고 각 공사별로 포함되는 3단계까지의 하위 공종은 동일한 체계를 따르도록 하였으며 4단계 이후의 하위 공종은 각 도로의 특성을 고려하여 규격을 포함하여 고속국도 및 일반국도별로 정리하였다.

<표 2-75> 표준공종체계 구축결과(일반국도, 토공 일부예시)

level 1	level 2	level 3	level 4	단위
토공	기존구조물깨기	무근콘크리트깨기	T=30cm미만	㎥
			T=30cm이상	㎥
		철근콘크리트깨기	T=30cm미만	㎥
			T=30cm이상	㎥
		석축헐기		㎡
		기존포장깨기	보도블럭포장헐기	㎡
			아스팔트포장깨기,기계	㎥
			콘크리트포장깨기,기계	㎥
		포장절단	아스팔트,기계	m
			콘크리트,기계	m
		건설폐기물파쇄	Ø100mm, 크러셔	㎥
		가드레일철거		m
		임목폐기물파쇄비		ton
		호안블록헐기		㎡
		강교철거		ton
		P.S.CBEAM철거		본
	측구뚝쌓기		인력	㎥
	표토제거	답구간		㎡
		답외구간		㎡
	벌개제근 및 가로수제거	벌개제근		㎡
		벌목		㎡
		가로수제거		본
	…	…	…	…

■ 도로 유형별, life cycle 단계별 탄소배출 DB 및 원단위 구축

◎ 시공단계 탄소배출 DB 및 원단위

○ 최하위 공종별 탄소배출량 산정 결과를 도로 유형별로 각각 집계하여 탄소배출량을 산정한 후 사례분석 대상 도로의 구간별 연장으로 나누어 단위연장당 탄소배출 DB 및 원단위를 구축하였다.

<표 2-76> 도로 구간별 탄소배출 DB 및 원단위 구축 결과

구분	토공	교량	터널	전체
고속국도(tCO_2-eq/km)	2,778.81	11,717.03	13,883.26	8,827.03
일반국도(tCO_2-eq/km)	3,493.70	14,385.02	17,325.61	7,439.48

○ 도로 표준공종체계에 따라 토공, 터널공 등 8개 공사의 단위연장당 탄소배출 DB 및 원단위와 공사별 포함된 최하위 공종의 단위작업량당 탄소배출 DB 및 원단위를 구축하였다. 8개 공사의 단위연장당 탄소배출 DB 및 원단위 구축 시 최하위 공종별 탄소배출량 산정 결과를 상위 공종별로 집계하여 공사별 탄소배출량을 산정한 후 해당 공사가 포함되는 도로 구간의 연장으로 나누어 단위연장당 탄소배출량을 산정하였으며, 최하위 공종의 탄소배출량을 각 공종의 작업량으로 나누어 단위작업량당 탄소배출 DB 및 원단위를 구축하였다.

<표 2-77> 시공단계 공종별 탄소배출 원단위 구축 결과(level 1)

(단위 : tCO_2-eq/km)

구분	배출원	토공	배수공	구조물공	교량공	터널공	포장공	안전시설공	부대공
고속국도	Scope1	989.70	16.94	1.87	681.42	2,191.41	151.83	2.32	21.94
	Scope2	-	0.20	-	2.30	538.50	-	0.05	0.08
	Scope3	43.49	204.88	35.56	9,925.28	9,318.27	481.57	29.38	237.97
	Total	1,033.18	222.01	37.43	10,609.01	12,048.18	633.41	31.75	259.99
일반국도	Scope1	706.41	21.42	13.23	1,080.17	1,496.51	266.05	6.47	31.87
	Scope2	-	-	-	0.55	-	-	1.65	0.001
	Scope3	115.53	1,363.93	83.04	13,072.61	14,132.40	1,177.87	6.64	156.97
	Total	821.95	1,385.35	96.27	14,153.33	15,628.91	1,443.93	14.76	188.84

◎ 운영단계 탄소배출 DB 및 원단위

○ 수집한 고속국도 온실가스 인벤토리 자료를 통한 탄소배출량 산정 결과를 도로 유형별로 각각 집계하여 탄소배출량을 산정한 후 사례분석 대상 도로의 구간별 연장으로 나누어 단위연장당 탄소배출 DB 및 원단위를 구축하였다.

<표 2-78> 운영단계 탄소배출 DB 및 원단위 구축 결과

구분	Scope 1 (직접배출)	Scope 2 (간접배출)	Scope 3 (기타간접배출)	Total
토공(tCO_2-eq/km,yr)	3.42	5.02	19.19	27.64
교량(tCO_2-eq/km,yr)	-	5.02	0.51	5.53
터널(tCO_2-eq/km,yr)	-	5.02	550.91	555.93

◎ 유지관리단계 탄소배출 DB 및 원단위

○ 수집한 유지보수 공사 내역서 분석에 따른 탄소배출량 산정 결과를 도로 유형별로 각각 집계하여 탄소배출량을 산정한 후 사례분석 대상 도로의 구간별 연장으로 나누어 단위연장당 탄소배출 DB 및 원단위를 구축하였다. 유지관리단계 탄소배출 DB 및 원단위 산정 시 서울지방국토관리청 소속 수원국토관리사무소 및 의정부국토관리사무소에서 2012년 및 2013년 2년간에 걸쳐 수행한 유지보수 공사 내역서를 수집하여 유지보수 공사별 건설자재 투입 및 장비 사용에 따른 에너지 사용량을 산정하여 해당 건설자재 및 에너지원별 탄소배출계수를 연동하여 공종별 탄소배출량을 산정하였으며, 공종별 탄소배출량 산정 결과를 유지보수 공사 대상 구간의 연장으로 나누어 단위연장당 탄소배출 DB 및 원단위를 구축하였다.

○ 탄소배출 DB 및 원단위 산정 시 기준이 되는 관리 연장은 '2013년 도로업무편람'의 국토관리사무소별 관리 연장 중 2차로 및 4차로 이상 포장도의 연장과 차로 수를 반영하여 총차로연장(Lane·km)을 산정한 후 4차로 기준 연장으로 환산하여 탄소배출 DB 및 원단위를 산정하였다.

<표 2-79> 유지관리단계 탄소배출 DB 및 원단위 구축 결과

구분	토공	교량	터널
탄소배출 원단위 (tCO_2-eq/km,yr)	1.33	3.65	1.41

○ 유지보수 공사별 탄소배출량 산정 결과를 포장공, 교량공, 터널공, 배수공, 부대공의 5개 공사로 구분하여 각 공사에 포함되는 최하위 공종 수준에서의 탄소배출 DB 및 원단위를 구축하였으며, 탄소배출 DB 및 원단위 구축 시 공종별 탄소배출량 산정 결과를 각 공종의 작업량으로 나누어 공사별, 공종별 탄소배출 DB 및 원단위를 구축하였다.

<표 2-80> 유지관리단계 공종별 탄소배출 원단위 구축 결과(포장공 예시)

Level1	Level2	Level3	Level4	단위	원단위($kgCO_2$-eq/unit)	
					고속국도	일반국도
포장공	아스팔트	표면처리	슬러리실	㎡	0.000	0.000
			표면평탄작업	㎡	0.001	0.001
		소파보수	소규모 포장복구	㎡	0.007	0.007
			소규모 도로 긴급복구 작업	㎡	0.015	0.015
		덧씌우기	5AC	㎡	0.001	0.001
		절삭 후 덧씌우기	절삭+5AC	㎡	0.000	0.001
	콘크리트	표면처리	슬러리실	㎡	0.000	0.000
			표면평탄작업	㎡	0.001	0.001
		소파보수	소규모 포장복구	㎡	0.007	0.007
			소규모 도로 긴급복구 작업	㎡	0.012	0.012
		덧씌우기	아스팔트 or 콘크리트 덧씌우기	㎡	0.001	0.001
		절삭 후 덧씌우기	T=7cm	㎡	0.001	0.001
	교면포장	덧씌우기(아스팔트)	T=5cm	㎡	0.000	0.000
		덧씌우기(콘크리트)	LMC혼합	㎡	0.007	0.007
			LMC포설및양생	㎡	0.000	0.000
			LMC재료구입/운반	㎥	0.436	0.436
		소파보수	콘크리트, T=5cm	㎡	0.011	0.011
		포장콘크리트절단		㎡	0.001	0.001
		파쇄면청소및버럭수집	조강	㎡	0.006	0.006
		청소및버럭모으기		㎡	0.006	0.006
		재료구입/운반	조강,T=9cm	㎥	0.436	0.436
		워터젯면고르기	조강,T=1cm	㎡	0.013	0.013
		아스콘포장절단		m	0.000	0.000
		아스콘	접속부	ton	0.009	0.009
			교량부	ton	0.009	0.009
		세로줄눈설치	6×75	m	0.001	0.001
		노면절삭		㎥	0.004	0.004
		HI-CON생산		㎥	0.013	0.013
	포장도보수	프라임코팅	RSC-4,30ℓ/a	㎡	0.000	0.000
		택코팅	야간	㎡	0.000	0.000
			RSC-4,30ℓ/a	㎡	0.000	0.000
			RSC-4	㎡	0.000	0.000

<표 2-81> 유지관리단계 공종별 탄소배출 원단위 구축 결과(교량공 예시)

Level1	Level2	Level3	Level4	단위	원단위($kgCO_2$-eq/unit)	
					고속국도	일반국도
교량공	콘크리트보수	표면처리	(염해,중성화방지,망상균열)	㎡	0.000	0.000
		표면보수	(염해,중성화방지,망상균열)	㎡	0.000	0.000
		콘크리트표면보호		㎡	0.000	0.000
		철근방청단면복구보수(슬래브)	t=30mm(철근부식부)	㎡	0.000	0.000
		철근방청단면복구보수(벽체)	t=30mm(철근부식부)	㎡	0.000	0.000
		철근노출단면복구		㎡	0.376	0.376
		접근장비	트럭크레인5ton	일	0.162	0.162
			굴절차(크레인100ton)	일	0.330	0.330
		단면복구보수(슬래브)	t=30mm	㎡	0.000	0.000
		단면복구보수(벽체)	t=30mm	㎡	0.000	0.000
		단면복구	T=30mm	㎡	0.376	0.376
			T=10mm	㎡	0.423	0.423
		단면보수공	천장(THK=30mm)	㎡	0.000	0.000
			벽체(THK=30mm)	㎡	0.000	0.000
		단면보수공(철근방청)	천장(THK=50mm)	㎡	0.000	0.000
			벽체(THK=50mm)	㎡	0.000	0.000
	기타보수	패널설치	합판거푸집설치	㎡	0.000	0.000
			패널제작운반설치	㎡	0.012	0.012
			보강Con'c	㎡	0.000	0.000
		터파기		㎥	0.001	0.001
		신축이음장치교체공	초속경콘크리트타설	m	0.378	0.378
			철근가공조립	m	0.000	0.000
			아스콘절단	m	0.000	0.000
			신축이음장치설치	m	0.063	0.063
		무근콘크리트깨기	들어내기	㎥	0.001	0.001
			구조물헐기	㎥	0.007	0.007
		되메우기		㎥	0.000	0.000
		교량받침철거및교체	콘크리트치핑	㎡	0.515	0.515
			철근콘크리트깨기	㎥	0.026	0.026
			철근가공조립	ton	0.000	0.000
			교좌장치설치(300ton)	조	0.014	0.014
			교좌장치설치(130ton)	조	0.020	0.020
			거푸집합판	㎡	0.000	0.000
			SOLEPLATE설치	ton	0.004	0.004
		공사안내판설치		식	0.001	0.001
		GNS네일제작및설치	정착구설치	SET	0.005	0.005
			전석쌓기	㎡	0.011	0.011
			그라우팅	m	0.620	0.620
		GNSAnchor	천공(토사),Φ105㎜	m	0.011	0.011
			그라우팅	m	0.000	0.000
		GABION옹벽	1.0*1.0*1.0	㎥	0.005	0.005
		아스팔트콘크리트	일반표층용	ton	0.009	0.009
		아스콘	교량부	ton	0.009	0.009

<표 2-82> 고속국도 시공단계 공종별 탄소배출 원단위 구축 결과(토공, level 4)

공종	최하위공종	규격	단위	탄소배출원단위(tCO_2-eq/unit)			
				Scope1	Scope2	Scope3	합계
기존 구조물 깨기	무근콘크리트 깨기	T=30CM미만(백호0.7㎥)	m^3	0.00798	-	-	0.00798
		T=30CM미만(백호0.4㎥)	m^3	0.00972	-	-	0.00972
		T=30CM미만(백호0.2)㎥	m^3	0.00937	-	-	0.00937
		T=30CM이상(백호0.7㎥)	m^3	0.00980	-	-	0.00980
		T=30CM이상(백호0.4㎥)	m^3	0.01182	-	-	0.01182
	철근콘크리트 깨기	T=30CM미만	m^3	0.01373	-	-	0.01373
		T=30CM이상	m^3	0.01612	-	-	0.01612
	기존포장깨기	아스팔트포장깨기(백호0.7㎥)	m^3	0.00798	-	-	0.00798
		아스팔트포장깨기(백호0.4㎥)	m^3	0.00972	-	-	0.00972
		아스팔트포장깨기(백호0.2㎥)	m^3	0.00937	-	-	0.00937
		콘크리트포장깨기(백호0.7㎥)	m^3	0.00005	-	-	0.00005
		콘크리트포장깨기(백호0.4㎥)	m^3	0.00972	-	-	0.00972
		콘크리트포장깨기(백호0.2㎥)	m^3	0.00937	-	-	0.00937
	포장절단	아스팔트절단	m	0.00397	-	-	0.00397
		콘크리트절단,1차로(기계)	m	0.00400	-	-	0.00400
		콘크리트절단,2차로(기계)	m	0.00156	-	-	0.00156
	건설폐기물 파쇄	100M/M	m^3	0.00239	-	-	0.00239
		100M/M,적재및운반	m^3	0.00288	-	-	0.00288
		이동식크라샤150ton	m^3	0.00345	-	-	0.00345
		압쇄기(1.0㎥)	m^3	0.02233	-	-	0.02233
	석축헐기	메쌓기	m^2	0.00233	-	-	0.00233
		찰쌓기	m^2	0.00251	-	-	0.00251
	임목폐기물 파쇄	적재및운반	m^2	0.00235	-	-	0.00235
			m^2	0.01793	-	-	0.01793
표토 제거	답구간	T=30CM	m^2	0.00040	-	-	0.00040
			m^2	0.00026	-	-	0.00026
	답외구간	T=30CM	m^2	0.00029	-	-	0.00029
		T=50CM	m^2	0.00049	-	-	0.00049
			m^2	0.00019	-	-	0.00019
흙깎기	토사깎기	확장	m^3	0.00115	-	-	0.00115
	리핑암깎기	리퍼도쟈32톤	m^3	0.00154	-	-	0.00154
	발파암깎기	발파암소할	m^3	0.00301	-	-	0.00301
		발파암소할(30cm미만)	m^3	0.00334	-	-	0.00334
		발파암소할(30cm이상)	m^3	0.00274	-	-	0.00274
…	…	…	…	…	…	…	…

■ 도로 유형별 life cycle 단계별 탄소배출 DB 및 원단위 검증 및 보완

○ ISO 14064-3의 'A.2.2.4 전문가 활용' 기준에 따라 탄소배출 DB 및 원단위에 대한 검증을 실시하였다. 탄소배출 DB 및 원단위 검증을 위하여 도로 건설 관련 업체 실무자 1명, 탄소배출량

산정 관련 전문가 2명으로 검증위원회를 구성하였으며 탄소관리시스템에 업로드한 탄소배출 DB 및 원단위의 계산 근거자료를 포함해 메일로 송부하여 탄소관리시스템 및 산정 근거자료에 대한 검토의견서를 서면으로 작성하여 수령하였다. 검증위원회의 탄소배출 DB 및 원단위에 대한 주요 검토의견 및 반영사항은 다음과 같다.

<표 2-83> 탄소배출 DB 및 원단위 주요 검토의견 및 반영사항

구분	주요 검토의견	반영사항
시공단계	- 현재 구축된 표준공종체계가 모든 공종을 대표할 수 없기 때문에 표준공종명에 대한 검토 필요	- 고속국도 및 일반국도의 표준공종체계에 대하여 별도의 전문가 검토를 수행하여 반영하였음
운영단계	- 실제 명세서를 기반으로 원단위를 구축하여 신뢰도가 높으나 시간적 경계와 분석사례 개수가 부족하여 3자검증을 받은 실제 자료를 이용했음을 명시하는 것이 필요	- 3자 검증을 받은 실제 명세서를 이용했음을 보고서에 명시함
유지관리단계	- 실제 내역서를 기반으로 분석한 것은 적절하나 각 공사별 주기에 대한 사항이 반영되어야 함	- 구축한 유지관리단계 원단위에는 주기가 반영되지 않았으나 탄소관리시스템에서 각 공사별로 유지보수 주기를 입력하여 분석되도록 구성하여 유지관리단계의 탄소배출량 산정 시 공사별 주기가 반영됨

㉮ 녹색도로 탄소관리시스템 개발

■ 탄소관리시스템 기능 및 모듈 설계

○ 탄소관리시스템의 탄소배출량의 산정은 기본적으로 국제표준인 IPCC 가이드라인을 따르도록 규정되어 있어 본 연구를 통해 개발된 탄소배출 평가시스템 역시 해당 가이드라인을 제시하였다.

○ 탄소배출량 산정시 가장 중요한 배출계수, DB 그리고 원단위를 본 연구를 통해 개발한 정량화된 수치를 삽입함으로써 다른 시스템과 차별화되게 구성되게 제시히였다.

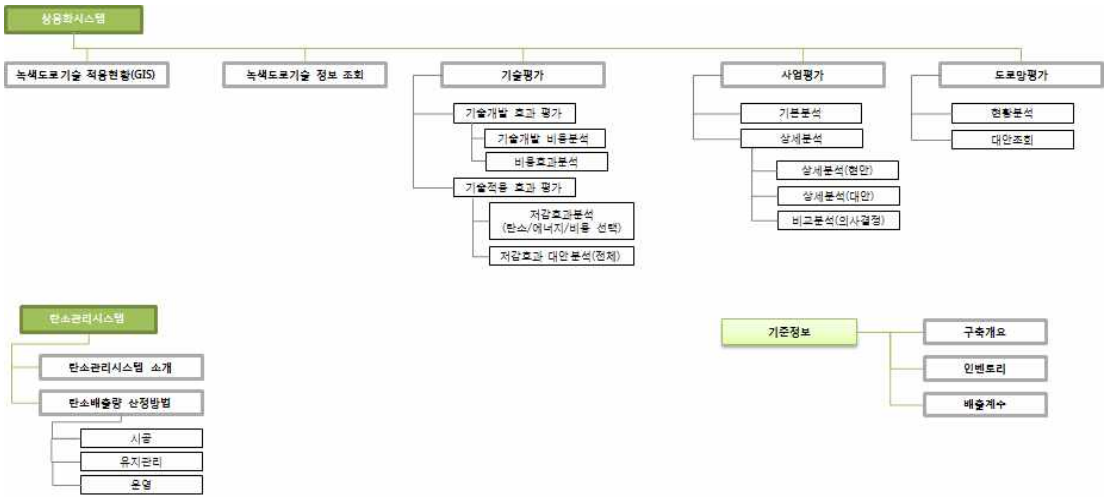
○ 또한, 실제 설계내역서 기반으로 공정별로 작업량 기입시 탄소배출량이 나오게끔 구성되어 있으며, 웹상에서 접근이 가능토록 구성되어 있기 때문에 기존에 개발되어 배포된 시설물별 탄소배출량 산정 프로그램과는 차별성이 있다.

○ 탄소관리시스템 기획 초기단계에서는 탄소배출량 산정방법, 인벤토리 및 원단위, 녹색도로 기술별 저감량, 녹색도로 탄소배출량 Baseline, 2030년 저감량 예측의 5가지 콘텐츠로 기획하였다.

<표 2-84> 탄소관리시스템 콘텐츠 구성

초기 구성 항목	세부 내용	변경 구성항목
탄소배출량 산정방법	· 시공, 운영, 유지관리 등 도로의 전과정 단계별 탄소배출량 산정 방법 · 녹색도로 기술별 탄소배출량 산정 방법 등	탄소관리시스템 개요
인벤토리 및 원단위	· 고속국도 및 일반국도의 연당장 탄소배출 원단위 · 시공단계 최하위공종별 탄소배출 원단위 · 운영단계 도로 구간별 탄소배출 원단위 · 유지관리단계 도로 구간별 탄소배출 원단위 · 도로 최하위공종별 탄소배출 인벤토리 DB 등	기준정보
녹색도로 기술별 저감량	· 시공, 운영, 유지관리 등 녹색도로 기술의 적용 단계별 탄소배출량 및 저감량 정보 · 신규 기술의 탄소배출량 및 저감량 산정 등	기술평가
녹색도로 탄소배출량 Baseline	· 2030년 기준 도로부문 탄소배출 Baseline 산정	도로망 평가 사업평가
2030년 저감량 예측	· 2030년 기준 도로부문 탄소배출 Baseline 대비 녹색도로 기술 적용에 따른 탄소배출 저감량 산정	사업평가

○ 녹색도로기술투자평가시스템(G-TIES)내 세부 시스템으로 효율적 연계를 위해 인벤토리 및 원단위, 녹색도로 기술별 저감량, Baseline 등 탄소배출량 및 저감량 산정과 관련된 콘텐츠를 상용화시스템으로 이관하였다.



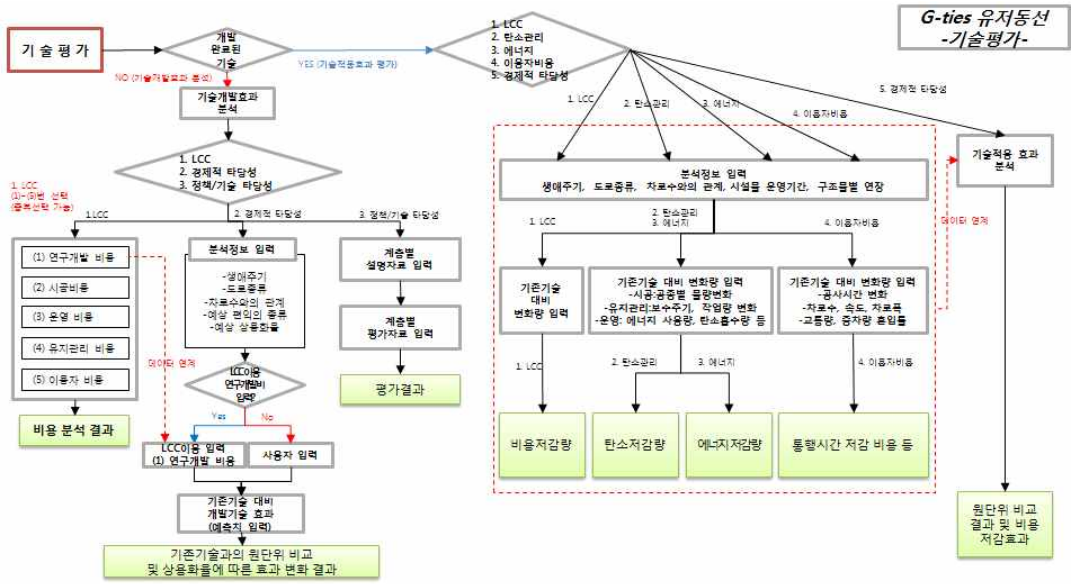
<그림 2-56> 녹색도로기술 투자평가시스템 및 탄소관리시스템 연계에 따른 콘텐츠 재구성

■ 탄소관리시스템 플랫폼 개발

◎ 기술평가 플랫폼 개발

○ 기술평가는 도로시설물의 탄소배출량을 저감할 수 있는 녹색도로 기술을 평가하는 메뉴로 녹색기술들을 도로 또는 도로망에 적용하였을 경우 그 효과를 평가할 수 있으며 이미 적용되었거나 혹은 적용될 예정인 녹색도로 기술에 대하여 탄소배출 원단위의 평가 결과를 정량적으로 산출하여 평가할 수 있다. 또한 개발한 기술의 탄소배출 정보를 데이터베이스화 하여 기존의 기술과 비교분석을 할 수 있으며, 사업평가 시 개발한 기술 적용에 따른 장래 탄소배출 저감량 예측 시 활용이 가능하다.

○ 평가하고자 하는 대상 기술의 비용, 자재 및 에너지, 교통량 등을 종합적으로 평가하여 대상 기술의 적용효과를 분석할 수 있도록 탄소관리시스템의 기술평가 플랫폼을 개발하였다.

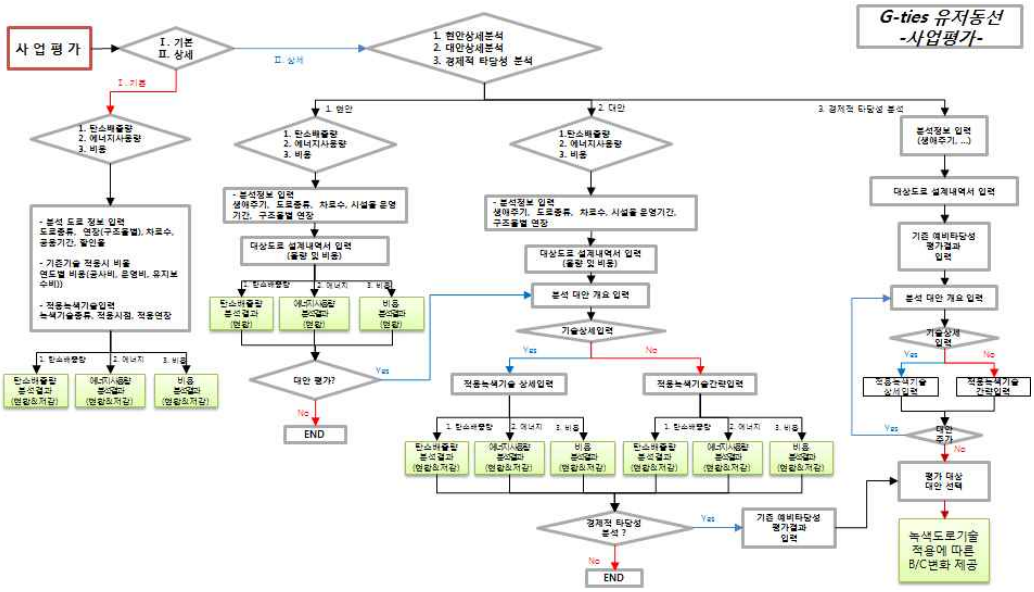


<그림 2-57> 기술평가 플랫폼 구성

◎ 사업평가 플랫폼 개발

○ 사업평가는 도로시설물의 탄소배출량을 산정하고 녹색도로 기술을 평가 대상 도로시설물에 적용하였을 경우의 탄소배출 저감량을 산정하는 메뉴로, 기존 또는 신규 도로에 새로운 녹색도로 기술을 적용하였을 경우의 효과를 정량적으로 분석하고 이에 따라 녹색도로 기술의 적용에 대한 사업성을 평가할 수 있다. 또한 사업평가는 기본분석 및 상세분석으로 분석 수준을 사용자가 설정할 수 있다. 기본분석은 도로의 연장 정보만으로 도로의 탄소배출량을 비교적 간단하게 산정할 수 있으며, 상세분석은 최하위공종 수준에서의 도로의 설계내역을 입력하여 신뢰도 높은 탄소배출량 산정 결과를 얻을 수 있다.

○ 평가하고자 하는 대상 도로의 비용, 자재 및 에너지, 교통량 등을 종합적으로 평가하여 사업의 예비타당성을 평가할 수 있도록 탄소관리시스템의 사업평가 플랫폼을 개발하였다.

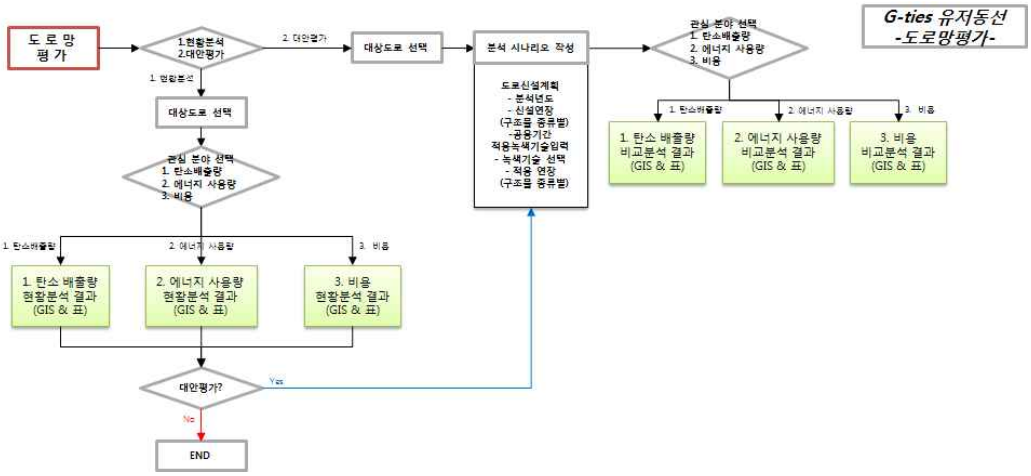


<그림 2-58> 사업평가 플랫폼 구성

◎ 도로망평가 플랫폼 개발

○ 도로망평가란 전국 도로 현황자료를 이용하여 전국의 도로 또는 관심 도로구간을 선정하여 대상 도로의 탄소배출량을 산정할 수 있는 메뉴로, GIS 기반의 지도에 선택한 도로의 분석결과를 표출하여 사용자가 쉽게 결과를 확인할 수 있다.

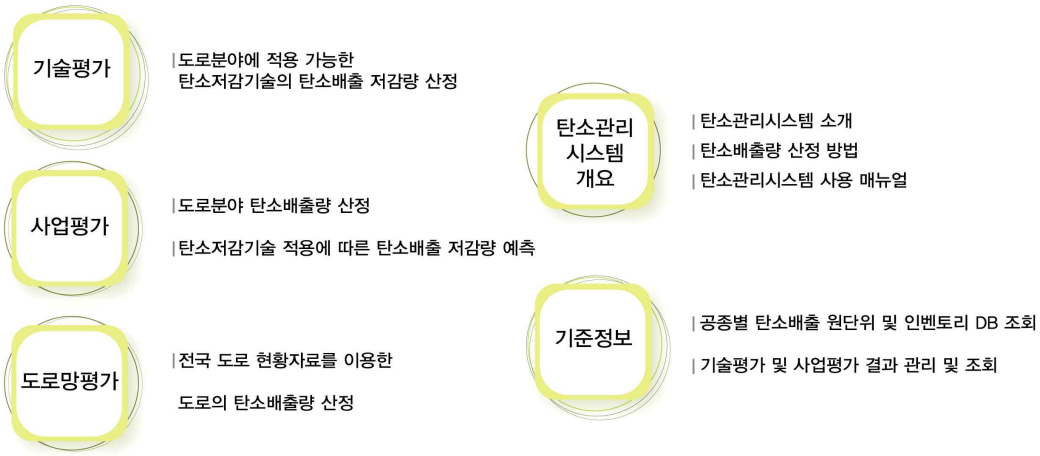
○ 평가하고자 하는 대상 도로의 분석시점 기준의 탄소배출 현황을 분석하고 도로 신설계획에 따른 특정 시점의 탄소배출 현황 및 녹색도로 기술 적용에 따른 탄소배출 저감량을 산정할 수 있도록 탄소관리시스템의 플랫폼을 개발하였다.



<그림 2-59> 도로망평가 플랫폼 구성

■ 탄소배출량 산정방법, 인벤토리 및 원단위, 녹색도로 기술별 저감량, 녹색도로 탄소배출량 Baseline, 2030년 저감량 예측의 5가지 컨텐츠에 대한 탄소관리시스템 개발

○ 탄소관리시스템은 탄소관리시스템 개요, 기준정보, 기술평가, 사업평가, 도로망평가의 5개 콘텐츠로 구성하였다.



<그림 2-60> 탄소관리시스템 콘텐츠 구성

◎ 탄소관리시스템 개요

○ 탄소관리시스템 소개 및 시스템 구성, 탄소관리시스템의 탄소배출량 산정 방법을 조회할 수 있는 메뉴이다.

□ 탄소관리시스템 소개

○ 탄소관리시스템 구축 목적, 활용방안 등 탄소관리시스템 소개 콘텐츠를 제공하는 메뉴이다.



<그림 2-61> 탄소관리시스템 소개 메뉴(일부 예시)

□ 탄소배출량 산정 방법

○ IPCC 가이드라인 및 국토교통부의 탄소배출량 산정 가이드라인에 부합하는 탄소배출량 산정 방법 제공하는 메뉴로, 녹색도로 탄소배출량 산정 방법을 지침화하여 일반 사용자에게 제공하는데 목적이 있다.



<그림 2-62> 탄소배출량 산정 방법

◎ 기준정보

○ 기준정보란 G-TIES에서 시공, 운영, 유지관리의 도로 전생애주기 단계별 탄소배출량 산정 시 필요한 도로의 전생애주기 단계별 탄소배출 인벤토리, 자재·장비·에너지·신재생에너지 등의 배출계수 및 원단위를 데이터베이스화 하고 구축된 데이터베이스를 조회하거나 수정 또는 신규 등록을 할 수 있는 메뉴이다.

□ 인벤토리 및 원단위

◇ 시공단계 인벤토리

○ 시공단계 인벤토리는 기본분석 및 상세분석 인벤토리로 구분하였으며, 기본 분석 인벤토리는 사업평가 및 도로망평가 수행 시 사용되는 탄소배출 인벤토리로, 토공, 교량, 터널 등 도로 구간별 연장에 각 구간별 탄소배출 인벤토리를 곱하여 시공단계 탄소배출량 산정 시 활용할 수 있다. 토공, 교량, 터널의 도로 구간별 인벤토리를 각 구간별로 포함되는 공사로 세분화하여 공사별 탄소배출 인벤토리를 구축하여 공사별 탄소배출량을 산정할 수 있도록 하였으며, 공사별 탄소배출 인벤토리는 다시 직접배출, 간접배출, 기타간접배출의 3종류의 배출원별로 세분화하여 구축하였다.

구간별 (도로망)

엑셀

도로유형	구간	원단위			수정
		탄소 (tCO2/km)	에너지 (TOE/km)	비용 (억원/km)	
고속국도	토공	2,778.81	393.22	245.00	
	교량	11,717.03	298.84	555.00	
	터널	13,883.26	1,402.11	260.00	
일반국도	토공	3,493.70	256.65	113.00	
	교량	14,385.02	423.97	500.00	
	터널	17,325.61	749.05	311.00	

<그림 2-63> 시공단계 도로 구간별 탄소배출 원단위

공사 배출원별 (기본분석)

엑셀

도로유형	공사	탄소 원단위 (tCO2/km)			에너지 원단위 (TOE/km)			비용원단위 (억원/km)	수정
		Scope 1 (직접 배출)	Scope 2 (간접 배출)	Scope 3 (기타 간접배출)	Scope 1 (직접 사용)	Scope 2 (간접 사용)	Scope 3 (기타 간접사용)		
고속국도	토공	989.70		43.49	319.01			245	
	배수공	16.94	0.20	204.88	5.46	0.06			
	구조물공	1.87		35.56	0.60				
	교량공	681.42	2.30	9,925.28	219.64	0.74		555	
	터널공	2,191.41	538.50	9,318.27	706.36	173.57		260	
	포장공	151.83		481.57	48.94				
	안전시설공	2.32	0.05	29.38	0.75	0.02			
	부대공	21.94	0.08	237.97	7.07	0.03			
일반국도	토공	481.47		78.74	155.19			113	
	배수공	14.60		929.61	4.71				
	구조물공	12.33		77.37	3.97				
	교량공	1,080.17	0.55	13,072.61	348.17	0.18		500	
	터널공	1,496.51		14,132.40	482.37			311	
	포장공	181.33		802.80	58.45				
	안전시설공	4.41	1.13	4.53	1.42	0.36			
	부대공	21.72		106.99	7.00				

<그림 2-64> 시공단계 공사별 배출원별(기본분석) 탄소배출 원단위

○ 상세분석 인벤토리는 기술평가 및 사업평가 수행 시 사용되는 탄소배출 인벤토리로, 토공, 교량공, 포장공 등 고속국도 및 일반국도의 8개 공사별로 포함되는 하위 공종의 작업량당 탄소배출 인벤토리이다. 상세분석 인벤토리 구축 시 4 level 수준의 최하위 공종별 인벤토리를 구축하였으며, 최하위 공종별 탄소배출 인벤토리는 다시 직접배출, 간접배출, 기타간접배출의 3종류의 배출원별로 세분화하여 구축하였다.



공종별 원단위

공종 편집 | 엑셀

도로유형	◉ 전체 ○ 고속국도 ○ 일반국도	원단위 등록여부	☑원단위 등록된 공종만 조회
공사 (공종1레벨)	토공	공종 (공종2레벨)	선택
최하위공종 (공종3레벨)	선택	4레벨 검색	

도로 유형	공사 (레벨1)	공종(레벨2)	최하위공종 (레벨3)	규격(레벨4)	단위	수정	탄소원단위 (tCO2/unit)				에너지 원단위(TOE/unit)			
							Scope 1 (직접 배출)	Scope 2 (간접 배출)	Scope 3 (기타 간접배 출)	합계	Scope 1 (직접 사용)	Scope 2 (간접 사용)	Scope 3 (기타 사용)	합계
고속국	토공	기존구조물깨기	무근콘크리트까	T=30CM미만	㎥		0.009			0.009	0.003			0.0
	토공	기존구조물깨기	무근콘크리트까	T=30CM이상	㎥		0.011			0.011	0.003			0.0
	토공	기존구조물깨기	철근콘크리트까	T=30CM미만	㎥		0.014			0.014	0.004			0.0
	토공	기존구조물깨기	철근콘크리트까	T=30CM이상	㎥		0.016			0.016	0.005			0.0
	토공	기존구조물깨기	기존포장깨기	아스팔트포장깨기	㎥		0.009			0.009	0.003			0.0
	토공	기존구조물깨기	기존포장깨기	콘크리트포장깨기	㎥		0.006			0.006	0.002			0.0
	토공	기존구조물깨기	포장절단	아스팔트절단	m		0.004			0.004	0.001			0.0
	토공	기존구조물깨기	포장절단	콘크리트절단	m		0.003			0.003	0.001			0.0
	토공	기존구조물깨기	건설폐기물파쇄	100M/M	㎥		0.003			0.003	0.001			0.0
	토공	기존구조물깨기	석축헐기	메쌓기	㎡		0.002			0.002	0.001			0.0
	토공	기존구조물깨기	석축헐기	찰쌓기	㎡		0.003			0.003	0.001			0.0
	토공	기존구조물깨기	임목폐기물파쇄	적재및운반	㎥		0.002			0.002	0.001			0.0
	토공	기존구조물깨기	임목폐기물파쇄	파쇄	㎥		0.018			0.018	0.006			0.0
	토공	표토제거	답구간	T=30CM	㎡		0.000			0.000	0.000			0.0
	토공	표토제거	답외구간	T=30CM	㎡		0.000			0.000	0.000			0.0
	토공	표토제거	답외구간	T=50CM	㎡		0.000			0.000	0.000			0.0
	토공	흙깎기	토사깎기	확장	㎥		0.001			0.001	0.000			0.0

<그림 2-65> 시공단계 공종별(상세분석) 탄소배출 원단위

◇ 운영단계 인벤토리

○ 사업평가 및 도로망평가 수행 시 사용되는 탄소배출 인벤토리로 토공, 교량, 터널 등 도로 구간별 연장에 각 구간별 탄소배출 인벤토리를 곱하여 운영단계 탄소배출량을 산정한다. 토공, 교량, 터널의 도로 구간별 인벤토리를 직접배출-고정연소 및 이동연소, 간접배출로 배출원을 세분화하여 구축하였다.

인벤토리 > 운영

조회

시공(기본분석) | 시공(상세분석) | 운영 | 유지관리

구간별 (도로망)

엑셀

도로유형	구간	원단위			수정
		탄소 (tCO2/km · yr)	에너지 (TOE/km · yr)	비용 (억원/km · yr)	
고속국도	토공	27.64	8.91	0.08	
	교량	5.53	1.78	1.04	
	터널	555.93	179.19	0.03	
일반국도	토공	27.64	8.91	0.08	
	교량	5.53	1.78	1.04	
	터널	555.93	179.19	0.03	

<그림 2-66> 운영단계 도로 구간별(기본분석) 탄소배출 원단위

구간 배출원별 (기본분석)

엑셀

배출원 ◉ 전체 ○ Scope 1(직접배출-고정연소) ○ Scope 1(직접배출-이동연소) ○ Scope 2(간접배출)

구간	배출원	원단위		수정
		탄소 (tCO2/km · yr)	에너지 (TOE/km · yr)	
토공	Scope 1(직접배출-고정연소)	3.42	1.10	
	Scope 1(직접배출-이동연소)	5.02	1.62	
	Scope 2(간접배출)	19.19	6.19	
교량	Scope 1(직접배출-고정연소)			
	Scope 1(직접배출-이동연소)	5.02	1.62	
	Scope 2(간접배출)	0.51	0.17	
터널	Scope 1(직접배출-고정연소)			
	Scope 1(직접배출-이동연소)	5.02	1.62	
	Scope 2(간접배출)	550.91	177.57	

<그림 2-67> 운영단계 도로 구간별, 배출원별 탄소배출 원단위

◇ 유지관리단계 인벤토리

○ 유지관리단계 인벤토리 또한 시공단계와 마찬가지로 기본분석 및 상세분석 인벤토리로 구분하였으며, 기본분석 인벤토리는 사업평가 및 도로망평가 수행 시 사용되는 탄소배출 인벤토리로, 토공, 교량, 터널 등 도로 구간별 연장에 각 구간별 탄소배출 인벤토리를 곱하여 유지관리단계 탄소배출량을 산정한다.

구간별 (도로망)

엑셀

도로유형	구간	원단위			수정
		탄소 (tCO2/km · yr)	에너지 (TOE/km · yr)	비용 (억원/km · yr)	
고속국도	토공	1.218	0.393	0.875	
	교량	3.542	1.142	5.994	
	터널	1.304	0.420	0.355	
일반국도	토공	1.218	0.393	0.541	
	교량	3.542	1.142	8.720	
	터널	1.304	0.420	1.676	

<그림 2-68> 유지관리단계 도로 구간별(기본분석) 원단위

○ 상세분석 인벤토리는 기술평가 및 사업평가 수행 시 사용되는 탄소배출 인벤토리로, 토공, 교량공, 포장공 등 고속국도 및 일반국도의 8개 공사별로 포함되는 하위 공종의 작업량당 탄소배출 인벤토리이다. 상세분석 인벤토리 구축 시 시공단계의 탄소배출 인벤토리와 동일하게 4 level 수준의 최하위 공종별 인벤토리를 구축하였다.

유지관리 항목별 (상세분석)

항목 편집 엑셀

도로유형 ◉ 전체 ◉ 고속국도 ◉ 일반국도

도로 유형	1레벨	2레벨	3레벨	4레벨	단위	탄소 (kgCO2/unit)	에너지 (TOE/unit)	비용 (원/unit)	수정
			표면처리	슬러리실	m²	0.16068	0.00005	7,769	
				표면평탄작업	m²	1.23615	0.00040	7,769	
			소파보수	소규모 포장복구	m²	6.96260	0.00224	25,000	
				소규모 도로 긴급복구 ㅈ	m²	14.76698	0.00476	25,000	
		아스팔트	덧씌우기	아스팔트 or 콘크리트 덧	m²	0.52316	0.00017	81,000	
				절삭 5cm	m²				
				4AC	m²				
				5AC	m²				
				5BB+5AC	m²				
				7BB+5AC	m²				
				10BB+5AC	m²				

페이지 1 / 4 100 보기 1 - 100 / 380

<그림 2-69> 유지관리단계 공사별, 공종별(상세분석) 원단위

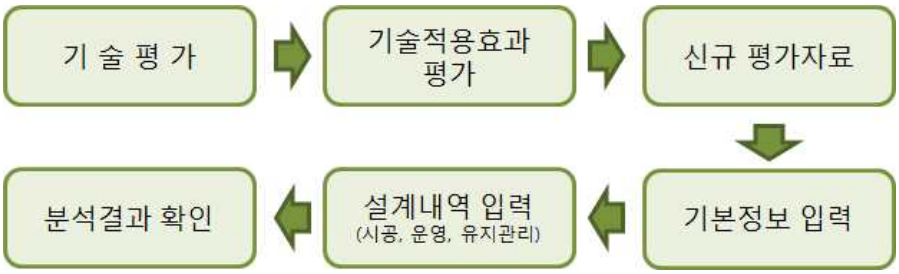
◎ 기술평가

○ 기술평가는 도로시설물의 탄소배출량을 저감할 수 있는 녹색도로 기술을 평가하는 메뉴로 특히 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산 기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술 등과 같은 녹색기술들을 도로 또는 도로망에 적용하였을 경우 그 효과를 평가할 수 있는 메뉴로, 이미 적용되었거나 혹은 적용될 예정인 녹색도로 기술에 대하여 탄소배출 원단위의

평가 결과를 정량적으로 산출하여 평가할 수 있고, 또한 개발한 기술의 탄소배출 정보를 데이터베이스화 하여 기존의 기술과 비교분석 할 수 있으며, 사업평가 시 개발한 기술 적용에 따른 장래 탄소배출저감량 예측 시 활용할 수 있다.

□ 기술평가 절차

○ 분석할 대상 기술의 기본정보를 입력한 후 도로 life cycle 단계별 기존 기술 대비 물량변화량을 입력하여 기존 기술 대비 평가하고자 하는 녹색도로 기술의 탄소저감량을 산정하는 절차로 진행된다.



<그림 2-70> 기술적용효과 평가 수행절차

□ 기술평가 메뉴 화면 구성

◇ 자료입력 화면 구성

○ 프로젝트 등록 화면에서는 기술명, 관리번호, 수행기간, 시설물 운영기간 등 신규 녹색도로 기술의 기본정보를 입력한다.



<그림 2-71> 기술평가 자료입력 화면 - 기본정보 입력 화면

○ 기본정보 입력 후 평가하고자 하는 녹색도로 기술의 탄소배출량 및 탄소저감량 산정을 위한 전생애주기 단계별 설계내역을 입력한다. 시공 시 사용되는 자재, 에너지 및 장비 사용량을 직접 입력하거나 적용하고자 하는 공종을 선택하고 공종별 작업량을 입력하며, 운영단계에서는 운영요소별 에너지 사용량, 온실가스 흡수량 및 신재생에너지 설치 관련 정보를 입력한다. 유지관리단계에서는 포장공, 교량공, 터널공, 배수공, 부대공의 5개 공사별로 포함되는 최하위 공종을 선택하고 공종별 작업량을 평가자가 입력할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2-72> 기술평가 자료입력 화면 - 시공단계 공종 선택 화면

◇ 기술평가 분석결과 화면 구성

○ 녹색도로기술의 시공단계 탄소배출량과 기존기술 대비 탄소배출 저감량을 공사별, 공종별로 조회할 수 있다.



<그림 2-73> 기술평가 분석결과 화면 - 시공단계 level 4 분석결과

○ 운영단계에서는 녹색도로기술의 탄소배출량과 기존기술 대비 탄소배출 저감량을 에너지 사용, 온실가스 흡수, 신재생에너지의 3개 카테고리로 분류하여 토공, 교량, 터널의 구간별로 조회할 수 있다.

운영단계

엑셀

항목	구분	명칭	탄소배출량(tCO2)		
			기존기술	평가대상기술	저감량
에너지 사용	공통	관리자량	7.78	6.23	1.56
		CCTV	1.38	1.10	0.28
		기타 조명설비	1.38	1.10	0.28
	토공	톨게이트	2.06	0.96	1.10
		조명탑	2.06	0.96	1.10
	터널	환기팬	1.38	0.83	0.55
		비상발전기	1.38	0.83	0.55
	교량	조명탑	1.38	0.83	0.55
	합계		18.79	12.83	5.96
온실가스 흡수	토공	탄소흡수용 재료	-0.30	-0.60	0.30
	터널	탄소흡수용 재료	-0.30	-0.60	0.30
	교량	탄소흡수용 재료	-0.30	-0.60	0.30
	합계		-0.90	-1.80	0.90
신재생에너지	토공	태양광-고정식	-0.11	-0.32	0.22
	합계		-0.11	-0.32	0.22
합계			17.78	10.71	7.07

<그림 2-74> 기술평가 운영단계 분석결과(예시)

○ 유지관리단계에서는 녹색도로기술의 탄소배출량과 기존기술 대비 탄소배출 저감량을 포장공, 교량공, 터널공, 배수공, 부대공의 5개 공사의 하위 공종별로 조회할 수 있다

유지관리단계

엑셀

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	탄소배출량(tCO2)		
				기존기술	평가대상기술	저감량
포장공	아스팔트	표면처리	슬러리실	0.06	0.04	0.01
		소파보수	소규모 도로 긴급복구	5.17	4.13	1.03
	콘크리트	표면처리	슬러리실	0.06	0.04	0.01
교량공	기타보수	신축이음장치교체공	초속경콘크리트타설(인	264.75	238.28	26.48
			철근가공조립	0.25	0.22	0.02
			아스콘절단(기계)	0.19	0.17	0.02
			신축이음장치설치	43.78	39.40	4.38
합계				314.25	282.29	31.95



<그림 2-75> 기술평가 유지관리단계 분석결과(예시)

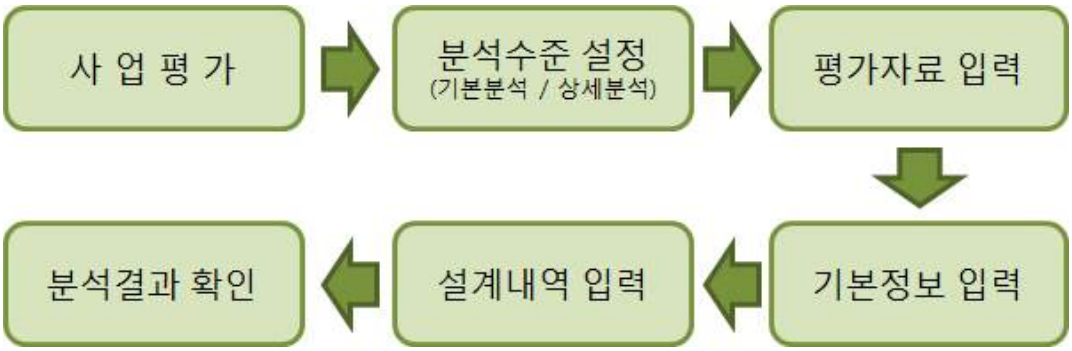
◎ 사업평가

○ 사업평가는 도로시설물의 탄소배출량을 산정하고 녹색도로 기술을 평가 대상 도로시설물에 적용하였을 경우의 탄소배출 저감량을 산정하는 메뉴로, 기존 또는 신규 도로에 새로운 녹색도로 기술을 적용하였을 경우의 효과를 정량적으로 분석하고 이에 따라 녹색도로 기술의 적용에 대한 사업성을 평가할 수 있다.

○ 사업평가는 기본분석과 상세분석 등으로 분석 수준을 사용자가 설정할 수 있다. 기본분석은 도로의 연장 정보만으로 도로의 탄소배출량을 비교적 간단하게 산정할 수 있으며, 상세분석은 최하위공종 수준에서의 도로의 설계내역을 입력하여 보다 신뢰도 높은 탄소배출량 산정 결과를 얻을 수 있다.

□ 사업평가 절차

○ 기본분석 및 상세분석의 분석수준을 결정하고 분석할 대상 기술의 기본정보를 입력한 후 상세분석의 경우 공종별 작업량, 자재 및 에너지 사용량 등 분석대상 도로의 설계내역을 추가로 입력하여 평가하고자 하는 대상 도로의 탄소배출량을 산정하는 절차로 진행된다.



<그림 2-76> 사업평가 수행절차

□ 사업평가 메뉴 화면 구성

◇ 자료입력 화면 구성

○ 프로젝트 등록 화면에서는 평가대상 도로의 기본정보인 사업명, 연장길이, 시공기간, 운영기간, 시설물 운영기간 등을 입력한다.



<그림 2-77> 사업평가 자료입력 화면 - 기본정보 입력 화면

○ 기본정보 입력 후 평가하고자 하는 대상 도로의 탄소배출량 산정을 위한 전생애주기 단계별 설계내역을 입력한다. 시공단계에서 적용하고자 하는 공종을 선택하고 공종별 작업량을 입력하며, 운영단계에서는 운영요소별 에너지 사용량, 온실가스 흡수량 및 신재생에너지 설치 관련 정보를 입력한다. 유지관리단계에서는 포장공, 교량공, 터널공, 배수공, 부대공의 5개 공사별로 포함되는 최하위 공종을 선택하고 공종별 작업량을 평가자가 입력할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2-78> 사업평가 자료입력 화면 - 시공단계 공종 선택 및 작업량 입력 화면

◇ 사업평가 기본분석 결과 화면 구성

○ 평가 대상 도로의 시공단계 기본분석 탄소배출량 산정 결과를 공사별, 배출원별로 구분하여 조회할 수 있다.



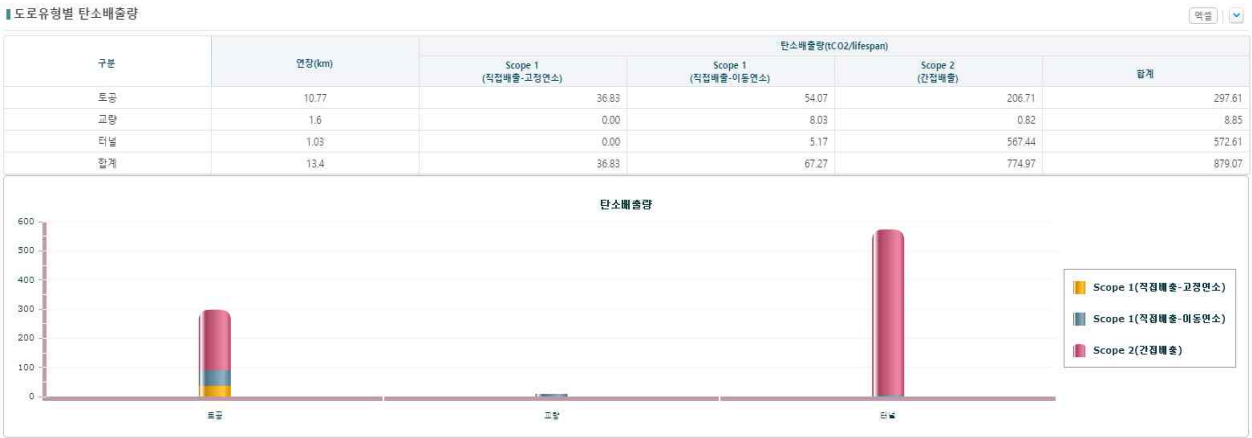
탄소배출량

엑셀

배출원	탄소배출량(tCO2)								
	토공	배수공	구조물공	교량공	터널공	포장공	안전시설공	부대공	합계
Scope 1(직접배출)	6,451.70	195.64	165.22	1,728.27	1,541.41	2,429.82	59.09	291.05	12,862.20
Scope 2(간접배출)	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	15.14	0.00	16.02
Scope 3(기타 간접배출)	1,055.12	12,456.77	1,036.76	20,916.18	14,556.37	10,757.52	60.70	1,433.67	62,273.08
합계	7,506.81	12,652.41	1,201.98	22,645.33	16,097.78	13,187.34	134.94	1,724.71	75,151.31

<그림 2-79> 사업평가 기본분석 시공단계 결과 화면

○ 운영단계에서는 평가 대상 도로의 운영단계 기본분석 탄소배출량 산정 결과를 토공, 교량, 터널 구간별, 배출원별로 구분하여 조회할 수 있으며 유지관리단계에서는 평가 대상 도로의 운영단계 기본분석 탄소배출량 산정 결과를 토공, 교량, 터널 구간별, 배출원별로 구분하여 조회할 수 있다.



도로유형별 탄소배출량

엑셀

구분	연장(km)	탄소배출량(tCO2/lifespan)			
		Scope 1 (직접배출-고정연소)	Scope 1 (직접배출-이동연소)	Scope 2 (간접배출)	합계
토공	10.77	36.83	54.07	206.71	297.61
교량	1.6	0.00	8.03	0.82	8.85
터널	1.03	0.00	5.17	567.44	572.61
합계	13.4	36.83	67.27	774.97	879.07

<그림 2-80> 사업평가 기본분석 운영단계 결과 화면

◇ 사업평가 상세분석 결과 화면 구성

○ 평가 대상 도로의 시공단계 상세분석 탄소배출량 산정 결과를 공사별, 공종별로 조회할 수 있다.



<그림 2-81> 사업평가 시공단계 상세분석 결과 - level 1 분석결과

○ 또한 평가 대상 도로와 기존에 산정한 사례의 탄소배출량 산정 결과를 공사별, 공종별로 세분화하여 비교 조회할 수 있다.



<그림 2-82> 사업평가 시공단계 상세분석 결과 - level 4 분석결과

○ 운영단계에서는 평가 대상 도로 구간에 포함된 조명설비, CCTV, 환기팬 등의 운영에 따른 에너지 사용, 온실가스 흡수 및 신재생에너지 등 도로시설물 운영 시 탄소저감 요소를 고려하여 토공, 교량, 터널의 구간별로 탄소배출량 및 저감량 산정 결과를 조회할 수 있으며 유지관리단계에서는 평가 대상 도로의 운영단계 기본분석 탄소배출량 산정 결과를 토공, 교량, 터널 구간별, 배출원별로 구분하여 조회할 수 있다.

상세분석(현안) > 탄소 > 운영

목록

사업정보

사업명	A 고속국도 1공구	연장(km)	토공 2.5 터널 1 교량 1.5
시설물 운영기간	30	운영시작연도	2017

탄소 > 운영 | 에너지 | 비용

운영요소별 분석결과 엑셀

번호	구분	구간	운영요소	탄소배출량(tCO2)
1	에너지 사용	공통	관리차량	38.92
2		토공	발전기	77.85
3			톨게이트	275.11
4		합계		391.88
5	온실가스 흡수	토공	탄소포집장치	-1.50
6		교량	식재	-3.00
7		터널	탄소흡수용 재료	-0.30
8		합계		-4.80
9	신재생에너지	토공	태양광-고정식	-0.54
10			태양열-단일진공관형	-0.04
11		합계		-0.58
12	합계			386.49

구간별 분석결과 엑셀

번호	구분	탄소배출량(tCO2)
1	토공	370.33
2	교량	8.68
3	터널	7.48
4	합계	386.49

<그림 2-83> 사업평가 운영단계 분석결과

상세분석(현안) > 탄소 > 유지관리

목록

사업정보

사업명	A 고속국도 1공구	연장(km)	토공 2.5 터널 1 교량 1.5
시설물 운영기간	30	운영시작연도	2017

탄소 > 유지관리 | 에너지 | 비용

탄소배출량 엑셀

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	탄소배출량(tCO2)
포장공	아스팔트	표면처리	슬러리실	0.11
			표면평탄작업	1.73
		소파보수	소규모 포장복구	14.62
합계				16.46

<그림 2-84> 사업평가 유지관리단계 분석결과(예시)

○ 녹색도로 기술 적용에 따른 도로 연장당 탄소배출 저감량 산정 및 사업평가 종합분석 결과를 조회할 수 있다.



<그림 2-85> 사업평가 종합결과 화면(예시)

◎ 도로망평가

○ 도로망평가란 전국 도로 현황자료를 이용하여 전국의 도로 또는 관심 도로구간을 선정하여 대상 도로의 탄소배출량을 산정할 수 있는 메뉴로, GIS 기반의 지도에 선택한 도로와 관련 분석 결과를 표출하여 사용자가 쉽게 결과를 확인할 수 있도록 구성하였다.

□ 도로망평가 절차

○ 분석할 대상 도로를 선택한 후 비교하고자 하는 대안의 신설 연장, 적용 녹색도로 기술 등을 입력하여 기존 도로 및 대안의 탄소배출량을 비교 분석하는 절차로 진행된다.

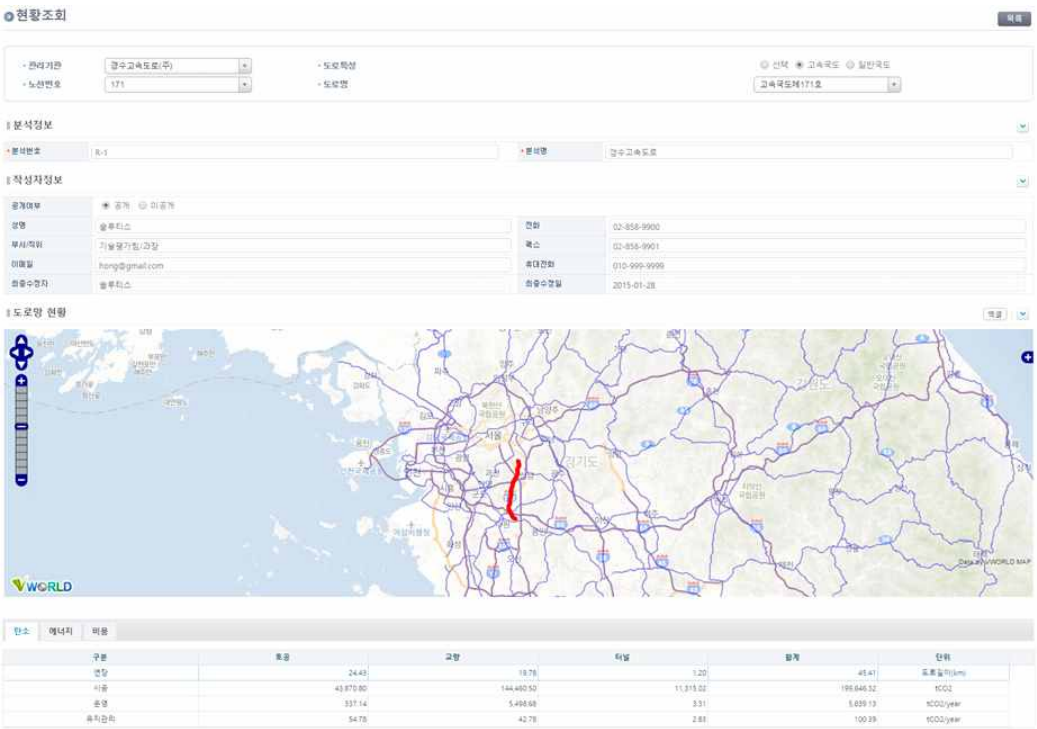
<표 2-85> 도로망평가 절차

절차	세부 수행내용
Step. 1	· 분석대상 도로 선택
Step. 2	· 신설 연장, 적용 녹색도로 기술 등 대안 정보 입력
Step. 3	· 기존 도로 및 대안의 탄소배출량 산정

□ 도로망평가 메뉴 화면 구성

◇ 현황조회 화면 구성

○ 도로망평가 수행을 위한 신규 사업 등록 및 기존의 도로망평가 목록을 조회할 수 있으며, 사업명 클릭 시 대상 도로의 도로망평가 결과를 조회할 수 있다.

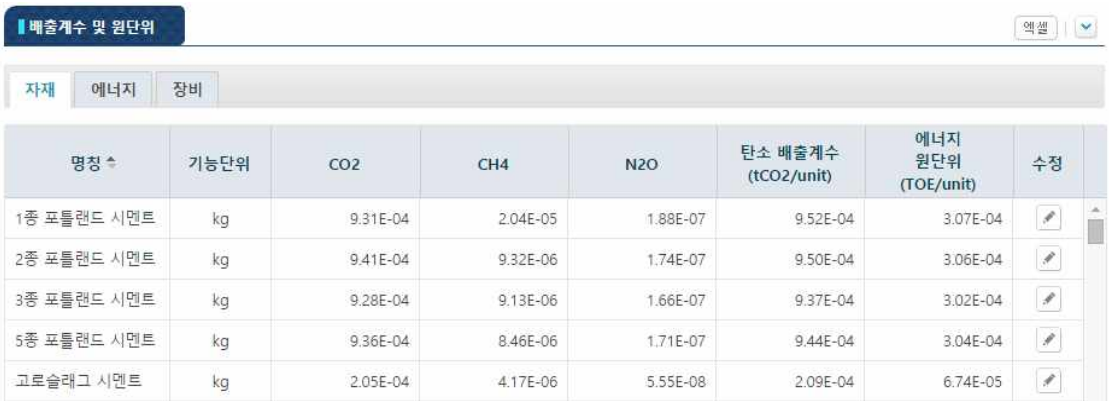


<그림 2-86> 도로망평가 현황조회 화면

㉦ 녹색도로 탄소관리시스템 검증·보완 및 고도화

■ 기구축 DB 및 탄소배출량 산정 알고리즘 통합

○ 자재별, 장비별, 에너지원별 탄소배출계수 및 신재생에너지 배출계수 등 기구축 탄소배출계수를 탄소관리시스템의 기본 데이터베이스로 구축하였다.



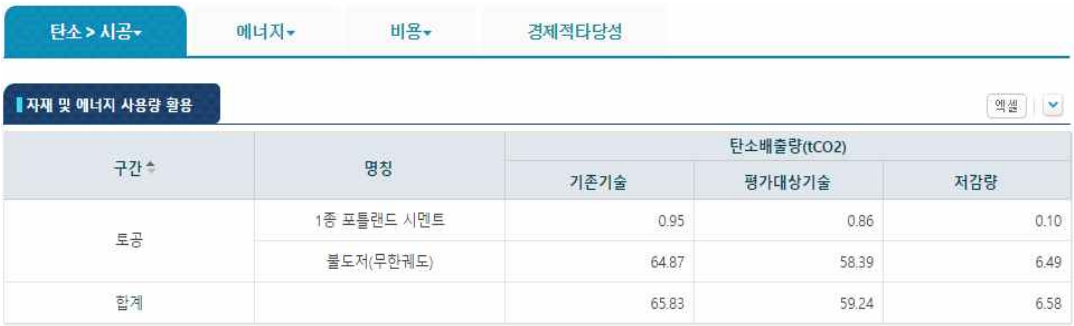
명칭	기능단위	CO2	CH4	N2O	탄소 배출계수 (tCO2/unit)	에너지 원단위 (TOE/unit)	수정
1종 포틀랜드 시멘트	kg	9.31E-04	2.04E-05	1.88E-07	9.52E-04	3.07E-04	
2종 포틀랜드 시멘트	kg	9.41E-04	9.32E-06	1.74E-07	9.50E-04	3.06E-04	
3종 포틀랜드 시멘트	kg	9.28E-04	9.13E-06	1.66E-07	9.37E-04	3.02E-04	
5종 포틀랜드 시멘트	kg	9.36E-04	8.46E-06	1.71E-07	9.44E-04	3.04E-04	
고로슬래그 시멘트	kg	2.05E-04	4.17E-06	5.55E-08	2.09E-04	6.74E-05	

<그림 2-87> 자재 탄소배출계수 데이터베이스 구축 결과

○ 기구축 DB를 녹색도로 탄소관리시스템의 탄소배출량 산정 알고리즘과 통합하여 기술평가, 사업평가 등의 콘텐츠를 통해 탄소배출량 산정 시 활용하였다. 기술평가 시 자재, 에너지, 장비 등의 사용량을 산정하여 해당 기술의 탄소배출량 산정이 가능하다.



<그림 2-88> 자재, 에너지 및 장비 사용량 입력 화면(기술평가)

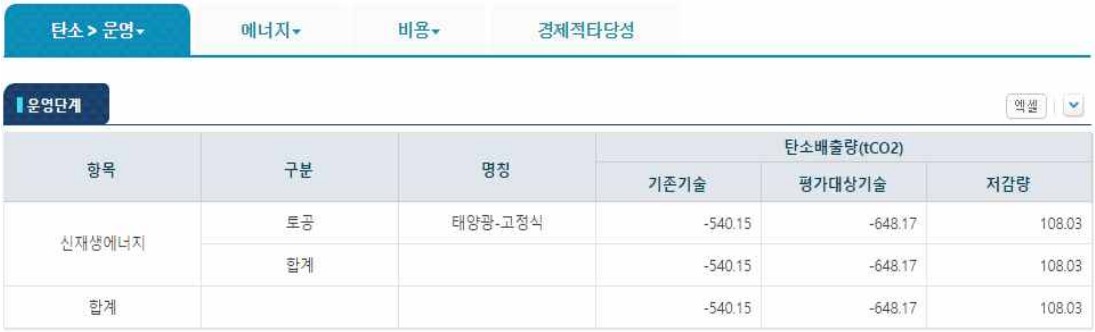


<그림 2-89> 자재, 에너지 및 장비 사용에 따른 기술평가 결과 화면

○ 사업평가 운영단계 분석 시 구축한 신재생에너지 배출계수를 활용하여 신재생에너지 생산 시설 설치에 따른 운영단계 탄소저감량을 산정하였다.



<그림 2-90> 사업평가 운영단계 신재생에너지 입력 화면

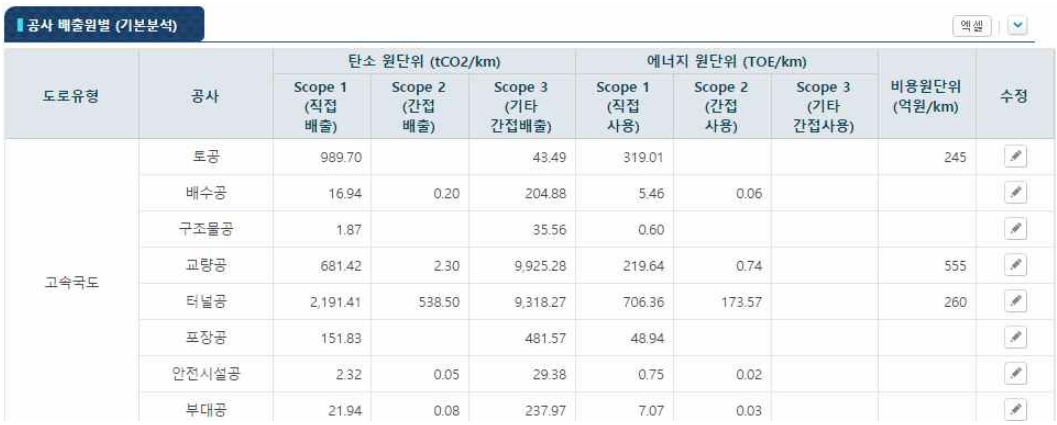


항목	구분	명칭	탄소배출량(tCO2)		
			기존기술	평가대상기술	저감량
신재생에너지	토공	태양광-고정식	-540.15	-648.17	108.03
	합계		-540.15	-648.17	108.03
합계			-540.15	-648.17	108.03

<그림 2-91> 사업평가 운영단계 분석결과(신재생에너지)

○ 본 연구를 통해 구축한 탄소배출 인벤토리 DB 및 원단위를 녹색도로 탄소관리시스템의 데이터베이스로 구축하여 기술평가, 사업평가, 도로망평가 콘텐츠를 통해 탄소배출량 산정 시 활용한다.

○ 구축한 탄소배출계수, 탄소배출 원단위 및 탄소배출량 산정 알고리즘을 연계하여 탄소배출량을 산정하고자 하는 평가자가 입력한 자재, 장비, 에너지 사용량 또는 공종별 작업량과 구축한 데이터베이스를 연동하여 탄소배출량을 산정토록 하였다.



도로유형	공사	탄소 원단위 (tCO2/km)			에너지 원단위 (TOE/km)			비용원단위 (억원/km)	수정
		Scope 1 (직접 배출)	Scope 2 (간접 배출)	Scope 3 (기타 간접배출)	Scope 1 (직접 사용)	Scope 2 (간접 사용)	Scope 3 (기타 간접사용)		
고속국도	토공	989.70		43.49	319.01			245	
	배수공	16.94	0.20	204.88	5.46	0.06			
	구조물공	1.87		35.56	0.60				
	교량공	681.42	2.30	9,925.28	219.64	0.74		555	
	터널공	2,191.41	538.50	9,318.27	706.36	173.57		260	
	포장공	151.83		481.57	48.94				
	안전시설공	2.32	0.05	29.38	0.75	0.02			
	부대공	21.94	0.08	237.97	7.07	0.03			

<그림 2-92> 고속국도 기본분석 탄소배출 원단위 구축 결과



배출원	탄소배출량(tCO2)								
	토공	배수공	구조물공	교량공	터널공	포장공	안전시설공	부대공	합계
Scope 1(직접배	1,925.88	73.00	12.33	1,080.17	0.00	906.65	22.05	108.60	4,128.68
Scope 2(간접배	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	5.65	0.00	6.20
Scope 3(기타 간	314.96	4,648.05	77.37	13,072.61	0.00	4,014.00	22.65	534.95	22,684.59
합계	2,240.84	4,721.05	89.70	14,153.33	0.00	4,920.65	50.35	643.55	26,819.47

<그림 2-93> 시공단계 기본분석 결과 화면

■ 실제 설계 및 운영 데이터를 이용한 탄소관리시스템 검증

○ 탄소배출 인벤토리 DB 및 원단위 구축 시 수행한 사례분석 결과와 사례분석 대상의 설계내역을 탄소관리시스템에 입력하여 수작업 대비 탄소관리시스템의 탄소배출량 산정결과의 비교를 통하여 탄소관리시스템 검증을 실시하였다.

○ 탄소관리시스템 검증을 위하여 본 연구의 시범사례 구간인 '국도 36호선 청주 내덕 ~ 청원 북일' 일반국도의 시공단계 설계내역을 탄소관리시스템에 입력하였다. 탄소배출량 비교를 위하여 최하위 공종 수준의 탄소배출량을 산정한 후 토공, 배수공 등 8개 공사별로 집계하여 공사별 탄소배출량을 비교한 결과 소수점 2자리까지 정확히 일치하는 것으로 나타났다.

구분	Scope1	Scope2	Scope3	합계
토공	4,473.75	-	3.72	4,477.47
배수공	413.34	-	26,132.14	26,545.48
구조물공	3.66	-	33.01	36.66
교량공	310.95	-	3,978.26	4,289.21
터널공	2,591.58	-	8,244.45	10,836.03
포장공	4,584.76	-	1,208.30	5,793.06
안전시설공	57.20	-	205.32	262.52
부대공	57.83	-	1,024.44	1,082.27
합계	12,493.06	-	40,829.64	53,322.70

<그림 2-94> 사례구간 수작업 탄소배출량 산정 결과

Level 1 탄소배출량

엑셀

배출원	탄소배출량(tCO2)								
	토공	배수공	구조물공	교량공	터널공	포장공	안전시설공	부대공	합계
Scope 1(직접배출)	4,473.75	413.34	3.66	310.95	2,591.58	4,584.76	57.20	57.83	12,493.06
Scope 2(간접배출)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Scope 3(기타 간접배	3.72	26,132.14	33.01	3,978.26	8,244.45	1,208.30	205.32	1,024.44	40,829.64
합계	4,477.47	26,545.48	36.66	4,289.21	10,836.03	5,793.06	262.52	1,082.27	53,322.70

<그림 2-95> 사례구간 탄소관리시스템 활용 탄소배출량 산정 결과

■ 시범 적용을 통한 탄소관리시스템 검증 및 보완

○ 본 연구의 시범사례 구간인 국도 36호선의 시공단계 설계내역을 활용하여 탄소관리시스템 검증 및 보완 실시한 결과, 수작업 대비 탄소관리시스템의 산정결과 비교 결과 정확히 일치하는 것으로 나타났다.

■ 성과물 검증 평가기준 타당성 확인(전문가 검토)

○ 탄소관리시스템의 잠정 수요자 만족도 조사를 위한 전문가 검토평가서를 작성하여 개발 중인 탄소관리시스템의 현장 적용 및 시범 적용 시 검증 기준에 대한 사항을 전문가 검토를 통해 평가기준의 신뢰성을 확보하였다. 이 때, 검토평가서의 경우 시스템 평가부문을 기능성, 사용성, 활용성 측면에서 평가할 수 있도록 평가부문을 세분화하였다.

<표 2-86> 탄소관리시스템 수요자 만족도 조사 평가서

평가 부문	평가항목	평가기준
기능성 (50)	기능구현 완전성(20)	· 녹색도로기술 개발을 위한 평가와 적용효과 분석에 필요한 기능이 구현되어 있는가?
	기능구현 정확성(20)	· 구현된 모든 기능들이 정상적으로 동작하는가?
	보안성(10)	· 인가되지 않은 사람 또는 시스템의 접근을 방지하여 중요한 정보 및 데이터를 보호하고 있는가?
사용성 (30)	기능학습 용이성(10)	· 시스템을 통해 기능정보를 파악하기 용이하도록 구성되어 있는가?
	입출력 용이성(10)	· 데이터 입출력 방법 및 이용절차가 편리하게 구성되어 있는가?
	사용자 인터페이스 편의성 및 용이성(5)	· 화면구조(메뉴, 화면배치 등)가 - 이해하기 쉽도록 구성되어 있는가? - 사용자가 수행하는 기능의 위치 또는 진행현황을 쉽게 파악할 수 있는가?
	사용자 인터페이스 일관성 및 적절성(5)	· 화면구조(메뉴, 화면배치 등)가 - 동일하거나 유사한 기능수행을 위해 일관된 또는 · 통합된 인터페이스를 제공하고 있는가? - 기능사용과 결과 조회를 용이하게 제공하고 있는가?
활용성 (20)	정보제공(5)	· 평가에 활용되는 방법에 대한 설명과 제공하는 분석결과는 충분한가?
	기술 활용성(5)	· 시스템에 수록된 기술 또는 시스템에서 활용하고 있는 평가기법이 녹색도로 기술개발 추진 및 발전에 활용 가능한가?
	상용화 가능성(5)	· 연구개발의 성과물인 이 시스템을 보완(상용화)하여 상용 시스템으로 활용할 수 있는가?
	기능 확장성(5)	· 연구개발의 성과물인 이 시스템에 연계될 수 있는 기능을 추가하여 시스템의 분석기능을 확장할 수 있는 가능성이 있는가?

○ 잠정수요자 만족도 조사 평가서에 대한 전문가 3인의 검토결과 평가기준과 평가항목 모두 적절한 것으로 확인하였다.

■ 탄소관리시스템 수요자 만족도 조사

○ 도로 설계, 시공, 운영 및 유지관리 등 전과정 단계별 관련 전문가, 탄소배출량 산정 전문가 등으로 구성된 탄소관리시스템 수요자 전문가 그룹을 구성하였다. 전문가 그룹은 시스템의 기능성, 사용 편의성, 활용 가능성으로 평가부문을 분류하고 각 평가부문별 평가항목 및 평가기준 제시하여 개발한 탄소관리시스템에 대한 수요자 만족도 조사를 실시하였다.

- 수요자 만족도 조사 결과 80점 이상(평가점수 85.7점)으로 평가되었다.

<표 2-87> 탄소관리시스템 수요자 만족도 조사 결과

평가 부문	평가항목	평가기준	평가 점수
기능성 (50)	기능구현 완전성(20)	· 녹색도로기술 개발을 위한 평가와 적용효과 분석에 필요한 기능이 구현되어 있는가?	17.4
	기능구현 정확성(20)	· 구현된 모든 기능들이 정상적으로 동작하는가?	18.8
	보안성(10)	· 인가되지 않은 사람 또는 시스템의 접근을 방지하여 중요한 정보 및 데이터를 보호하고 있는가?	9.1
사용성 (30)	기능학습 용이성(10)	· 시스템을 통해 기능정보를 파악하기 용이하도록 구성되어 있는가?	7.7
	입출력 용이성(10)	· 데이터 입출력 방법 및 이용절차가 편리하게 구성되어 있는가?	7.6
	사용자 인터페이스 편의성 및 용이성(5)	· 화면구조(메뉴, 화면배치 등)가 - 이해하기 쉽도록 구성되어 있는가? - 사용자가 수행하는 기능의 위치 또는 진행현황을 쉽게 파악할 수 있는가?	4.0
	사용자 인터페이스 일관성 및 적절성(5)	· 화면구조(메뉴, 화면배치 등)가 - 동일하거나 유사한 기능수행을 위해 일관된 또는 통합된 인터페이스를 제공하고 있는가? - 기능사용과 결과 조회를 용이하게 제공하고 있는가?	4.3
활용성 (20)	정보제공(5)	· 평가에 활용되는 방법에 대한 설명과 제공하는 분석결과는 충분한가?	4.1
	기술 활용성(5)	· 시스템에 수록된 기술 또는 시스템에서 활용하고 있는 평가기법이 녹색도로 기술개발 추진 및 발전에 활용 가능한가?	4.6
	상용화 가능성(5)	· 연구개발의 성과물인 이 시스템을 보완(상용화)하여 상용 시스템으로 활용할 수 있는가?	4
	기능 확장성(5)	· 연구개발의 성과물인 이 시스템에 연계될 수 있는 기능을 추가하여 시스템의 분석기능을 확장할 수 있는 가능성이 있는가?	4.1
평가점수 합계			85.7

■ 녹색도로 기술별 탄소배출량 산정결과 검증

○ 3인의 탄소전문가로 구성된 검증위원회를 구성하여 본 연구를 통해 산정한 녹색도로 기술별 탄소배출량 산정결과를 검증하였다. 녹색도로 기술별 탄소배출량 산정결과와 녹색기술 적용에 따른 탄소저감량 예측결과에 대하여 탄소배출량 산정방법의 적절성, 사용자료의 신뢰도, 탄소저감량 예측으로 구분하여 검토의견을 받았다.

<표 2-88> 녹색도로 기술별 탄소배출량 산정결과 주요 검토의견 및 반영사항

구분	주요 검토의견 및 반영사항
탄소배출량 산정방법의 적절성	· IPCC의 온실가스 배출량 산정 가이드라인과 동일한 탄소배출량 산정 방법을 적용하여 신뢰도 높은 탄소배출량을 산정한 것으로 판단 되며, 비교표를 작성할 필요가 있음 · IPCC내 기준 항목을 검토표에 표기하고 서두 부문에 반영하였음
사용자료의 신뢰도	· 탄소배출량 산정시 사용한 탄소배출계수는 국가에서 공표한 것을 사용하여 신뢰도는 높지만, 특정기술에 적용한 공종별 원단위는 신뢰도를 입증할 필요가 있음 · 공종별 원단위의 신뢰도 입증을 위해 특정기술 적용 시 국가에서 공표한 배출계수만을 재적용하는 것으로 반영하였음
기술적용에 따른 탄소저감량 예측	· Baseline 대비 탄소저감량 예측결과는 신뢰도 높다고 판단되며, 주기적으로 도로 총 연장에 대한 사항을 보완하여 산정한 베이스라인의 신뢰도를 높여야 함 · 기존에 시공한 도로에 해당기술을 적용하여 시공한 것으로 가정하고 탄소저감량을 산정하였으므로 추후 해당 기술의 상용화 정도를 고려하여 탄소저감량을 산정해야 함 · 추후 해당 기술의 상용화 정도를 고려하여 탄소저감량을 산정할 수 있도록 탄소관리시스템 내 상용화율 및 시기를 사용자가 입력할 수 있도록 시스템을 구성하였음

■ IPCC 제시 인벤토리 구축방법과 비교 검토

○ 3인의 탄소전문가로 구성된 검증위원회를 구성하여 본 연구를 통해 구축한 인벤토리 구축방법을 검증하였다. IPCC의 인벤토리 구축방법과 본연구의 인벤토리 구축방법을 비교하기 위하여 Cut-off와 온실가스 고려대상, 데이터 정확성으로 구분하여 검증위원회를 통해 검토하였다.

<표 2-89> IPCC 제시 인벤토리 구축방법 주요 검토의견 및 반영사항

구분	주요 검토의견 및 반영사항
Cut-off	· 공인된 DB만을 적용하여 배출량을 산정하였는데, 국가 배출계수 300여개 중 건설 분야에 적용 가능한 계수는 60여개로 Cut-off 달성에 부족한 실정이며, Cut-off 90% 달성에 대한 제도가 필요함 · 국가 배출계수를 적용하지 못한 사항에 대해서는 유럽에서 통용되는 Ecoinvent V2.2 DB를 활용하였으며, 신뢰도 향상을 위해 지역 경계는 전세계(GLO)로 통용된 것만을 사용하도록 반영함
온실가스 고려대상	· CO_2와 Non-CO_2 고려대상에 포함되었는데 두가지 사항을 분리하여 표시하는 방안에 대한 검토가 필요함 · 탄소관리시스템에서 인벤토리 정보 제공 시 CO_2와 Non-CO_2에 대해 조회 가능토록 반영함
데이터 정확성	· 인벤토리, 원단위 적용범위는 적절히 설정되었으나, 온실가스 데이터 및 계산근거에 대한 내부검증 외 외부검증이 필요해 보임 · 활동데이터의 수집이 중요하므로 인벤토리 구축 결과에 수집경위, 수집방법, 계산결과 등을 기록하는 것으로 포맷변경이 필요함 · 인벤토리 및 원단위의 구축방법에 대해 기술 시 수집경위, 수집방법 등에 대한 설명을 추가적으로 반영하였음
기타	· 모니터링과 관련된 사항이 없으니 한국환경공단에서 제시한 배출량 산정 보고 검증 가이드라인을 참조해 모니터링에 대한 사항을 추가적으로 연구할 필요가 있음 · 한국환경공단에서 제시한 배출량 산정 보고 검증 가이드라인에는 도로 부문에 정확하게 적용하기에는 어려움이 있으며, 본 연구의 후속 연구 기획 시 모니터링과 관련된 사항을 면밀히 검토할 예정임

■ 탄소배출 인벤토리 DB 구축 산정결과 검증

○ 3인의 탄소전문가로 구성된 검증위원회를 구성하여 본 연구를 통해 구축한 탄소배출 인벤토리 DB를 검증하였다. 본 연구를 통해 구축한 도로 전과정 단계별 탄소배출 인벤토리 DB에 대하여 공종체계, 구축 시 활용 기초자료 등에 대한 검토의견을 수렴하였다.

<표 2-90> 탄소배출 인벤토리 DB 구축 산정결과 주요 검토의견 및 반영사항

구분	주요 검토의견 및 반영사항
시공단계	· 현재 구축된 표준공종체계가 모든 공종을 대표할 수 없기 때문에 표준공종명에 대한 검토가 필요함 · 고속국도 및 일반국도의 표준공종체계에 대하여 별도의 전문가 검토를 수행하여 반영하였음
운영단계	· 실제 명세서를 기반으로 원단위를 구축하여 신뢰도가 높으나 시간적 경계와 분석사례 개수가 부족하여 3자검증을 받은 실제 자료를 이용했음을 명시하는 것이 필요함 · 3자 검증을 받은 실제 명세서를 이용했음을 보고서에 명시하였음
유지관리단계	· 실제 내역서를 기반으로 분석한 것은 적절하나 각 공사별 주기에 대한 사항이 반영되어야 함 · 구축한 유지관리단계 원단위에는 주기가 반영되지 않았으나 탄소관리시스템에서 각 공사별로 유지보수 주기를 입력하여 분석되도록 구성하여 유지관리단계의 탄소배출량 산정 시 공사별 주기가 반영하였음

■ 베이스라인 산정 근거에 대한 검증

○ 3인의 탄소전문가로 구성된 검증위원회를 구성하여 본 연구를 통해 베이스라인 산정근거에 대한 결과를 검증하였다. 2030년 기준 도로부문 탄소배출 베이스라인 산정에 대하여 보수적 산정 부문, 가정 사항의 적절성, 사용 자료의 신뢰도와 계산 오류로 구분하여 검토의견을 수렴하였다.

<표 2-91> 베이스라인 산정 근거에 대한 주요 검토의견 및 반영사항

구분	주요 검토의견 및 반영사항
보수적 산정 부문	· 2030년 까지 도로의 신규 계획이 명확치 않은 상황에서 2020년 까지 계획을 바탕으로 예측값을 제시한 것은 온실가스 배출량 산정 시 보수적 산정원칙에 부합함 · 연간 신설되는 도로 연장에 대한 사항을 고려해 2030년 시점 외에 매년 배출량을 예측하는 것이 필요함 · 탄소관리시스템에서 사업평가시 예측 년도 입력 항목을 신설하고 특정 기간까지의 매년 배출량을 예측할 수 있도록 반영하였음
가정 사항의 적절성	· 고속국도와 일반국도가 모두 동일한 차선과 동일한 포장형태로 건설되지 않음 · 표준 원단위도 왕복4차선으로 신설되는 가정한 사항중에 이를 뒷받침할 만한 사항이 명확히 있어야 할 것으로 보임 · 본 연구를 통해 표준 원단위 구축 시 이용된 데이터는 모두 왕복 4차선 도로를 기준으로 자료를 수집하였고 국가교통망계획에 따르면 신규 고속도로의 경우 왕복 4차선이 기본이 되며, 도로현황조서에 따르면 왕복 4차선 도로가 50%이상을 차지함을 베이스라인 산정 시 고려하도록 함
사용 자료의 신뢰도	· 국가 통계자료와 실제 설계내역서 자료를 이용하여 사용 자료의 신뢰도는 높음 · 향 후 늘어날 연장을 예측하고 여기에 원단위를 적용하는 방식으로 계산이 이루어지기 때문에 원단위에 대한 신뢰도 검증이 필요함 · 원단위 검증을 위한 전문가 검토를 실시함
계산 오류	· 베이스라인 산정에 이용된 계산식은 오류는 발견되지 않았으나 오류를 면밀히 검토하고 신뢰도 검증을 받으면 신뢰도는 높다고 판단됨 · 내부 검증을 통해 1차적으로 계산 오류에 대한 검증을 실시하였고, 수기로 계산한 사항과 탄소관리시스템을 통해 계산된 사항의 비교를 통해 계산상의 오류를 수정하는 작업을 반영하였음
기타	· 유지보수 현황 및 신규 도로 계획시 본 연구를 통해 개발된 사항들을 위주로 모니터링을 해보면 신뢰도에 대한 사항은 명확하게 구별될 것으로 생각됨 · 2012~2013년까지 2개년에 걸쳐 이루어진 특정 지역의 유지관리 공사 자료를 수집해 계산을 수행하고 해당 계산 결과에 대한 내외부 검증을 실시함

② 에너지자원 분석 시스템

㉮ 개발 목적

○ 에너지자원(이후 '에너지'라 기술함) 절감 효과 측면에서 '녹색도로기술 개발 타당성'과 '녹색도로기술의 적용 효과'를 평가하는 기능을 제공하여 각종 도로 관련 의사결정단계를 지원하도록 개발하였다.

○ 도로의 시공, 운영, 유지관리 단계에서 사용되는 에너지의 양을 산정하는 기능과 녹색도로기술의 에너지 절감 효과를 산정하고 녹색도로기술 대안별 결과를 비교할 수 있는 기능을 제공하여 도로를 보다 친환경적으로 건설하고 운영할 수 있도록 하였다.

㉯ 에너지자원 분석시스템의 기능 정의

○ 에너지자원분석시스템은 크게 세 가지 기능이 있으며 에너지 사용량 분석 기능은 도로의 종류별, 생애주기별 에너지 사용량 원단위를 개발하여 도로 에너지 사용량을 분석하는 기능이다.

○ 녹색도로기술 적용 효과 분석 기능은 녹색도로기술별 에너지 생산량과 절감량에 대한 정보를 수집하고 분석하여 녹색도로기술 적용으로 인한 에너지 생산량 원단위와 절감 원단위를 개발하여 녹색도로기술 적용으로 인한 에너지 생산/절감 효과를 분석하는 기능이다.

○ 대안 평가 기능은 에너지 사용량 분석 기능과 녹색도로기술 적용 효과 분석 기능을 이용하여 대안을 비교, 분석하는 기능. 분석 대상에 따라 세 가지로 구분되어 평가가 진행된다.

- 기술평가 : 해당 녹색도로기술을 단위 도로구간(1 km)에 적용한 에너지 절감 효과를 산정하여 녹색도로기술개발 투자 대비 효과를 평가
- 사업평가 : 특정 도로 사업 구간에 대하여 에너지 사용량과 녹색 도로 기술의 적용으로 인해 얻을 수 있는 에너지 생산 및 감소 효과 평가
- 도로망 평가 : 전국 도로를 대상으로 하여 원하는 지역이나 노선별 에너지 사용 현황 및 녹색 기술 적용으로 인한 절감 효과 평가



<그림 2-96> 에너지자원 시스템 대안 평가 기능 분류

■ 에너지 사용량 분석 기능 설계

◎ 에너지 사용량 원단위 구축

○ 도로의 종류와 생애주기(시공, 유지관리, 운영)에 따라 에너지 사용량이 달라지므로 이를 고려한 에너지 사용량 원단위를 개발하고 적용한다.

○ 도로의 시공과 유지관리 시 투입되는 다량의 건설재료를 생산하고 도로건설 현장까지 운송하는데 다량의 에너지(연료와 전력)가 사용되고, 건설 장비를 사용하기 위한 많은 에너지가 사용되며 도로 운영을 위한 차량과 도로 시설물을 작동하기 위하여 다량의 에너지가 사용된다.

○ 에너지 사용으로 인하여 배출되는 탄소량을 산정하기 때문에 에너지 사용량 산정 방식과 탄소배출량의 산정 방식은 매우 유사하다.



<그림 2-97> 도로의 에너지사용과 탄소배출

○ 탄소배출량 산정방법과 마찬가지로 에너지 사용량 산정 방법론은 기본분석과 상세분석으로 구분되며, 각 분석방법에서 사용되는 원단위를 도출하였다.

○ 원단위 산출을 위한 자료

- 기존에 건설된 도로의 공사 내역서와 유지보수 공사 자료 및 도로 운영 자료 수집
- 고속국도와 일반국도를 대상으로 도로 구조물의 형태에 따라 토공구간, 터널구간, 교량구간으로 구분하여 자료를 수집함
- 탄소관리시스템에 필요한 탄소배출 원단위를 도출하기 위해 수집한 동일한 자료를 사용함

○ 기본분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위

- 도로종류별 또는 공사를 기준으로 투입되는 건설재료와 건설장비 사용으로 인한 에너지 사용량을 집계하여 단위 km당 에너지 사용량의 평균값을 산출
- 운영단계의 원단위는 고속국도와 일반국도가 동일한 값을 사용

<표 2-92> 기본분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 (도로종류별) - 시공

구분	토공	교량	터널
고속국도(TOE/km)	393.22	298.84	1,402.11
일반국도(TOE/km)	256.65	423.97	749.05

<표 2-93> 기본분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 (도로종류별) - 유지관리

구분	토공	교량	터널
고속국도(TOE/km)	0.393	1.142	0.420
일반국도(TOE/km)	0.393	1.142	0.420

<표 2-94> 기본분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 (도로종류별) - 운영

구분	토공	교량	터널
고속국도(TOE/km)	8.91	1.78	179.19
일반국도(TOE/km)	8.91	1.78	179.19

<표 2-95> 기본분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 (공사별) - 시공

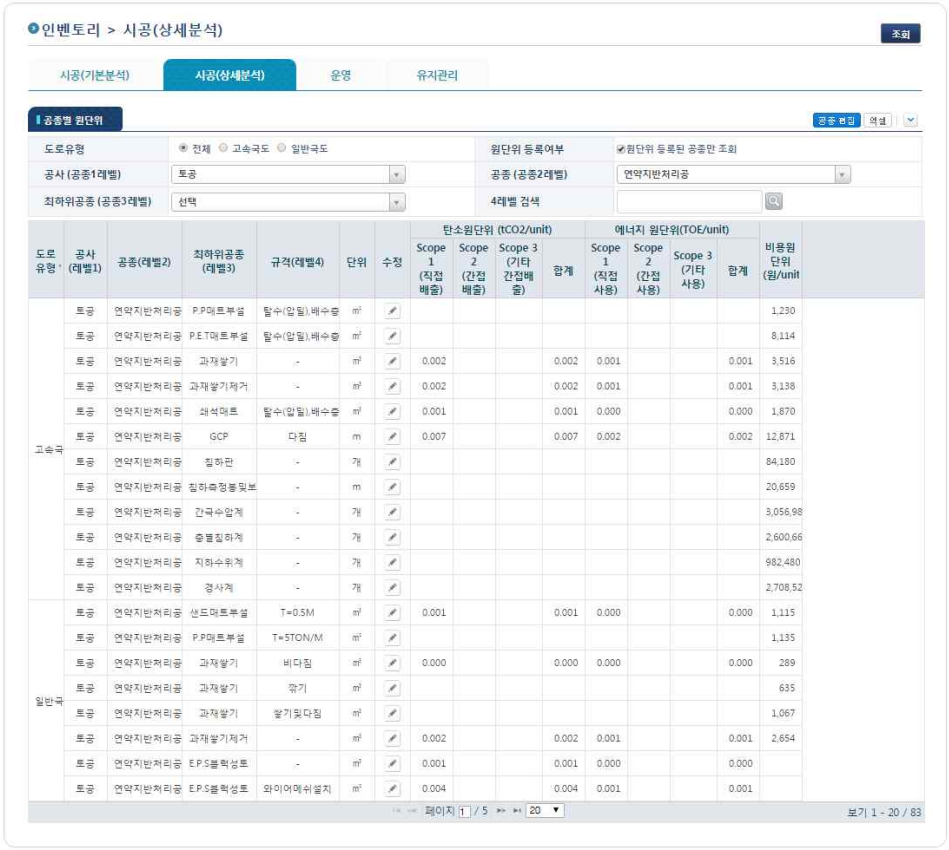
구분	배출원	토공	배수공	구조물공	교량공	터널공	포장공	안전시설공	부대공
고속국도 (TOE/km)	Scope1	319.01	5.46	0.60	219.64	706.36	48.94	0.75	7.07
	Scope2	-	0.06	-	0.74	173.57	-	0.02	0.03
	Total	319.01	5.52	0.60	220.38	879.93	48.94	0.77	7.10
일반국도 (TOE/km)	Scope1	155.19	4.71	3.97	348.17	482.37	58.45	1.42	7.00
	Scope2	-	-	-	0.18	-	-	0.36	0.00
	Total	155.19	4.71	3.97	348.35	482.37	58.45	1.78	7.00

○ 상세분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위

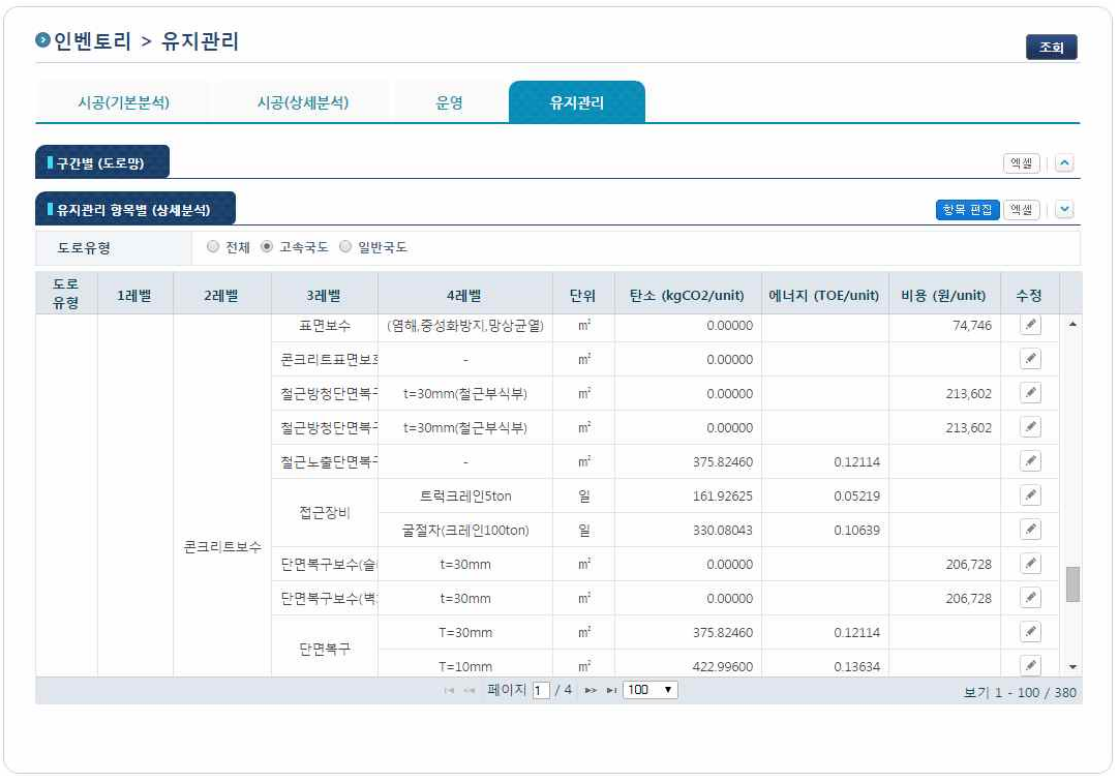
- 도로종류(고속국도/일반국도, 토공/터널/교량)별 도로생애주기별(시공/유지관리/운영)로 공종분류

- 분류된 공종별로 투입되는 건설재료와 건설장비 사용으로 인한 에너지 사용량을 집계하여 평균값을 산출

- 각각의 원단위는 시스템 내 기준정보에서 확인 가능



<그림 2-98> 상세분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 - 시공(토공 level 4 예시)



<그림 2-99> 상세분석을 위한 에너지 사용량 산정 원단위 - 유지관리(고속국도 콘크리트 보수 예시)

◎ 에너지 사용량 산정

□ 기본분석

- 도로종류별 또는 최상위 공사별 해당 도로 길이(km)을 사용자가 입력하면 해당되는 기본분석 에너지 사용량 원단위를 사용하여 에너지 사용량 산정

□ 상세분석

- 세부공종별로 투입되는 건설재료 물량과 건설장비 사용시간 등을 사용자가 입력하면 해당되는 상세분석 에너지 사용량 원단위를 사용하여 에너지 사용량 산정

■ 녹색도로기술 적용 효과 분석 기능 설계

◎ 녹색도로기술별 에너지 생산/절감량 원단위

○ 녹색도로기술별 에너지 생산량과 에너지 사용 감소량 관련 정보를 수집하여 원단위를 추정하였다.

- 에너지 생산율 : 신재생 에너지 기술을 도로 시설에 설치함으로 얻는 에너지량
- 에너지 저감률 : 새로운 녹색도로기술을 사용함으로 감소되는 에너지 사용량

◎ 탄소중립형 도로기술 연구단 개발 기술의 에너지 생산/절감량 원단위 산출

○ 탄소중립형 도로기술 연구단 개발 기술의 에너지 절감량 산정방법은 다음과 같다.

- 수집 데이터와 저감량 산정 방법은 탄소배출량 저감 예측 방법과 동일

○ 연구단의 기술별 에너지 절감량 예측 결과 분석 사례는 다음과 같다.

① 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발

- 탄소흡수용 도로재료 기술 적용 시 시공단계에서 0.866 TOE/km, 운영단계(년간)에서 0.266 TOE/km의 에너지 절감 가능

<표 2-96> 탄소흡수용 도로재료 기술의 에너지 절감량

구분	기준 사용량 (TOE/km)	에너지 절감량 (TOE/km)
고속국도	1.237	1.132
일반국도	1.237	1.132

② 폴리머 콘크리트를 활용한 탄소저감형 흙포장 기술

- 기술 적용 시 시공단계에서 130.53 TOE/km의 에너지 절감 가능

<표 2-97> 폴리머 콘크리트를 활용한 탄소저감형 흙포장 기술의 에너지 절감량

구분	기준 사용량 (TOE/km)	에너지 절감량 (TOE/km)
고속국도	564.26	130.53
일반국도	564.26	130.53

③ 산업부산물과 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장 기술

- 기술 적용 시 시공단계에서 48.17 TOE/km의 에너지 사용량 절감 가능

<표 2-98> 산업부산물과 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장 기술의 에너지 절감량

구분	기준 배출량 (TOE/km)	에너지 절감량 (TOE/km)
고속국도	92.03	48.17
일반국도	92.03	48.17

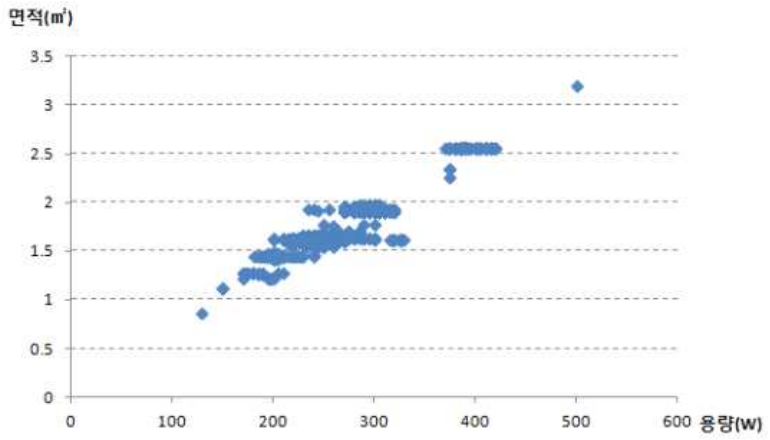
◎ 신재생 에너지 도로활용 기술의 에너지 생산/절감량 원단위 산출

○ 신재생에너지 기술 중 국내도로에 적용 가능성이 높은 기술은 태양광 에너지와 소형풍력에너지로 다음과 같이 생산량 원단위를 산출하였다.

① 태양광 에너지

결정질 태양전지모듈의 단위면적당 용량

- 태양광 발전설비의 주요 부품인 태양전지모듈은 결정질 태양전지 모듈과 박막태양전지 모듈이 상용화되어 사용되고 있으나 발전효율, 가격 등의 요인에 의해 결정질 태양전지 모듈이 전 세계적으로 가장 많이 사용되고 있어 태양광 분야의 에너지원단위는 결정질 태양전지 모듈을 기준으로 분석하였음
- 결정질 태양전지모듈은 태양전지 셀의 출력을 기준으로 조합을 함에 따라 모듈의 출력이 결정되며 이에 따라 다양한 크기를 가지고 있음
- 단위면적당 일일 에너지생산량을 산정하기 위해서는 태양전지모듈의 면적 및 용량 분포를 살펴보았음
- 에너지관리공단 신재생 에너지 센터에서 제품인증을 받은 1,473개 제품 중 인증 포기 및 취소된 제품을 제외한 총 875개의 제품의 면적 및 용량 분포는 다음과 같음



<그림 2-100> 결정질 태양전지모듈의 용량 및 면적 분포

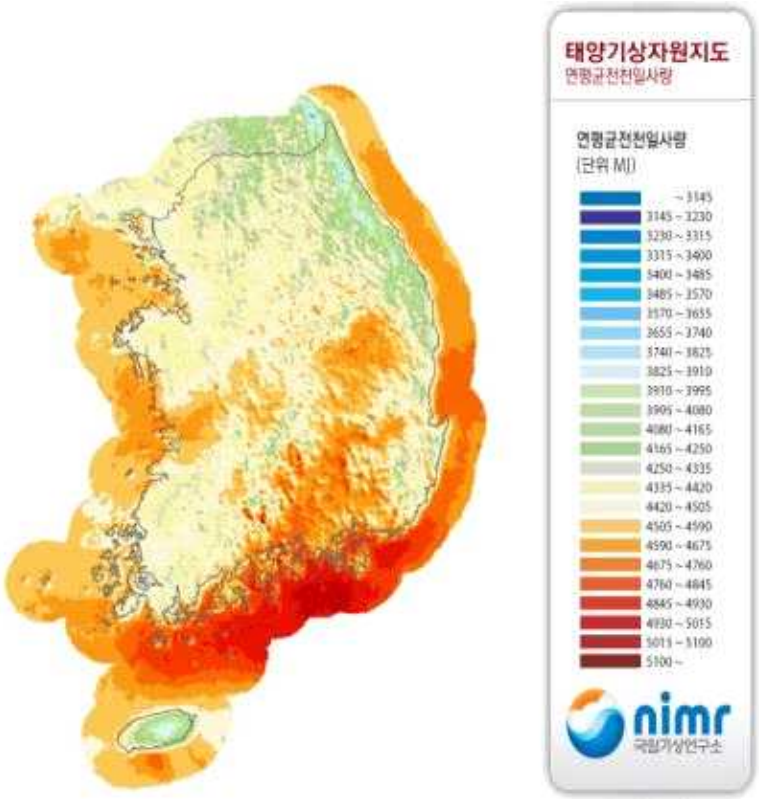
- 결정질 태양전지모듈의 단위면적당 용량(W/㎡)의 평균치 분포는 다음 표와 같음
- 태양전지 셀의 기술개발 및 상용화 등에 따라 단위면적당 용량은 계속 증가하고 있으며, 이 같은 요소를 고려하여 최근 3년 간의 결정질 태양전지모듈의 단위면적당 용량의 평균값인 155.43 W/㎡를 이용하였음

<표 2-99> 결정질 태양전지모듈의 연도별 평균 단위면적당 용량(W/㎡)

연도	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	최근 3년 평균
단위면적당 평균용량	138.73	137.28	142.24	147.48	152.08	154.60	159.61	155.43

② 태양광발전설비의 일평균 발전량

- 태양광발전은 일조량에 따라 발전량이 좌우가 되는데 일출과 함께 발전을 시작하여 일조량이 가장 많은 정오에서 오후 1시 사이에 가장 많은 발전을 하고 일몰 후 발전을 마치는 일일 주기를 갖으며, 계절과 지역별 특성에 따른 일조량 차이에 따라 태양광 발전량이 좌우됨
- 국립기상연구소의 태양기상자원지도에 따른 연평균전천일사량 분포는 다음과 같으며, 남부지방의 일사량이 상대적으로 많은 것을 알 수 있으나 본 연구에서는 전국의 도로에 태양광발전설비 적용을 고려하는 것이기 때문에 우리나라 전체에 대한 평균값을 통해 일평균 발전량을 산정하고자 함



<그림 2-101> 태양기상자원지도 연누적일사량
[출처 : 국립기상연구소(http://www.greenmap.go.kr/)]

- 태양광발전설비의 일평균 발전량을 산정하기 위해서는 일조량에 따른 태양광발전 이용률이 필요하며, 우리나라에서 통상적으로 사용되는 태양광발전 이용률 15.5%를 이용하여 태양광발전 설비의 단위용량당 일평균 발전량을 산정함

단위면적당 일평균 발전량(Wh/㎡·d) = 단위면적당 설비용량(W/㎡) × 24시간 × 평균이용률[4]
= 155.43W/㎡ × 24h × 15.5% = 578.2Wh/㎡·d

② 소형풍력

○ 풍력발전기는 날개의 회전축의 방향에 따라 회전축이 지면에 대해 수직으로 설치되어 있는 수직형 풍력발전기(VAWT, Vertical Axis Wind Turbine)와 회전축이 지면에 대해 수평으로 설치되어 있는 수평형 풍력발전기(HAWT, Horizontal Axis Wind Turbine)로 구분된다.

○ 수평형 풍력발전기는 간단한 구조로 이루어져 있어 설치하기 편리하나 바람의 방향에 영향을 받는 반면, 수직형 풍력발전기는 바람의 방향에 관계가 없어 사막이나 평원에 많이 설치하여 이용할 수 있지만 그 소재가 비싸고 수평축 풍차에 비해 효율이 떨어지는 단점이 있다.

○ 베츠(A.Betz)에 의하면 풍력발전기의 출력은 로터의 지름과 풍속에 좌우되며, 관계식은 아래와 같다.

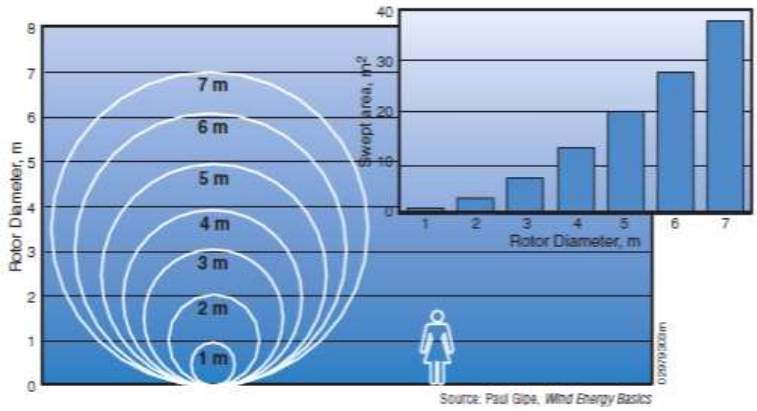
$$Power = \frac{1}{2}\rho C_p A V^3$$

ρ : 공기밀도 kg/㎥

Cp : 출력계수

A : 로터 회전면적(πD2/4, D : 로터지름)

V : 풍속



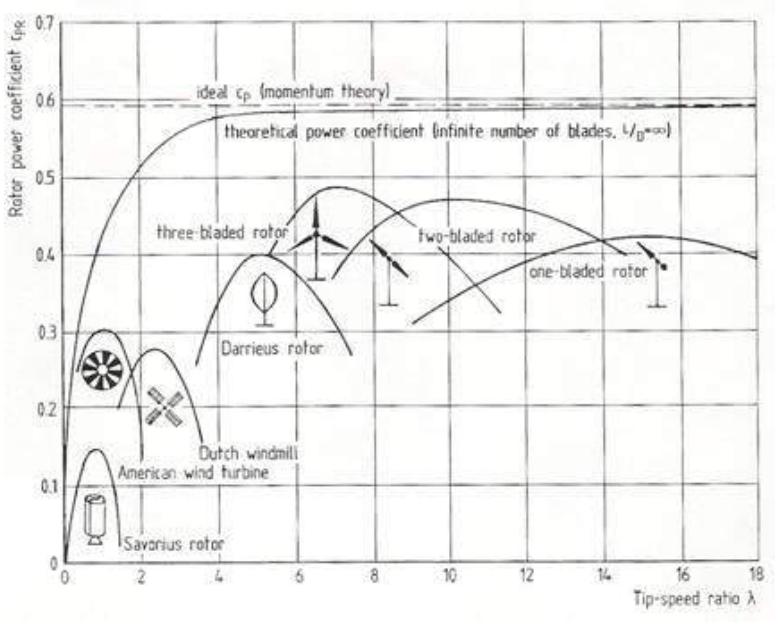
<그림 2-102> 로터 지름에 따른 회전면적

4) 이용률 = $\frac{\text{발전량[kWh]}}{\text{설비용량[kW]×발전시간[h]}} \times 100[\%]$

신용선, 정래혁, 고재환, 전종택 한국전력거래소(2008년), 우리나라 대용량 태양광발전 현황 및 이용률 분석, 「2008년 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집」p469~p471

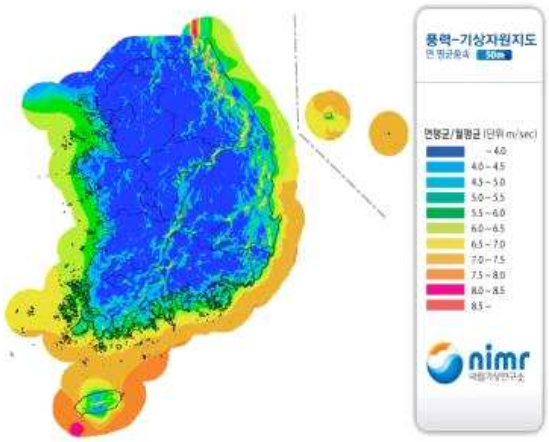
○ 베츠에 의하면 출력계수는 최대값이 0.593이며 바람의 운동에너지 중 시간당 최대 59.3%까지 전기에너지로 바꿀 수 있다고 하나, 이는 이론적 효율로 풍력발전기의 로터와 기계장치 및 전기장치의 효율을 고려하면 그 값은 더 낮아진다.

○ 현재 개발된 발전기 중 3엽 수평형의 효율이 48%로 가장 높고 수직형 풍력발전기중 다리우스 형상의 풍력발전기가 40%의 효율을 보이나 수직형 풍력발전기의 효율은 전반적으로 낮은 편이다.

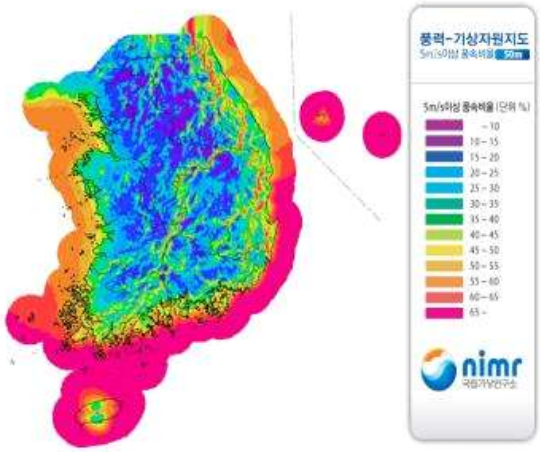


<그림 2-103> 풍력발전기 유형별 출력계수(Hau,2006)

○ 풍력발전기의 일평균 발전량을 산정하기 위해서는 각 지역별 풍속데이터가 필요하며, 현재 국립기상연구소에서 제공하고 있는 풍력기상자원지도를 살펴보면 소형풍력발전기가 발전을 시작하는 풍속 3~4m/s 이상 되는 지역은 연안 지역에 주로 분포하여 있다.



<그림 2-104> 풍력 기상자원지도
(연평균 풍속)



<그림 2-105> 풍력기상자원지도
(5m/s 이상 풍속비율)

[출처 : 국립기상연구소(http://www.greenmap.go.kr/)]

◎ 녹색도로기술별 에너지 생산/절감량 분석

○ 녹색도로기술별 에너지 생산/절감량 원단위를 활용하여 녹색도로기술을 적용함으로 얻는 효과를 분석하는 기능이다.

○ 기술의 종류, 범위, 기간 등을 사용자가 입력하여 에너지 생산량과 감소량을 산정한다.

■ 대안 평가 기능 설계

◎ 기술평가

○ 기술평가는 개발예정인 녹색기술에 대한 효과 평가와 개발이 완료된 기술을 적용시의 효과를 예측하는 경우로 구분된다.

① 개발예정인 녹색도로기술에 대한 효과 평가

- 예상 투자비용등의 자료를 기반으로 하여 예상되는 녹색기술에 대한 효과를 분석함으로서 기존기술대비 개발기술의 효과를 예측

② 개발완료된 녹색도로기술의 적용 효과 평가

- 기존기술과의 원단위 비교를 통하여 적용효과를 판단

◎ 사업평가

○ 사업평가는 기본분석과 상세분석으로 구분하여 개발하며 기술평가와는 다르게 단위 기술이 아닌 도로 사업 단위에서 구축된 원단위를 활용하여 기본/상세 분석이 가능하도록 시스템 개발하였다.

① 기본분석 : 도로의 종류, 연장, 차로수 등의 간단한 입력만으로 에너지 저감 분석

② 상세분석 : 설계내역서의 자재 및 물량을 바탕으로 보다 정밀하게 분석

◎ 도로망 평가

○ 도로 신설과 녹색도로기술 적용을 계획할 때의 지속가능성등을 평가 할 수 있도록 장래 탄소 발생량, 에너지 사용량 및 비용 총량을 예측 및 비교할 수 있다.

○ 도로망 평가는 현황분석과 대안분석으로 구분하여 개발되었다.

① 현황분석 : 전국 도로 현황자료를 이용하여 전국의 도로 또는 관심 도로구간을 선정하여, 에너지 사용량을 산정하여 제공

② 대안분석 : 장래 도로 계획 또는 녹색도로기술 적용에 따른 도로의 에너지 사용량을 예측하는 기능

- 도로 현황 자료를 이용하여 전국의 도로를 유지관리, 운영하는데 필요한 에너지 사용량을 분석하고 행정구역별, 도로관리 기관별로 집계한 결과를 표출함
- 사용자가 녹색 도로 기술 적용 계획을 세우고 대안에 따른 에너지 생산량, 절감량을 분석할 수 있도록 함
- 목표연도의 장래 도로 변화 예측치를 입력하고, 녹색 도로 기술 적용안을 입력하여 장래의 BAU대비 녹색 도로 기술 적용으로 인한 에너지 사용량 감소 효과를 분석하는 기능

㉰ 에너지자원 분석시스템의 모듈 설계

■ 기능에 따른 모듈 구분

○ 에너지자원 분석시스템의 기능 정의에 따라 다음 그림과 같이 모듈을 구분하여 설계하였다.



<그림 2-106> 에너지자원 분석시스템의 모듈 구분

■ 모듈 설계

○ 모듈별로 사용자 입력자료, 데이터베이스 구축자료 활용 목록을 정리하고, 분석처리과정과 실제 데이터는 기능정의에서 설명한다.

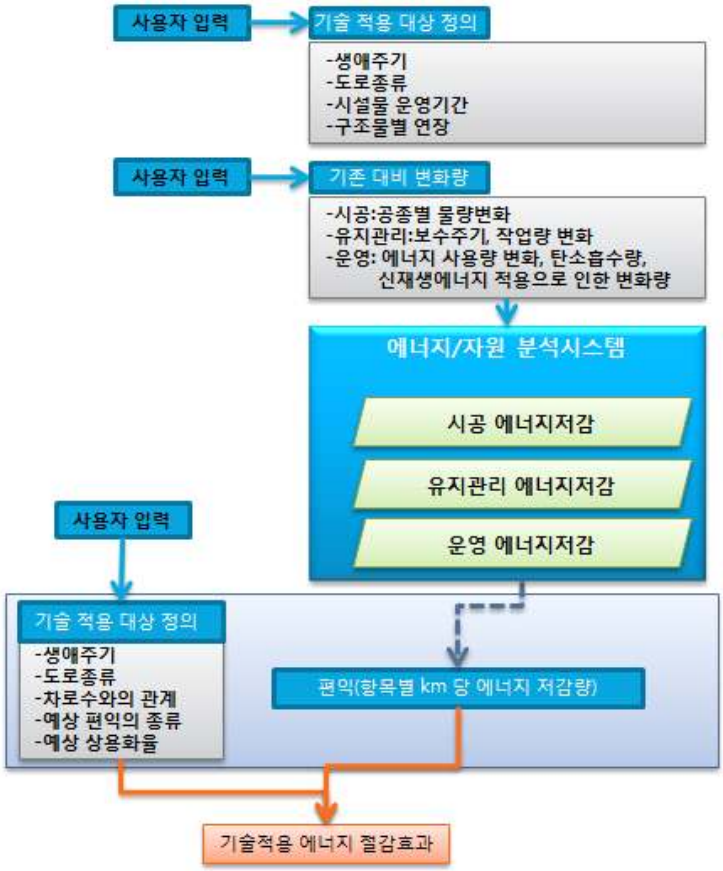
○ 타 시스템과의 연계를 고려하여 데이터간의 연계 관계를 정의하였다.

◎ 기술평가 - 기술개발단계



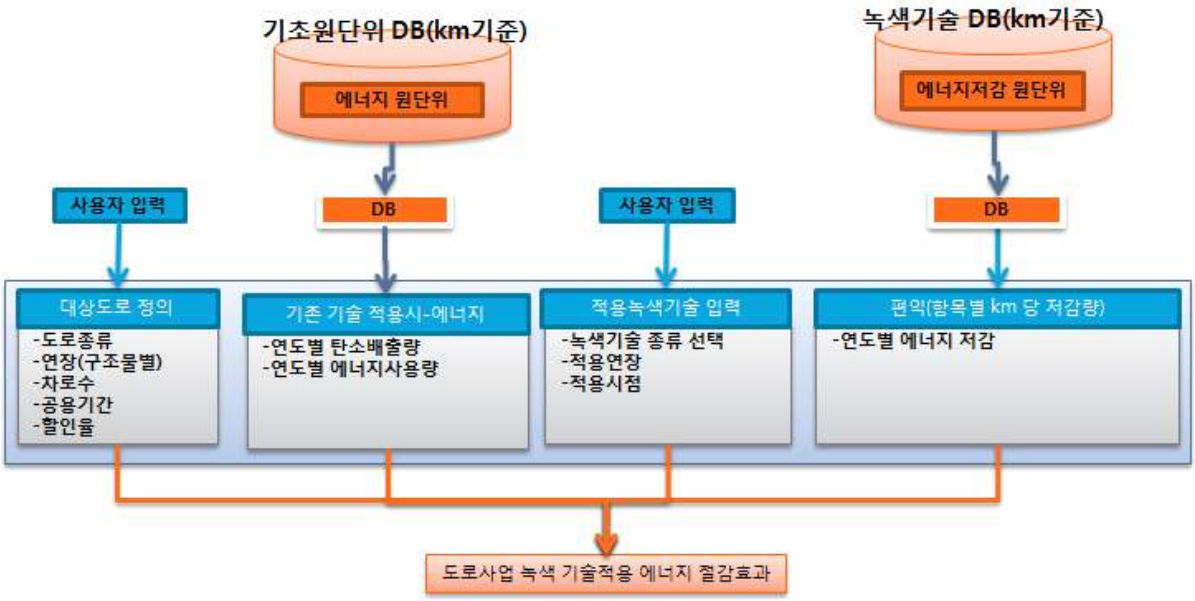
<그림 2-107> 기술평가(개발단계) 모듈 설계

◎ 기술평가 - 기술적용단계



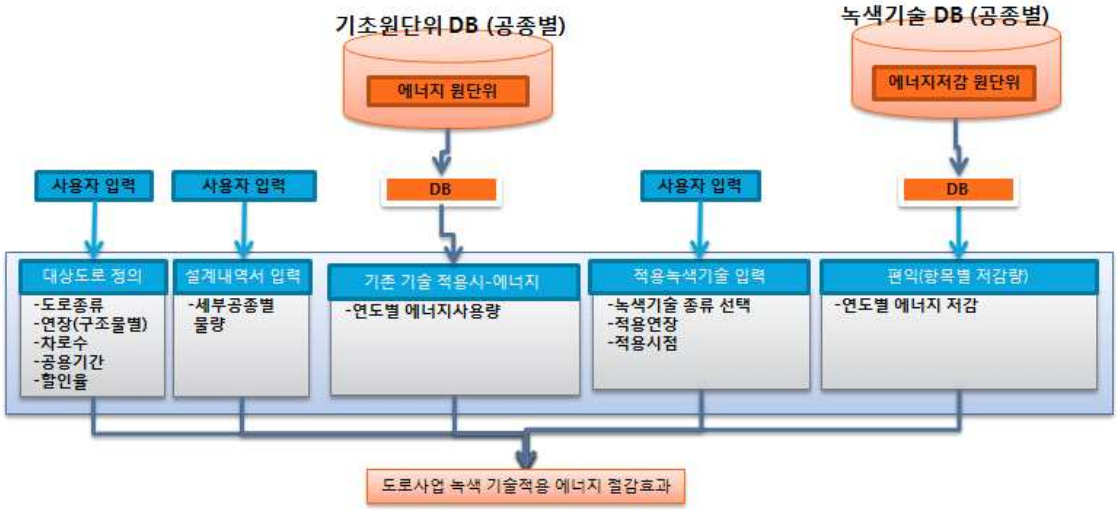
<그림 2-108> 기술평가(적용단계) 모듈 설계

◎ 사업평가 - 기본분석



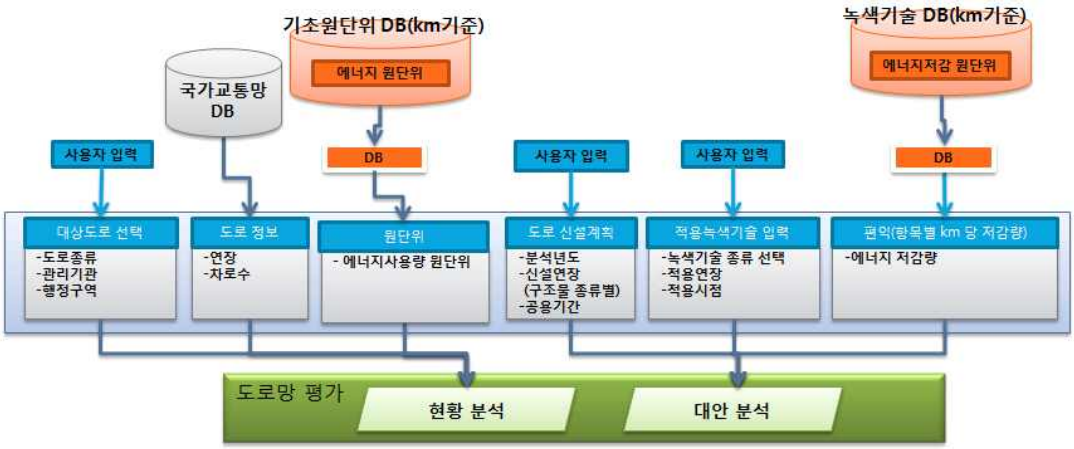
<그림 2-109> 사업평가(기분분석) 모듈 설계

◎ 사업평가 - 상세분석



<그림 2-110> 사업평가(상세분석) 모듈 설계

◎ 도로망평가 - 기본분석



<그림 2-111> 도로망평가(상세분석) 모듈 설계

㉮ 기능 및 모듈 설계 전문가 검토

○ 다음 표와 같이 평가 항목에 대하여 전문가 3인의 검토를 받은 결과 평균 93.0으로 목표 점수인 80점 이상을 받았다.

<표 2-100> 에너지자원 분석시스템 기능 및 모듈 설계 전문가 검토 결과

평가부문	평가항목	평가기준	평가점수
기능정의 및 설계 (50)	기능정의의 적절성(10)	녹색도로기술 개발을 위한 평가와 적용효과 분석에 필요한 기능이 시스템 이용자의 필요성과 사용용의성을 고려하여 적절하게 정의되어 있는가?	9.0
	에너지사용량 분석기능설계(15)	해당 기능에 대한 정의가 적절하며 기능을 구현하기 위한 설계가 적정한가?	14.3
	녹색도로기술 적용효과분석 기능설계(15)	해당 기능에 대한 정의가 적절하며 기능을 구현하기 위한 설계가 적정한가?	14.0
	대안평가 기능설계(10)	해당 기능에 대한 정의가 적절하며 기능을 구현하기 위한 설계가 적정한가?	9.3
모듈정의 및 설계 (50)	모듈구분의 적절성(10)	정의된 기능을 시스템으로 구현하기 위한 모듈 구분이 적절한가?	9.3
	기술평가 모듈설계(15)	해당 모듈을 개발하기 위해 필요한 입력자료, 데이터베이스 활용자료, 분석처리과정 및 데이터 흐름과 데이터간의 연계가 명확하게 정의되어 있는가?	13.7
	사업평가 모듈설계(15)	해당 모듈을 개발하기 위해 필요한 입력자료, 데이터베이스 활용자료, 분석처리과정 및 데이터 흐름과 데이터간의 연계가 명확하게 정의되어 있는가?	14.3
	도로망평가 모듈설계(10)	해당 모듈을 개발하기 위해 필요한 입력자료, 데이터베이스 활용자료, 분석처리과정 및 데이터 흐름과 데이터간의 연계가 명확하게 정의되어 있는가? (보고서 p. 90 참고)	9.0
평가점수 합계			**93.0**

㈐ 에너지자원 분석시스템 수요자 만족도 조사

○ 학계, 연구기관, 설계회사에 근무하는 전문가로 잠정 수요자 그룹(9인)을 구성하여 에너지자원 분석시스템 대한 수요자 만족도 조사를 실시하였다.

- 시스템의 기능성, 사용 편의성, 활용 가능성으로 평가부문을 분류하고 각 평가부문별 평가항목 및 평가기준 제시
- 시스템 설명 및 시연 후 실제로 평가자가 시스템을 사용해보면서 평가하였음
- 수요자 만족도 조사 결과 80점 이상(평가점수 86.3점)으로 평가됨



<그림 2-112> 시스템 수요자 만족도 조사 현장

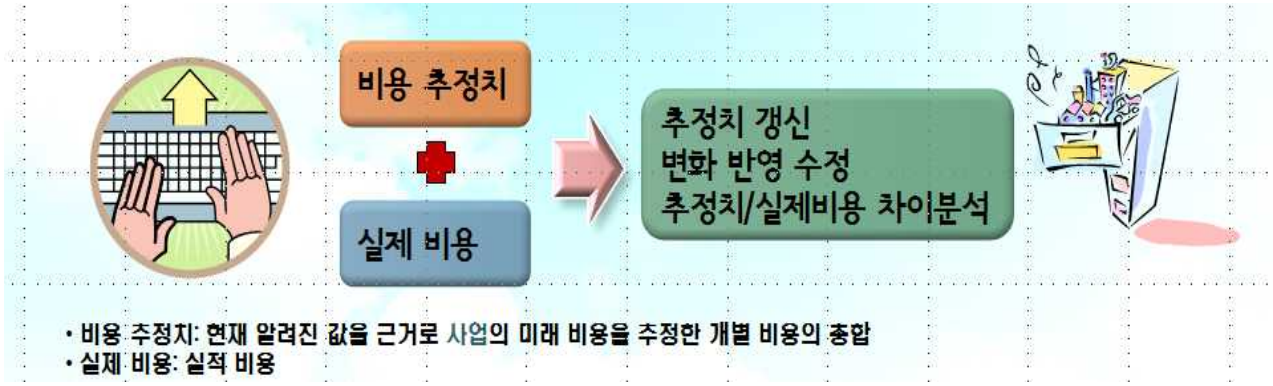
<표 2-101> 에너지자원 분석시스템 수요자 만족도 조사 결과

평가 부문	평가항목	평가기준	평가 점수
기능성 (50)	기능구현 완전성(20)	녹색도로기술 개발을 위한 평가와 적용효과 분석에 필요한 기능이 구현되어 있는가?	17.7
	기능구현 정확성(20)	구현된 모든 기능들이 정상적으로 동작하는가?	18.6
	보안성(10)	인가되지 않은 사람 또는 시스템의 접근을 방지하여 중요한 정보 및 데이터를 보호하고 있는가?	9.1
사용성 (30)	기능학습 용이성(10)	시스템을 통해 기능정보를 파악하기 용이하도록 구성되어 있는가?	7.8
	입출력 용이성(10)	데이터 입출력 방법 및 이용절차가 편리하게 구성되어 있는가?	7.8
	사용자 인터페이스 편의성 및 용이성 (5)	화면구조(메뉴, 화면배치 등)가 - 이해하기 쉽도록 구성되어 있는가? - 사용자가 수행하는 기능의 위치 또는 진행현황을 쉽게 파악할 수 있는가?	4.3
	사용자 인터페이스 일관성 및 적절성 (5)	화면구조(메뉴, 화면배치 등)가 - 동일하거나 유사한 기능수행을 위해 일관된 또는 통합된 인터페이스를 제공하고 있는가? - 기능사용과 결과 조회를 용이하게 제공하고 있는가?	4.2
활용성 (20)	정보제공(5)	평가에 활용되는 방법에 대한 설명과 제공하는 분석결과는 충분한가?	3.9
	기술 활용성(5)	시스템에 수록된 기술 또는 시스템에서 활용하고 있는 평가기법이 녹색도로기술 개발 추진 및 발전에 활용 가능한가?	4.6
	상용화 가능성(5)	연구개발의 성과물인 이 시스템을 보완(상용화)하여 상용 시스템으로 활용할 수 있는가?	4.0
	기능 확장성(5)	연구개발의 성과물인 이 시스템에 연계될 수 있는 기능을 추가하여 시스템의 분석기능을 확장할 수 있는 가능성이 있는가?	4.4
평가점수 합계			86.3

③ LCC분석 시스템

㉮ 녹색도로 기술개발 LCC분석 방법론

○ 녹색도로 기술 연구개발 사업의 연구기획 단계에서부터 기술의 사장단계까지 총 Life-cycle cost를 추정하는 기법을 개발이다. 연구개발 수행, 실증, 상용화, 기술 정착 및 운용 단계로 구분하여 기술 발전 단계에서의 비용항목 분류 및 추정치를 산정하는 기법 개발이다. 비용 추정치를 표준 기준치(Standard)로 확정하기 위해서는 유사 사업 및 연구에서의 자료를 활용하여 DB화하고, 추정치와 실제 비용의 차이와 변화를 통계적으로 반영하여 수정하는 단계를 통해 추정치를 지속적으로 갱신해야 한다. 여기서 비용 추정치는 현재 알려진 값을 근거로 사업의 미래 비용을 추정한 개별 비용의 총합이며, 실제 비용은 실적 비용을 의미함. 현실을 반영할 수 있는 표준 기준치 확정하는 단계는 LCC분석의 중요한 부분이다.



<그림 2-113> LCC분석 방법론 설정

○ 녹색도로 기술 LCC분석은 아래 그림과 같이 기술 개발 사업 투자 계획부터, 설계, 시공, 유지관리, 해체까지 전 생애 단계에서의 비용 추정을 확정적, 또는 확률적인 기법을 통해 비용을 추정하는 것이다. 본 연구에서는 녹색도로 기술 개발에 대한 총 LCC분석을 수행하기 위하여 분석 내용을 크게 이분하여 Part 1과 Part2로 구분하였다. Part 1(이후 기술평가로 수정됨)은 기술 개발 이전의 연구 수행과 실증 단계를 거쳐, 상용화 단계 바로 이전까지로 지정하였고, Part 2(이후 사업평가로 수정됨)는 상용화된 기술이 실질적으로 도로에 적용되어 기술 적용 시설 공사부터 유지관리, 보수단계로 지정하였다.

○ 기술평가 단계는 간략하게 설명하자면, 녹색도로 기술 개발에 대한 R&D 수행을 위해 집행하는 총 비용을 현실화하는 것으로, 기술 개발 시 소요되는 비용을 가능한 세부 항목으로 나누어 비용 추정에 해당된다. 특히 비용 산정에 간과하기 쉬운 실험공간에 대한 임대료와 대형 장비 구입 시 감가상각비 등을 고려하여 직접적인 Out-of-pocket 비용 뿐만 아니라 간접적인 비용까지 산정하는 개념을 설정하였다. 또한 기술 개발에 있어서 간과하기 쉬운 기술 평가와 홍보 및 교육에 대한 비용도 추가하여 현실적인 비용 추정에 이바지한다.

○ 사업평가 단계는 기존 도로 기술 대신 신규 녹색도로 기술로 대체했을 경우의 대안을 비교하여 적용하는 것으로써 도로 공사 실시설계내역서 상의 공종별 항목을 참고하여 산출한다. 녹색도로 기술의 해당 세부 공종이 기존 설계내역서 내 비용 항목에 있을 경우 이를 대체하여 비용을 산출하고, 기존 공종을 대체하지 못하는 신규 기술일 경우는 신규 공종항목을 새로 입력하여 비용을 산출해야 한다.

○ 따라서 본 연구에서는 일반 도로사업에서 LCC를 1차적인 Baseline으로 추정한 이후(기준대안), 녹색도로 기술을 적용할 경우의 해당 공종별로 구분하여 2차적으로 추정하여 대안 분석을 통해 LCC를 비교, 분석하는 기법을 통해 LCC분석을 수행하는 것으로 하였다. 단 일반 도로사업에서의 사용되는 기술의 개발 비용은 산정하기 어려우므로, 기술평가에 해당하는 비용은 대안간 비용 분석에 추가 비용(Additional cost)으로 합하여 사용하였다.

○ 녹색도로 기술 LCC분석 시스템의 최종 수요자 유형은 다음과 같이 구분하였다.

- 관리자 대상: 국토교통부, 지방 국토관리청, 국토관리 사무소, 지자체 시, 도 관련 공무원 등 신규 및 확장 도로 사업이나 유지관리 업무 담당자

- 평가자 대상: 녹색도로기술 개발 관련 국토교통과학기술진흥원 등 연구개발 사업 평가 담당자 등 녹색도로기술 사전 타당성 검토 및 평가 담당자

- 연구자 및 전문가 대상: 녹색도로기술 개발 관련 연구계, 학계, 산업계 근무자

■ 기술평가 단계(구 기술 개발단계)기능 정립 및 설계

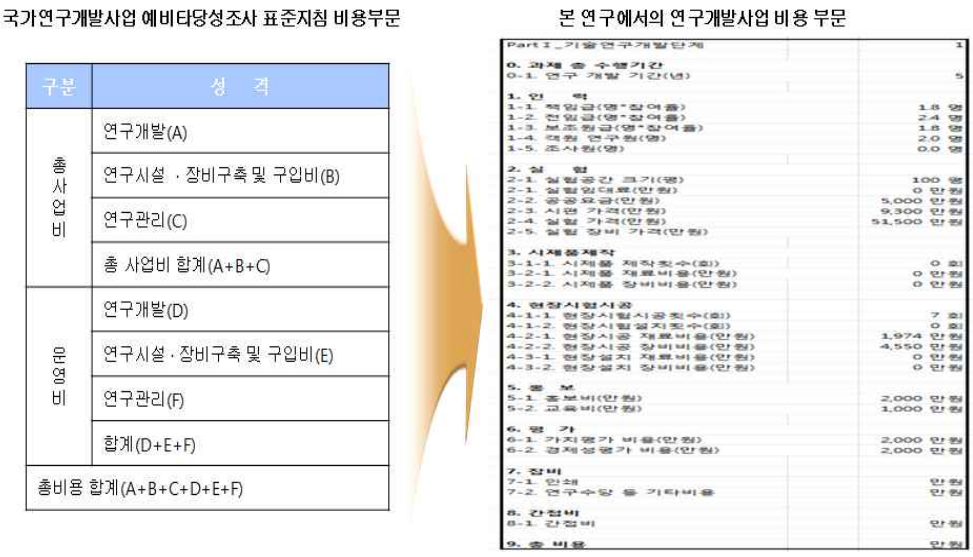
◎ 비용 항목 검토

○ 「국가 연구개발 사업의 예비타당성조사 지침」에서 활용한 비용 분류 체계는 다음과 같다.

<표 2-102> 국가 연구개발 사업의 과제 성격 별 비용 분류 기준

과제성격	분류기준
연구개발	연구시설 · 장비 구입 및 유지비, 연구관리비를 제외한 모든 연구개발비
연구시설 · 장비 구입 및 유지	연구시설 구축 및 유지비, 연구장비 구입 및 유지비, 시설 · 장비의 차입금 상환 등
연구관리	연구과제 평가 및 관리비, 국공립연구소와 출연연구소의 인건비, 경상비, 연구개발 관련 사무국 운영비 등

○ 해당 지침에서는 연구개발, 연구시설·장비 구입 및 유지, 연구관리 등 사업의 과제 성격에 따라 분류를 나누고, 해당 비목이 순수 R&D와 연구기반구축 R&D와 갖는 관계를 분류하여 검토하였다. 최종적으로 연구개발사업부문 표준지침에서 다루는 비용부문은 아래 그림의 왼쪽과 같으나 본 연구는 개별 기술에 대한 개발단계 총 비용을 산출하는게 목적이므로 실질적으로「탄소중립형 도로 기술 개발 연구단」에 참여하는 연구 전문가 의견을 토대로 새로이 비용 항목을 선정하였다.



<그림 2-114> 녹색도로기술 기술평가 단계 비용 추정

◎ 비용 항목 선정

○ 최종적으로 선정된 비용항목은 인건비(인력), 연구실험비(실험 및 시작품제작비), 현장시험비(현장시험시공), 연구관리비(연구 홍보, 평가, 사무, 잡비), 간접비이다.

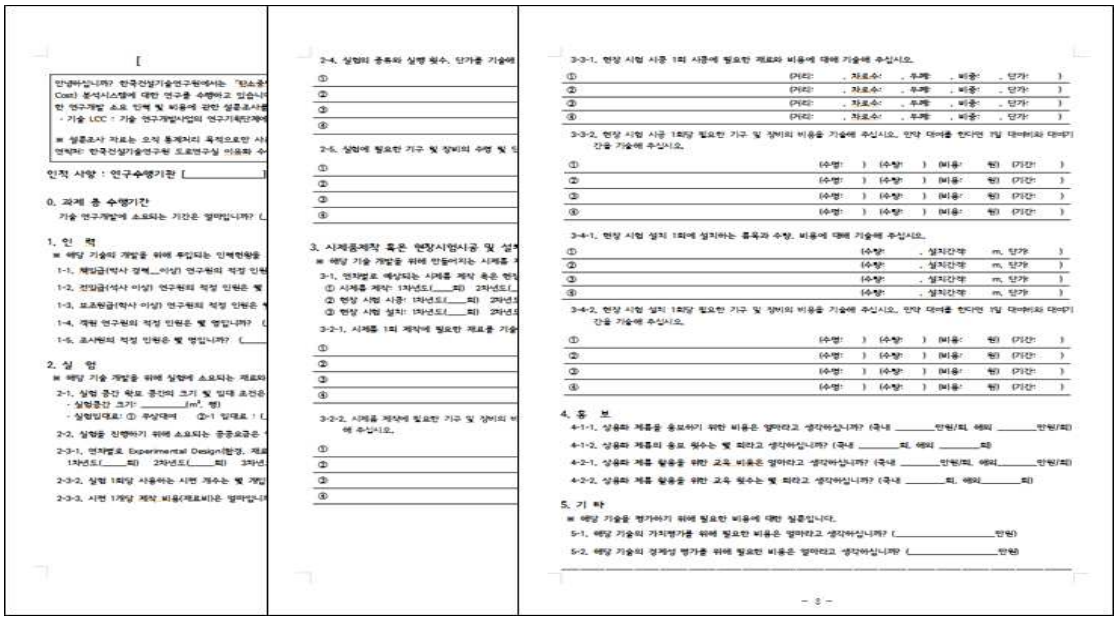
<표 2-103> 녹색도로기술 기술평가 단계 비용 항목 선정

구분		항목	설명
기술평가	인건비	책임급	연구 투입 인력을 경력 및 참여율을 고려하여 인건비 배분
		전임급	
		보조원급	
		객원 및 조사원	
	연구실험비	실험 공간 임대 및 운영	실험: 실험 공간 임대 및 운영, 재료, 장비 및 기구로 구분 시작품 제작: 재료, 장비 및 기구로 구로 구분
		실험 재료비	
		실험 장비 및 기구 구입 및 임대비	
		시작품 제작 재료비	
		시작품 장비 및 기구 구입 및 임대비	
	현장시험비	현장시험 시공 재료비	현장시험: 시공 재료비, 장비 및 기구 구입 혹은 임대비로 구분
		현장시험 시공 장비 및 기구 구입 및 대비	
	연구관리비	연구 홍보 및 교육비	연구 홍보 및 교육, 평가, 사무관리 및 잡비로 구분 간접비는 일괄적으로 책정
		연구 사무비 및 잡비	
		기술 가치평가 및 경제성 평가비	
	간접비	간접비	

◎ 비용 항목 활용 사례 조사

○ 연구를 통해 선정된 비용 항목을 검증하기 위하여 녹색도로기술체계 내 기술 중 「탄소중립형 도로 기술 개발 연구단」에서 개발되는 2개의 기술과 한국건설기술연구원 내 기획재정부 주요사업으로 개발되는 1개의 기술에 대하여 사례조사를 수행하였다.

○ 사전 설문조사와 의견수렴을 통해 기 구성된 항목별 자료 입력 방식을 지속적으로 검토하였으며, 최종적으로 정리된 설문지 양식과 조사 결과는 아래 그림과 같다.



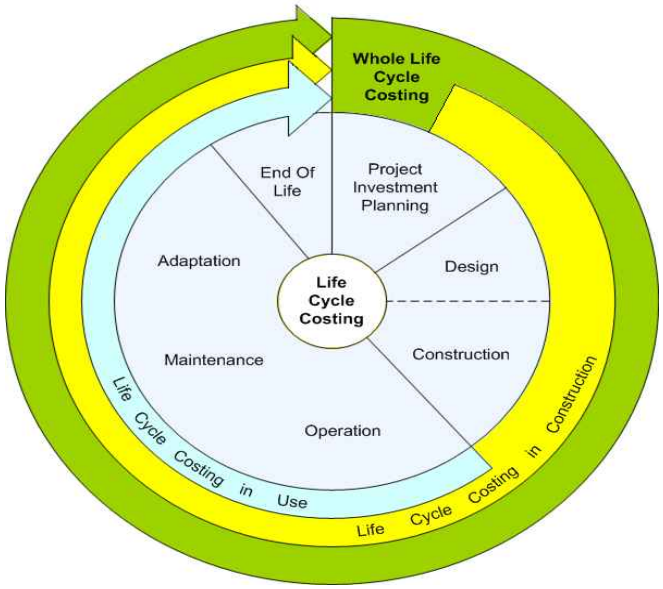
<그림 2-115> 녹색도로기술 기술평가 단계 비용 설문조사지 양식

	1	2	3	4	5
0. 과제 총 수행기간					
0-1. 연구 개발 기간(년)	5	5	5	0	0
1. 인 력					
1-1. 책임급(명*참여율)	1.8 명	2.0 명	0.6 명	0.0 명	0.0 명
1-2. 전임급(명*참여율)	2.4 명	2.0 명	1.2 명	0.0 명	0.0 명
1-3. 보조원급(명*참여율)	1.8 명	0.8 명	0.4 명	0.0 명	0.0 명
1-4. 객원 연구원(명)	2.0 명	3.0 명	0.0 명	0.0 명	0.0 명
1-5. 조사원(명)	0.0 명	0.0 명	0.0 명	0.0 명	0.0 명
2. 실 험					
2-1. 실험공간 크기(평)	100 평	200 평	30 평	0 평	0 평
2-1. 실험임대료(만원)	0 만원	0 만원	0 만원	0 만원	0 만원
2-2. 공공요금(만원)	5,000 만원	7,500 만원	300 만원	0 만원	0 만원
2-3. 시편 가격(만원)	9,300 만원	0 만원	6 만원	0 만원	0 만원
2-4. 실험 가격(만원)	51,500 만원	52,250 만원	450 만원	0 만원	0 만원
2-5. 실험 장비 가격(만원)					
3. 시제품제작 혹은 현장시험시공					
3-1-1. 시제품 제작횟수(회)	0 회	20 회	4 회	0 회	0 회
3-1-2. 현장시험시공횟수(회)	7 회	13 회	2 회	0 회	0 회
3-1-3. 현장시험설치횟수(회)	0 회	0 회	0 회	0 회	0 회
3-2-1. 시제품 재료비용(만원)	0 만원	6,000 만원	480 만원	0 만원	0 만원
3-2-2. 시제품 장비비용(만원)	0 만원	950 만원	0 만원	0 만원	0 만원
3-3-1. 현장시공 재료비용(만원)	1,974 만원	3,959 만원	0 만원	0 만원	0 만원
3-3-2. 현장시공 장비비용(만원)	4,550 만원	0 만원	0 만원	0 만원	0 만원
3-4-1. 현장설치 재료비용(만원)	0 만원	0 만원	0 만원	0 만원	0 만원
3-4-2. 현장설치 장비비용(만원)	0 만원	0 만원	0 만원	0 만원	0 만원
4. 홍 보					
4-1. 홍보비(만원)	2,000 만원	6,500 만원	1,900 만원	0 만원	0 만원
4-2. 교육비(만원)	1,000 만원	900 만원	1,700 만원	0 만원	0 만원
5. 기 타					
5-1. 가치평가 비용(만원)	2,000 만원	2,200 만원	2,200 만원	0 만원	0 만원
5-2. 경제성평가 비용(만원)	2,000 만원	2,200 만원	2,200 만원	0 만원	0 만원

<그림 2-116> 녹색도로기술 기술평가 단계 비용 사례조사 결과

■ 사업평가 단계(구 기술 사업화단계)기능 정립 및 설계

○ 앞서 기술평가 단계는 LCC 분석을 통해 기술 R&D 개발에 대한 성공 가능성을 실험과 시작품 개발, 그리고 소규모 현장 적용을 통해 알아가는 사전 평가 과정이라고 한다면, 사업평가 단계는 도로 사업 기본 단위 당 혹은 사업 당 LCC 추정 단계이기 때문에 계획, 설계, 시공, 운영, 유지관리, 해체의 모든 단계를 통해 적용된 기술로 인하여 달라지는 비용을 추정하는 단계이다. 그러나 본 연구에서는 자료 취합과 집계상의 어려움으로 인해 계획, 설계, 운영, 해체 부분은 생략하고, 시공과 유지관리 부문만 적용하는 것으로 한다. 또한 녹색도로기술이 개발되어 현장 적용을 거쳐 사업화되는 단계까지의 일련의 과정 중 가장 비용이 많이 소요되는 단계는 도로에서의 시공단계이며, 유지관리 단계에서의 비용은 분석기간(보통 30~50년)에 따라 적용되는 녹색도로기술의 공용수명에 따라 달라지므로 필수적이기 때문이다. 여기서 비용 추정의 기본 단위는 도로 사업 단계별기본 단위인 km-lane(m-lane), km(m), ㎡, ㎥ 당 비용으로 추정된다.



자료: ISO 5686-5: Life-cycle Costing, 2008
<그림 2-117> 녹색도로기술 Part 2 사업화 단계 LCC 추정 개념

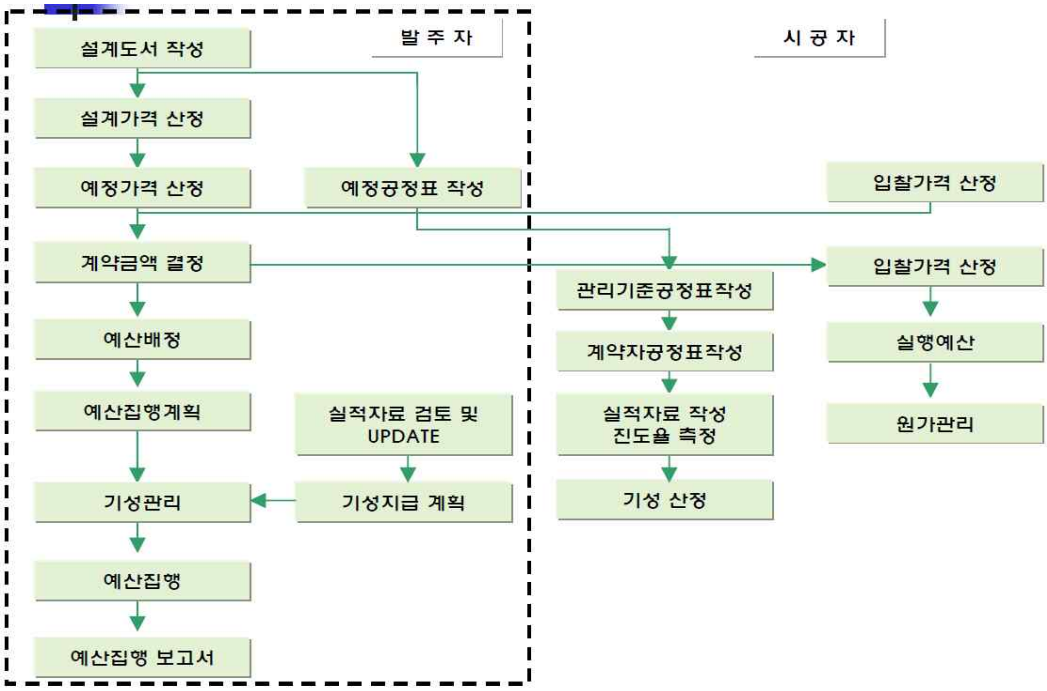
◎ 도로 사업 시공 비용 추정방법 검토

□ 도로 사업 건설공사 비용 추정방법 요약

○ 공사 시행단계에서 시공계획에 따라 건설공사를 수행하는데 소요되는 공사비를 추정할 때 공사의 공종별로 산출한 시공물량에 단위당 가격을 곱한 금액을 전체 공사비에 대하여 합산한 순공사 원가와 일정의 일반관리비, 이윤 및 부가가치세를 가산한 총 원가를 계산하는 원가 계산 과정이다.

○ 미국의 경우 계획단계에서부터 비용추정의 신뢰성을 확보하기 위하여 노력하고 있음 해당 지역 교통부에서의 도로건설공사비용을 추정하는 매뉴얼을 배포하여, 내부 전문가 및 외부 전문가가 비용 추정에 참여하여 최종적으로 관리자의 승인을 받아 반영하도록 되어 있다. 최근 미국 FHWA(Federal Highway Association)은 위험도 반영 비용추정(Risk-based Cost Estimate)방법을 사용하여 위험도 분석을 시공 전에 수행하도록 권장하고 있다.

○ 우리나라는 크게 발주자 적산과 시공자 적산으로 구분되는데, 발주자 적산은 공공기관이 도급으로 발주하는 공사로 원가 계산방법에 따라 비용을 결정하고, 시공자 적산은 공사 수주 시공회사에서 발주자 물량 내역서에 실적 가격을 단가로 적용하여 입찰금액을 산출하는 방법을 사용하고 있다.



<그림 2-118> 국도 도로사업 설계 단계 비용 추정 단계

□ 도로 사업 설계-시공 및 유지관리 공종 분류 및 비용항목 설정

◇ 도로 사업 실시설계-시공 공종별 비용항목 세부 검토

○ 도로 사업 건설 공종체계를 토대로 「국도 건설공사 설계 실무요령(2008)」을 참고로 아래 그림과 같이 도로 건설공사를 총 6개 세부 공사로 구분하여 비용 항목을 설정하였다. 6개의 세부공 아래 또 다시 공종별로 개별 세세부공이 분류되어 있다. 2차년도에는 공종체계를 총 3개의 등급(level)로 구분하였으나, 3차년도 연구단 차원에서 「도로공사 표준시방서(2004)」, 「고속도로공사 전문시방서(2009)」을 추가로 고려하여 총 4개 등급으로 구성되고 G-TIES 내 세부시스템이 공유할 수 있는 고속국도/일반국도 통합 표준공종체계를 신규로 작성하여 비용 추정을 위한 자료로 확보하였다.

○ 녹색도로기술을 적용함으로써 교체되거나 신규로 요구되는 공종의 경우는 시스템 내에서 물량(수량)과 단가를 이용자가 추가하도록 해야 하며, 기술 개발에 대한 전문가 의견을 통해 사전 조사된 비용 추정방법을 사용하여 적용하였다.

○ 실시설계에서의 공종 구분과 그에 따라 적용된 실질적인 비용 샘플 자료는 아래 그림과 같다.



<그림 2-119> 국도 도로 사업 설계 및 시공 공종 구분

코드	명칭	규격	단위	수량	재료비		노무비		경비		합계		실적코드	비고
					단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액		
01	전관IC-사능도로건설공사			1		10,245,016,648		6,358,317,024		3,408,842,810		20,012,176,482		
0102	1. 토 공		식	1	637,710,023.00	637,710,023	812,098,047.00	812,098,047	559,214,466.00	559,214,466	2,009,022,536.00	2,009,022,536		
0103	2. 비 탈 면 안 정 공		식	1	381,840,438.00	381,840,438	402,391,298.00	402,391,298	77,003,674.00	77,003,674	861,235,410.00	861,235,410		
0104	3. 배 수 공		식	1	946,053,111.00	946,053,111	887,505,762.00	887,505,762	122,288,360.00	122,288,360	1,955,847,233.00	1,955,847,233		
0105	4. 구 조 물 공		식	1	3,298,410,026.00	3,298,410,026	2,507,665,412.00	2,507,665,412	592,330,364.00	592,330,364	6,398,405,802.00	6,398,405,802		
0106	5. 포 장 공		식	1	2,025,407,283.00	2,025,407,283	392,896,188.00	392,896,188	288,691,942.00	288,691,942	2,706,995,413.00	2,706,995,413		
0107	6. 교통 안전 시설공		식	1	1,254,154,927.00	1,254,154,927	262,156,423.00	262,156,423	50,134,946.00	50,134,946	1,566,446,296.00	1,566,446,296		
0108	7. 부 대 공		식	1	1,701,440,840.00	1,701,440,840	1,093,603,894.00	1,093,603,894	1,719,179,058.00	1,719,179,058	4,514,223,792.00	4,514,223,792		
0102	1. 토공			1		637,710,023		812,098,047		559,214,466		2,009,022,536		
	1.01 기존구조물깨기			0		34,450,044		113,516,130		57,408,465		205,374,639		
	a. 무근콘크리트깨기			0		2,603,019		25,749,783		3,313,513		31,666,315		
_DC120-11000	-1 "	t=30cm 미만	M3	648	3,358.00	2,175,984	34,604.00	22,423,392	4,239.00	2,746,872	42,201.00	27,346,248		
_DC120-21000	-2 "	t=30cm 이상	M3	83	5,145.00	427,035	40,077.00	3,326,391	6,827.00	566,641	52,049.00	4,320,067		
	b. 철근콘크리트깨기			0		2,352,754		13,578,021		22,864,660		38,795,435		
_DC110-10000	-1 "	t=30cm 미만	M3	2	237.00	474	10,473.00	20,946	19,215.00	38,430	29,925.00	59,850		
_DC110-20000	-2 "	t=30cm 이상	M3	1085	2,168.00	2,352,280	12,495.00	13,557,075	21,038.00	22,826,230	35,701.00	38,735,585		
	c. 기존포장깨기			0		8,581,426		48,217,080		13,969,202		70,767,708		
_DC210-10000	-1. 콘크리트포장깨기	기계	M3	128	2,786.00	356,608	17,928.00	2,294,784	4,537.00	580,736	25,251.00	3,232,128		
_DC220-10000	-2. 아스팔트포장깨기	기계	M3	2373	3,466.00	8,224,818	19,352.00	45,922,296	5,642.00	13,388,466	28,460.00	67,535,580		
	d. 포장절단			0		627,801		1,269,071		50,325		1,947,197		
_DC210-20000	-1. 콘크리트포장절단	기계	M	27	449.00	12,123	953.00	25,731	33.00	891	1,435.00	38,745		
_DC220-20000	-2. 아스팔트포장절단	기계	M	1498	411.00	615,678	830.00	1,243,340	33.00	49,434	1,274.00	1,908,452		
	e. 기존구조물철거			0		164,510		3,881,406		2,538,393		6,584,309		
	-1.표지판철거			0		70,040		796,566		61,068		927,674		
SF010240	안내표지판철거		EA	4	17,510.00	70,040	98,629.00	394,516	15,267.00	61,068	131,406.00	525,624		
KES0011000	교통표지판철거		EA	17			23,650.00	402,050			23,650.00	402,050		
_DC720-10000	-2.가드레일철거		M	1005	94.00	94,470	2,158.00	2,168,790	2,465.00	2,477,325	4,717.00	4,740,585		
KES0012000	-3.가로등지주철거		개	25			36,642.00	916,050			36,642.00	916,050		
R01Q03	f. 재활용(건설폐기물파쇄)	φ100mm	M3	4319	4,468.00	19,297,292	4,762.00	20,567,078	3,378.00	14,589,582	12,608.00	54,453,952		

<그림 2-120> 국도 실시설계 내역서 - 비용 부문 사례

◇ 도로 사업 유지관리 공종별 비용항목 세부 검토

○ 도로 사업 유지관리 및 보수공사 공종을 살펴보면 앞서 설계단계에서의 공종 이후 도로의 성능을 일정 기준 이상 유지하기 위하여 보수보강, 기능개선, 성능개선, 개축공종과 더불어 일상적인 유지관리, 점검 및 진단에 해당하는 내역까지 상세하게 구분할 수 있다. 도로에서의 일반 유지관리 업무는 국도의 경우 국도유지관리사무소에서 담당하고 있으며, 아래 그림과 같은 업무로 구분된다. 그러나 본 연구에서는 일반 유지관리 업무인 일상 점검 및 진단에 대한 부분은 공종별 구분이 어려우며, 녹색도로기술과의 연계성이 낮으므로 제외하고 토공, 교량, 터널 유지관리 보수공종 중심으로 공종항목을 정리하였다.



<그림 2-121> 국도 도로 사업 일반 유지관리 공종

○ 도로 보수를 위해 소요하는 예산에 대한 취합 자료 샘플은 아래 그림과 같다. 주로 도로 포장도, 구조물(교량, 암거, 배수공, 터널, 옹벽), 기타 보수로 구분되며 시행되고 있다.

총 괄 : 보 수 총 괄										단위 : 백만원
구 분			합 계			고속국도		일반국도 소계		
			계	국 비	지방비	소 계	국 비	소 계	국 비	지방비
도로	계 (km)		729,371	62,269	667,102	3,144	3,144	15,331	12,738	2,593
보수	포장도(km)		596,822	38,790	558,032	3,130	3,130	15,093	12,534	2,559
연장	미포장도(km)		132,509	23,466	109,043			211	204	7
보수비	예산액(백만원)		2,615,897	1,059,150	1,556,746	255,385	255,385	712,395	662,868	49,527
	집행액(백만원)		2,519,976	1,053,500	1,466,476	249,519	249,519	708,594	661,968	46,626
합 계	잔 액(백만원)		95,921	5,650	90,270	5,866	5,866	3,801	900	2,901
1.	계(백만원)		341,535	103,673	237,863	40,885	40,885	80,268	58,031	22,237
포	표 면	물량(a)	17,317	7,288	10,029	2,280	2,280	5,380	5,008	372
장	처 리	금액(백만원)	20,205	8,457	11,748	6,162	6,162	4,200	2,295	1,905
도	소 파	물량(a)	25,796	7,915	17,881	1,406	1,406	7,840	6,455	1,385
	보 수	금액(백만원)	51,539	22,678	28,861	13,386	13,386	11,617	9,210	2,407
보	언 쓰	물량(a)	170,693	52,516	118,178	2,212	2,212	56,733	49,196	7,538
수	우 기	금액(백만원)	197,551	54,028	143,523	7,619	7,619	58,132	45,232	12,900
	재	물량(a)	34,122	6,672	27,450	5,823	5,823	4,071	848	3,223
	포 장	금액(백만원)	72,240	18,509	53,731	13,717	13,717	6,319	1,294	5,025
2.	계(백만원)		5,571	170	5,401			180	170	10
미포	골 재	물량(㎥)	280,223		280,223			196		196
장도	포 설	금액(백만원)	4,095		4,095			2		2
보수	노 면	물량(km)	1,446	2	1,444			12	2	10
	정 리	금액(백만원)	1,476	170	1,306			178	170	8
3.	계(백만원)		453,253	191,098	262,155	81,266	81,266	115,957	106,305	9,652
구	보	물량(m)	206,784	143,123	63,662	63,554	63,554	83,705	78,846	4,859
조	교	(개소)	6,730	2,553	4,177	1,936	1,936	666	593	73
물	수	금액(백만원)	207,116	91,153	115,963	44,925	44,925	53,631	45,247	8,384
	신 설	물량(m)	7,825	3,841	3,984	240	240	3,581	3,581	
보	및	(개소)	139	49	90	7	7	41	41	
수	확 장	금액(백만원)	146,421	53,264	93,157	18,304	18,304	34,010	34,010	
	암 거	물량(개소)	3,345	765	2,580	744	744	27	21	6
		금액(백만원)	27,665	12,424	15,241	6,575	6,575	6,007	5,849	158
	배수공	물량(개소)	14,917	863	14,054	698	698	382	154	228
		금액(백만원)	38,480	17,076	21,401	6,728	6,728	9,138	8,754	384
	터 널	물량(m)	200,258	174,926	25,332	125,543	125,543	52,508	49,383	3,125
		(개소)	2,321	298	2,023	215	215	92	83	9
		금액(백만원)	23,449	14,472	8,977	2,303	2,303	12,547	12,169	378
	옹 벽	물량(m)	10,798	3,064	7,734	2,950	2,950	126	114	12
		(개소)	406	31	375	29	29	27	2	25
		금액(백만원)	10,122	2,706	7,416	2,430	2,430	624	276	348
4.	계(백만원)		304,627	150,919	153,708	55,069	55,069	202,988	194,254	8,734
개	방호책	물량(m)	187,998	131,217	56,681	52,913	52,913	77,909	75,418	2,491
타		금액(백만원)	35,790	28,457	7,333	6,266	6,266	21,195	20,667	528
	도로안전	물량(m)	21,406	5,032	16,374	4,948	4,948	1,222	13	1,209
	시 설	금액(백만원)	138,902	65,921	72,981	17,509	17,509	37,043	33,276	3,767
보	측 구	물량(km)	8,285	4,773	3,512	3,852	3,852	1,002	921	81
수	정 리	금액(백만원)	22,125	9,738	12,387	4,690	4,690	5,233	5,048	185
	길어깨	물량(km)	3,099	1,042	2,057	889	889	258	143	115
	정 리	금액(백만원)	14,210	10,099	4,111	3,412	3,412	6,377	6,290	87
	도 로	물량(개소)	41,572	6,317	35,255	1,777	1,777	4,944	4,039	905
	표 지	금액(백만원)	29,555	12,364	17,192	6,439	6,439	6,785	5,641	1,144
	차 선	물량(km)	33,927	10,091	23,836	3,694	3,694	7,142	6,135	1,007
	도 색	금액(백만원)	64,043	24,339	39,704	10,825	10,825	15,711	13,252	2,459

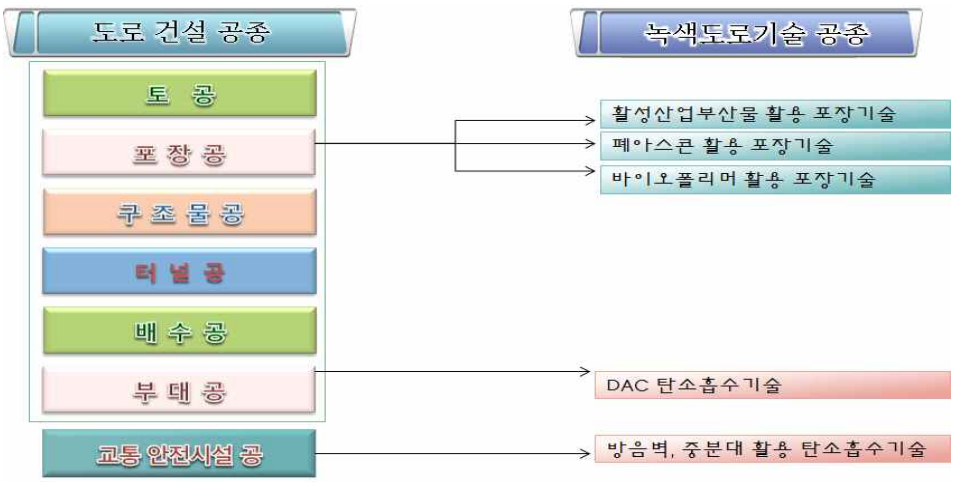
1 페이지

<그림 2-122> 국도 도로 사업 보수 공종 및 비용 사례

◎ 녹색도로기술 적용 단위 비용 추정 방법론

□ 시공 단위 비용 추정 방법론

○ 본 연구에서는 LCC 추정 방법론을 정립하고, 녹색도로기술 체계 중 탄소중립형 도로 연구단에서 수행하는 기술을 중심으로 사례를 검토하고 방법론을 수정하는 환류체계를 거쳐 수행하였다. 예를 들어 탄소중립형 도로 기술은 포장공, 부대공, 교통 안전시설공과 연관한 탄소저감 기술에 해당하므로, 각 공종에서의 세부 공종 변경 및 신규 공종 입력의 방법으로 비용을 추정하도록 할 수 있다.



<그림 2-123> 탄소중립형 도로 기술 도로 사업 설계 단계 반영 개념

□ 유지관리 및 보수 내역 단위 비용 추정 방법론

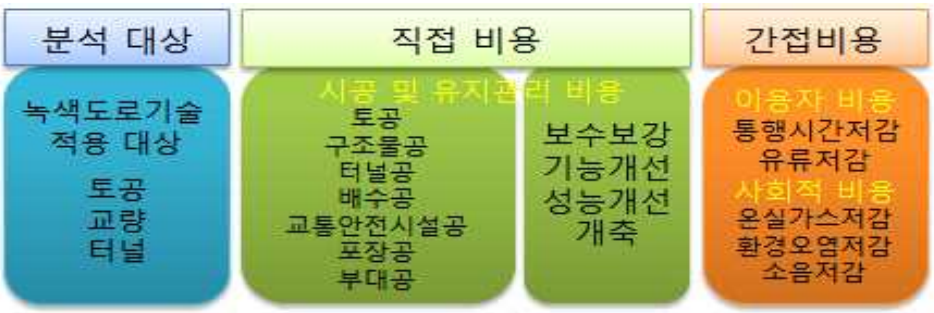
○ 녹색도로기술이 적용되는 도로 시설물 중 대상은 포장, 교량, 사면, 터널 모두 포함되지만, 유비관리 및 보수 내역은 이 중 앞서 설계 내역 단위 비용과 마찬가지로 포장공, 부대공 중심으로 유지관리 및 보수 비용을 추정하는 것으로 하였다.

○ 직접 비용은 관리자비용(정부예산 소요)이며, 녹색도로기술 적용 시공과 유지관리와 개, 보수에 관한 항목으로 구성된다.

○ 간접 비용은 이용자 비용과 사회적 비용으로 구분되며 유리관리 및 보수 공사 중 발생하는 내, 외부적인 비용이다.

○ 이용자 비용은 기술 사업화 이후 해당 기술 적용 공사 중에 공기 단축으로 인해 발생하는 교통지체로 인한 편익을 정량화 시킨 비용으로써 교통량(AADT)와 해당 공사구간의 통행속도에 따라 좌우된다. 신규 사업 시공보다는 유지관리 단계에 주기별 공사 시 적용할 수 있다.

○ 사회적 비용은 이용자 비용과 마찬가지로 해당 기술 적용 공사 중에 저감되는 교통지체로 인해 사회 전반적으로 미치는 편익을 정량적으로 환산한 비용으로써 탄소저감비용, 환경오염저감비용, 소음저감비용으로 구분하여 적용하였다. 이용자 비용과 마찬가지로 공사 이후 유지관리 중에 저감되는 사회적 비용이 있을 경우 이를 추가 적용할 수 있다.

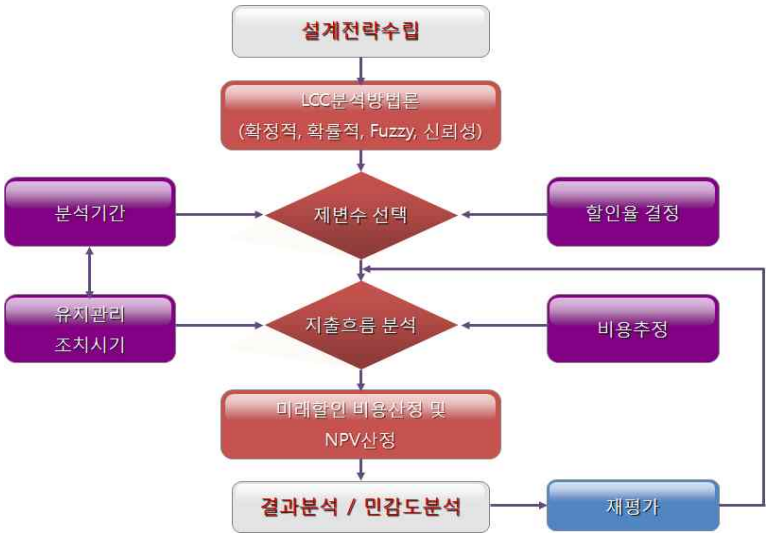


<그림 2-124> 녹색도로기술 도로사업 적용 유지관리 단계 반영 개념

■ 분석 절차 및 내용 설계

◎ LCC분석 절차

○ 우리나라에서 일반적으로 도로 사업 중 LCC분석을 수행해왔던 교량이나 포장분야의 일반적인 LCC분석 절차는 다음 그림과 같다.



