발 간 등 록 번 호
11-1613000-001489-01

15CHUD-C060577-05

도시건축연구사업

탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발 최종보고서 별권

2016. 6.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 서울시립대학교
미래엔에스
위탁연구기관 / 안양대학교
노스캐롤라이나 주립대학교

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 Rouphail
연 구 원 : Christopher Frey, 고관표,
Sarat Bantupalli

<제목 차례>

제 1 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 1

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

제2절 (핵심성과 2) 시나리오기반 도시교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램 개발 ····· 100

제3절 (핵심성과 3) 인간활동 공간교통 탄소배출량 산정 플랫폼 개발 ····· 123

제4절 (핵심성과 4) 대기환경에 따른 탄소영향권 표출프로그램 개발 ····· 134

제5절 (핵심성과 5) 탄소기반 도시부 도로 성능평가 프로그램 개발 ····· 150

제6절 (핵심성과 2-1) 토지이용-교통 통합모형 개발 ····· 164

제7절 (핵심성과 2-2) 활동기반 미시적 교통모형 개발 ····· 273

제8절 (핵심성과 3-1) 도시 탄소 배출량 예측 모형 개발 ····· 311

제9절 (핵심성과 4-1) 도시 대기환경 예측 모형 개발 ····· 416

제 2 장 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 489

제1절 국내 기술개발 현황 ····· 489

제2절 국외 기술개발 현황 ····· 497

제3절 연구결과가 국내·외 기술개발현황에서 차지하는 위치 ····· 516

참고문헌 ····· 525

<표 차례>

<표 1-1-1> 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 메뉴 구조도 ····· 3
<표 1-1-2> 통합서버 환경 구성 ····· 6
<표 1-1-3> 시스템 가이드라인 목차 ····· 6
<표 1-1-4> 목표 및 주요 연구내용 ····· 7
<표 1-1-5> 설문 응답자 종사 분야 ····· 12
<표 1-1-6> 목표 및 주요 연구내용 ····· 12
<표 1-1-7> 지표의 선호 순위별 상대 비교 ····· 13
<표 1-1-8> 선정 지표의 최소 공간적 범위 선호도 ····· 13
<표 1-1-9> 선정 지표의 표현 방법 선호도 ····· 14
<표 1-1-10> 거시 교통 정책의 장래 변화 및 효과 비교 지표 설문 결과 ····· 14
<표 1-1-11> 지표의 선호 순위별 상대 비교 ····· 15
<표 1-1-12> 선정 지표의 최소 공간적 범위 선호도 ····· 15
<표 1-1-13> 선정 지표의 표현 방법 선호도 ····· 15
<표 1-1-14> 미시 교통 정책의 장래 변화 및 효과 비교 지표 설문 결과 ····· 16
<표 1-1-15> 지표의 선호 순위별 상대 비교 ····· 16
<표 1-1-16> 선정 지표의 최소 공간적 범위 선호도 ····· 17
<표 1-1-17> 선정 지표의 표현 방법 선호도 ····· 17
<표 1-1-18> 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 메뉴 구조도 ····· 23
<표 1-1-19> 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 테이블 정의 ····· 25
<표 1-1-20> 데이터 인덱스 명명 규칙 ····· 55
<표 1-1-21> 코드 분류 ····· 55
<표 1-1-22> 개발정의서 ····· 57
<표 1-1-23> 분석 프로세스 및 개발환경 ····· 64
<표 1-1-24> 시나리오 입력에 따른 수정 권한 ····· 65
<표 1-1-25> Delta 모형 결과 파일 및 저장 정보 ····· 66
<표 1-1-26> 교통계획 모형 결과 파일 및 저장 정보 ····· 66
<표 1-1-27> 교통활동 모형 결과 파일 및 저장 정보 ····· 67
<표 1-1-28> 사용자정의 분석을 위한 파일 입력내용 ····· 68
<표 1-1-29> 프로젝트 요약정보 표출내용 ····· 70
<표 1-1-30> 종합분석 기능별 분석조건 ····· 73
<표 1-1-31> GIS 표출 범례 ····· 74
<표 1-1-32> 심볼 그래프(Bar Chart) API 사용 ····· 77
<표 1-1-33> 심볼 그래프(Stacked Bar Chart) API 사용 ····· 77
<표 1-1-34> 종합분석 기능별 호출 페이지 ····· 85
<표 1-1-35> 통합서버 환경 구성 ····· 89
<표 1-1-36> 통합DB 테이블 구성 ····· 89
<표 1-1-37> 도시스케일 프로젝트 분석 요약 결과 ····· 91

<표 1-1-38> 시스템 보완사항 ····· 91
<표 1-1-39> 시스템 고도화 ····· 93
<표 1-1-40> 시스템 가이드라인 목차 ····· 98
<표 1-1-41> 시스템 가이드라인 전문가 의견 ····· 99
<표 1-2-1> 요소기술 설계 항목 ····· 100
<표 1-2-2> 목표 및 주요 연구내용 ····· 103
<표 1-2-3> 국내외 토지, 교통, 통합 모형기반 시스템 구축사례 및 표출기술 ····· 104
<표 1-2-4> 요소기술 설계 항목 ····· 108
<표 1-2-5> Delta 모형 인구수 관련 Output 파일 정보 ····· 109
<표 1-2-6> Delta 모형 토지이용 관련 Output 파일 정보 ····· 110
<표 1-2-7> Omnitrans 필드 내용 ····· 111
<표 1-2-8> 교통활동 모형 결과파일 ····· 113
<표 1-2-9> network 필드 내용 ····· 113
<표 1-2-10> event.xml 필드 내용 ····· 113
<표 1-2-11> 개발정의서 ····· 121
<표 1-3-1> 목표 및 주요 연구내용 ····· 125
<표 1-3-2> 개발정의서 ····· 130
<표 1-4-1> 프로그램 변환 결과 ····· 135
<표 1-4-2> CALINE INPUT 배출량 정보 항목 ····· 137
<표 1-4-3> CALINE OUTPUT 가공 전, 후 내용 ····· 138
<표 1-4-4> 통합대기확산지수(CAI) 지표 변경 ····· 139
<표 1-4-5> 개발정의서 ····· 142
<표 1-4-6> 프로그램 변환 결과 ····· 144
<표 1-4-7> 2013년 수원기상대에서 수집된 기상자료 ····· 145
<표 1-4-8> 대기환경예측모형(CALINE3) 입력 파일 ····· 147
<표 1-4-9> 도시스케일 분석 결과 (오전첨두 2시간 평균농도) ····· 148
<표 1-5-1> 연구목표 및 주요 연구내용 ····· 150
<표 1-5-2> 통합대기환경지수(CAI)의 등급 ····· 151
<표 1-5-3> 도로 서비스수준별 교통류 상태 ····· 152
<표 1-5-4> 교통혼잡 정도와 시간가치손실비용 표출 단계 ····· 155
<표 1-5-5> 혼잡기준속도 설정 ····· 155
<표 1-5-6> 통행목적별, 차종별 시간가치 비용 ····· 156
<표 1-5-7> 권역별·차종별 재차인원 ····· 156
<표 1-5-8> 차종별·속도별 대기오염비용 원단위 (승용, 버스) ····· 158
<표 1-5-9> 차종별·속도별 대기오염비용 원단위 (트럭) ····· 159
<표 1-5-10> 고속도로 기분구간 서비스수준 ····· 161
<표 1-5-11> 간선도로의 평균통행속도별 서비스수준 ····· 161
<표 1-5-12> 2차로도로의 서비스수준 ····· 162
<표 1-5-13> 탄소기반 도로성능평가지표 활용을 위한 가이드라인의 구성 및 특징 ····· 162
<표 1-5-14> 전문가 평가 의견 ····· 163
<표 1-6-1> 목표 및 주요 연구내용 ····· 169

<표 1-6-2> 시기별 사업기간 ····· 176
<표 1-6-3> 기존연구를 기초로 추정된 개발사업 단계별 시기 추정일 ····· 177
<표 1-6-4> 주거용도 연면적 비율 추정 ····· 178
<표 1-6-5> 택지개발사업 지역별 분류 ····· 179
<표 1-6-6> 도시개발사업 지역별 분류 ····· 180
<표 1-6-7> 수원시와의 주요 협의내용 ····· 182
<표 1-6-8> 수원시 노면전차 대중교통전용지구 시나리오 ····· 184
<표 1-6-9> 수원역∽중동사거리∽동수원사거리 구간 운행 8개 노선 대체 경로 ····· 185
<표 1-6-10> 수원역∽교동사거리∽인계사거리 구간 운행 3개 노선 대체 경로 ····· 185
<표 1-6-11> 장안문∽중동사거리∽동수원사거리 구간 운행 9개 노선 대체 경로 ····· 186
<표 1-6-12> 교동사거리∽장안문 구간 운행 13개 노선 대체 경로 ····· 186
<표 1-6-13> 창룡대로~장안문/중동사거리 구간 운행 7개 노선 대체 경로 ····· 186
<표 1-6-14> 가구수 변화 예측을 위한 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처 ····· 191
<표 1-6-15> 가구유형별 변화 예측량 ····· 191
<표 1-6-16> 가구유형별 형성률 ····· 192
<표 1-6-17> 가구유형별 소멸·전입·전출률 ····· 192
<표 1-6-18> 가구유형 간 변화율 ····· 193
<표 1-6-19> 가구의 자발적 이동률 산정 방법과 자료 출처 ····· 194
<표 1-6-20> 가구유형별 자발적 이동률 ····· 194
<표 1-6-21> 일자리수 변화 예측을 위한 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처 ····· 195
<표 1-6-22> 1993-2010년까지의 산업유형별 일자리수 변화 추세함수 ····· 195
<표 1-6-23> 산업유형별 성장률(GrowFac) ····· 196
<표 1-6-24> 산업유형별 일자리수 변화 예측량 ····· 197
<표 1-6-25> 직장 이동률 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처 ····· 198
<표 1-6-26> 산업유형별 사업체이동 확률 ····· 199
<표 1-6-27> 산업유형별 이동률 ····· 200
<표 1-6-28> 가구유형별 고용 하위모형 파라미터 정산 결과 ····· 201
<표 1-6-29> 개발 하위모형의 개발 총량 예측 파라미터 정산을 위한 추세연장 수식 ····· 202
<표 1-6-30> 개발 하위모형의 토지이용유형별 총량 예측 파라미터 ····· 203
<표 1-6-31> 개발 하위모형의 개발 입지 예측 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처 ···· 204
<표 1-6-32> 년도별 표준건축비 고시자료 ····· 204
<표 1-6-33> 단위면적 당 건설비용에 대한 장래 체수함수 파라미터 ····· 205
<표 1-6-34> 입지 하위모형 관련 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처 ····· 206
<표 1-6-35> 가구유형별 장래 월평균 소득액 추정 결과 ····· 206
<표 1-6-36> 주거입지 하위모형 관련 로짓분석 결과 ····· 207
<표 1-6-37> 주거입지 하위모형 관련 로짓분석 결과 ····· 208
<표 1-6-38> 교통모델의 통행목적 구분 ····· 209
<표 1-6-39> 화이트칼라와 블루칼라 근로자/산업 유형별 비율 구축방법과 자료출처 ····· 210
<표 1-6-40> 직업 분류 기준 ····· 210
<표 1-6-41> 가구유형별 가상 자료 작성방법과 자료출처 ····· 211
<표 1-6-42> 가구유형별 가상 자료 작성을 위한 추정식 파라미터 ····· 211

<표 1-6-43> 가정기반 통행생성모델 설명력 ····· 212
<표 1-6-44> 가정기반 통행생성모델 독립변수 파라미터 ····· 213
<표 1-6-45> 가정기반 통행생성모델 설명력 ····· 215
<표 1-6-46> 가정기반 통행생성모델 독립변수 파라미터 ····· 215
<표 1-6-47> 비가정기반 통행생성 및 유인모델 설명력 ····· 216
<표 1-6-48> 비가정기반 통행생성 및 유인모델 독립변수 파라미터 ····· 216
<표 1-6-49> 화물통행 생성 및 유인모델 설명력 ····· 218
<표 1-6-50> 화물통행 생성 및 유인모델 독립변수 파라미터 ····· 218
<표 1-6-51> 통행목적별 가구통행실태조사 자료와 모델 산정값 비교 ····· 218
<표 1-6-52> 가정기반 통행생성모델 독립변수 파라미터 ····· 219
<표 1-6-53> 통행분포 중력모형의 통행 유인 및 비용산출 관련 요인 ····· 221
<표 1-6-54> 통행배정 파라미터 수정 후 Paired t-test 결과 ····· 223
<표 1-6-55> 수단선택 효용요인 ····· 224
<표 1-6-56> 통행배정 파라미터 수정 후 Paired t-test 결과 ····· 225
<표 1-6-57> 모델 기준년도와 목표년도 ····· 228
<표 1-6-58> 모델 상세 설정치 ····· 228
<표 1-6-59> 가구와 고용의 활동 유형 구분 ····· 229
<표 1-6-60> 토지이용 유형 구분 ····· 229
<표 1-6-61> 시범도시의 공간단위 구분 ····· 231
<표 1-6-62> 토지이용모델의 주요 입력데이터 구축 내용 ····· 233
<표 1-6-63> 활동주체 관련 정보의 구축방법과 자료출처 ····· 233
<표 1-6-64> 인구유형 재분류 기준 ····· 234
<표 1-6-65> 산업유형 재분류 기준 ····· 235
<표 1-6-66> 공간 관련 정보의 구축방법과 자료출처 ····· 236
<표 1-6-67> 자동차 소유수준 정보의 구축방법과 자료출처 ····· 237
<표 1-6-68> 존간 거리 정보의 구축방법과 자료출처 ····· 237
<표 1-6-69> 통행패턴 정보의 구축방법과 자료출처 ····· 238
<표 1-6-70> 토지이용모델의 주요 입력데이터 구축 내용 ····· 238
<표 1-6-71> 탄소배출량 모형 적용 가이드라인의 구성 및 특징 ····· 270
<표 1-6-72> 전문가 평가 의견 ····· 270
<표 1-7-1> 연차별 연구목표와 주요 연구내용 ····· 275
<표 1-7-2> 논리 검수 후 최종자료 ····· 277
<표 1-7-3> 네트워크 구성 ····· 284
<표 1-7-4> 합성인구 생성 결과 비교(성별) ····· 290
<표 1-7-5> 합성인구 생성 결과 비교(연령별) ····· 290
<표 1-7-6> 합성인구 생성 결과 비교(직업별) ····· 291
<표 1-7-7> 시범도시 내 개별 인구(agent) 데이터 분류 ····· 291
<표 1-7-8> 시범도시 내 활동유형에 따른 통행목적 분류 ····· 292
<표 1-7-9> 모의 담금질 기법에 의한 합성인구의 활동유형 선택 확률 ····· 292
<표 1-7-10> 시범도시 교통량 정산 결과 ····· 296
<표 1-7-11> MATSim의 출력자료 ····· 297

<표 1-7-12> 장안사거리 부근 사전사후 교통량 비교 분석 ····· 300
<표 1-7-13> 매향교 부근 사전사후 교통량 비교 분석 ····· 300
<표 1-7-14> 화서문로타리 부근 사전사후 교통량 비교 분석 ····· 300
<표 1-7-15> 주요 통행 이동수단변화 ····· 301
<표 1-7-16> 정조로 통행 속도 분석 결과 ····· 303
<표 1-7-17> 매산로 통행 속도 분석 결과 ····· 304
<표 1-7-18> 권광로 통행 속도 분석 결과 ····· 304
<표 1-7-19> 권선로 통행 속도 분석 결과 ····· 304
<표 1-7-20> 시나리오 분석 결과 ····· 306
<표 1-7-21> 시나리오 분석 결과 ····· 307
<표 1-7-22> MATSim Singapore Model ····· 310
<표 1-8-1> 목표 및 주요 연구내용 ····· 314
<표 1-8-2> 건축물 용도별 이산화탄소 배출 원단위 ····· 318
<표 1-8-3> 토지이용 모형 DELTA 분류의 건축물 용도별 이산화탄소 배출 원단위 ····· 319
<표 1-8-4> 미시기반 모형 비교표 ····· 349
<표 1-8-5> 분석지역 스케일별 입력자료 비교 ····· 350
<표 1-8-6> MOVES 적용방안 검토결과 ····· 352
<표 1-8-7> MOVES의 배출맵의 차종 구분 ····· 354
<표 1-8-8> 차량 매칭안 ····· 355
<표 1-8-9> VSP 계산식의 차종별 계수 ····· 359
<표 1-8-10> OPmode 구분 기준 ····· 360
<표 1-8-11> MOVES의 배출기준 차종 ····· 363
<표 1-8-12> MOVES 배출맵의 차종 구분에 따른 국내 배출계수 기준 차종 재분류 ····· 363
<표 1-8-13> 이산화탄소(CO_2) 미시기반 배출계수표 ····· 365
<표 1-8-14> 국립환경과학원 실험 주행궤적 ····· 366
<표 1-8-15> 차종별 보정계수 ····· 367
<표 1-8-16> 이산화탄소(CO_2) 미시기반 배출계수표 ····· 368
<표 1-8-17> 한국차량의 차령 비율 ····· 370
<표 1-8-18> MOVES의 배출기준 차종별 차령 비율 적용치 ····· 370
<표 1-8-19> 일산화탄소(CO) 미시기반 배출계수표 ····· 371
<표 1-8-20> NOx 미시기반 배출계수표 ····· 372
<표 1-8-21> PM 미시기반 배출계수표 ····· 372
<표 1-8-22> 차종별 보정계수 ····· 373
<표 1-8-23> 일산화탄소(CO) 미시기반 배출계수표 ····· 374
<표 1-8-24> 질소산화물(NO_X) 미시기반 배출계수표 ····· 375
<표 1-8-25> 미세먼지(PM) 미시기반 배출계수표 ····· 376
<표 1-8-26> 차량비출력(VSP) 계산식의 차종별 계수 A, B, C ····· 379
<표 1-8-27> 운행모드 (Operating Mode) 정의 ····· 380
<표 1-8-28> 개별차량 미시기반 배출량 산정 예 ····· 381
<표 1-8-29> 장래 배출계수표 구분 ····· 384
<표 1-8-30> 도시스케일_토지이용 면적 ····· 385

<표 1-8-31> 도시스케일_토지이용 배출량 ····· 385
<표 1-8-32> 도시스케일_교통량 ····· 386
<표 1-8-33> 도시스케일_도로교통 배출량 ····· 386
<표 1-8-34> 지구스케일_교통량 ····· 387
<표 1-8-35> 지구스케일_도로교통 배출량 ····· 388
<표 1-8-36> 대표차종과 가장 근접한 MOVES차종 ····· 394
<표 1-8-37> 국립환경과학원 NIER 주행궤적 정보 ····· 395
<표 1-8-38> 차종별 기본 배출계수 ····· 397
<표 1-8-39> 첨두 집중율 완화 시나리오의 시간대별 수요 ····· 402
<표 1-8-40> 첨두 집중율 완화 시나리오 결과 ····· 402
<표 1-8-41> 차량 형태 분포 ····· 403
<표 1-8-42> 차량 교체 시나리오 결과 ····· 403
<표 1-8-43> 재차 인원 증가 시나리오 결과 ····· 404
<표 1-8-44> 교통사고와 사고 관리에 따른 MOE 변화 ····· 405
<표 1-8-45> 대안별 오염물질 배출량 변화 ····· 407
<표 1-8-46> 탄소배출량 모형 적용 가이드라인의 구성 및 특징 ····· 408
<표 1-8-47> 전문가 평가 의견 ····· 408
<표 1-8-48> 평균속도기반을 산정한 배출량 값 ····· 412
<표 1-8-49> MOVES Lite-K로 산정한 배출량 산정결과 ····· 412
<표 1-8-50> 초 단위 주행 특성을 반영하였을 때의 효과 ····· 413
<표 1-9-1> 대기환경 예측 모형의 특성 비교 ····· 418
<표 1-9-2> 연구목표 및 주요 연구내용 ····· 419
<표 1-9-3> 미국 EPA의 우선·권장모형 특징 요약 ····· 421
<표 1-9-4> 환경부 환경영향평가에 적용 가능한 우선·권장 모형 선정결과 ····· 422
<표 1-9-5> 환경부 환경영향평가에 적용 가능한 대안모형 및 정밀 모형 선정결과 ····· 423
<표 1-9-6> CALINE3 모형 수행에 필요한 기상 항목 ····· 431
<표 1-9-7> CALINE3 모형의 입력에 필요한 기본 배출원 항목 ····· 431
<표 1-9-8> TD6201 형식 ····· 432
<표 1-9-9> CD144 형식 ····· 433
<표 1-9-10> AERMOD 모형에 필요한 기본 배출원 항목 ····· 434
<표 1-9-11> CALINE3 모형의 입력 자료 ····· 435
<표 1-9-12> AERMOD 입력 파일의 키워드(Keyword) 설명 ····· 438
<표 1-9-13> CALINE3 모형 입력을 위한 배출원 제원 ····· 443
<표 1-9-14> CALINE3 모형 배출량 ····· 444
<표 1-9-15> CALINE3 모형 입력을 위한 배출원 제원 ····· 445
<표 1-9-16> CALINE3 모형 배출량 ····· 445
<표 1-9-17> 토양종류에 따른 표면 거칠기 ····· 446
<표 1-9-18> CALINE 3 모형 구축을 위한 값 ····· 447
<표 1-9-19> CO 경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값 ····· 448
<표 1-9-20> SO 경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값 ····· 448
<표 1-9-21> RE 경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값 ····· 449

<표 1-9-22> ME 경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값 ····· 449
<표 1-9-23> O경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값 ····· 449
<표 1-9-24> 2013년 수원기상대에서 수집된 기상자료 ····· 456
<표 1-9-25> 델프트 시의 공간 구성 ····· 462
<표 1-9-26> 도시정책 시나리오 세부내용 ····· 462
<표 1-9-27> 연도별·시나리오별 총 토지이용면적의 변화 ····· 463
<표 1-9-28> 도시 정책 시나리오별·지역별 토지이용면적 ····· 464
<표 1-9-29> 도시 정책 시나리오별 토지이용종류에 따른 면적 ····· 466
<표 1-9-30> 건축물의 단위난방부하 및 급탕부하(kcal/㎡·hr) ····· 467
<표 1-9-31> 공동주택의 단위난방부하 ····· 468
<표 1-9-32> 취사용 단위연료(전력)부하 ····· 468
<표 1-9-33> 비산업연소부문 기타보일러 배출계수 ····· 469
<표 1-9-34> 토지이용종류에 따른 대기오염물질 배출량 계산인자 ····· 470
<표 1-9-35> 시나리오별 지역별 대기오염물질 배출량 ····· 471
<표 1-9-36> 도시 정책 시나리오별 토지이용종류에 따른 PM10 배출량 ····· 473
<표 1-9-37> 시나리오별 토지이용종류에 따른 NOx 배출량 ····· 474
<표 1-9-38> 대기확산모형 활용을 위한 가이드라인의 구성 및 특징 ····· 487
<표 1-9-39> 전문가 평가 의견 ····· 488
<표 2-1-1> 거시적 모형과 미시적 모형 비교 ····· 491
<표 2-1-2> 기존 연구 ····· 491
<표 2-2-1> 국외 해외협력기관 인프라 ····· 497
<표 2-2-2> 토지이용・교통 관련 통합모형 및 특성 ····· 498
<표 2-2-3> 토지이용-교통 정책 평가지표 ····· 501
<표 2-2-4> 국외 활동기반 모형 연구 ····· 504
<표 2-3-1> 중복성 검토 및 차별화 방안 ····· 518

<그림 차례>

<그림 1-1-1> 프로그램 개념도 ····· 1
<그림 1-1-2> 사용자 환경 설계(예) ····· 2
<그림 1-1-3> 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리프로그램 아키텍처 ····· 4
<그림 1-1-4> 시스템 실행화면 및 화면 구성 ····· 4
<그림 1-1-5> 분석결과 유형 ····· 5
<그림 1-1-6> 상세분석 레포팅 ····· 5
<그림 1-1-7> 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리프로그램 아키텍처 ····· 57
<그림 1-1-8> 프로그램 메인 화면 ····· 62
<그림 1-1-9> 프로젝트 목록 ····· 63
<그림 1-1-10> 프로젝트 생성 ····· 64
<그림 1-1-11> 도시스케일 모형 입력 ····· 67
<그림 1-1-12> 지구스케일 모형 입력 ····· 67
<그림 1-1-13> 사용자정의 모형 입력 ····· 68
<그림 1-1-14> 모형 입력 완료 후 실행 프로세스 ····· 69
<그림 1-1-15> 대기모형 실행 ····· 69
<그림 1-1-16> 모형입력 완료 ····· 71
<그림 1-1-17> 시나리오 분석 ····· 72
<그림 1-1-18> 결과 레포트 ····· 75
<그림 1-1-19> 토지이용-교통 모형-인구 결과 ····· 75
<그림 1-1-20> 토지이용-교통 모형-토지이용 결과 ····· 76
<그림 1-1-21> 토지이용-교통 모형-통행량 결과 ····· 78
<그림 1-1-22> 교통활동 모형-통행량 결과 ····· 78
<그림 1-1-23> 탄소배출량-행정구역별 결과 ····· 79
<그림 1-1-24> 탄소배출량-행정구역별 결과 (시나리오 1개) ····· 80
<그림 1-1-25> 탄소배출량-도로별 결과 ····· 80
<그림 1-1-26> 탄소배출량-도로별 결과 ····· 81
<그림 1-1-27> 대기확산-대기확산 결과 ····· 82
<그림 1-1-28> 대기확산-대기확산지수 결과 ····· 82
<그림 1-1-29> 도로성능평가-도로서비스수준 결과 ····· 83
<그림 1-1-30> 도로성능평가-도로성능지표 결과 ····· 83
<그림 1-1-31> 종합분석 ····· 84
<그림 1-1-32> 종합분석 결과 레포트 ····· 84
<그림 1-1-33> 종합분석 결과 차트 및 상세 데이터 ····· 85
<그림 1-1-34> 플랫폼 - 교통계획 결과 ····· 86
<그림 1-1-35> URL 호출을 통한 배출량 GIS 화면 ····· 90
<그림 1-1-36> 분석조건 이동 ····· 92
<그림 1-1-37> UI 변경안 ····· 92
<그림 1-1-38> 분석조건 메뉴로 이동 ····· 94

<그림 1-1-39> 분석결과 추가정보 표출 ····· 94
<그림 1-1-40> 지표관리 메뉴 추가 ····· 95
<그림 1-1-41> 지표 이력관리 ····· 96
<그림 1-1-42> GIS 엔진 보완 ····· 96
<그림 1-1-43> 배출량 산정-도로각도 필드추가 ····· 97
<그림 1-2-1> 시나리오기반 도시교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램 ····· 100
<그림 1-2-2> html mock-up 화면 ····· 101
<그림 1-2-3> 토지이용-교통통합모형 활용 탄소배출량 예측결과 표출안 ····· 101
<그림 1-2-4> 활동기반 교통계획 모형기반 활용 탄소배출량 예측결과 표출안 ····· 102
<그림 1-2-5> 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출프로그램 화면 ····· 102
<그림 1-2-6> Delta 모형 output 데이터 표출방안 ····· 106
<그림 1-2-7> OmniTrans 모형 output 데이터 표출방안 ····· 107
<그림 1-2-8> MATSim 모형 Output 교통량 데이터 표출방안 ····· 107
<그림 1-2-9> html mock-up 화면 ····· 108
<그림 1-2-10> DELTA 모형 GIS 형상 데이터 ····· 109
<그림 1-2-11> Delta 모형 데이터 변환 ····· 110
<그림 1-2-12> OMNITRANS 모형 GIS 형상 데이터 ····· 111
<그림 1-2-13> OmniTrans 모형 데이터 변환 ····· 112
<그림 1-2-14> MATSIM 모형 GIS 형상 데이터 ····· 112
<그림 1-2-15> Counts 파일내용 ····· 114
<그림 1-2-16> MATSim 모형 데이터 변환 ····· 114
<그림 1-2-17> 토지이용-교통모형 관련 DFD (Data Flow Diagram) ····· 115
<그림 1-2-18> 토지이용-교통모형 관련 메뉴구조도 ····· 116
<그림 1-2-19> 존별 탄소배출량 산정 화면 설계 ····· 116
<그림 1-2-20> 링크별 탄소배출량 산정 화면 설계 ····· 117
<그림 1-2-21> 시나리오기반 효과평가 GIS 표출체계 구축 ····· 117
<그림 1-2-22> 교통활동 모형 관련 DFD (Data Flow Diagram) ····· 118
<그림 1-2-23> 교통활동 모형 관련 메뉴 구조도 ····· 119
<그림 1-2-24> 교통량 표출 화면 설계 ····· 119
<그림 1-2-25> 교통량 분석조건 화면 설계 ····· 120
<그림 1-2-26> 도시공간-교통 통합탄소배출관리 프로그램 주요화면 ····· 120
<그림 1-2-27> 행정구역별 탄소 배출량 표출 ····· 122
<그림 1-2-28> 도로별 탄소 배출량 표출 ····· 122
<그림 1-3-1> 탄소 배출량 산정 플랫폼 ····· 123
<그림 1-3-2> 탄소배출량 플랫폼 사용자 환경 표출안 ····· 123
<그림 1-3-3> 사용자정의 교통 활동 모형 기반 배출량 산정 플랫폼 ····· 124
<그림 1-3-4> 사용자 정의 토지-교통모형 기반 배출량 산정 플랫폼 ····· 124
<그림 1-3-5> 탄소배출량 산정 플랫폼 DFD (Data Flow Diagram) ····· 126
<그림 1-3-6> 탄소 배출량 산정 플랫폼 메뉴 구조도 ····· 127
<그림 1-3-7> 토지이용 정보입력 화면설계 ····· 127
<그림 1-3-8> 존별 탄소배출량 산정 화면설계 ····· 128

<그림 1-3-9> 차종별 탄소배출량 산정 화면설계 ····· 128
<그림 1-3-10> 탄소배출량 산정플랫폼 주요화면 ····· 129
<그림 1-3-11> 토지이용 모형 기반 배출량 산정 플랫폼 ····· 131
<그림 1-3-12> 교통계획 모형 기반 배출량 산정 플랫폼 ····· 131
<그림 1-3-13> 사용자정의 교통활동 모형 기반 배출량 산정 플랫폼 ····· 132
<그림 1-3-14> 사용자정의 교통계획 모형 기반 배출량 산정 플랫폼 결과파일 ····· 132
<그림 1-3-15> 교통계획 지표 ····· 133
<그림 1-3-16> 교통활동 지표 ····· 133
<그림 1-4-1> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출프로그램 ····· 134
<그림 1-4-2> 탄소배출 영향권 예측결과 표출안 ····· 134
<그림 1-4-3> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 화면 ····· 135
<그림 1-4-4> 대기확산 모형 실행 결과 (NOx) ····· 136
<그림 1-4-5> CALINE INPUT 배출량 정보 (ASCII) ····· 137
<그림 1-4-6> 통합대기확산지수(CAI) 산출방법 ····· 138
<그림 1-4-7> 대기환경 예측 모형 관련 DFD (Data Flow Diagram) ····· 139
<그림 1-4-8> 대기환경 예측 모형 관련 메뉴 구조도 ····· 140
<그림 1-4-9> 대기확산 표출 화면설계 ····· 140
<그림 1-4-10> 대기확산 주요화면 ····· 141
<그림 1-4-11> 대기확산 표출 (등농도단위) ····· 143
<그림 1-4-12> 대기확산 표출 (격자단위) ····· 143
<그림 1-4-13> 대기환경예측모형(CALINE3) 변환 ····· 144
<그림 1-4-14> ActiveX 실행 ····· 145
<그림 1-4-15> SRTM자료(수원지역)를 격자형태로 변환 ····· 146
<그림 1-4-16> 대기확산 모형 실행 결과 (도시스케일-CO) ····· 149
<그림 1-4-17> 대기확산 모형 실행 결과 (NOx) ····· 149
<그림 1-4-18> 대기확산 모형 실행 결과 (PM) ····· 149
<그림 1-5-1> 탄소저감 통합 플랫폼을 활용한 분석 흐름의 예시 ····· 153
<그림 1-5-2> KTDB의 링크속성 분류체계 및 도로용량편람 도로등급분류체계 ····· 154
<그림 1-5-3> 분석을 위한 도로등급 Matching 분류 ····· 154
<그림 1-5-4> 관심지역 설정의 예 ····· 160
<그림 1-6-1> 통합모델 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크 ····· 164
<그림 1-6-2> 거시-미시 연계기반 탄소저감정책 평가체계 프레임 워크 ····· 164
<그림 1-6-3> 시나리오 매트릭스 ····· 165
<그림 1-6-4> 토지이용모델 구동 프로세스 ····· 166
<그림 1-6-5> 교통모델 구동 프로세스 ····· 167
<그림 1-6-6> 토지이용-교통 통합모형 구동절차 ····· 168
<그림 1-6-7> 토지이용-교통 통합모형의 구동설계도 ····· 170
<그림 1-6-8> 통합모델 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크 ····· 171
<그림 1-6-9> 거시-미시 연계기반 탄소저감정책 평가체계 프레임 워크 ····· 172
<그림 1-6-10> 도시배치 대안시나리오 매트릭스 개념도 ····· 173
<그림 1-6-11> 정책요소의 조합을 통한 시나리오 치계 ····· 174

<그림 1-6-12> 시나리오 매트릭스 ····· 175
<그림 1-6-13> BAU 시나리오 정책파일 ····· 181
<그림 1-6-14> 수원시 노면전차 계획안 ····· 182
<그림 1-6-15> 수원시 노면전차 대중교통전용지구 대상지 ····· 183
<그림 1-6-16> 수원시 노면전차 대중교통전용지구 버스운행구간별 시나리오 분석결과 ···· 185
<그림 1-6-17> 토지이용부분 대안시나리오 적용 대상지 ····· 187
<그림 2-6-18> 대안시나리오 1 매트릭스 ····· 188
<그림 2-6-19> 대안시나리오 2 매트릭스 ····· 188
<그림 1-6-20> 가구수 변화 예측 관련 파라미터 정산 개념 ····· 193
<그림 1-6-21> 연평균 기업 이동 확률 산정 개념 ····· 198
<그림 1-6-22> 차량 소유여부 가상자료 생성자료(예시) ····· 212
<그림 1-6-23> 파라미터 조정 전후 통행분포 비교(통근통행) ····· 222
<그림 1-6-24> 파라미터 조정 전후 통행분포 비교(통학통행) ····· 222
<그림 1-6-25> 파라미터 조정 전후 모델 정합성 비교(통학통행) ····· 222
<그림 1-6-26> 수단선택 네스티드 로짓모형 구성도 ····· 224
<그림 1-6-27> 파라미터 조정 전후 수단선태 비교(통근통행) ····· 225
<그림 1-6-28> 모형의 분석결과와 Screen line 및 Cordon line 위치점 ····· 226
<그림 1-6-29> 모형의 분석결과와 실제 통행량 비교(통행배정 파라미터 수정 전) ····· 226
<그림 1-6-30> 모형의 분석결과와 실제 통행량 비교(통행배정 파라미터 수정 후) ····· 227
<그림 1-6-31> 시범도시의 공간단위 구분 ····· 230
<그림 1-6-32> 중복되는 노드(좌)와 남겨진 노드 테이블(우) ····· 239
<그림 1-6-33> 시종점 노드 두 개가 같은 네트워크 중 하나의 네트워크 제거 ····· 240
<그림 1-6-34> 버스 전용차선을 포함한 네트워크 (서울시 중심) ····· 240
<그림 1-6-35> 센트로이드와 노드간 연결선 ····· 241
<그림 1-6-36> 도시철도역과 노드간의 연결선 ····· 242
<그림 1-6-37> 각 노선별로 거치는 역 순서(좌), 각 노선별 운행시간표(우) ····· 243
<그림 1-6-38> 수원시 인구관련 BAU 시나리오 분석결과 ····· 245
<그림 1-6-39> 트램지역 인구관련 BAU 시나리오 분석결과 ····· 246
<그림 1-6-40> 수원시 가구수 관련 BAU 시나리오 분석결과 ····· 247
<그림 1-6-41> 트램지역 가구수 관련 BAU 시나리오 분석결과 ····· 248
<그림 1-6-42> 수원시 산업유형별 고용자수 관련 BAU 시나리오 분석결과 ····· 249
<그림 1-6-43> 트램지역 산업유형별 고용자수 관련 BAU 시나리오 분석결과 ····· 250
<그림 1-6-44> 수원시 통행량 관련 BAU 시나리오 분석결과(도로 통행량) ····· 251
<그림 1-6-45> 수원시 통행량 관련 BAU 시나리오 분석결과(지하철 통행량) ····· 251
<그림 1-6-46> 트램지역 통행량 관련 BAU 시나리오 분석결과(도로 통행량) ····· 252
<그림 1-6-47> 트램지역 통행량 관련 BAU 시나리오 분석결과(지하철 통행량) ····· 252
<그림 1-6-48> 수원시 도로별 승용차/화물 통행량 BAU 시나리오 분석결과 ····· 253
<그림 1-6-49> 수원시 도로별 대중교통 통행량 BAU 시나리오 분석결과 ····· 253
<그림 1-6-50> 수원시 주거 임대료 관련 대안시나리오 효과 분석결과 ····· 254
<그림 1-6-51> 트램지역 주거 임대료 관련 대안시나리오 효과 분석결과 ····· 255
<그림 1-6-52> 수원시 인구 관련 대안시나리오 효과 분석결과 ····· 256

<그림 1-6-53> 트램지역 인구 관련 대안시나리오 효과 분석결과 ····· 257
<그림 1-6-54> 수원시 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(1인가구) ····· 257
<그림 1-6-55> 수원시 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(2인가구) ····· 258
<그림 1-6-56> 수원시 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(3인이상 가구) ····· 258
<그림 1-6-57> 트램지역 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(1인가구) ····· 260
<그림 1-6-58> 트램지역 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(2인가구) ····· 260
<그림 1-6-59> 트램지역 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(3인이상 가구) ····· 260
<그림 1-6-60> 수원시 트램 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과 ····· 261
<그림 1-6-61> 수원시 승용/화물차 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과 ····· 262
<그림 1-6-62> 트램지역 승용/화물차 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과 ····· 263
<그림 1-6-63> 수원시 대중교통 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과 ····· 264
<그림 1-6-64> 수원시 버스/트램 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과 ····· 264
<그림 1-6-65> 수원시 지하철 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과 ····· 264
<그림 1-6-66> 트램지역 대중교통 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과 ····· 265
<그림 1-6-67> 트램지역 버스/트램 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과 ····· 266
<그림 1-6-68> 수원시 지하철 지하철 관련 대안시나리오 비교 분석결과 ····· 266
<그림 1-6-69> 수원시 도로별 승용차/화물차 관련 BAU 대비 대안시나리오 1 증감량 ····· 268
<그림 1-6-70> 수원시 도로별 대중교통 관련 BAU 대비 대안시나리오 1 증감량 ····· 268
<그림 1-6-71> 수원시 도로별 승용차/화물차 관련 BAU 대비 대안시나리오 2 증감량 ····· 269
<그림 1-6-72> 수원시 도로별 대중교통 관련 BAU 대비 대안시나리오 2 증감량 ····· 269
<그림 1-7-1> 정보기술기반 Multi-Agent 교통시뮬레이션 연구 ····· 273
<그림 1-7-2> 활동기반 교통모형 개념도 ····· 274
<그림 1-7-3> 연구수행 과정 ····· 275
<그림 1-7-4> 개별행태모형 프로세스 ····· 277
<그림 1-7-5> 도시특성별 Agent 24시간 활동 프로파일(예시) ····· 278
<그림 1-7-6> 시뮬레이션 구축 현황 ····· 278
<그림 1-7-7> 통행시간의 산출 및 검증 ····· 279
<그림 1-7-8> 교통량 데이터의 산출 및 검증 ····· 279
<그림 1-7-9> 수원시 팔달구의 대한 통행거리 산출결과 ····· 279
<그림 1-7-10> 초당데이터의 산출목록 ····· 280
<그림 1-7-11> 분석대상지역 시뮬레이션 모형 구축 ····· 281
<그림 1-7-12> 교통량 데이터의 산출 및 검증 ····· 281
<그림 1-7-13> 모의 담금질(Simulated Annealing : SA) 기법 알고리즘 ····· 282
<그림 1-7-14> 시뮬레이션 구축 현황 ····· 283
<그림 1-7-15> 네트워크 예시 ····· 284
<그림 1-7-16> KTDB 제공 네트워크(MATSim 구현) ····· 285
<그림 1-7-17> 수원시 네트워크 구현 ····· 285
<그림 1-7-18> 시설물(Facility)정보 예시 ····· 286
<그림 1-7-19> 활동스케줄 구축 방법 ····· 287
<그림 1-7-20> 합성인구 생성결과 비교(팔달구) ····· 288
<그림 1-7-21> 합성인구 생성결과 비교(장안구) ····· 288

<그림 1-7-22> 합성인구 생성결과 비교(권선구) ····· 289
<그림 1-7-23> 합성인구 생성결과 비교(영통구) ····· 289
<그림 1-7-24> 시간대별 통행빈도 분포 ····· 293
<그림 1-7-25> 0~7세이며 주부/무직/미취학아동(직업2)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포 ····· 293
<그림 1-7-26> 8~19세이며 학생(직업1)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포 ····· 293
<그림 1-7-27> 20~29세이며 학생(직업1)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포 ····· 294
<그림 1-7-28> 30~39세이며 주부/미취학아동(직업2)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포 ····· 294
<그림 1-7-29> 40~65세이며 주부/미취학아동(직업2)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포 ····· 294
<그림 1-7-30> 40~65세이며 행정/사무/관리직(직업4)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포 ····· 295
<그림 1-7-31> 활동 스케줄 구축 ····· 295
<그림 1-7-32> 교통량 데이터의 산출 및 검증 ····· 297
<그림 1-7-33> MATSim에서 산출되는 속도데이터의 유형 ····· 298
<그림 1-7-34> 수원시 팔달구의 대한 통행거리 산출결과 ····· 298
<그림 1-7-35> 차없는 거리 개선 전·후 ····· 299
<그림 1-7-36> '차없는 거리' 대상 지역 ····· 303
<그림 1-7-37> 출근시차제 Plan data 구축 ····· 305
<그림 1-7-38> 첨두시 활동기반 시뮬레이션 결과 ····· 306
<그림 1-7-39> 일 통행량 변화(정조로(장안문-팔달문)) ····· 306
<그림 1-7-40> 통행속도 변화(정조로(장안문-팔달문)) ····· 307
<그림 1-7-41> 시나리오 분석결과 CO_2 배출량(오전첨두) ····· 307
<그림 1-7-42> 첨두시 활동기반 시뮬레이션 결과 ····· 308
<그림 1-7-43> 일 통행량 변화 ····· 308
<그림 1-7-44> 통행속도 변화(정조로(장안문-팔달문)) ····· 309
<그림 1-7-45> 시나리오 분석결과 CO_2 배출량(오전첨두) ····· 309
<그림 1-8-1> 탄소배출량 산정 흐름도 ····· 312
<그림 1-8-2> 탄소배출량 산정 방법론 구분 ····· 313
<그림 1-8-3> 탄소배출량 산정 프로그램의 구상도 ····· 315
<그림 1-8-4> 사용자 인터페이스-분석내용 설정 및 모형자료 입력창 ····· 316
<그림 1-8-5> 사용자 인터페이스-분석내용 표출 예시 ····· 316
<그림 1-8-6> 사용자 인터페이스-분석내용 표출 예시 ····· 317
<그림 1-8-7> 사용자 인터페이스-분석내용 표출 예시 ····· 317
<그림 1-8-8> 배출계수DB 입력 예시 ····· 319
<그림 1-8-9> 차종 재분류를 위한 자동차 등록 정보 ····· 320
<그림 1-8-10> 토지이용 탄소배출량 산정 절차 ····· 321
<그림 1-8-11> 평균속도기반 탄소배출량 산정 절차 ····· 322
<그림 1-8-12> 세부과제의 개별 모형과 탄소배출량 관리 모형의 관계도 ····· 324
<그림 1-8-13> 탄소관리를 위한 통합 데이터 흐름 ····· 327
<그림 1-8-14> 토지교통 통합 모형 결과 표출 DB 물리 ERD ····· 329
<그림 1-8-15> 토지교통 통합 모형 결과 표출 DB 논리 ERD ····· 331
<그림 1-8-16> 활동기반 교통 모형 결과 표출 DB 물리 ERD ····· 333
<그림 1-8-17> 활동기반 교통 모형 결과 표출 DB 논리 ERD ····· 335

<그림 1-8-18> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 물리 ERD ····· 337
<그림 1-8-19> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 논리 ERD ····· 339
<그림 1-8-20> 인간활동-공간-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 물리 ERD ····· 341
<그림 1-8-21> 인간활동-공간-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 논리 ERD ····· 343
<그림 1-8-22> MODEM 배출계수 맵의 예 ····· 345
<그림 1-8-23> EuroI, EuroII , EuroIII 엔진의 배출율 맵의 예 ····· 346
<그림 1-8-24> VeTess의 배출량 산정 구성 요소 ····· 347
<그림 1-8-25> CMEM 구성도 ····· 347
<그림 1-8-26> MOVES의 구성요소 ····· 348
<그림 1-8-27> County Level의 Data Manager ····· 350
<그림 1-8-28> Project Level의 Data Manager ····· 350
<그림 1-8-29> 교통계획 모형 결과를 활용한 탄소배출량 산정식 ····· 353
<그림 1-8-30> 배출율 맵 추출예 ····· 358
<그림 1-8-31> 활동기반 교통계획 모형의 탄소배출량 산정 절차 ····· 361
<그림 1-8-32> 활동기반 탄소배출량 산정 방법론 절차 ····· 377
<그림 1-8-33> 차종별 가변적 배출계수 예측 절차 ····· 383
<그림 1-8-34> MOVES에서 고려하는 배출량 변화 요인 ····· 390
<그림 1-8-35> MOVES Lite과 DTALite과 연계를 통한 배출량 분석 ····· 391
<그림 1-8-36> MOVES Lite-K 개발 방안 ····· 393
<그림 1-8-37> 차종별 NIER 09 모드의 주행궤적 ····· 396
<그림 1-8-38> 수도권 네트워크에서 수원시 네트워크 추출 ····· 398
<그림 1-8-39> 수원시 DTALite 네트워크 구축 ····· 399
<그림 1-8-40> 네트워크 평균 통행 속도 패턴 ····· 400
<그림 1-8-41> 영동고속도로 평균 통행속도 패턴 ····· 400
<그림 1-8-42> 주요 간선도로의 평균 통행속도 패턴 ····· 401
<그림 1-8-43> 첨두 집중율 완화 시나리오 수요 패턴 ····· 402
<그림 1-8-44> 교통사고 관리 시나리오 ····· 405
<그림 1-8-45> 대안별 평균 통행 속도 변화 ····· 406
<그림 1-8-46> 대안별 수요 형태별 CO_2 배출량 변화 ····· 407
<그림 1-8-47> 주행 조사 구간 ····· 410
<그림 1-8-48> 도로 경사도 및 속도자료 ····· 411
<그림 1-8-49> 주행궤적 특성을 반영한 경우의 운행모드 변화 ····· 413
<그림 1-8-50> 경사도를 반영한 경우의 운행모드 변화 ····· 414
<그림 1-8-51> 탄소배출량 산정방법 구분 ····· 415
<그림 1-9-1> 탄소배출량 산정과 대기확산 모형의 데이터 흐름도 ····· 417
<그림 1-9-2> 대기환경 예측결과 표출 예시 ····· 419
<그림 1-9-3> 화학수송모형 개요 ····· 424
<그림 1-9-4> WRF 수치도의 도식도 ····· 424
<그림 1-9-5> 규모에 따른 대기 질 평가모형 개념도 ····· 426
<그림 1-9-6> 퍼프모형의 개념 ····· 427
<그림 1-9-7> 가우시안 플롬모형과 가우시안 퍼프모형의 비교 ····· 428

<그림 1-9-8> AERMOD의 모형 구조 ····· 429
<그림 1-9-9> 대기 질 모형의 기본 입력자료 ····· 430
<그림 1-9-10> 수치표고모형 자료의 예 ····· 430
<그림 1-9-11> 대기확산 모형 입력값 설계 ····· 434
<그림 1-9-12> CALINE3 모형 입력 파일 예 ····· 435
<그림 1-9-13> 대기확산 모형 입력값 설계 ····· 436
<그림 1-9-14> AERMOD 모형 입력 파일의 예 ····· 436
<그림 1-9-15> 입력하는 행에 대한 예 ····· 437
<그림 1-9-16> 대기확산 모형 출력값 설계 ····· 439
<그림 1-9-17> CALINE3 모형 결과파일의 예 ····· 439
<그림 1-9-18> 대기확산 모형 출력값 설계 ····· 440
<그림 1-9-19> PLOT 파일 예 ····· 440
<그림 1-9-20> 도로이동오염원의 배출량 산정 영역 ····· 441
<그림 1-9-21> 탄소배출량 모형으로부터 산정된 배출량 ASCII 파일 예 ····· 442
<그림 1-9-22> 탄소배출량의 링크 결과 정리 ····· 443
<그림 1-9-23> CALINE3 모형 결과파일-1 ····· 450
<그림 1-9-24> CALINE3 모형 결과파일-2 ····· 451
<그림 1-9-25> 풍속 1.9m/s, 안정도 4, 혼합고 1000m 일 때의 NO_2 농도 확산의 공간적 분포 ····· 452
<그림 1-9-26> 풍속 1.9m/s, 안정도 4, 혼합고 1000m 일 때의 CO 농도 확산의 공간적 분포 ····· 452
<그림 1-9-27> 결과파일의 Maximum table 예 ····· 453
<그림 1-9-28> PLOT 파일 예 ····· 454
<그림 1-9-29> AERMOD에 의한 2007년 NO_2 1시간 최대농도 확산의 공간적 분포 ····· 454
<그림 1-9-30> AERMOD에 의한 2007년 CO 1시간 최대농도 확산의 공간적 분포 ····· 454
<그림 1-9-31> 수집된 관측 자료를 이용한 바람장비 그래프(2013년 수원기상대) ····· 456
<그림 1-9-32> 수집된 SRTM자료의 이미지화(전국) ····· 457
<그림 1-9-33> 이미지화된 SRTM자료(수원지역) ····· 457
<그림 1-9-34> 델프트(Delft)시 공간구성 ····· 461
<그림 1-9-35> 델프트(Delft)시 공간구성 ····· 464
<그림 1-9-36> 도시 정책 시나리오별·지역별 토지이용면적 변화 ····· 465
<그림 1-9-37> 도시 정책 시나리오별·지역별 대기오염물질 배출량 ····· 472
<그림 1-9-38> 모델링 영역 내 면오염원 위치 ····· 475
<그림 1-9-39> 고층기상 및 지표기상대의 위치 ····· 476
<그림 1-9-40> PM10 연평균 등농도 곡선(2006년) ····· 477
<그림 1-9-41> PM10 연평균 등농도 곡선(2011년) ····· 478
<그림 1-9-42> PM10 연평균 등농도 곡선(2016년) ····· 479
<그림 1-9-43> PM10 연평균 등농도 곡선(2021년) ····· 480
<그림 1-9-44> PM10 연평균 등농도 곡선(2026년) ····· 481
<그림 1-9-45> NOx 연평균 등농도 곡선(2006년) ····· 482
<그림 1-9-46> NOx 연평균 등농도 곡선(2011년) ····· 483
<그림 1-9-47> NOx 연평균 등농도 곡선(2016년) ····· 484
<그림 1-9-48> NOx 연평균 등농도 곡선(2021년) ····· 485

<그림 1-9-49> NOx 연평균 등농도 곡선(2026년) ····· 486
<그림 2-1-1> MATSim 시뮬레이션 분석 사례 ····· 490
<그림 2-1-2> 3차원 동적지도 및 인구밀도 ····· 490
<그림 2-1-3> 탄소저감형 녹색도시건설 기반기술의 내용 ····· 493
<그림 2-1-4> 차대동력계 계통도 ····· 494
<그림 2-1-5> 국내 온실가스 배출계수 산출체계도 ····· 495
<그림 2-2-1> 헬싱키를 대상으로 한 도로와 대중교통(PT)프로젝트 ····· 499
<그림 2-2-2> 정책 테스트 결과: Policy 615(대중교통요금체계 변화, 혼잡통행료제 조합)에 따른 토지이용변화(헬싱키) ····· 500
<그림 2-2-3> MATSim 모형 내용 ····· 505
<그림 2-2-4> 시드니 권역 계획 및 세부 구역별 배출량 모니터링 ····· 507
<그림 2-2-5> 단지설계 시나리오 ····· 507
<그림 2-2-6> 워싱턴의 토지이용 현황도 및 주택개발사례 ····· 508
<그림 2-2-7> 토지이용 시나리오 모형화 단계 ····· 508
<그림 2-2-8> ILUTE 모형 체계도 ····· 509
<그림 2-2-9> Caltrans 저탄소 관련 프로젝트의 구성과 결과예시 ····· 510
<그림 2-2-10> 배출량 산정 가이드라인 ····· 510
<그림 2-2-11> MODEM : 속도와 가속도에 따른 배출계수 맵 예시 ····· 512
<그림 2-2-12> PHEM, 자동차의 엔진파워에 따른 배출계수 맵 구축예 ····· 513
<그림 2-2-13> ADMS-Roads 분석결과 표출 예 ····· 513
<그림 2-2-14> 미기후 모니터링을 위한 VSN 아키텍처 ····· 514
<그림 2-2-15> 발전소 탄소배출량 모니터링시스템 ····· 515
<그림 2-3-1> SWOT 분석 ····· 517
<그림 2-3-2> “기후변화대응 탄소저감형 도시 조성기술”의 기술개념개요 ····· 520
<그림 2-3-3> “기후변화대응 탄소저감형 도시 조성기술”의 비전과 목표 ····· 521

제 1 장 연구개발 수행 내용 및 결과

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

1. 연구수행 전략 및 방법론

가. 개발 전략

○ 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램은 각 단위 시스템(시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과표출 프로그램, 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램, 인간활동 공간-교통 탄소배출량 산정 플랫폼, 탄소기반 도시부도로 성능평가 방법 프로그램)의 통합 시스템임

○ 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 함



<그림 1-1-1> 프로그램 개념도

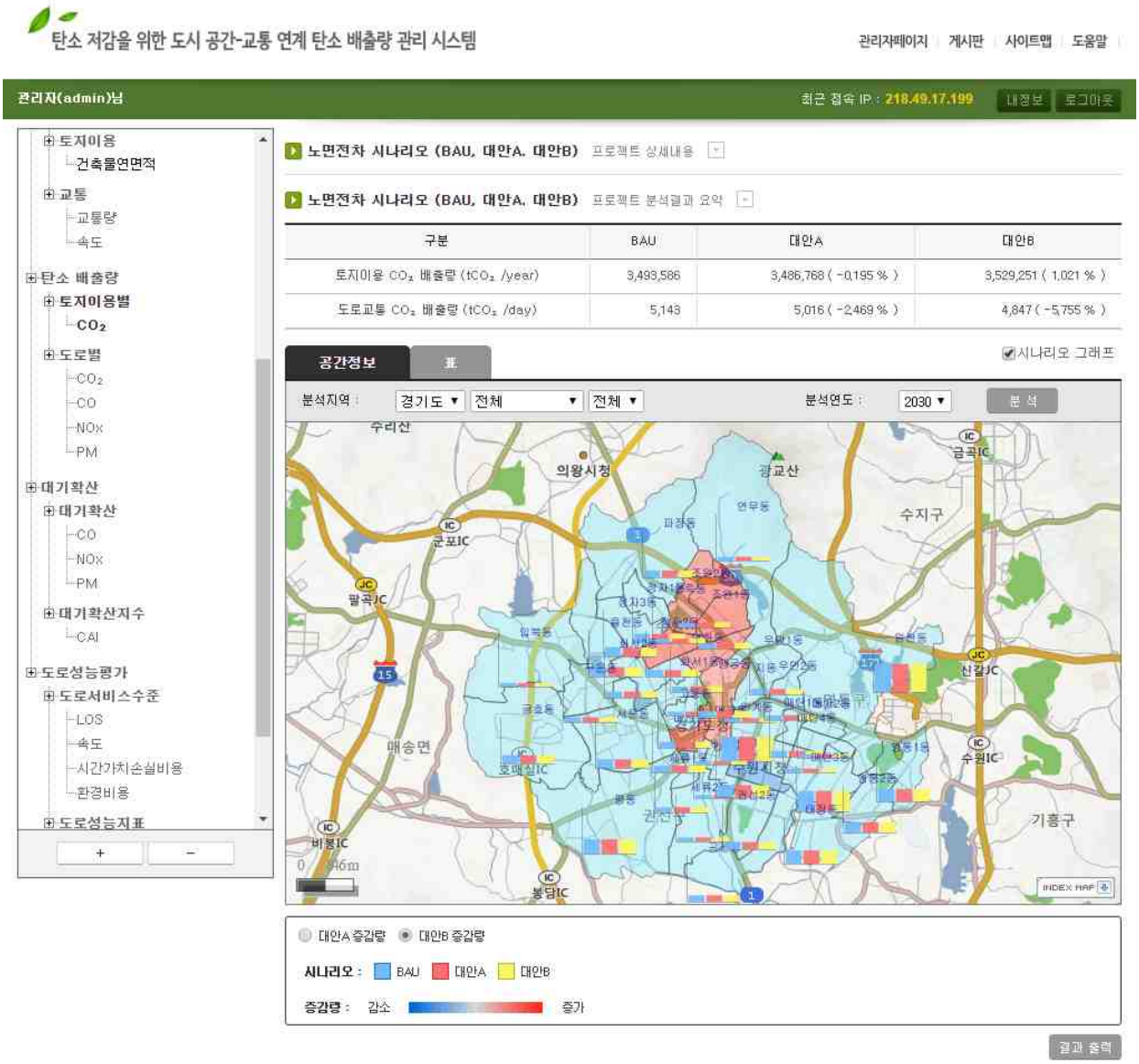
(1) 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 설계

○ 시스템 통합을 위한 메뉴 구조 및 사용자 편의성을 위한 UI 설계·기능을 보완하고, 타과제와의 시스템 통합을 위해 각 단위시스템의 DB 고도화를 수행함

○ 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템의 활용도 향상을 위해 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 1-1-2> 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

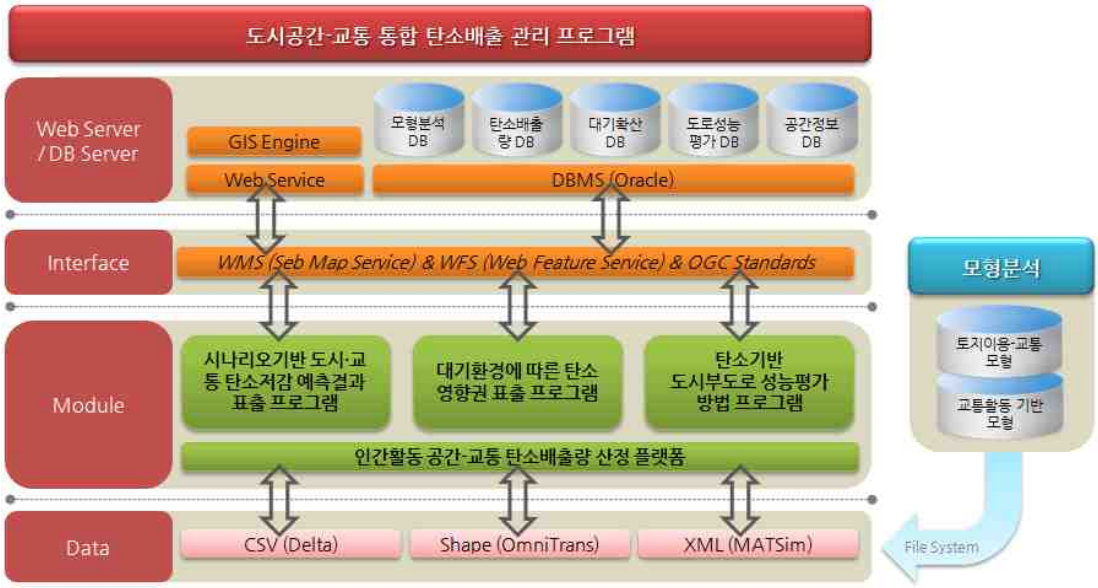
<표 1-1-1> 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 메뉴 구조도

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)
			도로성능지표
	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
			교통계획
		지구스케일	교통활동

○ 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

(2) 탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 통합 관리시스템 구축

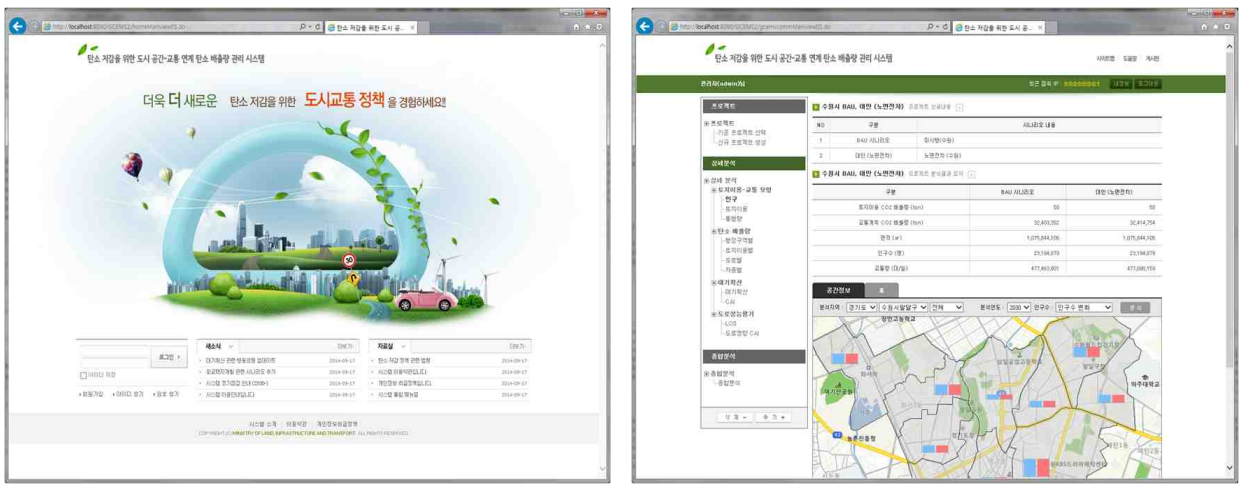
○ 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리 프로그램은 탄소저감을 위한 정책 시나리오에 따라 모형분석, 탄소배출량, 대기확산, 도로성능평가가 산정되어 결과를 표출하는 것이 주기능이며, 타과제와의 연계를 고려하여 다음과 같이 설계하고, 웹 프로그램으로 구현함



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

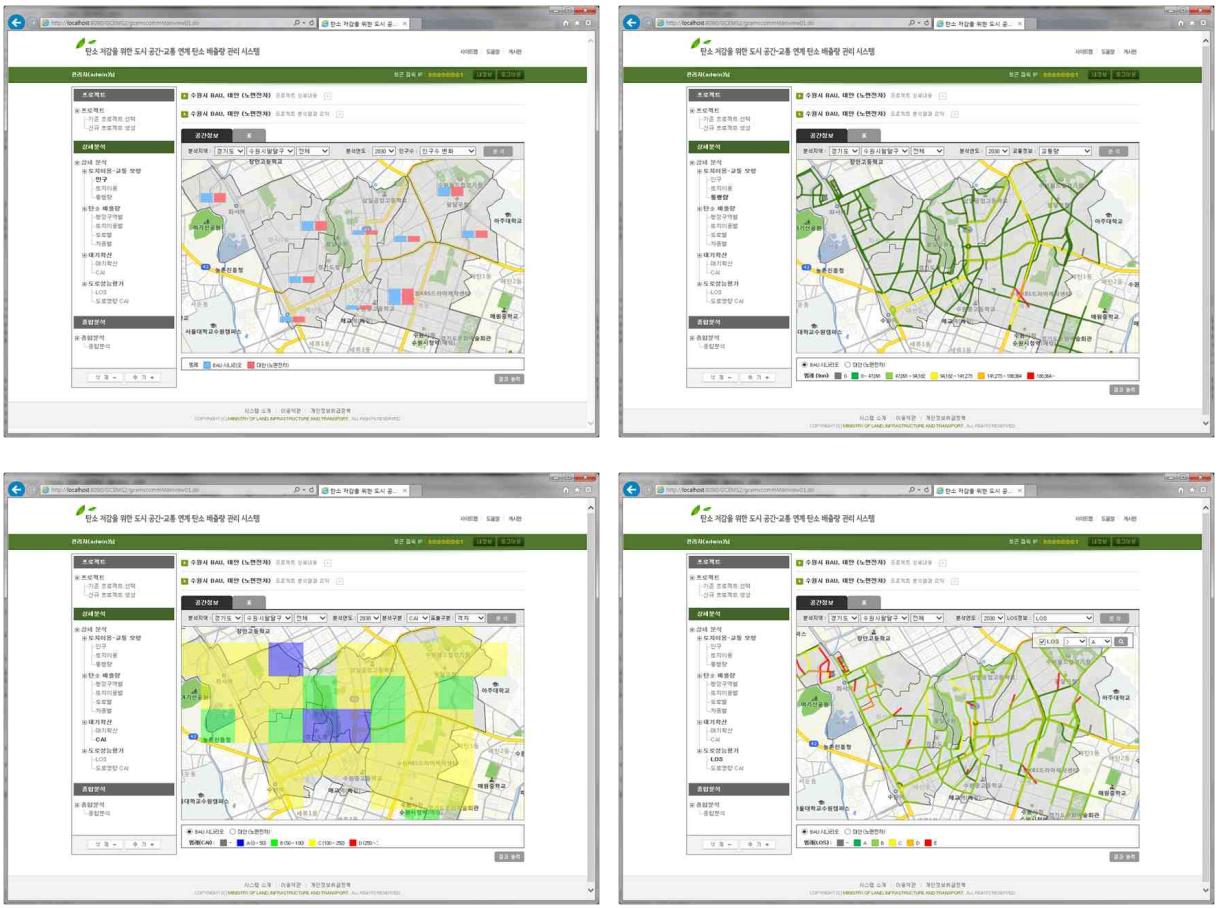
○ 프로그램의 기능은 프로젝트 및 시나리오 생성, 상세분석(모형분석, 탄소배출량, 대기확산, 도로성능평가), 종합분석(시나리오 비교, 레포팅), 관리자기능(플랫폼, 지표관리, 사용자관리)으로 정의됨

○ 화면 왼쪽에는 분석메뉴가 표출되고, 화면 상단에는 프로젝트(시나리오)의 상세내용과 분석결과 요약정보가 표출되어 on/off 할 수 있도록 구현함



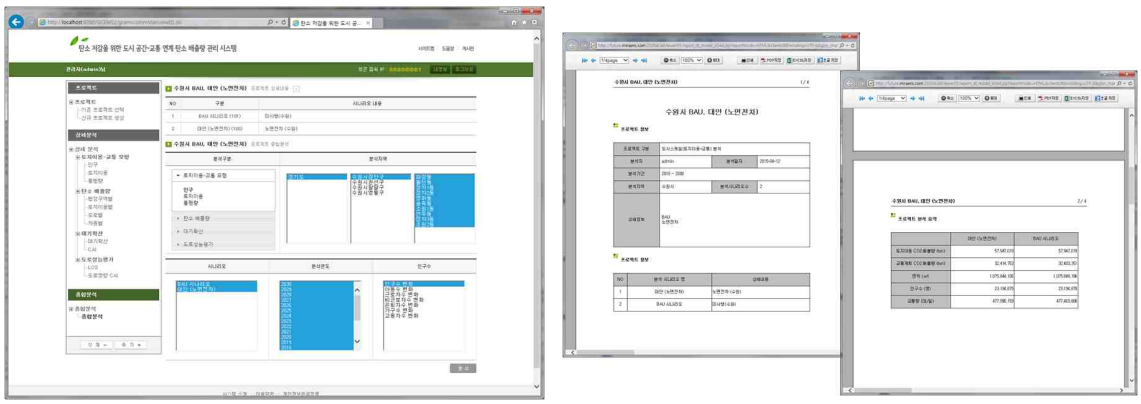
<그림 1-1-4> 시스템 실행화면 및 화면 구성

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



<그림 1-1-5> 분석결과 유형

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



<그림 1-1-6> 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 협의안에 따라 2세부 통합시스템에 제공함

<표 1-1-2> 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

(3) 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 1-1-3> 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

나. 연차별 연구목표와 연구내용

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

<표 1-1-4> 목표 및 주요 연구내용

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

2. 연구수행과정 및 내용

가. 도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축

(1) 잠재적 사용자 요구사항 분석 및 사용자 환경 설계

(가) 잠재적 사용자 요구분석을 위한 설문 조사

○ 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템의 활용도를 향상하기 위한 사용자 환경에 대한 설문조사를 수행하였음

○ 주요 조사 항목은 시스템의 표출 지표 및 정보의 표현 방법이었으며 그 세부 내용은 다음과 같음

도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 프로그램
사용자 환경에 대한 설문조사

본 설문은 한국건설기술연구원이 주관연구기관으로 수행중인 국가연구개발사업인 **"탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템 개발"**의 일환으로 진행되는 것입니다.

본 설문은 현재 개발 중인 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템의 활용도를 향상하기 위한 사용자 환경에 대한 설문조사입니다. 조사 항목은 탄소배출량 관리시스템에 표출되게 되는 지표 및 정보의 표현 방법이며, 사용자의 관점에서 판단하여 주시면 감사하겠습니다.

귀하께서 응답하신 내용에 대해서는 통계 처리 외 다른 용도로는 사용되지 않으니 자유롭게 말씀해 주시면 감사하겠습니다.

※ 담당자 한국건설기술연구원 도로교통연구실 윤천주 전임연구원
(☎ (031) 910-0533, FAX (031) 910-0746, E-mail: cjyoon@kict.re.kr)

설문자 정보 관련 질의

PQ1. 귀하의 소속 기관 혹은 직장은 어디입니까?

① 공무원 ② 연구기관 ③ 공사 ④ 민간기업 ⑤ 학교 ⑥ 기타

PQ2. 다음 중 관계된 업무 혹은 주된 분야는 어느 것 입니까? (중복 체크 가능합니다)

① 도시계획 등 도시 분야 ② 교통 계획 등 교통 분야 ③ GIS 등 시스템 분야 ④ 대기 오염 등 환경 분야

표출 지표의 합리성 관한 질의

- 아래의 그림의 붉은색 박스에 관한 지표에 대한 질문으로, 총 탄소배출량 지표외에 도시정책 시나리오 및 교통 시나리오에 대해 우선 순위 및 비교 우위를 표출하기 위한 지표입니다.
- 아래의 그림은 수원시를 대상으로 한 예로써, 수원역 근처의 도시정책 혹은 교통정책이 시행되었을 때 각 구별로 영향이 나타낸 것으로써 동단위의 인구 및 총 주행 통행거리(모든 등급 도로)의 합한 지표입니다.



IQ1-1. 도로계획 정책의 장래 변화 효과를 비교하기 위한 지표 중 우선 순위로 1, 2, 3 위에 대해 선택하여 주십시오.

도시계획 정책의 지표	선택
▣ 인구수	① ② ③
▣ 아동수	① ② ③
▣ 근로자수 및 비근로자수	① ② ③
▣ 가구수	① ② ③
▣ 고용자수	① ② ③
▣ 토지이용별 연면적	① ② ③
▣ 토지이용별 점유면적	① ② ③
▣ 토지이용별 공실면적	① ② ③
▣ 토지이용별 인당 점유면적	① ② ③
▣ 기타( )	

IQ1-2. 선택된 우선순위 3가지 지표에 대해 표현의 방법을 기술하여 주십시오. (예, 인구수 - 동단위 - 총량)

※ IQ1-1에서 선택한 지표에 대해 작성하시기 바랍니다.

※ 공간적 범위의 크기 : 구 > 동 > 생활권

선택한 도시계획 정책의 우선순위 지표	표현의 방법	
	최소 공간적범위	표현방법
▣ 인구수	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 아동수	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 근로자수 및 비근로자수	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 가구수	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 고용자수	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 토지이용별 연면적	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 토지이용별 점유면적	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 토지이용별 공실면적	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 토지이용별 인당 점유면적	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 기타( )		

IQ2-1. 4단계 교통 모형을 이용한 교통정책의 효과를 비교하기 위한 지표 중 우선 순위로 1, 2, 3 위에 대해 선택하여 주십시오.

※ 시나리오의 효과 비교 및 선택하기 위하여 링크단위의 지표보다 네트워크 전체 통행(지역적 범위, 지역내 모든 등급의 도로)을 분석할 수 있는 지표를 선정하고자 함

교통 정책의 지표	선택
▣ 총 통행 거리	① ② ③
▣ 교통 수단간 환승 통행량	① ② ③
▣ 교통 수단별 존간 통행량	① ② ③
▣ 교통 수단별 존간 통행 시간	① ② ③
▣ 기타( )	

IQ2-2. 우선순위 3가지 지표에 대해 표현의 방법을 기술하여 주십시오. (예, 총 주행 통행 거리 - 동단위 - 총량)

※ IQ2-1에서 선택한 지표에 대해 작성하시기 바랍니다.

※ 공간적 범위의 크기 : 구 > 동 > 생활권

교통 정책의 지표	표현의 방법	
	최소 공간적범위	표현방법
▣ 총 통행 거리	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 교통 수단간 환승 통행량	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 교통 수단별 존간 통행량	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 교통 수단별 존간 통행 시간	구/동/생활권/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 기타( )		

IQ3-1. 미시적 교통 모형을 이용한 교통정책의 효과를 비교하기 위한 지표 중 우선순위를 3가지를 선택하여 주십시오.

※ 시나리오의 효과 비교 및 선택하기 위하여 링크단위의 지표보다 네트워크 전체 통행(지역적 범위, 지역내 모든 등급의 도로)을 분석할 수 있는 지표를 선정하고자 함

교통 정책의 지표	선택
▣ 총 통행 거리	① ② ③
▣ 연령별 통행량	① ② ③
▣ 연령별 통행거리	① ② ③
▣ 연령별 통행빈도	① ② ③
▣ 활동 목적별 통행량	① ② ③
▣ 활동 목적별 통행거리	① ② ③
▣ 활동 목적별 통행빈도	① ② ③
▣ 교통 수단별 존간 시간	① ② ③
▣ 기타( )	

IQ3-2. 우선순위 3가지 지표에 대해 표현의 방법을 기술하여 주십시오. (예, 총 주행 통행 거리 - 동단위 - 총량)

※ IQ3-1에서 선택한 지표에 대해 작성하시기 바랍니다.

※ 공간적 범위의 크기 : 구 > 동 > 생활권

교통 정책의 지표	표현의 방법	
	최소 공간적범위	표현방법
▣ 총 통행 거리	구/동/마을/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 연령별 통행량	구/동/마을/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 연령별 통행거리	구/동/마을/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 연령별 통행빈도	구/동/마을/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 활동 목적별 통행량	구/동/마을/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 활동 목적별 통행거리	구/동/마을/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 활동 목적별 통행빈도	구/동/마을/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 교통 수단별 존간 시간	구/동/마을/기타( )	총량/변화량/기타( )
▣ 기타( )		

(나) 설문조사 분석

○ 잠재적 사용자를 대상으로 설문조사를 시행하여 도시(토지이용) 정책 및 교통 정책의 효과를 종합적으로 판단 비교할 수 있는 지표를 선정하고자 하였음

○ 설문 응답자의 주요 종사 분야는 다음과 같음

<표 1-1-5> 설문 응답자 종사 분야

응답자의 관계 및 종사 분야	응답자	비율
도시계획 등 도시 분야	5	15%
교통계획 등 교통 분야	22	67%
GIS 등 시스템 분야	8	24%
대기오염 등 환경 분야	2	6%

① 도시계획 정책의 지표

○ 도시(토지이용) 정책 간의 적용 우선순위 및 비교 분석 지표에 대해 선호도 조사한 결과 잠재적 사용자(응답자) 다수가 조사 지표 중 인구수가 가장 유효한 지표로 답한 것으로 조사되었음

<표 1-1-6> 목표 및 주요 연구내용

지표	1순위	2순위	3순위
인구수	82%	6%	3%
아동수	3%	-	3%
근로자수 및 비근로자수	-	31%	15%
가구수	3%	27%	6%
고용자수	-	21%	15%
토지이용별 연면적	9%	12%	34%
토지이용별 점유면적	3%	3%	3%
토지이용별 공실면적	-	-	-
토지이용별 인당 점유면적	-	-	21%
무응답	-	-	-

○ 도시(토지이용) 정책의 장래 변화 및 효과를 효율적으로 표현하기 위한 지표를 선정하기 위해 다음과 같은 방법으로 우선순위 분석을 수행하고, 최고점수를 획득한 지표를 100으로 하여 나머지 지표에 대한 상대 비교를 하면 다음 표와 같음

○ 가장 선호도가 높은 지표인 인구수를 종합분석 지표로 선정하였으며, 선호 1순위를 제외한 나머지 지표 중 잠재적 사용자(응답자)의 선호가 비교적 높게 나온 5순위 지표까지를 종합분석 지표외 추가 지표로 선정함

<표 1-1-7> 지표의 선호 순위별 상대 비교

선호 순위	지표	상대 비교 값
1순위	인구수	100
2순위	토지이용별 연면적	33
3순위	근로자수 및 비근로자수	29
4순위	가구수	27
5순위	고용자수	22
6순위	토지이용별 인당 점유면적	8
7순위	토지이용별 점유면적	7
8순위	아동수	5
9순위	토지이용별 공실면적	-

○ 선정된 종합분석 지표 및 추가 지표의 공간적 범위 및 표현 방식에 대한 잠재적 사용자의 선호 표현방법을 살펴보면 다음 표와 같음

○ 최소 공간적 범위는 5가지 지표 모두 동 단위를 가장 선호한 것을 알 수 있으며, 근로자수 및 비근로자수와 토지이용별 연면적의 경우 동 단위와 구 단위가 동일한 선호로 조사됨

<표 1-1-8> 선정 지표의 최소 공간적 범위 선호도

지표	구	동	생활권	기타
인구수	27%	53%	20%	-
근로자수 및 비근로자수	43%	43%	14%	-
가구수	17%	58%	25%	-
토지이용별 연면적	39%	39%	22%	-
고용자수	25%	50%	25%	-

○ 인구수, 가구수, 토지이용별 연면적, 고용자 수는 총합으로 지표를 표현하는 방법을 선호하였고, 근로자수 및 비근로자수의 경우 변화율을 선호한 것으로 조사됨

<표 1-1-9> 선정 지표의 표현 방법 선호도

지표	총합	변화율	기타
인구수	69%	31%	-
근로자수 및 비근로자수	43%	57%	-
가구수	58%	42%	-
토지이용별 연면적	67%	33%	-
고용자수	64%	36%	-

② 4단계 교통모형을 이용한 교통정책의 지표

○ 4단계 교통모형을 이용한 거시 교통 정책 간의 적용 우선순위 및 비교 분석을 위한 지표에 대한 잠재적 사용자를 대상으로 한 조사 결과는 다음 표와 같음

○ 거시 교통 정책에 있어서 가장 효율적으로 판단(1순위 다수 선택)되는 지표로 총 통행 거리를 다수의 잠재적 사용자들이 선택하였음

<표 1-1-10> 거시 교통 정책의 장래 변화 및 효과 비교 지표 설문 결과

지표	1순위	2순위	3순위
총 통행 거리	55%	15%	18%
교통 수단간 환승 통행량	3%	27%	15%
교통수단별 존간 통행량	30%	46%	3%
교통수단별 존간 통행 시간	12%	12%	62%
무응답	-	-	3%

○ 거시 교통 정책의 장래 변화 및 효과 비교를 효율적으로 표현하기 위한 지표를 선정하기 위해 다음과 같은 방법으로 우선순위 분석을 수행하고, 최고점수를 획득한 지표를 100으로 하여 나머지 지표에 대한 상대 비교를 하면 다음 표와 같음

○ 가장 선호도가 높은 것으로 조사된 총 통행 거리를 종합분석 지표로 선정하였으며, 잠재적 사용자(응답자)의 선호가 비슷한 교통수단별 존간 통행량을 추가 지표로 선정함

<표 1-1-11> 지표의 선호 순위별 상대 비교

선호 순위	지표	상대 비교 값
1순위	총 통행 거리	100
2순위	교통수단별 존간 통행량	87
3순위	교통수단별 존간 통행 시간	57
4순위	교통 수단간 환승 통행량	37

○ 선정된 종합분석 지표 및 추가 지표의 공간적 범위 및 표현 방식에 대한 잠재적 사용자의 선호 표현방법을 살펴보면 다음 표와 같음

○ 최소 공간적 범위는 2가지 지표 모두 동 단위를 가장 선호한 것을 알 수 있음

○ 교통수단별 존간 통행량 지표의 경우, 정류장 및 주요 교차로를 최소 공간적 범위로 하자는 의견이 있었음

<표 1-1-12> 선정 지표의 최소 공간적 범위 선호도

지표	구	동	생활권	기타
총 통행 거리	35%	54%	11%	-
교통수단별 존간 통행량	24%	58%	14%	4%

○ 선정된 2가지 지표의 표현 방법은 총합을 선호하는 것으로 조사되었고, 총합과 변화량이 모두 선택한 의견이 있었음

<표 1-1-13> 선정 지표의 표현 방법 선호도

지표	총합	변화량	기타
총 통행 거리	69%	27%	4%
교통수단별 존간 통행량	83%	17%	-

③ 인간활동 기반 교통모형을 이용한 교통정책의 지표

○ 인간활동 기반 교통모형을 이용한 미시적 교통 정책 간의 적용 우선순위 및 비교 분석을 위한 지표에 대한 잠재적 사용자를 대상으로 한 조사 결과는 다음 표와 같음

○ 미시 교통 정책에 있어서 가장 효율적으로 판단(1순위 다수 선택)되는 지표로 활동 목적별 통행량을 다수의 잠재적 사용자들이 선택하였음

<표 1-1-14> 미시 교통 정책의 장래 변화 및 효과 비교 지표 설문 결과

지표	1순위	2순위	3순위
총 통행 거리	30%	6%	6%
연령별 통행량	-	15%	6%
연령별 통행거리	3%	3%	3%
연령별 통행빈도	-	6%	3%
활동 목적별 통행량	43%	28%	9%
활동 목적별 통행거리	-	27%	15%
활동 목적별 통행빈도	6%	9%	21%
교통 수단별 존간 통행시간	18%	6%	37%
무응답	-	-	-

○ 미시 교통 정책의 장래 변화 및 효과 비교를 효과적으로 표현하기 위한 지표를 선정하기 위해 다음과 같은 방법으로 우선순위 분석을 수행하고, 최고점수를 획득한 활동 목적별 통행량 지표를 100으로 하여 나머지 지표에 대한 상대 비교를 하면 다음과 같음

○ 가장 선호도가 높은 것으로 조사된 활동 목적별 통행량을 종합분석 지표로 선정하였으며, 1순위 선호 지표를 제외할 때 잠재적 사용자(응답자)의 선호도가 비교적 높게 조사된 총 통행 거리 및 교통수단별 존간 통행시간을 지표로 선정함

<표 1-1-15> 지표의 선호 순위별 상대 비교

선호 순위	지표	상대 비교 값
1순위	활동 목적별 통행량	100
2순위	총 통행 거리	57
3순위	교통수단별 존간 통행시간	54
4순위	활동 목적별 통행거리	37
5순위	활동 목적별 통행빈도	30
6순위	연령별 통행량	19
7순위	연령별 통행거리	10
8순위	연령별 통행빈도	8

○ 선정된 종합분석 지표 및 추가 지표의 공간적 범위 및 표현 방식에 대한 잠재적 사용자의 선호 표현방법을 살펴보면 다음 표와 같음

○ 선정된 3가지 지표 모두 공간적 범위는 동 단위를 가장 선호한 것으로 조사됨

○ 선정 지표 중 활동 목적별 통행량과 교통수단별 존간 통행량의 표현하기 위한 최소 공간적 범위로 정류장 및 주요 교차로를 선택한 기타 의견이 있었음

<표 1-1-16> 선정 지표의 최소 공간적 범위 선호도

지표	구	동	마을	기타
활동 목적별 통행량	28%	44%	24%	4%
총 통행 거리	29%	57%	14%	-
교통수단별 존간 통행시간	20%	45%	30%	5%

○ 활동 목적별 통행량 및 교통수단별 존간 통행시간은 총합으로 표현하는 것을 선호하는 것으로 조사되었고, 총 통행 거리는 변화율을 선호하는 것으로 조사되었음

○ 기타 의견으로 총합과 변화량이 모두 선택한 의견이 있었음

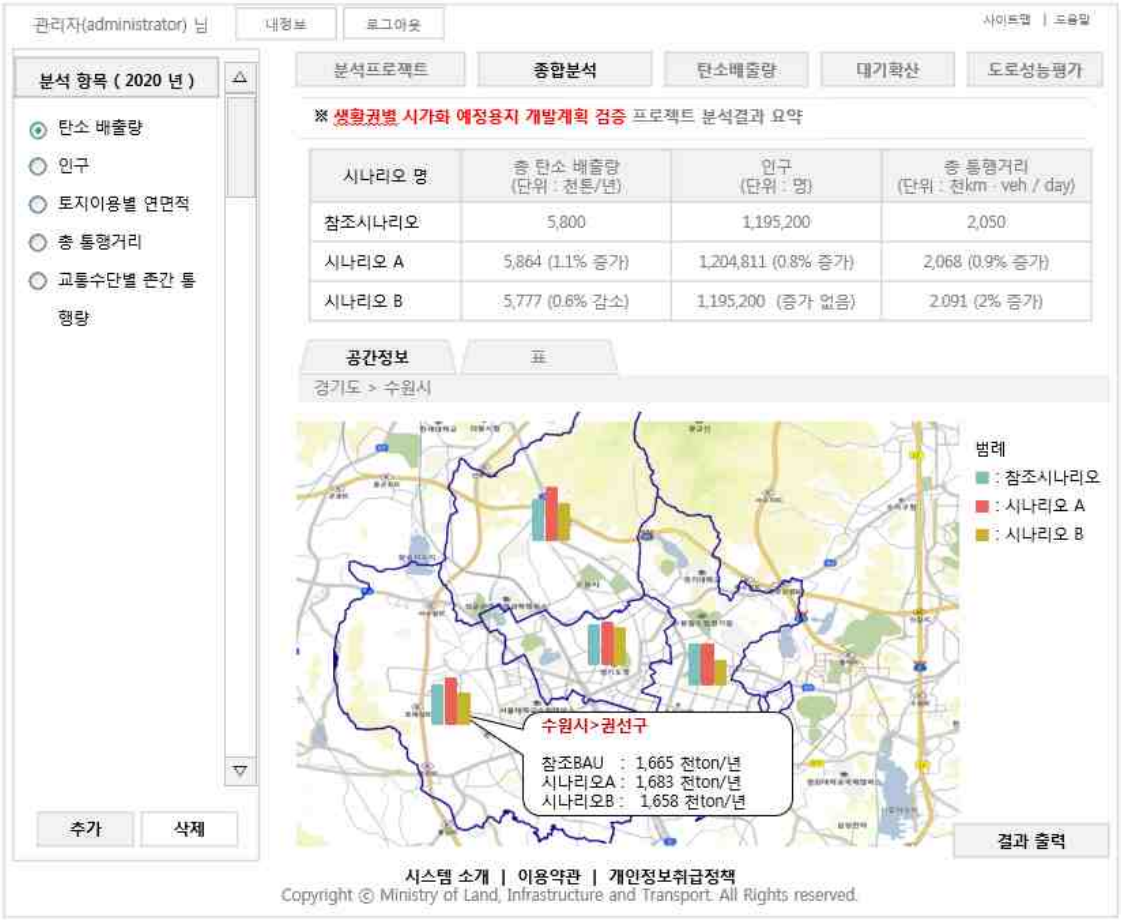
<표 1-1-17> 선정 지표의 표현 방법 선호도

지표	총합	변화율	기타
활동 목적별 통행량	72%	17%	10%
총 통행 거리	46%	54%	-
교통수단별 존간 통행시간	70%	25%	5%

(다) 사용자 환경 설계

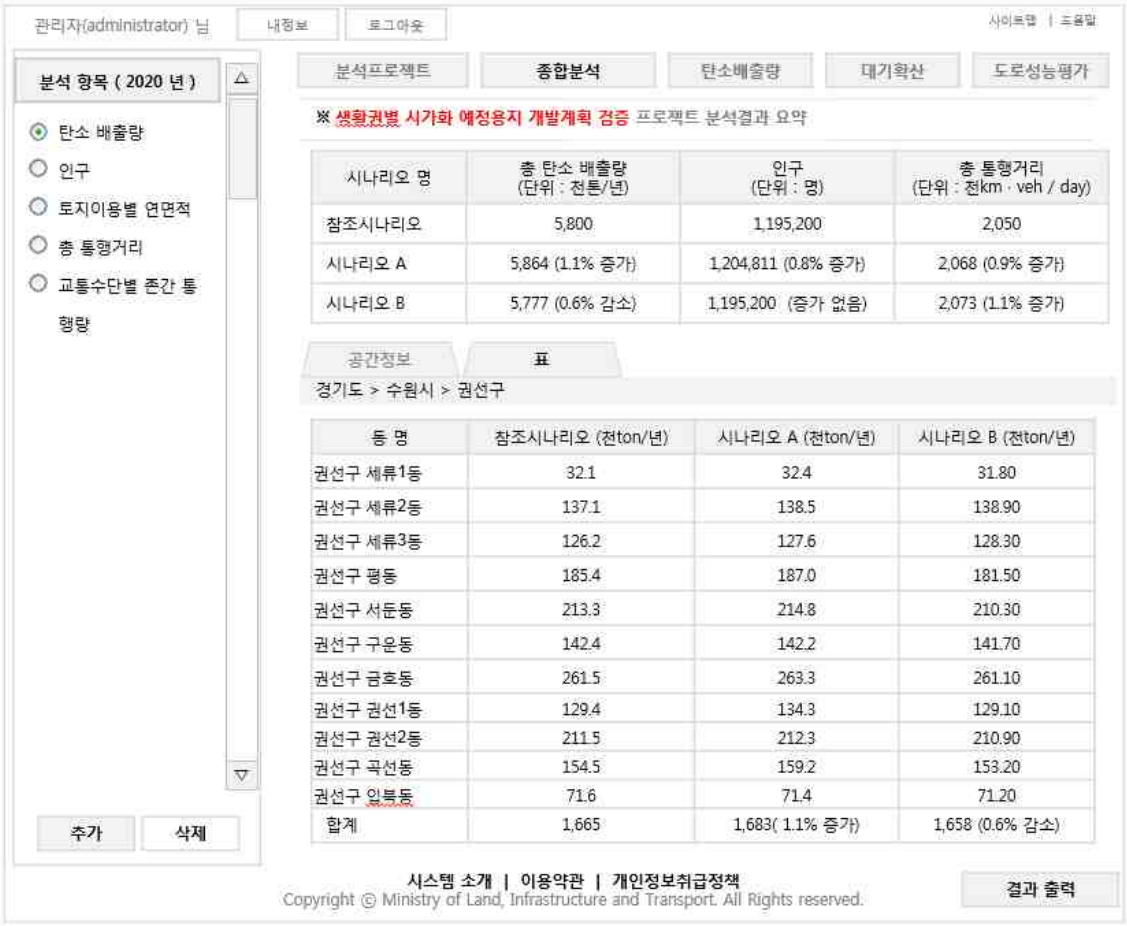
○ 스토리 보드 형식을 통해 사용자 환경(User Interface, UI)를 설계하고, 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리시스템의 UI는 앞서 언급한 잠재적 사용자의 요구분석을 반영함

시스템 명	도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템
화면명	종합분석



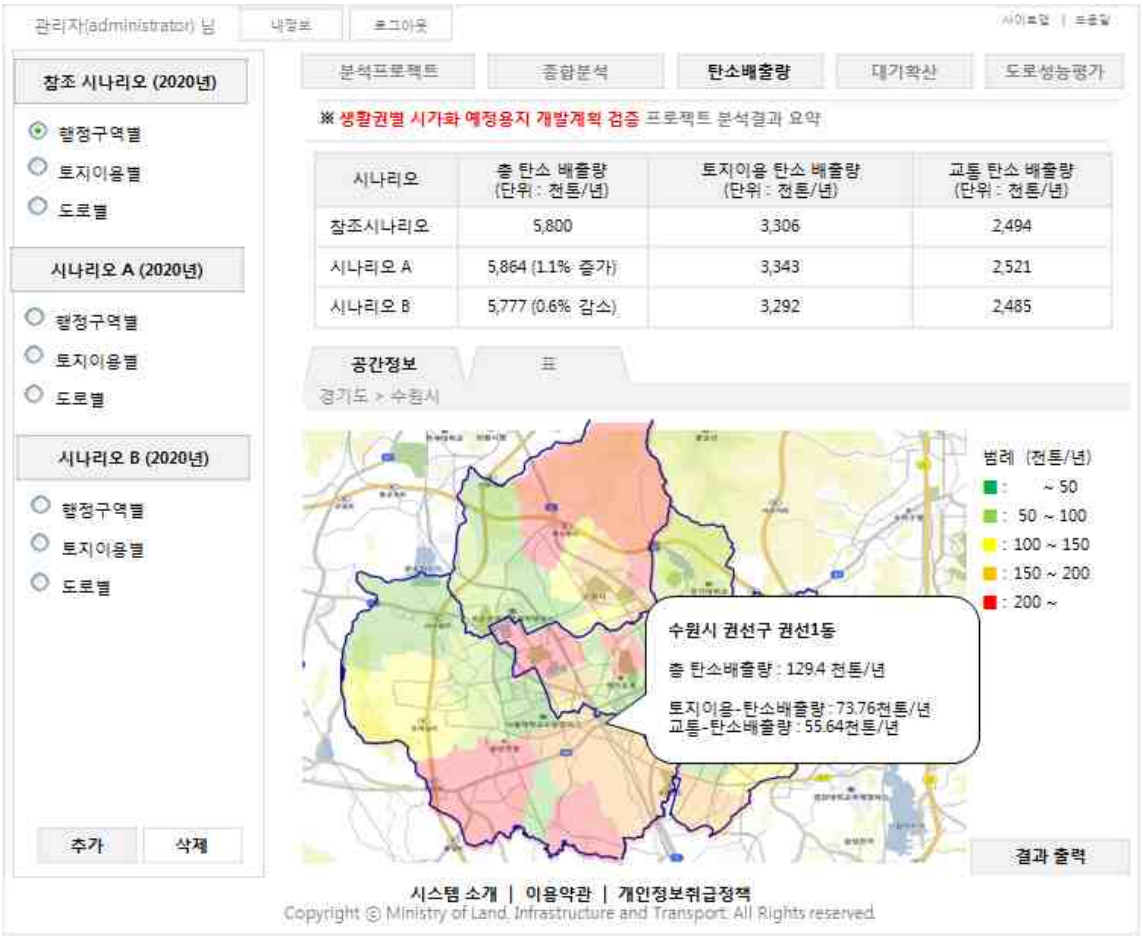
내 용	- 잠재적 사용자의 선호 지표를 선택 없이 기본 값으로 제공 · 도시스케일 : 인구, 총 통행거리 · 지구스케일 : 활동목적별 통행량 - 추가 분석항목을 좌측에 분석 항목을 추가 및 삭제하는 기능을 통해 가장 많이 선호한 지표 외에도 분석이 가능하도록 기능 구현 - 좌측의 분석항목을 선택하면 공간정보의 내용이 변화할 수 있도록 구현하여 사용자 편의성 확대 - 결과 출력 기능을 통해 사용자 편의성 확대

시스템 명	도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템
화면명	종합분석



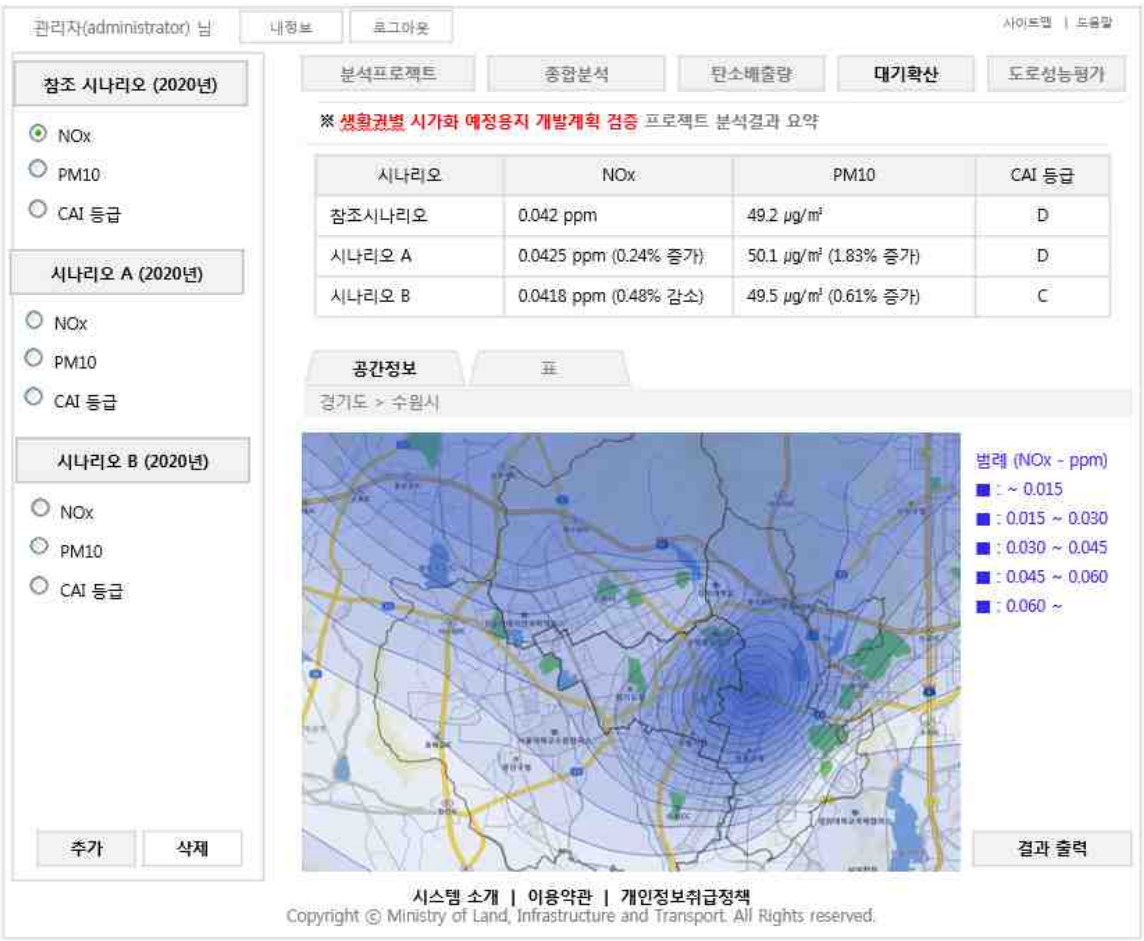
내 용	- 총 탄소배출량 외에 잠재적 사용자의 선호 지표를 선택 없이 기본 값으로 제공 · 도시스케일 : 총 탄소배출량, 인구, 총 통행거리 · 지구스케일 : 총 탄소배출량, 활동목적별 통행량 - 추가 분석항목을 좌측에 분석 항목을 추가 및 삭제하는 기능을 통해 가장 많이 선호한 지표 외에도 분석이 가능하도록 기능 구현 - 좌측의 분석항목을 선택하면 표의 내용이 세부적으로 조회할 수 있도록 구현 - 표현되는 값의 최소 공간적 범위는 잠재적 사용자의 설문조사 결과값을 활용(예. 인구-동)

시스템 명	도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템
화면명	탄소배출량 분석



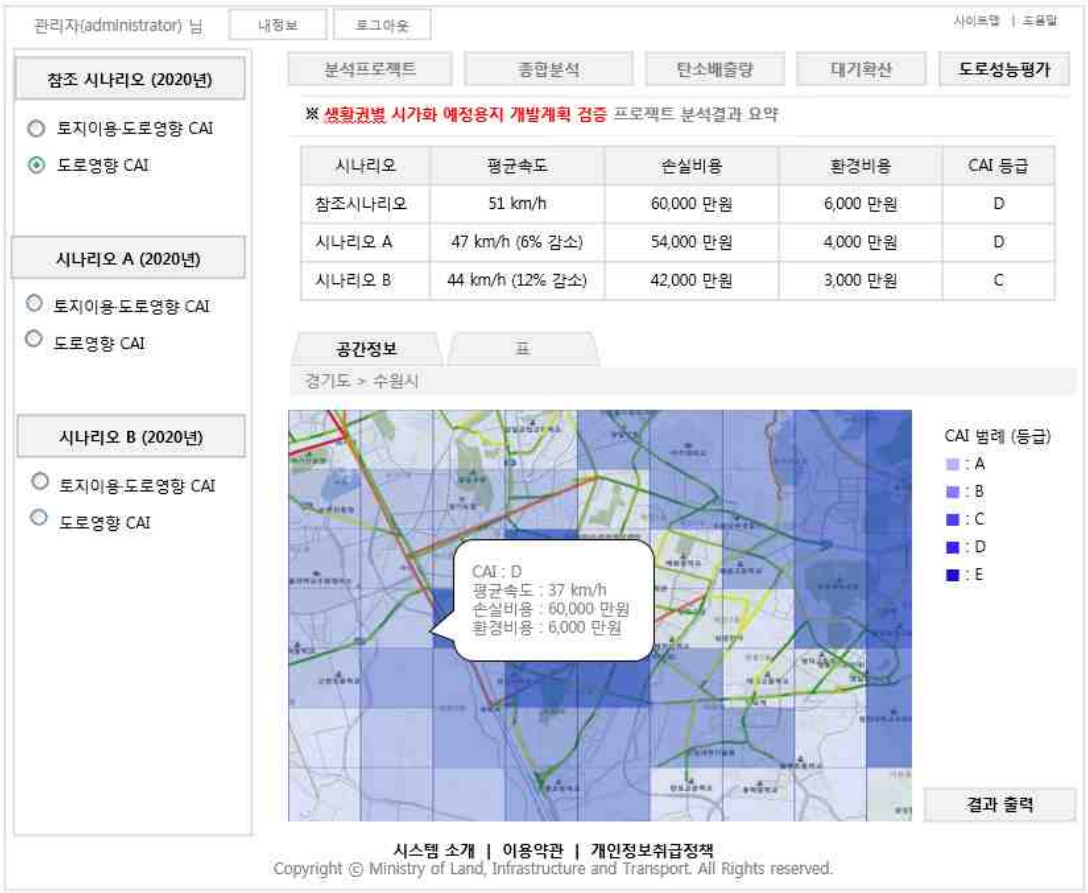
내 용	- 총 탄소배출량을 도시스케일의 경우 토지이용 탄소 배출량과 교통 탄소 배출량의 합으로 표출하고, 지구스케일의 경우 토지이용 탄소배출량을 제외한 교통 탄소배출량만으로 표출하도록 구현 - 개별 시나리오별로 분석이 가능하도록 분석항목을 구성하고, 선택된 항목에 따라 공간정보 및 표에 표출하여 정보를 조회 가능하도록 구현

시스템 명	도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템
화면명	대기 확산 분석



내 용	- 대기확산의 경우 교통 배출량 중 건강에 영향을 주는 다른 대기 오염물질의 확산 정도를 시나리오별로 확인 가능하도록 구현 - NOx, PM_{10}, $PM_{2.5}$의 농도와 함께 통합 대기환경 지수(CAI)를 함께 표기하여 사용자의 편의성을 확보할 수 있도록 구현

시스템 명	도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템
화면명	도로성능 평가 분석



내 용	- 도로성능 평가는 평균속도, 손실비용, 환경 비용, 통합 대기환경 지수(CAI)를 지표로 활용하여 각 시나리오별로 비교하도록 구현 - 사용되는 통합 대기환경 지표의 경우, 토지이용(배경농도)와 도로영향의 CAI 또는 도로영향 CAI를 선택하여 공간정보를 확인할 수 있도록 구현

(2) 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 설계

(가) 서비스 인터페이스 설계

○ 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램은 일반 사용자가 접근할 수 있는 Main 프로그램과 관리자 페이지로 구분되어 있으며, 전체 메뉴구조는 다음과 같음

○ 프로젝트 및 시나리오를 생성한 후, 도출되는 데이터의 순서대로 모형분석, 탄소배출량, 대기확산, 도로성능평가 순으로 메뉴의 순서를 재배치하고, 기존의 모형분석에서 모형분석과 도로성능평가로 메뉴를 분리함

○ 상세분석의 사용자정의는 도시스케일, 지구스케일에 따라 결정되어 같은 화면을 표출할 수 있도록 구성함

<표 1-1-18> 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 메뉴 구조도

LV.1	LV.2	LV.3	LV.4	보완사항
프로젝트 및 시나리오 분석 화면	분석 프로젝트	분석 프로젝트	프로젝트 관리	-
			시나리오 관리	
			모형 데이터 관리	
	상세분석 (도시스케일, 사용자정의-토지이용, 교통계획)	모형분석	인구	메뉴분리
			토지이용	
			교통	
		탄소배출량	행정구역별	토지이용별 메뉴삭제
			도로별	차종별 메뉴삭제
		대기확산	대기확산	-
			대기확산지수	
		도로성능평가	도로서비스수준	메뉴분리
			도로성능지표	
	상세분석 (지구스케일, 사용자정의-교통활동)	모형 분석	교통량	메뉴분리
		탄소배출량	도로별	차종별 메뉴삭제
		대기확산	대기확산	-
			대기확산지수	
		모형 분석	도로서비스수준	메뉴분리
			도로성능지표	
	종합분석	종합분석	-	기능추가

LV.1	LV.2	LV.3	LV.4	보완사항
관리자 화면	HOME	로그인	-	-
	사용자관리	사용자관리	-	
	지표관리	도시스케일	토지이용 지표	
			교통계획 지표	
		지구스케일	교통활동 지표	
		기타	대기확산 지표	
			도로성능 지표	
	플랫폼	도시스케일	토지이용	
			교통계획	
		지구스케일	교통활동	
기타 화면	HOME	로그인	-	-
	게시판	새소식	-	
		자료실	-	
	MEMBER	회원가입	-	
		아이디찾기	-	
		비밀번호찾기	-	
		개인정보수정	-	

○ 프로그램 UI는 프로젝트/시나리오(모형데이터) 관리 부분과 분석데이터 표출 부분으로 구분하여 설계하였으며, 프로젝트/시나리오(모형 데이터) 관리 시에는 사용자가 직접 입력하는 UI와 이미 분석된 시나리오를 선택하는 방식이 있음

○ 분석 프로젝트가 생성되면 탄소배출량, 대기확산, 모형 데이터와 관련된 분석이 이루어지게 되며, 선택되는 분석항목에 따라 표출되는 형태가 결정됨

(나) 단위시스템 DB 통합

○ 각 단위시스템을 위해 설계한 DB를 고도화하여 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램을 위한 통합 DB를 구성하였으며, 상세내용은 다음 절에서 다룸

나. 도시공간-교통연계 탄소관리 통합체계 시범도시 적용

(1) 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리프로그램 개발

(가) 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리 프로그램 설계 및 보완

○ 기존에 설계된 통합시스템을 바탕으로 사용자 편의성을 위한 UI 및 기능 보완, 타과제와의 시스템 통합을 위한 DB 보완 등을 수행함

○ 보완한 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 대기확산지수, 도로성능평가, 배출량 산정플랫폼으로 구분됨

○ 사용자정의 분석, 종합분석 등 기능추가 관련 테이블과 타과제와의 연계, 모형 산정 속도를 고려한 테이블을 추가하였으며, 총 82개 테이블로 다음과 같음

<표 1-1-19> 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램 테이블 정의

구분	테이블 명	테이블 정보	비고
토지이용모형 및 존별 탄소배출량	TD_LDEVBRN	BrownField 개발량 변화	삭제
	TD_LDEVGRN	GreenField 개발량 변화	삭제
	TD_LEMPSPCT	토지이용별 연면적	변경
	TD_LFLRSP	단위면적당 임대료변화	삭제
	TD_LOCCDEN	공실면적 변화	삭제
	TD_LOCPDSP	연면적변화	삭제
	TD_LPRMDEV	개발가능면적 변화	삭제
	TD_LQALTY	인당 점유면적 변화	삭제
	TD_LRNTFLSP	질적수준 변화	삭제
	TD_LVCNTSP	건축물 연면적 (사용자정의, 배출량)	변경
	TD_NHLDPOP	비거주인구수변화	삭제
	TD_PCHILD	아동수변화	
	TD_PEMP	고용자수변화	
	TD_PHLDPOP	거주인구수변화	삭제
	TD_PHSEHLD	가구수변화	
	TD_PNMLEMP	명목별 고용자수변화	삭제
	TD_PNWORKER	비근로자수변화	
	TD_PPOP	인구수변화	

구분	테이블 명	테이블 정보	비고
	TD_PRETIRE	은퇴자수변화	
	TD_PWORKER	근로자수변화	
	TD_LMAIN	토지이용 변화 통합	테이블 추가
	TD_PMAIN	인구 변화 통합	테이블 추가
	TD_COZONE	존별 탄소배출량 정보	
	TD_ZONE	존 정보	GIS
교통계획모형 및 링크별 탄소배출량	TO_COLINK	링크별 탄소배출량	
	TO_COLINK_ALL	차종별 탄소배출량	테이블 추가
	TO_COLINK_U	사용자정의 탄소배출량	테이블 추가
	TO_OMNITRANS	교통정보	
	TO_LINK	링크정보	GIS
	TO_NODE	노드정보	GIS
교통활동모형 및 링크별 탄소배출량	TM_COEVENT	이벤트별 탄소배출량	
	TM_COEVENT_U	사용자정의 이벤트별 탄소배출량	테이블 추가
	TM_COEVENTPRO	이벤트시간단위별 탄소배출량	
	TM_COUNT15	15분단위 교통량	
	TM_COUNT30	30분단위 교통량	
	TM_COUNT60	1시간단위 교통량	
	TM_EVENT	이벤트정보	
	TM_EVENTPRO	링크별 초별 사람별 속도	
	TM_EVENTPRO_U	사용자정의 입력 데이터	테이블 추가
	TM_EVENTSUM	링크별 속도평균	
	TM_SPDLINK	링크별 초별 속도정보	
	TM_LINK	링크정보	GIS
	TM_NODE	노드정보	GIS
대기확산모형 및 대기확산지수	TA_ACAI	지구스케일 대기확산지수	
	TA_AERMOD	지구스케일 대기 확산	
	TA_CAIF	대기확산지수 산정지수	
	TA_CAIIDX	대기확산지수 지수정보	
	TA_AIR	기상 정보	
	TA_CALINE	도시스케일 대기 확산	

구분	테이블 명	테이블 정보	비고
	TA_CCAI	도시스케일 대기확산지수	
	TA_LINE	대기확산 등농도 정보	GIS
	TA_POINT	대기확산 포인트 정보	GIS
도로성능평가	TF_ALOS	미시 서비스수준	
	TF_CLOS	거시 서비스수준	
	TF_LOSF	서비스수준 지표	
배출량 산정 플랫폼	TC_DFACTOR	토지이용배출량지표	
	TC_OCARFUEL	교통계획배출량연료	
	TC_OCARTYPE	교통계획배출량차종	
	TC_OCARYEAR	교통계획배출량연식	
	TC_OFACTOR	교통계획배출량지표1	
	TC_OIDX	교통계획배출량지표2	
	TC_MEMSFACTOR	교통활동 배출량 지표	
	TC_MEMSRATE	교통활동 배출량	
	TC_MFACTOR	교통활동 지표	
	TC_MOPMODE	교통활동 OPMODE	
	TC_MVSP	교통활동 VSP	
프로젝트 및 시나리오	TS_PROJECT	프로젝트	
	TS_PRJSCN	프로젝트시나리오관계	
	TS_SCENARIO	시나리오	
	TN_ANALS_LIST_INFO	분석목록정보	
	TN_ANAL_SUMMARY	분석결과요약정보	테이블 추가
지역정보 및 공통코드	TB_EMD	읍면동 정보	GIS
	TB_SGG	시군구 정보	GIS
	TB_SIDO	시도 정보	GIS
	TC_CMMN	공통코드 상위	
	TC_CMMN_DETAIL	공통코드상세	
게시판 및 사용자	TN_BBS_ATCHMNFL	공통게시판 첨부파일	
	TN_BBS_DATA	공통게시판 DATA	
	TN_USER_AUTHOR	사용자별 권한정보	
	TN_USER_PRSNINFO	사용자기초정보	

○ 토지이용모형 관련 테이블은 모형결과 데이터, 존별 탄소배출량, GIS정보를 저장할 수 있는 테이블로 구성되어 있음

○ 모형결과 데이터는 TD_PMAIN, TD_LMAIN에 통합저장 되며, 검색속도를 고려하여 테이블을 분리한 테이블은, TD_PCHILD ~ TD_PWORKER 테이블은 인구변화에 대한 테이블이고, TD_LDEVBRN ~ TD_LVCNTSP는 토지이용 변화에 대한 테이블임

테이블	TD_PMAIN		테이블 설명			인구 정보 통합	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	DYEAR	NUMBER		PK	N	연도	
2	ZONEID	VCHAR2	20	PK	N	존ID	
3	SCN_ID	VCHAR2	20	PK	N	시나리오ID	
4	DPOP	FLOAT			Y	인구수	
5	DEL_POP	VCHAR2	20	PK	N	테이블구분	

테이블	TD_LMAIN		테이블 설명			토지이용 정보 통합	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	DYEAR	NUMBER		PK	N	연도	
2	LANDUSE	VCHAR2	20	PK	N	토지이용	
3	ZONEID	VCHAR2	20	PK	N	존ID	
4	SCN_ID	VCHAR2	20	PK	N	시나리오ID	
5	DAREA	NUMBER			Y	면적	
6	DEL_LAND	VCHAR2	20	PK	N	테이블 구분	

테이블	TD_PCHILD ~ TD_PWORKER		테이블 설명			인구 관련 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	DYEAR	NUMBER		PK	N	연도	
2	ZONEID	VCHAR2	20	PK	N	존ID	
3	SCN_ID	VCHAR2	20	PK	N	시나리오ID	
4	DPOP	FLOAT			Y	인구수	

테이블	TD_LDEVBRN ~ TD_LVCNTSP		테이블 설명			토지이용 관련 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	DYEAR	NUMBER		PK	N	연도	
2	LANDUSE	VCHAR2	20	PK	N	토지이용	
3	ZONEID	VCHAR2	20	PK	N	존ID	
4	SCN_ID	VCHAR2	20	PK	N	시나리오ID	
5	DAREA	NUMBER			Y	면적	

○ 특히, TD_LFLRSP 테이블은 토지이용별 연면적 변화에 대한 테이블로 탄소 배출량 산정 시에 참조하여 입력값으로 사용되며, 사용자 정의 분석 시에도 같은 테이블을 사용함

○ 토지이용모형을 기반으로 산정되는 배출량 데이터는 TD_COZONE에 저장되며, 지표를 참조하여 오염물질별 배출량을 산정함

테이블	TD_COZONE		테이블 설명			탄소배출량 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	LANDUSEID	VCHAR2	20		Y	토지이용	
2	DYEAR	NUMBER			Y	연도	
3	CAREA	FLOAT			Y	면적	
4	POLLUTANT_CODE	VCHAR2	20		Y	오염물질	
5	POLLUTANT_VALUE	FLOAT			Y	오염물질량	
6	ZONEID	VCHAR2	20		Y	존ID	
7	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	

○ 존 정보는 시나리오 설정에 따라 읍면동이 되거나 시군구 단위가 될 수 있어, 행정구역 DB와 매칭된 테이블을 별도로 구성함

테이블	TD_ZONE		테이블 설명			존 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	ZONEID	VCHAR2	20	PK	N	존ID	
2	EMDID	NUMBER			Y	읍면동ID	
3	SGGID	NUMBER			Y	시군구ID	
4	SIDOID	NUMBER			Y	시도ID	
5	CENTERX	INTEGER			Y	중심점X좌표	
6	CENTERY	INTEGER			Y	중심점Y좌표	
7	GISVER	VCHAR2	20	PK	N	GIS 버전	추가

○ 교통계획모형 관련 테이블은 모형결과 데이터, 링크별 탄소배출량, GIS정보를 저장할 수 있는 테이블로 구성되어 있음

○ 모형결과 데이터는 TO_OMNITRANS에 저장되며, LINKID와 매칭 되어 사용함

테이블	TO_OMNITRANS		테이블 설명			교통 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	OMNIID	VCHAR2	20	PK	N	옴니트랜스ID	
2	LINKNR	VCHAR2	20		Y	링크번호	
3	OLOAD	FLOAT			Y	통행량	
4	OCOST	FLOAT			Y	비용	
5	CALCSPEE	FLOAT			Y	속도	
6	CAPACITY	FLOAT			Y	용량	
7	OYEAR	NUMBER			Y	연도	
8	ODIRECTIO N	NUMBER			Y	방향	
9	LINKID	VCHAR2	20		Y	링크ID	
10	SCN_ID	VCHAR2	20		N	시나리오ID	
11	TMSTAMP	VCHAR2	3		N	시간대 구분	추가
12	CARTYPE	VCHAR2	3		N	차종	추가

○ 교통계획모형(Omnitrans)를 기반으로 산정되는 배출량 데이터는 TD_COLINK에 저장되며, 지표를 참조하여 오염물질별 배출량을 산정함

테이블	TO_COLINK		테이블 설명			탄소배출량 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	COLINKID	VCHAR2	20	PK	N	COLINKID	삭제
2	LINKID	VCHAR2	20	FK	Y	LINKID	
3	OMNIID	VCHAR2	20	FK	Y	OMNIID	
4	LINKNR	VCHAR2	20		Y	링크번호	
5	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	SCN_ID	
6	CARTYPE	VCHAR2	20		Y	차종	삭제
7	POLLUTANT_TYPE	VCHAR2	20		Y	오염물질	
8	CYEAR	INTEGER			Y	연도	
9	POLLUTANT_VALUE	FLOAT			Y	오염물질량	
10	TMSTAMP	VCHAR2	3		N	시간대 구분	추가

테이블	TO_COLINK_ALL		테이블 설명			탄소배출량 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	LINKID	VCHAR2	20	FK	Y	LINKID	
2	OMNIID	VCHAR2	20	FK	Y	OMNIID	
3	LINKNR	VCHAR2	20		Y	링크번호	
4	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	SCN_ID	
5	CARTYPE	VCHAR2	20		Y	차종	
6	POLLUTANT_TYPE	VCHAR2	20		Y	오염물질	
7	CYEAR	INTEGER			Y	연도	
8	POLLUTANT_VALUE	FLOAT			Y	오염물질량	
9	TMSTAMP	VCHAR2	3		N	시간대 구분	

○ TO_LINK, TO_NODE 테이블은 교통계획모형(Omnitrans)의 네트워크정보를 포함하고 있으며, NODE, LINK에 대한 정보를 관리하기 위해 정의됨

○ TO_LINK 테이블에서 링크의 속성정보가 저장되고, 한 링크에 양방향의 데이터를 가지고 있어 시작/끝 노드 정보로 방향을 구분할 수 있음

테이블	TO_LINK		테이블 설명			교통링크 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	LINKID	VCHAR2	20	PK	N	링크ID	
2	LINKNR	VCHAR2	20		Y	링크번호	
3	ANODE	VCHAR2	20		Y	시작노드	
4	BNODE	VCHAR2	20		Y	끝노드	
5	ONAME	VCHAR2	20		Y	링크명	
6	OLENGTH	FLOAT			Y	길이	
7	ROADNUMBER	VCHAR2	20		Y	도로번호	
8	ROADTYPE	VCHAR2	20		Y	도로유형	
9	LANES	NUMBER			Y	차선	
10	ZONEID	VCHAR2	20		Y	존ID	
11	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	SCN_ID	삭제
12	GISVER	VCHAR2	20	PK	N	GIS 버전	추가
13	SIDOID	NUMBER			Y	시도 ID	추가
14	SGGID	NUMBER			Y	시군구 ID	추가
15	EMDID	NUMBER			Y	읍면동 ID	추가

테이블	TO_NODE		테이블 설명			교통노드 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	NODEID	VCHAR2	20	PK	N	NODE ID	
2	COORDX	FLOAT			Y	X좌표	
3	COORDY	FLOAT			Y	Y좌표	
4	GISVER	VCHAR2	20	PK	N	GIS 버전	추가

○ 교통활동모형 관련 테이블은 모형결과 데이터, 링크별 탄소배출량, GIS정보를 저장할 수 있는 테이블로 구성되어 있음

○ 모형결과 데이터는 TM_EVENT에 저장되며, AGENT의 이동경로를 나타내고, 시간단위의 교통량을 분석하고자 별도의 테이블을 생성하였음

테이블	TM_EVENT		테이블 설명			통행정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	EVENTTIME	VCHAR2	20		Y	시간	
2	EVENTTYPE	VCHAR2	20		Y	이벤트타입	
3	PERSONID	VCHAR2	20		Y	통행자	
4	VEHICLETYPE	VCHAR2	20		Y	차종	
5	LINKID	VCHAR2	20		Y	링크ID	
6	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	

○ 배출량 산정을 위하여 각 AGENT의 초당 속도가 필요하며, 데이터 저장을 위하여 별도의 테이블을 구성하였음

○ 모형 데이터에서 각 링크의 속도 평균값을 구하고, 해당 링크에 위치한 AGENT의 초당 속도를 산정함

○ 링크의 각 15분, 30분, 1시간 단위의 교통량을 별도로 산정하여 저장함

테이블	TM_COUNT15, 30, 60		테이블 설명			15분, 30분, 1시간 단위 교통량	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	LINKID	VCHAR2	20		Y	링크ID	
2	TMSTAMP	VCHAR2	20		Y	시간	
3	VOLUME	NUMBER			Y	교통량	
4	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	
5	LNKLEN	NUMBER			Y	링크길이	

테이블	TM_EVENTSUM		테이블 설명			링크별 속도평균	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	ENTEREDTIME	NUMBER			Y	진입시간	
2	LEFTTIME	NUMBER			Y	진출시간	
3	VEHICLETYPE	VCHAR2	20		Y	차종	
4	LNKLEN	NUMBER			Y	길이	
5	LNKSPEED	NUMBER			Y	속도	
6	LINKID	VCHAR2	20		Y	링크ID	
7	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	
8	PERSONID	VCHAR2	20		Y	통행자	

테이블	TM_EVENTPRO		테이블 설명			링크별 초별 사람별 속도	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	EVENTTIME	VCHAR2	20		Y	시간	
2	REGCLASSID	VCHAR2	20		Y	REGCLASSID	
3	SOURCEID	VCHAR2	20		Y	SOURCEID	
4	AVGSPD	NUMBER			Y	속도	
5	LINKID	VCHAR2	20		Y	링크ID	
6	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	
7	PERSONID	VCHAR2	20		Y	통행자	

○ 산정된 링크별/초별/AGENT별 속도에 대해서 배출량을 산정하며, 배출량 표출을 위하여 초별 데이터는 15분, 30분, 1시간 단위로 구분하여 저장할 수 있도록 구성하였음

테이블	TM_COEVENT		테이블 설명			탄소배출량	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	LINKID	VCHAR2	20		Y	링크ID	
2	EVENTTIME	VCHAR2	20		Y	시간대	
3	POLTYPE	CHAR	18		Y	오염물질종류	
4	VSP	NUMBER			Y	오염물질량	
5	REGCLASSID	VCHAR2	20		Y	REGCLASSID	
6	SOURCEID	VCHAR2	20		Y	SOURCEID	
7	AGENTID	VCHAR2	20		Y	AGENTID	
8	FUELTYPE	VCHAR2	20		Y	연료	
9	VEHICLETYPE	VCHAR2	100		Y	차종	
10	OPMODE	NUMBER			Y	OPMODE	
11	EMS	NUMBER			Y	배출량	
12	EMSFAC	NUMBER			Y	보정배출량	
13	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	
14	AVGSPD	NUMBER			Y	속도	
15	ACCEL	NUMBER			Y	가속도	

테이블	TM_COEVENTPRO		테이블 설명			TM_COEVENTPRO	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	LINKID	VCHAR2	20		Y	링크ID	
2	TMSTAMP	VCHAR2	20		Y	시간대	
3	POLTYPE	CHAR	18		Y	오염물질종류	
4	REGCLASSID	VCHAR2	20		Y	REGCLASSID	
5	SOURCEID	VCHAR2	20		Y	SOURCEID	
6	FUELTYPE	VCHAR2	20		Y	연료	
7	VEHICLETYPE	VCHAR2	20		Y	차종	
8	EMS	NUMBER			Y	배출량	
9	EMSFAC	NUMBER			Y	보정배출량	
10	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	

○ TM_LINK와 TM_NODE 테이블은 링크의 정보와 GIS 데이터 표출을 위한 데이터임

테이블	TM_LINK		테이블 설명			교통 링크 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	LINKID	VCHAR2	20	PK	N	링크ID	
2	SCN_ID	VCHAR2	20	PK	N	시나리오ID	
3	ONEWAY	VCHAR2	20		Y	방향	
4	PERMLANES	NUMBER			Y	차선	
5	CAPACITY	FLOAT			Y	용량	
6	FREESPEED	FLOAT			Y	속도	
7	MLENGTH	FLOAT			Y	길이	
8	FNODE	VCHAR2	20		Y	시작노드	
9	TNODE	VCHAR2	20		Y	종료노드	
10	GISVER	VCHAR2	20	PK	N	GIS 버전	추가
11	SIDOID	NUMBER			Y	시도 ID	추가
12	SGGID	NUMBER			Y	시군구 ID	추가
13	EMDID	NUMBER			Y	읍면동 ID	추가

테이블	TM_NODE		테이블 설명			교통 노드 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	NODEID	VCHAR2	20	PK	N	nodeID	
2	COORDX	FLOAT			Y	X좌표	
3	COORDY	FLOAT			Y	Y좌표	
4	SCN_ID	VCHAR2	20	PK	N	시나리오ID	
5	GISVER	VCHAR2	20	PK	N	GIS 버전	추가

○ 대기확산모형 관련 테이블은 모형 입력/결과 데이터, 대기확산지수, GIS정보를 저장할 수 있는 테이블로 구성되어 있음

○ 모형의 입력 데이터로는 기상정보, 지형정보, 배출량정보가 있으며, 기상정보 테이블은 다음과 같고, 지형정보는 GIS 데이터로 사용되며, 배출량정보는 도시스케일(TO_COLINK), 지구스케일(TM_COEVNETPRO)의 배출량 정보에서 사용함

테이블	TA_AIR		테이블 설명			기상 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CAIRID	VCHAR2	20	PK	N	CAIRID	
2	SCN_ID	VCHAR2	20	FK	Y	SCN_ID	
3	VELOCITY	INTEGER			Y	풍속	
4	STABLITY	INTEGER			Y	대기안정도	
5	MIXHEIGHT	INTEGER			Y	혼합고	

○ 모형의 결과 데이터는 스케일 단위로 구분하여 저장되며, 오염물질별 배출량과 함께 대기확산지수 값이 같이 산정되어 저장됨

테이블	TA_CALINE		테이블 설명			대기 확산 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CALINEID	VCHAR2	20	PK	N	CALINEID	
2	POINTID	VCHAR2	20	FK	Y	POINTID	
3	POLLUTANT_TYPE	VCHAR2	20		Y	오염물질	
4	POLLUTANT_VALUE	NUMBER			Y	오염농도	
5	CAIVAL	NUMBER			Y	대기확산지수	
6	OYEAR	NUMBER			Y	분석연도	

테이블	TA_AERMOD		테이블 설명			대기 확산 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CALINEID	VCHAR2	20	PK	N	CALINEID	
2	POINTID	VCHAR2	20	FK	Y	POINTID	
3	POLLUTANT_TYPE	VCHAR2	20		Y	오염물질	
4	POLLUTANT_VALUE	NUMBER			Y	오염농도	
5	CAIVAL	NUMBER			Y	대기확산지수	
6	DTIME	NUMBER			Y	시간대	

○ 통합대기확산지수에 대해서는 TA_CCAI, TA_ACAI 테이블에 별도로 저장됨

테이블	TA_CCAI		테이블 설명			대기확산지수 산정	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CAIID	VCHAR2	20	PK	N	대기확산지수ID	
2	POINTID	VCHAR2	20	FK	Y	POINTID	
3	CAIVAL	NUMBER			Y	통합대기확산지수	
4	MAINPOLLUTANT	NUMBER			Y	주요오염물질	
5	OYEAR	NUMBER			Y	분석연도	

테이블	TA_ACAI		테이블 설명			대기확산지수 산정	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CAIID	VCHAR2	20	PK	N	대기확산지수ID	
2	POINTID	VCHAR2	20	FK	Y	POINTID	
3	CAIVAL	NUMBER			Y	통합대기확산지수	
4	MAINPOLLUTANT	VCHAR2	20		Y	주요오염물질	
5	DTIME	NUMBER			Y	시간대	

○ 대기확산지수 산정을 위하여 지수에 대한 테이블은 TA_CAIF이며, 대기확산지수구간에 대한 정보를 표출하기 위하여 TA_CAIIDX 테이블을 구성하였으며, 변경된 대기확산지수 지수를 적용하기 위하여 사용여부 필드를 추가함

테이블	TA_CAIIDX		테이블 설명			대기확산지수 지수 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CAIIDXID	VCHAR2	20	PK	N	CAIIDXID	
2	CAIGRADE	VCHAR2	20		Y	지수	
3	RANGE	VCHAR2	20		Y	점수범위	
4	SYMCOLOR	VCHAR2	20		Y	상징색	
5	GRADESTATE	VCHAR2	20		Y	지수구분	
6	COMMENT	VCHAR2	20		Y	구간의미	
7	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	추가
8	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
9	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

테이블	TA_CAIF		테이블 설명			대기확산지수 산정 지수	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CAIFID	CHAR	18	PK	N	CAIFID	
2	CAIIDXID	VCHAR2	20	FK	Y	CAIIDXID	
3	POLLUTANT_TYPE	VCHAR2	20		Y	대기오염물질	
4	AVGHR	INTEGER			Y	시간구분	
5	RANGEL	INTEGER			Y	점수L	
6	RANGEH	INTEGER			Y	점수H	
7	DEPTHL	INTEGER			Y	농도L	
8	DEPTHH	INTEGER			Y	농도H	
9	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	추가
10	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
11	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

○ TA_POINT테이블에는 X, Y, Z(HIVAL) 값으로 SRTM3에서 추출한 지형정보가 저장되어 있으며, 630m 단위로 구분하여 저장되어 있음

테이블	TA_POINT		테이블 설명			대기확산 지형 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	POINTID	VCHAR2	20	PK	N	POINTID	
2	SCN_ID	VCHAR2	20	FK	Y	SCN_ID	
3	XCOORD	INTEGER			Y	X좌표	
4	YCOORD	INTEGER			Y	Y좌표	
5	POINTNAME	VCHAR2	20		Y	예측점 이름	
6	HIVAL	INTEGER			Y	예측점 높이	
7	GISVER	VCHAR2	20	PK	N	GIS 버전	추가
8	SIDOID	NUMBER			Y	시도 ID	추가
9	SGGID	NUMBER			Y	시군구 ID	추가
10	EMDID	NUMBER			Y	읍면동 ID	추가

○ 도로성능평가관련 테이블은 LOS 지표와 산정된 데이터가 저장되는 테이블로 구성되어 있으며, 도시스케일, 지구스케일 모형데이터의 도로별 교통량에 대하여 LOS지표를 적용하여 산정된 데이터는 TF_ALOS, TF_CLOS에 저장됨

테이블	TF_LOSF		테이블 설명			서비스수준 지표	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	ROADTYPE	VCHAR2	20	PK	N	도로구분	
2	LOSID	VCHAR2	20		Y	서비스수준	
3	LOSGBN	NUMBER			Y	서비스수준 산정 구분	
4	LOSLOW	NUMBER			Y	범위L	
5	LOSHIGH	NUMBER			Y	범위H	
6	USEYN	VCHAR2	1		Y	사용여부	
7	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
8	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

테이블	TF_CLOS		테이블 설명			서비스수준	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CLOSID	VCHAR2	20	PK	N	CLOSID	삭제
2	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	
3	OMNIID	VCHAR2	20		Y	옴니트랜스ID	
4	LINKID	VCHAR2	20		Y	링크ID	
5	LINKNR	VCHAR2	20		Y	링크번호	
6	CALCSPEE	NUMBER			Y	통과속도	
7	OYEAR	NUMBER			Y	연도	
8	ODIRTION	VCHAR2	1		Y	방향	
9	REFSPD	NUMBER			Y	기준속도	삭제
10	LOSSCOST	NUMBER			Y	손실비용	
11	LOSVAL	VCHAR2	3		Y	서비스수준	
12	ENVRCOST	NUMBER			Y	환경비용	추가
13	TMSTAMP	VCHAR2	3		Y	시간대	
14	CARTYPE	VCHAR2	3		Y	차종	삭제

테이블	TF_ALOS		테이블 설명			서비스수준	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CLOSID	VCHAR2	20	PK	N	CLOSID	삭제
2	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	
3	LINKID	VCHAR2	20		Y	링크ID	
4	CALCSPEE	NUMBER			Y	통과속도	
5	ODIRTION	VCHAR2	1		Y	방향	
6	REFSPD	NUMBER			Y	기준속도	삭제
7	LOSSCOST	NUMBER			Y	손실비용	
8	LOSVAL	VCHAR2	3		Y	서비스수준	
9	ENVRCOST	NUMBER			Y	환경비용	추가
10	TMSTAMP	VCHAR2	3		Y	시간대	
11	CARTYPE	VCHAR2	3		Y	차종	삭제

○ 배출량 산정 플랫폼 관련 테이블은 토지이용, 교통계획, 교통활동 배출량 지표로 구분됨

○ TC_DFACTOR에는 토지이용모형 기반의 배출량 산정 플랫폼의 지표가 저장되며, 지역별, 오염물질별, 토지이용별(토지이용에 대한 정보는 토지 이용 모형구분을 따름) 지표가 저장됨

테이블	TC_DFACTOR		테이블 설명			토지이용 배출량 산정계수	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	DFACTORID	CHAR	18	PK	N	DFACTORID	
2	SIDOID	VCHAR2	20	FK	Y	SIDOID	
3	LANDUSEID	CHAR	18		Y	LANDUSEID	
4	DFACTOR	CHAR	18		Y	산정 계수	
5	DYEAR	CHAR	18		Y	연도	
6	POLLUTANT TYPE	CHAR	18		Y	오염물질 구분	
7	USEYN	VCHAR2	1		Y	사용여부	
8	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
9	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

○ 교통계획모형 기반의 배출량 산정 플랫폼(배출계수 식)의 지표는 통계정보를 포함하여 저장되며, 차종, 연식 등에 대한 정보를 포함함

테이블	TC_CARTYPE		테이블 설명			차종 정보 통계	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CARTYPEID	VCHAR2	20	PK	N	CARTYPEID	
2	CARTYPE	VCHAR2	20		Y	차종분류	
3	CARRATE	FLOAT			Y	차종분포율	
4	CYEAR	VCHAR2	20		Y	연도	
5	SIDOID	VCHAR2	20		Y	SIDOID	
6	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
7	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

테이블	TC_CARFUEL		테이블 설명			차량 연료정보 통계	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CARFUELID	VCHAR2	20	PK	N	CARFUELID	
2	CARTYPE	VCHAR2	20		Y	차량유형	
3	FUELTYPE	VCHAR2	20		Y	연료유형	
4	FUELRATE	FLOAT			Y	연료분포율	
5	SIDOID	VCHAR2	20		Y	SIDOID	
6	CYEAR	INTEGER			Y	연도	
7	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
8	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

테이블	TC_OFACTOR		테이블 설명			교통 배출량 산정계수	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	OFACTORID	VCHAR2	20	PK	N	OFACTORID	
2	CARTYPEID	VCHAR2	20	FK	Y	CARTYPEID	
3	CARYEARID	VCHAR2	20	FK	Y	CARYEARID	
4	CARFUELID	VCHAR2	20	FK	Y	CARFUELID	
5	CARTYPE	VCHAR2	20		Y	차종	
6	FUELTYPE	VCHAR2	20		Y	연료구분	
7	CARSYEAR	INTEGER			Y	연식범위(저)	
8	CAREYEAR	INTEGER			Y	연식범위(고)	
9	FORMULA	VCHAR2	20		Y	산정식	
10	CONSTANA	INTEGER			Y	상수A	
11	CONSTANB	INTEGER			Y	상수B	
12	CONSTANC	INTEGER			Y	상수C	
13	POLLUTANT_TYPE	VCHAR2	20		Y	오염물질구분	
14	CYEAR	INTEGER			Y	연도	
15	MINSPEED	INTEGER			Y	최저속도	
16	MAXSPEED	INTEGER			Y	최고속도	
17	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
18	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

테이블	TC_CARYEAR		테이블 설명			차량 연식 정보 통계	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CARYEARID	VCHAR2	20	PK	N	CARYEARID	
2	CARTYPE	VCHAR2	20		Y	차량유형	
3	CARYEAR	INTEGER			Y	연식	
4	YEARRATE	FLOAT			Y	연식분포율	
5	CYEAR	INTEGER			Y	연도	
6	SIDOID	VCHAR2	20		Y	SIDOID	
7	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
8	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

○ 교통계획모형 기반의 배출량 산정 플랫폼(장래배출계수)의 지표는 차종, 속도, 연도정보를 포함하여 저장됨

테이블	TC_OFACTOR_ NEW		테이블 설명			교통 배출량 산정계수	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	OYEARLOW	NUMBER			Y	분석연도 범위	
2	REGION	VCHAR2	2		Y	지역	
3	CARTYPE	VCHAR2	2		Y	차종	
4	POLTYPE	VCHAR2	2		Y	오염물질	
5	SPDLOW	NUMBER	20		Y	속도 범위	
6	SPDHIGH	NUMBER	20		Y	속도 범위	
7	FACLOW	NUMBER			Y	지표 범위	
8	FACHIGH	NUMBER			Y	지표 범위	
9	OYEARHIGH	NUMBER			Y	분석연도 범위	
10	USEYN	VCHAR2	1		Y	사용여부	
11	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
12	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

○ 교통활동모형 기반의 배출량 산정 플랫폼의 지표는 OPMODE, VSP에 대한 지표와 그에 따른 배출량 정보를 포함함

테이블	TC_MVSP		테이블 설명			교통활동 VSP	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	MVSPID	VCHAR2	20	PK	N	MVSPID	
2	SOURCEID	VCHAR2	20		Y	SOURCEID	
3	REGCLASSID	VCHAR2	20		Y	REGCLASSID	
4	SOURCENAME	VCHAR2	50		Y	차종	
5	ROLLINGTERMA	NUMBER			Y	주행저항력	
6	ROTATINGTERMB	NUMBER			Y	회전저항력	
7	DRAGTERMC	NUMBER			Y	공기저항력	
8	FIXEDMASSFACTOR	NUMBER			Y	고정무게	
9	SOURCEMESS	NUMBER			Y	보정무게	
10	POLTYPE	VCHAR2	20		Y	오염물질	
11	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
12	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

테이블	TC_MEMSFACTOR		테이블 설명			교통활동 배출량 지표	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	OPMODE	VCHAR2	20		N	OP모드	
2	REGCLASSID	VCHAR2	20		Y	차종1	
3	SOURCEID	VCHAR2	20		Y	차종2	
4	POLTYPE	VCHAR2	20		Y	오염물질	
5	FUELTYPE	VCHAR2	20		Y	연료유형	
6	VEHICLE	VCHAR2	20		Y	차종	
7	EMSRATE	NUMBER			Y	EMSRATE	
8	FACTORRATE	NUMBER			Y	FACTORRATE	
9	JOINRATE	NUMBER			Y	JOINRATE	
10	USEYN	NUMBER			Y	사용여부	
11	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
12	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

테이블	TC_MOPMODE		테이블 설명			교통활동 OPMODE	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	TMOPID	NUMBER		PK	N	OPMODEID	
2	OPMODE	NUMBER			Y	OPMODE	
3	VSPLOWER	NUMBER			Y	VSP 최소	
4	VSPUPPER	NUMBER			Y	VSP 최대	
5	SPDLOWER	NUMBER			Y	속도 최소	
6	SPDUPPER	NUMBER			Y	속도 최대	
7	BRAKERATE1SECLO	NUMBER			Y	1초 최소	
8	BRAKERATE1SECUP	NUMBER			Y	1초 최대	
9	BRAKERATE3SEC	NUMBER			Y	3초 범위	
10	USEYN	VCHAR2	20		Y	사용여부	
11	OPMODENAME	VCHAR2	50		Y	OPMODE 명	
12	VSPNAME	VCHAR2	20		Y	VSP 명	
13	SPDNAME	VCHAR2	20		Y	속도 명	
14	ACCLNAME	VCHAR2	50		Y	가속도 명	
15	POLTYPE	VCHAR2	20		Y	오염물질	
16	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	추가
17	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	추가

○ 프로젝트 및 시나리오, 지역정보 및 공통코드, 게시판 및 사용자와 관련한 테이블은 다음과 같으며, 타과제와의 연계를 위한 TN_ANAL_SUMMARY 테이블을 추가함

○ 프로젝트 및 시나리오 관련 테이블은 다음과 같이 구성되며, 생성된 시나리오를 다른 프로젝트에서도 이용하기 위하여 프로젝트-시나리오관계를 정의하는 별도의 테이블을 구성하였음

테이블	TS_PROJECT		테이블 설명			프로젝트	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	PROJECTID	VCHAR2	20	PK	N	프로젝트ID	
2	PROJECTNAME	VCHAR2	200		Y	프로젝트명	
3	PWRITER	VCHAR2	100		Y	작성자	
4	SCALEGBN	VCHAR2	20		Y	스케일구분	
5	REGION	VCHAR2	100		Y	분석지역	
6	SDATE	DATE			Y	시작연도	
7	EDATE	DATE			Y	종료연도	
8	SCOMMENT	VCHAR2	3000		Y	상세내용	
9	NSCENARIO	VCHAR2	20		Y	시나리오수	
10	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	
11	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	
12	UPDT_DATE	DATE			N	변경일시	
13	UPDT_ID	VCHAR2	20		N	수정한 사용자ID	
14	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	

테이블	TS_PRJSCN		테이블 설명			프로젝트 시나리오관계	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	PRJSCNID	VCHAR2	4	PK	N	프로젝트시나리오ID	
2	PROJECTID	VCHAR2	20		Y	프로젝트ID	
3	SCN_ID	VCHAR2	20		Y	시나리오ID	
4	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	
5	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	
6	UPDT_DATE	DATE			N	변경일시	
7	UPDT_ID	VCHAR2	20		N	수정한 사용자ID	
8	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	
9	REGIST_TY	VCHAR2	3		Y	등록유형	

테이블	TS_SCENARIO		테이블 설명			시나리오	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	SCN_ID	VCHAR2	20	PK	N	시나리오ID	
2	SCENARIONAME	VCHAR2	200		Y	시나리오명	
3	SCOMMENT	VCHAR2	500		Y	상세내용	
4	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	
5	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	
6	UPDT_DATE	DATE			N	변경일시	
7	UPDT_ID	VCHAR2	20		N	수정한 사용자ID	
8	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	
9	UPLOAD_AT	VCHAR2	3		Y	업로드여부	
10	UPLOAD_DT	DATE			Y	업로드일시	

○ 분석메뉴별 도출되는 요약정보관련 별도 테이블을 생성하고, 해당 테이블 구성은 다음과 같음

테이블	TN_ANAL_SUMMARY		테이블 설명			분석 요약	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	SCALEGBN	VCHAR2	3	PK	N	스케일구분	
2	ANALS_MENU_TY	VCHAR2	3		Y	분석메뉴유형	
3	SMR_GBN	VCHAR2	3		Y	요약구분	
4	SMR_VALUE	NUMBER			Y	요약 값	
5	USEYN	VCHAR2	3		Y	사용여부	
6	SCN_ID	VCHAR2	3		Y	시나리오 ID	

○ 분석하는 메뉴에 따라 조회조건과 지도화면에서 표출되는 내용이 달라지지만, 공통적으로 쓰이는 부분이 존재하기 때문에 이를 코드화하여 저장될 수 있도록 구성함

○ 따라서, 분석 메뉴의 조회조건 및 지도표출 구성 변경은 데이터로써 관리할 수 있으며 변경시에 바로 적용이 가능하고 해당테이블의 구성은 다음과 같음

테이블	TN_ANALS_LIST_INFO		테이블 설명			분석 목록정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	ANALS_LIST_NO	NUMBER		PK	N	분석목록번호	
2	SCALEGBN	VCHAR2	3		Y	스케일구분	
3	ANALS_MENU_TY	VCHAR2	3		Y	분석메뉴유형	
4	ANALS_SE	VCHAR2	100		Y	분석구분	
5	ANALS_IEM				Y	분석항목	
6	ANALS_RESULT_CN	VCHAR2	300		Y	분석결과내용	
7	INQIRE_1_CN	VCHAR2	3		Y	조회조건1	
8	INQIRE_2_CN				Y	조회조건2	
9	INQIRE_3_CN				Y	조회조건3	
10	INQIRE_4_CN				Y	조회조건4	
11	SORT_ORDR	NUMBER			Y	정렬순서	
12	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	
13	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	
14	UPDT_DATE	DATE			N	변경일시	
15	UPDT_ID	VCHAR2	20		N	수정한 사용자ID	
16	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	
17	INQIRE_5_CN	VCHAR2	3		Y	조회조건5	추가
18	MAP_EPRSS_TY_1	VCHAR2	3		Y	지도표출1	추가
19	MAP_EPRSS_TY_2	VCHAR2	3		Y	지도표출2	추가
20	MAP_EPRSS_TY_3	VCHAR2	3		Y	지도표출3	추가
21	MAP_EPRSS_TY_4	VCHAR2	3		Y	지도표출4	추가
22	PLF_GBN	VCHAR2	3		Y	플랫폼 구분	추가

○ 게시판 관리를 위한 테이블로 파일 첨부가 가능하도록 설계하였음

테이블	TN_BBS_DATA		테이블 설명			공통게시판 DATA	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	BOARD_SNO	NUMBER		PK	N	게시판일렬번호	
2	BOARD_GB	VCHAR2	10		N	게시판구분	
3	USER_ID	VCHAR2	20		N	사용자ID	
4	REG_NM	VCHAR2	50		Y	등록자명	
5	PSITN	VCHAR2	50		Y	소속	
6	OPEN_GB	CHAR	1		Y	공개구분	
7	SJT	VCHAR2	100		Y	제목	
8	CTN	VCHAR2	4000		Y	내용	
9	INQCNT	NUMBER			Y	조회수	
10	REFER_NO	NUMBER			Y	참조일렬번호	
11	STEP	NUMBER			Y	순서	
12	LEVELING	NUMBER			Y	레벨	
13	FILE_YN	VCHAR2	1		Y	첨부파일여부	
14	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	
15	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	
16	UPDT_DATE	DATE			N	변경일시	
17	UPDT_ID	VCHAR2	20		N	수정한 사용자ID	
18	CONECT_IP	VCHAR2	15		N	접속자IP	
19	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	

테이블	TN_BBS_ATCHMNFL		테이블 설명			공통게시판 첨부파일	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	FILE_ID	NUMBER		PK	N	첨부파일 ID	
2	BOARD_SNO	NUMBER		PK	N	게시판일렬번호	
3	FILE_ORDR	NUMBER			Y	첨부파일 순서	
4	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	
5	FILE_REAL_NM	VCHAR2	1000		Y	첨부파일 원본파일명	
6	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	
7	FILE_SAVE_NM	VARCAHR2	1000		Y	첨부파일 저장파일명	
8	UPDT_DATE	DATE			N	변경일시	
9	FILE_SIZE	NUMBER			Y	첨부파일 사이즈	
10	UPDT_ID	VCHAR2	200		N	수정한 사용자ID	
11	FILE_TY	VCHAR2	10		Y	첨부파일 타입	
12	CONECT_IP	VCHAR2	15		N	접속자IP	
13	FILE_PATH	VCHAR2	100		Y	첨부파일 경로	
14	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	
15	DOWNLOAD_CO	NUMBER			Y	다운로드 수	

○ 사용자 관리를 위한 테이블로 권한을 부여하여 프로그램의 접근 권한을 설정하였음

테이블	TN_USER_PRSNINFO		테이블 설명			사용자기초정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	USER_ID	VCHAR2	20	PK	N	사용자ID	
2	USER_NM	VCHAR2	40		Y	사용자명	
3	USER_PASSWORD	VCHAR2	20		Y	비밀번호	
4	USER_TELNO	VCHAR2	15		Y	사용자 연락처	
5	USER_MBTLNUM	VCHAR2	20		Y	휴대폰번호	
6	USER_EMAIL	VCHAR2	30		Y	이메일주소	
7	USER_TY	VCHAR2	3		N	사용자 구분	
8	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	
9	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	
10	UPDT_DATE	DATE			N	변경일시	
11	UPDT_ID	VCHAR2	20		N	수정한 사용자ID	
12	CONECT_IP	VCHAR2	15		N	접속자IP	
13	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	

테이블	TN_USER_AUTHOR		테이블 설명			사용자별 권한정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	MENU_ID	VCHAR2	10	PK	N	메뉴ID	
2	USER_TY	VCHAR2	3	PK	N	사용자 구분	
3	AUTH_AT	VCHAR2	1		Y	조회 권한여부	
4	REGIST_DATE	DATE			Y	등록일시	
5	REGIST_ID	VCHAR2	20		Y	등록한 사용자ID	
6	UPDT_DATE	DATE			Y	변경일시	
7	UPDT_ID	VCHAR2	20		Y	수정한 사용자ID	
8	CONECT_IP	VCHAR2	15		Y	접속자IP	

○ 분석을 위해서는 지역정보를 필요로 하며, 각 모형 데이터에 대해서 지역정보를 부여하여 사용할 수 있도록 구성하였음

테이블	TB_SIDO		테이블 설명			시도 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	SIDOID	NUMBER		PK	N	시도ID	
2	SIDONAME	VCHAR2	20		Y	시도명	
3	CENTERX	FLOAT			Y	중심점X좌표	
4	CENTERY	FLOAT			Y	중심점Y좌표	
5	GISVER	VCHAR2	2		N	버전정보	추가

테이블	TB_SGG		테이블 설명			시군구 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	SGGID	NUMBER		PK	N	시군구ID	
2	SGGNAME	VCHAR2	50		Y	시군구명	
3	CENTERX	FLOAT			Y	중심점X좌표	
4	CENTERY	FLOAT			Y	중심점Y좌표	
5	SIDOID	NUMBER			Y	시도ID	
6	GISVER	VCHAR2	2		N	버전정보	추가

테이블	TB_EMD		테이블 설명			읍면동 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	EMDID	NUMBER		PK	N	읍면동ID	
2	EMDNAME	VCHAR2	50		Y	읍면동명	
3	CENTERX	FLOAT			Y	중심점X좌표	
4	CENTERY	FLOAT			Y	중심점Y좌표	
5	SGGID	NUMBER			Y	시군구ID	
6	SIDOID	NUMBER			Y	시도ID	
6	GISVER	VCHAR2	2		N	버전정보	추가

○ 코드 테이블은 상위, 하위테이블을 구분하여 관리하고, 공통적으로 관리할 수 있도록 구성하였음

테이블	TC_CMMN		테이블 설명			공통코드 상위	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CMMN_ID	VCHAR2	20	PK	N	코드구분	
2	CMMN_NM	VCHAR2	100		Y	코드구분명	
3	CMMN_RM	VCHAR2	1000		Y	공통코드 비고	
4	REGIST_DATE	DATE			N	등록일시	
5	REGIST_ID	VCHAR2	20		N	등록한 사용자ID	
6	UPDT_DATE	DATE			N	변경일시	
7	UPDT_ID	VCHAR2	20		N	수정한 사용자ID	
8	CONECT_IP	VCHAR2	15		N	접속자IP	
9	USEYN	VCHAR2	1		N	사용여부	

테이블	TC_CMMN_DETAIL		테이블 설명			공통코드상세	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CMMN_DETAIL_DIV	VCHAR2	20			상세코드구분	
2	CMMN_ID	VCHAR2	20			코드구분	
3	CMMN_DETAIL_NM	VCHAR2	100			상세코드구분명	
4	CMMN_DETAIL_RM	VCHAR2	1000			상세공통코드 비고	
5	ORDR_NO	NUMBER				정렬순서	
6	REGIST_DATE	DATE				등록일시	
7	REGIST_ID	VCHAR2	20			등록한 사용자ID	
8	UPDT_DATE	DATE				변경일시	
9	UPDT_ID	VCHAR2	20			수정한 사용자ID	
10	CONECT_IP	VCHAR2	15			접속자IP	
11	USEYN	VCHAR2	1			사용여부	
12	ETC	VCHAR2	100			기타	

○ 인덱스 전용 테이블 스페이스는 GCEMS_INDEX로 생성함

○ 인덱스를 포함한 ID명 체계는 다음과 같이 부여하는 것을 원칙으로 함

<표 1-1-20> 데이터 인덱스 명명 규칙

번호체계	I	_	TBNM	_	S	D
I	ID의 유형을 나타냄 (I : 인덱스)					
TBNM	항목의 테이블명을 냄 (TBNM: 테이블 명) * 테이블명의 길이가 길 경우 _ 로 구분함					
S	단위 시스템의 구분자					
D	일련번호를 나타냄					

○ 중복되는 데이터 관리를 위하여 코드를 정의하고 DB로 구축하고, 상세내용은 다음과 같음

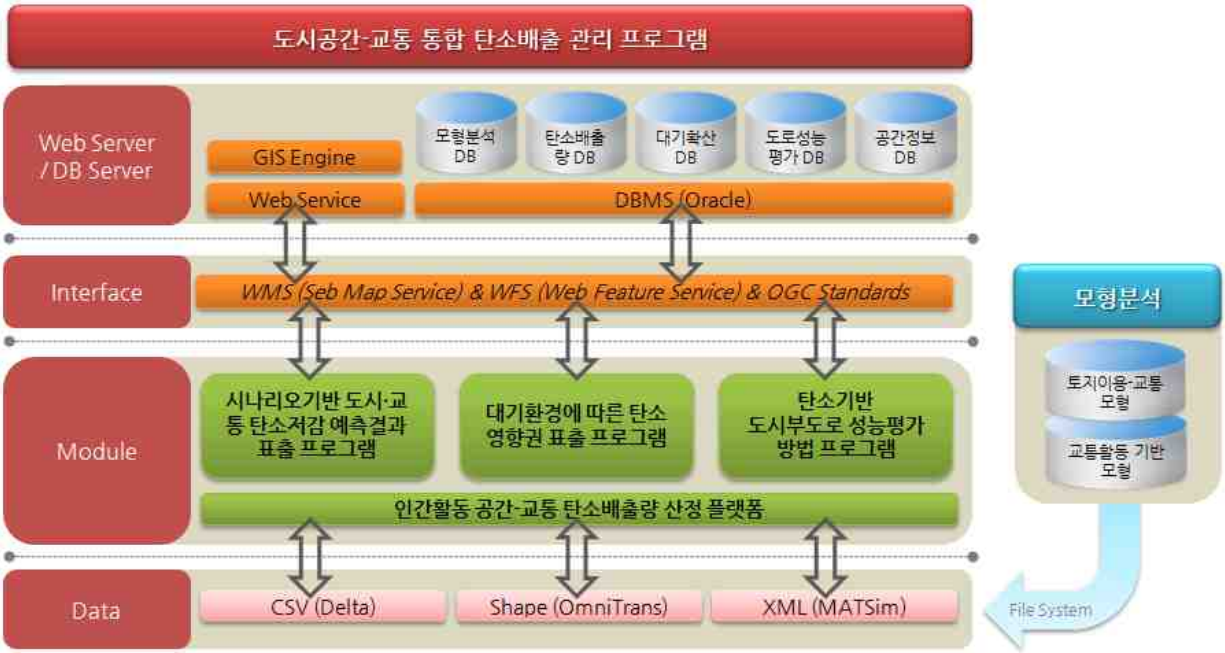
<표 1-1-21> 코드 분류

구분	코드 대분류	코드 설명
토지이용 모형 관련	DEL_LAND	토지이용 파일구분
	DEL_LANTY	토지이용 유형
	DEL_POP	인구 파일구분
	DEL_POTY	토지이용 요염물질
교통계획 모형관련	OMN_FMTY	배출량 산정지표 구분
	OMN_FMTY_N	배출량 산정지표 구분
	OMN_FORM	배출량 산정식
	OMN_FUEL	연료구분
	OMN_POTY	오염물질 구분
	OMN_RDTY	도로유형 구분
	OMN_REG	지역구분
	OMN_TS1	시간구분 (오전첨두, 오후첨두, 비첨두)
	OMN_TS2	시간구분 (오전첨두, 오후첨두, 비첨두, 전체)
	OMN_TY	분석 유형
	OMN_VG	승용차
	OMN_VT	승용차 경형
	OMN_VV	차종 구분

	OMN_YEAR	연도구분
	VV_RATE	차종비율
교통활동 모형관련	MAT_FMTY	교통활동 배출량 산정 지표구분
	MAT_FUL	연료구분
	MAT_OP	OPMODE
	MAT_POTY	오염물질 구분
	MAT_REG	REG 구분
	MAT_SRC	SRC 구분
	MAT_TMTY	시간대 구분
	MAT_TY	분석 구분
	MAT_VTS	차종구분(소)
	MAT_VTT	차종구분(대)
대기확산	CAL_POTY	통합대기환경지수 구분
	CAL_EPTY	대기확산 표출 유형
	CAL_POTY	대기확산 오염물질 구분
	CAL_TMTY	대기확산 모형 시간 구분
도로성능평가	ENVR_COST	환경비용
	LOS_FMTY	도로성능평가 지표구분
	LOS_RDTY	도로유형 구분
	LOS_TY	도로성능평가 유형
시나리오관리	ANALS_LIST_TY	분석 조건 구분
	ANALS_MENU_TY	분석 메뉴 유형
	MAP_EPRSS_TY	지도 표출 유형
	REGIST_TY	시나리오 등록유형
	SCALEGBN	스케일구분
	PLFGBN	플랫폼 구분
	SMR_GBN	요약구분
	USER_PRSN	사용자구분
	USEYN	사용여부

(나) 도시공간-교통 통합 탄소배출 관리 프로그램 개발

○ 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리 프로그램은 탄소저감을 위한 정책 시나리오에 따라 모형분석, 탄소배출량, 대기확산, 도로성능평가 등이 산정되어 결과를 표출하는 것이 주된 기능이며, 타과제와의 연계를 고려하여 다음과 같이 아키텍처를 설계하고, 웹 프로그램으로 구현함



<그림 1-1-7> 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리프로그램 아키텍처

○ 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 프로그램의 주요기능은 분석 프로젝트 관리, 종합분석, 기타 기능으로 구분되며, 다른 기능에 대해서는 각 단위시스템에서 상세히 설명함

○ 프로그램 개발을 위한 개발정의서(명명정의서)는 다음과 같으며, 페이지별로 사용되는 VO, Implement, Service. controller가 정의됨

<표 1-1-22> 개발정의서

LV.3	LV.4	약어	액션명	JSP	VO	sqlid
Template	메인(top, left, footer 호출)화면	mainView		\temple\TempleMainview.jsp		
	상단메뉴(include용)화면	topincView		\temple\TempleTopincview.jsp		
	왼쪽메뉴(include용)화면	leftincView		\temple\TempleLeftincview.jsp		

LV.3	LV.4	약어	액션명	JSP	VO	sqlid
	왼쪽게시판(include용)화면	leftboardView	/templeLeftboardview01.do	\temple\TempleLeftboardview.jsp	\temple\service\TempleVO.java	templeDAO.templeLeftboardview01
	하단(include용)화면	footerincView		\temple\TempleFooterincview.jsp		
HOME	홈페이지화면(로그인전)	mainView	/homeMainview01.do	\home\HomeMainview.jsp	\home\service\HomeVO.java	homeDAO.homeMainview01
	로그인액션	login	/homeLogin01.do			homeDAO.homeLogin01
	로그아웃액션	logout	/homeLogout01.do			homeDAO.homeLogout01
새소식	목록화면	lstView	/noticeLstview01.do	\notice\NoticeLstview.jsp	\notice\service\NoticeVO.java	noticeDAO.noticeLstview01
	상세화면	dtlView	/noticeDtlview01.do	\notice\NoticeDtlview.jsp		noticeDAO.noticeDtlview01
	등록화면	newView	/noticeNewview01.do	\notice\NoticeNewview.jsp		noticeDAO.noticeNewview01
	등록액션	newIns	/noticeNewins01.do			noticeDAO.noticeNewins01
	수정화면	updView	/noticeUpdview01.do	\notice\NoticeUpdview.jsp		noticeDAO.noticeUpdview01
	수정액션	updUpt	/noticeUpdupt01.do			noticeDAO.noticeUpdupt01
	삭제액션	delDel	/noticeDeldel01.do			noticeDAO.noticeDeldel01
자료실	목록화면	lstView	/dataLstview01.do	\data\DataLstview.jsp	\data\service\DataVO.java	dataDAO.dataLstview01
	상세화면	dtlView	/dataDtlview01.do	\data\DataDtlview.jsp		dataDAO.dataDtlview01
	등록화면	newView	/dataNewview01.do	\data\DataNewview.jsp		dataDAO.dataNewview01
	등록액션	newIns	/dataNewins01.do			dataDAO.dataNewins01
	수정화면	updView	/dataUpdview01.do	\data\DataUpdview.jsp		dataDAO.dataUpdview01

LV.3	LV.4	약어	액션명	JSP	VO	sqlid
	수정액션	updUpt	/dataUpdupt01.do			dataDAO.dataUpdupt01
	삭제액션	delDel	/dataDeldel01.do			dataDAO.dataDeldel01
회원가입	회원가입 화면	mbrView	/mbersbscrbMbrview01.do	\mbersbscrb\MbersbscrbMbrview.jsp	\mbersbscrb\service\MbersbscrbVO.java	mbersbscrbDAO.mbersbscrbMbrview01
	회원가입 액션	mbrSrch	/mbersbscrbMbrsrch01.do			mbersbscrbDAO.mbersbscrbMbrsrch01
아이디찾기	아이디 찾기화면	idView	/mbersbscrbIdview01.do	\mbersbscrb\MbersbscrbIdview.jsp	\mbersbscrb\service\MbersbscrbVO.java	mbersbscrbDAO.mbersbscrbIdview01
	아이디찾기 액션	idSrch	/mbersbscrbIdsrch01.do			mbersbscrbDAO.mbersbscrbIdsrch01
비밀번호 찾기	비밀번호 찾기화면	pswView	/mbersbscrbPswview01.do	\mbersbscrb\MbersbscrbPswview.jsp	\mbersbscrb\service\MbersbscrbVO.java	mbersbscrbDAO.mbersbscrbPswview01
	비밀번호 찾기액션	pswSrch	/mbersbscrbPswsrch01.do			mbersbscrbDAO.mbersbscrbPswsrch01
개인정보 수정	개인정보 수정화면	inudView	/mbersbscrbInudview01.do	\mbersbscrb\MbersbscrbInudview.jsp	\mbersbscrb\service\MbersbscrbVO.java	mbersbscrbDAO.mbersbscrbInudview01
	개인정보 수정액션	inudUpt	/mbersbscrbInudupt01.do			mbersbscrbDAO.mbersbscrbInudupt01
분석 프로젝트	프로젝트 목록화면	lstView	/scnprjLstview01.do	\scnprj\ScnprjLstview.jsp	\scnprj\service\ScnprjVO.java	scnprjDAO.scnprjLstview01
	프로젝트 선택팝업화면	dtlpopView	/scnprjDtlpopview01.do	\scnprj\ScnprjDtlpopview.jsp		scnprjDAO.scnprjDtlpopview01
	프로젝트 입력화면	dtlView	/scnprjDtlview01.do	\scnprj\ScnprjDtlview.jsp		scnprjDAO.scnprjDtlview01
	프로젝트 입력액션	pjnewIns	/scnprjPjnewins01.do			scnprjDAO.scnprjPjnewins01

LV.3	LV.4	약어	액션명	JSP	VO	sqlid
	프로젝트 수정화면 및 시나리오 목록화면	pjupdView	/scnprjPjupdview01.do	\scnprj\ScnprjPjupdview.jsp		scnprjDAO.scnprjPjupdview01
	프로젝트 수정액션	pjupdUpt	/scnprjPjupdupt01.do			scnprjDAO.scnprjPjupdupt01
	프로젝트 삭제액션	pjdelDel	/scnprjPjdeldel01.do			scnprjDAO.scnprjPjdeldel01
	시나리오 입력팝업 화면	slinspopView	/scnprjSlinspopview01.do	\scnprj\ScnprjSlinspopview.jsp		scnprjDAO.scnprjSlinspopview01
	시나리오 불러오기 팝업화면	slinsloadpopView	/scnprjSlinsloadpopview01.do	\scnprj\ScnprjSlinsloadpopview.jsp		scnprjDAO.scnprjSlinsloadpopview01
	시나리오 입력액션	slnewIns	/scnprjSlnewins01.do			scnprjDAO.scnprjSlnewins01
	시나리오 수정팝업 화면	slupdpopView	/scnprjSlupdpopview01.do	\scnprj\ScnprjSlupdpopview.jsp		scnprjDAO.scnprjSlupdpopview01
	시나리오 수정액션	slupdUpt	/scnprjSlupdupt01.do			scnprjDAO.scnprjSlupdupt01
	시나리오 삭제액션	sldelDel	/scnprjSldeldel01.do			scnprjDAO.scnprjSldeldel01
	시나리오 파일삭제 액션	slfiledelDel	/scnprjSlfiledeldel01.do			scnprjDAO.scnprjSlfiledeldel01
공통 템플릿	메인화면	mainView	/gcemscommMainview01.do	\gcemscomm\GcemscommMainview.jsp	\gcemscomm\service\GcemscommVO.java	gcemscommDAO.gcemscommMainview01
	탑페이지(include용)화면	topincView	/gcemscommTopincview01.do	\gcemscomm\GcemscommTopincview.jsp		gcemscommDAO.gcemscommTopincview01
	탑페이지(include용)화면 ajax	topincAjax	/gcemscommTopincajax01.do	\gcemscomm\GcemscommTopincajax.jsp		gcemscommDAO.gcemscommTopincajax01

LV.3	LV.4	약어	액션명	JSP	VO	sqlid
	왼쪽목록(include용) 화면	leftincView	/gcemscommLeftincview01.do	\gcemscomm\GcemscommLeftincview.jsp		gcemscommDAO.gcemscommLeftincview01
	왼쪽목록 선택팝업 화면	leftincpopView	/gcemscommLeftincpopview01.do	\gcemscomm\GcemscommLeftincpopview.jsp		gcemscommDAO.gcemscommLeftincpopview01
	왼쪽목록 분석액션	leftincansis	/gcemscommLeftincansis01.do			gcemscommDAO.gcemscommLeftincansis01
	상세화면(include) 화면	dtlIncView	/gcemscommDtlincview01.do	\gcemscomm\GcemscommDtlincview.jsp		gcemscommDAO.gcemscommDtlincview01
Template	메인(top, left, footer 호출)화면	mainView		\ad\adtemple\AdtempleMainview.jsp		
	상단메뉴(include용)화면	topincView		\ad\adtemple\AdtempleTopincview.jsp		
	왼쪽메뉴(include용)화면	leftincView		\ad\adtemple\AdtempleLeftincview.jsp		
	하단(include용)화면	footerincView		\ad\adtemple\AdtempleFooterincview.jsp		
로그인페이지	로그인화면	mainView	/ad/adhomeMainview01.do	\ad\adhome\AdhomeMainview.jsp	\ad\adhome\service\AdhomeVO.java	adhomeDAO.adhomeMainview01
	로그인액션	login	/ad/adhomeLogin01.do			adhomeDAO.adhomeLogin01
	로그아웃 액션	logout	/ad/adhomeLogout01.do			adhomeDAO.adhomeLogout01
사용자관리	목록화면	lstView	/ad/usermngLstview01.do	\ad\usermng\UsermngLstview.jsp	\ad\usermng\service\Use	usermngDAO.usermngLstview01

LV.3	LV.4	약어	액션명	JSP	VO	sqlid
	상세화면	dtlView	/ad/usermngDtlview01.do	\ad\usermng\UsermngDtlview.jsp	rmngVO.java	usermngDAO.usermngDtlview01
	등록화면	mbrView	/ad/usermngMbrview01.do	\ad\usermng\UsermngMbrview.jsp		usermngDAO.usermngMbrview01
	등록액션	mbrsrch	/ad/usermngMbrsrch01.do			usermngDAO.usermngMbrsrch01
	수정화면	updView	/ad/usermngUpdview01.do	\ad\usermng\UsermngUpdview.jsp		usermngDAO.usermngUpdview01
	수정액션	updUpt	/ad/usermngUpdupt01.do			usermngDAO.usermngUpdupt01
	아이디중복ajax	IdDplctAjax	/ad/adhomeIddplctajax01.do			adhomeDAO.adhomeIddplctajax01

○ 프로그램의 기능은 프로젝트 및 시나리오 생성, 종합분석(모형분석, 탄소배출량, 대기확산, 도로성능평가), 상세분석(시나리오 비교, 레포팅), 관리자기능(사용자관리, 지표관리, 플랫폼)으로 정의되며, URL을 통해 접근하면 다음과 같이 표출함



<그림 1-1-8> 프로그램 메인 화면

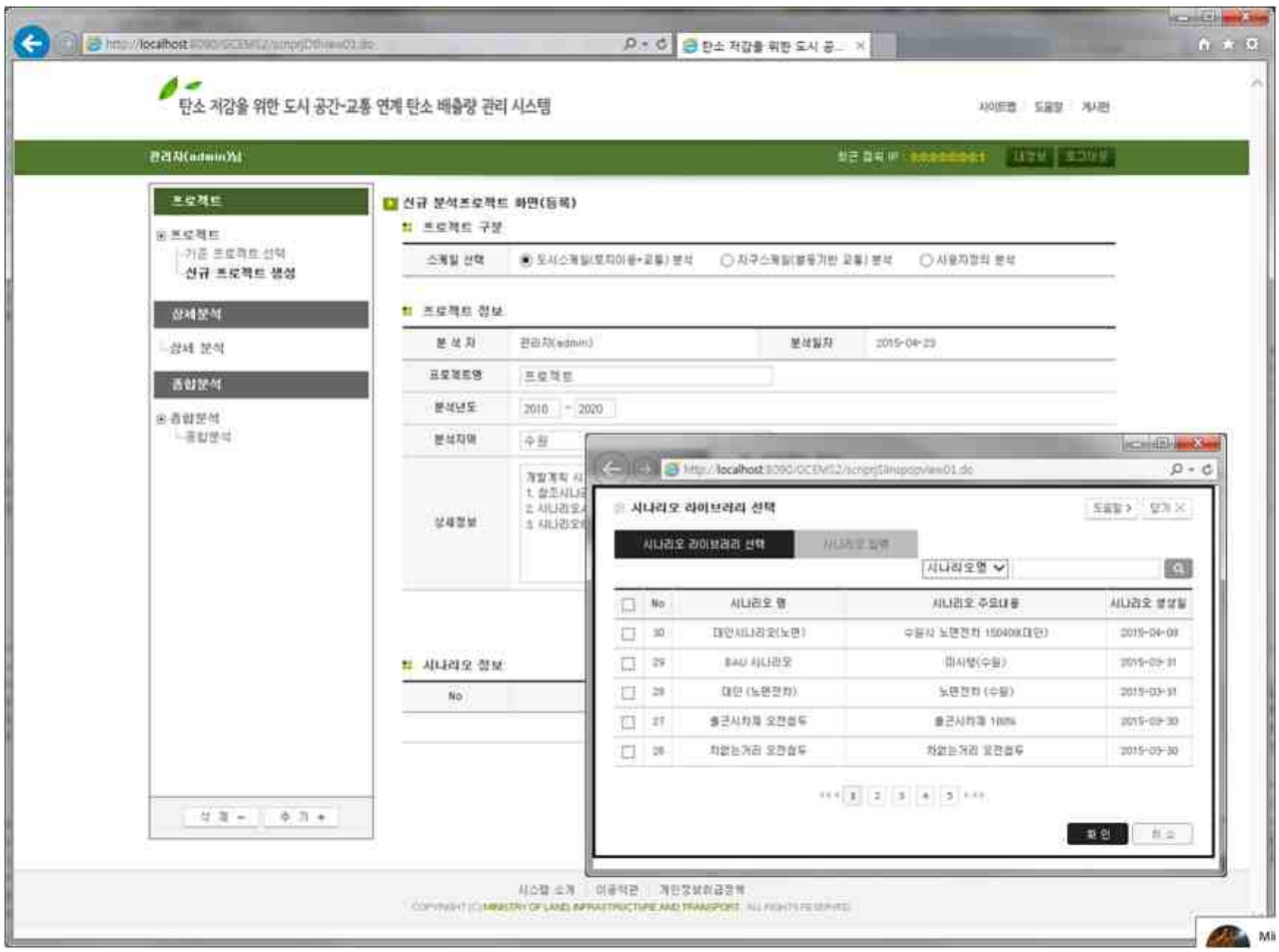
① 프로젝트 및 시나리오 생성

○ 프로그램에 로그인하면 프로젝트 목록이 게시판 형태로 표출되며, 화면 내에서 프로젝트를 생성하거나 기존 목록을 선택한 후 분석과정을 수행함



<그림 1-1-9> 프로젝트 목록

○ 프로젝트 생성/수정/삭제는 일반 게시판과 같은 형태로 구성하였으며, 프로젝트 생성 시에 구분(도시스케일, 지구스케일, 사용자정의-토지이용, 교통계획, 교통활동)을 선택하여 프로젝트 목록상에서도 표출함



<그림 1-1-10> 프로젝트 생성

○ 프로젝트 및 시나리오 생성 시에는 앞에서 구축된 각 단위시스템의 기능별로 데이터의 용량 및 응답속도를 고려하여 웹에서 실행이 가능한 ActiveX(C/S), 프로시저를 포함하여 프로그램을 구현하였으며, 분석 프로세스별 개발환경은 다음과 같음

<표 1-1-23> 분석 프로세스 및 개발환경

순서	분석 프로세스	개발환경
1	프로젝트 및 시나리오[1] 생성	웹
2	토지이용-교통, 교통활동 모형 결과 파일 입력	ActiveX
	사용자정의 파일 입력	웹
3	탄소배출량산정	프로시저
4	대기환경예측모형(CALINE3) 실행	ActiveX
5	통합대기확산지수 산정	프로시저
6	도로성능평가(LOS 등) 산정	프로시저
7	프로젝트 요약정보 생성	프로시저
8	프로젝트 및 시나리오 분석	웹

1) 탄소저감을 위한 하나의 정책을 시나리오로 정의하고, 여러 개의 시나리오를 묶어 비교분석할 수 있도록 프로젝트로 정의함

○ 분석 프로젝트를 생성 후에 시나리오 데이터를 입력하거나, 기존에 입력된 시나리오를 불러올 수 있으며, 시나리오 입력 시에는 시나리오 명, 시나리오 상세정보를 입력한 후 데이터 파일을 업로드하게 됨

○ 시나리오를 생성하여 데이터 파일을 업로드한 후에는, 다른 분석 프로젝트에서 복사(공유)가 가능함.

