

도시건축연구사업

탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발 최종보고서

2016. 6.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 서울시립대학교
미래엔에스
위탁연구기관 / 안양대학교
노스캐롤라이나주립대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발"의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 6.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

주관연구책임자 : 양충헌

연 구 원 : 허혜정, 윤천주,
김진국, 윤덕근

공동연구기관명 : 서울시립대학교

공동연구책임자 : 이승일

연 구 원 : 이승재, 김주영,
이창효, 장성만,
안영수, 고주연

공동연구기관명 : 미래엔에스

공동연구책임자 : 백종학

연 구 원 : 강경훈, 송은희, 김동일,
우동우, 주우종, 김유훈

위탁연구기관명 : 안양대학교

위탁연구책임자 : 구윤서

연 구 원 : 윤희영

위탁연구기관명 : 노스캐롤라이나 주립대학교

위탁연구책임자 : Nagui Roupail

연 구 원 : Christopher Frey, 고관표,
Sarat Bantupalli

보 고 서 요 약 서

과제고유번호	15CHUD-C 060577-05	해 당 단 계 연 구 기 간	2015.07.01. ~ 2016.06.29	단 계 구 분	5 / 5
연 구 사 업 명	도시건축연구사업 (전: 첨단도시개발사업)				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발			
	단위 과제명	-			
연 구 책 임 자	양충헌	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 35명 내부 : 20명 외부 : 15명	총 연구비	정부: 2,340,000 천원 기업: 800,000 천원 계: 3,140,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국건설기술연구원 도로연구소		참여기업명	서울시립대학교 (주)미래엔에스	
국제공동연구	상대국명 : 미국		상대국연구기관명 : ITRE		
요약				보고서면수	100
본 연구개발사업의 최종성과물은 ‘도시공간-교통 통합 탄소배출관리시스템’이다. 이 시스템은 토지이용-교통-환경의 세 구성요소를 하나로 묶어 순환·분석하고 탄소저감형 도시 조성을 위한 도시공간배치 계획 및 저탄소 교통정책 도입에 대해 평가하고 관리할 수 있도록 지원하는 웹기반의 프로그램이다. 이 프로그램의 구성요소로서 개발된 단위기술인 토지이용-교통 통합 모형, 활동기반 미시교통계획 모형, 탄소배출량 산정 모형, 대기확산 분석 모형, 도로성능 평가 기법은 각각의 단위기술 또는 몇 개 단위기술을 조합하여 다양한 목적에 활용될 수 있도록 개발되었다. 이 시스템은 토지이용-교통 통합 모형 또는 활동기반 교통계획 모형을 활용하여 탄소저감 정책의 시행으로 인한 도시의 장래 변화를 예측한다. 그 결과를 근거로 탄소배출량을 산정한다. 또한, 탄소저감 효과를 비교할 수 있도록 만든 대기오염물질 배출량을 산정하고 대기질 개선 효과를 분석하여 비교할 수 있도록 하는 프로그램이다. 탄소저감 대안을 사용자가 편리하게 비교할 수 있도록 GIS 기반의 지도에 관련 정보과 분석결과를 표출하는 기능도 갖추고 있다. 이 시스템을 활용함으로써 사용자는 저탄소 녹색성장을 지원할 수 있는 도시 교통 정책 시행으로 인한 효과를 분석할 수 있게 되었다. 탄소저감 정책으로 인한 효과를 토지이용, 교통, 탄소배출량, 대기오염 물질 배출량, 대기질, 도로성능 등의 다양한 평가지표를 이용하여 비교할 수 있게 되어 정책의사결정을 지원할 수 있다.					
색 인 어	한 글	탄소저감도시, 탄소배출량, 도시공간, 도시교통, 토지이용-교통통합모형			
	영 어	Low Carbon City, Carbon Emission Estimation, Urban Space, Urban Transportation, Integrated Land-Use Transportation Model			

요 약 문

I. 제 목

탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발

II. 연구개발과제 개요

이산화탄소(CO₂)는 도시에서 인간이 배출하는 온실가스 중 가장 많은 부분을 차지하며, 이 중 85%가 인간 활동과 관련된 석탄, 천연가스, 석유 등과 같은 화석 연료 연소에 기인한다. 따라서 인간 활동의 중심지인 도시에서 발생하는 탄소배출량을 효과적으로 저감하기 위해서는 토지이용과 교통간의 상호작용을 통합적으로 고려하여 탄소저감 대안을 마련할 필요성이 있다.

토지이용과 교통은 상호 밀접한 관계를 가짐에도 불구하고 오랫동안 개별적으로 발전되어 왔다. 그러나 최근에는 토지이용과 교통의 상호작용을 분석할 수 있는 통합 모형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 더 나아가 통합 모형의 예측 결과를 활용하여 토지이용과 교통으로 인해 발생하는 대기오염 물질의 영향권 분석 및 인체의 건강 영향도를 평가 할 수 있는 툴에 대한 수요가 증가하고 있다.

따라서 우선적으로 토지이용-교통-환경의 세 구성요소를 하나로 묶어 순환·분석하는 프레임워크를 개발하고 이를 통하여 탄소저감형 도시 조성을 위한 도시공간배치 계획 및 저탄소 교통정책을 평가하고 관리할 수 있는 시스템인 ‘도시공간-교통 통합 탄소배출관리 시스템’을 개발하는 것을 연구개발의 주요 목표로 설정하였다.

III. 연구개발 수행내용 및 결과

최종 목표인 ‘도시공간-교통 통합 탄소배출관리 시스템’을 개발하기 위하여 다음의 연구내용을 수행하였다.

- 토지이용-교통 통합 모형 개발을 통해 도시의 토지이용 예측과 교통수요분석을 개별적으로 시행하던 기존 기법의 한계를 극복하고, 활동 기반의 교통계획 모형 개발을 통해 자동차 중심의 교통수요 모형을 인간 활동 중심의 미시적 시뮬레이션 모형으로 개선하여 시간변화에 따른 분석과 주요 활동 공간 중심의 분석이 가능함
- 장래 도시 예측 결과에 기반하여 토지이용과 교통 분야의 탄소배출량과 대기오염 물질 배출량을 산정하는 모형을 개발하였음
- 도시의 대기질을 예측하는 기능과 도로 성능을 소통과 환경 측면으로 평가하는 기능을 개발하여 다양한 평가지표를 제공함

- GIS기반 디스플레이 기술, 모델 시뮬레이션 기술, 빅데이터 처리·분석 기술 등 최신 IT 기술을 융합하여 도시의 장래 상황(지역별 토지이용, 도로별 교통상황) 표출, 지역별 도로별 탄소 배출량 산정 및 표출, 도로별 대기오염물질 배출량 산정 및 지역별 대기오염물질 농도 표출, 도로의 기능(성능)을 탄소기반으로 평가·분석한 결과를 표출할 수 있도록 기술 개발
- 도시와 교통 측면의 탄소저감 대안별 탄소배출량 및 탄소영향권 예측결과를 비교할 수 있도록 정보를 제공하여 의사결정자가 대안별 효과를 다양한 형태로 볼 수 있도록 하는 기능을 구현함으로써 대상 도시 공간의 탄소배출량 저감 목표치를 달성할 수 있는 탄소저감 정책 선택에 대한 의사 결정을 지원하는 시스템 개발

연구 개발 수행 내용 및 결과를 핵심성과물별로 정리하면 다음과 같다.

- **(핵심성과 1) 도시공간-교통 통합 탄소 배출관리 프로그램**
 - 탄소저감 정책 시나리오를 평가하고 분석하여 표출하는 프로그램
 - 도시공간-교통 통합탄소배출관리 표출 프로그램 설계안 작성
 - 도시공간-교통 통합탄소배출관리 표출 프로그램 개발
 - 도시공간-교통 통합탄소배출관리 표출 프로그램 사용자 매뉴얼 작성
- **(핵심성과 2) 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램**
 - 시나리오에 따른 토지이용-교통모형, 교통활동 모형 분석결과의 GIS 표출 프로그램
 - 시스템 기본설계안 작성
 - 토지-교통, 교통활동 모형 결과 DB 설계 및 표출체계 구축
 - 시나리오 기반 토지-교통, 교통활동 모형 데이터 결과 및 탄소배출량 표출 기능 개발
- **(핵심성과 3) 인간활동-공간-통행 탄소배출량 산정 플랫폼**
 - 토지이용-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 및 교통활동 탄소배출량 산정 플랫폼을 구축하여 대상영역의 탄소배출량을 표출하는 프로그램
 - 토지이용-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 설계 및 표출기능 구현
 - 교통활동 탄소배출량 산정 플랫폼 설계 및 표출기능 구현
 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 통합체계 구축
- **(핵심성과 4) 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램**
 - 대기환경 예측 모형 분석결과를 GIS기반에서 표출하는 프로그램
 - 대기환경 예측모형 결과 DB 설계 및 표출체계 구축
 - 대기환경 예측모형 결과 데이터 표출 기능 개발
 - 대기환경 예측모형 시범도시 적용 및 보정
- **(핵심성과 5) 탄소기반 도시부 도로 성능 평가 프로그램**

- 통합대기환경지수를 고려한 탄소기반 도로 성능 평가 프로그램
 - 방법론 정립 및 프로그램 개발
 - 탄소기반 도로성능 평가 프로그램 적용 가이드라인 작성

○ (핵심성과 2-1) 토지이용-교통 통합 모형

- 도시개발 및 탄소저감정책 적용에 따른 도시의 장래변화를 예측하는 모형
 - 도시교통 탄소 연계 기반 탄소저감 평가체계 프레임워크 구축
 - 탄소저감형 도시교통정책 Matrix 구축
 - 수도권 대상 토지이용-교통 통합모형 및 분석
 - 탄소저감 도시교통정책 적용과정을 통해 개선된 통합모형 개발
 - 시범도시 대상 토지이용-교통 통합모형 및 분석
 - 토지이용-교통 통합 모형 및 탄소저감 도시정책의 적용 가이드라인 작성

○ (핵심성과 2-2) 활동기반 미시적 교통모형

- 통행자의 활동목적과 스케줄을 고려하여 교통 통행을 예측하는 모형
 - 통행스케줄링 생성모형 개발
 - 인간 활동기반 모형(MATSim)활용 수도권 네트워크 구축
 - 인간 활동기반모형 개선모형 개발
 - 인간 활동기반 모형(MATSim)활용 시범도시 네트워크 적용

○ (핵심성과 3-1) 도시 탄소배출량 예측 모형

- 도시부내의 토지이용과 교통통행에 따른 탄소배출량을 예측하는 모형
 - 도시공간의 탄소배출량 산정 알고리즘 개발
 - 교통부문(평균속도 기반) 탄소배출량 산정 알고리즘 개발
 - 교통부문(미시기반) 탄소배출량 산정 알고리즘 개발
 - 탄소배출량 산정 프로그램 개발
 - 탄소배출량 산정 프로그램 시범도시 적용 및 보완
 - 탄소배출량 예측 모형 적용 가이드라인 작성

○ (핵심성과 4-1) 도시대기환경 예측모형

- 차량통행으로 발생한 오염물질 배출량 변화에 따른 대기환경 예측
 - 대기환경 예측방법론 정립
 - 대기환경 예측 프로그램 개발
 - 대기환경 예측모형 적용 가이드라인 작성

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

토지이용, 교통, 환경 통합적 차원으로 탄소저감 정책의 효과를 예측하고 비교할 수 있는 탄소저감 정책 의사결정 지원 시스템인 ‘도시공간-교통 통합 탄소 배출관리 시스템’ 개발이 최종 연구 성과이다.

- 토지이용 및 교통 환경 변화에 따른 탄소배출량과 탄소영향권을 분석 및 예측한 결과를 제 공함으로써 대상 도시 공간의 탄소배출량 적정치를 유지할 수 있는 탄소저감 정책 선택에 대한 의사 결정을 지원하는 기능을 함
- 도시·교통 탄소저감 시나리오별 탄소량 및 탄소영향권 예측결과를 GIS기반의 사용자 환경(GUI, Graphic User Interface)에 표출함으로써 의사결정자가 대안별 효과를 다양한 형 태로 볼 수 있도록 하는 기능을 함
- 이동성 중심의 도시부 도로 성능평가 방식이 아닌 탄소 기반으로 도로 성능을 평가함으로 써 도시민의 건강 위해성을 최소화하는 도시 교통 정책을 선택할 수 있도록 지원하는 기능 을 함



<도시공간-교통 통합 탄소 배출관리 시스템>

통합테스트베드로 선정된 수원시에 개발시스템을 시범 적용하여 성능을 검증하였다. 통합테스트베드 구축을 위한 보충 자료는 수원시정연구원의 협조를 통해 수집하였다.

- 수원시 담당 공무원의 의견을 참고하여 두 개 분석 스케일별로 다음의 탄소저감 대안 시나리오를 구축하였음
 - 수원시 전체 : 수원시 트램 도입에 따른 토지이용 및 교통 변화와 그로 인한 탄소배출량 변화 예측
 - 수원시 행궁동 : 행궁동 일부도로의 차 없는 거리 시행에 따른 통행과 탄소배출량 변화 예측
- 수원시 대상 실증 적용 결과물으로써 탄소저감 대안의 저감 효과를 예측하여 분석한 결과를 데이터베이스에 저장하고 수원시 관계자들이 대안에 대한 예측 결과를 개발시스템을 통하여 조회하고 비교할 수 있도록 제공하였음

V. 연구목표 달성 및 효과

목표하였던 최종성과물의 개발을 완료하였으며 다음과 같이 계획하였던 질적 목표와 양적 목표를 달성하였다.

- 질적 목표 : 당초 계획한 연구내용을 모두 수행하였음
- 양적 목표로 제시하였던 특허 출원 및 등록, 논문 게재, 학술회의 발표, 정책 제안 등은 목표치를 모두 달성하였고, 일부는 초과 달성함

최종성과물인 ‘도시공간-교통 통합 탄소배출 관리시스템’ 개발을 완료하였으며, 다음과 같은 개발효과가 예상됨

- 토지이용과 교통의 상호관계를 고려하여 장래 도시의 변화를 예측하고 탄소배출량 측면에서 도시교통 정책을 평가할 수 있는 시스템 제공
- 본 연구에서 개발할 토지이용-교통 통합모형은 지금까지의 탄소배출량 관리 분야에서 수행해오던 결과론적 접근방식과 달리 토지 및 교통정책의 사전 시뮬레이션을 통해 장기적인 탄소배출량을 예측하고 보다 정확한 의사결정 지원이 가능함
- 탄소발생 예측모형에 장기예측 방법론을 적용함으로써 도시기본계획, 도시관리계획 등 중·장기 법정계획이 탄소발생량에 미치는 영향을 분석할 수 있기 때문에 합리적 계획수립에 크게 기여할 것으로 판단됨
- 대상도시뿐만 아니라 대상도시와 밀접한 관계를 맺고 있는 인접 지역의 도시 및 교통정책을 동시에 고려하여 탄소배출량을 파악함으로써 광역적/미시적 동시 관리에 활용이 가능함
- 본 연구에는 개발하는 모형은 국내 지역단위의 적용을 통해 개별통행패턴의 분석을 통해

4단계 수요추정방법의 단점을 보완하여 보다 정확한 장래 교통수요 추정을 할 수 있으며 수요추정을 하는데 있어서 시간 절약 및 비용 절감을 달성할 수 있음

- 토지이용, 교통 시뮬레이션 모형의 예측결과에 따라 탄소배출량과 대기오염물질 배출량을 산정할 수 있도록 배출량 산정 모형 개발함
- 국내 기상 및 지형 자료 등을 반영하고 도시공간/교통변화로부터 대기질 농도를 계산하기 위한 입력자료가 일괄처리 되도록 하여 사용자의 편의를 높이고 분석 시간을 감소시킴
- 탄소저감 정책으로 인한 효과를 토지이용, 교통, 탄소배출량, 대기오염 물질 배출량, 대기질, 도로성능 등의 다양한 평가지표를 이용하여 비교할 수 있게 되어 정책 의사결정에 도움이 될 수 있음

VI. 연구성과 활용계획

본 연구를 통해 개발된 ‘도시공간-교통 통합 탄소배출 관리시스템’은 도시 교통 탄소저감을 평가하고자 하는 사용자에게 유용한 프로그램이다. 또한, 이 시스템의 구성요소로서 개발된 단위기술인 토지이용-교통 통합 모형, 활동기반 미시 교통계획 모형, 탄소배출량 산정 모형, 대기확산 분석 모형, 도로성능 평가 기법은 각각의 단위기술 또는 몇 개 단위기술을 조합하여 다양한 목적에 활용될 수 있도록 개발되었다. 향후 이 시스템은 다음과 같은 분야에서 활용이 가능하다.

- 탄소저감 정책의 의사결정을 지원하는 시스템으로 활용
 - 탄소저감 관점에서 도시 및 교통계획을 합리적이고 효과적으로 수립하는데 활용
 - 관련 데이터의 유기적인 융합과 통합적 모니터링을 통하여, 효율적이고 편의성 높은 현황 관리 및 예측 기술의 확보가 가능하기 때문에 녹색교통 관련 정책 입안 자료로 활용 가능
 - 탄소저감 목표를 달성하기 위한 장기적인 정책목표를 설정할 수 있는 도시정책 검증수단
 - 지자체의 경우 도시공간-교통 통합탄소배출관리 프로그램을 통해 토지이용 및 교통환경 변화에 따른 장·단기적 탄소량을 분석·예측하여 도시 공간의 탄소 적정치 유지 관리에 활용이 가능함
 - 도시건설 및 재개발 등의 관련 사업을 추진함에 있어서 탄소저감형 도시의 최적 공간배치
 - 교통계획을 설계함에 있어 본 연구개발 시스템의 활용이 가능함
- 도시발전에 대한 정책 적용 시 정책입안자들과 결정권자들의 의사결정지원
 - 도시개발이나 계획 및 정책이 도시에 미치는 영향에 사전모의실험 함으로써 정책결정권자들의 합리적 의사결정지원
 - 도시 공간 재배치, 신 교통운영전략 수립, 신 행정수도 건설 등 도시 공간과 교통 부문의 변화에 따른 사회·경제적 비용, 환경 보건적 영향 등을 통합적으로 관찰하고 분석하여 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 사회기반 시스템 구축에 활용

- 정책 입안 및 결정자로 하여금 정책의 영향을 사전 검증함으로써 합리적이고 효율적인 도시공간계획 수립 지원(국가 및 지방자치단체 정책시행자)
- 민간사업자들의 도시공간관련 사업 시행에 따른 장·단기 경제효과 검증 지원
 - 해외도시개발을 활성화하고 지속하기 위하여 저탄소녹색도시모델의 효과를 입증할 수 있는 수단으로 이용
 - GIS 및 정보화 사업의 효과를 극대화하기 위하여 활용분야를 개척해야 함
- 도시변화의 영향을 예측하는 방법으로 활용
 - 도시변화에 영향을 주는 토지이용과 교통정책들의 영향을 예측하는 방법론으로써 도시통합 모델의 유용성을 확인
 - 교통에너지와 탄소배출 저감에 적합한 시나리오의 선정 및 지속가능한 도시공간구조의 프레임 제시
 - 도시공간계획관련 연구자에게 연구 결과의 장·단기적 효과 검증 활용
 - 교통존(TAZ)에 한정되지 않는 개별행태 모형의 장점을 극대화시켜 장래 교통수요를 추정하는데 있어서 큰 도움을 줄 수 있을 것이며, 자료의 수집 및 가공을 하는데 있어서 현재 보다 진보된 분석기법을 개발할 수 있어 향후 융합연구(도시-교통-환경)에 적용가능하고, 교통 분야에서 보다 세밀한 교통수요예측에 활용 가능할 것임
- 미시적인 주행특성을 반영한 배출량 산정 방법으로 활용
 - 환경부에서 실도로 주행 조건을 반영한 배출기준의 적용을 준비함에 따라 향후 교통부문 배출량 산정시 미시적 주행 조건에 따른 배출량 산정 방법론으로 활용 가능

SUMMARY

The deliverable of this R&D project is the ‘Land Use–Transport integrated carbon emission analysis system’. This system is the web-based program that help us to analyze the three elements ‘land use–transportation–environment’ in a single framework, and to assess and manage the urban land use plans and transportation policies for carbon-reducing city. The unit technologies developed as the elements of the program are ‘the land use–transport integrated model’, ‘the activity-based microscopic transportation model’, ‘the carbon emission estimation model’, ‘the atmospheric diffusion analysis model’, and ‘the road performance assessment method’. Each of these elements were developed to be applicable independently or in combination for various purposes.

In order to develop the ‘Land use–transport integrated carbon emission analysis system’, the following researches were conducted:

- Land use–transport integrated model enables us to overcome the limits of the existing methods in which estimation of urban land utilization and analysis of traffic demand are conducted respectively. And the activity-based traffic planning model enables us to improve the automobile-centered traffic demand model into a human activity-based microscopic simulation model, and to analyze the time-based changes and the major activity spaces.
- An estimation model was developed to estimate the amount of carbon emission and air pollutant in the field of land use and transportation based on the result of estimation of future cities.
- Functions to estimate the urban air quality and to evaluate the road performance in terms of mobility and environment were developed, and various measures of effectiveness were provided.
- Advanced IT technologies, such as the GIS-based display technology, the model simulation technology, and the big data processing/analysis technology, were integrated to display the future state (land use by region and traffic condition by road), the estimated carbon emissions by road, the estimated concentration of pollutant by area, and estimated road performance based on carbon.
- A function was implemented to provide decision makers with the comparison of carbon emissions and carbon influence zones for each of the carbon reduction alternatives in the aspects of city and transportation. This system helps decision makers to select the carbon reduction policy to achieve the carbon reduction goal allocated to the city.

By utilizing this system, users can analyze the effect of urban transportation policy that supports low-carbon green growth. The system will help the decision makers to select the policy by using various measures of effectiveness, such as the land use, the traffic condition, the carbon emissions, the air pollutant emission, the air quality and the road performance.

CONTENTS

Chapter 1 Research Overview	1
1. Research Objectives	1
2. Research Concept, Scope, and Features	3
Chapter 2 Research Tasks and Results	11
1. (Main Outcome 1) Land use Transport Integrated Carbon Emissions Management System	11
2. (Main Outcome 2) Scenario Based Urban Carbon Emission Estimation Results Visualization	17
3. (Main Outcome 3) Urban Carbon Emission Estimation Platform	22
4. (Main Outcome 4) Air Quality Analysis Results Visualization	24
5. (Main Outcome 5) Carbon-based Urban Road Performance Evaluation Program	27
6. (Main Outcome 2-1) Land use Transport Integrated Model	30
7. (Main Outcome 2-2) Activity-based Microscopic Transportation Planning Model	37
8. (Main Outcome 3-1) Urban Carbon Emission Estimation Model	41
9. (Main Outcome 4-1) Urban Air Quality Analysis Model	44
Chapter 3 Final Research Products and Implementation Cases	48
1. Final Research Products	48
2. Case Studies	59
Chapter 4 Research Achievements and Impacts	67
1. Achievement of Final Research Objectives	67
2. Technical Impact of Research Outcomes	72
3. Economical Impact of Research Outcomes	74
4. Policy Impact of Research Outcomes	76
Chapter 5 Research Outcome Utilization and Further Study	77
1. Plan for Utilizing Research Outcomes	77
2. Further Study	83

〈제목 차례〉

제1장 연구개발과제 개요	1
제1절 연구개발의 목적 및 필요성	1
제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징	3
 제2장 연구개발 수행 내용 및 결과	 11
제1절 (핵심성과 1) 도시공간-교통 통합 탄소배출 관리 프로그램 개발	11
제2절 (핵심성과 2) 시나리오기반 도시교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램 개발	17
제3절 (핵심성과 3) 인간활동 공간교통 탄소배출량 산정 플랫폼 개발	22
제4절 (핵심성과 4) 대기환경에 따른 탄소영향권 표출프로그램 개발	24
제5절 (핵심성과 5) 탄소기반 도시부 도로 성능평가 프로그램 개발	27
제6절 (핵심성과 2-1)토지이용-교통 통합모형 개발	30
제7절 (핵심성과 2-2) 활동기반 미시적 교통모형 개발	37
제8절 (핵심성과 3-1) 도시 탄소 배출량 예측 모형 개발	41
제9절 (핵심성과 4-1) 도시 대기환경 예측 모형 개발	44
 제3장 최종 연구성과 및 적용실적	 48
제1절 최종 연구성과	48
제2절 적용실적	59
 제4장 연구목표 달성 및 효과	 67
제1절 연구개발 최종목표 달성도	67
제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석	72
제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석	74
제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석	76
 제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성	 77
제1절 연구 성과의 활용	77
제2절 추가연구 필요성	83

〈표 차례〉

<표 1-2-1> 핵심성과물 설명	5
<표 1-2-2> 연차별 주요 연구내용	8
<표 2-1-1> 목표 및 주요 연구내용	11
<표 2-1-2> 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 메뉴 구조도	13
<표 2-1-3> 통합서버 환경 구성	16
<표 2-1-4> 시스템 가이드라인 목차	16
<표 2-2-1> 목표 및 주요 연구내용	17
<표 1-2-2> 요소기술 설계 항목	18
<표 1-3-1> 목표 및 주요 연구내용	22
<표 1-4-1> 프로그램 변환 결과	26
<표 2-5-1> 연구목표 및 주요 연구내용	27
<표 2-5-2> 통합대기환경지수(CAI)의 등급	27
<표 2-5-3> 도로서비스별 교통류 상태	28
<표 2-6-4> 목표 및 주요 연구내용	30
<표 2-7-1> 연차별 연구목표와 주요 연구내용	37
<표 2-8-1> 목표 및 주요 연구내용	41
<표 2-9-1> 연구목표 및 주요 연구내용	44
<표 2-9-2> 대기환경 예측 모형의 특성 비교	46
<표 3-1-1> (핵심성과 1) 도시공간-교통 통합탄소배출관리 프로그램(소프트웨어)	50
<표 3-1-2> (핵심성과 2) 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 시뮬레이터 프로그램(소프트웨어)	51
<표 3-1-3> (핵심성과 3) 인간활동-공간-통행 탄소배출량 산정 플랫폼(소프트웨어)	52
<표 3-1-4> (핵심성과 4) 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램(소프트웨어)	53
<표 3-1-5> (핵심성과 5) 탄소기반 도시부 도로 성능 방법 프로그램(소프트웨어)	54
<표 3-1-6> (핵심성과 2-1) 토지이용-교통 통합모형(모형개선 알고리즘 및 시뮬레이션 입출력 자료)	55
<표 3-1-7> (핵심성과 2-2) 활동기반 미시적 교통 모형(모형개선 알고리즘 및 시뮬레이션 입출력 자료)	56
<표 3-1-8> (핵심성과 3-1) 도시탄소배출량 예측 모형(소프트웨어)	57
<표 3-1-9> (핵심성과 4-1) 도시대기환경 예측 모형(소프트웨어)	58
<표 3-2-1> 통합모델 입력 데이터	60
<표 3-2-2> 수원시정연구원에서 구득한 자료	61
<표 3-2-3> 사용자 정의 플랫폼별 데이터 항목	65
<표 4-1-1> 양적 성과 달성도	67

〈그림 차례〉

<그림 1-1-1> 연구개발의 최종 목적	1
<그림 1-2-1> 최종목표, 연구목표 및 성과목표	3
<그림 1-2-2> 핵심 성과 구조	4
<그림 1-2-3> 핵심성과물간의 연계	4
<그림 1-2-4> 최종성과물 개발 예시도	6
<그림 1-2-5> 연차별 연구 추진 내용	7
<그림 2-1-1> 프로그램 개념도	11
<그림 2-1-2> 사용자 환경 설계(예)	12
<그림 2-1-3> 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리프로그램 아키텍처	14
<그림 2-1-4> 시스템 실행화면 및 화면 구성	14
<그림 2-1-5> 분석결과 유형	15
<그림 2-1-6> 상세분석 레포팅	15
<그림 2-2-1> html mock-up 화면	18
<그림 2-2-2> 토지이용-교통통합모형 예측결과 표출안_토지이용	19
<그림 2-2-3> 토지이용-교통통합모형 예측결과 표출안_속도	20
<그림 2-2-4> 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출프로그램 화면_토지이용 CO ₂ , 도로교통 CO ₂	21
<그림 2-3-1> 탄소 배출량 산정 플랫폼_도로교통 탄소배출량 산정	22
<그림 2-3-2> 탄소 배출량 산정 플랫폼_도로교통 탄소배출량 산정	23
<그림 2-3-3> 사용자정의 교통 활동 모형 기반 배출량 산정 플랫폼	23
<그림 2-4-1> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 화면	25
<그림 2-5-1> 탄소기반 도로성능 평가 지표 표출	28
<그림 2-5-2> 도로성능지표 제공	29
<그림 2-6-3> 통합모델 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크	31
<그림 2-6-4> 거시-미시 연계기반 탄소저감정책 평가체계 프레임 워크	31
<그림 2-6-5> 시나리오 매트릭스	32
<그림 2-6-6> 대안시나리오 1 매트릭스	33
<그림 2-6-7> 대안시나리오 2 매트릭스	33
<그림 2-6-8> 토지이용모델 구동 프로세스	34
<그림 2-6-9> 교통모델 구동 프로세스	35
<그림 2-6-10> 토지이용-교통 통합모형 구동절차	36
<그림 2-7-1> 시뮬레이션 구축 현황	38
<그림 2-7-2> 초당데이터의 산출목록	39
<그림 2-7-3> 분석대상지역 시뮬레이션 모형 구축	40
<그림 2-8-1> 탄소배출량 산정 방법론 구분	42
<그림 2-8-2> 탄소배출량 산정 흐름도	43
<그림 2-9-1> 탄소배출량 산정과 대기확산 모형의 데이터 흐름도	45
<그림 2-9-2> 대기환경 예측결과 표출 예시	47
<그림 3-1-1> 최종성과물 예시	48
<그림 3-1-2> 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리 시스템의 구성도	49
<그림 3-2-1> 수원시 버스 정류장 가공 자료(일부)	61
<그림 3-2-2> 수원시 트램 노선 계획안	62
<그림 3-2-3> 트램 노선 버스 비허용구간과 우회노선 동선안	62
<그림 3-2-4> 트램 노선 영향권의 용적율 상향안	63
<그림 3-2-5> 수원시 트램 운행(예정) 효과 분석 결과 표출_	63
<그림 3-2-6> 차없는 거리 시행 지역	64
<그림 3-2-7> 차 없는 거리 시행 효과 분석 결과 표출	64
<그림 3-2-8> 파일 기반 사용자 정의 분석	65
<그림 3-2-9> 국가교통DB 데이터 기반 사용자 정의 분석	66
<그림 3-2-10> 인천내항 및 개항장 일대의 장래 도로망 개선	66
<그림 4-1-1> 2016 국토교통기술대전 전시 및 시연(2016. 5. 25~ 27)	71
<그림 4-1-2> 전문가 시연 평가(2016. 6.16)	71

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 배경 및 필요성

- 온실가스로 인한 기후변화는 심각한 자연재해를 일으켜 대규모 인명피해와 재산피해를 가져왔으며, 앞으로도 인류의 생존을 위협할 여러 가지 문제를 일으킬 것으로 예측됨.
- 전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위하여 온실가스 배출을 감축하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있으며, 우리나라도 2008년에 저탄소 녹색성장(Green Growth)을 국가비전으로 제시하는 등 온실가스 배출 감소를 위한 대책을 강구하고 시행하고 있음
- 이산화탄소(CO₂)는 인간이 도시에서 배출하는 온실가스 중 가장 많은 부분을 차지하며, 이 중 85%는 인간의 활동과 관련한 화석 연료(석탄, 천연가스, 석유 등) 사용으로 인한 것이므로 도시 차원의 구체적인 탄소배출량 감소 대책을 수립하여 실행하여야 함
- 따라서 토지이용-교통-환경의 세 구성 요소를 하나로 묶어 순환·분석하는 예측 모형의 개발과 이를 활용하여 도시의 탄소배출량을 감소시키기 위한 도시공간배치 계획과 저탄소 교통 정책의 효과를 평가할 수 있는 프로그램에 대한 수요가 증가하였음

2. 연구개발의 목적

- 본 연구개발 사업의 최종 목적은 토지이용, 교통, 환경의 통합적 차원으로 탄소저감 정책의 효과를 예측하고 비교할 수 있는 탄소저감 정책 의사결정 지원 시스템을 개발하는 것이며, 다음 세 가지 세부 목표로 구분할 수 있음