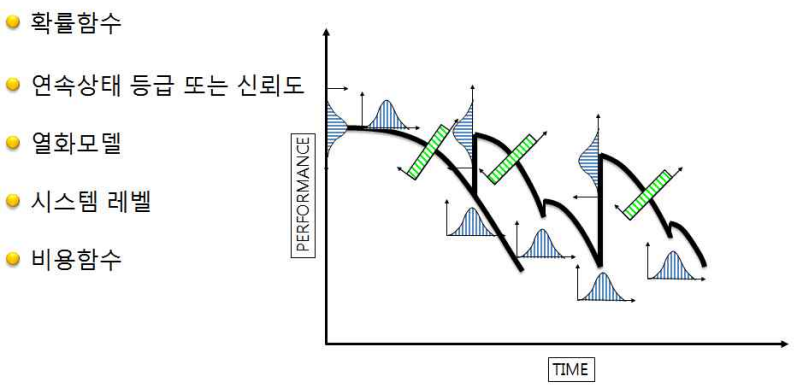
자료: 조효남 외, 기반시설물의 생애주기분석, 구미서관, 2008

<그림 2-125> LCC분석 절차

○ LCC분석에서 중요한 요소는 분석을 위한 대상(scope)과 적절한 분석기간 결정, 그리고 신뢰성 및 위험성을 반영하는 비용추정기법의 선택 등이 있다.

○ 일반적 도로 사업에서 LCC분석을 위한 비용요소를 살펴보면, 초기투자비용, 유지관리비용, 해체폐기비용으로 구분할 수 있는데, 일반도로기술 대비 녹색도로기술을 적용하는 경우의 LCC분석의 경우 다른 제 비용은 유사하되 “신기술 도입비용” 부분이 녹색도로기술 도입 비용으로 대체된다.

○ 유지관리비용의 경우 비용추정의 방법은 크게 확정적(deterministic)과 확률적(probabilistic)으로 나뉘는데, 녹색도로기술 개발의 경우는 확률적 방법을 사용하기에는 기술별 관련 요인에 관한 선행연구가 필요하므로 본 연구에서는 확정적 방법으로 연구자의 주관에 맡겨 선택하도록 하였다.



자료: 조효남 외, 기반시설물의 생애주기분석, 구미서관, 2008

<그림 2-126> 유지관리 비용 확률적 LCC분석

◎ LCC분석 방법론 검토

○ LCC 기반 비용추정(Cost estimating)방법에는 다양한 방법이 활용되고 있는데, U.S. GAO(미국 정부책임처)에서 발간한 「Cost Estimating and Assessment Guide」에 따르면 유추법(Analogy: 유사한 상품과 비교하여 비용을 추정), 모수법(Parametric analysis: 선행 자료의 수학적 관계를 이용하여 비용 추정), 공학적 축적법(Build-up: 최저 수준(level)으로부터 상위단계로 비용을 추정), 기타방법(Extrapolation from actuals: 실제 비용으로 추정) 등의 방법을 소개하고 비용을 추정하려고 하는 대상과 기술 개발의 단계에 따라 필요한 방법이 상이하다고 설명하고 있다.

○ 기술 개발 단계에 맞춰 활용하기 적절한 비용 추정방법을 정리해보면 아래 표와 같다. 유추법과 모수법은 기술 개발 사전단계 및 초기에는 매우 적절하나, 최종적으로 위험평가를 고려하는 분석 및 업데이트에는 부적절한 것으로 나타났다. 공학적 축적법은 기술 개발 수행 전 단계인 사전단계와 타당성 조사 단계보다는 수행 초기부터 마무리 단계까지 실질적인 누적 자료를 사용하여 정확성을 높일 수 있기 때문에 매우 적절한 것으로 나타났다.

<표 2-104> 기술 개발 단계별 비용 추정기법 적용 가능성

구분	기술 개발 사전 단계	기술 개발 타당성 조사 단계	기술 개발 프로젝트 수행 초기 단계	기술 개발 프로젝트 수행 중간 단계	기술 개발 프로젝트 수행 마무리 단계
	· 초기비용 및 성능 분석 · WBS 및 기술 요약 작성	· 프로젝트 타당성 검토 ·Cost driver 식별	·요구사항 충족을 위한 프로젝트 세부 정의	· 일정, 예산 추적 조사 · 설계된 시스템 확인 및 운영준비	· 최종 엔지니어링 의사결정을 위한 기술 업데이트 · 점추정, 위험평가, 비용-위험 영향 업데이트
유추법	매우 적절	적절	적절	적절	부적절
모수법	매우 적절	매우 적절	적절	적절	부적절
공학적 축적법	적절	적절	매우 적절	매우 적절	매우 적절

○ 미국 주요 DOT는 개별적으로 비용 추정을 위한 매뉴얼을 보유하고 있어서 도로 사업의 비용 추정을 수행 관련 공무원과 전문가들에게 도움이 되도록 하고 있다.

◎ 분석기간과 할인율

○ 분석기간을 녹색도로기술별로 수명이 다양하기 때문에 일정하게 적용할 수 없다는 어려움이 있다. 포장 기술의 경우에는 주로 20년~40년(미국), 교량 기술의 경우는 최저 75년(미국) 가정하였을 때 분석기간이 일반 산업기술보다는 상대적으로 길다. 반면 우리나라는 아직 미국의 기술수준에 미치지 못하고, 고속도로의 경우에도 최장 30년 정도의 수준밖에 수명이 파악되지 않았기 때문에, 녹색도로기술은 기술의 특성에 따라 최장 30년으로, 최하 20년을 적용하는 것으로 한다.

○ 할인율은 미래 비용의 가치를 현가(present value)로 환산하는데 사용되는 비율 값으로써 분석기간 동안 자금의 흐름표에 적용한다. 선진국의 경우는 2~6%, 개발도상국의 경우는 5~15%를 적용하는데, 이는 물가상승률과 이자율 등을 고려하여 정해진 값이다. 우리나라는 기재부 산하 한국개발연구원(KDI)에서 발간하는 도로, 철도 사업 예타지침(제5판)에 따르면 5.5%를 사용하고 있으므로, 본 연구에서도 이에 따라 5.5%를 적용하기로 한다. 기술 적용의 불확실성을 참고하기 위해서 할인율 변동에 따른 민감도 분석을 수행하여 비용의 변화 범위를 예측하는 방법도 LCC 분석에서 수행할 수 있다. 향후 예타 지침의 개정본에 따라 할인율은 변경할 수 있다.

◎ 녹색도로기술 LCC분석 방법론

○ 본 연구에서는 녹색도로기술 적용에 따른 사업주기를 기본적으로 30년으로 설정하고, 할인율은 5.5%를 적용한다. 비용추정법은 Historical bid-based method를 기준으로(기존 실시설계내역서 자료 활용)하되 Bottom-up 방식으로 비용을 추정할 수 있는 방법으로 설계하였다.

■ 시스템 기능 설계도 초안 작성

○ 2차년도에 설계한 LCC 분석시스템 초기 기능 설계도는 다음 표와 같다. 표에서 제시하는 기능 중 일부는 G-TIES 내 타 시스템과 공동으로 활용되도록 정리되었으며, 사업평가 단계 외에 최종적으로는 도로망평가 단계로 포함되어 설계되었다.

<표 2-105> LCC분석 시스템 기능 설계도

주메뉴	서브메뉴	세부메뉴	세세부메뉴	설명
LCC 분석 시스템	LCC 분석시스템 사용 가이드	기술 LCC분석 사례 검색	지역구분	
			교통특성구분	
	일반도로 LCC분석	공사정보관리(탄소관리시스템과 공유)	공사정보	
			공구정보	
			공종정보	
		도로LCC분석시나리오정보입력	분석기간 선정	
			분석적 특성 선정	지역위치
				도로특성
				교통특성
		도로 LCC분석 항목 선택	건설 생애주기 비용	도로 건설비용
				도로유지관리비용
			통행시간지체절감. /유류비절감	통행시간절감비용
				유류비 절감비용
			온실가스저감/ 환경저감비용	운실가스 저감비용
				환경오엄 저감비용
				소음 저감비용
	녹색도로기술 LCC분석 기술평가	연구 조직 및 구성	연구기간	연구기간
			인력	책임급
				전임급
				보조원급
				객원 및 조사원
		연구실험 및 시작품 제작	실험	실험실공간
				실험실운영
				실험종류, 조건, 재료
				실험장비 및 기구
			시작품제작	시작품 종류, 조건, 재료
				시작품 장비 및 기구
		연구 Test-bed 및 홍보	현장시험시공 및 설치	현장시험시공 종류, 조건, 재료
				현장시험시공 장비 및 기구
			홍보 및 평가	홍보 및 교육
				가치평가 및 경제성평가
		기타	잡비와 간접비	인쇄
				연구수당 등 기타비용
				간접비
	녹색도로기술 LCC분석 사업평가	도로 관리자	건설 생애주기 비용	도로 건설비용
				도로 유지관리비용
		도로 이용자	통행시간지체절감. /유류비절감	통행시간절감비용
				유류비 절감비용
		사회	온실가스저감/ 환경저감비용	운실가스 저감비용
				환경오엄 저감비용
				소음 저감비용

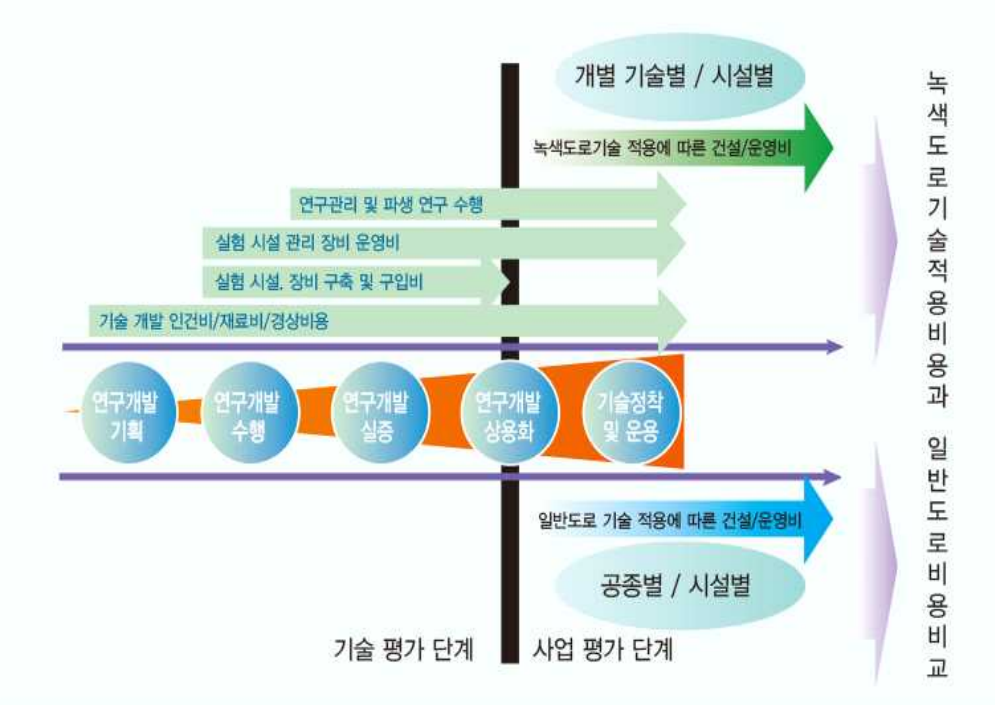
㉮ LCC 분석시스템 플랫폼 개발

■ LCC 분석 시스템 구성

○ LCC 분석시스템은 녹색도로기술 개발 및 사업화를 촉진하기 위하여 도로 생애주기 단계별 발생하는 총 비용을 산출하고, 녹색도로기술 적용에 따른 비용변화를 산정·분석하는 시스템이다.

○ 시스템은 (1)녹색도로기술의 연구개발 계획, 평가, 사업화 단계에 요구되는 비용을 산출하고 효과를 분석하며, (2)녹색도로기술 사업화 단계에 발생하는 도로 생애주기 단계별 비용변화를 산출하고, (3)도로 기본 사업 적용 시 타 기술과 녹색도로기술 간의 대안 비교분석을 수행하는 것을 주요 기능으로 꼽을 수 있다.

○ 따라서 본 시스템은 R&D 기술 개발 제안단계, 선정평가단계, 성과점검단계 뿐만 아니라 기술 사업화 단계에 녹색도로기술 개발 및 적용의 적절성과 효율성을 판정할 수 있는 기초자료로써 생애주기 단계별 비용을 산출할 수 있도록 설계되었으며, 이후 결과를 평가자가 입력 및 분석 결과를 상세히 검토할 수 있도록 최종 설계되었다.



<그림 2-127> LCC 분석시스템 개요

○ LCC 분석시스템에서 Input과 Output 모듈은 G-TIES 내 화면의 통일성을 제공하기 위하여 타 시스템과 통일화면에서 수행하도록 설계되었으며, LCC 분석시스템 만의 단독 화면의 경우는 별도로 설계하고 개발하였다.

<표 2-106> LCC 분석 시스템의 구성

시스템 항목	활용	세부 내용
LCC분석 시스템 개요	생애주기 비용 산정방법	- LCC 분석시스템 정의 및 개요 - LCC 산정 방법 및 절차 소개
기술평가	녹색도로기술 개발단계 분석	- 기술개발 효과평가: 기술개발 연구비 산정, 기술 개발 비용 산정 및 기술 간 비교 분석 - 기술적용 효과평가: 기술개발 후 적용 단계 비용 산정,기술간 비용변화 비교 분석(저감효과 대안분석)
사업평가 도로망평가	녹색도로기술 사업화단계 분석	- 사업평가>기본분석: 도로 유형별, 연장거리 기반 시공,유지관리 비용 개략 산정 - 사업평가>상세분석: 도로사업 표준공종체계(4등급) 기반시공, 유지관리 비용 상세 산정을 통한 대안 평가분석 - 도로망평가: GIS기반 전국 도로현황 자료 활용 녹색도로기술 적용 도로사업 비용 총량 표출 등
기준정보 (원단위로 반영)	생애주기 단계 기본분석, 상세분석	- 도로 유형별 시공, 유지관리 기본분석 자료 - 도로 유형별 시공 상세분석 자료(Unit: 평균 단가) - 도로 유형별 유지관리 상세분석 자료(Unit: 평균 단가)

■ 시스템 화면설계 관련 전문가 의견 반영

○ 2차년도에 수행한 LCC 분석시스템 기능 및 모듈설계(기술평가: Part 1. 기술개발단계, 사업평가: Part 2. 사업화단계로 구분)에 이어 3차년도에는 시스템 Input/Output에 구체적이고 상세한 화면설계를 실시하였다.

○ 최종적으로 화면설계를 완성하기 이전에 3차년도 화면설계 내용 중 기술평가 부문에서 주요 내용을 차지하고 있는 기술개발비용 산정내용 및 방법에 대해서 전문가 의견을 수렴하기 위하여 자문회의를 수행하였다. 기술평가단계는 화면설계안을 5명의 전문가를 통해 의견을 수렴하였으며, 각 내용에 대해서는 시스템 적용에 대한 적절성을 판단하여 가능한 반영하였다.

<표 2-107> LCC 분석시스템 기술평가 화면 자문의견 및 반영 여부 정리

구분	주요 의견	반영 여부
A 전문가	- 상용화 단계 전후로 Part 1, Part 2로 구분한 것은 적절한 것으로 판단됨 - 전반적으로 연구현장의 목소리를 많이 반영한 것으로 판단됨 - 일반적인 R&D비용 중 '전문가 활용비(자문비)', '국내외 여비', '회의비(회의장 임대료)' 등의 비용은 다른 계정에서 공동으로 사용하는지 의문임	-전문가 활용비는 참여 인력 인건비 산정 부문에 객원연구원, 조사원 등으로 포함되며, 국내외 여비, 회의비 등은 기술개발비용>경제성 평가 비용 등에서 기타비용에 추가 가능하도록 설계하였음
B 전문가	- 전반적인 연구체계 및 범위는 적절하게 제시되어 있으나, 구체적인 연구대상 및 내용 등에 대한 정의가 수립되어 있지 않음 - 교통시설투자평가지침(제5판)에서 비용분류체계를 전면적으로 개정함에 따라 본 연구 수행시 사전 참조가 필요할 것으로 사료됨	-구체적인 대상 및 내용에 대하여 정립하였음 -교통시설투자평가지침 개정부문을 반영하였음
C 전문가	-각 항목별 누락항목은 없는지 전체적으로 리뷰필요 -항목별 용어 및 단위에 대한 오류검증 및 일치성 검토필요 -각 항목별 상세설명에 대한 별도의 표시를 통해 시스템 이용자들의 이해도 제고 및 입력오류 최소화 필요 등	-이용자 오류를 최소화할 수 있도록 설계하였음 -기존평가자료 조회를 통해서 한번 입력한 자료도 계속 리뷰 및 수정을 통해 반복적으로 작업할 수 있도록 설계하였음
D전문가	-기술개발단계에서 고려해야 할 비용은 있으나, LCC 분석에서 중요한 유지관리부문에 소요될 비용 항목은 없음. 분석기간, 이자율, 유지보수 단가, 공용성 관련 항목 등 LCC 분석에 필요한 비용 항목 포함 요망	-시스템에서 평가를 기술평가, 사업평가로 구분하여 언급한 사항에 대한 사항을 포함하여 설계하였음
E전문가	-설계 내용은 잘 계획되어 있으나 시인성을 좀더 고려할 필요가 있음	-시인성을 높이기 위해 수정하여 설계에 반영하였음

■ 시스템 로직 구상 및 적용

◎ 고속국도/일반국도 시공/유지관리 부문 공종체계 수정 및 반영

○ 3차년도 초기에 연구단 차원에서 도로 설계 및 시공 공종 항목 분류 기준에 대한 변경안을 신규 제시함으로써 이를 반영한 공종 항목 비용항목 체계를 수정하고 이를 완성한 결과를 탄소관리시스템, 에너지자원 분석시스템과 동일하게 반영하였다.

○ 1단계 완성한 공종체계는 실제 설계내역서 시공 단가자료를 입력하면서 기존 공종에 넣을 수 없는 경우 신규항목으로 추가하였다.

공종 항목 분류 기준(안)

내역번호	수량산출기준자침서 (건교부, 2007)	도로공사 표준시방서 (국토부 2004)	고속도로공사 전문시방서 (한국도로공사 2008)	공종 항목 분류 기준(안)
I	토공	1. 토공사	3. 토공사	1. 토공
1.01	기존 구조물 깨기	1.1 준비공	3.1 준비공	1.1 기존 구조물 깨기
a	무근 콘크리트 깨기		3.3 구조물 및 지장물 깨기	
b	철근 콘크리트 깨기	1.3 구조물 및 지장물 깨거		
c	석축철기			
d	기존포장 깨기			
e	포장절단			
f	강교철거			
g	P.S.C BEAM 철거			
h	건설폐기물 파쇄			
1.02	속구 뚝쌓기			1.2 속구 뚝쌓기
1.03	표토제거	1.2 벌개제근 및 표토제거	3.2 벌개제근 및 표토제거	1.3 표토제거
a	담구간			
b	담외구간			
1.04	벌개제근 및 가로수제거			1.4 벌개제근 및 가로수제거
a	벌개제근			
b	가로수제거			
1.05	흙깍기	1.4 발파기	3.4 발파기	1.5 흙깍기
a	토사깍기			a. 토사깍기

탄소중립형 도로 적용 공종 항목 분류 기준

내역번호	공종 항목 분류 기준
I	토공
1.01	기존 구조물 깨기
a	무근 콘크리트 깨기
b	철근 콘크리트 깨기
c	석축철기
d	기존포장 깨기
e	포장절단
f	강교철거
g	P.S.C BEAM 철거
h	건설폐기물 파쇄
1.02	속구 뚝쌓기
1.03	표토제거
a	담구간
b	담외구간
1.04	벌개제근 및 가로수제거
a	벌개제근
b	가로수제거
1.05	흙깍기
a	토사깍기
b	리핑암깍기
c	발파암깍기
d	암파쇄굴착공법
e	절토진동제어발파
f	진동제어발파
g	일반발파
h	대규모발파
i	발파암 조합
j	시험 발파비
1.06	유용토 운반
a	투대운반
b	도개운반
c	덤프운반
1.07	순환기 운반
a	토사
b	리핑암

<그림 2-128> 도로사업 설계 및 시공 공종 항목 분류 기준 사례

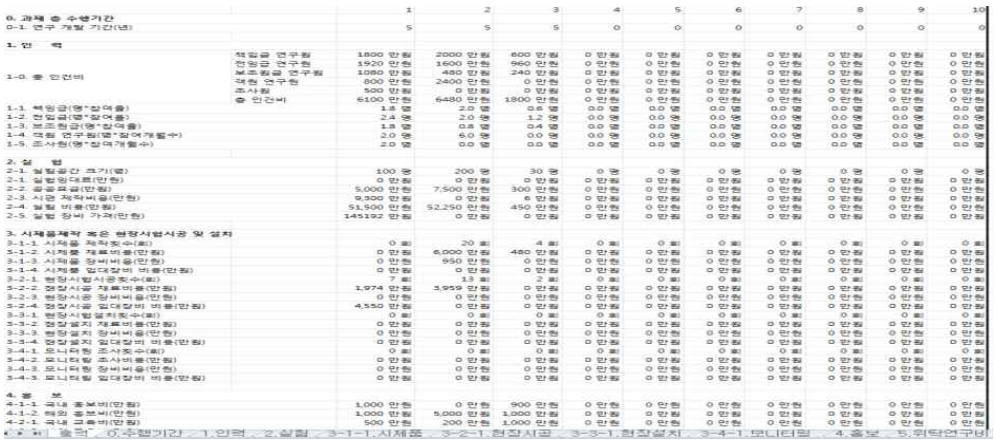
◎ 기술평가/사업평가 개발비용 로직 구상 및 적용

○ 기술평가와 사업평가 메뉴에서 산정되는 다양한 비용산정 로직은 다음 그림과 같이 적용하였다.

○ 기술평가에서는 기술개발 효과평가단계의 기술개발비용 산출 로직과 사업평가에서는 시공/유지관리 공종별 비용 산출 로직을 개별적으로 구축하였다.

○ 시공/유지관리 단계 비용 산출 로직은 매우 간단한데, 시공단계는 평균단가와 작업량(수량)의 곱으로 산출되고, 유지관리단계는 평균단가, 작업량(수량)과 유지관리 횟수의 곱으로 산출된다.

공종별 작업량(수량) (단위, 사용자 입력)	X	평균단가 (원/단위)	=	공종별 수량에 따른 시공비용 (원)
공종별 작업량(수량) (단위, 사용자 입력)	X	평균단가 (원/단위)	=	공종별 수량에 따른 유지관리비용 (원)
도로 생애주기 (기본 30년 지정, 건설기간 제외)	÷	공종별 평균 주기 (년, 사용자입력)	=	유지보수 횟수 (회)



<그림 2-129> 기술평가 상세분석 산출 로직 예시화면

○ 유지관리 단계 공종 내역을 Top-down 방식으로 되어 있는 세부공종을 Bottom-up 방식으로 재구성하여 시공단계에서 사용하는 공종구분에 맞추어 유지관리 비용 산출기준으로 활용하였다.



<그림 2-130> 기술평가 상세분석 유지관리 공종별 비용 산출을 위한 logic 예시화면

◎ 이용자 비용 산출 로직 구상 및 적용

□ 개요

○ LCC 분석시스템에서 이용자 비용은 기존 기술 대비 녹색도로기술을 도로에 적용하고 이후 유지관리단계에서 저감되는 공사시간의 감소량을 비용(불편익)으로 산정하고 이를 총비용에 반영하기 위하여 산출하였다.

○ 이용자 비용 관련 국내 문헌 중에는 국토교통부의 “교통시설 투자평가지침 제5차 개정”과 한국개발연구원의 “도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(5판)”에서 제공하는 편익산정방법을 통하여 산출할 수 있다.

○ 따라서 본 시스템에서는 도로사업 단계별(예비타당성평가, 기본설계, 상세설계) 시스템 사용자(User)가 특성에 따라 사용할 수 있도록 두 방법을 모두 산정기준을 통해 선택 가능하도록 설계하였다.

□ 교통시설 투자평가 지침 기준

○ 교통시설 투자평가 지침에서의 각 항목별 원단위는 2011년을 기준으로 작성된 자료로 이를 소비자 물가지수를 이용하여 2013년 자료로 보정하여 산정하였으며, 원단위 산정을 위한 3차 회귀식은 지침의 원단위 항목을 기준으로 하였다.

① 통행시간 절감 편익

- 통행시간 감소편익은 신기술 개발에 의한 공사시간 감소에 따른 통행시간의 편익을 계량화하며 여기에서, 지역권은 “전국권” 원단위를 적용
- 통행시간비용은 통행량, 통행시간, 통행시간가치의 곱으로 산정

$$VOTS = VOT_{\text{수정 공사시간}} - VOT_{\text{기존 공사시간}}$$

여기서, $VOT = \left\{ \sum_{l} \sum_{k=1}^{3} (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times 365$

T_{kl} = 링크l의 차종별 통행시간

P_k = 차종별 시간가치

Q_{kl} = 링크l의 차종별 통행량

k = 차종(1 : 승용차, 2 : 버스, 3 : 화물차)

<표 2-108> 차량 1대당 평균 통행시간 가치

구분	승용차		버스			화물차
	업무	비업무	운전자	업무	비업무	운전자
재차인원(인)	0.34	1.22	1.00	0.74	9.85	1.00
시간가치(원/인·시)	20,718	6,746	15,076	20,718	2,880	15,636
목적별 차량당 시간가치(원/대·시)	7,110	8,208	15,076	15,331	28,366	15,636
2013년 기준 차량당 시간가치(원/대·시)	15,859		60,848			16,188

주 : 소비자물가지수를 이용하여 2013년 자료로 보정

자료: 국토교통부(2013), '제5차 개정 교통시설 투자평가지침'

② 차량운행비용 절감편익

- 차량운행비용은 유류비, 엔진오일비, 타이어마모비, 차량유지관리비, 감가상각비로 구분되며, 통행속도의 함수로 산출
- 구간의 통행속도와 차종별·속도별 차량운행비용 원단위를 적용하여 분석 대상사업으로 인한 차량운행비용 절감편익을 산정

$$VOCS = VOC_{\text{수정 공사시간}} - VOC_{\text{기존 공사시간}}$$

여기서, $VOC = \sum_{l} \sum_{k=1}^{3} (D_{kl} \times VT_k \times 365)$

Dkl = 링크 l의 차종별 대·km

VTk = 해당속도에 따른 차종별 차량운행비용

k = 차종(1: 승용차,2:버스, 3:화물차)

- 비용추정의 편의를 위해 차종별-속도별 차종운행비용 함수를 도출하여 비용예측에 활용하도록 하며, 예측식은 국토교통부 지침에 따라 3차 회귀식으로 구성

  - 승용차 $VT_c = -0.000406\,V^3 + 0.1233\,V^2 - 12.31\,V + 616.0$
  - 소형버스 $VT_{sb} = -0.000643\,V^3 + 0.1909\,V^2 - 18.55\,V + 849.2$
  - 대형버스 $VT_{lb} = -0.000997\,V^3 + 0.2872\,V^2 - 26.05\,V + 1173.0$
  - 소형트럭 $VT_{st} = -0.000508\,V^3 + 0.1428\,V^2 - 12.58\,V + 572.9$
  - 중형트럭 $VT_{mt} = -0.000804\,V^3 + 0.2441\,V^2 - 21.29\,V + 928.4$
  - 대형트럭 $VT_{lt} = 0.00127\,V^3 + 0.3516\,V^2 - 30.12\,V + 1367.0$

③ 환경오염 비용 및 온실가스비용 절감편익

- 대기오염원은 차량배기가스에 포함되어 1)일산화탄소(CO), 2)탄화수소(HC), 3)질소산화물(NO_X), 4)미세먼지(PM), 5)이산화탄소(CO_2)로 한정함. 이중 이산화탄소는 온실가스로 구분하여 사회비용을 별도로 산출
- 환경오염비용의 원단위는 국토교통부 지침서에서 제시하고 있는 배출계수에서 예측함수식을 3차식의 형태로 도출하여 분석에 활용
- 환경오염 비용은 도심부와 비도심부에서의 원단위가 다르며 이를 구분하여 비용을 산정
- 도심부에서의 환경오염 비용 원단위 산정식은 다음과 같다.

  - 승용차 $VT_c = -0.0002\,V^3 + 0.0420\,V^2 - 2.86\,V + 96.78$
  - 소형버스 $VT_{sb} = -0.0004\,V^3 + 0.0836\,V^2 - 6.212\,V + 229.7$
  - 중형버스 $VT_{mb} = -0.0003\,V^3 + 0.0684\,V^2 - 5.902\,V + 276.5$
  - 대형버스 $VT_{lb} = -0.0009\,V^3 + 0.2058\,V^2 - 15.72\,V + 630.30$
  - 소형트럭 $VT_{st} = -0.000391\,V^3 + 0.0851\,V^2 - 6.224\,V + 209.6$
  - 중형트럭 $VT_{mt} = -0.0014\,V^3 + 0.3116\,V^2 - 23.01\,V + 808.0$
  - 대형트럭 $VT_{lt} = -0.0022\,V^3 + 0.4699\,V^2 - 35.39\,V + 1386.0$

- 비도심부에서의 환경오염 비용 원단위 산정식은 다음과 같다.

  - 승용차 $VT_c = -0.000163\,V^3 + 0.0339\,V^2 - 2.2710\,V + 71.58$
  - 소형버스 $VT_{sb} = -0.000119\,V^3 + 0.0268\,V^2 - 1.974\,V + 66.54$
  - 중형버스 $VT_{mb} = -0.0001\,V^3 + 0.0337\,V^2 - 3.193\,V + 132.2$
  - 대형버스 $VT_{lb} = -0.000549\,V^3 + 0.12\,V^2 - 9.197\,V + 355.6$
  - 소형트럭 $VT_{st} = -0.000117\,V^3 + 0.0261\,V^2 - 1.89\,V + 59.71$
  - 중형트럭 $VT_{mt} = 0.000615\,V^3 + 0.1318\,V^2 - 9.576\,V + 310.8$
  - 대형트럭 $VT_{lt} = -0.00084\,V^3 + 0.1872\,V^2 - 13.77\,V + 548.1$

- 온실가스비용에 대한 회귀식은 다음과 같다.

  - 승용차 $VT_c = -0.000128\,V^3 + 0.0308\,V^2 - 2.357\,V + 78.87$
  - 소형버스 $VT_{sb} = -0.000198\,V^3 + 0.0479^2 - 3.658\,V + 120.60$
  - 중형버스 $VT_{mb} = -0.000367\,V^3 + 0.0912\,V^2 - 6.928\,V + 247.6$
  - 대형버스 $VT_{lb} = -0.000665\,V^3 + 0.1536\,V^2 - 11.79\,V + 444.8$
  - 소형트럭 $VT_{st} = -0.000062\,V^{3+}0.0255\,V^2 - 2.386\,V + 106.1$
  - 중형트럭 $VT_{mt} = -0.000288\,V^3 + 0.0858\,V^2 - 6.874\,V + 243.3$
  - 대형트럭 $VT_{lt} = -0.000513\,V^3 + 0.131\,V^2 - 10.33\,V + 422.7$

- 대기오염절감 및 온실가스저감으로 인한 대안별 편익은 다음과 같이 산정

$$VOPCS = VOPC_{\text{수정 공사시간}} - VOPC_{\text{기존 공사시간}}$$

여기서, $VOPC = \sum_{l}\sum_{k=1}^{3}(D_{kl} \times VT_k \times 365)$

Dlk = 링크별(l), 차종별(k)대 · km

VTk = 차종별(k) 해당 링크 주행속도의 km당

대기오염 및 온실가스 비용

k = 차종(1: 승용차,2:버스, 3:화물차)

④ 소음비용

- 소음가치의 산정을 위해서는 사업시행으로 발생하는 소음변화량과 단위 소음 당 원단위에 대한 정보가 필수적임
- 따라서 소음도 차이를 구한 후, 유지비용법을 적용하여 단위소음량(1dB) 저감을 위해 필요한 유지관리비용(방음벽 설치 비용) 원단위를 곱해 사업시행으로 인한 소음영향을 화폐가치화
- 일반국도의 경우 국립환경연구원에서 제공하는 소음도 예측식을, 고속국도의 경우 한국도로공사에서 권장하는 소음도 예측식을 적용하며 아래 표와 같음

<표 2-109> 일반도로 소음도 예측식 이격거리 관련 계수 (단위: m)

변 수	설명 및 계산	적용 수치		비 고
		도시부	지방부	
평균 이격거리	음원~수음점간 거리	27.9	59.0	
도로폭	가상주행중심선 ~도로단간 거리	6.1	5.3	도로폭(차로)과 도로특성에 따라 별도 수치 적용가능
기준거리		10	10	
l	도로폭+ 기준거리	16.1	15.3	
r_a	(평균 이격거리 - 도로폭) / 기준거리	2.2	5.4	

자료: 국토교통부(2013), '제5차 개정 교통시설 투자평가지침'

<표 2-110> 도로별 소음도 예측식

고속도로	일반도로
$L_{eq} = PWL + 10\log\left(\frac{1}{4\times d\times s}\right) + \Delta L_i + a_i + ad$	$L_{eq} = 1.1\times[20 + 10\log\left(\frac{Q\cdot V}{l}\right) - 9\log_{\gamma a} + C]$
L_{eq} : 등가소음도(dB) PWL=73.4+ [20 logV+ 10 log(a1+ 3.8a2)] a1 = 소형차혼입율(승용차 통행 비율), a2 = 대형차혼입율(버스 및 트럭 통행 비율) $\Delta L_i, a_i, ad$: 도로교통 소음도의 보정치로 '0'으로 처리 평균이격거리(d) : 수음점까지의 거리(m) - 도시부 27.9, 지방부 59.0 적용 s : 평균차두간격= 1,000×V/Q, V : 차량주행속도(㎞/hr), Q : 평균교통량(대/hr)	L_{eq} : 등가소음도(dB) Q : 1시간당 등가교통량(대/hr) = 소형차+대형차(버스 및 트럭)×10 V : 평균차속(㎞/hr) l : 가상주행 중심선에서 도로단까지의 거리 + 기준거리 r_a : 기준거리에 대한 도로단에서 예측지점까지의 거리비 C : 상수 C는 Q를 교통량(대/hr)이라 정의할 때, 15,000< Q 이면 C = -5.5 10,000< Q≤15,000이면 C = -4 5,000< Q≤10,000이면 C = -2.5 2,000< Q≤5,000이면 C = -1 Q≤2,000이면 C = 0

자료: 국토교통부(2013), '제5차 개정 교통시설 투자평가지침'

<표 2-111> 소음가치의 평균원단위(2013년 기준) (단위: 원/dB·년·m)

구 분	도 시 부	지 방 부	평 균
소음가치의 평균원단위	4,460	1,925	2,270

주 : 소비자물가지수를 이용하여 2013년 자료로 보정
자료: 국토교통부(2013), '제5차 개정 교통시설 투자평가지침'

- 사업으로 인한 소음비용(편익)을 추정하기 위한 식은 다음과 같음

$$EVNS = EVN_{\text{수정 공사시간}} - EVN_{\text{기존 공사시간}}$$

$$EVN = \sum_i \sum_j (P \times l_{ij} \times L_{ij})$$

여기서, $EVNS$ = 소음비용(편익)
P = 소음가치의 원단위
l_{ij} = 대상 노선의 연장길이
L_{ij} = 예측소음도
i = 도로구분(일반도로, 고속도로등)
j = 영향권 내 개별링크

□ 예비타당성 조사지침 기준

○ 예비타당성 조사 지침에서의 각 항목별 원단위는 2007년을 기준으로 작성된 자료로 이를 소비자 물가지수를 이용하여 2013년 자료로 보정하여 산정하였다.

교통시설투자평가지침과 비용 및 편익 산정 방식은 동일하므로 원단위의 차이에 관해 서술하였다.

① 통행시간 절감 편익

- 예비타당성 조사지침에서의 통행시간 비용 원단위는 다음과 같다.

<표 2-112> 차량 1대당 평균 통행시간 가치

구분	승용차		버스(대당)		트럭
	업무	비업무	업무	비업무	
재차인원(인)	0.226	1.104	1.509	12.711	1.000
시간가치(원)	18,626	6,091	10,228 (1인), 18,626 (0.466인)	3,036	1,657
시간가치(원/대・시)	4,213	6,726	19,709	38,591	16,571
2013년기준 평균시간 가치(원/대)	17,869		69,809		19,749

주 : 소비자물가지수를 이용하여 2013년 자료로 보정
자료 : 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(5판)

② 차량운행비용 절감편익

- 예비타당성 조사지침에서의 차량운행 비용 원단위 회귀식은 다음과 같음

  - 승용차 $VT_c = -0.0003\,V^3 + 0.079\,V^2 - 7.511\,V + 395.28$
  - 소형버스 $VT_{sb} = -0.0006\,V^3 + 0.1659\,V^2 - 16.409\,V + 807.97$
  - 대형버스 $VT_{lb} = -0.0008\,V^3 + 0.2174\,V^2 - 18.775\,V + 722.18$
  - 소형트럭 $VT_{st} = -0.0006\,V^3 + 0.1475\,V^2 - 11.145\,V + 459.41$
  - 중형트럭 $VT_{mt} = -0.0006\,V^3 + 0.1494\,V^2 - 11.903\,V + 590.42$
  - 대형트럭 $VT_{lt} = -0.0006\,V^3 + 0.2099\,V^2 - 18.652\,V + 834.52$

③ 환경오염 비용 및 온실가스비용 절감편익

- 예비타당성 조사지침의 경우 도시부와 비도시부의 비용 항목이 구분되어 있지 않으므로 이를 통합하여 원단위 회귀식을 개발

- 예비타당성 조사지침에서의 환경오염비용 원단위 회귀식은 다음과 같음

  - 승용차 $VT_c = -0.00024\,V^3 + 0.0484\,V^2 - 3.231\,V + 75.88$
  - 소형버스 $VT_{sb} = -0.0008\,V^3 + 0.0185\,V^2 - 1.342\,V + 44.56$
  - 중형버스 $VT_{mb} = -0.00029\,V^3 + 0.0683\,V^2 - 5.268\,V + 171.8$
  - 대형버스 $VT_{lb} = -0.00355\,V^3 + 0.4389\,V^2 - 19.8\,V + 511.7$
  - 소형트럭 $VT_{st} = -0.00009\,V^3 + 0.02093\,V^2 - 1.576\,V + 55.18$
  - 중형트럭 $VT_{mt} = -0.00049\,V^3 + 0.1094\,V^2 - 8.230\,V + 275.9$
  - 대형트럭 $VT_{lt} = -0.00092\,V^3 + 0.1997\,V^2 - 14.970\,V + 591.2$

- 예비타당성 조사지침에서의 온실가스비용 원단위 회귀식은 다음과 같음

  - 승용차 $VT_c = -0.00004\,V^3 + 0.0086\,V^2 - 0.631\,V + 21.16$
  - 소형버스 $VT_{sb} = -0.00003\,V^3 + 0.008\,V^2 - 0.620\,V + 21.77$
  - 중형버스 $VT_{mb} = 0.0000001\,V^3 + 0.005294\,V^2 - 0.652\,V + 27.39$
  - 대형버스 $VT_{lb} = -0.000359\,V^3 + 0.04475\,V^2 - 2.066\,V + 61.37$
  - 소형트럭 $VT_{st} = -0.000039\,V^3 + 0.009786\,V^2 - 0.726\,V + 24.14$
  - 중형트럭 $VT_{mt} = -0.0000002\,V^3 + 0.004393\,V^2 - 0.635\,V + 33.89$
  - 대형트럭 $VT_{lt} = -0.000231\,V^3 + 0.05041\,V^2 - 3.85\,V + 164.4$

④ 소음비용

- 예비타당성 조사지침에서의 소음비용 산정식은 국토교통부의 산정식과 동일

<표 2-113> 소음가치의 원단위(2013년 기준)

(단위 : 원/dB·년·m)

구 분	도시부	지방부	평 균
소음가치의 평균원단위	4,457	1,924	2,268

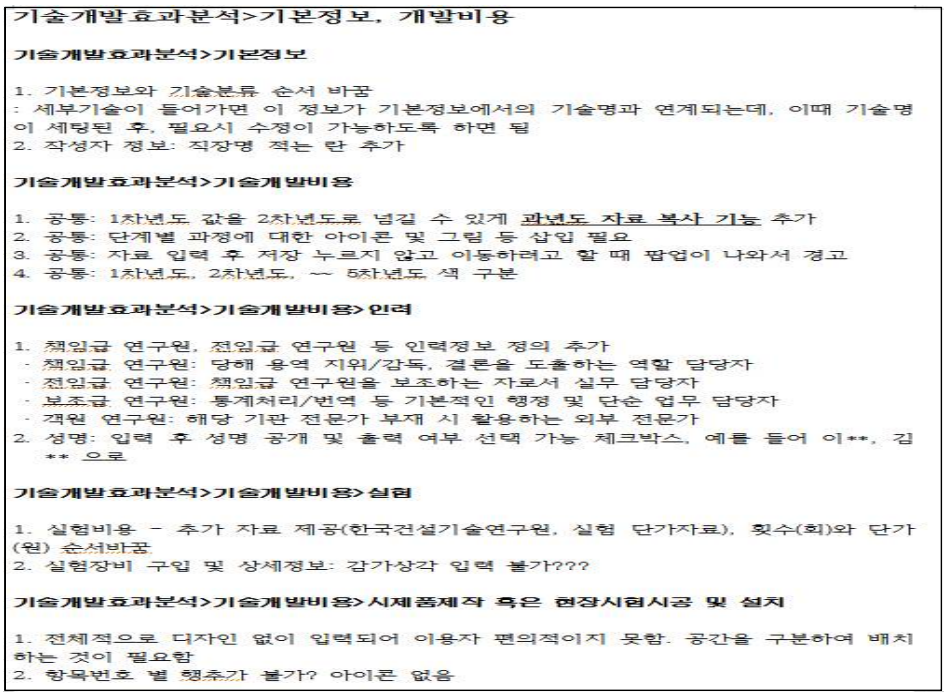
주 : 소비자물가지수를 이용하여 2013년 자료로 보정
자료 : 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(5판)

■ 시스템 테스트 및 검증

○ 시스템 1차 시범 오픈 후 LCC 분석시스템은 지속적으로 송부된 화면 설계 내용과 포털 구축된 화면을 비교하며 검토하였다.

○ 시스템 운영 성능을 확인하기 위하여 샘플로 시범기술을 입력 수순을 따라가면 다수 테스트를 수행하였으며, 그 결과를 공동연구기관인 개발업체에 송부하여 수정을 요청하였다.

○ LCC 분석시스템에서 기술개발단계에서 수행하는 기술평가 중 기술개발효과분석 컨텐츠에 대한 시범 테스트 결과 사례는 아래와 같다.



기술개발효과분석>기본정보, 개발비용

기술개발효과분석>기본정보

1. 기본정보와 기술분류 순서 바꿈
: 세부기술이 들어가면 이 정보가 기본정보에서의 기술명과 연계되는데, 이때 기술명이 세팅된 후, 필요시 수정이 가능하도록 하면 됨
2. 작성자 정보: 직장명 적는 란 추가

기술개발효과분석>기술개발비용

1. 공통: 1차년도 값을 2차년도로 넘길 수 있게 과년도 자료 복사 기능 추가
2. 공통: 단계별 과정에 대한 아이콘 및 그림 등 삽입 필요
3. 공통: 자료 입력 후 저장 누르지 않고 이동하려고 할 때 팝업이 나와서 경고
4. 공통: 1차년도, 2차년도, ~~ 5차년도 색 구분

기술개발효과분석>기술개발비용>인력

1. 책임급 연구원, 전임급 연구원 등 인력정보 정의 추가
 - 책임급 연구원: 당해 용역 지위/감독, 결론을 도출하는 역할 담당자
 - 전임급 연구원: 책임급 연구원을 보조하는 자로서 실무 담당자
 - 보조급 연구원: 통계처리/번역 등 기본적인 행정 및 단순 업무 담당자
 - 객원 연구원: 해당 기관 전문가 부재 시 활용하는 외부 전문가
2. 성명: 입력 후 성명 공개 및 출력 여부 선택 가능 체크박스, 예를 들어 이**, 김** 으로

기술개발효과분석>기술개발비용>실험

1. 실험비용 - 추가 자료 제공(한국건설기술연구원, 실험 단가자료), 횟수(회)와 단가(원) 순서바꿈
2. 실험장비 구입 및 상세정보: 감가상각 입력 불가???

기술개발효과분석>기술개발비용>시제품제작 혹은 현장시험시공 및 설치

1. 전체적으로 디자인 없이 입력되어 이용자 편의적이지 못함. 공간을 구분하여 배치하는 것이 필요함
2. 항목번호 별 행추가 불가? 아이콘 없음

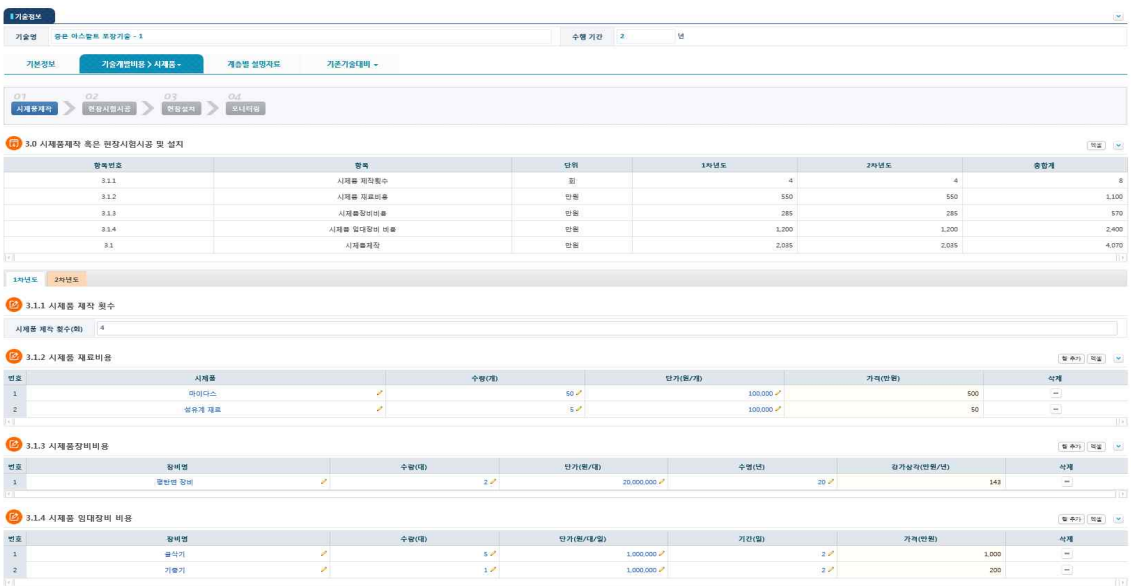
<그림 2-131> 시스템 테스트 검증 후 수정요청 사례(2차 검토 요청)

○ LCC 분석시스템에서는 산술적인 계산 로직이 많으므로, 비용 추정을 위한 계산 로직의 연속성과 정확성을 중심으로 검토하였으며, 또한 이용자의 편의성 확보를 위하여 다수에 걸쳐 테스트를 통해 수정하였다.

○ 시스템 기능적 오류를 최소화하기 테스트를 통해 다수 수정 검토를 요청하였으며, 그 반영여부를 최종적으로 확인한 결과 모두 반영된 것으로 확인되었다.

<표 2-114> LCC 분석시스템 활용 테스트 수정 요청 및 반영 내역

구분	수정 요청 및 반영 내역	송부 일자
1차 검토	· 기슬평가>기술개발비용 입력 오류 수정	2014. 10. 21
2차 검토	· 기슬평가>기본정보, 기술분류 순서 및 내용 · 기술평가>기술개발비용, 이용자 편의성 컨텐츠 추가 · 기술평가>기술개발비용, 인력 정보 입력 설명 추가 · 기술평가>기술개발비용, 실험 항목 입력 정보 추가 · 기술평가>기술개발비용, 시제품 제작 등 3단계 입력 공간 재배치	2015. 02. 02
3차 검토	· 기슬평가>기술개발효과평가>기술개발비용 대표명칭 재구성 · 기슬평가>기술개발효과평가>기술개발비용>간접비/일반관리비 로직 수정 · 기슬평가>기술개발효과평가>유지관리 시 이용자비용 로직 수정	2015. 02. 10
4차 검토	· 기슬평가>기술개발효과평가>비교기술분석 출력화면 오류 수정 · 사업평가>기본분석 단계별 비용 합계란 추가, 비용 단위, 분석결과 추가 등 · 사업평가>상세분석 평균단가 정보 표출 가능성 검토 · 용어 수정	2015. 03. 10
5차 검토	· 기술평가>대안분석 결과 출력화면 오류 수정 · 기술평가>기술개발효과평가>기존기술대비 입력화면 오류	2015. 03. 17



<그림 2-132> 시스템 테스트 검증 후 최종본 사례 - 기술개발비용 시제품 제작

■ 시스템 수요자 만족도 조사 수행

◎ 수요자 만족도 조사 수행 및 자문의견 정리

○ LCC 분석시스템 잠재적 수요자가 될 수 있는 전문가들에게 시스템 활용 만족도조사를 실시하였다.

○ 만족도 조사항목은 기능성(50점), 사용성(30점), 활용성(20점), 총 100점으로 구성되어 있으며, 각 항목에는 3~4개의 세부항목으로 구분하여 완전성, 정확성, 용의성, 활용성 등을 평가하였다.

○ 3인의 전문가로부터 받은 평균 점수는 87.1이며, 기준 점수인 80점보다 높게 나타났으며, 정성적 의견과 의견 반영여부는 아래 표와 같다.

<표 2-115> LCC 분석시스템 수요자 만족도 조사 주요 의견 및 반영 가능 여부

구분	주요 의견	반영 여부
A 전문가	비용 분석의 경우 폐기단계까지 포함한 분석 및 녹색도로 구현시 이용자 비용 또한 고려할 필요성 있음	기획당시 해체/폐기단계까지 포함한 분석을 계획하였으나 자료 취득의 한계로 인하여 해체/폐기단계는 제외되었음. 향후 후속연구로 연계하여 추진하는 것이 바람직함
B 전문가	5차년 과제가 조기 종료됨에 따라 시스템에 포함되어야 할 컨텐츠와 활용성이 다소 떨어지므로 향후 추가 연구의 필요성이 크다고 판단됨	가능한 컨텐츠를 보완하고 활용성을 높이기 위해 종료일까지 최선을 다할 예정임. 그러나 축소된 과제 기한으로 인해 추가적으로 반영하지 못하는 부분은 후속과제로 연계하여 진행하도록 추진해야 함
C 전문가	세부 비용항목이 너무 세분화되어 우려됨(현장 기술전문가가 익숙한 비용항목이라면 무관)	기술 개발자, 설계자, 시공자에게 익숙한 항목들로 구성되어 있기에 큰 무리가 없을 것이라고 판단됨

■ 시스템 매뉴얼 수요자 만족도 조사 수행

◎ 매뉴얼 만족도 조사 수행 및 자문의견 정리

○ LCC 분석시스템 잠재적 수요자가 될 수 있는 관련 전문가들에게 매뉴얼 만족도 조사를 실시하였다.

○ 만족도 조사항목은 5개로 나뉘는데, 기능 설명 완전성, 기능 설명 정확성, 자료 설명의 명확성, 용이성, 배포성이며, 매우 적절(5점)에서 매우 부적절(1점)까지 총 25점 만점으로 구성되어 있다.

○ 3인의 잠재적 수요자로부터 받은 정성적 의견과 의견 반영여부는 아래 표와 정리되었으며, 대부분 반영되었다고 판단된다.

<표 2-116> LCC 분석시스템 매뉴얼 수요자 만족도 조사 주요 의견 및 반영 여부

구분	주요 의견	반영 여부
A 전문가	전반적으로 시스템 상의 모든 기능에 대한 구현과 사용방법, 의미에 대해서 적절히 설명하고 있음, 가독성을 제고하기 위하여 매뉴얼 내 용어의 일관성이 필요함	매뉴얼 내 용어의 일관성을 유지하도록 수정하였음
B 전문가	매뉴얼은 각 기능 별로 구체적으로 설명되었고, 실제 화면들이 예시로 제시되어 적절하게 작성되었음. 단 초보자를 위한 FAQ가 있다면 좋을 듯함	매뉴얼 초반에 매뉴얼 개요 및 이해하기를 통해 시스템에 대하여 최대한 자세히 구술하였음. 초보자를 위한 FAQ는 불필요하리라고 판단됨
C 전문가	시스템의 기능, 분석과정, 결과물 해석 등 녹색도로기술 개발을 위한 평가를 위한 자료입력 및 선택, 사용 절차, 그리고 매뉴얼 다운로드에 대한 설명이 적절함. 전문가가 아닌 초보자를 위한 예제를 통한 학습 혹은 익히기 기능이 추가되면 이해의 용이성을 높일 수 있다고 판단됨	시스템은 제 3장인 LCC 분석시스템 사용하기에서 구체적으로 일련의 사례를 통해 초보자도 익힐 수 있도록 가능한 자세히 설명하였음

④ 의사결정 지원시스템

㉮ 평가대상 기술 검토

○ 정부는 2020년까지 배출전망치 기준 온실가스 30% 감축을 목표로 세웠으며 온실가스 감축 잠재력이 비교적 큰 수송부문이 주목받고 있다. 특히 수송부문에서도 도로교통부문은 국가 총 에너지의 수송분야 중 차지하는 비중이 약 80%에 이르러 그 효과는 더 클 것으로 예상된다.

○ 정부는 녹색도로 건설 및 운용을 위한 관련 법 개정과 더불어 온실가스 감축을 위한 녹색도로 기술 개발을 장려하고 있으나 녹색도로 기술에 대한 명확한 정의는 아직 이뤄지지 않은 상태이며, 지식경제부에서는 '녹색기술(Green Technology)[5]'대한 정의만 내린 상태이다. 「저탄소 녹색성장기본법」에 명시된 녹색기술은 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술(관련 융합기술 포함) 등 사회·경제 활동의 전 과정에 걸쳐 에너지와 자원을 효율적으로 사용하여 오염물질 배출을 최소화하는 기술로 정의하고 있다.

○ 본 연구의 녹색도로 기술은 지식경제부의 녹색기술보다 하위개념으로 저탄소 녹색성장에 부합하고, 탄소 흡수·전환·절감을 목표로 하는 녹색도로를 위한 기술로 정의할 수 있다. 이에 해당하는 녹색도로 기술은 다양하며 2009년 한국도로공사에서 녹색성장사업 계획수립시 명시한 저탄소도로개발 기술과제 리스트를 보면 다음과 같다.

5) 녹색기술: 재생 및 청정 에너지 자원을 포함하는 환경 친화적 자원 활용 기술(지식경제부, 지식경제용어사전, 2011, 11.)

<표 2-117> 저탄소도로개발 기술과제 리스트

연 번	내 용	요소성격	유관분야
1	저탄소경영 정책 수립	경영	경영
2	도로기술에 대한 에너지총량개념 정의	통합	통합
3	재활용, 지속가능한 도로설계 기술	통합	통합·구조
4	고속도로 지하공간 활용방안 검토	저탄소	통합
5	저탄소 재료 개발	저탄소	재료
6	중온아스팔트 재료의 생산	저탄소	포장
7	이산화탄소 배출량 감소 차량 우대 정책	저탄소	교통
8	재생골재 성능향상	저에너지	재료
9	시멘트 및 아스팔트 포장단면 감소 기술	저에너지	포장
10	에너지절감을 위한 최적선형 개발	저에너지	교통
11	콘크리트괴 활용방안	저에너지	재료
12	녹색 중분대 기술 개발	저에너지	구조
13	에너지절감을 위한 최적선형 개발	저에너지	교통
14	지·정체부를 줄이는 설계실시	저에너지	교통
15	에코드라이빙 기법 개발	저에너지	교통
16	생태친화형 주차장 비점오염원 처리 방안	친환경	환경
17	유해물질 중화용 기능성 도로시설물 기술개발	친환경	포장·터널
18	도심부 소음저감을 위한 저소음 포장시공	친환경	포장
19	친환경 저소음 포장재료	친환경	포장
20	비·저염화물 제설제 개발	친환경	환경
21	제설제 살포 등급제 실시	친환경	환경
22	노면수 중수도 활용방안	친환경	환경
23	계절형 생태습지 건설 안	친환경	환경
24	신재생 에너지를 이용한 고속도로 시설물 디자인	디자인	시설
25	기능별 색채 고속도로 건설 기술	디자인	포장

자료: 한국도로공사, 녹색성장사업 계획수립, 2009.

○ 본 연구에서는 현재 활발하게 개발 중인 기술을 중점으로 검토하였으며, 녹색도로 기술을 크게 활성탄소섬유나 촉매작용을 하는 물질을 이용하여 차량에서 발생하는 온실가스를 흡수하고 전화하는 포집기술과 도로건설과정에서 발생하는 온실가스의 배출량을 절감시키는 기술로 구분하였다.

<표 2-118> 녹색도로 기술 분류

구 분	내 용	세부내용
포집기술	온실가스 흡수 시설	재생에너지(62%), 수소연료전지(55%)원자력, 핵융합(64%),
절감기술	재활용 기술	도로포장 재료를 재활용하여 재료 생산시 발생하는 온실가스 감축
	바이오폴리머	도로포장 재료 생산시 발생하는 온실가스 감축
	중온 아스팔트	도로포장시 발생하는 온실가스 감축

㉯ 분석 모형 설정

○ 정부 예산이 투입되는 소규모 연구개발 사업의 투자 평가시스템을 만들기 위하여 현재 개발된 다기준분석방법과 기존 평가 지침에 대해 살펴보았다. 본 연구의 대상이 되는 정부지원 소규모 연구개발 사업은 예산 투입의 타당성을 파악하는 것이 가장 중요하며, 이에 따라 기존의 방법을 바탕으로 예산 투입의 타당성을 파악할 수 있는 분석방법과 평가항목을 선정하였다.

㉰ 녹색도로 기술 의사결정시스템 플랫폼 개발

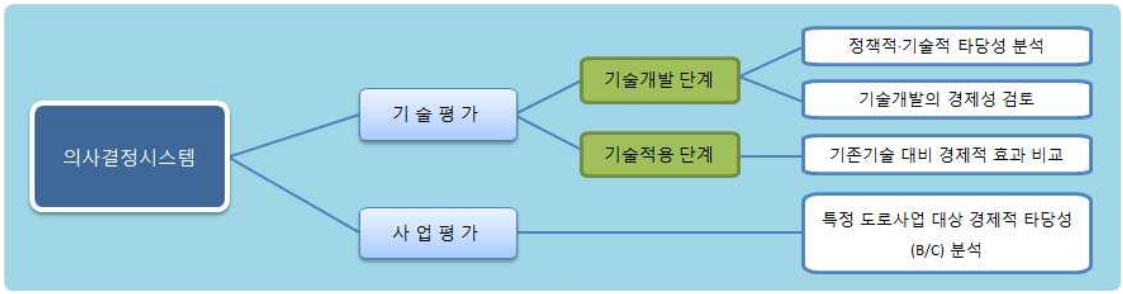
■ 개발 목적

○ 의사결정시스템은 신규 녹색도로기술의 개발 및 적용에 따른 정책적/경제적 타당성을 사전에 검토 할 수 있도록 하는 방법론을 제시하고, 해당 방법론을 효과적으로 이용할 수 있는 시스템을 구축하여 기술개발자 및 정책결정자의 의사결정을 지원하기 위한 목적으로 개발되었다.

○ 또한 해당 시스템을 통해 기술개발의 중복을 방지하고, 개발되는 기술 간의 차이점을 제시해 줌으로서 연구진행의 효율성을 증대시킬 뿐만 아니라, 정책결정자에게 각각의 개발기술에 대한 장·단점을 제공함으로써 효과적인 의사결정을 유도하고자 한다.

■ 시스템 구성

○ 녹색도로기술 의사결정시스템은 크게 기술개발의 적정성과 기존기술과의 차별성 검토를 위한 기술평가와 개발된 기술을 실재 도로상에 적용하였을 경우 나타나는 경제적 효과를 분석하는 사업평가로 다음과 같이 구성하였다.



<그림 2-133> 의사결정시스템 구성

○ 기술평가는 기술개발 이전 개발여부의 적정성을 검토하는 기술개발 단계 분석과 기술개발이 완료된 기술의 효과를 기존기술과 비교할 수 있는 기술적용 단계 분석으로 세분화 되도록 설계하였다.

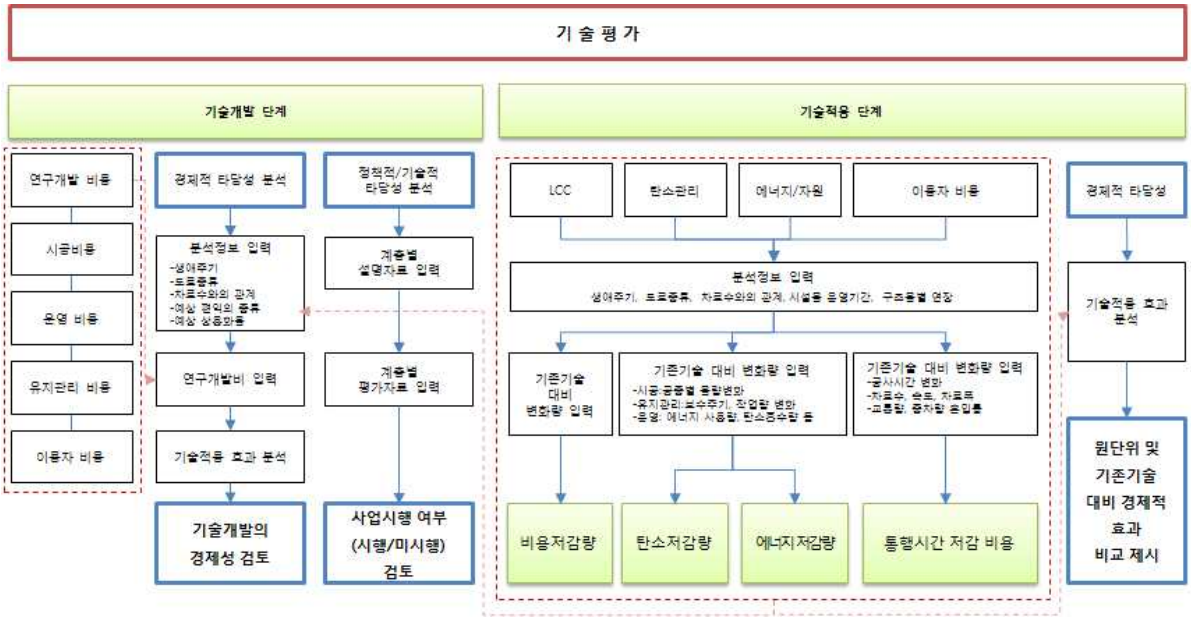
○ 기술개발 단계 분석은 AHP분석을 통한 정책적·기술적 타당성 검토와 연구진의 기술개발 효과 예측치를 활용한 경제적 타당성 분석을 동시에 진행하도록 시스템을 구성하였으며, 기술적용 단계 분석은 개발된 기술의 세부 공종자료를 기초로 원단위를 산출하여 기존기술의 원단위와 비교·분석하는 형태로 시스템을 구축하였다.

○ 사업평가는 특정 도로사업의 설계내역서를 대상으로 도입하고자 하는 녹색도로기술의 세부 공종별 변화량을 입력함으로서 해당 도로사업의 경제성(B/C) 변화를 산출하고 기존 사업의 경제성과 비교·분석할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

■ 평가항목별 분석 방법론

◎ 기술평가

○ 기술평가에서는 위에서 언급한바와 같이 개발하고자 하는 단위 녹색도로기술을 대상으로 분석이 이루어지며, 개발단계 기술의 의사결정을 지원하는 기술개발단계와 개발 이후 해당 녹색도로기술의 경제성을 검토하는 기술적용 단계로 구분된다.



<그림 2-134> 기술평가 단계별 분석절차

① 기술개발 단계

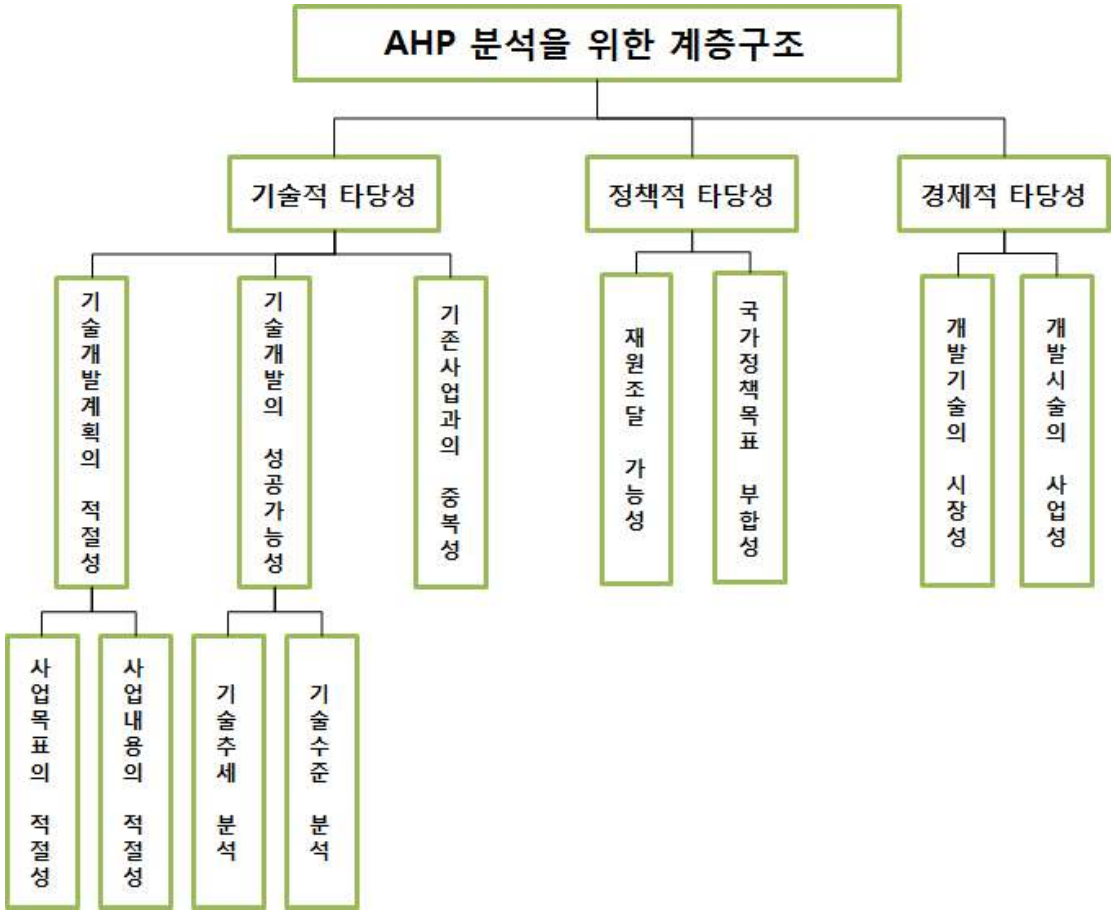
○ 기술개발 단계의 의사결정 지원은 개발기술의 정책적·기술적 타당성 분석과 기술개발의 경제성 검토로 구분된다.

○ 정책적·기술적 타당성 분석은 2차 년도와 같이 평가항목별 계층구조를 형성하고 쌍대비교를 통하여 대안을 평가하는 AHP분석을 사용하여 분석을 시행하도록 하며, 기술개발의 경제적 분석은 기술개발 비용(총 연구비)을 기준으로 분석이 이루어지고 기술개발이 완료된 시점을 기준으로 해당기술의 경제적 타당성을 만족하는 상용화율(편익/총연구비)과 건설 물량 등을 제시하게 된다.

㉮ 정책적·기술적 타당성 분석

○ 2차년도 소규모 연구개발 사업의 투자 평가시스템을 만들기 위하여 현재 개발된 다기준분석 방법과 기존 평가지침에 대해 검토하였으며, 검토결과 평가항목을 상위항목과 하위항목으로 분류하고 계층을 나누어 답변자가 쉽게 평가항목을 파악하고 응답할 수 있는 효율적인 구조를 가지고 있어 답변의 일관성 유지 측면에서도 장점이 있을 것으로 예상되는 AHP분석기법을 선정하였다.

○ 분석을 위한 계층구조는 3단계 계층으로 구분하여 항목별 가중치 산정하며, 산정된 가중치를 통한 사업시행여부에 대한 의사결정을 지원하도록 한다.



1계층	2계층	3계층	설 명
기술적 타당성	기술개발계획의 적절성	사업목표의 적절성	해당사업 추진의 목표를 명확하게 작성
		사업내용의 적절성	사업 목표에 따른 추진 절차 및 방법 등의 내용을 구체적으로 작성
	기술개발의 성공가능성	기술추세 분석	관련기술 개발 현황 등을 검토하여 해당 기술 개발의 필요성 제시
		기술수준 분석	현재 보유하고 있는 기반 기술수준과 해당기술을 비교하여 성공가능성 제시
	기존사업과의 중복성	-	개발되거나 개발 중인 타 기술과의 차별성 작성
정책적 타당성	재원조달 가능성	-	사업의 원활한 추진을 위한 정부 및 민간 재원조달의 가능성 검토
	국가정책목표 부합성	-	개발기술과 국가정책간의 부합여부 제시
경제적 타당성	시장성 평가	-	개발제품의 시장경쟁력 평가
	사업성 평가	-	기술적용 사업의 수익창출 가능성

<그림 2-135> AHP 분석을 위한 계층구조

○ 정책적·기술적 타당성 분석은 AHP를 활용한 정량적 분석으로 평가받고자 하는 녹색도로기술의 계층별 설명자료 입력, 계층별 평가를 통한 가중치 산정, 사업시행여부 검토로 구분하여 진행된다.

○ 1계층인 '기술적 타당성', '정책적 타당성', '경제적 타당성'에 대한 가중치 산정은 전체 100% 범위 내에서 직접 입력하는 방식으로 시스템을 구성하였으며, 이후 2·3계층의 경우 9점 척도를 통해 항목별 가중치를 산정하도록 한다.

<표 2-119> 계층별 가중치 산정

평가항목		절대중요		매우중요		중요		약간중요		동일		약간중요		중요		매우중요		절대중요	평가항목
기술적 타당성	기술개발계획의 적절성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술개발의 성공가능성
	기술개발계획의 적절성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기존사업과의 중복성
	기술개발의 성공가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기존사업과의 중
	사업목표의 적절성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사업내용의 적절성
	기술추세 분석	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술수준 분석
정책적 타당성	재원조달 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	국가정책목표 부합성
경제적 타당성	시장성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사업성

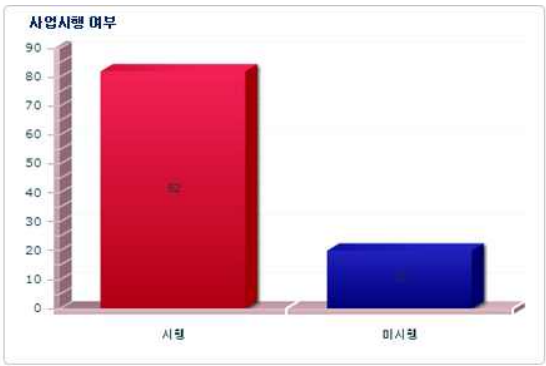
○ 사업시행여부 검토 역시 9점 척도를 통해 산출하며, 계층별 가중치 산정결과를 토대로 최종 시행여부 결과를 제시한다.

<표 2-120> 사업시행여부 검토

평가항목	대안	절대중요		매우중요		중요		약간중요		동일		약간중요		중요		매우중요		절대중요	대안
사업목표의 적절성	사업시행	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사업미시행
사업내용의 적절성		⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
기술추세 분석		⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
기술수준 분석		⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
기존사업과의 중복성		⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
재원조달 가능성		⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
국가정책목표 부합성		⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
시장성		⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
사업성		⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	

○ 정책적·기술적 타당성 분석의 결과는 계층별 상대적 중요도와 사업시행여부 구분하여 제시하며, 연구진의 자체평가 결과와 전문위원의 평과 결과를 비교할 수 있도록 제시한다.





구분	종합 중요도	사업목표의 적절성	사업내용의 적절성	기술추세 분석	기술수준 분석	기존사업과의 중복성	재원조달 가능성	국가정책목표 부합성	시장성	사업성
시행	82.31%	75.00%	66.67%	66.67%	83.33%	33.33%	85.71%	87.50%	75.00%	83.88%
미시행	17.69%	25.00%	33.33%	33.33%	16.67%	66.67%	14.29%	12.50%	25.00%	16.12%

<그림 2-136> 정책적·기술적 타당성 분석 결과제시

㉰ 기술개발의 경제성 분석

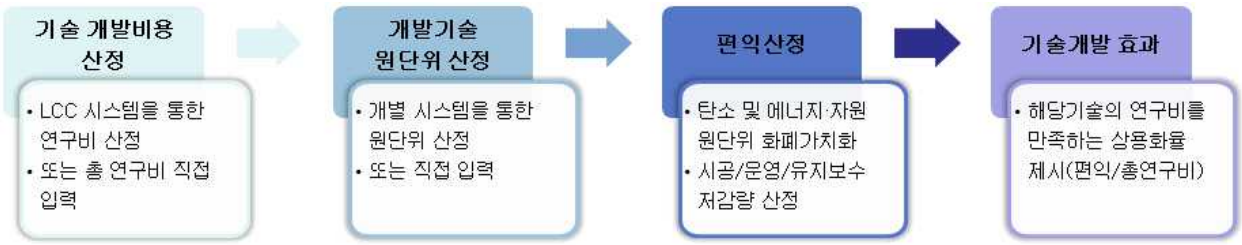
○ 기술개발의 경제성은 해당 녹색도로기술 개발에 필요한 총 연구비를 기준으로 발생가능 편익을 검토하여 다음과 같은 절차로 산정하게 된다.

○ 분석에 사용되는 총 연구비는 LCC 분석을 시행한 경우 해당 결과와 자동으로 연계되며, 필요한 경우 연구진이 총액을 직접 입력할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

○ 개발기술의 편익의 경우 LCC, 탄소관리, 에너지·자원 시스템을 통해서 각각 산출되며, 기술개발이 완료된 상태가 아니라는 점을 감안하여 각각의 시스템에 예측치를 입력함으로 해서 결과를 산출하도록 하고 있다.

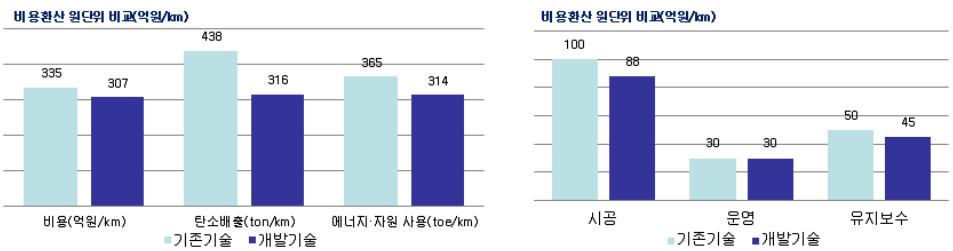
○ LCC, 탄소관리, 에너지·자원 시스템을 통해서 각각 산출된 개발기술 원단위는 기존 기술의 원단위와 비교를 통해 저감량을 산출하고, 이를 화폐가치화 하여 해당기술개발의 총 연구비를 만족하는 상용화율을 산정하게 된다.

○ 기존 기술의 원단위는 G-TISE 상에 DB로 구축하여 관리하도록 하며, 현재 반영이 불가능한 기술(공종구분이 불가하거나 신규 도로기술의 경우)의 경우 연구진이 직접 입력할 수 있도록 시스템을 구축하였다.



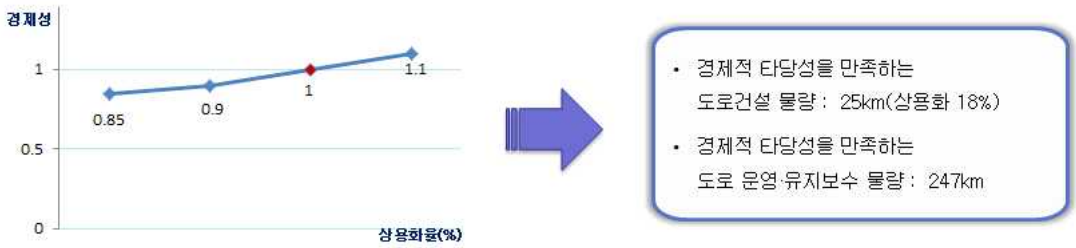
<그림 2-137> 기술개발의 경제성 분석 절차

○ 기술개발의 경제성 분석 결과는 개발기술의 특성에 따라 비용, 탄소배출, 에너지자원 사용량의 비용환산 원단위 비교와 시공, 운영, 유지보수 단계의 비용환산 원단위 비교로 구분하여 결과를 제시하게 된다.



<그림 2-138> 기술특성에 따른 개발효과 검토

○ 위와 같은 비교절차를 거쳐 산정된 저감량을 통해 최종적으로 개발기술이 현 기술을 대체했을 경우 경제적 타당성을 만족하는 상용화율과 공사물량을 산출하고 이를 기술 개발자에게 아래 그림과 같이 제시하게 된다.



<그림 2-139> 기술개발의 경제적 타당성 제시

○ 단, 기술개발의 경제성 분석의 경우 연구진의 예측 값을 기초로 분석이 시행됨으로 의사결정의 절대적인 척도가 될 수 없으며, 개발기술의 보완 및 점검을 위한 절차라는 것을 감안하는 것이 필요하다.

② 기술적용 단계

○ 기술적용 단계에서는 개발이 완료된 기술의 공종별 물량정보 입력을 통해 개발기술의 원단위를 산출하여 기존 기술과의 비교를 통해 경제적 효과를 산출하게 되며, 기본적인 분석절차 및 방법론은 기술개발단계 경제성 분석의 원단위 산출과 동일하다. 단, 해당 단계에서는 개발이 완료된 기술에 대한 분석을 시행하기 때문에 실제 개발과정에서 취득한 기술의 공종별 물량정보를 입력해야 한다.

○ 따라서 기술적용 단계의 분석을 위해서는 LCC, 탄소관리, 에너지·자원 분석 절차가 선행되어야 하며, 이후 모든 단계의 비용(연구비를 제외한 LCC)과 편익을 합산하여 기존기술 대비 저감량을 산정하게 된다.

○ 분석 결과는 시공, 운영, 유지보수 공종별 원단위 값을 비교하여 나타낸다.



1. 비용정보

(단위 : 원) 엑셀

구분	시공	운영	유지보수
기존기술	1,143	0	999,900
신규기술	1,021	0	95,143

2. 편익정보

엑셀

원단위-> 비용 환산 단가

에너지 자원 200 (원/TOE) 탄소 300 (원/tCO2)

구분	에너지/자원 사용량				탄소배출량			
	시공	운영	유지보수	단위	시공	운영	유지보수	단위
기존기술	1,143.36	0.00	8,903.95	TOE	3,547.19	0.00	27,623.80	tCO2
신규기술	1,021.26	0.00	7,281.77	TOE	3,168.38	0.00	22,391.07	tCO2
기존기술(비용환산)	228,672.60	0.00	1,780,790.69	원	1,064,157.24	0.00	8,287,140.00	원
신규기술(비용환산)	204,252.43	0.00	1,456,353.31	원	950,514.88	0.00	6,717,320.36	원
편익(저감량)	24,420.16	0.00	324,437.39	원	113,642.36	0.00	1,569,819.64	원

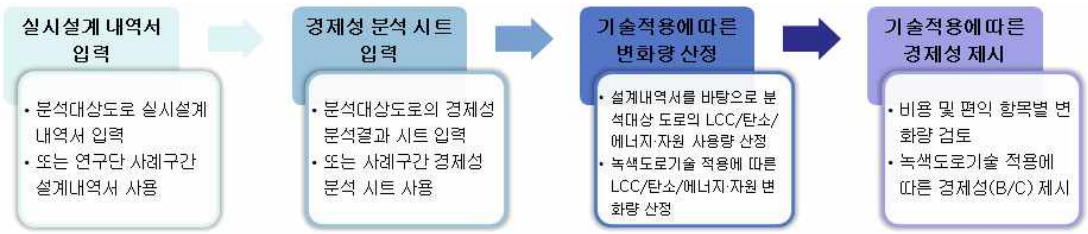
3. 분석결과

<그림 2-140> 기술적용 단계 분석결과

◎ 사업평가

○ 사업평가의 경제성 분석은 현 「도로·철도 부문 예비타당성 조사지침」과 달리 해당 도로사업의 시행여부를 판단하기 위해서가 아닌, 경제성이 확보된 도로 사업을 대상으로 녹색도로기술을 적용했을 경우 얼마만큼의 효과가 발생하는지를 검토하기 위하여 시스템을 구축하였다.

○ 사업평가는 녹색도로기술을 실제 도로 사업에 적용했을 경우 경제성변화를 검토하기 위한 분석단계로 다음과 같은 절차를 통해 이루어진다.



<그림 2-141> 사업평가의 경제성 분석(B/C) 절차

○ 분석 방법론은 「도로·철도 부문 예비타당성 조사지침」의 경제성 분석기법과 동일하지만, 아래 <표>와 같이 비용과 편익을 보다 세분화여 분석을 시행하도록 한다.

○ 기본적으로 발생되는 비용 및 편익은 지침과 유사하지만 비용의 경우 녹색도로기술의 적용으로 인해 발생하는 공사비 및 운영비 변화를 포함하며, 편익의 경우 기존에 산정된 편익에서 기술적용에 따른 시공 및 운영 중 탄소저감량과 에너지·자원 저감량을 추가하여 분석을 시행하도록 시스템을 구성하였다.

<표 2-121> 사업평가의 비용 및 편익 구분

예비타당성 표준지침(제5판)		사업평가 경제성 분석	
비용	편익	비용	편익
공사비, 시설부대경비, 용지보상비, 예비비, 유지관리비	통행시간, 운행비용, 교통사고감소, 환경비용	공사비, 시설부대경비, 용지보상비, 예비비, **유지관리비** **(운영/유지보수)**	통행시간, 운행비용, 교통사고감소, 환경비용, **탄소배출량,** **에너지 • 자원 사용량**

○ 사업평가의 분석 대상은 실시설계까지의 절차가 완료된 도로여야 하며, 적용하고자 하는 녹색도로기술은 앞서 원단위 산정과 마찬가지로 공종별 물량산출이 가능한 기술이어야 한다. 실시설계내역서는 아래 그림과 같이 공종별 물량 및 비용 입력을 통해 DB상에 저장되며, 저장된 DB를 통해 해당도로의 LCC, 탄소배출량, 에너지·자원사용량 현황을 산출하여 비교자료로 활용되게 된다.



<그림 2-142> 실시설계 내역서 입력(예시)

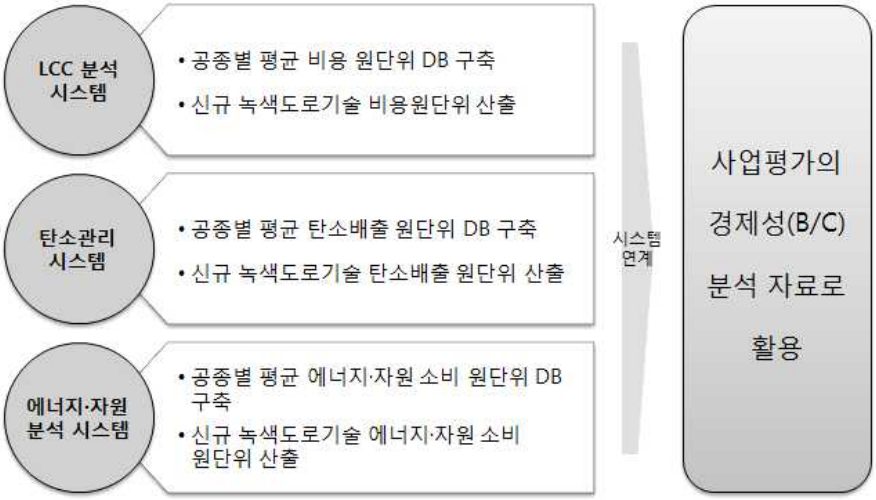
○ 경제성 분석 결과표는 아래와 같은 형식으로 입력되어 DB로 저장되며, 이후 해당도로의 경제성(B/C) 변화를 산출하기 위한 기초자료로 활용된다.

<표 2-122> 도로부문 사업의 경제성 분석 결과 입력시트(예시)

구 분		비 용						편 익				
연차	연도	공사비	시설부 대경비	용지 보상비	예비비	유지 관리비	총비용	통행 시간	운행 비용	교통사 고감소	환경 비용	총 편익
1	2014	24.4			2.4		26.9					0.0
2	2015	97.7			9.8		107.4					0.0
3	2016	122.1			12.2		134.3					0.0
4	2017	122.1			12.2		134.3					0.0
5	2018	97.7			9.8		107.4					0.0
6	2019	24.4			2.4		26.9					0.0
1	2020					6.9	6.9	17.5			6.0	23.5
2	2021					6.9	6.9	17.6	0.0	0.0	6.0	23.6
3	2022					6.9	6.9	17.6	0.0	0.0	6.0	23.7
⋮												
27	2046					8.2	8.2	19.6	0.0	0.0	6.7	26.3
28	2047					8.2	8.2	19.6	0.0	0.0	6.7	26.3
29	2048					8.2	8.2	19.6	0.0	0.0	6.7	26.3
30	2049					9.8	9.8	19.6	0.0	0.0	6.7	26.3
합계		488.4	0.0	0.0	48.8	230.9	768.1	568.6	0.0	0.0	194.7	763.3

○ 사업평가의 경제성(B/C) 변화량은 기본적으로 개발된 녹색도로기술의 세부공종별 원단위 변화량을 기초로 분석이 이루어진다.

○ 여기서 세부공종별 원단위는 아래 그림과 같이 G-TIES상의 LCC분석시스템(비용 원단위), 탄소관리시스템(탄소배출 원단위), 에너지·자원분석시스템(에너지자원 소모량 원단위)을 통해 각각 산출되며, 시스템연계를 통해 경제성 분석의 기초자료로 활용된다.

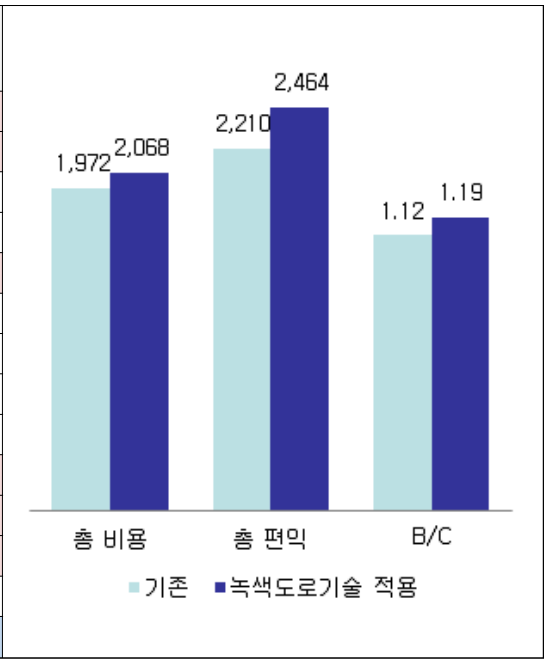


<그림 2-143> 사업평가의 경제성 분석 자료구성

○ 사업평가의 최종 경제성분석 결과는 비용과 편익 항목의 개별 변화 값과 총 경제성(B/C) 변화 값을 제시하게 된다.

<표 2-123> 사업평가 경제성(B/C) 분석 결과(예시)

구분		기존	녹색도로 기술적용	증감
비용 (억원)	공사비	2,139.7	1,969.9	(169.8)
	시설부대경비	127.0	127.0	0.0
	용지보상비	44.3	44.3	0.0
	예비비	0.0	0.0	0.0
	유지관리비	889.8	889.8	0.0
	총 비용	3,200.8	3,030.9	(169.8)
편익 (억원)	통행시간	4,179.2	4,179.2	0.0
	운행비용	2,459.1	2,459.1	0.0
	교통사고	396.6	396.6	0.0
	탄소저감	0.0	4.0	4.0
	에너지저감	0.0	3.0	3.0
	환경비용	752.6	752.6	0.0
	총 편익	7,787.5	7,794.5	7.0
B/C		1.12	1.19	0.07



㉮ 녹색도로 기술 의사결정시스템 기능보완(실제 설계데이터를 이용한 기능 및 모듈 검토)

■ 분석 절차 및 방법론

○ 사업평가란 앞서 기술한 바와 같이 특정 도로사업을 대상으로 녹색도로기술이 적용되었을 경우 경제성 변화를 검토하기 위한 분석 방법론으로 기본적으로 LCC분석시스템(비용 원단위), 탄소관리시스템(탄소배출 원단위), 에너지·자원분석시스템(에너지자원 소모량 원단위)을 통해 각각의 원단위를 산출하여 분석에 활용된다.

○ 해당 분석절차에서는 의사결정시스템의 기능 진단을 위하여 실제 설계데이터를 활용하여 시스템의 원활한 구동여부 및 분석결과의 적정성을 검토하였다.

■ 분석대상 도로사업 검토

○ 분석 대상 도로는 국도 36호선(보령～울진)중 청주시/청원군 경계 13.4km 구간으로 2004년 해당도로의 설계내역 보고서를 기초로 작성되었으며, 분석대상 도로의 공간적·시간적 범위는 다음과 같다.

<표 2-124> 분석대상 도로 공간적·시간적 범위

구 분		청주내덕～청원북일	비고
설 계 노 선		국도 36호선	
위 치	시 점	충청북도 청주시 상당구 율량동	
	종 점	충청북도 청원군 북이면 옥수리	
도 로 연 장		13.4 Km	
도 로 폭		20.0 m (4차로)	
계획목표년도		공용개시 후 20년	

○ 분석 대상도로의 총 연장은 13.4km(왕복4차로), 공사비는 약 2,068.4억 원으로 설계내역서를 기초로 기본정보를 입력하였다.



<그림 2-144> 사례구간 기본정보 입력

○ 분석대상 구간의 공종별 작업수량 및 비용 정보의 경우 실시설계 보고서 상의 공종별 물량 및 비용정보를 연구단에서 제시한 표준 공종체계로 재분류하는 작업을 거쳐 다음과 같이 입력하여 분석을 시행하였다.



번호	공사 (공종1레벨)	공종 (공종2레벨)	최하위공종 (공종3레벨)	규격 (공종4레벨)	작업량(수량)	단위	비용(원)	삭제
1	토공	기존구조물깨기	무근콘크리트깨기	T=30CM미만	2,262.000	m²	65,152,386	
2	토공	기존구조물깨기	무근콘크리트깨기	T=30CM이상	136.000	m²	3,933,256	
3	토공	기존구조물깨기	철근콘크리트깨기	T=30CM미만	463.000	m²	25,139,974	
4	토공	기존구조물깨기	철근콘크리트깨기	T=30CM이상	1,324.000	m²	87,368,112	
5	토공	기존구조물깨기	기존포장깨기	보도블럭포장철기	683.000	m²	2,186,283	
6	토공	기존구조물깨기	기존포장깨기	아스팔트포장깨기,기계	4,966.000	m²	134,682,886	
7	토공	기존구조물깨기	기존포장깨기	콘크리트포장깨기,기계	1,587.000	m²	35,813,829	
8	토공	기존구조물깨기	포장절단	아스팔트,기계	1,986.000	m	2,834,022	
9	토공	기존구조물깨기	포장절단	콘크리트,기계	88.000	m	132,616	
10	토공	기존구조물깨기	건설폐기물파쇄	Ø100MM,크러셔	11,081.000	m²	88,315,570	
11	토공	기존구조물깨기	석축철기	-	445.000	m²	6,233,115	

페이지 1 / 1 50 보기 1 - 11 / 11

<그림 2-145> 사례구간 설계내역서 입력

○ 경제성 분석을 위한 해당 사업의 예비타당성 평가결과 역시 다음과 같이 해당사업의 결과를 기초로 입력하였으며, 분석기간과 할인율은 각각 20년, 7.5%로 동일하게 설정하였다.



연차	연도	비용 (백만원) 공사비	시설부대 정비	용지보상비	예비비	유지관리비	총비용	편익 (백만원) 통행시간 절감편익	운행비용 절감편익	교통사고 감소편익	환경비용 절감편익	총편익
1	2004	628					628					0
2	2005	269					269					0
3	2006	287					287					0
4	2007	359					359					0
5	2008	251					251					0
6	2009					5	5	280	51			331
7	2010					5	5	285	51			336
8	2011					5	5	285	52			337
9	2012					5	5	285	52			337
10	2013					50	50	285	52			337
11	2014					5	5	285	52			337
12	2015					5	5	310	52			362
13	2016					5	5	314	52			366
14	2017					5	5	314	52			366
15	2018					50	50	314	52			366
16	2019					5	5	314	52			366
17	2020					5	5	330	52			382
18	2021					5	5	335	52			388
19	2022					5	5	335	52			388
20	2023					50	50	335	52			388
21	2024					5	5	335	52			388
22	2025					5	5	356	52			409
23	2026					5	5	356	52			409
24	2027					5	5	356	52			409
25	2028					50	50	356	52			409

<그림 2-146> 사례구간 예비타당성 평가결과 입력

■ 분석결과

○ 현재 G-TIES상에는 연구단에서 개발한 활성산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료, 탄소저감형 흙포장, 무시멘트, 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장 기술에 대한 공종별 자료가 입력되어있으며, 해당 자료를 통해 LCC, 탄소, 에너지·자원에 대한 저감량을 산출하여 경제적 타당석분석의 결과 값을 산출하였다.

○ 녹색도로기술 적용에 따른 경제성 분석을 위해서는 탄소와 에너지·자원 저감량을 각각 화폐가치화 해야 할 필요성이 있으며, 다음과 같은 기준을 통해 화폐가치화를 진행하였다.

○ 탄소저감량(tCO2)은 『제5차 교통시설 투자평가지침』의 온실가스 원단위 172,800원/tCO2를 사용하였으며, 에너지·자원저감량(toe)은 『2013 대한민국 에너지 편람』의 에너지 1toe 단가인 776,847원을 적용하였다.

○ G-TIES를 이용한 녹색도로기술 적용에 따른 분석대상 사업의 경제성 분석 결과는 아래 [그림]과 같이 나타났다. 기존 도로에 대한 경제성 분석결과는 설계내역서 상의 경제성 분석결과와 동일한 B/C 1.62 값을 나타내고 있어 시스템상의 문제점은 없는 것으로 검토되었으며, 녹색도로기술 적용에 따른 B/C변화 값은 km당 공사비 감소와 탄소발생량 감소를 동시에 만족하는 흙포장 기술의 경제성이 가장 높은 것으로 분석되었다.



사업정보

사업명	청주내덕~정원북일 도로건설공사			시설물 운영기간	20	
시공시작연도	2008			운영시작연도	2009	
원단위환산	172,800	원/tCO2	776,874	원/TOE	할인율	7.5 %

대안정보

번호	대안명	적용 녹색기술
1	활성산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료	활성산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료
2	무시멘트, 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙	무시멘트, 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장
3	탄소저감형 흙포장	탄소저감형 흙포장
4	DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 시설물	DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 시설물
5	대안1	활성산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료,탄소저감형 흙포장

경제적타당성 (역별)

단계	항목	기존 (백만원)	활성산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료	무시멘트, 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장	탄소저감형 흙포장
비용	공사비	1,795.00	1,795.00	1,528.19	1,072.02
	시설부대경비	0.00	0.00	0.00	0.00
	용지보상비	0.00	0.00	0.00	0.00
	예비비	0.00	0.00	0.00	0.00
	유지관리비	273.40	273.40	273.40	273.40
	총비용	2,068.40	2,068.40	1,801.59	1,345.42
편익	통행시간	6,366.24	6,366.24	6,366.24	6,366.24
	운행비용	1,040.20	1,040.20	1,040.20	1,040.20
	교통사고	0.00	0.00	0.00	0.00
	탄소저감	0.00	29.59	230.53	624.66
	에너지저감	0.00	42.88	334.06	905.21
	환경비용	0.00	0.00	0.00	0.00
	총편익	7,406.44	7,478.92	7,971.03	8,936.31
B/C		1.62	1.64	2.23	3.91

<그림 2-147> 녹색도로기술 적용에 따른 경제성 변화

○ 도로 설계내역서 및 연구단에서 개발 중인 녹색도로기술을 대상으로 한 시스템 검토결과 실제 구동 및 결과제시에 문제가 없는 것으로 나타났다. 단, 해당 연구결과의 경우 현재 LCC시스템에서 구축한 '이용자비용' 산출결과를 미반영 함으로 인해 녹색도로기술에 대한 편익이 다소 낮게 측정될 문제가 있는 것으로 나타났다. 이용자 비용이란 해당 녹색도로기술의 개발로 인해 발생되는 통행시간 절감 등의 부가적인 편익을 의미하며, 이용자 비용을 경제성분석에 적용하기 위해서는 분석대상도로의 연도별 교통량, 차종구분, 유지보수 주기 및 작업량 등의 정보가 필요하며, 현실적으로 해당 값을 구축하는데 한계가 있고 또한 이를 통해 산출된 결과 값의 객관성을 입증하는 데에도 한계가 있어 본 분석과정에서 제외하였다.

⑤ 상용화 시스템

㉮ 녹색도로기술 상용화시스템 기초연구 및 DB 구축

■ 상용화시스템의 DB 구축

○ 상용화 시스템의 기능 정의에 따라 다음 같이 평가항목별 DB 구축안을 설계하였다.

◎ 기술평가

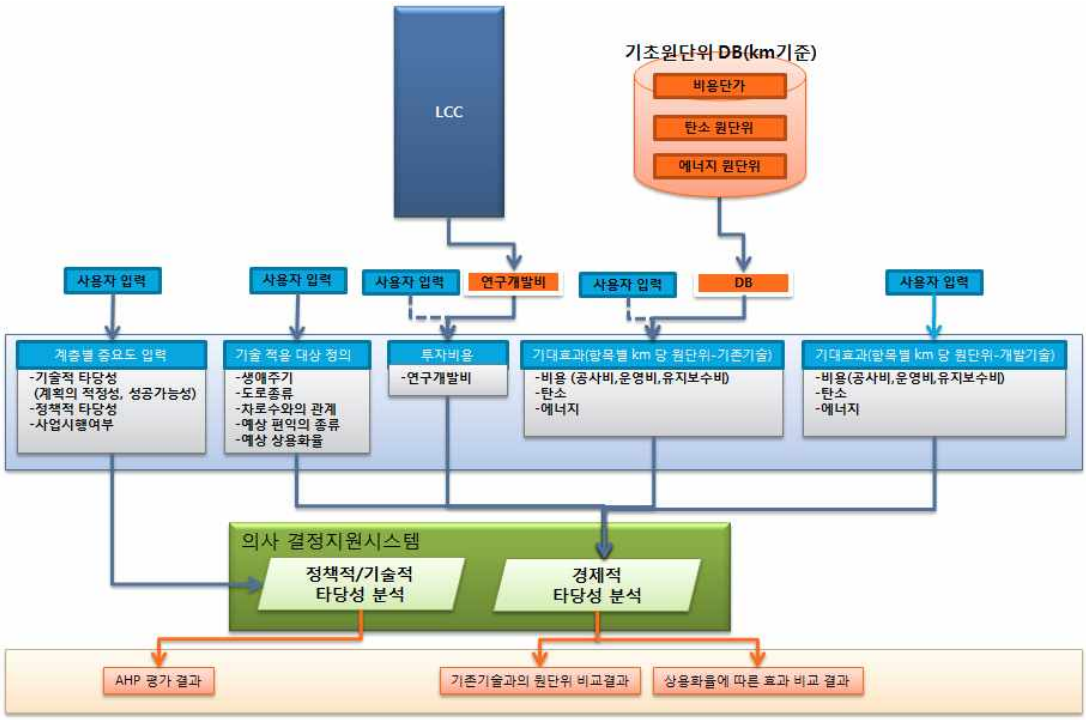
□ 개발단계

○ 입력자료

- 계층별 중요도 입력 : 기술개발 단계의 정책적/기술적 타당성 분석을 위한 설문
- 기술 적용 대상 정의 : 해당 기술이 적용되는 범위를 입력
- 투자비용 : 기술개발을 위한 연구개발비 입력(LCC시스템을 이용하여 산정 가능)
- 기존기술 기대효과 : 사용자가 생각하는 예측치 입력, 기초원단위를 이용하여 효과를 계산하는 것이 원칙임
- 개발기술 기대효과 : 사용자가 기대하는 예측치 입력

○ 분석결과

- 기존기술 기대효과(개별 시스템 분석값)는 경제적 타당성 분석의 입력 자료로 사용
- 정책적/기술적 타당성 결과 분석과 경제적 타당성 분석 후 비교결과 제공



<그림 2-148> 상용화 시스템 아키텍쳐_기술평가(개발 단계)

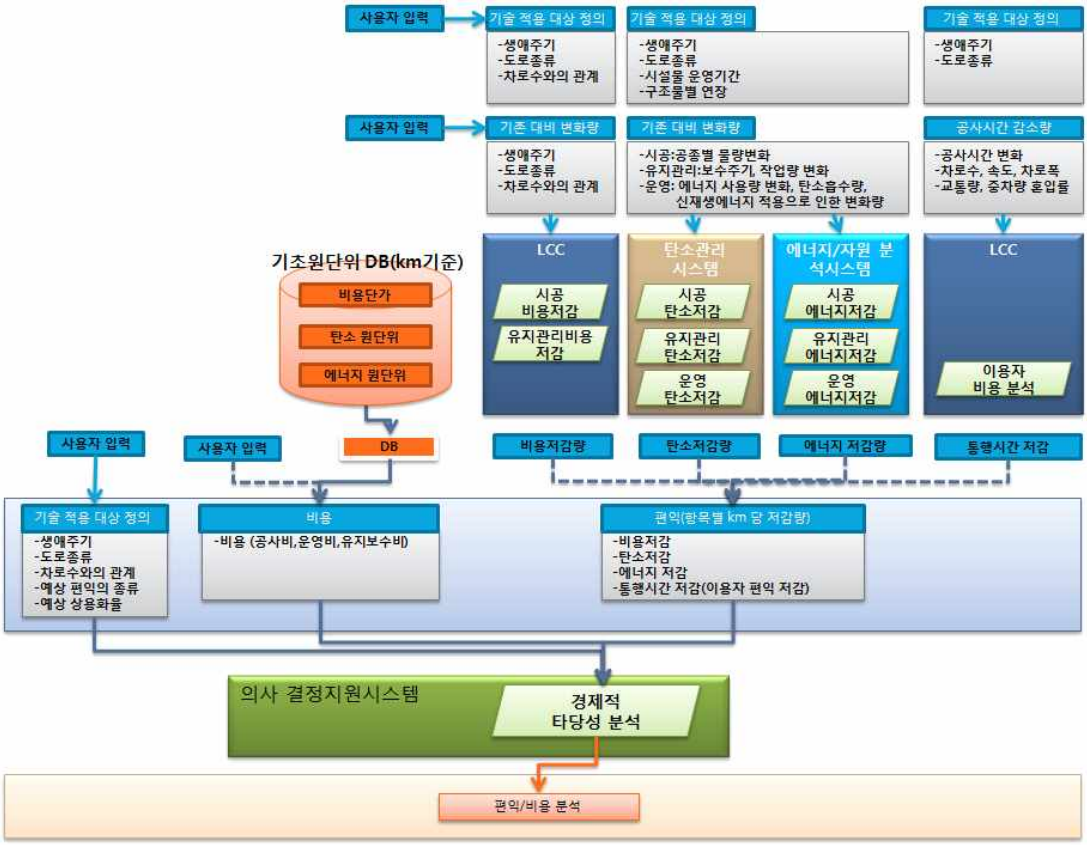
□ 적용단계

○ 입력자료

- 기술 적용 대상 정의 : 해당 기술이 적용되는 범위를 입력
- 비용 : 기술을 적용하기 위한 비용 (기초원단위 참조, 사용자 직접 입력 가능)
- 편익 분석을 위한 입력자료 : 각 시스템에서 편익을 산정하기 위한 입력자료인 기술적용 대상과 기존대비 변화량 입력

○ 분석결과

- 기술의 적용으로 인한 편익(개별 시스템 분석값)은 경제적 타당성 분석의 입력 자료로 사용
- 경제적 타당성 분석 후 효과 분석 결과 제공



<그림 2-149> 상용화 시스템 아키텍쳐_기술평가(적용 단계)

◎ 사업평가

□ 기본분석

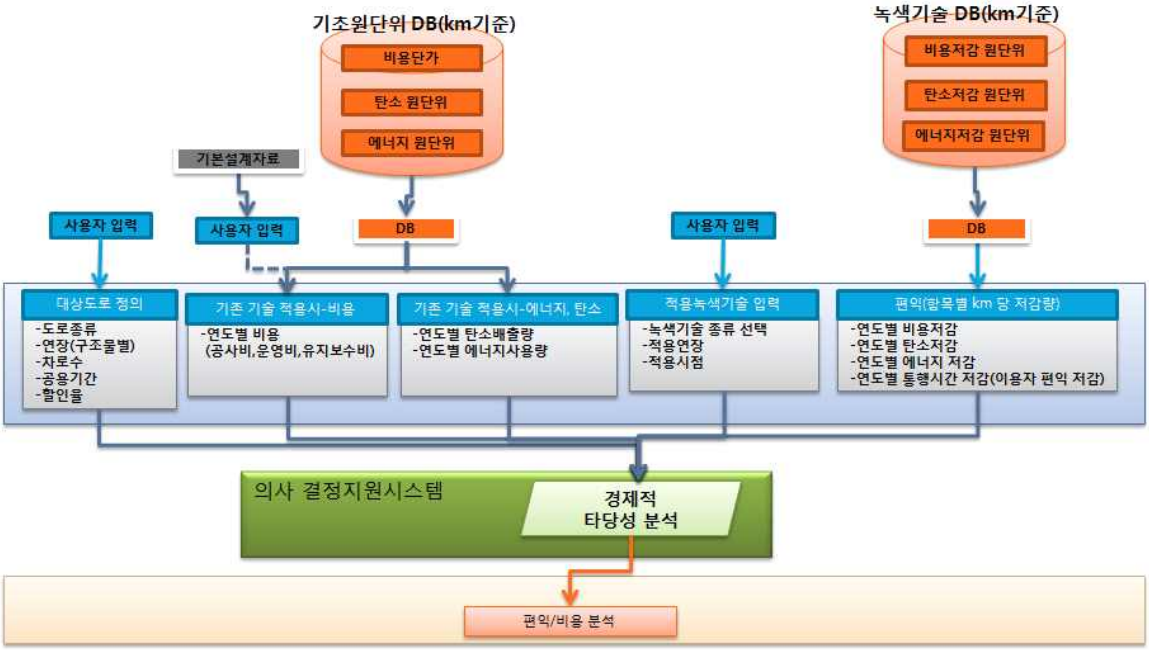
○ 입력자료

- 대상도로 정의 : 분석 대상 도로의 정보 입력
- 기존 기술 적용시 비용 입력(기초원단위 참조, 사용자 직접 입력 가능)
- 적용녹색기술 입력 : 해당 기술이 적용되는 범위를 입력

- 편익은 녹색기술 DB에 저장된 값 사용

○ 분석결과

- 도로 사업에 녹색도로기술의 적용으로 인한 편익(개별 시스템의 기본분석 기능의 결과값)은 경제적 타당성 분석의 입력 자료로 사용
- 경제적 타당성 분석 후 효과 분석 결과 제공



<그림 2-150> 상용화 시스템 아키텍처_사업평가(기본분석)

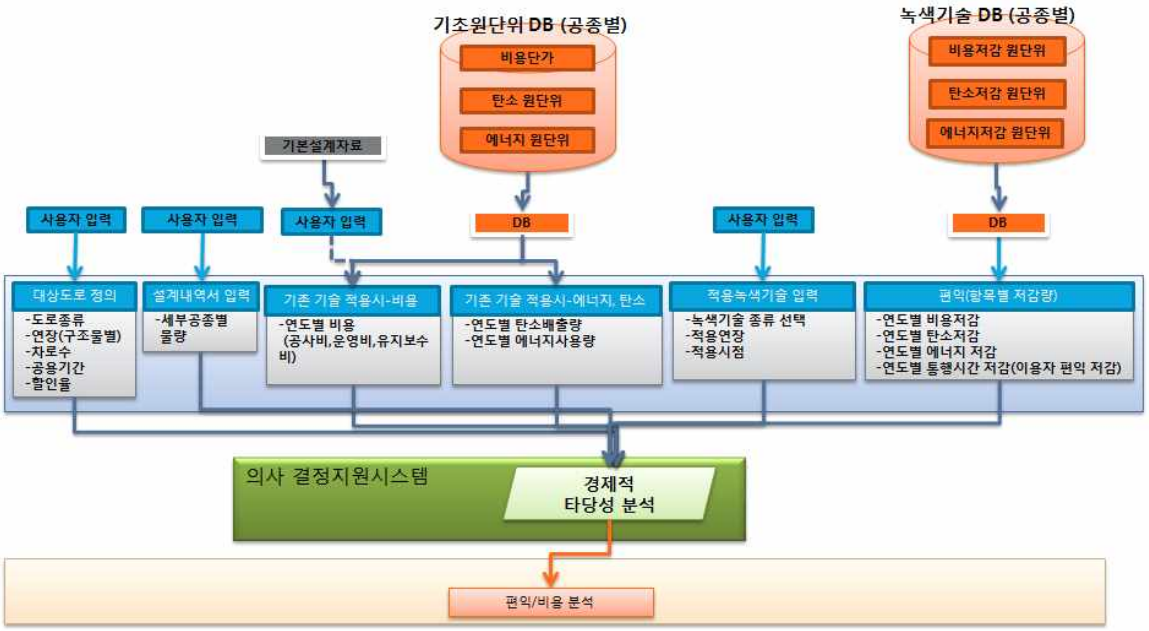
□ 상세분석

○ 입력자료

- 대상도로 정의 : 분석 대상 도로의 정보 입력
- 설계내역서 입력 : 세부공종별 물량 상세 물량 입력
- 기존 기술 적용시 비용 입력(기초원단위 참조, 사용자 직접 입력 가능)
- 적용녹색기술 입력 : 해당 기술이 적용되는 범위를 입력
- 편익은 녹색기술 DB에 저장된 값 사용

○ 분석결과

- 도로 사업에 녹색도로기술의 적용으로 인한 편익(개별 시스템의 상세분석 기능의 결과값)은 경제적 타당성 분석의 입력 자료로 사용
- 경제적 타당성 분석 후 효과 분석 결과 제공



<그림 2-151> 상용화 시스템 아키텍처_사업평가(상세분석)

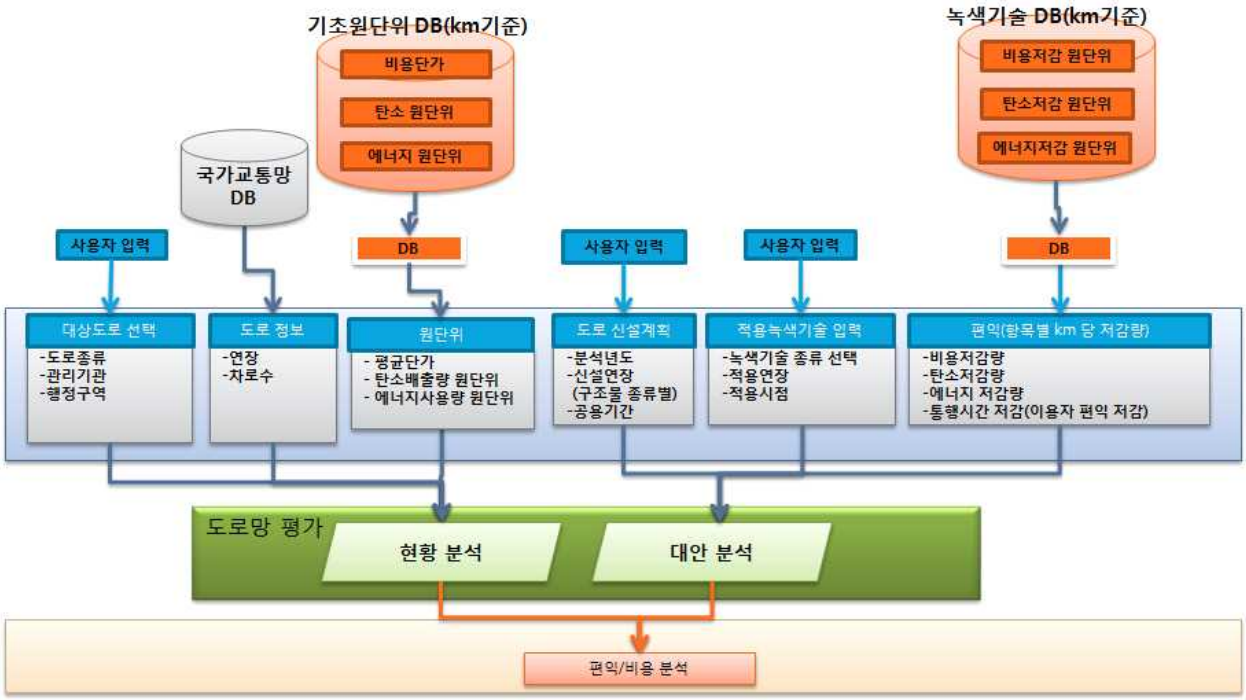
◎ 도로망평가

○ 입력자료

- 대상도로 선택 : 분석 대상 도로 선택
- 도로 정보 : 국가 교통망 DB 자료
- 기존 기술 적용시의 원단위(기초원단위 참조)
- 도로 신설계획 : 사용자 입력
- 적용녹색기술 입력 : 해당 기술과 적용되는 범위를 입력
- 편익은 녹색기술 DB에 저장된 값 사용

○ 분석결과

- 현황분석 : 연장당 비용, 탄소배출량, 에너지 원단위를 사용하여 선택도로에 대한 통계를 산출
- 대안분석 : 녹색도로의 적용으로 인한 효과를 분석



<그림 2-152> 상용화 시스템 아키텍처_도로망평가

㉯ 녹색도로기술 상용화시스템 기능 및 모듈 설계(컨텐츠 및 알고리즘 설계)

○ G-TIES를 이용하는 이용자들의 분석의 편의성 확보를 위해 위에서와 같이 크게 기술평가와 사업평가, 도로망 평가로 구분하여 시스템을 구성하였다.

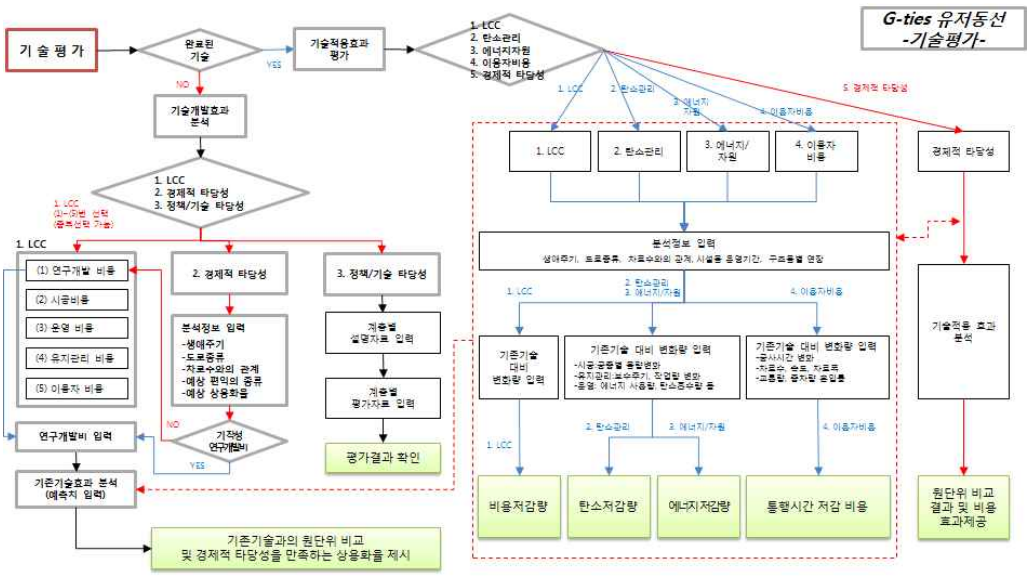
○ G-TIES는 녹색도로기술을 개발하는 연구원 또는 녹색도로기술의 도로상 적용을 검토하는 정책결정자(공무원, 설계사 등) 등이 주 이용대상이라 판단되며, 따라서 이들의 주요 관심사라 생각되는 '기술평가'와 '시업평가'를 시스템의 중심 기능으로 구성하였다.

■ 기술평가

○ 기술평가는 분석하고자 하는 기술의 개발완료 여부에 따라 1차적으로 기술개발 효과 평가와 기술적용 효과평가로 구분된다.

○ 기술개발 단계에서 연구자가 크게 필요하다고 판단한 컨텐츠는 해당 녹색도로기술의 LCC 산출과 기술개발의 타당성 여부 검토라 판단되며 이를 위한 이용자의 분석과정을 다음 그림의 기술개발 효과분석 절차와 같이 구성하였다.

○ 기술적용 단계의 경우 개발이 완료된 기술에 대한 효과를 검토하기 위한 단계로 기술개발 단계의 분석과정과 유사하게 진행된다.

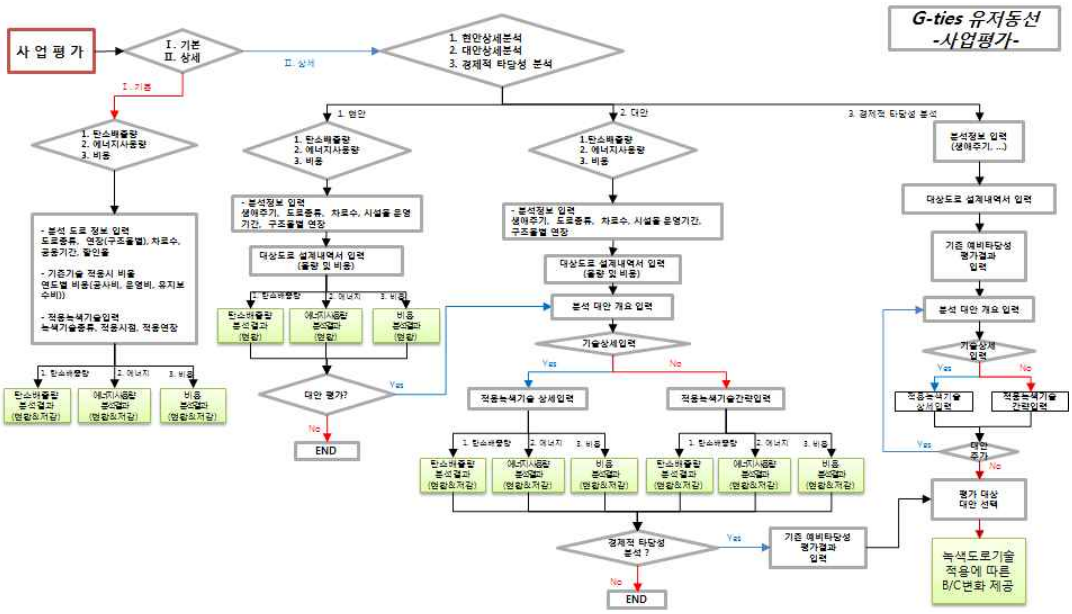


<그림 2-153> 기술평가의 이용자동선 구축

■ 사업평가

○ 사업평가는 분석에 활용되는 정보의 수준과 제시되는 결과의 상세정도 등에 따라 아래 그림과 같이 기본 분석과 상세분석으로 구분된다.

○ 기본 분석은 G-TIES내 구축된 LCC, 탄소, 에너지자원 원단위를 활용하여 특정 도로구간의 탄소배출량과 에너지 사용량을 검토하는 구조로 구성하였으며, 상세분석은 특정 도로사업의 실시설계내역서를 바탕으로 해당도로의 탄소배출 및 에너지·자원 사용량 등을 검토하는 현안분석과 해당 도로에 녹색도로기술을 적용했을 경우 저감량을 산정하여 경제성(B/C) 변화를 검토하는 대안분석으로 구성하였다.



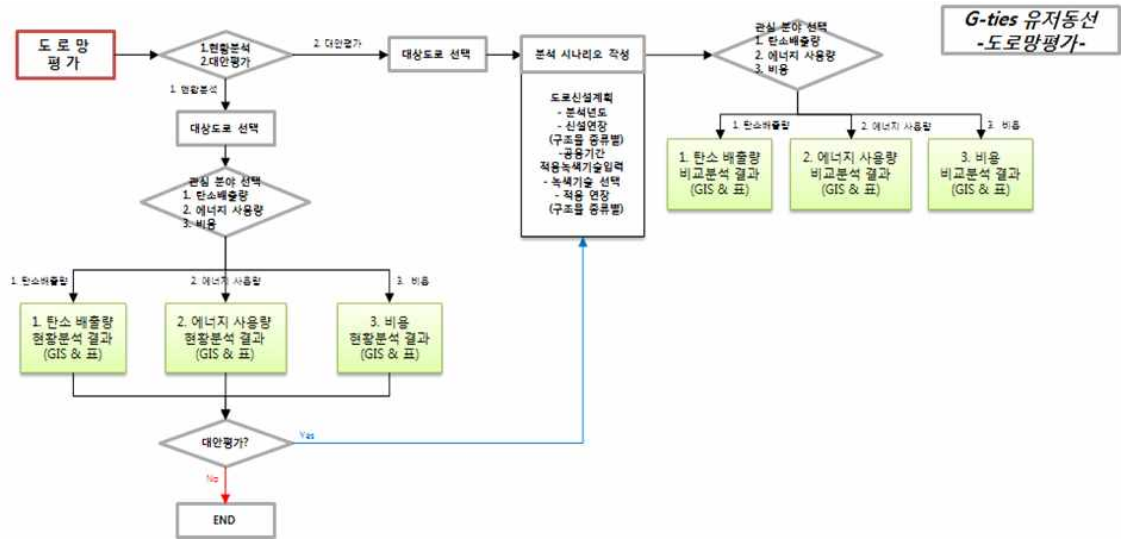
<그림 2-154> 사업평가의 이용자동선 구축

■ 도로망 평가

○ 도로망 평가는 평가하고자 하는 대상 도로의 분석시점 기준의 탄소배출량, 에너지/자원 사용량, 비용 총계 현황을 분석할 수 있는 현황분석과 도로 신설계획에 따른 특정 시점의 탄소배출 및 에너지·자원 현황 및 녹색도로 기술 적용에 따른 탄소, 에너지, 비용 저감량을 산정할 수 있도록 하는 대안분석으로 구분하여 시스템을 구성하였다.

○ 현황분석의 경우 분석을 위한 별도의 자료입력 과정이 필요하지 않으며, 분석하고자 하는 도로와 관심 대상(탄소, 에너지, 비용)을 선택하면 개별시스템에서 산정된 원단위자료를 이용하여 자동 계산되어 GIS상의 지도와 표를 통해 결과가 제시되도록 이용자동선을 최소화하였으며, 대안분석의 경우 사용되는 원단위 및 분석 방법론, 결과제시 방식 등은 현황분석과 동일하나, 장래 발생량 추정을 위한 분석시나리오 작성이 추가적으로 필요하다.

○ 분석시나리오의 작성은 장래년도에 대한 도로건설 증가분 및 도로연장에 따른 적용대상 녹색도로기술 선정 등으로 단순하게 구성하였다.



<그림 2-155> 도로망 평가의 이용자동선 구축

㉰ 녹색도로기술 상용화시스템 플랫폼 개발

○ 상용화시스템은 G-TIES의 모든 분석을 시작되는 일종의 입구 역할을 하며, G-TIES 상의 모든 분석이 해당시스템을 통하여 이루어짐으로 'G-TIES ≒ 상용화시스템'이라 할 수 있다. 따라서 상용화시스템을 통한 공통정보의 입력 및 관리와 개별 분석시스템간의 자료연계방안 구축을 상용화시스템을 구성하는 가장 중요한 요소라 할 수 있겠다.



<그림 2-156> G-TIES 상의 상용화시스템 구축

■ 평가자료 입력 관리

○ 상용화시스템의 주요 기능은 개별 분석시스템을 구동하기 위한 평가자료 입력과 관리라 할 수 있으며, 개별 시스템의 분석에 필요한 기본정보 중 중복된 항목을 산출하여 상용화시스템을 통한 입력 및 관리를 수행 할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

○ 녹색도로기술에 대한 평가(기술평가)를 위해서는 해당기술의 기본정보를 입력해야 하며, 한번 입력된 기본정보는 해당 평가시스템 내에서 공동 활용이 가능할 수 있도록 하였다.



<그림 2-157> 기술평가 기본정보 입력화면(예시)

<표 2-125> 기술평가대상 녹색도로기술 평가자료 관리

번호	과제 번호	기술명	수행기간	작성자	작성일	기술 개발	기술 적용
1	A-1	무탄소 아스팔트 포장	2014-01-01~2018-12-31	솔루티스	2014-12-03	등록	미등록
2	2-6	흙포장	2014-01-01~2018-12-31	홍길동	2014-11-17	등록	등록
3	1-3	CO2 흡수시설물	2014-01-01~2018-12-31	이길동	2014-12-02	등록	미등록
4	1-1	탄소저감형 흙포장	2014-01-01~2015-12-31	박길동	2014-11-17	등록	등록

○ 특정 도로사업에 대한 녹색도로기술의 적용효과(사업평가) 분석의 경우 위와 같은 기본정보의 공유 외에 분석에 필요한 실시설계 내역서 및 세부공종별 입력 자료를 공유할 수 있도록 한다.



<그림 2-158> 사업평가 기본정보 입력화면(예시)

○ 공종정보는 4단계 레벨로 구분하여 세부공종별 작업량을 입력하는 방식으로 진행된다.



<그림 2-159> 사업평가 공종정보 입력화면(예시)

■ 개별 시스템 연계체계 구축

○ G-TIES에서는 이용자의 편의성 증진 및 개별 시스템 간의 효과적인 연계체계 구축을 위하여 위와 같이 도로의 시공, 운영, 유지보수에 대한 공종체계를 표준화하여 제시하고 이를 분석에 활용하고 있다.

○ 표준공종체계란 연구단에서 다수의 설계내역서를 토대로 도로공사별로 상이한 세부공종체계를 최대 4레벨까지의 세부공종으로 구분하여 동일한 형식으로 입력 가능하도록 구성한 공종체계를 의미한다.

○ LCC, 탄소관리, 에너지·자원 시스템의 경우 공종별 물량 입력을 통해 녹색도로기술의 적용효과를 산출하며, 따라서 이들 공종체계가 서로 상이하여 연계되지 않은 경우 다수의 공종정보를 반복해서 입력해야 하는 불편함이 발생한다. 따라서 이를 해결하기 위해 위에서 언급한 표준공종체계를 구성하여 분석에 활용될 수 있도록 하였으며, 이로 인해 한 번의 공종정보(공종별 작업량) 입력만으로 G-TIES상의 모든 개별시스템의 분석이 가능하도록 연계체계를 구축하였다.


공종정보

기준정보에서 추가&저장 | 엑셀

번호	공사 (공종1레벨)	공종 (공종2레벨)	최하위공종 (공종3레벨)	규격 (공종4레벨)	기존기술 작업량	신규기술 작업량	단위	삭제
1	토공	기존구조물깨기	무근콘크리트깨기	T=30CM미만(백호0.7㎥)	100,000.000	90,100.000	M3	-
2	토공	기존구조물깨기	무근콘크리트깨기	T=30CM미만(백호0.4㎥)	100,000.000	90,100.000	M3	-
3	토공	흙깎기	토사깎기	확장	500,000.000	400,100.000	M3	-
4	토공	흙깎기	리핑암깎기	리퍼도자32톤	30,000.000	25,100.000	M3	-
5	토공	유용토운반	도자운반	운반거리60M미만,리핑암,L=0.047KM	4,000.000	3,100.000	M3	-
6	배수공	토공	측구터파기공	리핑암	30,000.000	30,100.000	M3	-
7	배수공	토공	측구터파기공	발파암	2,900.000	3,100.000	M3	-
8	배수공	측구공	L형측구	형식1,H=0.45M	5,000.000	4,100.000	M3	-
9	배수공	측구공	L형측구	형식10,H=0.45-1.20M,변화구간	35,000.000	20,100.000	M	-
10	배수공	측구공	L형측구	형식11,H=0.45-1.20M,변화구간	3,300.000	3,100.000	M	-
11	교량공	R.CRAHMEN교(L=1	토공	구조물터파기-토사,육상토사,0~2M	5,000.000	5,600.000	M3	-

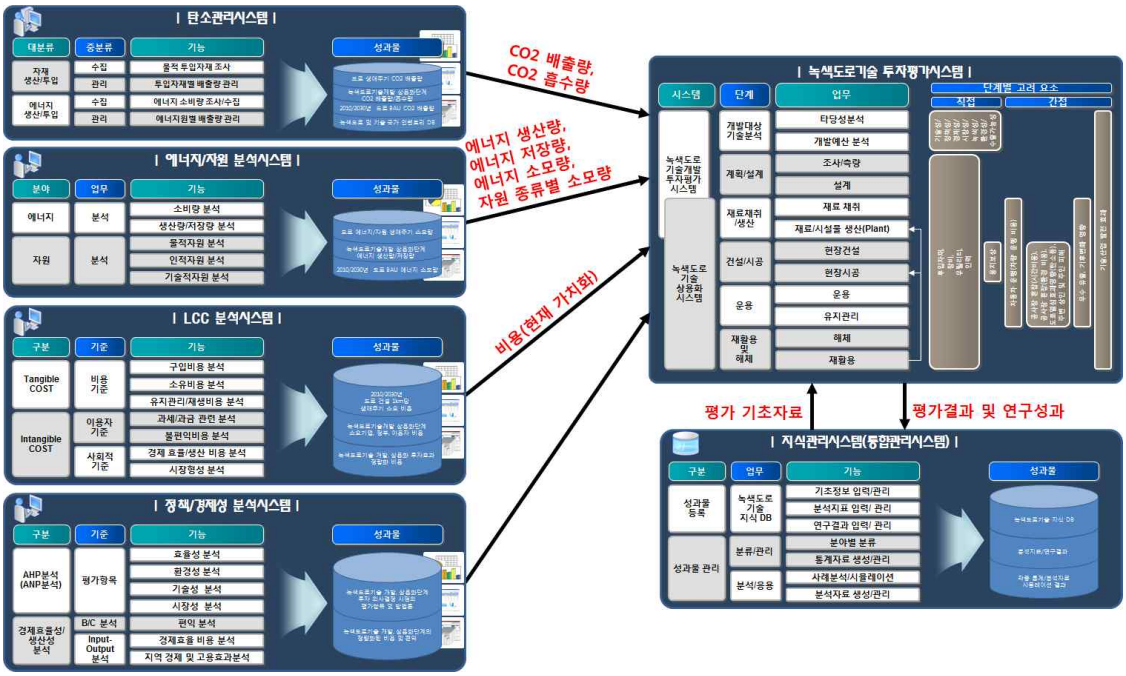
페이지 1 / 1 | 20 | 보기 1 - 11 / 11

<그림 2-160> 표준공종체계 물량입력

㉮ 녹색도로기술 상용화시스템 도로 현장 적용평가 모형 개발 및 DB 고도화

■ 도로 현장 적용평가 모형

○ 2차년도 까지 진행된 녹색도로기술 투자평가시스템은 개발하고자 하는 녹색도로기술에 초점을 맞추어 진행되었으며, 따라서 해당기술을 실제 도로상에 적용했을 경우의 효과평가를 수행하는데 한계가 있으며, 이러한 단점을 보완하기 위해 기술평가와 사업평가 상의 적용효과 분석을 추가하였다.



<그림 2-161> 2차년도 녹색도로기술 투자평가시스템 구조도

○ 본 연구를 통해 추가된 도로 현장 적용평가 모형은 개발된 기술을 실제 도로상에 적용하였을 경우 변화량을 검토하는 분석 방법론으로 기술평가의 기술적용 효과평가, 사업평가의 상세분석, 도로방평가의 대안분석이 포함된다.



<그림 2-162> 도로현장 적용평가 반영

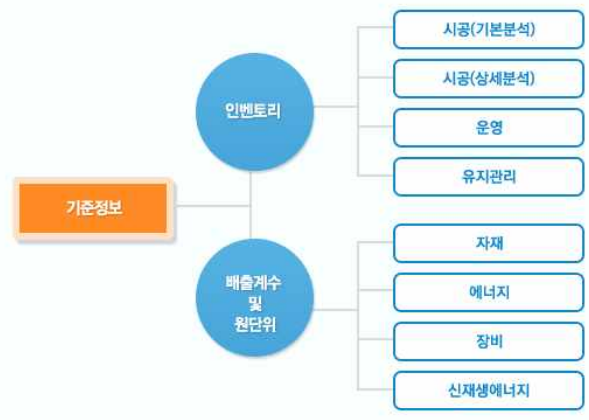
○ 기술적용 단계의 경우 개발이 완료된 기술에 대한 효과를 검토하기 위한 단계로 기술개발 단계의 분석과정과 유사하게 진행되며, 기존기술과 적용상의 원단위 변화량을 제공한다.

○ 사업평가의 상세분석은 특정 도로사업에 녹색도로기술을 적용했을 경우 변화되는 LCC, 탄소, 에너지·자원, 경제적 타당성(B/C) 등의 정보를 제공하며, 마지막으로 도로망평가의 대안분석은 기술적용 단계에서 산출된 원단위 정보를 활용하여 이를 특정도로 구간에 적용하였을 경우 LCC, 탄소, 에너지·자원 변화량을 제공한다.

■ 도로 현장 적용평가 모형의 DB 고도화

◎ 기초원단위 DB

○ 기준정보에서는 시공, 운영, 유지관리의 도로 전생애주기 단계별 탄소배출 인벤토리, 자재·장비·에너지·신재생에너지 등의 배출계수 및 원단위를 데이터베이스화 하고 구축된 데이터베이스를 조회하거나 수정 또는 신규 등록을 할 수 있다.



<그림 2-163> 기준정보 DB구성

○ 기준정보는 인벤토리 조회와 배출계수 및 원단위 조회로 구성되며 각각의 DB에서 조회 및 수정이 가능하다. 향후, 사용자가 기존 기술을 적용한 도로 사업 사례를 입력하면 자료의 신뢰성을 평가한 후 DB 업데이트 시 반영할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

◎ 녹색도로기술 DB

○ 녹색도로 기술을 적용함에 따라 변하는 공종별 물량을 단위 적용 길이(1km)에 대하여 조사하여 DB로 구축하고 있다. 녹색도로 기술별로 기존기술과 비교하여 단위 적용 길이(1km)에 대한 편익을 산출하여 DB로 구축하며, 향후, 사용자가 평가한 녹색도로 기술이 인증되면 자료의 신뢰성을 평가한 후 DB 업데이트시 반영할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

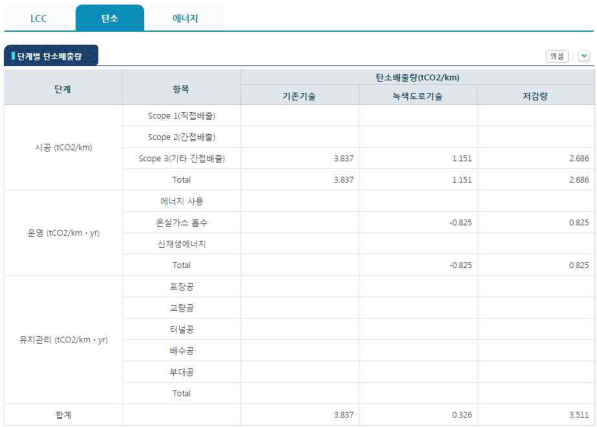
■ 실제 설계데이터를 이용한 기능 및 모듈 검토

○ 상용화시스템의 기능 및 모듈 검토를 위해 개별시스템에서 실제 데이터를 입력한 분석이 용이하게 적용되는가를 검토하였다.

○ 현재 G-TIES상에는 연구단에서 개발한 활성산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료, 탄소저감형 흙포장, 무시멘트, 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장 기술에 대한 공종별 자료를 입력하여 탄소와 에너지·자원에 대한 저감량을 다음과 같이 산출하였다.



<그림 2-164> 녹색도로기술 자료입력 현황



<그림 2-165> 녹색도로기술 탄소배출량 산정 결과

○ 위와 같이 입력된 기술 공종정보는 사업평가 분석의 기초자료로 활용되며, 연구단에서 사례구간으로 지정한 청주내덕~청원북일 도로건설공사 사업의 설계내역서와 예비타당성 분석결과 입력을 통해 사업평가를 시행하였다.

○ 청주내덕~청원북일 도로건설공사 사업의 기본정보와 설계내역서, 예비타당성 결과의 입력화면으로 실제 설계내역서 상의 정보를 입력한 화면이다.



<그림 2-166> 사례구간 기본정보 입력



번호	공사 (공종1레벨)	공종 (공종2레벨)	최하위공종 (공종3레벨)	규격 (공종4레벨)	작업량(수량)	단위	비용(원)	삭제
1	토공	기존구조물깨기	무근콘크리트깨기	T=30CM미만	2,262.000	㎥	65,152,386	
2	토공	기존구조물깨기	무근콘크리트깨기	T=30CM이상	136.000	㎥	3,933,256	
3	토공	기존구조물깨기	철근콘크리트깨기	T=30CM미만	463.000	㎥	25,139,974	
4	토공	기존구조물깨기	철근콘크리트깨기	T=30CM이상	1,324.000	㎥	87,368,112	
5	토공	기존구조물깨기	기존포장깨기	보도블럭포장철기	683.000	㎡	2,186,283	
6	토공	기존구조물깨기	기존포장깨기	아스팔트포장깨기,기계	4,966.000	㎡	134,682,886	
7	토공	기존구조물깨기	기존포장깨기	콘크리트포장깨기,기계	1,587.000	㎡	35,813,829	
8	토공	기존구조물깨기	포장절단	아스팔트,기계	1,986.000	m	2,834,022	
9	토공	기존구조물깨기	포장절단	콘크리트,기계	88.000	m	132,616	
10	토공	기존구조물깨기	건설폐기물파쇄	Ø100MM,크러셔	11,081.000	㎥	88,315,570	
11	토공	기존구조물깨기	석축철기	-	445.000	㎡	6,233,115	

페이지 1 / 1 50 보기 1 - 11 / 11

<그림 2-167> 사례구간 설계내역서 입력



연차	연도	비용 (백만원)						편익 (백만원)				
		공사비	시설부대 경비	용지보상비	예비비	유지관리비	총비용	통행시간 절감편익	운행비용 절감편익	교통사고 감소편익	환경비용 절감편익	총편익
1	2004	628					628					0
2	2005	269					269					0
3	2006	287					287					0
4	2007	359					359					0
5	2008	251					251					0
6	2009					5	5	280	51			331
7	2010					5	5	285	51			336
8	2011					5	5	285	52			337
9	2012					5	5	285	52			337
10	2013					50	50	285	52			337
11	2014					5	5	285	52			337
12	2015					5	5	310	52			362
13	2016					5	5	314	52			366
14	2017					5	5	314	52			366
15	2018					50	50	314	52			366
16	2019					5	5	314	52			366
17	2020					5	5	330	52			382
18	2021					5	5	335	52			388
19	2022					5	5	335	52			388
20	2023					50	50	335	52			388
21	2024					5	5	335	52			388
22	2025					5	5	356	52			409
23	2026					5	5	356	52			409
24	2027					5	5	356	52			409
25	2028					50	50	356	52			409

<그림 2-168> 사례구간 예비타당성 평가결과 입력

○ 사례구간에 연구단 개발기술을 적용했을 경우 경제적 타당성 분석결과를 제공한다.

경제적타당성

엑셀

단계	항목	기존 (백만원)	황성산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료	무시멘트, 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장	탄소저감형 흙포장
비용	공사비	1,795.00	1,795.00	1,528.19	1,072.02
	시설부대경비	0.00	0.00	0.00	0.00
	용지보상비	0.00	0.00	0.00	0.00
	예비비	0.00	0.00	0.00	0.00
	유지관리비	273.40	273.40	273.40	273.40
	총비용	2,068.40	2,068.40	1,801.59	1,345.42
편익	통행시간	6,366.24	6,366.24	6,366.24	6,366.24
	운행비용	1,040.20	1,040.20	1,040.20	1,040.20
	교통사고	0.00	0.00	0.00	0.00
	탄소저감	0.00	29.59	230.53	624.66
	에너지저감	0.00	42.88	334.06	905.21
	환경비용	0.00	0.00	0.00	0.00
	총편익	7,406.44	7,478.92	7,971.03	8,936.31
B/C		1.62	1.64	2.23	3.91

<그림 2-169> 사업평가 대안분석(경제성) 결과 검토

○ 경제적 타당성의 경우 LCC, 탄소, 에너지·자원에 대한 모든 결과를 종합하여 결론을 도출함으로 경제적 타당성의 분석 결과 검토를 통해 G-TIES의 기능 및 모듈 검토가 가능하다.

○ 검토결과 기존 도로구간 사업에 대한 경제성은 설계내역서와 동일한 1.62 값을 나타내고 있으며, 개별 기술 적용에 따른 해당 사업의 경제성 변화는 그림 2-5-27과 증가하는 것으로 나타나 시스템상의 문제는 없는 것으로 나타났다.

⑥ 녹색도로기술 투자평가시스템

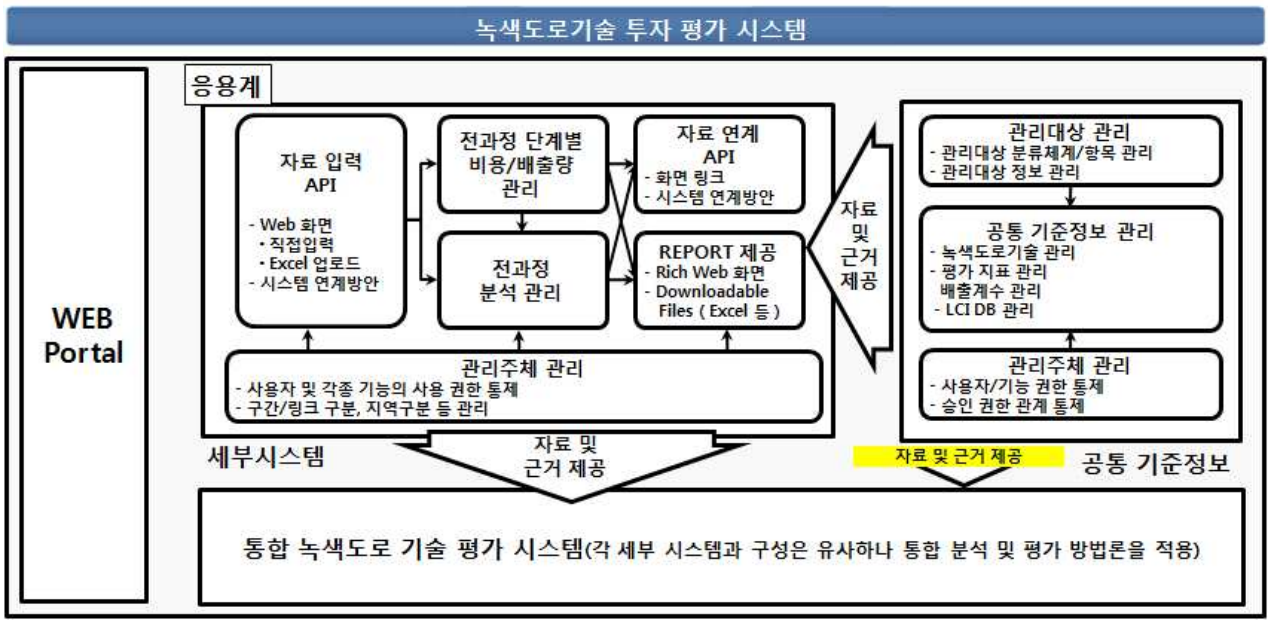
○ 녹색도로기술 투자평가시스템 개발은 2차년도에 과제에 참여하였으며, 녹색도로기술 투자평가시스템의 기능 및 모듈 설계를 위해 시스템 아키텍처의 구성 및 시스템 구조 설계가 선행되었으며, 각 연구기관별 연구내용을 바탕으로 2차년에는 탄소관리시스템과 LCC분석시스템, 정책/경제성분석시스템의 기능 및 모듈 설계가 먼저 시행되었으며, 이를 통합할 수 있는 메인 포털의 구성 및 개발이 진행되었다.

㉮ 시스템 아키텍처 구성

○ 녹색도로기술 투자평가시스템 개발을 위해 먼저 시스템의 아키텍처를 구성이 필요하다. 시스템 아키텍처는 소프트웨어의 특징을 결정짓는 주요 설계 구조로 소프트웨어의 구성요소 및 이들간의 인터페이스, 동작방식 등의 특징들을 결정짓는 모든 설계구조로 개발에 미치는 영향이 매우 커서 먼저 아키텍처의 구조를 정의하는 것이 필요하다.

○ 응용계 내의 서브시스템간의 상관관계를 보면, 탄소관리 및 투자평가는 각각 별개의 기능이나, 공통기준정보를 통합관리할 수 있도록 구성하며, 대부분의 시스템 설계는 공통기준정보의 자료설계 내용에 따라 좌우되도록 구성하였다.

○ 시스템의 확장 및 단위 시스템의 추가, 업무 프로세스의 변경 등에 대비하여 3계층 웹 아키텍처를 적용하여 유연성과 확장성에 기반한 소프트웨어 아키텍처를 설계하였으며, 탄소중립형 도로 기술개발 통합 시스템 구축시 필요한 응용시스템의 Capacity를 산정하여 하드웨어 아키텍처를 설계하였다.



<그림 2-170> 시스템 논리 아키텍처 정의

■ 아키텍처 요구사항

○ 통합 아키텍처의 요구사항은 기능성, 성능, 확장성, 유연성, 연계성 등 여러가지 요소에서 분석이 가능하나, 가장 중점을 두어야 할 부분은 확장성과 연계간의 표준성이다. 이를 보장하기 위해 다양한 기능적 추가 및 확장에 유연하게 대응할 수 있는 인프라 구조 및 소프트웨어 아키텍처의 구조 설계 및 제공이 필수적이다.

◎ 성능 요구사항

○ 탄중도 통합관리시스템은 향후 연구기간동안 각 도로의 기능별, 유형별, 세부공종별 배출량 산정 집계 조사 및 녹색도로기술 도입 내역에 따라 구체적인 컨텐츠의 물리적인 양의 차이가 발생할 수 있다. 따라서 탄중도 통합관리시스템의 성능 요구사항은 연차별 구축 프로젝트의 초기 단계에서 재 예측 및 산정되어야 하며, 현 단계에서의 성능 산정은 수집 가능한 최대한의 현실을 반영한 추정치이며, 미래의 데이터 규모에 대한 대략의 예측에만 사용할 수 있으므로 불확정성을 고려해야 한다.

○ 또한 통합관리시스템의 동시 처리 능력 산정은 일반인(포털)과 기관 사용자, 기업별 사용자가 동시 접근할 때를 가정하여, 최번시 동시사용자를 수용할 수 있도록 동시 처리 능력의 기준을 설정해야 한다.

◎ 보안 및 접근 정책

○ 녹색도로기술 투자평가시스템에 보관되는 자료는 도로건설부문에 대한 국가 정책의 주요 근거로서 활용될 수 있는 기준자료의 성격을 가지므로, 외부로부터의 침해 또는 위변조가 결코 있어서는 안 되며, 각 서브시스템의 자료의 공개 및 입력/수정의 주체와 권한이 자료의 성격에 따라 상이하며, 모든 자료의 공개 및 입력 수정의 권한은 사용자 권한 정책에 따라 통제되어야 한다. 또한 보관된 자료에 대해 정상적인 접근 인증절차를 거치지 않은 열람 및 수정 또는 자료의 입력이 발생할 수 없도록 차단이 되어야 한다.

◎ 확장성

○ 녹색도로기술 투자평가시스템의 처리 규모는 변동요인에 의해 확장될 수 있으며, 최종적인 구축 완료 이후의 규모 증가 추이를 예상하기 어려우므로, 증가하는 사용량에 맞추어 인프라의 처리 능력 및 용량을 유연하게 확장할 수 있어야 한다.

○ 또한 녹색도로기술 투자평가시스템의 초기 사용량이 크지 않을 것으로 예상되므로 각 서브시스템은 최소한의 인프라 구조 내에 전개되어야 하며, 향후 특정 서브시스템의 사용량 증가가 있을 경우 별도의 서버 또는 스토리지, 네트워크 등의 인프라로 분리되어 구성이 가능하여야 한다.

◎ 호환성

○ 연구 기간 종료 후 시스템의 전개에 있어 연구 기간과는 상이한 데이터센터로의 이전 및 재구성이 필요할 수 있으므로 기반 하드웨어 및 소프트웨어는 국내 통상의 데이터센터에서의 전환 구축 및 운영이 가능하도록 보편적인 호환성을 유지할 수 있는 제품으로 구성한다.

○ 또는 시스템의 성격상, 공공 영역의 여타 시스템 또는 데이터센터로의 통합 운영이 필요할 수 있으므로 기반 하드웨어 및 소프트웨어는 공공사업에 통상적으로 사용되는 플랫폼과의 통합 및 확장성을 고려하여 구성한다.

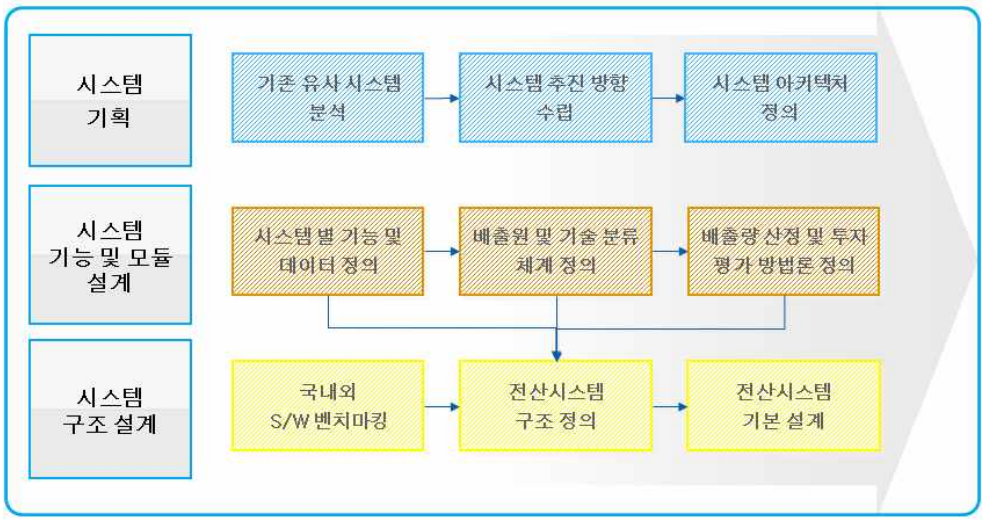
○ 연구 기간 종료 후 시스템의 전개에 있어, 상이한 기반 구조에의 전환 구성이 필요할 수 있으므로 녹색도로기술 투자평가시스템의 응용 구조는 다양한 기반 소프트웨어로의 전환구성이 가능하도록 산업적으로 표준화된 기반 소프트웨어 간에 이식 가능하도록 구성한다.

◎ 연계성

○ 상이한 외부 기관의 시스템으로부터 자료를 수집할 수 있어야 하며, 외부 다양한 시스템에 의한 데이터 입출력에 유연하게 대응하기 위해 기반 소프트웨어가 특정 소프트웨어에 종속되지 않고 독립성을 유지해야 하며, 모든 자료 연계가 포괄되는 네트워크 송수신 표준을 채택하고, 자료 연계별로 동일 성격의 자료에 대해서는 동일한 형식의 전문이 사용될 수 있도록 송수신 데이터의 형식이 구조화되도록 구성한다.

㉯ 시스템 구조 설계 추진 방안

○ 시스템 구조 설계를 위해서는 시스템의 기획과 시스템 기능 및 모듈의 설계가 선행되어야 한다. 기존 유사시스템의 분석 및 적용방안 도출을 통한 시스템의 정의가 이루어지면 각 세부과제별 연구기관의 연구내용을 바탕으로 시스템별 기능 및 데이터 정의에 대한 논의를 통해 기본 분류체계가 도출 및 모듈 설계를 위한 방법론의 정의가 필요하며, 각 연구내용에 대한 산출물을 바탕으로 한 중점 관리 항목 및 데이터 정의가 선행되어야 한다.



<그림 2-171> 시스템 구조설계 추진 절차

○ 시스템 기능 정의

- 기능별 요구사항의 초안을 연구팀에서 작성하여 개발팀의 검토 및 보완 작성 후 협의하여 확정함

○ 시스템 기능 설계

- 기능 간의 데이터 및 사용자 작업 연계 흐름 설계를 진행하고 각 기능별 상세 설계를 수행함

○ 데이터 분류체계 정의

- 정의된 각 기능영역 항목별로 필요한 관리 데이터의 구성 체계를 정의함

- 향후 탄소관리시스템과 투자평가시스템이 연계된 통합관리시스템으로 구축되기 위해서 전 과정 단계의 분류체계와 각 기술별, 평가항목별에 대한 연계정보 통합이 사전에 정의되어야 함

○ 데이터 구조 정의

- 기능 구현을 위해 필요한 데이터의 구조를 사전에 정의함

- 데이터 구조는 기능에서 표현하고자 하는 내용의 샘플을 담고 있는 데이터 테이블 형태로 제시될 수 있음

○ 데이터 구조 설계

- 제시된 데이터 구조가 정의되면 실제 시스템에서 데이터베이스로 구현하여 이용할 수 있는 데이터 구조 정의 및 데이터 테이블 설계 등의 상세 설계 작업이 진행됨

○ 시스템 기능 로직 정의

- 입력된 데이터는 일정한 논리적 연산을 통해 결과를 생성하므로, 이때 연산이 필요한 데이터 항목을 정의하고 각 데이터 항목별로 연산을 위한 논리식을 정의함

- 설계된 데이터 연산을 수행하기 위한 데이터 연산 프로시저를 개발하여 입력 데이터를 연산하여 다양한 결과를 산출할 수 있도록 구현함

○ 기본 화면 설계

- 기능별 요구사항과 데이터 정의에 기반하여 화면에 표출되어야 하는 구체적 기능을 설계함

- 주요 기능을 중심으로 화면의 구성 설계를 진행하고 시스템의 모습을 예측할 수 있는 프로토타입 개발

㉰ 녹색도로기술 투자평가시스템 메인포털 개발

○ 녹색도로기술 투자평가시스템의 메인 포털 디자인 개발을 위해 현재 활용도 높게 사용되고 있는 유사 통합관리시스템의 포털 구조를 검토를 통해 포털에 기본적으로 포함되어야 할 사항 및 특성을 파악하여 메인 포털 설계 방향을 선정하였다.

○ 2차년 초기 녹색도로기술 투자평가시스템은 사용자 포털의 메뉴 구조는 크게 모든 사용자를 위한 투자평가 시스템, 녹색도로 기술 소개, 탄소관리시스템, LCC분석시스템, 에너지 자원 분석 시스템, 타당성 분석 시스템, 기술상용화 시스템 및 사용자 관리, 관리자를 위한 시스템 정보관리와 게시판으로 구성되었으며, 사용자 포털의 녹색도로기술 평가 정보 조회는 기본적으로 탄소관리 및 LCC분석 시스템의 조회 화면과 같은 성격을 갖고 있으며, 향후 구축 및 데이터 확보가 이루어진 후에는 배출정보시스템의 조회화면 중 여러 화면이 사용자 포털의 메뉴로 공유될 수 있도록 구성하였다.

○ 사용자 포털은 최근 공공기관에서 많이 사용하는 디자인 화면과 사기업에서 많이 사용하는 디자인 화면으로 작업하였으며, 공공기관에서 주로 사용하는 화면은 1단 구성으로 포털화면에 대부분의 정보를 담고 있어 한 번에 확인이 용이하며 원하는 화면으로 바로 이동할 수 있는 장점이 있다. 후자의 경우, 2단 구성으로 주 메뉴에 접근시 서브 메뉴가 펼쳐지는 형태로 심플한 구성으로 가독성이 높은 장점이 있다.

○ 두 화면의 시안 중 논의를 통해 2차년에는 시안 (2)를 최종 화면으로 채택하고, 이 후 이에 대한 구체화 및 고도화 작업이 진행되었다.

○ 3차년도에 지식관리시스템이 연구에서 제외되었으며, 연구가 진행되고 발전되는 과정에서 전반적인 연구 통합을 위해 협의와 논의를 통해 3차년에는 디자인 및 구성이 수정/보완되어 2차년도의 최종 메인포털의 디자인과는 전혀 다르게 구성되어 있음을 알 수 있다.



<그림 2-172> 2차년 메인포털 화면 시안(1)



<그림 2-173> 2차년 메인포털 화면 시안(2)

㉮ 통합 소프트웨어 및 포털 추진 방향

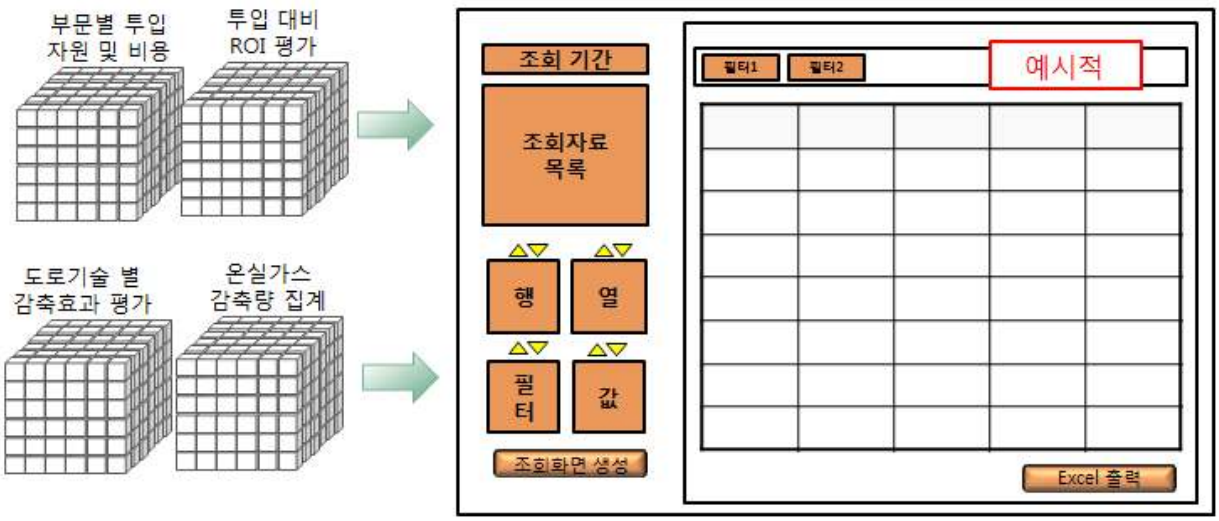
■ 소프트웨어 및 모듈구조 설계

○ 탄소관리시스템은 설계내역서 및 배출계수, 공종별 자원/에너지 사용량 등의 외부기관의 데이터를 수집하여 공사별/공종별 탄소배출량을 산정하고 배출원단위를 하며 이에 대한 산정결과를 보고서, 조회, 시스템 연계를 통해 지속적으로 제공할 수 있도록 시스템 구조를 정의하였다.



<그림 2-174> 탄소관리시스템 구조

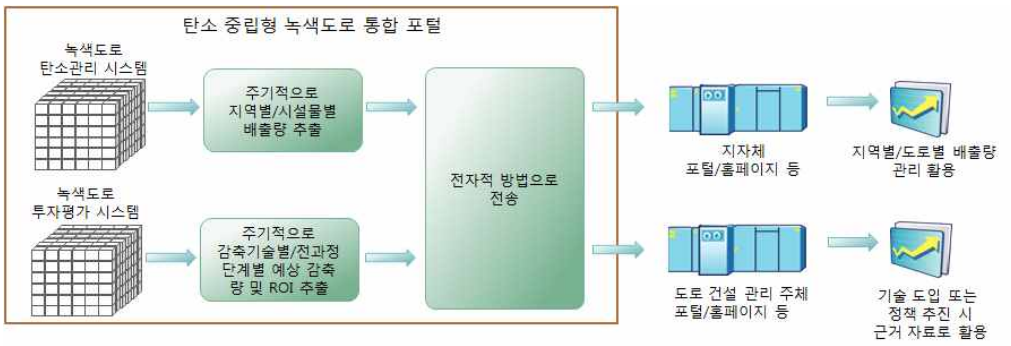
○ 녹색도로기술 투자평가시스템은 다양한 목적에 맞게 평가 및 조회를 수행하기 위해 교차분선 조회가 가능해야 하며 특정기간별, 전체 또는 특정부문/기술에 대한 원단위, 비용효과, 자원소모량 등의 건수, 합계, 평균, 최대/최소값 등의 제공을 고려하며, 비용 효과 편익분석 방법론을 제공하여 투자평가 및 결과를 제공할 수 있도록 시스템을 구성하였다.



<그림 2-175> 녹색도로기술 투자평가시스템 구조

■ DB 연계한 세부시스템 구조 설계

○ 녹색도로기술 투자평가시스템은 도로 부문에 대해 주기적으로 지역별/시설물별 배출량 추출과 도로 부문에 대한 감축기술별/전과정 단계별 예상 감축량 및 ROI 추출, 산정 결과에 대해 탄소중립형 녹색도로 건설을 위한 정책 및 기술적용을 할 수 있도록 정부/지자체/공공기관/건설사에 지속적인 자료 제공이 가능하도록 DB와 연계된 시스템으로 설계하였다.



<그림 2-176> 녹색도로기술 투자평가시스템 통합 포털 설계 방안

■ 탄소관리시스템 기능 및 모듈 설계

○ 탄소관리시스템은 녹색도로의 전과정(계획 및 시공, 운영, 해체 및 재활용)에 걸친 탄소배출량을 정량적으로 산정하고 지속적인 관리를 위한 시스템으로 Life Cycle 단계별 공종별 녹색도로의 탄소배출량 산정 및 관리, 녹색도로기술별 탄소배출량 산정 및 원단위 관리, 탄소배출량 현황 적용에 필요한 각종 기초정보 관리를 담당한다.

○ 이를 위해 Life Cycle 단계별, 공사별, 세부 공종별 탄소배출량을 산정 tool을 제공하고, 녹색도로기술 적용을 위한 예상효과를 조회할 수 있어야 하며, 기준정보 및 온실가스 배출량 집계 및 원단위 분석을 기능으로 구현하였다.

○ 연구기관의 기능 및 모듈 설계 자료를 바탕으로 한 탄소관리시스템의 주요 화면 구성은 다음과 같으며, 이는 연구가 진행되면서 향후 변경 및 보완되었다.

○ 공종정보



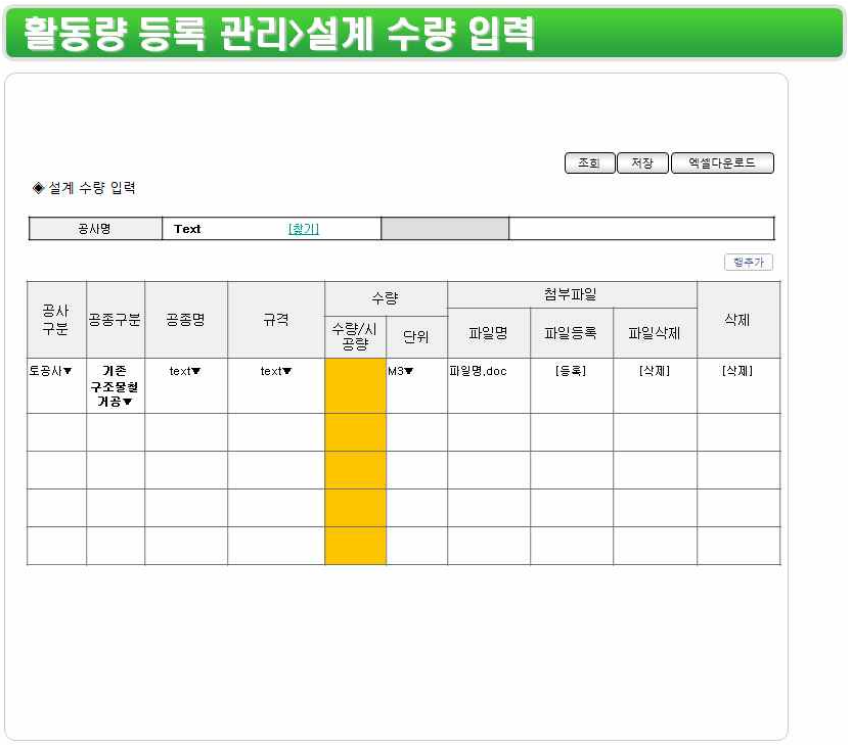
<그림 2-177> 기준정보_공종정보 화면

○ 배출계수 관리



<그림 2-178> 기준정보_배출계수 관리 화면

○ 설계 수량 입력



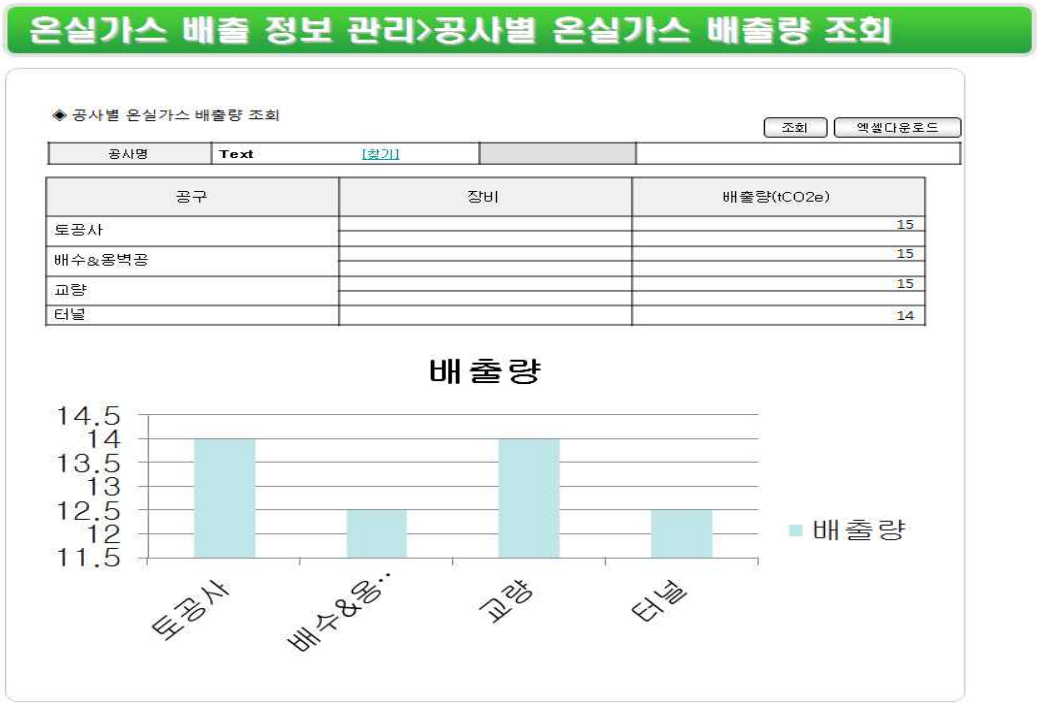
<그림 2-179> 활동량 등록 관리_설계 수량 입력 화면

○ Data 등록



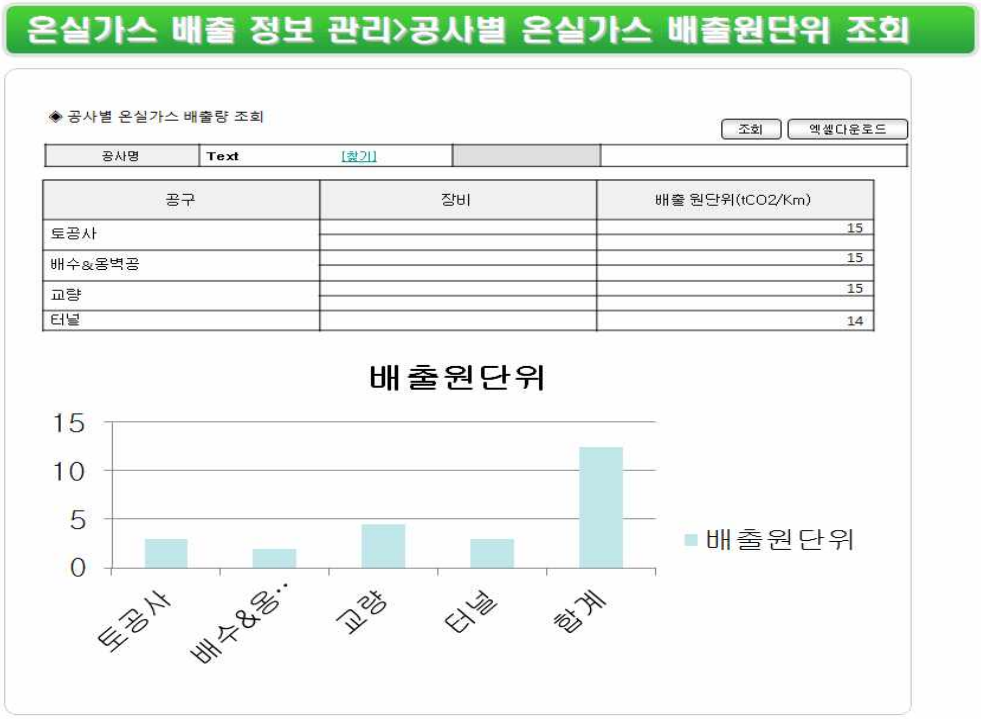
<그림 2-180> 활동량 등록 관리_Data 등록

○ 공사별 온실가스 배출량 조회



<그림 2-181> 온실가스 배출 정보 관리_공사별 온실가스 배출량 조회

○ 공사별 온실가스 배출원단위 조회



<그림 2-182> 온실가스 배출 정보 관리_공사별 온실가스 배출원단위 조회

■ 도로 LCC분석시스템 기능 및 모듈 설계

○ LCC분석시스템은 녹색도로기술의 생애주기 동안 발생하는 총 비용(Life-Cycle Cost)을 산출하는 분석시스템으로써 개발단계부터 시공, 운영, 유지관리 단계까지 단계별 발생하는 비용을 산출하는 시스템으로 녹색도로기술 구현을 위한 장래 투자비용을 미리 산정하고, 계획단계부터 실용화 단계까지 투자 결정 시점에 평가의 분석틀로 활용하는 목적으로 개발하였다.

본 시스템은 기술연구개발단계인 Part Ⅰ과 기술적용단계인 Part Ⅱ로 구성되며, 기술연구개발단계는 녹색도로기술개발에 대한 연구개발 소요 인력 및 비용에 관한 설문조사를 실시하여, 기술연구개발사업의 연구기획단계에서 사업화 이후 사장단계까지 생애과정에서 발생되는 총비용을 추정하는 기능을 한다.

○ 해당 단계의 주요 개발화면은 다음과 같다.

- 과제정보 등록



<그림 2-183> 화면설계_과제정보 등록 화면

- 실험



<그림 2-184> 화면설계_설문조사 등록_실험 화면

- 시제품



<그림 2-185> 화면설계_설문조사 등록_시제품 화면

- 현장시공



<그림 2-186> 화면설계_설문조사 등록_현장시공 화면

- 현장설치



<그림 2-187> 화면설계_설문조사 등록_현장설치 화면

○ 기술적용단계는 기존 도로 기술 대신 신규 녹색도로 기술로 대체했을 경우의 대안을 비교하여 적용하는 것으로 도로 공사 실시설계내역서 상의 공종별 항목을 참고하여 산출한다. 녹색도로 기술의 해당 세부 공종이 기존 설계내역서 내 비용 항목에 있을 경우 이를 대체하여 비용을 산출하고, 기존 공종을 대체하지 못하는 신규 기술일 경우는 신규 공종항목을 새로 입력하여 비용을 산출하도록 기능 구현하였다.

○ 주요 개발 화면은 다음과 같다.



<그림 2-188> 기술개발 Part2 LCC 내역서 조회 화면



<그림 2-189> 기술개발 Part2 LCC 재료비 등록 화면

○ 설문조사 현황>과제별 장비 비용 조회



구분	장비 비용(만원)	
	구매 장비	임대 장비
실험	1234	1234
시작품 제작	5243	3582
현장시험시공 및 설치	23456	1234

<그림 2-190> LCC분석통계_과제별 장비 비용 조회 화면

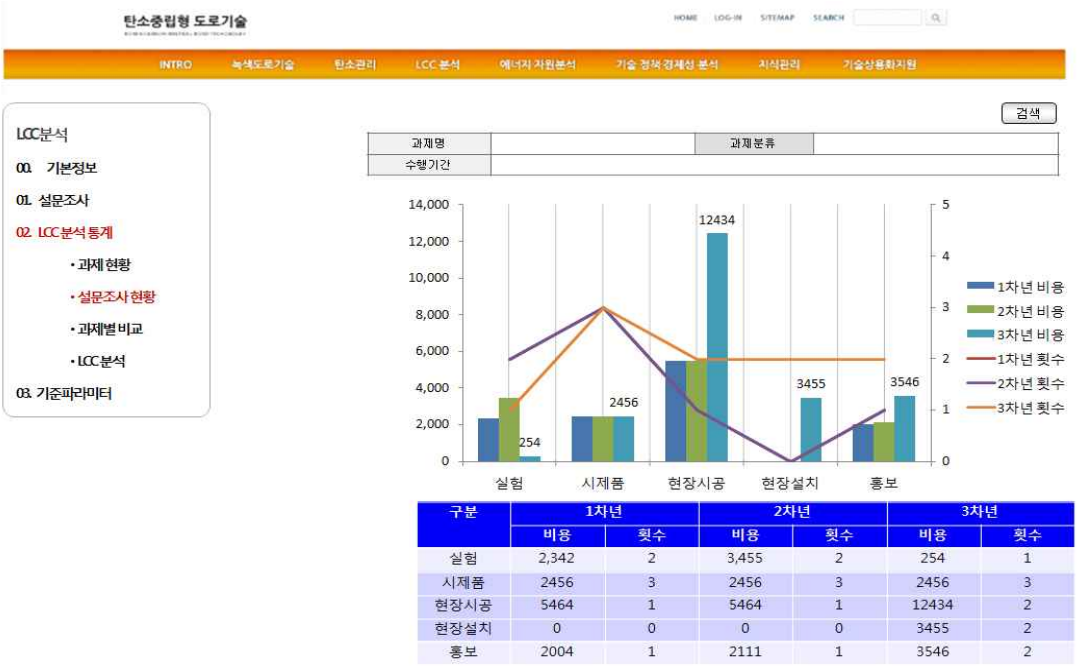
○ 설문조사 현황>장비별 비용 조회



구분	장비 비용(만원)		
	실험	시작품제작	현장시공 및 설치
GC-MS	2,342	503	0
건설장비1	0	2430	1,234
건설장비2	0	543	5438

<그림 2-191> LCC분석통계_장비별 비용 조회 화면

○ 설문조사 현황>연차별 비용 및 횟수



구분	1차년		2차년		3차년	
	비용	횟수	비용	횟수	비용	횟수
실험	2,342	2	3,455	2	254	1
시제품	2456	3	2456	3	2456	3
현장시공	5464	1	5464	1	12434	2
현장설치	0	0	0	0	3455	2
홍보	2004	1	2111	1	3546	2

<그림 2-192> LCC분석통계_연차별 비용 및 횟수 화면

○ 설문조사 현황>기술별 LCC 분석



구분	A도로기술	B도로기술	C도로기술
	비용	비용	비용
실험	2,342	3,455	254
시제품	2456	2456	2456
현장시공	5464	5464	12434
현장설치	0	0	3455
홍보	2004	2111	3546

<그림 2-193> LCC분석통계_기술별 LCC 분석 화면

■ 도로 정책/경제성분석시스템 기능 및 모듈 설계

○ 도로 정책/경제성분석시스템은 녹색도로기술 정책/경제성 평가시스템이란 녹색도로기술에 대해 객관성이 확보된 정량적/정성적 평가를 위한 시스템이며, 녹색도로 구현을 위한 기술 투자를 지원하고 유도하도록 하는 것이 그 목적이다.