○ 파일 업로드를 한 사용자만이 해당 프로젝트에서 시나리오(데이터 파일) 삭제가 가능하며, 다른 프로젝트에서 선택한 경우는 데이터를 참조한 경우이기 때문에 시나리오(데이터 파일)삭제는 불가능함

<표 1-1-24> 시나리오 입력에 따른 수정 권한

시나리오 유형	액션 행위					
	타 프로젝트에서 복사	파일 업로드	파일 삭제	시나리오 수정	시나리오 삭제 (복사건만)	시나리오 삭제 (원본포함)
원본	○	×	×	○	-	×
원본	×	○	○	○	-	○
복사	-	×	×	×	○	×

○ 시나리오(파일)의 업로드는 도시스케일, 지구스케일, 사용자정의로 구분하여 이루어지며, 도시스케일, 지구스케일의 경우는 시나리오(파일)의 용량 및 응답속도를 고려하여 웹상에서 C/S 프로그램을 호출하는 형태인 ActiveX로 구현하고, 사용자정의는 일반 파일업로드 형태로 구현함

○ 도시스케일의 경우는 토지-교통모형에 대해 입력하며, 토지이용모형은 csv 파일포맷으로 Zone 기반의 인구변화와 토지이용 변화를 나타냄

○ 각 파일 헤더에 파일생성정보 및 프로그램 정보 등을 포함하고, Zone별, 연도별 변화량이 저장되어있으며, Zone과 연도 설정에 의해 파일의 크기가 결정됨

○ 인구변화 관련 파일은 파일명으로 내용을 구분하며, 토지이용 변화 관련된 파일은 파일명으로 내용과 토지이용을 구분하며, 파일명에 대한 정보는 다음과 같음

<표 1-1-25> Delta 모형 결과 파일 및 저장 정보

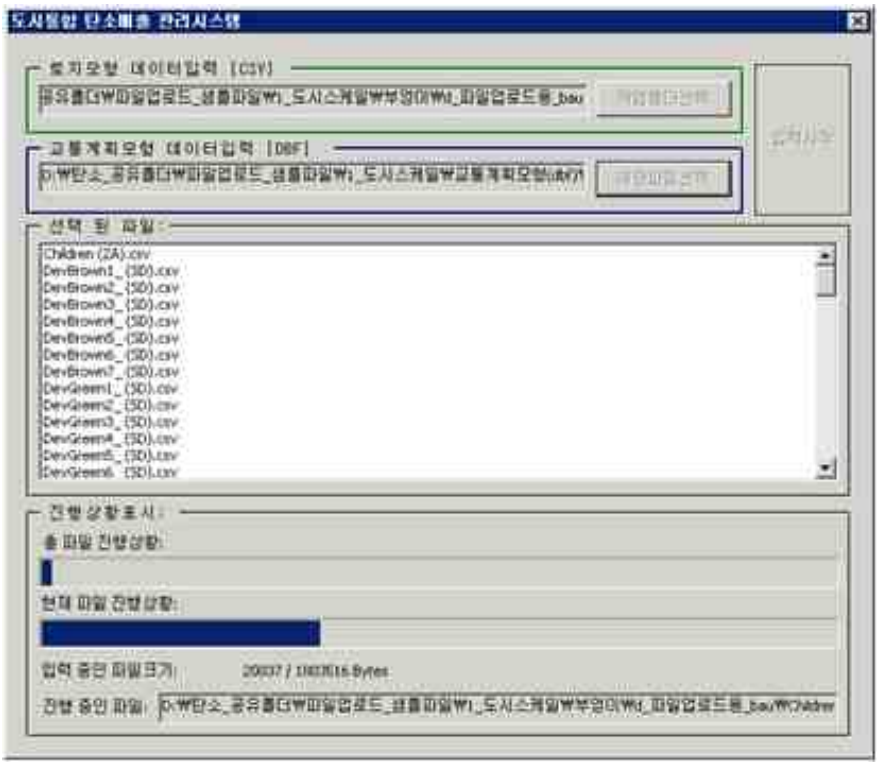
구분	파일명	파일 내용	저장 테이블
인구변화	Population.csv	인구 수 변화	TD_PPOP
	HhldPop.csv	(거주)인구 수 변화	TD_PHLDPOP
	NonHhldPop.csv	(비거주)인구 수 변화	TD_NHLDPOP
	Children.csv	아동 수 변화	TD_PCHILD
	Workers.csv	근로자 수 변화	TD_PWORKER
	Nonworkers.csv	비근로자수 변화	TD_PNWORKER
	Retired.csv	은퇴자 수 변화	TD_PRETIRE
	Households.csv	가구수 변화	TD_PHSEHLD
	Employment.csv	고용자수 변화	TD_PEMP
	NominalEmp.csv	(명목)고용자 수 변화	TD_PNMLEMP
토지이용 변화	Emp_SpCtx_.csv	산업별 고용자 수 변화	TD_LEMPSPCT
	DevGreenx_.csv	토지이용별 개발량(Greenfield)	TD_LDEVGRN
	DevBrownx_.csv	토지이용별 개발량(Brownfield)	TD_LDEVBRN
	PrmtdDevx_.csv	토지이용별 개발가능면적증가	TD_LPRMDEV
	Flrspacex_.csv	토지이용별 연면적 변화	TD_LFLRSP
	OccupdSpx_.csv	토지이용별 점유면적 변화	TD_LOCPDSP
	VacantSpx_.csv	토지이용별 공실면적 변화	TD_LVCNTSP
	OccDens.x_.csv	토지이용별 인당점유면적 변화	TD_LOCCDEN
	Quality.x_.csv	토지이용별 질적수준 변화	TD_LQALTY
	RentFlspx_.csv	토지이용별 단위면적당 임대료 변화	TD_LRNTFLSP
	- x로 토지이용 구분 1: 주택, 2: 오피스, 3: 판매, 4: 서비스, 5: 보건/의료, 6: 교육/연구, 7: 산업/기타 ex) RentFlsp1.csv : 주택용도로 사용되는 토지의 단위면적당 임대료 변화를 나타냄		

○ 교통계획 모형은 DBF 파일포맷으로 Link기반의 교통량, 자유속도 등을 나타내고, 토지이용 모형과 연계를 위해 연도별로 데이터를 선택함

<표 1-1-26> 교통계획 모형 결과 파일 및 저장 정보

파일명	파일 내용	저장 테이블
-.dbf	노드/링크 좌표 및 속성정보	TO_LINK, TO_NODE, TO_OMNITRANS

○ 도시스케일은 토지-교통모형으로 생성되며, Delta 모형의 결과물인 80개의 파일의 폴더를 선택하여 입력하고, Omnitrans 모형의 결과물인 shp 파일을 선택하여 입력함



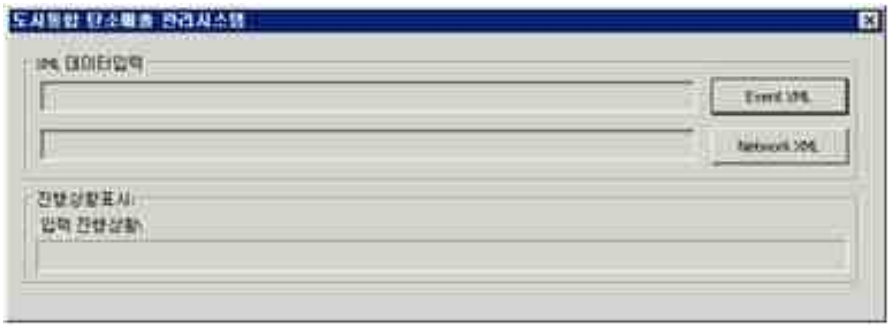
<그림 1-1-11> 도시스케일 모형 입력

○ 교통활동 모형은 xml 파일포맷으로 Link를 기반으로 Agent의 이동경로 등을 나타내고, 네트워크, 플랜, 이벤트 파일로 구성되어 있으며, 파일정보는 같이 구성되어 있음

<표 1-1-27> 교통활동 모형 결과 파일 및 저장 정보

파일명	파일 내용	저장 테이블
input/network.xml	노드/링크 좌표 및 속성정보	TM_LINK, TM_NODE
output/../events.xml	단위시간(초)별 링크정보 시뮬레이션 상에서의 이벤트	TM_EVENT
output/../plans.xml	Agent의 이동정보 및 경로 (selected="yes"인 데이터 사용)	TM_PLAN

○ 지구스케일은 교통활동모형으로 생성되며, MATSim 모형의 결과물인 event.xml 파일과 입력파일인 network.xml 파일을 입력함



<그림 1-1-12> 지구스케일 모형 입력

○ 사용자정의는 토지이용, 교통계획, 교통활동으로 구분되며 엑셀파일을 업로드 하여 데이터를 입력하면, 분석이 실행되고, 공간정보 분석을 위하여 KTDB[2] 데이터를 기반으로 분석할 수 있도록 구현함

<표 1-1-28> 사용자정의 분석을 위한 파일 입력내용

구분	분석단위	입력내용
토지이용	행정동 (ZONE)	토지이용별 연면적
교통계획	도로 (LINK)	교통량, 속도
교통활동	도로 (LINK)	AGENT, 초당 속도



<그림 1-1-13> 사용자정의 모형 입력

○ 데이터 입력이 완료되면 배출량 산정이 프로시저 단위로 실행되고, 대기환경예측모형이 실행된 후, 통합대기환경지수(CAI), LOS 등 도로성능평가와 관련된 분석이 프로시저 단위로 실행되고, 요약정보 표출을 위한 데이터가 생성됨

2) 국가교통DB (http://www.ktdb.go.kr/)



<그림 1-1-14> 모형 입력 완료 후 실행 프로세스

○ 탄소배출량은 인간활동-공간-통합 탄소배출량 산정플랫폼[3]에 의하여 산정되며, 이는 토지이용, 교통계획, 교통활동 3개의 플랫폼으로 구성되어 있음

○ 배출량 산정은 속도를 감안하여 DB와 직접 연결되어있는 프로시저를 통해 산정함

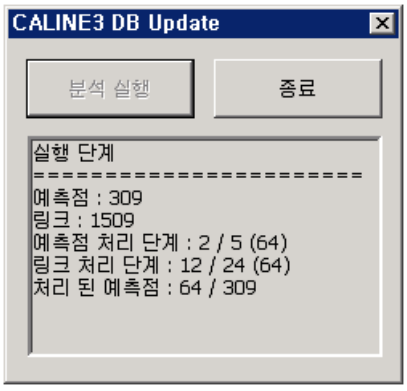
○ 토지이용 탄소배출량 산정플랫폼은 연면적에 따라 배출계수에 의해 배출량을 산정함

○ 교통계획 탄소배출량 산정플랫폼은 배출계수식에 의해 산정하는 방식에서, 장래배출계수에 의해 산정하는 방식으로 변경되었으며, 교통계획모형(Omnitrans)에서 정의된 차종에 따라 분석하고, 해당 지표는 연도별로 구분하여 DB로 저장함

○ 교통활동 탄소배출량 산정플랫폼은 Agent의 초당 속도를 기반으로 배출량을 산정함

○ 교통활동 모형의 Event 데이터는 Agent가 이동하는 경로에 있는 링크의 출발, 도착시간으로 구성되어 있어, 링크를 Agent들의 평균속도를 추출하여 Agent의 초당 속도를 재분배하여 배출량을 산정하고, 이 과정에서 링크의 15분, 30분, 1시간단위의 통행량을 별도로 가공함

○ 미국 EPA에서 개발한 대기환경예측모형(CALINE3)을 보완한 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램[4]이 통합시스템 내에서 실행될 수 있도록 ActiveX로 구현함



<그림 1-1-15> 대기모형 실행

○ 대기환경예측모형(CALINE3)이 실행되면 통합대기확산지수(CAI) 산정을 위한 프로시저와 도로성능평가 관련 지수(LOS 등) 산정을 위한 프로시저가 실행됨

3) 핵심성과4 - 인간활동-공간통합 탄소배출량 산정플랫폼
4) 핵심성과3 - 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램

○ 도로성능평가를 위한 지수는 탄소기반 도시부도로 성능평가 방법 프로그램[5]을 통해 산정되며, 도로서비스수준(LOS), 교통혼잡비율, 시간가치손실비용, 환경비용이 산정되어 DB에 저장될 수 있도록 프로시저로 구현함

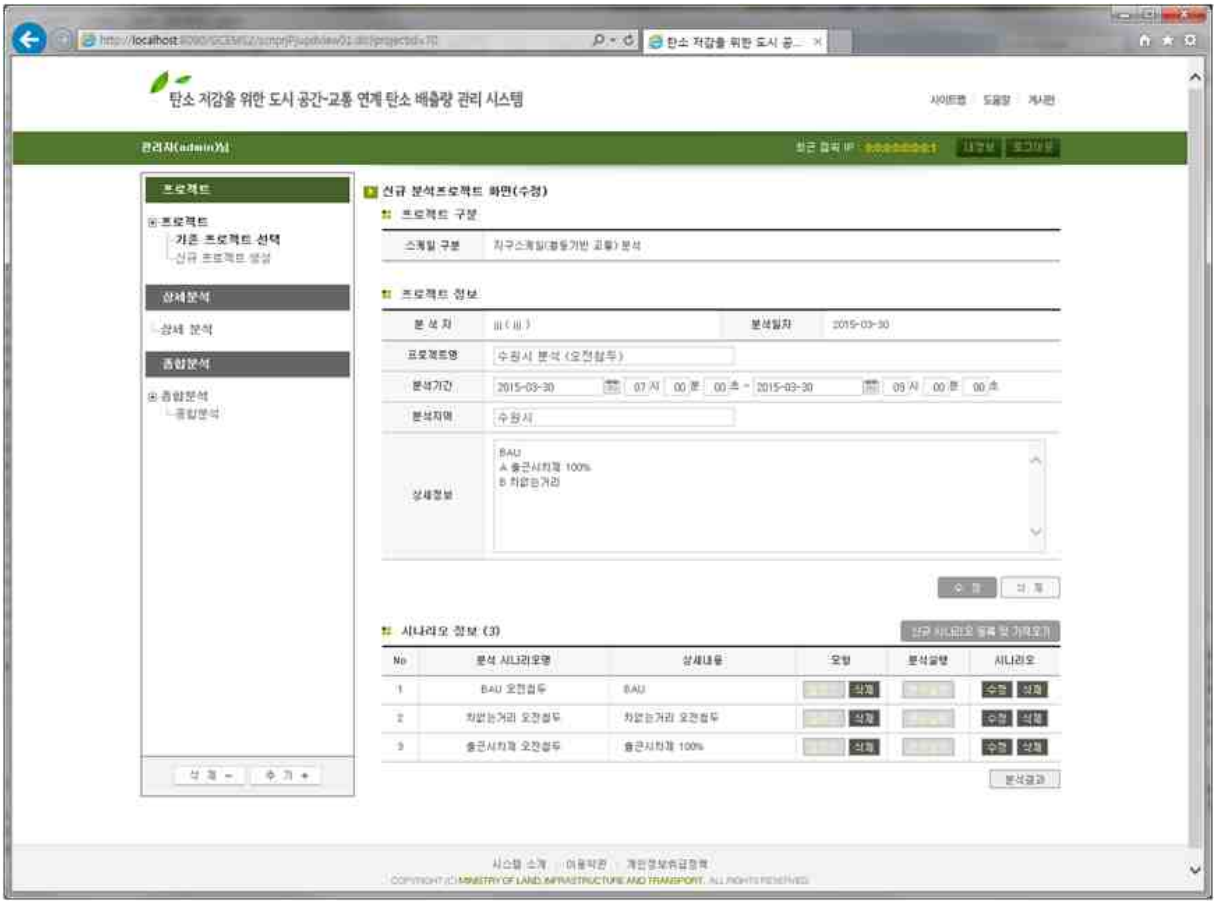
○ 프로젝트 요약정보는 각 시나리오의 총 탄소배출량, 인구수, 평균속도 등 분석 메뉴에 따라 관련된 정보가 표출하고, 분석메뉴별 요약정보는 다음과 같음

<표 1-1-29> 프로젝트 요약정보 표출내용

상세분석 구분		표출내용	표출단위
도시스케일	모형분석	토지이용 CO_2 배출량	tCO_2 /year
		교통계획 CO_2 배출량	tCO_2 /year
		연면적	㎡
		인구수	명
		교통량	대/일
	탄소배출량	토지이용 CO_2 배출량	tCO_2 /year
		교통계획 CO_2 배출량	tCO_2 /year
	대기확산	NOx	ppm
		PM	㎍/㎥
		CO	ppm
		통합대기환경지수(CAI)	등급
	도로성능평가	통합대기환경지수(CAI)	등급
		서비스수준	등급
		연간 시간가치 손실 비용	원
		연간 환경 비용	원
		도로혼잡비율	%
지구스케일	모형분석	교통활동 CO_2 배출량	tCO_2 /hr
		통행량	PCU
	탄소배출량	교통활동 CO_2 배출량	tCO_2 /hr
	대기확산	NOx	ppm
		PM	㎍/㎥
		CO	ppm
		통합대기환경지수(CAI)	등급
	도로성능평가	통합대기환경지수(CAI)	등급
		서비스수준	등급
		연간 시간가치 손실 비용	원
		연간 환경 비용	원
		도로혼잡비율	%

5) 핵심성과5 - 탄소기반 도시부도로 성능평가 방법 프로그램

○ 모형 입력이 완료된 후, 모든 분석 프로세스가 종료되면 상세분석 및 종합분석이 가능해지고 분석결과 버튼이 활성화되며, 각 프로세스 별로 처리속도 및 세션 등을 감안하여 개별로 실행될 수 있도록 구현하였음



<그림 1-1-16> 모형입력 완료

② 시나리오 종합분석

○ 화면 왼쪽에는 분석메뉴가 표출하고, 화면 상단에는 프로젝트(시나리오)의 상세내용과 프로젝트 분석결과 요약정보가 표출되어 on/off 할 수 있도록 구현함



<그림 1-1-17> 시나리오 분석

○ 분석 메뉴는 모형분석, 탄소배출량, 대기확산, 도로성능평가로 구분되며, 도시스케일, 지구스케일, 사용자정의에 따라 상세분석 기능과 분석조건이 달라짐

<표 1-1-30> 종합분석 기능별 분석조건

구분	메뉴			분석조건
도시 스케일	토지이용-교통 모형	인구	인구수	분석 지역, 분석 연도
			아동수	
			근로자수	
			비근로자수	
			은퇴자수	
			가구수	
			고용자수	
		토지이용	건축물연면적	
		교통	교통량	분석 지역, 분석 연도, 시간대
			속도	
	탄소배출량	토지이용별	CO_2	분석 지역, 분석 연도
		도로별	CO	분석 지역, 분석 연도, 시간대
			CO_2	
			NOx	
			PM	
	대기확산	대기확산	CO	분석 지역, 분석 연도, 시간대, 표출구분
			NOx	
			PM	
		대기확산지수	CAI	
	도로성능평가	도로서비스수준	LOS	분석 지역, 분석 연도, 시간대
			속도	
			시간가치손실비용	
			환경비용	
		도로성능지표	도로성능지표	
지구 스케일	교통활동 모형	교통	교통량	분석 지역, 시간대
	탄소배출량	도로별	CO	분석 지역, 시간대
			CO_2	
			NOx	
			PM	
	대기확산	대기확산	CO	분석 지역, 시간대, 표출구분
			NOx	
			PM	
		대기확산지수	CAI	
	도로성능평가	도로서비스수준	LOS	분석 지역, 시간대
			속도	
			시간가치손실비용	
			환경비용	
		도로성능지표	도로성능지표	

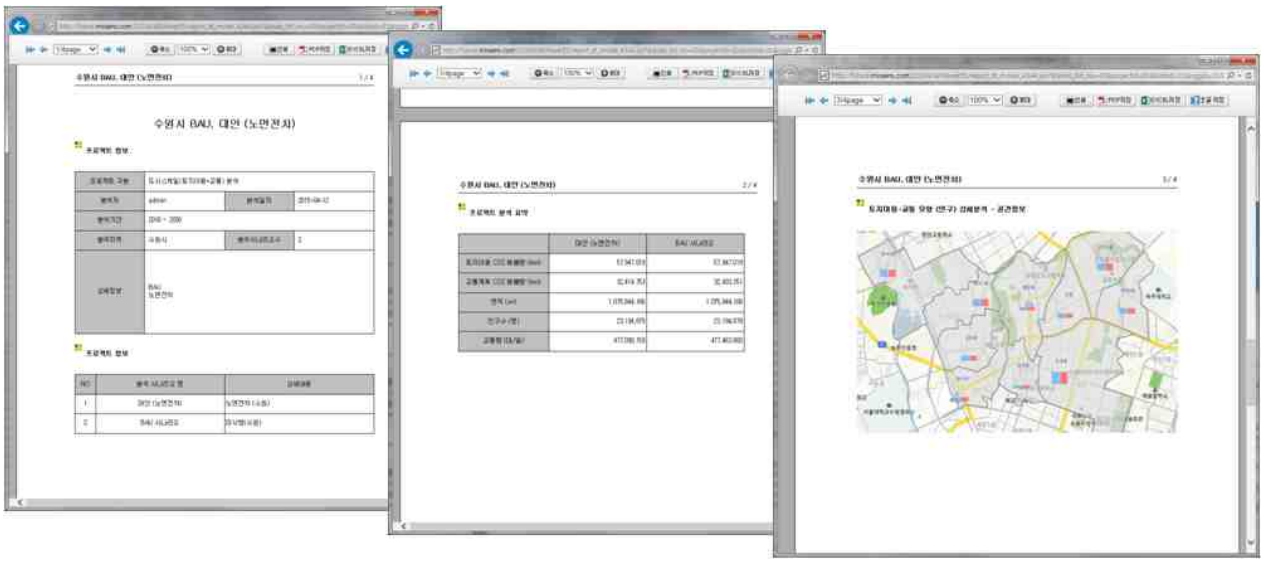
○ 공간정보, 차트 등에서 사용되는 범례는 코드화하여 관리하고 있으며, 일반적으로 5단계로 구분하여 사용하고 있음

○ 시나리오 구분을 위한 색상에 대한 범례를 별도로 정의하고, 토지이용, 대기확산, 통합대기확산지수(CAI), LOS에 대한 색상의 범례는 다음과 같음

<표 1-1-31> GIS 표출 범례

<table>
<tr><th>구분</th><th>개수</th><th>범례 정의</th></tr>
<tr><td>인구,
행정구역별 탄소배출량
(시나리오 구분)</td><td>7</td><td>
<table>
<tr><td>BAU 시나리오</td><td>#6B5A55</td><td></td></tr>
<tr><td>대안시나리오 #1</td><td>#E0BE2E</td><td></td></tr>
<tr><td>대안시나리오 #2</td><td>#B371FC</td><td></td></tr>
<tr><td>대안시나리오 #3</td><td>#FCB371</td><td></td></tr>
<tr><td>대안시나리오 #4</td><td>#FBF661</td><td></td></tr>
<tr><td>대안시나리오 #5</td><td>#7175FC</td><td></td></tr>
<tr><td>대안시나리오 #6</td><td>#BBFC71</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>토지이용</td><td>7</td><td>
<table>
<tr><td>주택</td><td>#FFFFAA</td><td></td></tr>
<tr><td>오피스</td><td>#007FFF</td><td></td></tr>
<tr><td>도소매</td><td>#FF0000</td><td></td></tr>
<tr><td>서비스</td><td>#FFBF00</td><td></td></tr>
<tr><td>의료복지</td><td>#AAD4FF</td><td></td></tr>
<tr><td>교육연구</td><td>#00FFFF</td><td></td></tr>
<tr><td>산업</td><td>#BF00FF</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>교통량,
도로별 탄소배출량</td><td>5</td><td>
<table>
<tr><td>A (좋음)</td><td>#00B050</td><td></td></tr>
<tr><td>B</td><td>#92D050</td><td></td></tr>
<tr><td>C</td><td>#FFFF00</td><td></td></tr>
<tr><td>D</td><td>#FFC000</td><td></td></tr>
<tr><td>E (나쁨)</td><td>#FF0000</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>대기확산,
통합대기확산지수 (CAI)</td><td>4</td><td>
<table>
<tr><td>A (좋음)</td><td>#0000FF</td><td></td></tr>
<tr><td>B (보통)</td><td>#00FF00</td><td></td></tr>
<tr><td>C (나쁨)</td><td>#FFFF00</td><td></td></tr>
<tr><td>D (매우나쁨)</td><td>#FF0000</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>LOS</td><td>6</td><td>
<table>
<tr><td>A</td><td>#2FA500</td><td></td></tr>
<tr><td>B</td><td>#5FB100</td><td></td></tr>
<tr><td>C</td><td>#ACDC00</td><td></td></tr>
<tr><td>D</td><td>#FCFC00</td><td></td></tr>
<tr><td>E</td><td>#FCA600</td><td></td></tr>
<tr><td>F ~ FFF</td><td>#F24E00</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

○ 분석이 완료된 메뉴에 대해서는 화면 하단에 결과출력 버튼이 활성화 되며 이는 해당 결과가 레포트 형태로 출력되고, 상세내용은 상세분석에서 설명함



<그림 1-1-18> 결과 레포트

㉮ 모형분석

○ 도시스케일의 모형분석은 토지이용-교통 모형 결과가 표출되며, 인구, 토지이용, 통행량으로 구분되며, 토지이용-교통 모형의 분석지역 및 분석연도는 공통으로 입력된 모형결과의 범위에 따라 표출함

○ 인구는 인구수, 아동수, 근로자수, 비근로자수, 은퇴자수, 가구수, 고용자수 변화를 선택할 수 있고, 결과는 시나리오간 비교가 가능하도록 해당 존에 그래프로 표출함



<그림 1-1-19> 토지이용-교통 모형 - 인구 결과

○ 토지이용은 토지이용별 연면적, 건축물 연면적 변화를 선택할 수 있고, 결과는 시나리오간 비교가 가능하도록 해당 존에 그래프로 표출함



<그림 1-1-20> 토지이용-교통 모형 - 토지이용 결과

○ 결과로 표출되는 그래프는 shp 레이어와 별도로 심볼 레이어 형태로 구현하였으며, 구글 이미지 차트 API[6]를 활용하여 구현함

○ 이미지 차트는 url 호출하여 사용하기 때문에 파일(png)형태가 아니며 레포트 출력을 위해 저장되는 공간정보 이미지를 위하여 별도의 파일 처리가 필요함

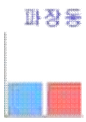
○ 파일로 저장된 이미지 차트는 GIS엔진으로 업로드하여 사용하며, Temp 폴더로 저장되어 일정 시간 이후에는 삭제할 수 있도록 구현함

○ 분석 시에 표출하는 차트는 10~15개 정도이며, get방식으로 파라미터를 보내 이미지를 생성하고, 한글 지원을 하지 않아 인코딩이 필요함

○ 모형분석의 인구, 탄소배출량의 행정구역별 메뉴에서 사용하고, Bar Chart를 호출하기 위한 상세 파라미터는 다음과 같음

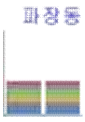
6) 구글 이미지 차트 API https://developers.google.com/chart/image/

<표 1-1-32> 심볼 그래프(Bar Chart) API 사용

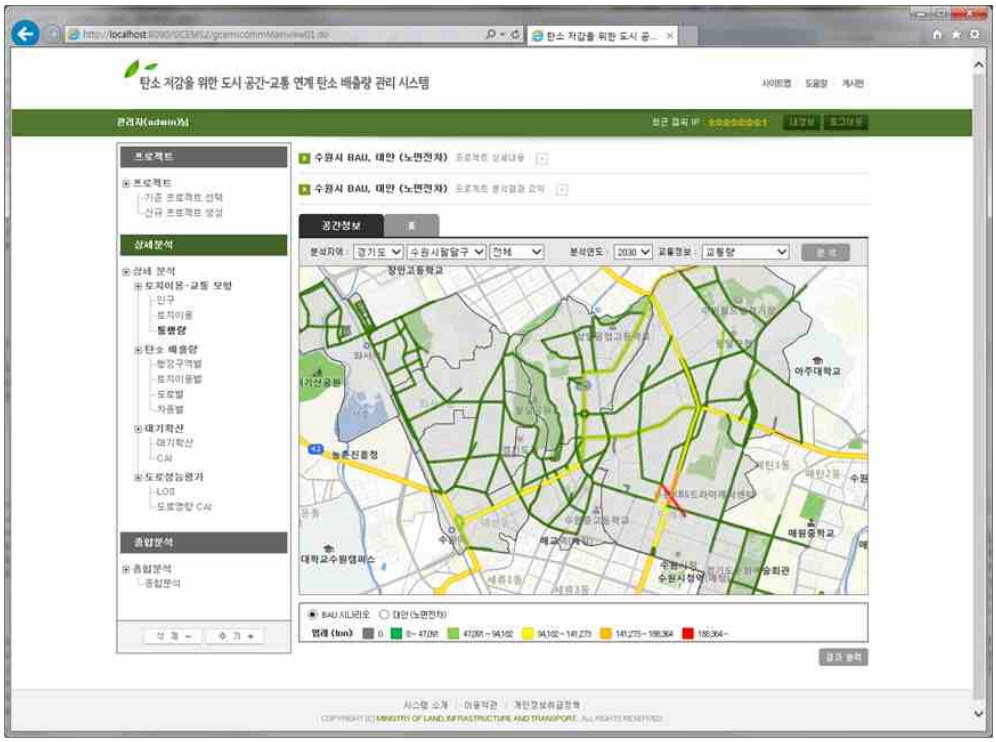
표출 예시	URL
	http://chart.apis.google.com/chart?cht=bvg&chf=bg,s,FFFFFF00&chco=74bbfe%7Cfc7175&chtt=%ED%8C%8C%EC%9E%A5%EB%8F%99&chts=090991,10,r&chd=t:38.92876793498963,38.92876793498963&chbh=a&chs=40x60
파라미터 정의	
차트타입 배경지정 바 색 타이틀 타이틀 색 데이터 값 바 넓이 차트 크기	cht=bvg chf=bg,s,FFFFFF00 chco=74bbfe, fc7175 chtt=%ED%8C%8C%EC%9E%A5%EB%8F%99 chts=090991,10,r chd=t:38.92876793498963,38.92876793498963 chbh=a chs=40x60

○ 모형분석의 토지이용, 탄소배출량의 토지이용별 메뉴에서 사용하는 Stacked Bar Chart를 호출하기 위한 상세 파라미터는 다음과 같음

<표 1-1-33> 심볼 그래프(Stacked Bar Chart) API 사용

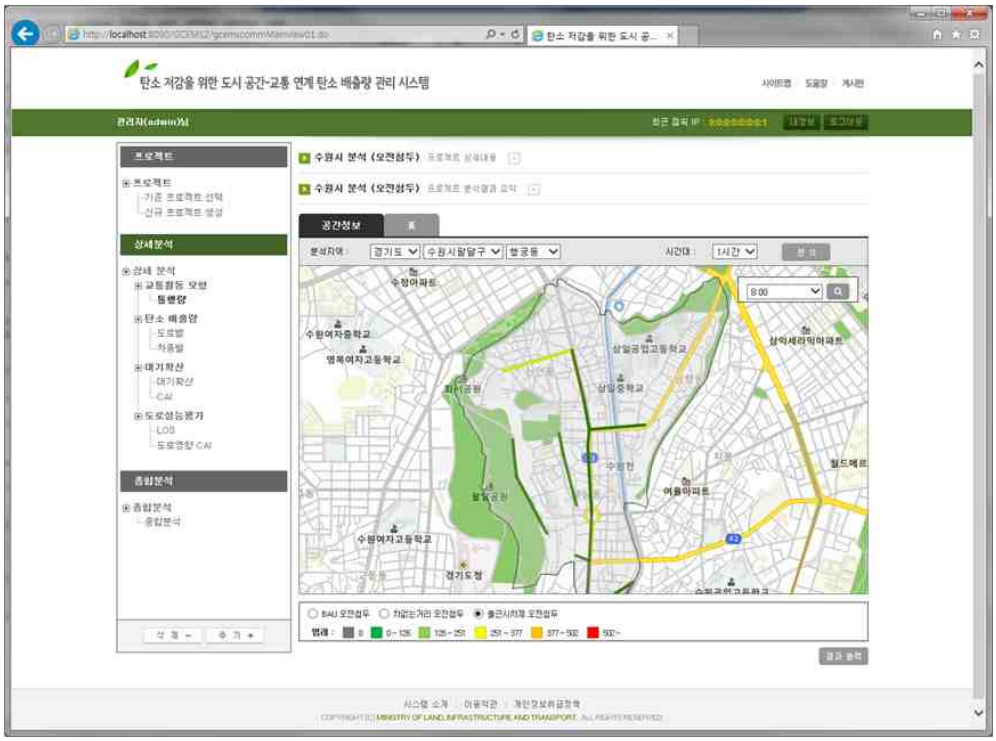
표출 예시	URL
	http://chart.apis.google.com/chart?cht=bvs&chf=bg,s,FFFFFF00&chco=4A82BD,c6514a,9cba5a,8465a5,97784c,65a584,bd4a82&chtt=%ED%8C%8C%EC%9E%A5%EB%8F%99&chts=090991,10,r&chd=t:11.3,11.3%7C3.3,3.3%7C11.4,11.4%7C0.3,0.3%7C1.0,1.0%7C5.0,5.0%7C6.3,6.3&chbh=a&chs=40x60
파라미터 정의	
차트타입 배경지정 바 색 타이틀 타이틀 색 데이터 값 바 넓이 차트 크기	cht=bvs chf=bg,s,FFFFFF00 chco=4A82BD,c6514a,9cba5a,8465a5,97784c,65a584,bd4a82 chtt=%ED%8C%8C%EC%9E%A5%EB%8F%99 chts=090991,10,r chd=t:11.3,11.3, 3.3,3.3, 11.4,11.4, 0.3,0.3, 1.0,1.0, 5.0,5., 6.3,6.3 chbh=a chs=40x60

○ 통행량은 통행량, 속도 변화가 표출하고, 결과는 시나리오를 선택하여 표출함



<그림 1-1-21> 토지이용-교통 모형 - 통행량 결과

○ 지구스케일의 모형분석은 분석지역과 시간단위(15분, 30분, 1시간)를 선택하면, 교통활동 모형 결과인 통행량을 표출하고, GIS 표출결과는 선택한 분석지역에 대하여 시나리오, 시간대를 선택하여 표출함



<그림 1-1-22> 교통활동 모형 - 통행량 결과

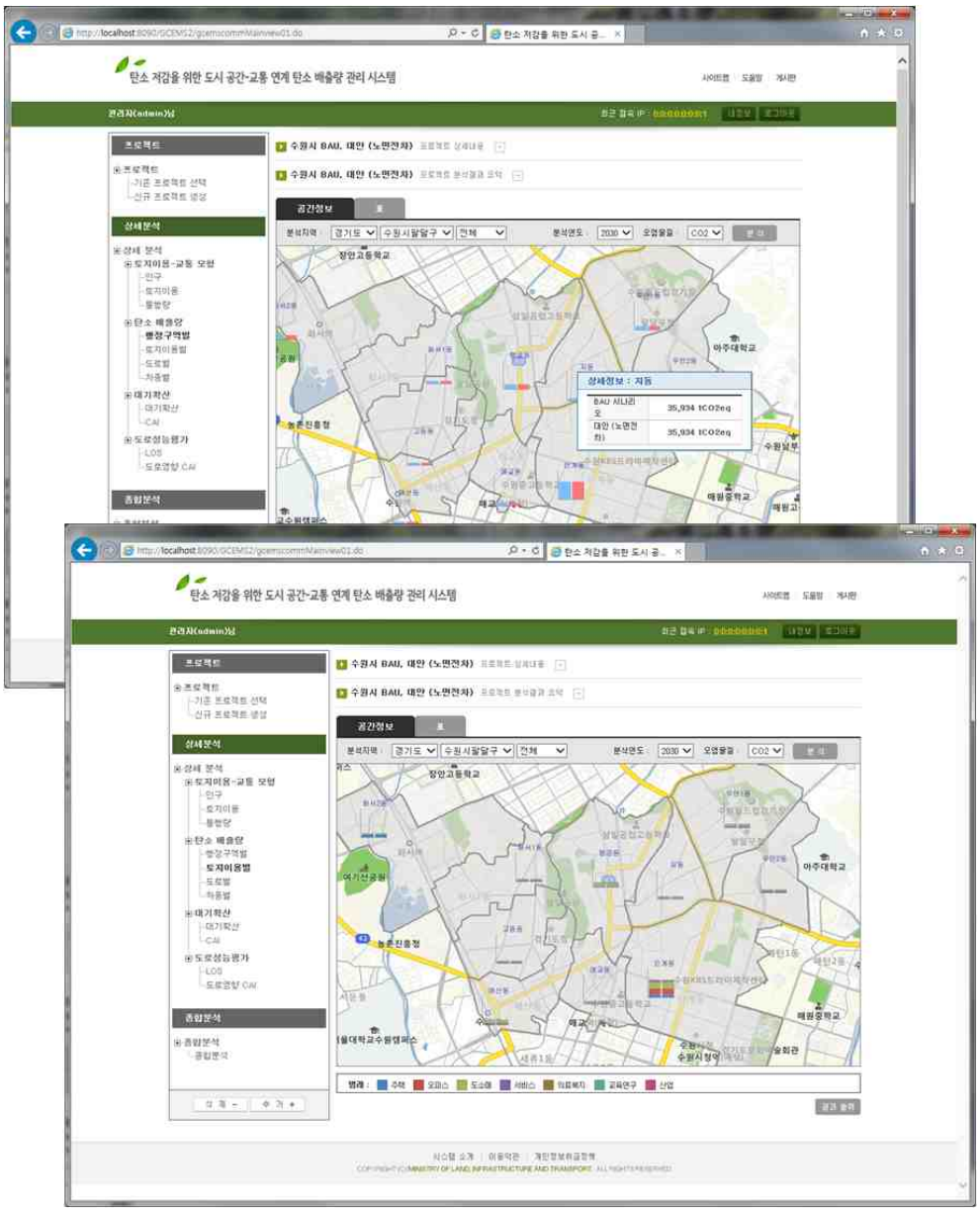
㉰ 탄소배출량

○ 도시스케일의 탄소배출량은 행정구역별, 토지이용별, 도로별, 차종별로 구분하고, 행정구역별, 토지이용별은 토지이용 탄소배출량 산정플랫폼에서, 도로별, 차종별은 교통계획 산정플랫폼에서 산정되었음

○ 탄소배출량은 분석지역, 분석연도는 공통으로 분석된 결과의 범위에 따라 표출하며, 행정구역별, 토지이용별은 CO_2, 도로별, 차종별은 CO_2, CO, PM_{10}, NOx를 선택하여 분석함

○ 행정구역별, 토지이용별 탄소배출량의 결과는 해당 존에 그래프를 표출하여 모형분석의 인구, 토지이용 분석과 같은 형태로 표출함

○ 다음의 결과 화면에서 확인할 수 있듯이, 각 존의 토지이용별 배출량의 합계는 한 존의 값과 같음



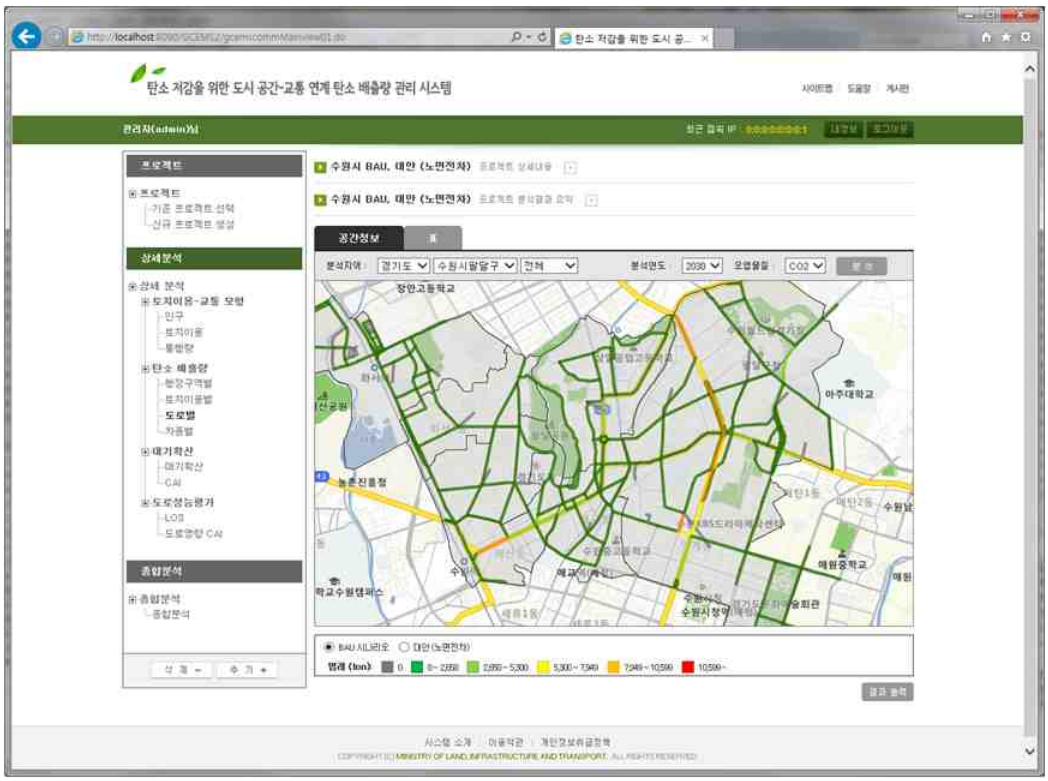
<그림 1-1-23> 탄소배출량 - 행정구역별 결과

○ 한 프로젝트 내에서 분석할 수 있는 시나리오는 최대 7개이며, 시나리오가 1개인 경우에는 시나리오간 분석이 불가능하여 일반적인 주제도 형태로 표출함



<그림 1-1-24> 탄소배출량 - 행정구역별 결과 (시나리오 1개)

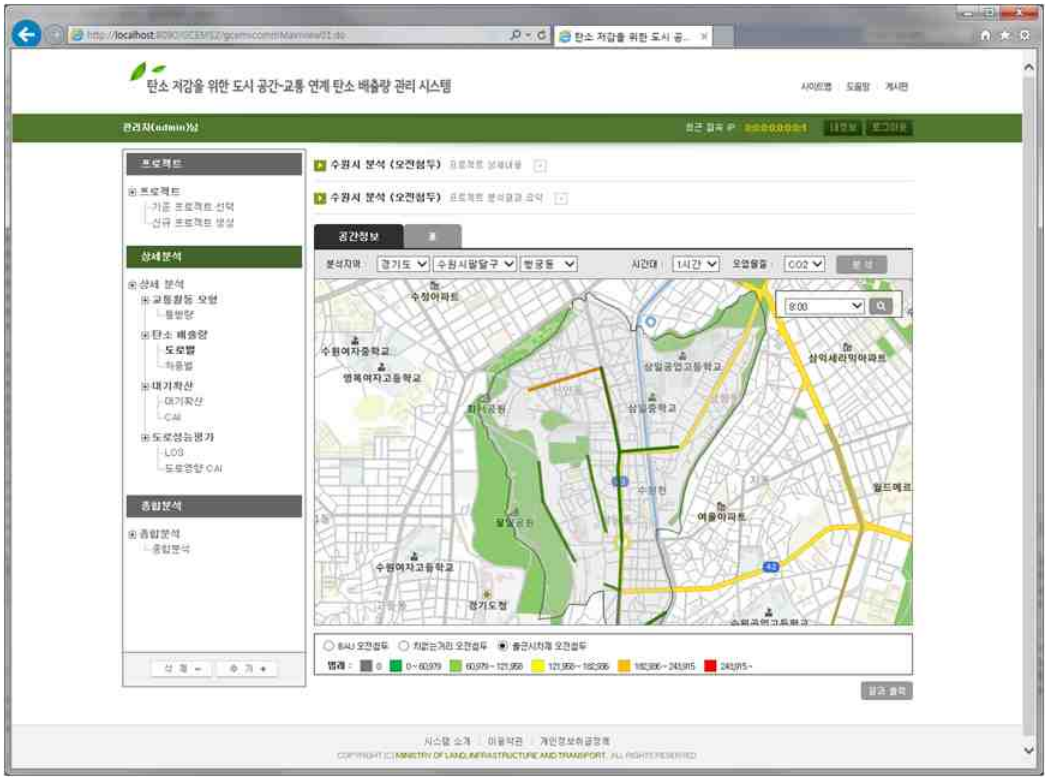
○ 도로별 탄소배출량은 오염물질에 따라 변화가 표출하고, 결과는 시나리오를 선택하여 표출함



<그림 1-1-25> 탄소배출량 - 도로별 결과

○ 지구스케일의 탄소배출량은 도로별로 구분하여 표출되며, 도로별 탄소배출량은 링크형태, 차종별 탄소배출량은 차트형태로 표출함

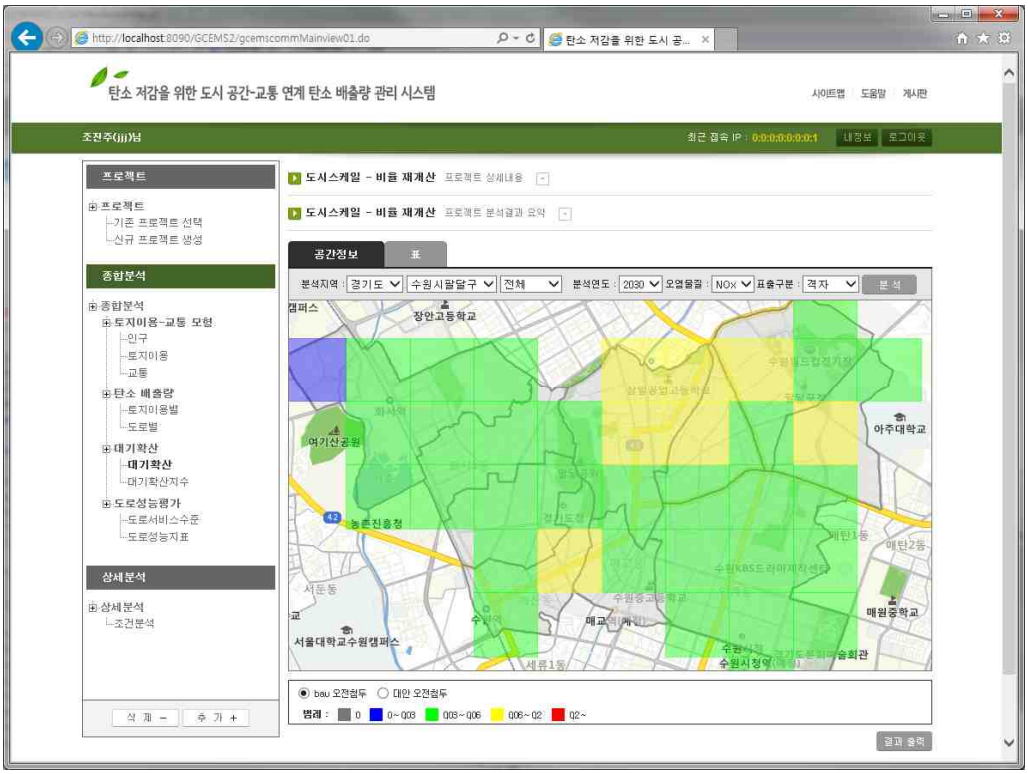
○ 지구스케일의 분석은 시간대 단위로 결과값이 표출되어 공간정보 화면에 올라가는 레이어가 많기 때문에, 동 단위로 분석하면 빠르게 표출됨



<그림 1-1-26> 탄소배출량 - 도로별 결과

㉰ 대기확산

○ 대기확산은 대기환경예측모형의 분석결과와 산정된 대기확산지수가 표출하고, 결과는 분석 지역, 오염물질 등을 선택하여 격자, 등농도 형태로 표출함



<그림 1-1-27> 대기확산 - 대기확산 결과



<그림 1-1-28> 대기확산 - 대기확산지수 결과

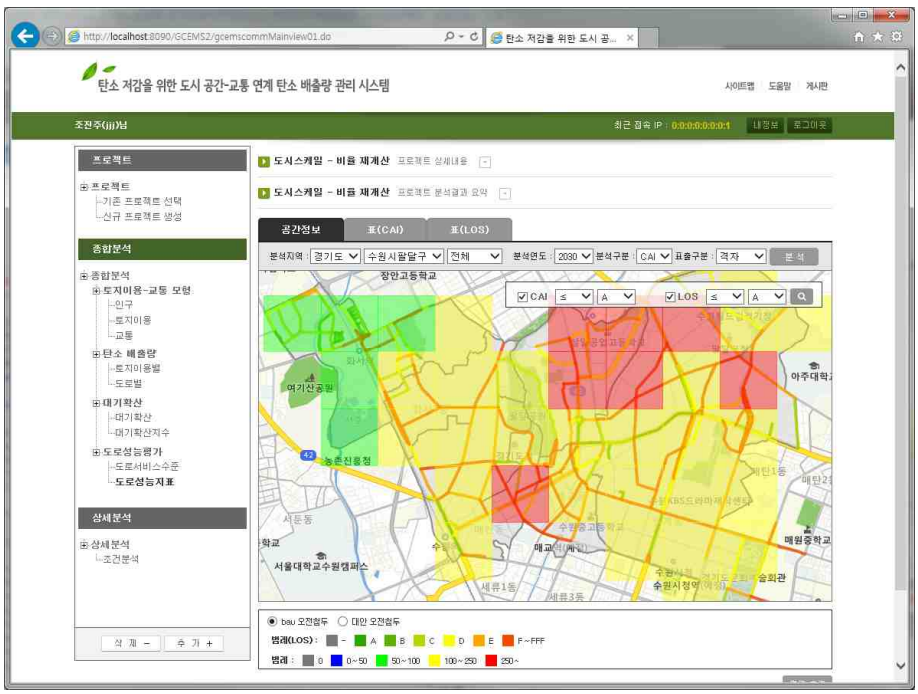
㉮ 도로성능평가

○ 도로성능평가에서는 등급에 따라 결과 레이어의 on/off가 가능하도록 구성하였으며, 도로서비스수준, 도로성능지표 메뉴로 구분하여 표출되며, LOS, 손실비용, 환경비용을 선택하여 결과를 표출함



<그림 1-1-29> 도로성능평가 - 도로서비스수준 결과

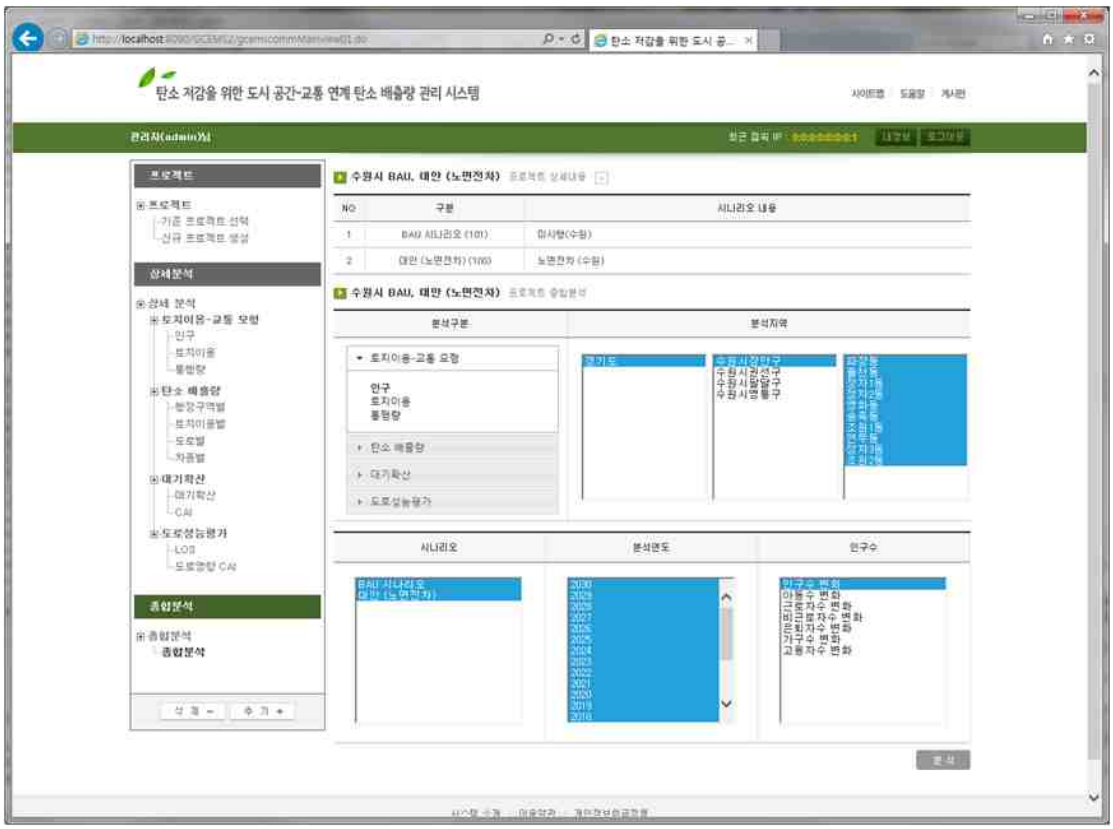
○ 도로성능지표는 앞서 산정된 대기환경지수와 도로서비스수준을 중첩하여 표출되며, 등급에 따라 표출할 수 있도록 구현함



<그림 1-1-30> 도로성능평가 - 도로성능지표 결과

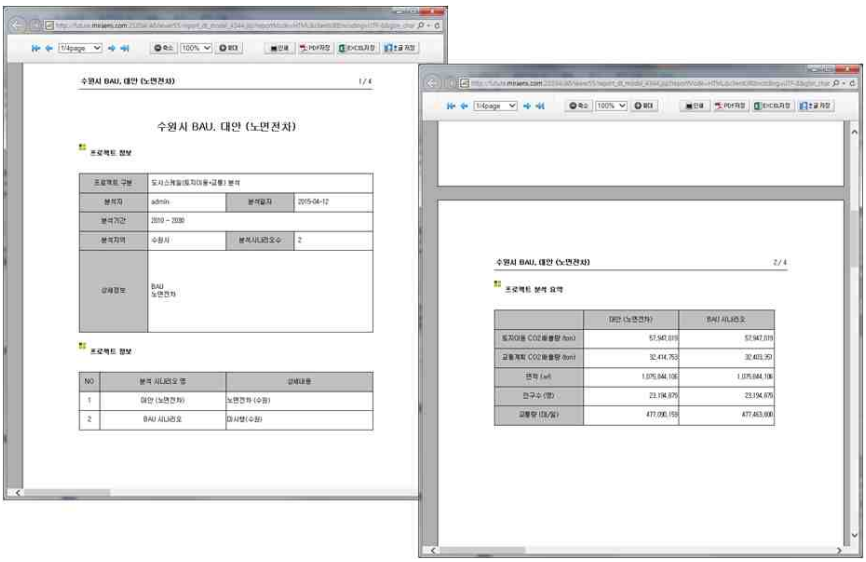
③ 상세조건분석

○ 상세조건분석은 앞서 도출되었던 상세분석을 통합하는 기능으로, 분석하고자 하는 기능을 멀티로 선택하여 차트를 중심으로 표출하고, 이에 따라 보고서 출력, PDF, 엑셀 등으로 저장할 수 있도록 기능을 구성함



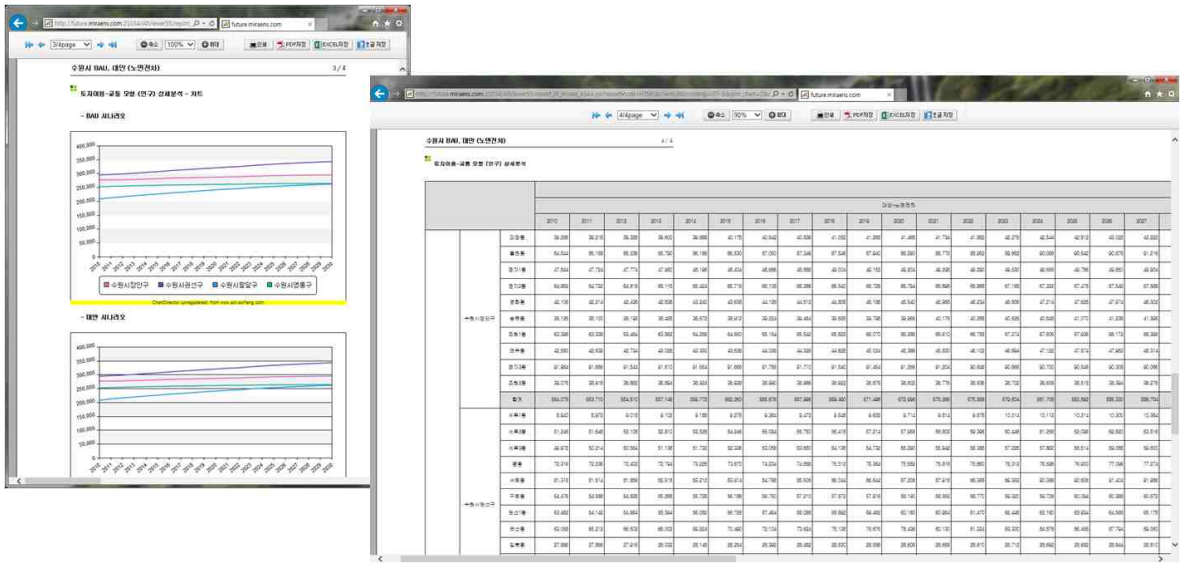
<그림 1-1-31> 종합분석

○ 종합분석 결과는 상세분석과 마찬가지로 프로젝트 상세내용과 요약정보를 표출함



<그림 1-1-32> 종합분석 결과 레포트

○ 또한, 결과를 종합분석 할 수 있도록 시나리오별 차트와 데이터의 결과값을 표출함



<그림 1-1-33> 종합분석 결과 차트 및 상세 데이터

○ 종합분석 결과는 별도의 창으로 파라미터를 통해 호출되며, 레포팅툴을 이용하여 해당 페이지를 구현하였으며, 기능별로 별도의 페이지를 생성하고, 차트와 분석을 위한 쿼리를 생성함

<표 1-1-34> 종합분석 기능별 호출 페이지

구분	분석구분		쿼리생성테이블	호출페이지
도시 스케일	모형분석	인구수	TD_PMAIN	report_dt_model.jsp
		토지이용	TD_LMAIIN	
		교통량	TO_OMNITRANS	report_on_model.jsp
	탄소배출량	토지이용별	TD_COZONE	report_dt_emsin.jsp
		도로별	TO_COLINK	report_on_emsin.jsp
	대기확산	대기확산	TA_CALINE	report_cal_air.jsp
		대기확산지수	TA_CCAI	
	도로성능평가	LOS	TF_CLOS	report_on_los.jsp
지구 스케일	모형 분석	교통량	TM_COUNT15	report_mt_model.jsp
	탄소배출량	도로별	TM_COEVENTPRO	report_mt_emsin.jsp
	대기확산	대기확산	TA_AERMOD	report_amd_air.jsp
		대기확산지수	TA_ACAI	
	모형 분석	LOS	TF_ALOS	report_mt_los.jsp

④ 기타기능

○ 프로그램 전반적인 관리를 위하여 회원가입, 로그인 등을 구현하였으며, 타과제와의 연계를 고려하여 시스템 접근 권한 등을 포함함

○ 기타 기능으로 공지사항, 자료실 게시판을 구성하였으며, 파일 업로드 기능을 포함하여 구현함

⑤ 관리자 페이지

○ 관리자 시스템에서는 사용자관리, 지표관리, 플랫폼으로 구분되며, 사용자관리는 회원가입, 로그인과 연동되어 사용가능하고 사용자의 권한을 지정할 수 있음

○ 지표관리 기능은 구축되어 있는 토지이용, 교통계획, 교통활동 지표에 대하여 관리하고, 플랫폼 기능은 해당 지표의 값에 따라 산정되는 배출량의 값을 확인할 수 있도록 구성함



<그림 1-1-34> 플랫폼 - 교통계획 결과

(2) 탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 통합 관리시스템 구축

(가) 타 세부과제와의 통합체계 구축을 통한 시스템 고도화

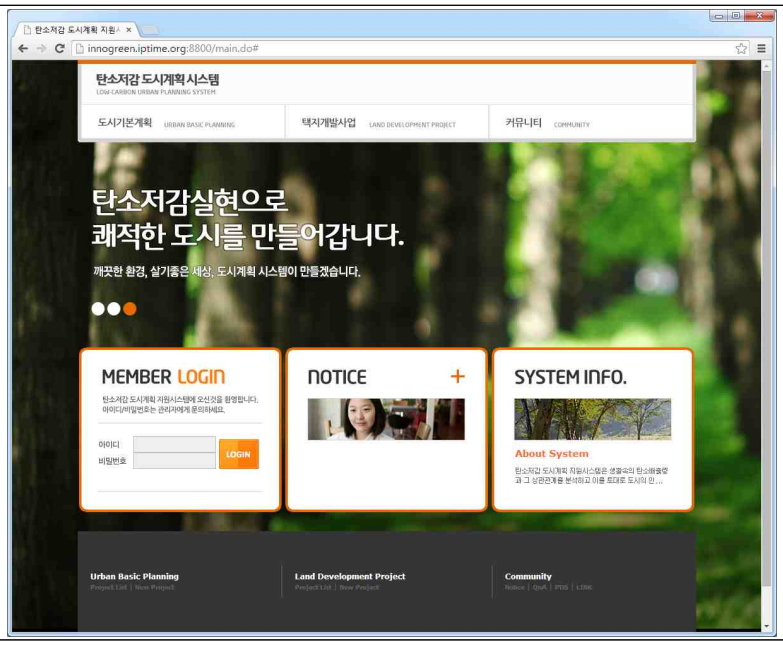
① 통합서버 환경 및 DB 구성

○ 통합플랫폼 구축을 위한 각 세부과제별 연계를 위하여 1차년도부터 지속적인 협의를 진행하였으며, 진행 경과는 다음과 같음

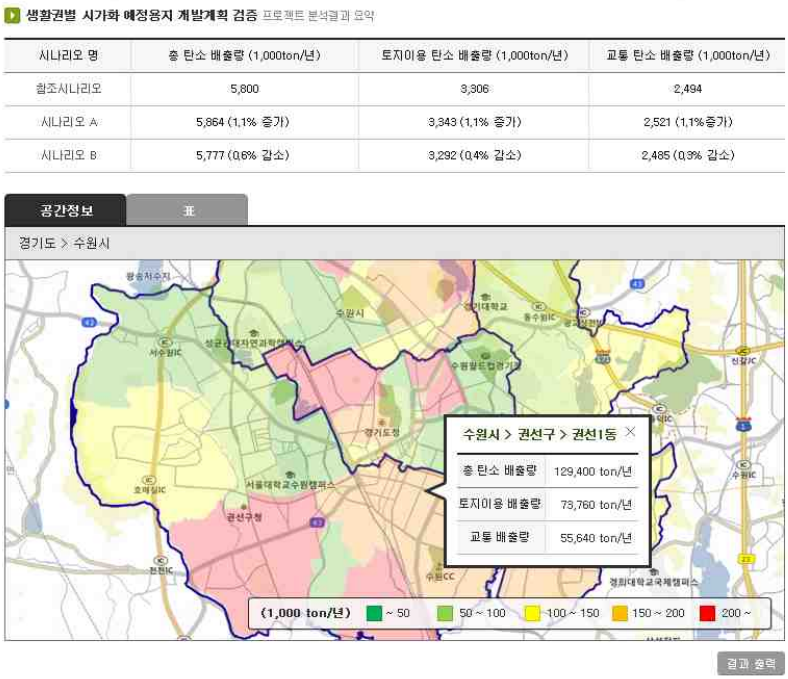
○ 통합 S/W 연계안(2,3과제 협의안, 2014.4)

· 통합S/W-외형적인 수준에서 하나의 통일된 웹사이트의 인트로 화면을 공유하고, 각각 과제에서 개발하는 S/W(웹)로 연결하여 별도 프로그램 구동
· 도시스케일 시나리오의 경우 2과제에서 목표 및 지표를 수립하여 3과제로 전달
· 4차년도에 통합 S/W 메뉴 및 시작 화면의 구성, 통합 DB 구성 부분에 대해 2과제가 제안하는 대안에 대하여 협의 필요

○ 통합플랫폼 구축관련 시스템 통합 화면 (3과제 진흥원 송부안, 2014.6)



- 통합 시스템 초기화면
- 2과제와 분석 목표 및 지표 공동 설정

<table>
<tr>
<td> 
</td>
<td>- 3과제 내 모형 구동
(Delta, OmniTRANS)</td>
</tr>
<tr>
<td> 
</td>
<td>- 3과제 분석 결과
- 분석결과 통합 DB 저장 및 2과제 연계 표출</td>
</tr>
</table>

○ 통합플랫폼 구축관련 실무진 회의

· 1차 회의(14.11.11)
  1) 시스템간 통합/연계 부분 확정 - (첨부 참조)
  2) 시스템간 통합/연계 방안 : DB구성, 연계분야
· 2차 회의(14.12.18)
  1) 통합로그인 및 통합서버 구축 방안
  2) 분석데이터 연계 표출 방안 : WMS 형태로 연계 (지도화면 호출)

○ 이에 따라 통합서버 환경, 통합 DB 구성, GIS엔진, 분석 데이터화면 연계방안에 대하여 정의하였으며, 상세내용은 다음과 같음

<표 1-1-35> 통합서버 환경 구성

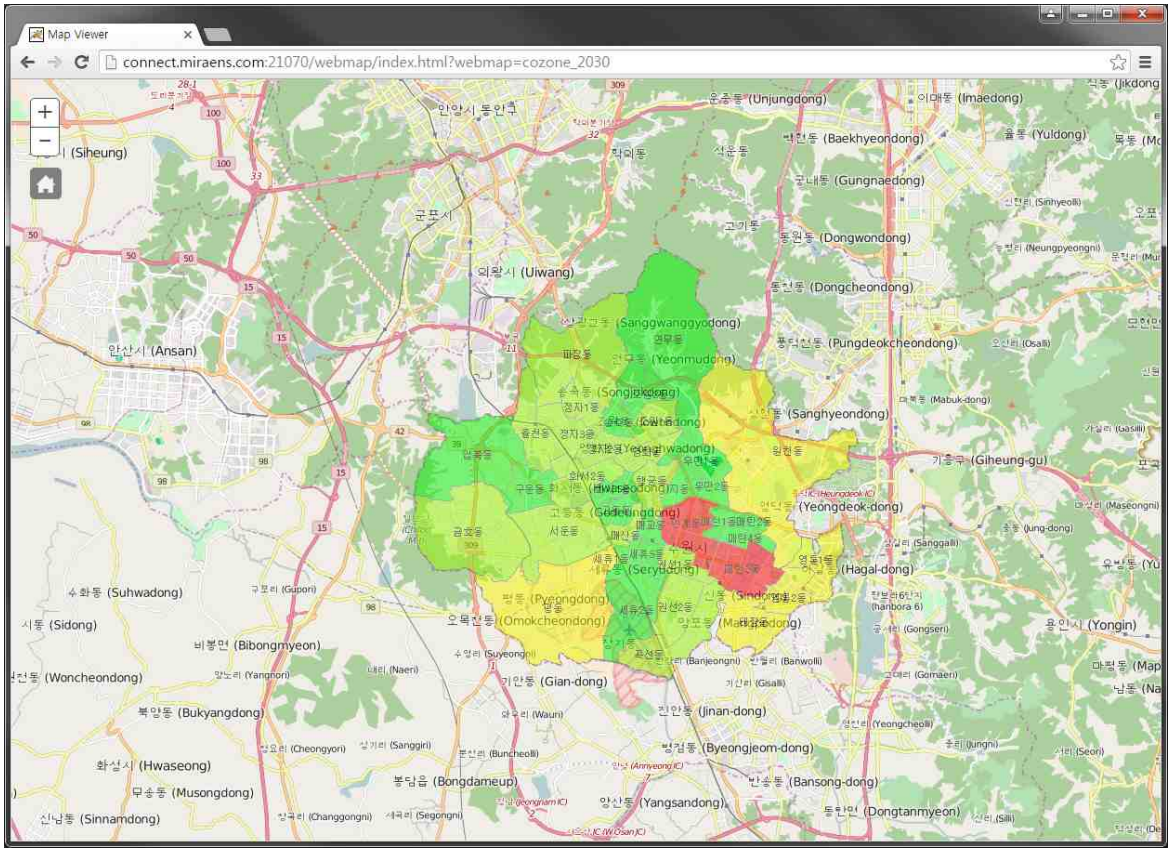
구분	구축 환경
웹서버	- Apache Tomcat 7.0 - ArcGIS Server, Portal for ArcGIS 10.3
DB 서버	- Oracle 11g (Ver 11.2.0.1.0)
개발언어	- Java, JSP
기타	- OGC 표준 형태로 서비스와 데이터를 교환함

○ 통합 DB 테이블 구성은 다음과 같으며, 해당 DB 값에 대하여 파일형태로 입력하며, BAU 시나리오에 대하여 시범도시(수원시)의 Zone(읍면동) 단위배출량 합계를 전송함

<표 1-1-36> 통합DB 테이블 구성

<table>
<tr><th>구분</th><th>DB 테이블 구성</th></tr>
<tr><td>2과제 시스템</td><td>- 테이블(TD_COZONE, TO_COLINK, TN_ANL_SUMM) 조회하여,
Zone(읍면동) 단위배출량 합계 전송</td></tr>
<tr><td>통합 플랫폼</td><td>
<table>
<tr><td colspan="6">도시 시스템 DB</td></tr>
<tr><td rowspan="14">탄소예측</td><td rowspan="4">원단위</td><td>주거부문 원단위</td><td>Kg/m^2</td><td>관리자 설정</td><td></td></tr>
<tr><td>상업부문 원단위</td><td>Kg/m^2</td><td>관리자 설정</td><td></td></tr>
<tr><td>공업부문 원단위</td><td>Kg/m^2</td><td>관리자 설정</td><td></td></tr>
<tr><td>교통부문 원단위</td><td>Kg/m^2</td><td>관리자 설정</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="10">탄소배출량</td><td>주거부문 배출량(BAU)</td><td>Kg</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>주거부문 배출량(시나리오)</td><td>Kg</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>상업부문 배출량(BAU)</td><td>Kg</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>상업부문 배출량(시나리오)</td><td>Kg</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>공업부문 배출량(BAU)</td><td>Kg</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>공업부문 배출량(시나리오)</td><td>Kg</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>교통부문 배출량(BAU)</td><td>Kg</td><td>(교통시스템연계)</td><td>화면호출</td></tr>
<tr><td>교통부문 배출량(시나리오)</td><td>Kg</td><td>(교통시스템연계)</td><td>화면호출</td></tr>
<tr><td>폐기물처리시설에 따른 배출감소량</td><td>Kg</td><td>(폐기물시스템연계)</td><td></td></tr>
<tr><td>총탄소배출량(BAU)</td><td>Kg</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>총탄소배출량(시나리오)</td><td>Kg</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">GIS 배치</td><td rowspan="4">토지이용우선순위</td><td>주-상-공</td><td>상-주-공</td><td>입력값</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>주-공-상</td><td>상-공-주</td><td>입력값</td></tr>
<tr><td>공-주-상</td><td>복합이용</td><td>입력값</td></tr>
<tr><td>공-상-주</td><td></td><td>입력값</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

○ 시나리오의 분석 결과는 통합 플랫폼에서의 화면 표출은 WMS형태로 GIS 화면을 전송하고, URL 호출을 통해서 별도의 페이지가 전송될 수 있도록 구현함



<그림 1-1-35> URL 호출을 통한 배출량 GIS 화면

(나) 시범도시(수원시) 데이터 적용 결과에 따른 시스템 보완 및 성능 안정화

○ 토지이용-교통 모형, 교통활동 모형, 배출량 산정 플랫폼, 도로성능평가의 프로세스를 거쳐 시범도시(수원시)의 데이터를 도출하였으며, 프로젝트 단위로 구분하여 생성함

○ 도시스케일(토지이용-교통 모형 기반) 프로젝트는 BAU 시나리오와 대안(노면전차) 시나리오를 생성하였으며, 시나리오의 상세내용은 다음과 같음

- BAU 시나리오 : 토지이용계획 : 경기도청에서 제공하는 정비사업 추진현황을 기준으로 수원시의 기확정된 토지이용계획안을 반영함 (재개발 18건, 재건축 4건, 보금자리 1건)
- 대안 시나리오 : 토지이용계획 + 노면전차계획 : 2013 한국철도협회세미나의 수원시 교통행정과 발표 자료를 기준으로 노면전차라인을 작성함 (기점: 수원역 인근 종점: 장안구청 인근 연장: 약 6.25km)

<표 1-1-37> 도시스케일 프로젝트 분석 요약 결과

구분	요약정보	BAU	대안(노면전차)
토지이용-교통 모형	연면적 (㎡)	50,455,156	50,462,349
	인구수 (명)	1,162,577	1,163,200
	교통량 (대/1일)	69,074,571	68,512,258
탄소 배출량	토지이용CO_2 배출량(tCO_2 /year)	2,634,389.3	2,634,650.8
	도로교통 CO_2 배출량 (tCO_2 /1일)	6,115.8	6,071.8
대기확산 (오전첨두)	CO 평균농도 (ppm)	0.6	0.59
	NOx 평균 농도 (ppm)	0.035	0.035
	PM 평균 농도 ($\mu g/m^3$)	82	79
도로 성능평가 (오전첨두)	통합대기환경지수(CAI) (등급)	C	C
	서비스수준	D	D
	혼잡도로비율(%)	88.87	86.79
	시간가치 손실비용 (원)	28,184,746	28,182,152
	환경비용 (원)	941,431,540	939,841,800

○ 시범도시(수원시) 데이터를 적용함에 따라 시스템에 지속적인 사용이 발생하고, 이에 따라 편의성을 높이기 위하여 UI 및 기능을 변경하였으며, 상세 내용은 다음과 같음

<표 1-1-38> 시스템 보완사항

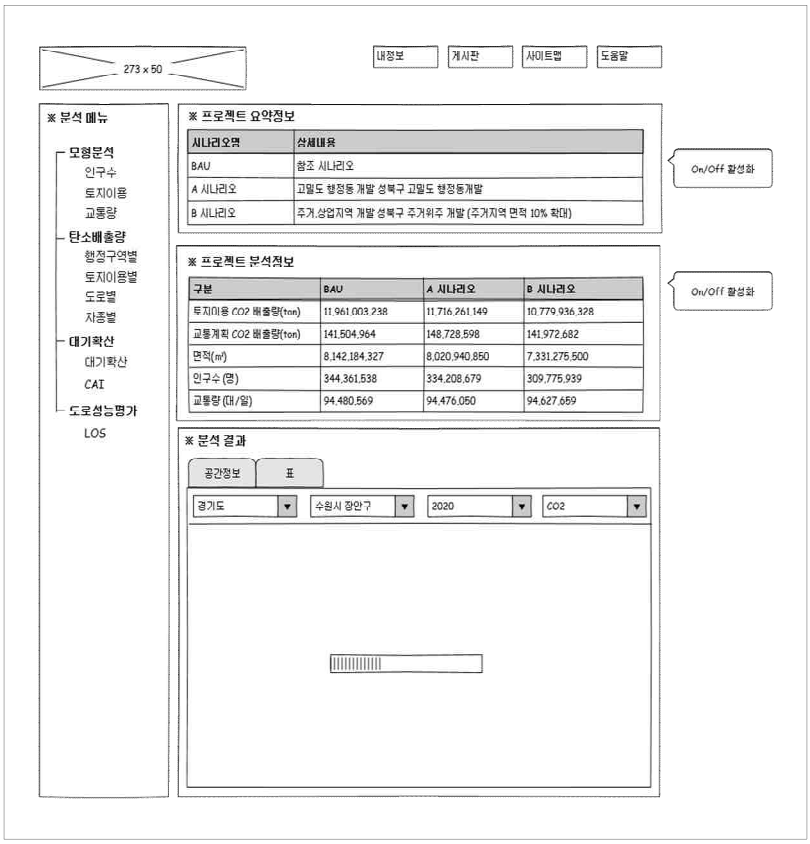
메뉴 구분	보완 사유	보완 사항
프로젝트 및 시나리오 생성	라이브러리 기반의 시나리오 선택 특성 강조	프로젝트 생성 후 시나리오 생성 시, 라이브러리 선택을 먼저 표출
	사용자 정의 분석 필요	프로젝트 생성 시 간이계산 삽입 (시스템 내 파일업로드를 통한 배출량 산정)
분석 메뉴	분석항목이 많지 않으며, 매번 선택 시 번거로움	선택분석 화면에서 팝업으로 표출되는 “분석항목”을 선택형이 아닌 트리 형태로 고정
분석 결과 표출	분석 결과 항목의 사용자 편의를 위함	프로젝트 및 시나리오 요약정보 표출
	분석요약정보 전체표출과 요구사항 반영	프로젝트 분석 정보 및 요약정보 확장 (On/Off 되도록 표출하여 페이지 할당량 고려)
	분석요약정보 전체표출과 요구사항 반영	조회조건을 지도 부분으로 이동

○ 분석결과를 표출하는 부분에서 UI변경이 가장 많이 일어났으며, 화면 왼쪽 메뉴 선택 시 분석조건을 추가로 선택해서 분석하므로 이는 지도안에 삽입하고, 자동으로 선택될 수 있도록 변경하였음



<그림 1-1-36> 분석조건 이동

○ 최종적으로 확정된 UI 변경안은 다음과 같으며, 이에 따라 시스템을 보완, 적용함



<그림 1-1-37> UI 변경안

다. 도시공간 교통연계 탄소배출량 관리시스템의 적용 가이드라인 작성

(1) 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템 기능 고도화

○ 기존의 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리시스템은 각 단위시스템을 통합하고, 연구진의 요구사항에 따라 수정사항이 발생함

○ 또한, 모형의 분석 결과가 대용량으로 배출량 산정 등의 프로시저 실행 시 속도개선이 필요로 함

○ 이에 따라, 시스템의 기능 및 속도 개선을 위한 고도화 개발을 수행함

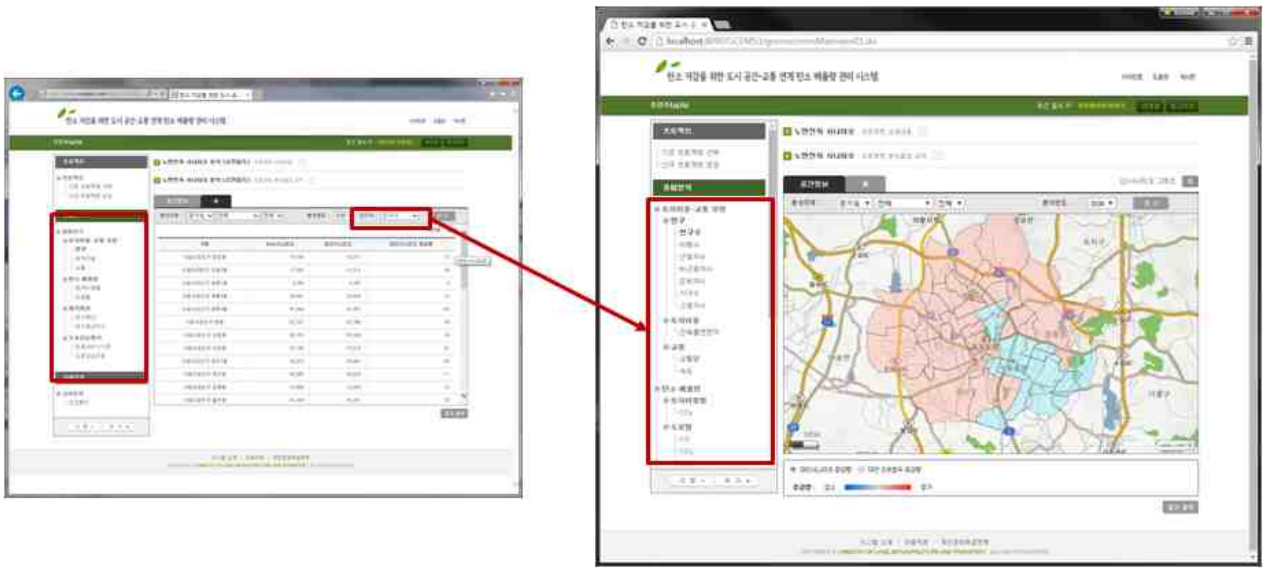
<표 1-1-39> 시스템 고도화

구분	상세내용
기능 개선	분석 조건 부분을 트리메뉴로 이동 (인구구분, 토지이용구분, 교통구분, 오염물질)
	분석조건에 따라 정렬, 합계 등의 정보 표출 (Open API를 사용하여 구현)
	관리자 메뉴 수정 (배출량 산정 지표, 플랫폼 수정)
	레포팅툴 보완 - 연도별 합계(평균) 변화 비교 그래프 자동 생성
	추가기능개발 - 관련 지표 이력관리 기능 추가 및 검색 필터 보완
속도 개선	표출 속도 개선 (크롬 최적화)
	DB 고도화를 통한 배출량 산정 등 속도 개선 - 데이터를 정제하여 DB 인덱스 개선, DBA 자문을 통해 배출량 산정 및 도로성능평가 산정 프로세스 속도 개선 - 지구스케일 배출량 산정 속도 개선 : 도로각도 추가, 초당 속도생성 프로세스 보완 - 대기모형 실행 프로세스 보완 - 도로성능평가 관련 차종 재정의 - 도시스케일 교통모형 관련 방향 처리, 트램 처리 방법 보완

(가) 시스템 기능 개선 및 고도화

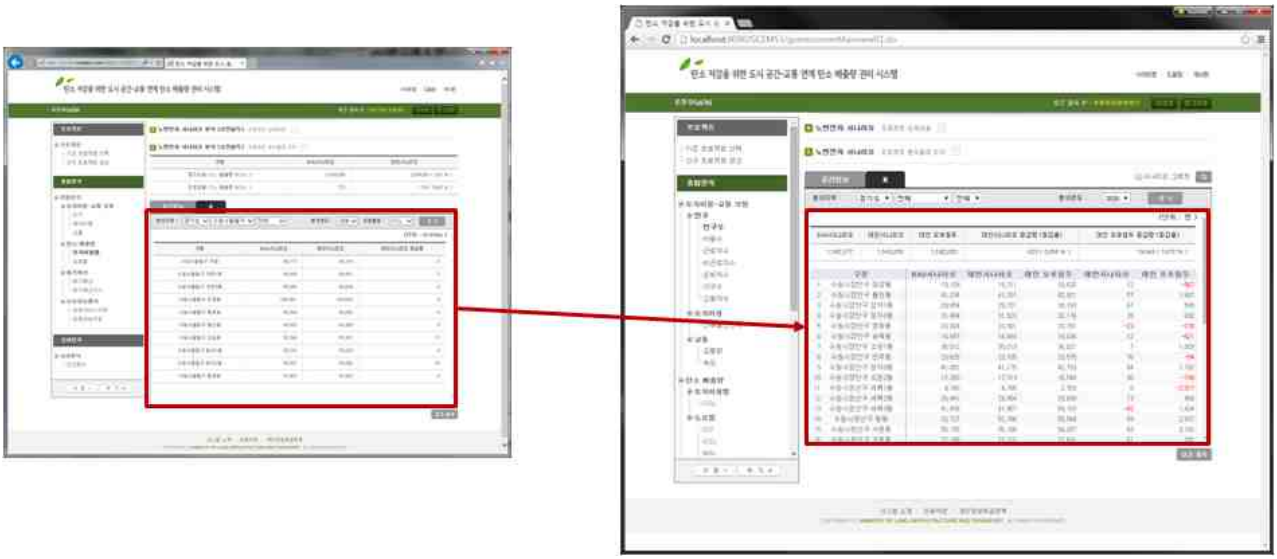
○ 기존 시스템 상에서 메뉴 선택 시, 분석 내용이 바로 표출되지 않고, 조건을 선택하여 내용이 표출되었음

○ 분석 지역, 연도를 제외한 분석조건은 메뉴로 이동하여 선택 시 바로 표출될 수 있도록 수정함



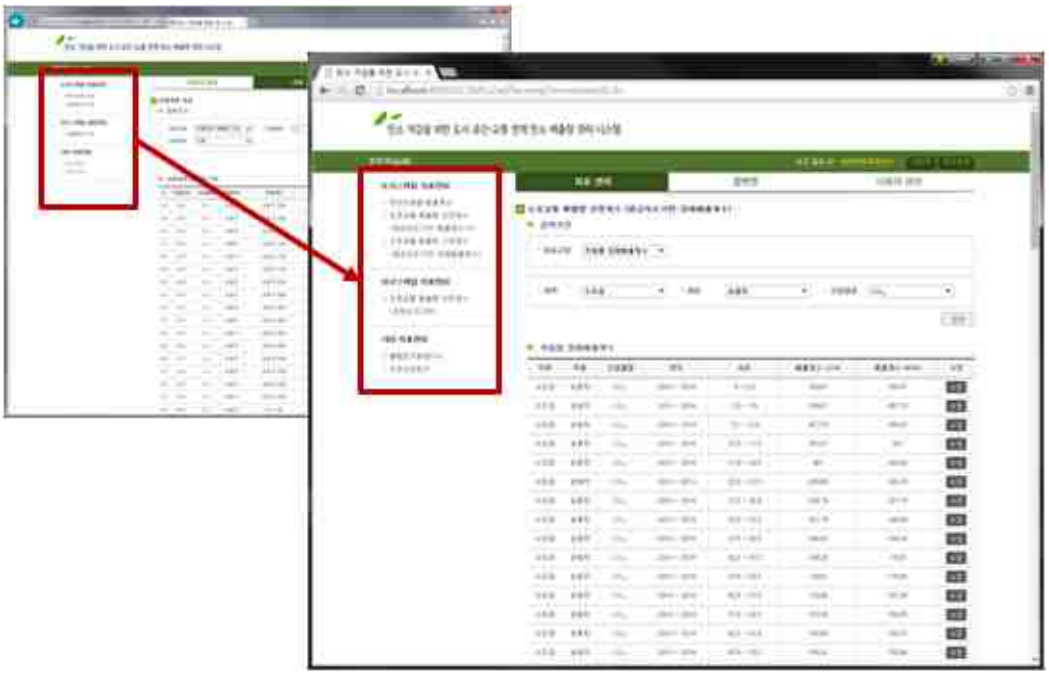
<그림 1-1-38> 분석조건 메뉴로 이동

○ 분석 내용은 웹페이지 내 표 형태로 표출되어, 자동정렬 등이 지원될 수 있도록 수정하고, 선택조건(지역, 연도)에 따라 부분합계, 증감량을 표출함



<그림 1-1-39> 분석결과 추가정보 표출

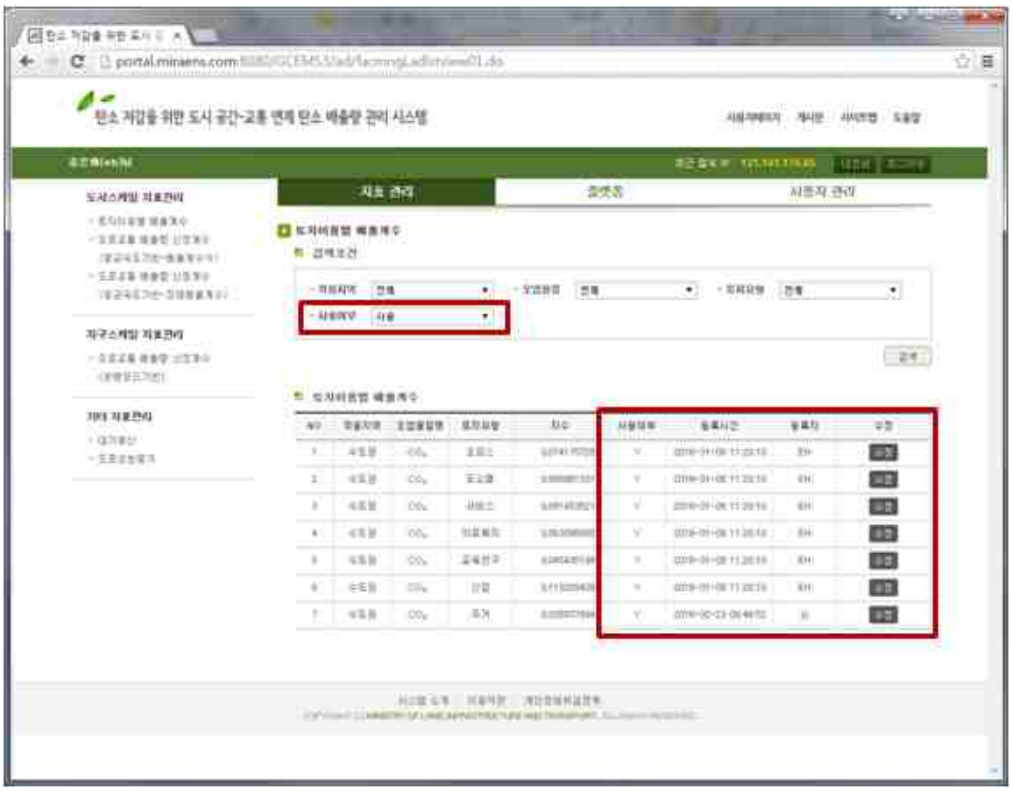
○ 관리자 페이지 내 도로교통 배출량 산정계수를 구분하고, 추가된 지표 등에 대하여 메뉴를 별도를 구성함



<그림 1-1-40> 지표관리 메뉴 추가

○ 상세조건 분석 시에 결과로 도출되는 레포팅 툴에 내에서 그래프 등을 추가 보완하고, 시나리오 및 연도, 지역 등에 대한 조건에 따라 결과가 표출되도록 보완

○ 지표 관리 시에 이력정보가 남을 수 있도록 보완하고, 사용여부 등의 필드를 추가함



<그림 1-1-41> 지표 이력관리

(나) 표출 속도 개선 및 DB 고도화

○ 분석 결과 표출 속도를 개선하기 위하여 GIS 엔진을 보완하고, 관련 에러를 수정함



<그림 1-1-42> GIS 엔진 보완

○ DB 고도화를 통해 배출량 산정 등의 속도를 개선함

- DB 인덱스를 위한 별도의 테이블 스페이스를 생성하여 속도를 개선함
- 배출량 산정 및 도로성능평가 산정 프로세스 중 DB와 직접적으로 연결되어있는 프로시저를 보완하여 실행 속도를 개선함
- 지구스케일의 경우 배출량 산정 속도를 개선하고, 도로 각도 필드를 추가하고, 초당 속도 생성 프로세스를 보완함

```
SELECT VSP_A.*,
       CASE WHEN ACCELMPH < -2 THEN 0
            WHEN ACCELMPH > -2 AND ACCELMPH < -1 THEN CASE WHEN ACCELMPHA < -1 THEN CASE WHEN ACCELMPHB < -1 THEN 0 ELSE -1 END
                                                       ELSE -1
                                                  END
            ELSE -1
       END AS OPMODE0,
       CASE WHEN SPDMPH > -1 AND SPDMPH < 1 THEN 1 ELSE -1
       END AS OPMODE1,
       NVL (OP_B.OPMODE, -1) AS OPMODE40
  FROM ( SELECT EVENT_A.SCENARIOID, EVENT_A.PERSONID, EVENT_A.EVENTTIME, EVENT_A.LINKID, EVENT_A.AVGSPD, EVENT_A.SPDMPH,
                EVENT_A.ACCEL,  EVENT_A.ACCELMPH,
                EVENT_A.ACCELA, EVENT_A.ACCELMPHA,
                EVENT_A.ACCELB, EVENT_A.ACCELMPHB,
                CARFUEL_C.MCARFUELID,
                ( ROLLINGTERMA * SPDMS + ROTATINGTERMB * POWER (SPDMS, 2) + DRAGTERMC * POWER (SPDMS, 3) + FIXEDMASSFACTOR * SPDMS * (ACCEL + 9.81*SIN(0)) ) / SOURCEMESS AS VSP
           FROM (SELECT A.SCENARIOID,  A.PERSONID, A.EVENTTIME, A.LINKID, A.CARFUEL,
                        A.SPDKMH AS AVGSPD,  A.SPDMS, A.SPDMIH AS SPDMPH,
                        NVL (A.SPDMS - B.SPDMS, 0) AS ACCEL, NVL (A.SPDMIH - B.SPDMIH,0) AS ACCELMPH,
                        NVL (B.SPDMS - C.SPDMS, 0) AS ACCELA, NVL ( B.SPDMIH - C.SPDMIH,0) AS ACCELMPHA,
                        NVL (C.SPDMS - D.SPDMS, 0) AS ACCELB, NVL ( C.SPDMIH - D.SPDMIH,0) AS ACCELMPHB
                   FROM (SELECT PERSONID, EVENTTIME, LINKID, SCENARIOID, CARFUEL, AVGSPD AS SPDMS, AVGSPD*3.6 AS SPDKmH, AVGSPD * 2.236936 AS SPDMIH
                           FROM TN_EVENTPRO
                          WHERE SCENARIOID = v_scenarioid_id
                        ) A
```

<그림 1-1-43> 배출량 산정 - 도로각도 필드추가

- 교통계획 모형의 시간대가 추가됨에 따라 대기확산 모형 실행의 프로세스를 보완하고, 교통활동 모형의 15분 단위로 생성되던 결과를 시간단위로 생성될 수 있도록 변경함
- LOS 산정을 위한 도로위계 구분에 따라 각 모형에서 도출되는 네트워크의 도로위계를 재정의하고 프로시저 실행 시 일괄 적용될 수 있도록 개선함

(2) 도시공간-교통연계 탄소배출량 통합 관리시스템 가이드라인 작성

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

<표 1-1-40> 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 (모형 입력)
		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

○ 잠재적 수요자가 될 수 있는 전문가들에게 가이드라인에 대하여 자문을 수행하였으며 검토 의견은 다음과 같음

<표 1-1-41> 시스템 가이드라인 전문가 의견

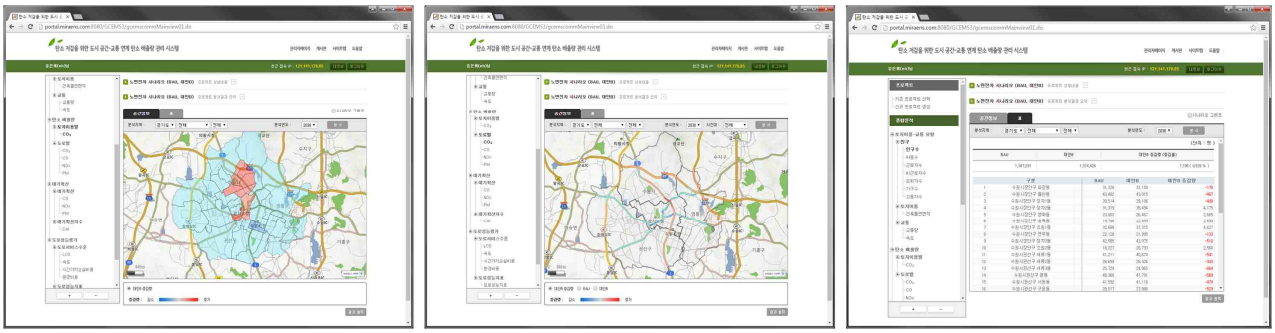
구분	주요 의견	반영 여부
A 전문가	- 도시공간배치와 교통활동의 상호연계성을 고려한 통합모형에 대한 개념적 소개와 모형의 입력물 - 처리 - 결과물 플로우를 추가하고 이에 대한 예시를 제공한다면 매뉴얼로서의 역할을 더욱 충실히 할 수 있을 것임	- 해당 내용을 매뉴얼 상에 수록함
	- BAU와 같은 약어 사용 시 그에 대한 full name과 설명을 제공	- 해당 내용을 매뉴얼 상에 수록함
	- 모형 데이터 (.csv)에 대한 스펙과 포맷을 상세히 제시	- 모형데이터 (Delta, Omnitrans, MATSim)의 상세스펙과 포맷을 제시하고, 예시화면을 수록함
	- 시스템을 운영하기 위한 전 단계에서 설치 관련 정보와 과정을 상세히 제시	- 톰캣, 오라클 등의 설치 관련 정보를 매뉴얼 상에 수록함
	- 매뉴얼 내에 표번호와 그림번호를 일관성 있게 수정하고, 이를 목차에 정확하게 반영하며, 매뉴얼 내 설명에서 각각의 번호들을 사용	- 해당 내용을 매뉴얼 상에 수록함
B 전문가	- 도시교통정문가와 일부 담당공무원들만이 분석프로젝트를 조작 수정, 관리하고 그 외의 인원들은 종합분석 기능만이 조작 가능하도록 사용자의 등급부니가 필요할 것으로 판단됨. 웹기반의 시스템이기 때문에 분석 프로젝트를 비전문가의 수정 및 생성 조작으로 인해 시스템 부하가 커지고 데이터의 오류가 발생할 가능성이 커지고, 데이터의 오류가 발생할 가능성이 커지게 됨. 가이드라인에도 이에 대한 내용을 명시할 필요가 있음	- 일반사용자의 권한을 더 낮추고, 관리자만이 분석프로젝트를 조작할 수 있도록 시스템에 반영하고, 해당 내용을 매뉴얼 상에 수록함
	- 일반인에게도 공개되는 매뉴얼이므로 관리시스템의 최종 표출화면에 대한 의미도 기술하여 주는 것으로 판단됨	- 해당 내용을 매뉴얼 상에 수록함
	- 운영자 매뉴얼 내 도시스케일 입력데이터와 지구스케일 입력데이터의 내용과 형태를 잘 제시되어 있음 그러나 실제 데이터를 만들어 입력 시 참고가 될 수 있는 예제 형태를 제시하는 것이 필요할 것으로 판단됨	- 모형데이터 (Delta, Omnitrans, MATSim)의 상세스펙과 포맷을 제시하고, 예시화면을 수록함
	- 시스템에 입력되는 데이터를 별도의 컨설팅을 필요로 함으로 되어있는데, 컨설팅을 할 수 있는 기관이나 컨설팅 내용을 명확히 하여 문의나 검색을 통해 정보를 얻을 수 있도록 하는 것이 필요함	- 해당 내용을 매뉴얼 상에 수록함

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

1. 연구수행 전략 및 방법론

가. 개발 전략

○ 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램(핵심성과2)는 탄소저감 정책 시나리오에 따라 토지이용-교통 통합 모형(Delta, OmniTrans) 및 교통활동 모형(MATSim)을 실행하고 모형의 결과 데이터와 이를 기반으로 산정된 탄소배출량을 GIS를 기반으로 표출하는 시스템임



<그림 1-2-1> 시나리오기반 도시교통 탄소저감 예측결과 표출 프로그램

(1) 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 설계

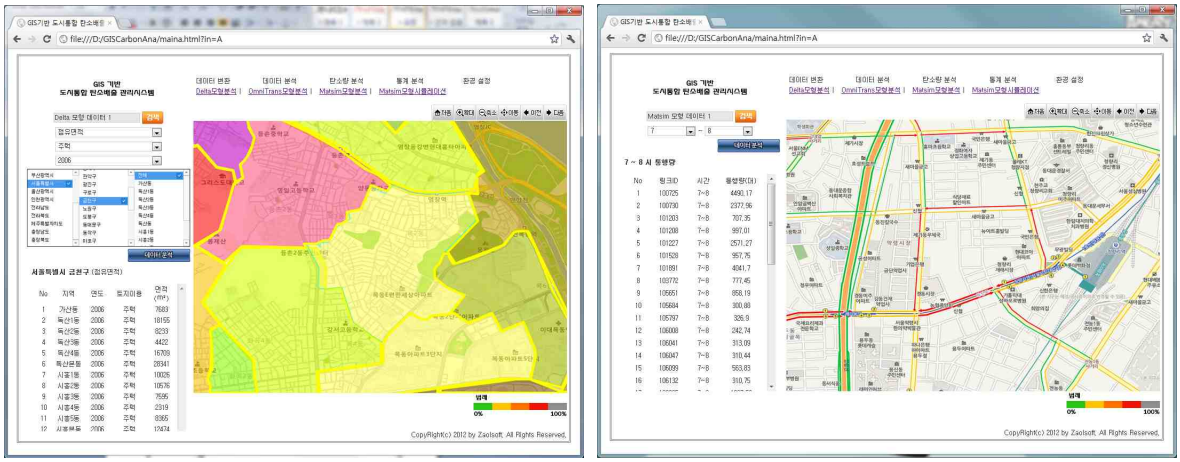
○ 국내외 토지, 도시, 교통 관련 통합 모형분석을 위한 시뮬레이터 및 프로그램 구축사례 등을 검토하여, 도시공간-교통연계 탄소관리체계 구축에 적용할 수 있도록 데이터 분석 방안 및 표출방안을 연구함

○ 최종성과품에 대한 구체적인 서비스를 정의하고, 요소기술에 대해 분석, 설계함

<표 1-2-1> 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 1-2-2> html mock-up 화면

(2) 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발

○ 시나리오별 모형 분석결과 DB 및 시나리오 효과평가 시뮬레이션 표출체계 구축

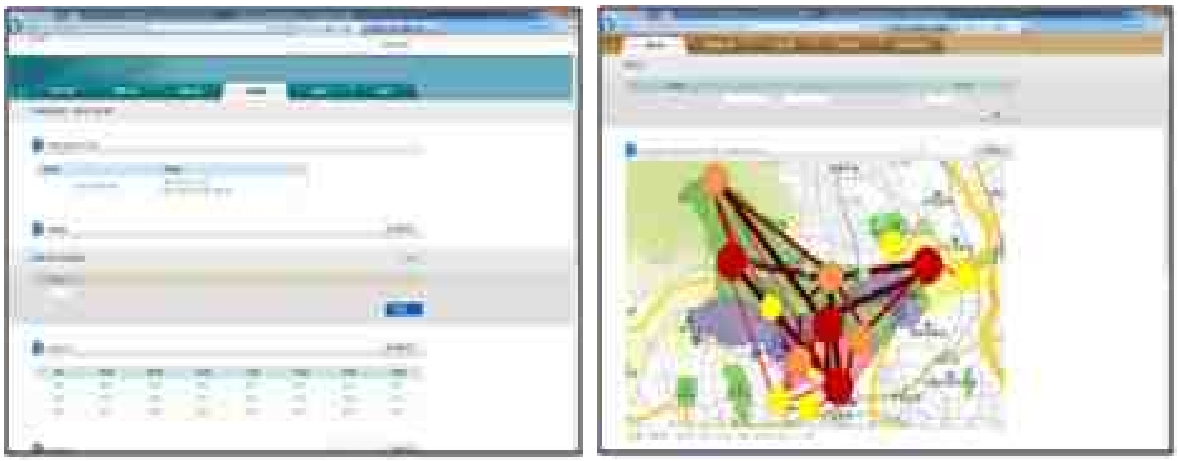
- 토지이용 모형(Delta Model)과 교통모형(OmniTrans Model)의 상호작용에 의해서 분석되며, 수도권을 대상으로 분석된 데이터를 변환하여 DB 구축
- 토지-교통모형 분석결과인 인구변화, 토지이용변화, 교통량 변화를 GIS상에서 표출하고, 선택한 시나리오의 존별, 토지이용별, 링크별, 차종별 탄소 배출량을 산정하여 GIS 상에서 표출



<그림 1-2-3> 토지이용-교통통합모형 활용 탄소배출량 예측결과 표출안

○ 인간활동기반 교통모형 분석결과 DB 및 인간활동기반 교통모형 시뮬레이션 표출체계 구축

- 강남구 일대를 대상으로 약 4만개의 링크로 구성된 교통활동 모형 분석데이터를 변환하여 DB를 구축
- 교통활동모형 분석결과인 시간대별 교통량 변화를 GIS상에서 표출하고, 링크의 속성정보 및 시간대별 교통량을 기반으로 LOS를 산정하여 도로의 상태를 표출

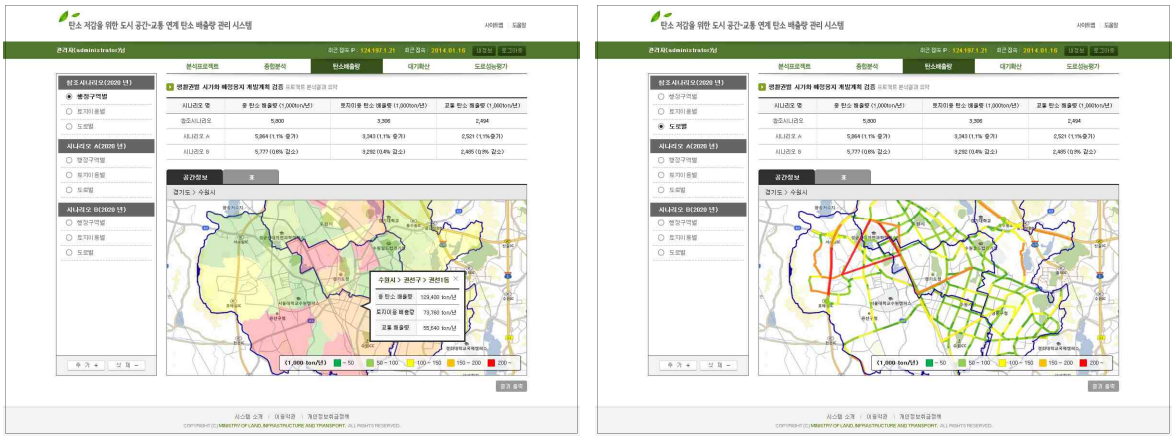


<그림 1-2-4> 활동기반 교통계획 모형기반 활용 탄소배출량 예측결과 표출안

(3) 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

- 시나리오 기반 토지-교통모형, 교통 활동 모형 분석 결과를 존, 링크단위로 표출하고, 탄소배출량 산정 플랫폼을 적용하여 탄소배출량을 존, 링크단위로 표출하는 기능을 구현함



<그림 1-2-5> 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과 표출프로그램 화면

나. 연차별 연구목표와 연구내용

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

<표 1-2-2> 목표 및 주요 연구내용

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

2. 연구수행과정 및 내용

가. 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 설계

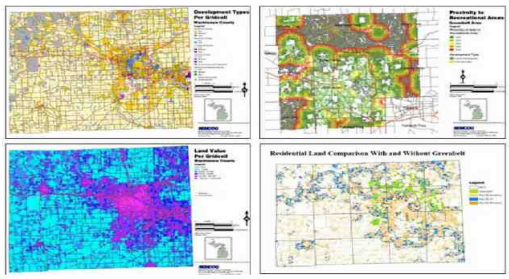
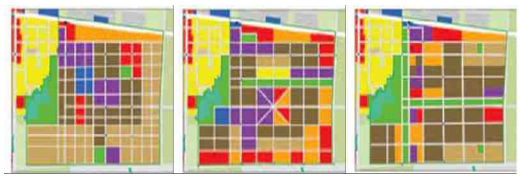
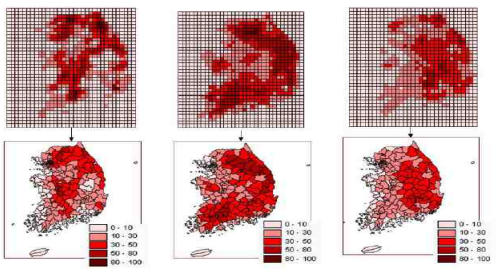
(1) 도시공간-교통연계 탄소관리체계 구축을 위한 연구기반 마련

(가) 문헌검토 및 화면 표출사례 검토

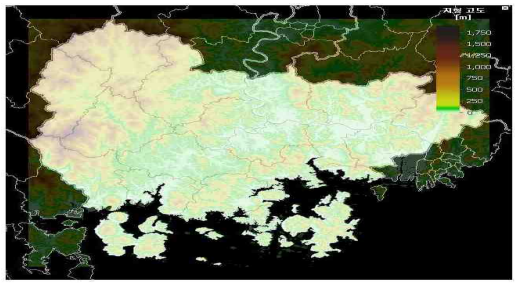
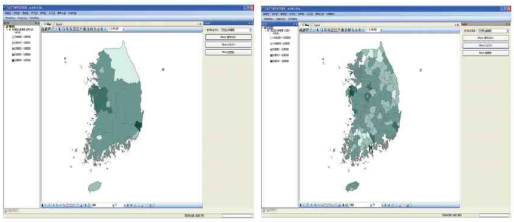
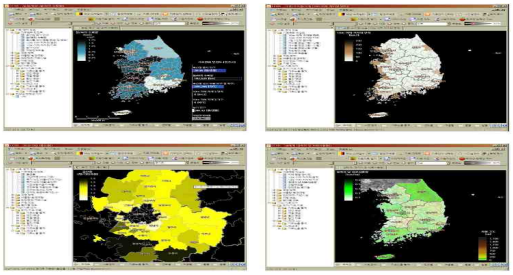
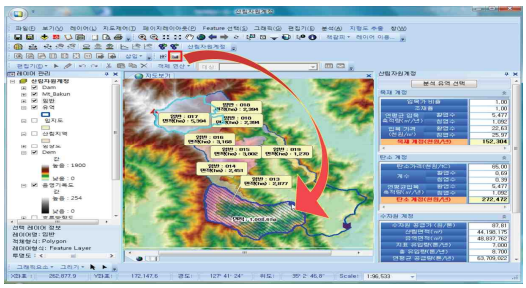
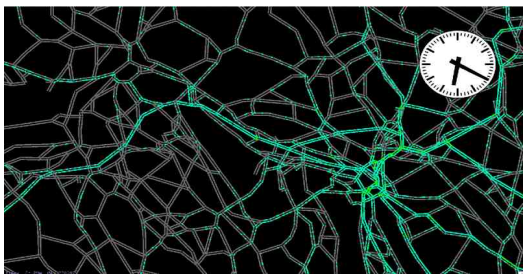
○ 국내외 토지, 도시, 교통 관련 통합 모형분석을 위한 시뮬레이터 및 프로그램 구축사례 등을 검토하여, 도시공간-교통연계 탄소관리체계 구축에 적용할 수 있도록 데이터 분석 방안 및 표출방안을 연구

○ 일반적으로 Zone이나 네트워크 기반의 분석 사례가 주를 이루며, 대량의 데이터 분석을 위해 C/S 기반의 시스템을 활용하고 있음

<표 1-2-3> 국내외 토지, 교통, 통합 모형기반 시스템 구축사례 및 표출기술

내용	표출사례
UrbanSim을 이용한 주거지변화[7] - Washtenaw County, Michigan - 시뮬레이션 모형 사례	
토지이용·교통 관련 통합모형[8] - INDEX를 활용한 Cool Spot - 시나리오 모식도 - 근린주구 설계 사례: 미국 앨번시	
GIS를 이용한 격자자료를 시군구 자료로 변환한 예[9] -GIS를 이용한 기후변화 예측 모형 인터페이스 구축 사례	

7) http://www.urbansim.org/papers/urbansim_pss.pd
8) Designing a cool spot Neighborhood, Eliot Allen, 2009
9) GIS를 이용한 기후변화 예측결과와 영향평가 모형의 인터페이스 구축, 국립환경과학원, 2008
10) GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석기법 개발 - 국립환경과학원

GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석 기법 개발 10) - 지형자료 표출 화면 예시	
GIS 기반 국가기간교통망 통합계획기법 적용 연구 11) - Spatial(공간단위분석) 모듈을 사용한 탄소배출량 표출 - 1인당 탄소배출량-Macro / 1인당 탄소배출량-Meso	
GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석 기법 개발12) - 취약성 지표 (기후 인자별 기후변화 민감도, 분야별 정보, 기후노출, 배출량 등)의 분포도를 시각화 - 기후변화 민감도 보기 예시	
GIS를 이용한 산림자원계정시스템 개발13) - GIS기반 산림자원계정 평가시스템 유역분석	
교통활동 모형 Tool 구동화면(MATSim)14) - 노드/링크 기반으로 Agent의 활동을 시간단위로 표출	

11) GIS 기반 국가기간교통망 통합계획기법 적용 연구, 국토연구원, 2010
12) GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석기법 개발 - 국립환경과학원
13) GIS를 이용한 산림자원계정시스템 개발, 농림수산식품부, 2008
14) http://www.matsim.org

(나) 요구사항 분석 및 모형 Output 표출방안 구상

○ 각 모형에서의 개략적인 input / output 데이터를 파악하여, 데이터 분석 방안 및 표출 방안을 연구하고, 연구과제에서 요구하는 최종성과품 등을 정의함

○ GIS관련(좌표계 및 네트워크 등) 데이터 사용가능여부를 파악하고, 기타 기획회의를 통해 도출된 요구사항을 토대로 표출방안을 구상함

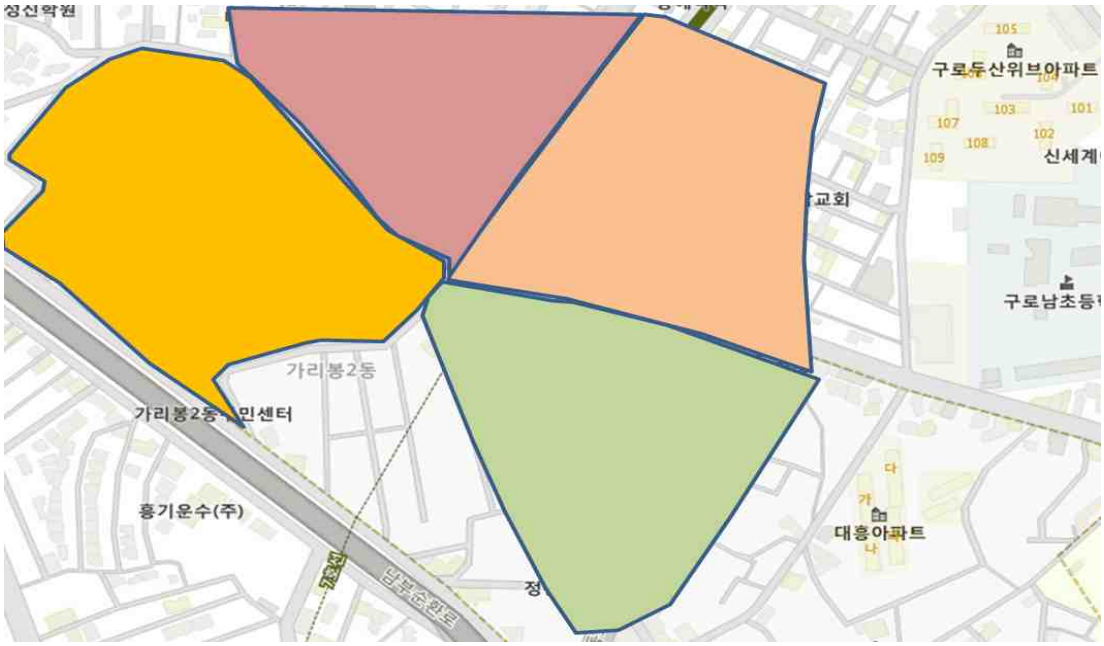
① 토지이용 모형 (Delta 모형의 output 데이터 GIS 활용)

○ Output 데이터는 Zone 기반의 인구 변화 및 토지 이용변화를 나타냄

○ 파일 헤더에는 파일생성정보 및 프로그램 정보 등을 포함하고 있으며, 행열 형태로 존, 연도로 구분하여 데이터의 변화가 저장되어있고, 파일명으로 토지이용을 구분

○ Output 파일에는 GIS 정보를 포함하지 않아 Zone 단위의 GIS DB 구축이 필요

○ GIS 활용 표출부분에 있어 Zone별 폴리곤 형태로 화면 표출



<그림 1-2-6> Delta 모형 output 데이터 표출방안

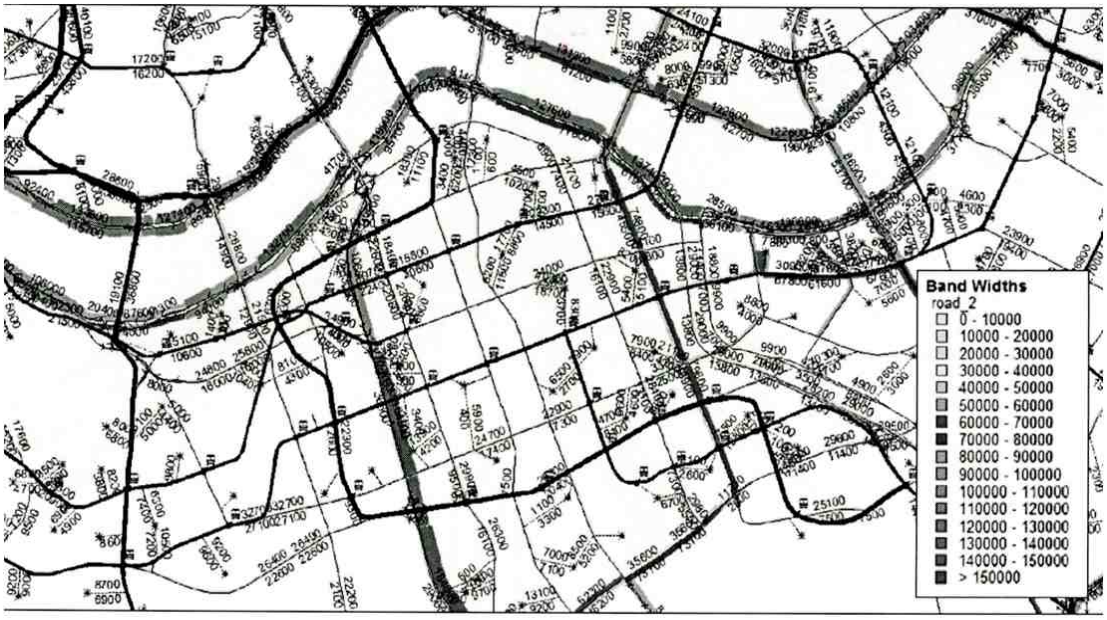
② 교통계획 모형 (OmniTRANS output 데이터 GIS 활용)

○ Output 데이터는 네트워크 기반의 교통량, 자유속도 등을 나타냄

○ Shape (SHP, SHX, DBF) 파일 형태로, DBF파일에서 각 필드의 데이터 확인가능하고, 샘플파일의 경우 한 링크에 양방향 정보를 포함하고, 링크의 속성정보와 교통정보가 동시에 존재함

○ Shape 형태로 좌표 및 데이터는 확인이 가능하나, 배경지도에 따라 좌표 변환을 필요로 함

○ GIS 활용 표출부분에 있어 Link 단위로 화면 표출 (거시적 분석결과)



<그림 1-2-7> OmniTrans 모형 output 데이터 표출방안

③ 교통활동 모형 (MATSim output 데이터 GIS 활용)

○ Output 데이터는 Agent의 이동경로 및 시간별 링크정보 등을 나타냄

○ MATSim 자체 형식의 파일 및 XML 파일 형태로 각 파일별로 정보가 저장되어있고, 대용량의 정보를 포함하고 있어 데이터 처리를 위한 기술을 필요로함

○ 모형으로 입력하는 network.xml 파일에서 x, y 좌표를 추출하여 사용할 수 있고, 배경지도에 따라 좌표변환을 필요로 함

○ GIS 활용 표출부분에 있어 Link 단위로 화면 표출 (미시적 분석결과)



<그림 1-2-8> MATSim 모형 Output 교통량 데이터 표출방안

(2) 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 설계 및 기초 데이터 구축

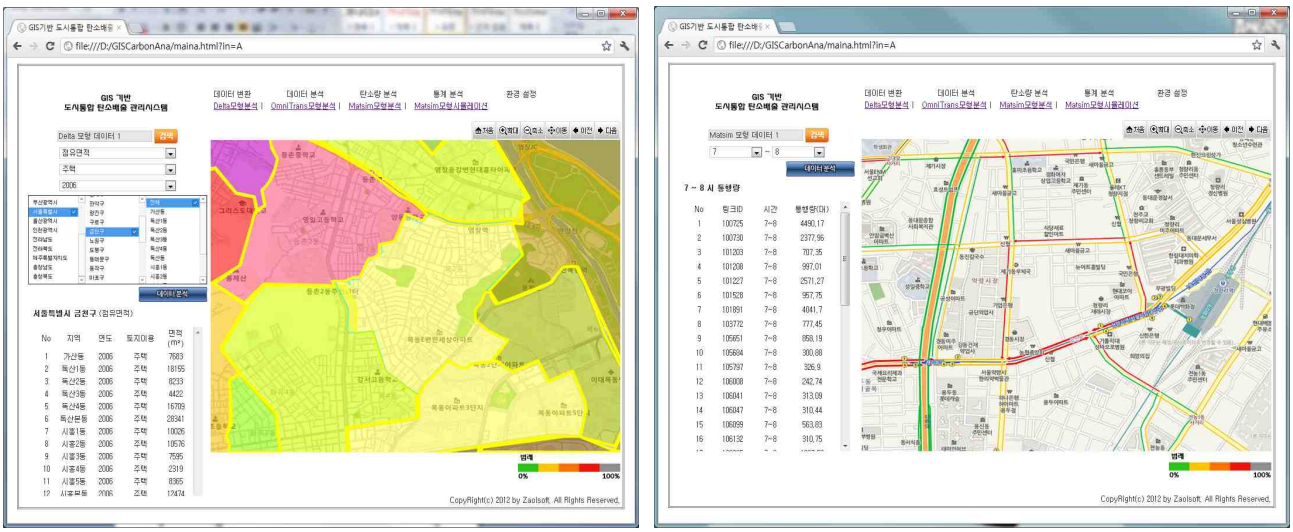
(가) 탄소저감을 위한 도시·교통 환경변화에 따른 통합 탄소배출 관리 프로그램 설계

○ 최종성과품에 대한 구체적인 서비스를 정의하고, 프로그램의 요소기술에 대하여 분석, 설계하였으며 상세항목은 다음과 같음

<표 1-2-4> 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

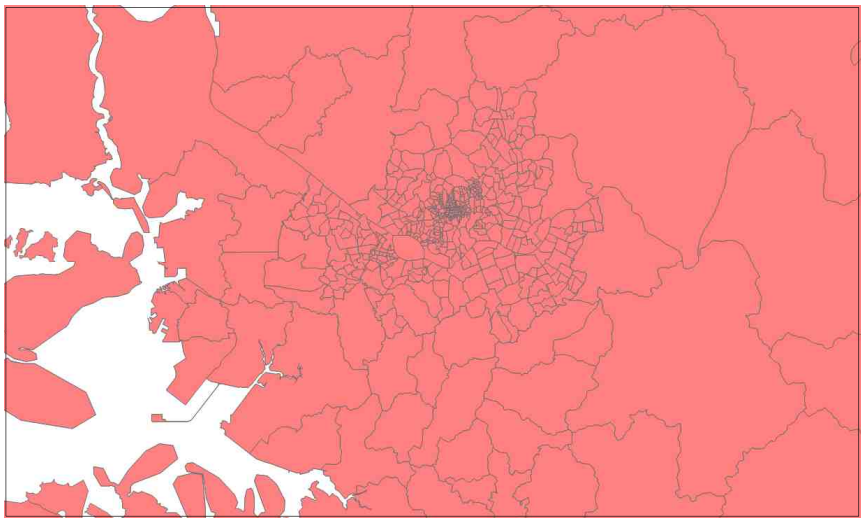


<그림 1-2-9> html mock-up 화면

(나) 모형 Data 변환 및 기초 DB 구축

① 토지-교통모형 Data 변환 및 DB 생성 (Delta 모형)

○ Delta 모형의 Output 샘플 데이터는 Zone 기반의 서울지역은 행정동 단위, 경기, 인천지역은 구 단위로 분석되어 각 ID와 매칭되는 GIS DB생성



<그림 1-2-10> DELTA 모형 GIS 형상 데이터

○ CSV에서 추출된 데이터는 크게 인구, 토지이용으로 구분되어 저장되고, 체계적인 DB활용을 위하여 중복되는 내용은 코드화하여 저장

○ 인구변화 관련 파일은 파일명으로 내용을 구분하며, 파일정보는 아래 표와 같음

<표 1-2-5> Delta 모형 인구수 관련 Output 파일 정보

파일명	파일 내용
Population.csv	인구 수 변화
HhldPop.csv	(거주)인구 수 변화
NonHhldPop.csv	(비거주)인구 수 변화
Children.csv	아동 수 변화
Workers.csv	근로자 수 변화
Nonworkers.csv	비근로자수 변화
Retired.csv	은퇴자 수 변화
Households.csv	가구수 변화
Employment.csv	고용자수 변화
NominalEmp.csv	(명목)고용자 수 변화

○ 토지이용 변화 관련된 파일은 파일명으로 내용과 토지이용을 구분하며, 파일정보는 아래 표와 같음

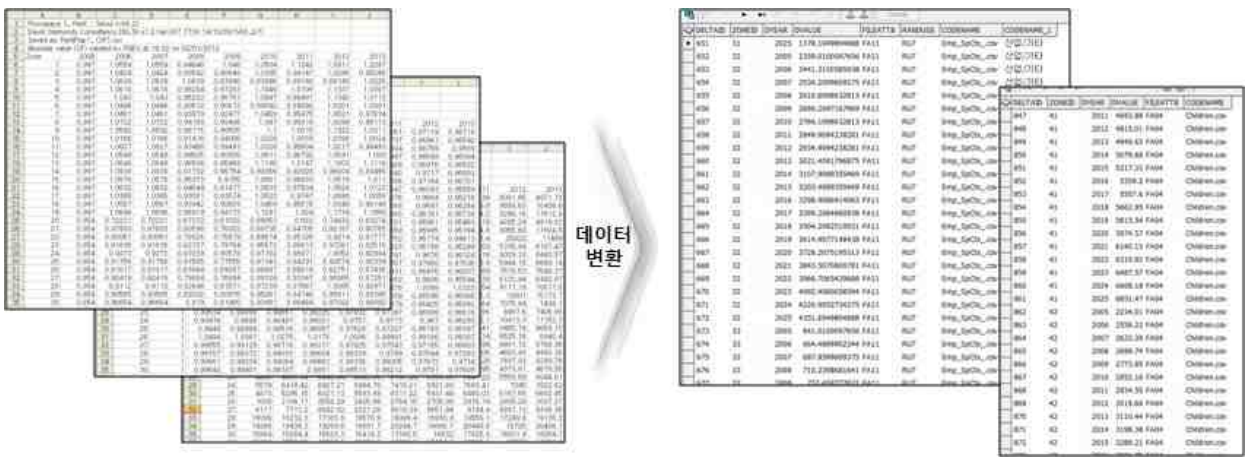
<표 1-2-6> Delta 모형 토지이용 관련 Output 파일 정보

파일명	파일 내용
Emp_SpCtx_.csv	산업별 고용자 수 변화
DevGreenx_.csv	토지이용별 개발량(Greenfield)
DevBrownx_.csv	토지이용별 개발량(Brownfield)
PrmtdDevx_.csv	토지이용별 개발가능면적증가
Flrspacex_.csv	토지이용별 연면적 변화
OccupdSpx_.csv	토지이용별 점유면적 변화
VacantSpx_.csv	토지이용별 공실면적 변화
OccDens.x_.csv	토지이용별 인당점유면적 변화
Quality.x_.csv	토지이용별 질적수준 변화
RentFlspx_.csv	토지이용별 단위면적당 임대료 변화
· x로 토지이용 구분 1: 주택, 2: 오피스, 3: 판매, 4: 서비스, 5: 보건/의료, 6: 교육/연구, 7: 산업/기타 ex) RentFlsp1.csv : 주택용도로 사용되는 토지의 단위면적당 임대료 변화를 나타냄	

○ 인구수, 거주 인구수, 비 거주 인구수, 아동 수, 근로자수, 비 근로자수, 은퇴자수, 가구 수, 고용자수의 정보는 Zone, 연도의 정보와 함께 저장

○ 개발가능면적, 연면적, 점유면적, 공실면적, 인당점유면적, 질적 수준, 단위면적당 임대료의 정보는 Zone, 연도, 토지이용 정보와 함께 저장

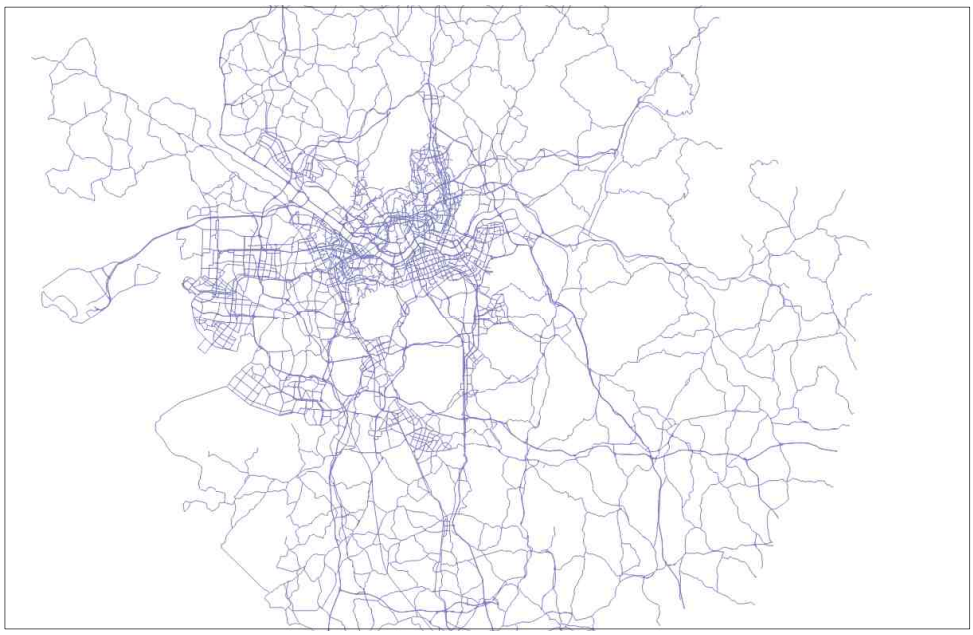
○ 샘플데이터는 프로그램을 통해 데이터를 변환하여 DB에 저장



<그림 1-2-11> Delta 모형 데이터 변환

② 토지-교통모형 Data 변환 및 DB 생성 (OmniTrans 모형)

○ OmniTrans 모형의 Output 데이터는 네트워크 기반의 링크 단위로 분석된 Shape형태이므로 지도와 매핑 될 수 있도록 좌표 변환하여 ITRF 2000 중부원점(GRS80) 좌표계로 GIS DB생성



<그림 1-2-12> OMNITRANS 모형 GIS 형상 데이터

○ 결과 파일은 링크의 형상정보와 속성정보를 가지고 있으며, 파일포맷으로 데이터를 구분됨

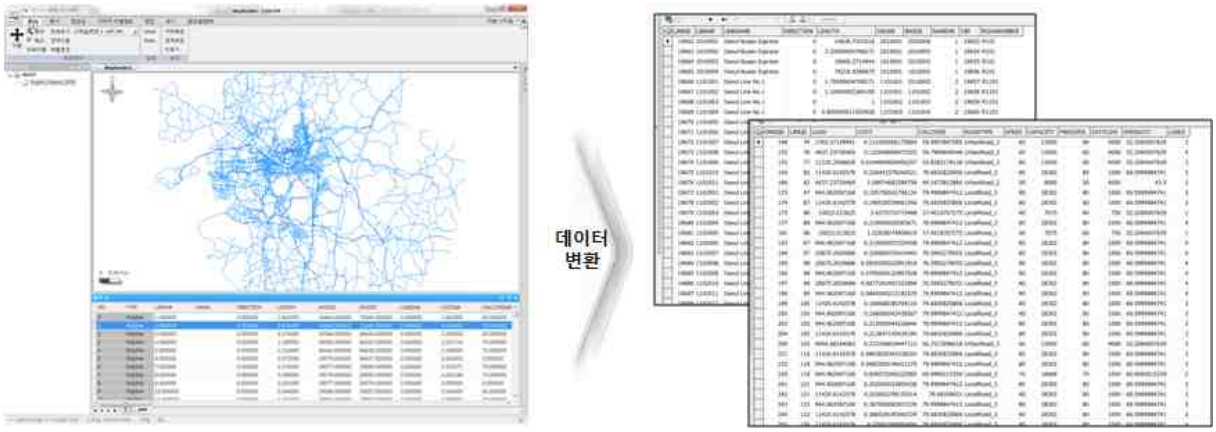
○ 필드의 상세 내용은 ID와 중복된 결과를 제외하고, 다음 표와 같으며 하나의 링크에 방향을 분리하여 데이터가 저장되어 있음

<표 1-2-7> Omnitrans 필드 내용

필드 명	필드 내용	단위
LINKNR	link 일련번호	
NAME	link 이름	
DIRECTION	방향(필드명의 AB, BA의 값 여부로 판단)	
LENGTH	link 길이	km
ANODE	출발 node	
BNODE	도착 node	
LOADAB/BA	link volume	대수
COSTAB/BA	link 통과비용	
CALCSPEEAB/BA	link 통과 속도 (평균 통과 속도)	시속 (km/h)

○ Output 데이터는 한 링크에 대하여 양방향 정보를 저장하고 있어, 탄소 플랫폼 산정모듈에 적용하기 위하여 이를 구분하여 저장

○ 중복되는 데이터를 정리하고, 링크의 속성정보와 교통정보를 구분하여 데이터를 변환하고, 도로위계의 정보는 코드화하여 저장



<그림 1-2-13> OmniTrans 모형 데이터 변환

③ 교통활동모형 Data 변환 및 DB 생성 (MATSim 모형)

○ MATSim 모형의 Output 데이터 network.xml 파일에서 노드/링크 정보 - x, y 좌표 및 링크 속성정보 - 를 추출하여 지도와 매핑될 수 있도록 좌표 변환하여 ITRF 2000 중부원점(GRS80) 좌표계로 GIS DB생성



<그림 1-2-14> MATSIM 모형 GIS 형상 데이터

○ 샘플파일은 Link 기반으로 Agent의 이동경로 등을 나타내고, 네트워크, 플랜, 이벤트 파일로 구성되어 있으며, 결과 파일은 다음 표와 같이 구성되어 있음

<표 1-2-8> 교통활동 모형 결과파일

파일명	파일 내용	비고
input/network.xml	노드/링크 좌표 및 속성정보	
output/../events.xml	단위시간(초)별 링크정보	시뮬레이션 상에서의 이벤트
output/../plans.xml	Agent의 이동정보 및 경로	selected="yes"인 데이터 사용

○ 네트워크의 GIS 정보를 변환하여 형상정보를 생성하고 좌표 변환하였으며, 필드의 상세 내용은 다음과 같음

<표 1-2-9> network 필드 내용

필드 명	필드 내용	단위
LINKID	link 일련번호	
FROM	출발 node	
TO	도착 node	
LENGTH	link 길이	m
FREESPEED	자유속도	m/s
CAPACITY	용량	
PERMLANES	차선수	
ONEWAY	일방통행	

○ 이벤트 파일은 초별 AGENT의 위치를 저장하고 있으며, EVENT TYPE 별로 요구되는 속성이 다름

<표 1-2-10> event.xml 필드 내용

필드 명	필드 내용	단위
TIME	시간	초
TYPE	이벤트 타입	ARRIVAL, LEFT LINK, STUCK AND ABORT, WAIT 2 LINK, ENTERED LINK, DEPARTURE, ACT START, ACTEND, AGENT MONEY
PERSON	AGENT 일련번호	
LINK ID	link 일련번호	m
ACT TYPE	통행 타입	HOME, WORK, SHOPPING
LEG MODE	통행 수단	CAR, TRANSIT
AMOUNT	요금	

○ 플랜 파일은 AGENT별 이동정보를 저장하고 있으며, SELECTED = "YES"인 속성이 유효한 데이터임

○ PERSON은 AGENT의 속성정보이고 ROUTE는 AGENT의 이동경로이며 ACT와 LEG는 통행 정보를 나타냄

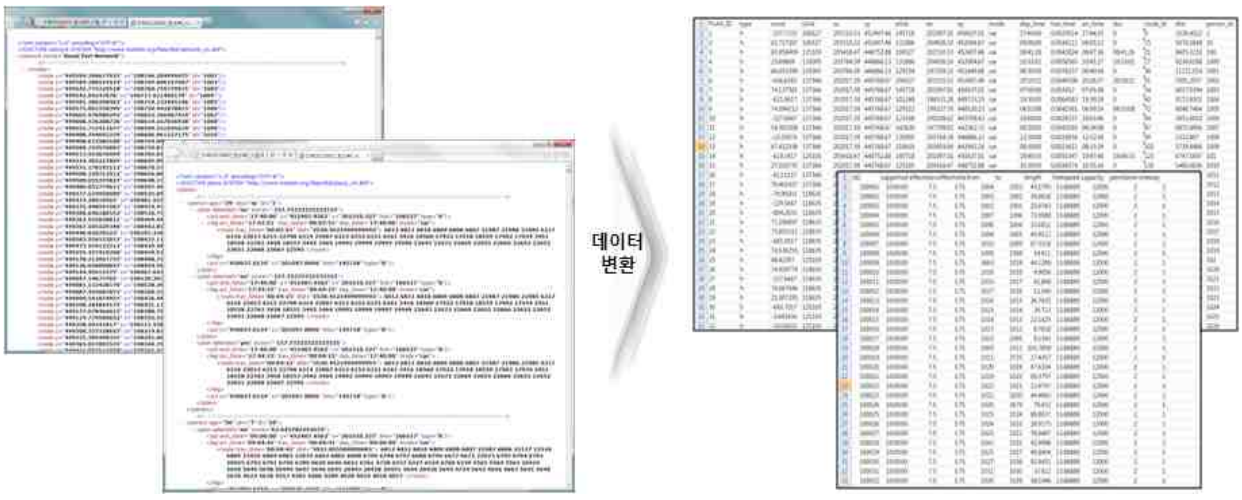
○ 결과 파일과 별도로 Counts 모듈을 사용하여 링크별 교통량을 추출할 수 있으며, 10분, 15분, 30분, 1시간 단위로 데이터를 산출함

○ 파일은 CSV 포맷형태이며, 필드는 LINK ID, 시간대, 교통량으로 구분됨

	A	B	C	D	E	F
1	Link Id	Hour	MATSIM volumes	Count volumes	Relative Error	
2	106501	1	0	343.61	-100	
3	106501	2	0	184.29	-100	
4	106501	3	0	150.65	-100	
5	106501	4	0	174.33	-100	
6	106501	5	0	360.93	-100	
7	106501	6	100	1583.23	-93.684	
8	106501	7	480	449.017	-89.31	
9	106501	8	2320	445.113	-47.878	
10	106501	9	4240	388.033	9.269	
11	106501	10	4360	2934.07	48.599	
12	106501	11	2780	2602.5	6.82	
13	106501	12	2400	2456.9	-2.316	
14	106501	13	1440	2366.7	-39.156	
15	106501	14	1340	2658.58	-49.597	
16	106501	15	700	2645.36	-73.539	
17	106501	16	840	2723.67	-69.159	

<그림 1-2-15> Counts 파일내용

○ MATSim 모형의 Output 데이터 event.xml 파일에서 단위시간(초)당 링크 정보를 추출하여 DB에 저장하고, plans.xml 파일에서 Agent의 속성정보, Agent의 이동경로, Agent의 이동에 대한 속성정보를 각각 추출하여 DB에 저장



<그림 1-2-16> MATSim 모형 데이터 변환

나. 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발

(1) 시나리오기반 효과평가 GIS 표출체계 구축

(가) 시나리오별 모형 분석결과 DB 구축

○ 분석한 모형의 결과물을 기반으로 DB를 설계하였으며, 시나리오는 토지이용(Delta) 모형과 교통계획(Omnitrans) 모형으로 구성되어 있어 여러 개의 정책시나리오를 프로젝트 단위로 관리하도록 설계하였음

○ 토지이용 모형의 경우 데이터 검색 속도를 높이기 위해, 인구변화, 토지이용변화에 대한 테이블을 각각 구성하였고, 시나리오ID, Zone ID를 PK(Primary Key)로 설정하였음

○ 교통계획 모형의 경우 링크의 속성과 소통정보를 구분하여 DB화 할 수 있도록 테이블을 설계하였고, 탄소배출량 산정 후 대기확산의 분석이 가능하도록 테이블을 구성하였음

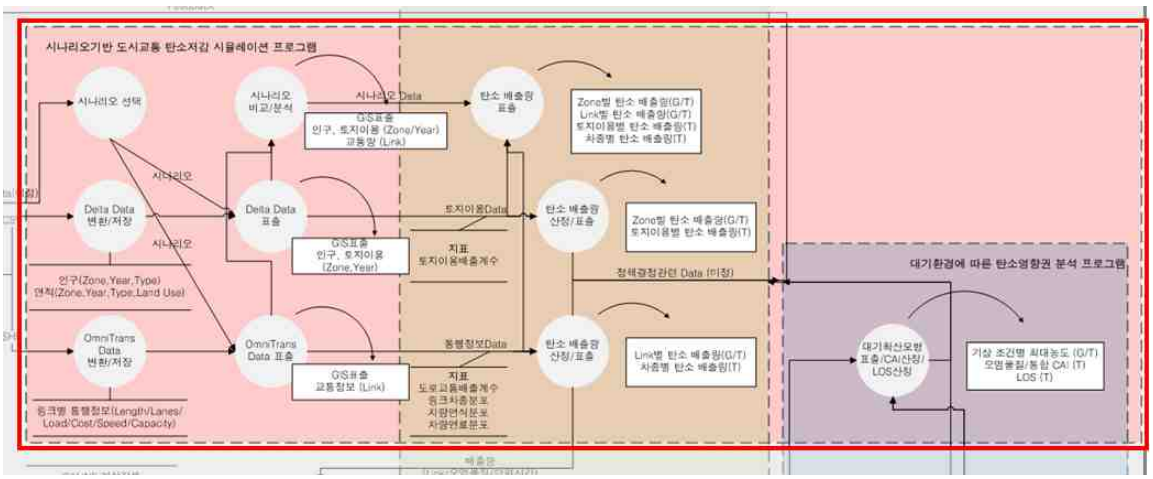
(나) 시나리오 효과평가 시뮬레이션 표출체계 구축

① GIS 표출 및 기능 구현을 위한 화면 UI 설계

○ 시스템의 전체 데이터 플로우를 작성하고, 시나리오와 관련된 부분을 다음과 같이 도출하였음

○ 도시스케일 정책 시나리오에 의해 분석된 토지이용 모형과 교통 모형의 결과를 변환하여 DB에 저장하고, GIS, 표 형태로 데이터를 표출함

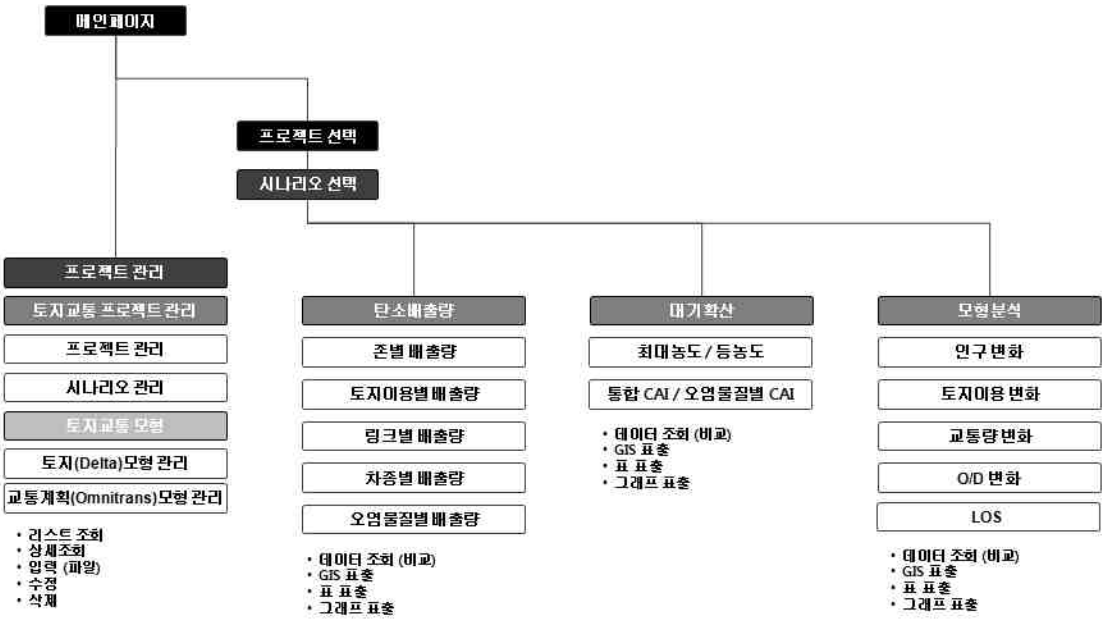
○ 저장된 데이터를 바탕으로 탄소 배출량을 산정하여 GIS, 표 형태로 표출하고, 대기확산 모형에 의해 도출된 결과를 GIS, 표 형태로 표출함



<그림 1-2-17> 토지이용-교통모형 관련 DFD (Data Flow Diagram)

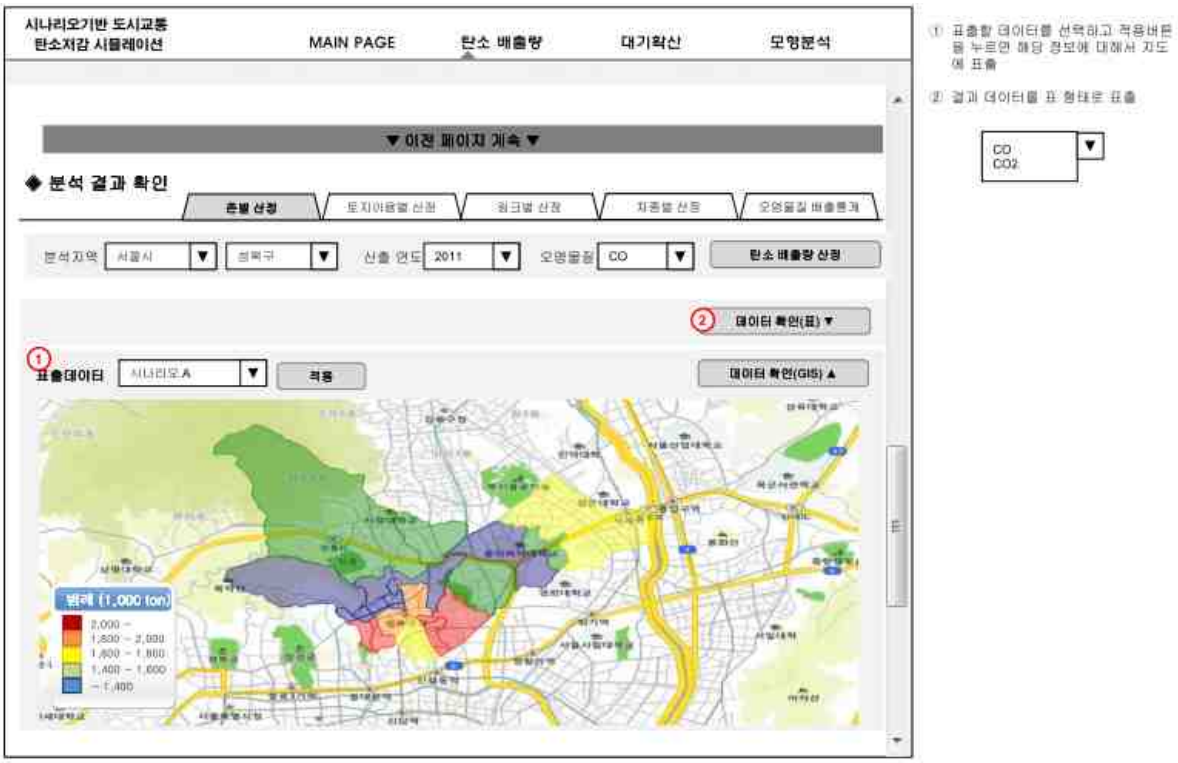
○ 관리자가 시나리오에 대한 데이터를 입력/수정/삭제하여 관리하는 페이지는 별도로 구성하고, 일반 사용자는 저장되어있는 프로젝트에 대해서 탄소배출량, 대기확산, 모형분석의 기능을 수행할 수 있음

○ 기능 구현을 위하여 메뉴를 설계하였으며, 메뉴 구조와 UI는 다음과 같음



<그림 1-2-18> 토지이용-교통모형 관련 메뉴구조도

○ 토지이용-교통모형은 존, 링크단위로 표출되며 지도에서는 아래와 같이 표출되고, 데이터에 대한 정보는 표, 차트 상에서 확인할 수 있도록 구성함



<그림 1-2-19> 존별 탄소배출량 산정 화면 설계



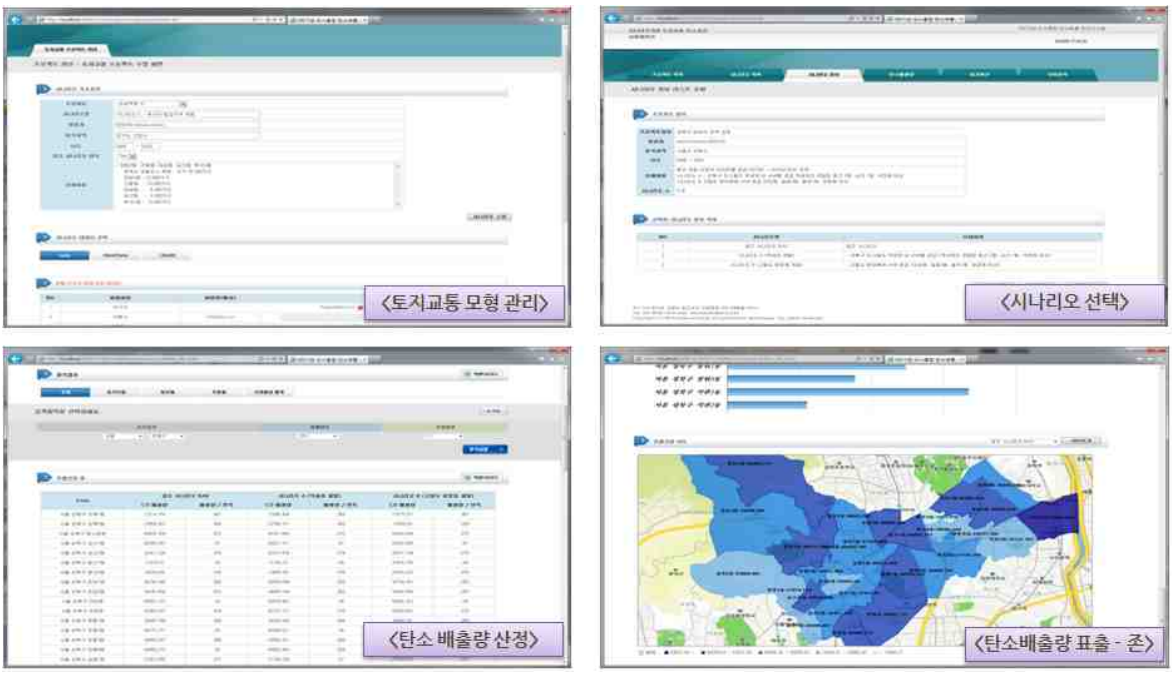
<그림 1-2-20> 링크별 탄소배출량 산정 화면 설계

② GIS 표출체계 구축

○ 토지-교통(Delta, OmniTrans)모형 분석결과인 인구변화, 토지이용변화, 교통량 변화를 GIS상에서 표출

○ 선택한 시나리오의 토지 이용별, 링크별 탄소 배출량을 산정하여 GIS 상에서 표출

○ HTML로 화면을 구현하여 MOCK-UP 작업을 하였으며, 주요 화면은 다음과 같음



<그림 1-2-21> 시나리오기반 효과평가 GIS 표출체계 구축

(2) 교통활동별 스케줄링 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소배출 표출체계 구축

(가) 인간활동기반 교통모형 분석결과 DB 구축

○ 분석한 모형의 결과물을 기반으로 Entity Relationship Diagram을 정의하였고, 물리적/논리적 설계는 다음 그림과 같음

○ 교통활동 모형의 결과물은 배출량 산정 모듈을 통해 대기확산 분석의 기반이 되어, DB 설계에 반영함

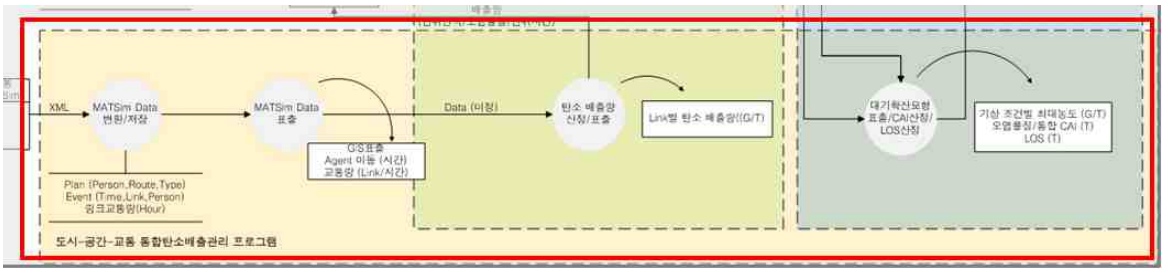
(나) 인간활동기반 교통모형 시뮬레이션 표출체계 구축

① GIS 표출 및 기능 구현을 위한 화면 UI 설계

○ 시스템의 전체 데이터 플로우를 작성하고, 교통활동 모형과 관련된 부분을 다음과 같이 도출하였음

○ 지구스케일 계획시나리오에 의해 결정된 교통활동 모형의 결과를 변환하여 DB에 저장하고, GIS, 표 형태로 데이터를 표출함

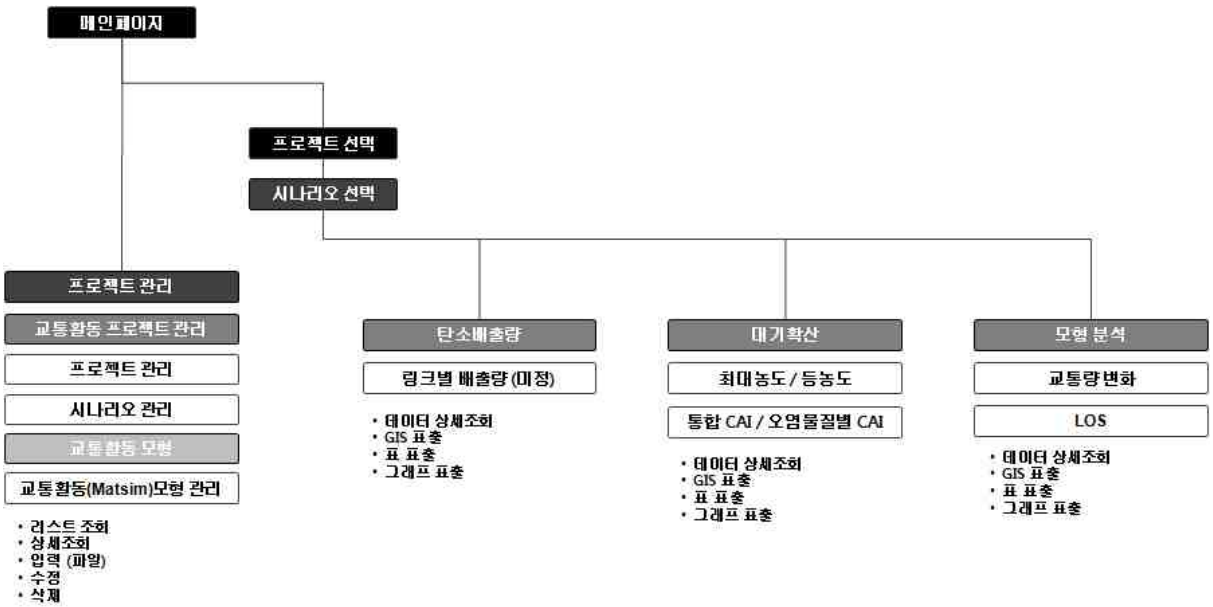
○ 저장된 데이터를 바탕으로 탄소 배출량을 산정하여 GIS, 표 형태로 표출하고, 대기확산 모형에 의해 도출된 결과를 GIS, 표 형태로 표출함



<그림 1-2-22> 교통활동 모형 관련 DFD (Data Flow Diagram)

○ 관리자가 교통 활동 모형에 대한 데이터를 입력/수정/삭제하여 관리하는 페이지는 별도로 구성하고, 일반 사용자는 저장되어있는 데이터에 대해서 탄소배출량, 대기확산, 모형분석의 기능을 수행할 수 있음

○ 기능 구현을 위하여 메뉴를 설계하였으며, 메뉴 구조는 및 UI는 다음과 같음

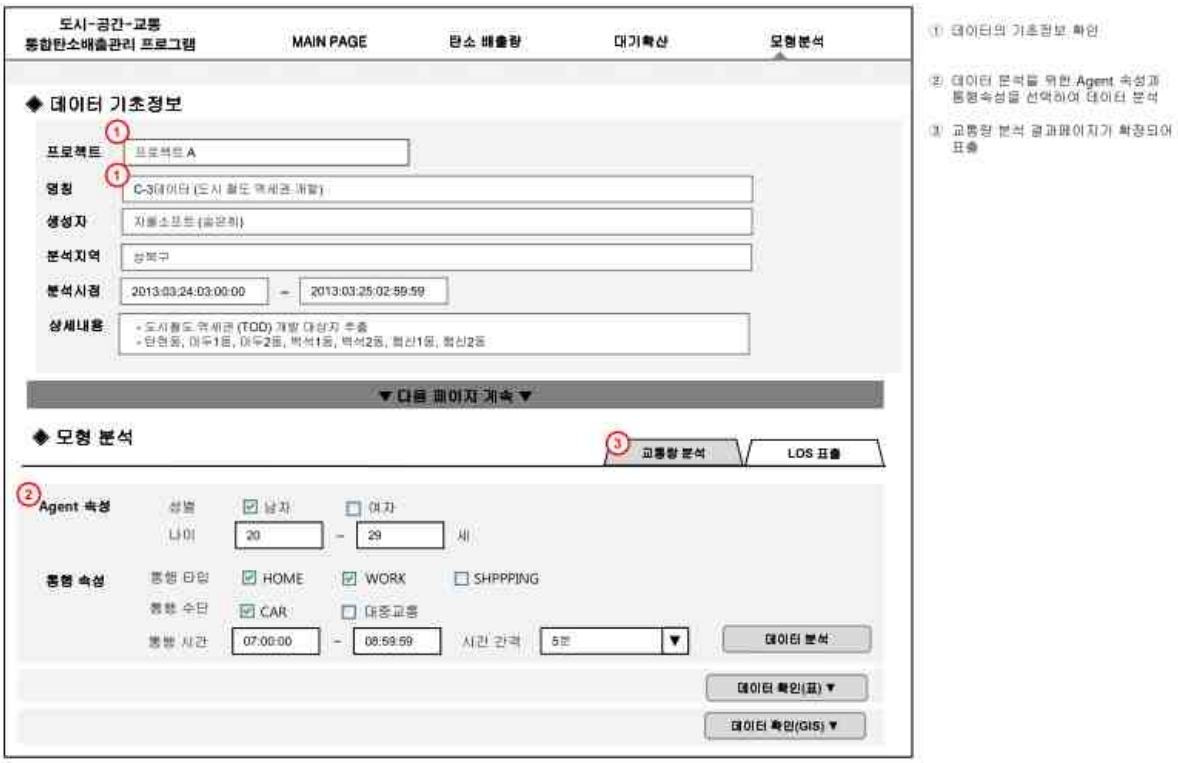


<그림 1-2-23> 교통활동 모형 관련 메뉴 구조도

○ 교통활동 모형은 링크단위로 표출되며 지도에서는 아래와 같이 표출되고, 데이터에 대한 정보는 표, 차트 상에서 확인할 수 있도록 구성함



<그림 1-2-24> 교통량 표출 화면 설계

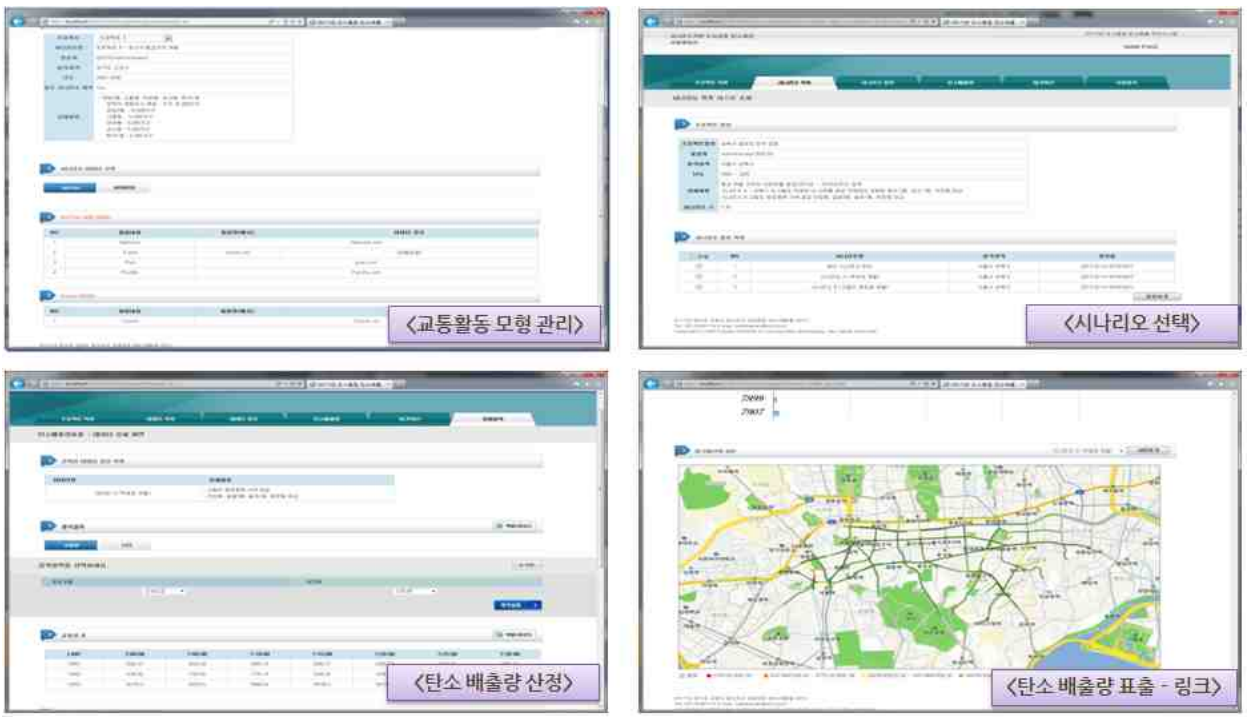


<그림 1-2-25> 교통량 분석조건 화면 설계

② GIS기반 표출체계 구축

○ 교통활동(MATSim)모형 분석결과인 시간대별 교통량 변화를 GIS상에서 표출하고, 링크의 속성정보 및 시간대별 교통량을 기반으로 LOS 를 산정하여 도로의 상태 표출

○ HTML로 화면을 구현하여 MOCK-UP 작업을 하였으며, 주요 화면은 다음과 같음



<그림 1-2-26> 도시공간-교통 통합탄소배출관리 프로그램 주요화면

다. 도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축

(1) 시나리오기반 도시교통 탄소저감 예측결과표출 프로그램 개발

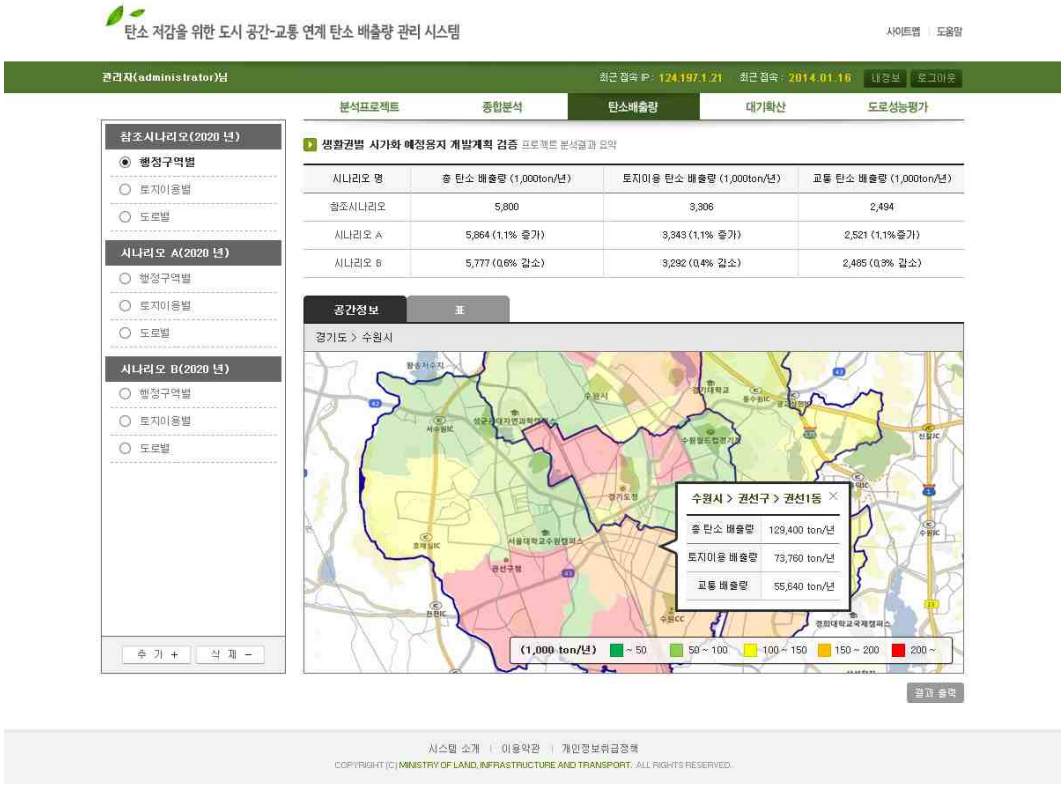
○ 시나리오기반 도시·교통 탄소저감 예측결과표출 프로그램은 탄소배출량 표출 부분과 모형 분석 결과 표출 부분으로 구분됨

○ 프로그램 개발을 위한 개발정의서(명명정의서)는 다음과 같으며, 페이지별로 사용되는 VO, Implement, Service. controller가 정의됨

<표 1-2-11> 개발정의서

LV.3	LV.4	약어	액션명	JSP	VO	sqlid
도시스케일(탄소배출량)	존별(행정구역별)산정 탭(include) 화면	emijontblincView	/gcemsanlEmijontblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlEmijontblincview.jsp	\gcemsanl\service\GcemsanlVO.java	gcemsanlDAO.gcemsanlEmijontblincview01
도시스케일(탄소배출량)	링크별(도로별) 산정 탭(include) 화면	emilnkincView	/gcemsanlEmilnkincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlEmilnkincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlEmilnkincview01
도시스케일(모형분석)	인구수 표출 데이터확인(include) 화면	scmpopltntblincView	/gcemsanlScmpopltntblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlScmpopltntblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlScmpopltntblincview01
도시스케일(모형분석)	토지이용 표출 데이터확인(include) 화면	scmladtblincView	/gcemsanlScmladtblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlScmladtblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlScmladtblincview01
도시스케일(모형분석)	교통량 표출 데이터확인(include) 화면	scmvmtctblincView	/gcemsanlScmvmtctblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlScmvmtctblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlScmvmtctblincview01
도시스케일(모형분석)	LOS 표출 데이터확인(include) 화면	scmlostblincView	/gcemsanlScmlostblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlScmlostblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlScmlostblincview01
도시스케일(모형분석)	도로영향 CAI 데이터확인(include) 화면	scmloscaitblincView	/gcemsanlScmloscaitblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlScmloscaitblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlScmloscaitblincview01
지구스케일(탄소배출량)	링크별 산정 탭(include) 화면	mtslnktblincView	/gcemsanlMtslnktblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlMtslnktblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlMtslnktblincview01
지구스케일(모형 분석)	교통량 표출 데이터확인 탭(include) 화면	mdsvmtctblincView	/gcemsanlMdsvmtctblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlMdsvmtctblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlMdsvmtctblincview01
지구스케일(모형 분석)	LOS 표출 데이터확인 탭(include) 화면	mdslostblincView	/gcemsanlMdslostblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlMdslostblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlMdslostblincview01
지구스케일(모형 분석)	도로영향 CAI 데이터확인(include) 화면	mdsloscaitblincView	/gcemsanlMdsloscaitblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlMdsloscaitblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlMdsloscaitblincview01

○ 탄소배출량 표출은 시나리오를 선택하여 행정구역별은 Zone단위로, 도로별은 Link 단위로 표출되고 공간정보 상에서 지역을 선택하면 해당 정보를 표출함



<그림 1-2-27> 행정구역별 탄소 배출량 표출



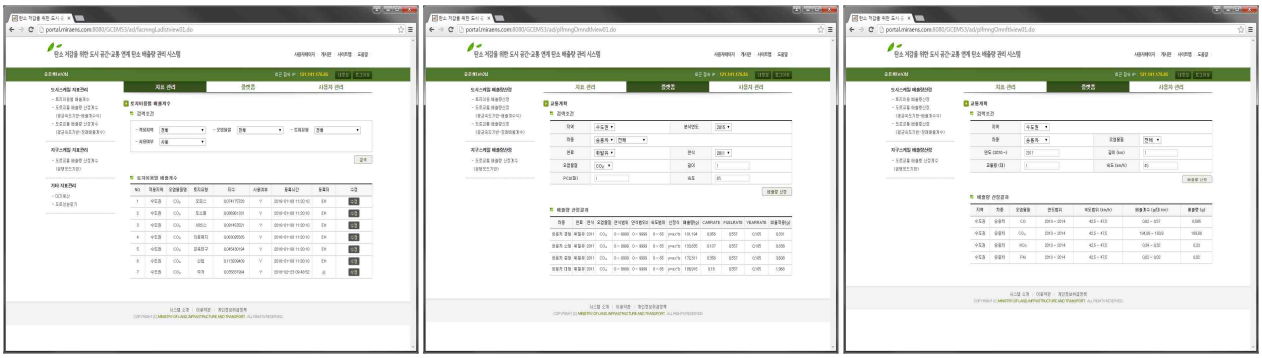
<그림 1-2-28> 도로별 탄소 배출량 표출

제3절 (핵심성과 3) 인간활동 공간교통 탄소배출량 산정 플랫폼 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

가. 개발 전략

○ 인간활동-공간-통합 탄소배출량 산정플랫폼(핵심성과4)는 연면적 변화, 교통량, 속도의 변화 등을 통해 배출량을 산정하는 플랫폼으로, 토지이용-교통 통합 모형(Delta, Omnitrans) 및 교통활동 모형(MATSim)의 결과 데이터를 활용하여 산정이 가능함

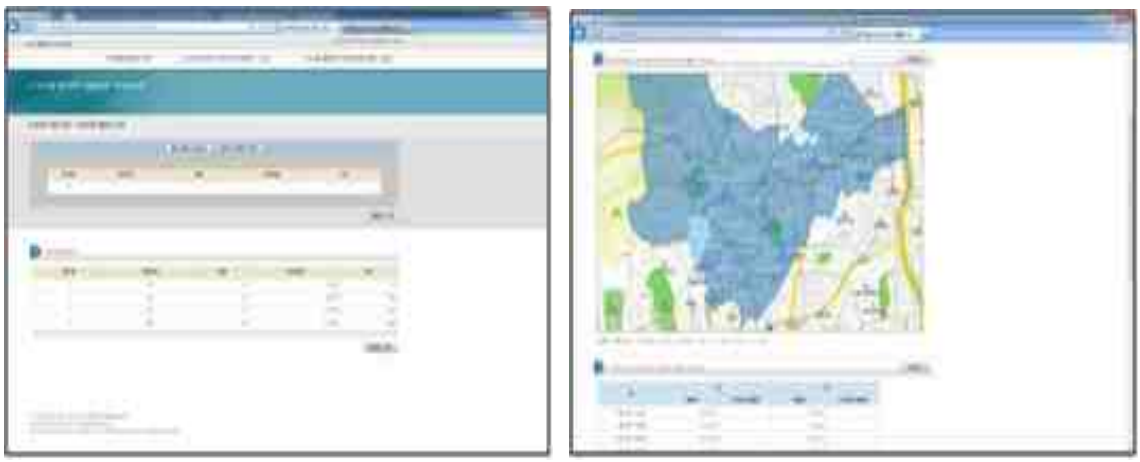


<그림 1-3-1> 탄소 배출량 산정 플랫폼

(1) 탄소배출량 산정 플랫폼 구현

○ 배출량 산정 알고리즘 및 모듈을 분석하여, 토지-교통모형(Delta, OmniTrans) 데이터를 기반으로 탄소 배출량 산정식을 알고리즘화하여 Web 프로그램을 구현

○ 토지-교통모형 데이터를 기반으로 Zone단위, Link단위의 탄소배출량을 산정하여 대상영역의 탄소상태를 표출하고, 시나리오기반 도시교통 탄소저감 시뮬레이션 프로그램에 탄소배출량 산정 플랫폼을 적용

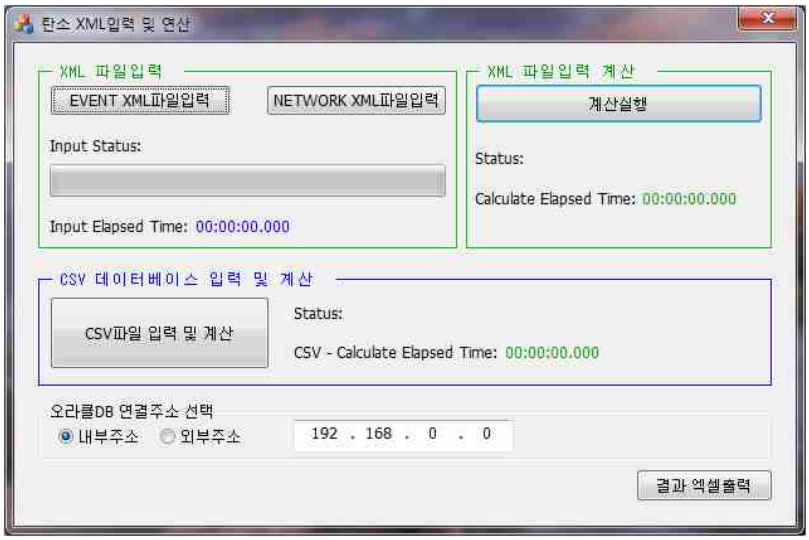


<그림 1-3-2> 탄소배출량 플랫폼 사용자 환경 표출안

(2) 탄소배출량 산정 플랫폼 확장 및 적용

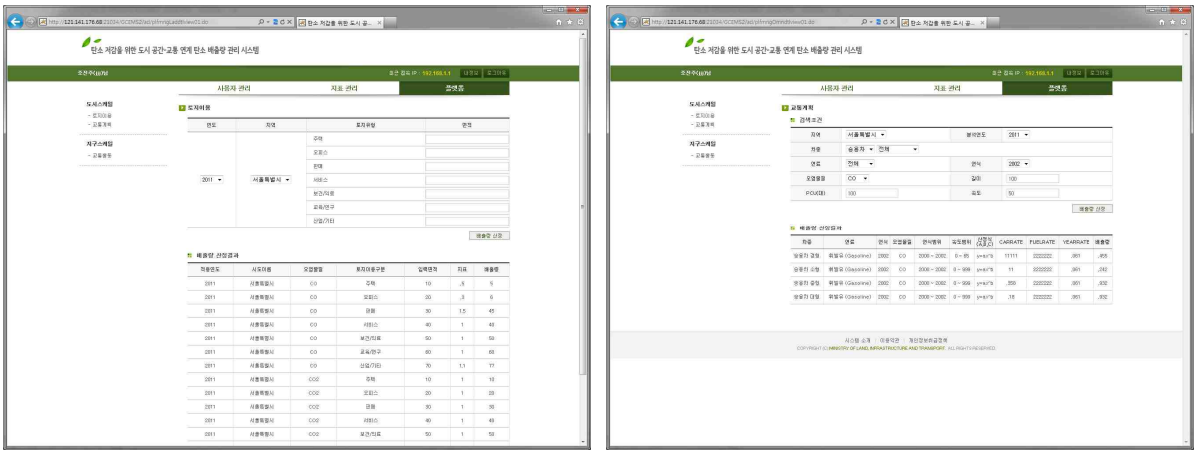
○ 토지-교통모형, 교통 활동모형 분석결과를 배출량 산정 모형을 적용하여 오염물질별 배출량을 도출할 수 있는 단위시스템으로, 기존에 구축되어 있던 DB를 고도화하여 프로그램 개발을 진행하였음

- 교통 활동 모형 기반의 배출량 산정 플랫폼 적용을 통한 오염물질별 배출량을 도출할 수 있도록 구현하였으며, 교통활동 배출량 산정방식은 초별 Agent의 속도를 입력하여 탄소배출량을 산정하는 방식으로 대용량 데이터를 필요로 하며, 사용자 정의에 의해 독립적으로 탄소배출량 산정이 가능하도록 C/S 프로그램도 구현함



<그림 1-3-3> 사용자정의 교통 활동 모형 기반 배출량 산정 플랫폼

- 토지-교통모형 기반의 배출량 산정 플랫폼에 대하여 토지이용 및 교통특성 사용자 정의에 의한 독립적인 탄소배출량 산정 기능을 구현함



<그림 1-3-4> 사용자 정의 토지-교통모형 기반 배출량 산정 플랫폼

나. 연차별 연구목표와 연구내용

○ 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 (개발단계)	▪ 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발	▪ 탄소배출량 산정 플랫폼 구현
3차년도 (적용준비 단계)	▪ 도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축	▪ 탄소배출량 산정 플랫폼 확장 및 적용

2. 연구수행과정 및 내용

가. 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발

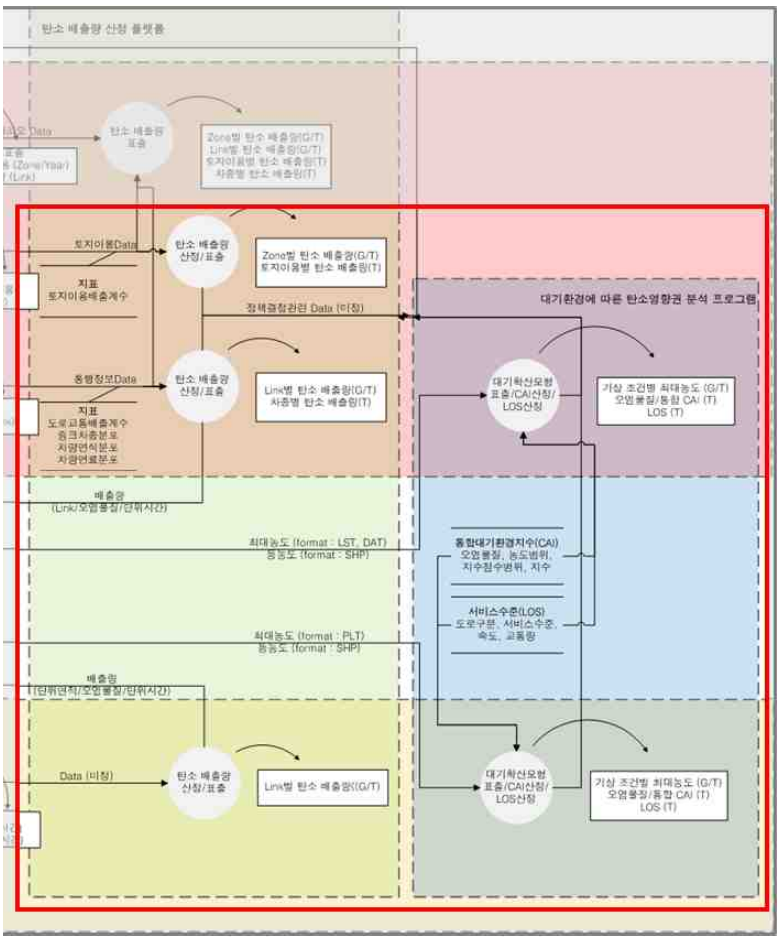
(1) 탄소배출량 산정 플랫폼 구현

○ 탄소배출량 산정 플랫폼은 별도의 시스템으로 프로젝트/시나리오 입력 시 내부에서 실행되며, 관리자페이지에서 사용자가 임의로 산정할 수 있도록 구성하였음

○ Web기반의 배출량 산정 모듈을 설계였으며, 모형 데이터와 GIS 데이터 등을 제외하고 속성정보만을 입력하여 탄소 배출량을 산정할 수 있도록 별도의 시스템으로 설계함

○ 시스템의 전체 데이터 플로우를 작성하고, 배출량 산정 모듈과 관련된 부분을 그림과 같이 도출하였음

○ 토지이용, 도로교통(거시), 도로교통(미시) 배출량 산정 모듈에 따라 데이터가 결정되어, 산정 결과는 GIS, 표 형태로 데이터를 표출하고, 대기확산 모형에 의해 도출된 결과를 GIS, 표 형태로 표출함



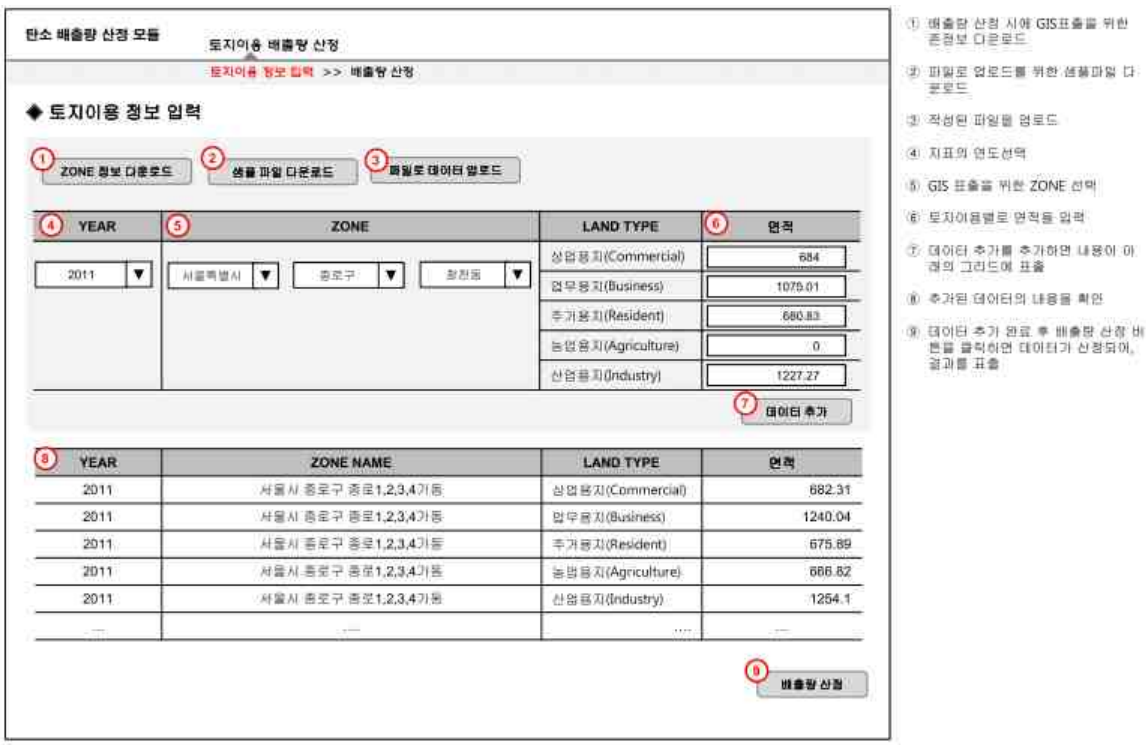
<그림 1-3-5> 탄소배출량 산정 플랫폼 DFD (Data Flow Diagram)

○ 관리자가 대기확산 모형에 대한 데이터를 입력/수정/삭제하여 관리하고, 관리자를 포함한 다른 사용자는 저장되어있는 프로젝트/시나리오에 대해서 대기확산표출 기능을 수행할 수 있으며, 대기확산 모형의 기반이 되는 탄소배출량 표출기능도 필요로 함

○ 기능 구현을 위하여 메뉴를 설계하였으며, 메뉴 구조 및 UI는 다음과 같음



<그림 1-3-6> 탄소 배출량 산정 플랫폼 메뉴 구조도



<그림 1-3-7> 토지이용 정보입력 화면설계



<그림 1-3-8> 존별 탄소배출량 산정 화면설계

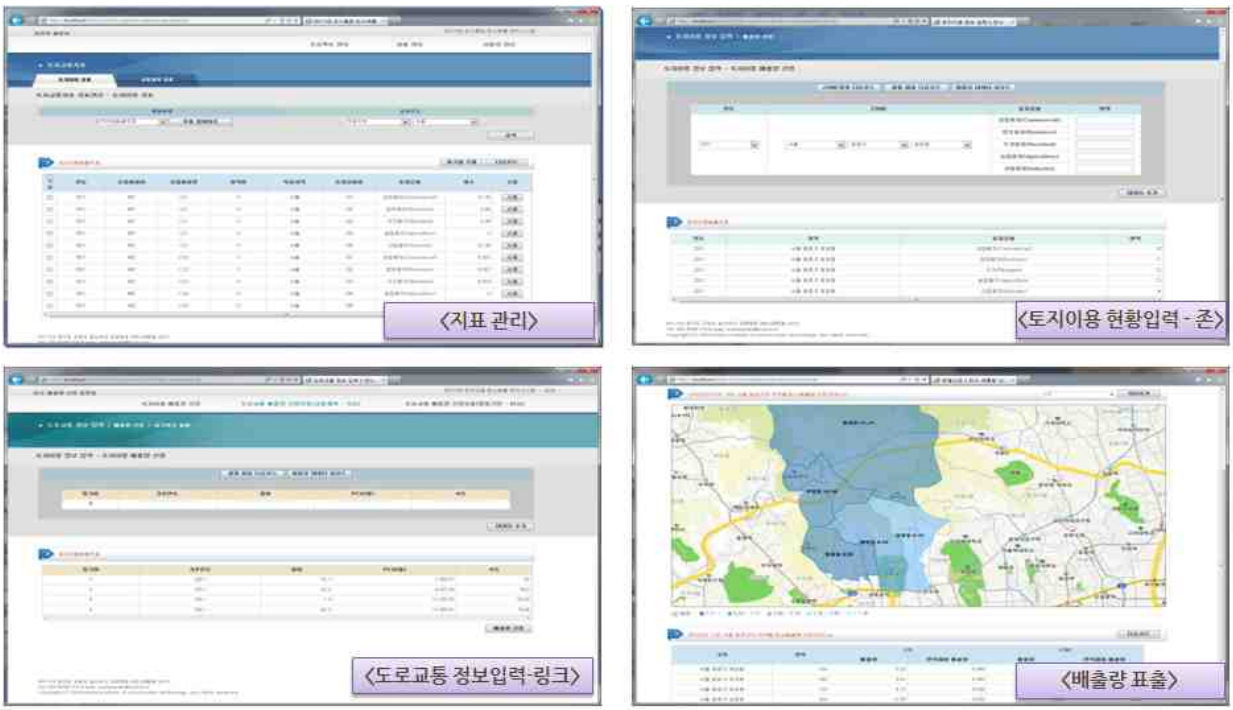


<그림 1-3-9> 차종별 탄소배출량 산정 화면설계

○ 토지-교통모형 데이터를 기반으로 Zone단위(행정동별), Link단위의 탄소 배출량을 산정하여 대상영역의 탄소상태 표출

○ 시나리오기반 도시교통 탄소저감 시뮬레이션 프로그램에 탄소 배출량 산정 플랫폼 적용

○ HTML로 화면을 구현하여 MOCK-UP 작업을 하였으며, 주요 화면은 다음과 같음



<그림 1-3-10> 탄소배출량 산정플랫폼 주요화면

나. 도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축

(1) 탄소배출량 산정 플랫폼 확장 및 적용

○ 토지-교통모형 기반의 배출량 산정 플랫폼을 고도화 하고, 교통활동 모형 기반의 배출량 산정 플랫폼을 적용하였음

○ 토지-교통모형 기반의 배출량 산정 플랫폼은 사용자가 임의로 배출량을 산정할 수 있는 기능을 구현하고, 사용자정의 프로젝트, 시나리오를 입력하여 구현될 수 있도록 별도의 프로시저를 생성함

○ 프로그램 개발을 위한 개발정의서(명명정의서)는 다음과 같으며, 페이지별로 사용되는 VO, Implement, Service. controller로 정의함