<그림 1-1-1> 연구개발의 최종 목적

(세부 목표 1) 탄소저감 정책 대안의 시행으로 인한 도시의 장래 변화를 토지이용과 교통의 상호 관계를 고려하여 예측하는 모형 개발

- 현재의 도시 공간계획은 세부 요소간의 복잡한 상호작용이 존재함에도 불구하고 이를 고려하지 못한 채 개별적으로 분석 작업이 이루어짐에 따라 시간적·비용적 낭비가 심하며, 특히, 도시계획·설계 작업을 수행함에 있어서 탄소배출 등을 포함한 환경 및 생태적 측면에 대한 고려 등은 매우 미흡한 실정임
- 국내 교통계획 및 토지이용계획 시나리오 평가분석을 위한 시뮬레이션 프로그램은 토지이용, 교통, 환경의 요소가 분리되어 개별적으로 분석·예측되고 있으나, 미국 및 유럽 선진국에서는 도시 및 교통계획, 환경 예측을 위한 통합시스템을 구축하고 적용하고 있음
- 탄소저감형 도시조성 및 운영기술은 그린 빌딩, 신재생에너지 시장을 중심으로 형성되는 등 도시계획 요소를 단편적으로 적용하는 수준에 머무르고 있는 실정이며, 국내 도시의 공간구조를 살펴보면 직주불균형, 생활권 불균형 등으로 인한 자동차 통행 및 장거리 통행에 시간 및 에너지를 낭비하고 있는 상황이므로 도시계획과 교통 통합적인 관점에서의 CO₂ 저감 기술 개발이 필요함
- 토지이용-교통 통합 모형의 개발을 통해 도시의 토지이용 예측과 교통수요분석을 개별적으로 시행하던 기존 기법의 한계를 극복하고, 활동 기반의 교통계획 모형 개발을 통해 자동차 중심의 교통수요 모형을 인간 활동 중심의 미시적 교통계획 모형으로 개선하여 시간 변화에 따른 분석과 주요 활동 공간 중심의 분석이 가능하도록 함

(세부 목표 2) 도시의 변화로 인한 탄소배출량의 증감과 대기오염 물질의 영향을 분석하는 모형 개발

- 도시 내 자동차 통행 억제 정책과 친환경 저탄소 교통정책 등을 시행하기 전 사전 효과를 분석하는 프로그램이 선진 외국의 수준에 미치지 못하고 있어 탄소저감형 도시의 실현을 위하여 관련 기술개발이 요구되고 있음
- 차량의 탄소배출량 산정과 관련하여, 현재는 거시적인 차원의 주행거리 조사 값 등에 의존하고 있어 지역별, 도로별 측정값의 정확도 및 신뢰도가 낮기 때문에 미시적 차원의 탄소배출량 산정 등 다양한 방법을 적용하기 위한 연구가 필요함
- 차량에서 배출되는 대기오염 물질의 배출량을 산정하고 도로 주변지역에 미치는 영향을 분석하여 건강에 미치는 영향과 소통과 환경을 종합적으로 고려하여 도로의 성능을 평가할 수 있는 지표를 개발하고자 함

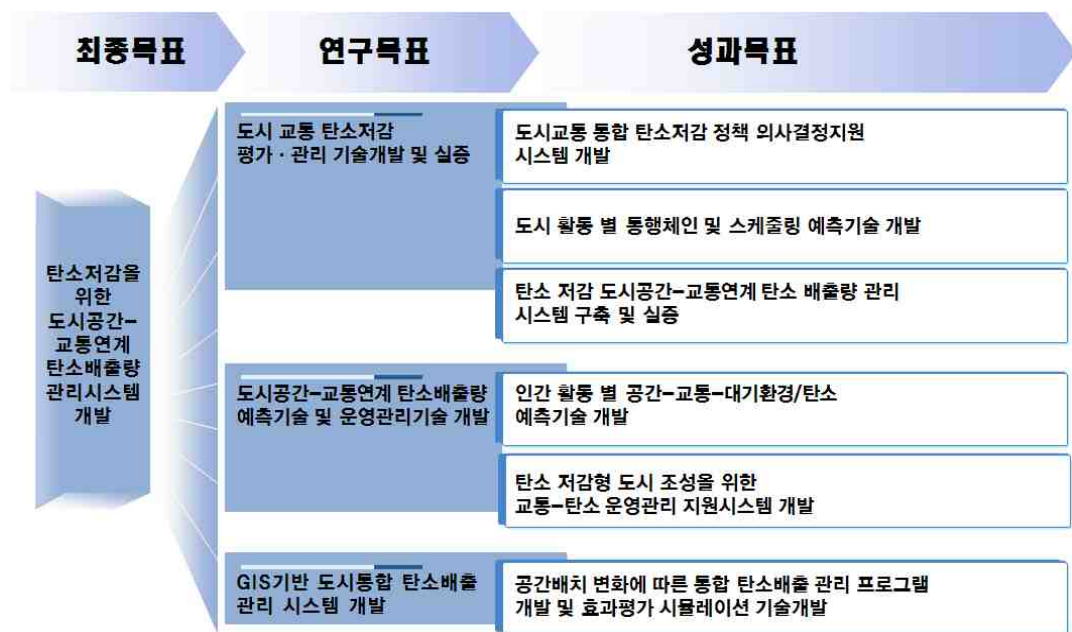
(세부 목표 3) 탄소저감 도시 정책 대안을 토지이용, 교통, 환경 측면으로 비교할 수 있는 정보를 제공하는 시스템 개발

- GIS기반 지도 정보 기술, IT 기술 등을 융합하여 도시의 장래 상황(지역별 토지이용, 도로별 교통상황) 표출, 지역별 도로별 탄소배출량 산정 및 표출, 도로별 대기오염물질 배출량 산정 및 지역별 대기오염물질 농도 표출, 도로의 기능(성능)을 탄소기반으로 평가·분석한 결과 표출을 할 수 있도록 기술 개발
- 도시와 교통 측면의 탄소저감 대안별 탄소배출량 및 탄소영향권 예측결과를 비교할 수 있도록 정보를 제공하여 의사결정자가 대안별 효과를 다양한 형태로 볼 수 있도록 하는 기능을 구현함으로써 대상 도시 공간의 탄소배출량 저감 목표치를 달성할 수 있는 탄소저감 정책 선택에 대한 의사 결정을 지원하는 시스템 개발

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의

- 본 과제의 최종목표, 연구목표, 성과목표를 다음 그림과 같이 설정하였음



<그림 1-2-1> 최종목표, 연구목표 및 성과목표

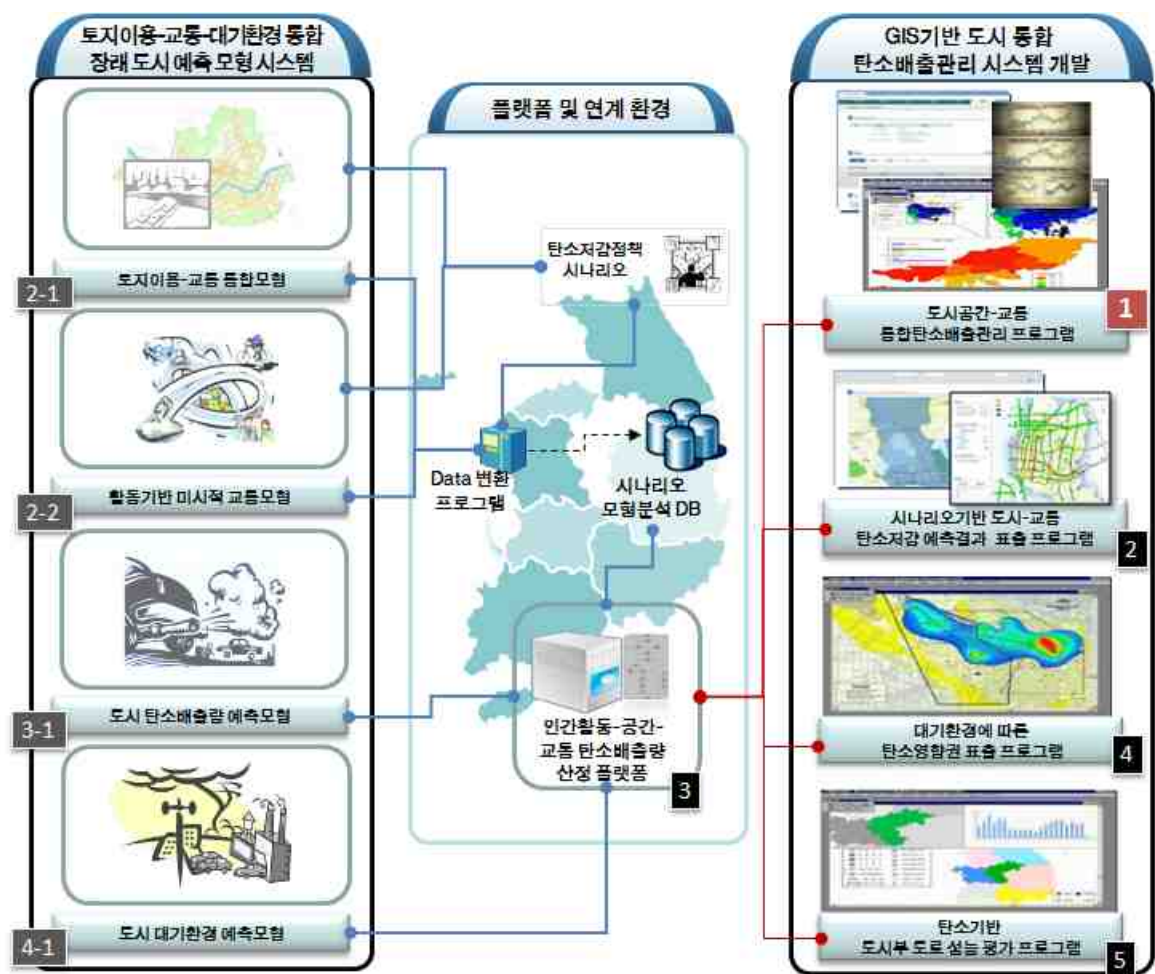
- 성과 목표 달성을 통하여 개발되는 핵심 성과물은 <그림 1-2-2>에 나타난 바와 같음
 - 핵심성과 2 ~ 5는 핵심성과 1의 통합시스템을 구축하기 위해 개발되는 단위시스템임
 - 핵심성과 2는 핵심성과 2-1과 2-2에서 개발되는 분석 모형의 예측 결과를 활용하도록 개발함

- 핵심성과 3은 핵심성과 3-1에서 개발한 모형의 알고리즘을 기반으로 개발하며, 핵심성과 4는 핵심성과 4-1에서 개발한 모형의 알고리즘을 기반으로 개발함



<그림 1-2-2> 핵심 성과 구조

- 핵심성과물간의 연계는 <그림 1-2-3>에 나타난 바와 같으며 <표 1-2-1>에는 핵심성과 물의 연구내용이 제시되어 있음



<그림 1-2-3> 핵심성과물간의 연계

<표 1-2-1> 핵심성과물 설명

연 번	핵심성과명	핵심성과 설명
1	도시공간- 교통 통합 탄소 배출관리 프로그램	- 탄소저감 정책 시나리오를 평가하는 분석 프로그램 - 도시공간-교통 통합탄소배출관리 표출 프로그램 설계안 - 도시공간-교통 통합탄소배출관리 표출 프로그램 - 도시공간-교통 통합탄소배출관리 표출 프로그램 사용자 매뉴얼
2	시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램	- 시나리오에 따른 토지이용-교통모형, 교통활동 모형 분석결과를 GIS기반에서 표출할 수 있도록 프로그램 - 시스템 기본설계안 - 토지-교통, 교통활동 모형 결과 DB 설계 및 표출체계 구축 - 시나리오 기반 토지-교통, 교통활동 모형 데이터 결과 및 탄소배출량 표출 기능 개발
3	인간활동- 공간-통행 탄소배출량 산정 플랫폼	- 토지이용-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 및 교통활동 탄소배출량 산정 플랫폼을 구축하여 대상영역의 탄소배출량을 표출하는 프로그램 - 토지이용-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 설계 및 표출기능 구현 - 교통활동 탄소배출량 산정 플랫폼 설계 및 표출기능 구현 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 통합체계 구축
4	대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램	- 대기환경 예측 모형 분석결과를 GIS기반에서 표출하는 프로그램 - 대기환경 예측모형 결과 DB 설계 및 표출체계 구축 - 대기환경 예측모형 결과 데이터 표출 기능 개발 - 대기환경 예측모형 시범도시 적용 및 보정
5	탄소기반 도시부 도로 성능 평가 프로그램	- 통합대기환경지수를 고려한 탄소기반 도로 성능 평가 프로그램 - 방법론 정립 및 프로그램 개발 - 탄소기반 도로성능 평가 프로그램 적용 가이드라인
2-1	토지이용- 교통 통합 모형	- 도시개발 및 탄소저감정책 적용에 따른 도시의 장래변화를 예측하는 모형 - 도시교통 탄소 연계 기반 탄소저감 평가체계 프레임워크 - 탄소저감형 도시교통정책 Matrix - 수도권 대상 토지이용-교통 통합모형 및 분석결과 - 탄소저감 도시교통정책 적용과정을 통해 개선된 통합모형 - 시범도시 대상 토지이용-교통 통합모형 및 분석결과 - 토지이용-교통 통합 모형 및 탄소저감 도시정책의 적용 가이드라인
2-2	활동기반 미시적 교통모형	- 통행자의 활동목적과 스케줄을 고려하여 교통 통행을 예측하는 모형 - 통행스케줄링 생성모형 - 인간 활동기반 모형(MATSim)활용 수도권 네트워크 구축 - 인간 활동기반모형 개선모형 - 인간 활동기반 모형(MATSim)활용 시범도시 네트워크 적용
3-1	도시 탄소배출량 예측 모형	- 도시부내의 토지이용과 교통통행에 따른 탄소배출량을 예측하는 모형 - 도시공간의 탄소배출량 산정 알고리즘 - 교통부문 (평균속도 기반) 탄소배출량 산정 알고리즘 - 교통부문(미시기반) 탄소배출량 산정 알고리즘 - 탄소배출량 산정 프로그램 - 탄소배출량 산정 프로그램 시범도시 적용 및 보완 - 탄소배출량 예측 모형 적용 가이드라인
4-1	도시대기환경 예측모형	- 차량통행으로 발생한 오염물질 배출량 변화에 따른 대기환경 예측 - 대기환경 예측방법론 정립 - 대기환경 예측 프로그램 개발 - 대기환경 예측모형 적용 가이드라인

○ <그림 1-2-4>의 최종성과물 예시와 같이 본 연구개발 사업에서 개발한 ‘도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템’은 웹(Web)에서 운용되는 시스템으로 다음과 같은 기능을 갖추었음

- 토지이용 및 교통 환경 변화에 따른 탄소배출량과 탄소영향권을 분석 및 예측한 결과를 제공함으로써 대상 도시 공간의 탄소배출량 적정치를 유지할 수 있는 탄소저감 정책 선택에 대한 의사 결정을 지원하는 기능을 함
- 도시·교통 탄소저감 시나리오별 탄소량 및 탄소영향권 예측결과를 GIS기반의 사용자 환경(GUI, Graphic User Interface)에 표출함으로써 의사결정자가 대안별 효과를 다양한 형태로 볼 수 있도록 하는 기능을 함
- 이동성 중심의 도시부 도로 성능평가 방식이 아닌 탄소 기반으로 도로 성능을 평가함으로써 도시민의 건강 위해성을 최소화하는 도시 교통 정책을 선택할 수 있도록 지원하는 기능을 함



<그림 1-2-4> 최종성과물 개발 예시도

2. 연구개발의 범위

가. 대상적 범위

국내 도시의 토지이용 및 교통 분야 탄소저감 정책의 평가

나. 시간적 범위

○ 연구기간

- 1차년도: 2011. 12. 16 ~ 2012. 08. 29
- 2차년도: 2012. 08. 30 ~ 2013. 06. 29
- 3차년도: 2013. 07. 01 ~ 2014. 06. 29
- 4차년도: 2014. 07. 01 ~ 2015. 06. 29
- 5차년도: 2015. 07. 01 ~ 2016. 06. 29

○ 연차별 연구 수행 계획은 <그림 1-2-5>에 보는 바와 같음.



<그림 1-2-5> 연차별 연구 추진 내용

다. 내용적 범위

- 연구개발 내용은 다음 <표 1-2-2>에 정리된 바와 같음

<표 1-2-2> 연차별 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도 (설계 구상 단계)	도시교통 탄소 연계체계 기반 의사결정지원시스템 프레임워크 구축	- 통합모형 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크 구축 - 거시-미시 연계 기반 탄소저감정책 평가체계 프레임워크 구축
	도시 활동기반 모형의 국내 적용 가능성 분석 및 모의 네트워크 구축	- 교통 전문가 활용을 통한 활동기반모형의 국내 적용가능성 분석 - 활동기반 시뮬레이션을 이용하기 위한 국내 자료 여건 파악 및 모의 네트워크 구축
	도시공간 및 교통부문 탄소배출량 산정 방법 개발 및 관련 DB 설계 및 구축	- 도시공간의 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발 - 교통부문 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발 - 정보 수집 및 DB 구축 - 기관 DB 연계
	도시 교통탄소배출 통합모니터링 및 평가기술의 요소기술 설계	- 도시교통탄소배출 통합모니터링 및 평가기술체계 구축을 위한 연구기반 마련 - 도시교통탄소배출 통합모니터링 및 평가기술 요소기술 설계
	도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 설계	- 도시공간-교통연계 탄소관리체계 구축을 위한 연구기반 마련 - 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 설계 및 기초 데이터 구축
2차년도 (개발 단계)	토지이용-교통 통합모형의 시나리오 구축	- 탄소저감형 도시배치 대안 시나리오 matrix 구상 - 도시공간배치 시나리오별 시뮬레이션 수행
	도시활동(유형별) 통행 체인분석을 통한 활동기반 모형 연구 및 개발	가구통행실태조사 데이터를 이용한 모형 연구 및 국내 적용 모형 개발
	도시대기환경 예측 모형 개발 및 탄소배출량 모형과의 연계방안 설계 및 구축	- 도시 공간 대기환경 예측 모형 개발 - 대기모형과 탄소배출량 산정 통합 모형 설계 및 구축
	토지이용-교통 통합 모형의 탄소배출량 예측기술 개발	- 토지이용-교통 통합모형의 예측 결과 값을 반영한 탄소배출량 예측기술 개발 - 탄소 관리 통합 DB 설계 - 탄소기반 도시부 도로 기능(성능) 평가 방법 정립
	도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발	- 시나리오기반 효과평가 GIS 표출체계 구축 - 교통 활동별 스케줄링 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소배출 표출체계 구축 - 대기환경변화 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소 영향권 표출체계 구축 - 탄소배출량 산정 플랫폼 구현

연 차	연구목표	주요 연구내용
3차년도 (적용 준비 단계)	시나리오 적용을 통한 통합모형 개선	- 탄소저감정책 및 도시개발 시나리오 적용 및 검증(수도권 대상) - 시나리오 적용 결과에 따른 토지이용-교통 통합모형 개선 - 시범도시 기초자료 수집 및 가공
	인간활동 기반 시물레이션(MATSim) 모형 개선	- 시물레이션 결과의 적합성 분석 및 정산기법 연구를 통한 모형 개선 - 탄소배출량 산정을 위한 미시적 주행 자료 산출 기술 개발 - 시범도시 적용을 위한 통행스케줄링 자료 생성
	- 활동 기반 교통계획 모형의 탄소배출량 산정 모형 개발 및 시스템 설계 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 프로그램 사용자 환경 설계	- 미시기반 탄소배출량 산정을 위한 기초 자료 구축 - 활동 기반 탄소배출량 산정 기법 개발 - 잠재적 사용자 요구사항 분석 및 사용자 환경 설계
	탄소배출량 시스템을 연계한 대기환경변화 예측 프로그램 개발	- 대기환경변화예측을 위한 입력 데이터 수집 - 탄소배출량 시스템에서 대기질 배출량 DB연계 - 탄소배출량 시스템과 연계된 대기확산 모형개발
	탄소기반 도시부 도로 성능 평가 분석 프로그램 개발	탄소기반 도시부 도로 성능 평가 프로그램 구축
	도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축	- 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 설계 - 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램 개발 - 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 개발 - 탄소배출량 산정 플랫폼 확장 및 적용
4차년도 (적용 단계)	토지이용-교통 통합모형의 시범도시 적용	- 시범도시 특성을 반영한 계수 보정 - 시나리오별 시물레이션 결과 분석
	인간활동 기반 시물레이션(MATSim)의 시범도시 적용	- 시범도시 인간활동기반 시물레이션(MATSim) 네트워크 구축 - 시나리오별 인간활동기반 시물레이션(MATsim) 적용 및 분석
	탄소배출량 예측 모형 시범도시 적용	- 배출량 산정 방법론 및 계수 보정 - 미시 기반 도시교통 배출량 산정 프로그램 검토 및 보완 (국제협력연구 1차년도)
	탄소기반 도시부 도로 성능 평가 방법론의 적용 가이드라인 작성	타도시 적용을 위한 가이드라인 작성
	도시공간-교통연계 탄소관리 통합체계 시범도시 적용	- 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리프로그램 개발 - 도시공간 대기모형 및 계수 보정 - 탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 통합 관리시스템 구축

5차년도(확산 지원 단계)	토지이용-교통 통합 모형 및 탄소저감 도시정책의 적용 가이드라인 작성	토지이용-교통 통합 모형의 국내외 확산 적용을 위한 지자체 가이드라인 개발과 홍보
	탄소배출량 및 대기환경영향 예측 모형의 적용 가이드라인 작성	- 탄소배출량 산정 모형 적용 가이드라인 작성 - 대기확산 모형 적용 가이드라인 작성 - 미시 기반 도시교통 배출량 산정 프로그램 적용(국제협력연구 2차년도)
	도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템의 적용 가이드라인 작성	- 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 기능 고도화 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 가이드라인(사용자 및 관리자) 작성

3. 연구개발의 특징

연구개발의 최종성과물인 “도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템”과 분석 모형 네 가지의 특징은 다음과 같음

- 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템
 - 관심 도시의 탄소저감 정책안을 분석한 시뮬레이션 결과를 DB로 저장한 후, 사용자가 대안을 비교할 수 있는 기능 제공
 - GIS 기반으로 대상지역과 연계된 정책반영 결과를 확인할 수 있도록 하며, 대안 별 비교표를 제공
- 토지이용 교통통합 모형
 - 해외모형을 활용하여 국내 상황에 맞게 다양한 계수들을 조정하여 한국형 도시/교통 통합 모형로 업그레이드
 - 수도권 도시 변화를 예측한 결과와 실제 값을 비교하면서 모형을 개선하여 신뢰도 확보
- 활동기반 미시적 교통계획 모형
 - 국내의 통행자료와 센서스 자료를 활용하여 국내 특성에 맞게 활동기반모형을 개발
 - 기존 교통계획 모형의 예측치와 실제 도로의 통행량과 비교하면서 모형을 개선하여 신뢰도 확보
- 도시 탄소 배출량 예측 모형
 - 교통수요예측 결과와 연동하여 탄소배출량을 자동으로 산정하는 프로그램 개발
 - 평균 속도기반 모형 적용 및 운행모드 기반 배출량 산정방법 도입 방안 개발
- 도시 대기환경 예측 모형
 - 도시공간/교통변화로부터 대기질 농도를 계산하기 위한 입력자료가 일괄처리 되도록 하여 분석 시간 감소

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 (핵심성과 1) 도시공간-교통 통합 탄소배출 관리 프로그램 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 도시공간-교통 통합 탄소배출 관리 프로그램 개발의 목표 및 주요 연구내용은 다음과 같음

<표 2-1-1> 목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
3차년도	도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축	도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 설계
4차년도	도시공간-교통연계 탄소관리 통합체계 시범도시 적용	탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 통합 관리시스템 구축
5차년도	도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템의 적용 가이드라인 작성	- 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 기능 고도화 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 가이드라인(사용자 및 관리자) 작성

2. 연구수행 내용

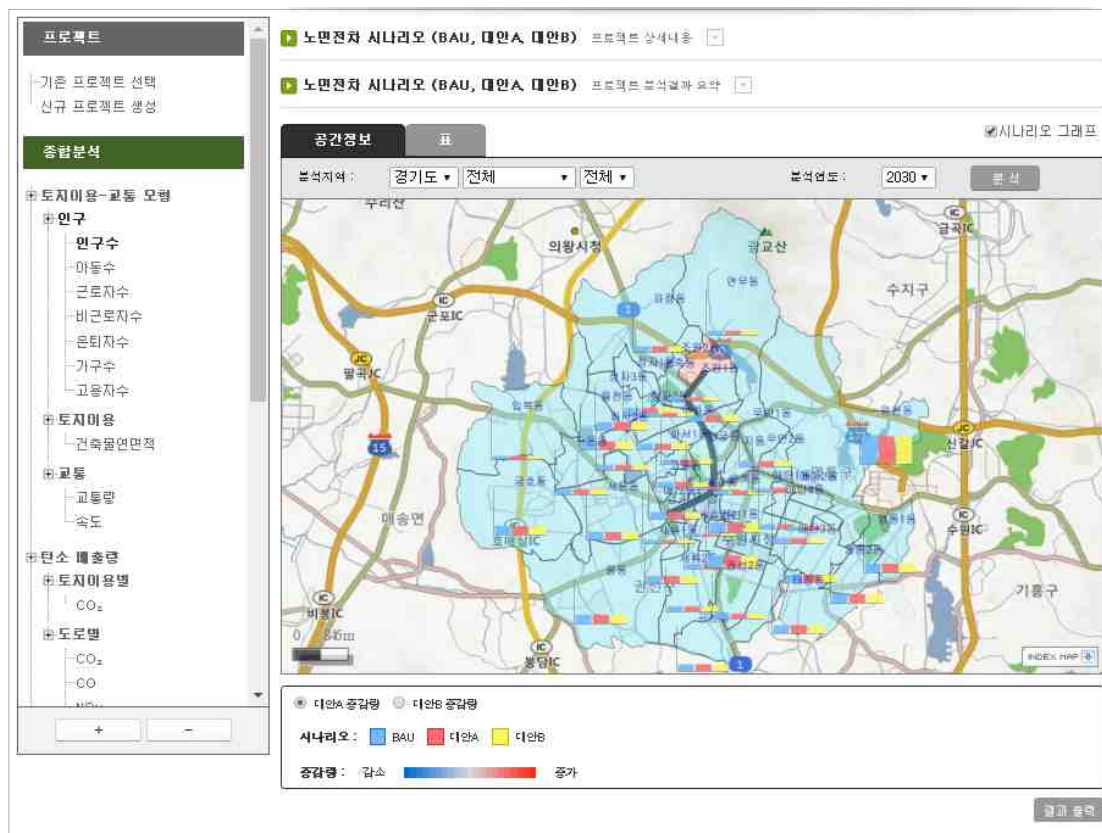
도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램은 각 단위 시스템(핵심성과 2, 3, 4, 5)의 통합 시스템으로 탄소저감 정책에 따른 모형 분석결과에 따라 탄소배출량, 대기환경, 도로성능을 분석하여 GIS기반의 지도에 결과를 표출하고, 다양한 대안의 탄소저감 효과 예측결과를 비교 분석할 수 있도록 하여 탄소저감 정책결정 및 의사결정을 지원할 수 있도록 개발하였다.



<그림 2-1-1> 프로그램 개념도

가. 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 설계

- 시스템 통합을 위한 메뉴 구조 및 사용자 편의성을 위한 UI 설계 및 기능을 보완하고, 타과제와의 시스템 통합을 위하여 각 단위시스템의 DB를 고도화를 수행함
- 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템의 활용도를 향상하기 위한 사용자 환경에 대한 설문조사를 수행(시스템의 표출 지표 및 정보의 표현 방법)
 - 토지이용 정책 지표 : 인구수(동단위, 총합), 근로자수 및 비근로자수(동단위, 변화율)
 - 거시 교통 정책 지표 : 총 통행거리(동단위, 총합), 교통수단별 존간 통행량(동단위, 총합)
 - 미시 교통 정책 지표 : 활동 목적별 통행량(동단위, 총합), 총 통행거리(동단위, 변화율)
- 잠재적 사용자 요구 분석 결과를 반영하여, 스토리보드 형식을 통해 사용자 환경(User Interface, UI)을 설계함



<그림 2-1-2> 사용자 환경 설계(예)

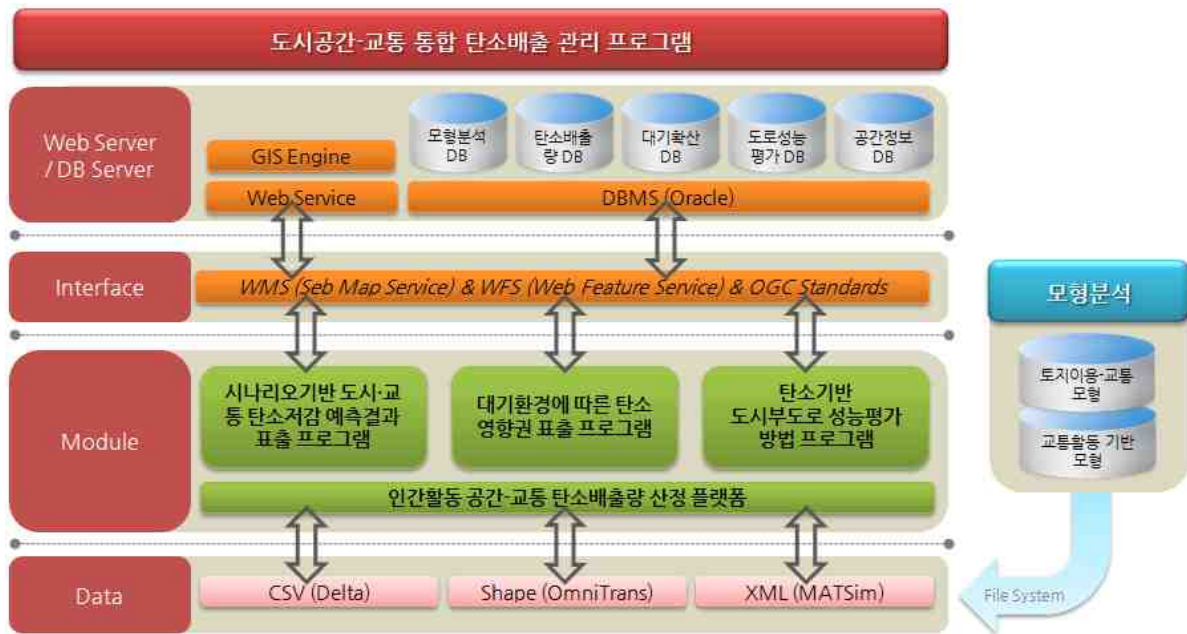
- 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램은 일반 사용자가 접근할 수 있는 Main 프로그램과 관리자 페이지로 구분되어 있으며, 전체 메뉴구조는 다음과 같음
- DB 테이블은 프로젝트 및 시나리오, 게시판 및 사용자, 지역정보 및 공통코드, 토지이용 모형 및 존별 탄소배출량, 교통계획 모형 및 링크별 탄소배출량, 교통 활동 모형 및 링크별 탄소배출량, 대기확산모형 및 CAI, 도로성능평가, 배출량 산정플랫폼으로 구분됨

<표 2-1-2> 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 메뉴 구조도

LV.1	LV.2	LV.3	LV.4
프로젝트 및 시나리오 분석 화면	분석 프로젝트	분석 프로젝트	프로젝트 관리
			시나리오 관리
			모형 데이터 관리
	종합분석 (도시스케일, 사용자정의-토지이용, 교통계획)	모형분석	인구수
			토지이용
			교통
		탄소배출량	행정구역별
			도로별(링크별)
		대기확산	대기확산
			대기확산지수 (CAI)
		도로성능평가	도로서비스수준(LOS)
			도로성능지표
	종합분석 (지구스케일, 사용자정의-교통활동)	모형 분석	교통량
		탄소배출량	도로별(링크별)
		대기확산	대기확산
			대기확산지수 (CAI)
		모형 분석	도로서비스수준(LOS)
			도로성능지표I
	상세분석	종합분석	-
관리자 화면	HOME	로그인	-
	사용자관리	사용자관리	-
	지표관리	도시스케일	토지이용 지표
			교통계획 지표
		지구스케일	교통활동 지표
		기타	CAI 지표
			LOS 지표
	플랫폼	도시스케일	토지이용
		지구스케일	교통활동

나. 탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 통합 관리시스템 구축

- 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리 프로그램은 탄소저감을 위한 정책 시나리오에 따라 모형분석, 탄소배출량, 대기확산, 도로성능평가가 산정되어 결과를 표출하는 것이 주기능이며, 타과제와의 연계를 고려하여 다음과 같이 설계하고, 웹 프로그램으로 구현함