○ 녹색도로기술 평가의 객관성을 제고하며, 기술적 타당성, 정책정 타장성, 경제적 타당성의 평가 기준에 따라 평가하도록 기능을 구현하였다.

○ 평가자가 평가정보에 대해 입력한 항목으로 AHP 분석을 실시하고 최종 결과값이 도출되는 형태로 구성하였으며, 향후 기존 평가결과를 DB화하여 열람할 수 있도록 기능을 구현하였으며 응답의 일관성이 낮을 경우, 재응답할 수 있도록 메시지 표시 기능을 개발하였으며, 평가정보등록 우측 상단에 작성 가이드를 제시하여, 이해도를 높일 수 있도록 화면을 구성하였다. 주요 화면은 다음과 같다.

○ 기본정보



<그림 2-194> 평가정보등록_기본정보 화면

○ 기술적 타당성



평가항목	절대중요		매우중요		중요		약간중요		동일		약간중요		중요		매우중요		절대중요	평가항목
기술개발계획의 적절성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술개발의 성공가능성
기술개발계획의 적절성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술개발의 성공가능성
기술개발계획의 적절성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기존사업과의 중복성
기술개발계획의 적절성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	수익창출 가능성
기술개발의 성공가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기존사업과의 중복성
기술개발의 성공가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	수익창출 가능성
기존사업과의 중복성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	수익창출 가능성

<그림 2-195> 평가정보등록_세부정보_기술적 타당성 화면

○ 기술개발계획의 적절성



평가항목	절대중요		매우중요		중요		약간중요		동일		약간중요		중요		매우중요		절대중요	평가항목
사업목표의 적절성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사업내용의 적절성

<그림 2-196> 평가정보등록_세부정보_기술개발계획의 적절성 화면

○ 정책적 타당성



<그림 2-197> 평가정보등록_세부정보_정책적 타당성 화면

○ 경제적 타당성



<그림 2-198> 평가정보등록_세부정보_경제적 타당성 화면

○ PM 문답



<그림 2-199> 평가정보등록_세부정보_PM문답 화면

○ 평가결과조회



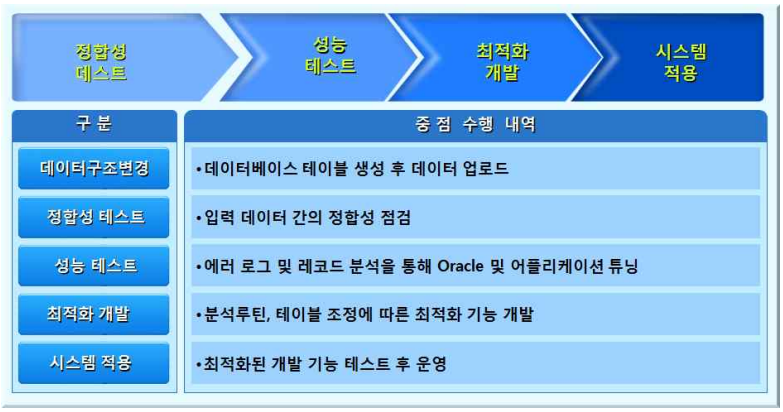
<그림 2-200> 평가결과조회_평가결과 화면

㉮ 녹색도로기술 통합 포털 검증 및 보완

■ 시스템 운영에 따른 안정성 및 보안성 확보

○ G-TIES는 도로의 탄소배출량, 에너지사용량, 비용발생량을 정밀하게 관리 및 조회, 비교·분석할 수 있는 시스템으로, 해당 등록 데이터 수가 방대할 수 있는 복잡한 구조를 가지고 있으므로 신규로 추가되는 데이터를 효율적으로 저장할 수 있는 동시에 데이터 항목의 변화에 체계적으로 대응 가능하도록 개발되었다.

○ 또한 성능 업데이트 및 데이터베이스 최적화 등을 통해 시스템 정상 운영 및 장애 발생에 대응할 수 있도록 개발하였다.



<그림 2-200> 성능 업데이트 및 데이터베이스 최적화 계획

○ 기능 접근과 데이터 검색 범위 등을 사용자 그룹별로 차등적용하고 개인별 데이터는 사용자 단위로 관리되도록 세분화하여 권한 부여를 통한 데이터 보안 대책을 적용하였으며, 정부표준 프레임웍을 기반으로 시스템을 구축하여 유연성과 보안성을 확보하였다.

■ 성과물 기준 평가기준 타당성 확보(전문가 검토)

○ 녹색도로기술 투자평가시스템의 개발 성과물 검증을 위한 평가기준을 마련하고, 평가기준에 대한 합리성 및 타당성에 대해 전문가 검토를 통한 검증을 진행하였다.

○ 평가기준을 작성함에 있어 필요한 평가항목, 대표성 있는 평가조건 등을 명시하고, 각 평가부문은 기능성, 사용성, 활용성으로 구분되며 평가 항목별 중요도에 따라 점수를 배분하였다.

○ 기능성에 대한 평가 항목은 기능구현 완전성, 기능구현 정확성, 보안성, 호환성 등이며 사용성에 대한 평가 항목은 기능학습 용이성, 입출력 용이성, 사용자 인터페이스 편의성, 사용자 인터페이스 일관성, 사용자 인터페이스 적절성, 현재 상태 파악 용이성 등으로 구성되며, 활용성에 대한 평가 항목은 기법정보 제공, 유관정보 제공, 기술 활용성, 상용화 가능성 등으로 구성하였다.

○ 시스템 설명 및 시연 후 실제로 평가자가 시스템을 사용해보면서 평가하였으며, 수요자 만족도 조사 결과 80점 이상(87.3점)으로 평가되었다.

<표 2-126> 녹색도로기술 투자평가시스템 포털 수요자 만족도 조사 결과

평가 부문	평가항목	평가기준	평가 점수
기능성 (50)	기능구현 완전성(20)	녹색도로기술 개발을 위한 평가와 적용효과 분석에 필요한 기능이 구현되어 있는가?	17.7
	기능구현 정확성(20)	구현된 모든 기능들이 정상적으로 동작하는가?	9.1
	보안성(10)	인가되지 않은 사람 또는 시스템의 접근을 방지하여 중요한 정보 및 데이터를 보호하고 있는가?	8.9
사용성 (30)	기능학습 용이성(10)	시스템을 통해 기능정보를 파악하기 용이하도록 구성되어 있는가?	8.3
	입출력 용이성(10)	데이터 입출력 방법 및 이용절차가 편리하게 구성되어 있는가?	8.1
	사용자 인터페이스 편의성 및 용이성 (5)	화면구조(메뉴, 화면배치 등)가 - 이해하기 쉽도록 구성되어 있는가? - 사용자가 수행하는 기능의 위치 또는 진행현황을 쉽게 파악할 수 있는가?	4.3
	사용자 인터페이스 일관성 및 적절성 (5)	화면구조(메뉴, 화면배치 등)가 - 동일하거나 유사한 기능수행을 위해 일관된 또는 통합된 인터페이스를 제공하고 있는가? - 기능사용과 결과 조회를 용이하게 제공하고 있는가?	4.4
활용성 (20)	정보제공(5)	평가에 활용되는 방법에 대한 설명과 제공하는 분석결과는 충분한가?	4.0
	유관정보제공(5)	시스템에 수록된 기술 또는 시스템에서 활용하고 있는 평가기법이 녹색도로기술 개발 추진 및 발전에 활용 가능한가?	3.8
	상용화 가능성(5)	연구개발의 성과물인 이 시스템을 보완(상용화)하여 상용 시스템으로 활용할 수 있는가?	4.3
	기능 확장성(5)	연구개발의 성과물인 이 시스템에 연계될 수 있는 기능을 추가하여 시스템의 분석기능을 확장할 수 있는 가능성이 있는가?	4.3
평가점수 합계			87.3

다. LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발(1-3)

① 도로선형 및 차량에 따른 탄소배출량 산정

㉮ 도로선형을 고려한 차종별 탄소배출량 산정모형

■ 이론 검토 및 적용성 연구

◎ 주행속도 정의

○ AASHTO(2001)에서는 주행속도의 정의를 “도로 구간별 설계속도에 의해 결정되는, 안전속도를 초과하지 않고 양호한 기상조건하에서 운전자가 주어진 도로구간을 주행할 수 있는 최대속도”로 정의하고 있다.

- 자유류 상태의 속도 표본에서 85%속도를 특정지점에서의 주행속도로 추정하는 방법은 AASHTO에 가장 통용되고 있는 방법
- 특히, 설계속도가 사실상 곡선부 특정지점에만 적용할 수 있는 개념인데 비해 주행속도 개념은 지점보다는 전체 선형조건을 대상으로 속도의 일관성과 안전성 문제를 점검하는 데 유용한 개념

◎ 주행속도 예측모형

○ Lamm 등에 의한 연구에서는 독일의 Lamm, Hiersche, Mailaender(1993)은 제한속도가 100km/h인 도로를 대상으로 속도 예측모형 식을 개발하였다.

- “Curvature Change Rate(CCR)”인 곡률변화와 85% 속도와의 관계를 통해 주행속도를 예측하여 편경사율, 정지시거와 같은 선형설계요소결정시, 이 주행속도를 설계속도 대신 이용(곡률변화에 의한 방법은 운전자의 주행특성을 잘 반영할 수 있다는 장점)
-

$$V_{85} = \frac{10^6}{8{,}270 + 8.01 CCR_s} \quad R^2 = 0.73$$

여기서, V_{85} : 자유교통류 조건에서 85%속도로 표현되는 주행속도(km/h)
CCRs : 단일 곡선부의 곡률변화율(gon/km)

○ R.A. Krammes 등의 연구(1995)에서는 미국 5개의 주에서 경사5%미만이며, 곡률각이 3~12°인 138개의 표본을 조사하여 McLean(호주)의 연구에서 설계속도가 90kph보다 작거나 같을 때, 평면곡선의 주행속도는 설계속도를 넘는다는 사실을 확인하였다.

- 곡선부에서 주행속도를 예측하기 위한 가장 중요한 독립변수로서 곡률도, 곡선장, 교각이 주행속도에 영향을 미치는 것을 밝혀냄

$$V_{85} = 102.45 - 1.57D + 0.037L - 0.101$$

여기서, V_{85} : 자유교통류 조건에서 85%속도로 표현되는 주행속도(km/h)
DC : 곡률도(°/100ft), L : 곡선장(m), I : 교각(°)

○ Fitzpatrick 등의 연구(1999)는 크게 평면곡선-종단경사(Horizontal Curves on Grades)구간, 평면곡선-볼록종단곡선 구간(Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves), 종단곡선-평면직선(Vertical Curves on Horizontal Tangents) 구간으로 구분하여 속도 예측식을 개발하였다.

- 총 48개 지점의 평면곡선-종단경사 구간(Horizontal Curves on Grades)에 대한 주행속도를 조사하였으며, 곡선반경의 역수, 편경사를 독립변수로 한 주행속도예측모형 연구를 수행

<표 2-127> Fitzpatrick의 주행속도 예측 모형

	alignment of road	Operating Speed Estimation
1	Horizontal Curves on Grades -9% ≤ G < -4%	$V_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R}$
2	Horizontal Curves on Grades -4% ≤ G < -0%	$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R}$
3	Horizontal Curves on Grades 0% ≤ G < 4%	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$
4	Horizontal Curves on Grades 4% ≤ G < 9%	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$
5	Horizontal Curves on Grades	$V_{85} = 105.32 - \frac{3498.19}{R}$
6	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves (sight distance)	Operating Speed Estimation 1,2 low Operating Speed 3,4
7	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves (sight distance restriction)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3576.51}{R}$
8	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves	$V_{85} = assumed\,desired\,speed$
9	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves (sight distance)	$V_{85} = assumed\,desired\,speed$
10	Horizontal Curves Combined with Crest Vertical Curves (sight distance restriction)	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{k}$

○ FHWA의 연구(2000)는 2차로 도로를 대상으로 하여 크게 구배가 0~4%인 평면곡선구간, 오목곡선-평면선형구간, 볼록곡선-평면선형구간(시거제약)으로 나누어 곡률도, 편향각, 평면곡선반경, 종단구배, 종단곡선변화율을 독립변수로 하여 주행속도예측모형을 구축하였다.

<표 2-128> FHWA의 주행속도 예측 모형 참조: G = 종단경사(%), R = 평면곡선반경(m) K = 종단곡선변화율(%/m)

	alignment of road	Operating Speed Estimation
1	plane curve-vertical curve -9% ≤ G < 0%	$V_{85} = 100.87 - \frac{2720.78}{R}$
2	plane curve-vertical curve 0% ≤ G < 4%	$V_{85} = 106.30 - \frac{3595.29}{R}$
3	plane curve-vertical curve (crest)	
4	plane curve-vertical curve 4% ≤ G < 9%	$V_{85} = 96.46 - \frac{2744.49}{R}$
5	plane curve-vertical curve (sag, sight distance restriction)	$V_{85} = 101.90 - \frac{3283.01}{R}$
6	plane curve-vertical curve (crest, sight distance restriction)	$V_{85} = 111.19 - \frac{175.98}{R}$
7	plane curve-vertical curve (sag)	$V_{85} = 100.19 - \frac{126.07}{R}$

◎ 이산화탄소 배출계수 산정 모형

○ 도로를 주행하는 자동차에서 발생하는 대기오염물질의 배출유형은 크게 엔진가열 배출, 엔진 미 가열 배출, 증발배출로 나눌 수 있으며, 차종에 대한 분류는 자동차 관리법 시행 규칙에 따라서 분류하고 있다.

<표 2-129> 차종분류 비교

자동차관리법		배출량 산정 편람	
승용차	경형 (800cc 미만)	승용차 택시	경형 (800cc 미만)
	소형 (800~1500cc)		소형 (800~1500cc)
	중형 (1500~2000cc)		중형 (1500~2000cc)
승합차	경형 (800cc 미만)	승합차	경형 (800cc 미만)
	소형 (15인승 이하)		소형 (15인승 이하)
	중형 (16~35인승)		중형 (16~35인승)
	대형 (36인승 이상)		대형 (36인승 이상)
화물차	소형 (총중량 3톤 이하)	화물차	소형 (총중량 3톤 이하)
	중형 (총중량 3~10톤)		중형 (총중량 3~10톤)
	대형 (총중량 10톤 이상)		대형 (총중량 10톤 이상)
			특수형 (화물자동차)
특수차	구난형	특수차	구난형
	특수작업형		견인차
	일반형		기타
이륜차	소형 (100cc 이하)	이륜차	경형 (50cc 이하)
	중형 (100~260cc 이하)		소형 (50~100cc)
	대형 (260cc 초과)		중형 (100~260cc 이하)
			대형 (260cc 초과)
		버스	시내버스
			시외버스
			전세버스
			고속버스
			기타(농어촌버스,마을버스)

○ 국립환경과학원(온실가스 및 대기오염물질 배출계수 통합관리 시스템 개발, 2007)의 차종별 연료별 배출계수(CO_2 기준)는 다음과 같다.

<표 2-130> 차종별 연료별 배출계수

차종		연료	CO_2
승용차	경형	휘발유	137.8
	소형	휘발유	180.9
	중형	휘발유	212.9
	대형	휘발유	235.7
	경유 [1]		243.3
	LPG		231.0
	기타 [2]		-
택시 + 렌트카		LPG	231.0
승합차	소형	휘발유	251.7
		경유	243.3
		LPG	190.2
		기타 [2]	-
	중형	경유	315.1
	대형	경유	1,382.4
	특수승합차 [3]	경유	1,357.5
버스	시내버스	경유	1,382.4
	시외버스	경유	1,382.4
	전세버스	경유	1,382.4
	고속버스	경유	1,382.4
화물	소형	휘발유	247.3
		경유	245.5
		LPG	187.9
		기타 [2]	-
	중형	경유	334.9
	대형	경유	1,388.2
특수차량 [4]		경유	812.2

주) 1) 경유를 사용하는 소형승합차의 배출계수를 이용
2) 기타연료는 알코올, 등유, 전기 등으로 배출계수가 정립되지 않았고, 차량의 수가 적어 배출량 산정에 포함시키지 않았음
3) 특수승합차는 장의차량, 구난차량 등으로 중형 승합차와 대형승합차(장의차량 등) 으로 구분되어 있어 차량등록대수의 비율에 따라 중형/대형 승합차의 배출계수를 배분 한 것임
4) 특수차량의 경우도 견인차량, 유조차량 등으로 중형 및 대형 화물차로 구분되므로, 차량등록대수의 비율에 따라 중형/대형 화물차의 배출계수를 배분하였음

■ 모형 구축 과정

◎ 자료 수집

□ 구간 개요

○ 지방부 일반국도 4차로를 대상으로 화물차의 주행속도 및 기하구조 요소 수집하였으며, 조사구간 선정기준은 도로선형 외 운전자 주행행태에 영향을 미치는 요소(과속단속카메라, 평면교차, 터널, 주변상가 등)가 최소인 구간을 선정하였다.

<표 2-131> 분석구간 선정기준 검토

도로조건	선정기준
· 도로기능 · 설계속도 · 곡선반경 · 종단경사 · 차로폭(1차로) · 평면곡선 길이 · 종단곡선 길이 · 직선길이 · 종단곡선 유형	· 일반국도 · 80km/h · 300m~2,000m · 0%~ · 3.5m 이상 · 제약 없음 · 제약 없음 · 100m 이상 · 볼록 및 오목 곡선

○ 분석항목으로는 다음과 같으며, 속도가 해당 구간에서만 발생하는 것이 아니라, 상류부의 기하구조가 해당 구간에서의 속도에 영향을 미치기 때문에 기존의 연구와 다르게 상류부의 기하구조 및 차량의 속도를 조사하였다.

<표 2-132> 분석항목

구분	독립변수	설 명	비 고
상류부 평면직선	L_T	상류부의 평면직선길이(m)	기하구조 조사
	V_T85	상류부의 주행속도	주행속도 조사
평면곡선	V_C85	곡선내의 주행속도	주행속도 조사
	R_C	곡선반경(m)	기하구조 조사
	L_C	평면곡선길이(m)	기하구조 조사
	V_S	종단경사(%)	기하구조 조사

○ 현장조사는 기하구조 자료 취득이 용이한 구간을 대상으로 2차년도(승용차) 3차년도(화물차)에 대하여 다음 구간에서 조사가 진행되었으며, 대상 구간의 선형설계에 대한 제원분포는 다음과 같다.

<표 2-133> 대상구간 선형설계제원 분포-2차년도

노선	행정 구역	노선 번호	구간 연장 (km)	곡선반경 (m)	평면직선길이 (m)	종단경사 (%)
3	충북문경	3	4.5	140～1,500	0～360	-2.4～+2.6
			4.5	140～1,500	0～360	-2.6～+2.4
			21.9	280～5,700	0～2,360	-4.8～+4.7
			21.9	280～5,700	0～2,360	-4.7～+4.8
6	경기양평	6	39.3	400～3,400	0～1,640	-4.8～+7.0
37	경기포천	37	28.1	240～2,000	100～2,920	-5.6～+4.8
	경기포천		14.5	240～1,500	160～2,920	-4.4～+5.0
합계			134.7	140～5,700	0～2,920	-5.6～+7.0

○ 3차년도 연구를 위한 자료는 지방부 일반국도 4차로를 대상으로 화물차의 주행속도 및 기하구조 요소 수집하였다.

- 32호선(신풍～우성구간), 34호선(성환～입장구간), 36호선(내덕～북일구간)
- 대상구간의 총 길이는 약 33km, 곡선반경은 196～3,200m, 직선구간의 길이는 최대 3.8km, 종단경사는 -4.25～+4.07%로 다양하게 구성

<표 2-134> 대상구간 선형설계제원 분포-3차년도

노선	구간	도시	거리 (km)	곡선반경 (m)	직선길이 (m)	종단경사 (%)
32	신풍 ~ 우성	공주	11.7	380～2,300	0～3,834	-3.9～+4.07
34	성환 ~ 입장	천안	8.3	500～3,200	0～3,756	-1.1～+3.8
36	내덕 ~ 북일	청원	13.43	196～2,000	0～1,152	-4.25～+3.82
합계			33.43	196～3,200	0～3,834	-4.25～+3.82

위 치	충남 공주 신풍면 ~ 공주 우성면
총 연장	11.68km
총사업비	1,122억원
공사기간	2002.10 ~ 2011.12
주요시설	
출입시설	13개소
교량	11개소 / 900m
터널	1개소 / 680m (신영터널)
시공자	계룡건설
감리자	-
설계자	경동기술공사




<시점부 - 산정교차로>


<유구천 통과구간>


<우성초등학교 어린이보호구역>


<종점부 - 우성교차로>

<그림 2-201> 국도 32호선(신풍~우성구간) 개요

위 치	충북 청주 상당구 ~청원 북일면
총 연장	13.4km
총사업비	1,428억원
공사기간	2004.10 ~ 2013.12
주요시설	
출입시설	6개소
교량	23개소 / 1,454m
터널	1개소 / 490m (상리터널)
시공자	대우건설
감리자	KG엔지니어링
설계자	보람엔지니어링











<그림 2-202> 국도 36호선(내덕~북일구간) 개요

◎ 속도 자료

○ 속도자료는 승용차 및 2.5톤 이상의 화물자동차를 대상으로 진행하였다.

- 교통량에 의하여 차량의 속도에 영향을 미치지 않도록 차두시간이 6초 이상(도로기하구조 안전성 평가 기술 개발(2010), 한국건설기술연구원)인 화물자동차의 속도 자료 수집

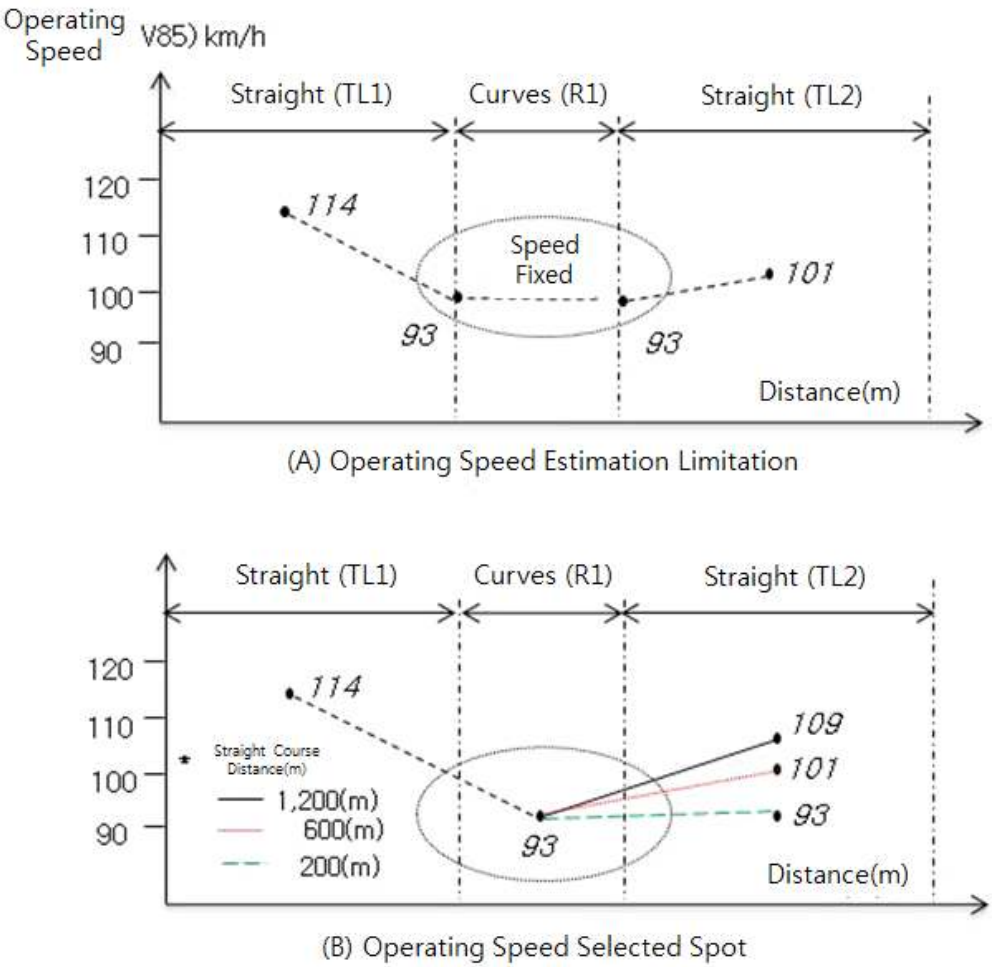
- 속도 측정의 지점은 평면곡선부의 전·후 100m, 곡선부 중앙지점으로 선정. 이는 동일한 평면곡선부의 주행속도에서도 평면곡선부의 진·출입 속도와 곡선부의 중앙지점에서의 주행속도 특성이 다르기 때문임(Lee. J. H., 2013).

- 즉, 평면곡선부의 진출입 주행속도가 대표값인 경우에는 곡선부내에서의 주행속도는 일

정한 값이 나타나기 때문에, 평면곡선부의 주행속도 값을 대표할 수 있는 지점은 곡선부의 중앙지점이 적합

- 또한, 차량의 속도는 상류 및 하류부의 형태(곡선부/직선부)에 따라 영향을 받지만, 대부분의 연구에서는 이를 고려하지 않고 모형을 구축

- 이를 고려하여, 직선부-곡선부-직선부를 하나의 세트로 구성하여 속도자료를 구축하였으며, 하나의 세트별로 최소 40대 이상의 화물차 속도 조사(중심극한의 정리)



<그림 2-203> 속도측정 지점 선택의 개념도

◎ 모형 구축

○ 본 연구에서는 SPSS분석 시에 회귀분석을 실시하기 위해서 후진제거법(Backward estimation)을 선택하였다.

- 후진제거법은 모든 독립변수를 사용해 하나의 회귀방정식을 수립하여 회귀식에 유기적으로 기영하지 못하는 독립변수 값 검정을 실시한 뒤, 그 값이 가장 작은 변수부터 하나씩 제거하고 남은 나머지 독립변수를 이용해 회귀모형을 재추정하는 방법

○ 변수 선정은 종속변수는 화물차의 주행속도이며, 독립변수는 곡선반경, 직선구간 길이 및 종단경사이며, 변수가 가진 특성을 고려하여 유사한 개념인 곡선반경은 CCR, 종단경사는 종단곡선

의 길이에 따른 종단 구배의 변화(VC) 등으로 변환하여 모형에 적용하였다.

<표 2-135> 독립변수 설명

변수명	변수설명(단위)
RAD	곡선반경(m)
RADup	상류부 곡선반경(m)
LEN	구간길이(m)
VC	종단곡선의 길이에 따른 종단 경사의 변화비율 (%/m)
GRA	종단경사(%)
CCR	곡률변화율

■ 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

○ 도로선형을 고려한 차종별 탄소배출량 산출모형 개발에서의 예측모형은 평면곡선부와 평면직선부로 나뉘어 구축이 되었다.

- 2차년도 : 승용차 기준
- 3차년도 : 화물차 기준

○ 노면조건을 고려한 차종별 탄소배출량 예측모형 개발, 확률통계기법을 활용한 포장의 파손모형 개발 및 탄소배출량 및 생애주기비용 최소화를 위한 생애주기비용분석모형 개발에서는 전문가 섭외를 통하여 과제내용 전반에 대한 적합성 평가를 받았다.

◎ 승용차 주행속도 예측 모형

□ 평면곡선부

○ 다중 회귀분석 이용하여 승용차의 주행속도 예측모형을 구축하였다. 평면 곡선부의 경우,

- 곡률변화율 값이 1(gon/km) 증가할 때마다 승용차의 속도가 낮아짐

<표 2-136> 승용차 주행속도 예측 모형 결과-평면곡선부

변수	계수	표준오차	t-ratio
상수	116.468	2.050	56.809
곡률변화율	-0.095	0.018	-5.200
# of Observes ; 44 Adjusted R-squared : 0.377 Durbin-Watson Stat. : 1.595			

□ 평면직선부

○ 평면 직선부의 경우에는

- 평면직선의 길이가 길어질때마다 속도가 증가함

- 상류부 곡선부의 곡률변화율이 증가할 때마다 속도가 증가함

<표 2-137> 승용차 주행속도 예측 모형 결과-평면직선부

변수	계수	표준오차	t-ratio
상수	108.409	2.626	41.289
평면직선길이	0.006	0.002	2.933
상류부 곡선부의 곡률변화율	-0.058	0.018	-3.168
# of Observes ; 42 Adjusted R-squared : 0.380 Durbin-Watson Stat. : 2.156			

□ 주행속도 예측모형 검증

○ 검증 대상지는 일반국도 4차로 도로의 총 3개 노선이며, 검증 구간의 범위는 곡선부와 직성부를 한 개소로 보고 총 19개소에 대해서 검증하였다.

<표 2-138> 주행속도 예측식 검증을 위한 대상 도로의 기하구조 현황

구간	개소	평균 직선길이(m)	평균 종단경사(%)	평균 곡선반경(m)	평균 곡률변화율(gon/km)	관측 평균 주행속도 (V_{85})
충청북도 문경(3호선)	9	500	1.7	498	141	104
경기도 양평(6호선)	5	456	2.5	626	105	103
경기도 포천(37호선)	5	620	-1.5	520	113	108

○ 평면곡선부 및 평념직선부의 주행속도 예측값과 관측값을 비교 분석하였다. 분석 결과 주행속도 예측값은 관측값과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

<표 2-139> 검증대상지의 자료현황 및 주행속도 예측 결과

구간	개소	STA (m)	평면 직선길이 (m)	평면 곡선반경 (m)	곡률 변화율 (gon/km)	종단 경사 (%)	주행속도(V85)		
							관측값	곡선부 예측값	직선부 예측값
충청북도 문경	1	1+480		700	91	3.8	110	108	
		1+680	200			3.8	116		104
	2	5+580		500	127	1.6	92	104	
		5+880	300			1.6	93		103
	3	6+180		500	127	0.6	104	104	
		6+480	300			0.6	99		103
	4	6+780		750	85	0.6	89	108	
		7+080	300				96		105
	5	7+980		300	212	1.5	98	96	
		8+280	300			4.0	95		98
	6	10+480		500	127	5.2	116	104	
		10+680	200			5.2	119		102
	7	11+180		500	127	5.2	101	104	
		13+480	2,300			-4.8	114		115
	8	14+880		450	142	1.0	104	103	
		15+280	400			1.0	115		103
	9	15+680		280	228	-0.6	101	95	
		15+880	200			-0.6	110		96
경기도 양평	10	2+960		800	80	2.2	109	109	
		3+760	800			2.2	121		109
	11	4+380		600	106	3.8	111	106	
		4+680	300			3.8	103		104
	12	5+200		830	77		101	109	
		5+520	320			1.6	87		106
	13	5+820		500	127		95	104	
		6+240	420			-3.0	106		104
	14	7+280		400	159		109	101	
		7+720	440		80	7.0	93		102
경기도 포천	15	0+880		500	127	-2.0	101	104	
		1+080	200		64		116		102
	16	5+880		500	127	-4.4	110	104	
		6+280	400			-4.4	113		103
	17	7+180		500	127	-0.9	97	104	
		8+180	1,000			-0.9	103		107
	18	8+580		500	127	-0.8	111	104	
		9+380	800			-0.8	103		106
	19	10+080		600	106	-0.8	108	106	
		10+780	700			1.7	113		106

○ 평면 곡선부의 주행속도 예측값과 관측값에 대한 대응표본 t-검정결과, t값은 -0.296이고, 유의확률이 0.770이다. 따라서 유의수준 0.05에서 귀무가설을 채택하므로 곡선부의 주행속도 예측값과 관측값은 차이가 없다는 결론을 내릴 수 있다.

<표 2-140> 평면곡선부의 대응표본 t-검정 결과값

대응차					t	자유도	유의확률 (양쪽)
평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95%신뢰구간				
			하한	상한			
-0.52632	7.74144	1.77601	-4.25757	3.20494	-0.296	18	0.770

○ 평면 직선부의 주행속도 예측값과 관측값에 대한 대응표본 t-검정결과, t값은 0.833이고, 유의확률이 0.416이다. 따라서 유의수준 0.05에서 귀무가설을 채택하므로 직선부의 주행속도 예측값과 관측값은 차이가 없다는 결론을 내릴 수 있다.

<표 2-141> 평면직선부의 대응표본 t-검정 결과값

대응차					t	자유도	유의확률 (양쪽)
평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95%신뢰구간				
			하한	상한			
1.94737	10.18972	2.33768	-2.96392	6.85866	0.833	18	0.416

◎ 화물차 주행속도 예측 모형

□ 평면 곡선부

○ 다중 회귀분석 이용하여 화물차의 주행속도 예측모형을 구축하였다. 평면 곡선부의 경우,

- 평면곡선의 길이가 길어질수록 화물차의 속도가 높아짐
- 종단경사가 낮아지고, 곡선반경이 작아질수록 화물차의 속도가 낮아짐

<표 2-142> 주행속도 예측모형 결과(평면곡선부)

변수	계수	표준오차	t-ratio
상수	81.252	2.471	32.877
길이	0.004	0.002	1.928
종단경사	-0.753	0.384	-1.961
곡률변화율	-0.052	0.018	-1.993
# of Observes ; 20 Adjusted R-squared : 0.584 Durbin-Watson Stat. : 1.436			

□ 평면 직선부

○ 평면 직선부의 경우에는,

- 상류부 곡선반경이 커질수록 화물차의 속도가 높아짐
- 종단 곡선의 길이에 따른 종단 경사의 변화가 클수록 화물차의 속도가 낮아짐

<표 2-143> 주행속도 예측모형 결과(평면직선부)

변수	계수	표준오차	t-ratio
상수	80.26	0.98	81.045
상류부 곡선반경	0.0034	0.0005	6.014
종단곡선의 길이에 따른 종단 경사의 변화비율	-313.361	60.031	-5.220
# of Observes ; 20 Adjusted R-squared : 0.878 Durbin-Watson Stat. : 1.601			

◎ 연구과정 및 결과 검증

□ 주행속도 예측모형 검증

○ 도출된 화물차 주행속도 예측모형에 대한 신뢰성을 파악하기 위하여 모형에 의해 예측된 속도 값과 실제 화물차의 속도 값의 차이를 이용하여 검증을 실시하였다.

- 검증 방법으로는 최소제곱근 오차(RMSE: Root Mean Square Error), 평균절대오차백분율(MAPE: Mean Absolute Percentage Error), 절대값 오차 평균(MAE ; Mean Absoulte Error) 사용

- 검증에 사용된 자료는 한국건설기술연구원에서 수행한 “지방부 다차로 구간의 주행속도 자료”를 이용하였으며, 노선에 대한 자세한 선형설계제원은 다음과 같음

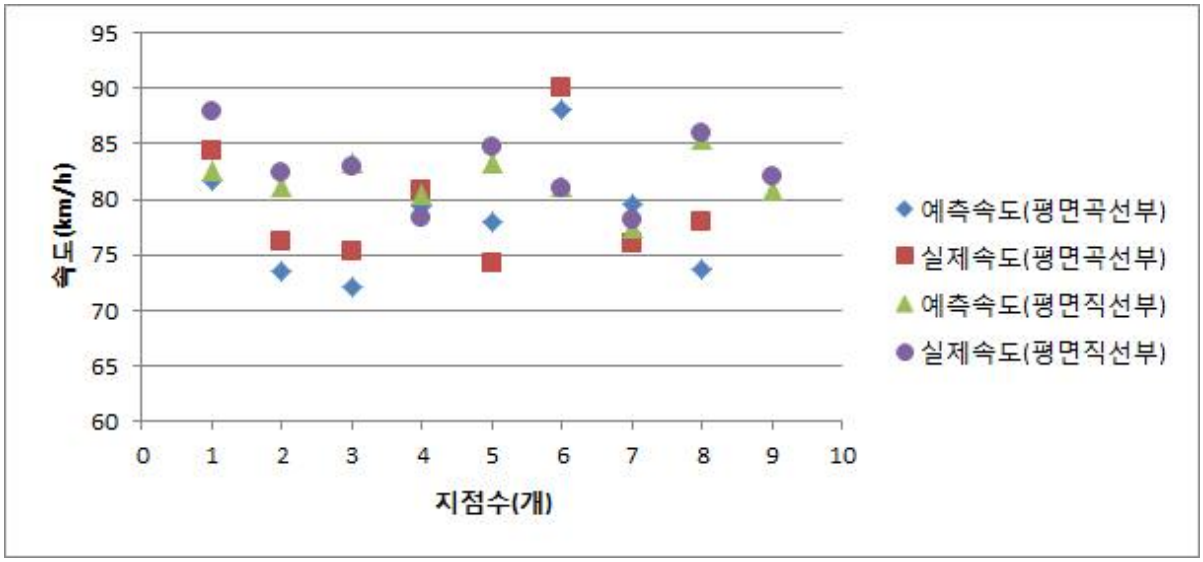
<표 2-144> 선형설계 제원

도시	노선번호	길이 (km)	곡선반경 (m)	직선 길이(m)	종단경사 (%)
문경	3	21.9	140~5,700	2,360	-2.6 ~ +4.8
양평	6	39.3	400~3,400	1,640	-4.8 ~ +7.0
포천	37	28.1	240~1,500	2,920	-4.4 ~ +5.0
합계		21.9~39.3	140~5,700	1,640~2,920	-4.8 ~ +7.0

○ 3가지 방법에 의해 예측된 화물차의 주행속도는 비교적 양호하게 추정되었다.

<표 2-145> 화물차 주행속도 검증

오차평가지수	평면직선부	평면곡선부
RMSE(Root Mean Square Error)	2.05	4.82
MAPE(Mean Absolute Percentage Error)	0.01	0.05
MAE(Mean Absolute Error)	1.41	4.31



<그림 2-204> 화물차 주행속도 검증

○ 이 연구에서 도출된 모형식의 검증을 위한 또 다른 방법으로 실제 화물차의 속도(4.5톤)를 주행 실험을 통해 측정된 값으로 검증을 실시하였다.

- 실험 일시 : 2015년 1월 15일 09:00~17:00
- 실험 노선 : 국도 36호선 내덕~북일 구간(연구단에서 정한 적용사례구간)





<그림 2-205> 주행실험 전 장비 설치 및 점검

○ 3차년도 연구에서 개발한 도로형태별 속도예측식과 실제 화물차 속도와의 차이 및 오차율은 아래 표와 같다.

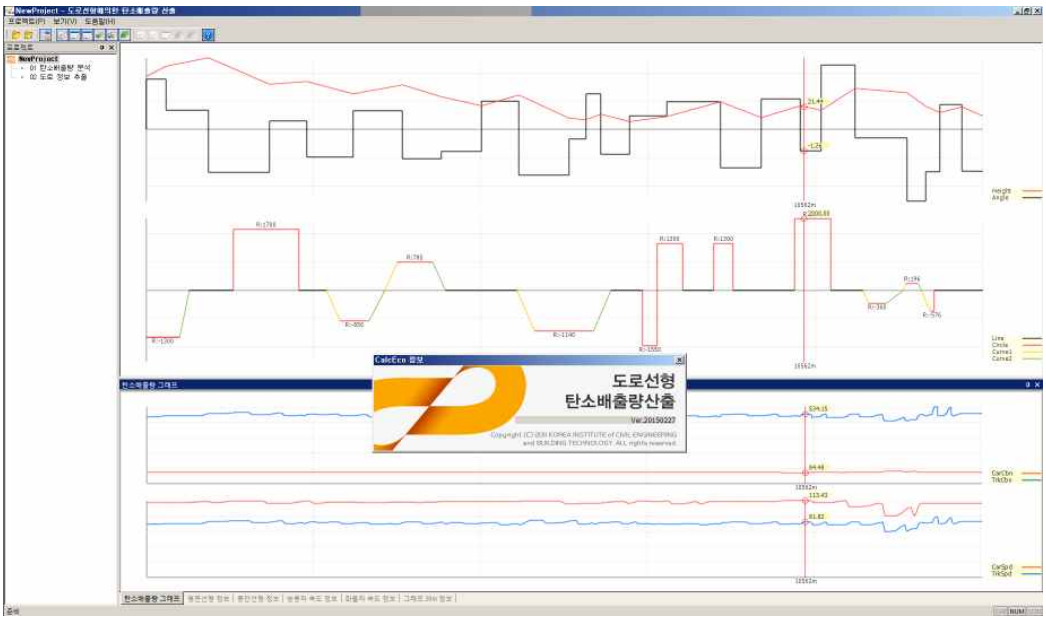
- 평균 오차율은 1.3%로 연차실적계획서 상 *오차율 10%미만을* ***만족***

<표 2-146> 예측값과 실측값의 오차율

Sta.	유형 (직선0, 곡선1)	종단경사	곡선반경	CCR	예측식에 의한 속도		실제 속도	속도 차이	오차율
					곡선	직선			
1+928	1	-2.551	1700	37.47059	85.43	-	82	3.43	4.18%
2+551	0	0.5	-	-	-	84.47	84	-0.47	0.56%
3+346	1	-1.6419	850	74.94118	82.27	-	81	1.27	1.54%
3+928	0	1.0949	-	-	-	79.72	80	0.28	0.35%
4+317	1	-1.7302	785	81.1465	82.22	-	83	-0.78	0.95%
4+900	0	-1.3203	-	-	-	87.07	88	0.93	1.06%
6+709	1	-2.7056	1140	55.87719	86.43	-	87	-0.57	0.66%
7+565	0	-1.4854	-	-	-	88.79	88	-0.79	0.90%
8+407	1	1.7442	1300	49	79.03	-	77	2.03	2.57%
8+712	0	1.7442	-	-	-	79.21	79	-0.21	0.27%
9+267	1	-2.2879	1300	49	81.67	-	83	-1.33	1.63%
9+528	0	-2.2879	-	-	-	91.85	92	0.15	0.16%
10+702	1	-1.2647	2000	31.85	82.84	-	81	1.84	2.22%
11+089	0	3.8148	-	-	-	75.11	76	0.89	1.17%

◎ 분석프로그램 개발

○ (도로선형에 의한 탄소배출량 산출프로그램) 도로설계 조건인 도로선형(평면선형과 종단선형을 입력하여 도로선형에 의한 차량별(소형차, 대형차) 탄소배출량을 그래프로 표현하는 프로그램을 개발하였다.



<그림 2-206> 도로선형에 의한 탄소배출량 산출 프로그램 (output)

- 본 프로그램은 평면선형 정보와 종단선형 정보가 담긴 Text 화일을 불러오기를 하여, 평면과 종단을 통합하여 분석구간을 구분하여 각 분석구간에 대한 도로선형에 의한 주행속도 예측 모형식과 탄소배출량 산정식을 적용하여 주행속도와 탄소배출량을 예측함

○ 또한 본 프로그램은 차량의 탄소배출량 분석을 차량의 운영기록계에 기록된 연료소모량을 근거로 탄소배출량을 산정하고 이를 지도로 표현하는 프로그램 개발하였다.

- 본 프로그램은 차량의 운행기록계 기록을 불러오기 하여, GPS 정보에 따라 주행위치를 지도에 표현하며, 연료소모량을 탄소배출량으로 산정하고 이를 그래프로 제시함
- 본 프로그램은 분석구간을 지정하여 구간 내에서의 탄소배출량을 산출할 수 있음



<그림 2-207> 차량의 운영기록계에 의한 탄소배출량 산출 프로그램 (output)

㉯ 노면조건을 고려한 차종별 탄소배출량 산정모형

■ 실험도로 및 대표차량 선정

○ (조사구간의 선정-소형차) 실험도로의 조건으로는 종단평탄성의 편차가 크고, 속도에 따른 편차를 분석하기 위해 비교적 교통량이 적고 충분한 직선구간이 확보되는 구간을 선정하였다. 이러한 조건을 만족하는 도로구간을 선정하기 위해 국도포장관리시스템, 국도교통량조사시스템, 도로대장 정보를 활용하였으며, 그 결과 1)대천방조제 앞 도로 (IRI 2.38m/km), 2)군산 농업용 도로 (IRI 6.23m/km)를 선정되었다.

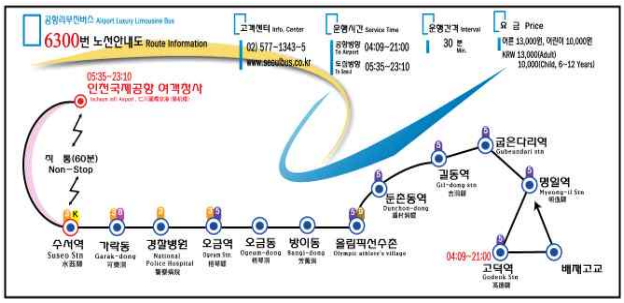
실험도로 전경 - 승용차 실차실험

대천방조제 앞 도로 (IRI 2.38m/km, 967m)	군산 농업용 도로 (IRI 6.23m/km, 1km)
	

○ (조사노선의 선정 - 대형차량) 대상구간은 연료소모의 주요변수인 포장상태, 경사도, 운행속도가 고르게 분포될 수 있도록 도심구간과 자동차 전용도로 노선을 포함하는 다음의 3개 노선을 선정하였다.

- 6009번 버스 : 서울 일원역 ⇔ 인천국제공항
- 6300번 버스 : 서울 고덕역 ⇔ 인천국제공항
- 6020번 버스 : 서울 역삼역 ⇔ 인천국제공항







-단속류 : 서울시내 구간

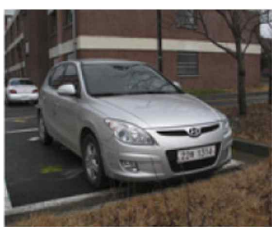
-연속류

: 3개 노선 동일구간으로 '동작대교남단 ↔ 인천국제공항' 58㎞구간

<그림 2-208> 대형차 연비조사 노선 선정

○ (대표차량-소형차) 대표차량은 배기량과 시장점유율을 고려하여 소형, 중형, 대형으로 구분하였다. 소형차 대표차량의 i30, NF소나타, 그랜져 TG로 그 제원은 다음과 같다.

<표 2-147> 소형차 실험차량의 제원

구분	i30	NF소나타	그랜져 TG
변속기	오토	오토	오토
연식	2009	2007	2008
주행거리(km)	20,000	60,000	70,000
엔진형식	1.6VVT	2.0 I4 VVT	2.7 V6 DOHC
배기량(cc)	1,591	1,998	2656
기통수	4기통	4기통	6기통
연료종류	휘발유	휘발유	휘발유
공인연비 (km/l)	13.8	10.8	10.6
사진			

○ (대표차량 - 대형차) 대형차량은 일반 대형버스(차종구분 2종)로 선정하였으며, 시내버스, 시외버스, 공항버스 등으로 가장 많이 활용되는 현대 뉴에어로 시티로 선정하였다.



차량제원
(현대 뉴에어로시티, 유니버스 디젤)

승차정원	45명
전장	11,780mm
전폭	2,496mm
전고	3,385mm
축거	5,850mm
배기량	10.0L
최고출력	380PS
최대토크	160kgf-m

<그림 2-209> 대표차량 및 차량제원

○ (대형버스 및 운전자의 섭외) 대형버스의 경우 차량 및 운전자 섭외가 어려운 뿐더러, 가능하더라도 1회성 단발조사로는 신뢰성 있는 연구결과를 기대하기 어렵기 때문에 대형버스회사(서울버스)와의 협조체제를 구축하여 문제를 해결하였으며, 총 등록차량 41대중 25대에 통신모듈이 포함된 OBD를 장착하여 차량운행정보와 그에 따른 연료소모량정보를 수집하였다.

6009 고급 리무진 17대 (14)			
차 번	차종	등록일	비고
70사 9624	현대	09 07 28	28
70사 9625	현대	09 07 28	28
70사 9628	현대	09 07 28	28
70사 9629	현대	09 07 30	28
70사 9631	현대	09 07 30	28
70사 9634	현대	09 07 30	28
70사 9637	현대	09 07 30	28
70사 9645	현대	09 07 30	28
70사 9652	현대	09 07 30	28
70사 9653	현대	09 07 30	28
70사 9654	현대	09 07 31	28
70사 9656	현대	09 07 31	28
70사 9658	현대	09 07 31	28
70사 9664	현대	09 07 31	28
70사 9665	현대	09 07 31	28
71사 1922	현대	09 07 16	28
71사 1934	현대	09 07 31	28

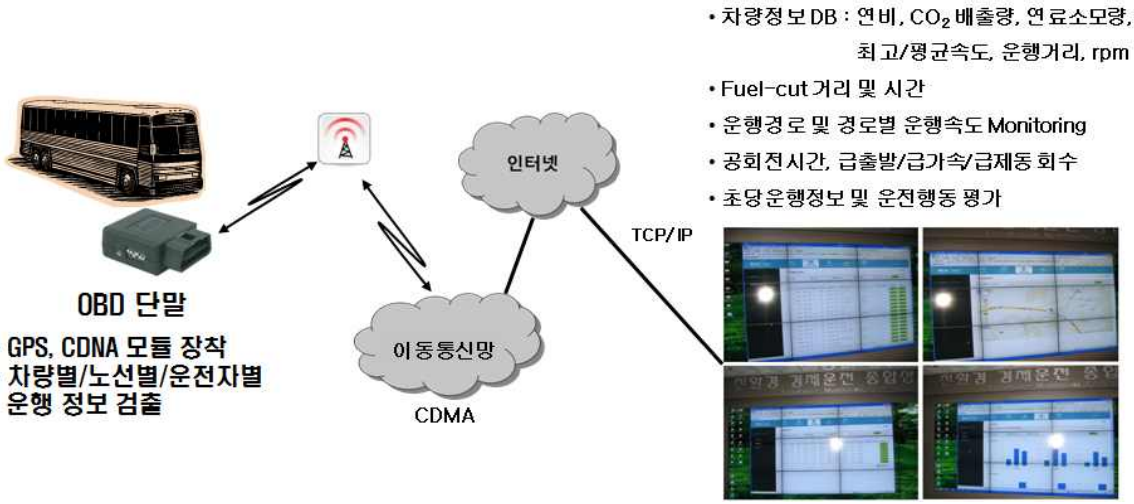
6300 일반 리무진 12대 (9)			
차 번	차종	등록일	비고
70사 9633	현대	06 08 30	28
70사 9672	현대	09 07 31	28
70사 9673	현대	09 07 31	28
70사 9674	현대	09 07 30	28
70사 9677	현대	09 08 03	28
70사 9680	현대	11 04 14	28
70사 9681	현대	11 04 14	28
71사 1916	현대	09 07 16	28
71사 1917	현대	09 07 16	28
71사 1923	현대	09 07 16	28
71사 1924	현대	09 07 16	28
71사 1925	현대	09 07 16	28

6020 고급 리무진14대 (12)			
차 번	차종	등록일	비고
70사 9639	현대	06 08 30	28
70사 9661	현대	06 08 30	28
70사 9678	현대	09 07 31	28
71사 1918	현대	09 07 16	28
71사 1919	현대	09 07 16	28
71사 1920	현대	09 07 16	28
71사 1921	현대	09 07 16	28
71사 1926	현대	09 07 17	28
71사 1927	현대	09 07 17	28
71사 1928	현대	09 07 17	28
71사 1929	현대	09 07 17	28
71사 1930	현대	09 07 17	28
71사 1931	현대	09 07 17	28
71사 1932	현대	09 07 17	28

<그림 2-210> ㈜서울버스 차량등록현황

■ 정보수집 시스템의 구축

○ (정보수집 시스템 구축) 자료를 안정적으로 구축하기 위해 “GPS-통신모듈-연비측정”기능이 통합된 OBD장비를 버스에 장착하고 무선통신을 통해 서버에 저장하는 자동화된 프로세스 구축을 통해 안정적인 자료의 수집/저장이 가능하도록 하였다.

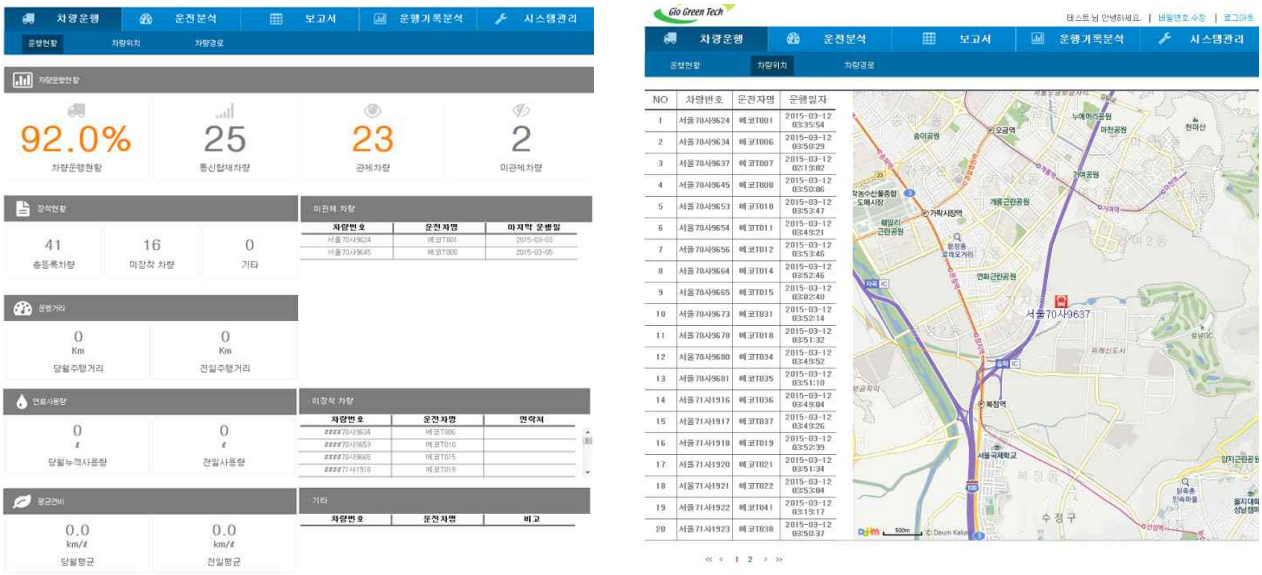


<그림 2-211> OBD-무선통신 기반 정보관리 시스템의 개발

○ (정보의 분석 및 표출) 차량의 OBD자료는 서버는 물론 스마트폰 앱을 통해서도 활용이 가능하도록 하였다. 가공자료는 경과시간 1초 단위로 속도/RPM/냉각수온/공회전시간/누적주행거리/GPS 좌표 및 고도/연료소모율 데이터 확보할 수 있도록 설계되었다. 또한, 일자별, 주행별로 별도 탭에 엑셀 데이터 저장이 가능하고, 속도 분포 및 연료차단 관성 주행 지점 확인 등에 사용할 수 있으며, 공회전 시간, 가속도 등을 계산 할 수 있도록 개발되었다.



<그림 2-212> 차량운행 관제시스템 홈페이지
(http://www.vmsys.co.kr ID: echoT, PW : 1234)



<그림 2-213> 실시간 정보업데이트 현황 및 표출

■ 노면평탄성(International Roughness Index; IRI)의 조사

○ (노면평탄성 조사) 노면의 평탄성과 타이어의 구름저항(Rolling resistance)의 관계에 따른 연료소모량의 차이를 정량화하기 위해 국제 평탄성 지표인 IRI(International Roughness Index)를 조사하였다. 조사장비로 한국건설기술연구원에서 보유중인 노면상태 조사차량 'PES(Pavement Evaluation Surveyor)'를 활용하였으며, 차선에 따른 평탄성의 편차를 최소화하기 위해 실제 운행 중인 노선버스의 이동경로를 그대로 이동하면서 조사하였다 (10m간격으로 포장상태 프로파일 및 노면근접촬영사진 정보수집).



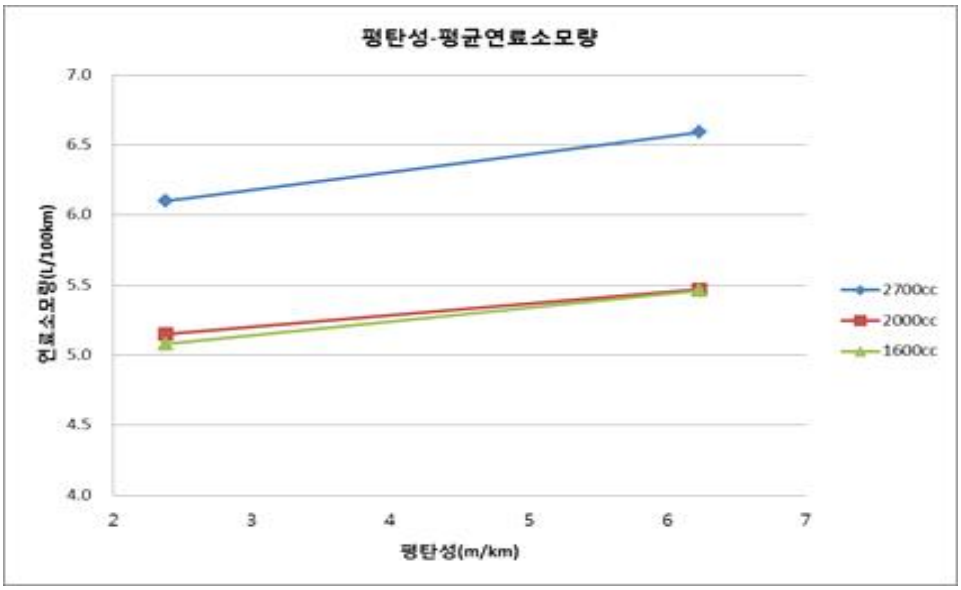
<그림 2-214> PES를 활용한 노면평탄성 IRI 조사

■ 승용차의 연료소모량 예측모형 개발

○ (연료소모량 추정식의 개발 - 소형차) 승용차 배기량별 3가지 차종을 실험속도 40, 60, 80, 100km/h(등속주행)를 기준으로 측정하였다. 종단평탄성-속도-차종에 따른 연료소모량 측정결과, 모형식을 요약하였다.

<표 2-148> 종단평탄성-주행속도-차종(승용차)에 따른 연비

속도(km/h)	도로 (IRIm/km))	연비(L/100km)		
		TG(2700cc)	NF(2000cc)	i30(1600cc)
40	대천 (2.38)	7.30	5.08	4.65
	군산 (6.23)	7.50	5.35	4.95
60	대천 (2.38)	5.13	4.33	4.45
	군산 (6.23)	5.35	4.65	4.70
80	대천 (2.38)	5.73	5.10	5.03
	군산 (6.23)	6.40	6.35	5.35
100	대천 (2.38)	6.25	6.10	6.18
	군산 (6.23)	7.10	6.55	6.95



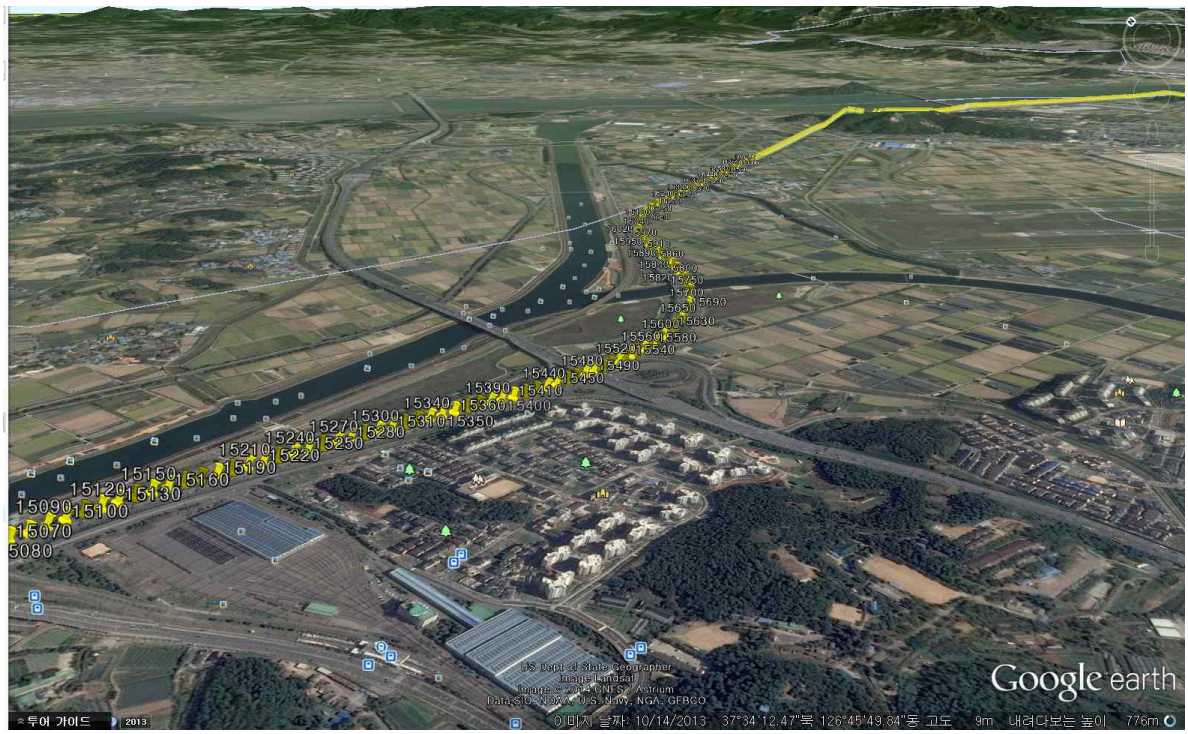
<그림 2-215> 종단평탄성 - 연료소모량의 관계 (40, 60, 80, 100km/h 평균)

○ 주행속도와 종단평탄성을 설명변수로 도출된 승용차의 연료소모량 추정식은 다음과 같다.

$$F(F_g) = 0.028042 + (0.000291 Speed) + (0.001 IRI)$$

■ 대형차의 연료소모량 예측모형 개발

○ (분석자료 구축 및 신뢰성 확인) 탄소배출량 예측모형 개발을 위한 먼저 연료소모량, 주행속도, 경사도, IRI 정보를 퓨전(fusion)하여 분석 자료로 구축하였다. 데이터 퓨젼은 PES차량에서 각각 얻어진 GPS정보를 “*.KML”형식으로 가공하여 Google Earth에서 이동경로를 매칭하는 과정을 통해 자료퓨전의 신뢰성을 확인하였다. 한편, 분석 자료 포함된 “정차 = 속도 0m/km”, “퓨얼컷(fuel-cut) = 연료소모량 0”, GPS수신오류가 포함되어 있어, 해당자료 셋을 삭제하는 과정을 통해 최종 분석자료 셋을 개발하였다.



<그림 2-216> Googol Earth®를 활용한 GPS정보 매칭

○ (연료소모량 예측모형 개발) 분석기법으로는 변수의 영향력의 일반화와 활용이 용이한 다중회귀모형을 활용하고, 종속변수로 순간연료소모량, 설명변수로 IRI, 경사도, 통행속도를 지정하여 모형을 도출하였다. 그 결과 예측 모형식은 Y = 1.06 + 0.05 Vehicle Speed(km/h) + 0.13 Slope(%) + 0.09 IRI(m/km)로 결정되었으며, VIFs값을 참조한 결과 설명변수간의 다중공선성 문제는 발생하지 않았다. 한편 주행속도는 설명변수로써 설명력이 매우 높은 것으로 나타났으나(t-value = 18.94, P-value = 0.00), 종단선형의 유의성은 다소 낮은 것으로 분석되었다. 이는 경사도 자료에 +, -가 혼재되어 있기 때문이라고 판단된다. 그러나 모형계수값이 +값으로 나타난 것은 도로설계에 있어 경사구간이 형성되면 내리막 길에서 연료의 절감이 가능할 지라도 평균적으로는 연료소모에 악영향을 미치는 것으로 해석될 수 있다. 한편, IRI는 t-value 1.67(P-value 0.1) 수준에서 유의하다는 결론이 도출되었다.

<표 2-149> 주행속도, 경사도, IRI를 고려한 연료소모량 예측모형

Regression Eq.: Y = 1.06 + 0.05 Vehicle Speed(km/h) + 0.13 Slope (%) + 0.09 IRI(m/km)					
Parameter Estimates					
Predictor	Coef Est	Std Error	t-value	P-value	VIFs
Constant	1.0560	0.2967	3.5587	0.0004	
Vehicle Speed(km/h)	0.0493	0.0026	18.9461	0.0000	2.5985
Slope (%)	0.1261	0.2609	0.4833	0.6289	1.0250
IRI(m/km)	0.0937	0.0561	1.6711	0.0948	2.5586

○ (차종별/연도별 연료소모량 예측모형) 소형차(승용차)의 연료소모량은 본 과제의 2차년도에서 실차실험을 통해 구축한 예측식을 활용하며, 대형차의 경우 탄소중립형 도로 기술개발(3차년도)에서 실차실험을 통해 개발된 추정식을 활용한다. 기본식은 "총주행연장×연료효율"의 형태로, 각 분석년도 $y(y=1,...,Y)$를 기준으로 가솔린과 디젤의 소모량을 별도로 산출된다. 분석기간 동안 차량의 연료소모량 예측모형을 일반화 하면 식(2.1)와 같다.

$$F^y(F_g^y, F_d^y) = \sum_{y=1}^{Y}\sum_{t=1}^{2}(V_t^y \times L \times 365) \times (\beta_0 + \beta_1 x_1^y + \beta_2 x_2^y + \beta_3 x_3^y) \quad (2.1)$$

여기서,

$F(F_g, F_d)$ = 가솔린, 디젤의 연료소모량 (Liter)

y = 분석년도 $(y=1,...,Y)$

V_t = 차종별 교통량 $(t=1,...,2)$ 1=소형, 2=대형

L = 해당구간의 연장 (km)

$\beta_{0,...,3}$ = 모형 파라미터

$x_{1,...,3}$ = 독립변수 (1=주행속도(km/h), 2=IRI(m/km), 3=경사도(%))

<표 2-150> 차종별 연료소모량 예측 파라미터

차종구분	β_0	β_1	β_2	β_3
소형차($V_{t=1}$)	0.028042	0.000291	0.001	-
대형차($V_{t=2}$)	0.1056	0.00493	0.00937	0.001261

■ 탄소배출량 산정모형

○ (탄소배출량 예측 모형) 탄소배출량 산정은 국제적으로 그 방법론에 따라 Tier 1, Tier 2, Tier 3로 구분하고 있으며, 우리나라에서는 국토교통부 고시 제2012-142호(교통수단별 온실가스 배출계수, CO2; Tier 2), 제2013-633(자동차 온실가스 배출계수, CH4, N2O; Tier 2)를 제안하고 있다. Tier 3에서는 차량속도기반 차종별 탄소배출량을 제시하고 있으나, 본 연구에서는 차종과 차량속도 뿐만 아닌 종단평탄성과 경사도까지 고려된 연료소모율을 활용하고 있으므로, 연료소모량 기준 Tier 2 산출방식을 따르기로 한다. 국토교통부 고시 Tier 2 산출방식은 가솔린과 디젤 연료소모량을 열량단위 Tajoules로 환산한 후 여기에 탄소배출환산치를 곱하여 계산하는 방식으로 환산단위를 고려하여 탄소배출량을 일반화 하면 다음과 같다.

$$CO_2 = \sum_{d=1}^{g} \left[\{ (F_{g.d} \times T_{d.g}) / 1000000 \} \times E_{d.g}(c) \right] / 1000 \qquad (2.2)$$

여기서,

CO_2 = 탄소배출량 (ton)

$F_{g,d}$ = 가솔린(g), 디젤(d)의 소모량 (Liter)

$T_{g,d}$ = 가솔린(g), 디젤(d)의 열량환산계수 (Tajoules)

$E_{g,d}(c)$ = 가솔린(g), 디젤(d)의 탄소배출 환산계수

<표 2-151> 연료유형별 열량, 탄소배출 환산계수(국토교통부 고시 제2012-142)

연료유형	열량(TJ) 환산계수	CO_2 환산계수
가솔린	30.3	72,940
디젤	35.3	73,170

㉰ 도로포장의 파손모형

○ 생애주기비용분석 모형의 핵심 중 하나인 포장파손모형의 개발과정에 대한 내용으로 1)포장파손모형의 이론적 고찰, 2)베이지안 마르코프 하자드 모형의 이론, 3)포장파손함수의 실증연구에 대하여 서술하기로 한다.

■ 포장파손모형의 이론적 고찰과 추정기법의 선정

○ 포장파손모형은 포장의 물적 특성을 실험실 실험(laboratory experiment)을 활용하는 동적 역학(dynamical mechanistic)모형이나, 현장 조사자료를 근거로 개발되는 통계적 파손모형으로

구분될 수 있으며(Tsuda, 2006), 이와 다른 관점에서 결정론적(deterministic) 모형과 확률론적(stochastic) 모형으로도 구분될 수 있다.

○ 결정론적 모형은 독립변수와 종속변수와의 상관관계가 뚜렷한 경우에 매우 유용하나, 파손과정의 불확실성으로 인해 모형의 설명력에 한계가 있어 최근에는 확률론적 기법들이 각광받고 있음. 이들의 기본이 되는 신뢰성이론(reliability theory)은 객체의 수명을 분포화 시켜 특정시점에서의 순간파손함수(확률밀도함수)와 생존함수(누적분포함수), 그리고 이 둘의 조건부 확률인 하자드 함수를 통해 다양한 정보를 도출한다.

○ 그러나 전통적인 하자드 모형은 단지 두 가지 상태 즉, 고장(파손)이 발생하는가 정상인가에 대해서만 고려하기 때문에 연속적인 상태변화를 갖는 포장의 파손과정을 설명하기에는 충분하지 못하는 단점이 있다. 이에 대한 한계를 고려하여 개발된 것이 다단계 하자드 모형이다. 또한, 포장파손과정분석에 많이 활용되고 있는 마르코프 과정(Markov process)이 있다 (Markov, 1907).

○ 이는 포장상태의 변이과정을 이산상태로 변환하여 두 시점간의 상태변화 특성을 마르코프 전이확률행렬로 표현한다. 그러나 전통적인 마르코프 이론은 모든 자료의 두 시점의 간격이 일치해야 한다는 점과 설명변수가 고려될 수 없다는 점, 그리고 전이확률행렬을 구성하는데 있어 해당 자료가 없는 확률원소에 대한 설명 등 현실적용에 있어 치명적 한계를 가지고 있다.

○ 이에 Tsuda 등 (2006)은 다단계 하자드 모형을 마르코프 전이확률을 예측하는데 활용하는 마르코프 하자드 모형을 개발하여 이러한 문제들에 접근한 바 있다. 이를 통해 포장상태등급을 기준으로 한 파손속도의 변화과정을 묘사할 수 있게 됨은 물론, 파라메터 추정에 최대우도법을 도입함으로써 설명변수의 도입도 가능해졌다. 이는 포장파손의 확률과정을 단위시간으로 정규화했다는 점, 그리고 확률모형을 통해 프로젝트 분석이 가능해 졌다는 점은 자산관리기법의 적용을 보다 유연하고 쉽게 했다는 점에서 유용성이 뛰어난 모형이라 할 수 있다.

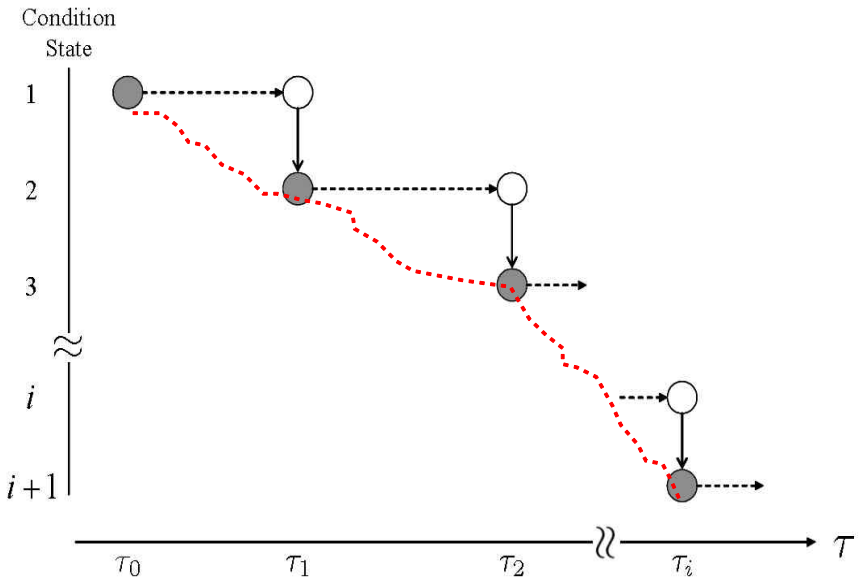
○ 그러나, 마르코프 하자드 모형에서는 최대우도법 (Maximum Likelihood Estimation)을 모수추정에 활용함에 따라 모수의 지역적 수렴문제, 행렬의 차원이 증가함에 따라 종종 발생하는 계산오류(overflow), 샘플 수 문제 등이 잔존하였으며, 무엇보다도 시설물의 안전관리에 핵심인 기대수명의 분포를 알 수 없다는 문제가 있다.

○ 이러한 문제를 해결하기 위해 Kobayashi et al., (2012)는 베이지안 통계기법인 MCMC(Markov Chain Monte-Carlo)기법을 도입하여 문제를 해결하였다.

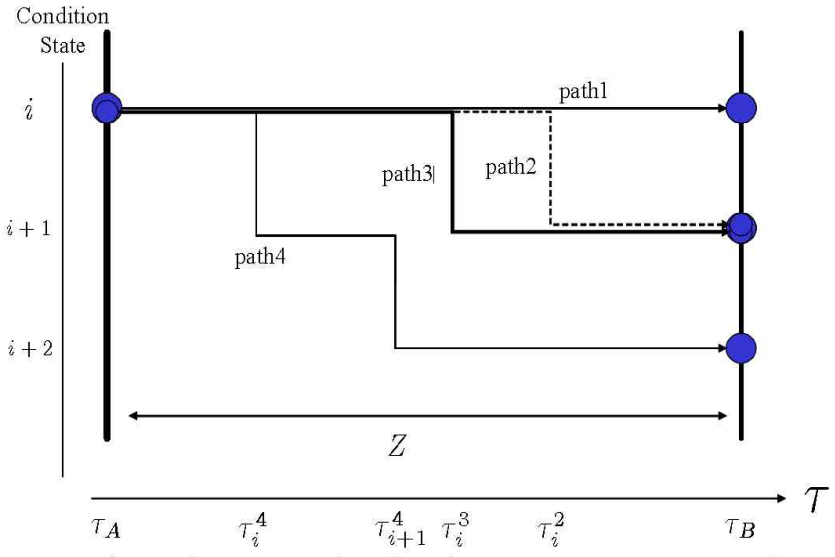
○ 이에 본 연구에서는 확률적 통계기법인 Markov 연쇄이론을 다단계 하자드 함수를 이용하여 분해하고, 모수의 추정에 베이지안 통계기법은 MCMC (Markov Chain Monte-Carlo)기법을 도입하여 리스크 분석을 물론 영향인자에 대한 분석이 가능한 베이지안 마르코프 하자드 모형을 응용하여 파손함수를 추정하기로 한다.

■ 베이지안 마르코프 하자드 모형의 개념 및 이론

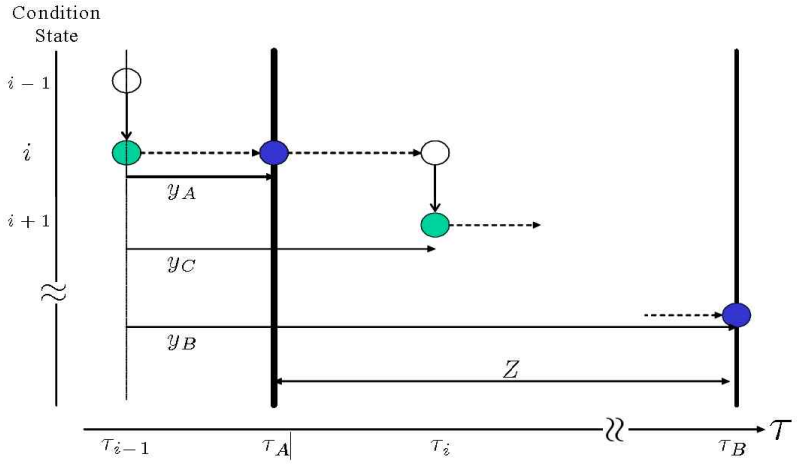
○ 마르코프 연쇄에서는 연속적인 포장상태를 이산상태등급으로 표현한다. 그림 27 에서는 유지보수가 이루어지지 않는다는 조건하에서의 상태변화과정을 보여주고 있다. 그러나 연속상태든 이산상태든 도로관리자가 현실적으로 습득할 수 있는 정보는 조사당시의 포장상태와 조사시점들 간의 시간 간격으로 한정된다. 즉 조사시점 사이에서의 변화과정은 설명이 불가능하며, 각 파손지표들은 상태진행에 불확실성을 포함하게 된다. 그러나 우리가 알고자 하는 정보는 조사시점간의 상태변화량이 아닌 포장상태등급의 변화가 발생한 시점들 τ_i, τ_{i-1}, 그리고 그 시점들 간의 시간 y_C 다. 그러나 아래 그림과 같이 이는 현실에서의 조사계획하에서는 파악이 불가능하며, y_A, y_B에 대한 정보 역시 파악이 불가능하다.



<그림 2-217> Markov process 기반 포장상태의 이산적인 변화과정



<그림 2-218> 두 조사시점 내에서의 상태변화경로



<그림 2-219> 포장상태등급의 변화와 조사계획의 관계

여기서,

τ_0 = 도로상태가 최고인 시점 (즉, 유지보수나 도로건설 직후)

$\tau_{1...n}$ = 상태변화가 일어난 시점. 즉, 상태 i 에서 $i+1$로 변화한 시점

$\tau_{A,B,...,n}$ = 조사시점

τ_i^n= n 파손과정에서의 i 단계로의 상태저하시점

J = 최종상태등급(흡수역) ($i=1,...,J$)

Z = 조사시점간의 기간

τ_{i-1} = $i-1$에서 i로 상태변화하는 시점, ($y_i=0$ 에서 시작)

y_A = $i-1$부터 τ_A까지의 시간 즉, $y_A=\tau_A-\tau_{i-1}$

y_C = $i-1$부터 τ_i까지의 시간 즉, y_C= $\tau_i-\tau_{i-1}$= ζ_i

○ 여기서, 상태등급 i의 기대수명 ζ_i는 확률밀도함수 $f_i(\zeta_i)$와 확률분포함수 $F_i(\zeta_i)$의 확률변수가 된다. $F_i(\zeta_i)$는 파손함수로 이에 해당하는 생존함수는 $P\{\zeta_i \geq y_i\}=\widetilde{F}_i(y_i)=1-F_i(y_i)$이 되고, y_i 시점에서 시간간격 $[y_i, y_i+\triangle y_i]$동안 상태 i에서 $i+1$로 전이할 확률은 $\lambda_i(y_i)\triangle y_i=\dfrac{f_i(y_i)\triangle y_i}{\widetilde{F}_i(y_i)}=\theta_i$ 이 됨. 이를 하자드 함수라고 하며, 지수형태로 변환하면 상태 i에서의 기대수명에 대한 하자드 함수 $f_i(\zeta_i)=\theta_i\exp(-\theta_i\zeta_i)$를 얻을 수 있다.

○ 상태등급 간 전이확률을 $P[h(\tau_B)=j|h(\tau_A)=i]=\pi_{ij}$라고 정의하면 그림 2.12의 파손경로는 1)π_{ii}, 2)π_{ii+1}, 3)π_{ij}, 4)π_{iJ} 로 요약되며, 이를 다단계 하자드 모형으로 유도하면 다음과 같다.

$$\pi_{ii}=\exp(-\theta_i Z) \tag{2.3}$$

$$\pi_{ii+1}=\frac{\theta_i}{\theta_i-\theta_{i+1}}\{-\exp(-\theta_i Z)+\exp(-\theta_{i+1}Z)\} \tag{2.4}$$

$$\pi_{ij} = \sum_{k=i}^{j} \prod_{m=i}^{k-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_k} \prod_{m=i}^{k-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_k} \exp(-\theta_i Z) \tag{2.5}$$

$$\pi_{i,J} = 1 - \sum_{j=1}^{J-1} \pi_{ij} \tag{2.6}$$

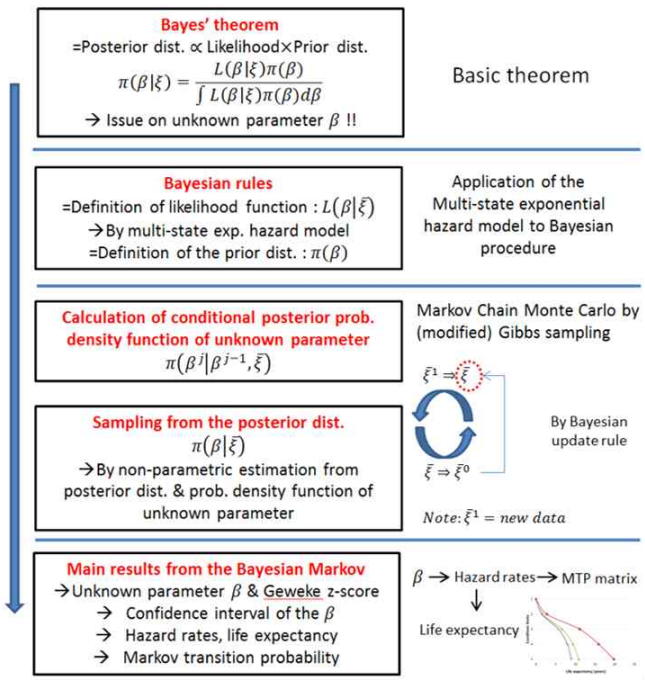
○ 식(2.3)~(2.6)에서 도출되는 각 확률원소들을 모으면 마르코프 전이확률행렬(Markov Transition Probability Matrix)이 완성됨. 이렇게 되면 마르코프 확률행렬은 결국 $\theta_i (i = 1,...,J-1)$의 함수가 되는데, 이대로는 설명변수를 고려할 수 없게되는 문제가 잔존한다. 따라서 θ_i의 추정에 독립변수 x에 대응하는 미지파라미터(unknown parameter) 벡터 $\beta_{i,m}$ $(i = 1,...,J-1; m = 1,...M)$를 포함시켜 추정식을 다음과 같이 구성한다.

$$\theta_i = \exp(\beta_{i,1} + \beta_{i,2} x_2, ..., \beta_{i,M} x_M) \tag{2.7}$$

○ 한편, 각 상태등급 i의 기대수명은 지수 하자드의 생존함수로써 식 2.8로 정의되며, 각 상태등급의 기대수명을 합하면 상태 J 까지의 기대수명이 계산된다 (Lancaster, 1990).

$$RMD_i = \int_0^{\infty} \exp(-\theta_i y_i) dy_i = \frac{1}{\theta_i} \tag{2.8}$$

○ $\beta_{i,m}$은 MCMC을 활용하여 추정하며, 베이지안 통계의 주요함수인 “사전분포-우도함수-사후분포”의 관계는 다음으로 추정된다.



<그림 2-20> 마르코프 하자드 모형의 베이지안 추정(Han and Lee, 2014)

○ MCMC과정의 핵심인 우도함수를 정규화 하면,

$$L(\beta|\bar{\xi}) = \prod_{i=1}^{J-1}\prod_{j=i}^{J}\prod_{k=1}^{K}\left\{\sum_{h=i}^{j}\prod_{l=i}^{h-1}\frac{\theta_l^k}{\theta_l^k-\theta_h^k}\prod_{l=h}^{j-1}\frac{\theta_l^k}{\theta_{l+1}^k-\theta_h^k}\exp\left(-\theta_h^k\bar{z}^k\right)\right\}^{\bar{\delta}_{ij}^k} \tag{2.9}$$

○ 식 (2.7)에서 $\beta_{i,m}$는 설명변수의 함수로 정의되므로 사전분포를 M+1차원의 정규분포를 가정하여 사후분포와 근사하도록 정식화 하면,

$$\begin{aligned}\pi(\beta|\bar{\xi}) \propto\ & L(\beta|\bar{\xi})\prod_{i=1}^{J-1} g(\beta_i|\mu_i,\Sigma_i)\\ \propto & \prod_{i=1}^{J-1}\prod_{j=i}^{J}\prod_{k=1}^{K}\left\{\prod_{l=1}^{j-1}\theta_l^k\sum_{h=i}^{j}\prod_{l=i}^{h-1}\frac{1}{\theta_l^k-\theta_h^k}\cdot\prod_{l=h}^{j-1}\frac{1}{\theta_{l+1}^k-\theta_h^k}\exp\left(-\theta_h^k\bar{z}^k\right)\right\}^{\bar{\delta}_{ij}^k}\\ & \cdot\prod_{i=1}^{J-1}\exp\left\{-\frac{1}{2}(\beta_i-\mu_i)\Sigma_i{}^{-1}(\beta_i-\mu_i)'\right\}\end{aligned} \tag{2.10}$$

■ 실증연구를 통한 포장의 파손지표별 기대수명 추정

○ 실증연구에서는 한국국도 네트워크 전체에서 4년간 (2007~2011년) 수집된 균열, 소성변형, 종단평탄성이 포함된 시계열 자료를 활용하여 유지보수기준별(혹은 파손지표별) 기대수명을 도출하기로 한다.

○ (설명변수의 계산 - SNP) 모형의 설명변수로는 포장강도인 SNP(Structural Number of Pavement)와 도로에 가해지는 교통하중인 ESAL(Equivalent Single Axle Loads)를 적용. 한편 SNP은 AASHTO 제안식을 활용한다 (Huang, 2004).

$$SNP = SNP_{Sf} + SNP_B + SNP_{Sb} \tag{2.11}$$

$$SNP_{Sf} = 0.0394\sum_{i=1}^{n}\alpha_i h_i \tag{2.12}$$

$$\begin{aligned}SNP_B = 0.0394\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}}\alpha_{\mathrm{j}}\Bigg[&\left\{\frac{\omega_0\exp\left(-\omega_3\mathrm{z_j}\right)}{-\omega_3}\right\}+\left\{\frac{\omega_1\exp\left(-\omega_2+\omega_3\right)\mathrm{z_j}}{(\omega_2+\omega_3)}\right\}-\left\{\frac{\omega_0\exp\left(-\omega_3\mathrm{z_{j-1}}\right)}{-\omega_3}\right\}+\\ &+\left\{\frac{\omega_1\exp\left(-\omega_2+\omega_3\right)\mathrm{z_{j-1}}}{(\omega_2+\omega_3)}\right\}\Bigg]\end{aligned} \tag{2.13}$$

$$SNP_{Sb} = [\omega_0-\omega_1\exp\left(-\omega_2 z_m\right)][\exp(-\omega_3 z_m)][3.51\log_{10}\mathrm{CBR}-0.85(\log_{10}\mathrm{CBR})^2]-1.4 \tag{2.14}$$

여기서,

SNP = 포장강도계수

SNP_{sf}, SNP_B, SNP_{sb} = 표층, 기층 보조기층의 기여도

n = 기층과 표층의 수

m = 보조기층의 수

a_i = 표층의 강도환산 보정계수 (default=0.35%)

a_j = 보조기층의 환산 보정계수 (default=0.15)

h_i = 기층 혹은 보조기층의 두께 (mm)

z = j층 이하까지의 두께 (mm)

CBR = 노상토 지지력 (default=6%)

w_0, w_1, w_2, w_3 = 모형계수 (각각 default= 1.6, 0.6, 0.008, 0.00207)

○ (설명변수의 계산 - 교통하중) 교통하중계산을 위해 한국건설기술연구원 포장관리시스템에서 HDM-4경제성 분석에 활용중인 차종별 ESALF값을 활용하여 해당도로의 하중을 계산한다.

<표 2-152> 차종별 단충하중계수 (ESALF)

Content	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Type 8	Type 9	Type 10	Type 11	Type 12
Class	Passenger car	Heavy bus	Small truck	Medium truck		Heavy truck		Trailer type				
ESALF	0	0.3	0	0.1	0.1	1.2	1.2	2	2	2	2	2

○ (포장상태의 상태등급 설정) 분석과정에서 가장 먼저 수행되어야 할 일은 연속상태인 포장상태자료들을 이산상태로 변환하는 것으로, 한국국도의 유지보수기준을 참조하여 결정하여 흡수역 수준(J)을 결정하였으며(KICT, 2012), 상태 등급 수는 그간 한국국도를 대상으로 하였던 기존 연구들에서 공통적으로 활용하였던 5등급으로 결정하였다(Kobayashi et al., 2010; Han et al., 2013, 2014).

<표 2-153> Markov연쇄 기반 포장상태지표별 등급

상태 등급	균열 (%)	소성변형 (mm)	종단평탄성 (IRI/m/km)	비고
1	0.0 ~0.5	0.0~2.0	0.0 ~2.0	최고상태: 건설 혹은 보수 후 상태
2	0.5 ~5.0	2.0~5.0	2.0 ~3.0	보통A: 파손시작(균열발생)
3	5.0 ~15.0	5.0~7.0	3.0 ~4.0	보통B: 파손진행
4	15.0~30.0	7.0~10.0	4.0 ~5.0	보통C: 파손누적
5	Over 30.0*	Over 10.0*	Over 5.0	유지보수 시점 (흡수역)

○ (파라미터의 추정) 베이지안 마르코프 하자드 모형에 국도의 4년간 시계열 공용성 자료를 활용하여 추정된 균열, 소성변형, 종단평탄성의 하자드 함수, 기대수명의 추정과정 및 결과를 요약하였다.

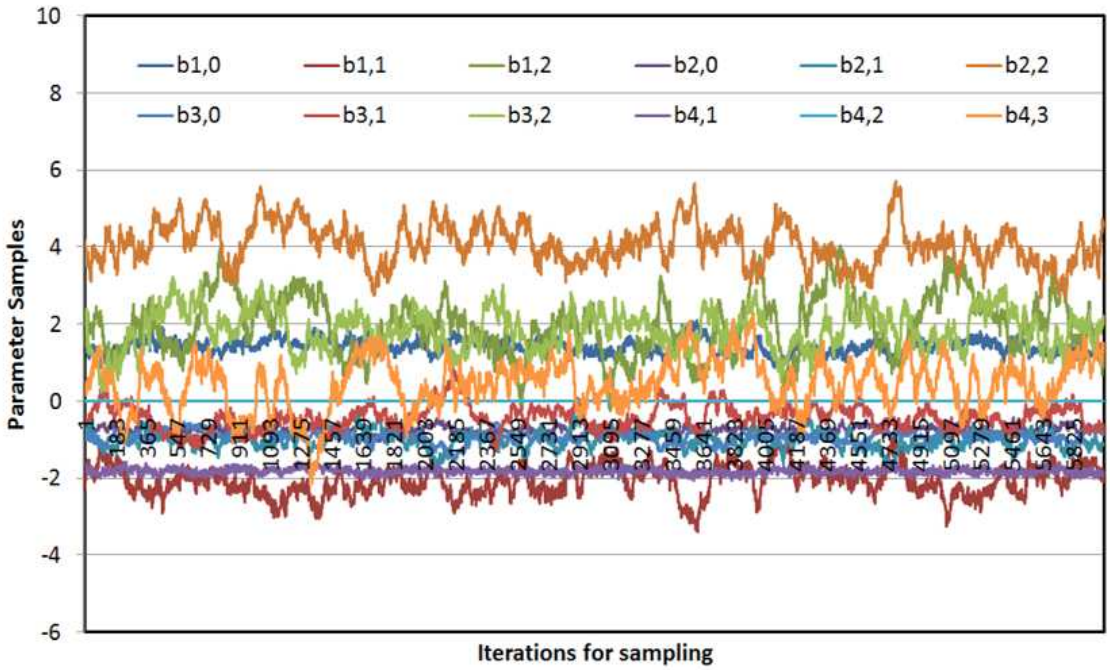
<표 2-154> 베이지안 마르코프 하자드 모형의 파라미터 및 기대수명 추정

파손 지표	상태 등급 (i)	미지 파라미터 (Geweke-z 검정값)			설명변수**		위험도 함수 (θ_i)	상태i 기대 수명 (R_i)	상태i 누적 수명
		$\beta_{i,0}$	$\beta_{i,m(1)}$	$\beta_{i,m(2)}$	$x_{m(1)}$ (SNP)	$x_{m(2)}$ (ESAL)			
균열	1	-0.286 (-0.126)	-0.172 (0.125)	-*	0.489	0.047	0.690	1.45	1.45
	2	-1.503 (0.007)	-	-	0.489	0.047	0.222	4.50	5.94
	3	-1.957 (0.133)	-	1.898 (-0.153)	0.489	0.047	0.155	6.44	12.38
	4	-1.695 (-0.088)	-	-	0.489	0.047	0.184	5.45	17.83
소성 변형	1	1.365 (-0.074)	-1.984 (0.124)	2.013 (-0.325)	0.492	0.048	1.638	0.61	0.61
	2	-0.764 (-0.249)	-1.023 (0.228)	3.967 (0.032)	0.492	0.048	0.344	2.91	3.52
	3	-0.928 (0.169)	-0.413 (-0.193)	1.859 (0.078)	0.492	0.048	0.355	2.82	6.34
	4	-1.831 (0.119)	-	0.613 (-0.191)	0.492	0.048	0.165	6.05	12.39
IRI	1	1.464 (-0.190)	-2.115 (0.250)	1.493 (-0.157)	0.492	0.047	1.653	0.61	0.61
	2	-0.733 (-0.093)	-1.106 (0.036)	4.046 (0.246)	0.492	0.047	0.342	2.92	3.53
	3	-0.966 (-0.112)	-0.342 (0.119)	1.948 (-0.050)	0.492	0.047	0.355	2.82	6.35
	4	-1.755 (0.008)	-0.122 (-0.019)	0.372 (0.094)	0.492	0.047	0.166	6.02	12.37

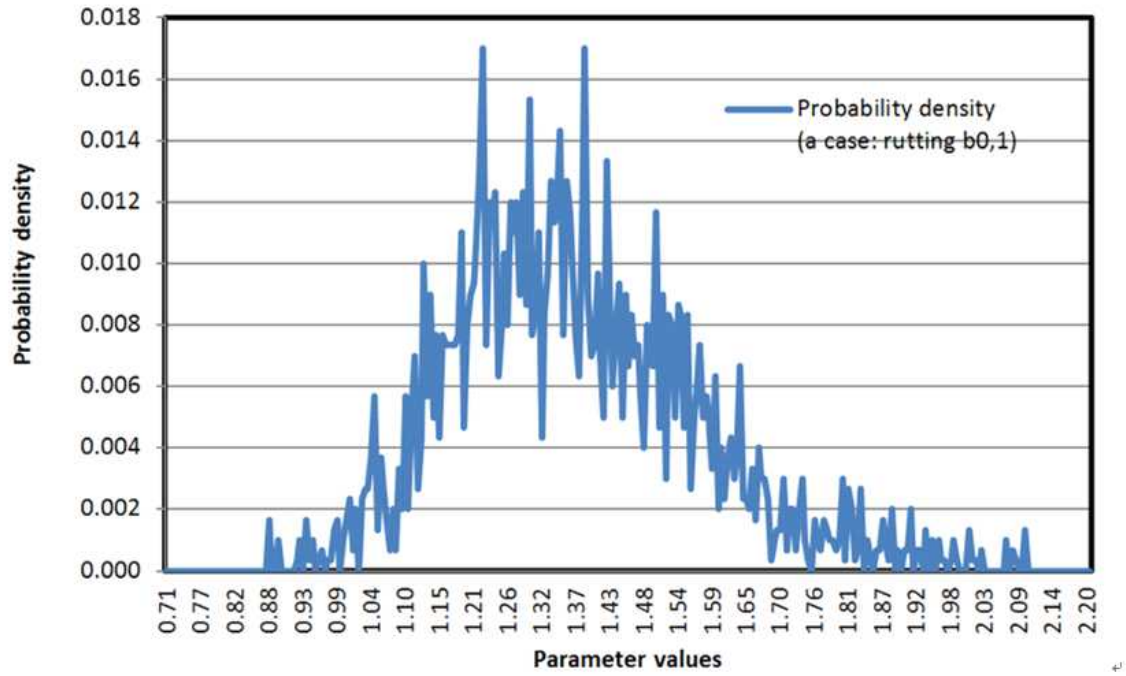
참조: * '-' 표기는 역상관으로 인해 제거된 변수, **각 값은 최대값을 기준으로 (0,1]로 기준화 된 수치

○ (상태지표별 기대수명의 도출) 표 2.6의 모형계수를 살펴보면 소성변형과 종단평탄성의 경우 설명변수로 활용된 포장강도와 교통하중의 설명력이 비교적 우수한 것으로 나타났으나, 균열의 경우 일부 파라메터가 역상관 관계를 나타내는 등 파손과정의 설명에 상대적으로 유효하지 못한 것으로 나타났다. 한편, 각 유지보수유형 별 기대수명을 살펴보면 각각 균열 17.83년, 소성변형 12.39년, 종단평탄성은 12.37년으로 예측되었다.

○ (기대수명의 리스크 분석) 본 연구에서는 MCMC과정을 통해 모형을 도출하였기 때문에 각 모형계수의 고유의 분포정보를 확인가능하다는 장점이 있다. MCMC의 괘적(Trace-plot)과 이를 활용하여 도출된 모형계수의 분포의 예는 아래 그림과 같다.

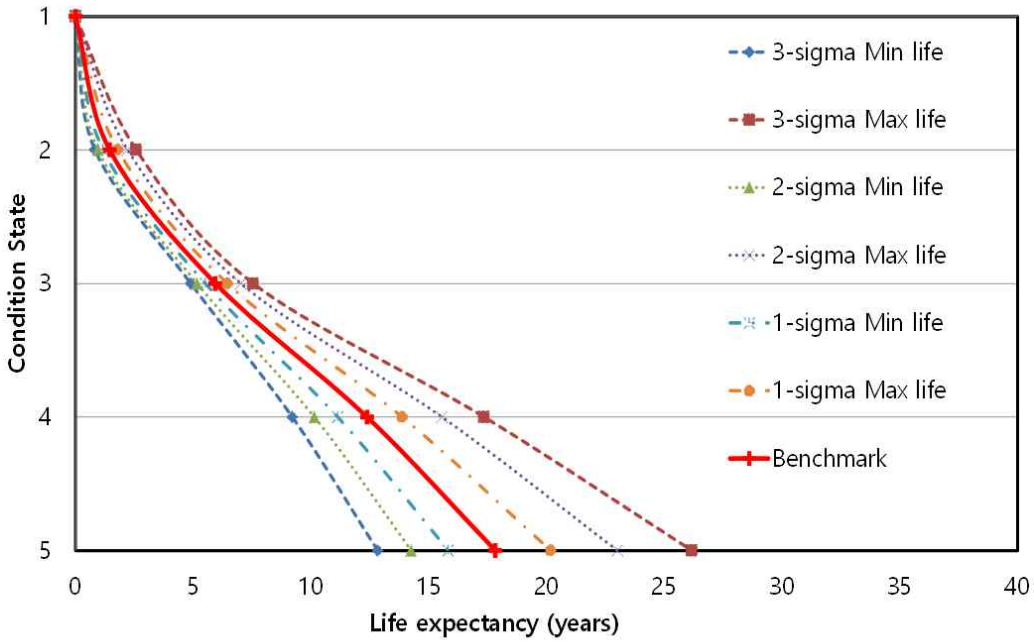


<그림 2-221> 파라미터별 MCMC과정의 행보 (Trace-plot)

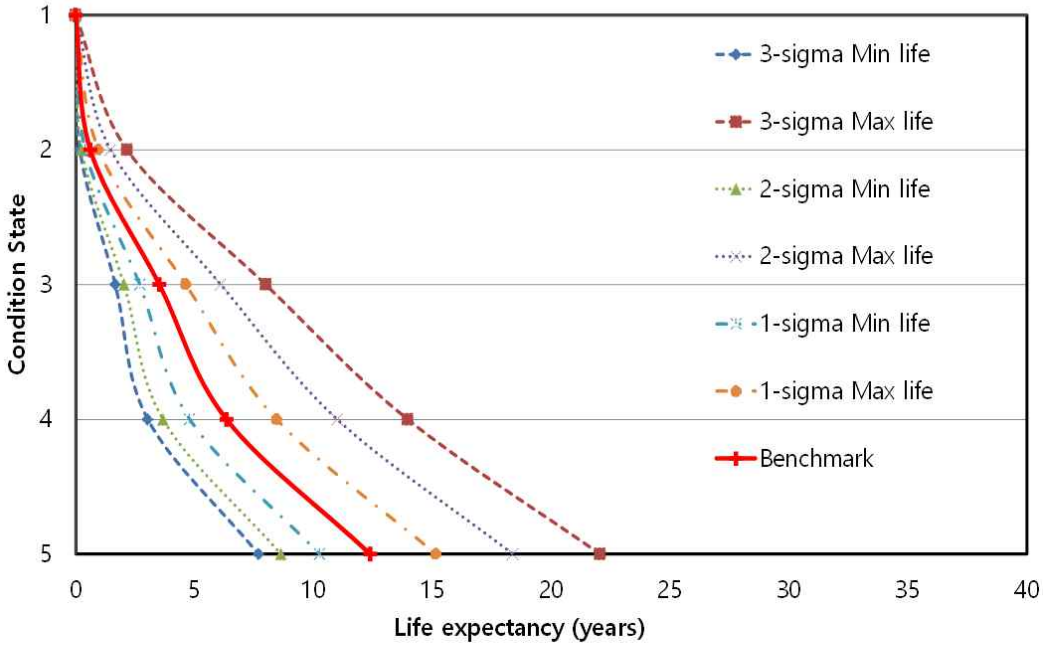


<그림 2-222> MCMC괘적을 이용한 모수의 분포추정 예 (case: rutting b0,1)

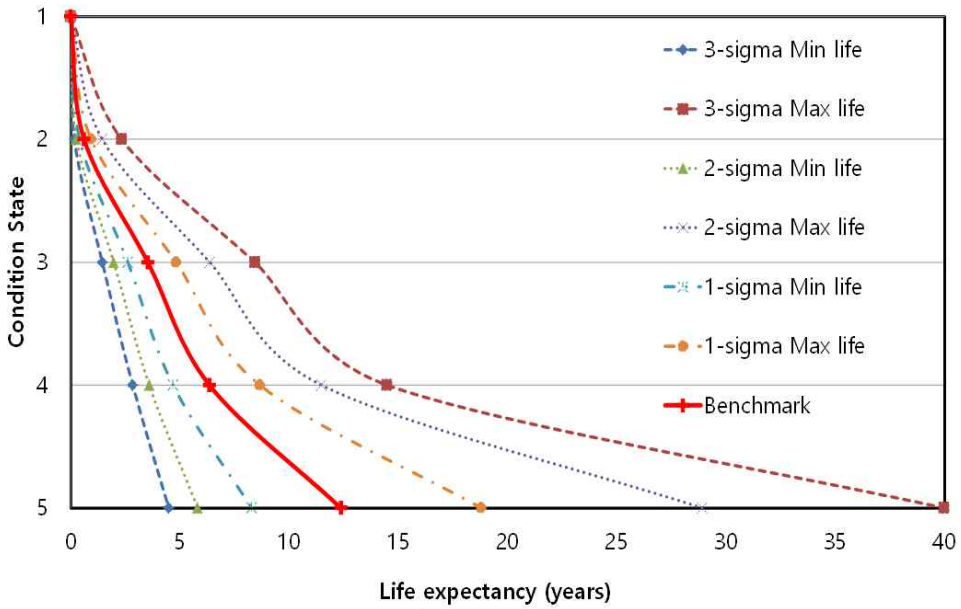
○ 도출된 분포정보를 기반으로 3시그마룰(99.5-95-67)에 의한 각 파손지표의 기대수명의 통계적 범위는 다음과 같다.



<그림 2-223> 균열의 파손과정과 기대수명의 분산영역

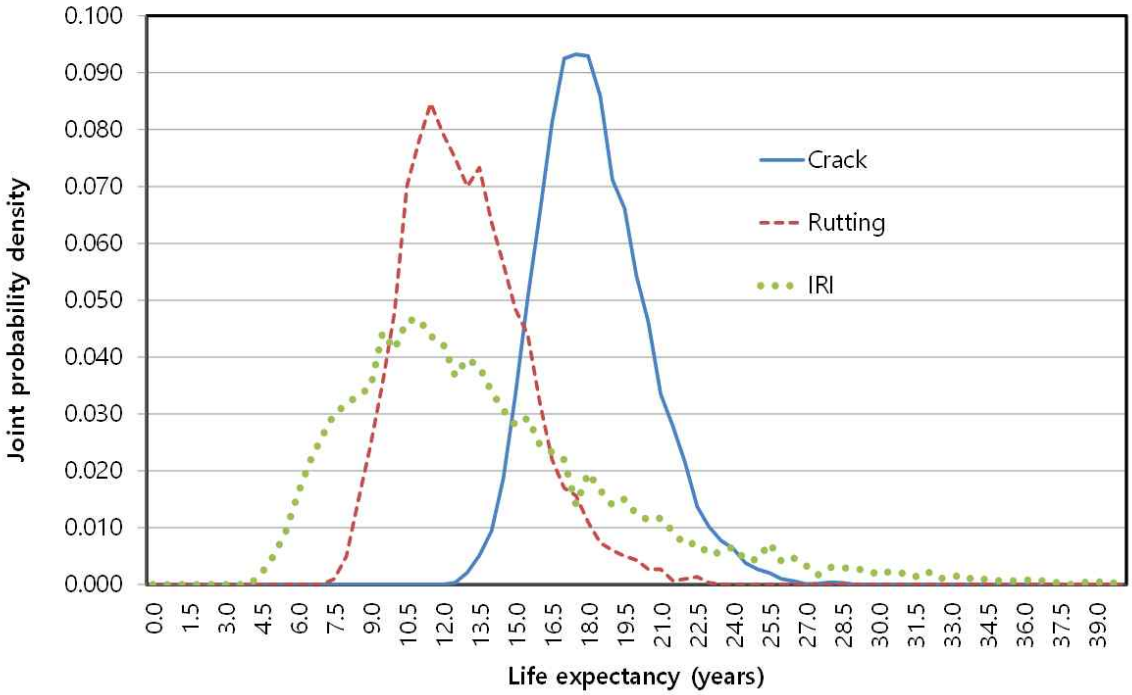


<그림 2-224> 소성변형의 파손과정과 기대수명의 분산영역

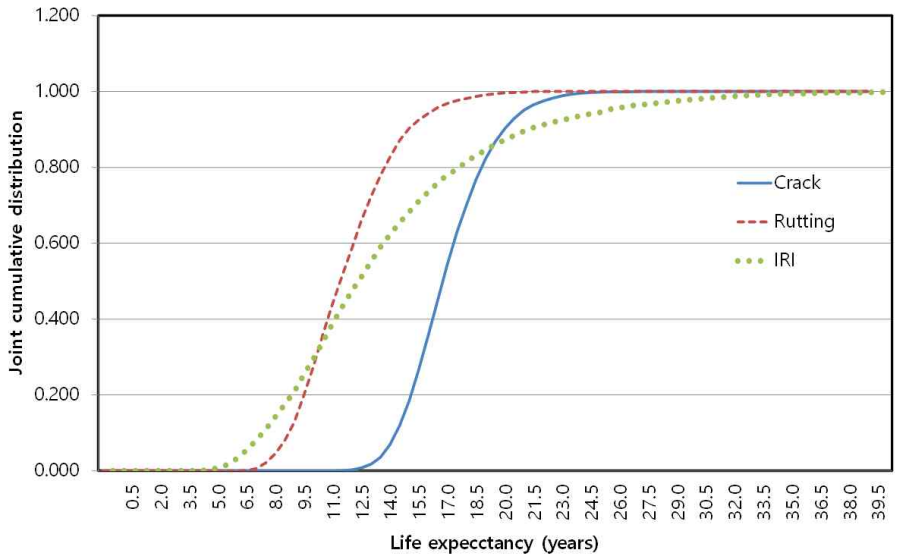


<그림 2-225> 종단평탄성(IRI)의 파손과정과 기대수명의 분산영역

세 파손지표의 확률밀도, 누적분포를 비교하면 다음 그림과 같다.

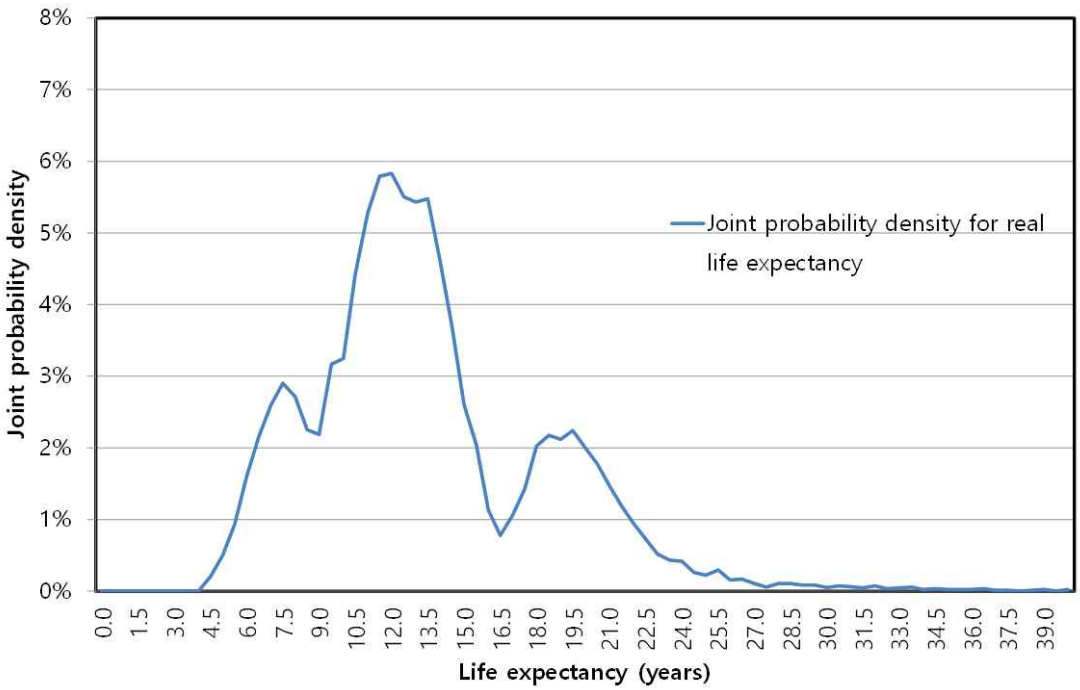


<그림 2-226(a)> 파손지표의 확률밀도



<그림 2-226(b)> 파손지표의 누적분포

○ (통합기대수명의 도출) 포장의 대표적 기대수명 도출을 위해 세 파손지표의 확률밀도함수를 상대적 비율로 통합하여 통합결합확률밀도분포로 도출하면 아래 그림과 같다. 분포의 좌측에서 점유되지 않는 0-4년은 유지보수의 안전영역(safety zone)이라 할 수 있으며, 이후 분포가 구성된 구간은 위험영역(hazard zone)이 됨. 신뢰도 수준에 따른 기대수명은 각각 13.17년(3시그마), 13.09년(2시그마), 12.69년(1시그마)로 결정론적 기대수명 12.37년 대비 0.8년의 편차발생 (최소기대수명 대비 6.5%수준). 여기서 3시그마 수준인 13.17년은 국도의 파손특성과 다양한 관리기준을 통합적으로 고려한 대표 기대수명으로 간주할 수 있다.



<그림 2-227> 기대수명의 통합결합확률밀도

○ 본 연구결과를 생애주기비용분석에 활용하기 위해서는 추정된 파손함수를 해당연도의 포장상태에 따라 연도별 파손함수로 변환시키는 기법의 개발이 요구된다. 이는 연구의 특성상 생애주기비용 분석모형 개발에서 다루기로 한다.

㉮ 도로설계와 유지보수 대안을 고려한 생애주기비용모형

■ 생애주기비용분석 프로그램의 개발 (Prototype)

○ 본 연구에서는 생애주기비용분석 프로그램을 개발하고자 하였다. 생애주기비용분석모형은 “Input - System - Output”의 시스템 형식으로 개발하고 이를 소프트웨어로 개발하였다. 프로그램은 불특정 다수의 이용자가 쉽게 사용할 수 있도록, 전문 프로그래밍 언어가 아닌 Excel VBA프로그램을 이용하여 개발하도록 한다.

○ 시스템의 내부는 향후 모듈의 추가, 수정, 업데이트가 용이하도록 객체지향 프로그래밍을 통해 개발되었으며, 모든 계산과정을 확인할 수 있도록 하여 버그의 발견 및 수정이 간편하도록 설계하였다. 한편, 이용자의 사용이 편리하도록 입력변수를 하나의 입력창에 모아 처리할 수 있도록 제작하였으며, 분석 결과물 또한 PDF로 쉽게 출력할 수 있도록 하였다.

○ 생애주기비용과 관련된 Worksheet는 다음으로 구성하였다.

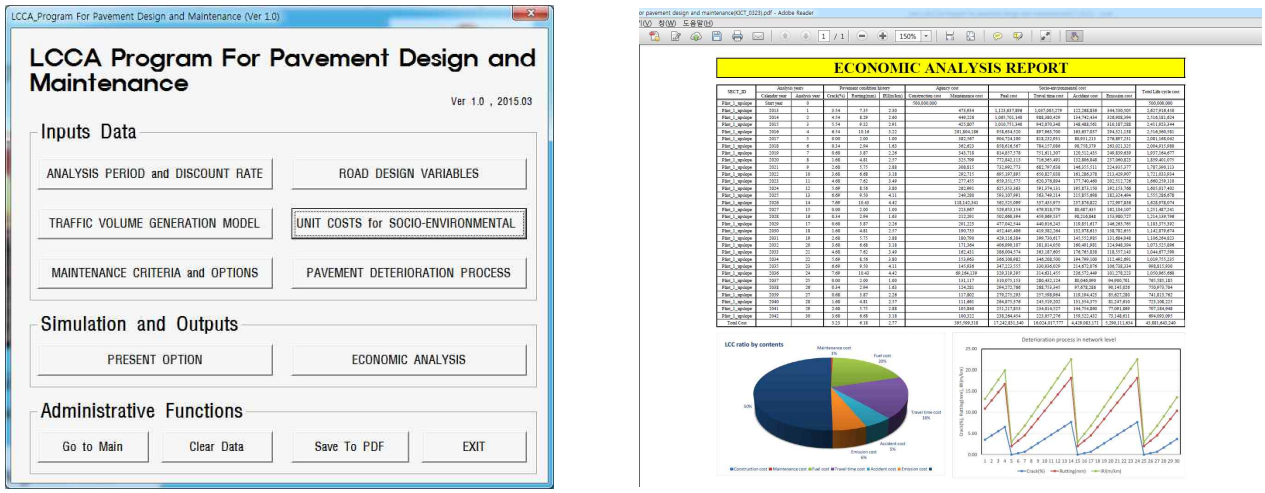
- Variable-summary : 입력변수 창 (User Interface input창과 연동)
- Deterioration history and maintenance cost model : 연도별 포장상태예측 및 유지보수 히스토리의 추정
- Traffic volume generator : 연도별 교통량 발생
- Vehicle speed estimation model : 자유속도, 운행속도의 계산
- Travel time cost estimation model : 통행시간 및 비용예측
- Fuel consumption and cost model : 연료유형별 연료소모량 및 비용예측
- Emission-CO2, CH4, N2O model : 3가지 온실가스 배출량 추정 및 비용예측
- Analysis summary report : 분석결과의 취합 및 레포트
- Alternative comparison : 비교대안간의 경제성 분석 (Out-put)

○ (생애주기비용 분석프로그램 소개 - 초기화면)



<그림 2-228> 건설 및 유지보수 대안을 고려한 생애주기비용분석모형 소프트웨어 (초기화면)

○ (생애주기비용 분석프로그램 소개 - Input, Output 창)



<그림 2-229> 생애주기비용분석 입력변수 입력 및 결과물 출력창

○ 탄소배출량 산정모형의 연구수행체계, 과정, 결과에 대한 전반적인 검증을 위해 1)자동차공학 및 통신 OBD분야, 2)교통 및 경제성 평가분야, 3)도로포장 및 설계분야의 전문가 3인을 섭외하여, 과제내용 전반에 대한 정합성에 대해 평가를 받았다.

<표 2-155> 연구과정 및 결과에 대한 전문가 평가 결과

평가항목	배점	자동차공학 및 통신 OBD분야 (아주대학교 김성철 교수)	교통 및 경제성평가 분야 (한밭대학교 도명식 교수)	도로포장 및 설계분야 (경기대학교 김낙석 교수)	평균
연구의 필요성	10	10	8	10	**9.33**
자료수집 적합성	30	28	27	30	**28.33**
모형구축 방법론	20	19	18	18	**18.33**
모형의 신뢰성	30	29	27	25	**27.00**
모형의 활용방안	10	10	7	9	**8.67**
합계	100	96	87	92	**91.67**

○ (모형의 신뢰성 검증) 모형의 신뢰성은 해외 전문 연구프로그램인 미국 AASHTO and FHWA의 NCHRP 연구프로그램(AASHTO and FHWA, 2012)을 통해 수행된 연구 성과와 비교해 보았다. 그 결과 IRI 1m/km가 나빠질 때의 연료효율의 변화의 편차가 승용차의 경우 속도에 따라 (- 0.30%) ~ (+0.11%), 대형차의 경우 (+0.23) ~ (+0.54)로 나타났다.

<표 2-156> 미국 NCHRP 연구결과와의 비교 (AASHTO and FHWA, 2012)

차종	속도구분	연료효율의 비교 (%/IRI/m/km)		
		NCHRP 720	본 연구	편차
승용차	저속(56km/h)	2.00%	2.11%	**+0.11%**
	고속(96km/h)	2.00%	1.70%	**-0.30%**
대형차량	저속(56km/h)	2.00%	2.23%	**+0.23%**
	고속(96km/h)	1.00%	1.54%	**+0.54%**

② 탄소저감형 도로수목 시공, 유지관리 기술개발

㉮ 컨테이너 수목재배 기법 연구 방법

○ 노지재배 수목과 컨테이너재배 수목의 효과를 비교· 분석하기 위해서 한경대 부속농장인 플로랜드(경기도 안성시 보개면 양복리 274-4)에 시험 시공한다.

■ 수목굴취 및 생체량 측정

◎ 수종 및 굴취수목

○ 굴취수목은 실험식재의 이식 후 해당 수종 고유의 수형을 유지하면서 수관 등이 정상적으로 생장한 개체를 각 그룹마다 3개씩 굴취 수목을 선정한다.

○ 수목은 「조경수 이용을 위한 자생 팥배나무의 생태 및 생육특성에 관한 조사연구(이준복 외 3인, 1998)」 중 팥배나무는 대체로 토양산도가 낮고 유기물함량이 낮은 지역일수록 팥배나무의 상대 우점치는 높아져 다른 수종들 보다 공해에 견디는 힘이 강한 수종이며, 환경오염에 강한 내성수종으로 유망할 것이라는 결론을 토대로 선정한다.

<표 2-157> 실험포지의 구성

목재펜스 내부				○ 31	○ 36	○ 21	● 26	■ 11	□ 16	□ 1	□ 6
				● 32	○ 37	○ 22	● 27	□ 12	■ 17	■ 2	□ 7
○ 41	○ 42	● 43	○ 44	○ 33	○ 38	● 23	○ 28	□ 13	□ 18	■ 3	□ 8
○ 45	● 46	● 47	○ 48	● 34	○ 39	○ 24	○ 29	□ 14	□ 19	□ 4	□ 9
	○ 49	○ 50		● 35	○ 40	○ 25	○ 30	■ 15	□ 20	■ 5	□ 10
팥배나무(10주) 컨테이너, 제초				팥배나무(10주) 노지, 멀칭		팥배나무(10주) 컨테이너, 멀칭		복자기(10주) 컨테이너, 무 전정		복자기(10주) 컨테이너, 전정	

■: 복자기 실험구 ●: 팥배나무 실험구

◎ 현장굴취 및 생중량 측정

○ 컨테이너식재 시 활착률에 대한 조사와 CO_2 흡수량을 조사하기 위해 2014년 5월13일에 한경대 부속농장인 플로랜드(경기도 안성시 보개면 양복리 274-4)에 컨테이너 식재된 복자기나무 20그루와 팥배나무 20그루, 노지 팥배나무 10그루를 이식하고 3그룹으로 나누어서 대조군을 만듦.

○ 첫 번째로 컨테이너 식재 복자기나무 20그루를 각각 10그루로 나누어 전정(a-1)과 무전정(a-2) 실시하고(A그룹)하고, 두 번째로는 컨테이너 식재 팥배나무 10그루(b-1)와 노지에서 키운 팥배나무 10그루(b-2)를 이식함(B그룹).

○ 세 번째로는 컨테이너 식재 팥배나무 20그루도 각각 10 그루씩 나눈 다음 멀칭(b-1)과 제초

(c-1)를 한다(C그룹)이와 같이 세 개 그룹으로 나누어서 비교하고자 한다.

<표 2-158> 실험구 대조군 작성

그룹		수목	컨테이너 식재	처리방법	수량
A	a-1	복자기나무	●	전정	10
	a-2		●	무전정	10
B	b-1	팥배나무	●	멀칭	10
	b-2		노지	멀칭	10
C	c-1	팥배나무	●	제초	10
	b-1		●	멀칭	10

○ 이식 후 4개월 동안 수목이 활착을 할 수 있게 관리를 하였으며 9월 11일 약 4개월 후에 현장에서 직접 굴취하여 잎, 가지, 수간, 뿌리로 부위별로 저울을 이용하여 생중량을 실측하고, 현장 굴취 및 생중량 측정은 KFRI(2007)의 바이오매스 조사·분석 표준방법을 부분적으로 참조하여 수행하였으며 그 세부과정은 다음과 같다.

○ 흉고직경은 지상 1.2m 높이에서 직경줄자로 0.1cm 단위까지, 수관폭은 직각방향으로 2회 0.1m 단위까지, 그리고 수고는 굴취 후 줄자로 0.1m 단위까지 측정한다.

○ 뿌리 굴취 및 생중량 측정은 백호우를 이용해 뿌리를 굴취하고, 굴취 중 끊어진 뿌리도 모두 채취하였다. 기계톱을 이용해 지표면을 기준으로 뿌리를 분리한 후, 고압분사기로 흙을 모두 제거하고, 100g 단위까지 모든 뿌리의 생중량을 측정한다.

○ 줄기 생중량 측정은 기계톱 등을 이용해 줄기와 가지를 분리하되, 가지는 잔여부분이 남지 않도록 가지의 기부에서 절단하고, 줄기의 생중량은 100g 단위까지 측정하였으며, 줄기와 가지의 구분은 유사 직경으로 분기되어 모호한 경우 다음 기준에 따라 판단한다.

- 분기 위치가 수관(잎 형성 부분 기준)보다 하부인 경우는 줄기로 취급하되, 직경이 상대적으로 현저히 작은 것은 가지로 취급한다.
- 분기 위치가 수관의 내부인 경우는 1차 분기에 한정해 줄기로 취급하고, 2차 분기부터는 가장 굵은 것 1개를 줄기로 선택하고, 그 외의 것은 모두 가지로 취급한다.

○ 가지 생중량 측정은 수작업으로 잎을 분리한 후, 적정 길이로 절단하여 100g 단위까지 모든 가지의 생중량을 측정하고, 잎 생중량 측정은 모든 잎을 분리하여 자루에 넣어 10g 단위까지 생중량을 측정하며, 은행나무의 경우 열매도 구분하여 측정한다.

◎ 표본채취 및 건중량 산정

○ 생중량 대비 건중량(이하 생체량으로 명명)을 산정하기 위하여 잎, 가지, 수간, 뿌리 등 부위별로 생체량 환산용 표본을 채취하고, 현장에서 10g 단위까지 생중량을 측정하고 잎, 가지 수간 뿌리 부위별로 이중 비닐백에 넣어 실험실로 운반한다.

○ 생체량을 재기 위해서 대형 건조기에서 무게가 더 이상 감소되지 않는 함량이 될 때까지 완전히 건조시킨 후, 3kg용 전자저울로 1g 단위까지 생체량을 측정한다.

○ 부위별 표본의 생중량 대비 생체량의 비를 도출하고, 이를 해당 개체의 생중량에 적용하여 단목의 부위별 및 전체 생체량을 산출한다.

■ 탄소저장량 산정

○ 수목 한그루 당 탄소저장량은 일반적으로 수종별 바이오매스 상대생장식을 활용하여 산정하는데, 국내에서는 몇몇 도시수목 수종에 대해서만 상대생장식 계수가 알려져 있다.

○ Jo(1999)가 소나무, 잣나무, 신갈나무, 현사시나무, 칠쭉, 진달래, 싸리나무 등에 대해 각각 상대생장식 계수를 밝힌 바 있고, Jo and Jo(1998), Jo and Ahn(2001)이 몇몇 도시 수종에 대해 적외선가스 분석기에 의한 CO_2 교환율을 측정하여 연간 이산화탄소 흡수량을 산정하는 식을 유도한 바 있다.

○ 기존 국내연구가 소나무와 참나무, 몇몇 관목류 등에 국한되어 본 연구에서 조사한 9개 수종들 각각에 맞는 상대생장식 계수를 적용할 수 없으므로 기존 식들을 종합 정리하여 활엽수와 침엽수로 구분하여 계수를 적용하는 Lee(2003)의 방법에 따라 탄소저장량을 산정한다.

○ 즉, 가로수 대표 수종별 흉고직경을 측정한 후 활엽수와 침엽수를 구분하여 계수를 적용하는 (식1)의 상대생장식으로부터 바이오매스 (Wi)를 산정하고, 탄소전환계수를 0.5로 하는 (식2)에 따라 탄소저장량(Ci)을 산정한다.

$$Wi = a(DBH_i)^b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(식1)}$$

- Wi: 가로수 대표수종 i 의 평균 바이오매스(kg),
- a, b: 상대생장식 계수(a: 활엽수 0.1403, 침엽수 2.4595, b: 활엽수 0.1915, 침엽수 2.1436)
- DBHi: 대표수종 i 의 평균 흉고직경(㎝)

$$C_i = CF \times W_i \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(식2)}$$

- Ci: 가로수 대표수종 i 의 평균 탄소저장량(kg)
- CF: 바이오매스에 대한 탄소 전환계수(0.5)

㉯ 컨테이너 수목 탄소저장량

■ 실험구의 건중량 및 탄소저장량 조사

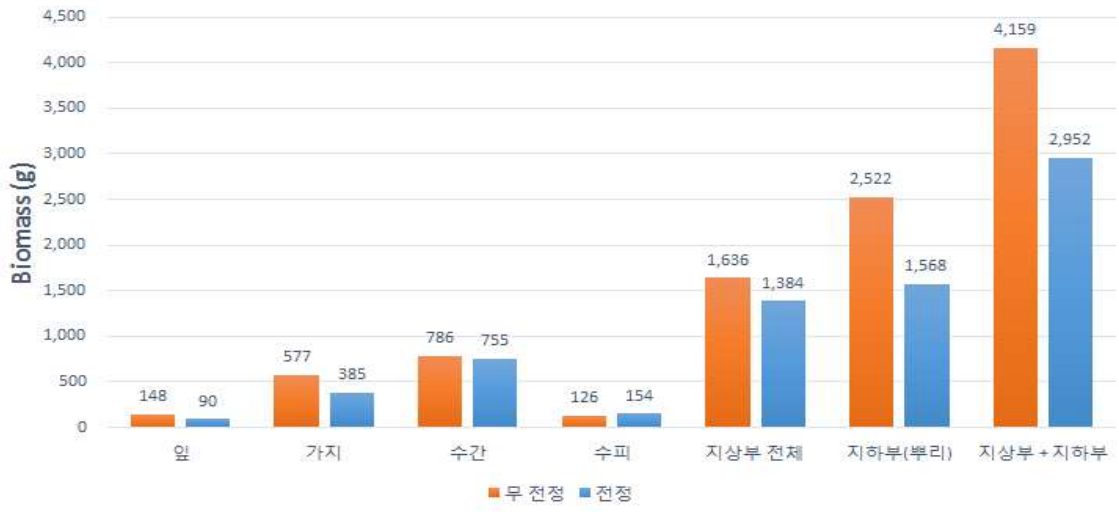
◎ A그룹의 건중량 및 탄소저장량 조사결과

○ 복자기 컨테이너 시험구의 지상부 및 지하부의 건중량(Biomass)을 조사하기 위하여 전정을 실시한 시험구(a-1)와 전정을 실시하지 않은 시험구(a-2)에서 각각 3그루의 입목을 현장에서 채취한다.

○ 복자기나무의 각 부위별(잎, 가지, 수간, 그리고 뿌리) 생중량을 현장에서 측정한 후, 일부의 샘플을 실험실로 운반하여 함량에 달하도록 dry oven에서 건조하고, 복자기나무의 처리별, 부위별 건중량을 분석한 결과는 다음과 같다.

<표 2-159> 복자기나무 컨테이너 시험구의 각 부위별 Biomass 비율

부위	전정(a-1)				무전정(a-2)			
	건중량 (g)	탄소저장량 (g)	지상부 비율 (%)	임목전체 비율 (%)	건중량 (g)	탄소저장량 (g)	지상부 비율 (%)	임목전체 비율 (%)
잎	90	45	6	3	148	74	9	4
가지	385	192.5	28	13	577	288.5	35	14
수간	755	377.5	55	26	786	393	48	19
수피	154	77	11	5	126	63	8	3
지상부 전체	1384	692	100	47	1636	818	100	39
지하부(뿌리)	1568	784		53	2522	1261		61
지상부 + 지하부	2952	1476		100	4159	2079.5		100



<그림 2-230> 복자기나무 컨테이너 시험구의 Biomass 평균

○ 잎의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 90g, 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 148g으로 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 크게 높은 것으로 나타났으며, 가지의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 385g, 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 577g으로 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 크게 높은 것으로 나타난다.

○ 또한 수간의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 755g, 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 786g으로 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 약간 높은 것으로 나타난다.

○ 수피의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 154g, 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 126g으로 전정한 시험구(a-1)에서 높은 것으로 나타났으며, 뿌리의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 1,568g, 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 2,522g으로 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 높은 것으로 나타난다.

○ 복자기나무 컨테이너 시험구에서 전정을 실시하지 않음으로써 잎, 가지, 뿌리는 약 50% 이상의 건중량 증가를 가져왔으나, 수간과 수피의 경우는 큰 차이를 보이지 않은 것으로 나타났으며, 임목전체(지상부+지하부)의 건중량은 전정한 시험구에서 2,952g, 전정을 하지 않은 시험구에서 4,159g으로 전정을 하지 않음으로써 임목전체의 건중량은 40.9% 증가한 것으로 나타난다.

○ 전정한 시험구와 전정하지 않은 시험구(a-1)에서의 각 부위별(잎, 가지, 수간, 수피, 뿌리) 건중량에 대한 상대 비율을 나타낸다.

○ 지상부 건중량 중 잎의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 6%를 차지하였으나, 전정을 하지 않은 시험구에(a-2)서는 9%를 차지하여 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 더 많은 잎의 비율을 보이며. 지상부 건중량 중 가지의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 28%를 차지하였으나, 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서는 35%를 차지하여 전정을 하지 않은 시험구(a-2)가 더 많은 가지의 비율을 보인다.

○ 또한 지상부 건중량 중 수간의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 55%를 차지하였으나, 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서는 48%를 차지하여 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 낮은 수간의 비율을 보였으나 실제 건중량(g)은 큰 차이를 보이지 않으며, 지상부 건중량 중 수피의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 11%를 차지하였으나, 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서는 8%를 차지하여 전정을 하지 않은 시험구(a-2)가 더 낮은 수피의 비율을 보였으나 실제 건중량(g)은 큰 차이를 보이지 않다.

○ 임목전체(지상부+지하부) 중 지하부(뿌리)의 건중량은 전정한 시험구(a-1)에서 53%를 차지하였으나, 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서는 61%를 차지하여 전정을 하지 않은 시험구(a-2)에서 높은 뿌리의 비율을 보인다.

○ 복자기나무 컨테이너 시험구의 Biomass를 조사한 결과, 전정을 실시한 시험구(a-1)에서 보다 전정을 실시하지 않은 시험구(a-2)에서 약 40.9% 많은 건중량을 보였다. 특히 지상부 중 잎,

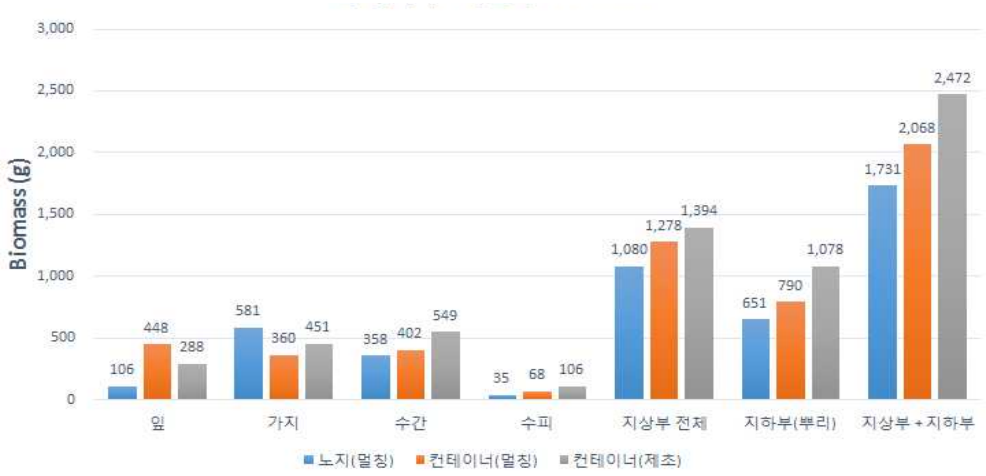
가지에서 각각 64.7%, 49.9% 많은 건중량을 보였으며, 지하부(뿌리)에서도 60%이상의 차이를 보였다. 지상부 Biomass 비율에 있어서 전정을 실시한 시험구(a-1)에서 보다 전정을 실시하지 않은 시험구(a-2)에서 잎과 가지의 비율이 높게 나타난다.

◎ B그룹과 C그룹 건중량 및 탄소저장량 조사결과

○ 팥배나무 시험구의 지상부 지하부 부위별 건중량(Biomass)을 조사하기 위하여 노지(멀칭) 시험구(b-2)와 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1) 그리고 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 각각 3그루의 입목을 채취한 후 평균을 분석한 결과는 다음과 같다.

<표 2-160> 팥배나무 컨테이너 시험구의 각 부위별 Biomass비율

부위	노지(멀칭)				컨테이너(멀칭)				컨테이너(제초)			
	건중량(g)	탄소저장량(g)	지상부비율(%)	임목전체비율(%)	건중량(g)	탄소저장량(g)	지상부비율(%)	임목전체비율(%)	건중량(g)	탄소저장량(g)	지상부비율(%)	임목전체비율(%)
잎	**106**	**53**	**10**	**6**	**448**	**224**	**35**	**22**	**288**	**144**	**21**	**12**
가지	581	290.5	54	34	360	180	28	17	451	225.5	32	18
수간	358	179	33	21	402	201	31	19	549	274.5	39	22
수피	35	17.5	3	2	68	34	5	3	106	53	8	4
지상부 전체	1080	540	100	62	1278	639	100	62	1394	697	100	56
지하부 (뿌리)	651	325.5		38	790	395		38	1078	539		44
지상부+지하부	1731	865.5		100	2068	1034		100	2472	1236		100



<그림 2-231> 팥배나무 시험구의 Biomass 평균

○ 잎의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 106g으로 가장 낮게 나타났으며, 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 288g 그리고 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 448g으로 가장 높게 나타난다.

○ 가지의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 581g으로 가장 높게 나타났으며, 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 451g 그리고 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 360g으로 가장 낮게 나타난다.

○ 수간의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 258g으로 가장 낮게 나타났으며, 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 402g 그리고 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 549g으로 가장 높게 나타난다.

○ 수피의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 35g으로 가장 낮게 나타났으며, 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 68g 그리고 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 106g으로 가장 높게 나타난다.

○ 지하부(뿌리)의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 651g으로 가장 낮게 나타났으며, 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 790g 그리고 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 1,078g으로 가장 높게 나타난다.

○ 임목 전체의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 1,080g으로 가장 낮게 나타났으며, 컨테이너(멀칭)(b-1) 처리 시 1,278g으로 노지(멀칭)(b-2) 기준 19.5% 증가하였으며, 컨테이너(제초)(c-1) 처리 시 1,394g으로 노지(멀칭)(b-2) 기준 42.8% 증가한다.

○ 지상부 건중량 중 잎의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 10%를 차지하여 가장 낮게 나타났으며, 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 21% 그리고 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 35%로 가장 높게 나타난다.

○ 지상부 건중량 중 가지의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 54%를 차지하여 가장 높게 나타났으며, 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 32% 그리고 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 28%로 가장 낮게 나타난다.

○ 지상부 건중량 중 수간의 건중량은 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 31%로 가장 낮게 나타났으며, 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 33% 그리고 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 39%로 가장 높게 나타난다.

○ 지상부 건중량 중 수피의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)에서 3%로 가장 낮게 나타났으며, 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 5% 그리고 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 8%로 가장 높게 나타난다.

○ 임목전체(지상부+지하부) 중 지하부(뿌리)의 건중량은 노지(멀칭) 시험구(b-2)와 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)에서 38%를 차지하였으나, 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서는 44%를 차지하여 가장 높은 지상부 대 뿌리 비율을 보인다.

○ 팥배나무 시험구의 Biomass를 조사한 결과 노지(멀칭) 시험구(b-2)가 가장 낮은 건중량을 보였으며, 컨테이너(멀칭) 시험구(b-1)의 경우 노지(멀칭) 시험구(b-2) 보다 19.5% 많은 건중량

을 보이고, 컨테이너(제초)(c-1)의 경우 노지(멀칭) 시험구(b-2) 보다 42.8% 많은 건중량을 보여 3개 시험구 중 가장 높게 나타난다.

○ 지상부 대 지하부(뿌리) Biomass 비율은 컨테이너(제초) 시험구(c-1)에서 다른 두 시험구보다 지하부의 비율이 높게 나타난다.

◎ 흉고직경, 바이오매스 및 탄소저장량

○ 이번 실험에서 컨테이너 수목을 식재한 후 흉고직경을 측정한 결과, 평균 흉고직경이 제일 큰 수목은 컨테이너에 식재해서 무전정을 한 복자기나무가 5.6cm로 가장 높게 나타났으며 노지에서 이식한 팥배가 4cm로 가장 낮다.

○ 총 5개의 시험구에서 각 시험구마다 3개씩 대표수종을 선정하여 바이오매스와 탄소저장량을 산정한 결과, A그룹에서는 a-2가. B그룹에서는 b-1이. C그룹에서는 c-1이 탄소저장량이 높게 나온다.

<표 2-161> 실험수목의 바이오매스(g)과 탄소저장량(g) 산정

그룹		수량	흉고직경			바이오매스 (g)	탄소저장량 (g)
			평균	최대	최저		
A	a-1	3	5.4	5.7	5	194	97
	a-2	**3**	**5.6**	**5.9**	**5**	**195**	**98**
B	**b-1**	**3**	**4.2**	**4.5**	**3.9**	**185**	**92**
	b-2	3	4	4.1	3.8	183	91
C	**c-1**	**3**	**4.5**	**5.1**	**4**	**187**	**94**
	b-1	3	4.2	4.5	3.9	185	92

㉰ 컨테이너 수목 광합성 효율분석

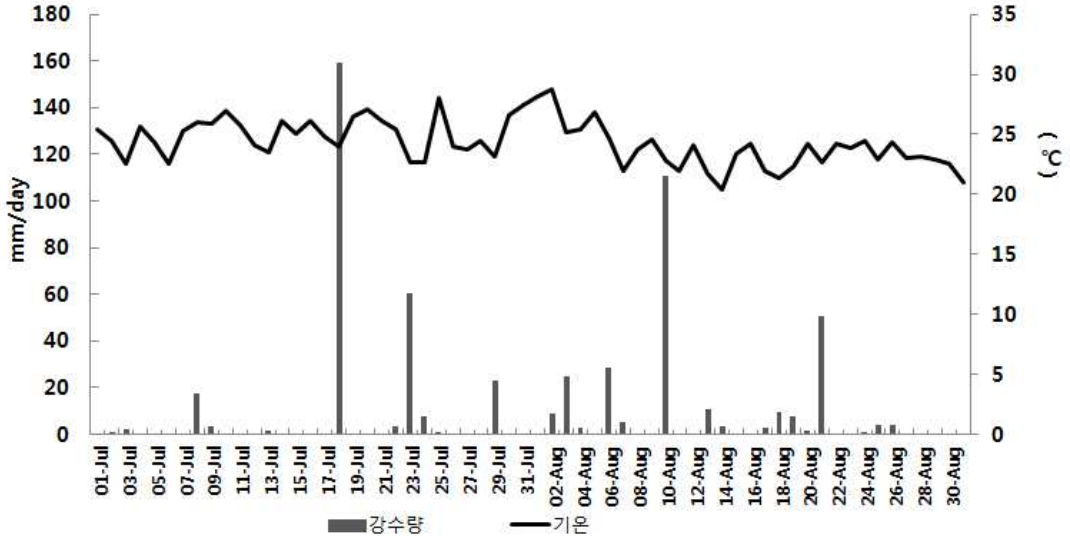
◎ 광합성 효율분석 결과

□ 기상자료 분석

○ 안성지역의 장마철 기상자료 분석을 통한 재배환경조건 변화를 모니터링한다.

○ 2014년 9월 30일 현재 안성지역 누적 강수량은 911.5mm이었으며 7~8월의 강수량은 557mm로 관측되었다.

○ 현재까지의 강수량 대비 약 61%를 차지하며 여름철에 집중되어 있다.



* 자료출처 : 농촌진흥청 농업기상관측센터

<그림 2-232> 경기도 안성시 7~8월 강수량 및 평균기온 변화

□ 토양 수분함량 측정

○ 식재 처리별 토양 용적수분함량 측정 결과 제초한 처리구(B)에서 수분함량이 가장 높게 나타났다.

<표 2-162> 식재 처리별 토양 수분함량(2014.8.13.)

구분	A	B	C	D	E
Soil water content (%)	18.5	29.1	19.5	22.7	14.1

□ 줄기 및 엽온 측정

◇ 식재 처리별 엽록소 형광반응 OJIP 분석

○ 여름철 강우 지속기간 중 2시기에 걸쳐(7월22일, 8월 13일) 엽록소 형광반응 (OJIP) 분석을 실시하였다.

○ 엽록소 형광유도과정 중 O-J(50㎲-2ms) 전이는 빛에 의존한 초기 광화학 반응으로서 광계 Ⅱ 반응중심(PSⅡ RC) 내에서의 전자전달과 관련한 형광반응이며, J-I(2ms-30ms) 및 I-P 전이는 열에 의존한 반응으로서 광계Ⅰ(PSⅠ) 전자수용체까지 전자가 전달되어 대부분의 광화학 기구가 환원상태가 되는 동안의 형광 반응이다.

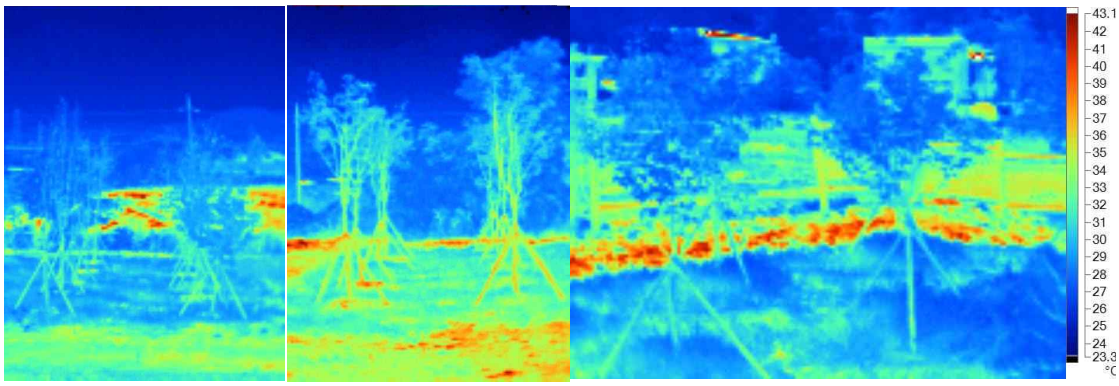
○ 7월 22일 측정 결과 O-J 및 J-I 전이는 B 처리구에서 가장 높았고 A, C, D, E 처리구 순으로 낮아졌으며, I-P 전이는 A, C, B, D, E 처리구 순으로 나타났다.

○ 8월 13일의 엽록소 형광 반응 결과는 7월 22일 측정 결과와 같은 경향을 보였으나, 각 전이(O-J-I-P)단계에서 E 처리구가 전체 처리구 평균보다 10% 이상 감소하는 것으로 나타났다.

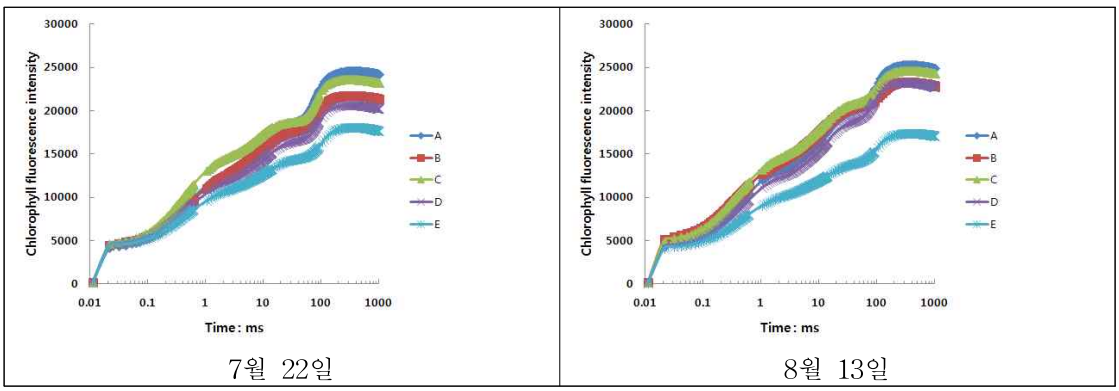
◇ 시기별 엽록소 형광반응 OJIP 분석

○ 여름철 강우 지속기간 중 식재 처리별 7월22일 대비 8월 13일의 엽록소 형광반응(OJIP) 비교 분석을 실시하였다.

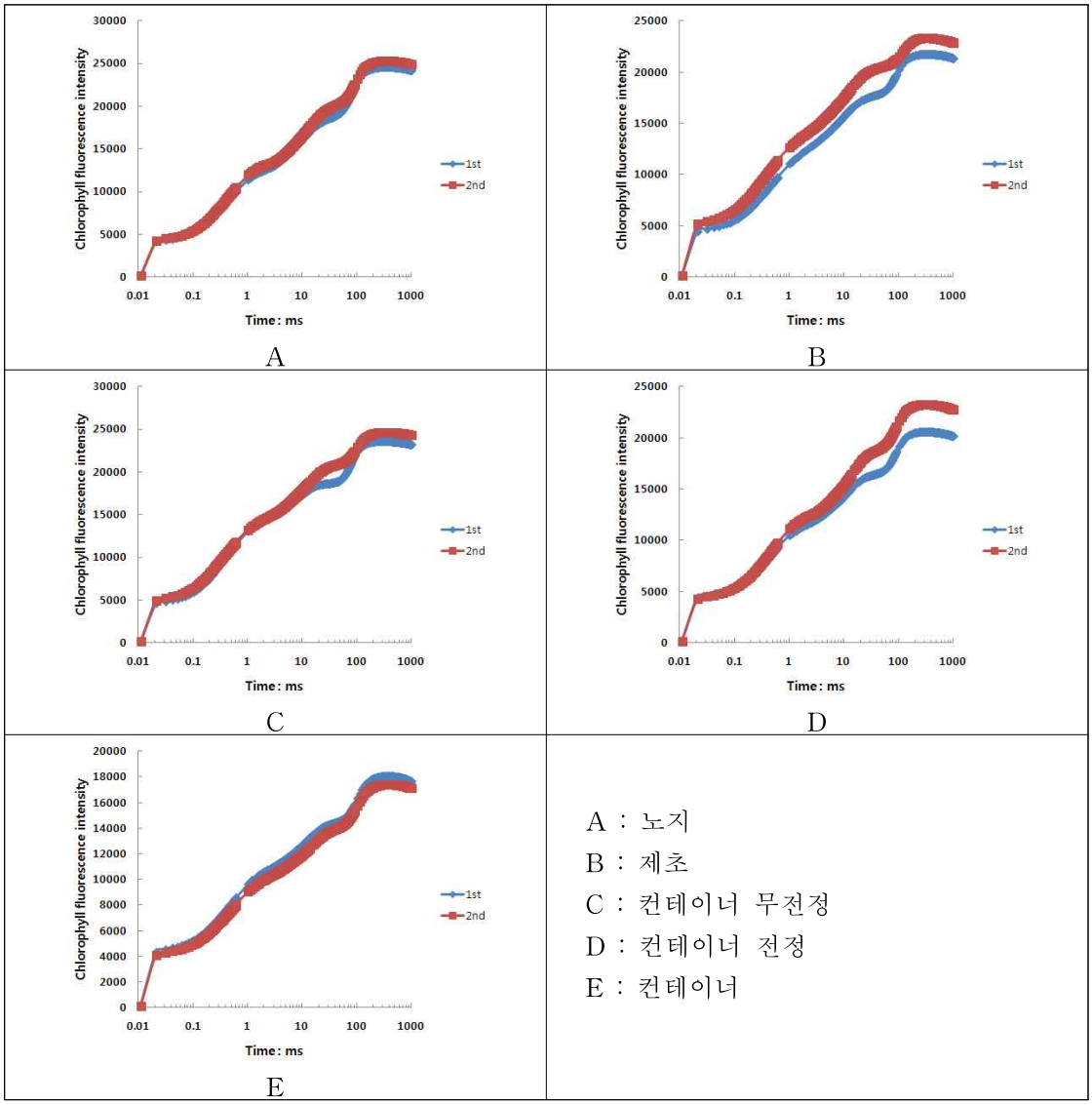
○ E 처리구를 제외한 8월 13일의 각 전이(O-J-I-P)단계에서 감소했으며, D처리구는 Fo 형광값이 낮고 Fp 형광값이 가장 크게 증가했다.



<그림 2-233> 줄기 및 엽온 측정



<그림 2-234> 식재 처리별 엽록소 형광반응(OJIP) 비교



<그림 2-235> 시기별 엽록소 형광반응(OJIP) 변화

◇ 엽록소 형광 매개변수 분석 (JIP-Test)

○ 광계Ⅱ 반응중심당(per PSⅡ RC) 에너지 플럭스 : ABS/RC, RC/ABS, TRo/RC, DIo/RC, ET2o/RC, RE1o/RC

○ 단면당(per cross section, CS) 에너지 플럭스 : ABS/CS, RC/CS, TRo/CS, DIo/CS, ET2o/CS, RE1o/CS

◇ 식재 처리별 및 시기별 에너지 플럭스 변화 비교

○ 7월 22일의 광화학 에너지 플럭스는 A 처리구에서 가장 높았고 B, E 처리구에서 가장 낮았다.

○ 특히, 광계Ⅱ 반응중심당 열에 의한 에너지 손실(DIo/RC)의 경우 E처리구가 가장 높고 A처리구에서 낮았으며, 광계Ⅰ 전자수용체까지의 전자전달 에너지 플럭스 또한 A 처리구에서 가장 높았다. 이는 식물의 광합성 전자전달 과정에서 열로 소산되는 에너지가 A 처리구에서 낮아 효율적으로 광합성 전자전달시 에너지 효율이 높아졌음을 나타낸다.

○ 8월 13일의 광화학 에너지 플럭스 또한 A 처리구에서 가장 높았고 B, E 처리구에서 가장 낮았다.

○ CS는 최대 형광량(Fp=Fm)을 기반으로 한 단면당(CSM) 에너지 플럭스이며, E 처리구의 단면당 에너지 플럭스가 낮은 이유는 최대 형광량이 가장 낮기 때문인 것으로 보였다.

○ 여름철 강우 지속기간 중 7월22일 대비 8월 13일의 식재 처리별 에너지 플럭스 변화 비교분석을 실시하였다.

○ A 처리구는 활성화된 RC(RC/ABS)의 감소와 관련해 RC당 흡수하는 광자(ABS/RC)가 증가했고 열에 의한 방출(DIo/RC, DIo/CS)량 증가로 인한 에너지 손실 등으로 인해 결국 광자의 광화학 반응을 통한 PSⅡ RC의 전자전달 효율(ET2o/RC) 및 PSⅠ전자수용체까지의 전자전달 효율(RE1o/RC, RE1o/CS)가 감소했다.

○ B 처리구는 A처리구와 비슷한 경향을 보였으나 활성화된 RC(RC/ABS)가 크게 감소하며 열에 의한 에너지 방출량 즉, DIo/RC와 DIo/CS가 각각 28.8%, 18.5% 증가해 결국 광자의 광화학 반응을 통한 PSⅠ전자수용체까지의 전자전달 효율인 RE1o/RC, RE1o/CS가 20%이상 크게 감소했다.

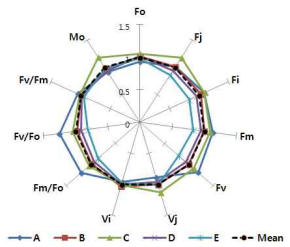
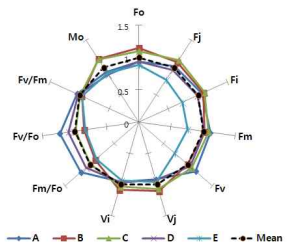
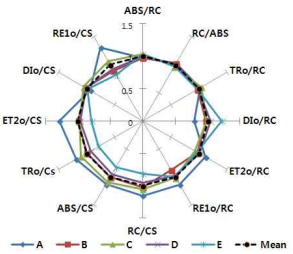
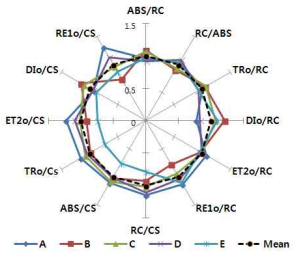
○ C 처리구 또한 A처리구와 비슷한 경향을 보였으며, 광자의 광화학 반응을 통한 PSⅡ RC의 전자전달 효율(ET2o/RC, ET2o/CS)에서 증가경향을 보였다. 광계Ⅱ에서의 전자전달 에너지 플럭스(QA⇒QA-)는 비교적 원활히 유지되었으나 PSⅠ전자수용체까지의 전자전달시 효율이 감소하여 RE1o/RC, RE1o/CS가 감소한 결과를 보였다.

○ D 처리구는 활성화된 RC(RC/ABS)의 증가와 관련해 RC당 흡수하는 광자(ABS/RC)가 감소했고 열에 의한 방출(DIo/RC, DIo/CS)량이 감소하거나 차이가 없었으며, 결국 광자의 광화학 반응을 통한 PSⅡ RC의 전자전달 효율(ET2o/RC) 및 PSⅠ전자수용체까지의 전자전달 효율(RE1o/RC, RE1o/CS) 또한 비슷하게 유지되는 것으로 나타났다.

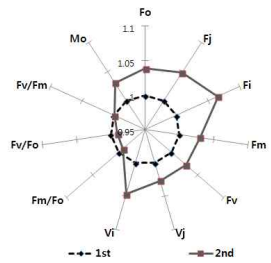
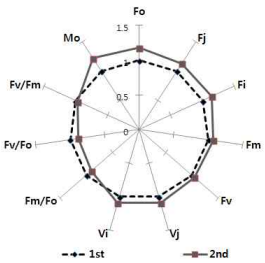
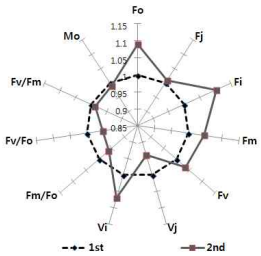
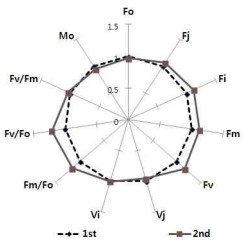
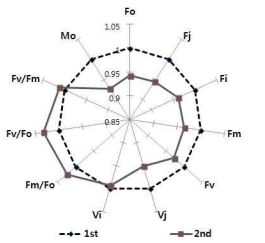
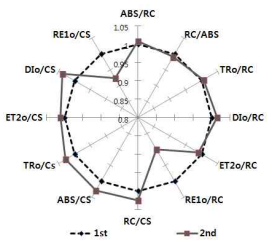
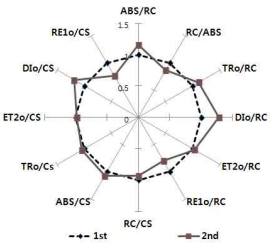
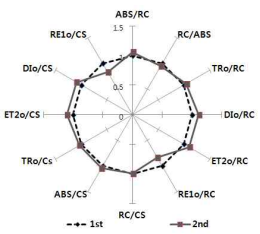
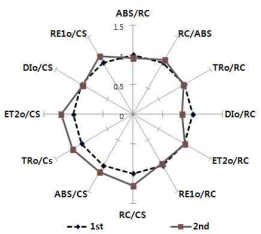
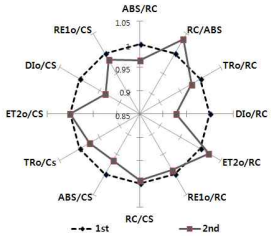
○ E 처리구는 D 처리구와 유사한 경향을 보였으며, PSⅠ전자수용체까지의 전자전달 효율(RE1o/RC, RE1o/CS)이 약간 감소했다.

○ 위의 결과를 종합해 보면 A, B, C 처리구는 광합성 과정중 전자전달로 인한 환원된 광계Ⅱ 반응중심(RC/ABS)의 감소로 인한 광합성 효율 감소로 나타났으며, D와 E 처리구는 RC/ABS가 증가해 RC 당 광합성 전자전달 에너지 플럭스가 증가한 것으로 나타났으나, D와 E 처리구 또한 PSⅠ전자수용체까지의 전자전달 효율(RE1o/RC, RE1o/CS)은 감소했다.

○ 따라서 처리구의 식물 모두 지속된 강우에 의한 식물의 광합성 능력이 감소하며, 과습에 의한 피해가 예상되었다.

엽록소 형광 매개변수 (Chlorophyll fluorescence parameter)	 7월 22일(1st)	 8월 13일(2nd)
반응 중심당 및 단면당 에너지 플럭스 (RC, CS)	 7월 22일(1st)	 8월 13일(2nd)

<그림 2-236> 식재 처리별 광화학 생리지표 변화 비교

엽록소 형광 매개변수(Chlorophyll fluorescence parameter)	 A	 B
 C	 D	 E
반응 중심당 및 단면당 에너지 플럭스(RC, CS)	 A	 B
 E	 D	 E

<그림 2-237> 시기별 광화학 생리지표 변화 비교

◇ Performance indexs(PI), Driving forces(DF)

○ 광자 흡수 기반 광계Ⅱ (PSⅡ) 성능지수 : PI_ABS

○ 광자 흡수 기반 광계Ⅰ (PSⅠ) 전자 수용체까지의 성능지수 : PI_TOTAL ABS

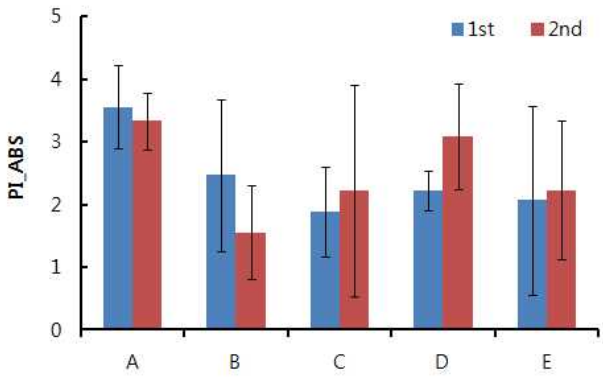
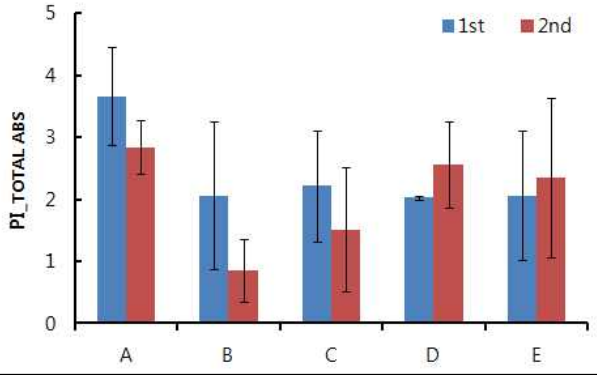
○ 광자 흡수 기반 광계Ⅰ (PSⅠ) 전자 수용체까지의 구동력 : DF_TOTAL ABS

◇ 식물 건전성(PI, DF) 평가

○ 8월 13일 분석결과, 전자전달시 에너지 보존효율을 나타내는 광화학 기구 성능지수(PI) 및 구동력은 A, B, C 처리구에서 감소했으며, D와 E처리구에서 증가했다.

○ 8월 13일(2nd) 식물의 건전성 평가 결과 B 처리구에서 가장 크게 감소했고 PI_ABS, PI_TOTAL ABS 및 DF_TOTAL ABS 각각 1.56, 0.86, -0.13으로 나타났다.

○ 이는 계속된 강우에 수분스트레스를 받아 식물의 에너지 효율이 크게 감소했음을 의미한다.

PSⅡ 성능지수 (Performance indexs per PSⅡ)	
PSⅠ 성능지수 (Performance indexs per PSⅠ)	

<그림 2-238> 광화학 에너지 플러스 효율 비교

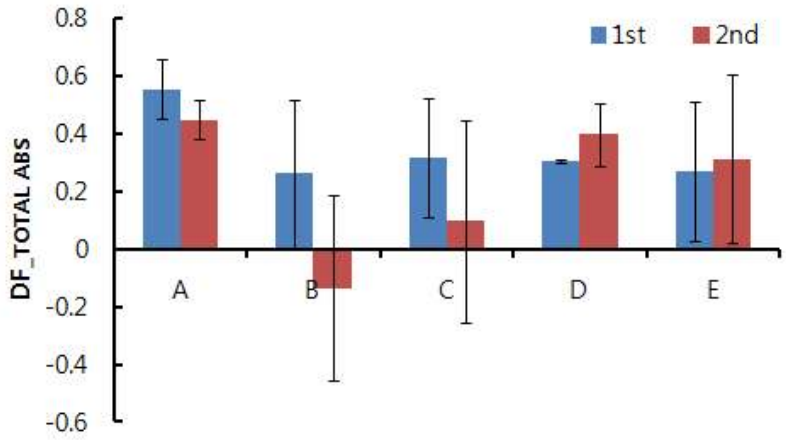
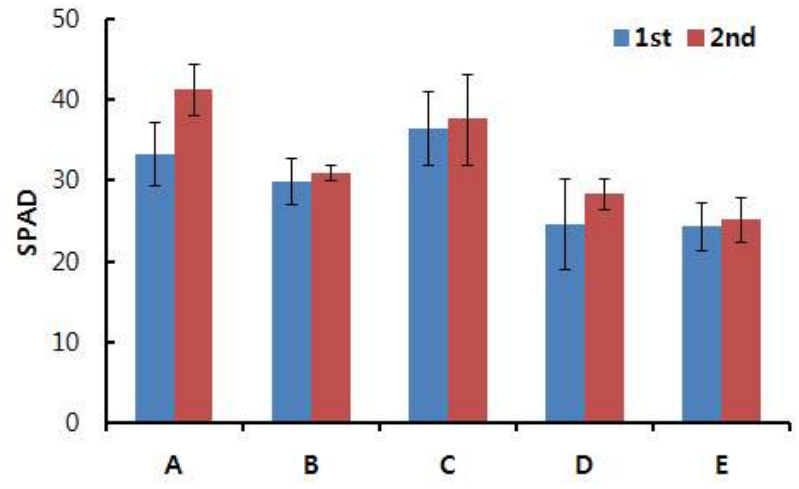
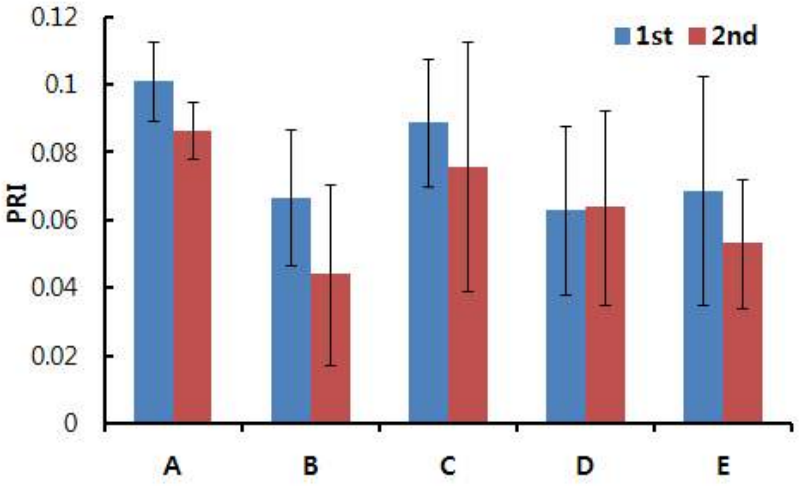
Driving forces (total driving forces for photochemical activity)	

그림 계속

엽색도 (SPAD)	
Photochemical Reflectance Index(PRI)	

<그림 2-239> 엽색도 및 PRI 변화 비교

㉮ 탄소저감형 수목 식재 모델 개발

■ 식재방향

◎ CO_2 흡수능력이 우수한 도로 수종 선정

○ 이산화탄소 흡수능력이 우수한 수종을 선발하기 위하여 도로 수목으로 대표적인 가로수 수종의 기능분류를 참조하였고 각 기관별 발표된 이산화탄소 흡수량 산정 자료들의 수종별 흡수량의 상대적 차이를 검토한다.

◎ 도로변 식재 수목의 기능 분석

○ 도로 주변에 대표적으로 식재되는 가로수의 기능에 대한 산림청(2009)의 가로경관 향상 보고서 내용을 분석한 결과를 보면, 주로 경관개선, 교통안전, 환경보전 등 순기능과 도로 및 연도에 주는 도복 및 낙지, 시야차단 등 역기능으로 구분하여 제시되어 있다.

○ 이산화탄소 저감기능과 가장 관련이 있는 것은 그 중 환경보전 기능이며 그 세부기능으로서 미기후조절, 소음완화, 대기정화 등이 있는데 대기정화 효과도 주로 아황산가스, 질소산화물 등 자동차 매연피해 방지 중심이다.

○ 이처럼 기존 가로수 기능분류에서 도로변 수목이 가진 이산화탄소 흡수 기능 및 효과에 대한 부분은 빠져있다.

◎ 도로변 가로수 CO_2 흡수효과 분석

○ 경기도지역 가로수로 가장 많이 식재된 대표 수종을 대상으로 CO_2 흡수효과를 비교한 「경기도 도시가로수의 탄소저장량과 연간 이산화탄소 흡수량 산정(박은진 외, 2012)」 연구결과를 검토한 결과, 가로수종별로 흡수량이 상당히 많은 차이를 보이고 있다.

○ 그 중 튤립나무(목백합), 메타세콰이어, 양버즘나무, 은행나무, 느티나무, 회화나무 등의 탄소흡수율이 높은 수종을 우선 검토대상으로 하였고, 최근 많이 심고 있는 소나무의 경우 이산화탄소 흡수량이 제일 낮았는데, 흡수량이 가장 높은 튤립나무의 7%, 메타세콰이어의 10% 수준에 불과한 것으로 나타난다.

<표 2-163> 수종별 이산화탄소 흡수량

분석수종		탄소저장량 (kgC/tree)	연간생체증가율 (kg/tree/y)	CO_2 흡수량 ($kgCO_2$ /tree/y)
수종별	평균수령			
왕벚나무	19.4년	171.4	17.7	32.4
은행나무	19.1년	207.4	21.7	39.7
느티나무	18.4년	194.7	21.2	38.8
양버즘나무	24.1년	355.4	29.5	54.1
단풍나무	15.3년	90.6	11.8	21.7
메타세콰이어	15.7년	289.9	37.0	35.5
회화나무	19.2년	158.1	19.4	67.8
튤립나무	16.3년	518.0	54.0	99.1
소나무	19.8년	40.8	4.1	7.6
평균	18.6년	225.1	24.0	44.1

* 자료출처 :박은진과 강규이(2010). 경기도 도시가로수의 탄소저장량과 연간 이산화탄소 흡수량산정

<표 2-164> 탄소흡수율이 높은 주요수종과 환경적응성 비교

수 종	CO_2 흡수량 ($kgCO_2$ /tree/y)	생장속도 ***	도로 적응성			
			내공해성	내음성	내한성	내건성
느티나무*	38.8	+	중	중	강	중
은행나무*	39.7	+	강	약	강	강
메타세콰이어*	35.5	+++	중	약	약	약
양버즘나무*	54.1	+++	강	중	강	중
회화나무*	67.8	++	강	중	강	중
튤립나무*	99.1	+++	강	중	강	중
칠엽수**	54.0	++	중	중	강	중
상수리나무**	51.0	+	중	중	강	중

* 박은진과 강규이(2010).경기도 도시가로수의 탄소저장량과 연간 이산화탄소 흡수량산정(15~24년생 기준)
** 산림청홈페이지(http://forestlove.forest.go.kr).탄소나무스쿨 탄소계정(흉고직경 20cm 기준)산출치 적용
*** 생장속도: + 느림, ++ 보통, +++ 빠름

◎ CO_2 흡수능력이 우수한 수종의 선정

○ 경기도 지역을 기준으로 도로변에 식재하는 조경수의 수종별 탄소저장량을 산정한 경기개발연구원의 자료(박은진, 2009)에 의거하여 연간탄소저장량이 가장 큰 수종 튤립나무, 메타세콰이어, 양버즘나무, 은행나무, 느티나무, 회화나무를 선정한다.

○ 또한 산림청 산림과학원이 개발한 탄소나무스쿨 탄소계정 산출 프로그램을 활용하여 상대적으로 높게 나타난 칠엽수와 상수리나무, 신갈나무, 졸참나무 등 중부지방 참나무류 중 대표적

인 상수리나무를 포함시킨다.

○ 비교적 높게 산출된 소나무도 검토하였으나 침엽수류는 낙엽수에 비해 생장이 늦고 가지와 잎의 생체량과 녹음양이 적으므로 이산화탄소 흡수를 위한 수종으로서는 부적합한 것으로 판단하여 선정하지 않았으며, 대기정화기능이 있으면서 이산화탄소 흡수량이 높은 편인 버드나무, 수양버들, 가중나무 등의 수종은 알레르기를 유발하는 꽃가루를 분산하거나 불쾌한 냄새 등으로 최근에 식재되지 않는 수종이라 제외한다.

○ 또한 왕벚나무는 현재 가로수 중 점유비율이 상당히 높은 수종이나 수간이 균일하지 않고 수명이 짧으며 쇠약해진 나무의 병충해 발생 및 상처부 치유가 불가하여 선정에서 제외한다.

○ 이상의 이산화탄소 흡수량 기준과 도로환경 적응성을 종합적으로 검토하여 최종 선정된 수종(교목, 중부지방 기준)은 다음과 같다.

<표 2-165> 최종 선정 수종 및 수종선정의 원칙

<table>
<tr><td>수종선정 원칙</td><td colspan="8">- 수목은 아름다운 경관측면보다는 이산화탄소 저감기능에 중점 수종선정 원칙
- 조경용으로 사용되는 수종보다는 탄소흡수능이 우수한 자생수종 도입
- 침엽수종보다는 낙엽활엽수종을 다양하게 활용
- 단기 및 장기적으로 탄소 흡수기능을 높일 수 있는 수종조합을 고려
- 지역적 특성(기후적 특성)을 고려한 수종선정</td></tr>
<tr><td rowspan="3">이산화탄소(CO_2)
흡수능력 우수 수종</td><td>교목</td><td colspan="7">- 튤립나무, 메타세콰이어, 양버즘나무, 은행나무, 느티나무,
복자기, 칠엽수, 참나무류(상수리나무), 팥배나무</td></tr>
<tr><td>관목</td><td colspan="7">- 남천, 화살나무, 쥐똥나무, 명자나무, 산수국, 낙상홍 등</td></tr>
<tr><td>초본</td><td colspan="7">- 돌단풍, 마가렛꽃잔디, 붓꽃, 앵초, 톱풀, 할미꽃, 패랭이,
노루오줌, 달뿌리풀, 마타리, 참좁쌀풀 등</td></tr>
<tr><td rowspan="19">지역적 특성을
고려한 대표수종
선정</td><td rowspan="2">구분</td><td rowspan="2">수종</td><td colspan="2">기후적 특성</td><td colspan="2">토양특성</td><td colspan="2">지형적 특성</td></tr>
<tr><td>한랭지</td><td>온랭지</td><td>적윤지</td><td>건조지</td><td>산지형</td><td>평지형</td></tr>
<tr><td rowspan="10">교
목</td><td>튤립나무</td><td>◉</td><td></td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td></tr>
<tr><td>메타세콰이어</td><td></td><td>◉</td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td></tr>
<tr><td>양버즘나무</td><td></td><td>◉</td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td></tr>
<tr><td>은행나무</td><td>◉</td><td></td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td></tr>
<tr><td>느티나무</td><td>◉</td><td>◉</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>팥배나무</td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td><td>◉</td><td></td></tr>
<tr><td>복자기</td><td></td><td>◉</td><td></td><td>◉</td><td></td><td>◉</td></tr>
<tr><td>칠엽수</td><td></td><td>◉</td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td></tr>
<tr><td>참나무류</td><td>◉</td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">관
목</td><td>남천</td><td></td><td>◉</td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td></tr>
<tr><td>화살나무</td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td><td>◉</td><td></td></tr>
<tr><td>쥐똥나무</td><td>◉</td><td></td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td></tr>
<tr><td>명자나무</td><td>◉</td><td></td><td>◉</td><td></td><td>◉</td><td></td></tr>
<tr><td>산수국</td><td></td><td>◉</td><td>◉</td><td></td><td>◉</td><td></td></tr>
<tr><td>낙상홍</td><td>◉</td><td></td><td></td><td>◉</td><td>◉</td><td></td></tr>
</table>

■ 탄소 저감형 도로 식재

◎ 도로 중앙부(중앙분리대)

○ 탄소저감형 도로 중앙부의 수목 식재 유형은 도로 중앙부의 중앙분리대 폭원과 녹지분리대의 폭원, 식재 가능 폭원 등에 따라 4개의 유형으로 나눌 수 있다.