○ 교통활동 모형 기반의 배출량 산정 플랫폼은 초별 Agent의 속도를 파일단위로 입력하여 산정할 수 있는 프로그램을 구현하였음

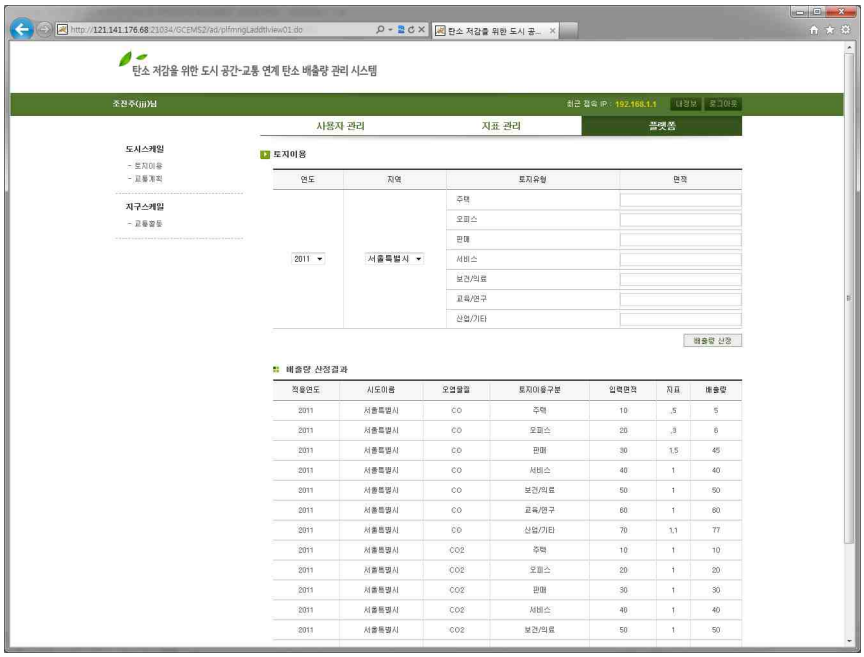
<표 1-3-2> 개발정의서

LV.3	LV.4	약어	액션명	JSP	VO	sqlid
도시스케일 지표관리 (토지이용)	목록화면	ladlstView	/ad/facmngLadlstview01.do	\ad\facmng\FacmngLadlstview.jsp	\ad\facmng\service\FacmngVO.java	facmngDAO.facmngLadlstview01
	수정액션	ladupdUpt	/ad/facmngLadupdupt01.do			facmngDAO.facmngLadupdupt01
도시스케일 지표관리 (교통계획)	목록화면	omnlstView	/ad/facmngOmnlstview01.do	\ad\facmng\FacmngOmnlstview.jsp	\ad\facmng\service\FacmngVO.java	facmngDAO.facmngOmnlstview01
	수정액션	omnupdUpt	/ad/facmngOmnupdupt01.do			facmngDAO.facmngOmnupdupt01
	차종1목록 ajax 액션	omnviewAjax	/ad/facmngOmnviewajax01.do			facmngDAO.facmngOmnviewajax02
	오염물질 ajax 액션	omnviewAjax	/ad/facmngOmnviewajax02.do			facmngDAO.facmngOmnviewajax01
지구스케일 지표관리 (교통활동)	목록화면	matlstView	/ad/facmngMatlstview01.do	\ad\facmng\FacmngMatlstview.jsp	\ad\facmng\service\FacmngVO.java	facmngDAO.facmngMatlstview01
	수정액션	matupdUpt	/ad/facmngMatupdupt01.do			facmngDAO.facmngMatupdupt01
	차종,오염물질 ajax	matviewajax	/ad/facmngMatviewajax01.do			facmngDAO.facmngMatviewajax01
기타지표 관리	대기확산 지표	calView	/ad/facmngCalview01.do	\ad\facmng\FacmngCalview.jsp		facmngDAO.facmngCalview01
	도로성능평가 지표	losView	/ad/facmngLosview01.do	\ad\facmng\FacmngLosview.jsp		facmngDAO.facmngLosview01
도시스케일 (토지이용)	상세화면	laddtlView	/ad/plfmngLaddtlview01.do	\ad\plfmng\PlfmngLaddtlview.jsp	\ad\plfmng\service\PlfmngVO.java	plfmngDAO.plfmngLaddtlview01
도시스케일 (교통계획)	상세화면	omndtlView	/ad/plfmngOmndtlview01.do	\ad\plfmng\PlfmngOmndtlview.jsp		plfmngDAO.plfmngOmndtlview01
지구스케일 (교통활동)	상세화면	matdtlView	/ad/plfmngMatdtlview01.do	\ad\plfmng\PlfmngMatdtlview.jsp		plfmngDAO.plfmngMatdtlview01

(가) 탄소 배출량 산정 플랫폼 (토지-교통모형 기반)

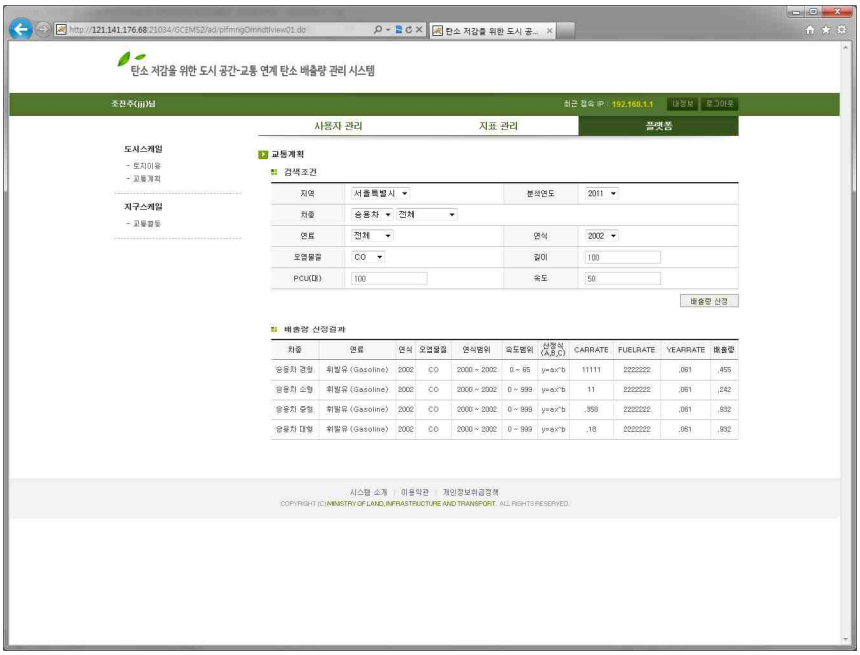
○ 토지이용별 배출량 산정방식은 토지이용별 면적을 입력하여 해당지표를 곱하여 탄소배출량을 산정함

○ 해당 화면은 데이터를 입력하여 배출량 산정 버튼을 클릭하였을 때의 결과화면임



<그림 1-3-11> 토지이용 모형 기반 배출량 산정 플랫폼

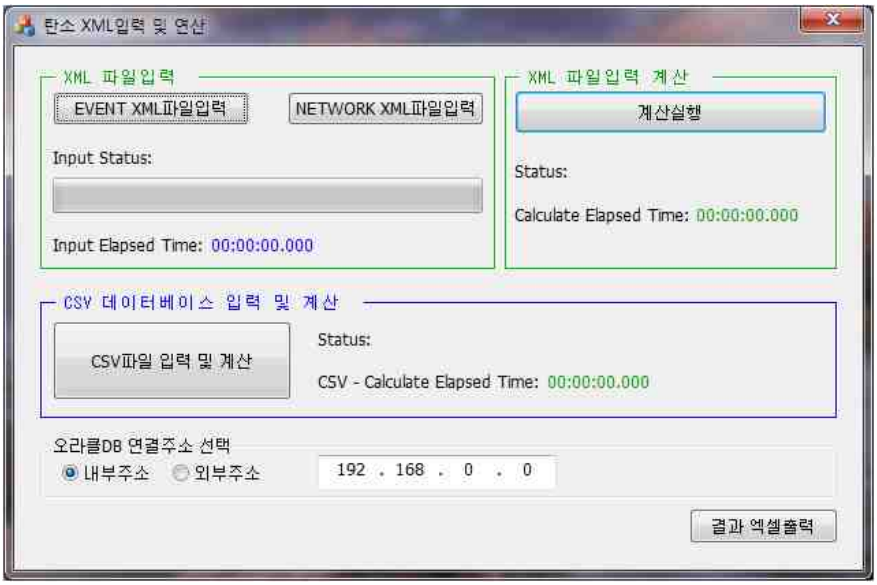
○ 교통계획 배출량 산정방식은 교통량, 속도, 길이정보를 입력하여 배출량을 산정할 수 있으며, 차종, 연식, 연료에 따라 배출량 산정식과 지표가 결정됨



<그림 1-3-12> 교통계획 모형 기반 배출량 산정 플랫폼

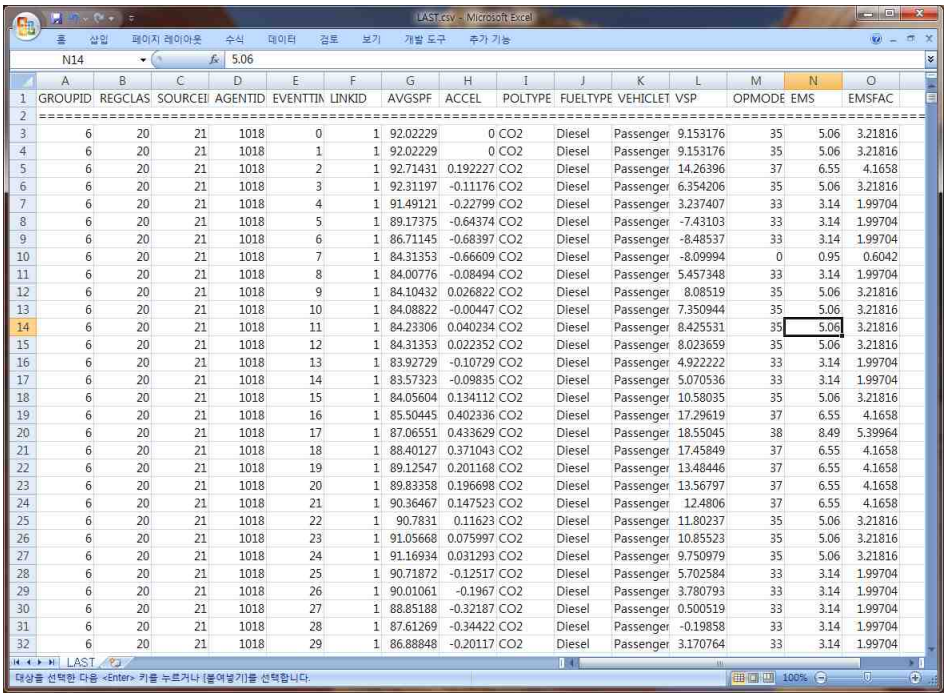
(나) 탄소 배출량 산정 플랫폼 (교통활동 모형 기반)

○ 교통활동 배출량 산정방식은 초별 Agent의 속도를 입력하여 탄소배출량을 산정하는 방식이며, 초별 Agent의 데이터는 일반적으로 대용량으로 웹기반에서는 산정이 어려워 별도의 C/S 프로그램으로 구현하였음



<그림 1-3-13> 사용자정의 교통활동 모형 기반 배출량 산정 플랫폼

○ 데이터의 입출력은 파일기반으로 이루어지며, 배출량이 산정되면 DB를 기반으로 output 파일이 출력됨



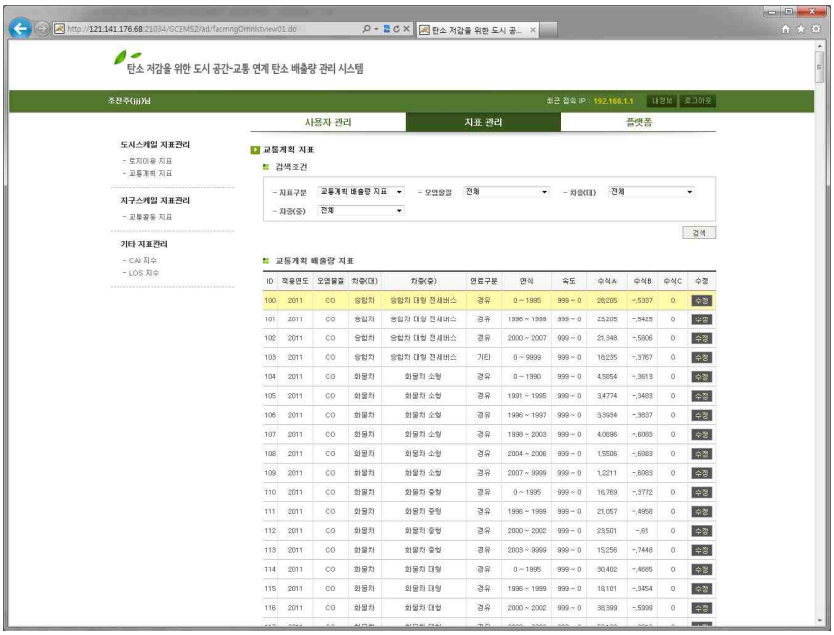
GROUPID	REGCLAS	SOURCEI	AGENTID	EVENTTIN	LINKID	AVGSPF	ACCEL	POLTYPE	FUELTYPE	VEHICLET	VSP	OPMODE	EMS	EMSFAC
6	20	21	1018	0	1	92.02229	0	CO2	Diesel	Passenger	9.153176	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	1	1	92.02229	0	CO2	Diesel	Passenger	9.153176	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	2	1	92.71431	0.192227	CO2	Diesel	Passenger	14.26396	37	6.55	4.1658
6	20	21	1018	3	1	92.31197	-0.11176	CO2	Diesel	Passenger	6.354206	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	4	1	91.49121	-0.22799	CO2	Diesel	Passenger	3.237407	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	5	1	89.17375	-0.64374	CO2	Diesel	Passenger	-7.43103	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	6	1	86.71145	-0.68397	CO2	Diesel	Passenger	-8.48537	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	7	1	84.31353	-0.66609	CO2	Diesel	Passenger	-8.09994	0	0.95	0.6042
6	20	21	1018	8	1	84.00776	-0.08494	CO2	Diesel	Passenger	5.457348	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	9	1	84.10432	0.026822	CO2	Diesel	Passenger	8.08519	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	10	1	84.08822	-0.00447	CO2	Diesel	Passenger	7.350944	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	11	1	84.23306	0.040234	CO2	Diesel	Passenger	8.425531	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	12	1	84.31353	0.022352	CO2	Diesel	Passenger	8.023659	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	13	1	83.92729	-0.10729	CO2	Diesel	Passenger	4.922222	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	14	1	83.57323	-0.09835	CO2	Diesel	Passenger	5.070536	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	15	1	84.05604	0.134112	CO2	Diesel	Passenger	10.58035	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	16	1	85.50445	0.402336	CO2	Diesel	Passenger	17.29619	37	6.55	4.1658
6	20	21	1018	17	1	87.06551	0.433629	CO2	Diesel	Passenger	18.55045	38	8.49	5.39964
6	20	21	1018	18	1	88.40127	0.371043	CO2	Diesel	Passenger	17.45849	37	6.55	4.1658
6	20	21	1018	19	1	89.12547	0.201168	CO2	Diesel	Passenger	13.48446	37	6.55	4.1658
6	20	21	1018	20	1	89.83358	0.196698	CO2	Diesel	Passenger	13.56797	37	6.55	4.1658
6	20	21	1018	21	1	90.36467	0.147523	CO2	Diesel	Passenger	12.4806	37	6.55	4.1658
6	20	21	1018	22	1	90.7831	0.11623	CO2	Diesel	Passenger	11.80237	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	23	1	91.05668	0.075997	CO2	Diesel	Passenger	10.85523	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	24	1	91.16934	0.031293	CO2	Diesel	Passenger	9.750979	35	5.06	3.21816
6	20	21	1018	25	1	90.71872	-0.12517	CO2	Diesel	Passenger	5.702584	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	26	1	90.01061	-0.1967	CO2	Diesel	Passenger	3.780793	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	27	1	88.85188	-0.32187	CO2	Diesel	Passenger	0.500519	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	28	1	87.61269	-0.34422	CO2	Diesel	Passenger	-0.19858	33	3.14	1.99704
6	20	21	1018	29	1	86.88848	-0.20117	CO2	Diesel	Passenger	3.170764	33	3.14	1.99704

<그림 1-3-14> 사용자정의 교통계획 모형 기반 배출량 산정 플랫폼 결과파일

(다) 지표관리

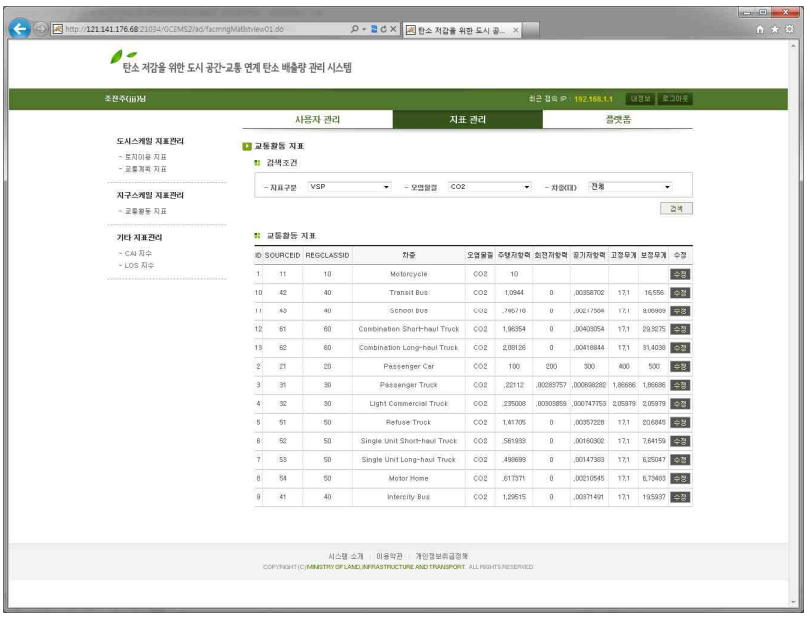
○ 토지이용 지표는 토지유형별 지수로 결정되며, 수정이 가능함 (입력, 삭제 제외)

○ 교통계획 지표는 차종분포율, 연식분포율, 연료분포율에 대해 관리가 가능하며, 배출량 산정식에 대해서는 지수 수정이 가능함



<그림 1-3-15> 교통계획 지표

○ 교통활동 지표는 OPMODE, VSP, 차종연료분포율, 배출량지표에 대해 관리가 가능함



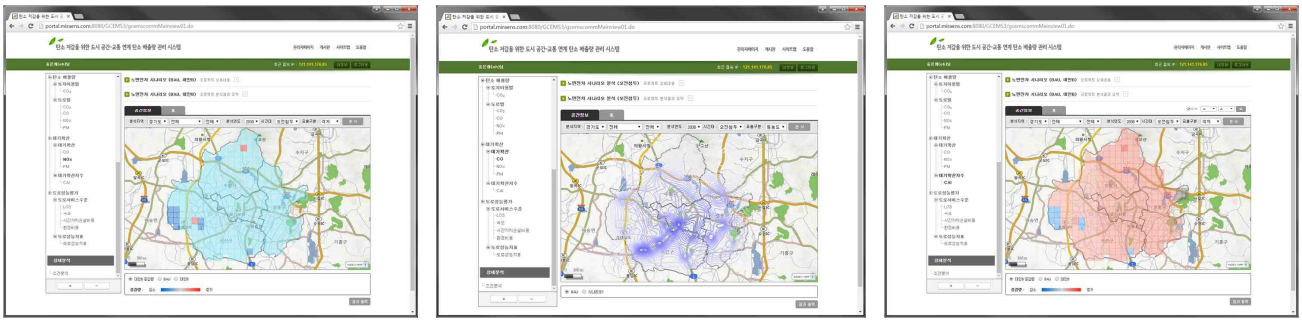
<그림 1-3-16> 교통활동 지표

제4절 (핵심성과 4) 대기환경에 따른 탄소영향권 표출프로그램 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

가. 개발 전략

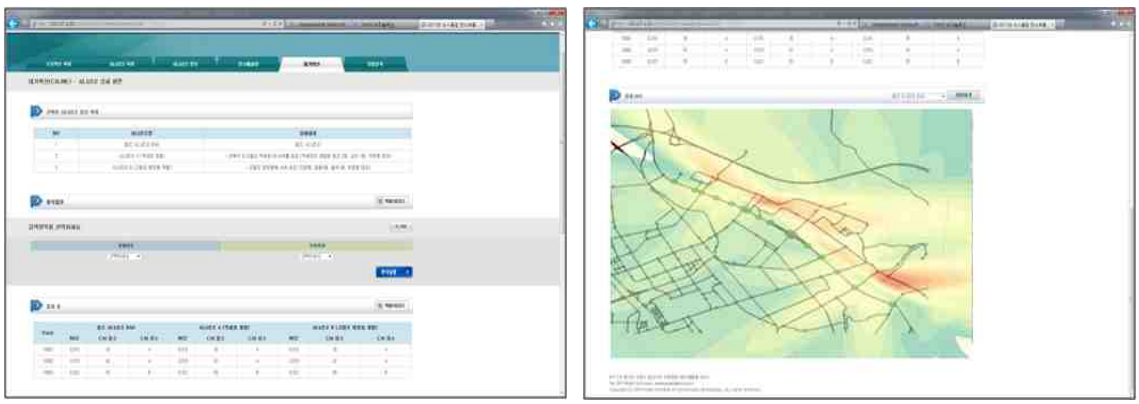
○ 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램(핵심성과3)은 산정된 배출량에 따라 대기환경 예측모형(CALINE3)의 입력 자료를 생성하여 모형을 구동하고, 모형의 결과 데이터인 탄소 영향권을 표출하는 시스템임



<그림 1-4-1> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출프로그램

(1) 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 표출



<그림 1-4-2> 탄소배출 영향권 예측결과 표출안

(2) 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



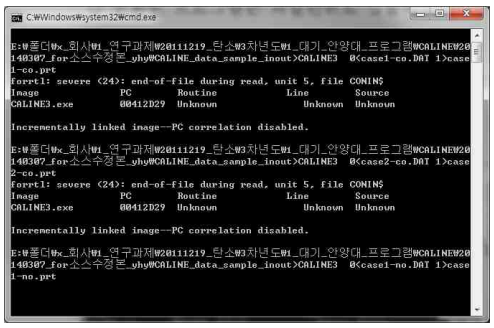
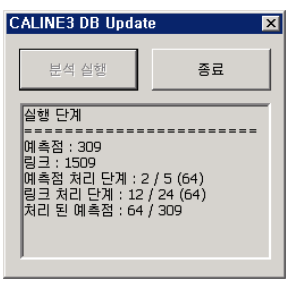
<그림 1-4-3> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 화면

(3) 도시공간 대기모형 및 계수 보정

○ 대기환경예측모형의 통합시스템 연계를 위한 프로그램 고도화

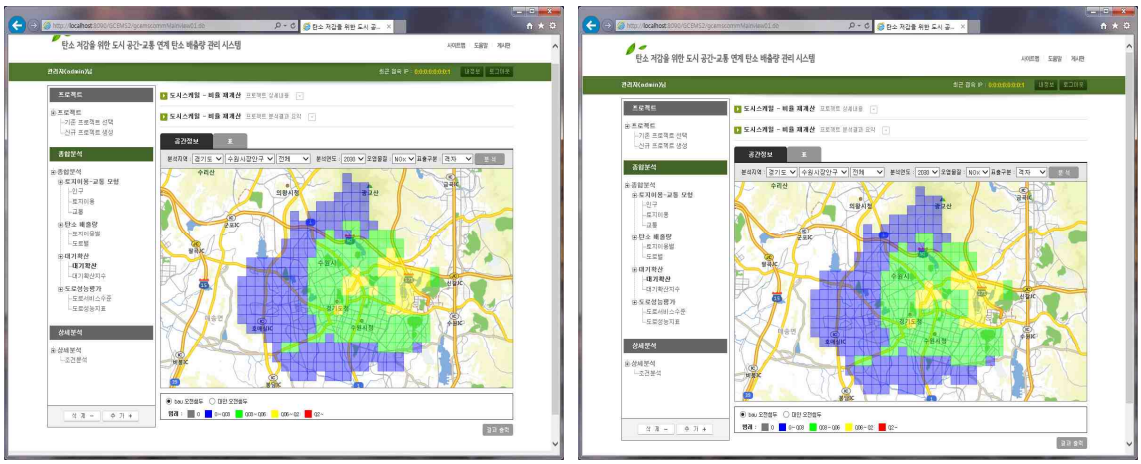
- 개발된 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램은 대기환경예측모형(CALINE3)의 결과를 입력하여 표출하였으며, 변환된 프로그램이 별도로 실행될 수 있도록 구현하였음
- 도시공간-교통 통합 탄소배출량 관리 프로그램 내부에서 실행될 수 있도록 ActiveX로 변환하였으며, Input 데이터와 Output 데이터가 DB에서 조회, 입력하여 시나리오별로 모형이 실행될 수 있도록 수정함
- 대기환경 예측모형(CALINE3) 프로그램을 웹 환경으로 통합한 결과는 다음과 같음

<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, $\mu g/m^3$	ppb, $\mu g/m^3$
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



<그림 1-4-4> 대기확산 모형 실행 결과 (NOx)

나. 연차별 연구목표와 연구내용

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

<표 1-4-1> 목표 및 주요 연구내용

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

2. 연구수행과정 및 내용

가. 도시공간-교통연계 탄소관리 요소기술 개발

(1) 대기환경변화 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소 영향권 표출체계 구축

(가) 탄소배출량의 대기환경변화 예측 모형을 적용한 GIS기반 탄소 영향권 표출체계 구축

① 대기환경변화 예측 모형 분석 및 DB 설계

○ 대기환경 변화 예측모형 구동을 위해 기본적인 입력값으로 지형자료, 기상자료, 배출량 자료를 필요로 하며, 결과 값은 포인트 형태로 도출되어 ArcGIS, SUFFER 프로그램을 통해서 등농도 형태로 변환하여 사용함

○ 지형자료는 공통적으로 DEM에서 추출하여, 각 모형에서 적용될 수 있도록 ASCII파일로 변환하여 사용함

○ CALINE3 모형에서의 기상정보는 사용자의 입력을 필요로 하며, 모형 분석시 필요한 데이터는 풍속(m/sec), 풍향(°), 대기안정도 등급, 혼합고(m), 배경농도임

○ 도로교통 배출량 산정모듈에서 산정된 배출량 정보는 CALINE3 모형에서 사용될 수 있도록 ASCII 파일로 변환해야 하며, 변환된 파일의 내용은 다음 그림과 같음

```
URBAN LOCATION: MULTIPLE LINKS, ETC.     11 3
Link01              AG 22556.  30696 22184.  30911      0. 3.4603     0.   1.0
Link02              AG 22556.  30696 23118.  30369      0. 3.6759     0.   1.0
Link03              AG 23323.  30205 24150.  29417      0. 1.8833     0.   1.0
Link04              AG 23118.  30369 23323.  30205      0. 4.3087     0.   1.0
Link05              AG 23323.  30205 23739.  29863      0. 1.5366     0.   1.0
Link06              AG 25112.  28491 24592.  28828      0. 4.2854     0.   1.0
Link07              AG 24150.  29417 24354.  29131      0. 4.1902     0.   1.0
Link08              AG 24354.  29131 24592.  28828      0. 4.8881     0.   1.0
Link09              AG 24150.  29417 23751.  29885      0. 1.4946     0.   1.0
Link10              AG 23751.  29885 23323.  30205      0. 0.9612     0.   1.0
Link11              AG 23739.  29863 24150.  29417      0. 0.6252     0.   1.0
```

<그림 1-4-5> CALINE INPUT 배출량 정보 (ASCII)

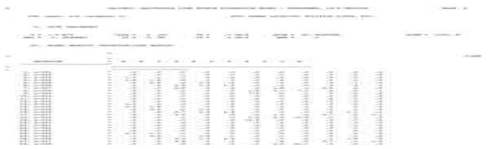
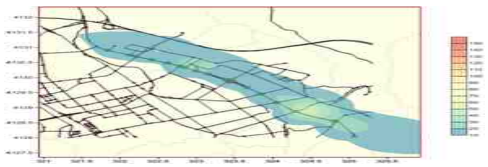
○ 필요한 항목은 다음과 같으며, 내용은 사용자가 입력하는 부분 외에 산정된 배출량을 기반으로 변환해야함

<표 1-4-2> CALINE INPUT 배출량 정보 항목

구분	세부항목	모형
도로위치 및 형태자료	from node, to node	Omnitrans
	link 형태 (At-grade, Depressed, Fill, Bridge, Parking lot, Intersection)	사용자 입력
	도로(오염원)의 고도	사용자 입력
	방출 높이	사용자 입력
배출량	오염물질별 배출량 (g/km/s)	도로교통 배출량 산정 모듈

○ 결과값은 ASCII 파일 포맷으로 같은 기상조건에서의 오염 물질별 예측점 최대농도가 도출되며, 프로그램을 통해서 등농도로 변환이 가능

<표 1-4-3> CALINE OUTPUT 가공 전, 후 내용

구분	가공전	가공 후
파일 내용		
내용 및 파일 포맷	같은 기상조건에서의 오염 물질별 예측점의 최대농도 (LST, DAT)	등농도 형태로 ArcGIS, SUFFER 프로그램을 통해서 변환 (SHP)

○ 대기확산 데이터를 기반으로 통합대기환경지수(CAI)를 산출하여, GIS 기반으로 표출할 수 있도록 설계함

○ 통합대기확산지수(CAI) 산정[15]을 위하여 각 오염물질별 대기지수점수를 산정하고, 통합지수값은 별도로 산정하여 DB에 저장됨

지수 산출방법

- 6개 대기오염물질별로 통합대기환경지수 점수를 산정하며 가장 높은 점수를 통합 지수값으로 사용
- 산출된 각각의 오염물질별 지수점수가 '나쁨' 이상의 등급이 2개 물질 이상일 경우 통합지수값에 가산점을 부여
  - 1개일 경우 : 점수가 가장 높은 지수점수를 통합지수로 사용
  - 2개일 경우 : 가장 높은 점수가 나온 오염물질을 영향 오염물질로 표시하고 그 오염물질의 점수에 50점을 가산
  - 3개 이상일 경우 : 가장 높은 점수가 나온 오염물질을 영향 오염물질로 표시하고 그 오염물질의 점수에 75점 가산
- 통합대기환경지수는 0에서 500까지의 지수를 4단계로 나누어 점수가 커질수록 대기상태가 좋지 않음을 나타냄

$$I_P = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} \times (C_P - BP_{LO}) + I_{LO}$$

I_p = 대상 오염물질의 대기지수점수
C_p = 대상오염물질의 대기 중 농도
BP_{HI} = 대상 오염물질의 오염도 해당 구간에 대한 최고 오염도
BP_{LO} = 대상 오염물질의 오염도 해당 구간에 대한 최저 오염도
I_{HI} = BP_{HI}에 해당하는 지수값(구간 최고 지수값)
I_{LO} = BP_{LO}에 해당하는 지수값(구간 최저 지수값)

<그림 1-4-6> 통합대기확산지수(CAI) 산출방법

○ 2015년 개정된 통합대기확산지수(CAI)의 지표를 적용하였으며, 변경된 내용은 다음과 같음

15) 한국환경공단 http://www.airkorea.or.kr/

<표 1-4-4> 통합대기확산지수(CAI) 지표 변경

변경전		변경후	
지수	점수구분값	지수	점수구분값
A (좋음)	0 ~ 50	A (좋음)	0 ~ 50
B (보통)	51 ~ 100	B (보통)	51 ~ 100
C (민감군영향)	101 ~ 150	C (나쁨)	101 ~ 250
D (나쁨)	151 ~ 250		
E (매우나쁨)	251 ~ 350	D (매우나쁨)	251 이상
F(위험)	351 ~ 500		

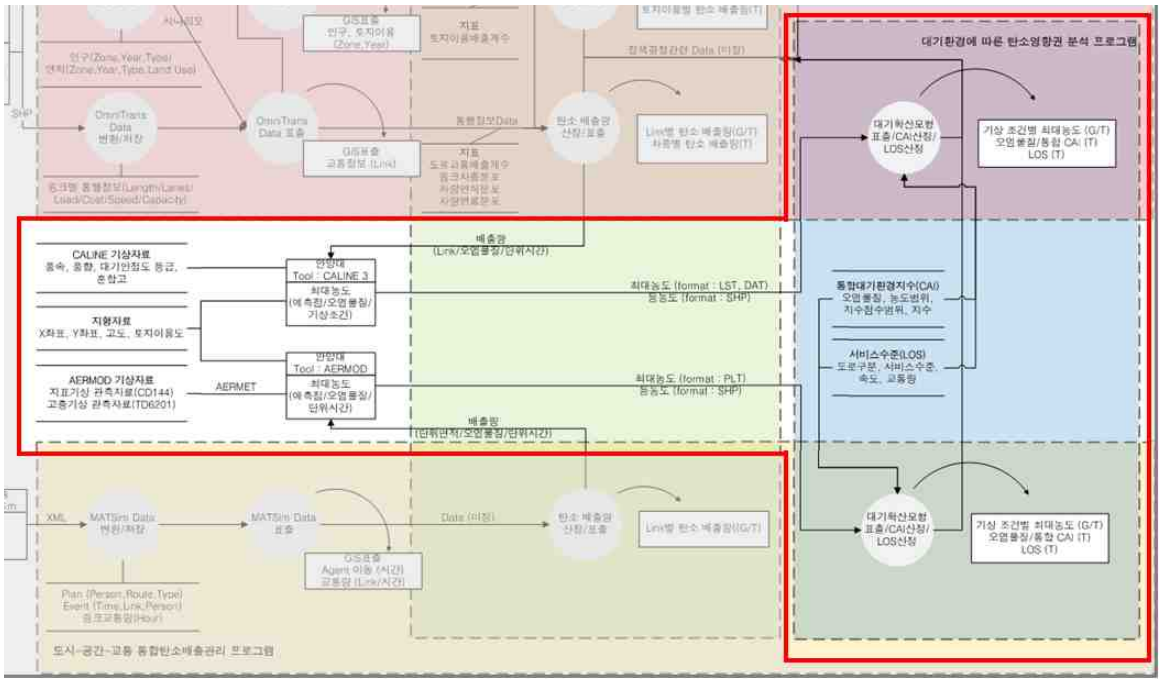
○ 오염물질별로 산정된 CAI지수를 가중치를 부여하여 통합대기환경지수를 산출하며, 산출되는 통합대기환경지수는 별도로 표출 할 수 있도록 설계함

○ 대기확산 모형은 독립적인 프로그램으로 구성되지 않고, 도로교통 산정모듈에 의해서 데이터가 결정되므로, 참조되는 테이블을 추가하여 DB를 설계함

② GIS 표출 및 기능 구현을 위한 화면 UI 설계

○ 시스템의 전체 데이터 플로우를 작성하고, 대기확산 모형과 관련된 부분을 다음과 같이 도출하였음

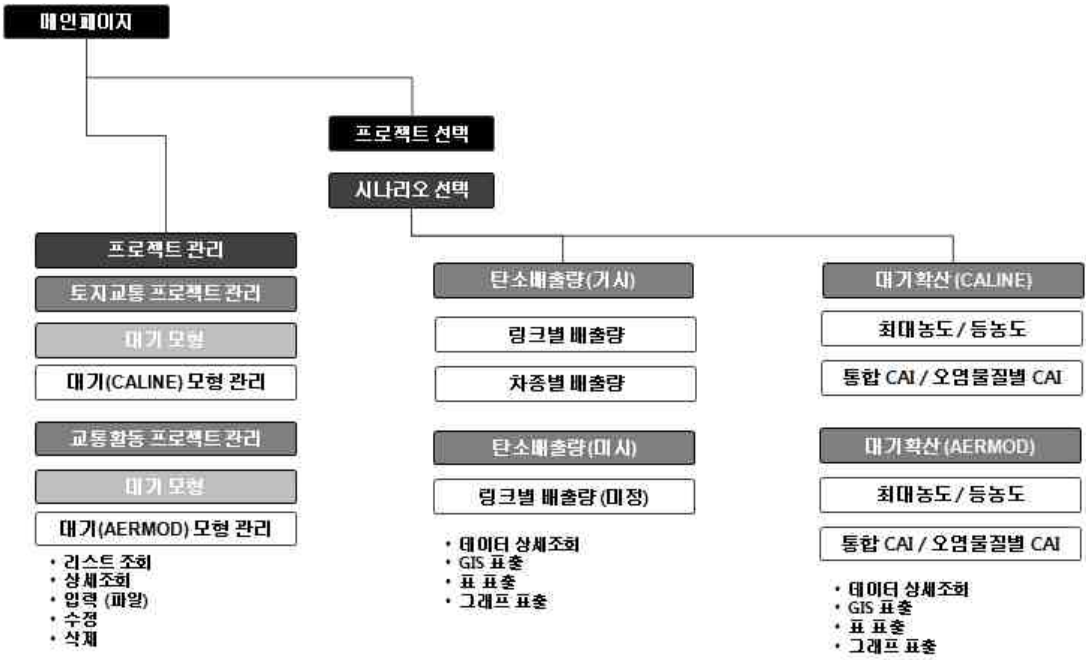
○ 배출량 산정 모듈에서 결정된 거시적 탄소 배출량과 미시적 탄소 배출량을 기반으로 대기확산 모형을 구동하여 도출된 결과를 변환하여 DB에 저장하고, 저장된 데이터와 이를 바탕으로 산정된 CAI 지수를 GIS, 표 형태로 표출함



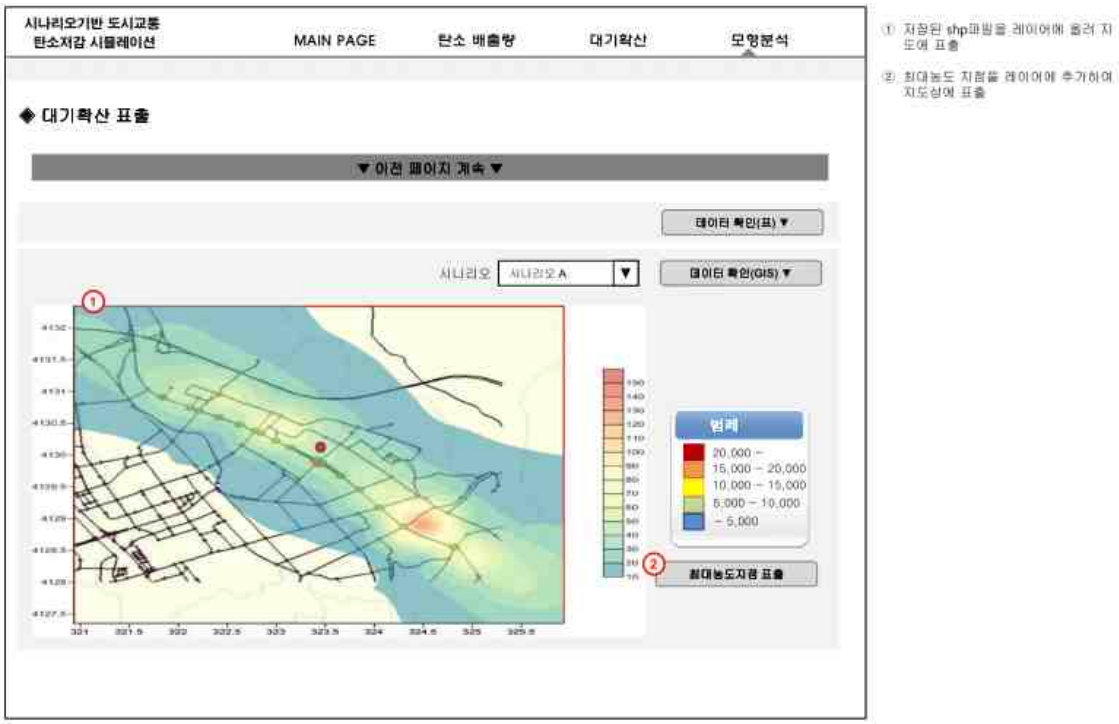
<그림 1-4-7> 대기환경 예측 모형 관련 DFD (Data Flow Diagram)

○ 관리자가 대기확산 모형에 대한 데이터를 입력/수정/삭제하여 관리하는 페이지는 별도로 구성하고, 일반 사용자는 저장되어있는 데이터에 대해서 대기확산표출 기능을 수행할 수 있음

○ 기능 구현을 위하여 메뉴를 설계하였으며, 메뉴 구조 및 UI는 다음과 같음



<그림 1-4-8> 대기환경 예측 모형 관련 메뉴 구조도



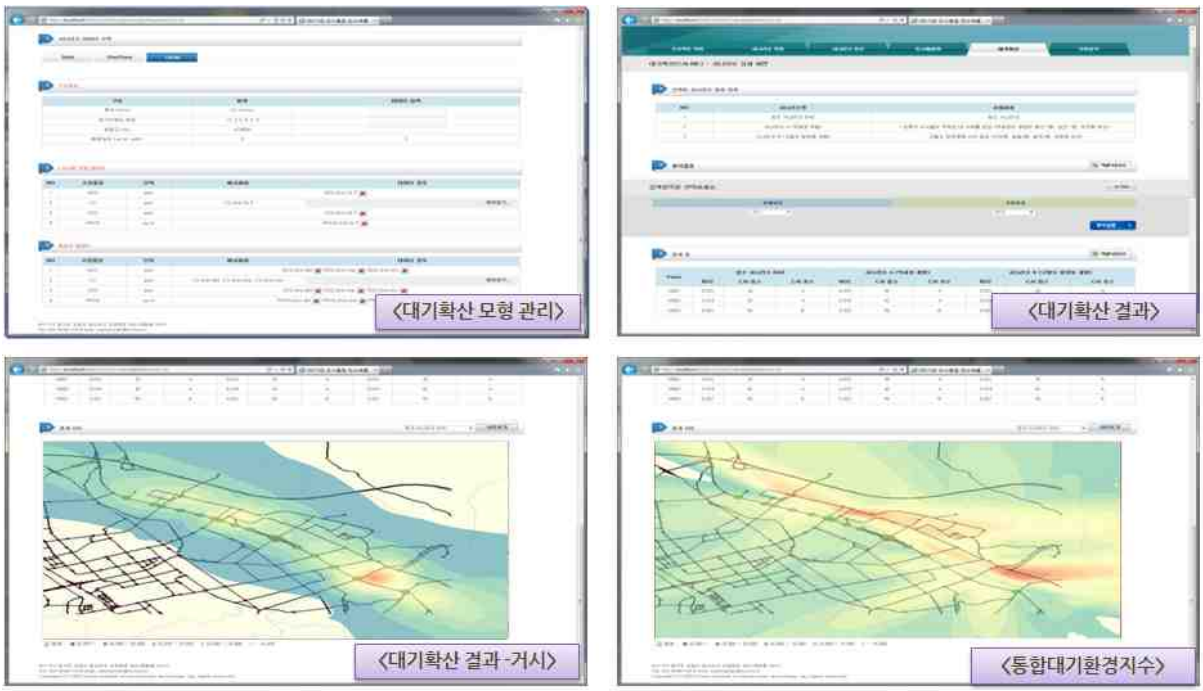
<그림 1-4-9> 대기확산 표출 화면설계

③ GIS기반 탄소 영향권 표출체계 구축

○ 토지-교통(OmniTrans)모형 및 교통활동(MATSim)모형을 기반으로 산정된 탄소배출량을 대기환경예측모형(CALINE)을 통해 GIS상에서 표출

○ 오염물질별 농도 값을 활용하여 통합대기환경지수(CAI)를 산정하여 대기 상태를 GIS상에서 표출

○ HTML로 화면을 구현하여 MOCK-UP 작업을 하였으며, 주요 화면은 다음과 같음



<그림 1-4-10> 대기확산 주요화면

나. 도시공간-교통연계 탄소관리 단위시스템 구축

(1) 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 개발

(가) 표출 프로그램 개발

○ 대기확산모형(CALINE3)을 변환하여 통합 시스템 내부에서 실행될 수 있도록 구현하였음

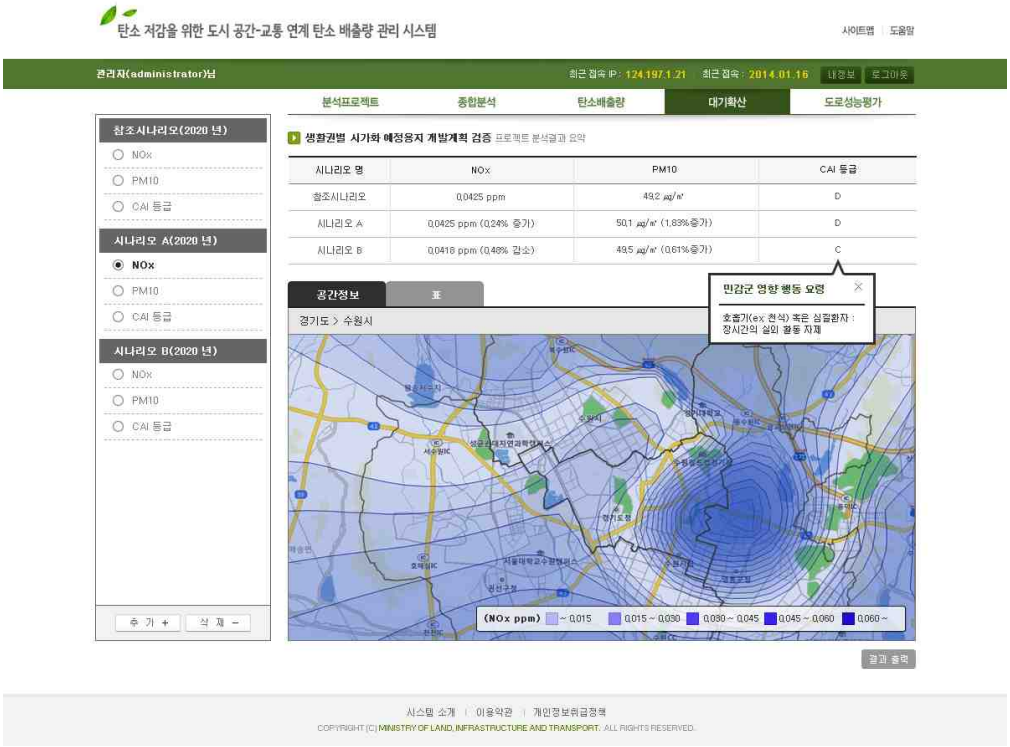
○ 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램은 대기확산 표출 부분과 CAI산정 부분으로 구성되었고, 프로그램 개발을 위한 개발정의서(명명정의서)는 다음과 같으며, 페이지별로 사용되는 VO, Implement, Service. Controller로 정의함

<표 1-4-5> 개발정의서

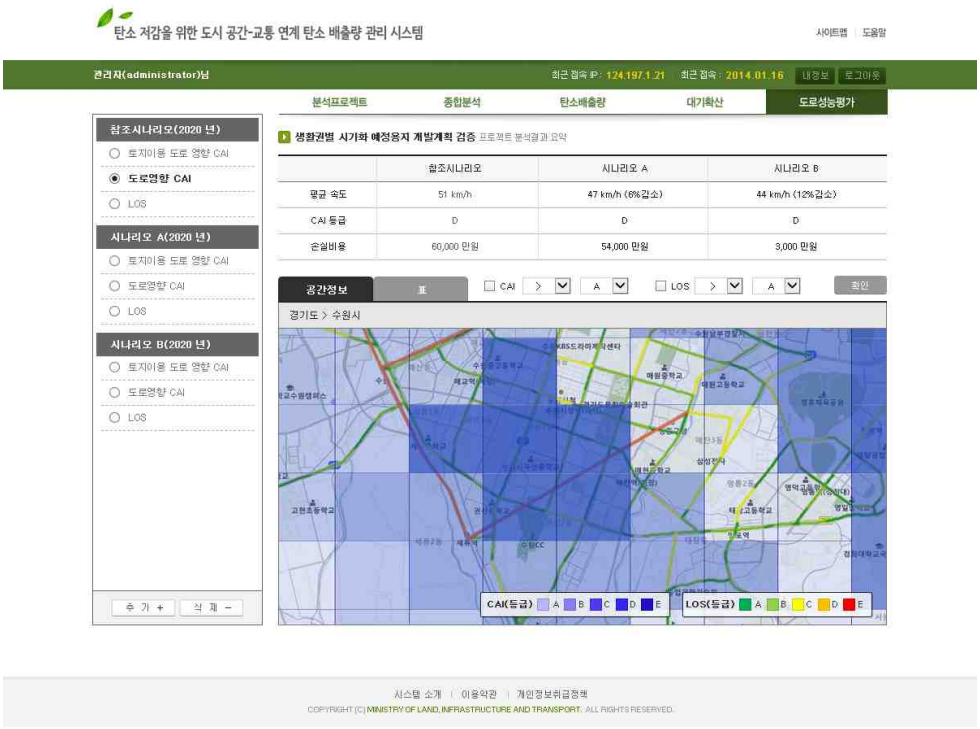
LV.3	LV.4	약어	액션명	JSP	VO	sqlid
도시스케일 대기확산((CALINE))	대기확산 오염물질별 표출 데이터확인 (include) 화면	calvmtctblincView	/gcemsanlCalvmtctblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlCalvmtctblincview.jsp	\gcemsanl\service\GcemsanlVO.java	gcemsanlDAO.gcemsanlCalvmtctblincview01
도시스케일 대기확산((CALINE))	CAI 데이터확인 (include) 화면	calcaitblincView	/gcemsanlCalcaitblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlCalcaitblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlCalcaitblincview01
도시스케일 (모형분석)	토지이용 도로영향 CAI 데이터확인 (include) 화면	scmgridcaitblincView	/gcemsanlScmgridcaitblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlScmgridcaitblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlScmgridcaitblincview01
도시스케일 (모형분석)	도로영향 CAI 데이터확인 (include) 화면	scmloscaitblincView	/gcemsanlScmloscaitblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlScmloscaitblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlScmloscaitblincview01
지구스케일 (대기확산(AERMOD))	대기확산 오염물질별 표출 데이터확인 탭(include) 화면	aervmtctblincView	/gcemsanlAervmtctblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlAervmtctblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlAervmtctblincview01
지구스케일 (대기확산(AERMOD))	CAI 데이터확인 (include) 화면	aercaitblincView	/gcemsanlAercaitblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlAercaitblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlAercaitblincview01
지구스케일 (모형 분석)	도로영향 CAI 데이터확인 (include) 화면	mdsloscaitblincView	/gcemsanlMdsloscaitblincview01.do	\gcemsanl\GcemsanlMdsloscaitblincview.jsp		gcemsanlDAO.gcemsanlMdsloscaitblincview01
기타지표관리 (CAI)	목록화면	cailstView	/ad/facmngCailstview01.do	\ad\facmng\FacmngCailstview.jsp	\ad\facmng\service\FacmngVO.java	facmngDAO.facmngCailstview01
	수정액션	caiupdUpt	/ad/facmngCaiupdupt01.do			facmngDAO.facmngCaiupdupt01

○ 대기확산 모형의 결과는 지점별 농도가 산정되고, 해당 농도에 대한 CAI 지수를 산정할 수 있어 각각의 데이터로 결정됨

○ 데이터의 표출은 등농도와 그리드 형태로 구분되며 해당 화면은 다음과 같음



<그림 1-4-11> 대기확산 표출 (등농도단위)



<그림 1-4-12> 대기확산 표출 (격자단위)

(나) 대기확산모형 (CALINE3) 프로그램 변환

○ 대기확산모형(CALINE3)은 EPA(미국환경보호청)에서 배포한 모형으로 현재 Fortran언어로 구현되어있으며, 모형의 제약사항을 완화하고 프로그램의 호환성을 높이기 위하여 MFC언어로 변환함

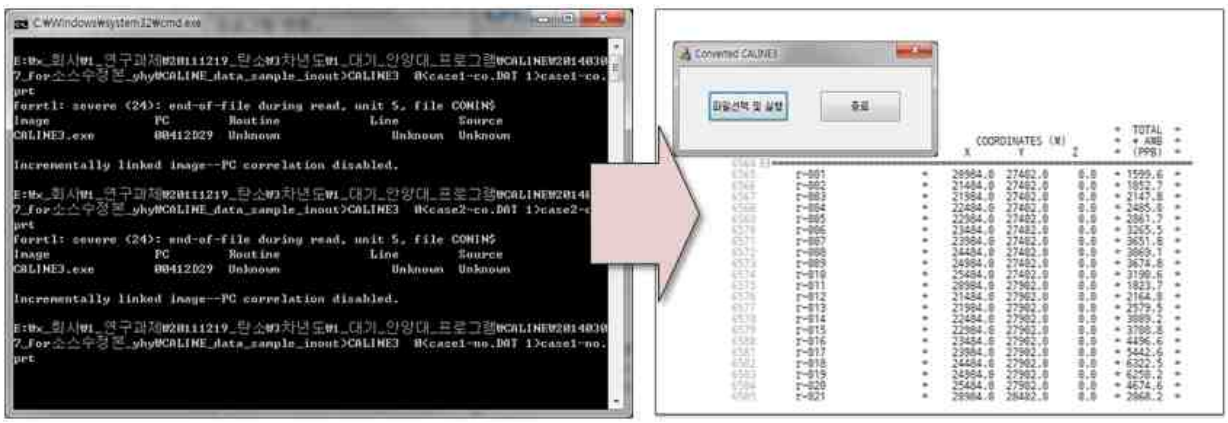
○ 수정된 모형의 제약사항은 다음과 같으며, 탄소배출량 산정 플랫폼과 연결될 수 있도록 구현하였음

<표 1-4-6> 프로그램 변환 결과

구분	대기환경예측모형(CALINE3)	프로그램 변환 결과
개발언어	Fortran	MFC
Link	20개로 제한	64개씩 반복하여 실행
Receptor(Point)	20개로 제한	링크를 기준으로 64개씩 반복하여 실행
교통량 및 배출계수 처리	사용자 직접 입력	프로그램 상에서 자동 연산
오염물질	CO에 대해서만 산정가능	오염물질과 분자량을 추가하여 산정
농도의 출력결과 단위	ppm, $\mu g/m^3$	ppb, $\mu g/m^3$
출력 포맷	풍향별 지점별 농도	지점별 농도 (합계)
배출량 적용방법	교통량, 배출계수 입력	배출량만 입력

○ 변환된 프로그램은 파일단위로 입출력이 이루어지며, 시스템 내부에서 실행되어 UI가 존재하지 않음

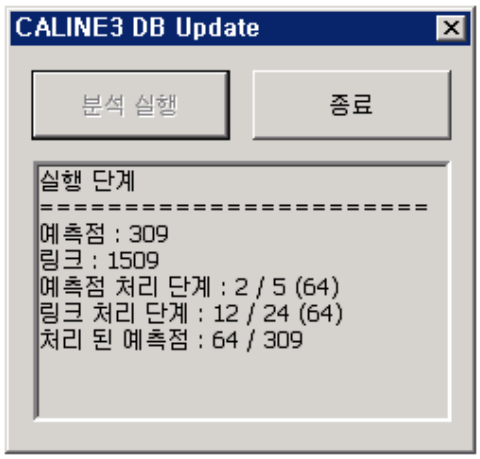
○ 대기확산모형(CALINE3)의 결과 데이터는 풍향별 지점별 농도 값이 산정되며, 대기확산 메뉴에서는 지점별 농도 합계 값을 사용함



<그림 1-4-13> 대기환경예측모형(CALINE3) 변환

○ 변환된 프로그램은 대기환경예측모형(CALINE3)의 결과를 입력하여 표출하였으며, 변환된 프로그램이 별도로 실행될 수 있도록 구현하였음

○ 별도의 프로그램이 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



<그림 1-4-14> ActiveX 실행

○ 대기환경예측모형(CALINE3)의 실행은 배출량 산정 후에 이루어지며, 분석 범위(Link 및 Recepter의 개수)에 따라 실행시간이 증가하여, 처리상황을 화면에 표출함

○ 모형 실행이 완료되면 지정별 농도의 합계 데이터는 DB에 입력되어 통합대기확산지수(CAI) 산정에 활용됨

다. 도시공간-교통연계 탄소관리 통합체계 시범도시 적용

(1) 도시공간 대기모형 및 계수 보정

(가) 시범도시(수원시) 적용을 위한 기상자료 및 지형자료 생성

○ 대기환경예측모형의 Input 데이터는 기상, 지형, 배출량이며, 기상자료는 3차년도에 구축된 데이터를 활용하였으며, 풍향, 풍속, 온도, 안정도, 혼합고 항목(2013년 기준)으로 구축됨

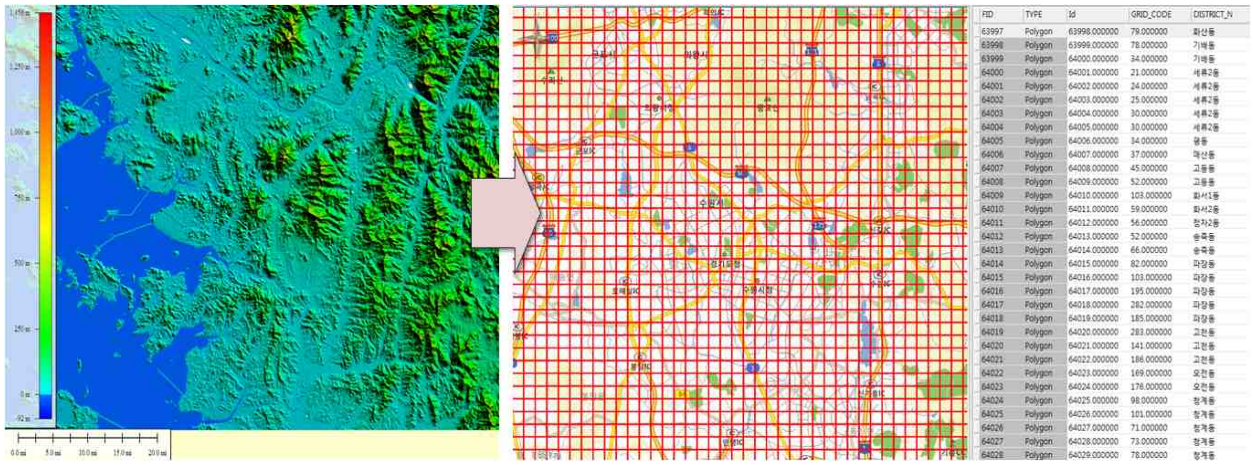
○ 시범도시(수원시) 적용을 위하여 수원기상대에서 수집된 기상자료를 근거로 하여 평균값을 사용함

<표 1-4-7> 2013년 수원기상대에서 수집된 기상자료

구분	풍속(m/s)	온도(℃)	안정도	혼합고(m)
평균	1.7	12.4	4	1,120
최소	0.0	-17.5	1	56
최대	7.8	34.6	6	4,102

○ 지형자료는 관심지점의 지형고도를 사용자가 사용할 때마다 직접 입력하기 어렵기 때문에 구축된 SRTM3[16](Shuttle Radar Topography Mission 3″)을 활용함

○ 구축된 자료는 1°간격으로 작성된 파일로 되어있어 이를 630m단위로 격자화하여 DB 및 SHP데이터를 구축하고, 모형 실행 시에 오염원을 포함하는 지역만 분석할 수 있도록 지역정보를 추가로 구성함



<그림 1-4-15> SRTM자료(수원지역)를 격자형태로 변환

(나) 대기환경예측모형(CALINE3) 입력자료 생성 절차

○ DB로 구축된 기상, 지형자료와 탄소배출량 산정플랫폼에서 도출된 배출량을 기반으로 대기환경예측모형(CALINE3)의 입력 자료를 생성함

○ 대기환경예측모형(CALINE3)의 실행에 앞서 분석된 결과는 연도별(도시스케일), 시간대별(지구스케일) 데이터를 생성하며, 하나의 시나리오에 대하여 모형을 실행하기 위해서는 연도별, 시간대별, 오염물질별 입력 자료가 생성되어야 함

○ 기본정보는 시나리오명, 예측점의 수, 링크의 수 정보 등을 DB에서 조회하며 침전속도, 퇴적속도. 기상변수의 수은 고정값으로 사용됨

○ 지형 정보는 TA_POINT 테이블에 저장되어 있으며, ID, X, Y, Z 값을 조회하고, Z값 중 0 이하인 값에 대해서는 0으로 보정하여 조회함

○ 도시스케일에서는 하나의 시나리오에 대하여 오염물질별, 분석연도별[17] 배출량이 도출되고, 지구스케일에서는 하나의 시나리오에 대하여 오염물질별, 시간대별[18]배출량이 도출됨

○ 배출량 정보는 NOx, CO, PM10의 배출량을 도시스케일, 지구스케일을 구분하여 조회하며, 도시스케일은 TO_COLINK 테이블, 지구스케일은 TM_COEVENTPRO 테이블에서 조회함

16) 2000년 2월 11일 발사된 우주왕복선 엔데버호에서 관측된 고도자료를 가공하여 만들어진 3″간격(약 90M)의 고도자료로 관측은 2000년부터 2년간 계속되었으며 자료 공개는 2004년에 이루어졌음 (http://www.webgis.com/srtm3.html)

17) 시범도시(수원시)의 경우, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020, 2022, 2024, 2026, 2030년으로 배출량이 산정됨

18) 시범도시(수원시)의 경우, 첨두시간(7~9시)에 대하여15분 단위로 배출량이 산정됨

○ 기상 정보는 TA_AIR 테이블에 저장되어 있으며, 풍속, 대기안정도 등급, 혼합고를 조회하고, 풍향은 0°부터 350°까지 반복하여 입력하고, 배경농도는 0으로 고정함

○ 각각의 입력 자료에 포함되는 정보는 다음과 같이 정의되고, 시나리오별로 실행함

<표 1-4-8> 대기환경예측모형(CALINE3) 입력 파일

<table>
<tr><th>구분</th><th>변수명</th><th>설명</th><th>적용한계</th><th>입력값</th></tr>
<tr><td rowspan="8">기본
정보</td><td>JAB</td><td>작업명</td><td rowspan="8"></td><td>시나리오명</td></tr>
<tr><td>ATIM</td><td>평균시간(분)</td><td>3min≤ATIM≤120min</td><td>“60”</td></tr>
<tr><td>Z0</td><td>표면거칠기, 조도(cm)</td><td>3cm ≤ Z0 ≤ 400cm</td><td>“3”</td></tr>
<tr><td>VS</td><td>침전속도(m/sec)</td><td></td><td>“0”</td></tr>
<tr><td>VD</td><td>퇴적속도(m./sec)</td><td></td><td>“0“</td></tr>
<tr><td>NR</td><td>예측점의 수</td><td>NR≤64</td><td>예측점 64개씩 분리</td></tr>
<tr><td>SCAL</td><td>Scale Factor</td><td></td><td>“1”</td></tr>
<tr><td>POLNAM
UCON
POLMOL</td><td>오염물질명
오염물질 단위
오염물질 분자량</td><td>0 :㎍/㎥, 1: ppb</td><td><table><tr><th>NOx</th><th>CO</th><th>PM10</th></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>30</td><td>28</td><td>1</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>지형
정보</td><td>RCP
XR
YR
ZR</td><td>예측점 이름
예측점 X좌표
예측점 Y좌표
예측점 높이</td><td>Z ≥ 0</td><td>TA_POINT (지형)</td></tr>
<tr><td>기본
정보</td><td>RUN
NL
NM</td><td>배출원명
LINK 수
기상변수의 수</td><td>NL≤64</td><td>시나리오명
LINK 64개씩 분리
“36” (0° ~ 350°)</td></tr>
<tr><td>배출량
정보</td><td>LNK
TYP

XL1, YL1
XL2, YL2
VPHL
EFL
HL
WL</td><td>링크이름
단면형태

링크 시작좌표
링크 끝좌표
교통량(대/시)
오염물질 배출량
오염물질높이(m)
방출높이(m)</td><td>AG:평탄, FL:성토
BR:교량, DP:절토

(g/km·sec)
-10m ≤ H ≤ 10m</td><td>Link ID
“AG”

TO_NODE, TM_NODE
(좌표)
0 (사용안함)
단위변환
“0”
“1”</td></tr>
<tr><td>기상
정보</td><td>WS
WD
CLAS
MIXH
AMB</td><td>풍속(m/sec)
풍향 (°)
대기안정도 등급
혼합고(m)
배경농도(㎍/㎥, ppb)</td><td>WS≥1 m/sec
0°≤ WD ≤ 360°
CLAS=1, 2 3, 4, 5, 6</td><td>“1.7”
“0” ~ “350”
“4”
“1120”
“0”</td></tr>
</table>

○ 모형이 실행되면 도출되는 결과값은 지점별 농도이며, 분석연도(시간대), 오염물질, PointID, 농도 정보가 DB에 저장됨

○ 통합대기확산지수(CAI) 산정을 위하여 각 오염물질별 대기지수점수를 산정하고, 통합지수 값은 별도로 산정하여 DB에 저장됨

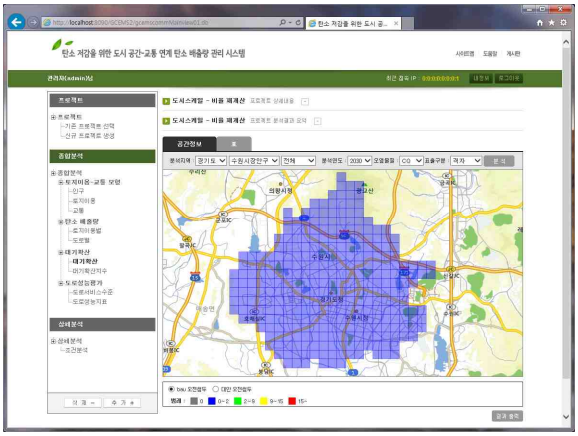
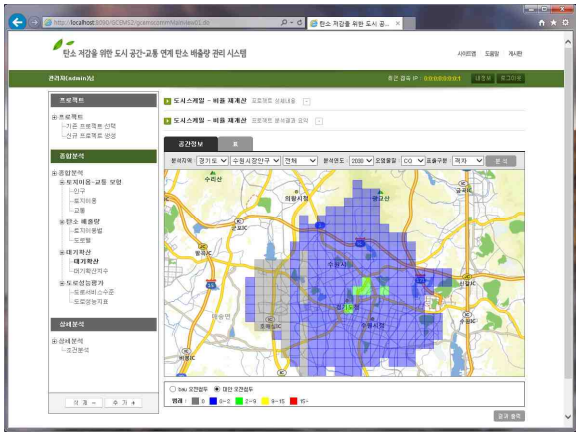
(다) 시범도시(수원시) 적용 결과

○ 도시스케일, 지구스케일 별로 분석한 모형 실행결과는 오염물질별로 다음과 같이 도출되었으며, 구별 농도값을 나타냄

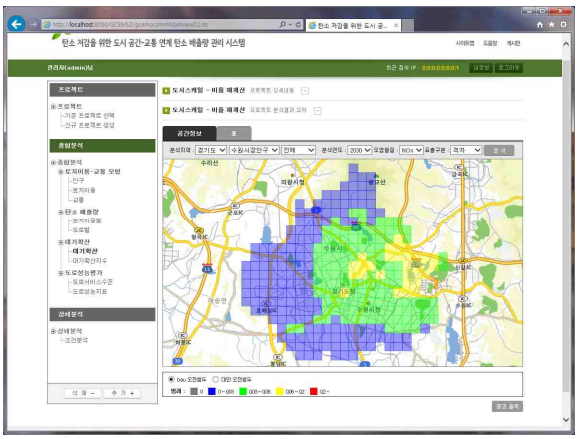
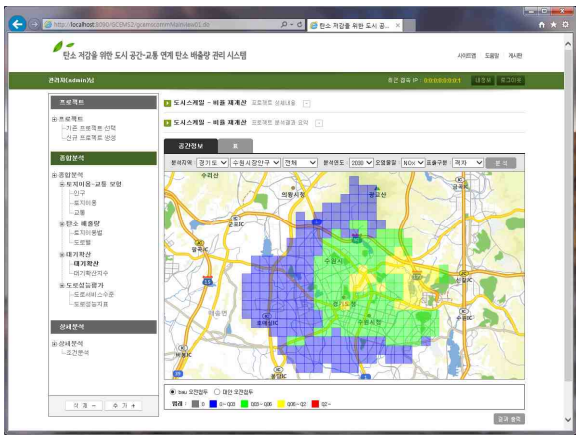
<표 1-4-9> 도시스케일 분석 결과 (오전첨두 2시간 평균농도)

구분		BAU	대안(노면전차)	증감량
CO (ppm)	장안구	0.51	0.50	0.01
	권선구	0.40	0.44	-0.04
	팔달구	0.85	0.82	0.03
	영통구	0.87	0.86	0.01
	평균	0.66	0.65	0.01
NOx (ppm)	장안구	0.030	0.030	0
	권선구	0.024	0.026	-0.002
	팔달구	0.051	0.049	0.002
	영통구	0.049	0.049	0
	평균	0.039	0.038	0.001
PM ($\mu g/m^3$)	장안구	70	67	3
	권선구	54	57	-3
	팔달구	119	113	6
	영통구	119	117	2
	평균	91	89	2

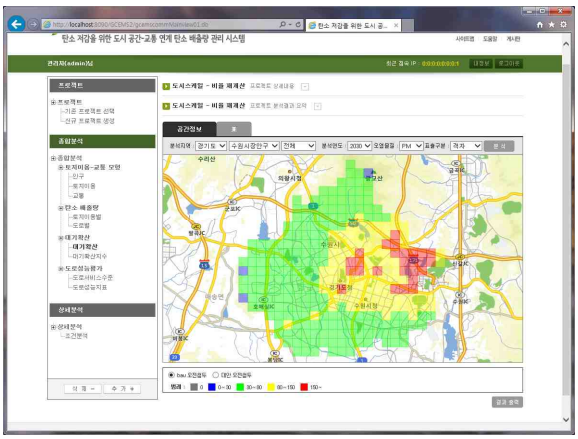
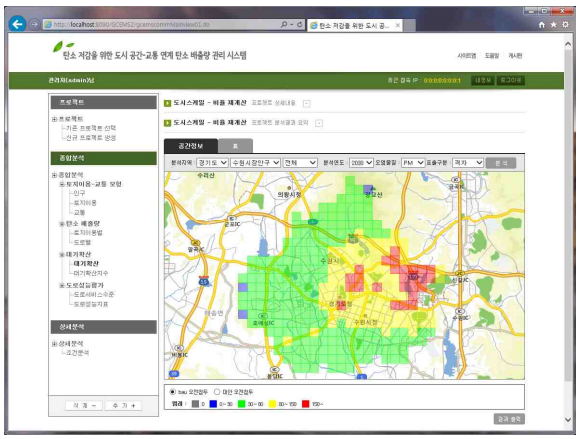
○ 공간정보로 도출된 결과는 다음과 같으며, 시나리오간의 증감량이 크지 않아 표출되는 공간정보가 비슷하게 나타남

<그림 1-4-16> 대기확산 모형 실행 결과 (도시스케일 - CO)

<그림 1-4-17> 대기확산 모형 실행 결과 (NOx)

<그림 1-4-18> 대기확산 모형 실행 결과 (PM)

제5절 (핵심성과 5) 탄소기반 도시부 도로 성능평가 프로그램 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

가. 탄소기반 도시부 도로 성능평가

탄소배출량 산정 프로그램을 통해 도시·교통정책 시나리오별로 산정된 대기오염물질 배출량 및 확산 결과를 근거로 도시부 도로 및 주변 대기환경의 상태를 평가하기 위한 프로그램을 구축하였음

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

○ 도시·교통 정책 시나리오별 교통 지·정체로 인한 통행시간손실비용(Travel time loss cost) 및 대기오염물질 배출로 인한 환경비용(Environment damage cost)을 산정·제시

이를 통해 프로그램 사용자가 최종 정책 시나리오 선정에 참고할 수 있는 의사결정 자료로 활용토록 하였음

나. 연차별 연구목표 및 연구내용

탄소기반 도시부 도로 성능평가 프로그램 개발을 위한 연차별 연구목표와 연구내용은 다음과 <표 1-5-1>과 같음

<표 1-5-1> 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 가이드라니 작성	▪ 타도시 적용을 위한 가이드라인 작성

2. 연구수행과정 및 내용

가. 탄소기반 도시부 도로 성능 평가 프로그램 구축

(1) 탄소기반 도로 성능평가 프로세스 정립

○ 대기환경 상태를 나타내는 통합대기환경지수(Comprehensive Air Quality Index, CAI)는 대기오염도 측정치를 국민에게 알기 쉽게 전달하고 대기오염으로 인한 피해를 사전에 예방하기

위한 행동지침으로써, 대기오염도에 따른 인체 영향 및 체감오염도를 고려하여 개발된 표현방식임

○ 에어코리아(한국환경공단)에서 제시하고 있는 통합대기환경지수는 <표 1-5-2>와 같이 좋음: A-위험: F까지 총 6등급으로 구분되고 특정 도시공간을 공간적 개념으로 적용하였을 때 격자 형태로 구분함

<표 1-5-2> 통합대기환경지수(CAI)의 등급

구분	통합대기환경지수 (CAI)	PM10 ($\mu g/m^3$)	O3 (ppm)	NO2 (ppm)	CO (ppm)	SO2 (ppm)
좋음	0-50	0-30	0-0.004	0-0.03	0-2.0	0-0.02
보통	51-100	31-80	0.041-0.08	0.031-0.06	2.01-9	0.021-0.05
민감군 영향	101-150	81-120	0.081-0.12	0.061-0.15	9.01-12	0.051-0.1
나쁨	151-250	121-200	0.121-0.3	0.151-0.2	12.01-15	0.101-0.15
매우 나쁨	251-350	201-300	0.301-0.5	0.201-0.6	15.01-30	0.151-0.4
위험	351-500	301-600	0.501-0.6	0.601-2	30.01-50	0.401-1

출처: 에어코리아(www.airkorea.or.kr, 한국환경공단)

○ 5개의 대기오염물질별로 통합대기환경지수 점수를 산정하며 가장 높은 점수를 최종통합지수 값으로 사용하고 산출된 대기오염물질별 지수점수가「민감군영향」이상의 등급이 2개 이상일 경우 최종 통합지수 값에 가산점을 부여함

$$I_p = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} \times (C_p - BP_{LO}) + I_{LO}$$

여기서, I_p : 대상 오염물질의 대기지수점수
C_p : 대상오염물질의 대기 중 농도
BP_{HI} : 대상 오염물질의 오염도 해당 구간에 대한 최대 오염도
BP_{LO} : 대상 오염물질의 오염도 해당 구간에 대한 최소 오염도
I_{HI} : BP_{HI}에 해당하는 지수 값(구간 최대 지수 값)
I_{LO} : BP_{LO}에 해당하는 지수 값(구간 최소 지수 값)

출처: 에어코리아(www.airkorea.or.kr, 한국환경공단)

○ 통합대기환경지수는 0~500까지의 지수를 6단계로 나누어 점수가 커질수록 대기의 질이 좋지 않음을 나타냄

○ 도로의 성능은 도로의 소통상황을 설명하는 지표로 서비스수준(Level of Service)[19]을 활용함

○ 교통 운행 상태를 정의한 서비스 수준은 일반적으로 다음 <표 1-5-3>과 같이 A~F까지 6단계로 구분되며, 특히 신호교차로, 도시 및 간선도로의 경우 A~FFF의 8단계로 구분 가능함

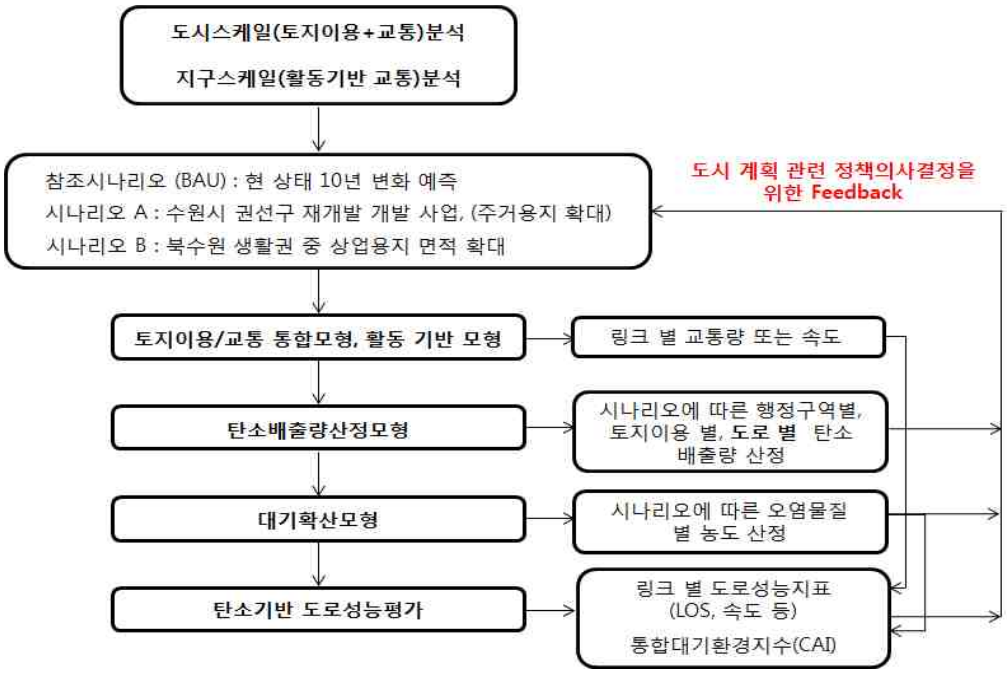
<표 1-5-3> 도로 서비스수준별 교통류 상태

서비스수준	교통류 상태
A	사용자 개개인들은 교통류 내의 다른 사용자의 출현에 실질적으로 영향을 받지 않음. 교통류 내에서 원하는 속도 선택 및 방향 조작 자유도는 아주 높고, 운전자와 승객이 느끼는 안락감이 매우 우수함
B	교통류 내에서 다른 사용자가 나타나면 주위를 기울이게 됨. 원하는 속도 선택의 자유도는 비교적 높으나 통행 자유도는 서비스수준 A보다 어느 정도 떨어지며, 이는 교통류 내의 다른 사용자의 출현으로 각 개인의 행동이 다소 영향을 받기 때문임
C	교통류 내의 다른 차량과의 상호작용으로 인하여 통행에 상당한 영향을 받기 시작함. 속도의 선택도 다른 차량의 출현에 영향을 받으며, 교통류 내의 운전자가 주위를 기울여야 함. 이 수준에서 안락감은 상당히 떨어짐
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

출처: 도로용량편람(국토교통부, 2013)

○ 탄소기반 도로성능은 <그림 1-5-1>과 같이 도시 및 지구 스케일에 근거한 도시 정책 시나리오별로 토지이용-교통 통합 모형→활동 기반 모형→탄소배출량 산정모형→대기확산모형 수행의 최종 결과물을 근거로 평가됨

19) 통행속도, 통행시간, 주행 안락감, 교통안전 등의 도로 운행 상태를 나타내는 개념



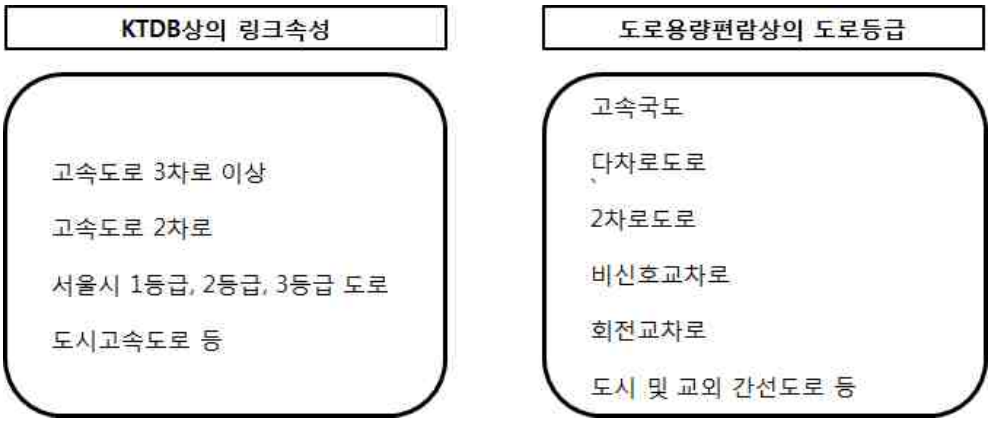
<그림 1-5-1> 탄소저감 통합 플랫폼을 활용한 분석 흐름의 예시

(2) 탄소기반 도로성능 평가 기능 및 구축

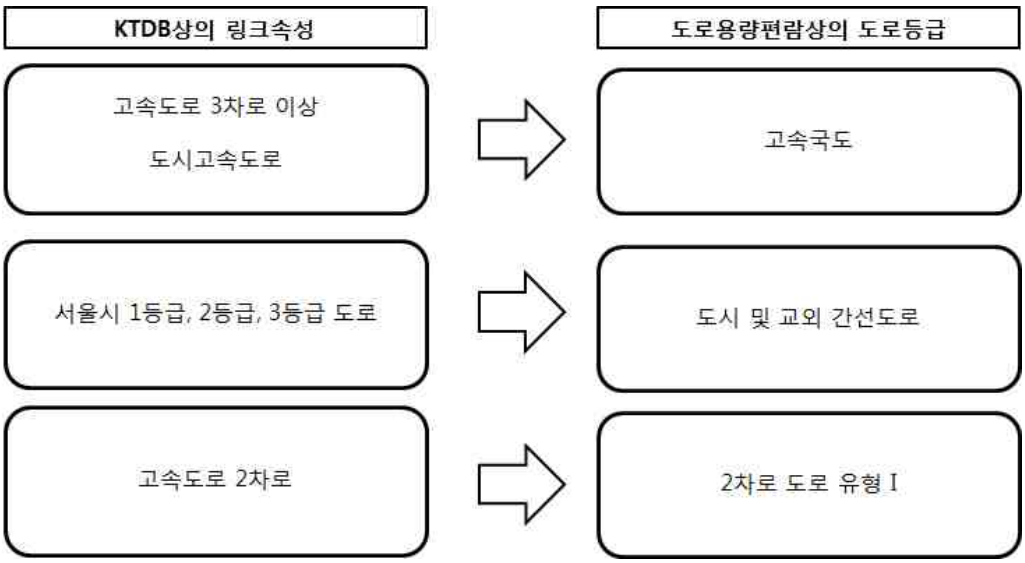
○ 도시 및 지구스케일로 탄소저감을 분석할 때 사용되는 대상 지역 자료들은 국가교통 DB센터(KTDB)에서 제공하는 자료에 근거함

○ 그러나, KTDB의 링크속성 분류체계와 도로용량편람에서의 도로등급 분류체계는 다음 <그림 1-5-2>와 같이 다소 상이함

○ 따라서 KTDB의 링크속성 분류체계와 도로용량편람상의 도로등급 분류체계를 각 도로별 속성(차로수, 도시·지방 구분 등)에 따라 다음 <그림 1-5-3>과 같이 매칭(matching)하여 분석을 수행함



<그림 1-5-2> KTDB의 링크속성 분류체계 및 도로용량편람 도로등급분류체계



<그림 1-5-3> 분석을 위한 도로등급 Matching 분류

○ 토지이용-교통 통합 모형 및 활동기반 모형에 따른 결과 값 중 대표적인 링크별 교통속성인 속도자료를 이용하여 다음 <표 1-5-4>와 같은 단계를 통해 교통 혼잡 정도와 그에 따른 시간가치손실비용[20]을 산출함

20) 교통 혼잡으로 인해 정상속도 이하로 운행함으로 발생되는 시간가치를 비용으로 환산한 것

<표 1-5-4> 교통혼잡 정도와 시간가치손실비용 표출 단계

단계	내용
1	링크별 혼잡기준속도 파악 - 링크 속성파악, 링크 속성에 맞게 기준속도 설정
2	시뮬레이션을 통해 속도 값 산출
3	[단계 1의 혼잡기준속도], [단계 2의 속도 자료] 비교 : [단계 1의 혼잡기준속도] < [단계 2의 속도 자료] → 소통원활 : [단계 1의 혼잡기준속도] > [단계 2의 속도 자료] → 지·정체 발생
4	격자 별로 혼잡한 링크 비율 계산 $\frac{\sum[(\text{단계1의 혼잡기준속도}) > (\text{단계2의 속도자료})\text{인 링크길이}]}{\text{격자에 포함된 링크수}} \times 100$
5	시간가치손실비용 계산 $\frac{\text{해당링크길이}(km) \times \text{시간가치 원단위}(\text{원/인·시}) \times \text{재차인원}(\text{인/대})}{\text{평균통행속도}(km/\text{시})}$

○ [단계 1]에서는 링크 속성(또는 도로등급)을 파악하고, 그 속성에 맞는 혼잡기준속도에 따른 기준속도를 설정함

○ 혼잡기준속도는 다음 <표 1-5-5>와 같이 지역 및 도시, 고속국도, 일반국도, 지방도별로 각각 설정할 수 있음

<표 1-5-5> 혼잡기준속도 설정

구분	혼잡기준속도
지역간도로	· 고속국도 : 90km/h(4차로 이상), 75km/h(4차로 이하) · 일반국도 : 80km/h(4차로 이상), 70km/h(4차로 이하) · 지방도 : 60km/h
도시부도로	· 27km/h

출처: 2008년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이분석(한국교통연구원, 2010)

○ [단계 2]에서는 토지이용-교통 통합모형과 활동기반 모형 수행을 통해 산출되는 링크별 속도 값 중 해당 링크의 자료를 수집함

○ [단계 3]에서는 [단계 1]에서의 혼잡기준속도와 [단계 2]의 링크속도자료를 비교함

- [단계 1 혼잡기준속도] < [단계 2 링크속도자료] 경우, 소통원활로 규정함

  [단계 1 혼잡기준속도] > [단계 2 링크속도자료] 경우, 지·정체 발생으로 규정함

○ [단계 4]에서는 격자 별로 교통 혼잡 정도를 표출하기 위해 다음과 같이 혼잡한 링크 비율을 계산하며, 종합분석 시 시나리오별 격자 당 교통 혼잡 비율을 표출함

$$\text{교통혼잡비율}(\%) = \frac{\sum[(\text{단계1의 혼잡기준속도}) > (\text{단계2의 속도자료})\text{인 링크길이}]}{\text{격자에 포함된 링크수}} \times 100$$

○ [단계 5]에서는 다음 식과 같이 시간가치손실비용을 계산하여 종합분석 시 시나리오별 시간가치손실비용을 표출하도록 함

$$\text{시간가치손실비용}(\text{원/대}) = \frac{\text{해당링크길이}(km) \times \text{시간가치 원단위}(\text{원/인·시}) \times \text{재차인원}(\text{인/대})}{\text{평균통행속도}(km/\text{시})}$$

○ 시간가치 원단위의 경우, 다음 <표 1-5-6>과 같이 차종에 따라 구분함

<표 1-5-6> 통행목적별, 차종별 시간가치 비용

구분	업무통행	비업무통행
승용차	19,569	6,700
버스	18,565	4,859

출처: 2008년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이분석(한국교통연구원, 2010)

○ 권역별·차종별 재차인원은 수도권의 경우 다음 <표 1-5-7>과 같이 차종에 따라 구분함

<표 1-5-7> 권역별·차종별 재차인원 (단위: 인/대)

권역	승용차	택시	승용차+택시	버스
수도권	1.27	1.54	1.319	12.95

출처: 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(한국개발연구원, 2008)

○ [단계 5]의 시간가치손실비용의 계산과정은 다음 예시와 같이 수행할 수 있음

- [단계 5-1] 각종 지표에 대한 가정 및 도시 정책 시나리오별 결과값 도출

· 시간가치가정 : 승용차, 업무통행 기준 시간가치 원단위 : 19,569원/인·시

· 도시부 도로가정 : 혼잡기준속도 27km/h

· 권역별·차종별 재차인원 가정 : 수도권 승용차 1.27인/대

· 도시 정책 시나리오 A 평균통행속도 : 15km/h, 시나리오 B 평균통행속도 : 20km/h

- [단계 5-2] 동일한 격자 내에서의 시간가치손실비용 계산

· 도시 정책 시나리오 A 의 특정 링크에 속해 있는 차량 1대당 시간가치손실비용

$\frac{1}{15km/h} \times$ 해당 링크길이 $5km =$
$0.33h \times 19{,}569$원/인·시 × 재차인원(1.07인/대) ≒ 6,980원/대

· 도시 정책 시나리오 B 의 특정 link에 속해 있는 차량 1대당 시간가치손실비용

$\frac{1}{20km/h} \times$ 해당 링크길이 $5km =$
$0.25h \times 19{,}569$원/인·시 × 재차인원(1.07인/대) ≒ 5,235원/대

- [단계 5-3] 종합분석

· 도시 정책 시나리오 A(6,980원)가 시나리오 B(5,235원) 보다 시간가치 손실이 더 많음

○ 토지이용-교통 통합 모형 및 활동기반 모형에 따른 산출 값 중 해당 링크 별 차종들의 교통량에 따른 운행거리(대-km)와 속도(km/h)를 이용하여 격자 당 환경비용을 표출할 수 있음

○ 환경비용은 시나리오에 따른 격자 내 링크를 대상으로 산출된 주행속도와 교통량을 이용하여 속도에 따른 대기오염비용 원단위를 적용하여 산정함

○ 교통량에 따른 운행거리(대-km)는 차종별 교통량과 운행거리를 곱한 결과를 의미하며, 격자 내 링크의 환경비용은 교통량에 따른 운행거리에 링크 평균 속도에 기초한 차종별 대기오염비용 원단위를 곱하여 산정함

$$\text{환경비용(원)} = \sum_{l} \sum_{k=1}^{3} (D_{lk} \times VT_{k} \times 365)$$

여기서, D_{lk} = 링크별(l),차종별(k) 대-km

VT_k = 차종별(k) 해당 링크 주행속도의 km당 대기오염비용

k = 차종 (1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차)

○ 위 식에서 링크 평균 속도에 기초한 차종별 대기오염비용 원단위는 다음 <표 1-5-8>, <표 1-5-9>와 같음

<표 1-5-8> 차종별·속도별 대기오염비용 원단위 (2007년기준) (단위: 원/km)

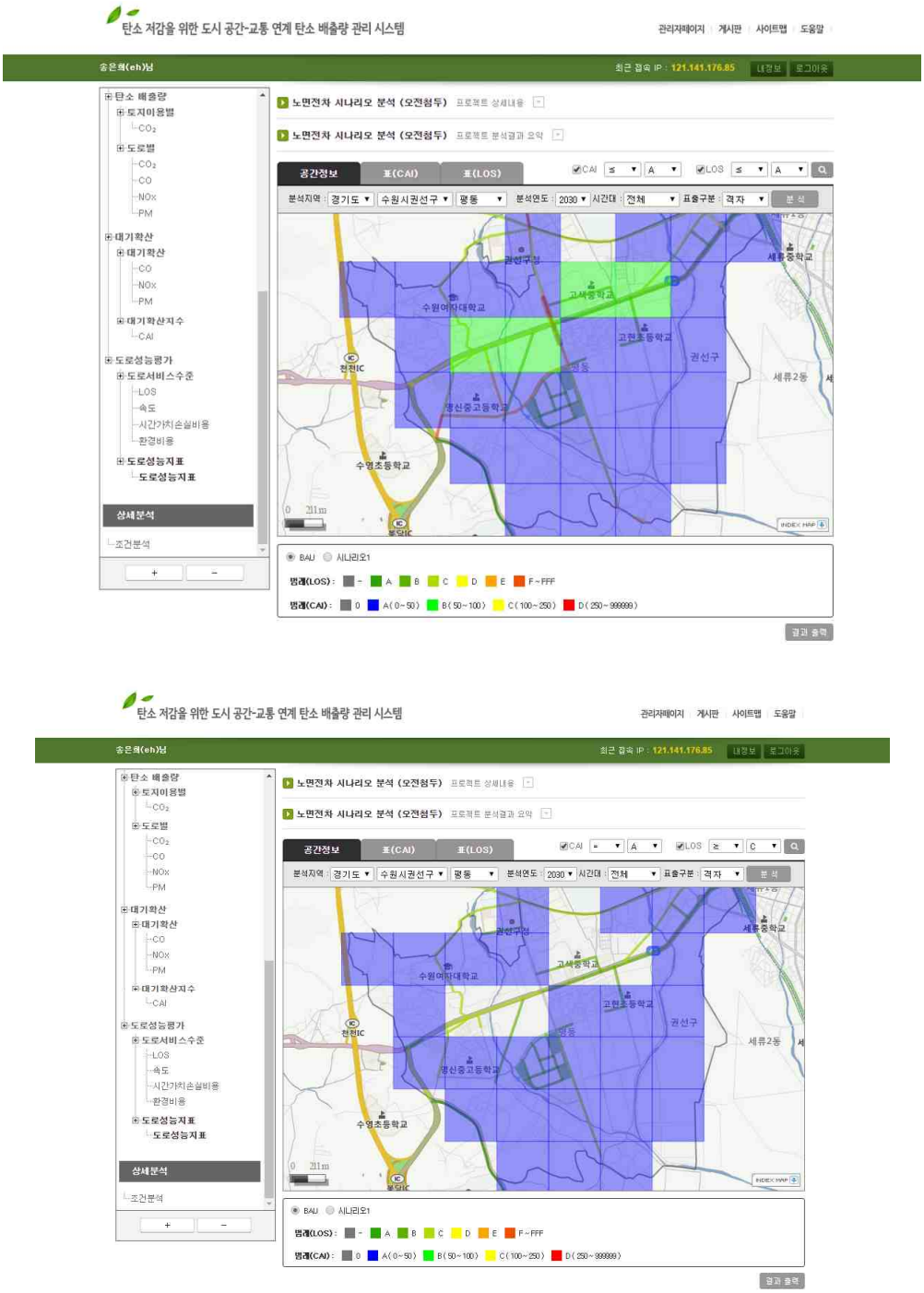
차종	속도	CO	NOx	HC	PM	CO_2	합계
승용차	10	34.19	10.69	6.55	0.00	16.14	67.57
	20	15.09	6.13	2.25	0.00	10.91	34.38
	30	9.35	4.43	1.21	0.00	8.69	23.68
	40	6.65	3.52	0.77	0.00	7.39	18.32
	50	5.11	2.94	0.55	0.00	6.52	15.11
	60	4.13	2.53	0.41	0.00	5.88	12.96
	70	3.44	2.24	0.32	0.00	5.39	11.39
	80	2.94	2.01	0.27	0.00	5.00	10.21
	90	2.56	1.83	0.22	0.00	4.68	9.29
	100	2.25	1.69	0.19	0.00	4.41	8.54
소형버스	10	8.75	16.96	2.04	6.13	16.83	50.71
	20	6.07	11.35	1.19	4.39	11.54	34.54
	30	4.90	8.97	0.87	3.60	9.33	27.68
	40	4.21	8.21	0.69	3.14	8.16	24.41
	50	3.74	7.59	0.58	2.99	7.41	22.31
	60	3.40	7.50	0.50	3.20	7.10	21.71
	70	3.14	7.97	0.45	3.43	7.20	22.17
	80	2.92	8.98	0.40	3.65	7.73	23.69
	90	2.75	10.56	0.37	3.88	8.68	26.24
	100	2.60	12.67	0.33	4.13	10.07	29.80
중형버스	10	31.98	68.17	11.84	18.65	21.40	152.04
	20	20.80	44.81	7.56	10.81	16.47	100.45
	30	16.18	35.05	5.81	7.86	12.60	77.51
	40	13.54	29.45	4.82	6.27	9.79	63.87
	50	11.78	25.72	4.17	5.75	8.04	55.47
	60	10.52	23.05	3.71	5.38	7.35	50.01
	70	9.56	20.99	3.36	5.38	7.72	47.02
	80	8.81	19.36	3.08	5.75	9.15	46.15
	90	8.18	20.74	2.86	6.50	11.65	49.92
	100	7.67	26.80	2.67	7.61	15.20	59.94
대형버스	10	57.92	239.01	16.25	41.23	44.87	399.28
	20	40.69	180.62	10.18	29.90	34.95	296.34
	30	33.10	153.33	7.75	24.78	30.20	249.15
	40	28.58	136.50	6.38	21.68	27.23	220.38
	50	25.51	124.74	5.49	19.55	25.12	200.41

<표 1-5-9> 차종별·속도별 대기오염비용 원단위 (2007년기준) (단위: 원/km)

차종	속도	CO	NOx	HC	PM	CO_2	합계
소형트럭	10	10.79	23.25	2.11	6.43	18.34	60.91
	20	8.26	14.26	1.47	5.42	12.42	41.84
	30	7.06	10.71	1.19	4.91	9.89	33.77
	40	6.3	8.27	1.04	4.58	8.50	28.70
	50	5.79	7.05	0.92	4.34	7.87	25.97
	60	5.40	6.20	0.84	4.15	7.63	24.23
	70	5.09	5.71	0.77	4.00	7.78	23.35
	80	4.83	5.60	0.73	3.86	8.33	23.35
	90	4.62	5.85	0.68	3.76	9.26	24.17
	100	4.43	6.46	0.65	3.66	10.59	25.79
중형트럭	10	51.85	113.73	21.63	23.92	27.98	239.10
	20	32.61	77.61	13.79	15.96	22.96	162.92
	30	24.86	62.90	10.60	12.60	18.80	129.77
	40	20.51	54.64	8.79	10.66	15.52	110.13
	50	17.67	48.01	7.61	9.35	13.11	95.75
	60	15.65	43.04	6.76	7.93	11.58	84.97
	70	14.11	39.72	6.12	7.10	10.93	77.96
	80	12.90	38.04	5.61	6.63	11.14	74.33
	90	11.93	38.02	5.20	6.54	12.22	73.91
	100	11.12	39.64	4.85	6.82	14.17	76.60
대형트럭	10	63.23	315.68	21.81	70.21	133.26	604.19
	20	37.83	242.86	14.73	52.49	101.71	449.63
	30	28.01	208.33	11.71	44.26	86.85	379.16
	40	22.63	186.85	9.59	39.23	77.63	335.93
	50	19.18	171.72	8.77	35.72	71.17	306.57
	60	16.76	160.28	7.91	33.09	66.28	284.32
	70	14.95	151.20	7.25	31.01	62.42	266.84
	80	13.54	143.75	6.72	29.32	59.25	252.57
	90	12.41	137.49	6.28	27.91	56.59	240.69
	100	11.47	132.11	5.93	26.69	54.32	230.52

○ 토지이용-교통 통합 모형 및 활동기반 모형, 대기확산모형 수행에 따른 결과 값을 근거로 서비스수준(Level of Service, LOS) 및 통합대기환경지수(Comprehensive Air Quality Index, CAI)를 신속히·우선적으로 파악할 수 있도록 사용자 또는 의사결정권자가 임의로 관심지역을 설정할 수 있도록 함

○ 예를 들어 <그림 1-5-4>와 같이 “LOS ≤ A” & “CAI ≤ A”인 지역을 관심지역으로 설정하면, 여기에 해당하는 지역들 모두가 동시에 표출되도록 하는 것임



<그림 1-5-4> 관심지역 설정의 예

○ 도로의 서비스수준(Level of Service)을 표출하기 위한 대상은 '기능Ⅰ- 링크 속성 분류 체계'에 따라 고속도로, 도시 및 교외 간선도로, 2차로도로를 대상으로 하며 각 서비스 수준은 <표 1-5-10>, <표 1-5-11> 그리고 <표 1-5-12>와 같음

○ 도시전체의 연료는 발열량은 10,560kcal/N㎥인 LNG를 사용한다고 가정하고 배출량을 산정함

○ 통합대기환경지수의 경우 대상 격자에 따라 앞에서 언급한 '탄소기반 도로성능평가 프로세스 정립'에 따라 제시된 수식을 활용하여 표출하도록 함

<표 1-5-10> 고속도로 기분구간 서비스수준

서비스 수준	밀도 (pcpkmpl)	설계 속도 120kph		설계 속도 100kph		설계 속도 80kph	
		교통량 (pcphpl)	V/c비	교통량 (pcphpl)	V/c비	교통량 (pcphpl)	V/c비
A	≤6	≤700	≤0.30	≤600	≤0.27	≤500	≤0.25
B	≤10	≤1,150	≤0.50	≤1,000	≤0.45	≤800	≤0.40
C	≤14	≤1,500	≤0.65	≤1,350	≤0.61	≤1,150	≤0.58
D	≤19	≤1,900	≤0.83	≤1,750	≤0.80	≤1,500	≤0.75
E	≤28	≤2,300	≤1.00	≤2.200	≤1.00	≤2,000	≤1.00
F	>28	-	-	-	-	-	-

출처: 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판) (한국개발연구원, 2008)

<표 1-5-11> 간선도로의 평균통행속도별 서비스수준

서비스수준	평균통행속도(kph)		
	Ⅰ[21]	Ⅱ	Ⅲ
A	≥67	≥60	≥49
B	≥51	≥46	≥39
C	≥37	≥33	≥29
D	≥28	≥25	≥20
E	≥21	≥18	≥12
F	≥10	≥10	≥8
FF	≥6	≥6	≥5
FFF	<6	<6	<5

출처: 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판) (2008, 한국개발연구원)

21) 간선도로 유형은 도로의 기능과 설계수준, 그리고 도로여건에 따라 구분하며, 모든 경우에 있어서 간선도로는 우선 기능과 설계수준에 따라 분류한 다음 도로여건에 따라 분류하게 됨. 간선도로의 기능과 설계수준은 고규격, 중간규격, 저규격으로 분류되며, 도로 여건은 양호와 보통으로 구분됨. 자세한 유형 설정 방법은 출처를 참고하기 바람

<표 1-5-12> 2차로도로의 서비스수준

서비스수준	교통량(pcph)	총지체율(%)	통행속도(kph)	
			70	80
A	≤650	≤15	≥65	≥55
B	≤1,300	≤25	≥55	≥45
C	≤1,900	≤40	≥45	≥40
D	≤2,600	≤50	≥40	≥30
E	≤3,200	≤60	≥35	≥25
F	-	>60	<35	<25

출처: 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판) (한국개발연구원, 2008)

나. 탄소기반 도시부 도로 성능 평가 방법론의 적용 가이드라인 작성

(1) 가이드라인의 구성

○ 탄소기반 도시부 도로 성능 평가 방법론에 대한 간략한 소개 자료로 사용

○ 가이드라인 작성의 목적, 매뉴얼 구성 및 특징, 그리고 매뉴얼 내 자주 사용되는 용어에 대한 정의로 구성하였음

<표 1-5-13> 탄소기반 도로성능평가지표 활용을 위한 가이드라인의 구성 및 특징

구 분		구성 내용
제1장 개요	가이드라인 제공 목적	가이드라인을 제공하는 목적에 대하여 설명
	가이드라인 적용 범위	가이드라인을 적용할 수 있는 모형의 분류 설명
	주요 용어 정의	주요 용어를 설명
제2장 탄소기반 도로성능평가지표 설명	탄소기반 도로성능평가지표 선정	모형을 선정한 이유 설명
	탄소기반 도로성능평가지표	도로성능평가지표 설명
	탄소기반 도로성능평가지표 산출 방법	시스템에 탑재되어 있는 도로성능평가지표 사용 방법에 대하여 설명
제3장 탄소기반 도로성능평가지표 산출결과 활용	도로성능평가 산출결과 표현	수행결과의 종류와 표현 내용 설명
	도로성능평가 산출결과 활용	수행결과의 활용 방안에 대하여 설명

(2) 전문가 검토 의견서

○ 대기환경영향 예측 모형의 가이드라인의 검증을 위해 담당업무 공무원 및 산·학·연 도시교통 전문가를 대상으로 자문을 수행하였으며 검토의견은 다음과 같음

<표 1-5-14> 전문가 평가 의견

구분	주요 의견	반영 여부
A 전문가	- GIS 맵에 도로 서비스 수준 표출시 동일 수준 구간내 변화라도 속도 차이가 있는 경우 감소, 증감 표현 검토	- 속도의 증감은 속도지표에서 확인할 수 있음
	- 도로성능평가 지표별 평가결과에 따라 의사결정권자가 법적으로 조치하거나 개선을 위해 검토해야 하는 사항들에 대해서도 포함되었으면 함	- 향후 관련 법제도와 개선방안이 정립되면 반영할 수 있음
	- 사용자 입장에서 시나리오 입력 등에 대한 구체적 설명 필요	- 구체적인 사용 방법은 사용자 매뉴얼에서 제공함
B 전문가	- 교통혼잡 정도를 화폐단위로 표출하는 방법은 정책결정자 또는 일반 시민이 정책을 이해하는데 도움이 되는 방법으로 판단되어지며, 대중교통 이용으로의 전환에 따른 화폐가치 차이에 따란 인센티브를 주는 방법 등 적극적인 활용이 가능할 것으로 보임	- 향후 정책으로 가능한 지 검토가 되어야 할 부분임
C 전문가	- 고난이도의 작업을 공간적, 시간적 다변성을 고려한 후 사전에 수행되어야 하는 부담이 있을 것으로 판단됨	- 장래 계획에 대한 예측과 평가이므로 사전 수행이 가능하다고 봄
	- 도로건설 및 도시계획시설 관련 위원회의 심의 및 자문에서 활용할 수 있는 지표로 활용되어야 할 것으로 판단됨	- 향후에 고려되어야 할 사항임
D 전문가	- 각 지표별로 제시된 A~F 등급이 어느 정도 좋고 어느 정도 나쁜 것인지에 대한 설명이 더 강화되면 좋을 것으로 보임	- 도로 종류별로 기준이 달라 범례에 표시하기는 어려우므로 팝업 창을 띄워 등급 구분 기준을 확인할 수 있도록 하였음

제6절 (핵심성과 2-1) 토지이용-교통 통합모형 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

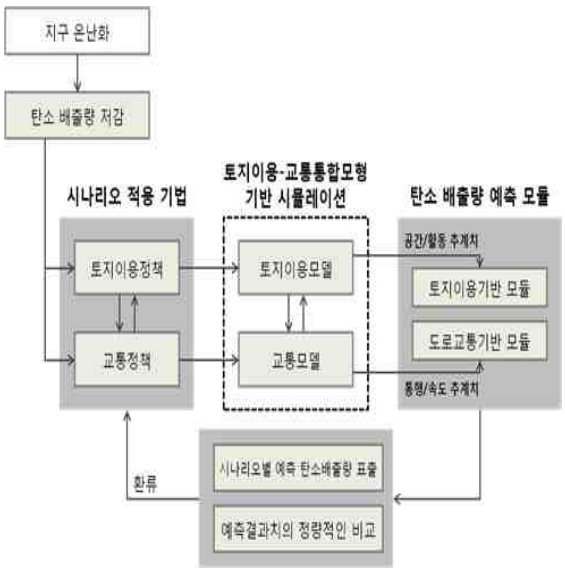
가. 토지이용-교통 통합모형 개발 전략

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 지원 할 수 있게 되었음

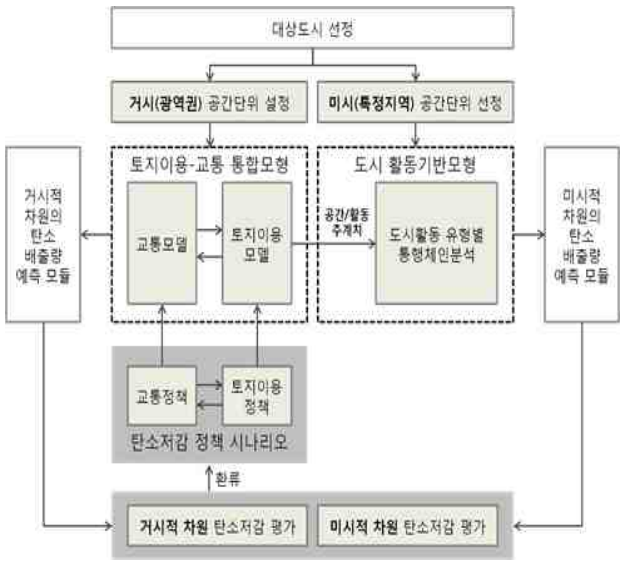
(1) 탄소 배출량 예측 모듈에서의 토지이용-교통 통합모형 역할 정의

○ 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 1-6-1> 통합모델 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크



<그림 1-6-2> 거시-미시 연계기반 탄소저감정책 평가체계 프레임 워크

(2) 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 구축한 형태로써, 지역의 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 의사결정과정에서 활용가능하고 토지이용-교통 통합모형에서 구동 가능한 정책들을 선별 및 추가 하여 시나리오 매트릭스를 구축함

정책타입			정책	대안시나리오 적용시기				
				2010	-	2020	-	2030
BAU 시나리오			기 확정된 토지이용 및 교통정책	-				
대안정책	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					
	교통정책	자가	중심지 주차비용 증감					
			중심지 외 지역의 주차비용 증감					
			혼잡통행료증감					
		대중교통	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 1-6-3> 시나리오 매트릭스

(3) 통합모형 개선(토지이용모델)

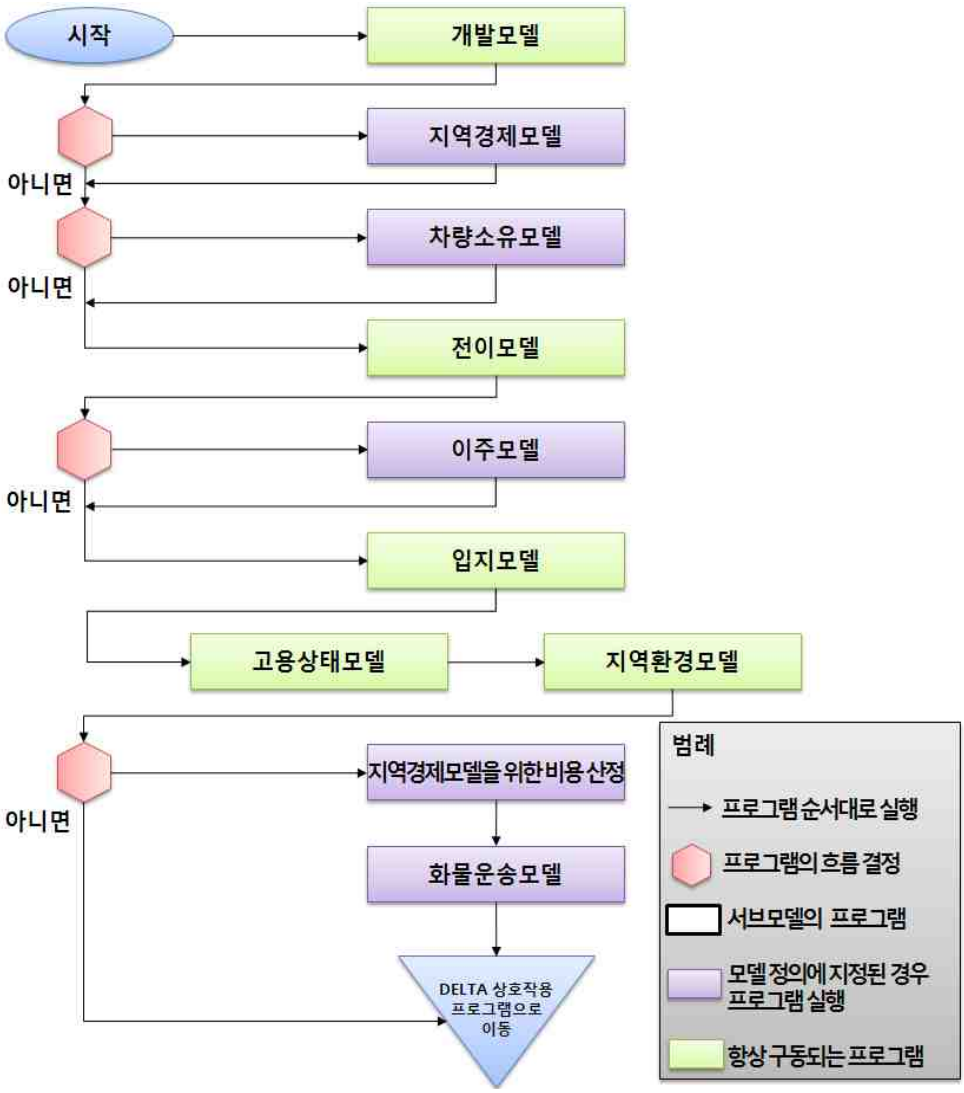
토지이용모델(DELTA)는 개별시장(고용, 주택, 상품, 자본시장 등)에서 행위자들(actors)의 의사결정이 공간에 미치는 영향 및 그 변화과정을 장기적으로 예측하는 것이며 모델임. <그림 1-6-4>는 토지이용모델의 여러 하위모델을 나타낸 그림이며, 국내에서 조사된 토지이용관련 정보를 바탕으로 토지이용모델의 변화, 고용, 개발, 입지 하위모델을 개선하였음

○ 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 1-6-4> 토지이용모델 구동 프로세스

(4) 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 1-6-5>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

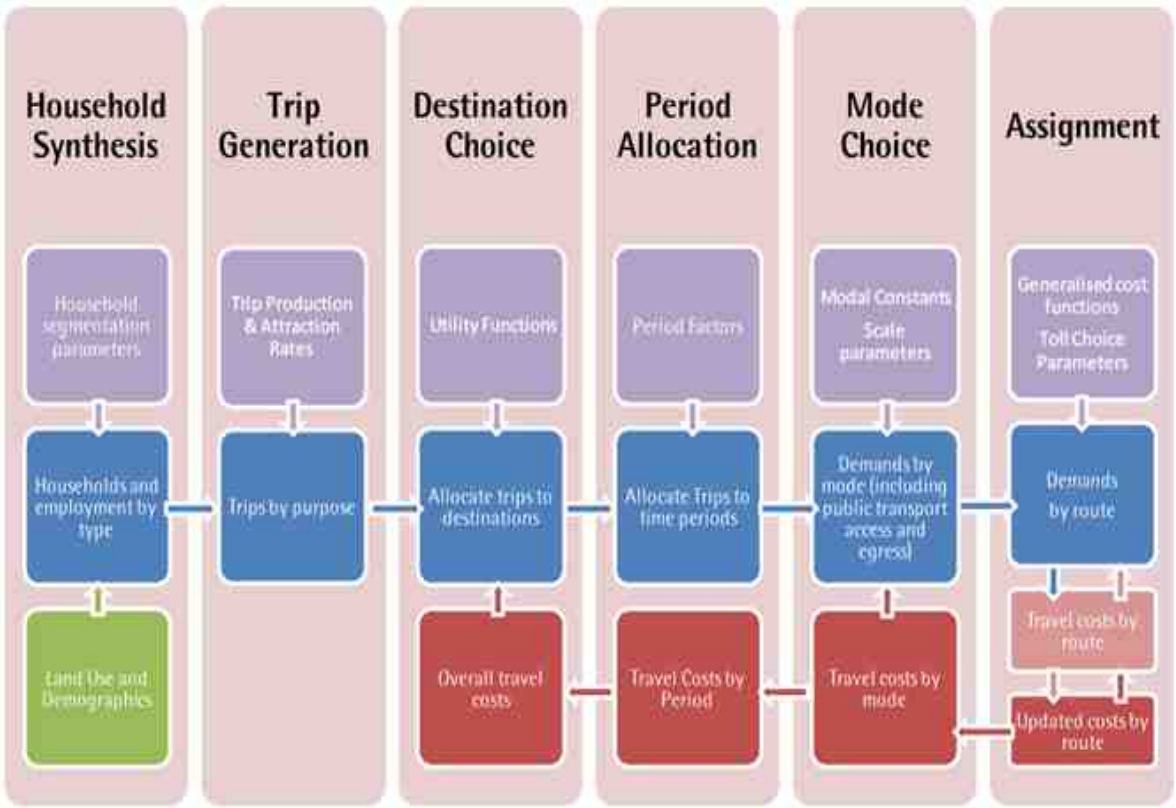
○ 통행발생 모델 : 가구 또는 지역별 발생하는 통행량 자료를 생성하기 위해 수도권 가구통행 실태조사 자료를 기초로 모델 개선

○ 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

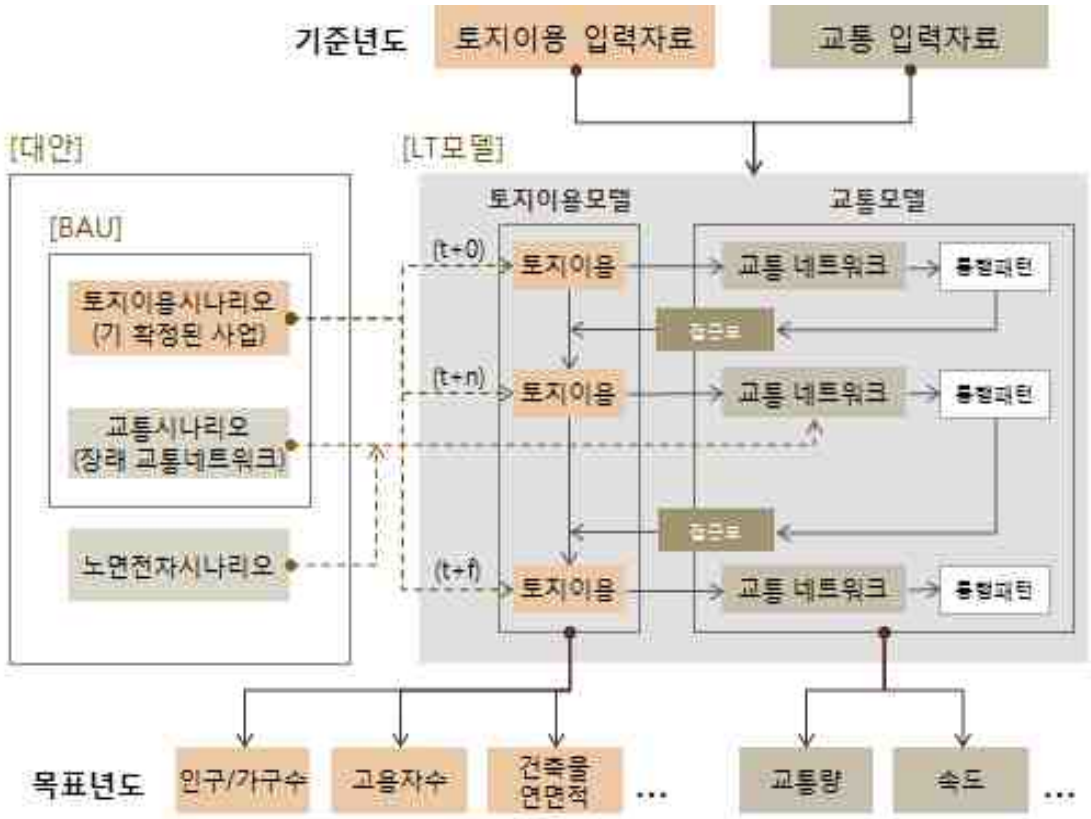
○ 통행배정 모델 : 통행량 배정을 위해 수도권내 통행량 측정 데이터(스크린 라인과 코든라인 지점 데이터)를 활용하여 모델 개선



<그림 1-6-5> 교통모델 구동 프로세스

(5) 토지이용-교통 통합모형을 통한 정책비교

토지이용-교통 통합모형은 토지이용모델(DELTA)와 교통모델(Omni-TERANS)이 서로 연계되어 구동되는 형태의 시스템을 일컬음. 토지이용-교통 통합모형을 활용한 장래 시뮬레이션은 <그림 1-6-6>과 같이 토지이용과 교통의 상호작용 이론에 기초하여 시나리오에 대한 토지이용과 교통의 연속적인 변화를 동시에 분석함



<그림 1-6-6> 토지이용-교통 통합모형 구동절차

○ 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 고찰하고, 이를 바탕으로 BAU 시나리오 구축방법을 설계함
- BAU 시나리오는 수도권을 대상으로 구축하였으며, 실제 준공완료 또는 계획이 확정된 개발사업 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 모델의 결과물을 바탕으로 수원시 및 트램노선 지역의 인구수, 가구수, 고용자등의 변화를 추정함
- 교통모델의 결과물을 바탕으로 수원시 및 트램노선 지역의 승용차, 대중교통, 트램의 통행량 및 통행속도 변화를 추정함

나. 연차별 연구목표 및 연구내용

토지이용-교통 통합모형 개발을 위한 연차별 연구목표와 연구내용은 다음과 같음

<표 1-6-1> 목표 및 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도 (설계구상 단계)	▪ 도시교통 탄소 연계체계 기반 의사결정지원시스템 프레임워크 구축	▪ 통합모형 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크 구축 ▪ 거시-미시 연계 기반 탄소저감정책 평가체계 프레임워크 구축
2차년도 (개발단계)	▪ 토지이용-교통 통합모형의 시나리오 구축	▪ 탄소저감형 도시배치 대안 시나리오 matrix 구상 ▪ 도시공간배치 시나리오별 시뮬레이션 수행
3차년도 (적용준비 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
4차년도 (적용단계)	▪ 토지이용-교통 통합모형의 시범도시 적용	▪ 시범도시 특성을 반영한 계수 보정 ▪ 시나리오별 시뮬레이션 결과 분석
5차년도 (확산지원 단계)	▪ 토지이용-교통 통합 모형 및 탄소저감 도시정책의 적용 가이드라인 작성	▪ 토지이용-교통 통합 모형의 국내외 확산 적용을 위한 지자체 가이드라인 개발과 홍보

2. 연구수행과정 및 내용

가. 도시교통 탄소 연계체계 기반 의사결정지원시스템 프레임워크 구축

(1) 통합모형 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크 구축

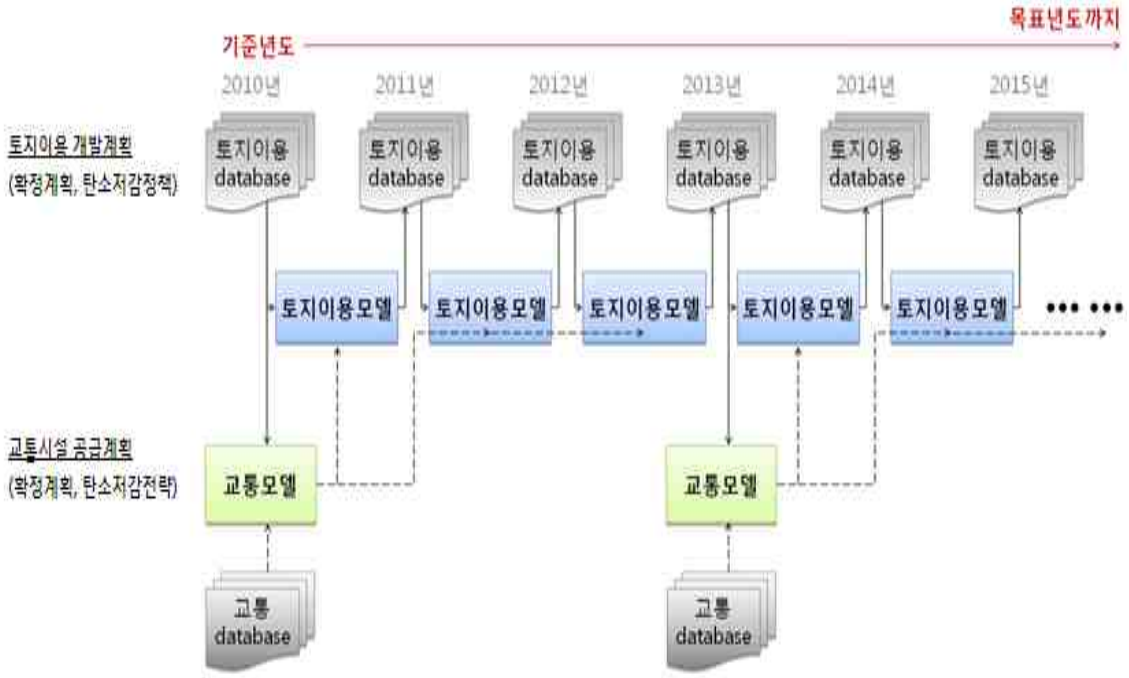
○ 탄소 배출량 예측 프레임워크를 구축하기 위해 토지이용모형과 교통모형의 데이터 흐름을 분석하고, 출력자료를 확인함

○ 토지이용모델(DELTA)은 여러 하위모델로 구성되어 있으며, 각 하위모델의 모델구동에 요구되는 입력자료 및 출력자료의 교환을 통해 연속적으로 실행됨

○ 교통모델(Omni-TRANS)은 교통모형 4단계 교통수요예측방법론에 기초한 모델로써, 토지이용모델에서 도출된 사회경제변수를 입력 자료로 하여 구동됨

○ 통합모형은 토지이용모델과 교통모델의 유기적인 연계를 기반한 모델로써, 토지이용모델의 결과물이 교통모델의 입력 자료로 활용되고, 교통모델의 결과물이 다시 토지이용 모델의 결과물로 활용됨

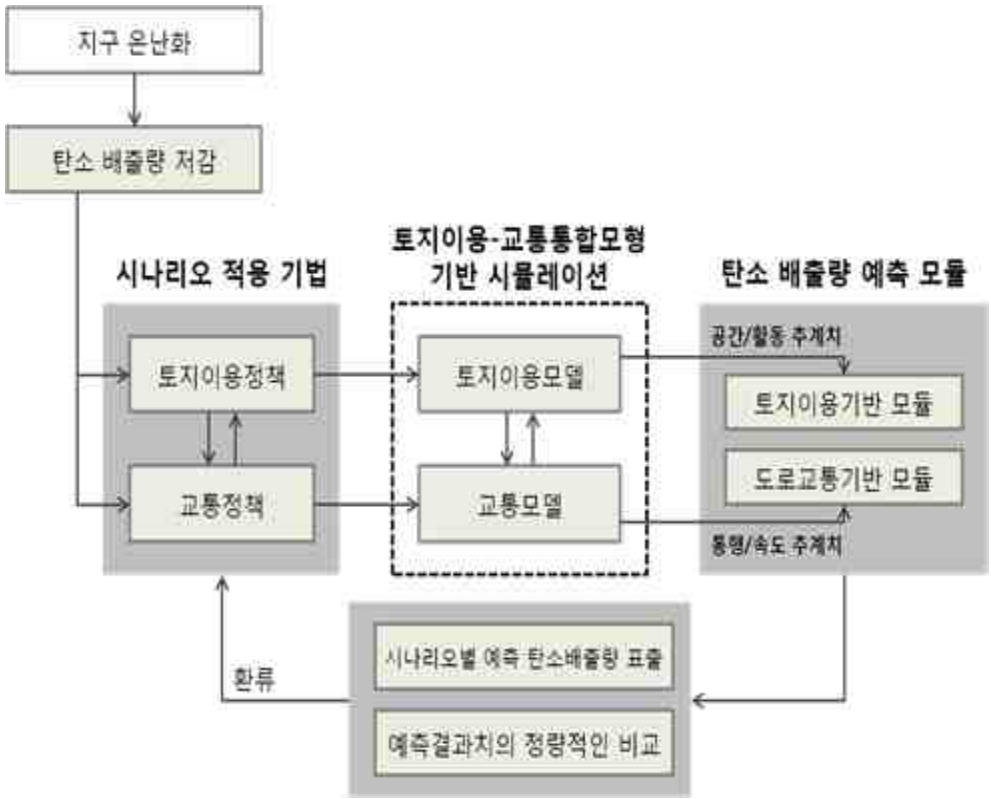
○ 토지이용모델과 교통모델의 연계는 <그림 1-6-7>과 같음. 토지이용모델은 매년마다, 교통모델은 2년마다 한 번 구동 하도록 설계함



<그림 1-6-7> 토지이용-교통 통합모형의 구동설계도

○ 토지이용-교통 통합모형에 적용되는 시나리오는 토지이용정책과 교통정책으로 구성되며 이는 시나리오 적용기법을 통해 구축됨

○ 토지이용-교통 통합모형기반의 시뮬레이션 결과는 탄소배출량 예측모듈의 입력 자료로 활용되며, 이는 다시 시나리오를 작성하는데 있어서 활용됨. <그림 1-6-8>은 통합모형 출력기반의 탄소배출량 예측 프레임워크를 나타냄



<그림 1-6-8> 통합모델 출력자료 기반의 탄소 배출량 예측 프레임워크

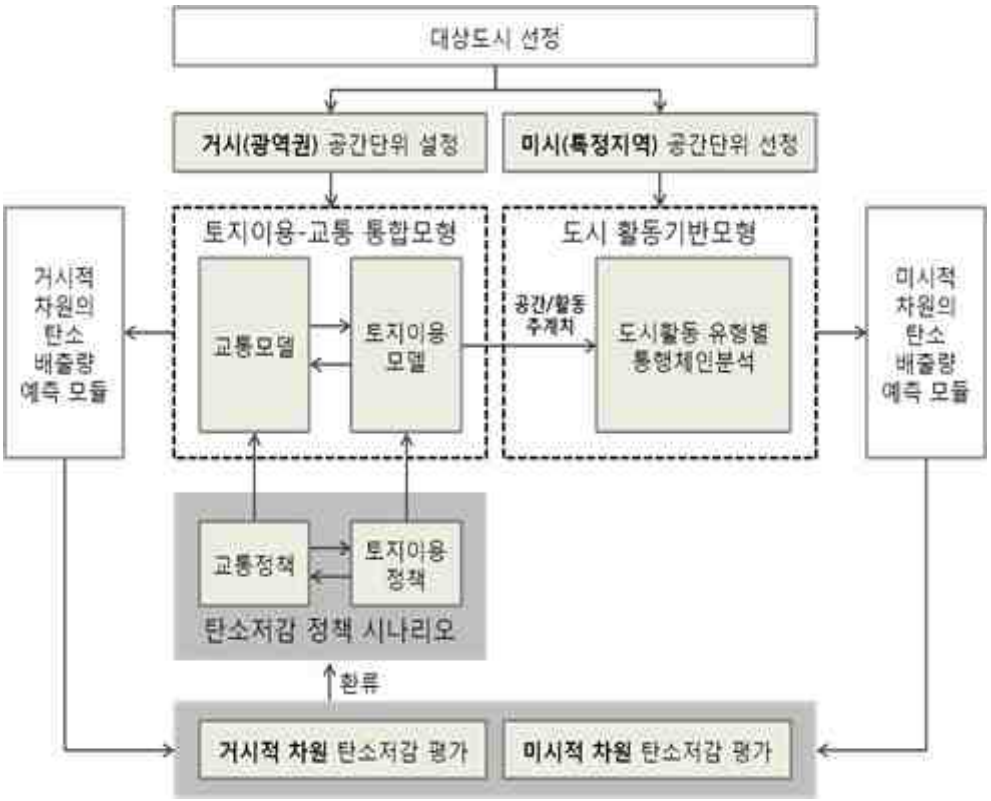
(2) 거시-미시 연계 기반 탄소저감정책 평가체계 프레임워크 구축

○ 탄소저감정책은 거시적(광역권) 공간단위와 미시적(특정지역) 공간단위로 구분할 수 있음

○ 토지이용-교통 통합모형은 거시적(광역권) 공간단위에 적합한 형태의 분석모형이며, 도시활동기반모형은 미시적(특정지역) 공간단위에 적합한 분석모형임

○ 토지이용-교통 통합모형의 결과물은 거시적 차원에 적합한 탄소 배출량 예측모듈을 통해 탄소저감평가가 이루어져야하며, 도시 활동기반 모형의 결과물은 미시적 차원에 적합한 탄소배출량 예측 모듈을 통해 탄소저감평가가 이루어 져야 함

○ 거시적, 미시적 차원의 탄소저감 평가결과는 탄소저감정책 시나리오를 구성하는데 영향을 미쳐 새로운 시나리오를 구축하는데 영향을 미침. <그림 1-6-9>는 거시-미시 연계기반 탄소저감정책 평가체계 프레임워크를 나타냄



<그림 1-6-9> 거시-미시 연계기반 탄소저감정책 평가체계 프레임 워크

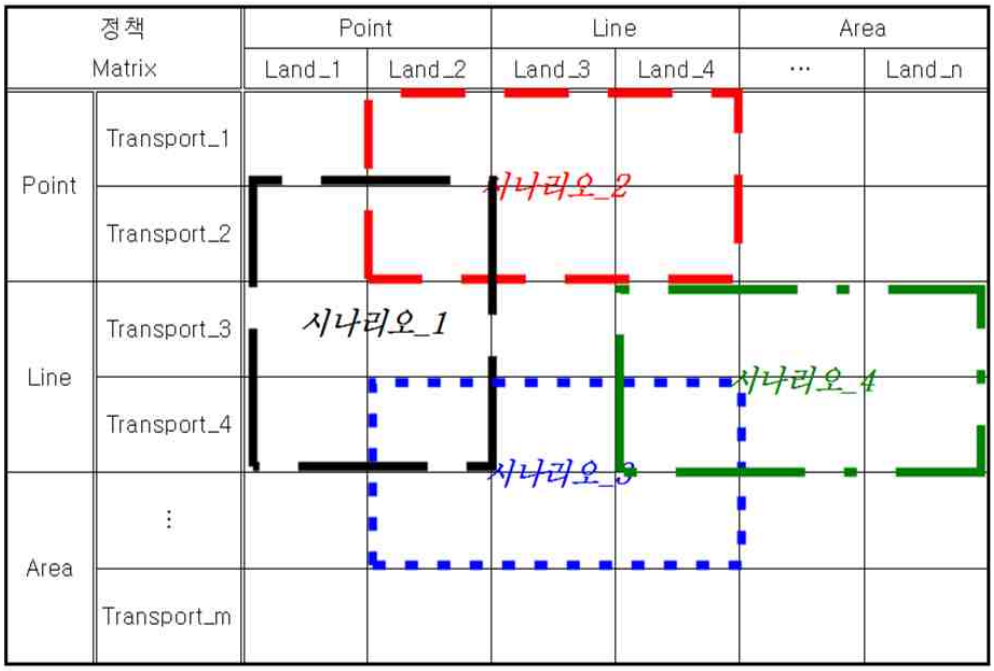
나. 토지이용-교통 통합모형의 시나리오 구축

(1) 탄소저감형 도시배치 대안 시나리오 매트릭스 구상

○ 시나리오 설계

- 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 선택가 능한 형태로 구축한 형태로써, 지역의 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 의사결

정과정에서 활용가능하고 토지이용-교통 통합모형에서 구동 가능한 정책들을 선별 및 추가 하여 시나리오 매트릭스를 구축함



<그림 1-6-10> 도시배치 대안시나리오 매트릭스 개념도

○ 토지이용부문

- 지속가능한 토지이용 방안에 대한 수많은 선행연구가 있음
- 도시공간의 형태(압축, 분산집중, 복합용도, 역세권 개발)에 따라 상이한 도시개발형태가 발생됨
- 도시의 거주 밀도를 높이고 상업, 업무시설을 도시 중심이나 다른 대중교통시설이 이용하기 편리한 곳에 입지하도록 하여 도시 확산을 제한하는 것은 지속가능성을 위해 유익한 방안으로 여겨짐

○ 교통부문

- 도시 교통 정책의 목적은 대체로 접근성 향상, 혼잡도 완화, 대기 수준 향상, 도보와 자전거 이용 편리성 향상, 교통 안전성 향상임
- 이를 위한 정책은 교통정온화, 도로 요금 부과, 텔레매틱스(실시간 교통정보시스템과 같은 반응형 도시교통관리시스템), 통합화된 대중교통, 주차관리 등이 있음(EEA 1995), (ECMT/OECD 1995)
- 교통정책은 활동자의 행태에 영향을 미쳐 결과적으로 교통 수요 및 공급에 영향을 미침
- ITS 적용을 통해 허용 가능한 교통 용량을 증대시키는 방안을 검토

○ 가격정책부문

- 교통비용정책 측면에서는 도로혼잡비용 부과, 주차요금 인상, 자동차 운행비용 증가, 대중

교통 요금의 인상 또는 인하 등의 여러 방안이 있음

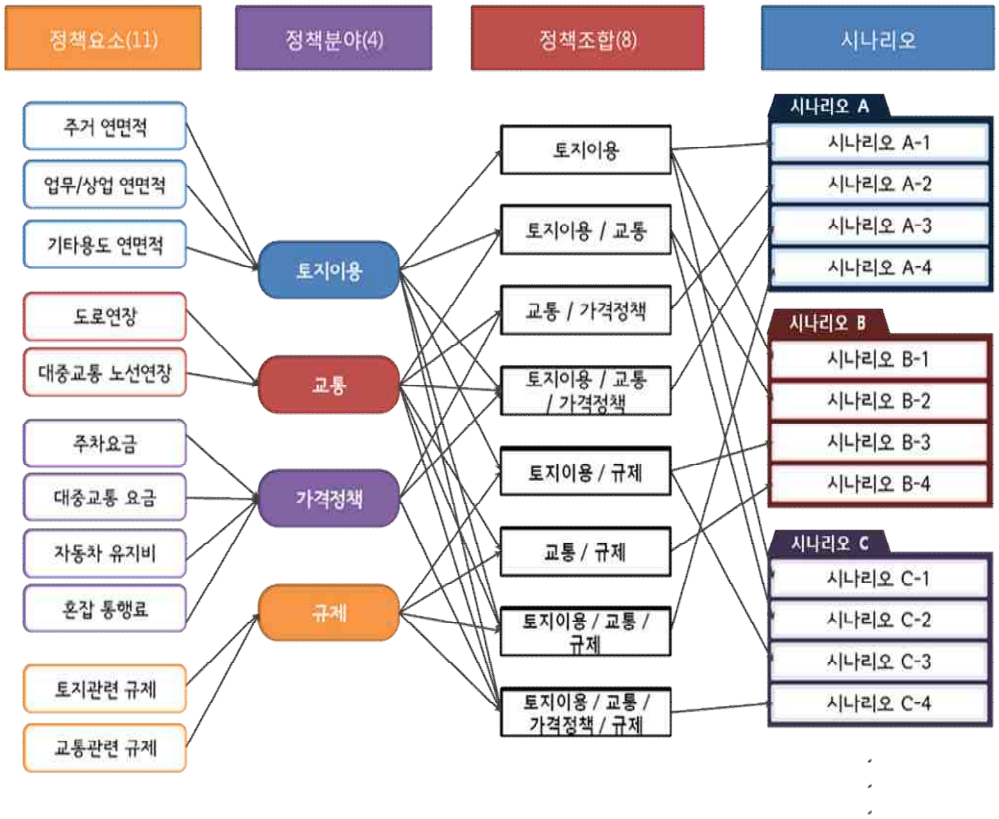
- SPARACUS 프로젝트의 연구결과에 따르면, 특히 가격 정책은 도시의 지속가능성 측면에서 가장 효과적인 정책이며 사람들을 도시로 이동시키는 효과가 큰 것으로 나타남
- 주차비용의 과도한 인상은 지속가능성 측면에서는 효과가 있지만 주거지와 직장을 도시 중심부에서 도시외곽으로 이동시키는 등 역효과 가능성 있음

○ 규제부문

- 새로운 업무용도개발지역으로 향하는 통근을 제한하기 위해 도심지 주차공간을 제한하면서, 도시내부 주거지를 증가시키거나, 대중교통 환승 주차장을 도시 내부에서 외곽으로 이동시키는 등의 방안도 연구됨
- 도심부를 통행하는 차량의 속도를 감소시키는 교통규제정책 역시 효과가 있는 것으로 나타남

○ 정책의 조합 부문

- 여러 선행연구에 따르면, 개별 정책을 서로 결합하여 적용하였을 경우 그 효과가 더욱 크게 나타나거나 개별 정책의 부정적 효과를 감소시키는 장점이 나타남
- SPARTACUS 프로젝트 연구결과에 따르면, 교통비용 정책과 대중교통 투자정책을 함께 적용하였을 경우 개별 정책으로 인한 효과보다 더욱 큰 효과가 나타나며 <그림 1-6-11>은 정책의 정책요소의 조합을 통한 시나리오 체계를 도면화한 내용임



<그림 1-6-11> 정책요소의 조합을 통한 시나리오 체계

○ 탄소저감형 도시배치 매트릭스

- 본 연구에서 구상한 토지이용-교통 정책 매트릭스는 다음과 같음

정책타입			정책	대안시나리오 적용시기				
				2010	-	2020	-	2030
BAU 시나리오			기 확정된 토지이용 및 교통정책	-				
대안정책	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					
	교통정책	자가	중심지 주차비용 증감					
			중심지 외 지역의 주차비용 증감					
			혼잡통행료증감					
		대중교통	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 1-6-12> 시나리오 매트릭스

(2) BAU 시나리오 구축

○ 시나리오 범위설정

- 공간적 범위 : 서울 대도시권 (서울시, 인천시, 경기도 포함)
- 시간적 범위 : 2010년~2030년
- 내용적 범위 : 4차년도 모델 구동에 기초가 되는 참조(BAU) 시나리오 작성

○ 시나리오 수집 데이터

- 현재 서울시를 비롯해 인천과 경기도는 지속적으로 재개발과 재건축이 이루어지고 있으며, 신규로 택지개발사업도 추진 중에 있음
- 참조 시나리오를 작성하기 위해서는 관련 계획의 반영이 요구됨
- 따라서 2010년 이후 준공예정인 수도권의 재개발/재건축/도시환경정비/택지개발사업 자료를 모두 수집하여 최대한 구득 가능한 범위의 데이터를 입력하였음
- 참조 시나리오는 이들 모든 사업이 예상 준공연도에 완료된다는 가정을 하였음 (추후 수정 가능)
- 서울시 : 택지개발사업, 도시개발사업, 도시환경정비, 재개발, 재건축(출처 : 대한민국 관보,

서울클린업 시스템, 서울 열린 데이터 광장, 서울시설공단 홈페이지)

- 경기도 : 택지개발사업, 뉴타운(도시개발), 도시환경정비, 주거환경정비사업, 재개발, 재건축 (출처 : 대한민국 관보, 경기도청 홈페이지, Daum 부동산)
- 인천시 : 택지개발사업, 도시환경정비사업, 주거환경정비, 재개발, 재건축 (출처 : 대한민국 관보, 인천지역개발사업현황(인천광역시의회, 2008), Daum 부동산)
- 수집한 개발사업 중 사업시행인가일이 있는 데이터만 시나리오에 활용함

○ 구역지정 또는 사업시행인가 후 건축물 소멸일과 예정 준공연도 추정

- 수도권의 도시환경정비사업과 택지개발의 경우 예정 준공연도가 없는 자료가 대부분이며, 구역지정 또는 사업시행인가 후 계속 진행되고 있는 상황임
- 참조 시나리오를 작성하기 위해서는 개발 시기와 개발 양에 관한 구체적인 자료가 요구되므로, 구역지정일 또는 사업시행인가일을 기준으로 예정 준공연도 추정이 불가피함
- 특히, 시나리오를 통해 개발 사업들을 모델에 적용하기 위해서는 요구 공실량 확보 기준일과 연면적 소실 기준일, 그리고 개발이 완료되는 준공일 입력이 요구됨
- 이에 기존연구를 활용하여 개발 사업의 단계별 시기를 추정하였음. 연구에 따르면 1973년부터 2009년 말 기준으로 서울시에서 이루어진 464개 재개발지역에 대한 정보를 다루고 있으며, 시기별 사업기간에 대한 평균 자료를 활용
- 기존연구를 참고해 시기별 사업기간을 추정한 결과 1985년 9월 30일 이전 구역지정 된 사업이 가장 긴 사업기간을 소요하며, 1998년 4월 30일부터 2000년 7월 14일까지 구역 지정된 사업의 소요시간이 가장 짧음
- 시행인가일이 확보된 사업 중 관리처분인가일, 착공일, 준공일이 없는 사업은 아래 표를 기준으로 단계별 진행 일을 추정함

<표 1-6-2> 시기별 사업기간 (단위:일)

년도	구역지정 ~ 시행인가	시행인가 ~ 관리처분	관리처분 ~ 준공	소요기간
1984~1985.9.30 이전	4,242	978	1,172	6,206
1985.9.30~1990.4.10	1,197	1,137	694	2,946
1990.4.10~1998.4.29	1,061	750	995	2,806
1998.4.30~2000.7.14	878	399	970	2,146
2000.7.15이후~	760	480	1,078	2,318

출처: 용적률시기별 사업기간(이도길 등, 2010,)

<표 1-6-3> 기존연구를 기초로 추정된 개발사업 단계별 시기 추정일 (단위:일)

년도	관리처분 인가일	착공일 (기존개발일 기준)	준공일
1984~1985.9.30. 이전	시행인가 + 978	시행인가 + 1,224	시행인가 + 2,150
1985.9.30~1990.4.10	시행인가 + 1,137	시행인가 + 1,383	시행인가 + 1,831
1990.4.10~1998.4.29	시행인가 + 750	시행인가 + 996	시행인가 + 1,745
1998.4.30~2000.7.14	시행인가 + 399	시행인가 + 645	시행인가 + 1,369
2000.7.15.이후~	시행인가 + 480	시행인가 + 726	시행인가 + 1,558

○ 개발대지면적 비율과 용적률 추정

- 대부분의 자료에서 총 개발연면적 없이 대지면적과 용적률의 자료만 수집이 가능. 따라서 전체 대지면적 중 개발면적의 비중 비율을 추정하여 용적률을 곱해 총 개발연면적 추정이 필요
- 서울시 도시환경정비 사업지구 21개 지역의 사업구역면적 대비 기부채납부담비율 자료를 참고하여 산출한 평균 기부체납비율은 19.53%인데, 이를 반영하여 각 사업지구별 대지면적의 80.47%를 개발대지면적으로 산정
- 용적률은 각 개발사업 유형별로 분류하고 기존 사업별 용적률을 산정함(택지개발사업 : 200% 도시환경정비사업 : 522.54% 재개발 : 241.46% 재건축 : 250.30%)

○ 추정된 총 개발연면적에서 주거용도 연면적 비율 추정

- 대부분 수집된 자료는 총 개발연면적 또는 대지면적과 용적률 자료만 수집이 가능하며, 추정을 통해 개발 연면적 중 주거용도의 연면적 비율을 산정
- 기존연구는 재개발사업기간에 대한 영향요인을 분석을 통해 1973년부터 2009년 말 기준으로 서울시에서 이루어진 464개 재개발지역에 대한 정보를 다루고 있으며, 용도별 연면적에서 주거용 용도면적 비율 91.5% 활용
- 주거외 용도는 기존 개발된 사업지구를 대상으로 평균 소멸 및 용도별 연면적 비율을 산출(소멸면적 : 40% 사무용도 : 1.75% 판매업 : 0.71% 서비스 : 1.95% 의료 : 0.21% 교육 0.76% 제조업 3.12%)

<표 1-6-4> 주거용도 연면적 비율 추정

변수		평균	최소	최대
용도 (%)	주거용	91.5	36.3	100
	판매용	1.0	0	44.8
	업무용	0.2	0	11.9
	근린생활용	4.0	0	36.4
	용도기타	2.0	0	39.8

출처: 기초통계량 비교(현황) (이도길 등, 2010)

○ 택지개발사업 자료수집

- 택지개발사업 시나리오 개발을 위해 LH공사와 각 지자체에서 수도권 내 개발 및 개발 예정인 718개 사업지구를 검토
- 검토대상지 중 본 과업의 시간적 배경인 2010년부터 2030년 내 시행인가와 착공 준공이 예정된 77개 사업지구를 선별
- 대한민국 관보를 검토해 지구해제 및 중단된 12개 사업지구를 제외한 116개 사업지구를 대상으로 함. 지역별 사업지구 개수와 개발 연면적은 아래 표와 같음
- 택지개발사업의 경우 경기도가 54개(70%)로 가장 많은 사업이 진행 및 계획되어 있으며, 서울은 17개(22%), 인천은 6개(8%) 사업이 진행 및 계획

<표 1-6-5> 택지개발사업 지역별 분류

구분		사업 수 (개)	연면적 (㎡)
택지개발사업	서울시	17	7,078,252
	경기도	54	78,110,904
	인천시	6	15,284,799

지역	단지명	지역	단지명
서울	서울강남(보금)	경기	성남판교
서울	서울강일2(임대)	경기	수원광교1단계
서울	서울내곡(보금)	경기	수원호매실(보금전환)
서울	서울마천(국임)	경기	시흥능곡(국임)
서울	서울상암2(임대)	경기	시흥목감(보금전환)
서울	서울서초(보금)	경기	안산신길온천(국임)
서울	서울세곡(국임)	경기	안성뉴타운
서울	서울세곡2(보금)	경기	안양관양(국임)
서울	서울신내2(임대)	경기	양주고읍
서울	서울신내3(국임)	경기	양주광석
서울	서울신정3(국임)	경기	시흥은계(보금)
서울	서울양원(보금)	경기	시흥장현(보금전환)
서울	서울우면2(국임)	경기	안산신길(국임)
서울	서울장지	경기	양주옥정
서울	서울천왕2(국임)	경기	양주회천
서울	서울항동(보금)	경기	오산세교
서울	위례	경기	오산세교2
경기	고양삼송(임대)	경기	용인서천
경기	고양원흥(보금)	경기	의왕포일2(국임)
경기	고양일산2	경기	의정부고산(보금전환)
경기	고양지축(임대)	경기	의정부민락2(임대)
경기	고양향동(보금전환)	경기	이천마장
경기	광명시흥(보금)	경기	파주운정
경기	광명역세권	경기	파주운정3
경기	구리갈매(보금)	경기	평택소사벌
경기	군포당동2(보금전환)	경기	평택청북
경기	군포송정(보금전환)	경기	하남감일(보금)
경기	김포마송	경기	하남미사(보금)
경기	김포양곡	경기	화성동탄
경기	김포양곡2(국임)	경기	화성동탄2
경기	김포한강신도시	경기	화성봉담2(보금전환)
경기	남양주별내(국임)	경기	화성비봉(국임)
경기	남양주지금(보금전환)	경기	화성향남2
경기	남양주진건(보금)	인천	인천가정(보금전환)
경기	남양주진접	인천	인천검단
경기	문산선유5(보금전환)	인천	인천경서(국임)
경기	부천범박(국임)	인천	인천구월(보금)
경기	부천옥길(보금)	인천	인천논현2
경기	성남고등(보금)	인천	인천서창2(보금전환)
경기	성남여수(국임)	-	-

○ 도시개발, 도시환경정비사업, 주거환경정비사업, 재개발, 재건축 사업 자료수집

- 도시개발, 도시환경정비사업, 주거환경정비사업, 재개발, 재건축 사업 시나리오 개발을 위해 서울클린업 시스템, 경기도청 홈페이지, 인천지역개발사업현황, Daum 부동산을 통해 총 1,668개 사업지구를 검토함
- 위 검토대상지 중 본 과업의 시간적 배경인 2010년부터 2030년 내 시행인가와 착공 준공이 예정된 846개 사업지구를 선별함

<표 1-6-6> 도시개발사업 지역별 분류

구분	구분	사업수	연면적 (㎡)
도시개발사업	서울	-	-
	인천	-	-
	경기	-	-
도시환경정비사업	서울	92	10,436,132.6
	인천	16	1,735,574.9
	경기	9	1,325,185.6
도시환경정비사업(뉴타운)	서울	-	-
	인천	-	-
	경기	51	12,056,893.9
주거환경정비사업	서울	-	-
	인천	4	486,191.9
	경기		
재개발사업	서울	250	36,080,901.7
	인천	77	10,443,751.9
	경기	171	28,864,077.6
재건축사업	서울	111	13,626,468.4
	인천	16	1,038,352.3
	경기	49	2,896,449.3

○ BAU 시나리오 구축

- BAU 시나리오는 앞서 구득한 택지개발사업, 도시개발, 도시환경정비사업, 주거환경정비사업, 재개발, 재건축 사업 자료를 통해 구축함
- BAU 시나리오를 토지이용-교통통합모형에 입력하기 위해서는 연도별 각 존 개발 총 연면적 데이터를 구분하고 입력 가능한 형태로 변환하는 작업이 요구됨
- 정책파일은 개발로 인한 요구 공실량 확보 기준일(기존 거주자의 이전), 연면적 소실 기준

일(기존 건축물의 소멸), 개발 완료일을 구분하여 입력함

- 정책파일은 모형이 구동되는 각 연도마다 각 정책파일이 작성되며, 각 연도별로 변화(공실, 연면적 소실, 개발완료)가 있는 지역만 기재함
- 연면적 소실양은 해당 지역의 각 용도별 건축물 연면적이 감소하기 때문에 음수(-)임

공실량 확보 정책파일

PD1001: Exogenous Development

SpCt	Zone	QuantityFsp	QualityFsp.	LandOccupid
2	39	6.3003E+02	1.0000E+00	6.3003E+02
2	43	5.1171E+02	1.0000E+00	5.1171E+02
2	98	1.8468E+03	1.0000E+00	1.8468E+03
2	102	1.3156E+03	1.0000E+00	1.3156E+03
2	113	5.5057E+02	1.0000E+00	5.5057E+02
2	143	5.0919E+02	1.0000E+00	5.0919E+02
2	152	7.8412E+03	1.0000E+00	7.8412E+03
2	154	1.4654E+03	1.0000E+00	1.4654E+03
2	156	2.4232E+03	1.0000E+00	2.4232E+03
2	159	1.4713E+03	1.0000E+00	1.4713E+03
2	171	1.1111E+03	1.0000E+00	1.1111E+03
2	172	6.9231E+03	1.0000E+00	6.9231E+03
2	199	7.6954E+02	1.0000E+00	7.6954E+02
2	224	3.6228E+03	1.0000E+00	3.6228E+03
2	241	1.5445E+04	1.0000E+00	1.5445E+04

연면적 소실 정책파일

PD1002: Demolish Floorspace

SpCt	Zone	QuantityFsp	LandOccupid
1	13	-3.2108E+04	-3.2108E+04
1	52	-5.6041E+03	-5.6041E+03
1	55	-7.8366E+04	-7.8366E+04
1	67	-8.2998E+04	-8.2998E+04
1	94	-2.3942E+04	-2.3942E+04
1	96	-1.3536E+05	-1.3536E+05
1	110	-1.7621E+04	-1.7621E+04
1	128	-7.1038E+03	-7.1038E+03
1	149	-1.7169E+04	-1.7169E+04
1	204	-4.2012E+04	-4.2012E+04
1	269	-3.9404E+03	-3.9404E+03
1	281	-1.0199E+03	-1.0199E+03
1	308	-3.0055E+03	-3.0055E+03
1	309	-1.2292E+03	-1.2292E+03
1	327	-4.7413E+03	-4.7413E+03

개발완료 정책파일

PD1003: Exogenous Development

DvPr	Zone	QuantityFsp	QualityFsp.	PerFSpUsed
1	39	3.2918E+04	1.0000E+00	3.2918E+04
1	43	2.6736E+04	1.0000E+00	2.6736E+04
1	98	9.6490E+04	1.0000E+00	9.6490E+04
1	102	6.8735E+04	1.0000E+00	6.8735E+04
1	113	2.8766E+04	1.0000E+00	2.8766E+04
1	143	2.6604E+04	1.0000E+00	2.6604E+04
1	152	4.0968E+05	1.0000E+00	4.0968E+05
1	154	7.6563E+04	1.0000E+00	7.6563E+04
1	156	1.2661E+05	1.0000E+00	1.2661E+05
1	159	7.6873E+04	1.0000E+00	7.6873E+04
1	171	5.8055E+04	1.0000E+00	5.8055E+04
1	172	3.6172E+05	1.0000E+00	3.6172E+05
1	199	4.0207E+04	1.0000E+00	4.0207E+04
1	224	1.8928E+05	1.0000E+00	1.8928E+05
1	241	8.0699E+05	1.0000E+00	8.0699E+05

<그림 1-6-13> BAU 시나리오 정책파일(2010년 예시)

(3) 대안 시나리오 구축

○ 대안시나리오 분석개요

- 토지이용과 교통의 다양한 정책수단 조합이 각각의 시나리오로 구성될 수 있도록 시나리오 매트릭스를 구성하고, 구성된 시나리오의 분석결과를 중심으로 장기적인 효과를 비교분석 함

○ 시나리오 수립과정

- 시나리오 적용대상 선정 (1단계) : 시나리오 적용 대상이 되는 지역을 선정하고, 그 효과는 해당 지역뿐만 아니라 그 주변지역에까지 미치는 영향을 장기적으로 분석함
- 시나리오 적용방향 결정 (2단계) : 선정된 지역을 대상으로 토지이용-교통 시나리오 매트릭스를 이용하여 다양한 토지이용 및 교통 정책들이 조합된 시나리오 적용방향을 결정함
- 시나리오 적용내용 결정 (3단계) : 2단계에서 결정된 시나리오의 적용방향을 중심으로 구체적인 정책의 강약을 조절하여 각각의 시나리오 적용 내용을 결정함

○ 분석대상지 지자체와의 협의

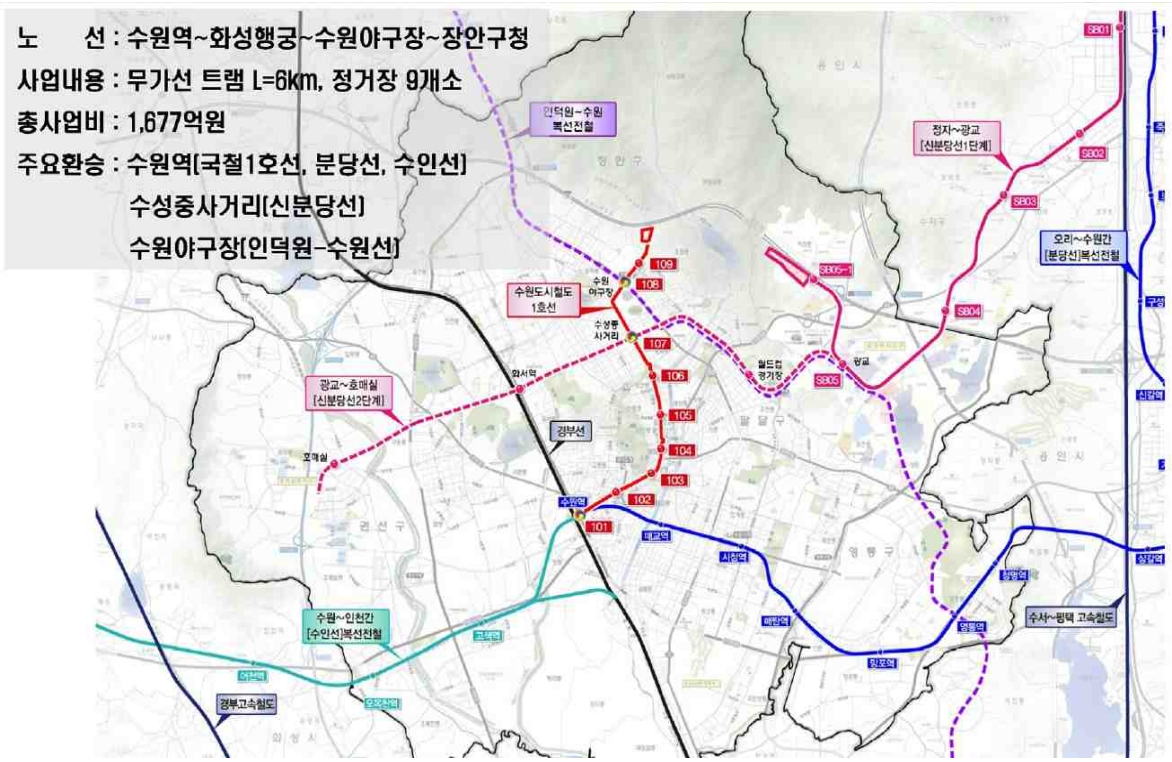
- 분석대상지(수원) 지자체의 주요 관심 정책을 확인하고 관련된 정보를 수집하기 위하여 수원시정연구원과의 여러 차례 협의를 수행함
- 주요 협의 절차는 이메일과 대면접촉을 통해 이루어 졌으며 협의 과정은 다음과 같음

<표 1-6-7> 수원시와의 주요 협의내용

일시	주요 협의내용	협의방법
14년 1월	수원 시정연구원에 토지이용-교통 통합모형에 관한 소개	대면접촉
14년 1월	모델 구동을 위한 기초 데이터 수원시정연구원에 요청	이메일
14년 3월	수원시 버스관련 자료 수령	이메일
14년 5월	수원시 토지이용관련 자료 수령	이메일
14년 6월	수원시 교통관련 자료 수령	이메일
14년 9월	시나리오 구축을 위한 정책 관련 설문 조사	이메일
14년 10월	수원시의 개발계획자료 수령	이메일
14년 11월	수원시정연구원에 관련자료 재요청 및 수령	이메일
15년 4월	수원시 전문가 의견수렴을 위한 회의	대면접촉
15년 9월	트램 및 버스노선 수정관련 자료 수령	대면접촉

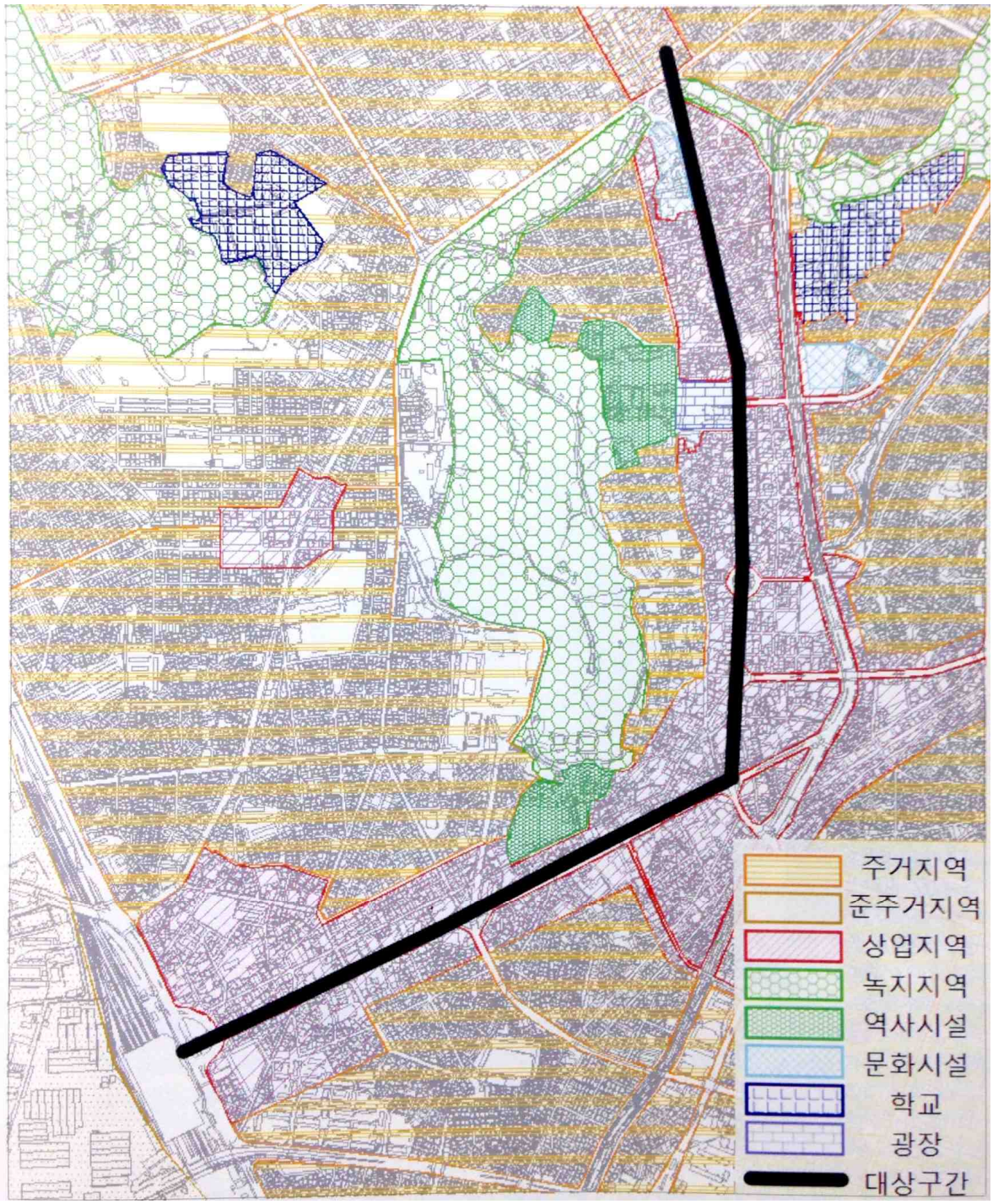
○ 교통부분 대안 시나리오 구축

- 수원시 및 수원시정연구원과의 수차례 협의를 통해 탄소저감과 관련하여 수원시의 주요 정책사항은 노면전차계획으로 확인되었음
- 수원시 노면전차계획은 2017년에 개통을 목표로 하고 있으며, <그림 1-6-14>와 같이 주요 노선은 수원역을 기점으로 하여 장안구청까지 총 6km의 무가선 트램을 계획하고 있음



<그림 1-6-14> 수원시 노면전차 계획안 (박래헌 2013)

- 수원시는 노면전차 계획과 함께 해당 지역의 노면전차 대중교통전용지구 대상지를 계획하고 있음. 노면전차 대중교통 대상지는 수원역에서 장안문까지(매산로-정종로) 구간이 선정되었으며, 총 연장은 3.4km에 달함
- 대상가로 주변은 상업지역이며, 수원화성, 팔달문, 장안문 등의 역사문화시설도 위치하고 있어 사람들을 유입할 수 있는 요소가 다분함
- 특히 수원역, 수원천을 중심으로 상권이 형성되어 있음



<그림 1-6-15> 수원시 노면전차 대중교통전용지구 대상지
(수원시 대중교통전용지구 타당성 및 기본계획 수립 최종보고서, 2014)

- 수원시정연구원은 노면전차 대중교통전용지구 도입구간을 계획하는데 있어서 노면전차 도입구간인 매산로에서 정조로에 이르는 구간(수원역～장안문로터리)을 포함하여 주 우회도로인 경수대로(육교사거리～장안문로터리), 팔달로(인계사거리～창룡문로터리), 인계로(인계사거리～팽나무고개 삼거리), 중부대로(중동사거리～동수원사거리)등 5개 구간으로 선정함
- 수원시정연구원은 노면전차 도입구간인 수원역～장안문의 구간에 대해 통행특성을 고려하여 4개 구간으로 구분하고, 각 구간별 버스 통행허용 여부에 따라 총 5개의 시나리오를 설정하여 장·단점 분석을 통해 적합한 시나리오에 대하여 시뮬레이션 분석을 실시함
- 수원시정연구원에서 수행한 시나리오 시뮬레이션의 종류는 <표 1-6-8>과 같음
- 시나리오 분석결과, 시나리오 2의 경우 <그림 1-6-16>과 같이 기존버스 노선 중 법원경찰청 방향과 시청방향간 운행하는 버스노선을 우회 없이 기존대로 운행할 수 있고, 교통사거리에서의 버스와 트램의 연계환승이 용이하다는 판단 하에 현실적인 시나리오로 판단되었음
- 이에 교통부분의 대안시나리오를 구축하는데 있어 노면전차의 노선 및 운행정보를 입력하였고, 대중교통전용지구의 구역을 시나리오 2(교동사거리～중동사거리 구간에 버스통행허용)를 반영하였음

<표 1-6-8> 수원시 노면전차 대중교통전용지구 시나리오

	시나리오 주요내용
시나리오 1	수원역～장안문 전 구간에 대해 노면전차만 통행하는 시나리오
시나리오 2	교동사거리～중동사거리 구간에 대해 버스 통행을 허용하는 시나리오
시나리오 3	수원역～도청오거리, 교동사거리～중동사거리 구간에 대해 버스 통행을 허용하는 시나리오
시나리오 4	수원역～중동사거리 구간에 버스 통행을 허용하는 시나리오
시나리오 5	수원역～장안문 전 구간에 대해 버스 통행을 허용하는 시나리오



<그림 1-6-16> 수원시 노면전차 대중교통전용지구 버스운행구간별 시나리오 분석결과
(수원시 대중교통전용지구 타당성 및 기본계획 수립 최종보고서, 2014)

- 버스우회차선계획은 수원역~중동사거리~동수원사거리 구간을 운행하는 8개 노선의 경우 권선로·정조로의 대체 경로 1을 이용하거나, 중동사거리에서 회차하는 대체 경로 2를 이용함

<표 1-6-9> 수원역~중동사거리~동수원사거리 구간 운행 8개 노선 대체 경로

대체 경로	해당 노선	비 고
대체 경로 1 (권선로·정조로 경유)	11-1, 13-4, 15-1, 37, 720-2, 730	
대체 경로 2 (중동사거리 회차)	10-2, 10-5	수원역 회차 노선

<표 1-6-10> 수원역~교동사거리~인계사거리 구간 운행 3개 노선 대체 경로

대체 경로	해당 노선	비 고
권선로·정조로 경유	2-1, 9, 9-1	

<표 1-6-11> 장안문~중동사거리~동수원사거리 구간 운행 9개 노선 대체 경로

대체 경로	해당 노선	비 고
경수대로·팔달로 경유	3, 27, 58, 61, 62, 62-1, 65, 66, 88	

- 교동사거리~장안문 구간을 운행하는 13개 노선의 경우 경수대로·팔달로의 대체 경로 1을 이용하거나, 팔달로를 경유하여 수원역을 연결하는 대체 경로 2를 이용함
- 36번의 경우 수원1호선과의 경로가 중복되어 수원역~장안구청 구간을 단축함

<표 1-6-12> 교동사거리~장안문 구간 운행 13개 노선 대체 경로

대체 경로	해당 노선	비 고
대체 경로 1 (경수대로·팔달로 경유)	8, 20-1, 25, 25-1, 35, 64, 98, 112	20번: 팔달문 미경유로 변경
대체 경로 2 (팔달로 경유)	11, 13, 3000	수원역 회차 노선 36번: 수원역~장안구청 단축

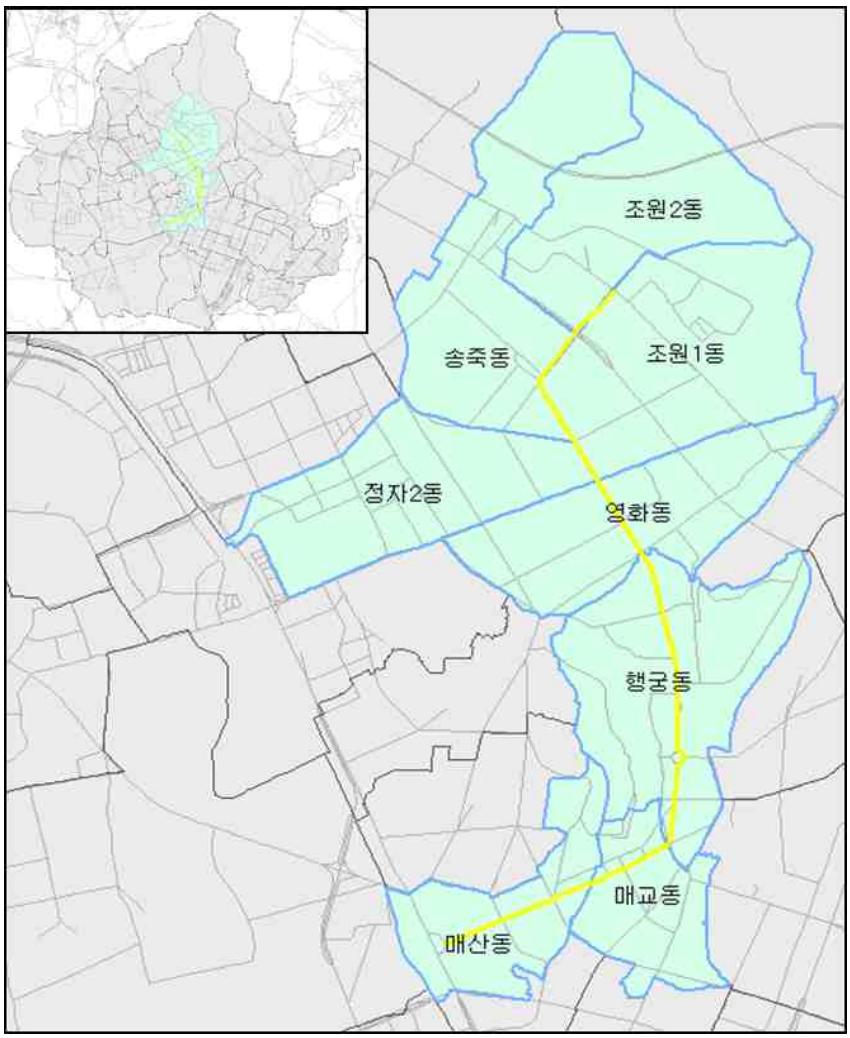
- 창룡대로~장안문 구간을 운행하는 4개 노선의 경우 경수대로·팔달로의 대체 경로를 이용하며, 창룡대로~중동사거리 구간을 운행하는 3개 노선의 경우 2개 노선은 경수대로·중부대로의 대체 경로를, 1개 노선은 수원천로를 대체 경로로 이용함
- 다만 수원천로를 대체 경로로 운행하는 2-2번 노선의 경우, 도로폭 및 회전반경의 한계로 인하여 중형 이하의 차량을 투입하는 것을 검토할 필요가 있음

<표 1-6-13> 창룡대로~장안문/중동사거리 구간 운행 7개 노선 대체 경로

대체 경로	해당 노선	비 고
대체 경로 1 (경수대로·팔달로 경유)	7-2, 60, 660, 700-2	
대체 경로 2 (경수대로·중부대로 경유)	400, 400-4	
대체 경로 3 (수원천로 경유)	2-2	

○ 토지이용부분 대안 시나리오 구축

- 토지이용부분 대안 시나리오는 노면전차가 통과하거나 또는 접하는 행정동을 대상(트램 직접 영향권)으로 허용용적률을 상향하는 방법으로 구축함
- <그림 1-6-17>과 같이 트램 직접 영향권은 총 8개 동으로써 매산동, 매교동, 행군동, 영화동, 조원1동, 조원2동, 송죽동, 정자2동으로 구성되어 있음
- 허용 용적률 상향치는 기준년도(2010년)의 각 행정동의 주거용동, 판매용도, 업무용도의 용적률을 기준으로, 주거용도는 20% 판매 및 업무용도는 10%씩 산정하였음
- 수원시의 트램 직접 영향권외 지역 (31개 동)의 용적률은 BAU 시나리오와 차이 없이 기 확정된 사업내용만 추가적으로 개발되는 사항으로 제한하였음



<그림 1-6-17> 토지이용부분 대안시나리오 적용 대상지

○ 대안시나리오 구축

- 대안시나리오는 <그림 1-6-18>과 같이 기존 구축한 시나리오 매트릭스를 기반으로 구축함
- 기 확정된 토지이용 및 교통정책안을 기초로 구축한 BAU 시나리오를 기준으로 대안 시나리오 매트릭스는 구성됨

- BAU 시나리오를 기준으로 교통부분의 대안시나리오를 추가적으로 반영한 정책을 대안시나리오 1로 설정함

정책타입			정책	대안시나리오 적용시기				
				2010	-	2020	-	2030
BAU 시나리오			기 확정된 토지이용 및 교통정책	-				
대안정책	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					
	교통정책	자가	중심지 주차비용 증감					
			중심지 외 지역의 주차비용 증감					
			혼잡통행료증감					
		대중교통	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 2-6-18> 대안시나리오 1 매트릭스

- 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	-				
대안정책	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		√			
	교통정책	자가	중심지 주차비용 증감					
			중심지 외 지역의 주차비용 증감					
			혼잡통행료증감					
		대중교통	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 2-6-19> 대안시나리오 2 매트릭스

다. 시나리오 적용을 통한 통합모형 개선

(1) 토지이용모델 개선

(가) 변화(Transition) 하위모형

○ 변화 하위모형은 가구와 기업 등 활동주체의 형성, 변화, 해체, 그리고 성장에 대한 총량 변화를 예측함

- 세부내용

$H(P)_{pa}^{h} = \sum_{i}(H(A)_{ip}^{k} + H(N)_{ip}^{k} + H(T)_{ip}^{k})$ ---------- (가구 변화 예측)

$H(A)_{p*}^{h} = \sum_{i} H_{ti}^{h} \bullet x_{p}^{h} \bullet a_{p}^{h}$

단, $H(A)_{p*}^{h}$: p기간 동안 유입되는 가구유형 h의 총 수

H_{ti}^{h} : t시점에 존 i에서의 가구유형 h 수

x_{p}^{h} : p기간 동안 유출되는 가구유형 h의 비율(*)

a_{p}^{h} : p기간 동안의 유출 대비 유입 비율(*)

$H(N)_{p*}^{k} = \sum_{i}\sum_{k} H_{ti}^{h} \bullet n_{p}^{hk}$

단, $H(N)_{p*}^{k}$: p기간 동안 새로 형성되는 가구유형 k의 총 수

n_{p}^{hk} : p기간 동안 각 가구유형 h로부터 형성되는 가구유형 k의 수

$H(UT)_{ip}^{hk} = \left[H(U)_{ti}^{h} - H(UD)_{ip}^{h}\right] \bullet t_{p}^{hk}$

$H(CT)_{ip}^{hk} = \left[H(C)_{ti}^{h} - H(CD)_{ip}^{h}\right] \bullet t_{p}^{hk}$

단, $H(UT)_{ip}^{hk}$: p기간 동안 존 i에서 가구유형 h로부터 가구유형 k로 변화하지 않는 가구수

$H(U)_{ti}^{h}$: t시점에 존 i에서 가구유형 h로부터 변화하지 않는 가구수

$H(UD)_{ip}^{h}$: p기간 동안 존 i에서 변화하지 않는 가구유형 h의 유출 가구수

$H(CT)_{ip}^{hk}$: p기간 동안 존 i에서 가구유형 h로부터 가구유형 k로 변화하는 가구수

$H(C)_{ti}^{h}$: t시점에 존 i에서 가구유형 h로부터 변화하는 가구수

$H(CD)_{ip}^{h}$:p기간 동안 존 i에서 변화하는 가구유형 h의 유출 가구수

t_{p}^{hk} : p기간 동안 존 i에서 가구유형 h로부터 가구유형 k로의 변화율(*)

$H(T)_{p*}^{k} = \sum_{h}(H(UT)_{ip}^{hk} \bullet P(U)_{p}^{hk}) + \sum_{h}(H(CT)_{ip}^{hk} \bullet P(C)_{p}^{hk})$

단, $H(T)_{p*}^{k}$: p기간 동안 가구유형이 변화하는 가구유형 k의 총 수

$H(UT)_{ip}^{hk}$: p기간 동안 존 i에서 각 가구유형 h로부터 변하지 않는 가구유형 k의 수

$H(CT)_{ip}^{hk}$: p기간 동안 존 i에서 각 가구유형 h로부터 변하는 가구유형 k의 수

$P(U)_{p}^{hk}$: p기간 동안 각 가구유형 h로부터 변하지 않는 가구유형 k의 비율(*)

$P(C)_{p}^{hk}$: p기간 동안 각 가구유형 h로부터 변하는 가구유형 k의 비율(*)

$$H(M)_{ip}^{h} = H(T)_{ip}^{h} + \sum_{h}(H(C)_{ti}^{h} - H(CD)_{ip}^{h})(1-t_{p}^{hk}) + \sum_{h}(H(U)_{ti}^{h} - H(UD)_{ip}^{h})(1-t_{p}^{hk})m_{p}^{h}$$

-파라미터 정산 내용

$$H(I)_{ip}^{h} = \sum_{h}(H(U)_{ti}^{h} - H(UD)_{ip}^{h})(1-t_{p}^{hk})(1-m_{p}^{h})$$

단, $H(M)_{ip}^{h}$, $H(I)_{ip}^{h}$: p기간 동안의 자발적 (미)이동 가구수, m_{p}^{h} : p기간 동안 가구유형 h의 자발적 이동률(*)

$$E_{(t+1)i}^{s} = E_{ti}^{s}(1+g_{p}^{s}) \text{ ---------- (직장 변화 예측)}$$

$$E(M)_{ip}^{s} = E_{ip}^{s} \bullet m_{p}^{s}$$

단, $E_{(t+1)i}^{s}$: $(t+1)$시점에서의 직장수

E_{ti}^{s} : t시점에서의 직장수

g_{p}^{s} : p기간 동안의 성장계수(*)

$E(M)_{ip}^{s}$: p기간 동안의 직장 이동률(*)

-파라미터 정산 내용

· 가구수 변화: ⅰ) 가구유형별 장기적인 변화 목표값 설정

ⅱ) 파라미터 초기값 산출

ⅲ) 가구유형별 목표치값과 모형 추정값 비교를 통한 파라미터 정산

· 직장수 변화: ⅰ) 산업유형별 장기적인 직장수 변화 목표값 설정

ⅱ) 산업유형별 목표값에 대한 추세함수 추정을 통한 파라미터 정산

-가구수 변화 예측

· 가구수 변화 예측을 위한 파라미터 정산 관련 방법론과 활용 자료의 출처는 다음의 표와 같음

<표 1-6-14> 가구수 변화 예측을 위한 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처

내용	방법론	출처
가구유형별 목표값 설정	-수도권에 대한 장래가구추계의 연도별 가구유형별 변화 예측량 산출	장래가구추계 (2010-2030)
파라미터 초기값 설정	-연도별 조사자료 상호 비교를 통한 가구형성 비율, 가구소멸・전입・전출 비율, 가구유형 간 변화율 산출	한국노동패널 (2009-2012)

・장래가구추계의 세대별 가구수 추계치를 토지이용모델에서 정의한 10개 가구유형별로 재분류하여 수도권 전체에 대한 2010년부터 2030년까지 개별 연도의 가구유형별 예측량을 산출하였음