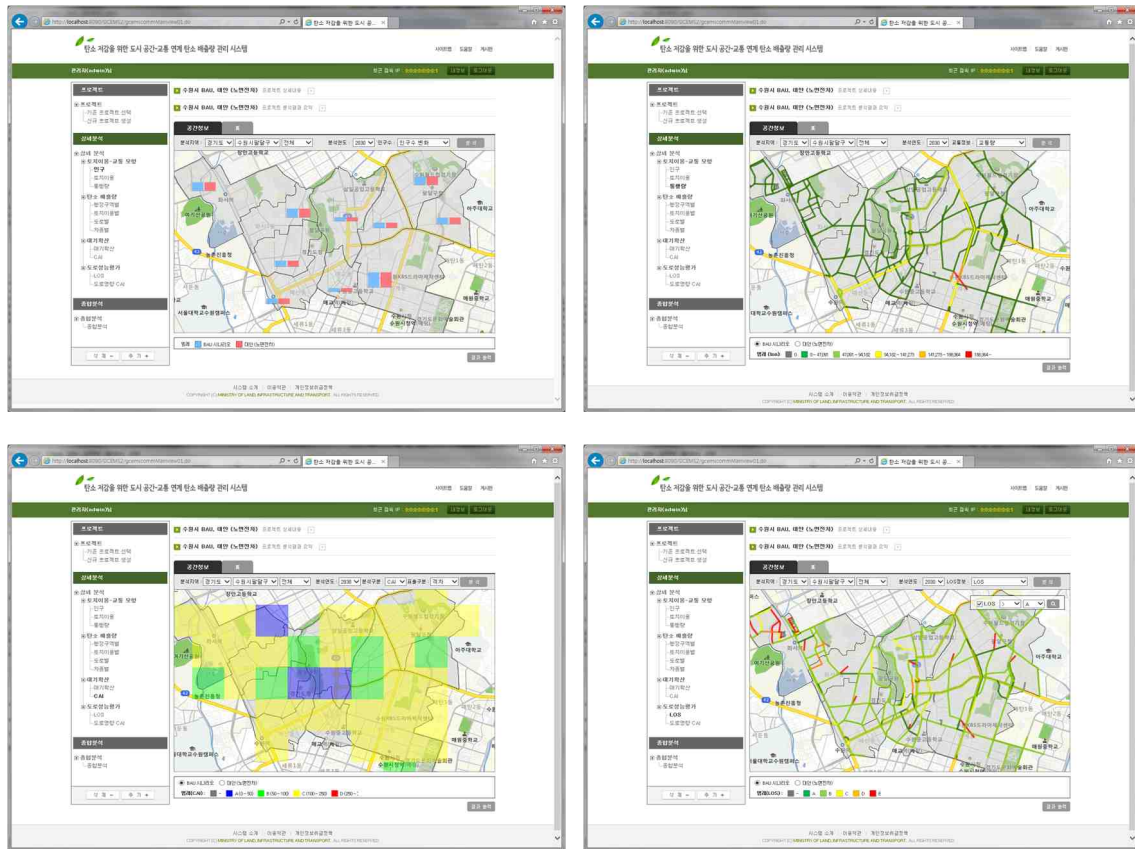
<그림 2-1-3> 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리프로그램 아키텍처

- 프로그램의 기능은 프로젝트 및 시나리오 생성, 상세분석(모형분석, 탄소배출량, 대기확산, 도로성능평가), 종합분석(시나리오 비교, 레포팅), 관리자기능(플랫폼, 지표관리, 사용자관리)으로 정의됨
- 화면 왼쪽에는 분석메뉴가 표출되고, 화면 상단에는 프로젝트(시나리오)의 상세내용과 분석결과 요약정보가 표출되어 on/off 할 수 있도록 구현함



<그림 2-1-4> 시스템 실행화면 및 화면 구성

- 분석결과는 각 메뉴에 따라 다음과 같이 도출되며, 행정구역별 그래프, 도로단위, 격자단위 등으로 표출함



<그림 2-1-5> 분석결과 유형

- 상세분석을 위한 기능을 별도로 도출하였으며, 이 기능은 통합 플랫폼 구축 부분과 연계될 수 있도록 구현함



<그림 2-1-6> 상세분석 레포팅

○ 타 세부과제와의 통합체계 구축을 통한 시스템 고도화

- 통합플랫폼 구축을 위하여 서버, DB, GIS엔진, 분석 데이터화면 연계방안에 대하여 정의하고, 통합로그인을 위한 항목을 통일하였으며, 배출량 분석결과 및 GIS 화면 등 당초 협의에 따라 2세부 통합시스템에 제공함

<표 2-1-3> 통합서버 환경 구성

구분	구축 환경
웹서버	- Apache Tomcat 7.0 - ArcGIS Server, Portal for ArcGIS 10.3
DB 서버	- Oracle 11g (Ver 11.2.0.1.0)
개발언어	- Java, JSP
기타	- OGC 표준 형태로 서비스와 데이터를 교환함

다. 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 가이드라인(사용자 및 관리자) 작성

- 시스템의 가이드라인은 사용자와 관리자 매뉴얼로 구분하여 작성하였으며, 사용자는 시스템의 개요 및 기능에 대해서 작성하고, 관리자는 시스템의 개요, 구성 및 운영지침 대해서 작성함

<표 2-1-4> 시스템 가이드라인 목차

구분		상세내용	
사용자 매뉴얼	제1장 개요	1.1 시스템 개요	시스템 소개
		1.2 시스템 기능구성	시스템 기능 목록 및 상세 설명
		1.3 시스템 환경	시스템 로그인 및 화면조작을 위한 기본 사용법 안내
	제2장 시스템 기능	2.1 분석 프로젝트	프로젝트 및 시나리오 생성
		2.2 종합 분석	모형분석, 탄소배출량, 대기확산, 도로성능평가 분석 결과
		2.3 상세분석	조건 선택 및 레포팅 출력
		2.4 관리자 페이지	지표관리, 플랫폼, 사용자 관리
		2.5 Home 메뉴	게시판, 회원가입 등
관리자 매뉴얼	제1장 개요	1.1 시스템 개요	시스템 소개
	제2장 시스템 구성	2.1 시스템 아키텍처	시스템 아키텍처
		2.2 하드웨어 구성	하드웨어 IP 및 스펙
		2.3 소프트웨어 구성	소프트웨어 버전 및 포트
		2.4 운영 S/W구동 및 환경정보	DB, WEB/WAS, GIS 엔진 정보
	제3장 시스템 운영	3.1 시스템 입력 데이터 구성	도시스케일, 지구스케일, 사용자정의 입력데이터 및 분석 프로세스 설명
		3.2 시스템 내 결과물 구성	결과 표출 정보

제2절 (핵심성과 2) 시나리오기반 도시교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

- 시나리오기반 도시교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램 개발의 목표 및 주요 연구내용은 다음과 같음

<표 2-2-1> 목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 설계	▪ 도시공간-교통연계 탄소관리체계 구축을 위한 연구기반 마련 ▪ 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 설계 및 기초 데이터 구축
2차년도	▪ 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발	▪ 시나리오기반 효과평가 GIS 표출체계 구축 ▪ 교통 활동별 스케줄링 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소배출 표출체계 구축
3차년도	▪ 도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축	▪ 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과표출 프로그램 개발

2. 연구수행 내용

시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램은 탄소저감 정책 시나리오에 따라 토지이용-교통 통합 모형(Delta, Omnitrans) 및 교통활동 모형(MATSim)을 실행한 후 얻은 모형의 결과 데이터와 이를 기반으로 산정된 탄소배출량을 GIS를 기반으로 표출하는 시스템이다.

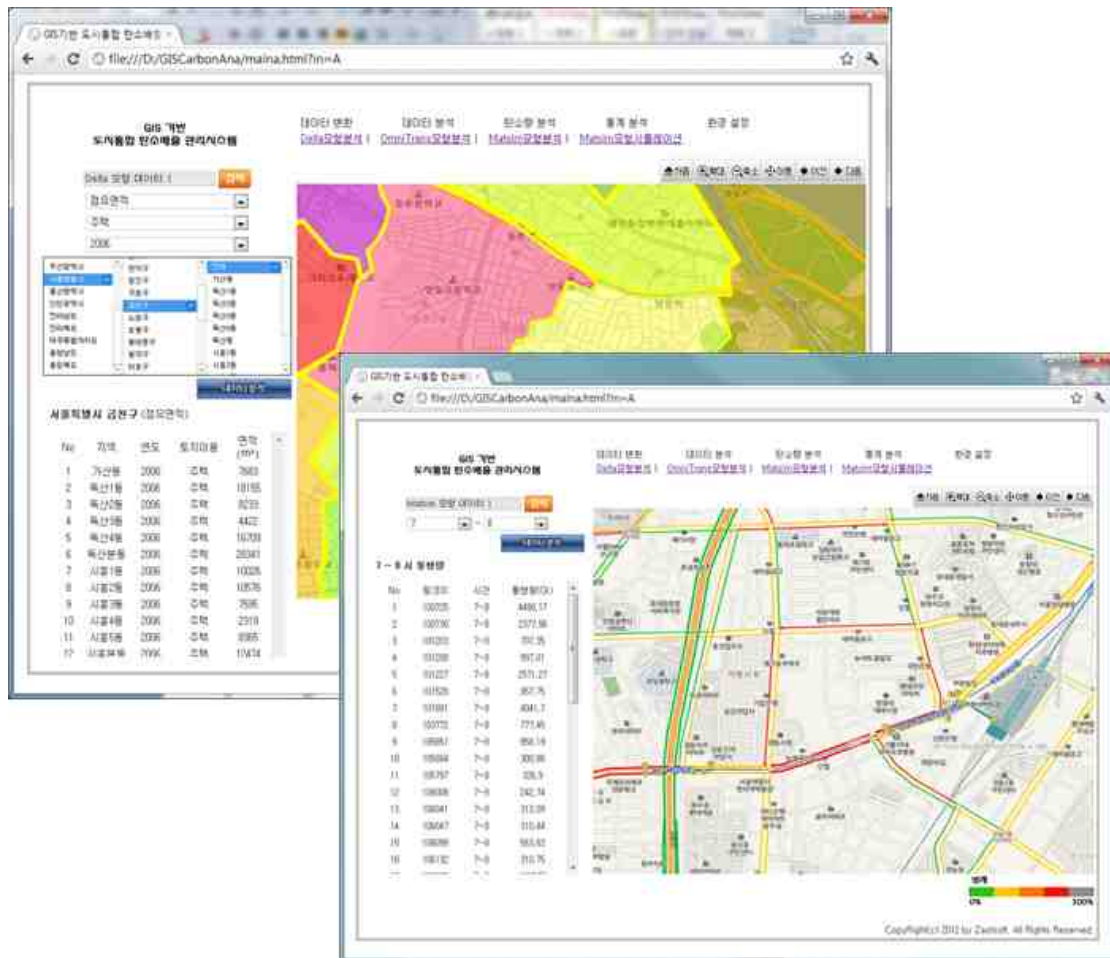
가. 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 설계

- 국내·외 토지, 도시, 교통 관련 통합 모형분석을 위한 시뮬레이터 및 프로그램 구축사례 등을 검토하여, 도시공간-교통연계 탄소관리체계 구축에 적용할 수 있도록 데이터 분석 방안 및 표출방안을 연구함
- 최종성과품에 대한 구체적인 서비스를 정의하고, 요소기술에 대해 분석, 설계함

<표 1-2-2> 요소기술 설계 항목

구분	명칭	상세 내용
분석	요구사항 정의	· 요구사항에 따라 전제조건, 요구사항 내용, 제약사항 등을 정의함
	유스케이스 모형	· 요구사항에 따라 액션을 정의하고, 액션의 다이어그램 및 흐름을 정의함
	프로세스 기능	· 유스케이스에 따라 단위별 프로세스를 정의함
설계	아키텍처 정의	· 시스템, 업무 구성도 및 개발환경을 정의함
	클래스 모형	· 프로세스에 따라 클래스, 패키지를 정의함
	메뉴 구조도	· 시스템에서 사용하는 메뉴를 정의함
	화면 설계	· 시스템에서 사용되는 화면을 정의함
	프로그램 설계	· 표출 페이지에 따라 관련 DB Table, 클래스를 정의함
	ERD	· 데이터 간의 관계를 정의함
	테이블 정의	· DB 테이블을 정의함
	코드 정의	· 시스템에서 공통으로 사용되는 항목을 코드를 정의함

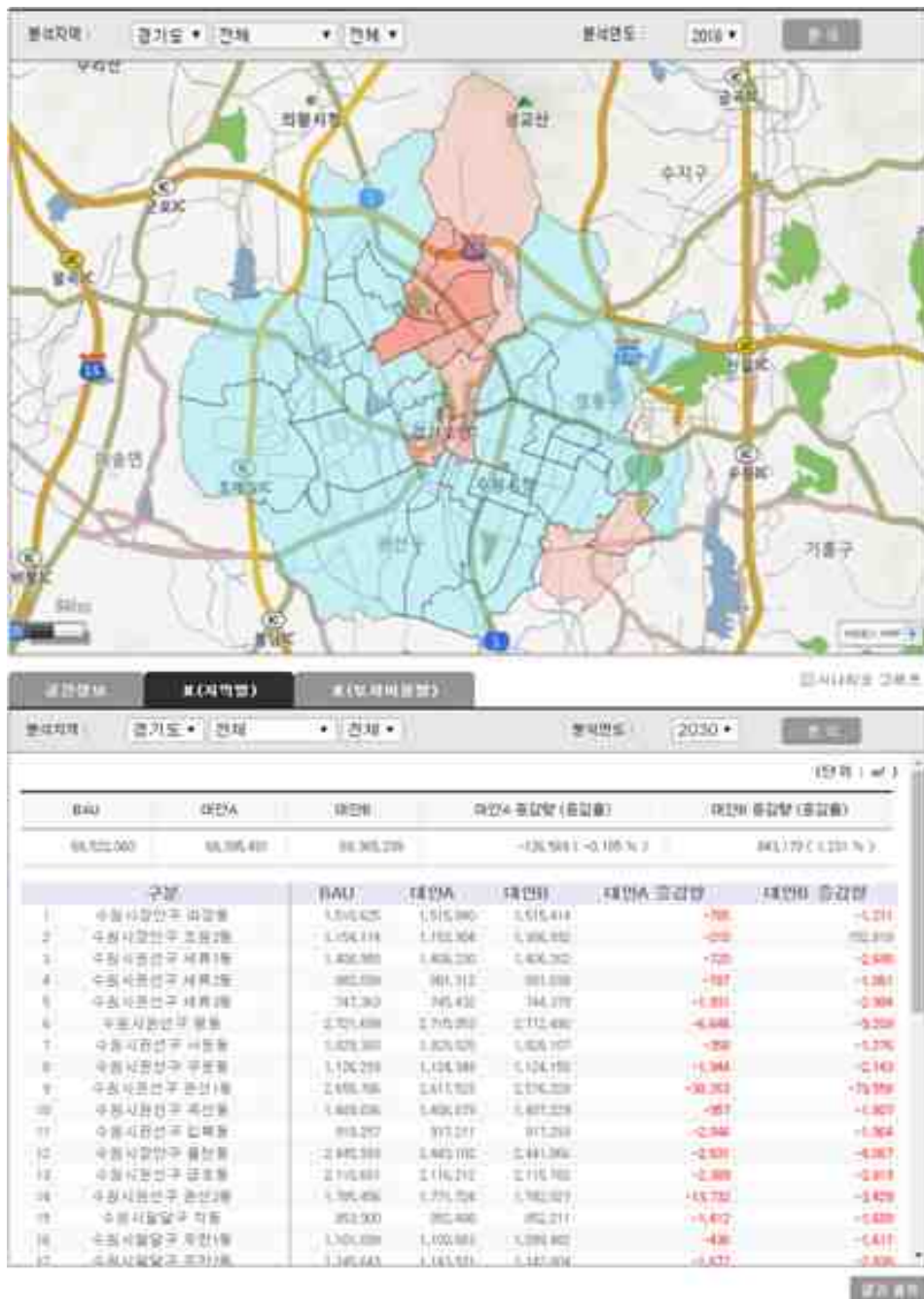
○ 사용자의 편의성을 고려하여 UI를 설계하고 html mock-up 개발을 수행함



<그림 2-2-1> html mock-up 화면

나. 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발

- 시나리오별 모형 분석결과 DB 및 시나리오 효과평가 시뮬레이션 표출체계 구축
 - 토지이용 모형(Delta Model)과 교통모형(OmniTrans Model)의 상호작용에 의해서 분석되며, 수도권을 대상으로 분석된 데이터를 변환하여 DB 구축
 - 선택한 시나리오의 토지-교통모형 분석결과인 인구변화, 토지이용변화, 교통량 변화, 속도 변화를 GIS상에서 표출. 인구변화와 토지이용변화는 존으로 구분되는 면으로 표출하며 교통량과 속도는 도로를 의미하는 선으로 표출함



<그림 2-2-2> 토지이용-교통통합모형 예측결과 표출안_토지이용

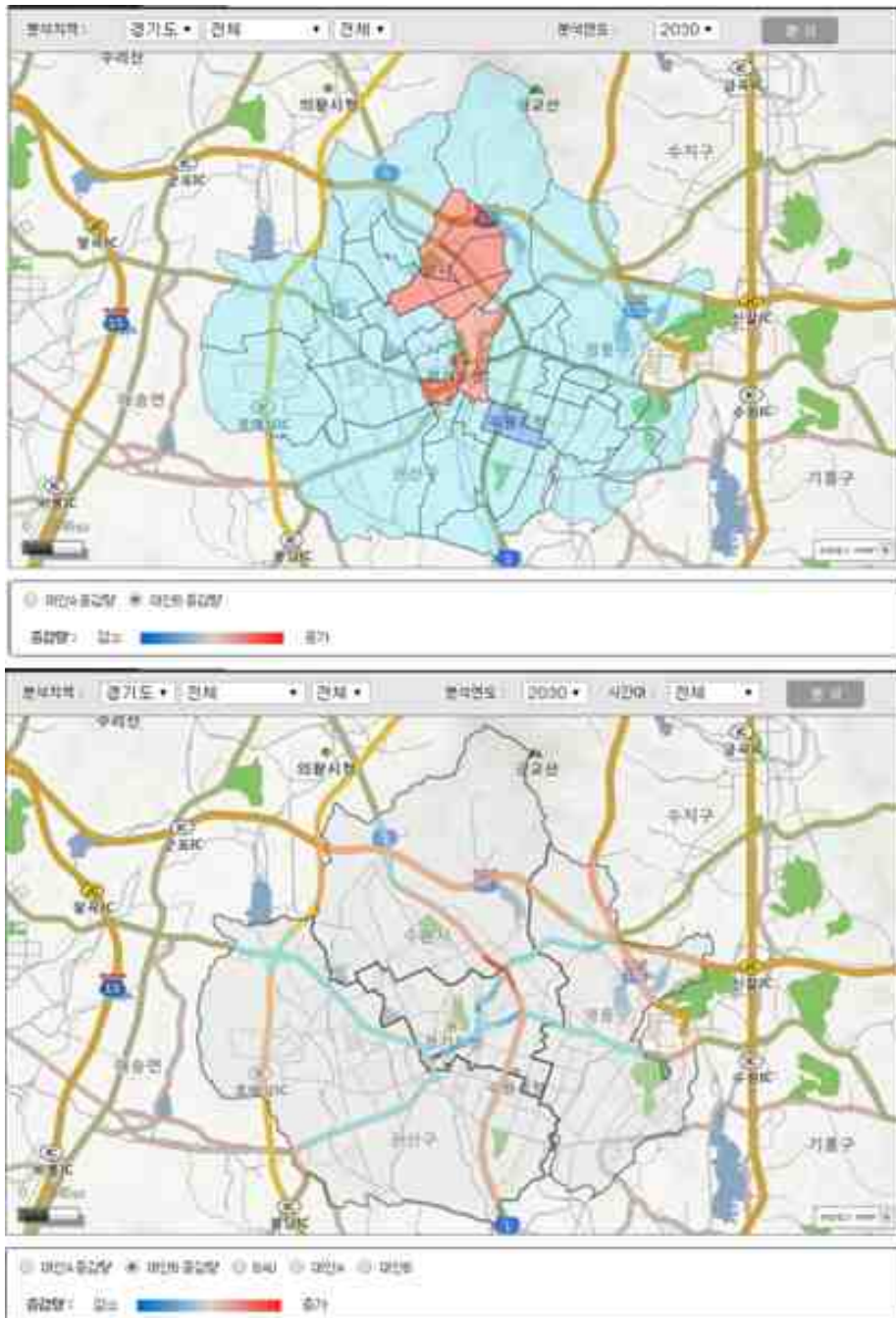


<그림 2-2-3> 토지이용-교통통합모형 예측결과 표출안_속도

- 인간활동기반 교통모형 분석결과 DB 및 인간활동기반 교통모형 시뮬레이션 표출체계 구축
 - 교통활동모형 분석결과인 시간대별 교통량 변화를 GIS상에서 표출하고, 링크의 속성정보 및 시간대별 교통량을 기반으로 LOS를 산정하여 도로의 상태를 표출
 - 토지이용 교통통합모형 예측결과 교통부문 표출 방식과 같음

다. 도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축

- 시나리오에 따른 토지-교통모형, 교통 활동 모형분석결과 및 이에 따른 탄소배출량을 GIS 기반에서 분석 및 표출할 수 있는 단위시스템으로, 기존에 구축되어 있던 DB를 고도화하여 프로그램 개발을 진행하였음
- 탄소 배출량 산정 플랫폼을 적용하여 시나리오 기반 토지-교통모형, 교통 활동 모형 분석 결과에 따라 산정한 탄소배출량을 존, 링크단위로 표출하는 기능을 구현함. 기존 대안과의 차이를 표출함(빨간색은 증가, 파랑색은 감소)



<그림 2-2-4> 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출프로그램 화면_토지이용 CO₂, 도로교통 CO₂

제3절 (핵심 성과 3) 인간활동 공간교통 탄소배출량 산정 플랫폼 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

- 인간활동 공간교통 탄소배출량 산정 플랫폼 개발의 목표 및 주요 연구내용은 다음과 같음

<표 1-3-1> 목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
2차년도	도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발	탄소배출량 산정 플랫폼 구현
3차년도	도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축	탄소배출량 산정 플랫폼 확장 및 적용

2. 연구수행 내용

인간활동-공간-통합 탄소배출량 산정플랫폼은 토지이용 탄소배출량 산정과 도로교통 탄소배출량 산정 기능을 수행하는 플랫폼으로 개발하였다.

가. 탄소배출량 산정 플랫폼 구현

- 토지이용-교통통합 모형(Delta, Omnitrans)과 활동기반교통모형(MATSIM)과 연계되는 시나리오기반 도시교통 탄소저감 시뮬레이션 프로그램에 탄소배출량 산정 플랫폼을 적용함
- 또한, 사용자가 토지이용면적, 교통량, 속도, 차종 등을 직접 입력하여 배출량을 산정하는 기능을 관리자 모드에 포함함

지표 관리		플랫폼		사용자 관리																			
교통계획 검색조건 <table border="1"> <tr> <td>지역</td> <td>수도권</td> <td>차종</td> <td>승용차</td> <td>오염물질</td> <td>CO₂</td> </tr> <tr> <td>연도 (2010 ~)</td> <td>2015</td> <td>길이 (km)</td> <td>10</td> <td>속도 (km/h)</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>교통량 (대)</td> <td>1000</td> <td colspan="4"></td> </tr> </table> 배출량 산정						지역	수도권	차종	승용차	오염물질	CO ₂	연도 (2010 ~)	2015	길이 (km)	10	속도 (km/h)	45	교통량 (대)	1000				
지역	수도권	차종	승용차	오염물질	CO ₂																		
연도 (2010 ~)	2015	길이 (km)	10	속도 (km/h)	45																		
교통량 (대)	1000																						
배출량 산정결과 <table border="1"> <tr> <th>지역</th> <th>차종</th> <th>오염물질</th> <th>연도범위</th> <th>속도범위 (km/h)</th> <th>배출계수 (g/대·km)</th> <th>배출량 (g)</th> </tr> <tr> <td>수도권</td> <td>승용차</td> <td>CO₂</td> <td>2015 ~ 2019</td> <td>42.5 ~ 47.5</td> <td>184.26 ~ 183.9</td> <td>1,890,800</td> </tr> </table>						지역	차종	오염물질	연도범위	속도범위 (km/h)	배출계수 (g/대·km)	배출량 (g)	수도권	승용차	CO ₂	2015 ~ 2019	42.5 ~ 47.5	184.26 ~ 183.9	1,890,800				
지역	차종	오염물질	연도범위	속도범위 (km/h)	배출계수 (g/대·km)	배출량 (g)																	
수도권	승용차	CO ₂	2015 ~ 2019	42.5 ~ 47.5	184.26 ~ 183.9	1,890,800																	

<그림 2-3-1> 탄소 배출량 산정 플랫폼_도로교통 탄소배출량 산정

지표 관리		플랫폼		사용자 관리		
토지이용						
연도	지역	토지유형	면적 (m ²)			
2015 ▼	수도권 ▼	주택	1000			
		오피스	500			
		판매	100			
		서비스	100			
		보건/의료	100			
		교육/연구	100			
		산업/기타	300			
배출량 산정						
배출량 산정결과						
적용연도	지역	오염물질	토지이용구분	입력면적	지표(tCO ₂ eq/m ² /year)	배출량 (tCO ₂ eq)
2015	수도권	CO ₂	주거	1000	0.035837994	35.637994
2015	수도권	CO ₂	오피스	500	0.074175726	37.087864
2015	수도권	CO ₂	도소매	100	0.086961331	8.6961331
2015	수도권	CO ₂	서비스	100	0.091453521	9.1453521
2015	수도권	CO ₂	의료복지	100	0.063095585	6.3095585
2015	수도권	CO ₂	교육연구	100	0.045430194	4.5430194
2015	수도권	CO ₂	산업	300	0.113209409	33.9628227

<그림 2-3-2> 탄소 배출량 산정 플랫폼_도로교통 탄소배출량 산정

나. 탄소배출량 산정 플랫폼 확장 및 적용

- 다른 종류의 시뮬레이션 모형의 예측 결과를 입력하여 탄소배출량 산정플랫폼을 활용할 수 있도록 “사용자정의 분석” 기능을 구현하였으며, ‘토지이용 기반 플랫폼’, ‘교통계획 기반 플랫폼’, ‘교통활동 기반 플랫폼’이 있음
- 교통 활동 모형 기반의 배출량 산정 플랫폼은 초단위의 차량 속도를 입력하여 탄소배출량을 산정하는 방식으로 대용량 데이터를 입력하고 처리해야 하므로 C/S 프로그램으로 구현

<그림 2-3-3> 사용자정의 교통 활동 모형 기반 배출량 산정 플랫폼

제4절 (핵심성과 4) 대기환경에 따른 탄소영향권 표출프로그램 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

○ 대기환경에 따른 탄소영향권 표출프로그램 개발의 목표 및 주요 연구내용은 다음과 같음

<표 2-4-1> 목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
2차년도	도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발	대기환경변화 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소 영향권 표출체계 구축
3차년도	도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축	대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 개발
4차년도	도시공간-교통연계 탄소관리 통합체계 시범도시 적용	도시공간 대기모형 및 계수 보정

2. 연구수행 내용

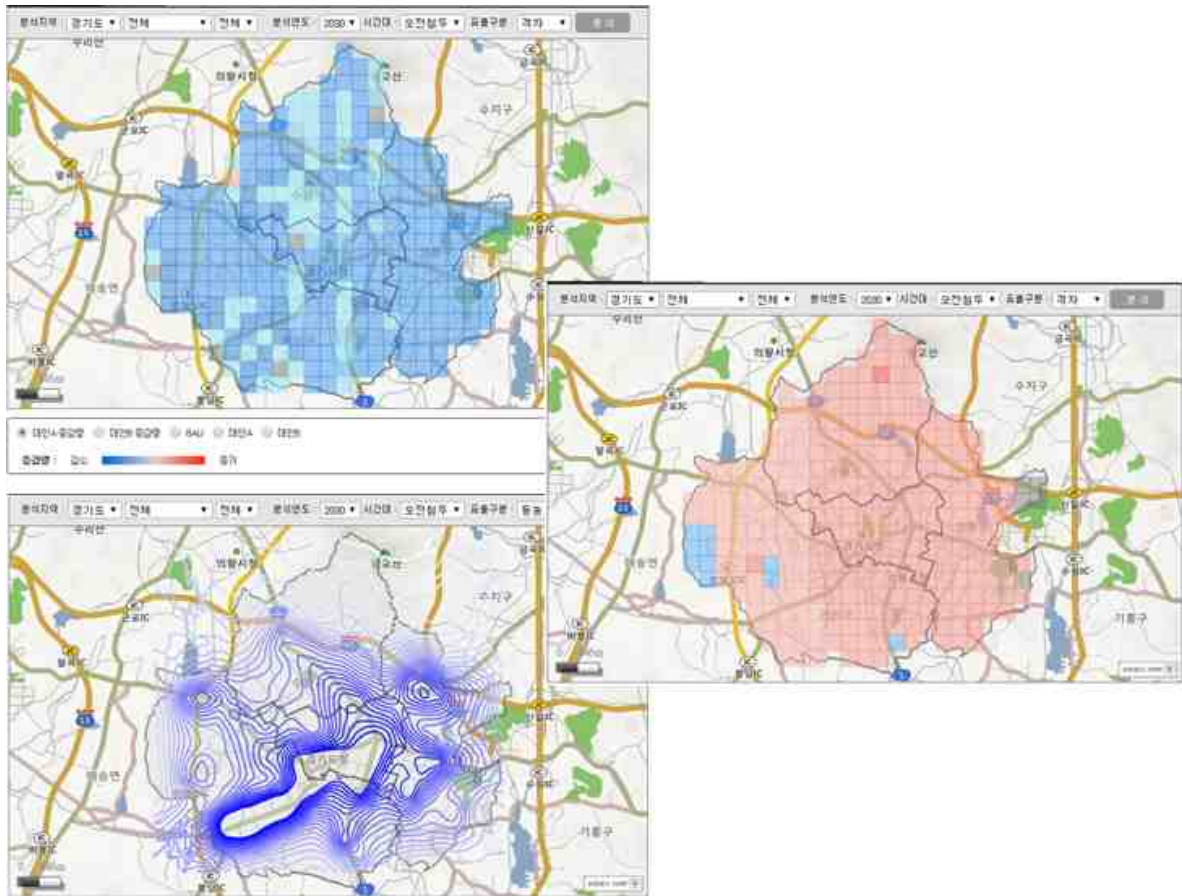
대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램(핵심성과3)은 산정된 배출량에 따라 대기환경예측 모형(CALINE3)의 입력 자료를 생성하여 모형을 구동하고, 모형의 결과 데이터인 탄소 영향권을 표출하는 시스템이다.

가. 대기환경변화 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소영향권 표출체계 구축

○ 토지-교통(OmniTrans)모형, 교통활동 모형(MATSim)을 기반으로 산정된 탄소배출량을 대기환경예측모형(CALINE)을 통해 GIS상에서 표출하고, 오염물질별 농도 값을 활용하여 통합대기환경지수(CAI)를 산정하여 대기상태를 GIS상에서 표출함

나. 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 개발

- 탄소배출량 산정 플랫폼을 통해 산정된 배출량을 바탕으로 대기환경 예측 모형을 적용하여 탄소영향권을 분석할 수 있는 단위시스템으로, 기존에 구축되어 있던 DB를 고도화하여 프로그램 개발을 진행하였음
- 대기확산모형 적용하여 탄소영향권 및 CAI 분석결과를 등농도, Grid 단위로 표출하는 기능을 구현함

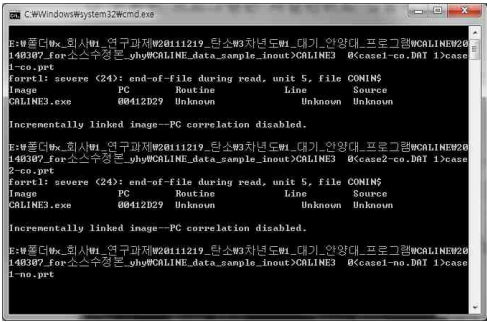
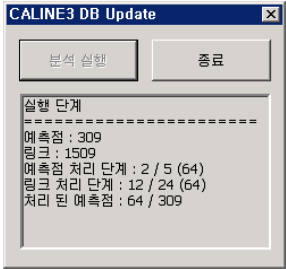


<그림 2-4-1> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 화면

다. 도시공간 대기모형 및 계수 보정

- 대기환경예측모형의 통합시스템 연계를 위한 프로그램 고도화
 - 개발된 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램은 대기환경예측모형(CALINE3)의 결과를 입력하여 표출하였으며, 변환된 프로그램이 별도로 실행될 수 있도록 구현하였음
 - 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리 프로그램 내부에서 실행될 수 있도록 ActiveX로 변환하였으며, Input 데이터와 Output 데이터가 DB에서 조회, 입력하여 시나리오별로 모형이 실행될 수 있도록 수정함
 - 대기환경 예측모형(CALINE3) 프로그램을 웹 환경으로 통합한 결과는 다음과 같음

<표 1-4-1> 프로그램 변환 결과

구분	대기확산모형 (CALINE3)	프로그램 변환결과
개발언어	Fortran	MFC
link 및 receptor	20개로 제한	64개씩 반복하여 실행
배출계수 처리	사용자 직접 입력	프로그램 상에서 자동 연산
오염물질	CO에 대해서만 산정가능	오염물질과 분자량을 추가하여 산정
농도의 단위	ppm, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
출력 포맷	풍향별 지점별 농도	지점별 농도 (합계)
실행화면		

○ 시범도시(수원시) 적용을 위한 데이터 생성

- 대기환경예측모형의 Input 데이터는 기상, 지형, 배출량이며, 기상자료는 기 구축된 데이터를 활용하였으며, 풍향, 풍속, 온도, 안정도, 혼합고 항목(2013년 기준)으로 구축함
- 지형자료는 관심지점의 지형고도를 사용자가 사용할 때마다 직접 입력하기 어렵기 때문에 구축된 SRTM3(Shuttle Radar Topography Mission 3")을 활용하여 DB로 구축함

제5절 (핵심성과 5) 탄소기반 도시부 도로 성능평가 프로그램 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

탄소기반 도시부 도로 성능평가 프로그램 개발을 위한 년차별 연구 목표와 내용은 다음과 같다.

<표 2-5-1> 연구목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
3차년도	탄소기반 도시부 도로 성능평가 분석 프로그램 개발	탄소기반 도시부 도로 성능평가 프로그램 구축
4차년도	탄소기반 도시부 도로성능 평가 방법론의 적용 가이드라인 작성	타도시 적용을 위한 가이드라인 작성

2. 연구수행 내용

탄소배출량 산정 프로그램을 통해 도시·교통정책 시나리오별로 산정된 대기오염물질 배출량 및 확산 결과를 근거로 도시부 도로 및 주변 대기환경을 평가하는 프로그램을 구축하였다.