○ 도로 중앙부 분리대의 유형 1은 폭원 1.5m~2.0m, 녹지분리대 폭원 1.0m, 식재 가능한 폭원 0.6m이며, 분리대 중심부에 구조물(가드레일)이 설치되고, 유형 2는 중앙분리대 폭원 2.5m~3.0m, 녹지분리대의 폭원 1.5m~2.0m, 식재 가능한 폭원 1.1m~1.6m이며, 한쪽측면에 구조물(가드레일)이 설치된다.

○ 유형 3은 중앙분리대 폭원 2.0m~3.0m, 녹지분리대의 폭원 1.5m~2.5m, 식재 가능한 폭원 1.1m~2.1m 이며, 한쪽측면에 구조물(가드레일)이 설치되며, 유형 4는 중앙분리대 폭원 3.0m, 녹지분리대의 폭원 2.5m, 식재 가능한 폭원 2.1m이며, 양 끝에 구조물(가드레일)이 설치된다.

○ 유형 1의 식재 가능 폭원은 0.6m로 식재를 위한 공간이 협소하므로 교목이나 관목보다는 맥문동, 돌단풍 등의 지피류(중부지역에서 생육 가능한 자생 초화류)를 식재하며, 또한 차량 회전지점이나 시계 확보가 필요한 지점은 유형 1과 같이 지피류만을 식재한다.

○ 유형 2의 식재 가능 폭원은 1.1m~1.6m로 튤립나무, 메타세콰이어, 양버즘나무, 은행나무 등 수고 2.0m 이상의 이산화탄소 흡수능력이 뛰어난 교목을 식재하고, 하부에는 유형 1과 같이 지피류(중부지역에서 생육 가능한 자생 초화류)를 식재한다.

○ 유형 3의 식재 가능 폭원은 1.1m~2.1m로 유형 2와 같이 이산화탄소 흡수능력이 뛰어난 교목을 식재하고, 하부에는 남천, 쥐똥나무 등의 관목과 맥문동, 돌단풍 등의 지피류(중부지역에서 생육 가능한 자생 초화류)를 식재한다.

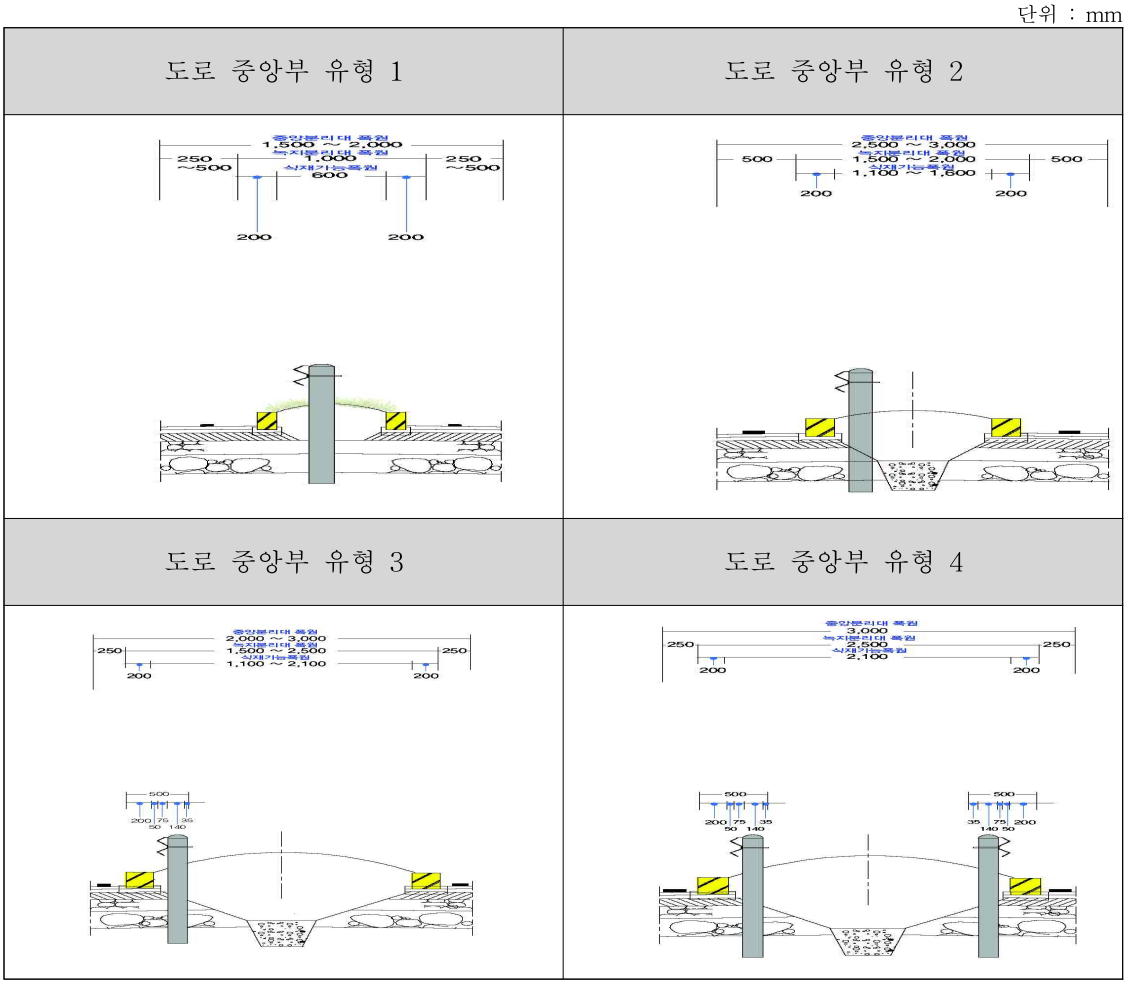
○ 유형 4의 식재 가능 폭원은 3.0m로 식재 폭이 넓으므로 도로로부터 발생하는 탄소를 더 많이 흡수 할 수 있도록 교목은 2열 식재를 하며, 유형 3과 같이 관목, 지피류(중부지역에서 생육 가능한 자생 초화류)를 식재한다.

<표 2-166> 탄소저감 교목 하부 식생

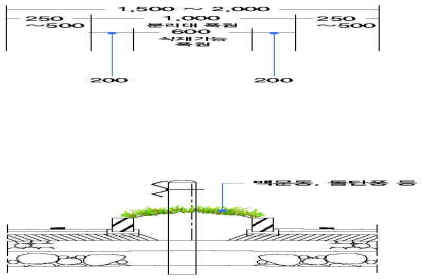
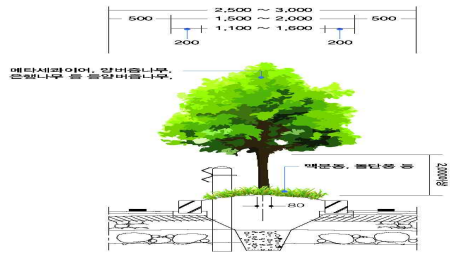
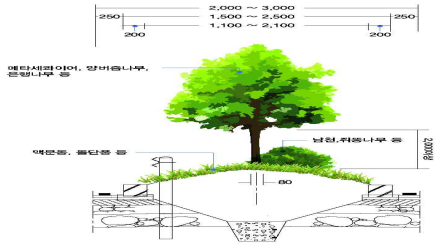
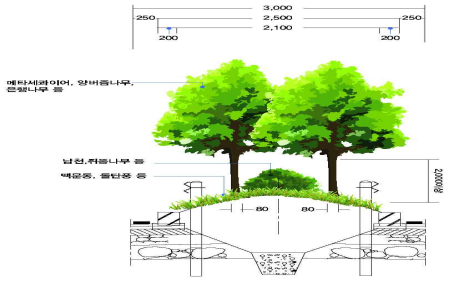
구분	초장	수종
관목	-	- 남천, 화살나무, 쥐똥나무, 명자나무, 산수국, 낙상홍 등
자생초화류	1m	- 발톱나무나무, 빗자루, 금낭화, 제비붓꽃, 꼬리조팝나무, 중나리, 엉겅퀴, 도라지, 긴산꼬리풀, 왕원추리, 억새풀, 개미취, 낙동구절초, 갈대, 곰취
	0.5m	- 돌단풍, 마가렛꽃잔디, 붓꽃, 앵초, 톱풀, 할미꽃, 패랭이, 바위채송화, 프록스, 맥문동, 해란초, 산구절초, 흰용담, 한라구절초
향토원예 수종	1m	- 진달래, 원추리, 좀조팝나무, 수선화, 산수숙, 도라지, 노루오줌, 달뿌리풀, 마타리, 참좁쌀풀
	0.5m	- 돌나물, 민들레, 설앵초, 흰제비꽃, 산호수, 큰꿩의 비름, 섬쑥부쟁이, 울릉국화, 해국, 층꽃풀

* 출처: '도시지역 가로녹지경관의 심미성 증진을 위한 초화류 식재설계의 모델 개발(이성도, 2008)' 참고

단위 : mm



<그림 2-240> 도로 중앙부(중앙분리대) 유형

식재 유형 1	식재 유형 2
	
식재 유형 3	식재 유형 4
	

<그림 2-241> 중앙부(중앙분리대) 수목 식재 유형

◎ 도로 측면부(가로변)

□ 평지형

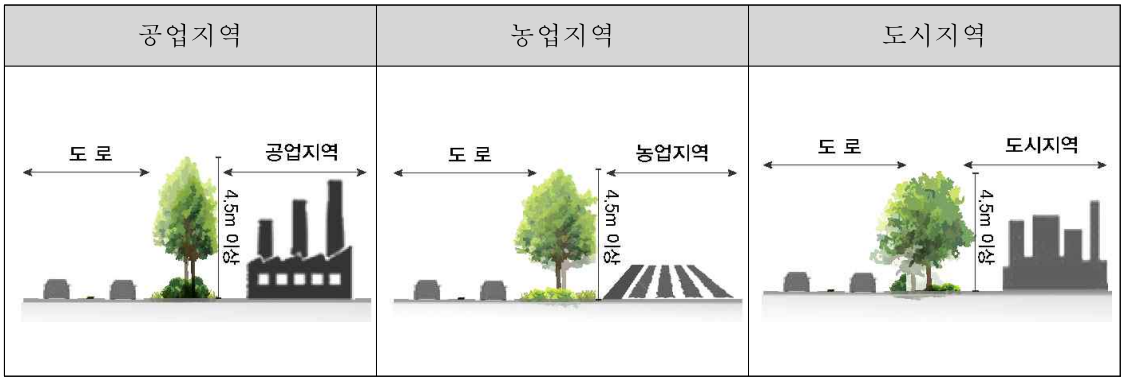
○ 도로 측면부가 평지형인 구간은 도로 인접지의 특성에 따라 공업지역, 농업지역, 도심지역과 같이 도로 인접구간별 특성에 따라 수종을 달리한다.

○ 공업지역 인접도로변 식재 수종은 공장지대에서 발생하는 공해와 도로로부터 발생하는 대기오염원 등 다양한 오염원 및 탄소를 저감할 수 있도록 다층구조의 식재가 이루어지도록 하며, 또한 미관적으로 좋지 못한 공장건물을 가릴 수 있도록 수고가 높은 수종을 고려하도록 한다.

○ 농업지역 인접도로변 식재는 도로로부터 발생하는 오염원 및 탄소를 저감하는 수종 및 농업경관과 어우러질 수 있는 수종을 고려하며, 농경작지와 조화를 이룰 수 있는 수종을 고려하도록 한다.

○ 도심지역 인접도로변 식재 수종 또한 우선적으로 인접 도심 및 도로로부터 발생하는 탄소저감 능력이 뛰어난 수종을 우선 선택하고, 저감 능력을 높이기 위해 다층구조로 식재한다.

○ 또한 보행자의 통행을 고려하여 지하고가 높고 수목의 수관폭이 넓으며 미적 즐거움을 줄 수 있는 관상적 기능이 뛰어난 수종을 우선으로 고려한다.



<그림 2-242> 평지형 측면부 인접 구간별 수목 식재 유형(예시)

<표 2-167> 평지형 측면부 인접지 구간별 식재 가능 수목

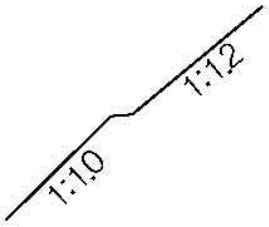
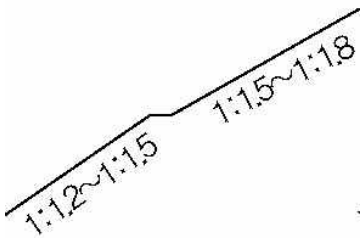
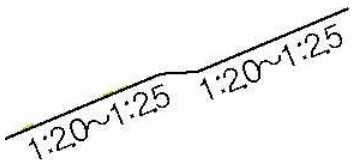
구간	기능	분류	적용수종	수종(이산화탄소 흡수율) ($kgCO_2$ /tree/y)
공업지역	차폐, 내공해성	교목	향나무, 칠엽수, 상수리나무, 소나무, 양버즘나무, 메타세콰이어 등	칠엽수(54) 상수리나무(51) 소나무(49) 양버즘나무(33) 은행나무(18)
		관목	회양목, 쥐똥나무, 명자나무, 화살나무 등	쥐똥나무(11) 명자나무(9)
농업지역	내수성, 조경수	교목	왕버들, 고리버들, 낙우송, 회화나무, 느티나무 등	회화나무(29) 화백나무(24) 느티나무(22)
		관목	회양목, 식나무, 화살나무, 눈향나무 등	눈향나무(8) 화살나무(7)
도심지역	소음방지, 내공해성, 조경수	교목	사철나무, 벚나무, 단풍나무, 신나무, 양버즘나무 등	양버즘나무(33) 느티나무(22) 이팝나무(18) 왕벚나무(18) 목련(18)
		관목	사사(관목류), 영산홍, 낙상홍 등	눈향나무(8) 낙상홍(6)

□ 경사형

○ ○ 도로 가로변 사면의 식재는 사면의 경사율[6]에 따라 3개의 유형으로 나눌 수 있으며. 유형별 탄소 저감을 위한 수목 식재 형태를 3개 유형으로 설정한다.

○ 유형 1은 2개의 경사면이 소단을 사이에 두고 1:1.0과 1:1.2의 경사면으로 이루어졌을 경우, 유형 2는 1:1.2~1:1.5와 1.15~1:1.8의 경사면으로 이루어졌을 경우, 유형 3은 1:2.0~1:2.5와 1:2.0~1:2.5의 경사면으로 이루어졌을 경우이다.

6) 사면의 경사율 = 비탈면 높이 : 비탈면 길이

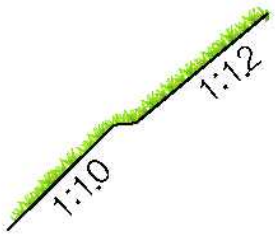
도로 측면부 유형 1	도로 측면부 유형 2	도로 측면부 유형 3
		

<그림 2-243> 경사형 측면부(가로변) 유형

○ 유형 1은 다소 급경사지로 교목이나 관목 등이 생육하기 다소 어려움이 있으므로 돌단풍, 억새, 쑥, 자주개자리, 비수리, 새류 등 초본위주로 식재하도록 한다.

○ 유형 2는 유형 1에 비해 비교적 완경사지로 새류, 비수리, 구절초, 쑥부쟁이, 한지형잔디 등 초화류와 병꽃나무 등의 관목을 혼합하여 식재한다.

○ 유형 3은 완경사지로 교목, 관목, 지피류를 통한 다층구조를 이루어 식재하며, 교목은 이산화탄소 흡수능력이 뛰어난 수종을 선정하고, 지피와 관목은 내공해성이 뛰어난 수종을 선정하도록 한다.

식재 유형 1	식재 유형 2	식재 유형 3
		
초본위주형 초화류: 돌단풍, 억새, 쑥, 자주개자리, 비수리 새류 등	**초본·관목 혼합** 관목류: 병꽃나무 등 초화류: 새류, 비수리, 구절초, 쑥부쟁이, 한지형잔디 등	**목본군락형** 아교목·교목류: 자귀나무, 붉나무, 소나무 등 관목류: 병꽃나무 등 관목류 초화류: 쑥류, 까치수염 ,양지꽃, 산마늘, 마타리, 한지형잔디 등

<그림 2-244> 도로 측면부(가로변) 수목 식재 유형

㉮ 설계 및 시공·유지관리 방향

■ 도로 내 탄소저감형 수목 식재 계획

◎ 식재대상

○ 가로수를 식재하기 위해서는 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제16조에 의거 최소 유효보도폭(가로수를 식재할 폭원은 제외) 2m에 가로수 설치에 필요한 폭을 추가로 확보하여 식재함을 원칙으로 하되, 주변환경이나 생육여건 및 해당 지방자치단체의 요구에 따라 변경할 수 있다.

◎ 수종 선정

○ 지역의 기후와 풍토에 적합하고, 병충해 및 공해에 강하며 수형이 아름다운 나무로 하되, 강풍 등으로 전도되기 쉬운 천근성 수종 및 속성수의 식재를 지양한다.

○ 일반적 가로수 수종은 은행나무, 느티나무, 플라타너스, 이팝나무, 회화나무, 벚나무, 삼각단풍, 튤립나무(목백합나무), 메타세콰이어 등이 있으나, 환경오염에 강한 내성수종 팥배나무, 복자기 및 탄소저감 능력이 높은 튤립나무(목백합나무), 회화나무, 양버즘나무, 은행나무, 느티나무 등을 우선적으로 반영한다.

◎ 수목의 규격

○ 수목의 규격은 원칙적으로 보도의 폭 및 식재열에 따라 결정하며, 단열식재일 경우 보도의 폭에 따라 아래의 규격을 적용한다.

- 보도의 폭 3.0m 이하 : 근원직경 12cm 내외(흉고직경 10cm 내외)
- 보도 및 자전거도로의 폭 3.0m 초과 : 근원직경 15cm 내외(흉고직경 12cm 내외)

◎ 식재설계

○ 한 가로변에는 동일 수종으로 단열심기를 원칙으로 하되, 여건상 2열 이상 심기를 할 수도 있다.

○ 가로수는 돌출되는 가지로 인한 교통장애방지를 위해 보차도경계석에서 0.5m 이상 보도 내측에 식재하고, 성목 시 수고의 1/2 이상 건물에서 이격시켜 식재한다.

○ 가로수는 6~8m간격으로 식재하되, 모서리부분과 가로등 주변 3m 이내에는 식재를 지양하고, 해당 지방자치단체의 요구가 있는 경우 별도의 규격 및 간격을 적용한다.

○ 수목보호대에 의한 가로수 식재를 지양하고, 가로수 식재를 위한 띠녹지를 만들어 하부목과 동시에 식재한다.

○ 통신관로, 우·오수관로(box), 도시가스관 등 지하매설물이 지나지 않도록 사전협의 하고 부득이한 경우 토심확보 조치를 취하고, 가로등, 한전주, 분전판넬 등이 있는 지점을 확인하여 인접하지 않도록 배식지점을 선정한다.

○ 지반이 암반, 불투수층, 쓰레기 매립지, 해안매립지 등 식재 부적합한 경우 식재 가능한 토심을 확보하고 생육에 지장이 없도록 별도의 조치를 강구한다.

○ 중앙분리대 교목식재 시에는 가로수의 설계 기준을 준용하되 차량통행에 방해가 없도록 지하고 2.0m 이상이 되도록 하고, 차량 회전지점이나 시계 확보가 필요한 지점은 잔디식재만을 원칙으로 한다.

■ 도로 내 탄소저감형 수목 식재 시공

◎ 가로수 식재

○ 도로교차로 구간, 횡단보도로부터 이격, 교차로의 첫 번째 가로수는 교차로 횡단보도의 도색 부분 끝에서 4m 이격하여 식재하고. 두 번째는 5m를 이격하고 나머지는 등간격으로 배치하되 각 교차로를 기준(시작점)으로 배치함을 원칙으로 한다.

○ 가로등, 교통신호기(보행자), 한전주로부터 3m 이격하여 식재하여야 하며, 가로수 식재간격은 기본 8m 이나 가로등주 간격에 따른 가로수의 등간격 배치를 위하여 최소 6m까지 조정하여 식재할 수 있다.

○ 버스 정차대 구간에는 가로수를 미식재하고, 보도폭이 좁아지지 않은 경우 및 자전거전용도로가 설치되어 가로수 보호틀을 자전거 전용도로 측 인도에 설치할 경우 등 교통시야 확보에 지장이 없는 경우에는 가로수를 식재할 수 있다.

○ 차량회전 지점이나 시계확보가 필요한 지역은 교목 및 관목 등 시선을 차단하는 식재를 시행하지 않아야 한다.

○ 가로수는 구간별 수형 및 수고, 지하고가 유사한 수목을 반입, 시공하여 균형감 있고 연결성이 있는 스카이라인이 형성될 수 있도록 해야 하며, 지하고는 보행자 통행시 지장이 없어야 한다.

○ 또한 주변을 고려하여 모양을 갖추도록 대교목 → 소교목 → 대관목 → 소관목 → 지피류의 식재순서를 원칙으로 하여야 한다.

○ 검수에 합격된 수목만을 식재하되 현장 내 소운반으로 인해 수목 뿌리분의 파손에 유의하여야 한다.

○ 컨테이너 수목은 이식 시, 전지, 전정 및 꽃따기, 잎따기, 열매따기, 순따기 등이 불필요하고, 불가피한 경우에는 시행하나 고유수형을 유지하는 범위 내에서 시행하여야 한다.

◎ 수목보호틀 내 수목식재

○ 수목보호틀의 중심에 수간이 위치하도록 식재하여야 하며, 식재 후 수목보호판의 조속한 설치 후 지주대를 설치하여야 한다. 단 부득이하게 수목보호판의 설치가 지연되는 경우 가지주대를 설치하여 수목의 전도 등을 예방하여야 한다.

○ 식재 마감면과 보호판의 높이 차이는 5㎝ 이상을 원칙으로 하나 차량이나 기타 인위적 피해가 우려되는 지역은 5㎝ 이하로 할 수 있다.

◎ 버팀목(수목보호대) 설치

○ 버팀목(수목보호대)은 식재 후 바람, 지반침하 등에 의한 뿌리분의 흔들림을 방지하여 수목의 활착을 도모하고자 시행하며, 수목의 규격에 따라 설계도에 명시된 규격의 버팀목을 설치하여야 한다.

○ 버팀목(수목보호대)은 깊이 매설하여 흔들림이 없어야 하고 매설깊이는 30㎝ 이상이어야 하

며, 바람이 심한 곳에서는 바람의 방향을 감안하여 지주목의 방향을 조정하고 설치하여야 한다.

○ 시공 상태 또한 수목의 수형만큼이나 경관에 중요한 영향을 미치므로 견고성뿐만 아니라 미관에도 세심한 배려를 하여 시공하여야 한다.

○ 나무높이나 체결부위의 높낮이 및 지면 경사에 따라 적절히 조정하여 설치한 후 수목과 단단히 결속시킨다.

○ 지주와 결속되는 수간부는 손상방지를 위한 완충재로 30㎜ 겹치게(1회) 감기하고, 위, 아래를 녹화끈으로(2회) 감아 단단히 묶어 풀리지 않게 보호한다.

○ 지주 부재의 연결이 볼트 체력일 경우 볼트의 체결방향이 수목의 안쪽을 향하게 하여야 하며, 돌출부위는 제거하여야 한다.

○ 간선도로변 가로수 등은 미관을 고려하여 원지주목을 사용하고, 수목보호판이 직사각형인 경우 지목의 상부 연결용 목재의 가로세로 길이를 조정하여 수목보호판과 상부 연결용부재의 형태를 동일하게 하여 입면 형태는 사다리꼴이 되어야 안정된다.

○ 삼각버팀목의 경우 수목과의 체결을 지나치게 조이지 말고 식재기반의 자연 침하 시 뿌리분도 동시에 내려갈 수 있도록 약간의 유격이 있도록 설치한다.

○ 버팀목은 지정형식의 것으로 반듯하고 견고하게 세워야 하며, 다음의 기준에 따라 설치하되 현장여건을 감안하여 규격을 조정하여 시공한다.

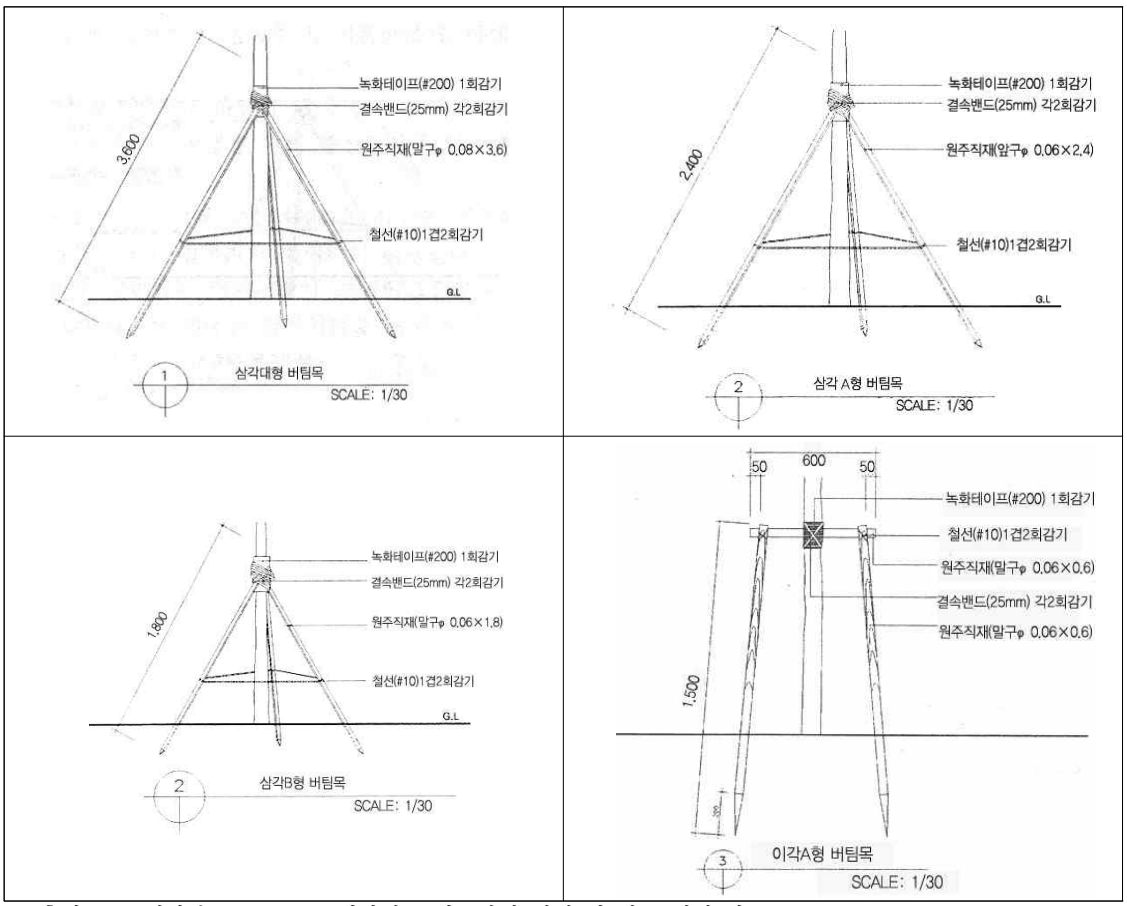
<표 2-168> 버팀목 설치 기준

유형	설치기준		비고
	낙엽수	상록수	
삼각대형 대나무연계대형	흉고 20㎝ 이상 근경 25㎝ 이상	수고 5m 이상 근경 25㎝ 이상	가공원추직재, 대나무
삼각A형 대나무 연계A형	흉고 10㎝ 이상 근경 12㎝ 이상	수고 4m 이상 근경 12㎝ 이상	가공원추직재, 대나무
삼각B형 대나무 연계 B형	흉고 6㎝ 이상 근경 8㎝ 이상	수고 3m 이상 근경 8㎝ 이상	가공원추직재, 대나무
이각A형 대나무 연계C형	흉고 3㎝ 이상 근경 4㎝ 이상	수고 2m 이상 근경 4㎝ 이상	가공원추직재, 대나무
사각형	/	/	필요개소 및 수목보호대 설치 시 사용

※ 수목 보호홀 덮개 설치지역(휴게소, 영업소 등) 등 특별한 개소에는 물가지에 등록된 조립식 버팀목을 사용할 수 있다.

<표 2-169> 버팀목 규격

유형		설치기준	규격(㎝)
가공원주직재 (환목)		삼각대형	φ 0.08 X 3.6
		삼각A형	φ 0.06 X 2.4
		삼각B형	φ 0.06 X 1.8
		이각A형	φ 0.06 X 1.5
대나무	연계버팀목	대나무 연계대형	말구 φ 0.04 X 3.6 말구 φ 0.05 X 1.8
		대나무 연계A형	말구 φ 0.03 X 2.4 말구 φ 0.05 X 1.8
		대나무 연계B형	말구 φ 0.03 X 2.4 말구 φ 0.05 X 1.8
		대나무 연계C형	말구 φ 0.03 X 2.4 말구 φ 0.05 X 1.8



* 출처: 국토해양부, 2009, 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침 참고

<그림 2-245> 버팀목 유형

■ 도로 내 탄소저감형 수목 식재 유지관리

○ 수목 식재, 지피 및 초화류 식재지에 대하여 식생의 고사 및 병충해 발생을 억제하고 조속한 활착 및 양호한 생육환경 조성을 위하여 시행한다.

○ 전정은 수목의 활착과 녹화량의 증가를 목적으로 수목의 미관, 수목생리, 생육 등을 고려하면서 사지치기와 수형을 정리하는 작업을 말한다.

○ 수간보호는 수분증발과 병충해 및 일소 피해 등을 예방하기 위하여 수간에 수간보호재를 둘러 단단히 결속하도록 한다.

○ 관수는 식물의 건강한 생육을 위해 토양상태 및 식물의 생육상황 등을 고려하여 수목, 잔디 및 초화류 등에 실시하는 물주기(적정한 수분의 공급)작업을 말한다.

○ 시비는 수목, 지피 및 초화류의 성장을 촉진하고 쇠약한 식물에 활력을 주기 위하여 퇴지 등 유기질비교와 화학비료를 주는 것을 말한다.

○ 병충해 방제는 병원균이 기주체내에 침입하는 것을 저지하고, 이미 기주체 표면에 부착하였거나 그 위에 형성된 병원균을 죽이거나 활동을 억제함으로써 병의 발생을 미연에 방지하고 발생 후의 확산을 방지하기 위하여, 또는 해충으로 인한 피해를 최소화시키기 위하여 약제, 미생물 제제 등을 살포하는 것을 의미한다.

○ 제초는 식재지 내에서 번성하고 있는 잡초류를 제거함을 말하며, 잔디깎기는 잔디밭의 치밀한 생육과 부드럽고 균일한 표면 유지 및 잡초 방제 등을 목적으로 잔디면을 일정한 높이로 깎아주는 것을 말한다.

③ 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발

■ 그린네트워크 도로 설계요소 도출

○ 도로분야의 탄소중립, 탄소저감을 위한 관련 연구는 초기단계 수준으로 도시분야에서 탄소중립도시 등을 실현하기 위한 탄소저감방법으로 대중·녹색교통, 녹지조성 등을 다루는 수준에 머물러 있다.

○ 선행연구 분석결과, 반영운 외(2008)는 Green way, 경관림 조성, 생물이동통로, 바람길 조성을 탄소흡수형 계획요소로 제시하였고, 탄소저감형 계획요소로 자전거도로 및 보행자도로를 제시하였음. 이외에도 이재준 외(2009) 및 국토연구원(2009), 변병설(2009) 또한 바람길, 녹지축, 공원녹지, 휴식공간을 탄소흡수형으로 제시하였으며, 탄소저감형 계획요소로 자전거도로 및 보행자도로를 제시하였다.

<표 2-170> 선행연구의 관련분야 설계요소

구 분	기후변화에 대응한 국토 및 도시개발 전략 (반영운 외, 2008)	기후변화 대응을 위한 지구단위계획 차원에서의 탄소완화 계획요소 개발에 관한 연구 (이재준 외, 2009)	저탄소 녹색도시 모델개발 및 기본구상 연구 (국토연구원, 2009)	저탄소 에너지 절약형 신도시 해외사례 및 조성전략 연구 (변병설, 2009)
탄소 흡수형 설계요소	· Green way · 경관림 조성 · 생물이동통로 · 바람길 조성	· Green way · 경관림 조성 · 바람길 조성	· 그린매트리스 · Green way · 녹지와 비오톱 연결 · 탄소흡수림식재	· 바람길 고려 녹지축 · 공원녹지 네트워크 · 공원녹지 접근성 제고 · 생활권 여유/휴식공간 확보
탄소 저감형 설계요소	· 자전거도로 · 보행자도로	· 자전거도로 · 보행자도로	· 도로변 완충녹지 · 보행자전용도로/구역 · 자전거전용도로/주차장 · 자전거네트워크	· 자전거도로시스템 · 보행공간시스템

○ 선행연구는 도시계획적 측면에서 접근하여 탄소흡수형과 탄소저감형으로 구분하여 자전거도로, 보행자도로 등 탄소발생이 일어나지 않는 요소를 '탄소저감형 설계요소'로 제시하였으며 Green way, 경관림 조성 등 녹화요소를 '탄소흡수형 설계요소'로 제시하고 있다.

○ 도로부문에 있어서는 도로본체, 도로구조물을 탄소저감형 설계요소로 제시하고 수목식재, 생태이동공간 등을 탄소흡수형 설계요소로 제시할 수 있다.

○ 탄소중립과 생태계 보전을 목표로 하여 도로개설에 따른 자연환경 훼손을 최소화하고 도로

변에 녹지조성 등 환경복원을 통해 탄소발생을 저감하는 도로공간의 조성을 위해 도로의 주요 설계요소 중 탄소 저감 및 흡수를 위한 설계요소는 다음과 같다.

<표 2-171> 기능에 따른 도로설계요소

구분	도로의 주요 설계요소	탄소저감형 그린네트워크 설계요소
기하 구조	· 평면 및 종단선형 · 횡단구성요소 (중앙분리대, 차로, 길어깨, 측대, 환경시설대)	· 횡단구성요소(중앙분리대, 차로, 길어깨, 측대) · 환경시설대(분리대, 식수대, 보도, 자전거 도로, 비탈면, 측도 등 포함)
토공	· 비탈면	
배수	· 통로 및 수로 BOX, PIPE, 측구, 도수로 등	
구조물	· 교량, 터널, 생태통로	· 교량, 생태통로
포장	· 아스팔트 포장, 콘크리트 포장	
부대시설	· 안내표지판, 방음벽 등	
안전시설	· 중앙분리대, 노측용방호울타리, 교통표지판, 시선유도시설 등	· 중앙분리대
기타	· 가로수, 조명시설 등	· 가로수

<표 2-172> 형태에 따른 도로설계요소

형 태	도로의 주요 설계요소	탄소저감형 그린네트워크 설계요소
면	· I.C 및 JCT · 휴게소	· 녹지대(식재)
면 + 선	· 비탈면 · 환경시설대	· 비탈면 · 환경시설대
선	· 중앙분리대 · 띠녹지	· 중앙분리대 · 띠녹지

■ 탄소저감형 그린네트워크 도로설계 프로세스 정립

◎ 탄소배출 여건분석

○ 탄소중립과 생태계 보전을 목표로 도로 및 주변지역의 자연·인문환경 분석 등을 통해 탄소흡수원, 탄소저감원을 도출하고자 한다.

○ 탄소흡수원은 식물의 광합성 작용에 의해 탄소가 흡수되기 때문에 도로 및 주변지역의 산림, 녹지대 등을 주요 요소로 한다.

○ 탄소저감원은 자동차 배기가스가 주요 탄소배출원인 도로상의 탄소발생 최소화를 위한 탄소배출을 저감하는 도로본체, 도로개설에 따른 지형훼손을 최소화하는 도로구조물 등을 주요 요소로 한다.

◎ 탄소저감 목표량 설정

○ 탄소저감 목표량은 세부적인 탄소감소계획이 수립되지 않은 단계이므로 개략적인 감축비율을 제시하는 방법을 사용하며, 이 비율은 정부, 지자체에서 정한 감축 목표치 등을 참조할 수 있으며 발주자・설계자의 실무경험, 감축의지 수준을 종합적으로 고려하여 관계전문가가 판단하여 설정한다.

◎ 탄소감소계획수립

○ 탄소감소계획은 탄소배출 여건분석 결과와 탄소저감 목표량을 반영하여 탄소회피・흡수・저감계획으로 구분하며 수립한다.

- 탄소회피계획 : 기존 산림 및 녹지대의 존치, 환경적·생태적 영향 최소화 등
- 탄소흡수계획 : 중앙분리대 및 비탈면의 녹화, 환경시설대 설치 등
- 탄소저감계획 : 도로선형 조정, 교량 등 구조물 설치 등

◎ 그린네트워크 설계기법 적용

○ 수립된 탄소감소계획에 따라 녹지중분대 조성기법, 비탈면 설계기법, 환경시설대 설계기법, 최적구조물 선정기법, 생태이동공간 조성 기법 등을 적용한다.

◎ 탄소저감량 평가

○ 기존 설계기법 대비 탄소저감량을 산정하고 feed-back을 통해 설정된 탄소저감 목표량을 만족하는 탄소저감형 그린네트워크 도로를 실현한다.

■ 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기법 개발

◎ 기법개발의 방향

○ 탄소저감 방안 : 평면 및 종단선형의 선형설계기법 적용을 통한 탄소발생 최소화

○ 탄소흡수 방안 : 최적 횡단면 구성 및 녹지 도입을 통한 탄소 흡수원 확보

○ 탄소흡수원 보전 방안 : 도로의 계획단계에서 탄소흡수원 저촉 최소화

◎ 탄소저감을 위한 도로선형 설계기법 개발

□ 개요

○ 개발목적

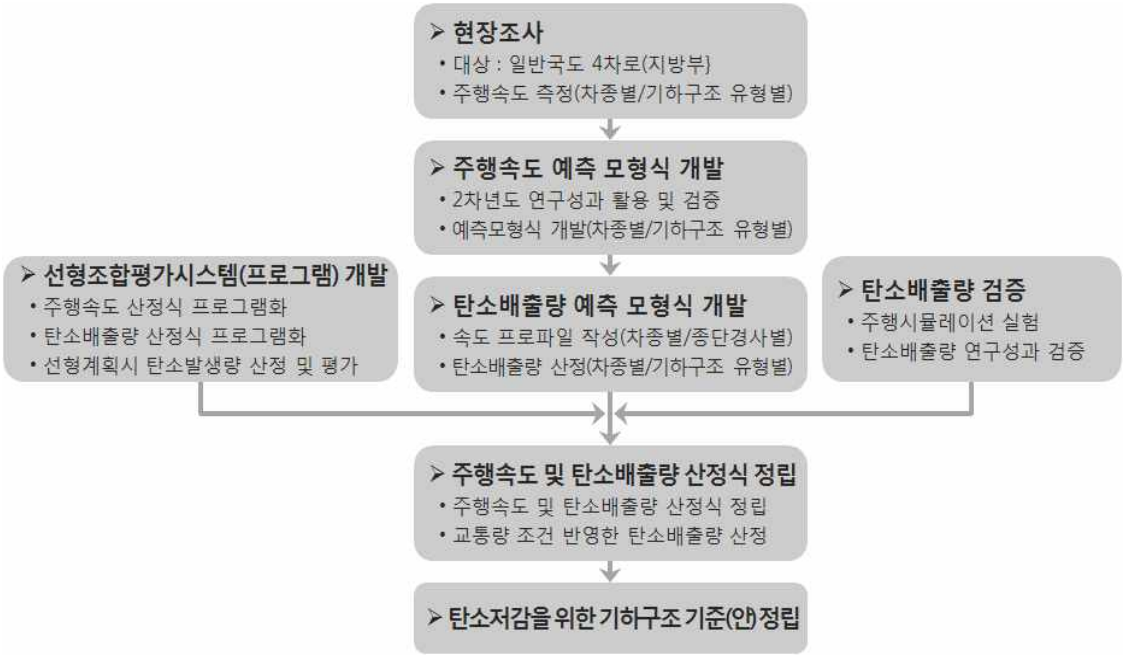
- 주행속도 일관성 확보를 위한 평면 및 종단선형, 선형조합 등 설계기법 개발
- 탄소저감형 기하구조 적용기준(안) 마련을 통한 실무 적용성 확보

○ 개발방향

- 현장조사를 위한 지방부 국도 4차로 위주로 대상지 선정 및 현장조사 실시

- 기하구조 요소별, 차종별(화물차) 주행속도 조사를 통한 주행속도 예측 및 탄소배출량 예측 모형식 개발

- 선형계획시 탄소저감을 위한 적정 기하구조 적용기준(안) 개발



<그림 2-246> 탄소배출량 산정 및 도로선형 기하구조(안) 개발 방안

○ 개발을 위한 전제조건

- 본 연구의 목적은 탄소저감을 위한 적정 기하구조 적용범위를 설정하고자 하며,

- 종단경사는 탄소발생의 주요소이나 공사비와 밀접한 관계가 있으므로 경제성 범위 내에서 완만한 종단경사를 유도함

- 따라서 종단경사를 고려한 탄소발생량 산정방안은 제시하되, 종단경사 적용을 위한 제한범위는 구분하지 않으며, 현 설계기준을 준용하는 것으로 함

□ 현황분석

○ 국내 도로선형설계 적용현황

- 설계속도 기준 위주의 기하구조 기준 제시 : 최소 평면곡선반경 및 최대 종단경사 기준 적용, 평면직선길이에 대한 기준 부재

- 국내 평면선형 설계 : 직선위주의 선형계획을 선호하여, 과다한 지형훼손 발생

- 주행안전성 및 배수 측면에서 평면 및 종단선형 조합의 원론적인 방향 제시

- 연속적인 기하구조의 적절한 적용을 위한 선형조합 방안 필요

○ 현 선형계획시 문제점

- 현재, 선형계획시 기하구조 설계기준 조건을 적용하는 것에 만족하는 수준(예, 설계속도 80㎞/h 적용시 최소 R=280m)으로 주행속도 일관성 고려치 않고 있음

- 운전자가 가장 자연스럽게 주행속도를 일관되게 유지할 수 있는 선형조건 적용 필요

- 아래 도면을 사례로 하여, 큰 곡선반경(R=2,500m) 및 직선구간 사이 상대적으로 작은 곡선반경(R=420～450m) 적용

- 평면선형 클로소이드 시점부에 종단곡선 crest(볼록부, 凸) 적용 및 직선구간에 상대적으로 적은 sag(오목부, 凹)구간이 발생함으로써 주행 안전성 결여

□ 주행속도 일관성 확보를 위한 기하구조 기준(안) 개발

◇ 기하구조 적용범위 개발방안

○ 탄소발생량을 최소화하는 주행속도는 65㎞/h 내외로써, 이는 설계속도 80㎞/h를 대상으로 하는 선형계획에 불합리할 것으로 판단된다.

○ 따라서 설계속도 대비 주행속도를 유지할 수 있는 기하구조 적용범위를 제시하고자 한다.

○ 평면곡선 및 평면직선, 종단선형 등 연속적인 기하구조의 조합 조건에 따라 주행속도의 차이가 발생하며 그에 따른 급가감속이 발생하는 등 주행패턴이 상이하다.

○ 예를 들면, 긴 평면직선부 주행차량은 평면곡선부 진입시 급격한 감속이 발생하게 되며, 짧은 평면직선부 주행차량은 평면곡선부 진입시 완만한 감속이 발생하게 된다.

○ 따라서 평면곡선구간에서 적정 주행속도 유지를 위한 적정 평면곡선길이 및 곡선반경을 제안하고, 평면직선구간에서 적정 주행속도 유지를 위한 최대 직선길이를 제안하고자 한다.

○ 탄소발생량을 최소화하는 주행속도는 65㎞/h 내외로써, 이는 설계속도 80㎞/h를 대상으로 하는 선형계획에 불합리할 것으로 판단된다.

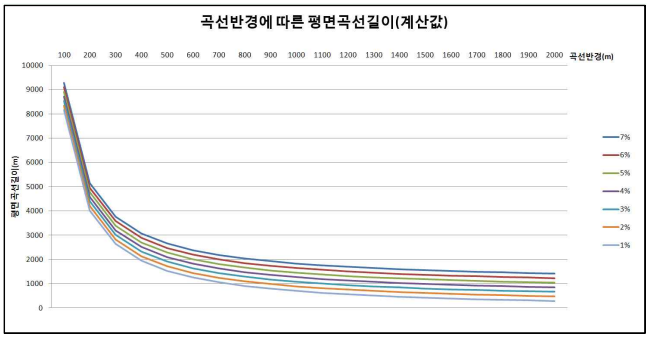
◇ 적정 주행속도 유지를 위한 기하구조 권장범위

○ 독일의 경우는 곡선반경의 비율을 토대로 도로선형 조합에 따른 권장범위를 제안하였지만 본 연구에서는 도로의 효율성을 고려하고 탄소발생량을 최소화하는 적정 주행속도 80㎞/h를 유지하기 위한 평면직선 및 곡선반경, 종단경사의 조합방안을 제안하고자 한다.

○ 탄소발생량 저감을 위하여 적정 주행속도 유지하기 위한 기하구조 적용범위를 제시하기 위한 대상 차량은 탄소발생 측면에서 불리한 조건인 화물차를 기준으로 적용범위를 설정하였다.

○ 아래 그림은 주행속도 80㎞/h를 유지하기 위하여 상류부 평면곡선 반경(R=100～2,000)과 종단경사(1%～7%) 적용시 적정 평면곡선길이를 제시한 값이며, 최종적으로는 이를 근거로 하여 평면곡선반경 및 곡선길이 적용을 위한 적정 기하구조 적용범위를 제시하고자 한다.

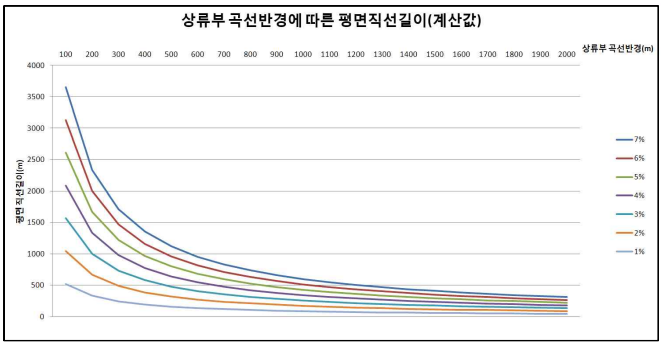
곡선부	설계속도 : 80km/h	적용값 중단경사(%)						
		1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
	R(m)	곡선길이(m)						
	100	8,200	8,400	8,600	8,800	9,000	9,100	9,300
	200	4,100	4,300	4,400	4,600	4,800	5,000	5,200
	300	2,700	2,900	3,100	3,300	3,400	3,600	3,800
	400	2,000	2,200	2,400	2,600	2,700	2,900	3,100
	500	1,600	1,800	2,000	2,100	2,300	2,500	2,700
	600	1,300	1,500	1,700	1,900	2,100	2,200	2,400
	700	1,100	1,300	1,500	1,700	1,900	2,000	2,200
	800	1,000	1,100	1,300	1,500	1,700	1,900	2,100
	900	800	1,000	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000
	1000	800	900	1,100	1,300	1,500	1,700	1,900
	1100	700	900	1,100	1,200	1,400	1,600	1,800
	1200	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600	1,700
	1300	600	800	900	1,100	1,300	1,500	1,700
	1400	500	700	900	1,100	1,300	1,500	1,600
	1500	500	700	900	1,000	1,200	1,400	1,600
	1600	400	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600
	1700	400	600	800	1,000	1,200	1,400	1,500
	1800	400	600	800	1,000	1,100	1,300	1,500
	1900	400	500	700	900	1,100	1,300	1,500
	2000	300	500	700	900	1,100	1,300	1,500



<그림 2-247> 상류부 평면곡선반경에 따른 상류부 평면곡선길이(안)

○ 아래 그림은 주행속도 80㎞/h를 유지하기 위하여 상류부 평면곡선 반경(R=100~2,000)과 종단경사(1%~7%) 적용시 적정 평면직선길이를 제시한 값이며, 최종적으로는 이를 근거로 하여 평면직선길이 적용을 위한 적정 기하구조 적용범위를 제시하고자 한다.

직선부	설계속도 : 80km/h	적용값 중단경사(%)						
		1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
	상류부R(m)	직선길이(m)						
	100	600	1,100	1,600	2,100	2,700	3,200	3,700
	200	400	700	1,000	1,400	1,700	2,000	2,400
	300	300	500	800	1,000	1,300	1,500	1,800
	400	200	400	600	800	1,000	1,200	1,400
	500	200	400	500	700	800	1,000	1,200
	600	200	300	500	600	700	900	1,000
	700	200	300	400	500	600	800	900
	800	200	300	400	500	600	700	800
	900	100	200	300	400	500	600	700
	1000	100	200	300	400	500	600	600
	1100	100	200	300	400	400	500	600
	1200	100	200	300	300	400	500	600
	1300	100	200	300	300	400	500	500
	1400	100	200	200	300	400	400	500
	1500	100	200	200	300	300	400	500
	1600	100	200	200	300	300	400	400
	1700	100	200	200	300	300	400	400
	1800	100	100	200	200	300	300	400
	1900	100	100	200	200	300	300	400
	2000	100	100	200	200	300	300	400



<그림 2-248> 상류부 평면곡선반경에 따른 하류부 평면직선길이(안)

◇ 적정 주행속도 유지를 위한 곡선부, 직선부 기하구조 권장범위(안) 개발

○ 기하구조 권장범위는 1차적으로 곡선부와 직선부로 나누고 그 다음 오르막경사와 내리막경사 1~6%를 고려하여 그래프를 제시하고자 한다.

- 주행속도는 앞서 개발한 다음의 예측모형식을 사용하였음

<표 2-173> 주행속도 예측모형식

V승용차 (㎞/h)	**직선부**	108.409+0.0006×TL-0.058×UpCCR	TL : 직선길이, CL : 곡선길이 CCR : 곡선반경, UpCCR : 상류부 곡선반경 Slope : 종단경사(%)
	곡선부	116.468-0.095×CCR	
V화물차 (㎞/h)	**직선부**	80.26+0.0034×UpCCR-313.361×(Slope / TL)	
	곡선부	81.252+0.004×CL-0.753×Slope-0.052×CCR	

- 설계속도 80㎞/h 기준인 경우 적정 주행속도 범위를 다음과 같이 선정하였음

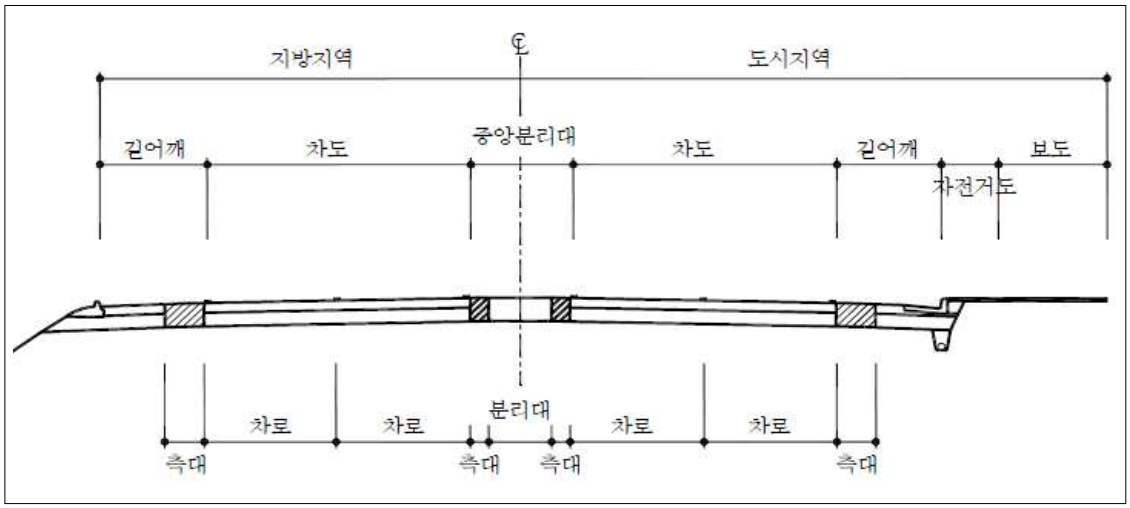
■ GOOD : 70㎞/h < V주행속도 ≤ 90㎞/h
■ FAIR : 60㎞/h < V주행속도 ≤ 70㎞/h, 90㎞/h < V주행속도 ≤ 100㎞/h
■ POOR : V주행속도 ≤ 60㎞/h, 100㎞/h < V주행속도

◎ 횡단면 설계기법

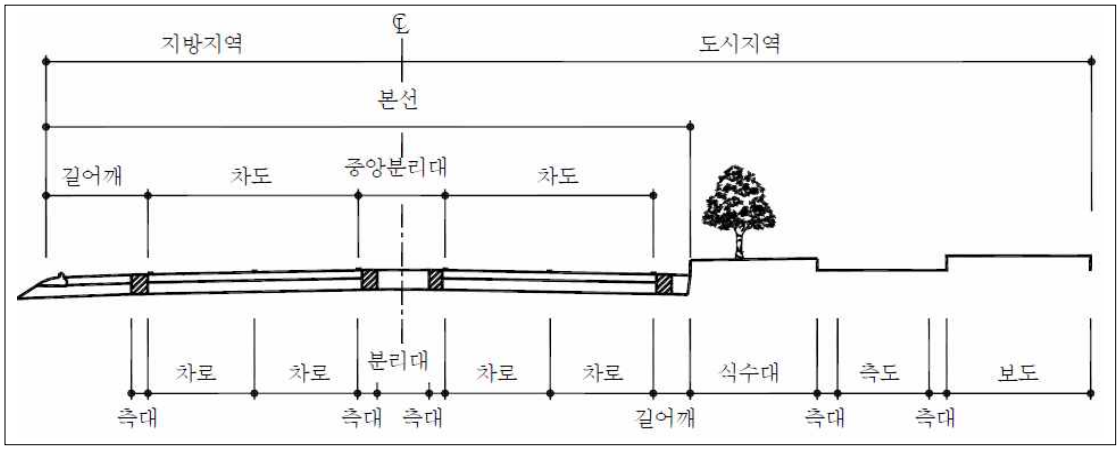
□ 횡단면 설계요소 구분

○ 도로의 횡단면 구성은 각각의 도로에서 필요한 통행기능과 공간기능에 따라 필요한 횡단구성 요소를 조합시키는 것과 총 폭에서 확보할 수 있는 각각의 조합을 검토하여야 한다.

○ 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설(이하, '해설'이라 함)에서는 차도, 중앙분리대, 길어깨, 주정차대, 자전거도로, 보도, 환경시설대, 식수대, 측도를 도로의 횡단구성요소로 정의하고자 한다.



<그림 2-249> 식수대가 없는 횡단구성요소의 조합 예



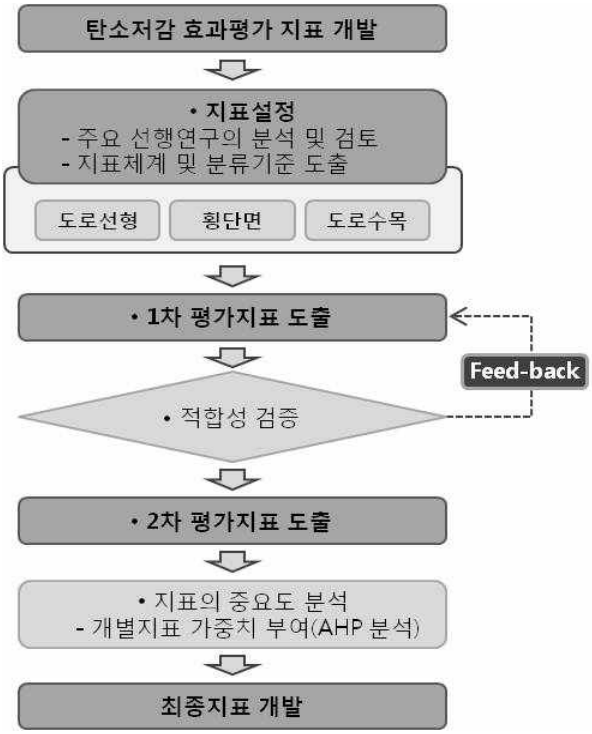
<그림 2-250> 식수대가 있는 횡단구성요소의 조합 예

◎ 최적의 기법 적용을 위한 효과평가 개발방안

○ 그린네트워크 도로의 설계·계획단계로써 그린네트워크 도로 설계기법 적용 적절성 판단을 위한 정성적 지표를 개발하고자 한다.

○ 지표는 도로설계의 주요 구성 요소인 도로선형, 횡단면, 도로수목에 대하여 설계에 대한 평가가 가능하도록 개발하였다.

○ 지표개발 순서는 다음과 같다.



<그림 2-251> 지표개발 프로세스

□ 지표설정

○ 선행연구의 분석을 통하여 그린네트워크 도로설계 평가를 위한 지표를 설정하였다.

○ 전문가의 브레인스토밍을 통한 지표개발은 다음과 같다.

- 설계요소별 지표특성은 적용성을 고려한 기술성, 환경성, 경제성, 시공성 및 유지관리로 구분하였음

○ 설정된 평가지표를 종합하여 내부 전문가 회의를 통한 1차 평가지표 도출하였다.

<표 2-174> 지표설정

대분류	지표 특성	평가지표	선행연구사례												인용 횟수
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
도로 선형	기술성	평면 기하구조의 적정 범위 반영													0
		종단 기하구조의 적정 범위 반영													0
		평면 및 종단 기하구조 조합의 적절성													0
		주행일관성 확보													0
		감가속도의 최소화 유도													0
		교량설치의 적절성													0
		터널설치의 적절성													0
		자연스러운 분리선형 적용에 의한 탄소흡수원 확보													0
	환경성	주요식생 보존		◉	◉			◉				◉	◉	◉	6
		녹지축 보존													0
		선형에 따라 녹지축 구성			◉	◉	◉	◉							4
		충분한 녹지면적이 확보	◉	◉				◉	◉	◉	◉			◉	7
	경제성	대지의 환경적 가치를 고려						◉					◉		2
		환경비용분석을 통한 경제성 확보												◉	1
	시공성 및 유지관리	도로 건설시 탄소배출량 고려													0
		장비 조합의 적절성													0
		토공량 발생의 적절성										◉	◉	◉	3
		운영 및 유지관리 계획 수립						◉							1
		환경단체 민원방지대책 수립												◉	1
횡단면	환경성	LID적용을 통한 녹지면적 확보													0
		탄소저감형 친환경포장 등 녹지면적 확보			◉	◉	◉							◉	4
		절ㆍ성토부 비탈면 기울기 완화													0
		고저분리 복단면 적용으로 탄소흡수원 확보													0
		녹지중앙분리대 적용													0
		환경시설대의 식재를 통한 띠녹지 계획													0
	경제성	대지의 환경적 가치 고려						◉					◉		2
		환경비용분석을 통한 경제성 확보												◉	1
	시공성 및 유지관리	도로 건설시 탄소배출량 고려													0
		토공량 발생의 적절성										◉	◉	◉	3
		운영 및 유지관리 계획 수립						◉							1
수목 선정	환경성	횡단구성요소별 적절한 수목선정													0
		활착률이 우수한 수목선정													0
		지역특성에 적합한 수목선정													0
		계절에 변화에 따른 내구성이 우수한 수목선정													0
	경제성	탄소흡수량을 고려한 수목선정으로 환경비용 절감													0
	시공성 및 유지관리	비탈면 기울기 완화에 따른 수목의 활착률 증가													0
		활착성공률을 개선할 수 있는 식재기반 조성													0
		활착성공률을 개선할 수 있는 식재 시공기술 적용													0

주 : 인용횟수가 0인 지표는 본 연구진의 연구에 의해 개발된 지표임
A : 지역 녹색경쟁력 지표, 행안부, 2011
B : 한국형 생태도시 계획지표 개발에 관한 연구, 이재준 외, 국토계획 제40권 제4호
C : 저탄소 녹색주거단지 설계요소 중요도 분석에 관한 연구, 지승운, 2010
D : 탄소중립단지의 계획요소기술에 관한 연구, 대한건축학회(이강식, 이명식), 2009
E : 탄소중립도시, 이상문, 2012
F : 녹색도시 평가지표, 한국환경공단, 2012
G : 저탄소사회를 향한 지방정부의 탄소제로 도시정책 연구, 김홍주, 2009
H : 전략환경평가 제도의 효율적 운영기법 마련을 위한 연구, 환경부, 2007
I : 동탄(2) 신도시 지구단위계획 시행지침, 화성시, 2011
J : 인천검단지구 개발계획 및 실시계획 변경고시문, 국토교통부, 2013
K : 광교지구 택지개발사업 지구단위계획 시행지침, 수원시, 2012
L : 환경친화적인 도로노선 선정을 위한 정량적 평가기법 개발에 관한 연구, 최준규, 2002
M : 전략환경평가 제도의 효율적 운영기법 마련을 위한 연구, 환경부, 2007
N : 저탄소 녹색도로 인증제도 지표 개발 및 평가 설정 연구, 건설연, 2012

□ 1차 평가지표 도출

○ 적합성 검증을 위한 설문조사

- 설문조사는 5점 리커트 척도(likert scale)로 구성된 설문지를 통하여 실시하였으며, 매우 부적합(1점)에서 매우적합(5점)까지 점수를 부여하여 통계분석을 실시하였음

<표 2-175> 지표검증을 위한 설문(예시) [도로선형 설계 평가지표]

특성	연번	지 표 항 목	매우 부적합	부적합	보통	적합	매우 적합
기술성	1	평면 기하구조의 적정 범위 반영				√	
	2	종단 기하구조의 적정 범위 반영				√	
	3	평면 및 종단 기하구조 조합의 적절성					√
	4	주행일관성 확보				√	
	5	감가속도의 최소화 유도				√	
	6	교량설치의 적절성	√				
	7	터널설치의 적절성	√				
환경성	8	주요식생 보존				√	
	9	녹지축 보존				√	
	10	선형에 따른 녹지축 구성		√			
	11	충분한 녹지면적 확보				√	
	12	자연스러운 분리선형 적용에 의한 탄소흡수원 확보			√		
경제성	13	대지의 환경적 가치 고려				√	
	14	환경비용분석을 통한 경제성 확보				√	
시공성 및 유지 관리	15	도로 건설시 탄소배출량 고려					√
	16	토공량 발생의 적절성			√		
	17	운영 및 유지관리 계획 수립				√	

○ 적합성 검증[T-test]

- T-test는 두 집단 또는 두 상관적인 표본의 평균치가 동일한 모집단에서 추출되었는지를 검증하는 모수치 통계기법으로 단순한 실험에서 가장 많이 사용하는 방법으로 두 집단 간의 통계적 차이를 검증하는 모수적 검증 방법 중 하나
- 설문조사 자료를 통한 지표의 적합성을 판단하기 위하여 통계패키지(SPSS)를 사용하여 일표본 T-test분석을 실시하였음
- 대립가설(H1 : $\mu 1 > 3$)과 귀무가설(H0 : $\mu 0 \leq 3$)을 통하여 가설검증을 하였으며, 95% 신뢰수준에서 일표본 T-test결과의 유의수준(P-value)을 기준으로 결정하여 P-value≥0.05인 지표는 부적합 한 것으로 분석되었음
- 적합성 검증결과 도로선형 설계 평가지표 13개, 횡단면 설계 평가지표 8개, 도로수목 평가지표 8개를 도출하였음

<표 2-176> 적합성 검증 [도로선형 설계 평가지표]

특성	연번	지 표 항 목	평균	P-value (P < 0.05)	적합성 여부
기술성	1	평면 기하구조의 적정 범위 반영	3.91	0.002	
	2	종단 기하구조의 적정 범위 반영	3.78	0.007	
	3	평면 및 종단 기하구조 조합의 적절성	4.08	0.000	
	4	주행일관성 확보	3.97	0.001	
	5	감가속도의 최소화 유도	3.89	0.002	
	6	교량설치의 적절성	3.05	0.304	부적합
	7	터널설치의 적절성	2.95	0.372	부적합
환경성	8	주요식생 보존	3.68	0.007	
	9	녹지축 보존	3.50	0.041	
	10	선형에 따른 녹지축 구성	3.08	0.220	부적합
	11	충분한 녹지면적 확보	3.83	0.001	
	12	자연스러운 분리선형 적용에 의한 탄소흡수원 확보	3.10	0.093	부적합
경제성	13	대지의 환경적 가치 고려	3.85	0.002	
	14	환경비용분석을 통한 경제성 확보	4.10	0.000	
시공성 및 유지관리	15	도로 건설시 탄소배출량 고려	3.90	0.000	
	16	토공량 발생의 적절성	3.65	0.032	
	17	운영 및 유지관리 계획 수립	3.98	0.001	

<표 2-177> 적합성 검증 [횡단면 설계 평가지표]

특성	연번	지 표 항 목	평균	P-value (P < 0.05)	적합성 여부
환경성	1	LID기법 적용을 통한 녹지공간 확보	4.20	0.000	
	2	절·성토부 비탈면 기울기 완화를 통한 식재공간 확보	4.03	0.000	
	3	고저분리 복단면 적용으로 인한 지형변화 최소화	4.18	0.000	
	4	녹지중앙분리대 적용	3.40	0.003	
경제성	5	대지의 환경적 가치 고려	3.75	0.002	
	6	환경비용분석을 통한 경제성 확보	3.50	0.005	
시공성 및 유지관리	7	횡단면 조성시 탄소배출량 고려	3.73	0.001	
	8	토공량 발생의 적절성	3.10	0.189	부적합
	9	운영 및 유지관리 계획 수립	4.25	0.000	

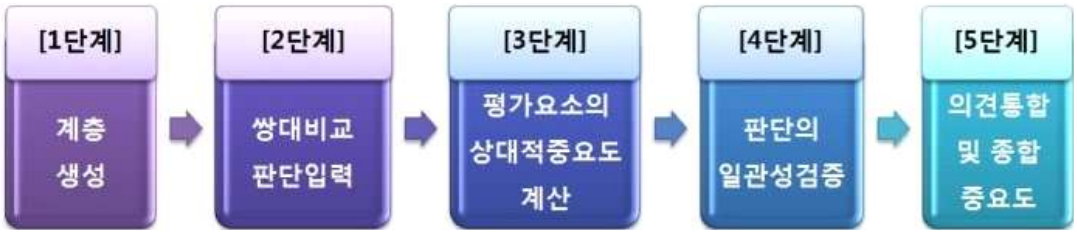
<표 2-178> 적합성 검증 [도로수목 설계 평가지표]

특성	연번	지 표 항 목	평균	P-value (P < 0.05)	적합성 여부
환경성	1	횡단구성요소(중앙분리대, 비탈면, 환경시설대)별 적절한 수목선정	4.28	0.000	
	2	탄소흡수량이 많은 수목선정	4.18	0.000	
	3	활착률이 우수한 수목선정	3.63	0.000	
	4	기후 및 지역특성에 적합한 수목선정	3.25	0.020	
경제성	5	날씨 변화에 따른 내구성이 우수한 수목 선정	3.08	0.237	부적합
	6	탄소흡수량을 고려한 수목선정에 의한 환경비용 절감	4.13	0.000	
시공성 및 유지관리	7	비탈면에 시공이 용이하고 활착률이 우수한 수목선정	3.50	0.001	
	8	활착성공률을 개선할 수 있는 식재기반 조성 및 시공기술 적용	3.70	0.000	
	9	비탈면 기울기에 따른 초기 활착율 및 유지관리가 용이한 수종 선정	4.53	0.000	

□ 2차 평가지표 도출

○ 1차 평가지표에 대한 가중치 산정 [AHP분석]

- 1970년대 초 Thomas Saaty 교수에 의해 개발된 AHP(Analytic Hierarchy Process : 계층적 의사결정 방법)는 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교를 통해 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하는 의사결정방법론의 하나이며, 의사결정자의 판단을 근거로 정량적·정성적 요소를 동시에 고려함으로써 의사결정문제의 해결을 위한 포괄적인 틀을 제공해 줌



<그림 2-252> AHP 분석 Process

- AHP는 이론의 단순성, 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 말미암아 여러 의사결정 분야에서 널리 응용되어 왔으며, 이 기법의 기본형태는 목표, 기준, 유형의 순차적인 흐름으로 표현되는 트리(tree)구조를 가짐

- 평가요소 사이의 상대적 중요도와 유형들의 선호도를 측정하여 정량적인 형태로 결과를 도출한다는 점에서 활용도가 높아 많은 연구에서 사용되고 있는 기법임

- 본 연구에서는 일관성 검증 및 쌍대비교행렬 작성을 통한 지표의 가중치를 산정하는데

○ AHP분석 기법을 사용하도록 한다.

○ 항목에 대한 설문(안전성 측면과 환경성 측면의 중요도 비교 예시)은 그린네트워크 도로설계 지표특성 중 환경성 측면이 경제성 측면보다 중요하다는 것을 나타낸다.

항 목	절대중요		매우중요		중요		약간중요		같다		약간중요		중요		매우중요		절대중요	항 목
환경성 측 면	⑨	⑧	⑦	⑥	√⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	경제성 측 면

<표 2-179> AHP척도의 의미

중 요 도	척도의 의미
①	동등한 중요성(equal importance)
③	다른 유형에 비해 조금 중요함(weak importance of one over another)
⑤	비교적 중요함(essential or strong importance)
⑦	매우 중요함(very strong or demonstrated importance)
⑨	절대적으로 중요함(absolute importance)
②, ④, ⑥, ⑧	인접한 척도값들의 중간값

○ AHP분석을 위한 설문

- AHP분석을 통한 지표의 가중치 산정을 위하여 도로, 교통, 환경, 조경 분야의 전문가 30인(교수, 엔지니어, 연구원 등)을 대상으로 대인면접 설문조사를 실시하였음

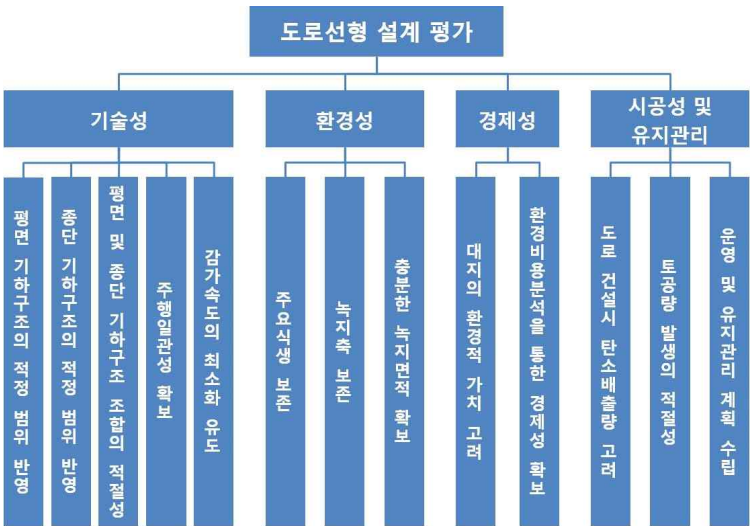
- AHP분석시 비율척도를 활용하므로 설문조사를 통한 전문가 30인의 데이터는 기하평균(Geometric Mean) 값을 적용하여 AHP분석을 실시하였음

- AHP 분석시 계층구조는 아래의 그림과 같이 대분류와 소분류로 구분하였으며, 소분류는

○ 각 특성에 포함되는 지표들로 설정하였다.

○ 도로선형 설계 평가지표 가중치 산정

- 도로선형 설계 평가지표의 AHP 분석시 계층구조는 아래의 그림과 같이 대분류는 기술성, 환경성, 경제성, 시공성 및 유지관리로 구분하였으며, 소분류는 각 특성에 포함되는 지표들로 설정하였음



<그림 2-253> AHP 분석 계층구조도 - 도로선형 설계 평가지표

- 특성별 가중치 산정결과를 살펴보면 환경성, 기술성, 시공성 및 유지관리, 경제성 순으로 가중치가 높은 것으로 분석되었으며, 일관성 지수(CI : Consistency Index)는 0.022로 일관성이 높아 결과를 신뢰할 수 있음

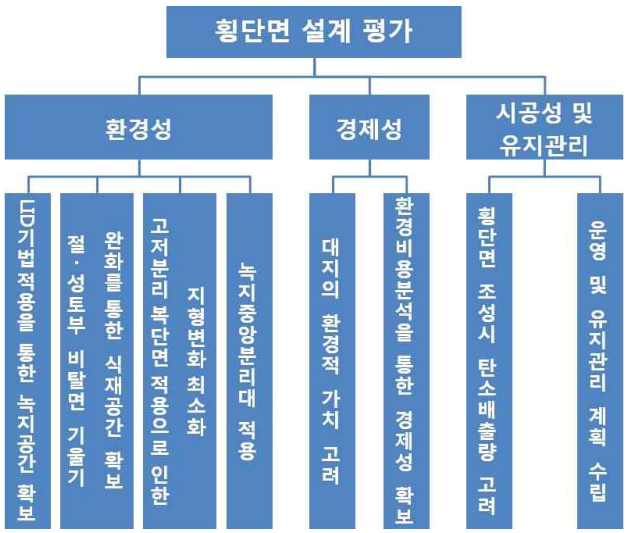
- 최종가중치 산정 결과를 살펴보면 충분한 녹지면적 확보, 주요식생 보존, 녹지축 보존, 평면 및 종단 기하구조 조합의 적절성 등이 가중치가 높은 것으로 분석되었으며, 일관성 지수(CI : Consistency Index)는 최대 0.019로 일관성이 높아 결과를 신뢰할 수 있음

<표 2-180> 가중치 산정 최종지표 [도로선형 설계]

특성	가중치	연번	지 표 항 목	가중치	최종가중치	순위
기술성	0.317	1	평면 기하구조의 적정 범위 반영	0.131	0.042	11
		2	종단 기하구조의 적정 범위 반영	0.133	0.042	10
		3	평면 및 종단 기하구조 조합의 적절성	0.276	0.087	4
		4	주행일관성 확보	0.272	0.086	5
		5	감가속도의 최소화 유도	0.188	0.060	7
환경성	0.415	6	주요식생 보존	0.325	0.135	2
		7	녹지축 보존	0.318	0.132	3
		8	충분한 녹지면적 확보	0.357	0.148	1
경제성	0.095	9	대지의 환경적 가치 고려	0.378	0.036	13
		10	환경비용분석을 통한 경제성 확보	0.622	0.059	8
시공성 및 유지관리	0.173	11	도로 건설시 탄소배출량 고려	0.444	0.077	6
		12	토공량 발생의 적절성	0.242	0.042	12
		13	운영 및 유지관리 계획 수립	0.314	0.054	9

○ 횡단면 설계 평가지표 가중치 산정

- 횡단면 설계 평가지표의 AHP 분석시 계층구조는 아래의 그림과 같이 대분류는 환경성, 경제성, 시공성 및 유지관리로 구분하였으며, 소분류는 각 특성에 포함되는 지표들로 설정하였음



<그림 2-254> AHP 분석 계층구조도 - 횡단면 설계 평가지표

- 특성별 가중치 산정결과를 살펴보면 환경성, 시공성 및 유지관리, 경제성 순으로 가중치가 높은 것으로 분석되었으며, 일관성 지수(CI : Consistency Index)는 0.002로 일관성이 높아 결과를 신뢰할 수 있음

- 최종가중치 산정 결과를 살펴보면 충분한 녹지중앙분리대 적용, 고저분리 복단면 적용으로 인한 지형변화 최소화, 절·성토부 비탈면 기울기 완화를 통한 식재공간 확보 등이 가중치가 높은 것으로 분석되었으며, 일관성 지수(CI : Consistency Index)는 최대 0.005로 일관성이 높

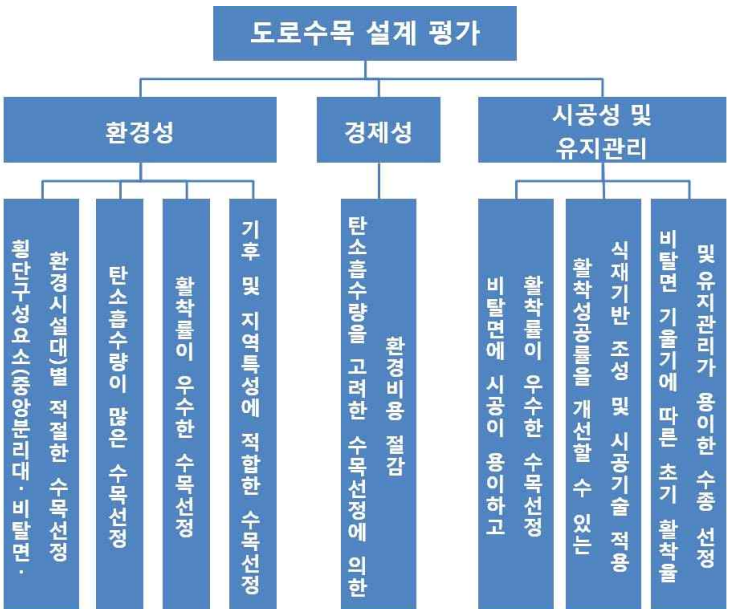
아 결과를 신뢰할 수 있음

<표 2-181> 가중치 산정 최종지표 [횡단면 설계]

특성	가중치	연번	지 표 항 목	가중치	최종 가중치	순위
환경성	0.654	1	LID기법 적용을 통한 녹지공간 확보	0.107	0.070	7
		2	절·성토부 비탈면 기울기 완화를 통한 식재공간 확보	0.235	0.154	3
		3	고저분리 복단면 적용으로 인한 지형변화 최소화	0.288	0.188	2
		4	녹지중앙분리대 적용	0.370	0.242	1
경제성	0.144	5	대지의 환경적 가치 고려	0.422	0.061	8
		6	환경비용분석을 통한 경제성 확보	0.578	0.083	5
시공성 및 유지관리	0.202	7	횡단면 조성시 탄소배출량 고려	0.593	0.120	4
		8	운영 및 유지관리 계획 수립	0.407	0.082	6

○ 도로수목 설계 평가지표 가중치 산정

- 도로수목 설계 평가지표의 AHP 분석시 계층구조는 아래의 그림과 같이 대분류는 환경성, 경제성, 시공성 및 유지관리로 구분하였으며, 소분류는 각 특성에 포함되는 지표들로 설정하였음



<그림 2-255> AHP 분석 계층구조도 - 도로수목 설계 평가지표

- 특성별 가중치 산정결과를 살펴보면 환경성, 시공성 및 유지관리, 경제성 순으로 가중치가 높은 것으로 분석되었으며, 일관성 지수(CI : Consistency Index)는 0.000로 일관성이 매우 높아 결과를 신뢰할 수 있음

- 최종가중치 산정 결과를 살펴보면 기후 및 지역특성에 적합한 수목선정, 탄소흡수량이 많은 수목선정 등이 가중치가 높은 것으로 분석되었으며, 일관성 지수(CI : Consistency Index)

는 최대 0.010으로 일관성이 높아 결과를 신뢰할 수 있음

<표 2-182> 가중치 산정 최종지표 [도로수목 설계]

특성	가중치	연번	지 표 항 목	가중치	최종가중치	순위
환경성	0.642	1	횡단구성요소(중앙분리대, 비탈면, 환경시설대)별 적절한 수목선정	0.200	0.129	4
		2	탄소흡수량이 많은 수목선정	0.284	0.182	2
		3	활착률이 우수한 수목선정	0.187	0.120	5
		4	기후 및 지역특성에 적합한 수목선정	0.329	0.211	1
경제성	0.134	5	탄소흡수량을 고려한 수목선정에 의한 환경비용 절감	-	0.134	3
시공성 및 유지관리	0.224	6	비탈면에 시공이 용이하고 활착률이 우수한 수목선정	0.244	0.055	8
		7	활착성공률을 개선할 수 있는 식재기반 조성 및 시공기술 적용	0.264	0.059	7
		8	비탈면 기울기에 따른 초기 활착율 및 유지관리가 용이한 수종 선정	0.492	0.110	6

□ 최종지표 개발결과

○ AHP분석을 통한 가중치가 부여된 지표를 통하여 최종지표를 개발하였으며, 지표의 계량화와 가중치 조합을 통하여 실제 평가를 진행 할 수 있다.

○ 설계자는 평가지표 등급제에 제시된 기준(평가점수 별 등급)에 따라 그린네트워크 도로 설계 적용 여부를 판단 할 수 있으며, 점수가 Cut Line 미만의 점수 획득시 그린네트워크 도로 설계를 위한 설계보완이 필요하다.

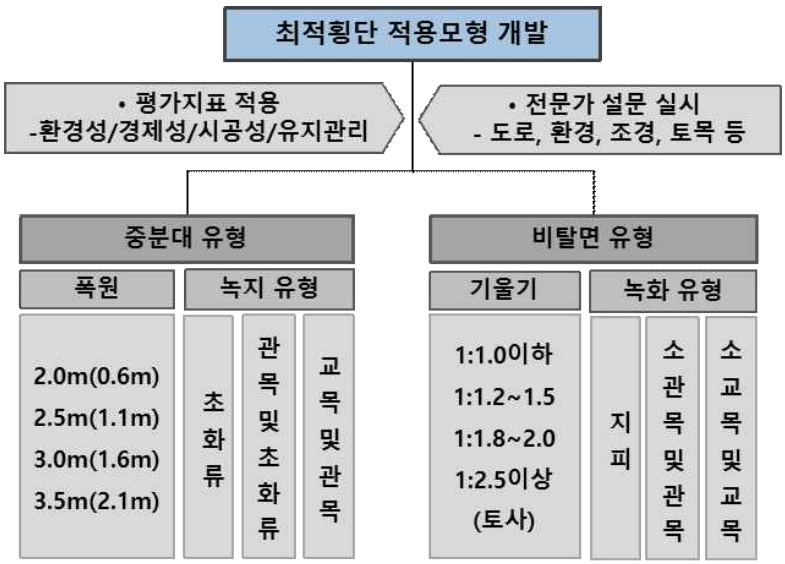
■ 도로 규모별 최적횡단모형 개발

◎ 개발방향

그린네트워크 최적의 횡단면 구성방안

- 도로 규모별 유형별 최적횡단 구성을 위한 적용모형 개발
- 유형별 선호도 조사를 통한 모형 구성방안 도출(도시부, 지방부)
- 최적횡단 구성을 위한 적용모형 개발(VR 등 3D 구현)
- 설계요소별 횡단면기법 적용을 위한 지표개발

  → 환경성(탄소발생 비용), 경제성, 시공성, 유지관리 등 고려



<그림 2-256> 최적횡단 적용모형 개발 방안

◎ 도시부 도로 최적횡단 설문조사

○ 본 연구에서는 기존 도심부 도로의 폭원을 4차선(20m), 6차선(30m)으로 한정한다.

○ 도심부 도로의 중앙분리대 폭원(해당하는 경우 경계석 및 측대포함)을 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 3.0m로 한정시켜 구분하였으며, 0.5m와 1.0m 폭원에는 중앙복선표시를 하였고 1.5m 폭원부터 식재가능한 폭원으로 녹지형 중앙분리대로 고려하였다.

○ 도로 규모별 중앙분리대의 유형의 이미지를 구성하여 도로·경관·환경·디자인 분야 전문가를 대상으로 설문조사를 통해 전문가 선호도 측정을 실시하고자 한다.

○ 전문가 설문조사 결과를 통한 선호하는 폭원 및 유형을 선정하여 일반운전자 대상으로 설문조사를 통해 심리적 만족도를 측정한다.

○ 종합적인 분석을 통하여 도로규모에 따른 최적의 녹지 중앙분리대 설치근거를 마련한다.

○ 녹지 중앙분리대 폭원별 식재유형 선정 방법은 다음과 같다.

○ 녹지중앙분리대 현황조사 및 사례연구를 토대로 녹지형 중앙분리대의 식재 유형을 선정하기 위한 1차 기초 작업으로써 식재가능한 모든 유형을 도출하였으며, 녹지형 중앙분리대 폭원별 적절한 식재유형을 분류한다.

<표 2-183> 대구광역시 녹지형 중앙분리대 현황조사

구분		폭원			중앙분리대 유형	수목간격(m)	수량 (교목)
시점	종점	연장 (m)	도로 (차로)	중앙분리대 (m)		교목-교목	
범어네거리	MBC네거리	868	65(10)	6	교목+관목+초본류	8	203
경대 병원역	수성교 네거리	0.68	44 (8)	3	교목+초본류, 교목+관목+초본류	6	22
수성교	대구은행 본점	0.45	50(10)	3		6.6	21
수성구청	만촌네거리	1.45	47(10)	3		6.6	110
만촌네거리	담티역	0.8	47(8)	3		8	38
범어네거리	MBC네거리	868	65(10)	6	교목+관목+초본류	8m	203

<표 2-184> 녹지중앙분리대 식재계획 사례(출처: 道路綠化ハンドブック,中島 宏저, 1999)

중분대 폭원(W)	지피류	잔디	관목	소교목	교목	범례
1.0m 미만	×	×	×	×	×	○ :식재가능 ◇:노면으로부터H=0.5m이하 식재 ☆:노면으로부터H=0.9m이하 식재 △:노면으로부터H=1.2m이하 식재 × : 식재불가
1.0~1.5m	○	○	☆	×	×	
1.5~2.0m	○	○	○	△	×	
2.0~4.0m	○	○	○	○	×	
4.0m 이상	○	○	○	○	○	

○ 현장조사 및 사례연구를 종합한 결과, 1.5m 폭원에는 초본류와 관목의 식재, 2.0m 폭원에는 초본류와 관목 및 소교목의 식재, 3.0m 폭원에는 초본류와 관목, 소교목 및 교목의 식재가 가능하다.

○ 수종들의 식재 유형은 현장답사를 통한 자료를 바탕으로 단일 수종이 규칙적으로 식재되는 유형, 다양한 수종이 규칙적으로 식재되는 유형, 다양한 수종이 불규칙적으로 식재되는 유형으로 구분한다.

○ 수고는 수목의 식재 시 수고를 고려하여 관목은 0.5m와 1.2m, 소교목은 3.0m, 교목은 6m로 한정한다.

□ 전문가 대상 선호도 조사

◇ 식재유형 선정

○ 녹지형 중앙분리대의 식재 유형을 선정하기 위한 1차 기초 작업으로써 식재유형을 도출하였으며, 녹지형 중앙분리대 폭원별 적절한 식재유형을 분류한다.

○ 1.5m 폭원에는 초본류와 관목의 식재, 2.0m 폭원에는 초본류와 관목 및 소교목의 식재, 3.0m 폭원에는 초본류와 관목, 소교목 및 교목의 식재가 가능하다.

○ 수종들의 식재 유형은 현장답사를 통한 자료를 바탕으로 단일 수종이 규칙적으로 식재되는 유형, 다양한 수종이 규칙적으로 식재되는 유형, 다양한 수종이 불규칙적으로 식재되는 유형으로 구분한다.

○ 수고는 수목의 식재 시 수고를 고려하여 관목은 0.5m와 1.2m, 소교목은 3.0m, 교목은 6m로 한정한다.

○ 중앙분리대 폭원 1.5m에서 유형은 잔디(유형1), 잔디+관목(유형2), 잔디+관목(유형3), 잔디+관목+관목(유형4)로 크게 4가지 유형으로 구분한다.

○ 중앙분리대 폭원 2.0m에서 유형은 잔디(유형1), 관목(유형2), 잔디+관목+관목(유형3), 잔디+소교목(유형4), 잔디+관목+관목+소교목(유형5)로 크게 5가지 유형으로 구분한다.

○ 중앙분리대 폭원 3.0m에서 유형은 잔디+교목(유형1), 잔디+관목+교목(유형2), 잔디+관목+교목(유형3), 잔디+소교목+교목(유형4), 잔디+관목+소교목+교목(유형5)로 크게 5가지 유형으로 구분한다.

◇ 조사 및 분석방법

○ 도로, 경관, 환경, 디자인 분야의 전문가를 대상으로 2013년 2월 18일~2월 23일 총 6일 동안 도시부 중앙분리대 선호도 설문조사를 실시하였다.

○ 설문지는 총 39부 중 결측 및 불성실한 설문 6부를 제외한 총 39부를 분석에 활용하였다.

○ 선호도 평가에 대해서는 5점 리커트 척도(Likert scale)를 이용하였으며, 설문항목 분석은 통계프로그램 SPSS(ver.19.0)을 활용하여 신뢰도분석, 빈도분석, 표본 평균검정을 실시한다.

<표 2-185> 전문가 설문 조사

구분	전문가 설문 조사
조사일시	2013년 2월 18일~2월 23일
조사형태	가기 기입방식
설문지 배부	36
미회수/결측	6
회수율	83 %
합계	30

◇ 응답자 속성

○ 성별은 남자가 21명(70%), 여자가 9명(30%)으로 남자가 많으며, 연령대는 20대가 20명(66.7%)으로 30대 9명(30%) 순으로 나타났다.

○ 운전면허증의 여부는 있음 26명(86.7%)이며, 운전경력은 3년 이상 5년 미만 8명(26.7%), 10년 이상 6명(20%), 1년 미만 6명(20%) 순으로 나타났고, 하루 중 총 운전시간은 1시간 미만 10명(33.3%), 운전시간 없음 9명(30%), 1시간 이상 2시간 미만 7명(23.3%) 순으로 나타났다.

<표 2-186> 응답자 속성

구분		빈도(명)	비율(%)
성별	남	21	70
	여	9	30
연령	20대	20	66.7
	30대	9	30
	50대	1	3.3
운전면허증 유무	있음	26	86.7
	없음	4	13.3
운전경력	해당사항없음	2	6.7
	1년 미만	6	20
	1년~3년	3	10
	3년~5년	8	26.7
	5~10년	5	16.7
	10년 이상	6	20
하루운전시간	해당사항없음	2	6.7
	없음	9	30
	1시간 미만	10	33.3
	1시간~2시간	7	23.3
	3시간~5시간	2	6.7

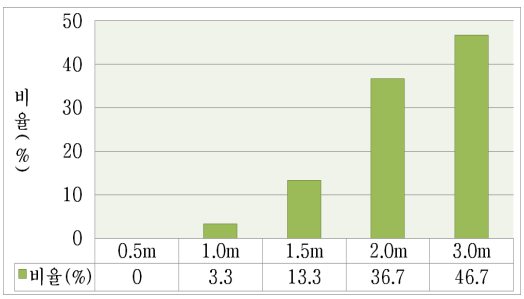
◇ 도로 폭원별 적정 중앙분리대 폭원 선호도

○ 도로 폭원 4차로(20m)

- 도로 폭원 4차로(20m)일 때 가장 적절하다고 고려되는 중앙분리대 폭원은 3.0m 14명(46.7%), 2.0m 11명(36.7%), 1.5m 4명(13.3%) 순으로 나타남

<표 2-187> 4차로(20m)일 때 적절한 중앙분리대 폭원

구분	빈도(명)	비율(%)
0.5m	0	0
1.0m	1	3.3
1.5m	4	13.3
2.0m	11	36.7
3.0m	14	46.7
합계	30	100

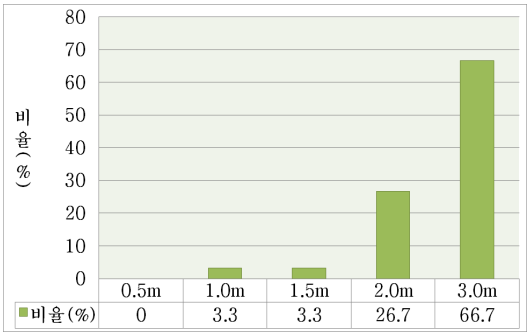


○ 도로 폭원 6차로(30m)

- 도로 폭원 6차로 (30m)일 때 가장 적절하다고 고려되는 중앙분리대 폭원은 3.0m 20명(66.7%), 2.0m 8명(26.7%), 1.5m 1명(3.3%) 순으로 나타남

<표 2-188> 6차로(30m)일 때 적절한 중앙분리대 폭원

구분	빈도(명)	비율(%)
0.5m	0	0
1.0m	1	3.3
1.5m	1	3.3
2.0m	8	26.7
3.0m	20	66.7
합계	30	100



◇ 중앙분리대 폭원별 식재유형에 대한 선호도

○ 중앙분리대 폭원 1.5m

- 도로폭원 4차로(20m)에서 가장 선호하는 식재 유형으로 유형4 19명(평균값 3.7), 유형3 6명(평균값 3.43)으로 나타남

- 도로폭원6차로(30m)에서 가장 선호하는 식재 유형으로 유형4 20명(평균값 3.77), 유형3 5명(평균값 3.2)으로 나타남

○ 중앙분리대 폭원 2.0m

- 도로폭원 4차로(20m)에서 가장 선호하는 식재 유형으로 유형5 13명(평균값 3.5), 유형4 6명(평균값 3.43)으로 나타남

- 도로폭원 6차로(30m)에서 가장 선호하는 식재 유형으로 유형5 15명(평균값 3.6), 유형4 6명(평균값 3.47)으로 나타남

○ 중앙분리대 폭원 3.0m

- 도로폭원 4차로(20m)에서 가장 선호하는 식재 유형으로 유형5 10명, 유형3 8명으로 나타났다. 가장 선호하는 식재유형 항목에서 빈도수가 가장 많은 유형은 유형5이었지만 만족도에서는 유형3이 평균값 3.43 유형5 평균값 3.3 보다 0.13 높게 나타남

- 도로폭원 6차로(30m)에서 가장 선호하는 식재 유형으로 유형5 11명, 유형3 9명으로 빈도수가 가장 많았으나, 만족도에서는 유형3이 평균값 3.5로 유형5 평균값 3.4 보다 0.1 높게 나타남

<표 2-189> 녹지형 중앙분리대에 식재가능한 유형 선호도

구분			값		
도로폭원	중분대 폭원	항목	빈도	평균	표준편차
4차로 (20m)	1.5m	유형 1	1	2.30	1.088
		유형 2	4	2.90	.885
		유형 3	6	**3.43**	1.073
		유형 4	19	**3.70**	1.264
	2.0m	유형 1	1	2.20	.925
		유형 2	5	2.73	1.112
		유형 3	5	3.37	.999
		유형 4	6	**3.43**	1.040
		유형 5	13	**3.50**	1.306
	3.0m	유형 1	1	2.73	.980
		유형 2	8	3.23	1.135
		유형 3	8	**3.43**	1.104
		유형 4	3	2.97	.999
		유형 5	10	**3.30**	1.418
6차로 (30m)	1.5m	유형 1	1	2.17	.950
		유형 2	4	2.77	1.006
		유형 3	5	**3.20**	1.186
		유형 4	20	**3.77**	1.165
	2.0m	유형 1	1	2.10	.923
		유형 2	4	2.57	1.104
		유형 3	3	3.27	.980
		유형 4	7	**3.47**	1.008
		유형 5	15	**3.60**	1.354
	3.0m	유형 1	1	2.77	.935
		유형 2	6	3.27	1.081
		유형 3	9	**3.50**	1.009
		유형 4	3	2.97	1.098
		유형 5	11	**3.40**	1.329

□ 일반인 대상 선호도 조사

◇ 식재유형 선정

○ 전문가 대상 폭원별 식재유형 선호도 조사결과를 통한 식재유형을 선정하고자 한다.

중앙분리대 폭원 1.5m에서 선정된 유형은 잔디+관목(유형1), 잔디+관목+관목(유형2)임

중앙분리대 폭원 2.0m에서 선정된 유형은 잔디+소교목(유형3), 잔디+관목+소교목(유형4)임

중앙분리대 폭원 3.0m에서 선정된 유형은 잔디+관목+교목(유형5), 잔디+관목+소교목+교목(유형6)임

◇ 설문구성

○ 도로폭원별 중앙분리대 폭원 및 식재유형 선호도 조사에는 각 도로폭원별(4차로, 6차로)일때 적절한 중앙분리대 폭원, 선정된 식재유형에 대한 선호도 평가와 경관 형용사 평가로 구성한다.

◇ 응답자 속성

○ 성별은 남자가 60명(45.1%), 여자가 73명(54.9%)으로 여자가 많으며, 연령대는 20대가 47명(35.3%), 50대 32명(24.1%), 40대 24명(18.0%) 순으로 나타났다.

- 운전면허증의 여부는 있음 114명(85.7%)이며, 운전경력은 10년 이상 46명(34.6%), 1년 미만 29명(21.8%) 순으로 나타났고, 하루 중 총 운전시간은 1시간 미만 45명(33.8%), 운전시간 없음 32명(24.1%), 1시간이상 2시간 미만 29명(21.8%) 순으로 나타남

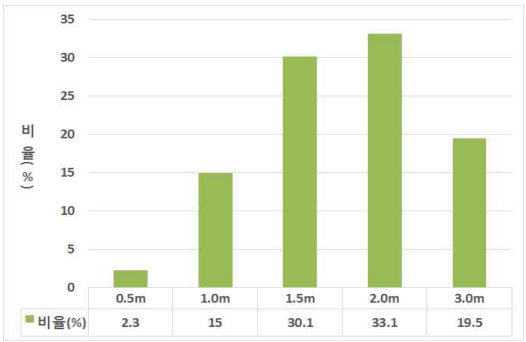
◇ 도로 폭원별 적정 중앙분리대 폭원 선호도

○ 도로 폭원 4차로 (20m)일 때 가장 적절하다고 생각하는 중앙분리대 폭원은 2.0m 44명(33.1%), 1.5m 40명(30.1%), 3.0m 26명(19.5%) 순으로 나타났다.

○ 도로 폭원 6차로 (30m)일 때 가장 적절하다고 고려되는 중앙분리대 폭원은 3.0m 48명(36.0%), 2.0m 38명(28.6%), 1.5m 36명(27.1%) 순으로 나타났다.

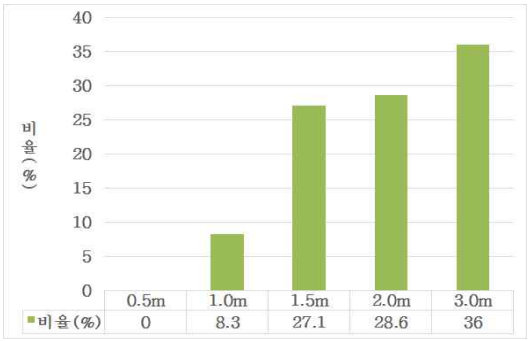
<표 2-190> 4차로(20m)일 때 적절한 중앙분리대 폭원

구분	빈도(명)	비율(%)
0.5m	3	2.3
1.0m	20	15.0
1.5m	40	30.1
2.0m	44	33.1
3.0m	26	19.5
합계	133	100



<표 2-191> 6차로(30m)일 때 적절한 중앙분리대 폭원

구분	빈도(명)	비율(%)
0.5m	0	0
1.0m	11	8.3
1.5m	36	27.1
2.0m	38	28.6
3.0m	48	36.0
합계	133	100



◇ 중앙분리대 폭원별 식재유형에 대한 선호도

○ 중앙분리대 폭원별 식재유형 선호도

- 중앙분리대 폭원 1.5m에서 선정된 유형은 잔디+관목(유형1), 잔디+관목+관목(유형2)임
- 중앙분리대 폭원 2.0m에서 선정된 유형은 잔디+소교목(유형3), 잔디+관목+소교목 (유형4)임
- 중앙분리대 폭원 3.0m에서 선정된 유형은 잔디+관목+교목(유형5), 잔디+관목+소교목+교목(유형6)임

○ 도로폭원 4차로(20m)일 때 식재유형 별 선호도

- 선호도가 가장 높게 나온 식재유형은 유형3으로 평균 3.44의 선호도를 보임

- 선호도는 유형3(평균 3.44)> 유형4(3.39)> 유형5(3.38)> 유형6(3.35)> 유형2(3.07)> 유형1(2.80) 순으로 나타남

<표 2-192> 녹지형 중앙분리대 식재 유형 선호도-4차로(20m)

구분	1.5m				2.0m				3.0m			
	유형 1		유형 2		유형 3		유형 4		유형 5		유형 6	
	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)
매우 불만족	3	2.3	0	0	0	0	2	1.5	0	0	0	0
불만족	40	30.1	21	15.8	8	6.0	10	7.5	19	14.3	23	17.3
보통	71	53.4	84	63.2	64	48.1	63	47.4	55	41.4	54	40.6
만족	18	13.5	26	19.5	55	41.4	50	37.6	49	36.8	42	31.6
매우만족	1	.8	2	1.5	6	4.5	8	6.0	10	7.5	14	10.5
합계	133	100	133	100	133	100	133	100	133	100	133	100
평균	2.80		3.07		**3.44**		3.39		3.38		3.35	

○ 도로폭원 6차로(30m)일 때 식재유형 별 선호도

- 선호도가 가장 높게 나온 식재유형은 유형6으로 평균 3.40의 선호도를 보임

- 선호도는 유형6(평균 3.40)> 유형5(3.38)> 유형4(3.37)> 유형2(3.04)> 유형3(2.74)> 유형1(2.67) 순으로 나타남

<표 2-193> 녹지형 중앙분리대 식재 유형 선호도-6차로(30m)

구분	1.5m				2.0m				3.0m			
	유형 1		유형 2		유형 3		유형 4		유형 5		유형 6	
	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)	빈도(명)	비율(%)
매우불만족	15	11.3	1	.8	3	2.3	1	.8	1	.8	2	1.5
불만족	36	27.1	32	24.1	46	34.6	8	6.0	10	7.5	20	15.0
보통	61	45.9	64	48.1	68	51.1	71	53.4	66	49.6	48	36.1
만족	20	15.0	33	24.8	15	11.3	47	35.3	49	36.8	49	36.8
매우만족	1	.8	3	2.3	1	.8	6	4.5	7	5.3	14	10.5
합계	133	100	133	100	133	100	133	100	133	100	133	100
평균	2.67		3.04		2.74		3.37		3.38		**3.40**	

□ 결론

◇ 도로규모별 중앙분리대 적정폭원 선호도

○ 도로폭원 4차로(20m)와 도로폭원 6차로(30m)에서 중앙분리대 적정 폭원에 대한 선호도는 전문가집단에서는 모두 3.0m를 가장 선호하였고, 일반인 집단은 4차로(20m)에서는 2.0m, 6차로(30m)에서는 3.0m를 선호하여 두 집단 간 차이를 보였으나 대체로 중앙분리대 폭원이 넓을수록

선호하였다.

<표 2-194> 집단별 도로규모에 따른 중앙분리대 폭원 선호도

구분	전문가 집단				일반인 집단			
	4차로(20m)		6차로(30m)		4차로(20m)		6차로(30m)	
	빈도 (명)	비율 (%)	빈도 (명)	비율 (%)	빈도 (명)	비율 (%)	빈도 (명)	비율 (%)
0.5m	0	0	0	0	3	2.3	0	0
1.0m	1	3.3	1	3.3	20	15.0	11	8.3
1.5m	4	13.3	1	3.3	40	30.1	36	27.1
2.0m	11	36.7	8	26.7	44	**33.1**	38	28.6
3.0m	14	**46.7**	20	**66.7**	26	19.5	48	**36.0**
합계	16	100.0	10	100.0	133	100	133	100

◇ 중앙분리대 폭원별 식재유형 선정

○ 전문가 집단에서 선정된 중앙분리대 폭원별 식재유형은 다음과 같다.

- 중앙분리대 폭원별 식재 유형의 선호도(평균값) 2위까지 선정함

<표 2-195> 전문가 집단에서 선정한 식재유형

구분			값		
도로폭원	중분대 폭원	항목	빈도	평균	표준편차
4차로 (20m)	1.5m	유형 3	6	3.43	1.073
		유형 4	19	3.70	1.264
	2.0m	유형 4	6	3.43	1.040
		유형 5	13	3.50	1.306
	3.0m	유형 3	8	3.43	1.104
		유형 5	10	3.30	1.418
6차로 (30m)	1.5m	유형 3	5	3.20	1.186
		유형 4	20	3.77	1.165
	2.0m	유형 4	7	3.47	1.008
		유형 5	15	3.60	1.354
	3.0m	유형 3	9	3.50	1.009
		유형 5	11	3.40	1.329

◇ 중앙분리대 폭원별 식재유형 선호도

○ 전문가 집단에서 선정한 식재유형을 바탕으로 실시한 일반인 집안 중앙분리대 폭원별 식재유형 선호도는 다음과 같다.

- 도로 폭원 4차로(20m)일 때는 유형3이 평균 3.44로 선호도가 가장 높음
- 도로 폭원 6차로(30m)일 때는 유형6이 평균 3.40로 선호도가 가장 높음

<표 2-196> 일반인 집단에서 선호도가 높은 식재유형

구분	4차로(20m)				6차로(30m)			
	2.0m				3.0m			
	유형 3		유형 4		유형 5		유형6	
	빈도 (명)	비율 (%)	빈도 (명)	비율 (%)	빈도 (명)	비율 (%)	빈도 (명)	비율 (%)
매우불만족	0	0	2	1.5	1	.8	2	1.5
불만족	8	6.0	10	7.5	10	7.5	20	15.0
보통	64	48.1	63	47.4	66	49.6	48	36.1
만족	55	41.4	50	37.6	49	36.8	49	36.8
매우만족	6	4.5	8	6.0	7	5.3	14	10.5
합계	133	100	133	100	133	100	133	100
평균	**3.44**		3.39		3.38		**3.40**	

◎ 지방부도로 최적횡단 설문조사

○ 본 연구에서는 일반적으로 조성되어 있는 지방부 왕복 4차로 직선구간 도로(80km/h)를 대상으로 한다.

○ 본 연구에서는 지방부도로의 식재면적 확보가 가능한 중앙분리대와 비탈면(소단의 폭을 2.0m로 정함)을 연구범위로 선정하고자 한다.

○ 지방부도로 최적횡단 식재유형 도출 설문조사 방법으로는 다음과 같다.

- 첫째, 지방부 최적횡단을 위해 도로에 녹화가 가능한 중앙분리대 및 비탈면 선정
- 둘째, 중앙분리대 및 비탈면의 폭원 및 기울기 선정
- 셋째, 중앙분리대 및 비탈면의 식재가능한 모든 식재 유형을 분류함
- 넷째, 전문가 인터뷰(FGI, Focus Group Interview)를 통해 환경성, 시공성, 경제성, 주행성을 고려한 탄소흡수 최적횡단 식재유형 도출
- 다섯째, 시각화된 식재유형을 토대로 전문가 대상 선호도 조사
- 여섯째, 탄소흡수 최적횡단 식재유형 도출

□ 식재유형 선정

◇ 중앙분리대 폭원별 식재유형 도출

○ 중앙분리대 폭원은 도로설계 기준을 참고하여 2.0m, 2.5m, 3.0m, 3.5m으로 구분하였으며, 식재유형 분류는 아래 같이 분류하였다.(건설교통부, 2000)

<표 2-197> 중앙분리대 폭원 선정 기준

구분	차로수	설계 속도	차로 최소폭	중분대 최소폭	분리대	중분대 측대	길어깨	길어깨 측대	전체 폭원	중분대 식재가능폭
지방 지역	4차로	80㎞/h 이상	3.5	1.5	0.5	0.5	2.0	0.5	19.5	0.1
			3.5	**2.0**	1.0	0.5	2.0	0.5	20.0	0.6
			3.5	**2.5**	1.5	0.5	2.0	0.5	20.5	1.1
			3.5	**3.0**	2.0	0.5	2.0	0.5	21.0	1.6
			3.5	**3.5**	2.5	0.5	2.0	0.5	21.5	2.0

○ 중앙분리대의 각 폭원별로 식재가능한 모든 유형을 분류한다.

<표 2-198> 중앙분리대 폭원별 식재가능한 모든 식재유형 도출

중앙분리대 폭원 (식재 가능폭)	식재 유형
2.0m (0.6m)	지피
	소관목
	지피+소관목
2.5m (1.1m)	지피+관목
	지피+소관목
	지피+소관목+관목
3.0m (1.6m)	지피+소관목
	지피+관목
	지피+소관목+관목
	지피+소교목
	지피+관목+소교목
	지피+소관목+소교목
	지피+관목+소관목+소교목
3.5m (2.0m)	지피+관목
	지피+소관목+관목
	지피+소관목+교목
	지피+관목+소교목
	지피+관목+교목
	지피+소교목+교목
	지피+관목+소관목+소교목
	지피+소관목+관목+교목
	지피+관목+소교목+교목
	지피+소관목+관목+소교목+교목
	소관목+관목+교목
	소관목+소교목+교목

○ 중앙분리대에 식재가능한 모든 유형을 토대로 전문가 인터뷰(FGI, Focus Group Interview)를 실시하였음. 환경성, 경제성, 시공성, 유지관리, 경관성, 안전성을 고려하여 최종 식재유형을 도출하였으며. 본 연구의 중앙분리대 지표의 기본방향은 다음과 같다.

- 환경성 : 탄소흡수량을 고려한 수목선정, 환경을 훼손을 최소화 한 횡단계획, 기존 수림과 연계한 녹화를 통해 주변 식생보전
- 경제성 : 녹지면적 확보로 환경비용 절감, 토지확보 및 따른 비용 발생 고려
- 시공성 : 중앙분리대 조성시 시공 용이
- 유지관리 : 중앙분리대 조성 후 유지 보수 및 유지관리 용이
- 경관성 : 주변 경관과 조화를 이루도록 계획, 다양한 경관연출이 가능한 식재 고려, 시간경

과에 따라 중앙분리대 경관형성의 가치향상

- 안전성 : 중앙분리대 식재를 통한 주행 안전성 고려함, 반대차선에 대한 차광효과로 시각적 피로감 감소

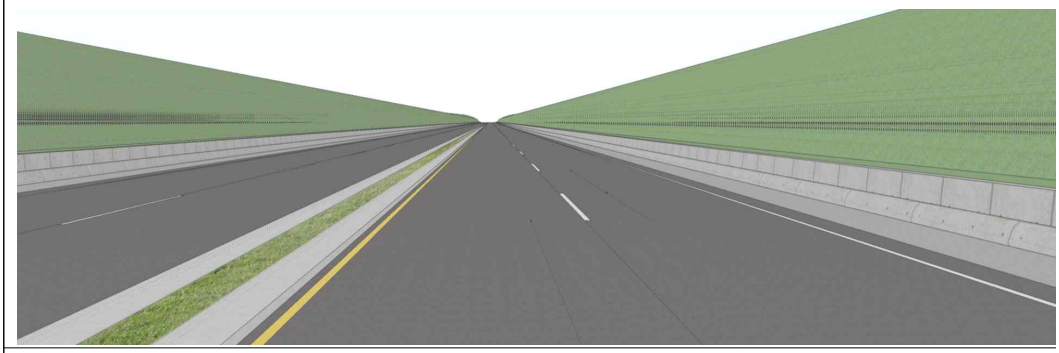
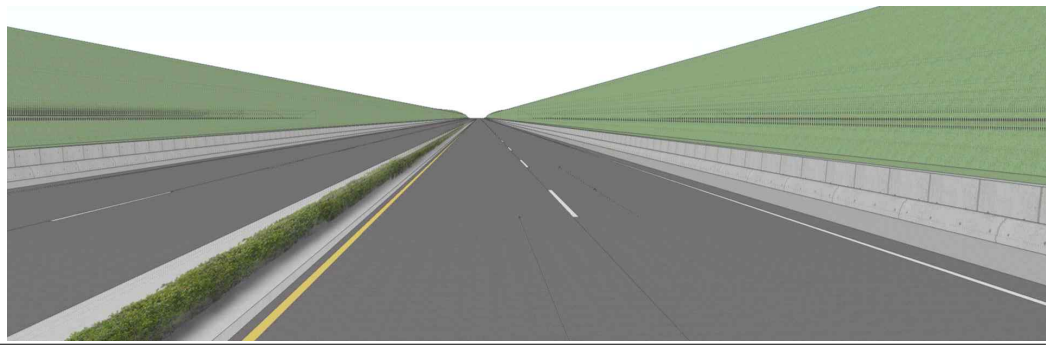
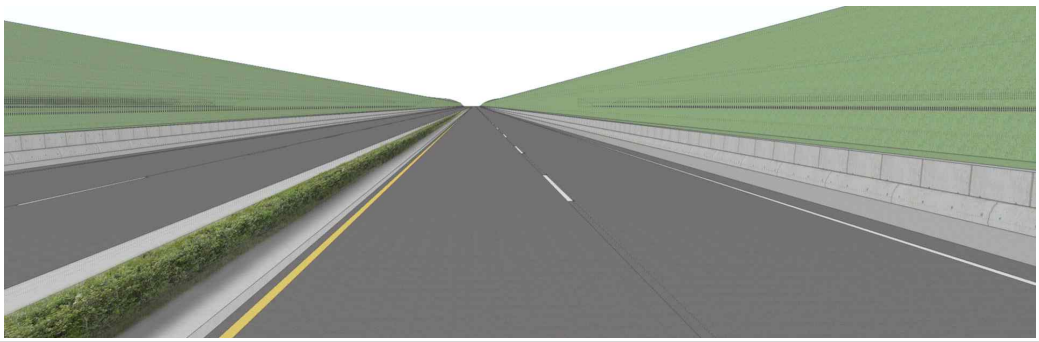
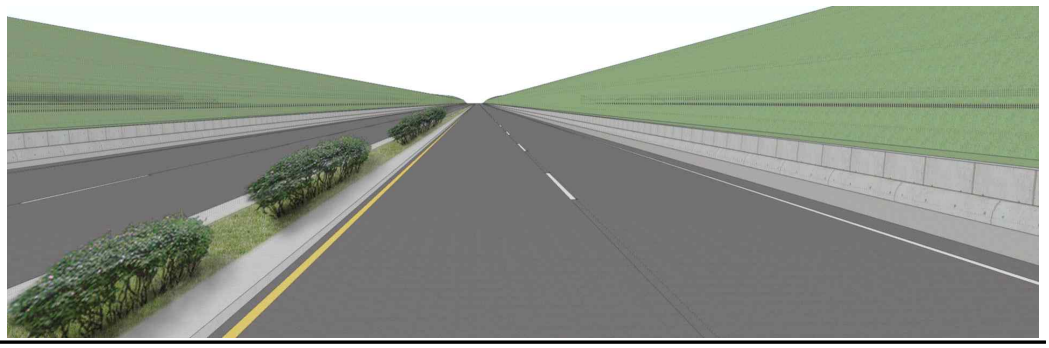
○ 최종 도출된 중앙분리대 폭원별 식재 유형 이미지는 표 1-3-35와 같음. 2.0m에는 잔디, 소관목, 잔디·소관목, 잔디·관목, 2.5m에는 잔디·소관목, 잔디·관목, 잔디·소관목·관목, 잔디·소교목으로 분류함. 3.0m에는 잔디·소관목·관목, 잔디·관목·소교목, 잔디·소관목·소교목, 잔디·소관목·관목·소교목 3.5m에는 잔디·소관목·관목·소교목, 잔디·관목·교목, 잔디·관목·소교목·교목, 잔디·소관목·관목·소교목·교목으로 분류하여 각 유형별로 4개씩 구성하여 총 16개의 유형을 도출하였다.

<표 2-199> 탄소저감형 중앙분리대 폭원별 식재유형 도출

중앙분리대 폭원 (식재 가능폭)	식재 유형
2.0m (0.6m)	잔디
	소관목
	잔디+소관목
	잔디+관목
2.5m (1.1m)	잔디+소관목
	잔디+관목
	잔디+소관목+관목
	잔디+소교목
3.0m (1.6m)	잔디+소관목+관목
	잔디+관목+소교목
	잔디+소관목+소교목
	잔디+소관목+관목+소교목
3.5m (2.0m)	잔디+소관목+관목+소교목
	잔디+관목+교목
	잔디+관목+소교목+교목
	잔디+소관목+관목+소교목+교목

○ 전문가 인터뷰(FGI, Focus Group Interview)를 통해 도출된 탄소흡수 최적횡단 식재유형을 이미지화하였다.

<표 2-200> 중앙분리대 폭원별 식재유형 이미지(예시, 1/2)

중앙분리대 폭원	식재 유형(예시)
2.0m (0.6m)	(1) 잔디  (2) 소관 
2.5m (1.1m)	(1) 잔디 + 소관목  (2)잔디 + 관목 

<표 2-200> 중앙분리대 폭원별 식재유형 이미지(예시, 2/2)

중앙분리대 폭원	식재 유형(예시)
3.0m (1.6m)	(1) 잔디 + 소관목 + 관목 
	(2) 잔디 + 관목 + 소교목 
3.5m (2.0m)	(1) 잔디 + 소관목(H:0.5m) + 관목(H:1.2m) + 소교목(H:2.5m) 
	(2) 잔디 + 관목(H:1.2m) + 교목(H:3.5m) 

◇ 비탈면 기울기별 식재유형 도출

○ 비탈면 기울기는 도로설계 기준을 참고하여 1:1.0이하, 1:1.2~1:1.5, 1:1.8~1:2.0, 1:2.5이상으로 구분하였으며, 식재유형 분류는 다음과과 같이 분류하였다.(건설교통부, 2000)

○ 소단의 경우 비탈면의 높이가 10m 이상인 비탈면에서는 비탈면 유지관리를 위해 비탈면 중간에 5~20m 높이마다 폭은 1~3m의 소단을 설치하여야하며, 탄소흡수원을 최대한 많이 확보할 수 있는 식재유형을 선정해야 하는바, 이에 소단의 폭을 2m로 정하였다.

<표 2-201> 비탈면 기울기 선정 기준

구분	차로수	설계 속도	차로 최소폭	비탈면 기울기	비고
지방지역	4차로	80㎞/h 이상	3.5	1:1.0 이하	사면보강공법 적용 후 녹화 가능한 기울기
				1:1.2~1:1.5	일반적으로 녹화 가능한 비탈면 기울기
				1:1.8~1:2.0	일반적으로 녹화 가능한 비탈면 기울기
				1:2.5 이상	탄소흡수원 확보를 위한 비탈면 기울기

○ 비탈면의 기울기별로 식재가능한 모든 유형을 분류하면 다음과 같다.

<표 2-202> 비탈면 기울기별 식재가능한 모든 식재 유형 도출(1/2)

기울기	식재유형	
	비탈면	소단
1:1.0	지피·초화류	지피+관목+교목
	지피·초화류+소관목	지피+교목
		지피+관목
		지피+소교목
	지피·초화류+관목	지피+관목+소교목
		지피+소관목+관목
1:1.5	지피·초화류+소관목	지피+관목+교목
	지피·초화류+소관목+관목	지피+교목
		지피+관목+소교목
		지피+소교목
		지피+소교목+교목
	지피·초화류+관목	지피+소관목+교목

<표 2-202> 비탈면 기울기별 식재가능한 모든 식재 유형 도출(2/2)

기울기	식재유형	
	비탈면	소단
1:2.0	지피·초화류+소관목+관목+소교목	지피+소관목+교목
		지피+소관목+소교목
	지피·초화류+소관목+소교목	지피+소관목+교목
		지피+소교목
		지피+소관목+소교목
	지피·초화류+관목+소교목	지피+관목+교목
1:2.5	지피·초화류+소관목+소교목+교목	지피+소교목
		지피+소관목+교목
	지피·초화류+관목+교목	지피+소교목
		지피+소관목+교목
	지피·초화류+소관목+소교목	지피+소관목+교목
	지피+관목+소교목+교목	지피+소교목
1:3.0 +1:2.0	지피·초화류+소관목+관목+교목	지피+소관목+교목
	지피·초화류+소관목+소교목+교목	지피+교목
	지피·초화류+소관목+관목+소교목+교목	지피+소교목
		지피+소관목+교목

○ 비탈면 기울기별 식재가능한 모든 유형을 토대로 전문가 인터뷰(FGI, Focus Group Interview)를 실시하였음. 환경성, 경제성, 시공성, 유지관리, 경관성, 안전성을 고려하여 최종 식재유형을 도출하였으며. 본 연구의 비탈면 지표의 기본방향은 다음과 같다.

- 환경성 : 탄소흡수량을 고려한 수목선정, 비탈면 기울기완화를 통한 식재면적 확보, 기존 수림과 연계한 녹화를 통해 주변식생 보전
- 경제성 : 녹지면적 확보로 환경비용절감, 토지확보 및 시공에 따른 비용 발생 고려
- 시공성 : 비탈면 조성시 시공 용이
- 유지관리 : 비탈면 녹화 이후 유지 보수 및 유지관리 용이
- 경관성 : 주변 경관과 조화를 이루도록 계획, 다양한 경관연출이 가능한 식재 고려, 시간 경과에 따라 비탈면 경관형성의 가치 향상
- 안전성 : 개방감 있는 식재로 주행 시야확보, 녹지면적 확보로 토사 유출 및 붕괴 예방

○ 최종 도출된 중앙분리대 폭원별 식재 유형 이미지는 표 1-3-41과 같음. 1:1.8~1:2.0에는 지피·소관목/지피·소교목, 지피·관목/지피·소교목, 지피·관목·소교목/지피·관목, 지피·관목·소교목/

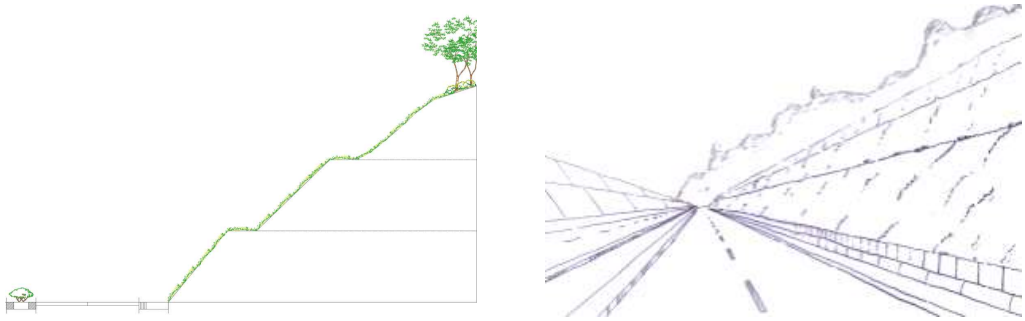
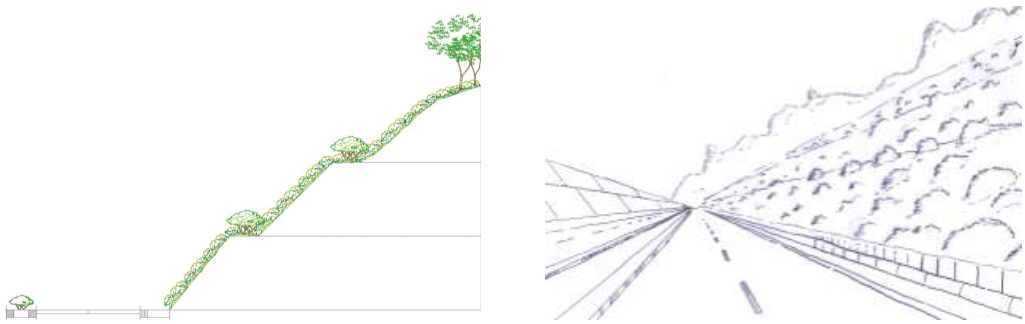
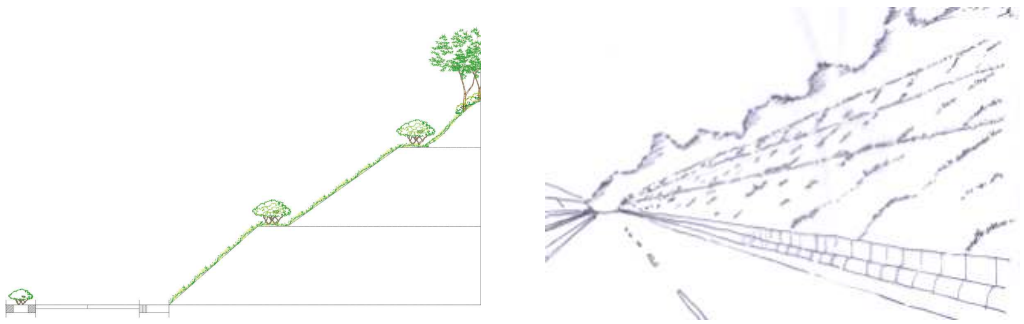
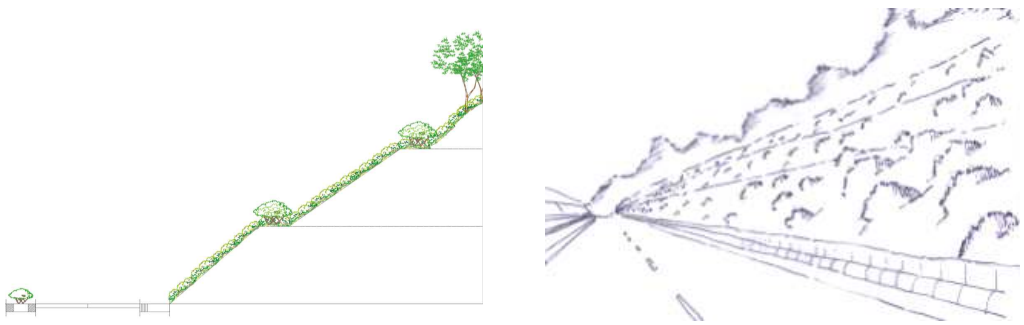
지피·소관목·교목, 1:2.5이상에는 지피·소관목·소교목/지피·관목, 지피·관목·교목/지피·관목·교목, 지피·관목·소교목·교목/지피·관목, 지피·관목·소교목·교목/지피·관목·교목으로 분류하여 각 유형별로 4개씩 구성하여 총 16개의 유형을 도출하였다.

<표 2-203> 탄소저감형 비탈면 기울기별 식재유형 도출

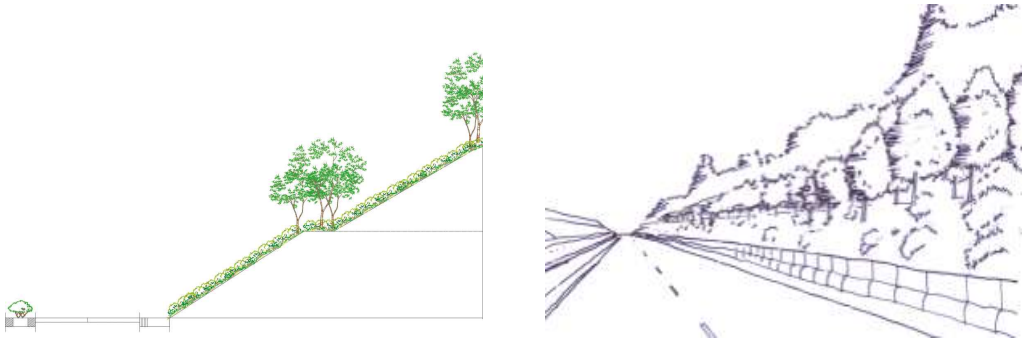
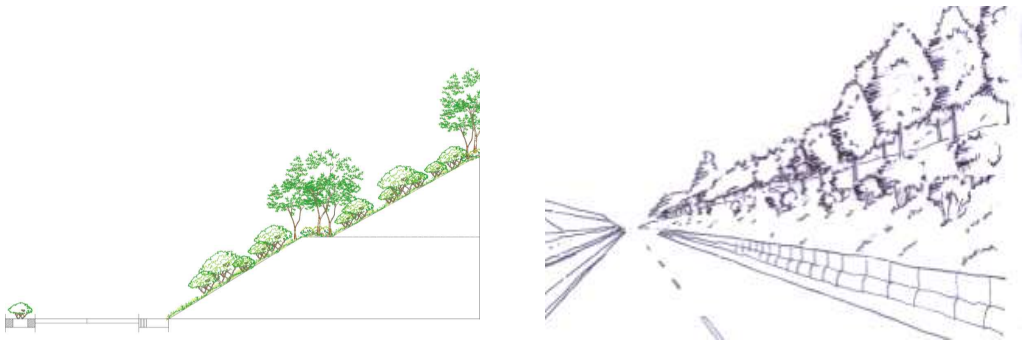
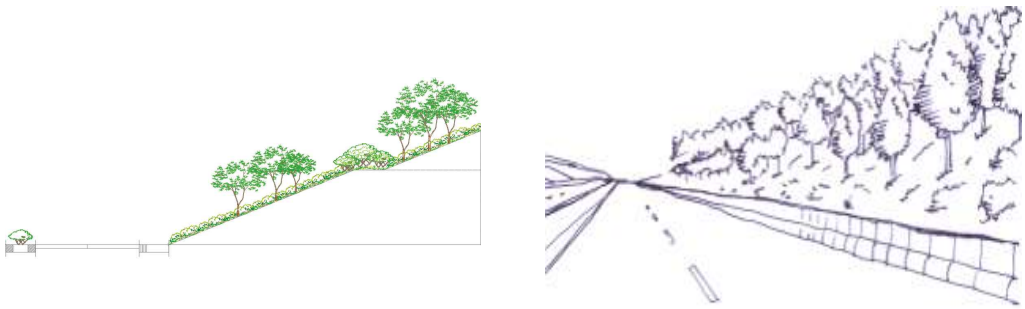
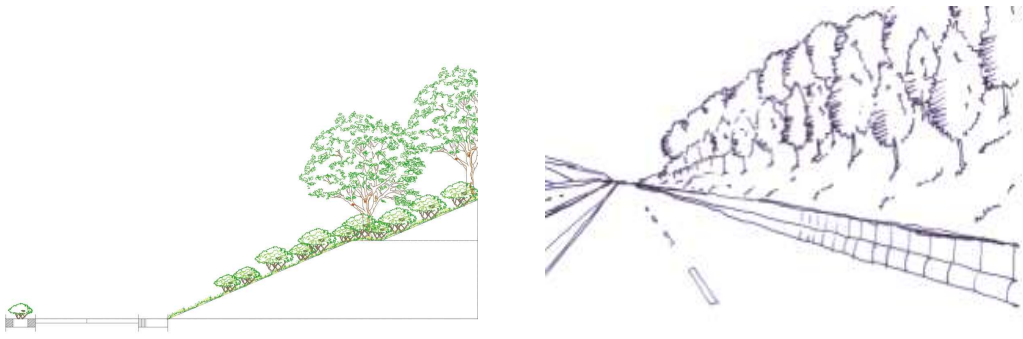
비탈면 기울기	식재유형	
	비탈면	소단
1:1.0 이하	지피	지피
	지피+소관목	지피+관목
	지피+관목	지피+소관목+소교목
	지피+관목	지피+소관목+소교목
1:1.2~1:1.5	지피	지피+관목
	지피+소관목	지피+관목
	지피+관목	지피+소관목+소교목
	지피+관목	지피+소관목+소교목
1:1.8~1:2.0	지피+소관목	지피+소교목
	지피+관목	지피+소교목
	지피+관목+소교목	지피+관목
	지피+관목+소교목	지피+소관목+교목
1:2.5 이상	지피+소관목+소교목	지피+관목
	지피+관목+교목	지피+관목+교목
	지피+관목+소교목+교목	지피+관목
	지피+관목+소교목+교목	지피+관목+교목

○ 전문가 인터뷰(FGI, Focus Group Interview)를 통해 도출된 탄소흡수 최적횡단 식재유형을 이미지화하였다.

<표 2-204> 비탈면 기울기별 식재유형 이미지(예시, 1/2)

비탈면 기울기	비탈면 식재 유형
1:1.0 이하	(1) 비탈면 : 지피 / 소단 : 지피 
	(2) 비탈면 : 지피+소관목 / 소단 : 지피+관목 
1:1.2~ 1:1.5	(1) 비탈면 : 지피 / 소단 : 지피+관목 
	(2) 비탈면 : 지피+소관목 / 소단 : 지피+관목 

<표 2-204> 비탈면 기울기별 식재유형 이미지(예시, 2/2)

비탈면 기울기	비탈면 식재 유형
1:1.8 ~1:2.0	(1) 비탈면 : 지피+소관목 / 소단 : 지피+소교목 
	(2) 비탈면 : 지피+관목 / 소단 : 지피+소교목 
1:2.5 이상	(1) 비탈면 : 지피+소관목+소교목 / 소단 : 지피+관목 
	(2) 비탈면 : 지피+관목+교목 / 소단 : 지피+관목+교목 

□ 설문지 구성

○ 설문지는 크게 응답자의 일반사항, 중앙분리대 및 비탈면 식재유형 선호도등을 실시하였다.

- 응답자의 일반사항으로는 성별, 연령대, 학력, 운전경력, 지방부도로의 이용빈도의 문항으로 구성함

- 중앙분리대 폭원별 2.0M, 2.5M, 3.0M, 3.5M의 식재유형 선호도 문항과 비탈면 1:1.0 이상, 1:1.2~1:1.5, 1:1.8~1:2.0, 1:2.5 이상의 식재유형 선호도 문항으로 구성함

□ 조사 및 분석방법

○ 도로, 조경, 환경, 토목, 건축 분야의 전문가를 대상으로 2014년 9월 25일~2014년 10월 17일 총 33일간 중앙분리대 및 비탈면의 선호도 설문조사를 실시하였다.

- 설문지는 총 73부 중 결측 및 불성실한 설문 3부를 제외한 총 70부를 분석에 활용함

- 선호도 평가에 대해서는 5점 리커트 척도(Likert scale)를 이용함

- 설문항목 분석은 통계프로그램 SPSS(ver.19.0)을 활용하여, 신뢰도분석, 빈도분석, 표본평균검정을 실시함

<표 2-205> 전문가 설문 조사

구 분	전문가 설문 조사
조사일시	2014년 9월 25일~2014년 10월 17일
조사형태	자기 기입방식
설문지 배부	73
미회수/결측	3
회수율	95.9 %
합계	70

□ 응답자 속성

○ 설문에 응답한 전문가 집단의 특성은 다음과 같다.

<표 2-206> 응답자 속성

구분		빈도	비율(%)
성별	남성	55	78.6
	여성	15	21.4
연령	20대	6	8.6
	30대	45	64.3
	40대	14	20.0
	50대	5	7.1
학력	대학 졸업	40	57.1
	석사 과정	8	11.4
	석사 졸업	5	7.1
	박사 과정	13	18.6
	박사 졸업	4	5.7
운전면허 소지	있음	70	100
	없음	0	0.0
운전경력	1년 미만	7	10.0
	1년 이상~3년 미만	7	10.0
	3년 이상~5년 미만	5	7.1
	5년 이상~10년 미만	10	14.3
	10년 이상	41	58.6
하루 평균 운전 시간	없음	8	11.4
	1시간 미만	35	50.0
	1시간 이상~2시간 미만	23	32.9
	2시간 이상~3시간 미만	3	4.3
	3시간 이상~5시간 미만	1	1.4
일반국도 지방부 이용 정도	거의 이용하지 않음	5	7.1
	일 년에 2~5번	10	14.3
	한 달에 2~5번	24	34.3
	일주일에 한번	16	22.9
	거의 매일	15	21.4
전공	도로	10	14.3
	조경	26	37.1
	건축	12	17.1
	토목	14	20.0
	환경	6	8.6
	교통	2	2.9
직업	학생(석·박사과정)	12	17.1
	공공기관	12	17.1
	회사원	36	51.4
	연구원	6	8.6
	교직	2	2.9
	기타	2	2.9
각 분야의 경력	5년 미만	21	30.0
	5~10년	29	41.4
	11년~15년	8	11.4
	16년~20년	8	11.4
	21년 이상	4	5.7

○ 응답자 총 70명중 남성이 55명(78.6%), 여성이 15명(21.4%)로 나타났다.

○ 연령은 20대는 6명(8.6%), 30대는 45명(64.3%), 40대는 14명(20.0%), 50대는 5명(7.1%)으로 나타났다.

○ 학력은 대학졸업이 40명(57.1%), 석사과정이 8명(11.4%), 석사졸업이 5명(7.1%), 박사과정이 13명(18.6%), 박사졸업이 4명(5.7%)으로 나타났다.

○ 전체 응답자가 운전면허 소지자로 나타났음. 또한 운전경력은 1년 미만이 7명(10%), 1년 이상~3년 미만이 7명(10%), 3년 이상~5년 미만이 5명(7.1%), 5년~10년 미만이 10명(14.3%), 10년 이상이 41(58.6%)으로 나타났ㅍ

○ 하루 평균 운전시간은 없음이 8명(11.4%), 1시간 미만이 35명(50%), 1시간 이상~2시간 미만이(32.9%), 2시간 이상~3시간 미만이(4.3%), 3시간 이상~5시간 미만이(1.4%)으로 나타났다.

○ 지방부 도로 이용정도는 거의 이용하지 않음이 5명(7.1%), 일 년에 2~5번이 10명(14.3%), 한 달에 2~5번이 24명(34.3%), 일주일에 한번 16명(22.9%), 거의 매일이 15명(21.4%)으로 나타났다.

○ 응답자의 전공은 도로 10명(14.3%), 조경 26명(37.1%), 건축 12명(17.1%), 토목 14명(20.0%), 환경 6명(8.6%), 기타 2명으로 나타났다.

○ 직업은 학생이 12명(17.1%), 공공기관이 12명(17.1%), 회사원이 36명(51.4%), 연구원이 6명(8.6%), 교직이 2명(2.9%), 기타가 2명(2.9%)으로 나타났다.

○ 각 분야의 경력은 5년 미만이 21명(30.0%), 5~10년이 29명(41.4%), 11~15년이 8명(11.4%), 16년~20년이 8명(11.4%), 21년 이상이 4명(5.7%)으로 나타났다.

□ 선호도 평가항목의 신뢰도 분석

○ 탄소흡수원 확보방안 마련을 위한 최적 횡단면 설계요소 도출을 위하여 중앙분리대 및 비탈면의 각 항목에 대한 신뢰도 분석을 하였다.

○ 신뢰도와 타당성의 검증을 위해 가장 많이 사용되고 있는 크론바흐 알파 계수(Cronbach's Alpha)는 0과 1에 값을 가지는데, 1에 가까울수록 신뢰성이 높다고 할 수 있다.(Joseph and Rosemary, 2003).

○ 일반적으로 Cronbach's Alpha 값이 0.6이상이면, 신뢰도에는 문제가 없다.(Noh, 2005)

○ 본 연구에서 중앙분리대의 신뢰도 값이 0.650와 비탈면의 신뢰도 값이 0.747로 높게 나타났으므로, 본 설문지는 신뢰도가 높다고 할 수 있다.

□ 중앙분리대 식재유형에 대한 선호도 분석

○ 중앙분리대 폭원 2.0m·잔디+관목의 경우 3.67로 선호도가 높았으며, 2.5m·잔디+소관목+관목의 경우 3.54로 선호도가 높게 나타났다.

○ 3.0m·잔디+소관목+소교목의 경우 3.47으로 선호도가 높았으며, 3.5m·잔디+관목+교목의 경우 3.54로 선호도가 높게 나타났다.

<표 2-207> 탄소저감형 중앙분리대 식재유형에 대한 선호도 분석

중앙분리대 폭원 (식재 가능폭)	식재유형	평균	표준 편차
2.0m (0.6m)	잔디	1.83	1.063
	소관목	2.89	1.174
	잔디+소관목	2.99	1.110
	잔디+관목	**3.67**	**1.271**
2.5m (1.1m)	잔디+소관목	2.37	1.092
	잔디+관목	2.84	.773
	잔디+소관목+관목	**3.54**	**.973**
	잔디+소교목	3.34	1.339
3.0m (1.6m)	잔디+소관목+관목	2.61	1.183
	잔디+관목+소교목	3.46	.988
	잔디+소관목+소교목	**3.47**	**.928**
	잔디+소관목+관목+소교목	3.39	1.107
3.5m (2.0m)	잔디+소관목+관목+소교목	2.96	.999
	잔디+관목+교목	**3.54**	**1.031**
	잔디+관목+소교목+교목	3.30	1.040
	잔디+소관목+관목+소교목+교목	3.49	1.213

□ 비탈면 식재유형에 대한 선호도 분석

○ 비탈면 기울기 1:1.0이하·지피+관목/지피+소관목+소교목의 경우 3.49로 선호도가 높았으며, 1:1.2~1:1.5·지피+관목/지피+소관목+소교목의 경우 3.79로 선호도가 높게 나타났다.

○ 1:1.8~1:2.0·지피+관목+소교목/지피+소관목+교목의 경우 3.73로 선호도가 높았으며, 1:2.5이상·지피+관목+소교목+교목/지피+관목+교목의 경우 3.74로 선호도가 높게 나타났다.

<표 2-208> 탄소저감형 비탈면 식재유형에 대한 선호도 분석

비탈면 기울기	식재유형		평균	표준 편차
	비탈면	소단		
1:1.0 이하	지피	지피	2.04	1.122
	지피+소관목	지피+관목	2.99	1.097
	지피+관목	지피+소관목+소교목	3.31	.971
	지피+관목	**지피+소관목+소교목**	**3.49**	**1.126**
1:1.2~1:1.5	지피	지피+관목	2.39	1.107
	지피+소관목	지피+관목	2.83	.947
	지피+관목	지피+소관목+소교목	3.64	.901
	지피+관목	**지피+소관목+소교목**	**3.79**	**1.034**
1:1.8~1:2.0	지피+소관목	지피+소교목	2.57	1.084
	지피+관목	지피+소교목	3.39	.873
	지피+관목+소교목	지피+관목	3.54	.793
	지피+관목+소교목	**지피+소관목+교목**	**3.73**	**1.141**
1:2.5 이상	지피+소관목+소교목	지피+관목	2.61	1.158
	지피+관목+교목	지피+관목+교목	3.36	.948
	지피+관목+소교목+교목	지피+관목	3.70	.857
	지피+관목+소교목+교목	**지피+관목+교목**	**3.74**	**1.304**

■ 탄소저감형 LID시설물 개발

◎ 도로 시설물과 연계한 탄소저감형 LID 시설물 개발 개요

□ LID시설물 주요 개발내용

○ 도로시설물과 연계한 탄소저감형 LID 시설물 개발 및 시작품 제작

○ 탄소저감형 LID시설물 적용방안 마련

○ LID 도로시설물 시설물 개발을 통한 최적횡단 적용모형 정립

□ LID시설물 개발방향 설정

○ 기존 유사 특허 사례조사(녹지형 가드레일, 나무여과상자 등)

- 도로 안전시설 9개, 비점오염 저감시설 4개, 도로 부대시설 1개, 도로 배수시설 1개

○ 시설물 유형 설정 (도로안전시설, 비점오염저감시설)

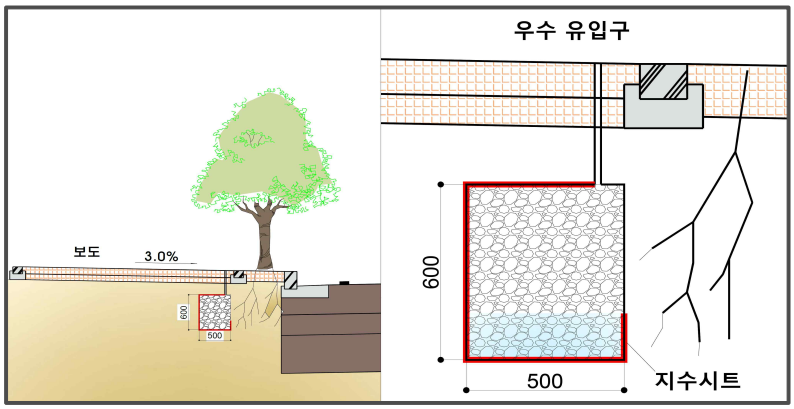
◎ 탄소저감형 LID도로시설물 개발(우수를 활용한 무동력 가로수 관수시스템)

□ 개발목적

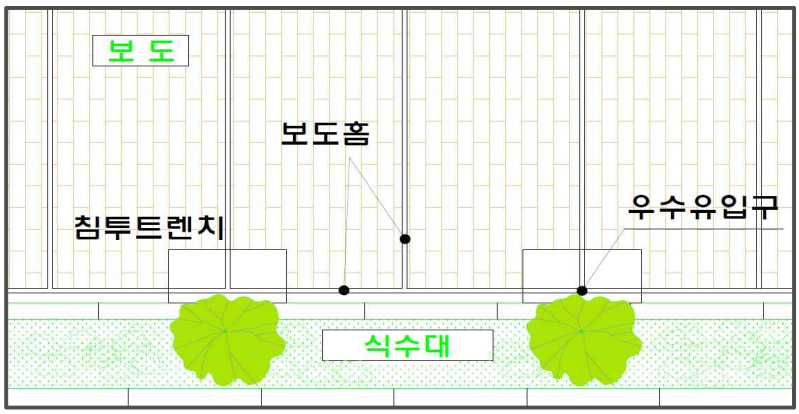
○ 강우시 유출되는 우수를 보도에서 유입시킨 후 여과, 침투기작을 거쳐 가로수에 물을 공급하는 LID시설물 개발을 목적으로 함

○ 특허 청구항(안)

- 우수 유도를 위한 보도 홈 시공(보도포장)
- 우수유입이 가능한 침투트렌치(500×600×1000)
- 침투트렌치를 이용한 무동력 관수시스템



<그림 2-257> 탄소저감형 LID 도로시설물 개념도(침투트렌치)



<그림 2-258> 보도의 우수유입(침투트렌치)을 통한 무동력 관수시스템

□ LID 도로시설물 시작품 최종 성과품



<그림 2-259> LID 도로시설물 시작품 최종 성과품

◎ LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가

□ LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가 목적

○ 사용성 평가 목적으로는 강우시 유출되는 우수를 보도에서 유입시킨 후 여과, 침투기작을 거쳐 가로수에 물을 공급하는 LID시설물 개발하였다.

○ LID시설물 개발과 관련하여 사용성 평가를 통하여 시설물의 완성도를 높이고자 하였다.

□ LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가 항목

○ LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가 항목으로는 환경성, 시공 및 유지관리성, 기술성으로 분류할수 있다.

- 환경성 : 환경의 훼손을 최소화 한 횡단계획
- 시공 및 유지관리성 : 조성시 시용 및 유지관리가 용이함
- 기술성 : LID 시설물의 기술적인 능력을 평가

○ 각 항목에 따른 세부내용으로는 아래표와 같으며, 총 10문항으로 구성된다.

<표 2-209> LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가 항목

항목	세부내용
환경성	• 도로의 탄소저감에 효과적인 시설물임
	• 도로의 환경적 가치를 고려하였음
	• 수목의 생장에 필요한 수분을 확보 할 수 있음
시공 및 유지관리성	• 기존 도시부 도로에 시공이 용이함
	• 유지관리가 용이함
	• 도로 침하에 대해 안전함
기술성	• 강우시 유출되는 우수 집수가 용이함
	• 저장된 빗물은 무동력으로 가로수에 점진적인 관수가 용이함
	• 기존의 LID 시설물 보다 기술의 혁신성 및 차별성이 우수함
	• 전반적으로 물순환 기능이 용이함

◎ LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가 결과

○ LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가 결과 강우시 유출되는 우수 집수가 용이함이 4.91로 가장 우수하게 평가되었다.

<표 2-210> LID 도로시설물 시작품 최종 성과품 사용성 평가 결과

항목	세부내용	평균
환경성	• 도로의 탄소저감에 효과적인 시설물임	4.35
	• 도로의 환경적 가치를 고려하였음	4.83
	• 수목의 생장에 필요한 수분을 확보 할 수 있음	4.65
시공 및 유지관리성	• 기존 도시부 도로에 시공이 용이함	4.09
	• 유지관리가 용이함	4.17
	• 도로 침하에 대해 안전함	4.22
기술성	• 강우시 유출되는 우수 집수가 용이함	4.91
	• 저장된 빗물은 무동력으로 가로수에 점진적인 관수가 용이함	4.57
	• 기존의 LID 시설물 보다 기술의 혁신성 및 차별성이 우수함	4.09
	• 전반적으로 물순환 기능이 용이함	4.39

■ 탄소저감형 선형조합 평가시스템 개발

◎ 평가시스템 개요

□ 목적 및 개발방안

○ 도로의 기하구조 조건(평면/종단/조합)에 따른 주행속도 및 탄소발생량 산정함으로써 주행속도 일관성 확보를 통한 최적의 선형조합 도출을 목적으로 관련 프로그램을 개발하고자 한다.

- 기하구조 조건별 주행속도 및 탄소배출량 산정 및 평가
- 선형계획시 주행속도 일관성 확보 및 탄소배출량 산정을 통한 최적의 선형조합 도출
- 설계 공용 프로그램 연동 및 3D 주행시뮬레이션을 통한 실무 적용성 확대

○ 선형조합 평가시스템의 주요 기능

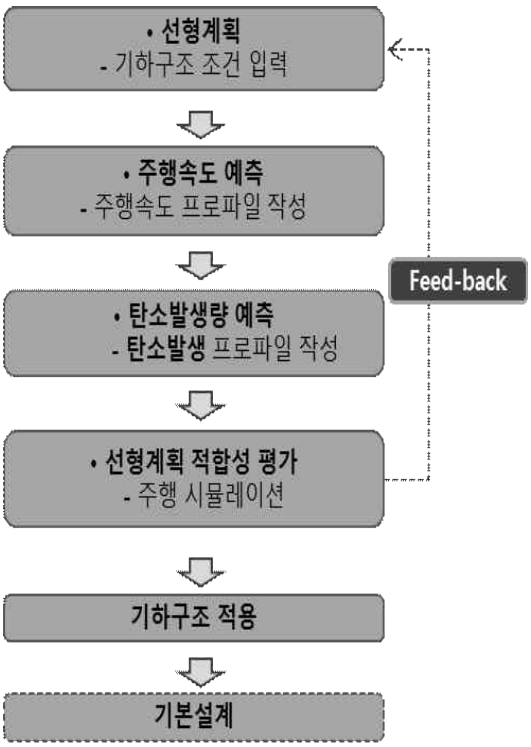
- 도로의 계획단계에서 노선선정 및 선형계획 수립
- 기하구조 조건별 탄소발생량 산정 및 평가를 통한 대안노선 선정근거 마련

→ 기하구조 조건별 설계검사 기능을 통한 설계기준 적용성 및 선형조합 검토

→ 설계속도에 따른 기하구조 조건별 주행속도(V85) 산정

→ 설계속도에 따른 기하구조 조건별 탄소발생량 산정

□ 평가시스템 개발



<그림 2-260> 선형조합 평가절차



그림 2.339 탄소저감형 선형조합 평가시스템의 구성(안)

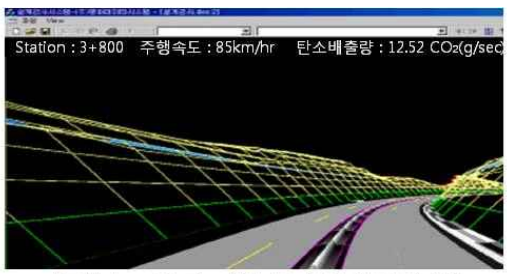
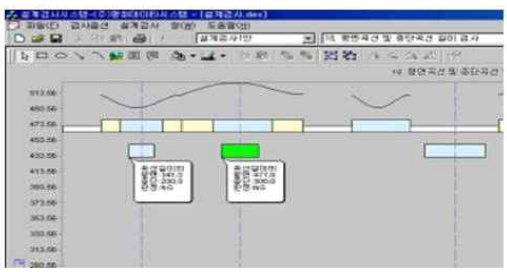


그림 2.340 주행속도 및 탄소배출량 산정방안(예시)



<그림 2-261> 구간별 주행속도 및 탄소저감량 평가방안(예시)

④ On-board 탄소배출량 측정장치 개발

■ 장치 구성안

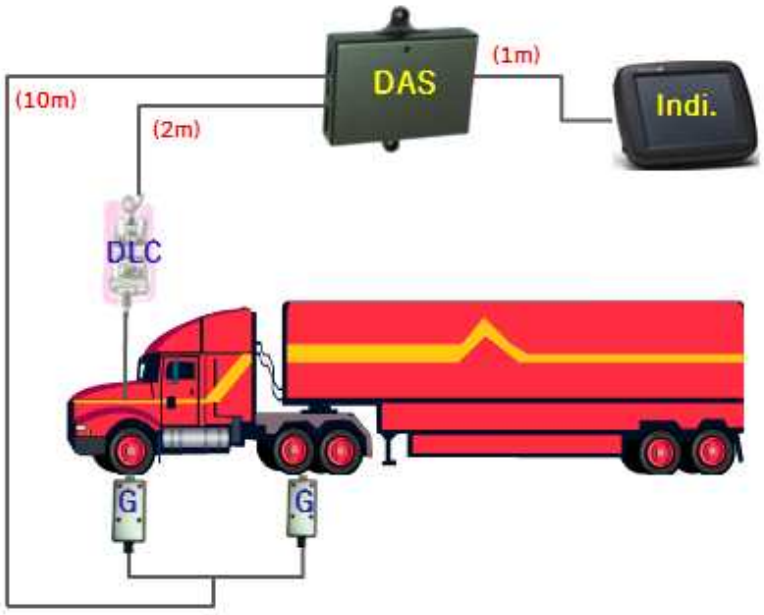
◎ 장치 구성 계획

○ 개발하고자 하는 측정 장치는 세가지 조건의 각종 데이터들을 측정해야 하고, 운전자가 장착할 수 있도록 해야 하는 전재조건을 가지고 있다.

○ 세가지 조건은 도로의 종단경사와 평탄성 등을 고려한 도로조건, 차량의 속도, 엔진회전수, 연료소모량, 가속페달개도량, 냉각수온도 등을 고려한 주행조건, 주행 중에 차량하중을 고려한 차량조건이다.

○ 차량이 주행하면서 각종 데이터를 측정하기 때문에 정밀도를 높이기 위해서 측정주기를 짧게 하여 더 많은 데이터를 수집할 수 있도록 해야 하는데 측정데이터의 저장 명령과 저장시간 등을 고려하여 초당 4개씩 데이터를 수집하기로 한다.

○ 개발장치는 도로의 종단경사와 차량의 가속도를 측정할 수 있도록 가속도센서(Accelerometer), 차량의 각종 주행데이터를 수집하기 위한 DLC 케이블, 이들로부터 데이터를 수집하고 분석할 수 있도록 DAS(Data Acquisition System), 주행 중에 운전자가 중요 데이터를 확인할 수 있도록 보여주는 Indicator로 구성한다.



<그림 2-262> 장치 구성안

◎ 장치의 목표 성능

○ 개발하고자 하는 장치의 측정항목 중에서 매우 중요한 차량속도, 연료소모량, 차량하중에 대한 데이터의 정밀도를 측정하여 장비의 신뢰성을 확보하려고 전세계적으로 인정될 수 있는 시험방법을 선정하여 평가하려고 한다.

□ 주행거리

○ 1톤 화물차는 ‘자동차의 에너지효율 및 등급표시에 관한 규정’과 4.5톤 화물차는 ‘자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙’으로 시험하여 5% 이내로 측정되도록 목표성능을 선정한다.

□ 연비

○ 1톤 화물차는 ‘자동차의 에너지효율 및 등급표시에 관한 규정’과 4.5톤 화물차는 ‘자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙’으로 시험하여 5% 이내로 측정되도록 목표성능을 선정한다.

□ 차량 하중

○ 차량하중은 주행 중에 측정해야 하는데 전 세계적으로 공인된 시험방법이 없어서 일정거리 이상 주행하여 계근대에서 측정된 차량하중과 비교하여 5% 이내로 측정되도록 목표성능을 선정한다.

■ 장치 개발 및 제작

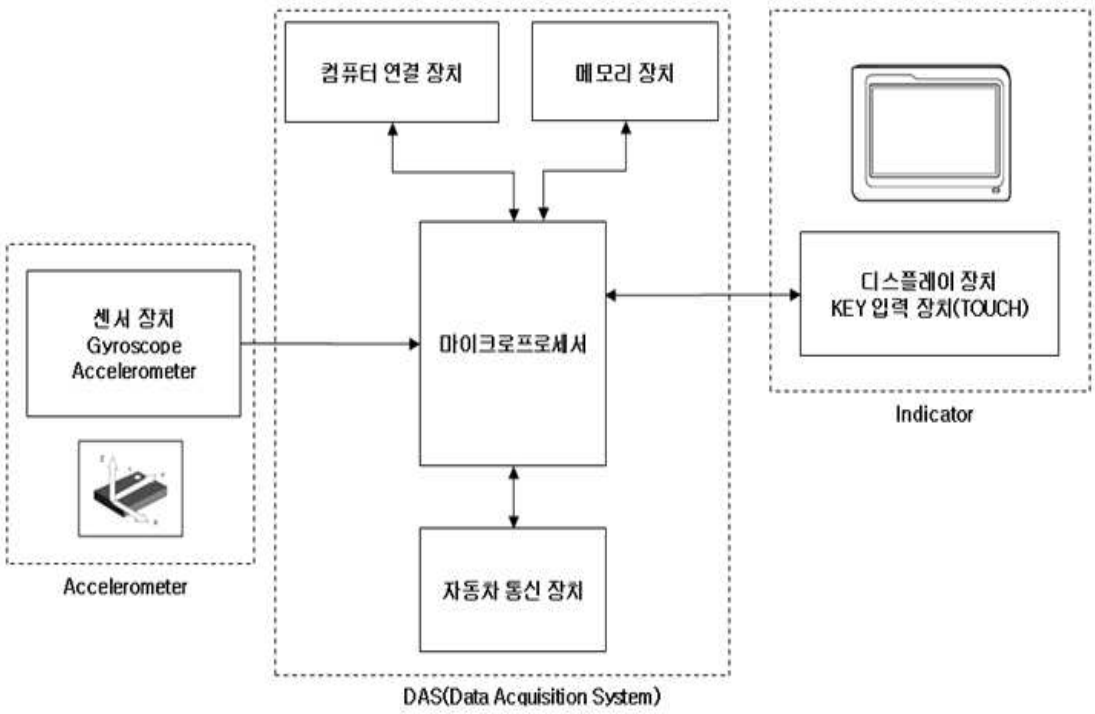
◎ 장치의 구성

○ 주행 중인 자동차에서 주행상태, 차량상태, 도로상태 등을 동시에 측정할 수 있어야 하기 때문에 도로의 종단경사와 차량의 가속도를 함께 측정하는 가속도센서, 차량 DLC(Data Link Connector)와 연결하여 차량의 주행상태를 측정하고 분석하는 DAS(Data Acquisition System), 그리고 실시간으로 측정되는 주행상태 값과 차량상태 값과 도로상태 값 등을 운전자에게 알려주는 Indicator로 구성된다.

○ 표시항목은 차량속도, 연료소모량, CO2배출량, 주행거리, 주행시간, 차량하중 등이며 이러한 값들을 한 화면에 4개씩 나누어 표시한다.

○ 이러한 표시항목을 나타내기 위해서 차량가속도, 도로종단경사, 엔진회전수, 가속페달 개도량, 냉각수온도 등을 추가로 측정한다.

○ 개발 초기의 시작품단계에서는 가속도센서와 시작품 본체로 구성해서 장치의 중요성능을 확인하고, 시제품단계에서 가속도센서, DAS, Indicator로 구성될 예정이다.



<그림 2-263> On-board 탄소배출량 측정 장치의 구성도

◎ 장치의 설계

□ 소프트웨어 개발

◇ 프로토콜 개발

○ 차량 내부의 여러 장치들을 제어하는 ECU(Electric Control Unit)가 내장되어 있어서 각각 특정한 규칙에 의해서 정보를 서로 공유하거나 제어하는데 이러한 특정 규칙을 프로토콜(Protocol)이라고 한다.

○ 차량으로부터 필요로 하는 주행 데이터를 얻기 위해서 차량 고유의 프로토콜 프로그램을 개발하였다.

▹ 승용차용 프로토콜 프로그램 개발

○ 모든 승용차에는 차량의 고장 여부를 확인하기 위해서 자기진단컨넥터(DLC : Data Link Connector)를 장착하고 있는데, 이 DLC를 통해서 엔진 ECU와 CAN통신 방식으로 연결하여 주행데이터를 취득할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

▹ 화물차용 프로토콜 프로그램 개발

○ 대부분의 화물차들은 J1939라고 하는 표준 프로토콜을 사용하여 차량을 제어하는데, 차량에 장착된 DLC를 이용하여 J1939 CAN네트워크에 접속하여 주행데이터를 취득할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

◇ 제어 프로그램 개발

○ 설계된 하드웨어를 구동할 수 있도록 다섯 가지의 프로그램으로 구성하여 제어프로그램을 개발하였다.

- 표시장치를 구동하고 글자를 출력하는 프로그램
- 차량으로부터 운행데이터를 취득하기 위해 개발한 승용 및 화물용 프로토콜을 이용하여 주행데이터를 받아서 처리하는 프로그램
- 가속도센서 모듈로부터 가속도값을 받아서 처리하는 프로그램
- 주행데이터와 가속도센서 데이터를 이용하여 차량하중을 계산하는 프로그램
- 수집된 데이터를 통합하여 저장하는 프로그램

◇ 하중 계산 알고리즘

○ 차량의 하중은 가속도센서나 DLC를 통해서 곧바로 측정되는 것이 아니고, 차량의 구동력과 주행저항을 분석해서 계산하여 구할 수 있다.

○ 차량은 움직이려고 하는 차량 구동력과 이를 못 움직이게 하려는 전주행저항이 동시에 존재하기 때문에 차량이 움직이기 시작하면 구동력과 전주행저항은 항상 같아지는데, 이 개념을 응용하여 정리하면 주행 중인 차량의 하중을 측정할 수 있게 된다.

◇ 실차 적용을 위한 상수값 설정 프로그램

○ 차량하중 알고리즘은 차량의 고유상수값, DLC로부터 측정되는 주행데이터, 가속도센서로부터 계산된 값들을 초당 4개씩 측정해서 차량하중을 계산한다.



<그림 2-264> 장비의 설정 프로그램

○ 프로그램에서는 차량의 고유상수값인 구름저항계수, 공기저항계수, 차량전투영면적 등을 입력하고, LPF 값을 설정한다.

○ 차량하중을 측정하기 위한 주행조건인 엔진회전수, 차속, 가속페달개도량, 차량가속도, 도로구배 등의 구간을 설정한다.

□ 하드웨어 설계

◇ 가속도센서 개발

○ 가속도센서는 차량의 가속도값과 도로의 기울기값을 측정하기 위해 Accelerometer를 내장한 센서모듈로서 차량의 앞차축과 뒷차축 또는 차량의 어느 곳에도 장착할 수 있도록 소형으로 설계하였다.

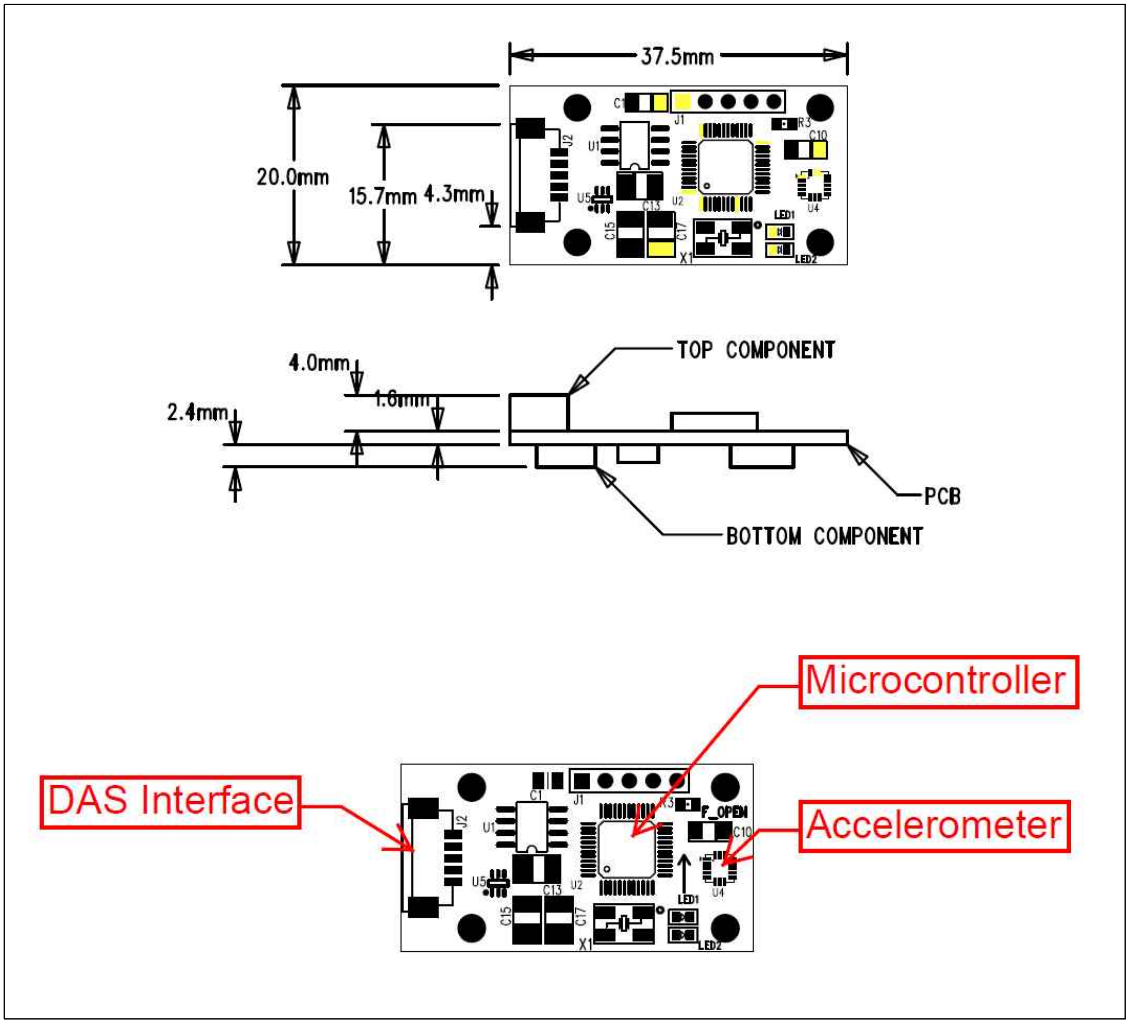
○ 반도체 제조사인 Freescale에서 생산된 3-Axis Linear Accelerometer를 적용하여 설계되어 있다.

○ 가속도센서는 DAS(Data Acquisition System)과 연결되어 있고, DAS에서 제어를 진행함. DAS와 가속도센서의 연결은 CAN통신을 이용하여 연결되어 있는데, 시스템 간의 CAN통신을 이용함으로써 유선으로 연결된 통신선의 길이에 대한 제한을 적게 받고 있으며 최대 500m까지 가능하다. 개발 장비에서는 앞차축과 뒷차축에 설치하는 것을 감안하여 각각의 가속도센서 배선 길이를 10m로 하였다. 이러한 방식을 사용하면 주변에서 발생되는 노이즈신호에 강하며, 또한 여러 장치들을 버스라인으로 연결이 가능하다.

○ 가속도센서가 차량의 앞차축과 뒷차축에 설치되기 때문에 외부환경에서 문제가 발생되지 않도록 방수 및 먼지 유입 방지를 위한 설계가 추가되었다.

<표 2-211> 가속도센서의 상세제원표

세부 항목	사양
CPU	STM32F, ARM 32-bit Cortex - M3 CPU
INTERNAL SRAM	6KBYTE
INTERNAL FLASH	32KBYTE
Accelerometer	Freescale Semiconductor FXLS8471 • 1.95 V to 3.6 V VDD supply voltage, 1.62 V to 3.6 V VDDIO voltage • ±2 g/±4 g/±8 g dynamically selectable acceleration full-scale ranges • Output Data Rates (ODR) from 1.563 Hz to 800 Hz • Low noise: typically 99 ❍g/Hz in low-noise mode @ 200-Hz bandwidth • 14-bit ADC resolution: 0.244 mg/LSB in ±2-g, full-scale range
POWER SUPPLY	+5.0Volt (DAS공급 받음)



<그림 2-265> 가속도센서의 부품배치도

◇ DAS(Data Acquisition System) 개발

○ 차량 내부에 있는 DLC를 통해서 차량의 ECU와 CAN통신을 할 수 있는 장치를 설계하였다. 아래 그림은 표준으로 사용하고 있는 DLC 핀의 명칭이다.

○ 차량의 센서값들을 저장하기 위해서는 승용차의 경우에 Standard OBD2 방식을 이용하고, 화물차의 경우에는 J1939통신을 이용하여 차량의 각종 센서 데이터값들을 수집하여 분석할 수 있도록 하였다.

○ 차량에서 수집된 각종 데이터들을 이용하여 차량의 주행거리, 주행시간, 연료소모량, CO2 배출량, 차량중량 등을 출력할 수 있도록 하였다.

○ 차량의 여러 가지 정보들과 DAS에 연결된 외부장치들의 정보를 저장하기 위해서 시스템 내부에 Micro SD Card를 장착하여 많은 양의 데이터를 저장할 수 있도록 하였다. 현재의 Micro SD Card 메모리 용량은 4GByte인데 메모리용량을 증가시키기 위해서 더 큰 용량의 메모리카드의 사용도 가능하게 하였다.

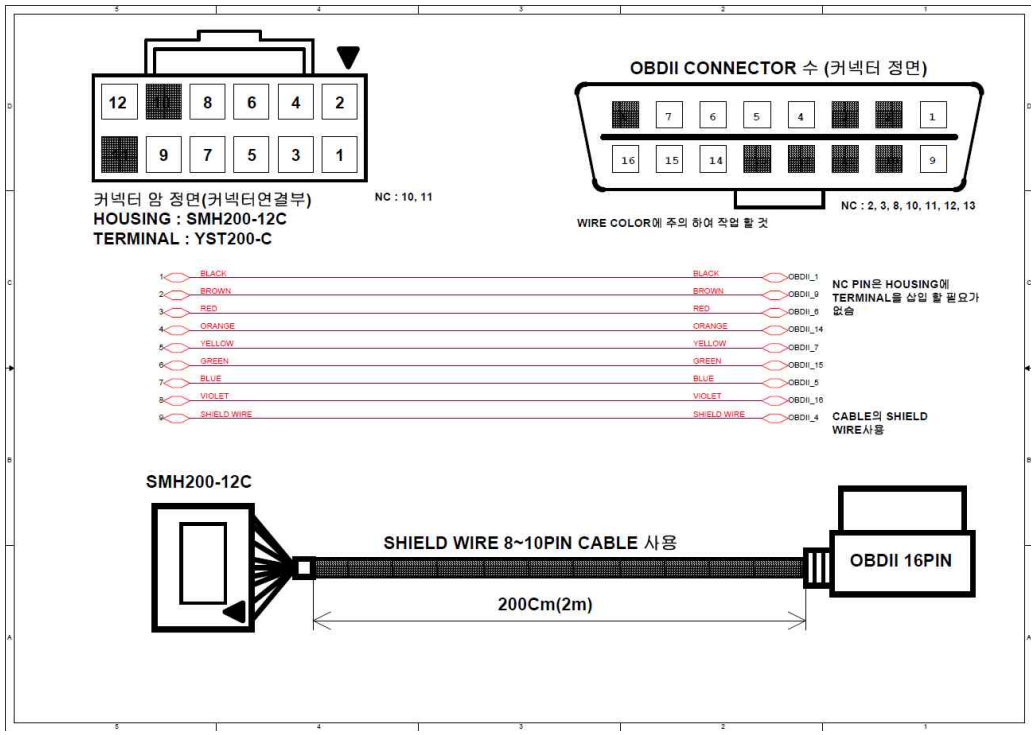
○ 저장된 메모리를 내려받기 위한 장치로 USB 포트를 추가하여 수집된 데이터를 쉽게 다운로

드할 수 있도록 하였고, 외부에 연결된 가속도센서 모듈과 연결이 되도록 하드웨어와 소프트웨어로 구성하였다.

○ 시스템 조작과 차량의 정보들을 출력하기 위한 Indicator와 연결이 가능한 하드웨어와 소프트웨어를 구성하였다.

○ 시스템의 ON/OFF 제어는 CAN통신 신호의 유무에 따라서 제어가 가능하도록 설계가 되어 있고, 차량 내에서 CAN통신이 활성화되면 시스템이 자동으로 ON될 수 있도록 설계하였다. 또한 차량과 CAN통신이 끊어지고 일정시간이 경과한 후 시스템이 OFF되게 하여 마지막 데이터 저장 시간을 확보할 수 있도록 하였다.

○ 과전압과 역전압에 대해서 시스템 보호를 위한 보호회로 추가로 제품의 신뢰성을 확보하도록 하였다.



<그림 2-266> DLC의 표준 핀 명칭

◇ Indicator 개발

○ 정전방식의 터치버튼을 적용하여 쉽게 장치상태를 확인할 수 있고, 조작이 간편하게 될 수 있도록 설계하였고, 각각의 부품들을 이용하여 Indicator가 쉽게 동작할 수 있도록 회로 및 프로그램을 설계하였다.

○ 화면표시 항목은 크게 두가지로 나누어서 볼 수 있도록 하였는데 첫 번째는 연료소모량, 주행거리, CO2 배출량, 차량중량을 표시하고, 두 번째는 연료소모량, 주행거리, 차량속도, 주행시간을 표시하도록 하였다.

○ CO2 배출량은 IPCC Guideline 2006의 Tier-1 계산방법에 따라서 휘발유는 1ℓ = 2384.123 CO2g, 경유는 1ℓ = 2824.412 CO2g으로 배출계수를 사용하였다.



<그림 2-267> Indicator의 표시항목

<표 2-212> DAS의 상세제원표

세부 항목	사양
CPU	STM32F, ARM 32-bit Cortex - M3 CPU
INTERNAL SRAM	64KBYTE
INTERNAL FLASH	256KBYTE
CAN PORT	CAN 2.0B 1PORT
COMMUNICATION PORT	USB 1PORT, SD MEMORY 1PORT, BLUE TOOTH(OPTION)
POWER SUPPLY	DC 7.0 ~ 35.0Volt(차량연결시) USB전원 사용 가능(PC 연결시)
TEMPERATURE	-20°C ~ +80°C
MEMORY	4GByte SD-CARD

<표 2-213> Indicator의 상세제원표

세부 항목	사양
CPU	STM710F, ARM7TDMI 32-bit RISC CPU
INTERNAL SRAM	64KBYTE
INTERNAL FLASH	256KBYTE
Display construction	128 Dots x 64 Dots
Display mode	FSTN, BLACK AND WHITE
Display type	Negative, Transflective
Viewing direction	6 o'clock
Operating temperature	Outdoor
Driving method	1/65 duty , 1/9 bias
Type	COG (Chip On Glass)
Number of data line	8-bit parallel and Only 8080MPU
Apllicated IC	S6B0724
Connector	Single-side FPC
LED backlighting	Emitting color : WHITE
POWER SUPPLY	DC 7.0 ~ 35.0Volt

□ Calibration 결과

○ 차대동력계 시험결과와 제작한 DAQ의 측정결과 1차 2.8%, 2차 2.94%의 오차율을 나타내어 Carbon Balance 방법의 오차를 고려할 때 매우 정확한 것으로 나타났다.

○ 다만 유종에 따라 다를 수 있으므로 3차년도 연구 대상인 경유 차량의 시험 시에는 다시 Calibration 해야 할 것으로 사료된다.

○ 한국산업기술시험원 또는 표준과학연구원에서 가능한 측정기기 정도관리를 통하여 정확도의 확인이 가능할 것으로 사료된다.