<표 1-6-15> 가구유형별 변화 예측량

년도	YS	OS	RS	YC	OC	RC	Sc	Cc	3A	3Ac
2010	649,533	848,603	324,712	184,482	500,004	362,063	798,624	3,433,478	584,224	568,557
2011	684,625	889,194	343,398	186,187	520,863	379,107	823,378	3,386,298	619,165	582,942
2012	696,623	926,670	366,347	185,175	542,058	401,333	846,192	3,353,721	632,641	588,118
2013	709,604	965,071	391,109	183,858	564,817	424,918	869,432	3,322,283	648,871	593,647
2014	720,578	1,005,107	415,555	180,693	589,838	447,657	892,278	3,289,835	666,985	598,052
2015	727,951	1,048,151	439,544	175,362	618,057	469,109	914,416	3,258,148	685,817	601,561
2016	734,022	1,092,768	463,296	169,017	648,230	489,368	935,852	3,227,308	704,212	604,699
2017	740,378	1,134,805	489,723	162,902	676,335	512,309	956,297	3,194,056	723,477	607,975
2018	748,349	1,172,588	518,410	158,117	701,673	538,157	975,871	3,157,653	744,278	611,377
2019	758,121	1,204,830	548,889	155,122	723,704	567,092	994,875	3,117,947	767,254	615,249
2020	767,350	1,228,018	586,134	155,301	737,966	603,431	1,012,997	3,073,156	793,428	619,973
2021	775,954	1,250,139	623,540	155,533	751,822	639,596	1,031,037	3,030,465	819,719	624,746
2022	783,947	1,271,311	661,070	155,800	765,248	675,554	1,049,064	2,989,738	846,114	629,473
2023	788,329	1,286,706	704,073	157,977	773,180	717,220	1,065,024	2,944,501	873,279	634,345
2024	788,074	1,300,381	748,370	159,657	779,668	762,052	1,079,750	2,897,280	901,263	639,139
2025	782,733	1,312,949	793,891	160,075	784,833	809,616	1,093,579	2,849,151	929,132	644,208
2026	771,882	1,325,583	840,088	158,811	789,042	858,135	1,106,655	2,802,105	955,959	649,383
2027	757,018	1,338,481	887,554	155,647	792,994	905,806	1,118,652	2,756,395	979,972	654,583
2028	739,093	1,351,978	935,192	151,117	797,520	951,840	1,129,580	2,712,253	1,000,517	659,993
2029	720,082	1,365,004	982,697	146,196	802,532	996,391	1,139,479	2,669,609	1,017,499	665,995
2030	701,270	1,376,693	1,030,059	141,122	807,456	1,039,165	1,148,666	2,628,654	1,030,391	672,544

・한국노동패널은 패널가구에 대한 추적조사를 수행하는 자료로, 2009년부터 2012년까지 자료를 토대로 가구유형별 형성률, 소멸・전입・전출률, 가구유형 간 변화율에 대하여 연도별 자료의 상호 비교를 통하여 확인한 결과는 다음과 같음

<표 1-6-16> 가구유형별 형성률

↙	YS	YC	Cc	Sc	3Ac	3A	OC	OS	RC	RS
YS	0.000000	0.000527	0.001295	0.000000	0.012347	0.007503	0.000000	0.000000	0.001165	0.000000
YC	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.004718	0.006578	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Cc	0.000000	0.000000	0.000682	0.000000	0.000208	0.000701	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sc	0.000000	0.000000	0.000528	0.000000	0.002977	0.000852	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3Ac	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000436	0.001106	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3A	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001262	0.002072	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
OC	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000973	0.001277	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
OS	0.000000	0.000000	0.000008	0.000000	0.000168	0.000516	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
RC	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.008009	0.000175	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
RS	0.000000	0.000000	0.000537	0.000000	0.001358	0.000737	0.000000	0.000000	0.000506	0.000000

<표 1-6-17> 가구유형별 소멸・전입・전출률

가구유형	소멸률	전입/전출률	전출률
YS	0.002004	1.1700	0.0545
YC	0.001000	0.9055	0.0240
Cc	0.001431	1.4676	0.0079
Sc	0.001000	1.2669	0.0094
3Ac	0.001000	1.0730	0.0065
3A	0.001600	1.1665	0.0243
OC	0.002837	0.4167	0.0201
OS	0.004202	0.4089	0.0309
RC	0.001344	0.4625	0.0088
RS	0.024691	0.7081	0.0106

<표 1-6-18> 가구유형 간 변화율

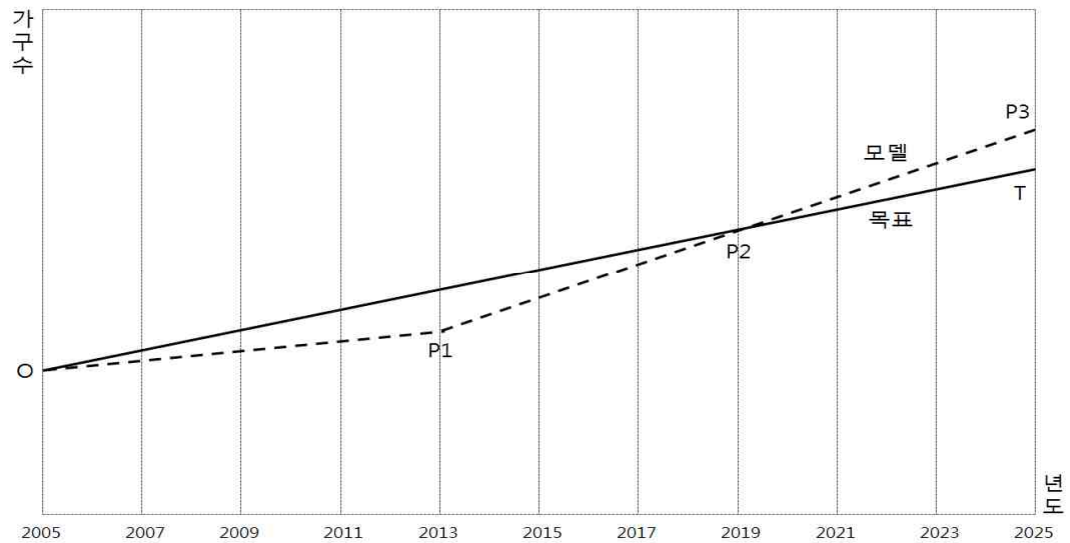
↙	YS	YC	Cc	Sc	3Ac	3A	OC	OS	RC	RS
YS	0.807933	0.034014	0.000362	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001422	0.000000	0.004255
YC	0.081420	0.564626	0.000000	0.009434	0.000000	0.002146	0.000000	0.001422	0.000000	0.000000
Cc	0.025052	0.299320	0.943820	0.094340	0.024638	0.000000	0.039017	0.008535	0.000000	0.000000
Sc	0.002088	0.000000	0.003262	0.839623	0.000000	0.000000	0.000000	0.002845	0.000000	0.002128
3Ac	0.000000	0.000000	0.041682	0.000000	0.786957	0.006974	0.004335	0.002845	0.002695	0.000000
3A	0.006263	0.003401	0.009061	0.000000	0.182609	0.906116	0.013006	0.004267	0.009434	0.004255
OC	0.010438	0.095238	0.000362	0.056604	0.000000	0.055794	0.833815	0.038407	0.002695	0.000000
OS	0.066806	0.003401	0.001087	0.000000	0.002899	0.002682	0.033237	0.896159	0.000000	0.010638
RC	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.024142	0.070809	0.000000	0.948787	0.002128
RS	0.000000	0.000000	0.000362	0.000000	0.002899	0.002146	0.005780	0.044097	0.036388	0.976596

· 연도별 변화 하위모형 파라미터는 유형별 가구수 목표값과 모형으로부터 도출되는 가구유형별 가구수의 차이를 극소화시키는 값을 도출하였음(조건: △O,P1,P2 + △P2,P3,T의 면적 최소화)

$$Min|\sum \frac{H(F)_t^k - H(R)_t^k}{H(R)_t^k}|$$

단, $H(F)_t^k$: 모델로 예측한 t시점의 k유형 가구수

$H(R)_t^k$: 목표시점 t의 k유형 가구수



<그림 1-6-20> 가구수 변화 예측 관련 파라미터 정산 개념

- 변화 하위모형에서 가구의 자발적 이동률(가구유형의 변화에 영향을 받지 않고 주거이동을 수행하는 것)은 다음과 같은 방법으로 산정되었음

- 세부내용

$$m_p^h = (H_t^h - H(M)_p^{hk}) / H_t^h$$

단, m_p^h: p기간 동안 h유형 가구의 자발적 이동률

H_t^h: t시점의 h유형 가구수

$H(M)_p^{hk}$: p기간 동안 h유형에서 k유형으로 변화한 주거이동 가구수

<표 1-6-19> 가구의 자발적 이동률 산정 방법과 자료 출처

내용	방법론	출처
가구유형별 자발적 이동률	- 수도권 거주가구 중 가구유형 변화 없이 거주지를 이동한 가구의 비율 평균값 도출	한국노동패널 (2001-2008)

<표 1-6-20> 가구유형별 자발적 이동률

가구유형	자발적 이동률
YS	0.35407
OS	0.21783
RS	0.13296
YC	0.23841
OC	0.15714
RC	0.8863
Sc	0.21225
Cc	0.19882
3A	0.11671
3Ac	0.14320

○ 변화 하위모형에서 직장수 변화 예측

- 직장수 변화 예측

・직장수 변화 예측을 위한 파라미터 정산 관련 방법론과 활용 자료의 출처는 다음의 표와 같음

<표 1-6-21> 일자리수 변화 예측을 위한 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처

내용	방법론	출처
산업유형별 목표값 설정	-수도권에 대한 산업유형별 연평균 일자리수 성장률(GrowFac)을 산정하여 장래 일자리추계의 연도별 산업유형별 변화 예측량 산출	통계청 전국사업체총조사 (1993-2010)
파라미터 초기값 설정	-2005, 06, 07, 08, 09, 10 연도별 추계자료와 실제 자료 상호 비교를 통한 산업유형별 일자리수 변화율 산출	통계청 사업체총조사 (2005-2010)

- 산업 유형별 일자리수 변화는 연간 일자리수의 증감률을 GrowFac(일자리수 성장률)로 산정하여 장례 추계 일자리수 변화 예측값을 도출함
- GrowFac를 이용한 연간 일자리수 변화에 대한 식은 다음과 같음

$$New\ Jobs = Old\ Jobs \times (1 + GrowFac)$$

- 기존에는 GrowFac를 기준 연도를 중심으로 동일한 값이 목표연도까지 반영되어 최종 결과값이 단순하게 도출되었음
- 이를 보완하고자 일차적으로 각 산업유형별 고용자수 증감률의 추세를 ln 함수 형태로 도출하여 장기적인 고용자수를 도출하고, 도출된 연도별 고용자수를 기준으로 각 연도별 GrowFac 값을 산출하여 매년 다른 값을 반영
- 산업 유형별 추세함수의 계수는 아래 표와 같음

<표 1-6-22> 1993-2010년까지의 산업유형별 일자리수 변화 추세함수

ypes	a	b	R2
Office	295,820	521,871	0.6912
Retail	60,057	1,000,000	0.3935
Service	435,380	1,000,000	0.8375
Health	114,200	41,779	0.7055
Research	153,847	144,209	0.8202
Industrial	- 200,000	3,000,000	0.5541
Others	- 6,139	22,615	0.8479

· 산업유형별 추세 함수와 GrowFac 산정 식을 이용하여 각 연도별 GrowFac를 아래 표와 같이 산정하였음

<표 1-6-23> 산업유형별 성장률(GrowFac)

Grow Fac	Office	Retail	Service	Health	Research	Industrial	Others
2010	0.01162	0.00277	0.01042	0.01660	0.01413	-0.00446	-0.06814
2011	0.01089	0.00262	0.00979	0.01550	0.01321	-0.00425	-0.06937
2012	0.01025	0.00248	0.00922	0.01451	0.01241	-0.00406	-0.07091
2013	0.00967	0.00236	0.00871	0.01364	0.01168	-0.00389	-0.07277
2014	0.00916	0.00225	0.00825	0.01286	0.01103	-0.00373	-0.07499
2015	0.00869	0.00215	0.00783	0.01216	0.01045	-0.00359	-0.07762
2016	0.00826	0.00206	0.00746	0.01152	0.00992	-0.00345	-0.08071
2017	0.00787	0.00197	0.00711	0.01094	0.00944	-0.00333	-0.08435
2018	0.00751	0.00190	0.00679	0.01041	0.00900	-0.00321	-0.08865
2019	0.00719	0.00182	0.00650	0.00993	0.00859	-0.00311	-0.09373
2020	0.00689	0.00176	0.00623	0.00949	0.00822	-0.00301	-0.09980
2021	0.00661	0.00169	0.00599	0.00908	0.00788	-0.00291	-0.10710
2022	0.00635	0.00164	0.00575	0.00870	0.00756	-0.00283	-0.11602
2023	0.00611	0.00158	0.00554	0.00836	0.00726	-0.00274	-0.12708
2024	0.00588	0.00153	0.00534	0.00803	0.00699	-0.00267	-0.14110
2025	0.00567	0.00148	0.00515	0.00773	0.00673	-0.00260	-0.15937
2026	0.00548	0.00144	0.00498	0.00745	0.00649	-0.00253	-0.18409
2027	0.00530	0.00139	0.00481	0.00718	0.00627	-0.00246	-0.21927
2028	0.00512	0.00135	0.00466	0.00694	0.00606	-0.00240	-0.27315
2029	0.00496	0.00132	0.00451	0.00671	0.00586	-0.00234	-0.36579
2030	0.00481	0.00128	0.00438	0.00649	0.00568	-0.00229	-0.56177

· 장래일자리수추계의 산업유형별 일자리수 추계치를 토지이용모델에서 정의한 7개 산업유형별로 재분류하여 수도권 전체에 대한 2010년부터 2030년까지 개별 연도의 산업 유형별 예측량을 산출하였음

<표 1-6-24> 산업유형별 일자리수 변화 예측량

년도	Office	Retail	Service	Health	Research	Industrial	Others
2010	1376900.8	1173587.1	2258410.1	371859.5	588884.0	2421925.6	4871.0
2011	1392894.9	1176834.2	2281949.8	378033.9	597202.1	2411112.2	4539.1
2012	1408068.5	1179914.7	2304281.9	383891.6	605093.4	2400853.5	4224.2
2013	1422501.6	1182844.9	2325524.2	389463.5	612599.6	2391095.5	3924.7
2014	1436263.2	1185638.7	2345778.1	394776.0	619756.6	2381791.5	3639.1
2015	1449412.9	1188308.4	2365131.5	399852.4	626595.4	2372901.2	3366.2
2016	1462002.9	1190864.4	2383661.1	404712.7	633143.0	2364389.2	3104.9
2017	1474078.8	1193316.0	2401434.2	409374.6	639423.4	2356224.8	2854.3
2018	1485681.1	1195671.5	2418510.1	413853.6	645457.4	2348380.7	2613.5
2019	1496845.5	1197938.1	2434941.5	418163.6	651263.6	2340832.6	2381.9
2020	1507603.7	1200122.2	2450775.2	422316.8	656858.7	2333559.1	2158.6
2021	1517984.5	1202229.7	2466053.3	426324.2	662257.4	2326540.8	1943.2
2022	1528013.2	1204265.7	2480813.3	430195.7	667473.0	2319760.5	1735.0
2023	1537713.1	1206235.0	2495089.3	433940.3	672517.6	2313202.6	1533.8
2024	1547105.0	1208141.7	2508912.1	437566.0	677402.1	2306852.8	1338.8
2025	1556207.9	1209989.8	2522309.5	441080.2	682136.2	2300698.5	1149.9
2026	1565039.0	1211782.6	2535306.8	444489.4	686729.0	2294727.9	966.7
2027	1573614.1	1213523.5	2547927.4	447799.7	691188.6	2288930.4	788.7
2028	1581947.6	1215215.4	2560192.5	451016.9	695522.6	2283296.2	615.8
2029	1590052.7	1216860.9	2572121.4	454145.8	699737.9	2277816.4	447.6
2030	1597941.7	1218462.5	2583732.3	457191.3	703840.7	2272482.8	283.9

○ 변화 하위모형에서 직장 이동률 파라미터 정산

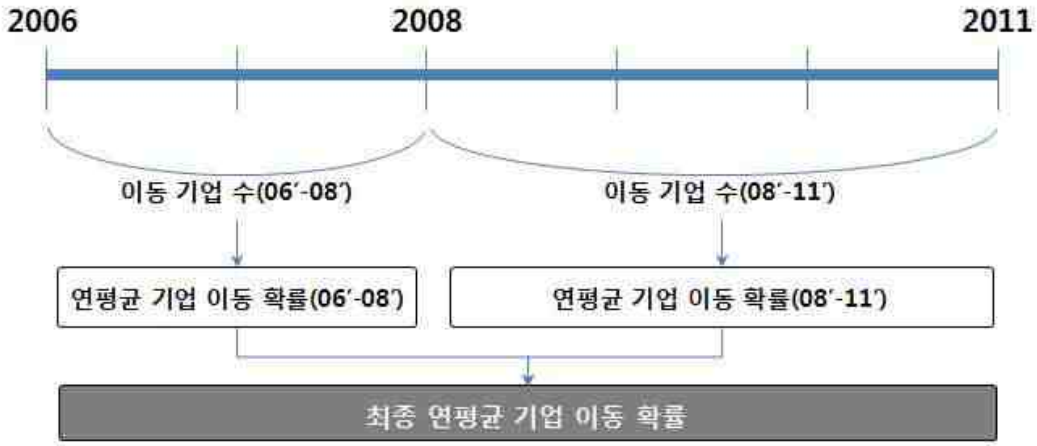
- 직장 이동률 파라미터 정산

· 직장 이동률 파라미터 정산 관련 방법론과 활용 자료의 출처는 다음의 표와 같음

<표 1-6-25> 직장 이동률 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처

내용	방법론	출처
직장 이동률 파라미터 정산	-전국기업체총람(2006, 2008, 2011) 자료를 이용하여, 2006-2008, 2008-2011년의 연평균 산업유형별 기업 이동률 산정 후 최종 2006-2011년 기업 이동률 산정	대한상공회의소 전국기업체총람 (2006, 2008, 2011)

· 2006~2008년과 2008~2011년 연평균 산업 유형별 이동률을 각각 산정하고 2006~2011년의 최종 연평균 이동률을 다시 산정 함



<그림 1-6-21> 연평균 기업 이동 확률 산정 개념

· 위의 방식을 수식으로 표현하여 아래 식과 같음

$$P_k = \frac{1}{n' + m'}\left(n' \frac{F'_{k \cdot n}}{F_{k \cdot n}} + m' \frac{F'_{k \cdot m}}{F_{k \cdot m}}\right)$$

P_k : k산업 유형의 연평균 사업체이동 확률

m : 2006-2008 구간(m': 2년)

n : 2008-2011 구간(n': 3년)

$F'_{k \cdot m}$: k산업 유형의 기업 중 m구간에 이동한 사업체 수

$F_{k \cdot m}$: k산업 유형의 m구간 전체 사업체 수

$F'_{k \cdot n}$: k산업 유형의 기업 중 n구간에 이동한 사업체 수

$F_{k \cdot n}$: k산업 유형의 n구간 전체 사업체 수

· 산업유형별 연평균 사업체이동 확률을 아래 표와 같이 산정하였음

<표 1-6-26> 산업유형별 사업체이동 확률

산업분류		전체 사업체수 (A)	06-08 이동 사업체수 (B)	06-08 사업체 이동률 (C%) (C=B/A)	06-08 연평균 사업체 이동률 (D%) (D=C/2)	08-11 이동 사업체수 (B')	08-11 사업체 이동률 (C'%) (C'=B'/A)	08-11 연평균 사업체 이동률 (D'%) (D'=C/2)	최종 연평균 사업체 이동률 (E%) (E=(D*2+D'*3)/5)
전체		36,611	1,097	2.99	1.50	10,761	29.39	9.80	6.48
1차 산업		93	2	2.15	1.08	20	21.51	7.17	4.73
합계		16,831	466	2.77	1.38	4,356	25.88	8.63	5.73
제조업	경공업	4,250	87	2.05	1.02	1,123	26.42	8.81	5.69
	중공업	6,537	189	2.89	1.45	1,519	23.24	7.75	5.23
	첨단	6,044	190	3.14	1.57	1,714	28.36	9.45	6.30
합계		16,744	517	3.09	1.54	5,375	32.10	10.70	7.04
서비스업	생산자	3,453	111	3.21	1.61	1,258	36.43	12.14	7.93
	소비자	11,734	358	3.05	1.53	3,577	30.48	10.16	6.71
	유통	1,557	48	3.08	1.54	540	34.68	11.56	7.55
건설업		2,689	106	3.94	1.97	958	35.63	11.88	7.91
전기/가스/수도공급업		2	0	0.00	0.00	1	50.00	16.67	10.0
환경정화업		252	6	2.38	1.19	51	20.24	6.77	4.52

· 위의 결과를 근거로 모델에서 필요한 고용산업유형별 이동률을 아래 표와 같이 산정하였음

· 산업유형은 제조업과 건설업의 사업체수를 가중하여 평균 이동률을 산정하였으며, Office, Retail, Service, Health, Research types은 서비스업 이동률을 동일하게 적용하였음

<표 1-6-27> 산업유형별 이동률

Types	Mobility rate
Office	7.54
Retail	7.54
Service	7.54
Health	7.54
Research	7.54
Industrial	6.03
Others	4.73

(나) 고용(Employment) 하위모형

○ 고용 하위모형은 가구유형별 통근패턴을 예측하기 위하여, 가구유형별 평균 아동수, 은퇴자수, 최대·최소 근로자수에 대한 한계치를 파라미터로 도출하며 각각의 파라미터에 대한 산출 방법은 다음과 같음

- 가구유형별 평균 아동수 = 가구유형별 총 아동수 ÷ 가구유형별 총 가구수
- 평균 은퇴자수 = 가구유형별 총 은퇴자수 ÷ 가구유형별 총 가구수
- 최대 근로자수 = 가구유형별 총 근로자수 ÷ 가구유형 별 총 가구수
- 최소 근로자수 = 특별한 조건을 부여하지 않는 경우, 0
- 고용 하위모형의 파라미터는 기준년도의 활동주체 관련 정보(Avzn<><>.dat)를 이용하여 정산할 수 있으며, 정산된 파라미터는 다음과 같음

<표 1-6-28> 가구유형별 고용 하위모형 파라미터 정산 결과

가구유형	평균 아동수	평균 은퇴자수	최대 근로자수	최소 근로자수
YS	0.02526	0.00000	0.97474	0.00000
OS	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000
RS	0.00000	0.84753	0.15247	0.00000
YC	0.00000	0.00000	2.00000	0.00000
OC	0.00000	0.08870	1.91130	0.00000
RC	0.00000	1.42614	0.57386	0.00000
Sc	0.59116	0.12786	1.75498	0.00000
Cc	1.15949	0.03252	2.48082	0.00000
3A	0.05919	0.68252	2.18651	0.00000
3Ac	1.29574	0.74887	2.80276	0.00000

(다) 개발(Development) 하위모형

○ 개발 하위모형은 개발업자에 의해 개발되는 토지이용유형별 개발 총량과 개발이 발생하는 위치를 예측함

-세부내용

$$F(U)^{u}_{p*} = \alpha^{u}_{p} \bullet (\overline{p^{u}_{p}})^{\beta^{u}_{p}} \bullet F^{u}_{t*} \quad \text{----------} \text{(개발 총량 예측)}$$

$$\overline{p^{u}_{p}} = \frac{\sum_{P}\sum_{i}(r^{u}_{ti} - c(P)^{u}_{ip})\,F(P)^{u}_{ip}}{\sum_{P}\sum_{i}F(P)^{u}_{ip}}$$

단, $F(U)^{u}_{p*}$: p기간에 시작되기 위해 제안된 유형 u의 자발적 개발 총 연면적

F^{u}_{t*} : t시점에 존재하는 유형 u의 총 연면적

r^{u}_{ti} : t시점에 존 i의 유형 u의 임대료

$c(P)^{u}_{ip}$: p기간에 시작하는 존 i의 P과정개발의 유형 u에 대한 건설비용(*)

$F(P)^{u}_{ip}$: p기간 동안 존 i의 P과정개발의 유형 u에 대한 신규개발 배분

α^{u}_{p} : 조정 파라미터(*)

β_p^u : 수익률과 관련한 공급탄력성 파라미터(*)

$$F(P)_{ip}^u = F_{p^*}^u \frac{F(\max, P)_{ip}^u \cdot \exp(\gamma_p^u \cdot r_{ti}^u - c(P)_{ip}^u)}{\sum_P \sum_i F(\max, P)_{ip}^u \cdot \exp(\gamma_p^u \cdot r_{ti}^u - c(P)_{ip}^u)} \quad \text{----- (개발 입지 예측)}$$

단, $F(\max, P)_{ip}^u$: p기간 동안 존 i에서 P과정개발의 현재 허용 가능한 개발 연면적

γ_p^u : p기간 동안 기대되는 수익성에 대한 개발 입지의 민감성 파라미터(*)

$F(P)_{ip}^u \leq F(\max, P)_{ip}^u$

- 파라미터 정산 내용

· 개발 하위모형의 개발 총량 예측 관련 파라미터 정산은 다음과 같은 과정을 통하여 진행되었음

ⓐ 토지이용유형별 2011년부터 2014년까지 연간 총 준공 연면적 산출

ⓑ 토지이용유형별 2011년부터 2014년까지 연간 총 준공 연면적에 대한 추세연장 수식 도출 및 장래 적용

$$DevF_t^u = \alpha^u \cdot ln(t) + \beta^u$$

단, u : 토지이용유형, t : 기준년도로부터 경과년수

ⓒ 토지이용유형별 2011년부터 2014년까지 연간 공공섹터에서의 총 준공 연면적(BAU 정책/계획 시나리오 부문)

ⓓ 토지이용유형별 2011년부터 2014년까지 연간 자발적 총 준공 연면적 산출(ⓐ-ⓒ)

ⓔ 각 연도별 전년도 토지이용유형별 전체 연면적 대비 연간 자발적 개발 비율 파라미터 산출

<표 1-6-29> 개발 하위모형의 개발 총량 예측 파라미터 정산을 위한 추세연장 수식

내용	α	β	비고
Residential	-4,569,388	26,864,714	
Office	340,977	4,456,574	
Retail	-397,685	4,766,221	
Service	-100,060	789,860	
Health	-80,979	942,352	
Research	-259,314	2,604,803	
Industrial/Others	-176,752	8,303,309	

※추세연장 수식은 로그함수에 기초하여 파라미터 산출

<표 1-6-30> 개발 하위모형의 토지이용유형별 총량 예측 파라미터

년도	Residential	Office	Retail	Service	Health	Research	Industrial /Others
2011	0.02558	0.04329	0.02325	0.04687	0.02320	0.03326	0.05033
2012	0.02344	0.03797	0.02249	0.02592	0.02207	0.03291	0.04420
2013	0.01588	0.04280	0.01879	0.04143	0.01907	0.03176	0.04181
2014	0.01187	0.04046	0.01988	0.02169	0.01939	0.02347	0.04246
2015	0.01176	0.03901	0.01847	0.02383	0.01823	0.02537	0.03889
2016	0.01094	0.03802	0.01781	0.02241	0.01757	0.02420	0.03727
2017	0.01099	0.03711	0.01726	0.02199	0.01703	0.02324	0.03591
2018	0.01425	0.03665	0.01687	0.02495	0.01672	0.02270	0.03515
2019	0.01596	0.03596	0.01648	0.02628	0.01636	0.02209	0.03424
2020	0.01542	0.03497	0.01604	0.02529	0.01593	0.02134	0.03305
2021	0.01478	0.03400	0.01563	0.02425	0.01552	0.02063	0.03192
2022	0.01420	0.03307	0.01525	0.02330	0.01514	0.01999	0.03088
2023	0.01367	0.03217	0.01490	0.02243	0.01478	0.01939	0.02990
2024	0.01318	0.03132	0.01456	0.02163	0.01445	0.01883	0.02898
2025	0.01273	0.03050	0.01425	0.02090	0.01413	0.01831	0.02812
2026	0.01232	0.02972	0.01395	0.02022	0.01383	0.01782	0.02731
2027	0.01193	0.02897	0.01367	0.01958	0.01355	0.01736	0.02655
2028	0.01157	0.02826	0.01340	0.01899	0.01328	0.01693	0.02583
2029	0.01123	0.02757	0.01314	0.01843	0.01303	0.01652	0.02515
2030	0.01091	0.02692	0.01290	0.01791	0.01278	0.01614	0.02450

· 개발 하위모형의 개발 입지 예측 관련 파라미터 정산 방법론과 활용 자료 출처는 다음의 표와 같음

<표 1-6-31> 개발 하위모형의 개발 입지 예측 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처

내용	방법론	출처
건설비용	- 단위면적당 표준 건축비 자료로부터 장래 건설비용 추정값 적용	표준건축비 (2005-2012)
조정 파라미터	- 개발업자에 의한 신규개발 총량을 검토하여 조정 파라미터 미세조정	-
공급 가격탄력성	- 선행연구 결과 차용: 0.093	이수욱 외(2012)

· 단위면적 당 건설비용의 추정은 2005년부터 2012년까지의 국토해양부 표준건축비 고시자료를 토대로 장래 추세함수를 추정하였음

<표 1-6-32> 년도별 표준건축비 고시자료

년도	단위면적 당 표준건축비(만원/m2)	출처
2005	132.10	건설교통부 고시 제2004-413호
2006	133.60	건설교통부 고시 제2005-455호
2007	138.20	건설교통부 고시 제2006-559호
2008	144.10	건설교통부 고시 제2007-621호
2009	155.80	국토해양부 고시 제2008-891호
2010	157.50	국토해양부고시 제2009-1221호
2011	162.70	국토해양부 고시 제2010-985호
2012	163.00	국토해양부 고시 제2011-838호

· 단위면적 당 건설비용에 대한 장래 추세함수는 $y = aln(x) + b$의 형태이며, 추세함수의 파라미터는 다음과 같음

<표 1-6-33> 단위면적 당 건설비용에 대한 장래 체수함수 파라미터

구분	a	b	R2
파라미터	10,315	78,301	0.953

(라) 입지(Location) 하위모형

○ 입지 하위모형은 공간분석단위별 토지이용에 대한 활동주체의 입지 용량의 변화를 예측하며, 로짓모델에 기초하고 있음. 또한, 로짓모델에서 핵심이 되는 효용함수는 입지변화를 예측하고자 하는 기간의 효용값과 이전 시점을 기준으로 산정된 효용값 사이의 차이를 이용하는 점진적 로짓모델이라는 특징을 지님(이승일 · 이창효, 2015)

- 세부내용

$$H(LP)_{ip}^{h} = H(P)_{p}^{h} \cdot \frac{H_{ti}^{h}\left(\frac{F(A)_{ip}^{H}}{F(O)_{ti}^{H}}\right)\exp(\Delta V_{ip}^{h})}{\sum_{j} H_{ti}^{h}\left(\frac{F(A)_{ip}^{H}}{F(O)_{ti}^{H}}\right)\exp(\Delta V_{ip}^{h})}$$

단, $H(LP)_{ip}^{h}$: 기간 p동안 존 i에 입지하는 가구유형 h의 총량

$H(P)_{p}^{h}$: 기간 p동안 입지하는 가구유형 h의 전체 총량

H_{ti}^{h} : t시점 존 i의 가구유형 h에 대한 가구수 총량

$F(A)_{ip}^{H}$: 기간 p동안 존 i에서 이용 가능한 주거(H) 연면적 총량

$F(O)_{ti}^{H}$: t시점(과거) 존 i에서의 이미 점유되어 있는 주거(H) 연면적 총량

ΔV_{ip}^{h} : 기간 p동안 존 i에 대한 가구유형 h의 입지효용 변화량

$$\Delta V_{ip}^{h} = \theta_{p}^{hC}(C_{ip}^{h} - C_{ti}^{h}) + \theta_{p}^{hA}(A_{ip}^{h} - A_{ti}^{h}) + \theta_{p}^{ha}(a_{ip}^{h} - a_{ti}^{h}) + \theta_{p}^{hQ}(Q_{ip} - Q_{ti}) + \ldots$$

단, C_{ip}^{h}: 기간 p동안 존 i에 가구유형 h가 입지하기 위한 비용

A_{ip}^{h}: 기간 p동안 존 i에서의 가구유형 h별 접근도

a_{ip}^{h}: 기간 p동안 존 i에서의 가구유형 h별 가구당 점유면적

Q_{ip}: 기간 p동안 존 i의 활동환경 수준

- 파라미터 정산 내용

· 입지 하위모형과 관련한 파라미터 정산 관련 방법론과 활용 자료의 출처는 다음의 표와 같음

<표 1-6-34> 입지 하위모형 관련 파라미터 정산 관련 방법론과 자료출처

내용	방법론	출처
가구유형별 장래 소득 변화 예측	-가구유형별 소득 추세함수 도출 -추세함수에 기초한 가구유형별 장래 소득 추정	한국노동패널 (2005-2009) 가구당 월평균 가계수지 (2006-2011)
입지선택의 효용 파라미터 정산	-가구유형별 개별 가구의 주거 선택지 현시선호자료 조사 -난수 발생을 활용한 가상의 선택 대안 마련 -로짓분석을 이용한 입지선택 효용 파라미터 도출	주거실태조사 (2010)

· 2005년부터 2009년까지의 한국노동패널 자료에 대한 분석을 통하여 가구유형별 월평균 소득액을 도출하고, 가구당 월평균 가계수지 자료를 토대로 장래 소득 변화를 추정하였음

<표 1-6-35> 가구유형별 장래 월평균 소득액 추정 결과(만원)

년도	YS	OS	RS	YC	OC	RC	Sc	Cc	3A	3Ac
2010	176.5	164.9	76.2	260.3	243.0	121.1	143.1	339.6	345.3	359.7
2011	178.3	166.6	77.0	261.1	243.7	121.4	143.5	345.3	351.1	365.8
2012	180.0	168.2	77.7	261.9	244.4	121.8	144.0	351.1	356.9	371.8
2013	181.8	169.9	78.5	262.7	245.1	122.2	144.4	356.8	362.7	377.9
2014	183.5	171.5	79.2	263.4	245.9	122.5	144.8	362.5	368.6	383.9
2015	185.3	173.2	80.0	264.2	246.6	122.9	145.2	368.2	374.4	390.0
2016	187.1	174.8	80.8	265.0	247.3	123.2	145.7	373.9	380.2	396.1
2017	188.8	176.4	81.5	265.7	248.0	123.6	146.1	379.7	386.0	402.1
2018	190.6	178.1	82.3	266.5	248.7	124.0	146.5	385.4	391.8	408.2
2019	192.4	179.7	83.0	267.3	249.5	124.3	146.9	391.1	397.7	414.3
2020	194.1	181.4	83.8	268.0	250.2	124.7	147.3	396.8	403.5	420.3
2021	195.9	183.0	84.6	268.8	250.9	125.0	147.8	402.6	409.3	426.4
2022	197.6	184.7	85.3	269.6	251.6	125.4	148.2	408.3	415.1	432.4
2023	199.4	186.3	86.1	270.4	252.3	125.7	148.6	414.0	420.9	438.5
2024	201.2	188.0	86.8	271.1	253.0	126.1	149.0	419.7	426.7	444.6
2025	202.9	189.6	87.6	271.9	253.8	126.5	149.5	425.4	432.6	450.6
2026	204.7	191.3	88.4	272.7	254.5	126.8	149.9	431.2	438.4	456.7
2027	206.4	192.9	89.1	273.4	255.2	127.2	150.3	436.9	444.2	462.7
2028	208.2	194.5	89.9	274.2	255.9	127.5	150.7	442.6	450.0	468.8
2029	210.0	196.2	90.6	275.0	256.6	127.9	151.2	448.3	455.8	474.9
2030	211.7	197.8	91.4	275.7	257.4	128.2	151.6	454.1	461.7	480.9

· 시범도시에 적용할 입지 하위모형의 입지선택 효용함수(ΔV_{ip}^{h})의 구성요소는 가구유형별 입지비용, 접근도, 가구당 점유면적을 선정하였으며, 주거이동 패턴과 관련하여 가장 일반화되어 있는 특징인 단거리 이주 패턴(10km 이내 입지이동)을 통제변수로 적용하였음

$V_i^{h'} = \theta^{h'C} C_i^{h'} + \theta^{h'A} A_i^{h'} + \theta^{h'a} a_i^{h'} + \theta^{h'D} D_{od}^{h'}$

단, $C_i^{h'}$: 존i에 주거이동가구h'가 입지하기 위한 비용

$A_i^{h'}$: 존i에서 주거이동가구h'의 접근도

$a_i^{h'}$: 존i에서 주거이동가구h'의 가구당 점유면적

$D_{od}^{h'}$: 주거이동가구h'의 이전 주거지(o;출발지)와 선택 주거지(d;도착지) 간 거리관련 변수

θ: 모수

· 주거입지 하위모형의 파라미터 정산을 위하여 개별 가구가 실제 주거입지를 선택한 현시선호 정보가 요구됨. 이와 관련하여 2010년 주거실태조사 자료의 '이사경험' 정보와 '현재주택 거주시기', 그리고 '현재주택 소재지'와 '현재주택 전 거주지' 정보를 토대로, 1년 이내 주거이동을 실행한 가구를 도출하였음

<표 1-6-36> 주거입지 하위모형 관련 로짓분석 결과(주거이동 가구 전체)

변수		B	Std. E	Wald	Sig.	Exp(B)
접근도	($A_i^{h'}$)	-0.00015528	0.000	783.870	.000 ***	0.99984
입지비용	($C_i^{h'}$)	-0.01365736	0.001	318.440	.000 ***	0.98644
가구당 점유면적	($a_i^{h'}$)	0.00652853	0.001	65.749	.003 ***	1.00655
10km 이내 입지선택 여부	($D_{od}^{h'}$)	2.69347947	0.060	1986.758	.000 ***	14.78302
Cox-Snell R2		.417				

<표 1-6-37> 주거입지 하위모형 관련 로짓분석 결과(가구유형 별)

구분		B ($A_i^{h'}$)	B ($C_i^{h'}$)	B ($a_i^{h'}$)	B ($D_{od}^{h'}$)	Cox-Snell R2
1인 가구	YS	-0.00048409 ***	-0.01453585 ***	0.00799877 ***	2.43973408 ***	.449
	OS	-0.00033991 ***	-0.02539245 ***	0.01157081 ***	2.70384228 ***	.443
	RS	-0.00045101 ***	-0.06723064 ***	0.04199510 ***	3.18840972 ***	.492
부부 가구	YC	-0.00025222 ***	-0.00621199	0.00243480	2.23884590 ***	.439
	OC	-0.00023546 ***	-0.02519022 ***	0.01903409 ***	3.02026453 ***	.447
	RC	-0.00018600 ***	-0.03852099 ***	0.02355652 **	2.83556882 ***	.439
Sc		-0.00007941	-0.02634814 ***	-0.00063392	4.00119709 ***	.521
Cc		-0.00016669 ***	-0.01124348 ***	0.00731788 ***	2.78989840 ***	.447
3A		-0.00017793 ***	-0.01848764 ***	0.01382918 ***	2.90136316 ***	.465
3Ac		-0.00013911 ***	-0.01181978 ***	0.00861914 ***	2.95619818 ***	.465

(2) 교통모델 개선

(가) 교통모형 분석 방법론 개선방법론

○ Omni-TRANS는 전통적인 교통수요4단계 법칙에 의거하여 통행량 발생(OD 생성)부터 분포(목적지 선택), 수단선택 그리고 통행배정까지 관장하는 모델임

○ 기존 교통모델(Omni-TRANS)은 호주 멜버른의 통행특성을 기준으로 통행량을 예측하고, 결과물을 산출함

○ 이에 국내 가구통행실태조사 자료를 기준으로 교통수요 추정단계별 하위모델의 파라미터를 조정함

○ OmniTRANS는 교통수요예측 과정을 수행할 때, 모든 통행을 통행의 기종점 특징 및 목적을 기준으로 <표 1-6-38>과 같이 구분함

○ 토지이용-교통 통합모형은 존 단위의 토지이용-교통의 변화량을 분석하는 모델로써 세부적인 통행량 예측까지 필요로 하지 않음. 따라서 우선 통행량 중 많은 비중을 차지하고 있는 여객통행량과 화물통행량(트레일러 제외)만을 대상으로 정산작업을 수행함

<표 1-6-38> 교통모델의 통행목적 구분

구분		통행목적	
여객 통행	가정 기반	Home based work - white collar	화이트컬러 통근
		Home based work - blue collar	블루컬러 통근
		Home based education - primary	초등학교 통근
		Home based education - secondary	중/고등학교 통근
		Home based education - tertiary	대학교 이상 통근
		Home based shopping	가정기반 쇼핑 통행
		Home based recreation	가정기반 여가 통행
		Home based other	가정기반 기타 통행
	비가정 기반	Work based work	업무 통행
		Work based shopping	회사-쇼핑 통행
		Work based other	회사 기반 기타 통행
		Shopping based shopping	비 가정기반 쇼핑 통행
		Shopping based other	쇼핑 기반 기타 통행
		Other non-home based	기타 비 가정기반 통행
여행자 통행		Visitor accommodation based shopping	숙소기반 쇼핑 통행
		Visitor accommodation based recreation	숙소기반 여가 통행
		Visitor accommodation based other	숙소기반 기타 통행
		Visitor non-accommodation based	비숙소기반 여행자 통행
인구유입 시설통행		Special recreation based home	인구유입시설 기반 집
		Special recreation based visitor accommodation	인구유입시설 기반 숙소
		Airport based home	공항기반 집
		Airport based visitor accommodation	공항기반 숙소
		Airport based work	공항기반 일터
		External travel	경유여행자 통행
화물		Light commercial vehicles	경트럭
		Heavy commercial vehicles	중대형트럭
		Port truck	트레일러 트럭

(나) 교통모형의 가구유형 세분화 관련 파라미터

○ 교통모형에서는 사회경제계층 구분을 위하여 화이트칼라 및 블루칼라 근로자, 그리고 산업 유형에 따른 비율 값에 대한 파라미터 입력이 필요함

○ 화이트칼라와 블루칼라 근로자/산업 유형별 비율 산정방법 및 자료출처는 다음과 같음

<표 1-6-39> 화이트칼라와 블루칼라 근로자/산업 유형별 비율 구축방법과 자료출처

내용	구축방법	출처
가구기반 화이트칼라와 블루칼라 비율	-분석공간단위의 근로자 유형별 구분 -분석공간단위의 근로자 유형별 비율 산출	인구총조사 (2010)
직장기반 화이트칼라와 블루칼라 비율	-분석공간단위의 산업 유형별 구분 -분석공간단위의 산업 유형별 비율 산출	

○ 직업에 대한 분류는 다음의 기준을 준용하고, 산업 유형은 사업체조사 자료의 대분류에 따른 본 연구과제의 분류기준을 따름

<표 1-6-40> 직업 분류 기준

직업유형(중분류)	구분	비고
관리자	화이트칼라 직업	-
전문가 및 관련 종사자		
사무 종사자		
서비스 종사자		
판매 종사자		
농림어업 숙련 종사자	블루칼라 직업	
기능원 및 관련 기능 종사자		
장치기계 조작 및 조립 종사자		
단순노무 종사자		
기타		
미상		

○ 교통모형의 장래 예측 결과 분석을 위해서는 교통존의 가구유형별 가상 자료 생생이 필요함

- 교통존의 가구유형별 평균값을 기준으로 해당 지역의 가구유형별로 세분화된 추정 자료 생성을 위하여 다음의 수식에 기초한 파라미터를 산정하였음. 분석자료는 인구총조사 자료 중 1%를 무작위 추출하여 로짓분석을 수행하였음

$$H_n(x) = \frac{200 - A_n}{1 + e^{1/B_n(x - C_n)}}$$

단, $H_n(x)$: 가구유형 n이하일 가구수 비율의 확률값

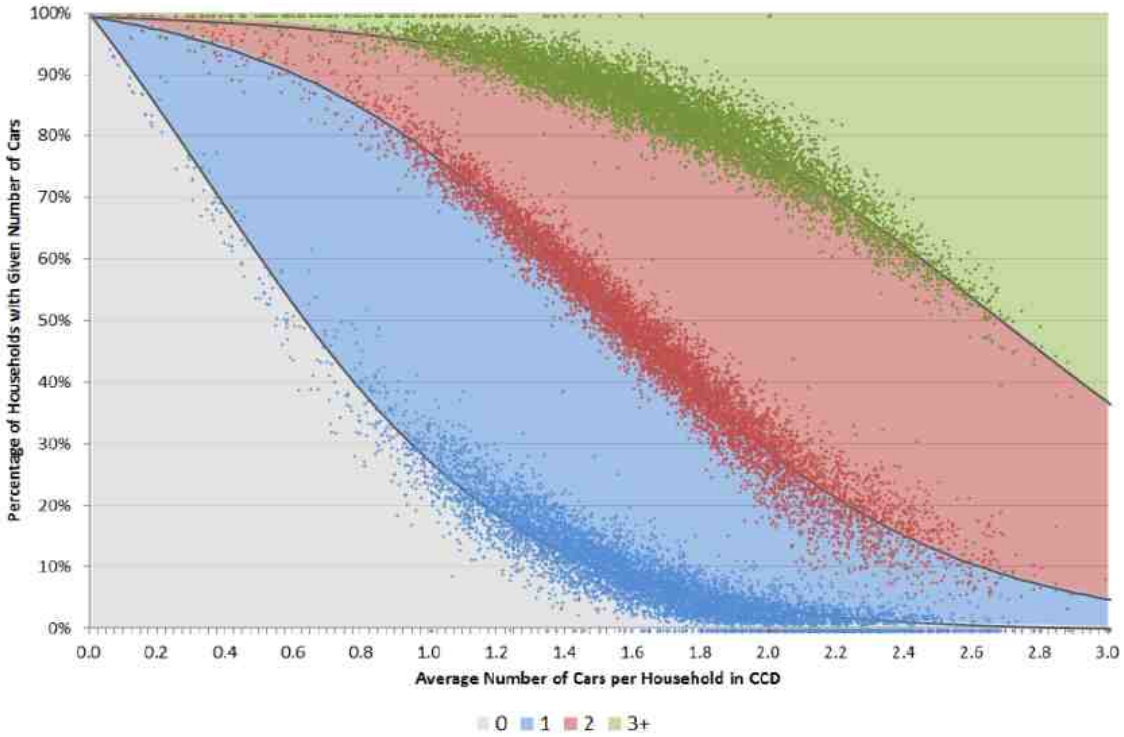
○ 가구유형별 가상 자료 생성 방법 및 자료출처와 분석결과는 다음과 같음

<표 1-6-41> 가구유형별 가상 자료 작성방법과 자료출처

내용		구축방법	출처
가구별 인구수		-1, 2, 3, 4, 5+를 기준으로 가구별 인구수 추정 계수 산정	인구총조사 (2010)
직업유형별 근로자수	화이트칼라	-0, 1, 2+를 기준으로 가구별 화이트칼라 근로자수 추정 계수 산정	인구총조사 2% 샘플자료 (2005)
	블루칼라	-0, 1, 2+를 기준으로 가구별 블루칼라 근로자수 추정 계수 산정	
비근로자수(아동; 0-19세)		-0, 1, 2+를 기준으로 가구별 아동인 비근로자수 추정 계수 산정	
비근로자수(성인; 20-64세)		-0, 1, 2+를 기준으로 가구별 성인인 비근로자수 추정 계수 산정	
비근로자수(고령자; 65세 이상)		-0, 1, 2+를 기준으로 가구별 고령자인 비근로자수 추정 계수 산정	
자가용 소유대수		-0, 1, 2+를 기준으로 가구별 자가용 소유대수 추정 계수 산정	

<표 1-6-42> 가구유형별 가상 자료 작성을 위한 추정식 파라미터

내용		A_n	B_n	C_n	비고
가구별 인구수	1	96.190	0.616	2.013	
	2	98.299	0.648	2.642	
	3	98.707	0.757	3.290	
	4	98.401	1.535	6.348	
	5+	99.642	1.648	9.280	
직업유형별 근로자수 (화이트칼라)	0	85.416	0.340	0.655	
	1	96.020	0.482	1.555	
	2+	99.557	0.509	2.761	
직업유형별 근로자수 (블루칼라)	0	81.636	0.375	0.636	
	1	98.579	0.293	1.246	
	2+	99.899	0.247	1.701	
비근로자수 (아동)	0	84.266	0.466	0.861	
	1	92.832	0.459	1.211	
	2+	98.858	0.679	3.038	
비근로자수 (성인)	0	74.796	0.449	0.619	
	1	98.234	0.340	1.372	
	2+	99.894	0.225	1.542	
비근로자수 (고령자)	0	93.834	0.179	0.499	
	1	98.748	0.180	0.787	
	2+	99.985	0.133	1.176	
자가용 보유대수	0	81.016	0.338	0.562	
	1	98.959	0.315	1.438	
	2+	99.911	0.326	2.288	



<그림 1-6-22> 차량 소유여부 가상자료 생성자료 (예시)

(다) 교통발생 관련 파라미터

① 가정기반 통행생성 파라미터

○ 가구통행실태조사데이터 통행 자료를 활용하여 가구단위의 각 목적통행 횟수를 산정함

○ 가구특성자료를 활용하여 각 가구별 속성데이터를 구축함

○ 구축한 데이터를 활용하여 다항회귀분석을 통해 가정기반 통행생성 하위모델 파라미터를 산정함

<표 1-6-43> 가정기반 통행생성모델 설명력

통행목적		통행생성모델 설명력 (R2)
여객통행 가정기반	화이트컬러 통근	0.870
	블루컬러 통근	0.733
	초등학교 통근	0.506
	중/고등학교 통근	0.410
	대학교 이상 통근	0.307
	가정기반 쇼핑 통행	0.125
	가정기반 여가 통행	0.139
	가정기반 기타 통행	0.266

<표 1-6-44> 가정기반 통행생성모델 독립변수 파라미터

가정기반 통행생성모델	독립변수	파라미터
화이트컬러 통근	화이트컬러 2명	3.160
	화이트컬러 1명	1.622
	화이트컬러 3명 이상	4.904
	0-17세 부양가족 2명	.051
	0-17세 부양가족 1명	.033
	블루컬러 1명	-.043
	Car1대	.045
	Car2대	.057
	블루컬러 2명	-.050
	65세이상 부양가족 1명	-.030
	18-64세 부양가족 2명	-.019
	블루컬러 3명 이상	-.051
	Car3대 이상	.039
	0-17세 부양가족 3명 이상	.023
블루컬러 통근	블루컬러 1명	1.377
	블루컬러 2명	2.627
	블루컬러 3명 이상	3.858
	0-17세 부양가족 2명	.105
	65세이상 부양가족 1명	-.076
	0-17세 부양가족 1명	.082
	화이트컬러 1명	-.074
	화이트컬러 2명	-.079
	0-17세 부양가족 3명 이상	.107
	Car1대	.032
	18-64세 부양가족 2명	.041
	18-64세 부양가족 3명 이상	.044
	18-64세 부양가족 1명	.015
	화이트컬러 3명 이상	-.048
	Car2대	.015
	Car3대 이상	-.025
초등학교 통근	0-17세 부양가족 2명	2.358
	0-17세 부양가족 3명 이상	3.396
	0-17세 부양가족 1명	.657
	18-64세 부양가족 2명	-.149
	Car1대	.046
	Car2대	.054
	18-64세 부양가족 1명	-.013
	18-64세 부양가족 3명 이상	-.034
중/고등학교 통근	0-17세 부양가족 2명	1.459
	0-17세 부양가족 1명	1.341
	18-64세 부양가족 2명	1.025
	0-17세 부양가족 3명 이상	1.846
	18-64세 부양가족 3명 이상	1.148
	Car2대	.105
	18-64세 부양가족 1명	.087
	Car1대	-.025
	65세이상 부양가족 2명+	.057
	65세이상 부양가족 1명	.030

가정기반 통행생성모델	독립변수	파라미터
대학교 이상 통근	18-64세 부양가족 3명 이상	1.411
	18-64세 부양가족 2명	.652
	18-64세 부양가족 1명	.137
	0-17세 부양가족 2명	-.123
	0-17세 부양가족 1명	-.084
	0-17세 부양가족 3명 이상	-.128
	Car1대	.028
	Car2대	.042
	Car3대 이상	.049
	65세이상 부양가족 1명	-.011
가정기반 쇼핑 통행	18-64세 부양가족 1명	.235
	18-64세 부양가족 2명	.256
	18-64세 부양가족 3명 이상	.319
	65세이상 부양가족 2명+	.334
	65세이상 부양가족 1명	.171
	Car1대	.070
	0-17세 부양가족 2명	.074
	Car2대	.059
	0-17세 부양가족 3명 이상	.075
	0-17세 부양가족 1명	.028
	Car3대 이상	.078
가정기반 여가 통행	Car1대	.106
	Car2대	.176
	65세이상 부양가족 2명+	.705
	65세이상 부양가족 1명	.310
	18-64세 부양가족 1명	.260
	18-64세 부양가족 2명	.372
	18-64세 부양가족 3명 이상	.417
	Car3대 이상	.185
	0-17세 부양가족 2명	.041
	0-17세 부양가족 1명	-.037
가정기반 기타 통행	18-64세 부양가족 1명	.438
	18-64세 부양가족 2명	.645
	65세이상 부양가족 1명	.565
	65세이상 부양가족 2명+	1.039
	18-64세 부양가족 3명 이상	.811
	0-17세 부양가족 2명	.186
	Car2대	.307
	Car1대	.159
	0-17세 부양가족 3명 이상	.350
	Car3대 이상	.380
	0-17세 부양가족 1명	.028

② 가정기반 통행유인 파라미터

○ 가구통행실태조사 PA 데이터의 통행자료를 활용하여 각 교통 존 별 목적통행량을 산정함

○ 인구센서스 자료를 통해 존 별 사회경제적 특성자료를 구축함

○ 위 데이터를 활용하여 다항회귀분석을 통해 가정기반 통행유인 하위모델 파라미터를 다음과 같이 산정함

<표 1-6-45> 가정기반 통행생성모델 설명력

통행목적		통행유인모델 설명력 (R2)
여객통행 가정기반	화이트컬러 통근	0.989
	블루컬러 통근	0.974
	초등학교 통근	0.97
	중/고등학교 통근	0.979
	대학교 이상 통근	0.966
	가정기반 쇼핑 통행	0.916
	가정기반 여가 통행	0.992
	가정기반 기타 통행	0.992

<표 1-6-46> 가정기반 통행생성모델 독립변수 파라미터

가정기반 통행생성모델	독립변수	파라미터
화이트컬러 통근	화이트컬러 고용자수	1.363
	가구 수	.836
블루컬러 통근	블루컬러 고용자수	1.064
	가구 수	.374
초등학교 통근	가구 수	.387
	초등학생 수용인원 수	1.200
중/고등학교 통근	중고등학생 수용인원 수	1.645
	가구 수	.320
대학교 이상 통근	가구 수	.157
	대학교 대학원생 수용인원 수	.021
가정기반 쇼핑 통행	가구 수	.285
	도소매업 고용자수	.378
	제조업 고용자수	-.106
가정기반 여가 통행	가구 수	.247
	보건업 고용자수	1.734
	사무직 고용자수	.057
	서비스업 고용자수	1.967
	제조업 고용자수	-.051
가정기반 기타 통행	가구 수	.458
	보건업 고용자수	3.219
	사무직 고용자수	.106
	서비스업 고용자수	3.654
	제조업 고용자수	-.095

③ 비 가정기반 통행생성 및 유인파라미터

○ 가구통행실태조사 PA 데이터의 통행자료를 활용하여 각 교통 존 별 목적통행량을 산정함

○ 인구센서스 자료를 통해 존 별 사회경제적 특성자료를 구축함

○ 위 데이터를 활용하여 다항회귀분석을 통해 비가정기반 통행 생성 및 유인 하위모델 파라미터를 산정함

<표 1-6-47> 비가정기반 통행생성 및 유인모델 설명력

통행목적		통행생성모델 설명력 (R2)	통행유인모델 설명력 (R2)
여객 통행	업무 통행	0.98	
	회사-쇼핑 통행	0.954	0.877
	회사 기반 기타 통행	0.989	0.979
비 가정 기반	비 가정기반 쇼핑 통행	0.925	
	쇼핑 기반 기타 통행	0.989	0.979
	기타 비 가정기반 통행	0.986	

<표 1-6-48> 비가정기반 통행생성 및 유인모델 독립변수 파라미터

비가정기반 통행생성모델	독립변수	파라미터
업무 통행 생성 유인	도소매업 고용자수	2.601
	제조업 고용자수	.373
	가구 수	-.109
	대학교 대학원생 수용인원 수	.101
	화이트컬러 고용자수	-.320
회사-쇼핑 통행 생성	보건업 고용자수	.162
	도소매업 고용자수	.042
	연구직 고용자수	.195
	제조업 고용자수	-.013
회사-쇼핑 통행 유인	도소매업 고용자수	.180
	사무직 고용자수	-.044
	제조업 고용자수	-.025
회사 기반 기타 통행 생성	서비스업 고용자수	.647
	도소매업 고용자수	.103
	연구직 고용자수	.222
	대학교 대학원생 수용인원 수	.019
	가구 수	.013

비가정기반 통행생성모델	독립변수	파라미터
회사 기반 기타 통행 유인	서비스업 고용자수	1.523
	대학교 대학원생 수용인원 수	.034
	도소매업 고용자수	.077
	중고등학생 수용인원 수	.082
비 가정기반 쇼핑 통행 생성 유인	도소매업 고용자수	.104
	화이트컬러 고용자수	-.027
	연구직 고용자수	.129
쇼핑 기반 기타 통행 생성	서비스업 고용자수	.388
	도소매업 고용자수	.062
	연구직 고용자수	.133
	대학교 대학원생 수용인원 수	.011
	가구 수	.008
쇼핑 기반 기타 통행 유인	서비스업 고용자수	.914
	대학교 대학원생 수용인원 수	.020
	도소매업 고용자수	.046
	중고등학생 수용인원 수	.049
기타 비 가정기반 통행 생성 유인	서비스업 고용자수	5.279
	대학교 대학원생 수용인원 수	.122
	도소매업 고용자수	.445
	가구 수	.058
	연구직 고용자수	.942

④ 화물통행 생성 및 유인파라미터

○ 톤급별 화물자동차 통행량 데이터의 통행자료를 활용하여 각 교통 존 별 경트럭, 중트럭의 통행량 산정함

○ 인구센서스 자료를 통해 존 별 사회경제적 특성자료를 구축함

○ 위 데이터를 활용하여 다항회귀분석을 통해 화물 통행 생성 및 유인 하위모델 파라미터를 산정함

<표 1-6-49> 화물통행 생성 및 유인모델 설명력

통행목적		통행생성모델 설명력 (R2)	통행유인모델 설명력 (R2)
화물	경트럭	0.934	
	중대형트럭	0.656	

<표 1-6-50> 화물통행 생성 및 유인모델 독립변수 파라미터

비가정기반 통행생성모델	독립변수	파라미터
경트럭	제조업 고용자수	.267
	도소매업 고용자수	.154
	가구 수	.029
중대형트럭	제조업 고용자수	.092
	서비스업 고용자수	.730

⑤ 가정기반 통행생성량과 유인량의 수치조정

○ 가정기반의 통행생성과 관련하여 활용한 데이터는 KTDB에서 제공한 OD raw 데이터이고, 가정기반 통행유인을 산정하는데 활용한 데이터는 KTDB에서 제공한 PA 통행 데이터임

○ 가정기반 통행 생성과 유인의 기초가 되는 데이터가 다름으로 인해 통행 생성량과 유인량이 서로 상이한 결과를 도출. 이에 각 통행목적별로 가정기반의 통행 생성량과 통행 유인량을 비교하고, 이를 같게 조정하는 작업을 수행함

○ 모델에서 산출한 각 목적별 가정기반 통행 생성량 데이터를 KTDB에서 제공 한 PA 통행 생성량과 비교하고, 그 둘 간의 차이를 기준으로 앞서 생성된 파라미터를 수정함

<표 1-6-51> 통행목적별 가구통행실태조사 자료와 모델 산정값 비교

	가정기반 통근통행	가정기반 통학통행	가정기반 쇼핑통행	가정기반 기타통행
PA 통행 생성량	21,500,479	12,147,064	3,148,866	9,530,579
Model 산출량	11,521,741	10,468,593	1,759,779	6,615,884
비교 (rate)	1.866	1.16	1.789	1.44

<표 1-6-52> 가정기반 통행생성모델 독립변수 파라미터

가정기반 통행생성모델	독립변수	파라미터
화이트컬러 통근	화이트컬러 2명	5.896
	화이트컬러 1명	3.026
	화이트컬러 3명 이상	9.150
	0-17세 부양가족 2명	0.095
	0-17세 부양가족 1명	0.061
	블루컬러 1명	-0.081
	Car1대	0.083
	Car2대	0.106
	블루컬러 2명	-0.094
	65세이상 부양가족 1명	-0.056
	18-64세 부양가족 2명	-0.036
	블루컬러 3명 이상	-0.095
	Car3대 이상	0.073
	0-17세 부양가족 3명 이상	0.043
블루컬러 통근	블루컬러 1명	2.569
	블루컬러 2명	4.901
	블루컬러 3명 이상	7.199
	0-17세 부양가족 2명	0.196
	65세이상 부양가족 1명	-0.143
	0-17세 부양가족 1명	0.154
	화이트컬러 1명	-0.138
	화이트컬러 2명	-0.148
	0-17세 부양가족 3명 이상	0.200
	Car1대	0.060
	18-64세 부양가족 2명	0.076
	18-64세 부양가족 3명 이상	0.082
	18-64세 부양가족 1명	0.029
	화이트컬러 3명 이상	-0.089
	Car2대	0.028
	Car3대 이상	-0.047
초등학교 통근	0-17세 부양가족 2명	2.735
	0-17세 부양가족 3명 이상	3.940
	0-17세 부양가족 1명	0.762
	18-64세 부양가족 2명	-0.173
	Car1대	0.054
	Car2대	0.063
	18-64세 부양가족 1명	-0.016
	18-64세 부양가족 3명 이상	-0.040
중/고등학교 통근	0-17세 부양가족 2명	1.693
	0-17세 부양가족 1명	1.555
	18-64세 부양가족 2명	1.189
	0-17세 부양가족 3명 이상	2.142
	18-64세 부양가족 3명 이상	1.332
	Car2대	0.121
	18-64세 부양가족 1명	0.101
	Car1대	-0.029
	65세이상 부양가족 2명+	0.066
	65세이상 부양가족 1명	0.034

가정기반 통행생성모델	독립변수	파라미터
대학교 이상 통근	18-64세 부양가족 3명 이상	1.637
	18-64세 부양가족 2명	0.756
	18-64세 부양가족 1명	0.159
	0-17세 부양가족 2명	-0.143
	0-17세 부양가족 1명	-0.097
	0-17세 부양가족 3명 이상	-0.148
	Car1대	0.033
	Car2대	0.049
	Car3대 이상	0.056
	65세이상 부양가족 1명	-0.013
가정기반 쇼핑 통행	18-64세 부양가족 1명	0.421
	18-64세 부양가족 2명	0.458
	18-64세 부양가족 3명 이상	0.570
	65세이상 부양가족 2명+	0.598
	65세이상 부양가족 1명	0.306
	Car1대	0.126
	0-17세 부양가족 2명	0.133
	Car2대	0.105
	0-17세 부양가족 3명 이상	0.134
	0-17세 부양가족 1명	0.050
	Car3대 이상	0.139
가정기반 여가 통행	Car1대	0.153
	Car2대	0.254
	65세이상 부양가족 2명+	1.015
	65세이상 부양가족 1명	0.446
	18-64세 부양가족 1명	0.374
	18-64세 부양가족 2명	0.536
	18-64세 부양가족 3명 이상	0.600
	Car3대 이상	0.266
	0-17세 부양가족 2명	0.058
	0-17세 부양가족 1명	-0.053
가정기반 기타 통행	18-64세 부양가족 1명	0.631
	18-64세 부양가족 2명	0.929
	65세이상 부양가족 1명	0.814
	65세이상 부양가족 2명+	1.496
	18-64세 부양가족 3명 이상	1.167
	0-17세 부양가족 2명	0.268
	Car2대	0.442
	Car1대	0.229
	0-17세 부양가족 3명 이상	0.504
	Car3대 이상	0.548
	0-17세 부양가족 1명	0.040

(라) 교통분포 관련 파라미터

○ OmniTRANS내 통행분포(목적지 선택) 하위모델 역시 모든 통행을 각 목적별로 구분하여 구동함

○ 앞서 통행발생모형과 마찬가지로 여객통행과 화물통행량만을 우선적으로 교정함

○ 통행 분포 모형은 통행발생 모형과 달리 통행의 생성과 유인으로 구분하지 않고 분석함

○ 통행 분포 모형은 중력모형을 따르며, 다음 수식과 같이 표현할 수 있음

$$P_d = \frac{F_d}{\sum_k F_k}$$

$$F_d = \frac{A_d}{C_{od}^{\alpha} e^{\beta C_{od} + U_d}}$$

단, P_d : 목적지 d를 선택할 확률

F_d : 목적지 d의 인력

A_d : 특정 활동이 발생 될 기회(활동의 기회)

C_{od} : 시점(O)에서 종점(d)까지의 통행비용

U_d : 상수값

○ 모형 내 통행 비용과 활동의 기회를 산정하기 위해 사용되는 요인은 아래와 같음

<표 1-6-53> 통행분포 중력모형의 통행 유인 및 비용산출 관련 요인

통행 유인	통행 비용
가구의 수	통행목적
전일제 고용자수(화이트 컬러)	가구 자동차 소유 대수
전일제 고용자수(블루 컬러)	출발시간
직군별 일자리 수	예정되는 복귀시간
학생수 (초등/중고/대학교)	

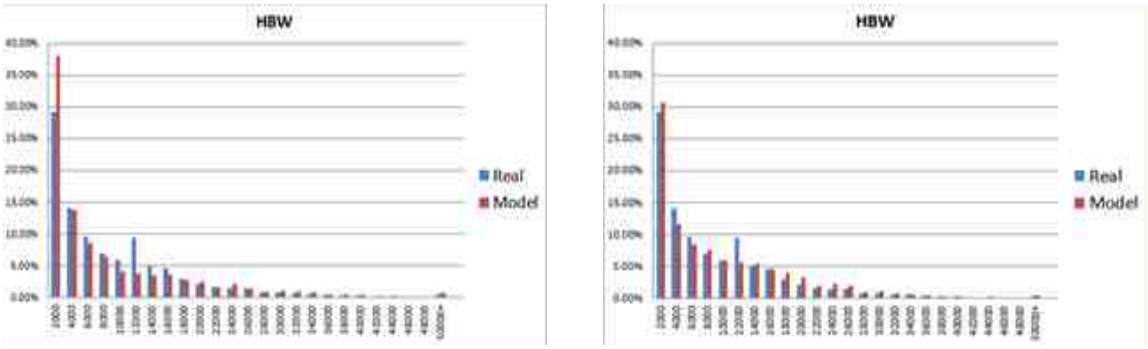
○ 통행분포모형의 교정 작업은 Omni-TRANS의 통해 호주 외 여러 나라에 실제 적용한 경험이 있는 업체 Veltch Lister Consulting (VLC)와의 협의를 통해 방법론을 구상함

○ VLC 에서는 통행분포모델을 교정하는 과정으로 파라미터(α, β)의 반복적인 수정과 결과확인을 통하여 도출하는 것을 제안하여 이를 수행함

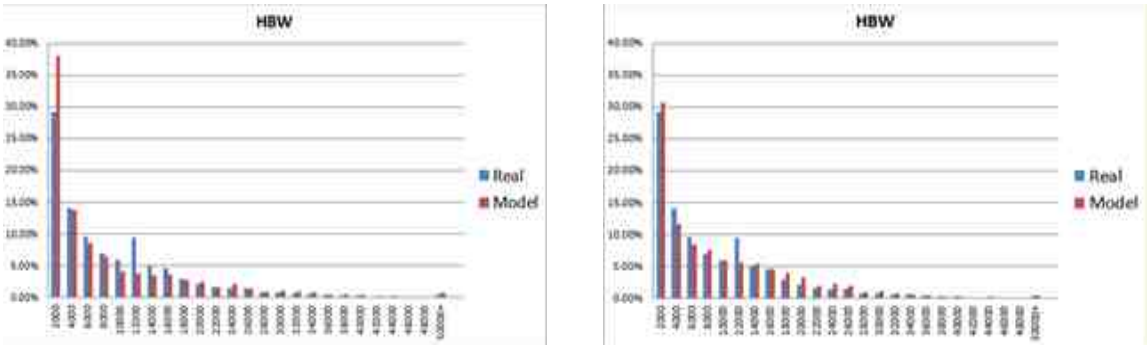
○ 통행분포모델 파라미터는 모델 내 별도로 관리되고 있으며 파라미터를 기록하는 파일 내에는 각 통행 목적별 중력모형의 인력을 도출하는 파라미터와 지역유형별 주차요금 파라미터를 포함하고 있음

○ 본 연구진은 해당파일 내 파라미터(α, β) 를 조정하여 통행분포 하위모델의 Calibration을 수행함

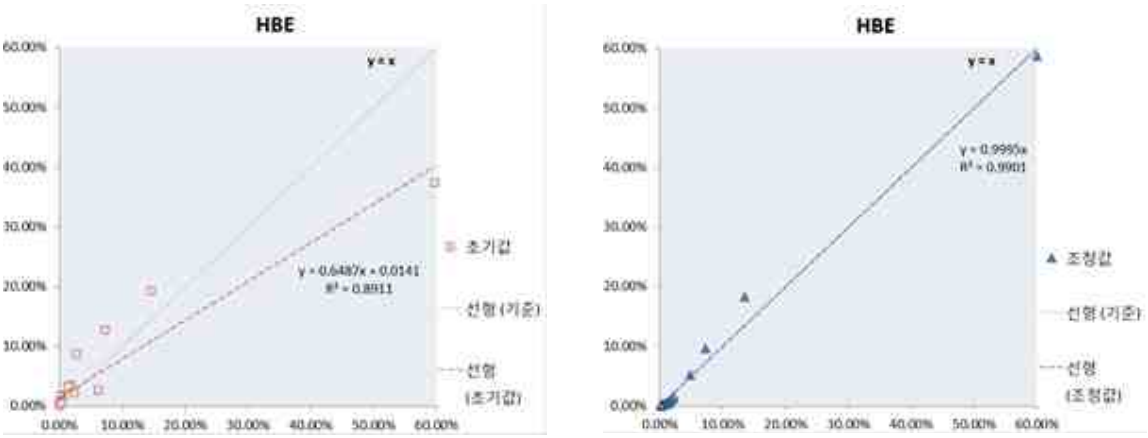
○ 교정 결과는 2,000m 단위로 총 통행량을 누적하여 표현하였으며, 각 지역별 누적 통행량을 가지고 Paired t-test를 수행하여 모형의 정합성을 검증함



<그림 1-6-23> 파라미터 조정 전후 통행분포 비교(통근통행)



<그림 1-6-24> 파라미터 조정 전후 통행분포 비교(통학통행)



<그림 1-6-25> 파라미터 조정 전후 모델 정합성 비교(통학통행)

<표 1-6-54> 통행배정 파라미터 수정 후 Paired t-test 결과

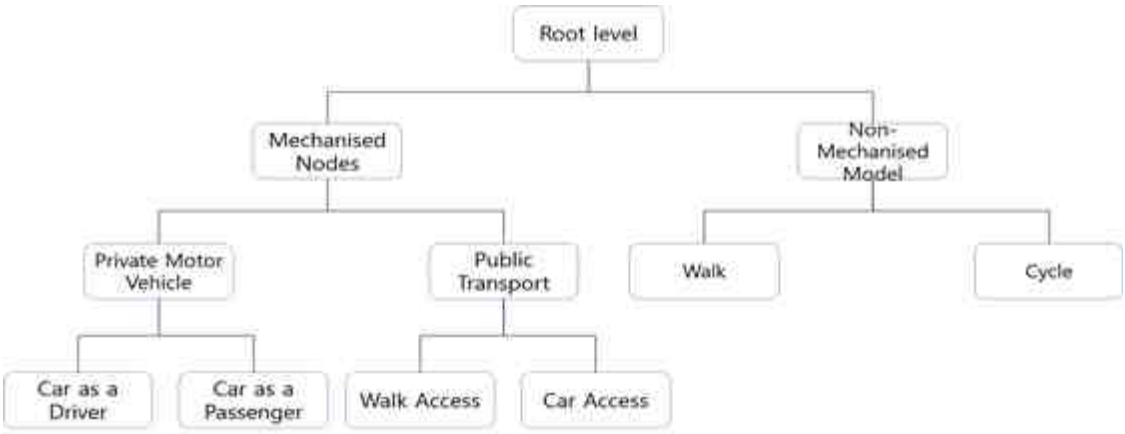
통행목적			t-test	Sig
여객통행	가정기반	출퇴근 통행	0.985	1.000
		등하교 통행	0.996	1.000
		쇼핑통행	0.99	1.000
		레져통행	0.995	1.000
		가정기반 기타통행	0.987	1.000
	비가정기반	업무통행	0.976	1.000
		업무기반 쇼핑통행	0.984	1.000
		업무기반 기타통행	0.988	1.000
		쇼핑통행	0.989	1.000
		쇼핑기반 기타통행	0.993	1.000
		비 가정기반 기타통행	0.992	1.000
화물통행		경트럭	0.922	1.000
		중대형 트럭	0.917	1.000

(마) 수단선택 관련 파라미터

○ Omni-TRANS내 수단선택 하위모델 역시 모든 통행을 각 목적별로 구분하여 구동하고, 수단선택 모형은 트럭으로 운송되는 화물통행을 제외한 일반 여객통행을 대상으로 교정 작업을 수행함

○ Omni-TRANS의 수단선택 모형은 그림과 같이 네스티드 로짓모형을 따르고 있으며, 선택 가능한 수단은 총 6개로 구성됨(보행, 자전거, 자가운전, 차량동승, 대중교통(보행접근), 대중교통(차량접근). 반면 국내의 가통 자료는 총 16개로 구성됨(보행, 자가운전, 차량동승, 일반버스, 시외버스, 마을버스, 광역버스, 고속버스, 기타버스, 지하철, 기차, KTX, 택시 경트럭, 중대형트럭, 오토바이, 자전거, 기타)

○ 국내 가통자료의 수단을 Omni-TRANS 모델 기준과 매칭하는 작업을 수행함(도보, 자전거, 자가운전, 차량동승, 대중교통)



<그림 1-6-26> 수단선택 네스티드 로짓모형 구성도

○ 모형 내 각 수단별 효용을 산출하기 위해 사용되는 요인은 아래와 같음

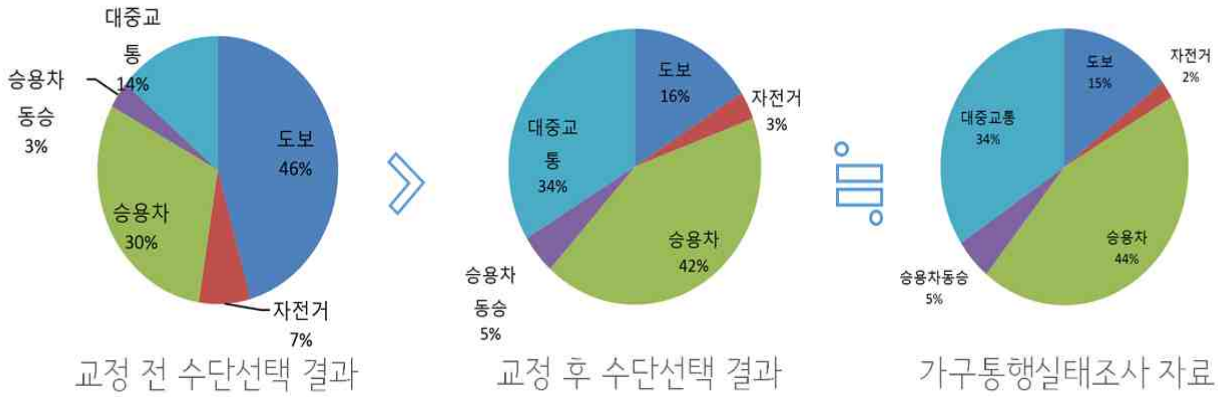
<표 1-6-55> 수단선택 효용요인

수단	효용요인
보행	일반화 비용(시간)
자전거	일반화 비용(시간)
	수단의 특정 상수
승용차	일반화 비용(운행시간, 연료비, 통행료)
	종착지 특정상수(CBD내외, 도시외곽)
	자동차 보유대수에 따른 상수
	수단의 특정 상수
대중교통	일반화 비용(접근시간, 대기시간, 운행시간, 환승 패털티, 요금, 혼잡에 따른 추가비용)
	자동차 보유대수에 따른 상수
	수단의 특정 상수

○ 수단선택모형의 교정 작업 또한 VLC와의 협의를 통해 방법론을 구상함

○ VLC 에서는 수단선택모델을 교정하는 과정으로 일반화 비용의 반복적인 수정과 결과확인을 통하여 도출하는 것을 제안하여 이를 수행함

○ 교정 결과는 각 목적 통행 별 수단의 분담률을 산정하여 표현하였으며, 각 수단별 통행 비율을 가지고 Paired t-test를 수행하여 모형의 정합성을 검증함



<그림 1-6-27> 파라미터 조정 전후 수단선태 비교(통근통행)

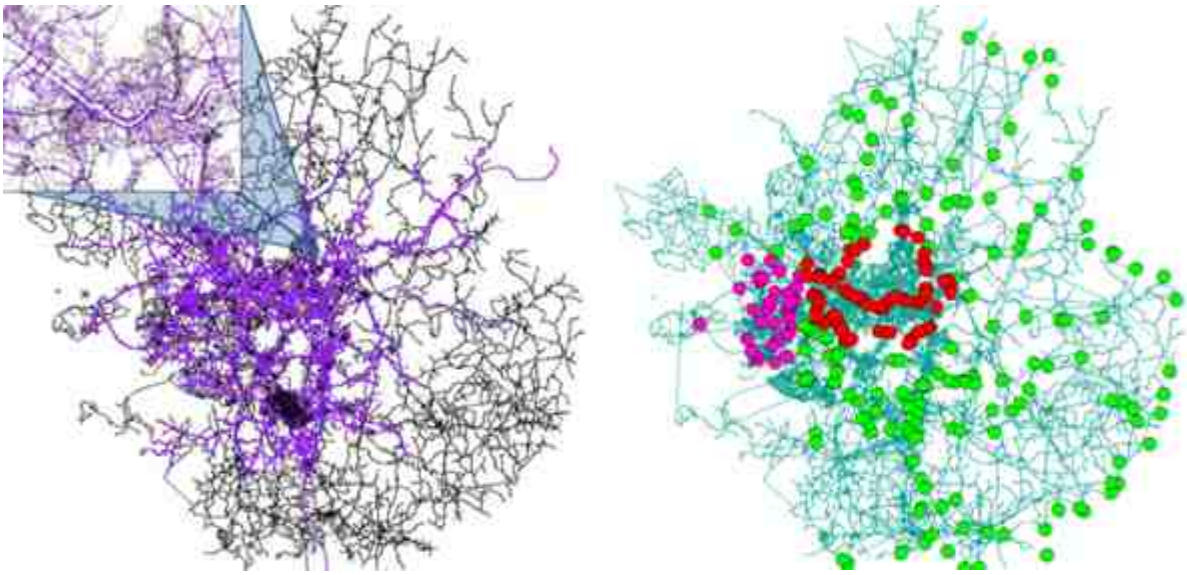
<표 1-6-56> 통행배정 파라미터 수정 후 Paired t-test 결과

통행	목적		t-test	Sig
여객통행	가정기반	HBW	0.999	1.000
		HBE	0.998	1.000
		HBS	0.998	1.000
		HBR	0.993	1.000
		HBO	0.988	1.000
	비가정기반	WBT	0.999	1.000
		ONHB	0.993	1.000

(바) 통행배정 관련 파라미터

○ 통행배정의 Validation 과정은 수단 선택모형의 Calibration 과정이 수행된 후 모델을 구동하고, 그 결과값을 실제 측정된 데이터와 비교하며 모델을 조정하는 과정임

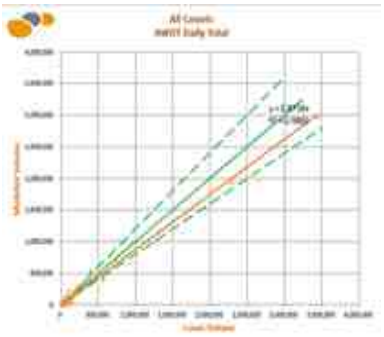
○ 실제 통행량 데이터는 KTDB에서 제공하는 2010년 Screen / Cordon line data를 활용하여 Validation을 수행함 (수도권 내 총 536개 지점)



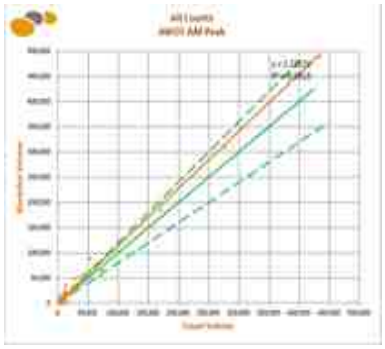
<그림 1-6-28> 모형의 분석결과와 Screen line 및 Cordon line 위치점

○ Screen & Cordon point data는 지역별로 구분되어 총 54개 Screen & Cordon line로 종합하여, 모델의 산출물과 실제 관측된 통행량을 비교함

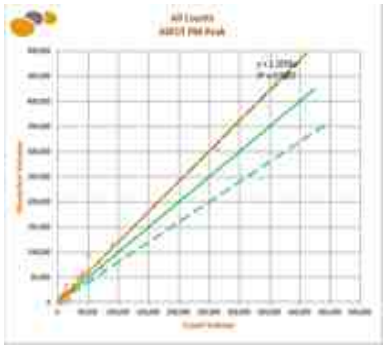
일반차량(전일)



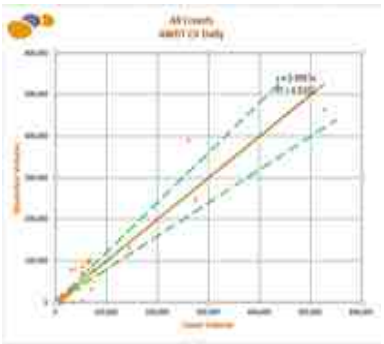
일반차량(오전첨두)



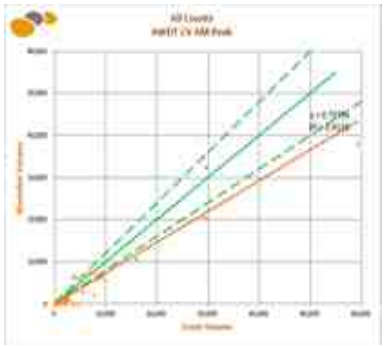
일반차량(오후첨두)



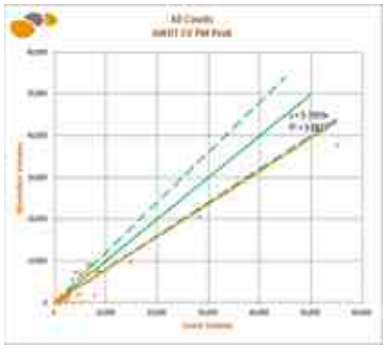
화물차량(전일)



화물차량(오전첨두)



화물차량(오후첨두)



<그림 1-6-29> 모형의 분석결과와 실제 통행량 비교(통행배정 파라미터 수정 전)

(사) 통행시간대 배정 관련 파라미터

○ 시간 배정 (Period allocation)단계는 각 통행 목적별로 발생되는 시간대를 설정하는 과정임

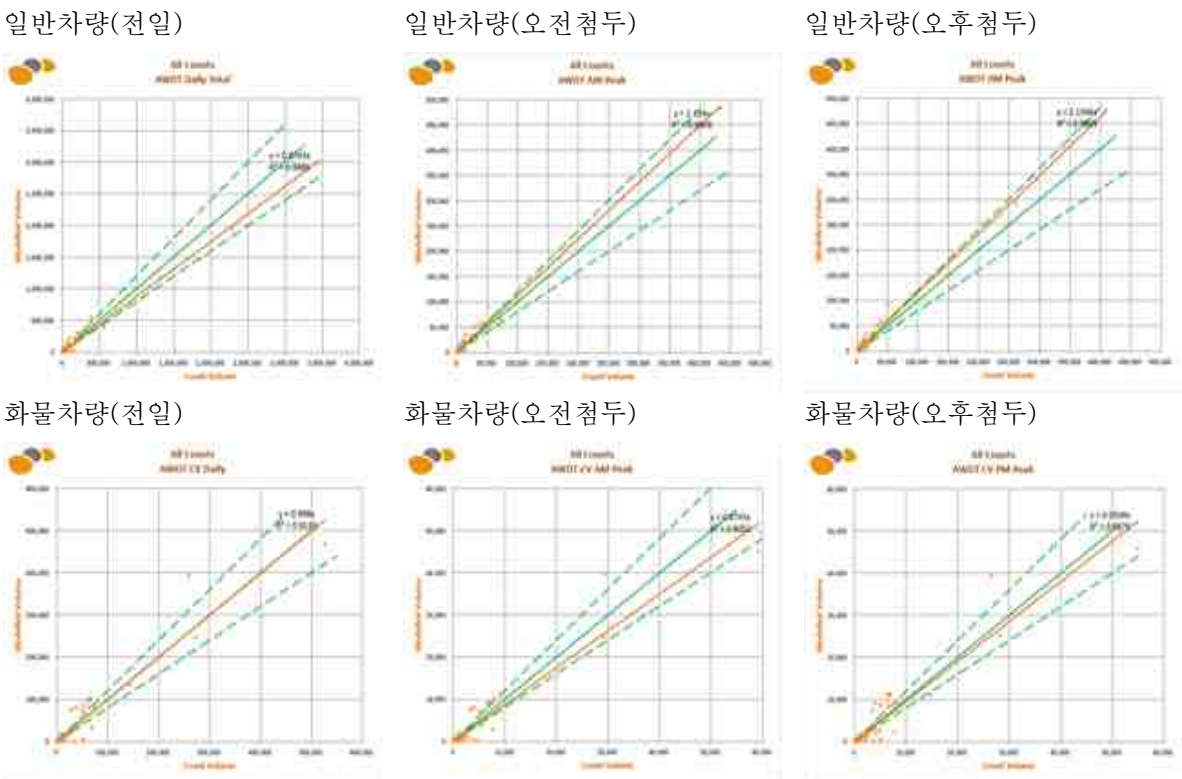
○ 통행발생 시간대 오전 첨두시간(AM), 오후 첨두시간(PM), 비첨두 시간(MD)으로 구성되고, 통행이 시작하는 시간대와 돌아오는 시간대를 짝을 지어 분류함(ex :AM-MD, AM-PM, MD-PM)

○ KTDB에서 제공하는 PA 데이터는 시간대(전일, 오전, 오후)별 각 목적통행이 발생한 통행량만을 제시하고 있기 때문에 통행 시작 시간대와 복귀 시간대로 짝을 지어 통행량을 배정하기 어려움

○ 따라서 통행배정 결과를 기준으로 오전과 오후 첨두시간대와 비첨두 시간대의 통행 배정량을 수정하는 작업을 수행함

○ 시간 배정 파라미터를 조정한 후 모델을 재구동 하여 모델의 산출물과 실제 관측된 통행량을 비교함

○ 통행시간대 배정 관련 파라미터를 수정 한 뒤 모델의 통행배정량은 <그림 1-6-30>처럼 실제 측정된 통행량 기준 ±20% 사이 값을 나타냄



<그림 1-6-30> 모형의 분석결과와 실제 통행량 비교(통행배정 파라미터 수정 후)

라. 토지이용-교통 통합모형의 시범도시 적용

(1) 시범도시 데이터 구축

(가) 시범도시에 대한 토지이용-교통 통합모델 세부 설정

○ 시범도시를 대상으로 모델을 구축하기 위하여 모델의 기본 설정값을 정의하였음

○ 모델의 기준년도는 2010년 목표연도는 2030년으로 설정하였음

○ 모델의 상세 설정치는 <표 1-6-58>과 같이 설정하였으며, 특히 가구는 가구구성원에 따라 10가지 형태로 구분하였고, 고용은 업종에 따라 7가지 형태로 구분함

- 토지이용유형은 주택을 포함한 총 7가지 형태로 구분하였음

<표 1-6-57> 모델 기준년도와 목표년도

기준년도	2010년
목표년도	2030년

<표 1-6-58> 모델 상세 설정치

구분	유형수	비고
가구의 사회·경제 계층 수	1	단일계층
고용의 사회경제 계층 수	1	단일계층
인구유형 수	4	아동, 근로자, 비근로자, 은퇴자
가구자료의 자동차 소유수준 수	3	없음, 1대, 2대 이상
통행자료의 자동차 소유수준 수	3	없음, 1대, 2대 이상
접근도 산정을 위한 통행수단 수	1	단일 값으로 집계
접근도의 통행목적	1	단일 값으로 통합
교통의 사회·경제 계층 수	1	단일계층

<표 1-6-59> 가구와 고용의 활동 유형 구분

ID	구분		Code	비고
1	가구	청년층 1인 가구	YS	-Y: 0-34세 -O: 35-64세 -R: 65세 이상 -S: 1인 가구 -C: 부부 가구 -c: 아동(20세 미만) -A: 성인(20세 이상)
2		장년층 1인 가구	OS	
3		노년층 1인 가구	RS	
4		청년층 부부 가구	YC	
5		장년층 부부 가구	OC	
6		노년층 부부 가구	RC	
7		자녀가 있는 한부모 가구	Sc	
8		자녀가 있는 부부 가구	Cc	
9		3인 이상의 성인 가구	3A	
10		자녀가 있는 3인 이상의 성인 가구	3Ac	
11	고용	사무 종사자	-	-
12		도・소매업 종사자		
13		서비스업 종사자		
14		보건・의료 종사자		
15		교육・연구 종사자		
16		제조업 종사자		
17		기타 종사자		

<표 1-6-60> 토지이용 유형 구분

ID	구분	비고
1	주택	가구유형 (1-10)
2	오피스	고용유형 (11)
3	도・소매	고용유형 (12)
4	서비스	고용유형 (13)
5	보건・의료	고용유형 (14)
6	교육・연구	고용유형 (15)
7	제조・기타	고용유형 (16-17)

○ 시범도시를 모델의 중심 지역으로 하기 위하여, 다음과 같이 공간단위를 구분하였음. 시범도시인 수원시는 39개 행정동, 서울시는 25개 구, 인천시는 10개 시군구, 그리고 수원시를 제외한 경기도는 40개 시군구로 구분하여, 총 114개의 공간단위로 구분하였음



<그림 1-6-31> 시범도시의 공간단위 구분 [수도권(위), 수원시(아래)]

<표 1-6-61> 시범도시의 공간단위 구분

ID	시도	시군구	읍면동	ID	시도	시군구	읍면동
1	경기도	수원시 장안구	파장동	61	서울시	서초구	-
2	경기도	수원시 장안구	율천동	62	서울시	강남구	-
3	경기도	수원시 장안구	정자1동	63	서울시	송파구	-
4	경기도	수원시 장안구	정자2동	64	서울시	강동구	-
5	경기도	수원시 장안구	영화동	65	인천시	중구	-
6	경기도	수원시 장안구	송죽동	66	인천시	동구	-
7	경기도	수원시 장안구	조원1동	67	인천시	남구	-
8	경기도	수원시 장안구	연무동	68	인천시	연수구	-
9	경기도	수원시 장안구	정자3동	69	인천시	남동구	-
10	경기도	수원시 장안구	조원2동	70	인천시	부평구	-
11	경기도	수원시 권선구	세류1동	71	인천시	계양구	-
12	경기도	수원시 권선구	세류2동	72	인천시	서구	-
13	경기도	수원시 권선구	세류3동	73	인천시	강화군	-
14	경기도	수원시 권선구	평동	74	인천시	옹진군	-
15	경기도	수원시 권선구	서둔동	75	경기도	성남시 수정구	-
16	경기도	수원시 권선구	구운동	76	경기도	성남시 중원구	-
17	경기도	수원시 권선구	권선1동	77	경기도	성남시 분당구	-
18	경기도	수원시 권선구	곡선동	78	경기도	의정부시	-
19	경기도	수원시 권선구	입북동	79	경기도	안양시 만안구	-
20	경기도	수원시 권선구	금호동	80	경기도	안양시 동안구	-
21	경기도	수원시 권선구	권선2동	81	경기도	부천시 원미구	-
22	경기도	수원시 팔달구	지동	82	경기도	부천시 소사구	-
23	경기도	수원시 팔달구	우만1동	83	경기도	부천시 오정구	-
24	경기도	수원시 팔달구	우만2동	84	경기도	광명시	-
25	경기도	수원시 팔달구	인계동	85	경기도	평택시	-
26	경기도	수원시 팔달구	매교동	86	경기도	동두천시	-
27	경기도	수원시 팔달구	매산동	87	경기도	안산시 상록구	-
28	경기도	수원시 팔달구	고등동	88	경기도	안산시 단원구	-
29	경기도	수원시 팔달구	화서1동	89	경기도	고양시 덕양구	-
30	경기도	수원시 팔달구	화서2동	90	경기도	고양시 일산동구	-

ID	시도	시군구	읍면동	ID	시도	시군구	읍면동
31	경기도	수원시 팔달구	행궁동	91	경기도	고양시 일산서구	-
32	경기도	수원시 영통구	매탄1동	92	경기도	과천시	-
33	경기도	수원시 영통구	매탄2동	93	경기도	구리시	-
34	경기도	수원시 영통구	매탄3동	94	경기도	남양주시	-
35	경기도	수원시 영통구	매탄4동	95	경기도	오산시	-
36	경기도	수원시 영통구	원천동	96	경기도	시흥시	-
37	경기도	수원시 영통구	영통1동	97	경기도	군포시	-
38	경기도	수원시 영통구	영통2동	98	경기도	의왕시	-
39	경기도	수원시 영통구	태장동	99	경기도	하남시	-
40	서울시	종로구	-	100	경기도	용인시 처인구	-
41	서울시	중구	-	101	경기도	용인시 기흥구	-
42	서울시	용산구	-	102	경기도	용인시 수지구	-
43	서울시	성동구	-	103	경기도	파주시	-
44	서울시	광진구	-	104	경기도	이천시	-
45	서울시	동대문구	-	105	경기도	안성시	-
46	서울시	중랑구	-	106	경기도	김포시	-
47	서울시	성북구	-	107	경기도	화성시	-
48	서울시	강북구	-	108	경기도	광주시	-
49	서울시	도봉구	-	109	경기도	양주시	-
50	서울시	노원구	-	110	경기도	포천시	-
51	서울시	은평구	-	111	경기도	여주군	-
52	서울시	서대문구	-	112	경기도	연천군	-
53	서울시	마포구	-	113	경기도	가평군	-
54	서울시	양천구	-	114	경기도	양평군	-
55	서울시	강서구	-				
56	서울시	구로구	-				
57	서울시	금천구	-				
58	서울시	영등포구	-				
59	서울시	동작구	-				
60	서울시	관악구	-				

(나) 시범도시에 대한 토지이용모델 입력데이터 구축

○ 토지이용모델의 주요 입력데이터 내역은 다음과 같음

<표 1-6-62> 토지이용모델의 주요 입력데이터 구축 내용

구분	파일명	내용
활동주체 관련 정보	Avzn<><>.dat	존/가구유형별 가구수 존/가구유형/인구유형별 인구수 존/산업유형별 고용자수
공간 관련 정보	Spzn<><>.dat	존/토지이용유형별 건축 연면적 존/토지이용유형별 임대료 존/토지이용유형별 공실면적 존/토지이용유형별 질적 수준 존/토지이용유형별 공사 중인 건축 연면적 존/토지이용유형별 개발가능 건축 연면적
자동차 소유수준 정보	Cozn<><>.dat	존/가구유형별 자동차 소유수준 비율
존간 거리 정보	Dszn<><>.dat	존 간 네트워크 거리
통행패턴 정보	Ttws<><>.dat	존 간 자동차 소유수준별 통근량

○ 토지이용모델의 주요 입력데이터에 대한 자료 출처와 산출 방법은 다음과 같음

① 활동주체 관련 정보(Avzn<><>.dat) 구축 내용

<표 1-6-63> 활동주체 관련 정보의 구축방법과 자료출처

내용	구축방법	출처
존/가구유형별 가구수	-가구수 정보에 대한 가구유형 재분류	인구총조사자료 (2010)
존/가구유형/인구유형별 인구수	-인구수 정보에 대한 인구유형 재분류	
존/산업유형별 고용자수	-고용자수 정보에 대한 산업유형 재분류	사업체조사자료 (2010)

○ 인구 총 조사자료에서의 가구유형 분류는 세대유형에 의한 것으로 토지이용모델에서 활용하는 가구유형 분류와는 다소 차이가 있음. 토지이용모델에 활용하기 위하여 다음의 표와 같은 기준으로 인구 총 조사자료의 세대유형을 재분류함

○ 인구 총 조사자료의 세대유형과 토지이용모델의 가구유형을 1:1 대응을 원칙으로 하였으나, 가구주 연령에 의한 구분이 필요한 1인 가구와 부부가구, 그리고 부부+자녀와 기타 2세대 가구는 35세와 65세를 구분 기준으로 하였음

<표 1-6-64> 인구유형 재분류 기준

인구총조사자료			연령분류	토지이용모델 Code
세대	유형	Code		
1세대	부부	11	34세 이하	YC
			35-64세	OC
			65세 이상	RC
	부부+형제자매	12	-	3A
	부부+기타 친인척	13	-	3A
	가구주+형제자매	14	-	3A
	가구주+기타 친인척	15	-	3A
	기타 1세대 가구	19	-	3A
2세대	부부+자녀	21	64세 이하	Cc
			65세 이상	3A
	편부+자녀	22	-	Sc
	편모+자녀	23	-	Sc
	부부+양친	24	-	3A
	부부+편부모	25	-	3A
	부부+자녀+부부의 형제자매	26	-	3Ac
	조부모+손자녀	27	-	Cc
	편조부모+미혼 손자녀	28	-	Cc
	기타 2세대 가구	29	64세 이하	Cc
			65세 이상	3A
3세대	부부+자녀+양친	31	-	3Ac
	부부+자녀+편부	32	-	3Ac
	부부+자녀+편모	33	-	3Ac
	기타 3세대 가구	39	-	3Ac
기타	4세대 이상 가구	49	-	3Ac
	1인 가구	50	34세 이하	YS
			35-64세	OS
			65세 이상	RS
	5세대 이상 가구	59	-	3Ac
	비혈연가구	60	-	3Ac

○ 인구 총 조사자료는 토지이용모델에 적용할 수 있는 인구유형에 대한 구분 정보를 제공하고 있지 않기 때문에, 이를 위하여 인구 총 조사자료의 2% 샘플자료의 개별가구원 연령 정보를 기초로 20세와 65세를 기준으로 한 구간별 인구수 비율과 시도·연령별 경제활동상태별 인구수 비율을 적용함으로써 인구유형을 아동, 근로자, 비근로자, 그리고 은퇴자 수를 추정하였음

○ 사업체 조사 자료는 총 19개 대분류 기준으로 읍면동 단위의 정보를 제공하고 있으나, 토지이용모델에서의 산업유형 구분은 토지이용유형별 건축 연면적 공급에 따른 수요와 관련이 있으므로, 토지이용모델의 토지이용유형의 구분 기준에 맞추어진 산업유형에 각각 대응시켜 종사자수를 재산정하였음

<표 1-6-65> 산업유형 재분류 기준

사업체조사자료		토지이용모델 Code
유형	Code	
농업, 임입 및 어업	A	17
광업	B	17
제조업	C	16
전기, 가스, 증기 및 수도사업	D	11
하수·폐기물 처리, 원료재생 및 환경복원업	E	16
건설업	F	11
도매 및 소매업	G	12
운수업	H	17
숙박 및 음식점업	I	12
출판, 영상, 방송통신 및 정보서비스업	J	11
금융 및 보험업	K	11
부동산업 및 임대업	L	11
전문, 과학 및 기술 서비스업	M	11
사업시설관리 및 사업지원 서비스업	N	11
공공행정, 국방 및 사회보장 행정	O	11
교육 서비스업	P	15
보건업 및 사회복지 서비스업	Q	14
예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업	R	13
협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업	S	12

② 공간 관련 정보(Spzn<><>.dat) 구축 내용

<표 1-6-66> 공간 관련 정보의 구축방법과 자료출처

내용		구축방법	출처
존/토지이용유형별 건축 연면적		-건축물대장 토지이용 정보 재분류	건축물대장 (2011)
존/토지이용유 형별 임대료	주거	-공시지가 기반의 임대료 추정식	한국노동패널 (2010) 공시지가 (2010)
	비주거	-공시지가 기반의 임대료 추정식	통계청 임대료(2005) 한국부동산연구원(2005) 공시지가 (2010)
존/토지이용유 형별 공실면적	주거	-시군구별 빈집 비율 적용	주택총조사자료 (2010)
	비주거	-지역별 평균 공실률 적용	통계청 오피스 및 매장용 빌딩 통계(2009-2011) 한국부동산연구원(2005)
존/토지이용유형별 질적 수준		동일한 값(1.000) 입력	-
존/토지이용유형별 공사 중인 건축 연면적		-	-
존/토지이용유형별 개발가능 건축 연면적		-	-

○ 분석공간단위별로 각각의 토지이용유형에 대한 건축 연면적은 건축물대장의 토지이용 정보를 토지이용모델의 7가지 토지이용유형 구분 기준으로 재분류하여 합산함

○ 분석공간단위별 주택에 대한 임대료는 공시지가를 핵심 독립변수로 하는 임대료 추정식 개발을 통하여 구축되었음.

○ 임대료 추정식은 한국노동패널의 전세가격에 전세가율 반영한 단위면적당 월 임대료 환산가을 종속변수(y_i)로 설정하였고, 읍면동별 지목 상 '대'인 토지의 공시지가 평균값(x_{1i})과 인구 총 조사자료의 관리자·전문가 및 관련 종사자 비율(x_{2i})을 독립변수로 하는 다중회귀식을 도출하였음

$$y_i = -2.919 + 0.240\,x_{1i} + 2.527\,x_{2i}$$

○ 분석공간단위별 주택에 대한 공실면적은 2010년 인구주택총조사에서 조사된 시군구별 빈집에 대한 호수를 총 호수로 나눈 값, 즉 빈집의 비율 값을 적용하여 산정함

○ 분석공간단위별 비주거에 대한 임대료는 공시지가를 독립변수로 하는 임대료 추정 함수식을 개발하여 구축하였음

○ 임대료 추정식은 단위면적당 월 임대료 환산가를 종속변수(y_i)로 설정하였고, 읍면동별 평균 공시지가(x_{1i})를 독립변수로 하는 선형회귀함수식을 도출하였음. 단, 사무용 빌딩(Office, Research, Industrial)과 매장용 빌딩(Retail, Service, Health)을 구분하여 적용하였음

사무용 빌딩 임대료 추정 함수식: $y_i = 1.0157 + 0.0012 x_{1i}$

매장용 빌딩 임대료 추정 함수식: $y_i = 2.364 + 0.0057 x_{1i}$

○ 분석공간단위별 토지이용유형에 대한 질적 수준은 본 연구과제에서는 고려하지 않는 변수로 동일한 값(1.000)을 입력하였으며, 공사 중인 건축 연면적과 개발가능 건축 연면적 역시 본 연구과제에서는 입력이 요구되지 않음

③ 자동차 소유수준 정보(Cozn<><>.dat) 구축 내용

<표 1-6-67> 자동차 소유수준 정보의 구축방법과 자료출처

내용	구축방법	출처
존/가구유형별 자동차 소유수준 비율	-시군구/가구유형별 자동차 소유대수 재분류(0, 1, 2+)	가구통행실태조사 (2010)

○ 분석공간단위별 가구유형에 대한 자동차 소유수준 비율은 2010년 가구 통행 실태 조사자료의 개별 가구에 대한 조사내용 자료를 기초자료로 활용하였음. 개별 가구를 토지이용모델의 10개 가구유형으로 재정의하고, 이를 조사 자료에서 제공하고 있는 최소 공간단위인 시군구 단위별로 각각의 가구유형에 대하여 자동차 소유수준(없음, 1대, 2대 이상)의 비율을 도출하여 자동차 소유수준 정보를 구축하였음

④ 존간 거리 정보(Dszn<><>.dat) 구축 내용

<표 1-6-68> 존간 거리 정보의 구축방법과 자료출처

내용	구축방법	출처
존 간 네트워크 거리	-분석공간단위 간 GIS 네트워크 거리 산정	KTDB 교통주제도 (2011)

○ 분석공간단위 사이의 네트워크 거리를 의미하는 존간 거리 정보는 KTDB 교통주제도를 활용하여 GIS 기반의 교통 네트워크를 구축하고, GIS 분석 방법론 중 네트워크 최단거리 산출 방법론을 적용하여 산출하였음

⑤ 통행패턴 정보(Ttws<><>.dat) 구축 내용

<표 1-6-69> 통행패턴 정보의 구축방법과 자료출처

내용	구축방법	출처
존 간 자동차 소유수준별 통근량	-분석공간단위 간 통근목적 O/D 자료 재구성 -분석공간단위별 자동차 소유수준 비율 반영	가구통행실태 조사 (2010)

○ 분석공간단위 간의 자동차 소유수준별 통근량에 대한 정보는 2010년 가구통행실태조사 자료를 기초로 작성되었음

○ 통근목적 O/D자료를 시범도시의 분석공간단위의 O/D 자료로 재구성하고, 이를 분석공간단위별 자동차 소유수준 비율(Cozn<><>.dat)을 적용하여 입력정보를 구축하였음.

(다) 시범도시에 대한 교통모델 입력데이터 구축

○ 교통모델의 주요 입력데이터 내역은 다음과 같음

<표 1-6-70> 토지이용모델의 주요 입력데이터 구축 내용

구분	속성	내용
형상정보(.shp)	센트로이드	센트로이드 (포인트) 센트로이드와 노드 연결선 (라인)
	도로	네트워크 (라인) 노드 (포인트) 턴정보 (포인트)
	도시철도	네트워크 (라인) 도시철도 역(포인트) 역과 도로 노드 연결 (라인)
속성정보(.xlsx)	도시철도	도시철도 노선 (XX행) 도시철도역 XY 좌표 도시철도 노선별 운행정보
	버스	버스노선 (00번) 버스정류장 XY 좌표 버스 노선별 운행정보

① 도로노드 구축 내용

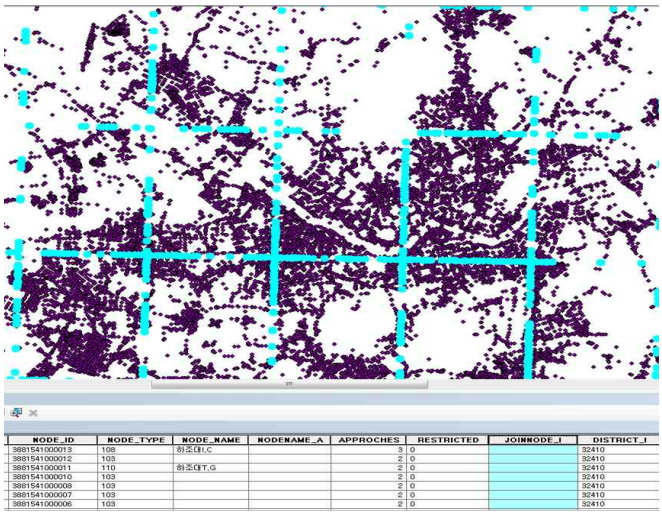
○ Omni-TRANS에서 활용되는 도로의 노드를 만들기 위해서는 먼저 KTDB에서 관련 데이터를 구득함

○ 구득한 노드는 아래의 수정과정 후 활용함

- KTDB에서 제공하는 노드는 두 가지 용도로 사용되는데, 하나는 도로 네트워크의 교차점 및 도로 끊김 구간 등을 표현하는 용도이며, 다른 하나는 지도를 분석 대상지를 여러 페이지의 지도로 구성하면서 각 네트워크의 잘리는 지점을 잇는 용도로 사용함
- 이 중 두 번째 용도 즉, 여러 장의 지도로 분할하면서 끊긴 네트워크를 연결하는 노드는 두

개의 노드가 같은 자리에 위치하고, 각각 다른 ID를 부여받음

- 이는 이 후 네트워크의 연결에 큰 문제를 일으키기 때문에 사전에 수정작업이 필요함
- 중복되는 노드는 속성 테이블의 JOINNODE 탭을 통해 확인 할 수 있음. 중복되는 노드는 둘 중 하나의 노드만 필요하며, 수정작업은 엑셀을 통해 수행하고, 삭제 된 노드와 남겨진 노드의 짝을 테이블로 기록함 (네트워크 데이터 구축에서 활용함)



NODE_ID	NODE_TYPE	NODE_NAME	NODENAME_A	APPROCHES	RESTRICTED	JOINNODE_I	DISTRICT_I
3881541000013	108	하조대I.C		3	0		32410
3881541000012	103			2	0		32410
3881541000011	110	하조대T.G		2	0		32410
3881541000010	103			2	0		32410
3881541000009	103			2	0		32410
3881541000007	103			2	0		32410
3881541000006	103			2	0		32410

	A	B	C
	남길노드	중복된 노드들	남긴 노드들
1		3761020500020	3761020500020
0		3761010500006	3761020500020
1		3761020701050	3761020701050
0		3761010701004	3761020701050
1		3761020500026	3761020500026
0		3761010500004	3761020500026
1		3761020500025	3761020500025
0		3761010500003	3761020500025
1		3761020701173	3761020701173
0		3761010701008	3761020701173
1		3760620300005	3760620300005
0		3760610300002	3760620300005
1		3760620300002	3760620300002
0		3760610300003	3760620300002
1		3760620300004	3760620300004
0		3760610300001	3760620300004
1		3760620400003	3760620400003
0		3760610400005	3760620400003
1		3760620400001	3760620400001

<그림 1-6-32> 중복되는 노드(좌)와 남겨진 노드 테이블(우)

② 도로네트워크 구축 내용

○ Omni-TRANS에서 활용되는 도로 네트워크를 만들기 위해서는 먼저 KTDB에서 관련 데이터를 구득하고 구득한 노드는 아래의 수정과정 후 활용함

○ 네트워크 시작 끝 노드 중 지워진 노드 교체

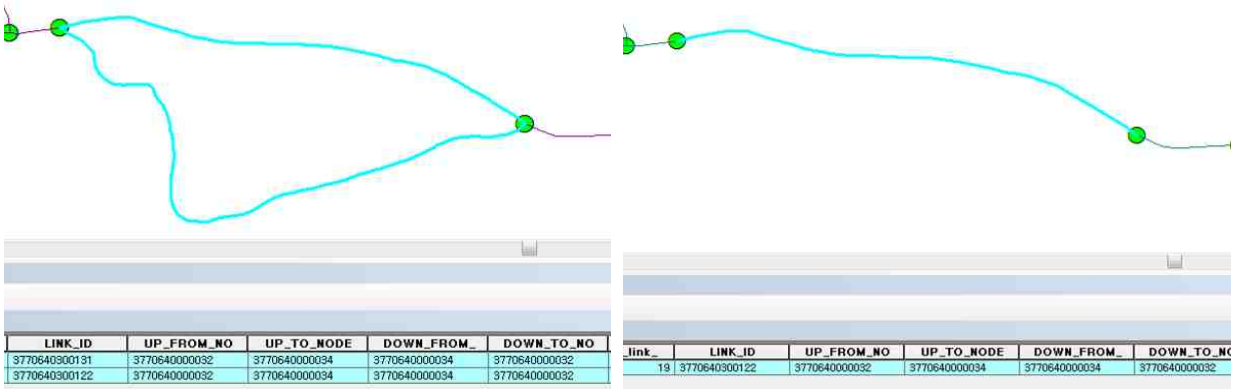
- KTDB에서 제공하는 각 네트워크는 두 가지 노드(시작노드, 끝 노드)가 입력되어 있음
- 입력된 노드 중 중복으로 인해 지워진 노드는 제거하고, 남겨진 노드ID로 교체해야 함
- 네트워크에 지워진 노드가 기록되어 있으면 해당 ID를 엑셀의 VLOOKUP 또는 GIS의 Join 툴을 사용해서 남겨진 노드ID로 교체함(중복된 노드 중 남긴 노드 테이블을 이용함)

○ 네트워크를 구성하는 노드 두 개가 같은 경우정리

- Omni-TRANS는 두 개 이상의 네트워크가 동일한 두 노드를 시작과 끝점으로 쓰고 있는 경우 오류가 발생함(시작과 끝 노드가 반대로 되어 있어도 오류가 발생함)
- 이 경우 두 네트워크 중 하나의 네트워크 중간에 새로운 노드를 만들고, 각 네트워크의 속성 중 노드 테이블을 새로운 노드로 교체하는 방법이 가장 이상적임
- 그러나 이와 같은 방법론은 많은 시간과 노동을 소요하기 때문에, 관련 네트워크 중 하나의 네트워크를 삭제하고, 삭제한 네트워크의 차선 수만큼 남아 있는 네트워크에 차선수를 높

이는 방법이 있음

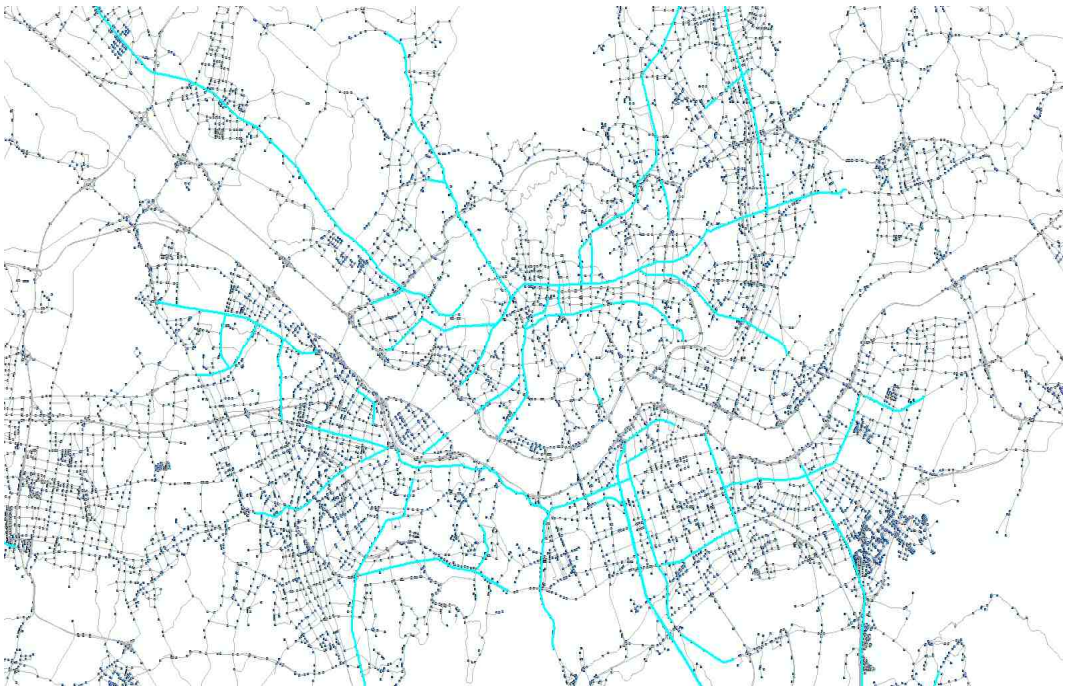
- 본 방법론은 특히 일방통행의 경우 주의가 필요하며, 네트워크의 일방통행 여부를 확인하고, 서로 반대 방향인 네트워크인 경우 양방통행으로 수정하는 등 네트워크의 속성을 유지할 수록 수정함



<그림 1-6-33> 시종점 노드 두 개가 같은 네트워크 중 하나의 네트워크 제거

○ 버스전용차선이 포함된 네트워크 구분

- 본 모델을 만들 때 네트워크 내 포함되어 있는 버스전용차선 여부 속성 데이터를 활용해, 버스전용차선이 있는 네트워크와 없는 네트워크를 구분함(UP_BUSLANE, DOWN_BUSLANE)



<그림 1-6-34> 버스 전용차선을 포함한 네트워크 (서울시 중심)

③ 센트로이드 구축 내용

○ 센트로이드는 KTDB에서 제공받은 시군구 또는 읍면동 단위의 폴리곤 데이터의 중심점(폴리곤 내)을 이용해 만듦

○ 센트로이드의 교통모델 ID는 앞선 노드와는 다르게 1부터 시작되며 ID 순서는 토지이용 모델의 ID 순서를 따름

④ 센트로이드와 노드 연결선 구축 내용

○ 센트로이드는 도로네트워크와 연결되어야 하므로 각 센트로이드별 가장 가까운 노드를 GIS의 Near툴을 이용해 찾음

○ 이때 노드는 반드시 네트워크 교차점 및 끊기는 용도의 노드이어야 함(지도 연결로 인한 노드는 제거한 뒤 GIS의 Near툴을 활용하여 가장 가까운 노드를 구함)

○ 연결선은 센트로이드의 X, Y와 Near 노드의 X, Y 데이터를 이용해 GIS의 “피쳐 투 라인“ 툴을 이용하여 그림

○ 센트로이드 연결라인도 앞서 구축한 도로네트워크와 마찬가지로 네트워크 아이디, 일방통행, 시작노드, 끝노드, 상행선 타입, 하행선 타입, 상행 차선수, 하행 차선수, 수정된 상행 차선수, 수정된 하행 차선수, 길이정보 등이 요구됨



<그림 1-6-35> 센트로이드와 노드간 연결선

⑤ 도시철도역과 네트워크 구축 내용

○ 도시철도 역과 네트워크는 KTDB에서 제공받은 교통주제도의 철도망 데이터를 이용하는데, 전국 철도 네트워크 중 분석에 필요한 부분만 선택하여 별도의 파일을 만들어 사용함

○ 특히 환승역의 경우 하나의 역(회기역 등) 또는 두 개의 역(청량리 등) 구분을 분명하게 정

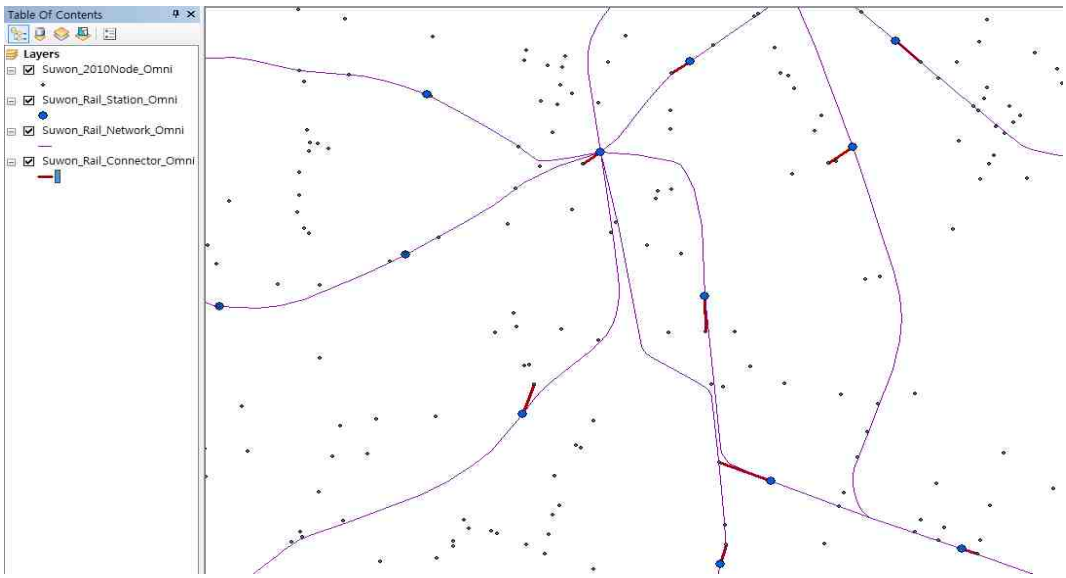
의함

⑥ 도시철도역과 노드 연결선 구축 내용

○ 도시철도역과 도로네트워크와 연결되어야 함. 이에 각 도시철도역별 가장 가까운 노드를 GIS의 Near툴을 이용해 찾음. 이때 노드는 반드시 네트워크 교차점 및 끊기는 용도의 노드이어야 함(지도 연결로 인한 노드는 제거한 뒤 GIS의 Near툴을 활용하여 가장 가까운 노드를 구함)

○ 연결선은 센트로이드의 X, Y Near 노드의 X, Y 데이터를 이용해 GIS의 “피쳐 투 라인“ 이용하여 그림

○ 도시철도역과 노드의 연결라인도 앞서 구축한 도로네트워크와 마찬가지로 네트워크 아이디, 일방통행, 시작노드, 끝노드, 상행선 타입, 하행선 타입, 상행 차선수, 하행 차선수, 수정된 상행 차선수, 수정된 하행 차선수, 길이정보 등이 요구됨



<그림 1-6-36> 도시철도역과 노드간의 연결선

⑦ 도시철도노선 구축 내용

○ 먼저 도시철도 네트워크와 노선의 차이에 대해 분명하게 인지하는 것이 필요한데, 도시철도 네트워크는 하드웨어적인 네트워크를 일컫는 반면 도시철도 노선은 그 네트워크 위를 지나는 도시철도의 출발지 목적지 정보를 포함한 서비스 노선을 말함

○ 따라서 도시철도노선 데이터를 만들기 위해서는 도시철도 네트워크 위를 지나는 도시철도의 노선정보를 수집해야 함.(ex: 천안 시작, 용산 종착, 급행 등)

- 이와 관련된 정보는 코레일과 서울도시철도 홈페이지에서 구하였음

○ 도시철도 노선은 같은 1호선이더라도 청량리행, 광운대행이 각각 다른 노선으로 취급하며 각 노선별 별도의 ID(정해놓은 형태 없음 101, GH6 어떠한 형태도 상관없음)가 있어야 함

○ 각 노선은 출발역부터 종착역까지의 순서대로 데이터를 정렬하고, 거치는 역별로 도시철도 ID, x좌표 y좌표가 부여되어야 함

○ 또한 각 노선별로 오전 첨두시간, 비 첨두시간, 오후 첨두시간별 시간당 통과 운행량에 대한 값을 입력해야 함

Route	Order	Code	NODE_OMNI_	x	y
101	1	3010022	400462	289425.2726	4149647.183
101	2	3010021	400461	290801.6891	4149585.317
101	3	3010020	400460	291733.3031	4148728.003
101	4	3010019	400459	292995.0184	4148507.192
101	5	3010018	400458	293979.016	4148410.599
101	6	3010017	400457	295038.3501	4148254.83
101	7	3010016	400456	296199.8069	4148149.386
101	8	3010015	400455	297068.0139	4148897.671
101	9	3010014	400454	297454.9995	4150194.688
101	10	3010013	400453	298921.5927	4150919.299
101	11	3010012	400452	300449.5758	4150739.906
101	12	3010011	400451	301551.9727	4150620.628
101	13	3010010	400450	302559.3858	4150485.625
101	14	3010009	400449	304156.1832	4150146.12
101	15	3010008	400448	305257.343	4149976.127
101	16	3010007	400447	306744.117	4150245.44
101	17	3010006	400446	307783.5459	4150988.014
101	18	3010005	400445	309557.5903	4151146.284
101	19	3010004	400444	310897.5553	4151177.403
101	20	3010003	400443	311892.4314	4151326.197
101	21	2010009	400252	312941.0804	4151985.985

Route	Time/day	AM Peak:2h (7:00-9:00)	Off Peak:15h (05:00-7:00) (09:00-17:30) (19:30-24:00)	PM Peak:2h (17:30-19:30)	AM Peak Frequency/h	Off Peak Frequency/h	PM Peak Frequency/h
101	7	0	7	0	0	0.466666667	0
102	13	4	6	3	2	0.4	1.5
103	5	1	0	4	0.5	0	2
104	32	5	23	4	2.5	1.533333333	2
105	33	8	21	4	4	1.4	2
106	25	3	21	1	1.5	1.4	0.5
107	9	0	9	0	0	0.6	0
108	6	0	5	1	0	0.333333333	0.5
109	6	2	4	0	1	0.266666667	0
110	13	5	7	1	2.5	0.466666667	0.5
111	6	2	3	1	1	0.2	0.5
112	35	5	24	6	2.5	1.6	3
113	33	5	24	4	2.5	1.6	2
114	28	2	20	6	1	1.333333333	3
115	5	0	4	1	0	0.266666667	0.5
116	9	4	3	2	2	0.2	1
117	45	8	31	6	4	2.066666667	3
118	7	0	6	1	0	0.4	0.5
119	25	1	20	4	0.5	1.333333333	2
120	25	2	17	6	1	1.133333333	3
121	6	0	6	0	0	0.4	0
122	21	2	18	1	1	1.2	0.5
123	20	1	16	3	0.5	1.066666667	1.5
124	6	3	2	1	1.5	0.133333333	0.5
125	48	6	38	4	3	2.533333333	2
126	7	3	2	2	1.5	0.133333333	1
127	5	0	5	0	0	0.333333333	0
128	11	1	5	5	0.5	0.333333333	2.5
129	13	0	13	0	0	0.866666667	0

<그림 1-6-37> 각 노선별로 거치는 역 순서(좌), 각 노선별 운행시간표(우)

⑧ 버스 정류장 구축 내용

○ 버스정류장 데이터는 서울교통정보센터, 경기버스정보 또는 각 시 소속의 연구소 등에서 구할 수 있음

○ 버스 정류장은 shp형태 또는 x좌표 y좌표가 정리되어 있는 테이블 형태 자료면 활용 가능함 (단 각 정류장별 고유 ID가 있어야 함)

⑨ 버스 운행정보 구축 내용

○ 버스 운행 정보는 버스 정류장 데이터를 제공하는 곳에서 대부분 제공함. 버스 운행 정보 데이터는 각 지역별 각 버스 노선별로 출발 정류장부터 마지막 정류장까지 거치는 정류장 순서대로 정류장 ID가 배열되어 있어야 함

○ 또한, 각 지역별 버스 노선에 따라 첫차시간 막차시간 그리고 첨두시간과 비 첨두시간의 배차시간이 요구됨

(2) 시나리오별 시뮬레이션 결과분석

○ 시범도시를 대상으로 하여 토지이용-교통 통합모델을 구동하였음

○ 분석은 앞서 구축한 수원시 BAU 시나리오와 수원시의 관심 교통정책인 노면전차 운행계획이 포함된 대안 시나리오 1 그리고 노면전차 계획과 토지이용 허용 용적률 변화를 포함한 대안 시나리오 2를 시뮬레이션 하여 결과를 도출함

○ 분석결과는 토지이용모델 분석결과와 교통모델 분석결과로 구분하여 제시하였으며, 특히

수원시 전 지역을 포함하는 수원시 결과물과 수원시 8개동의 트램지역 (매산동, 매교동, 행궁동, 영화동, 조원1동, 조원2동, 송죽동, 정자2동)만을 대상으로 트램지역 결과물로 각각 도출하였음

(가) BAU 시나리오 분석 결과

① 토지이용모델 분석결과

㉮ 수원시 인구

○ 2010년 수원시 전체 인구수는 약 1백 3만 명이며 2011년 약 1백 2만 명으로 약 1.3%인구 감소를 나타낸 뒤, 2012년 약 6%, 2013년 약 7%의 급격한 인구성장을 나타냄.

- 그 뒤 2014년부터 2016년까지는 약 2.5%에서 3%의 인구성장률이 예측되며, 2017년부터는 1% 미만의 소폭 상승률이 예측됨

○ 수원시의 아동수와 근로자수는 전체적으로 감소추세를 보임

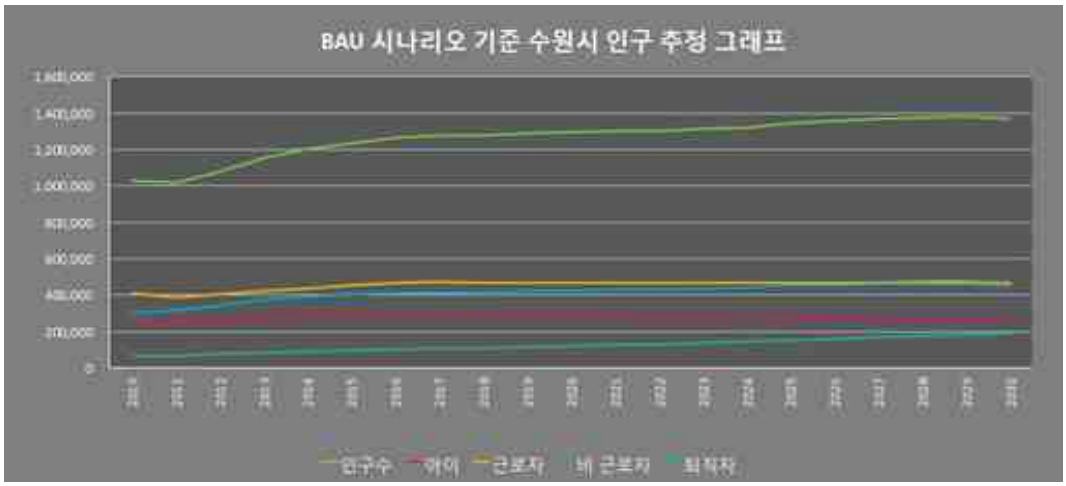
- 아동은 2016년까지 증가추세를 보인 뒤, 2017년부터는 감소하는 것으로 나타남
- 근로자 수는 2017년까지 증가추세를 나타낸 후 2018년부터 감소하는 것으로 나타남

○ 반면, 비근로자수와 퇴직자는 전체적으로 증가추세를 보임

- 비근로수는 2015년까지 큰 증가율을 보이며 2016년부터 2028년까지는 약 1%의 증가량, 2030년까지는 다시 감소하는 추세를 나타냄
- 퇴직자는 2016년까지 높은 증가율을 보이며, 2017년부터 2030년까지 약 2~4% 증가율을 나타냄

○ 결과적으로 BAU 시나리오 분석결과 수원시 인구수는 연도별 증가율에 차이가 있으나, 지속적인 증가추세를 보이며 특히 비근로자와 퇴직자의 증가가 아동과 근로자의 증가량에 비해 높은 것으로 알 수 있음

- 이는 수원시의 고령 인구가 차지하는 비율이 점차 많아짐을 나타냄



<그림 1-6-38> 수원시 인구관련 BAU 시나리오 분석결과

㉯ 트램지역 인구

○ 2010년 트램지역의 인구수는 약 16만 명이며 1백 3만 명이며 2014년까지 약 14만 명까지 감소를 나타낸 뒤, 2015년부터 2029년까지 약 1%대 인구 성장률을 나타내며 2030년에는 약 1%대 인구 감소률이 예측됨

○ 트램지역의 아동수는 전체적으로 감소추세를 보이며, 근로자 수는 증가와 감소를 반복하며 비교적 유지되는 형태를 보임

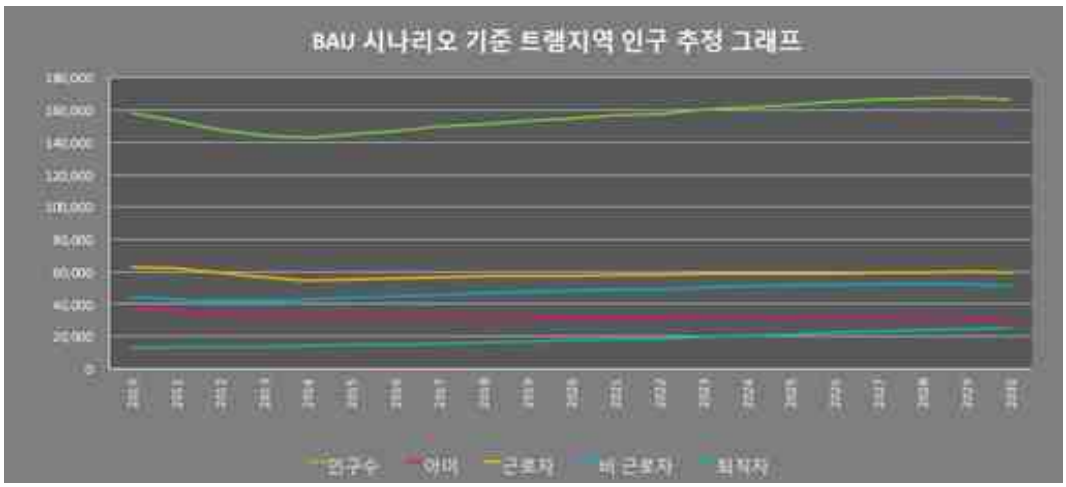
- 아동수는 2014년까지 3~4%의 감소률을 나타내며 2015년부터 2030년까지 소폭의 증감률을 나타냄
- 근로자 수는 2014년까지 3~4%의 감소률을 나타낸 뒤 2017년 까지 1.5%의 증가량을 보이고, 이후 2030년까지는 약 1%의 증감률을 나타냄

○ 비근로자수와 퇴직자는 전체적으로 증가추세를 보임

- 비근로수는 2012년까지 2~4%의 감소률을 보이며, 이후 2028년까지 1-2%의 증가추세를 보임
- 2029년부터 2030년까지는 1~2%의 감소률을 나타냄
- 퇴직자는 전체적으로 뚜렷한 증가추세를 보이며 특히 2015년부터 2029년까지 약 3~4% 높은 증가율을 나타냄

○ 결과적으로 BAU 시나리오 분석결과 트램지역의 인구수는 2014년까지 감소하나 이후 꾸준한 증가량을 보이며, 수원시와 마찬가지로 비근로자와 퇴직자의 증가가 아동과 근로자의 증가량에 비해 높은 것으로 알 수 있음

○ 특히, 트램지역의 기 확정된 토지이용사업(세류동과 지동지역의 재개발 사업)에 따른 공간 축소로 인해 2014년까지 트램지역에 거주하는 인구들이 수원시 다른 지역으로 이전하는 것으로 예측됨



<그림 1-6-39> 트램지역 인구관련 BAU 시나리오 분석결과

㉰ 수원시 가구

○ 2010년 수원시 전체 가구수는 약 37만 가구이며 2011년까지 약 700여 가구의 감소를 보인 후 2012년부터 2029년까지 지속적인 증가량을 나타냄

- 특히, 2012년부터 2016년까지 약 3~8% 정도의 급속한 성장률을 보임

○ 수원시의 1인가구와 2인가구는 전체적인 증가추세를 보이나, 3인 이상 가구는 2016년까지 증가추세를 보이며 이후 정체하는 경향을 보임

○ 1인 가구는 2012년부터 2016년까지 5% 이상의 높은 증가율을 보이며 이후 2029년까지 2% 안팎의 증가율을 보임

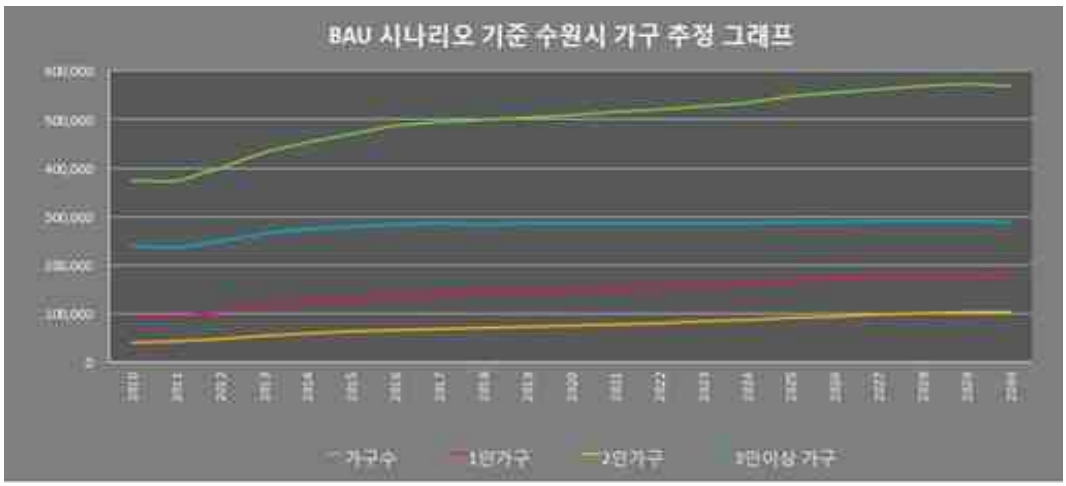
○ 2인 가구는 2012년부터 2014년까지 8% 이상의 높은 증가율을 보이며 이후 2030년까지 5% 안팎의 증가율을 나타냄

○ 3인 이상가구는 2016년까지 2~6%의 증가율을 보이며 이후 소폭의 증감률을 보임

○ 결과적으로 BAU 시나리오 분석결과 수원시의 가구수는 연도별 증가율에 차이가 있으나, 지속적인 증가추세를 보임

- 특히 1, 2인 가구의 꾸준한 증가율을 보이며 3인 이상 가구는 2016년까지 증가한 뒤 이후 가구수가 정체되는 것으로 확인됨

- 이를 통하여 수원시는 향후 평균 가구원수의 감소가 예측 되며 특히 목표연도 2030년 무렵에는 1, 2인 가구수의 합이 3인 이상 가구수와 유사한 양으로 예측됨



<그림 1-6-40> 수원시 가구수 관련 BAU 시나리오 분석결과

㉱ 트램지역 가구

○ 2010년 트램지역의 가구수는 약 6만 가구이며, 2014년까지 약 1~2% 감소 추세를 나타낸 뒤 이후 2029년까지 꾸준한 증가추세를 보임

○ 트램지역의 1인가구와 2인가구는 전체적인 증가추세를 보이나, 3인 이상 가구는2014년까지 감소추세를 보이며 이후 정체하는 경향을 보임

○ 1인 가구는 2013년까지 가구수의 정체 시기이나, 2014년부터 2027년까지 약 2% 이상의 비교적 높은 증가율을 나타냄

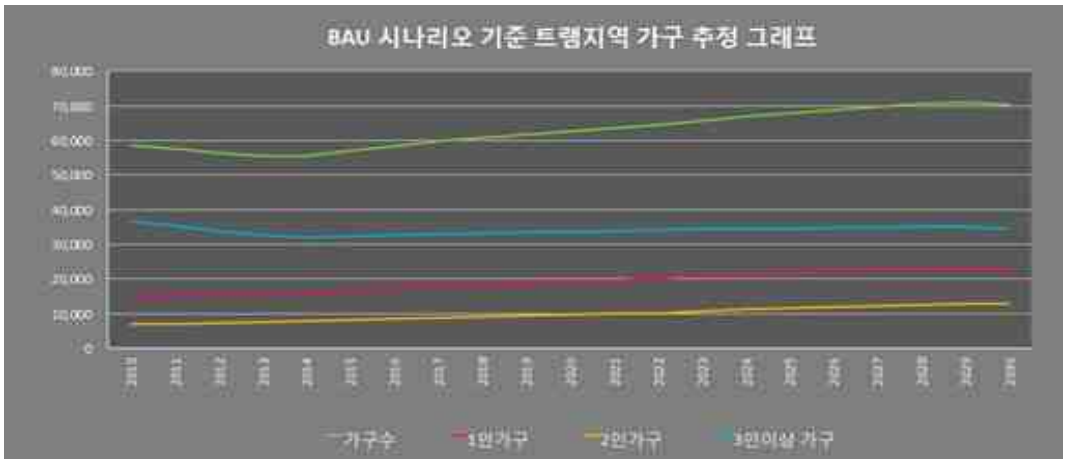
○ 2인가구는 시기별로 증가율의 차이가 있으나, 기준년도부터 목표연도까지 꾸준한 증가추세를 보임

○ 반면 3인 이상 가구수는 2014년까지 2%이상 감소율을 보이며 이후 목표연도까지 정체되는 것으로 나타남

○ 결과적으로 BAU 시나리오 분석결과 트램지역의 가구수는 2014년까지 감소하나 이후 꾸준한 증가량을 보임

- 수원시의 전체적인 경향과 마찬가지로 1, 2인 가구의 꾸준한 증가율을 보임. 단 3인 이상 가구는 수원시에서는 2014년까지 높은 증가율을 보이나, 트램지역에서는 감소하는 것으로 나타남

- 이는 트램지역의 기 확정된 토지이용사업(세류동과 지동지역의 재개발 사업)에 따른 멸실로 인해 2014년까지 빠져나가는 트램지역의 인구들 중 특히 3인 이상 가구들이 주를 이루고 있음을 나타냄



<그림 1-6-41> 트램지역 가구수 관련 BAU 시나리오 분석결과

㉮ 수원시 산업유형별 고용자

○ 2010년 수원시 고용자수 중 사무업 고용자 수가 가장 많은 수를 차지하고 있으며, 그 뒤로 도소매, 서비스, 기타, 제조업, 교육 그리고 보건 순으로 이루어짐

○ 사무 고용자는 2017년까지 약 3% 이상의 높은 증가률을 보이며, 이후 2029년까지 약 1%내외의 꾸준한 증가량을 나타냄

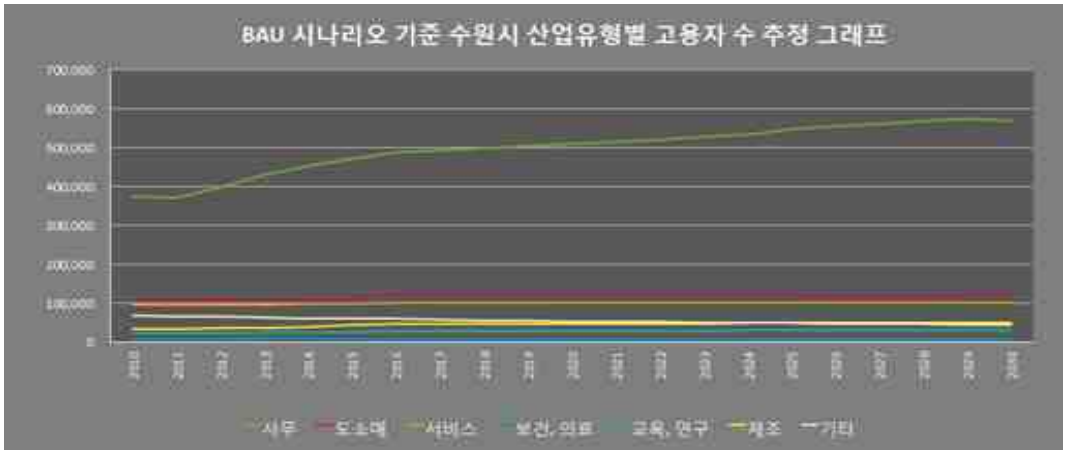
- 도소매 업은 2016년도 약 10%의 높은 증가량을 보이나 그 외 시기에는 약 1%내외의 증감량을 보이며 고용자 수를 유지함

○ 기타 유형의 고용자수는 기준년도 2010년 이후 지속적인 감소세를 보이며 그 외 서비스, 보건,

제조업, 그리고 교육 유형의 고용자 수는 큰 증감률을 보이지 않음

○ 결과적으로 BAU 시나리오 분석결과 수원시의 산업유형별 고용자 수는 기타업종을 제외하고 증가 또는 유지되는 것으로 나타남

- 특히 사무업종의 고용자수가 가장 많은 수를 차지하며 꾸준하게 증가함을 알 수 있음



<그림 1-6-42> 수원시 산업유형별 고용자수 관련 BAU 시나리오 분석결과

㈐ 트램지역 산업유형별 고용자

○ 2010년 트램지역 고용자수 중 사무업 고용자 수가 가장 많은 수를 차지하고 있으며, 그 뒤로 서비스, 도소매, 제조, 교육, 기타 그리고 보건 순으로 이루어짐

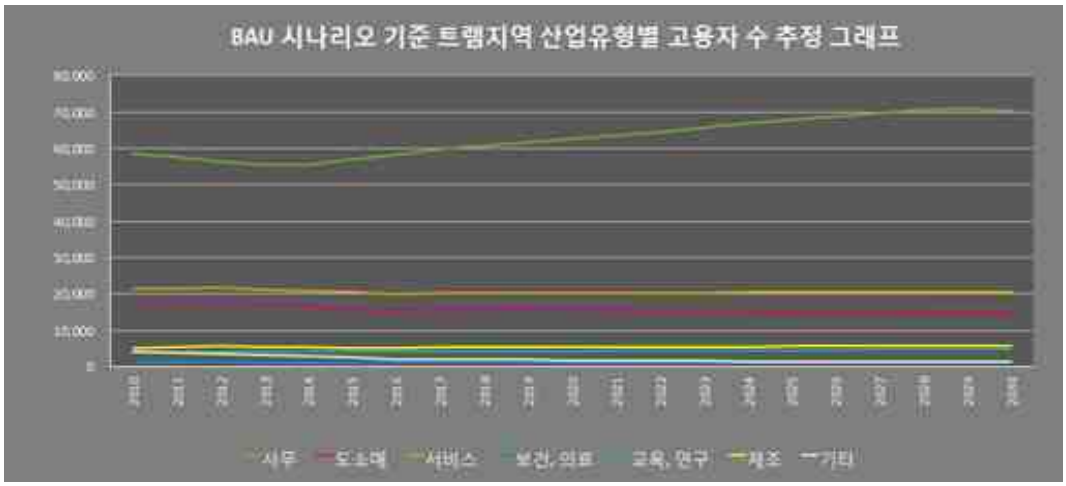
○ 사무 고용자는 2014년까지 약 1~2%의 감소량을 보이며, 이후 2029년까지 약 1~2%내외의 꾸준한 증가량을 나타냄

- 서비스업과 도소매업은 2013년부터 2016년까지 2~4%대 감소량을 보이나 그 외 시기에는 약 1%내외의 증감량을 보이며 고용자 수를 유지함

○ 그 외 도소매, 제조, 교육, 보건 그리고 기타유형의 고용자 수는 큰 증감률을 보이지 않음

○ 결과적으로 BAU 시나리오 분석결과 트램지역의 산업유형별 고용자 수는 수원지역과 달리 서비스 업종 고용자수가 도소매업보다 많이 있음을 알 수 있으며, 인구 및 가구의 분석결과와 마찬가지로 2014년까지 사무, 도소매 그리고 서비스 업종의 고용자 수가 감소하는 것으로 나타남

- 이는 트램지역의 기 확정된 토지이용사업(세류동과 지동지역의 재개발 사업)에 따른 멸실(공간이 없어짐)로 인해 2014년까지 트램지역의 고용자 수 중 높은 비중을 차지하고 있는 사무업과 서비스업 그리고 도소매 업종의 일자리가 타 지역으로 빠져나가는 것으로 나타남



<그림 1-6-43> 트램지역 산업유형별 고용자수 관련 BAU 시나리오 분석결과

② 교통모델 분석결과

○ 교통모델 분석결과는 도로 링크별로 통행량이 각각 산정됨으로 인하여 링크의 통행량 합은 실제 통행량에 비해 과다하게 산정됨

- 따라서 본 연구진은 링크 당 통행량을 평균으로 산정하여 시뮬레이션 결과물을 산출함

㉮ 수원시 통행량

○ 2010년 수원시 승용차와 화물트럭 통행량은 링크 당 약 1만 7천 통행으로 산출되었으며 목표연도 2030년까지 큰 증가량 없이 일정하게 유지됨을 확인함

- 반면, 버스통행량은 2010년 약 9천 통행량에서 2030년 약 1만2천 통행량 까지 증가하는 것으로 나타남

○ 지하철 통행량은 버스 통행량과 마찬가지로 2010년 기준년도를 시작으로 꾸준하게 증가하여 2010년에 비해 2030년 통행량이 약 13% 높아짐을 알 수 있음

○ BAU 시나리오 분석결과 수원지역의 승용차 통행량은 장래에도 큰 변화를 보이지 않으나, 대중교통 통행량은 버스와 지하철 통행량 모두 비교적 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타남



<그림 1-6-44> 수원시 통행량 관련 BAU 시나리오 분석결과(도로 통행량)



<그림 1-6-45> 수원시 통행량 관련 BAU 시나리오 분석결과(지하철 통행량)

㉯ 트램지역 통행량

○ 2010년 트램지역 승용차와 화물트럭 통행량은 링크 당 약 1만 9천 통행으로 평균 수원에 비해 높은 통행량이 도출되었음

- 승용차와 화물트럭 통행량의 증감은 수원시 전체적인 경향과 동일하게 목표연도 2030년까지 큰 증가량 없이 일정하게 유지됨을 확인함

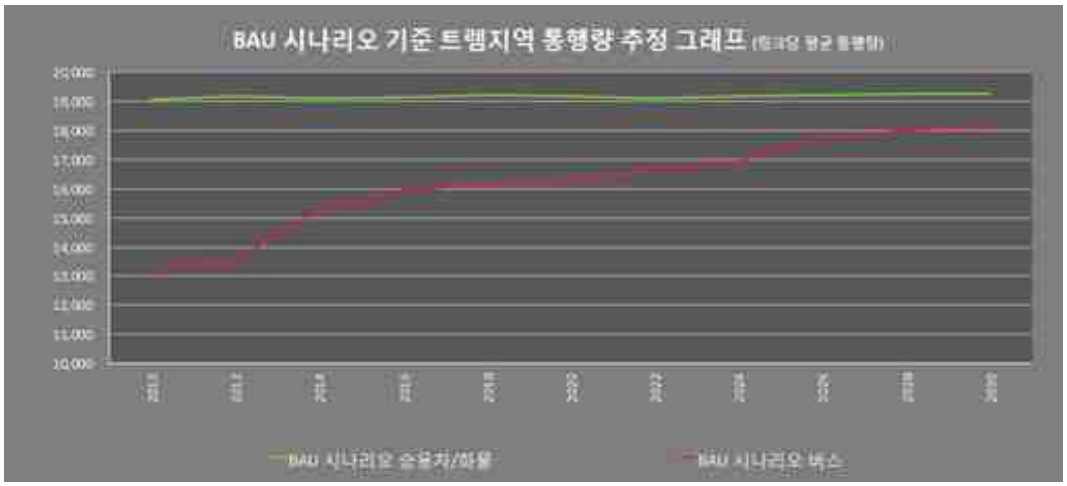
○ 버스통행량 역시 링크 당 약 1만 3천 통행으로 수원의 전체적인 버스 통행량에 비해 높은 통행량을 보임

- 버스통행량은 2030년까지 약 1만 8천 통행까지 증가하여 승용차와 화물 통행량과 근사한 통행량을 보임

○ 지하철 통행량은 수원시 지하철 통행량과 유사한 증가 추세를 나타냄

○ BAU 시나리오 분석결과 트램지역의 승용차 통행량은 장래에도 큰 변화를 보이지 않으나, 대중교통 통행량은 버스와 지하철 통행량 모두 비교적 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타남

특히 버스 통행량의 증가가 수원시 전체적인 경향에 비해 더 크게 나타남을 알 수 있음



<그림 1-6-46> 트램지역 통행량 관련 BAU 시나리오 분석결과(도로 통행량)



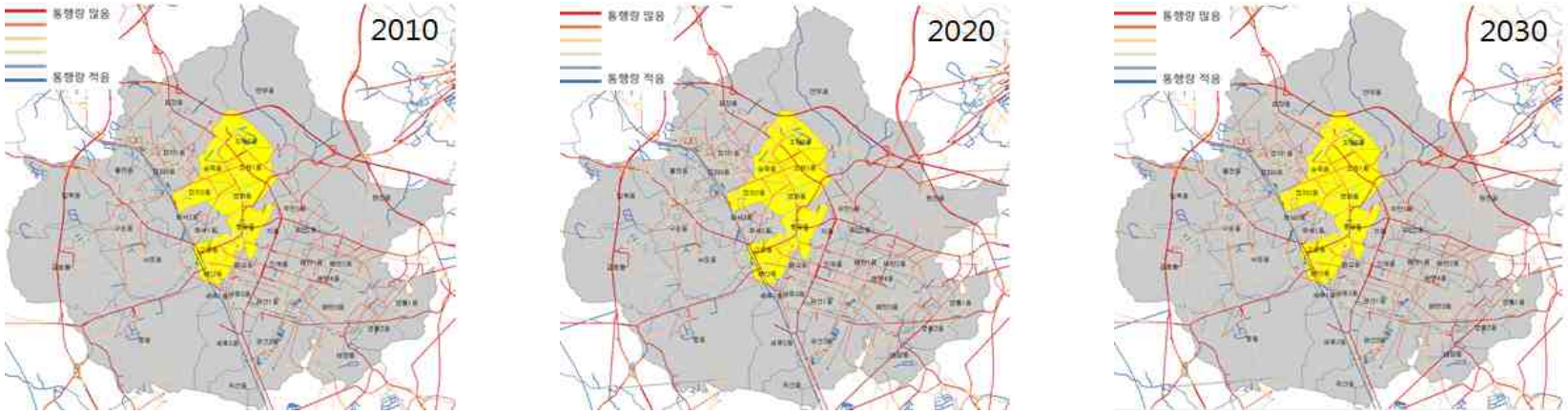
<그림 1-6-47> 트램지역 통행량 관련 BAU 시나리오 분석결과(지하철 통행량)

㉰ 링크별 통행량

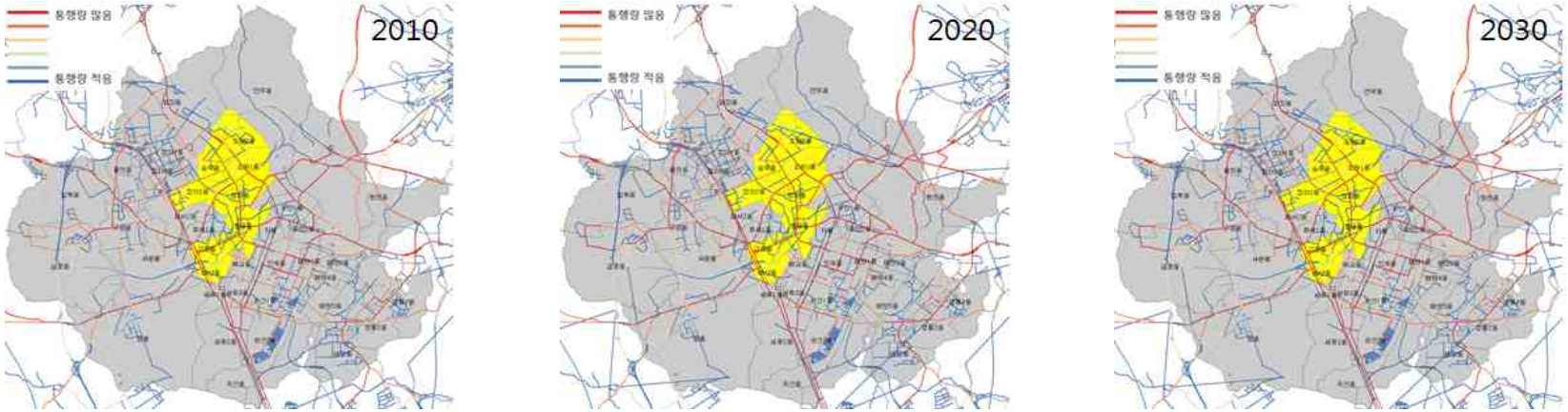
○ 교통모델에서는 보다 상세한 분석을 위하여 링크별 통행량 결과물을 도출함

○ 링크별 통행량을 통해 정책결정자가 관심 있는 도로의 통행량을 비교가 가능함

○ 분석결과 승용차와 트럭의 통행량은 대체로 수원 전 도로에서 높은 통행량을 보이는 반면, 대중교통 통행량은 버스노선이 집중되어 있는 간선도로 위주로 높은 값을 나타냄



<그림 1-6-48> 수원시 도로별 승용차/화물 통행량 BAU 시나리오 분석결과



<그림 1-6-49> 수원시 도로별 대중교통 통행량 BAU 시나리오 분석결과

(나) 대안시나리오 분석 결과

① 토지이용모델 분석결과

㉮ 수원시 주거 임대료

○ 수원시의 주거 임대료는 수원시의 기 확정된 토지이용사업(세류동 재개발 사업 등 수원 내 5개 사업)과 인근 지역의 개발사업 등으로 인하여 증감을 반복함

○ BAU 시나리오대비 대안시나리오는 수원시 주거 임대료에 있어서 보다 감소하는 것으로 나타남

- 이는 트램노선의 건설과 함께 수행되는 대중교통 전용지구 지정과 큰 관계가 있음

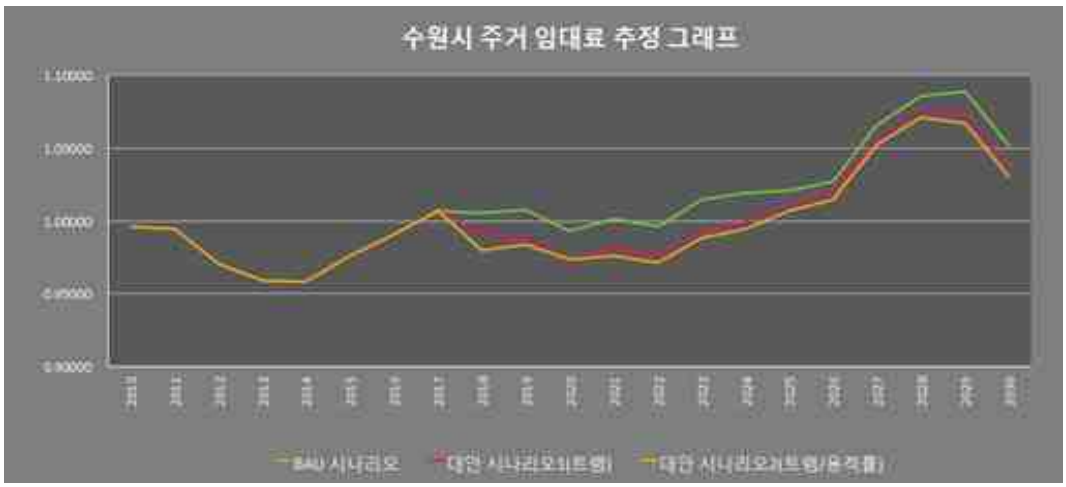
○ 대중교통 전용지구 지정은 수원역에서부터 장안문까지 승용차 및 버스의 통행을 전면 금지함으로 인해 주변 도로 통행량에 악영향을 미침

- 이는 입지 매력도의 저하로 나타나고 결국 주거임대료의 감소로 귀결됨

○ 대안시나리오2는 대안시나리오 2에 비해 허용용적률을 높임으로 인해 더 큰 주거임대료의 하락이 나타남

- 허용용적률의 증가는 보다 많은 공급을 야기하고, 이는 임대료의 하락으로 이어짐

○ 결과적으로 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정, 그리고 트램지역의 허용용적률 상향은 수원시 전체의 주거임대료에 있어서 부정적인 영향을 미침을 알 수 있음



<그림 1-6-50> 수원시 주거 임대료 관련 대안시나리오 효과 분석결과

㉯ 트램지역 주거 임대료

○ 트램지역 주거 임대료는 수원시 주거임대료와 유사한 시기별 증감량이 나타남

○ 특히 2010년 기준 트램지역의 주거임대료는 약 0.95인 반면 수원시 평균 주거임대료는 약 1.0으로 나타남

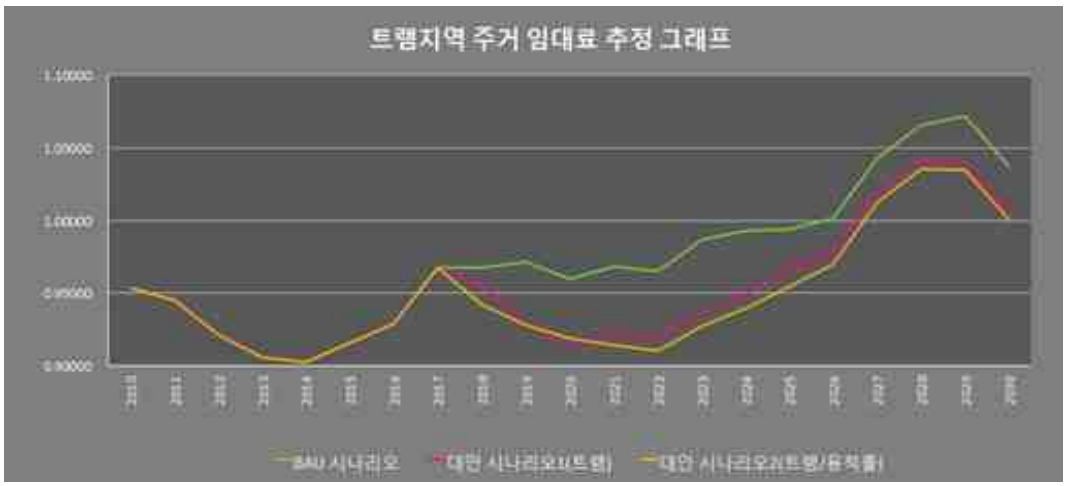
- 이는 트램지역의 주거환경이 수원의 평균적인 주거환경에 비해 열악함을 알 수 있음

- 이는 대안시나리오에 따른 수원시 토지이용 변화에 중요한 요소로 작용함

○ 대안시나리오 분석결과 BAU 시나리오에 비해 트램지역의 주거임대료가 낮아짐을 확인할 수 있음

- 이는 수원 전체적인 추세와 유사한 결과로 확인됨

○ 결과적으로 트램지역의 주거임대료는 수원시 평균에 비해 못 미치는 수준이며, 트램의 설치 및 대중교통 전용지구 지정, 허용 용적률 상향은 수원시의 전체적인 경향과 유사하게 주거임대료의 부정정인 영향으로 나타남



<그림 1-6-51> 트램지역 주거 임대료 관련 대안시나리오 효과 분석결과

㉰ 수원시 인구

○ 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정정책을 반영한 대안 시나리오 1 분석결과에 따르면 교통 대안정책을 반영하지 않은 BAU 시나리오 대비 수원시 인구가 감소하는 것으로 나타남

○ 앞서 임대료의 분석결과에서 살펴본 바와 마찬가지로 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정은 수원시 일대의 승용차 통행환경에 부정적인 영향을 미치는 이유로 인구의 유출이 발생됨을 알 수 있음

○ 반면, 트램지역의 허용용적률의 증가는 정책을 포함한 대안시나리오 2의 결과에 따르면 정책이 발휘되는 2017년부터 약 5년간은 BAU 시나리오 대비 인구수에 있어서 정(+)의 효과를 미치는 것으로 나타남

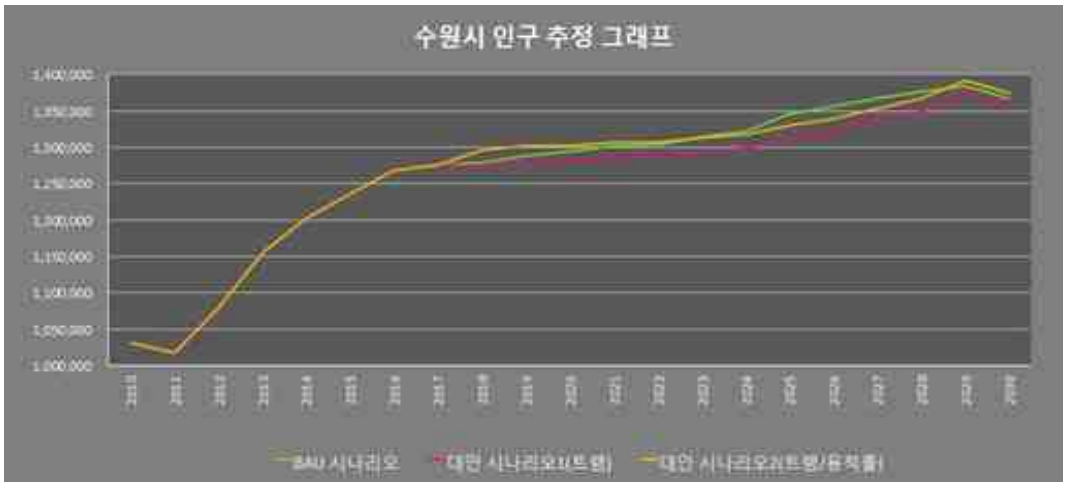
- 2022년부터 2028년까지는 BAU 시나리오의 인구가 대안시나리오 2의 인구보다 더 많은

수를 보이며 2029년 이후 다시 대안시나리오 2의 인구가 BAU 시나리오 대비 더 많은 수를 나타냄

○ 이는 허용용적률 상승으로 인해 유입된 인구가 시간이 지남으로 인해 가구 속성의 변화 및 주변 여건 변화로 인하여 다시 유출되는 과정에서 발생한 결과임

○ 결과적으로 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정은 수원시 전체 인구의 측면에서 보았을 때 교통의 환경 변화로 인하여 부정적인 영향을 미침

- 교통정책과 더불어 트램지역의 허용용적률의 증가가 동시에 이루어졌을 때 수원시 인구는 BAU 시나리오 대비 정(+)의 영향이 나타남을 알 수 있음



<그림 1-6-52> 수원시 인구 관련 대안시나리오 효과 분석결과

㉮ 트램지역 인구

○ 트램지역의 인구 역시 수원시 전체 인구와 마찬가지로 트램의 설치와 대중교통 전용지구지정 정책만을 반영한 대안시나리오 1은 BAU 시나리오 대비 낮은 인구 증가율을 보임

○ 이는 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정 등으로 인해 발생한 승용차 통행여건 악화가 주요 요인으로 꼽힘

○ 반면, 트램지역의 허용용적률의 증가는 정책을 포함한 대안시나리오 2의 결과에 따르면 정책이 발휘되는 2017년 급격한 인구증가가 나타남

- 허용 용적률 증가가 인구의 즉각적인 상승을 가져온 결과에 따르면 해당 지역이 주택용도의 수요가 존재하고 있음을 알 수 있음

- 2017년 증가한 인구수는 목표연도 2030년까지 BAU 시나리오와의 차이를 지속적으로 유지해 가며 존재함

○ 결과적으로 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정은 트램지역 인구의 측면에서 보았을 때 교통의 환경 변화로 인하여 부정적인 영향을 미침

- 교통정책과 더불어 트램지역의 허용용적률의 증가가 동시에 이루어졌을 때 트램지역의

인구는 즉각적인 유입을 보이며, 인구 유입으로 발생한 BAU 시나리오와의 인구수 차이는 목표연도 2030년까지 유지됨을 확인함



<그림 1-6-53> 트램지역 인구 관련 대안시나리오 효과 분석결과

㉮ 수원시 가구

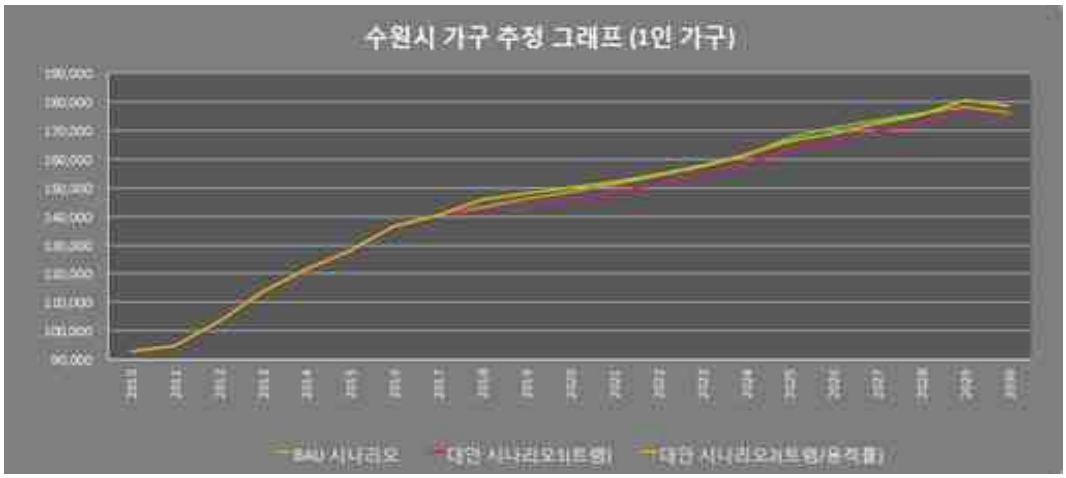
○ 대안시나리오 적용으로 인해 발생한 BAU 시나리오와의 인구수 차이를 가구원 속성으로 구분하여 분석함

○ 대안시나리오 1의 분석결과, BAU 시나리오와 비교하였을 때 1인가구와 3인 이상 가구수가 2인 가구에 비해 크게 차이가 나타남을 알 수 있음

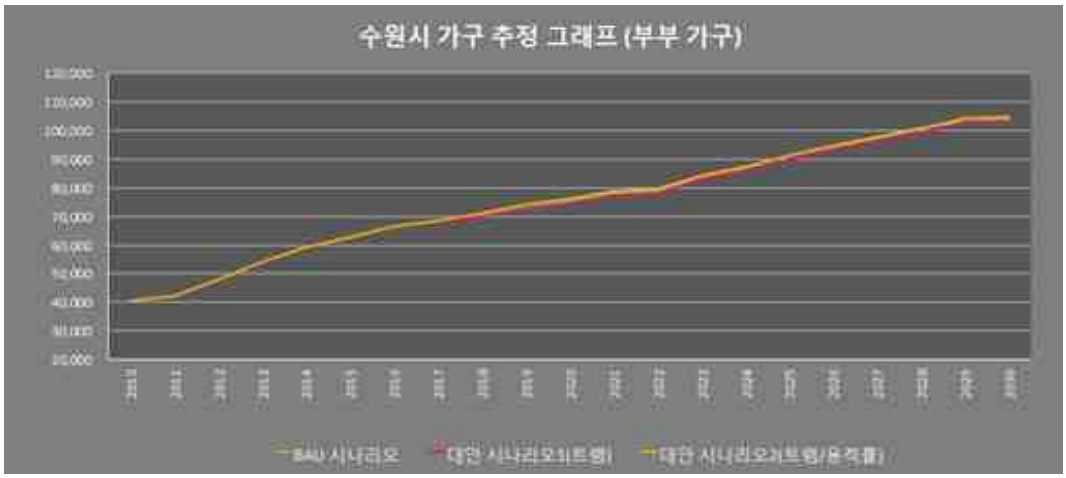
- 이를 통해 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정에 따른 승용차 통행여건의 악화는 2인 가구에 비해 1인 가구와 3인 가구의 유출에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있음

○ 대안시나리오 2의 분석결과, 허용용적률의 증가는 1인 가구와 3인 이상 가구의 유입에 긍정적인 영향으로 나타남

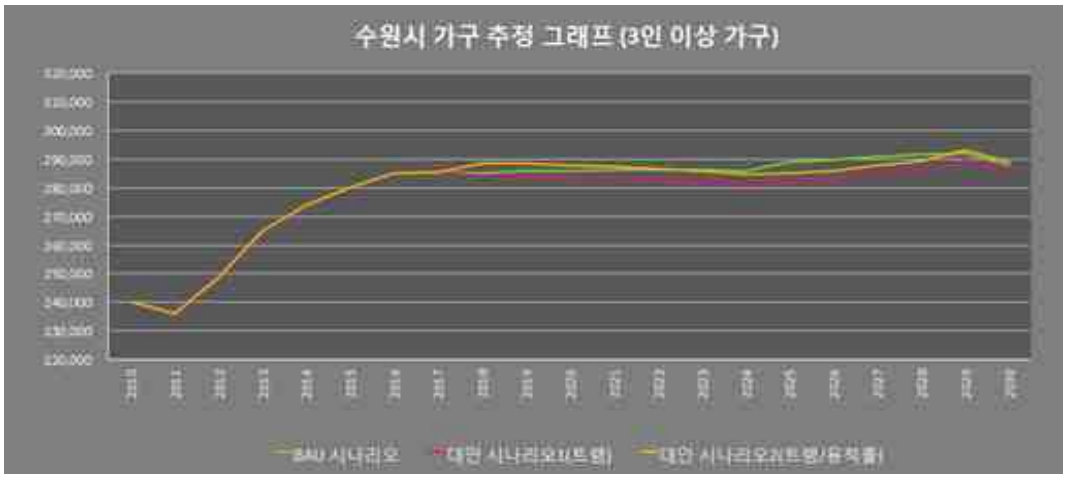
- 이는 트램지역의 허용용적률 증가가 대안시나리오 1로 인해 발생하는 1인, 3인 이상 가구의 유출을 억제하는 효과로 나타남을 알 수 있음



<그림 1-6-54> 수원시 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(1인가구)



<그림 1-6-55> 수원시 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(2인가구)



<그림 1-6-56> 수원시 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(3인이상 가구)

㉮ 트램지역 가구

○ 트램지역의 가구원별 가구수 역시 수원시 전체 인구와 마찬가지로 트램의 설치와 대중교통 전용지구지정 정책만을 반영한 대안시나리오 1은 BAU 시나리오 대비 낮은 인구 증가률을 보임

- 특히, 2인 가구 대비 1인가구와 3인 이상 가구에서 그 영향력이 크게 작동함

○ 특히 1인가구의 경우 정책이 시행된 2017년부터 2024년까지 BAU 시나리오와 큰 차이를 나타내나, 2025년 이후 BAU시나리오의 결과와 유사한 값을 나타냄

- 이는 승용차 통행여건의 악화로 인해 영향을 받은 1인가구가 정책이 발휘된 초기에 유출되고, 이후 해당 트램정책과 대중교통 전용지구 지정이 장점으로 작용하는 다른 1인가구가 유입되는 것으로 해석됨

○ 이러한 결과는 트램지역이 수원지역의 평균 임대료 대비 저렴한 지역이라는 점이 원인으로 작용함

- 해당지역은 비교적 임대료가 저렴하여 상대적으로 임대료 지불능력이 부족한 1인가구가 다시 해당지역으로 재유입되는 것으로 해석됨

○ 반면, 3인이상 가구수를 대상으로 한 분석결과에 따르면 트램지역의 승용차 통행여건의 악화로 인해 발생된 BAU 시나리오와의 가구수 차이가 목표연도 2030년까지 유지됨을 알 수 있음

- 이는 상대적으로 임대료 지불 능력이 있는 3인 이상 가구는 1인 가구에 비해 트램지역내 유입을 기피하는 것으로 알 수 있음

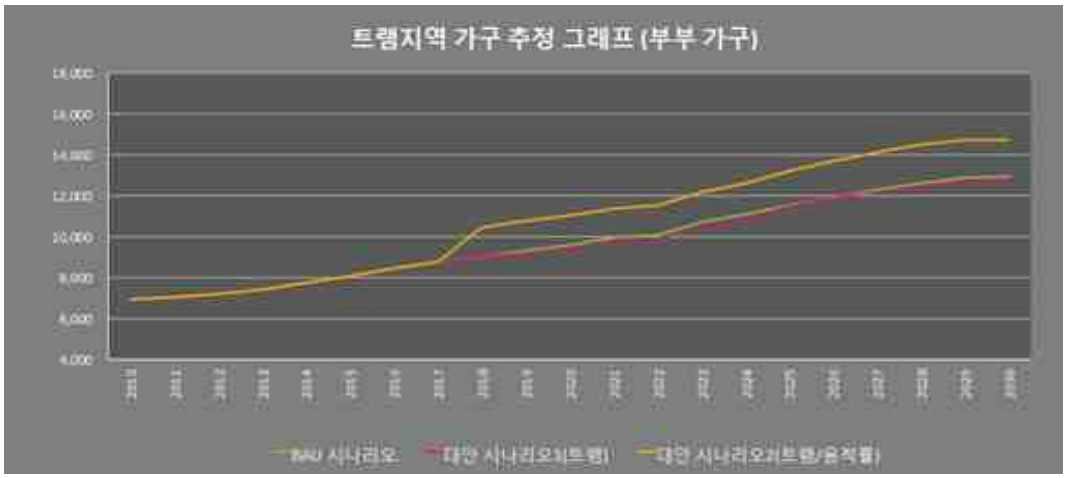
○ 대안시나리오 2의 분석결과, 정책이 수행된 2017년을 기점으로 목표연도 2030년까지 BAU 시나리오와의 가구수 차이가 비교적 일정하게 유지됨을 알 수 있음

○ BAU 시나리오 대비 대안시나리오 2로 인해 증가한 가구수는 목표연도 2030년을 기준으로 1인가구는 약 18%, 2인가구는 약 14% 3인 이상 가구는 약 11% 증가함

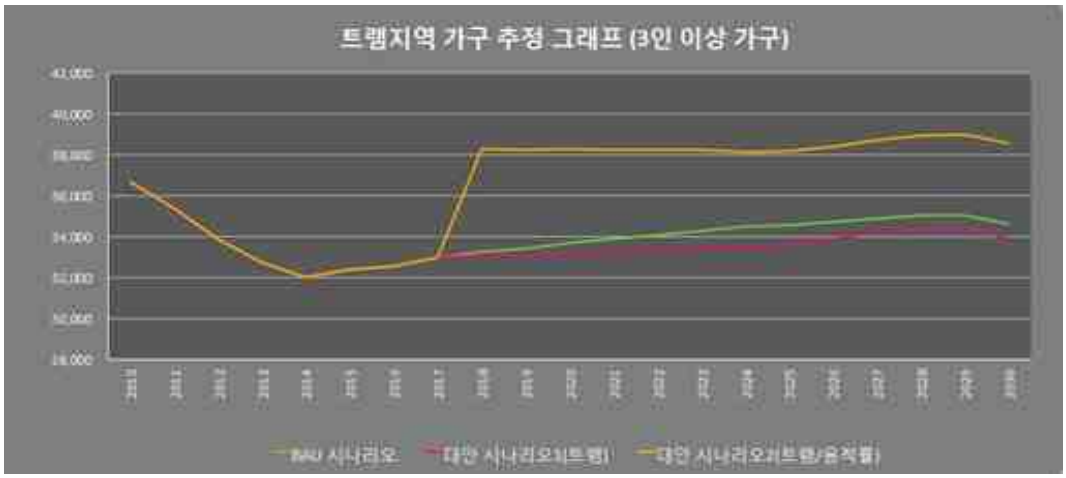
○ 이는 트램지역의 임대료가 수원시 평균에 비해 저렴하여 임대료 지불능력이 상대적으로 유리한 3인 가구에 비해 1인가구와 2인가구의 유입이 두드러짐을 알 수 있음



<그림 1-6-57> 트램지역 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(1인가구)



<그림 1-6-58> 트램지역 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(2인가구)



<그림 1-6-59> 트램지역 가구 관련 대안시나리오 효과 분석결과(3인이상 가구)

② 교통모델 분석결과

㉮ 트램 통행량

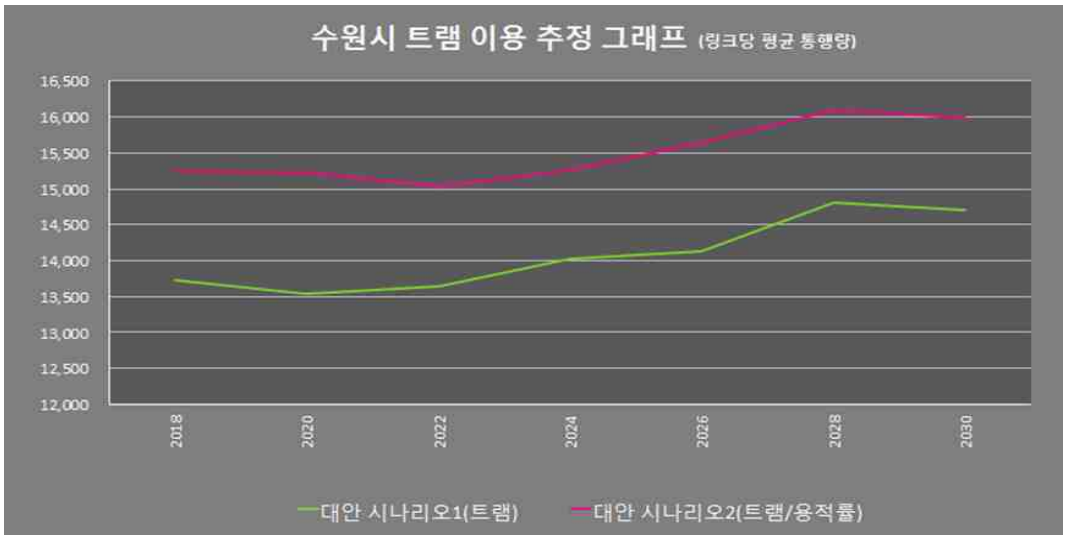
○ 대안시나리오 1과 2는 모두 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정이라는 교통정책을 BAU 시나리오에 추가하여 시나리오를 작성하였음

- 그로인해 BAU 시나리오와 달리 대안시나리오 1과 2는 트램의 이용자 수가 예측됨

○ 트램을 링크 당 평균 통행량 수를 산출한 결과 대안시나리오 1과 2 모두 트램을 설치한 2017년도를 기점으로 목표연도로 갈수록 통행량이 증가하는 것으로 나타남

○ 특히, 트램지역의 허용용적률을 높인 대안시나리오 2는 그렇지 않은 대안시나리오 1에 비해 더 많은 트램 통행량을 나타냄

- 이는 토지이용모델과 교통모델이 서로 영향을 주고받음으로 인해 도출된 결과로써, 용적률 상향으로 인해 유입된 인구가 트램을 이용함으로서 도출된 결과임



<그림 1-6-60> 수원시 트램 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과

㉯ 수원시 승용차/화물차

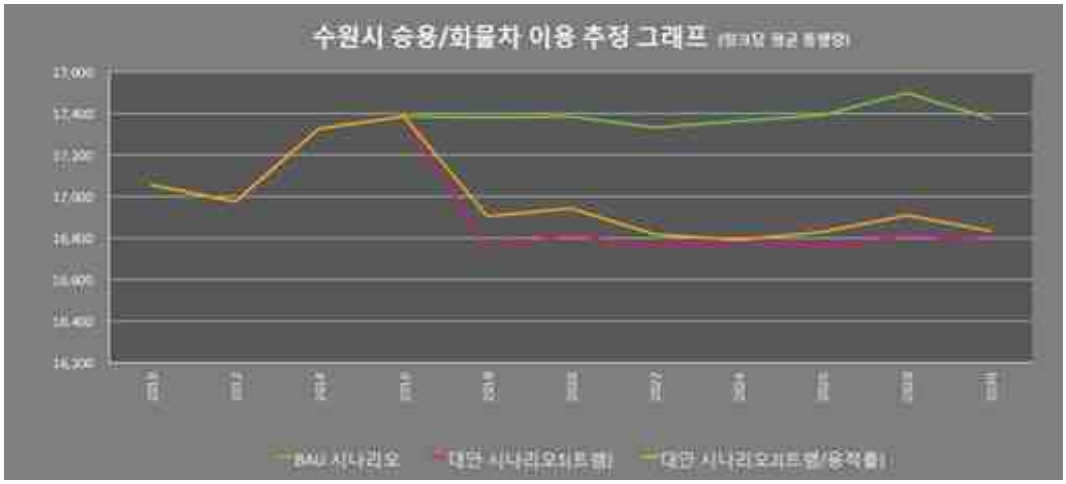
○ 수원시 승용차와 화물통행량에 있어서 트램의 설치와 대중교통전용지구 지정을 통한 대안시나리오 1과 2는 BAU 시나리오 대비 통행량을 억제하는 효과가 있음

○ 대안시나리오 1의 분석결과, 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정이 수행된 2018년 BAU 시나리오대비 약 3.6%의 승용차와 화물차의 통행량 감소를 야기하였으며, 목표연도까지 약 3.3%의 차이를 지속적으로 유지함

○ 반면, 트램지역의 허용용적률을 상향 정책과 함께한 대안시나리오 2의 분석결과, 2018년 BAU 시나리오 대비 약 2.8%의 승용차와 화물차의 통행량 감소를 야기하였고, 이후 시간이 경과함에 따라 BAU시나리오의 통행량의 차이를 약 3%까지 늘어남을 알 수 있음

○ 결과적으로 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정은 수원시 승용차 화물통행량에 있어서

BAU 시나리오 대비 통행량 감소를 유발하며, 허용용적률의 상향(대안시나리오 2)은 그렇지 않은 시나리오(대안시나리오 1)에 비해 승용차 화물 통행량을 증가시키나, 그 차이가 시간이 경과함에 따라 감소함



<그림 1-6-61> 수원시 승용/화물차 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과

㉰ 트램지역 승용차/화물차

○ 트램의 설치 및 대중교통 전용지구 지정이 트램지역에 미치는 영향은 수원시 전체에 미치는 영향과 유사한 형태로 나타남

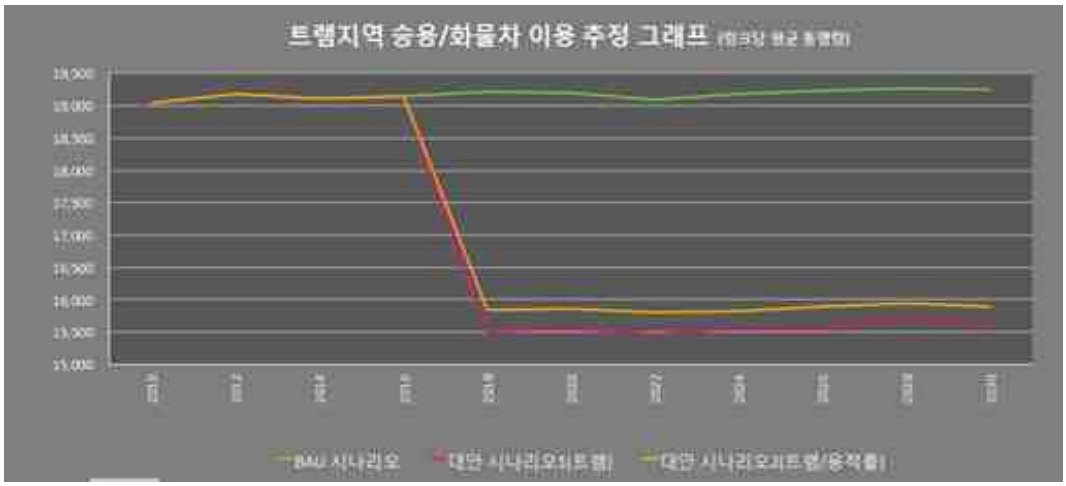
- 트램과 대중교통 전용지구는 트램지역의 승용차 및 화물차의 통행을 억제하는 것으로 나타나며, 그 효과는 대안시나리오 1이 대안시나리오 2보다 더 크게 나타남

○ 대안시나리오 1의 분석결과, 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정이 수행된 2018년 BAU 시나리오대비 약 19%의 승용차와 화물차의 통행량 감소를 야기하였으며, 목표연도까지 이 차이를 지속적으로 유지함

○ 반면, 트램지역의 허용용적률을 상향 정책과 함께한 대안시나리오 2의 분석결과, 2018년 BAU 시나리오 대비 약 17%의 승용차와 화물차의 통행량 감소를 야기하였고, 시간이 경과함에 따라 목표연도까지 이 차이를 지속적으로 유지함

○ 결과적으로 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정은 트램지역의 승용차 화물통행량에 있어서 BAU 시나리오 대비 통행량 감소를 유발하며, 허용용적률의 상향(대안시나리오 2)은 그렇지 않은 시나리오(대안시나리오 1)에 비해 승용차 화물 통행량을 증가시킴

- 수원 전 지역적 차원에서는 대안시나리오 1과 대안시나리오 2의 승용차 및 화물통행량의 차이가 점차 감소하였으나, 트램지역안에서는 그 차이가 지속적으로 유지됨을 알 수 있음



<그림 1-6-62> 트램지역 승용/화물차 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과

㉮ 수원시 대중교통

○ 대안시나리오가 수원시 대중교통에 미치는 영향은 전체 대중교통 통행량과, 버스 및 트램 통행량 그리고 지하철 통행량을 구분하여 분석하였음

○ 대안시나리오가 수원시 대중교통 통행량에 미치는 영향을 분석한 결과, BAU 시나리오는 대중교통 통행량이 지속적으로 증가하는 반면, 대안시나리오는 트램의 설치와 대중교통 전용지구가 지정되는 2017년에 소폭(약 4%) 감소하는 것으로 나타남.