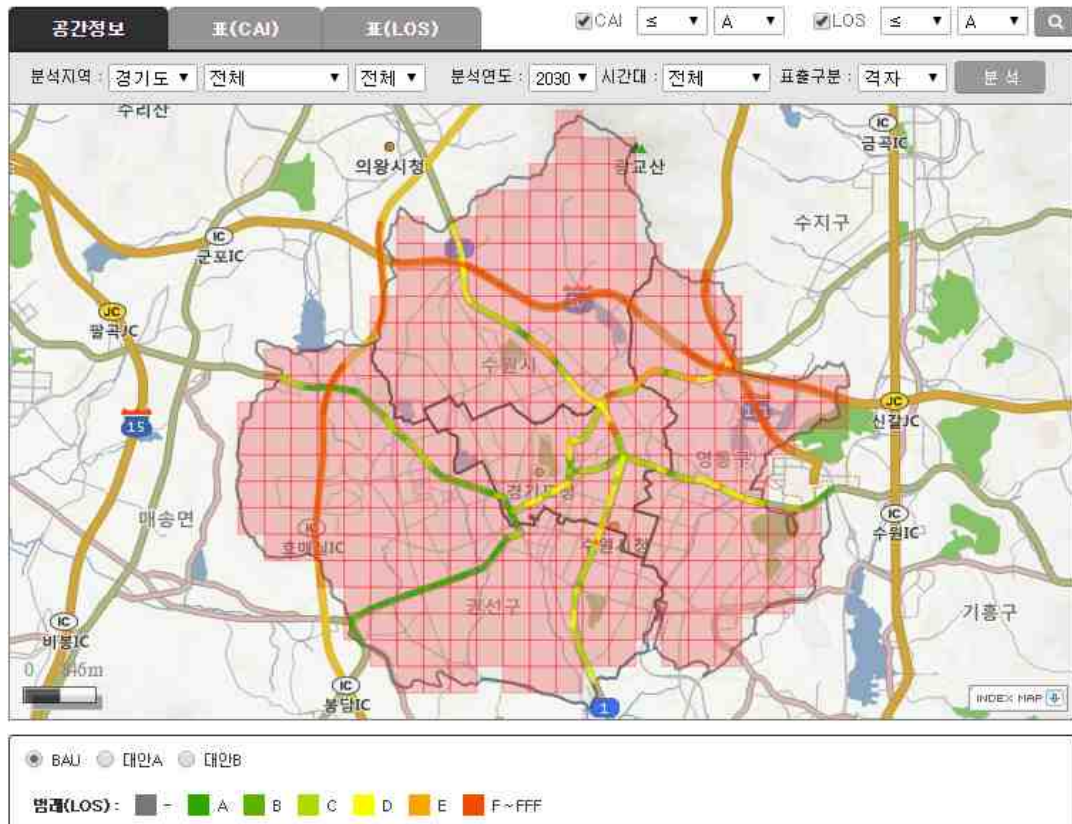
가. 탄소기반 도시부 도로 성능평가 프로그램 구축

(1) 통합대기환경지수(Comprehensive Air Quality Index, CAI)

- 대기환경 상태를 평가하는데 사용되는 통합대기환경지수(Comprehensive Air Quality Index, CAI)와 도로성능지표를 연계하여 GIS map 형태로 표출함

<표 2-5-2> 통합대기환경지수(CAI)의 등급

구분	A	B	C	D	E
	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨	
통합대기환경지수(CAI)	0-50	51-100	101-250	251이상	
SO ₂ (ppm)	0-0.02	0.021-0.05	0.051-0.15	0.151-1	
NO ₂ (ppm)	0-0.03	0.031-0.06	0.061-0.2	0.201-2	
CO (ppm)	0-2.0	2.01-9	9.01-15	15.01-50	
O ₃ (ppm)	0-0.03	0.031-0.09	0.091-0.15	0.151-0.6	
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0-30	31-80	81-150	151-600	
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0-15	16-50	51-100	101-500	



<그림 2-5-1> 탄소기반 도로성능 평가 지표 표출

(2) 도로 서비스 수준

- 도로의 서비스수준은 다음 표와 같이 A~F까지 6단계로 구분됨

<표 2-5-3> 도로서비스별 교통류 상태

서비스 수준	교통류 상태
A	사용자 개개인들은 교통류 내의 다른 사용자의 출현에 실질적으로 영향을 받지 않음
B	교통류 내에서 다른 사용자가 나타나면 주위를 기울이게 됨
C	교통류 내의 다른 차량과의 상호작용으로 인하여 통행에 상당한 영향을 받기 시작함
D	속도 및 방향 조작 자유도 모두 상당히 제한되며, 운전자가 느끼는 안락감은 일반적으로 나쁜 수준으로 떨어지고, 이 수준에서는 교통량이 조금만 증가하여도 운행 상태에 문제가 발생함
E	교통류 내의 방향 조작 자유도는 매우 제한되며, 방향을 바꾸기 위해서는 차량이 길을 양보하는 강제적인 방법을 필요로 함. 교통량이 조금 증가하거나 작은 혼란이 발생하여도 와해 상태가 발생함
F	도착 교통량이 그 지점 또는 구간 용량을 넘어선 상태이며, 이러한 상태에서 차량은 자주 멈추며 도로의 기능은 거의 상실됨

(3) 기타 평가 지표

- 토지이용-교통 통합 모형 및 활동기반 모형에 따른 결과 값 중 대표적인 링크별 교통속성인 속도자료(km/hr)와 차종별 운행거리(대-km)를 이용한 지표 3가지를 산출하여 제공함
- 교통혼잡정도(Traffic Congestion Intensity) : 도로등급별 혼잡기준속도를 바탕으로 분석대상 지역에 포함된 링크 중 교통이 혼잡한 링크의 비율을 나타내는 것으로, 도시·교통정책 별 분석대상지역의 교통혼잡비율을 비교·분석할 수 있음
- 시간가치손실비용(Time of Value Cost) : 도시·교통정책 별 교통혼잡정도를 화폐단위로 변환하여 비교할 수 있도록 한 것으로, 의사결정권자 및 일반 시민에게 정책별 특성을 쉽게 설명하고 이해할 수 있도록 함
- 환경비용(Environmental Cost) : 도시·교통정책에 따른 분석대상 내 링크에서 산출된 주행속도와 교통량을 기반으로 속도에 따른 대기오염별 원단위를 적용하여 산정하는 것으로, 정책별 환경적인 영향을 화폐 가치화함



<그림 2-5-2> 도로성능지표 제공

제6절 (핵심성과 2-1)토지이용-교통 통합모형 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

토지이용-교통 통합모형 개발을 위한 년차별 연구목표와 연구내용은 다음과 같다.

<표 2-6-4> 목표 및 주요 연구내용

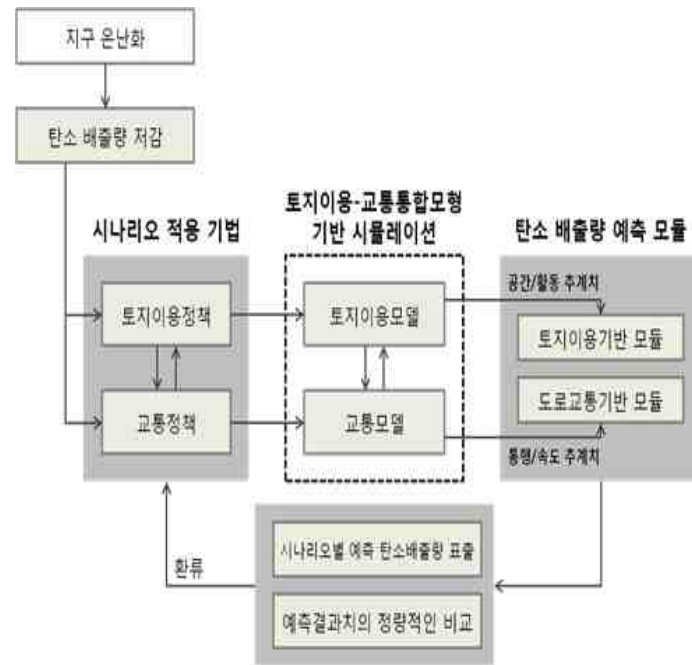
연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	도시교통 탄소 연계체계 기반 의사결정지원시스템 프레임워크 구축	- 통합모형 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크 구축 - 거시-미시 연계 기반 탄소저감정책 평가체계 프레임워크 구축
2차년도	토지이용-교통 통합모형의 시나리오 구축	- 탄소저감형 도시배치 대안 시나리오 matrix 구상 - 도시공간배치 시나리오별 시뮬레이션 수행
3차년도	시나리오 적용을 통한 통합모형 개선	- 탄소저감정책 및 도시개발 시나리오 적용 및 검증(수도권 대상) - 시나리오 적용 결과에 따른 토지이용-교통 통합모형 개선 - 시범도시 기초자료 수집 및 가공
4차년도	토지이용-교통 통합모형의 시범도시 적용	- 시범도시 특성을 반영한 계수 보정 - 시나리오별 시뮬레이션 결과 분석
5차년도	토지이용-교통 통합 모형 및 탄소저감 도시정책의 적용 가이드라인 작성	토지이용-교통 통합 모형의 국내외 확산 적용을 위한 지자체 가이드라인 개발과 홍보

2. 연구수행 내용

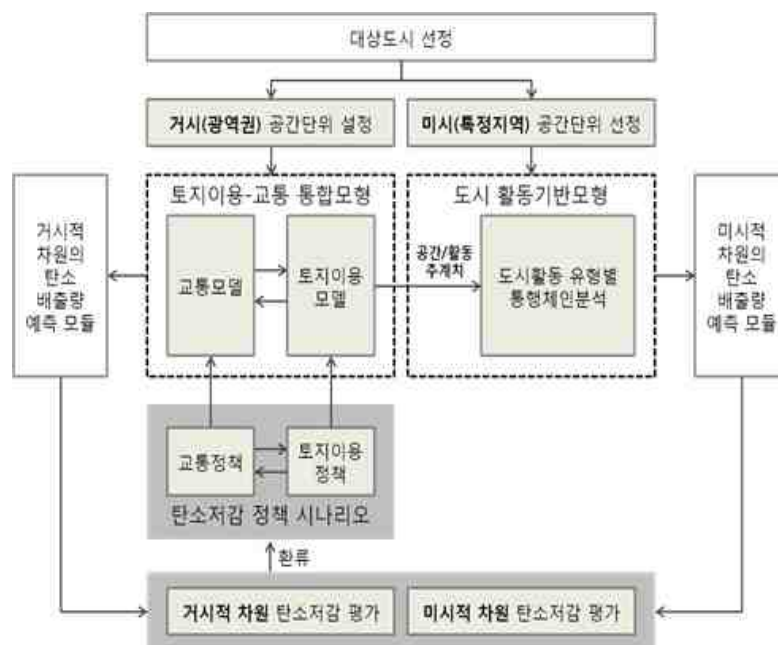
도시개발 및 탄소저감정책 적용에 따른 도시의 장래변화를 예측하기 위한 토지이용-교통 통합모형을 구축함으로써, 정부 및 각 지자체에서 계획 및 시행하고 있는 개발계획과 정비 사업이 향후 도시 공간 및 활동에 미치는 영향에 대한 정책효과를 분석하고, 그 결과를 토대로 가장 효과적인 탄소저감정책 의사 결정을 지원할 수 있게 되었다.

가. 탄소 배출량 예측 모듈에서의 토지이용-교통 통합모형 역할 정의

- 모형의 시나리오 적용기법에 따라 토지이용과 교통의 정책 시나리오를 구축하고 토지이용-교통 통합모형 시뮬레이션을 통해 예측한 결과를 탄소배출량 예측 모듈에 전달하는 역할 수행
- 토지이용-교통 통합모형은 거시(광역권) 공간 단위를 대상으로 분석하는 도구로써, 거시적 차원의 탄소 배출량 예측 모듈에 활용되는 데이터를 생산하고 전달하는 역할을 수행함



<그림 2-6-3> 통합모델 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크



<그림 2-6-4> 거시-미시 연계기반 탄소저감정책 평가체계 프레임 워크

나. 토지이용-교통 통합모형의 시나리오 구축

- 토지이용-교통 통합모형의 시나리오는 기 확정된 토지이용 및 교통정책을 반영하는 BAU 시나리오와 지자체 공무원 및 의사결정자가 확인하고자 하는 대안 정책을 반영하는 대안 시나리오로 구분됨

- 대안시나리오는 토지이용정책, 교통정책, 규제 그리고 투자정책 등 여러 분야의 다양한 대안 정책을 선택할 수 있는 시나리오 매트릭스 형태를 따름
- 시나리오 매트릭스는 의사결정자가 선택할 수 있는 정책의 최대 조합을 선택 가능한 형태로 구축되어, 지역 특성 및 의사결정자의 의사에 따라 선택적으로 대안시나리오가 구축됨
- 기존 국외의 여러 도시에서는 시나리오 매트릭스에 입각하여 대안시나리오를 구축하였으며, 각 시나리오 매트릭스는 도시의 특성 및 모형의 분석가능 범위에 따라 다양한 시나리오 매트릭스를 구축함(SPARTACUS, PROPOLIS 참조)
- 본 연구진은 기존에 여러 도시에서 적용한 시나리오 매트릭스를 참고하여, 국내의 의사결정 과정에서 활용가능하고 토지이용-교통 통합모형에서 구동 가능한 정책들을 선별 및 추가하여 시나리오 매트릭스를 구축함

정책타입		정책	대안시나리오 적용시기				
			2010	-	2020	-	2030
BAU 시나리오		기 확정된 토지이용 및 교통정책	-				
대안 정책	투자 정책	지역 투자 계획 (예:대중교통 전용지구 개발, 순환도로 건설 등)					
		대중교통 도시외곽연결 확충					
		도시 내 새로운 대중교통 및 도로노선 구축					
	토지이용정책	도시 중심부에서의 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
		도시철도역 주변 지역에 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
		환승센터가 존재하는 지역에 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
		특정지역에 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
	교통 정책	자가	중심지 주차비용 증감				
			중심지 외 지역의 주차비용 증감				
			혼잡통행료증감				
		대중 교통	대중교통 속도 증감				
			대중교통 요금 증감				
			대중교통 배차간격 증감				
	규제	모든 도로 네트워크에서의 최고 속도 증감					
		고속도로나 주도로의 최고 속도 증감					
		고속도로나 주도로 이외의 최고 속도 증감					

<그림 2-6-5> 시나리오 매트릭스

- 지자체와의 협의를 통하여 탄소저감과 관련된 정책을 선별하고, 각 정책을 앞서 구축한 시나리오 매트릭스의 구조 하에 모형에 적용 가능한 형태로 대안시나리오를 설정함
- BAU 시나리오를 기준으로 교통부분의 대안시나리오를 추가적으로 반영한 정책을 대안시나리오 1로 설정하며, BAU 시나리오를 기준으로 교통부분의 대안시나리오와 토지이용부분 대안시나리오를 추가적으로 반영한 정책을 대안시나리오 2로 설정함

정책타입		정책	대안시나리오 적용시기				
			2010	-	2020	-	2030
BAU 시나리오		기 확정된 토지이용 및 교통정책	-				
대안 정책	투자 정책	지역 투자 계획 (예:대중교통 전용지구 개발, 순환도로 건설 등)		√			
		대중교통 도시외곽연결 확충					
		도시 내 새로운 대중교통 및 도로노선 구축 (예:노면전차 등)		√			
	토지이용정책	도시 중심부에서의 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
		도시철도역 주변 지역에 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
		환승센터가 존재하는 지역에 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
		특정지역에 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
	교통 정책	자가	중심지 주차비용 증감				
			중심지 외 지역의 주차비용 증감				
			혼잡통행료증감				
		대중 교통	대중교통 속도 증감				
			대중교통 요금 증감				
			대중교통 배차간격 증감				
	규제	모든 도로 네트워크에서의 최고 속도 증감					
		고속도로나 주도로의 최고 속도 증감					
		고속도로나 주도로 이외의 최고 속도 증감					

<그림 2-6-6> 대안시나리오 1 매트릭스

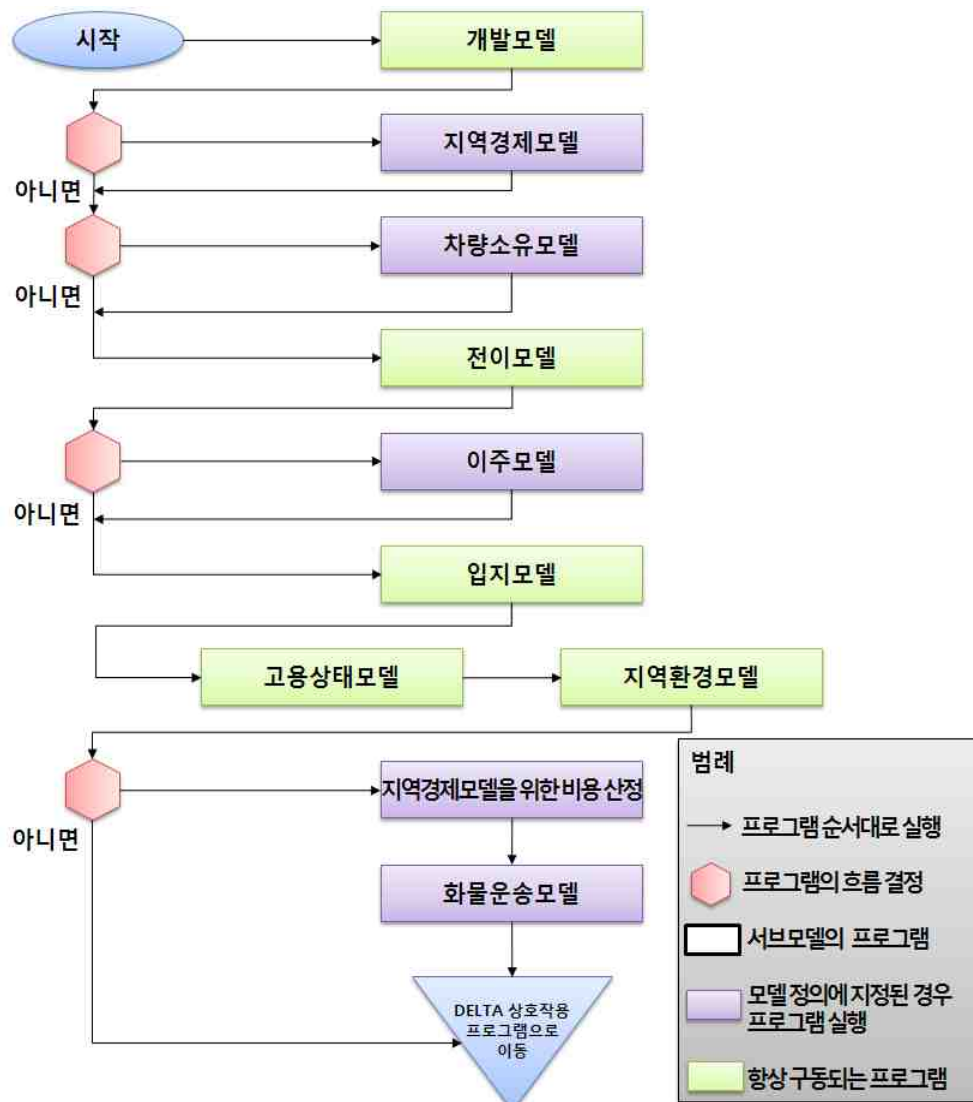
정책타입		정책	대안시나리오 적용시기				
			2010	-	2020	-	2030
BAU 시나리오		기 확정된 토지이용 및 교통정책	-				
대안 정책	투자 정책	지역 투자 계획 (예:대중교통 전용지구 개발, 순환도로 건설 등)		√			
		대중교통 도시외곽연결 확충					
		도시 내 새로운 대중교통 및 도로노선 구축 (예:노면전차 등)		√			
	토지이용정책	도시 중심부에서의 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
		도시철도역 주변 지역에 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감		√			
		환승센터가 존재하는 지역에 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감					
		특정지역에 주거/3차산업 시설 및 허용기준 증감		√			
	교통 정책	자가	중심지 주차비용 증감				
			중심지 외 지역의 주차비용 증감				
			혼잡통행료증감				
		대중 교통	대중교통 속도 증감				
			대중교통 요금 증감				
			대중교통 배차간격 증감				
	규제	모든 도로 네트워크에서의 최고 속도 증감					
		고속도로나 주도로의 최고 속도 증감					
		고속도로나 주도로 이외의 최고 속도 증감					

<그림 2-6-7> 대안시나리오 2 매트릭스

다. 통합모형 개선(토지이용모델)

토지이용모델(DELTA)는 개별시장(고용, 주택, 상품, 자본시장 등)에서 행위자들(actors)의 의사결정이 공간에 미치는 영향 및 그 변화과정을 장기적으로 예측하는 것이며 모델임. <그림 2-6-6>은 토지이용모델의 여러 하위모델을 나타낸 그림이며, 국내에서 조사된 토지이용관련 정보를 바탕으로 토지이용모델의 변화, 고용, 개발, 입지 하위모델을 개선하였음.

- 변화(Transition) 하위모델 : 변화 세부모형의 활동주체의 형성, 변화, 해체, 성장 등을 예측 모델 개선
- 고용 하위모형 : 고용 세부모형 중 가구유형별 통근패턴 시뮬레이션 모델 개선
- 개발(Development) 하위모델 : 개발업자에 의한 토지이용 유형별 개발 총량과 개발입지 시뮬레이션 모델 개선
- 입지(Location) 하위모델 : 토지이용에 대한 활동주체의 입지 용량의 변화 시뮬레이션 모델 개선

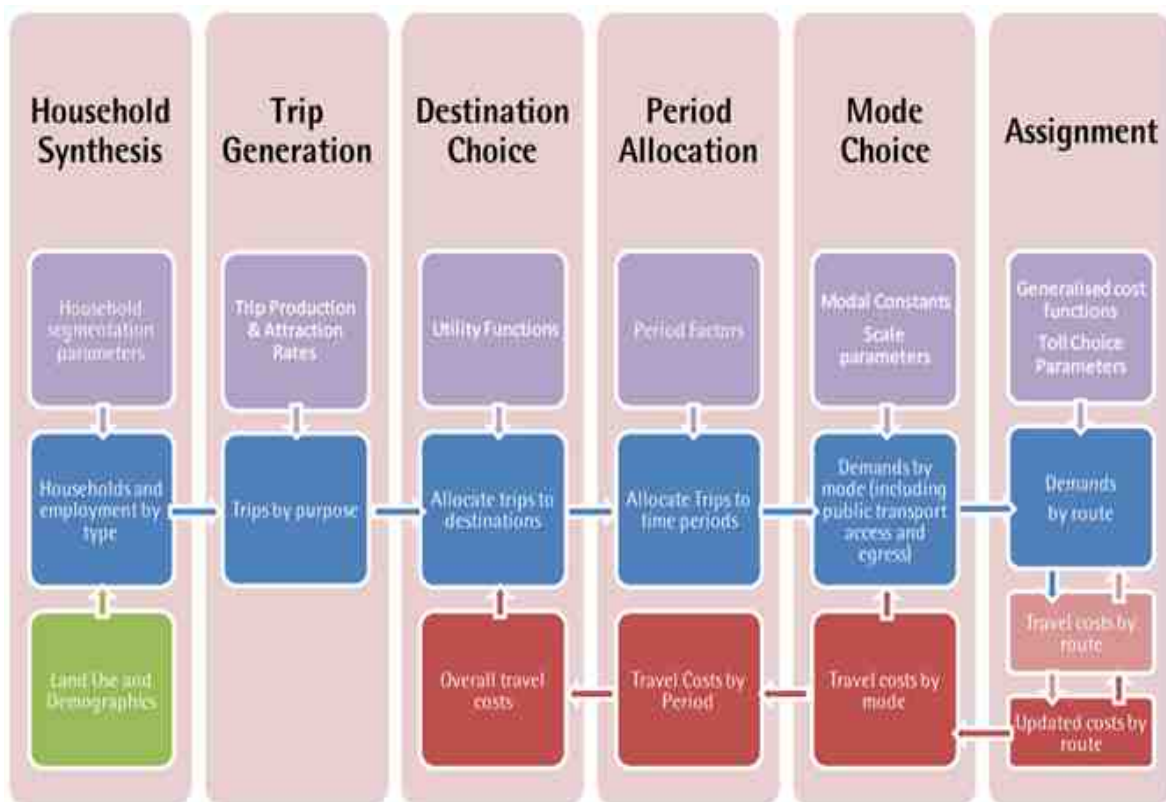


<그림 2-6-8> 토지이용모델 구동 프로세스

라. 통합모형 개선(교통모델)

교통모델(Omni-TRANS)는 다중 교통수단(Multi modal) 교통 프로그램 통합 패키지임. 교통모델(Omni-TRANS)는 전통적인 교통수요 4단계 법칙에 의거하여 통행량 발생부터 분포(목적지 선택), 수단선택 그리고 통행배정까지 관장하는 모델임. 가구를 분할하는 단계와 통행목적별 시간대를 조정 단계를 추가하여 <그림 2-6-7>와 같이 총 6단계로 모델이 구동되며 국내에서 조사된 교통관련 정보를 바탕으로 각 하위모델을 개선하였음.

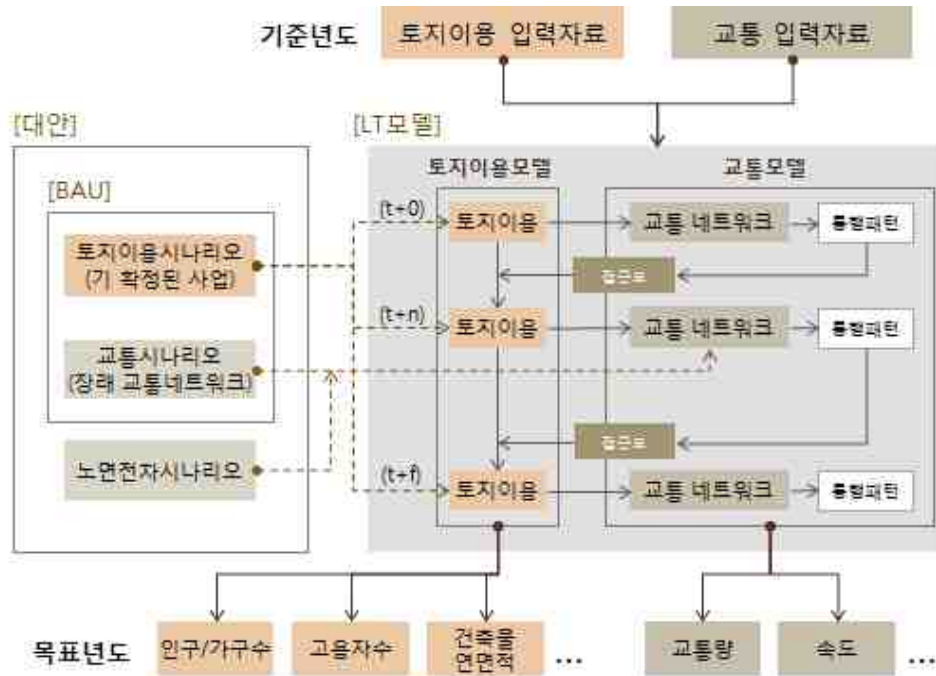
- 가구 유형분류 모델 : 세분화 된 지역별 가구유형 자료생성을 위해 국내 수도권 자료를 기초로 모델 개선
- 통행발생 모델 : 가구 또는 지역별 발생하는 통행량 자료를 생성하기 위해 수도권 가구통행 실태조사 자료를 기초로 모델 개선
- 목적지 선택 : 각 통행목적별 선택 가능한 목적지를 선별하기 위해 수도권 가구통행 실태조사 자료를 기초로 모델 개선
- 통행 시간대 모델 : 통행목적별 통행량 배정을 위해 모델 개선
- 수단선택 모델 : 통행목적별 수단선택 모델 개선
- 통행배정 모델 : 통행량 배정을 위해 수도권 내 통행량 측정 데이터(스크린 라인과 코든라인 지점 데이터)를 활용하여 모델 개선



<그림 2-6-9> 교통모델 구동 프로세스

마. 토지이용-교통 통합모델의 적용을 통한 정책비교

토지이용-교통 통합모형은 토지이용모델(DELTA)와 교통모델(Omni-TERANS)이 서로 연계되어 구동되는 형태의 시스템을 일컫음. 토지이용-교통 통합모형을 활용한 장래 시뮬레이션은 <그림 2-6-8>과 같이 토지이용과 교통의 상호작용 이론에 기초하여 시나리오에 대한 토지이용과 교통의 연속적인 변화를 동시에 분석하였음



<그림 2-6-10> 토지이용-교통 통합모형 구동 절차

○ BAU 시나리오 : 기 확정된 토지이용 및 교통정책 시나리오

- 토지이용-교통 통합모형을 구동할 때 기준 시나리오가 되는 BAU시나리오를 구축하였으며, 시나리오 구축에 앞서 국외에서 시나리오를 구축하는 방법론을 고찰
- BAU 시나리오는 수도권을 대상으로 구축하였으며, 실제 준공완료 또는 계획이 확정된 개발 사업 자료를 수집하여 작성하였음

○ 대안 시나리오 : 지자체 정책의 효과를 검증하기 위한 시나리오

- 지자체(수원시)와의 회의를 통해 해당 지자체에서 희망하는 정책시나리오를 선정하고, 시나리오 구축과 관련된 정책 자료를 수집함
- 대안 시나리오는 수원시 노면전차 정책을 대상으로 하였으며, 노면전차의 노선 및 그 외 주요 정책사안은 업무협의를 통해 수집함

○ 정책효과 분석 : 토지이용-교통 통합모형을 통해 대안시나리오에 따른 변화를 예측함

- 토지이용 모델 결과물을 통해 수원시 / 트램노선 지역 인구수, 가구수, 고용자등 변화를 추정
- 교통모델의 결과물을 바탕으로 수원시 및 트램노선 지역의 승용차, 대중교통, 트램의 통행량 및 통행속도 변화를 추정함

제7절 (핵심성과 2-2) 활동기반 미시적 교통모형 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

활동기반 미시적 교통모형 개발을 위한 년차별 연구목표와 연구내용은 다음과 같다.

<표 2-7-1> 연차별 연구목표와 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	도시 활동기반 모형의 국내 적용 가능성 분석 및 모의 네트워크 구축	- 교통 전문가 활용을 통한 활동기반모형의 국내 적용가능성 분석 - 활동기반 시뮬레이션을 이용하기 위한 국내 자료 여건 파악 및 모의 네트워크 구축
2차년도	도시활동(유형별) 통행 체인분석을 통한 활동기반 모형 연구 및 개발	가구통행실태조사 데이터를 이용한 모형 연구 및 국내 적용 모형 개발
3차년도	인간활동 기반 시뮬레이션(MATSim) 모형 개선	- 시뮬레이션 결과의 적합성 분석 및 정산기법 연구를 통한 모형 개선 - 탄소배출량 산정을 위한 미시적 주행 자료 산출 기술 개발 - 시범도시 적용을 위한 통행스케줄링 자료 생성
4차년도	인간활동 기반 시뮬레이션(MATSim)의 시범도시 적용	- 시범도시 인간활동기반 시뮬레이션(MATSim) 네트워크 구축 - 시나리오별 인간활동기반 시뮬레이션(MATsim) 적용 및 분석

2. 연구수행 내용

도시교통 탄소저감 평가·관리를 위한 도시 활동별 통행체인(Trip Chain) 및 스케줄링(Scheduling) 예측하기 위해 기존 수요추정모형인 4단계 모형의 한계를 극복한 인간 활동기반 교통시뮬레이션 모형을 개발함으로써 미시적인 교통정책에 대해서도 통행량의 변화를 예측 가능하게 만들어 탄소배출량 산출을 예측하는 시스템에 적용할 수 있게 되었다.