<표 2-214> 차대동력계를 통한 Calibration 결과

		1차 시험	2차 시험
주행거리(m)		12,048.5	11,949.5
비교시험(cc)	섀시다이나모	963.5	931.6
	제작 장비	936.5	904.2
	오차율(%)	2.80	2.94

⑤ 공법, 장비운용 등을 조합한 최적 녹색시공 기법 개발

■ 시공절차 및 건설장비 분석을 통한 시뮬레이션 모델 구축

◎ 주요 공종별 시뮬레이션 모델 구축

○ 시뮬레이션이란 일반적으로 적절한 소프트웨어를 사용하여 컴퓨터상에서 현실의 시스템의 거동을 흉내내기위한 방법과 적용의 광범위한 집합을 말한다. 시뮬레이션은 프로세스의 본질에 대한 일반적인 통찰력을 제공하고 불확실성을 가진 대상에 대한 최적의 계획 수립을 가능하게 하는 대표적인 방법론이다.

○ 시뮬레이션을 이용하여 실제 현장에서 발생할 수 있는 상황과 제한 조건들을 가상의 컴퓨터 공간에서 구현함으로써, 공정계획 및 비용을 포함한 공사 관리에서 최적의 방안을 계획할 수 있는 효과적인 관리 도구이다(Lee et al. 2007). 또한 실제 공사 수행 시에 발생할 수 있는 제한사항과 문제점을 예측하고 분석해볼 수 있는 기회를 제공한다.

○ 건설프로젝트는 현장의 독특한 환경과 상황에서 수행되기 때문에 일반 제조업과는 달리 높은 레벨의 위험성을 지닌 상태로 수행된다. 또한 기 수행된 프로젝트는 동종 산업의 유사프로젝트라 하더라도 진행될 프로젝트의 참고로서 적용되기에 한계를 갖고 있다. 그러한 일회성의 성격을 지닌 건설공사에 있어 진행될 건설공정을 프로세스 시뮬레이션을 통한 실험과 검증은 매우 중요한 도구로서 개발되어졌다.

○ 특히 CPM(Critical Path Method)과 PERT(Program Evaluation and Review Technique)와 같은 공정관리 프로세스를 통해 건설공기를 관리함에 있어서 공사현황을 파악하고, 진행 상황과 예측된 계획과의 효율적인 모니터링을 위해서 프로세스 시뮬레이션의 적용의 중요성이 증대되고 있다.

○ 일반적으로 프로세스 시뮬레이션을 통해 건설공사가 실제 진행되기 이전에 건설상항을 예측하고 효과적인 장비운영을 통해 최적의 비용으로 최대한의 이익을 창출하는 것이 프로세스 시뮬레이션의 목적이라 할 수 있다. 하지만 시뮬레이션 모델링에 대한 기초지식의 부재와 적용의 어려움으로 인해 현재 진행되는 대부분의 건설공사에 있어서 프로세스 시뮬레이션과 연계하여 공사를 진행하는 것은 매우 제한적인 것이 현실이다. 따라서 시뮬레이션과 공정과 연계된 시스템을 통하여 실제 실행해볼 수 없는 건설프로젝트에 접목시켜 가상실험을 통해 프로젝트를 예측하고 가장 효율적인 운영방안을 도출하여 건설공사의 부가가치를 높일 수 있을 것이라 생각된다.

○ 본 연구에서는 다양한 시뮬레이션 도구 중 ARENA 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하였다. ARENA는 미국 Rockwell Software사 제품으로 PC기반의 시뮬레이션 언어로 설명과 예측, 측정에 효과적이고, 효율적인 공사 수행에 도움을 주는 프로세스 시뮬레이션 도구이다.

○ ARENA 시뮬레이션은 전 세계적으로 시뮬레이션 모델링 분야에서 선도적인 패키지 중 하나이며, 강력하고 적극적인 사용자 기반을 보유하고 있다(Altiok and Melamed, 2007). 특히 ARENA

는 산업공학 분야에 사용되어지며 시뮬레이션 모델을 구축하는데 결합할 수 있는 분석 모듈들을 제공함과 동시에 각 요소들 사이의 복잡한 관련성을 표현할 수 있다. 또한 다양성과 불확실성에 의한 부정확성을 제거하여 비용 낭비를 유발하는 병목 현상을 제거하고 여러 가지 대안 중 최적의 대안을 찾아주는 기능 등 성공적인 프로젝트 수행을 위한 다양한 장점들을 가지고 있다.

○ 따라서 본 연구는 Arena를 활용하여 건설공사의 주요 공종을 대상으로 프로세스 시뮬레이션을 적용함으로써, 시뮬레이션 모델 구축을 통한 예상 공사비 및 공사기간 산정과 최적의 자원 선정을 위한 도구로 활용하였다.

□ 포장공사 시공절차 분석을 통한 시뮬레이션 모델 구축

○ 도로공사는 사용장비의 종류와 시기가 비슷하고 동일한 공종을 반복적으로 수행하는 특성상 건설장비의 선정과 조합은 품질향상 및 원가절감의 가장 중요한 요소이다. 전체적인 연구 수행에 앞서 건설장비의 활용도가 높은 아스팔트 도로공사를 대상으로 공종별 작업 단계 및 가용할 수 있는 장비들을 분류하는 연구를 수행하였다.

○ 기존의 도로공사 관련 문헌에서는 아스팔트 도로공사에 대한 통합된 표준 공종체계가 존재하지 않고 공종에 따른 사용 장비조합 또한 조금씩 상이하다. 따라서 다양한 아스팔트 도로공사 관련 문헌을 검토하고 종합하여 공종별 표준장비조합 체계를 정립하고자 한다.

○ 아스팔트 도로공사의 공종별 장비는 대체적으로 운반, 포설, 다짐장비로 구분할 수 있는데, 해당공사의 비용과 기간, 건설현장의 상황 등 다양한 요소로 인하여 사용장비가 조금씩 달라지므로 다양한 장비의 조합이 가능하다.

○ 아래는 국도건설공사설계실무 및 도로공사 표준시방서에서의 아스팔트 공사의 공종별 사용장비 조합을 분류한 것이다.(국도건설공사 설계실무요령, 도로공사 표준시방서 발췌 및 참고)

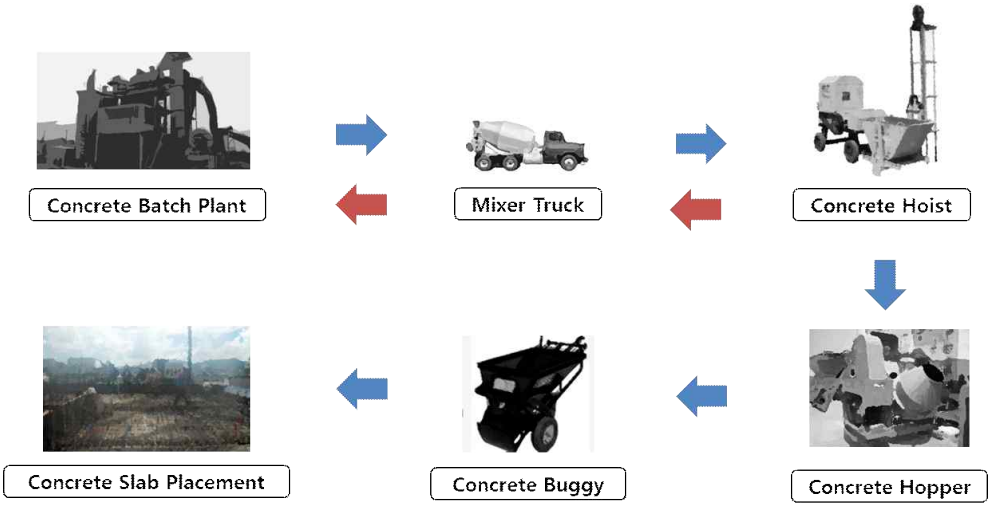
<표 2-215> Equipment combinations breakdown structure of asphalt road construction 1

공종	국도건설공사설계실무요령	도로공사 표준시방서
프라임 코팅	아스팔트 스프레이 (수동식 400L)	아스팔트 디스트리뷰터, 엔진, 핸드 스프레이
택코팅	아스팔트 스프레이 (수동식 400L)	아스팔트 디스트리뷰터, 엔진, 핸드 스프레이
아스콘 기층 (포설 및 다짐)	아스팔트 피니셔(3m) 머케덤롤러(10-12ton) 타이어롤러(8-15ton) 진동롤러(10ton), 살수차(16,000L)	자주식 아스팔트 피니셔 머케덤롤러(8ton이상) 2축식텐덤롤러(6ton이상) 타이어롤러(10ton이상)
아스콘 중간층 (포설 및 다짐)	아스팔트 피니셔(3m) 머케덤롤러(10-12ton) 타이어롤러(8-15ton) 텐덤롤러(5-8ton), 살수차(16,000L)	자주식 아스팔트 피니셔 머케덤롤러(8ton이상) 2축식텐덤롤러(6ton이상) 타이어롤러(10ton이상)
아스콘 표층 (포설 및 다짐)	아스팔트 피니셔(3m) 머케덤롤러(10-12ton) 타이어롤러(8-15ton) 텐덤롤러(5-8ton), 살수차(16,000L)	자주식 아스팔트 피니셔 머케덤롤러(8ton이상) 2축식텐덤롤러(6ton이상) 타이어롤러(10ton이상)

□ 콘크리트 타설공사의 시공절차 분석을 통한 시뮬레이션 모델 구축

○ 콘크리트 공사에서 양질의 구조체가 얻어질 수 있도록 가장 합리적인 시공계획을 세우기 위해서는 콘크리트 타설기계, 철근조립 공법, 거푸집 공법을 적절하게 선정하고 이들 작업이 원활하게 시행되도록 검토하여야 하며, 동시에 급・배수시설, 운반계획, 다짐방법, 조명 등의 전기설비, 인원계획도 검토하여야 한다. 콘크리트는 물. 시멘트. 모래. 자갈과 각종 혼화재를 섞어서 사용을 하며, 일반적으로 알고 있는 레미콘은 콘크리트 제조공장에서 Bathcer Plant로 비벼서 레미콘차로 현장으로 운반하여 부어넣는 것을 뜻한다.

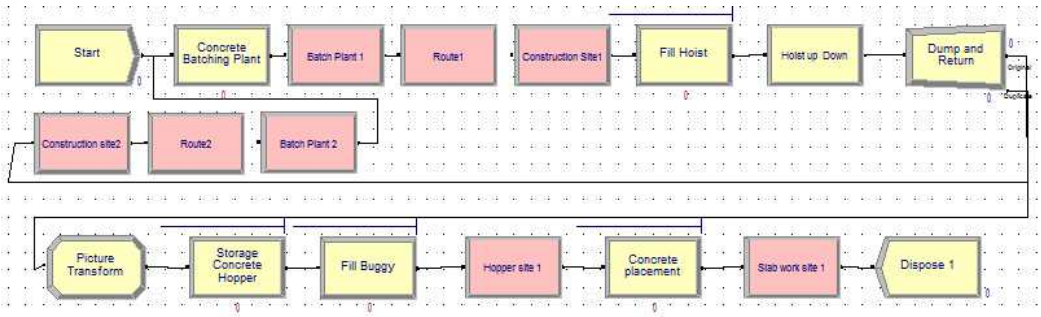
○ 콘크리트 공사는 일반적인 건설공사 수행에 있어 가장 중요한 작업 중 하나이며, 철골공사에 비해 공사기간이 긴 단점에도 불구하고 구조방식이 간단하고 시공이 용이함에 따라 현장에서 지속적으로 사용되고 있다.



<그림 2-268> Concrete slab casting basic logic

○ 콘크리트 배치 플랜트에서 생산된 콘크리트는 믹서트럭에 적재된 후, 타설 현장으로 운반된다. 운반된 콘크리트는 호이스트로 이동하게 되며, 각 트럭 및 호이스트 적재 용량에 따라 반복 운반 작업이 수행되어 진다. 운반 완료된 콘크리트는 다시 작업 층의 호퍼에 저장되며, 소규모 운반 장비를 활용하는 작업자들에 의해 해당 구역의 포설이 완료된다.

○ 위의 콘크리트 슬래브 타설에 대한 세부 작업 절차에 따라, 콘크리트 생산, 운반, 저장, 포설의 시뮬레이션 모델로 구현하였다.

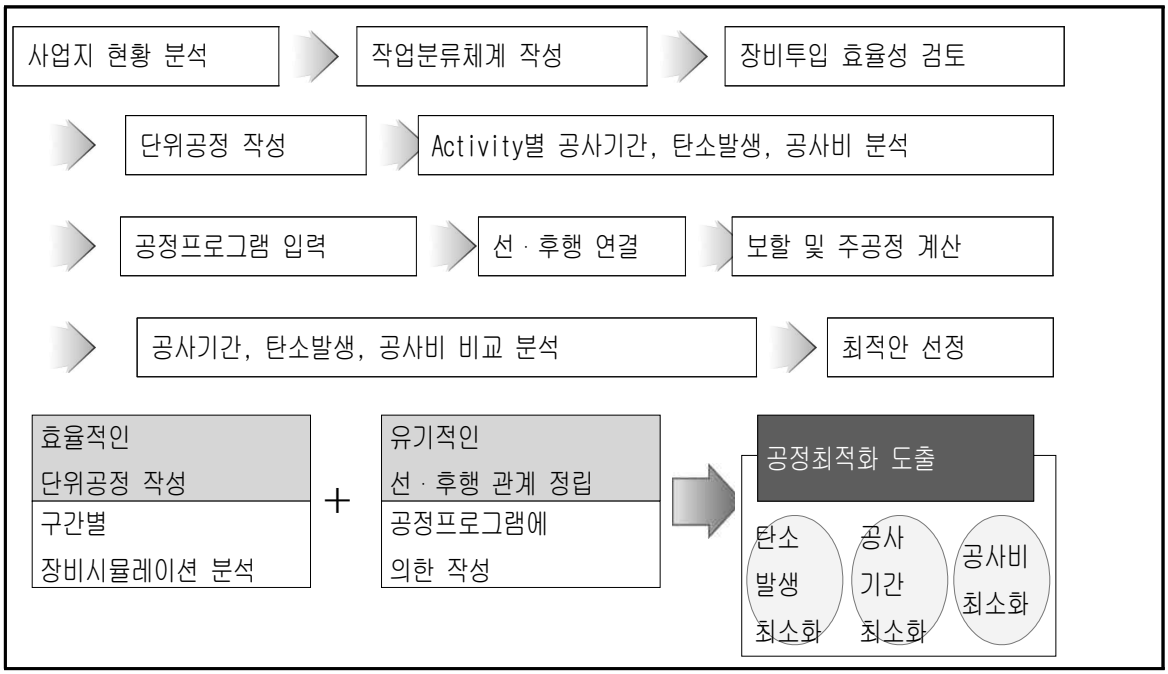


<그림 2-269> Concrete slab casting simulation model

■ 탄소저감을 위한 공정관리 최적화 방안 제시

□ 공정최적화를 위한 작업순서

○ 탄소저감을 위한 공정최적화 관리요소 중 공법변경에 의한 공정변경이 가장 높은 비중을 차지하며, 가변적인 현장조건에 따라 적용여부가 결정된다. 기존 공정관리체계에서 누락되는 장비투입에 대한 효율성 검토 및 단위공정에 대한 공정프로그램과의 연계성을 구축하여서 공정을 최적화 하였다.



<그림 2-270> The concept and process optimization studies performed procedures

□ 공사기간, 투입비용, 탄소배출량을 고려한 공정관리 최적화

○ 장비조합 시뮬레이션을 활용하여 공기최적과 투입비용 최적안은 장비투입으로 인한 비용, 장비능력에 의한 기간만을 각각 따로 고려한 최적안이지만 이러한 경우 장비의 생산성만을 고려하여 최적안을 찾기 때문에 전체 공정에 대한 최적안이라 할 수 있다.

○ 비용, 시간 탄소배출량 3가지 조건을 각각 따로 고려하지 않고 상관관계를 고려하여 최소공사비의 공정계획, 최소공사기간의 공정계획, 최소탄소발생량 공정계획을 찾는 방법을 제시하였다.



도출한 최적해를 활용하여 필요한 정보 도출 (총공사비, 총공사기간, 총탄소량, 최적장비조합)

<그림 2-271> Duration, Cost, Carbon Emission For Project Management Optimization

■ 탄소저감을 위한 공정관리 모델 타당성 검증

○ 본 연구에서 제시한 '탄소저감을 위한 공정관리 최적화 모델'의 타당성 검증과 '탄소저감을 위한 녹색도로 편람' 수요자의 만족도를 조사를 위해 시공사, 설계사, 엔지니어 등을 대상으로 리커트 척도를 이용한 설문조사를 실시하였다.

<표 2-216> Survey Overview

설문1. 탄소저감을 위한 공정관리 최적화 모델 타당성	
조사대상	시공사, 설계사, 엔지니어링 회사 근무 경력자
조사인원	25명
조사방법	설문지 작성법
조사시기	2014년 12월 ~ 2015년 1월

설문2. 탄소저감을 위한 녹색도로 편람 만족도	
조사대상	시공사, 설계사, 엔지니어링 회사 근무 경력자
조사인원	25명
조사방법	설문지 작성법
조사시기	2014년 12월 ~ 2015년 1월

□ 조사 산출 방법

○ 본 연구에서 설문조사 된 항목은 5점 척도를 100점으로 환산하여 타당성 및 만족도를 수치로 나타내었다. 5점 척도를 100점 만점으로 환산할 경우, 통상적으로 인지되는 느낌에 좌우될 수 있으므로 무조건 매우 부정을 0점(Min), 매우긍정을 100점(Max)으로 정할 수는 없으나, 본 연구에서는 최상점(Max)를 100점, 최하점(Min)을 0점으로 적용하였다.

○ k점 척도 점수 X를 100점 만점으로 환산한 점수 P는 아래 식으로 산출 할 수 있다.

$$P = Min + A^{*}(X-1)$$

$$(A = \frac{Max - Min}{k-1})$$

○ 위 식에 의해 본 연구에서 환산한 5점 척도의 점수는 아래와 같다.

<표 2-217> 5-point scale in terms of points (out of 100)

매우 그렇다(매우 만족)	→	100점
그렇다(만족)	→	75점
보통이다(보통)	→	50점
그렇지 않다(불만족	→	25점
전혀 그렇지 않다(매우 불만족)	→	0점

○ 무응답을 체크하거나 답변을 하지 않은 경우에는 100점 환산 시 제외 하였으며, 평균 산출방법은 아래와 같다.

$$\text{평균} = \frac{(\text{응답수} \times 100 + \text{응답수} \times 75 + \text{응답수} \times 50 + \text{응답수} \times 25 + \text{응답수} \times 0)}{\text{전체응답수}}$$

□ 설문지 항목 작성

○ 설문1의 탄소저감을 위한 공정관리 최적화 모델의 타당성을 평가하기 위해 6개의 항목을 작성하였다.

<표 2-218> Adequacy of process control optimization model for carbon reduction(Survey 1)

설문1. '탄소저감을 위한 공정관리 최적화 모델'이 타당하다고 생각하시는지 평가해 주십시오.					
	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다
	1	2	3	4	5
최적화 모델의 흐름이 체계적이다	○	○	○	○	○
실제 현장 사항을 잘 반영하고 있다	○	○	○	○	○
공정관리에 유용하다	○	○	○	○	○
실무에 도움이 된다	○	○	○	○	○
실무 적용이 가능하다	○	○	○	○	○
탄소저감 효과가 있다	○	○	○	○	○

○ 설문2의 탄소저감을 위한 녹색도로 편람의 만족도를 평가하기 위해 5개의 항목을 작성하였다.

<표 2-219> Green Road handbook satisfaction for carbon reduction(Survey 2)

설문2. '탄소저감을 위한 녹색도로 편람'의 만족도를 평가해 주십시오.					
	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다
	1	2	3	4	5
내용 구성이 체계적이다	○	○	○	○	○
내용을 이해하기 쉽다	○	○	○	○	○
공정관리에 유용하다	○	○	○	○	○
실무에 도움이 된다	○	○	○	○	○
실무 적용이 가능하다	○	○	○	○	○

『공법, 장비운용 등을 조합한 최적 녹색시공 기법 개발』
연구 타당성/만족도 설문조사

안녕하십니까?

본 조사는 국토교통부의 “탄소중립형 도로 기술개발에 관한 연구”과제(세부과제 “공법, 장비운용 등을 조합한 최적 녹색시공 기법 개발에 관한연구”의 연구 성과 타당성 및 만족도를 알아보기 위해 실시하고 있습니다.

국가 R&D의 기술가치평가 적용 활성화를 위해 본 조사를 실시하오니 바쁘시더라도 협조해 주시기 바라며, 본 설문은 세부과제의 연구성과 검증을 목적으로만 사용될 것이며 목적 이외에 어떠한 경우에도 다른 용도로 사용되지 않을 것입니다.

기 관 명	업 종		부 서	
작 성 자			전 화	
팩 스			이 메 일	

■ 문 의 처 : 김민지(********), 이경희(********)
TEL: 02) 571-1780(152), FAX: 02) 571-1758

※ 설문지 파일이 필요하신 경우 전화주시면 전송하여 드리겠습니다.

2014. 12

『공법, 장비운용 등을 조합한 최적 녹색시공 기법 개발』 연구 타당성 및 만족도를 위한 설문조사

설문 1. '탄소저감을 위한 공정관리 최적화 모델'이 타당하다고 생각하시는지 평가해 주십시오.(해당 답변에 체크 √ 해주세요.)

	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다
	1	2	3	4	5
최적화 모델의 흐름이 체계적이다	○	○	○	○	○
실제 현장 사항을 잘 반영하고 있다	○	○	○	○	○
공정관리에 유용하다	○	○	○	○	○
실무에 도움이 된다	○	○	○	○	○
실무 적용이 가능하다	○	○	○	○	○
탄소저감 효과가 있다	○	○	○	○	○

설문 2. '탄소저감을 위한 녹색도로 편람'의 만족도를 평가해 주십시오. (해당 답변에 체크 √ 해주세요.)

	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다
	1	2	3	4	5
최적화 모델의 흐름이 체계적이다	○	○	○	○	○
실제 현장 사항을 잘 반영하고 있다	○	○	○	○	○
공정관리에 유용하다	○	○	○	○	○
실무에 도움이 된다	○	○	○	○	○
실무 적용이 가능하다	○	○	○	○	○
탄소저감 효과가 있다	○	○	○	○	○

□ 설문조사 상세 내용 분석

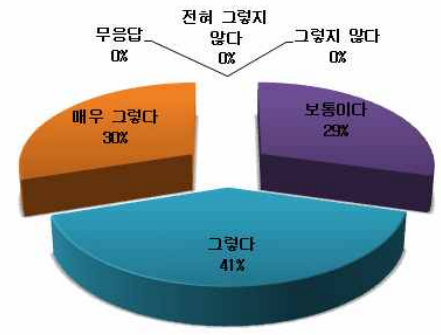
<표 2-220> Process control optimization model feasibility survey for carbon reduction(Survey 1)

설문1. '탄소저감을 위한 공정관리 최적화 모델' 이 타당하다고 생각하시는지 평가해 주십시오.	구분	무응답	전 혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매 우 그렇다	100점 환산
		0	1	2	3	4	5	
최적화 모델의 흐름이 체계적이다	응답수	0	0	0	3	12	10	82.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	12.0%	48.0%	40.0%	
실제 현장 사항을 잘 반영하고 있다	응답수	0	0	0	10	10	5	70.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	40.0%	40.0%	20.0%	
공정관리에 유용하다	응답수	0	0	0	7	11	7	75.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	28.0%	44.0%	28.0%	
실무에 도움이 된다	응답수	0	0	0	12	7	6	69.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	48.0%	28.0%	24.0%	
실무 적용이 가능하다	응답수	0	0	0	3	11	11	72.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	12.0%	44.0%	44.0%	
탄소저감 효과가 있다	응답수	0	0	0	5	13	7	83.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	20.0%	52.0%	28.0%	
합 계		0	0	0	44	61	45	75.2

○ 설문조사 결과, '탄소저감을 위한 공정관리 최적화 모델'의 타당성 점수가 75.2점으로 5점 척도의 4점(75점), 긍정도 80%이상으로 타당성이 검증되었다. '탄소저감을 위한 공정관리 최적화 모델'의 타당성 평가 항목 중 탄소저감 효과에 대한 항목이 83.0점으로 가장 높았으며, 모델 구성에 따른 흐름도가 체계적인 것이 82.0점으로 전문가들의 긍정적인 평가를 받았다.

<표 2-221> Results of the survey rationality

구분	응답수
매우 그렇다(매우 만족)	45
그렇다(만족)	61
보통이다(보통)	44
그렇지 않다(불만족	0
전혀 그렇지 않다(매우 불만족)	0
무응답	0
평균	75.2



<그림 2-272> The resulting graph

○ 설문조사2 에 의한 응답자 결과는 아래와 같다.

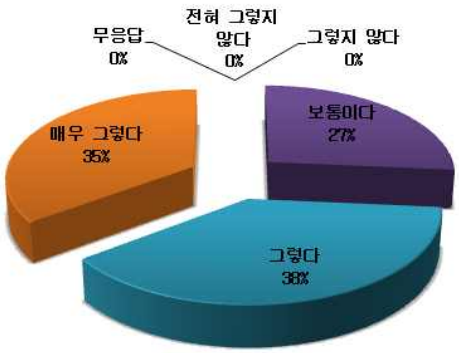
<표 2-222> Green Road handbook satisfaction survey results for carbon reduction

설문2. '탄소저감을 위한 녹색도로 편람' 의 만족도를 평가해 주십시오.	구분	무응답	전 혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매 우 그렇다	100점 환산
		0	1	2	3	4	5	
내용 구성이 체계적이다	응답수	0	0	0	5	10	10	80.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	20.0%	40.0%	40.0%	
내용을 이해하기 쉽다	응답수	0	0	0	7	8	10	78.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	28.0%	32.0%	40.0%	
공정관리에 유용하다	응답수	0	0	0	6	11	8	77.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	24.0%	44.0%	32.0%	
실무에 도움이 된다	응답수	0	0	0	8	9	8	75.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	32.0%	36.0%	32.0%	
실무 적용이 가능하다	응답수	0	0	0	7	10	8	76.0
	비율	0.0%	0.0%	0.0%	28.0%	4.0%	32.0%	
합 계		0	0	0	33	48	44	77.2

○ 설문조사 결과, '탄소저감을 위한 녹색도로 편람'의 만족도 점수가 77.2점으로 5점 척도의 4점(75점), 긍정도 80%이상으로 만족도가 큰 것으로 나타났다. '탄소저감을 위한 녹색도로 편람'의 만족도 평가 항목 중 편람의 내용구성의 체계적인 부분이 80.0점으로 전문가들에게 가장 큰 점수를 받았으며, 이에 따른 편람의 이해도가 용이한 부분이 78.0점으로 긍정적인 평가를 받았다.

<표 2-223> Results of the survey rationality

구분	응답수
매우 그렇다(매우 만족)	33
그렇다(만족)	48
보통이다(보통)	44
그렇지 않다(불만족	0
전혀 그렇지 않다(매우 불만족)	0
무응답	0
평균	77.2



<그림 2-273> The resulting graph

2. 2세부 과제-탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발

가. 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발(2-1-1)

(1) 페이스트의 이산화탄소 흡수 평가 및 역학적 특성 평가

① 산업부산물 및 활성화 기법 1차 선정 (기초 배합)

㉮ 산업부산물 선정

○ 기존 문헌들을 참고하여 시멘트를 대체하기 위한 지지체로써 플라이애쉬, 고로슬래그, 제지슬래그, LDH(layered double hydroxide) 등을 선정하고, 활성화제로는 이산화탄소 흡수제 및 콘크리트 활성화제로 사용되는 NaOH와 Ca(OH)2를 선정하였다.

○ 산업부산물의 이산화탄소 흡수능 향상을 위한 활성화 방법은 물리적으로 단순히 혼합하는 방법과 화학적 반응을 이용한 함침법의 2가지 방식을 적용하여 비교 평가하였다.

㉯ 활성화 기법 선정

■ 혼합법

○ 분말 상태의 산업부산물과 활성화제를 혼합한 후 시멘트와 물을 투입하여 혼합한 뒤 75℃에서 24시간 건조 시켰다.

○ 시멘트와 산업부산물의 비율은 2 : 7로 산업부산물의 종류와 관계없이 일정하게 제조하였고, 24시간 건조 시킨 흡수제는 분쇄한 뒤 체거름하여 일정 크기 입자로 만들어 이산화탄소 흡수 평가를 진행하였다.

■ 함침법

○ 함침법은 산업부산물을 액상 활성화제와 충분히 화학적으로 반응시킨 후 결합재로 활용함으로써 산업부산물의 이산화탄소 흡수능을 보다 더 활성화시킬 수 있을 것이라 사료되어 적용한 제조 방법이다.

<표 2-224> 함침법을 적용한 이산화탄소 흡수제 제조 방법

	1. 산업부산물 60 g을 105℃의 오븐에서 건조시킨다.
	2. 건조된 산업부산물을 준비한 5 N의 염기 용액(NaOH 또는 $Ca(OH)_2$) 150 ml과 혼합한다.
	3. Shaking incubator에 30분 동안 교반시킨다.
	4. falcon tube에 50 ml씩 나누어 담는다.
	5. 원심분리기에서 4,000 rpm으로 5분 동안 분리시킨다.

	6. 원심분리 된 후 상등액을 버리고, 다시 5 N 염기 용액을 50 mL까지 넣은 후 섞어 3~5 과정을 3번 반복한다.
	7. 3번 세척이 끝난 시료는 원심분리 후 상등액을 버리고 다시 105℃의 오븐에 건조한다.
	8. 건조 완료된 시료를 다시 powder 형태로 분쇄한다.
	9. 세척 후 분쇄한 시료와 시멘트를 일정 비율로 혼합한다.
	10. 물과 혼합하면서 두 물질이 뭉쳐질 수 있도록 반죽한다.
	11. 20번, 40번 체를 이용하여 10의 반죽된 혼합물을 거른다. 이때, 20번을 통과하고 40번을 통과하지 못한 pellet 형태의 흡수제를 사용한다. (size 0.4~0.8mm)



<그림 2-274> 본 과제에서 선정한 지지체 및 활성화제와 활성화 기법

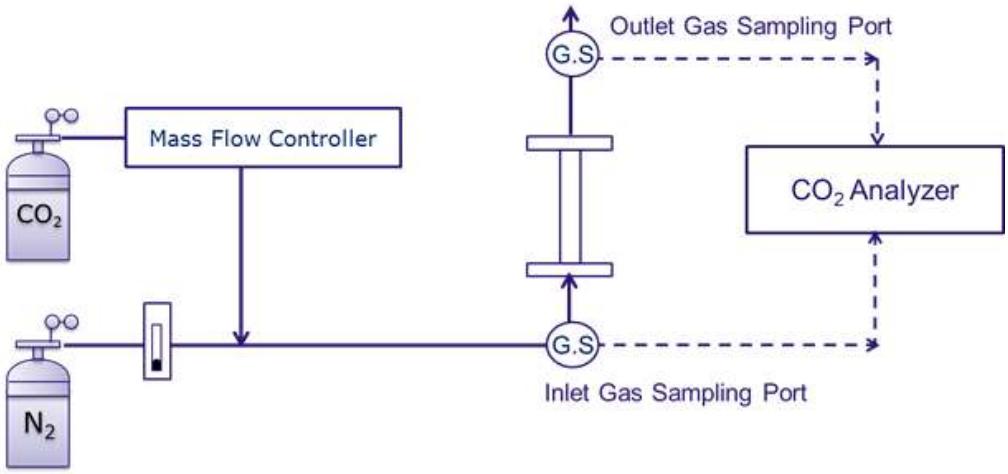
② 입자상 페이스트의 이산화탄소 흡수 column test

○ 위에서 혼합법 및 함침법으로 제조한 입자상 이산화탄소 흡수용 페이스트의 이산화탄소 흡수 column test는 다음의 방식으로 진행된다.

○ Column에 제조한 입자상 페이스트를 투입하고 일정 농도의 이산화탄소를 연속으로 유입시키며 입자상 페이스트를 통과한 이산화탄소 농도를 측정하여, 유입되는 농도와 입자상 페이스트를 통과한 후의 농도변화를 통해 흡수량을 평가한다.

○ 이 때 유입되는 이산화탄소 유량은 유량계로 일정하게 유지시키고 유입되는 이산화탄소 농도는 질소를 이용하여 일정하게 만든다.

○ 실험에 사용된 이산화탄소 농도 측정기는 (Li-COR INC. USA)를 이용하여 측정하였으며, 이 기기는 이산화탄소가 특정 파장의 적외선을 흡수하는 성질을 이용하여 이산화탄소 농도를 측정한다.



<그림 2-275> 이산화탄소 흡수 실험 column 모식도

③ 산업부산물 선정 및 최적 배합 도출

■ 산업부산물 및 활성화제 종류 선정

○ 위의 기초 배합 및 활성화 기법으로 제조한 산업부산물별 이산화탄소 흡수능을 평가하고 이를 바탕으로 페이스트에 적용하고자 하는 산업부산물을 선정하였다.

○ 페이스트 배합에 최종적으로 선정된 결합재는 고로슬래그와 플라이애쉬이며, 활성화제로는 Ca(OH)2를 사용한 1단계 배합을 실행하였으며, 2단계 배합에서는 활성화제를 Ca(OH)2(수산화칼슘), Na2SiO3(규산나트륨) 및 NaOH(수산화나트륨)의 3가지 종류를 투입하여 실험을 수행하였다.

■ 페이스트 최적 배합 도출

○ 시멘트를 일정비율 대체하는 것이 아닌 무시멘트 개념으로 접근하여 고로슬래그만을 이용하여 이산화탄소 포집 효능을 극대화 하고 최대 얻을 수 있는 강도를 확인하고자 하였다.

○ 바인더와 물의 비율은 1차로 0.5로 고정하고 진행하며 추후 이산화탄소 포집능과 강도등의 결과를 바탕으로 조정하였다.

○ 활성화제는 Ca(OH)2를 기본 활성화제로 사용하며, 활성화제와 바인더 비율은 0.1을 기준으로 조정하며 테스트 진행하여 최적 페이스트 배합을 도출하고, 이를 추후 모르타르 배합에 적용하고자 하였다.

<표 2-225> 탄소흡수용 페이스트 1차 배합표

시료명	Binder (g)	Activator(g)	Water (g)	W/B	A/B	Activator
		$Ca(OH)_2$				
CB_CH	1000	100	600	0.6	0.1	CH
CF_CH		100				CH

*CB : Blast furnace slag, CF : Fly ash, CH : $Ca(OH)_2$(Calcium hydroxide)

<표 2-226> 탄소흡수용 페이스트 2차 배합표

시료명	Binder (g)	Activator(g)			Water (g)	W/B	A/B	Activator
		$Ca(OH)_2$	NaOH	Na_2SiO_3				
CB_SH_SS	1000	-	75	10	500	0.5	0.085	SH:SS(7.5:1)
CF_SH_SS		-	75	10				SH:SS(7.5:1)
CB_CH_SS		75	-	10	500	0.5		CH:SS(7.5:1)
CF_CH_SS		75	-	10				CH:SS(7.5:1)

*CB : Blast furnace slag, CF : Fly ash, SH : NaOH(Sodium hydroxide), SS : Na_2SiO_3(Sodium Silicate)

④ 페이스트의 화학적 특성 분석

○ 활성산업부산물을 활용하여 제조한 도로재료의 화학적 특성을 확인하고자 이산화탄소 흡수 실험용으로 제조한 페이스트의 화학적 특성을 분석하였다.

<표 2-227> 기기분석 진행한 페이스트 배합표

시료명	바인더 (g)		$Ca(OH)_2$ (g)	배합수 (ml)	이산화탄소 흡수량 ($g-CO_2/kg$)	비고
	시멘트	고로슬래그				
S0Ca12	100	-	12 (6N)	50	4.3	OPC 대조군
S100Ca6	-	100	6 (3N)	50	17.2	
S100Ca12	-	100	12 (6N)	50	23.1	
S100Ca24	-	100	24 (12N)	50	32.7	

㉮ XRF (X-Ray Fluorescence)

○ 본 과제에서 이산화탄소 흡수 실험을 위해 개발한 도로재료의 화학적 특성을 확인하고자 이산화탄소 흡수 실험용으로 제조한 페이스트의 화학적 특성을 XRF 기기를 이용하여 분석하였다.

○ 활성화제의 투입 노르말 비율에 따른 화학적 특성 변화를 확인하고자 활성화제 비율을 3, 6, 9, 12N 의 4종류로 변경하여 제조한 시료 4종류를 분석하였다.

○ 이산화탄소 흡수 반응 전후에 따라 페이스트 내부의 화합물의 변화량을 확인하기 위해 각 시료별 이산화탄소 흡수 실험 전 후의 입자상 페이스트의 화학적 특성을 비교하였다.

○ XRF 분석은 Rigaku 사의 ZSX-100e(Japan)을 사용하였으며, 화합물의 정량분석을 위해 EZS001XNV 프로그램을 활용하였다.

㉯ FESEM (Field Emission Scanning Electron Microscope)

○ 알칼리 활성화된 고로슬래그와 OPC 생성수화물의 형상을 확인하기 위해서 각 입자상 페이스트의 표면을 SEM으로 분석하였다.

○ 활성산업부산물 활용 콘크리트의 이산화탄소 흡수 실험 전후의 표면의 특성을 확인하고자 이산화탄소 흡수 실험용으로 제조한 페이스트의 표면을 분석하여 결과를 비교하였다.

○ SEM 분석에 사용한 시료는 양생이 끝난 후 대기 중의 이산화탄소와의 반응을 방지하기 위해 질소 충진한 튜브에 넣어서 보관하였고, 이산화탄소 실험에 사용한 페이스트도 실험 종료 후

동일한 조건으로 보관 후 기기 분석 진행하였다.

○ SEM 분석 시료는 백금으로 1분간 코팅 후 HITACHI 사의 S-4700(Japan)으로 15 kV 조건에서 3,000배율로 표면을 분석하였다.

㉰ TG/DTA (Thermo Gravimetry/Differential Thermal Analysis)

○ 이산화탄소 흡수용 도로재료의 탄산화 정도의 정도를 정량적으로 파악하고자 할 때 유용하게 적용되는 기기로 시료 내부의 CaCO3 및 Ca(OH)2의 정량화 가능하다.

○ 본 연구에서 개발한 도로재료의 Ca(OH)2 의 정량화를 위해 TG/DTA 분석을 진행하였고, 분석한 시료의 종류는 위의 2-10 표의 페이스트 배합표와 같다.

○ DTA의 분석 결과로 시료에 함유되어있는 Ca(OH)2의 열분해 온도 구간을 확인하고, TG 분석결과를 통해 열분해되는 온도 구간에서의 시료 중량변화를 측정하여 Ca(OH)2를 정량화하였다.

(2) 모르타르의 이산화탄소 흡수 평가 및 역학적 특성 평가

① 소재 선정

○ 탄소흡수용 페이스트의 배합도출을 위한 실험 결과를 바탕으로 고로슬래그와 활성화제로 Ca(OH)2와 Na2SiO3를 사용한 탄소흡수용 모르타르의 역학적 특성 분석에 대한 실험을 진행하였다.

② 모르타르 배합 도출

○ 모르타르의 역학적 특성 분석을 위하여 아래의 배합표에 따라 변수별로 제작된 압축강도 공시체는 고온양생(60℃)과 상온(상대습도 50%, 23±2℃)의 항온항습실에서 진행한 기건양생 및 습윤양생의 총 3가지 조건에서 양생을 진행하였다.

<표 2-228> 탄소흡수용 모르타르 배합표

시료명	BFS (g)	Sand (g)	Activator(g)		Water (g)	W/B	A/B	CCA 첨가율 (%)
			$Ca(OH)_2$	Na_2SiO_3				
S100Ca4Na1WB50	1000	1500	40	10	500	0.5	0.05	5
S100Ca8Na2WB50	1000	1500	80	20	500	0.5	0.1	10
S100Ca9Na1WB50	1000	1500	90	10	500	0.5	0.1	10
S100Ca12Na3WB50	1000	1500	120	30	500	0.5	0.15	15
S100Ca14Na1WB50	1000	1500	140	10	500	0.5	0.15	15
S100Ca16Na4WB50	1000	1500	160	40	500	0.5	0.2	20
S100Ca19Na1WB50	1000	1500	190	10	500	0.5	0.2	20
S100Ca12.5Na12.5WB50	1000	1500	125	125	500	0.5	0.25	25
S100Ca15Na10WB50	1000	1500	150	100	500	0.5	0.25	25
S100Ca24Na1WB50	1000	1500	240	10	500	0.5	0.25	25
S100Ca24Na1WB55-W	1000	1500	240	10	550	0.55	0.25	25
S100Ca24Na1WB60-W	1000	1500	240	10	600	0.6	0.25	25
S100Ca20Na5WB60-W	1000	1500	200	50	600	0.6	0.25	25
S100Ca24Na6WB60-W	1000	1500	240	60	600	0.6	0.3	30
S100Ca29Na1WB60-W	1000	1500	290	10	600	0.6	0.3	30
S100Ca20Na10WB50-H	1000	1500	200	100	500	0.5	0.3	30
S100Ca15Na15WB50-H	1000	1500	150	150	500	0.5	0.3	30
S100Ca20Na15WB50-H	1000	1500	200	150	500	0.5	0.35	35
S100Ca20Na20WB50-H	1000	1500	200	200	550	0.55	0.4	40

* Ca : $Ca(OH)_2$/Binder, Na : Na_2SiO_3/Binder, WB : Water/Binder
S : Blast furnace slag, CCA : Carbon Capturing Activator

③ 입자상 모르타르의 이산화탄소 흡수 column test

○ 위의 배합표 중 이산화탄소 흡수능 정량화를 위해 아래 표 2-12의 배합으로 입자상 모르타르를 제조하고 페이스트와 동일한 조건에서 이산화탄소 흡수 실험을 진행하였다.

○ Column에 제조한 입자상 모르타르를 투입하고 일정 농도의 이산화탄소를 연속으로 유입시키며 입자상 페이스트를 통과한 이산화탄소 농도를 측정하여, 유입되는 농도와 입자상 페이스트를 통과한 후의 농도변화를 통해 흡수량을 평가한다.

○ 실험에 사용된 이산화탄소 농도 측정기는 페이스트 column 실험에 사용했던 (Li-COR INC. USA)를 이용하여 측정하였다.

<표 2-229> 입자상 모르타르 배합표

시료명	바인더 (g)		$Ca(OH)_2$ (g)	배합수 (ml)
	시멘트	고로슬래그		
S60Ca40	40	60	40	50
S100Ca40	-	100	40	50

(3) 콘크리트의 이산화탄소 흡수 평가 및 역학적 특성 평가

① 콘크리트의 배합 도출

○ 2차년도 연구 결과를 바탕으로 탄소 흡수능 극대화 및 내구성을 동시에 확보 가능한 콘크리트 배합 설계를 도출하였다.

<표 2-230> 사용 배합표

변 수	W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(g/m^3)							Admixture (Binder의1.3 %)	Activator 첨가율 %
			W	BFS	C	Activator		F.A.	C.A.		
						$Ca(OH)_2$	Na_2SiO_3				
S90Ca20Na20	0.325	0.45	250.3	495	55	110	110	472.44	630.12	10.01	40
S80Ca20Na20				440	110			474.19	632.40		
S70Ca20Na20				385	165			475.85	634.68		
S60Ca20Na20				330	220			477.54	636.90		

*S00: Blast Furnace Slag / Binder (중량비), 여기서 Binder는 Blast Furnace Slag + Cement
Ca00 or Na00: $Ca(OH)_2$ or Na_2SiO_3 / Binder
Cement 첨가량 - 10%, 20%, 30%, 40%

○ 콘크리트의 워커빌리티 측정을 위하여 KS F 2402에 의거하여 슬럼프 값을 측정하고, 배합에 따른 콘크리트 내부 공기량 특성의 변화를 확인하기 위하여 KS F 2421에 의거하여 공기량을 측정하였다.

○ 콘크리트 단위용적중량 실험은 KS F 2409의 실험법에 의거하여 측정하였다.



<그림 2-276> 콘크리트의 슬럼프 측정



<그림 2-277> 콘크리트의 공기량 측정

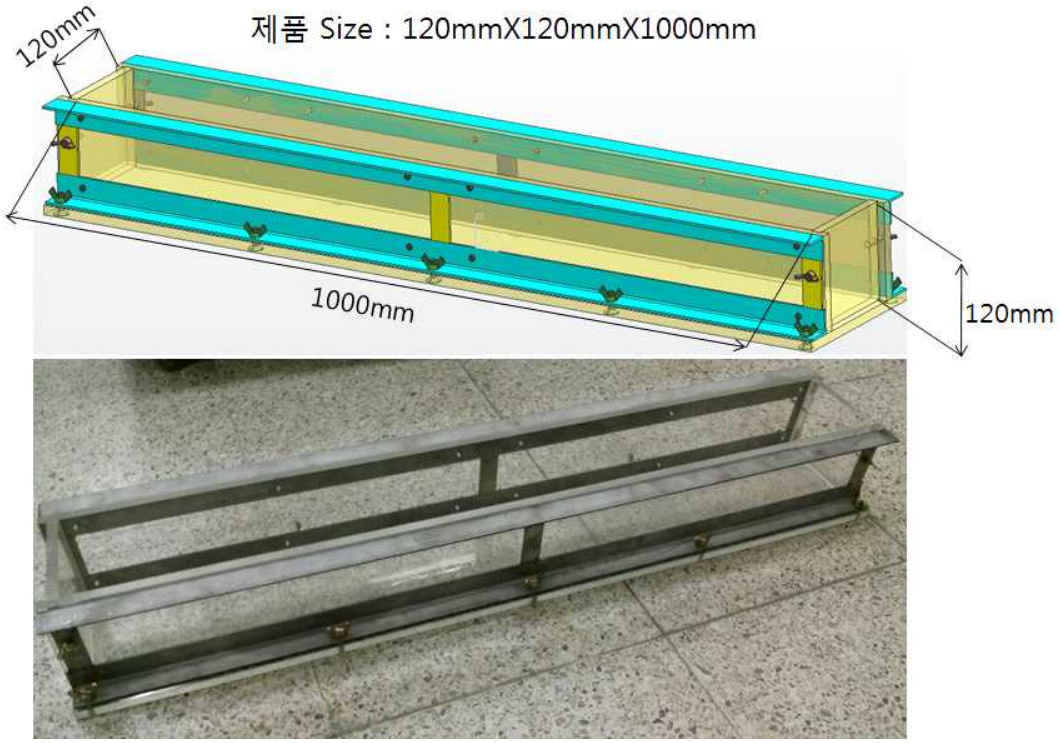
② 활성산업부산물 활용 콘크리트의 탄소 흡수 평가

㉮ 활성산업부산물 활용 탄소 흡수 실내 실험용 시편

○ 탄소포집 활성 고로슬래그 콘크리트의 탄소 흡수 특성을 정량화하기 위하여 이산화탄소 유입조건 및 실험 조건을 설정하였다.

○ 활성산업부산물을 활용한 콘크리트의 탄소 흡수 능력 평가용 시편은 보도경계석 A의 규격(120 mm × 120 mm × 1,000 mm)을 바탕으로 제작하였다.

○ 제작 의뢰한 몰드의 설계도 및 실제 제조된 몰드의 사진이며, 건조 중 휨을 방지하기 위해 스테인레스로 옆면을 보조하였다.

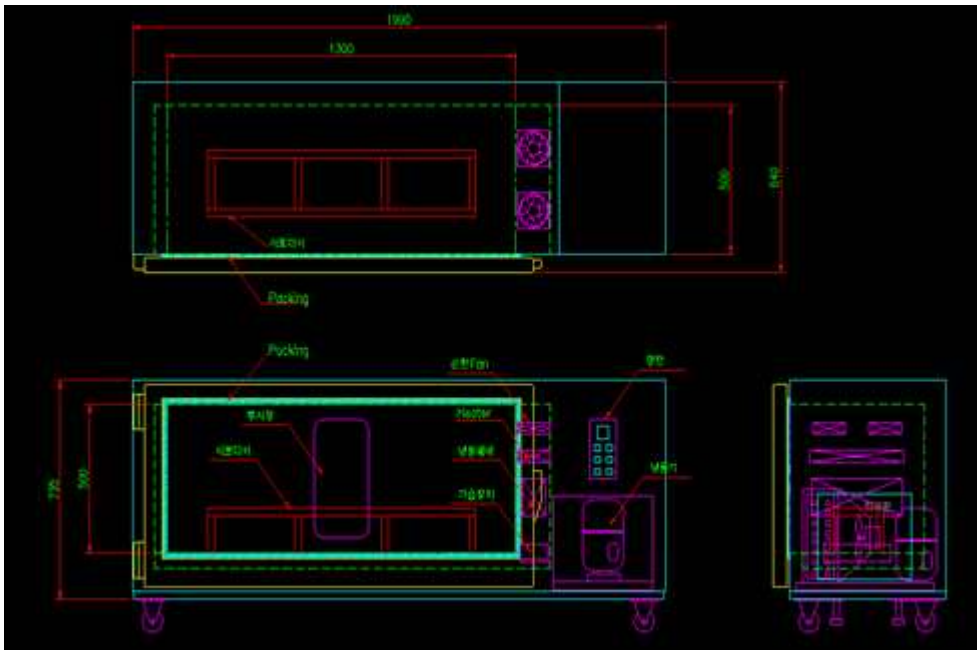


<그림 2-278> 탄소 흡수 콘크리트 실내 실험용 몰드

㉯ 활성산업부산물 활용 탄소 흡수 실내 실험용 반응조

○ 제조된 콘크리트 시편의 이산화탄소 흡수능 정량 평가를 위해서 항온항습이 가능한 밀폐형 반응조를 설계하였고, 본 반응조는 이산화탄소의 흡착을 방지하기위해 스테인레스 스틸로제조하였다.

○ 활성산업부산물을 활용한 콘크리트의 탄소 흡수 능력 평가용 반응조 내적은 325 L (1,300 mm × 500 mm × 50 mm)이고, 온도는 20 ~ 70 ℃ 범위내에서 조정가능하도록 하였다.



<그림 2-279> 콘크리트의 탄소 흡수 실내 실험용 반응조 설계도



<그림 2-280> 콘크리트의 탄소 흡수 실내 실험용 반응조

③ 활성산업부산물 활용 콘크리트의 역학적 특성 평가

○ 탄소포집 활성 고로슬래그 콘크리트의 역학적 특성과 탄소포집 특성을 비교하기 위하여 노출조건 및 변수조건을 설정하고, 노출조건 및 변수조건에 따른 압축/휨강도 및 동결융해저항성을 측정하였다.

㉮ 압축강도 및 휨강도 실험

○ 각 노출조건별 및 변수별 시험체의 압축강도를 측정하기 위하여 KS F 2403의 시험법에 따라 ϕ 10×20 cm의 원주형 시험체를 제작하였다.

○ 시험체는 재령 1일, 7일, 28일, 56일 및 90일에 KS F 2405 콘크리트의 압축 강도 시험 방법에 의거하여 각 노출조건별 및 변수별 압축강도 값의 평균값을 측정하고, KS F 2408에 따라 재령 7일 및 재령 28일의 노출조건별 및 변수별 휨강도를 측정하였다.



<그림 2-281> 콘크리트의 압축강도 실험



<그림 2-282> 콘크리트의 휨강도 실험

㉯ 동결융해저항성 실험

○ 변수별 동결융해저항성을 분석하기 위하여 KS F 2456 급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법(기중 급속 동결 후 수중 융해 시험방법 Type B)에 의거하여 실험을 실시하였다.

○ 각 변수별 10×10×40 cm의 공시체를 각 변수별로 2개씩 제작하여 재령 14일 양생 후, KS F 2437에 의거하여 초기 동탄성계수를 측정하고, 시험개시 후 매 30 cycle 마다 상대동탄성계수를 측정하여 동결융해저항성을 분석하였다.



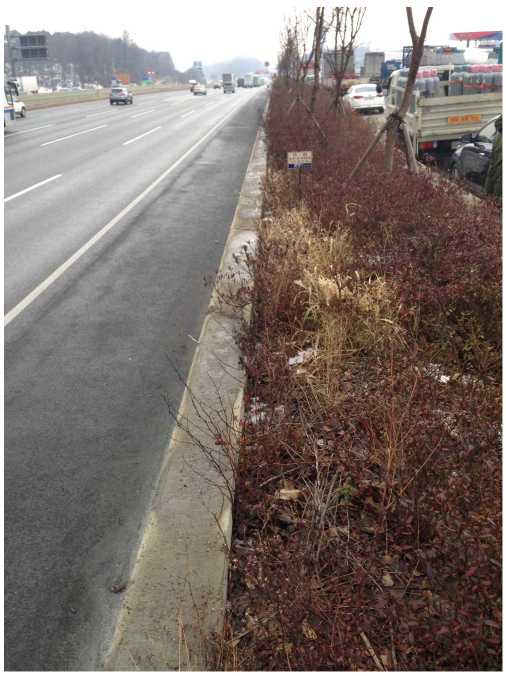
<그림 2-283> 콘크리트의 동결융해 저항성 실험

(4) 활성산업부산물 활용 콘크리트의 현장 장기 노출 평가

① 콘크리트 장기 노출 평가를 위한 현장 확보

○ 실제 현장에 적용할 경우의 탄소 흡수능 및 내구성 확인을 하고자 콘크리트 현장 장기 노출 평가를 실시하고자, 안성휴게소(부산방향) 도로변에 본 연구에서 제조한 콘크리트 시편의 장기 노출 평가를 위한 장소를 확보하였다.

○ 현장 장기 노출 평가 진행 초기 (현장 조사기간 12월 22일 ~ 24일)에 온도, 습도 풍속, 교통량과 도로주변의 이산화탄소 농도를 측정하였다.



<그림 2-284> 장기 노출 평가 장소 (설치 전)

<표 2-231> 장기 노출 평가 현장 기상 및 교통량 결과

분석항목 / 일 자	측정 시간	습도 (%)	온도 (℃)	풍속 (m/sec)	교통량
12월 22일	13:00	82	-0.3	1.4	4,629
	14:00	76	1.2	2.0	5,037
	15:00	62	1.7	4.4	3,975
	16:00	52	1.5	3.4	3,949
	17:00	58	0.2	1.4	3,862
	18:00	63	-0.9	1.4	3,406
	19:00	68	-1.6	1.4	3,001
	20:00	68	-2.5	1.0	2,512
	21:00	71	-2.6	0.0	2,216
	22:00	72	-3.2	0.7	1,883
	23:00	74	-4.2	1.4	1,456
12월 23일	00:00	77	-4.5	0.3	1,081
	01:00	77	-4.9	0.3	859
	02:00	79	-6.0	0.7	659
	03:00	81	-6.3	0.0	570
	04:00	81	-7.5	0.3	585
	05:00	85	-6.6	0.7	1,012
	06:00	75	-4.8	2.0	1,979
	07:00	78	-6.0	1.4	3,137
	08:00	76	-5.0	0.7	3,879
	09:00	68	-3.0	2.4	4,470
	10:00	65	-0.7	1.7	3,554
	11:00	62	0.6	1.7	5,241
	13:00	57	2.4	2.0	3,446
	14:00	59	3.3	1.4	4,600
	15:00	57	4.2	1.0	4,379
	16:00	61	3.7	1.4	4,243
	17:00	61	2.9	1.7	4,081
	18:00	63	2.0	1.4	3,804
	19:00	64	2.0	0.7	3,095
	20:00	65	2.2	1.0	2,773
	21:00	71	1.1	1.0	2,488
	22:00	71	1.6	1.0	1,974
	23:00	72	1.9	1.0	1,694
12월 24일	00:00	72	2.0	1.0	1,243
	01:00	72	2.1	0.7	976
	02:00	75	1.5	1.0	769
	03:00	73	2.0	0.3	583
	04:00	75	2.2	0.7	583
	05:00	76	2.4	1.0	946
	06:00	77	2.6	1.4	1,872
	07:00	81	4.0	0.7	2,973
	08:00	84	3.7	2.0	3,730
	09:00	86	4.1	1.0	3,888
	10:00	91	2.9	1.7	4,452
	11:00	91	4.3	0.7	4,524
	12:00	83	6.6	1.0	4,317

② 현장 장기 노출 평가용 콘크리트 시편

○ 실내 실험을 통해 현장 장기 노출 평가를 위해 도출한 최적 배합 조건의 콘크리트 시편 및 동일 조건에서 현장 노출 평과 결과 비교를 위해 대조 실험체로 바인더를 시멘트만 투입한 시편을 제조하였다.

○ 활성산업부산물 활용 콘크리트 탄소 흡수 실내 실험용 시편과 동일한 보도경계석 A의 규격(120 mm × 120 mm × 1,000 mm)을 기준으로 제조하였다.

<표 2-232> 현장 장기 노출 평가용 시편 배합표

변 수	W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m^3)							Admixture (Binder의 1.3%)	Activator 첨가율 %
			W	BFS	C	Activator		F.A.	C.A.		
						$Ca(OH)_2$	Na_2SiO_3				
S90Ca20Na20	0.325	0.45	250.3	495	55	110	110	472.44	630.12	10.01	40
S100Ca20Na20				550	0			470.73	627.85		

③ 현장 장기 노출 시편의 탄소 흡수능 평가

○ 시편의 이산화탄소 흡수능 정량화를 위해서는 이산화탄소 농도가 일정하게 유지되어야 하므로, 탄소 흡수능 평가를 위한 밀폐형 반응조를 제작하였다.

○ 콘크리트 시편을 투입한 반응조 내부의 초기 이산화탄소의 농도를 측정하고 3일, 7일, 28일, 64일 후 반응조 내부 농도와 비교하여 감소된 농도로 이산화탄소 흡수량을 산출하였다.

④ 현장 장기 노출 시편의 역학적 특성 평가

○ 콘크리트 시편의 장기 노출 조건에서 역학적 특성의 영향을 확인하고자, 장기 노출 70일 이후 콘크리트의 휨강도 시험 방법에 의거하여 각 변수별 휨강도 값을 측정하였다.

(5) 연구수행결과

① 산업부산물 및 활성화 기법 1차 선정 결과

㉮ 기초 배합-이산화탄소 column test 결과

○ 활성화제 투입 없이 산업부산물과 시멘트만을 단순 혼합하였을 때의 이산화탄소 흡수 실험을 진행한 결과로 대조군의 의미로 기존 시멘트를 활용한 도로재료와 본 연구에서 개발한 도로재

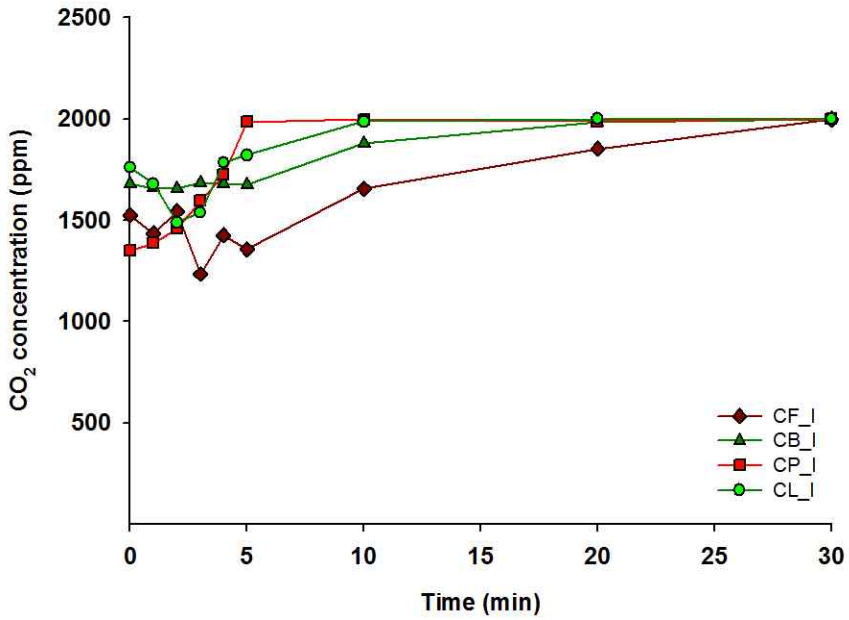
료의 이산화탄소 흡수를 비교하고자 하였다.

○ 이산화탄소 유입실험이 진행됨과 거의 동시에 유입농도 2000 ppm 수준에 가까운 농도가 배출되기 시작하고 모든 산업부산물이 5분 이내에 농도 파과(breakthrough) 되었다.

○ 이산화탄소 흡수량만 비교할 경우 LDH와 제지슬래그를 함침법을 적용하여 제조한 입자상 페이스트가 가장 흡수제로의 효과가 좋았다.

○ 제지슬래그의 경우 모든 조건에서 이산화탄소 흡수량은 가장 높아서 흡수능 만으로 평가할 경우 가장 활용하기 좋은 산업부산물이었다. 단, 입자가 매우 미세하고 작은 외력에도 제조한 입자상 페이스트 상태를 유지하지 못하고 가루 형태가 되어버려 도로재료로써 활용하기에는 매우 불리할 것으로 판단되었다.

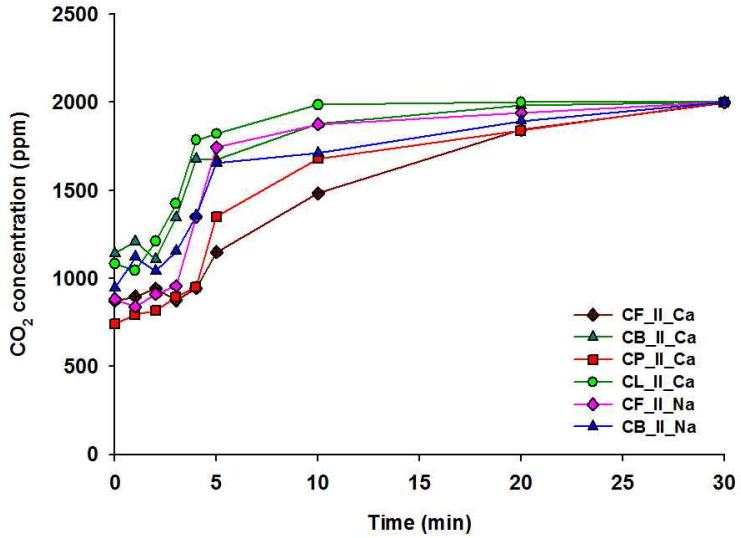
○ 고로슬래그의 경우 혼합법으로 제조한 입자상 페이스트에서는 이산화탄소 흡수가 거의 일어나지 않았다. 반면, 함침법을 적용하여 제조한 경우 혼합법에서 흡수가 더 많이 되었던 플라이애쉬보다 흡수량이 더 높았고 입자상 페이스트 상태를 가장 잘 유지하였다.



<그림 2-285> 산업부산물의 자체 이산화탄소 흡수능 평가를 위한 이산화탄소 column 실험 결과

○ 혼합법으로 제조한 이산화탄소 흡수제의 대조군 실험보다는 대부분의 흡수제가 실험 시작 후 20분 이내에 파과되었다.

○ 이는 단순 물리적인 혼합만으로는 활성화제가 산업부산물의 활성화에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 나타낸다.

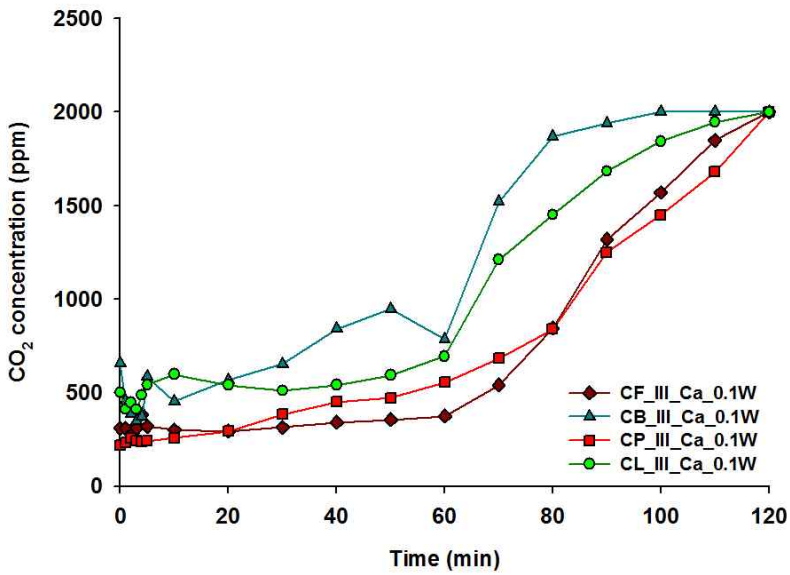


<그림 2-286> 혼합법으로 제조한 입자상 페이스트 이산화탄소 흡수 column 실험 결과

○ 함침법으로 제조한 이산화탄소 흡수제의 이산화탄소 흡수 실험 결과로 앞서 제시된 두 개의 실험 결과에 대비해 확연히 다른 결과를 확인 할 수 있었다.

○ 활성화제가 산업부산물과 충분히 반응하여 이산화탄소 흡수능을 향상시킨 것으로 추후 최적의 배합비율을 위한 추가 실험 진행이 필요할 것으로 판단된다.

○ 이에 본 실험 결과들을 바탕으로 최종적으로 사용할 산업부산물 및 활성화제 기법을 선정하고 추가 실험 배합을 도출하였다.



<그림 2-287> 함침법으로 제조한 입자상 페이스트 이산화탄소 흡수 column 실험 결과

<표 2-233> 이산화탄소 흡수 실험 결과 비교

분류	실험명	산업부산물	CO_2 흡수량 ($g-CO_2/kg-$흡수제)
대조군 (I)	CF_I	플라이애쉬	0.8
	CB_I	고로슬래그	0.5
	CP_I	제지슬래그	1.8
	CL_I	LDH	0.5
혼합법 (II)	CF_II	플라이애쉬	1.3
	CB_II	고로슬래그	0.8
	CP_II	제지슬래그	3.0
	CL_II	LDH	2.5
함침법 (III)	CF_III	플라이애쉬	21
	CB_III	고로슬래그	26
	CP_III	제지슬래그	30
	CL_III	LDH	40

* C : 시멘트, F : 플라이애쉬, B : 고로슬래그, P : 제지슬래그, L : LDH

㉯ 산업부산물 및 활성화 기법 최종 선정

■ 산업부산물 종류

○ 이산화탄소 흡수 예비 테스트 결과 및 강도 예비 테스트 등의 결과를 바탕으로 산업부산물 중 최적 물질을 선정하고자 하였다.

○ 이산화탄소 흡수제 예비테스트를 통해서 4가지 종류의 산업부산물과 2가지 종류의 활성화제를 혼합법, 합침법의 방법으로 흡수제를 제조하여 이산화탄소 흡수능을 평가한 결과 이산화탄소 흡수능 결과만 볼 때는 함침법으로 제조한 LDH나 제지슬래그 고로슬래그의 이산화탄소 흡수량이 높음

○ 예비테스트에서 나온 결과와 도로재료로써의 강도 확보를 위해 고로슬래그를 본 연구에서의 대상 산업부산물로 선정하고 Ca(OH)2를 활성화제로 선정하였다.

■ 배합비율

○ 시멘트를 일정비율 대체하는 것이 아닌 시멘트를 전혀 사용하지 않고 산업부산물로만 결합재를 사용하는 무시멘트 개념으로 접근하였다. 따라서 고로슬래그만을 이용하여 이산화탄소 포

집 효능을 극대화 하고 최대 얻을 수 있는 강도를 확인하고자 하였다.

○ 바인더와 물의 비율은 1차로 바인더 중량 대비 0.5로 고정하고 진행하며 추후 이산화탄소 포집능과 강도등의 결과를 바탕으로 조정하였다.

○ 활성화제는 Ca(OH)2를 기본 활성화제로 사용하며, 활성화제와 바인더 비율은 0.1을 기준으로 조정하며 테스트 진행하였다.

■활성화 기법

○ 기존 함침법 및 혼합법의 경우 양생의 개념이 아닌 물이 건조됨에 따른 굳는 현상도 다소 발생하는 경향을 보였다.

○ 기존 함침법의 경우 이산화탄소 흡수를 위해서는 효과적이지만 대량 생산이 불가하며 현장에서 적용 불가하다.

○ 이에 현장에서도 이용할 수 있는 콘크리트 양생 방법과 함침법을 혼용하여 활성화제를 먼저 산업부산물과 혼합을 충분히 시킨 후에 상온에서 수분의 증발을 최대한 막은 상태에서 양생시키는 방법으로 변경하였다.

㉰ 이산화탄소 흡수용 페이스트의 이산화탄소 column test 결과

○ 고로슬래그를 바인더로 사용하고 Ca(OH)2를 활성화제로 사용하여 수정한 이산화탄소 제조 방법을 적용하여 이산화탄소 흡수용 페이스트를 제조하였다.

○ 이산화탄소 흡수능을 극대화 할 수 있는 최적의 배합비율을 확인하기 위해 W/B 비율과 A/B 비율을 변화시켜가면서 이산화탄소 흡수능 평가하였다.

○ 실험의 신뢰도와 재현성 확보를 위해 같은 배합의 이산화탄소 흡수제를 3 set를 제조하여 실험을 진행하고 이산화탄소 흡수량을 비교하였다.

<표 2-234> 수정된 이산화탄소 흡수제 제조법을 적용한 이산화탄소 흡수용 페이스트 배합표

실험명	활성화제	W/Binder	A/Binder
S0Ca24WB50	$Ca(OH)_2$	0.5	0.24
S100Ca5WB50	$Ca(OH)_2$	0.5	0.05
S100Ca10WB50	$Ca(OH)_2$	0.5	0.1
S100Ca20WB50	$Ca(OH)_2$	0.5	0.2
S100Ca20WB70	$Ca(OH)_2$	0.7	0.2
S100Ca30WB70	$Ca(OH)_2$	0.7	0.3
S100Ca40WB70	$Ca(OH)_2$	0.7	0.4

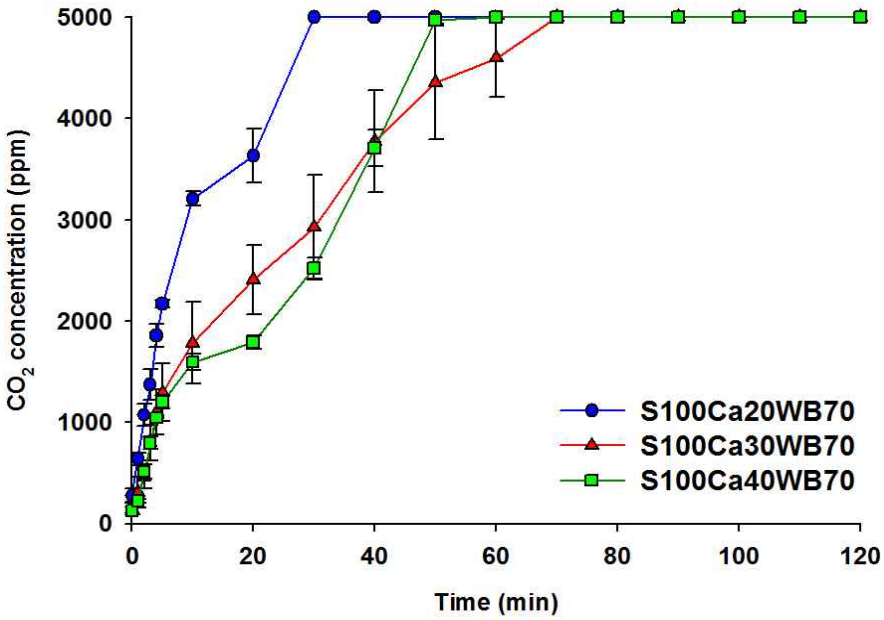
* B : 고로슬래그, A: 활성화제, Ca : $Ca(OH)_2$, W : 배합수(증류수 사용)

○ 실험 방법은 예비 실험과 동일한 column에서 수행하였고, 이산화탄소 유입농도를 5,000 ppm 으로 고정하여 실험을 수행하였다.

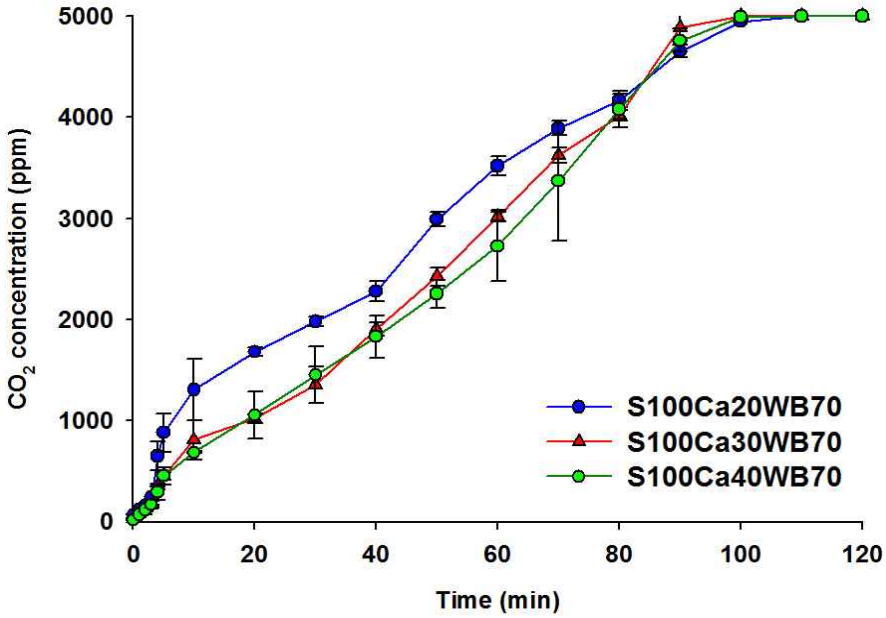
○ 배합수 비율이 각각 0.5, 0.7일 때 활성화제 비율에 따른 이산화탄소 흡수제의 이산화탄소 흡수 실험 결과를 나타낸 그래프 이며 표 2-19 는 실험결과를 바탕으로 이산화탄소 흡수량을 계산한 것으로 활성화제 비율이 0.1 이하일 경우 이산화탄소 흡수량이 확연하게 감소하며 이산화탄소 실험 시작 30분 이내에 파과되었다.

○ 활성화제 비율이 0.1 이상일 때 배합수의 비율이 동일할 경우에는 이산화탄소 흡수제의 파과시간에는 다소 차이가 있으나 실제 이산화탄소 흡수량에는 큰 증가량을 보이지 않았다.

○ 동일한 활성화제 비율에서도 배합수의 비율을 증가한 이산화탄소 흡수제의 경우 100분 이후에 파과가 되었고 이산화탄소 흡수량이 증가하였다.



<그림 2-288> W/B 비율 0.5일 때 활성화제 비율에 따른 페이스트의 column 실험 결과



<그림 2-289> W/B 비율 0.7일 때 활성화제 비율에 따른 페이스트의 column 실험 결과

<표 2-235> 이산화탄소 흡수 실험 결과 비교

실험명	CO_2 흡수량 (g-CO_2/kg-페이스트)
S0Ca24WB50	0.5
S100Ca5WB50	18 ± 1
S100Ca10WB50	38 ± 7
S100Ca20WB50	42 ± 2
S100Ca20WB70	52 ± 2
S100Ca30WB70	60 ± 2
S100Ca40WB70	62 ± 1

○ 활성화제가 고로슬래그 중량대비 6% 투입된 페이스트(S100AB5)에 비해 활성화제가 12% 투입된 페이스트(S100AB10)의 이산화탄소 흡수량은 2배 가량 증가 하였으나, 활성화제가 24% 투입된 페이스트(S100AB20)의 이산화탄소 흡수량은 약간 증가하였다.

○ 동일한 결합재(binder) 조건에서 활성화제 투입 농도 증가에 따라 페이스트의 이산화탄소 흡수량 증가율은 감소한 것으로 나타났다. 활성화제 투입 농도가 높은 조건에서 이산화탄소 흡수량 증가폭이 감소하는 이유를 확인하고자, 각 활성화제 투입 농도별로 이산화탄소 흡수반응 속도상수를 아래 식(1)을 통해 구하였다.

$$\frac{c}{c_0} = e^{-kt} \quad (1)$$

여기서, C는 페이스트를 통과한 후의 배출된 이산화탄소 농도 (ppm), C0는 페이스트에 유입되기 직전의 이산화탄소 농도 (ppm), k는 이산화탄소 흡수 속도상수 (min-1), t는 반응시간 (min)을 나타낸다.

○ 동일 배합수 투입 조건에서 활성화제 비율이 증가함에 따라서 이산화탄소 흡수량은 크게 증가한 반면, 이산화탄소 흡수 속도 상수의 증가는 미미하였다.

○ 단, 동일한 활성화제 투입 조건에서 배합수 비율이 결합재 중량 대비 0.5에서 0.7로 증가한 경우 이산화탄소 흡수 속도로 다소 증가하였다.

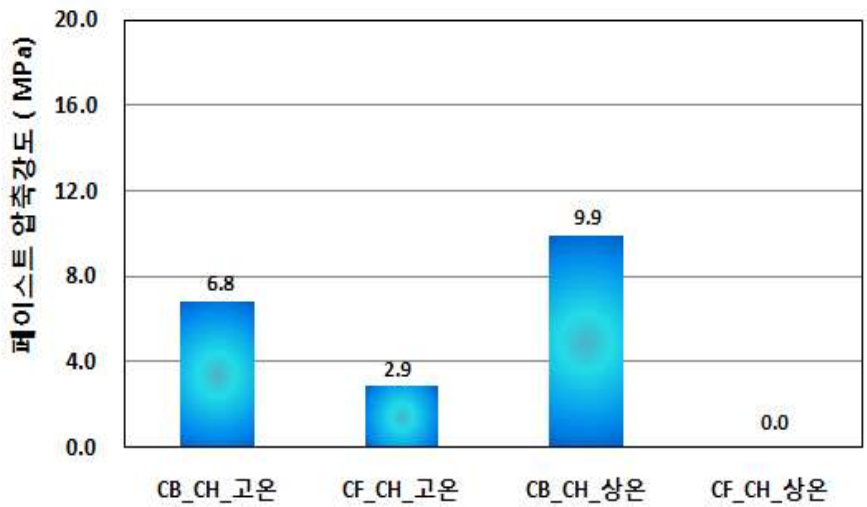
○ 이는 본 연구에서 개발한 도로재료의 이산화탄소 흡수능 극대화를 위해서는 첨가되는 활성화제의 투입양 뿐만 아니라 배합수의 비율도 매우 중요한 영향을 미치는 것으로 사료된다.

<표 2-236> 이산화탄소 흡수 속도 상수 비교

실험명	CO_2 흡수 속도 상수 (min^{-1})
S100Ca5WB50	0.07
S100Ca10WB50	0.08
S100Ca20WB50	0.08
S100Ca20WB70	0.09
S100Ca30WB70	0.10
S100Ca40WB70	0.11

㉱ 이산화탄소 흡수용 페이스트의 역학적 특성 결과

○ 탄소흡수용 페이스트의 배합도출을 위한 1단계 변수의 압축강도 측정 결과, CB_CH_상온 변수에서 9.9 MPa로 가장 큰 압축강도를 나타내었으며, CF_CH_상온 변수의 경우, 압축강도 측정이 불가능할 정도로 경화되지 않은 상태의 강도를 나타내었다.

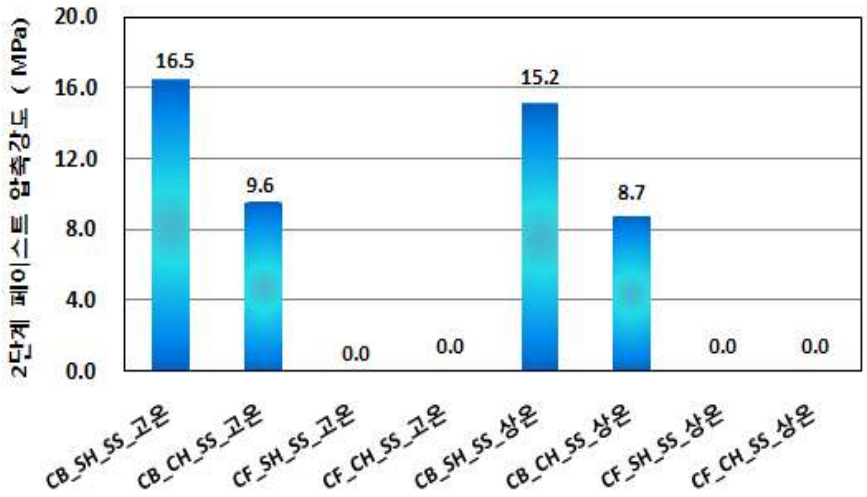


<그림 2-290> 페이스트 배합 압축강도(재령 5일)

○ 또한, 상온양생에서 플라이애시를 사용할 경우 양생조건에 상관없이 강도발현을 위한 경화가 원활히 진행되지 않으며, 양생 시 표면의 블리딩수의 증발을 고려할 때, 수분의 증발로 인한 입자의 침전건조가 발생하는 것으로 확인되었다.

○ 일반적으로 고로슬래그를 사용한 변수의 경우 상대적으로 플라이애시를 사용한 변수와 비교하여 양생온도의 영향을 받지 않는 것으로 분석되었으며, 양생온도의 증가에 따라 강도가 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

○ 플라이애시를 활용한 경화체 개발은 Ca(OH)2 10% 수준의 활성화제 사용으로는 불가능 할 것으로 판단된다.



<그림 2-291> 페이스트 배합 압축강도(재령 3일)

○ 2단계 페이스트의 압축강도 실험결과, CB_SH_SS_고온 변수에서 16.5 MPa로 가장 큰 강도를 나타내었으며, 양생방법만 다른 CB_SH_SS_상온 변수에서는 15.2 MPa로 CB_SH_SS_고온 변수와 유사한 수준의 강도를 나타내었다. 고로슬래그를 사용한 변수의 경우 활성화제로 Ca(OH)2보다는 NaOH를 사용한 변수에서 압축강도가 더 큰 것으로 분석되었다.

○ 반면에 플라이애시를 사용한 모든 변수에서는 압축강도 측정이 가능할 정도의 경화가 진행되지 않았다.

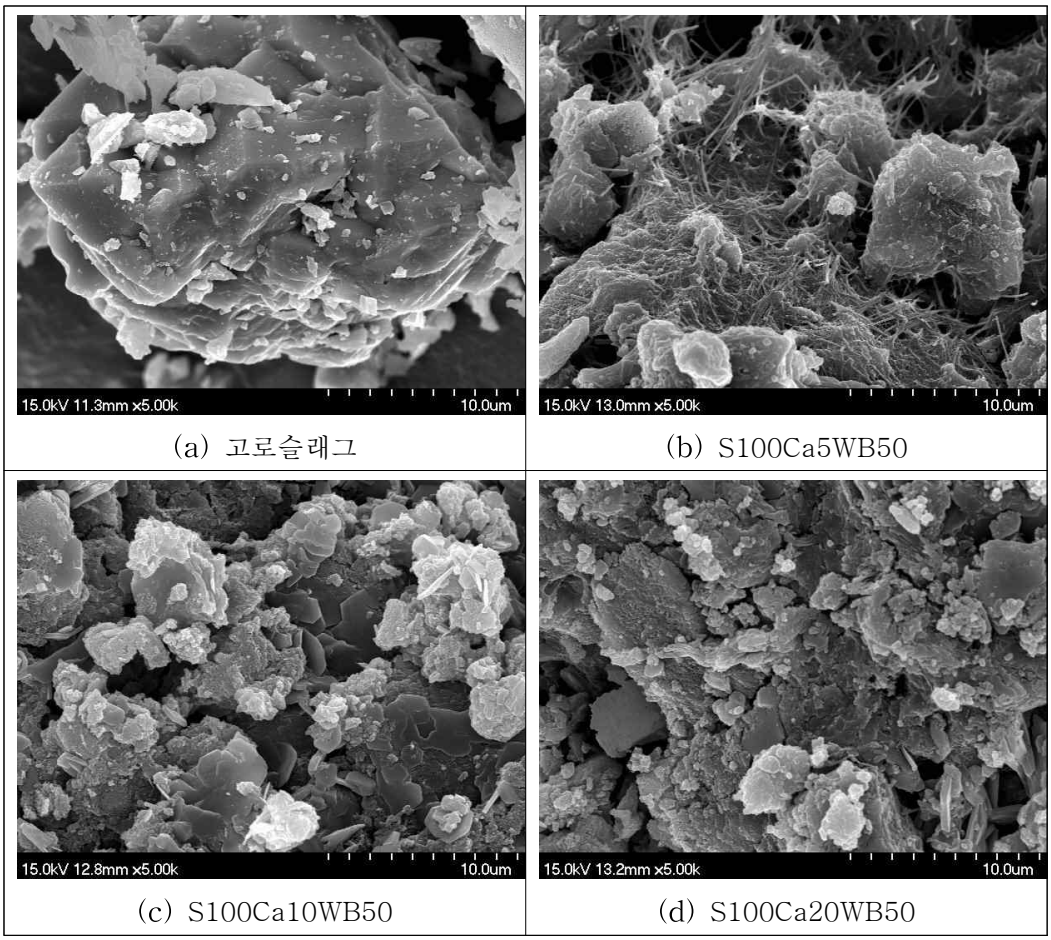
㈐ 이산화탄소 흡수용 페이스트의 화학적 특성 결과

■ FESEM 분석 결과

○ 본 연구에서 제조한 이산화탄소 흡수용 입자상 페이스트의 활성화제에 의한 표면 특성을 확인하기 위해 SEM(scanning electron microscope 주사전자현미경) 분석하였다.

○ 고로슬래그 자체의 입자표면은 상대적으로 표면적이 적고 굉장히 입자크기도 크나 활성화제 비율이 0.05 일 때부터 표면에 다소 거칠어지면서 크기가 상대적으로 작은 입자들이 표면에 많이 부착된 것을 볼 수 있다.

○ 활성화제 비율 0.1의 경우 고로슬래그 본연의 모습을 볼 수 없을 정도로 표면에 작은 입자들이 뒤덮고 있으며 이러한 작은 입자들이 표면적을 넓혀주고 이산화탄소와의 접촉면적을 넓혀주어 이산화탄소 흡수능을 증가시킨 것으로 사료된다.



(a) 고로슬래그 (b) S100Ca5WB50

(c) S100Ca10WB50 (d) S100Ca20WB50

<그림 2-292> SEM 사진

○ 활성화제의 투입비율에 따른 이산화탄소 흡수 실험 전 후 입자상 페이스트 표면의 화학적 특성 변화를 확인하고자 활성화제 비율을 다르게 제조한 시료의 FESEM 분석 결과이다.

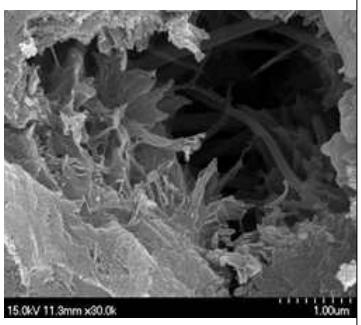
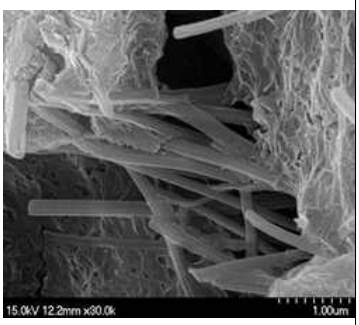
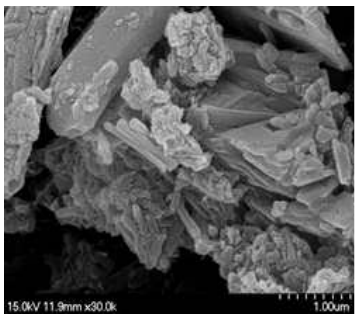
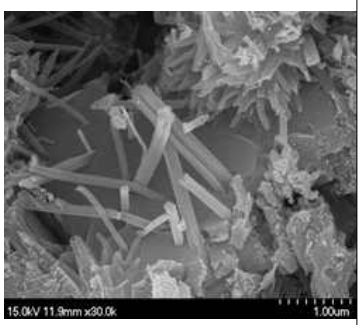
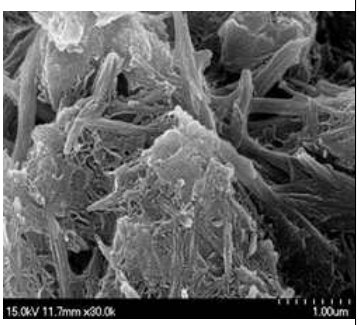
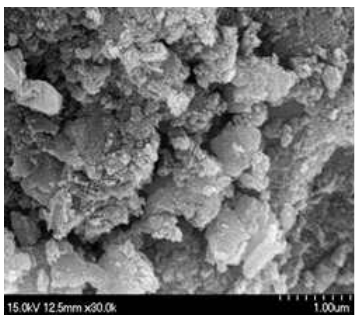
○ 탄소 흡수 실험 전에는 콘크리트 수화반응에 의한 구조물이 형성되어 있으나, OPC 대조군을 제외한 시료의 탄소 흡수 실험후의 표면에는 이산화탄소와 칼슘의 화학반응에 의한 생성물로 사료되어지는 비경질체로 시료 표면이 뒤덮여 있다.

○ 기존의 연구에 따르면 고로슬래그 콘크리트의 수화생성물은 주로 에트린자이트 (3CaO · Al2O3 · 3CaSO4 · 32H2O), 칼슘실리케이트(C3S, C2S)이며, 기존 OPC를 활용한 콘크리트의 경우 칼슘실리케이트 수화물이 주로 생성이 되는 것으로 알려져 있다.

○ 활성화제 투입량에 따른 이산화탄소 흡수 전 페이스트의 구조적인 특성으로는 투입량이 증가함에 따라서 페이스트의 수화반응이 촉진되어 표면 및 내부 조직이 치밀해지는 것으로 판단된다.

○ 이산화탄소 흡수 후 표면에 생성된 화합물은 이산화탄소와 칼슘이 반응하여 생성된 탄산칼슘과 같은 탄산염인 것으로 추정된다.

<표 2-237> 탄소 흡수 실험 전 후의 페이스트 표면 특성 FESEM 분석결과

구분	S0Ca12 (OPC 대조군)	100Ca12	S100Ca24
CO_2 흡수 실험 전			
CO_2 흡수 실험 후			

■ XRF 분석 결과

○ 활성화제 투입비율에 따른 이산화탄소 흡수 실험 전후의 입자상 페이스트를 XRF로 분석한 결과, 활성화제 첨가 비율에 따라 CaO의 함유율이 증가하였으나, 일반 OPC에 비해서는 CaO의 비율이 낮았다.

○ 대조군인 OPC를 활용한 시료를 제외한 나머지 시료에서는 CO2 흡수 실험 전 후의 CaO 성분비가 증가하였고, 이산화탄소 흡수 후의 CaO 증가량은, OPC 페이스트보다 활성화된 고로슬래그 페이스트에서 두드러지게 높았다.

○ 기존 연구 결과 대기 중의 이산화탄소와 OPC 및 무시멘트 페이스트 내부의 수화결과물이 반응하여 탄산칼슘을 생성하는 것으로 알려져 있으며, 현재까지 밝혀진 이산화탄소와 반응하는 페이스트 내부 물질로는 수산화칼슘 이외에 C3S(3CaO · 2SiO2), C2S(2CaO · 2SiO2)가 있다.

○ 다만 본 XRF 분석 결과에서 증가한 CaO 비율은 페이스트 수화반응에 따른 Ca(OH)2의 증

가량과 이산화탄소 흡수반응에 따른 CaCO3의 증가량이 구분이 되지 않으므로, 본 결과만으로는 이산화탄소 흡수 결과로 생성된 생성물의 정량화를 단정하기 어렵다.

<표 2-238> 탄소 흡수 실험 전 후의 페이스트 화학적 특성 XRF 분석 결과

	S0Ca12 (%)		S100Ca6 (%)		S100Ca12 (%)		S100Ca24 (%)	
	CO_2 흡수 전	CO_2 흡수 후	CO_2 흡수 전	CO_2 흡수 후	CO_2 흡수 전	CO_2 흡수 후	CO_2 흡수 전	CO_2 흡수 후
SiO_2	16.0	15.6	28.5	27.8	27.4	26.5	23.96	23.8
Al_2O_3	4.1	4.0	11.9	11.7	11.5	11.1	10.0	9.8
Fe_2O_3	3.6	3.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
CaO	71.7	71.9	53.2	54.5	55.3	56.6	60.7	61.2

■ TG/DTA (Thermo Gravimetry/Differential Thermal Analysis)

○ TG 중량 감소량은 물의 증발됨에 의한 중량 변화이므로 Ca(OH)2의 감량을 구하기 위해 환산해야한다. 일반적으로 Ca(OH)2 는 400 ~ 500℃의 온도 범위에서 열분해되는 것으로 알려져있다.

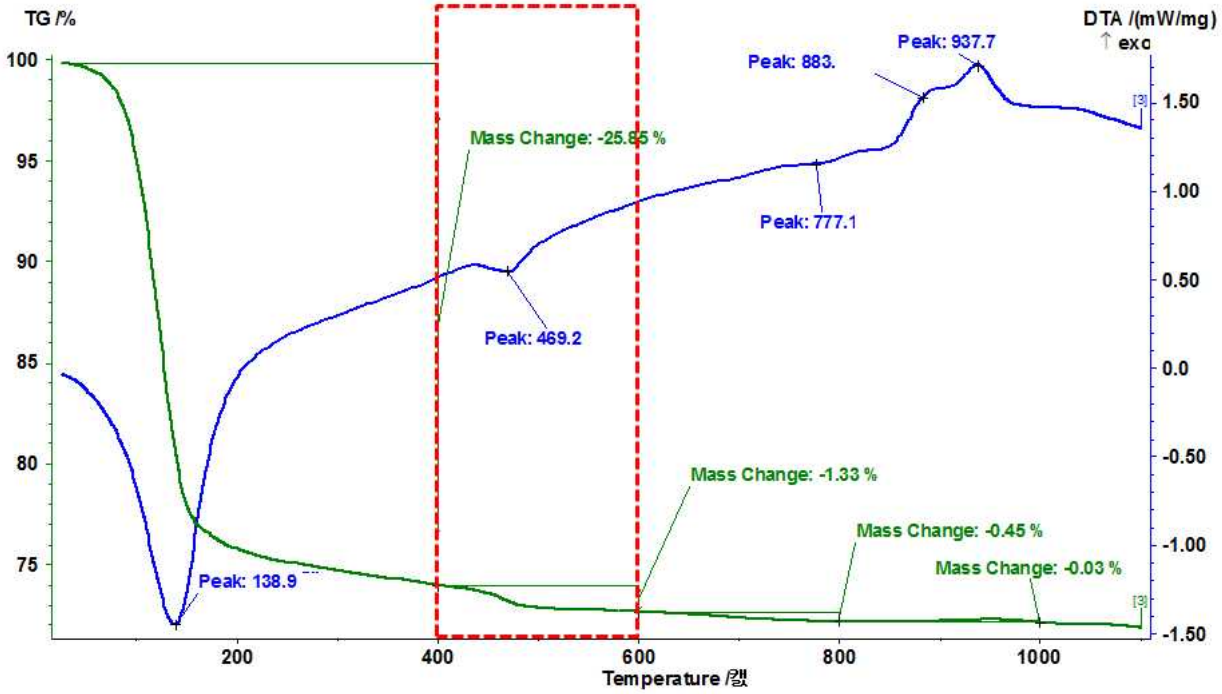
○ S100Ca10 입자상 페이스트 TG/DTA 분석결과로부터 환산하면,

- 400 ~ 500 ℃ 사이의 감량 (TG 곡선) × 수산화칼슘 분자량 ÷ 물분자량
- 23.84 × 74.09 ÷ 18.02 = 98.0 mg 의 $Ca(OH)_2$가 함유되어있는 것으로 추정된다.

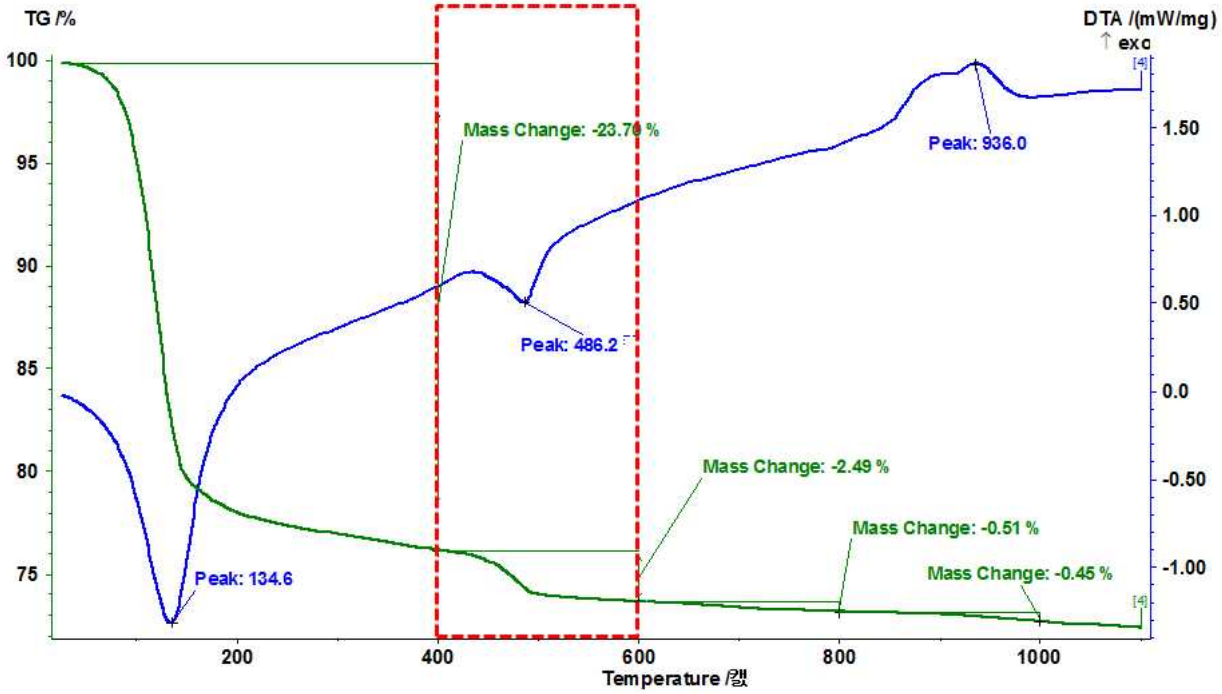
○ S100Ca10 입자상 페이스트 TG/DTA 분석결과로부터 환산하면,

- 400 ~ 500 ℃ 사이의 감량 (TG 곡선) × 수산화칼슘 분자량 ÷ 물분자량
- 25.95 × 74.09 ÷ 18.02 = 106.7 mg 의 $Ca(OH)_2$가 함유되어있는 것으로 추정된다.

○ TG/DTA 분석 시의 초기 시료 중량이 110 ㎎ 이므로 도로재료의 활성화제 배합비율별 Ca(OH)2의 함유율은 S100Ca10 의 배합비율에서는 5.5%, S100Ca20의 배합비율에서는 전체 입자상 페이스트 중량의 10.3% 정도 Ca(OH)2가 함유되어 있다.



<그림 2-293> S100Ca10 배합비 입자상 페이스트의 TG/DTA 분석 결과



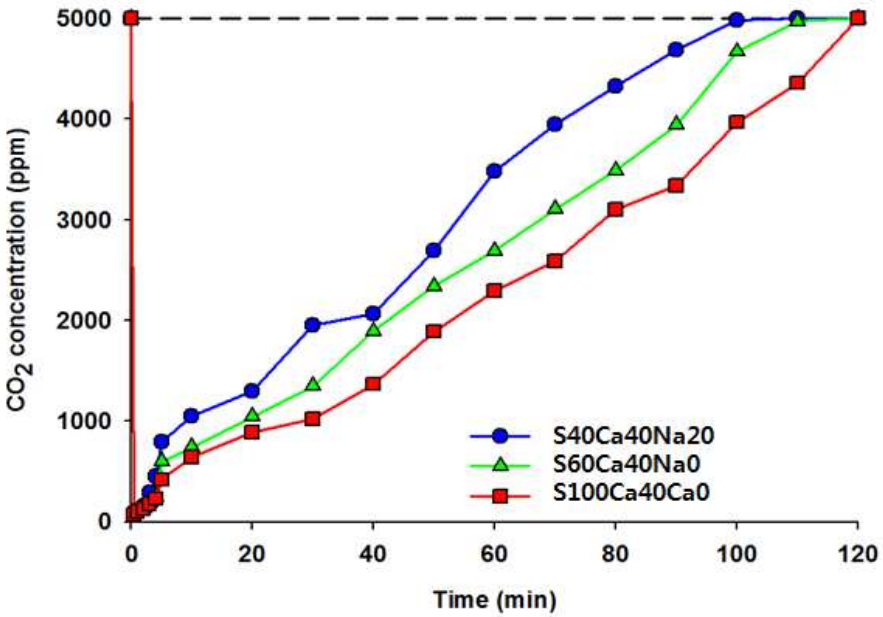
<그림 2-294> S100Ca20 배합비 입자상 페이스트의 TG/DTA 분석 결과

㉮ 이산화탄소 흡수용 모르타르의 이산화탄소 흡수능 결과

○ 동일한 활성화제 및 배합수 비율에서 결합재 조건에 따른 입자상 모르타르의 이산화탄소 흡수 column 실험 결과를 나타낸 것이다.

○ 동일 활성화제 투입 조건에서 고로슬래그를 단일로 사용한 흡수제에 비해서 시멘트를 결합재 전체 중량의 40%를 투입한 경우 이산화탄소 흡수량이 현저히 낮았다.

○ 입자상 모르타르의 흡수 실험 결과와 역학적 특성 결과를 바탕으로 최적 모르타르 배합 비율을 도출하고 이를 추후 콘크리트 비율 도출할 때 참고하고자 한다.



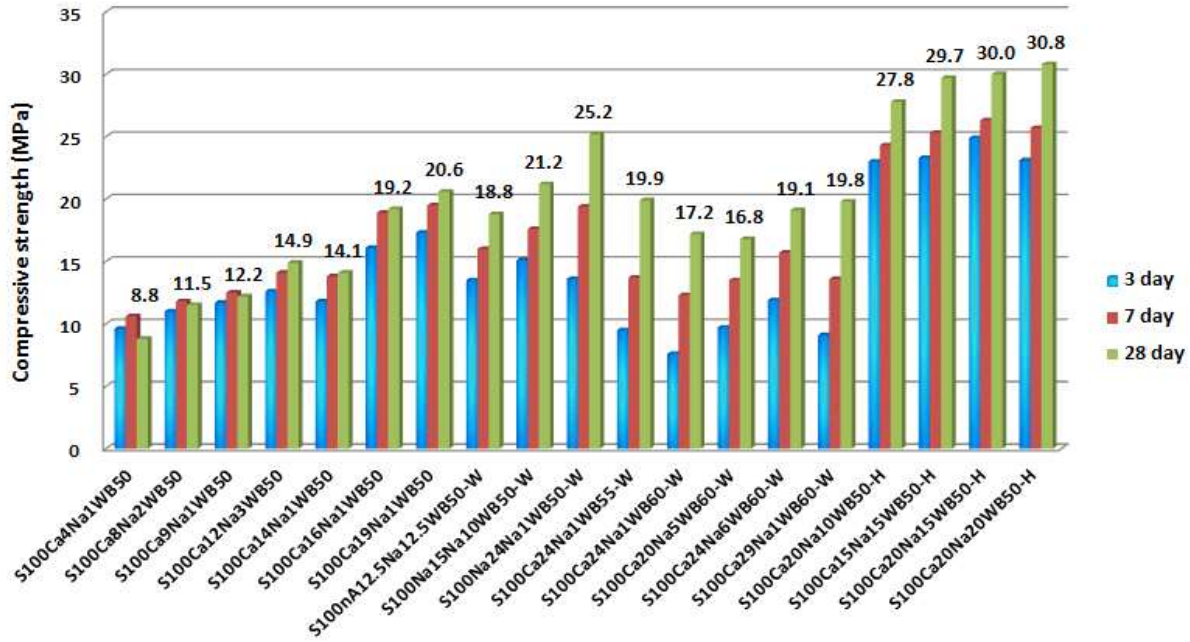
<그림 2-295> 입자상 모르타르 이산화탄소 흡수 실험 결과

<표 2-239> 입자상 모르타르 이산화탄소 흡수 실험 결과

시료명	바인더 (g)		$Ca(OH)_2$ (g)	배합수 (ml)	이산화탄소 흡수량 ($g-CO_2/kg$)
	시멘트	고로슬래그			
S40Ca40	60	40	40	50	16
S60Ca40	40	60	40	50	25
S100Ca40	-	100	40	50	33

㉮ 역학적 특성 결과

○ 탄소흡수용 모르타르의 압축강도 측정 결과, 기건양생을 진행한 변수(1~7번 변수)의 경우 활성화제 첨가율이 가장 높은 Ca19Na1WB50-A 변수에서 재령 28일까지 가장 높은 압축강도를 나타내었으며, 전반적으로 동일 W/B(물-결합재비)에서 활성화제 첨가율이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 것으로 분석되었다.



<그림 2-296> 모르타르 압축강도 실험 결과

○ 습윤양생 조건(8~15번째 변수, 변수명 뒤에 W가 붙어있음)에서는 수산화칼슘 첨가량이 가장 높은 S100Ca24Na1-W 변수에서 재령 28일의 가장 높은 압축강도를 나타내었으며, 이후 동일 활성화제 비율에서 W/B가 증가할수록 압축강도는 점차 감소하는 것으로 나타났다.

○ 고온양생(16~19번째 변수, 변수명 뒤에 H가 붙어있음)에서 진행된 시험체의 압축강도 측정 결과, W/B가 동일할 경우 활성화제의 첨가량이 증가함에 따라 압축강도 값의 증가하는 것으로 나타났으며, 활성화제 첨가율 및 W/B가 가장 높은 S100Ca20Na20-H 변수에서 30.8 MPa의 가장 높은 압축강도 값을 나타내었다.

○ 기건양생의 경우 항온항습실(상대습도 50%, 23±2℃) 조건의 습윤양생의 경우에 비하여 상대적으로 양생을 진행함에 따라 시험체의 수분 감소로 발생하는 압축강도 값 차이에 기인한 것으로 판단된다.

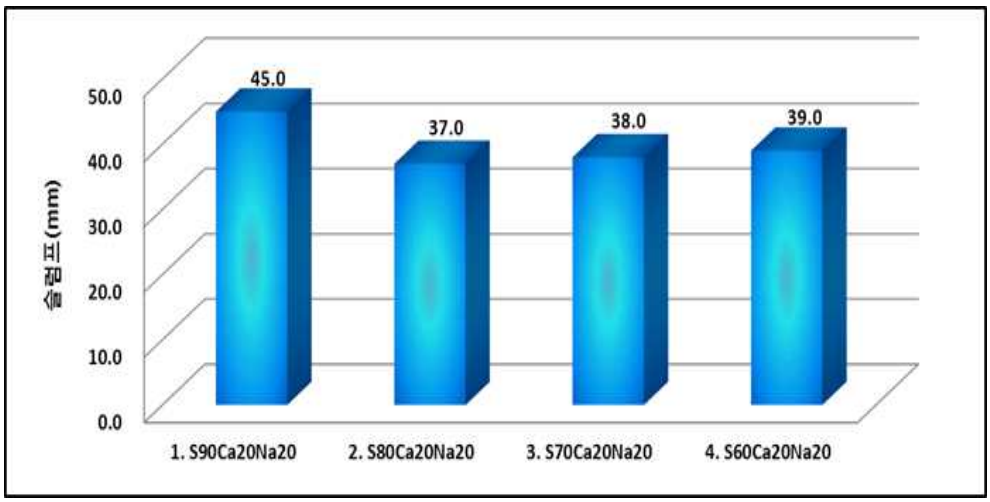
○ 양생조건에 따른 압축강도의 변화는 전반적으로 기건양생, 습윤양생 및 고온양생의 순으로 강도가 증가하는 것으로 분석되었다. 전반적으로 탄소흡수용 모르타르의 양생방법에 있어서 고온양생 조건이 비교적 강도발현에 긍정적일 것으로 판단된다.

② 콘크리트의 이산화탄소 흡수 정량화 및 역학적 특성 평가

㉮ 콘크리트의 경화 전 기초실험

■ 슬럼프 실험

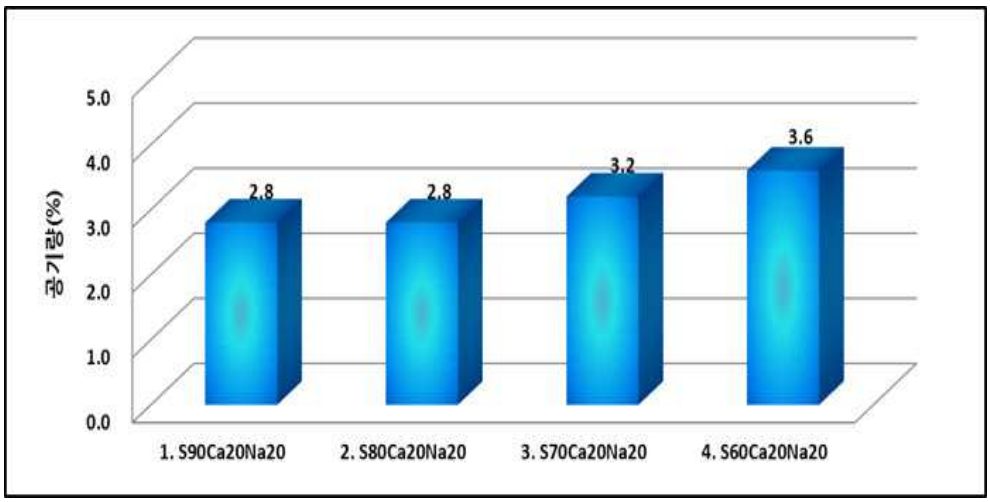
○ 슬럼프 실험 결과, 시멘트 첨가량이 10%로 가장 낮은 S90Ca20Na20 변수가 45.0 mm의 가장 높은 슬럼프 값을 나타내었으며, S80Ca20Na20, S70Ca20Na20 및 S60Ca20Na20 변수에서는 37.0 mm 이상의 유사한 슬럼프 값을 나타내었다.



<그림 2-297> 슬럼프 실험 결과

■ 공기량 실험

○ 공기량 실험 결과, 시멘트 첨가량이 가장 높은 S60Ca20Na20 변수에서 3.6%의 가장 높은 공기량 값을 나타내었으며, 시멘트 첨가량이 증가함에 따라 공기량이 증가하는 추세였다.



<그림 2-298> 공기량 실험 결과

㉯ 탄소 흡수 정량화 실험 결과

○ 입자상 모르타르를 적용한 column test와 모르타르 시편을 투입한 항온항습 반응조 test의 이산화탄소 실험 결과로 도출한 각 시료별 이산화탄소 흡수량을 나타낸 것이다.

○ Column test 결과, 동일 바인더 조건에서 칼슘계 활성화제는 이산화탄소 흡수에 도움을 주지만 나트륨계 활성화제는 이산화탄소 흡수에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

○ 반응조 test는 현장모사실험을 대비하여 콘크리트로 도로경계석을 모사한 시편을 제조하고 밀폐형 항온항습 반응조에 투입하여 실험을 진행하였다.

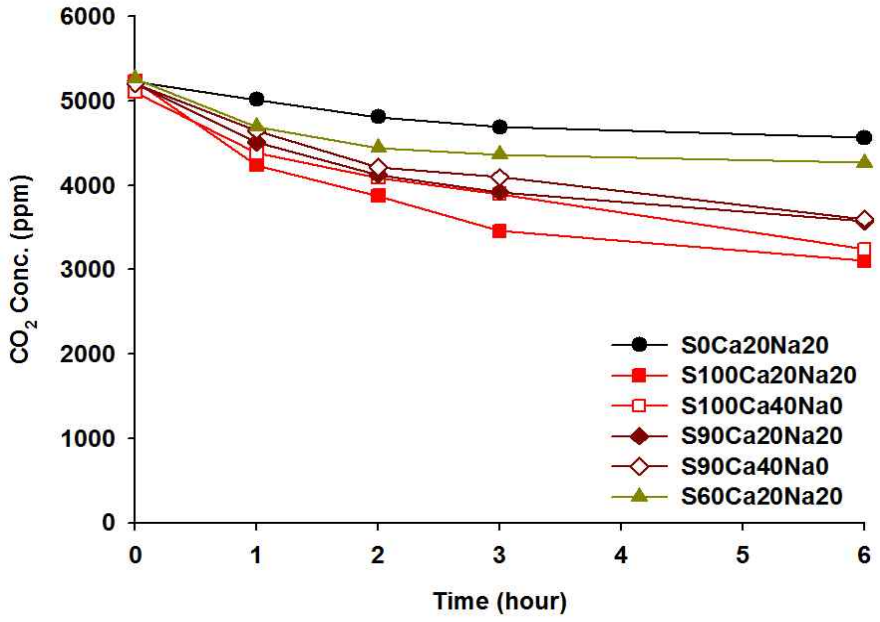
○ 바인더로 OPC를 10%를 활용한 경우와 고로슬래그를 100% 활용한 경우 모두 본 과제의 목표 흡수량인 25 g-CO2/kg을 달성하였다.

○ 페이스트에 비해 콘크리트의 경우 골재들의 무게에 의해서 도로재료 중량이 크게 증가하기 때문에 재료 중량 대비 이산화탄소 흡수량이 페이스트 실험결과에 비해 크게 감소하였다.

○ 동일한 바인더 조건에서 활성화제 투입 농도를 증가함에 따라 이산화탄소 흡수량 자체는 증가하나, 활성화제 농도 증가율 대비 이산화탄소 흡수량 증가폭은 감소하였다.

○ 일반적으로 콘크리트 탄산화 과정은 외부의 이산화탄소가 콘크리트의 내부로 침투하여 페이스트 중의 콘크리트 수화반응 결과물인 수산화칼슘 및 다양한 클링커와 반응하여 탄산칼슘을 생성한다.

○ 본 연구에서 이산화탄소 흡수량 증가폭이 감소된 것은 활성화제 투입량이 증가함에 따라 페이스트의 수화반응이 촉진되어 내부 공극율이 감소하며, 이에 따라 대부분의 이산화탄소 흡수 반응이 페이스트 표면에서의 반응으로 종결되었기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 2-299> 시멘트 대체율에 따른 콘크리트 이산화탄소 흡수 실험 결과

<표 2-240> 시료별 흡수 실험 결과로 도출한 이산화탄소 흡수량

시료명	이산화탄소 흡수량 ($g-CO_2/kg$)
S0Ca20Na20	2.5
S100Ca20Na20	32.6
S100Ca40Na0	27.1
S90Ca20Na20	23.6
S90Ca40Na0	21.7
S60Ca20Na20	10.5

○ 동일한 조건에서 시멘트 대체율에 따라 페이스트의 이산화탄소 흡수량은 감소하였다. 단, 이산화탄소 흡수량에 대해서만이 아니라 시멘트 대체율에 따른 이산화탄소 흡수 속도 영향을 확인하고자, 시료별로 이산화탄소 흡수반응 속도상수를 아래 식(1)을 통해 구했다.

$$\frac{c}{c_0} = e^{-kt} \quad (1)$$

여기서, C는 페이스트를 통과한 후의 배출된 이산화탄소 농도 (ppm), C0는 페이스트에 유입되기 직전의 이산화탄소 농도 (ppm), k는 이산화탄소 흡수 속도상수 (min-1), t는 반응시간 (min)을 나타낸다.

○ 아래 표는 시료별 이산화탄소 흡수 속도 상수를 정리한 결과이다.

○ 동일한 결합재 조건에서 단일 종류의 활성화제를 투입하여 제조한 콘크리트에 비해 2가지 종류의 활성화제를 혼합하여 제조한 콘크리트의 이산화탄소 흡수 속도 상수는 시멘트 사용량이 적을수록 높았다.

○ 동일한 활성화제 투입 조건에서 시멘트 대체율에 따른 이산화탄소 흡수속도는 시멘트 대체율이 낮을수록 높으나, 시멘트 대체율이 10%이하일 경우 속도 상수 증가율은 낮아졌다.

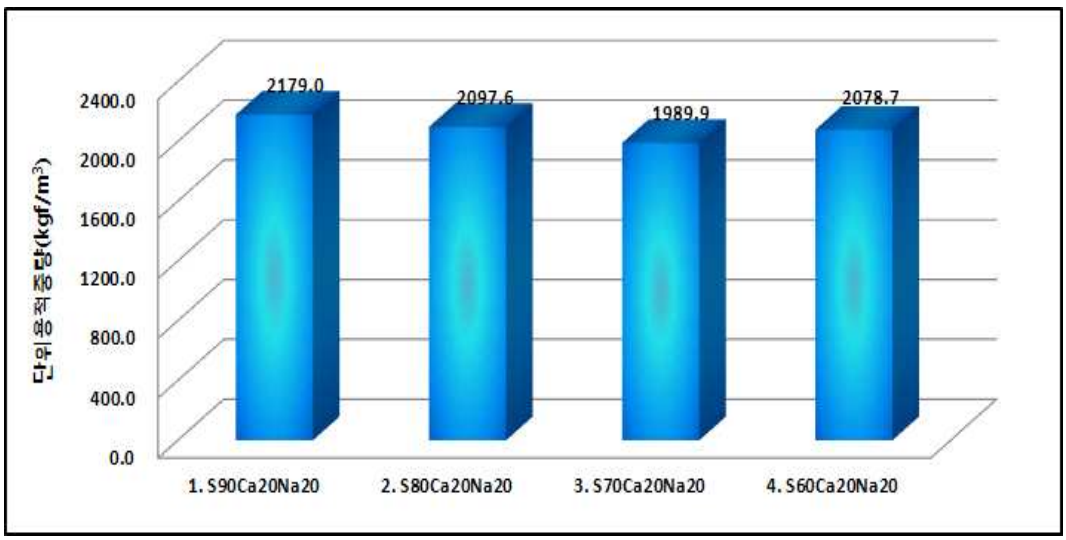
<표 2-241> 시료별 흡수 실험 결과로 도출한 이산화탄소 흡수 속도 상수

시료명	이산화탄소 흡수 속도 상수 (hr^{-1})
S0Ca20Na20	0.02
S100Ca20Na20	0.09
S100Ca40Na0	0.08
S90Ca20Na20	0.06
S90Ca40Na0	0.06
S60Ca20Na20	0.03

㉰ 역학적 특성 분석 결과

■ 단위용적중량 실험

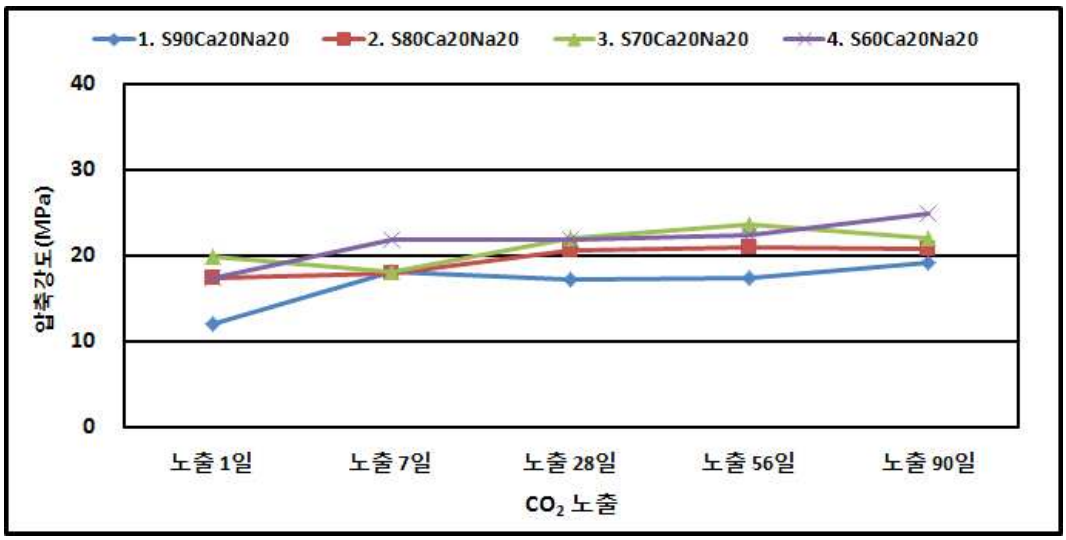
○ 단위용적중량 실험 결과, 시멘트 첨가량이 가장 많은 S60Ca20Na20 변수에서 2078.7 kgf/m3의 가장 높은 단위용적중량 값을 나타내었으며, 이를 제외한 변수에서는 시멘트 첨가량이 증가함에 따라 단위용적중량이 감소하였다.



<그림 2-300> 단위용적중량 실험 결과

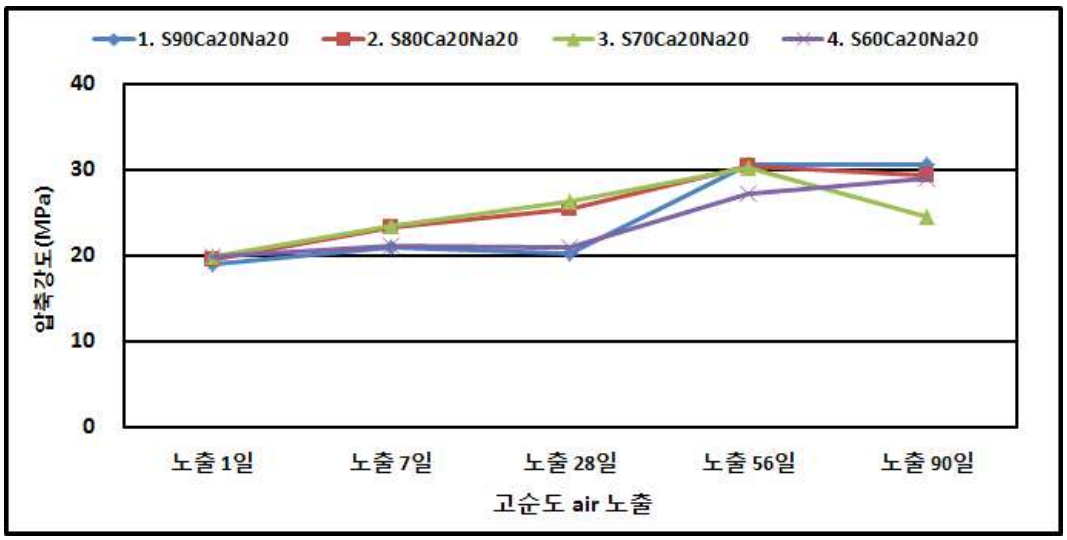
■ 압축강도 실험

○ CO2 노출조건에서의 압축강도 실험 결과, 노출 90일에서 시멘트 첨가량이 가장 많은 S60Ca20Na20변수에서 25 MPa의 가장 큰 압축강도 값을 나타내었으며, S90Ca20Na20변수의 경우 노출 7일 이후 압축강도의 증가가 거의 발생하지 않았다. 전반적으로, 노출 경과에 따른 압축강도의 증가는 미미하였다.



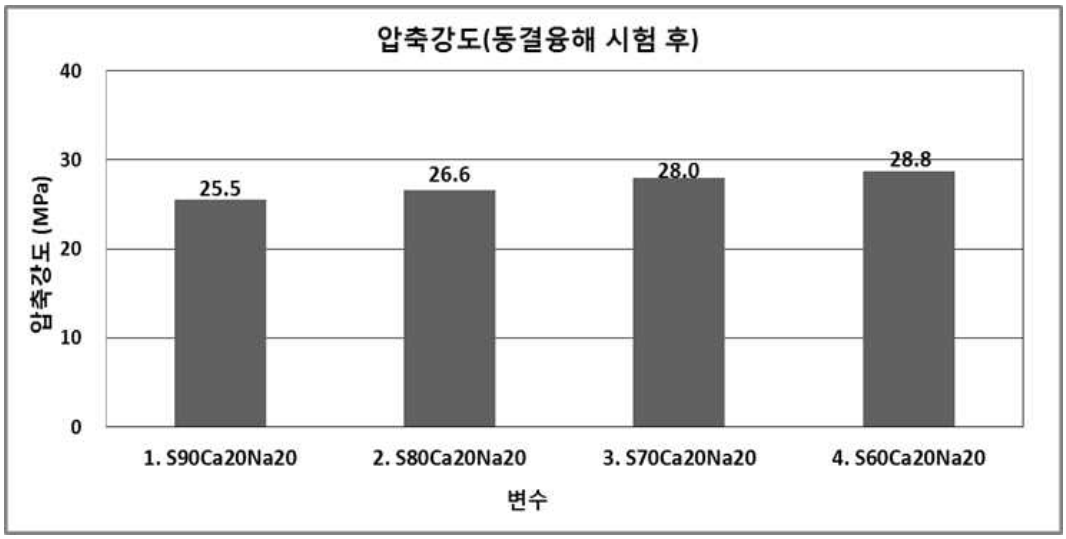
<그림 2-301> 압축강도 실험 결과(CO2 노출)

*양생 1일 후 탈형하여 노출실험을 진행함에 따라 재령일은 노출일에서 1일이 추가됨



<그림 2-302> 압축강도 실험 결과(고순도 air 노출)

○ 고순도 air 노출조건에서의 압축강도 실험 결과, 노출 56일에서 최대 30 MPa의 압축강도값을 나타내었지만, 노출 56일 이후 압축강도의 증가는 거의 발생하지 않았다.



<그림 2-303> 압축강도 실험 결과(동결융해 시험체 이용)

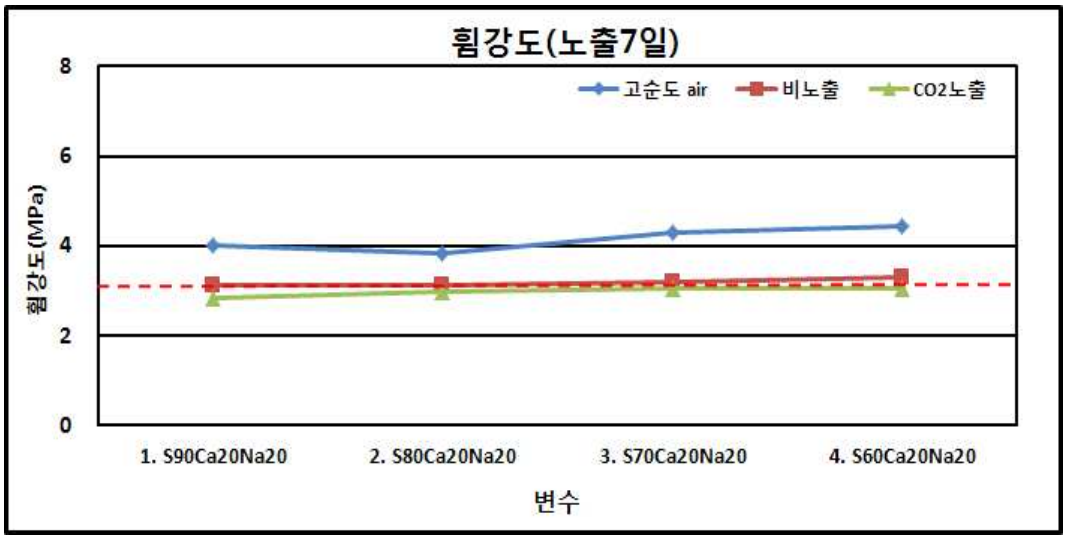
*시험체의 재령일은 90일에 해당됨

○ 동결융해저항성 400 Cylce 실험을 거친 시험체를 이용한 압축강도 실험결과, 시멘트 첨가량이 가장 많은 S60Ca20Na20 변수에서 28.8 MPa의 가장 높은 압축강도 값을 나타내었으며, 시멘트의 첨가량이 많아질수록 압축강도의 값도 증가하였다.

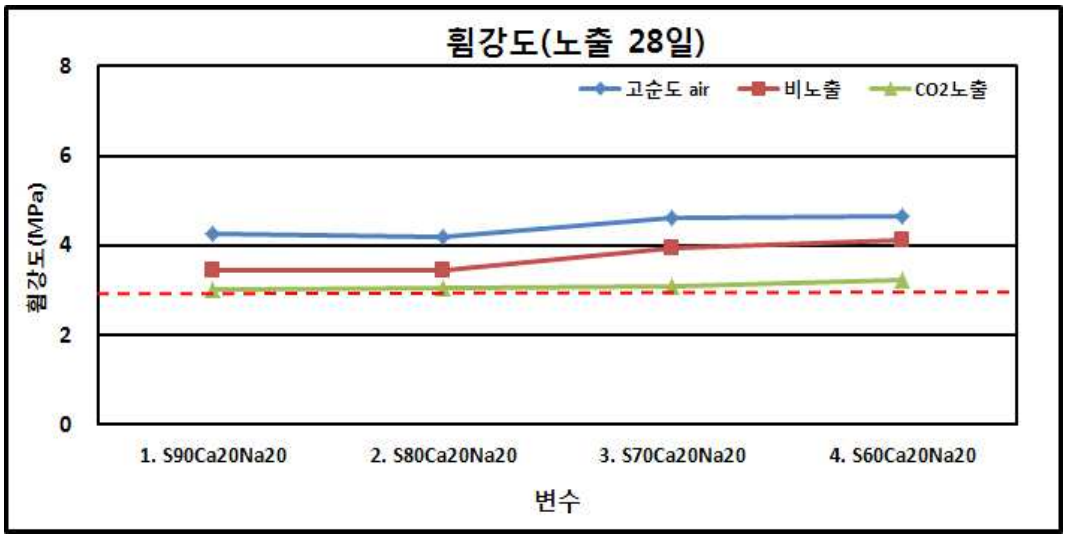
■ 휨강도 실험

○ 노출 7일 휨강도 실험결과, 비노출 시험체와 CO_2 노출 시험체의 경우 목표 휨강도를 상회하지 않는 값을 나타내었으며, 고순도 air 노출 조건의 경우 전반적으로 4.0 MPa 수준으로 비노출 및 CO2 노출 시험체와 비교하여 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 또한, 시멘트 첨가량 변화에 따른 동일노출조건의 변수별 강도의 차이는 미미한 것으로 판단되었다.

○ 노출 28일 휨강도 실험결과, CO_2 노출 시험체의 경우 목표 휨강도를 만족하였으나, 크게 상회하지 않는 값을 나타내었으며, 비노출 시험체의 경우 전반적으로 3.5 MPa 이상의 값을 나타내었다. 또한, 고순도 air 노출조건의 경우 4.0 MPa 이상의 값으로 비노출 및 CO2 노출 조건과 비교하여 가장 높은 값을 나타내었다. 노출 7일과 마찬가지로 시멘트 첨가량 변화에 따른 동일노출조건의 변수별 강도의 차이는 미미한 것으로 판단되었다. 전반적으로 노출 7일 이후 노출 28일까지의 압축강도 증가폭은 미미한 것으로 분석되었다.



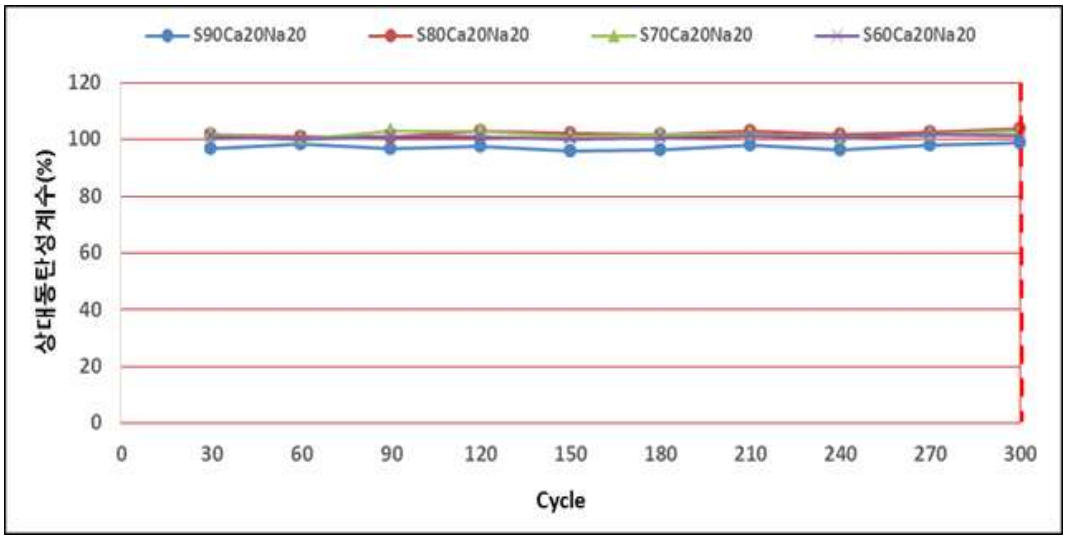
<그림 2-304> 휨강도 실험 결과(노출 7일)



<그림 2-305> 휨강도 실험 결과(노출 28일)

■ 동결융해저항성 실험

○ 탄소흡수용 콘크리트의 동결융해저항성 실험결과, 모든 변수에서 KS F 2456의 기준을 만족하는 300 Cycle에서 상대동탄성 계수 60%이상의 값을 나타냄에 따라, 동결융해 저항성 측면에서 긍정적인 영향을 나타내는 것으로 판단된다.



<그림 2-306> 동결융해저항성 실험 결과

③ 현장 장기 노출 평가

■ 콘크리트 시편 및 탄소 흡수능 정량화 평가를 위한 반응조 제작 및 설치

○ 탄소 흡수능 평가를 위한 밀폐형 반응조는 내부 부피가 14,400 ㎤ (120 mm × 120 mm × 1,000 mm)이며, 이는 현장 평가용 시편 부피의 약 2.25 배이다.

○ 현장 장기 노출 평가 장소로 선정한 안성휴게소(부산방향) 고속도로 인극의 옹벽 위에 탄소 흡수능 정량화 평가를 위해 콘크리트 시편 2개를 투입한 반응조(reactor) 및 대조 반응조(blank) 및 내구성 평가를 위한 콘크리트 시편을 설치하였다.



<그림 2-307> 현장 장기 노출 장소



<그림 2-308> 장기 노출 평가를 위한 콘크리트 시편 설치



<그림 2-309> 장기 노출 시의 탄소 흡수능 평가를 위한 반응조 설치

■ 탄소 흡수능 정량화 평가 결과

○ 설치 당일, 3일, 7일, 28일 후 탄소 흡수능 평가용 반응조 내부를 이산화탄소 농도를 측정하여 초기 반응조 내부 농도와의 차이로 이산화탄소 흡수량을 계산하였다.

○ 탄소 흡수능 평가용 반응조(reactor)와 동일한 주기로 시편을 설치하지 않은 '대조 반응조'(blank) 내부 농도를 측정하여 반응조 내부에서 이산화탄소 농도가 시간이 지남에 따라 외부로 미량 유출되는 농도를 보정하였다.

○ 장기노출 평가 기간의 반응조가 설치된 도로 주변의 이산화탄소 농도를 측정한 결과이다. 도로의 당일 차량 통행량에 따라서 이산화탄소 농도가 322 ppm에서 최대 578 ppm 까지 측정되었다.

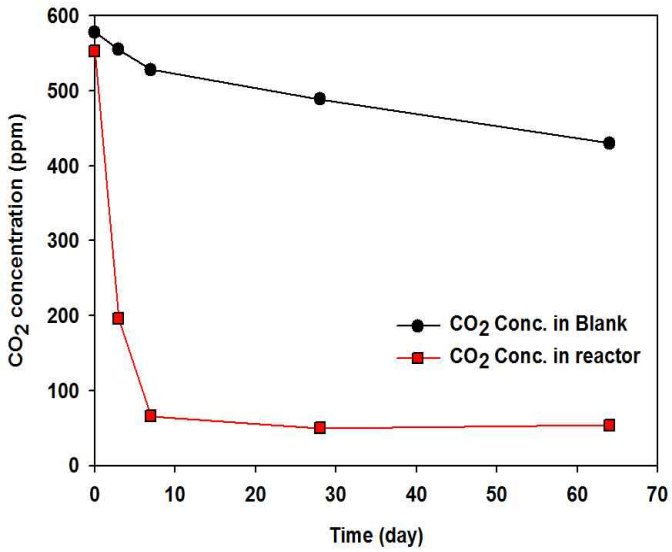
○ 기 노출 평가 기간에 따른 이산화탄소 농도 변화이다. 초기 3일 동안 이산화탄소 농도 변화가 가장 급격하며 7일 후 반응조 내부 이산화탄소 농도는 55 ppm 까지 감소하였으나, 그 이후에는 이산화탄소 농도 변화가 미미하였다.

○ 장기 노출 평가 설치 7일 후 이산화탄소 흡수량은 54.5 g-CO2/kg 까지 증가하나 이후에는 이산화탄소 흡수량이 증가하지 않음. 이는 이산화탄소 흡수 반응은 대기 중에 노출된 이후 비교적 빠른 기간에 완료가 되는 것으로 판단된다.

○ 단, 본 연구에서 진행한 장기 노출 평가는 12월~2월의 3개월간 진행된 것으로 장기적인 현장 적용성 확보를 위해서는 추후 4계절 기후에 따른 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

<표 2-242> 현장 도로 주변 이산화탄소 농도

측정일	이산화탄소 농도 (ppm)
12월 22일	578
12월 25일	331
12월 29일	401
1월 19일	396
2월 24일	322

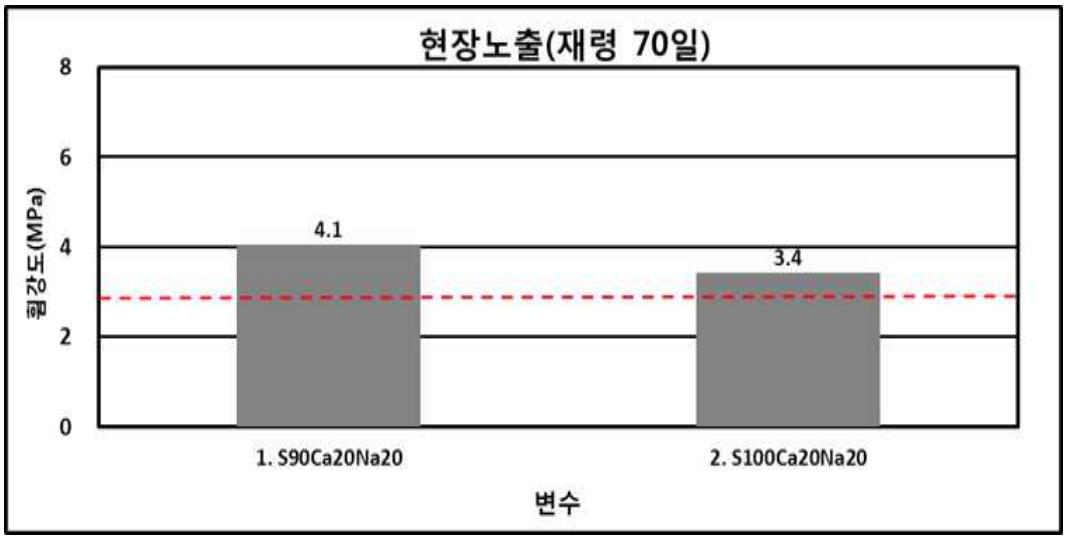


<그림 2-310> 장기 노출 흡수능 평가 결과

■ 휨강도 평가 결과

○ 현장 장기노출(재령 70일) 시험체의 휨강도 측정결과, S90Ca20Na20변수 및 S100 Ca20Na20 변수 모두 목표 휨강도인 3.0 MPa이상을 상회하였다.

○ 또한, 시멘트 첨가변수인 S90Ca20Na20변수가 시멘트 미첨가변수인 S100Ca20Na20 변수에 비하여 상대적으로 높은 휨강도를 나타냈으며, 이는 시멘트 첨가에 의한 강도발현 영향으로 판단된다.



<그림 2-311> 휨강도 실험 결과(현장 장기 노출 시험체)

나. 도로시설용 TiO2 콘크리트 공법 개발(2-1-2)

(1) 광촉매 콘크리트 도로구조물의 효율적 적용 방안

① 광촉매 적용 방안

○ 광촉매의 적용방안으로 결정한 방법은 시멘트 일부를 치환하여 배합하는 방법과 양생제를 이용한 코팅, 실리카계 표면침투제를 이용한 침투 방법으로 결정하였다. 시멘트 일부를 치환하는 방법은 일부 유럽국가 및 일본에서 보도블록 등에 광촉매 소재를 적용 시 사용하고 있는 방식이다. 현재 가장 연구 진행되어 특허 및 시험시공을 통한 결과를 나타내고 있다. 그러나 이 경우 광촉매의 함유 부분이 상당히 두껍기 때문에 마모의 위험은 없으나 광촉매가 많이 사용되어져야 하며 광촉매 반응이 대기와 접하는 반응임을 고려하여 볼 때 내부에 존재하고 있는 광촉매는 광을 받지 못하거나 또는 배기가스와 접촉하지 못함으로써 그 역할을 할 수 없기 때문에 광촉매의 낭비가 심해진다. 더욱이 광촉매 가격을 고려하여 볼 때 이러한 방법으로 배기가스 저감 콘크리트를 제조하는 것은 경제성 및 효율성을 확보하지 못하여 실용화에 상당한 어려움이 있으리라 예상되어진다. 양생제 사용을 통한 표면 코팅의 경우 적용하기가 용이하며, 자동차의 배기가스와 접하는 대기가 넓기 때문에 충분한 효과를 나타낼 것으로 판단된다. 그러나 자동차로 인한 마모 및 산화에 따른 광촉매 효과의 손실이 빠르게 진행될 것으로 판단된다. 실리카계 표면침투제 이용한 침투 방법은 적용하기가 용이하며, 침투깊이에 따라 마모의 위험은 없으며, 광촉매가 적정량의 사용된다. 또한 자동차의 배기가스와 접하는 대기가 넓기 때문에 충분한 효과를 나타낼 것으로 판단된다. 그러나 적정깊이까지 침투하지 못하면 자동차 인한 마모 및 산화에 따른 광촉매 효과의 손실이 빠르게 진행될 것으로 판단된다. 이에 광촉매 콘크리트에 대한 제작 방법에 따른 광촉매 검출 특성을 분석하고 이를 통하여 최적의 적용방안을 도출하였다.

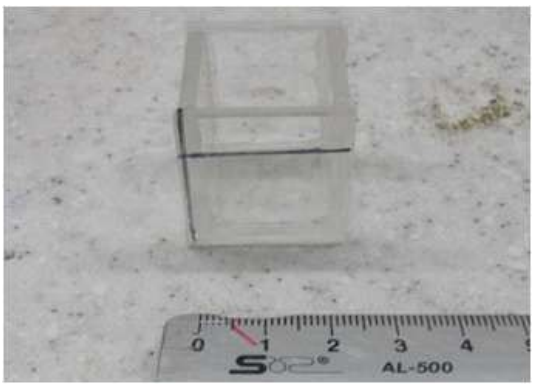
○ 적용인자로는 국외에서 많이 사용되고 있는 광촉매치환 배합을 기반으로 실리카계 표면침투제 침투 및 양생제의 코팅을 혼합한 적용기법을 사용하였다. 적용방법으로는 치환배합의 경우 시멘트량의 5%를 광촉매로 치환하여 배합하였고, 나머지 2가지의 적용인자는 표면에 살포하여 광촉매의 검출여부를 확인하였다.

<표 2-243> 모르타르의 배합 및 적용기법

적용인자	적용방법	물-시멘트비 (W/C)	시멘트/잔골재비 (C/S)
TiO_2(5%) 치환배합	시멘트 5%치환배합	0.5	1:2
표면침투제+ TiO_2(2%) 침투	표면 살포		
양생제+ $TiO(2\%)_2$ 코팅	표면 살포		

㉮ 시편제작

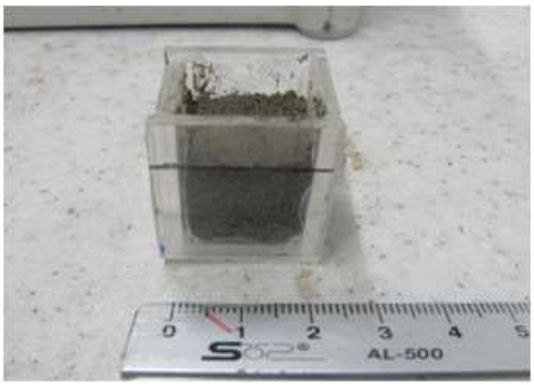
○ 광촉매(TiO_2)를 적용한 모르타르 시편의 경우 티타늄 검출을 하기 위한 실험을 실기 하기 위해서 시편사이즈가 작아야하며, 추후 질소산화물(NOx)제거실험을 수행하기 위하여 사이즈를 2 cm×2 cm×2 cm 로 제작하였다. 그림 9의 경우 1:2 모르타르 배합을 위한 시편 제작 과정을 나타낸 것으로 TiO_2(5%) 치환 배합 시 시멘트의 5%를 TiO_2로 치환하여 모르타르 배합을 실시하였으며, 실리카계 표면침투제 및 양생제 적용 시 배합된 1:2 모르타르 시편을 일정시간 양생 후 표면에 살포하였다.



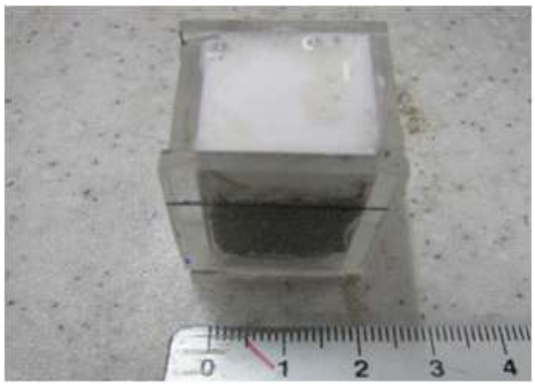
(a) 몰드제작



(b) 모르타르 배합



(c) 시편제작


(d) 시험시편 완료

㉯ 광촉매 적용 시편의 티타늄 검출 평가 방안

○ 전계방사형 주사전자현미경(SEM/EDS)은 금속표면에 강한 양전위를 걸어 주어서 전자를 표면으로부터 떼어내는 전자총을 사용하여 고휘도의 전자빔을 얻을 수 있다. 따라서 고분해능, 고배율로 분석이 가능하며, 시료표면에서 발생하는 다양한 신호를 검출하여 물질의 형태, 구조, 성분 등을 분석할 수 있는 장비이다. 광촉매(TiO_2)에 대한 검출을 판단하기 위해서 전계방사형 주사전자현미경을 이용하여 미세구조 및 성분분석을 실시하였다.



(a) 진공 및 표면처리 (b) EDAX 시편 위치

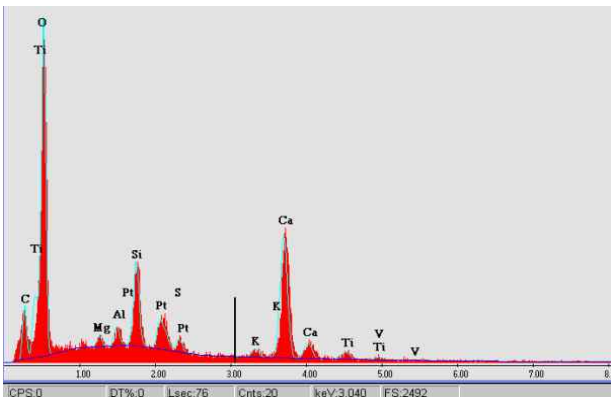
(c) EDAX 실험전경 (d) 분석

<그림 2-312> EDAX(EDS)를 이용한 TiO2 검출여부 분석

② 광촉매 적용 방법에 따른 티타늄 검출 평가

○ 치환 배합을 통한 EDS 분석결과는 티타늄의 질량비가 3.38%이 검출되었다. 광촉매의 함유량이 5%로 치환 배합한 결과로써 티타늄이 5%미만의 질량비를 나타내고 있다. 치환 배합의 경우에는 기본적으로 많은 양의 광촉매 재료를 소비하고 있으며, 배기가스와 접촉하지 못함으로써 그 역할을 할 수 없기 때문에 광촉매의 낭비가 심해진다. 또한 실험결과 티타늄 5% 미만 검출결과 효율성이 더 떨어진다고 판단된다.

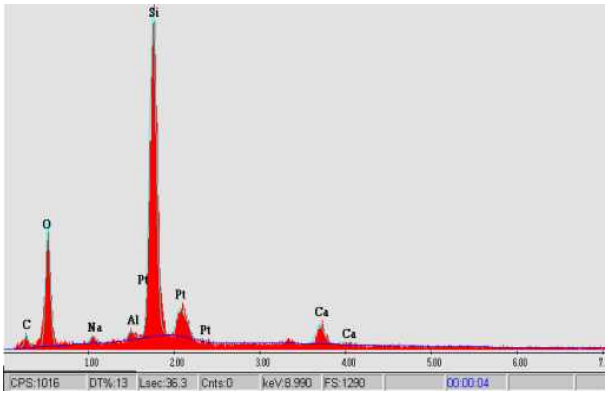
Element	Weignt (%)
C	8.09
O	39.57
Mg	0.66
Al	1.34
Si	5.97
Pt	9.02
S	1.49
K	1.59
Ca	28.89
Ti	3.38



<그림 2-313> 치환배합에 대한 EDS 분석결과

○ 양생제를 이용한 코팅의 경우 EDS분석결과에서는 티타늄의 질량비가 불검출되었다. 시편 위에 2%의 광촉매를 표면살포한 결과 티타늄에 대한 불검출인 다양한 코딩방법에 대한 고찰이 필요할 것으로 판단되며, 추후 실험을 통한 질소화합물(NOx)에 대한 효과분석을 실시하여 티타늄에 불검출에 대한 검증이 필요하다.

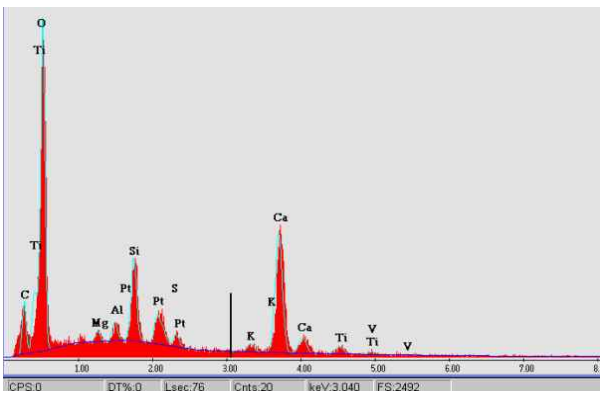
Element	Weignt (%)
C	13.20
O	35.63
Na	1.01
Al	1.00
Si	31.06
Pt	14.05
Ca	4.05



<그림 2-314> 양생제 코팅에 대한 EDS 분석결과

○ 실리카계 표면침투제를 이용한 침투방법의 경우 EDS분석결과에서는 티타늄의 질량비가 14.83%가 검출되었다. 광촉매의 함유량의 2%로 치환배합 방법 보다 적은 양을 침투 시켰으나, 더 많은 양의 광촉매가 검출되었다. 실리카계 표면침투제를 이용한 침투방법 경우 시간에 따라 침투량과 침투깊이가 달라지므로 재령 3일과 7일에 따른 티타늄의 질량비를 측정하였다. 재령이 3일 보다 7일이 더 많은 깊이를 침투하는 것으로 판단되며, 재량 7일인 경우 더 많은 질량비를 보이고 있다. 표면침투제를 이용한 시료를 사용할 때 더 적은 양으로 많은 면적에서 대기와 접촉하기 때문에 많은 효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

Element	Weignt (%)
O	50.63
Na	10.56
Si	18.03
Pt	2.30
K	0.83
Ca	1.97
Ti	14.83
V	0.85



<그림 2-315> 실리카계 표면침투제를 적용한 EDS 분석결과

③ 표면침투제를 활용한 광촉매에 따른 티타늄 침투깊이 평가

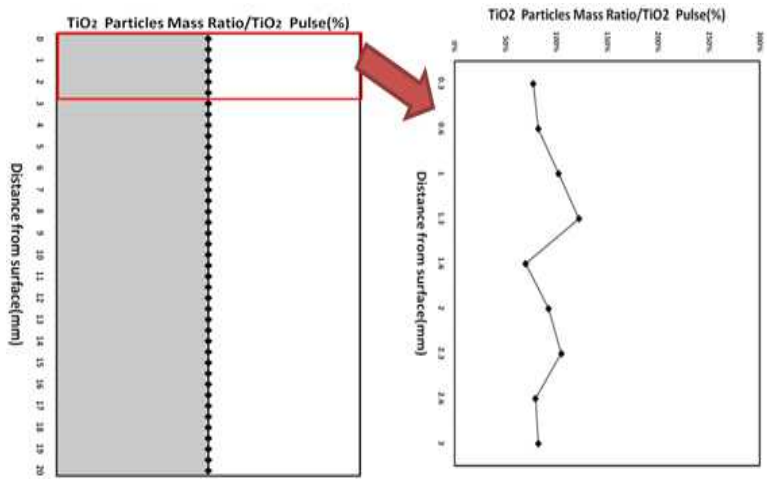
○ 치환 배합을 통한 광촉매 적용 시 콘크리트 내부에 균일하게 분포시킬 수 있으나 경제적이지 못한 반면, 표면침투제 활용을 통하여 광촉매를 적정깊이까지 침투시킬 경우 콘크리트 표면에 많은 양이 분포하게 되어 NOx 제거 효율 증가 및 경제성 확보 시 유리한 것으로 확인되었다. 표면침투제를 활용하여 콘크리트 내부로 광촉매를 효과적으로 침투시킬 시 넓은 대기와 접촉이 유리하며 치환배합 보다 적은양의 광촉매를 사용하여도 효과를 증진시킬 수 있으며 콘크리트 도로 구조물의 공용에 따른 마모가 발생하여도 일정깊이까지 침투한 광촉매의 효과를 유지할 수 있다.

○ 따라서 본 연구에서는 표면침투제와 광촉매를 혼합하여 모르타르 시편의 표면 살포를 통한 침투깊이를 분석하고자 하며 이때 광촉매의 종류와 입자 크기에 대한 변수를 고려하여 아나타제형과 루틸형의 광촉매를 사용한다. 아나타제형의 광촉매는 입자크기 25 nm를 갖는 P-25(10만원/kg)와 입자크기 260 nm를 갖는 루틸형 CR-57(8천원/kg)으로 선정하였다.

○ 표면침투제를 이용한 광촉매 콘크리트의 적용방법 및 침투깊이를 분석하여 최적 적용방안을 모색하고자하며 적용인자의 경우 광촉매의 입자크기(nm, um) 및 종류 (아나타제, 루틸)로 구분하였으며, 상대비교를 위하여 치환배합 조건을 추가한 후 깊이에 따른 광촉매 검출여부를 평가하였다. 이때 사용된 표면침투제는 종류는 유기계 중 액상형 실리케이트계를 사용하였다.

㉮ TiO2(5%) 치환배합에 따른 티타늄 깊이

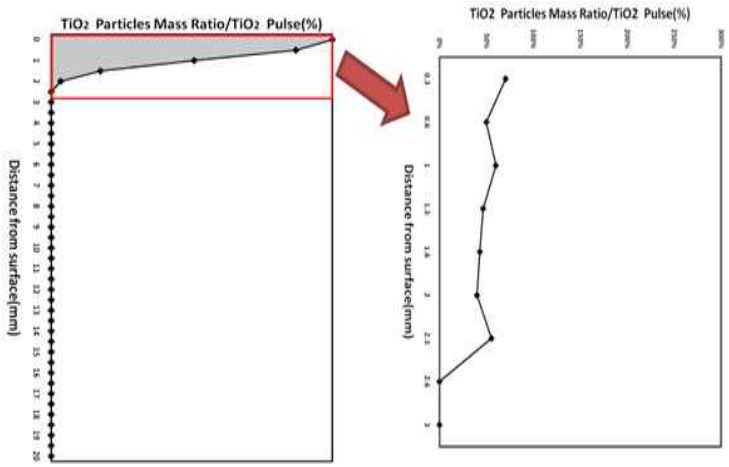
○ 치환배합에 따른 깊이별 티타늄 검출 여부를 나타낸 것으로 모르타르 표면으로부터 3 mm 깊이까지 0.33 mm 간격으로 EDAX를 이용하여 질량비를 측정함. 분석결과 5% 미만의 질량비를 나타내었다. 치환배합의 경우 모르타르 표면에서 70% 정도의 티타늄이 검출되었으며, 시편표면으로부터 1.33 mm 아래지점에서는 100% 이상의 티타늄이 검출됨을 확인하였고, 이는 TiO_2의 사용량에 비해 분포가 효율적이지 않은 것으로 사료된다.



<그림 2-316> 치환배합의 EDAX 분석결과
(TiO_2 Partcles Mass Ratio/ TiO_2 Pulse)

㉯ P-25(아나타제형, 입자크기 25 nm)의 티타늄 침투 깊이 및 분포

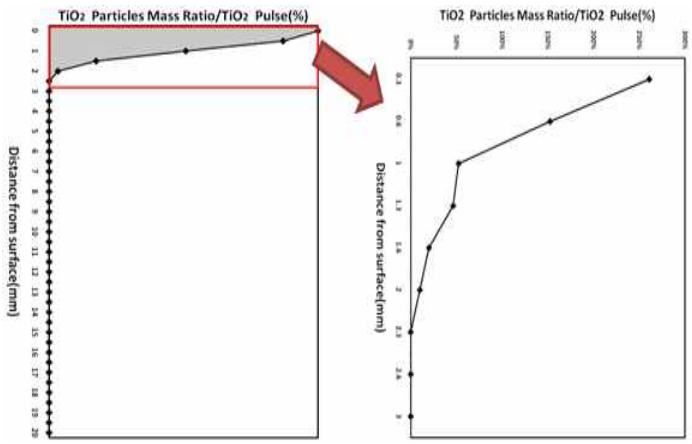
○ 광촉매 P-25를 적용하여 깊이별 티타늄 검출 여부를 나타낸 것으로 치환배합과 동일하게 모르타르 표면으로부터 3 mm 깊이까지 0.33 mm 간격으로 EDAX를 이용하여 질량비를 측정하였다. 표면침투제와 광촉매 P-25를 사용한 경우 티타늄이 검출되었으며, 0.33 mm에서 70%의 결과를 나타낸 반면 침투깊이가 깊어질수록 티타늄이 감소하였고, 표면으로부터 2.66 mm의 깊이에서는 티타늄이 검출되지 않았다.



<그림 2-317> P-25의 EDAX 분석결과
(TiO_2 Particles Mass Ratio/ TiO_2 Pulse)

㉰ CR-57(루틸형, 입자크기 260 nm)의 티타늄 침투 깊이 및 분포

○ 광촉매 CR-57을 적용하여 깊이별 티타늄 검출 여부를 나타낸 것으로 치환배합과 동일하게 모르타르 표면으로부터 3 mm 깊이까지 0.33 mm 간격으로 EDAX를 이용하여 질량비를 측정하였다. 표면침투제와 광촉매 CR-57을 사용한 경우 0.33 mm에서 261%, 0.66 mm에서 152.5%, 1 mm에서 52.5%, 1.33 mm에서 46.5%, 1.66 mm에서 20%, 2mm에서 10%의 질량비/사용량의 티타늄이 검출되었다.



<그림 2-318> CR-57의 EDAX 분석결과
(TiO_2 Particles Mass Ratio/ TiO_2 Pulse)

○ 이와 같이 CR-57를 적용한 경우 2 mm 이상의 침투 깊이를 확보하여 콘크리트 도로구조물 적용 시 마모에 따른 광촉매 효율은 충분히 유지될 수 있을 것으로 판단되며, 특히 표면으로부터 0.33 mm 깊이의 경우 사용량 보다 많은 양의 광촉매가 분포하여 건설 광촉매 효과를 충분히 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

㉱ 도로시설용 광촉매(TiO2) 콘크리트의 최적 적용방안

○ 광촉매의 종류는 아나타제형의 P-25(10만원/kg)와 루틸형의 CR-57(8천원/kg)이 있으며, 가격대비 성능이 우수한 CR-57을 선정하였다.

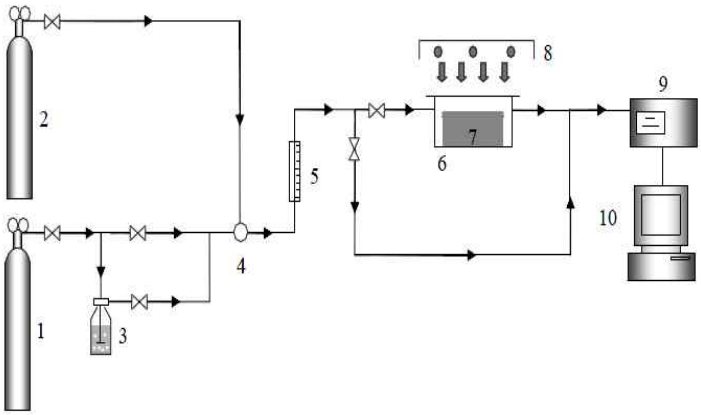
○ 치환배합에 비하여 표면 침투식의 경우 많은 양의 TiO_2가 표면에 존재하여 대기에 충분히 접촉할 수 있으므로 NOx 제거효과가 우수하다.

○ 침투식의 경우 치환배합보다 TiO_2 소재를 최대 1/10정도 감축할 수 있다. 따라서 표면 침투 방식으로 결정한다.

(2) 광촉매 콘크리트의 NOx 제거효율 평가

① NOx 제거 평가시스템 구축

○ 광촉매 콘크리트의 NOx 제거효율을 평가하기 위하여 사용된 콘크리트 시편은 28일 항온항습 양생 후 압축강도 및 휨강도 등의 기초 물성을 측정하였다. 그림 2-55은 ISO 22197-1 (2007) "Test method for air-purification performance of semiconducting photocatalytic materials-Part 1: Removal of nitric oxide" 규정을 준수하여 구축된 광촉매 콘크리트의 NOx 제거 평가시스템이며, 규정의 시편에 비해 실험 시편 크기의 증대에 따라 시험기구 내부의 길이 및 폭에 대한 크기를 조정하여 광촉매 콘크리트에 적용할 수 있도록 구축되었다. 그림 2-55는 NOx 제거 평가시스템의 구성을 도시한 것이며, NOx 제거효율 평가 시스템은 물을 통과하는 액화 공기와 액화 질소를 혼합하므로 NOx 농도를 실험자가 유동적으로 조정할 수 있고, 일부 NOx를 gas photoreactor로 흘려보내 실험을 진행하였다. 일반적으로 지표면에 도달하는 자외선은 290~380 nm의 파장을 나타내므로 이와 유사한 315~400 nm의 파장을 갖는 UV-A 램프를 NOx 제거 평가시스템에 사용하였으며, 조명용 형광 램프와 같은 유리를 사용하여 일부 가시광선도 방사되게 하였다. 또한 도로변 지역 NO의 농도의 경우 평균 170 ppb, 최고 854 ppb가 발생하여 일반지역에 비해 2.5배 이상 높으며, 출퇴근 차량이 증가하는 시점에서 최대치를 나타낸다. 따라서 NOx 제거효율 측정 시 ISO 22197-1에 따라 도로지역의 NO 최고 농도와 유사하게 1,000 ppb로 고정하였다.



1. Synthetic air
2. NO source
3. Gas washing bottle
4. Temperature and relative humidity sensor
5. Flow controller
6. Gas photoreactor
7. TiO_2 concrete specimen
8. UV-A light source
9 NOx analyzer
10. Computer

<그림 2-319> NOx 제거 실험 장치의 원리도(ISO 22197-1)



(a) NOx 제거 평가 장비



(b) 액화산소 & 액화질소(NO 30ppm/N2)



(c) TiO_2 콘크리트 제작 몰드 (10cm×10cm×80cm)

<그림 2-320> 도로시설용 광촉매 콘크리트의 NOx 제거 평가 시스템

② 광촉매 콘크리트의 NOx 제거효율 측정 방안

㉮ 실험 조건

○ 광촉매 콘크리트의 제작 및 NOx 제거효율을 평가하기 위한 실험 계획을 나타낸 것이다. 사용 광촉매의 타입은 루타일계로 입자크기는 260 nm이며, 홍성재 등 (2013)의 연구에서는 표면침투제를 사용하여 모르타르 시편에 해당 광촉매의 표면침투 시 우수한 분포특성을 나타냈다. 특히 모르타르 표면으로부터 2 mm 이상의 침투깊이를 확보하여 콘크리트 도로구조물 적용 시 마모에

따른 광촉매 효율을 장기간 유지할 수 있을 것으로 판단하였다. 또한 실험에 사용된 표면침투제는 액상형 실리케이트계로 불화수소, 탄산마그네슘, 실리카겔 및 물로 구성되었다. 이와 같은 실리케이트계 표면침투제는 콘크리트 시편에 침투 시 시멘트 클링커와 수화반응하여 규산염겔인 C-S-H(Calcium Silicate Hydrate)와 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)결정이 모세관 공극(capillary pore)내에 생성되는 포졸란 반응을 활성화 시킨다. 또한 실리케이트($Na_2O \cdot SiO_2$) 성분은 포졸란 반응 시 미활성화 된 수산화칼슘과의 화학 반응에 의해 C-S-H 형태로 모세관 공극에 생성되어 콘크리트 구체의 내부에 공극량을 감소시키는 효과를 나타낸다. 따라서 표면침투제 용액을 적용한 콘크리트는 역학적 성능 향상 및 내구성 보강 측면에서 일반 포틀랜드시멘트 콘크리트 보다 치밀한 조직을 형성할 수 있다.

○ 표면침투제를 활용하여 광촉매를 표면으로 침투 시 표면침투제와 TiO_2 분말을 8대2로 희석하여 각각 300, 500, 700 g/㎡을 살포하였다. 일반적으로 표면침투제의 적정 살포량은 1,000 g/㎡이나 고속도로 전문시방서의 양생제 살포량 기준인 약 388~485 g/㎡을 참조하여 실험 조건을 선정하였다. 본 실험에서는 TiO_2 치환배합과 함께 굳지 않은 콘크리트와 굳은 콘크리트로 구분하여 표면침투를 시행하였으며, 굳지 않은 콘크리트 표면침투 시 TiO_2 표면침투제의 살포 시기는 표면 물기가 증발한 후 30분 이내에 1회 살포, 경우에 따라 2회 이상으로 나누어 진행하였다. 각각의 실험조건에 대하여 NOx 제거효율평가 시편을 3개씩 제작하였으며, 콘크리트의 물성 검토를 위하여 압축강도 및 휨강도 시편을 3개씩 제작하였다. 사용 배합비는 고속도로공사 전문시방서를 참조하여 콘크리트 중앙분리대, 측구 및 길어깨 집수정 적용을 위한 표준배합을 사용하였다.

<표 2-244> 광촉매 콘크리트 제작 및 NOx 제거효율 평가 실험계획

<table>
<tr><th>TiO_2
타입</th><th colspan="2">TiO_2 적용방법</th><th>TiO_2 치환량 및
농도</th><th>NOx
제거효율
평가</th><th>기타</th></tr>
<tr><td rowspan="9">CR-57
(rutile,
260nm)</td><td colspan="2" rowspan="3">TiO_2 치환 배합</td><td>cement×3%</td><td rowspan="3">28일 양생 후</td><td rowspan="9">표면
TiO2 분말
제거 시
흐르는
물로 세척</td></tr>
<tr><td>cement×5%</td></tr>
<tr><td>cement×7%</td></tr>
<tr><td rowspan="6">표면침투
(표면침투제,
액상
실리케이트계)</td><td rowspan="3">Fresh
Con′c</td><td>300g/m^2</td><td rowspan="3">배합 후 TiO2
표면침투제
도포, 28일 양생</td></tr>
<tr><td>500g/m^2</td></tr>
<tr><td>700g/m^2</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Hardene
d Con′c</td><td>300g/m^2</td><td rowspan="3">28일 양생 후
TiO2 표면침투제
도포</td></tr>
<tr><td>500g/m^2</td></tr>
<tr><td>700g/m^2</td></tr>
<tr><td colspan="6">- 참조 : 표면침투제(80%)+TiO_2(20%) 희석하여 표면 살포</td></tr>
</table>

<표 2-245> 광촉매 콘크리트 사용배합

Gmax (mm)	fck (MPa)	Slump (mm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Contents (kg/m³)				AE Water Reducing Agent
						W	C	S	G	
25	24	40	5~7	45	47	166	370	863	1,001	C×0.3%

㈏ 광촉매 콘크리트 시편 제작

○ 광촉매 콘크리트의 시편 제작과정을 나타낸 것으로, 10 cm×10 cm×80 cm의 몰드에 콘크리트를 배합 한 후 타설 및 다짐을 실시하였다. 치환배합의 경우 배합 시 시멘트의 3, 5 및 7 %의 TiO_2 소재를 혼합하여 배합하였으며, 굳지 않은 콘크리트 표면침투 시 표면의 물기가 마르는 시점에 TiO_2 표면침투제를 살포하였다. 모든 시편은 동일하게 28일 항온항습 양생을 실시하였으며, 굳은 콘크리트에 대한 표면침투는 28일 양생 후 TiO_2 표면침투제를 살포하였다. 제작된 시편은 자외선의 영향을 방지하고자 암막으로 처리하여 광원을 차단하였다. 모든 시편은 NOx 제거효율 측정 전 브러시를 사용하여 흐르는 물에 표면 잔류 TiO_2 분말을 세척하였으며, 완전 건조 시킨 후 실험을 진행하였다. 치환배합의 경우 TiO_2의 혼입에 따른 재료적 특성을 확인하고자 압축강도 및 휨강도 시편을 제작하였다.



(a) Mold (10×10×80cm)



(b) Concrete mixing



(c) Concrete placing



(d) TiO_2 spray on concrete

<그림 2-321> 광촉매 콘크리트 시편 제작

㉰ 광촉매 콘크리트의 기초 물성

○ NOx 제거효율 평가 시 사용된 광촉매 콘크리트 시편의 압축강도 및 휨강도를 측정한 결과이다. TiO_2 표면침투 시 사용되는 콘크리트의 물리적 특성을 확인하기 위하여 TiO_2 치환율을 시멘트의 0, 3, 5 및 7 %로 적용하였다. TiO_2 치환량의 증가에 따라 압축강도 및 휨강도가 감소하고 있으나, 고속도로공사 전문시방서에 의하면 도수로, V/L/U형 측구, 중앙분리대 및 길어깨 집수정에 사용되는 콘크리트의 설계기준강도가 21 MPa이므로 본 연구에서 사용된 광촉매 콘크리트는 사용기준을 만족하는 것을 확인하였다.

<표 2-246> TiO2 재료 물성

TiO_2 치환량(%)	재료물성 (MPa)	
	압축강도	휨강도
0 (Reference)	35.5	6.5
3	34.2	6.1
5	33.8	5.8
7	32.9	5.1

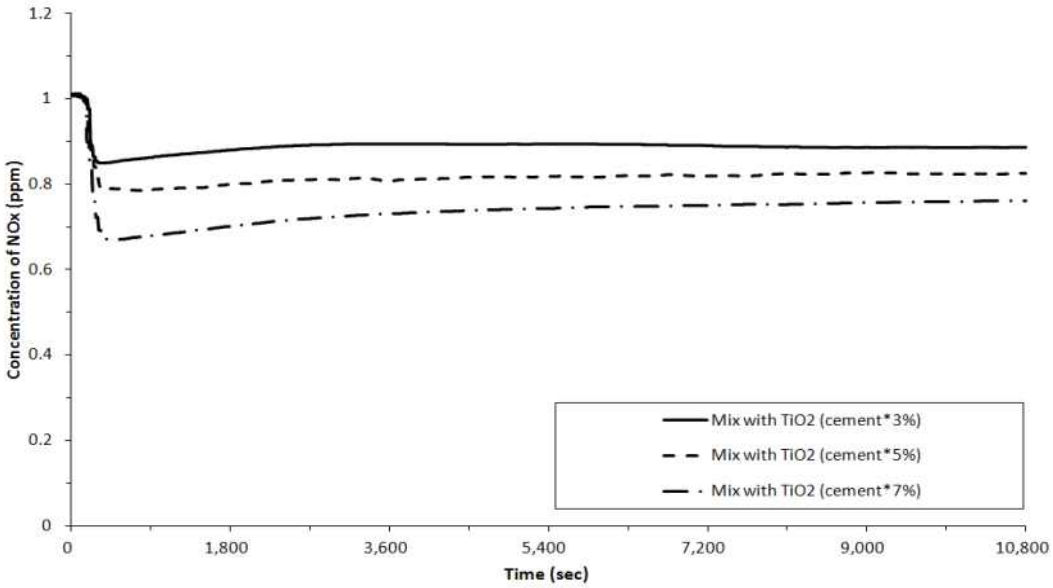
③ 광촉매 반응에 따른 TiO2 콘크리트의 NOx 제거 효율

㉮ 치환배합에 따른 NOx 제거 효율

○ TiO_2 콘크리트의 NOx 제거효율 평가를 위하여 비교시편과 함께 치환배합의 경우 3, 5 및 7%의 TiO_2 소재를 혼합하였으며, 표면침투의 경우 실리케이트계 표면침투제와 TiO_2를 혼합하여 굳은 콘크리트와 굳지 않은 콘크리트 표면에 살포하였다.

○ TiO_2 치환배합에 따른 NOx의 농도변화를 나타낸 것으로, 모든 시편에서 UV 램프 점등 후 TiO_2 소재의 광촉매 반응에 의하여 10분 내외에 NOx의 농도가 최소치로 감소하였다. 이후 시간이 경과함에 따라 NOx 농도가 소폭 상승하였으나 일정시간 경과 후 안정화되었으며 이때의 농도를 활용하여 NOx 제거효율을 판단하였다.

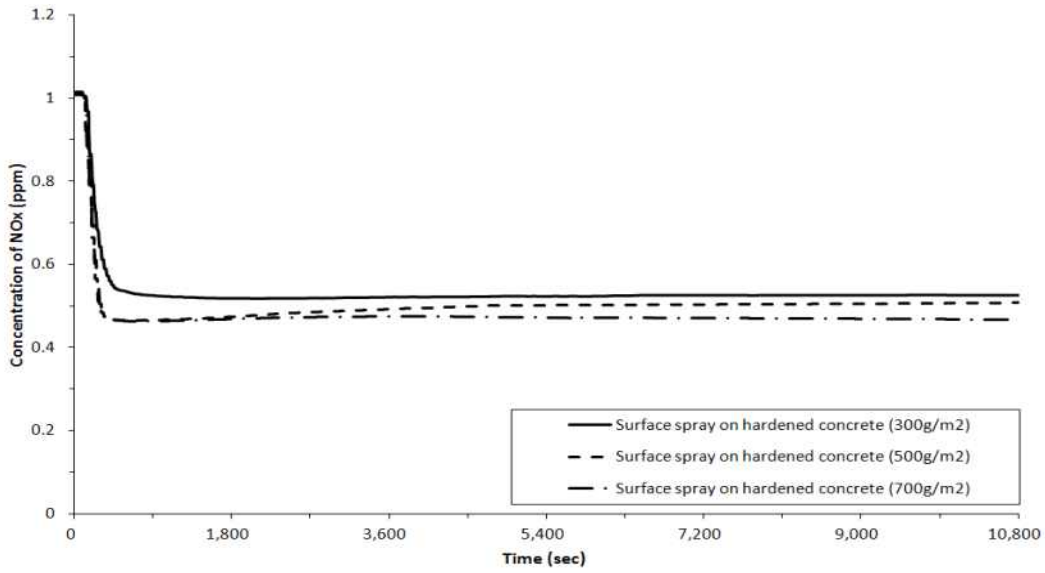
○ 실험결과 TiO_2 소재의 치환량을 각각 시멘트의 3, 5 및 7%로 증가시킬 경우 NOx 농도는 안정화 단계에서 0.89, 0.81 및 0.75 ppm으로 감소하였다.