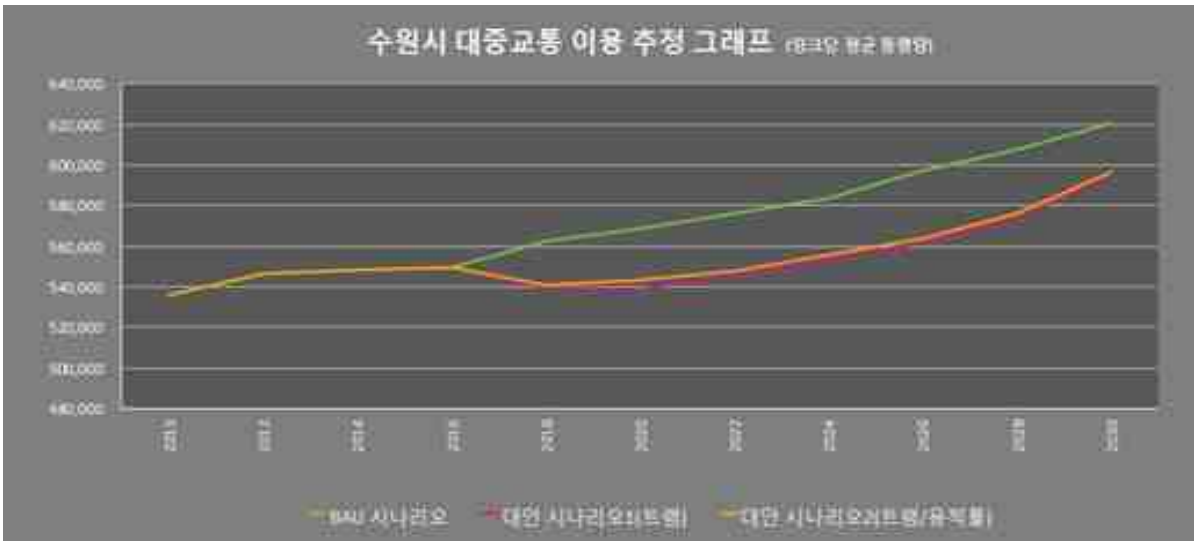
○ 대안시나리오로 인해 감소한 대중교통의 수단을 확인하기 위하여 버스 및 트램 통행량과 지하철 통행량을 구분하여 분석함.

○ 수단별로 구분하여 분석한 결과, 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정을 통해 버스 및 트램의 통행량은 더 많아졌으나, 그에 반해 지하철 통행량은 감소함

- 특히, 지하철 통행량의 감소량이 버스 및 트램의 증가된 통행량에 비해 더 크게 나타나서 결과적으로 전체 대중교통 통행량의 감소로 귀결됨

○ 트램지역의 허용 용적률의 차이가 있는 대안시나리오 1과 2의 분석결과는 수원시 전체 대중교통 통행량에 있어서는 유사한 통행량을 보이며, 버스 및 트램 통행량에 있어서 약 5%의 차이가 존재함

○ 결과적으로 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정은 전체 대중교통 통행량에는 부정적인 영향을 미치나, 이는 지하철 통행량의 감소에 따른 것이며 버스와 트램의 통행량은 BAU 시나리오 대비 증가하는 것으로 나타남



<그림 1-6-63> 수원시 대중교통 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과



<그림 1-6-64> 수원시 버스/트램 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과



<그림 1-6-65> 수원시 지하철 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과

㈐ 트램지역 대중교통

○ 대안시나리오가 트램지역 대중교통에 미치는 영향은 수원시 전체 대중교통 통행량에 미치는 영향과 유사함

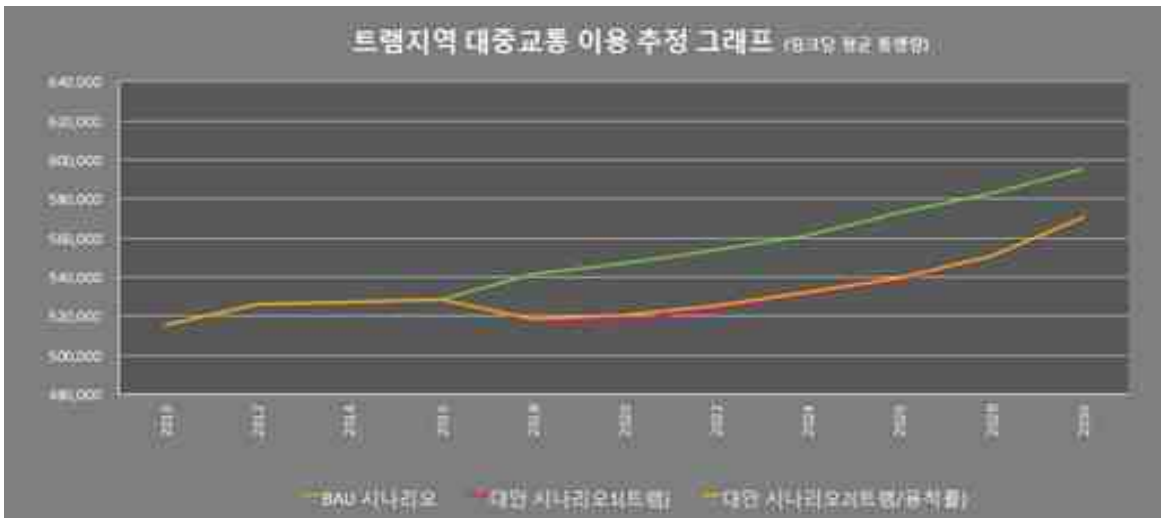
○ 대안시나리오가 트램지역 대중교통 통행량에 미치는 영향을 분석한 결과, BAU 시나리오는 대중교통 통행량이 지속적으로 증가하는 반면, 대안시나리오는 트램의 설치와 대중교통 전용지구가 지정되는 2017년에 소폭(약 4%) 감소하는 것으로 나타남

○ 수단별로 구분하여 분석한 결과, 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정을 통해 버스 및 트램의 통행량은 더 많아졌으나, 그에 반해 지하철 통행량은 감소함

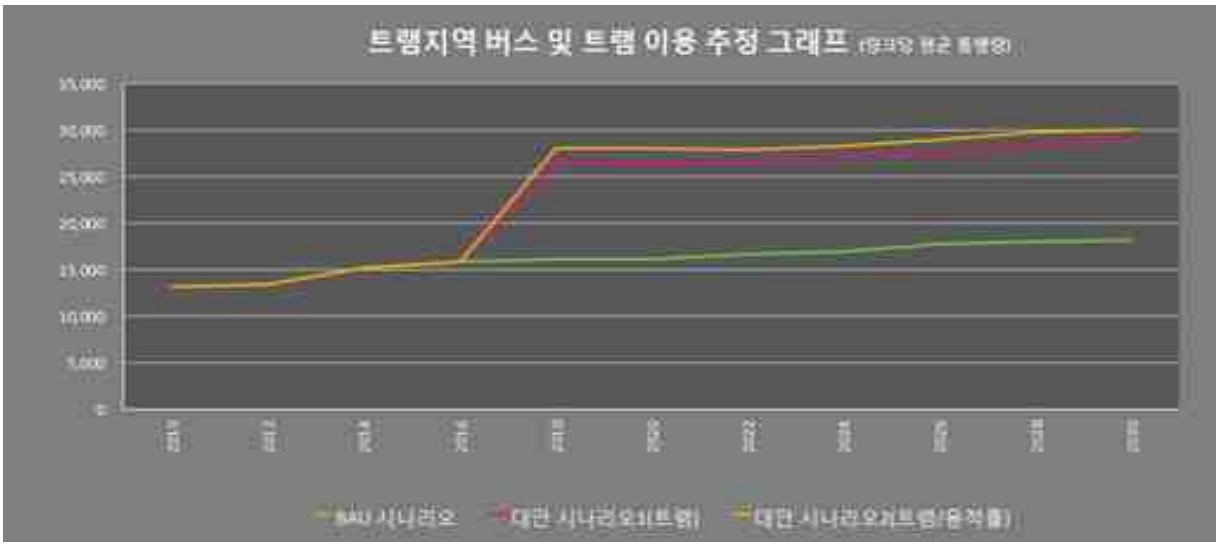
- 특히, 지하철 통행량의 감소량이 버스 및 트램의 증가된 통행량에 비해 더 크게 나타나서 결과적으로 전체 대중교통 통행량의 감소로 귀결됨

○ 트램지역의 허용 용적률의 차이가 있는 대안시나리오 1과 2의 분석결과는 트램지역 대중교통 통행량에 있어서는 유사한 통행량을 보이며, 버스 및 트램 통행량에 있어서 약 5%의 차이가 존재함

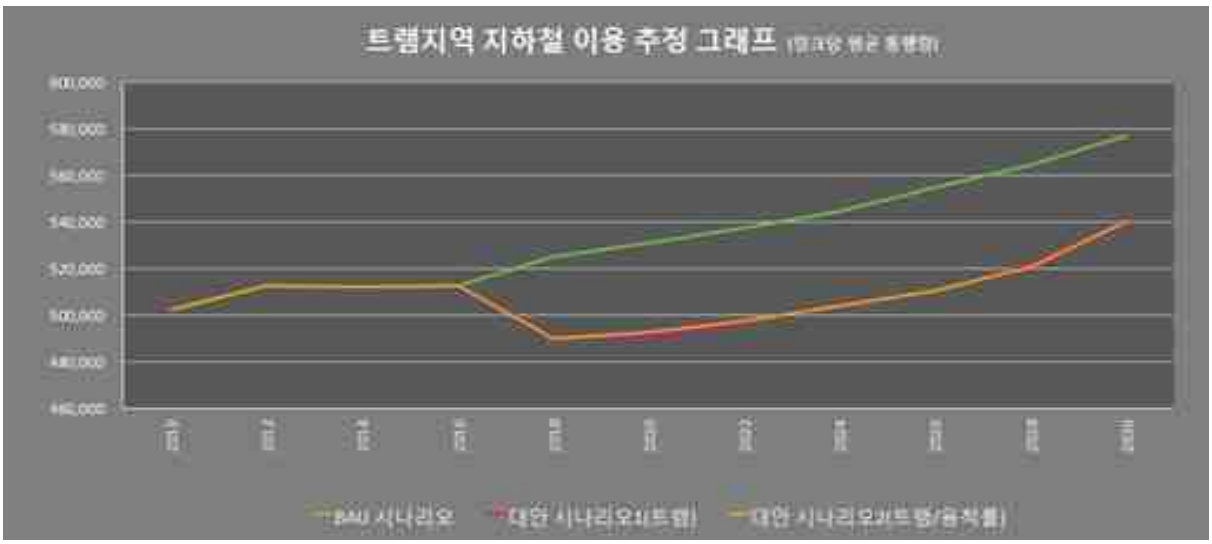
○ 결과적으로 트램의 설치와 대중교통 전용지구 지정은 트램지역 전체 대중교통 통행량에는 부정적인 영향을 미치나, 이는 수원시와 마찬가지로 지하철 통행량의 감소에 따른 것이며 버스와 트램의 통행량은 BAU시나리오 대비 증가하는 것으로 나타남



<그림 1-6-66> 트램지역 대중교통 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과



<그림 1-6-67> 트램지역 버스/트램 통행량 관련 대안시나리오 비교 분석결과



<그림 1-6-68> 수원시 지하철 지하철 관련 대안시나리오 비교 분석결과

㉮ 링크별 통행량

○ 교통모델에서는 보다 상세한 분석을 위하여 링크별 통행량 결과물을 도출 함

○ 링크별 통행량을 통해 정책결정자가 관심있는 도로의 통행량을 비교가 가능함

○ BAU 시나리오의 링크별 통행량 대비 대안시나리오의 링크당 통행량을 비교하였음

○ 분석결과, 대중교통 전용지구 도로는 승용차의 통행량을 제한하기 때문에 차량통행량이 감소하는 것으로 나타남

- 반면, 트램 노선 인근의 우회도로인 경수대로(육교사거리～장안문로터리), 팔달로(인계사거리～창룡문로터리), 인계로(인계사거리～팽나무고개 삼거리), 중부대로(중동사거리～동수원사거리)등 5개 구간은 통행량이 증가함

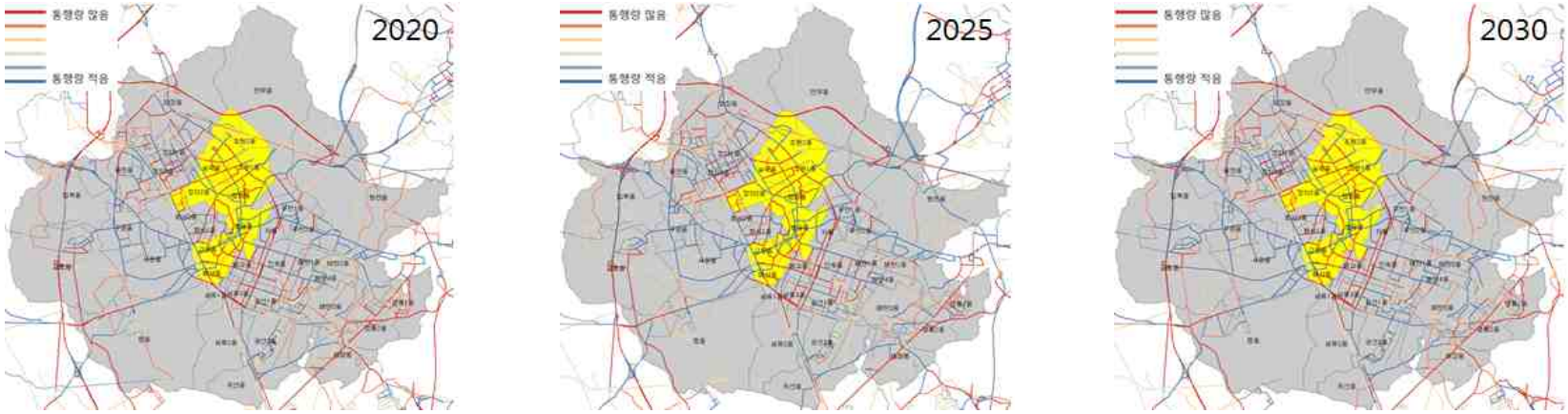
- 또한 트램지역 외 수원일대 주요 도로에서는 승용차 통행이 감소하는 것으로 나타남

○ 대중교통 통행량을 비교한 결과, 트램노선을 설치하고 대중교통 전용지구를 지정함으로 인해 트램 노선과 그 우회도로를 중심으로 대중교통 통행량이 증가함

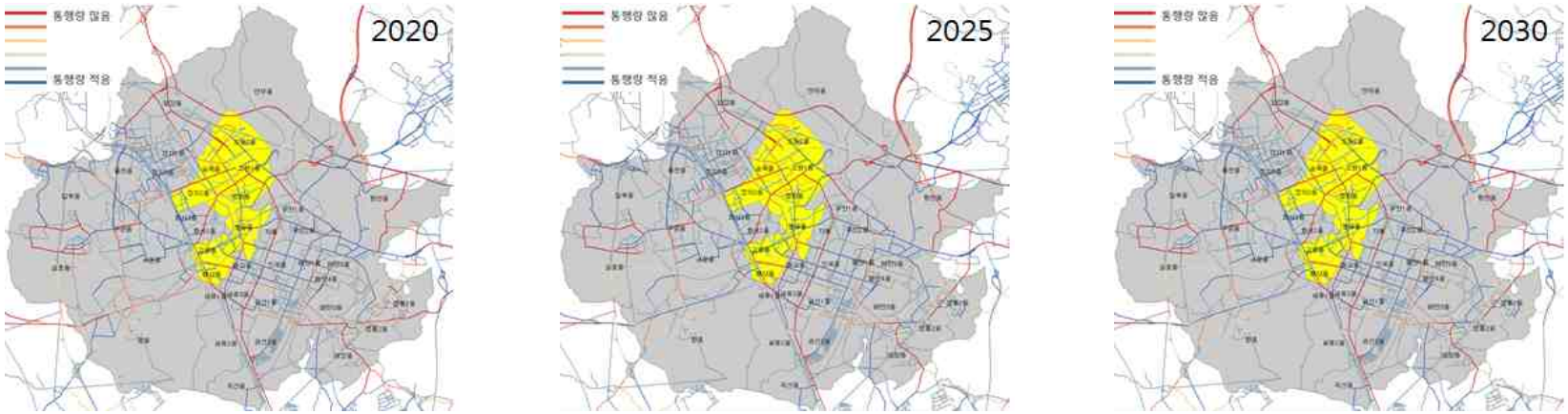
- 특히, 수원의 주요 간선도로인 경수대로와 팔달로를 중심으로 대중교통 통행량의 증가가 나타남

○ 결과적으로 링크별 통행량을 도출함으로써 대안시나리오가 영향을 미치는 주요 구간을 확인할 수 있음

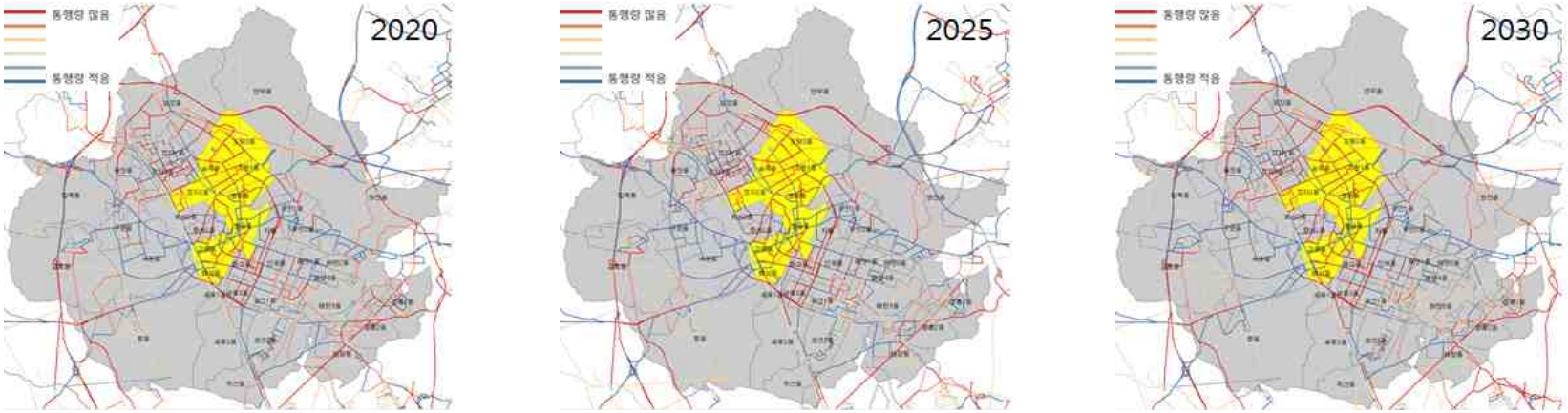
- 승용차 통행의 경우 트램지역 내부와 인근 우회도로에서 통행량의 증가가 나타났으며, 대중교통의 경우 버스 우회도로인 경수대로와 팔달로를 중심으로 통행량의 증가가 확인되었음



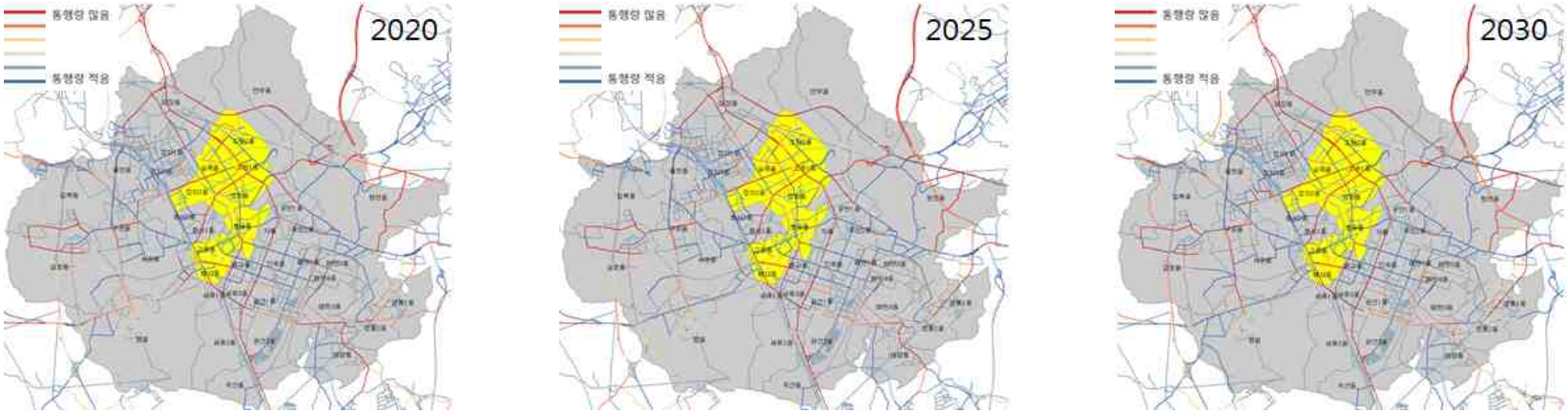
<그림 1-6-69> 수원시 도로별 승용차/화물차 관련 BAU 대비 대안시나리오 1 증감량



<그림 1-6-70> 수원시 도로별 대중교통 관련 BAU 대비 대안시나리오 1 증감량



<그림 1-6-71> 수원시 도로별 승용차/화물차 관련 BAU 대비 대안시나리오 2 증감량



<그림 1-6-72> 수원시 도로별 대중교통 관련 BAU 대비 대안시나리오 2 증감량

마. 토지이용-교통 통합 모형 및 탄소저감 도시정책의 적용 가이드라인 작성

(1) 가이드라인의 구성

○ 토지이용-교통 통합모형에 대한 간략한 소개 자료로 사용

○ 가이드라인 작성의 목적, 매뉴얼 구성 및 특징, 그리고 매뉴얼 내 자주 사용되는 용어에 대한 정의로 구성하였음

<표 1-6-71> 탄소배출량 모형 적용 가이드라인의 구성 및 특징

구 분		구성 내용
제1장 개요	가이드라인 제공 목적	가이드라인을 제공하는 목적에 대하여 설명
	가이드라인 적용 범위	가이드라인을 적용할 수 있는 모형의 활용 범위 설명
제2장 토지이용-교통 통합모형 소개	토지이용-교통 통합모형 배경	토지이용-교통 통합모형의 기초이론과 활용가치에 관한 설명
	토지이용-교통 통합모형 종류	토지이용-교통 통합모형의 종류에 대해 소개하고 본 모델 차별성 설명
	토지이용-교통 통합모형 구조	토지이용-교통 통합모형의 구성요소 및 하위모델에 관한 설명
제3장 토지이용-교통 통합모형 활용	토지이용-교통 통합모형 구동 절차	통합모형의 자료 입력, 시뮬레이션구동, 결과 산출 방식에 관하여 설명
	토지이용-교통 통합모형 입출력자료	토지이용모델과 교통모델 구동에 입출력 되는 자료 설명
	토지이용-교통 통합모형 출력자료 활용	수행결과의 활용 방안에 대하여 설명

(2) 전문가 검토 의견서

○ 토지이용-교통 통합모형의 가이드라인의 검증을 위해 담당업무 공무원 및 산·학·연 도시교통 전문가를 대상으로 자문을 수행하였으며 검토의견은 다음과 같음.

<표 1-6-72> 전문가 평가 의견

구분	주요 의견	반영 여부
A 전문가	- 토지이용과 교통의 융합적 계획 및 정책의 중요성을 강조하고, 모형의 활용도를 제고하기 위한 지침서의 제공은 시의적절하고 중요한 사항임	- 본 연구진 역시 토지이용과 교통의 융합적 계획의 중요성에 있어서 동감하고 있음
A 전문가	- 본문에서 명시된 '사용자'에 대하여 초반부 혹은 각 스텝별로 보다 구체적인 명시	- 가이드라인의 제 1장 개요에 본 가이드라인 '사용자'를

구분	주요 의견	반영 여부
	필요(모형관련 기술직 계획가, 일반계획가, 정책결정자 등)	추가적으로 명시하였음
	- 모형에 포함된 지표들의 대표성을 기존연구 등을 활용에 대해 간략히 소개 필요	- 가이드라인의 제 3장 통합모형 활용에 통합모형 입출력 자료를 제공하였음
	- 간단한 사례를 통하여 전체 분석과정을 소개하면, 모형구조 및 활용부문에 관한 이해도가 높아질 것으로 기대됨	- 가이드라인의 제 3장 통합모형 활용에 활용 가능한 정책대안 시나리오 매트릭스를 추가함으로써, 활용부문의 이해를 도움
B 전문가	- 전체적으로 토지이용-교통 통합모형의 구조 및 구동절차, 입출력 자료 등 모형의 활용을 위한 설명이 잘 이루어져 있음	- 본 가이드라인은 통합모형의 구동절차에 이해를 돕는 것을 목표로하기 때문에, B 전문가 의견과 마찬가지로 모형의 활용에 관한 사항을 중심으로 작성되어 있음
	- 다만 사용자가 누구인가에 따라 추가적인 설명이 필요할 것으로 판단됨 - 전문가들이 사용하는 것이라면 현재의 가이드라인으로도 충분하지만, 공무원들이 사용하는 것이라면 모델구동 시의 구체적인 메뉴화면과 거기에 어떻게 어떤 방식의 데이터를 입력해야 하는지에 대한 설명이 화면 캡쳐와 함께 제시될 필요가 있음	- 본 가이드라인은 탄소저감을 위한 도시공간-교통연계 탄소배출량 관리 시스템을 활용하고자 하는 정책결정자 또는 일반계획가를 대상으로 하고 있음(가이드라인에 명시). - 따라서 본 가이드라인 사용자는 토지이용-교통 통합모형을 직접 이용하는 대상이 아닌 탄소배출량 관리 시스템을 이용하는 사람이기 때문에 구체적인 화면은 구동시스템을 개발한 타 연구기관의 가이드라인을 참고할 수 있음
	- 또한 입력데이터의 구축을 위한 보다 상세한 설명이 필요함. 예를 들어 개발 데이터의 경우 개발면적, 토지이용의 분류, 토지이용별 연상면적 등이 어떤 형식으로 어떻게 입력되어야 하는지, 아니면 어느 기관에서 작성한 네트워크를 사용하면 되는지 등에 대한 보다 상세한 설명이 보완되면 사용자 입장에서 편리할 것으로 판단함	- 본 가이드라인은 토지이용-교통 통합모형의 기초이론과 탄소배출량 관리 시스템내의 역할을 소개하기 위한 목적으로 작성되었음. 따라서 구체적인 입력 데이터 구축과 관련한 사항은 제외되었음 - 입력데이터 구축과 관련된 상세한 사항은 과제 최종보고서에 작성되어 있으며 가이드라인 제 3장 활용편에 이러한 사항을 추가적으로 명시함
B 전문가	- 마지막으로 모델의 결과를 출력할 수 있는 템플릿에 대한 설명을 보완하였으면 좋겠음.	- 본 시스템의 사용자가 결과물을 보고서 형식으로 출력하는

구분	주요 의견	반영 여부
	예를 들어 여러 가지 그림과 그래프가 있는데 이를 보고서 형식으로 출력을 할 경우 어떻게 하여야 하는지 등에 대한 사용 메뉴얼이 보완되면 사용자 입장에서 유용하게 사용할 수 있을 것임	서비스는 탄소배출량 관리 시스템내 포함되어 있음. 이는 시스템을 개발한 타 연구기관의 가이드라인을 통해 확인할 수 있음
C 전문가	- 전체적으로 간결하게 이해하기 쉽게 가이드라인이 구성되어 있음	- 본 가이드라인은 C 전문가 의견과 마찬가지로 시스템 사용자가 통합모형에 관해 간단하고 쉽게 이해함을 목적으로 함
	- 다만, 토지이용-교통통합 모형이 익숙하지 않은 전문가 또는 비전문가 입장에서는 사전에 기초적인 지식이 없으면 이해하기가 어려울 수도 있을 것으로 생각됨. - 그래서 가이드라인을 바로 들어가지 말고 예를 들어 “토지이용 변화에 따른 교통발생량 변화가 CO_2 발생에 미치는 영향과 이를 위해 어떠한 변수들을 활용하여 교통네트워크 분석과 연계하여 어떻게 모델이 만들어 진다.”는 방향으로 모든 사람이 이해할 수 있도록 일반론적인 이해방법론을 추가해주면 좋을 것 같음	- C 전문가 의견을 반영하여 가이드라인 제 1장 개요부분에 탄소저감 정책이 어떠한 과정을 통해 통합모델로 검증이 되며, 분석결과물이 정책개발 과정에서 어떻게 사용되는지 간단한 Flow 차트를 통해 소개하였음
	- 또한, 마지막에 결과를 시나리오와 대안에 대한 지도가 너무 작아 뒤에 분석결과 테이블과의 상호간 이해가 잘 안되는 것 같음	- 가이드라인에서 제공한 결과도면과 그래프는 통합모델 분석결과의 표현 예시로써 제공한 내용임. 따라서 이를 통해 분석결과를 이해하는 것은 다소 무리가 있을 것으로 판단함
	- 본 과제의 대상을 수도권으로 하여 가구통행실태조사를 활용하여 모델을 만들었으나, 비수도권은 아직 가구통행실태조사가 없으므로 비록 가구통행실태 조사를 사용 못하더라도 활용할 수 있는 데이터를 이용한 모델제시가 가능한 방향에 관하여서는 언급해준다면 추후 전국에 활용가능한 모델 구축시 큰 도움이 될 것으로 판단됨	- C 전문가의 의견과 마찬가지로 토지이용-교통 통합모형을 구축하기 위해서는 지역의 통행데이터가 요구됨. 이는 수도권 외 지역에 모델을 적용함에 있어서 제약이 될 것으로 판단됨. 따라서 이러한 데이터를 각 지자체 산하 연구소의 구축 데이터를 활용과 같은 시도가 이루어 져야 할 것으로 판단함

제7절 (핵심성과 2-2) 활동기반 미시적 교통모형 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

가. 활동기반 미시적 교통모형 개발 전략

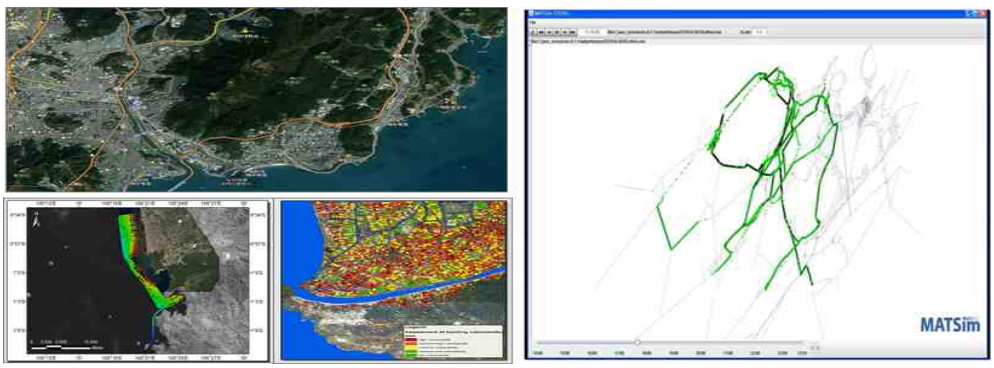
도시교통 탄소저감 평가·관리를 위한 도시 활동별 통행체인(Trip Chain) 및 스케줄링(Scheduling) 예측을 위해 기존 교통수요추정모형인 4단계 모형의 한계를 극복한 인간 활동기반 교통시뮬레이션 모형을 개발함으로써 미시적인 교통정책에 따른 통행량 변화 예측이 가능하고, 이를 탄소배출량 산출을 예측하는 시스템에 적용할 수 있게 되었음

(1) 4단계 모형의 한계점

- ○ 기존 교통수요추정모형들은 특정시점에서 특정장소의 통행량 자료를 수집하여 통행수요를 분석하기 때문에, 통행이 유발된 원인과 시간대별로 변화하는 통행특성을 고려하기 어려움
- ○ 따라서 개인의 통행 특성이 무시되거나 통행자의 속성이 수요에 미치는 영향 등에 대해서 고려할 수 없음
- ○ 교통수요가 통행자의 활동에 관여함에 따른 부산물, 즉 파생요인을 간과하고 있어, 통행자 통행에 대한 의사결정과정이 통행자의 활동 속에서 보이지 않음
- ○ 통행간의 연결성, 사람들 사이에 결정되는 통행행태, 시간계획, 활동욕구가 종합적으로 포함되지 않음

(2) 동적 모형(Dynamic Assignment)을 이용한 수요 추정 방법

- ○ 최근 컴퓨터 기술의 빠른 성장으로 많은 데이터를 사용한 교통 수요예측이 가능해짐
- ○ 정적인(Static) 교통수요예측을 동적 수요예측으로 전환해 정확한 수요예측이 가능해짐
- ○ 개인의 의사결정간 상호작용을 파악하기 위해 미시적 시뮬레이션이 증가함
- ○ 대표적 미시 시뮬레이션으로는 MATSim(Mulit-Agent Transport Simulation)이 있음



<그림 1-7-1> 정보기술기반 Multi-Agent 교통시뮬레이션 연구

(3) 교통계획분야에서의 미시적인 접근법

○ 집계모형에 의한 오차율 및 통행기반 모형의 비현실성으로 인해 동적 접근이 가능한 개별 활동기반 모형에 대한 연구가 증가하는 추세임

○ MATSim(Multi-Agent Transport Simulation)은 활동기반 접근법(Activity-based approach)을 바탕으로 한 교통수요추정 시뮬레이션으로 개별통행자들의 통행패턴을 파악할 수 있으며, 보다 정확한 장래 교통수요를 추정하는데 큰 도움을 줄 수 있음

○ 활동기반 모형은 개인의 다양한 일상 활동을 교통계획의 의사결정단위로 파악하고 통행을 연속적인 일상생활 중 하나의 행위로 간주하여 통행자의 일상 활동계획을 연구 대상으로 하기 때문에 탄소배출량 산정 및 관리를 위한 연구에 보다 적합한 분석결과 제공이 가능함

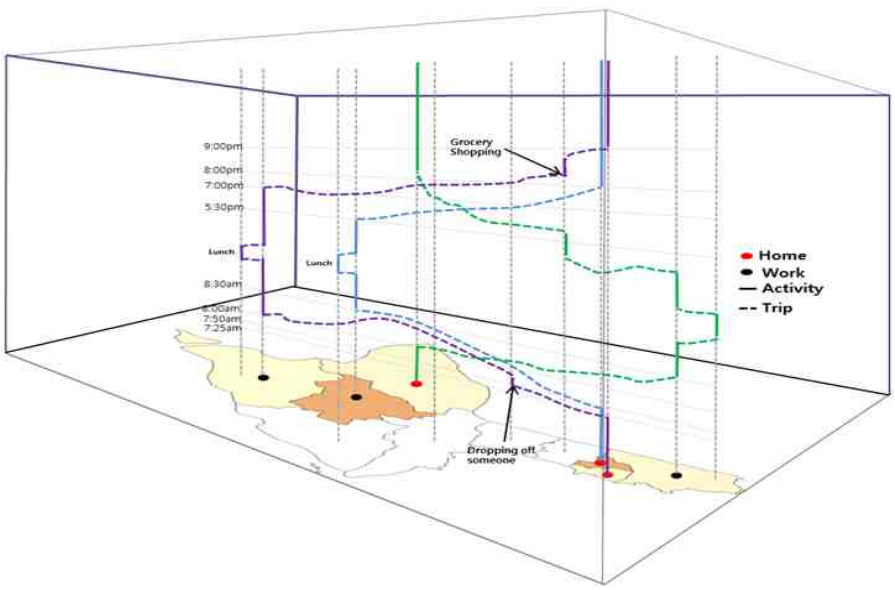
○ 거시적 공간계획과 미시적 공간계획은 시간적 차이를 두고 긴밀하게 연계되어 있으므로 장기적 효과를 예측할 수 있는 모형과 미시적 시간-공간에 따른 개인의 교통 활동을 분석하기 위해서는 개별행태 모형 및 시뮬레이션 모형의 접근이 필요함

(4) 활동기반 미시적 교통모형

○ 활동기반 모형은 개인의 다양한 일상 활동을 교통계획의 의사결정단위로 파악하고, 통행을 연속적인 일상생활중 하나의 행위로 간주하여 통행자의 일상 활동을 연구함

○ 따라서, 인간활동기반의 시뮬레이션을 구축하여 미시적인 탄소저감정책 적용에 따른 지구단위의 통행패턴 변화를 예측하여 모형화함

○ 탄소배출량 산정 및 관리를 위해 개별 차량의 활동 목적별 주행거리, 주행경로, 통행량, 통행속도분석을 실시하였음



<그림 1-7-2> 활동기반 교통모형 개념도

나. 연차별 연구목표와 연구내용

활동기반 미시적 교통모형 개발을 위한 연차별 연구목표와 연구내용은 다음과 같다.

<표 1-7-1> 연차별 연구목표와 주요 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도 (설계구상 단계)	▪ 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 (개발단계)	▪ 도시활동(유형별) 통행 체인분석을 통한 활동기반 모형 연구 및 개발	▪ 가구통행실태조사 데이터를 이용한 모형 연구 및 국내 적용 모형 개발
3차년도 (적용준비 단계)	▪ 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 통행스케쥴링 자료 생성
4차년도 (적용단계)	▪ 인간활동 기반 시뮬레이션(MATSim)의 시범도시 적용	▪ 시범도시 인간활동기반 시뮬레이션(MATSim) 네트워크 구축 ▪ 시나리오별 인간활동기반 시뮬레이션(MATsim) 적용 및 분석

2. 연구수행 과정 및 내용

가. 도시 활동기반 모형의 국내 적용 가능성 분석 및 모의 네트워크 구축

(1) 국내 적용 가능성 분석을 위한 연구 수행 과정

인간활동기반 시뮬레이션 모형 개발을 위한 연구수행 결과를 요약하면, 활동기반 모형의 국내 적용 가능성을 분석하기 위해서 모의 네트워크를 구축하여 MATSim의 적용가능성을 분석하였음. 또한, 도시활동 별 통행체인 분석을 통해서 활동기반 모형을 연구하였음. 위의 연구수행과정은 다음과 같은 그림으로 도식화할 수 있음



<그림 1-7-3> 연구수행 과정

(2) 국내활동기반 모형 설계 및 모의 네트워크 구축

○ 활동기반 시뮬레이션 프로그램인 MATSim의 국내 적용가능성을 판단하기 위한 모의 네트워크 및 Plan을 구축 및 분석하였고, 여기서 Plan은 개인의 하루 일과를 나타낸 일련의 활동을 시간적 순서에 따라 나열한 것임. 분석을 위하여 스위스 ETH 전문가와의 협력을 통해 모형 보완 및 시뮬레이션 구축하였음

○ MATSim을 활용하여 강남구의 모의실험 결과 값과 실측값의 비교 분석 결과 신뢰할 만한 수준의 결과 값을 얻었고 ETH 전문가를 활용하여 더 넓은 범위를 분석 가능한 네트워크 및 plan 구축 연구가 이루어짐

○ 도시활동(유형별) 통행 체인분석을 통한 Activity based 모형 구축 및 적용

- 실증 데이터 분석을 통한 도시 유형별 통행체인(Trip Chain)분석
- Multi-Agent Transport Simulation 적용을 위한 Input data 구축
- 도시활동별 Activity based 모형 구축 및 구축된 모형의 검증 및 적용가능성 판단

○ 도시활동별 통행체인(Trip Chain) 및 스케줄링(Scheduling) 예측기술개발

- Multi-Agent Transport Simulation의 국내적용을 위한 방법론 개발
- 실제도시를 대상으로 Multi-Agent Transport Simulation Model 구축
- 도시유형별 인간활동기반 스케줄링(Scheduling) 예측기술 개발

나. 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

- 개별행태모형의 구축하여 개별 활동 계획 자료(Agent plan data)를 적용하기 위해 가구통행실태조사 원(raw) 자료를 가공함
- 가구원 번호에 맞춰 가구원의 통행 자료를 매칭 시켜 지역단위의 가구원별 통행 정보를 구축함
- 3개의 원 자료 데이터를 가공한 최종 통행 자료와 MATSim의 계획자료(Plan Data) 구축 시 활용방안을 다음 표를 통해 나타냄

○ 가구통행실태조사 자료의 통계적 검증을 통해 개별행태모형의 신뢰성 확보

- 가구통행실태조사의 원자료를 사용함으로 데이터의 논리 검수 기준을 파악하여 이를 수정함
- 검수결과, 가구통행실태조사와 과소응답보완조사를 포함하여 추출된 자료 중, 본연구의 원 자료로(서울) 사용된 가구수는 95,087가구, 가구원수는 237,284명, 개인 통행수는 579,924통행임

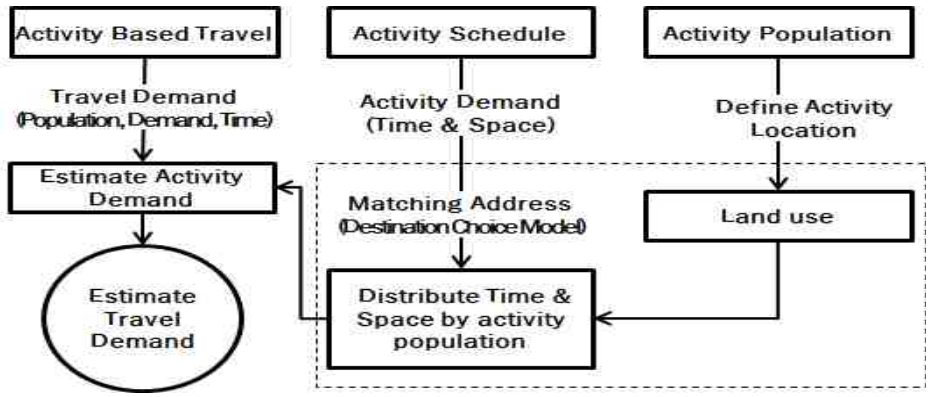
<표 1-7-2> 논리 검수 후 최종자료

구 분	서울시		인천시		경기도		합계	
	1차검수	2차검수	1차검수		1차검수		1차검수	2차검수
가구수	95,968	95,087	21,580		96,062		213,610	212,729
	44.90%	44.70%	10.10%	10.14%	45.00%	45.16%	100.00%	100.00%
가구원수	327,796	237,284	75,206		332,548		735,550	645,038
	44.60%	36.79%	10.20%	11.66%	45.20%	51.55%	100.00%	100.00%
개인 통행수	618,403	579,924	140,164		614,021		1,372,588	1,334,109
	45.10%	43.47%	10.20%	10.51%	44.70%	46.02%	100.00%	100.00%

(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

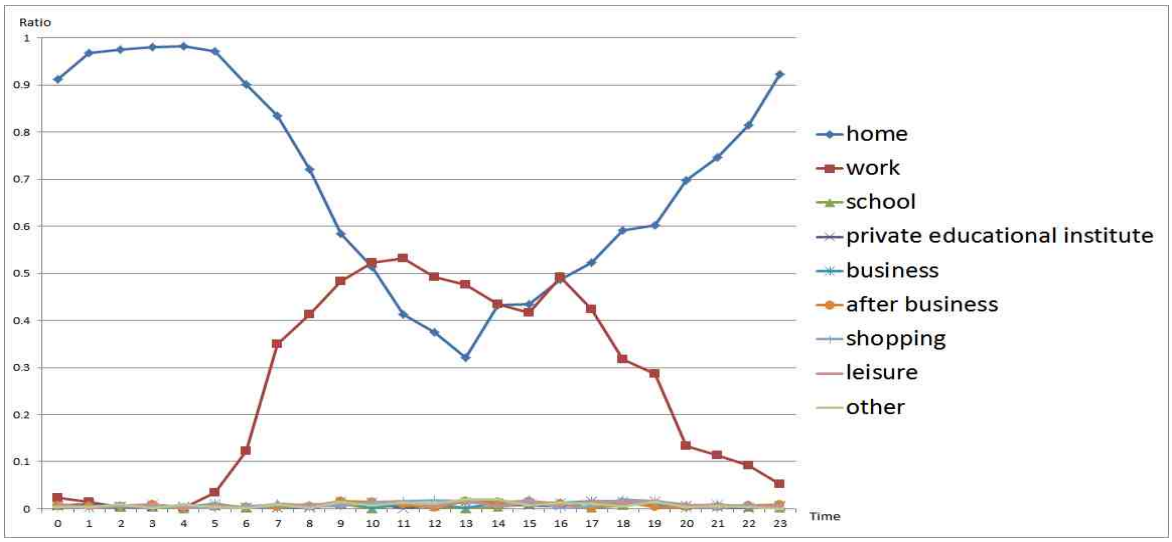


<그림 1-7-4> 개별행태모형 프로세스

출처: 시·공간 활동인구 추정에 의한 통행수요 예측(엄진기, 2008)

○ 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
- 가구통행실태조사 데이터의 종로구 삼청동의 활동프로파일을 그래프로 표현함

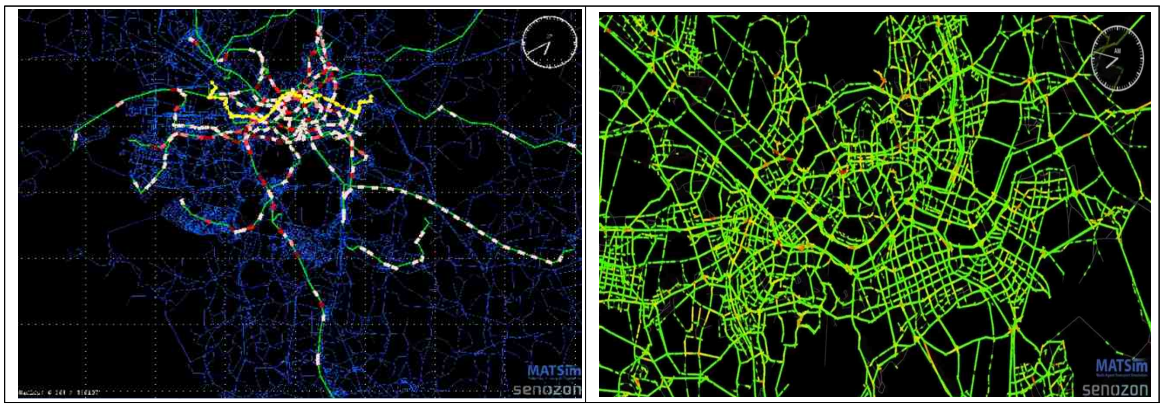


<그림 1-7-5> 도시특성별 Agent 24시간 활동 프로파일(예시)

(3) 인간 활동기반 시뮬레이션(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 1-7-6> 시뮬레이션 구축 현황

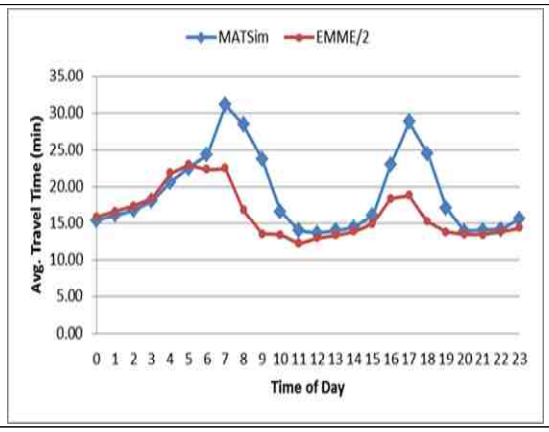
다. 인간활동 기반 시뮬레이션(MATSim) 모형 개선

(1) 인간활동 기반 시뮬레이션(MATSim) 모형의 적합성 검토

○ 시뮬레이션 정산기법의 활용

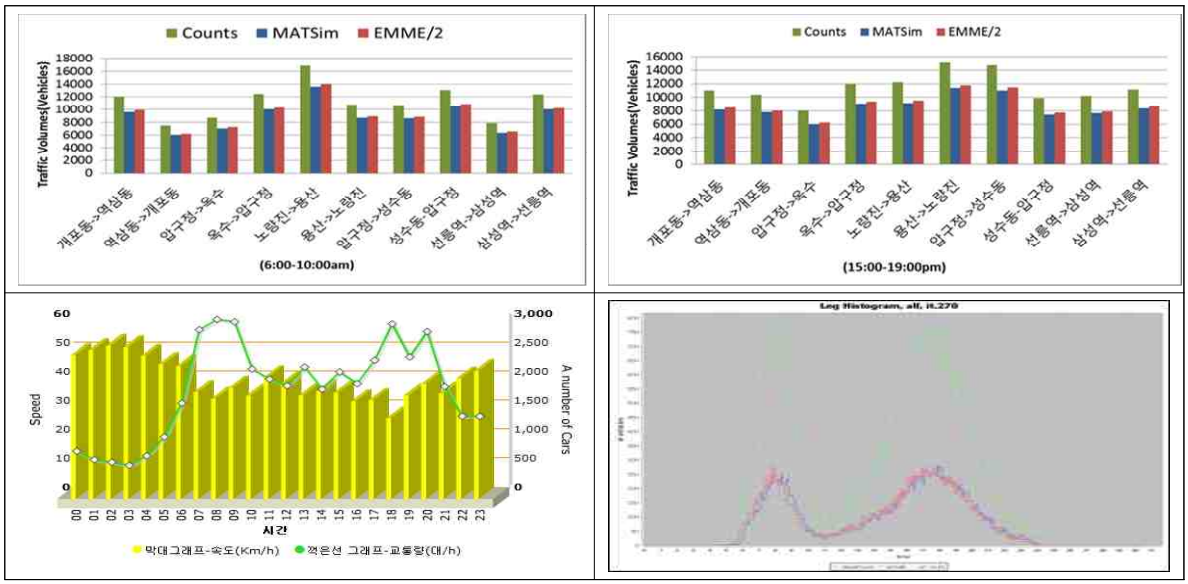
- 통행시간의 경우 하루에 대한 시간대별(미시적) 통행 시간을 산출하여 거시적 측면의 시뮬레이션 프로그램인 EMME/2와 비교하여 모형을 검증함

Time of Day	Mean of Travel Time		Difference	Time of Day	Mean of Travel Time		Difference
	EMME/2	MATSim	%		EMME/2	MATSim	%
0	14.15	14.28	-1%	12	10.32	10.88	-5%
1	14.99	14.99	0%	13	10.90	11.32	-4%
2	16.06	16.07	0%	14	11.89	12.43	-4%
3	17.30	17.36	0%	15	12.24	13.01	-6%
4	20.49	20.41	0%	16	15.94	16.98	-6%
5	21.20	21.22	0%	17	17.26	18.76	-8%
6	20.25	19.98	1%	18	13.98	17.05	-18%
7	20.38	20.13	1%	19	11.79	14.05	-16%
8	13.67	16.54	-17%	20	11.13	12.29	-9%
9	12.37	15.79	-22%	21	11.49	12.02	-4%
10	11.52	13.06	-12%	22	12.80	13.20	-3%
11	10.27	11.18	-8%	23	13.61	13.85	-2%



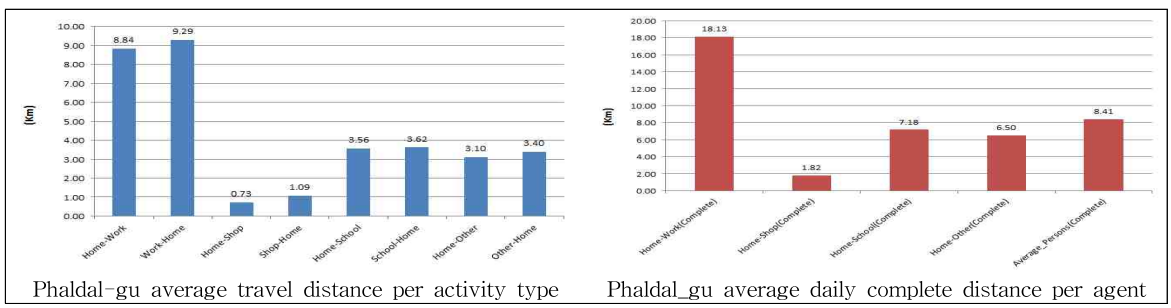
<그림 1-7-7> 통행시간의 산출 및 검증

- 교통량의 경우 Konstadinos G. Goulias 등(2012)은 Sim Agent에서 TRANSIMS와 MATSim 모형을 시간당 교통량 및 T-Scores 통계분석을 통해 비교 분석함



<그림 1-7-8> 교통량 데이터의 산출 및 검증

- 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



<그림 1-7-9> 수원시 팔달구의 대한 통행거리 산출결과

(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	linkLengtl	Time(AM)	Average_Speed	Time(PM)	Average_Speed	Unit	linkFreesp	linkCapac	linkLanes	linkMode:	personId	linkEnterTime	linkLeaveTime	linkTravelTime	linkTravelSpeed	Time(S
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 1-7-10> 초당데이터의 산출목록

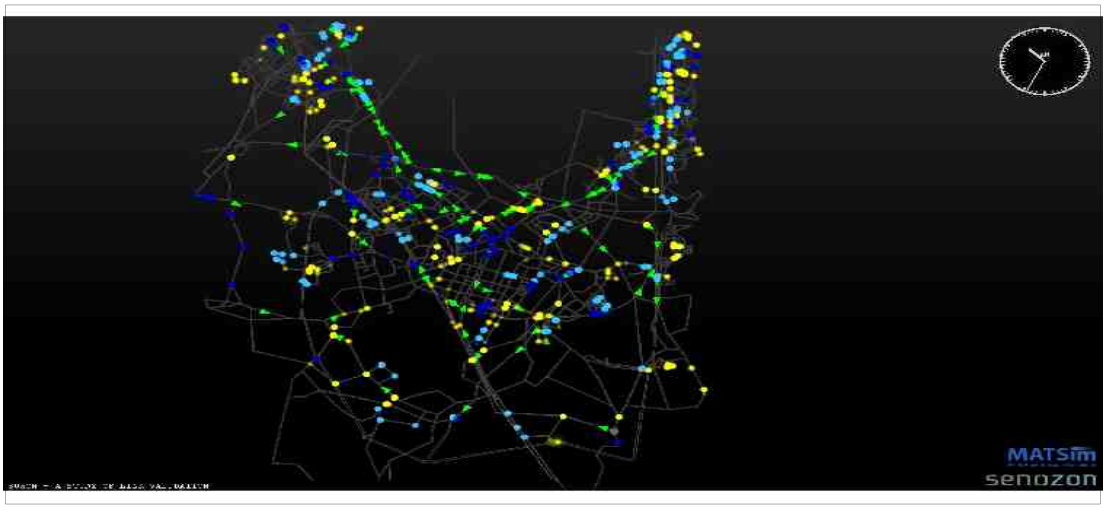
라. 인간활동 기반 시뮬레이션(MATSim)의 시범도시 적용

(1) 시범도시 활동기반 모형 구축 및 분석

○ 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

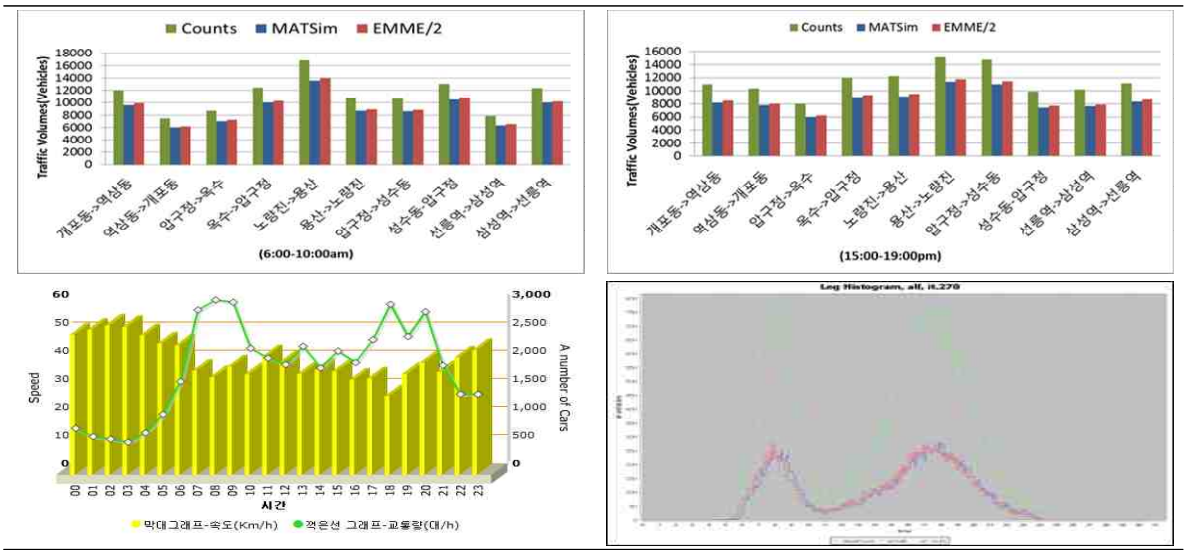
- 총 인구(Population): 1,120,258 명



<그림 1-7-11> 분석대상지역 시뮬레이션 모형 구축

○ 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 첨두시와 오후 첨두시로 구분하여 비교하였으며, 세부적으로는 시간당 교통량을 산출해 실측데이터와 비교하여 검증하였음



<그림 1-7-12> 교통량 데이터의 산출 및 검증

○ 시범도시 합성인구 생성

- 실제 인간의 사회경제적 복합적 특성이 반영될 수 있도록 인구 총 조사 자료와 가구통행실태조사 자료의 결과를 활용하여 합성인구를 생성
- 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 Modellin

g』(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

- 합성인구 알고리즘은 다음과 같음

【Step1】 초기화

초기온도 설정 : 10000 , Maximum Iteration 횟수 setting

【Step2】 샘플분포의 관측값을 입력 및 모집단의 열과 행의 총량 설정

【Step3】 총량제약조건을 만족시키는 임의의 수로 구성된 샘플분포 설정 (Before 분포)

【Step4】 총량제약조건을 만족시키는 임의의 수로 구성된 이웃 샘플분포 설정 (After 분포)

【Step5】 관측데이터와 사전분포/ 사후분포에 대한 절대오차 계산 (total absolute error :TAE)

$$TAE = \sum_{ijk} \left| O_{ij}^{(k)} - S_{ij}^{(k)} \right|$$

$O_{ij}^{(k)}$: 조사된 분포의 i행, j열의 관측값

$S_{ij}^{(k)}$: k번째 추정된 분포의 i행, j열의 추정값

사전분포/ 사후분포의 절대오차 총량을 비교한다.

$$\triangle E = TAE^{after} - TAE^{before}$$

【Step6】 선택확률을 계산

$$\Pr(accept) = \begin{cases} 0 & \triangle E > 0 \\ \exp(\triangle E / T) & \triangle E \le 0 \end{cases}$$

$\triangle E \le 0$ 인 경우 $\exp(\triangle E/T)$ 을 통해 채택확률 결정

0과 1사이의 임의의 숫자를 발생시켜 After 분포 채택여부 결정(Marcov Chain Monte Calro)

【Step7】 step4~step6의 과정을 반복한다. TAE가 최소값을 갖거나, 종료조건을 만족할 때, 연산 종료

<그림 1-7-13> 모의 담금질(Simulated Annealing : SA) 기법 알고리즘

○ 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 구축
- 수원시 일대 가구통행실태 조사자료를 기반으로 각 개별 인구(agent) 특성에 따른 활동패턴 분석

바. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법

(1) 연구수행결과

(가) 시뮬레이션 데이터(MATSim 네트워크) 구축결과

○ 수도권 가구통행실태조사 원 데이터 가공 및 구축

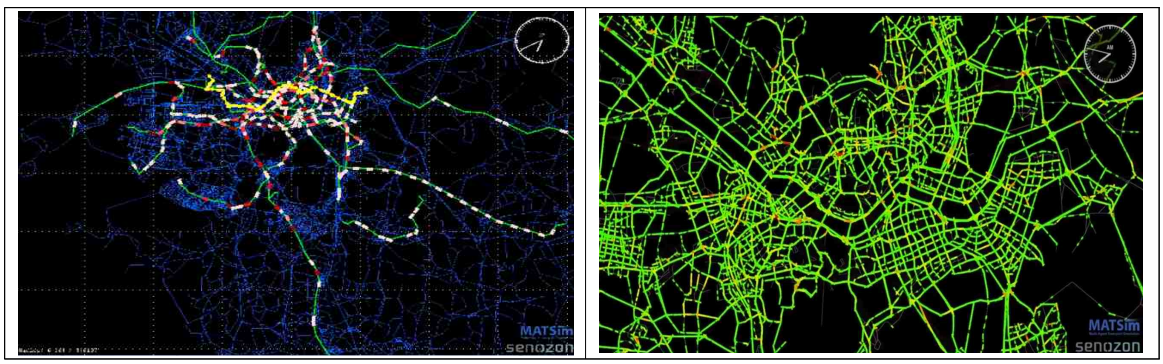
- 『2010 수도권 가구통행실태조사』 자료를 모형 추정 및 검증을 위해 사용
- 『2010 수도권 가구통행실태조사』는 1996년 서울시 교통센서스와 2002년 서울시 가구통행실태조사 이후 수도권 지역의 교통여건 변화 심화와 교통 기초자료 확보를 위해 실시한 정기 조사서로 조사의 공간적 범위는 서울시를 중심으로 한 수도권 전역이며 시간적 범위는 2010년으로 설정된 자료임
- 통행스케줄링 기법을 개발하여 에이전트의 통행을 부여함

○ 에이전트 플랜파일(Agent Plan data) 생성

- 가구통행실태조사/센서스 데이터를 활용한 합성인구 생성
- 통행스케줄링 기법을 개발하여 에이전트의 통행을 부여함

○ 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)

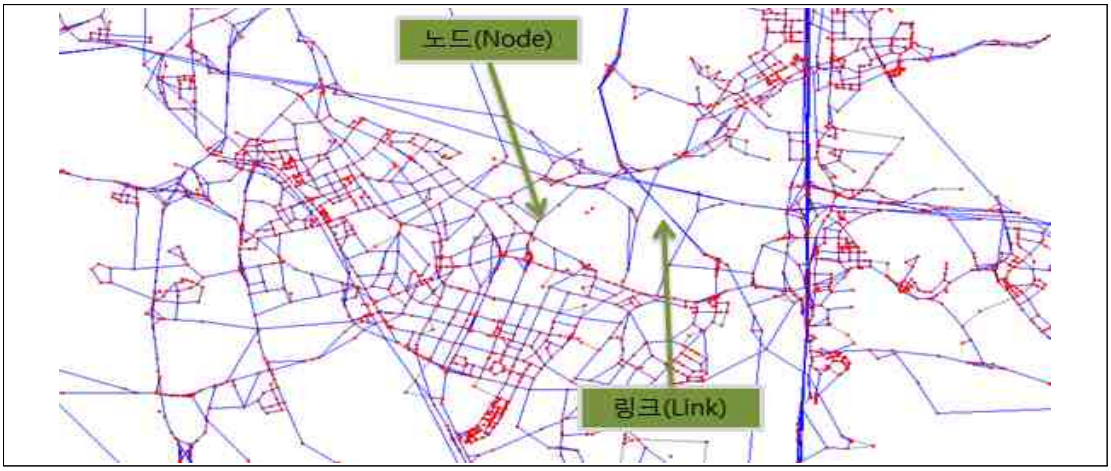


<그림 1-7-14> 시뮬레이션 구축 현황

(나) 시범도시 네트워크(Network) 적용 및 시설물(Facility) 구축

○ 네트워크(Network) 데이터

- 노드(Node)·링크(Link)로 구성되며, 노드는 교차로 및 정류장을 링크는 도로를 의미함
- <그림 1-7-15>에서 붉은 색 점으로 표현된 것이 노드이며, 푸른색 실선은 링크임



<그림 1-7-15> 네트워크 예시

- 네트워크 파일은 Openstreetmap(www.openstreetmap.org)에서 원하는 사이트의 네트워크를 추출하여 생성하는 방법과 KTDB DB(www.ktdb.go.kr)에서 제공하는 네트워크 파일을 사용하는 방법이 있음
- 일반적으로 국내 교통수요분석에 활용되는 국가교통DB센터(KTDB)의 네트워크 자료를 활용하였으며, 노드와 링크 속성을 추출하여 MATSim의 네트워크 파일양식으로 변형하여 활용하였음

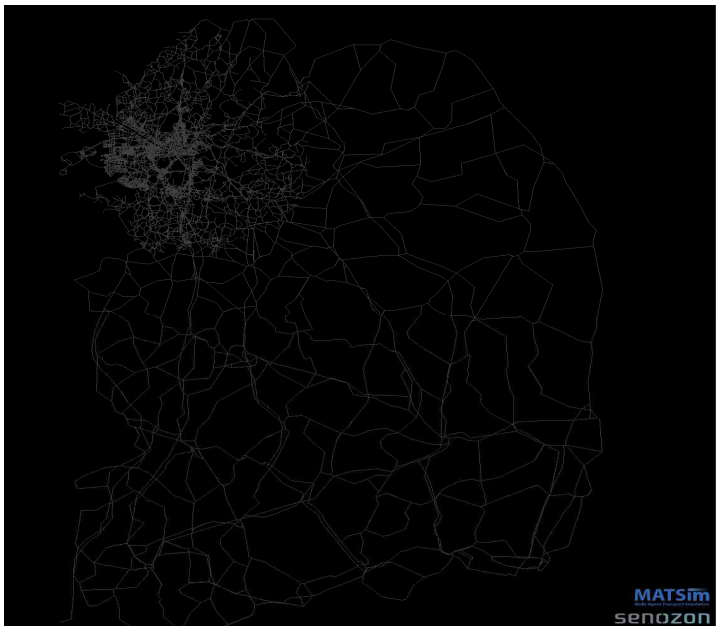
<표 1-7-3> 네트워크 구성

노드(Node)	링크(Link)	
Node ID X-좌표 Y-좌표 정류장 ID 정류장 이름	Link ID 시점 노드 종점 노드 길이 차선수 용량	도로명 도로 유형 유료도로 여부 이용 수단 대중교통 노선여부

- 네트워크를 구성하는 노드와 링크 속성값은 <표 1-7-3>과 같으며, 이중 노드 ID, X, Y좌표, 정류장 ID, 링크 ID, 시종점 노드, 길이, 차선수, 용량, 도로 유형, 이용수단, 대중교통 노선여부에 대한 특성은 필수적으로 있어야 하는 속성임

○ 네트워크(Network) 구축

- 기존 국내 교통수요분석에서 활용되는 국가교통DB센터(KTDB)의 네트워크 자료를 활용하였음



<그림 1-7-16> KTDB 제공 네트워크(MATSim 구현)

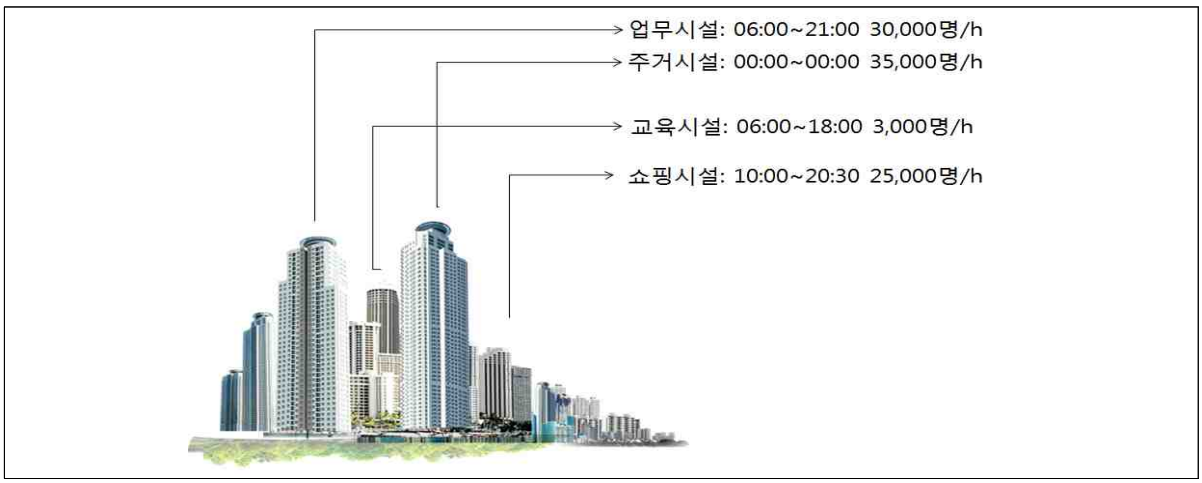
- 수원시 일대의 보다 정확한 분석을 위하여 추가적으로 노드 및 링크 생성



<그림 1-7-17> 수원시 네트워크 구현

○ 시설물(Facility) 데이터

- 시설물(Facility) 자료는 활동이 발생하는 특정 시설, 예를 들어, 가정·회사·학교·병원·공공건물 등의 활동시설물에 대한 정보를 포함함. 개략적인 건물의 특징을 설명하며 시설물의 위치, 용량, 운영시간, 용도(업무, 쇼핑, 학교 등)의 정보를 포함함
- 분석대상지역의 모든 시설물에 대한 정보를 얻는 것은 불가능함. 시설물 위치정보의 경우, 국토지리정보시스템(http://www.ngii.go.kr)을 통하여 얻을 수 있음
- 운영시간 및 용량 정보를 얻기는 매우 어려우며, 현실적으로 모든 정보를 입력하는 것은 시스템 사용메모리 증가로 인하여 MATSim 구현의 오류가 발생할 가능성이 높아 추천하지 않음. 몇몇 대표시설물의 정보를 활용하여 일괄적으로 적용하도록 하는 것이 보다 효과적임



<그림 1-7-18> 시설물(Facility)정보 예시

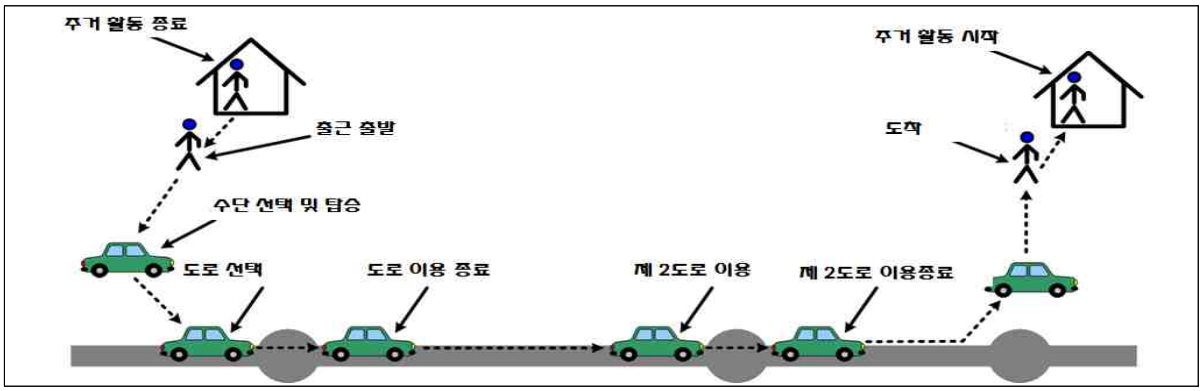
○ 시설물(Facility) 구축

- 시나리오 설정과 관련하여 '차 없는 거리' 분석을 위하여 행궁동 일대의 수원화성, 행궁동 주민센터, 화성 행궁의 Facility를 지정
- 또한, '출근 시차제' 시나리오 분석을 위하여 경기도청, 수원시청, 각 동별 주민센터, 구청 그리고 수원시 내 관공서의 Facility를 지정하였음

(다) 시뮬레이션 데이터(MATSim 적용 및 분석) 구축결과

○ 시범도시 활동스케줄(Plan data) 구축

- 누가, 언제, 어디서, 무엇을, 어떻게 이동하였는지를 기록한 자료임
- 개인의 하루 일과를 나타낸 것으로 출근, 업무, 퇴근, 쇼핑 등 일련의 활동을 시간적 순서에 따라 나열한 것을 파일 형태로 표현한 것임
- 가구통행실태 조사자료, 스마트카드 자료를 활용하여 활동스케줄(Plan)을 구성함

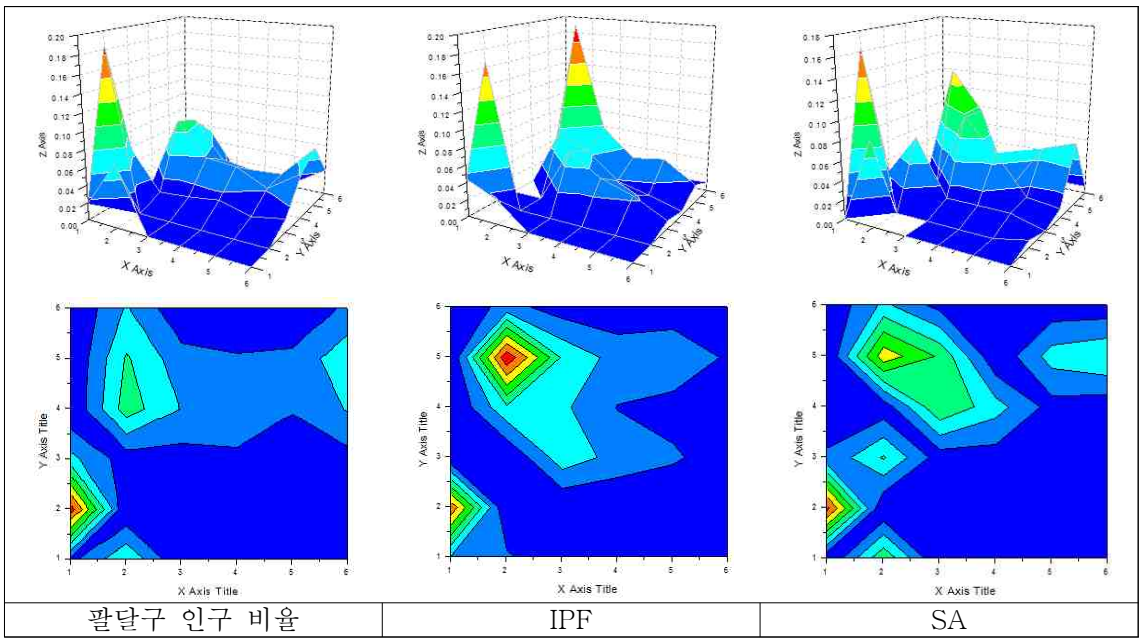


<그림 1-7-19> 활동스케줄 구축 방법

- 가구통행실태 조사자료는 수도권 교통본부(www.mta.go.kr)를 통하여 자료를 얻을 수 있으며, 스마트카드 정보는 현재 개인정보보호의 문제로 인하여 연구용으로 허가된 기관에만 제공되고 있음

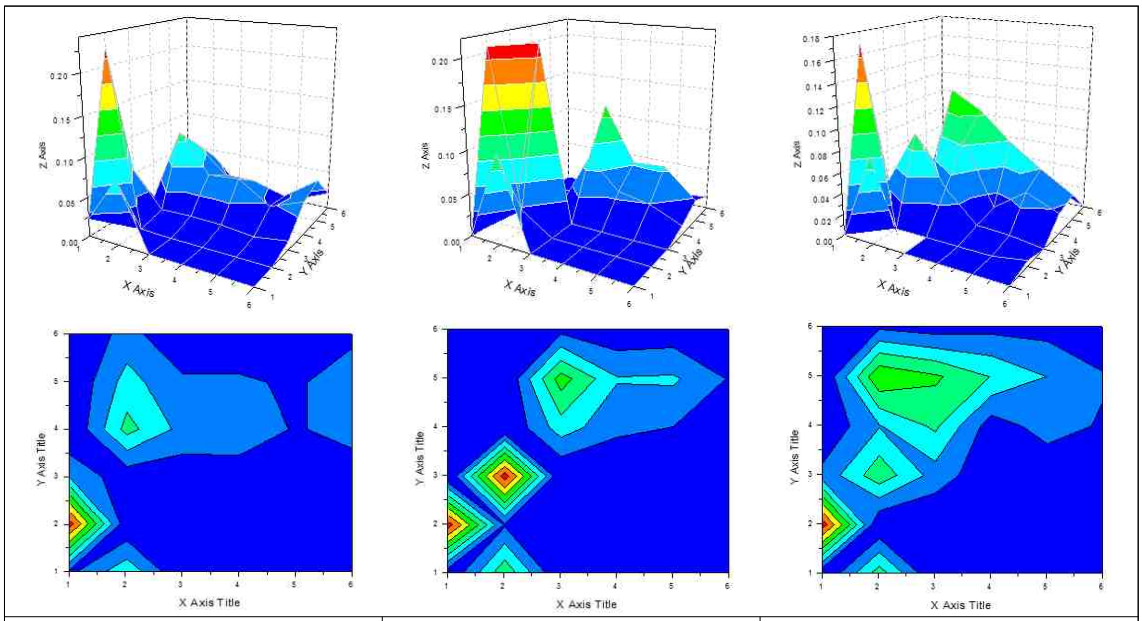
○ 시범도시 활동 스케줄(Plan data)을 위한 합성인구 생성

- 수원시의 행정구역은 장안구, 권선구, 팔달구, 영통구로 구성되어 있으며 각 구별 합성 인구를 생성하여 시범도시에 적용을 위한 플랜파일을 구축하였음



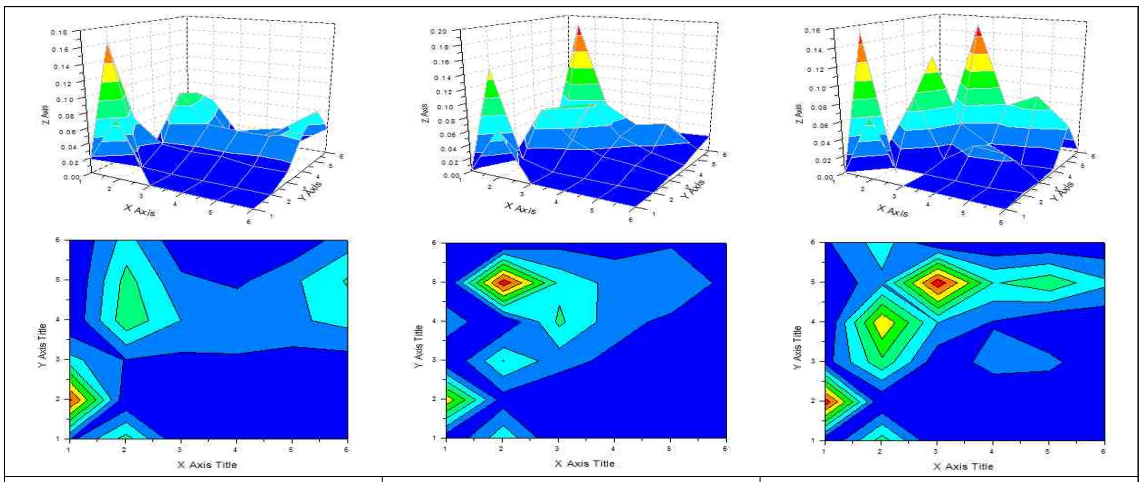
팔달구 인구 비율	IPF	SA

<그림 1-7-20> 합성인구 생성결과 비교(팔달구)



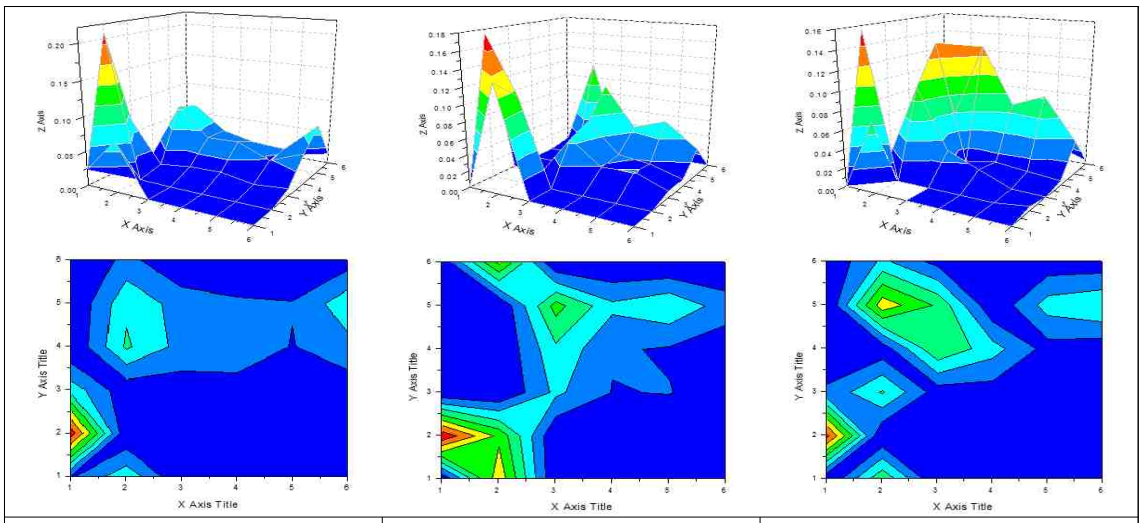
장안구 인구 비율	IPF	SA

<그림 1-7-21> 합성인구 생성결과 비교(장안구)



권선구 인구 비율	IPF	SA

<그림 1-7-22> 합성인구 생성결과 비교(권선구)



영통구 인구 비율	IPF	SA

<그림 1-7-23> 합성인구 생성결과 비교(영통구)

○ 합성인구 생성 결과

- 성별에 따른 합성인구 생성결과, 통계자료와 평균 약 3%의 오차율이 발생하는 것으로 남녀 성비율에 대하여 실제 데이터와 유사함을 알 수 있음

<표 1-7-4> 합성인구 생성 결과 비교(성별)

성별	지역	통계자료 (A)	합성인구 생성결과 (B)	차이 (B-A)	오차율 (%)
남자	팔달구	104,953	108,154	3,201	3.0%
	장안구	143,917	148,684	4,767	3.3%
	권선구	149,967	155,645	5,678	3.8%
	영통구	131,182	134,651	3,469	2.6%
여자	팔달구	106,131	108,652	2,521	2.4%
	장안구	142,167	146,245	4,078	2.9%
	권선구	148,781	145,112	-3,669	-2.5%
	영통구	131,182	129,224	-1,958	-1.5%

- 연령별 합성인구 생성결과, 통계자료와 평균 약 5%의 오차율이 발생하는 것으로 연령별 합성인구 또한 실제 데이터와 유사함을 알 수 있음

<표 1-7-5> 합성인구 생성 결과 비교(연령별)

지역	연령별	통계자료 (A)	합성인구 생성결과 (B)	차이 (B-A)	오차율 (%)
팔달구	0~7세	18,643	19,565	922	4.9%
	8~19세	26,789	28,545	1,756	6.6%
	20~29세	36,161	35,454	-707	-2.0%
	30~39세	37,570	36,565	-1,005	-2.7%
	40~65세	72,909	71,546	-1,363	-1.9%
	65세 이상	18,813	25,131	6,318	33.6%
장안구	0~7세	29,356	30,554	1,198	4.1%
	8~19세	46,298	45,658	-640	-1.4%
	20~29세	41,443	42,421	978	2.4%
	30~39세	47,518	51,536	4,018	8.5%
	40~65세	98,111	99,545	1,434	1.5%
	65세 이상	23,358	25,215	1,857	8.0%
권선구	0~7세	30,106	31,112	1,006	3.3%
	8~19세	44,767	45,845	1,078	2.4%
	20~29세	47,110	48,512	1,402	3.0%
	30~39세	53,597	55,215	1,618	3.0%
	40~65세	102,274	99,515	-2,759	-2.7%
	65세 이상	20,894	20,558	-336	-1.6%
영통구	0~7세	32,269	33,268	999	3.1%
	8~19세	44,094	45,158	1,064	2.4%
	20~29세	40,334	41,511	1,177	2.9%
	30~39세	51,782	52,548	766	1.5%
	40~65세	78,664	77,545	-1,119	-1.4%
	65세 이상	11,193	13,845	2,652	23.7%

- 직업에 따른 합성인구 생성결과, 통계자료와 평균 약 5%의 오차율이 발생하는 것으로 실제 데이터와 유사함을 알 수 있음

<표 1-7-6> 합성인구 생성 결과 비교(직업별)

직업	통계자료 (A)	합성인구 생성결과 (B)	차이 (B-A)	오차율 (%)
학생	190,652	193,545	2,893	1.5%
주부, 미취학아동	50,652	51,685	1,033	2.0%
전문/기술직	156,112	158,654	2,542	1.6%
행정/사무/관리직	103,705	115,754	12,049	11.6%
판매/서비스	108,155	104,354	-3,801	-3.5%
기타	104,651	111,215	6,564	6.3%

○ 시범도시의 활동 스케줄(Plan data) 구축

- 수원시 일대 가구통행실태 조사 자료를 기반으로 각 개별 인구(agent) 특성에 따른 활동 패턴 분석
- 가구통행실태조사 자료 중 공란이 가장 적고, 표본을 충분히 얻을 수 있으면서, 개인의 활동패턴에 영향을 미칠 것으로 예상되는 연령, 성별, 직업으로 분류하여 분석을 수행함

<표 1-7-7> 시범도시 내 개별 인구(agent) 데이터 분류

연령	성별	직업
1. 0~7세(미취학)	1. 남자	1.학생
2. 8~19세(청소년기)		2.주부/미취학아동
3. 20~29세(청년층)		3.전문직/기술직
4. 30~39세(중년층)	2. 여자	4.행정/사무/관리직
5. 40~65세(장년층)		5.판매/서비스
6. 65세 이상(노년층)		6.기타

- 가구통행 실태조사에서 통행목적은 크게 10개의 분류로 구분이 되나 본 분석에서는 활동유형을 결정짓는 요소로써 아래와 같이 필수적인 활동(Mandatory Activity)와 부가적인 활동(Other Activity)으로 구분하여 분류함

<표 1-7-8> 시범도시 내 활동유형에 따른 통행목적 분류

통행목적	
1. 출근	필수적 활동(Mandatory)
2. 등교	
3. 직업 관련 업무	
4. 학원수강	
5. 물건을 사러	부가적 활동(Other)
6. 여가/오락/친교	
7. 기타(개인용무)	

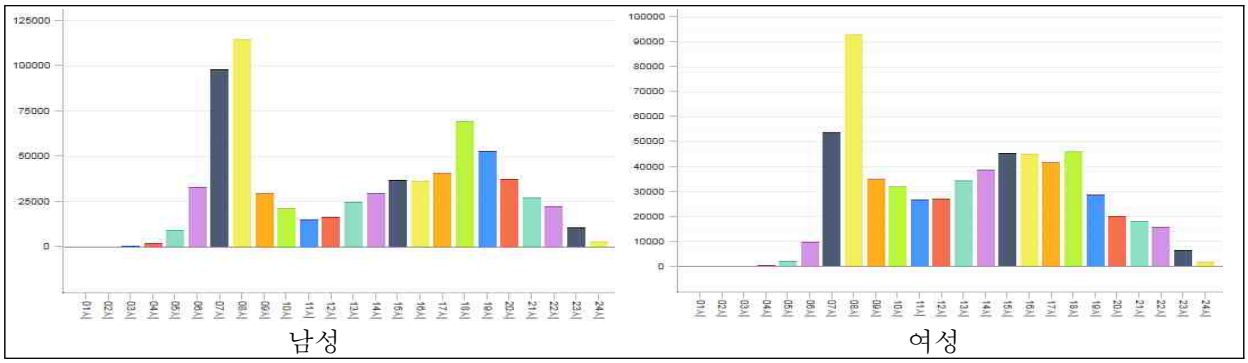
- 독립변수 선정을 위해서 합성인구 특성과 통행사슬 유형간의 상호관계를 분석하기 전에 입력변수에 대하여 상관분석(Correlation Analysis) 및 다중공선성 분석을 실시함
- 이상과 같은 과정으로 활동유형 선택을 위한 입력변수는 나이, 성별, 직업, 월평균소득으로 총 4가지 변수가 선정하였으며, 단순의무활동(Simple Mandatory Activity), 단순부가활동(Simple Other Activity), 복합의무활동(Complex Mandatory Activity), 복합부가활동(Complex Other Activity)에 대한 활동 유형 선택확률을 추정

<표 1-7-9> 모의 담금질 기법에 의한 합성인구의 활동유형 선택 확률

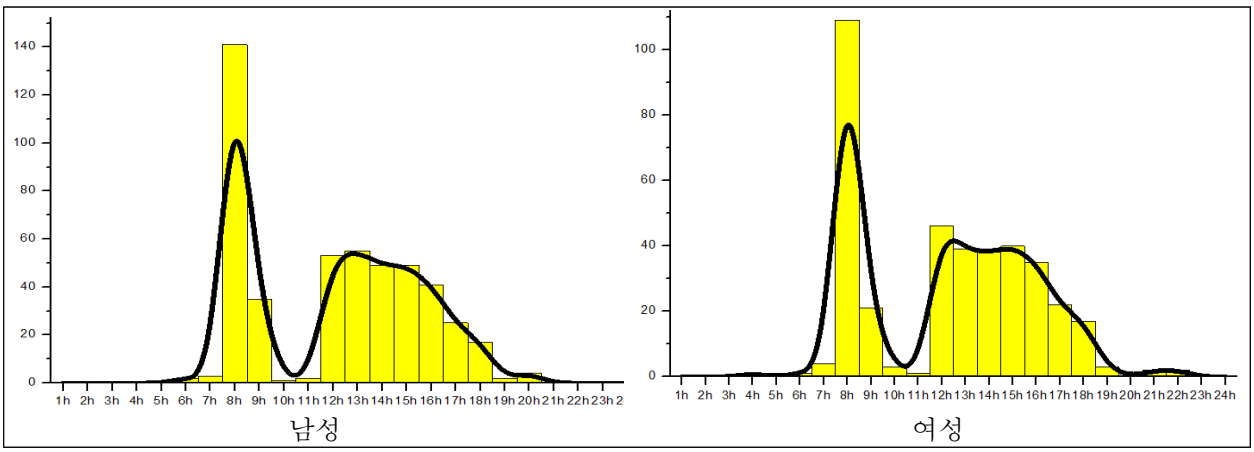
구분	확률	단순활동		복합활동	
		확률	비율	확률	비율
의무활동 (Mandatory)	0.8628	0.6634	76.88%	0.1995	23.12%
기타(Other)	0.1372	0.1165	84.96%	0.0206	15.04%

- 개인의 개인적 특성에 따라 활동의 유형이 결정되기 때문에 복합적인 특성을 고려하기 위해 분류된 기준을 통해 필수적 활동에 따른 통행수, 부가적 활동에 따른 통행수에 대한 빈도분석을 수행함
- 기준에 따라 분류된 활동 패턴, 통행목적 등을 종합하여 빈도분석을 수행하여 카테고리별 활동스케줄을 구축함

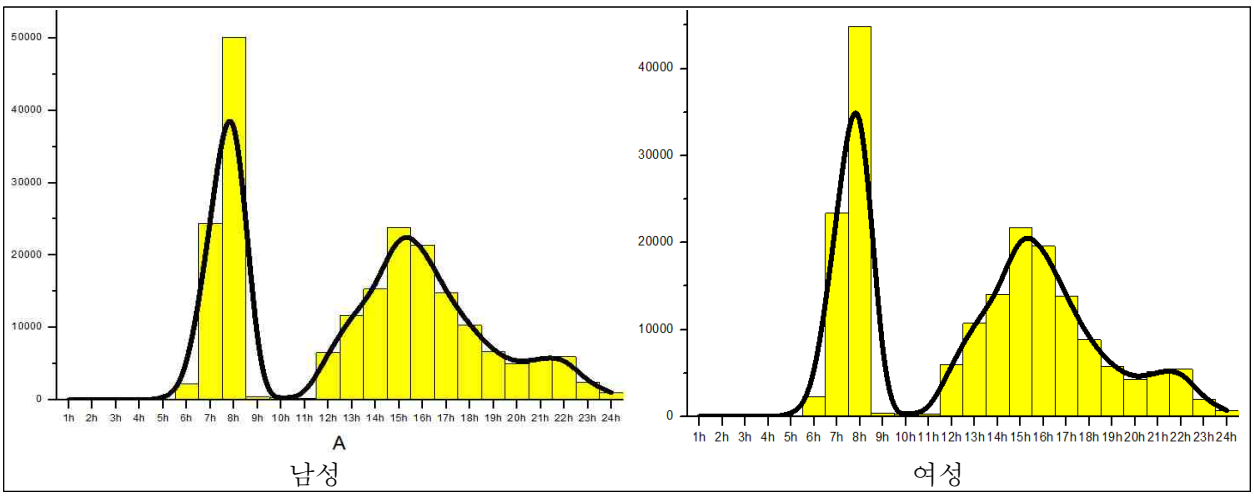
○ 시간대별 활동 스케줄 결과



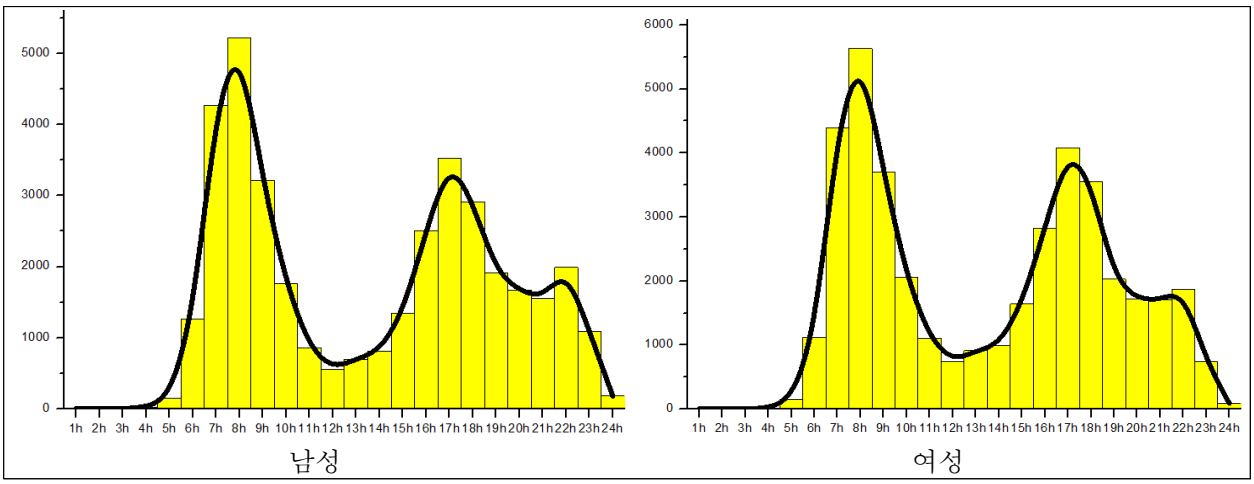
<그림 1-7-24> 시간대별 통행빈도 분포



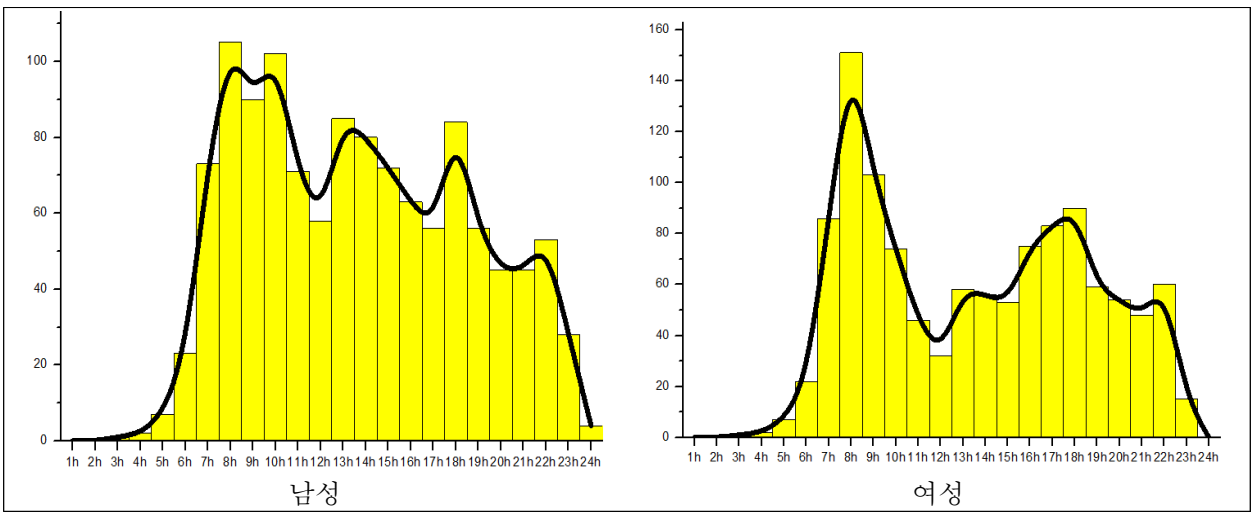
<그림 1-7-25> 0~7세이며 주부/무직/미취학아동(직업2)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포



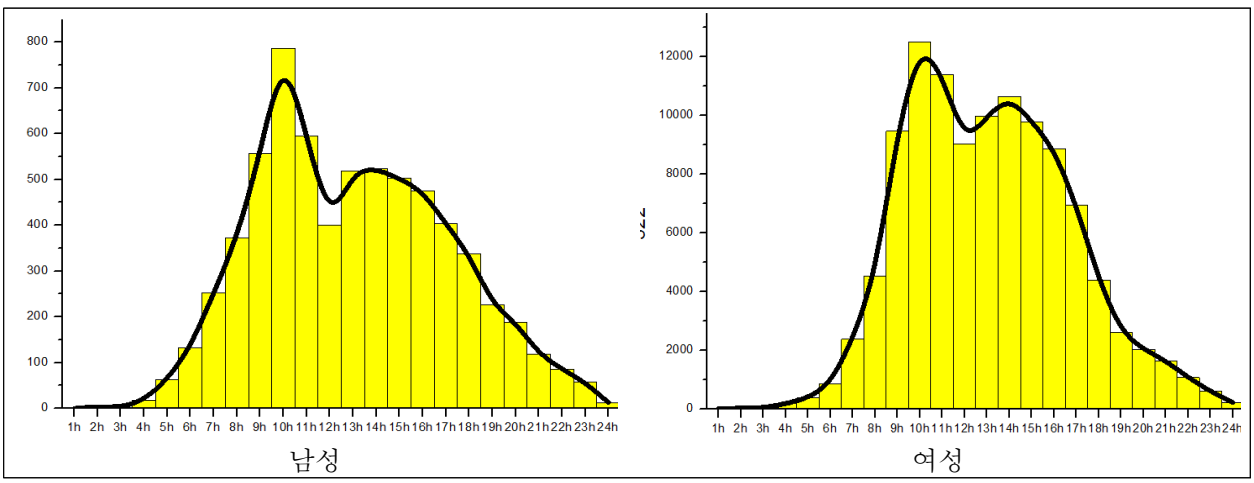
<그림 1-7-26> 8~19세이며 학생(직업1)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포



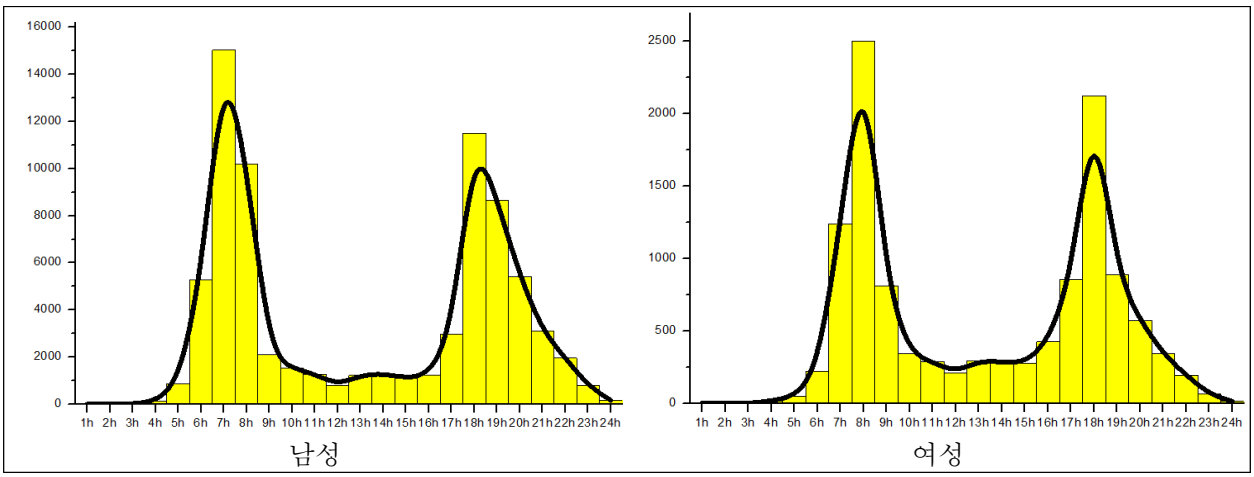
<그림 1-7-27> 20~29세이며 학생(직업1)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포



<그림 1-7-28> 30~39세이며 주부/미취학아동(직업2)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포



<그림 1-7-29> 40~65세이며 주부/미취학아동(직업2)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포



<그림 1-7-30> 40~65세이며 행정/사무/관리직(직업4)인 표본들의 시간에 따른 활동빈도 분포

○ 활동 스케줄(Plan data) 구축 결과

- 수원시 일대의 보다 정확한 통행 패턴을 위하여 수도권 기반 Plan data와 위에 과정에서 구축한 Plan data를 합성함
- 구축한 활동 스케줄(Plan data)

```
<population>
<!-- ========================================================================== -->
                    Agent의 성        Agent의 나이
    <person id="11011" sex="f" age="55">
        <plan selected="yes">
통행 유형   <act type="h" x="313289.0" y="553032.0" end_time="19:45:53" />
            <leg mode="car" dep_time="19:45:53">
            </leg>
            <act type="acad" x="302667.0" y="522729.0" end_time="21:54:58" />
            <leg mode="car" dep_time="21:54:58">
통행 수단   </leg>
            <act type="acho" x="313622.0" y="552696.0" end_time="23:02:26" />
            <leg mode="car" dep_time="23:02:26">
            </leg>
            <act type="h" x="313289.0" y="553032.0" />
        </plan>

    </person>
<!-- ========================================================================== -->

    <person id="1101100362" sex="m" age="9">
        <plan selected="yes">
            <act type="h" x="310299.0" y="553684.0" end_time="06:07:47" />
            <leg mode="car" dep_time="06:07:47">
            </leg>
            <act type="acho" x="302392.0" y="548595.0" end_time="08:05:20" />
            <leg mode="car" dep_time="08:05:20">
            </leg>
            <act type="work" x="317676.0" y="559652.0" end_time="16:49:17" />
            <leg mode="car" dep_time="16:49:17">
            </leg>
            <act type="h" x="310299.0" y="553684.0" />
        </plan>

    </person>
```

<그림 1-7-31> 활동 스케줄 구축

○ 교통량 분석

- 교통량은 대상지역의 실측데이터와의 비교를 통하여 분석을 실시함
- 실제 구간별 일평균 교통량을 기준으로 비교하였으며 활동기반모형 역시, 일평균 교통량을 산출하여 비교하였음
- 교통량 정산 결과, 약 5% 정도의 오차율을 보였고 이는 실측데이터와 근접한 수치임을 확인 할 수 있음

<표 1-7-10> 시범도시 교통량 정산 결과

정산지점		관측 교통량 (A)	배정 교통량 (B)	차이 (B-A)	오차율 (%)
정조로	비행장활주로-공군부대앞	9,843	10,888	1,045	10.6%
	공군부대앞-세류사거리	13,563	12,664	-899	-6.6%
	세류사거리-정조사거리	11,625	12,624	999	8.6%
	정조사거리-매교사거리	1,248	1,658	410	32.9%
	매고사거리-팽나무고개삼거리	507	599	92	18.1%
	교통사거리-중동사거리	22,949	26,545	3,596	15.7%
	팔달문-종로삼거리	20,863	21,154	291	1.4%
	종로삼거리-장안사거리	18,391	17,254	-1,137	-6.2%
	장안문로터리-수성중사거리	9,070	9,114	44	0.5%
	수성중사거리-운동장사거리	16,635	15,555	-1,080	-6.5%
	운동장사거리-장안구청사거리	5,917	5,845	-72	-1.2%
매산로	수원역로터리-매산사거리	30,498	31,468	970	3.2%
	매산사거리-도청사거리	29,636	30,645	1,009	3.4%
	도청사거리-여성회관사거리	27,963	28,964	1,001	3.6%
	여성회관사거리-교동사거리	30,825	31,151	326	1.1%
권광로	선일초교삼거리-농수산물시장사거리	7,008	7,185	177	2.5%
	농수산물시장사거리-시청역사거리	31,292	33,685	2,393	7.6%
	시청역사거리-인계주공사거리	25,527	26,584	1,057	4.1%
	인계주공사거리-청소년문화센터	24,717	25,954	1,237	5.0%
	청소년문화센터-효성초교사거리	26,980	24,658	-2,322	-8.6%
권선로	매탄역사거리-곡선사거리	25,994	26,548	554	2.1%
	곡선사거리-농수산물시장사거리	27,645	26,578	-1,067	-3.9%
	농수산물시장사거리-권선사거리	18,082	17,545	-537	-3.0%
	권선사거리-정조사거리	8,119	8,015	-104	-1.3%
	정조사거리-동립말사거리	2,529	2,658	129	5.1%
	동립말사거리-벌터교차로	20,588	21,658	1,070	5.2%
	벌터교차로-행정타운사거리	16,856	18,665	1,809	10.7%

(라) 시뮬레이션 정산기법

- 정산은 현재의 구축된 모형이 실제를 얼마만큼 반영할 수 있는가에 대한 중요한 척도로써 다양한 결과 값은 모형의 설명력을 높일 수 있는 정산기법을 만들 수 있음
- 네트워크(Network) 및 에이전트 플랜(Agent Plan)을 적용하여 산출되는 MATSim의 출력 자료는 아래의 표와 같음

<표 1-7-11> MATSim의 출력자료

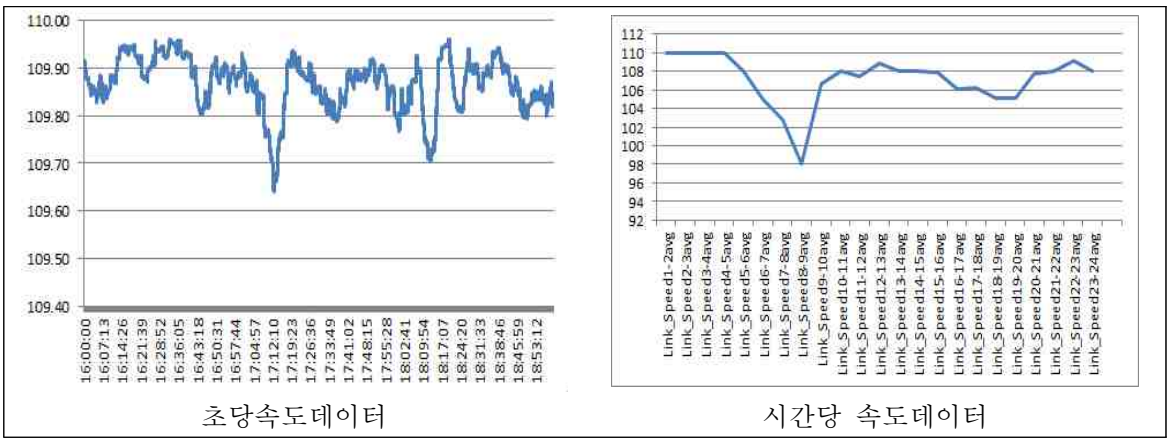
Division	Item	Unit
1	초당속도 (Second by second speed data)	km/sec
2	활동유형별 통행거리 (Travel distance/activity type)	km/activity type
3	인당 통행거리 (Travel distance/person)	km/person
4	수단별 통행거리 (Travel distance/mode)	km/mode
5	합성인구 특성에 따른 통행거리 (Travel distance/population characteristic)	km/population characteristic
6	교통량 (Traffic volume/link)	vehicle/link
7	시간대별 교통량 (Traffic volume/link/hour)	vehicle/link/hour
8	통과 교통량 (Throughput traffic volume)	vehicle/hour(day)
9	통과 agent의 통행거리 (Throughput travel distance)	km/person

- 본 과업에서는 링크 모형의 정확성을 검증하기 위해 교통량을 크게 오전 첨두시와 오후 첨두시로 구분하여 비교하였으며, 세부적으로는 시간당 교통량을 산출해 실측데이터와 비교하여 검증하였음



<그림 1-7-32> 교통량 데이터의 산출 및 검증

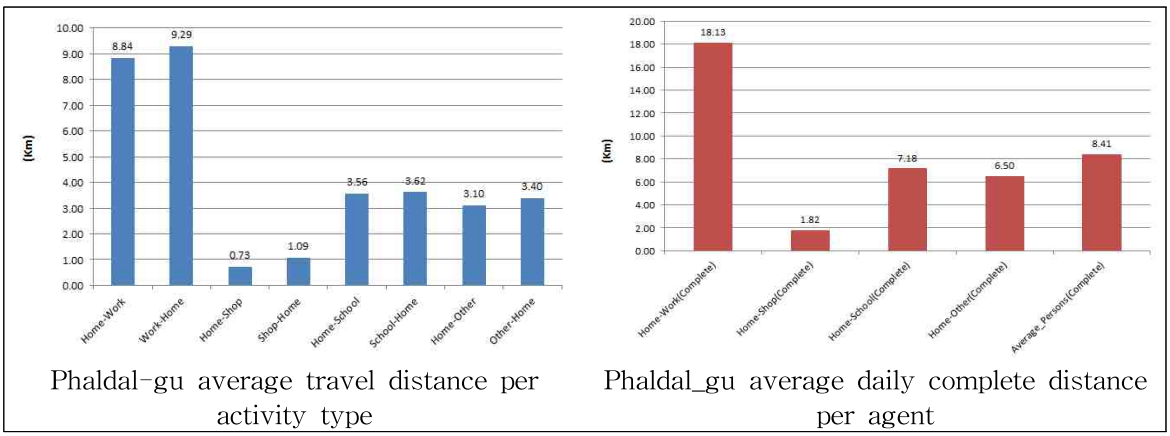
- 본 과업에서는 MATSim의 네트워크 정산을 통해 속도 데이터를 산출하였으며, 미국 EPA 탄소배출량 산정 프로그램인 MOVES의 운행모드 기반 배출량 산정 방법을 활용하여 배출량을 산정하기 위해 필요한 차량주행자료인 초당 속도 데이터를 산출하였음



초당속도데이터 시간당 속도데이터

<그림 1-7-33> MATSim에서 산출되는 속도데이터의 유형

- 본 과업에서는 합성인구 생성을 통해 구축된 에이전트 통행Agent Plan을 분석 대상지역 네트워크(Network)에 적용하여 활동유형별 통행거리, 인당통행거리, 수단별 통행거리, 합성인구별 통행거리의 결과를 산출하였음



Phaldal-gu average travel distance per activity type

Phaldal_gu average daily complete distance per agent

<그림 1-7-34> 수원시 팔달구의 대한 통행거리 산출결과

(2) 결과의 검증

시범도시 적용 시나리오는 크게 '차 없는 거리' 시나리오와 '출근 시차제' 시나리오를 적용한 결과의 검증은 다음과 같이 할 수 있음

(가) 시범도시 적용 시나리오 - 행궁동 '차 없는 거리'

'수원시 생태교통 수원 2013'을 통한 행궁동 '차 없는 거리'에 대한 내용을 분석시나리오로 설정하였음. 이것을 시나리오에 적용한 결과는 다음과 같이 정리할 수 있음

○ 사업대상지역

- 사업대상지역은 수원시 팔달구 행궁동 내부의 신풍동, 장안동에서 실시되었음

○ 사업기준년도

- 사업의 시간적 기준년도는 2013년으로 함



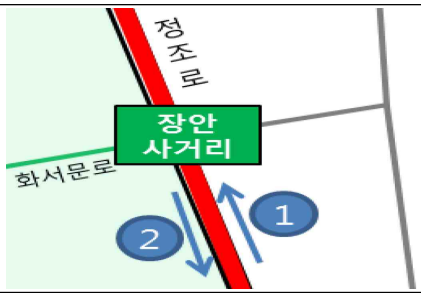
<개선 전> <개선 후>

<그림 1-7-35> 차없는 거리 개선 전·후

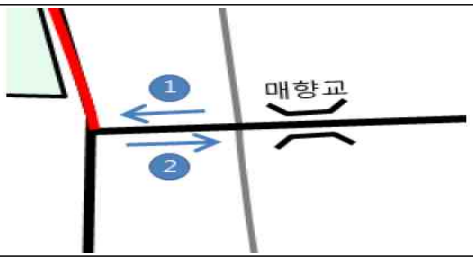
○ 시나리오 설정 근거

- '14년 9월 1일부터 한 달간 수원시 신풍동, 장안동 지역에 '차 없는 거리' 시행
- 특히, 9월 1일부터 8일까지는 신풍, 장안동 동쪽을 남북으로 지나는 4차로 도로인 정조로 중 절반 통제하고 보행자를 위한 다양한 활동 공간으로 활용
- 사업 전·후 조사 지점 별 교통량을 조사한 결과, 모두 교통량이 감소되었고 교통 체증이 완화되었음

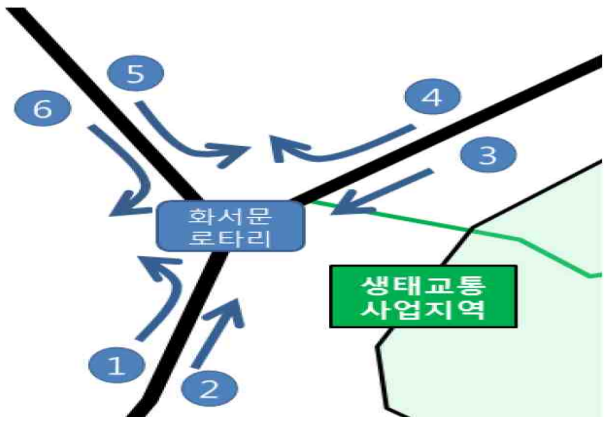
<표 1-7-12> 장안사거리 부근 사전사후 교통량 비교 분석

방향	구분	교통량 (대/시)	
1	사전	1169	
	사후	469	
2	사전	1397	
	사후	619	

<표 1-7-13> 매향교 부근 사전사후 교통량 비교 분석

방향	구분	교통량 (대/시)	
1	사전	743	
	사후	601	
2	사전	617	
	사후	469	

<표 1-7-14> 화서문로타리 부근 사전사후 교통량 비교 분석

방향	구분	교통량 (대/시)	
1	사전	465	
	사후	398	
2	사전	820	
	사후	721	
3	사전	819	
	사후	867	
4	사전	293	
	사후	160	
5	사전	642	
	사후	250	
6	사전	689	
	사후	680	

- 행사 전에 자가용을 이용하였던 주민들을 기준으로 설문 조사 결과, 자가용 대신 타 수단으로의 변화가 더 많았던 것으로 분석

<표 1-7-15> 주요 통행 이동수단변화

구분	행사 전		행사 후	
	빈도	%	빈도	%
자가용	297	82.3	278	78.8
대중교통	24	6.6	31	8.8
자전거	7	1.9	13	3.7
오토바이	6	1.7	6	1.7
도보	19	5.3	18	5.1
기타	8	2.2	7	2.0
전체	361	100	353	100

- '차 없는 거리' 사업에 따른 이용자들의 이동 수단 변화와 전체적인 교통량 감소로 인하여 교통 체증을 완화할 수 있었고 그에 따른 지역주민의 이동 편의가 증진된 것으로 판단되므로 위 사업 효과를 근거로 시범 도시 내 '차 없는 거리' 활동 모형 분석을 실시함

(나) 시범도시 적용 시나리오 - '출근 시차제'에 따른 공무원 출근 시간 변경

○ 사업 대상 지역

- 사업대상지역은 수원시 전역에서 실시되었음

○ 사업 기준 년도

- 사업의 시간적 기준년도는 2013년으로 함

○ 시나리오 설정

- OECD 국가 가운데 유일하게 연간 2,000 시간 이상을 근무하는 상황 속에서 유연근무제와 같은 근무 시간 조정 및 단축관련 논의가 정책적 차원에서 꾸준히 제기
- 출퇴근 시차제는 출근시간은 오전 8시부터 10시까지 퇴근시간은 오후 5시부터 7시까지로 구분, 8시간 근무시간을 3단계로 분류함으로써 임직원들이 선택할 수 있게 하는 유연근무제로 정의
- 출근시차제는 교통량이 집중되는 오전 첨두 시간을 피하여 출근시간을 뒤로 미루는 것으로 수원시 공무원 약 2500 명이 모두 출근시차제에 참여할 경우 교통 체증 감소와 체증에 따른 추가 비용을 감소할 수 있는 효과가 발생함
- 뿐만 아니라, 출근시차제의 경우 근로환경의 개선과 더불어 여가관련 소비 증대를 통한 내수활성화, 에너지 절감, 교통 분산 등 긍정적 파급효과를 발생시킴
- 수원시 공무원을 대상으로 한 '출근 시차제 적용 시나리오'에 대한 활동기반 미시적 교통모형을 분석 수행함

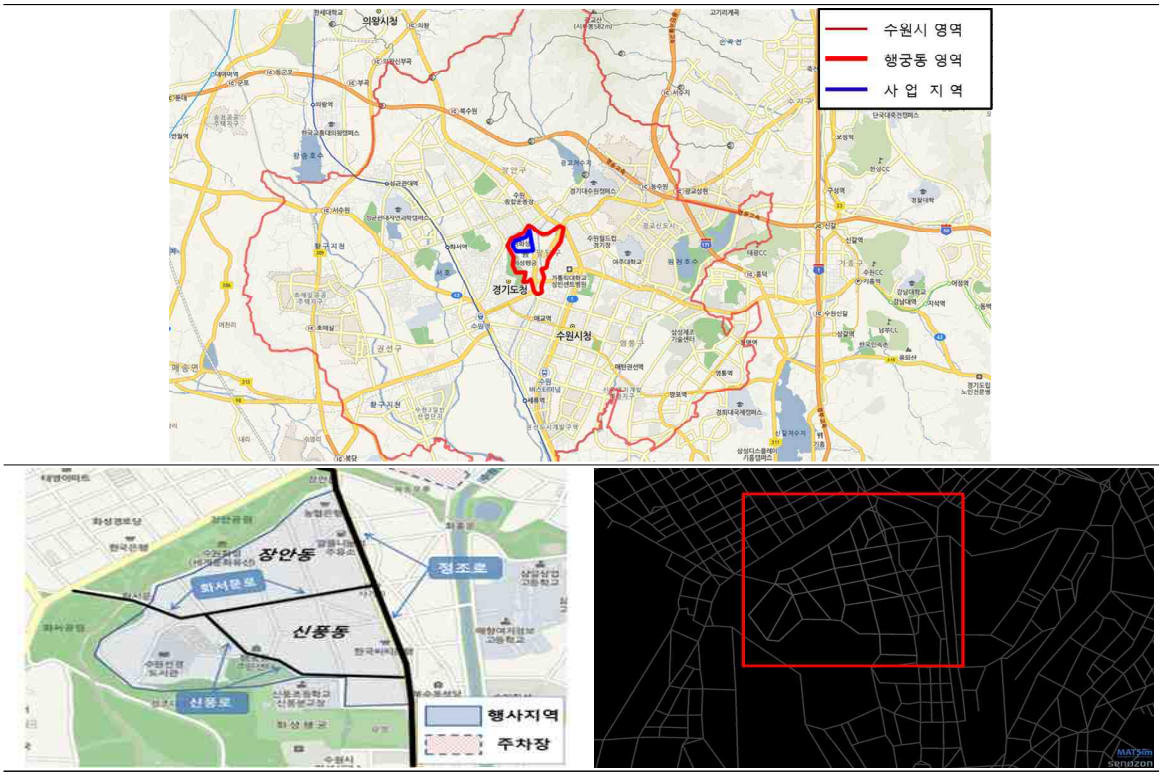
(다) 시범도시 적용 결과 - 행궁동 '차 없는 거리'

○ 네트워크 측면

- 분석 대상지역네트워크 속성을 변화함. 링크의 속성에 대하여 차량을 제거하여 차량이 진입할 수 없도록 설정
- 차 없는 거리 시행으로 진입하지 못하는 차량은 활동기반 모형 상에서 대상지역과 가까운 지역(외부주차장)까지 으로 이동하도록 하고, 외부주차장에서 사업지 내부에서의 이동은 보행으로 구현되도록 표현 (외부주차장으로 이동시 이동수단의 경우 「생태교통 수원 2013-교통변화분석, 교통기술과 정책, 2014.02)」의 외부주차장으로 이동시 이동수단 자료 참고)
- 시뮬레이션 시연 화면에서는 차량의 이동만 나타나기 때문에 사업지역에서의 보행이동이 나타나지 않지만, 분석결과에서 사업지에서의 활동이 차량통행에서 보행통행으로 전환되어 나타남

○ 활동측면(Plan file)

- 사업지에서 발생하는 활동은 보행을 통하여 주차장으로 이동하고, 주차장에서 차량을 이용하는 것으로 변경함.
- 기존 수원시 설문조사 결과 약 38%의 승용차 이용자가 버스로 수단 전환하는 것으로 분석되었으므로, 행궁동에서 발생하는 총 활동의 38%에 해당하는 승용차를 이용하는 활동을 대중교통으로 전환하여 분석을 수행함
- 기존 수원시 설문조사 결과 자가용 이용자의 약 38%의 타수단 전환하는 것으로 분석되었으므로, 행궁동에서 발생하는 총 활동의 38%에 해당하는 승용차를 이용하는 활동을 대중교통 및 기타 수단으로 전환하는 것으로 분석을 수행함

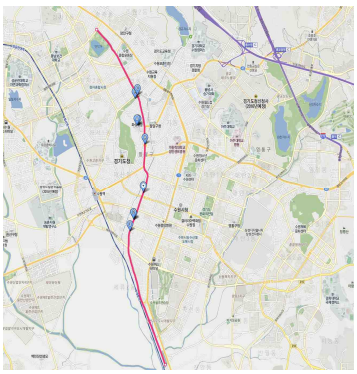


<그림 1-7-36> '차없는 거리' 대상 지역

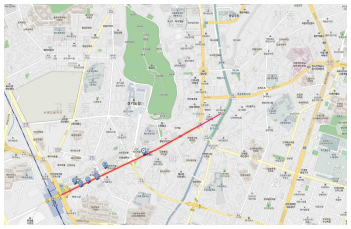
○ 통행속도의 분석

- 통행속도는 대상지역의 실측데이터와의 비교를 통하여 분석을 실시함
- 구간별 통행속도의 결과를 토대로 대상 지역의 실측자료와 비교하여 나타낸 결과는 다음과 같이 실측데이터와 더 근접한 수치를 나타내고 있다는 것을 알 수 있음
- 구간별 속도 정산 결과, 평균 오차율이 약 4% 정도로 실측데이터와 근접한 수치임을 확인할 수 있음

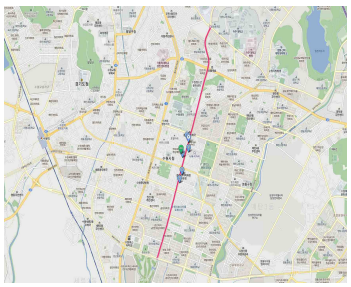
<표 1-7-16> 정조로 통행 속도 분석 결과

정산지점	구간명	관측 속도 (A)	배정 속도 (B)	차이 (B-A)	오차율 (%)
	비행장활주로-공군부대앞	37.3	38.6	1.30	3.5%
	공군부대앞-세류사거리	39.4	38.6	-0.80	-2.0%
	세류사거리-정조사거리	27.4	29.6	2.20	8.0%
	정조사거리-매교사거리	30.1	33.3	3.20	10.6%
	매교사거리-팽나무고개삼거리	27.5	30.4	2.90	10.5%
	교통사거리-중동사거리	37.6	40.4	2.80	7.4%
	팔달문-종로삼거리	16.4	20.5	4.10	25.0%
	종로삼거리-장안사거리	54.4	56.9	2.50	4.6%
	장안문로터리-수성중사거리	31.3	30.1	-1.20	-3.8%
	수성중사거리-운동장사거리	44.6	46.8	2.20	4.9%
<정조로>	운동장사거리-장안구청사거리	34.8	35.2	0.40	1.1%

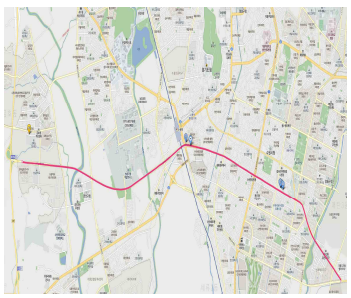
<표 1-7-17> 매산로 통행 속도 분석 결과

정산지점	구간명	관측 속도 (A)	배정 속도 (B)	차이 (B-A)	오차율 (%)
 <매산로>	수원역로터리-매산사거리	29.5	28.6	-0.90	-3.1%
	매산사거리-도청사거리	34.3	33.5	-0.80	-2.3%
	도청사거리-여성회관사거리	40.3	38.2	-2.10	-5.2%
	여성회관사거리-교동사거리	38.6	36.5	-2.10	-5.4%

<표 1-7-18> 권광로 통행 속도 분석 결과

정산지점	구간명	관측 속도 (A)	배정 속도 (B)	차이 (B-A)	오차율 (%)
 <권광로>	선일초교삼거리-농수산물시장사거리	28.6	29.9	1.30	4.5%
	농수산물시장사거리-시청역사거리	30.2	30.6	0.40	1.3%
	시청역사거리-인계주공사거리	33.6	31.6	-2.00	-6.0%
	인계주공사거리-청소년문화센터	40.1	38.5	-1.60	-4.0%
	청소년문화센터-효성초교사거리	43.6	40.2	-3.40	-7.8%

<표 1-7-19> 권선로 통행 속도 분석 결과

정산지점	구간명	관측 속도 (A)	배정 속도 (B)	차이 (B-A)	오차율 (%)
 <권선로>	매탄역사거리-곡선사거리	38.1	39.5	1.40	3.7%
	곡선사거리-농수산물시장사거리	36.5	38.6	2.10	5.8%
	농수산물시장사거리-권선사거리	38.2	39.6	1.40	3.7%
	권선사거리-정조사거리	39.6	42.2	2.60	6.6%
	정조사거리-동립말사거리	41.5	43.2	1.70	4.1%
	동립말사거리-벌터교차로	59.9	57.8	-2.10	-3.5%
	벌터교차로-행정타운사거리	52.3	53.6	1.30	2.5%

(라) 시범도시 적용 결과 - '출근 시차제'에 따른 공무원 출근 시간 변경

○ 네트워크 측면

- 기존 네트워크를 활용하여 적용함

○ 활동측면(Plan file)

- 수원시 일대 공무원 agent의 출·퇴근 시간 변경
- Facility에서 구체적 목적지인 경기도청, 수원시청 및 수원시 내 구청, 관공서들을 통행 목

적지로 하는 Agent를 추출하여 출근 시간 및 퇴근 시간을 분석함

- 첨두시 최대 교통량이 분산되는 효과가 발생하였으며, 첨두시 통행속도가 4.23%(평균 2km/h) 증가하는 것으로 분석됨
- 통행 목적지 분석 결과를 바탕으로, 각 Facility에서의 출·퇴근 agent의 약 30%가 근무 시간이 8시간을 초과하는 것으로 분석
- 시범도시 내 8시간 초과 근무자에 한하여 '출근 시차제'를 적용하기 위하여 출근 시간을 09:00에서 10:00로 변경하여 활동기반 모형을 분석 수행함



<그림 1-7-37> 출근시차제 Plan data 구축

(마) 검증결과

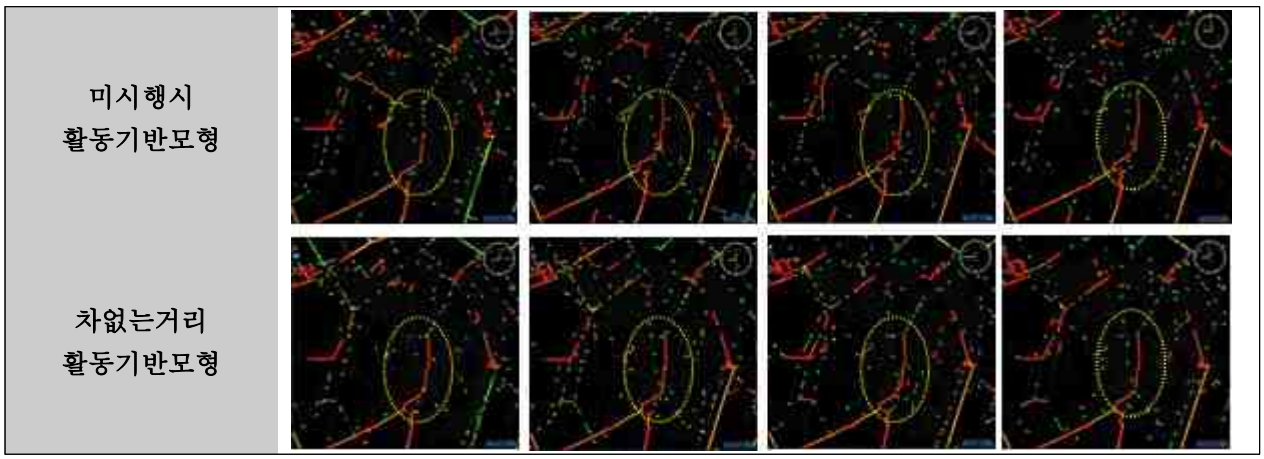
○ 수원시 행궁동 '차 없는 거리' 효과 분석

- '생태교통 수원 2013'에 따르면 수원시 일대의 '차 없는 거리' 조성사업을 인간활동기반 시뮬레이션 모형을 통해 효과를 분석함

- 시나리오 분석 결과, 사업 미 시행 시보다 사업 시행 시 전체적인 교통량 감소효과를 보임

<표 1-7-20> 시나리오 분석 결과

구분		사업 미 시행 시		차 없는 거리 사업 시행 시	
		수원시	행궁동	수원시	행궁동
교통량 (대/일)	합계	8,072,644	846,909	7,933,478	775,920
	평균	1,436.93	1,072.04	1,412.15	981.38



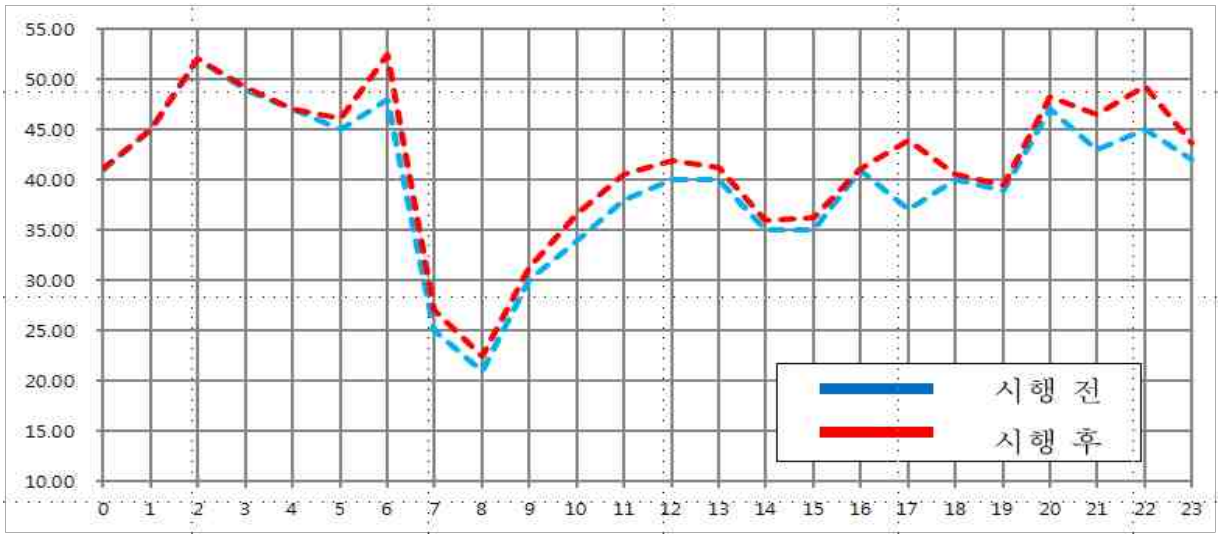
<그림 1-7-38> 첨두시 활동기반 시뮬레이션 결과(08:00~09:00)

- 대중교통 수단분담률 증가 : 미시행 대비 37.34%의 전환효과 발생

- 통행 속도 증가 효과 : 4.23%의 통행속도 향상 효과 발생



<그림 1-7-39> 일 통행량 변화 (정조로(장안문-팔달문))



<그림 1-7-40> 통행속도 변화(정조로(장안문-팔달문))



<그림 1-7-41> 시나리오 분석결과 CO_2 배출량(오전첨두)

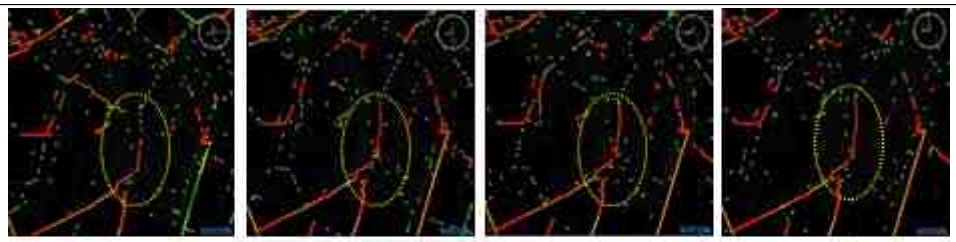
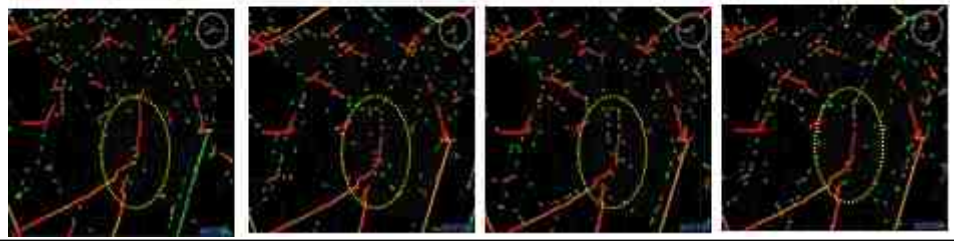
○ '출근시차제'에 따른 공무원 출근시간 변경에 따른 효과 분석

- 대표적인 교통수요관리 전략중 하나인 '출근시차제' 시행에 따른 효과를 인간활동기반 모형을 통해 분석하고, 탄소저감량을 분석함

- 시나리오 분석 결과

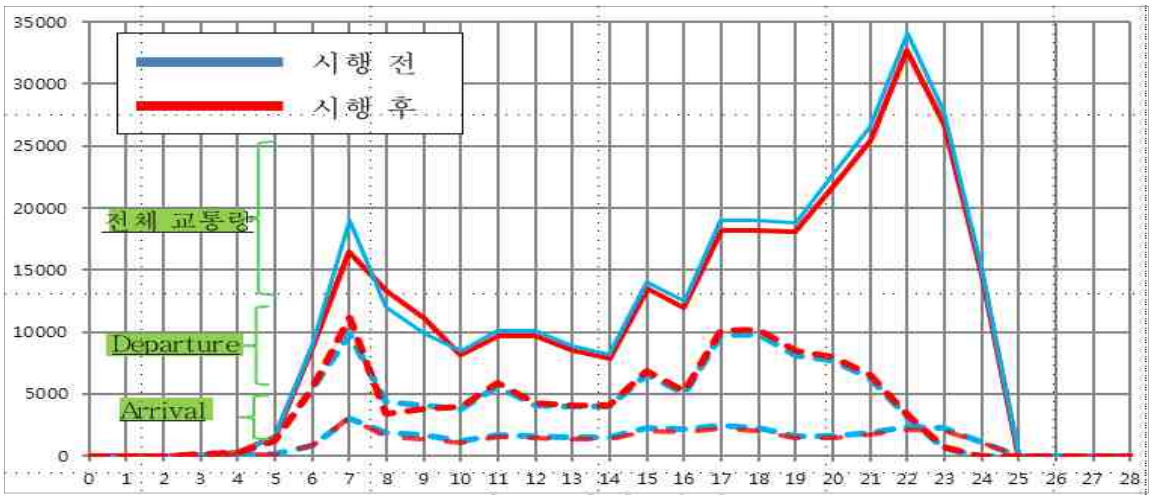
<표 1-7-21> 시나리오 분석 결과

구분		사업 미 시행 시		출근시차제 사업 시행 시	
		수원시	행궁동	수원시	행궁동
교통량 (대/일)	합계	8,072,644	846,909	8,044,268	845,101
	평균	1,436.93	1,072.04	1,431.87	1069.75

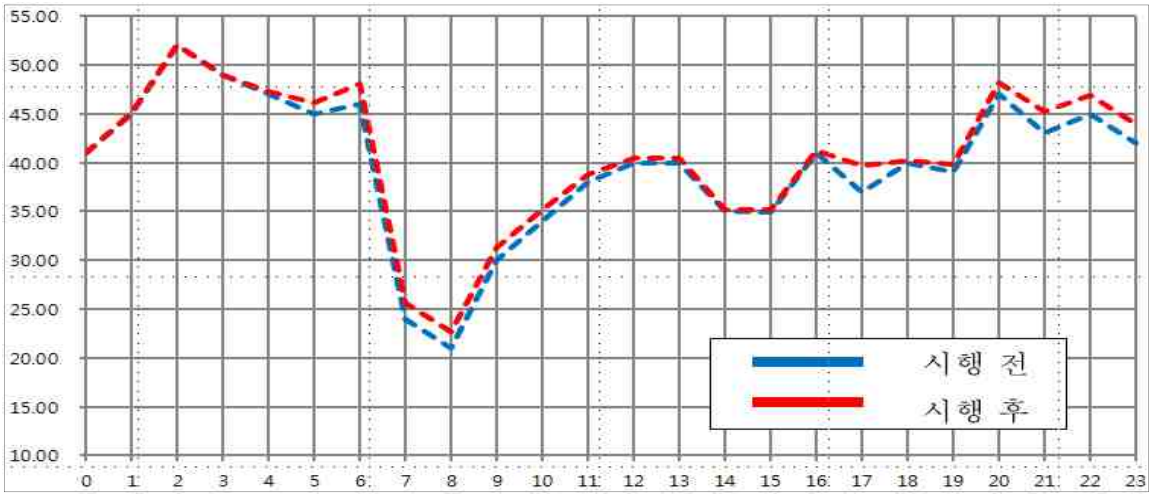
미시행시 활동기반모형	
출퇴근 시차제 활동기반모형	

<그림 1-7-42> 첨두시 활동기반 시뮬레이션 결과(08:00~09:00)

- 사업 미 시행시보다, 출근시차제 사업 시행 시 전체적인 교통량 감소효과를 보임
- 오전 첨두 시간 분산 : 첨두 교통량의 감소, 통행량의 시공간적 분산효과 발생
- 오전 첨두 통행 속도 : 오전 첨두시 정조로의 통행 속도 증가
- 미시행 대비 2.42%의 평균 통행속도 증가효과 발생



<그림 1-7-43> 일 통행량 변화



<그림 1-7-44> 통행속도 변화(정조로(장안문-팔달문))

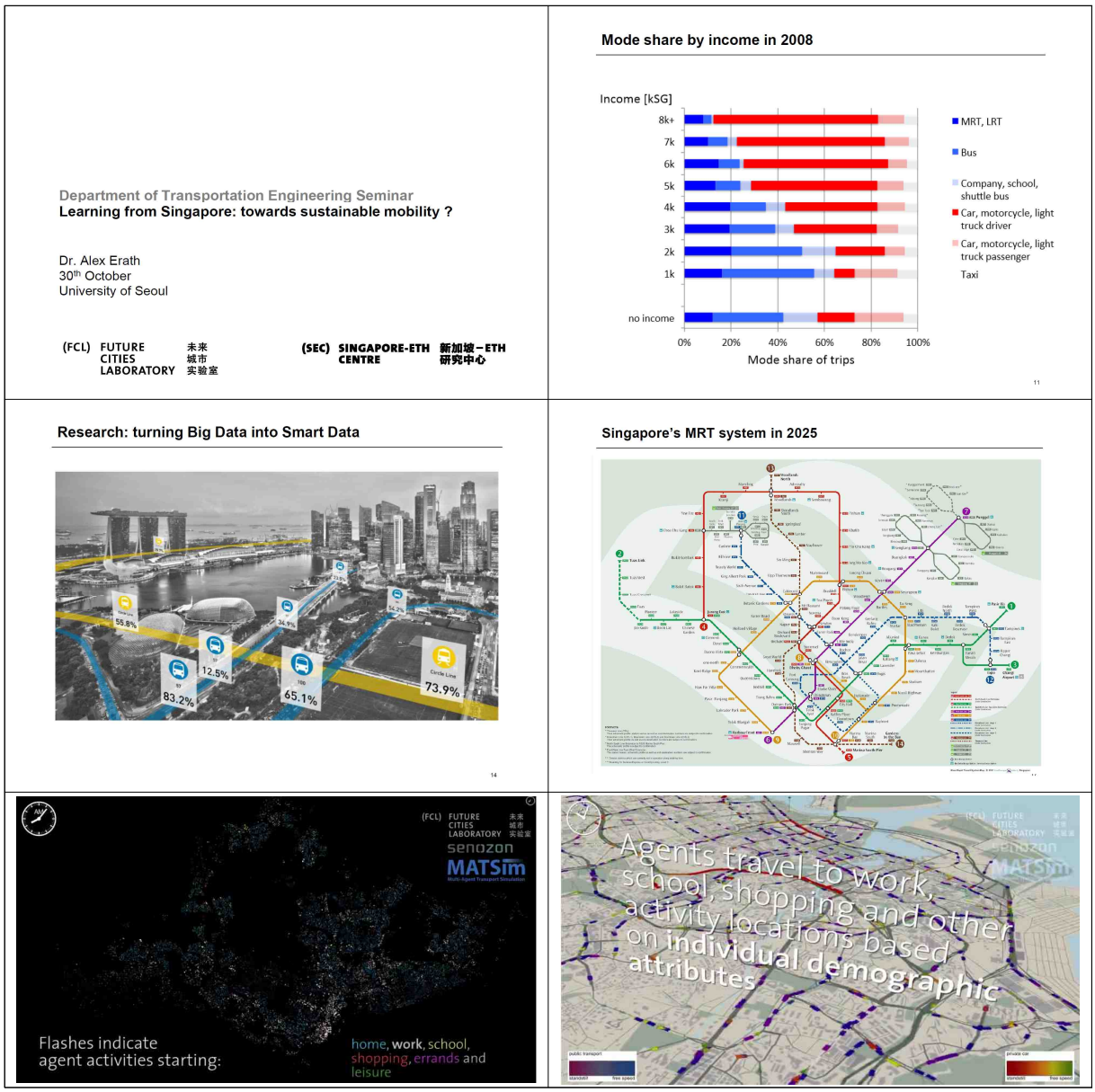


<그림 1-7-45> 시나리오 분석결과 CO_2 배출량(오전첨두)

○ 수도권 활동기반 모형의 적정성 검토

- 수도권 활동기반 모형의 적정성 검토를 위하여, 스위스 ETH와의 지속적인 연구교류를 수행하고 있으며, 공동연구 논문발표, 연구원 방문으로 수도권 모형의 적정성을 검토함
- ETH의 부속연구기관인 싱가포르 Future city lab을 방문하여 직접 모형을 설명하고 자문회의를 수행하였으며, 2014년 10월에는 Erath, Alex(FCL)이 한국을 방문하여 싱가폴의 MATSim 모형을 소개하고, 국내 수도권 모형의 발전을 위한 자문회의를 수행함

<표 1-7-22> MATSim Singapore Model



제8절 (핵심성과 3-1) 도시 탄소 배출량 예측 모형 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

가. 배출량 산정 모형 개발 전략

교통 부문과 토지이용 부문의 탄소저감 정책 대안에 따른 탄소저감 효과를 분석하기 위한 탄소배출량 관리 시스템의 주요 부분으로 도시의 장래 토지이용 변화와 교통의 변화에 따른 탄소배출량을 산출하는 기능을 개발하였음

(1) 배출량 분석 대상 규모

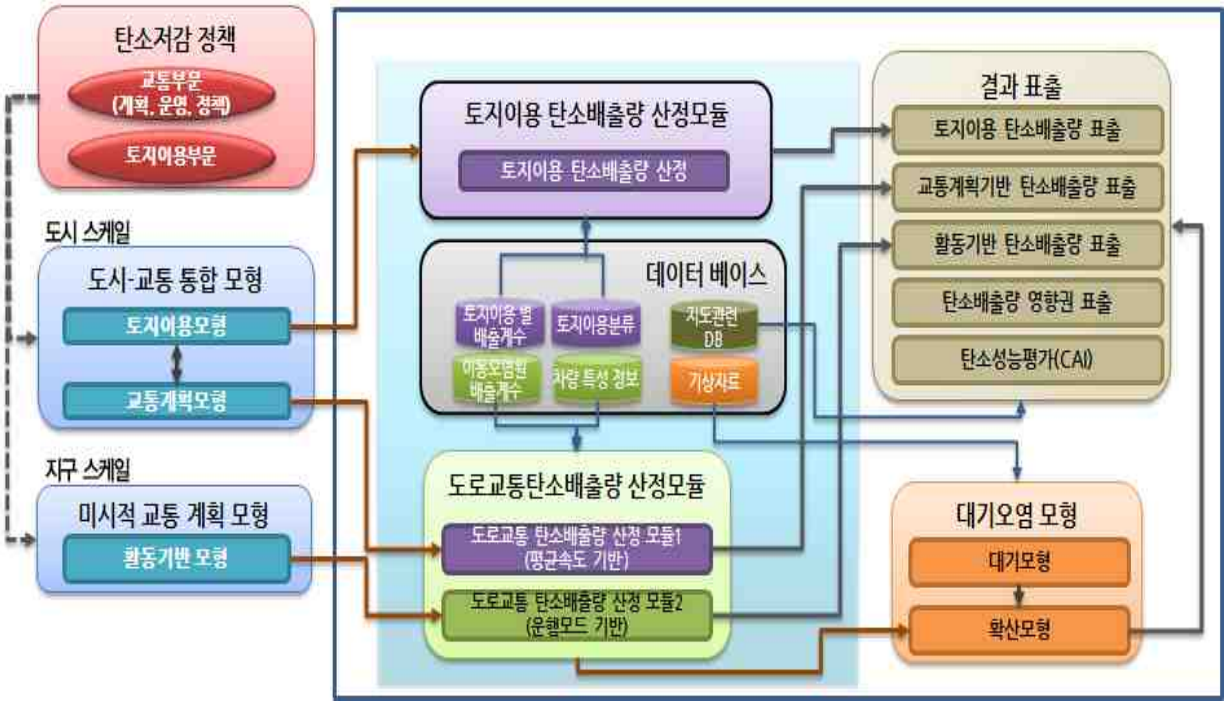
분석 대상지의 규모, 분석 시기, 분석 시간 간격에 따라 도시 교통 예측 모형이 다르게 적용되므로 다음의 두 가지 분석 스케일에 따라 적용할 수 있도록 배출량 산정모형을 개발하였음

- ○ 도시스케일 : 도시 차원의 큰 규모의 대상지에 대하여 토지이용과 교통시스템의 장기적인 장래 변화를 예측하여 탄소배출량을 년 또는 일 단위로 추정
- ○ 지구스케일 : 지구와 단지 차원의 상대적으로 작은 규모의 대상지에 대하여 가까운 장래 시점의 교통시스템과 교통 운영의 변화에 따른 탄소배출량의 변화를 일 또는 시간 단위로 평가

(2) 도시 교통 예측 모형과의 연계

<그림 1-8-1>은 도시스케일과 지구스케일의 탄소배출량 산정 흐름도를 나타낸 그림임. 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 1-8-1> 탄소배출량 산정 흐름도

(3) 탄소배출량 산출결과의 표출

○ 탄소배출량이라 하면 이산화탄소(CO_2) 배출량을 의미하므로 토지이용의 CO_2 배출량과 도로교통의 CO_2 배출량 산정결과를 기본적인 지표로 표출하였음

○ 도로교통 부분에서는 대기오염물질 CO, NOx, PM의 배출량을 추가적으로 산정하여 지도에 표출하였음

○ 대기오염물질 배출량은 확산모형의 입력 값으로 활용되어 주변지역에 미치는 영향을 예측하는데 사용함

(4) 배출량 산정 모형

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

○ 도시스케일: 토지이용 측면의 배출량과 교통측면의 배출량의 변화를 예측함

- 토지이용배출량 산정 모형 : DELTA모형의 분석 결과 중 토지이용별 연면적 예측값에 토지지용별 면적당 탄소배출 원단위를 곱하여 배출량을 산정함. 배출계수는 건축물 용도별 배출원단위를 DELTA의 토지이용 구분에 맞추어 조정하여 사용함
- 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 적용함

○ 지구스케일: 교통측면의 배출량의 변화를 예측함

- 도로교통배출량 산정 모형 2 : MATSim의 분석 결과 중 개별차량별 통행자료인 이벤트자료를 분석하여 차량별 초당 주행자료를 추정한 후 운행모드 기반으로 배출량을 산정하였음. 운행모드 기반의 배출계수는 MOVES의 배출계수를 국내차량 조건에 맞도록 보정한 값을 사용함



<그림 1-8-2> 탄소배출량 산정 방법론 구분

나. 국제공동연구 수행 전략

(1) 연구수행 배경

○ 지구스케일의 도로교통 배출량 산정을 위한 운행모드 기반의 모형은 개별 차량의 배출량을 산정해야하므로 대상지역의 규모가 큰 경우 데이터 용량과 연산 시간의 문제가 발생함. 따라서 NCSU에서 개발한 MOVES Lite(Frey and Liu, 2013)의 개념을 도입하여 기능을 개선하였음

(2) 연구수행 내용

○ MOVES Lite - K 개발

- MOVES의 운행모드 기반의 배출량 산정 방법을 간략화한 방법 적용
- 미국의 배출계수를 국내에 적용하는 과정에서 필요한 보정 절차 수행

○ 메조모형 DTALite과의 통합

- 대규모 네트워크에서 다양한 도시 교통 정책을 평가할 수 있는 메조 교통 시뮬레이션 모형

인 DTALite를 국내 네트워크 분석에 적용

- 교통시뮬레이션 프로그램 내에서 배출량 산정이 동시에 이루어질 수 있도록 개선하여, 사용자가 보다 쉽고 빠르게 배출량에 대한 평가를 할 수 있도록 함

다. 연차별 연구목표 및 연구내용

탄소배출량 예측 모형 개발을 위한 연차별 연구목표와 연구내용은 다음과 같음

<표 1-8-1> 목표 및 주요 연구내용

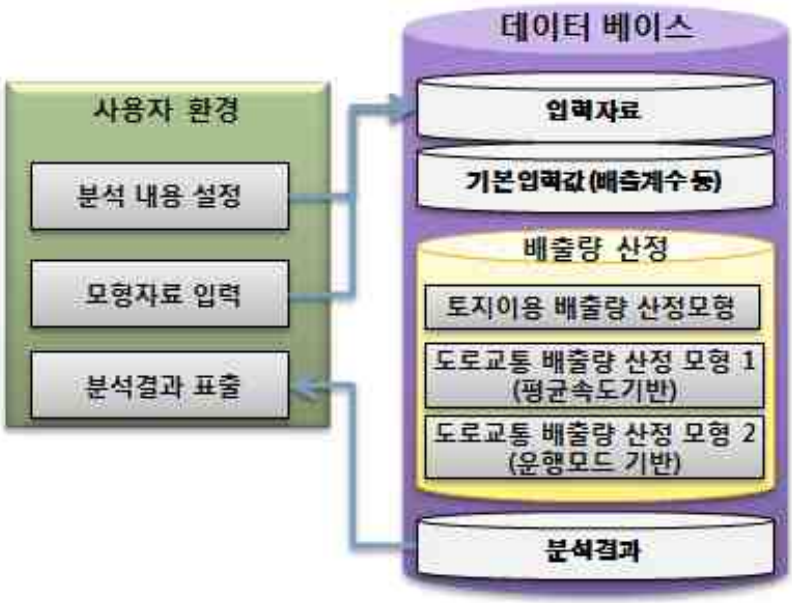
연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도 (설계구상 단계)	▪ 도시공간 및 교통부문 탄소배출량 산정 방법 개발 및 관련 DB 설계 및 구축	▪ 도시공간의 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발 ▪ 교통부문 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발 ▪ 정보 수집 및 DB 구축 ▪ 기관 DB 연계
2차년도 (개발단계)	▪ 토지이용-교통 통합 모형의 탄소배출량 예측기술 개발	▪ 토지이용-교통 통합모형의 예측 결과 값을 반영한 탄소배출량 예측기술 개발 ▪ 탄소 관리 통합 DB 설계
3차년도 (적용준비 단계)	▪ 활동 기반 교통계획 모형의 탄소배출량 산정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

2. 연구수행과정 및 내용

가. 도시공간 및 교통부문 탄소배출량 산정 방법 개발 및 관련 DB 설계 및 구축

(1) 도시공간의 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발

○ 다음 그림은 탄소배출량 산정 프로그램의 기본적인 구조를 보여주고 있으며 크게 사용자 인터페이스와 데이터베이스로 구성됨



<그림 1-8-3> 탄소배출량 산정 프로그램의 구상도

○ 사용자 인터페이스(User interface)는 분석내용을 정의하는 '분석 내용 설정' 부분과 시뮬레이션 모형 분석 결과를 입력하는 '모형자료 입력'과 데이터베이스에서 연산이 완료된 결과를 불러와서 표출하는 '분석결과 표출'부분으로 구분되어 있음

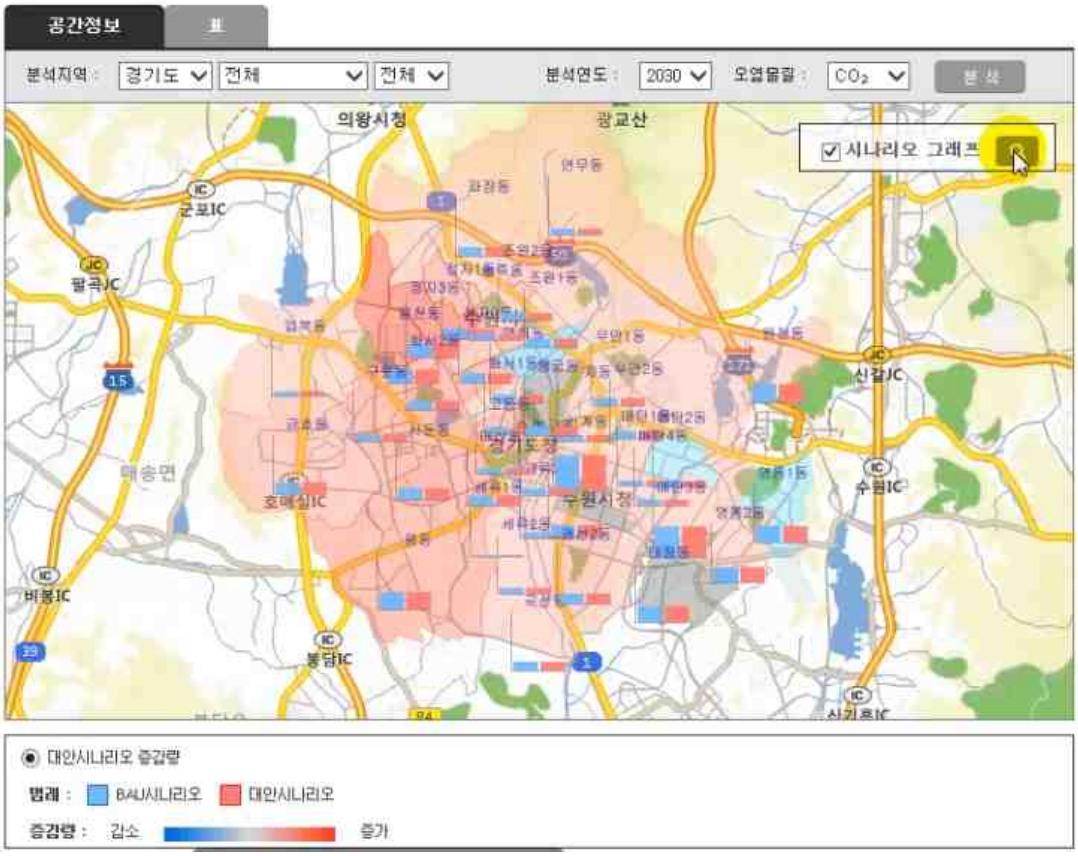
- 분석내용 설정 : 분석 스케일 선택(도시스케일, 지구스케일, 사용자정의), 프로젝트 정보 입력(프로젝트 명, 분석년도, 분석지역, 상세설명), <그림 1-8-4> 참조
- 모형자료 입력 : 시나리오별 토지이용 교통모형 분석결과 입력 및 관리
- 분석결과 표출 : 분석결과물의 표출(GIS기반 지도에 표출 및 결과표 출력), <그림 1-8-5>, <그림 1-8-6>, <그림 1-8-7>참조

○ 데이터베이스는 '입력자료' 저장부분, '기본입력값' 저장부분, '배출량 산정' 부분과 '분석결과' 저장 부분으로 구성됨

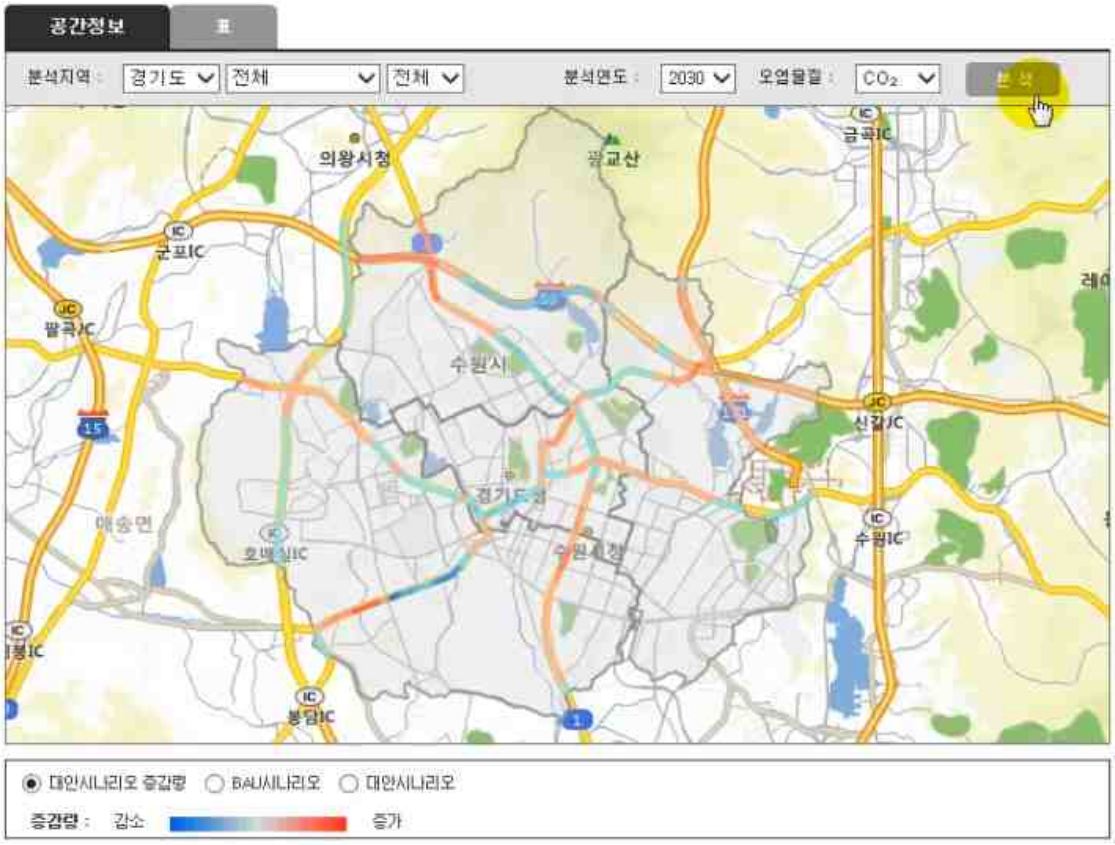
- 입력자료 저장부분 : 프로젝트 명, 분석년도, 분석지역, 상세설명, 토지이용 모형 자료
- 기본입력값 : 토지이용별 배출계수, 연도별 차종별 오염물질별 배출계수 등
- 배출량 산정 : 배출량 산정 모형에 따라 배출량을 산정하고 집계함



<그림 1-8-4> 사용자 인터페이스-분석내용 설정 및 모형자료 입력창



<그림 1-8-5> 사용자 인터페이스-분석내용 표출 예시



<그림 1-8-6> 사용자 인터페이스-분석내용 표출 예시



<그림 1-8-7> 사용자 인터페이스-분석내용 표출 예시

(2) 배출량 산정 관련 자료 수집 및 DB 구축

(가) 토지이용별 탄소 배출원단위($EF_{c,u}$)

○ 도시의 토지이용으로 인한 탄소 배출원단위는 건축물에서 사용한 에너지 소비로 인한 탄소 배출량에 대하여 추정한 값임

○ <표 1-8-2>은 2012년 서울시의 건축물 용도별 에너지 사용량을 집계한 데이터(국가 건물 에너지 통합관리시스템 구축사업단 제공)를 기반으로 연면적당 배출원단위를 추정한 결과를 나타냄

○ 본 연구에서 사용하는 토지이용 예측 모형인 DELTA 모형은 7 가지(주택, 사무, 도소매, 서비스, 보건/의료, 교육/연구, 산업)의 토지이용의 점유면적을 예측하여 결과로 제공함. 따라서 <표 1-8-3>과 같이 7가지 토지이용에 대한 탄소배출원단위를 산정하여 적용하였음

○ <표 1-8-3>의 배출계수는 서울과 수도권 지역에 적용할 수 있는 값이나, 지역마다 용도에 따른 배출계수가 달라질 수 있으므로 분석하고자 하는 도시의 건축물 에너지 사용에 대한 통계자료를 수집하여 해당도시에 맞는 원단위를 추정하여 사용하는 것이 바람직함

○ 또한, 미래에 사용되는 에너지의 종류와 효율에 따라 배출계수가 달라질 수 있으므로 향후 연구를 통해 업데이트 하는 것이 필요함

<표 1-8-2> 건축물 용도별 이산화탄소 배출 원단위(서울시 2001년 이후 2012년까지의 에너지 통계)

대분류	소분류	총연면적(㎡)	이산화탄소 배출량(tCO2eq)	원단위 (tCO2eq/m2/year)
주거	단독주택	66047316.18	4697013.502	0.071115887
	공동주택	280284232.3	7714814.387	0.027524968
산업	공장	9766600.89	1105671.119	0.113209409
교육연구	교육연구	28234085.38	1282679.98	0.045430194
의료복지	사회복지	11269174.61	456229.0182	0.040484688
	의료	4449649.673	535559.3941	0.120359901
도소매	일반상업	33702145.95	2919797.119	0.086635347
	근린상업	32781200.19	3024027.261	0.092248827
	판매	12731046.57	944764.6632	0.074209505
오피스	업무	47232613.6	3254567.749	0.068905095
	방송통신	676969.229	299160.4264	0.44191141
서비스	관광휴게	84819.03	6633.708093	0.078210139
	문화집회	2928487.5	210457.9245	0.071865741
	숙박	3739908.67	429055.8932	0.114723629
	운수	1811442.54	87625.54442	0.04837335
	위락	813754.73	123915.7739	0.152276564
합계		536553447.1	27091973.46	0.05049259

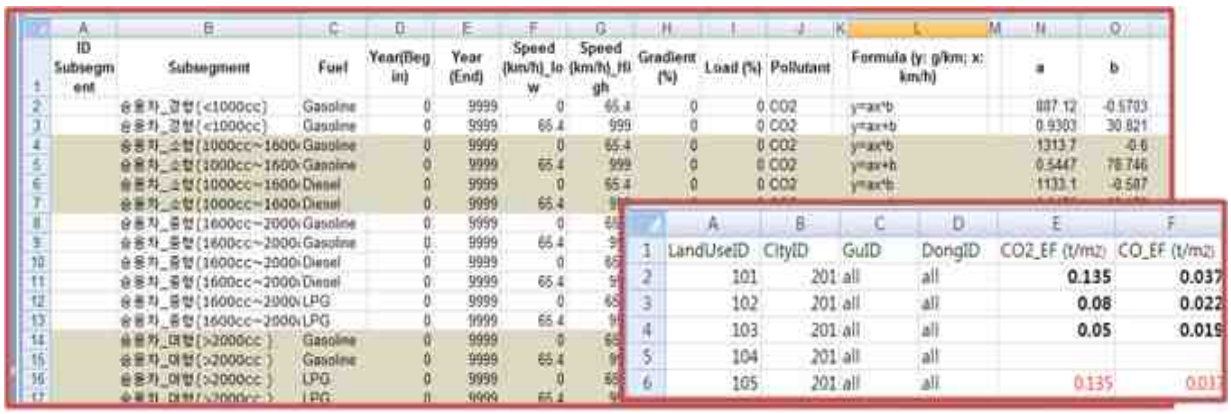
<표 1-8-3> 토지이용 모형 DELTA 분류의 건축물 용도별 이산화탄소 배출 원단위

원단위	총연면적(㎡)	이산화탄소 배출량(tCO2eq)	원단위 (tCO2eq/m2/year)
주거	346331548.50	12411827.89	0.0358
산업	9766600.89	1105671.12	0.1132
교육연구	28234085.38	1282679.98	0.0454
의료복지	15718824.29	991788.41	0.0631
도소매	79214392.71	6888589.04	0.0870
오피스	47909582.83	3553728.18	0.0742
서비스	9378412.47	857688.84	0.0915

(나) 평균속도기반 배출계수

○ 대기오염물질 CO, NO_x, PM의 배출계수는 “국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람-이동오염원 부분(국립환경과학원, 2010)”에 제공된 값을 활용하며, 온실가스(CO_2)의 배출계수는 “GHG-CAPSS 온실가스 배출량 산정편람(국립환경과학원, 2011)” 에서 제공한 값을 활용함

○ 대기오염물질 $CO, VOC(THC), NO_x, PM, NH_3$의 차종별 유종별 연식별 속도별 배출계수식과 온실가스 CO_2, CH_4, N_2O의 차종별 유종별 연식별 속도별 배출계수식을 수집하여 데이터베이스화하여 개발된 배출량 산정프로그램의 기초 입력값으로 사용



<그림 1-8-8> 배출계수DB 입력 예시

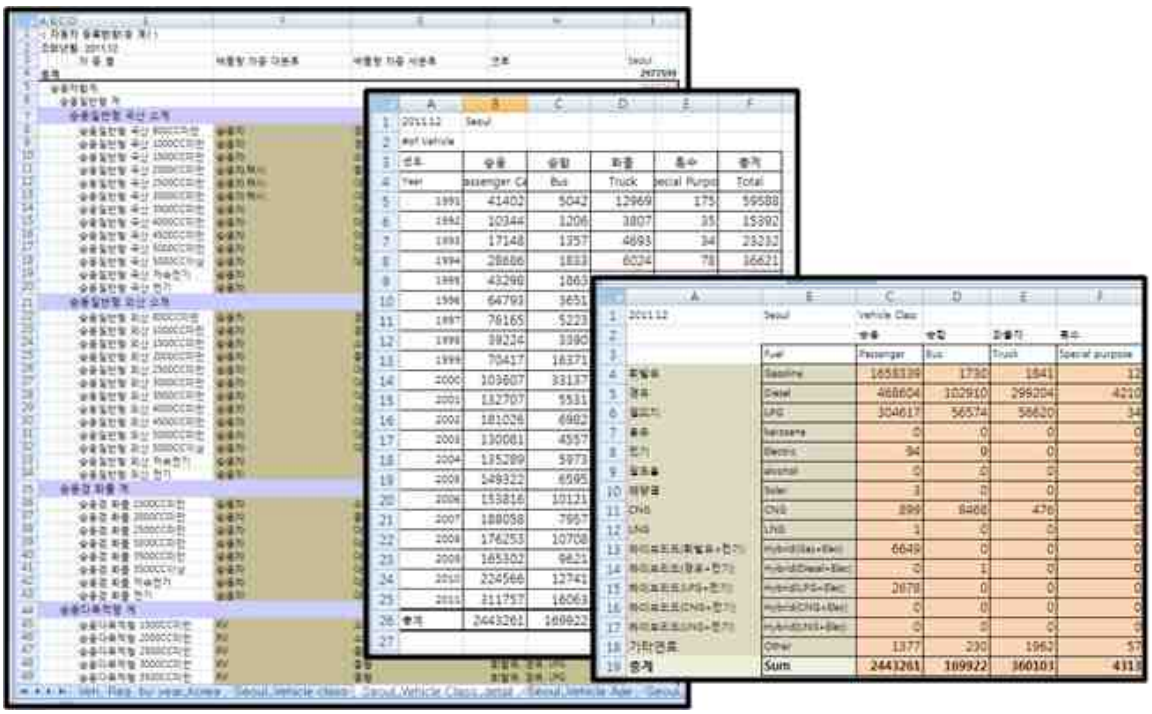
(다) 자동차 등록정보

○ 배출계수가 차량종류, 연식, 연료별, 속도별로 다르기 때문에 정확한 배출량을 산정하기 위해서는 배출계수와 동일하게 분류되어진 차량등록대수가 필요함

○ 국토해양부의 차량등록대수 통계자료는 국토해양통계누리 웹사이트의 자동차 등록현황 보고를 통해 매달 집계된 차량등록대수를 얻을 수 있음

○ 국토해양부에서 제공하는 자동차 등록대수 파일은 탭으로 구성된 엑셀 파일로 배출량 계산에 필요한 차량대수 자료를 추정하는 데 사용함

- 세부차종별/용도별/시도별 자동차 등록대수
- 연료별/차종별/용도별/시도별 자동차 등록대수
- 차령별/차종별/용도별/시도별 자동차 등록대수



<그림 1-8-9> 차종 재분류를 위한 자동차 등록 정보

나. 토지이용-교통 통합 모형의 탄소배출량 예측기술 개발

(1) 도시스케일-토지이용기반 배출량 산정 모형 개발

○ 토지이용 종류별 면적이 토지이용 모형의 결과 값으로 산출되므로 토지이용별 탄소 배출원단위를 활용하여 도시의 토지이용으로 인한 지역별 탄소배출량을 산정함

○ 분석 지역(Zone) 별 또는 분석 도시 전체의 토지이용으로 인한 탄소배출량을 산정하는 수식은 다음과 같음

$$LUE_{c,z} = \sum \{S_{c,z,u} \times EF_{c,u}\}$$

$$LUE_{total,c} = \sum LUE_{c,z}$$

$LUE_{c,z}$: 도시 c의 분석 Zone z의 이산화탄소 배출량(ton)

$LUE_{total,c}$: 도시 c의 이산화탄소 총 배출량(ton)

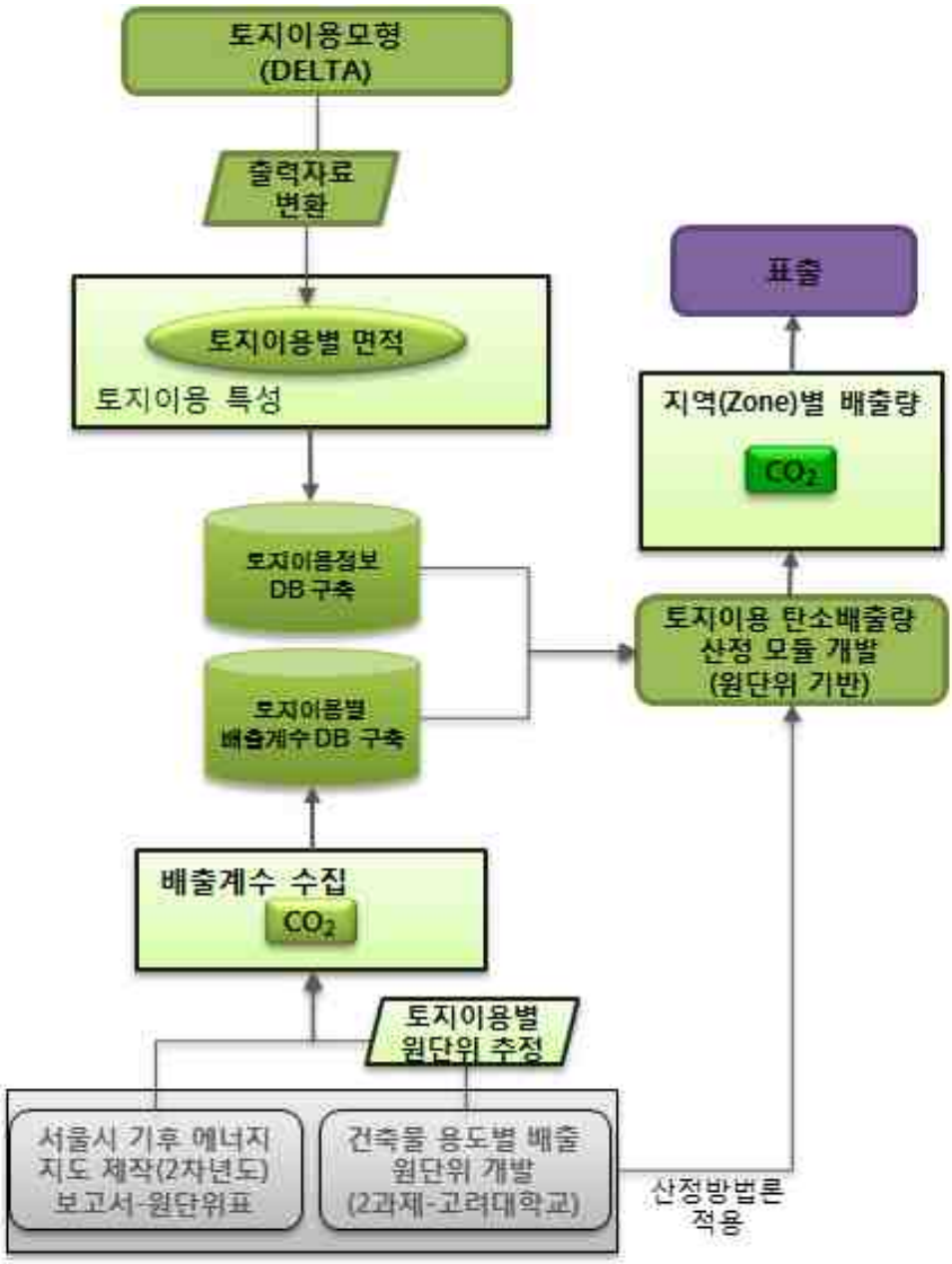
$S_{c,z,u}$: 도시 c의 분석 Zone z의 토지이용 u의 연면적(㎡)

$EF_{c,u}$: 도시 c의 토지이용 u의 이산화탄소 배출계수(ton/㎡/year)

z : 분석 $Zone$

u : 토지이용 분류

c : 도시(서울, 수원, 인천, …)