가. 도시활동(유형별) 통행 체인분석을 통한 활동기반 모형 연구 및 개발

(1) 가구통행실태조사 자료를 이용한 국내 활동기반 모형 개발

- 가구통행실태조사 데이터 원자료를 수집하고 가공하여 분석을 실시
- 가구통행실태조사 자료의 통계적 검증을 통해 개별행태모형의 신뢰성 확보

(2) 도시활동(유형별) 통행체인분석을 통한 통행스케줄링 생성 모형 연구

- 개별행태모형 개발을 위한 프로세스 연구

- 자료 구성은 수도권 가구통행실태조사 데이터 및 토지이용, GIS자료들을 사용함
- 개별행태가 반영되는 공간적인 배분은 GIS를 이용하여 활동좌표를 네트워크에 표현하여 목적지 선택모형을 구축함
- 목적지 선택모형으로부터 공간 활동용량을 결정하여 활동인구를 활동스케줄에 따라 공간적으로 분포시킴

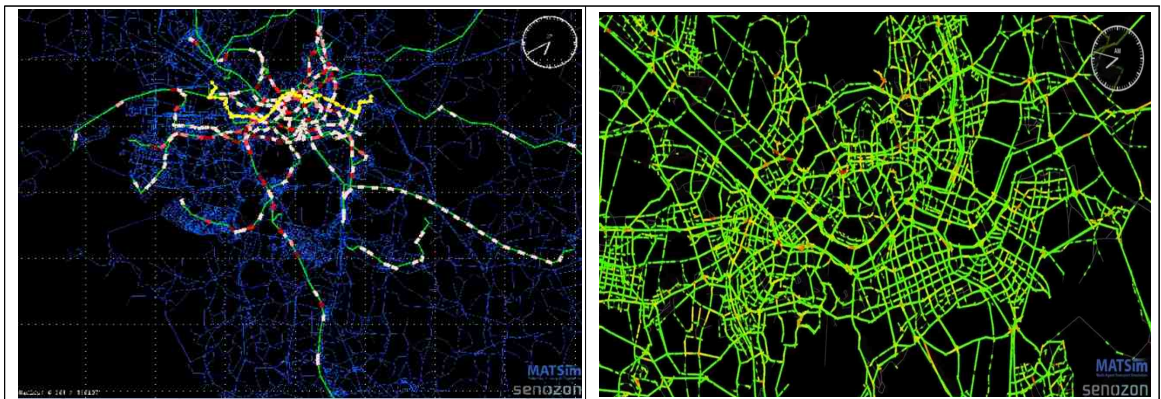
○ 활동 스케줄 구축

- 활동스케줄은 하루 중에 일어난 모든 활동들의 시간적인 순서집합으로 구성요소를 설정하고 도시 유형별 개별통행자의 24시간 활동 프로파일을 구축
- 가구통행실태조사 자료의 활동, 활동시간 등에 대한 자료를 기반으로 각 활동들을 그룹별로 집합하여 각 시간 수행할 비율을 구함

(3) 인간 활동기반 시물레이션(MATSim) 활용 수도권 네트워크 구축

○ 수도권 교통본부 배포 네트워크 및 대중교통 라인 데이터 변환

- 노드(node) 20,938개 / 링크(link) 54,838개
- 노드와 링크는 분석지역에 따라 네트워크 수정으로 변경가능
- 416,495 정류장/143,578개의 대중교통 노선자료 구축(지하철/버스)



<그림 2-7-1> 시물레이션 구축 현황

나. 인간활동 기반 시물레이션(MATSim) 모형 개선

(1) 인간활동 기반 시물레이션(MATSim) 모형의 적합성 검토

○ 시물레이션 정산기법의 활용

- 통행시간의 경우 하루에 대한 시간대별(미시적) 통행 시간을 산출하여 거시적 측면의 시물레이션 프로그램인 EMME/2와 비교하여 모형을 검증함
- 통행속도의 경우 미국 EPA 탄소배출량 산정 프로그램인 MOVES의 입력자료(Input

data)로 활용할 수 있도록 속도데이터를 초당 데이터로 산출하였음

- 통행거리의 경우 Agent Plan을 분석 대상지역 네트워크(Network)에 적용하여 활동유형별 통행거리, 인당통행거리, 수단별 통행거리, 합성인구별 통행거리의 결과를 산출하였음

(2) 탄소배출량 산정을 위한 미시적 주행 자료 산출 기술 개발

○ 미시적 주행 자료 산출기술 개발

- 링크를 통행하는데 있어 현실의 가·감속을 표현하기 위해 매초 링크로 진입하는 차량의 속도와 링크를 통행하고 있는 차량의 초기 속도와의 평균을 통행 매초 링크 통행속도를 산출함
- 이를 통해 다시 에이전트에게 링크 통행속도를 적용하여 링크를 통행하는데 있어 가·감속 속도를 추정함

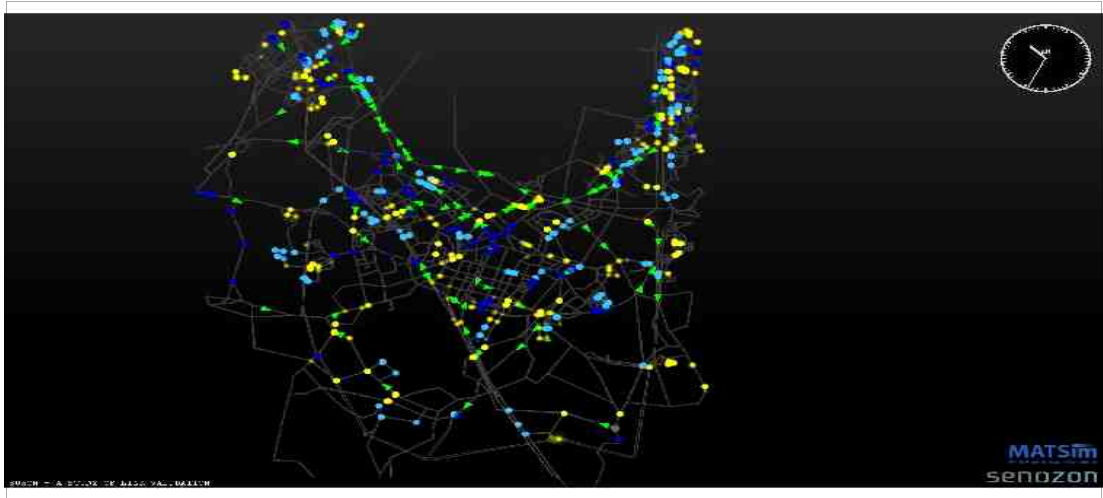
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	Name	linkId	linkLength	Time(AM)	Average_Speed	Time(PM)	Average_Speed	Unit	linkFreeSp	linkCapac	linkLanes	linkMode	personId	linkEnterTime	linkLeaveTime	linkTravelTime	linkTravelSpeed	Time
2	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:00	109.80	16:00:00	109.91	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1257927	63397	63705	308	30.55194805	
3	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:01	109.81	16:00:01	109.91	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck;pt_tr_8832		28063	28371	308	30.55194805	
4	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:02	109.81	16:00:02	109.91	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1706242	66132	66440	308	30.55194805	
5	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:03	109.80	16:00:03	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1706241	59017	59325	308	30.55194805	
6	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:04	109.80	16:00:04	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1706240	55457	55765	308	30.55194805	
7	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:05	109.80	16:00:05	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck;pt_tr_1430		26682	27008	326	28.86503067	
8	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:06	109.79	16:00:06	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1803284	65269	65578	309	30.45307443	
9	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:07	109.79	16:00:07	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1803285	67818	68126	308	30.55194805	
10	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:08	109.79	16:00:08	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1803286	57458	57766	308	30.55194805	
11	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:09	109.79	16:00:09	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1803287	63976	64284	308	30.55194805	
12	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:10	109.79	16:00:10	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1265650	67142	67450	308	30.55194805	
13	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:11	109.79	16:00:11	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	2031897	60994	61302	308	30.55194805	
14	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:12	109.79	16:00:12	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck;pt_tr_1158		66264	66573	309	30.45307443	
15	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:13	109.79	16:00:13	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	3	29698	30007	309	30.45307443	
16	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:14	109.79	16:00:14	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck;pt_tr_8833		35400	35708	308	30.55194805	
17	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:15	109.79	16:00:15	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck;pt_tr_8852		76212	76520	308	30.55194805	
18	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:16	109.79	16:00:16	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	563813	24405	24713	308	30.55194805	
19	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:17	109.79	16:00:17	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck;pt_tr_1430		31894	32211	317	29.68454259	
20	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:18	109.79	16:00:18	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	9	31675	31983	308	30.55194805	
21	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:19	109.79	16:00:19	109.92	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	181931	67590	67898	308	30.55194805	
22	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:20	109.79	16:00:20	109.91	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck;pt_tr_1163		22311	22619	308	30.55194805	
23	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:21	109.79	16:00:21	109.91	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1963069	24244	24552	308	30.55194805	
24	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:22	109.79	16:00:22	109.91	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	1963068	29318	29626	308	30.55194805	
25	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:23	109.79	16:00:23	109.91	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	826287	74110	74418	308	30.55194805	
26	Gyeongbu Expw	32759	9410	7:00:24	109.79	16:00:24	109.91	Km/h	30.55556	11000	5	[car, truck	517	32135	32443	308	30.55194805	

<그림 2-7-2> 초당데이터의 산출목록

다. 인간활동 기반 시뮬레이션(MATSim)의 시범도시 적용

(1) 시범도시 분석자료 구축

- 수원시 일대의 고속도로, 국도, 지방도를 대상으로 구간별 평균속도 및 교통량과 비교하여 분석을 수행하였음
- 수도권 가구통행실태조사(2010) 및 수원시 센서스 데이터(2010)을 사용하여 합성인구 및 활동파일을 생성하고 KTDB에서 배포하는 수도권 네트워크(2010)적용하여 시뮬레이션을 구축



<그림 1-7-3> 분석대상지역 시물레이션 모형 구축

(2) 시범도시 정산기법 연구

- 정산은 현재의 구축된 모형이 실제를 얼마만큼 반영할 수 있는가에 대한 중요한 척도로써 다양한 결과 값은 모형의 설명력을 높일 수 있는 정산기법을 만들 수 있음
- 본 과업에서는 링크 모형의 정확성을 검증하기 위해 교통량을 크게 오전 침두시와 오후침두시로 구분하여 비교하였으며, 세부적으로는 시간당 교통량을 산출해 실측데이터와 비교하여 검증하였음

(3) 시범도시 합성인구 생성

- 실제 인간의 사회경제적 복합적 특성이 반영될 수 있도록 인구 총 조사 자료와 가구통행실태조사 자료의 결과를 활용하여 합성인구를 생성함
- 모의담금질기법을 활용한 합성인구 생성방법론을 구축하고, 데이터 수집 및 합성인구생성, 생성결과의 검증과정을 통하여 시범도시 일대의 합성인구를 생성 완료함
- 『A Simulated Annealing Algorithm for the Activity Based Travel Demand Modelling』 (Kim, J. Y.) 을 참조하여 모의 담금질 기법(SA)을 이용하여 합성인구의 다차원(multi dimension)적인 속성의 결합분포(joint distribution)를 만족시키는 알고리즘을 활용하여 합성인구를 생성 완료함

(4) 시범도시의 활동 스케줄(Plan data) 구축

- 일일 스케줄모형 기반의 하루스케줄을 활동스케줄이라 정의하며 수원시 일대에서 일어난 각 개별 인구(agent) 활동스케줄을 하루 중에 일어난 모든 활동들의 시간적 순서의 집합이라 가정하여 각 개별(agent)의 스케줄 구축함
- 수원시 일대 가구통행실태 조사자료를 기반으로 각 개별 인구(agent) 특성에 따른 활동패턴 분석함

제8절 (핵심성과 3-1) 도시 탄소 배출량 예측 모형 개발

1. 연구수행 내용 전략 및 방법론

탄소배출량 예측 모형 개발을 위한 년차별 연구목표와 연구내용은 다음과 같다.

<표 2-8-1> 목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	도시공간 및 교통부문 탄소배출량 산정 방법 개발 및 관련 DB 설계 및 구축	- 도시공간의 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발 - 교통부문 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발 - 정보 수집 및 DB 구축 - 기관 DB 연계
2차년도	토지이용-교통 통합 모형의 탄소배출량 예측기술 개발	- 토지이용-교통 통합모형의 예측 결과 값을 반영한 탄소배출량 예측기술 개발 - 탄소 관리 통합 DB 설계
3차년도	활동 기반 교통계획 모형의 탄소배출량 산정 모형 개발 및 시스템 설계	- 미시기반 탄소배출량 산정을 위한 기초 자료 구축 - 활동 기반 탄소배출량 산정 기법 개발
4차년도	탄소배출량 예측 모형 시범도시 적용	- 배출량 산정 방법론 및 계수 보정 - 미시 기반 도시교통 배출량 산정 프로그램 검토 및 보완 (국제협력연구 1차년도)
5차년도	탄소배출량 및 대기환경영향 예측 모형의 적용 가이드라인 작성	- 탄소배출량 산정 모형 적용 가이드라인 작성 - 미시 기반 도시교통 배출량 산정 프로그램 적용(국제협력연구 2차년도)

2. 연구수행 내용

교통 부문과 토지이용 부문의 탄소저감 정책 대안에 따른 탄소저감 효과를 분석하기 위한 탄소 배출량 관리 시스템의 주요 부분으로 도시의 장래 토지이용 변화와 교통의 변화에 따른 탄소배출량을 산출하는 기능을 개발하였다.

가. 배출량 산정 모형 개발

(1) 배출량 산정 모형의 구분

배출량 산정에 필요한 배출계수, 토지이용 분류, 차량특성 정보 등의 관련 자료를 수집하여 데이터베이스를 구축하였고 토지이용, 교통 시뮬레이션 결과물과 연계하여 탄소배출량을 산정하는 기능을 개발하였음

- 도시스케일: 도시의 큰 규모의 대상지에 대하여 토지이용과 교통시스템의 장기적인 장래 변화를 예측하여 탄소배출량을 년 또는 일 단위로 추정

- 토지이용배출량 산정 모형 : DELTA모형의 분석 결과 중 토지이용별 연면적 예측값에 토지이용별 면적당 탄소배출 원단위를 곱하여 배출량을 산정함. 배출계수는 건축물 용도별 배출원단위를 DELTA의 토지이용 구분에 맞추어 조정하여 사용
- 도로교통배출량 산정 모형 1 : OmniTrans의 분석 결과 중 도로링크별 교통량과 속도 예측값을 기반으로 배출량을 산정함. 배출계수는 국내의 평균속도 기반의 배출계수 곡선식을 이용하였고 해당 차량과 속도에 맞는 배출계수 값을 산출하여 적용
- 지구스케일: 지구와 단지의 상대적으로 작은 규모의 대상지에 대하여 가까운 장래 시점의 교통시스템과 교통 운영의 변화에 따른 탄소배출량의 변화를 일 또는 시간 단위로 평가함
- 도로교통배출량 산정 모형 2 : MATSim의 분석 결과 중 개별차량별 통행자료인 이벤트자료를 분석하여 차량별 초당 주행자료를 추정한 후 운행모드 기반으로 배출량을 산정
- 운행모드 기반의 배출계수는 MOVES의 배출계수를 국내차량 조건에 맞도록 보정한 값을 사용

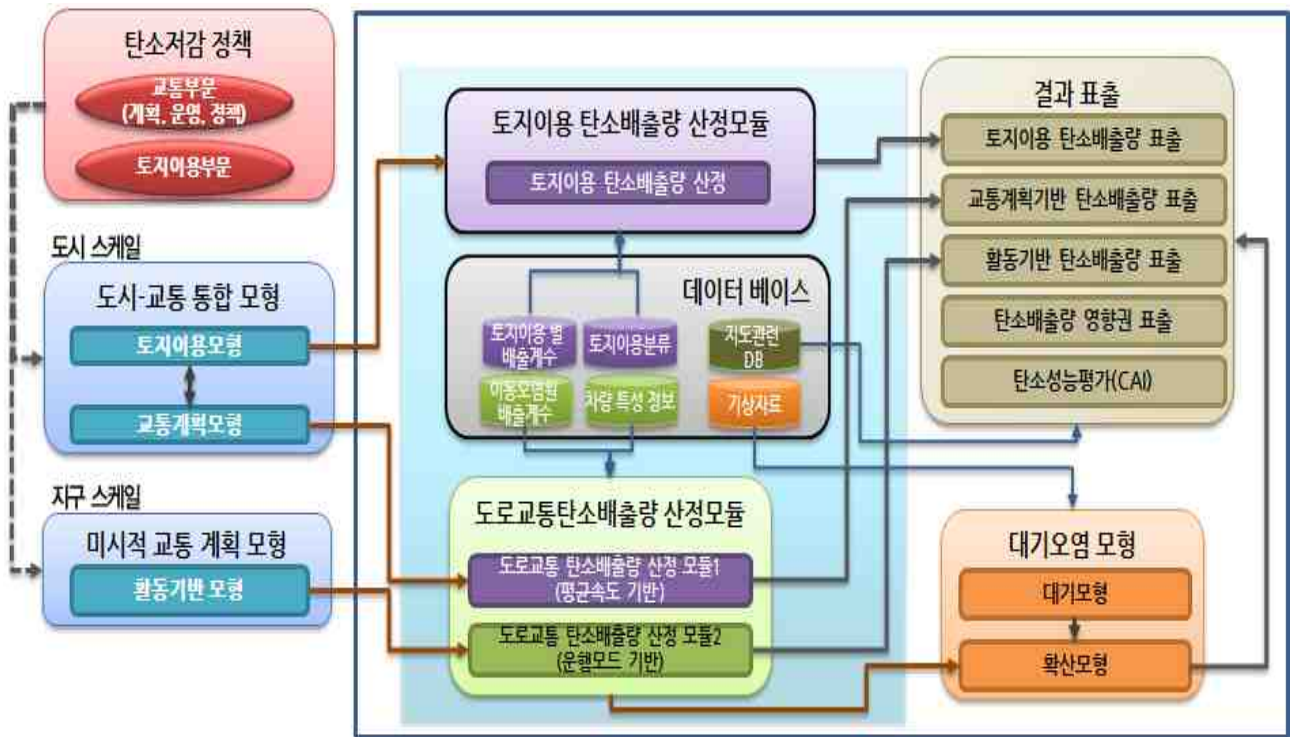


<그림 2-8-1> 탄소배출량 산정 방법론 구분

(2) 도시 교통 예측 모형과의 연계

도시와 교통을 예측하는 시뮬레이션 모형의 예측결과를 기반으로 탄소배출량을 산정하여 표출할 수 있도록 설계하였음

- 도시스케일 : 토지이용-교통 통합모형을 활용하여 도시의 토지이용과 교통의 변화를 시뮬레이션하여 예측한 결과를 이용하여 탄소배출량을 산정함. 본 연구개발 과제에서는 토지이용-교통 통합 모형으로 토지이용 모형인 DELTA와 교통모형인 OmniTrans를 연계한 모형을 사용하였음
- 지구스케일: 미시적 교통 계획 모형 중 하나인 활동기반 모형을 활용하여 보다 상세한 교통의 변화를 시뮬레이션 한 결과를 이용하여 탄소배출량을 산정함. 본 연구에서는 MATSim과 연계하여 미시기반 배출량 산정 방법을 개발하여 사용하였음



<그림 2-8-2> 탄소배출량 산정 흐름도

(3) 탄소배출량 산출결과의 표출

- 탄소배출량이라 하면 이산화탄소(CO₂) 배출량을 의미하므로 토지이용의 CO₂ 배출량과 도로교통의 CO₂ 배출량 산정결과를 기본적인 지표로 표출하였음
- 도로교통 부분에서는 대기오염물질 CO, NO_x, PM의 배출량을 추가적으로 산정하여 지도에 표출하였음
- 대기오염물질 배출량은 확산모형의 입력 값으로 활용되어 주변지역에 미치는 영향을 예측하는데 사용함

나. 국제공동연구 수행 내용

- 지구스케일의 도로교통 배출량 산정을 위한 운행모드 기반의 모형은 개별 차량의 배출량을 산정해야하므로 대상지역의 규모가 큰 경우 데이터 용량과 연산 시간의 문제가 발생함
- 교통시물레이션 프로그램 내에서 배출량 산정이 동시에 이루어질 수 있도록 개선하여, 사용자가 보다 쉽고 빠르게 배출량에 대한 평가를 할 수 있도록 함
- MOVES의 운행모드 기반의 배출량 산정 방법을 간략화 국내화하여 MOVES Lite-K 개발
- 대규모 네트워크에서 다양한 도시 교통 정책을 평가할 수 있는 메조 교통 시물레이션 모형인 DTALite를 국내 네트워크 분석에 적용함

제9절 (핵심성과 4-1) 도시 대기환경 예측 모형 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

대기환경 예측 모형 개발을 위한 년차별 연구목표와 연구내용은 다음과 같다.

<표 2-9-1> 연구목표 및 주요 연구내용

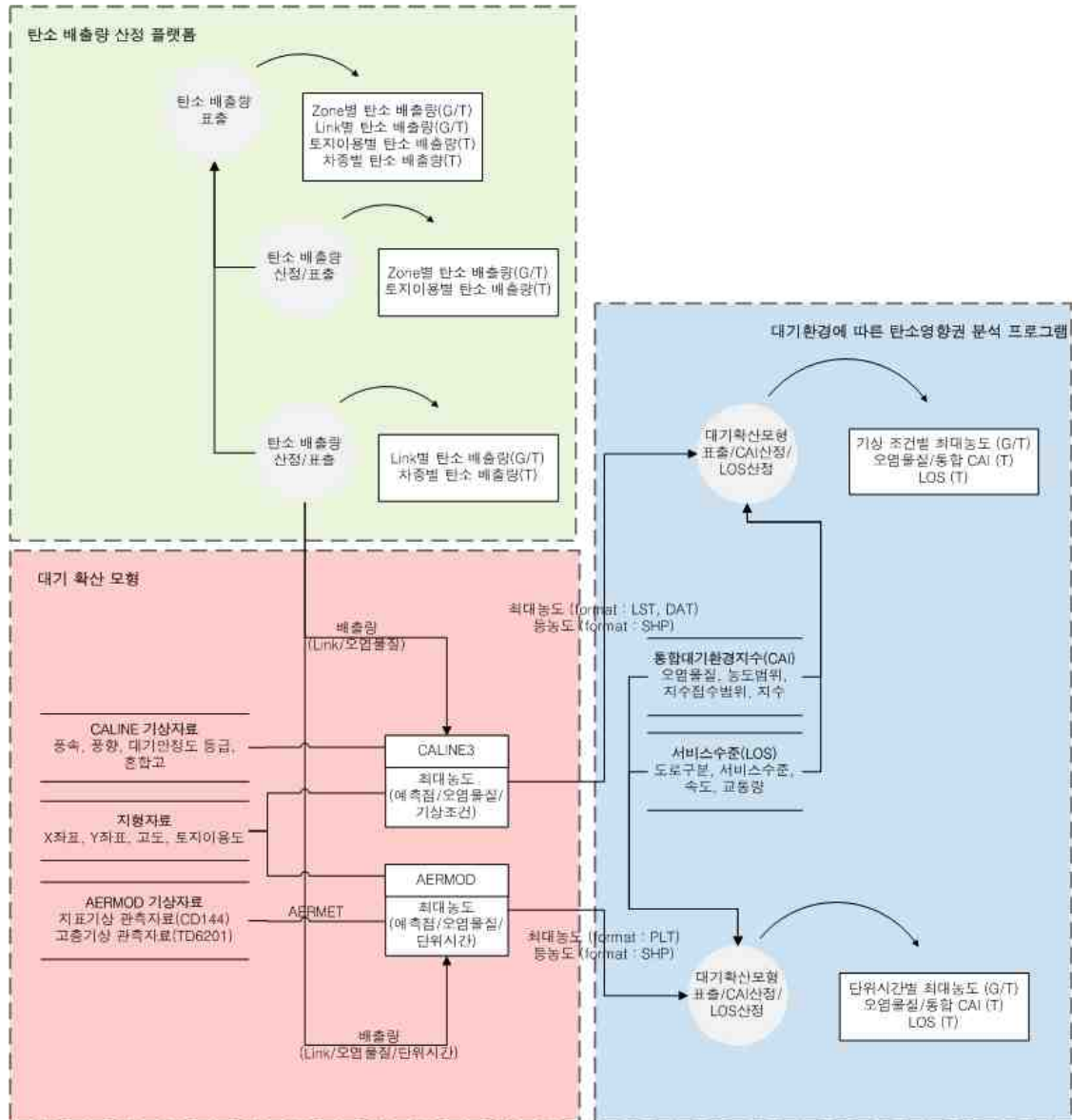
연 차	연구목표	주요 연구내용
2차년도	도시 공간 대기환경 예측 모형 개발	- 도시 공간 대기환경 예측 모형 선정을 위한 비교 - 도시 공간 대기환경 예측 모형 개발
3차년도	- 대기환경변화예측을 위한 입력데이터 수집 - 탄소배출량 시스템에서 대기 질 배출량 DB 연계 - 탄소배출량 시스템과 연계된 대기 확산 모형개발	- 전국 77개 기상지점의 자료 수집 및 DB구축 - 전국지형고도자료 수집 구축 - 탄소배출량 산정 모듈의 연산 결과를 대기 질 분석 모형의 입력 자료로 이용하도록 연계 - 탄소배출량 산정 결과로 대기 질을 분석하는 모형 개발
4차년도	-	-
5차년도	탄소배출량 및 대기환경영향 예측 모형의 적용 가이드라인 작성	대기확산 모형 적용 가이드라인 작성

2. 연구수행 내용

교통 부문과 토지이용 부문의 탄소저감 정책 대안에 따른 탄소저감 효과를 분석하기 위한 탄소 배출량 관리 시스템의 주요 부분으로, 산출된 탄소 및 대기오염 배출량의 기상변화에 따른 집중도(concentration)를 산출하는 기능을 적용하였다.

가. 도시공간 대기환경 예측 모형 개발

- 도시스케일과 지구스케일에 따라 산정된 탄소 및 대기오염물질 배출량을 기상자료와 연계 하여, 배출량별·지역별 최대 농도치를 예측하는데, 보다 세부적인 관점에서 단위시간에 따른 예측값 제시도 가능하도록 구성함
- 토지이용 및 교통량의 변화의 예측 모형, 탄소배출량 산정 모형, 대기확산 모형의 유기적인 정보의 연계가 필요함. 탄소배출량 산정 모듈, 대기확산 모형, 대기환경에 따른 탄소영향권 분석 프로그램의 통합적 데이터 흐름은 <그림 2-9-1>과 같음



〈그림 2-9-1〉 탄소배출량 산정과 대기확산 모형의 데이터 흐름도

나. 대기환경 예측 모형 선정 및 적용

본 연구의 최종 목표에 부합한 두 가지 모형을 선정하였고, 다음 <표 2-4-1>은 각 모형의 특성을 나타냄

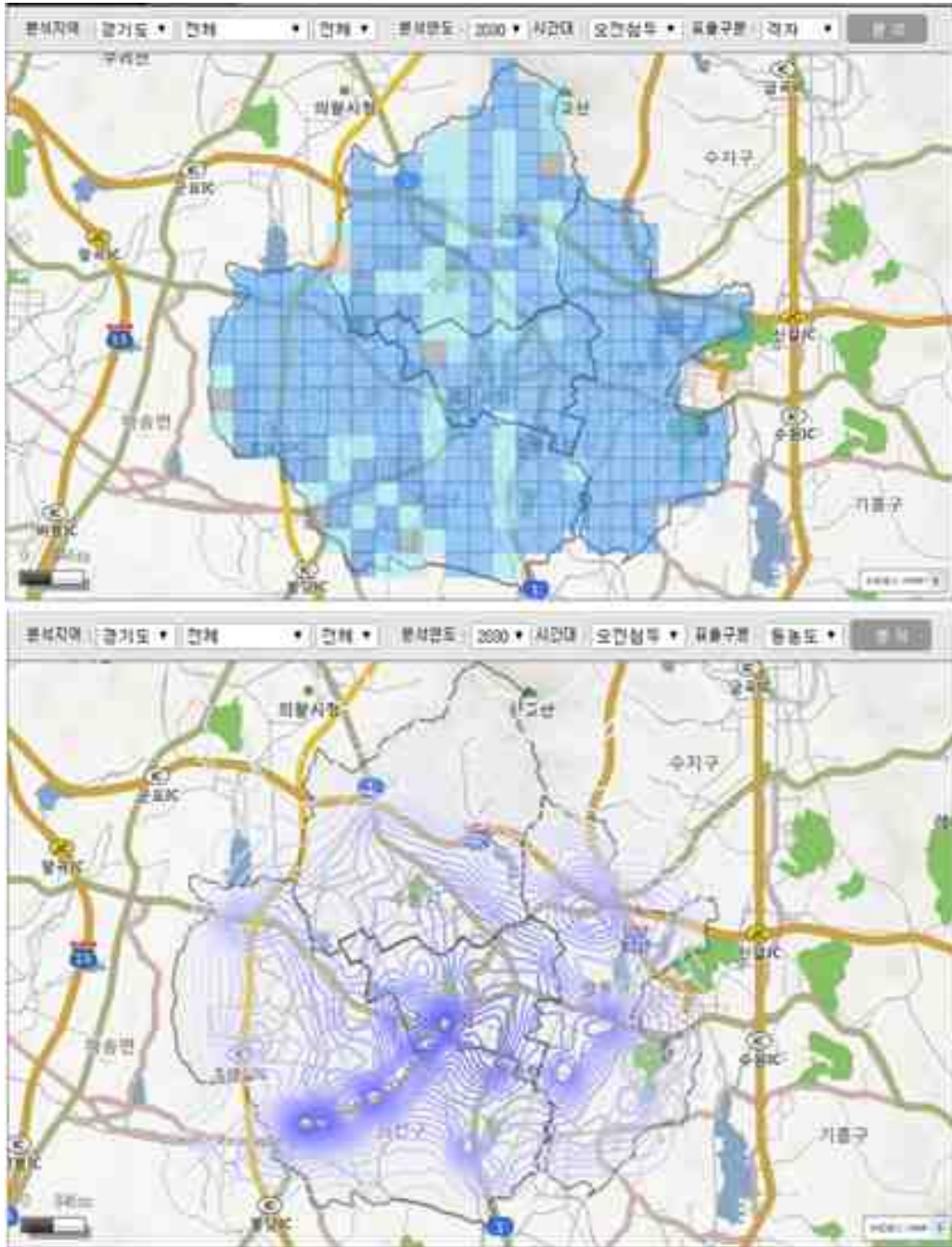
- CALINE3 모형: 거시적인 관점에서 오염물질별 농도 변화 패턴을 예측할 때 적용
- AERMOD 모형: 단위시간과 같은 상세한 결과를 필요로 하는 분석에 적용

<표 2-9-2> 대기환경 예측 모형의 특성 비교

항목		CALINE3	AERMOD
기상입력자료		• 시나리오 별 풍향, 풍속, 기온, 안정도, 혼합고	• 지표기상자료 1지점 • 고층기상자료 1지점 • AERMET으로 기상자료 작성
도로표현방법		• Line	• 부피 또는 면적
1회 표현 도로 갯수		• Link: 20개	• 면적: 1,000개 (폭과 너비의비가 10:1을 넘지 못하여 line이 짧게 나뉘어야함)
농도계산지점		• 50개	• 1,500개
시간별 배출량 변화 고려		• 고려 안 됨	• 시간대별 배출 비율 고려가능
입력 DB 구축량	기상	• 시나리오 별 기상항목	• 지표기상자료 1지점 관측자료 • 고층기상자료 1지점 관측자료
	지형	• 배출원과 농도계산 지점의 고도	• 모델링 영역의 일정 간격의 고도
	배출원	• 시작점, 끝점의 좌표 • 오염물질 배출량(g/km/s) • 교통량(대/시) • 오염원 높이 • 방출높이	• 좌측하단 좌표 • 가로, 세로 길이 • 회전각도 • 오염물질 배출량(g/m²/s) • 오염원 높이 • 방출높이
	선택옵션	• 거의 없음	• 출력형태에 대한 옵션
모형수행시간 (최대 링크와 관심지점 선택 시)		• 약 1분	• 수 시간 (옵션에 따라 변동)
결과 형태	관심지점 농도	○	○
	한 지점의 시간별 농도	×	○
	농도 평균의 최대예측 등농도곡선	×	○
	시간별 등농도곡선	×	×
시스템 형태	이벤트분석 결과 웹표출	○	○
	웹 프로그램	○	△ (수행시간이 길어질 수 있으므로 오염원 개수와 농도계산지점 개수 제한 필요)
	시스템 프로그램	○	○

다. 대기환경 예측결과의 표출

- 대기환경 예측결과는 분석 전에 설정된 예측 점에서의 농도를 나타내게 되며, 이는 파일 형태로 출력되거나, 예측지점의 x,y 중 농도를 이용하여 등농도 그래프 형태로 출력이 모두 가능하도록 설계함