<그림 2-322> TiO2 치환배합에 따른 NOx 농도 변화

㉯ 굳은 콘크리트에 대한 TiO2 표면살포 후 NOx 제거 효율

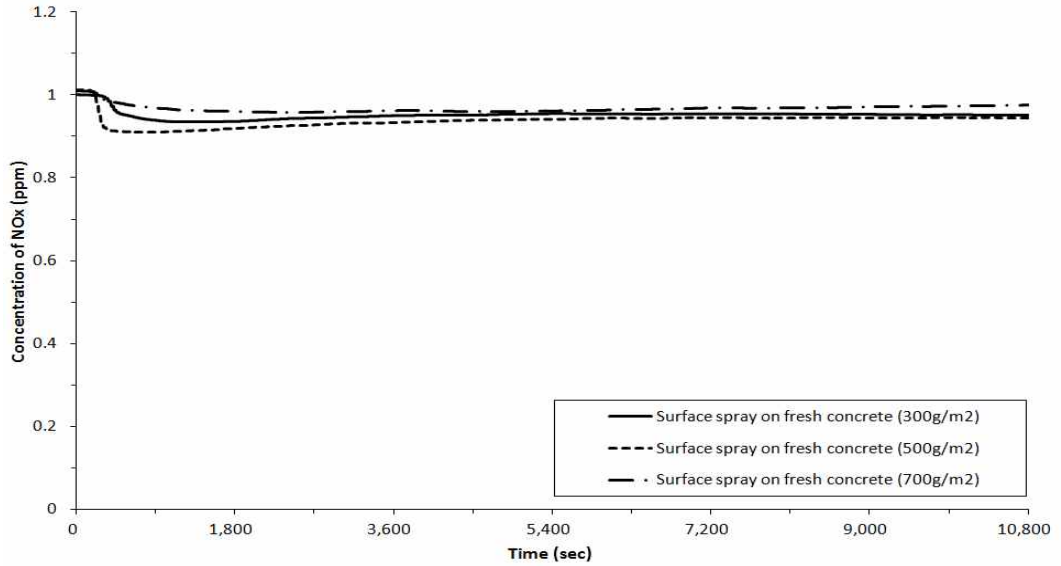
○ 실리케이트계 표면침투제와 TiO_2 소재를 8대 2로 혼합하여 굳은 콘크리트 표면에 300, 500 및 700 g/㎡을 살포한 후 NOx의 농도변화를 측정한 것이다. 앞선 TiO_2 치환배합과 유사하게 모든 시편에서 UV 램프 점등 후 10분 내외에 NOx의 농도가 최소치로 나타났으며, 안정화 단계에서 0.52, 0.50 및 0.47 ppm으로 TiO_2 치환배합과 비교하여 NOx 제거효율이 매우 우수한 것으로 나타났다. 광촉매 반응 시 살포량의 변화에 따른 NOx 농도의 감소치가 큰 차이가 발생하지 않은 원인은 표면침투제와 TiO_2를 혼합하여 콘크리트 표면에 살포 시 콘크리트 내부의 모세관 공극(capillary pore)으로 침투할 수 있는 TiO_2 양이 제한적인 것으로 판단하였다.



<그림 2-323> 굳은 콘크리트에 대한 TiO2 표면침투의 NOx 농도 변화

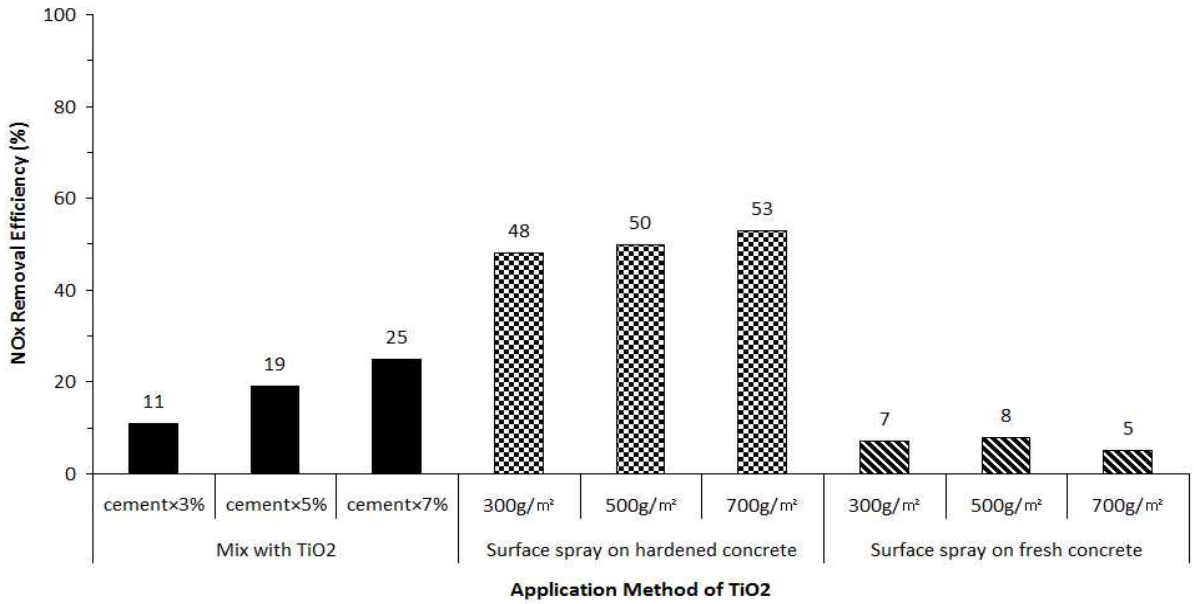
㉰ 굳지 않은 콘크리트에 대한 TiO_2 표면살포 후 NOx 제거 효율

○ 실리케이트계 표면침투제와 TiO_2 소재를 8대 2로 혼합하여 굳지 않은 콘크리트 표면에 300, 500 및 700 g/㎡을 살포한 후 NOx의 농도변화를 측정한 것이다. 안정화 단계에서의 NOx 농도는 0.93, 0.92 및 0.95 ppm으로 나타나 NOx 제거효율이 매우 저조하였다. 이와 같은 원인은 굳지 않은 콘크리트의 수분에 의한 영향으로 TiO_2 소재가 콘크리트 내부까지 침투되지 않은 것으로 판단되며, NOx 제거효율 측정 전 브러시를 사용하여 흐르는 물에 표면잔류 TiO_2 세척 시 모두 탈리된 것을 확인하였다. 따라서 굳지 않은 콘크리트에 대한 TiO_2 표면살포는 대기오염물질 제거를 위한 콘크리트 도로구조물로의 적용이 용이하지 못할 것으로 판단된다.



<그림 2-324> 굳지 않은 콘크리트에 대한 TiO2 표면침투의 NOx 농도 변화

○ 치환배합의 경우 TiO_2 치환량이 시멘트의 3, 5 및 7%로 증가 시 NOx 제거 효율은 11, 19 및 25%로 증가하였으며, 실리케이트계 표면침투제와 TiO_2 소재를 8대2로 혼합하여 굳은 콘크리트 표면에 침투시킨 경우 살표량 변화에 따른 NOx 제거효율은 50% 내외로 매우 우수하였다. 하지만 굳지 않은 콘크리트에 대해 300, 500 및 700 g/㎡의 침투량 변화에 따른 NOx 제거효율이 매우 저조하여 현장적용이 용이 하지 못할 것으로 판단되었다.



<그림 2-325> TiO2 적용방법에 따른 NOx 제거효율

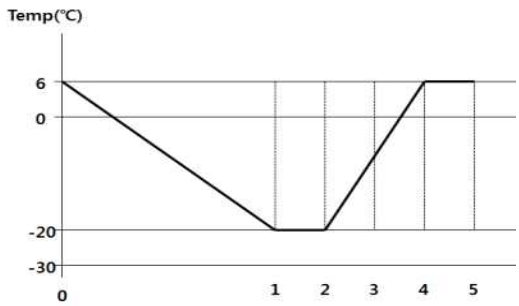
(3) TiO2 콘크리트의 장기 내구성 평가

① 공용 중 TiO2 콘크리트의 NOx 제거효율 변화 평가

○ 공용 중 TiO_2 콘크리트의 NOx 제거효율 변화를 평가하기 위하여 굳은 콘크리트에 대한 TiO_2 적용 시편을 일정기간 실외 거치(100일) 후 NOx 제거효율 재평가를 진행하였다. 적용시편으로써 TiO_2와 표면침투제를 혼합하여 굳은 콘크리트 위에 700 g/㎡ 표면 살포한 것을 활용하였다.

② TiO2 콘크리트의 환경하중저항성 평가

○ 동결융해 시험에 사용한 콘크리트는 KS F 2456에 따라 기중 동결 후 수중융해 방법(B법)으로 1사이클 당 2시간 50분으로 진행하였다. 공시체는 100×100×400 mm의 각주형 공시체를 사용하였으며, 비교시편인 일반 콘크리트 배합을 비교대상으로 TiO_2 치환량 5%의 TiO_2 콘크리트를 사용하여 30사이클마다 상대동탄성계수를 측정하였다.



Seg	Temp(℃)	Time
1	-20	1시간 30분
2	-20	20분
3	-2	20분
4	6	20분
5	6	20분

<그림 2-326> 동결융해 저항성 실험 사용 패턴





(a) 표면박리저항성 평가 (b) 동결융해저항성 평가 (c) 동결융해에 대한 상대동탄성계수 측정

<그림 2-327> TiO2 콘크리트의 환경하중저항성 실험 전경

○ 제설제 저항성 시험의 경우 ASTM C 672에 의거하여 실시하였고, 시편은 300×300×100 mm의 공시체로써 비교시편과 5%의 TiO_2 치환 배합 시편, 굳은 콘크리트의 표면에 TiO_2 분말 500 g/㎡을 침투시킨 시편으로 나누어 시험을 수행하였다.

<표 2-247> 육안에 의한 표면상태 평가 기준표(ASTM C 672)

구분	Surface Condition
0	no scaling
1	very slight scaling (3mm depth max no coarse aggregate visible)
2	slight to moderate scaling
3	moderate scaling(some coarse aggregate visible)
4	moderate to severe scaling
5	severe scaling(coarse aggregate visible over entire surface)

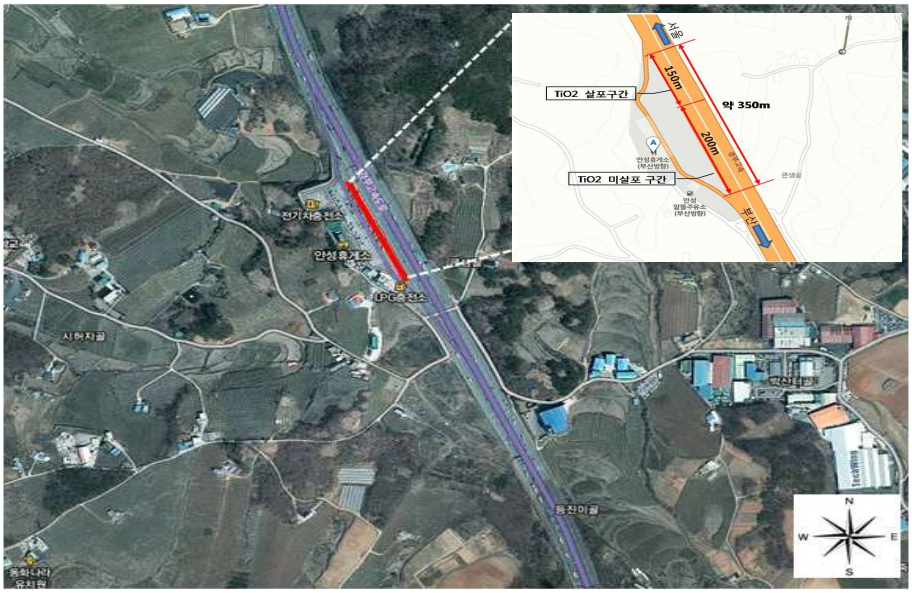
○ 시험에 사용된 용액은 염화칼슘을 증류수 100 mL당 4g의 비율로 제조하여 시편 위에 일정 수위를 유지시켰으며, 사이클은 17시간 동결과 7시간동안 습윤 상태의 융해로 실시하였다. 제설에 대한 저항성은 5, 10, 15, 25, 50 사이클마다 표 8의 기준에 따라 표면 박리(Mass of scaled off particles) 저항성을 시편의 중량 손실량으로 측정하였다. 그림 2-63은 TiO_2 콘크리트의 환경하중저항성 실험과정을 나타낸 것이다.

○ 실험결과 동결융해 저항성의 경우 80% 이상의 상대동탄성계수가 확보되어 동결융해에 따른 장기내구성이 우수한 것으로 확인되었고, 표면박리저항성 실험의 경우 비교시편과 치환배합은 우수한 표면박리 저항성을 확보하였으나 표면침투 시편의 경우 표면에 침투되지 못한 TiO2 분말이 떨어져 나간 것으로 확인되어 비교적 제설재의 영향이 적은 구조물에 대한 적용은 가능할 것으로 판단된다.

(4) TiO2 콘크리트의 현장 적용성 평가

① 현장실험 구간 및 TiO2 적용

○ 2014년 11월 5일 그림 2-64과 같이 경부선 안성휴게소(부산방향) 본선부 옹벽 외측면 150 m 구간에 대하여 TiO_2를 표면살포 하였으며, 5 cm 직경의 대기 흡입용 파이프를 옹벽 상단부에 설치하여 살포 전/후 각각 3일간 공기 중의 NOx 및 CO_2 농도변화를 측정하였다. TiO_2의 종류는 루타일 계열로 250 nm 입자크기를 갖는 CR-57을 적용하였으며, 표면침투제와 TiO_2 분말을 8대2로 희석하여 500 g/㎡을 표면 침투시켰다.



<그림 2-328> TiO2 콘크리트의 현장적용성 평가 구간



<그림 2-329> TiO2 현장 적용 및 NOx 측정방안

○ TiO_2의 현장적용을 위하여 분사기를 사용하여 표면 살포하는 과정을 나타내었으며, TiO_2 적용구간 및 비교구간에 대기 중 NOx의 농도를 관측할 목적으로 대기 흡입용 파이프를 설치하였다.

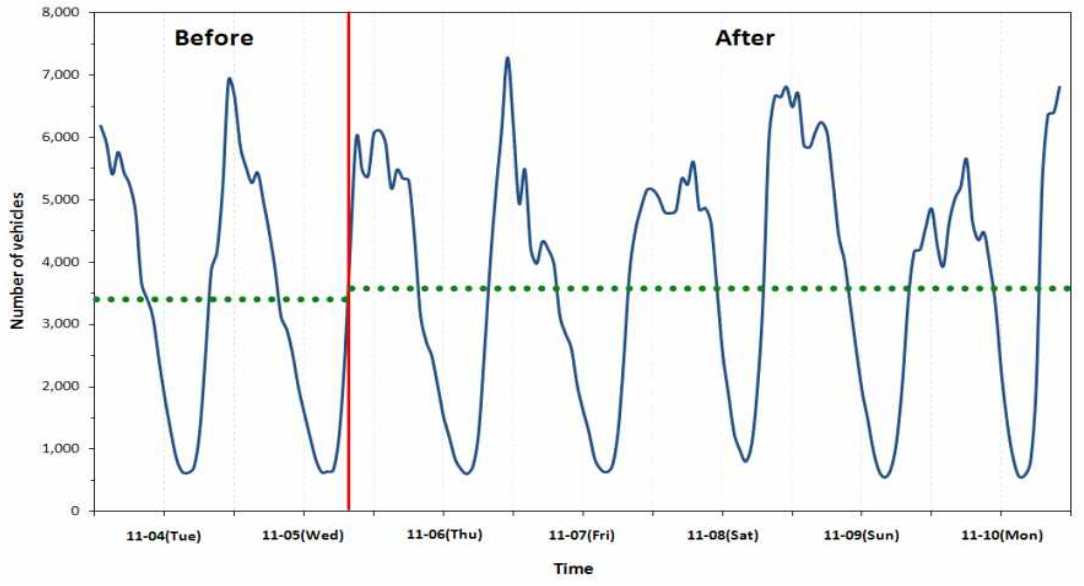


<그림 2-330> TiO2 현장 표면살포 및 대기 중 NOx 농도 관측

○ 경기권 지역의 전반적인 대기오염 상황을 확인하기 위하여 기상청에서 제공하는 지역별 상세 관측자료를 참조하였다. 실험기간을 포함한 2014년 11월 3일 12시부터 11월 9일 09시 중 새벽에는 6~10℃ 내외의 기본분포를 보였으며, 낮에는 6일까지 15℃ 이상의 다소 높은 기온을 보였으나 8일에는 기온이 2~3℃ 정도 다소 낮아지는 것을 확인하였다.

○ TiO_2 콘크리트의 경우 광원에 의하여 광촉매 반응을 하므로 실험기간 중 기상상황을 확인한 결과 강수는 없었으나 11월 6일에 안개 및 구름이 다소 많이 발생한 것으로 나타났으며 바람은 전반적으로 새벽시간대 북동풍 계열이 우세하였고, 낮에는 서풍과 북서풍의 빈도가 다소 높게 나타났다.

○ 시험시공 구간의 교통량을 나타낸 것으로 주/야간에 따라 교통량이 변화하고 있으며, 일평균 교통량은 약 86,000대/day를 상회하고, 또한 TiO_2 현장 적용 전 시간당 평균 교통량은 3,453대/hr이며 적용 후 3,686대/hr로 나타나 현장실험 기간 중 평균 교통량은 크게 차이나지 않는 것을 확인하였다.



<그림 2-331> TiO2 현장실험구간의 교통량 추이

○ NOx 농도 측정결과, 시간당 교통량의 증가에 따른 TiO_2 적용구간의 NOx 농도 증가는 비교구간 대비 약 18% 내외의 NOx 농도가 감소하고, 관측 일자별 기상조건을 조사하여 광촉매 효과와 비교한 결과 날씨의 변화에 따른 광촉매 효과가 변화하는 것을 확인하였다.

② 광촉매(TiO2) 콘크리트의 현장 적용성 결과

○ 광촉매(TiO_2) 현장 적용구간의 1차, 2차 제거 효율 분석이다. 1차 측정의 경우 비교구간에 대비하여 평균적으로 약 18% 내외의 NOx 제거 효율을 확인하였으며, 2차 측정을 실시한 기간동안 기상조건 악화로 인해 제거 효율이 평균적으로 약 16%로 나타났다. 따라서 기상조건 변화에 따라 광촉매 효과가 변동됨을 확인하였다.

<표 2-248> 현장 적용구간의 NOx 제거 효율

구 분	11월 5일	11월 6일	11월 7일	평균 교통량
1 차	18.9 %	11.1 %	21.2 %	5,065 대/hr
구 분	12월 22일	12월 23일	12월 24일	평균 교통량
2 차	기상악화로 인한 부재	7.1 %	24.1 %	4,396 대/hr

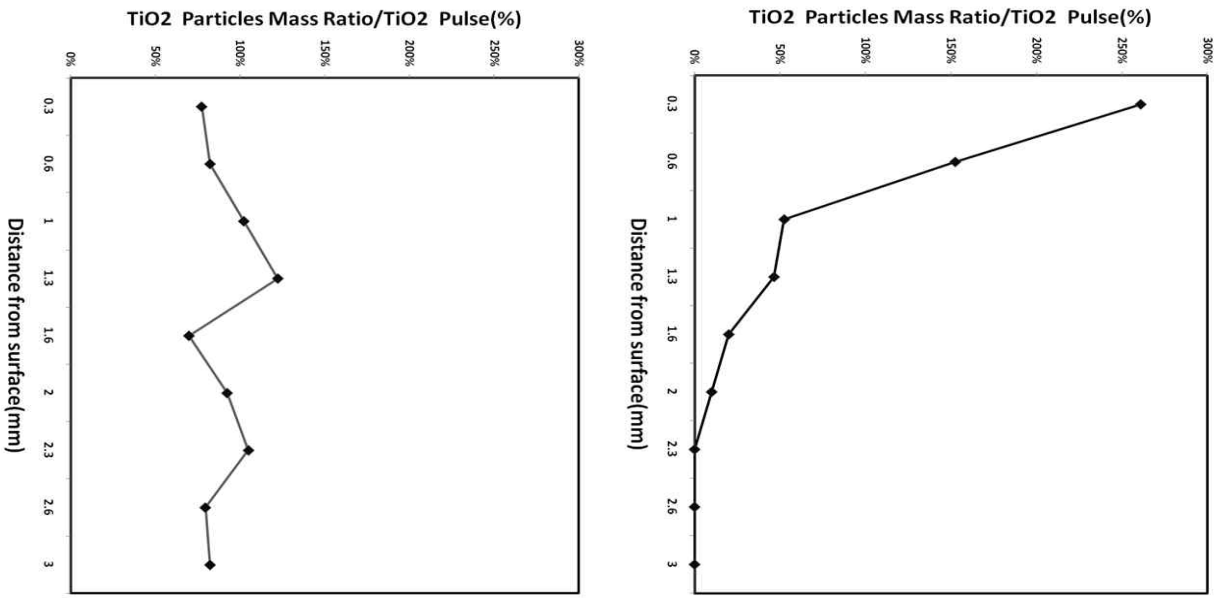
(5) 연구수행결과 및 결과의 검증 방법

① 광촉매 콘크리트 도로구조물의 효율적 적용방안

○ 기존에 국외에서 시행된 연구에서 광촉매 콘크리트는 치환배합의 형식으로 적용되어 왔으며, 본 연구에서는 광촉매를 콘크리트에 적용하기위한 효율적인 방법을 찾고자 치환배합과 표면침투방식의 광촉매 콘크리트를 전계방사형 주사전자현미경(SEM/EDS)을 사용하여 TiO2의 분포

도 및 침투깊이를 분석하였으며, 그 분석 결과는 아래와 같다.

○ 치환배합의 경우 아래그림(a)에서 나타낸 바와 같이 콘크리트 표면으로부터 3 mm까지 유사하게 분포하는 반면 대부분 100% 미만의 질량비/사용량을 나타내고 있다. 이는 TiO2 적용량에 비하여 분포가 효율적이지 못한 것을 의미하므로 NOx 제거효율 평가를 통하여 치환배합의 효율성을 검증할 필요가 있다. 액상형 실리케이트계 표면침투제를 이용한 TiO2 표면침투를 나타낸 것으로, 표면으로부터 0.33 mm 깊이에서 261%의 높은 질량비/사용량의 TiO2가 검출되었으며 깊이가 증가할수록 질량비/사용량이 감소하였다. 최대 침투깊이는 2.33 mm를 나타내어 콘크리트 도로구조물에 적용 시 마모에 의한 장기 공용성을 확보할 수 있으며, 표면에 많은 양의 TiO2가 존재하여 대기에 충분히 접촉할 수 있기에 광촉매 반응에 따른 NOx 제거효과가 우수할 것으로 판단하였다.



(a) 치환배합 (5%)

(b) 표면침투식 (TiO_2 of 2%);
TiO_2 type(rutile, paricle size 260nm)

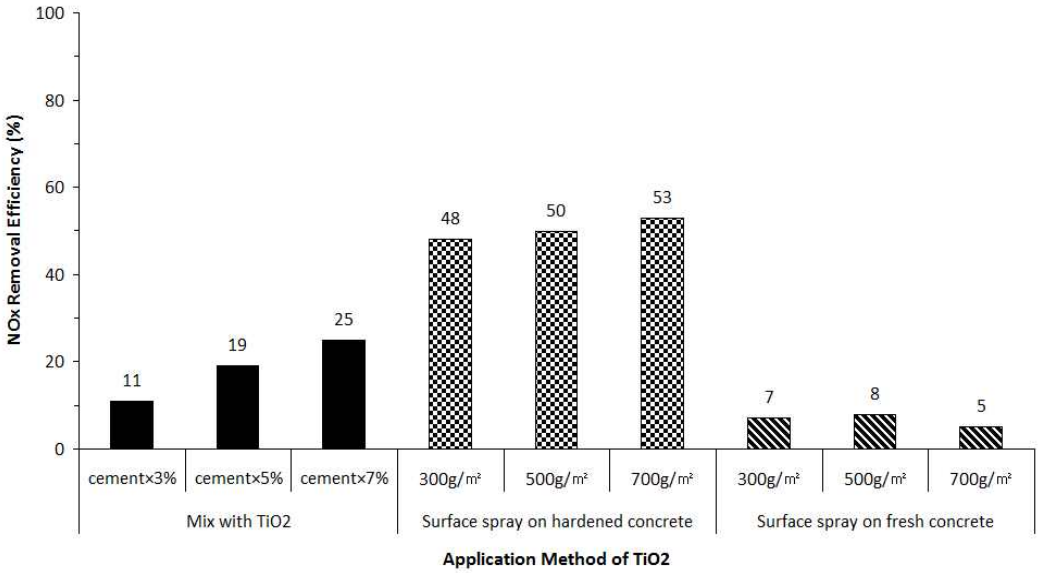
<그림 2-332> 티타늄 침투깊이 분석

② 광촉매 반응에 따른 TiO2 콘크리트의 NOx 제거효율 평가

○ 다양한 적용 방법에 따른 TiO2 콘크리트의 광촉매 반응 후 NOx 제거효율을 나타내었다. TiO2 소재를 혼합하지 않은 비교시편의 경우 UV 램프 점등 시 광촉매 반응을 일으키지 않았으며 이에 따른 NOx의 농도변화가 발생하지 않았다. 모든 시편에서 UV 램프 점등 후 TiO2 소재의 광촉매 반응에 의하여 10분 내외에 NOx의 농도가 최소치로 감소하였으며, 시간이 경과함에 따라 NOx 농도가 소폭 상승하는 경향을 나타내고 있으나 일정시간 경과 후 안정화를 이루는 시점의 NOx 농도를 사용하여 NOx 제거효율을 평가하였다.

○ 치환배합의 경우 TiO2 치환량을 시멘트의 3, 5 및 7%로 증가 시 NOx 제거효율은 11, 19 및

25 %로 증가함. 그러나 NOx 제거효율을 높이기 위하여 TiO2 치환량을 증가시킬 경우 콘크리트 단가의 상승뿐만 아니라 강도저하 및 환경하중에 의한 내구성의 문제가 발생할 소지가 있으므로 이에 대한 추가연구가 요구되며 실리케이트계 표면침투제와 TiO2 소재를 8대 2로 혼합하여 굳은 콘크리트 표면에 살포한 경우 300, 500 및 700 g/㎡의 살포량 변화에 따른 NOx 제거효율은 50 %내외로 매우 우수한 경향을 나타내었다. 치환배합과 비교하여 TiO2 소재를 최대 1/10정도 적용한 반면 2배 이상의 NOx 제거효율을 확보하였고, 특히 치환배합으로 50 % 이상의 NOx 제거효율 확보하려면 약 15 % 이상의 치환량이 요구될 것으로 판단된다. 이를 통하여 TiO2 소재의 도로구조물 적용 시 차량하중에 의한 직접적인 마모가 발생하지 않는 콘크리트 중앙분리대, 측구 및 길어깨 집수정의 경우 TiO2 소재와 실리케이트계 표면침투제를 혼합하여 표면살포 시 NOx 제거를 위한 적용성이 우수할 것으로 예상된다. 반면 굳지 않은 콘크리트 표면살포의 경우 NOx 제거효율이 매우 저조하여 현장적용이 용이하지 못할 것으로 판단된다.

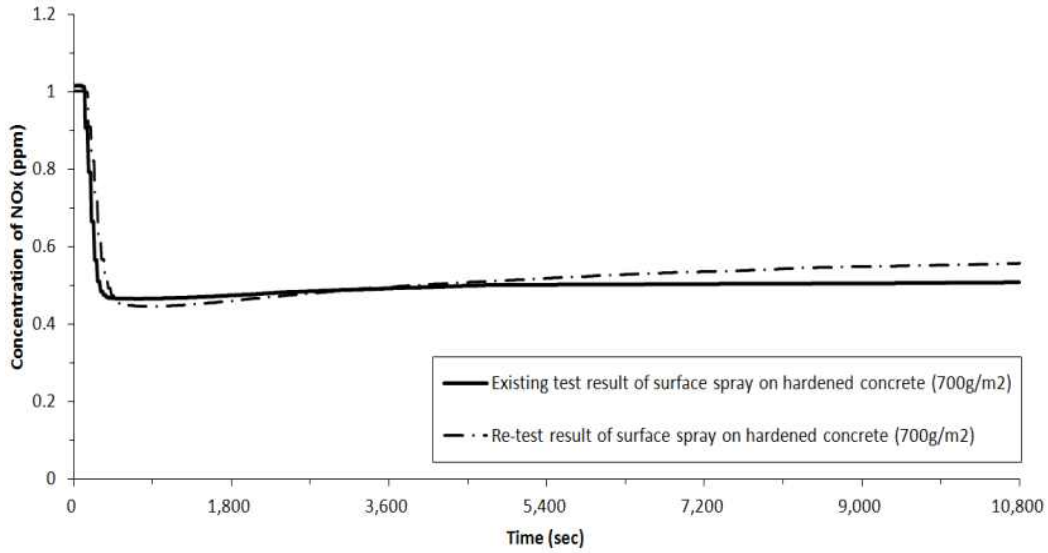


<그림 2-333> TiO2 적용방법에 따른 NOx 제거효율

③ 광촉매 콘크리트의 장기 내구성 평가

㉮ 공용 중 TiO2 콘크리트의 NOx 제거효율 변화 평가

○ 공용 중 TiO_2 콘크리트의 NOx 제거효율 변화를 평가하기 위하여 굳은 콘크리트에 대한 TiO_2 적용 시편을 일정기간 실외 거치(100일) 후 NOx 제거효율 재평가를 진행하였다. 적용시편으로써 TiO_2와 표면침투제를 혼합하여 굳은 콘크리트 위에 700 g/㎡ 표면 살포한 것을 활용하였다.

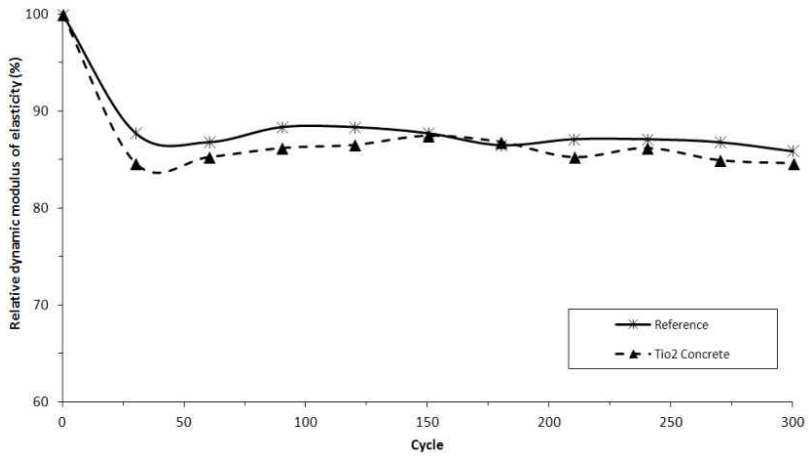


<그림 2-334> 굳지 않은 콘크리트에 대한 TiO2 표면침투의 공용 후 NOx 제거효과 분석

○ 공용 중 TiO_2 콘크리의 NOx 제거효율 변화를 평가하고자 최초 사용된 시편에 대하여 일정기간 실외 거치 후 재실험한 결과를 비교하여 나타낸 것이며, 이때 실험 변수를 줄이고자 재실험 전 콘크리트 시편을 물로 세척하였다. 실험결과, 최초 진행된 실험과 재실험의 결과가 유사하게 나타나 TiO_2 표면에 흡착된 NOx가 강우에 의하여 세척될 경우 공용 중 TiO_2 콘크리트의 NOx 제거 효율은 장기간 지속될 것으로 판단된다.

㉰ 동결융해 및 표면박리 저항성 실험

○ 동결융해 저항성의 경우 공시체는 100×100×400 mm의 각주형 공시체를 사용하였으며, 치환배합에서 TiO_2 치환량을 시멘트의 5%를 사용하여 비교시편을 대상으로 30사이클마다 상대동탄성계수를 측정하였다. 그림 38은 측정된 상대동탄성계수를 나타낸 것으로 초기 30사이클에서는 비교시편 12% 및 TiO_2 콘크리트 시편 16%의 큰 폭으로 저하하였으며, 300사이클에서는 80% 이상의 상대동탄성계수를 확보하여 동결융해에 따른 장기내구성은 우수한 것으로 확인되었다.



<그림 2-335> TiO2 콘크리트의 상대동탄성계수 측정 결과

○ 표면박리저항성 실험의 경우 비교 시편, TiO_2 5% 치환배합 시편과 굳은 콘크리트에 대한 TiO_2 500 g/㎡을 표면 살포한 시편에 대하여 진행하였다. 5, 10, 15, 25, 50 사이클마다 표면 박리(Mass of scaled off particles) 저항성을 중량 손실량에 측정하였으며, 육안관측에 따른 표면박리 상태를 확인하였으며, 표 2-38은 표면박리저항성 실험결과를 나타낸 것으로 비교시편의 경우 8 g의 무게 감소변화가 발생하였으며 육안관측결과 우수한 표면상태를 확보하였다. 치환배합의 경우 10 g의 무게가 감소하였으며 육안관측결과 우수한 표면상태를 확보하였으나 표면살포의 경우 약 46 g의 무게감소변화가 발생하여 육안관측결과 약간의 스케일링이 발생하였다.

<표 2-249> TiO2 콘크리트의 표면박리저항성 실험 결과

	실험 전 (0cycle)	실험 후 (50cycles)	비고
비교시편			• 스케일링 발생 안함 • 표면상태 : 좋음 (0) • 무게감량 : 8g
5% 치환배합			• 스케일링 발생 안함 • 표면상태 : 좋음 (0) • 무게감량 : 10g
TiO_2 표면살포 (500g/㎡)			• 스케일링 발생 • 표면상태 : very slight scaling(1) • 무게감량 : 46g

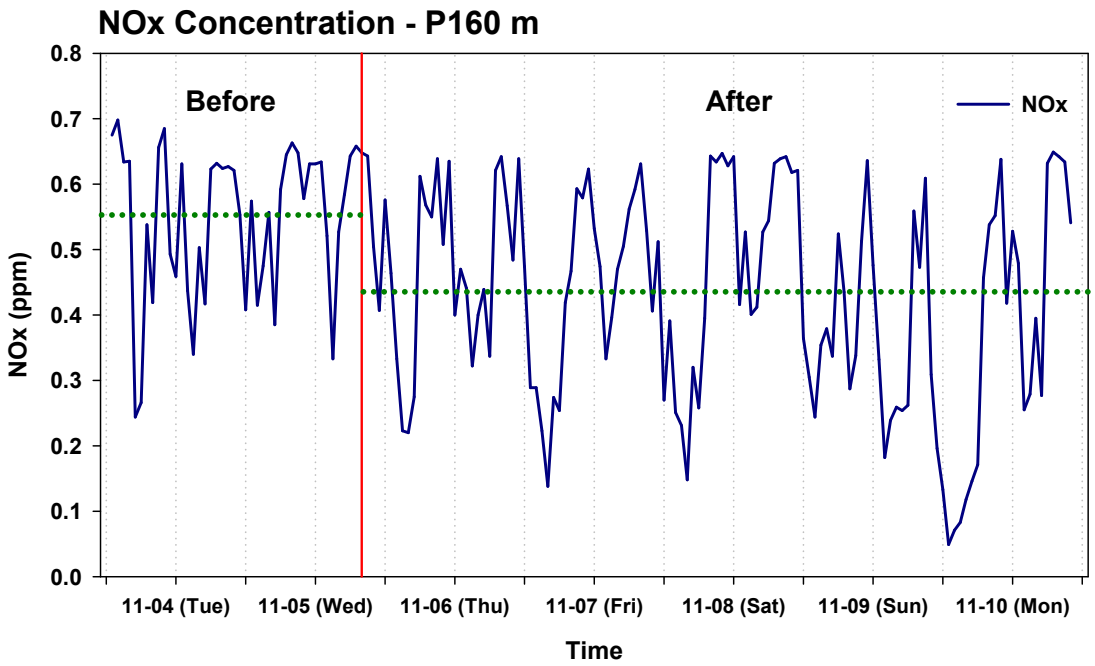
○ 비교시편과 치환배합의 경우 표면관측에 따른 0등급(no-scaling)의 표면박리저항성을 확보하였으나 표면침투의 경우 1등급(very slight scaling)의 표면박리저항성이 확보되었으며 표면침투 시편의 경우 육안관측 시 스케일링이 상당히 많이 발생한 것으로 보이나 실질적으로 표면에

침투되지 못한 TiO_2 분말이 떨어져 나간 것으로 확인되었으며, 1등급의 표면박리저항성을 나타내어 비교적 제설재의 영향이 적은 중앙분리대 및 길어깨 방호벽 등에 대한 적용은 가능할 것으로 판단된다.

④ 현장 적용성 평가

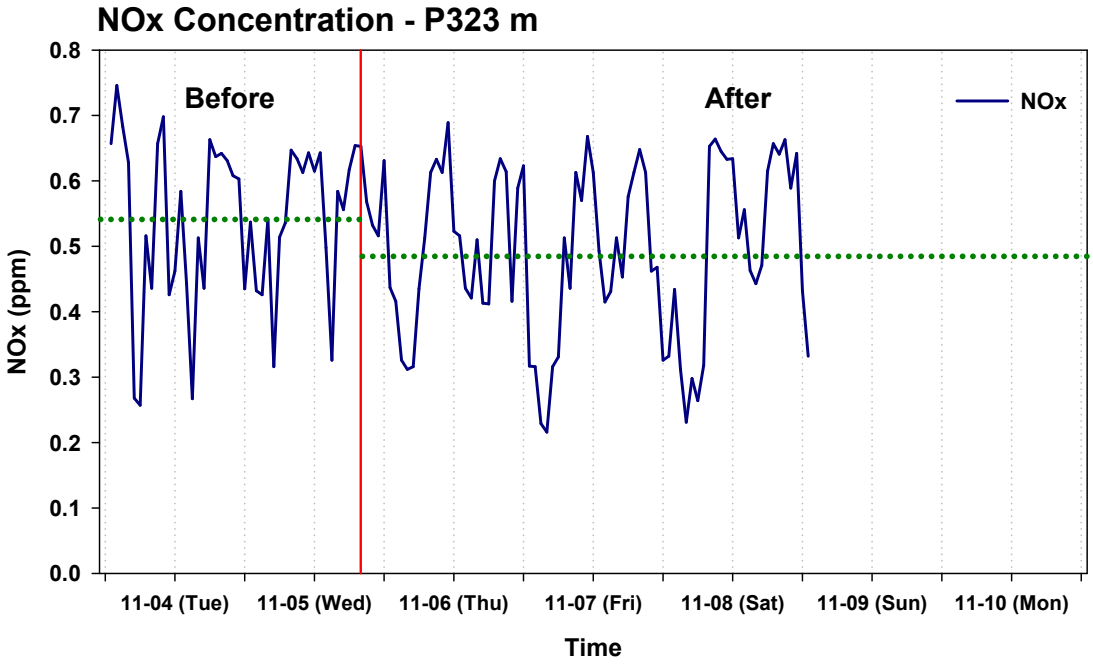
㉮ 현장실험을 통한 TiO2 콘크리트의 NOx 제거효율 분석(1차)

○ TiO_2 콘크리트의 NOx 농도 변화를 관측하기 위하여 150 m의 TiO_2 적용구간과 200 m의 비교구간으로 구분하여 실험을 진행하였다. 대기 중 NOx의 농도를 측정하기 위한 대기 흡입용 파이프의 경우 TiO_2 적용구간 종점부 및 TiO_2 미적용 구간 (비교구간) 종점부에 각각 설치하였고, TiO_2 적용구간과 비교구간의 NOx 농도변화를 나타낸 것이다.



<그림 2-336> TiO2 표면살포 구간의 NOx 농도변화

○ TiO_2 표면살포 구간의 NOx 농도 변화를 살펴보면, 살포 전 평균 0.55 ppm이었으나 살포 후 평균 0.43 ppm으로 0.12 ppm 감소하여 TiO_2 적용에 따른 NOx 제거효율은 약 22%를 나타낸다.

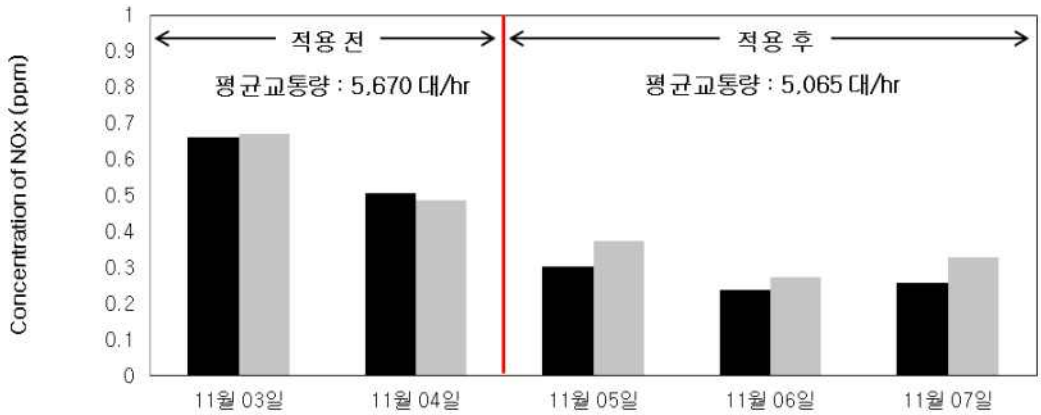


<그림 2-337> TiO2 미살포 구간(비교구간)의 NOx 농도변화

○ TiO_2 미살포 구간(비교구간)의 경우 TiO_2 표면살포 전/후 동일한 기간동안 NOx의 평균 농도가 0.54 ppm에서 0.49 ppm으로 0.05 ppm이 감소하였으나, TiO_2 표면살포 구간의 감소치 0.12 ppm보다 다소 감소폭이 작은 것으로 확인되었다.

○ 바람 및 시간별 교통량 변화 등의 환경적인 요인에서 기인하는 배경농도를 0.05 ppm으로 설정할 경우 TiO_2 표면살포 구간의 평균 NOx 농도는 살포 전 0.55 ppm에서 살포 후 0.48 ppm으로 0.07 ppm이 감소한다. 이에 TiO_2 콘크리트 적용에 따른 NOx 제거효율은 약 13%정도지만 TiO_2 콘크리트의 경우 광촉매 반응을 하기 위한 충분한 광원을 확보해야 하므로 광촉매 반응이 활발한 시간대의 NOx 제거효율을 확인하고자 그림 33과 같이 하루 중 광촉매 반응이 가장 활발할 것으로 예상되는 12시부터 15시 사이의 NOx 농도변화를 추가로 검토하였다.

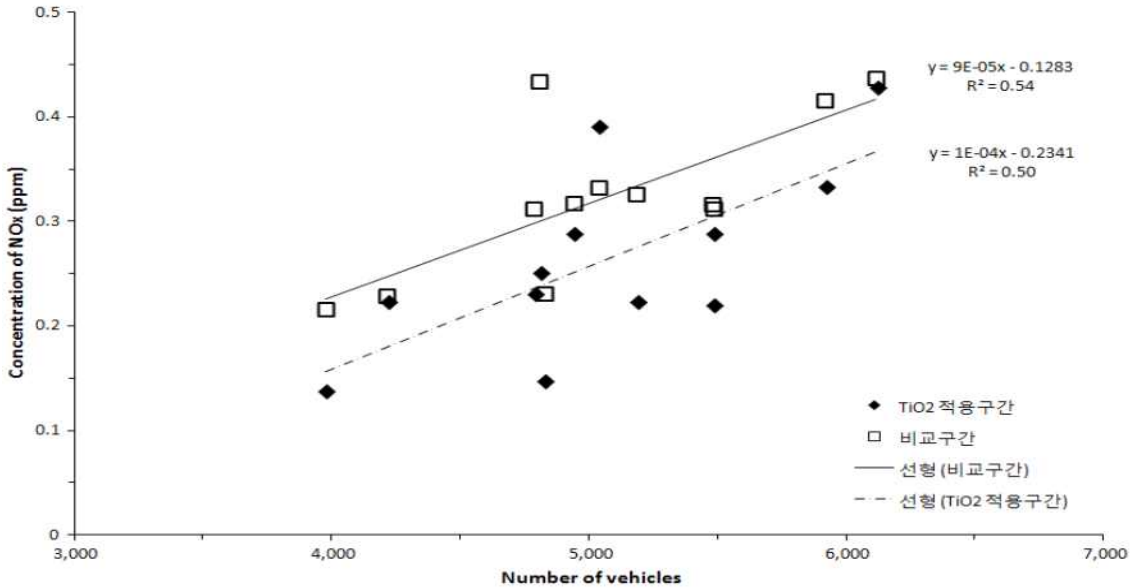
○ TiO_2 표면살포를 실시한 11월 5일의 경우 약 18.9%의 NOx 제거효율을 확보하였으며, 11월 6일의 경우 안개 및 구름의 영향으로 인하여 약 11.1%의 NOx 제거효율을 확보하였다. 반면에 비교적 화창한 날씨의 11월 7일의 경우 약 21.2%의 NOx 제거효율을 확보하여 기상의 변화에 따른 광량의 차이로 인하여 실험기간 중 NOx 제거효율이 크게 달라지는 것을 알 수 있다.



	11월 03일	11월 04일	11월 05일	11월 06일	11월 07일
■TiO2 적용구간	0.66	0.51	0.30	0.24	0.26
▒비교구간	0.67	0.48	0.37	0.27	0.33

<그림 2-338> 광촉매 반응이 활발한 시간대의 NOx 농도 변화

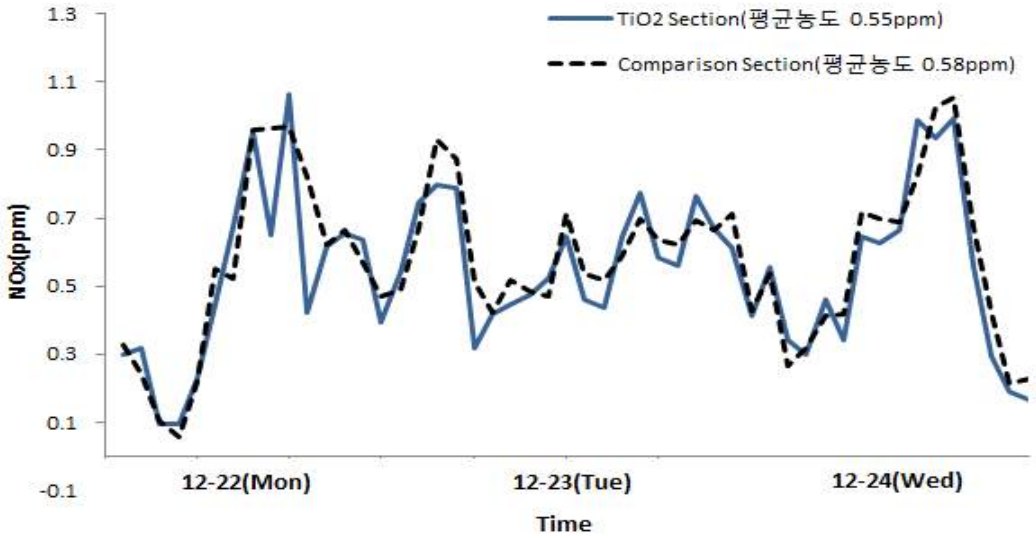
○ TiO_2 적용 후 광촉매 반응이 활발한 시간대(12시~15시 사이)의 교통량 변화에 따른 NOx의 농도 변화를 관측한 것으로, 교통량이 증가할수록 대기 중 NOx 농도 또한 증가함을 알 수 있다. 이를 TiO_2 적용 구간과 비교구간으로 구분하여 분석할 경우, 시간당 교통량의 증가에 따른 TiO_2 적용구간의 NOx 농도 증가는 비교구간 대비 약 18% 내외의 NOx 농도가 감소한다.



<그림 2-339> 광촉매 반응이 활발한 시간대의 교통량 변화에 따른 NOx 농도 변화

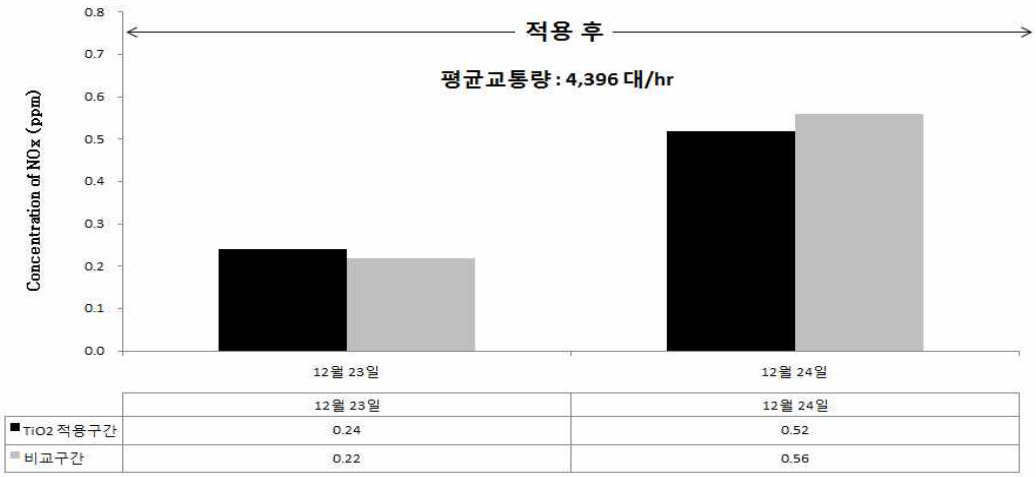
○ 현장실험을 통한 TiO_2 콘크리트 NOx 저감효과를 관측한 결과 TiO_2의 적용범위가 비교적 적었음에도 불구하고 우수한 성능을 확보한 것으로 판단되며 추가적인 모니터링을 통하여 TiO_2 콘크리트의 장기 NOx 제거효율 검증이 이루어져야 할 것이다.

㉯ 현장실험을 통한 TiO2 콘크리트의 NOx 제거효율 분석(2차)



<그림 2-340> TiO2 살포 구간 및 미살포 구간의 NOx 농도변화

○ 1차와 동일한 적용 구간의 NOx 농도 변화를 관측하기 위하여 TiO_2 적용구간과 비교구간을 비교 분석하였다. 아래는 TiO_2 적용구간과 비교구간의 NOx 농도변화를 나타낸 것으로 현장 적용 2차 평가를 통하여 3일간 평균 NOx 농도를 측정한 결과 TiO_2 적용구간은 약 0.55 ppm으로 나타났으며 비교구간의 경우 약 0.58 ppm으로 확인되었다.



	12월 23일	12월 24일
TiO2 적용구간	0.24	0.52
비교구간	0.22	0.56

<그림 2-341> 광촉매 반응이 활발한 시간대의 NOx 농도 변화

○ TiO_2 적용 후 광촉매 반응이 활발한 시간대(12시~15시 사이)의 교통량 변화에 따른 NOx의 농도 변화를 나타낸 것으로 관측 일자별 기상조건을 조사한 결과, 12월 22일의 경우 1.7 mm의 소낙눈의 영향에 따른 광촉매 반응의 부재로 NOx 농도 저감이 이뤄지지 않았으므로 본 그래프에서 제외하였다. 12월 23일은 습기를 동반한 박무가 발생하여 비교적 적은 약 9%의 NOx 제거효율을 확보하였으나, 24일의 경우 옅은 연무가 발생하여 약 25% 내외의 NOx 제거효율을 확보하였으며, 이를 통하여 날씨의 변화에 따른 광촉매 효과가 변화하는 것을 확인하였다.

다. 탄소저감형 흙 포장 기술 개발(2-2)

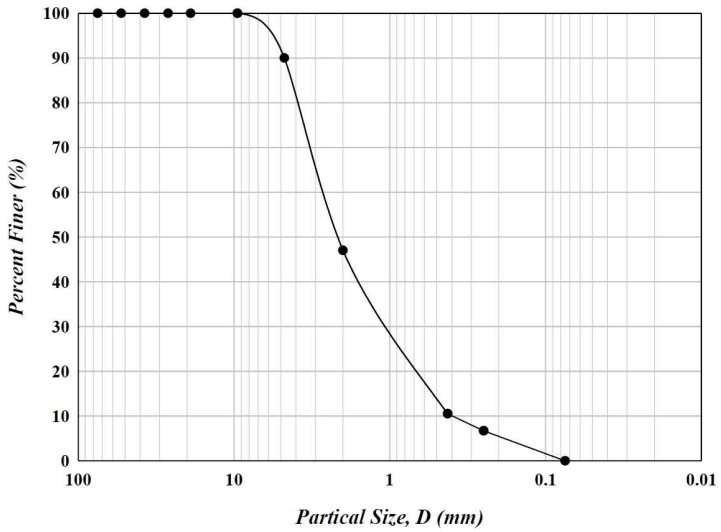
(1) 흙포장 재료의 특성

① 화강풍화토

○ 본 연구에서는 우리나라에 가장 많이 분포되어 있고, 현장에서 성토재료 및 기초지반으로 많이 사용하는 화강풍화토 중 경기도 지역의 화강풍화토를 사용하였다. 화강암(granite), 박상화강암(schistose granite), 화강편마암(granite gneiss) 등이 풍화되어 원지반에 형성된 화강풍화토는 모암이 가지는 조성광물의 함유량과 풍화정도에 따라 공학적 성질이 달라지며 배수적 측면에서는 사질토와 유사하고, 침하적 측면에서는 점성토와 유사한 특성을 가진다. 특히 물에 포화되면 전단강도가 크게 떨어지고 다짐정도에 따라 투수성이 크게 저하되는 특성도 가진다. 화강풍화토의 입도시험결과 0.074㎜체 통과율이 0.50%, 균등계수는 8.10, 곡률계수는 1.22로 통일분류법에 의해 입도분포가 양호한 모래 또는 자갈 섞인 모래(SW)로 나타났다.

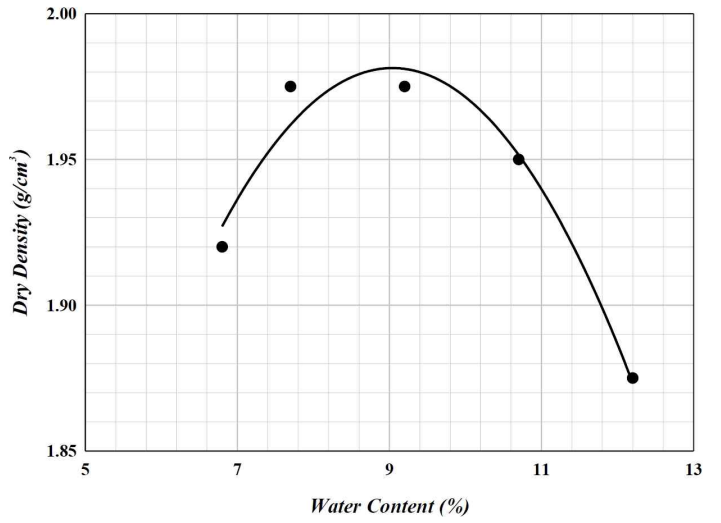
<표 2-250> 입도 시험 결과

구 분	화강풍화토
0.074㎜(No.200)체 통과량(%)	0.50
D_{10}, ㎜(%)	0.35
D_{30}, ㎜(%)	1.11
D_{60}, ㎜(%)	2.84
균등계수 C_u	8.10
곡률계수 C_g	1.22
통일분류	SW



<그림 2-342> 화강풍화토의 입도분포곡선

○ 흙포장 다짐을 실제로 시공하기 위해서는 시공 전에 실내에서 다짐시험을 측정하고 이를 통해 최적함수비와 목표 건조단위중량을 설정하게 된다. 본 연구에서는 입도가 양호한 모래질 흙인 화강풍화토에 대해서 다짐시험(KS F 2312)을 수행하였다. 화강풍화토의 다짐시험 결과, 최대 건조밀도는 $1.98g/cm^3$, 최적함수비는 9.0%를 나타났다. 화강풍화토의 다짐시험 결과와 다짐 곡선 그래프를 나타내었다. 다짐 곡선의 모양은 입도가 양호한 사질토일수록 날카롭고 세립토 일수록 완만하다.



<그림 2-343> 화강풍화토의 다짐곡선

○ 포장두께 결정의 근거가 되는 노상토 지지력비 시험(CBR)은 도로나 비행장 활주로 포장 하부에 있는 노상 또는 노반의 강도, 압축성, 팽창성, 수축성 등을 구하는 시험이다. 직경 50mm인 관입피스톤을 1㎜/분으로 관입 시켜 관입 깊이별로 구한 단위하중을 표준단위하중에 대한 백분율로 나타낸다. 이 때, 표준 단위하중으로 2.5mm관입에 대한 표준 단위하중($\rho = 7.0kgf/mm^2$)이

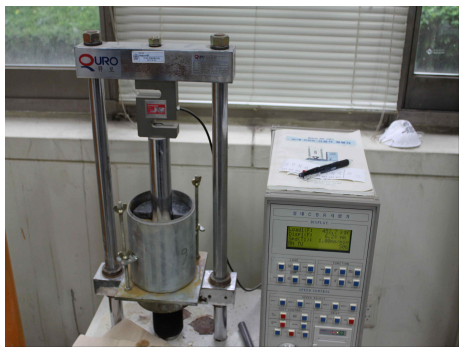
나 5.0mm관입에 대한 표준 단위하중($\rho = 10.55 kgf/mm^2$)을 적용한다. 2.5mm관입에 대한 지지력비를 CBR값으로 선택하며 5mm관입에 대한 지지력비와 비교하여 작으면 재시험을 실시하고, 재시험 시에도 5mm관입에 대한 지지력비에 비하여 작으면 5mm관입에 대한 지지력비를 CBR값으로 채택한다.

○ CBR 시험의 종류는 실내 CBR 시험과 현장 CBR 시험으로 나뉘는데, 본 시험은 실내 CBR 시험으로 그림 2.4와 같이 디지털 CBR 시험기를 사용하여 시험하였다. CBR 시험은 KS F 2320 방법에 따라 시험하였다.

○ 현장에서 기대할 수 있는 노반재료의 강도를 나타내는 CBR값을 수정 CBR값이라고 하며 5층 55회 다짐으로 구한 최대 건조단위중량γ_{dmax}에 다짐도를 곱한 크기의 건조단위중량에 대응하는 시료에서 4일 수침 후의 CBR값이다. 최적함수비로 5층 10회, 25회, 55회로 다진 공시체 3개를 제작하여 이들의 건조단위중량과 4일 수침후의 CBR을 측정하여 그림과 같이 수정 CBR을 구한다.

○ 화강토풍화토의 수정 CBR을 구한 시험 결과는 도로공사 표준시방서(2009) 보조기층 재료의 수정 CBR 품질기준은 30이상이고, 도로설계편람 제3편 토공 및 배수(2012) 노상재료의 품질기준은 10이상이다. 본 실험에 사용된 화강풍화토의 수정 CBR은 32% 이므로 노상과 보조기층의 재료로 사용 할 수 있다.





<그림 2-344> 시료의 수침과 CBR 시험 전경

<표 2-251> CBR 시험 결과

구 분	다짐회수 (회)	건조밀도 (g/㎤)	함수비 (%)	수침후 함수량(%)	수정 CBR(%)
화강풍화토	55	2.012	8.9	10.5	32
	25	1.936	8.9	9.9	
	10	1.863	8.9	11.7	

② 유기계 고화제

■ 유기계 고화제에 의한 성질 개선의 원리

◎ 폴리머 분산제에 의한 개선

○ 폴리머 분산제에 의한 개선은 결합재 상의 시멘트 수화와 폴리머 필름 형성의 양 과정에 의해 지배되나 일반적으로는 시멘트의 수화과정이 폴리머 필림 형성 과정에 우선한Co-matrix는 보통 혼화용 폴리머에 의한 개질원리와 같이 3단계의 단순화된 모델과 시멘트 수화물에서의 연속 폴리머 막의 형성과정으로 설명 할 수 있다. 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 폴리머 분산제를 혼입하면 폴리머 입자가 시멘트풀 중에 균일하게 분사하여, 시멘트가 수화에 의해 시멘트 겔이 형성되는 동시에 시멘트 겔, 미수화 시멘트입자 혼화물의 표면에 폴리머 입자가 붙기 시작한다. 시멘트 겔 구조형식에 따른 물의 소비로 폴리머 입자는 모세관 공극에 침투되어 시멘트의 수화가 더욱 진전되고 모세관 수가 감소하기 때문에 폴리머 입자가 응집되어 시멘트 겔 미수화 시멘트 입자 혼화물의 표면에 폴리머 입자의 연속 최밀 충진층을 형성하는 동시에, 골재의 표면에 잘 접착하게 된다. 이때 시멘트 겔의 미수화 시멘트 입자 혼합물 중의 비교적 큰 세공도 폴리머 입자로 충진 된다.

○ PVDC에멀젼, CR라텍스를 함유하는 폴리머 분산제를 사용하는 경우에는 폴리머 입자층과 골재 표면 사이에 화학결합이 생기며, 최종적으로 시멘트의 수화에 의해 탈수됨에 따라 시멘트 수화물의 최밀 충진층의 폴리머 입자가 합착하여 연속막을 만들고 시멘트 수화물상과 폴리머 필름상이 서로 결합하는 것에 의해 Co-matrix상이 형성된다. 이것에 의해 골재가 강하게 결합되는 것이며, 경화된 폴리머 시멘트 복합체는 미세균열이 생겨도 폴리머 필름의 연결 작용으로 균열의 진전이 방지된다. 일반적으로 폴리머의 혼화량이 감소하여 연행공기량이 과잉되면 일체화 망상구조가 불연속하게 되고 강도가 저하되는데, 폴리머 시멘트 복합체 내부에 존재하는 폴리머 필름의 밀봉효과에 의해 방수, 수밀성, 기밀성, 내약품성 및 내동결융해성 등을 갖게 되며 그 효과는 폴리머 혼입량이 증가함에 따라 현저하게 상승된다.

◎ 재유화형 분말수지에 의한 개선

○ 이것은 폴리머 분산제를 사용한 경우와 거의 같고, 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 재유화형 분말수지를 혼합하여 비비는 동안에 곧 재 유화하여 동상의 폴리머 분산제와 같은 방식으로 거동하여 제성질을 개선하는 것이다.

◎ 수용성 폴리머에 의한 개선

○ 이는 소량(시멘트 중량의 3%이하)의 폴리머가 분말 또는 수용액 상태로 혼화된다. 이 경우 주로 수용성 폴리머의 계면활성효과에 의해 워커빌리티가 개선되며, 혼합수의 점도증가와 얇은 막의 형성에 의한 밀봉효과에 의해 보수성이 향상되지만, 일반적으로 이와 같은 수용성 폴리머에 의해서 강도는 개선되지 않는다.

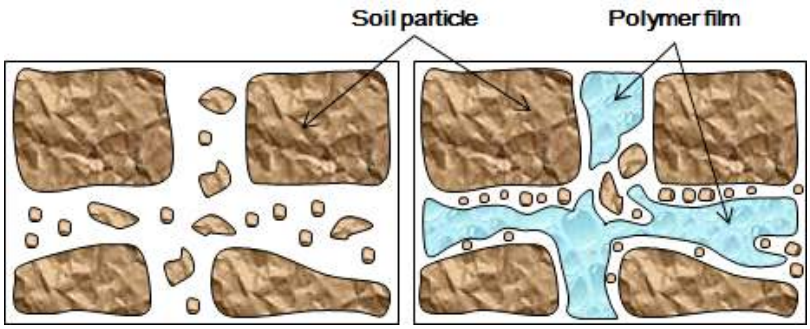
◎ 액상 폴리머에 의한 개선

○ 이는 폴리머 분산제를 이용한 경우보다 저분자량의 중합성 폴리머 또는 프리폴리머(prepolymer)가 다량(시멘트 중량의 30~60%)으로 액상에서 혼화된다. 이 경우 시멘트의 수화와 폴리머의 중합이 같이 진행하여 시멘트 수화물과 폴리머가 서로 결합되어 Co-matrix를 형성하고 이에 의해 골재가 강하게 결합하게 되며, 이와 같은 개선효과는 폴리머 분산재에 의한 개선효과와 거의 같은 과정을 가지며 강도 및 기타 성질이 개선된다.

■ 실험에 사용된 유기계 고화제의 특성

○ 본 연구에서는 경제적으로 저렴하고 환경 독성이 적어 흙포장에 적용가능하며, 흙과의 반응성이 좋은 유기계 고분자 3 종류를 선정하여 유기계 흙포장의 특성을 제시하고자 하였다.

○ 이용수 등(2012)의 연구에 의하면, 흙포장에 사용된 폴리머는 흙 입자 사이의 필름막을 형성하고 망상구조로 연결되어, 지반의 압축・인장강도 및 부착성능을 향상시키는 것으로 알려져 있다. 또한 유기계 고화제는 무기계 고화제와 혼합하여 사용할 수 있으며, 시멘트의 수화반응에 영향을 주지 않는 폴리머를 선택하면, 폴리머의 반응과 수화반응을 순차적으로 발생시켜 유기, 무기 고화제 간의 상생을 유도할 수 있다.(Ju et al., 2002). 또한 유기계 고화제는 재료의 제조 시 발생되는 탄소 배출량을 줄일 수 있으며, 무기계 고화제의 균열이 발생하는 단점을 보완해 줄 수 있는 재료이다.



<그림 2-345> 흙과 유기계 고화제의 결합 구조

○ 본 연구에서는 부착력이 있는 유기계 고화제만을 이용하여, 시멘트 등 다른 고화제의 첨가 없이 산책로 및 자전거 도로를 건설할 수 있는지 가능성을 평가하고자 하였으며, 현장시공성이 확보되고 환경독성이 적은 친수성의 수용성 유기계 고화제 3종을 유기계 흙포장의 후보 고화제로 선정하였다. 수화반응에 기반을 두는 무기계 고화제와 다르게 유기계 고화제는 고화원리가 다른 많은 종류의 재료가 적용될 수 있으므로, 본 연구에서는 고화원리가 다른 대표적인 물질을 선정하였다. 비닐아세테이트/말레인산염 효소 습제 함유 코폴리머(Vinyl Acetate/Maleate Copolymer with enzymatic wetting agent, 이하 폴리머1), 스티렌-부타디엔 공중합체(Styrene-Butadine Copolymer, 이하 폴리머2)와 아크릴계 접착제(Acryl Ester Copolymer, 이하 폴리머3)를 사용하였으며, 각각 다른 기본물질을 기본으로 하고 있기 때문에 고화원리가 다르지

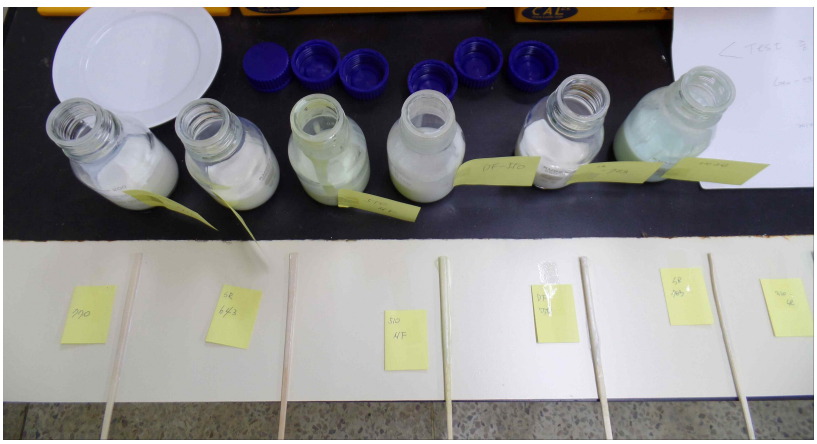
만 흙포장 시공 현장에서 동일한 작업공정으로 진행할 수 있는 액상 형태의 수용성 재료를 선정하고, 시중에서 구입 가능한 제품을 이용하였다. 고화제로 사용된 유기계 고화제의 특성은 각 제조사의 물질안전보건자료(MSDS)에 나타난 내용을 아래표에 나타내었다.

<표 2-252> 유기계 고화제의 특성

구분	폴리머 1	폴리머 2	폴리머 3
색상	아이보리	아이보리	아이보리
pH	5	10.5	7
점도 (Pa·s)	0.86	0.18	1.0 ~ 3.0
비중	1.08	1.017	1.04
고형분 함유량	54.5%	47.1%	56 ~ 58 %

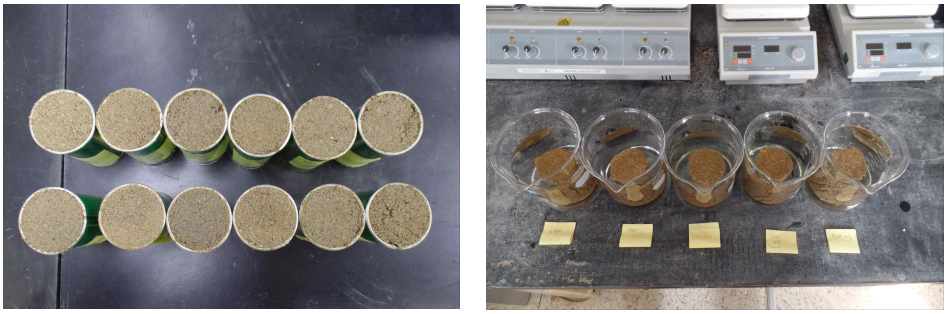
■ 유기계고화제 선정

○ 유기계 고화제는 흙과의 반응성을 알아보기 위하여 간단한 실험을 진행 후 선정하였다. 부착력을 알아보기 위하여 나무판에 나무젓가락을 이용하여 간략히 부착력을 측정하였고, 물과의 반응성을 알아보기 위하여 유기계 고화제에 물을 섞어 둔 후 변화를 관찰하였다.



<그림 2-346> 유기계 고화제의 성능 시험

○ 흙과의 반응성을 알아보기 위하여 can속에 흙과 유기계고화제를 교반하여 넣은 후 건조시켜 굳는 정도를 확인 하였고, 손으로 간략한 강도테스트를 진행하였다. 또한 경화 후 물에 풀리는 현상을 확인하기 위하여 그림 2.7과 같이 물속에 약 1주일간 수침시키는 실험도 진행하였다. 여러 개의 유기계 고화제 중 흙과의 반응성이 좋은 고화제를 선별하여 1축압축시험을 실시 후 최종 3종을 선별하여 연구를 진행하였다.



<그림 2-347> 유기계 고화제 성능시험

(2) 일축압축시험

① 개요

○ 흙포장의 적용범위는 주로 보도, 자전거 도로, 산책로 및 운동장 등 이므로 차량 통행을 목적으로 하는 일반 도로에서 요구하는 소요 강도와는 차이가 있다고 할 수 있으나, 도로의 기본적인 기능을 수행하기 위해서 포장체의 강도를 평가하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 포장체의 강도는 포장의 두께, 경제성, 시공성에 중대한 영향을 미치는 요소임에도 불구하고 우리나라의 흙포장 강도에 대한 구제척인 기준이 정해져 있지 않고 기술자의 경험에 의존하고 있다.

○ 흙포장의 강도와 관련한 국내·외의 자료를 분석에 따르면 우리나라에서는 수백 kN에서 10.0 MPa이상까지 제시되고 있으며, 시공현장에 따라 보행자와 자전거의 통행을 목적으로 하는 보도용의 경우 8.0 MPa을 적용하기도 하고, 관리용 차량이나 주차장 등에 사용하는 차도용은 4.0 Ton 이하의 차량을 기준으로 12.0 Mpa을 적용하기도 한다. 일본의 경우 일본토목연구소는 비교적 낮은 0.3 Mpa~0.7 MPa을 제시하고 있으며, 다구치기술연구소(田口技術研究所, 2010)의 “토계포장공법 설계 시공지침(유보도, 공원로 등 보도편)”에서는 과거의 시험과 시공실적 및 표층에 작용하는 하중을 기준으로 1.0 MPa 내지 1.3 MPa을 제시하고 있다. 흙포장공법의 소요강도에 대한 결정을 위해 요구되는 사항은 하중지지능력, 내구성, 사용성을 고려한 현장 적용성, 경제성 및 시공성을 들 수 있다. 여기서, 현장 적용성과 경제성 및 시공성은 원지반과 첨가재의 종류에 의해 개별 특성이 달라지며, 하중지지능력은 원재료의 조건에 상관없이 포장체로서 요구되는 기본요구사항이라고 할 수 있다(이길호, 2012).

○ 흙포장의 하중지지능력에 따른 강도는 사용목적에 따라 강도기준을 달리 설정하여야 하는데, 작용하는 하중의 관점에서 보면 사람의 통행만을 목적으로 하거나, 자전거의 통행을 목적으로 하는 경우 그리고 관리용 차량의 통행을 목적으로 하는 경우와 자동차의 통행을 목적으로 하는 경우로 구분 할 수 있을 것이다. 현재 국내에서는 자동차의 통행을 주목적으로 하는 경우는 거의 없으므로, 이 연구에서는 보도와 자전거도로 및 관리용 소형트럭(1.0Ton트럭)을 대상으로 작용하중과 접지면적을 고려한 소요강도를 다구치 기술연구소의 자료를 참고로 산정하였다.

사람과 자전거가 주로 이용하는 보도의 하중은 자전거 운전자(80kg)와 자전거의 하중(40kg)을 포함해 120kg이 되며, 후륜 하중 분담비(0.75)를 고려한 작용하중(90kg)을 접지면적(24.0cm^2 =3.0cm×8.0cm)으로 나눈 접지압(0.375MPa)에 충격영향(0.3)과 안전율(2.0)을 고려하면 흙포장의 소요강도는 약 0.98MPa이 된다.

○ 관리용 소형트럭 (1.0Ton트럭)의 하중은 트럭의 자중(1,700kg)과 적재하중(1,00,kg), 운전자와 동승자의 하중(160kg)을 포함해 2,860kg이 되며, 후륜하중분담비(0.75)를 고려한 작용하중(2,145kg)을 접지면적(360.0cm^2=12cm×15cm×2개)으로 나눈 접지압(0.596MPa)에 충격영향(0.3)과 안전율(2.0)를 고려하면 흙포장의 소요강도는 약 1.55MPa이 된다(이길호, 2012).

○ 흙포장의 강도가 높을수록 하중 전달능력과 내구성에서 유리한 것은 사실이나 보행자의 보행감을 향상시키기 위해서는 지나치게 강도를 높이는 것보다는 약간의 변형을 혀용하는 방향으로 설계와 시공이 이루어져야 한다. 현재 대부분의 흙포장과 관련한 연구방향은 적절한 강도를 유지하면서 동시에 내구성을 확보할 수 있어야 하며, 보행자의 충격을 흡수할 수 있는 방안이 핵심적인 연구개발의 방향이 되어야 할 것이다 . 따라서, 본 연구에서는 흙포장의 하중지지능력의 관점에 의한 소요강도를 2.0MPa로 설정하였다.

② 실험방법

○ 실험에 사용된 화강풍화토는 실내시험의 정밀도를 높이기 위하여 건조로에서 사전에 24시간 건조하여 자연함수비의 영향이 없도록 준비하였으며, 유기계 폴리머 고화제는 흙시료 무게의 1.5%를 첨가하고 공시체 제작시 최적함수비(9%)가 되도록 조절하였다. 공시체는 지름 50mm, 높이 100mm이며, 강철 몰드에서 A다짐 에너지로 다짐 후 양생하였다. 실내 다짐시험을 수행할 경우에는 대상이 되는 토공구조물의 성격(공항, 도로, 경차전용도로 등)에 따라서 다짐에너지 및 실험방법을 다르게 적용한다. 우리나라의 다짐시험(KS F 2312)은 5가지(A, B, C, D, E)의 실험방법을 제시하고 있으며, A, B 다짐시험은 약 550 kN • m/m^3의 다짐에너지를 적용하고, C, D, E 다짐시험은 약 2,475 kN • m/m^3을 적용한다. A, B 다짐시험은 일반적인 도로 토공의 경우에 사용하고, 비행장 등 사용하중이 큰 지반을 다질 때에는 보다 큰 에너지로 시험하기 위해 C, D, E 다짐시험을 적용할 수 있다. 본 연구에서는 산책로 및 자전거 도로를 대상으로 하고 있으므로 A다짐시험법으로 공시체를 제작하였다.

○ 우리나라에서는 흙포장의 설계 단계에서 현지토와 고화제의 혼합에 따르는 강도발현 특성을 파악하고 고화제 첨가량을 결정하기 위하여 일축압축시험을 하고 있으나, 양생 과정에 대한 명확한 기준이 정립되어 있지 않아서 고화제 첨가량의 많고 적음과 시공현장 상황을 고려하여 수중양생이나 공기양생을 개별적으로 적용하고 있다. 본 연구에서는 수중양생이 어려운 도로를 대상으로 하고 있으므로 공시체에 공기양생을 적용하였다. 온도 섭씨 17^oC ~ 21^oC, 습도 30% ~ 50%의 실험실 환경에서 3일과 7일동안 양생하여 일축압축강도를 측정하였다.

③ 실험 종류 및 결과

■ 저강도시험

○ 3종의 고화제 및 화강풍화토만으로 제작된 공시체를 공기중 3일과 7일 양생 후 일축압축강도를 측정하였으며, 고화제의 혼합비율은 화강풍화토 100g당 고화제와 물의 무게에 대한 비율로 나타내었다.

<표 2-253> 공시체 제작 시 혼합비

구 분	유기계 고화제 (g)	물 (g)	화강풍화토 (g)
화강풍화토	0	9	100
폴리머 1	0.8	8.2	100
	1.5	7.5	100
폴리머 2	0.8	8.2	100
	1.5	7.5	100
폴리머 3	0.8	8.2	100
	1.5	7.5	100

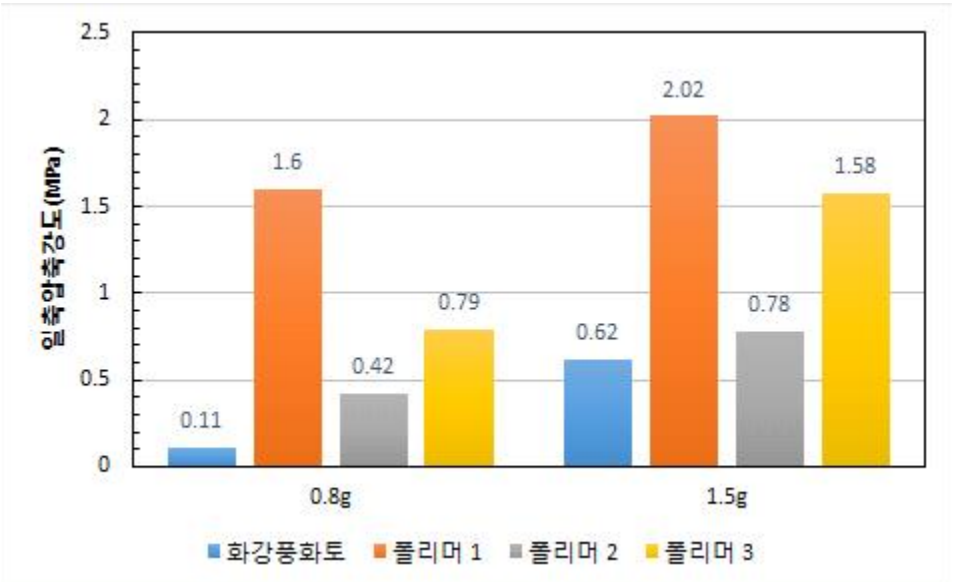
○ 각각 3개의 공시체를 제작하여 일축압축실험을 진행하였고, 일축압축강도는 3개의 강도를 평균하였다. 또한 3일과 7일의 일축압축시험결과를 비교하여 나타내었다. 폴리머의 경우 배합비율을 2종류로 실험하였으며, 폴리머 배합량(g)을 기준으로 각각 표기하였다.

○ 일축압축시험 결과 유기계 고화제를 0.8g을 배합한 경우, 폴리머 1의 경우 2.02MPa의 일축압축강도를 가지는 것으로 나타나 본 연구의 기준강도인 2MPa을 만족하는 것으로 나타났다. 반면, 폴리머2와 폴리머 3의 경우는 각각 0.78MPa과 1.58MPa으로 측정되어 기준을 만족하지 못하는 것으로 확인되었다.

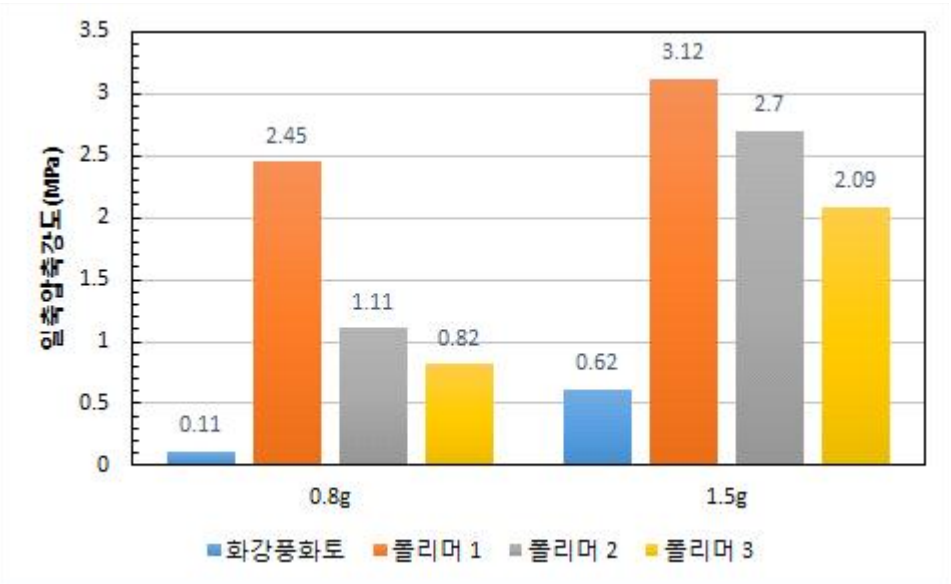
○ 유기계 고화제를 1.5g 배합하는 경우 3가지 유기계 고화제의 일축압축강도는 2.09~3.12 MPa로 나타나 본연구의 강도기준을 만족하는 것으로 확인되었다. 따라서, 3종류의 유기계 고화제의 경우 화강풍화토 100g당 1.5g 이상의 유기계 고화제가 필요한 것으로 판단된다.

<표 2-254> 일축압축강도 시험결과

구 분		일축압축강도 (MPa)	
		3일양생	7일양생
화강풍화토		0.11	0.62
폴리머 1	0.8g	1.60	2.02
	1.5g	2.45	3.12
폴리머 2	0.8g	0.42	0.78
	1.5g	1.11	2.70
폴리머 3	0.8g	0.79	1.58
	1.5g	0.82	2.09



<그림 2-348> 3일 일축압축시험 결과



<그림 2-349> 7일 일축압축시험 결과

■ 고강도시험

○ 저강도 시험결과 3종의 유기계 고화제가 화강풍화토 100g당 1.5g을 배합하면 본 연구에서 목표로 하는 기준강도를 만족하는 것으로 나타났다. 하지만, 보다 고강도를 요구하는 경우의 사용을 위해 무기계열의 첨가제(이하 첨가제1) 및 미립입자를 가지는 첨가제(이하 첨가제2)를 추가로 배합하여 일축압축시험을 실시하였다. 화강풍화토 100g당 혼합재료의 무게에 대한 비율을 나타내었다. 또한 첨가제1, 첨가제2의 구성성분을 나타내었다.

<표 2-255> 공시체 제작 시 혼합비

구 분	유기계 고화제 (g)	물 (g)	첨가제1 (g)	첨가제2 (g)	화강풍화토 (g)
폴리머 1	4.5	4.5	4.5	4.5	100
폴리머 2					
폴리머 3					

<표 2-256> 첨가제의 구성성분

구분	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	CaO (%)	기타 (%)	손실량 (%)
첨가제1	22.8	10.6	1.8	2.85	52.9	9.05	2.1 이하
첨가제2	90.0	1.5	3.0	2.0	0.7	2.8	3.0 이하

○ 각각 3개의 공시체를 제작하여 일축압축실험을 진행하였고, 일축압축강도는 3개의 강도를 평균하여 나타내었다. 일축압축강도의 측정은 첨가제의 첨가에 의해 조기강도 발현여부를 확인하기 위해 1일강도를 추가적으로 측정하였다.

○ 일축압축시험 결과 1일 일축압축강도는 폴리머1의 경우 3.65MPa, 폴리머2는 2.12MPa, 폴리머3은 3.27MPa로 나타나, 본 연구의 기준강도인 2MPa을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 7일양생 후 일축압축강도는 폴리머1이 7.64MPa로 가장 큰 강도를 발휘하는 것으로 나타났고, 폴리머3이 5.59MPa로 가장 작은 강도를 발휘하는 것으로 확인되었다. 양생기간별 유기계 고화제의 일축압축강도를 비교하여 나타내었다. 폴리머2의 경우 1일강도는 가장 낮게 나타났지만, 3일양생 이후부터 폴리머 3보다 큰 강도를 나타내는 것으로 나타났다. 그림2.12은 유기계 고화제별의 양

생기간에 따른 일축압축강도의 비교를 타나내었다. 강도증가율은 폴리머2가 가장크고, 폴리머 3이 가장 작은 것으로 확인되었다.

■ 일축압축시험 결과에 따른 배합비 결정

○ 저강도 일축압축시험결과 화강풍화토 100g당 유기계 고화제 1.5g을 첨가한 경우의 7일 일축압축강도는 사용된 모든 유기계 고화제가 기준강도인 2MPa을 만족하는 것으로 확인되었다. 또한 폴리머 1의 경우, 화강풍화토 100g당 유기계 고화제 0.8g을 첨가한 경우 기준강도를 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 유기계 고화제의 최적 배합비는 폴리머 1의 경우 화강풍화토 100g당 0.8g 이상의 유기계 고화제가 필요하고, 폴리머 2와 폴리머 3의 경우 화강풍화토 100g당 1.5g 이상의 유기계 고화제가 필요하다. 유기계 고화제 투입량만 기준으로 하면 폴리머 1을 선정하는 것이 타당하지만, 경제적인 측면을 함께 고려할 필요가 있다. 폴리머1을 기준으로 폴리머 2의 경우 약 80% 정도의 시장가격을 형성하고 있고, 폴리머3의 경우 약 20% 정도의 시장가격을 형성하고 있다. 따라서 성능적인 측면과 경제적인 측면을 모두 고려하면, 폴리머3을 선정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

<표 2-257> 최적배합비(저강도)

구 분	유기계 고화제 (g)	물 (g)	화강풍화토 (g)
폴리머 3	1.5	7.5	100

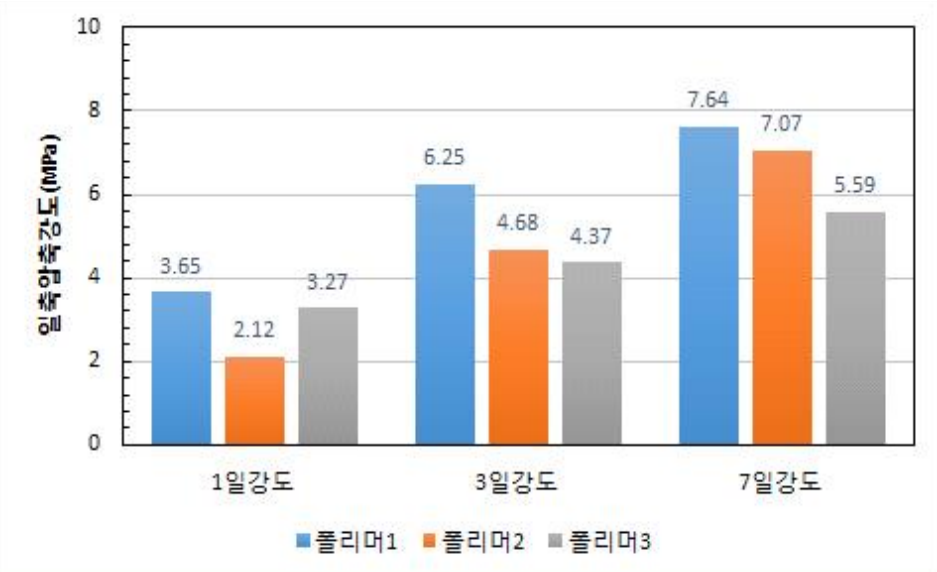
○ 또한 고강도의 최적배합비도 폴리머 3을 이용한 배합비로 결정하였다.

<표 2-258> 최적배합비(고강도)

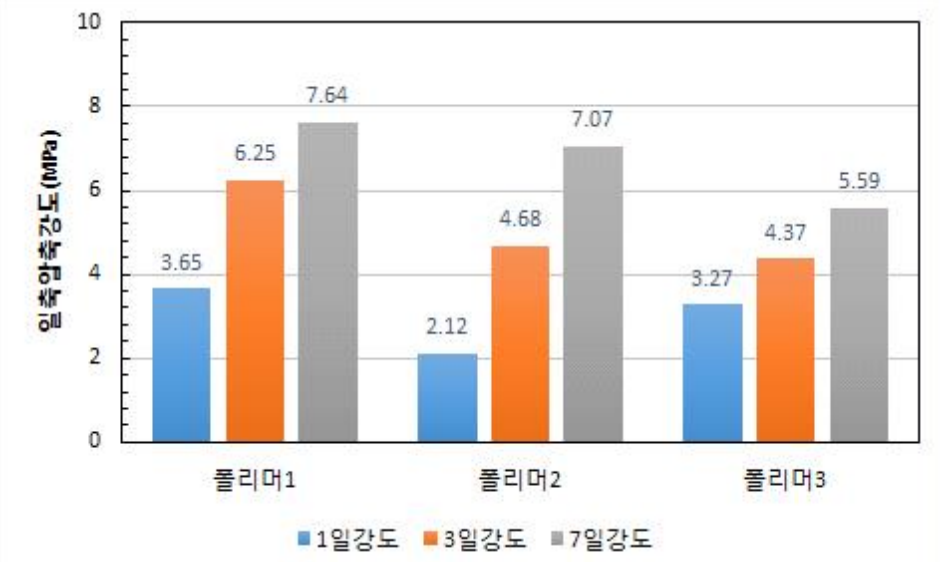
구 분	유기계 고화제 (g)	물 (g)	첨가제1 (g)	첨가제2 (g)	화강풍화토 (g)
폴리머 3	4.5	4.5	4.5	4.5	100

<표 2-259> 일축압축강도 시험결과

구 분	일축압축강도 (MPa)		
	1일양생	3일양생	7일양생
폴리머 1	3.65	6.25	7.64
폴리머 2	2.12	4.68	7.07
폴리머 3	3.27	4.37	5.59



<그림 2-350> 양생기간별 유기계 고화제의 일축압축강도 비교



<그림 2-351> 유기계 고화제의 양생기간에 따른 일축압축강도변화

(3) 흙포장 성능 시험

○ 흙포장의 성능을 시험하기 위하여 KS F 2376의 시험방법으로 간접인장강도 시험을 진행하였으며, KS F 2332의 시험방법의 동결융해 시험으로 부피손실율을 측정하였다. 또한 흙포장 재료인 폴리머 3의 환경유해성을 평가하기 위하여 기체 크로마토그래프 불꽃이온화 검출기(GC-FID)를 이용하여 톨루엔(Toluene)의 함유량을, 고성능 액체 크로마토그래프(HPLC)를 이용하여 포름알데히드(Formaldehyde)의 함유량을 측정하였다. 성능시험의 분석정확도를 높이고 신뢰성을 검증 받기 위하여 각각 공인시험기관에 의뢰하여 흙포장의 성능을 검증을 하였다.

① 인장강도 및 동결융해시험

○ 일축압축시험 결과에서 제시한 흙포장의 배합비를 이용하여 인장강도 및 동결융해시험의 공시체를 제작하였다. 인장강도시험은 시험편의 탄성한도, 비례한도, 탄성계수, 항복점, 최대강도, 파단강도, 단면수축 등을 알아보기 위한 시험으로 본 흙포장 연구의 목표치는 0.5MPa이다. 동결융해시험은 시험편의 안정성, 내구성 또는 내해성을 판정하는 시험으로, 시험하고자 하는 물체를 흡수시켜 빙점 하에 냉각 동결시키고, 이어 상온으로 되돌려 융해시키는 조작을 반복하여 이상을 나타내기에 이르는 사이클 수로 판정하게 된다. 본 연구에서는 흙포장체의 동경융해를 통한 부피변화를 알아보기 위해 시험을 진행하였고, 포장체의 부피변화율(손실율)의 목표치는 4% 이하이다. 시험결과 7일 인장강도는 0.59MPa로 목표치를 만족하였고, 부피변화율(손실율)은 1.03%로 목표치를 만족하였다. 공인시험기관의 시험결과를 토대로 일축압축시험결과에서 제시하고 있는 폴리머 3을 이용한 배합비는 인장강도와 동결융해시험에서 본 연구에서 추구하는 성능을 만족하는 것으로 확인되었다.

② 환경특성시험

○ 벤젠의 메틸 치환체인 톨루엔은 특이한 냄새가 나는 무색 액체로 폭약, 염료, 의약, 향료, 사카린, 합성 고분자 재료 등의 원료로서 사용된다. 톨루엔은 인간과 동물의 중추신경계에 대한 억제작용을 하여 100ppm이상 흡입시 두통, 복통을 유발하며, 심할 경우 소뇌 기능장애, 인식력 저하의 원인이 된다. 톨루엔 배출허용기준은 악취물질 배출허용기준에 의거 공업지역 30ppm이하, 기타지역 10ppm이하이다.

○ 자극성 냄새를 갖는 가연성 무색의 기체인 포름알데히드는 피혁제조, 사진건판, 폭약 등의 제조에 이용된다. 포름알데히드는 눈, 목, 코 등의 자극증상이 있으며, 50～100ppm 이상의 고농도일 경우 구토, 설사, 의식불명 등 인체에 치명적일 수 있다. 포름알데히드의 배출허용기준은 대기오염물질의 배출허용기준에 의거 모든 배출시설에서 10ppm이하이다.

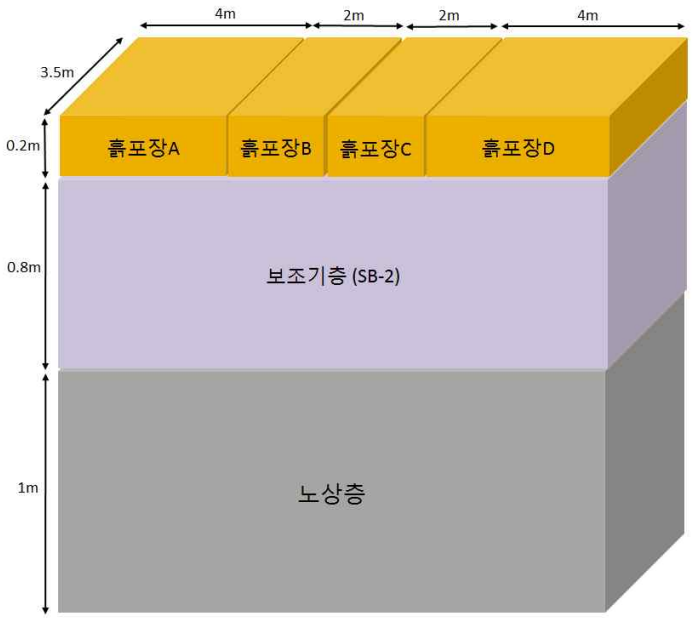
○ 본 연구에서 사용된 폴리머3을 이용하여 톨루엔 및 포름알데히드 함량을 시험하였다. 시험결과 톨루엔은 검출되지 않았고, 포름알데히드는 0.5ppm 검출되어 두물질 모두 배출허용기준을 만족하는 것으로 나타났다. 시험결과인 공인시험기관의 성적서는 부록으로 첨부하였다. 공인시험기관의 시험결과를 토대로 일축압축시험결과에서 제시하고 있는 폴리머 3을 이용한 배합비는 톨루엔과 포름알데히드의 배출기준을 만족하는 것으로 확인되었다.

(4) 포장가속시험

○ 포장가속시험(Accelerated Pavement Test)은 포장구조체를 실물크기로 조성하여 실제와 유사한 환경하중과 교통하중을 단기간에 모사하기 위해 개발된 장비로, 포장용 재료의 장기 공용성의 핵심인 소성변형과 피로균열을 단기간에 확인할 수 있는 시험이다. 본 연구에서는 폴리머 3의 배합비에 따른 흙포장의 장기 공용성을 확인하기 위해 수행되었다. 또한 무기계의 대표적인 고화제인 일반 포틀랜드 시멘트(normal portaland cement, N.P.C)가 첨가된 흙포장과의 비교를 수행하였다.

① 개요

○ 포장가속시험은 한국도로공사 도로교통연구원의 포장가속시험동에서 수행되었다. 18ton의 하중조건으로 10,000회 반복하여 하중을 재하 하였고, 포장가속시험기의 평균주행속도는 20 km/h가 유지되도록 하였다. 포장가속시험기는 직선거리를 반복하여 주행하도록 설정하였다. 포장가속시험동의 포장단면의 깊이는 총 2m로 구성되어 있다. 흙포장면 하부에는 아래의 포장단면 개략도와 같이 노상층 1m와 보조기층0.8m를 각각 설치하였다. 흙포장은 배합비를 4종류로 하였고, 폭 3.5m, 두께 0.2m로 시공하고 길이는 0.4m 와 0.2m로 각각 다르게 시공하였다.



<그림 2-352> 포장가속시험 포장단면 개략도

○ 포장가속시험은 총 4가지의 경우로 혼합비를 달리 시공하였고, 흙포장 A의 경우 일축압축시험결과에 따른 기본 혼합비를 사용하였다. 흙포장 B의 경우 고강도를 위해 일축압축시험의 고강도에서 사용한 혼합비를 사용하였다. 흙포장 C의 경우 무기계 고화제인 첨가제 1 대신 시멘트를 첨가하였고, 흙포장 D의 경우 유기계와 비교를 위해 무기계의 대표적인 고화제인 일반 포틀랜드 시멘트만 사용하여 흙포장을 시공하였다. 흙포장에 사용된 각각의 혼합비는 화강풍화토 100g을 기준으로 폴리머3, 일반 포틀랜드 시멘트, 물, 첨가제 1, 첨가제 2를 무게기준으로 하여 표 2.15

에 나타내었다. 실내시험과의 연속성을 위해 폴리머 3, 첨가제 1, 첨가제 2는 동일한 곳에서 주문하였고, 화강풍화토는 동일한 현장에서 채취한 것을 구입하였다.

<표 2-260> 포장가속시험 혼합비

구 분	혼합비 (무게비, 화강풍화토 무게기준, g)					
	폴리머3	시멘트	물	첨가제 1	첨가제 2	화강 풍화토
흙포장 A	1.5	-	7.5	-	-	100
흙포장 B	4.5	-	4.5	4.5	4.5	100
흙포장 C	4.5	10	9	-	4.5	100
흙포장 D	-	10	9	-	-	100

○ 흙포장 시공은 보조기층까지 미리 조성한 후 각 재료를 $0.2m^3$의 교반기를 이용하여 교반 후 백호로 포장면까지 운반하여 포설하였다. 흙포장 A와 D의 경우 14회, 흙포장 B와 C의 경우 7회를 각각 교반하여 포설을 하였으며, 포설 중 함수비가 증발되는 것을 막기위해 비닐을 이용하여 함수비를 보존하였다. 교반 및 포설 완료 후 3.5 ton의 타이어 롤러를 이용하여 왕복 5회, 총 10회 다짐을 하여 흙포장 시공을 완료 하였다.

② 포장가속시험 결과

○ 포장가속시험은 포장 시공 후 양생을 2주간 하여 하중을 재하하였다. 총 10,000회(60,148ESAL) 주행 후 시험포장에 대한 포장상태 조사를 수행하였다. 포장면의 육안관찰을 통한 균열을 확인하였고, 아래그림 나타난 Dynatest사의 FWD장비를 이용하여 포장가속시험 전 후의 지지력을 측정하였다. 또한 휠패스 구간의 종방향 평탄성 측정 및 횡방향 평탄성 측정을 실시하여 종합적으로 분석하였다.



종방향 평탄성 측정
(SurPRO 3500)



횡방향 프로파일러



Dynatest사의 FWD장비



FWD 시험 전경

<그림 2-353> 포장가속시험 결과 측정 장비

○ 흙포장의 표면을 관측 한 결과는 유기계 고화재가 포함된 흙포장 A, B, C의 경우 표면의 마모는 발생하였으나, 균열은 발생하지 않았다. 반면, 유기계 고화제가 포함되지 않은 흙포장 D의 경우 가속시험기의 휠패스 구간 주변으로 균열이 매우 발달한 것을 확인 할 수 있었다. 또한 양생에 따른 건조 수축으로 인한 균열도 확인 할 수 있었다. 실험결과 유기계 고화제는 무기계 고화제와 비교하여 균열에 강한 모습을 보이는 것으로 확인되었다.



흙포장 A 표면



흙포장 B 표면

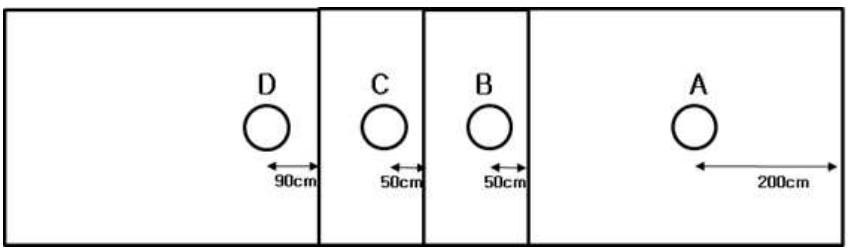


흙포장 C 표면

흙포장 D 표면

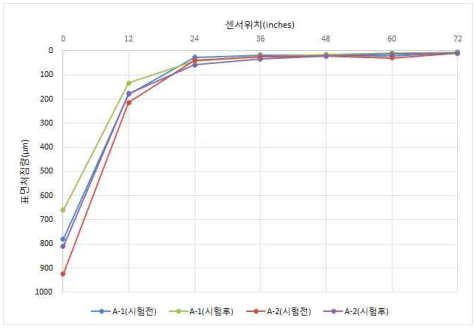
<그림 2-354> 포장가속시험 후 흙포장 표면 관측결과

○ 포장 전·후의 포장구조체의 성능을 파악을 위해 Dynatest사의 FWD장비를 이용하여 포장구조체 재하시험을 수행하였다. 재하시험은 1회 수행 시 2회 측정되며, 포장가속시험 전 총 3회의 재하시험을 통한 평균치를, 포장가속시험 후에는 총 2회의 재하시험을 통한 평균치를 이용하였다. 그림 2.18은 각 흙포장에 대한 FWD 재하시험 수행 위치를 나타내고 있다. 흙포장A의 경우 포장면 끝부분부터 2m 떨어진 위치에 FWD의 재하체 중심이 오도록 하여 시험을 수행하였다. 흙포장 포장면 끝부분부터 흙포장 B와 C는 0.5m, 흙포장 D는 0.9m의 간격을 유지하여 시험을 수행하였다. 수행한 시험의 결과를 분석하여 표면처짐량, 동적지지력, 유효계수를 확인하였다.

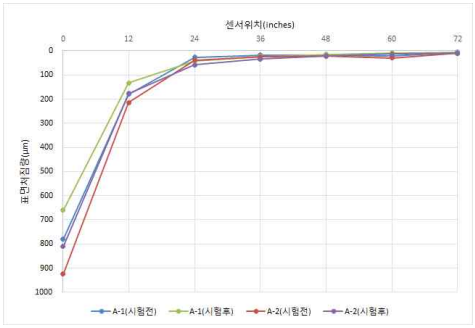


<그림 2-355> 포장가속시험 FWD 조사위치

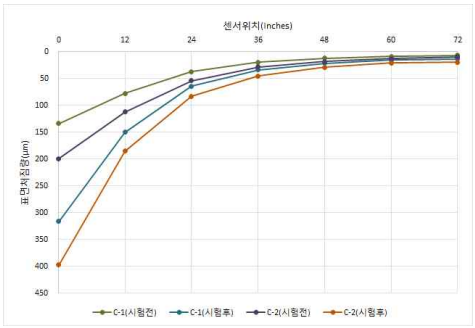
○ 구간별 FWD 시험결과를 분석하여 가속시험 전·후의 표면처짐량을 그림에 그래프로 나타내었다. 재하시험 1회 시 2회(1차, 2차)가 재하되어, 1차 재하와 2차 재하를 나누어 각각 평균으로 계산하여 나타내었다. 흙포장 모두에서 1차 재하시의 표면편차가 2차재하시의 표면편차보다 더 크게 나타났다.



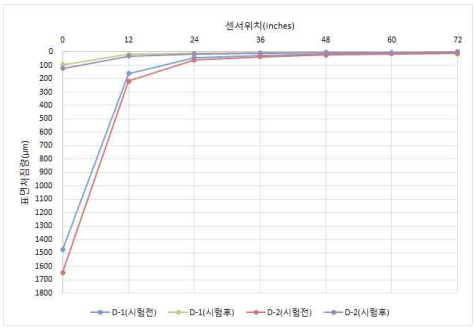
흙포장 A 표면처짐량 측정 결과



흙포장 B 표면처짐량 측정 결과



흙포장 C 표면처짐량 측정 결과



흙포장 D 표면처짐량 측정 결과

<그림 2-356> 포장가속시험 결과

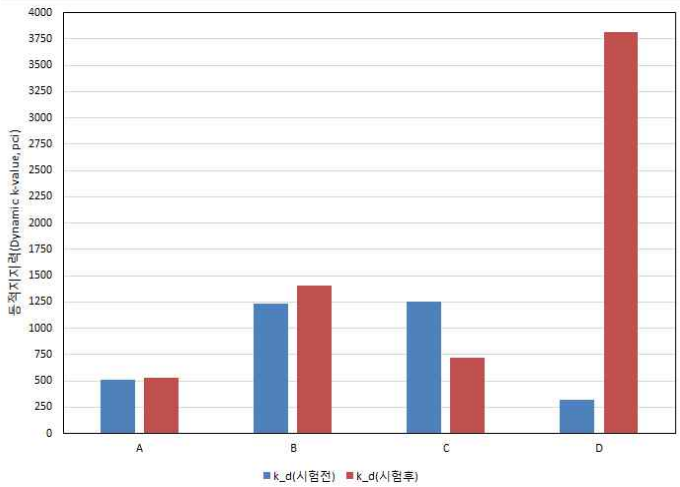
○ 모든 흙포장에서 가속시험 후의 표면처짐량이 가속시험 전의 표면처짐량보다 다소 감소하는 것으로 나타났다. 또한 흙포장 C, D의 표면처짐량이 흙포장 A, B의 표면처짐량보다 변화가 큰 것으로 나타났다. 이는 흙포장 시공 후 2주후 FWD 시험을 수행하여 양생기간이 2주이기 때문으로 판단된다. 즉 시멘트의 경우 양생기간이 길어질수록 강도가 높아져 표면처짐량이 줄어드는 반면, 유기계 고화제를 사용한 흙포장의 경우 일정 강도를 조기에 발현하고, 이후 큰 변화가 없는 것으로 판단 할 수 있다. 특히 무기계 고화제인 일반 포틀랜드 시멘트만 사용한 흙포장 D의 경우, 표면의 균열은 매우 많이 발생하여 포장으로서의 기능은 거의 상실하였지만 시멘트의 양생기간에 의해 강도는 증가하여 표면처짐량이 약 10% 수준으로 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.

○ 본 연구는 산책로 및 자전거 도로를 목표로 하고 있고, 양생기간을 일주일 전·후로 고려하고 있다. 특히, 산책로의 경우 시공 3일 후 통행이 가능하도록 계획하고 있다. 이러한 관점에서 강도가 조기에 일정하게 유지되는 점은 장점으로 부각될 수 있다.

○ 또한 산책로로 이용 시 보행자의 관절 등 보호를 위해 일정량의 표면처짐량은 필요하다. 유기계 고화제를 사용한 흙포장 A, B의 처짐량은 무기계 고화제를 첨가한 흙포장 C의 두배정도로

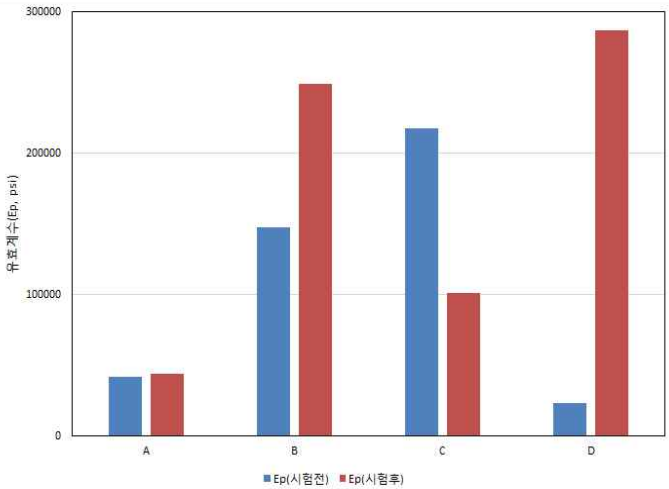
확인되었다. 무기계 고화제만 사용한 흙포장 D의 처짐량과 비교하여서는 약 8배 이상의 표면처짐량을 가지는 것으로 확인되어 무기계 고화제인 시멘트를 사용한 흙포장에 비해 산책로로서 기능적으로 더 우수하다고 판단된다.

○ FWD의 결과인 처짐곡선을 이용하여 포장 구간별 동적지지력 산정결과를 그림 2.20에 나타내었다. 유기계 고화제가 주 재료인 흙포장 A, B의 경우 가속시험 전·후 지지력의 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 반면 유기계 고화제와 무기계 고화제가 함께 첨가된 흙포장 C의 경우, 지지력이 절반가까이 감소하는 것으로 나타났다. 무기계 고화제만 첨가한 흙포장 D의 경우, 지지력이 가속시험 후 지지력이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 무기계 고화제의 양생시간에 따른 것으로 판단된다.



<그림 2-357> 처짐곡선을 이용한 동적지지력 산정

○ 포장 구간별 유효계수 산정결과를 그림에 나타내었다. 흙포장 A의 경우 거의 유사한 것으로 나타났다. 흙포장 B의 경우 유효계수가 40%정도 상승하였고, 흙포장 C의 경우 50%정도 감소하였다. 흙포장 D의 경우 가속시험 후 유효계수가 크게 상승하였고, 이는 양생기간에 따른 차이로 판단된다.



<그림 2-358> 포장구간별 유효계수 산정결과

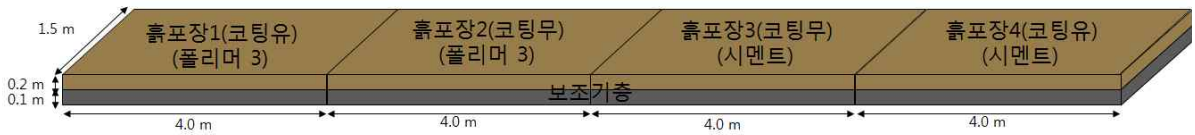
(5) 현장시험시공 개요

○ 실내시험을 통하여 확인한 시험결과를 바탕으로 흙포장의 현장 적용성을 판단하기 위하여 현장시험시공을 실시하였다. 현장시험시공은 경기도 연천군 연천읍 옥산리 191-11번지 일원의 한국건설기술연구원 SOC 실증연구센터 부지 내에서 수행되었다. 현장시험시공에서는 본연구의 성과인 폴리머 3을 이용한 흙포장과 무기계의 대표적 고화제인 일반 포틀랜드 시멘트를 시공하여 상호 비교하였다. 현장시험시공에서는 시험의 연속성을 유지하기 위하여 실내시험 및 포장가속시험에서 사용한 재료와 동일한 재료를 구매하여 시공을 하였다.

○ 흙포장 현장시험시공의 혼합비는 화강풍화토 100g을 기준으로 재료의 무개비를 표 3.4에 나타내었고, 표면 코딩 유·무에 따른 비교를 위하여 각각의 포장면 절반씩을 코팅을 하여 비교하였다. 포장면 하부에는 폭 1.5m, 높이 0.1m의 보조기층을 설치하였고, 흙포장은 폭 1.5m, 높이 0.2m, 길이 8씩으로 조성하였으며, 단면도는 아래 그림과 같다. 현장시험시공 흙포장의 기호는 숫자를 사용하여 포장가속시험과 혼동을 방지하였다.

<표 2-261> 흙포장 현장시험시공 혼합비

구 분	혼합비 (무게비, 화강풍화토 무게기준, g)				
	폴리머	시멘트	물	화강풍화토	코팅유무
흙포장 1	1.5	-	7.5	100	X
흙포장 2	1.5	-	7.5	100	O
흙포장 3	-	5.0	9.0	100	X
흙포장 4	-	5.0	9.0	100	O



<그림 2-359> 흙포장 현장시험시공 단면도

○ 흙포장은 폭 5m, 길이 20m, 높이 0.5m의 기반을 별도로 조성하여 흙포장의 폭과 깊이에 맞게 굴착 후 흙포장을 시공하였다. 흙포장의 기반 조성에는 인근의 흙을 이용하여 성토 후 진동롤러를 이용하여 두 번에 걸쳐 충분히 다졌으며, 그림 3.2의 시험시공 굴착과 같이 시험시공 위치를 백호를 이용하여 굴착하여 시공하였다. 보조기층은 다짐 시공 후 0.1m가 되도록 포설 후 3.5 ton의 타이어 롤러를 이용하여 왕복 5회, 총 10회 다짐을 하였고, 보조기층 조성 후 평판재하시험을 실시하였다. 시교의 혼합을 위하여 화강풍화토는 현장 함수비 시험을 통해 함수비를 측정하였고, 측정된 함수비 만큼 물량을 조절하여 혼합비를 유지 하였다. 재료의 교반은 포장가속시험에서 사용하였던 $0.2m^3$의 교반기를 이용하여 교반 후 백호로 포장면까지 운반하여 포설하였다. 흙포장은 총 12회를 각각 교반하여 포설 하였으며, 포설 중 함수비가 증발되는 것을 막기위해 비닐을 이용하여 함수비를 보존하였다. 교반 및 포설 완료 후 3.5 ton의 타이어 롤러를 이용하여 왕복 5회, 총 10회 다짐을 하여 흙포장 시공을 완료 하였다. 또한 각 포장면의 절반씩 표면코팅을 실시하였고, 최종 시공 후 들밀도 시험을 수행하였다. 양생 간 보온 유지를 위하여 보온재를 흙포장 표면에 설치하여 양생을 실시하였다.

(6) 현장시험시공 결과

① 들밀도 시험 결과

○ 흙포장의 다짐정도를 판단하기 위하여 현장들밀도 시험을 실시하였다. 이는 화강풍화토의 최대건조단위중량의 98% 수준으로 다짐이 잘 된 것으로 판단된다.

<표 2-262> 흙포장 현장들밀도 시험 결과

구분	함수비 (%)	건조단위중량 (kN/m3)	습윤단위중량 (kN/m3)
흙포장 1	10.2	19.55	17.74
흙포장 2	10.3	19.59	17.76
흙포장 3	9.6	19.52	17.81
흙포장 4	9.8	19.58	17.83

② 평판재하 시험 결과

○ 흙포장의 현장 적용성 및 동절기 전후의 포장상태 확인을 위하여 포장 2주 경과 후, 동절기가 끝나는 2월 마지막 날 각각 평판재하시험을 실시하였다. 평판재하시험은 4종류의 흙포장을 각

각 측정하다. 최대하중은 35 ton/m^2 까지 재하 하였고, 1차 및 2차 모든 시험에서 기준보다 큰 침하는 발생하지 않아 허용지지력은 11.7 ton/m^2 이상으로 확인되었다. 시멘트를 사용한 흙포장은 동절기 후 침하량이 줄어들었고, 이는 양생기간의 증가에 따른 강도증가에 의한 것으로 판단할 수 있다. 유기계 고화제를 사용한 흙포장의 경우 2차시험의 침하량이 증가한 것으로 나타났다. 표면을 코팅제로 처리한 흙포장과 비교하여 코팅제를 사용하지 않은 흙포장에서 침하량이 더 크게 증가 하는 것을 확인 할 수 있었다.



흙포장 전경



평판재하시험 전경



평판재하시험 1

평판재하시험 2

<그림 2-360> 흙포장 평판재하시험

<표 2-263> 흙포장 평판재하시험 결과

구 분		최대재하하중 (ton/m^2)	허용지지력 (ton/m^2)	최대침하량 (mm)	비고
흙포장 1	전	35.0	11.7	2.22	코팅O
	후			5.88	
흙포장 2	전	35.0	11.7	1.75	코팅X
	후			8.07	
흙포장 3	전	35.0	11.7	0.08	코팅X
	후			0.04	
흙포장 4	전	35.0	11.7	0.27	코팅O
	후			0.04	

③ 흙포장 단면확인

○ 흙포장의 동결 유무 및 동절기 후 포장면의 변화 확인을 위해 흙포장 1과 흙포장 4의 단면을 수직으로 절단하여 관찰하였다. 흙포장으로 물이 침투 한 흔적이나, 동결된 흔적은 발견되지 않았고, 동절기 후 에도 포장 단면을 잘 유지하는 것을 확인할 수 있었다.



흙포장 1 흙포장 4

<그림 2-361> 흙포장 단면확인

라. DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 기술 개발(2-3)

(가) 저농도 CO_2 저감 메커니즘 확보

① CO_2 성능평가를 위한 실험장치 제작(lab-scale)

○ 본 연구에서는 CO_2 저감 성능평가 결과의 최적화 도출을 위하여 1 L/min 규모의 실험 장치를 제작하였다.

○ 실험장치는 흡수공정과 흡착공정으로 구분하여 제작하였고, 가스 주입부, 반응부, 측정부로 구성되었다.

○ 실험장치는 신재생에너지(태양광)를 활용하여 장치에 필요한 전력을 공급함으로써 에너지 소비를 최소화하도록 구성하였다.

◎ 흡착제의 물리·화학적 특성 분석결과

■ BET(Brunauer, Emmett, Teller) 분석 결과

○ BET 비표면적 분석 결과 제올라이트 5A와 활성탄소섬유는 낮은 상대압력(p/pO<0.2)에서 질소 흡착이 일어났으며 그 이상에서는 상대압력을 높여도 흡착량이 증가하지 않고 포화압력에 도달함으로서 전형적인 Type I 흡착 등온곡선의 흡착 특성을 나타낸다.

○ 제올라이트 13X의 경우 상대압력 0.2와 0.9~1.0 영역에서 기울기 변화를 보이고 있는데 이는 모세관 응축(capillary filling) 현상에 의한 것으로 전형적인 Type Ⅳ 흡착 등온곡선의 흡착 특성을 나타내는 것으로 분석되었다.

○ 또한, 활성탄은 상대압력 0.4~0.5 영역에서 질소 흡착이 일어나 포화압력에 도달하는 전형적인 Type I 흡착 등온곡선의 특성을 보이고 있으나 제올라이트 5A에 비해 상대적으로 높은 압력에서 포화압력에 도달하는 것으로 보아 미세기공과 더불어 약간의 큰세공이 발달해 있음을 알 수 있다.

<표 2-264> 흡착제의 구조적 특성

Adsorbent	Surface area			Pore volume		Pore size
	S_{BET} (m^2/g)	S_{Micro} (m^2/g)	S_{EXT} (m^2/g)	V_{Total} (cm^3/g)	V_{Micro} (cm^3/g)	Diameter (Å)
Zeolite 5A	1,099	970	129	0.44	0.36	16.3
Zeolite 13X	603	557	46	0.28	0.20	18.9
ACF	1,057	761	296	0.63	0.4	11.7
AC	632	560	72	0.28	0.22	17.4

주) ACF: Activated Carbon Fiber, AC: Activated Carbon

■ EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer) 분석 결과

○ 제올라이트 5A의 EDS 분석 결과 주요성분은 제올라이트의 기본 구조와 같은 Si(SiO_2)와 Al(Al_2O_3)로 이루어져 있는 것을 알 수 있으며 주요 Si/Al 함량비는 1.38로 나타났다.

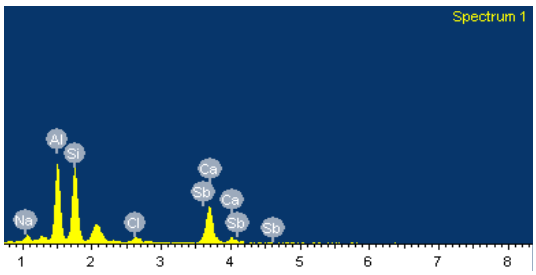
○ 또한, 일반적인 제올라이트 A계열의 결정구조는 양이온으로 Na와 Ca를 포함하고 있는데 분석 결과 Na와 Ca가 포함되어 있는 것으로 보아 A계열(5A)의 제올라이트인 것을 확인할 수 있다.

○ 제올라이트 13X의 EDS 분석 결과 주요성분은 5A와 같은 Si(SiO_2)와 Al(Al_2O_3)로 이루어져 있다.

○ 제올라이트X계열의 경우 Si/Al 함량비 1~1.5, 결정구조 상 양이온으로 Na만을 포함하는 구조를 X계열로 구분하는데 분석 결과 제올라이트 13X의 Si/Al 함량비는 1.39으로 나타났고, 양이온으로 Na만을 포함하고 있는 것을 알 수 있ㅍ.

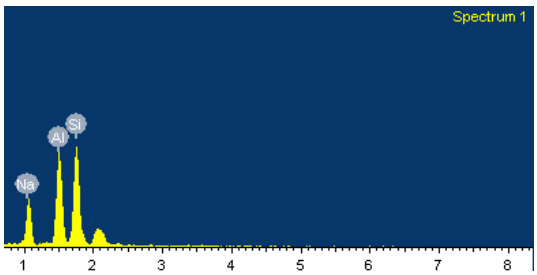
○ 활성탄소섬유와 활성탄의 EDS 분석 결과 대부분이 C(95.90 %, 92.50 %)로 구성되어 있음을 알 수 있다.

Element	Weight(%)	Atomic(%)
Na	7.75	2.68
Al	33.87	38.00
Si	45.14	52.30
Cl	1.16	0.68
Ca	12.08	6.34



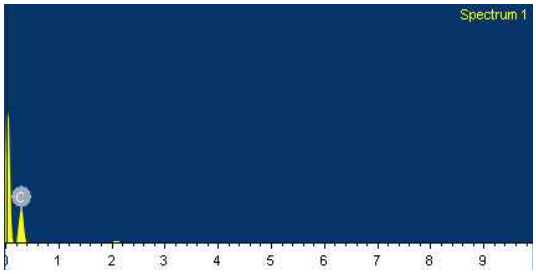
제올라이트 5A

Element	Weight(%)	Atomic(%)
Na	10.28	8.48
Al	37.90	38.24
Si	51.82	53.28



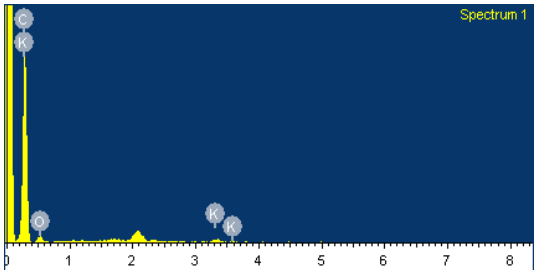
제올라이트 13X

Element	Weight(%)	Atomic(%)
C	94.61	95.90
O	5.39	4.10



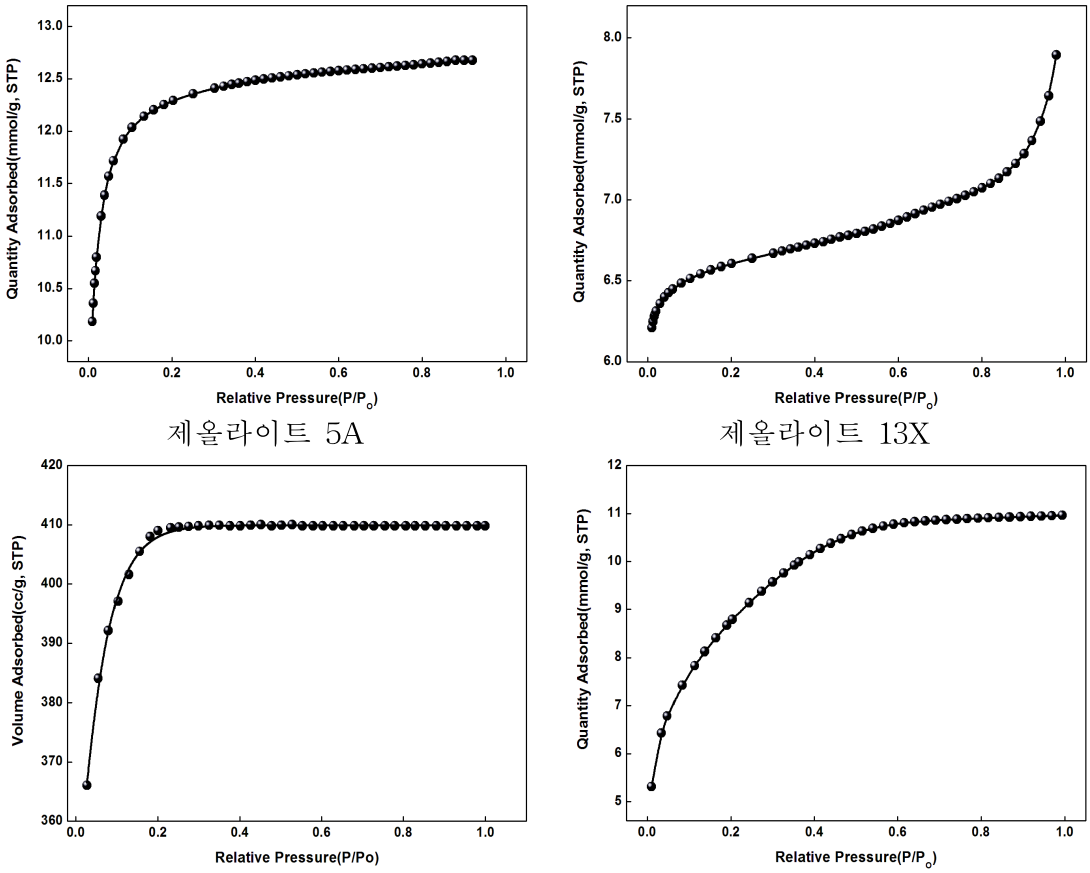
활성탄소섬유(ACF)

Element	Weight(%)	Atomic(%)
C	90.30	92.50
O	9.70	7.50



활성탄(AC)

<그림 2-362> 흡착제의 EDS 분석



<그림 2-363> 흡착제의 BET 비표면적 분석

○ 다음은 흡착제의 비표면적, 세공부피 그리고 평균세공 크기를 나타낸 것으로 제올라이트 5A와 활성탄소섬유의 비표면적이 1,099 m^2/g, 1,057 m^2/g으로 가장 넓은 것으로 나타나 제올라이트 13X(603 m^2/g), 활성탄(632 m^2/g)에 비해 흡착성능이 우수할 것으로 판단된다.

○ 평균세공지름은 제올라이트 5A가 16.3 Å, 제올라이트 13X가 18.9 Å, 활성탄소섬유가 11.7 Å, 활성탄이 17.4 Å으로 IUPA(International Union of Pure and Applied Chemistry)에서 규정한 20 Å 이하의 미세공(micopore) 임을 알 수 있다.

○ CO_2의 kinetic diameter가 3.3 Å인 점으로 미루어 볼 때 본 연구에서 사용하는 흡착제는 흡착하고자 하는 CO_2 기체보다 큰 기공을 보유하고 있어 미세공 채움이 일어날 수 있는 조건에 부합하는 것으로 분석되었다.

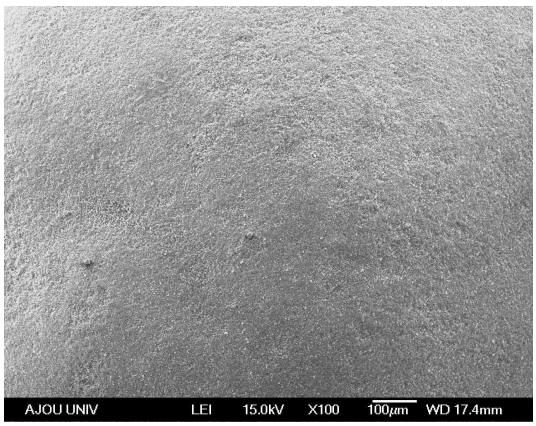
■ SEM(Scanning Electron Microscopy) 측정 결과

○ 흡착제의 표면상태를 관찰하기 위한 SEM 측정 결과 제올라이트 5A와 활성탄소섬유의 경우 표면이 깨끗하고, 세공이 거의 관찰되지 않은 것으로 보아 표면에 존재하는 세공이 대부분 미세기공임(micropore)을 알 수 있다.

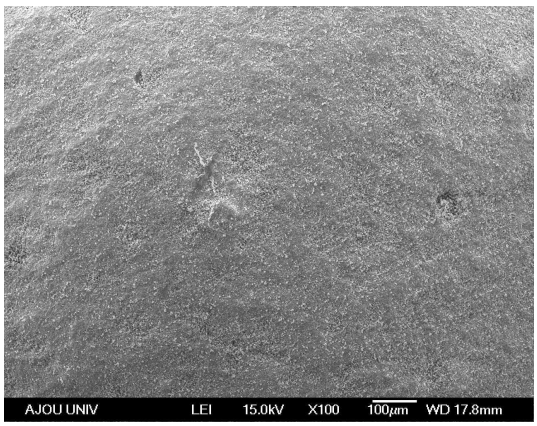
○ 제올라이트 13X의 경우는 표면에 미세기공 뿐만 아니라 일부 중기공(mesopore)이 다소 분포

되어 있는 것을 알 수 있는데 제올라이트 13X는 Type Ⅳ 흡착 등온곡선 형태로 큰 세공에 의해 모세관 응축(capillary filling) 현상이 나타난 것을 알 수 있다.

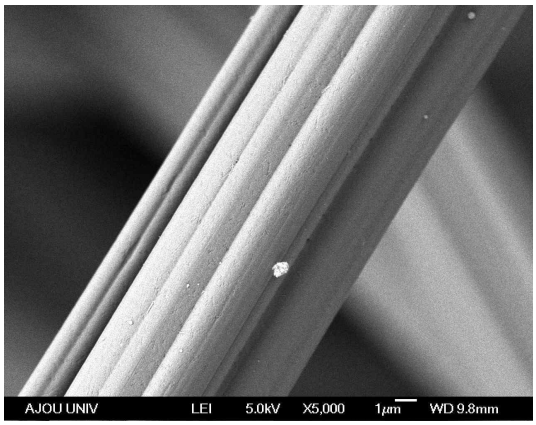
○ 활성탄의 경우 제올라이트 5A와 활성탄소섬유와 같은 Type Ⅰ 흡착 등온곡선 형태를 가지고 있으나 표면에 미세공과 더불어 중기공, 대기공(macropore)이 존재하는 것을 알 수 있다.



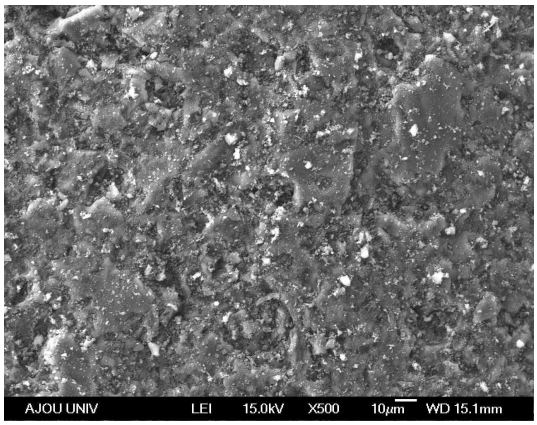
제올라이트 5A



제올라이트 13X



활성탄소섬유(ACF)



활성탄(AC)

<그림 2-364> 흡착제의 SEM 분석

② 성능평가를 통한 CO2 저감 최적화 연구

㉮ 흡수제를 이용한 저농도 CO2 흡수 특성

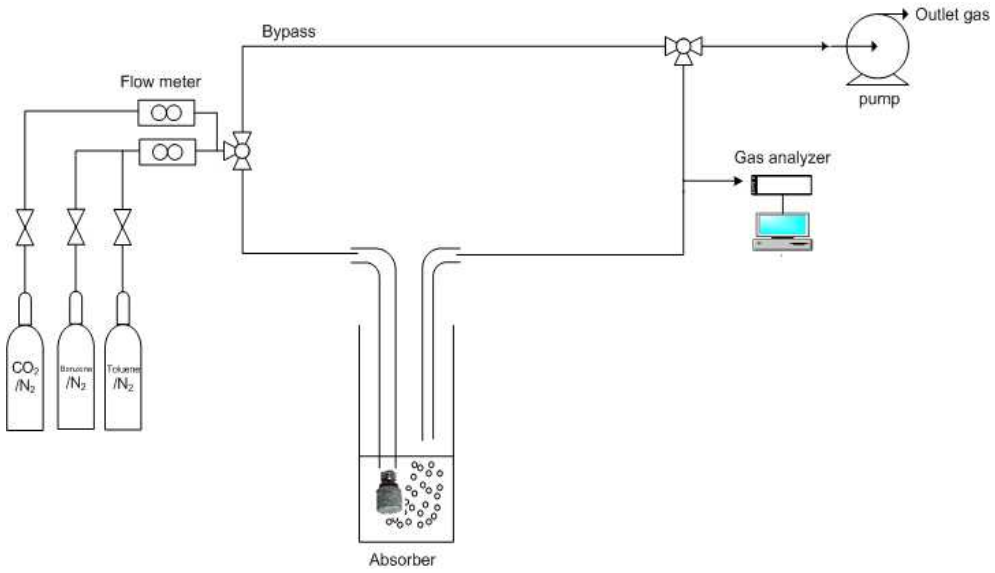
■ 실험장치 및 방법

○ 본 실험에서 흡수제로 사용된 알카놀아민은 Dae Jung 사의 순도 99 % MEA와 Aldrich 사의 99 % DEA, MDEA 그리고 95 % AMP로 흡수용액은 1차 증류수를 사용하여 실험조건에 맞게 농도를 조절하여 제조하였다.

○ 실험에 사용된 실험장치는 sparger 형태의 흡수장치로 가스주입부, 흡수반응기, 가스분석계 측부로 구성되어 있고, 흡수반응기는 200 mL 크기의 흡수병으로 반응기 내부에 각각 150 mL의 흡수제 용액을 충진 하였다.

○ 본 실험에 사용된 흡수장치는 sparger를 통해 주입된 가스가 흡수제와 미세액적형태로 접촉

하게 되어 기-액 접촉면적을 극대화하는 형태로 구성되었다.



<그림 2-365> 흡수 실험에 사용된 sparger 형태의 흡수장치 공정도

○ 본 실험에서는 저농도 조건에서 흡수제의 흡수 특성을 도출하기 위하여 질소를 balance로 한 저농도의 표준가스(Deokyang Co.)를 사용하였고, 반응기에 유입되기 전에 유량계를 통해 일정하게 공급하였다.

<표 2-265> 실험에 사용된 CO2 표준가스 조성

Components	Specifications
CO_2	650 ppm
N_2	balance

○ 저농도 CO_2 흡수 특성은 흡수용액인 MEA, DEA, MDEA, AMP를 1 wt%로 제조하여 단일 흡수제의 흡수 특성을 확인하였고, MEA 0.5 wt%에 DEA, MDEA, AMP를 각각 0.5 wt%(1:1 비율)로 하여 전체 농도를 1 wt%로 조절하여 혼합흡수제의 흡수 특성을 도출하였다.

○ 또한, MEA와 AMP의 첨가 비율에 따른 오염물질의 흡수 특성을 도출하였다.

○ 성능평가 실험은 대기 중 조건을 고려하여 상온(25 ℃), 상압(1 atm)에서 실험을 수행하였고, CO_2는 KIMO-AQ200 측정기를 반응기 출구에 설치하여 by-pass를 통해 입구농도와 출구농도를 실시간으로 측정하였다.

○ 흡수제에 흡수된 오염물질의 흡수량은 파과곡선(breakthrough curve)을 이용해서 흡수면적을 적분해서 구하였고, mol/mol-absorbent로 나타내었다.

<표 2-266> 성능평가 실험조건

Absorbent	Concentration	Absorbent	Concentration	Gas flow rate
MEA	1 wt%	MEA+DEA	0.5 wt% + 0.5 wt%	3 L/min
DEA	1 wt%	MEA+MDEA	0.5 wt% + 0.5 wt%	
MDEA	1 wt%	MEA+AMP	0.5 wt% + 0.5 wt%	
AMP	1 wt%	MEA+AMP	1 wt% + 0 wt%, 0.75 wt% + 0.25 wt% 0.67 wt% + 0.33 wt% 0.5 wt% + 0.5 wt% 0.33 wt% + 0.67 wt% 0.25 wt% + 0.75 wt% 0 wt% + 1 wt%	

■ 실험결과

◎ 단일흡수제의 CO_2 흡수 특성

○ 단일흡수제의 CO_2 흡수 특성 평가를 위해 각각의 흡수제를 1 wt%로 하여 CO_2 가스를 3 L/min으로 유입시켰다.

○ 저농도 CO_2 조건에서 MEA 흡수제가 DEA, MDEA, AMP 보다 흡수 성능이 우수한 것으로 나타났고, MEA와 AMP의 경우 초기 CO_2 저감 효율은 비슷하게 나타났지만 시간이 지날수록 MEA가 AMP보다 빠르게 반응이 진행되는 것을 알 수 있다.

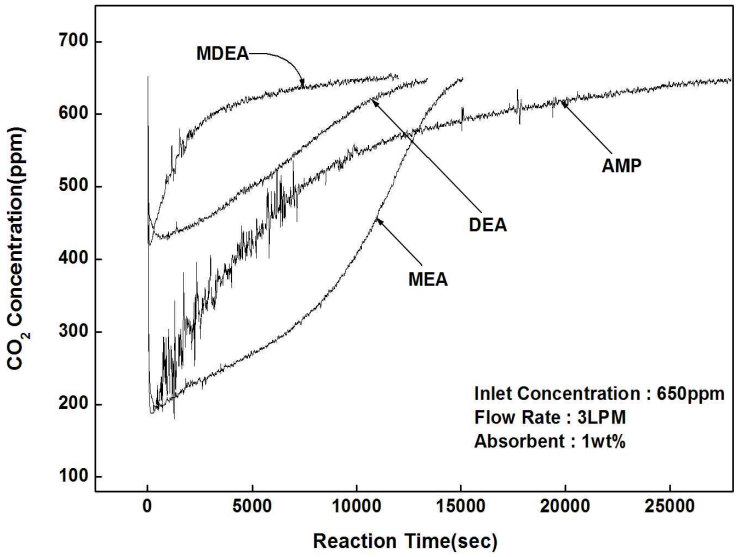
○ 이는 MEA의 경우 1몰의 CO_2와 2몰의 아민이 반응하므로 화학양론적 제한에 의하여 평형부하가 0.5 이상에서는 반응이 빠르게 나타나 급격한 기울기 변화를 보이는 것으로 판단된다.

○ 흡수제의 CO_2 흡수량은 MEA가 0.34 mol-CO_2/mol-absorbent로 DEA, MEDA, AMP 보다 높은 것으로 나타났다.

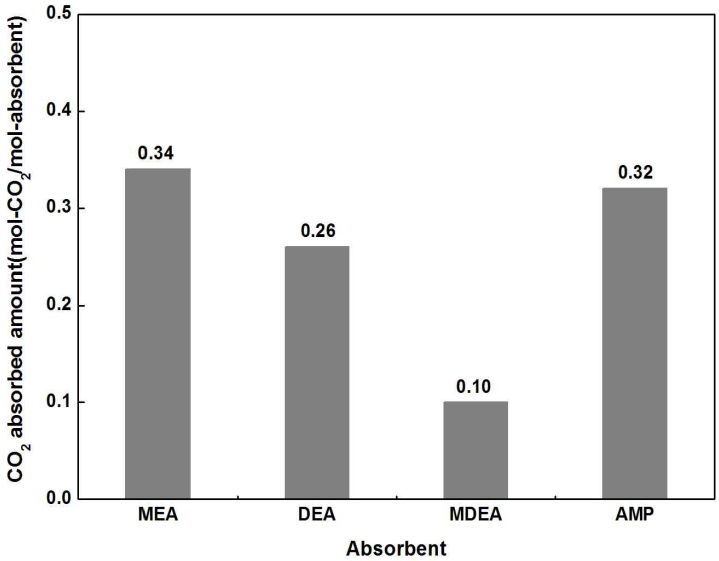
○ AMP의 경우 MEA에 비해 흡수속도는 낮으나 화학양론적(1 mol-CO_2/mol-amine)으로 흡수능력은 우수한 것으로 알려져 있으나 저농도 CO_2 흡수에 있어서는 0.32 mol-CO_2/mol-absorbent로 MEA 보다 다소 낮은 흡수능력을 보이는 것으로 나타났다.

○ Hook (1997)의 연구결과에 의하면 저농도의 CO_2 흡수에 있어 MEA 흡수제가 0.5 mol의 CO_2를 흡수하는 조건에서 AMP의 경우 0.25mol의 CO_2를 흡수하는 것으로 나타나 AMP와 같은 입체장애아민은 높은 CO_2 분압 조건에 더 적합한 것으로 보고되었다.

○ 따라서 저농도 CO_2 흡수에 있어서는 MEA가 AMP보다 흡수성능이 우수한 것으로 판단된다.



<그림 2-366> 시간에 따른 흡수제 별 CO2 흡수 성능



<그림 2-367> 흡수제 별 CO2 흡수량

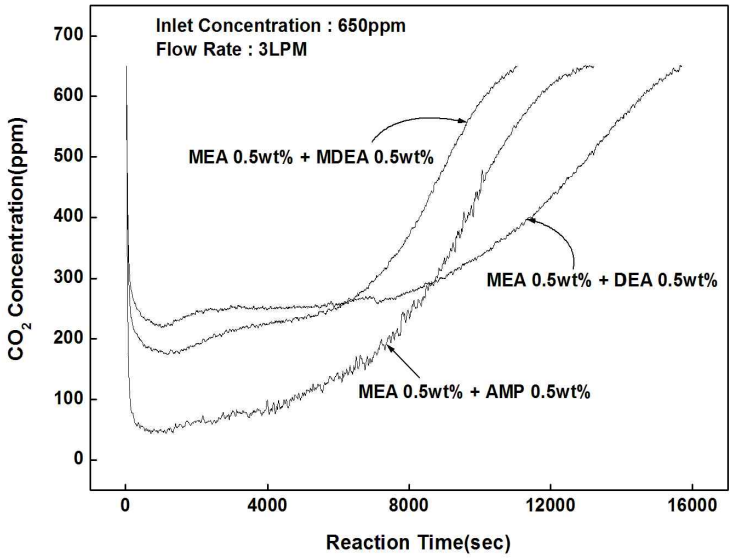
◎ 혼합흡수제의 CO_2 흡수 특성

○ 혼합흡수제의 CO_2 흡수 성능을 알아보기 위하여 단일흡수제 조건에서 흡수 성능이 가장 우수한 MEA를 기준으로 MEA 0.5 wt%에 AMP, DEA, MDEA를 각각 0.5 wt% 혼합한 혼합흡수용액을 제조하여 흡수 성능을 비교하였다.

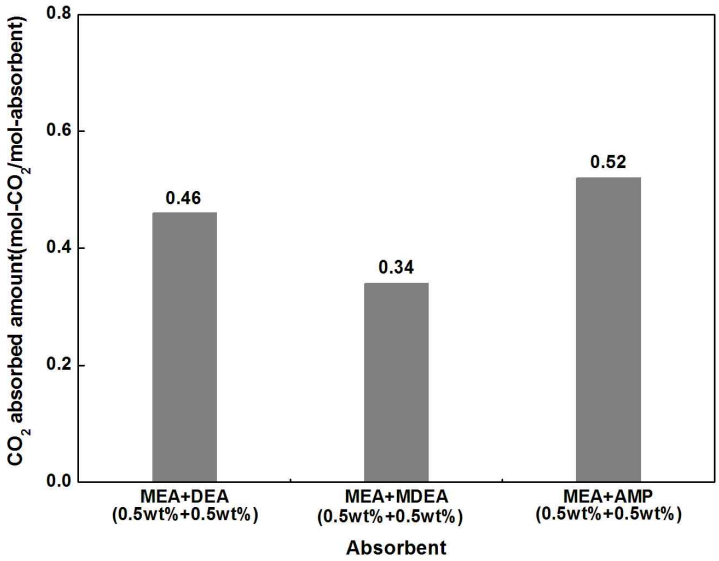
○ 혼합흡수용액의 CO_2 흡수 결과 MEA 0.5 wt%에 AMP 0.5 wt%를 혼합한 흡수제가 가장 우수한 흡수 제거율을 보이는 것으로 나타났ㅍ.

○ 또한, CO_2 흡수량에서도 MEA 0.5 wt%에 AMP 0.5 wt%를 혼합한 흡수제가 0.52 mol-CO_2/mol-absorbent으로 가장 우수한 흡수능을 나타냈고, 그 다음으로 MEA 0.5 wt%에 DEA 0.5 wt%를 혼합한 흡수제가 0.46 mol-CO_2/ mol-absorbent, MEA 0.5 wt%에 MDEA 0.5 wt%를 혼한 흡수제가 0.34 mol-CO_2/mol-absorbent 순으로 나타났다.

○ 혼합흡수제의 CO_2 흡수 특성은 단일흡수제에서 우수한 흡수성능을 나타낸 MEA에 AMP를 혼합한 흡수제가 가장 우수한 흡수 성능을 보이는 것으로 나타났다.



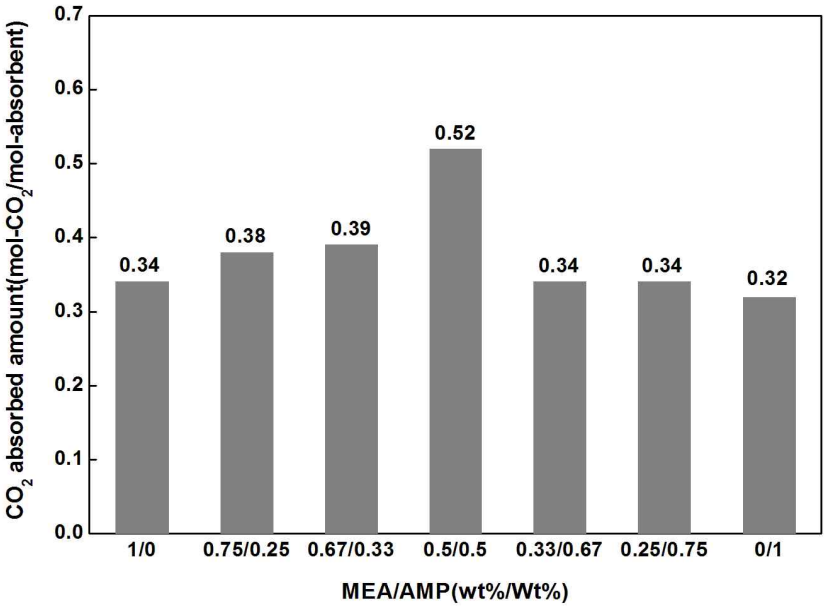
<그림 2-368> 시간에 따른 혼합흡수제 별 CO2 흡수 성능



<그림 2-369> 혼합흡수제 별 CO2 흡수량

○ MEA와 AMP의 첨가 비율에 따른 CO_2 흡수량은 MEA와 AMP의 첨가 비율이 0.5 wt%/0.5 wt%(1:1)일 때 0.52 mol-CO_2/mol-absorbent로 가장 우수한 흡착성능을 나타냈고, MEA와 AMP 모두 단일흡수제 일 때 보다 혼합흡수제일 때 흡착량이 증가하는 것을 알 수 있다.

○ 저농도 CO_2 흡수에 있어서는 MEA와 AMP의 최적 혼합비는 1:1 비율로 혼합 시 최적일 것으로 결론지을 수 있으나 흡수제의 CO_2 제거 효율 및 흡수성능에 영향을 미치는 실험 변수를 고려하여 최적 비율을 선정하는 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.



<그림 2-370> MEA와 AMP의 첨가 비율에 따른 CO2 흡수량

㉯ 흡착제를 이용한 저농도 CO_2 흡착 특성

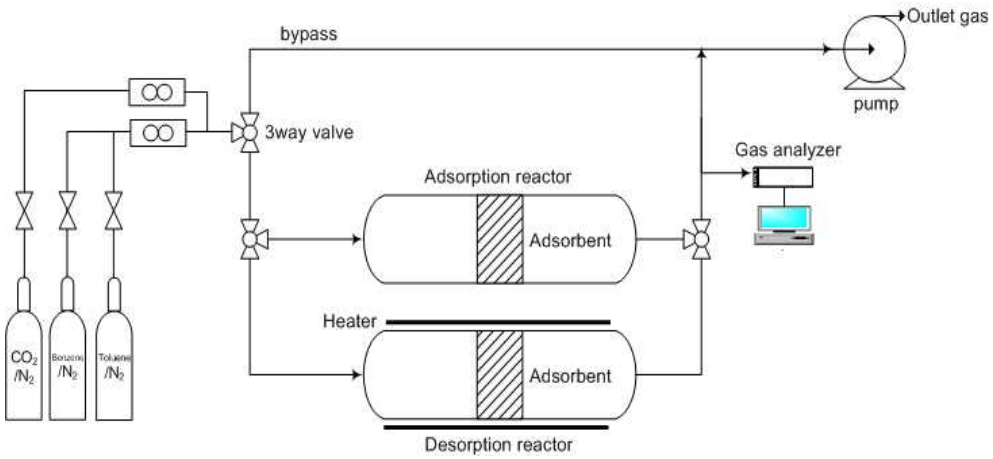
■ 실험장치 및 방법

○ 본 연구에 사용된 흡착제는 2 mm의 구형 제올라이트 5A, 13X와 펠렛 형태의 활성탄 그리고 레이온계 활성탄소섬유(Activated Carbon Fiber; ACF)로 실험 전에 원료 흡착제의 불순물을 제거하기 위해 200 ℃의 진공 건조오븐에서 6시간 건조하여 사용하였다.

○ 흡착 실험에 사용된 고정층 흡착장치는 가스주입부, 흡착반응기, 탈착반응기, 가스분석계측부로 구성되어 있다.

○ CO_2 흡착 특성을 도출하기 위해 사용된 흡착반응기는 길이 50 cm, 직경 6 cm 크기의 아크릴로 제작하였고, 반응기 내부에 흡착제를 각각 50 g씩 충진하였ㅍ.

○ 다음은 흡착 실험에 사용된 고정층 흡착장치는 공정도를 나타내었다.



<그림 2-371> 흡착 실험에 사용된 고정층 흡착장치 공정도

○ 흡착물질로 사용된 CO_2 표준가스는 저농도에서 흡착제의 흡착 특성을 도출하기 위하여 질소를 balance로 한 저농도의 표준가스를 사용하였고, 반응기에 유입되기 전에 유량계를 통해 일정하게 공급하였다.

<표 2-267> 실험에 사용된 CO2 표준가스 조성

Components	Specifications
CO_2	700 ppm
N_2	balance

○ 또한, 대기 중 조건을 고려하여 상온(25 ℃), 상압(1 atm)에서 흡착실험을 수행하였고, KIMO-AQ200 CO_2 측정장비를 반응기 출구에 설치하여 by-pass를 통해 입구농도와 출구농도를 실시간으로 측정하였다.

○ 흡착제의 재생 성능평가를 위해 탈착반응기는 고온에서도 안정한 SUS 재질로 제작하였고, 반응기 내부의 온도를 조절하기 위하여 전기히터를 설치하였다.

○ 흡착제의 재생 성능은 흡착공정에서 CO_2가 포화 흡착된 흡착제를 탈착반응기에 충진 하고, CO_2를 포함하지 않는 고순도 질소가스(99.9 %)를 3 L/min의 유량으로 반응기 내로 일정하게 흘려주면서 200 ℃ 온도에서 3시간 동안 탈착공정을 진행하였다.

○ CO_2가 완전 탈착된 재생 흡착제를 흡착반응기에 충진 하고, 3 L/min의 유량으로 CO_2 표준가스를 주입하면서 흡착실험을 수행하였음. 이후 동일한 반복으로 흡착 후 재 탈착하는 과정을 반복 수행하면서 흡착제의 재생 성능을 도출하였다.

■ 실험결과

◎ CO_2 흡착 특성

○ 아래 그램은 각각의 흡착제에 대한 유량에 따른 CO_2의 파과곡선을 나타낸 것이다.

○ 일반적으로 출구농도가 입구농도의 약 10 %가 되는 점을 파과점이라고 하며, 파과점 이후 출구농도는 급격히 증가하여 포화상태에 도달하게 되는데 제올라이트 5A의 경우 유량이 1 L/min 일 때 파과시간이 413분, 2 L/min 일 때 137분, 3 L/min 일 때 122분으로 나타났다.

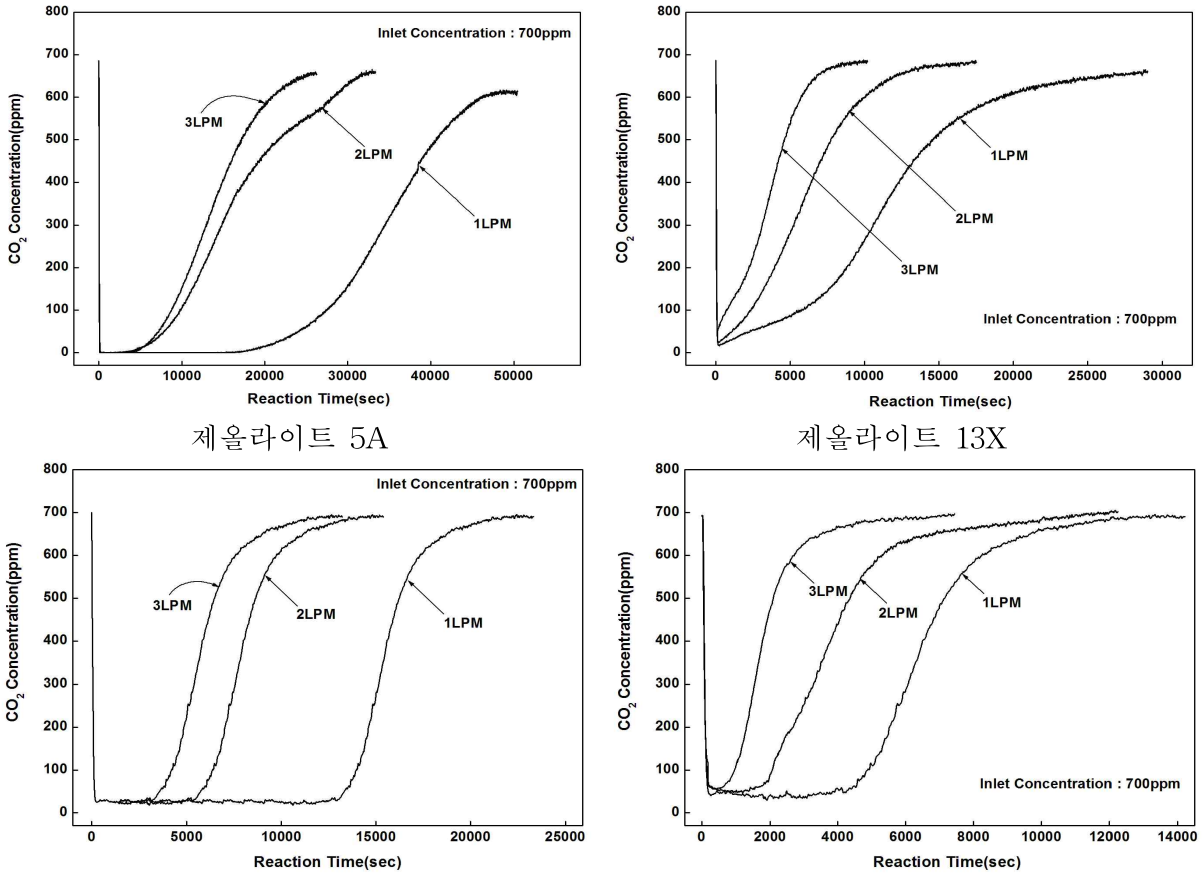
○ 또한, 제올라이트 13X의 경우 1 L/min 일 때 파과시간이 51분, 2 L/min 일 때 24분, 3 L/min 일 때 4분으로 나타났다.

○ 활성탄소섬유의 경우 1 L/min 일 때 파과시간이 230분, 2 L/min 일 때 103분, 3 L/min 일 때 65분, 활성탄의 경우 1 L/min 일 때 파과시간이 75분, 2 L/min 일 때 29분, 3 L/min 일 때 10분으로 나타났다.

○ 파과곡선에서도 나타났듯이 제올라이트 5A와 13X, 활성탄소섬유, 활성탄의 CO_2 흡착에 있어서

제올라이트 5A는 다른 흡착제에 비해 흡착 지속시간이 길게 나타나 CO_2에 대한 흡착성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

○ 모든 흡착제는 유량이 증가할수록 흡착성능이 감소하는 것으로 분석되었는데 이는 일반적으로 유량이 클수록 반응기 내에서의 체류시간 즉, 반응시간이 감소하기 때문인 것으로 유량이 증가할수록 흡착제에 접촉되는 CO_2 양이 증가하여 빨리 포화되는 것으로 판단된다.



<그림 2-372> 유량에 따른 흡착제의 CO2 파과곡선

<표 2-268> 유량에 따른 흡착제의 파과시간

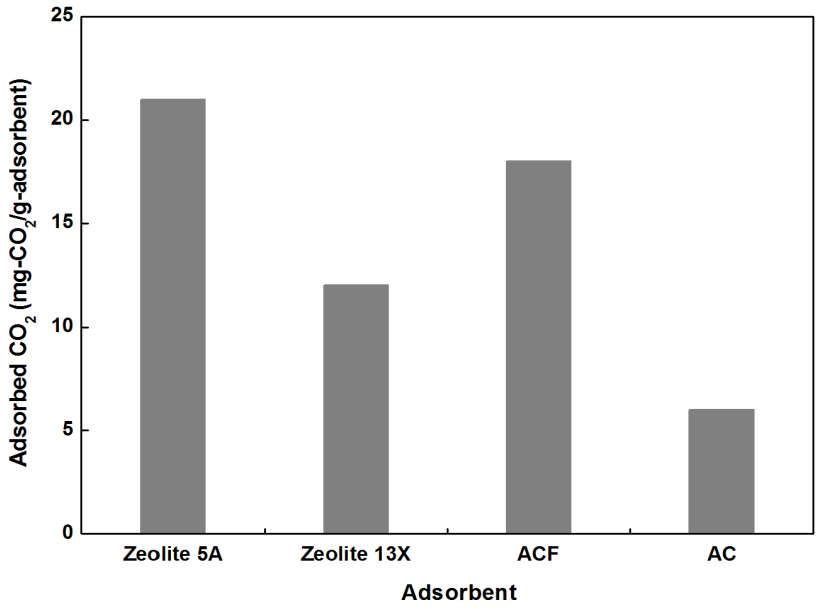
Adsorbent	Breakthrough time		
	1L/min	2L/min	3L/min
Zeolite 5A	413min	137min	122min
Zeolite 13X	51min	24min	4min
Activated Carbon Fiber	230min	103min	65min
Activated Carbon	75min	29min	10min

○ 아래 그림은 각각의 흡착제의 CO_2 흡착량을 나타낸 것으로 제올라이트 5A의 경우 CO_2 흡착량이 21 mg-CO_2/g-adsorbent로 13X나 활성탄소섬유, 활성탄에 비해 CO_2 흡착량이 많은 것으로 분석되었다.

○ 5A의 경우 13X에 비해 1.8배, 활성탄소섬유에 비해 1.2배, 활성탄에 비해 3.5배 CO_2를 더 흡착하는 것을 알 수 있으며, 이는 제올라이트 5A의 경우 다른 흡착제에 비해 비표면적이 넓고, 표면에 미세공이 고루 분포하여 상대적으로 흡착성능이 우수한 것으로 판단된다.

<표 2-269> 흡착제별 CO2 흡착량

Adsorbent	CO_2 adsorbed amount	
	mmol-CO_2/g-adsorbent	mg-CO_2/g-adsorbent
Zeolite 5A	0.48	21
Zeolite 13X	0.27	12
Activated Carbon Fiber	0.41	18
Activated Carbon	0.14	6



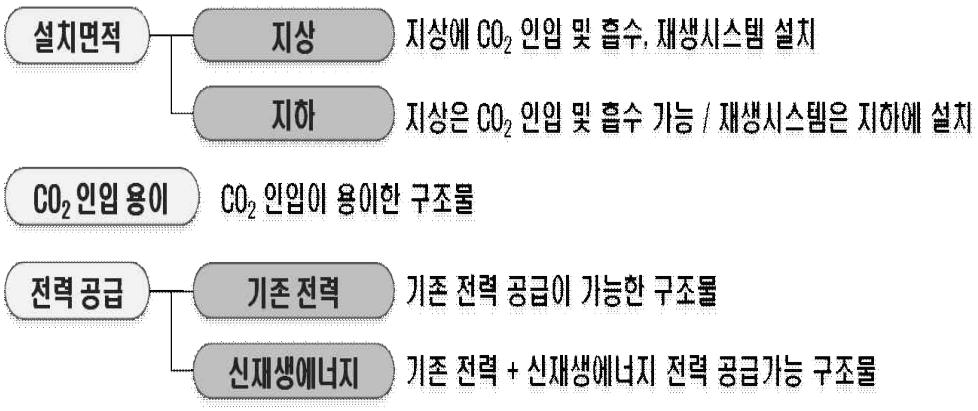
<그림 2-373> 흡착제별 CO2 흡착량

(나) DAC 기술을 연계한 도로시설물 활용기술 개발

① DAC 기술 적용이 가능한 기존 시설물 조사・분석

㉮ DAC 기술 적용이 가능한 도로시설물 영향인자 도출

○ DAC 기술 설치 가능한 시설물 선정을 위해서는 다음과 같은 영향인자들이 고려되어야 한다.



<그림 2-374> DAC 기술 설치 시설물 선정 영향인자

○ 설치 가능 시설물은 설치면적에 따라 지상, 지하로 구분할 수 있으며 지상의 경우 인입 및 흡수, 재생시스템이 지상에 설치되며, 지하는 경우에는 재생시스템은 지하에 설치하여야 한다.

○ 설치 가능 시설물은 우선적으로 CO_2 인입이 용이한 구조물이어야 한다.

○ 전력 공급은 신재생에너지를 이용하여 에너지 자립을 목표로 하고 있으나 전력 수급이 원활하지 않을 경우를 대비하여 기존 전력을 이용할 수 있는 시설물이 우선대상이 된다.

㉯ DAC 기술 적용이 가능한 도로시설물 선정

○ DAC 시스템은 에너지자립을 목표로 하고 있으므로 태양광이나 소형풍력이 설치될 수 있는 시설물이 우선적으로 선정되어야 한다.

○ 또한, 100% 에너지자립이 불가능할 경우를 대비하여 비상전력을 가동할 수 있는 시스템으로 설계되어야 하므로 도로시설물 중 전기시설이 있는 시설물을 우선적으로 검토하였다.

○ DAC 시스템 설치가 가능한 도로시설물 중 전기시설의 유무는 다음과 같다.

<표 2-270> DAC 시스템 설치 가능한 도로시설물의 전기시설 유무

구분	시설		설치기준	전기시설 유무
도로의 안전시설	시선유도시설		도로안전시설 설치 및 관리지침	X
	방호울타리		〃	X
	충격흡수시설		〃	X
	조명시설 - 가로등		〃	O
	도로반사경		〃	X
	도로전광표지(안개지역)		〃	O
	횡단보도육교		〃	X
	교통약자 안전시설		〃	X
교통관리시설	교통안전시설	교통신호기	도로교통법	O
		교통안전표지	〃	X
	도로표지		도로표지관련규정집	X
	긴급연락시설		도로법	X
	과적차량 검문소		〃	X
	도로교통정보 안내시설		도로안전시설 설치 및 관리지침	O
도로의 부대시설	주차장		주차장법	X
	버스정류시설		도로법	O
	비상주차대		〃	X
	휴게시설		〃	O
	체인탈착장		도로설계편람	X
	방호시설	낙석방지시설	도로안전시설 설치 및 관리지침	X
		붕괴방지시설	〃	X
		방파시설	도로법	X
		방풍시설	〃	X
		제설시설	〃	X
	환경시설	방음시설	소음진동규제법, 환경정책기본법	X
		동물이동통로	생태통로 설치 및 관리지침	X
		동물유도울타리	〃	X
	공동구		공동구 설치 및 관리지침	O

○ DAC 시스템은 습식흡수 반응기와 건식흡수 반응기를 이용한 2가지 타입이 있으며 에너지원은 신재생에너지를 활용하고 있으므로 도로시설물 중 전력인입이 가능하고 반응기 설치가 용이한 시설물이 대상이 된다.

② DAC 기술 연계 방안 도출

○ DAC 기술 설치 위치 선정을 위해서는 토지 이용 측면과 CO_2 농도 측면에서 검토가 필요하다.

○ 도로 내에서는 중앙분리대, 방음터널, 지하차도, 교통섬 등이 적정 설치위치이며 도로 변에서는 가로등, 도로 변 지하철 승강기 등을 고려할 수 있다.

○ DAC 기술 설치 위치는 CO_2 농도가 높은 곳이 우선적으로 고려되어야 한다.

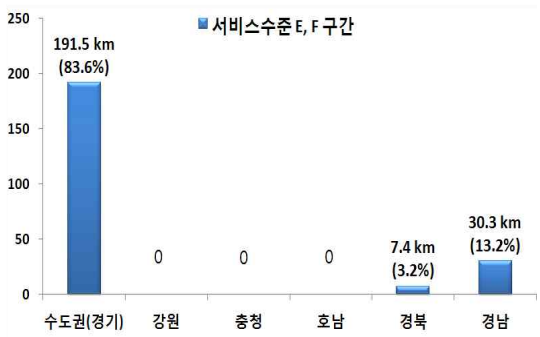
○ 국내 수송부문 온실가스 배출량 중 95%가 도로에서 발생하고 있음. 이는 도로를 이용하는 자동차가 화석연료를 사용하여 엔진에 의한 동력으로 움직이기 때문이다.

<표 2-271> 수송부문 온실가스 배출량

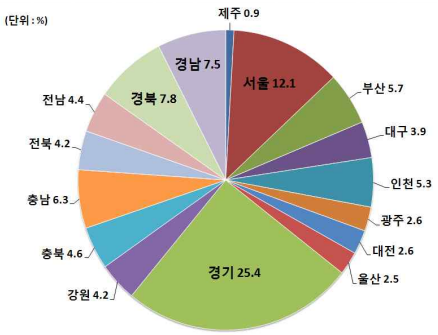
구분	도로	철도	해운	항공
온실가스 배출량	77,856,365 tCO_2 (94.9%)	2,520,856 tCO_2 (0.7%)	1,074,883 tCO_2 (3.1%)	590,005 tCO_2 (1.3%)

○ 지역별 온실가스 배출량을 살펴보면 도심지가 많은 수도권의 배출량이 전국의 30% 이상을 차지하고 있으며, 또한 국내 교통혼잡구간은 1일 적정수준의 교통량을 초과하는 교통혼잡구간(서비스수준 E,F)이 수도권에 약 83.6%가 집중되어 있다.

○ 이를 토대로 볼 때 수도권에서 교통량의 영향으로 도로에서 배출되는 온실가스 배출량이 상당할 것으로 예측된다.



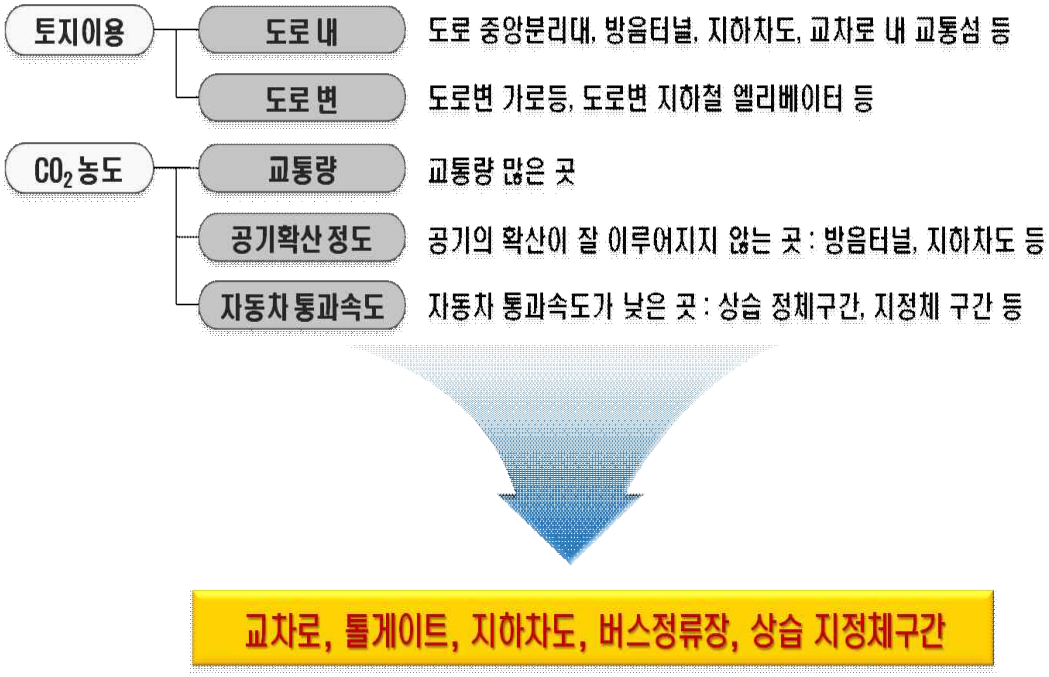
<그림 2-375> 국내 교통 혼잡구간 비교



<그림 2-376> 시도별 온실가스 배출량

○ 현재 국내의 도로에서 실제 CO_2 배출량 측정 자료는 미비한 편으로, 최근 한 환경연구소가 대전 시내 주요도로 10곳을 대상으로 CO_2, NO_2, PM10 농도를 조사한 결과, 주거지역보다는 차량 소통이 많은 주요 도로와 정차 중 공회전이 많은 터미널에서 오염물질이 많이 검출되었다.

○ 이에 본 연구에서는 DAC 기술 적용을 위한 위치로 교통 혼잡으로 차량이 저속으로 주행하고, 지정체가 자주 발생하여 차량으로 인한 CO_2가 가장 많이 발생할 것으로 판단되는 도심지 내의 교차로, Bus bay, 상습 교통 혼잡구간과 공기의 확산이 잘 이루어지지 않는 방음터널, 지하차도 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.



<그림 2-377> DAC 기술 적용 가능 공간 도출

(다) DAC 기술을 적용한 인공나무 시스템의 도로시설물 적용

① 도로시설물과 연계한 인공나무 공간설계

○ 본 연구에서는 2차년도에서 도출된 DAC 기술 적용 도로 시설물(안)을 비교검토 하였다.

○ 검토 결과 도로시설물로서의 활용도 및 경관성, 홍보효과 등을 고려하여 DAC 기술을 적용한 인공트리를 개발하기로 결정하였다.

<표 2-272> DAC 기술을 적용한 도로시설물(안) 분석

구분	설치(안)	장점	단점	선정
버스정차대	- 버스정차대 하단부에 CO_2 인입부 설치 - 버스정차대 주변 지하에 DAC 시스템 매설 - CO_2가 포집된 fresh air는 인근 다른 곳에서 배출 - 자연에너지(태양광)패널을 정차대 지붕에 설치	- CO_2 배출이 극심할 것으로 예상되는 지역에 설치됨으로 효과 극대화	- 시민들이 대기하는 지역에서 CO_2를 인입하므로 불편 초래 - 버스정류장 지하를 굴착해서 설치하여야 하므로 어려움이 있음	
인공트리	- 도로 경관 등을 고려하여 다양한 곳에 인공트리 설치 - 상단부에 CO_2 인입부 및 태양광 패널 설치 - 인공트리 아래 지하에 DAC 시스템 매설 - CO_2가 포집된 fresh air는 인공트리를 통해 배출	- 경관 등을 고려하여 다양한 곳에 이용가능 - 새로운 구조물에 대한 홍보효과 극대화 - 친환경 도시이미지 향상 가능	- 유휴부지 필요 - 새로운 구조물에 대한 설계 및 디자인 필요	◎
가로등	- 도로변 가로등에 CO_2 인입판 설치 - 가로등에 태양광 패널 또는 소형풍력장치 설치 - 가로등 아래 지하에 DAC 시스템 매설 - CO_2가 포집된 fresh air는 인근 다른 곳에서 배출	- 가로등에 설치하여 융합된 기능 발휘 - 기존 도로시설물을 활용을 극대화하는 방법	- 가로등에 인입판을 설치하여야 하므로 가로등에 구조하중 증가 및 안전성 위험 - 가로등 1개에 부착되는 CO_2 인입판의 한계가 있음	
지하차도	- 지하차도 하단부에 CO_2 인입부 설치 - 지하차도 U-type 지붕에 태양광 패널 설치 - 지하차도 아래 DAC 시스템 매설 - CO_2가 포집된 fresh air는 인근 다른 곳에서 배출	- CO_2 배출이 극심할 것으로 예상되는 지역에 설치됨으로 효과 극대화	- 지하차도에만 적용될 수 있는 한계가 있음 - 지하차도 아래에 시스템을 매설하는 대규모 작업 필요	
영업소	- 영업소 중간에 CO_2 인입부 구조물 설치 - 영업소 지붕에 태양광 패널 설치 - 영업소 지하에 DAC 시스템 설치 - CO_2가 포집된 fresh air는 인근 다른 곳에서 배출	- 교통량이 많은 지역에 설치하여 효과 극대화	- 영업소에만 적용될 수 있는 한계가 있음	

② 도로적용에 따른 유지관리 방안 도출

○ DAC 시스템 인공트리 개발완료 및 현장 시험/시공이 완료되어 시제품에 대한 성능검증을 수행 중에 있으며, 성능검증 결과를 바탕으로 유지관리 방안을 도출하고자 한다.

○ 특히, 시제품의 용량, 주변 환경 및 여건을 고려한 유지관리 방안에 대한 체계적인 설계 기법에 대한 지침을 마련하였다.

○ 유지관리는 CO_2 포집 인공트리 장치의 기능을 보존하기 위하여 일상적으로 또는 정기적으로 장치의 상태를 조사하고, 파손된 부분에 대한 조치를 위한 일련의 작업이다..

○ 본 연구에서는 CO_2 포집 인공트리 장치가 제 기능을 상시 유지할 수 있도록 체계적이고, 일괄적인 관리 사항을 적용한다.

○ 단, 다른 특수한 경우에는 운영기관에서 상시적인 점검과 관리를 시행하도록 한다.