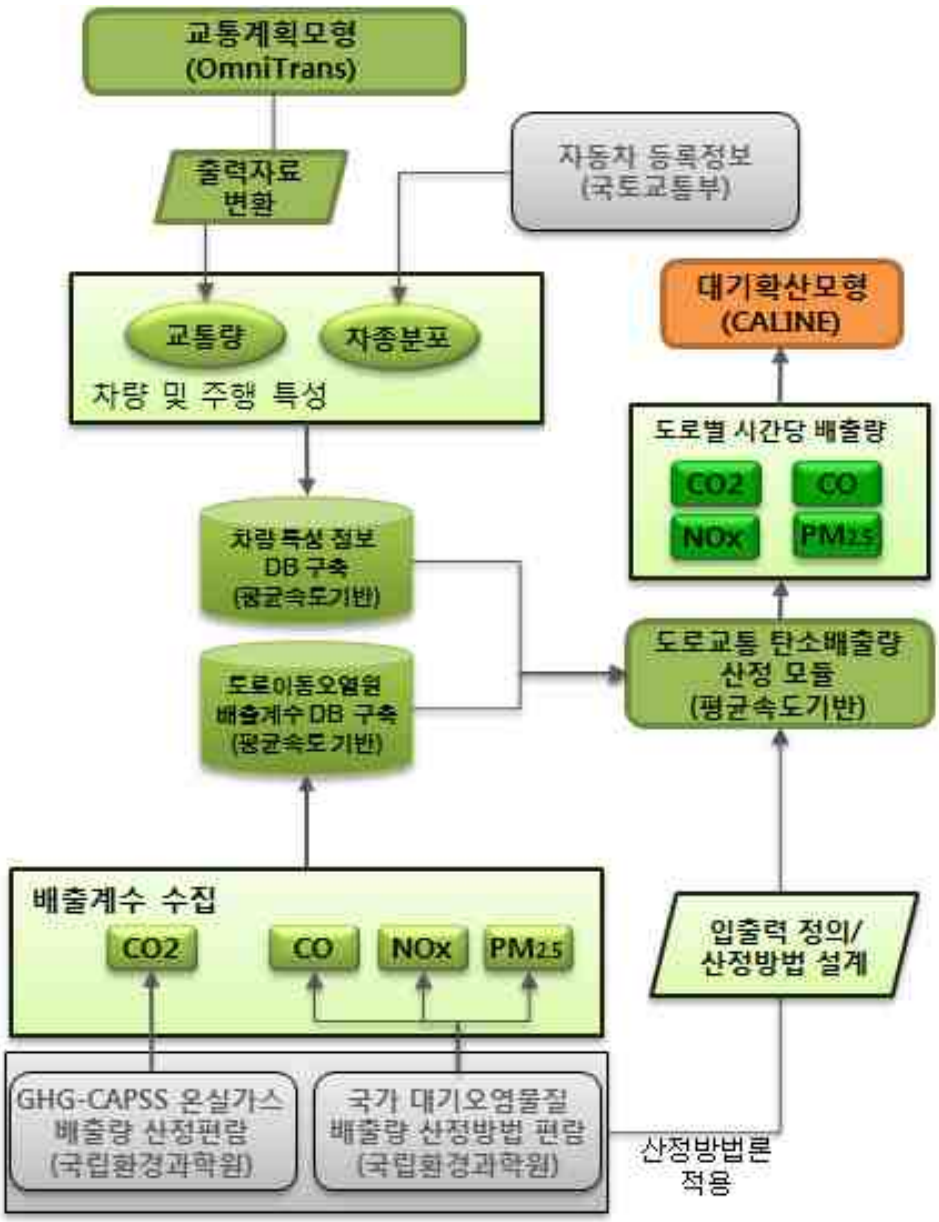
<그림 1-8-10> 토지이용 탄소배출량 산정 절차

(2) 도시스케일-교통부문 탄소배출량 산정 및 예측기술 개발

○ 교통계획 모형의 결과 값은 링크(도로구간)별 예측 교통량, 속도 등이며, 링크의 속성인 도로구간의 길이 및 차로수 등과 차종비의 기본 정보가 입력됨

○ 도로교통의 배출량을 산정하는 방법 중 차량의 활동도를 산정하는 방법과 배출계수를 적용하는 방법에서 달라짐

○ 교통계획 모형의 결과 값으로 차량의 활동도를 구하고 차종에 따른 배출계수를 적용하기 위해 교통계획 모형의 차종대분류를 자동차 등록정보에 의한 차종으로 세분화하는 방법을 적용함



<그림 1-8-11> 평균속도기반 탄소배출량 산정 절차

○ 교통계획 모형 결과를 활용한 탄소배출량 산정식은 다음과 같음

▪ Step 1. 교통량을 배출계수의 차종구분(차종/유종)과 일치하도록 배분

$$LV_{l,vt,f,va} = LV_l \times P(vt) \times P(f) \times P(va)$$

$LV_{l,vt,f,va}$ = 링크 volume을 차종분포, 사용유종, 연식분포로 배분한 값

LV_l = Link l의 교통량

$P(vt)$ = 차종 vt일 확률, vt는 자동차 세분류

$P(f)$ = 연료 f일 확률

$P(va)$ = 연식이 va일 확률

▪ Step 2. 오염물질 배출량 산정

$$TE_{l,p} = \sum D_l \times (LV_{l,vt,f,va} \times EF_{p,vt,f,va,s})$$

$$TE_p = \sum TE_{l,p}$$

$TE_{l,p}$ = 링크 l의 오염물질 p의 배출량

TE_p = 오염물질 p의 총배출량

D_l : 링크 l의 길이(km)

$LV_{l,vt,f,va}$: 링크 volume을 차종분포, 사용유종, 연식분포로 배분한 값

$EF_{p,vt,f,va,s}$: 오염물질 p, 차종 vt, 연료 f, 연식 va의 속도 s일 때의 배출계수

p : 오염물질, CO, NO_x, PM, CO_2

f : 연료종류, Gasoline, Diesel, LPG,

vt : 차량의 종류

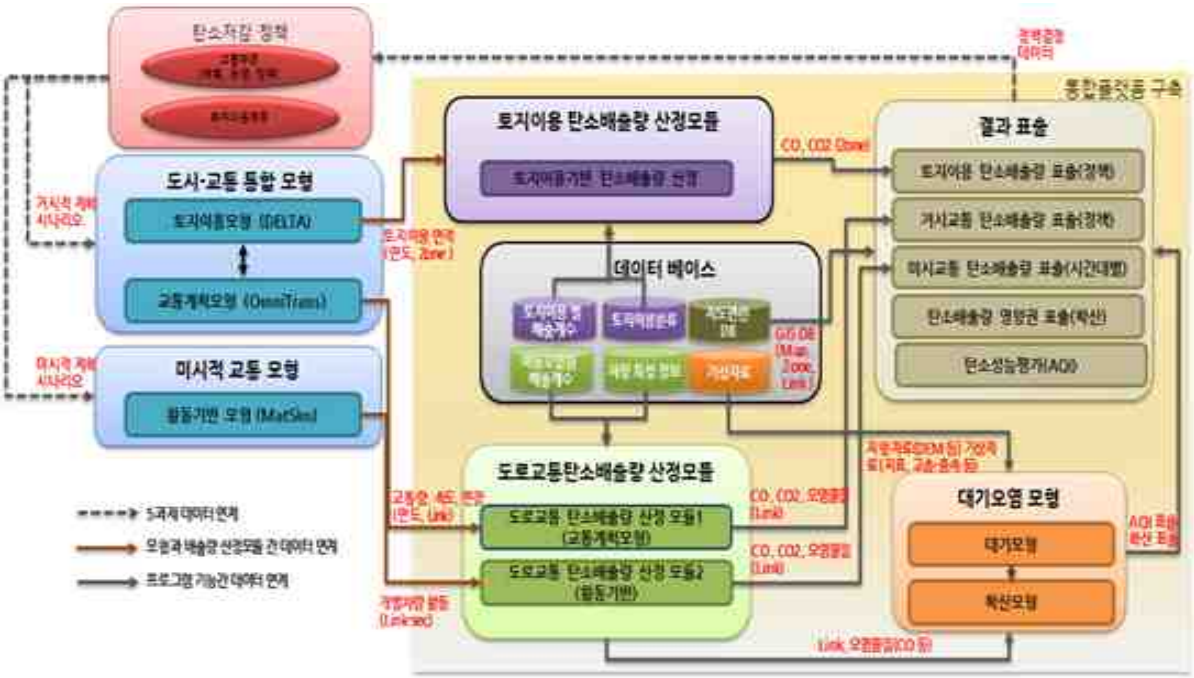
y : 차량연식

s : 속도

(3) 탄소 관리 통합 DB 설계

(가) 세부 모형과 탄소배출량 산정 모듈의 관계 정의

<그림 1-8-12> 는 탄소배출량 관리시스템을 구성하는 각 모듈간의 관계를 나타낸 그림임. 도시교통 예측 모형의 결과를 기반으로 토지이용 측면과 교통측면의 탄소 및 대기오염물질 배출량을 산정하는 과정에서의 입력변수와 출력변수가 정리되어 있음



<그림 1-8-12> 세부과제의 개별 모형과 탄소배출량 관리 모형의 관계도

○ 토지이용-교통 통합모형은 도시의 장래 토지이용 변화와 이를 반영한 교통의 변화를 시뮬레이션하여 예측함 : 탄소배출량 산정에 필수 요소에 대한 예측(탄소배출량 산정 모듈의 입력자료 생성)

- 토지이용 탄소배출량 산정 모듈 : 토지이용 모형(DELTA)은 도시의 장래 토지이용에 대한 예측값(토지이용 종류별 면적값)이 모형의 결과 값으로 산출되므로 토지이용별 탄소배출계수를 활용하여 도시부분 탄소배출량을 거시적으로 산정함
- 도로교통 탄소배출량 산정 모듈1(교통계획모형 기반 탄소 예측) : 교통계획모형(OmniTrans)는 통행링크별 교통량과 속도가 결과 값으로 산출되고, 링크길이와 교통량으로 총 주행거리를 산정할 수 있기 때문에 속도에 따른 탄소배출량 계수를 활용하여 도로교통의 탄소배출량을 거시적으로 산정함

○ 미시적 모형은 개별 차량 활동도(위치, 속도 등)의 변화를 시뮬레이션하여 예측함 : 탄소배출량 산정에 필요한 필수 요소에 대한 예측(탄소배출량 산정 모듈의 입력자료 생성)

- 도로교통탄소배출량 산정 모듈 2(미시적 관점의 탄소 예측) : 교통탄소배출량 산정 모듈 1과 마찬가지로 활동기반 교통 모형(MATSim)의 결과값인 개별차량의 시간대별 통행링크(링크별 교통량), 속도, 링크길이를 활용하여 탄소배출량을 산정함

○ 대기확산 모형은 도로교통탄소배출량 산정 모듈1(교통계획모형 기반 탄소 예측)과 도로교통탄소배출량 산정 모듈 2(미시적 관점의 탄소 예측)에서 예측된 탄소배출량의 대기확산(대기 중 오염물질 농도의 변화)을 추정함 : 탄소배출량 예측 결과값을 입력자료로 활용

- 거시적 대기확산 모형 : 도로교통탄소배출량 산정 모듈1(교통계획모형 기반 탄소 예측)의 결과값인 링크별 탄소배출량 및 오염물질 배출량을 이용하여 오염물질의 대기 확산의 최대 농도를 추정함
- 미시적 대기확산 모형 : 도로교통탄소배출량 산정 모듈2(미시적 탄소 예측)의 결과값인 시간대별, 링크별 탄소배출량 및 오염물질 배출량을 이용하여 오염물질의 시간대별 농도 변화량을 추정함

(나) 탄소배출량 관리를 위한 통합 데이터 흐름 정의

○ 본 연구의 최종 목표는 탄소 저감을 위한 도시공간 및 교통 연계 탄소배출량 관리 시스템이며, 이를 위해서는 토지이용 및 교통량의 변화 예측 모형, 탄소배출량 산정 모형, 대기확산 모형의 유기적인 정보 연계가 필요함

(다) 탄소배출량 관리를 위한 통합 데이터베이스 설계

① 시나리오기반 도시-교통 탄소저감 예측 결과 표출 프로그램 - 토지교통 통합 모형 결과 표출 데이터베이스 설계

- 분석한 모형의 결과물을 기반으로 Entity Relationship Diagram을 정의하였고, 물리적 설계는 <그림 1-8-14>이고, 논리적 설계는 <그림 1-8-15>와 같음
- 시나리오는 토지이용(Delta) 모형과 교통계획(Omnitrans) 모형으로 구성되어 있으며, 여러 개의 정책시나리오를 프로젝트 단위로 관리하도록 설계하였음
- 토지이용 모형의 경우 데이터 검색 속도를 높이기 위해, 인구변화, 토지이용변화에 대한 테이블을 각각 구성하였고, 시나리오ID, Zone ID를 PK(Primary Key)로 설정하였음
- 교통계획 모형의 경우 링크의 속성과 소통정보를 구분하여 DB화 할 수 있도록 테이블을 설계하였고, 탄소배출량 산정 후 대기확산의 분석이 가능하도록 테이블을 구성하였음

② 시나리오기반 도시-교통 탄소저감 예측 결과 표출 프로그램 - 활동기반 교통 모형 결과 표출 데이터베이스 설계

- 분석한 모형의 결과물을 기반으로 Entity Relationship Diagram을 정의하였고, 물리적 설계는 <그림 1-8-16>, 논리적 설계는 <그림 1-8-17>과 같음
- 교통활동 모형의 결과물은 배출량 산정 모듈을 통해 대기확산 분석의 기반이 되어, DB 설계에 반영함

③ 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 데이터베이스 설계

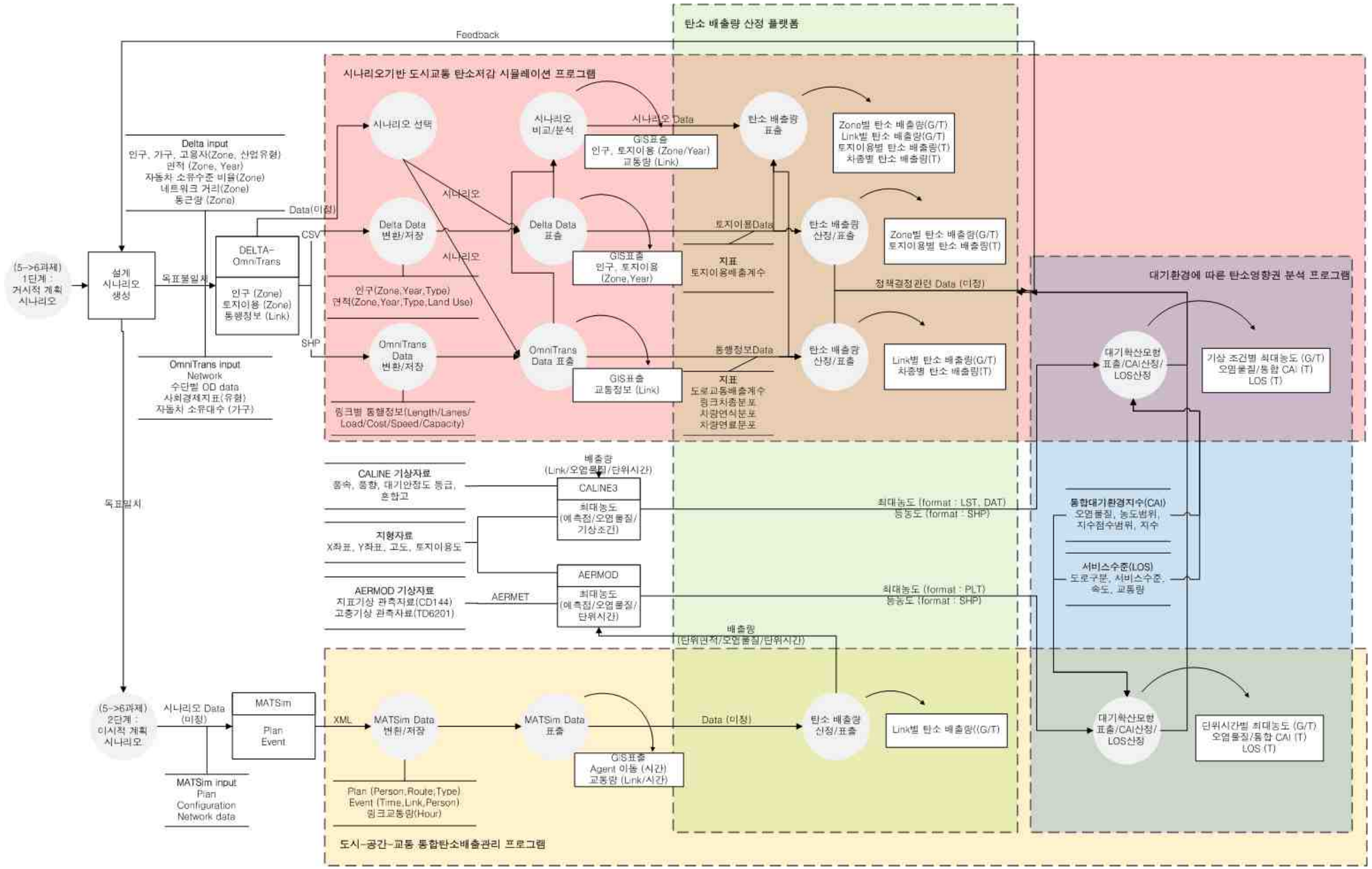
- 분석한 모형의 결과물을 기반으로 Entity Relationship Diagram을 정의하였고, 물리적 설

계는 <그림 1-8-18>, 논리적 설계는 <그림 1-8-19>과 같음

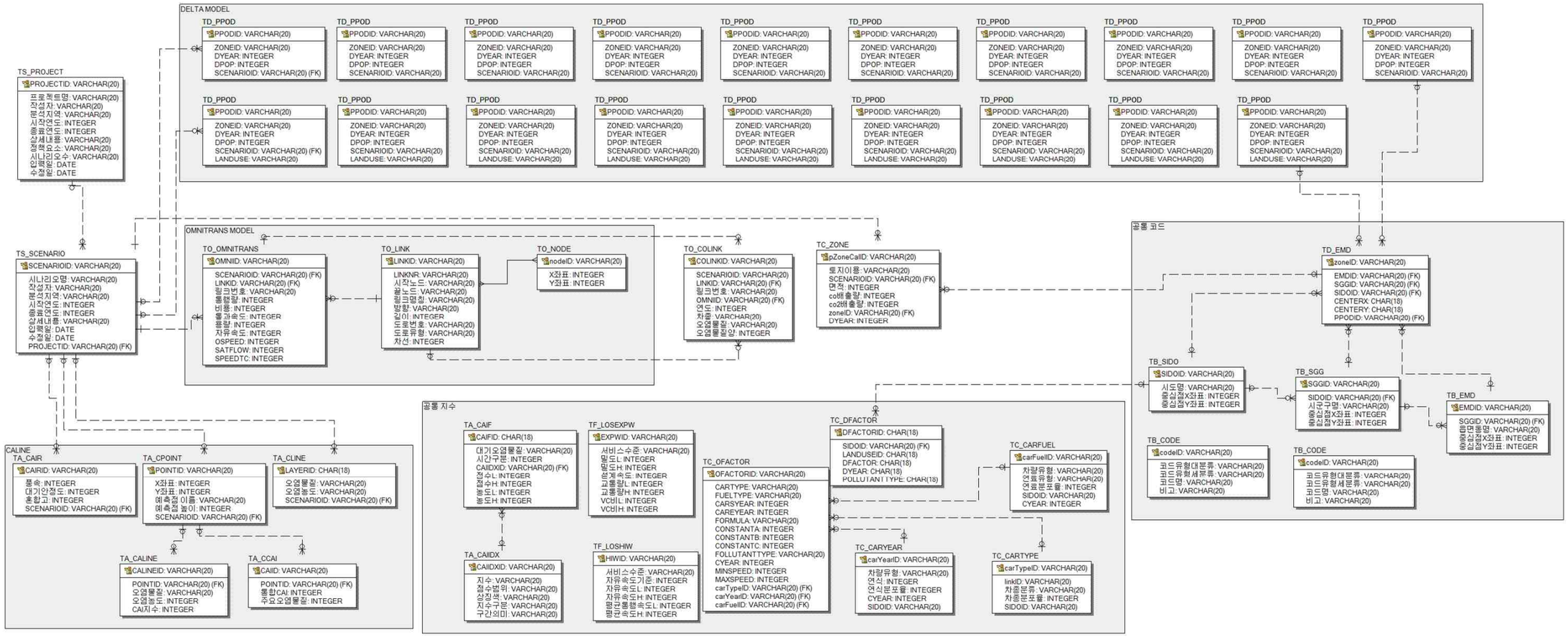
- 대기확산 모형은 독립적인 프로그램으로 구성되지 않고, 도로교통 산정모듈에 의해서 데이터가 결정되므로, 참조되는 테이블을 추가하여 DB를 설계함

④ 인간활동-공간-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 데이터베이스 설계

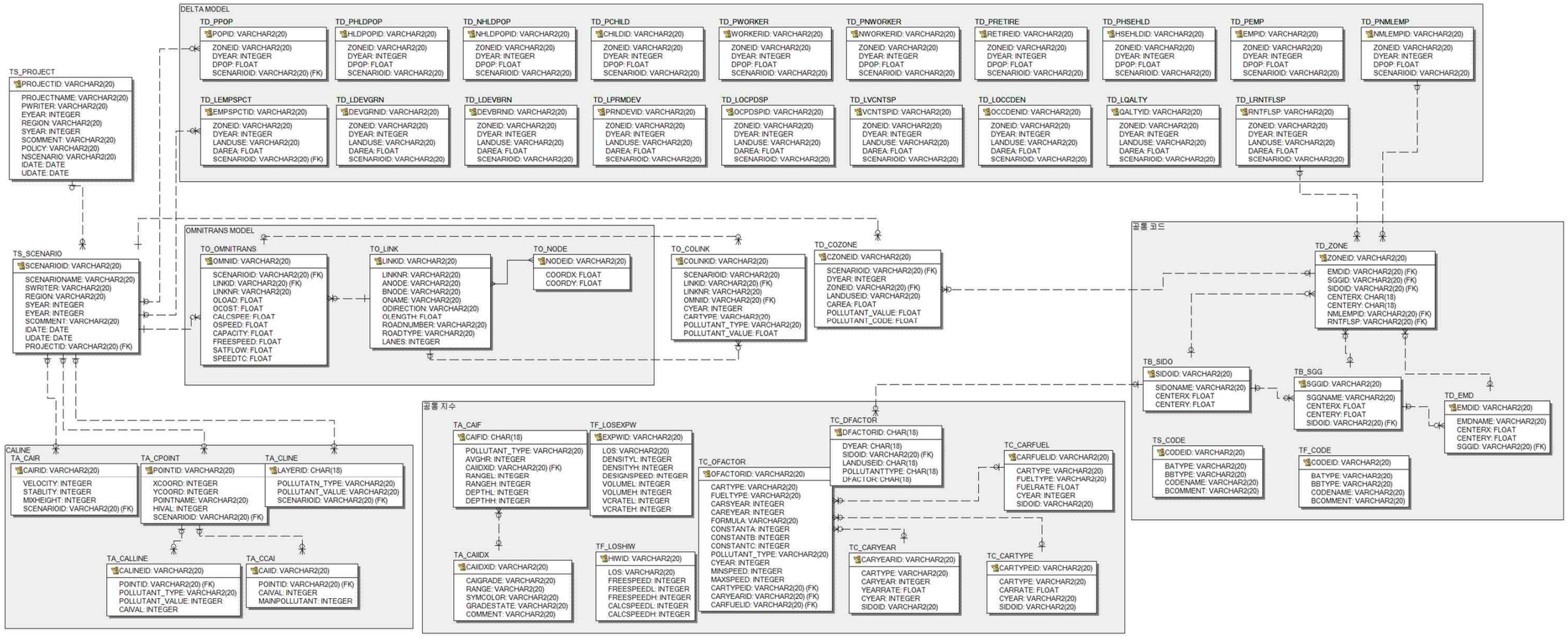
- 모형 데이터와 GIS 데이터 등을 제외하고 속성정보만을 입력하여 탄소 배출량을 산정할 수 있도록 별도의 데이터베이스를 설계함
- 앞으로 구축될 프로그램에 대해서는 산정 모듈로서 지표를 관리할 수 있는 기능을 고려하여 데이터베이스를 설계함
- 탄소배출량 산정 DB의 물리적 설계는 <그림 1-8-20>, 논리적 설계는 <그림 1-8-21>과 같음



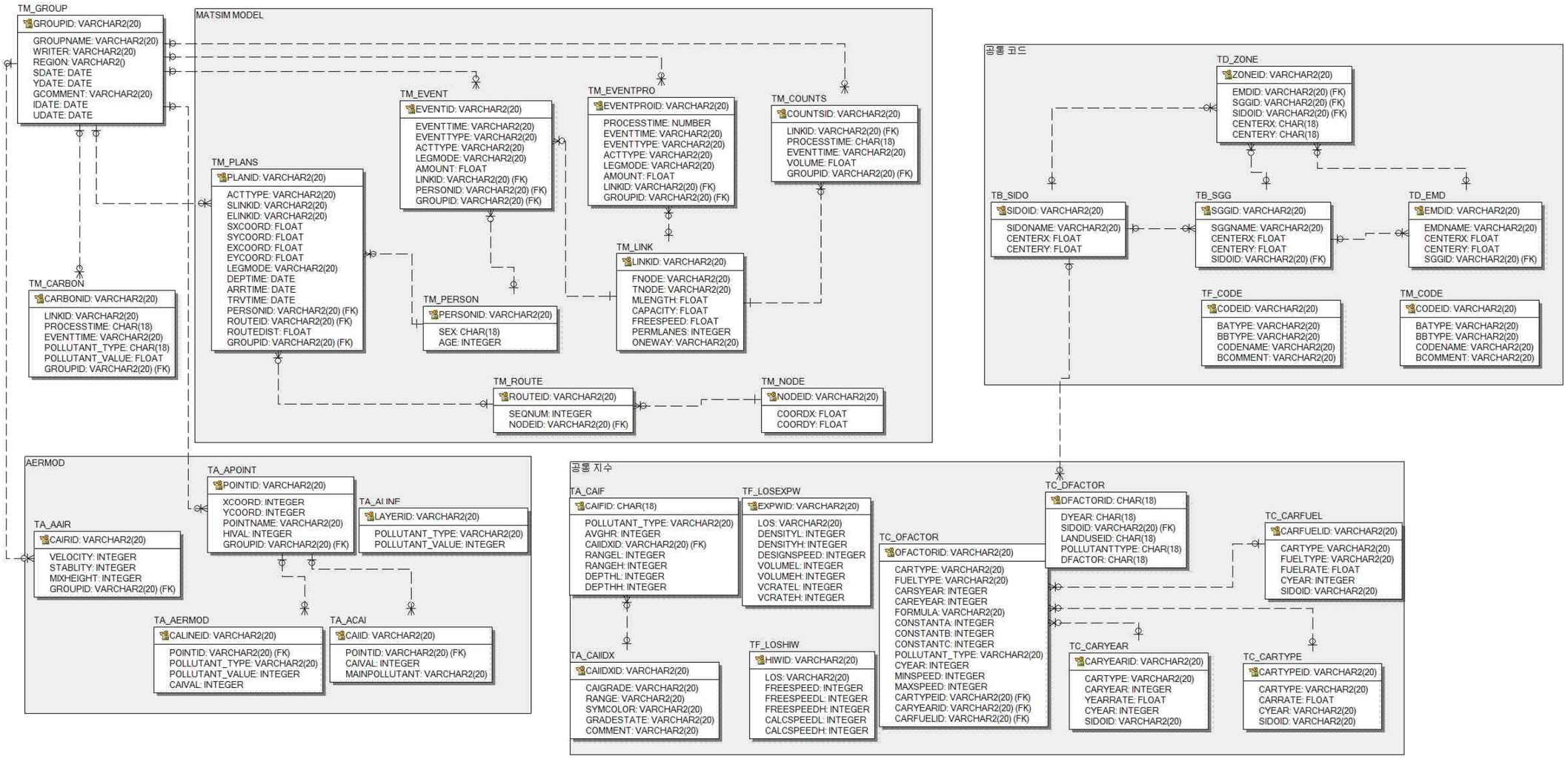
<그림 1-8-13> 탄소관리를 위한 통합 데이터 흐름



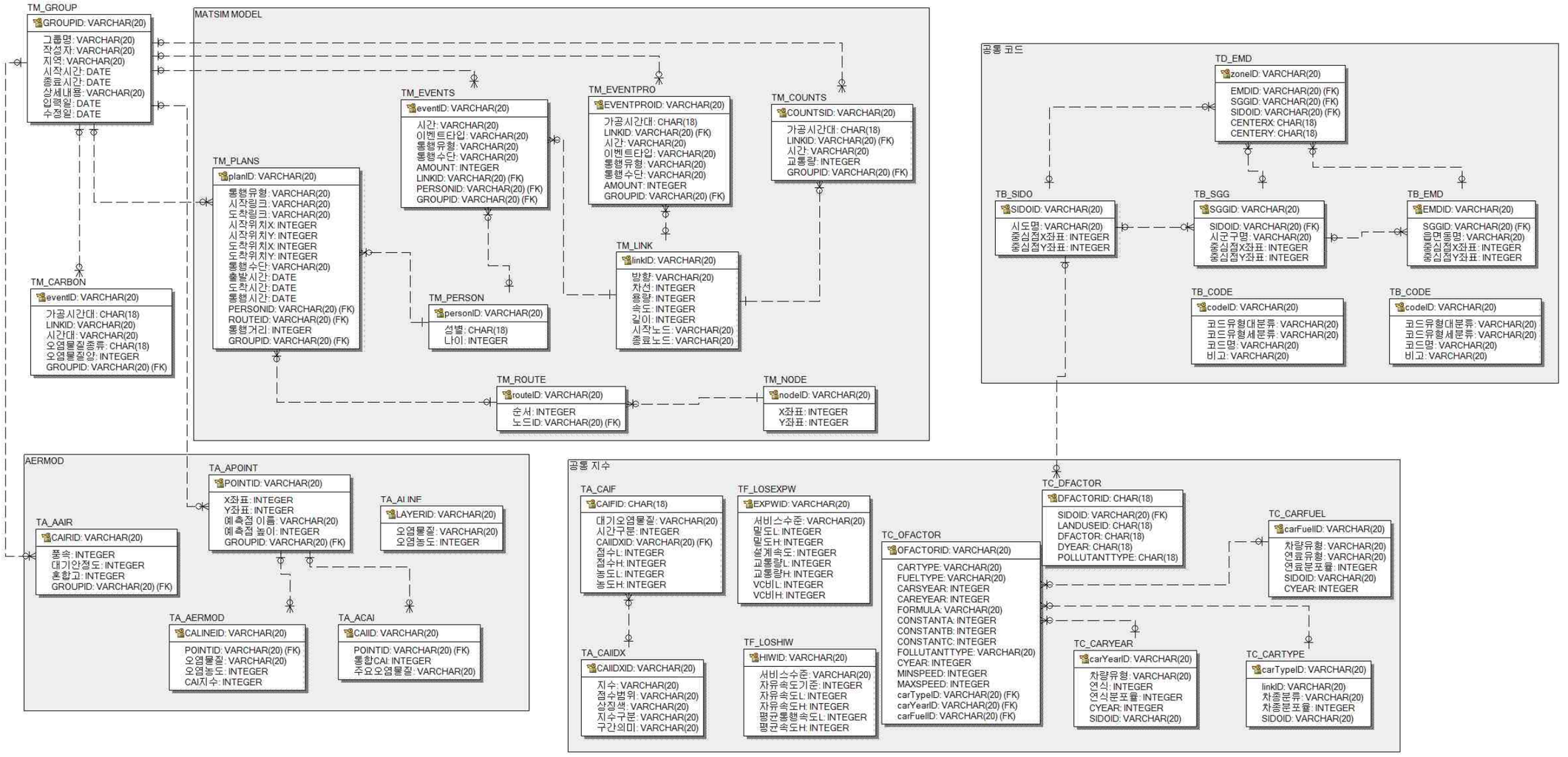
<그림 1-8-14> 토지교통 통합 모형 결과 표출 DB 물리 ERD (Entity Relationship Diagram)



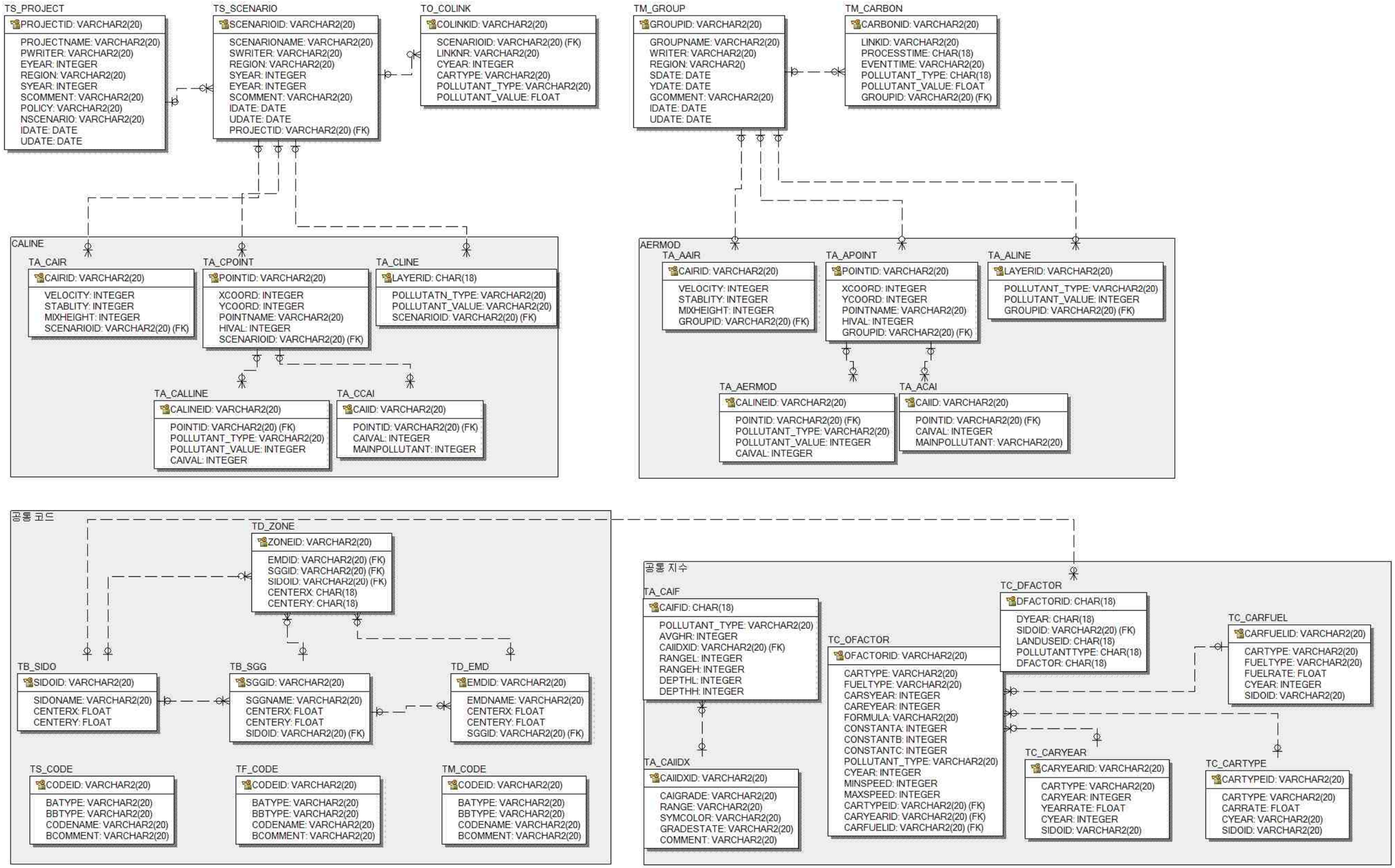
<그림 1-8-15> 토지교통 통합 모형 결과 표출 DB 논리 ERD



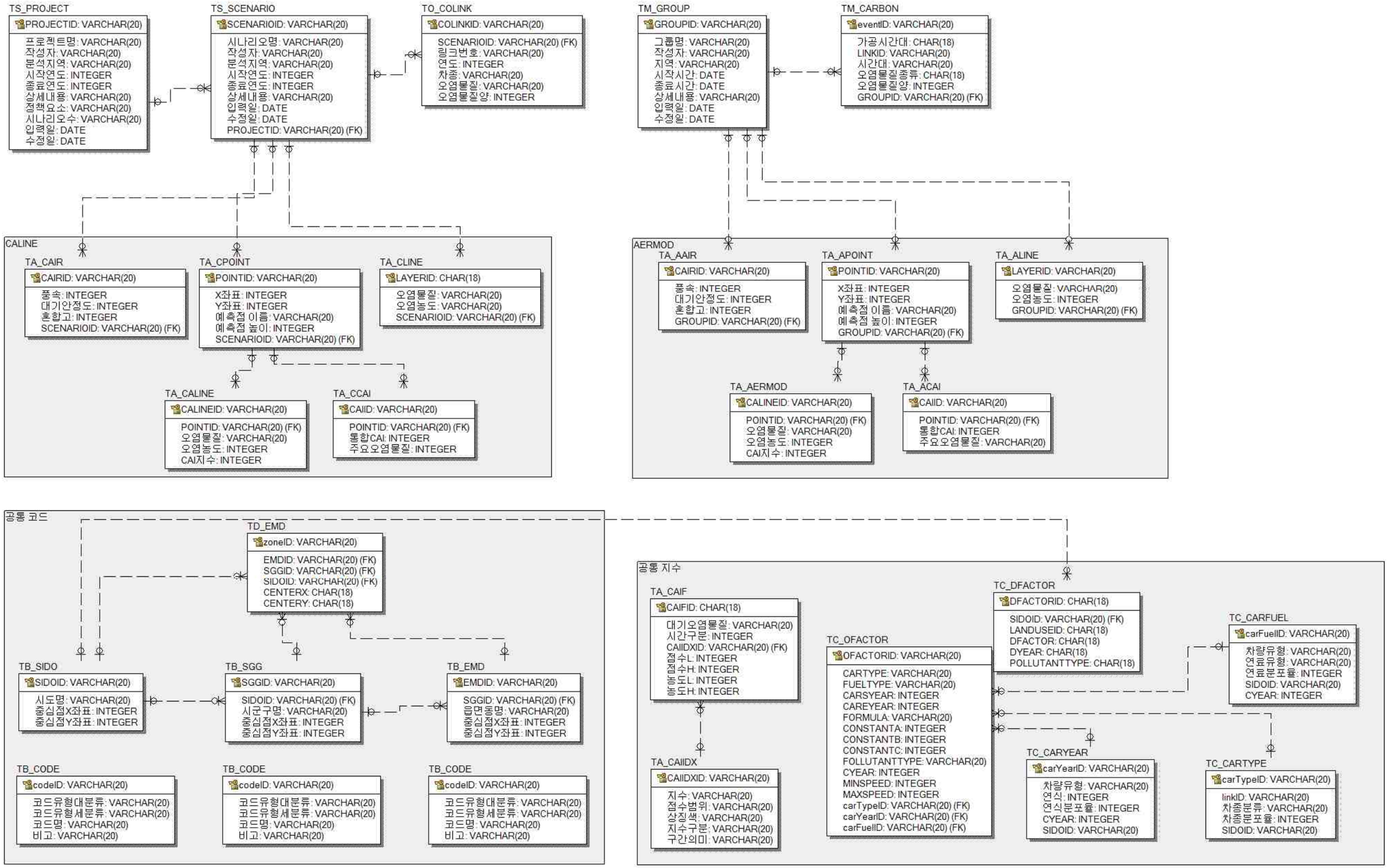
<그림 1-8-16> 활동기반 교통 모형 결과 표출 DB 물리 ERD



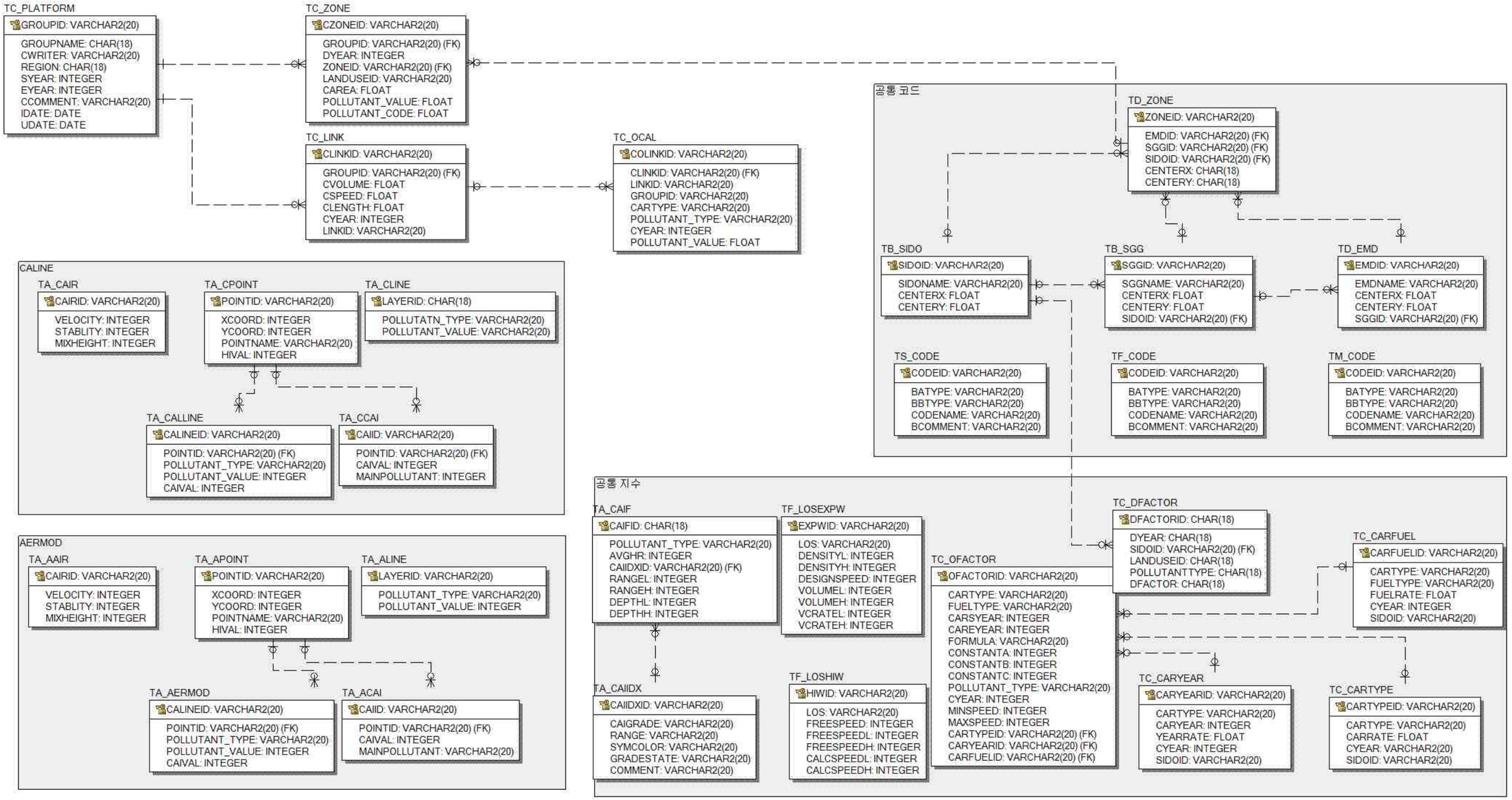
<그림 1-8-17> 활동기반 교통 모형 결과 표출 DB 논리 ERD



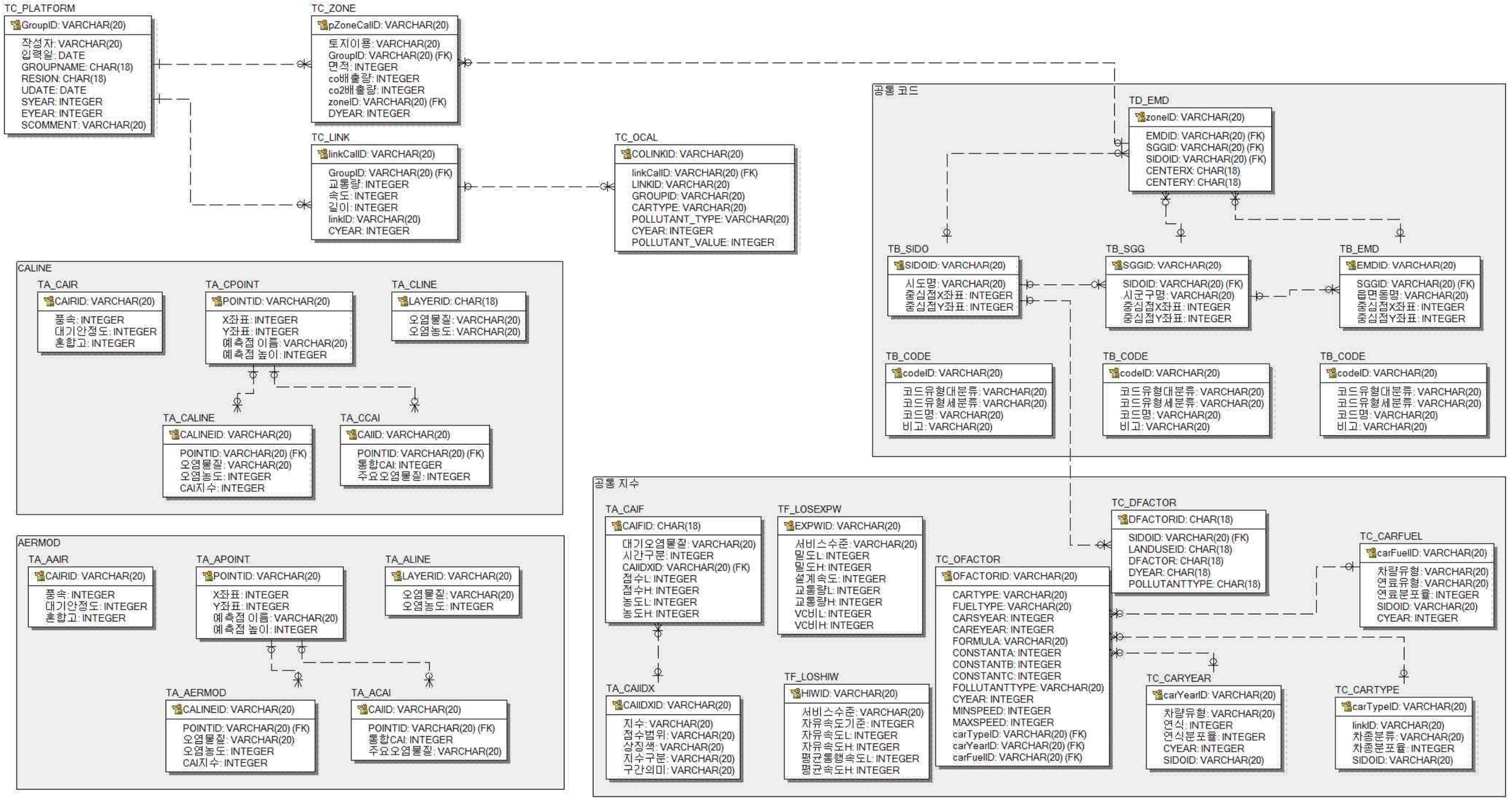
<그림 1-8-18> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 물리 ERD



<그림 1-8-19> 대기환경에 따른 탄소영향권 표출 프로그램 논리 ERD



<그림 1-8-20> 인간활동-공간-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 물리 ERD



<그림 1-8-21> 인간활동-공간-교통 탄소배출량 산정 플랫폼 논리 ERD

다. 활동 기반 교통계획 모형의 탄소배출량 산정 모형 개발 및 시스템 설계 - 도로교통배출량 산정 모형 2(운행모드기반)

○ 교통측면에서의 미시적 배출량 산정방법은 차량 주행 특성인 속도, 감가속도, 차량출력비 등의 순간적인 변화를 고려하여 배출량을 산출하는 방법으로 평균속도 기반의 배출량 산정방법론과 비교하여 실제 배출량에 보다 가까운 값을 산출한다는 장점이 있음

○ 배출량 산정 시에는 미시적 탄소 및 오염물질 배출계수를 적용하게 되는데, 국내에서는 국립환경과학원 교통연구소에서 미시적 배출계수 개발을 위한 연구 및 실험을 진행하고 있지만(Lee et al., 2011), 다양한 차종과 도로조건에 따른 주행특성을 반영하기 위해서는 수많은 주행 실험이 필요하기 때문에 가까운 시일 내에 국내에서 개발한 미시적 배출계수를 사용하기는 어려움

○ 따라서, 미시적 배출량 산정을 위해서는 국외의 미시적 배출계수와 산정모형을 사용할 수 밖에 없는 실정이며, 국외의 모형을 검토하고 비교한 결과 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에서 개발한 MOVES(Motor Vehicle Emissions Simulator)가 국내 적용에 가장 적합한 모형으로 판단하여 MOVES를 심층 분석한 후 본 과제에의 적용방안을 구상하였음

(1) 국외 미시기반의 배출량 산정 모형 검토

(가) MODEM (MODelling of EMissions and consumption in urban areas)

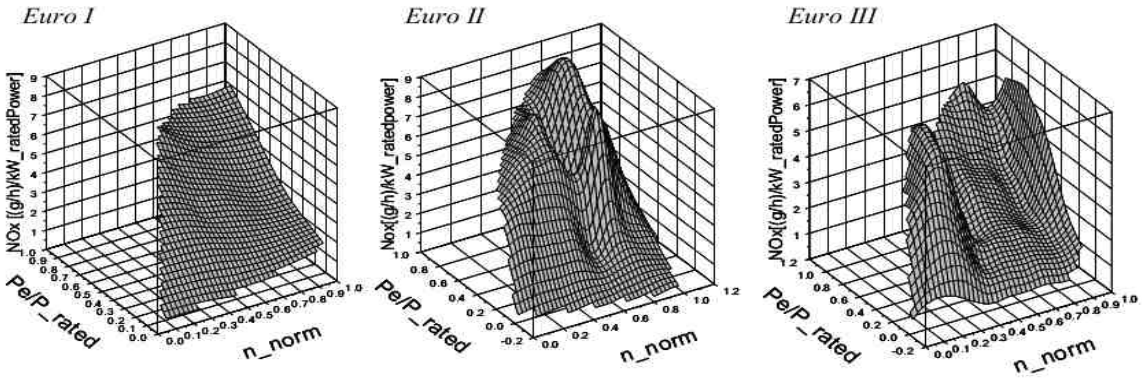
- 차량의 엔진 출력이 배출율을 결정한다는 개념을 기본으로 하며, 엔진 동력은 속도와 가속도율로 나타내며, 시험주행을 통한 배출량 자료의 분석을 통해 차량의 속도와 가속도 조합에 따른 배출율표를 작성하여 배출량을 산정함 (Jost et al., 1992; Joumard et al., 1995)
- 차량의 주행궤적(Driving Cycle)을 입력하여 매초간의 속도와 가속도의 변화에 따라 배출율표에서 해당하는 배출계수를 찾아 CO, HC, NO_x, CO_2의 배출량을 산정하는 방식임

		Speed (km h^{-1})									
		0	5	15	25	35	45	55	65	75	85
Speed x acceleration ($m^2 s^{-3}$)	-15	-	-	66	56	63	69	59	76	92	115
	-10	-	-	57	61	63	84	94	141	129	134
	-5	-	53	53	73	85	102	130	204	194	325
	0	33	59	74	116	123	131	196	193	274	152
	5	-	142	163	192	192	207	275	263	350	211
	10	-	-	274	301	295	357	330	454	403	275
	15	-	-	-	469	568	603	779	706	1041	308

<그림 1-8-22> MODEM 배출계수 맵의 예 - CO (Jost et al., 1992)

(나) PHEM (Passenger car and Heavy-duty Emission Model)

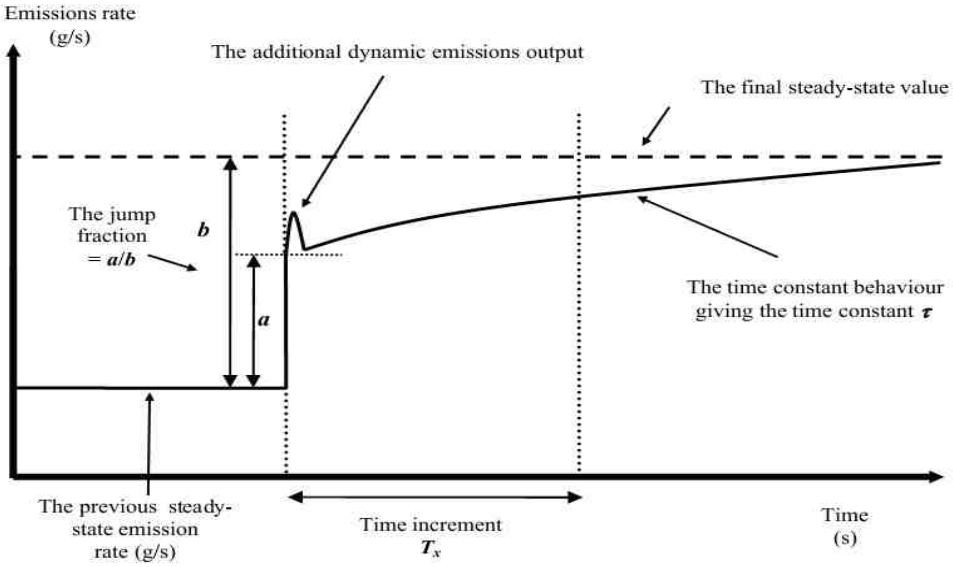
- 차량의 주행궤적(Driving Cycle)에서 차량의 엔진 출력 요구량과 엔진회전 속도에 따른 연료 소모량과 오염물질 CO, HC, NO_x, CO_2, PM의 배출량을 산출함(Rexeis et al., 2005)
- 엔진출력 요구량은 차량 운행 저항 및 변속 손실에 근거하여 산출하며, 엔진회전 속도는 차량의 속도, 바퀴 지름, 변속율에 따라 계산함
- 엔진출력 요구량과 엔진회전 속도의 비율 (Pe/P_ rated)에 따른 배출율 맵을 이용하여 배출량을 산출함



<그림 1-8-23> EuroI, EuroII , EuroIII 엔진의 배출율 맵의 예 - NO_x(Rexeis et al., 2005)

(다) VeTess (Vehicle Transient Emissions Simulation Software)

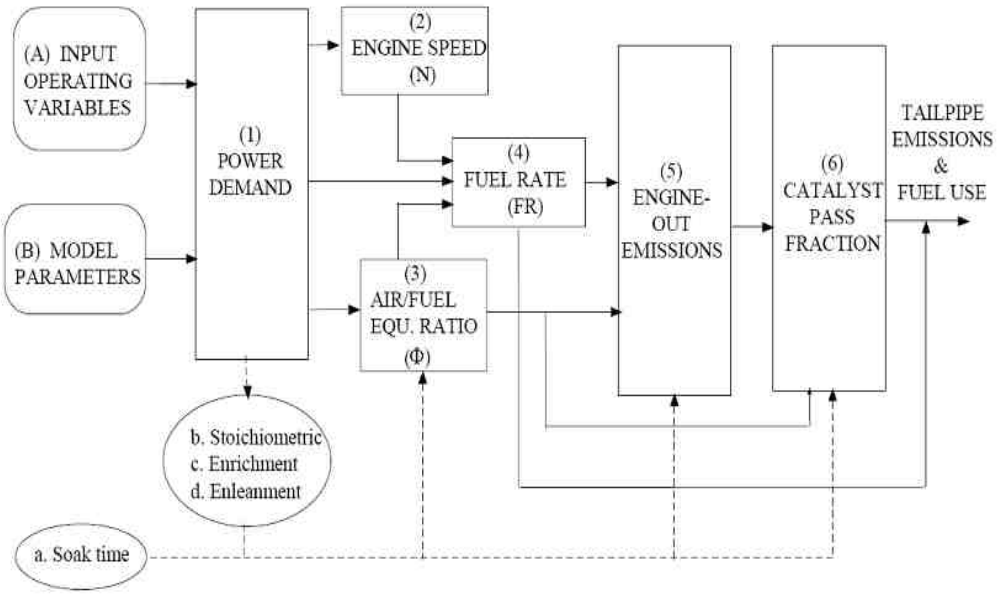
- 차량의 주행궤적(Driving Cycle)동안의 엔진운행조건에 따라 배출량을 산정하는 모형으로 엔진운행조건은 차량의 힘으로 나타내며 가속저항, 구름저항, 오름저항, 공기저항의 합으로 나타냄(Pelkmans et al., 2004)
- 엔진운행조건 시험주행을 통해 배출율 맵이 작성 되어 있어 이를 이용하여 CO, HC, NOx, CO_2, PM의 배출량을 산출하며, 배출율은 네 개의 배출율 모드(Steady-state, Jump fraction, Time constant, Transient)로 구성되어 있어 해당 모드 동안의 시간과 배출율에 따라 배출량을 산정함



<그림 1-8-24> VeTess의 배출량 산정 구성 요소(MIRA, 2002)

(라) CMEM (Comprehensive Modal Emissions Model)

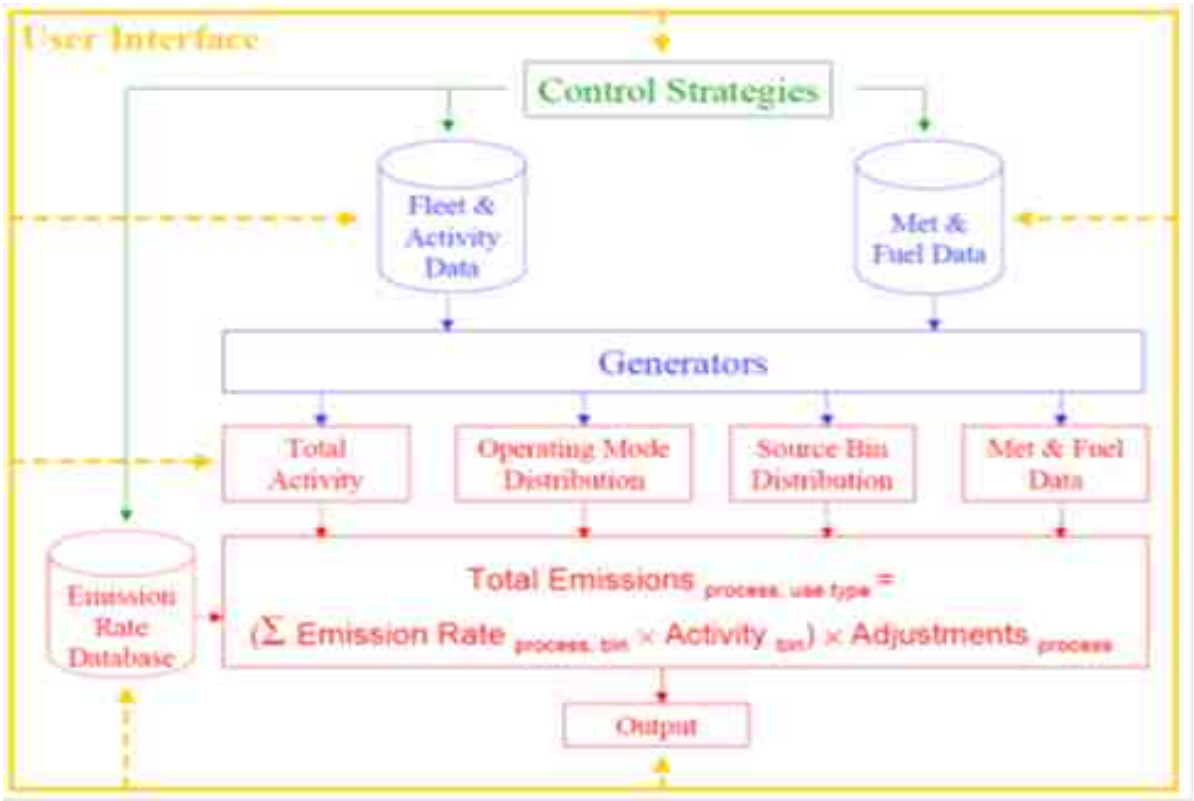
- 차량의 출력 요구량에 따라 초당 연료소모량과 배출량을 추정하는 모형으로, 차량의 출력 요구량(1)은 입력 값인 차량의 운행조건(A)과 모형변수(B)에 따라 결정되며, 연료소모율(4)은 차량의 출력 요구량(1), 엔진속도(2), 공기와 연료 비율(3)에 따라 산출됨(Barth et al,. 2001).
- 최종적으로 배출량과 연료소모량은 연료소모율(4)과 엔진 배출량표와 촉매 통과율(Catalyst pass fraction)(6)의 곱으로 산출됨



<그림 1-8-25> CMEM 구성도(Barth et al., 2001)

(마) MOVES (Motor Vehicle Emissions Simulator)

- 차량의 운행조건인 초당 속도, 가속도, 차량출력비(Vehicle Specific Power, VSP)에 따라 배출량을 산정하는 모형으로 차량주행모드(Operating Mode)에 따른 배출계수맵을 개발하여 이를 따라 주행궤적(Driving Cycle)에 따른 연료소모량과 배출량을 산정하도록 함
- MOVES의 구성도에 보는 바와 같이 사용자가 차량과 활동도, 기상자료를 입력하여 배출량을 산정하도록 되어 있음



<그림 1-8-26> MOVES의 구성요소(US EPA, www.epa.gov)

(바) 미시기반 배출량 산정 모형 비교 및 적정 모형의 선택

- 미시기반의 배출량 산정모형을 기능적으로 살펴보면 배출맵과 산정 방식의 차이는 있으나 차량 운행의 미시적 변화에 따라 배출량을 산출하는 점에서는 큰 차이가 없음
- <표 1-8-4>에 나타낸 바와 같이 접근성, 비용, 사용의 편리성 측면에서 비교하였을 때, 공개 프로그램으로서 모형 획득이 쉽고, 데이터베이스의 접근 및 모형사용이 용이하며, 엔진맵 등을 요구하는 타모형에 비하여 국내 실정에 적합한 MOVES를 적용 모형으로 선정하였음

<표 1-8-4> 미시기반 모형 비교표*

	미시기반 배출량 모형				
	MODEM	PHEM	VeTess	CMEM	MOVES
개발자	TRL	TUG	MIRA/VITO	UC Riverside	US EPA
가격	-	7,000유로	-	$20	무료
모형 배포	TRL	TUG	MIRA/VITO	Internet	Internet
분석 대상 오염 물질	CO, HC, NO_x, CO_2, PM	CO, HC, NO_x, CO_2, PM	CO, HC, NO_x, CO_2, PM	CO, HC, NO_x, CO_2,	CO, HC, NO_x, CO_2, PM외 대기오염물질 다수
입력 자료	v(t)**	v(t), vehicle file, engine map, Full-load curve, gradient	v(t), vehicle file, engine file	v(t), gradient, use of auxiliaries, soak time	v(t), vehicle info, gradient
결과물	연료소모량, 배출량	연료소모량, 배출량	연료소모량, 배출량	연료소모량, 배출량	연료소모량, 배출량

*Boutler et al., 2006, Table 1. Summary of instantaneous emission models를 참고로 작성하였음
**v(t): 주행궤적(Driving cycle), 차량의 초단위 속도

(2) 미시기반 탄소배출량 산정을 위한 MOVES 모형 분석 및 적용성 검토

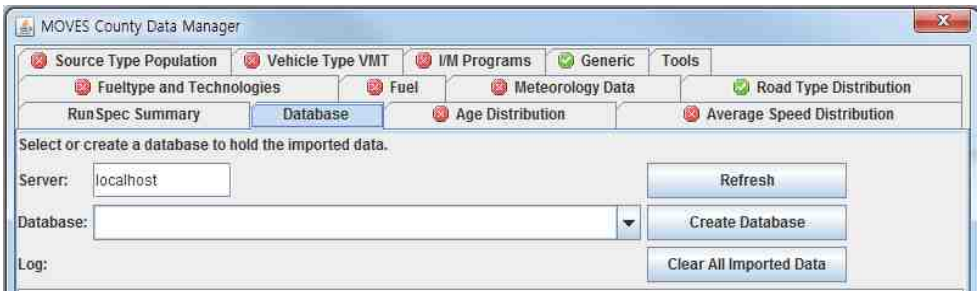
(가) 분석 목적 스케일에 따른 분석방법

- 매크로스케일(Macroscale) 분석: 큰 규모(국가)의 인벤토리 구축에 사용되며, 기본적인 공간단위는 카운티(County)이며 데이터베이스로부터 해당지역의 정보를 참조하여 인벤토리를 구축함(분석시간 단위: 한 시간)
- 메조스케일(Mesoscale) 분석: 마이크로스케일 분석보다는 좀 더 상세한 공간적 시간적 분석레벨에서의 지역 인벤토리 구축에 사용되며, 공간 단위는 도로의 링크와 교통 분석지역(traffic analysis zones)이 될 수 있어, 일반적인 교통수요모형의 결과인 차량통행수를 사용할 수 있음 (분석시간 단위: 한 시간)
- 마이크로스케일(Microscale) 분석: 특정 도로축이나 교차로의 배출량을 추정할 수 있으며, 교통제어의 효과를 평가하거나 프로젝트 단위의 분석에 사용됨(분석시간 단위: 15분)

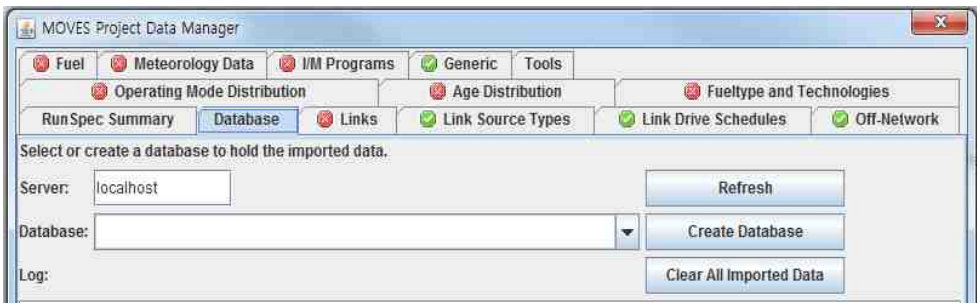
(나) 분석 지역 스케일에 따른 분석방법

- National : 데이터베이스로부터 해당지역의 정보를 참조하여 인벤토리를 구축하는 분석방법으로 국가의 데이터베이스로부터 해당지역의 정보를 참조하여 집계한 입력 자료를 사용하며 별도의 입력파일 필요 없음

- County : 한 개 카운티(country) 내에서의 분석일 경우에 해당하며, State Implementation Plan (SIP) 작성과 Regional Conformity 분석에 사용됨. 활동도와 자동차분류 관련 입력 자료를 사용자가 수집하여 분석하는데 <그림 1-8-27>과 같은 데이터 관리창에 준비한 데이터를 파일 형태로 입력하며 <표 1-8-5>의 왼쪽에 나열한 리스트의 자료를 엑셀 파일 형태로 불러들임
- Project : Project level의 순응(Conformity) 분석에 사용하며 Link level의 활동도와 자동차 분류 관련 입력 자료를 사용자가 수집하여 분석하는데 <그림 1-8-28>과 같은 데이터 관리창에 준비한 데이터를 파일 형태로 입력함. <표 1-8-5>의 오른쪽에 나열한 리스트의 자료를 엑셀 파일 형태로 불러들임



<그림 1-8-27> County Level의 Data Manager(MOVES 소프트웨어 화면)



<그림 1-8-28> Project Level의 Data Manager (MOVES 소프트웨어 화면)

<표 1-8-5> 분석지역 스케일별 입력자료 비교

County 레벨	Project 레벨
Source Type Population	Link source type
Vehicle Type VMT	Links
Road Type Distribution	Operating Mode Distribution
Average Speed Distribution	Link Drive Schedules
I/M Programs	I/M Programs
Fueltype and Technologies	Fueltype and Technologies
Fuel	Fuel
Meteorology Data	Meteorology Data
Age Distribution	Age Distribution
	Off-Network

(다) 교통시뮬레이션 모형 스케일에 따른 분석 방법

- 교통시뮬레이션 모형으로부터 자동차 주행특성 자료를 획득하여 배출량을 산정할 수 있으며, 교통거시모형과 같이 링크의 평균 통행속도 정보만 가능한 경우를 위하여 주행궤적 초기값(Default Driving Schedule)이 데이터베이스에 저장되어 있어 자동으로 도로의 종류와 평균속도에 매칭 되는 기본주행궤적(Default Driving Schedule)을 찾아 운행모드(Operating Mode)를 산정하나 교통미시모형과 같이 차량의 초당 주행정보가 수집되는 경우에는 대표 링크주행궤적(Link Driving Schedule)을 구하여 배출량을 산정함

① 교통모형이 거시모형인 경우

- County레벨로 분석함
- 모형의 결과 값으로부터 차량종류별 분포(Source Type Population), 차종별 주행거리(Vehicle Type VMT), 도로종류별 분포(Road Type Distribution), 평균속도분포(Average Speed Distribution)를 작성하여 입력함

② 교통모형이 메조모형인 경우

- County 레벨로 분석할 경우 교통거시모형의 결과를 활용한 분석방법과 같은 방법을 사용
- 차량의 링크 통행 정보로부터 초당 통행정보를 추정하여 링크 주행 궤적(Link Driving Schedule)을 만들 수 있으며, Project 레벨로 분석함

③ 교통모형이 미시모형인 경우

- Project 레벨로 분석함
- 모형의 결과 값으로부터 링크 주행 차종(Link source type), 링크운행 모드 분포(Links Operating Mode Distribution), 링크 주행궤적(Link Drive Schedules)을 작성하여 입력함
- 이때, 차량 주행 정보는 세 가지 입력 옵션이 있음
  · 링크운행 모드 분포 입력 : 사용자가 링크 주행궤적으로부터 링크운행 모드를 직접 산출하여 입력
  · 링크 주행궤적 입력 : 프로그램에서 자동적으로 링크운행 모드 분포를 산정
  · 링크 정보에 링크 평균속도만 입력: 데이터베이스에서 도로의 종류와 평균속도에 매칭되는 주행궤적 초기 값을 찾아 산정함

(라) MOVES 분석 방법의 적용성 검토결과

- MOVES의 배출량 산정방법론을 검토한 후 국내 적용성을 검토한 결과를 요약하면 <표 1-8-6>에 나타낸 바와 같으며, 본 연구에서는 미시적 교통 탄소배출량 산정을 위하여

MOVES 배출계수와 배출량 산정 방법을 기반으로 하는 프로그램을 개발하여 적용하는 것이 적합하다고 판단됨

<표 1-8-6> MOVES 적용방안 검토결과

<table>
<tr><th>분석레벨</th><th>적용방법 구분</th><th colspan="2">적용가능성 검토결과</th></tr>
<tr><td>National</td><td>직접사용</td><td colspan="2">- 미국 내 지역의 배출량 산정 결과만 산출 가능함</td></tr>
<tr><td rowspan="2">County</td><td>직접사용</td><td colspan="2">- 교통모형 결과와 자동차 통행관련 통계자료로부터 입력 자료를 생성함
- MOVES의 배출계수를 활용하기 위해서는 국내 차종을 MOVES에 정의된 차종과 매칭 시켜야 함
- 주행궤적 초기 값이 미국의 통행 자료를 기반으로 만들어진 것이므로, 국내 도로에서의 주행특성이 미국과 유사하다는 가정이 필요</td></tr>
<tr><td>데이터 사용 프로그램 개발</td><td colspan="2">- 국내 통행 자료를 수집하여 주행궤적 초기 값을 개발
- 국내 차종에 맞는 배출맵을 MOVES 데이터베이스로부터 추출하여 구축
- MOVES의 배출량 산정방법론을 적용한 프로그램을 구축</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Project</td><td rowspan="2">직접사용</td><td>링크 평균속도 입력</td><td>주행궤적 초기 값을 사용하므로 국내 도로에서의 주행특성이 미국과 비슷하다는 가정이 필요</td></tr>
<tr><td>주행궤적 입력</td><td>-개별차량의 주행정보로부터 링크의 대표 주행궤적을 추정하여 입력하거나 개별차량의 주행궤적을 입력
-MOVES의 배출계수를 활용하기 위해서는 국내 차종을 MOVES에 정의된 차종과 매칭 시켜야 함
-자동차 분포자료를 이용하여 차종관련 입력자료 생성</td></tr>
<tr><td>데이터 사용 프로그램 개발</td><td colspan="2">- 링크 대표 주행궤적을 입력하는 경우: 국내 통행 자료를 기반으로 주행궤적 초기 값을 작성
- 국내 차종에 맞는 배출계수맵을 MOVES 데이터베이스로부터 추출하여 작성
- MOVES의 배출량 산정방법론을 적용한 프로그램을 개발</td></tr>
</table>

(3) MOVES 국내 적용 방안 및 절차

○ MOVES의 방법론과 국내 적용성을 검토한 결과, 본 과제의 미시기반 배출량 산정에 가장 적합한 MOVES를 적용하는 방안과 필요한 절차는 다음 그림과 같음

- Step 1
  : 국내 차종을 MOVES에 정의된 차종과 매칭하여 재정의
- Step 2
  : 정의된 차종의 오염물질별 배출맵을 MOVES로부터 추출하여 작성
- Step 3
  : 링크 내 개별차량의 링크주행궤적(Link Driving Cycle)에 따른 배출량 산정
  - Step 3-1 : VSP 계산
  - Step 3-2 : OP-mode 매칭
  - Step 3-3 : OP-mode와 차종에 따른 오염물질별 배출량 산정
  - Step 3-4 : 배출량 보정

<그림 1-8-29> 교통계획 모형 결과를 활용한 탄소배출량 산정식

(가) Step 1. 국내 차종을 MOVES에 정의된 차종과 매칭

① 연료매칭

- MOVES에서 다루고 있는 연료종류에서 국내에서 판매되고 있는 연료 품질 기준 및 현황을 종합적으로 고려하여 가장 적합하다고 여겨지는 연료 종류를 선택

  (예) 휘발유 : MOVES 사용연료 코드 - 4271
  경유 : MOVES 사용연료 코드 - 20011

② 차종 매칭

- 자동차 등록현황, 연료별 차종별 용도별 등록현황, 차령별, 차종별, 용도별 등록현황 자료를 참조하여 <표 1-8-7>의 MOVES 배출맵 차종분류와 국내 세부차종과 매칭함
- 승용차의 대부분은 LDV(20), 소형화물트럭은 LDV(30)으로 분류되어 있음
- 승합차 및 화물자동차: 현대자동차 생산 차량의 중량 정보를 참고하여 매칭
- 확인이 어려운 화물특수차종은 MHD(46)로 매칭하였으며, 대수가 매우 적어 배출량에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 보임

<표 1-8-7> MOVES의 배출맵의 차종 구분

분류코드	분류코드명	분류코드 세부명칭
0	Doesn't Matter	Doesn't Matter
10	MC	Motorcycles
20	LDV	Light Duty Vehicles
30	LDT	Light Duty Trucks
41	LHD<=14k	Light Heavy Duty (3856 kg < GVWR <= 6350 kg)
42	LHD45	Light Heavy Duty (6350 kg < GVWR <= 8845 kg)
46	MHD	Medium Heavy Duty (8845 kg < GVWR < = 14968 kg)
47	HHD	Heavy Heavy Duty (GVWR > 14968 kg)
48	Urban Bus	Urban Bus

- 국내 차종 매칭 결과를 다음 <표 1-8-8>에 기술하였으며, 엔진기술은 경우 “분류번호 1”은 일반적인 엔진이고 “분류번호 30”은 전기 엔진임

<표 1-8-8> 차량 매칭안

차량등록정보구분		엔진기술	차종분류안
승용일반형		1	20
승용일반형 전기		30	20
승용겸 화물		1	30
승용겸 화물 전기		30	30
승용 다목적		1	20
승용 다목적 전기		30	20
승용 기타		1	20
승용 기타 전기		30	20
시내버스		1	48
시외버스		1	48
전세버스		1	48
고속버스		1	48
농어촌버스		1	48
마을버스		1	48
승합일반기타형			
	승합일반 15인 이하	1	48
	승합일반 25인 이하	1	48
	승합일반 35인 이하	1	48
	승합일반 50인 이하	1	48
	승합일반 51인 이상	1	48
구급차		1	30
장의차		1	30
헌혈, 채혈차		1	48
방송, 보도용차		1	30
승합피견인형		1	30
승합특수형 기타		1	30
화물 픽업형		1	30
화물카고형			
	화물카고형 1톤 이하	1	30
	화물카고형 3톤 이하	1	41
	화물카고형 5톤 미만	1	42
	화물카고형 8톤 미만	1	46
	화물카고형 10톤 미만	1	46
	화물카고형 12톤 미만	1	47
	화물카고형 12톤 이상	1	47
화물덤프형 1톤 이하		1	30
화물덤프형 5톤 미만		1	42

차량등록정보구분	엔진기술	차종분류안
화물덤프형 12톤 미만	1	46
화물덤프형 12톤 이상	1	47
화물밴형 1톤 이하	1	30
화물밴형 5톤 미만	1	42
화물밴형 5톤 이상	1	47
화물특수용도형(청소자)	1	41
화물특수용도형(노면청소차)	1	41
화물특수용도형(살수차)	1	41
화물특수용도형(소방차)	1	41
화물특수용도형(냉장,냉동차)	1	41
화물특수용도형(곡물,사료운반)	1	41
유조차(항공유)	1	46
유조차(휘발유)	1	46
유조차(등유, 경유)	1	46
유조차(방카C유)	1	46
유조차(기타)	1	46
탱크로리		
탱크로리(식수, 음료)	1	46
탱크로리(압축가스)	1	46
탱크로리(화공약품)	1	46
탱크로리(기타)	1	46
피견인차		
피견인차(적재함형)	1	46
피견인차(저상형)	1	46
피견인차(평판형)	1	46
피견인차(콘테이너샤시)	1	46
피견인차(기타)	1	46
화물특수용도형(기타)	1	46
구난차 5톤 이하	1	41
구난차 10톤 미만	1	42
구난차 10톤 이상	1	46
견인차 5톤 이하	1	41
견인차 10톤 미만	1	42
견인차 10톤 이상	1	46
특수작업형(고소작업차)	1	46
특수작업형(고가사다리소방차)	1	46
특수작업형(오가크레인)	1	46
특수작업형(피견인형, 기타)	1	46

(나) Step 2. 오염물질별 배출맵을 MOVES로부터 추출

① 배출량 산정 대상 물질 선정

- 교통시설 투자평가지침

· 대기오염비용 대상 물질: 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx), 미세먼지(PM)

· 온실가스(탄소): 교통수단이용과 관련이 있는 이산화탄소(CO2)

· 대상물질의 배출량이 평가에 활용

- 대기환경보전법

· 환경기준을 설정하여 관리하는 물질: 이산화황(SO_2), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO_2), 미세먼지(PM_{10}, $PM_{2.5}$), 오존(O_3), 납(Pb)

· 대상물질의 농도가 평가에 활용되며, 배출량을 산정한 후 대기확산을 고려하여 농도를 추정하여야 하며 일부 물질은 화학반응에 의하여 발생하므로 배출량을 직접적으로 산출할 수 없음

- MOVES 배출맵으로 배출량을 산출하는 물질

· 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO_x), 미세먼지($PM_{2.5}$)

· 다른 물질의 배출량을 산출한 후 관계식에 의해 산출해야 하는 물질

✓ 이산화탄소(CO_2) : 에너지 소비량에 따라 배출량이 결정됨

✓ 미세먼지(PM_{10}) : $PM_{2.5}$의 배출량에 비례하여 결정됨

✓ 이산화황(SO_2) : 에너지 소비량에 따라 배출량이 결정됨

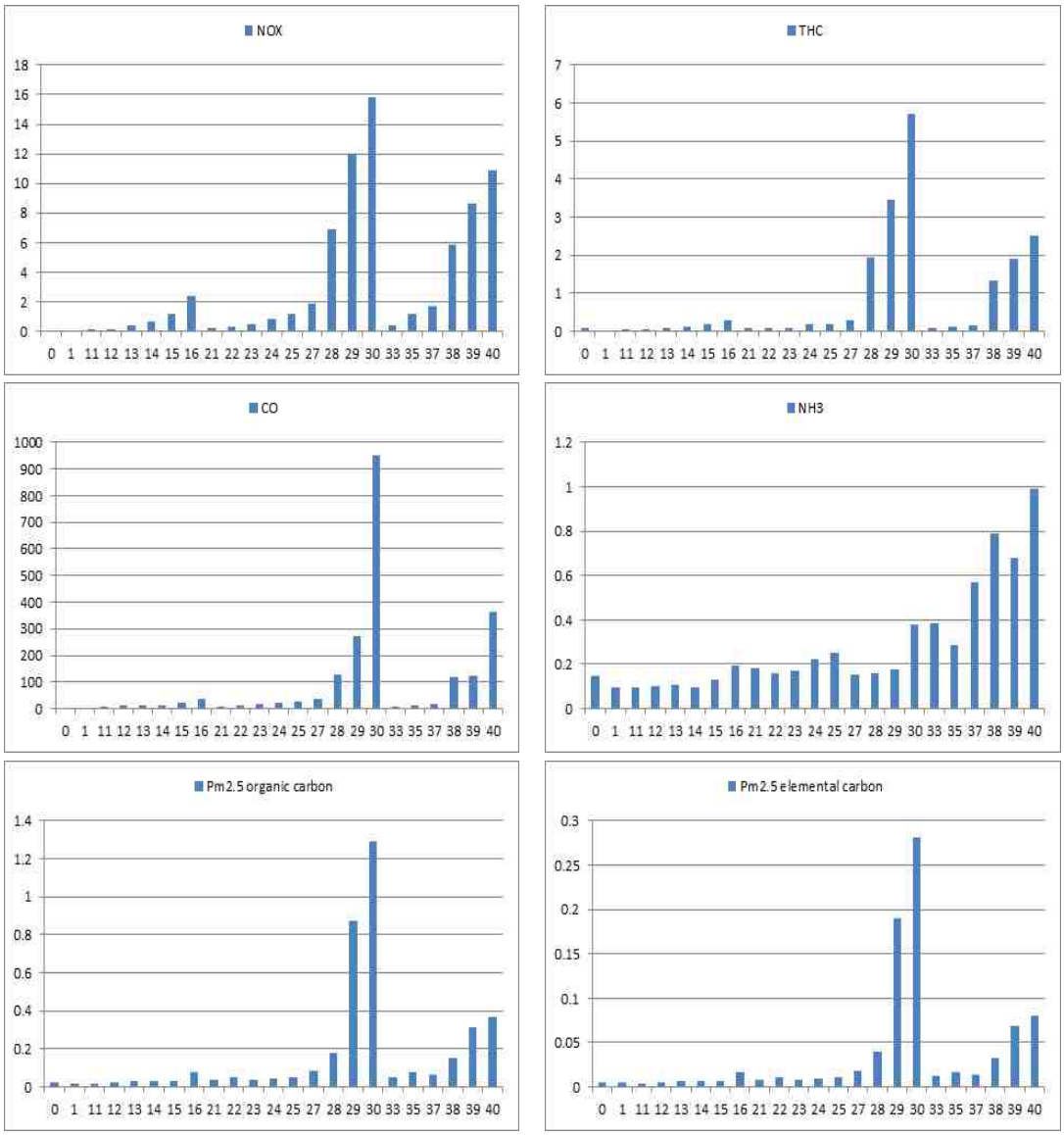
- 화학반응을 고려하여 산정해야 하는 물질

✓ 오존(O_3) : 본 연구에서는 제외

✓ 이산화질소 (NO_2) : NO_x와의 관계식으로 추정, 확산모형에서 분석함

② 기본 배출맵 추출 및 배출맵 추정

- MOVES의 데이터베이스로부터 기본배출율맵을 추출



<그림 1-8-30> 배출율 맵 추출예(경유, 일반엔진, 차종분류(LDV,20), 모든 생산년도)

- 차종비율과 연료구성비 연식 등의 분포를 적용하여 배출율맵 추정
- 온도, 습도 등에 대한 배출율 보정

(다) Step 3. 링크 내 개별차량의 링크 주행 궤적에 따른 배출량 산정

① 링크 주행궤적의 속도를 참조하여 초당 가속도 산출

- 교통시뮬레이션의 링크별 초당 속도로부터 차량가속도를 계산

$$a = \triangle v$$

여기서, a : 가속도(㎧),

v : 속도(㎧)

② Step 3-1. VSP(Vehicle Specific Power) 계산

- 다음 식에 의하여 VSP 계산하며 계수값은 <표 1-8-9>를 참조함(US-EPA, 2011)

$$P_{V,t} = \frac{Av_t + Bv_t^2 + Cv_t^3 + mv_t(a_t + gsin\theta_t)}{m}$$

여기서, $P_{V,t}$: 차량 V의 시간 t일 때의 VSP(kW/tonne)

t : 대상시간 (sec)

v_t : 속도(㎧)

a_t : 가속도(㎧²)

m : 무게(tonne)

A : 주행저항력($KW-\sec/m$)

B : 회전저항력($KW-\sec^2/m^2$)

C : 공기저항력($KW-\sec^3/m^3$)

g : 중력가속도 상수($9.81 m/s^2$)

θ_t : 도로경사도(degree)

<표 1-8-9> VSP 계산식의 차종별 계수

차종분류코드명	주행저항력	회전저항력	공기저항력	무게
Motorcycle	0.0251	0	0.000315	0.285
Passenger Car	0.156461	0.00200193	0.000492646	1.4788
Passenger Truck	0.22112	0.00283757	0.000698282	1.86686
Light Commercial Truck	0.235008	0.00303859	0.000747753	2.05979
Refuse Truck	1.41705	0	0.00357228	20.6845
Single Unit Short-haul Truck	0.561933	0	0.00160302	7.64159
Single Unit Long-haul Truck	0.498699	0	0.00147383	6.25047
Motor Home	0.617371	0	0.00210545	6.73483
School Bus	0.746718	0	0.00217584	9.06989
Transit Bus	1.0944	0	0.00358702	16.556
Intercity Bus	1.29515	0	0.00371491	19.5937
Combination Short-haul Truck	1.96354	0	0.00403054	29.3275
Combination Long-haul Truck	2.08126	0	0.00418844	31.4038

③ Step 3-2. OP-mode 매칭

- 속도와 VSP에 따라 아래 표의 구분에 따른 OPmode를 찾음

<표 1-8-10> OPmode 구분 기준

OPmode	차량 상태	VSP	속도(km/hour)
0	Braking		
1	Idling		
11	Low Speed Coasting	VSP< 0	1<=속도<25
12	Cruise/Acceleration	0<=VSP< 3	1<= 속도<25
13	Cruise/Acceleration	3<=VSP< 6	1<=속도<25
14	Cruise/Acceleration	6<=VSP< 9	1<=속도<25
15	Cruise/Acceleration	9<=VSP<12	1<=속도<25
16	Cruise/Acceleration	12<=VSP	1<=속도<25
21	Moderate Speed Coasting	VSP< 0	25<=속도<50
22	Cruise/Acceleration	0<=VSP< 3	25<=속도<50
23	Cruise/Acceleration	3<=VSP< 6	25<=속도<50
24	Cruise/Acceleration	6<=VSP< 9	25<=속도<50
25	Cruise/Acceleration	9<=VSP<12	25<=속도<50
26	Cruise/Acceleration	12<=VSP	25<=속도<50
27	Cruise/Acceleration	12<=VSP<18	25<=속도<50
28	Cruise/Acceleration	18<=VSP<24	25<=속도<50
29	Cruise/Acceleration	24<=VSP<30	25<=속도<50
30	Cruise/Acceleration	30<=VSP	25<=속도<50
33	Cruise/Acceleration	VSP< 6	50<=속도
35	Cruise/Acceleration	6<=VSP<12	50<=속도
36	Cruise/Acceleration	12 <= VSP	50<=속도
37	Cruise/Acceleration	12<=VSP<18	50<=속도
38	Cruise/Acceleration	18<=VSP<24	50<=속도
39	Cruise/Acceleration	24<=VSP<30	50<=속도
40	Cruise/Acceleration	30<=VSP	50<=속도

④ Step 3-3. OP-mode와 차종에 따른 오염물질별 배출량 산정

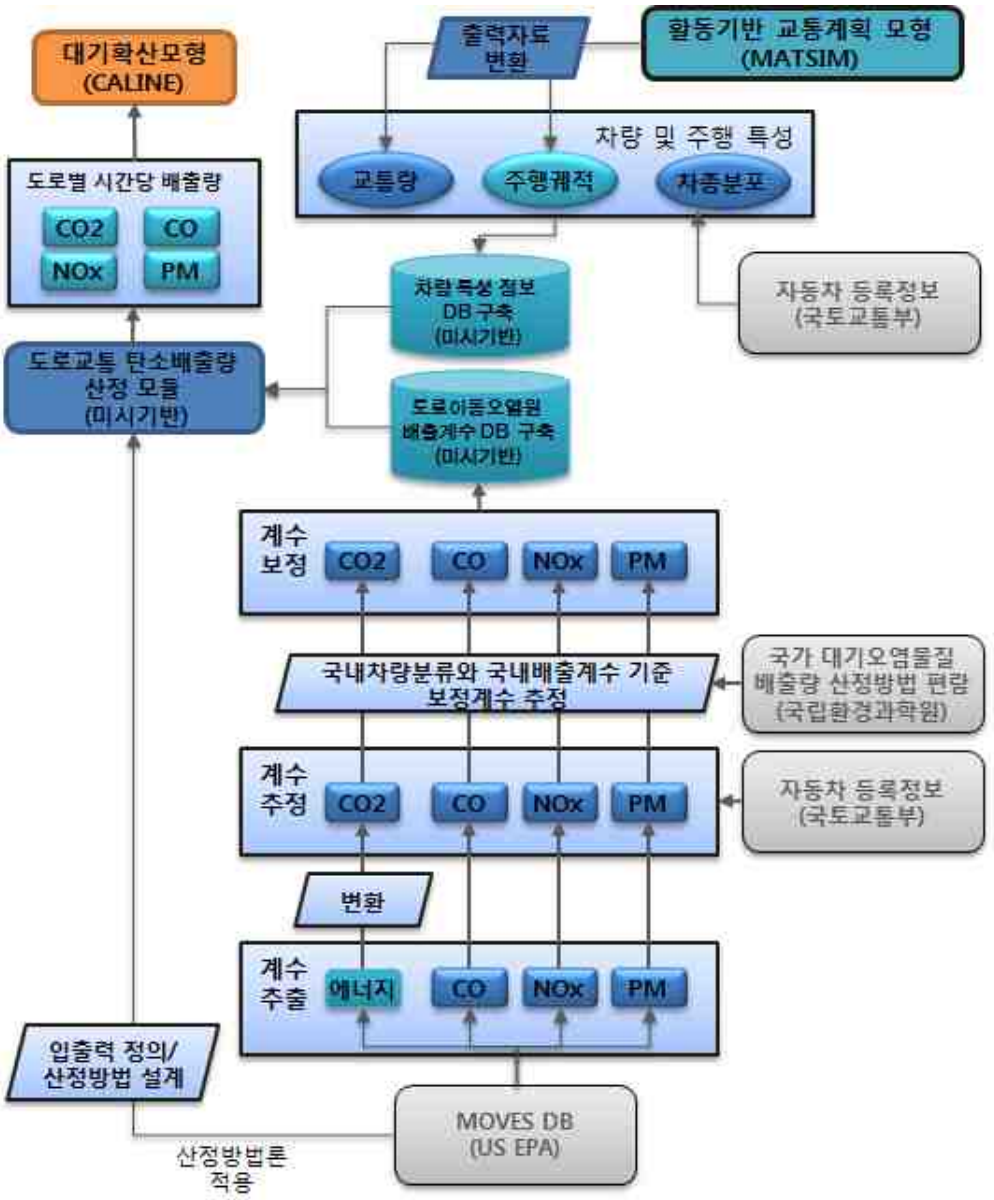
- Opmode에 따른 배출계수를 찾아 배출량을 산정하고 합산함

(4) 배출량 산정 절차

○ 활동기반 모형으로부터 예측한 교통량과 개별 차량의 주행궤적 추정 자료를 이용하여 배출량을 산정

○ MOVES의 DB로부터 배출계수를 추출한 후 국내차량분류에 따라 차종별 오염물질별 대표 배출계수표를 추정하고, 국내배출계수 기준을 고려하여 배출계수표를 보정하여 사용함

○ 온실가스 중 CO_2와 대기오염 물질 중 CO, NOx, $PM_{2.5}$의 배출계수 DB를 구축하였으며, 미시기반의 배출계수도 평균속도 기반 배출계수와 같은 차종 구분에 따라 구축하였음 (국외의 미시기반 배출계수를 국내의 배출계수 기준에 따라 보정하여야 하는데, 국내의 기준 배출계수가 평균속도 기반 배출계수이기 때문임)



<그림 1-8-31> 활동기반 교통계획 모형의 탄소배출량 산정 절차

(5) 미시기반 탄소배출량 산정 배출계수

(가) MOVES 배출계수 보정 절차

- MOVES의 DB로부터 배출계수를 추출한 후 국내차량분류에 따라 차종별 오염물질별 대표 배출계수표를 추정하고, 국내배출계수 기준을 고려하여 배출계수표를 보정하였음

· 미시기반의 배출계수를 평균속도 기반 배출계수와 같은 차종 구분에 따라 구축하였음 (국외의 미시기반 배출계수를 국내의 배출계수 기준에 따라 보정하여야 하나, 국내의 기준 배출계수가 평균속도 기반 배출계수이기 때문임)

· 미시기반의 배출계수 DB 구축은 배출계수 추출, 추정, 보정 과정을 거쳐 온실가스 중 CO_2와 대기오염 물질 중 CO, NOx, $PM_{2.5}$의 배출계수 DB를 구축

✓ 추출 : MOVES 차종에 대한 기본 배출 계수표를 추출함. MOVES 배출기준 차종별(Regulatory Class, RC), 연료별(Fuel type), 연식별(Model Year), 차령별(Vehicle age)로 수많은 종류의 배출계수표가 추출됨

✓ 추정 : 국내 차량의 연식과 차령 비율을 가중치로 활용하여 기본 배출계수표를 가중 평균함. MOVES 배출기준 차종별(Regulatory class, RC), 연료별(Fuel type) 대표 배출 계수표를 추정함

✓ 보정 : 추정된 미시기반 배출계수표와 평균속도 기반 배출계수를 비교 분석하여 평균속도 기반 배출계수의 차종 구분에 따른 보정계수를 산출하여 적용함으로써 미시기반 배출계수 DB를 구축함

○ 대상 물질별로 기본적인 절차는 동일하나, 온실가스(CO_2)와 대기오염 물질(CO, NOx, $PM_{2.5}$)은 구축 방법에 다음의 차별된 절차로 구축하였음

· 주행 중 배출(Running Exhaust)에 대한 배출계수를 추출함

· CO_2는 MOVES로부터 에너지 소모량 계수를 추출하여 변환하였으며, 차량 특성(차종, 연료, 연식)에 따라 배출계수가 달라지나, 이 중 연식별 배출계수를 평균하여 '차종별 연료별 배출계수 DB'를 구축하였음

· CO, NOx, $PM_{2.5}$는 MOVES로부터 배출계수를 추출할 수 있으며, 차량 특성(차종, 연료, 연식, 차령)을 모두 고려함. 따라서 연식별 배출계수는 평균치를 구하고, 자동차 등록정보에서 차종별 차령비율을 산정한 값을 가중치로 사용하여 차령 그룹별 배출계수를 가중 평균하여 '차종별 연료별 배출계수 DB'를 구축하였음

(나) MOVES 배출기준 차종과 국립환경과학원 배출계수의 차종 비교

- MOVES 배출기준 차종 (Regulatory Class, RC)을 정리한 표로 MOVES 배출기준 차종은 0번을 제외하고 8개의 차종이 있음

<표 1-8-11> MOVES의 배출기준 차종

분류코드	분류코드명	분류코드 세부명칭	중량기준
0	Doesn't Matter	Doesn't Matter	-
10	MC	Motorcycles	-
20	LDV	Light Duty Vehicles	-
30	LDT	Light Duty Trucks	-
41	LHD<=14k	Light Heavy Duty	(3856 < GVWR <= 6350kg)
42	LHD	Light Heavy Duty	(6350 < GVWR <= 8845kg)
46	MHD	Medium Heavy Duty	(8845 < GVWR < = 14968kg)
47	HHD	Heavy Heavy Duty	(GVWR > 14968kg)
48	Urban Bus	Urban Bus	-

- 국립환경과학원 배출계수 차종을 MOVES 배출기준 차종으로 구분한 표로서, 차량제원(승차인원, 중량) 정보를 바탕으로 가장 부합되는 차종을 찾음. 승용차의 경우 우리나라가 MOVES의 차종에 비해 좀 더 세분화되어 있으며, 화물차의 경우에는 MOVES가 중량에 따라 세분화되어 있음

<표 1-8-12> MOVES 배출맵의 차종 구분에 따른 국내 배출계수 기준 차종 재분류

연료종류	국립환경과학원 차종구분	MOVES 차종구분	RegClassID (SourceID*)
휘발유	Passenger Car_Mini (<1000cc)	Light Duty Vehicles	20(21)
	Passenger Car_Small (1000cc~1600cc)		
	Passenger Car_Medium (1600cc~2000cc)		
	Passenger Car_Big (>2000cc)		
경유	Passenger Car_Small (1000cc~1600cc)	Light Duty Vehicles	20(21)
	Passenger Car_Medium (1600cc~2000cc)		
	RV_Small (<2000cc)	Light Duty Vehicles	20(21)
	RV_Medium (>2000cc)	Light Duty Trucks	30(31)
	Bus_Small (<15persons)	Light Heavy Duty	41(31)
	Bus_Medium (15~35persons)	Light Heavy Duty	42(32)
	Bus_Transit	Urban Bus	48(42)
	Bus_Intercity Bus	Heavy Heavy Duty	47(41)
	Truck_Small (<1tonne loading)	Light Duty Trucks	30(31)
	Truck_Medium (1~5tonne loading)	Light Heavy Duty	41(32), 46(52)
	Truck_Big (>5tonne loading)	Heavy Heavy Duty	46(52), 47(53)

* 차량 크기를 기준으로 한 분류로 차량비출력(VSP)계산시 필요한 구분임

(다) CO_2 미시기반 배출계수 DB 구축[22)]

① 추출

- MOVES 데이터베이스의 MOVES 에너지 소모율 테이블을 추출하고 아래 식에 따라 계산하여 CO_2의 기본 배출 계수표를 구축함

$$CO_2(g) = EC \times OF \times CC \times CW$$

· EC: 총에너지 소모량 (KJ)

· OF : 산화지수, 1

· CC: 탄소함량(g/KJ), 경유 0.02, 휘발유 0.0196

· CW : 이산화탄소분자와 탄소분자 무게의 비, 44/12

② 추정

- CO_2 경우 MOVES로부터 1960년부터 2050년까지의 년식(Model Year)별 배출계수 표를 추출할 수 있었으나, 이 중 1991년부터 2011년까지의 년식별 배출계수를 각 운행모드(Operating Mode)별로 평균하여 계산하여 <표1-8-13>과 같은 미시기반 배출계수표를 추정하였음

22) 이 절의 내용은 허혜정 외(2013)의 논문에 발표된 내용을 일부 포함하고 있음.

<표 1-8-13> 이산화탄소(CO_2) 미시기반 배출계수표(g/sec)

OP mode	MOVES regClassID							
	Gasoline	Diesel						
	RC20	RC20	RC30	RC41	RC42	RC46	RC47	RC48
0	0.99	0.95	1.79	1.91	1.94	4.43	4.43	4.43
1	0.89	0.88	1.33	1.43	1.41	2.18	2.18	2.18
11	1.39	1.53	1.99	2.13	2.16	2.93	2.93	2.93
12	1.88	2.22	2.63	2.82	2.83	8.52	8.52	8.52
13	2.72	3.09	4.31	4.62	4.47	15.61	15.61	15.61
14	3.48	3.88	5.98	6.4	6.11	22.78	22.78	22.78
15	4.22	4.66	7.6	8.14	7.69	28.8	28.8	28.8
16	5.22	5.86	10.19	10.91	10.21	39.62	39.62	39.62
21	1.82	2.18	2.44	2.63	2.73	2.36	2.36	2.36
22	2.15	2.52	3.06	3.28	3.28	10.95	10.95	10.95
23	2.69	3.07	4.51	4.83	4.71	18.16	18.16	18.16
24	3.49	3.89	6.21	6.65	6.41	26.29	26.29	26.29
25	4.55	5.30	7.91	8.48	8.1	33.81	33.81	33.81
27	6.01	6.97	10.9	11.69	11.06	46.7	46.7	46.7
28	8.09	9.06	14.28	15.29	14.7	65.38	65.38	65.38
29	11.08	12.71	19.13	20.46	19.92	84.06	84.06	84.06
30	13.89	15.90	20.81	22.25	21.74	102.73	102.73	102.73
33	2.72	3.14	4.67	5.01	5	9.74	9.74	9.74
35	4.34	5.06	7.36	7.86	7.75	29.8	29.8	29.8
37	5.65	6.55	10.19	10.9	10.55	46.64	46.64	46.64
38	7.36	8.49	12.58	13.43	13.14	65.29	65.29	65.29
39	9.81	11.20	15.52	16.56	16.33	83.94	83.94	83.94
40	12.52	14.26	20.21	21.54	21.42	102.6	102.6	102.6

③ 보정

- 추정된 미시기반 배출계수표와 평균속도 기반 배출계수를 차종별(평균속도 기반 배출계수의 차종 구분)로 비교하여 보정계수를 산출하여 적용함으로써 미시기반 배출계수 DB를 구축함
- 평균속도 기반의 배출계수는 자동차가 모의 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치인 차대동력계로 실험 주행 시 배출량을 실측함. 실제 도로를 주행할 때와 같이 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 대표하는 주행모드를 선정하여 주행함
- 국립환경과학원에서 차종그룹 LDV(Light Duty Vehicle), MDT(Medium Duty Truck), HDT(Heavy Duty Vehicle), MDB(Medium Duty Bus), UB(Urban Bus)로 평균속도별로 주행궤적을 선정하였음. 각 주행궤적에 대한 평균속도와 주행시간과 주행거리에 대한 정보는 <표 1-8-14>에 정리됨

<표 1-8-14> 국립환경과학원 실험 주행궤적

Light Duty Vehicle (LDV)				Medium Duty Truck (MDT)				Heavy Duty Truck (HDT)				Medium Duty Bus (MDB)				Urban Bus (UB)			
Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)	Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)	Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)	Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)	Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)
n01	4.7	873	1.1	**n01**	4.7	908	1.19	**n01**	4.6	875	1.11	**n01**	4.6	872	1.11	**n01**	4.6	891	1.13
n03	10.8	878	2.6	**n02**	7.6	928	1.97	**n02**	7.2	871	1.74	**n02**	7.4	905	1.87	**n02**	7.7	910	1.94
n05	17.3	861	4.1	**n03**	10.4	937	2.7	**n03**	10.6	881	2.59	**n03**	11.3	904	2.85	**n03**	10.6	900	2.64
n07	24.6	875	6.0	**n05**	13.4	894	3.33	**n04**	14	902	3.52	**n05**	16.6	890	4.1	**n04**	14.1	880	3.45
n09	34.1	926	8.8	**n06**	19.7	904	4.95	**n05**	17.2	892	4.27	**n06**	20.2	872	4.89	**n05**	16.3	899	4.08
n12	64.1	840	14.9	**n07**	23.5	891	5.86	**n06**	19.8	891	4.91	**n07**	23.6	872	5.73	**n06**	19.9	919	5.08
n13	77.4	849	18.2	**n08**	28	915	7.11	**n07**	24.2	863	5.8	**n08**	28.1	910	7.11	**n07**	24.2	892	6
n14	93.6	917	23.8	**n09**	35	937	9.13	**n08**	27.8	873	6.75	**n09**	35.3	905	8.88	**n08**	27.8	887	6.86
n15	108.5	935	28.2	**n10**	45	955	11.96	**n09**	34.4	851	8.13	**n10**	44.5	873	10.81	**n09**	32.3	925	8.32
				n11	55.2	833	12.79	**n10**	45	955	11.96	**n11**	54.5	919	13.94	**n10**	37.8	890	9.35
				n12	63.4	913	16.1	**n11**	55.2	833	12.79	**n12**	65.9	867	15.88	**n11**	42.7	865	10.28
				n13	78.1	846	18.38	**n12**	63.4	913	16.1	**n13**	78.6	992	21.69	**n12**	47.3	898	11.81
				n14	91.2	875	22.2	**n13**	77.8	914	19.78	**n14**	91.6	1024	26.09				
				n15	104.3	902	26.17	**n14**	91.9	921	23.55	**n15**	105.3	1018	29.8				
								n15	103.8	956	27.59								

- 평균속도기반의 배출계수와 미시기반의 배출계수는 형식과 의미하는 바가 다르므로 단순하게 값을 비교할 수는 없음
- 따라서, 국립환경과학원에서 평균속도 기반의 배출계수를 개발할 당시에 사용했던 차종별 평균속도별 실험 주행 궤적에 대한 초당 속도자료를 제공 받아 미시기반의 배출량 산정 방법론으로 배출량(g)을 산정한 후 주행궤적의 주행거리(km)로 나눈 값(g/km)을 해당 주행궤적의 평균속도 기반의 배출계수(g/km)와 비교하여 보정계수를 산출하는 방법을 사용
- 이렇게 산정된 차종별 보정계수값은 <표1-8-15>에 나타나 있으며, RegClassID (SourceID)에 해당하는 기본 배출계수를 <표 1-8-13>에서 찾아 곱하여 주면 <표1-8-16>과 같이 해당차종의 미시기반 배출계수를 산출할 수 있음

<표 1-8-15> 차종별 보정계수

연료종류	국립환경과학원 차종구분	보정계수	RegClassID (SourceID)
휘발유	Passenger Car_Mini(<1000cc)	0.519	20(21)
	Passenger Car_Small(1000cc~1600cc)	0.650	
	Passenger Car_Medium(1600cc~2000cc)	0.800	
	Passenger Car_Big(>2000cc)	0.882	
경유	Passenger Car_Small(1000cc~1600cc)	0.533	20(21)
	Passenger Car_Medium(1600cc~2000cc)	0.636	
	RV_Small(<2000cc)	0.875	20(21)
	RV_Medium(>2000cc)	0.919	30(31)
	Bus_Small(<15persons)	0.545	41(31)
	Bus_Medium(15~35persons)	0.935	42(32)
	Bus_Transit	0.617	48(42)
	Bus_Intercity Bus	0.616	47(41)
	Truck_Small(<1tonne loading)	0.571	30(31)
	Truck_Medium(1~5tonne loading)	0.891	41(32)
	Truck_Big(>5tonne loading)	1.394	46(52)

<표 1-8-16> 이산화탄소(CO_2) 미시기반 배출계수표(g/sec)

OP Mode	국립환경과학원 차종구분														
	휘발유				경유										
	Passenger Car_Mini (<1000cc)	Passenger Car_Small (1000cc~ 1600cc)	Passenger Car _Medium (1600cc~ 2000cc)	Passenger Car_Big (>2000cc)	Passenger Car_Small (1000cc~ 1600cc)	Passenger Car_ Medium (1600cc~ 2000cc)	RV_Small (<2000cc)	RV_Medium(>2000cc)	Bus_Small (<15persons)	Bus_Medium (15~35 persons)	Bus _Transit	Bus _Intercity Bus	Truck_Small (<1tonne loading)	Truck _Medium (1~5tonne loading)	Truck_Big (>5tonne loading)
0	0.51	0.64	0.79	0.87	0.51	0.60	0.83	1.65	1.04	1.81	2.73	2.73	1.02	1.70	6.18
1	0.46	0.58	0.71	0.78	0.47	0.56	0.77	1.22	0.78	1.32	1.35	1.34	0.76	1.27	3.04
11	0.72	0.90	1.11	1.23	0.82	0.97	1.34	1.83	1.16	2.02	1.81	1.80	1.14	1.90	4.08
12	0.98	1.22	1.50	1.66	1.18	1.41	1.94	2.42	1.54	2.65	5.26	5.25	1.50	2.51	11.88
13	1.41	1.77	2.18	2.40	1.65	1.97	2.70	3.96	2.52	4.18	9.63	9.62	2.46	4.12	21.76
14	1.81	2.26	2.78	3.07	2.07	2.47	3.40	5.50	3.49	5.71	14.06	14.03	3.41	5.70	31.76
15	2.19	2.74	3.38	3.72	2.48	2.96	4.08	6.98	4.44	7.19	17.77	17.74	4.34	7.25	40.15
16	2.71	3.39	4.18	4.60	3.12	3.73	5.13	9.36	5.95	9.55	24.45	24.41	5.82	9.72	55.23
21	0.94	1.18	1.46	1.61	1.16	1.39	1.91	2.24	1.43	2.55	1.46	1.45	1.39	2.34	3.29
22	1.12	1.40	1.72	1.90	1.34	1.60	2.21	2.81	1.79	3.07	6.76	6.75	1.75	2.92	15.26
23	1.40	1.75	2.15	2.37	1.64	1.95	2.69	4.14	2.63	4.40	11.20	11.19	2.58	4.30	25.32
24	1.81	2.27	2.79	3.08	2.07	2.47	3.40	5.71	3.62	5.99	16.22	16.19	3.55	5.93	36.65
25	2.36	2.96	3.64	4.01	2.82	3.37	4.64	7.27	4.62	7.57	20.86	20.83	4.52	7.56	47.13
27	3.12	3.91	4.81	5.30	3.72	4.43	6.10	10.02	6.37	10.34	28.81	28.77	6.22	10.42	65.10
28	4.20	5.26	6.47	7.14	4.83	5.76	7.93	13.12	8.33	13.74	40.34	40.27	8.15	13.62	91.14
29	5.75	7.20	8.86	9.77	6.77	8.08	11.12	17.58	11.15	18.63	51.87	51.78	10.92	18.23	117.18
30	7.21	9.03	11.11	12.25	8.47	10.11	13.91	19.12	12.13	20.33	63.38	63.28	11.88	19.82	143.21
33	1.41	1.77	2.18	2.40	1.67	2.00	2.75	4.29	2.73	4.68	6.01	6.00	2.67	4.46	13.58
35	2.25	2.82	3.47	3.83	2.70	3.22	4.43	6.76	4.28	7.25	18.39	18.36	4.20	7.00	41.54
37	2.93	3.67	4.52	4.98	3.49	4.17	5.73	9.36	5.94	9.86	28.78	28.73	5.82	9.71	65.02
38	3.82	4.78	5.89	6.49	4.53	5.40	7.43	11.56	7.32	12.29	40.28	40.22	7.18	11.97	91.01
39	5.09	6.38	7.85	8.65	5.97	7.12	9.80	14.26	9.03	15.27	51.79	51.71	8.86	14.75	117.01
40	6.50	8.14	10.02	11.04	7.60	9.07	12.48	18.57	11.74	20.03	63.30	63.20	11.54	19.19	143.02

(라) 대기오염물질 (CO, NOx, PM)의 미시기반 배출계수 DB 구축

① 추출

- MOVES 데이터베이스의 각 오염물질의 배출계수 테이블을 추출함. MOVES 배출기준 차종별(Regulatory class, RC), 연료별(Fuel type), 연식별(Model Year), 차령별(Vehicle age)로 수많은 종류의 배출계수표가 추출됨.

② 추정

- 에너지 소비율와 CO_2 배출율은 차령에 큰 영향을 받지 않지만, 대기오염 물질은 차령에 영향을 받음. 따라서 차령 그룹(3년 이하, 4-5, 6-7, 8-9, 10-14, 15-19, 20년 이상)에 따라 배출율이 달라짐
- 국내 차량의 차량의 연식과 차령 분포를 가중치로 활용하여 기본 배출계수표를 가중 평균하였음

· 연식

✓ CO_2와 마찬가지로 1991년부터 2011년까지의 년식별 배출계수를 각 운행모드(operating mode)별 평균치를 추정함

✓ <표 1-8-13>과 유사한 모양의 표가 만들어지지만, 오염물질의 경우 차령 그룹별로 7개의 배출표가 만들어짐

· 연령

✓ 한국차량의 차령 그룹별 비율을 반영하여 차령 그룹별 7개 배출계수표를 하나의 대표 배출계수표를 만드는 절차를 거침

✓ 먼저, 자동차 등록정보에 포함되어 있는 해당 년도의 차령별 차량대수 데이터를 활용하여 차종별 차령그룹 분포를 구한 결과 승용, 승합, 화물의 차령 그룹별 비율은 <표 1-8-17>과 같음

✓ 차령그룹 분포를 구한 차종 구분에 부합되는 MOVES 차종을 찾아 MOVES의 배출기준 차종의 차령 그룹별 비율을 구하면 <표 1-8-18>과 같음

✓ 이 값을 이용하여 차령 그룹별 7개의 배출표를 가중 평균하면 각 오염물질별 배출표<표1-8-19, 20, 21>이 만들어짐

<표 1-8-17> 한국차량의 차령 비율 (2000~2011년 평균치)

차령그룹 (년)	<=3	4~5	6~7	8~9	10~14	15~19	20~99
승용	0.348595	0.159111	0.157521	0.138952	0.169075	0.023991	0.002755
승합	0.339163	0.170273	0.159051	0.139643	0.16185	0.024462	0.005559
화물	0.316754	0.155459	0.159449	0.13973	0.17722	0.043158	0.008226

<표 1-8-18> MOVES의 배출기준 차종별 차령 비율 적용치

차령그룹 (년)		<=3	4~5	6~7	8~9	10~14	15~19	20~99
휘발유	20	0.348595	0.159111	0.157521	0.138952	0.169075	0.023991	0.002755
경유	20	0.348595	0.159111	0.157521	0.138952	0.169075	0.023991	0.002755
	30	0.339163	0.170273	0.159051	0.139643	0.16185	0.024462	0.005559
	41	0.333112	0.166273	0.159158	0.139666	0.166000	0.029509	0.006279
	42	0.339163	0.170273	0.159051	0.139643	0.16185	0.024462	0.005559
	46	0.316754	0.155459	0.159449	0.13973	0.177223	0.043158	0.008226
	47	0.339163	0.170273	0.159051	0.139643	0.16185	0.024462	0.005559
	48	0.339163	0.170273	0.159051	0.139643	0.16185	0.024462	0.005559

<표 1-8-19> 일산화탄소(CO) 미시기반 배출계수표(g/sec)

OP mode	MOVES regClassID							
	Gasoline	Diesel						
	RC20	RC20	RC30	RC41	RC42	RC46	RC47	RC48
0	0.0044	0.0020	0.0044	0.0135	0.0134	0.0081	0.0097	0.0112
1	0.0033	0.0015	0.0037	0.0124	0.0123	0.0054	0.0064	0.0072
11	0.0089	0.0021	0.0043	0.0158	0.0157	0.0138	0.0183	0.0210
12	0.0136	0.0026	0.0044	0.0212	0.0211	0.0148	0.0196	0.0225
13	0.0165	0.0028	0.0056	0.0258	0.0257	0.0316	0.0360	0.0414
14	0.0234	0.0036	0.0069	0.0236	0.0235	0.0356	0.0462	0.0534
15	0.0304	0.0050	0.0096	0.0221	0.0219	0.0429	0.0590	0.0682
16	0.0437	0.0075	0.0140	0.0279	0.0278	0.0476	0.0778	0.0902
21	0.0128	0.0026	0.0051	0.0214	0.0213	0.0171	0.0187	0.0216
22	0.0160	0.0031	0.0060	0.0261	0.0260	0.0266	0.0277	0.0315
23	0.0206	0.0035	0.0067	0.0333	0.0331	0.0303	0.0327	0.0372
24	0.0292	0.0040	0.0075	0.0307	0.0306	0.0375	0.0441	0.0505
25	0.0327	0.0048	0.0083	0.0273	0.0271	0.0430	0.0526	0.0604
27	0.0527	0.0067	0.0117	0.0260	0.0258	0.0448	0.0694	0.0803
28	0.0952	0.0115	0.0219	0.0262	0.0261	0.0406	0.0801	0.0929
29	0.1978	0.0195	0.0242	0.0303	0.0301	0.0523	0.1030	0.1195
30	0.5919	0.0554	0.0652	0.0388	0.0386	0.0639	0.1259	0.1460
33	0.0107	0.0034	0.0077	0.0266	0.0264	0.0259	0.0339	0.0388
35	0.0194	0.0038	0.0086	0.0295	0.0293	0.0313	0.0443	0.0507
37	0.0268	0.0042	0.0091	0.0292	0.0290	0.0342	0.0728	0.0843
38	0.0764	0.0096	0.0117	0.0287	0.0285	0.0283	0.0618	0.0717
39	0.1022	0.0105	0.0183	0.0292	0.0290	0.0363	0.0795	0.0922
40	0.2927	0.0227	0.0304	0.0303	0.0301	0.0444	0.0972	0.1126

<표 1-8-20> NOx 미시기반 배출계수표(g/sec)

OP mode	MOVES regClassID							
	Gasoline	Diesel						
	RC20	RC20	RC30	RC41	RC42	RC46	RC47	RC48
0	0.0003	0.0038	0.0067	0.0225	0.0225	0.0269	0.0296	0.0208
1	0.0002	0.0023	0.0042	0.0186	0.0186	0.0203	0.0244	0.0452
11	0.0006	0.0000	0.0000	0.0121	0.0121	0.0179	0.0223	0.0313
12	0.0010	0.0025	0.0046	0.0304	0.0304	0.0694	0.0762	0.0887
13	0.0020	0.0059	0.0107	0.0405	0.0405	0.1155	0.1219	0.1322
14	0.0035	0.0077	0.0141	0.0463	0.0463	0.1565	0.1591	0.1803
15	0.0055	0.0091	0.0166	0.0520	0.0520	0.1867	0.1895	0.2144
16	0.0092	0.0154	0.0280	0.1026	0.1025	0.2554	0.2697	0.2498
21	0.0012	0.0013	0.0022	0.0062	0.0062	0.0122	0.0160	0.0289
22	0.0015	0.0035	0.0063	0.0324	0.0324	0.0841	0.0942	0.1086
23	0.0023	0.0058	0.0105	0.0403	0.0403	0.1378	0.1492	0.1651
24	0.0040	0.0075	0.0137	0.0456	0.0456	0.2044	0.2122	0.2277
25	0.0056	0.0090	0.0164	0.0500	0.0500	0.2510	0.2618	0.2602
27	0.0091	0.0118	0.0213	0.0594	0.0594	0.3408	0.3701	0.4199
28	0.0140	0.0167	0.0301	0.0677	0.0677	0.4479	0.4748	0.5878
29	0.0204	0.0204	0.0368	0.0787	0.0787	0.5758	0.5867	0.7558
30	0.0270	0.0218	0.0391	0.1464	0.1464	0.7038	0.7171	0.9237
33	0.0019	0.0044	0.0080	0.0142	0.0142	0.0605	0.0603	0.0934
35	0.0052	0.0074	0.0135	0.0455	0.0455	0.2476	0.2768	0.2360
37	0.0075	0.0105	0.0190	0.0563	0.0563	0.3723	0.3977	0.4381
38	0.0116	0.0143	0.0259	0.0660	0.0660	0.4960	0.5127	0.6134
39	0.0161	0.0197	0.0359	0.0751	0.0751	0.6377	0.6382	0.7886
40	0.0212	0.0215	0.0391	0.1467	0.1467	0.7794	0.7800	0.9639

<표 1-8-21> PM 미시기반 배출계수표(g/sec)

OP mode	MOVES regClassID							
	Gasoline	Diesel						
	RC20	RC20	RC30	RC41	RC42	RC46	RC47	RC48
0	0.0000059	0.0000720	0.0000713	0.0006025	0.0006173	0.0005486	0.0005060	0.0005052
1	0.0000048	0.0001550	0.0001543	0.0006217	0.0006269	0.0005994	0.0005529	0.0005520
11	0.0000052	0.0000814	0.0000814	0.0011127	0.0011195	0.0011397	0.0006092	0.0006068
12	0.0000061	0.0001151	0.0001150	0.0008353	0.0008448	0.0014685	0.0012824	0.0012775
13	0.0000091	0.0001203	0.0001200	0.0015813	0.0015947	0.0034258	0.0030201	0.0030053
14	0.0000107	0.0001163	0.0001169	0.0019062	0.0019226	0.0040744	0.0037306	0.0037120
15	0.0000125	0.0001739	0.0001795	0.0021374	0.0021534	0.0063463	0.0055178	0.0055085
16	0.0000359	0.0004191	0.0004363	0.0031769	0.0031896	0.0063463	0.0055178	0.0055085
21	0.0000090	0.0000837	0.0000825	0.0006064	0.0006211	0.0005822	0.0007935	0.0007920
22	0.0000105	0.0001186	0.0001160	0.0008627	0.0008775	0.0013304	0.0022805	0.0022746
23	0.0000093	0.0000724	0.0000722	0.0009108	0.0009281	0.0026310	0.0028476	0.0028339
24	0.0000106	0.0000934	0.0000931	0.0011562	0.0011780	0.0042942	0.0046742	0.0046532
25	0.0000142	0.0001359	0.0001367	0.0013172	0.0013479	0.0048297	0.0072274	0.0072024
27	0.0000230	0.0002177	0.0002211	0.0014576	0.0014879	0.0051922	0.0103236	0.0102863
28	0.0000942	0.0008777	0.0009340	0.0019489	0.0019777	0.0057409	0.0167877	0.0167247
29	0.0003404	0.0027439	0.0027590	0.0021409	0.0021691	0.0063804	0.0276415	0.0275354
30	0.0007788	0.0082435	0.0084521	0.0036941	0.0037176	0.0067410	0.0356332	0.0354959
33	0.0000201	0.0001686	0.0001711	0.0009451	0.0009600	0.0017235	0.0015636	0.0015534
35	0.0000224	0.0002507	0.0002548	0.0014924	0.0015303	0.0034174	0.0029341	0.0029194
37	0.0000223	0.0002214	0.0002277	0.0016945	0.0017319	0.0037652	0.0046633	0.0046384
38	0.0000425	0.0003848	0.0003873	0.0016669	0.0017044	0.0041679	0.0074983	0.0074562
39	0.0000912	0.0012031	0.0012144	0.0017782	0.0018154	0.0046385	0.0122020	0.0121313
40	0.0001047	0.0015858	0.0015973	0.0029400	0.0029736	0.0049045	0.0156362	0.0155446

③ 보정

- CO_2 배출계수표 보정 방법과 동일한 방법으로 국내 차종 구분에 따라 적용할 수 있는 배출계수표 추정
- 보정계수값은 <표1-8-22>에 나타나 있으며, RegClassID(SourceID)에 해당하는 기본 배출계수를 각 오염물질별로 <표 1-8-19, 20, 21>에서 찾아 곱하여 주면 <표1-8-23, 24, 25>과 같이 해당차종의 미시기반 배출계수표를 산출할 수 있음

<표 1-8-22> 차종별 보정계수

연료종류	국립환경과학원 차종구분	보정계수*			RegClassID (SourceID)
		CO	NOX	PM	
휘발유	Passenger Car_Mini(<1000cc)	0.519	0.519	0.519	20(21)
	Passenger Car_Small(1000cc~1600cc)	0.650	0.650	0.650	
	Passenger Car_Medium(1600cc~2000cc)	0.800	0.800	0.800	
	Passenger Car_Big(>2000cc)	0.882	0.882	0.882	
경유	Passenger Car_Small(1000cc~1600cc)	0.533	0.533	0.533	20(21)
	Passenger Car_Medium(1600cc~2000cc)	0.636	0.636	0.636	
	RV_Small(<2000cc)	0.875	0.875	0.875	20(21)
	RV_Medium(>2000cc)	0.919	0.919	0.919	30(31)
	Bus_Small(<15persons)	0.545	0.545	0.545	41(31)
	Bus_Medium(15~35persons)	0.935	0.935	0.935	42(32)
	Bus_Transit	0.617	0.617	0.617	48(42)
	Bus_Intercity Bus	0.616	0.616	0.616	47(41)
	Truck_Small(<1tonne loading)	0.571	0.571	0.571	30(31)
	Truck_Medium(1~5tonne loading)	0.891	0.891	0.891	41(32)
	Truck_Big(>5tonne loading)	1.394	1.394	1.394	46(52)

*대기오염물질 보정계수는 4차년도에 국제협력 연구를 진행하면서 방법론을 보완하여 추정할 계획임(현재는 CO2에 적용하였던 차종별 보정계수를 적용)

<표 1-8-23> 일산화탄소(CO) 미시기반 배출계수표(g/sec)

OP Mode	국립환경과학원 차종구분														
	휘발유				경유										
	Passenger Car_Mini (<1000cc)	Passenger Car_Small (1000cc~ 1600cc)	Passenger Car _Medium (1600cc~ 2000cc)	Passenger Car_Big (>2000cc)	Passenger Car_Small (1000cc~ 1600cc)	Passenger Car_ Medium (1600cc~ 2000cc)	RV_Small (<2000cc)	RV_Medium(>2000cc)	Bus_Small (<15persons)	Bus_Medium (15~35 persons)	Bus _Transit	Bus _Intercity Bus	Truck_Small (<1tonne loading)	Truck _Medium (1~5tonne loading)	Truck_Big (>5tonne loading)
0	0.0023	0.0029	0.0035	0.0039	0.0010	0.0012	0.0017	0.0041	0.0073	0.0125	0.0069	0.0060	0.0025	0.0120	0.0113
1	0.0017	0.0022	0.0027	0.0029	0.0008	0.0009	0.0013	0.0034	0.0067	0.0115	0.0045	0.0039	0.0021	0.0110	0.0075
11	0.0046	0.0058	0.0071	0.0078	0.0011	0.0013	0.0019	0.0040	0.0086	0.0147	0.0130	0.0113	0.0025	0.0141	0.0192
12	0.0070	0.0088	0.0109	0.0120	0.0014	0.0016	0.0023	0.0040	0.0116	0.0197	0.0139	0.0121	0.0025	0.0189	0.0206
13	0.0085	0.0107	0.0132	0.0145	0.0015	0.0018	0.0025	0.0051	0.0141	0.0240	0.0256	0.0221	0.0032	0.0230	0.0441
14	0.0122	0.0152	0.0187	0.0207	0.0019	0.0023	0.0031	0.0063	0.0129	0.0220	0.0329	0.0285	0.0039	0.0211	0.0496
15	0.0158	0.0197	0.0243	0.0268	0.0027	0.0032	0.0044	0.0088	0.0120	0.0205	0.0421	0.0363	0.0055	0.0197	0.0598
16	0.0227	0.0284	0.0350	0.0386	0.0040	0.0048	0.0065	0.0128	0.0152	0.0260	0.0556	0.0479	0.0080	0.0249	0.0663
21	0.0066	0.0083	0.0102	0.0113	0.0014	0.0017	0.0023	0.0046	0.0117	0.0199	0.0133	0.0115	0.0029	0.0191	0.0238
22	0.0083	0.0104	0.0128	0.0141	0.0017	0.0020	0.0027	0.0055	0.0142	0.0243	0.0194	0.0170	0.0034	0.0233	0.0371
23	0.0107	0.0134	0.0165	0.0182	0.0019	0.0022	0.0031	0.0062	0.0181	0.0309	0.0230	0.0201	0.0038	0.0296	0.0422
24	0.0151	0.0190	0.0233	0.0257	0.0021	0.0026	0.0035	0.0069	0.0167	0.0286	0.0312	0.0272	0.0043	0.0274	0.0523
25	0.0170	0.0212	0.0262	0.0288	0.0025	0.0030	0.0042	0.0076	0.0149	0.0254	0.0373	0.0324	0.0047	0.0243	0.0600
27	0.0274	0.0343	0.0422	0.0465	0.0036	0.0043	0.0058	0.0108	0.0142	0.0241	0.0495	0.0427	0.0067	0.0231	0.0624
28	0.0494	0.0619	0.0762	0.0840	0.0061	0.0073	0.0100	0.0201	0.0143	0.0244	0.0573	0.0493	0.0125	0.0233	0.0567
29	0.1027	0.1286	0.1582	0.1745	0.0104	0.0124	0.0171	0.0223	0.0165	0.0281	0.0737	0.0634	0.0138	0.0270	0.0728
30	0.3072	0.3848	0.4735	0.5221	0.0295	0.0353	0.0485	0.0599	0.0211	0.0361	0.0901	0.0775	0.0372	0.0346	0.0890
33	0.0056	0.0070	0.0086	0.0094	0.0018	0.0022	0.0030	0.0071	0.0145	0.0247	0.0239	0.0209	0.0044	0.0237	0.0361
35	0.0101	0.0126	0.0155	0.0171	0.0020	0.0024	0.0033	0.0079	0.0161	0.0274	0.0313	0.0273	0.0049	0.0263	0.0437
37	0.0139	0.0174	0.0214	0.0236	0.0022	0.0027	0.0037	0.0084	0.0159	0.0271	0.0520	0.0448	0.0052	0.0260	0.0476
38	0.0397	0.0497	0.0612	0.0674	0.0051	0.0061	0.0084	0.0108	0.0156	0.0267	0.0442	0.0381	0.0067	0.0256	0.0394
39	0.0530	0.0664	0.0817	0.0901	0.0056	0.0066	0.0091	0.0168	0.0159	0.0271	0.0569	0.0490	0.0105	0.0260	0.0507
40	0.1519	0.1902	0.2342	0.2582	0.0121	0.0144	0.0199	0.0280	0.0165	0.0282	0.0695	0.0599	0.0174	0.0270	0.0619

<표 1-8-24> 질소산화물(NO_X) 미시기반 배출계수표(g/sec)

OP Mode	국립환경과학원 차종구분														
	휘발유				경유										
	Passenger Car_Mini (<1000cc)	Passenger Car_Small (1000cc~ 1600cc)	Passenger Car _Medium (1600cc~ 2000cc)	Passenger Car_Big (>2000cc)	Passenger Car_Small (1000cc~ 1600cc)	Passenger Car_ Medium (1600cc~ 2000cc)	RV_Small (<2000cc)	RV_Medium(>2000cc)	Bus_Small (<15persons)	Bus_Medium (15~35 persons)	Bus _Transit	Bus _Intercity Bus	Truck_Small (<1tonne loading)	Truck _Medium (1~5tonne loading)	Truck_Big (>5tonne loading)
0	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0020	0.0024	0.0033	0.0062	0.0123	0.0210	0.0128	0.0182	0.0038	0.0200	0.0375
1	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	0.0012	0.0015	0.0020	0.0039	0.0101	0.0174	0.0279	0.0150	0.0024	0.0166	0.0283
11	0.0003	0.0004	0.0005	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0066	0.0113	0.0193	0.0137	0.0000	0.0108	0.0250
12	0.0005	0.0006	0.0008	0.0008	0.0013	0.0016	0.0022	0.0042	0.0166	0.0284	0.0547	0.0470	0.0026	0.0271	0.0967
13	0.0010	0.0013	0.0016	0.0017	0.0031	0.0037	0.0051	0.0098	0.0221	0.0379	0.0816	0.0751	0.0061	0.0361	0.1610
14	0.0018	0.0023	0.0028	0.0031	0.0041	0.0049	0.0068	0.0130	0.0252	0.0433	0.1113	0.0980	0.0080	0.0412	0.2181
15	0.0029	0.0036	0.0044	0.0049	0.0049	0.0058	0.0080	0.0153	0.0284	0.0486	0.1323	0.1167	0.0095	0.0464	0.2602
16	0.0048	0.0060	0.0073	0.0081	0.0082	0.0098	0.0135	0.0258	0.0559	0.0959	0.1541	0.1661	0.0160	0.0914	0.3561
21	0.0006	0.0008	0.0009	0.0010	0.0007	0.0008	0.0011	0.0020	0.0034	0.0058	0.0178	0.0099	0.0012	0.0056	0.0170
22	0.0008	0.0010	0.0012	0.0013	0.0019	0.0022	0.0031	0.0058	0.0177	0.0303	0.0670	0.0580	0.0036	0.0289	0.1172
23	0.0012	0.0015	0.0019	0.0021	0.0031	0.0037	0.0051	0.0096	0.0219	0.0376	0.1019	0.0919	0.0060	0.0359	0.1921
24	0.0021	0.0026	0.0032	0.0035	0.0040	0.0048	0.0066	0.0126	0.0248	0.0426	0.1405	0.1307	0.0078	0.0406	0.2849
25	0.0029	0.0036	0.0045	0.0049	0.0048	0.0057	0.0079	0.0150	0.0273	0.0468	0.1606	0.1613	0.0093	0.0446	0.3499
27	0.0047	0.0059	0.0073	0.0080	0.0063	0.0075	0.0103	0.0196	0.0324	0.0555	0.2591	0.2280	0.0122	0.0529	0.4751
28	0.0073	0.0091	0.0112	0.0123	0.0089	0.0106	0.0146	0.0277	0.0369	0.0633	0.3627	0.2925	0.0172	0.0603	0.6243
29	0.0106	0.0132	0.0163	0.0179	0.0109	0.0130	0.0179	0.0338	0.0429	0.0736	0.4663	0.3614	0.0210	0.0701	0.8027
30	0.0140	0.0175	0.0216	0.0238	0.0116	0.0138	0.0190	0.0359	0.0798	0.1369	0.5699	0.4418	0.0223	0.1304	0.9811
33	0.0010	0.0012	0.0015	0.0016	0.0023	0.0028	0.0039	0.0073	0.0077	0.0133	0.0576	0.0372	0.0046	0.0127	0.0844
35	0.0027	0.0034	0.0042	0.0046	0.0040	0.0047	0.0065	0.0124	0.0248	0.0426	0.1456	0.1705	0.0077	0.0406	0.3451
37	0.0039	0.0049	0.0060	0.0066	0.0056	0.0067	0.0092	0.0175	0.0307	0.0526	0.2703	0.2450	0.0109	0.0501	0.5190
38	0.0060	0.0076	0.0093	0.0103	0.0076	0.0091	0.0125	0.0238	0.0360	0.0617	0.3785	0.3158	0.0148	0.0588	0.6914
39	0.0084	0.0105	0.0129	0.0142	0.0105	0.0125	0.0172	0.0330	0.0410	0.0703	0.4866	0.3931	0.0205	0.0670	0.8890
40	0.0110	0.0138	0.0169	0.0187	0.0115	0.0137	0.0188	0.0359	0.0799	0.1371	0.5947	0.4805	0.0223	0.1307	1.0865

<표 1-8-25> 미세먼지(PM) 미시기반 배출계수표(g/sec)

OP Mode	국립환경과학원 차종구분														
	휘발유				경유										
	Passenger Car_Mini (<1000cc)	Passenger Car_Small (1000cc~ 1600cc)	Passenger Car _Medium (1600cc~ 2000cc)	Passenger Car_Big (>2000cc)	Passenger Car_Small (1000cc~ 1600cc)	Passenger Car_ Medium (1600cc~ 2000cc)	RV_Small (<2000cc)	RV_Medium(>2000cc)	Bus_Small (<15persons)	Bus_Medium (15~35 persons)	Bus _Transit	Bus _Intercity Bus	Truck_Small (<1tonne loading)	Truck _Medium (1~5tonne loading)	Truck_Big (>5tonne loading)
0	0.0000030	0.0000038	0.0000047	0.0000052	0.0000384	0.0000458	0.0000630	0.0000655	0.0003284	0.0005772	0.0003117	0.0003117	0.0000407	0.0005369	0.0007648
1	0.0000025	0.0000031	0.0000038	0.0000042	0.0000826	0.0000986	0.0001356	0.0001418	0.0003388	0.0005861	0.0003406	0.0003406	0.0000881	0.0005539	0.0008356
11	0.0000027	0.0000034	0.0000042	0.0000046	0.0000434	0.0000518	0.0000712	0.0000748	0.0006064	0.0010467	0.0003744	0.0003753	0.0000465	0.0009914	0.0015888
12	0.0000032	0.0000040	0.0000049	0.0000054	0.0000614	0.0000732	0.0001007	0.0001057	0.0004553	0.0007899	0.0007882	0.0007900	0.0000657	0.0007443	0.0020472
13	0.0000047	0.0000059	0.0000073	0.0000081	0.0000641	0.0000765	0.0001053	0.0001103	0.0008618	0.0014910	0.0018543	0.0018604	0.0000685	0.0014090	0.0047755
14	0.0000056	0.0000070	0.0000086	0.0000095	0.0000620	0.0000740	0.0001018	0.0001074	0.0010389	0.0017976	0.0022903	0.0022980	0.0000667	0.0016985	0.0056797
15	0.0000065	0.0000081	0.0000100	0.0000110	0.0000927	0.0001106	0.0001522	0.0001649	0.0011649	0.0020134	0.0033987	0.0033990	0.0001025	0.0019044	0.0088467
16	0.0000186	0.0000233	0.0000287	0.0000316	0.0002234	0.0002665	0.0003667	0.0004009	0.0017314	0.0029823	0.0033987	0.0033990	0.0002491	0.0028306	0.0088467
21	0.0000047	0.0000058	0.0000072	0.0000079	0.0000446	0.0000532	0.0000732	0.0000758	0.0003305	0.0005807	0.0004886	0.0004888	0.0000471	0.0005403	0.0008116
22	0.0000054	0.0000068	0.0000084	0.0000092	0.0000632	0.0000755	0.0001038	0.0001066	0.0004702	0.0008205	0.0014034	0.0014048	0.0000662	0.0007687	0.0018546
23	0.0000048	0.0000060	0.0000074	0.0000082	0.0000386	0.0000461	0.0000634	0.0000663	0.0004964	0.0008678	0.0017485	0.0017541	0.0000412	0.0008115	0.0036677
24	0.0000055	0.0000069	0.0000085	0.0000094	0.0000498	0.0000594	0.0000817	0.0000856	0.0006301	0.0011014	0.0028710	0.0028793	0.0000532	0.0010301	0.0059861
25	0.0000074	0.0000092	0.0000113	0.0000125	0.0000724	0.0000864	0.0001189	0.0001257	0.0007179	0.0012603	0.0044439	0.0044521	0.0000781	0.0011736	0.0067326
27	0.0000120	0.0000150	0.0000184	0.0000203	0.0001160	0.0001385	0.0001905	0.0002032	0.0007944	0.0013912	0.0063466	0.0063593	0.0001262	0.0012988	0.0072380
28	0.0000489	0.0000612	0.0000754	0.0000831	0.0004678	0.0005582	0.0007680	0.0008584	0.0010621	0.0018491	0.0103191	0.0103412	0.0005333	0.0017365	0.0080028
29	0.0001767	0.0002213	0.0002723	0.0003002	0.0014625	0.0017451	0.0024009	0.0025355	0.0011668	0.0020281	0.0169893	0.0170271	0.0015754	0.0019075	0.0088943
30	0.0004042	0.0005062	0.0006230	0.0006869	0.0043938	0.0052429	0.0072131	0.0077675	0.0020133	0.0034760	0.0219010	0.0219501	0.0048262	0.0032915	0.0093969
33	0.0000104	0.0000131	0.0000161	0.0000177	0.0000899	0.0001072	0.0001475	0.0001572	0.0005151	0.0008976	0.0009584	0.0009632	0.0000977	0.0008421	0.0024025
35	0.0000116	0.0000146	0.0000180	0.0000198	0.0001336	0.0001595	0.0002194	0.0002342	0.0008134	0.0014309	0.0018013	0.0018074	0.0001455	0.0013297	0.0047638
37	0.0000116	0.0000145	0.0000179	0.0000197	0.0001180	0.0001408	0.0001937	0.0002093	0.0009235	0.0016193	0.0028619	0.0028726	0.0001300	0.0015098	0.0052487
38	0.0000221	0.0000276	0.0000340	0.0000375	0.0002051	0.0002447	0.0003367	0.0003560	0.0009085	0.0015937	0.0046005	0.0046190	0.0002212	0.0014852	0.0058100
39	0.0000473	0.0000593	0.0000729	0.0000804	0.0006413	0.0007652	0.0010528	0.0011160	0.0009691	0.0016974	0.0074850	0.0075164	0.0006934	0.0015844	0.0064661
40	0.0000543	0.0000681	0.0000838	0.0000924	0.0008452	0.0010086	0.0013876	0.0014679	0.0016023	0.0027803	0.0095910	0.0096319	0.0009120	0.0026196	0.0068369

(6) 활동기반 탄소배출량 산정 방법론

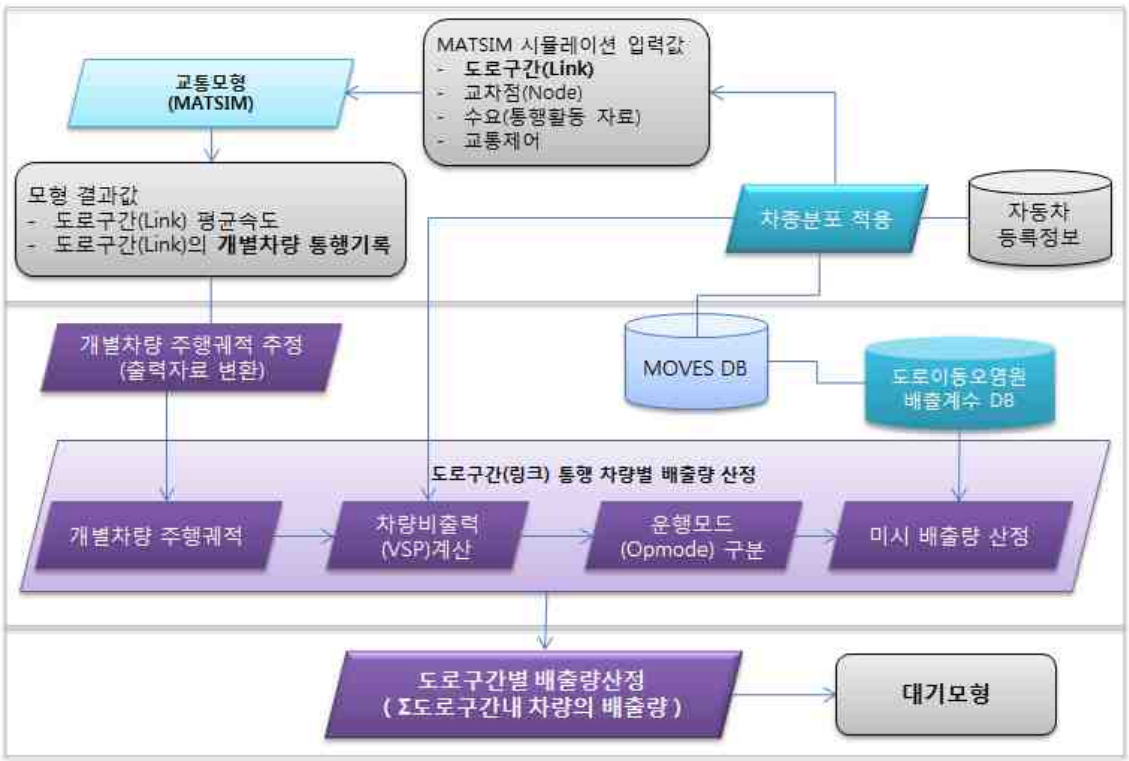
(가) 미시기반 배출량 산정 절차

- 미시기반 배출량 산정 방법은 차량 주행 특성인 속도, 감가속도, 차량비출력 등의 순간적인 변화를 고려하여 배출량을 산출하는 방법임
- 도로교통 탄소배출량 산정 모듈(미시기반)에 필요한 차량 특성 정보 DB에는 교통량, 주행궤적, 차종분포가 필요함.
- 이 중 교통량과 주행궤적 정보를 활동기반 교통계획 모형인 MATSIM의 시뮬레이션 출력자료를 변환하여 얻어내어 활용하기 때문에 활동기반 배출량 산정이라고 하였으며, 관련 처리 절차를 아래 그림에 나타내었음
- 미시기반의 배출량은 크게 다음의 세 가지 절차에 따라 산정됨

· 개별차량에 대하여 초단위 차량 속도(주행궤적)를 추정

· 도로구간을 통행하는 개별 차량의 배출량 산정

· 도로구간별 차량의 배출량 산정



<그림 1-8-32> 활동기반 탄소배출량 산정 방법론 절차

(나) 개별차량 주행궤적 추정

- 미시기반 배출량 산정시에는 주행궤적이라 하는 초단위 차량 속도가 필요함
- MATSIM의 시뮬레이션 결과값으로 직접적으로 도출되는 값이 아니기 때문에 추정 절차

가 필요함

- MATSIM의 결과값 중 다음의 두 자료를 활용하여 추정함

· 도로구간별 초단위로 평균속도 자료 : 해당시간 동안 이 도로구간을 통과하는 차량들의 평균속도

· 각 도로구간을 진입한 시간과 진출하는 시간 정보

- 추정방법론에 대한 상세한 설명과 신뢰성 검증 결과는 1세부의 연구내용에 포함됨

(다) 개별차량 미시기반 배출량 산정

① 차량비출력(VSP) 계산

㉮ 해당 차량의 차종 정의

- 차종별로 적용되는 차량비출력(VSP)식의 계수와 배출계수가 달라지기 때문에 배출량을 산정하고자 하는 차종을 정의하는 것이 필요함

- 시뮬레이션 모형에서 정의를 하는 경우 개별차량 정보의 차종정보를 따르면 되나, MATSIM의 경우 이러한 기능이 없으므로 차종을 먼저 배정하여야 함

· 자동차 등록정보의 차량대수를 이용하여 배출계수 차종별 비율을 산출

· 이 비율에 따라 개별 차량의 차종을 배정함

㉯ 차량비출력(VSP) 계산

- 도로에서 주행한 개별 차량의 주행 궤적 자료로 다음의 단계에 따라 초단위 차량비출력(VSP)을 계산함

· Step 1 : 초당 가속도 계산

$$a_t = v_t - v_{t-1}$$

여기서, v_t: 속도(㎧), a_t: 가속도(㎨)

· Step 2 : 차량비출력(VSP) 계산

계수값 A, B, C, m은 차종에 따라 다르며 MOVES의 값(US EPA, 2010)을 사용함

$$P_{V,t} = \frac{Av_t + Bv_t^2 + Cv_t^3 + mv_t(a_t + gsin\theta_t)}{m}$$

여기서,

$P_{V,t}$: 차량 V의 시간 t일 때의 차량비출력(VSP) (kW/tonne)
t: 시간(sec), v_t: 속도(㎧)
a_t: 가속도(㎨)
m: 차량 기준 중량(tonne)
A: 구름 저항(KW-sec/m)
B: 회전 저항(KW-sec2/m2)
C: 공기 저항 (KW-sec3/m3)
g: 중력가속도(9.81㎨)
θ_t: 도로의 경사(degree)

<표 1-8-26> 차량비출력(VSP) 계산식의 차종별 계수 A, B, C

Source Use ID	차종분류코드명	구름저항(A)	회전저항(B)	공기저항(C)	중량(m)
11	Motorcycle	0.0251	0	0.000315	0.285
21	Passenger Car	0.156461	0.00200193	0.000492646	1.4788
31	Passenger Truck	0.22112	0.00283757	0.000698282	1.86686
32	Light Commercial Truck	0.235008	0.00303859	0.000747753	2.05979
41	Refuse Truck	1.41705	0	0.00357228	20.6845
42	Single Unit Short-haul Truck	0.561933	0	0.00160302	7.64159
43	Single Unit Long-haul Truck	0.498699	0	0.00147383	6.25047
51	Motor Home	0.617371	0	0.00210545	6.73483
52	School Bus	0.746718	0	0.00217584	9.06989
53	Transit Bus	1.0944	0	0.00358702	16.556
54	Intercity Bus	1.29515	0	0.00371491	19.5937
61	Combination Short-haul Truck	1.96354	0	0.00403054	29.3275
62	Combination Long-haul Truck	2.08126	0	0.00418844	31.4038

- 차량비출력은 소형차의 범주에 속하는 차량에 사용되며, 대형 차량의 경우 Scaled Tractive Power :STP을 적용함. STP는 다음과 같이 계산함

$$STP = (A \times V_t + B \times V_t^2 + C \times V_t^3 + m \times a_t \times V_t)/f_{scale}$$

여기서, STP = Scaled Tractive Power

Vt = speed at time t, m/s

at = acceleration at time t, m/s2

A = rolling resistance coefficient, kW-sec/m

B = rotational resistance coefficient, kW-sec2/m2

C = aerodynamic drag coefficient, kW-sec3/m3

fscale = fixed mass factor

② 초단위 운행모드(OP-mode) 구분

- 운행모드(Operating Mode, OP-mode)는 차량 주행특성에 따라 배출율이 유사한 그룹을 정의한 것임
- 초당 속도(mph)와 차량비출력(kW/tonne)에 따라 운행모드가 구분되어 있음
- 따라서 초단위로 속도와 계산한 차량비출력(VSP)에 따라 초단위 운행모드를 구분함

<표 1-8-27> 운행모드 (Operating Mode) 정의

opModeID	opModeName	차량비출력, VSP(kW/tonne)		Speed(mph)	
		Lower	Upper	Lower	Upper
0	Braking*	-	-	-	-
1	Idling	-	-	-1	1
11	Low Speed Coasting	-	0	1	25
12	Cruise/Acceleration	0	3	1	25
13	Cruise/Acceleration	3	6	1	25
14	Cruise/Acceleration	6	9	1	25
15	Cruise/Acceleration	9	12	1	25
16	Cruise/Acceleration	12	-	1	25
21	Moderate Speed Coasting	-	0	25	50
22	Cruise/Acceleration	0	3	25	50
23	Cruise/Acceleration	3	6	25	50
24	Cruise/Acceleration	6	9	25	50
25	Cruise/Acceleration	9	12	25	50
26	Cruise/Acceleration	12	-	25	50
27	Cruise/Acceleration	12	18	25	50
28	Cruise/Acceleration	18	24	25	50
29	Cruise/Acceleration	24	30	25	50
30	Cruise/Acceleration	30	-	25	50
33	Cruise/Acceleration	-	6	50	-
35	Cruise/Acceleration	6	12	50	-
36	Cruise/Acceleration	12		50	-
37	Cruise/Acceleration	12	18	50	-
38	Cruise/Acceleration	18	24	50	-
39	Cruise/Acceleration	24	30	50	-
40	Cruise/Acceleration	30	-	50	-

*Accel < -2mph or < -1mph for 3 consecutive second

③ 개별 차량 미시기반 배출량 산정

- 초단위로 미시기반 배출표(오염물질별)에서 해당 차량운행모드에 맞는 배출계수를 찾아 개별 차량의 초당 배출량을 산정하고 합산하면 해당 도로구간을 통행한 개별차량의 미시 배출량이 산정됨
- <표 1-8-28>은 휘발유 승용차 한 대의 차량의 미시기반 CO_2 배출량 산정 예를 나타낸 표임

<표 1-8-28> 개별차량 미시기반 배출량 산정 예

교통모형 결과		Step 1		Step 2	Step 3
시간 (초)	속도 (kph)	가속도 (mph/sec)	차량비출력 (VSP)*	OP mode	배출량 (g)
0	0				
1	5.3	3.293889524	2.328050749	12	1.88
2	10.6	3.293889524	4.668353865	13	2.72
3	15.9	3.293889524	7.027291145	14	3.48
4	21.2	3.293889524	9.411244388	15	4.22
5	26.6	3.356038383	12.0778356	16	5.22
6	31.9	3.293889524	14.32641585	16	5.22
7	35.7	2.36165664	11.97919912	15	4.22
8	39.1	2.113061204	11.99776374	15	4.22
9	41.5	1.491572615	9.598589869	25	4.55
10	42.5	0.621488589	5.267043329	23	2.69
11	43.8	0.807935166	6.483481809	24	3.49
12	45	0.745786307	6.353659478	24	3.49
13	48	1.864465768	13.55714762	27	6.01
14	49	0.621488589	6.314079712	24	3.49
15	52	1.864465768	14.857248	27	6.01
16	53	0.621488589	7.006157817	24	3.49
17	55	1.242977179	11.61234172	25	4.55
18	56	0.621488589	7.551115837	24	3.49
19	58	1.242977179	12.40439711	27	6.01
20	61.9	2.423805499	22.54878158	28	8.09
21	61.9	0	3.914427486	23	2.69
22	60.4	-0.932232884	-3.26244163	21	1.82
23	58.8	-0.994381743	-3.71984486	21	1.82
24	57.7	-0.683637448	-1.4827941	21	1.82
25	57.1	-0.372893154	0.7047103	22	2.15
26	56.8	-0.186446577	2.000672671	22	2.15
27	56.6	-0.124297718	2.420167446	22	2.15
28	57.1	0.310744295	5.552992394	23	2.69
29	57.3	0.124297718	4.256116289	23	2.69
30	58.2	0.559339731	7.5163689	24	3.49
				Step 4	110.01

*차량비출력(VSP)을 구하는 공식의 A, B, C, m 값은 차종별로 값이 다르며, 승용차는 다음의 값을 가짐. A: 0.15646, B: 0.002, C: 0.00049, m:1.4788

(다) 도로구간별 차량의 배출량 산정

- 대상도로구간을 통행한 개별 차량의 초당 배출량을 산정한 후 합산하면 도로구간의 배출량이 산정됨
- 배출량은 관심 지역, 관심 도로축, 관심 통행 목적별로 분류하여 집계할 수 있도록 설계되었으며, MATSIM의 차량 주행궤적을 이러한 목적별로 추출하는 방법론은 1세부의 '탄소배출량 산정을 위한 미시적 주행 자료 산출 기술 개발'에서 다루고 있음

라. 탄소배출량 예측 모형 시범도시 적용

(1) 배출량 산정 방법론 및 계수 보정

○ 배출계수와 차종구분을 위한 정보 등은 과거와 현재의 데이터이므로 장래도시의 교통의 변화에 따른 탄소배출량을 산정하기 위해서는 미래 교통의 변화에 따른 배출계수의 변화와 차종변화 등에 대한 예측 부분이 반영되어 함

○ 이 부분은 시간이 지남에 따라 필요시 데이터베이스에서 관련 데이터를 갱신해야 함

(가) 교통모형의 차종 구분에 따른 배출계수 사용 필요

- 교통 모형의 차종은 교통 수요의 기준으로 구분되어 승용차, 버스, 상용트럭, (택시)으로 분류되며, 이 기준에 따라 링크 교통량이 분석됨
- 최종적으로 링크의 총 배출량을 산정하는 것이 목적이므로, 차종을 세분화해서 산정하고 다시 합산하는 방식의 기존 방법은 효율성이 떨어진다고 볼 수 있음
- 따라서 세부 차종의 분포를 고려하여 교통 모형의 차종 구분을 따르는 대분류의 차종에 적용할 수 있는 배출계수를 추정하여 사용함으로 연산 효율성을 높일 수 있음

(나) 장래 배출계수 변화 반영 필요

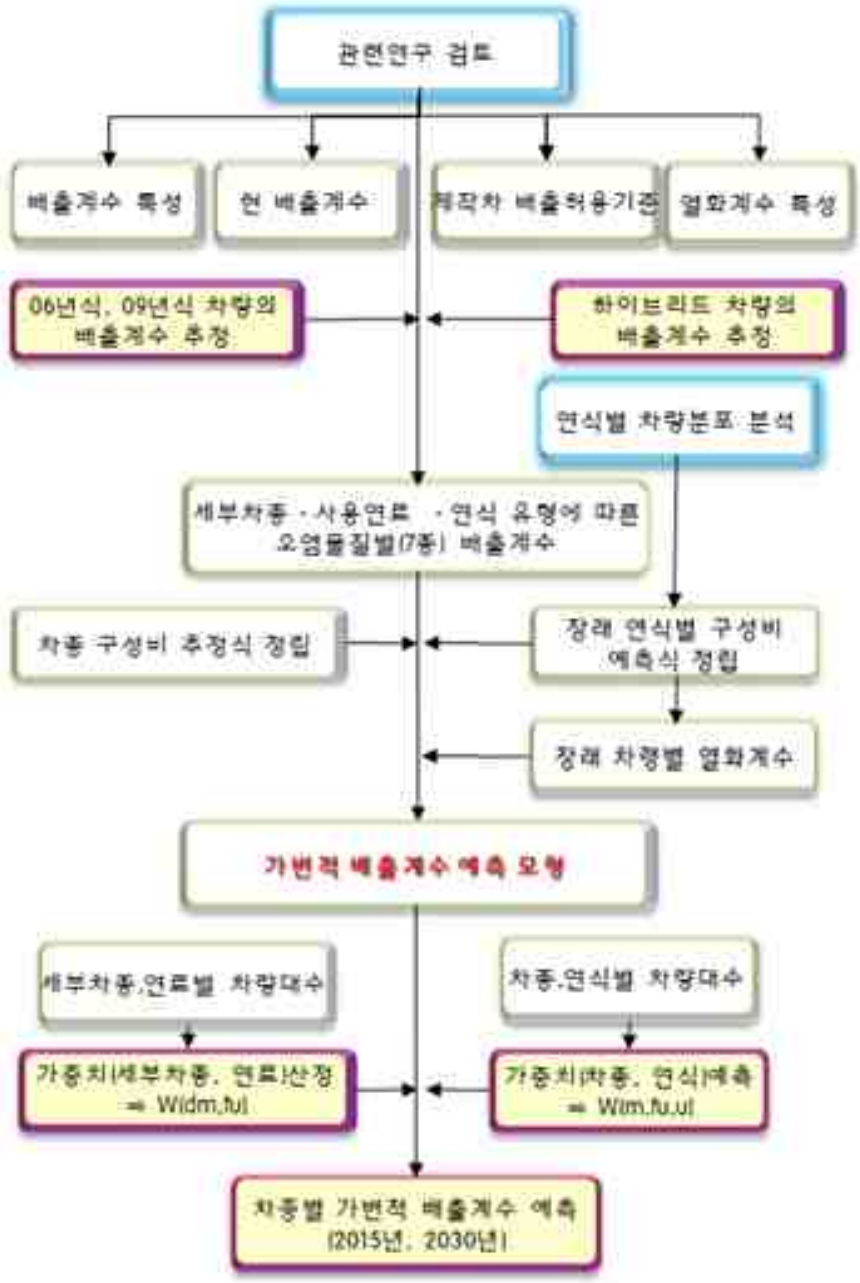
- 배출량 산정 영향 인자 중 자동차 통행(자동차 대수, 주행거리, 주행속도)은 시뮬레이션 모형 결과를 활용하므로 장래 예측치를 반영하고 있으나 배출계수는 현재기준의 배출계수를 사용하기 때문에 보완이 필요함
- 장래 배출계수는 차종별 연식별 자동차 등록대수의 변화, 차량의 노후화에 따른 열화계수의 변화, 저공해 차량의 비율 증가 등의 영향을 받으므로, 이러한 요인들을 고려하여 장래 배출계수를 추정하고 사용할 필요성이 있음

· 연식별 자연 폐차율 및 차량 교체주기 등을 고려하여 연식별 자동차 등록대수의 변화를 예측하는 것이 필요함

· 저공해차의 경우 환경부의 조세혜택, 연료비 부담, 정책 예산 등에 따라 차량대수가 증가하는 현상이 있으므로 이를 반영할 필요성이 있음

(다) 교통모형의 차종 구분에 따른 장래 배출계수 추정 방법 연구

- 기존 연구 중 “교통사업의 대기질 평가를 위한 가변적 배출계수 예측모형(이규진 외 2011)”에서 관련 연구를 진행함
- <표 1-8-29>의 구분에 따른 배출 계수표를 <그림 1-8-33>에 나타난 다음의 절차에 따라 추정하였음 : ① 세부차량 유형별 배출계수 취합, ② 지역별(수도권, 비수도권) 차량유형별 배출계수 산정, ③ 지역별 차량유형별 총 주행거리 산정, ④ 지역별 대표 배출계수 산정, ⑤ 장래 목표 년도별 차량 연식별 차량 등록대수 예측, ⑥ 장래 지역별, 연도별 배출계수 예측



<그림 1-8-33> 차종별 가변적 배출계수 예측 절차 (출처: 이규진 외, 2011)

<표 1-8-29> 장래 배출계수표 구분

지역	연도	차종	오염물질	배출계수표
- 수도권 - 비수도권	- 2010 - 2015 - 2020 - 2025	- 승용차 - 버스 - 화물차 (화물차 소형, 화물차 중형, 화물차 대형)	- CO2 - CO - NOx - PM	속도에 따른 배출계수 2.5km/h 부터 117.5 km/h 까지 5km/h 간격으로 제공

(라) 수정된 방법론

- Step 1. <표 1-8-29>의 차종구분에 따라 도로구간의 총 교통량을 배출계수 차종기준으로 배분

· 차종구분이 있는 시뮬레이션 결과 : 대표차종과 단순 매칭

· 차종구분이 없는 시뮬레이션 결과 : 대표차종 비율로 배분 (2014년 12월 등록기준으로 승용차 83.1%, 버스 0.8%, 상용트럭 16.1% (소형 75.8%, 중형 11.9%, 대형 12.3%)의 비율이 계산됨)

- Step 2. 해당지역, 해당 분석 년도에 맞는 속도별 배출계수를 적용하여 링크의 차종별 배출량을 산정한 후 합산하여 링크 총배출량을 산출함

배출량 = 차종별 교통량×도로구간의 길이×평균속도별 차종별 배출원단위(해당 지역, 연도, 오염물질)

· 도로구간의 총교통량과 도로구간의 길이는 교통계획 모형으로부터 입력

· CO_2 , 대기오염물질 (CO, NOx, PM)의 배출원단위 적용

○ 시범 적용지역을 수원시로 정하고 수원시 담당 공무원의 의견을 참고하여 두 개 분석 스케일별로 다음의 대안에 대하여 적용 효과를 예측하였음

- 도시스케일 : 수원시 트램 도입으로 인한 토지이용 및 교통의 변화와 그로 인한 탄소배출량의 변화 예측

- 지구스케일 : ① 수원시 행궁동 차 없는 거리 시행으로 인한 통행의 변화와 탄소배출량 변화 예측, ② 수원시 거주 공무원의 출근시차제 참여시의 통행의 변화와 탄소배출량 변화 예측

(2) 시범도시 적용 결과

(가) 도시스케일 토지이용 측면의 배출량 산정 결과

- <표 1-8-30>과 <표 1-8-31>에서 보는 바와 같이 도시스케일의 토지이용 측면의 배출량은 대안인 노면전차 시나리오에서 토지이용 면적이 증가하여 토지이용 측면의 배출량은 약 261.5 ton/year 증가하였음

<표 1-8-30> 도시스케일_토지이용 면적 (수원시 2030년 토지이용 면적, m^2)

지역	분석 시나리오별 토지이용 면적(m^2)		증감량(m^2)	증감율(%)
	BAU	대안(노면전차)		
권선구	12,292,648.8	12,295,057.4	2,408.7	0.020%
영통구	13,572,406.7	13,572,516.4	109.7	0.001%
장안구	12,361,665.8	12,364,585.2	2,919.4	0.024%
팔달구	12,228,434.2	12,230,189.5	1,755.3	0.014%
수원시 합계	**50,455,155.5**	**50,462,348.5**	**7,193.0**	**0.014%**

<표 1-8-31> 도시스케일_토지이용 배출량 (수원시 2030년 배출량, ton/year)

지역	분석 시나리오별 CO_2 배출량(ton/year)		증감량	증감율(%)
	BAU	대안(노면전차)		
권선구	625,007.1	625,094.9	87.9	0.014%
영통구	741,921.5	741,925.1	3.6	0.000%
장안구	592,884.5	592,991.2	106.7	0.018%
팔달구	674,576.3	674,639.6	63.3	0.009%
수원시 합계	**2,634,389.3**	**2,634,650.8**	**261.5**	**0.010%**

(나) 도시스케일 도로교통 측면의 배출량 산정 결과

- <표 1-8-32>와 <표 1-8-33>에서 보는 바와 같이 도시스케일의 도로교통 측면의 배출량은 대안인 노면전차 시나리오에서 교통량이 감소하여 도로교통 측면의 배출량이 감소하였음. 구별로 보면 영통구만 대안 시나리오에서 교통량이 증가하였고 각 오염물질의 배출량이 감소하는 것으로 나타남
- CO_2 배출량은 1일 기준 약 44.0 ton 감소하는 것으로 분석되었음
- CO 배출량은 1일 기준 0.08ton 감소하는 것으로 분석되었음
- NOx 배출량은 1일 기준 0.11 ton 감소하는 것으로 분석되었음
- PM 배출량은 1일 기준 0.006 ton 감소하는 것으로 분석되었음

<표 1-8-32> 도시스케일_교통량 (수원시 2030년 교통량, 대/일)

지역	분석 시나리오별 통행량 (대/일)		증감량	증감율(%)
	BAU	대안(노면전차)		
권선구	34,860,578	34,613,837	-246,741.0	-0.708%
영통구	15,215,997	15,218,695	2,698.3	0.018%
장안구	8,650,349	8,577,777	-72,571.9	-0.839%
팔달구	10,347,647	10,101,949	-245,698.7	-2.374%
수원시 합계	**69,074,571**	**68,512,258**	**-562,313.3**	**-0.814%**

<표 1-8-33> 도시스케일_도로교통 배출량 (수원시 2030년 배출량, ton/일)

지역	분석 시나리오별 CO_2 배출량(ton/일)		CO_2 증감량	증감율(%)
	BAU	대안(노면전차)		
권선구	2,541.2	2,508.2	-32.9	-1.296%
영통구	1,571.2	1,579.4	8.1	0.517%
장안구	1,198.3	1,190.1	-8.2	-0.687%
팔달구	805.1	794.2	-10.9	-1.355%
수원시 합계	**6,115.8**	**6,071.8**	**-44.0**	**-0.719%**
지역	분석 시나리오별 CO 배출량(ton/일)		CO 증감량	증감율(%)
	BAU	대안(노면전차)		
권선구	4.71	4.65	-0.06	-1.372%
영통구	3.23	3.25	0.02	0.665%
장안구	2.44	2.42	-0.02	-0.829%
팔달구	1.71	1.69	-0.02	-1.168%
수원시 합계	**12.10**	**12.02**	**-0.08**	**-0.689%**
지역	분석 시나리오별 NOx 배출량(ton/일)		NOx 증감량	증감율(%)
	BAU	대안(노면전차)		
권선구	6.58	6.49	-0.09	-1.321%
영통구	4.16	4.18	0.02	0.561%
장안구	3.18	3.16	-0.02	-0.714%
팔달구	2.16	2.13	-0.03	-1.320%
수원시 합계	**16.07**	**15.95**	**-0.11**	**-0.714%**
지역	분석 시나리오별 PM 배출량(ton/일)		PM 증감량	증감율(%)
	BAU	대안(노면전차)		
권선구	0.275	0.270	-0.005	-1.645%
영통구	0.172	0.173	0.001	0.490%
장안구	0.131	0.130	-0.001	-0.823%
팔달구	0.090	0.089	-0.001	-1.295%
수원시 합계	**0.668**	**0.662**	**-0.006**	**-0.887%**

(다) 도시스케일 도로교통 측면의 배출량 산정 결과

- <표 1-8-34>와 <표 1-8-35>에서 보는 바와 같이 지구스케일의 도로교통 측면의 배출량은 대안인 차 없는 거리와 출근시차제 시나리오에서 교통량이 감소하여 도로교통 측면의 배출량이 감소하였음
- CO_2 배출량은 차 없는 거리의 경우 오전 첨두 2시간 동안 약 17.9 ton 감소하는 것으로 분석되었고, 출근시차제의 경우 오전 첨두 2시간 동안 약 12.7 ton 감소하는 것으로 분석되었음
- CO 배출량은 차 없는 거리의 경우 오전 첨두 2시간 동안 약 0.043 ton 감소하는 것으로 분석되었고, 출근시차제의 경우 오전 첨두 2시간 동안 약 0.034 ton 감소하는 것으로 분석되었음
- NOx 배출량은 차 없는 거리의 경우 오전 첨두 2시간 동안 약 0.049 ton 감소하는 것으로 분석되었고, 출근시차제의 경우 오전 첨두 2시간 동안 약 0.036 ton 감소하는 것으로 분석되었음
- PM 배출량은 차 없는 거리의 경우 오전 첨두 2시간 동안 약 0.0019 ton 감소하는 것으로 분석되었고, 출근시차제의 경우 오전 첨두 2시간 동안 약 0.0014 ton 감소하는 것으로 분석되었음

<표 1-8-34> 지구스케일_교통량 (수원시 2013년 교통량, 오전첨두 2시간)

지역	분석 시나리오별 통행량 (대/2시간)			증감량		증감율(%)	
	BAU	대안1 (차없는 거리)	대안2 (출근시차제)	대안1 -BAU	대안2 -BAU	(대안1-BAU) /BAU	(대안2-BAU) /BAU
권선구	1,201,973	1,190,732	1,198,876	-11,241.0	-3,097.0	-0.935%	-0.258%
영통구	1,194,284	1,183,184	1,191,233	-11,100.0	-3,051.0	-0.929%	-0.255%
장안구	2,364,202	2,342,251	2,350,141	-21,951.0	-14,061.0	-0.928%	-0.595%
팔달구	3,312,185	3,217,311	3,304,018	-94,874.0	-8,167.0	-2.864%	-0.247%
수원시	**8,072,644**	**7,933,478**	**8,044,268**	**-139,166.0**	**-28,376.0**	**-1.724%**	**-0.35%**

<표 1-8-35> 지구스케일_도로교통 배출량 (수원시 2013년 배출량, ton/2시간)

지역	분석 시나리오별 CO_2 배출량(ton/2hr)			CO_2 증감량		증감율(%)	
	BAU	대안1 (차없는 거리)	대안2 (출근시차제)	대안1-BAU	대안2-BAU	(대안1-BAU)/BAU	(대안2-BAU)/BAU
권선구	199.8	196.0	196.9	-3.8	-2.9	-1.891%	-1.441%
영통구	176.3	172.9	173.6	-3.5	-2.8	-1.967%	-1.569%
장안구	238.1	233.5	233.2	-4.6	-4.9	-1.939%	-2.053%
팔달구	143.9	137.9	141.8	-6.0	-2.2	-4.166%	-1.510%
수원시	**758.2**	**740.3**	**745.5**	**-17.9**	**-12.7**	**-2.356%**	**-1.676%**
지역	분석 시나리오별 CO 배출량(ton/2hr)			CO 증감량		증감율(%)	
	BAU	대안1 (차없는 거리)	대안2 (출근시차제)	대안1-BAU	대안2-BAU	(대안1-BAU)/BAU	(대안2-BAU)/BAU
권선구	0.408	0.398	0.400	-0.009	-0.008	-2.296%	-1.953%
영통구	0.333	0.325	0.326	-0.008	-0.007	-2.447%	-2.155%
장안구	0.485	0.473	0.472	-0.012	-0.012	-2.398%	-2.574%
팔달구	0.286	0.272	0.280	-0.014	-0.006	-4.804%	-2.082%
수원시	**1.511**	**1.468**	**1.477**	**-0.043**	**-0.034**	**-2.836%**	**-2.221%**
지역	분석 시나리오별 NOx 배출량(ton/2hr)			NOx 증감량		증감율(%)	
	BAU	대안1 (차없는 거리)	대안2 (출근시차제)	대안1-BAU	대안2-BAU	(대안1-BAU)/BAU	(대안2-BAU)/BAU
권선구	0.529	0.519	0.521	-0.011	-0.008	-1.990%	-1.566%
영통구	0.460	0.450	0.452	-0.010	-0.008	-2.083%	-1.710%
장안구	0.631	0.618	0.617	-0.013	-0.014	-2.052%	-2.180%
팔달구	0.379	0.363	0.373	-0.016	-0.006	-4.312%	-1.643%
수원시	**1.999**	**1.950**	**1.963**	**-0.049**	**-0.036**	**-2.471%**	**-1.807%**
지역	분석 시나리오별 PM 배출량(ton/2hr)			PM 증감량		증감율(%)	
	BAU	대안1 (차없는 거리)	대안2 (출근시차제)	대안1-BAU	대안2-BAU	(대안1-BAU)/BAU	(대안2-BAU)/BAU
권선구	0.0205	0.0201	0.0202	-0.0004	-0.0003	-1.968%	-1.520%
영통구	0.0174	0.0171	0.0171	-0.0004	-0.0003	-2.118%	-1.734%
장안구	0.0248	0.0243	0.0243	-0.0005	-0.0006	-2.176%	-2.276%
팔달구	0.0146	0.0140	0.0144	-0.0006	-0.0002	-4.297%	-1.502%
수원시	**0.0774**	**0.0755**	**0.0760**	**-0.0019**	**-0.0014**	**-2.508%**	**-1.807%**

마. 미시기반 도시교통 배출량 산정 프로그램 개발

(1) 개발 배경

○ 연산시간과 저장 공간 문제 해결 필요

- 대상지역의 규모가 큰 경우 미시기반으로 개별 차량의 배출량을 산정하는 것은 데이터 용량과 연산 시간의 문제가 발생함

· 차량별 초당주행속도자료를 추정하는 부분에서 연산 시간이 크게 소요되며 MATSIM의 원자료와 추정된 초당 주행속도자료량이 상당함

· 개별 차량의 초당 배출량을 산정하는 부분의 연산 시간이 많이 소요됨

○ 한국과 미국의 차량 년식별 배출규제의 차이 반영 필요

- 국내차량과 미국에서 주행하는 차량의 크기, 연료 사용 등은 반영하여 MOVES의 미시기반 배출계수를 국내에 맞게 보정하였으나, 차량 제조년별 배출규제의 차이를 반영하지는 못하였음

- MOVES의 배출계수는 년식별 배출규제를 반영하여 구축된 데이터베이스이므로 배출규제 기준이 비슷한 차량의 배출계수를 사용할 필요성이 있음

○ 미시기반 배출량 산정방법론과 교통모형의 효율적인 결합 관련 연구

- 개별 차량의 초단위 속도자료인 주행궤적(Driving Cycle)을 입력하여 배출량을 산정하는 기능도 있으나, 개별 차량수대로 MOVES를 실행하여야 하므로 교통네트워크 분석시에는 도로의 종류와 평균속도에 따른 배출량 산정 방법을 사용하고 있음

- DTALite은 메조 교통시뮬레이션 모형으로 거시적 모형과 미시적 모형의 중간 정도라고 볼 수 있음. 대규모 네트워크 분석이 가능하면서 다양한 교통 계획과 운영적인 정책의 분석이 가능하다는 장점이 있음

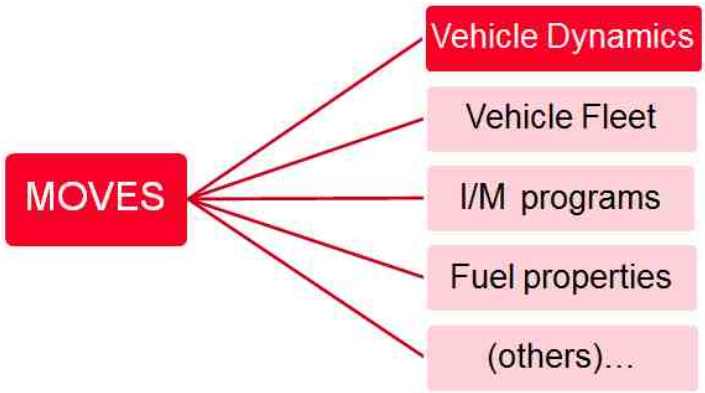
- 노스캐롤라이나 주립대학교(North Carolina State University)의 MOVES(Motor Vehicle Emission Simulator) Lite 개발

· 미국 환경청(US-EPA)에서 배출량 규제를 위해 MPO(Metropolitan Planning Organization, 도시계획 위원회)에 사용하도록 하는 MOVES는 교통상황 변화와 차종, 차량 정기 검사제도, 연료의 화합물의 특성, 기후 조건 등 다양한 조건을 고려해서 배출량을 평가할 수 있도록 만들어진 프로그램으로 많은 수의 입력 데이터가 요구되며 분석 시간 또한 오래 걸림

· 차량의 배출량 분석 시 MOVES는 매우 유용하나, 교통공학에서 많이 활용되는 교통 시뮬레이션 프로그램과 연계하여 사용하는 데에는 한계가 있고 교통상황의 변화만을 고려하고자 하는 경우 MOVES를 사용하는 것은 비효율적인 면이 있음

· 두 개의 프로그램이 연계되었을 겨우 사용자가 편리하고 정확하게 차량의 배출량을 분석할 수 있기 때문에 NCSU에서 교통시뮬레이션 프로그램과 연계하여 사용할 수 있도록 MOVES를 간략화한 MOVES Lite를 만듦

· 배출량 결과에 대한 정확도와 민감도를 검증하는 절차를 거쳐 개발하였으며, MOVES Lite을 사용한 결과 MOVES를 이용하는 분석시간에 비하여 약 3,000배 빠르게 배출량을 산출할 수 있다는 결과를 얻음



<그림 1-8-34> MOVES에서 고려하는 배출량 변화 요인

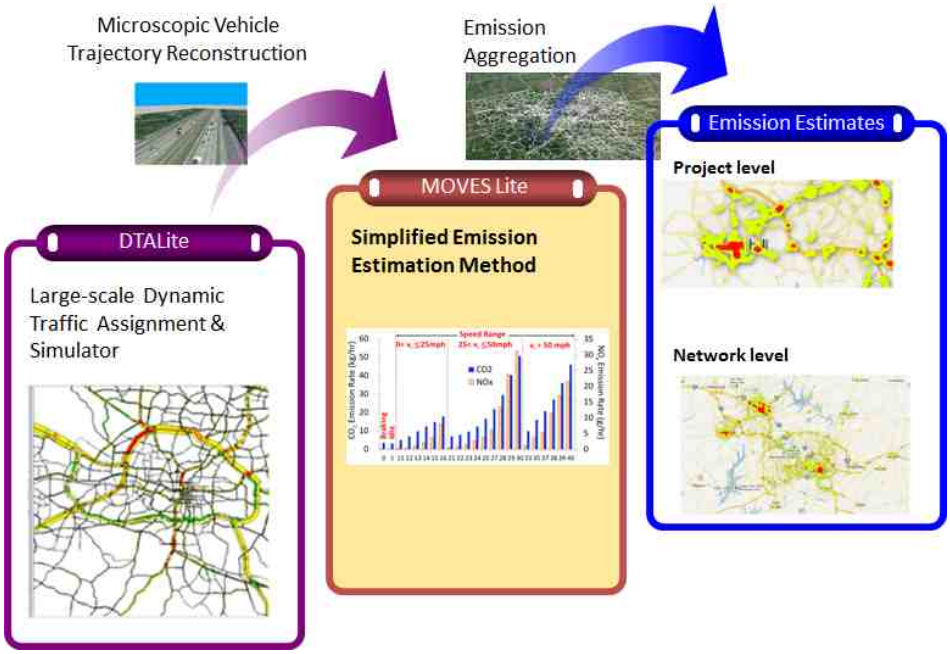
- MOVES Lite과 교통시뮬레이션 프로그램 DTALite과 연계

· DTALite은 대규모 네트워크에서 다양한 도시 교통 정책을 평가할 수 있는 메조(거시적 모형과 미시적 모형의 중간형태) 교통 시뮬레이션 소프트웨어임

· 이 프로그램과 MOVES Lite를 통합함으로써, 교통 시뮬레이션 프로그램 내에서 배출량 산정이 자동으로 이루어지게 함

· 배출량 산정 프로그램을 개별적으로 사용하지 않아도 신뢰성 높은 배출량 산정 결과를 얻을 수 있음

· 배출량 산정을 위한 입력 자료 준비 시간과 분석에 필요한 시간을 단축할 수 있음



<그림 1-8-35> MOVES Lite과 DTALite과 연계를 통한 배출량 분석

○ NCSU와의 국제협력연구를 통한 프로그램의 기능 향상 방안

- 미국의 배출계수를 국내에 적용하는 과정에서 필요한 배출계수 보정 절차 보완
- 개별차량 초당 주행 속도 자료 추출 방법론에 대한 보완
- 데이터 용량 및 연산 시간 감소시켜 대상 지역이 큰 경우에도 적용할 수 있도록 개선함
- 교통시뮬레이션 프로그램 내에서 배출량 산정이 동시에 이루어질 수 있도록 개선하여, 사용자 보다 쉽고 빠르게 배출량에 대한 평가를 할 수 있도록 함
- 대규모 네트워크에서 다양한 도시 교통 정책을 평가할 수 있는 메조 교통 시뮬레이션 모형에의 적용

(2) 운행모드 기반 배출량 산정 방법론 개선안

(가) MOVES Lite - K 개발 방안

- NCSU와의 국제협력 연구를 통하여 MOVES Lite를 한국형으로 개발하여 활용
- <그림 1-8-36>은 MOVES Lite 개발절차에 한국의 차량 특성과 배출 특성을 반영하기 위한 방향을 나타내었음
- 우리나라 차종정보 반영(Fleet & Ambient Data)

· 11개의 대표 차종의 점유 비율을 반영하여 기본 배출계수를 산정하는데 사용

· 차량 등록정보 활용

· 차종 비율은 Cycle Correction Factor를 구하는 데 사용됨

- 기본 주행 궤적(Base Cycle) 선택

· 미국의 Federal Test Procedure 대신 한국의 주행특성을 반영한 국립환경과학원의 NIER 주행모드 중 선택하여 사용

· NIER 주행모드는 LDV(Light duty vehicle), UB(Urban bus), MDT(Medium duty truck, HDT(Heavy duty truck) 등으로 구분되어 평균주행속도별 주행궤적이 있음

· 11개의 대표 차종별로 해당되는 대표 차종별 대표 NIER 주행모드 선택

- 기본 배출계수 (Base Emission Rate) 산정

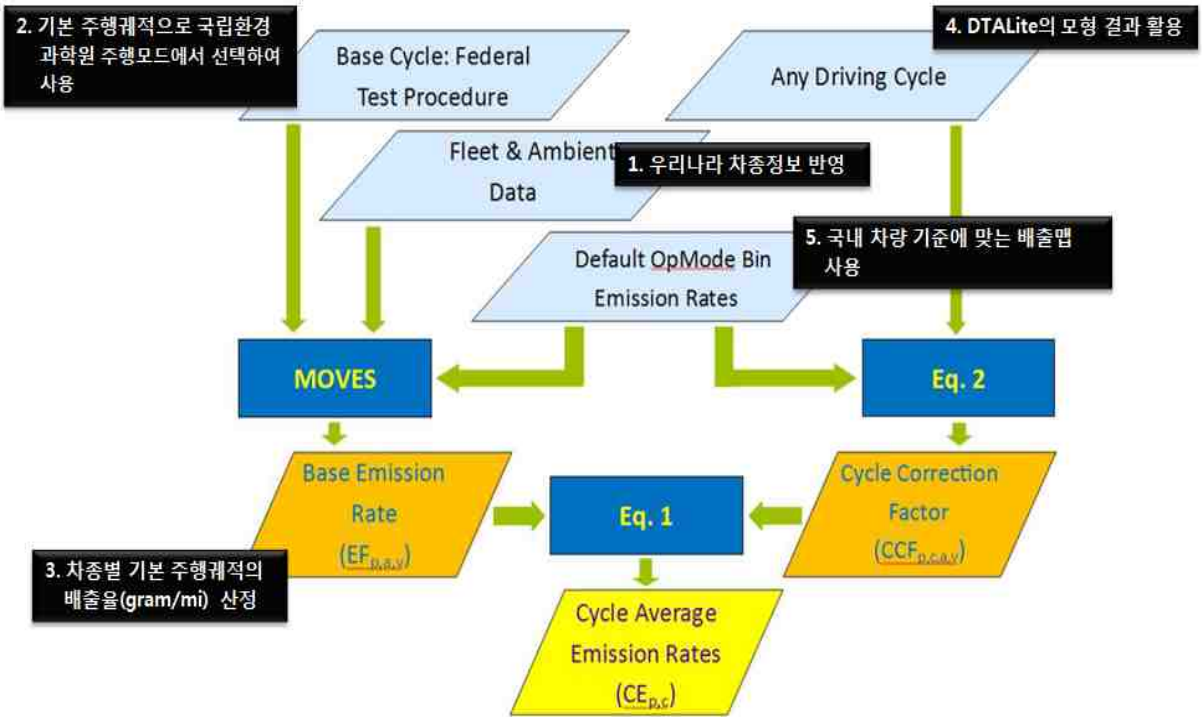
· 11개의 대표 차종별로 선택한 기본 주행궤적의 배출율(gram/km)를 산정