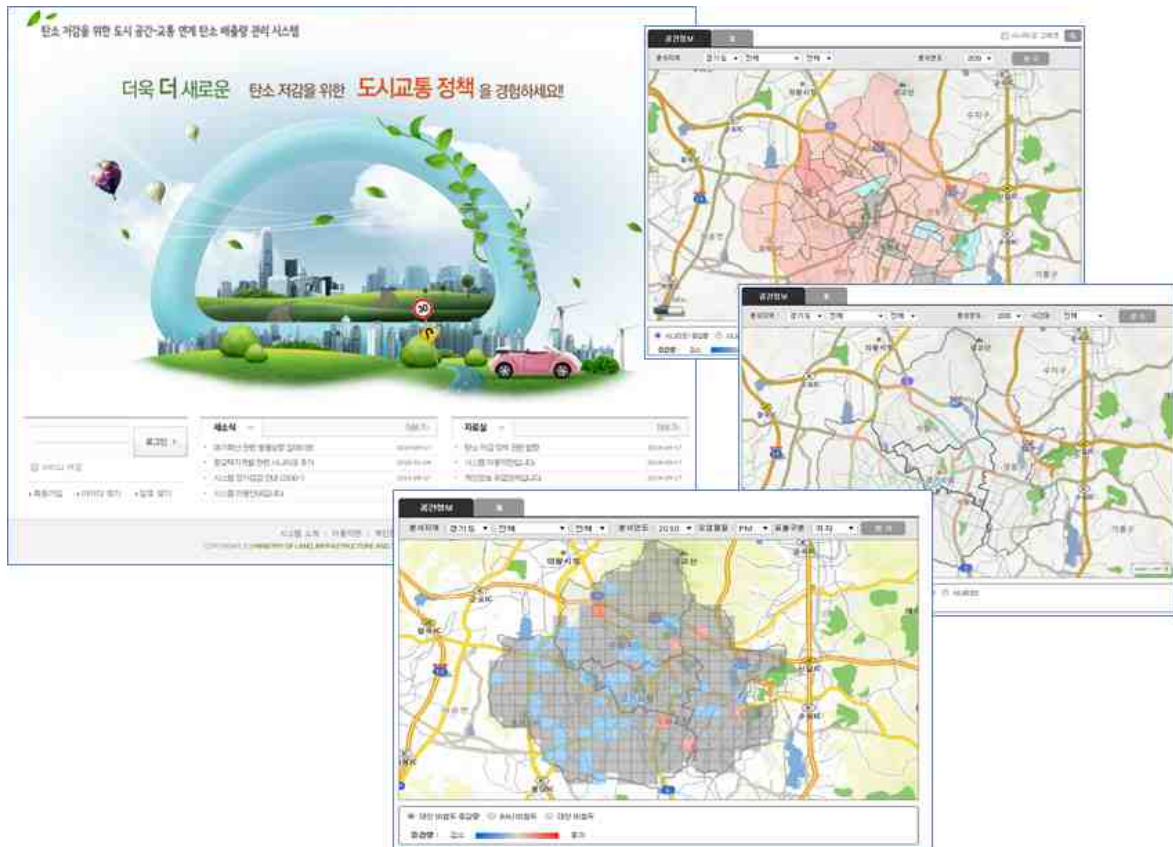


<그림 2-9-2> 대기환경 예측결과 표출 예시

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 최종 연구성과

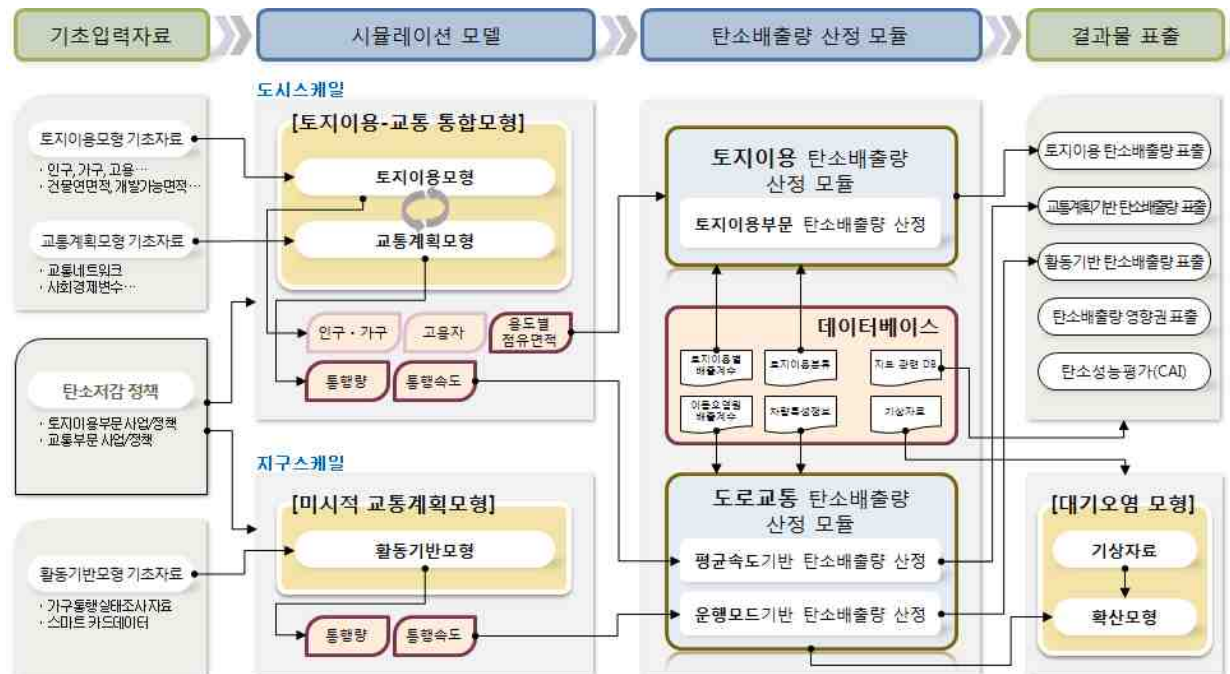
- 최종 연구 성과물인 ‘도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템’은 <그림 3-1-1>에서와 같이 웹 포털을 통해 자료를 입력하고, 이를 통해 탄소배출량 산정 및 대기질 분석을 실행하고 분석결과를 확인할 수 있는 프로그램으로 개발됨



<그림 3-1-1> 최종성과물 예시

- 개발된 모형과 시스템의 이해와 활용을 돕기 위하여 다음의 활용 가이드라인을 작성하여 제공하였음
 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 통합 관리시스템 활용을 위한 가이드라인(사용 매뉴얼)
 - 토지이용-교통 통합 모형 활용을 위한 가이드라인
 - 미시기반 교통 계획 모형 활용을 위한 가이드라인
 - 탄소배출량 산정 모형 활용을 위한 가이드라인
 - 대기확산 모형 활용을 위한 가이드라인
 - 탄소기반 도로성능평가지표 활용을 위한 가이드라인

- ‘도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템’은 <그림 3-1-2>에 보는 바와 같이 시스템을 구성하는 세부 모듈을 개발하고 연계하여 최종 성과물을 개발하였음
- 시뮬레이션 모형의 분석결과를 입력하여 시스템에 탑재되어 있는 탄소배출량 산정모듈에서 분석한 결과를 GIS 지도와 데이터 테이블 형태로 확인하는 시스템임
- 최종 성과물을 구성 요소인 9가지 핵심성과물 각각의 연구 성과에 대하여 <표 3-1-1>에서 <표 3-1-9>에 정리하여 나타내었음



<그림 3-1-2> 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리 시스템의 구성도

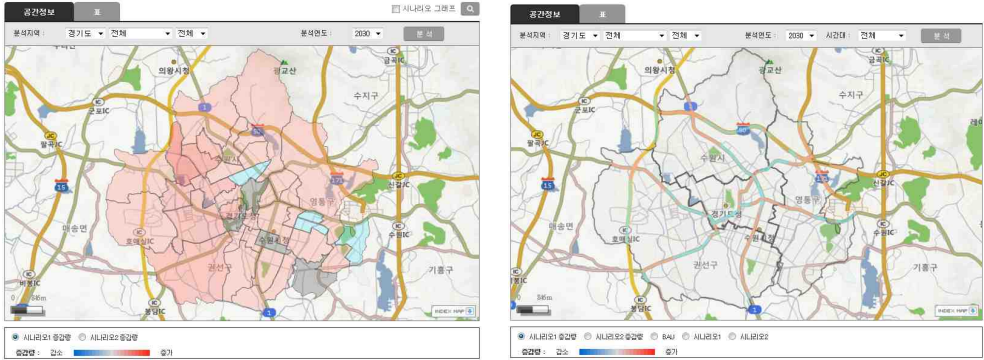
<표 3-1-1> (핵심성과 1) 도시공간-교통 통합탄소배출관리 프로그램(소프트웨어)

정의(설명)	- 도시공간-교통 통합탄소배출관리 프로그램 설계 - 도시공간-교통 통합탄소배출관리 프로그램 구축																				
설정사유	- 탄소저감 정책결정에 필요한 모형 분석 정보와 정책 시행 시나리오에 따른 다원적 분석결과를 제공할 수 있도록 프로그램을 설계 및 구축함																				
목 적	- 모형 분석 결과의 다원적 분석을 통해 도시 공간이 탄소저감 정책의 효과 및 의사 결정을 효율적으로 지원하기 위한 기본 탄소배출량 지표 관리 및 사용자 중심의 맞춤형 정보 제공																				
성능목표	(기존기술 수준) 탄소저감을 위해서는 도시·교통·환경 요소의 상호 유기적 연계 및 통합을 통한 분석이 필수적이나 현재 종합적 분석 체계가 미흡 (개발기술 수준) 도시, 교통, 환경의 복합적 데이터가 탄소저감의 정책적 결정이 가능할 수 있도록 정보화되고, 정책의 효과 등 정책 의사결정을 지원할 수 있는 프로그램 개발 (개발기술 수준 설정근거) 탄소저감 정책을 위해 필수적인 탄소배출량 지표 관리와 도시·교통·환경 요소의 다원적 분석 체계 필요																				
관련 그림 / 사진	모형 개발 도시·교통 모형 교통활동 모형 대기환경 예측모형 탄소 배출량 예측 모형 시나리오 및 DB 구축 탄소 저감정책 시나리오 구축 Data 변환 모형분석 DB구축 탄소배출 관리시스템 개발 도시공간-교통통합 탄소배출 관리 프로그램 시나리오 기반 도시·교통 탄소 저감 예측결과 추출 프로그램 대기환경에 따른 탄소영향관리 표출 프로그램 인간활동-공간-동행 탄소배출량 산정플랫폼 탄소 저감을 위한 도시 공간-교통 연계 탄소 배출량 관리 시스템 더욱 더 새로운 탄소 저감을 위한 도시교통 정책을 경험하세요!! <table><tr><th>도시</th><th>내역</th><th>자료일</th><th>내역</th></tr><tr><td>도시교통정책 관련 법령정보</td><td>2014-09-17</td><td>탄소저감 정책 관련 법령</td><td>2014-09-17</td></tr><tr><td>도시교통정책 관련 시·도 조례</td><td>2014-09-17</td><td>시스템 이용안내문서</td><td>2014-09-17</td></tr><tr><td>시스템 평가결과 분석 (2014-09-17)</td><td>2014-09-17</td><td>개인정보 취급정책</td><td>2014-09-17</td></tr><tr><td>시스템 이용안내문서</td><td>2014-09-17</td><td>시스템 개발 계획서</td><td>2014-09-17</td></tr></table> 시스템 소개 이용약관 개인정보취급정책 COPYRIGHT (C) MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT. ALL RIGHTS RESERVED. <도시공간-교통 통합탄소배출관리 프로그램>	도시	내역	자료일	내역	도시교통정책 관련 법령정보	2014-09-17	탄소저감 정책 관련 법령	2014-09-17	도시교통정책 관련 시·도 조례	2014-09-17	시스템 이용안내문서	2014-09-17	시스템 평가결과 분석 (2014-09-17)	2014-09-17	개인정보 취급정책	2014-09-17	시스템 이용안내문서	2014-09-17	시스템 개발 계획서	2014-09-17
도시	내역	자료일	내역																		
도시교통정책 관련 법령정보	2014-09-17	탄소저감 정책 관련 법령	2014-09-17																		
도시교통정책 관련 시·도 조례	2014-09-17	시스템 이용안내문서	2014-09-17																		
시스템 평가결과 분석 (2014-09-17)	2014-09-17	개인정보 취급정책	2014-09-17																		
시스템 이용안내문서	2014-09-17	시스템 개발 계획서	2014-09-17																		

<표 3-1-2> (핵심성과 2) 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 시뮬레이터 프로그램(소프트웨어)

정의(설명)	- 요구사항 분석 및 시스템 기본설계 - 토지-교통, 교통활동 모형 결과 DB 설계 및 표출체계 구축 - 시나리오 기반 토지-교통, 교통활동 모형 데이터 결과 및 탄소배출량 표출 기능 구현 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 통합체계 구축
설정사유	- 시나리오에 따른 토지-교통모형, 교통활동 모형 분석결과를 GIS기반에서 표출할 수 있도록 프로그램을 구축함
목 적	- 탄소저감 정책 시나리오에 의한 토지교통 모형과 교통활동 모형 분석을 통한 의사결정 지원
성능목표	(기존기술 수준) 토지이용, 교통, 환경의 요소가 분리되어 개별로 분석·예측되고 있어 복합적인 영향과 실효성 판단의 한계가 있음 (개발기술 수준) 토지-교통 모형, 교통활동 모형 데이터를 기반으로 토지이용 및 교통환경 변화에 따른 탄소량을 분석·예측할 수 있는 프로그램을 개발 (개발기술 수준 설정근거) 탄소저감을 위한 분석·예측 시뮬레이션 기술개발을 통해 정책에 대한 종합적인 의사결정지원 체계마련이 필요함
관련 그림 / 사진	 <토지이용 변화 분석 결과 표출>  <교통량 변화 분석 결과 표출>

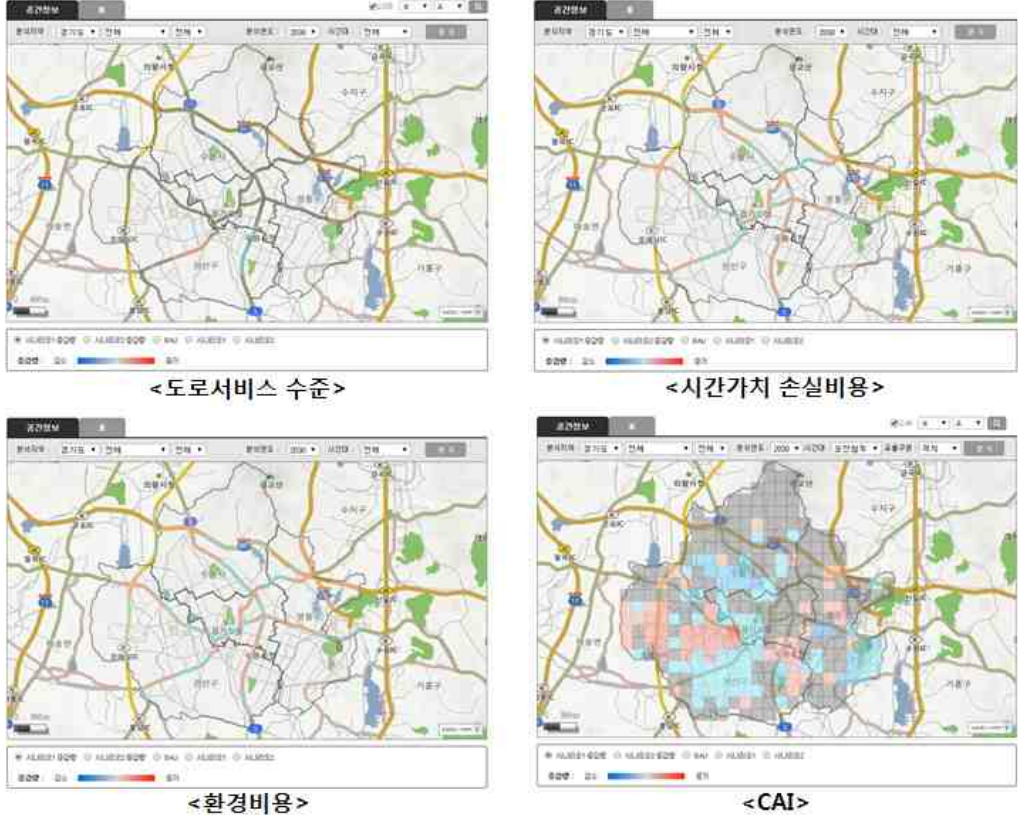
<표 3-1-3> (핵심성과 3) 인간활동-공간-통행 탄소배출량 산정 플랫폼(소프트웨어)

정의(설명)	- 토지이용-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 설계 및 표출기능 구현 - 교통활동 탄소배출량 산정 플랫폼 설계 및 표출기능 구현 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 통합체계 구축
설정사유	- 토지이용-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 및 교통활동 탄소배출량 산정 플랫폼을 구축하여 대상영역의 탄소배출량을 표출할 수 있도록 프로그램을 구축함
목 적	- 시나리오에 따른 토지-교통모형, 교통활동 모형 분석결과를 기반으로 탄소배출량을 산정하고, 산정된 탄소배출량을 통해 탄소저감 정책 의사결정 지원
성능목표	(기존기술 수준) 토지이용별 탄소 배출 계수와 도로교통부문 탄소배출계수는 기존 연구에서 개발하고 있으나, 모형을 통합하여 탄소배출량을 추정하기 위한 방법론과 시스템은 없음 (개발기술 수준) 토지-교통 모형, 교통활동 모형과 연계되어 탄소배출량을 산정하고, 결과를 표출할 수 있는 프로그램을 개발 (개발기술 수준 설정근거) 토지-교통 모형, 교통활동 모형 분석결과에 의해 탄소배출량을 산출하는 방법론이 적용된 프로그램이 필요함
관련 그림 / 사진	 <토지이용, 교통 탄소배출량 산정>  <탄소배출량 산정 플랫폼 화면 구성>

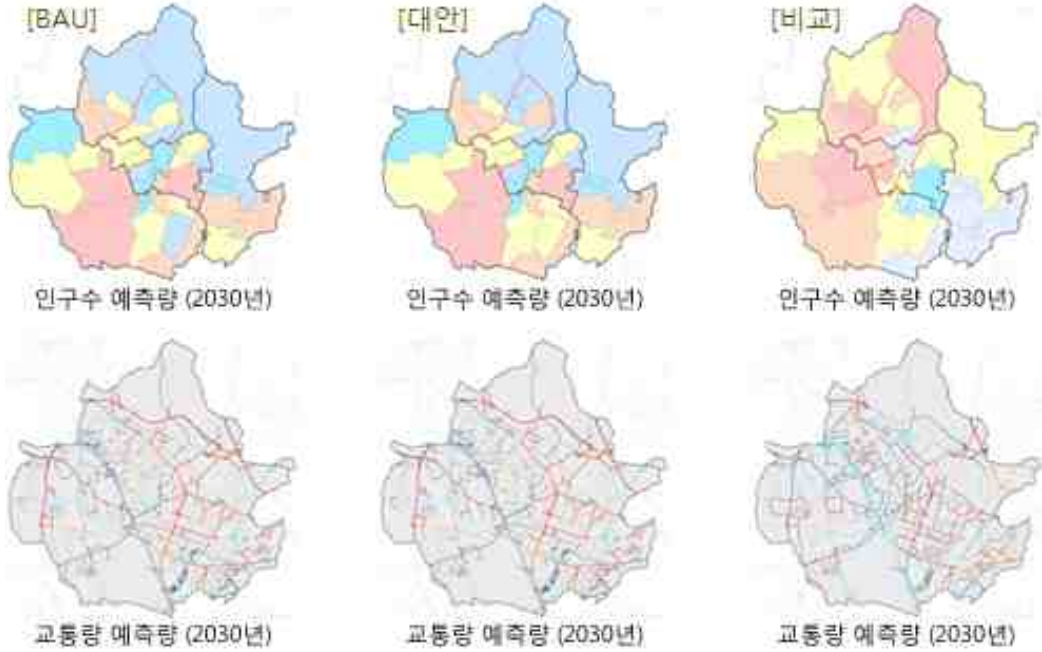
<표 3-1-4> (핵심성과 4) 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램(소프트웨어)

정의(설명)	- 대기환경 예측모형 결과 DB 설계 및 표출체계 구축 - 대기환경 예측모형 결과(거시, 미시) 데이터 표출 기능 구현 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 통합체계 구축
설정사유	- 대기환경 예측 모형 분석결과를 GIS기반에서 표출할 수 있도록 프로그램을 구축함
목 적	- 탄소배출량 산정 플랫폼을 통해 도출된 배출량을 바탕으로 주변지역에 미치는 대기환경 변화를 예측하고, 이를 가시적으로 표출하여 정책결정시 의사결정 지원
성능목표	(기존기술 수준) 대기환경 예측모형이 별도로 개발되어 복합적인 영향과 실효성 판단의 한계가 있음 (개발기술 수준) 토지-교통 모형, 교통활동 모형, 탄소배출량 산정 모형이 연계되어 대기환경을 거시적, 미시적으로 분석·예측할 수 있는 프로그램을 개발 (개발기술 수준 설정근거) 시나리오에 의한 대기환경 변화 분석을 통해 탄소저감 정책에 대한 종합적인 의사결정지원 체계마련이 필요함
관련 그림 / 사진	<분석결과 화면-격자형> <분석결과 화면-등고선형>

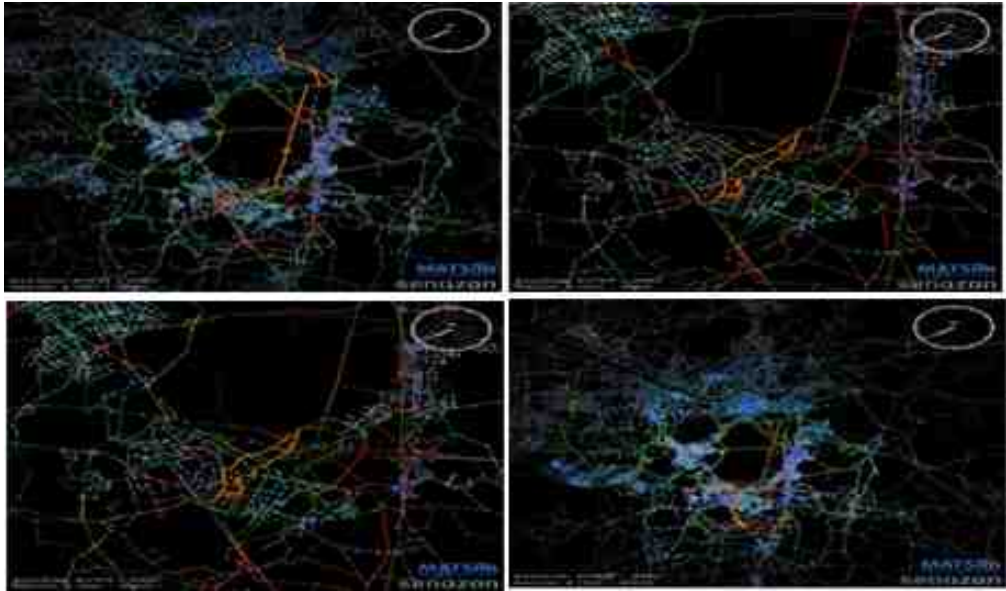
<표 3-1-5> (핵심성과 5) 탄소기반 도시부 도로 성능 방법 프로그램(소프트웨어)

정의(설명)	- 탄소배출량 산정 플랫폼을 통해 산정된 오염물질 배출량과 배출량 확산결과를 바탕으로 도로주변 대기환경 상태를 평가하기 위한 프로그램으로서 통합대기환경지수 및 도로성능지표를 연계하여 탄소기반 도로 성능을 평가하고 이를 바탕으로 최종적인 정책 의사결정 자료로 활용함
설정사유	- 탄소기반 도시부 도로 성능 평가 방법 프로그램은 개별적인 운영이 가능하며, 정책 의사결정에 대기 환경영향 변화를 파악하는 자료를 제공함
목 적	- 토지이용-교통-대기 연계 분석에 따른 플랫폼 활용성 극대화 - 대기 질과 도로의 서비스 수준에 대한 사용자의 이해도 증진 - 교통전략, 도시계획 등에 따른 의사결정 지원
성능목표	(기존기술 수준) 국외에서는 대기환경기준에 따라 대기오염환경지수를 만들어 구분하고 있으며, 국내에서도 국내 대기환경 기준을 적용하여 통합대기환경지수를 개발하여 이용함 (개발기술 수준) 토지이용-교통-대기 모형이 연계되어 있고, 기존 통합대기환경지수에 교통량 및 속도를 고려하여 도로의 성능을 나타내는 도로의 서비스 수준(Level of Service)과 해당 도로구간의 탄소배출량 결과를 반영 (개발기술 수준 설정근거) 해당차년도의 경우 적용준비단계로서 기존기술을 활용하고 플랫폼의 완성도를 높이기 위함
관련 그림 / 사진	 The figure displays four screenshots of a software interface, each showing a map of a city area with different data overlays. The maps are labeled as follows: <도로서비스 수준>: Shows road service level data with a color scale from blue (low) to red (high). <시간가치 손실비용>: Shows time value loss cost data with a color scale from blue (low) to red (high). <환경비용>: Shows environmental cost data with a color scale from blue (low) to red (high). <CAI>: Shows the Carbon-based Air Quality Index (CAI) data with a color scale from blue (low) to red (high).

<표 3-1-6> (핵심성과 2-1) 토지이용-교통 통합모형(모형개선 알고리즘 및 시물레이션 입출력 자료)

정의(설명)	- 도시개발 및 탄소저감정책 적용에 따른 도시의 장래변화를 예측하는 모형
설정사유	- 탄소배출량 관리 시스템을 개발하기 위해서는 정부 및 각 지자체에서 시행/계획하고 있는 개발계획 및 정비사업이 향후 도시 공간 및 활동에 미치는 영향에 대한 정책효과 분석이 필요하며, 분석결과를 토대로 가장 효과적인 탄소저감정책 의사결정을 지원하고자 함
목 적	- 탄소저감을 위한 다양한 정책 조합의 시물레이션을 통해 정책효과와 경제적 효과를 고려한 의사결정을 지원하고자 장기적인 미래예측 기술 적용 기법을 개발
성능목표	(기존기술 수준) 가상적 공간을 대상으로 한 시범적 모형 적용 (개발기술 수준) 실제도시를 대상으로 한 실질적 정책시나리오 적용 및 효과 분석 (개발기술 수준 설정근거) 실제 도시에 적용할 수 있는 토지이용 및 교통정책의 장기적 상호 연계 효과를 예측할 수 있는 모형의 개발이 필요함
관련 그림 / 사진	 <장래 토지이용-교통 시나리오 분석>

<표 3-1-7> (핵심성과 2-2) 활동기반 미시적 교통 모형(모형개선 알고리즘 및 시뮬레이션 입출력 자료)

정의(설명)	통행자의 활동목적과 스케줄을 고려하여 교통 통행을 예측하는 모형
설정사유	- 기존의 집계모형과 통행기반의 비현실성을 개선하여 보다 정확한 장래 교통수요를 수정하고자 함
목 적	- 개인(Agent) 단위의 활동을 예측하여 보다 정확한 교통수요를 예측하는 모형 개발 - 모형의 완성도 향상을 위한 개선 - 시뮬레이션의 지속적인 활용과 다양한 시나리오 적용을 위한 프로그램 DB 구축
성능목표	(기존기술 수준) 기존기술은 가상의 데이터로 신뢰성 테스트 정도의 시뮬레이션을 구동하는 수준이며 데이터 분석 기술에 대한 정량적인 기준이 낮음 (개발기술 수준) 인간 활동기반 시뮬레이션 구동을 위한 개별행태모형을 개발하고, 시뮬레이션 결과의 적합성 분석을 위한 정산기법을 적용하여 시뮬레이션의 신뢰성을 확보함 (개발기술 수준 설정근거) 개개인의 다양한 일상 활동을 기준으로 통행을 예측하기 때문에 도시에서의 활동으로 인한 탄소배출관리를 위한 연구에 적합한 모형임
관련 그림 / 사진	 <활동기반 모형 시뮬레이션 네트워크>

<표 3-1-8> (핵심성과 3-1) 도시탄소배출량 예측 모형(소프트웨어)

정의(설명)	- 도시의 토지이용과 교통통행으로 인한 탄소배출량을 산정하는 모형을 개발 - 탄소저감정책 시나리오를 토지이용-통합모형과 활동기반 교통모형으로 분석한 장래도시 예측결과를 활용하여 탄소배출량을 예측함
설정사유	- 탄소저감도시 조성을 위한 도시 정책에 대한 평가와 효율적인 의사결정을 위해 탄소저감 정책 대안으로 인한 토지이용과 교통체계의 장래변화를 예측하고 탄소배출량의 변화를 추정하는 것이 필요
목 적	- 도시의 인간의 활동으로 인한 탄소배출량을 예측 - 효과적인 탄소저감 정책의 선택과 적용을 위한 의사결정에 활용
성능목표	(기존기술 수준) 토지이용별 배출원단위 활용한 배출량 산정방법론, 평균속도 기반의 배출계수 활용한 배출량 산정방법론이 있음 (개발기술 수준) 토지이용 모형과 교통모형과 통합하여 탄소배출량을 추정하는 방법론과 프로그램 개발, 미시기반의 배출량 산출방법론 개발 (개발기술 수준 설정근거) 도시장래예측 모형과 결합할 수 있는 배출량 산정프로그램 개발이 필요하며, 활동기반 교통모형은 미시기반의 배출량 산정방법론 적용이 요구됨
관련 그림 / 사진	<탄소 배출량 산정 모형 구성>

<표 3-1-9> (핵심성과 4-1) 도시대기환경 예측 모형(소프트웨어)

정의(설명)	- 탄소배출량 산정 플랫폼을 통해 산정된 오염물질 배출량을 근거로 이들이 주변지역에 미치는 대기환경 변화를 예측하여 최종적인 정책 의사결정 자료로 활용함
설정사유	- 도시대기환경 예측 모형은 별도 운영이 가능하며, 정책 의사결정에 환경영향 변화를 파악하는 자료를 제공함
목 적	- 토지이용-교통-대기 연계 분석에 따른 플랫폼 활용성 극대화 - 대기오염저감을 위한 핵심적인 정보의 제공
성능목표	(기존기술 수준) 대기예보모형이 별도로 개발되어 영향평가에 이용됨 (개발기술 수준) 토지이용-교통-대기 모형이 연계되어 있고, 기존과 동등한 수준의 예측값 및 정책 의사결정 자료의 제공
관련 그림 / 사진	<탄소배출량 산정과 대기확산 모형의 데이터 흐름도 >

제2절 적용실적

1. 시범도시 선정 및 자료 수집

가. 시범도시 선정 절차

- ‘기후변화 탄소저감형 도시조성 기술 분야 연구 개발 사업’의 성능 검증을 위하여 통합테스트베드 구축 필요함
- 2013년 9월~11월 통합테스트베드 구축 기관 공모 및 선정 과정을 거쳐 수원시정연구원이 선정되어 8개월간 테스트베드 구축에 필요한 자료를 수집함(2013.12~2014.6)
 - 통합 T/B로서 수원시 전체 및 광교택지개발지구를 선정(전체)
 - 개별 지구스케일 T/B로서 수원시 행궁동으로 결정(본 과제 : 수원시 관심지역으로 제시)
- 수원시 담당 공무원의 의견을 참고하여 두 개 분석 스케일별로 다음의 탄소저감 대안 시나리오를 구축하였음
 - 도시스케일 : 수원시 트램 도입으로 인한 토지이용 및 교통의 변화와 그로 인한 탄소배출량의 변화 예측
 - 지구스케일 : 수원시 행궁동 차 없는 거리 시행으로 인한 통행과 탄소배출량 변화 예측
- 수원시 대상 실증 적용 결과물
 - 수원시 관심 대상인 탄소저감 도시·교통 정책 대안을 선정하여 탄소저감 효과를 예측하여 분석 결과를 데이터베이스에 저장
 - 수원시 관계자들이 대안에 대한 예측 결과를 조회하고 비교할 수 있도록 시스템에 표출

나. 시범도시 적용을 위한 자료 수집

(1) 토지이용-교통 통합 모형 시뮬레이션 모형 구축

- 수원시에서 탄소저감 대안 시나리오를 분석하기 위하여 시뮬레이션 분석 시작 년도를 2010년, 최종 년도는 2030년으로 설정하였음
- 토지이용 교통 통합 모형에 분석 시나리오를 구축하기 위해서는 시작년도와 기준년도의 도시의 현황과 함께 장래 목표년도까지 도시에 시행될 확정된 도시정책, 도시설계안 등을 수집하여 시행시점에 따라 도시의 변화에 반영될 수 있도록 입력 자료를 구성하여야 함
- 통합모형에 필요한 입력 데이터 리스트는 <표 3-2-1>에 정리된 바와 같으며, 연구진에서 수원시를 포함한 수도권에 대한 자료를 수집하여 구축하였음
- 추가적인 보완자료로 수원시정연구원에서 제공한 자료는 <표 3-2-2>에 정리되어 있음