(라) 인공나무 시스템 설치 최적화를 위한 도로 적용성 성능평가

① 성능평가 기준 및 적용 기준 설정

㉮ 성능평가 기준

○ 본 개발 장치인 'DAC 기술을 적용한 도로 CO_2 흡수 시설물(CO_2 포집 인공트리)'은 자동차 등 이동오염원(비점오염원)에서 배출되는 도로변 대기 중 CO_2를 효과적으로 저감할 수 있는 혁신적인 기술로 DAC 기술을 적용한 CO_2 포집장치를 개발하여 도로변 대기 중 CO_2를 저감하는데 적용하고자 한다.

○ 본 개발 장치는 10 ton-CO_2/yr · m^2의 처리성능으로 개발되며, 성능평가는 실제 현장에 적용하여 검증하고자 한다.

○ 본 연구에서의 성능검증은 유입 CO_2 농도 대비 저감 장치 통과 후 유출 CO_2 농도를 기준으로 처리효율 및 저감량을 산정한다.

○ 향후, 실용화 추진에 따른 인공트리 장치의 성능평가는 국가공인기관의 성능검증을 통한 인증을 획득할 계획 이며, 개발 장치의 공인성을 인정받아 실용화를 추진할 계획이다.

㉯ 적용 기준

○ CO_2 포집 인공트리 장치의 적용은 대상 지역의 도로 여건 및 교통량, 주변 지역의 기상조건과 오염물질의 확산 등을 종합적으로 고려하여 결정하고자 한다.

○ 본 장치의 적용되는 기준은 다음과 같다.

- ✓ 교통량이 많은 교차로 및 톨게이트, 버스환승 센터 등 차량 정체로 CO_2의 배출 농도가 심한 지역
- ✓ 장대터널 및 대심도 터널, 도심지 터널, 지하차도 주변
- ✓ 유동인구가 많은 지하공간(지하역사 및 실내공간)
- ✓ CO_2 포집 인공트리 장치의 설치가 용이하며, 이로 인한 교통에 영향을 받지 않는 도로변 지역
- ✓ 기타 CO_2의 농도가 심하고, 장치의 설치가 필요하다고 판단되는 지역

② 성능평가기준 및 설치장소 적용기법 개발(DAC기술 적용 대상지 선정을 위한 현장조사)

○ 배출량이 많고 오염도가 심한 수도권에 대한 현장설치를 목적으로 대상지 선정을 위한 현장조사를 실시하였다.

○ 현장조사를 하기 위해 본 연구에서는 서울시 도심 교통량 현황을 파악한 후 교통량 순위를 선정하였다.

(마) DAC 기술을 적용한 시제품 개발

① CO2 포집 인공트리(시제품) 장치 설계

○ CO_2 포집 인공트리 장치는 DAC 기술이 적용된 저감장치와 실시간 모니터링 시스템, 신재생에너지를 활용한 구조물로 구성되며 도로시설물로서의 외부 경관을 고려하여 설계・제작 하였다.

○ 외부 구조물은 은행나무를 모티브로하여 상단에 4개의 은행나무 잎을 형상화하였고, 중심 몸체는 은행나무 잎을 입체적으로 디자인하였다.

○ 또한, CO_2 저감 기능뿐 아니라 조명기능을 융합해서 야간에 조명시설로 활용할 수 있는 융합형 장치로 구성하였다.

○ 상단 4개의 은행나무 잎에는 태양광 판넬을 부착하여 주간에 에너지를 저장한 후 야간에 조명시설을 위한 전력으로 사용해 에너지 절감 효과를 얻을 수 있도록 설계하였다.

○ 개발된 CO_2 포집 인공트리 장치의 외부 구조물에 대한 디자인은 다음과 같다.



<그림 2-378> CO_2 포집 인공트리 장치(외부 구조물) 디자인

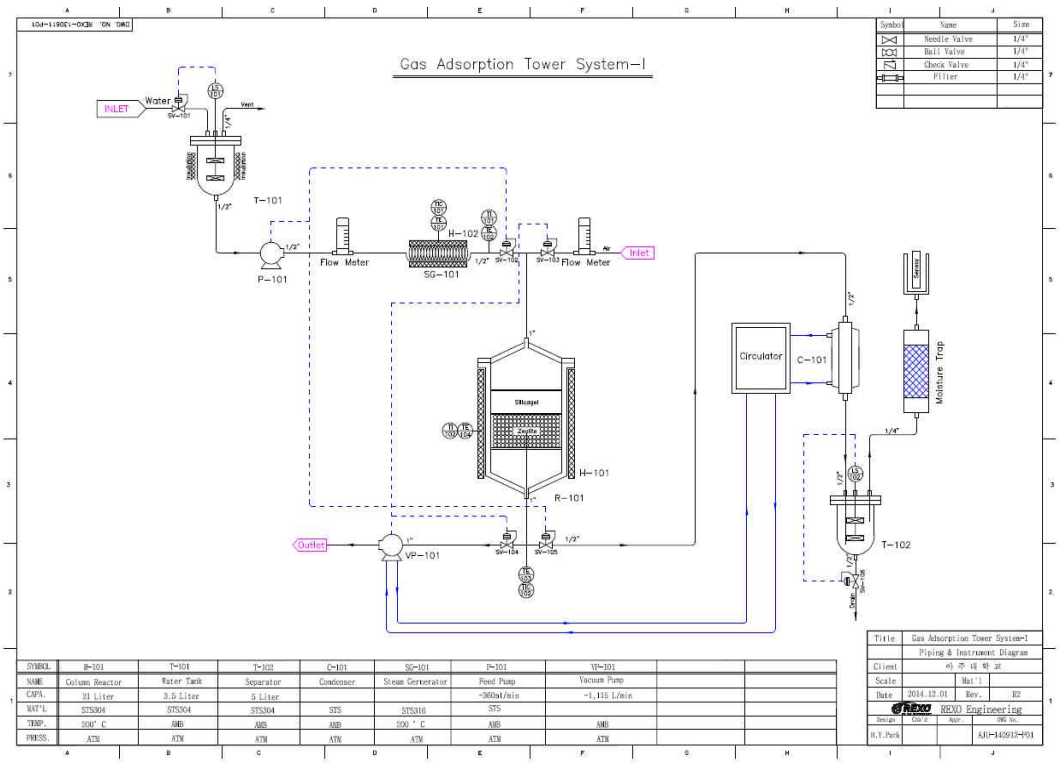
② CO2 포집 인공트리(시제품) 장치 제작

○ CO_2 포집 인공트리 장치는 1m^3/min의 용량으로 대기 중 공기를 저감장치 내부로 흡입시킨 후 흡착반응기를 통하여 CO_2를 저감하여 공기를 배출시키도록 제작되었다.

○ 흡착반응기 내부에는 CO_2를 선택적으로 저감할 수 있는 제올라이트 흡착제가 충진이 되고, 유지관리가 용이할 수 있게 설계하였다.

○ 각 공정에서 적용된 재질은 기계적 결함 및 외부 온·습도 등에 대한 부식, 균열이 발생하지 않는 재질로 제작하였다.

○ CO_2 포집 인공트리 장치의 저감장치 부분에 대한 설계도는 다음과 같다.



<그림 2-379> CO2 포집 인공트리 장치(저감장치) 설계 도면

○ CO_2 포집 인공트리 장치의 전체적인 세부사양은 다음과 같다.

<표 2-273> CO_2 포집 인공트리 장치의 세부사양

세부 항목		세부 사양
저감 장치	AdsorptionColumn (Tower)	- Capacity : 21 Liter - Design Pressure : 50bar - Design Temperature : 500℃ - Material : Inconel 600 - Sealing : Metal Seal (Inconel 600) - Heating : Ceramic Fiber Heater - Internal : Catalyst Basket (Inconel 600) - Special tool : Measuring tool, Pulling tool(STS 304) - Pressure Gauge
	Feed Tank	- Capacity : 3.5Liter - Design Pressure : 50bar - Design Temperature : 300℃ - Sealing : Metal Seal (STS316L) - Material : STS316L
	Separator	- Capacity : 5 Liter - Design Pressure : 10bar - Design Temperature : Ambient - Sealing : PTFE Gasket - Material : STS316L
	Vacuum Pump	- Flow rate : 1,350 Liter/min
	Flow Meter	- Flow range : 20 ~ 1,400LPM
	VFT	- 1/4″ Needle Valve (High Temperature & High Pressure) - 1/4″ Ball Valve - 1/4″ Male Connector - 1/4″ Union Cross - 1/4″ Union Tee - 1/4″ Union Elbow
	System Support Structure	- Material : C. S. - Frame : 30 X 30mm - Support Plate : 5t - 정전분체도장
	Control System	- Temperature Controller - ELB, TPR - Fuse & Fuse holder
외부 구조물	size	- body : 2800 × 700(mm) - top : 2000 × 2000(mm)
	material	- carbon steel
		- LED light(300ea), solar cell(4ea)



<그림 2-380> CO_2 포집 인공트리 장치 제작 과정

(바) 시제품 현장 시공

① 현장설치 계획

○ 현장설치는 시화공단(원일화학환경 부지)으로 대형 트레일러를 비롯한 차량 및 공장에서 다량으로 CO_2를 배출하며, 부지 주변 평균 CO_2 농도가 430ppm~450ppm으로 이는 차량 혼잡구간 등에서 측정된 평균농도와 유사한 것으로 분석되어 본 개발 시제품의 성능을 검증하기에 적합한 것으로 분석되었다.

② 현장시공 절차

○ 시화공단 내 공장부지에 개발 장치를 설치·시공하였고, 현장시공 절차는 다음과 같다.

- ✓ 개발 장치는 $1m_3$/min(W 700mm × D 2000m × H 3000mm) 규모로 외부 구조물을 설치 장소에 고정시켜 설치를 하고, 구조물 내부에 CO_2 저감 장치 모듈을 설치
- ✓ 설치·시공이 완료된 후 CO_2 저감 장치 모듈 내 흡착제를 충진
- ✓ CO_2 측정 센서를 장치 내·외부에 설치하고, 실시간 모니터링을 위한 시스템 구축
- ✓ 팬을 가동하고, 유속을 조절하여 외부 공기를 장치 내로 유입시킴.



<그림 2-381> CO2 포집 인공트리 장치 현장 시험·시공 전경

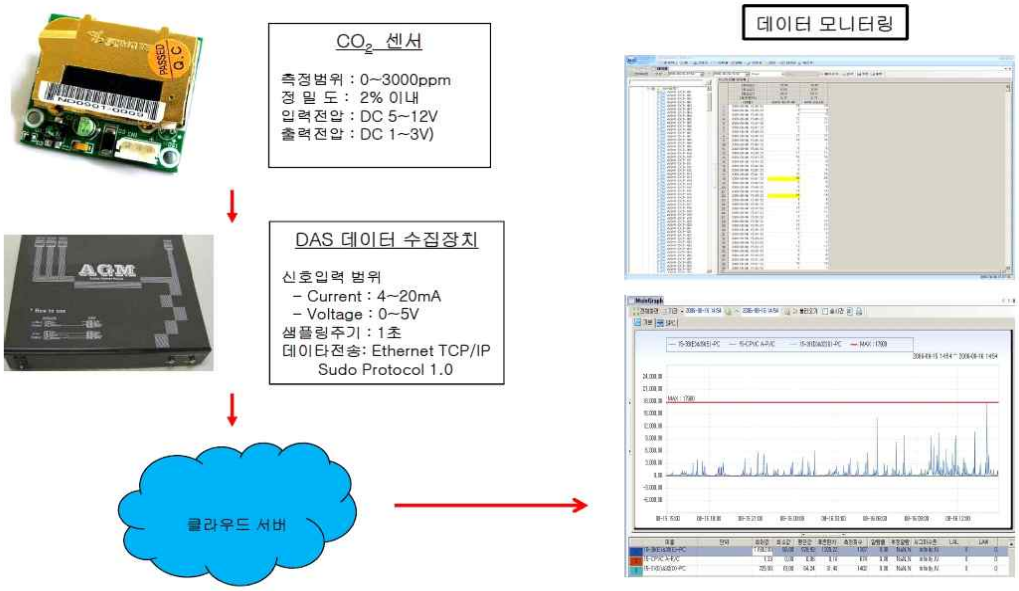
③ 현장 모니터링 시스템 구축

○ 시작품 현장 적용 평가 시 실시간으로 data를 전송 받을 수 있도록 모니터링 시스템을 구축하였다.

○ 모니터링 시스템은 위치송신, 수신, data 분석으로 구성되어 있으며, 유·무선 방식으로 현장 여건에 따라 다변화 할 수 있는 장점이 있다.

○ 또한, data 전송 관리 시스템을 통해 실시간으로 현장 측정 결과를 확인할 수 있도록 구성되어 있고, 특히 유지관리 측면에서 효율적으로 운영할 수 있을 것으로 판단된다.

○ 설치된 시제품에 대한 성능평가 및 모니터링을 실시하여 최적 공정 도출 및 도로 적용성을 평가하였다.



<그림 2-382> 모니터링 시스템 구성

(사) 시제품 현장적용 모니터링(성능검증)

○ 개발 시제품의 성능을 검증하고, 시스템의 최적화를 통한 적용 가능성 평가 및 적용 기술 확보를 위하여 현장적용 모니터링을 수행하였다.

① 모니터링 과정

현장설치 : 2015. 01. 06

모니터링 기간 : 2015.01 ~ 2015.03

모니터링 방법

✓ 1주 간격으로 실시간 모니터링 data 확인 및 장비 점검

✓ data 분석을 통한 시스템의 최적화 및 적용 가능성 도출

② 모니터링 결과

○ 시제품 장치의 입구와 출구에 측정 센서를 설치하여 실시간 모니터링을 통한 CO_2의 농도 변화 및 저감 특성을 분석하였다.

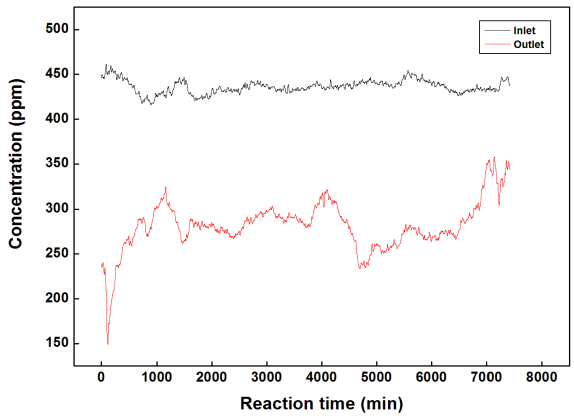
○ 모니터링 기간 동안 유입 CO_2의 평균농도는 약 450 ppm으로 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다.

○ 모니터링 결과, 1주차~4주차 까지 출구(저감장치 통과 후) CO_2의 농도의 변화(fluctuation)가 일정치 않은 것을 볼 수 있는데 이는 빠른 공기 유입(유속)으로 인해 저감장치 내부의 충진된 흡착제(제올라이트)를 빠르게 통과하여 흡착층 내 균일한 흡착이 형성되지 못하여 발생한 것으로 판단된다.

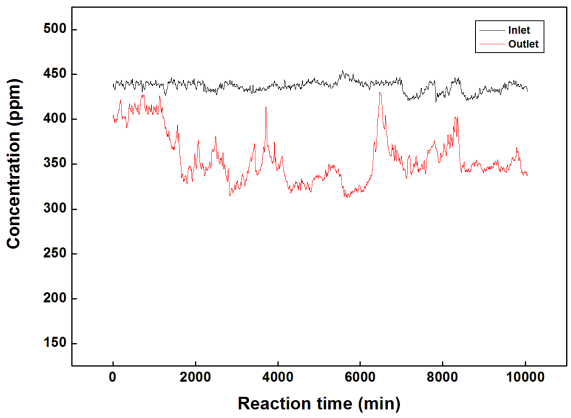
○ 이와 같은 변수를 최소화하여 처리 효율을 높이기 위하여 저감장치 내부 입구부분에 유량이 고르게 분사될 수 있도록 공정을 최적화하였다.

○ 이후 5주차~12주차 까지 CO_2 농도의 변화를 모니터링 한 결과 처리효율이 향상된 것으로 나타났고, 일정한 수준으로 CO_2 농도의 변화폭 유지되는 것으로 나타났다.

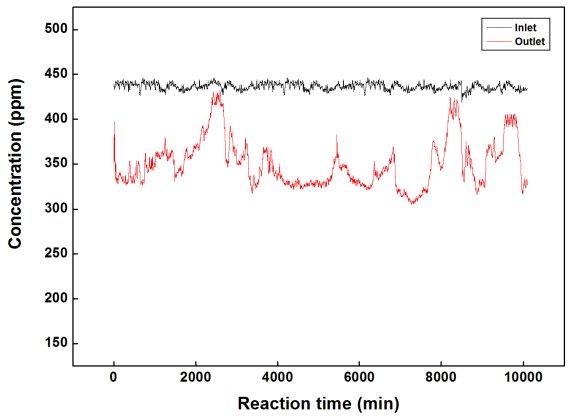
○ 다음은 1주~12주차 까지 모니터링 결과를 나타냄.



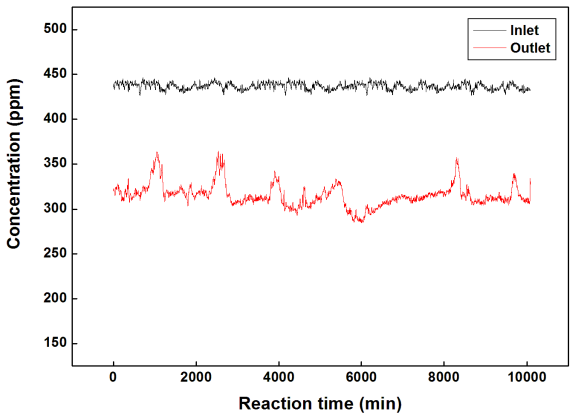
1주차



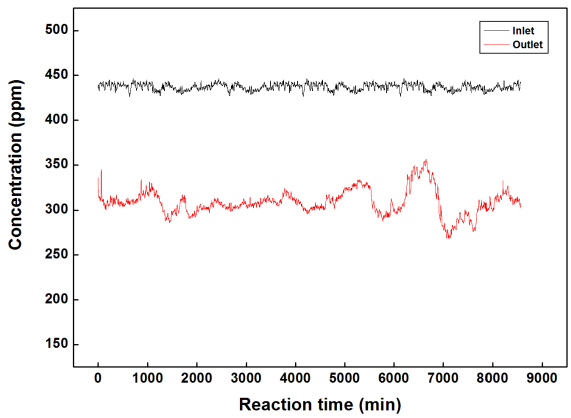
2주차



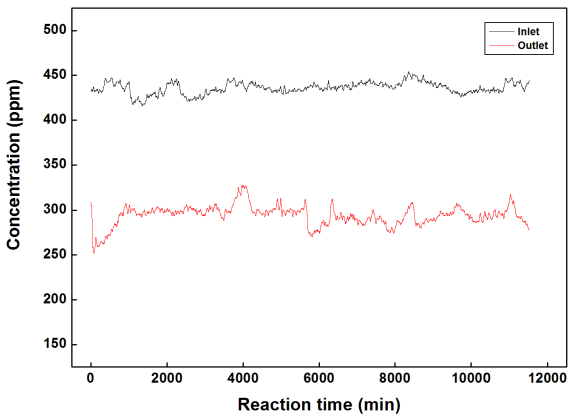
3주차



4주차

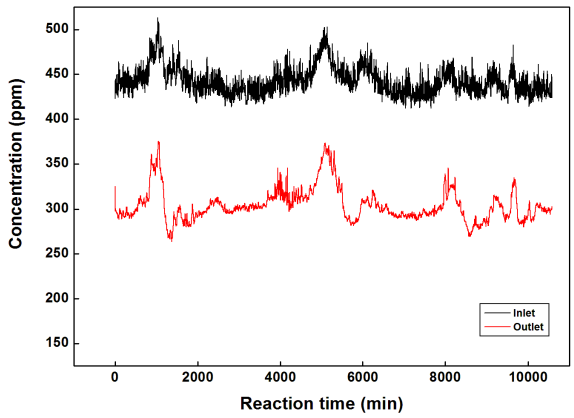


5주차

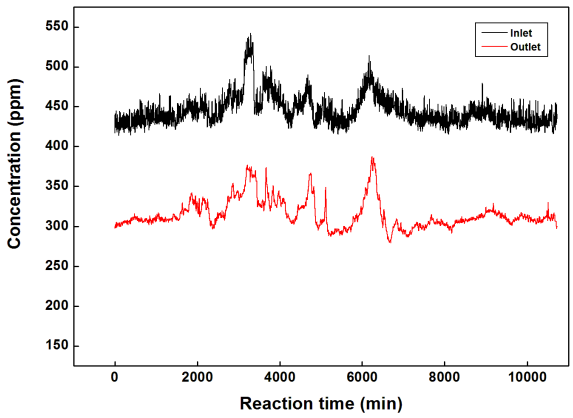


6주차

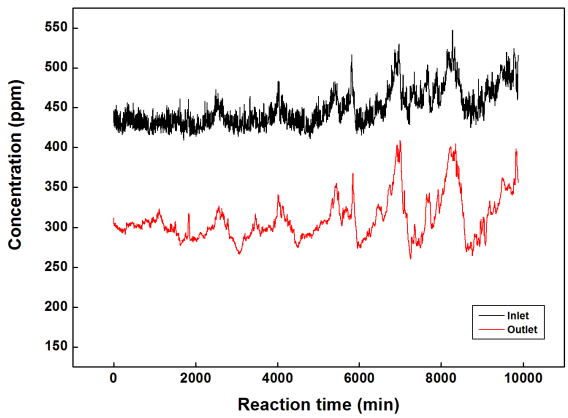
<그림 2-383> 시제품 현장 성능검증 결과(1~6주차)



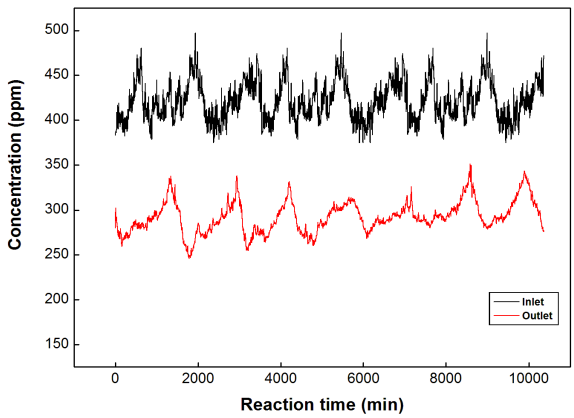
7주차



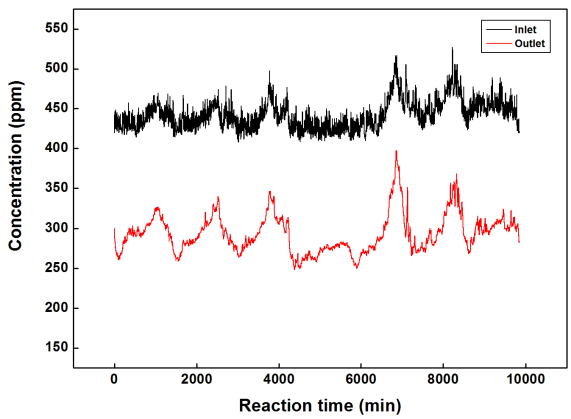
8주차



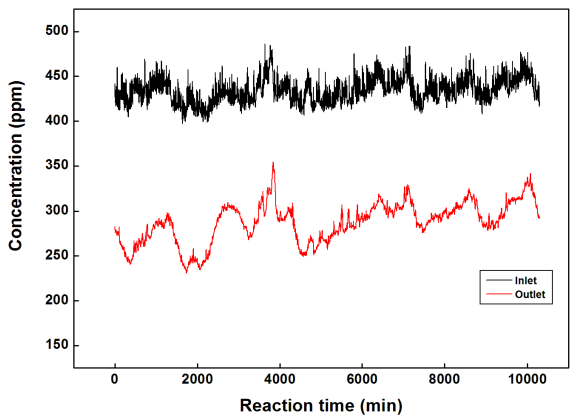
9주차



10주차



11주차



12주차

<그림 2-384> 시제품 현장 성능검증 결과(7~12주차)

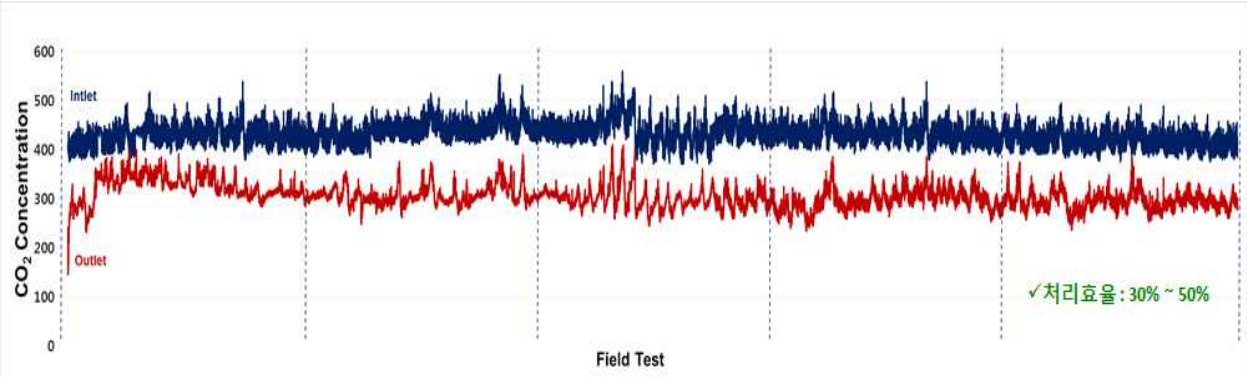
○ 모니터링 기간 전체 처리효율은 최대 50% 이상(평균 30%~50%), CO_2 포집량은 약 14.7 ton-CO_2/yr로 나타났다.

○ CO_2 포집량 계산

✓ 0.7 g/m^3(대기 중 CO_2 농도 400 ppm에 대한 질량) × 1 m^3/min(저감장치 용량) × (60min × 24hr × 365day)/yr = 368 kg/yr · m^2(유입 입구면적에 대한 년간 CO_2 포집량)

✓ 368 kg/yr · m^2 × 40m^2(시제품 저감장치 유입 입구면적) = 14.7 ton-CO_2/yr

○ 다음은 모니터링 기간 전체에 대한 결과를 나타낸다.



<그림 2-385> 시제품 현장 성능검증 결과(전체 3개월)

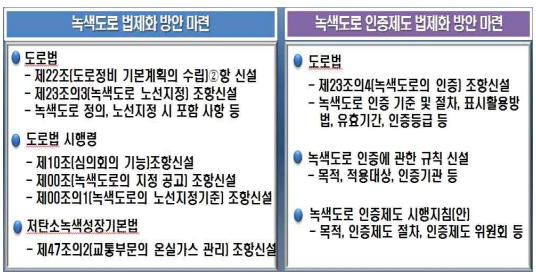
○ 시제품 장치의 초기 설치 이후 장기 모니터링으로 인한 흡착제의 성능이 낮아지는 경향이 나타날 수 있으며, 이러한 모니터링 결과를 바탕으로 향후 시제품의 성능 최적화를 도출하여 실용화를 추진할 계획이다.

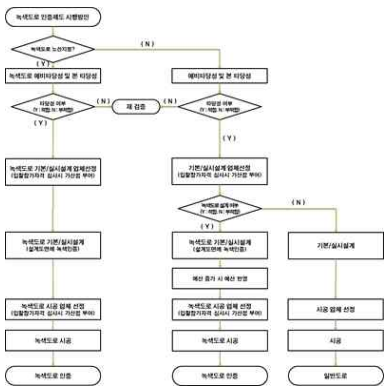
제3장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 최종 연구성과

○ ‘탄소중립형 도로 기술 개발’ 과제를 통하여 총 21개의 연구성과가 도출되었으며, 연구성과에 대한 개요(제1절)와 과제별 실적(제2절)은 다음과 같다.

1. 녹색도로 법 · 제도화(안)

<table>
<tr><td>정의</td><td colspan="6">* 국내 녹색도로 및 녹색도로 인증제도 도입을 위한 법제화 방안</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="6">* 도로부문의 온실가스 감축목표를 달성하기 위하여 녹색도로 관련 법·제도 정비를 통하여 녹색도로의 법적 개념을 정립하고, 녹색도로 건설 활성화와 녹색도로 인증제도 도입을 위한 법적 근거를 마련함</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td colspan="6">



<녹색도로 및 인증제도 법제화 방안> <녹색도로인증제 시행방안></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td colspan="6">(기존기술 수준) : 기존 녹색도로 건설을 위한 법적 근거가 전무한 상황
(개발기술 수준) : 녹색도로 건설을 위한 법적 근거를 마련하여 탄소배출량 감소 정책 및 기술 개발과 적용 활성화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">양적성과</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI 논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>1건
(국외 1건)</td><td></td><td>학술발표
1건</td></tr>
</table>

2. 녹색도로 인증체계 개발

<table>
<tr><td>정의</td><td>* 국내 녹색도로인증제도 도입기반기술(정책 · 제도) 구축</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* ‘녹색도로 인증체계 개발’의 최종 목표는 녹색도로 구축에 대한 구체적인 실천 방안을 제시하는 것을 목적으로 녹색도로를 인증 · 평가할 수 있는 평가지표 개발, 등급 범위 설정 및 평가 매뉴얼 개발 등 녹색도로 인증제도를 국내에 도입하기 위한 기반을 구축하는 데에 있음</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>



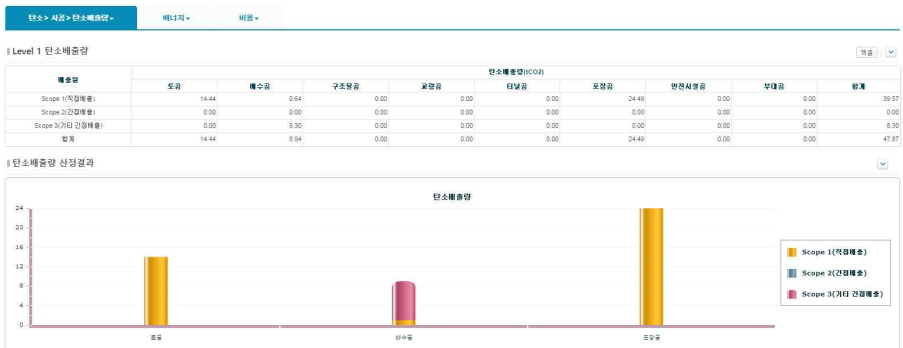
<녹색도로인증제 세부지표 구성> <녹색도로인증을 위한 매뉴얼></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 미국 각 주(워싱톤주, 오레곤주, 뉴욕주 등)에서 녹색도로 인증체계를 개발 · 활용하고 있으나 국내에는 미도입
(개발기술 수준) : 개발된 한국형 녹색도로인증시스템은 국내 법 · 제도적 근거 확보 이후에는 바로 적용될 수 있는 수준(고속국도와 국도 건설사업을 대상으로 2차례에 걸친 시범사업 수행으로 이를 검증함)</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>국외 1건
(심사중)</td><td>국내 2건</td><td></td><td>학술발표
2건</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

3. 녹색도로 인증시스템 개발

<table>
<tr><td>정의</td><td>* 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템을 통하여 국내 도로환경에 적합한 인증제를 시스템화하고 이를 활용하여 녹색도로 관련 기관 및 설계, 시공, 운영, 유지관리 분야에서 활용하고자 함</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>
<녹색도로 인증시스템>

<녹색도로 모니터링시스템></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 국내에서는 기존에 인증시스템 개발 사례가 존재하지 않음. 미국의 경우 엑셀 매크로 형태의 단순한 프로그램 형태로 진행되며, 인증 이력에 대한 통합적인 관리가 이루어지지 않음.
(개발기술 수준) : 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템은 Smartclient 기술을 접목시킨 Web기반의 통합시스템으로 시스템 ActiveX컨트롤 방식보다 접근시간 및 보안 측면에서 우수하며, 기존의 해외 사례보다 인증 진행 및 데이터 관리가 하나의 시스템에서 통합적으로 이루어질 수 있어 인증이력 관리가 편리함.</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1건</td><td>학술발표
3건</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

4. 녹색도로 탄소배출량 산정기술 적용 시범사례 분석 및 탄소관리시스템 개발

<table>
<tr><td>정의</td><td>* 시공, 운영, 유지관리 등 도로의 전과정에 걸친 탄소배출량 산정 방법 개발
* 개발한 방법론을 적용한 사례분석을 통해 탄소배출 원단위 구축
* 구축한 원단위를 활용하여 도로분야 탄소배출량 산정을 위한 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 도로분야의 탄소배출량 산정 시 활용 가능한 표준화된 탄소배출량 산정 방법을 제시하고 도로의 전과정 단계별 탄소배출량을 산정할 수 있는 시스템을 개발하여 도로분야 탄소배출량 산정 및 관리 효율성 증대 및 감축효과 극대화</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

<탄소관리시스템 활용 공사별 탄소배출량 산정 결과></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 350여 개의 자재, 에너지원 및 장비별 탄소배출계수를 데이터베이스화 하여 투입자재 및 에너지 사용량에 따른 탄소배출량 산정 프로그램 개발
(개발기술 수준) : 자재, 에너지원 및 장비별 탄소배출계수 외 도로 유형별 연장당 탄소배출 원단위, 2,800여 개의 최하위 공종 수준의 탄소배출 원단위 구축
* 표준화된 방법론에 따른 탄소배출 원단위 구축으로 탄소배출량 산정 결과의 정확성 및 신뢰도 향상
* 자재, 에너지 사용량을 별도로 산정하지 않고 공종별 작업량 직접 입력을 통한 탄소배출량 산정으로 시스템 사용자의 편의성 증대</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td>1건</td><td>1건</td><td></td><td>국내 2건</td><td></td><td>매뉴얼</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

5. 에너지자원 분석 시스템

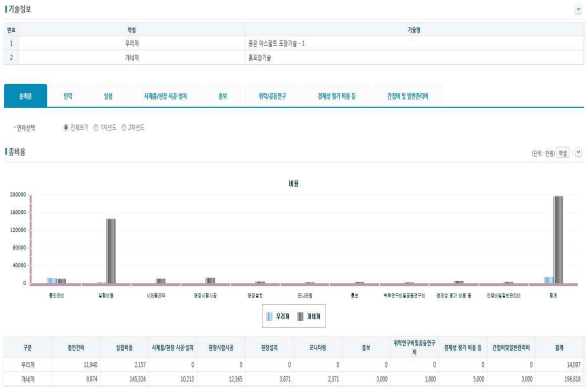
<table>
<tr><td>정의</td><td>* 녹색도로에서 생산 및 소모되는 에너지/자원을 효율적으로 관리하고 제어하기 위하여 도로의 시공, 운영, 유지관리까지의 생애주기 동안 생산, 소모되는 에너지 총량을 산정하고, 녹색도로기술의 적용을 통해 나타나는 에너지 저감 효과를 정량적으로 산출하여 분석하는 시스템</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 에너지자원 절감 효과 측면에서 녹색도로기술 개발 타당성과 녹색도로기술의 적용 효과를 평가하는 기능을 제공하여 도로 관련 의사결정단계를 지원
* 도로의 시공, 운영, 유지관리 단계에서 생산 또는 사용되는 에너지의 양을 산정하는 기능과 녹색도로기술의 에너지 절감 효과를 산정하고 녹색도로기술 대안별 결과를 비교할 수 있는 기능을 제공하여 도로를 보다 친환경적으로 건설하고 운영할 수 있도록 함
* 전체 도로망 대상의 거시적 에너지 사용량 현황 분석과 대안 효과 추정</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

<에너지/자원 분석시스템 활용 기술 적용효과 분석결과 예시></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 실제 도로 사업 내역을 토대로 한 도로의 생애단계별 에너지 사용량 원단위 부재, 녹색도로기술을 도로사업과 도로망에 적용했을 때의 에너지 저감효과 분석 시스템 부재
(개발기술 수준) : 총 10건의 도로 건설 및 48건의 유지관리 공사 사례분석을 통해 총 2,800여 개의 도로 유형별, 공종별 에너지 사용량 원단위를 구축
* 구축된 원단위를 이용하여 도로 전 생애주기에서 사용되는 에너지 총량 산정 가능
* 녹색도로기술을 단위 도로 사업 및 도로망에 적용했을 경우의 에너지 저감 효과를 정량적으로 산출 가능</td></tr>
</table>

양적성과

특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI 논문	S/W	기타
3건			국외 3건	3건	학술발표 2건 매뉴얼 1

6. LCC 분석 시스템 개발

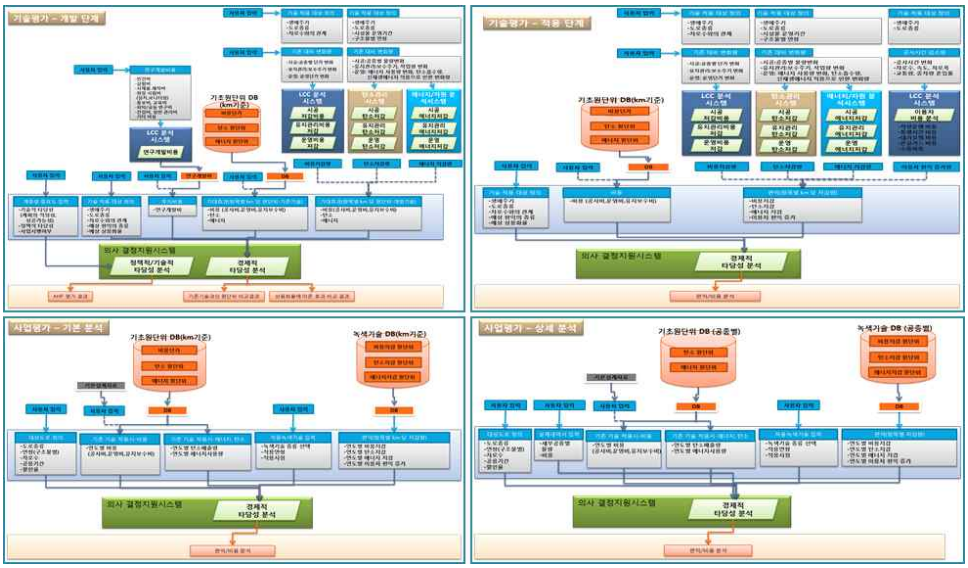
<table>
<tr><td>정의</td><td>* 녹색도로 기술 생애주기(개발과 사업화 단계)에 발생하는 총 비용을 산출하고 분석하는 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 녹색도로 구현을 위한 기술 연구개발 기획, 계획, 평가, 사업화 단계에 요구되는 비용을 효율적으로 산출하고 분석하는 평가 툴 개발
* 녹색도로 기술 적용시 발생하는 도로 시공 및 유지관리 비용, 이용자 비용 변화를 산출하고 타 기술과 비교 분석하는 시스템 구현</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>
<녹색도로 기술평가 비용분석 결과></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 고속도로 생애주기 비용 추정 방법론, 포장공사 관련 LCCA 분석 방법론 존재
(개발기술 수준) : 녹색도로 기술 개발로 인해 발생하는 도로 유형별 생애주기 (개발단계, 사업단계) 비용 분석 툴 제공
* 고속도로/일반도로 신기술 적용에 따른 기존 기술 대비 시공, 유지관리 세부 공종별 비용(편익 포함) 변화 산출 가능</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>학술발표 1건
매뉴얼 1</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

7. 의사결정 시스템

<table>
<tr><td>정의</td><td>* 기술개발/적용/사업화 등 각각의 단계에 이용자의 의사결정을 지원</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* AHP분석과 개발기술의 원단위 비교를 통해 단위기술에 대한 기술개발 타당성 평가
* 개발이 완료된 녹색도로기술을 특정 도로사업에 적용하였을 경우 경제성 변화 검토</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>
<기술평가 결과제공 예시>

<사업평가 결과제공 예시></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) 국내에서는 교통시설투자를 위한 타당성 및 우선순위를 분석하기 위하여 국토교통부나 기획재정부에서 교통시설투자평가시스템 또는 예비타당성 평가지침이 마련되어 있으나, 소규모 녹색도로기술의 평가에 활용되는 평가방법론은 전무한 실정임
(개발기술 수준) 의사결정 시스템은 소규모 녹색도로기술에 대한 기술개발/적용/사업화 등의 단계별 효과분석이 가능함</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>학술발표 1건
매뉴얼 1</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

8. 상용화 시스템 개발

<table>
<tr><td>정의</td><td>* 개별 분석시스템의 구동을 위한 기초자료의 통합관리 및 동선최적화 시스템</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 상용화시스템은 녹색도로기술 투자평가시스템 상의 LCC, 탄소관리, 에너지/자원, 의사경정시스템을 효과적으로 연계하여 시스템 효율성과 이용자 편의성 증진을 목적으로 개발되었음</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

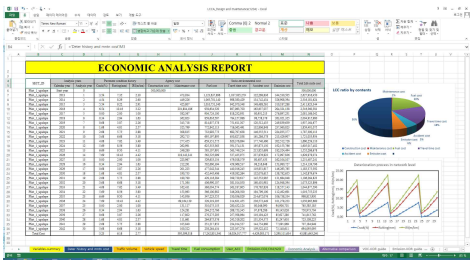
<분석단계별 시스템 연계체계></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) 현재 특정 단위기술을 기술/사업/도로망 등으로 분류하여 평가하고, 적용효과를 검토할 수 있는 시스템은 전무한 실정임
(개발기술 수준) 상용화시스템은 특정 단위기술에 대한 기술개발/적용/사업화 등의 단계별 효과분석을 비용, 에너지/자원, 탄소발생, 경제성 측면에서 다각도로 분석이 가능함</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>매뉴얼 1</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

9. 녹색도로기술 투자평가시스템 개발

<table>
<tr><td>정의</td><td>* G-TIES는 녹색도로기술과 도로사업에 대해 탄소, 에너지, 생애주기비용, 기술/정책/경제적 타당성 분석을 위해 내부적으로 탄소관리시스템, 에너지/자원분석시스템, 의사결정시스템, LCC 분석시스템으로 구성되어 있으며, 상용화시스템을 통해 이들 각 시스템의 유기적 연결과 종합적 분석이 가능하도록 개발하였음
* 녹색도로기술에 대한 효과분석 및 산정 결과에 대해 보고서, 조회, 시스템 연계를 통해 녹색도로건설을 위한 정책 및 기술적용을 할 수 있도록 기술개발자, 건설사 및 정부/지자체/공공기관에 지속적인 정보를 제공할 수 있도록 개발하였음</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 도로 건설· 관리의 전 생애주기(기획/계획/설계/시공/운영)를 고려한 탄소중립형 친환경 도로환경 구축을 위한 녹색도로 탄소배출산정 및 평가시스템(G-TIES)을 개발하여 온실가스/에너지/자원 절감 및 녹색도로 기술개발을 지원하며, 도로 인프라 예산의 효율화를 실현하고자함</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

<G-TIES의 구성></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 주로 도로교통 부분의 운용단계만 고려한 시스템 존재
(개발기술 수준) : 도로부문에 대한 시공 및 운영/유지단계의 과정에 대한 탄소배출량과 에너지 자원 소모량 분석 및 연구개발단계를 포함한 전과정의 LCC 비용 분석과 이에 대한 의사결정 결과를 통합 시스템으로 구현</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td colspan="2"><table>
<tr><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI 논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>매뉴얼 1</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

10. 도로선형 및 차량에 따른 탄소배출량 산정

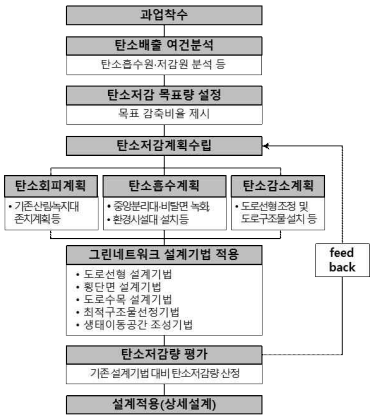
<table>
<tr><td>정의</td><td>* 도로선형(노면 평탄성)에 따른 차량에서 배출되는 탄소배출량 산정 모형 개발</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 저탄소 기반 도로설계 및 유지보수 전략수립의 핵심인 “도로선형-노면평탄성 기반” 탄소배출량 산정모형을 개발하고, 이에 대한 활용방안을 정립하여 향후 도로설계와 유지관리 정책의 최적화와 정량적인 설명책임을 목적으로 함</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

<도로설계와 유지보수대안을 동시에 고려한 탄소배출량 산정 프로그램>



<운영기간을 고려한 탄소배출량 산출></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 차종과 주행속도만을 고려한 연료소모/탄소배출량 예측모형
(개발기술 수준) : 도로선형유형별 및 차종별 이산화탄소 발생량 산정 가능
* 도로 운영기간 동안의 이산화탄소 발생량 산정 가능
* LCC를 고려한 도로설계에 활용 가능</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>국외 1건
(SCI)</td><td>국내 3건</td><td>2건</td><td>편람(안)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

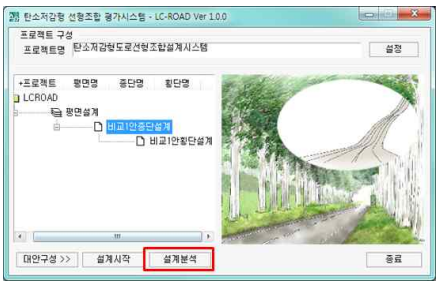
11. 탄소저감형 녹색도로기술 편람(안)

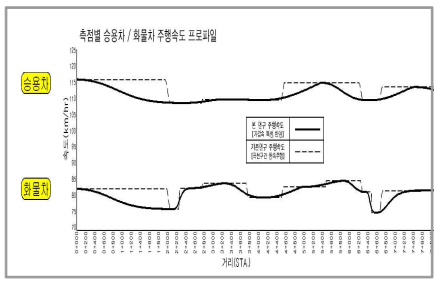
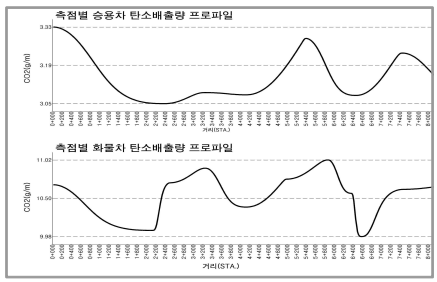
<table>
<tr><td>정의</td><td>* 도로설계요소별(도로선형, 횡단면, 도로수목) 탄소의 감소, 흡수, 회피를 위한 설계기법 적용 및 도로재료 및 시공을 위한 편람(안)</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 도로설계요소별 그린네트워크 도로설계기법 및 도로재료 및 시공을 적용하여 도로의 건설·운영·유지관리시 발생하는 탄소를 최소화하는 것이 목적임</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

<그린네트워크 도로설계 Process>

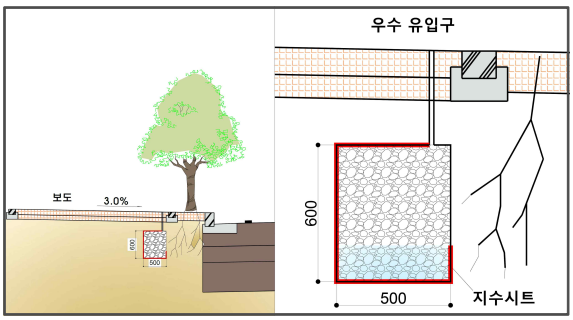

<그린네트워크 도로설계기법></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 차량의 주행속도 및 온실가스 배출을 고려하지 않은 표준적 설계기준 적용
기능·안전위주의 획일적 횡단시설 계획으로 탄소흡수원이 확보되는 그린네트워크 시스템 적용 곤란
(개발기술 수준) : 그린네트워크 도로설계 프로세스를 적용한 탄소저감 가능 설계요소(도로선형, 횡단면, 도로수목)별 탄소저감 설계기법 적용
최적 기법 적용을 위한 효과평가 방안 제시 가능
도로포장과 관련된 탄소저감 재료 및 시공방법 적용</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>국내논문
4건</td><td></td><td>편람(안)
/매뉴얼
개발 1건</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

12. 탄소저감형 도로선형조합 설계시스템(LC-Road)

<table>
<tr><td>정의</td><td>▪ 도로 선형계획시 기하구조 적용에 따른 주행속도 및 탄소배출량 산정을 위한 선형계획 프로그램으로써, 최적의 평면 및 종단선형의 적용을 목적으로 하는 “탄소저감형 도로선형조합 설계시스템”임
- 기하구조 조건별 주행속도 및 탄소배출량 예측 모형식 프로그램화
- 탄소저감형 선형계획을 위한 기존 프로그램 연동 및 시각적 tool 구축으로 실무적용성 확대</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>○ 개발 목적
▪ “탄소저감형 도로선형조합 설계시스템 (LC-Road, Low Carbon Road)을 활용하여 도로의 기하구조 조건(평면/종단/조합)에 따른 주행속도 및 탄소발생량 산정함으로써 주행속도 일관성을 확보하고 탄소배출량을 저감을 통하여 환경비용 절감이 가능한 최적의 선형조합 도출을 목적으로 함
- 기하구조 조건별 주행속도 및 탄소배출량 산정 및 평가
- 선형계획시 주행속도 일관성 확보 및 탄소배출량 산정을 통한 최적의 선형조합 도출
- 설계 공용 프로그램 연동 및 3D 주행시뮬레이션을 통한 실무 적용성 확대
○ 적용 범위
▪ LC-Road는 기본설계 단계시 선형계획을 위한 설계 실무에 적용할 수 있으며, 주행속도에 따른 탄소배출량 산정 범위는 도로의 운영기간 동안의 승용차와 화물차의 교통량을 반영한 총 탄소배출량을 산정함</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>
<도로선형조합 설계시스템 메인 UI>

<3D 주행시뮬레이션 시연 예시>

<차종별 주행속도 프로파일>

<차종별 탄소배출량 프로파일></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td><table><tr><th>기존기술</th><th>개발기술</th></tr><tr><td>· 기하구조 기준 적용성 위주의 설계속도를 기반으로 하는 도로설계 프로그램이 활용되고 있으며,
· 현재 RD (평화데이타시스템, 한국), RP (나모소프트, 한국) 등이 시장 90% 이상을 점유하고 있음
· 또한, on-board 탄소배출량 측정장치, MOVES(미국) 등 별도의 탄소배출량 산정이 가능한 장비나 프로그램이 있으나 도로선형계획 수행이 불가능하거나 국내 여건과 부합되지 못하는 측면이 있음</td><td>· 기하구조 조건별 주행속도 및 탄소배출량 산정이 가능한 도로선형계획 프로그램으로써,
· 주행속도 일관성을 확보하고 탄소배출량 저감을 통한 최적의 평면 및 종단선형조합 도출을 목적으로 하며, 실무적용성을 확보하고 있음
· 따라서, 도로선형계획시 주행속도 및 탄소배출량을 산정함으로써 정량적인 환경비용을 산정하고 최적의 도로 기하구조 도출이 가능한 전 세계적으로 최초로 적용되는 프로그램임</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td><table><tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr><tr><td></td><td>1건
(심사중)</td><td></td><td></td><td>1건</td><td>인력양성(석사학위논문) 및
편람(안)1건</td></tr></table></td></tr>
</table>

13. 탄소저감형 도로시설물

<table>
<tr><td>정의</td><td>* 강우 시 보도에 유입되는 우수를 집수하여 가로수에 무동력으로 공급할 수 있는 침투트렌치임</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 강우시 도로(차도)가 아닌 보도의 우수를 집수하여 저장하며, 보도의 하부공간에 구비되어 보도의 빗물을 저장함으로써 비점오염원을 저감하고 가로수 뿌리에 탄소발생이 없는 무동력으로 점진적으로 우수를 공급하는 것이 목적임</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

<탄소저감형 LID 도로시설물
개념도(침투트렌치)>

<탄소저감형 도로시설물
시작품></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 기존 나무여과상자(TreeBox Filter)는 오염물질이 많이 포함된 차도의 우수를 이용하며 설치시 차량을 통제하여야 함
(개발기술 수준) : 본 기술은 오염물질이 상대적으로 적은 보도의 우수를 활용하여 무동력으로 가로수에 수분을 공급할 수 있는 시설물이며 기존기술 대비 공사비가 저렴하고 설치시 차량통행에 지장이 없어 시공성이 우수함</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td></td><td>1건</td><td></td><td></td><td></td><td>시작품 1건</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

14. 탄소저감형 도로수목 시공, 유지관리 기술개발

<table>
<tr><td>정의</td><td colspan="6">* 탄소저감형 container 수목 식재</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="6">* 탄소 흡수율이 높은 수종이며 이식 후 활착이 빠른 container 수목을 도로변에 식재하여 도로로부터 발생하는 탄소를 저감하고 이를 통해 지구온난화 현상 완화에 기여하고자 함.</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td colspan="6">
<container에 식재된 탄소저감 수목>

<container 수목 식재></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td colspan="6">* 연구수목으로서 가로수로서 활용가치가 높은 팥배나무를 동일 환경에서 재배된 컨테이너 수목과 노지수목을 선정하여 실험 농장에 이식하여 실험함. 본 실험을 실시한 결과 짧은 실험기간에도 불구하고 컨테이너에서 재배된 이식수목과 노지 재배된 이식수목의 탄소흡수량이 차이가 있는 곳으로 분석되었음.
* 컨테이너에서 재배되어 제초방법으로 이식식재한 수종이 동일 수령의 노지 재배되어 멀칭방법으로 이식식재된 수목보다 탄소저장량이 42%가 더 축적되었음. 컨테이너에서 재배된 이식수목들도 제초방법의 식재가 멀칭방법으로 이식식재보다 19.5%가 더 축적되었음.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">양적성과</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI 논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>국내 2건</td><td></td><td>편람(안)</td></tr>
</table>

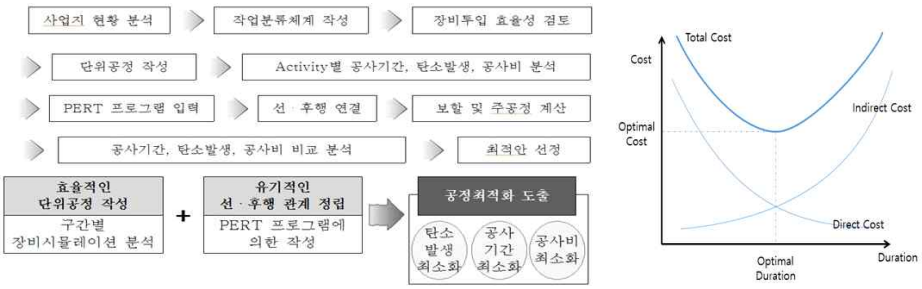
15. On-board 탄소배출량 측정장치

<table>
<tr><td>정의</td><td>* 운행차에 장착이 가능하고, 도로조건과 운행조건과 차량조건을 동시에 고려하여 실시간으로 데이터를 측정할 수 있는 소형 탄소배출량 측정장치</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 도로조건 측정, 주행조건 측정, 차량조건 측정을 하나의 장치로 동시에 측정할 수 있으며, 차량에 손쉽게 장착할 수 있는 장치를 제작하는 것</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

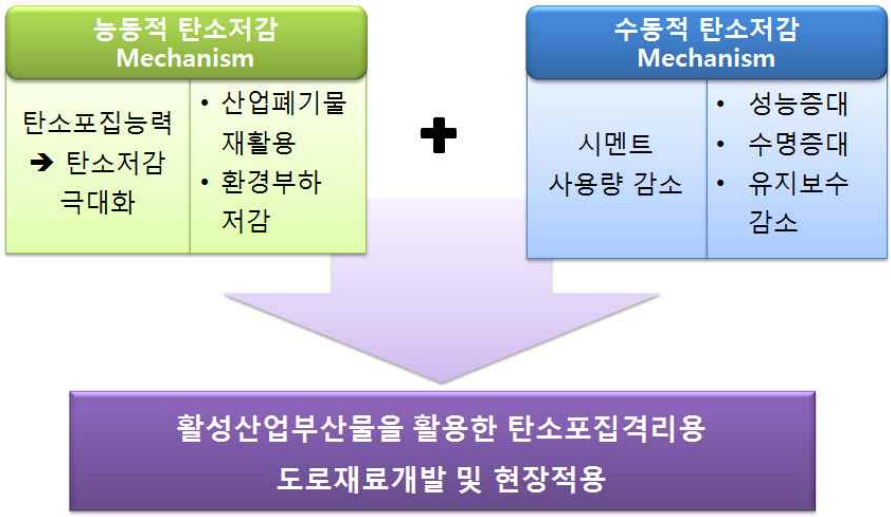
<On-board 탄소배출량 측정장치 시제품></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 기존의 장치나 기술들은 도로조건, 주행조건, 차량조건 등을 일부만 측정이 가능하였으며 각각의 장치들이 매우 고가이며 장비 장착도 매우 어려운 경우가 많음
(개발기술 수준) : 차량이 운행 중에 세가지 조건 모두를 측정이 가능하며, 장치의 가격도 저렴하고 장착이 쉽도록 하였음</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">양적성과</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI 논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1건</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>시제품 1건
편람(안)</td></tr>
</table>

16. 탄소저감을 위한 공정관리 최적화 모델

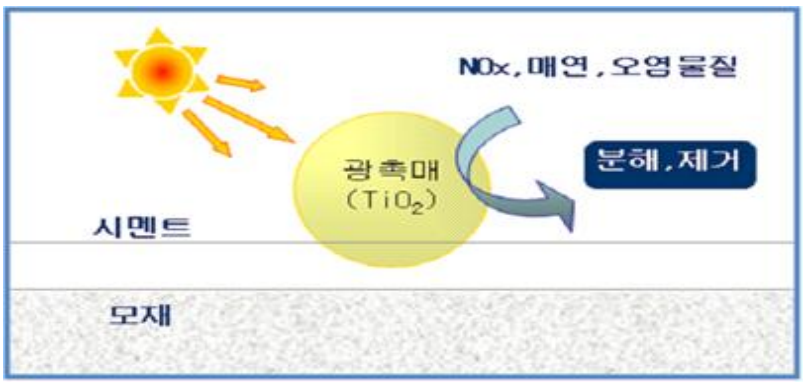
<table>
<tr><td>정의</td><td>▪ 도로공사 시공시 공정관리 최적화를 통한 녹색도로의 시공 효율 대비 탄소저감형 기술의 적용효과 제시</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>▪ 도로공사 공정 스케줄 관리를 통해 탄소발생저감, 공사기간 단축, 공사비 절감 사이의 균형적인 의사결정 지원
▪ 도로 공사 각 공정의 비교, 자재 및 공정 선택시 경제성과 환경성을 동시에 고려한 최적의 대안제시 가능</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>
</td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 기존 도로공사 공정관리는 일정/비용 통합관리로 인한 체계적인 공사계획 부재, 비효율적인 건설장비 운용으로 작업효율의 저하 및 공사비용 증가 초래
(개발기술 수준) : 공사비용과 공사기간의 상관관계를 고려하여 동시에 제시함으로써, 최소공사비, 최소공사기간, 최소 탄소발생량의 효율적인 공정계획 도출 가능
- 공정관리 최적화로 공사기간 20% 단축
- 탄소 발생량 10~15% 감축
- 공사비용 7% 절감</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>국외 1건
국내 1건</td><td>국내 2건</td><td></td><td>학술발표대회 10건
(해외 1건 /국내 9건)
편람(안)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

17. 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발

<table>
<tr><td>정의</td><td>▪ 시멘트 생산시에 발생하는 이산화탄소 발생량을 수동적으로 감소시킴과 동시에, 탄소포집 활성화제를 사용하여 능동적으로 이산화탄소 흡수가 가능한 도로 재료 및 구조체를 개발</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>▪ 산업부산물인 고로슬래그의 표면을 활성/개질시켜 이산화탄소 포집흡수능을 극대화 시키고 동시에 적정 강도를 확보하여 도로 재료로써 활용 시 도로주변의 탄소를 흡착 포집하여 적극적이고 능동적인 친환경 도로포장기술 개발하고자 함</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

<활성산업부산물 활용한 도로재료 개발 개념></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준) : 우리나라의 경우 이산화탄소 포집기술에 대한 검토는 하고 있지만 실제로 시멘트 공정에 적용한 예는 아직 없음
(개발기술 수준) : 기존 OPC 활용 콘크리트 대비 시멘트 사용량 20 % 감소로 인한 탄소 저감 (수동적 저감)
이산화탄소 흡수량 0.025 kg-CO_2/kg (능동적 저감)
- 휨강도 3.0 MPa
- 동결 융해 저항성 60%/300cycle 확보</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td>1건</td><td>1건</td><td></td><td>국내 2건</td><td></td><td>현장시험 1건</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

18. 도로온실가스 제거를 위한 도로시설용 TiO_2 콘크리트 공법 개발

정의	* 도로온실가스 제거를 위한 도로시설용 TiO_2 콘크리트 공법
목적	* 국외의 개발된 광촉매(TiO_2) 콘크리트의 경우 TiO_2 사용량의 10%만 광촉매(TiO_2) 반응하고, 90%는 콘크리트 내부에 존재하기 때문에 광촉매(TiO_2) 반응을 하지 못하여 비경제적, 비효율적인 공법에서 다양한 적용방안(침투방식과 코팅방식)의 도입으로 국외의 광촉매(TiO_2) 콘크리트 가격의 약 50% 저감하면서, 자동차 배기가스의 질소산화물(NOx)을 15% 이상의 제거 효과
대표 이미지	 <도로시설물에 광촉매 콘크리트 공법의 적용 개념도>
성능수준 (질적성과)	(기존기술 수준) • 국외의 개발된 광촉매(TiO_2) 콘크리트의 경우 배합방식으로 사용 • TiO_2의 10%만 광촉매 반응하고, 90%는 내부에 존재함 • 경제적으로 90%의 TiO_2는 광촉매 반응을 하지 못하기 때문에 비효율적, 비경제적 방법 (개발기술 수준) • 개발된 광촉매(TiO_2) 콘크리트의 경우 침투방식을 사용 • 표면에 적용하는 방식으로 치환배합 방식의 TiO_2 소재를 최대 1/10 정도만 사용 • 질소화합물(NOx) 제거 효율은 치환배합 대비 2배 이상의 효과 확보 • 현장적용을 통하여 기존 설치되어 있는 도로시설물에 적용이 가능하며, 질소화합물(NOx) 제거 효율 15%이상의 결과를 도출함

양적성과

특허 출원	특허 등록	SCI 논문	비SCI 논문	S/W	기타
1건			국내 3건 (1건 심사중)		현장시험 1건

19. 폴리머 콘크리트를 활용한 탄소저감형 흙 포장 기술개발

<table>
<tr><td>정의</td><td colspan="6">* 유기계 고화제를 이용한 흙 포장 기술 개발</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="6">* 탄소 배출량 저감을 위한 유기계열 재료를 혼합한 흙 포장 기술 개발</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td colspan="6">
<흙 포장 시험시공 전경></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td colspan="6">(기존기술 수준) : 기존 시멘트 콘크리트 포장의 경우 255.48 tCO_2/km 발생

(개발기술 수준) : 탄소배출량 22.5% 저감 가능한 흙 포장 기술 개발
(198.07 tCO_2/km 발생)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">양적성과</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI 논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1건</td><td></td><td></td><td>국내 2건
(1건은 심사중)</td><td></td><td>현장시험
1건</td></tr>
</table>

20. 산업부산물과 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장 기술 개발

<table>
<tr><td>정의</td><td>* 산업부산물과 무기계 바인더를 이용한 무시멘트 무기계 탄소저감형 습식 흙 포장 재료</td></tr>
<tr><td>목적</td><td>* 기존 흙포장에서 바인더로 사용되고 있는 시멘트를 대체하기 위하여 산업부산물인 고로슬래그와 플라이애쉬를 액상알칼리 화합물과 혼합하여 자연상태의 흙과 습식으로 배합하여 경화시키는 도로포장 기술로 시멘트 사용량을 최소화함으로써 탄소배출량을 저감시킬 수 있음.</td></tr>
<tr><td>대표
이미지</td><td>

<무기계 습식 흙포장의 탄소저감 효과></td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td>(기존기술 수준)
* 기존 흙 포장의 경우 자연 상태의 흙에 시멘트와 고화제를 혼합하여 강도를 향상시켜 포설되고 있으며 강도의 발현은 시멘트의 첨가량(일반적으로 15~20wt%)에 의존하고 있는 실정임.
* 기존 흙포장 설계기준 28일 압축강도 18MPa
(한국경관포장공업협동조합, 흙콘크리트단체표준)
(개발기술 수준)
* 시멘트 사용량 0%
* 각 포장층 재료별 소요 강도 만족
* 보도용 무기계 탄소저감형 흙포장 : 28일 압축강도 20MPa 이상 확보
* 차도용 무기계 탄소저감형 흙포장 : 28일 압축강도 35MPa 이상 확보
- 무기계 탄소저감형 흙 포장 재료는 포장중간층용 콘크리트(빈배합) 재료 기준인 7일 압축강도 5MPa을 만족하며, 기존 흙포장 설계 기준인 28일 압축강도 18MPa을 만족하며, 부체도로용 콘크리트 재료 기준인 28일 압축강도 21MPa을 만족함.</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td>
<table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td>1건</td><td></td><td></td><td>국내 1건
(심사중)</td><td></td><td>학술발표 2건
시험시공 2건</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

21. DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 시설물 개발

<table>
<tr><td>정의</td><td colspan="2">* 신재생 에너지를 이용한 온실가스 저감장치 설계, 운전 및 최적화</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="2">* 대기 중 CO_2를 10 tonCO_2/yr·m^2 저감할 수 있는 DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 시설물 장치를 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">대표
이미지</td><td>
10 L/min의 흡착탑</td><td>
10 L/min의 CO_2 재생장치</td></tr>
<tr><td>
120watt태양광을 이용한 흡수장치</td><td>
LED 조명 및 CO_2 포집 가능한 인공나무(1 m^3/min)</td></tr>
<tr><td>성능수준
(질적성과)</td><td colspan="2">(기존기술 수준) : 개발단계, 20 ton-CO_2/yr·m^2
(개발기술 수준) : 초기단계, 10 ton-CO_2/yr·m^2</td></tr>
<tr><td>양적성과</td><td colspan="2"><table>
<tr><th>특허 출원</th><th>특허 등록</th><th>SCI 논문</th><th>비SCI 논문</th><th>S/W</th><th>기타</th></tr>
<tr><td>1건</td><td>2건</td><td></td><td>국내 2건</td><td></td><td>시제품1건
현장적용
1건</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

제2절 주요 연구성과(적용실적)

구분	특허 등록 (출원)	학술지 게재	SW 등록	신기술 지정	시제품 제작 (시작품)	현장 시험	표준/ 인증	정책 채택 (제안)	법령 반영	설계 기준	기술 실시	사업화 제품화	현장 적용
총괄	5 (10)	34	7	-	2 (1)	6	-	-	-	1	-	-	-
1세부	2 (5)	24	7	-	1 (1)	-	-	-	-	1	-	-	-
2세부	3 (5)	10	-	-	1	6	-	-	-	-	-	-	-

1. 특허등록

No.	특허명칭	등록번호 (출원번호)	등록일 (출원일)	출원인 (등록권리자)
A-1	도로의 전생애 단계에서의 탄소배출량 산정 방법	10-1497601	20150224	인하대학교산학협력단 예스오알지
A-2	도로망의 평가방법	(10-2015-0027017)	(20150226)	한국건설기술연구원 백종대, 허혜정 이근희, 노관섭 이유화
A-3	녹색도로기술의 사업성 평가방법	(10-2015-0027015)		
A-4	녹색도로기술 도로 적용에 대한 평가방법론	(10-2015-0027016)		
A-5	탄소저감형 도로선형조합 설계방법	(10-2014-0108031)	(20140819)	손원표
A-6	우수를 활용한 무동력 가로수 관수시스템	10-1488139	20150123	손원표
A-7	탄소 저감형 도로의 시공을 위한 차량의 주행 조건과 도로의 종단면 경사에 따른 포터블 탄소배출량 측정 장치	(10-2014-1004320)	(20140829)	김창용/이준호
A-8	폐기물 재활용 소재를 이용한 이산화탄소 흡수제 및 이를 포함하는 콘크리트	10-1312341	20130923	세종대학교 산학협력단
A-9	이산화탄소 흡수제, 이의 제조 방법, 및 이를 포함하는 알칼리 시멘트	(10-2013-0108526)	(20130910)	세종대학교 산학협력단
A-10	콘크리트 함침용 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 도로의 시공방법	(10-2014-0058469)	(20140521)	강릉원주대학교 산학협력단
A-11	산화칼슘-첨가 아크릴 중합체 레진을 이용한 토립자 안정처리층을 구비한 흙포장 시공방법, 지반 함몰 채움재 형성 방법, 및 도로 하부지반 안정처리 방법	(10-2015-0041673)	(20150325)	이용수, 정재형, 황성필, 류상훈
A-12	흙포장 조성물 및 이를 이용한 흙포장 공법	(10-2015-0076193)	(20150529)	경일대학교산학협력단 한국도로공사
A-13	대기 중 온실가스 저감장치	10-1475593	2014.12.16	홍민선 외 아주대학교산학협력단
A-14	탈부착이 용이한 흡착탑 및 촉매반응기의 구조	10-1497202	2015.02.23	홍민선 외 아주대학교산학협력단
A-15	이산화탄소 저감장치를 및 이를 이용한 이산화탄소 저감방법	(10-2015-0012678)	(2015.01.27.)	홍민선 외 아주대학교산학협력단

2. 학술지 게재

No.	SCI/ 일반	논문명	학술지명	ISBN ISSN	주저자명	Vol. (No)	시작 페이지	끝 페이지	게재 일자
B-1	일반	인구 고령화를 고려한 승용차 보급예측 연구	한국건설관리 학회 논문집		김현우	15(5)	31	39	'14.9.30
B-2	일반	한국형 녹색도로인증시스템 평가요소 개발 - 고속도로 및 국도 건설단계 중심 -	한국건설관리 학회 논문집		박재우	15(6)	16	25	'14.11.30
B-3	SCIE	Development of a Sustainable Road Rating System for South Korea	Journal of Green Building		Jae-Woo Park	-	-	-	제출 (14.12)
B-4	SCI	Emission Evaluation of Inter-Vehicle Safety Warning Information Systems	Transportation Research Part D		Eunbi Jeong	-	-	-	제출 (14.05)
B-5	일반	도로시설물의 전과정 탄소배출량 산정을 위한 시공단계 탄소배출 원단위 구축	대한환경공학회지	1225-5025	곽인호	37(2)	107	112	2015.02.26
B-6	일반	도로시설물 운영 및 유지관리단계의 탄소배출 원단위 구축	대한교통학회지	1229-1366	곽인호	-	-	-	33(3) 게재예정
B-7	일반	New/renewable energy applicable to roads and energy intensity	International Conference on Climate Change and Humanity		이근희	6(10)	760	776	2015.02
B-8		Feasibility Check for Carbon Emissions Estimation Method of G-TIES			허혜정	6(10)	750	754	2015.02
B-9		Development of Green Road Technology and Estimating Carbon Reductions			백종대	6(10)	775	779	2015.02
B-10		A Macro Level Methodology for Estimating Carbon Emissions, Energy Use, and Cost by Road Type and Road Life Cycle	한국도로학회지		허혜정	17(2)	143	150	2015.04
B-11	일반	설계일관성을 반영한 감가속도 프로파일 개발 - 지방도 다차로를 중심으로	한국도로학회논문집	1738-2424	최재성	15(6)	103	111	20131231
B-12	SCI	Stochastic Forecasting of Life Expectancies Considering Multi-Maintenance	ASTM Journal of Testing and Evaluation	0090-3973	Daeseok HAN	44(1)	1	13	20141019

		Criteria and Localized Uncertainties in the Pavement Deterioration Process							
B-13	일반	차량시뮬레이터를 활용한 도로기하구조 조건별 CO_2 산정연구	한국도로학회 논문집	1738-7159(Print) 2287-3678(Online)	정상민	16(6)	129	136	20141231
B-14	일반	지방부 일반국도 4차로의 화물차 주행속도 예측모형 개발	한국도로학회 논문집	1738-7159(Print) 2287-3678(Online)	박민호	16(5)	173	182	20141030
B-15	일반	도로규모별 녹지 중앙분리대 폭원 및 유형 선호도 분석	한국조경학회 추계학술대회 논문집		이진주		27	28	2013.11
B-16	일반	탄소저감형 그린네트워크 도로 식재유형 선호도 분석	한국조경학회 추계학술대회 논문집		김은미		83	84	2014.10
B-17	일반	주행속도 개념 적용의 필요성 연구	교통기술과 정책	ISSN 1738-3269	손원표	11(6)	57	64	2014.12
B-18	일반	그린네트워크 도로설계 기법 적용을 위한 평가지표 연구	교통기술과 정책	ISSN 1738-3269	손원표	12(1)	73	82	2015.2
B-19	일반	가로수의 이식방법에 따른 수목 활착 평가-재배방법별 팥배 나무의 광화학적 반응 해석-	한국조경 학회지	1225-1755	유성녕	43	132	138	2015.02
B-20	일반	팥배나무 이식식재 방법에 따른 가로수목의 탄소저장 연구	한국환경과학 학회지	1225-4517	박청인	24	253	260	2015.02
B-21	일반	도로공사 공정계획을 위한 공정 로직 및 건설장비 효율화 방안	한국건설관리학회 논문집	1229-7534	송호정	15(.6)	26	37	2014
B-22	일반	건설현장 소음제한을 고려한 최적 스케줄링 프로세스 모델 개발	한국건축시공학회 논문집	1598-2033	이승학	14(5)	467	476	2014
B-23	SCIE	Development of Scheduling Model for Earth Work using Genetic Algorithm	KSCE Journal of Civil Engineering	1226-7988	황세인	18(6)	1618	1624	2014
B-24	SCIE	Statistical Analysis of Construction Productivity for Highway Pavement Operations	KSCE Journal of Civil Engineering	1226-7988	최재현	19(5)	1993	1202	2014
B-25	일반	반응표면분석법에 의한 탄소포집 활성 고로슬	한국도로학회 논문집	1738-7159	장봉진	15(6)	69	78	2013

		래그 모르타르의 최적 배합 도출에 관한 연구							
B-26	일반	알칼리 활성화된 고로슬래그 페이스트의 물리화학적 특성 및 이산화탄소 흡수능 평가	한국도로학회 논문집	1738-7159	안해영	17(2)	99	105	2015.04
B-27	일반	광촉매 콘크리트 도로구조물의 효율적 시공방법에 대한 실험적 연구	한국도로학회 논문집	1738-7159(print) 2287-3678(online)	홍성재	15(6)	1	9	2013.12
B-28	일반	도로구조물 적용을 위한 광촉매 콘크리트의 질소산화물(NOx) 제거 효율 평가	한국도로학회 논문집	1738-7159(print) 2287-3678(online)	김영규	16(5)	49	58	2014.10
B-29	일반	도로 구조물 적용을 위한 TiO_2 콘크리트의 장기공용성에 대한 실험적 연구	대한토목학회 논문집	1015-6348(print) 2287-934X(online)	이준희	-	-	-	심사중
B-30	일반	양생조건에 따른 유기계 폴리머 흙 포장의 특성	한국지반환경공학회	ISSN 1598-0820	황성필	15(2)	35	42	2014
B-31	일반	조립골재의 성토 시험법에 따른 다짐특성 연구	한국도로학회	ISSN 1738-7159	류상훈	-	-	-	심사중
B-32	일반	알칼리 활성슬래그를 이용한 습식교반경화토의 공학적 특성	한국도로학회 논문집	1738-7159	유지형	-	-	-	심사중
B-33	일반	제올라이트와 활성탄을 이용한 대기 중 CO_2 흡착 및 재생 특성	대한환경공학회지	1225-5025	박일건	35(5)	307	311	2013.04
B-34	일반	암모니아와 염화나트륨 수용액을 이용한 저농도 CO_2 제거 연구	에너지기후변화학회지	1975-3241	김범석	-	-	-	Vol.9. (2) 게재예정

3. 소프트웨어 등록

No.	SW명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명
E-1	녹색도로 인증 및 모니터링 시스템	20150213	(주)로드코리아	2015.03.15	제C-2015-004868호	(주)로드코리아
E-2	도로생애주기 탄소배출량 산정 프로그램	2014.08	한국건설기술연구원	2014.11.07	제C-2014-027664호	한국건설기술연구원
E-3	도로생애주기 에너지 사용량 산정 프로그램	2014.08	한국건설기술연구원	2014.11.07	제C-2014-027665호	한국건설기술연구원
E-4	도로생애주기 비용산정 프로그램	2014.08	한국건설기술연구원	2014.11.07	제C-2014-027666호	한국건설기술연구원
E-5	도로설계와 유지보수 대안을 고려한 생애주기비용분석 프로그램	20141201	한대석, 유인균, 이수형	20150327	제C-2015-006594	한국건설기술연구원
E-6	도로선형에의한 탄소배출량 산출 프로그램	20150205	한국건설기술연구원	20150216	제C-2015-003710	한국건설기술연구원
E-7	탄소저감형 도로선형조합 설계시스템 (LC-Road)	20150211	동부엔지니어링 주식회사	*20150223*	C-2015-004010	동부엔지니어링 주식회사

4. 신기술 지정

No.	명칭	출원일	고시일	보호기간	지정번호
F-1					
F-2					

5. 시제품 제작

No.	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
C-1	탄소저감형 LID 도로시설물(시작품)	20141223	경북대학교 조경학과	경북대학교	우수를 활용한 가로수 관수시스템 (탄소발생이 없는 무동력 활용)
C-2	On-board 탄소배출량 측정장치	20140710	이스트로닉스 (주)	㈜ 허즈앤티 기술연구소	온실가스 인벤토리 구축, 물류이동량 통계
C-3	CO2 포집 인공트리 장치	2014.12.30	렉소엔지니어링, (주)루미한	시화공단 (원일화학)	DAC 기술 적용 도로변 대기 중 CO2 저감

6. 현장시험*

No.	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
D-1	장기노출평가	20141222~20150228	안성휴게소	본 연구에서 개발한 배합으로 도로경계석을 제조하여 이산화탄소 흡수 및 강도 평가
D-2	TiO2 콘크리트 공법 현장 실험	2014.11.5	경부선 안성휴게소 부산방향 옹벽 외측 150m 구간 (비교구간 200m)	TiO2 표면살포 전/후 각각 3일간 대기 중 NOx 및 CO2 농도변화 관측
D-3	유기계 흙 포장 시험시공	2014. 12. 12 ~ 2015. 03. 10.	경기도 연천군 연천읍 옥산리 191-11번지 한국건설기술연구원 SOC실증연구센터	현장시험시공을 통한 현장 적용성 검증 및 동절기 성능 시험(평판재하시험)
D-4	현장시험시공(포장가속시험)	2014.08.13~2014.09.26	한국도로공사 도로교통연구원 포장가속시험동	무시멘트 무기계 습식 흙포장의 공용성능 평가
D-5	장기모니터링을 위한 현장시험시공	2014.10.18~2015.10.30	경일대학교 제4공학관 주차장	무시멘트 무기계 습식 흙포장의 거동특성의 파악 및 장기모니터링을 통한 포장구조체의 성능을 분석
D-6	CO2 포집 인공트리 장치(시제품) 현장적용 모니터링	2015.01.06. ~ 2015.03.31	시화공단 (원일화학)	현장적용 성능검증 및 적용성 평가

* 현장시험: 개발기술의 보완이나 검증을 위하여 실험현장에 최초로 시험·적용하는 행위

7. 표준/인증

No.	인증번호 (규격번호)	인증명	취득일	취득기관	관리기관

8. 정책채택

No.	구 분	정책명	관련기관 (담당부서)	시행일시	채택내용

9. 법령반영

No.	구분	활용구분 (신규/개선)	명 칭	해당조항	시행일시	관리부처	제정/개선내용

10. 설계기준, 시방서, 지침에 반영

No.	구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	설계기준/시방서/지침 명칭	반영일시	반영내용
J-1	편람	신규	탄소저감형 녹색도로기술 편람(안)	20150331	-

11. 기술실시계약

No.	계약명	실시기업명	계약체결일	기술사용 시작일	기술사용 종료일	징수일자	징수금액 (천원)	계약 유형

12. 사업화/제품화

No.	사업화명	사업화내용	업체명	사업자 등록번호	매출액(천원)	매출발생년도	고용실적(명)

13. 현장적용(시공)**

No.	발주기관명	시공업체명	적용현장명	공사시작일	공사종료일	공사금액(천원)***

** 현장적용(시공): 사업화주체(기업)가 개발기술을 실제 공사현장(수주)에 적용하여 매출이 발생하는 경우
***공사금액: 당해 기술이 적용된 공사의 총공사금액

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 1세부

가. 1-1세부

연차	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			정량목표
			질적목표 (측정방법)	목표치	검증 방법	
1차 년도	탄소중립형도로 법적개념 정립	탄소중립형 도로 법적개념 정립 보고서	법/제도 현황 분석 - 국내외 녹색 도로기술 관련법	1건	보고서	학술회의발표 : 1 건
	녹색도로 인증제도 관련 해외사례 분석	녹색도로 인증제 법/제도 조사·분석 보고서	인증제 관련 법/제도 현황 분석 - 국내외사례 벤치마킹	1건	보고서	
2차 년도	녹색도로 법제도 개정안	녹색도로 법·제도 개발 및 입법방안 보고서	녹색도로 법/제도화(안) 작성	1건	보고서	논문 : 1 건
	도로 설계 및 시공단계의 녹색도로인증체계 마련	녹색도로인증 평가 매뉴얼(안) -도로계획·설계 및 시공 부문	녹색도로인증 평가 매뉴얼 작성 -도로계획·설계 및 시공 부문	1건	보고서	디자인 : 출원 1 건 논문 : 1 건

구분	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			실적목표	실적달성
			질적목표(측정방법)	목표치	달성치		
3차 년도	녹색도로 인증시스템 개발	녹색도로인증 평가 매뉴얼 -도로교통운영 부문 -유지관리 부문	- 관련 분야 전문가 5인이상 평가 - 매뉴얼의 국내 적용성, 녹색성 등 평가지표는 연구단과 사전 협의하여 선정 - 전문가 평가 80점 이상	80%	▪선진 외국과 녹색도로인증평가 매뉴얼의 비교분석을 통한 국내 적용성, 차별성(녹색성) 향상에 대한 전문가 검증	논문 : 2 건 디자인 : 등록 1 건	논문 : 3건 (국제 SCI 1건 심사중)
		녹색도로인증제적용지침 (안) -인증평가부문 -모니터링부문	- 관련 분야 전문가 5인이상 평가 - 지침의 적정성, 활용성 등 평가지표는 연구단과 사전 협의하여 선정 - 전문가 평가 80점 이상	80%	▪녹색도로인증제 적용지침(인증평가 부문)의 적정성, 활용성 등 전문가 검증	논문 : 1 건	논문 : 1 건 학술발표 : 1건
		인증시스템 사용자 인터페이스(UI)	인터페이스개발 현황 및 요구사항 정의서 비교	인증시스템에 대한 요구사항 90%이상 반영	요구사항 정의서와 인터페이스 구성현황 비교 확인	-	-
		녹색도로 인증 평가프로그램 (S/W) 인증용 및 모니터링용 통합	프로그램 정확도	수작업 대비 100%	작업시간 및 정확성 비교 (수작업 vs 시스템)	논문 : 1 건 S/W : 1 건	학술발표 : 3건 SW : 1 건
			이용자요구사항 반영도	100%	모니터링 시스템에 대한 인터페이스 및 요구사항 반영여부 전문가 확인		
			프로그램 적용성(활용성)	이용자 만족도 80%이상	관련기관 및 연구단 시연을 통한 만족도 조사		

나. 1-2세부

연차	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			정량목표
			질적목표 (측정방법)	목표치	검증 방법	
1차 년도	녹색도로 탄소배출량 산정 기법 정립	녹색도로 탄소배출량 산정 기법 분석 보고서	기존 기술동향 및 환경 분석 - 소프트웨어, 탄소배출 산정기법 등	1건	보고서	논문 : 비SCI급 2건, 국내외 학술회의 발표건수 1건
			탄소배출량 산정 기법 방법론 제시	1건	보고서	
	녹색도로기술 투자평가 시스템 설계 Framework 구축	녹색도로기술 투자평가 기능 구조도	녹색도로 기술트리 작성	1건	보고서	
			투자평가 기능 구조도 작성	1건	보고서	
2차 년도	녹색도로 탄소배출량 산정 기법 개발	녹색도로 탄소배출량 산정 가이드라인	탄소배출량 산정절차 제시	1건	보고서	특허: 출원 1건 논문 : 비SCI급 1건
			탄소배출량 산정기법 제시 (토공부, 터널부, 교량부)	3건	보고서	
	녹색도로기술 투자평가 시스템 기능 및 모듈 설계 (I)	녹색도로기술 투자평가 시스템 모듈 설계도 (I)	도로 LCC 분석시스템 기능 및 모듈 설계	1건	보고서 (설계도)	논문 : 1 건 국내외 학술회의 발표건수 1건
			도로 정책/경제성 분석시스템 기능 및 모듈 설계	1건	보고서 (설계도)	

구분	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표				실적목표	실적달성
			질적목표(측정방법)	목표치	검증방법	달성도		
3차 년도	도로의 탄소배출량 인벤토리 DB 및 원단위	도로 유형별 탄소배출량 인벤토리 구축 방법 제시	녹색도로기술별 탄소배출량 산정절차에 따른 탄소배출량 산정	검토 3건 이상	기술별 탄소배출량 산정결과의 전문가 검토의견서 확인	100% (검토 3건)	- 특허 : 등록 1건 - 논문 : SCI급 2건 - 국내외 학술회의 발표건수 : 3건 - 기술사업화를 위한 DB 구축/활용: 1건 - 정책 제안 및 채택건수 : 제안 1건 - 지침/매뉴얼 개발 및 보급: 1건	- 특허 : 등록 1건 - 논문 : SCI급 2건 - 국내외 학술회의 발표건수 3건 - 기술사업화를 위한 DB 구축/활용: 1건 - 정책 제안 및 채택건수: 제안 1건 - 지침/매뉴얼 개발 및 보급: 1건
			IPCC에서 제시하는 인벤토리 구축방법의 필수항목과 비교	검토 3건 이상	탄소배출량 산정 전문가 검토의견서 확인	100% (검토 3건)		
			실시설계보고서 시준 사례분석	10건	사례분석대상 탄소배출량 산정결과 확인	100% (10건)		
			고속국도, 일반국도에 대한 탄소배출량 인벤토리 DB 구축 및 검증	검토 3건 이상	탄소배출 DB 구축전문가 검토의견서 확인	100% (검토 3건)		
			도로 유형별 Life Cycle 단계별 DB의 프로그램 연동	100%	DB 프로그램내 가동여부 확인	100%		
		도로의 유형별 Life Cycle 단계별 탄소배출 원단위	정립된 원단위 구축방법에 다른 고속국도, 일반국도의 연장당 탄소배출 원단위	검토 3건 이상	탄소배출 원단위 검증 위원회를 통한 검토의견서 확인	100% (검토 3건)		
			정립된 원단위 구축방법에 따른 Life Cycle 단계별(시공, 운영, 유지보수)에 대한	검토 3건 이상	탄소배출 원단위 검증 위원회를 통한 검토의견서 확인	100% (검토 3건)		

			탄소배출 원단위					
	도로부문 탄소배출 Baseline 및 저감잠재량 산정	도로 부문 탄소배출 Baseline	2030년까지 도로부문 Baseline 산정	검토 3건 이상	베이스라인 근거에 대한 전문가 검토의견서 확인	100% (검토 3건)		
		녹색도로 기술 적용에 따른 탄소배출 저감잠재량	녹색도로 기술이 실제 적용되었을 때에 대한 탄소배출저감효과 분석	100% (기술개발 목표치 달성)	녹색도로기술 개발시 목표치와 비교	100%		
			녹색도로 기술 적용에 따른 2030년 기준 Baseline 대비 탄소저감량 예측	검토 3건 이상	탄소배출량 산정 전문가 검토의견서 확인	100% (검토 3건)		
	녹색도로 탄소관리시스템 개발	녹색도로탄소관리시스템(S/W) - 산정기법, 절차, 인벤토리 DB 포함	이용자 친화적인 녹색도로 탄소관리시스템 활용 매뉴얼 작성 (잠재적 수요자 검토)	검토 3건 이상	잠재수요자 검토결과 확인	100% (검토 3건)		
		탄소관리시스템 구축	탄소관리시스템 기능 및 모듈 설계 (실제 설계내역서 및 수동 계산 자료와 비교 검증)	수작업 대비 100%	프로그램 시연 확인	100%		
			설계 컨텐츠 100% 구현 탄소관리시스템 개발 (설계 대비 정확도)	100%	컨텐츠 가동 여부 프로그램 시연 확인	100%		
			실제 설계 및 운영자료 입력을 통해 탄소관리시스템의 정확도 검증	100%	컨텐츠 가동 여부 프로그램 시연 확인	100%		
			수요자 만족도 높은 탄소관리시스템 개발 (수요자 3인 이상 만족도 조사)	80점 이상	만족도 조사결과 확인	100% (85.7점)		
			현장적용을 통한 탄소관리 목표 설정	현장적용 1건 이상	현장적용의견서 확인	100%		
		녹색도로기술 투자평가시스템 통합 포탈과의 시스템 연계	기구축 DB(국가 탄소배출 계수 및 타연구결과)와 탄소배출량 산정 시스템 통합	100%	프로그램내구동 확인	100%		
	도로 에너지/자원 분석 시스템 개발	도로 에너지/자원 분석 시스템	수요자 필요 기능을 반영한 도로 에너지/자원 분석시스템 기능 및 모듈 설계 (전문가 검토 평가)	80점 이상	전문가 검토평가 의견서 확인	100% (93점)	- 특허 : 출원 1건 - 논문 : 비SCI급 4건 - 국내외 학술회의 발표건수 3건 - 지침/매뉴얼 개발 및 보급 : 2건 - 국제세미나 개	- 특허 : 출원 3건 - 논문 : 비SCI급 4건 - 국내외 학술회의 발표건수 3건 - 지침/매뉴얼 개발 및 보급 : 2건 - 국제세미나 개
			설계 컨텐츠 100% 구현 도로 에너지/자원분석시스템 개발 (설계 대비 정확도)	100%	컨텐츠 가동여부 프로그램 시연 확인	100%		
			수요자 만족도 높은 에너지/자원분석시스템 개발	80점 이상	만족도 조사결과 확인	100% (86.3점)		

			(수요자 3인 이상 만족도 조사)				최 : 1건	최 : 1건 SW등록 : 3건
		도로 에너지/자원 분석 시스템 매뉴얼	이용자 친화적인 도로 에너지/자원분석시스템 활용 매뉴얼 작성 (잠재적 수요자 검토)	검토 3건 이상	잠재수요자 검토결과 확인	100%		
	LOC 분석 시스템 개발	LOC 분석 시스템	설계 컨텐츠 100% 구현 LOC 분석시스템 개발 (설계 대비 정확도)	100%	컨텐츠 가동여부 프로그램 시연 확인	100%		
			수요자 만족도 높은 LOC 분석시스템 개발 (수요자 3인 이상 만족도 조사)	80점 이상	만족도 조사결과 확인	100% (86.3점)		
		LOC 분석 시스템 매뉴얼	이용자 친화적인 LOC 분석시스템 활용 매뉴얼 작성 (잠재적 수요자 검토)	검토 3건 이상	잠재수요자 검토결과 확인	100%		
	녹색도로기술 상용화 시스템 개발	녹색도로기술 상용화시스템	수요자 필요 기능을 반영한 녹색도로기술 상용화시스템 기능 및 모듈 설계 (전문가 검토 평가)	80점 이상	전문가 검토평가 의견서 확인 80점 이상	전문가 검토평가 결과 92점		
			설계 컨텐츠 100% 구현 녹색도로기술 상용화시스템 개발(설계 대비 정확도)	100%	컨텐츠 가동여부 프로그램 시연 확인 100%	100%		
			수요자 만족도 높은 녹색도로기술 상용화시스템 개발(수요자 3인 이상 만족도 조사)	80점 이상	만족도 조사결과 확인 80점 이상	전문가 검토평가 결과 87.3점		
		녹색도로기술 상용화시스템 매뉴얼	이용자 친화적인 녹색도로기술 상용화시스템 활용 매뉴얼 작성 (잠재적 수요자 검토)	검토 3건 이상	잠재수요자 검토결과 확인 검토 3건 이상	검토 3건		
	의사결정시스템 개발	의사결정시스템	설계 컨텐츠 100% 구현 의사결정 시스템 개발 (설계 대비 정확도)	100%	컨텐츠 가동여부 프로그램 시연 확인 100%	100%		
			수요자 만족도 높은 의사결정 시스템 개발 (수요자 3인 이상 만족도 조사)	80점 이상	만족도 조사결과 확인 80점 이상	만족도 조사결과 87.1점		
		의사결정시스템 매뉴얼	이용자 친화적인 의사결정시스템 활용 매뉴얼 작성 (잠재적 수요자 검토)	검토 3건 이상	잠재수요자 검토결과 확인 검토 3건 이상	검토 3건		

다. 1-3세부

연차	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			정량목표
			질적목표 (측정방법)	목표치	검증 방법	
2차 년도	도로 조건별 승용차 탄소배출량 예측	도로 조건별 승용차 탄소배출량 예측 모형	승용차 탄소배출량 예측 모형 제시	1건	보고서	논문 : 1건

구분	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			실적목표	실적달성
			질적목표(측정방법)	목표치	검증방법		
3차 년도	도로 조건별 차종별 탄소배출량 예측모형 개발	도로 조건별 화물차 탄소배출량 예측 모형	도로선형에 대한 차량 주행속도 예측 모형 V85 오차율	10%미만	적용사례구간 주행시험실시(주행속도 측정)	논문 : 4건 특허출원 혹은 소프트웨어 등록: 2건	논문 : 4건 (국내 3건 국외 SCI 1건) 소프트웨어 등록 : 2건 탄소저감을 위한 녹색도로 편람
			도로조건별 화물차 탄소배출량 예측모형 오차율	10%미만	적용사례구간 주행시험실시(주행속도 측정)		
		탄소저감이 가능한 도로선형 설계지침(안)					
		도로선형에 따른 차종별, 적재량별 탄소배출량 알고리즘	"도로선형/노면상태에 따른 탄소배출량 산정기법 "전문가 평가	평균80점 이상	도로선형설계 전문가 3인이상		
	도로 탄소배출저감 공정관리 최적화 기법 제시	도로공사 유형별 대상공정계획표 작성	EVMS 개념의 작업분류체계	1	전문가 회의를 통한 타당성 검증 (80점이상/100점만점)	논문 : 3 건	논문 : 4 건 국내외 학술회의 발표건수 : 10건 탄소저감을 위한 녹색도로 편람
		탄소저감을 위한 대상공정별 장비조합표 작성	탄소저감을 위한 대상공정별 장비조합 시뮬레이션 모델	1	실제 프로젝트 사례분석을 통한 신뢰성 검증(80점이상/100점만점)		
		표준공정대비 최적화 대안의 비교방법론 제시	탄소저감을 위한 공정계획수립 지침서	1	실제 프로젝트 사례분석을 통한 적용성 검증(80점이상/100점만점)		
	탄소저감형 도로설계지침(안)	그린네트워크 도로설계지침(안)정립 -도로선형 -횡단면 -도로 수목	'탄소저감형 그린네트워크 지침(안)' -도로선형 -횡단면 -도로수목(한경대) -최적기법 적용을 위한 효과평가 방법	80점이상	전문가 검토평가 의견서 확인	시작품 : 1건 지침/매뉴얼 개발 및 보급 : 1건 논문 : 3건 특허등록 : 2건 소프트웨어등록 : 1건	시작품 : 1건 탄소저감을 위한 녹색도로 편람 : 1건 논문 : 4건 국내외 학술회의 발표 건수 : 1건 특허등록 : 1건 소프트웨어등록 : 1건 인력양성 : 1건
	탄소저감형 선형조합 평가시스템	탄소저감효과평가프로세스 개발	주행속도 기반의 탄소배출량 산정 알고리즘	"적정" 판정	전문가 검증 의견서 확인		
			선형조합 평가시스템 사용성 평가	80점이상	-소프트웨어 등록 -프로그램 시연회 개최(도로학회 또는 도로공항기술사회)를 통한 사용자 의견서 확인		
	탄소저감형 도로시설물	탄소저감형 LID 도로시설물 개발	탄소저감형 LID 도로시설물 시작품	80점이상	-특허등록 -사용자 의견서		

구분	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			실적목표	실적달성
			질적목표(측정방법)	목표치	검증방법		
			사용성 평가		확인		
	도로수목공간 및 생태공간 설계기술 개발	그린네트워크 도로설계지침(안)정립 -도로 수목 -생태 공간	모사실험	기존대비 10%향상	연구과정에서 설계,시공, 관리의 통합적 결과 적용 시의 질적인 개선 수준을 판단할 수 있도록 모사 실험을 거치도록 함. 검증방법은 모사 실험 분석결과치 확인	논문 : 2건 녹색도로 가이드라인_보급 :1건 (동부엔지니어링 측과 통합작성)	논문 : 2건 (국내 2건) 탄소저감을 위한 녹색도로 편람

라. 2-1세부

연차	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			정량목표
			질적목표 (측정방법)	목표치	검증 방법	
2차 년도	탄소포집 격리용 시멘트 기반 결합재 개발 및 원천기술 확보	탄소포집능을 갖는 활성부산물 결합재	CO2 흡수실험 결과확인	실내실험 최종목표 대비 50% (0.05 kg-CO2/ kg-결합재)	보고서 (실내실험)	특허 : 출원 1건 논문 : 2 건
			브레인 시험 (KS L 5106) 결과 확인	4000 이상	보고서 (실내실험)	
			비중 시험 (KS L 5110) 결과 확인	1.95 이상	보고서 (실내실험)	
	도로 온실가스 제거를 위한 도로시설용 TiO2 콘크리트 공법 개발	TiO2 콘크리트 최적제조기술 - TiO2의 콘크리트내 분포도	표면 3mm내의 분포 정도	표면 3mm내의 분포 10%이상	실험결과 확인	논문 : 1 건

구분	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			실적목표	실적달성
			질적목표(측정방법)	목표치	검증방법		
3차 년도	활성산업부산물 결합재를 활용한 콘크리트 개발	활성부산물 결합재를 활용한 콘크리트	CO2 흡수실험 결과 확인	0.05kg-CO2/ kg-콘크리트	보고서 (실내실험)	특허 : 출원 1건 논문 : 2 건	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 2건 현장시험 1건 국내외 학술회의 발표 건수 : 6건
			결합재 활용 콘크리트 물성치 확인 - 휨강도	3.0 MPa	보고서 (실내실험)		
			결합재 활용 콘크리트 기존재료 대비 단위 시멘트량 감소	20%	보고서 (실내실험)		
			동결융해 저항성 실험 (KS F 2456) 결과 확인	공정시험법 기준 (60%/ 300cycle)	보고서 (실내실험)		
			CO2 포집격리 효능	0.25 kg-CO2/ kg-도로재료	보고서 (현장모사 실험)		

구분	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			실적목표	실적달성
			질적목표(측정방법)	목표치	검증방법		
			현장적용 콘크리트의 물성치 기준확보 -동결융해저항성	공정시험법 기준 (60%/ 300cycle)	보고서 (현장모사 실험)		
			현장적용 콘크리트의 물성치 확인 -휨강도(현장배합)	3.0 Mpa	보고서 (현장모사 실험)		
	도로 온실가스 제거를 위한 도로시설용 Ti02 콘크리트 공법 개발	Ti02 콘크리트의 내구성 및 환경저항성 평가	휨강도	4.5MPa	KS F 2407 기준 만족 여부	특허 : 출원 1건 논문 : 2 건	특허 : 출원 1 건 논문 : 3 건 (1건은 심사중) 현장시험 : 1건
			동결융해 저항성	50 %	KS F 2456 (Btype) 기준 만족 여부		
			표면박리 저항성 (제설제)	육안평가 (50사이클)	ASTM C 672 기준 만족 여부		
		Ti02 콘크리트 재료를 이용한 도로시설물에 적용방법도출	실내실험 및 시험시공 현장의 온실가스 저감 효과 (Ti02의 성능에 대한 평가)	대기오염 제거율 15% (일본, 미국 등 선진국 수준)	실내실험 시험시공 결과 확인		
			Ti02 콘크리트 생산 단가(경제성 분석	기존 Ti02 콘크리트의 80% 수준	보고서 확인		
		Ti02 콘크리트의 도로시설물 시험시공 및 모니터링	Ti02 콘크리트의 시공지침 수립	1건	지침안 제시		

마. 2-2세부

연차	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			정량목표
			질적목표 (측정방법)	목표치	검증 방법	
2차 년도	탄소저감형 흙포장 기술 개발	폴리머 혼합 재료 (최소 일축 압축강도 확보)	혼합재료의 배합비율 제시 (보고서 확인)	1건	보고서	논문 : 1 건
			혼합 재료의 목표 일축압축강도제시(수준 2MPa이상) (공인시험기관 성적서 확인)	1건	성적서 제출	
		무시멘트 무기계 친환경 바인더 재료	바인더 재료별 화학구성 및 물리적 특성 분석표 제시 (보고서 확인)	1건	보고서	논문 : 1 건
			바인더 배합비별 성능분석표 제시 (보고서 확인)	1건	보고서	

구분	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			실적목표	실적달성
			질적목표(측정방법)	목표치	검증방법		
3차 년도	탄소 저감형 흙 포장 기술 개발	탄소저감형 흙 포장 성능 평가 보고서	인장강도 및 동결융해	0.5MPa, 부피손실률 4% 이하	시험결과 보고서	특허 : 출원 1 건 논문 : 2 건 현장적용: 1건	특허 : 출원 1 건 논문 : 2 건 (1건 심사중) 현장적용: 1건
			환경특성 (폼알데히드, 톨루엔	0.02이하, 0.08이하	인증서제출		
			현장시험시공	1건	시험시공결과 보고서		
		탄소저감형 흙 포장 설계 지침(안)	흙 포장 설계 지침	1건	흙 포장 설계지침 보고서		
	친환경 복합안정처리 재료 개발	무시멘트 무기계 바인터 이용한 친환경 흙 포장 재료특성 분석 및 성능분석 보고서	배합비별 강도 특성 분석표 제시(보고서 확인)	1건	보고서	특허 : 출원 1 건 논문 : 2 건 현장적용: 1건	특허 : 출원 1 건 논문 : 1 건 (심사중) 현장적용: 2건 학술발표 : 2건
			휨강도	4.5MPa	보고서(KSF2408결과확인)		
			흙 포장 재료 내구성 분석표 제시(보고서 확인)	1건	보고서		
			동결 융해 저항성	50%	보고서(KSF2456결과확인)		
			현장 시험시공	1건	보고서		
		무시멘트 무기계 습식 흙 포장 설계 및 시공 지침(안)	설계 및 시공지침(안)	1건	보고서		

바. 2-3세부

연차	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			정량목표
			질적목표 (측정방법)	목표치	검증 방법	
2차 년도	DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 시설물 개발	DAC 기술을 활용한 CO2 흡수 반응기 (실내실험용으로 제작) - 반응기 규모: 1 L/분	CO2 포집 저감량(흡수율)	6tonCO2/yr·㎡ (최종목표 대비 30% 수준)	보고서 (실험 결과)	특허 : 출원 2건 논문 : 2건
			CO2 흡수 반응기 (실내실험용) 제작	1건	보고서 (반응기 사진)	
		DAC 기술 적용을 위한 최적 도로 시설물 선정(안) *대상 도로시설물: 기존시설물(방음벽, 조명시설 등)과 신규시설물 검토하여 최적 대상을 선정	최적 도로시설물 선정(안) 작성	1건	보고서 (선정(안)디자인)	

구분	핵심 성과물 (level1)	단위 성과물 (level2)	성과목표			실적목표	실적달성
			질적목표(측정방법)	목표치	검증방법		
3차 년도	DAC 기술을 적용한 CO2 포집 장치 개발	DAC 기술을 적용한 인공나무 개발	CO2 포집 저감량(흡수율)	10tonCO2/yr·m^2 (최종목표 수준)	연차 보고서 (실험 결과수록)	특허 : 출원 2 건 논문 : 1 건 시제품 : 1 건	특허 : 출원 1 건 등록 2 건 논문 : 2 건 시제품 : 1 건 현장적용 : 1 건
			Bench scale 재생성능 시험장치 제작	1건	연차 보고서 (시험장치 제작 사진 수록)		
			DAC 기술을 적용한 인공나무 시제품 (1m^3/min)	1건	연차 보고서 (시제품 제작 사진 수록)		
		DAC 기술을 적용한 인공나무 시스템의 도로 적용성 평가	현장적용 평가 및 모니터링 실시	1건	연차 보고서 (모니터링 결과 수록)		

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

○ 본 연구단 기술개발 결과인 녹색도로 인증제와 인증시스템은 도로분야에서의 저탄소 녹색성장을 위한 건설기술정책적 기반을 확충하고 향후 지속가능한 도로(sustainable highway) 건설 및 관리에 기여할 수 있다. 녹색도로 인증제는 도로 설계 및 시공중인 도로건설사업을 대상으로 (필요에 따라서 도로 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 평가시스템이다.

○ 본 연구단의 개발기술의 적용성을 분석하기 위한 적용시범사례구간인 국도 36호선(청주시 상당~청원군 북이/ 4차로 13.4 km)에 녹색도로 인증제(안)을 적용한 결과, 현 도로는 미인증 수준이며, 개발기술 및 현재 적용 가능기술을 반영하는 경우(대안1)에는 골드 수준, 개발기술 및 향후 개발 가능한 녹색기술을 적용하는 경우(대안2)에는 에버그린 수준이 될 것으로 추정되었다.

핵심지표	평가 득점		
	현 도로	대안1	대안2
녹색도로설계/포장기술 (11개 항목, 13개 지표, 배점 27점)	1	14	21
녹색환경 (14개 항목, 17개 지표, 배점 35점)	16	26	32
녹색자원&에너지 (7개 항목, 10개 지표, 배점 21점)	1	9	19
녹색교통 (8개 항목, 13개 지표, 배점 17점)	2	8	10
총 획득점수 (총 100점)	20	57	82
인증 여부	미인증	골드	에버그린

녹색도로 등급	배점 획득률(%)	배점 기준 값 (총 100점)
인증 (Certified)	30~39.9	30~39.9점 구간
실버 (Silver)	40~49.9	40~49.9점 구간
골드 (Gold)	50~59.9	50~59.9점 구간
에버그린 (Evergreen)	60 이상	60점 이상

○ 본 연구단에서 개발한 녹색도로 기술 투자평가시스템(G-TIES; Green highway - Technology Investment Evaluation System)은 기후 변화 대응이 가능한 지속가능한 도로의 건설, 운영, 유지관리를 위하여 개발되는 기술(녹색도로 기술)에 대한 투자와 사업화 결정 단계에 필요한 정량화된 효과(탄소배출량, 에너지 사용량, 생애주기 비용, AHP 결과)를 제공하고 이를 평가하기 위한 통합 다기능형 평가시스템으로, 탄소관리시스템, 에너지/자원 분석시스템, LCC 분석시스템, 의사결정시스템, 녹색도로 기술 상용화시스템으로 구성되어 있다.

○ 본 연구결과인 G-TIES는 국토교통부가 도로건설 사업에서의 탄소배출량을 산정토록 배포한 '도로 등 시설물별 탄소배출량 산정 프로그램(2011)'과 지침을 대폭 보완하여 정확도를 높였을 뿐만 아니라, 녹색도로 기술 개발 및 도로사업 적용에 대한 탄소, 에너지, 비용 항목의 생애주기(시공, 유지보수, 운영) 효과분석이 가능한 것이다. 또한 본 시스템은 단위 도로사업에의 적용 뿐만 아니라, 지역별 도로관리 총괄관리기관(예: 국토부 지방국토관리청, 도청 등)이 관내의 도로상 발생하는 탄소배출량 산정과 관리가 가능한 시스템이다.

○ 본 연구단에서는 이상적인 도로설계를 통해 지형변화를 최소화하는 도로시설물 계획으로 자연훼손 최소화하고, 탄소순환형 그린네트워크 설계시스템 활용한 도로구조물 계획, 생태네트워크 복원 및 조성기법 등 녹색기술 확보하였다. 또한 도로 수목식재를 통한 CO2 감소, 흡수효과 배가를 도모토록 하였으며, 도로 수목활착 성공율 증진 및 유지관리 비용을 절감할 수 있도록 하였다. 이와 함께 본 연구단에서 개발한 다양한 탄소저감 도로 재료 및 시공기술을 적용하는 것으로 하여 탄소저감 효과를 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 적용사례 구간 개요

위 치	충북 청주 상당구 ~청원 북이면
총 연장/폭원	L=13.4km / B=20.0m
총사업비	1,428억원
공사기간	2004.10 ~ 2013.12
주요시설	
출입시설	6개소
교량	23개소 / 1,454m
터널	1개소 / 490m (상리터널)
도로 운영기간	설계 목표연도 반영 (2009년 ~ 2028년)



(2) 탄소배출량 분석

기술	기존(현재)		연구성과 적용	비고		단위
탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술	도로 선형	1,498,246 (20년) 2,554,179 (30년)	1,463,391 (20년) 2,494,758 (30년)	34,855 감소 (20년) 59,420 감소 (30년)	2.33%	tCO2
	횡단면	1,539	1,132	407 감소	26.45%	
탄소저감형 도로수목시공,유지 관리기술	-746		-3,186	2,440 감소	327.08%	
공정관리를 통한 최적 녹색시공기법	6,157.83		4,901.49	1,256.34 감소	20.40%	
도로시설용TiO2 콘크리트공법	31,317		5,146.5	26,170.5 감소	83.57%	
폴리머 콘크리트 활용 흙포장 기술	17,117		15,924.6	1,192.4 감소	7%	
무기계 바인더 이용 흙포장 기술	N.A		N.A	N.A	N.A	
DAC 기술활용 도로CO2흡수시설물	N.A		1,800	1,800 감소	N.A	
활성산업부산물 활용 탄소흡수용 도로재료	38,016		3,801	34,215 감소	90.00%	kg/km

1. 1세부 과제-탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발

가. 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발(1-1)

○ 녹색기술을 적용한 도로 설계 및 시공기술 적용을 유도하여 에너지 및 자원 효율적 친환경 녹색도로 건설이 가능하다.

- 에너지사용량 30~50% 저감 및 CO2 배출량 35% 저감이 기대됨 (현재 녹색도로인증체계가

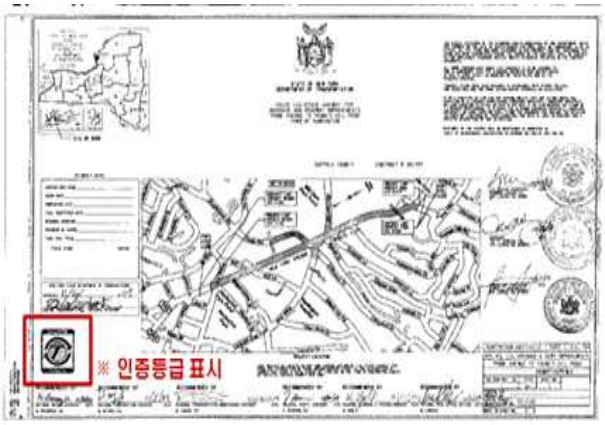
○ 아직까지 국내에 도입되지 않아 온실가스 배출저감 규모 등의 효과를 예측하기 어려우나, 건축부문의 국내 친환경건축물인증제의 적용효과를 기반으로 유추함)

*출처 : “Global Green Building Trends”, McGraw Hill Construction, 2008.

○ 녹색도로 설계, 시공 및 유지관리를 위한 합리적인 의사결정도구로 활용이 가능하다.

○ 발주자 측면에서 환경이나 지속발전 측면에서 발주자가 계획하고 관리해야 되는 노력과 거기에 상응하는 자원들이 절감되는 효과가 있다.

- 예를 들어, 발주처에서 이러한 등급/인증제가 없으면 상세한 항목에까지 규제의 기준을 마련하고 모니터링 및 관리해야 하며, 규제를 해야 할 일을 등급/인증제를 통해서 상당부분 그러한 노력들이 감소될 수 있음
- 설계자나 시공자 측면에서는 도로에 인증 표지판이나 휴게소의 안내문 등에서 자신들이 환경과 지속발전에 얼마나 노력하는지를 홍보할 수 있고, 사회기여 측면에서 업체에 간접적인 이익을 가져다 줌



<미국 녹색도로 인증 받은 계약서 예시>



<미국 녹색도로 인증 적용도로 예시>

○ 현재까지 국내에서 녹색도로를 평가할 수 있는 시스템이 존재하지 않았으나, 본 연구를 계기로 국내 도로 환경에 적합한 한국형 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템을 웹 기반으로 개발하여 인터넷 환경에서 누구든지 시스템에 접근하여 활용할 수 있으며, 인증 결과 이력에 대한 통합적인 관리가 가능하게 되었다.

나. 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발(1-2)

(가) 탄소관리시스템

○ LCC 기법을 활용해 도로의 계획/건설/운영/유지관리의 life cycle 전과정에서의 탄소배출량을 정량적으로 산정하고 관리할 수 있도록 개발된 탄소관리시스템은 신규로 건설하고자 하는 도로와 이미 건설되어 운영 중인 도로 사업에 대한 탄소배출량의 산정과 함께 감축 목표 수립을 위한 저탄소 녹색 기술의 저감량을 정량적으로 산정할 수 있게 함에 따라 향 후 건설 부문의 전생애주기 온실가스 저감 기술의 발전에 파급효과가 예상된다. 또한, 표준 공종체계에 맞춰 구축한 탄소배출원단위의 경우, 과거 신규 도로 사업의 경쟁 입찰 시 자기 선언의 형태로 산정되어 오던 탄소배출량과 저감량에 대한 기준을 제시할 수 있어 대안 설계 등의 선택 시 획기적인 기술 파급효과가 있을 것으로 기대된다.

○ 주요 기술적 성과로 특허 출원 1건, 특허 등록 1건, 논문 3건이며, 최고 기술보유국 기준 기술개발 완료시점의 기술수준 향상도는 과제완료시점 대비 60%에서 80%로 20% 향상되었으며, 기술격차는 4.0년에서 2.1년으로 1.9년 단축되는 성과를 거두었다.

(나) 에너지자원 분석 시스템

○ 본 시스템은 국내 도로분야 실제 설계내역서들의 분석에 기반하여 세부 공종별 에너지 사용량에 대한 인벤토리와 원단위들을 구축하였으며, 새로 개발하려고 하는 도로 기술의 현장 적용에 따른 에너지 절감 효과를 산정하는 방법론을 개발하였다.

○ 이를 토대로 도로의 계획/건설/운영/유지관리 등 전 생애주기에서의 에너지 사용량을 정량적으로 산정하고 관리할 수 있도록 하여 신규 도로사업 및 운영 중인 도로에 대한 에너지 효율성 평가를 가능하게 하였다. 이와 함께 도로 신기술의 개발시 그 기술의 적용에 따른 에너지 절감 효과를 미리 정량적으로 평가할 수 있게 하여 보다 에너지 효율적인 도로 건설 및 관리 기술의 발전이라는 파급효과가 기대된다.

○ 또한, 본 시스템을 도로 사업의 경쟁 입찰 시 사용하게 되면 에너지 사용량에 대한 표준 원단위를 사용하게 되어 보다 개관적이고 신뢰도 높은 대안 설계 비교가 가능한 기술적 파급효과가 예상된다.

○ 본 연구에서 개발된 에너지자원 분석시스템은 기존 기술 대비 기술적으로 다음과 같은 개선을 이루었다.

<표 4-1> 에너지자원 분석시스템의 기술적 개선사항

구분	기존	본 연구
신규 도로 기술의 적용 효과 분석	개별적으로 표준품셈이나 설계내역서를 입수하여 내역서상 물량을 통해 분석해야함	시스템에 최하위 세부공종별로 입력되어 있는 에너지 사용량 원단위를 사용하여 분석할 수 있으며, 기존 원단위가 없을 경우 추가로 입력하여 분석할 수 있음
분석 대상	도로의 시공단계에 대해서만 분석할 수 있음	도로의 시공뿐 아니라 운영과 유지관리 단계의 분석이 가능함
분석 범위	단위 기술이나 사업에 대해서만 분석 가능	시스템에 구축된 에너지 사용량 원단위를 사용하여 도로망에 대한 현황 및 미래 추정치를 분석할 수 있음

(다) LCC분석 시스템

○ 녹색도로기술 LCC 분석시스템은 도로분야 국내 최초로 세부단위 기술과제의 수행에 앞서 기술 타당성평가 및 사업평가가 가능하도록 구축된 생애주기 비용산출시스템으로, 한정된 정부 재원을 효율적으로 집행할 수 있도록 지원하는 시스템이다. 이에 다음 사항과 같은 부문이 기존 대비 기술적으로 개선되었으며 자세한 설명은 아래 표와 같다.

<표 4-2> LCC 분석시스템의 기술적 개선사항

구분	기존 연구	본 연구
도로 신기술 개발에 따른 총 연구개발비 산정	- 연구개발비 산정에 있어 표준화, 전산화된 양식이 없어 일률적이지 못함	- 도로 신기술 개발로 인한 총 비용을 산정할 수 있는 지식공유 플랫폼으로 개발
도로사업 표준공종분류체계 정립 및 DB 구축 (각 시스템 동일)	- 고속국도와 일반국도 설계, 시공단계 공종분류체계가 상이함	- 고속국도와 일반국도 설계, 시공단계 공종분류체계를 통합하여 표준공종체계를 정립하였으며, 이에 적합하도록 고속국도 5개, 일반국도 8개의 설계내역서 상의 공종단가를 DB화 시켰음
신규 기술 적용에 따른 시공, 유지관리비용 변화량 산정	개별적으로 표준품셈이나 설계내역서를 입수하여 내역서상 단가를 통해 분석해야함	-시스템에 입력되어 있는 Level 4단계로 구성된 세부공종체계의 단가를 사용할 수 있으며, 새로운 공법의 경우는 추가로 입력하여 공개 여부 설정에 기인하여 해당 기술 연구자뿐만 아니라 연계된 기술 연구자도 활용 가능하도록 설계되었음
유지관리단계 이용자비용절감 분석	-도로 확장사업이나 유지관리 재포장단계에 발생하는 사회적 편익인 이용자 비용 절감분을 산출하기 쉬운 공식 툴(Tool)이 없었음	-도로 공사 시 발생하는 이용자 비용(통행시간절감, 유류비저감, 온실가스저감, 환경오염저감, 소음저감에 대한 편익을 정량화) 산출 프로그램을 통해 편리하게 효과분석이 가능함

(라) 의사결정 지원시스템

○ 의사결정시스템은 소규모 녹색도로기술의 개발 및 적용의 투자적정성을 사전에 검토함으로서 한정된 정부 재원을 효율적으로 집행할 수 있도록 지원하는 시스템이다. 의사결정시스템은 크게 단위기술에 대한 평가를 진행하는 기술평가와 특정사업에 대한 녹색도로기술 적용효과를 검토하는 사업평가로 구분되며 기존 대비 기술적으로 개선된 사항은 다음과 같다.

<표 4-3> 의사결정 지원시스템의 기술적 개선사항

구분	기존 연구	본 연구
분석대상	- 500억 이상의 대규모 도로사업 -도로 부문 기술에 대한 평가시스템 부재	- 소규모 녹색도로기술의 개발 및 적용 - 분석대상(기술평가, 사업평가, 도로망평가)에 따라 탄소, 에너지·자원, 비용 및 이를 바탕으로 한 의사결정의 분석시스템이 상용화 시스템을 통해 통합적으로 이루어짐
분석방법론	- 기존 연구들은 주로 운영상에서의 비용과 편익을 검토	- 본 연구에서는 탄소가 적게 발생되는 녹색도로라는 측면에서 재료, 시공, 운영, 유지관리 등과 관련한 전반적인 도로 생애주기를 고려한 비용과 편익을 고려하고, 나아가 정책적 평가 측면도 고려
도로사업 표준공종분류체계 정립 및 DB 구축 (각 시스템 동일)	- 고속국도와 일반국도 설계, 시공단계 공종분류체계가 상이함	- 고속국도와 일반국도 설계, 시공단계 공종분류체계를 통합하여 표준공종체계를 정립하였으며, 이에 적합하도록 고속국도 5개, 일반국도 8개의 설계내역서 상의 공종단가를 DB화 시켰음

○ 상용화시스템 및 녹색도로기술 투자평가시스템은 앞선 세부 시스템들을 구축하고 연동시키기 위한 툴로서 작동을 하는 것이다.

다. LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발(1-3)

○ 도로분야는 '더 나은 삶을 위한 도로(Roads for a better life)' ,' 이동성 및 지속가능한 발전(Mobility, Sustainability and Development)'을 세계적으로 추구하는 추세로, 본 연구 결과는 도로의 건설과 관리 단계에서의 지속가능성을 제공할 수 있다.

○ 「저탄소녹색성장기본법」이 추구하는 기후변화 대응 및 에너지 목표관리가 도로분야 온실가스 감축목표의 단계별 목표설정이 가능하고, 목표달성을 위한 조기행동촉진, 경영지원, 기술적 조언 등의 지원이 가능하다. 도로의 계획·건설·운영 단계에서의 탄소제로화를 위한 법·제도, 녹색도로 인증제 및 프로그램의 개발을 통해 개발도상국 지원이 가능하다. 이는 OECD DAC(개발보조위원회)에 가입되어 있는 우리나라의 국제개발협력에 관한 기본정신에 준하는 것이다.

○ 또한 다음과 같은 기술적 기대효과를 기대할 수 있다.

- LCA를 고려하는 도로 설계 적용을 통한 에너지 및 자원 효율적 친환경 녹색도로 건설

- 정량적인 탄소배출량 산정 기법 개발로 도로 유형별, 공종별, 저감기술별 탄소배출량 산정 기술 개발로 녹색도로 구축 기여

- 도로계획단계에서 노선별 탄소배출량 산정 및 비교가 가능하므로 노선결정의 의사결정 수단으로 역할 가능

- 녹색도로 시설물의 탄소배출량 산정기법 정량화, 표준화 및 관리 가능

- 기존의 안전성과 경제성만을 고려한 도로설계에서 도로기하구조에 따른 탄소배출량 예측으로 탄소중립형 도로설계의 기반기술 마련

- 도로조건과 차량 운행조건을 동시에 고려한 탄소배출량에 대한 실차 측정을 통한 운행정보 도출 기술 확보

- 도로주변의 자연환경 훼손을 최소화하고 CO_2 발생량 저감을 기대할 수 있는 그린네트워크 도로설계 기술의 기본방향 정립

○ On-board 탄소배출량 측정장치 개발 결과는 주행 중인 자동차에서 실시간으로 탄소배출량을 측정할 수 있는 장치로서, 도로조건인 도로의 종단경사, 주행조건인 차속과 연료소모량 등, 차량조건인 차량하중을 동시에 분석해서 탄소배출량을 측정하기 때문에 각각의 조건인자가 탄소배출량에 미치는 영향을 정밀하게 분석할 수 있다.

2. 2세부 과제-탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발

○ 최근 녹색기술에 대한 연구는 전 세계적으로 광범위하게 이루어지고 있으며, 콘크리트에서 CO2를 저감하는 기술 역시 온실가스 저감을 위해 가까운 시일 내에 반드시 개발되어야 하는 기술로 평가받고 있다.

○ 우리나라의 경우 선진국에 비해 저탄소 콘크리트 개발연구가 매우 미흡한 실정이나, 그 동안 축적된 국내의 기반기술수준과 연구능력을 감안했을 때 시멘트 및 콘크리트 관련 CO2 발생량을 크게 줄일 수 있는 새로운 기술의 개발이 추진되고 있다.

○ 이와 관련한 연구는 다음과 같은 기술적 기대효과를 기대할 수 있다.

- 산업부산물 재활용 기반 기술 및 관련 기술 개발
- CO2 흡수제 관련 기술의 범용화 및 신소재 개발 활성화
- 도로재료 분야에서 친환경 소재 원천기술 개발 및 발전에 기여가 가능함

· 도로재료의 기술 향상을 통한 도로의 공용성 향상을 기대할 수 있음

- 도로이용자들에게 환경친화적인 도로 구현
- 녹색시대의 요구 성능에 부합하는 국내 원천기술 확보 및 발전 도모
- 친환경을 지향하는 토목 연구 분야의 새로운 패러다임을 제공할 수 있음
- 도로 기술 분야의 융합에 따른 신재료 창출달성

- 산업부산물을 이용한 자원재순환으로 경제성 향상

- 다양한 형태의 세미나, 브레인스톰, 교육 등을 통해 국내 도로관련 R&D 참여 전문가의 저변 확대

○ 본 연구과제의 성공적인 수행은 대기오염 방지기술과 시설물 설계의 융합과학으로서 녹색 도로교통의 조력자 역할을 하게 될 것이다.

가. 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발(2-1)

○ 분자화학, 생물학, 토목공학 분야를 접목시켜 광촉매 도로시설물의 개발 위한 것으로써, 친환경을 지향하는 토목 연구 분야의 새로운 패러다임을 제공할 것으로 기대한다.

○ 녹색시대의 요구 성능에 부합하는 국내 원천기술 확보 및 발전을 도모한다.

○ 저탄소 녹색성장을 위한 건설기술의 정책적인 측면에서의 기반을 확충한다.

○ 도로 설계 및 유지관리를 위한 합리적인 의사결정도구로의 활용 및 친환경성을 고려하는 도로 건설을 실시한다.

○ 광촉매를 도로에 적용하는 기술을 개발함으로써 기존의 도로에 친환경성을 도입할 수 있는 계기를 마련한다.

나. 탄소저감형 흙 포장 기술 개발(2-2)

○ 친환경 재료로 널리 알려져 있는 흙 포장의 시공이 늘어나고 있는 추세이로 기존 흙 포장 1km(폭 3.0m×두께 0.2m) 시공시 시멘트 사용량은 약 210ton으로 탄소저감형 흙 포장 기술을 적용시 164,220kgCO_2/km의 탄소배출량을 저감할 수 있으며, 일반 차도에 적용시 탄소저감 흙 포장 기술은 시멘트와 아스팔트를 사용하지 않으므로 탄소 배출량을 20% 이상 줄일 수 있다. 또한 기존 콘크리트 포장 기술에서 사용하는 장비 및 적용방식이 매우 유사하며 큰 비용 투자 없이 보도 및 자전거도로, 주차장, 부체도로, 일반 도로포장 공법까지 대체가 가능하다.

다. DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 기술 개발(2-3)

○ 도로 대기 중 CO2를 저감할 수 있는 혁신적인 기술 분야로 특허권 획득에 의한 국내·외 시장을 선점하고 이에 따른 미래 원천 기술을 확보하였다.

○ 실용화 및 제품화 주도 기업을 사전에 탐색하여 참여 유도가 가능하다.

○ 개발 시스템은 특허 등록을 통하여 실용화 제품에 대한 권리를 확보하였다.

제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

○ 탄소중립형 도로 기술개발은 도로분야에서의 탄소 배출량을 저감시킬 뿐 아니라, 녹색도로와 관련된 산업을 육성하고, 에너지 사용 및 온실가스 배출저감을 유도함과 동시에 친환경 도로 포장재료를 사용한 친환경 포장의 시장을 확장해 나갈 수 있으며, 다음과 같은 효과가 있다.

- 녹색도로 활성화 및 개발될 녹색도로 관련 기술시장의 확대
- 에너지 사용 및 온실가스 배출저감 유도
- 정부의 불필요한 재정투자 감소
- 국제 친환경 건설시장 경쟁력 확보 위한 교두보 역할
- 도로재료 생산 및 도로시공 시 발생 온실가스 감소로 탄소배출권 거래 유리

1. 1세부 과제-탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발

가. 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발(1-1)

○ 녹색도로 법제도는“탄소중립형 도로 기술개발” 과제를 통해 개발될 기술의 활용성을 높이기 위한 법적 근거 및 기반을 조성할 수 있는 중요한 부분으로, 이를 통해 녹색도로 활성화 및 개발될 녹색도로관련 기술시장은 크게 성장할 수 있다.

○ 녹색도로인증제는 녹색도로기술 보유 기업에 대한 인센티브 프로그램으로써 녹색도로 인증기업체의 육성을 책임질 수 있을 것이다.

＊미국 오레곤주의 경우, 녹색도로인증제 시행목적이 관련 산업부흥으로 응답

○ 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템의 개발로 녹색도로 관련 분야에서 시스템을 활용하여 녹색도로 설계 및 관리를 보다 체계적으로 진행할 수 있어 도로의 설계, 시공, 운영, 유지관리 분야에서 시행착오로 인한 시간 및 예산 낭비를 줄일 수 있을 것이다.

○ 녹색도로 인증 결과 이력을 기반으로 녹색도로 및 탄소중립형도로 기술과의 연계를 통하여 탄소저감 및 시너지 효과를 기대할 수 있다.

나. 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발(1-2)

(1) 탄소관리시스템

○ 시공단계에서의 탄소배출량 산정시 탄소관리시스템 개발 전에는 엑셀 등의 컴퓨터 프로그램을 이용해 수식을 입력하고 설계내역서를 분석하고 검증하는 방식을 통해 이루어졌기 때문에 자료 수집 후 분석 시간만 단위 건설 사업 하나당(왕복 4차로 5 km 건설 공사 기준) 2개월이 소요되며, 소요 경비는 약 2,000만원에 이른다. 또한 계산 결과의 오류와 신뢰도 검토를 위해 이루어지는 검증 절차는 자료 분석 후 1개월 정도 소요되며, 소요 경비는 약 1,000만원 이른다.[7] 반면

에 같은 작업을 본 연구를 통해 개발된 탄소관리시스템을 활용해 같은 작업을 수행할 경우 별도 비용은 발생하지 않으며, 자료 수집 후 분석 작업은 10일 남짓으로 1/6 수준으로 줄어들 수 있다. 또한, 수작업으로 탄소배출량 산정 시 가장 빈번하게 발생하는 DB 연결 오류와 계산 오류를 줄일 수 있으며, 분석 결과 검증을 위한 검증 비용을 줄일 수 있다.

○ 운영 단계와 유지보수 단계에 대한 탄소배출량 산정 및 검증 시 발생되는 비용은 일반적인 기업의 온실가스 인벤토리 구축 용역 단가 1,000만원, 검증 단가 1,000만원 적용 시 약 2,000만원의 비용을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

○ 건설업 온실가스 에너지 목표관리제 대응 비용과 비교 시 건설업체에서 기업내 온실가스 배출 명세서 작성 컨설팅 및 검증 비용이 평균 500만원인 점을 감안하면 주요 도로건설 업체인 30개 건설회사 외 협력업체까지 포함하면 경제적 효과는 더 커질 것으로 기대된다.

(2) 에너지자원 분석 시스템

○ 본 연구에서 개발한 에너지자원 분석시스템은 같이 개발된 탄소관리시스템과 기본적으로 기능과 구성이 매우 유사하므로 앞서 기술한 탄소관리시스템 사용에 따른 경제적 효과분석 내용과 마찬가지로 각종 분석 작업 수행에 대한 경제적 효과를 기대할 수 있다. 즉, 기존 수동으로 자료 수집 및 입력, 분석 등으로 많은 시간과 경비가 소요될 뿐 아니라 분석 결과의 오류 가능성이 크고 따라서 신뢰도에 대한 검증도 뒤따라야 했으나 본 시스템을 사용하게 되면 그러한 모든 절차를 자동으로 수행하게 되어 시간과 비용을 현격히 감소시킬 수 있는 효과가 있다.

○ 이뿐 아니라 사용자는 에너지자원에 대한 전문적인 지식이 없어도 시스템 가이드와 매뉴얼대로 에너지 분석 작업을 수행할 수 있으므로 전문가 활용비나 위탁용역비를 절약할 수 있는 경제적 효과가 기대된다.

○ 도로를 건설하고 관리하는 정부는 본 시스템을 활용하여 보다 과학적이고 근거있는 에너지 효율적 도로 건설 및 관리 목표의 설정과 관리를 함으로써 한정된 국가 에너지자원의 낭비 가능성을 줄일 수 있는 경제적 효과를 기대할 수 있다.

(3) LCC분석 시스템

○ 녹색도로기술 LCC분석시스템은 기술 개발의 타당성조사 단계나 기술 사업화단계에 발생 예상되는 비용저감효과를 정량적으로 산출하고 분석하기 위하여 개발된 것으로, 경제학적 지식이 많지 않은 기술 개발 연구자도 포털시스템을 통해 기술 개발, 적용단계에 발생 가능한 비용을 산정하고 이를 토대로 정책적, 경제성 평가와 연계하여 수행할 수 있도록 개발한 시스템이다. 따라서 연구개발 과제당 타당성 분석을 위해 소요하는 수 십만원에서 수 백만원까지의 전문가 활용비 및 위탁 용역비를 절약할 수 있는 경제적 효과가 있다. 또한 정부 부처 및 R&D 기술 개발 관리기관에서도 본 시스템을 활용함으로써 사업관리 차원에서 소요되는 비용을 절약할 수 있는 효

7) 연구진이 속한 기관에서 탄소관리시스템 개발 전 BtoB 방식으로 이루어진 'A 지역 고속국도 건설 공사 탄소배출량 선정 및 검토 용역' 추진 일정 및 용역 비용 참고

과 또한 발생한다.

(4) 의사결정 지원시스템

○ 녹색도로기술 투자평가시스템의 개발로 중복된 기술개발의 방지 및 개발되는 기술 간의 차이점을 제시해 줌으로 연구진행의 효율성을 증대시킬 뿐만 아니라, 정책결정자에게 각각의 개발기술에 대한 장·단점을 제공하여 효과적인 의사결정을 유도할 수 있다. 위와 같은 의사결정 지원과정은 직접적인 탄소저감 효과는 발생하지 않지만 녹색도로기술 간 비교/평가를 통한 기술수준 향상을 기대할 수 있으며, 이를 통한 간접적인 탄소저감 편익이 발생할 수 있을 것이라 판단된다. 또한 기술개발의 중복 방지 및 기술적용의 타당성 분석결과의 활용은 불필요한 자원의 소비를 방지하며, 녹색도로기술의 효율적 관리를 통한 예산 절감과 녹색도로기술 적용에 대한 의사결정 지원을 통한 사업 활성화를 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

(5) 상용화시스템

○ 상용화시스템은 G-TIES 상의 개별시스템을 보다 효과적으로 이용할 수 있도록 지원하는 시스템으로 이를 통해 해당 시스템의 정확성과 분석의 효율성을 증가시켜 이용자의 편익을 극대화 시킬 수 있다. 또한 상용화시스템의 현황조회 등을 통해 녹색도로 건설의 투자효과를 보다 쉽고 명확하게 파악할 수 있도록 제시함으로서 녹색도로사업의 시행에 긍정적 영향을 미칠 것이라 판단된다.

다. LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발(1-3)

○ 도로선형 및 차량에 따른 탄소배출량 산정, 탄소저감형 도로수목 시공, 유지관리 기술개발, 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발 등 새로운 저탄소 녹색기술로, 우리나라 건설사의 국가경쟁력이 크게 향상되며, 국제 탄소배출권에 대한 국가 국가경쟁력이 크게 향상될 수 있다. 또한 선진국에 비해 뒤처진 녹색기술 수준 향상과 관련 시장 형성이 가능하다.

○ 세계적으로 급팽창하고 있는 엄청난 규모의 탄소시장에 대응하고, 미국, 일본, 호주 등이 도입 실시중인'총량제한 배출권거래제'의 대비가 가능하고, 기업들로 하여금 효과적인 비용으로 도로분야 온실가스 감축을 추진할 수 있도록 '총량제한 배출권거래제'의 도입 근거 마련이 가능하다.

○ 녹색 도로 기술은 우리나라 총 연장 10만km 이상의 도로와 부속 시설물에 적용 가능하여, 최대 시장 규모는 2조원 이상으로 예상된다.

○ 녹색도로 건설 또는 국부적인 녹색도로 기술 적용을 위하여 해당 기술을 중앙정부, 도로공사, 지자체 등이 직간접 발주하여 시행할 수 있으며, 이를 통해 실질적 온실가스 감축 정책 수행이 가능하다.

○ 또한 다음과 같은 경제·산업적 효과를 기대할 수 있다.

- 탄소중립형 도로 건설 탄소저감 직·간접 효과를 포함한 녹색도로 투자효과 평가기술 확보를 통하여 정부의 불필요한 재정투자 감소 및 '저탄소 녹색성장' 탄소저감 목표 조기 달성

- 지속가능하고, 안전한 기반도로 시설 구축으로 국민들의 삶의 질을 향상

- 탄소중립형 도로설계에 따른 탄소배출량 저감으로 지구온난화 대응 비용 절감

- 도로건설을 위한 환경영향평가 및 설계 자료 마련

- 도로 노면특성에 따른 환경경제성평가 및 환경비용 산출 기준 마련

- 탄소저감을 고려한 도로 유지관리를 위한 기초 자료 구축

- 도로 환경과 경관기능의 제고를 통한 친환경 정책 추진의 기반 마련

- 국내 도로공사의 공사비용은 인력보다는 건설장비의 의존도가 높은 장비 집약적 산업으로 건설장비의 효율적 이용과 사용시간의 단축 기술의 기반 기술마련으로 에너지 감소효과 기대

- 온실가스 감축에 따른 지역단위의 배출권거래 (emission trading) 또는 외국과의 CDM(clean development mechanism) 사업으로 확장 가능

○ 본 연구과제의 결과물인 On-board 탄소배출량 측정장치를 활용하면 주행 중인 자동차의 탄소배출량을 각각의 조건별로 정확히 분석이 가능하기 때문에 육상물류 분야에서 온실가스 인벤토리 구축과 더불어 감축 방향을 선정하는데 도움을 줄 수 있다. 특히 물류효율화와 물류비용을 절감하는데 효과적일 것으로 판단된다.

2. 2세부 과제-탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발

가. 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발(2-1)

○ 광촉매를 통해 환경오염을 저감하고자 하는 녹색시대의 고객요구와 간접시설분야의 적용으로 파급력이 시너지효과를 나타낼 것으로 기대된다.

○ 도로재료 생산 및 도로시공 시 발생하는 온실가스 배출량을 감소시킴으로써 온실가스 감축정책 수행이 가능하고, 탄소배출권 거래에서 경제적으로 매우 유리하다고 판단된다.

○ 도로시설물에 대한 녹색기술 확보로 국내 시장 보호 및 세계 시장 진출로 국가의 경제성장의 동력원이 될 것으로 판단된다.

○ 온실가스 감축에 따른 지역단위의 배출권거래 (emission trading) 또는 외국과의 CDM(clean development mechanism) 사업으로 확장 가능하다.

○ 장비 및 기술 개발에 따른 해외 건설시장 개척이 가능하다.

나. 탄소저감형 흙 포장 기술 개발(2-2)

○ 흙 포장기술의 선진국으로 대표되는 일본의 경우, 친환경적인 자연 흙 포장 재료에 의한 흙

포장의 시장규모가 약 960억 엔으로 국도 도부현도로 미정비구간 약 31,000km(약 1,000km/년 정비) 중에서 약 30% 녹지대가 있다. 친환경 개발제품의 시장 점유율은 5%~10%로 예상되며 시장규모의 확대가 기대된다.

○ 현재 국내 탄소저감형 흙 포장관련 건설시장은 형성되지 않은 상태이다. 우리나라는 교토기후협약 및 저탄소 녹색성장 정책과 맞물려 2020년까지 온실가스 배출전망(BAU)대비 30% 감축을 최종 목표로 결정하여, 탄소저감형 흙 포장 시장은 커질 것으로 예상된다.

○ 2011년 기준, 연간 국내 도로부문 투자계획 중 5%를 탄소저감형 흙 포장의 시장규모로 볼 때, 탄소저감형 흙 포장의 시장규모는 3,600억 원 이상으로 예상된다.

○ 본 기술을 중앙정부, 도로공사, 지자체 등이 직간접 발주하여 적용할 수 있으며, 이를 통해 실질적 온실가스 감축 정책 수행이 가능하다. 도로 건설 및 유지보수 분야에서는 재료 생산 및 도로 시공시 발생하는 탄소를 저감시킬 수 있는 기술을 필요로 하며, 이에 따라 친환경 도로포장 재료 시장의 확대가 기대된다.

다. DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 기술 개발(2-3)

○ 유관 산업의 시장 확대를 통한 신산업 창출이 가능하다.

○ 국가정책인 녹색성장 정책에 부합하여 온실가스 및 대기오염물질 저감을 통한 삶의 질 향상에 기여한다.

○ 도로교통에 따른 대기오염은 국내만의 문제가 아니라 인구가 밀집되고 교통량이 많은 대도시의 환경문제로, 본 연구과제의 성과는 도로교통 환경문제의 일부분을 해결할 수 있는 해결방안이 될 것이며, 국내는 물론 해외에서의 시장성을 고려할 때 그 경제적 파급효과도 상당히 크리라 판단된다.

○ 현재 환경성 및 경제성을 고려한 대기 중 CO2 저감 분야의 연구가 없는 실정으로 이번 연구 및 개발로 인하여 관련 기술개발 활성화가 기대된다.

○ 본 연구개발은 혁신적인 기술 분야로 특허권 획득에 의한 국내·외 시장을 선점하고 이에 따른 미래 원천 기술력 확보에 이바지 할 것으로 판단된다.

제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

본 연구단의 성과로 녹색도로 법제도화는 국가정책을 지속적으로 추진할 수 있는 근거 및 기반이 될 것이며, 녹색 도로를 통하여 저탄소 녹색성장 구현에 따른 국가이미지가 개선되며, 기후변화협약 대응 및 저탄소 녹색성장의 건설 사업분야 대응 수단을 마련 할 수 있다. 구체적인 예는 다음과 같다.

- 향후 개발될 녹색기술의 활용성을 높이기 위한 법적 근거 및 기반 조성 및 녹색도로 활성화를 위한 법적 근거(안) 마련
- 한국형 녹색도로인증시스템을 통한 공공발주기관의 설계 및 시공업체 평가 등에 활용 가능
- 녹색도로 인증체계 개발을 통해 녹색도로기술 적용 활성화 가능
- 녹색도로 법제도화는 국가정책을 지속적으로 추진할 수 있는 근거 및 기반
- 국가 온실가스 인벤토리 구축 및 감축목표 설정에 기여
- 기후변화협약 대응 및 저탄소 녹색성장의 건설 사업분야 대응 수단 마련
- 향후 예상되는 저탄소 도로건설 시장의 전문 인력 양성
- 온실가스 감축에 따른 지역단위의 배출권거래 또는 외국과의 CDM 사업으로 확장 가능
- 장비 및 기술 개발에 따른 해외 건설시장 개척 가능

1. 1세부 과제-탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발

가. 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발(1-1)

○ 국가 차원에서 녹색도로인증제가 도입・적용된다면 향후 설계 및 시공업체 및 사업 평가 시 활용이 가능할 것으로 판단되며, 장래에는 법제도화가 되어 모든 도로시설물에 녹색인증제가 도입되어 추진될 것으로 판단된다.

＊녹색도로등급에 따라 예산 지원여부 결정 및 차등지원 등

○ 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템에 대한 다양한 홍보를 통하여 도로의 설계, 시공, 운영, 유지관리 분야에 녹색도로에 대한 접근 방법을 알려줌으로써 효과적인 녹색도로 건설 및 관리가 가능할 것이다.

나. 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발(1-2)

(1) 탄소관리시스템

○ G-TIES 내 탄소관리시스템의 사업평가를 활용하여 장래 사업계획을 반영한 기준치(Baseline)를 산출할 수 있기 때문에 이를 통해 타 교통 인프라 건설 및 운영 시 발생되는 탄소배출량을 별도로 산출하여, 기준치와 비교하고, 관련하여 장래 온실가스 감축목표 설정 시 적용할

수 있다. 또한, 일정규모 이상 신규도로 및 도로확장 사업의 예비타당성 분석 시 탄소관리시스템을 이용해 생애주기 탄소배출량을 예측함으로써 총 온실가스 저감량 산정과 데이터 기반 예비타당성 분석에 이바지할 것으로 기대된다.

○ 국가 R&D 사업을 통해 개발 중인 녹색도로기술과 같은 신기술의 탄소저감 효과를 정량적으로 산정할 수 있는 기술평가 모듈을 활용해 기술개발에 따른 탄소저감 효과를 산정할 수 있어, 도로의 탄소저감 계획 수립 시 활용 될 것으로 기대된다. 특히, 녹색도로기술의 탄소저감량의 산정은 분석 범위, 분석 조건 그리고 분석 방법에 따라 같은 기술이라고 하더라도 정량적으로 산정된 양이 달라지기 때문에 실제 효과에 대한 검증이 매우 어려운 상황에서 본 연구를 통해 개발된 탄소관리시스템을 활용해 탄소저감량을 산정했을 시 정책적으로 저감 로드맵과 기술개발 지원액 검토 시 파급효과가 적지 않으리라 판단된다.

○ 추가적으로 도로사업의 탄소배출량은 일회성으로 산정하는 것이 아니라 매년 지속적으로 보완하고 관리함으로써 궁극적인 목표인 탄소배출 저감을 이끌어 낼 수 있기 때문에 녹색도로 탄소관리시스템을 활용해 누적 데이터를 확보하여 보다 효율적인 탄소관리가 될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 현재 국토교통부에서 운영 중인 온실가스 에너지 목표관리제 관련 시스템, 포장관련 시스템, 도로설계 시스템 등과 데이터 연계를 통한 종합 관리대책이 수립된다면, 지속가능한 녹색도로의 건설 및 운영에 대한 파급효과는 클 것으로 기대된다.

(2) 에너지자원 분석 시스템

○ 기후변화 문제에 대응하기 위해 온실가스 배출을 저감해야 하는 필요성과 더불어 향후 에너지자원의 고갈 문제에 대응해야 할 필요성이 점차 증가될 것이며, 이에 따라 정부는 다른 분야와 더불어 도로분야에서도 에너지를 효율적으로 사용, 관리하고 있는가를 검토, 평가하고 대안을 마련해야 할 필요성도 증가될 것이다. 도로의 계획시부터 에너지자원의 효율적 사용을 위한 분석이 사전에 면밀히 이뤄져야 할 것이고, 건설된 도로를 운영하고 유지관리 할 때에도 에너지 사용과 생산을 과학적으로 분석하여 효율적으로 관리해야 할 것이다.

○ 본 시스템은 이 모든 필요성을 위해 개발되었다. 본 시스템을 활용하여 도로관리자인 정부는 보다 과학적이고 근거있는 에너지 효율적 도로 건설 및 관리 목표의 설정과 관리가 가능하여 한정된 국가 에너지자원 사용의 효율성을 최대화 시킬 수 있다. 이로써 에너지자원을 사용만하고 탄소를 배출시키기만 한다는 부정적 인식이 많은 도로에 대해 에너지 및 자원 효율적 친환경 녹색도로의 건설로 후세에 당당히 물려줄 수 있는 도로라는 이미지 개선 효과도 기대할 수 있다.

(3) LCC분석 시스템

○ 최근 도로산업은 신규 사업에 대한 투자가 감소하는 추세와 내부 건설경기 침체로 인하여 어려움을 겪고 있다. 더불어 도로산업 신기술 분야에서도 연구 개발 과정 중 경제성이 높지 않다고 결정되어 과제 종료 후 기술 사업화에 실패하는 과제가 종종 있다.

○ 이에 LCC 분석시스템은 G-TIES 통합포털시스템을 통해 기술평가, 사업평가 시 요구되는 비용변화 분석이 가능하고, 도로산업 분야에 선진화된 기술 적용을 촉진하는 효과 발생이 가능하다. 특히 녹색도로기술 사업 적용에 따른 사회적 비용인 이용자비용 절감분을 산정할 수 있어, 기술 개발 사전 타당성 평가단계에 정부 관련 부처 의사결정자에게 정확한 검증자료를 제공하여 도로분야 연구 R&D와 정책 예산 집행 계획 수립에 이바지할 수 있다.

○ 더불어 국토교통부의 도로 시설물 유지보수에 필요한 예산 집행 수립에 있어서도 신기술로 지정된 녹색도로기술을 적용하여 유지보수하고자 할 경우에 사업비 변경을 추정할 수 있기 때문에 투명한 예산 집행에 이바지 가능하다.

○ 또한 도로산업 신기술 개발 활성화에 따라 도로 수명 증대 및 유지보수 비용 저감, 도로 산업 고급 인력 양성 등 직·간접적으로 현 정부의 국정목표인 창조경제 실현에 이바지할 수 있다.

(4) 의사결정 지원시스템

○ 도로가 온실가스 다배출 시설물이기에 경제적 외부효과비용이 매우 크다고 하는 부정적인 이미지가 팽배해 있어 최근까지도 초기 건설비용 투자가 많이 발생하는 철도부문에 대해 교통분야 국가 예산이 많이 집중되었고, 세부적인 정책 사업도 이어져 왔다. 하지만 교통 인프라 중 철도는 장래 수요예측 오차에 대한 민감도가 커서, 광역도시 경전철사업과 같이 수요예측이 적절히 수행되지 않은 경우 막대한 재정손실이 사업운영기간 내내 지속적으로 발생하여 투자 리스크 범위가 막대하다.

○ 따라서 본 연구는 도로 온실가스 배출을 줄일 수 있는 저비용, 고효율 녹색도로기술을 중심으로 개발 및 실용사업 활성화를 유도할 수 있도록 투자지원에 대한 의사결정시스템을 완성함으로써 관, 산, 연 관련자가 도로시설 투자에 대한 계량적 자료기반 분석을 수행하고 평가 및 관리를 효율적으로 원활하게 진행할 수 있게 함으로써 그 효과가 클 것으로 기대된다.

(5) 상용화시스템 및 녹색도로기술 투자평가시스템

○ G-TIES는 녹색도로기술 및 사업화에 대한 데이터베이스를 지속적으로 누적하여 녹색도로기술 실용화를 위해 기술개발자와 평가자, 의사결정자를 연결하는 통합 플랫폼으로서의 기능을 수행하여 녹색도로의 투자를 유도하고 관련 산업을 창출하며 녹색도로로의 이미지 개선과 국가적 온실효과 감소 노력에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

다. LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발(1-3)

○ 도로설계에 있어서 현재 적용되는 설계속도 개념의 전통적인 설계기준을 탈피하여 주행속도 개념을 반영하고 탄소배출을 최소화할 수 있는 다양한 설계기법을 반영한 “그린네트워크 도로설계지침(안)”을 개발함으로써 시대 흐름에 부응하고 글로벌 스탠다드에 부합하는 도로설계기술을 구축하였으며, 국내 설계기술의 대외적 기술 우위를 과시할 수 있다.

○ 도로의 계획단계부터 시공·운영·유지관리를 포괄하는 생애주기 차원의 온실가스 저감과 지속가능한 시설물화를 유도할 녹색도로 인증제(Green Roads)가 도입, 활성화될 경우 탄소배출을 고려한 그린네트워크 도로설계기술과 탄소저감형 도로선형조합 설계시스템(LC-Road)은 활용도가 더욱 높아질 것으로 기대된다.

○ 본 연구성과물인 '탄소저감형 도로선형조합 설계시스템(LC-Road)'은 다양한 도로선형 기하구조 계획 및 탄소배출 관련 정보를 포함하고 3D 주행시뮬레이션을 통한 Feedback 등을 반영함으로써 향후 기술적 수요가 증대되고 있는 BIM 시장의 흐름을 반영한 수요 대체가 가능할 것이다.

○ 국가 인프라를 구축하는 도로 공사의 최적화 공정관리 기술을 정책적으로 공공차원에서 요구 및 주도함으로써 실질적인 산업체들의 국제 경쟁력 제고가 가능하며, 도로공사 건설장비의 최적화된 조합 및 운영을 통해 탄소발생량 저감, 도로공사의 공기 및 공사비 산출과 같은 향상된 공사 관리를 수행할 수 있는 합리적 의사결정도구로 활용 가능하다.

○ 도로공사 건설장비 조합의 영향요소를 도출함으로써 체계화된 장비선정의 자료를 제공하여 도로공사의 관리기술 향상을 도모 할 수 있으며, 도로공사에 사용되는 건설장비는 대부분 유류장비로써 건설장비의 효율적 이용과 사용 시간의 단축으로 저에너지 소모효과를 기대할 수 있다.

2. 2세부 과제-탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발

○ 개발 기술의 결과는 국가 온실가스 인벤토리 구축 및 감축목표 설정에 기여할 수 있으며, 도로 건설 및 유지보수 분야에서 온실가스 저감 계획에 전략적인 사업으로 추진될 수 있다.

○ 중앙부처 및 지자체의 온실가스 저감 계획안에 활용 가능하며, 건설분야의 적용으로 녹색산업분야 원천기술의 파급효과를 극대화 할 수 있다.

○ 온실가스 흡수/제어기술 개발 결과를 활용하여 친환경 도로시설에 대한 우수성을 홍보하고, 정부, 지자체, 관련 기업 및 연구자들에서 관련기술의 적용을 적극 권장함으로
써 기술의 적용 효과를 도모하고, 기술 발전에 기여할 수 있다.

○ 또한 다양한 형태의 세미나, 브레인스톰, 교육 등을 통해 국내 도로관련 R&D 참여 전문가의 저변 확대를 기할 수 있다.

○ 대기오염 방지기술과 시설물 설계의 융합과학으로서 녹색도로교통의 조력자 역할을 할 수 있다.

○ 도로변 주변 대기오염물질 저감으로 인한 지역 민원 발생 최소화 및 쾌적한 삶의 질을 향상시킨다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 향후 활용 방안

○ 탄소중립형 도로 기술개발은 도로분야에서의 탄소 배출량을 저감시킬 뿐 아니라, 녹색도로와 관련된 산업을 육성하고, 탄소 배출량 저감 및 흡수를 위한 혁신 기술의 개발로 국내외 시장 선점, 미래 원천 기술 확보 및 도로시설의 탄소관련 부정적 이미지 개선이라는 효과를 기대할 수 있다.

○ 녹색도로 건설을 위한 평가체계 개발을 통해 에너지 사용, 온실가스 배출저감, 대기오염 배출저감 등에 명확한 목표설정 및 관리를 가능케 하고, 도로시설물 자재/공법/장비 선정 지원시스템 개발의 기반기술로 활용될 수 있다.

○ 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템을 통하여 녹색도로 관련 기관 및 설계, 시공, 운영, 유지관리 분야에서 체계적인 녹색도로 관리가 가능하다.

○ 도로 유형별, 단계별, 공종별 탄소배출 통계 구축에 활용할 수 있다. 탄소관리시스템에는 국제적으로 통용되는 IPCC 2006 국가 인벤토리 구축 방법에 의거해 도로 시설물의 전과정에서의 탄소배출량을 산정할 수 있도록 구성되어 있어, 이를 활용해 사업 평가를 지속적으로 실시토록 유도함으로써 유형별, 단계별, 공종별로 탄소배출 통계를 구축해 지속적으로 관리가 가능하다.

○ 도로선형과 주행속도에 따른 탄소배출량 산정은 도로설계 요소별로 탄소배출량을 저감할 수 있는 도로설계에 활용 가능하다.

○ 도로공사 공정관리 및 장비조합 최적화를 통해 녹색도로 시공 방안 제시 및 탄소 배출 저감량 산정으로 녹색도로 시공 모델 현장에 적용가능하다.

○ 연구개발(도로시설물용 TiO2 콘크리트, 산업부산물을 활성화하여 CO2 포집격리 효능을 극대화한 환경친화적 소재)을 통해 도출된 핵심원천기술은 이후 실용화 연구를 통해 기술 상용화, 실증화 및 업체로의 기술 이전이 가능하다.

○ 개발된 DAC기술은 자동차 등 비점오염원에서 배출되는 대기 중 CO2를 저감할 수 있는 혁신적인 기술 분야로, 특허권 획득에 의한 국내·외 시장을 선점하고 이에 따른 미래 원천 기술 확보가 가능하다.

1. 1세부 과제-탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발

가. 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발(1-1)

○ 녹색도로 법제도는“탄소중립형 도로 기술개발” 과제를 통해 개발될 기술의 활용성을 높이기 위한 법적 근거 및 기반을 조성할 수 있는 중요한 부분으로, 이를 통해 녹색도로 활성화 및 개발될 녹색도로관련 기술시장은 크게 성장할 수 있을 것이다. 또한, 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템의 적용으로 녹색도로의 건설 및 관리 측면에서 탄소배출량 감소에 기여할 것으로 판단된다. 다음은 본 연구개발 사업에서 개발된 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템의 활용방안이다.

- 녹색도로인증제의 최종 수요자(end user)는 정부이며, 국가 차원에서 녹색도로인증제가 도입·적용된다면 향후 설계용역업체·시공업체 선정평가 및 사업 평가 시 활용 가능
- 녹색도로 건설을 위한 평가체계 개발을 통해 에너지사용, 온실가스 배출저감, 대기오염 배출저감 등에 명확한 목표설정 및 관리를 가능케 하고, 도로시설물 자재/공법/장비 선정 지원시스템 개발의 기반기술로 활용 가능
- 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템을 통하여 녹색도로 관련 기관 및 설계, 시공, 운영, 유지관리 분야에서 체계적인 녹색도로 관리 가능
- 녹색도로 인증시스템은 크게 모의인증과 관리자인증으로 구분되며, 모의인증은 일반사용자 입장에서, 관리자 인증은 인증기관(센터 등)에서 데이터베이스 관리와 모니터링 용도로 활용 가능

나. 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발(1-2)

○ 본 연구를 통해 개발된 녹색도로기술 투자평가시스템(G-TIES)는 다음과 같은 주체가 활용 가능하다.

(1) 국토교통부 등 정부 부처 및 산하기관, 지자체

- 기후변화 선제적 대응을 위해 정책적으로 G-TIES를 활용한 녹색도로기술 기술평가, 사업평가 시행 유도
- 첨단 도로 건설기술 개발, 적용 이력 확보 및 체계적 관리시스템 운영 유지
- 건설산업 내 도로분야의 탄소배출량 정량화를 위한 기초 DB로 활용
- 국토관리청 내 도로 신규 및 확장 사업에 대한 도로 지속가능성 기준 및 평가자료로 활용

(2) 국토교통기술진흥원

- 국토교통분야 신기술 개발 사전 효과평가 산출 및 평가시스템으로 활용

(3) 건설 엔지니어링 업체 및 시공사

- 건설산업 도로분야 탄소배출 Baseline 및 저감목표 설정 시 시공 공종별 인벤토리 및 원단

위, 시스템 활용

- 도로 신기술 개발단계에 향후 사업 적용 시 발생되는 효과 예측을 위한 사전 분석 및 평가



<그림 5-1> G-TIES 홍보 유인물과 기술 소개 모형

○ 개발도상국 도로산업 관련 분야

- 신규 도로사업 건설이 활발한 동남아, 아프리카, 중남미 국가에 최종 성과품 수출가능성 타진
- WB, ADB 등 ODA사업을 통해 국내 탄소저감 도로기술 해외진출 전략 수립에 지원

○ 개발 시스템은 도로사업의 선정 및 관리 평가 기법으로 활용할 수 있다. 탄소관리시스템을 활용해 정량적으로 탄소배출량 산정 시 공통적인 방법과 동일한 DB를 활용해 산정한 결과로 상호비교가 용이하다. 이를 활용하여 BTO/BTL 등의 민자사업, T/K, 기술제안설계 등 국가기관에서 도로 발주공사 시 탄소배출량 산정 항목에 배점을 부여하는 방안을 고려할 수 있다.

분 야	세부평가항목	배점(점)	비고
Ⅱ. 토목분야	1. 토목계획	10.0	
	(1) 사용자재의 적정성		
	…		
	2. 저탄소 녹색성장성	10.0	
	(1) 에너지 절감계획	3.0	
	(2) 자원절감, 자원재이용 및 친환경제품	3.0	
	(3) 탄소배출량 및 저감량 산정	4.0	

시설물별 탄소배출량 산정 기법 및 가이드라인 적용

<그림 5-2> 평가배점 기준 활용 예시

○ 본 시스템은 도로 시설물별 평가에도 적용할 수 있다. BTO/BTL 등의 민자사업, T/K, 기술제안설계 등 국가기관에서 도로 발주공사에 대한 설계 평가 시 본 연구를 통해 개발된 탄소관리시스템을 적용하여 입찰 경쟁사별 탄소배출량을 상호 비교가능하다. 특히 생애주기 단계별, 공종별, 범위별로 비교하여 체계적이고 구체적인 평가가 가능하며, 이를 통해 탄소저감 설계를 반영하도록 유도하여 도로 건설사업에서 발생하는 온실가스를 저감하는 수단으로 활용할 수 있다.



<그림 5-3> 설계 평가 시 설계 대안별 탄소배출량 분석

○ 또한 본 시스템은 성능보증지표로 활용할 수도 있다. 하수처리시설, 소각시설 등 폐기물 처리시설의 준공 후 3~6개월의 성능보증기간을 두어 해당 시설물 설계의 적정성을 평가하고 있다. 이에 착안하여 도로 설계 시 성능보증의 항목으로 탄소관리시스템을 활용하여 시공단계 탄소배출량을 산정하도록 하며, 준공 후 3자 검증 등의 방법을 통해 해당 도로의 탄소배출량을 산정하여 설계 시 사업자가 제시한 탄소배출량과 비교하여 성능 충족/미달에 따른 인센티브/패널티 제도를 도입할 수 있다.



<그림 5-4> 탄소배출량 성능보증 평가 프로세스(안)

다. LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발(1-3)

(1) 도로선형 및 차량에 따른 탄소배출량 산정

○ 본 연구에서 추진한 3가지 연구항목들은 모두 사회기반시설의 건설와 관리기법을 고도화하기 위한 연구로써, 도로 본연의 서비스를 가장 경제적/효율적으로 제공하기 위한 전략/정책의 정량적 분석에 활용가능하다.

○ 본 과업의 주요결과인 연료 및 탄소배출량 예측모형은 현재 국토교통부의 “교통시설 투자평가지침”의 도로부분의 편익분석 부분의 개정에 참조가능하다.

○ 포장파손모형은 현재 국도 및 고속도로의 포장관리시스템의 분석모듈로써 중장기 예산추정

에 활용 가능하며, 모형의 활용에 따라 포장재료, 시공법 등의 프로젝트 사후평가에도 활용가능하다.

○ 생애주기비용분석 모형은 탄소배출량의 최소화, 생애주기비용 최소화를 목적함수로 한 도로설계 및 유지보수 대안분석에 활용가능하며, 차량의 탄소배출정책분석에 활용가능하다. 또한, 동일한 기준하에서의 장래예산추정을 위해 각 도로관리기관들에게 배포하여 결과를 수집하는 절차를 통해 보다 현실적이고 객관적인 도로포장 관리예산의 추정이 가능하다.

○ 마지막으로 본 연구에서 다루고 있는 파손과정의 추정이나 리스크 분석, 생애주기비용분석 등은 현재 세계적으로 이슈가 되고 있는 자산관리를 뒷받침하는 기반연구로써도 큰 의미가 있다.

(2) 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발

○ 그린네트워크 도로설계 기술 개발로 도로부문에서의 탄소발생량 저감을 위한 설계프로세스 및 설계기법을 적용함으로써, 토목 · SOC분야의 기본 및 상세설계 단계별 탄소저감계획에 활용할 수 있다.

○ 도로계획시 자연환경 훼손을 최소화하고 CO2 발생량 저감을 기대할 수 있는 그린네트워크 도로설계지침(안)은 향후 국가 설계기준 및 지침에 반영하여 그 적용성을 확대할 수 있으며, 연구단에서 추진하는 녹색도로 인증제와 연계하여 그 활용도를 높여나갈 수 있다.

- 본 지침(안)은 향후 설계기준 및 지침으로 반영될 수 있도록 연구성과를 지속적으로 발전시킬 계획이며 후속연구를 통해 성과를 고도화하여 이에 따라 지침(안)도 내용을 지속적으로 보완할 계획임

○ 탄소저감형 도로선형조합 설계시스템은 기하구조 조건별 주행속도 및 탄소배출량 예측식을 프로그램화 함으로써 설계 실무자가 선형계획시 탄소저감을 위한 최적의 기하구조를 적용할 수 있도록 하였으며, 그 실무 적용성을 확대할 수 있겠다.

- 최근 BIM 솔루션 등 프로그램의 Global 차원 범용화 추세를 감안하여 평가시스템의 알고리즘을 Global 차원에서 검증하여 향후 실용화 및 활용성을 확보함

- 기하구조 및 도로시설물에 대한 주행속도, CO2 배출량, 속성정보 등 다양한 정보구축을 통하여 BIM 시장과 연계하여 향후 GS(Good Software) 인증 등 지적재산권 확보를 통한 국내·외 시장을 선점하고 이에 따른 미래 원천 기술을 확보

- 주행속도 일관성 및 탄소발생량 저감을 위한 도로 선형계획시 공용 프로그램으로 활용

○ 탄소저감형 도로시설물은 도로의 횡단요소 중에서 도로변 휴게소 등 환경시설대에 설치가 가능한 LID 시설물로 활용할 수 있다.

- 본 시설물은 시작품으로써 향후 보완을 거쳐 시제품이 제작이 필요하며 서울시를 비롯한 지자체의 도시부도로에 적용이 가능하며 시제품 완성 후 테스트베드를 거쳐 성능이 입증되면

사업화가 가능함

- 본 시설물은 시작품 제작단계로서 향후 보완을 거쳐 시제품으로 제작하고자 하며 시제품의 테스트베드 및 성능검증을 거친 후 신기술로 추진할 계획임

(3) On-board 탄소배출량 측정장치 개발

○ 물류회사에서 온실가스 인벤토리 구축을 위해 운행 중인 화물차의 탄소배출량을 모든 조건을 고려하여 측정할 수 있기 때문에 물류차량의 온실가스 인벤토리 구축 및 감축 옵션 선정에 많은 도움을 줄 수 있고, 물류량 통계를 분석하여 효율성을 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

○ 점점 더 짧은 시간에 첨단화되어 가는 자동차에서 가장 중요하게 부각되는 것이 안전분야인데, 그 중에서도 화물차의 안전은 더욱 강조되고 있다. 그래서 본 연구로 개발된 On-board 탄소배출량 측정장치의 핵심기술인 도로종단경사와 차량하중 측정기술을 기반으로 하여 차간거리를 측정할 수 있는 레이더센서 등과 접목하면 화물차의 안전거리를 유지시킬 수 있도록 유도하는 장치를 개발할 수 있기 때문에 화물차 교통사고를 예방하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 공법, 장비운용 등을 조합한 최적 녹색시공 기법 개발

○ 본 연구개발 결과는 도로시공 사업에서 친환경 공정 선택을 위한 의사결정을 지원함으로써 궁극적으로 환경부하량을 절감하여 환경오염으로 인해 소요되는 사회적 기회비용을 감소시켜 지속가능한 성장에 일조할 수 있다.

○ 개발될 녹색도로 시공 최적화 모델은 도로 공사의 공종 구성에 따른 탄소배출량을 계량화함으로써 궁극적으로는 건설관련 전 산업에 적용 가능한 친환경성 평가를 통해 산업 전반의 기술개선 및 관련업계의 성장에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 도로 공사 계획시 각 공정의 비교, 친환경자재 및 공정 선택 등의 의사결정을 지원하여, 궁극적으로 투자 대비 경제성을 평가할 수 있는 통합 솔루션을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

○ 현재 산업연관 방식인 원단위 방식 계산과정의 신뢰성이 부족하고, Case by Case 접근으로 다양한 형태의 계산에 한계가 있어 향후 건설 실무자가 접근하기 쉽고 재현성 높은 친환경 공정 선택 Tool로 활용 가능할 것으로 사료된다.

2. 2세부 과제-탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발

가. 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발(2-1)

○ 산업부산물을 활성화하여 CO2 포집격리 효능을 극대화한 환경친화적 녹색도로 소재 및 관련 특허 출원을 추진할 예정이다.

○ 현재 제작된 활성산업부산물 소재의 강도가 다소 낮아 도로 포장재료로 직접 사용하기 보다는, 1차적으로 도로연석과 같이 포장강도를 요구하지 않는 곳에 적용할 계획이며, 추후 강도 증진 방안을 심도있게 검토하여 도로포장시공에 적용 가능성도 지속적으로 연구할 계획이다.

○ 도로포장을 제외한 연석, 난간, 보도 등은 도로포장과 유사한 수준의 사용량이 예상되므로 탄소포집용 신재료의 개발은 상당한 의미가 있는 것으로 사료된다.

○ 최종 성과물의 적용 분야는 CO2 농도 저감과 포집이 주요 환경문제가 되는 도로포장 등을 들 수 있으며, 이들 도로포장 및 재료 건설 분야에 본 기술의 개발 성과를 우선적으로 적용할 계획이다.

○ 본 연구에서 개발한 활성화 산업부산물을 활용한 콘크리트의 이산화탄소 흡수 메커니즘 등 아직 명확하게 밝혀지지 않은 이론적인 원리 부분에 대한 연구도 지속적으로 진행할 예정이다.

○ 세계적으로 녹색기술은 향후 10~15년 동안 급속한 성장이 예상되며, 특히 정부는 녹색기술 분야를 국가 전략사업으로 인식하고 육성을 추진하고 있다. 본 기술은 이러한 국가 정책을 충족시키는 소요기술로 기여할 것이다.

○ 현재 국내에서는 광촉매 콘크리트 포장에 대한 친환경적 성능 및 관련 기술의 구체적이고 체계적인 연구가 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서 도출되는 결과를 활용하여 친환경 광촉매 콘크리트포장의 우수성을 홍보하고, 정부, 지자체, 관련 기업 및 연구자들에서 관련기술의 적용을 적극 권장할 계획이다.

○ 개발 기술의 실용화를 통하여 국내 친환경 포장 기술의 발전을 도모할 수 있을 것으로 기대된다. 나아가 본 연구를 통해 개발된 가시광 감응 광촉매의 경우 도로포장 적용뿐만 아니라 사회기반시설 및 전반적인 소재 활용이 가능할 것으로 판단된다.

○ 녹색도로 법제도는 탄소중립형 도로과제를 통해 개발될 기술의 활용성을 높이기 위한 법적 근거 및 기반을 조성할 수 있는 중요한 부분이며 이를 통해 녹색도로 활성화 및 개발될 녹색도로 관련 기술시장은 크게 성장할 수 있다.

○ 연구개발을 통해 도출되는 핵심원천기술은 이후 실용화연구를 통해 기술 상용화, 실증화 및 업체로의 기술 이전을 목표로 하며, 연구개발 및 현장 적용시에 구조물 건설 경험이 많은 산업계 전문가와 연구팀을 구성하여 개발된 성과를 곧바로 현장에서 활용할 수 있다.

○ 본 연구를 통하여 개발된 도로구조물용 TiO2 콘크리트 공법의 경우 콘크리트 포장, 항만 및 공항 등 다양한 콘크리트 구조물에 적용할 수 있으며, 이에 대한 후속연구가 가능하다.

나. 탄소저감형 흙 포장 기술 개발(2-2)

○ 본 연구에서 제시하고 있는 흙포장의 활용범위로는 산책로, 자전거도로, 주차장, 큰 하중을 받지 않는 도로, 제 3세계 국가의 주택 바닥처리 및 마을 진·출입로에 적용 될 수 있다. 우선적으로 산책로 및 자전거도로에 활용할 수 있도록 할 계획이며, 제 3세계 국가의 주택 바닥처리 및 마을 진·출입로에 적용할 수 있도록 관계 기관과 협력을 추진하고 있다.

○ 특히, 흙포장 설계 지침(안)의 경우 정책반영을 위하여 국가건설기준센터와 지속적으로 회의 진행을 계획하고 있다.

다. DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 기술 개발(2-3)

○ 연구성과의 상용화·제품화를 위해 관련 분야의 기업과 컨소시엄을 구성하여 향후 사업화를 위한 방안을 모색할 계획이다.

○ 개발기술의 해외진출을 위해 해외진출 희망 국내 건설사에 기술이전을 통해 해외사업 진출 지원이 될 수 있도록 기술을 제공할 예정이다.

○ 연구논문 발표 및 기술 강습회를 통해 국내 터널 및 관련 시설 설계기술자들에게 기술을 보급코자 한다.

○ 도로 이외에 터널 주변 및 지하보도, 지하철(역사) 등 지하공간의 CO2 저감에도 충분히 활용 가능하다.

○ 기존 고속도로, 국도, 지방도, 도시부 도로의 CO2 저감 방안 수립 시 적용 될 수 있도록 마케팅 계획 수립이 필요하다.

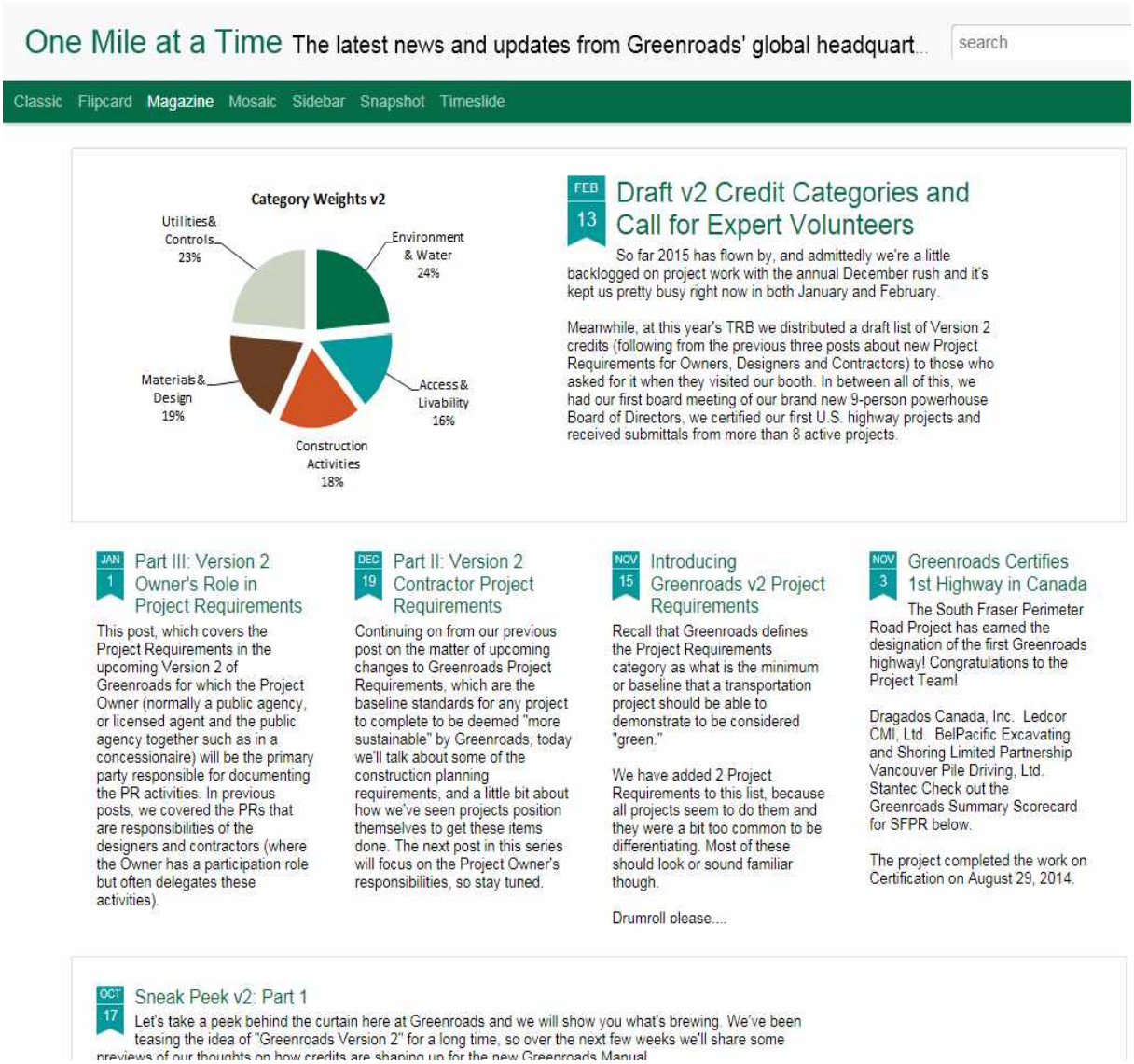
○ 향후 실용화 및 제품화 추진을 위한 추가연구 과제가 추진되어야 하겠다.