- 교통모형에서 주행궤적(Any Driving Cycle)을 추출하여 사용

· 교통 시뮬레이션 모형에서 나오는 주행궤적 정보를 이용하는 부분으로 NCSU는 DTALite의 결과를 분석하였음

- 국내차량 기준에 맞는 운행모드 기반 배출율 표(Default Opmode Bin Emission Rates)를 선택

· 한국의 배출기준과 MOVES의 차량의 배출기준을 비교하여 미국차량의 배출규제와 한국차량의 배출규제를 비교하여 비슷한 특성을 가진 차량 연식의 OPmode 배출율표를 MOVES에서 선택하여 사용



$$CE_{p,c} = \sum_{v} \left\{ \left[\sum_{a} (EF_{p,b,a,v} \times CCF_{p,c,a,v} \times f_{a,v}) \right] \times f_{v} \right\} \quad (1)$$

$CE_{p,c,}$	=	cycle average emission factor for pollutant p, for any arbitrary driving cycle c, for a fleet of vehicles with mixed types and ages, gram/mi
$EF_{p,b,a,v}$	=	base emission rate for pollutant p, for base cycle b, age a, vehicle type v, gram/mi
$CCF_{p,c,a,v}$	=	cycle correction factor for pollutant p, driving cycle c, age a, vehicle type v
$f_{a,v}$	=	age fraction for age a and vehicle type v
f_{v}	=	vehicle type fraction for vehicle type v

$$CCF_{p,c,a,v} = \left(\frac{\left(\sum_{m} f_{m}^{c} \times ER_{p,a,v,m}\right)}{\left(\sum_{m} f_{m}^{b} \times ER_{p,a,v,m}\right)} \right) \left(\frac{V^{b}}{V^{c}} \right) \quad (2)$$

$ER_{p,a,v,m}$	=	default emission rate for pollutant p, age a, vehicle type v, in operating mode bin m, g/hr
f_{m}^{c}	=	fraction of time in OpMode bin m in cycle c
f_{m}^{b}	=	fraction of time in OpMode bin m for base cycle b
V^{c}	=	cycle average speed for cycle c, mph
V^{b}	=	cycle average speed for base cycle b, mph

<그림 1-8-36> MOVES Lite-K 개발 방안

(나) 대표차종 선택

- 차종과 사용연료를 고려하여 11개 대표 차량을 선정함
- MOVES의 차종 중 다음 표의 6개의 차종을 대표차종과 가장 근접한 차종으로 선택

<표 1-8-36> 대표차종과 가장 근접한 MOVES차종

#	차종	MOVES_regulatory class
1	승용차 경형-휘발유	(1) PC-gasoline
2	승용차 소형-휘발유	
3	승용차 중대형-휘발유	
4	승용차 경형-경유	(2) PC-diesel
5	승용차 소형-경유	
6	승용차 중대형-경유	
7	버스 대형-경유	(3) Transit Bus-diesel
8	버스 대형-CNG	(4) Transit Bus-CNG
9	트럭 소형-경유	(5) PT-truck
10	트럭 중형-경유	
11	트럭 중형-경유	(6) Light commercial truck 또는 Short Haul Truck

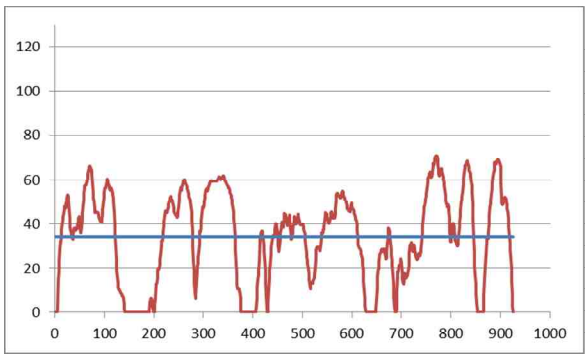
(다) 기본 주행 궤적(Base Cycle)

- NCSU에서 대표주행주기로 사용한 FTP75는 미국의 주행특성을 반영하여 차량 인증시 사용함
- 국내에서 사용하는 인증용 주행주기는 외국의 것을 사용하며, 차량별로 측정된 배출량 값에 대한 데이터가 없음
- 국립환경과학원의 NIER 주행궤적은 한국의 주행패턴을 반영하여 차종별로 배출율을 산정하기 위하여 개발한 주행 모드로서 차종별 속도별로 구성되어 있음
- <표 1-8-37>에 보이는 바와 같이 차종별로 저속부터 고속의 평균속도에 따라 주행궤적이 있으며, 최대 15개 주행궤적이 있음
- 각 차종별 대표 주행궤적(Base Cycle)으로 NIER 09번을 선택함. 각 차종의 NIER 09번 주행궤적은 35km/h 근처의 유사한 속도를 보이며, <그림 1-8-37>에 보이는 바와 같이 차량의 다양한 운행상황을 포함하고 있는 주행 사이클임

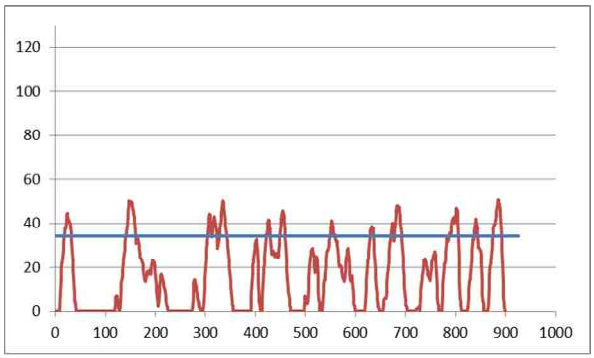
<표 1-8-37> 국립환경과학원 NIER 주행궤적 정보

Light Duty Vehicle				Medium Duty Truck				Heavy Duty Truck			
Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)	Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)	Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)
n01	4.7	873	1.15	n01	4.7	908	1.19	n01	4.6	875	1.11
n03	10.8	878	2.63	n02	7.6	928	1.97	n02	7.2	871	1.74
n05	17.3	861	4.14	n03	10.4	937	2.7	n03	10.6	881	2.59
n07	24.6	875	5.99	n05	13.4	894	3.33	n04	14	902	3.52
n09	**34.1**	**926**	**8.77**	n06	19.7	904	4.95	n05	17.2	892	4.27
n12	64	840	14.95	n07	23.5	891	5.86	n06	19.8	891	4.91
n13	77.3	849	18.25	n08	28	915	7.11	n07	24.2	863	5.8
n14	93.5	917	23.84	**n09**	**35**	**937**	**9.13**	n08	27.8	873	6.75
n15	108.5	935	28.2	n10	45	955	11.96	**n09**	**34.4**	**851**	**8.13**
				n11	55.2	833	12.79	n10	45	955	11.96
				n12	63.4	913	16.1	n11	55.2	833	12.79
				n13	78.1	846	18.38	n12	63.4	913	16.1
				n14	91.2	875	22.2	n13	77.8	914	19.78
				n15	104.3	902	26.17	n14	91.9	921	23.55
								n15	103.8	956	27.59

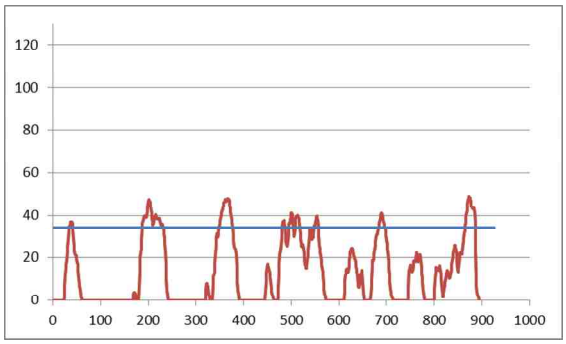
Medium Duty Bus				Urban Bus			
Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)	Trace ID	Ave. Speed (kph)	Time (Sec)	Dist. (km)
n01	4.6	872	1.11	n01	4.6	891	1.13
n02	7.4	905	1.87	n02	7.7	910	1.94
n03	11.3	904	2.85	n03	10.6	900	2.64
n05	16.6	890	4.1	n04	14.1	880	3.45
n06	20.2	872	4.89	n05	16.3	899	4.08
n07	23.6	872	5.73	n06	19.9	919	5.08
n08	28.1	910	7.11	n07	24.2	892	6
n09	**35.3**	**905**	**8.88**	n08	27.8	887	6.86
n10	44.5	873	10.81	**n09**	**32.3**	**925**	**8.32**
n11	54.5	919	13.94	n10	37.8	890	9.35
n12	65.9	867	15.88	n11	42.7	865	10.28
n13	78.6	992	21.69	n12	47.3	898	11.81
n14	91.6	1024	26.09				
n15	105.3	1018	29.8				



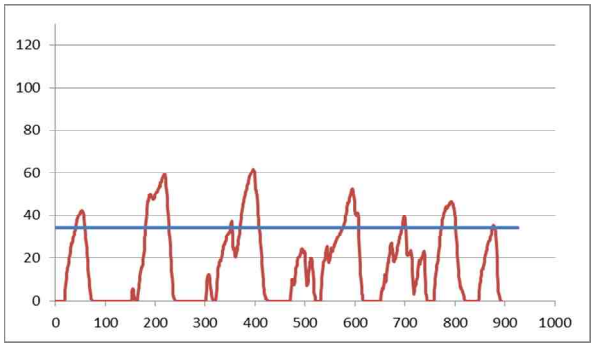
Light Duty Vehicle NIER 09
(Passenger car, small Truck)



Urban Bus NIER 09
(Bus)



Medium Duty Truck NIER 09
(Medium Truck)



Heavy Duty Truck NIER 09
(Big Truck)

<그림 1-8-37> 차종별 NIER 09 모드의 주행궤적

(라) 기본 배출계수(Base Emission Rate)

- 배출율 곡선식은 차량 동력기에서 NIER mode로 주행한 차량의 배출량 값을 기준으로 만들어진 식으로 세부 차종별, 연식별 (배출규제기준 고려)로 배출량 값이 달라짐
- 이 곡선식을 이용하여 각 차종의 Base cycle의 평균속도에 해당하는 배출율을 구한 기본 배출계수(Base Emission Rate)은 다음 표와 같음

<표 1-8-38> 차종별 기본 배출계수

차종	MOVES 차종	대표주행궤적 (Base Cycle)	평균속도 (km/h)	Cycle Emission rate (gram/km)			
				CO2	CO	NOx	PM10
승용차 경형-휘발유	PC-gasoline	LDV NIER 09	34.1	118.537	0.127	0.027	0
승용차 소형-휘발유				158.068	0.385	0.061	0
승용차 중대형-휘발유				208.842	0.289	0.04	0
승용차 경형-경유	PC-diesel	LDV NIER 09	34.1	118.537	0.206	0.741	0.064
승용차 소형-경유				142.739	0.206	0.741	0.064
승용차 중대형-경유				174.345	0.206	0.741	0.064
버스 대형-경유	Transit Bus-diesel	UB NIER 09	32.3	766.957	2.839	10.94	0.217
버스 대형-CNG	Transit Bus-CNG			721.522	4.925	5.715	0
트럭 소형-경유	PT-truck	LDV NIER 09	34.1	218.566	0.143	0.211	0.027
트럭 중형-경유		MDT NIER 09	35	423.789	1.080	2.999	0.072
트럭 중형-경유	Light commercial truck or Short Haul Truck	HDT NIER 09	34.4	1610.116	2.471	14.41	0.309

(마) 교통모형에서 주행궤적(Any Driving Cycle)을 추출하여 사용

- 국제협력연구에서는 DTALite 시뮬레이션 모형 활용하며 개발된 추출방식 활용

· 각 차종의 주행궤적을 추정

· VSP를 산정하고 운행모드를 찾음

· 차종에 해당하는 배출계수를 찾아 배출량을 산정함

· 링크, 경로, 네트워크 전체에 대하여 합산함

(바) 국내차량 기준에 맞는 운행모드 기반 배출율 표(Default Opmode Bin Emission Rates) 선택

- 국내차량과 미국 차량의 배출규제를 비교한 결과 최근의 한국의 배출규제는 미국과 매우 근접하기 때문에 2014년 기준 운행모드 기반 배출율 표를 사용함

(3) MOVES Lite-K 적용

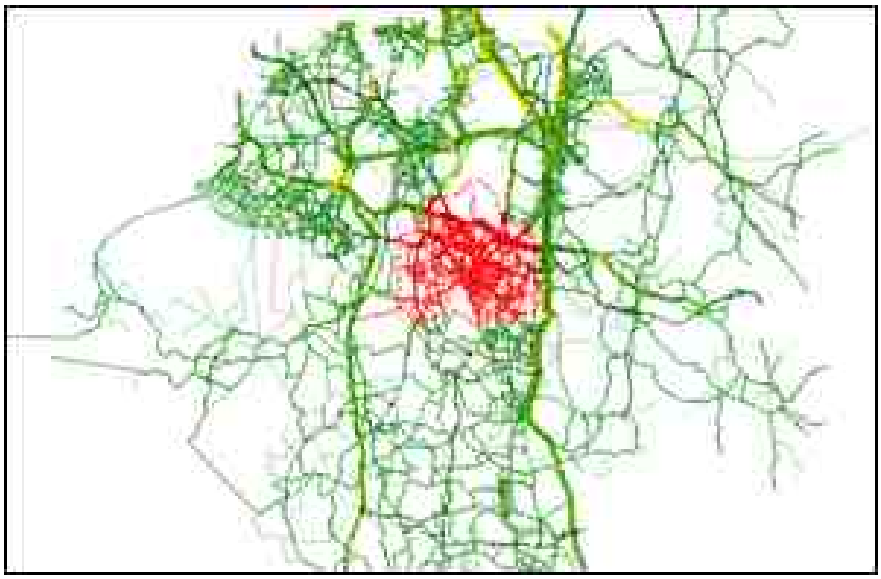
(가) DTALite에 MOVES Lite-K 탑재

- MOVES Lite-K가 DTALite에서 수행될 수 있도록 DTALite 프로그램을 수정함
- 시범도시(수원시) 네트워크를 DTALite 네트워크로 구축하여 기능을 검증함

(나) 시범도시(수원시) 네트워크 구축

① 자료 수집 및 수원시 네트워크 추출

- 수원시 교통 네트워크 자료를 수집 : 수도권 네트워크 정보, 교통 수요, 수원시 행정구역 정보를 수집함
- 수원시 교통 네트워크 구축 : TransCad에서 수원시에 해당하는 부분의 네트워크를 추출함



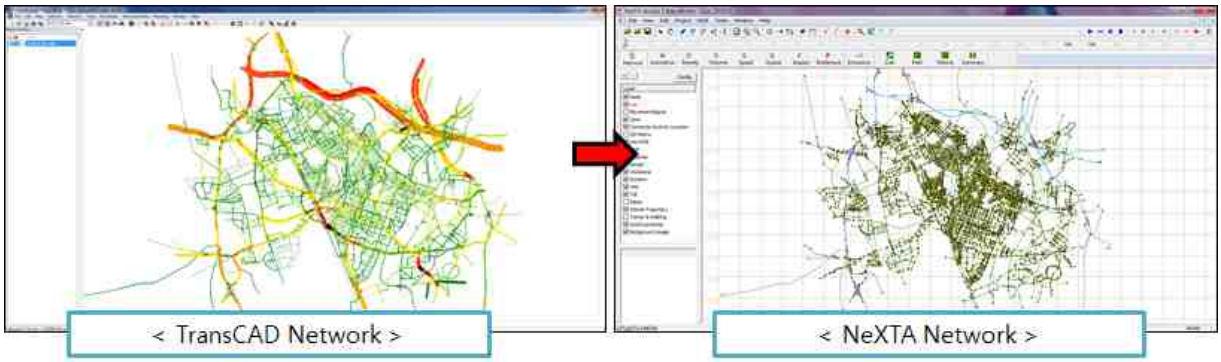
<그림 1-8-38> 수도권 네트워크에서 수원시 네트워크 추출

② DTA Lite 수원시 네트워크 구축

- DTALite이라는 메조 교통 시뮬레이션 모형으로 테스트베드 네트워크 구축
- TransCAD 네트워크 파일을 GIS 포맷으로 추출하여 DTALite의 GUI인 NeXTA 프로그램으로 불러들여 DTALite 네트워크를 구축함

· 421개 센트로이드, 4,829개 노드는 NeXTA에서 TransCAD 네트워크의 센트로이드, 노드 수와 동일하게 생성되었음

· 링크의 경우, TransCAD는 한 개 링크가 양방향 속성을 가지고 있으며 NeXTA에서는 한 개 링크가 한 방향 속성을 갖게 되어 14,170개의 링크가 생성되었음



<그림 1-8-39> 수원시 DTALite 네트워크 구축

- NeXTA 프로그램에서 통행 배정을 하는데 있어 링크별 혼잡밀도(Jam density)와 충격파 속도(Wave speed)가 필요하나 TransCAD 네트워크에는 이들 속성이 없기 때문에 링크 타입 별로 용량과 자유속도를 바탕으로 계산하여 추가하였고 그 외 기존 링크 속성은 그대로 반영하였음
- 혼잡밀도를 반영함에 있어 기존 9개 링크 타입 분류를 5개 링크 타입(고속도로, 간선도로, 집분산도로, 램프, 센트로이드 커넥터)으로 조정하였음
- 네트워크 Import 과정에서 다수의 링크가 기존의 위치와 다른 위치로 Import 되는 오류가 발생하였으나 TransCAD 네트워크의 '시작 노드(From Node ID)'와 '도착 노드(To Node ID)' 정보를 추출하여 링크 위치를 바로 잡음
- 분석 범위가 도로를 대상으로 하기 때문에 철도 네트워크는 제거하였음

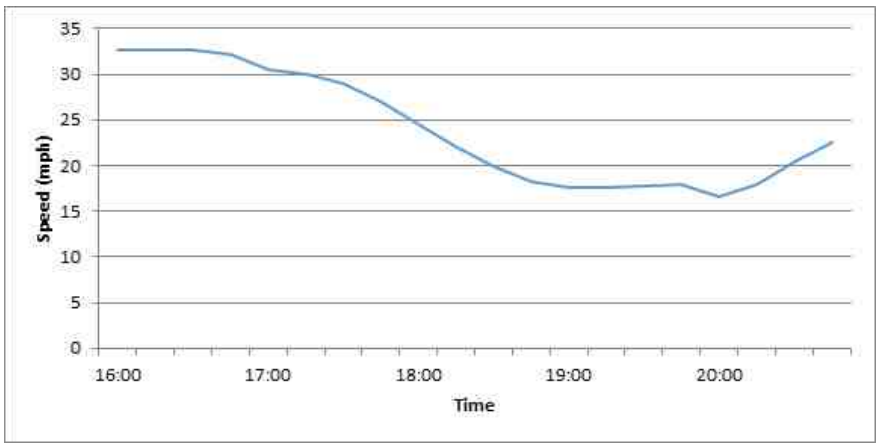
③ 통행배정 후 링크 통행량 검토

- TransCAD에서 네트워크와 OD 정보를 이용하여 통행 배정한 결과와 DTA Lite 네트워크로 통행 배정한 결과를 유사한 결과를 보이므로 네트워크 전환에 이상이 없음을 확인함

④ Baseline(기준 대안) 네트워크 교통특성 분석

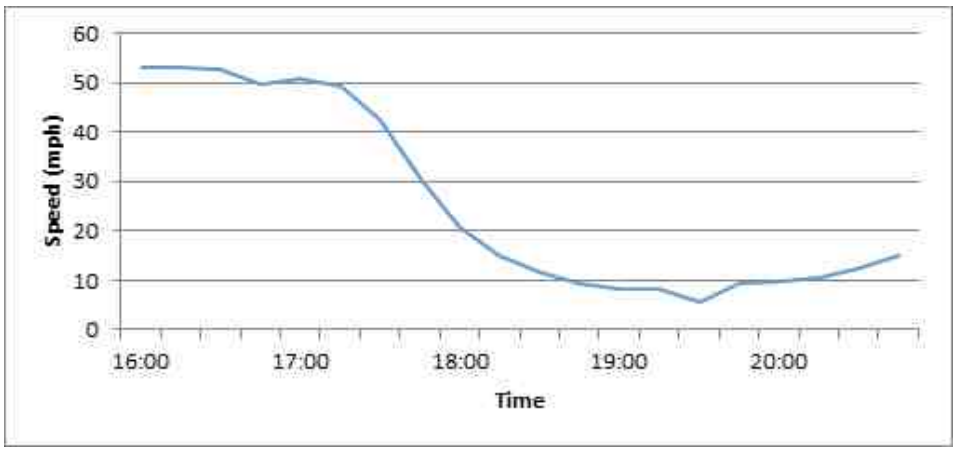
- DTALite 시뮬레이션 모형 적용을 위해 네트워크를 구축하고 구축된 네트워크가 실제 도로의 교통량, 속도 패턴을 잘 모사하도록 정산 과정을 수행하여 대안 분석의 비교대상이 되는 베이스라인 네트워크와 수요가 결정됨
- 총 336개 센트로이드와 13,050개의 방향별 링크를 가짐
- 정산이 완료된 네트워크에 수요를 통행 배정하여 교통량, 속도 등 네트워크의 현재 상태를 확인함
- 시뮬레이션 결과, 첨두 수요가 시작되는 18시 부터 영동고속도로에 교통 정체가 발생하고 영통2동 주변, 세류동, 권선동 주변에서 정체가 나타남
- 수요의 증가와 감소에 따라 통행속도의 변화가 나타남

- 시뮬레이션 결과 네트워크 평균 통행 속도는 33 mph에서 17시 이후로 교통량 증가에 따라 속도가 감소하기 시작하여 정체 구간이 증가하였음. 19시부터 20시까지 18 mph 수준까지 감소한 후 20시 이후 속도의 회복을 보임



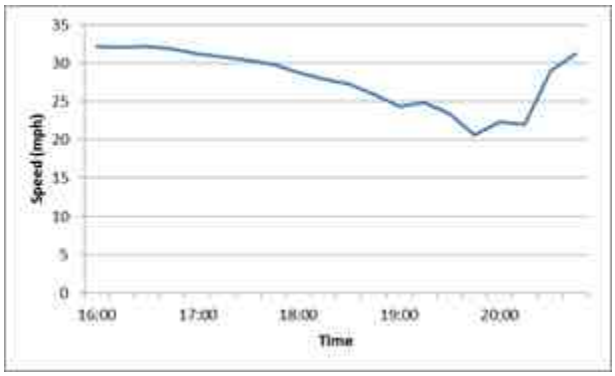
<그림 1-8-40> 네트워크 평균 통행 속도 패턴

- 수원시 네트워크에는 영동 고속도로, 용인-서울 고속도로, 봉담-동탄 고속도로의 일부 구간을 포함하고 있으며 이 중 영동 고속도로는 도로 용량(5700 veh/hr) 수준의 교통량을 처리하고 있으며 정체도 가장 심함
- 영동고속도로의 평균 통행속도는 비첨두 시간에는 52 mph였다가 첨두 시간에 8 mph 수준으로 감소하는 패턴을 보임

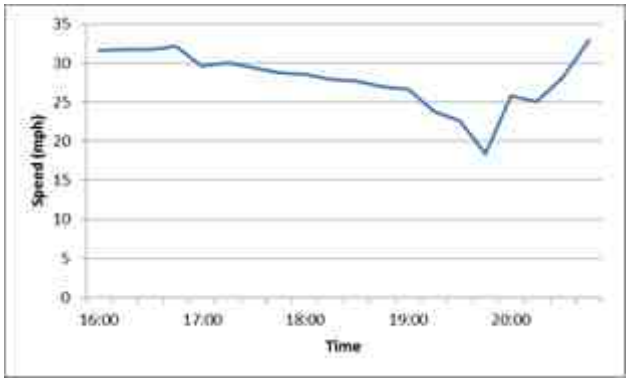


<그림 1-8-41> 영동고속도로 평균 통행속도 패턴

- 분석 범위 안의 주요 간선도로 국도 42호선, 43호선의 평균 통행속도는 33 mph 에서 20 mph 수준으로 감소하였다가 분석 시간 중 속도가 다시 증가하는 추세를 보임. 이는 현실에서 관측되는 속도와 유사한 경향을 가짐



국도 42호선



국도 43호선

<그림 1-8-42> 주요 간선도로의 평균 통행속도 패턴

(다) 탄소저감 대안 분석

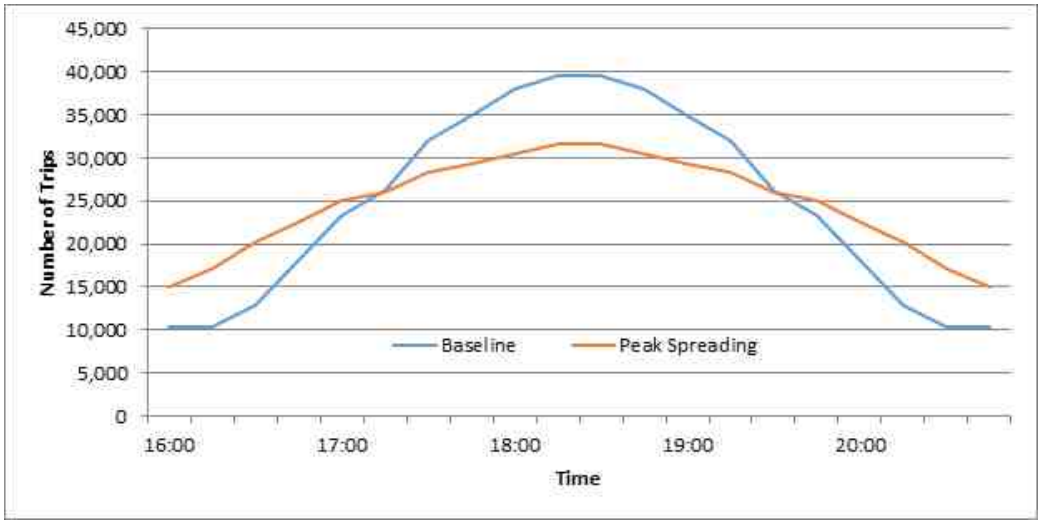
- 평균적인 오염물질 배출율은 일반적으로 차량 속도에 따라 포물선 패턴을 보이며, 저속과 고속의 주행 상태에서 오염물질 배출율이 크고 보통 수준 (30~40 mph)의 정속 주행 시에는 낮은 배출율을 보임
- 따라서, 교통 운영 주체와 의사 결정자는 교통운영전략을 통해 교통 정체를 해소하고 통행 패턴을 일부 조절하여 정체를 해소하고 소통을 원활하게 할 뿐만 아니라 네트워크의 대기 오염물질 배출량 수준도 낮추는 효과를 거둘 수 있음
- 다음의 4개 교통운영전략을 수원시에서 시행할 경우에 대하여 DTALite으로 분석한 효과 분석 결과를 정리하여 나타내었음

① 대안 1 : 첨두 집중율 완화 (Peak Spreading, PS)

- 첨두 집중율 완화 전략은 운전자 출발 시간대를 이동하는 동적 수요 변화를 통해 첨두 시간의 첨두율을 낮추어 네트워크 용량이 효과적으로 사용되도록 하는 것임
- 개별 운전자가 교통 정보를 제공 받아 네트워크 및 이동경로의 통행 시간을 파악하여 첨두 시간을 피해 출발·도착 시간을 조절하도록 유도하는 전략
- 본 분석에서는 첨두 시간 수요 총 155,257 대의 20%에 해당하는 31,051대가 비첨두 시간으로 이동한다고 가정하여 시간대별 수요를 조정하였음
- <표 1-8-39>와 <그림 1-8-43>와 같이 조정된 수요는 Baseline 시나리오의 각 시간대별 수요 대비 첨두 시간대는 20% (31,051 veh/hr) 감소, 첨두 시간 전후 1시간 씩은 6.7% (7,763 veh/hr) 감소, 비첨두 시간대는 45.2% (23,288 veh/hr) 증가된 값임
- <표 1-8-40>에 첨두 집중율 완화 시나리오 적용으로 인한 효과 분석 결과인데, 네트워크의 평균 통행속도는 약 5 mph 증가하였으며, 차량-마일당 오염물질 배출량(g/veh/mile)은 4~7% 수준 감소하였음

<표 1-8-39> 첨두 집중율 완화 시나리오의 시간대별 수요

시 간	통행량 (vph)		변화율 (%)
	베이스라인	첨두 집중율 완화	
16:00 ~ 17:00	51,498	74,786	+ 45.2
17:00 ~ 18:00	116,443	108,680	-6.7
18:00 ~ 19:00	155,257	124,206	-20.0
19:00 ~ 20:00	116,443	108,680	-6.7
20:00 ~ 21:00	51,498	74,786	+ 45.2
합	491,139	491,139	0



<그림 1-8-43> 첨두 집중율 완화 시나리오 수요 패턴

<표 1-8-40> 첨두 집중율 완화 시나리오 결과

구분	속도 (mph)	평균 오염물질 배출량 (g/veh/mile)				
		CO_2	NOx	CO	HC	PM
베이스라인	22.0	355.1	1.840	1.280	0.1437	0.0835
PS	27.3	337.0	1.765	1.214	0.1337	0.0778

② 대안 2 : 차량 교체 (Fleet Replacement, FR)

- 차량의 오염물질 배출량은 연료 형태, 주행 행태, 차량 엔진의 영향을 받는데 이는 차량의 크기와 관련성이 크며 차량의 연식 또한 주요 변수임
- 노후되고 배기량이 큰 차량을 오염물질 배출을 줄일 수 있는 차량으로 교체하도록 정책적 지원과 규제를 고려할 수 있음
- 본 연구에서는 차량 연식에 대한 정보를 포함하지 않았지만 차량 크기의 변화에 대한 영향은 분석하였는데, 특히, 가솔린 중, 대형 승용차를 소형 차량으로 교체될 경우에 대한 효과를 분석

하였음

- <표 1-8-41>에 보는 바와 같이 차량 형태별 차량 대수 분포는 베이스라인에서 가솔린 소형 그리고 중, 대형 승용차가 각각 43,328대, 184,066대이나, 비교 대안에서는 가솔린 승용차 총 227,395대를 모두 가솔린 소형 승용차로 적용하여 시뮬레이션 함
- <표 1-8-42>에 나타낸 바와 같이 차량 교체로 인해 차량-마일 당 오염물질 CO, CO_2 배출량이 크게 감소하였으며 HC는 16% 증가하였음

<표 1-8-41> 차량 형태 분포

수요 형태	수요 형태별 차량 대수	연료 형태	크기	차량 대수	
				베이스라인	FR
승용차	316,265 (84.2%)	가솔린	소형	43,328 (13.7%)	227,395 (71.9%)
			중, 대형	184,066 (58.2%)	0
		디젤	소형	36,370 (11.5%)	36,370 (11.5%)
			중, 대형	52,500 (16.6%)	52,500 (16.6%)
버스	12,426 (3.3%)	디젤	-	9,904 (79.7%)	9,904 (79.7%)
		CNG	-	2,522 (20.3%)	2,522 (20.3%)
트럭	46.781 (12.5%)	디젤	소형	32,840 (70.2%)	32,840 (70.2%)
			중형	4,865 (10.4%)	4,865 (10.4%)
			대형	9,076 (19.4%)	9,076 (19.4%)

<표 1-8-42> 차량 교체 시나리오 결과

구분	속도 (mph)	평균 오염물질 배출량 (g/veh/mile)				
		CO_2	NOx	CO	HC	PM
베이스라인	22.0	355.1	1.840	1.280	0.1437	0.0835
FR	22.4	288.7	1.790	0.917	0.1664	0.0824

③ 대안 3 : 재차 인원 증가 (Increased Vehicle Occupancy, IO)

- 평균 재차 인원이 증가하면 네트워크의 총통행량 감소로 네트워크 용량을 보다 효과적으로 사용할 수 있음
- 재차 인원 증가를 위해 여러 가지 교통 운영 전략을 복합적으로 사용할 있음
- 대중교통의 스케줄, 위치 정보 등을 제공하여 일부 승용차 이용자가 버스를 이용하도록 수단 전환 유도
- HOV 차로 운영, 재차 인원에 따른 차등적 통행 요금, 다인승 차량의 주차 우대와 같이 정

책적으로 승용자 이용자가 다인승 차량을 이용하도록 유도할 수 있음

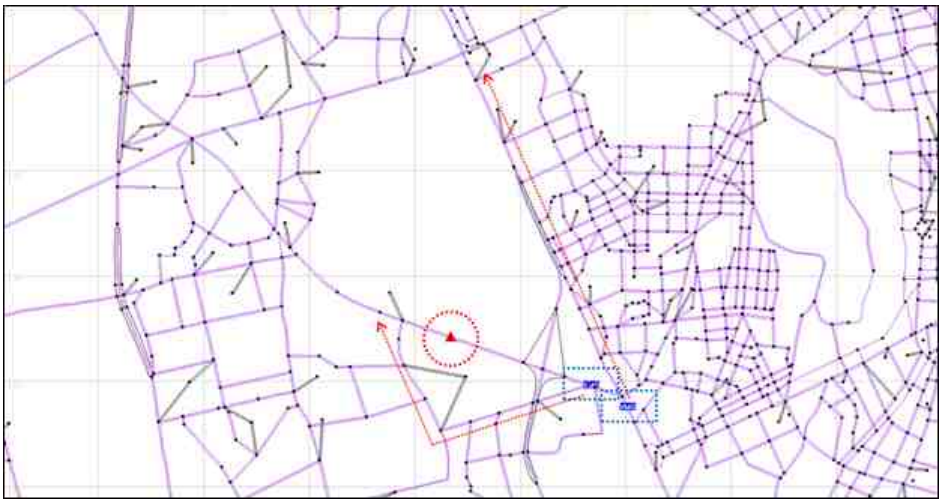
- 교통 정보 제공을 통해 카풀 이용을 증가시키고 우버와 같은 새로운 교통 서비스를 이용한다면 승용차 평균 재차 인원을 증가 시킬 수 있음
- 본 연구에서는 승용차와 버스 수요에 대해 10%의 재차인원 증가를 가정하였고 이를 통해 트럭을 포함한 네트워크 총 통행량은 약 9% 감소하게 됨
- <표 1-8-43>에 나타낸 바와 같이 재차 인원 증가 시나리오 적용 결과, 네트워크의 평균 통행속도는 약 2 mph 증가하였으나, 트럭 재차 인원과 수요가 동일하기 때문에 차량-마일당 오염물질 배출량은 베이스라인 대비 큰 차이를 보이지 않음

<표 1-8-43> 재차 인원 증가 시나리오 결과

구분	속도 (mph)	평균 오염물질 배출량 (g/veh/mile)				
		CO2	NOx	CO	HC	PM
베이스라인	22.0	355.1	1.840	1.280	0.1437	0.0835
IO	24.1	347.1	1.863	1.275	0.1415	0.0837

④ 대안 4 : 교통사고 관리 (Incident Management, INC)

- 교통사고는 비반복 혼잡 (non-recurrent congestion)의 주요 요인이며 사고 발생 경로의 혼잡 감소를 위해 효과적인 교통사고 관리가 필요함
- 교통사고로 인한 교통 혼잡은 통행 시간을 증가시키고 저속, 정체 교통 흐름은 오염물질 배출량에도 부정적 영향을 끼치게 됨
- 교통사고 관리 기법 중 교통정보제공 서비스는 가변정보표지(VMS), 라디오 방송, 웹기반 서비스 등을 통해 이뤄지며 이는 경로 변경을 유도하고 사고 도로를 통과하는 경로의 혼잡을 감소시킬 수 있음
- 본 연구에서는 교통량이 많고 교통사고 발생 시 심각한 혼잡이 예상되는 가상의 교통사고 발생 지점을 선정하였음
- 교통사고 발생 지점은 수원역 인근 42번국도 상 북쪽 방향의 지점에 위치하며 <그림 1-8-44>에 세모로 표시한 도로에서 교통사고가 발생하여 50% 용량 감소가 1시간동안 지속되었다고 가정하였음
- 사고 지점 상류부에 2개의 VMS를 설치하여 교통사고 지점을 2개 주요 대안 경로로 우회할 수 있도록 하였음
- 운전자의 70%가 VMS에 반응하여 통행 시간을 비교하여 경로를 전환하도록 설정하였음



<그림 1-8-44> 교통사고 관리 시나리오

- <표 1-8-44>를 보면 교통사고는 네트워크 평균 통행 속도는 44.6% 감소되었고 오염물질 배출량은 증가하였음
- VMS를 통해 대안 경로로 우회하도록 유도하여 총 633대 (7.1%)의 차량이 우회하였음
- <표 1-8-44>를 보면 VMS는 교통사고에 의한 사고 발생 링크의 정체는 개선하였으나 우회도로의 통행량 증가에 따른 통행 속도 감소로 네트워크 전체의 통행 속도에서는 아주 큰 차이를 보이지 않음
- 그러나, VMS를 통한 관리 전략은 교통사고에 의한 사고 발생 링크와 주변 링크들의 정체를 완화시켜 교통사고 발생 시나리오 대비 약 CO 41%, CO_2, PM 13%, NOx 12%, HC 7%의 평균 오염물질 배출량(per vehicle-mile) 감소 효과를 얻음

<표 1-8-44> 교통사고와 사고 관리에 따른 MOE 변화

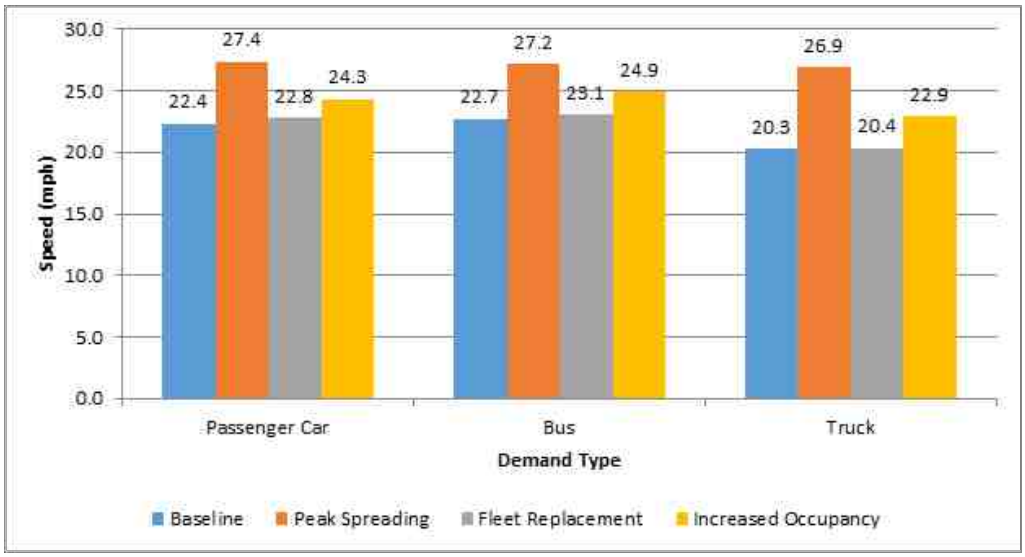
변수	현행 대비 변화 (%)								
	네트워크			사고 발생 링크		우회 도로 1		우회 도로 2	
	INC (No Diversion)	VMS (Diversion)	INC 대비 VMS 효과	INC	VMS	INC	VMS	INC	VMS
통행량	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0%	-7.1%	0.0%	11.6%	0.0%	10.8%
통행속도	-44.6%	-49.1%	8.1%	-62.3 %	-36.0%	0.3%	-70.4%	0.3%	0.7%
CO2	21.1%	4.8%	-12.2%	33.5%	-0.2%	4.7%	113.4%	6.4%	-17.7%
NOx	26.7%	11.2%	-41.2%	32.3%	-11.3%	-1.7%	102.6%	0.5%	-26.5%
CO	9.7%	-35.5%	-7.3%	10.1%	-33.2%	-0.3%	68.2%	6.7%	-38.8%
HC	5.0%	-2.7%	-13.4%	9.8%	7.7%	2.2%	69.0%	6.0%	-8.8%
PM	19.0%	3.1%	-13.5%	24.0%	-3.1%	14.6%	115.3%	10.3%	-9.1%

(라) 대안 간의 효과 비교

대안 1, 2, 3과 Baseline를 비교하여 이동성과 배출량 감소 효과의 차이를 살펴보았음

① 이동성

- 네트워크 평균 통행 속도는 22 mph에서 첨두 집중율 완화, 재차인원 증가의 시나리오를 통해 각각 약 5 mph, 2mph의 평균 통행 속도가 증가하였음
- 차량 교체 시나리오의 경우 수요가 동일하며 차량 성능에서 큰 차이가 없기 때문에 베이스라인 상태와 유사한 평균 속도를 보임



<그림 1-8-45> 대안별 평균 통행 속도 변화

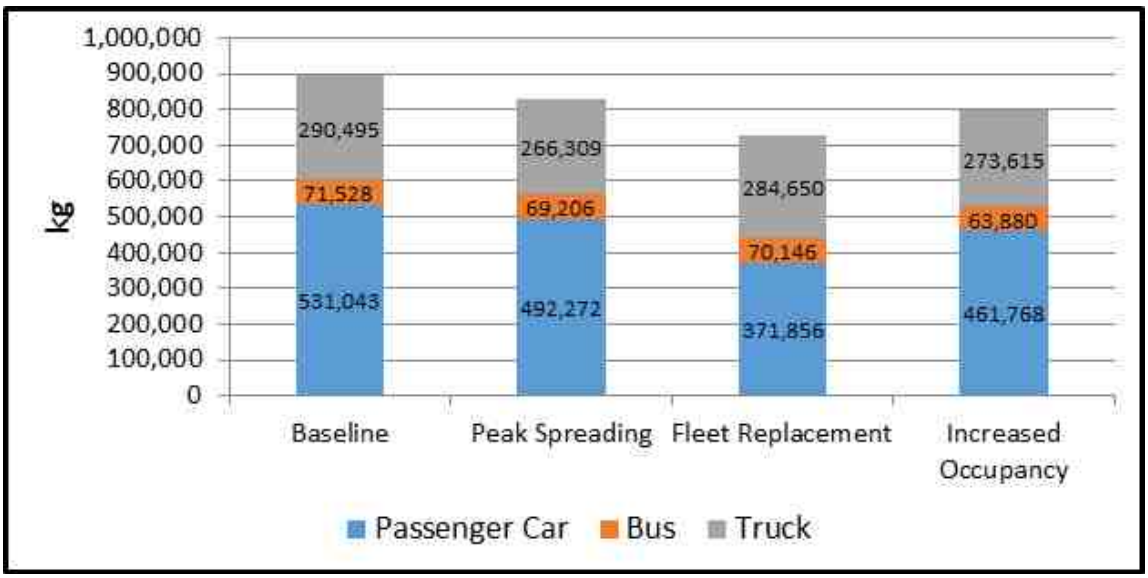
② 배출량 감소 효과

- 첨두율 완화 시나리오는 교통혼잡을 완화시키고 총 오염물질 배출량은 약 6~9% 감소시킨다는 결과가 나옴
- 차량 교체 시나리오는 18%의 CO_2 감소, 28%의 CO 감소 효과를 보이며, 차량 교체 시나리오의 오염물질 배출량 변화는 차량 종류별 오염물질 배출율 차이에 기인함
- 교체된 차종인 휘발유 소형 승용차는 기존 차종인 휘발유 중, 대형 승용차 대비 CO_2, NOx, CO, PM 배출율은 낮지만 HC 배출율이 높기 때문에 다른 오염물질은 감소하였으나 총 HC 배출량은 증가하였음
- 10%의 재차 인원 증가로 재차 인원 증가 시나리오는 수요가 약 9% 감소하였고 오염물질 배출량도 수요 감소와 유사한 수준의 7~10% 감소를 보임
- 첨두율 완화, 재차인원 증가 시나리오는 혼잡을 감소시켜 저속의 정체 운행을 최소화하여 통행시간을 줄이고 오염물질 배출량을 줄임
- 오염물질 배출율이 작은 차량으로 교체할 경우 동일한 네트워크, 수요 수준에서도 효과적으로 오염물질 배출량 감소를 도출할 수 있음

<표 1-8-45> 대안별 오염물질 배출량 변화

오염물질	현황 대비변화 (%)		
	첨두율 완화(PS)	차량 교체(FR)	재차 인원 증가(IO)
CO_2	-7.3%	-18.6%	-10.5%
NOx	-6.3%	-2.7%	-7.3%
CO	-7.4%	-28.3%	-8.8%
HC	-9.1%	15.9%	-9.9%
PM	-9.1%	-1.3%	-8.3%

- 시뮬레이션 분석 결과를 통해 대안별 각 수요 형태의 오염물질 배출량 변화를 파악할 수 있음
- 차량 교체 시나리오 버스, 트럭은 베이스라인과 동일한 상황에서 승용차의 차량 형태를 교체하였기 때문에의 CO_2 배출량 감소는 주로 승용차에 의한 오염물질 감소에 기인함
- 재차인원 증가 시나리오는 승용차와 버스의 통행량 감소로 특히 승용차와 버스의 오염물질 배출량이 감소되지만 네트워크의 혼잡 감소로 트럭의 오염물질 배출량도 감소함



<그림 1-8-46> 대안별 수요 형태별 CO_2 배출량 변화

바. 탄소배출량 모형의 적용 가이드라인 작성

○ 탄소배출량 모형에 대한 간략한 소개 자료로 사용

○ 가이드라인 작성의 목적, 매뉴얼 구성 및 특징, 그리고 매뉴얼 내 자주 사용되는 용어에 대한 정의로 구성하였음

<표 1-8-46> 탄소배출량 모형 적용 가이드라인의 구성 및 특징

구 분		구성 내용
제1장 개요	가이드라인 제공 목적	가이드라인을 제공하는 목적에 대하여 설명
	가이드라인 적용 범위	가이드라인을 적용할 수 있는 모형의 분류 설명
	주요 용어정의	주요 용어를 설명
제2장 탄소배출량 산정 모형 설명	모형 선정	모형을 선정한 이유와 각 모형의 특징 설명
	토지이용 배출 원단위 기법	해당 모형의 산술식과 입력자료 설명
	평균속도 기반 밴출량 산정 모형	해당 모형의 산술식과 입력자료 설명
	운행모드 기반 배출량 산정 모형	해당 모형의 산술식과 입력자료 설명
	배출량 산정 모형 사용 방법	시스템에 탑재되어 있는 배출량 산정 모형 사용 방법에 대하여 설명
제3장탄소배출량 산정 모형 수행 결과 활용	탄소배출량 산정 모형 수행 결과 표현	수행결과의 종류와 표현 내용 설명
	탄소배출량 산정 모형 수행 결과 활용	수행결과의 활용 방안에 대하여 설명

잠재적 수요자가 될 수 있는 전문가들에게 가이드라인에 대한 평가를 받은 결과 다음과 같은 의견이 있었음

<표 1-8-47> 전문가 평가 의견

구분	주요 의견	반영 여부
A 전문가	- 탄소배출량 산정 모형 수행을 위한 시나리오별 입력 자료의 생성과정에 대한 내용이 설명되어야 할 것 같으며 상위레벨의 전문가가 아닌 적당한 수준의 배경지식을 가진 이용자라도 입력 자료의 준비과정을 수월하게 진행할 수 있어야할 것으로 판단함	- 탄소배출량 산정 모형 수행을 위한 입력자료의 준비는 크게 어렵지 않음
	- 관리자모드로 시스템에 접근하여 입력하고 수정하여야하는 계수들을 가능하며 짧은 주기로 정기적으로 갱신하는 작업이 병행되어야 한다고 판단함	- 기능적으로 구현되어 있음

	- MOVES DB의 배출계수를 국내차량에 보정하는 작업이 사전에 심도 있게 수행되어야할 것으로 판단됨	- 연구개발과정에서 수행되었음
	- 전기자동차와 같은 고효율자동차의 급속한 보급을 고려하여 전기차의 보급률이 탄소배출량의 산정 모형에 반영되어야할 것으로 판단됨. 조금 더 구체적으로 서술하자면 세대별 인적변수(월평균 소득 등)에 따른 지역별(구·군별) 전기자동차의 보급률을 추정할 필요가 있을 것으로 판단됨	- 차종의 비율을 반영할 수 있도록 기능상으로 구현되어 있음
B 전문가	- 토지이용 모델에서 용도별 건축물 연면적을 통한 탄소배출량을 산정하는 방법에 기초하므로 해당 기초 DB가 어떠한 기초 자료를 통해 이루어질 것인지 판단할 수는 없으나 보다 자세하고 정확한 기초 DB를 활용하여야 할 것으로 판단되어짐	- 연구개발 과정에서 수집할 수 있는 가장 정확한 기초 DB를 사용한 것이며, 향후 더 나은 자료가 확보될 경우 업데이트할 수 있는 기능이 구현되어 있음
C 전문가	- 도심, 지방 등 시가화 정도 고려가 필요하며 배출계수 적용지역도 가능한 범위 내에서 세분화가 필요함 (수도권 내에서도 서울도심, 인천도심, 도서지역, 도농복합지역 등 특성이 상이한 지역에 동일 기준 적용은 적합하지 않음)	- 적용되는 도시에 따라 배출계수를 변경하여 입력할 수 있도록 반영되어 있음
	- 토지이용종류(주거, 산업, 교육연구, 의료복지, 도소매, 오피스, 서비스)분류체계는 도시계획 또는 건축물 용도구분 기준 등 기존 행정관리에 사용하는 기준과 연계, 매칭 필요	- 토지이용 모형의 구분에 따른 종류 구분이며, 건축물 용도를 토지이용 모형 구분에 매칭 시켜 사용한 것임
	- 자동차등록정보 상의 차종분포 비율 적용과 관련 분포비에 지역별로 차종별 운행거리, 연료소비량을 가중하는 방식이나 분석대상지가 작은 경우 교통조사지침에 의한 차종(10종)별 교통량을 직접 입력하는 방식을 병행하는 방안 검토	- 현재로서는 자동차등록정보가 가장 상세한 차종분표 비율을 추정할 수 있는 자료임 - 사용자가 대분류의 차종 비율(승용차, 트럭, 버스)을 직접 입력하는 방안은 반영되어 있음
	- 사용자 입장에서 시나리오 입력(모형 포함) 등에 대한 구체적 설명 필요	- 사용자 입력 매뉴얼 참조
D 전문가	- 가능하다면 분석의 거시적 차원의 분석모듈과 미시적 차원의 분석모듈로 나누어 제시하는 것도 좋을 것으로 보임	- 평균속도기반의 배출량 산정 방법론은 거시적 차원으로 운행모드 기반의 배출량 산정 모형은 미시적 차원으로 생각하여 작성함
	- 미시적 차원의 분석일 경우 교통량, 차종구성, 구성비, 속도 등의 변수 처리 방안 등이 같이 제시되면 더욱 유리할 수 있을 것으로 보임	- 운행모드 기반의 배출량 산정 모형 설명에 반영함
	- 국내 유사연구 사례와의 비교도 간단히 언급하면 좋을 것으로 보임	- 가이드라인 3장에 반영함

사. 경사도를 반영한 배출량 산정 결과

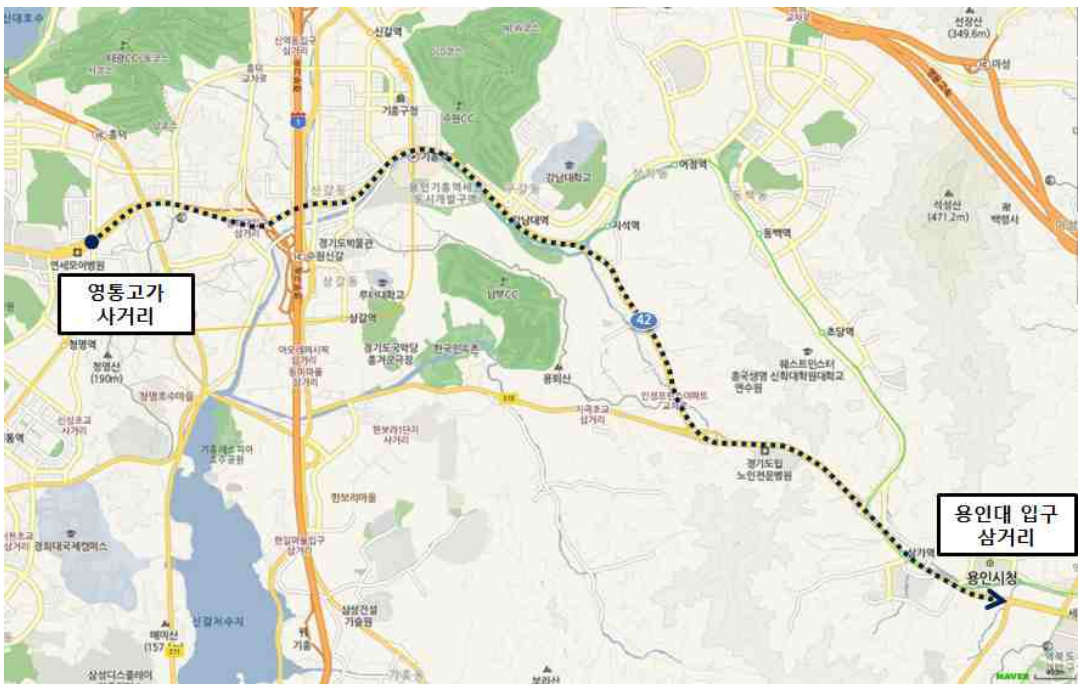
(1) 경사도 자료 수집

○ 교통 네트워크 데이터에 도로 경사도가 포함되어 있지 않음

○ 경사도를 측정하기 위하여 한국건설기술연구원에서 개발한 도로안전점검 차량인 '아라서'(ARASEO, Automate Road Analysis and Safety Evaluation TOol)를 이용하여 실제도로를 주행하여 조사차량의 속도와 주행구간의 경사도를 측정하였음

○ 도로의 경사도와 주행속도를 측정한 구간은 <그림 1-8-47>의 지도에 표시된 용인시 42번 국도상의 10.55km 구간(영통고가 밑 사거리~용인대입구 삼거리)임

- 주행구간 : 용인시 42번 국도 일부 구간(영통고가밑 사거리~용인대입구 삼거리)
- 주행 시간대 : 2015. 9. 22(화요일) 오후 2시경
- 총 주행 시간 : 1,111 초(18분 31초)
- 총 주행 거리 : 10.55 km
- 평균 주행 속도 : 34.2 km/hr
- 수집 데이터 : 차량의 주행 위치, 도로의 선형 등

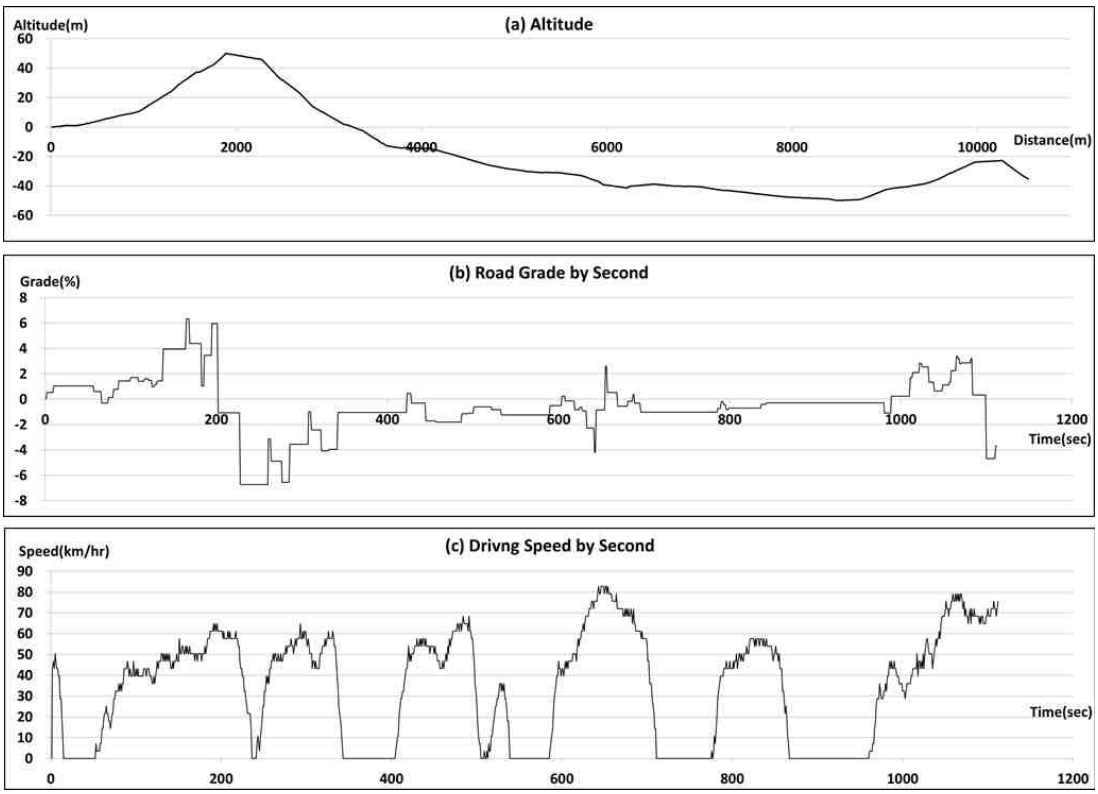


<그림 1-8-47> 주행 조사 구간

(2) 경사도 측정결과

○ 조사 차량으로 주행하여 측정한 자료로부터 미시기반 배출량 산정에 필요한 초 단위의 속도와 경사도 자료를 추출하였음

○ <그림 1-8-48>의 (a)는 주행 조사구간의 고도를 측정한 자료이며 (b)와 (c)는 미시기반 배출량 산정을 위한 필수자료인 초 단위 위치에 따른 경사도와 초 단위 차량 속도자료임



<그림 1-8-48> 도로 경사도 및 속도자료

(3) 배출량 산정

○ 주행 조사 구간을 주행한 차량의 배출량을 다음의 세 가지 방법으로 산출하였음

-❶ 평균 속도 기반의 배출량 산정 방법

-❷ 경사도 자료를 반영하지 않고 MOVES Lite-K로 계산

-❸ 경사도 자료를 반영하여 MOVES Lite-K로 계산

○ ❶과 ❷의 결과를 비교하여 평균속도로 배출량을 산정하는 경우(경사도가 반영되지 않음)와 차량의 초 단위 주행 속도를 반영하여 배출량을 산정한 경우의 차이를 분석하고, ❷와 ❸의 결과를 비교하여 경사도 반영 여부에 따른 배출량 산정 결과의 차이를 분석하였음

(가) 평균속도 기반 배출량 산정

- 조사 차량의 차종인 경유 SUV 차량에 대하여 평균속도 34.2km/hr인 경우의 배출량(❶)을 산정하였음

- 각 오염물질별 배출량 산정식과 산정된 배출량 값(❶)을 <표 1-8-48>에 정리하여 나타내었음

<표 1-8-48> 평균속도기반을 산정한 배출량 값

오염물질	배출계수식 (V : speed, km/hour)	배출량(g)
CO_2	$= 1{,}811.7\,V^{-0.6092}$	1,835.763
CO	$= 3.2797\,V^{-0.8887}$	2.170114
NOx	$= 4.9708\,V^{-0.6247}$	7.803566
PM10	$= 0.428\,V^{-0.5186}$	0.67402

(나) 미시기반 배출량 산정

- MOVES Lite-K의 배출량 산정 절차에 따라 배출량을 산정하였음

· VSP를 산출하는 과정에서 초 단위 속도자료와 초 단위 경사 자료를 이용하였음

· 조사 차량의 차종인 경유 SUV 차량은 Light Duty Vehicle에 해당하므로 VSP 계산에서 다음과 같은 계수를 사용하였음

· 차량 중량 m = 1.4788(tonne), 구름저항 A = 0.15646(KW-sec/m), 회전 저항 B = 0.002(KW-sec2/m2), 공기 저항 C = 0.00049(KW-sec3/m3)

- <표 1-8-49>에는 경사도를 반영하지 않은 경우(❷)와 경사도를 반영한 경우(❸)로 구분하여 MOVES Lite-K로 산정한 배출량 결과가 정리되어 있음

<표 1-8-49> MOVES Lite-K로 산정한 배출량 산정결과

오염물질	경사도가 고려되지 않은 경우		경사도를 반영한 경우		% Difference
	CE(g/km)	배출량(g)	CE(g/km)	배출량(g)	
CO_2	208.71	2,201.89	208.83	2,203.14	0.057%
CO	0.66	6.93	0.73	7.73	10.348%
NOx	2.32	24.50	2.28	24.06	-1.838%
PM10	0.15	1.60	0.16	1.64	2.923%

(4) 배출량 산정결과 비교

(가) 초 단위 주행 속도 반영으로 인한 배출량 차이

- 평균속도 기반으로 배출량을 산정한 경우와 초 단위 주행속도를 반영하나 경사도는 반영하지 않고 MOVES Lite - K로 배출량을 산정한 경우를 비교한 표인 <표 1-8-50>을 보면 조사 차량의 주행 궤적에 대하여 초 단위 주행속도를 반영하여 산정한 배출량이 훨씬 높은 것으로 나타났음

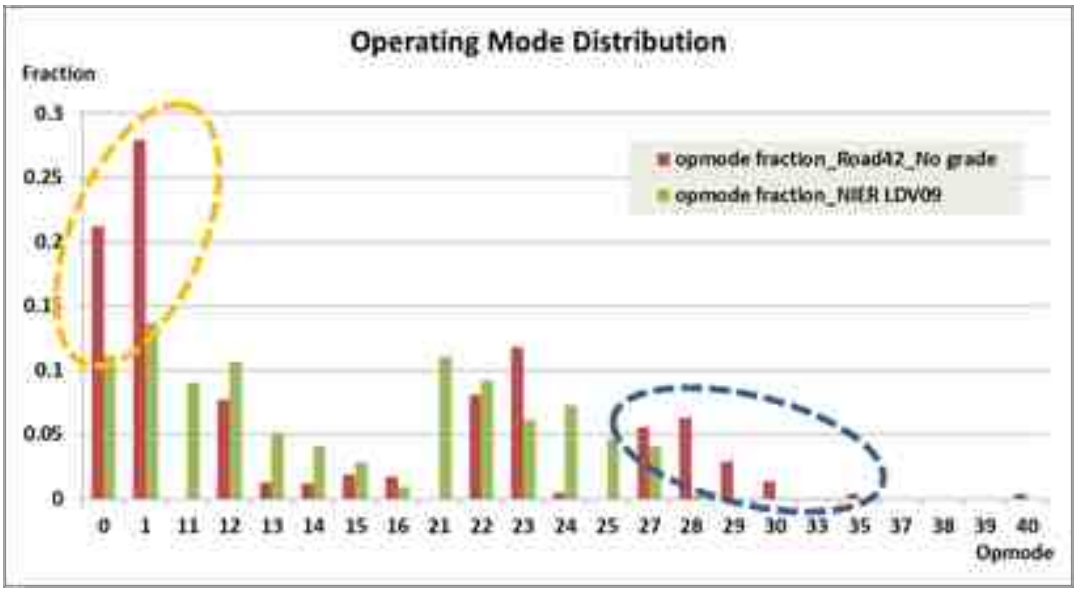
- 이는 조사 차량의 주행 특성이 평균 속도기반 배출량 산정의 기준이 되는 기준 주행궤적인 NIER LDV 09번보다 배출량이 높게 나오는 특성을 가지기 때문인 것으로 보임

- 오염 물질별로 차이가 나는 정도가 다른 것은 운행모드에 따른 배출율이 오염 물질마다 다르기 때문임

<표 1-8-50> 초 단위 주행 특성을 반영하였을 때의 효과

오염물질	평균속도 기반 배출곡선식으로 산정한 배출량(g)	MOVES Lite-K로 산정한 배출량 (g)	Ratio
CO_2	1,835.763	2,201.89	1.20
CO	2.170114	6.93	3.19
NOx	7.803566	24.50	3.14
PM10	0.67402	1.60	2.37

- 주행특성의 차이를 상세히 살펴보기 위하여 소형 차량의 기본 주행궤적인 NIER LDV 09 주행궤적과 조사 차량의 주행궤적의 운행모드를 비교하여 보았음
- <그림 1-8-49>를 보면 조사 차량 주행궤적의 운행모드는 기본 주행궤적 NIER LDV 09과 비교하여 보았을 때 운행 모드 0, 1의 비율은 낮은 반면 27, 28, 29, 30의 비율이 높음
- 운행모드별 배출계수에서 살펴보면 27, 28, 29, 30은 높은 배출율을 갖는 운행 모드이므로 이들 모드가 많은 조사 차량의 배출량이 더 높게 산정된 것으로 보임
- 운행모드 0, 1의 배출량이 매우 작은 경우에는 더 큰 차이가 나게 되어 CO, NOx는 3배 이상의 차이가 났고 PM의 경우 2.37 배의 차이가 나게 되었음



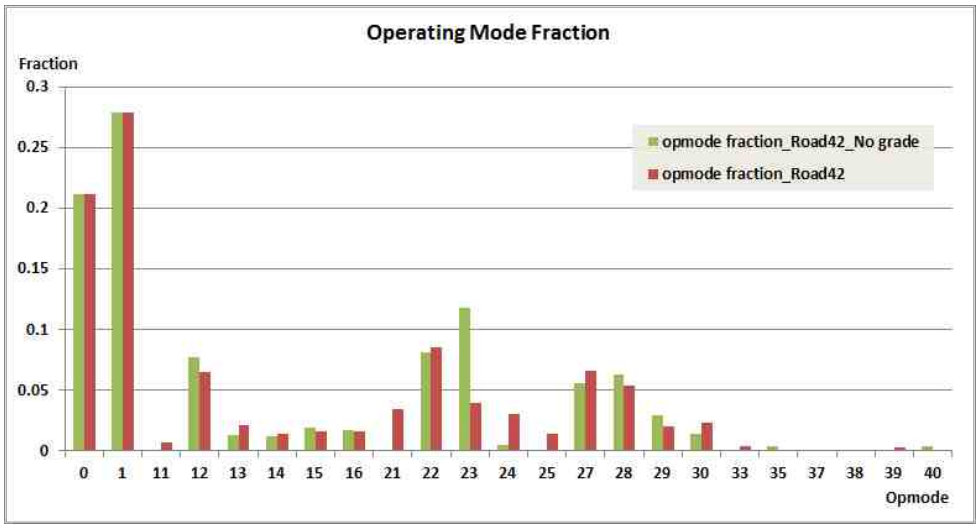
<그림 1-8-49> 주행궤적 특성을 반영한 경우의 운행모드 변화

(나) 도로 경사도 반영으로 인한 배출량 차이

- <표 1-8-49>에 정리되어 있는 경사도를 반영하여 배출량을 산정한 경우와 반영하지 않고 산정한 경우를 비교한 결과를 보면 배출량은 경사도의 반영여부에 영향을 받는 것으로 나타났음
- 차이가 나게 된 원인은 VSP를 산정할 때 경사도를 반영함에 따라 해당되는 운행 모드가 달라지기 때문인데, 오르막 경사가 커질수록 VSP가 증가하고 이에 따라 같은 속도 그룹 내에서 운행모드가 높은 쪽으로 결정되므로 배출량이 높게 산출됨. 내리막 경사의 경우 반

대의 경향을 가짐

- <그림 1-8-50>은 조사 차량의 주행궤적에 대하여 경사도를 반영하여 운행모드를 산출할 경우와 반영하지 않고 산출한 경우를 비교한 그래프임
- 그림에서 보는 바와 같이 경사도에 반영 여부에 따라 운행모드 값에 차이가 나타나는 것이 확인됨



<그림 1-8-50> 경사도를 반영한 경우의 운행모드 변화

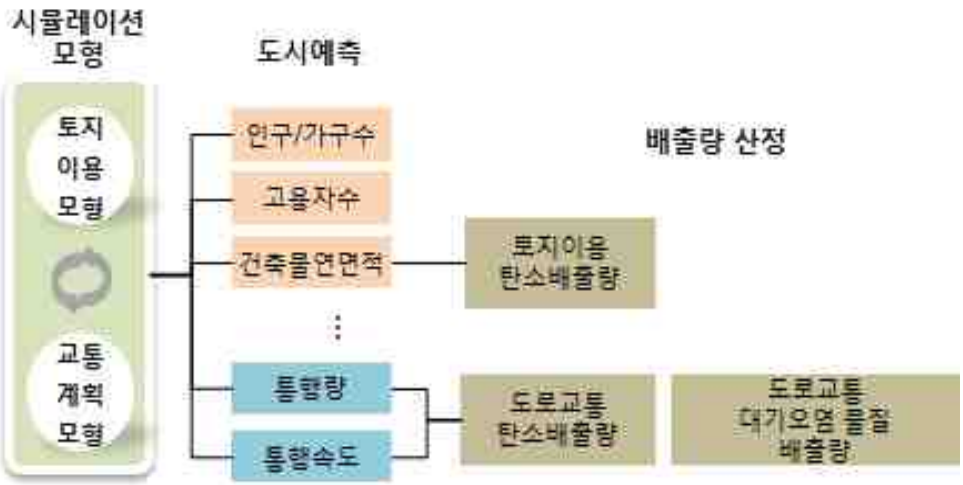
- 앞서 설명한 바와 같이 오염물질별로 운행모드에 따른 배출계수의 특성이 다르기 때문에 경사도 반영 여부에 따른 운행모드의 차이는 오염물질별 배출량에도 차이를 가지고 왔음
- 그 결과 경사도 반영으로 인한 결과값을 오염 물질별로 비교하면 CO_2는 0.057 %로 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, CO는 10.35 %, PM은 2.93 % 증가한 반면 NOx는 오히려 1.84 % 감소한 것으로 나타났음

아. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법

(1) 연구수행결과

○ 본 연구에서 개발한 배출량 산정 모형은 토지이용 탄소배출량 산정 모형, 도로교통 탄소배출량 산정 모형, 도로교통 대기오염 물질 배출량 산정 모형으로 구분할 수 있음

- 토지이용 탄소배출량 산정 모형 : 토지이용모형으로 도시변화를 예측한 결과 중 용도별 건축물 연면적으로 토지이용 탄소배출량을 산정하는 방법
- 도로교통 탄소배출량 산정 모형 : 교통모형으로 도시교통의 통행량 및 통행속도를 예측한 결과로 도로교통 탄소배출량을 산정하는 방법
- 도로교통 대기오염 물질 배출량 산정 모형 : 교통모형으로 도시교통의 통행량과 통행속도를 예측한 결과로 도로교통 대기오염 물질 배출량을 산정하는 방법



<그림 1-8-51> 탄소배출량 산정방법 구분

(2) 결과의 검증

○ 시범 적용지역을 수원시로 정하고 다음의 두 개 분석 스케일별에 대한 대안 시나리오에 대하여 개발한 탄소배출량 산정방법을 적용하였음

- 도시스케일 : 수원시 트램 도입으로 인한 토지이용 및 교통의 변화와 그로 인한 탄소배출량의 변화 예측
- 지구스케일 : ① 수원시 행궁동 차 없는 거리 시행으로 인한 통행의 변화와 탄소배출량 변화 예측, ② 수원시 거주 공무원의 출근시차제 참여시의 통행의 변화와 탄소배출량 변화 예측

○ 개발한 탄소배출량 산정 모형은 시스템 내에 탑재되었으며 탄소배출량 분석 성능이 정상적으로 작동하는지 검토하였음

제9절 (핵심성과 4-1) 도시 대기환경 예측 모형 개발

1. 연구수행 전략 및 방법론

가. 도시공간 대기환경 예측 모형 개발 전략

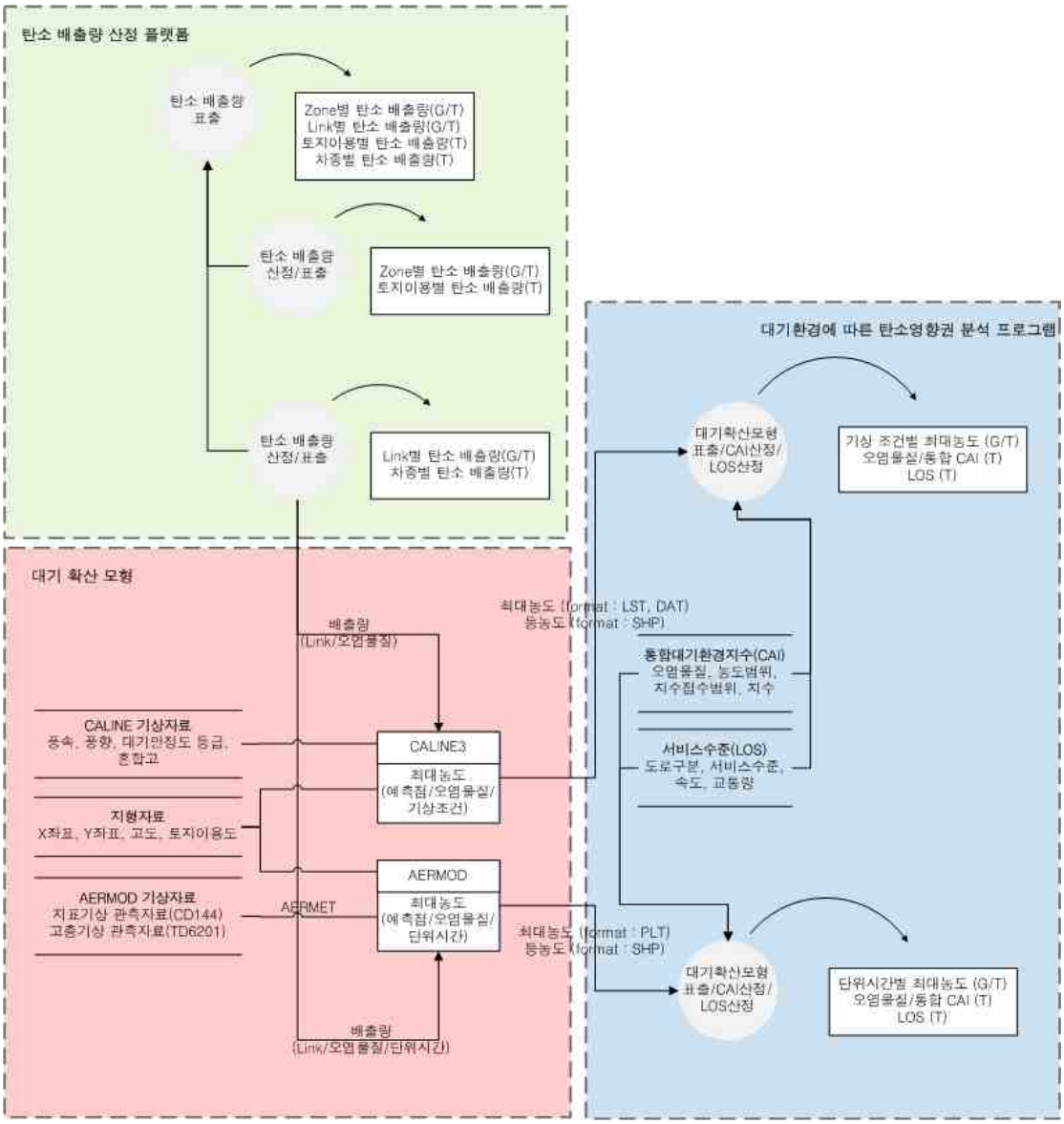
교통 부문과 토지이용 부문의 탄소저감 정책 대안에 따른 탄소저감 효과를 분석하기 위한 탄소 배출량 관리 시스템의 주요 부분으로, 산출된 탄소 및 대기오염 배출량의 기상변화에 따른 집중도(concentration)를 산출하는 기능을 적용하였음

(1) 대기환경 분석 규모

도시스케일과 지구스케일에 따라 산정된 탄소 및 대기오염물질 배출량을 기상자료와 연계하여, 배출량별·지역별 최대 농도치를 예측하는데, 보다 세부적인 관점에서 단위시간에 따른 예측 값 제시도 가능하도록 구성하였음

(2) 상위 모형과의 연계

본 연구의 최종 목표는 탄소 저감을 위한 도시공간 및 교통 연계 탄소배출량 관리 시스템이며, 이를 위해서는 토지이용 및 교통량의 변화의 예측 모형, 탄소배출량 산정 모형, 대기확산 모형의 유기적안 정보의 연계가 필요하며, 탄소배출량 산정 모듈, 대기확산 모형, 대기환경에 따른 탄소 영향권 분석 프로그램의 통합적 데이터 흐름은 <그림 1-9-1>과 같음



<그림 1-9-1> 탄소배출량 산정과 대기확산 모형의 데이터 흐름도

(3) 대기환경 예측 모형 선정 및 적용

본 연구의 최종 목표에 부합한 두 가지 모형을 선정하였고, 다음 <표 1-9-1>은 각 모형의 특성을 나타냄

○ CALINE3 모형: 거시적인 관점에서 오염물질별 농도 변화 패턴을 예측할 때 적용

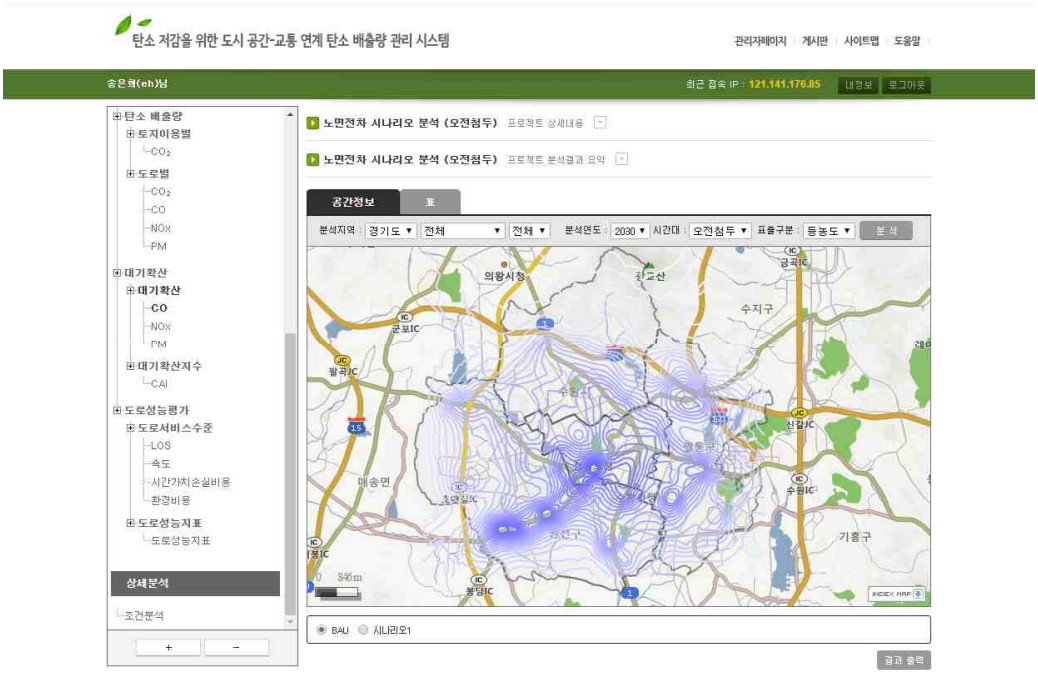
○ AERMOD 모형: 단위시간과 같은 상세한 결과를 필요로 하는 분석에 적용

<표 1-9-1> 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/m^2/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	○	○

(4) 대기환경 예측결과의 표출

대기환경 예측결과는 분석 전에 설정된 예측 점에서의 농도를 나타내게 되며, 이는 파일 형태로 출력되거나, 예측지점의 x,y 총 농도를 이용하여 등농도 그래프 형태로 출력이 모두 가능함



<그림 1-9-2> 대기환경 예측결과 표출 예시

나. 연차별 연구목표 및 연구내용

대기환경 예측 모형 개발을 위한 연차별 연구목표와 연구내용은 다음과 같음

<표 1-9-2> 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. 연구수행과정 및 내용

가. 도시 공간 대기환경 예측 모형 개발

○ 대기확산모형은 분석 대상 지형과 전 지구적 또는 분석 대상 지형 주변 기상변화에 따른 대기오염물질의 확산 및 이동에 대해 계산하는 시뮬레이션 프로그램임

○ 화학반응이 없는 대기오염물질의 확산 모두 계산 가능하며, 화학반응이 있는 오염물질도 해당 화학반응을 고려할 수 있는 화학수송모형을 선택하면 분석 가능함

(1) 도시공간 대기환경 예측 모형 선정을 위한 비교

○ 미국은 1950년대부터 환경보호청(Environment Protection Agency)을 중심으로 대기확산 연구를 본격적으로 수행함

○ 미국 환경보호청에서 개발·보급하고 있는 대기 질 예측 모형 패키지인 UNAMAP (User's Network for Applied Modeling of Air Pollution) 시리즈는 1978년 버전3부터 11개 대기모형을 수록하여 본격적으로 보급되었고, 1981년 버전4에서는 21개 모형, 1983년 버전5에서는 31개 모형을 1986년 버전6에서는 23개 모형이 수록됨

○ 국내는 물론 대부분 국가에서는 미국 모형을 직접 사용하거나 각 국가별 상황에 맞게 수정·보완하여 사용함

○ 대기 확산모형은 크게 확산모형, 광화학모형, 수용모형으로 구분되며, 확산모형은 우선·권장 모형(Preferred/Recommended Model), 대안모형(Alternative Model), 스크리닝 도구(Screening Tools), 관련 프로그램(Related Programs)으로 구분됨

○ 주로 사용되는 우선·권장 모형 (Preferred/Recommended Model)의 특징을 요약하면 다음 <표 1-9-3>과 같음

<표 1-9-3> 미국 EPA의 우선·권장모형 특징 요약

모형 이름	모형 특징
AERMOD (American Meteorological Society(AMS)/United States Environmental Protection Agency(EPA) Regulatory Model)	• 가우시안 플룸[23] 확산모형 • 시간에 따른 배출량 변화와 기상상태를 상세히 고려한 대기질 예측모형 • 기상처리용 프로그램인 AERMET과 지형입력자료 작성을 위한 AERMAP, 그리고 오염물질의 농도계산을 위한 AERMOD로 구성됨
BLP (Buoyant Line and Point source dispersion model)	• 가우시안 플럼 확산모형 • 선오염원의 형태의 배출원중 Plume Rise나 Downwash 효과가 강한 산업배출원의 모델링에 적합 • PCRAMMET을 이용하여 풍향,풍속, 온도, 안정도 혼합고의 1시간 기상자료로 1시간최대, 연간평균 예측농도를 계산할 수 있음
CALINE (California Line Source Model)	• 가우시안 플럼 확산 모형 • 고속도로 통행차량에서 발생하는 비반응성 오염물질의 영향농도 예측 • 단순지형에서 평탄, 성토, 교량, 절토 등 선형조건에 따른 정상상태 가우시안 모형
CTDMPLUS (Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithms for Unstable Situations)	• 가우시간 대기예측모형 중 세밀한 점오염원 예측 모형 • 복잡한 지형에 대해 모든 대기안정도 등급에 사용 가능
CALPUFF (California Puff Model)	• 가우시간 퍼프[24] 확산모형 • 비반응성 및 반응성 오염 물질을 대상으로 하는 대표적인 퍼프형 대기확산 모형 • 굴뚝에서 배출된 연기를 하나의 덩어리로 가정하여 국지 바람장에 의해 이동된다고 가정하여 농도를 계산하므로 바람에 따라 이동되는 연기의 움직임을 비교적 정확하게 예측할 수 있음 • 대표적인 기상모형인 MM5와 CALMET에서 계산된 3차원 국지 기상장을 기상 입력 자료로 하며, 오염물질의 중력 침강, 건성침적 및 지형고도 등을 고려하여 농도계산

23) 가우시안 플룸(Gaussian Plume) : 오염물질의 확산형태가 연속적으로 배출되어 오염원부터 확산지점까지 한 덩어리로 가우시안 확산이 이루어짐을 가정

24) 가우시안 퍼프(Gaussian Puff) : 오염물질의 확산형태가 연속적이지 않게 배출되어 각각의 오염물질 덩어리가 각각의 가우시안 확산이 이루어짐을 가정

○ 국내는 미국 대기확산모형을 주로 사용하며, 예측방식에 따라 가우시안모형(Gaussian Model), 수치모형(Numerical Model), 통계 또는 경험모형(Statistical or Empirical Model), 그리고 물리모형(Physical Model)으로 구분됨

- 주로 대기환경 영향 평가 및 대기 질 정책 수립에 매우 유용함

○ 통계 또는 경험모형의 경우, 오염물질을 추출하는 지점(Receptor)의 오염물질 농도와 성분분석을 통해 배출원별 기여율을 구하는 것으로써, 기존 오염원에 대한 피해영향 정도를 예측할 수 있음

○ 수치 및 물리모형의 대표적인 광화학모형은 대기 중에 일어날 수 있는 오염물의 농도를 결정짓는 모든 과정(이류, 확산 및 반응)을 고려 할 수 있으나 예측범위가 크고 바람장 구현과 모형에 입력되는 광범위한 배출량 자료에 대한 확보가 어려워 주로 대도시의 대기환경보전실천계획 평가 등 대기정책평가에 사용됨

○ 가우시안 확산 모형은 대기 질 평가에 가장 광범위하게 사용되고 있으나 활용범위와 정확도가 모형에 따라 다르기 때문에 사용목적에 맞추어 적절한 모형을 선정하는 것이 중요함

○ '환경영향예측모델 활용지침 마련을 위한 연구(III)' (환경부, 2009)에서 미국 EPA의 모형을 바탕으로 국내 현황에 맞추어 우선·권장모형과 대안모형, 그리고 정밀 모형을 다음 <표 1-9-4>와 <표 1-9-5>와 같이 선정함

<표 1-9-4> 환경부 환경영향평가에 적용 가능한 우선·권장 모형 선정결과

모형이름	적용오염물질	적용대상지역	평가기간
AERMOD	• 비반응성물질 • 반응성물질 (NO_2 등)의 실행은 별도 편람의 규정에 의거 실행	• 평탄/복잡지형 (복잡지형에 대해서는 별도 가이드라인의 규정에 의거 실행)	장/단기
CALINE3		• 평탄(도로와 예측지점 높이 10m이하에 적용) • 복잡지역의 경우 기타 가우시안 모형의 선오염원 예측 방법 준용	단기(1hr)
CALPUFF		• 해안가 • 평탄/복잡지형	장/단기

<표 1-9-5> 환경부 환경영향평가에 적용 가능한 대안모형 및 정밀 모형 선정결과

구분	모형	적용오염물질	적용대상지역	평가기간
대안 모형	분류/등가 배출강도 모형	• 비반응성물질 • 반응성물질 (NO_2 등)의 실행은 별도 편람의 규정에 의거 실행	• 터널 출구지역(종방향 500m, 횡방향 200m 이내)	단기
	CALINE4		• 평탄(도로와 예측지점 높이 10m이하에 적용) • 교차로·주차장 등	단기 (1hr)
정밀 모형	CAMx	• 비반응성물질 • 반응성물질	• 광역지역 대기 질 예측 • 대기 중에 일어날 수 있는 오염물의 농도를 결정짓는 모든 과정을 고려하는 모형	장·단기
	CMAQ			

○ 화학수송모형은 대기 중에 존재하는 물질들의 화학반응 및 수송과정을 모수화(parameterization)하고 계산하는 모형으로 국지규모에서 지역규모 모델링까지 다양하게 동시에 모델링이 가능함

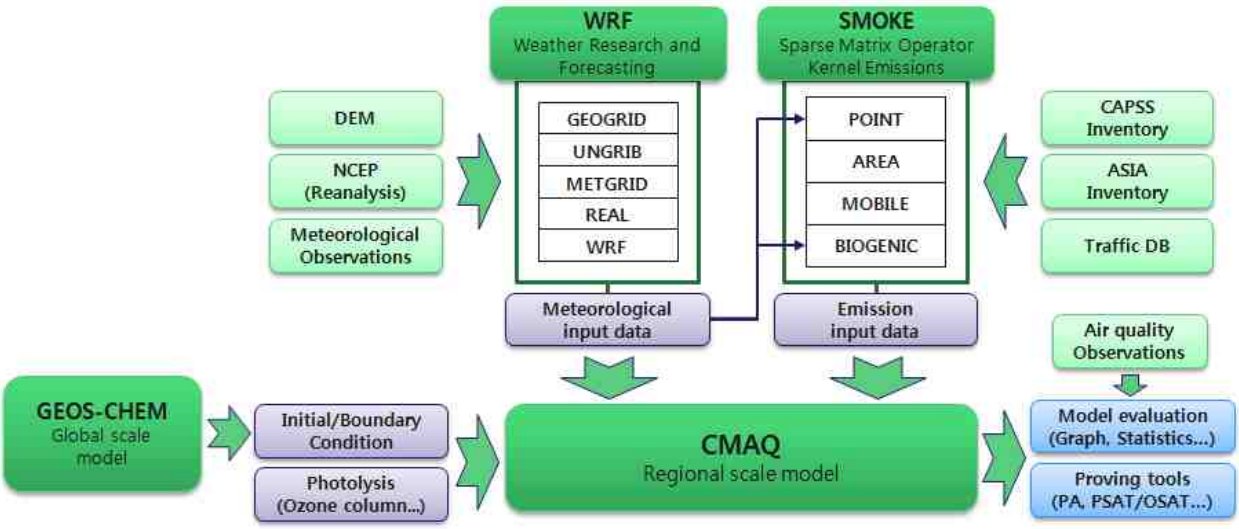
○ 황화합물이나 오존화합물 뿐만 아니라 최근 기후적 측면과 국지오염 측면에서 중요한 관심사가 되고 있는 에어로졸(aerosol)까지 고려할 수 있음

○ 대표적인 화학수송모형으로는 CMAQ(Community Multiscale Air Quality)와 CAMx (Comprehensive Air Quality Model with Extensions)이 있음

○ 화학수송모델링은 기상모형, 배출량모형, 그리고 화학수송모형으로 구성되며, 기상모형은 시간별, 격자별로 바람장, 온·습도장을 비롯한 3차원 기상자료를 생성하고, 이들은 배출량 모형과 화학수송 모형의 입력 자료로 이용됨

○ 배출량 모형은 기상자료와 각 배출원의 특성을 고려하여, 대기 질 모형에 적용할 수 있는 화학종·시간별·공간별 배출량을 생성하여 최종적으로 생성된 기상 및 배출량 입력 자료를 바탕으로 화학수송모형을 수행하여 대기오염물질 농도를 평가함

○ 화학수송모형의 개요는 다음 <그림 1-9-3>과 같음

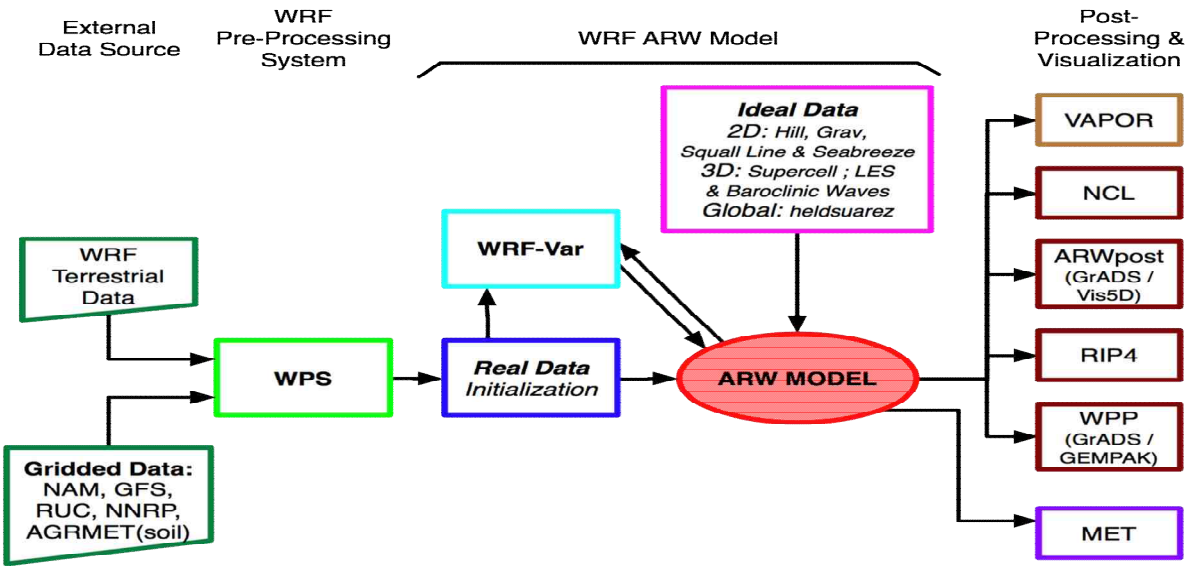


<그림 1-9-3> 화학수송모형 개요

출처: 초미세먼지(PM-2.5)저감대책 연구, 서울특별시, 2011

○ 기상모형인 WRF(Weather research and forecasting)는 2005년부터 미국 국립해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration) 산하 기관인 국립환경예측센터(National Centers for Environmental Prediction)의 현업 모형으로 사용됨

○ 전반적인 체계는 <그림 1-9-4>와 같고 WPS (WRF Preprocessing System)는 WRF 모형에 입력 자료를 제공하기 위한 전처리자(pre-processor)로서 격자를 규정, 기본 맵(map) 생성, 고도와 지형 정보 제공, 다른 모형의 실측·예보 자료 취득 등 WRF 격자로 자료를 보관 하는 기능을 가짐



<그림 1-9-4> WRF 수치도의 도식도

출처: WRF-ARW Version 3 Modeling system User's guide, National center for atmospheric research, 2012

○ WRF 모형은 웹사이트에서 쉽게 다운로드 받아 설치하고 실행할 수 있음

○ SMOKE(Spare Matrix Operator Kernel Emissions)는 미국 환경모델링센터(Environmental Modeling Center)에서 개발된 것으로 모형에 필요한 배출량을 고효율로 계산할 수 있도록 배출량을 매트릭스(Matrix) 구조체로 생성함

○ 이는 동아시아 및 국내 배출량 인벤토리와 WRF에서 생성된 기상자료를 이용하여 화학수송모형에서 이용할 수 있는 화학종별·격자별·시간별 배출량을 생성함

○ SMOKE에서는 독성물질을 비롯하여 점오염원, 비점오염원, 면오염원, 자연오염원, 도로오염원 등에 의한 배출량을 산정할 수 있음

○ CMAQ은 1)모듈구조로 되어있어 각 서브 프로그램간 그리고 각 전처리 단계간의 상호 호환이 쉽고 효율적임, 2)모델링 영역의 규모가 다양하여 국지규모에서 지역규모까지 동시에 모델링이 가능함, 3)황화합물이나 오존화합물 뿐만 아니라 최근 기후적 측면과 국지오염 측면에서 중요한 관심사가 되고 있는 2차 생성 에어로졸(aerosol)까지 동시에 모사할 수 있음

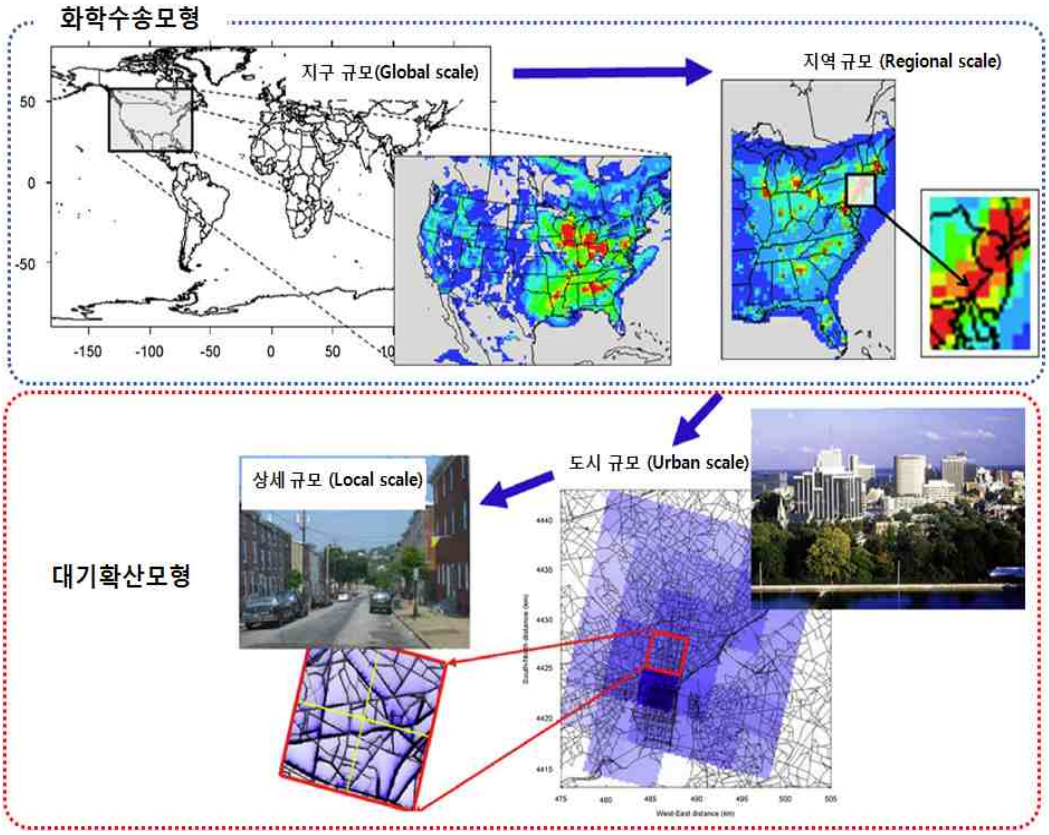
○ 기존에는 분석 목적에 따라 모형을 개별적으로 선택하여 대기 질을 평가하였으나 최근 들어 대기 질 평가 시 오염원의 영향 지점에서 장거리 오염물질의 수송과 수송기간의 화학반응을 고려하며 특정 오염원에 의한 영향도 분석하려는 수요가 발생하고 있음

○ 따라서 화학반응을 고려하여 오염물질의 농도를 계산 가능한 지역 규모의 화학수송모형과 특정오염원의 확산현상을 세밀히 분석이 가능한 대기확산모형을 결합한 복합모형(Hybrid model)이 도입되었음

○ Ariel F. Stein등(2007)은 화학수송모형인 CMAQ과 대기확산모형인 HYSPLIT(Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory model)과 AERMOD 모형을 결합하여 멕시코만의 벤젠(benzene)농도를 분석한 사례가 있음

○ Nutthida Kitwiroon 등(2011)은 영국 런던을 대상으로 CMAQ과 ADMS-ROADS를 결합하여 이산화질소(NO2)와 오존(O3)을 분석하였고, 2010년에는 Vlad Isakov 등이 CMAQ과 AERMOD모형을 적용하여 이산화질소(NOx)와 미세먼지(PM2.5)에 대해 분석한 사례가 있음

○ <그림 1-9-5>는 지역규모에 따른 대기 질 평가모형에 대한 개념도를 나타냄



<그림 1-9-5> 규모에 따른 대기 질 평가모형 개념도

(2) 도시공간 대기환경 예측을 위한 대기확산 적정 모형 선택

○ 전체 탄소배출량 통합플랫폼 내에서 배출량 확산분석에 적합한 모형을 선정하기 위해 대표적으로 도로구간의 탄소를 평가할 수 있는 3가지 모형의 특성을 조사·분석하여 비교함

○ 이들 모형은 미국과 한국에서 권장하고 있으며, 통합플랫폼에서는 분석된 배출량을 이용하여 대기확산까지 추정하는 시스템 구성이 필요하기 때문에 대기확산분석을 위해 별도의 시스템(서버)이 필요한 CMAQ과 CMAQ모형의 결과를 필요로 하는 복합모형에 대한 검토는 배제함

○ CALINE(CAlifornia LINE source model)모형은 캘리포니아 교통국(California Department of Transportation)에서 개발한 것으로 가우시안 확산식에 근거하여, 도로상의 대기오염 확산을 예측하기 위한 개념이 포함됨

○ 또한, 미시적인 규모를 가지는 지역에서 주변 교통시설로 인한 대기 질 영향을 평가하기 위한 것으로 배출강도, 기상조건, 지형조건 등의 입력 자료를 통해 도로로부터 약 500m 이내의 오염물질을 추출하는 지점(Receptor)에 대해 신뢰성 높은 오염농도를 예측할 수 있으며, 이산화탄소(CO)나 입자상 물질[25]과 같은 비반응성 오염물질도 예측 가능함

25) 입자상오염물질(particulate pollutants)라고도 하며, 대기오염물질을 특성에 따라 나눌 때 가스상 오염물질에 대비되는 형태로서, 발생한 뒤 일정기간 대기 중에 흩어져 존재하는데, 대기 중에 존재할 때는 시정장애를 일으키고 일부 미세한 흡입분진은 인체의 폐나 호흡기에 치명적인 피해를 입힘

○ CALINE 모형은 CALINE1 모형(1969), CALINE2 모형(1975), CALINE3 모형(1979), CALINE4 모형(1989)으로 진화하였고, CALINE3 모형의 기본 로직을 바탕으로 교차로의 지체구간에 대한 영향평가 기능을 강화하여 수정된 모형인 CAL3QHC 모형(1995), CAL3QHCR 모형(1995)이 있음

○ CALINE3 모형은 사용자 적용 편의성이 뛰어나며, 입력 자료를 최소화하였고, 고속도로 교통량으로부터 비반응성 오염물질 농도를 예측하는데 사용됨

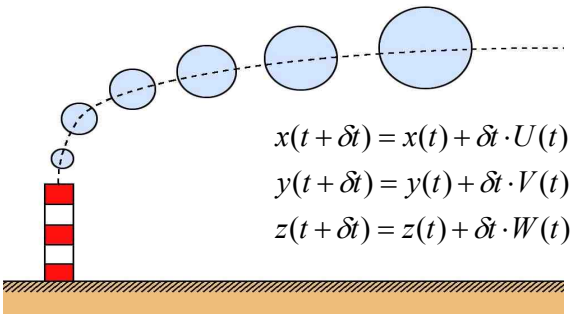
○ CALINE4 모형은 CALINE3 모형의 확장된 형태로 수직과 수평 확산곡선이 더욱 정교하게 수정되었음

○ CAL3QHC 및 CAL3QHCR 모형은 CALINE3 모형과 동일한 알고리즘을 가지고 도로 상의 지체 발생되는 구간을 고려할 수 있도록 개발됨

○ 이 두 모형에는 입력 자료로서 기상자료를 입력하게 되는데 CAL3QHC 모형은 1시간에 대한 기상 자료를 입력하면 계산 되는 반면 CAL3QHCR 모형은 1시간 간격의 1년 기상자료로 입력하여 그에 따른 1시간 평균 및 1시간 최대, 8시간 평균 농도 등의 계산이 가능함

○ 또한 이 두 모형은 요일별, 시간대별의 교통량의 변화에 민감하게 반응하여 교통 조건이 복잡하고 지·정체구간이 많은 도로에 적용하는 것이 바람직함

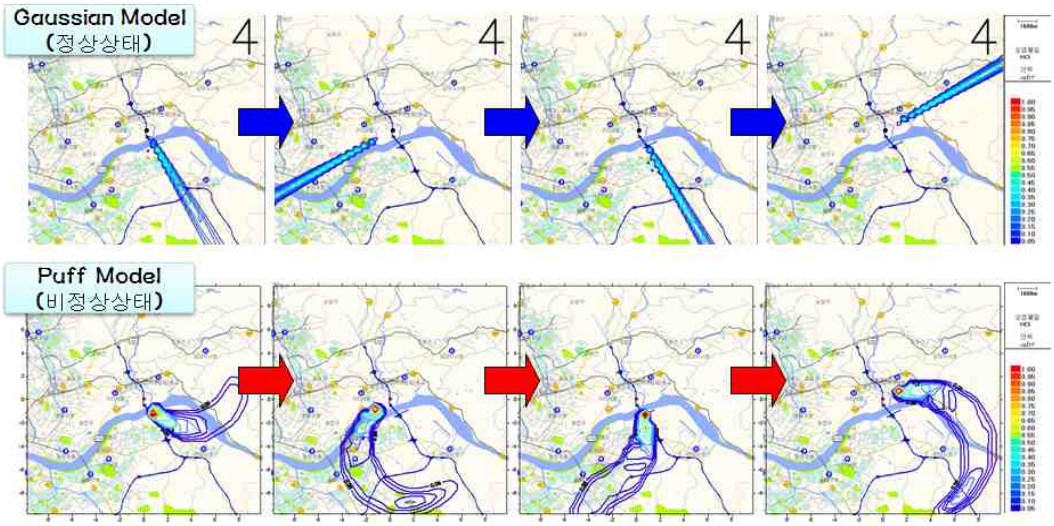
○ 퍼프모형(Puff model)은 굴뚝에서 연속적으로 배출되는 연기가 잘게 나누어진 각각의 연기 덩어리(puff)로 배출된다고 가정하고, 이 배출된 퍼프가 공간적 해상도를 갖는 바람장을 따라 이동 및 확산이 될 때 퍼프가 미치는 영향을 종합하여 농도를 계산하는 방식임 <그림 1-9-6> 참조



<그림 1-9-6> 퍼프모형의 개념

○ 이 모형은 시간 및 공간에 따른 바람장 변화를 퍼프의 이동에 고려할 수 있기 때문에 비정상상태(Unsteady state) 모형이며 정상상태 모형인 AERMOD 보다 정확히 시간에 따른 풍향 및 풍속의 변화를 확산에 반영함

○ 대상영역은 수십 m의 상세영역부터 수백 km의 광범위한 영역까지 계산 가능함



<그림 1-9-7> 가우시안 플룸모형과 가우시안 퍼프모형의 비교

출처: 굴뚝TMS망을 활용한 실시간 대기확산 모델링 시스템 개발, 환경부, 2004

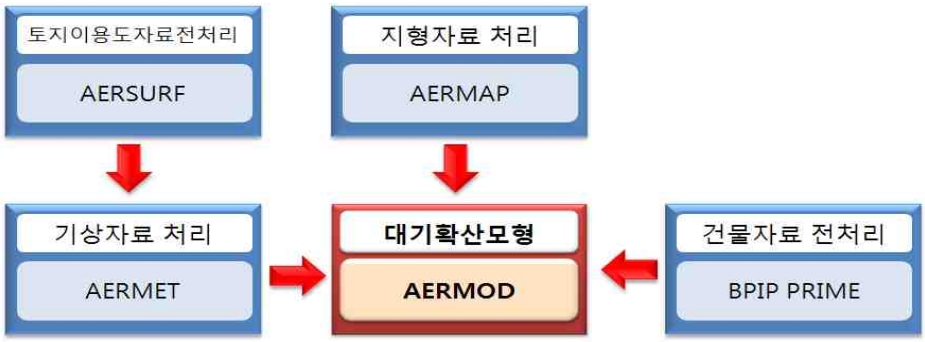
○ 기본적 특징으로는 1) 점・선・면오염원에 대한 시간적인 농도변화 계산 능력 보유, 2)오염원으로부터 수십 m에서 수백 km까지 모델링이 가능, 3)한 시간에서 일 년까지의 평균화시간에 대한 농도 예측이 가능하고, 4)비활성 오염물질은 물론 화학변화를 일으키는 오염물질에 대해서도 예측가능함

○ CALPUFF모형은 복합지형에서 산곡풍이나 해륙풍 순환과 같은 급격한 바람장 변화를 보이는 지역에 유용함

○ 그러나 이 모형을 성공적으로 수행하기 위해서는 정밀한 3차원 바람장 자료가 필수적인데, 이를 위해서는 전처리 (pre-process) 프로그램의 추가가 요구되기 때문에 본 연구에서는 배제함

○ AERMOD(American meteorological society/united environmental protection agency regulatory model)이 모형은 실외 대기오염물질의 농도를 예측하는 가장 최근 모형으로 미국 환경보호청에서 공식적으로 지정한 모형임

○ 기상전처리용 프로그램인 AERMET(AERMOD Meteorological Preprocessor), 지형입력자료 작성을 위한 AERMAP, 확산계수를 위한 AERMOD로 구성되며, <그림 1-9-8>과 같음



<그림 1-9-8> AERMOD의 모형 구조

○ 대상영역이 50km 이하인 경우 사용하도록 권장되며, 1시간, 3시간, 8시간, 24시간, 연간의 최대 예측 농도를 오염물질을 추출하는 지점(Receptor)별로 산출 할 수 있으며, 정상상태 가우시안 플럼 모형이므로, 특정시간에 특정 기상 조건일 경우, 오염물질을 추출하는 지점(Receptor)의 최대 농도를 산출함

○ 점 오염원으로부터 오염물질을 상당히 멀리 분포시키지만, 매우 넓은 지역을 대상으로 할 때는 적합하지 않으며, 일반적으로 20km 범위 이내로 인정함

○ CALINE3 모형은 간단한 입력 자료로 특정 기상상황 하에서 대기오염물질의 확산 영향을 분석 할 수 있으므로 탄소배출량 통합플랫폼 상의 웹 프로그램으로 구성하는데 가장 적합하다고 판단됨

○ 그러나 특정 조건의 상황에 대한 단편적인 분석만이 가능한 단점을 고려하여 활용해야함

○ AERMOD 모형은 도로이동오염원의 확산에 대한 계산을 위해서 면오염원(Area)형태로 입력을 해야 하는 어려움이 있으나 실제 관측 기상자료를 이용하여 시간별 농도계산지점의 결과를 상세히 분석하는 것이 가능함

○ 도로이동오염원의 확산에 대해 다양하게 분석하기 위해서는 CALPUFF 모형이 가장 좋으나 본 연구의 최종 목표로 하는 탄소배출량 통합플랫폼 상 웹 프로그램으로는 분석하기에는 많은 시간과 입력 자료가 요구되므로, 적합하지 않은 것으로 판단됨

○ 결과적으로, 본 연구의 최종 목표에 부합하기 위해 CALINE3 모형을 이용하여 거시적인 관점에서 대기확산을 분석하고, 상세한 결과를 필요로 하는 미시적 관점에 대해서는 AERMOD 모형을 사용하여 분석함

(3) 도시 공간 대기환경 예측 모형 개발

○ 대기확산 모형 비교 분석 결과에 따라, 탄소배출량에 따른 거시적인 관점에서의 대기확산 분석에는 CALINE3 모형을 선택하고, 미시적인 관점에서의 대기확산 분석에는 AERMOD 모형을 선택하였음

○ 대기확산모형 수행을 위해서는 <그림 1-9-9>와 같이 기본적으로 기상자료, 지형자료, 배출량자료가 필요하며, 각 모형 별로 입력 방법이 상이함



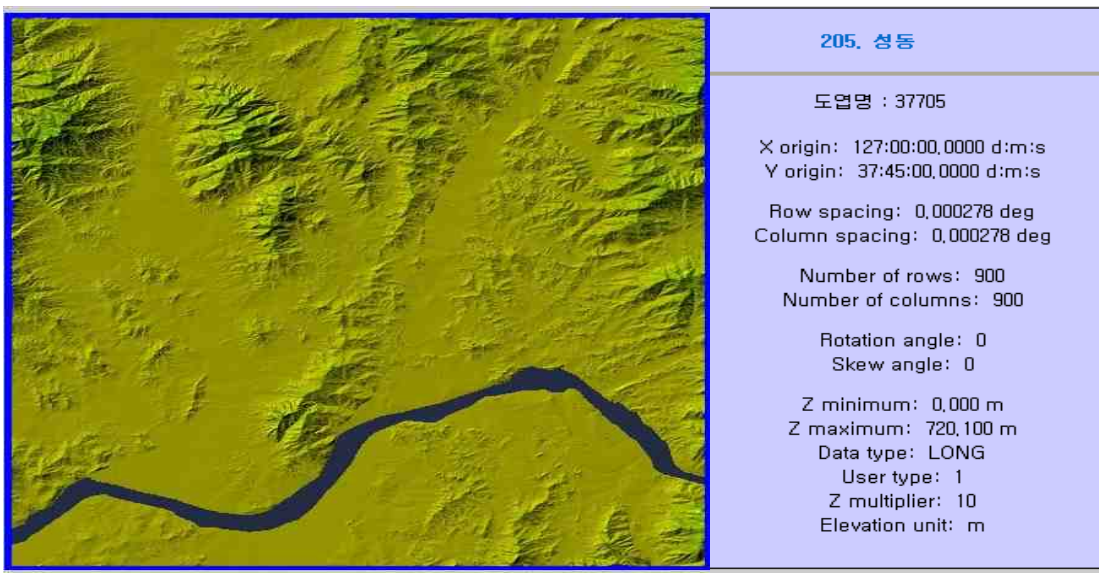
<그림 1-9-9> 대기 질 모형의 기본 입력자료

(가) CALINE3 모형의 입력 데이터 정의

○ 분석 대상 지형에 따라 대기확산 형태가 다르고 배출원의 고도 및 관심지점 고도에 따라 대기 질 확산형태가 달라지기 때문에 지형자료가 필요함

○ 모형에 사용되는 지형자료는 일반적으로 지형과 토지이용도 자료로 직교좌표체계의 x,y좌표에 따른 속성(고도, 토지이용도) 값이 필요함

○ 고도자료는 수치표고모형(Digital Elevation Model, DEM)로 제공되는데, 수치표고모형이란, 지형의 고도 값을 수치로 저장함으로써 지형의 형상을 나타내는 자료임. <그림 1-9-10> 참조



<그림 1-9-10> 수치표고모형 자료의 예

출처: 환경부, 환경공간정보서비스

○ 분석 지역의 지형자료는 수치지도에서 고도를 추출하는 것이 가장 정확하나 원활히 자료가 제공되지 않을 경우 지형자료는 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)의 SRTM3 자료를 다운로드 받아 사용할 수 있음

○ SRTM3(Shuttle Radar Topography Mission 3″)는 2000년 2월 11일 발사된 우주왕복선 엔데버호에서 관측된 고도자료를 가공하여 만들어진 3″간격(약 90M)의 고도자료인데, 관측은 2000년부터 2년간 계속되었으며 자료 공개는 2004년에 이루어졌음

○ CALINE3 모형은 특정 조건 하에서의 기상상황을 입력해야하므로 사용자의 직접 입력이 가능하고, 입력이 필요한 기상항목은 <표 1-9-6>과 같음

<표 1-9-6> CALINE3 모형 수행에 필요한 기상 항목

항목	단위	적용 한계	비고
풍속	m/sec	WS ≥ 1 m/sec	
풍향	°	0°≤ WD ≤ 360°	
대기안정도 등급	-	1, 2 3, 4, 5, 6	Pasquill의 안정도 등급
혼합고	m		

○ 배출량 입력 자료는 대기확산모형의 정확도에 영향을 미치는 중요한 요소로 정확한 배출량과 배출조건 입력이 필수적이며, 특히 탄소배출량 자료는 단위시간당 질량(g/s)의 자료와 배출원 제원이 요구됨

○ 배출량은 도로 상의 차량 통행 분석을 통해 산정된 자료를 이용하여 모형수행에 필요한 단위시간당 질량(g/s) 자료로 변환하여 오염물질 배출량(g/km/s)을 도출하고, 배출원에 대한 제원을 입력함

○ CALINE3 모형의 입력 자료는 <표 1-9-7>과 같음

<표 1-9-7> CALINE3 모형의 입력에 필요한 기본 배출원 항목

구분	세부 필요항목
도로 위치 및 형태자료	• 링크 시작, 끝 좌표 • 링크 형태 (At-grade, Depressed, Fill, Bridge, Parking lot, Intersection) • 도로(오염원)의 고도 • 방출높이
배출량	• 오염물질 배출량 (g/km/s)

(나) AREMOD 모형의 입력 데이터 정의

○ CALINE3 모형과 유사하게, 지형자료가 사용되며, 지형에 따라 대기 확산 형태가 다르고 배출원의 고도 및 관심지점의 고도에 따라 대기 질 확산형태가 달라지기 때문에 지형자료가 필요함

○ 모형에 사용되는 지형자료는 거시적 자료와 마찬가지로 지형과 토지이용도 자료로 직교좌표체계의 x,y좌표에 따른 속성(고도, 토지이용도) 값이 필요함

○ 이 모형은 1시간 간격의 관측 자료를 필요로 하고, 기상입력 자료는 지표기상 관측자료, 고층기상 관측 자료가 필요함

○ 지표기상 관측 자료와 고층기상 관측 자료는 기상청에서 관측한 자료를 사용하는 것이 일반적이며, 모형결과의 정확도를 높이기 위해 모델링 영역 내에서 상세한 기상자료를 측정하기도 함

○ 기상자료의 형식은 미국에서 제공되는 기상자료 형식을 사용하고, 일반적으로 많이 사용되는 지표기상 관측 자료의 포맷은 CD144이고, 고층기상 관측 자료의 포맷은 TD6201임

○ TD6201의 포맷은 <표 1-9-8>과 같고 CD144의 형식은 <표 1-9-9>와 같음

<표 1-9-8> TD6201 형식

구분		column	항목
001		1-8	지점 코드
002		9-12	위도
003		13	위도코드(북반구-N, 남반구-S)
004		14-18	경도
005		19	위도코드(동경-E,서경-W)
006		20-29	연월 일시
007		30-32	데이터 반복갯수
008		33	측정 퀄리티 구분
009		34-37	측정 경과시간
반복	010	38-42	기압
	011	43-48	높이
	012	49-52	온도
	013	53-55	습도
	014	56-58	풍향
	015	59-61	풍속
	016	62-67	항목별 QA/QC 코드
	017	68	데이터구분 코드

<표 1-9-9> CD144 형식

Column	항목
1-5	지점번호(Station Number WBAN)
6-7	년도(Year)
8-9	월 (Month)
10-11	일 (Day)
12-13	시(Time)
14-16	운고(The height of the cloud ceiling)
17-20	층별운량(Differential cloud cover)
21-23	가시도(Viability)
24-31	기상형태(Weather condition)
32-35	해면기압(Sea Level Pressure)
36-38	이슬점온도(Dew Point Temperature)
39-40	풍향(Wind Direction)
41-42	풍속(Wind Speed)
43-46	지표기압(Station Pressure)
47-49	건구온도(Dry Bulb Temperature)
50-52	습구온도(Wet Bulb Temperature)
53-55	습도(RelativeHumidity)
56	총운량(Total Sky Cover)
57	가장 낮은 층의 양(Amount of Lowest Layer)
58	가장 낮은 구름 층의 형태(Type of Cloud Lowest Layer)
59-61	가장 낮은 층의 높이(Height of Lowest Layer)
62	두 번째 층의 양(Amount of Second Layer)
63	두 번째 층의 형태(Type of Second Layer)
64-66	두 번째 층의 높이(Height of Second Layer)
67	두 번째 층에서의 총량(Summation Amount at Second Layer)
68	세 번째 층의 양(Amount of Third Layer)
69	세 번째 층의 형태(Type of Third Layer)
70-72	세 번째 층의 높이(Height of Third Layer)
73	세 번째 층의 총량(Summation Amount at Third Layer)
74	네 번째 층의 양(Amount of Fourth Layer)
75	네 번째 층의 형태(Type of Fourth Layer)
76-78	네 번째 층의 높이(Height of Fourth Layer)
79	총 불투과 운량(Total Opaque Sky Cover)

○ 기상 관측 자료는 기상청을 통해 자료 구매가 가능하고, 기상청에서는 전국 77개소의 기상청에서 기압, 기온, 풍향, 풍속, 습도, 강수량(0.1mm, 0.5mm), 강수유무, 일사량, 일조시간, 지면온도, 초상온도 11개 요소에 대해서는 자동으로 관측하고, 시정, 구름, 증발량, 지중온도 5개 요소에 대해서는 목측(目測) 및 수동 관측함

○ 대부분 관측 자료의 시간해상도는 1시간 단위이며, 기압 등 일부 자료에 관해서는 3시간 간격으로 자료를 제공하고 있고, 일사량의 경우 05시부터 20시까지 만의 자료를 제공함

○ 고층기상관측은 속초(47090), 백령도(47102), 오산(47122), 포항(47138), 광주(47158), 흑산도(47169), 고산(47185)등 7개 지점이며, 이중 속초, 백령도, 포항, 흑산도, 고산은 기상청(1일 2회)에서 관측하며, 오산과 광주는 공군(1일 4회) 관측함

(다) 배출량자료 또는 모형

○ 단위시간당 질량(g/s)의 자료와 배출원의 제원이 요구되며, 배출량은 도로 상의 차량 통행 분석을 통해 산정된 자료를 이용하여 모형수행에 필요한 단위시간당 질량(g/s) 자료로 변환하여 단위면적당 배출량(g/㎡/s)을 도출하고, 배출원에 대한 제원을 입력함

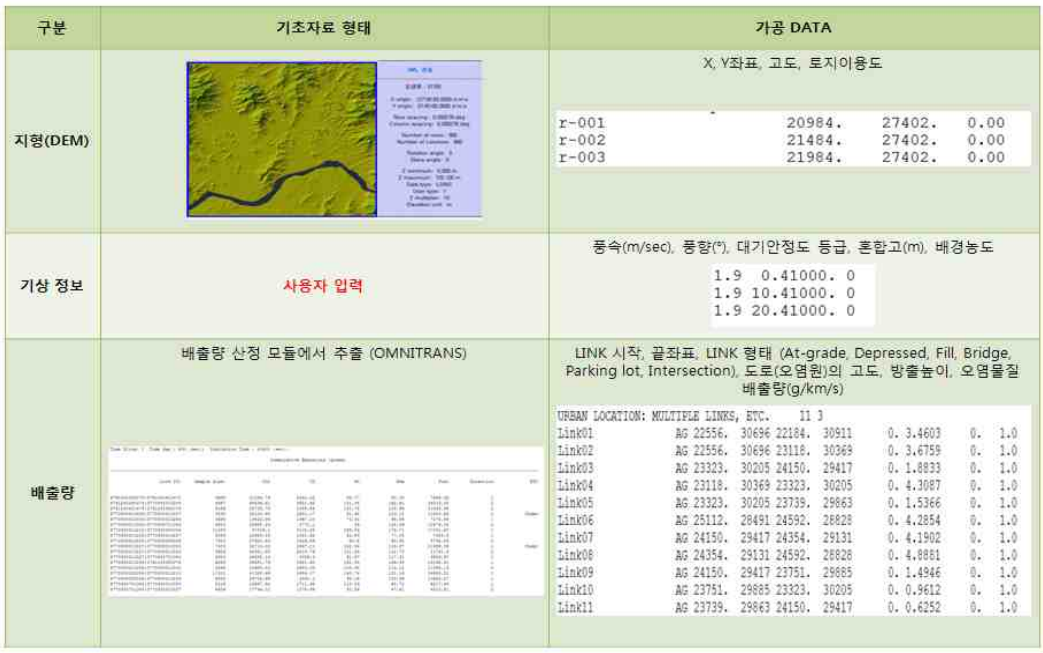
○ AERMOD 모형의 배출원 입력 자료는 <표 1-9-10>과 같음

<표 1-9-10> AERMOD 모형에 필요한 기본 배출원 항목

구분	세부 필요항목
도로 위치 및 형태자료	• 좌측하단 좌표 • 가로, 세로 길이 • 회전각도, 도로(오염원)의 고도 • 방출높이
배출량	• 단위면적당 배출량(g/㎡/s)

(라) 대기확산 모형의 입력 데이터 처리

○ 일단 기초자료 형태를 입력하게 되면, <그림 1-9-11>와 같이 CALINE3 모형에 적합하도록 가공 데이터로 변경함



<그림 1-9-11> 대기확산 모형 입력값 설계

○ 모형의 입력 자료는 ASCII형태이며, 입력파일의 각 항목은 칼럼에 맞춤

○ <표 1-9-11>은 모형의 입력자료를 나타내고, <그림 1-9-12>에 간단한 입력 파일의 예를 나타냄

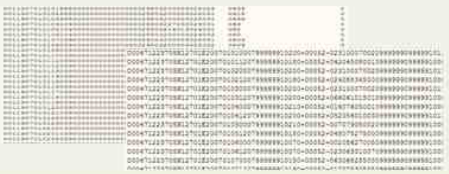
```
case1- no2 -recepter 01                60. 3      0.   0. 3        1.NO2 1 46.
r-001                    20984.    27402.   0.00
r-002                    21484.    27402.   0.00
r-003                    21984.    27402.   0.00
URBAN LOCATION: MULTIPLE LINKS, ETC.     11 3
Link01              AG 22556.  30696 22184.  30911      0. 3.4603     0.   1.0
Link02              AG 22556.  30696 23118.  30369      0. 3.6759     0.   1.0
Link03              AG 23323.  30205 24150.  29417      0. 1.8833     0.   1.0
Link04              AG 23118.  30369 23323.  30205      0. 4.3087     0.   1.0
Link05              AG 23323.  30205 23739.  29863      0. 1.5366     0.   1.0
Link06              AG 25112.  28491 24592.  28828      0. 4.2854     0.   1.0
Link07              AG 24150.  29417 24354.  29131      0. 4.1902     0.   1.0
Link08              AG 24354.  29131 24592.  28828      0. 4.8881     0.   1.0
Link09              AG 24150.  29417 23751.  29885      0. 1.4946     0.   1.0
Link10              AG 23751.  29885 23323.  30205      0. 0.9612     0.   1.0
Link11              AG 23739.  29863 24150.  29417      0. 0.6252     0.   1.0
1.9  0.41000. 0
1.9 10.41000. 0
1.9 20.41000. 0
```

<그림 1-9-12> CALINE3 모형 입력 파일 예

<표 1-9-11> CALINE3 모형의 입력 자료

Line	변수명	설명	컬럼수	적용한계
1	JAB	작업명	1-40 : 5A8	
	ATIM	평균시간(분)	41-44 : F4.0	3min≤ATIM≤120min
	Z0	표면거칠기, 조도(cm)	45-48 : F4.0	3cm ≤ Z0 ≤ 400cm
	VS	침전속도(m/sec)	49-53 : F5.0	
	VD	퇴적속도(m./sec)	54-58 : F5.0	
	NR	예측점의 수	59-60 : I2	
	SCAL	Scale Factor	61-70 : F10.0	
	POLNAM	오염물질명	71-74 : A4	
	UCON	오염물질 단위	75 : I1	0 :$\mu g/m^3$, 1: ppb
	POLMOL	오염물질 분자량	76-80 : F5.1	
2	RCP	예측점 이름	1-20 : 5A4	
	XR	예측점 X좌표	21-30 : F10.0	
	YR	예측점 Y좌표	31-40 : F10.0	
	ZR	예측점 높이	41-50 : F10.0	Z ≥ 0
3	RUN	배출원명	1-40 : 5A8	
	NL	LINK 수(최대20)	41-43 : I3	
	NM	기상변수의 수	44-46 : I3	
4	LNK	링크이름	1-20 : 5A4	
	TYP	단면형태 AG:평탄, FL:성토 BR:교량, DP:절토	21-22 : A2 23-29, 30-36 : 2F7.0	
	XL1, YL1	링크 시작좌표	37-43, 44-50 : 2F7.0	
	XL2, YL2	링크 끝좌표		
	VPHL	교통량(대/시)	51-58 : F8.0	
	EFL	오염물질 배출량(g/km·sec)	59-68 : F10.5	
	HL	오염물질높이(m)	69-73 : F5.0	-10m ≤ H ≤ 10m
	WL	방출높이(m)	74-78 : F.50	
5	WS	풍속(m/sec)	1 - 3 : F3.0	WS≥1 m/sec
	WD	풍향 (°)	4 - 7 : F4.0	0°≤ WD ≤ 360°
	CLAS	대기안정도 등급	8 : I1	CLAS=1, 2 3, 4, 5, 6
	MIXH	혼합고(m)	9 -14 : F6.0	
	AMB	배경농도($\mu g/m^3$, ppb)	15-20 : F6.1	

○ 일단 기초자료 형태를 입력하게 되면, <그림 1-9-13>과 같이AERMOD 모형에 적합하도록 가공 데이터로 변경함

구분	기초자료 형태	가공 DATA
지형(DEM)		X, Y좌표, 고도, 토지이용도 RE STARTING RE GRIDCART CART1 STA RE GRIDCART CART1 XYINC 320984 10 500 4127402 10 500 RE GRIDCART CART1 END RE FINISHED
기상 정보	좌표기상 관측자료 (CD144), 고층기상 관측자료 (TD6201) 	AERMET로 파일생성 (FORMAT : SFC, PFL) ME STARTING SURFFILE AERMET.SFC PROFFILE AERMET.PFL SURFDATA 00119 2007 suwon,KR UAIRDATA 00047122 2007 OSAN,KR SITEDATA 0 2007 UNKNOW PROFBASE 0.0 METERS ME FINISHED
배출량	배출량 산정 모듈에서 추출 (MATSIM) 	좌측하단 좌표, 가로, 세로 길이, 회전각도, 도로(오염원)의 고도, 방출높이, 단위면적당 배출량(g/m²/s) SO STARTING EMISUNIT 0.487e6 GRAMS/SEC PPB LOCATION line1 area 322556 4130696 60.4 SRCPARAM line1 0.000053 60 65 428 118 0.0 SRCGROUP ALL SO FINISHED

<그림 1-9-13> 대기확산 모형 입력값 설계

○ AERMOD 모형의 입력 자료는 CALINE3 모형과 마찬가지로, ASCII형태의 파일로 입력함

○ <그림 1-9-14>는 간단한 입력 파일의 예를 나타냄

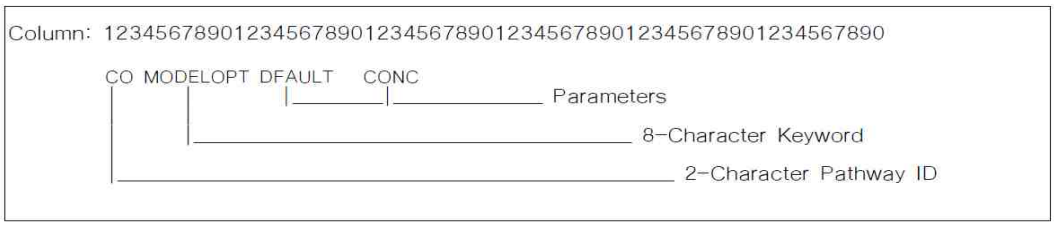
```
CO STARTING
   TITLEONE A Simple Example Problem for the AERMOD Model with PRIME
   MODELOPT  CONC    FLAT
   AVERTIME  1
   POLLUTID  NO2
   RUNORNOT  RUN
   ERRORFIL  ERRORS.OUT
CO FINISHED
SO STARTING
   EMISUNIT  0.487e6 GRAMS/SEC PPB
   LOCATION  line1   area  322556  4130696    60.4
   SRCPARAM  line1   0.000053   60   65   428    118   0.0
   SRCGROUP  ALL
SO FINISHED
RE STARTING
RE GRIDCART CART1 STA
RE GRIDCART CART1 XYINC      320984   10     500     4127402   10     500
RE GRIDCART CART1 END
RE FINISHED
ME STARTING
   SURFFILE  AERMET.SFC
   PROFFILE  AERMET.PFL
   SURFDATA  00119   2007   suwon,KR
   UAIRDATA  00047122   2007   OSAN,KR
   SITEDATA  0    2007 UNKNOW
   PROFBASE  0.0   METERS
ME FINISHED
OU STARTING
   RECTABLE  ALLAVE   FIRST-SECOND
   MAXTABLE  ALLAVE   50
   PLOTFILE 1 ALL FIRST 1HR_FIRST.PLT
   POSTFILE 1 ALL PLOT POST.PLT
OU FINISHED
```

<그림 1-9-14> AERMOD 모형 입력 파일의 예

○ 입력 파일은 기능적으로 5가지 형태로 구분 되어있으며, 각 구분은 2자리의 ID 코드로 구분되어지며, 각 ID 코드는 다음과 같음

- CO : 전반적인 작업을 제어하는 옵션을 구체화
- SO : 배출원 정보를 구체화
- RE : 측정점 정보를 구체화
- ME : 기상정보를 구체화
- OU : 출력 옵션을 구체화

○ 입력 파일의 각 행은 경로(Pathway) ID, 8자리 키워드(Keyword)와 변수(Parameter)항목으로 구성되어 있으며 입력하는 행에 대한 예는 다음 그림과 같음



<그림 1-9-15> 입력하는 행에 대한 예

○ 1열과 2열의 두 글자 경로(Pathway), 4열부터 11열까지 8자 키워드(Keyword), 뒤이어 18열에서 132열까지 필요한 만큼의 변수(Parameter)로 구성됨

○ 변수(Parameter)는 키워드(Keyword)에 따라 다르며, 한 칸 이상의 공백으로 구분되어져 위치는 보다는 순서가 중요함

○ 각 경로(Pathway)는 연속적으로 순차적으로 입력되어야하는데 예를 들면, CO 경로(Pathway)에 대한 모든 입력 자료는 가장 먼저 오고, SO 경로(Pathway)는 그 다음에, RE, ME, OU 순으로 경로(Pathway)순으로 되어야 함

○ 각 경로(Pathway)는 "STARTING" 으로 구분되고, 경로(Pathway)의 끝은 "FINISHED"로 구분되어 각 입력파일의 처음 기능적 기록은 "CO STARTING"으로 시작되고 마지막은 "OU FINISHED"로 종료됨

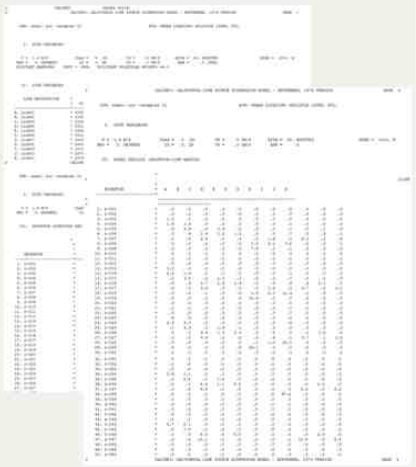
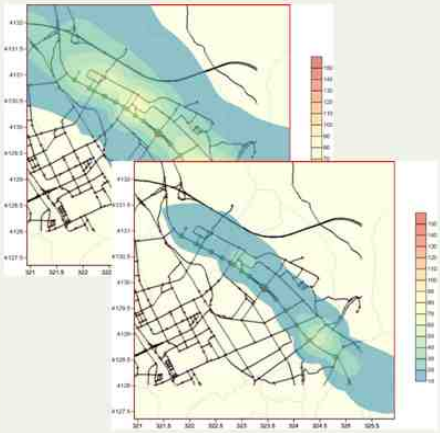
○ 기상자료는 AERMET(Aermod Meteorological Preprocessor)을 이용하여 지표 기상 값인 *.SFC 파일과 프로파일 값인 *.PFL 파일이 별도의 ASCII파일로 입력됨

<표 1-9-12> AERMOD 입력 파일의 키워드(Keyword) 설명

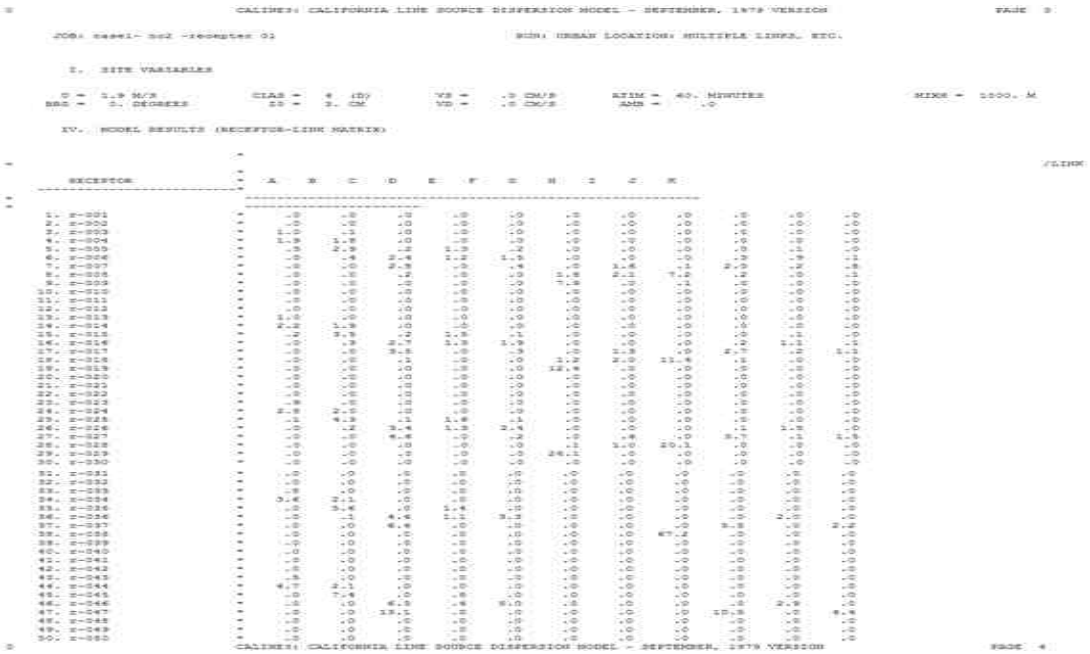
경로 (Pathway)	키워드 (Keyword)	설명
CO	STARTING	CO 시작
	TITLEONE	작업명칭
	MODELOPT	작업 제어와 분산 옵션.
	AVERTIME	결과평균 시간
	POLLUTID	오염물질
	RUNORNOT	모형 실행확인
	ERRORFIL	상세한 에러 리스팅 파일을 발생시키는 옵션
	FINISHED	CO 끝
SO	STARTING	SO 시작
	EMISUNIT	배출량 단위와 농도 단위 변환을 위한 전환율
	LOCATION	오염원 위치
	SRCPARAM	오염원 제원 및 배출량
	SRCGROUP	오염원 그룹정보
	FINISHED	SO 끝
RE	STARTING	RE 시작
	GRIDCART	농도계산 지점 위치정보
	FINISHED	RE 끝
ME	STARTING	ME 시작
	SURFFILE	SFC 파일명
	PROFFILE	PFL 파일명
	SURFDATA	지표기상자료 식별값(지점ID, 년도, 지점명)
	UAIRDATA	고층기상자료 식별값(지점ID, 년도, 지점명)
	SITEDATA	Site 자료 식별값(지점ID, 년도, 지점명)
	PROFBASE	기상자료 고도
	FINISHED	ME 끝
OU	STARTING	OU 시작
	RECTABLE	농도계산결과 표 작성옵션
	MAXTABLE	농도계산결과 최대값 작성옵션
	PLOTFILE	그림을그리기위해지점별농도파일및작성옵션
	POSTFILE	지점별 시간별 농도
	FINISHED	OU 끝

○ CALINE3 모형 수행 시 예측 점에서의 농도는 파일의 형태로 출력되어지며, 출력은 입력한 예측지점의 x,y 농도로 출력됨

○ 오염원별 예측지점의 농도와 예측지점에서의 총 농도가 출력되고, 이중 예측지점의 x,y 총 농도를 이용하여 등농도 그래프를 작성함 <그림 1-9-16>참조

구분	가공 전	가공 후
파일포맷	LST, DAT	SHP
내용	같은 기상조건에서의 오염 물질별 예측점의 최대농도 	등농도 형태로 ArcGIS, SUFFER 프로그램을 통해서 변환 

<그림 1-9-16> 대기확산 모형 출력값 설계



<그림 1-9-17> CALINE3 모형 결과파일의 예

○ AERMOD 모형에서는 1시간, 8시간, 24시간, 기간 평균의 최대농도(예측지점에서)가 결과파일(Plot 파일)로 작성됨

○ 결과파일은 예측지점의 x,y 농도가 출력되며, 이를 이용하여 등농도 그래프를 작성함

○ Output 파일에 Maximum table로 하여 예측지점의 순위별로 50순위가 정리되어 표로 나타나며, 이를 이용하여 최대 착지지점과 농도를 확인함

구분	가공 전	가공 후
파일포맷	PLT	SHP
내용	시간별 지점별 오염 물질의 최대농도	등농도 형태로 ArcGIS, SUFFER 프로그램을 통해서 변환

<그림 1-9-18> 대기확산 모형 출력값 설계

```
* AERMOD (04300): A Simple Example Problem for the AERMOD Model with PRIME
* MODELING OPTIONS USED:
*  CONC                              FLAT
*         PLOT FILE OF  HIGH 1ST  HIGH  1-HR VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL
*         FOR A TOTAL OF  2501 RECEPTORS.
*         FORMAT: (3(1X,F13.5),3(1X,F8.2),3X,A5,2X,A8,2X,A4,6X,A8,2X,I8)
*        X             Y       AVERAGE CONC    ZELEV    ZHILL    ZFLAG    AVE     GRP       HIVAL    NET ID   DATE(CONC)
* _____________ _____________ _____________ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____
 320984.00000 4127402.00000   2132.26465   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
 321084.00000 4127402.00000   2093.56738   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
 321184.00000 4127402.00000   2057.13892   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
 321284.00000 4127402.00000   2027.18701   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
 321384.00000 4127402.00000   2004.70850   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
 321484.00000 4127402.00000   1990.34387   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
 321584.00000 4127402.00000   1985.11157   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
 321684.00000 4127402.00000   1989.78699   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
 321784.00000 4127402.00000   2003.93054   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
 321884.00000 4127402.00000   2025.90063   0.00   0.00   0.00  1-HR  ALL   1ST   CART1    7110809
```

<그림 1-9-19> PLOT 파일 예

(4) 도시 공간 대기환경 예측 모형 적용

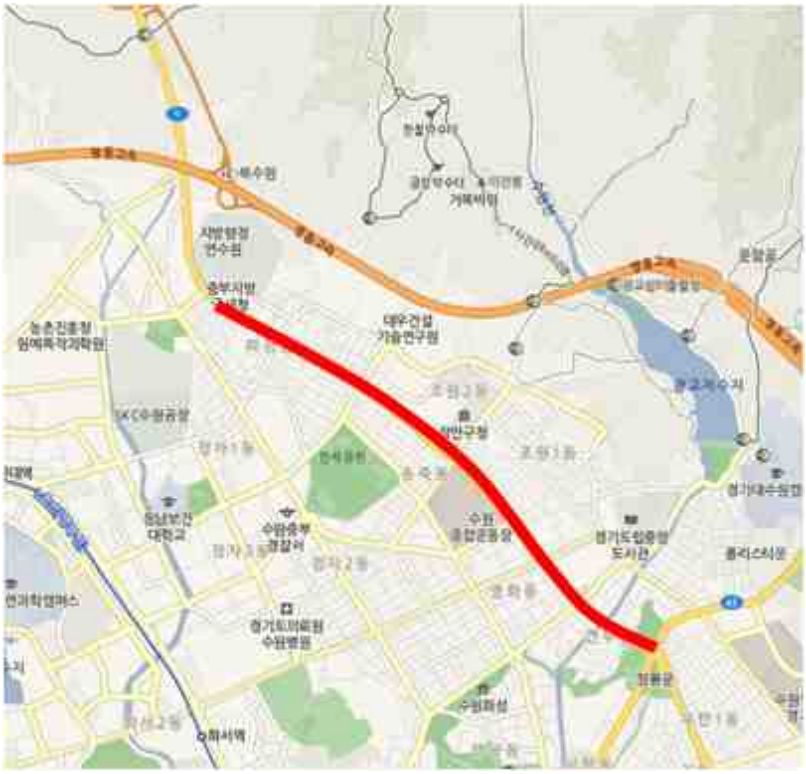
(가) CALINE3 모형 적용

○ 탄소배출량 모형[26]으로부터 산정된 배출량으로부터 대기확산분석을 위해 CALINE3 모형과 AERMOD 모형 수행에 대한 설계를 간단한 시범구간에 적용함

○ 시범구간은 수원지역으로써 국세청에서부터 창룡문까지 약 4km 일반국도 1호선을 대상으로 2가지 시나리오를 설정하여 분석하였으며, 산정 영역은 <그림 1-9-20>와 같음

○ 시나리오 1은 차종이 일반차량만을 포함하고 있는 반면 시나리오 2는 친환경차량을 포함함

26) 시범구간에 대한 탄소배출량 산정을 위해 Comprehensive Modal Emision Model을 이용함



<그림 1-9-20> 도로이동오염원의 배출량 산정 영역

○ 미시적 탄소배출량모형으로부터 산정된 배출량의 결과파일의 예는 <그림 1-9-21>과 같으며, 탄소배출량 결과는 600초 간격으로 총 28회 결과를 산출하였음

Time Slice: 1 Time Gap : 600 (sec.) Simulation Time : 20400 (sec.)

Cummulative Emissions (grams)

Link ID:	Sample Size:	CO2	CO	HC	NOx	Fuel	Direction	ETC
3761240380078:3761240401475	3685	21054.78	2241.02	95.77	93.33	7849.32	1	
3761240380078:3770930310254	9987	45536.61	3651.62	141.38	162.61	16314.08	2	
3761240401475:3761240380078	6168	28738.75	2488.86	100.78	108.66	10399.64	2	
3770930310030:3770930310227	4530	32100.94	2901.17	81.94	133.12	11643.63	2	Under
3770930310030:3770930310254	3635	19422.94	1967.23	73.41	86.99	7175.44	1	
3770930310030:3770930701043	4825	29955.24	2771.1	59	128.46	10878.33	2	
3770930310212:3770930330006	11235	47009.1	4103.56	169.04	176.71	17031.63	1	
3770930310225:3770930310227	5584	22665.59	1581.92	52.83	77.05	7984.8	1	
3770930310225:3770930330006	7910	27620.83	1916.56	80.8	90.32	9742.43	2	
3770930310227:3770930310030	7403	32719.02	2947.11	152.56	130.47	11936.56	1	Under
3770930310227:3770930310225	9926	32951.89	2514.76	101.94	112.75	11741.8	2	
3770930310227:3770930701042	4003	26255.14	2458.5	61.67	117.31	9559.97	1	
3770930310254:3761240380078	6840	35881.79	3481.63	152.54	146.44	13198.31	1	
3770930310254:3770930310030	8264	30683.45	2653.08	104.65	115.12	11098.13	2	
3770930330006:3770930310212	11501	41388.66	2984.07	145.74	131.16	14680.51	2	
3770930330006:3770930310225	8839	29705.69	2341.1	95.18	103.49	10625.27	1	
3770930701042:3770930310030	5218	16657.92	1711.98	110.93	65.72	6217.43	1	
3770930701043:3770930310227	6636	17744.12	1076.86	80.56	47.61	6212.81	2	

Time Slice: 2 Time Gap : 600 (sec.) Simulation Time : 21000 (sec.)

Cummulative Emissions (grams)

Link ID:	Sample Size:	CO2	CO	HC	NOx	Fuel	Direction	ETC
3761240380078:3761240401475	5596	30959.85	2552.94	87.52	117.78	11117.38	1	
3761240380078:3770930310254	11377	49457.73	3356.34	100.87	161.62	17360.63	2	
3761240401475:3761240380078	7264	28594.3	2162.83	74.18	100.34	10164.22	2	
3770930310030:3770930310227	5738	41270.48	3493.56	89.63	166.87	14835.77	2	Under
3770930310030:3770930310254	10800	34090.5	2142.44	67.8	103.22	11879.86	1	
3770930310030:3770930701043	5422	37810.59	3624.48	89.69	166.83	13810.03	2	
3770930310212:3770930330006	15495	51405.44	3416.15	98.91	163.78	18002.15	1	
3770930310225:3770930310227	10417	37063.94	2615.91	96.12	123.44	13081.93	1	
3770930310225:3770930330006	22766	68993.57	5335.12	286.99	225.3	24697.63	2	
3770930310227:3770930310030	11054	49528.79	3305.08	83.81	168.88	17339.44	1	Under
3770930310227:3770930310225	10861	41454.66	2947.58	143.92	134.36	14681.29	2	
3770930310227:3770930701042	6047	38293.9	2998.35	45.33	153.03	13604.91	1	
3770930310254:3761240380078	12992	68547.87	4812.74	124.74	235.4	24125.28	1	
3770930310254:3770930310030	11421	33750.4	1850.43	96.8	88.64	11658.95	2	
3770930330006:3770930310212	23200	77200.26	5954.78	330.42	251.18	27637.89	2	
3770930330006:3770930310225	8928	33185.55	1861.97	44.75	97.89	11431.07	1	
3770930701042:3770930310030	6931	19367.59	940.69	42.99	47.28	6617.04	1	

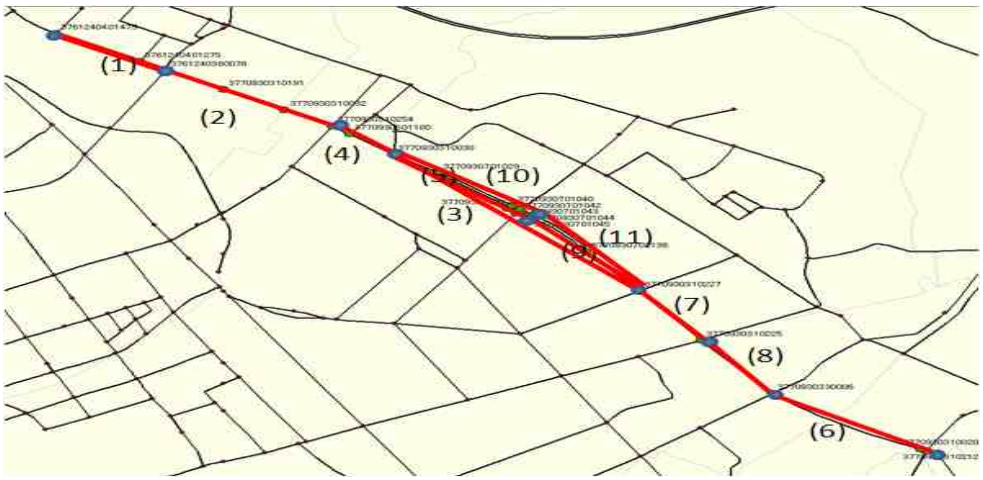
<그림 1-9-21> 탄소배출량 모형으로부터 산정된 배출량 ASCII 파일 예

○ 산출된 배출량의 종류는 CO_2, CO, HC, NOx이며, 이중 대기확산분석을 위한 대상물질인 CO와 NOx에 대한 산정을 위해 입력 자료를 구성하였음

○ 시범구간은 총 18개의 링크가 상향과 하향으로 구분되어 있으나, 대기확산모형 수행에는 방향에 대한 정보는 필요 없으므로 동일 구간끼리 정리하면 링크는 총 11개로 구성됨

○ CALINE3 모형은 링크 입력이 필수적이므로 각 링크의 시·종점 좌표, 고도, 거리에 관한 정보를 수집하여 입력함

○ 분석을 위한 시·종점 좌표는 노드 쉐이프파일(Node Shp file)을 통해 각 링크의 좌표를 얻고, 이를 이용하여 거리를 계산하며, 고도는 수치지도를 이용하여 산정함



<그림 1-9-22> 탄소배출량의 링크 결과 정리

<표 1-9-13> CALINE3 모형 입력을 위한 배출원 제원

구분	Link ID		고도	거리
	시점	종점		
1	3761240380078	3761240401475	60	429.0751
2	3761240380078	3770930310254	62	650.3817
3	3770930310030	3770930310227	65	1142.298
4	3770930310254	3770930310030	65	262.5709
5	3770930310030	3770930701043	65	537.9893
6	3770930310212	3770930330006	70	619.5848
7	3770930310227	3770930310225	68	351.1379
8	3770930310225	3770930330006	68	385.5252
9	3770930310227	3770930701042	65	615.1296
10	3770930701042	3770930310030	65	534.2961
11	3770930701043	3770930310227	65	607.0756

○ 탄소배출량 모형으로부터 산정된 배출량의 오염물질 단위는 g으로 시간별로 결과가 산출되며, CALINE3 모형의 입력 배출량은 시간당 거리당 질량(g/sec・km)임

○ CALINE 3 모형에 입력되는 배출량은 다음과 같이 계산함

$$\text{CALINE 배출량(g/sec・km)} = \frac{\sum \text{오염물질의배출량}(g)}{\sum \text{분석시간(sec)} \times \text{링크거리}(km)}$$

○ 앞서 언급한대로, 친환경차량이 도입되지 않았을 경우를 시나리오 1, 도입된 경우를 시나리오 2 로 하여 CALINE3 모형의 배출량을 산정한 결과는 <표 1-9-14>와 같음

<표 1-9-14> CALINE3 모형 배출량

구분	시나리오 1		시나리오 2	
	NOx (g/s/km)	CO (g/s/km)	NOx (g/s/km)	CO (g/s/km)
1	3.4603	119.9780	1.3966	30.9399
2	3.6759	169.4816	1.2193	31.8210
3	1.8833	68.5413	0.7411	16.4665
4	4.3087	194.1588	1.3888	34.6815
5	1.5366	50.6576	0.6520	13.9467
6	4.2854	158.0156	1.6454	37.1322
7	4.1902	171.8847	1.3997	32.9392
8	4.8881	211.6132	1.6631	40.2599
9	1.4946	49.7319	0.6473	13.9631
10	0.9612	43.1358	0.3120	7.7515
11	0.6252	26.5124	0.2157	5.1601

(나) AERMOD 모형 적용

○ AERMOD 모형은 면적(Area)으로 입력해야하므로 동일한 도로가 되는 링크 3, 5,10과 링크 9,11은 하나로 통합하여 9개의 입력 자료를 산정하고, 적(Area)에서는 도로의 폭, 길이, 각도, 면적 고도, 좌측하단좌표에 대한 정보가 필요함

○ 좌측하단 좌표는 노드쉐이프파일(Node Shp file)을 이용하여 좌표와 거리, 각도를 구하고 폭은 65m로 가정함

<표 1-9-15> CALINE3 모형 입력을 위한 배출원 제원

구분	Link ID		고도	거리	폭	면적
	시점	종점				
1	3761240401475	3761240380078	60	429.0751	65	27,890
2	3761240380078	3770930310254	62	650.3817	65	42,275
4	3770930310254	3770930310030	65	262.5709	65	17,067
6	3770930330006	3770930310212	70	619.5848	65	34,969
7	3770930310227	3770930310225	68	351.1379	65	40,273
8	3770930310225	3770930330006	68	385.5252	65	22,824
5	3770930310030	3770930701043	65	537.9893	65	25,059
9	3770930701042	3770930310227	65	615.1296	65	39,983

○ 탄소배출량 모형으로부터 산정된 배출량의 오염물질 단위는 g 으로 시간별로 결과가 산출되며, AERMOD 모형의 입력 배출량은 시간당 면적당 질량(g/sec · ㎡)임

○ AERMOD 모형에 입력되는 배출량은 다음과 같이 계산함

$$\text{AERMOD배출량(g/sec · ㎡)} = \frac{\sum \text{오염물질의배출량}(g)}{\sum \text{분석시간(sec)} \times \text{오염원면적}(m^2)}$$

○ 앞서 언급한대로, 친환경차량이 도입되지 않았을 경우를 시나리오 1, 도입된 경우를 시나리오 2로 하여 AERMOD모형의 배출량을 산정한 결과는 <표 1-9-16>과 같음

<표 1-9-16> CALINE3 모형 배출량

구분	시나리오 1		시나리오 2	
	NOx (g/s/㎡)	CO (g/s/㎡)	NOx (g/s/㎡)	CO (g/s/㎡)
1	5.33695E-05	0.00185	0.000022	0.000477
2	5.6586E-05	0.00261	0.000019	0.000490
4	6.64327E-05	0.00299	0.000021	0.000535
6	6.59909E-05	0.00243	0.000025	0.000572
7	6.44901E-05	0.00265	0.000022	0.000507
8	7.53043E-05	0.00326	0.000026	0.000620
5	0.000100031	0.00224	0.000039	0.000872
9	3.24943E-05	0.00068	0.000013	0.000293

○ CALINE3 모형과 AERMOD모형 수행을 위해서 크게 모형 옵션, 농도계산지점, 배출원, 기상으로 구분할 수 있음

○ 배출원은 앞에서 정리하였으므로 여기서는 모형 옵션, 농도계산지점, 기상으로 나누어 나타내었음

(다) CALINE3 모형의 대기확산 분석

○ CALINE3 모형 수행을 위해 필요한 항목은 <표 1-9-17>과 같으며, 항목별로 웹 프로그램 구축 시 입력받지 않고 고정 시킬 수 있는 항목은 고정 값에 나타내었고, 입력 시 제한이 있는 항목은 한계에 나타내었음

<표 1-9-17> 토양종류에 따른 표면 거칠기

표면 형태		표면 거칠기 : Z0(cm)
풀,잔디(Grass) (60~70cm)		11.4
밀경작지(Wheat) (60cm)		22
옥수수경작지(Corn) (220cm)		74
과수원 (Citrus orchard)		198
숲 (Fir forest)		283
도심 (City land-use)	단독주거지 (Single family residential)	108
	아파트 (Apartment residential)	370
	상업지구(Office)	175
	중심업무지구(Central Business District)	321
	공원(Park)	127

○ 농도 예측점의 개수는 50개 이하이나 모형을 여러 번 수행하여 50개 이상의 예측점을 분석함

○ 예측점에서의 농도는 기상현황에 대해 각각 분석되어 나오나 공간적 확산 결과를 보기 위해 모형의 기상은 10°간격으로 풍향을 36개를 넣어 산출된 36개의 예측점 농도 중 최대 농도를 예측점에서의 농도로 산정함

<표 1-9-18> CALINE 3 모형 구축을 위한 값

변수명	설 명	고정값	한계	비고
JAB	작업명			한글가능
ATIM	평균시간(분)	60		
Z0	표면거칠기, 조도(cm)	<표1-9-17>		
VS	침전속도(m/sec)	0		
VD	퇴적속도(m/sec)	0		
NR	예측점의 수		≤50	
SCAL	Scal Factor	1		
POLNAM	오염물질명	NO2, CO, SO_2, PM10		
UCON	오염물질 단위		0 :㎍/㎥, 1: ppb	
POLMOL	오염물질 분자량	NO_2=46, CO=28, SO_2 =64,PM_{10}=0		오염물질명에 따라 입력
RCP	예측점 이름			일련번호 및 한글가능
XR	예측점 X좌표			6자리
YR	예측점 Y좌표			6자리
ZR	예측점 높이			
RUN	배출원명			한글가능
NL	LINK 수		≤20	
NM	기상변수의 수	36		10도 간격으로 풍향 분석
LNK	LINK이름			일련번호 및 한글가능
TYP	단면형태	AG:평탄, FL:성토, BR:교량, DP:절토		4가지형태 중 선택
XL1, YL1	LINK 시작좌표			6자리
XL2, YL2	LINK 끝좌표			6자리
VPHL	교통량(대/시)	1		계산에 사용하지 않음
EFL	오염물질 배출량(g/km·sec)			탄소배출량 산정모형에서 연계
HL	오염물질높이(m)			
WL	방출높이(m)			
WS	풍속(m/sec)		≥1 m/sec	
WD	풍향(°)			입력받지 않고 10도 간격으로 기상자료 반복 입력
CLAS	대기안정도 등급			
MIXH	혼합고(m)		≤1000	
AMB	배경농도 (㎍/㎥, ppb)	0		모형에서는 고정

(라) AERMOD 모형의 대기확산 분석

○ AERMOD 모형 수행을 위해 필요한 경로(Pathway) 별 항목은 <표 1-9-19>~<표 1-9-23>와 같으며, 항목별로 통합플랫폼 웹 프로그램 구축 시 입력받지 않고 고정 시킬 수 있는 항목은 고정 값에 나타내었음

<표 1-9-19> CO 경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값

Keyword	Parameter	설명	고정값	비고
TITLEONE	Title 1	작업명		
MODELOPT		모형 기본 옵션	DFAULT CONC	
AVERTIME	Time 1	평균할 시간 간격	1	NO_2, SO_2,CO
	Time 2		8	CO
	Time 3		24	NO_2, SO_2,PM_{10}
	PERIOD		PERIOD	
POLLUTID	POLLUT	오염물질	NO_2, SO_2, PM_{10}, CO	
RUNORNOT		모형수행확인	RUN	
ERRORFIL		상세한 에러 파일을 발생시키는 옵션	error.fil	

<표 1-9-20> SO 경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값

Keyword	Parameter	설명	고정값	비고
EMISUNIT		오염물질 단위	METERS	
LOCATION	Srcid	LINK이름		일련번호가능
	Srctyp	오염원 형태	AREA	
	Xs	X좌표(m)		
	Ys	Y좌표(m)		
	Zs	고도(m)		
SRCPARAM	Aremis	오염물질 배출량 (g/sec·㎡)		탄소배출량 산정모형에서 연계
	Xinit	길이(m)		
	Yinit	폭(m)		
	Angel	각도(m)		
	Szinit	방출높이(m)		
SRCGROUP		오염원 그룹정보	all	

<표 1-9-21> RE 경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값

Keyword	Parameter	설명	고정값	비고
GRIDCART	Netid	예측점 명		해당행 반복가능
	Xinit	X좌표(m)		
	Xnum	예측점 X방향 갯수		
	Xdelta	X방향 간격		
	Yinit	Y좌표(m)		
	Ynum	예측점 Y방향 갯수		
	Ydelta	Y방향 간격		
DISCCART	Xcord	예측점 X좌표		해당행 반복가능
	Ycord	예측점 Y좌표		
	Zelev	예측점 고도		
	Zhill	예측점 경사		
	Zflag	예측점 높이		

<표 1-9-22> ME 경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값

Keyword	Parameter	설명	고정값	비고
SURFDATA	SStanum	지표기상관측지점코드		기상자료 파일에 쓰여있는 값과 일치해야함
	SYear	지표기상자료 년도		
UAIRDATA	uStanum	고층기상관측지점코드		
	uYear	고층기상자료 년도		
PROFBASE	BaseElev	기상측정지점 고도		

<표 1-9-23> O경로(Pathway) 확산모형 구축을 위한 값

Keyword	Parameter	설명	고정값	비고
RECTABLE	Aveper	평균시간	1,8,24,PERIOD	AVERTIME에 쓰여진 값만 가능
MAXTABLE	Aveper	평균시간	1,8,24,PERIOD	AVERTIME에 쓰여진 값만 가능
	Maxnum	순위 개수	50	
PLOTFILE	Aveper	평균시간	1,8,24,PERIOD	AVERTIME에 쓰여진 값만 가능
	Netid	예측점 명		
	Hivalu	예측점의 표출순위	1st	최고농도를 뽑음.
	Filnam	파일명		
POSTFILE	Aveper	평균시간	1,8,24,PERIOD	AVERTIME에 쓰여진 값만 가능
	Netid	예측점 명		
	Format	파일형태	PLOT	
	Filnam	파일명		

(5) 적용 결과

(가) CALINE3 모형의 대기확산 분석

○ CALINE3 모형의 결과파일은 ASCII형태로 작성되어지며, 풍속이 1.9m/s이고 안정도는 4, 혼합고 1000m 일 때의 결과파일은 <그림 1-9-23>와 <그림 1-9-24>과 같음

```
1                CALINE3          (DATED 89219)
0                CALINE3: CALIFORNIA LINE SOURCE DISPERSION MODEL - SEPTEMBER, 1979 VERSION                    PAGE  1

 JOB: case1- no2 -receptor 01                          RUN: URBAN LOCATION; MULTIPLE LINKS, ETC.


  I.  SITE VARIABLES

  U =  1.9 M/S          CLAS =   4  (D)        VS =    .0 CM/S      ATIM =  60. MINUTES                MIXH =  1000. M
 BRG =   0. DEGREES       ZO =   3. CM         VD =    .0 CM/S       AMB =    .0 (PPB)
 POLUTANT NAME=NO2    UNIT = (PPB)   POLLUTANT MOLECULAR WEIGHT= 46.0


  II.  LINK VARIABLES

    LINE DESCRIPTION     *      LINK COORDINATES (M)      * LINK LENGTH  LINE BRG   TYPE  VPH        EF        H     W
                         *   X1        Y1        X2       Y2   *     (M)       (DEG)                    (G/MEC.KM)   (M)   (M)
-------------------------*-------------------------------------*-------------------------------------------------------------
A. Link01                * 22856.   30698.   22184.   30911. *      690.      300.     AG     0.      3.4603    .0   1.0
B. Link02                * 22856.   30698.   23118.   30369. *      690.      120.     AG     0.      3.4733    .0   1.0
C. Link03                * 23323.   30200.   24150.   28417. *     1142.      334.     AG     0.      3.8833    .0   1.0
D. Link04                * 23118.   30369.   23323.   30200. *      265.      129.     AG     0.      4.3087    .0   1.0
E. Link05                * 23323.   30200.   23733.   28683. *      538.      128.     AG     0.      1.3366    .0   1.0
F. Link06                * 23112.   28681.   24582.   28225. *      620.      308.     AG     0.      4.2554    .0   1.0
G. Link07                * 24150.   28417.   24554.   28131. *      551.      143.     AG     0.      4.1902    .0   1.0
H. Link08                * 24554.   28131.   24592.   28828. *      368.      142.     AG     0.      4.8561    .0   1.0
I. Link09                * 24150.   29417.   23731.   29885. *      818.      320.     AG     0.      1.6946    .0   1.0
J. Link10                * 23731.   29885.   23323.   30208. *      534.      307.     AG     0.       .9613    .0   1.0
K. Link11                * 23739.   28683.   24150.   29417. *      806.      137.     AG     0.       .4252    .0   1.0
0                CALINE3: CALIFORNIA LINE SOURCE DISPERSION MODEL - SEPTEMBER, 1979 VERSION                    PAGE  2

 JOB: case1- no2 -receptor 01                          RUN: URBAN LOCATION; MULTIPLE LINKS, ETC.


  I.  SITE VARIABLES

  U =  1.9 M/S          CLAS =   4  (D)        VS =    .0 CM/S      ATIM =  60. MINUTES                MIXH =  1000. M
 BRG =   0. DEGREES       ZO =   3. CM         VD =    .0 CM/S       AMB =    .0


  III.  RECEPTOR LOCATIONS AND MODEL RESULTS

                         *                          * TOTAL
                         *                          *  TOTAL
                         *       COORDINATES (M)    *  + AMB
    RECEPTOR             *     X         Y         Z  *  (PPB)
-------------------------*-------------------------*-------
 1. r-001                *   20984.    27402.     .0  *    .0
 2. r-002                *   21484.    27402.     .0  *    .0
 3. r-003                *   21984.    27402.     .0  *   1.1
 4. r-004                *   22484.    27402.     .0  *   3.7
 5. r-005                *   22984.    27402.     .0  *   5.0
 6. r-006                *   23484.    27402.     .0  *   6.5
 7. r-007                *   23984.    27402.     .0  *   7.9
 8. r-008                *   24484.    27402.     .0  *  11.6
 9. r-009                *   24984.    27402.     .0  *   8.0
10. r-010                *   25484.    27402.     .0  *    .0
11. r-011                *   20984.    27902.     .0  *    .0
12. r-012                *   21484.    27902.     .0  *    .0
13. r-013                *   21984.    27902.     .0  *   1.0
14. r-014                *   22484.    27902.     .0  *   4.1
15. r-015                *   22984.    27902.     .0  *   5.6
16. r-016                *   23484.    27902.     .0  *   7.6
17. r-017                *   23984.    27902.     .0  *   9.1
18. r-018                *   24484.    27902.     .0  *  14.5
19. r-019                *   24984.    27902.     .0  *  12.4
20. r-020                *   25484.    27902.     .0  *    .0
21. r-021                *   20984.    28402.     .0  *    .0
22. r-022                *   21484.    28402.     .0  *    .0
23. r-023                *   21984.    28402.     .0  *    .9
24. r-024                *   22484.    28402.     .0  *   4.6
25. r-025                *   22984.    28402.     .0  *   6.2
26. r-026                *   23484.    28402.     .0  *   8.9
27. r-027                *   23984.    28402.     .0  *  10.7
28. r-028                *   24484.    28402.     .0  *  21.2
29. r-029                *   24984.    28402.     .0  *  24.1
30. r-030                *   25484.    28402.     .0  *    .0
31. r-031                *   20984.    28902.     .0  *    .0
32. r-032                *   21484.    28902.     .0  *    .0
33. r-033                *   21984.    28902.     .0  *    .8
34. r-034                *   22484.    28902.     .0  *   5.7
35. r-035                *   22984.    28902.     .0  *   7.0
36. r-036                *   23484.    28902.     .0  *  10.9
37. r-037                *   23984.    28902.     .0  *  14.1
38. r-038                *   24484.    28902.     .0  *  47.2
39. r-039                *   24984.    28902.     .0  *    .0
40. r-040                *   25484.    28902.     .0  *    .0
41. r-041                *   20984.    29402.     .0  *    .0
42. r-042                *   21484.    29402.     .0  *    .0
43. r-043                *   21984.    29402.     .0  *    .5
44. r-044                *   22484.    29402.     .0  *   6.5
45. r-045                *   22984.    29402.     .0  *   8.2
46. r-046                *   23484.    29402.     .0  *  14.6
47. r-047                *   23984.    29402.     .0  *  25.0
48. r-048                *   24484.    29402.     .0  *    .0
49. r-049                *   24984.    29402.     .0  *    .0
50. r-050                *   25484.    29402.     .0  *    .0
```

<그림 1-9-23> CALINE3 모형 결과파일-1

CALINE3: CALIFORNIA LINE SOURCE DISPERSION MODEL - SEPTEMBER, 1979 VERSION PAGE 3

JOB: case1- no2 -receptor 01 RUN: URBAN LOCATION: MULTIPLE LINKS, ETC.