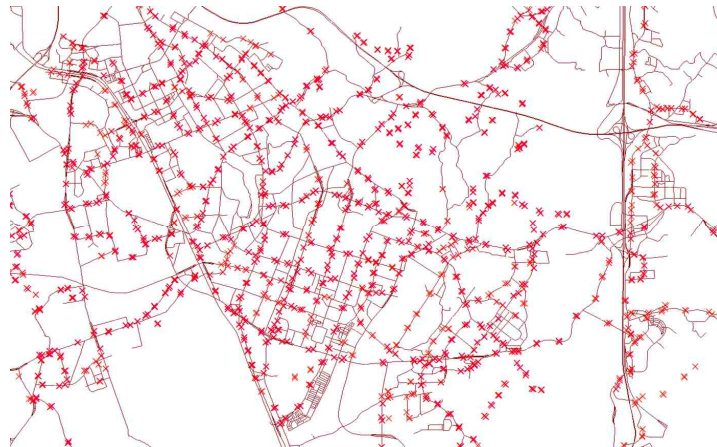
<표 3-2-1> 통합모델 입력 데이터

구분	모형	입출력	원본	원본 가공 및 절차	주요 내용
도로 네트워크	Omi Trans	입력	KTDB (Level-2)	원본 활용 -connector 입력 -도로등급 재분류	노드, 링크
존	Omi Trans	입력	KTDB (Level-2)	원본 활용	존, 중심점
사회경제지표	Omi Trans	입력	Delta 입력자료	Delta의 활동주체 관련 입력자료 활용	(유형별)가구, 인구, 고용 가구당 자동차 소유대수
대중교통 네트워크(철도)	Omi Trans	입력	KTDB	원본 활용 -connector 입력	노드, 링크
대중교통 교통량 O/D(철도)	Omi Trans	입력	경기도 교통DB	원본 활용	철도 O/D
대중교통 운행정보(철도)	Omi Trans	입력	지하철 운행 시간표	오전 침두시간 기준 입력	시간당 운행횟수 역간 운행시간
대중교통 네트워크(버스)	Omi Trans	입력	교통주제도 Level2 (2009)	원본 활용	노드, 링크 (2차년도 구축예정)
대중교통 교통량 O/D(버스)	Omi Trans	입력	수도권 가구통행 실태조사	원본활용	존별 대중교통 통행량
대중교통 운행정보(버스)	Omi Trans	입력	수도권 버스노선 속성데이터	원본 활용	시간당 운행횟수 정류장간 운행시간 (2차년도 구축예정)
활동주체 관련 자료(AVZN)	Delta	입/출력	인구총조사 자료 (MDSS 자료)	가구유형 재분류(10개) 인구유형 재분류 및 추정(4개)	[AVZN01] (SEG 구분 검토중) -존/가구유형별 가구수 -존/가구유형/인구유형별 인구수
			사업체조사 자료	산업유형 재분류(7개)	[AVZN02] -존/산업유형별 고용자수
공간 관련 자료 (SPZN)	Delta	입/출력	연면적 :과세자료 임대료 :노동패널 국토부 공실:국토부	토지이용 유형 재분류(8개) 임대료, 공실면적: 시·구단위 자료 활용 공간수준: 동일한 것으로 가정	[SPZN01] -토지이용별 연면적 -토지이용별 임대료 -토지이용별 공실면적 -토지이용별 공간수준
공간 관련 자료 (SPZN)	Delta	입/출력	공사중 연면적:× 개발가능 연면적: 용도지역	용도지역별 상한 용적률에 기초한 개발가능 연면적 산정	[SPZN02] -토지이용별 연면적 -토지이용별 공사중 연면적 -토지이용별 개발가능 연면적
자동차소유수준 (COZN)	Delta	입/출력	수도권 가구통행 실태조사	가구유형별 차량소유 비율: 시·구단위로 산정	[COZN01] -존/가구유형별 차량소유 비율
존간 거리 자료 (DSZN)	Delta	입/출력	KTDB (Level-2)	존간 최단 네트워크 거리 산정	[DSZN01] -존간 네트워크 거리
통행패턴 자료 (TTWS)	Delta	입/출력	수도권 가구통행 실태조사	존간 통근량에 차량소유 비율 반영	[TTWS01] -존간 차량소유에 따른 통근량

<표 3-2-2> 수원시정연구원에서 구득한 자료

토지이용관련 자료	교통관련 자료
인구수	수도권 네트워크
근로자수	수도권 노드
고용자수	수원시 버스 정류장
토지이용	수원시 버스 노선 (관내, 관외)
건축물대장	

- 수원시 제공한 수도권 네트워크를 교통 모델에 입력 가능한 형태로 가공하였음
 - 수원시 버스노선은 서비스 형태에 따라 네 가지 종류(일반, 좌석, 광역, 대도시)로 구분하였고, 버스 노선의 통행순서에 따라 정류장을 재배열, 모델에 입력 가능한 형태로 가공
 - 수원시정연구원에서 구득하지 못한 수원 외 수도권 버스 정류장 정보는 타 기관(GBIS, topia_seoul)을 통해 수집하였고, 구득된 데이터를 취합하여 GIS 및 교통모델에서 활용 가능한 공간형태(shp 파일)로 가공



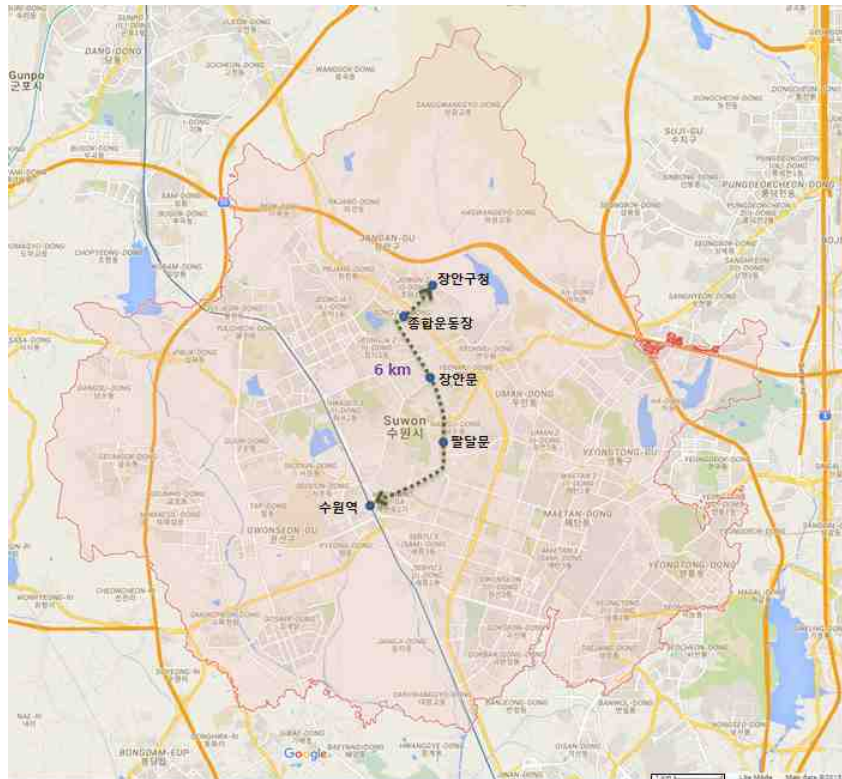
<그림 3-2-1> 수원시 버스 정류장 가공 자료(일부)

2. 시범도시(수원시) 적용 시나리오 분석결과

가. 도시 스케일 분석 결과

(1) 분석 시나리오

- <그림 3-2-2>에는 2017년 수원시에 도입될 계획이 있는 트램 노선의 위치가 나타나 있음
- 대안 시나리오는 트램의 도입으로 인한 토지이용 및 교통의 변화를 예측하고 그로 인한 탄소 배출량의 변화를 산정하였음
- BAU 시나리오로 구축된 데이터에 추가되는 토지이용의 변화 정책은 없고 교통데이터에 노면전차 운행에 대한 정보인 6km 노선 위치와 운행 용량, 운행 스케줄 정보를 반영함



<그림 3-2-2> 수원시 트램 노선 계획안

- 트램 운행 시나리오의 현실 반영도를 높이기 위하여 두 가지 측면으로 대안 시나리오를 보완하였음
- 트램 노선과 공용하는 도로의 대중교통 전용지구 또는 차량 통행 금지 도로구간을 시뮬레이션에 반영하고 이에 따른 버스 우회 노선을 반영 <그림 3-2-3>
- 트램 노선 지역의 토지이용의 변화를 대비한 용적율 완화 정책안 적용 <그림 3-2-4>



<그림 3-2-3> 트램 노선 버스 비허용구간과 우회노선 동선안

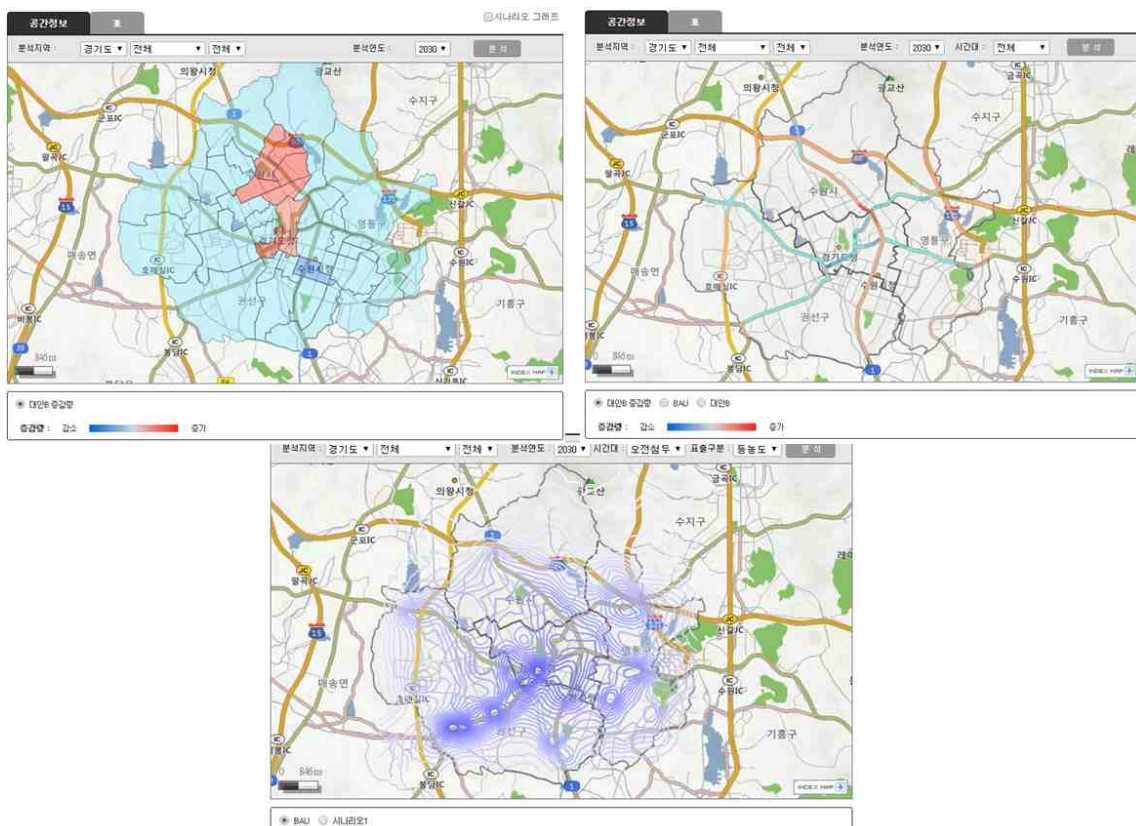


- 노면전차 영향권 : 매산동, 매교동, 행궁동, 영화동, 정자 2동, 송죽동, 조원 1동, 조원 2동
- 노면전차 영향권 내 개발가능 용적률 상향
 - 주거용도 : 기준년도(2010) 용량 기준 30% 추가
 - 판매/업무 : 기준년도(2010) 용량 기준 10% 추가

<그림 3-2-4> 트램 노선 영향권의 용적율 상향안

나. 도시 스케일 보완 시나리오 분석 결과

- 분석 결과는 다음 <그림 3-2-5>와 같이 시스템 표출화면을 통해 확인할 수 있으며, 자세한 분석결과는 최종보고서 별권 1장 6절의 연구수행결과에서 확인할 수 있음



<그림 3-2-5> 수원시 트램 운행(예정) 효과 분석 결과 표출

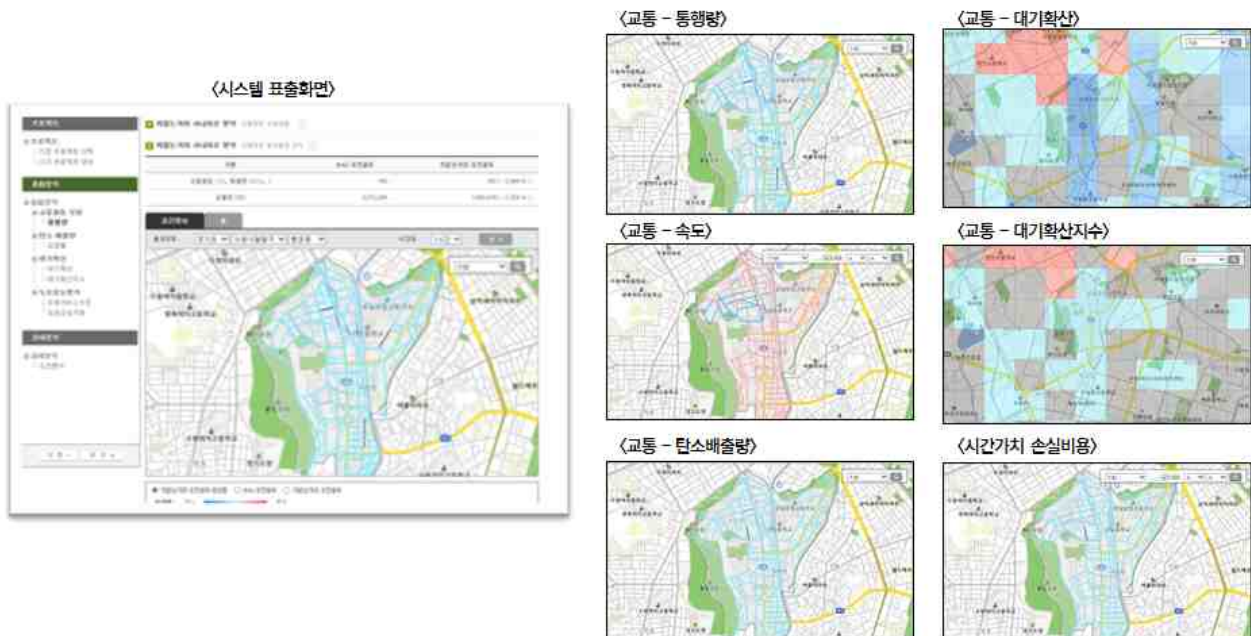
나. 지구 스케일 분석 결과

- ‘2013 수원 세계 생태교통 축제’의 효과를 활동기반 미시적 교통모형을 통해 분석함
- 생태교통이란 전 사회계층이 이용 가능한 친환경적인 교통(이동)수단이 통합된 교통체계로, 걷기, 자전거타기, 비(무)동력기구의 이용 및 대중교통 이용이 포함되는 것으로 정의함
- 수원시 팔달구 행궁동의 12개 법정동 중 신평동, 장안동에서 실시한 것을 분석함



<그림 3-2-6> 차없는 거리 시행 지역

- 분석 결과는 다음 <그림 3-2-5>와 같이 시스템 표출화면을 통해 확인할 수 있으며, 자세한 분석결과는 최종보고서 별권 1장 7절의 연구수행결과에서 확인할 수 있음



<그림 3-2-7> 차 없는 거리 시행 효과 분석 결과 표출

3. 사용자 정의 사례 분석

가. 사용자 입력 파일 기반 사례분석

- 임의의 엑셀파일로 입력 데이터를 생성하여 분석하는 기능이며, 각 플랫폼별로 요구되는 항목은 다음과 같음 (시스템 내 자료실에서 다운로드 가능)

<표 3-2-3> 사용자 정의 플랫폼별 데이터 항목

플랫폼 구분	요구 데이터 항목	비고
토지이용	- 지역 구분 (Zone ID) - 토지이용별 면적	- 토지이용구분 : 주택, 오피스, 도소매, 서비스, 의료복지, 교육연구, 산업
교통계획	- 도로 구분 (Link ID), 도로길이(m) - 교통량, 속도(km/h) - (차종구분)	- 차종구분 : 승용차, 트럭, 버스 (미입력시 비율로 입력)
교통활동	- 도로 구분 (Link ID) - 시간 (Timestamp), 속도(km/h) - Agent ID, (차종구분)	- 차종구분 : 승용차, 트럭, 버스 (미입력시 비율로 입력) - Timestamp 는 초단위로 입력

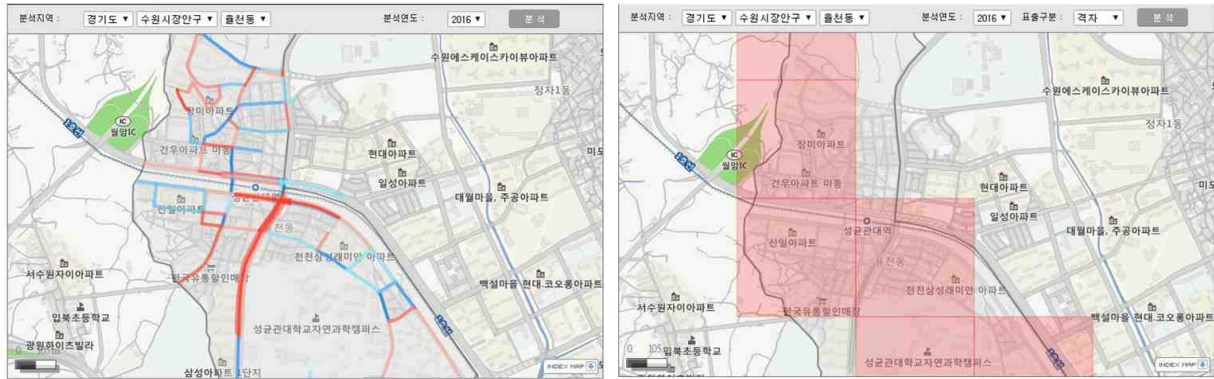
- 교통계획, 교통활동기반 플랫폼에서는 배출량 외에 대기확산, 도로성능평가의 산정이 가능하지만 분석결과는 지도상에서 표출이 불가능하여 아래와 같이 표 형태로 표출됨

분석지역 : 경기도 ▾ 수원시장안구 ▾ 전체 ▾		분석연도 : 2016 ▾ 분석	
(단위 : g)			
시나리오 A	시나리오 B	시나리오 B 증감률 (증감률)	
152,902,600,672,050	133,462,733,239,800	-19,439,867,432,250 (-12.714 %)	
구분	시나리오 A	시나리오 B	시나리오 B 증감률
1 월계로 3101103000072	570,380,062,000	351,481,103,000	-218,898,953,000
2 일왕로 3101103000073	1,112,256,070,000	205,668,031,000	-906,588,039,000
3 서북우회로 3101107000333	52,798,264,300	102,160,391,000	49,362,116,700
4 성대2길 3101107000335	393,255,089,000	1,005,071,500,000	611,816,411,000
5 경수로 3101107000018	117,958,098,000	160,204,017,000	42,245,919,000
6 동구재길 3101103000422	240,911,800,000	2,461,235,100,000	2,220,323,300,000
7 영동선 3101103000052	715,319,847,000	613,177,690,000	-102,142,157,000
8 창룡문길 3101107000056	778,162,781,000	1,325,948,540,000	547,785,759,000
9 상록초등학교길 3101106000221	117,707,989,000	205,760,363,000	88,052,380,000
10 만석길 3101113000028	666,392,039,000	363,161,392,000	-303,230,647,000
11 3101107000328	31,108,369,700	84,776,234,000	53,667,864,300
12 동구재길 3101103000218	82,901,699,700	42,138,756,700	-40,762,943,000
13 황교로 3101113000012	1,452,292,550,000	2,141,999,190,000	689,706,640,000
14 출천길 3101109000437	777,361,964,000	171,680,224,000	-605,681,740,000
15 출천역거리1길 3101107000327	141,340,054,000	419,056,037,000	277,715,983,000
16 창룡문길 3101107000050	156,096,447,000	82,512,493,300	-73,583,947,700

<그림 3-2-8> 파일 기반 사용자 정의 분석

나. 국가교통DB (KTDB) 데이터 기반 사용자 정의 사례분석

- 국가교통 DB에서 제공하는 지도 데이터 형식에 맞추어 분석 결과 파일을 만드는 경우
 - 상세 데이터는 시스템 내 자료실에서 다운로드 가능
 - 토지이용, 교통계획, 교통활동 기반의 플랫폼에 따라 선택이 가능하며, 기존에 구축되어 있는 지도 데이터를 적용하여 산정할 수 있어 GIS상에서 표출 가능
 - 토지이용 기반 플랫폼을 선택하면, 토지이용별 배출량 산정이 가능하고, 교통계획, 교통활동의 경우에는 배출량 산정, 대기확산, 도로성능평가의 산정 가능



<그림 3-2-9> 국가교통DB 데이터 기반 사용자 정의 분석

○ 국가교통 DB에서 제공한 분석 네트워크를 이용하는 경우

- 교통계획 프로그램인 EMMEna TransCAD 등의 분석 파일을 탄소관리 시스템에 입력하여 분석하는 사례
- 2025년 인천내항 및 개항장 일대 교통정책 변화에 따른 탄소배출량 예측에 적용하였고, 매립도로 건설과 우회고가의 변화(철거 및 지하화, 화물자동차 통행 제한)으로 인한 탄소 배출량 및 대기환경 변화를 예측
- 매립도로와 우회고가의 화물트럭 비율(소형 23.2%, 중형11.8%, 대형 65.0%)을 반영하여 트럭 배출계수를 보정하여 배출량 산정



<그림 3-2-10> 인천내항 및 개항장 일대의 장래 도로망 개선

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 양적성과 달성도

(단위 : 건, 천원)

<표 4-1-1 > 양적 성과 달성도

구분	양적성과		1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		합계	
			계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적	계획	실적
공공적 성과	법 제정 및 개선		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	설계기준, 시방서, 지침에 제안		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	설계기준, 시방서, 지침에 반영		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	정책제안		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	정책채택		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
기술적 성과	특허	출원	4	4	4	4	1	1	3	1	0	3	12	13
		등록	0	0	0	0	0	0	1	5	2	2	3	7
	실용신안	출원	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		등록	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	디자인	출원	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		등록	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	소프트웨어(S/W)		1	4	0	2	0	9	3	6	1	0	5	21
	기타 성과(상표, 서비스 등)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	신기술 지정		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
학술적 성과	국내외 학술지 게재		5	1	5	5	6	6	4	6	3	5	23	23
	국내외 학술회의 발표		8	8	7	8	0	8	0	3	0	0	15	27
경제적 성과	기술실시계약		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	사업화/제품화		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	현장적용에 의한 비용절감		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2. 질적성과 달성도

<표 4-1-2> 질적 성과 달성도

연번	핵심성과명	질적 성과	달성도(%)
1	도시공간- 교통 통합 탄소 배출관리 프로그램	- 잠재적 사용자 요구사항 분석 및 사용자 환경 설계 - 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 설계 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리프로그램 개발 - 탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 통합 관리시스템 구축 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 기능 고도화 - 도시공간-교통연계 탄소배출량 통합 관리시스템 가이드라인 작성	100%
2	시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램	- 도시공간-교통연계 탄소관리체계 구축을 위한 연구기반 마련 - 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 설계 및 기초 데이터 구축 - 시나리오기반 효과평가 GIS 표출체계 구축 - 교통활동별 스케줄링 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소배출 표출체계 구축 - 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과표출 프로그램 개발	100%
3	인간활동- 공간-통행 탄소배출량 산정 플랫폼	- 탄소 관리 통합 DB 설계 - 탄소배출량 산정 플랫폼 구현 - 탄소배출량 산정 플랫폼 확장 및 적용	100%
4	대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램	- 대기환경변화 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소 영향권 표출체계 구축 - 도시공간 대기모형 및 계수 보정 - 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 개발	100%
5	탄소기반 도시부 도로 성능 평가 프로그램	- 탄소기반 도시부 도로 기능(성능) 평가 방법 정립 - 탄소기반 도시부 도로 성능 평가 분석 프로그램 개발 - 타도시 적용을 위한 가이드라인 작성	100%
2-1	토지이용- 교통 통합 모형	- 통합모형 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크 구축 - 거시-미시 연계 기반 탄소저감정책 평가체계 프레임워크 구축 - 탄소저감형 도시배치 대안 시나리오 matrix 구상 - 도시공간배치 시나리오별 시뮬레이션 수행 - 탄소저감정책 및 도시개발 시나리오 적용 및 검증(수도권 대상) - 시나리오 적용 결과에 따른 토지이용-교통 통합모형 개선 - 시범도시 기초자료 수집 및 가공	100%

		- 시범도시 특성을 반영한 계수 보정 - 시나리오별 시뮬레이션 결과 분석 - 토지이용-교통 통합 모형의 국내외 확산 적용을 위한 지자체 가이드라인 개발과 홍보(테스트베드 적용 결과 포함-추가 시나리오 분석)	
2-2	활동기반 미시적 교통모형	- 활동기반모형의 국내 적용가능성 분석 - 활동기반 시뮬레이션을 이용하기 위한 국내 자료 여건 파악 및 모의 네트워크 구축 - 가구통행실태조사 데이터를 이용한 모형 연구 및 국내 적용 모형 개발 - 시뮬레이션 결과의 적합성 분석 및 정산기법 연구를 통한 모형 개선 - 탄소배출량 산정을 위한 미시적 주행자료 산출기술 개발 - 시범도시 적용을 위한 통행 스케줄링 생성기법 개발 - 시범도시 인간 활동기반 시뮬레이션(MATSim) 네트워크 구축 - 시나리오별 인간 활동기반 시뮬레이션(MATsim) 적용 및 분석	100%
3-1	도시 탄소배출량 예측 모형	- 도시공간의 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발 - 교통부문 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발 - 정보 수집 및 DB 구축 - 기관 DB 연계 (타기관 DB 활용) - 토지이용-교통 통합모형의 예측 결과값을 반영한 탄소배출량 예측기술 개발 - 미시기반 탄소배출량 산정을 위한 기초 자료 구축 - 활동 기반 탄소배출량 산정 기법 개발 - 배출량 산정 방법론 및 계수 보정 - 미시 기반 도시교통 배출량 산정 프로그램 검토 및 보완 (국제협력연구 1차년도) - 탄소배출량 산정 모형 적용 가이드라인 작성 - 미시 기반 도시교통 배출량 산정 프로그램 적용(국제협력연구 2차년도)	100%
4-1	도시대기환경 예측모형	- 도시 공간 대기환경 예측 모형 개발 - 대기모형과 탄소배출량 산정 통합 모형 설계 및 구축 - 대기환경변화예측을 위한 입력 데이터 수집 - 탄소배출량 시스템에서 대기질 배출량 DB연계 - 탄소배출량 시스템과 연계된 대기확산 모형개발 - 대기확산 모형 적용 가이드라인 작성	100%

3. 질적 수준 평가

가. 국내외 유사 소프트웨어와의 비교

(1) 탄소관리 프로그램

프로그램	현황		차별성/독창성
	국외	국내	
도시 탄소 배출 관리시스템	사례 없음	교통부문 온실가스 통합관리시스템(KOTEMS)는 배출현황을 관리하는 시스템	- 토지이용/교통 상호간의 영향을 고려하여 장래도시 탄소배출량 변화 예측 - 국외에서 활용 중인 모형을 도입하여 토지이용, 교통, 환경의 상호관계를 포함하여 종합적으로 예측한 결과에 기반한 탄소 관리기술의 시스템화 - GIS 기반의 결과 표출 시스템 구축 - 사용자 편의성을 높인 탄소저감 시나리오 설정 및 평가를 위한 DB 구축 및 프로그램 개발

* 본 연구개발과제의 성과물인 도시공간-교통 통합 탄소 배출관리 시스템은 국내에서 최초로 개발하는 소프트웨어이며 국외의 경우도 통합 소프트웨어가 개발되어 유통되는 사례가 없음. 따라서 동일 데이터로 비교 검증할 수 있는 유사 소프트웨어가 없는 실정임

(2) 분석 모형

분석 모형	현황		차별성
	국외	국내	
토지이용-교통 통합 모형	DELTA-Omnitrans(호주) 본 연구에서 도입사용	사례 없음	- 토지이용/교통 상호간의 영향을 고려하여 장래도시 변화 예측 - 국외의 활용중인 모형으로 단기간 최소비용으로 신뢰성 있는 모형의 개발 - 개발모형의 국내도시에 적용 검증
활동기반 모형 (미시적 교통모형)	MATSIM(스위스), 본 연구에서 도입사용	사례 없음	- 개별행태 모형 적용 - 미시적으로 대규모 네트워크 분석 가능 - 해외 검증된 시뮬레이션 모형의 국내 적용으로 단기간 최소비용으로 신뢰성 있는 모형 개발
도시 탄소배출량 예측 모형 (교통분야)	COPERT(유럽) MOVES, EMFAC(미국) 배출계수에 차이가 있음	평균속도 기반의 배출계수만 있고, 산정프로그램은 없음	- 두 가지 분석수준 (평균속도/운행모드)의 배출량 산정 프로그램 개발 - 장래 교통 수요 예측 결과를 활용하여 자동으로 탄소배출량 - 국내 차량의 특성을 반영한 운행모드 기반 배출량 산정 - 공인된 배출계수와 배출량 산정방법론 적용
도시대기환경 예측 모형	CALINE, CALPUFF 등(미국)	국내에서 개발된 모형이 있으나, 대부분 국외모형 사용	- 토지이용 및 교통모형 결과를 활용하여 산정한 배출량을 활용하여 대기환경을 예측하는 모형 개발 - CALINE의 로직을 시스템에 탑재하여 사용함

* 최종보고서 별권 2장 1, 2절 국내외 기술 동향 분석에 상세하게 기술되어 있음

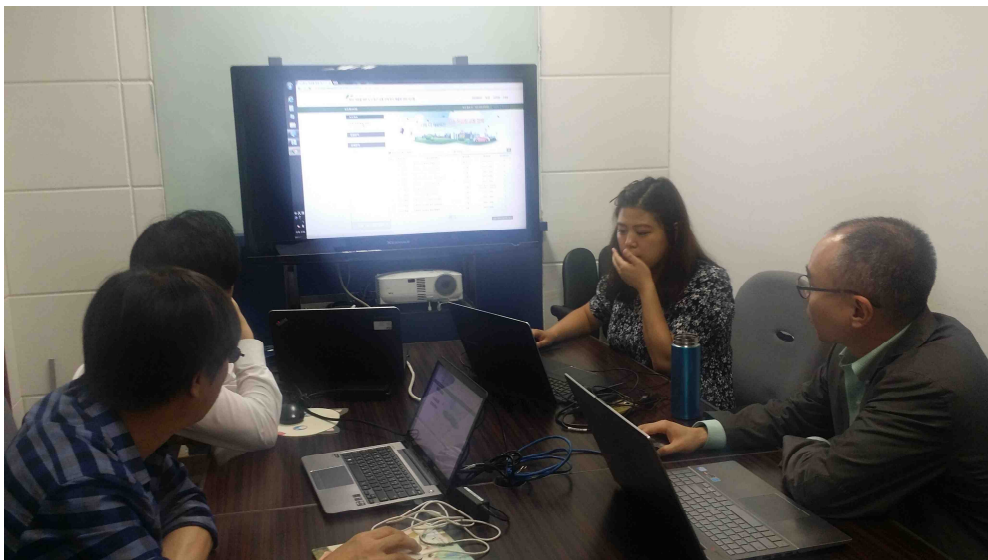
나. 신뢰도 확보를 위한 검증 노력

- 2016 국토교통기술대전에서 프로그램 시연을 진행하여 일반 사용자의 의견을 수렴함



<그림 4-1-1> 2016 국토교통기술대전 전시 및 시연(2016. 5. 25~27)

- 전문가 시연 평가를 통해 시스템에 대한 평가를 시행함
 - 전반적으로 사용하기 쉬운 인터페이스로 평가 받았으며 데이터 표출이 원활하며 시각화가 우수하다는 평가를 받음. 보고서 변환 기능 등은 유용한 기능이 될 것으로 평가 받음
 - 관리자 모드 배출량 산정 플랫폼 기능 보완사항(토지이용 세분화)과 표출방식의 보완사항(범례색 선택, 지표내용 지도표출, 보고서에 단위 표출 등)을 수렴하여 반영함



<그림 4-1-2> 전문가 시연 평가(2016. 6.16)

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

1. 도시공간-교통통합 탄소배출 관리 프로그램

- 토지이용과 교통의 상호관계를 고려하여 장래 도시의 변화를 예측하고 탄소배출량 측면에서 평가할 수 있는 시스템이라는 점에서 분명한 차별성이 있음
- 탄소발생량에 영향을 미치는 도시 및 교통정책의 사전 시뮬레이션 기반의 의사결정지원을 수행하는 시스템의 개발을 통해, 그동안 도시의 거시적인 총량변화를 예측하고 분석하는 수준의 도시모형구축 기술을 미시적인 공간단위의 분석기술로 탄소배출량을 예측함으로써 도시모형관련 기술을 보다 자세하게 분석할 수 있게 함
- 국내 기존 정책 의사결정지원과 관련한 정보시스템은 단기적인 예측에 치우쳐 있으나, 본 연구를 통한 장기적 변화 패턴에 대한 모형은 의사결정지원시스템의 기술적 수준을 국외 수준으로 한 단계 더 높이는 데 기여할 것으로 예상됨
- 저탄소 녹색성장이라는 세계적 기조에서 탄소저감을 위한 도시공간과 교통이 연계된 탄소 관리 기술의 개발 전략을 제시함으로써 향후 녹색건설시장에서의 경쟁력 확보에 기여할 것으로 기대됨
- 특히, 토지이용-교통-대기환경 통합시스템은 국외에도 개발이 시작되는 단계인 만큼 이번 개발 결과를 세계에 알림으로써 국가 위상을 높일 수 있음
- 도시정책 및 도시개발 분야에서 고도의 시스템 개발 및 디스플레이 등 정보산업 활성화하여 기존 정보화 사업의 시너지 효과 제고할 수 있음