제2절 추가연구 필요성

1. 1세부 과제-탄소중립형 도로 제도 정립 및 설계 기술 개발

가. 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발(1-1)

○ 녹색도로인증제를 운영하고 있는 미국에서도 기술개발현황 및 개발속도 등을 반영하여 지속적으로 평가지표를 보완하고 있으며, 최근 새로운 평가지표를 내놓고 있고, 건축시설물 부분에 있어서 국내 친환경 인증기준이 지속적으로 보완되어 적용되고 있다.



* 출처 : https://www.greenroads.org/

○ 본 연구개발 사업에서는 녹색도로 도입의 활성화와 녹색도로인증제 도입을 위해 요구되는 법·제도의 개선방안을 제시하였으며, 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템을 개발하였다. 그러나 녹색도로인증제의 실질적인 도입 및 정착을 위해서는 국토교통부 및 해당 관련 부처와 면밀한 협의가 필요할 것이며, 녹색도로 인증시스템의 실효성 확보와 법제도 개정작업을 위한 명확한 근거

확보 등 다양한 연구와 업무진행이 추가적으로 필요할 것이다. 여기서는 향후 추가적으로 필요한 연구 및 Task를 중심으로 정리하고자 한다.

- 녹색도로 인증에 관한 다양한 사례연구를 통해서 신청인 스스로 인증여부 및 평가등급을 알 수 있는 방안에 대한 연구가 필요함
- 녹색도로 인증 이후 사후관리에 좀 더 구체적이고 실효성 있는 관리기준에 대한 연구가 필요함
- 현재 국내의 모든 도로가 환경훼손을 최소화하고 삶의 질을 높이는 지속가능성을 담은 도로환경 조성이 필요하나, 우선은 녹색도로 관리가 더욱 필요한 고속국도와 일반국도 등의 간선도로에 적용하여, 노선 전체를 인증하는 것으로 추진하였지만, 이는 매우 규모가 크고 종합적인 접근법으로 이에 부가하여 소규모 도로구간에서도 각 분야(평가항목 및 기준) 별로 인증 받을 수 있는 “분야별 인증” 추진이 필요함
- 녹색도로 인증제의 각 평가항목과 CO_2 발생량과의 명확한 관계에 대해 지속적인 추적 관찰, 보완, 보정 등이 필요하며, 이는 큰 비용이 필요한 연구로 판단되며 이를 위해서는 온실가스 등가 Factor 연구단을 만들어 지속적으로 연구를 승계할 필요가 있음.
- 녹색도로에 대한 인증기관이 존재하지 않으나 본 연구를 통하여 녹색도로에 대한 인증 및 모니터링 시스템이 개발된 상태임으로 녹색기술을 반영한 도로 건설·관리 분야에서 인증을 받기 위한 관리기관이 필요할 것임
- 녹색도로 인증 결과 이력에 대하여 기존의 도로관리 시스템(예: 포장, 교량, 터널 등) 또는 도로 통합관리 시스템과의 연계가 필요함
- 녹색도로 인증 시스템의 수요처(민간 도로 설계, 계획 기관)에 대한 인증 및 모니터링 시스템을 위하여 S/W를 공개용 및 관리용으로 구분할 필요가 있으며, 필요시 시장 확대 가능성을 모색할 필요가 있음

나. 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발(1-2)

○ “탄소중립형 도로 기술개발 연구단(2011.12~2015.3)”을 통해 완성된 녹색도로기술 투자평가 시스템(G-TIES)의 추가 연구 필요성에 대해서 기술하면 다음과 같다.

(1) 국가 정책적 필요성

○ 우리나라는 지속가능한 국토를 조성 및 관리하기 위하여 녹색기술 개발 및 실용화를 육성하고, 기후변화에 대한 환경적 영향을 최소화하기 위하여 인프라 건설, 시공을 꾸준히 관리하고 있다.

○ 2013년 12월 공식 출범한 유엔(UN)산하 국제기구인 녹색기후기금(Green Climate Fund, 인천 송도 소재)은 이산화탄소 증가로 인한 지구온난화, 그리고 다양한 기후변화로 피해를 입고 있

는 개발도상국의 피해를 줄이고자 이를 지원하기 위해 설립되었음. 저탄소, 기후회복력있는 지속가능한 발전경로로 패러다임을 전환하기 위해 개발도상국 기후변화 적응과 온실가스 감축 지원 사업에 2015년 하반기부터 102억불을 투자할 예정이다.



<그림 5-5> 녹색기후기금 창단식

○ 녹색기술센터에서는 특히 기후변화 대응을 위한 녹색기술 R&D 사업 활성화에 기여하고 있으며, Green Technology Performance Index 개발, 글로벌 녹색기술 개발 및 개도국 녹색산업 기반 조성 등 UN 지속가능 발전목표 달성을 위해 노력하고 있다.

○ 도로 등 국토 교통인프라는 시공, 운영 및 유지관리 시 건설자재, 에너지 등 다량의 자원이 투입, 온실가스가 배출되고 있다.(참조: 도로 시공단계, 건설자재 및 장비 사용에 따라 도로 전 생애주기 중 전체의 약 90% 온실가스 배출)

○ 국토교통부는 사회기반시설 전과정 온실가스 배출량 정량화를 위한 “시설물별 탄소배출량 평가방안 수립 연구”를 통해 탄소배출량 산정기법을 개발하고, 배출량 산정 기본 프로그램을 개발하였다.

○ G-TIES는 녹색도로 기술 개발 및 도로사업 적용에 대한 탄소, 에너지, 비용 항목의 생애주기(시공, 유지보수, 운영) 효과분석이 가능하며, 도로 신기술이 도로사업에 적용함으로써 발생하는 효과를 전국 GIS기반 도로망에 표출 가능하다.

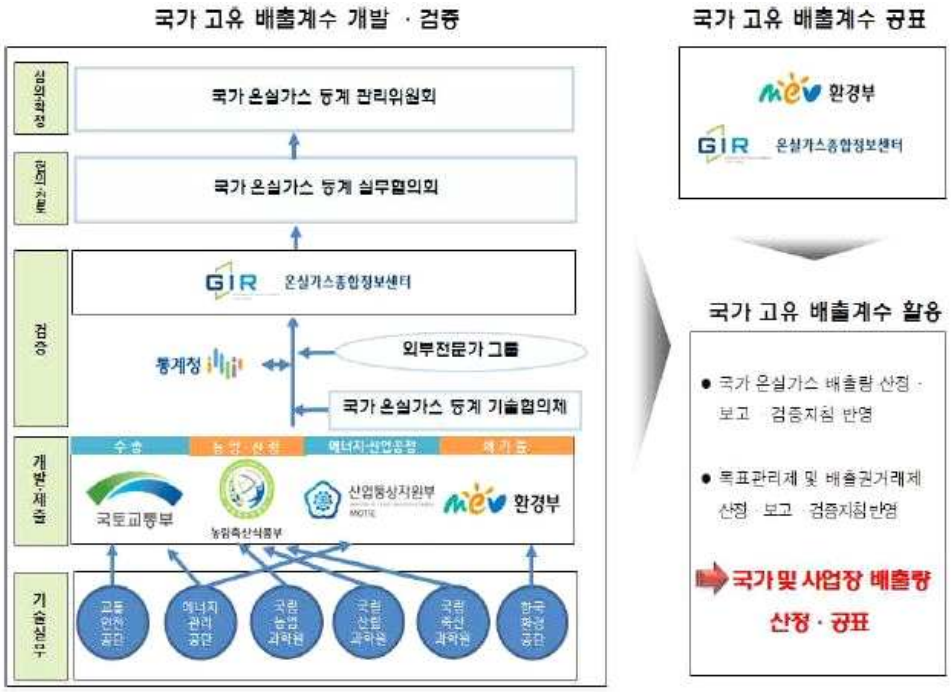
○ 특히 기후변화 대응과 관련해서는 시설물별 탄소배출량 산정기법 및 프로그램에 대한 보완연구를 하여 도로 연장에 따른 탄소배출량을 산정할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

이에 기 개발된 도로 탄소관리시스템은 국내 유일의 건설 시공, 유지관리 공종별 인벤토리 DB를 보유하고 있으므로 추가연구를 통해 건설산업 탄소배출권 거래제도 시행 사전에 당해 시스템의 정확성, 정밀성 향상을 통해 시스템을 추가 보완하는 것이 시기적절하다고 판단된다.

○ 개발된 인벤토리에 대해서 국가온실가스종합정보센터, 국토교통부, 환경부 등에서 추진하는 『국가 온실가스 배출·흡수계수 개발·검증 1차 계획(2015년~2019년)』을 관련된 절차를 이행하여 후속 연구에서 신뢰도를 높이는 작업을 수행할 예정이다.

- (체계) 관장기관 검증 신청 → 센터 및 외부전문가 팀 검증 → 국가 온실가스 통계 실무협의회 검토 협의 → 관리위원회 심의 확정 → 공표

· 필요시, 전문적·기술적 사항 논의를 위해 외부전문가 및 센터 담당자 등을 포함한 분과별 기술 협의체 구성 가능



<그림 5-6> 국가 온실가스 배출계수 검증 체계

(2) 국외 환경적 필요성

○ 미국 FHWA(연방도로청)는 도로의 지속가능성(Sustainability, 우리나라의 녹색성과 유사) 향상을 위하여 웹기반 실용프로그램인 INVEST Ver. 1.1를 최근 개발하여 활용에 박차를 가하고 있다.



<그림 5-7> 미국의 INVEST 웹페이지
(출처: http://www.sustainablehighways.org/)

○ 미 텍사스 교통부(Texas Department of Transportation)에서는 $750백만 항구 교량사업 평

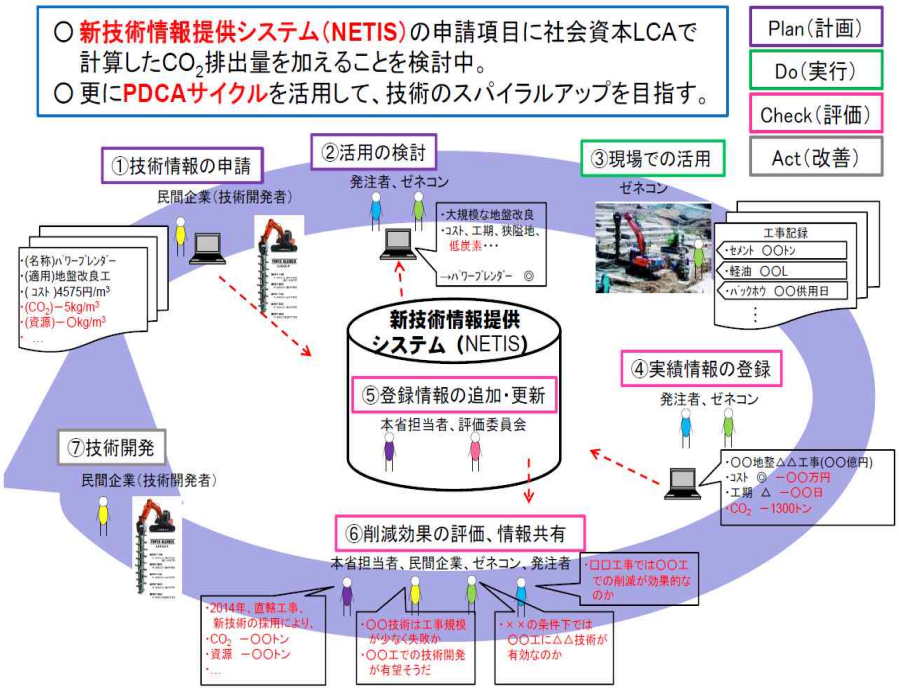
가에 활용하고 있다.

○ 미 교통사업기관(DOTs, MPOs 등 공공기관과 민간 사업체 포함)은 지속가능성 향상을 위하여 INVEST 활용을 통해 사전 연구를 자발적으로 진행하고 있으며, 사업의 생애주기인 시스템 계획(System Planning), 사업 개발(Project Development), 운영 관리(Operations and Maintenance)에 맞춰서 교통시설 서비스를 자체 평가하는 시스템을 운용하고 있다.

○ 미선진국 중심으로 건설업 배출 온실가스를 관리하고 이를 감축하기 위한 다양한 정책들을 펼치고 있으며, 이를 지원하기 위한 연구 역시 활발히 이루어지고 있다.

○ 영국에서는 2050년까지 건설업에서 온실가스 80%를 줄이기 위해 배출원별 감축목표를 설정하고 건설업 분야별로 감축시나리오를 설정할 수 있는 로드맵 모델을 개발하였다.

○ 일본에서는 국토교통성 국토기술정책종합연구소(NILIM)을 중심으로 건설업 내 적용 가능한 온실가스 배출계수를 개발하였다. 그리고 신기술정보제공시스템(NETIS) 신청항목에 탄소배출량 추가를 진행하고 있다.



<그림 5-8> 일본의 신기술정보제공시스템 내 탄소관리 추가
(출처: 일본 NILIM 내부자료)

○ 선진국의 기술추세에 맞추어 현재 개발 완료된 녹색도로기술 투자평가시스템(G-TIES)을 후속 사업으로 연계하여 G-TIES 고도화를 통해 선진 외국 수준의 도로사업 관리 및 지속가능성 확보가 필요하다.

(3) 국내 시대적 필요성

○ 앞서 1, 2 항의 내용과 함께 향후 미래 지구 온난화에 보다 선제적으로 대응하는 도로 건설 시스템의 기초를 마련하기 위하여, 우리나라 기후변화 대응 녹색도로기술 적용사업의 효과 산출

과 평가의 투명성을 확보할 필요가 있다.

○ 또한 건설기술의 발전으로 신공법/신자재 등 친환경공법 및 자재가 개발되어 설계 시 적용되고 있는 시점에서 해당 공법 및 자재에 적용할 수 있는 탄소배출계수, DB가 부족한 실정이며, 도로분야 탄소배출 저감을 위해 탄소배출량 산정에 활용되는 탄소배출계수, DB 및 공종별, 도로유형별 표준 원단위 산정이 필요하며, 현재 구축된 DB 및 원단위의 추가 검증이 필요하다. 특히, 각 도로의 지리적 위치 및 특성에 따라 공종별로 투입되는 자재 및 장비의 종류가 상이하여 표준화된 원단위를 제시하기 위해서는 다수의 사례분석을 통해 공종별, 시설별 원단위를 구축해야 하며, 지속적인 관리방안을 마련해야한다.



<그림 5-9> G-TIES 추가 연구 수행 전략

다. LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발(1-3)

○ 탄소저감형 도로선형조합 설계시스템의 주요 알고리즘인 주행속도 예측모형은 현장조사를 기반으로 이루어졌으나 본 과제에서는 다양한 차종을 전부 고려하지 못하고 일부 차종(승용차, 화물차)에 대한 주행속도 예측모형식만 개발이 되었으므로 향후 전 차종에 대한 현장 속도조사 및 예측모형식 개발이 필요하다.

○ 탄소배출량 모형의 고도화를 위한 향후 연구로써, 현 교통량 수집체계에 맞추어 12종으로 확대하여 모형을 구축할 필요가 있으며, 이를 위해 우선 대표차종에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다. 현실적인 모형의 구축을 위해 승객 수나 화물적재, 차량의 노후도에 따른 연료소모/탄소배출량의 모형화가 필요하다.

○ 본 연구를 통해 급출발, 과속, Fuel-cut 등 운전자의 운전행태에 따라 연료효율의 편차가 발생하는 것을 확인한 바, 이에 따른 경제운전에 대한 연구와 홍보가 시급하다.

○ 일반국도 이외의 도로(고속도로/지방도 등)에서의 주행속도 예측 모형 개발이 필요하다.

○ 또한, 탄소배출량 산정과정에서 환경부에서 제공한 차종별 탄소배출계수를 적용하였으나, 추가 연구를 통해 탄소배출계수에 대한 추가개발이 필요하며 이에 따른 검증과정도 필요하다.

○ 향후 과제에서는 주행속도 예측모형의 인자를 다양화한 개발이 필요하며, 운영단계 뿐만 아니라 다차원 도로설계를 통해 시공단계에서 발생하는 탄소배출량에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

2. 2세부 과제-탄소중립형 도로 재료 및 시공 기술 개발

가. 탄소저감형 흙 포장 기술 개발(2-2)

○ 본 연구에서는 화강풍화토를 대상으로 연구를 진행하였고, 이에 대한 시험결과를 제시하고 있다. 하지만 흙포장기술은 현장 주변의 흙을 사용하는 만큼 보다 많은 토사에 대한 자료를 축척할 필요가 있다. 이를 통해 우리나라에 존재하는 토사에 대한 최적의 배합비를 제시하고 현장에서 쉽게 사용하도록 지침 등을 제작 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

○ 또한 본 연구에서 목표로 한 도로의 대상은 산책로 및 자전거 도로로 한정적인 단점이 있다. 추가적인 연구를 통해 우수한 성능의 유기계 고화제를 개발하고, 흙포장의 강도와 내구성을 증대하여 일반도로 및 고속도로에 적용가능한 흙포장의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

나. DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 기술 개발(2-3)

○ 대기 중 CO2를 저감할 수 있는 혁식적인 기술 및 설비임을 감안할 경우 성능향상에 따른 Value의 가치가 높을 것으로 예상되는바 각종 유지보수 및 운영비용을 포함한 구체적인 경제성 평가가 필요하다(VE 기법 도입).

○ 또한, 포집 CO2의 재사용 방안에 대한 효율성 검증을 위해서는 CO2 재생 시 고순도의 CO2 포집효율 향상 및 포집 CO2의 화학전 전환에 따른 상품화 가능성 검증을 위한 추가 연구가 필요하다.

○ 이에 따른 경제성 평가를 수행하여 포집 CO2의 재사용에 따른 편익 분석도 병행하여 경제성 분석을 수행할 필요가 있다.

○ 또한, 현장적용을 위해서는 현장시험 성능평가 결과를 바탕으로 최적 설계 및 적용위치 최적화를 마련해야 함에 따라, 후속 연구과제 추진 후 지속적인 기술 개발이 필요할 것으로 판단된다.

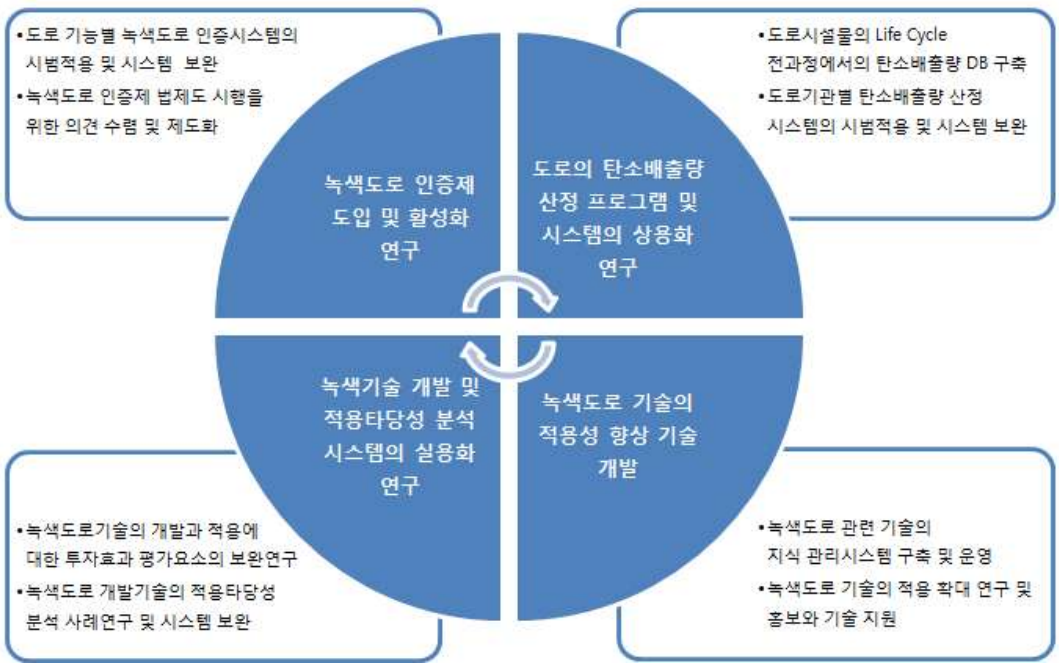
3. 추가과제 제안

○ 도로에서의 온실가스 및 오염물질 배출을 최소화하면서 도로 기능을 최적화 할 수 있는 녹색도로(Green Highway) 환경을 조성하기 위하여 국가 R&D로 연구개발된 녹색도로 인증제와 탄소관리시스템의 시범운영 및 탄소저감 설계기술의 시범 적용을 통한 실용화 연구의 추진이 필요하다.

○ 이를 위해 '녹색도로 인증제 도입 및 활성화 연구', '도로의 탄소배출량 산정 프로그램 및 시스템의 상용화 연구', '녹색기술 개발 및 적용 타당성 분석 시스템 실용화 연구', 그리고 '녹색도로 기술의 적용성 향상 기술 개발' 등이 추진되어야 하겠다.

○ 날로 심각해져가는 기후변화에 도로분야에서라도 대응하기 위해 발족된 '탄소중립형 도로기술개발 연구단'의 연구 실적과 성과가 한국형 녹색도로 구축의 밑거름이 되어, 향후 보다 발전된 연구들이 수행되어야 하겠다.

○ 또한 본 연구단의 연구성과는 단지 탄소배출량을 줄이는데 그치지 않고, 관련 산업의 육성 및 세계를 주도할 수 있는 최고의 선두주자가 되어 미래 먹거리 창출에도 기여할 수 있을 것이다. 지속가능한 사회와 국가, 지속가능한 지구와 인류의 미래를 위해서는 보다 폭넓은 이해와 기술 개발 범위의 확대, 지속적인 관리와 지원이 필요하다.



<그림 5-10> 향후 추진 주요내용

○ 본 연구단 과제 종료에 이어서, 국내 녹색도로 인증제 도입 및 탄소관리시스템 구축 운영을 위하여 국토교통부에 과제 제안을 한 바 있으며(제안과제1), 우선 시행되어야 할 내용에 대해서는 진흥원에 과제 제안을 하였다(제안과제 2, 3).

○ '탄소중립형 도로 기술개발기획'(2011)에서는 녹색도로 관련한 연구 중점분야를 CO2 배출 및 환경부하 저감형 도로 설계 및 시공 기술, 교통혼잡 감소 및 저탄소 교통관리가 가능한 도로 통합유지관리 기술, 도로에서 발생하는 CO2 포집 및 도로 생애주기 온실가스 배출량 산정 기술, 도로부지 및 시설을 이용한 에너지 하베스팅 기술 등으로 설정하였으며, 본 연구단 과제에서는 이중 일부만이 연구되었다. 본 연구단에서 정의한 바와 같이 탄소중립형 도로와 그린 네트워크, 도로에너지 하베스팅이 통합된 도로인 녹색도로가 지속가능 사회 안에서 제대로 구축되기 위해서는 녹색도로 설계·포장기술, 녹색환경, 녹색자원과 에너지, 녹색교통 등 4개 평가분야의 항목들로 이루어진 녹색도로 인증제의 시행과 함께 지속적인 연구개발이 이루어져야 하겠다.

가. 제안과제1 : 기후변화 대응형 도로건설 시스템 구축 연구

제안배경	○ 세계적 기후변화에 대응하기 위한 국가별 다양한 노력을 하고 있으며 지속가능한 저탄소사회의 구현이 요구되고 있음 ○ 우리나라 전체 온실가스 배출량의 16%를 차지하고 있는 도로분야에서 탄소배출량 저감을 위한 노력으로 국가교통 R&D '탄소중립형 도로 기술개발' 연구 수행('11.11-'15.3)하여 기본연구 및 기술개발 ○ 이의 실용화 적용을 통하여 도로건설 및 관리 단계에서의 정량적 탄소관리를 시행하고, 적극적 활성화를 위해 녹색도로 인증제 도입 운영 필요
연구내용	가. **녹색도로 인증제 도입 및 활성화 연구를 수행하여 인증제 도입** - 녹색도로 인증제의 도입을 위한 법제도(안) 마련 - 녹색도로 인증제 법제도 시행을 위한 의견 수렴 및 제도화 - 국도에서의 녹색도로 인증시스템의 시범적용 및 시스템 보완 나. **도로의 탄소배출관리 시스템의 상용화 연구를 통한 실용화 적용** - 도로시설물의 Life Cycle 전과정에서의 탄소배출량 DB 구축 - 도로의 탄소배출량 산정 프로그램 및 시스템의 보완 연구 - 도로기관별 탄소관리시스템의 시범적용 및 시스템 구축 다. **녹색도로 기술의 적용성 향상 방안 추진** - 녹색도로기술의 개발과 적용에 대한 투자효과 평가시스템 보완 - 녹색도로 기술의 관련 기준 및 지침 정비 및 보완 - 녹색도로 관련 기술의 지식관리시스템 구축 및 운영 - 녹색도로 기술의 적용 확대 연구 및 홍보와 기술 지원
기대효과	○ 녹색도로 인증제의 도입으로 도로설계, 시공, 유지관리 단계에서의 도로 녹색성 향상 ○ 탄소관리시스템 운영으로 도로의 효율적 탄소배출 관리 ○ 탄소저감 도로기술의 활성화로 지속가능한 녹색도로 건설 및 관리 시행

나. 제안과제2 : 기후 변화 대응형 도로시스템 구축을 위한 G-TIES 실용 사업화 연구
(G-TIES: Green highway Technology Investment Evaluation System)

연구목표	• 녹색도로 기술 투자평가시스템(일명 G-TIES) 적용 신규 DB 구축, 원단위 및 인벤토리 고도화, 시스템 반영 • 녹색도로 생애주기 탄소배출량 산정을 위한 탄소관리시스템의 기능 확대 및 고도화
연구내용	• **기후변화 및 환경적 영향 최소화를 위한 기술 투자평가시스템(G-TIES)에 대한 탄소배출 저감량, 에너지 소비량, 비용 등 효과분석 부분 보완/고도화 및 효율적 개선** - 도로 기술 적용 및 사업화에 대한 시공, 운영, 유지관리 표준공종체계 정형화 - 도로 세부시설물별 대표 공종 기대수명 예측방법론 개발 및 시스템 적용 - G-TIES 내 유저동선체계 개선, 시스템 DB 보완 • 건설산업 탄소배출권 거래제도 실시 대비 **도로분야 시설물 탄소배출량 산정 정확성, 정밀도 향상을** 위한 시설물별 인벤토리 및 원단위 지속적 보완, **탄소관리시스템 고도화, 홍보 및 교육** - 도로 전생애 탄소배출량 산정을 위한 기구축 인벤토리 및 원단위의 검증 및 관리방안 개발 - 도로 세부적 유형별 사례분석을 통한 신규 탄소배출 인벤토리 및 원단위 구축 - 탄소관리시스템 기능 확대 및 고도화
최종성과물 및 기대효과	• **녹색도로기술 사업평가 시스템(G-TIES Ver. 2)**(도로 탄소관리시스템 포함)의 보급을 통한 기후변화 대응형 도로 건설 시스템 구축으로 선제적 체계 마련 **- 국토관리청(5개 기관)별 1개 시범사업 실시** • 도로분야 탄소배출량 인벤토리 및 원단위의 고도화를 통한 탄소배출량 관리 효율성 증대 및 검증 비용 감소 기대(인벤토리 검증 비용 감소 1,000만원/건)

다. 제안과제3 : 주행속도 일관성을 확보하여 탄소배출 20% 저감이 가능하고 지속가능성이 확보되는 다차원 정보 기반의 도로설계 솔루션 개발

연구목표	● 도로설계요소별 다차원 정보(주행속도, 탄소배출량, 기하구조, 설계요소 등)를 구축하여 정보의 연계·관리·활용이 가능한 다차원 도로설계 Total Solution System을 개발함으로써 설계 및 시공, 유지관리시 다차원 설계정보의 연속성을 확보하고자 함
연구내용	- 주행환경, 도로 기하구조 조건을 반영한 주행속도 예측모형식 개발 - 주행속도 예측모형식을 기반으로 한 기하구조 조건별 탄소발생량 산정 - 주행안전성 확보를 위한 주행속도 일관성 평가기준 개발 - 도로설계 프로세스별 다차원 정보 구축을 위한 솔루션 시스템 개발 - 지속가능성이 확보되는 다차원 도로설계기법(선형, 횡단면, 시설물) 개발
최종성과물 및 기대효과	● 최종성과물 - 다차원 도로설계 Total Solution System - 지속가능성이 확보되는 다차원 도로설계지침(안) ● 기대효과 - “탄소배출이 저감되는 다차원 도로설계 Total Solution System”은 BIM 설계 적용성 검증을 통하여 2D기반 기존 솔루션의 대체가 가능하고 융합 기반의 진보된 도로설계 패러다임으로 전환이 기대됨

참고문헌

※ 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발

William L, Estimating the impacts of access management with micro-simulation, 2004.

Federal Highway Administration, INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS BENEFITS, COSTS, DEPLOYMENT, AND LESSONS LEARNED 2008 UPDATE, U.S.

Department of Transportation, Research and Innovative Technology Administration, 2008.

Federal Highway Administration, ITS Deployment Analysis System (IDAS) user's manual v2.3, 2003.

Karl E. Wunderlich, James A. Bunch, and James J. Larkin, ITS Impacts Assessment for Seattle MMDI Evaluation: Modeling Methodology and Results, Final Report, Mitretek Systems, 1999.

Christy Jeon, Adjo Amekudzi and Randall Guensler , Sustainability Assessment at the Transportation Planning Level: Performance measures and Indexes, 2008.

Gaines, Adrian, et al. Department for Transport: A cost recovery system for speed and red-light cameras－wo year pilot evaluation, Prepared by the PA Consulting Group and University College London for the Department for Transport, Road Safety Division. London, England. 11 February 2003. Benefits ID: 2007-00344

Alfonso Montella, Bhagwant Persaud, Mauro D'Apuzzo, and Lella Liana Imbriani (2012). Safety Evaluation of Automated Section Speed Enforcement System. Transportation Research Record, No. 2281, pp. 16-25.

Operational and Traffic Benefits of E-Z Pass to the New Jersey Turnpike. Prepared by the WILBUR Smith Associates, Inc., for the New Jersey Turnpike Authority. New Brunswick, NJ: Aug. 2001.

Klodzinski, Jack, Eric Gordin, and Haitham M. Al-Deek. "Evaluation of Impacts from Deployment of an Open Road Tolling Concept for a Mainline Toll Plaza," Paper Presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, DC. 21 - 5 January 2007. Benefits ID: 2008-00553

Lennon, L. "Tappan Zee Bridge E-Z Pass System Traffic and Environmental Studies,"

Paper Presented at the Institute of Transportation Engineers 64th Annual Meeting. Washington, DC. 1994. Benefits ID: 2000-00099

"Innovative Toll Collection System Pays Off for Motorists and Agencies," U.S. DOT Federal Highway Administration, Report No. FHWASA-97-088. Washington, DC. 1997. Costs ID: 2003-00036

Klondzinski, et al. "Impacts of Electronic Toll Collection on Vehicle Emissions." Paper presented at the 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C. Jan.1998

Saka, Anthony and Dennis Agboh. "Assessment of the Impact of Electronic Toll Collection on Mobile Emissions in the Baltimore Metropolitan Area," Paper Presented at the 81st Transportation Research Board Annual Meeting. Washington, DC. 13 - 7 January 2002. Benefits ID: 2005-00284

Bekir Bartin, Sandeep mudigonda, and Kaan Ozbay (2007). Impact of Electronic Toll Collection on Air Pollution Levels: Estimation Using Microscopic Simulation Model of Large-Scale Transportation Network. Transportation Research Record, No. 2011, pp. 68-77.

PATH's Learning, 1998.

Klodzinski, Jack, Eric Gordin, and Haitham M. Al-Deek. "Evaluation of Impacts from Deployment of an Open Road Tolling Concept for a Mainline Toll Plaza," Paper Presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, DC. 21 - 5 January 2007. Benefits ID: 2008-00552

Metropolitan Model Deployment Initiative: San Antonio Evaluation Report (Final Draft), U.S. DOT Federal Highway Administration, Report No. FHWA-OP-00-017, EDL No. 12883. May 2000. Benefits ID: 2007-00375

Detroit Freeway Corridor ITS Evaluation, U.S. DOT Federal Highway Administration, EDL No. 13586. July 2001. Benefits ID: 2007-00472

ITS Impacts Assessment for Seattle MMDI Evaluation.

Air Quality Benefit Study of Smart Traveler ATIS.

Genesis Field Operational Test Final Evaluation Report, 1997.

George C. Eads, Indicators of Sustainable Mobility, 2003.

CEEQUAL, 'Assessment Manual for Projects Version 4', 2008.

University of Washington, 'GreenRoads Abridged manual v1.5', 2011.

한국교통연구원, "한국형 회전교차로 연구정책지원 사업 연구보고서", 2013.

한국교통연구원, "녹색교통 이용확대를 위한 통행자 형태변화 유도방안 연구", 2011.

한국교통연구원, "녹색도로 등급체계를 통한 도로부문 온실가스 저감방안 연구", 2011.

한국교통연구원, "회전교차로 활성화 방안", 2011.

한국교통연구원, "완전도로(Complete Streets) 구현 방안 연구", 2011.

한국법제연구원, "저탄소 녹색도로를 향한 외국의 도로정책의 변화와 우리나라 도로정책의 시사점", 2011.

한국법제연구원, "일본의 저탄소 도시 만들기 가이드라인에 관한 법제연구", 2011.

한국도로공사, "저탄소 녹색고속도로의 현재와 미래", 2011.

국토해양부, "교통시설 투자평가지침 제4차 개정", 국토해양부, 2011.

국토해양부, 환경부, "환경친화적인 도로건설 지침", 2010.

한국교통연구원, "경부고속도로 평일 버스차로제 시행효과 분석 및 개선방안 연구", 2010.

지식경제부, "전기자동차 충전 인프라 구축방안", 2010.

한국건설산업연구원, "녹색성장 정책/제도의 추진 실태 및 개선방안", 2010.

한국교통연구원, "녹색성장 구현을 위한 도로부문 정책개발", 2009.

한국교통연구원, "2+1차로 도로 설계기준 개발", 2009.

한국도로공사, "저탄소 녹색성장을 위한 도로정책 및 기술", 2009.

정성봉, "교통부문 사회·경제적가치 평가항목의 개정을 위한 기초연구", 한국교통연구원, 2009.

지속가능경영원, "탄소성적표지제도의 이해와 활용", 2009.

이두헌 외, "녹색도로인증제도의 국내 적용성 검토", 한국건축시공학회, 2012.05

김현우 외, “녹색도로 인증제도의 환경개선효과 평가항목 개발을 위한 기초연구”, 한국건축시공학회, 2012.

박재우 외, “한국형 녹색도로인증시스템 프레임워크 연구”, 한국도로학회, 2013.

박재우 외, “한국형 녹색도로인증시스템 평가요소 개발 및 시범사례 연구”, 한국도로학회, 2014.

박재우 외, “한국형 녹색도로인증시스템 평가요소 개발(고속도로 및 국도 건설단계 중심)”, 한국건설관리학회, 2014.

한국건설기술연구원, “환경과 성장을 추구하는 지속가능 녹색도로”, 2010.

한국건설기술연구원, “환경친화적인 도로건설 정책연구”, 건설교통부, 2005.

한국교통연구원, “도로부문 온실가스 저감을 위한 녹색도로 등급체계 도입방안 연구”, 2011.

한국도로공사, “저탄소 녹색도로 인증제도 지표 개발 및 평가등급 설정 연구”, 2012.

토마스 카이트, “전문가를 위한 오라클 데이터베이스 아키텍처”, 2011.

백영일, “크리스탈 리포트 2008”, 2009.

이시환, “ASP.NET 4.5.1”, 2014.

한승희, “GIS이론 및 실습”, 2014.

The Greenroads RatingSystem,, http://www.greenroads.org

GreenLITES, http://www.dot.ny.gov/programs/greenlites

데브피아, http://www.devpia.com

SimpleIsBest.NET, http://www.simpleisbest.net

코드구루, http://www.codeguru.com

코드프로젝트, http://www.codeproject.com

OSGeo(Open Source Geospatial) 한국어 지부, http://www.osgeo.kr

GIS Developer(지리정보시스템 개발 블로그), http://www.gisdeveloper.co.kr

GIS 분석 전문 사이트, http://www.biz-gis.com

Eggleston H. S, Buendia L., Miwa K., Ngara T. dan Tanabe K.(eds), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.

Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea(2013), 2013 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2011), "A study on the calculation of carbon emissions in each facilities"(시설물별 탄소배출량 평가방안 수립 연구 최종보고서)", pp. 288~319

Hwang Y. W., Park K. H., Seo S. W.(2000), Assessment of CO2 Emissions from Road Construction Activities, Journal of the korean society of civil engineers, Vol.20, No.Ⅱ-1, pp.113~121.

Kwak I. H., Park K. H., Hwang Y. W., Park J. H. (2012), Development and Application of Carbon Emissions Estimation Methodology during the life cycle of road, Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol.34, No.6, pp.382~390.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2011), "Guideline for calculation of carbon emissions in each facilities(시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인)", pp. 7~26.

Ministry of Environment(2014), "National Greenhouse Gas Emissions Reduction Roadmap 2020(국가 온실가스 감축, 2020년 로드맵 마련)", p. 6

Park. K. H., Hwang Y. W., Seo S. W., Seo H. J.(2003), Quantitative Assessment of Environmental Impacts on Life Cycle of Highways, Journal of construction engineering and management, ASCE, Vol.129, No.1, pp.25-31.

ADB, 2010, Reducing Carbon Emissions from Transport Projects-Methodology for Transport Emissions Evaluation Model for Projects

Annema, J.A., Koopmans, C. and Wee, B.V., 2007, Evaluating Transport Infrastructure Investments: The Dutch Experience with a Standardized Approach.

DfT, 2005, Transport Analysis Guidance(TAG).

DfT, 2009, NATA Refresh: Appraisal for a Sustainable Transport System.

European Conference of Ministers of Transport, 2004, Assessment & Decision Making For Sustainable Transport.

Federal Ministry of Transport, Building and Housing, 2003, Federal Transport Infrastructure Plan 2003 - Laying the foundations for the future of mobility in Germany.

Federal Ministry of Transport, Building and Housing, 2005, Federal Transport Infrastructure Plan 2003 - Macroeconomic Evaluation Methodology.

Economic Evaluation Methods for Road Projects in PIARC Member Countries, 2004, World Road Association.

Commission for Integrated Transport, 2004, High Speed Rail: International Comparisons.

Jeon and M.ASCE, 2005, Journal of Infrastructure Systems, pp.31~50

Lard, J., Geurs, K. and Nash, C., 2007, Option and Non-Use Values and Rail Project Appraisal, Association for European Transport and Contributors.

Morisugi, H., 2000, Evaluation Methodologies of Transportation Projects in Japan, Transport Policy 7, pp.35-40.

Transport Analysis Guidance, 2005, Department for Transport, UK.

Transport Appraisal in other countries: lessons for the NATA Refresh, 2007, Institute for Transport Studies, University of Leeds.

Lee JR., D. B., 2000, Methods for Evaluation of Transportation Projects in the USA, Transport Policy 7, pp.41-50.

Nijkamp, P., Ubbels, B., Verhoef, E., 2002, Transport Investment Appraisal and the Environment, Tinbergen Institute.

OECD, 2002, OECD Guidelines towards Environmentally Sustainable Transport .

Odgaard, T., Kelly, C. and Laird, J., 2005, HEATCO Work Package 3: Current Practice in Project Appraisal in Europe, Deliverable 1/ Volume 1.

Rothengatter, W., 2000, Evaluation of Infrastructure Investments in Germany, pp. 17-25.

Strategic Rail Authority, 2003, A Guide to the Appraisal of Support for Passenger and

Freight Rail Services.

Vickerman, R., 2000, Evaluation Methodologies for Transport Projects in the United Kingdom, Transport Policy, pp. 7-16.

Federal Ministry of Transport, Building and Housing, Federal Transport Infrastructure Plan 2003 Macroeconomic Evaluation Methodology, 2005

FHWA, Guidelines for Life Cycle Cost Analysis, FHWA-NJ-2003-012, 2003

International Organization for Standards, ISO 14064-1, 3, 2006

International Organization for Standards, ISO 15686-5: Life-cycle costing, 2008

OECD, OECD Guidelines towards Environmentally Sustainable Transport, 2002

Transportation Research Board, Guidance for Cost Estimation and Management for Highway Projects During Planning, Programming, and Preconstruction, NCHRP Report 574, 2007

U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design, 1998

U. S. Government Accountability Office, GAO Cost estimating and assessment guide, 2009

Transport Infrastructure Project Cost Estimating Manual-Fifth Edition, Queensland Government, 2012

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013), Road Bridge and Tunnel Statistics(도로교량 및 터널현황)

Korea Expressway Corporation(2008), "Analysis of Life Cycle Cost on Pavement, Tunnel, Slope"(포장, 터널, 사면 생애주기비용(LCC) 분석 연구 최종 보고서) pp. 105~107.

Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(2012), "Road Design Manual".(국토교통부, 도로설계편람)

Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2013), "Road Maintenance Construction Statistics".(국토교통부, 도로보수현황 통계)

Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(2012), "Yearbook of Road Statistics".(국토교

통부, 도로 시설 현황 통계)

Korea Society for the Construction Advancement(2013), "Standard of construction estimate" (대한건설진흥회, 건설공사 표준품셈) pp. 568～591.

에너지경제연구원, 2008에너지통계연보(2009).

Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Peters, J.A.H.W. & J. Wilson (2011), Long-term trend in global CO2 emissions. 2011 report, The Hague: PBL/JRC.

International Organization for Standardization, ISO 14064 Greenhouse Gases(2006).

International Organization for Standardization, ISO 14064-1 Greenhouse Gases-Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals(2006).

International Organization for Standardization, ISO 14064-2 Greenhouse Gases-Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements(2006).

International Organization for Standardization, ISO 14065 Greenhouse Gases-Requirements for greenhouse gas validation and verification bodies for use in accreditation or other forms of recognition(2007).

Fei Deng, Greenhouse Gas Emissions Mitigation in Road Construction, Presentation for GHG Accounting and Analysis: Tools and Methodogologies for Development Finance Workshop, 2010

녹색성장위원회, 국가 CCS 종합 추진계획, 2010

녹색성장위원회, 녹색성장 5개년 계획, 2009

한국개발연구원, 예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구, 2000

한국개발연구원), 예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구(Ⅱ), 2001

한국건설기술연구원, 고속국도 및 일반국도의 적정 유지관리비 산정 연구, 2009

한국건설기술연구원, 설계대가체계 개선 연구(2단계), 2008

한국건설기술연구원, 도로 에너지/자원 분석 및 투자효과 평가시스템 기획 연구, 2011

한국도로공사, 고속도로 건설사업 환경영향평가 적용을 위한 온실가스 예측 및 저감대책 연구, 2009

한국환경정책평가연구원, CCS관련 해외 환경관리 제도 및 연구동향 분석, 2010

환경부, 환경부문 온실가스 배출량 inventory 작성 및 배출계수 개발, 2008

환경부, 온실가스・에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침, 2010

경기개발연구원, 도로유지관리비의 합리적인 배분방안, 2001

국토교통부, 교통시설 투자평가지침(제5차 개정), 2013

국토교통부, 2012 도로보수현황, 2013

국토교통부, 2012 도로포장관리시스템 최종보고서, 2013

국토해양부, 국도 건설공사 설계 실무요령, 2008

국토해양부, 도로공사표준시방서, 2009

국토해양부, 생애주기를 고려한 교량통합관리시스템 연구 용역, 2012

국토해양부, 생애주기비용 분석 및 평가요령, 2008

조효남 외, 기반시설물의 생애주기분석, 구미서관, 2008

지식경제부, 지식경제용어사전, 2011

한국과학기술기획평가원, 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판), 2011

한국개발연구원, 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판). 2009

한국개발연구원, 예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구, 2000

한국개발연구원, 예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구(Ⅱ), 2001

한국도로공사, 고속도로 LCC 기초자료 축적을 위한 DB구축 연구(최종보고서), 2010

한국건설기술연구원, 고속국도 및 일반국도의 적정 유지관리비 산정 연구, 2009

한국건설기술연구원, 설계대가체계 개선 연구(2단계), 2008

DfT, Transport Analysis Guidance(TAG), 2005

고길곤, 2007, 다차원 공공투자의사결정 문제에 있어서 정책분석가들의 의사결정 행태분석: 가중치 부여행위를 중심으로, 한국정책학회, pp.1003-1024.

고길곤, 하혜영, 2008, 정책학 연구에서 AHP분석기법의 적용과 활용한국정책학회보 제17권 1호, pp.287-312.

교통개발연구원, 2002, 일본의 도로투자 평가지침-번역서.

국토해양부, 2009, 2009년도 지적통계연보.

권태형, 2008, 공공사업 타당성평가에서 다기준분석의 의의와 한계: 예비타당성조사의 AHP평가기법 활용 사례를 중심으로, 한국공공관리학보 제22권 제3호, pp.31-51.

대한교통학회, 2006, 철도투자평가편람.

통계청, 2009, 2009년도 시군구별 주민등록인구(08.12.31 기준).

한국개발연구원, 1999년~2008년까지의 예비타당성 조사 보고서.

한국개발연구원, 2004, 도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판).

한국개발연구원, 2009, 도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판).

※ LCA 기반 탄소저감형 도로 설계 기술 개발

국토교통부 (2013), 국토교통부 고시 제 2013-633호 : 자동차 온실가스 배출계수 (Tier 2), 국토교통부

국토교통부 (2012), 국토교통부 고시 제 2012-142호 : 교통수단별 온실가스 배출계수 (Tier 2), 국토교통부

국토교통부 (2011), 교통시설 투자평가지침 (4차개정판), 국토교통부

김제원, 이수형, 유인균 (2012), “노면의 평탄성이 승용차의 연비에 미치는 영향”, 한국방제학회지, 제12권, 5호, pp.127-133

한대석 (2013), “포장파손과정의 지역적 불확실성에 대한 확률적 분해와 조합”, 대한토목학회논문집, 제33권, 제4호, pp. 1651-1664

한대석, 도명식 (2013), “도로포장자산관리를 위한 한국형 생애주기비용 모형 개발”, 대한토목학회논문집, Vol. 33, No. 4, pp.1639-1650.

한대석, 도명식, 김성현, 김정환. (2007), “이용자 및 사회-환경비용을 고려한 포장유지대안의 생애주기비용분석”, 대한토목학회논문집, Vol. 27, No. 6D, pp.727-740

AASHTO and FHWA (2012), NCHRP Report 720 : Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operting Costs, AASHTO and FHWA, U.S, Washington D.C.

Bennett, C.R and Greenwood, I.D., (2000), Highway Development & Management Series Vol. 7: Modelling Road User and Environmental Effects in HDM-4, PIARC, LaDefenseCedex.

FHWA (1998), Life-cycle Cost Analysis in Pavement Design: In search of Better Investment Decisions, FHWA-SA-98-079, FHWA, Washington, D.C.

Han, D. (2011). Development of Open-source Hybrid Pavement Management System for an International Standard, A doctoral thesis, Kyoto University, Japan.

Han, D., and Lee, S., (2014), “Stochastic Forecasting of Life Expectancies Considering Multi-Maintenance Criteria and Localized Uncertainties in the Pavement-Deterioration Process,” Journal of Testing and Evaluation (ASTM), Vol.44, No.1, pp. 1-13 (Online)

Han, D., Kaito, K., and Kobayashi, K.,(2014), “Application of Bayesian estimation method with Markov hazard model to improve deterioration forecasts for infrastructure asset management”, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 18, No. 7, pp. 2107 - 2119

Han, D., Kobayashi, K. and Do, M.,(2013), Section-based Multifunctional Calibration Method for Pavement Deterioration Forecasting Model, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.17, No.2, pp. 386-394

Huang Y. H. (2004), Pavement Analysis and Design (2nd eds.), Pearson Practice Hall, U.S, NJ.

Kobayashi, K., Do, M., and Han, D. (2010), “Estimation of Markovian Transition Probabilities for Pavement Deterioration Forecasting”, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 14, No. 3, pp. 341-351.

Kobayashi, K., Kaito, K., and Nam, L.T. (2011). “A Statistical Deterioration Forecasting Method using Hidden Markov Model for Infrastructure Management”, Transportation

Research Part-B, Vol. 46, No.4, pp.544 - 561, DOI:10.1016/j.trb.2011.11.008

Kobayashi, K., Kaito, K., and Nam, L.T. (2012), "A Bayesian Estimation Method to Improve Deterioration Prediction for Infrastructure System with Markov Chain Model", International Journal of Architecture, Engineering and Construction, Vol.1, No.1, pp. 1-13

Lancaster, T. (1990). The Econometric Analysis of Transition Data, Cambridge University Press, New York.

Madanat, S., Mishalani, R., and Ibrahim, WHW. (1995), "Estimation of Infrastucture Transition Probabilities from Condition Rating Data", Journal of Infrastructure System (ASCE), Vol. 1, No.2, pp.120-125

Markov, A. A. (1907), "Extension of the limit theorems of probability theory to a sum of variables connected in a chain", Physio-Mathematical College, Vol. 22, No.9

PIARC(Permanent International Association of Road Congresses) (2000), Highway Development and Management series: Vol. 1 ~ 7, PIARC, LaDefenseCedex

Tsuda, Y., Kaito, K., Aoki, K., and Kobayashi, K. (2006a). "Estimating Markovian transition probabilities for bridge deterioration forecasting", JSCE J. of Structural Engineering / Earthquake Engineering, Vol. 23, No. 2, pp.241s - 256s

Choi, Jaisung, Lee, Jong-hak, et. al. 2013. Acceleration and Deceleration Profile Development of Reflecting Road Design Consistency, International Journal of Highway Engineering, Vol. 15, No. 6. 95-103.

Lee, Jong-hak, 2013. Evaluation of Horizontal Alignment Alternatives Based on Levels of the Greenhouse Gases, University of Seoul.

Kim, Dongsoo, Park, J., 1999. Causes of rutting and deformation, International Journal of Highway Engineering, Vol. 3. 332-339.

Smith, D.R., Taylor, W., 2000. Speed and Accidents. Vol. I., Speed Observation and Management. 15th ed. Korea Road & Transportation Association, Seoul, Korea.

Park, Daehwan, 1996. Asphalt concrete and curing: Factors to consider. Page 29 in Proc. of 18th Conference of Korean Society of Road Engineers, Seoul, Korea.

Hong, dahee, et. al. 2005. development of predicting models for operating speed considering

of traffic operating characters and road alignment factors in express highways, master's degree at University of Seoul.

Kim, Jangook, et. al. 2009. Development of Predicting Models of the Operating Speed and Operating environment

Satisfaction Model in Expressways, International Journal of Korea society of Transportation, Vol. 27, No. 2. 117-131.

Al-Masaeid, H. R., M. Hamed, M. Abou-Ela, and A. Ghannam(1995), "Consistency of Horizontal Alignment for Different Vehicle Classes", Transportation Research Record 1500, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp.178~183.

American Association of State Highway and Transportation Officials(2001), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.

Barnett, J.(1997), "Safe Friction Factors and Superelevation Design," In Gutierrez, N. I., "A Model for Estimating Operating Speeds on Combined Horizontal and Vertical Alignments on Rural Two-Lane Highways," Ph. D. Thesis of Texas A&M University.

Crosstown Associates(2001), "Correlation of Accidnet Rates and Highway Geometric Features," in:Ezra Hauer, "Road Grade and Safety," Review of Literature for the Interactive Highway Safety Design Model.

Fitzpatrick K. 외 4인 (2003), "Exploration of the Relationships Between Operating Speed and Roadway Features", TRB, Washington, D.C..

Fitzpatrick, 외 10인 (2000), "Speed Prediction for Two-Lane Rural Highway," Report FHWA-RD-99-171, USDOT, FHWA.

Fitzpartick & J.M.Collins(1999), "Speed ProfileModel for Two-Lane Rural Highway," TRR 1737, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC,pp.7~15.

Fitzpatrick K. 외 4인 (2001), "Design Factors that Affect Driver Speed on Suburban Streets", TRB, Washington, D.C.

Lamm,R. 와 2인 (1993a), "Safety Module for Highway Design," unpublished manuscript, Institute for Highway and Railroad Engineering, University of Karlsruhe, Germany.

McLean, J.R.,(1978), "Speeds on Curves: Regression Analysis," International Report 2003,

Australian Road Research Board, Melbourne, Austraia.

McLean, J.R.,(1981), “Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Design,” Traffic Engineering&Control, Vol.22, Printerhall Limited, London, England, pp.208～211.

Islam, M.N., and Seneviratne, P.N.(1994), “Evaluation of Design Consistency of Two-Lane Rural Highways,” ITE Journal, February.

P. E. Rapp, T. R. Bashore, J. M. Martinerie, A. M. Albano, I. D. Zimmerman and A. I. Mees.(1989), “Dynamics of Brain Electrical Activity.”, Brain Topography, 2, 1&2, pp.99~118.

R. A. Krammes et al(1995), “Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-lane Highways, RD-94-034, FHWA.

강상준(2009), 탄소저감을 위한 친환경공간구성방안 연구보고서, 경기개발연구원

강호정 등(2002), 이탄습지 공극수대 용존유기탄소와 페놀계열 물질의 변화도

건설교통부(2007), 조경설계기준

경기개발연구원(2002), 경기도 가로수의 식재 및 관리 방안

경기도산림환경연구소(2011), 경기도 가로수 조성 및 관리방안

구본학(2009), 습지생태학, 도서출판 조경

국립산림과학원(2007) 산림 바이오매스 및 토양탄소 조사・분석 표준

국립산림과학원(2010), 산림 온실가스 인벤토리를 위한 주요 수종별 탄소배출계수. 국립산림과학원 연구보고

국립기상연구소(2009), 기후변화이해하기-IPCC 4차 평가보고서 실물그룹 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ 기술요약보고서 표와 그림을 중심으로-

국립산림과학원(2010), 도시녹지 온실가스 인벤토리

국토해양부(2011), 탄소중립형도로 기술개발기획보고서, 한국건설교통기술평가원

국토해양부·환경부(2010. 8), 환경친화적인 도로건설 지침

권영한 외 2인(2008), 환경성을 고려한 태양광, 풍력발전소 입지선정가이드라인, 한국환경정책·

평가연구원

그린스타트 전국네트워크(2009), 기후학교 교육프로그램 가이드북, 환경부

기후변화대책기획단(2008), 기후변화대응 종합기본계획, 국무총리실

김귀곤(2009), 기후변화 대응을 위한 한국의 ODA 전략 연구, 한국국제협력단

김동엽(2005), 토양탄소의 저장과 지구온난화 방지, 한국과학기술정보연구원

김엘라(2005), 도시근린공원의 생태계 평가에 관한연구-서울시 송파구를 중심으로-, 한양대학교

김정수(2008), 기후변화 대응 및 산리가치 증대를 위한 탄소흡수원 확보방안, 강원개발연구원

김태진(2013), 도로 이산화탄소 저감을 위한 가로 수종 선정 및 식재기준 연구, 한국산림휴양학회지

노관섭 외 2인(2012), 녹색도로 구현을 위한 탄소저감 도로 기술, 2012 한국도로학회 학술대회 논문집

녹색성장위원회(2010), 국가 CCS 종합추진계획

농업과학기술원(2000), 토양 및 식물체 분석법

류종현(2009), 강원도 저탄소 녹색실현을 위한 도시계획 방안, 강원발전연구원

박완근(1987), 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-year에 관한 연구

박은진 외 1인(2010), 경기도 도시가로수의 탄소저장량과 연간 이산화탄소 흡수량 산정, 한국환경생태학회지

박은진(2009), 도시 수목의 이산화탄소 흡수량산정 및 흡수효과 증진 방안

박인협 외 1인(1990), 국산4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구

산림청(2009), 가로경관 향상방안 연구보고서

산림청(2004), 가로수 조성 및 관리 사례집

서주영 등(2010), 수심의 정도와 식생의 유무에 따른 인공습지 토양 내 유기탄소와 질산염의 공간적 분포

설재훈·임재경 외 6인, 한국형 도로안전편람(KHSM) 개발 기초연구, 한국교통연구원

손영모 외 6인(2010), 도시녹지 온실가스 인벤토리-서울시를 대상으로-, 국립산림과학원

손영모 외 4인(2008), 산림부문 온실가스 흡수·배출계수 관리방안, 국립산림과학원

손영모 외 3인(2007), 우리나라 산림 바이오매스 자원평가, 국립산림과학원

손원표(2010), 경관·환경·디자인·인간중심 도로경관계획론, 도서출판 반석기술

안태원(2010), 저탄소 그린시티 구현을 위한 녹지계획지표 수립 연구-춘천시를 대상으로-, 강원대학교

염인섭(2011), 기후변화 대응 저탄소 녹색도시 계획체계 평가모형 개발 및 적용, 충남대학교

오순자 외 5인(2012), 이산화탄소 저감 수종 선발을 위한 제주도 주요 가로수의 대기 중 CO_2 흡수 능력의 비교분석

이경원(1999), 산림의 흡수효과를 고려한 한국의 이산화탄소 수지 분석에 관한 연구, 동국대학교

이경재 외 1인(1987), 경기도 광주지방 22년생 잣나무 및 신갈나무림의 물질생산과 무기영양분포. 임산에너지 7(1)

이경준(2000), 수목생리학, 서울대학교 출판부

이경학 등(2010), 교토의정서 대응 산림탄소계정 기반구축 연구, 산림청

이경학 외 3인(2007), 산림부문 온실가스 흡수원·배출원 인벤토리 평가, 국립산림과학원

이경학 등(2006), 기후변화협약 대응 산림부문 온실가스 통계 체계 구축, 국립산림과학원

이관규(2003), 아파트단지의 녹지 지속가능성 지표개발, 서울대학교

이인성 등(2011), 저탄소 녹색성장형 도시공원조성 및 관리운영전략 정책연구, 국토해양부

이자원(2010), 우리나라 기후변화와 관련된 재해에 대한 적응기법 개발 동향, 국토지리학회지

이준복 외 3인(1998), 조경수 이용을 위한 자생 팥배나무의 생태 및 생육특성에 관한 조사연구

인천발전연구원(2004), 간선도로의 중앙가로녹지대 확충을 통한 녹지축 조성방안 연구보고서

임혁(2010), 국내 조림사업을 이용한 이산화탄소 저감 잠재성 분석, 계명대학교

정성호(1985), 중부지방 주요 침엽수의 직경생장 추정에 관한 연구

정진헌 등(1998), 지역별, 임분별 산림토영 내 탄소량 추정, 국립산림과학원

정환도(2009), 나무심기와 저탄소도시 실현방안, 대전발전연구원

조현길 외 2인(2013), 직접수확법에 의한 상록성 조경수종의 탄소저감 계량분석, 한국조경학회지

조현길 외 2인(2013), 도시 상록 조경수의 탄소저장 및 흡수-소나무와 잣나무를 대상으로, 한국환경생태학회지

조현길 외 1인(2012), 도시 낙엽성 조경수종의 탄소저장 및 흡수, 한국조경학회지

조현길 외 1인(2000), 자연생태계 수목의 생장에 따른 탄소저장 및 흡수량 지표, 한국환경생태학회지

조현길(1999), 강원도 일부도시의 경관 내 탄소흡수 및 배출과 도시녹지의 역할, 한국조경학회지

조현길 외 1인(1999), 도심지와 자연지간 토양특성 및 탄소저감량 비교, 산림화학회지

조현길(1999), 도시식생의 관리에 의한 에너지소비 및 탄소방출, 한국환경생태학회지

조현길 외 2인(1998), 도시 주요 조경수종의 연간 CO2 흡수, 한국조경학회지

조현길 외 2인(1995), 도시녹지에 의한 CO2의 흡수-춘천시를 대상으로-, 한국조경학회지

최수림 외 2인(2006), 기후변화협약 하에 목재품 탄소계정 논의 동향 및 국내 탄소배출량에 미치는 영향 분석, 한국임학회지

최수림 외 2인(2006), 기후변화협약 하에 목재품 탄소저장 및 흡수량 지표, 한국환경생태학회지

평택시(2007), 평택시 가로수 기본계획 보고서

하남수(2013. 8), 도시기본계획에 나타난 탄소저감 전략에 관한 연구 - 뉴욕, 런던, 서울 도시기본계획을 중심으로

한국도로공사 조사연구부, 고속도로의 조경(Ⅰ)-기능식재론

한정수(2008), 수도권매립지 수목에 의한 CO2 흡수량 산정 및 증대를 위한 식생관리 방안 연구, 서울시립대학교

허기남(2001), 도시공원 이용자의 만족도 분석에 관한 연구, 조선대학교

한국건설기술연구원(2011), 국토해양기술연구개발계획서-탄소중립형 도로 기술개발, 국토해양부, 한국건설기술연구원

한국건설기술연구원(2011), 탄소중립형 도로기술 개발 기획 보고서, 국토해양부, 한국건설교통기술평가원

한국건설기술연구원(2010), 환경과 성장을 추구하는 지속가능 녹색도로, 브랜드총서2

한국도로공사 도로교통연구원(2011), 저탄소 녹색고속도로의 현재와 미래

한국도로공사(2009), 저탄소 녹색성장을 위한 도로정책 및 기술-고속도로를 중심으로-

한국조경학회(2007), 조경설계기준

환경부(2009), '기후변화대응 시범도시 평가보고회' 개최보도자료

환경부(2002), 환경부문이 온실가스 배출량 조사 및 통계구축

황상일 외 3인(2010), 식생과 토양의 역할을 고려한 저탄소 토지이용계획 수립방안(Ⅱ), 한국환경정책평가원연구원

황재웅(2012. 8), 도시공원의 이산화탄소저감 효용성 분석에 관한 연구 : 서울숲을 중심으로

Freeman 등(2004), Export of dissolved organic carbon from petlands under elevated carbon dioxide levels. Nature

IPcc(2007), 4th Assessment report. Integovernmental Panel on Climate Change. Japan's Official Development Assistance white Paper 2008, Ministry of Foreign Affairs

Jo. H. and McPherson. 2001. Indirect carbon reduction by residential vegetation and strategies in Chicago, USA. Journal of Environmental management

Maier, C.A. and L.w. Kress(2000), Soil Co2 evolution and root respiration in 11 year-old loblolly pine(Pinus teada) plantations as affected by moisture and nutrient availability. Can. J. for. Res.

McPherson and Simpson. 1998. Guidelines for tree planting to reduce atmospheric carbon dioxide in Chula Vista,CA. 1998. USDA forest Service Technical Report

Miline, R. and T. A. Brown(1997), Carbon in the vegetation and soil of Great Britain.

Journal of Environmental Management

Mills. E.(2005), Insurance in a climate of change. science

Miller robert, 1998. Urban Forestry, planning and managing urban green space, 2nd ed. Waveland press.

Nowak. David. 2000. The special selection, design, and management ti improve air quality. Proceedings.

Parton, W.J., D.S. Schimel, C.V. Cole, and D.S. Ojima(1987), Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. Soil Science Society of America Journal

Paul, E.A, and Clark, F.E.(1996). soil Microbiology and Biochemistry, Academic Press, San Diego, California

Schlesinger, W.H(1977), Carbon balance in terrestrial detritus. Annu. Rev. Ecol. Syst.

Schlesinger, W.H(1997), Biogeochemistry: an analysis of global change. Academic. San Die 해. California.

Sharkey. T.D(1998), Estimating the rate of photorespiration in leaves. Physiol. Pant.

Song, K., Lee, S.-H., mitsch, W. J. and Kang, H(2010), Different responses of denitrificationrates and denitrifying bacterial communitiesto hydrologic plusing in created wetlands. Soil Biology and Biochemistry

국립산림과학원 http://www.forest.go.kr/

기상청 기후변화정보센터 http://www.climate.go.kr

산림청 http://www.forest.go.kr/

에너지경제연구원 http://www.kieer.re.kr

환경부 환경종합정보서비스 http://etips.me.go.kr

환경부 기후변화홍보포털 http://www.gihoo.or.kr

건설교통부(2007), “수해예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼”

건설교통부, 환경부(2004), “환경친화적인 도로건설 지침”

건설교통부(2004), “환경친화적인 도로건설 편람”

국토해양부(2008), “국도건설공사 설계실무요령”

국토해양부 · 한국건설교통기술평가원(2010), “도로 선형설계 안전성 평가 기술 개발(5차)”

국토해양부 (2012), “도로설계기준”

국토해양부(2013), “도로설계편람 제11편 경관”

국토교통부 (2013), “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설”

김석택(2012), “울산 도심녹지의 탄소흡수원 확보 및 저감방안 연구”, 울산발전연구원

김영호 외 3인(2012), “평균차속을 이용한 교통부문 온실가스 배출량 산정모형의 보완방향”, 대한교통학회지.

김용석 · 조원범(2005), “도로 설계속도, 주행속도, 제한속도의 관계 분석 연구”, 대한교통학회지 제23권 제7호

김종민 외(2012), “교통안전을 고려한 도심형 중앙분리대 설치기준 마련에 관한 연구”, 한국도로학회지논문집 2012(14):35-43

김홍주(2009), “저탄소사회를 향한 지방정부의 탄소제로 도시정책 연구”

도충현 외(2010), “도로다이어트를 위한 차로폭 설계 기준에 관한 연구”, 한국도로학회논문집 /12

독일 도로교통 연구협회, “RAS(RA Strassen, 도로시설 규정)”

손원표(2010), “경관·환경·디자인·인간중심「도로경관계획론」”

손원표(2010), “아름답고 새로운「도로공학원론」”

원민수 외 2인(2011), “차량 속도패턴에 따른 연료소모량 관계식 산정”, 대한교통학회지 제65권 제4호

이강식 · 이명식(2009), “탄소중립단지의 계획요소기술에 관한 연구”, 대한건축학회

이광훈(2001), “환경친화적 도로구현방안 연구”, 서울시정개발연구원

이승용(2010), “도로 중앙분리대 시설의 선호도 분석에 관한 연구 : 서울특별시 자동차전용도로를 중심으로”, 한양대학교 대학원 석사학위논문

이윤석 외 1인(2011), “고속도로와 국도에서 차량 당 탄소가스 배출량 비교 연구”, 한국도로학회 논문집

이재준(2005), “한국형 생태도시 계획지표 개발에 관한 연구”, 국토계획 제40권 제4호

이정(2005), “고속도로 비탈면 경관의 법면공법에 따른 시각적 이미지와 조화성 분석”, 한국조경 학회지 33(1) : 33~48.

이정기 외 5인(2010), “자동차 급가감속에 따른 연비 및 온실가스에 미치는 영향”, 한국자동차공학회 정기학술대회 및 전시회.

지승운(2010), “저탄소 녹색주거단지 설계요소 중요도 분석에 관한 연구”, 한양대 석사학위논문

최인구(2006), “Operating Speed를 고려한 설계속도 적용방안”

최재성 · 이종학 · 정상민 · 조원범 · 김상엽 (2013), “설계일관성을 반영한 감가속도 프로파일 개발”, 한국도로학회지 제15권 제6호

최준규(2002), “환경친화적인 도로노선 선정을 위한 정량적 평가기법 개발에 관한 연구”

한국개발연구원 (2008). “도로・철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정・보완연구(제5판)”

한국건설기술연구원(2012), “저탄소 녹색도로 인증제도 지표 개발 및 평가 설정 연구”

한국환경공단(2012), “녹색도시 평가지표”

한동희 외 2인(2012), “차량 온실가스 배출량의 도로 종단경사 영향 분석”, 대한교통학회 추계학술발표회

행정안전부(2011), “지역 녹색경쟁력 지표”

환경부(2013), “건강한 물순환 체계 구축을 위한 저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인”

환경부(2009), “도시녹지네트워크를 위한 녹색길 조성사업 가이드라인 작성 연구”

환경부(2010), “생태통로 설치 및 관리지침”

환경부(2007), “전략환경평가 제도의 효율적 운영기법 마련을 위한 연구”

AASHTO(2011), “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”

Austroads(2010), “Guide to Road Design : Part 3 : Geometric Design”

Jonghak Lee(2013). “Evaluation of Horizontal Alignment Alternatives Based on Levels of the Greenhouse Gases”, Ph.D. Dissertation, Dept, Transportation Engineering, Seoul City University.

Krammes, et al(1995), “Horizontal Alignment Design Consistency for Two-Lane Rural Highways”, FederalHighway Administration, Publ. No. FHWA-RD-94-034.

Lamm, R. et al (1999), “Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook”, McGRAW-Hill, 1999, USA.

SETRA(1994), “AMÉNAGEMENT DES ROUTES PRINCIPALES”

엄명도, 박경균, 류정호, 김대욱, 한종수, 김종춘, 이태우, 이성욱 (2008), “CVS-75 모드를 통한 국내 운행차 CO2 배출특성 연구”, 학술대회 논문

이용규, 위효성, 박진일, 이종화 (2008), “FTP-75 공인연비모드에서 Phase1과 Phase3 연비 차이 원인 분석 연구”, 학술대회 논문

조용석, 안재원, 박영준, 김득상, 이성욱 (2007), “가솔린기관의 시동시 기관 제어변수가 배기가스온도 및 시동성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구”, 한국자동차공학회 논문집

김경식, 강소정, 배보람, 권진선, 박재형, 이정식 (2012), “상용차 차내장치를 활용한 실시간 관리기술 개발 기획보고서”

온실가스종합정보센터 (2014), “2013 국가 온실가스 인벤토리 보고서”

조진호 (2007), “내연기관공학”, 학연사

이승호, 이준서, 정용근, 홍성인 (2013), “기본 자동차공학”, 골든벨

김철수 (2014), “친환경자동차”, GS인터비전

정용일, 이진욱, 조규백, 김홍석 (2010), “자동차와 환경”, 숭실대학교출판부

김상섭, 박성태, 박태원, 백윤경, 이덕영, 홍동표 (2004), “차량동력학”, 진샘미디어

최연선, 기창두, 백윤수, 유완석, 이병훈, 이종길 (2011), “동력학”, 교보문고

김성필 (2010), “(MATLAB® 활용) 칼만필터의 이해”, 도서출판 아진

정헌술 (2005), “MATLAB 제어시스템 해석 및 설계”, 도서출판 아진

김재휘 (2012), “자동차가솔린기관(오토기관)”, 도서출판 골든벨

ISO (2004), “ISO 15765-2 Diagnostics on Controller Area Networks(CAN) Part2 Network Layer services”

ISO (2004), “ISO 15765-3 Diagnostics on Controller Area Networks(CAN) Part3 Implementation of unified diagnostic services”

ISO (2005), “ISO 15765-4 Diagnostics on Controller Area Networks(CAN) Part4 Requirements for emissions-related systems”

ISO (2005), “ISO 15031-5 Diagnostics on Controller Area Networks(CAN) Part5 Emission-related Diagnostic services”

ISO (2006), “J1939-11 Physical Layer, 250K bits/s, Twisted Shielded Pair”

ISO (2006), “J1939-21 Data Link Layer”

ISO (2004), “J1939-31 Network Layer”

ISO (2008), “J1939-71 Vehicle Application Layer”

ISO (2005), “J1939-73 Application Layer-Diagnostics”

ISO (2003), “J1939-81 Network management”

국토교통부, http://www.molit.go.kr

산업통상자원부, http://www.motie.go.kr

통계청, http://www.nso.go.kr

한국석유관리원, http://www.kpetro.or.kr

한국자동차산업협회, http://wwwkama.or.kr

현대자동차, http://www.hyundai.com

네이버, http://www.naver.com

남영무역, http://www.namyeoung.co.kr

넷케이티아이, http://www.netkti.co.kr

위키피디아, http://www.wikipedia.org

Petschacher, http://www.petschacher.at

건설교통저널, http://www.ltm.or.kr

유디코, http://www.judico.co.kr

권석현, “건설사업의 환경경제성 평가모델 개발”, 중앙대학교 박사학위논문, 2008

박광호, “건설사업의 환경적, 경제적, 사회적 평가를 위한 TBL 통합 모델의 개발”, 인하대학교 박사학위논문, 2004

산업자원부, “환경친화적 산업기반구축을 위한 환경경영표준화 사업”, 2003

산업자원부, “환경친화 제품설계를 위한 DfE 기술개발사업”, 2003

서성원, “주거용 건축물의 전과정에 따른 CO2 배출량 평가 및 전산체계 구축”, 중앙대학교 박사학위논문, 1998

이민아, “CVM을 통한 생태자원의 WTP 도출 비교”, 강원대학교 석사학위논문, 2000

환경부, “환경정책의 경제성 분석제도 도입을 위한 중장기 전략수립연구”, 2001

井村 秀文, “建設の LCA", オーム社, 2001

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

ISO 14041, “Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, International Organization for Standardization”, 1998

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

이영욱, 도명식, 이종달, “국도유지관리를 위한 포장관리시스템 개발에 관한 연구”, 한국도로학회 논문집, 제9권 제4호, pp.159~169, 2007.12

김경환, 김상환, 김재준, “BIM을 적용한 건설공사 중장비 투입 계획 방안”, 춘계학술발표대회 논문집, 한국건설관리학회, 제10권 제1호, 통권 제18집, 2010

김경주, “건설 공정 시뮬레이션을 위한 독립 자원모델 구축방안 연구”, 대한토목학회 논문집, 제20권 제4-D호, pp.389~402, 2000.7

손권, 구상화, 유완석, 이민철, 이장명, “건설 중장비용 주행 시뮬레이터의 구현”, 한국정밀공학회지, 제16권 제6호, 1999.6

손효주, 김창완, 조승연, 김용수, “시뮬레이션을 활용한 건설현장에서의 중장비 운영 최적화 방안에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, 제27권 제5-D호, 2007.9

김구환, 한충회, 김선국, “SOC사업 시공관리 프로세스 분석”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제20권 제2호, 2000.10

한국기계연구소, “건설중장비용 주행시스템 개발” 1991.12

국토해양부, “도로공사표준시방서” 2009

한국연구재단, “GIS기법을 적용한 다양한 건설 환경에서의 탄소배출량 제어기법 개발, 2010

한국건설교통기술평가원, “건설생산의 효율성 제고를 위한 건설기계장비 활용도 향상”, 2004

온성원, 인하대학교 대학원, 토목공학과, 대학석사학위논문, “시뮬레이션을 이용한 도로포장공정계획의 수립” 2006.2

박동현, 강인준, 김상석, 한기봉(2012), 탄소배출량 저감을 위한 GIS분석기반의 사토 장 선정, 『한국지형공간정보학회지』, 제 20권 제 4호, pp.3~9.

노산, 이현수, 박문서, 류한국(2006), 유전자알고리즘을 이용한 공기-비용 절충방안, 『대한건축학회지』, 제 22권 제 6호, pp.157~164

소병각, 우성권, 이시욱(2008), 터널 버력처리 공정의 생산성 분석을 위한 시뮬레이 션 모델 개발, 『대한토목학회 논문집』, 제 28권 제 1D호, pp.83~91

정종현, 이강, 홍건호, 이철호(2011), 공기단축 기술의 개발 및 적용을 위한 공기단 축 저해요인 분석, 『대한건축학회 논문집 』, 제 26권 제 1호, pp.121~128

한정훈, 김대영, 이학기(2008), 건설공사의 작업제반요건분석 체크리스트에 관한 연 구, 『대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집』, 제 1권 pp.437~442

강인석(1999), UCI, CI/SfB, CESMM, ISO 기술정보분류시스템의 토목분야 적용성 연구, 『대한토목학회논문집』, 제 15권 제 6호, pp.657~683

강인석, 곽중민(2001), 수량산출기준 및 공사시방서의 공종분류코드 통합기준 연구, 『한국건설관리학회 논문집』, 제 2권 제 4호, pp.80~91

강인석, 이우식, 곽중민(2003), 토목분야 공사분할체계의 정보분류기준 모형과 연구, 『대한토목학회논문집』, 제 23권 제 3D호, pp.329~339

김경주(2000), 도로건설사업 공정·원가 통합관리 시스템 구축 연구, 『대한토목학회 논문집』, 제 20권 제 6D호, pp.669~680

김경주, 김정렬, 진경호(2001), 공공 도로건설사업 공정·원가 통합관리 시스템 구축 연구, 『대한토목학회논문집』, 제 21권 제5D호, pp.703~712

김병수(2011), 토공장비조합에 따른 공사기간 및 이산화탄소 배출량의 상관성 분석, 『대한토목학회논문집』제 31권 제 4D호, pp.603~611

김병수, 권석현, 황현우, 이양규(2009), 토공장비 조합에 따른 환경경제성 평가에 관 한 연구, 『대한토목학회 정기학술대회』pp.795~798

김종한, 김경래(2002), 건설사업 특성에 따른 공기연장사유 분석, 『한국건설관리학 회 논문집』, 제 8권 제 1호, pp.78~86

김주현, 도명식, 정재은(2002), 국도 기능 분류를 위한 그룹핑 방법론에 관한 연구, 『대한교통학회지』, 제 20권 제 5호, pp.131~144

나광태, 강병희(2011), 액티비티 기반의 EVM-PMIS 통합모델 구축, 『한국건축시공 학회 논문집』, 제 10권 제 1호

온성원, 우성권, 김옥기(2007), 시뮬레이션을 이용한 도로포장 공정계획의 수립방안, 『한국건설관리학회 논문집』, 제 8권 제 1호

윤영희(2009), 건설업 통계 해외사례 연구 - 일본, 영국사례를 중심으로, 2009년 하 반기 연구보고서 Ⅱ권

이규선, 박희성(2011), 공정관리 적용에 관한 연구:도로현장 중심으로, 『대한토목학 회 논문

집』, 제 31권 제 3D호, pp.451~456

이배호, 강인석(1994), 토목공사용 정보분류 코드체계의 개발, 『대한토목학회 논문 집』, 제 14권 제 4호, pp.897~905

임성한(2008), 혼합모형을 이용한 도로유형분류에 관한 연구, 『대한토목학회 논문 집』, 제 28권 제 6D호, pp.759~766

곽한성, 이창용, 이동은(2014), 유전알고리즘 기반 토사운반 최적경로 탐색 방법론, 『대한건축학회 논문집』, 제 30권 제 3호,

이동은, 곽한성, 손창백(2012), 건설장비의 최적 운송경로 탐색 방법론 개발, 『대한건축학회 논문집』, 제 28권 제 12호,

강상혁, 백경근, 백현기, 서종원(2010), GIS를 이용한 토공 운반로 탐색 방법론, 『대한토목학회 논문집』, 제 30권 제 6D호

이철규, 김성근, 성영준(2003), 2차원적인 토공 계획법에 관한 연구, 『대한토목학회 논문집』, 제 23권 제 3D호,

Chang, D. Y.“RESQUE: A resource based simulation system for construction process planning.” PhD dissertation, University of Michigan, AnnArbor, Mich. 1986.

Hajjar, D., and AbouRizk, S. M.,“Unified modeling methodology for construction simulation.” J.Constr. Engrg. and Mgmt., 128(2),174-185, 2002.

Halpin, D. W.“CYCLONE－Methods for modeling job site processes.” J. Constr. Div. ,ASCE, 103(3), 489 - 499, 1977.

alpin, D. W., and Riggs, L. S.Planning and analysis of construction operations. John Wiley and Sons, NewYork. 1992.

Hassanein, A., and Moselhi, O.“Planning and scheduling highway construction.” J.Constr.Engrg.andMgmt.,130(5),638-646, 2004.

Huang, R. Y., and Halpin, D. W.“Graphical-based method for transient evaluation of construction operations.” J.Constr.Engrg.andMgmt.,121(2),222-229, 1995.

Huang, Y. H. Pavementanalysis and design. 2nd Ed., Englewood Cliffs, New Jersey.Liu, 1992.

L. Y.“COOPS: Construction object-oriented simulation system.” PhD dissertation, Univ.ofMichigan,AnnArbor,Mich. 1991.

Lu, M.“Simplified discrete-event simulation approach for construction simulation.” J.Constr.Engrg.andMgmt.,129(5),537 - 546, 2003.

Martinez, J. C.“STROBOSCOPE: State and resource based simulation of construction processes.” PhD dissertation, UniversityofMichigan,AnnArbor,Mich. 1996.

McCahill, D. F., and Bernold, L. E.“Resource-oriented modeling and simulation in construction.” J.Constr.Engrg.andMgmt.,ASCE,119(3),590 - 606, 1993.

Minchin, R.E, Herbsman, Z., and Choi, J. An economic evaluation based on total cost of aggregate base vs. asphalt base in the FDOT road construction operation. Florida Department of Transportation. (BC354-72.) 2003.

Sawhney, A., AbouRizk, S. M., and Halpin, D. W. “Construction project simulation using CYCLONE.” Can.J.Civ.Eng., (25) 16-25, 1998.

Thanapun P. and B. H. W. Hadikusumo, "Modeling the Dynamics of Heavy Equipment Management Practices and Downtime in Large Highway Contractors", J. Constr. Engrg, and Mgmt., pp.939~947, 2009.10

Thanapun P. and B. H. W. Hadikusumo, "Study of Factors Influencing the Efficient Management and Downtime Consequences of Highway Construction Equipment in Thailand", J. Constr. Engrg, and Mgmt, pp.2~11, 135, 2009.10

Jahren T. "Transportation Construction Equipment" Iowa State University, A2F06

Florida Department of Transportation, "Pavement Type Selection Manual", 2011.6

Florida Department of Transportation, "Standard Specifications for Road and Bridge Construction", 2010.

한갑규, 김선국, “국내 CM산업의 환경 분석”, 한국생태환경건축학회, 춘계학술발표대회 논문집, 제7권 제1호 (통권 12호), pp.145-150, 2007

※ 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로 재료 개발

국토해양부(2008), “산업부산물 재활용 포장 잠정지침”

한국도로공사(2012), “고속도로공사 전문시방서”

김병조, 신경식, 김도형, 김건우, 송진규 (2011), “고로슬래그 기반 알칼리 활성 모르타르의 수화생성물 분석”, 한국콘크리트학회 가을학술대회 논문집, Vol. 23, No.2, pp. 298-298.

신경식, 염태진, 김도형, 김병조, 김건우, 송진규 (2011), “고로슬래그 기반 알칼리 활성 콘크리트의 공극분포에 따른 염화물 확산계수 특성”, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, Vol. 31, No. 2, pp. 340-341.

송진규, 김건우, 김병조, 송금일, 신경식, 염태진 (2011), “고로슬래그 기반 알칼리 활성 콘크리트의 탄산화 특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술대회 논문집, Vol. 23, No. 2, pp. 355-356.

류동우, 김우재, 양완희, 유조형, 고정원 (2012), “고로슬래그 미분말을 대량 사용한 콘크리트의 염해 및 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구”, 한국건축시공학회 논문집, Vol. 12, No. 3, pp. 315-322

이세범, 김규용, 이보경, 신경수, 최경철, 구경모 (2012), “고로슬래그 미분말을 치환한 콘크리트의 내구성 평가”, 한국건축시공학회 추계학술발표대회 논문집, Vol. 12, No. 2, pp. 249-251.

김성수, 이정배, 이승태, 이춘민, 박승호, 고지수 (2011), “고로슬래그 치환율에 따른 콘크리트의 탄산화 저항성”, 한국건설순환자원학회 가을학술대회 논문집, Vol. 11, No. 2, pp. 187-189.

고경택, 류금성, 이장화, 강현진, 전용수 (2011), “고로슬래그를 사용한 무시멘트 알칼리 활성 모르타르의 유동성과 압축강도”, 한국건설순환자원학회 논문집, Vol. 6, No. 1, pp. 63-71.

안태호, 최병걸, 오성록, 김지훈, 최연왕 (2013), “고로슬래그를 혼입한 콘크리트의 CO2농도에 따른 탄산화 시험 비교 연구”, 한국건설순환자원학회 봄학술대회 논문집, Vol. 13, No. 1, pp. 141-142.

박승호, 김성수, 이정배, 고지수 (2012), “고로슬래그와 폴리카르본산계 고성능 감수제를 사용한 콘크리트의 특성”, 한국건설순환자원학회 봄학술대회 논문집, Vol. 12, No. 1, pp. 3-5.

신경식, 박철홍, 장치환, 송금일, 송진규 (2012), “고유동 알칼리 활성 슬래그 콘크리트 개발”, 한국콘크리트학회 가을학술대회 논문집, Vol. 24, No. 2, pp. 441-442.

송금일, 오명현, 장치환, 송진규 (2013), “고유동 콘크리트용 알칼리 활성 슬래그 결합재 개발”, 한국콘크리트학회 가을학술대회 논문집, Vol. , No. , pp. 269-270.

송진규, 이강석, 양근형, 한선애 (2008), “규산나트륨을 알칼리 자극제로 사용한 알칼리 활성 슬래그 콘크리트의 강도 특성”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol. 28, No. 1, pp. 563-566.

양근혁, 오승진, 송진규 (2008), “경량골재를 사용한 알칼리 활성 슬래그 콘크리트의 역학적 특성”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 20, No. 3, pp. 405-412.

강수태, 류금성, 고경택, 이장화 (2011), “바텀애쉬를 결합재로 사용한 알칼리 활성화 시멘트 모르타르의 최적배합에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 23, No. 4, pp. 487-494.

조병완, 박민석, 박승국 (2006), “알카리 활성화에 의한 플라이애쉬 모르타르의 강도 발현 및 경화 매커니즘”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 18, No. 4, pp. 449-458.

조병완, 박승국, 권병윤 (2004), “알칼리 활성화 석탄회(Fly Ash, Bottom Ash) 인공경량골재 및 콘크리트 적용“, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 16, No. 6, pp. 751-757.

송금일, 이방연, 홍건호, 공민호, 송진규 (2012), “염기도가 알칼리 활성고로슬래그 모르타르의 탄산화에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 24, No. 5, pp. 577-584.

송진규, 양근혁, 김건우, 김병조 (2010), “고로슬래그와 나트륨계열 활성화제를 이용한 무시멘트 모르타르의 특성”, 대한건축학회 논문집, Vol. 26, No. 6. pp. 61-68.

장봉진, 김승원, 송지현, 박희문, 주민관, 박철우 (2013), “탄소포집 활성 고로슬래그 모르타르의 기초특성에 관한 연구”, 한국도로학회 논문집, Vol. 15, No. 2, pp. 95-103.

김건우, 김병조, 양근혁, 송진규 (2012), “혼합된 나트륨계열 활성화제에 의한 고로슬래그 기반 모르타르의 강도발현 특성”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 24, No. 2, pp. 137-145.

양근혁, 송진규, 최동욱 (2011), “국가 LCI 데이터베이스 기반 알칼리활성 콘크리트의 CO2 평가”, 한국콘크리트 학회지, Vol. 23, No. 6, pp. 36-39.

문한영, 유정훈 (2002), “콘크리트용 골재로서 에이징처리한 제강슬래그의 활용”. 한국콘크리트학회 논문집, Vol, 14, No. 4, pp. 597-607.

최희섭, 김동민, 장필성, 서신석 (2009). “고로슬래그 미분말을 혼입한 레디믹스트 숏크리트의 현장적용성에 관한 실험적 연구”, 한국지반공학회논문집, Vol. 25, No. 6, pp. 31-45.

류금성, 강현진, 고경택, 이장화, 강수태 (2008), “고로슬래그 알칼리 활성 모르타르의 유동성 및 압축강도 평가”, 한국콘크리트학회 2008년도 가을 학술발표회 논문집, Vol. 20, No. 2, pp. 613-616.

오상혁, 최슬우, 이광명, 김주형 (2010), “다량의 고로슬래그를 치환한 알칼리 활성 모르타르의 초기 재령 특성”, 한국콘크리트학회 2010년도 가을 학술대회 논문집, Vol. 22, No. 2, pp. 133-134.

송진규, 양근혁, 김건우, 이찬택, 김병조 (2009), “알칼리 활성 고로 슬래그 모르타르의 강도발현 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 2009년도 가을 학술대회 논문집, Vol. 21, No. 2, pp. 249-250.

송진규, 이강석, 양근혁, 송호범, 김병조 (2009), “알칼리 활성 고로 슬래그 콘크리트의 압축강도 발현 특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 2009년도 봄 학술발표회 논문집, Vol. 21, No. 1, pp. 555-556.

강현진, 고경택, 류금성, 강수태, 박정준, 이장화 (2010), “알칼리 활성화제 혼합비가 플라이애시와 고로슬래그를 사용한 무시멘트 모르타르에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회 2010년도 봄 학술대회 논문집, Vol. 22, No. 1, pp. 315-316.

김대왕, 이재형, 오상혁, 이광명, 조재우 (2012), ″유동화제가 알칼리 활성 슬래그 모르타르의 초기재령 특성에 미치는 영향“, 한국콘크리트학회 2012년도 봄 학술대회 논문집, Vol. 24, No. 1, pp.421-422.

안양진, 문경주, 소승영, 소양섭 (2006), “자극제의 종류에 따른 알칼리 활성화 슬래그 모르타르의 기초 특성”, 한국콘크리트학회 2006년도 가을 학술발표회 논문집, Vol. 18, No. 2, pp. 789-792.

조아람, 양근혁, 송진규 (2010), “알칼리활성 슬래그 콘크리트의 슬럼프 및 압축강도에 대한 단위결합재량의 영향”, 한국콘크리트학회 2010년도 봄 학술대회 논문집, Vol. 22, No. 1, pp. 361-362.

박경택, 손호정, 손석현, 백대현, 한민철, 한천구 (2010), “순환골재와 고로슬래그 미분말의 수화반응성 메카니즘”, 한국건설순환자원학회 학술발표 논문집, Vol. 10, No. 1, pp. 37-40.

오병환, 김기완, 박대균 (2004), “폴리카본산계 고성능감수제를 사용한 콘크리트의 특성연구”, 한국콘크리트학회 2004년도 가을 학술발표회 논문집, Vol. 16, No. 2.

마상준, 최희섭, 이홍수, 이주호 (2008), “SEM분석과 중금속 용출시험을 통한 고로슬래그 레디믹스트 숏크리트의 양생특성 및 환경적 영향 평가”, 대한토목학회 2008년도 정기 학술대회 논문집, pp. 4143-4146.

Caijun S., Pavel V. K and Della R (2006), “Alkali-Activated Cements and Concretes”, Taylor & Francis Group, pp. 150-156.

Keun-Hyeok Yang, Jin-Kyu Song, Keum-Il Song (2013), "Assessment of CO2 reduction of alkali-activated concrete", Journal of Cleaner Production 39, pp. 265-272.

Susan A. Bernal, Ruby Mejía de Gutiérrez, Alba L. Pedraza, John L. Provis, Erich D. Rodriguez, Silvio Delvasto (2011), "Effect of binder content on the performance of alkali-activated slag concretes", Cement and Concrete Research 41, pp. 1 - 8.

Keun-Hyeok Yang, Ah-Ram Cho, Jin-Kyu Song (2012), "Effect of water - binder ratio on the mechanical properties of calcium hydroxide- based alkali-activated slag concrete", Construction and Building Materials 29, pp. 504 - 511.

Frank Collins, J.G. Sanjayan (1999), "Effects of ultra-fine materials on workability and strength of concrete containing alkali-activated slag as the binder", Cement and Concrete Research 29, pp. 459 - 462.

Keun-Hyeok Yang, Jae-Il Sim, Sang-Ho Nam (2010), "Enhancement of reactivity of calcium hydroxide-activated slag mortars by the addition of barium hydroxide", Construction and Building Materials 24, pp. 241 - 251.

Keun-Hyeok Yang, Ah-Ram Cho, Jin-Kyu Song, Sang-Ho Nam (2012), "Hydration products and strength development of calcium hydroxide-based alkali-activated slag mortars", Construction and Building Materials 29, pp. 410 - 419.

F.G. Collins, J.G. Sanjayan (1999), "Workability and mechanical properties of alkali activated slag concrete", Cement and Concrete Research 29, pp. 455 - 458.

Barker T. I. et al, (2007), “Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

이한승, (2005), “콘크리트를 둘러싼 환경문제와 친환경 대응방안”, 한국콘크리트학회지, vol 17, No. 4, pp8-10

김화중, (2000), “질소화합물(NOx)를 제거하는 시멘트 재료의 개발 연구”, 한국양회공업협회 학술논문집, 시멘트 153, pp50-54

환경부 (2010), “대기오염물질 배출량 연보”

이원암, 양진, 유재상, 이종열 (2001), “배기가스 제거 및 자기정화용 광촉매 콘크리트 개발 연구”, 대한토목학회 가을 학술발표회 논문집, pp265-270

이원암, 양진, 유재상, 이종열 (2002), “광촉매 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 대한토목학회 2002년도 봄학술발표회 논문집, pp575-580

홍성재, 이승우 (2013), “광촉매 콘크리트 도로 구조물의 효율적 시공방법에 대한 실험적 연구”, 한국도로학회지 Vol. 15, No. 6, pp1-9

김영규, 홍성재, 이경배, 이승우 (2014), “도로구조물 적용을 위한 광촉매 콘크리트의 질소산화물(NOx) 제거효율 평가”, 한국도로학회지, Vol. 16, No. 5, pp49-58

이준희, 김영규, 이승우 (2015), “도로 구조물 적용을 위한 TiO2 콘크리트의 장기공용성에 대한 실험적 연구”, 대한토목학회논문집

ISO 22197-1, 2007, Test method for air-purification performance of semiconducting photocatalytic materials-Part 1: Removal of nitric oxide, International Standard.

M.M. Ballari, M. Hunger, G. Husken, H.J.H. Brouwers, 2010, NOx photocatalytic degradation employing concrete pavement containing titanium dioxide, Applied Catalysis B: Environmental, 95 (2010) pp245-254.

Italcementi Group, 2007,

http://www.italcementigroup.com/NR/rdonlyres/B5F973F4-8D01-4796-ACEC-1A960C71092E/0/ QA_UK. pdf.

Beeldens A., 2006, An environmental friendly solution for air purification and self-cleaning effect : the application of TiO2 as photocatalyst in concrete, Proceedings of Transport Research Arena Europe - TRA, Göoteborg, Sweden.

J.S. Fuglestvedt, I.S.A Isaksen, W.C. Wang, Direct and indirect global warming potentials of source gases, ISSN:0804-4562 (1994), pp7-8

환경부, http://www.me.go.k/r

국립환경과학원, http://www.nier.go.kr/

도로교통연구원, http://www.pwri.go.jp/

한국환경정책평가연구원, www.kei.re.kr

※ 탄소저감형 흙 포장 기술 개발

국토교통부(2014), “도로현황조서”

국토해양부, 행정안전부(2010), “자전거 이용시설 설치 및 관리 지침”

김광일, 임은상, 김기영, 신동훈 (2010), “Soil-Bentonite 혼합토의 강도 및 투수특성”, 한국지반환경공학회 논문집 제11권 제4호, pp. 5～12.

김용로, 김욱종(2011), “탄소배출저감 친환경 콘크리트”, 한국전산구조공학회 논문집 제24권 제1호, pp. 8～13.

김진춘, 문성우, 안익균, 윤창기(2002), “ 고화제에 의한 초연약 해성점토의 표층고화처리에 관한 연구”, 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, pp. 179～184.

박성식, 김영수, 최선규, 신시언(2008), “단섬유를 사용한 시멘트 혼합토의 일축압축강도 특성”, 대한토목학회논문집 제28권 제4C호 pp. 213～220.

신은철, 강정구, 오덕환, 이보형, 김봉학, 정성필 (2009), "고화재를 활용한 연약점토의 화학적 개량효과", 한국지반환경공학회 성과 및 봄학술 발표회 논문집, pp. 427～432.

오세욱, 서동준, 김동근(2010), “친환경 흙포장을 위한 경화제 개발”, 산림공학기술 제8권 제3호, pp. 280～285.

이길호(2012), “친환경 고화재를 혼합한 흙포장재의 공학적 특성과 현장 적용성 평가”, 인천대학교 박사학위논문, pp. 10～19.

이용수, 정재형, 유준, 조진우(2010), “폴리머 안정처리 혼합토의 강도 특성”, 한국지반환경공학회, 가을학술발표회 논문집, pp. 468～471.

이용수, 정재형, 박은호, 류상훈(2012), “다기능 복합 폴리머를 이용한 도로하부 지반 안정처리 기술 개발에 관한 연구”, 한국건설기술연구원, pp. 33～36.

이윤규, 백승철, R.D.Holtz, 정동영(2008), “Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Pavement with Recycled Red Mud”, 한국지반환경공학회 논문집, 제9권 제7호, pp. 37～43.

이재학(2009), “SBR 라텍스를 첨가한 흙-시멘트 포장의 재료특성 연구”, 경희대학교 석사학위논문, pp. 76～78.

이태형(2012), “탄소저감형 건설장비 운영기법 도입을 위한 전략수립”, 한양대학교 석사학위논문, pp. 1～16.

전몽각(1965), “Soil-Cement 안정처리에 관한 연구보고”, 대한토목학회 논문집 제13권 제2호, pp. 16～20.

정혁상, 장철호, 안병제, 천병식(2009), “화강풍화토와 무기질 결합제를 활용한 친환경 흙포장에 관한 연구”, 한국지반환경공학회 논문집 제10권 제4호, pp. 25～31.

조규완(1996), “시멘트계 고화제로 혼합처리된 해성점토지반의 공학적 특성”, 한양대학교 석학위논문, pp. 1～23.

주재우, 박종범, 주진영, 이동섭(2003), “액상경화제를 이용한 흙포장조성물제조에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집 제23권 제4C호, pp. 213～219.

천병식, 장철호, 도종남, 국길근(2008), “화강풍화토와 무기질 결합재를 활용한 친환경 흙포장재료”, 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, pp. 219～225.

한국특허정보원(2010), “흙포장 특허동향분석보고서”, 한국특허정보원, pp. 2～155.

APW & 이용수, 정재형, 박은호, 류상훈, 조규태 (2012), “다기능 복합 폴리머를 이용한 도로하부 지반 안정처리기술 개발에 과한 연구”, 한국건설기술연구원, 건기연 2012-055, pp. 5～31.

ASTM(1995), "Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures", ASTM Designation : D4123-82.

Joint Department of the Army, the Navy, the Air force(1994), “Soil Stabilization for Pavement”, Army TM 5-822-14, Air Force AFJMAN 32～1019.

Maher, M. H. and Ho, Y. C.(1993), "Behavior of Fiber-Reinforced Cemented Sand Under Static and Cyclic Loads", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 16, No. 3, pp. 330～338.

Portland Cement Association(PCA, 1988), "Soil-Cement Laboratory Handbook“, PCA, pp. 1～64.

국토교통부(2014), “도로현황조서”

국토해양부, 행정안전부(2010), “자전거 이용시설 설치 및 관리 지침”

김광일, 임은상, 김기영, 신동훈 (2010), “Soil-Bentonite 혼합토의 강도 및 투수특성”, 한국지반환경공학회 논문집 제11권 제4호, pp. 5～12.

김용로, 김욱종(2011), “탄소배출저감 친환경 콘크리트”, 한국전산구조공학회 논문집 제24권 제1호, pp. 8～13.

김진춘, 문성우, 안익균, 윤창기(2002), “ 고화제에 의한 초연약 해성점토의 표층고화처리에 관한 연구”, 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, pp. 179～184.

김헌덕, 안중철, 김동현(2014), “고로슬래그 및 슬래그시멘트 사용 현황과 전망”, 한국건설순환자원학회지 제14권 제1호(2014-04), pp.303-305.

박성식, 김영수, 최선규, 신시언(2008), “단섬유를 사용한 시멘트 혼합토의 일축압축강도 특성”, 대한토목학회논문집 제28권 제4C호 pp. 213～220.

신은철, 강정구, 오덕환, 이보형, 김봉학, 정성필 (2009), "고화재를 활용한 연약점토의 화학적 개량효과", 한국지반환경공학회 성과 및 봄학술 발표회 논문집, pp. 427～432.

오세욱, 서동준, 김동근(2010), “친환경 흙포장을 위한 경화제 개발”, 산림공학기술 제8권 제3호, pp. 280～285.

이길호(2012), “친환경 고화재를 혼합한 흙포장재의 공학적 특성과 현장 적용성 평가”, 인천대학교 박사학위논문, pp. 10～19.

이용수, 정재형, 유준, 조진우(2010), “폴리머 안정처리 혼합토의 강도 특성”, 한국지반환경공학회, 가을학술발표회 논문집, pp. 468～471.

이용수, 정재형, 박은호, 류상훈(2012), “다기능 복합 폴리머를 이용한 도로하부 지반 안정처리 기술 개발에 관한 연구”, 한국건설기술연구원, pp. 33～36.

이윤규, 백승철, R.D.Holtz, 정동영(2008), “Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Pavement with Recycled Red Mud”, 한국지반환경공학회 논문집, 제9권 제7호, pp. 37～43.

이재학(2009), “SBR 라텍스를 첨가한 흙-시멘트 포장의 재료특성 연구”, 경희대학교 석사학위논문, pp. 76～78.

이태형(2012), “탄소저감형 건설장비 운영기법 도입을 위한 전략수립”, 한양대학교 석사학위논문, pp. 1～16.

유엔환경계획 한국위원회, 2002;교토의정서, 유넵프레스(UNEP Press), pp.12-18

전몽각(1965), “Soil-Cement 안정처리에 관한 연구보고”, 대한토목학회 논문집 제13권 제2호, pp. 16～20.

정혁상, 장철호, 안병제, 천병식(2009), “화강풍화토와 무기질 결합제를 활용한 친환경 흙포장에 관한 연구”, 한국지반환경공학회 논문집 제10권 제4호, pp. 25～31.

조규완(1996), “시멘트계 고화제로 혼합처리된 해성점토지반의 공학적 특성”, 한양대학교 석학위논문, pp. 1～23.

주재우, 박종범, 주진영, 이동섭(2003), “액상경화제를 이용한 흙포장조성물제조에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집 제23권 제4C호, pp. 213～219.

천병식, 장철호, 도종남, 국길근(2008), “화강풍화토와 무기질 결합재를 활용한 친환경 흙포장재료”, 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, pp. 219～225.

한국특허정보원(2010), “흙포장 특허동향분석보고서”, 한국특허정보원, pp. 2～155.

한국시멘트협회 홈페이지

황재훈, 2008; 그린머니(Green Money) 시대가 온다, Global Standard Review.

한국콘크리트학회, 1997; 콘크리트 혼화재료, 기문당.

APW & 이용수, 정재형, 박은호, 류상훈, 조규태 (2012), “다기능 복합 폴리머를 이용한 도로하부 지반 안정처리기술 개발에 과한 연구”, 한국건설기술연구원, 건기연 2012-055, pp. 5～31.

ASTM(1995), "Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures", ASTM Designation : D4123-82.

Joint Department of the Army, the Navy, the Air force(1994), “Soil Stabilization for Pavement”, Army TM 5-822-14, Air Force AFJMAN 32～1019.

J. Temuujin and A. Van Riessen (2008), J. Hazard. Mater., 164(2-3), 634

Maher, M. H. and Ho, Y. C.(1993), "Behavior of Fiber-Reinforced Cemented Sand Under Static and Cyclic Loads", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 16, No. 3, pp. 330～338.

Mehta, P. K. and P. Monteiro (1993), Concrete: Structure, properties and methods, 2nd ed., Prentice-Hall, Inc.

P.Duxson, J.L.Provis, G.C.Lukey and J.S.J.Van Deventer (2007), Cement Concr. Res., 37(12), 1590

Portland Cement Association(PCA, 1988), "Soil-Cement Laboratory Handbook“, PCA, pp. 1

~64.

※ DAC 기술을 활용한 도로 CO2 흡수 기술 개발

Derevschikov, V. S. et al., Direct CO2 capture from ambient air using K2CO3/Y2O3 composite sorbent, Fuel, In press, 2013.

Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC) data distribution centre Home Page, http://www.ipcc-data.org(2001).

IPCC, "IPCC special report on carbon dioxide capture and storage", 2005.

Pires, J. C. M., Martins, F. G., Alvim-Ferraz, M. C. M., and Simoes, M., "Recent developments on carbon capture and storage; an overview", Chem. Eng. Res. and Des., 89, pp.1446~1460, 2011.

Richter, R. K. D., Ming, T., and Caillol, S., "Fighting global warming by photocatalytic reduction of CO2 using giant photocatalytic reactors", Ren. Sust. Energy Rev., 19, pp.82~106, 2013.

www.carbonengineering.com

www. esrl.noaa.gov

부 록

부록 1. 연구수행 주요 일정

부록 2. 연구과제 주요 내용 요약

부록 1. 연구수행 주요 일정

- 2012년(1차년도)

기간	항목	주요내용	비고
6월	과제협약	연구단 과제 2차년도 협약 체결 (6월 28일)	
	연구단 로고 제작	연구단 공식 로고 제작	
7월	보고서 제출	1차년도 중간보고서 제출	
	1차년도 연구비 정산	1치년도 연구비 정산	
	워크샵 참석	2018년 평창동계올림픽 준비를 위한 워크숍 참석(8월 30일, 원주지방국토관리청, 주제발표'지속가능한 녹색도로 건설 방안')	
	연구단 알림1 발송	주요 내용 : - 연구단 과제 2차년도 협약 체결 - 2차년도 연구비 지급 - 연구비 카드 신청(신규 참여 기관만 해당) - 1차년도 정산준비	
	연구단 알림2 발송	주요 내용 : - 연구단 과제 2차년도 주요 일정 - 1차년도 연구 실적 입력 - 1차년도 연구수당 지급 및 정산 준비	
	연구단 알림3 발송	주요 내용 : - 연구단 공식 로고 - 연구단 홍보자료 작성용 기관 로고 요청 - 각 분야별 주요 용어 정의 작성 - 월 연구추진현황 작성	
8월	연구단 홈페이지	연구단 홈페이지 제작 http://greenhighway.kict.re.kr	
	연구단 홍보	연구단 홍보 팜플렛(국/영문) 발간	
	연구단 알림4 발송	주요 내용 : - 1차년도 연구비 정산 - 연구단 홍보책자 발간 준비 - 연구장비 구입내역 보고 - 월 연구추진현황 보고	
9월	연구단 알림5 발송	주요 내용 : - 한국도로학회 가을학술대회 연구단 특별세션 - 1차년도 연구비 정산 - 연구 주요 용어 정의 - 연구단 홍보책자 발간 준비 - 연구개발계획서에 없는 연구장비의 구입	

		- 연구단 2차년도 제1차 워크샵 - 월 연구추진현황 보고	
	연구단 알림6 발송	주요 내용 : - 한국도로학회 가을학술대회 연구단 특별세션 성료 - 연구단 책자 발간 준비 - 연구개발계획서에 없는 연구장비의 구입 - 연구단 2차년도 제1차 워크샵 - 월 연구추진현황 보고	
10월	연구단 알림7 발송	주요 내용 : - 연구단 책자 발간 준비 - 연구단 2차년도 제1차 워크샵 - 연구단 동정	
	연구단 알림8 발송	주요 내용 : - 연구단 IPEC 2012 홍보 부스 운영 - 연구단 홍보 브로셔 - 연구단 홈페이지 오픈 - 연구단 2차년도 제1차 워크샵 - 연구단 책자 발간 준비 - 월 연구추진현황 보고	
11월	연구단 홈페이지	연구단 홈페이지 운영 개시	
	연구단 홍보 및 학술대회	IPEC 국제학술대회 참석 및 연구단 부스 설치 운영(11월 1~3일, 부산)	
	워크샵 개최	2차년도 제1차 과제 워크샵 개최(11월 13일, 양재 aT센터, 공통)	
	연구단 알림9-1 발송	주요 내용 : - 연구단 홈페이지 오픈 - 연구단 IPEC 2012 홍보 부스 운영 - 연구단 2차년도 제1차 워크샵 성료 - 연구단 국제워크샵 연합 개최 준비	
12월	연구단 운영위원회	2차년도 제1차 운영위원회 개최(12월 18일, 팔래스호텔)	

- 2013년(2차년도)

1월	연구단 알림9-2 발송	주요 내용 : - 제1차 운영위원회 개최 - 연구단 국제세미나 연합 개최 준비 - 월 연구추진현황	
	연구단 알림10 발송	주요 내용 : - 제1차 운영위원회 개최 - 연구단 국제세미나 연합 개최 준비 -'지속가능 사회의 녹색도로' 원고 게재 - 연구비 집행 관리 철저 - 연구성과 관리 - 월 연구추진현황	
	연구단 알림11 발송	주요 내용 : - 2차년도 주요 추진일정 - 연구단 국제세미나 개최 - 2차년도 자체평가 워크샵 - 연구성과 입력	
	연구단 알림12 발송	주요 내용 : - 연구비관리 전용계좌 사용 - 연구단 국제세미나 개최 - 2차년도 자체평가 워크샵 - 3차년도 연구과제 조정 검토 - 월 연구추진현황	
2월	국제세미나	2차년도 국제세미나 개최 (2013년 2월 15일, 건설회관)	
	연구단 운영위원회	2차년도 제2차 운영위원회 개최(2월 28일, 한국과학기술회관)	
	연구단 자체평가 워크샵	2차년도 자체평가 워크샵(2월 28일, 한국과학기술회관)	
	연구단 알림13 발송	주요 내용 : - 2차년도 자체평가 워크샵: - 과학기술인 등록 - 2차년도 성과입력 - 연구노트 작성 - 향후 주요일정 - 월 연구추진현황	



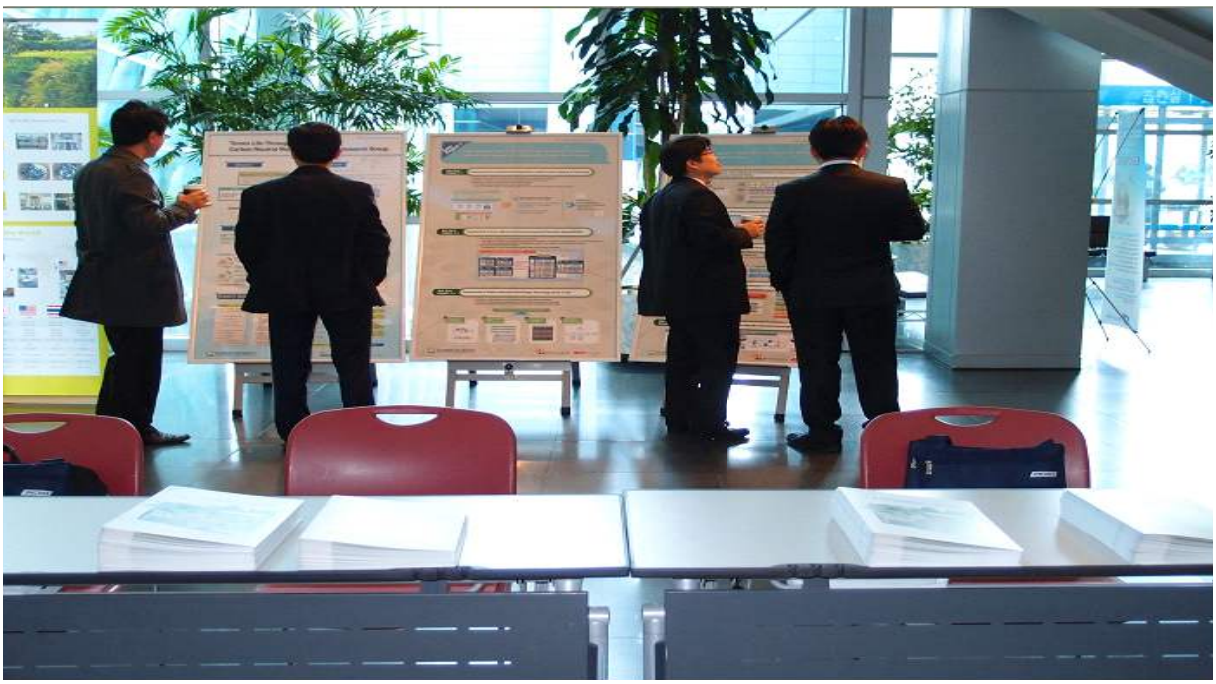
연구단 2차년도 워크샵을 마치고 기념 촬영



연구단 2차년도 탄소중립형 도로기술 2013 국제세미나



연구단 2차년도 탄소중립형 도로기술 자체평가를 마치고 기념 촬영



연구단 2차년도 IPEC 부산 벡스코 전시장에서 연구단 홍보 부스 운영

- 2013년(3차년도)

기간	항목	주요내용	비고
9월	과제협약	연구단 과제 3차년도 협약 체결 (9월 30일)	
10월	연구단 알림 1 발송	주요 내용 : - 연구단 3차년 협약 - 3차년도 연구비 청구 - 단장 인사글 - 착수워크샵	
11월	3차년도 착수 워크샵	3차년도 착수워크샵(11월15일, 한국건설기술연구원 30주년 기념관)	
	연구단 알림 2 발송	주요 내용 : - 현장실태조사[(주)평화엔지니어링] - 3차년도 착수워크샵 성료 - 이로미 시스템 - 연구개발비 집행 및 관리 관련 - 연구수행현황 - 1세부과제 워크샵	
	연구단 알림 3 발송	주요 내용 : - 탄소중립형 도로 기술개발(3차년도) 현장실태조사결과	
12월	연구단 알림 4 발송	주요 내용 : - 탄소중립형 도로 기술개발 11월 업무추진현황 - 1세부 연구진 전체회의 개최	
	1세부과제 연구진 전체회의 - 1차	1세부과제 연구진 전체회의(12월 18일, 서울팔래스 호텔 다이너스티B)	
	연구단 알림 5 발송	주요 내용 : - 1세부 연구진 전체회의 - 업무추진현황 협조사항 - 해외출장건 관련 - [1세부과제] 시범적용 분석 사례구간 선정	

- 2014년

기간	항목	주요내용	비고
1월	연구단 알림 6 발송	주요 내용 : - 연구개발비 사용내역 입력 - 기관별 정산회수금 입금 요청 - 1세부 전체회의 일정 - 2세부 전체회의 개최 - [진흥원] 연구비 관리 및 정산매뉴얼 - 업무추진현황	
2월	연구단 알림 7 발송	주요 내용 : - 국토교통R&D 성과입력 - 국가연구개발사업 관련 보안 관리 철저 요청 - 1세부 전체회의 일정 - 2세부 전체회의 개최 - 업무추진현황 - 운영위원회 준비	

	1세부 전체회의-2차	1세부 연구진 전체회의 개최(2월 27일, 한신 인터밸리24)	
	2세부 전체회의	2세부 연구진 전체회의 개최(2월 25일, 한국도로공사 도로교통연구원)	
3월	연구단 알림 8 발송	주요 내용 : - 2014 국토교통기술대전 전시 - 1세부 전체회의 일정 - 시범사업구간 선정 및 자료 - 평가지표 관련 업무협력 담당 - 업무추진현황	
4월	연구단 알림 9 발송	주요 내용 : - 1세부 연구진 전체회의 일정 - 3차년도 운영위원회 및 자체중간평가(안) - 연구비 카드 사용 입력 - 업무추진현황	
	연구단 알림 10 발송	주요 내용 : - 1세부 연구진 전체회의 일정 - 업무추진현황 - 3차년도 자체중간평가 워크샵 계획 및 발표자료	
	1세부 전체회의 - 3차	3차 1세부 전체회의 개최(4월 17일, 강남 섬유센터 컨퍼런스홀 C2룸)	
	국제학술대회 발표	PIARC 탄중도 연구단 과제 발표(4월23일~26일, 인도네시아)	
5월	연구단 알림 11 발송	주요 내용 : - 3차년도 운영위원회 및 자체중간평가 - 제71회 대한교통학회 학술발표회(2014년 추계학술대회) - 1세부 전체회의 - 업무추진현황	
	3차년도 운영위원회 및 자체중간평가	3차년도 운영위원회 및 자체중간평가 개최(5월22일, 한국기술회관 중회의실)	
6월	연구단 알림 12 발송	주요 내용 : - 3차년도 운영위원회 및 자체중간평가 결과 - 학술발표대회(대한교통학회 & 대한토목학회) - 1세부 전체회의 - 3차년도 연차실적계획서(1세부) - 국제세미나 개최 - 업무추진현황	
	1세부 전체회의 - 4차	1세부 연구진 전체회의 개최(6월 19일, 일산 KINTEX 1전시장 210B홀)	
7월	국제세미나	국제세미나 개최(7월10일, 건설회관 중회의실)	
	연구단 알림 13 발송	주요 내용 : - 학술발표대회(한국도로학회) - 예산집행 - 연차실적계획서 보완 - 국제세미나 개최	
8월	연구단 알림 14 발송	주요 내용 : - 학술발표대회(한국도로학회) - 연차실적계획서 - 1세부 연구진 전체회의 개최	

		- 연구 추진 - 연구개요 작성 - 업무추진현황	
	1세부 전체회의 - 5차	1세부 연구진 전체회의 개최(8월 21일, 서울시립대학교 미래관 B 106호)	
9월	연구단 알림 15 발송	주요 내용 : - 학술발표대회(한국도로학회) - 연구 결과 - 성과자료 등록 - 탄중도 연구단 부스 마련 - 업무추진현황	
	연구단 알림 16 발송	주요 내용 : - 연구단 홍보자료 송부 - 연구수행현황 중간점검 - 1세부 연구진 전체회의 개최 - 과제수행 현장 답사 - 학술발표대회 참가	
	탄중도 연구단 특별세션 및 학술대회	2014한국도로학회 가을학술대회 참가 및 특별세션마련(9월 30일, 한국과학기술회관)	
10월	연구단 알림 17 발송	주요 내용 : - 연구단 공개워크샵 - 제2차 운영위원회 및 자체평가 - 탄중도 연구단 홍보부스 운영 - 1세부 연구진 전체회의 개최 - 매뉴얼 초안 - 예산 집행 및 연구비관리시스템 등록 - 업무추진현황	
	1세부 전체회의 - 6차	1세부 연구진 전체회의 개최(10월 16일, 동부엔지니어링 대회의실)	
	연구단 알림 18 발송	주요 내용 : - 연구단 공개워크샵 - 연구단 공개워크샵 관련 양식 자료 - SMK 자료 양식 - 성과입력 요청	
	연구단 홍보부스 및 학술대회	KSCE 2014 Civil Expo 학술대회 참가 및 연구단 홍보부스 설치 운영(10월23~24일, 대구 엑스코)	
11월	연구단 공개워크샵	탄중도 연구단 공개워크샵 개최(11월13일, 서울팔래스 호텔 그랜드 B홀)	
	연구단 알림 19 발송	주요 내용 : - 연구단 공개워크샵 - 연구단 자체 최종평가 개최 - 연구단 자체 최종평가 자료 양식 - 업무추진현황	
	연구단 알림 20 발송	주요 내용 : - 연구단 자체 최종평가 - 연구단 자체 최종평가 자료 제출 마감 - 업무추진현황	
12월	운영위원회 및 자체 최종평가	3차년도 운영위원회 및 자체 최종평가 개최(12월17일, 서울팔래스 호텔)	

- 2015년

기간	항목	주요내용	비고
1월	연구단 알림 21 발송	주요 내용 : - 연구단 자체 최종평가 결과 - 2014년도 국토교통 R&D 성과조사 입력 - 업무추진현황	
	전체워크샵	전체워크샵 개최(1월20일, 한국과학기술회관, 소회의실)	
	연구단 알림 22 발송	주요 내용 : - 3차년도 2015년 연구단 전체워크샵 - 연구단 최종성과발표회 - 최종 연구성과 정리 - 업무추진현황	
	연구단 알림 23 발송	주요 내용 : - 연구단 향후 주요 일정 - 탄소저감을 위한 녹색도로 편람 목차 - 최종보고서 파일 - 연구성과 및 연구비 집행 - 연구결과 신문 홍보 및 광고	
2월	연구단 알림 24 발송	주요 내용 : - 연구단 최종성과 발표회 및 성과점검회의 - 국토교통연구개발사업 보안관리 철저 요청 - 연구비 집행 - 연차실적계획서 및 연구개발 주요내용 제출 - 업무추진현황	
3월	성과점검회의	성과점검회의 개최(3월 4일, 건설회관 2층 중회의실)	
	연구단 알림 25 발송	주요 내용 : - 최종보고서 제출 - 인쇄물 관련 - 성과점검회의결과 검토의견에 대한 조치 계획 - 연구비 집행 실적 - 업무추진현황	
	연구단 알림 26 발송	주요 내용 : - 최종보고서 제출 - 연구개발결과 활용계획서 - 인쇄물 관련 - 연구성과 및 연구비 입력 - 단장 인사말	



연구단 3차년도 탄소중립형 도로 기술 2014 공개 워크샵



3차년도 자체최종평가



2014 Civil Expo 전시 및 홍보

부록 2. 연구과제 주요 내용 요약

분야과제명	(1-1) 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발		
세세부과제명	(1-1-1) 녹색도로 및 기술관련 법/기준/제도 개발		
연구기관	한국교통연구원	연구책임자	조한선 연구위원
연 구 진	조한선, 김태형, 이명한, 김영춘, 임재덕, 이종훈		
연 락 처	담당자 : 이명한 연구원 E-mail :********		Tel : 031)910-3012

■ 연구 목표

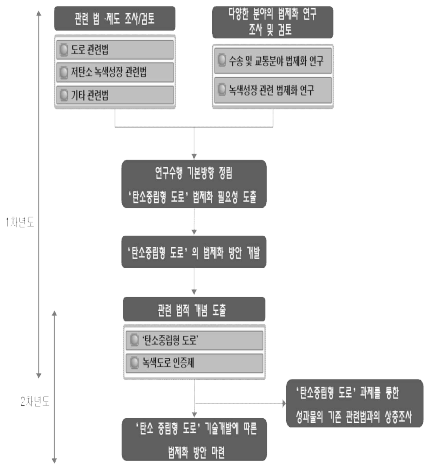
도로부문의 온실가스 감축목표를 달성하기 위하여 녹색도로 관련 법·제도 정비를 통하여 녹색도로의 법적개념을 정립하고, 녹색도로 건설 활성화와 녹색도로 인증제도 도입을 위한 법적 근거를 마련한다.

■ 연구성과물

- 녹색도로 법·제도화(안)
  · 도로법 및 도로법 시행령 개정(안)
  · 저탄소녹색성장기본법 개정(안)
  · 총사업비관리지침 개정(안)
  · 녹색인증제 운영요령 개정(안)
  · 지방교부세법 시행규칙 개정(안)

■ 연구 주요내용

기존에 녹색도로 건설을 위한 법적근거가 전무한 상황으로 녹색도로 및 녹색도로 인증제도의 법적개념을 정립하기 위하여 기존 현행 도로관련법령 체계 분석, 녹색도로 관련 법 및 법제 연구 검토를 통하여 녹색도로 법제화 필요성 및 법제화 방안을 도출하였다. 또한 유사인증제도 검토를 통해 녹색도로 인증제도의 법제화 방안을 마련하였다.



■ 활용방안 및 기대효과

- “탄소중립형 도로기술” 과제를 통해 개발될 기술의 활용성을 높이기 위한 법적 근거 및 기반 조성
- 녹색도로 활성화를 위한 법적 근거 (안) 마련

※ 녹색도로(에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화 하면서 안전하고 쾌적한 이동성을 확보하기 위한 도로; Green Highway)의 적용 및 활성화를 위한 법제화 필요

분야과제명	(1-1) 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발		
세세부과제명	(1-1-2) 녹색도로 인증체계 개발		
연구기관	한국건설기술연구원	연구책임자	구재동 연구위원
연 구 진	구재동, 이두헌, 백종대, 박재우		
연 락 처	담당자 : 박재우 수석연구원 E-mail :********		Tel : 031)910-0413

■ 연구 목표

'녹색도로 인증체계 개발'의 최종 목표는 녹색도로 구축에 대한 구체적인 실천 방안을 제시하는 것으로 녹색도로를 인증·평가할 수 있는 평가지표 개발, 등급 범위 설정 및 평가 매뉴얼 개발 등 녹색도로 인증제도를 국내에 도입하기 위한 기반을 구축하는 데 있다.

■ 연구성과물

- 한국형 녹색도로인증제 평가항목, 등급범위 및 지표
- 녹색도로인증 평가매뉴얼

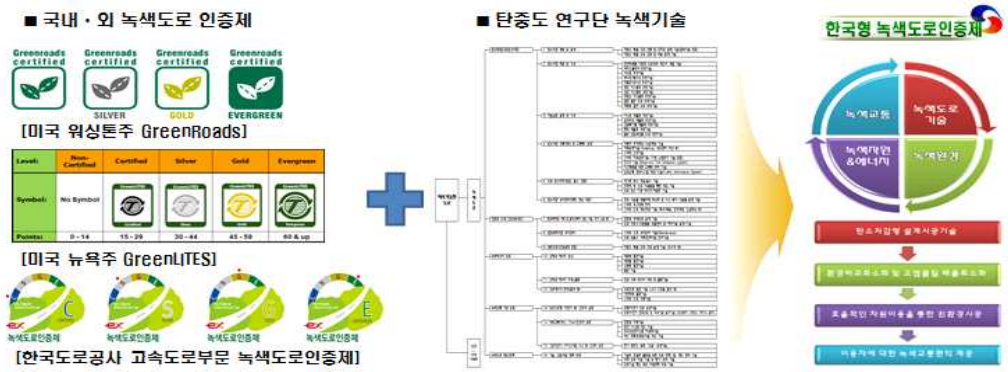


■ 연구 주요내용

녹색도로인증제는 도로의 지속가능성 (sustainability)과 환경성을 통합적으로 결합한 제도로써 도로의 건설 및 운영 측면에서 세부지표별로 계량화하고 점수화하여 도로 전체의 녹색등급을 설정하는 것이다. 미국을 중심으로 한 선진국에서는 녹색도 측정을 위한 연구가 수행되었고 녹색도로인증제가 시행·적용되고 있다.

본 연구에서는 국내 도로부문에 있어서 녹색기술 개발 및 적용·확산을 통해 관련 산업 발전에 기여할 수 있는 녹색도로인증시스템 개발을 목적으로, 한국형 녹색도로인증시스템 프레임워크를 구축하고 실제 도로 건설 및 유지관리 단계를 대상으로 제도적으로 활용할 수 있는 지표를 결정하여 제시하는 것이다.

미국의 사례를 참고하면, 본 제도의 시행으로 에너지사용량 30~50% 저감 및 CO_2 배출량 35% 저감이 기대된다.



■ 활용방안 및 기대효과

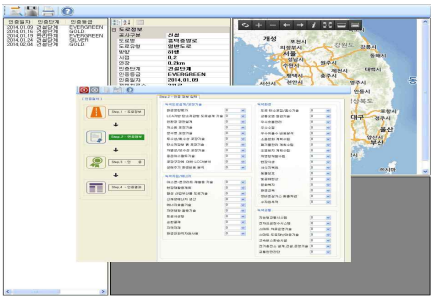
- 한국형 녹색도로인증시스템 개발을 통하여 공공발주기관의 도로시설물 건설공사 수행 시 설계 및 시공업체 평가 등에 활용 가능
- 녹색도로 인증체계 개발을 통해 녹색도로기술 적용 활성화
- 선진국에 비해 뒤처진 녹색기술 수준 향상과 관련 시장 형성 가능

분야과제명	(1-1) 녹색도로 법/제도 및 인증시스템 개발		
세세부과제명	(1-1-3) 녹색도로 인증시스템 개발		
연구기관	㈜로드코리아	연구책임자	이진각 이사
연 구 진	이진각, 정철기, 이중협, 조영오, 오창권, 전상민, 김남철, 이재한, 홍명기		
연 락 처	담당자 : 이재한 과장 E-mail :********		Tel : 031)627-5116

■ 연구 목표

국내 도로 환경에 맞는 녹색도로 법/제도를 기반으로 한 한국형 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템을 개발한다.

■ 연구성과물

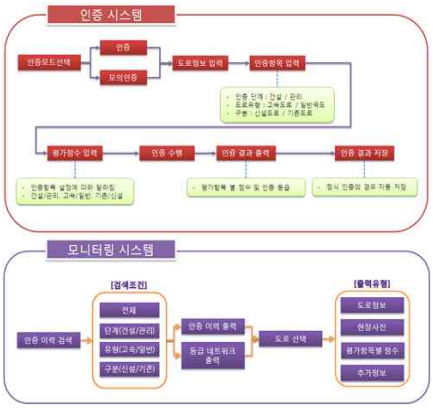


- 인증시스템
- 모니터링시스템
- 사용자 매뉴얼

■ 연구 주요내용

본 연구에서 개발한 녹색도로 인증 및 모니터링 시스템(Green highway Certification & Monitoring System; GCMS)은 SmartClient 기술을 접목시켜 웹 환경에서 보다 신속하게 인증 및 모니터링을 수행할 수 있도록 구현하였다. 관리자 또는 일반 사용자에 따른 인증 모드가 따로 존재하며, 인증 결과에 대한 이력을 데이터베이스화하여 관리자 및 사용자가 모니터링을 진행할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

국내에서는 아직 녹색도로 인증에 대한 시스템 개발 사례가 존재하지 않아 본 연구에서 개발된 시스템이 녹색도로 연구에 많이 활용될 수 있을 것이다.



■ 활용방안 및 기대효과

- 녹색도로인증제 도입·적용시 녹색도로의 설계·시공·운영단계에서 정부는 설계용역업체·시공업체 선정평가 및 사업평가 시 활용이 가능
- 녹색도로 인증제 및 프로그램의 개발을 통해 개발도상국 지원이 가능
- 선진국에 비해 뒤처진 녹색기술 수준 향상과 관련 시장 형성 가능
- 녹색시대의 요구 성능에 부합하는 국내 원천기술 확보 및 발전 도모

분야과제명	(1-2) 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발		
세세부과제명	(1-2-1) 녹색도로기술 투자평가시스템 개발 - LCC 분석시스템 및 에너지/자원 분석시스템 개발		
연구기관	한국건설기술연구원	연구책임자	백종대 수석연구원
연 구 진	백종대, 노관섭, 이유화, 허혜정, 이근희, 유혜지		
연 락 처	담당자 : 이근희 연구원 E-mail : ******** Tel : 031)910-0372		

■ 연구 목표

녹색도로기술의 개발 및 상용화를 지원하기 위한 평가시스템을 설계하고, 도로 생애주기에 따른 에너지/자원 사용량, 저감량 및 생산량 예측 방법론과 기술과 도로의 생애주기를 고려한 비용(Life-cycle cost) 예측 방법론을 개발한다.

■ 연구성과물

- 녹색도로기술 투자평가시스템(G-Ties) 설계안
- 도로 에너지/자원 분석시스템 및 매뉴얼
- 녹색도로기술 LCC 분석시스템 및 매뉴얼
- GIS 지도 기반 도로의 탄소/에너지/비용 조회 시스템

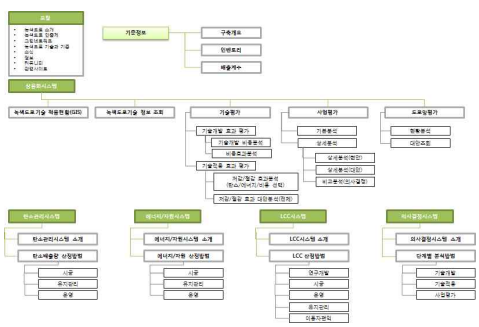


■ 연구 주요내용

녹색도로기술 투자평가시스템(Green highway Technology Investment Evaluation System; G-TIES)을 개발하기 위한 시스템 아키텍처 및 이용자 동선을 작성한다. 도로 생애주기별 유형별 에너지 사용량 산정 기법을 개발하여 녹색도로기술 및 도로 사업에 대한 에너지 소비량 및 저감량을 추정하는 기능을 개발한다.

도로 기술의 생애주기와 도로의 생애주기에 따른 비용 추정 방법을 개발하여 녹색도로기술 개발 단계와 사업화 단계에서의 소요 비용을 추정하는 시스템을 개발한다.

또한 국토교통부 보유 시스템의 DB를 활용하여 국내 도로 현황에 따른 GIS 지도 기반의 탄소/에너지/비용 조회 및 예측 시스템을 개발한다.





■ 활용방안 및 기대효과

- 녹색도로기술의 개발 및 적용과 녹색도로기술 적용 도로사업에 대한 효과 평가시 활용
- 도로 생애주기에 따른 에너지 사용량 산정시 사용
- 녹색도로기술별, 도로 사업별 에너지 사용량 및 저감량 산정시 활용
- 연구개발 수행, 실증, 상용화, 기술 정착 및 운용 단계 등 녹색도로기술의 생애주기별 비용항목 분류 및 추정치 산정 시 활용
- 행정구역별, 관리기관별 관할 도로에 대한 탄소배출량/에너지 사용량/비용 현황 분석 가능

분야과제명	(1-2) 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발		
세세부과제명	(1-2-2) 녹색도로 기술 투자효과 평가시스템 개발 - 의사결정 시스템 및 상용화 시스템 개발		
연구기관	서울시립대학교	연구책임자	손의영 교수
연 구 진	손의영, 김도경, 강경미, 박재영, 김대현,		
연 락 처	담당자 : 박재영 박사과정 E-mail :********		Tel : 02)6490-5684

■ 연구 목표

녹색도로기술의 개발 및 적용에 따른 투자효과를 분석하여 이를 기술개발자 및 정책결정자에게 제공함으로써 연구개발의 중복 및 불필요한 투자를 미연에 방지할 수 있도록 하며, 나아가 기술간 비교를 통한 녹색도로기술 개발의 효율성을 극대화 시키고자 함

■ 연구성과물

- 녹색도로기술 투자평가 시스템 모듈 설계도
  · 녹색도로기술 의사결정시스템 및 상용화시스템 DB구축
  · 녹색도로기술 상용화시스템 기능 및 모듈 설계
  · 녹색도로기술 의사결정시스템과 상용화시스템 매뉴얼 작성

■ 연구 주요내용

녹색도로기술 의사결정 시스템(Green highway Technology Decision Making System; G-TDS)은 크게 기술개발의 적정성과 기존기술과의 차별성 검토를 위한 '기술평가'와 개발된 기술을 실재 도로상에 적용하였을 경우 나타나는 경제적 효과를 분석하는 '사업평가'로 구분하여 분석을 시행할 수 있다.

'기술평가'는 기술개발 이전 개발여부의 적정성을 검토하는 '기술개발 단계' 분석과 기술개발이 완료된 기술의 효과를 기존기술과 비교할 수 있는 '기술적용 단계' 분석으로 세분화 되도록 설계하였으며, '기술개발 단계' 분석은 AHP분석을 통한 정책적·기술적 타당성 검토와 연구진의 기술개발 효과 예측치를 활용한 경제적 타당성 분석을 동시에 진행하도록 설계하였다. '기술적용 단계' 분석은 개발된 기술의 세부 공종자료를 기초로 원단위를 산출하여 기존기술의 원단위와 비교·분석하는 형태로 시스템을 구축하였다.

마지막으로 특정 도로사업의 설계내역서 상에 도입하고자 하는 녹색도로기술의 세부 공종별 변화량을 입력하여 해당 도로사업의 경제성(B/C) 변화를 파악할 수 있는 '사업평가' 단계를 시스템 상에 구성하였다.

상용화시스템은 의사결정시스템을 포함한 탄소, LCC, 에너지·자원 시스템을 보다 편리하고 효과적으로 이용하기 위한 시스템으로 설계되었다.



■ 활용방안 및 기대효과

- 녹색도로기술 개발의 중복 및 불필요한 투자 방지
- 신규 녹색도로기술의 개발 활성화 도모

분야과제명	(1-2) 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발		
세세부과제명	(1-2-3) 녹색도로 탄소배출량 산정기술 적용 시범사례 분석 및 탄소관리시스템 개발		
연구기관	㈜ 예스오알지	연구책임자	박광호 연구소장
연 구 진	박광호, 김윤재, 김건호, 윤상철, 곽인호, 설소영, 위대형, 송유근, 정보윤, 황용우, 박지형, 이영설		
연 락 처	담당자 : 곽인호 선임연구원 E-mail : ******** Tel : 02)070-4322-0464		

■ 연구 목표

국제 표준에 부합하는 도로 부문 탄소배출량 산정 방법의 개발, 탄소배출량 산정에 활용되는 인벤토리 DB 및 원단위 구축, 그리고 도로부문의 탄소배출 베이스라인 산정과 녹색도로 기술의 정량적인 탄소저감량 산정 기술의 개발을 포함해 도로 부문의 온실가스 배출량의 종합적인 관리와 평가를 위한 탄소관리시스템 개발을 목표로 한다.

■ 연구성과물

- 도로부문 life cycle 단계별 탄소배출량 산정 기법
- 녹색도로 기술별 탄소배출량 및 저감량 산정 기법
- 도로 유형별 탄소배출 인벤토리 및 원단위
- 도로 탄소관리시스템(매뉴얼 포함)

■ 연구 주요내용

국제표준에 부합하는 도로부문 및 녹색도로 기술별 탄소배출량 산정 기법을 개발하고 고속국도, 일반국도에 대한 유형별(토공부, 터널부, 교량부)의 탄소배출량 인벤토리와 도로 유형별, life cycle 단계별 탄소배출 DB 및 원단위를 구축하였다. 또한 녹색도로 기술별 탄소배출량 산정 절차를 제시하고 도로부문 탄소배출에 대한 Baseline 산정 및 기술별 저감효과 분석을 통해 녹색도로 기술 적용에 따른 2030년 기준 탄소배출량을 예측하였다. 본 연구를 통해 도출되는 도로 탄소관리시스템(Highway Carbon Management System; HCMS)은 탄소배출량 산정방법, 인벤토리 및 원단위, 녹색도로 기술별 저감량, 녹색도로 탄소배출량 Baseline, 2030년 저감량 예측의 기능이 포함되도록 구성하였으며, 탄소관리시스템의 현장적용을 통한 탄소관리 목표 설정을 수행하였다.



■ 활용방안 및 기대효과

- 녹색도로의 탄소배출량 산정기법 정량화, 표준화 및 관리
- 도로의 탄소배출량 인벤토리 DB 및 원단위 구축을 통해 도로부문 탄소배출량 정량화
- 도로의 life cycle 단계별, 공사 및 공종별, 설계 대안별 비교 분석을 통한 온실가스 저감 설계
- 탄소배출 인벤토리 DB 및 원단위, 탄소관리시스템과 건설현장을 연계하여 탄소배출 관리

분야과제명	(1-2) 녹색도로 탄소배출 산정 및 평가시스템 개발		
세세부과제명	(1-2-4) 녹색도로기술 투자평가시스템 개발		
연구기관	㈜ 솔루티스	연구책임자	황태연 대표
연 구 진	황태연, 전수일, 김도형, 강지훈, 노기현, 이강호, 김재열, 전성민, 지창용, 박승원, 신명진, 전효숙, 지은실, 장우석, 허영인, 박동현		
연 락 처	담당자 : 노기현 과장 E-mail : ********		Tel : 070-4322-1367

■ 연구 목표

녹색도로 투자 평가시스템(G-TIES)을 개발하여 녹색도로 기술개발/적용/사업평가를 지원하며, 이를 상용화 하여 온실가스/에너지/자원 절감 및 도로 인프라 예산의 효율화를 실현한다.

■ 연구성과물

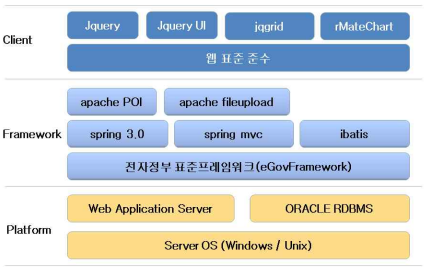
- 녹색도로기술 투자평가 시스템(G-TIES)



· G-TIES포털 · 도로에너지/자원분석시스템
· 탄소관리시스템 · 의사결정시스템
· LCC분석시스템 · 상용화시스템

■ 연구 주요내용

도로부문에 대한 녹색도로 기술개발/적용/사업평가를 지원하는 시스템을 구축하기 위하여 전자정부표준프레임워크를 기반으로 한 G-TIES시스템 개발 표준 프레임워크를 구축하였.
프레임워크에 사용된 기술로는 Spring3.0, Spring MVC, Itatis, Jquery, jqgrid, rMateChart 등이 있으며, GIS 플랫폼에는 VWORLD, OpenLayer, GeoServer 를 사용하였다.
프레임워크를 기반으로 녹색도로 기술개발, 시공, 운영, 유지보수 단계의 탄소, 에너지/자원, LCC 비용 및 의사결정을 지원하는 시스템으로 구현한다.



■ 활용방안 및 기대효과

- 녹색도로기술 평가시스템 개발
- 도로부문 전과정의 국가 인벤토리 DB 구축의 기틀을 마련
- 녹색도로 기술에 대한 개발 및 투자를 유도할 수 있는 평가시스템 구축을 통해 성과 및 효과를 정량적으로 도출할 수 있으며, 이를 통해 시스템 사용자들의 의사결정을 지원

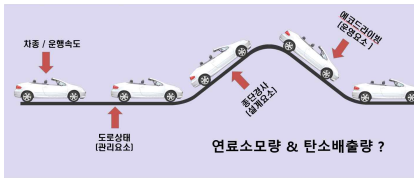
분야과제명	(1-3) LCA 기반 탄소저감형 도로설계기술 개발		
세세부과제명	(1-3-1) 도로선형 및 차량에 따른 탄소배출량 산정		
연구기관	한국건설기술연구원	연구책임자	유인균 연구위원
연 구 진	유인균, 김종민, 이수형, 한대석, 박민호		
연 락 처	담당자 : 한대석 수석연구원 E-mail : ********		Tel : 031-910-0840

■ 연구 목표

본 연구는 저탄소 기반 도로설계 및 유지보수 전략수립의 핵심인 “도로선형-노면평탄성 기반” 탄소배출량 산정모형을 개발하고, 이에 대한 활용방안을 정립하여 향후 도로설계와 유지관리 정책의 최적화와 정량적인 설명책임을 목적으로 한다.

■ 연구성과물

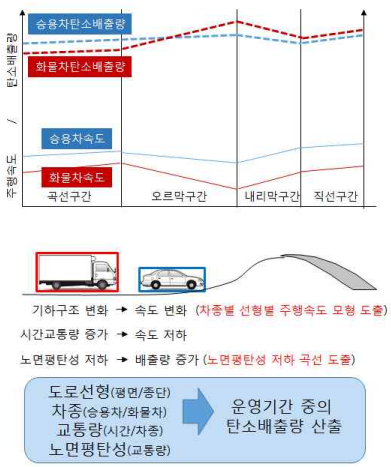
- 도로선형-평탄성 기반 탄소배출량 산정 프로그램
- 종단경사에서의 Eco-driving(Fuel-cut) 운용방안



■ 연구 주요내용

본 연구의 최종성과물은 차종과 운행속도는 물론 도로 기하구조, 노면 평탄성을 기반으로 한 탄소배출량 산정 프로그램으로써 도로종단경사 설계와 중장기 도로포장 유지보수 정책 분석 시에 생애주기비용 분석의 핵심 서브모형으로 활용된다.

기존 연구들은 교통측면에서의 접근을 시도하면서 차종과 속도만을 변수로 한 모형을 제시하고 있어, 저탄소기반 도로설계와 도로운영정책 접목에는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 종단선형과 평탄성을 추가적으로 고려한 예측모형을 개발한다.



■ 활용방안 및 기대효과

- 종단선형-평탄성 기반 탄소배출량 프로그램
  · 도로선형 설계 대안에 따른 건설비용(관리자 비용)과 탄소배출량(이용자 비용)의 관계를 고려한 최적 설계대안 도출
  · 도로 유지보수 수준에 따른 유지보수비용(관리자 비용)과 탄소배출량(이용자 비용)의 관계를 고려한 최적 유지보수 대안 도출
- 종단경사에서의 Eco-driving (Fuel-cut) 운영 방안
  · 내리막 차로에서의 Fuel-cut 활용을 통한 연료소모 및 탄소배출량 절감

분야과제명	(1-3) LCA 기반 탄소저감형 도로설계기술 개발		
세세부과제명	(1-3-2) 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발		
연구기관	㈜ 동부엔지니어링	연구책임자	손원표 연구소장
연 구 진	손원표, 강전용, 김정경, 이대훈, 김경훈, 송헌영, 박경석, 함은영		
연 락 처	담당자 : 강전용 부장 E-mail : ********		Tel : 02-2122-6977

■ 연구 목표

도로의 시공 • 운영 및 유지관리 단계에서 탄소발생을 최소화하기 위한 그린네트워크 도로설계기술 개발을 연구 목적으로 한다.

■ 연구성과물

- 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기법
  · 도로선형 / 횡단면 / 도로수목(한경대)
- 탄소저감형 도로선형조합 평가시스템
- 탄소저감을 위한 녹색도로 편람 [설계부문]



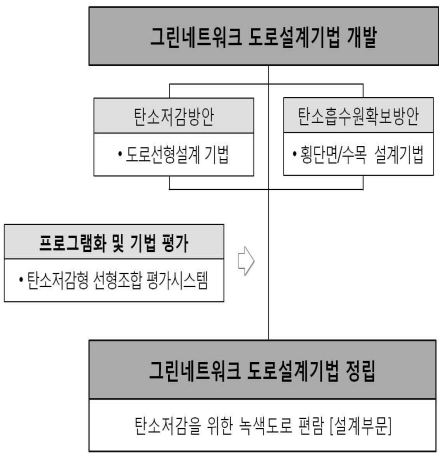
<탄소저감형 선형조합 평가시스템>

■ 연구 주요내용

현재 도로설계는 설계기준 적용을 통한 규제 위주의 설계를 시행하고 있다. 그러나 주행속도 개념을 반영하여 탄소발생 저감을 위한 도로선형설계기법, 탄소흡수원 확보차원의 횡단면설계기법을 개발함으로써 그린네트워크 도로설계기술을 정립하고자 한다.

또한, 선형조합의 적정성과 주행속도 및 탄소발생량 산정을 위한 '탄소저감형 도로선형조합 평가시스템(Design System of Road Alignment Combination for Low-Carbon; LC Road)'을 개발함으로써 실무 적용성을 확대하고자 한다.

최종적으로 '탄소저감형 녹색도로 편람'을 제시함으로써 LCA를 고려하여 도로의 시공•운영 및 유지관리 등 도로건설 전 단계에 걸쳐 기존 기술대비 20% 이상의 탄소저감 효과를 통하여 환경성을 확보할 수 있는 그린네트워크 도로설계기술을 정립하고자 한다.



<연구성과물의 흐름도 및 연계성>

■ 활용방안 및 기대효과

- 그린네트워크 도로설계기법은 설계요소별 탄소발생을 최소화 하기 위한 설계기법으로 기존 설계기술 대비 20% 이상의 탄소저감 효과가 예상됨
- 탄소저감형 선형조합 평가시스템은 탄소저감을 위한 선형계획을 위하여 실무 적용성을 확대하였으며, 향후 BIM 기술과 연계를 통한 Total solution으로 활용이 기대됨
- 탄소저감을 위한 녹색도로 편람은 도로건설 전(全)단계에 걸친 친환경 그린네트워크 도로건설을 위한 매뉴얼로서 실용화를 통한 국내 기술력 확대가 기대됨

분야과제명	(1-3) LCA 기반 탄소저감형 도로설계기술 개발		
세세부과제명	(1-3-3) 탄소저감형 도로수목 시공, 유지관리 기술개발		
연구기관	한경대학교	연구책임자	박청인 교수
연 구 진	박청인, 김준래, 모평, 김수한, 김나진		
연 락 처	담당자 : 김준래 연구원 E-mail : ******** Tel : 031-670-4655		

■ 연구 목표

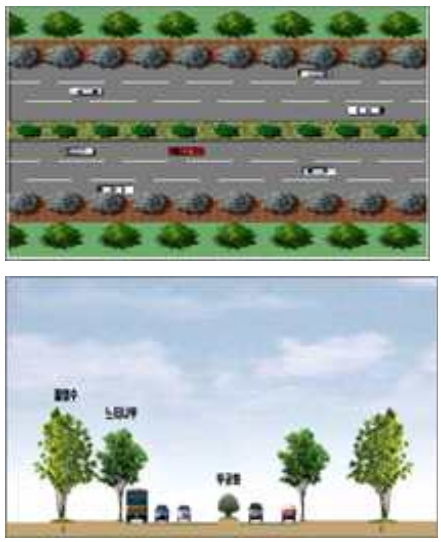
본 연구는 도로녹지의 생태적 건전성을 증진하여 CO_2 흡수 기능을 극대화 할 수 있는 방안과 도로녹지의 식생구조 개선 및 조기 활착을 위한 배식설계 방안을 연구한다. 또한 도로녹지의 생태적 건전성을 지속할 수 있는 유지·관리 방안을 마련한다.

■ 연구성과물

- 도로 수목 배식설계(안)
- 도로 수목 시공 및 유지관리(안)

■ 연구 주요내용

CO_2 흡수 기능이 우수하나 이식 활착율이 저조하여 식재하기 곤란한 낙엽활엽 식재수종의 이식 활착률을 증진시킬 수 있는 시공기술을 개발한다. 특수식재기층(Structured Soil) 시공법 및 container 수목 이식기법 적용실험을 수행한다.
식재 후 유지관리 수요 및 CO_2 배출을 최소화할 수 있는 도로변 식재 유지관리기법 개발 및 유지관리를 고려한 대안설계 방안을 제안한다.
단위당 탄소흡수량 및 목표연도 누적 탄소흡수량 및 개선효과를 산출한다.
실험 수목의 생리학적 효과를 측정하기 위한 엽록소 형광 측정, 토양수분 측정, 수목활력도 측정 등을 실시하고 실험수목의 CO_2 흡수율을 실측한다.



< 수목 배치 및 구성 >

■ 활용방안 및 기대효과

- 도로 수목을 통한 CO_2 감소, 흡수효과의 배가
- 도로 수목활착 성공율 증진 및 유지관리비용 절감
- 탄소 저감을 고려한 도로수목 수종선정모델 개발
- 탄소저감이 효과가 우수한 신규 수종 검증 및 개발
- 도로변 수목식수대의 친환경 시공기술 개발
- 도로변 수목설계, 시공, 유지관리의 통합시스템 구축
- 도로 환경과 경관기능의 제고를 통한 친환경 정책 마련
- 도로변 수목에 대한 경제적, 환경적 가치인식 제고

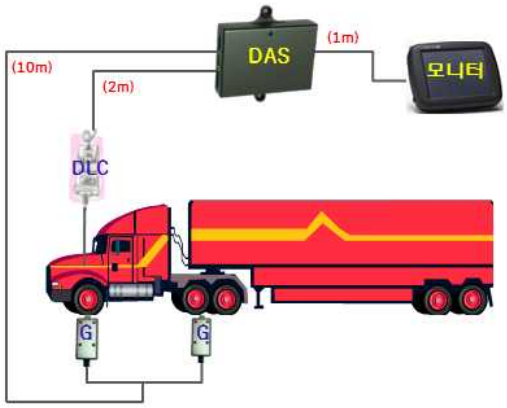
분야과제명	(1-3) LCA 기반 탄소저감형 도로설계기술 개발		
세세부과제명	(1-3-4) On-board 탄소배출량 측정장치 개발		
연구기관	㈜ 허즈앤티	연구책임자	김창용 이사
연 구 진	김창용, 이준호, 김진열, 김영훈, 김대욱, 마상준		
연 락 처	담당자 : 김창용 이사 E-mail : ******** Tel : 031-906-0789		

■ 연구 목표

차량이 도로를 주행할 때 연료를 소모하는 양은 도로의 종단경사, 차량의 주행속도, 차량의 무게 등에 따라서 차이가 발생되기 때문에 차량이 움직일 때 노면특성과 주행조건을 동시에 측정할 수 있는 On-Board형 탄소배출량 측정 장치를 개발하는 것이다.

■ 연구성과물

- On-Board 탄소배출량 측정장치로 데이터수집장치(DAS), 모니터, G센서 2개, DLC케이블로 구성됨
- 측정장치에서 데이터수집장치는 G센서에서 측정된 값과 DLC를 통해 측정된 값들을 알고리즘으로 연산하고, 모니터는 이 값들을 실시간으로 표시함
- 승용차와 화물차의 연료소모량을 노면특성과 주행조건별로 측정하여 DB를 구축함



■ 연구 주요내용

기존에 사용하는 장치들은 노면의 특성과 차량의 주행조건들을 동시에 측정할 수 없지만, 본 연구에서 개발하는 장치는 차량이 도로를 주행할 때 노면의 종단경사, 차량의 속도, 차량의 무게를 동시에 측정할 수 있다. 그리고 이 장치에는 차량의 무게를 측정하는 새로운 기술이 적용된다. 차량이 주행할 때 차량의 구동력과 전주행저항값을 이용하여 알고리즘을 만들어서 실시간으로 차량의 무게를 측정한다.

차량의 무게를 측정하는 알고리즘은 아래와 같다.

$$W = \frac{(0.3686 \times n \times T \times \tau) - (0.0079 \times \mu_a \times A \times V^3)}{(\mu_r \times V) + (\sin\theta \times V) + (0.105 \times a \times V)} \ (kg_f)$$

■ 활용방안 및 기대효과

- 도로선형과 주행속도에 따른 탄소배출량 산정은 도로설계요소별로 탄소배출량을 저감할 수 있는 도로설계에 활용
- 탄소배출량 측정데이터를 수집하여 탄소중립형 도로 건설을 위한 기초 설계 자료로 활용
- 도로조건과 차량 운행조건을 동시에 고려한 탄소배출량에 대한 실차 측정을 통한 운행정보 도출 기술 확보

분야과제명	(1-3) LCA 기반 탄소저감형 도로설계기술 개발		
세세부과제명	(1-3-5) 공법, 장비운용 등을 조합한 최적 녹색시공기법 개발		
연구기관	㈜ 도명이엔씨	연구책임자	권석현 대표이사
연 구 진	권석현, 차철, 이경희, 황승신, 강미덕, 김민지, 최재현, 이승현, 손재호, 이승학(A), 이승학(B), 이시현, 우미선, 송호정, 김지혜, 김현중		
연 락 처	담당자 : 김민지 과장 E-mail : ******** Tel : 031-463-3575		

■ 연구 목표

도로공사 공정관리의 최적화를 통해 CO_2 저감을 통한 직접적 효과와 그 외에 공기절감, 장비운용의 시공 효율성을 개선하여 녹색도로의 효율성 대비 최적 녹색도로 시공방법을 제시한다.

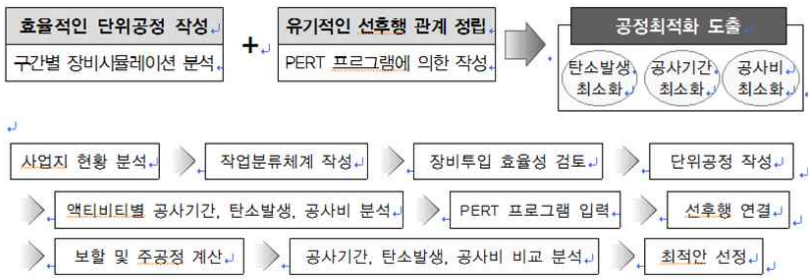
■ 연구성과물

- EVMS 개념의 작업분류체계
- 탄소저감을 위한 대상공정별 장비조합 시뮬레이션 모델
- 탄소저감을 위한 녹색도로 편람/지침

■ 연구 주요내용

국내 토목공사의 공정관리는 주로 공사비를 최소화하는 것을 목적으로 이루어지고 있어 탄소, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 고려한 체계적인 공정관리가 부재한 실정이다. 본 연구에서는 탄소배출량-공사기간-공사비용을 연계하여 최적의 녹색시공 기법을 선택할 수 있는 의사결정 방법을 제시하고자 한다. 이를 위하여 공정관리방법 및 장비운용 시뮬레이션 등을 조합하여 녹색시공 모델을 도출하고, 탄소저감을 위한 녹색도로 편람/지침을 제시하고자 한다.

대형 건설공사에서 공기단축은 경제성을 확보하는데 가장 큰 핵심으로, 사업관리자의 편람/지침을 준용하여 프로젝트의 공기 단축뿐만 아니라, 적정 제원(장비)의 적정투입 시기로 탄소발생량 저감과 더불어 최대의 생산성, 경제성을 확보할 수 있다.



■ 활용방안 및 기대효과

- 최적 시공방법 제시를 통해 실제 도로설계/시공시 탄소저감형 시공기술을 선택할 수 있음
- 공사비, 공사시간에 탄소발생량을 포함하여 최적의 녹색시공기술의 평가가 가능함으로써, 경제성과 환경성을 동시에 고려한 최적 대안제시 가능
- 발주처, 시공 및 설계자 등은 탄소발생저감, 공사기간 단축, 공사비 절감 등의 인자들 간의 균형적인 의사결정이 가능하며, 환경오염으로 인한 사회적 기회비용을 감소시킴

분야과제명	(2-1) 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료 개발		
세세부과제명	(2-1-1) 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료 개발		
연구기관	세종대학교, 강원대학교, 한국건설기술연구원, 한국도로공사	연구책임자	송지현 교수
연 구 진	· 세종대학교 : 송지현, 이현종, 김원재, 최성호, 르반폭, F.Julius, 이혁기, 조은양, 조은석, 크리스티나 아모르 M. 로살레스, 남궁형규, 안해영, 김진성, 이재기 · 강원대학교 : 박철우, 김승원, 전상표, 신상민, 조현명, , suman uprety, 박효철, 한승엽, 최영준, 김형돈, · 한국건설기술연구원 : 김부일, 유평준, 최지영, 윤강호, 유병근, 김제원, 김태우 · 한국도로공사 : 이광호, 김형배, 권순민, 손덕수, 이재훈, 권오선, 박준영, 류성우, 이경배, 이민경, 천금진		
연 락 처	담당자 : 이민경 연구원 E-mail : ******** Tel : 031-371-3407		

■ 연구 목표

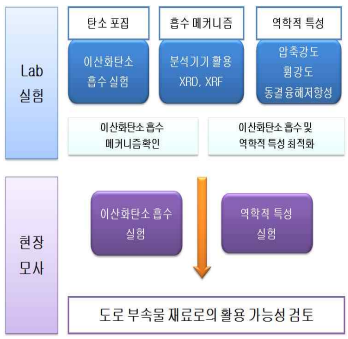
본 연구에서는 콘크리트의 주재료인 시멘트 대신 고로슬래그를 사용하여 시멘트 생산시에 발생하는 이산화탄소 발생량을 수동적으로 감소시킴과 동시에, 이산화탄소 흡수가 가능하도록 활성화시킨 고로슬래그를 사용하여 능동적으로 이산화탄소 흡수가 가능한 도로 재료 및 구조체를 개발하고 현장에 적용하기 위한 적용성을 평가한다.

■ 연구성과물

- 기존 OPC 활용 콘크리트 대비 시멘트 사용량 20 % 감소
- 이산화탄소 흡수량 0.025 kg-CO_2/kg
- 휨강도 3.0 MPa
- 동결 융해 저항성 60%/300cycle 확보

■ 연구 주요내용

콘크리트 제조 시 시멘트 대신 산업부산물인 고로슬래그를 사용하여 시멘트 1 ton 생성 시 발생하는 약 0.95 ton의 이산화탄소 발생량을 저감시킨다. 또한 고로슬래그를 활성화제를 통해서 표면을 개질화 시켜서 능동적으로 이산화탄소 포집이 가능하도록 한다. 이후 본 과제에서 개발한 능/수동적 이산화탄소 저감이 가능한 이산화탄소 흡수제의 도로재료로써의 사용 적합성을 확보한다. 기존에 이산화탄소 흡수제 개발 기술과 무시멘트 관련 기술이 각각 연구 개발이 진행된 적은 있으나 본 과제에서처럼 두 기술의 효과를 동시에 확보하고자 하는 기술은 연구된 적이 없다.



■ 활용방안 및 기대효과

- CO_2 포집격리 효능을 극대화한 환경친화적 녹색도로 소재 및 구조체를 개발하여 기술 상용화 및 실증화
- 도로연석과 같이 포장강도를 요구하지 않는 곳에 적용
- 강도 증진 방안을 검토하여 도로 포장시공 적용 가능성 확보 후 도로 포장에 적용

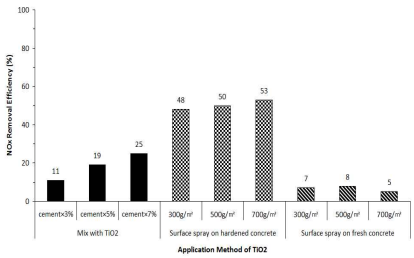
분야과제명	(2-1) 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로재료 개발		
세세부과제명	(2-1-2) 도로온실가스 제거를 위한 도로시설용 TiO_2 콘크리트 공법 개발		
연구기관	강릉원주대 한국도로공사	연구책임자	이승우 교수
연 구 진	· 강릉원주대 : 이승우, 김영규, 홍성재, Chamroeun CHHORN, 신종환, 박종원, 송시훈, 우은희 · 한국도로공사 : 이광호, 김형배, 권순민, 손덕수, 이재훈, 권오선, 박준영, 류성우, 이경배, 이민경, 천금진		
연 락 처	담당자 : 이민경 연구원 E-mail : ******** Tel : 031-371-3407		

■ 연구 목표

본 연구는 도로이동 오염원의 주된 성분인 질소산화물(NOx)을 흡수/제거하기 위한 광촉매(TiO_2) 콘크리트 재료를 개발하고 이를 도로시설물에 적용하여 도로에서 발생하는 온실
가스의 약 15%를 저감시키고자 함.

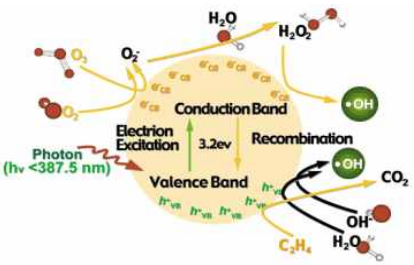
■ 연구성과물

- TiO_2 콘크리트 재료를 이용한 도로시설물 적용 방안 제시(특허출원)
- NOx 제거 평가 시스템 구축
- TiO_2 콘크리트 도로시설물의 설계 및 시공지침(안)



■ 연구 주요내용

광촉매 소재를 도로구조물에 적용할 경우 자동차에서 배출되는 유해가스를 직접적으로 흡착/제거하여 대기오염방지에 상당히 효과적일 것으로 판단되며, 특히 도로구조물의 경우 비표면적이 매우 넓으므로 광촉매 효율을 극대화 할 수 있다. 따라서 도로구조물의 적용이 가능한 TiO_2 콘크리트의 재료적 특성 및 NOx 제거 효율을 평가하고자 하며, 이를 통하여 효율성과 경제성을 확보할 수 있는 광촉매 콘크리트의 도로구조물 적용방안을 제시한다.



■ 활용방안 및 기대효과

- 광촉매 소재를 적용하여 자동차로부터 배출되는 유해가스(NOx)를 직접적으로 흡수/제거할 수 있는 TiO_2 콘크리트 공법을 개발 적용
- 도로시설물용 TiO_2 콘크리트의 시험시공을 통한 경제성 확보 및 시공지침(안) 정립
- 실용화 연구를 통한 도로시설물용 TiO_2 콘크리트의 원천 기술 상용화 및 이전

분야과제명	(2-2) 탄소저감형 흙 포장 기술 개발		
세세부과제명	(2-2-1) 폴리머 콘크리트를 활용한 탄소저감형 흙 포장 기술개발		
연구기관	한국건설기술연구원, 한국도로공사	연구책임자	이용수 연구위원
연 구 진	· 한국도로공사 : 김형배, 권순민, 손덕수, 이재훈, 권오선, 박준영, 류성우, 이경배, 이민경, 천금진 · 한국건설기술연구원 : 이용수, 정재형, 류상훈, 황성필, 이광우,		
연 락 처	담당자 : 황성필 수석연구원 E-mail : ******** Tel : 031-910-0774		

■ 연구 목표

본 연구는 유기계열 첨가제를 이용한 탄소저감형 흙 포장 기술로, 현장토사와 유기계 바인더를 이용하여 소요강도 및 경제성을 갖춘 최적의 혼합비로 포장하는 기술이다. 실제 현장에 적용하여 사용성 및 장기 내구성 등을 분석하고, 흙 포장의 설계 방법 및 시공 품질 기준을 정립한다.

■ 연구성과물

- 유기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙 포장
- 흙 포장 설계 지침(안)



■ 연구 주요내용

탄소배출량을 줄이기 위해 유기계 바인더를 이용하게 되면 기존 콘크리트 포장 대비 약 23%의 탄소배출량 저감이 가능하다. 흙 포장의 적용을 비교적 적은 하중을 받는 산책로 및 자전거 도로 등에 적용한다. 이를 위하여 용도에 따른 설계강도 및 적정 혼합비에 따른 공학적 특성을 분석한다. 또한 흙 포장의 친환경성 및 내구성을 분석하기 위하여 환경특성 및 포장 가속시험 등을 실시하여 현장 적용성을 검증한다. 흙 포장의 설계 및 시공 품질 기준을 정립한 흙 포장 설계 지침(안)을 마련하여 설계 및 시공이 가능하도록 하였다.



■ 활용방안 및 기대효과

- 산책로 및 자전거 도로
- 주차장 및 단지내 도로
- 제3세계 주택 바닥처리 및 마을 진·출입로

분야과제명	(2-2) 탄소저감형 흙 포장 기술 개발		
세세부과제명	(2-2-2) 산업부산물과 무기계 바인더를 이용한 탄소저감형 흙포장 기술 개발		
연구기관	경일대학교, 한국도로공사	연구책임자	유지형 교수
연 구 진	· 경일대학교 : 유지형, 김대성, 곽기봉, · 한국도로공사 : 김형배, 권순민, 손덕수, 이재훈, 권오선, 박준영, 류성우, 이경배, 이민경, 천금진		
연 락 처	담당자 : 김대성 박사 E-mail : ********		Tel : 053-600-5470

■ 연구 목표

산업부산물과 무기계 바인더를 이용한 흙 포장 재료 및 무시멘트 무기계 탄소저감형 습식 흙 포장 설계 및 시공 기술 개발

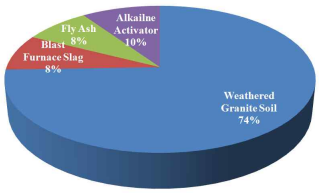
■ 연구성과물

- 무시멘트 무기계 습식 흙포장 재료
- 무시멘트 무기계 습식 흙포장 설계 및 시공지침(안)



■ 연구 주요내용

친환경 재료로 널리 알려진 기존 흙 포장의 경우 강도 발현은 시멘트 첨가량에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 기존 흙 포장 재료에서 시멘트를 대체하기 위하여 산업부산물과 무기계 바인더를 이용한 무시멘트 무기계 습식 흙포장 재료에 대한 물리.역학적 특성 분석을 통하여 무시멘트 무기계 습식 흙 포장의 최적 배합비를 도출하였으며, 도로포장 재료로써 적용가능성을 파악하기 위하여 내구성 및 공용성을 평가하였다.





기존 흙 포장 1km(폭3.0m×두께0.2m) 시공시 시멘트 사용량은 약 210ton으로 무시멘트 무기계 흙 포장으로 대체시 164,220kgCO_2/km의 탄소배출량을 저감할 수 있다. 또한 기존 흙 포장 1km 시공시 시멘트와 고화제의 투입 비용은 약 55,050,000원이며, 무시멘트 무기계 흙 포장의 경우 알칼리활성제의 투입 비용은 약 46,080,000원으로 산업부산물의 물류비용을 포함하면 기존 흙 포장과 경제성에서 비슷한 수준이나, 탄소배출 저감 효과를 고려할 경우 기존 흙 포장에 비해 경제성이 우수하다.

■ 활용방안 및 기대효과

- 시멘트 사용량 0%로 탄소배출량 저감
- 산업부산물을 이용한 자원재순환 및 재활용률 증대
- 탄소저감형 흙 포장 재료에 대한 설계 및 시공, 품질관리 기준 정립
- 도로 이용자들에게 친환경적인 도로 구현

분야과제명	(2-3) DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 시설물 개발		
세세부과제명	(2-3-1) DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 시설물 개발		
연구기관	아주대학교, 평화엔지니어링, 수도프리미엄	연구책임자	홍민선 교수
연 구 진	· 아주대학교 : 홍민선, 박일건, 김범석, 정장현, · 평화엔지니어링 : 강호근, 김홍래, 김상태, 정찬구, 최재평, 심진아, 박미현, 이용문, 박진석, · 수도프리미엄 : 김유만, 이창근, 진희성		
연 락 처	담당자 : 강호근 책임연구원 E-mail : ******** Tel : 031-596-6729 담당자 : 박일건 연구원 E-mail : ******** Tel : 031-219-2407		

■ 연구 목표

본 연구개발의 최종 목표는 대기 중 CO_2를 10tonCO_2/yr·m^2 저감할 수 있는 DAC 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 시설물 장치를 개발하는 것이다.

■ 연구성과물

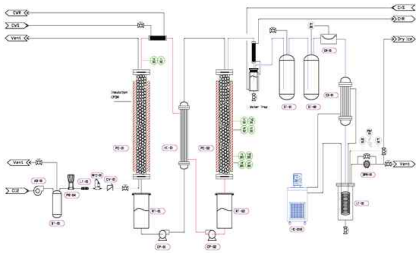
- DAC(Direct Air Capture) 기술 적용 CO_2 포집 장치
  · 인공나무(Artificial Tree)
  · DAC 기능을 갖춘 도로시설물 설계 및 시제품
- DAC 기술 적용 시스템의 도로 적용성 평가 기술 개발
  · 인공나무 공간 설계 디자인 및 적용 매뉴얼
- 모니터링 시스템



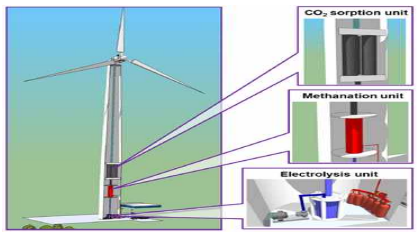
<DAC 기술 적용 CO_2 포집 장치>

■ 연구 주요내용

DAC 기술을 적용한 인공나무(artificial tree)를 개발한다. 이는 1m^3/min 규모의 CO_2 포집 장치 시스템이다.
이 시스템의 도로 적용성 평가를 위하여 도로시설물과 연계한 인공나무 공간 설계, 성능평가 기준 및 설치장소 적용 기법 매뉴얼(안) 등을 개발한다.
30년 생 소나무 1그루의 CO_2 저감량(흡수량)이 6.6kg 이므로 본 연구에서 개발된 인공나무 설치 시 3,030,000 그루의 소나무를 식재하는 것과 동일한 CO_2 저감 효과가 있다.
발전소 배출 CO_2 포집 기술(Post Combustion Capture; PCC) 보다는 고비용이나 신재생에너지 효율 증대에 따라 격차를 줄일 수 있다.



<요소기술 개발 시스템 개략도>



<DAC 기술 적용 CO_2 포집 장치(컨셉)>

■ 활용방안 및 기대효과

- 다양한 구조를 갖고 있는 도로시설물을 활용한 대기 중 CO_2 저감
- 저농도 CO_2 포집 기술은 지하도, 지하상가, 인구 밀집지역 내 상가 등에 활용 가능
- 기후변화에 의한 사회·경제적 피해 비용 상쇄 기대
- 신재생에너지 또는 원자력 발전 전기를 이용한 에너지 효율 증대

탄소중립형 도로기술연구단

Carbon Neutral Road Technologies Research Group

http://greenhighway.kict.re.kr

삶의 질 향상을 꾀하면서 지구를 지키는
"녹색도로(Green Highway)"
우리가 지금 가꾸어 나가야 할 미래의 도로입니다.



연구개발 내용 : 탄소저감 도로기술과 녹색도로시스템

녹색도로 인증 및 관리 시스템

- 녹색도로 인증 판람 및 인증시스템
- 도로 탄소관리시스템
- 도로 에너지자원 분석시스템
- 녹색도로기술 LCC 분석시스템
- 녹색도로기술 의사결정 시스템
- 녹색도로기술 상용화 시스템

탄소저감을 위한 녹색도로기술

- 그린네트워크 도로설계기법
- 탄소저감 선형조합 평가시스템
- 도로수목 설계·시공·유지관리 기법
- 탄소저감을 위한 공정관리 최적화 기법
- 도로현장용 탄소배출량 측정장치

탄소저감 재료 및 시공기술

- 활성 산업부산물을 활용한 탄소흡수용 도로시설물 시공기술
- 광촉매(TiO2) 활용 도로시설물 시공기술
- 탄소저감형 흙 포장기술
- DAC(Direct Air Capture) 기술을 활용한 도로 CO_2 흡수 시설물 기술

국토교통부 KAIA KICT 한국건설기술연구원 ex 한국도로공사



http://greenhighway.kict.re.kr





















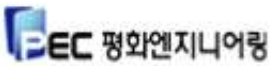






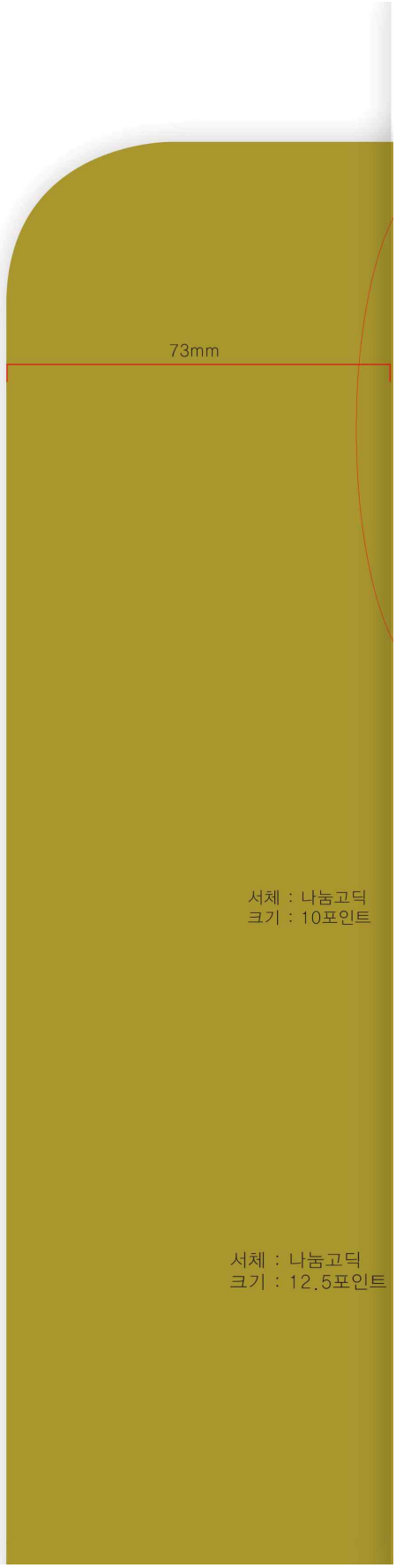












주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.