2. 토지이용-교통 통합 모형 개발

- 국내 도시계획 과정에서 토지이용-교통 모형을 통합해서 운용한 사례가 없으며, 국내의 교통계획모형은 도시 공간구조 변화에 대한 고려 없이 단일 통행단위로 분석되고 있음
- 국내에서는 토지이용모형의 적용가능성을 검토하여 개발한 경험이 있으나, 정책과 사업에 실제로 활용할 수 있는 시스템으로 개발한 경우는 없었음
- 해당기술과 관련한 국내 적용 모형은 가상의 도시를 전제로 하여 정책의 효과를 분석하는 수준이었으며, 실제 도시에 대한 직접적인 정책 적용 시 고려해야 할 요인인 지역 특성, 활동자의 입지선택과 통행행태 등을 반영할 수 없는 한계가 있었음
- 본 연구에서 개발할 토지이용-교통 통합모형은 지금까지의 탄소배출량 관리 분야에서 해오던 결과론적 접근방식에서 벗어나, 토지 및 교통정책의 사전 시뮬레이션을 통해 장기적인 탄소 배출량을 예측하고 보다 정확한 의사결정 지원이 가능함
- 탄소발생 예측모형에 장기예측 방법론을 적용함으로써 도시기본계획, 도시관리계획 등 중·

장기 법정계획이 탄소발생량에 미치는 영향을 분석할 수 있기 때문에 합리적 계획수립에 크게 기여할 것으로 판단됨

- 대상도시뿐만 아니라 대상도시와 밀접한 관계를 맺고 있는 인접 지역의 도시 및 교통정책을 동시에 고려하여 탄소배출량을 파악함으로써 광역적·미시적 동시 관리에 활용이 가능함
- 본 예측모형의 타도시 적용 방안 연구를 통해 지역특성에 맞는 토지 및 교통정책수립을 지원할 수 있으며, 정책수행 결과를 피드백함으로써 관련 분야의 지속적 발전을 도모함
- 또한, 모델을 통해 도출될 탄소배출량에 대한 장기적 전망은 국내 지속적인 발전에 기여할 것이며 이는 국민 경제활동에 순기능으로 작용할 것으로 기대함
- 국외에서 활발하게 개발되어 실제 도시에 적용·운용 중에 있는 토지이용-교통모델(또는 도시통합모델)의 국내 도시 적용과 우리나라 자체의 모델개발을 위한 기술력 발전에 기여할 것으로 기대됨

3. 활동기반 미시적 교통 모형 개발

- 개별 통행자 수준의 통행행태 분석을 통하여 개별차량의 통행을 분석하여 현실의 통행과 가장 유사한 분석기법으로 다양한 시나리오를 분석이 가능하다는 점에서 기존의 방법론과 차별성이 있음
- 교통존(Traffic Analysis Zone)에 한정되지 않는 개별행태 모형의 장점을 극대화시켜 장래 교통수요를 추정하는데 있어서 큰 도움을 줄 수 있을 것이며, 자료의 수집 및 가공을 하는데 있어서 현재보다 진보된 분석기법을 개발할 수 있는 토대를 마련함
- 국내 지역단위의 적용을 통해 개별통행패턴의 분석을 통해 4단계 수요추정방법의 단점을 보완할 수 있으며, 개별행태 모형의 개발과 모델 구축으로 인해 보다 정확한 장래 교통수요 추정을 할 수 있으며 수요추정을 하는데 있어서 시간 절약 및 비용 절감을 꾀할 수 있음

4. 도시 탄소 배출량 예측 모형 개발

- 토지이용, 교통 시뮬레이션 모형의 예측결과에 따라 탄소배출량과 대기오염물질 배출량을 산정할 수 있도록 배출량 산정 모형 개발함
- 차량의 미시적 운행 특성을 반영하여 배출량을 산정하는 국내 모형 부재
- 개발된 배출량 산정 방법론과 프로그램은 국내 도시에 적용이 가능하며 해외시장으로 진출 가능성이 기대됨
- 녹색도시 기획·설계·유지관리를 위한 국내 실정에 맞는 독자적 하드웨어 및 소프트웨어 기술개발로 해외기술 도입비용 절감이 기대됨

5. 도시 대기환경 예측모형 개발

- 도시의 장래변화 예측 결과를 활용하여 대기오염물질 배출량을 산정하고 대기질 영향을 예측하여 분석결과를 사용자 편의에 맞게 표출하는 SW 부재
- 국내 기상 및 지형 자료 등을 반영하고 도시공간/교통변화로부터 대기질 농도를 계산하기 위한 입력자료가 일괄처리 되도록 하여 사용자의 편의를 높이고 분석 시간을 감소시킴
- 탄소저감 정책이 대기질 측면에서 미치는 영향을 예측하여 최종적인 정책 의사결정 자료로 활용할 수 있음

제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

1. 도시공간-교통통합 탄소배출 관리 프로그램

- 온실가스의 80% 이상이 도시에서 발생하는 구조에서 지구 온난화 방지를 위한 정책적 측면에서 탄소저감형 도시로의 전환 가능성을 제고할 것으로 기대됨
- 중소규모 신도시(혁신, 행복, 신도시 건설사업) 규모가 100조원 이상, 이중 약 15% 정도의 공사규모가 실제로 발생한다면, 건설시장 규모는 약 15조원 이상으로 추정되며, 국내의 녹색 건설 시장 규모는 2012년 384억 달러, 2030년 700억 달러로 추산
- 기존 교통 관련 사업의 환경 친화적 저탄소형 사업으로의 전환에 기여하고, 이를 통해 신규 시장 창출 가능함
- 이러한 다양한 개발사업과 관련하여 이를 분석하고 의사결정지원 시스템으로서 활용할 수 있는 공공기관, 연구원, 엔지니어링 회사, 학교 등에서 시뮬레이션 기술을 적용하고 운용할 수 있는 시장이 형성됨
- 국내와 유사한 여건을 가진 아시아지역에도 적용이 가능하여 시장 확장도 가능하다고 봄
- 도시 교통 환경 분야 등 다양한 분야의 관련 기술을 집목하고 융합하여 새로운 융합서비스 구축 기술 시장이 형성될 수 있음
- 녹색도시 기획·설계·유지관리를 위한 국내 실정에 최적화된 저탄소 통합관리체계 구축으로 향후 탄소거래제 시행 시 해외 선진기술의 도입비용 절감효과뿐만 아니라 세계 일류 기술로 발전할 수 있는 기술선점 효과 확보로 부가가치를 극대화할 수 있는 신규 수출 사업 모형 형성이 가능함

2. 토지이용-교통 통합 모형 개발

- 토지이용-교통 통합모형을 국내 도시에 적용할 경우 지역특성에 맞는 토지 및 교통정책수립을 지원할 수 있으며, 정책수행 결과를 피드백함으로써 관련 분야의 지속적 발전을 도모

할 수 있음

- 또한, 모형을 통해 도출될 탄소배출량에 대한 장기적 전망은 국내 지속적인 발전에 기여할 것이며 이는 국민 경제활동에 순기능으로 작용함
- 토지이용과 교통의 각종 수요모형을 통합하여 토지이용에 대한 일반 균형 상태를 찾는 것으로써 불필요한 교통유발을 줄임으로써 친환경적인 도시발전에 기여할 것임
- 국내 미래지향적 도시정책에 대한 효과를 정량적으로 예측하여 불필요한 에너지를 줄임으로써 환경적, 경제적 비용의 절감방향 도출
- 본 모델의 개발을 통하여 도시과학 방법론의 이론 및 개발·적용기법 개발에 진일보할 수 있는 발판을 마련할 수 있으며, 이러한 학문적 접근법의 개발로 인하여 새로운 학문분야에 대한 인력양성에도 크게 기여할 것임

3. 활동기반 미시적 교통 모형 개발

- 활동 기반의 개별 행태 모형의 개발과 모델 구축으로 인해 보다 정확한 장래 교통수요 추정이 가능하며 수요추정을 하는데 있어서 시간과 비용의 절감을 꾀할 것으로 예상됨
- 활동기반 시뮬레이션을 이용한 미시적인 접근은 기존의 거시적인 접근의 교통수요 예측의 단점을 보완하여 SOC사업과 같은 예산의 과대, 과소 추정으로 인한 예산 불균형 문제를 감소시킬 수 있음

4. 도시 탄소 배출량 예측 모형 개발

- 탄소저감으로 경제효과, 탄소시장에서 우위 점유할 수 있으며, 저탄소녹색도시 위한 도시 공간개조로 침체된 도시개발 분야에 활력 제공하고, 해외 탄소저감 도시개발에 있어서 기술 선점효과가 있음
- 도시부 교통 탄소배출과 관련한 국·내외 시장 환경을 분석해본 결과 시장의 규모가 빠르게 확대되고 있는 것을 확인할 수 있었고, 본 과제에서 도시교통부문의 선도적 기술을 개발하고 선점함으로써 향후 세계시장에서도 경쟁력을 확보 할 수 있을 것으로 생각됨
- 그러나 향후 녹색시장은 점차 확대될 것이며 해외시장 역시 아시아, 중동권, 호주권 시장의 성장이 기대된다는 점을 감안할 때, 국내의 앞선 IT 인프라 기술과의 융복합을 통한 새로운 기술주도형 상품을 개발하고 이를 신규 해외시장 개척에 활용할 수 있는 기술 개발이 요구됨

5. 도시 대기환경 예측모형 개발

- 실효성 있는 탄소저감 정책의 시행으로 도시의 대기질이 개선된다면 환경개선 비용이 절감

되며, 도시민의 삶의 질 개선과 건강 증진으로 인한 효용성은 경제적으로 환산할 경우 매우 큰 가치가 있다고 판단됨

제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

1. 도시공간-교통통합 탄소배출 관리 프로그램의 필요성

- 도시 교통의 탄소배출은 커다란 비중을 차지하고 있으므로 도시단위의 탄소저감의 필요성이 더욱 높아지고 있음
- 국토교통부에서 제정한 ‘지속가능 교통물류 발전법’에 의하면, 기후 변화, 에너지 위기 및 환경보호 요구 등 교통물류 여건 변화에 대응하는 지속가능 교통물류정책의 기본방향과 그 수립 및 추진 등에 관한 사항을 규정함
- 교통물류부문의 온실가스 및 대기오염 저감, 에너지 절약 등 친환경적 효율적 교통물류체계 구축을 위하여 교통수요관리, 친환경 교통시설 수단 개발이 요구됨
- 따라서 이런 시대적 기류에 따라 도시 교통에서의 탄소저감을 위하여 자동차 교통량 및 주행거리 감소, 녹색교통 정책 육성을 통하여 도시 교통에서의 온실가스 배출량 제한 및 관리가 시급하게 필요한 시점임

2. 도시공간-교통통합 탄소배출 관리 프로그램의 정책적 효과

- 토지이용과 교통 정책 대안의 효과를 지도에 표출하여 탄소저감 정책결정 및 의사결정을 지원할 수 있는 GIS기반 도시통합 탄소배출 관리시스템은 정부정책과 밀접한 관계가 있음
- 토지이용, 교통, 환경의 요소에 대한 복합적인 분석과 예측이 가능하므로 체계적인 탄소배출량 저감 정책 관리가 가능함
- 정책효과의 검증을 통한 정책 실효성을 제고할 수 있음
 - 삶의 질을 제고할 수 있는 친환경적인 토지이용정책 시행에 기여
 - 다양한 도시 및 교통계획에 대한 정책평가 자료를 얻을 수 있는 응용 가능성 제시
 - 효율적 탄소관리 정책을 시행
 - 도로의 기능 저하와 온실가스 발생 문제에 효과적으로 대처 가능
- 장래의 도시의 변화를 예측하여 대안을 평가하기 때문에 장기적 탄소 및 에너지 저감을 위한 정책을 마련이 가능해짐
- 저탄소 도시설계를 위한 지원시스템을 제공함으로써 합리적이고 효과적인 저탄소 도시 및 교통정책을 세우고 평가할 수 있게 됨

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구 성과의 활용

1. 활용 방안

가. 탄소저감 정책의 의사결정을 지원하는 시스템으로 활용

- 본 연구개발 사업의 성과물은 시물레이션을 통해 탄소저감정책을 평가하고 실행함으로써 실효성 있는 탄소배출관리를 통하여 국가경쟁력을 높일 것으로 기대됨
- 또한, 탄소저감에 유리한 도시 및 교통계획에 관한 의사결정지원시스템을 개발함으로써, 합리적이고 효과적인 정책을 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대됨
- 관련 데이터의 유기적인 융합과 통합적 모니터링을 통하여, 효율적이고 편의성 높은 현황 감시 및 예측 기술의 확보가 가능하기 때문에 녹색교통 관련 정책 입안 자료로 활용 가능함
- 탄소저감 목표를 달성하기 위한 장기간에 걸쳐 세부적인 정책목표를 설정할 수 있는 도시 정책 검증수단임
- 도시·교통 탄소저감 시나리오기반의 시물레이션을 통해 탄소저감형도시의 계획 및 조성을 위한 정책결정시 의사결정에 활용이 가능함
- 지자체의 경우 도시공간-교통 통합탄소배출관리 프로그램을 통해 토지이용 및 교통환경 변화에 따른 장·단기적 탄소량을 분석·예측하여 도시 공간의 탄소 적정치 유지 관리에 활용이 가능함
- 도시건설 및 재개발 등의 관련 사업을 추진함에 있어서 탄소저감형 도시의 최적 공간배치-교통계획을 설계함에 있어 본 연구개발 시스템의 활용이 가능함

나. 도시발전에 대한 정책 적용 시 정책입안자들과 결정권자들의 의사결정지원

- 도시개발이나 계획 및 정책이 도시에 미치는 영향에 사전모의실험 함으로써 정책결정권자들의 합리적 의사결정지원에 활용될 수 있음
- 도시 공간 재배치, 신 교통운영전략 수립, 신 행정수도 건설 등 도시 공간과 교통 부문의 변화에 따른 사회·경제적 비용, 환경 보건적 영향 등을 통합적으로 관찰하고 분석하여 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 사회기반 시스템 구축에 활용될 수 있음
- 경제·사회·환경적 측면에 대한 변화를 고려하여 지속가능한 도시정책 입안을 가능하게 함
- 정책 입안 및 결정자로 하여금 정책의 영향을 사전 검증함으로써 합리적이고 효율적인 도시공간계획 수립 지원할 수 있음(국가 및 지방자치단체 정책시행자)

다. 민간사업자들의 도시공간관련 사업 시행에 따른 장·단기 경제효과 검증 지원

- 해외도시개발을 활성화하고 지속하기 위하여 저탄소녹색도시모델의 효과를 입증할 수 있는 수단으로 이용
- GIS 및 정보화 사업의 효과를 극대화하기 위하여 활용분야를 개척해야 함

라. 도시변화의 영향을 예측하는 방법으로 활용

- 도시변화에 영향을 주는 토지이용과 교통정책들의 영향을 예측하는 방법론으로써 도시통합 모델의 유용성을 확인함
- 교통에너지와 탄소배출저감에 적합한 시나리오의 확인 및 지속가능한 도시공간구조의 프레임 제시함
- 도시공간계획관련 연구자에게 연구 결과의 장·단기적 효과 검증 활용함
- 교통존(TAZ)에 한정되지 않는 개별행태 모형의 장점을 극대화시켜 장래 교통수요를 추정하는데 있어서 큰 도움을 줄 수 있을 것이며, 자료의 수집 및 가공을 하는데 있어서 현재보다 진보된 분석기법을 개발할 수 있어 향후 융합연구(도시-교통-환경)에 적용가능하고, 교통 분야에서 보다 세밀한 교통수요예측에 활용 가능할 것임
- 개별형태 자료의 수집 및 가공을 하는데 있어서 현재보다 진보된 분석기법을 개발할 수 있어 향후 융합연구(도시-교통-환경)에 적용가능하며, 교통 분야에서 보다 세밀한 교통수요예측에 활용 가능할 것임

마. 미시 주행특성을 반영한 배출량 산정 방법으로 활용

- 환경부에서 실도로 주행 조건을 반영한 배출기준의 적용을 준비함에 따라 향후 교통부문 배출량 산정시 미시적 주행 조건에 따른 배출량 산정 방법론으로 활용 가능함

2. 실용화 추진현황

- 실용화를 위한 지식재산권 확보 및 홍보 활동
 - 개발시스템 관련 특허 17건(등록 5, 출원 12), 소프트웨어(S/W) 20건 등록
 - 언론사 홍보(2014.7, 2015.7) 및 국내·외 학회 발표(19건)
- 기술사업화를 위한 관련 기관 협의
 - 수도권 지자체 연구원 전문가 자문(경기연구원, 인천발전연구원, 수원시정연구원, 서울연구원, 2015. 9. 8)

- 실용화 단계에서는 기존 운영 중인 도시/교통 시스템과의 연계 구축과 적용되는 지자체 맞춤 수정이 필요하다는 의견이 있었음
- 기술 활용과 홍보를 위한 협의
 - 인천시 활용방안 검토 회의(2016.03.29.)
 - 인천항 사람중심 교통체계 구축방안에 대한 환경개선영향 평가에 활용하기로 합의함
 - 도로정비기본계획의 대안 평가 시 환경성 평가에 활용하는 방안 검토 중
- 개발된 기술에 대한 성능 검증 및 기술 홍보
 - ('16.3월) 시범도시를 대상으로 시작품 성능 검증 완료 예정
 - ('16.1월~'16.6월) 국내외 학술발표 참여, 지자체 담당자 방문을 통한 연구성과 홍보 예정
 - ('16.5월) 2016 국토교통 기술대전 참여를 통한 연구 성과 홍보
 - ('16.8월) 언론사에 연구성과 홍보 예정
- 타도시 적용성, 활용방안, 확장성 설명을 위한 가이드라인 작성
 - ('16.6월) 시범도시 외의 지역에 적용할 때 지침이 되는 타도시 적용 가이드라인 작성 완료 및 배포
- 탄소저감 도시 관련 후속 연구 추진
 - ('16.1월~) 시스템 성능 고도화 및 타도시 적용을 위한 후속 연구 추진
 - ('16.1월~) 실시간 자료를 활용하여 예측 모형의 신뢰도를 높이는 후속 연구 추진
- 베타버전의 보급 및 실사용을 통한 실무자 의견 수렴
 - ('16.5월 25~27일) 2016 국토교통 기술대전에서 베타버전 사용 체험
 - ('16.6월 16일) 시스템 시연 및 실무자 의견 수렴
- 해외진출 대상 국가 선정 및 마케팅
 - ('16.5월 30) 월드뱅크 교통 전문가 및 인도 교통국 공무원 한국건설기술연구원 방원 시 탄소저감 관리시스템 연구 성과 소개
 - ('16.10월) 한국건설기술연구원 도로연구소에서 수행 중인 특화연구사업 내 해외대상 기술홍보 계획을 수립하여 추진 중임 (말레이시아)

3. 실용화 장애요인 및 이슈

- 활용을 장려할 수 있는 관련 제도의 제·개정 및 홍보 필요
 - 국가 도시기본계획 및 지자체 도시 관리계획, 신도시개발, 도시 재생 사업 등의 정책 수립 시 사용 가능하나 관련 실무자의 활용을 장려할 수 있는 제도가 필요함
 - 탄소저감 관련 의사결정시 시스템 사용을 통해 얻을 수 있는 의사결정의 편의성과 정책 시행으로 인한 실질적 효과에 대한 홍보가 필요함

○ 적용할 도시의 시스템 도입 역량 확보

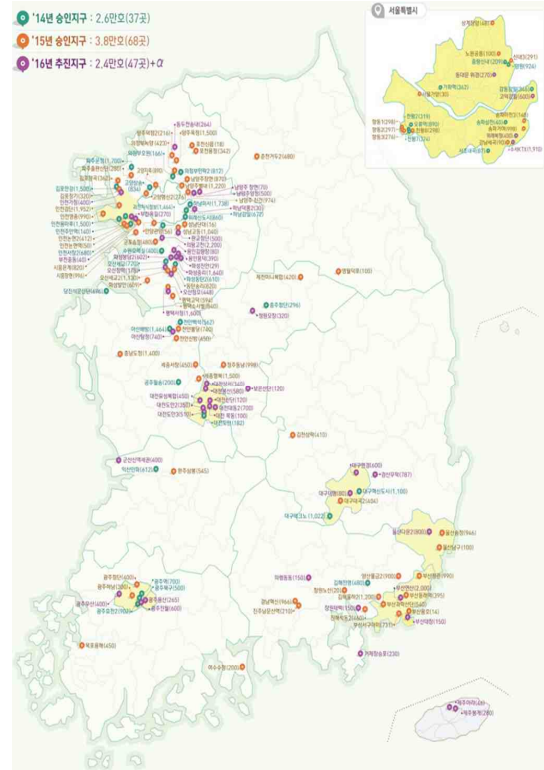
- 시스템 구축을 위한 데이터 수집 및 데이터베이스 구축이 가능한 도시에서 적용 가능함
- 지자체 및 관련 연구기관과 시스템 구축, 분석 모형 적용 및 정산 등의 과정에서 협력이 필요함

○ 공공부문에서의 활용가치 제고를 위해서는 우선적으로 기존방식 대비 탄소저감 정책실현 방식의 변화가 필요함

구분	기존 방식 (목표설정 ⇒ 달성)	새로운 방식 (목표설정 ⇒ 영향평가 ⇒ 목표수정 ⇒ 달성)
개발사업 추진 시 탄소저감정책 실현 방식 비교	(1) 탄소저감 도시 개발 및 설계를 위한 정책 목표 설정 및 대안 구축 (2) 탄소배출 저감량 산출 - 대안 적용으로 인한 효과를 가정하여 BAU 대비 탄소배출 저감량 산출 (3) 개발사업의 완공 및 탄소저감 목표의 달성 * * 개발사업이 도시에 미치는 영향을 고려하지 않아, 실질적인 목표 달성 여부를 평가하기 어려운 단점이 있음	(1) 탄소저감 도시 개발 및 설계를 위한 정책 목표 설정 및 대안 구축 (2) 개발 사업이 미치는 영향을 모니터링하는 업무 (대안별 장래 토지이용-교통 예측) 1) 개발 정책 시나리오 구축 2) 토지이용 및 교통 예측 - 주거지 이전, 고용자 이전, 개발지와 주변 지역의 활동의 변화 추정 - 개발사업지 내외 주변 지역 간의 활동목적별 통행량 추정 (3) 추정한 통행량에 따른 탄소배출량 산출 (3) 대안별로 예측된 탄소배출량과 개발비용을 고려하여 탄소저감 목표 수정 (4) 개발사업의 완공 및 탄소저감 목표의 달성
활용 가능성을 높이기 위한 노력	• 지자체에서 개발사업 추진 시, 실질적인 탄소배출 저감 목표의 달성이 가능한 정책을 수립하기 위하여 본 개발 S/W를 활용하기 위해서는 다음과 같은 노력이 필요함 - 기존의 업무수행 과정에는 없던 ‘(2) 개발사업이 미치는 영향을 모니터링하는 업무’를 포함시켜야 하며, 업무 수행 과정의 개편이 필요함 - 선진국의 경우와 같이 모니터링 업무에 예측 시스템 전문가의 참여가 필요함	
새로운 방식을 통한 기대효과	• 지자체의 장기계획(도시기본계획, 도시교통정비촉진법 등) 수립 시 정책평가 가능하며, 개별 대규모 사업이 교통시설이용, 토지이용, 주택시장 등에 미치는 장기적 효과 평가에 활용 • 도시정책, 교통정책, 도시개발사업 등의 결정시 시민참여를 적극 유치하기 위한 수단으로 활용 • 최근 공론화 되고 있는 정책대안 중 본 방식을 통해 분석 가능한 계획들은 다음과 같음	

○ 토지이용개발 정책(예시)

행복주택 공급사업	
사업 소개	대학생·신혼부부·사회초년생 등을 위해 직장과 학교가 가까운 곳이나 대중교통 이용이 편리한 곳에 짓는 임대료가 저렴한 공공임대주택
사업 규모	전국 대상으로 총 14만호 행복주택 공급
추진 현황	'14년도 승인지구 : 2.6만호(37곳)
	'15년도 승인지구 : 3.8만호(68곳)
	'16년도 승인지구 : 2.4만호(47곳)+α
향후 계획	총 사업승인계획 : 140,000호
	2016년 계획 : 3.8만호
	2017년 계획 : 3.8만호



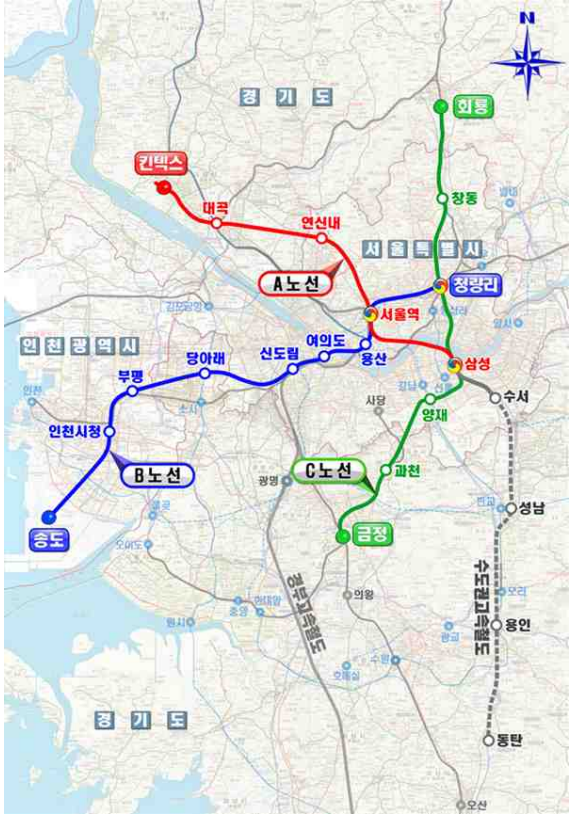
국토교통부 행복주택 홈페이지 및 브로슈어 참고

뉴스테이 사업	
사업 소개	중산층의 주거불안을 해소하는 주거정책 기업형 임대주택에 거주하는 임차인은 적정수준으로 관리되는 임대료를 납부하며, 희망할 경우 8년 동안 안심하고 거주할 수 있음
사업 규모	전국을 대상으로 총 15만호 기업형 임대주택 공급
추진 현황	'15년도 사업지 확보 : 2.4만호
	'15년도 공급(영업인가) : 1.4만호
	'15년도 입주자 모집 : 0.6만호
향후 계획	'16년도이후 사업지 확보계획 : 12.6만호
	'16년도이후 공급(영업인가) 계획 : 7.1만호
	'16년도이후 입주자 모집계획 : 3.4만호

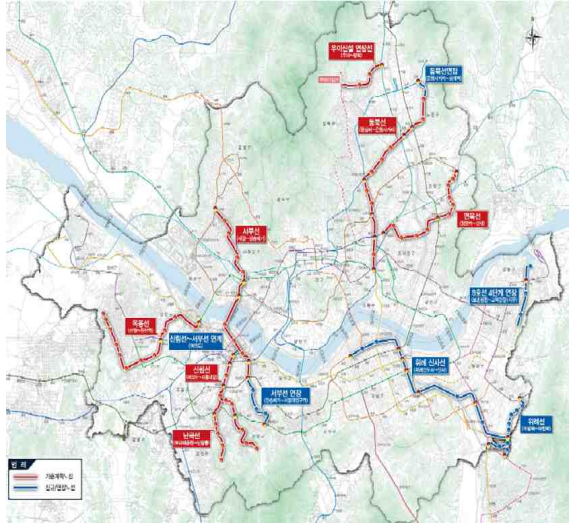


국토교통부 뉴스테이 홈페이지 및 마이홈포털 참고

○ 교통개발 정책(예시)

수도권 광역급행철도(GTX) 사업		
사업 소개	수고권 교통난 해소와 장거리 통행자들의 교통복지 제고를 위해 수도권 외곽에서 주요 거점을 30분대에 연결하는 광역급행 철도망 구축	
사업 규모	A노선 : 일산~삼성 (37.4km)	
	B노선 : 인천~서울	
	C노선 : 의정부~금정 (47.9km)	
추진 현황	A노선 : 민자 추진을 위한 타당성 분석중('15. 12.~한국개발연구원)	
	B노선 : 타당성 확보 방안 마련을 위한 재기획 중	
	C노선 : 예비타당성조사 재시행 중 ('16.1.~, 한국개발연구원)	
향후 계획	A노선 : 민자시설사업기본계획(RFP) 수립, 우선협상대상자 선정, 실시협약, 실시설계 과정 등을 거쳐 사업 착공	
	B노선 : 재기획을 통해 타당성이 확보될 경우 예타 재추진	
	C노선 : 예비타당성조사 결과에 따라 기본계획 수립 및 사전 민자적격성 검토 추진	

국토교통부 수도권 광역급행철도 관련 보도자료 참고

서울시 10개년 도시철도 구축		
사업 소개	철도 중심의 대중교통체계를 구축하여, 각종 서울시 교통 정책들을 지원함	
사업 규모	서울시 10개 노선 89.12km	
추진 현황	신림선 : 민자사업협상중	
	동북선 : 민자사업협상중	
	면목선 : 교통수요예측 재조사 중	
	서부선 : 최종제안자수정제안 검토중	
	우이신설 연장선 : 우이신설선사업자와 연계협상	
	난곡선 외 4개 노선 : 계획안 수립	
향후 계획	향후 10년 동안(2025년까지) 10개 노선 건설을 추진할 계획(총 8조 7천억 투자)	

서울특별시 10개년 도시철도망구축계획 보고서 및 서울시 보도자료 참고

제2절 추가연구 필요성

1. 국가 정책적 필요성

- 2008년 ‘저탄소 녹색성장’이라는 국정목표가 세워지면서 탄소저감 정책에 대한 중요성이 강조되기 시작함
- 2015년 12월 신기후체제 협약인 파리협정이 체결되면서 온실가스 감축 목표 달성 요구가 재차 강조되어 도시의 탄소저감 정책 수립과 시행의 필요성이 증대됨
- 또한, 최근 미세먼지 농도의 증가로 수도권 대기질 관리 강화, 차량 배출가스 기준 강화 등 정책적으로 교통부문 탄소배출량 산정과 관리의 필요성이 증대되었음

2. 국외 환경적 필요성

- 온실가스의 80% 이상이 도시에서 발생하는 구조에서 지구 온난화 방지를 위한 탄소저감형 도시로의 전환 필요성은 여전히 강조되고 있음
- 지속가능한 도시 구현이라는 세계적 기조에서 탄소저감을 위한 도시공간과 교통이 연계된 탄소관리 기술의 개발 전략을 제시함으로써 향후 녹색건설시장에서의 경쟁력 확보에 기여할 것으로 기대됨

3. 추가 연구 방향

가. 도시공간-교통 연계 탄소배출량 예측기술 및 운영관리기술

- 탄소배출량을 예측하는 모형에 대한 다양한 정산(Calibration) 방법과 국내 상황에 맞는 배출계수 및 탄소배출량 산정방법을 통해 결과값의 신뢰도를 향상할 필요가 있음
- 실제 사용자가 이해하기 쉬운 표현으로 표출정보를 구성하고 사용 편의성 증진을 위한 기능을 추가하는 등의 사용자 환경 개선노력이 필요함
- 배출계수는 지속적인 업데이트가 필요하므로 관련정부기관과 연구기관의 지속적인 연구가 요구됨
- 배출량 산정식 등은 에너지기술과 차량기술 등의 발전과 연관되어 있으므로 기술적 변화에 따라 지속적으로 보완되어야 함

나. 도시교통 탄소저감 평가·관리 기술개발 및 실증

- 국외에서는 토지이용-교통 통합모형 관련 연구가 이미 오래 전부터 활발하게 진행되었고, 미국, 유럽 등에서는 실제 모형이 사용되고 있음

- 국내에서는 관련 연구가 국외에 비해 미흡하나, 본 연구개발을 통해 국내 특성에 고려한 토지이용-교통 통합모형을 개발하고 수원시에 시범 적용하고 검증하는 단계임
- 기존의 집계모형과 통행기반의 비현실성을 개선하여 보다 정확한 장래 교통수요를 추정하고자 개인 단위의 활동을 예측하여 정교한 교통수요 예측이 가능한 모형을 개발하였음
- 거시적 차원의 도시계획(도시기본계획) 또는 미시적 차원의 세부사업(정비사업)으로 인한 장기적인 도시변화 예측 기능과 대안별 비교가 가능함
- 탄소저감을 위한 다양한 정책 조합의 시뮬레이션을 통해 정책효과와 경제적 효과를 고려한 장기적인 미래 예측 기술 적용 기법 개발함
- 장래 도시의 변화에 따른 여러 가지 정책 관심사(에너지, 안전 등)에 대한 예측 결과를 제공하는 기능을 추가 개발하여 시스템의 활용성을 높일 필요성이 있음

다. GIS기반 도시통합 탄소배출 관리시스템 개발

- GIS기반 도시통합 탄소배출 관리시스템은 토지이용-교통의 상호작용을 고려하여 도시·교통 정책에 따른 장래 탄소배출량 감소와 도시 대기 질 개선 효과를 종합적으로 분석하는 시스템
- 탄소저감을 위한 도시계획 정책결정 및 의사결정 지원에 활용가능한 성과물 도출 (연구 기간 내 시범도시 적용 및 가이드라인 작성)
- 개발 성과를 국내 도시에서 범용적으로 활용하기 위한 시스템 성능 고도화 및 상용화 연구가 필요함

라. 미시기반 배출량산정 모형 개발과 메조 교통 시뮬레이션 모형에의 통합과 실증

- 운행모드 기반의 배출량 산정 모형을 한국형으로 개발하여 교통 예측 프로그램에서 자동으로 배출량을 산정하도록 통합하는 기술을 개발하였음
- 기존 미시기반 교통모형과 통합하여 운행모드 기반으로 배출량을 산정하는 데 활용이 가능하며, 실시간 주행 자료를 이용한 배출량 산정에도 활용할 수 있도록 개발 가능

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.