I. SITE VARIABLES

U = 1.9 M/S CLAS = 4 (D) VS = .0 CM/S ATIM = 60. MINUTES MIXH = 1000. M
BRG = 0. DEGREES ZO = 3. CM VD = .0 CM/S AMB = .0

IV. MODEL RESULTS (RECEPTOR-LINK MATRIX)

RECEPTOR	/LINK A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1. r-001	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
2. r-002	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
3. r-003	1.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
4. r-004	1.9	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
5. r-005	.5	2.9	.2	1.3	.2	.0	.0	.0	.0	.1	.0
6. r-006	.0	.4	2.4	1.2	1.5	.0	.0	.0	.0	.9	.1
7. r-007	.0	.0	2.8	.0	.4	.0	1.6	.1	2.0	.2	.8
8. r-008	.0	.0	.2	.0	.0	1.6	2.1	7.2	.2	.0	.1
9. r-009	.0	.0	.0	.0	.0	7.9	.0	.1	.0	.0	.0
10. r-010	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
11. r-011	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
12. r-012	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
13. r-013	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
14. r-014	2.2	1.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
15. r-015	.2	3.9	.2	1.5	.1	.0	.0	.0	.0	.1	.0
16. r-016	.0	.9	2.7	1.3	1.9	.0	.0	.0	.2	1.1	.1
17. r-017	.0	.0	3.5	.0	.5	.0	1.3	.0	2.7	.2	1.1
18. r-018	.0	.0	.1	.0	.0	1.2	2.0	11.6	.1	.0	.0
19. r-019	.0	.0	.0	.0	.0	12.4	.0	.0	.0	.0	.0
20. r-020	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
21. r-021	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
22. r-022	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
23. r-023	.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
24. r-024	2.8	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
25. r-025	.1	4.3	.1	1.8	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0
26. r-026	.0	.2	3.4	1.3	2.4	.0	.0	.0	.1	1.5	.0
27. r-027	.0	.0	4.4	.0	.2	.0	.8	.0	3.7	.1	1.5
28. r-028	.0	.0	.0	.0	.0	.1	1.0	20.1	.0	.0	.0
29. r-029	.0	.0	.0	.0	.0	26.1	.0	.0	.0	.0	.0
30. r-030	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
31. r-031	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
32. r-032	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
33. r-033	.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
34. r-034	3.6	2.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35. r-035	.0	5.6	.0	1.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
36. r-036	.0	.1	4.6	1.1	3.2	.0	.0	.0	.0	2.0	.0
37. r-037	.0	.0	6.4	.0	.0	.0	.0	.0	5.8	.0	2.2
38. r-038	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	47.2	.0	.0	.0
39. r-039	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40. r-040	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
41. r-041	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
42. r-042	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
43. r-043	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
44. r-044	4.7	2.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
45. r-045	.0	7.4	.0	.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
46. r-046	.0	.0	6.5	.4	5.0	.0	.0	.0	.0	2.9	.0
47. r-047	.0	.0	19.1	.0	.0	.0	.0	.0	10.5	.0	6.4
48. r-048	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
49. r-049	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
50. r-050	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

CALINE3: CALIFORNIA LINE SOURCE DISPERSION MODEL - SEPTEMBER, 1979 VERSION PAGE 4

<그림 1-9-24> CALINE3 모형 결과파일-2

○ 결과 파일에서 “I. SITE VARIABLES”와 “ II. LINK VARIABLES”은 입력 자료의 확인이고, 실제 예측지점의 농도는 “III. RECEPTOR LOCATIONS AND MODEL RESULTS”와 “IV. MODEL RESULTS (RECEPTOR-LINK MATRIX)”에 나타남

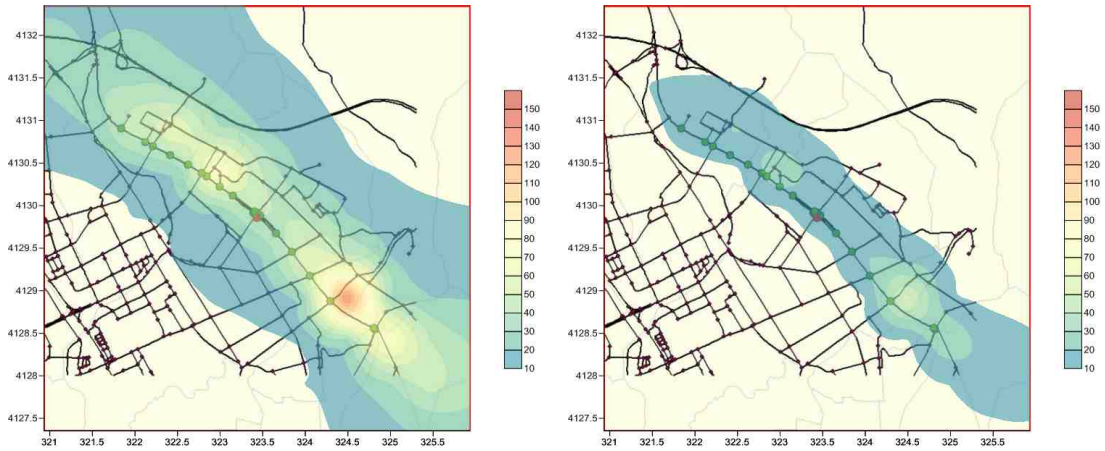
○ “III. RECEPTOR LOCATIONS AND MODEL RESULTS”의 결과를 이용하여 농도 예측점의 최대농도를 산출함

○ 웹 프로그램에서는 풍속, 안정도, 혼합고가 동일할 때 풍향을 10°간격으로 36개 기상상황에 대해 분석하였기 때문에 1개의 농도 예측점에서 36개의 농도가 산출되며, 36개의 농도

중 최댓값을 농도 예측점의 최대 농도로 표출함

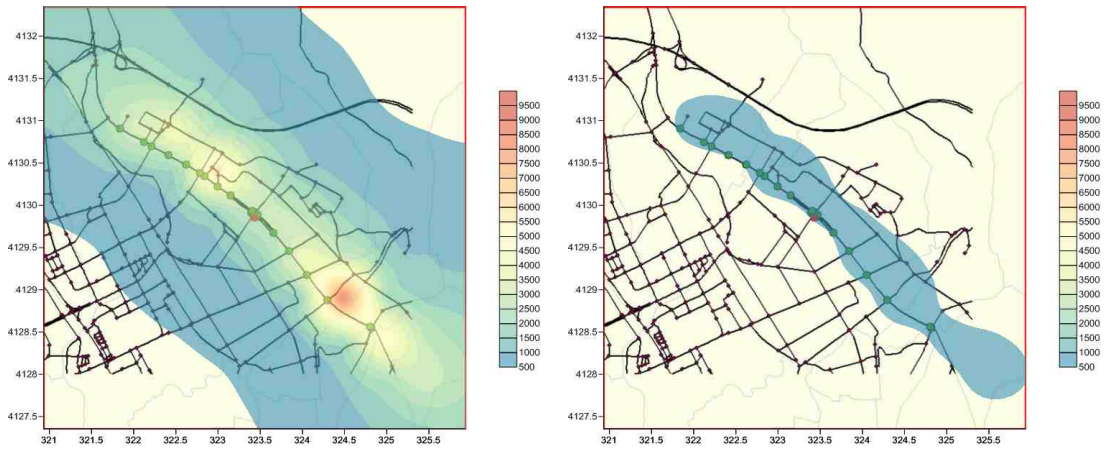
○ 탄소배출량 모형으로부터 산정된 친환경차량이 도입되지 않았을 경우를 시나리오 1, 도입된 경우를 시나리오 2의 배출량으로부터 CALINE3 모형으로 확산 결과를 정리함

○ 분석조건이 풍속이 1.9m/s이고 안정도는 4, 혼합고 1000m 일 때 5km×5km 영역 내에 최대 농도는 <그림 1-9-25> 및 <그림 1-9-26>과 같음



(a) 시나리오1 (b) 시나리오2

<그림 1-9-25> 풍속 1.9m/s, 안정도 4, 혼합고 1000m 일 때의 NO_2 농도 확산의 공간적 분포



(a) 시나리오1 (b) 시나리오2

<그림 1-9-26> 풍속 1.9m/s, 안정도 4, 혼합고 1000m 일 때의 CO 농도 확산의 공간적 분포

○ NO2와 CO의 확산은 도로를 따라 길게 확산이 이루어지며 최대 농도가 나타나는 지점은 UTM좌표로 (324484, 4128902)에 해당하는 지점으로 NO2의 시나리오 1은 146ppb[27], 시나리오 2는 53.6ppb, CO의 시나리오 1은 9.525ppm[28], 시나리오 2는 2.044ppm 로 나타남

27) ppb(part per billion)은 10억분율로써, ppm보다 1,000배 작음
28) ppm(part per miliion)은 100만분율을 의미함

○ 따라서, 친환경자동차가 도입된다면 (시나리오 2) 풍속이 1.9m/s이고 안정도는 4, 혼합고 1000m 일 때 NO_2는 2.74배 CO는 4.66배가 감소할 것으로 추정됨

(나) AERMOD 모형의 대기확산 분석

○ AERMOD 모형의 결과파일은 ASCII형태로 작성되어지며, 입력 자료의 확인과 농도결과를 요약한 결과파일(*.out)과 격자별 최대농도로 공간분석을 확인하기 위한 PLOT파일, 시간별 지점별 농도가 작성된 POST 파일이 있으나, 작성에 많은 시간과 용량이 필요하므로 웹 프로그램에서는 제외함

○ AERMOD 모형은 실측된 1시간 간격의 기상자료로 1년을 수행하여 1년 동안의 최대농도를 분석함. 1시간 간격으로 모형이 수행되므로 대기환경기준에 맞추어 농도를 평균화하거나 결과를 산출할 수 있음

○ 결과파일에는 MAXTABLE 키워드(Keyword)를 이용하여 <그림 1-9-27>과 같이 최대농도 값에 대한 농도, 지점, 일시 정보를 얻을 수 있음

○ PLOT 파일은 <그림 1-9-28>과 같이 x,y,최대농도, 발생시간을 확인할 수 있으며, 이 파일을 이용하여 공간 분석이 가능함

*** THE MAXIMUM 50 1-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL ***
INCLUDING SOURCE(S): LINE1 , LINE2 , LINE4 , LINE6 , LINE7 , LINE8 , LINE5 ,
LINE9 ,

** CONC OF NO2 IN PPB **

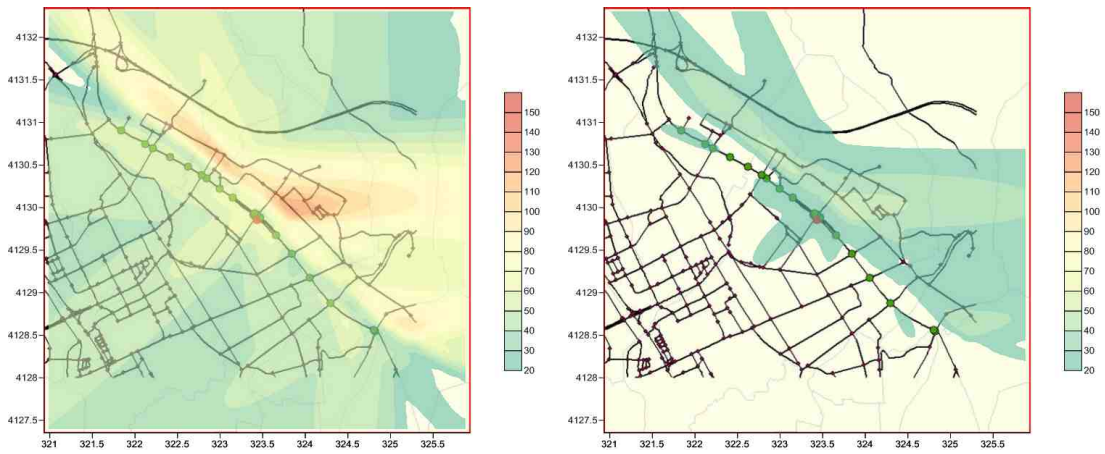
RANK	CONC	(YYMMDDHH) AT	RECEPTOR (XR,YR) OF TYPE	RANK	CONC	(YYMMDDHH) AT	RECEPTOR (XR,YR) OF TYPE
1.	149.08069	(07111609) AT	(324784.00, 4129002.00) GC	26.	122.56127	(07111609) AT	(323284.00, 4130502.00) GC
2.	147.56082	(07111609) AT	(324684.00, 4129002.00) GC	27.	122.55571	(07111609) AT	(325084.00, 4129102.00) GC
3.	143.78262	(07111609) AT	(323084.00, 4130502.00) GC	28.	121.33503	(07051007) AT	(324884.00, 4129002.00) GC
4.	143.48868	(07111609) AT	(324884.00, 4129002.00) GC	29.	119.28578	(07111609) AT	(325184.00, 4129102.00) GC
5.	142.18811	(07111609) AT	(324884.00, 4128902.00) GC	30.	118.80350	(07111609) AT	(325384.00, 4129002.00) GC
6.	138.64746	(07111609) AT	(324984.00, 4128902.00) GC	31.	118.72213	(07122410) AT	(324984.00, 4128902.00) GC
7.	138.52345	(07111609) AT	(324984.00, 4129002.00) GC	32.	117.86056	(07111609) AT	(323284.00, 4130402.00) GC
8.	137.63829	(07111609) AT	(324684.00, 4129102.00) GC	33.	117.45370	(07122410) AT	(324884.00, 4129002.00) GC
9.	134.55991	(07111609) AT	(324784.00, 4129102.00) GC	34.	117.13641	(07051007) AT	(324984.00, 4129002.00) GC
10.	133.93788	(07111609) AT	(325084.00, 4129002.00) GC	35.	117.08244	(07111609) AT	(325284.00, 4128902.00) GC
11.	133.11823	(07111609) AT	(323184.00, 4130502.00) GC	36.	116.71861	(07051007) AT	(324984.00, 4128902.00) GC
12.	132.14859	(07111609) AT	(324784.00, 4128902.00) GC	37.	116.06025	(07111609) AT	(325284.00, 4129102.00) GC
13.	132.04205	(07111609) AT	(324584.00, 4129102.00) GC	38.	115.33435	(07122410) AT	(322984.00, 4130502.00) GC
14.	131.13579	(07111609) AT	(325084.00, 4128902.00) GC	39.	115.31153	(07051007) AT	(324884.00, 4128902.00) GC
15.	130.59590	(07122410) AT	(324684.00, 4129002.00) GC	40.	114.63553	(07051007) AT	(323084.00, 4130502.00) GC
16.	130.26370	(07111609) AT	(324884.00, 4129102.00) GC	41.	114.43874	(07111609) AT	(323384.00, 4130402.00) GC
17.	128.97531	(07111609) AT	(325184.00, 4129002.00) GC	42.	114.10089	(07122410) AT	(323084.00, 4130502.00) GC
18.	126.87346	(07111609) AT	(322984.00, 4130502.00) GC	43.	114.08516	(07051007) AT	(323184.00, 4130502.00) GC
19.	126.12999	(07111609) AT	(324984.00, 4129102.00) GC	44.	113.95618	(07111609) AT	(325484.00, 4129002.00) GC
20.	125.29721	(07122410) AT	(324784.00, 4128902.00) GC	45.	113.93476	(07122410) AT	(324584.00, 4129102.00) GC
21.	124.92271	(07122410) AT	(324884.00, 4128902.00) GC	46.	113.85654	(07111609) AT	(323384.00, 4130502.00) GC
22.	124.26753	(07122410) AT	(324784.00, 4129002.00) GC	47.	113.62228	(07051007) AT	(324784.00, 4129102.00) GC
23.	123.87366	(07051007) AT	(324784.00, 4129002.00) GC	48.	113.59274	(07051007) AT	(324684.00, 4129102.00) GC
24.	123.84070	(07111609) AT	(325284.00, 4129002.00) GC	49.	113.51816	(07111609) AT	(322984.00, 4130602.00) GC
25.	123.63307	(07111609) AT	(325184.00, 4128902.00) GC	50.	113.45036	(07051007) AT	(325084.00, 4129002.00) GC

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
GP = GRIDPOLR
DC = DISCCART
DP = DISCPOLR?? *** AERMOD - VERSION 04300 *** *** A Simple Example Problem for the AERMOD Model with PRIME
*** *** 01:36:38

<그림 1-9-27> 결과파일의 Maximum table 예

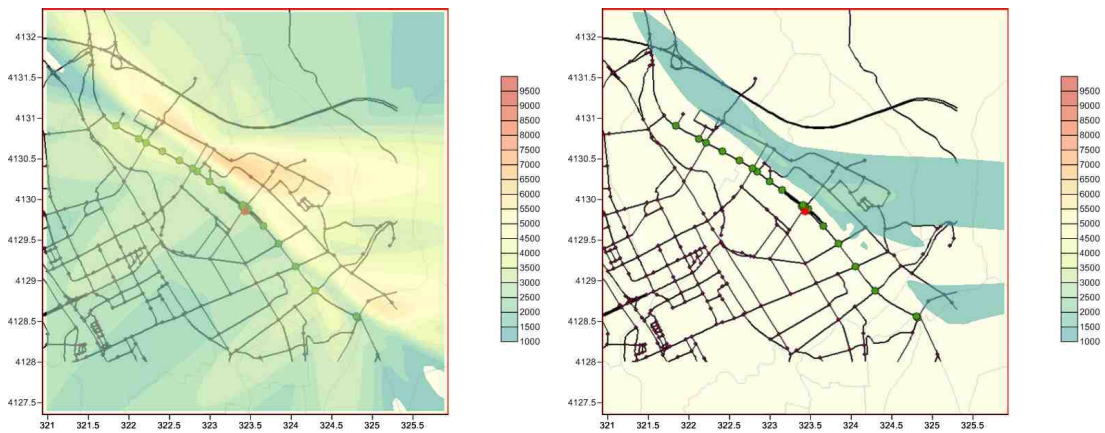
```
* AERMOD (04300): A Simple Example Problem for the AERMOD Model with PRIME
* MODELING OPTIONS USED:
*  CONC                              FLAT
*         PLOT FILE OF  HIGH 1ST  HIGH  1-HR VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL
*         FOR A TOTAL OF  2501 RECEPTORS.
*         FORMAT: (3(1X,F13.5),3(1X,F8.2),3X,A5,2X,A8,2X,A4,6X,A8,2X,I8)
*        X             Y      AVERAGE CONC    ZELEV    ZHILL    ZFLAG    AVE      GRP       HIVAL    NET ID   DATE(CONC)
*
 320984.00000 4127402.00000    2132.26465     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
 321084.00000 4127402.00000    2093.56738     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
 321184.00000 4127402.00000    2057.13892     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
 321284.00000 4127402.00000    2027.18701     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
 321384.00000 4127402.00000    2004.70850     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
 321484.00000 4127402.00000    1990.34387     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
 321584.00000 4127402.00000    1985.11157     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
 321684.00000 4127402.00000    1989.78699     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
 321784.00000 4127402.00000    2003.93054     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
 321884.00000 4127402.00000    2025.90063     0.00     0.00     0.00    1-HR     ALL       1ST      CART1     7110809
```

<그림 1-9-28> PLOT 파일 예



(a) 시나리오1 (b) 시나리오2

<그림 1-9-29> AERMOD에 의한 2007년 NO_2 1시간 최대농도 확산의 공간적 분포



(a) 시나리오1 (b) 시나리오2

<그림 1-9-30> AERMOD에 의한 2007년 CO 1시간 최대농도 확산의 공간적 분포

○ 위의 결과는 CALINE3 모형 수행결과와 달리 북동쪽으로 치우쳐서 확산이 이루어졌는데 이는 실측 기상에서 고농도가 발생할 수 있는 조건일 경우는 남서풍일 경우가 많기 때문으로 판단됨

○ NO_2와 CO의 확산은 도로를 따라 길게 확산이 이루어지며 NO2의 최대 농도가 나타나는 지점은 UTM좌표로 (323784, 4130002)에 해당하는 지점으로 시나리오 1은 130.9156ppb, 시나리오 2는 50.213ppb로 나타남

○ CO의 최대 농도가 나타나는 지점은 UTM좌표로 (323284, 4130402)에 해당하는 지점으로 시나리오 1은 7.057ppm, 시나리오 2는 1.866ppm 로 나타남

나. 대기환경변화예측을 위한 입력데이터 수집

○ 대기환경변화 예측 프로그램 수행을 위해서는 기상 및 지형자료는 필수적임

○ 본 절에서는 대기환경변화 예측 프로그램 사용자를 위해 기상 및 지형자료를 수집 방법을 제시하고 연구수행을 위한 DB를 구축하였음

(1) 전국 77개 기상지점의 자료 수집 및 DB구축

○ 일반적으로 프로그램 수행을 위한 기상 자료는 기상청에서 구매 가능함

- 전국 77개소에서의 자동관측 요소: 기압, 기온, 풍향, 풍속, 습도, 강수량(0.1mm, 0.5mm), 강수유무, 일사량, 일조시간, 지면온도, 초상온도[29)]
- 목측(目測) 및 수동관측 요소: 시정, 구름, 증발량, 지중온도[30)]

○ 관측된 기상 자료의 시간해상도는 1시간 단위이며, 기압 등 일부 자료는 3시간 단위로도 제공하며, 일사량은 05시~20시까지 만의 자료를 제공함

○ 고층기상관측은 속초, 백령도, 오산, 포항, 광주, 흑산도, 고산 등 7개 지점이고, 이중 속초, 백령도, 포항, 흑산도, 고산은 기상청(1일 2회)에서 관측하며, 오산과 광주는 공군(1일 4회) 관측함

○ 수집된 기상 자료 및 DB 구축 항목은 전국 77개소 기상지점의 풍향, 풍속, 온도, 안정도, 혼합고 항목으로 풍향, 풍속, 온도는 관측 자료(2013년 기준)이고, 안정도, 혼합고는 관측된 기상 자료를 근거로 추정함

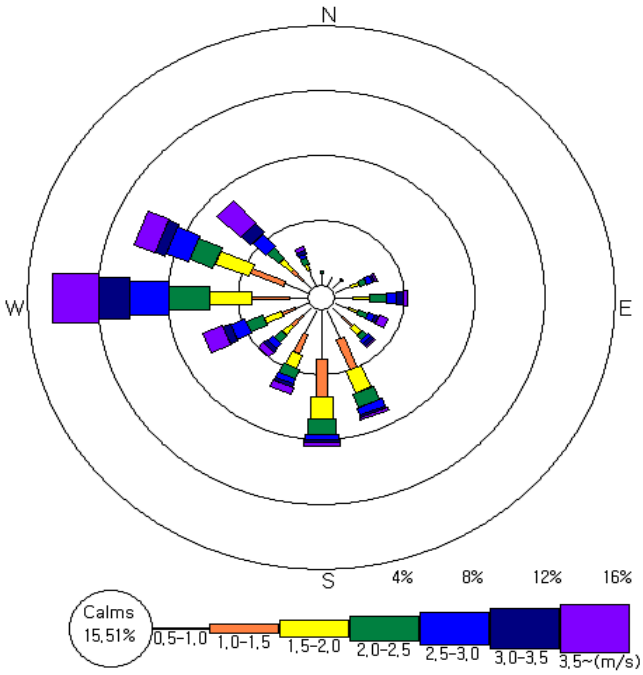
○ 테스트베드로 선정된 수원지역은 수원기상대에서 수집된 기상 자료를 근거로 하였고 내용은 <표 1-9-24>와 같음

29) 땅 위에 접해 있는 풀 위의 공기온도를 의미하며, 야간복사냉각에 의한 서리의 발생을 예상하는 가늠이 됨
30) 토양의 온도, 즉 수감부를 여러 깊이의 땅속에 묻어 놓고 측정한 온도를 의미함

<표 1-9-24> 2013년 수원기상대에서 수집된 기상자료

구분	풍속(m/s)	온도(℃)	안정도	혼합고(m)
평균	1.7	12.4	4	1,120
최소	0.0	-17.5	1	56
최대	7.8	34.6	6	4,102

○ 위의 자료를 이용하여 바람장미 그래프를 도식화한 결과 수원기상대의 주풍향은 서풍이고 풍속은 1.0~1.5m/s 구간 빈도가 가장 높은 것으로 분석됨



<그림 1-9-31> 수집된 관측 자료를 이용한 바람장비 그래프(2013년 수원기상대)

(2) 전국지형고도자료 수집 구축

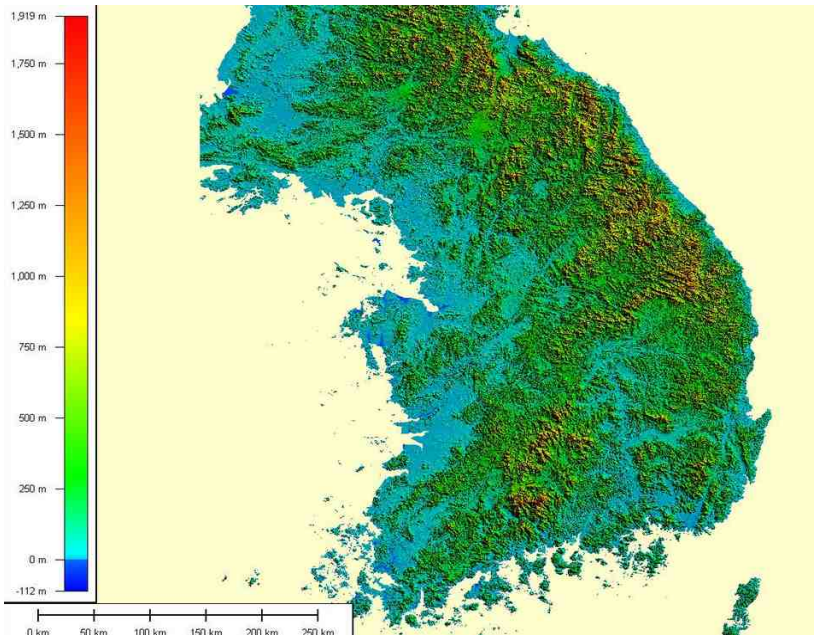
○ 지형자료는 배출원 및 관심지점 지형고도에 따라 대기 확산형태가 달라지기 때문에 필요함

○ 오염원과 관심지점의 지형고도를 사용자가 사용할 때마다 직접 입력하기는 어렵기 때문에 본 절에서는 전국의 지형고도자료를 수집·구축함

○ 지형고도자료는 SRTM3[31](Shuttle Radar Topography Mission 3″) 을 통해 수집함

○ 지형고도자료는 1°간격으로 작성된 파일로 되어있으며, 총 41개가 국내에 해당됨

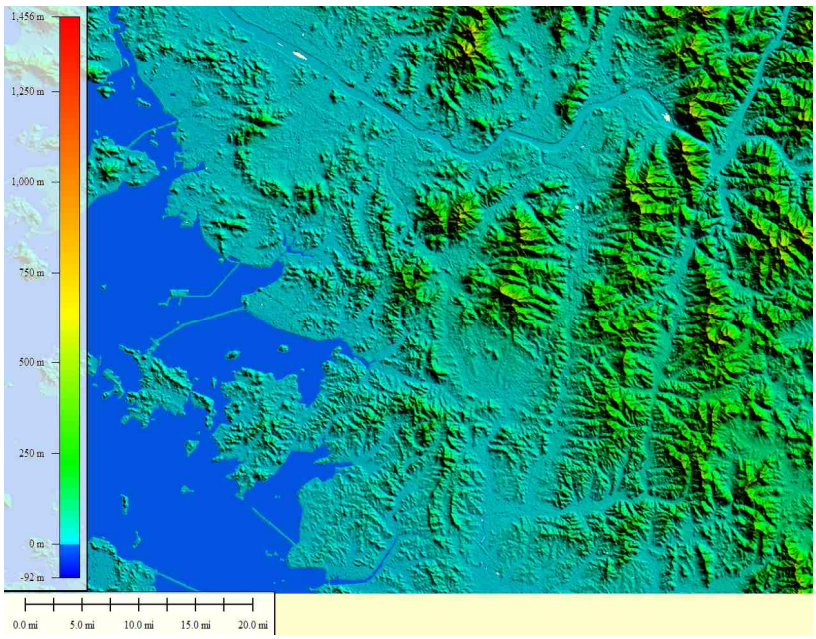
31) 2000년 2월 11일 발사된 우주왕복선 엔데버호에서 관측된 고도자료를 가공하여 만들어진 3″간격(약 90M)의 고도자료로 관측은 2000년부터 2년간 계속되었으며 자료 공개는 2004년에 이루어졌음



<그림 1-9-32> 수집된 SRTM자료의 이미지화(전국)

○ Global Mapper[32]를 통해 SRTM파일을 이미지화하여 <그림 1-9-32>와 같이 한반도를 나타냄

○ 테스트베드로 선정된 수원지역의 지형고도를 <그림 1-9-33>에 나타내었음



<그림 1-9-33> 이미지화된 SRTM자료(수원지역)

32) Global Mapper는 GIS 데이터를 쉽게 사용하고 처리하는데 사용되는 도구임

다. 탄소배출량 시스템에서 대기 질 배출량 DB 연계

(1) 탄소배출량 산정 모듈의 연산결과를 대기 질 분석 모형의 입력 자료로 이용하도록 연계

○ 선 오염원 분석관점에서의 대기확산은 도로교통배출량 산정 모형1(평균속도기반)의 결과값인 링크별 탄소 및 오염물질 배출량을 CALINE3 모형의 입력 자료로 이용하여 오염물질별 대기 확산의 시간대별 농도변화량을 추정함

○ 선 오염원 분석관점에서의 대기확산 모형에서는 도로교통배출량 산정 모형2의 TO_LINK 테이블과 TM_COLINK의 자료를 이용하여 입력 자료를 산정함

TABLE	TO_LINK		TABLE_COMMENT			교통링크 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE[33]	KEY[34]	NULL	COMMENT	비고
1	LINKID	VARCHAR2	20	PK	N	LINKID	
2	LINKNR	VARCHAR2	20		Y	LINKNR	
3	BNODE	VARCHAR2	20		Y	끝노드	
4	ONAME	VARCHAR2	20		Y	링크명칭	
5	ANODE	VARCHAR2	20		Y	시작노드	
6	ODIRECTION	VARCHAR2	20		Y	방향	
7	OLENGTH	FLOAT			Y	길이	
8	ROADNUMBER	VARCHAR2	20		Y	도로번호	
9	ROADTYPE	VARCHAR2	20		Y	도로유형	
10	LANES	INTEGER			Y	차선	

33) 변수의 크기를 의미함
34) 조회시 좀더 빠른 처리를 위한 기준 값임

TABLE	TO_COLINK		TABLE_COMMENT			교통계획 탄소배출량 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	COLINKID	VARCHAR2	20	PK	N	COLINKID	
2	LINKID	VARCHAR2	20	FK	Y	LINKID	
3	OMNIID	VARCHAR2	20	FK	Y	OMNIID	
4	LINKNR	VARCHAR2	20		Y	링크번호	
5	SCENARIOID	VARCHAR2	20		Y	SCENARIOID	
6	CARTYPE	VARCHAR2	20		Y	차종	
7	POLLUTANT_TYPE	VARCHAR2	20		Y	오염물질	
8	CYEAR	INTEGER			Y	연도	
9	POLLUTANT_VALUE	FLOAT			Y	오염물질량	

○ 링크자료는 동일 구간에 대해 상행과 하행으로 구분되어 각각 저장되어 있으므로 대기확산 모형의 입력은 “LINK ID”를 기준으로 오염물질량을 합산하여 입력함

○ 탄소배출량 모형으로부터 산정된 배출량의 오염물질 단위는 ‘g’으로 시간대별로 결과 산출이 가능하며, CALINE3 모형에 입력되는 배출량 단위는 시간당 거리당 질량(g/sec・km)임

○ CALINE3 모형에 입력되는 배출량은 다음과 같이 계산함

$$\text{CALINE3 에 입력되는 배출량(g/sec・km)} = \frac{\sum \text{오염물질의배출량}(g)}{\sum \text{분석시간(sec)} \times \text{링크거리}(km)}$$

○ 면 오염원 분석관점에서의 대기확산은 도로교통배출량 산정 모형2(운행모드기반)의 결과값인 시간대별, 링크별 탄소배출량 및 오염물질 배출량을 AERMOD 모형의 입력 자료로 활용하여 오염물질별 최대 농도값을 추정함

○ 면 오염원 분석관점에서의 대기확산 모형에서는 도로교통배출량 산정 모형2의 TO_LINK 테이블과 TM_CARBON의 자료를 이용하여 입력 자료를 산정함

TABLE	TO_LINK		TABLE_COMMENT			교통링크 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	LINKID	VARCHAR2	20	PK	N	LINKID	
2	LINKNR	VARCHAR2	20		Y	LINKNR	
3	BNODE	VARCHAR2	20		Y	끝노드	
4	ONAME	VARCHAR2	20		Y	링크명칭	
5	ANODE	VARCHAR2	20		Y	시작노드	
6	ODIRECTION	VARCHAR2	20		Y	방향	
7	OLENGTH	FLOAT			Y	길이	
8	ROADNUMBER	VARCHAR2	20		Y	도로번호	
9	ROADTYPE	VARCHAR2	20		Y	도로유형	
10	LANES	INTEGER			Y	차선	

TABLE	TM_CARBON		TABLE_COMMENT			탄소배출량 정보	
NO	COLUMN	TYPE	SIZE	KEY	NULL	COMMENT	비고
1	CARBONID	VARCHAR2	20	PK	N	eventID	
2	GROUPID	VARCHAR2	20	FK	Y	GROUPID	
3	LINKID	VARCHAR2	20		N	LINKID	
4	EVENTTIME	VARCHAR2	20		Y	시간대	
5	POLLUTANT_V	FLOAT			Y	오염물질량	
6	PROCESSTIME	CHAR	18		Y	가공시간대	
7	POLLUTANT_T	CHAR	18		Y	오염물질종류	

○ 링크자료는 동일 구간에 대해 상행과 하행으로 구분되어 각각 저장되어 있으므로 대기확산 모형의 입력은 “LINK ID”를 기준으로 오염물질량을 합산하여 입력함

○ 탄소배출량 모형으로부터 산정된 배출량의 오염물질 단위는 ‘g’ 으로 시간별대로 결과 산출이 가능하며, AERMOD 모형에 입력되는 배출량 단위는 시간당 면적당 질량(g/sec・㎡)임

○ AERMOD 모형에 입력되는 배출량은 다음과 같이 계산함

$$\text{AERMOD에 입력되는 배출량(g/sec・㎡)} = \frac{\sum \text{오염물질의배출량}(g)}{\sum \text{분석시간(sec)} \times \text{오염원면적}(m^2)}$$

라. 탄소배출량 시스템과 연계된 대기 확산 모형개발

○ 토지이용 탄소배출량 산정 모듈에서 토지이용 모형(DELTA)은 도시 정책 시나리오별 도시의 장래 토지이용에 대한 예측값(토지이용 종류별 면적)을 산출하고 토지이용별 대기오염물질 배출계수를 활용하여 거시적인 대기오염물질 배출량 산정에 대해 검토함

○ 본 절에서는 시범사례로 네덜란드 델프트(Delft)시를 대상으로 ①도시 정책시나리오에 따른 도시 밀도 변화를 DELTA모형을 수행하여 산정하고, ②그 결과를 근거로 대기 오염물질 배출량을 산정하여 ③대기확산모형으로 주변의 연평균 농도변화를 분석까지를 포함하는 일련의 과정을 검토함

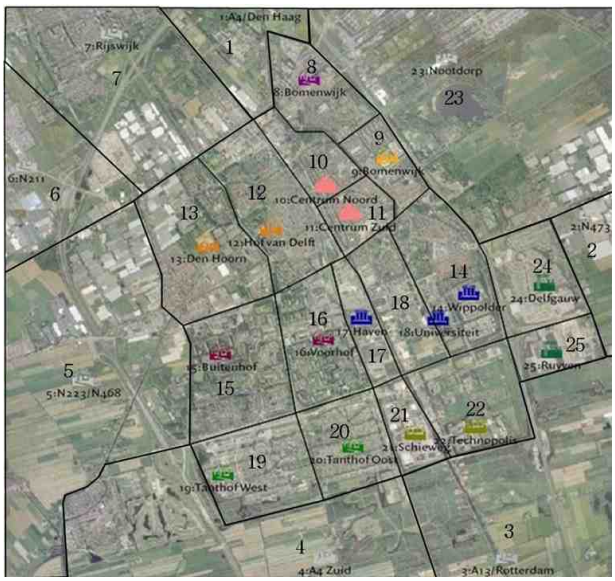
○ 델프트시를 본 연구대상으로 선정한 이유는 아직까지 국내에서 도시통합모형을 적용하여 운용한 사례가 없고, 본 연구의 테스트베드인 수원시의 읍면동 또는 교통존의 세부공간단위의 기초자료(건축물 용도별 연면적, 임대료 등)가 현재 구축 중에 있기 때문임

(1) 도시 정책 시나리오의 개요

○ 도시 정책 시나리오에 따라 2006년부터 2026년까지 도시 개발 밀도 변화를 DELTA 모형 수행을 통해 분석함

○ DELTA 모형 수행을 위해 델프트 시 전역을 25개 교통존(Traffic Analysis Zone)으로 구분하고, 7개의 외부 존(1~7번 존)과 세부모듈이 적용될 대상으로 18개 내부 존(8~25번존)을 설정함

○ 18개 내부 존은 지역 특성에 따라 도시중심부지역(10~13번 존)으로 구분되며, 교외지역은 8~9, 14~20번 존, 교외동부지역은 21~25번 존으로 구분



<그림 1-9-34> 델프트(Delft)시 공간구성

<표 1-9-25> 델프트 시의 공간 구성

존	명칭	존 형태	지역
1	Den Haag	External	External
2	N473	External	External
3	A13/Rotterdam	External	External
4	A4 Zuid	External	External
5	N223/N468	External	External
6	N211	External	External
7	Rijswijk	External	External
8	Bomenwijk	Fully Modelled	Suburbs
9	Bomenwijk	Fully Modelled	Suburbs
10	Centrum Noord	Fully Modelled	Urban Center
11	Centrum Zuid	Fully Modelled	Urban Center
12	Hof van Delft	Fully Modelled	Urban Center
13	Den Hoorn	Fully Modelled	Urban Center
14	Wippolder	Fully Modelled	Suburbs
15	Buitenhof	Fully Modelled	Suburbs
16	Voorhof	Fully Modelled	Suburbs
17	Haven	Fully Modelled	Suburbs
18	Universiteit	Fully Modelled	Suburbs
19	Tanthof West	Fully Modelled	area of suburbs
20	Tanthof Oost	Fully Modelled	area of suburbs
21	Schieweg	Fully Modelled	East area of suburbs
22	Technopolis	Fully Modelled	East area of suburbs
23	Nootdorp	Fully Modelled	East area of suburbs
24	Delfgauw	Fully Modelled	East area of suburbs
25	Ruyven	Fully Modelled	East area of suburbs

출처: 도시통합모델을 이용한 교통에너지 및 탄소배출량 시나리오 분석 -네덜란드 Delft시를 사례로(김규일, 2011)

<표 1-9-26> 도시정책 시나리오 세부내용

구분	토지이용정책	교통정책			
	개발지역 (교통존)	주차요금	대중교통		
			배차시간	버스노선	버스요금
시나리오 1	-	-	-	-	-
시나리오 2	10, 11, 12, 13	2배 인상	1회/시 추가	1개노선 추가	최저요금
시나리오 3	10, 11, 12, 13	1/2배 인하	현황유지	현황유지	현황유지
시나리오 4	9, 15, 16, 19	2배 인상	1회/시 추가	1개노선 추가	최저요금
시나리오 5	9, 15, 16, 19	1/2배 인하	현황유지	현황유지	현황유지

출처: DELTA 모델을 이용한 교통에너지 및 탄소배출 시나리오 분석- 네덜란드 Delft시를 사례로-(김규일 등, 2010)

○ 델프트시의 개발지역을 대상으로 토지이용 정책 및 교통정책(주차요금, 대중교통 배차시간, 버스노선, 버스요금)이 반영된 시나리오를 만들어 테스트를 수행함(수원시 데이터의 경우 현재 구축 중임)

○ 시나리오 1은 현재 상황을 반영하여 미래 변화를 보는 대조군이고, 시나리오 2와 4 모두 교통정책은 대중교통 중심의 교통 정책으로 동일하게 적용하여 개인차량의 주차요금을 2배 증가시키고, 배차시간은 시간당 1회를 추가하였으며, 버스노선을 1개 추가하고, 버스요금은 최저요금을 적용함

○ 이와 반대로 시나리오 3과 5의 교통정책은 대중교통 정책을 유지하고 개인차량의 주차요금을 절반(1/2)으로 감축하여 개인교통 중심 정책을 적용함

○ 토지이용정책은 시나리오 2와 3은 도시중심지역의 10~13 교통존을 개발하는 것이고, 시나리오 4와 5는 9, 15, 16, 19 교통존의 교외지역을 개발하는 것으로 적용

(2) DELTA 모형 수행 결과

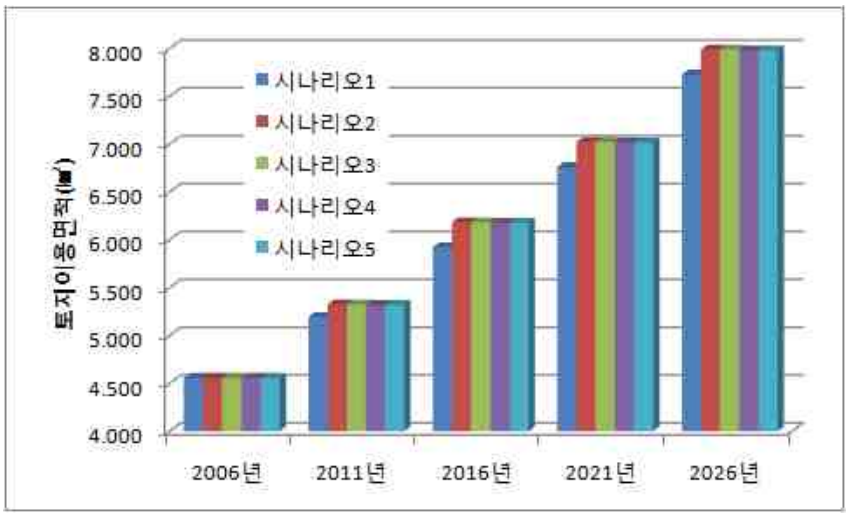
○ DELTA 모형 수행 결과 중 대기오염물질 배출량 산정에 필요한 토지이용면적 자료의 활용을 위해 2006, 2011, 2016, 2021, 2026년에 따른 시나리오별·지역별·토지이용종류별 토지이용면적을 산출함

○ 도시 정책 시나리오 별 토지이용 면적의 변화는 2006년에는 시나리오별로 면적의 차이는 없으나 최종 목표년도인 2026년에는 도심 집중개발 시나리오 중에서 시나리오 3의 개발밀도가 7.989㎢로 토지이용면적이 가장 많이 늘어났고, 현재 정책만을 적용하였을 경우에 시나리오 1의 개발밀도가 7.728㎢ 으로 토지이용면적이 가장 적음(표 1-9-27 참조)

<표 1-9-27> 연도별·시나리오별 총 토지이용면적의 변화

(단위 : ㎢)

구분	시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5
2006년	4.558	4.558	4.558	4.558	4.558
2011년	5.195	5.326	5.326	5.324	5.324
2016년	5.925	6.185	6.185	6.181	6.181
2021년	6.764	7.024	7.024	7.018	7.018
2026년	7.728	7.988	7.989	7.981	7.981



<그림 1-9-35> 델프트(Delft)시 공간구성

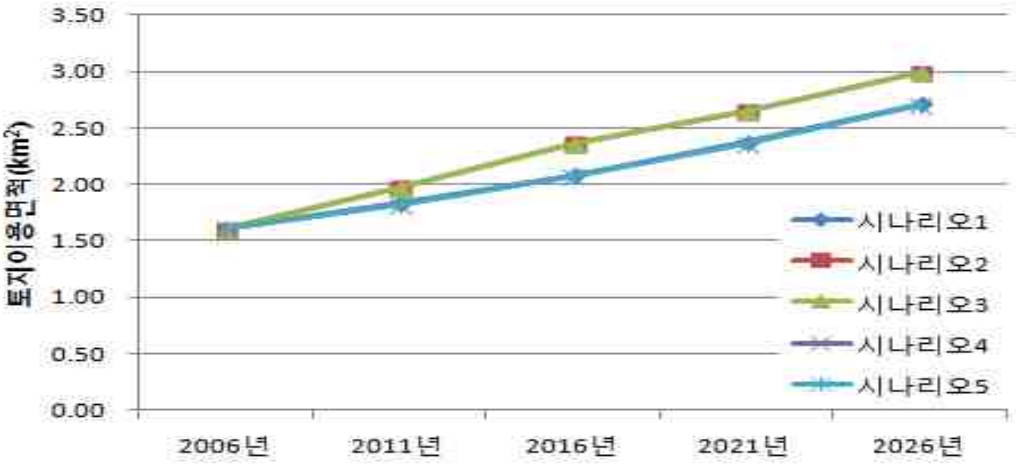
○ 시나리오별 토지이용 면적 변화를 살펴보면 도시중심지역의 면적은 도심 집중개발 정책을 적용하는 시나리오 2와 3은 높게 나타나고, 교외지역은 분산개발 정책을 적용하는 시나리오 4와 5가 높게 나타남

○ 최종 대기오염물질 배출량 산정하기 위한 토지이용종류에 따른 면적은 주거, 도소매, 서비스 부문은 시나리오 2, 3을 적용했을 때 시나리오 4, 5에 비해 면적이 넓고 오피스 부문은 시나리오 4, 5일 때 면적이 넓었으며 의료복지, 교육연구, 산업, 기타 부문의 경우 시나리오에 따른 차이가 없음

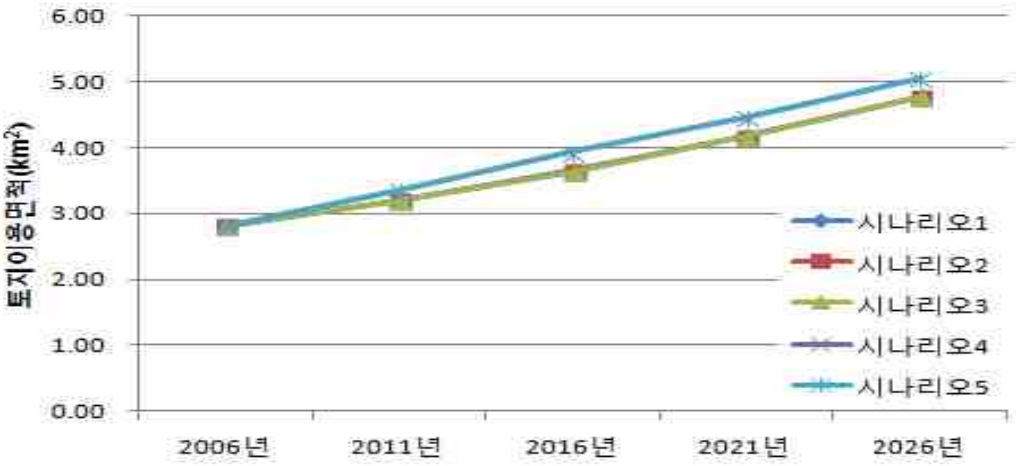
<표 1-9-28> 도시 정책 시나리오별·지역별 토지이용면적

(단위: ㎢)

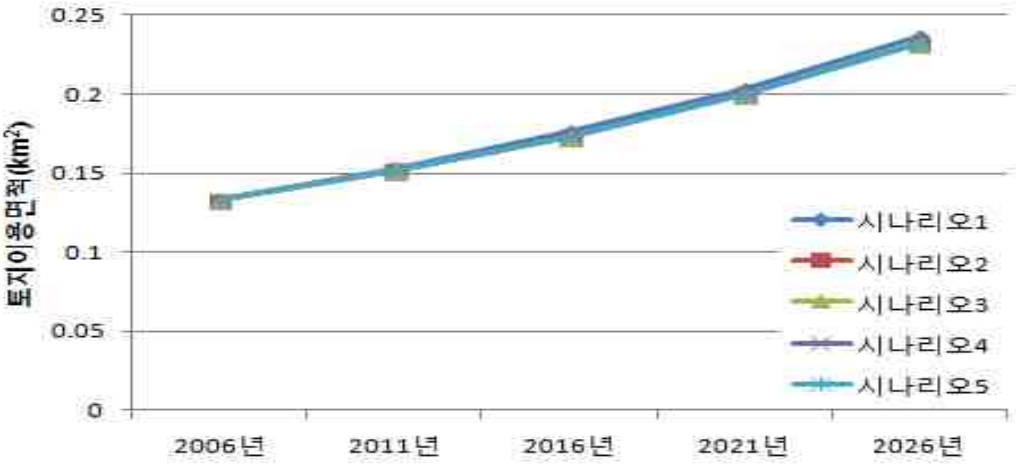
지역	연도	시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5
도시중심	2006년	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607
	2011년	1.830	1.970	1.970	1.824	1.824
	2016년	2.084	2.362	2.362	2.073	2.073
	2021년	2.375	2.654	2.654	2.365	2.365
	2026년	2.711	2.989	2.989	2.702	2.702
교외	2006년	2.818	2.818	2.818	2.818	2.818
	2011년	3.213	3.204	3.204	3.348	3.348
	2016년	3.666	3.650	3.650	3.935	3.935
	2021년	4.185	4.170	4.170	4.453	4.453
	2026년	4.780	4.767	4.767	5.047	5.047
교외동부	2006년	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133
	2011년	0.153	0.152	0.152	0.152	0.152
	2016년	0.176	0.173	0.173	0.173	0.173
	2021년	0.203	0.200	0.200	0.200	0.200
	2026년	0.236	0.232	0.232	0.232	0.232



(a) 도시중심지역



(b) 교외지역



(c) 교외동부지역

<그림 1-9-36> 도시 정책 시나리오별·지역별 토지이용면적 변화

<표 1-9-29> 도시 정책 시나리오별 토지이용종류에 따른 면적

(단위: ㎢)

토지이용종류	연도	시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5	토지이용종류	연도	시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5
주거	06년	3.515	3.515	3.515	3.515	3.515	의료복지	06년	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
	11년	3.995	4.085	4.085	4.084	4.084		11년	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	16년	4.537	4.720	4.720	4.716	4.716		16년	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118
	21년	5.155	5.342	5.342	5.336	5.336		21년	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137
	26년	5.858	6.049	6.049	6.042	6.042		26년	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
오피스	06년	0.182	0.182	0.182	0.182	0.182	교육연구	06년	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135
	11년	0.208	0.211	0.211	0.213	0.213		11년	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157
	16년	0.241	0.246	0.246	0.250	0.250		16년	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183
	21년	0.279	0.283	0.283	0.287	0.287		21년	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213
	26년	0.321	0.326	0.326	0.329	0.329		26년	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248
도소매	06년	0.207	0.207	0.207	0.207	0.207	산업	06년	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231
	11년	0.236	0.243	0.243	0.241	0.241		11년	0.264	0.290	0.290	0.290	0.290
	16년	0.268	0.281	0.281	0.278	0.278		16년	0.303	0.353	0.353	0.353	0.353
	21년	0.309	0.321	0.321	0.318	0.318		21년	0.350	0.398	0.398	0.397	0.397
	26년	0.362	0.372	0.372	0.370	0.370		26년	0.407	0.452	0.452	0.452	0.452
서비스	06년	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	기타	06년	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
	11년	0.186	0.191	0.191	0.190	0.190		11년	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049
	16년	0.218	0.228	0.228	0.226	0.226		16년	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
	21년	0.254	0.264	0.264	0.262	0.262		21년	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
	26년	0.295	0.304	0.304	0.303	0.303		26년	0.077	0.077	0.077	0.077 3	0.077

(3) 대기오염물질 산정

○ 토지이용 면적에 따른 대기오염물질 배출량 산정은 국내 배출계수를 이용함

대기오염물질 배출량 = 면적(㎡) × 시설에 따른 단위부하량(kcal/㎡・s)
× 오염물질별 배출계수(g/㎥) / 연료의 발열량(kcal/㎥)

○ 대기오염물질 배출량은 시설에 따라 '난방 및 급탕용 배출량'과 '취사용 배출량'을 산정함

○ 시설에 따른 단위 부하량은 '에너지사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정, 지식경제부 고시 제2009-29호'에 근거하였으며 난방 및 급탕의 단위 부하량은 <표 1-9-30>, <표 1-9-31>과 같고 취사용 단위 부하량은 <표 1-9-32>과 같음

<표 1-9-30> 건축물의 단위난방부하 및 급탕부하(kcal/㎡・hr)

건 물 용 도	단위난방부하		단위 급탕부하	비 고
	A	B		
공동주택	-	-	15	단위난방부하는 <표 1-9-31> 참조
근린생활시설	86	110	5	관리사무소, 사회복지관, 아파트형공장 포함
근린공공시설	89	110	7	동사무소, 소방파출소, 파출소, 우체국 등
종교시설	115	135	2	
노유자시설	86	105	7	유치원, 노인정
의료시설	105	125	25	병원 급 이하
교육연구시설	89	115	5	학교, 교육원, 직업훈련소
업무시설(일반・공공)	86	115	7	
숙박시설	89	110	45	
판매시설	98	120	5	
위락시설(특수목욕탕)	110	120	80	목욕장이외의 시설은 판매시설기준 적용
관람집회시설	115	135	2	
전시시설	115	135	2	
주) A : 라디에이터, 콘벡터 및 팬코일유니트(FCU)가 주 난방인 경우 적용 B : 공기조화기(AHU 등)가 주 난방인 경우 적용				

<표 1-9-31> 공동주택의 단위난방부하

구 분	난방면적(㎡)	단위난방부하(kcal/㎡・hr)			
		A	B	C	D
아파트	60초과	55.0	53.0	49.0	45.0
	45~60이하	57.7	55.6	51.4	47.2
	33~45이하	58.8	56.7	52.4	48.1
	33이하	60.5	58.3	53.9	49.5
연립주택	60초과	60.5	58.3	53.9	49.5
	60이하	66.5	64.1	59.2	54.4
단독주택	60초과	67.1	64.7	59.8	54.9
	60이하	66.3	63.9	59.0	54.2

<표 1-9-32> 취사용 단위연료(전력)부하(Mcal/㎡・년)

용 도		연면적당 취사용 연료	연면적당 취사용 전력
업무용 건물	일반빌딩	2.84	2.71
	공공빌딩	4.20	1.51
상업용 건물	백 화 점	11.79	4.03
	상 가	17.71	5.46
교육용 건물	학 교	10.70	1.02
	연 구 소	24.17	3.22
호 텔		51.04	41.4
병 원		19.64	2.84
전 화 국		0.56	18.68
단독주택		1,486.8(Mcal/세대・년)	-
공동주택		1,411.2(Mcal/세대・년)	-

○ 오염물질별 배출계수는 <표 1-9-33>과 같이 '국가대기오염물질 배출량 산정 방법편람(Ⅱ), 2010.06, 국립환경과학원'의 비산업연소부문 기타보일러 배출계수를 이용함

<표 1-9-33> 비산업연소부문 기타보일러 배출계수

연료명	단위	CO	NOx	SOx	TSP	PM_{10}	VOC	NH3
민수용무연탄	kg/ton	32.2	5.83	10.3	0.6	0.46	0.04	0.00028
B-A유	kg/㎘	0.6	5.99	18S	0.84	0.77	0.067	0.096
B-B유	kg/㎘	0.6	2.47	14.3S	1.2	1.1	0.193	0.096
B-C유 (4.0%)	kg/㎘	0.6	6.64	14.4S	1.1S+0.39	1.0S+0.358	0.193	0.096
B-C유 (2.5%)	kg/㎘	0.6	6.64	14.5S	1.1S+0.39	1.0S+0.359	0.193	0.096
B-C유 (1.6%)	kg/㎘	0.6	6.64	14.6S	1.1S+0.39	1.0S+0.360	0.193	0.096
B-C유 (1.0%)	kg/㎘	0.6	6.64	14.7S	2.53	2.304	0.193	0.096
B-C유 (0.5%)	kg/㎘	0.6	6.64	14.8S	1.64	1.504	0.193	0.096
B-C유 (0.3%)	kg/㎘	0.6	6.64	14.9S	1.64	1.504	0.193	0.096
경유	kg/㎘	0.6	2.4	17S	0.17	0.156	0.03	0.096
등유 (실내등유)	kg/㎘	0.6	5.46 (2.16)	17S	0.17 (0.048)	0.156 (0.044)	0.03	0.096
LPG	kg/㎘	0.228	1.106	0.005	0.036	0.036	0.06	0.013
LNG	kg/천㎥	0.64	3.7	0.01	0.03	0.03	0.18	0.051

○ 본 연구에서는 도시전체의 연료는 발열량은 10,560kcal/N㎥인 LNG를 사용한다고 가정하고 배출량을 산정함

<표 1-9-34> 토지이용종류에 따른 대기오염물질 배출량 계산인자

명칭	단위부하량 적용 용도	난방 단위부하량 (kcal/㎡·hr)	급탕부하 (kcal/㎡·hr)	취사부하 (Mcal/㎡·년)	연료발열량-LNG (kcal/㎥)	PM_{10} 배출계수 (kg/천㎥)	NOx 배출계수 (kg/천㎥)
주거	공동주택 평균	56.5	15.0	13.1	10,560	0.03	3.7
오피스	업무시설 (일반)	115.0	7.0	2.8	10,560	0.03	3.7
도소매	판매시설, 상가	120.0	5.0	17.7	10,560	0.03	3.7
서비스	근린공공시설 (공공빌딩)	110.0	7.0	4.2	10,560	0.03	3.7
의료복지	의료시설 (병원)	125.0	25.0	19.6	10,560	0.03	3.7
교육연구	교육연구시설 (연구소)	115.0	5.0	24.2	10,560	0.03	3.7
산업	업무시설 (일반)	115.0	7.0	2.8	10,560	0.03	3.7
기타	업무시설 (일반)	115.0	7.0	2.8	10,560	0.03	3.7

(4) 대기오염물질 배출량 산정 결과

○ PM_{10}과 NOx의 연도별 변화 경향은 동일하고 단지 농도에서만 차이가 나는데 이는 동일한 오염원에 오염물질 배출계수만 차이가 나기 때문임

○ 도시중심지역의 배출량은 도심집중개발을 적용하는 시나리오 2의 경우에 높게 나타나고, 교외지역은 분산개발 정책을 적용하는 시나리오 4 가 높게 나타나는 것으로 분석되어 도시정책 시나리오에 따라 배출량의 변화가 맞게 산정된 것을 확인할 수 있음

○ PM_{10} 배출량은 주거, 서비스, 산업 부문에서 시나리오 2, 3이 시나리오 4, 5에 비해 높게 나타났고 오피스, 도소매 부문은 시나리오 4, 5가 시나리오 2, 3에 배출량이 높게 나타남

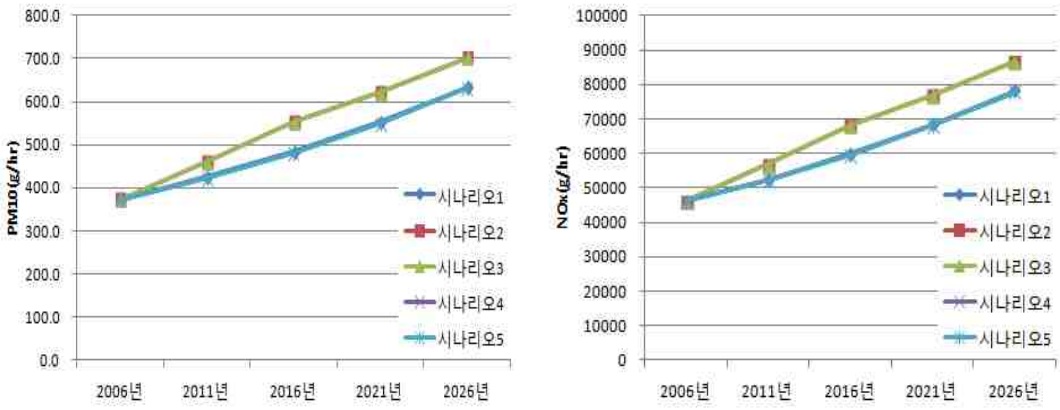
○ NOx 배출량은 주거, 도소매, 서비스 부문에서 시나리오 2, 3이 시나리오 4, 5에 비해 높게 나타났고 오피스 부문은 시나리오 4, 5가 시나리오 2, 3에 배출량이 높게 나타남

○ 산업 부문은 시나리오 3을 적용 했을 때 배출량이 가장 높게 나타났으며 이외 다른 부문들은 시나리오에 따른 배출량 차이가 없음

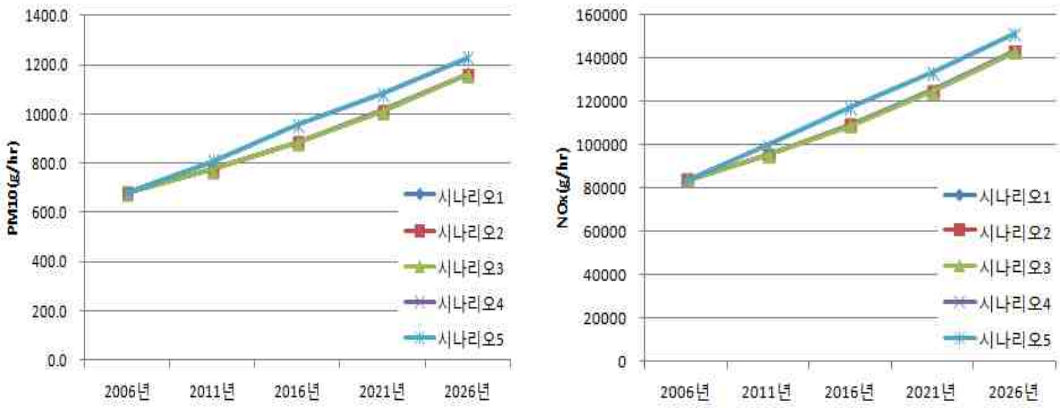
<표 1-9-35> 시나리오별 지역별 대기오염물질 배출량

(단위:g/hr)

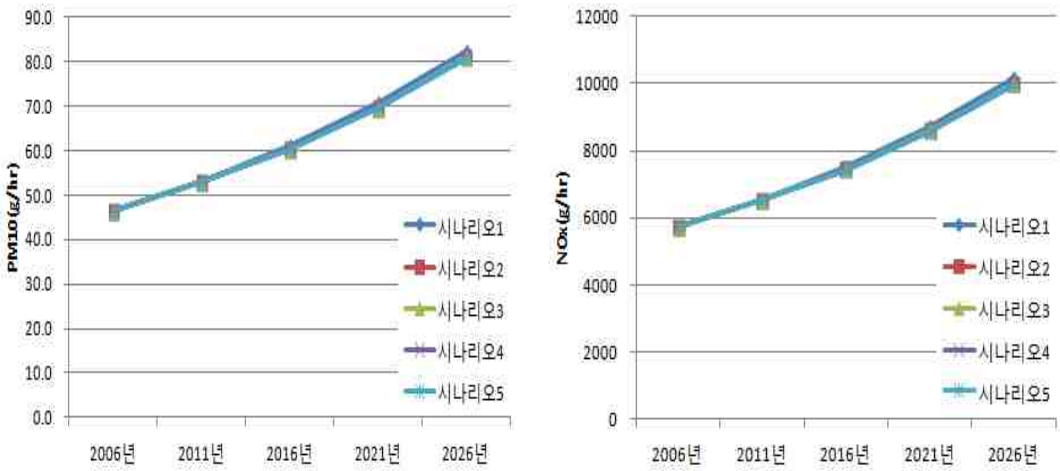
지역	연도	PM_{10}					NOx				
		시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5	시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5
도시중심	06년	373.5	373.5	373.5	373.5	373.5	46061	46061	46061	46061	46061
	11년	425.7	460.7	460.7	424.5	424.5	52504	56821	56821	52355	52355
	16년	485.3	555.0	555.0	482.8	482.9	59856	68446	68445	59550	59552
	21년	554.3	623.6	623.6	551.8	551.9	68360	76910	76910	68060	68063
	26년	634.0	703.0	703.0	631.7	631.8	78195	86700	86699	77914	77917
교외	06년	679.8	679.8	679.8	679.8	679.8	83848	83848	83848	83848	83848
	11년	776.0	774.1	774.1	809.8	809.8	95710	95469	95468	99878	99877
	16년	887.5	883.5	883.5	954.7	954.7	109463	108971	108971	117741	117741
	21년	1015.6	1011.7	1011.7	1082.2	1082.2	125258	124777	124777	133469	133469
	26년	1162.8	1159.1	1159.1	1228.8	1228.8	143414	142956	142958	151551	151551
교외동부	06년	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	5723	5723	5723	5723	5723
	11년	53.2	52.9	52.9	52.9	52.9	6562	6524	6524	6524	6524
	16년	61.2	60.5	60.5	60.4	60.4	7553	7456	7456	7453	7453
	21년	70.9	69.8	69.8	69.7	69.7	8739	8604	8605	8599	8599
	26년	82.4	81.0	81.0	80.9	80.9	10160	9991	9991	9983	9984



(a) 도시중심지역



(b) 교외지역



(c) 교외동부지역

<그림 1-9-37> 도시 정책 시나리오별·지역별 대기오염물질 배출량

<표 1-9-36> 도시 정책 시나리오별 토지이용종류에 따른 PM_{10} 배출량

(단위:g/hr)

토지이용종류	연도	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4	시나리오 5	토지이용종류	연도	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	시나리오 4	시나리오 5
주거	06년	729.0	729.0	729.0	729.0	729.0	의료복지	06년	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8
	11년	828.5	847.2	847.2	846.9	846.9		11년	43.5	43.5	43.5	43.5	43.5
	16년	941.0	978.8	978.8	978.0	978.0		16년	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8
	21년	1069.1	1107.8	1107.8	1106.7	1106.7		21년	59.3	59.3	59.3	59.3	59.3
	26년	1214.9	1254.6	1254.6	1253.1	1253.1		26년	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9
오피스	06년	63.3	63.3	63.3	63.3	63.3	교육연구	06년	47.1	47.1	47.1	47.1	47.1
	11년	72.3	73.3	73.3	74.0	74.0		11년	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6
	16년	83.8	85.6	85.6	87.0	87.0		16년	63.9	63.9	63.9	63.9	63.9
	21년	96.8	98.5	98.5	99.8	99.8		21년	74.4	74.4	74.4	74.4	74.4
	26년	111.6	113.2	113.2	114.4	114.4		26년	86.5	86.5	86.5	86.5	86.5
도소매	06년	74.7	74.7	74.7	74.7	74.7	산업	06년	80.3	80.3	80.3	80.3	80.3
	11년	85.1	87.6	87.6	87.1	87.1		11년	91.8	100.6	100.6	100.7	100.7
	16년	96.7	101.3	101.3	100.3	100.3		16년	105.4	122.6	122.6	122.6	122.6
	21년	111.6	115.8	115.8	114.9	114.9		21년	121.8	138.1	138.1	138.1	138.1
	26년	130.7	134.4	134.4	133.6	133.6		26년	141.5	157.1	157.1	157.0	157.0
서비스	06년	52.7	52.7	52.7	52.7	52.7	기타	06년	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
	11년	62.1	63.9	63.9	63.5	63.5		11년	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
	16년	72.7	76.0	76.0	75.5	75.5		16년	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
	21년	84.6	88.0	88.0	87.4	87.4		21년	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1
	26년	98.3	101.6	101.6	101.1	101.1		26년	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9

<표 1-9-37> 시나리오별 토지이용종류에 따른 NOx 배출량

(단위:g/hr)

토지이용종류	연도	시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5	토지이용종류	연도	시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4	시나리오5
주거	06년	89908	89908	89908	89908	89908	의료복지	06년	4668	4668	4668	4668	4668
	11년	102188	104491	104491	104450	104450		11년	5359	5359	5359	5359	5359
	16년	116060	120723	120723	120620	120621		16년	6270	6270	6270	6270	6270
	21년	131851	136630	136631	136489	136491		21년	7308	7308	7308	7308	7308
	26년	149838	154731	154733	154551	154554		26년	8492	8492	8492	8492	8492
오피스	06년	7811	7811	7811	7811	7811	교육연구	06년	5807	5807	5807	5807	5807
	11년	8917	9040	9040	9132	9132		11년	6736	6736	6736	6736	6736
	16년	10335	10560	10560	10730	10730		16년	7880	7880	7880	7880	7880
	21년	11939	12150	12150	12311	12311		21년	9182	9182	9182	9182	9182
	26년	13764	13963	13963	14114	14114		26년	10666	10666	10666	10666	10666
도소매	06년	9213	9213	9213	9213	9213	산업	06년	9901	9901	9901	9901	9901
	11년	10498	10806	10806	10739	10739		11년	11323	12413	12413	12414	12414
	16년	11921	12496	12496	12367	12367		16년	13000	15127	15127	15125	15125
	21년	13768	14282	14282	14168	14168		21년	15019	17038	17038	17036	17036
	26년	16116	16578	16578	16475	16476		26년	17457	19370	19371	19368	19368
서비스	06년	6504	6504	6504	6504	6504	기타	06년	1822	1822	1822	1822	1822
	11년	7664	7877	7877	7836	7836		11년	2091	2091	2091	2091	2091
	16년	8961	9371	9371	9306	9306		16년	2446	2446	2446	2446	2446
	21년	10439	10849	10849	10784	10784		21년	2851	2851	2851	2851	2851
	26년	12123	12533	12533	12469	12469		26년	3313	3313	3313	3313	3313

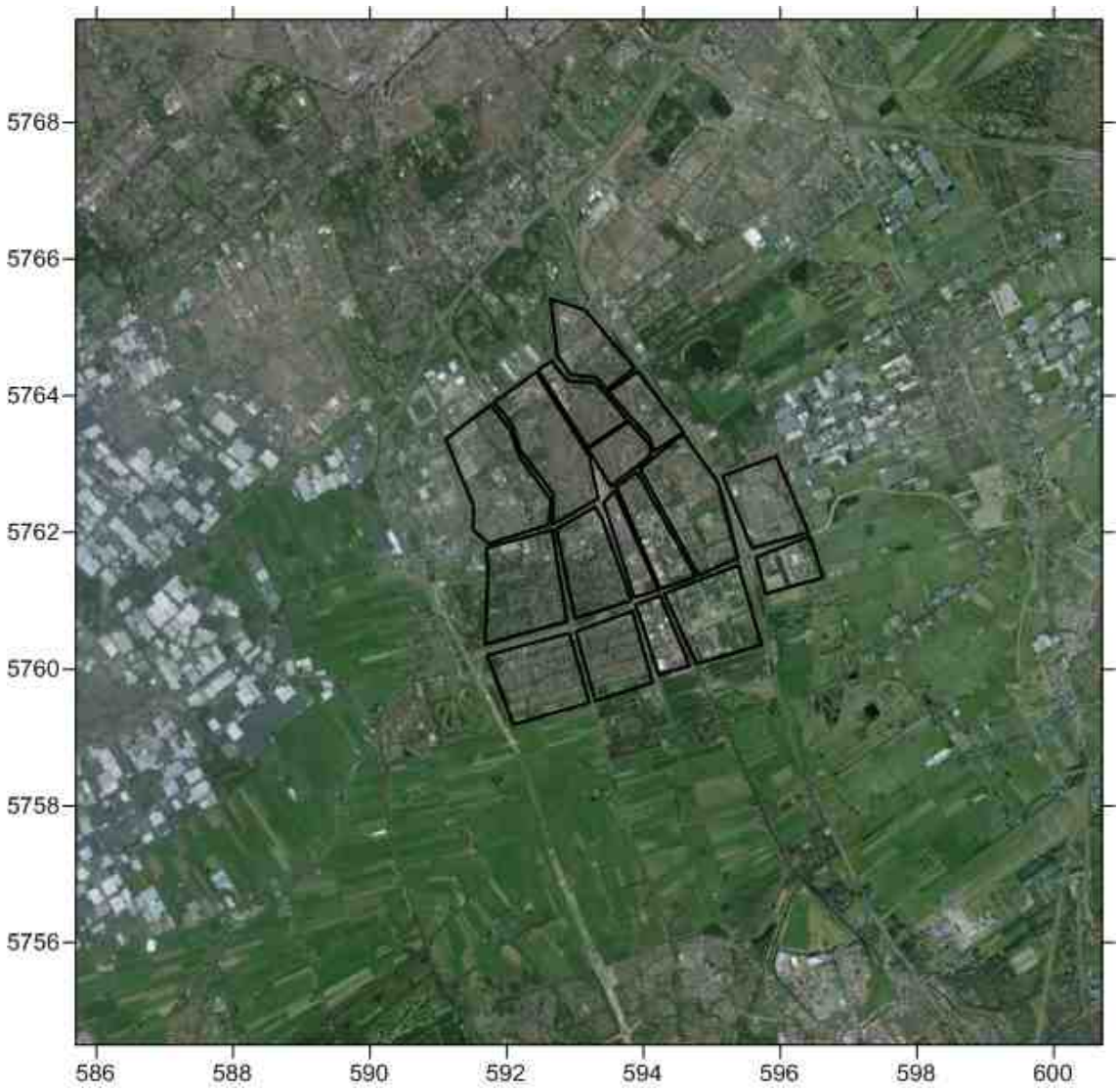
(5) 탄소배출량 산정 결과로 대기 질을 분석하는 모형 개발

○ 본 절에서는 AERMOD모형을 이용하여 면 오염원에 대한 대기확산을 분석함

- CALINE3 모형은 면오염원에 대한 계산이 어려움

○ 기상자료는 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric)에서 제공하는 모델링 영역과 가장 가까운 기상대의 자료를 이용함

○ 고층기상대는 모델링 중심으로부터 58km 이격되어있고, 지표기상대는 8.5km 거리에 있는 지점자료를 이용함



<그림 1-9-38> 모델링 영역 내 면오염원 위치



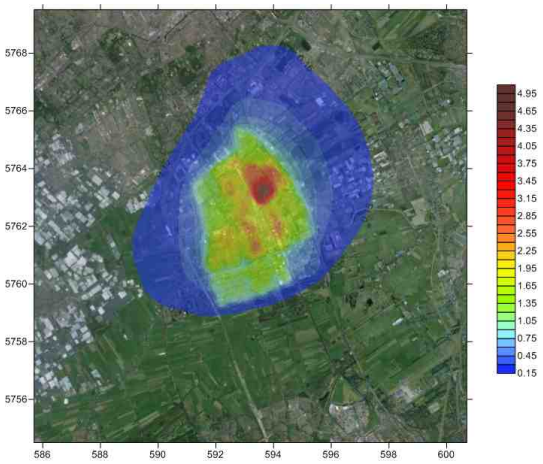
<그림 1-9-39> 고층기상 및 지표기상대의 위치

○ 2006년부터 2026년까지 5년 간격으로 PM10과 NOx의 연평균 대기질 농도 변화를 분석

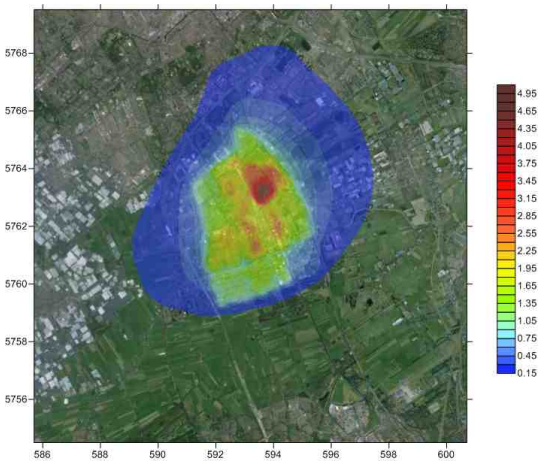
○ 도심집중개발에 대해 분석한 시나리오 2, 3에서는 도심에 해당하는 10~13 지역의 농도가 높아졌으며 등농도 그래프 상에서 지점 교통존 12의 농도가 눈에 띄게 짙게 나타남

○ 시나리오 4, 5는 분산개발로 시나리오 2, 3에 비해 교외지역 15, 16, 19, 20 지역의 등농도가 높아짐

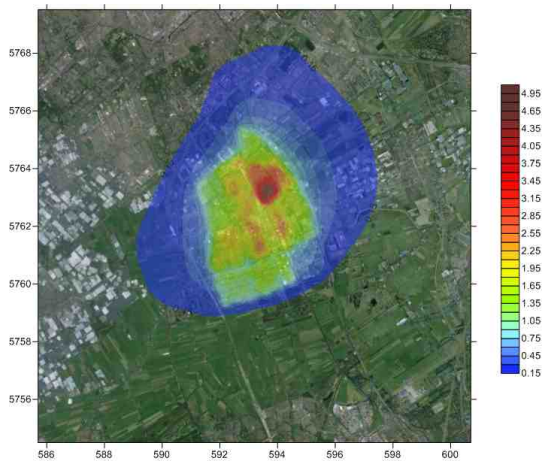
○ 현재의 도시 정책으로 도시를 발전시켰을 경우에 비해 도심 집중 개발이나 분산개발 정책을 사용했을 경우에 대기오염물질의 농도가 높아지는 것으로 분석됨



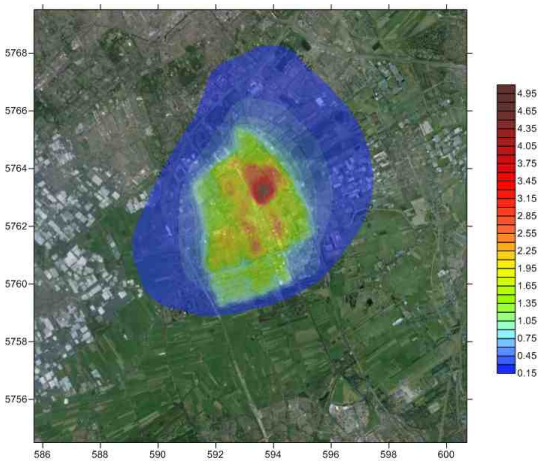
시나리오1



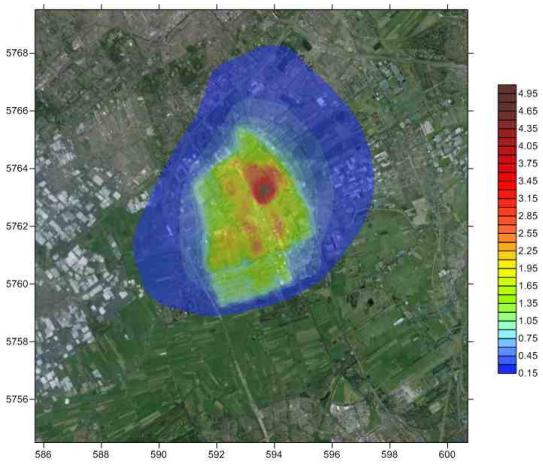
시나리오2



시나리오3

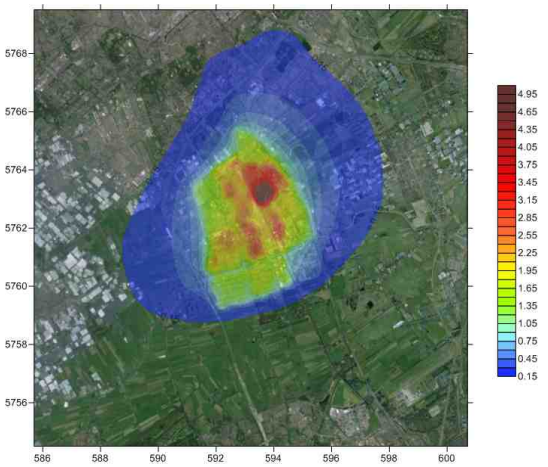


시나리오4

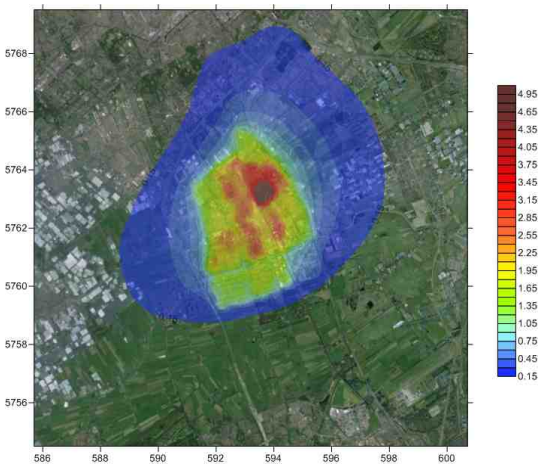


시나리오5

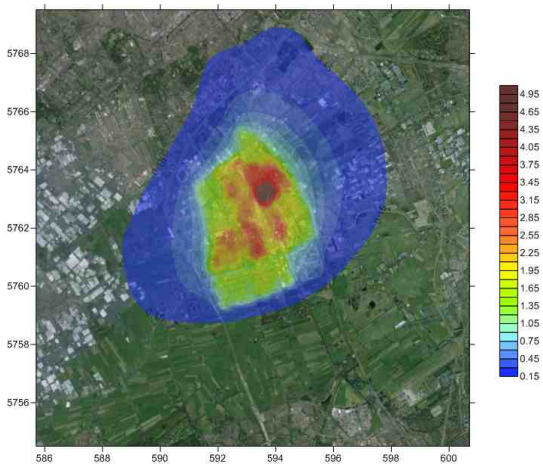
<그림 1-9-40> PM_{10} 연평균 등농도 곡선(2006년)



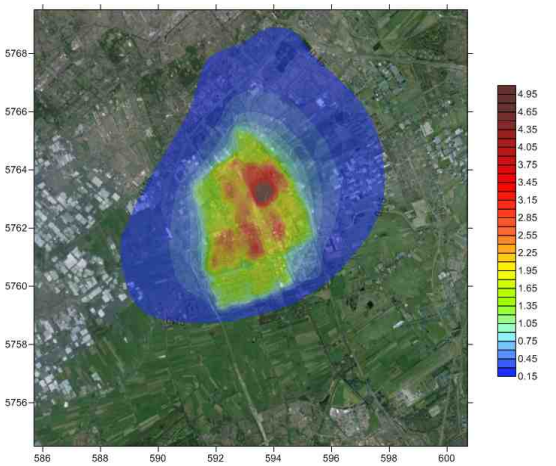
시나리오1



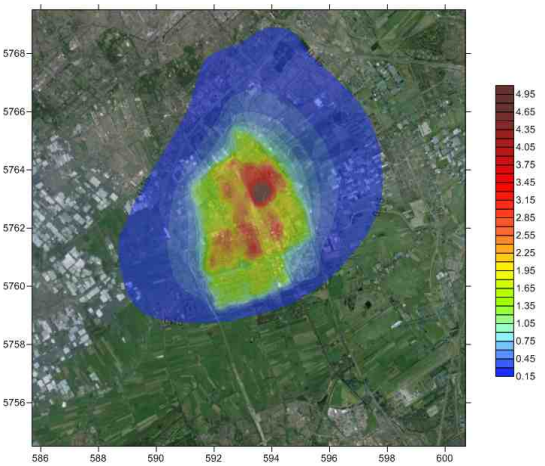
시나리오2



시나리오3

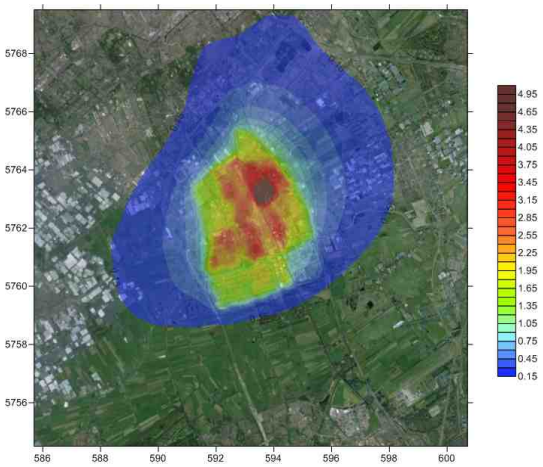


시나리오4

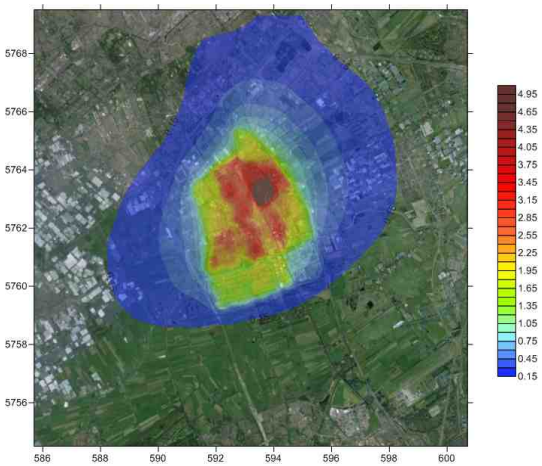


시나리오5

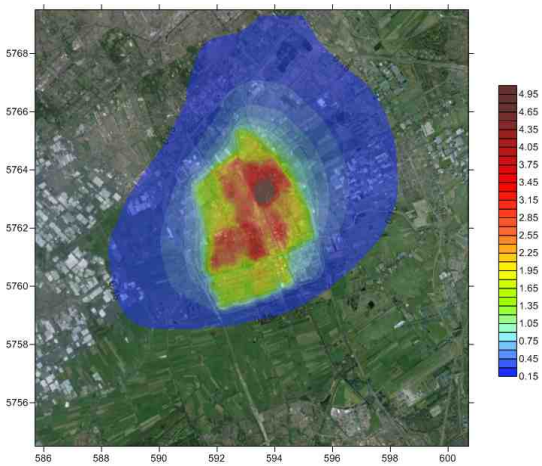
<그림 1-9-41> PM_{10} 연평균 등농도 곡선(2011년)



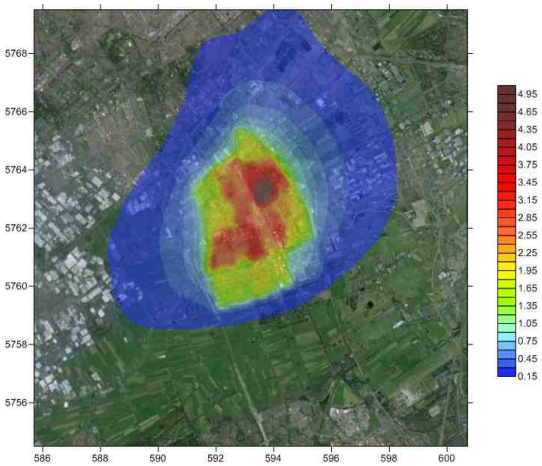
시나리오1



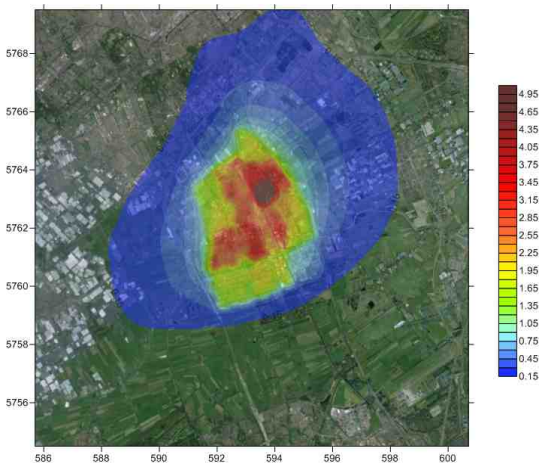
시나리오2



시나리오3

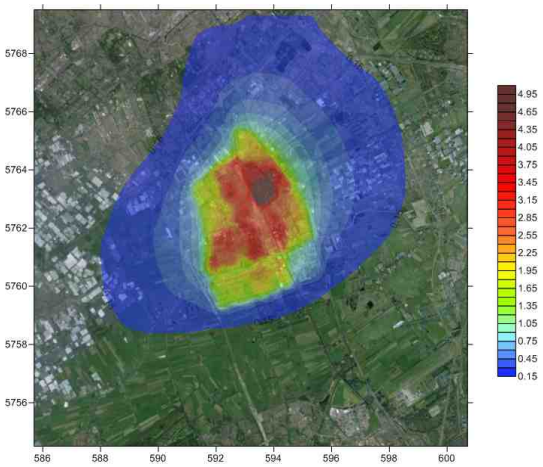


시나리오4

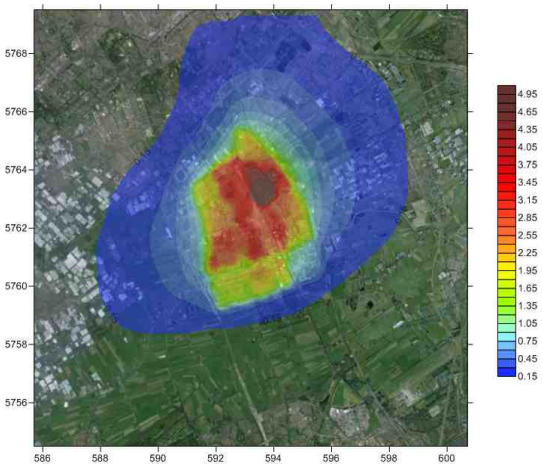


시나리오5

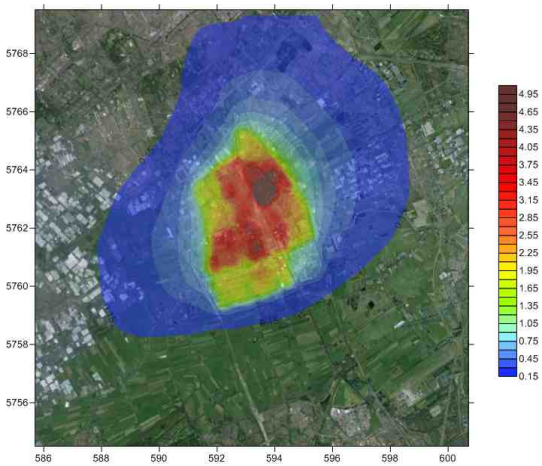
<그림 1-9-42> PM_{10} 연평균 등농도 곡선(2016년)



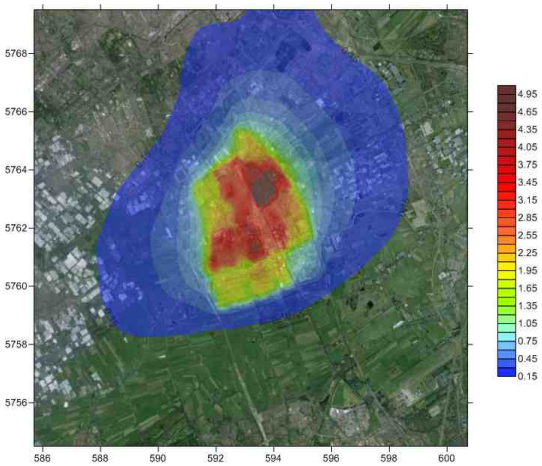
시나리오1



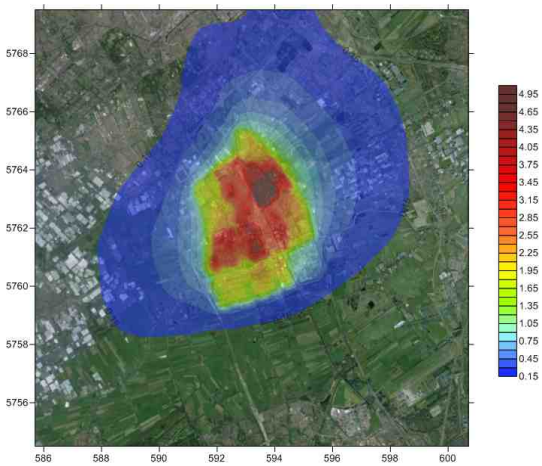
시나리오2



시나리오3

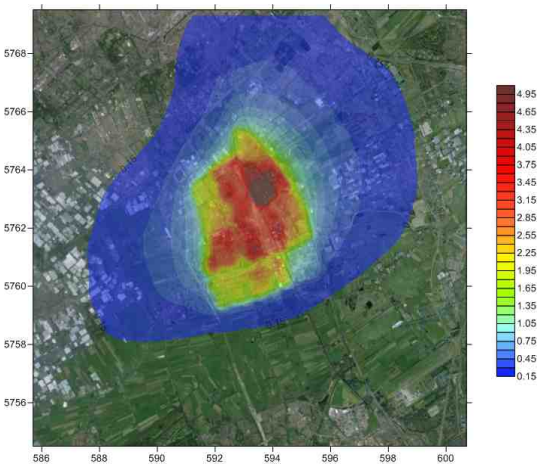


시나리오4

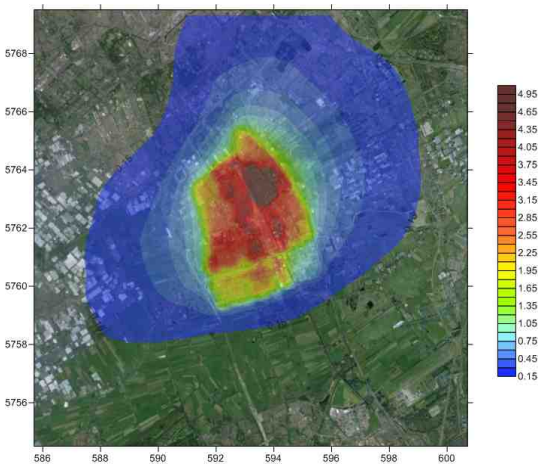


시나리오5

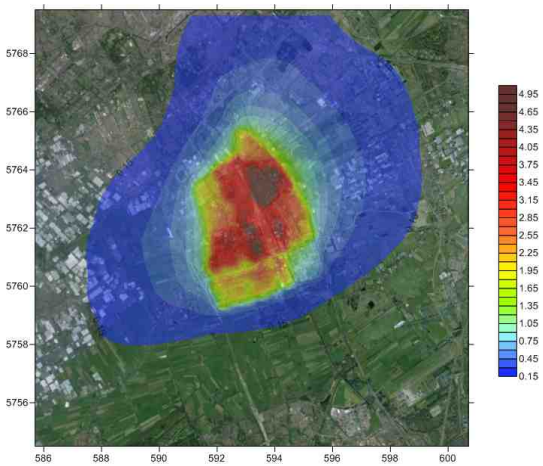
<그림 1-9-43> PM_{10} 연평균 등농도 곡선(2021년)



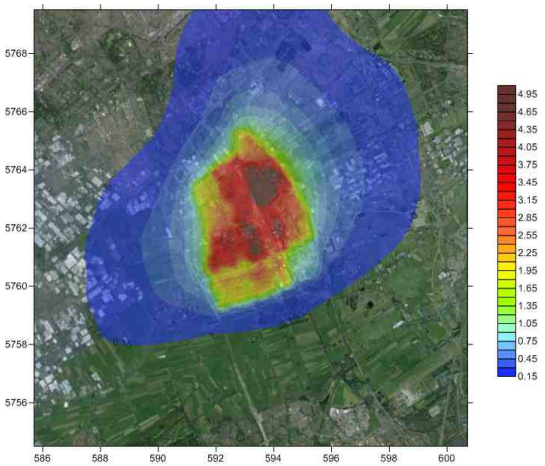
시나리오1



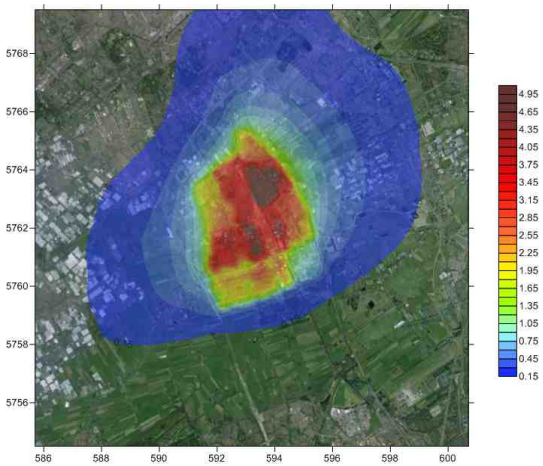
시나리오2



시나리오3

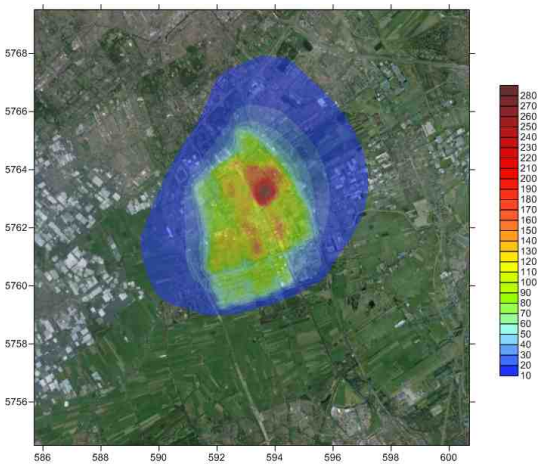


시나리오4

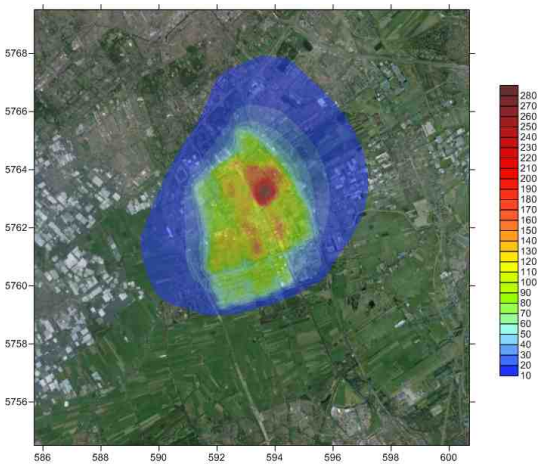


시나리오5

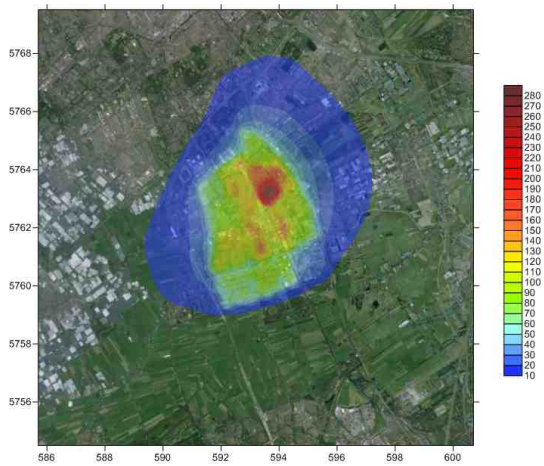
<그림 1-9-44> PM_{10} 연평균 등농도 곡선(2026년)



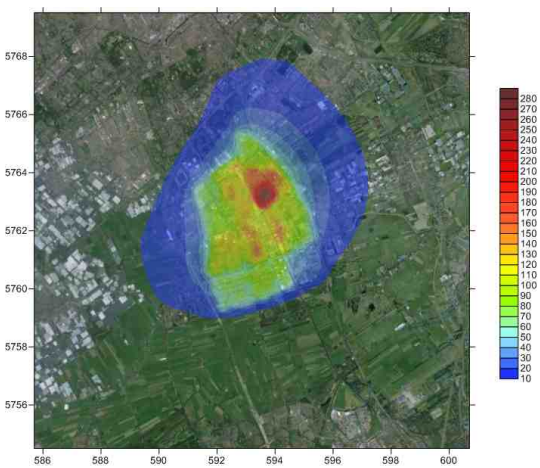
시나리오1



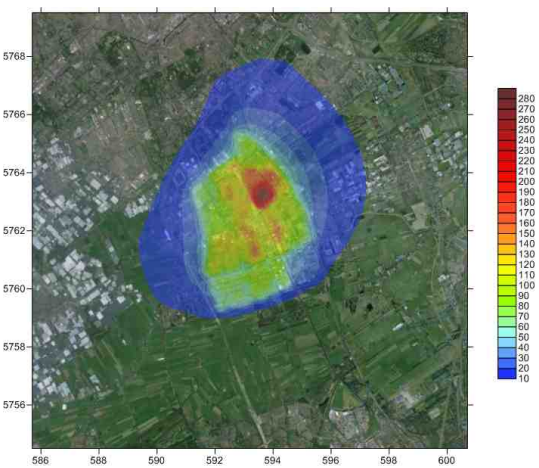
시나리오2



시나리오3

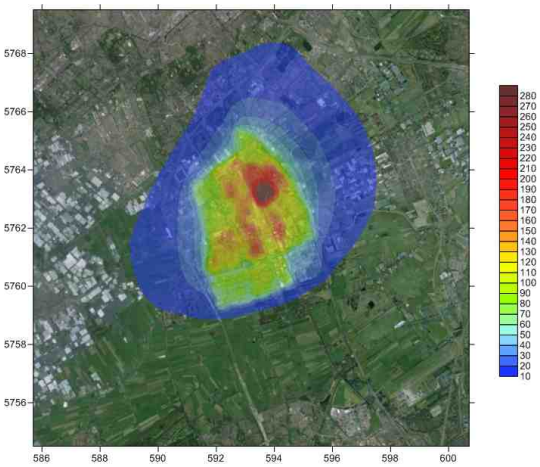


시나리오4

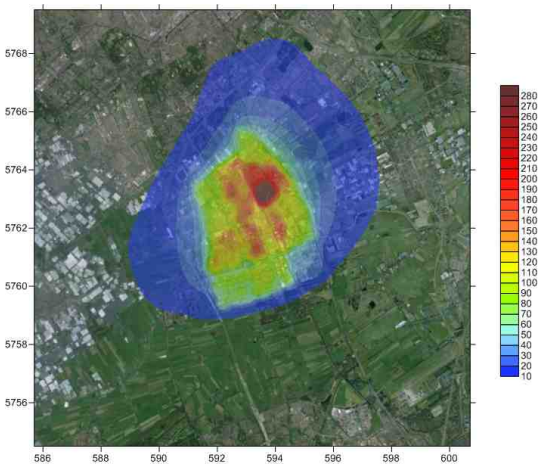


시나리오5

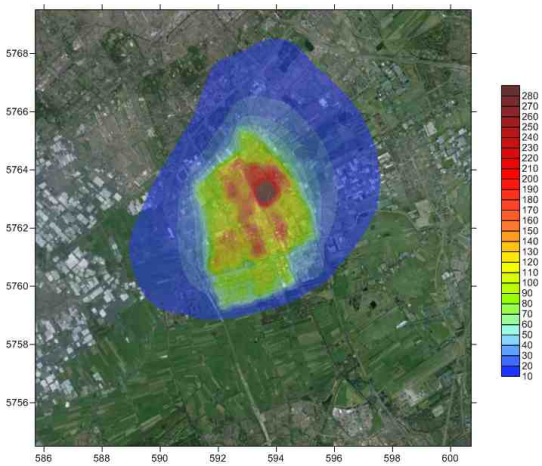
<그림 1-9-45> NOx 연평균 등농도 곡선(2006년)



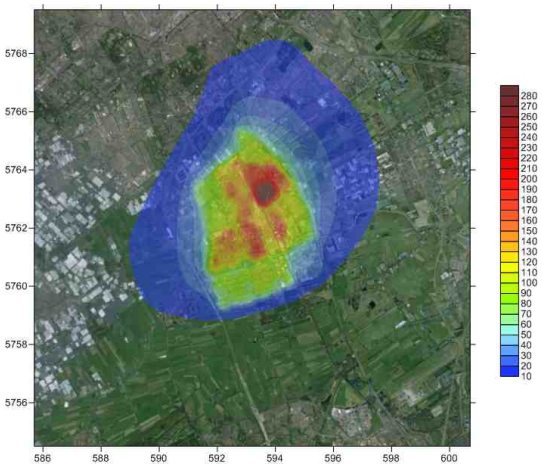
시나리오1



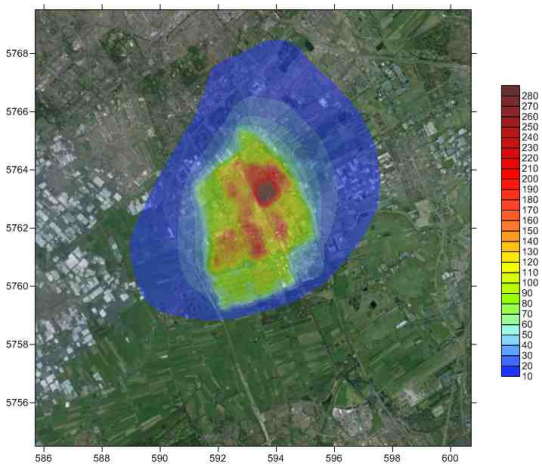
시나리오2



시나리오3

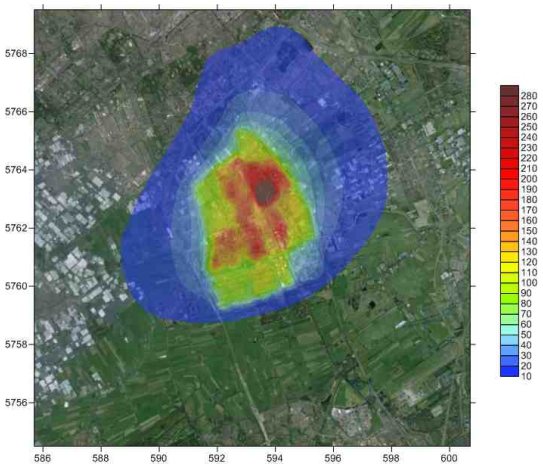


시나리오4

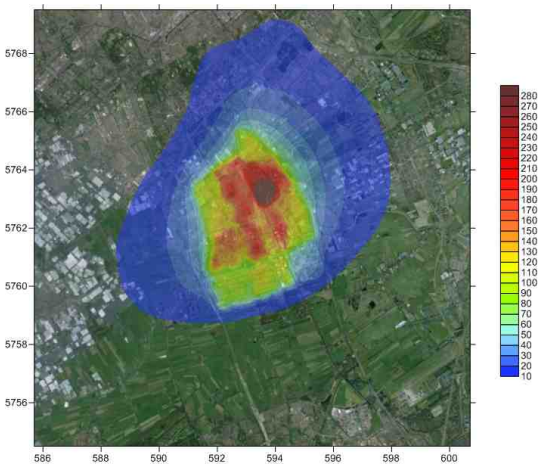


시나리오5

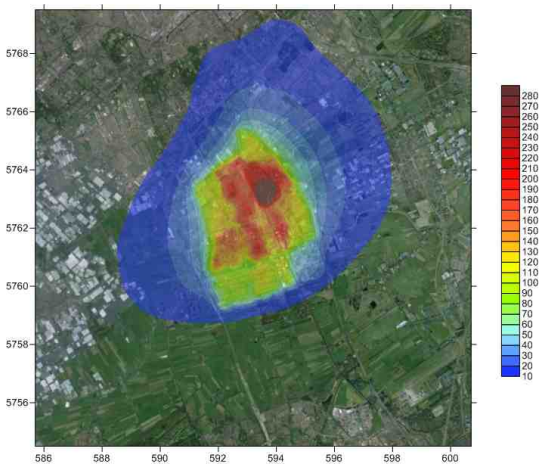
<그림 1-9-46> NOx 연평균 등농도 곡선(2011년)



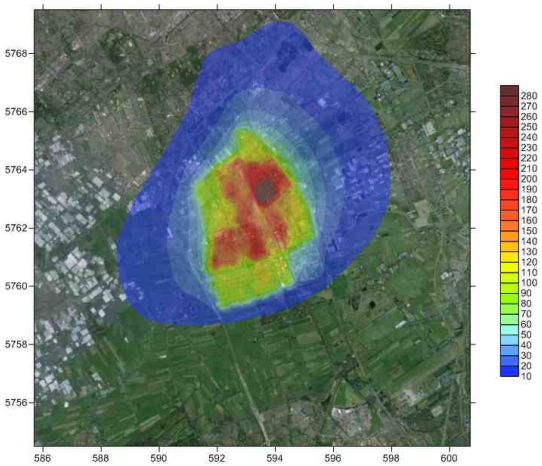
시나리오1



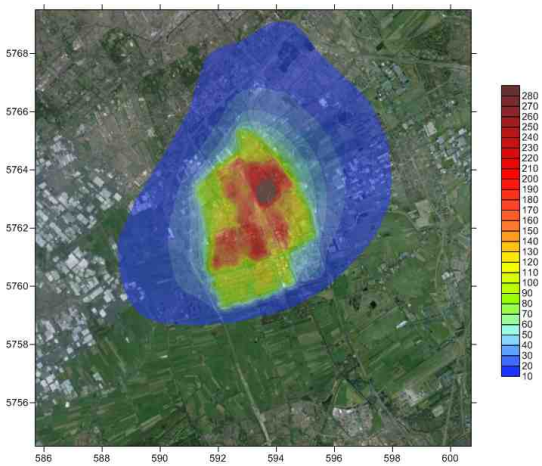
시나리오2



시나리오3

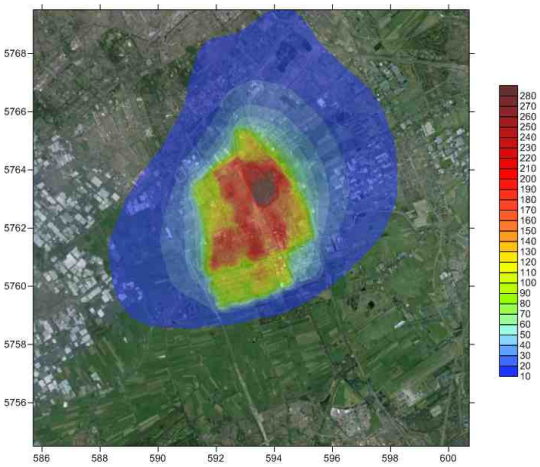


시나리오4

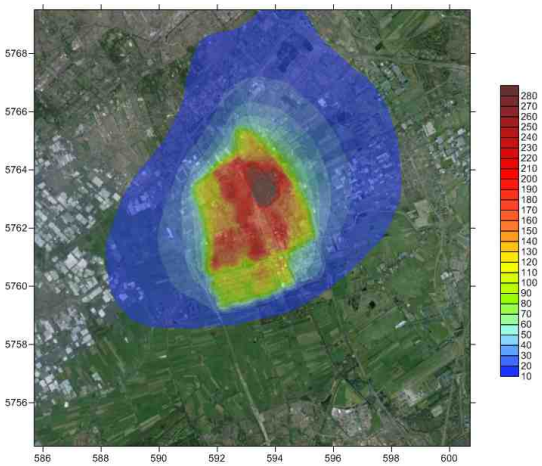


시나리오5

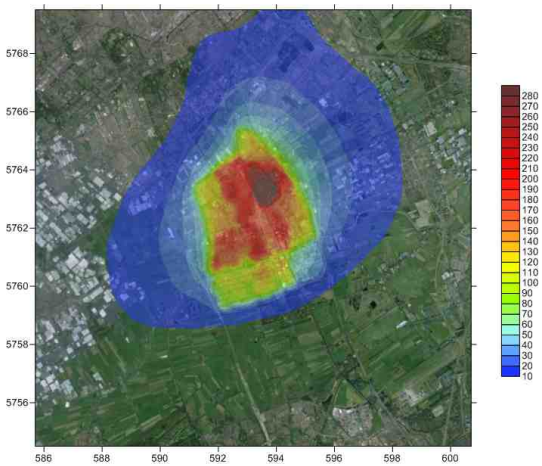
<그림 1-9-47> NOx 연평균 등농도 곡선(2016년)



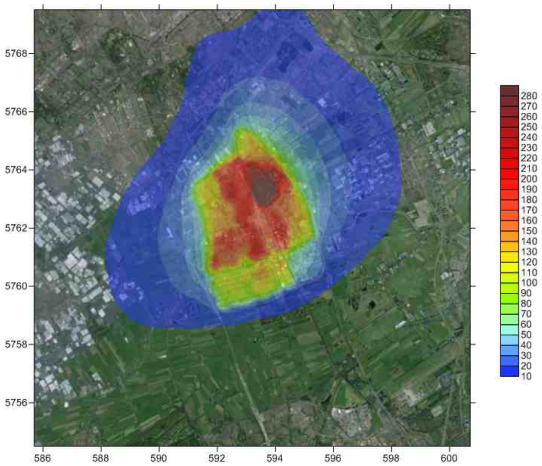
시나리오1



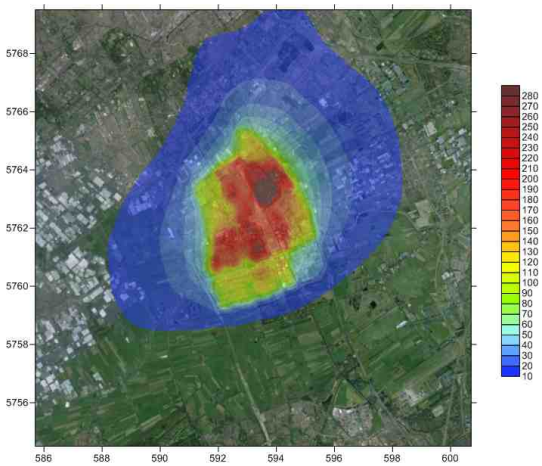
시나리오2



시나리오3

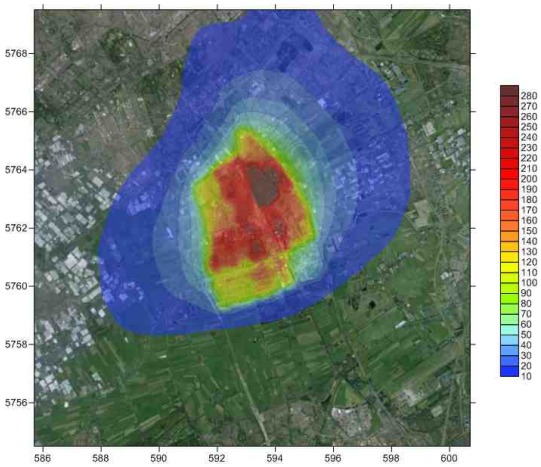


시나리오4

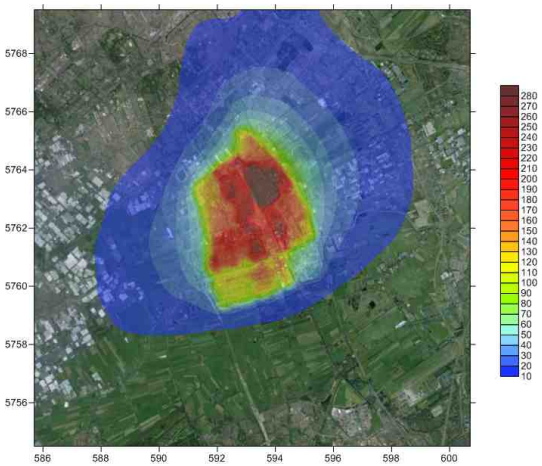


시나리오5

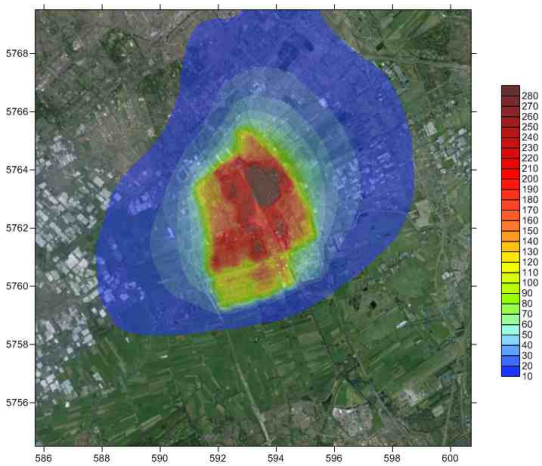
<그림 1-9-48> NOx 연평균 등농도 곡선(2021년)



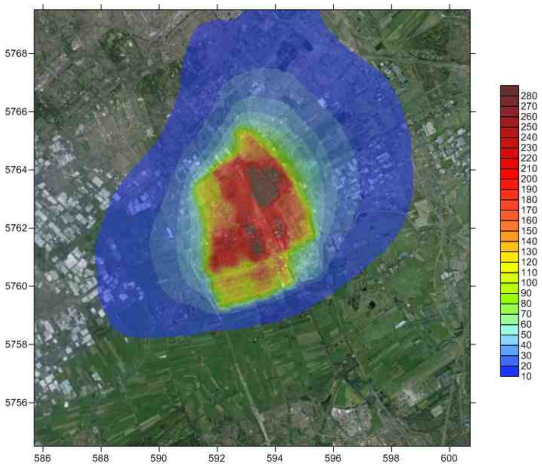
시나리오1



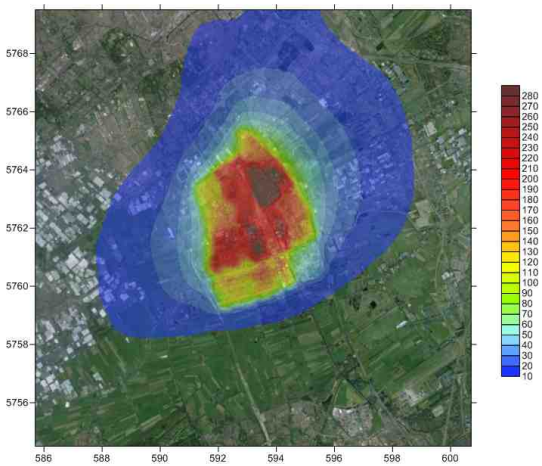
시나리오2



시나리오3



시나리오4



시나리오5

<그림 1-9-49> NOx 연평균 등농도 곡선(2026년)

마. 대기환경영향 예측 모형의 가이드라인 작성

(1) 가이드라인의 구성

○ 대기 확산 모형에 대한 간략한 소개 자료로 사용

○ 가이드라인 작성의 목적, 매뉴얼 구성 및 특징, 그리고 매뉴얼 내 자주 사용되는 용어에 대한 정의로 구성하였음

<표 1-9-38> 대기확산모형 활용을 위한 가이드라인의 구성 및 특징

구 분		구성 내용
제1장 개요	가이드라인 제공 목적	가이드라인을 제공하는 목적에 대하여 설명
	가이드라인 적용 범위	가이드라인을 적용할 수 있는 모형의 분류 설명
	주요 용어정의	주요 용어를 설명
제2장 대기확산 모형 설명	모형 선정	모형을 선정한 이유와 각 모형의 특징 설명
	CALINE 3 모형	해당 모형의 산술식과 입력자료 설명
	대기확산 모형 사용 방법	시스템에 탑재되어 있는 대기확산 모형 사용 방법에 대하여 설명
제3장 대기확산 모형 수행 결과 활용	대기확산 모형 수행에 따른 결과 표현	수행결과의 종류와 표현 내용 설명
	대기확산 모형 수행에 따른 결과 활용	수행결과의 활용 방안에 대하여 설명

(2) 전문가 검토 의견서

○ 대기환경영향 예측 모형의 가이드라인의 검증을 위해 담당업무 공무원 및 산·학·연 도시교통 전문가를 대상으로 자문을 수행하였으며 검토의견은 다음과 같음

<표 1-9-39> 전문가 평가 의견

구분	주요 의견	반영 여부
A 전문가	- 기상자료 분석대상 지역별로 기본 값을 설정하고 사용자가 수정 적용할 수 있도록 하는 것에 대해 검토 - 사용자 입장에서 시나리오 입력 등에 대한 구체적 설명 필요	- 사용자가 기상자료를 수정할 수 있도록 시스템에 반영하였음 - 기능적인 구체적인 설명은 사용자 매뉴얼에서 다루도록 하였음
B 전문가	- 기존의 분석된 데이터를 이용하여 보다 객관적인 지표를 표출하는 방안도 고려	- 기존 분석 데이터를 이용하여 평가하는 기능이 구현되어 있음
C 전문가	- CALINE 3의 구동을 위한 기본데이터의 입력방식이 쉽고 용이하며 분석결과에 대한 이해가 용이하면 활용도가 높을 것으로 예상됨 - 분석결과의 공간적인 해석뿐만 아니라 시간대별 탄소배출량의 모니터링이 가능하면 좀 더 효율적인 의사결정 지원수단이 될 것으로 판단함	- 실질적으로는 CALINE 3 구동을 위해 별도로 입력할 자료는 없으므로 활용이 쉬움. 분석결과에 대한 이해가 용이하도록 가이드라인을 보완하였음 - 시나리오 분석 결과가 시간대별로 있다면 시간대별 모니터링이 가능함
D 전문가	- 대기확산 모형의 활용 방법을 몇 가지 시나리오별로 제시하고 있어 유사한 상황에서 대기 확산 모형을 어떻게 활용할 수 있는지 알 수 있을 것으로 보임 - 그러나 다른 나라의 모형의 내용을 확인하거나 본 가이드라인이 설명하는 대기확산모형의 세부내용을 이해하려면 어떤 참고문헌 또는 웹페이지를 살펴보면 좋을지 추가하면 좋을 것으로 보임	- 대기확산모형의 세부내용은 연구개발 보고서 별권에 수록되어 있음을 표시하였음

제 2 장 관련분야의 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 기술개발 현황

1. 토지이용-교통 통합모형 기술 동향

○ 국내에서는 토지이용 및 교통모형의 적용가능성을 검토하여 개발한 경험이 있으나, 정책과 사업에 활용 할 수 있는 통합 시스템 기술은 미흡함

○ 통합 시스템을 전문적으로 연구하고 기술을 개발하는 전문가 및 연구기관은 부재하나, 정책 실무에 적용하여 사용하고 있는 국외 기술(통합 및 연계 모형)을 국내에서 실험적으로 적용해 본 연구사례 있음

○ 토지이용 및 교통모형의 일부를 활용하여 국내 도시에 적용하거나, 해외도시를 대상으로 통합모델을 대상으로 적용한 연구를 수행한 경험이 있음

○ 공간배치 변화에 따른 통합 탄소배출 관리 프로그램 개발 및 효과평가 시뮬레이션 기술개발 부문에서 국내 전문가 인프라가 다수 구축되어 있지는 못한 상황이나 각 단계별로 필요한 전문가는 확보하고 있는 상황임

○ 토지이용-교통시스템 기술 관련 전문가는 학계, 연구원, 기업 등 다양하게 조사되었으나 토지, 교통, 환경을 통합하여 연구하는 전문가는 존재하지 않는 것으로 조사되어 각 분야 전문가들의 협동연구가 필요할 것임

2. 교통관련 시뮬레이션 기술 동향

○ 국내 교통수요모형 관련 전문가는 대략 100여명 정도이며, 서울대학교를 포함하여 대략 15개 학교, 한국교통연구원을 포함하여 10여개의 연구기관에서 연구 진행이 가능함

○ 그러나 실제 교통수요모형 모델링 분야를 직접 연구하는 전문가는 20여명 정도로 추산되고 있으며 대부분 연구실 수준의 연구가 진행되고 있으며, 활동기반 모형에 대한 연구를 수행하는 대학은 한양대학교, 서울시립대학교, 전남대학교 등이 있음

○ 국내 활동기반 연구는 각 연구들이 단편적으로 진행되어, 분명한 방법론적 방향이 없으므로, 단편적인 이론들을 종합하여 정립하는 과정과 활동기반모형의 체계화 작업이 필요함

○ 국내 연구는 아직까지 기존 기술모형의 보완 및 발전단계로서 평가될 수 있는 바, 모형의 정밀도와 현실화를 지향하기 위해 현실세계에서 조사·축척된 자료를 모형에 적용시킬 필요가 있음

○ 국내 기술개발 수준은 개별행태모형 및 MATSim(Multi-Agent Transport Simulation)을 활용하여 국내 도시(부산)에 적용하여 쓰나미와 같은 자연재해상황에서 대피 경로 시뮬레이션을 개발한 연구가 있음(이승재, 2011)

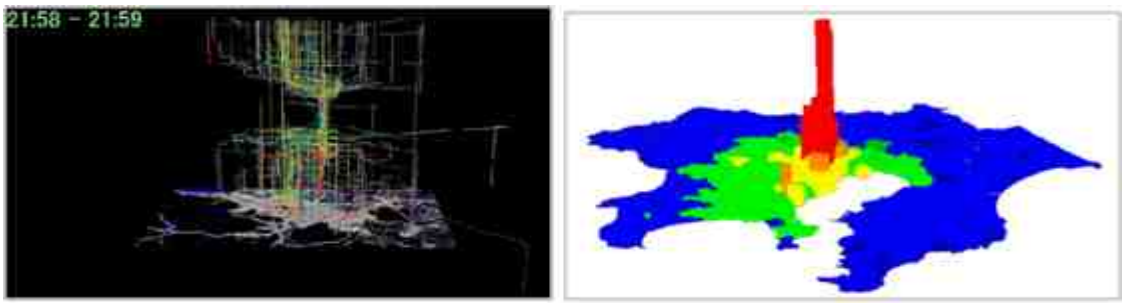


<그림 2-1-1> MATSim 시뮬레이션 분석 사례-부산시 자연재해상황 대피 경로(이승재, 2011)

○ 1990년대를 기점으로 교통수요관리(TDM)에 대한 관심이 높아지면서 통행수요에 대한 보다 근원적인 이해의 필요성이 부각되면서 교통 활동에 대한 시간-공간적 접근이 시작되었음

○ 이에 맞추어 연구의 방향도 인간이 교통과 통행에 관련하여 “어떻게” 행동하는가 하는 기존의 방향에서 벗어나 “왜” 그렇게 행동하는가 하는 원인 분석(causality)에 관심이 기울어지게 되었음

○ 개별행태모형(individual behavior model)에서는 개별 통행 활동을 3차원의 동적지도(Dynamic)를 이용하여 설명함



<그림 2-1-2> 3차원 동적지도 및 인구밀도(그림출처)

<표 2-1-1> 거시적 모형과 미시적 모형 비교

거시적 모형(기존-4단계 추정모형)	미시적 모형 (활동 중심 모형-activity based)
통행 중심	활동 중심
존(zone) 기준	개별 활동 발생 위치 기준
결정적	동태적
존(zone) 중심의 자료	개인, 가구별 자료
단일통행	통행간의 연결성
특정시간	통행지속시간
일반적 수요	파생수요
일정시간대의 생활	생활주기
이산적 개별통행패턴	연속적 통행패턴

○ 국내·외에서 관련 기술과 관련하여 미시적 모형을 통한 분석에 대한 기술개발이 단편적으로 진행 중이며 활동에 기반한 모형이 미시적 모형의 대표 모형임

<표 2-1-2> 기존 연구

연구자	연구내용
김순관(1994)	기존 4단계 모형 틀에서는 동적행태 특성을 모형화 하는데 한계가 있음을 소개함
이승철(2003)	활동기반모형의 특성을 논하고 전통적인 4단계 모형과의 차이점을 비교
서상언(2006)	고령자의 통행특성을 분석하기 위해 네스티드 로짓모형을 이용, 개인의 통행특성을 반영할 수 있는 비집계 분석의 방법론으로 활동 스케줄링 모형을 구축하고 정립
엄진기(2008)	노스캐롤라이나 학생들의 캠퍼스 활동 및 통행시태자료를 이용, 기존 교통수요모형의 단점을 보완할 수 있는 활동인구 추정을 통한 교통수요 예측 방법론에 대하여 제시
조창현(2008)	우리나라 대형 화물차의 통행사슬을 활동기반모형을 통해 분석
엄진기(2009)	철도이용승객을 위한 활동 스케줄 구축을 위해 기존 경부선을 이용하는 승객의 통행실태 자료를 기반으로 활동스케줄 구축을 검토 철도 이용자의 활동 행태를 분석

○ 활동기반 교통 시뮬레이션의 분석 및 적용을 위한 기본적인 기술개발이 필요한 단계는 개별단위의 자료 확보가 우선적으로 중요한 실정임

○ 현재 국내에는 개별단위의 자료로 사용가능한 데이터가 구축되어 있으나 이를 프로그램에 적정하게 변화하는 기술적 문제가 존재하고 있는 실정임

○ 따라서, 미시적 개별단위 자료 수집 및 데이터 코딩, 관리기관과의 긴밀한 협조를 통한 자료 활용 방안에 대한 기술개발이 우선적으로 수행되어야 함

○ 국외에서는 도시 활동에 따른 통행패턴 변화 시뮬레이션 기술개발이 진행 중이며, 국내는 시작단계로 기존 기술 활용방안 다음과 같음

- 개별행태(Agent)기반과 관련된 기술 및 시뮬레이션 개발은 통행자 개별단위 자료(DB) 확보가 중요하며, 미시적 자료수집 및 관리기관과의 긴밀한 협조 및 자료 활용방안이 필요함
- 국내 내비게이션, BMS(Bus Management System), 스마트카드 데이터 활용가능하며, 토지이용관련 과세대장, 지적도 활용 가능함
- 교통정보 및 운영을 위해 구축된 미시적 자료를 연계하여 세분화된 개별통행행태 분석을 시도할 수 있음

○ 다양한 개발사업과 관련하여 분석하고 의사결정지원 시스템으로서 활용할 수 있는 공공기관, 연구원, 민간업체, 학교 등에서 미시적 시뮬레이션 기술을 적용하고 운용할 수 있는 시장이 형성되어 있고, 추가적으로 아시아지역에도 미시적 시뮬레이션 적용이 가능하여 시장 확장 가능성도 지니고 있음

3. 탄소저감형 녹색도시교통 관련 기법 개발 동향

○ 도시의 탄소저감형 녹색도시교통에 관한 국내 관련 기법은 기후변화에 대응하기 위한 도로의 설계·포장기법, 도로환경의 구축과 같은 분야에서 진행된 바 있으며 도시계획 단계에서 적용이 가능한 도시교통의 관련 기법은 미흡한 상태임

○ 도로·교통부문에서는 도시민의 환경적인 삶의 질 향상을 위한 도시가로 설계기법 개발을 위한 연구, 에너지 절약 및 지속가능한 생태도시 모델 개발을 통해 도시 조성 기술 및 구현을 목표로 한 첨단 무탄소도시 조성 기술 개발, 친환경도로 건설을 위한 환경친화적인 도로건설 기준 개선방안 연구와 같은 연구는 진행되었음

○ 탄소저감을 위한 에너지 절약과 에너지, 물순환, 녹지 조성을 연계한 생태단지 기반기술, 건축외장, 생태도로, 녹색성토물개발 기술을 통한 생태단지조성의 적용은 연구가 진행 중이며, 도시 홍수 및 열섬현상과 같은 도시기후 변화에 대응할 수 있는 기존 개발 공간 조성 기술을 대체할 수 있는 녹색 건설기술은 실용화 단계에 있음

○ 그러나, 현재 도시건설기반기술 측면에서의 국내 관련 연구는 활발하게 진행 중에 있으나, 이에 비해 탄소배출에 가장 많은 영향을 미치는 도시교통에 관련한 기법 연구는 기초단계이며, 간과되고 있음



<그림 2-1-3> 탄소저감형 녹색도시건설 기반기술의 내용(장대희 외, 2011)

4. 탄소배출 저감기술 동향

○ 저공해 친환경 차량 개발: 전기자동차, 하이브리드 차량 등 저공해 차량 개발 및 상용화 추진 중

○ 청정개발체제(CDM) 사업 : 온실가스 감축사업으로 수력・풍력・태양광발전 등이 해당되며, 교통분야 CDM사업으로는 간성급행버스체계(BRT) 등이 해당됨

○ EcoDriving 관련 기술동향 : 차량 ECU 분석을 통해 차량진단 및 주행정보 를 제공하고 있는 상황이며, EcoDriving 인디케이터 등 디스플레이 장치가 개발됨. 또한, 공인연비기준 EcoDriving 서비스가 일부 제공되고 있음

○ 차량 간, 차량~시설물간 실시간 양방향 정보연계 및 서비스 제공기술『u-TSN 기반기술』과, 정체예방관리기술 및 연동신호운영기술『u-Transportation 운영관리기술』이 대규모 연구개발 사업을 통해 진행되었음

○ 자전거와 첨단 IT기술을 연계한 정보화 자전거 시스템으로, 자전거와 대중교통수단의 환승서비스 제공하는 기술인 u-Bike 시스템이 개발되었음

5. 도시공간 탄소배출량 산정 관련 기술 동향

○ 도시의 탄소저감에 관한 국내 연구는 대부분 에너지 사용과 연관하여 연구가 진행되고 있으나 도시계획 단계에서 적용가능한 도시의 토지이용별 탄소배출량에 대한 자료구축

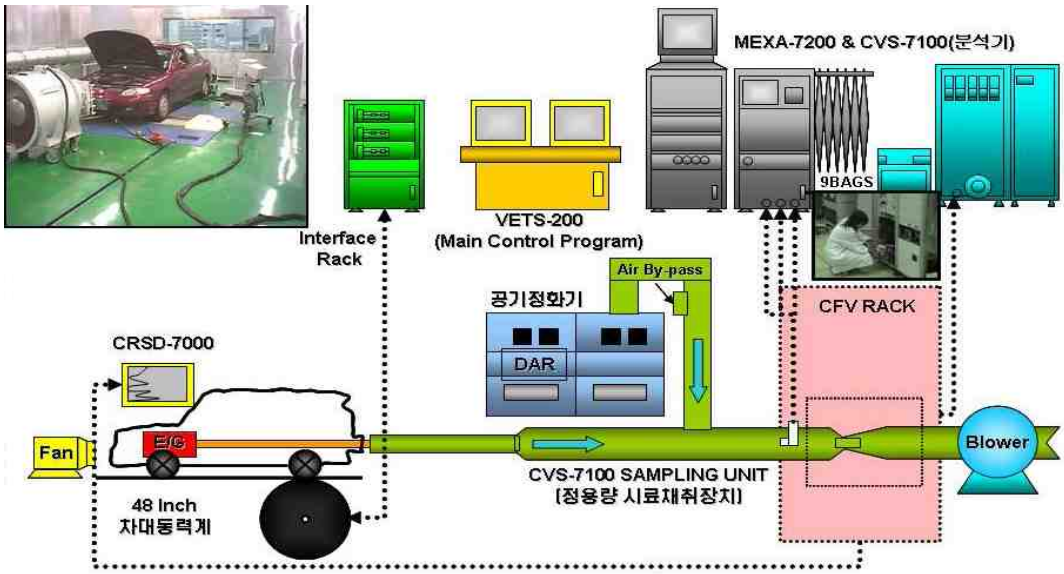
이 이루어지지 않음

○ 실제로 도시계획 모형이나 교통모형과 연계하여 탄소배출량을 예측하는 모형은 국내에는 개발한 이력이 없으며 정책과 사업에 활용할 수 있는 통합 시스템 기술은 부재함

○ 대기에 대한 오염물질의 영향권 예측모형이 개발되어 사용되고 있으나 도시-교통 모형과 대기모형을 연계한 시스템을 구축한 사례는 없는 것으로 판단됨

○ 도로교통 관련하여 현재 국내에서 사용되고 있는 자동차 관련 속도에 따른 배출계수는 국립환경 과학원에서 '자동차 오염물질 배출량 산정연구'(국립환경연구원, 2000, 2001, 2003, 2004, 2005)'를 통하여 추정되었음

○ 자동차가 실제 도로를 주행할 때와 같이 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 모의 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치인 차대동력기로 실험을 통해 차종별 배출계수를 산정함

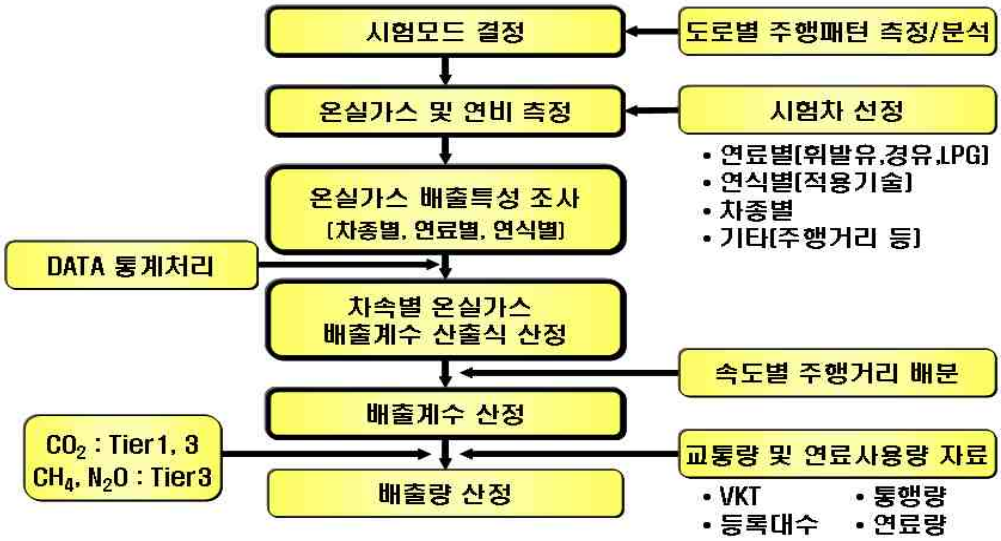


<그림 2-1-4> 차대동력계 계통도(국립환경과학원 제공)

○ 온실가스 분석 방법으로 다음과 같은 방법이 사용됨

- 배출 특성 시험을 통하여 포집된 배출 가스 중 CO_2는 비분산적외선분석법(Non Dispersive Infra-Red)을 이용하여 분석하게 되며, CH_4는 탄화수소 분석방법인 수소염 이온화분석법(Flame Ionization Detection)을 이용하여 분석

- N_2O는 분석이 끝나고 남은 시료를 3L 규격의 소형 테들러 백에 분취하여 GC-ECD(Gas Chromatographic - Electron Capture Detector)로 분석함



<그림 2-1-5> 국내 온실가스 배출계수 산출체계도(국립환경과학원, 2007)

○ 배출계수와 같은 기술적 자료는 도로의 종류에 따라 차량들이 운행하는 실제 패턴을 분석하여 통계적으로 유의성 있는 차속에 따른 오염물질별 배출계수식과 기온에 따른 미가열 운행식을 산정한 뒤, 등급 또는 그룹화 된 운행활동 자료에 연결되는 기술적 특성 자료를 결합하여 총량을 산출함

○ 교통부문은 국가 R&D사업으로 교통체계효율화사업을 일환으로 '교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발'사업이 수행 중에 있으나, 각 교통 분야별 온실가스 배출량에 대한 데이터를 구축하고 있지만 총량에 대한 인벤토리 구축과 관리방안의 모색의 중점을 두었으며 교통모형의 결과와 결합하여 배출량을 예측하기 위한 개발은 아님

6. GIS 기반 도시교통 시나리오 구현 및 평가시스템 동향

○ 지구상의 여러 가지 문제점 즉 지구온난화, 도시집중, 산업화, 자원고갈, 환경오염, 인구고령화 등으로 그 어느 때보다 지리정보시스템(GIS)가 활발하게 이용되고 있음

○ 탄소저감정책과 장래 도시공간배치 변화에 따른 도시 교통 탄소배출 통합모니터링 프로그램 및 평가기술 개발 부문에서 국내 전문가 그룹은 존재하지 않는 것으로 조사됨

○ 그러나 각 부문별로 필요한 전문가 즉, 도시계획, 도시운영, 교통계획, 교통운영, 환경계획, 소프트웨어 개발자 등은 각 분야별 전문가 수준의 연구 인력이 확보된 상태임

○ 토지이용-교통시스템 기술 관련 전문가는 학계, 연구원, 기업 등 다양하게 조사되었으며, 각 전문가들의 유기적인 융·복합 연구 활동과 유연한 협업 연구 환경을 조성함은 물론, 본 과제에 미참여 전문가들까지 적극적인 참여를 유도하여 양질의 연구개발 성과

를 실현하도록 할 것임

○ 탄소저감형 인프라 구축 관련 기술 현황은 다음과 같음

- 차량별 연료소모량 측정기술만을 확보하고 있으며, 활용 측면의 서비스는 부재인 상태
- 개인단말기(스마트폰, 전용단말기, 내비게이션 등)를 통한 극히 제한적 정보 제공이 이루어지고 있는 실정임
- 실시간으로 탄소배출량을 검측·관리하고 이를 활용하여 IT·교통·도시를 융합된 형태로 통합 관리하는 체계의 연구수행 실적이나 민간부문 사업진행 상황은 없는 상황임

제2절 국외 기술개발 현황

1. 토지이용-교통 통합모형 기술 동향

○ 토지이용·교통 관련 통합모형 기술개발 사례를 살펴보면 국외에서는 국토정책에 따른 파급효과를 측정하기 위해 다양한 시뮬레이션 모형들을 개발해오고 있음

○ 도시계획 및 설계 분야에서는 영국과 미국의 기관들이 우수한 실적을 보이고 있으며, 현실화되어서 이미 유지관리 단계에 돌입한 프로젝트 경험을 쌓고 있으므로 이들 기관과의 협력을 통한 기술 이전이 필요함

○ 토지이용-교통시스템 기술 관련 해외기관은 미국과 영국을 중심으로 조사되었으며, 전문가는 학계, 연구원, 기업 등 다양하게 조사되었음

<표 2-2-1> 국외 해외협력기관 인프라

국가	상대기관명	주요 활동 실적
미국	ICE, University of California	공간정보기술 데이터 관련 기술들의 개발과 전파
영국	CASA(The Centre for Advanced Spatial Analysis)	컴퓨터과학, 환경과학, 지리학, 계획, 원격탐사, 지리정보공학 교통분야를 연구
영국	David Simmonds Consultancy	도시·지역 그리고 교통계획에 적용되는 연구·분석·예측을 수행
영국	University of College London	GIS의 도시디자인을 연결시키는 정책과 관련된 연구프로젝트 사업을 수행
영국	TRL(Transport Research Laboratory)	교통부문 탄소배출 측정 및 모니터링 기술

<표 2-2-2> 토지이용・교통 관련 통합모형 및 특성(국토연구원, 2010)

모형	특성
BOYCE	▪ 입지와 교통수단선택 모형을 결합
CUFM	▪ 캘리포니아 도시의 미래를 예측하기 위한 모형
DELTA	▪ 토지이용과 경제모형이 결합된 패키지
ILUTE	▪ 토지이용, 교통, 환경모형을 결합
IMREL	▪ 주거와 고용 입지의 통합모형
IRPUD	▪ 독일 도르트문트대학에서 개발한 도르트문트 지역 모형
ITLUP	▪ 교통과 토지이용 통합모형으로 주거입지모형인 DRAM과 고용모형인 EMPAL로 구성됨
KIM	▪ 비선형 도시균형모형
LILT	▪ 토지이용과 교통의 통합모형
MEPLAN	▪ 통합모형패키지
MetroScope	▪ 미시경제 기반의 토지이용 및 교통 통합모형
MetroSim	▪ 미시경제 기반의 토지이용 및 교통 통합모형
MUSSA	▪ 5단계 토지이용 및 교통 통합모형
PECAS	▪ 교통과 토지 통합모형
POLIS	▪ 미래최적화 기법을 이용한 토지이용 모형
RURBAN	▪ 무작위 효용(random-utility)기반의 도시모형
STASA	▪ master-equation 기반의 교통과 도시/지역 통합모형
TLUMIP	▪ 토지이용과 교통 통합모형
TRANUS	▪ 교통과 토지이용 통합모형
TRESIS	▪ 교통과 환경정책의 파급효과 시뮬레이션 모형
UrbanSim	▪ 미시경제를 기반으로 한 가구와 기업의 입지선택 모형

(1) 유럽

○ 네덜란드의 대표적인 LUTI모델(Land Use/Transport Interaction models)은 Environment Explorer(EE, Engelen et al., 2003)와 TIGRIS(Eradus et al., 2002)이며, 그 밖에 LOIS(WSP, 2002), DELTA/START패키지(David simmonds consultancy Ltd. 2009), PROPOLIS프로젝트(Lautso 외., 2004) 등이 잘 알려져 있음

○ EE모델은 동적 GIS 기반의 토지이용-교통 모델로써 장기적인 공간 정책에 대하여 경제, 사회, 환경적 영향 평가를 위해 구상되어, 네덜란드 여러 지역에서 사례연구가 실행

○ TIGRIS모델은 네덜란드 전 지역에 적절한 모델로써, 지금까지 4개 지역에서 사례 연구가 실행

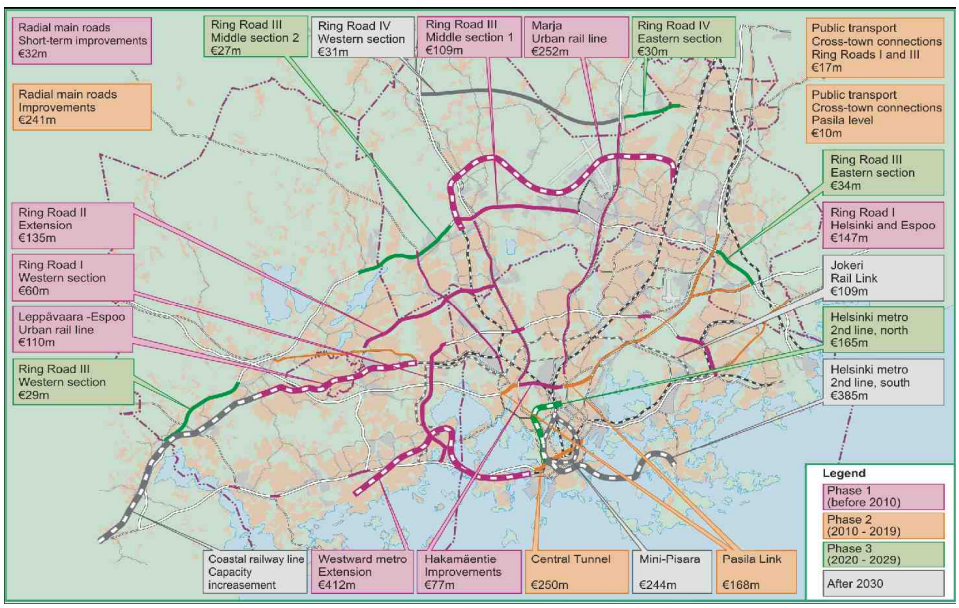
○ LOIS모델은 영국 서퍽카운티(Suffolk County)의 입스위치(Ipswich)를 대상으로 다중 교통수단 연구(Jin et al., 2002; LOIS, 2003)에 이용하기 위해 시작된 모델임

○ 토지이용 교통 통합모델인 MEPLAN의 원리를 기반으로 LASER3.0의 존 체계를 재정립하여 이용하며, 토지이용-교통이 완벽하게 통합된 공간-경제 모델의 특성을 갖고 있음

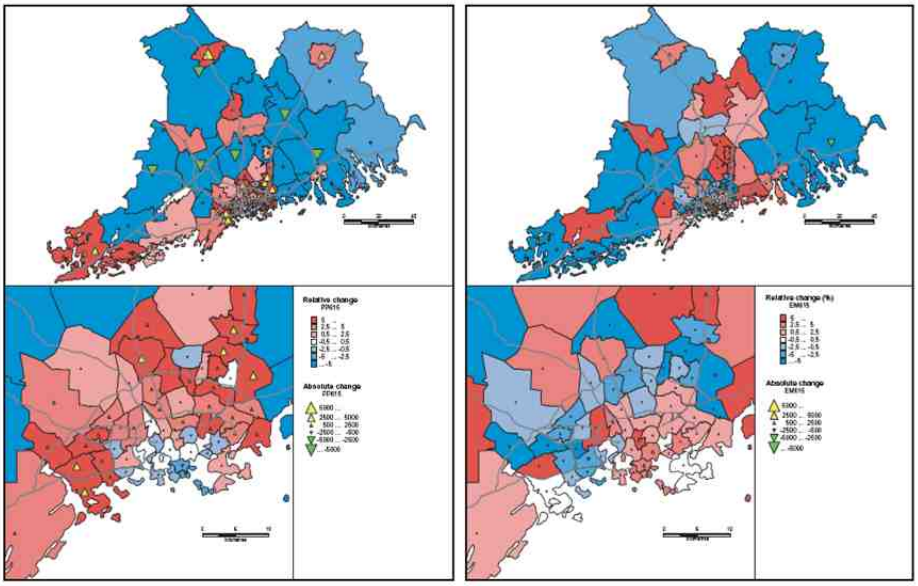
○ DELTA/START패키지(David simmonds consultancy Ltd. 2009)는 영국에서 토지이용-경제 모델(DELTA)을 교통모델(START)에 연동하여 개발함

○ PROPOLIS프로젝트(Lautso 외., 2004)는 기존의 MEPLAN, TRANUS, IRPUD의 3개 LUTI모델을 연동시키고, 도시 지속성 지표, GIS 기반의 Raster module, 데이터베이스, 결정 지원체제를 첨가하여 정책 대안을 평가하는 모델시스템으로 유럽의 7개 지역에 적용됨

- 모델에 입력되는 자료는 정책 패키지, GIS DB and Model DB이고, 분석되는 정책에 대해서는 모델의 매개변수나 데이터베이스에 의해 '모델링 언어'로 변화, GIS DB는 존 단위의 공간데이터, 도로와 대중교통네트워크, 토지이용 등을 포함하며, 모든 토지이용 교통모델은 전적으로 GIS를 기반으로 함 즉, 각 모델존과 링크는 GIS 데이터베이스로 표현됨
- 참조 시나리오(Reference Scenario): '참조시나리오 2021'은 2001년의 현재 상황과 비교되었으며, 헬싱키 대도시 지역에서 거주자의 25% 감소, 직장의 수는 6% 감소를 가정하였고, 또한 도로와 대중교통(PT)프로젝트를 가정하여 수행함



<그림 2-2-1> 헬싱키를 대상으로 한 도로와 대중교통(PT)프로젝트
(출처 : Lautso 외., 2004)



<그림 2-2-2> 정책 테스트 결과: Policy 615(대중교통요금체계 변화, 혼잡통행료제 조합)에 따른 토지이용변화(헬싱키)
좌: 대중교통요금체계 변화만 시행, 우: 혼잡통행료제 병행
(출처 : Lautso 외., 2004)

○ PROPOLIS 프로젝트의 결론

- 좋은 도시정책 프로그램은 조직화된 요소로 구성되어 있으며, 이것은 환경적, 사회적, 경제적 적을 두루 달성하여 장기적인 효과를 얻을 수 있으며 다음과 같은 정책적 요소들의 반영을 제시함
  - 자동차 이용자에 대한 혼잡통행료 정책(피크타임과 그렇지 않은 시간, 정체지역과 비정체지역에 대한 차별성)과 적절한 대중교통요금의 가격수준
  - 위에 언급된 정책으로 인해 변경된 수요를 반영하는 투자 프로그램, 특히 속도와 서비스가 향상된 대중교통에 대한 증가된 수요에 반응하는 투자 프로그램
  - 위성도시나 대중교통이 잘 연계되어 중심지역과 가까이 살려는 사람들의 새로운 요구(수요)를 지지하는 토지이용계획 그리고 대중교통의 사용에 대해 증가된 수요(필요)와 기회를 지지하는 토지이용계획
- PROPOLIS 프로젝트를 통해 사례 도시들에 의해 증명되었듯이, 정책의 노선(방향)은 기존의 참고(표준) 시나리오나 현 정책을 유지하는 것과 비교하여 대표적인 유럽도시들의 도시지속성에 대한 모든 면에서 향상시킬 것으로 기대됨
- 최상의 시나리오에서는 현재 단계의 지속가능성을 향상시켜 도시들의 미래를 개선하는 것인데, 이것은 지역적인 그리고 전국적 범위의 정책결정 단계에서 협조적인 개입

(공동의 참여)을 통해 달성 할 수 있음

- PROPOLIS 프로젝트는 대기질, 소음, 오픈스페이스의 질을 실험하기 위해 Raster Module에서 100m단위로 실행하며, EE모델은 토지이용, 사업(활동), 소음, 대기질, 토지의 붕괴에 대하여 500m단위로 분석함
- 이러한 유효한 공간적인 분석 단위는 토지이용 프로세스를 모델링하는데 적합한 것으로 간주되며, 또한 토지이용-교통 정책의 개발과 효과 분석에는 충분하지만, 지역 레벨의 생태계와 건강에의 영향에 대하여 정밀한 분석을 하기에는 미흡한 것으로 평가됨

(2) 일본

○ 杉田 浩(2006)는 토지이용활동으로 인한 교통수요의 변화에 관련하여 일본의 토지이용정책・교통정책이 거주분포와 통행행태에 미치는 영향 분석을 위해 도시구조, 교통에너지 소비량, 교통비용, 도시정비 및 유지비용을 평가 지표로 도입하여, 센다이(仙台), 우쓰노미야 (宇都宮), 오키나와(沖縄) 도시권을 대상으로 토지이용-교통 모델을 실행

○ <표 2-2-3>의 평가지표 항목에서 거주 장소 및 가족 구성의 형태가 통행빈도, 평균이동거리, 이용교통기관 등의 교통행동특성에 영향을 미친다는 것을 전제로, 그로 인해 토지이용정책 및 교통정책이 어떻게 변화하는지 분석함

<표 2-2-3> 토지이용-교통 정책 평가지표

평가지표	항목
도시구조	▪ 도시의 인구배치형태의 파악 : 지역별 세대형태별 세대수, 지역별 인구 및 인구밀도, 지역별 종업인구 ▪ 활동주체 간 상호 의존관계 : 평균 이동거리 ▪ 도시 혼잡 상황 : 평균자동차이동속도
교통에너지소비량	▪ 1인당 교통에너지 소비량
교통비용	▪ 세대 형태별 1인당 교통비용
도시정비, 유지비용	▪ 1인당 도시 정비, 유지비용

2. 교통관련 시뮬레이션 기술 동향

(1) 교통시뮬레이션 모형

○ 미시적 분석의 경우 교통현상을 구체적으로 쪼개어 정밀하게 파헤치는 분석방법으로서

교통현상을 보다 정밀하게 설명할 수 있음(차량 추종모형, 간격수락모형 등)

○ 주요 미시적 국외 시뮬레이션으로는 CORSIM, VISSIM, PARAMICS 등이 있으며 이를 통한 상황 변화에 따른 교통패턴 및 수요 변화에 대한 정밀한 예측이 가능하게 됨

○ 존 기반의 거시적 시뮬레이션의 한계를 극복할 수 있다는 장점이 있으나 대량의 데이터 가공 및 복잡한 통행배분 과정으로 인해 큰 점유율을 가지지 못하고 있으며, 수요분석이 불가능하다는 단점을 지니고 있음

(2) 4단계 모형

○ 전통적 교통수요 모형으로 통행발생, 통행배분, 수단선택, 노선배정의 4단계를 통해 단계적으로 교통수요를 추정하는 방법으로 현재 교통여건을 지배하고 있는 교통체계의 메커니즘이 장래에도 크게 변하지 않는다는 기본적인 가정으로 토대로, 현재의 통행자의 통행행태나 통행패턴이 장래에도 그대로 존속된다는 것이 전제됨

○ 교통에 변화가 일어난다면 교통자체에서 형성된 변화라기보다는 기타 사회활동체계게라는 외생적인 영향에 의해 일어난다는 관점에서 장래 통행량을 예측함

○ 기존 수요추정모형들은 특정시점에서 특정장소의 통행량 자료를 수집하여 통행수요를 분석하여, 통행이 유발된 원인과 시간대별로 변화하는 통행특성을 고려하기가 쉽지 않았음

○ 따라서 개인 간의 특성이 무시되거나 통행자의 속성이 통행수요에 미치는 영향 등에 대해서 고려될 수 없는 한계를 보임

○ 교통수요가 통행자의 활동에 관여함에 따른 부산물, 즉 파생요인을 간과하고 있어, 통행자의 통행에 대한 의사결정과정이 통행자의 활동 속에서 보이지 않음

○ 통행간의 연결성, 통행행태, 시간계획, 활동욕구가 종합적으로 포함되지 않고, 효용극대화의 원칙에 통행행위를 분석함으로써 활동자체가 무시되고 있음

(3) 활동기반 모형

○ 개개인의 다양한 일상 활동을 교통계획의 의사결정단위로 파악함

○ 통행행태 분석에 있어 특정일, 특정시간대를 대상으로 조사한 교통행위를 기초로 연구하지 않고, 하루, 일주일, 또는 한 달간 연속 측정된 관측 자료를 이용, 즉, 통행을 연속적인 일상생활중의 한 행위로 간주하여 통행자의 일상 활동 계획을 연구대상으로 함

○ 통행행위자체를 출발지와 목적지를 연결하는 동질의 행위로 보지 않고, 습관적 통행, 강

제적 통행, 선택적 통행, 회피성 통행 등으로 분류하여 분석함

○ 모형에 사용되는 변수는 인간의 생활주기에 토대를 두고, 특정장소에서 체재기간, 조사기간 동안의 총 통행횟수, 통행 중 정지횟수 등을 포함함

○ 따라서 개별행태모형(individual behavior model) 이론을 바탕으로 한 교통수요추정 시뮬레이션으로 개별통행자들의 통행패턴을 알아볼 수 있으며, 보다 정확한 장래 교통수요를 추정하는데 큰 도움을 줄 수 있음

○ MATSim은 개별형태이론을 바탕으로 구성된 교통수요추정 시뮬레이션으로 대규모 개별통행자들의 통행패턴을 알아볼 수 있으며, 수요변화에 따른 정밀한 예측이 가능함

○ 개별 행태 모형은 교통수단 선택 시 각 통행인의 효용을 바탕으로 교통수단 선택을 분석함으로써 개별적, 선택적, 확률적 개념을 적용하여 분석이 가능함

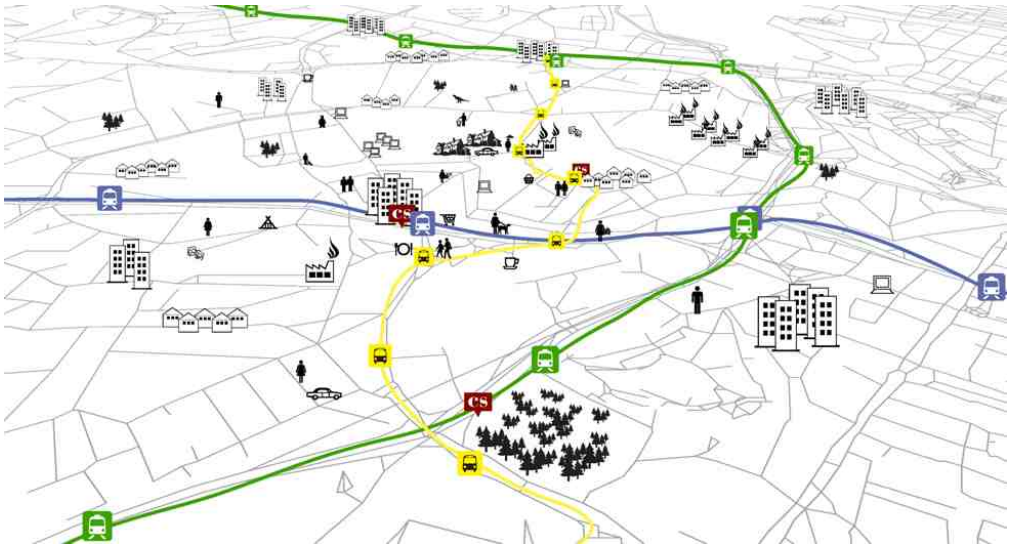
○ 교통존에 한정되지 않으므로 어떤 지역 단위에도 적용이 가능하고, 공간적, 시간적으로 이전이 가능하며, 비용의 절감과 빠른 시간 안에 결과를 도출할 수 있으며, 교통 계획의 개략적 평가에 적합함

○ 집계모형에 의한 오차율 및 통행기반 모형의 비현실성으로 인한 개별 활동기반 모형에 대한 연구가 증가하는 추세임

<표 2-2-4> 국외 활동기반 모형 연구

연구자	연구내용	연구결과
Bowman (1995)	도시통행자들의 수요를 예측하기 위한 목적으로 개인의 하루 활동 스케줄을 이용한 통합된 이산선택 모형 체계를 발표	기대되는 편익은 정책대안에 대해서 하루에 이용하는 통행(trip)기반과 경로(tour) 기반을 비교할 때 향상된 통행 수요예측이 가능함을 논함
McNally (2000)	통행수요예측의 전통적인 통행기반 모형은 통행행태를 반영하기에는 부족 하다고 발표	통행형태를 연구하기 위한 전통적인 접근법은 더 총체적이며, 구조적인 방법으로 사람들 사이에서 활동참여와 생활양식 차이로부터 나타나는 하루 동안 또는 며칠 동안 통행행태패턴 분석으로 대체되어야 한다고 논함
Bowman과 Ben-akiva (1996)	3개의 계량적인 모형과 3개의 시뮬레이션 모형을 포함하여 6개 예제 모형을 비교	장단점과 중요한 차이점, 이론적인 약점, 실질적인 적용문제 등을 각 항목별로 제시
Kitamura (1996)	통행수요예측을 위한 활동기반 접근방법의 규칙과 이점에 관한 견해를 제시, 현재 교통계획 내용에서 수요예측모형을 위한 요구사항들을 논함	예제들의 결과로 활동기반모형 체계가 전통적인 모형의 약점을 극복하고 정책분석을 위한 실질적인 도구임을 증명
Rilett와 Kim (2000)	다이아몬드 인터체인지 신호운영을 어떤 방법으로 할 것인지를 조사	다이아몬드 인터체인지 네트워크를 TRANSIMS 구성하여 시뮬레이션 한 결과를 현장 관측결과와 CORSIM의 시뮬레이션 결과와 비교

○ 싱가포르의 경우, 전역에 대한 MATSim 모형을 구축하여 활동에 기반한 개별 행태 자료를 분석하고 결과를 제시하고 있음



<그림 2-2-3> MATSim 모형 내용(Senozon, 2011)

3. 탄소저감형 도시계획·설계기법 개발 동향

○ 국외 특히, 유럽의 도시들은 도시 내 교통 혼잡, 교통사고, 인구문제가 심각하여 각 국가마다 정부의 교통정책에서 교통문제와 이동성문제의 해결을 우선시하고 있어 도시교통은 도로교통사고로 인한 사망자와 부상자수의 증가뿐만 아니라 도시 대기질 문제 유발, 소음문제, 기후변화와 같은 문제를 야기함

○ 따라서 도시민의 삶의 질을 높이고 건강한 환경을 제공하기 위해서 지속가능한 청정도시교통시스템을 구축하는 것이 필요하여 다양한 도시계획 및 설계기법이 개발되었고, 진행 중에 있음

○ 그 중, 2000년 유럽위원회(European Commission)는 '도시를 위한 도시들'이란 유럽프로그램의 일환으로 CIVITAS(Clean and better transportin cities) 프로그램을 구성함

- CIVITAS 프로그램에서는 지역적인 특성과 유럽의 공통적인 관심을 함께 고려해서 중요한 대안들을 시범적으로 시행할 대상도시를 선정하고 시범도시의 시험사업들을 수행하였고, 시범사업은 도시에 거주하는 모든 사람들의 삶의 질을 증진시키는 것을 최대 목표로 시범도시의 각 도시교통프로그램의 효과를 분석하여 이러한 프로그램들이 유럽의 다양한 도시에 적용가능여부를 살펴보고 유럽전역에 있는 도시의 전반적인 편익을 예측함, 프로그램에 속해있는 대책들은 수요와 공급측면 모두 고려

- CIVITAS는 2002년부터 본격적으로 시작해서 CIVITAS I는 '06년, CIVITAS II는 '09년에 완료되었고 '08년부터 CIVITAS 2012가 진행 중이며, 이에 참여하고 있는 도시의 수는 계속 증가하고 있고, 현재 58개 CIVITAS 시범도시가 존재하며 CIVITAS 공동체

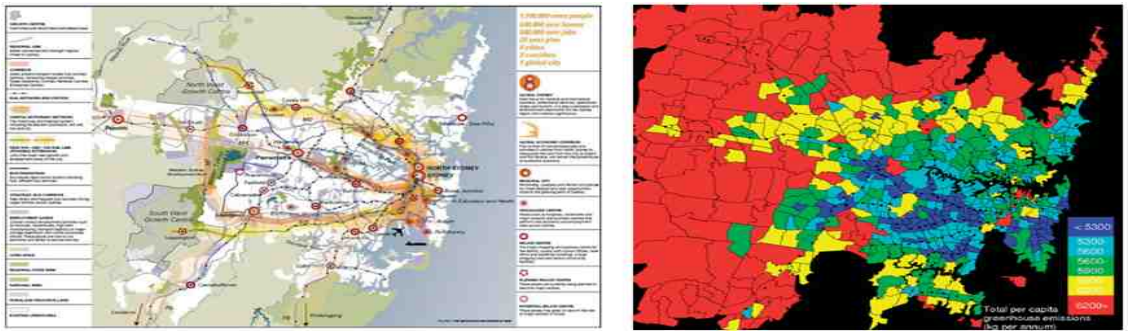
의 일부로 160개 이상의 CIVITAS 포럼네트워크 시티가 있음

- CIVITAS 프로그램에서는 개별도시들은 위의 목표를 달성하기 위한 각각의 대표적인 정책이나 기술을 적용하고 다양한 정책과 기술들을 통합적으로 적용함. 도시들은 그룹을 이루어서 다양한 정책에 대한 효과평가와 과학적인 분석 등을 함께 수행함
- CIVITAS Plus에서 시범사업을 하고 있는 도시의 사업을 소개하면 다음과 같음
  - Bologna는 혼잡통행료정책을 도입하여 장기적으로 교통수요 10%절감을 위해서 첨단교통기술을 활용한 혼잡통행료 정책 사업을 시범적으로 수행
  - Brighton과 Hove에서는 개인통행 플랜 서포트 프로그램을 도입하여 2012년까지 자세하고 유용한 교통정보를 제공하고 이에 따라서 지속가능한 교통수단으로 수단선택이 전환되는 지를 매년 5,000가구씩 총15,000가구를 조사해서 효과분석을 진행
  - Perugia는 교통약자를 위해서 통행필요성을 최소화시키고 접근성을 높이기 위해서 인터넷을 통해서 접근 가능한 대중교통서비스를 다시 계획해서 제공하는 도시통행 필요최소화 프로그램을 시행
  - Craiova는 도시에서 필요한 약 200여대의 친환경적, 생태적인 버스를 구입할 계획으로 새로운 버스와 더불어서 오래된 버스를 교체하고 새로운 버스로 대체하는 사업을 함께 진행하고 있음. Zagres는 트램 에너지복구시스템을 활용해서 기존의 트램을 에너지효율적인 저상트램으로 교체하고 제동전력을 전력공급네트워크에 저장하여 소음을 감소시키고 이용자의 수와 서비스 질을 높이는 프로그램을 진행 중
- CIVITAS 포럼네트워크는 현재 160개 이상의 도시들로 구성되어 있으며 유럽의 모든 도시들은 유럽의 청정도시교통시스템을 구축하는데 기여하기 위해서 네트워크에 가입하여 활동할 수 있음. 이 네트워크를 통해서 청정도시교통시스템을 구현하기 위한 다양한 도시교통정책 및 기술을 시험해보고 이를 위한 지속가능한 이동성확보를 위한 재정적인 지원도 함께 얻을 수 있음
- 유럽위원회(EC)는 CIVITAS를 포함한 다양한 도시교통정책 및 기술개발을 위해 다양한 기술적, 재정적 지원을 하고 있고, 유럽(EC)은 이와 관련해 지속가능성과 청정도시교통구현을 위해 도시교통분야의 중요성을 강조하는 교통백서를 2011년 발간함

4. 도시공간 탄소배출량 산정 관련 기술 국외 동향

○ 호주 시드니 온실가스 모니터링 구축 사례

- 온실가스 배출 저감을 위한 도시계획 정책 기본방향 설정하기 위해 시드니 및 주변 지역의 기본계획과 교통계획을 기반으로 인구, 소득, 호수밀도 예측하여 지역별 주거 형태, 소득, 입지에 따른 가정 부문과 교통부문의 배출량을 추계하였음



<그림 2-2-4> 시드니 권역 계획 및 세부 구역별 배출량 모니터링

○ 미국 앨번시, INDEX를 활용한 Cool Spot 근린주구 설계 사례

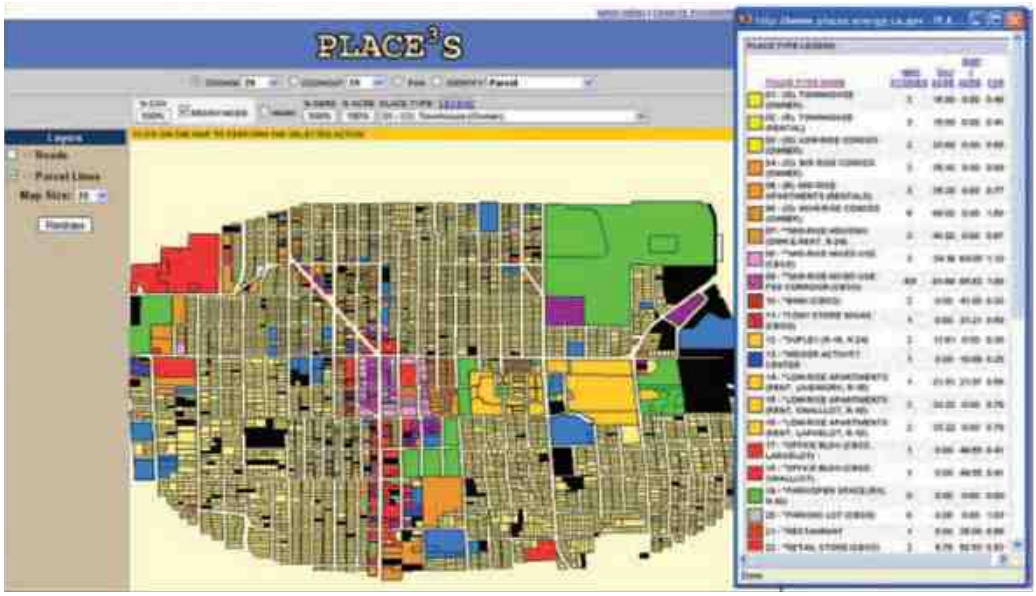
- 계획 의사결정 지원 소프트웨어로 토지이용・교통 모델링에 활용하여 온실가스 배출을 감축하기 위한 대안적 토지이용·교통 설계에 초점
- 교차로 입지 결정 및 설계, 토지이용구분 및 편의시설 배치, 버스노선설정 및 정류장 배치, 자전거 전용도로 구획, 근린시설 공급용 풍력 발전 에너지 배분율 설정, 현존 습지 및 야생서식지 보호 설정을 통하여 3가지 시나리오를 작성하여 최적(안) 도출
- 기후변화 등 환경문제에 대한 대응력을 갖춘 도시개발계획 마련 시 이해관계자들의 의사결정에 크게 기여



<그림 2-2-5> 단지설계 시나리오(왕광익, 노경식, 2010)

○ 미국 워싱턴 킹카운티, I-PLACE^{3}S(보건 및 기후 개선)

- 웹기반 공기관용 모델링 플랫폼 기술로 근린주구~초광역권까지 다양한 스케일로 구체화된 데이터 처리에 활용하여 시나리오 계획 모형을 확장 적용하여 토지개발계획이 교통과 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하고 영향평가 실시
- 가구통행 총조사, 근린주구 삶의 질 만족도 조사를 통해 수집된 데이터를 활용하여 각 가구의 토지이용패턴이 측정되었으며, 통행, 대기오염, CO_2, 물리적 활동, 체질량지수(BMI)와 연계하여 분석



<그림 2-2-6> 워싱턴의 토지이용 현황도 및 주택개발사례(왕광익, 노경식, 2010)

○ 미국 애리조나 주, Envision Tomorrow

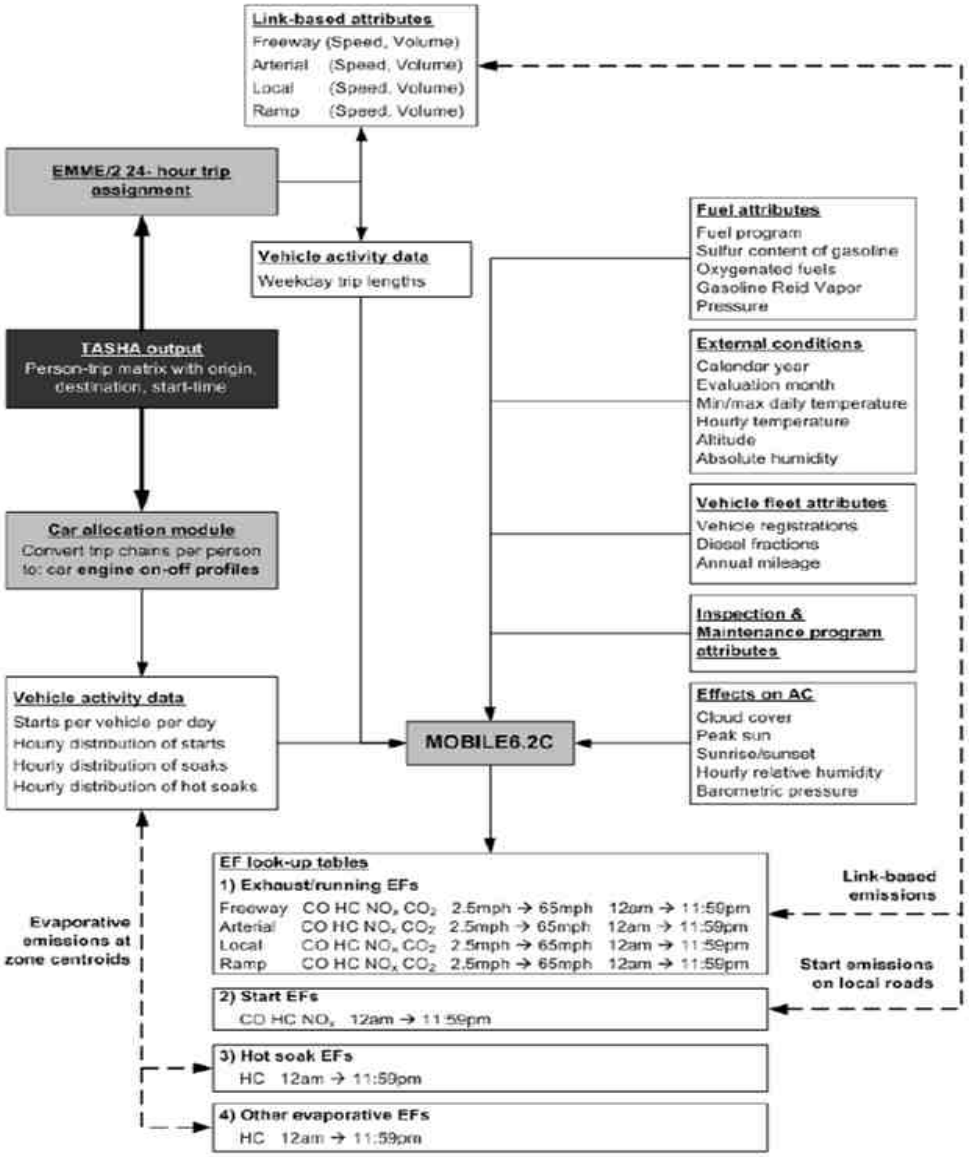
- 도시 및 지역계획에 활용되는 도구로 다양한 스케일의 토지이용을 모형화하는데 사용하며 다양한 건축물 프로토타입의 조합과 도로, 공원, 공공시설 등의 도시 구성요소를 조합하여 도심부, 상업지, 주거지 등의 다양한 개발 유형을 만들어 내는데 활용



<그림 2-2-7> 토지이용 시나리오 모형화 단계(왕광익, 노경식, 2010)

○ 캐나다, 토론토, ILUTE(Integrated Land Use, Transportation, Environment Modeling System)

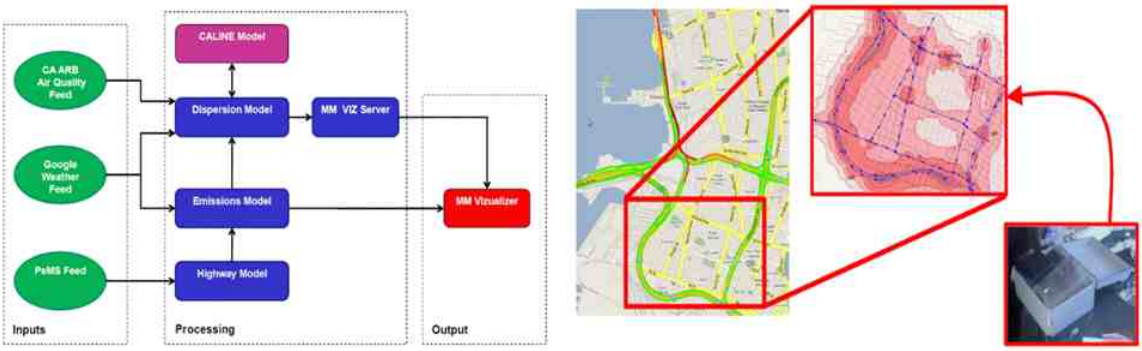
- 토지이용-교통-환경 통합모형으로 TASHA라는 토론토 지역 토지이용모형의 결과가 교통계획 모형에 이용되고, 기존의 교통계획 모형의 결과는 환경모형인 MOBILE 6를 이용하여 도로부문 배출량을 산정하는 프로그램



<그림 2-2-8> ILUTE 모형 체계도 (Hatzopoulou and Miller, 2008)

○ 미국, 캘리포니아, Caltrans 저탄소 관련 프로젝트

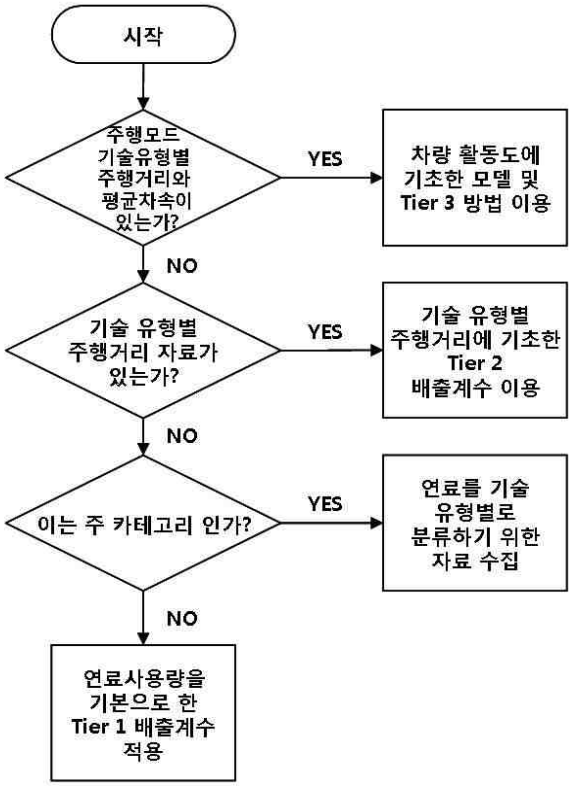
- 대기질, 기후, 실시간 교통량 자료를 이용하여 도로교통모형은 전체 네트워크의 실시간 교통량과 속도를 산출하고, 배출량 산정모형은 기후정보와 교통정보를 이용하여 각 도로구간의 배출량을 예측함
- CALINE 모형과 확산모형은 배출가스의 영향범위를 예측하고 이러한 배출량과 확산모형의 결과는 교통네트워크 지도에 표출됨



<그림 2-2-9> Caltrans 저탄소 관련 프로젝트의 구성과 결과예시(Andrews et al., 2011)

○ IPCC Guideline의 온실가스 배출량 산출 방법 (Eggleston et al., 2006)

- 온실가스 배출량 산출을 위한 활동도 자료로는 차종별 연료별 사용량, 주행거리이며, 활동도 자료 수준에 따라 Tier 1, Tier 2, Tier 3의 방법론을 선택하여 산출함



<그림 2-2-10> 배출량 산정 가이드라인

- Tier 1 방법에 의한 온실가스 배출량 산출은 연료별 사용량과 배출계수를 적용하여 산출
- Tier 2의 온실가스 배출량 산출 방법은 차종과 연료를 구분하여 배출량을 산출하는 것으로 차종별 연료별 사용량과 배출계수를 적용하여 산출

- Tier 3의 온실가스 배출량 산출 방법은 차종별 주행거리와 차량속도를 적용하여 산출하며, 도심지역, 교외지역, 고속도로의 도로 형태별로 구분하여 산출하며 도심지역의 경우 엔진 미가열(Cold Start emission) 상태와 엔진가열(Hot emission)의 배출을 포함
- 주행조건의 도로부문에 대하여 국가별로 적용되고 있는 배출량 산출 방법론과 배출계수는 국가고유 배출계수와 2006 IPCC 가이드라인의 기본 배출계수가 함께 사용되는 경우가 대부분이며, 산출방법론을 Tier 3 수준을 적용하고 있는 나라는 미국, 호주, 캐나다, 영국 등이며 대부분의 국가에서 Tier 2 수준을 적용

○ 미국 EPA, MOVES(MOtor Vehicle Emission Simulator, US EPA, 2010)

- 미국 연방환경청 EPA(U.S Environmental Protection Agency)에서 개발한 모형으로 기존 MOBILE6와 NONROAD model을 연계하여 이를 대체하기 위하여 개발
- 차종에 따른 배출계수를 적용하여 평균속도와 VMT(Vehicle Miles Traveled)에 따른 오염물질 VOCs(휘발성 유기화합물), CO(일산화탄소), NOx(질소산화물) 배출량을 산출 매크로에서 마이크로 레벨까지 자동차 배출가스를 산정할 수 있는 모형의 개발과 적용이 가능

○ 미국 캘리포니아, EMFAC(EMission FACtors, USEPA, 2007)

- 캘리포니아의 도로를 주행하는 자동차의 배출량을 산출하는 모형으로 차종별, 연료별, 차량 연식별 대기오염 배출량을 산출하기 위한 모형
- 전체 네트워크의 총 차량수와 이동거리, 차량의 분포(크기, 연료, 연식 등)를 입력하면 총 대기오염 배출량이 산출
- 대기 모형인 Calpuff 등 배출가스 모형을 개발하여 사용하고 있으며 실시간 교통정보 시스템(PeMS)과의 통합으로 실시간 교통에 따라 배출량을 산정하는 기능도 개발하여 사용 중

○ 유럽, COPERT (Kouridis et al., 2000)

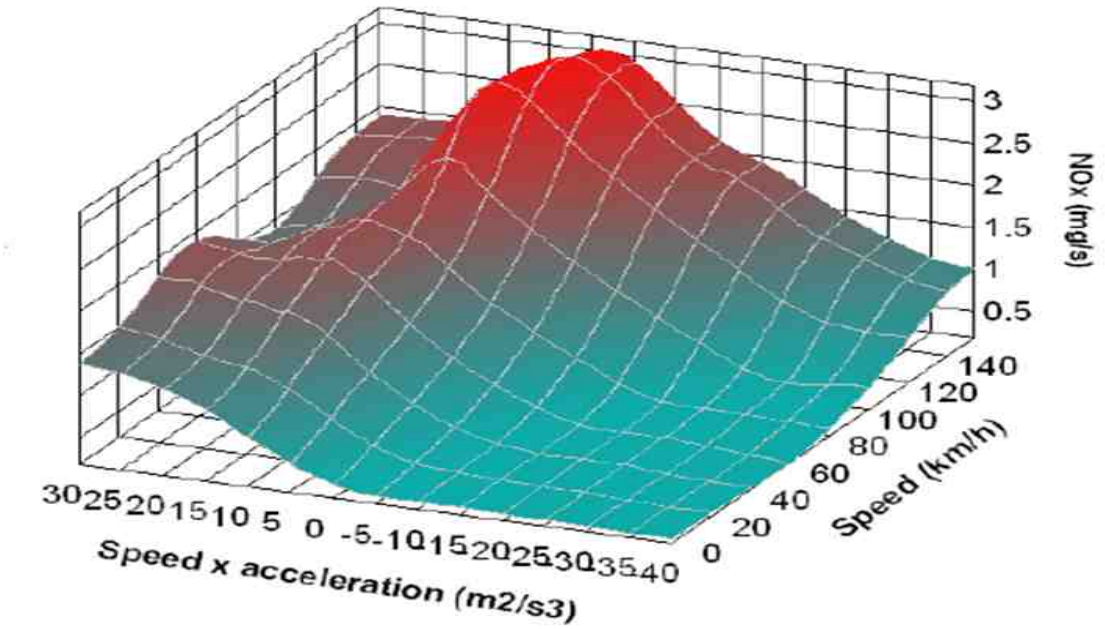
- COPERT 배출모델은 도로수송 분야의 배출량을 산출하기 위해서 이용되는 모델
- COPERT Ⅳ 모델에는 기존 휘발유 차량뿐만 아라 직접분사방식의 휘발유 차량, 매연필터 부착 디젤 차량의 PM 배출계수 포함하고, 미세먼지 배출계수 제안, 하이브리드 차량의 새로운 배출계수 구하였고, 연료 종류와 차량의 노후화를 고려한 온실가스(N_2O, CH_4)와 NH_3의 배출계수 추가하였음

○ 영국, TRL, ARTEMIS(Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems) 프로젝트 (Boulter et al., 2006)

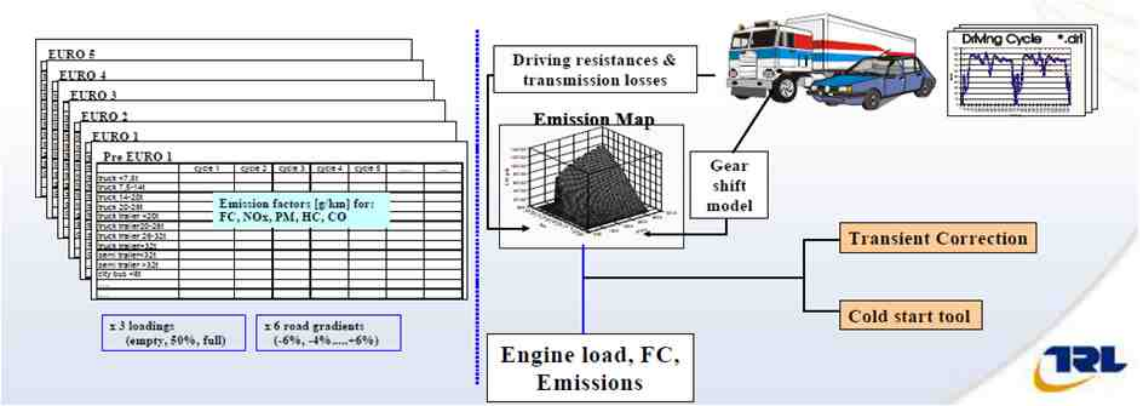
- 영국의 대기오염물질 산정을 위한 프로그램 개발 프로젝트로서 다양한 레벨의 모형이

개발되었음

- 평균속도 모형(Average Speed Model)
  - 평균속도에 따른 배출량 산정 모형식을 사용하며 엔진사이즈에 따라 배출계수를 세분화 하여 제시함
- Instantaneous emission models
  - 차량의 운행 상태에 따라 배출량을 산정하는 모형으로 미시레벨(microscale) 모형이라고도 함
  - 차량 운행시의 속도변화와 적재량, 종단경사, 기어변속 등의 요소 등을 고려하는 모형으로 다양한 주행상태에 대해 측정해야 하는 어려움이 있으나 차량의 주행특성을 고려하여 배출량을 산정할 수 있음
  - 속도를 기반으로 하는 모형(MODEM)과 자동차의 힘을 기반으로 하는 모형(PHEM)이 있음



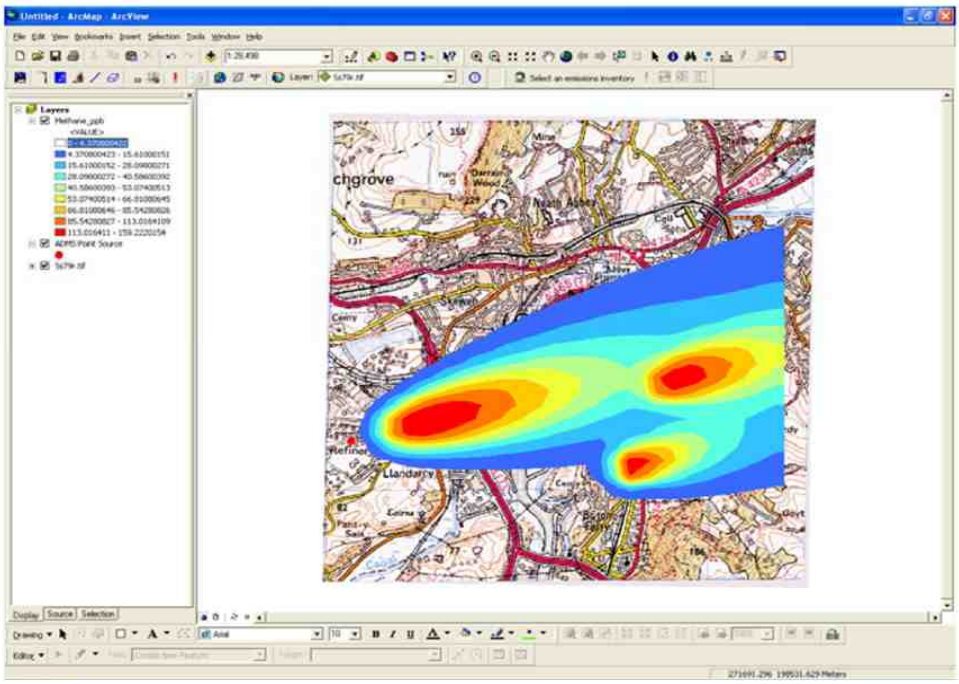
<그림 2-2-11> MODEM : 속도와 가속도에 따른 배출계수 맵 예시(Boulter et al., 2006)



<그림 2-2-12> PHEM, 자동차의 엔진파워에 따른 배출계수 맵 구축예(Boulter et al., 2006)

○ 영국, 대기확산모형, ADMS-Roads(Atmospheric Dispersion Modelling System, 대기확산모형, Cambridge Environmental Research Consultants Ltd., 2010)

- 산업체와 도로교통으로부터 대기오염 물질이 대기에 확산되는 현상은 예측하는 모형으로 점오염원, 선오염원, 면오염원, 양(Volume) 오염원이 분석가능하며 GIS를 이용하여 지도에 영향권 예측결과를 표출함

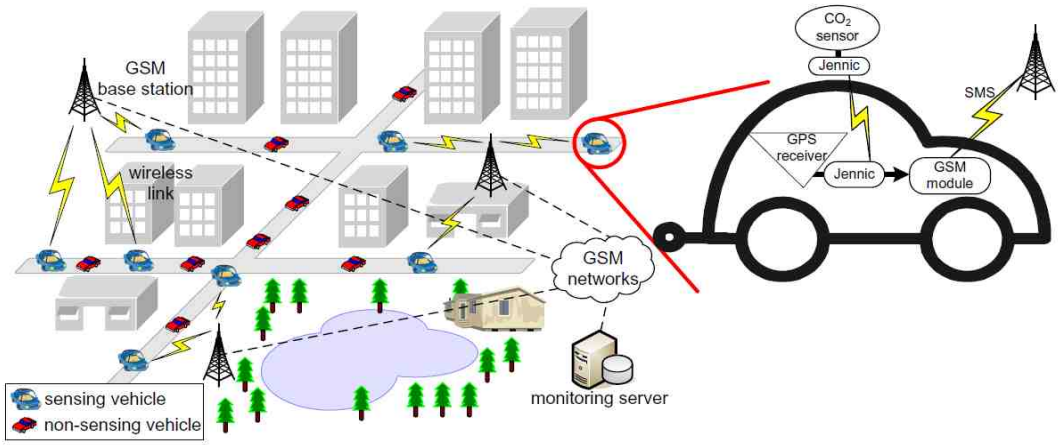


<그림 2-2-13> ADMS-Roads 분석결과 표출 예(ADMS-Road User Guide)

5. GIS 기반 도시교통 시나리오 구현 및 평가시스템 동향

○ 대만 국립교통대학에서는 미기상 모니터링을 위해 차량 무선센서 네트워크(VSNs:Vehicular Wireless Sensor Networks)를 적용하여 대상지역에 이산화탄소(CO_2) 집중도를 모니터링하는 ZigBee기반 차량네트워크를 개발하였음 (National Chiao Tung University, 2011)

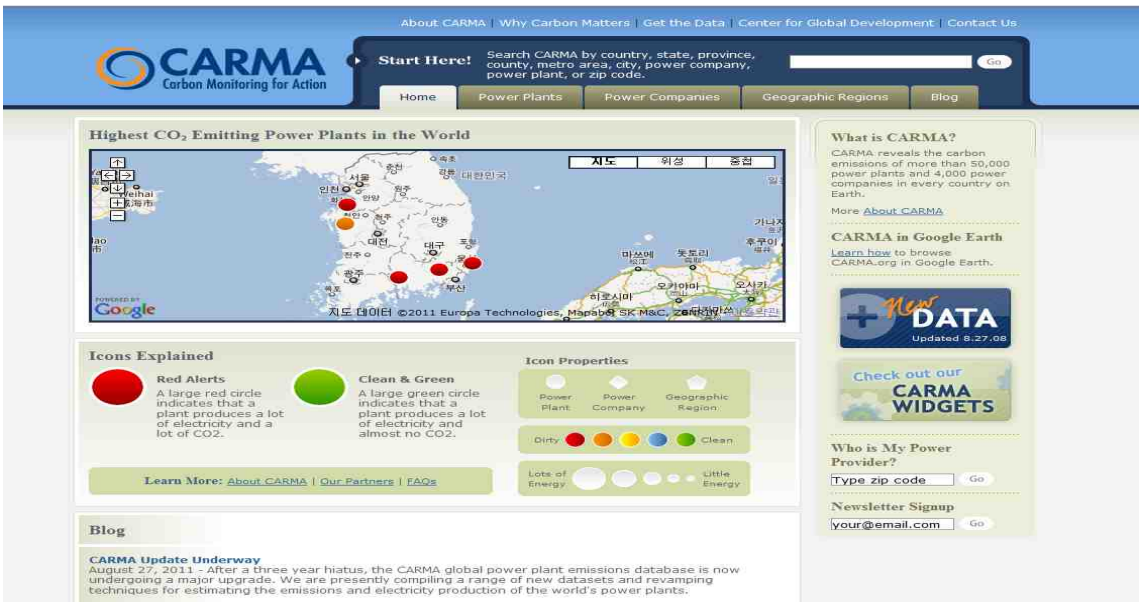
- 송신된 자료는 서버로 보내지고, 이는 구글맵(Google maps)를 통해 통합되어 User Interface로 활용되었음. 미기후 분석 정확도와 통신비용간의 균형을 통해 차량의 송신비율을 수요기반 방식으로 설계하였음



<그림 2-2-14> 미기후 모니터링을 위한 VSN 아키텍처(National Chiao Tung University, 2011)

○ 미국 워싱턴 D. C.에 소재한 'Center for Global Development'의 후원으로 "Carbon Monitoring for Action"이라는 대규모 DB정보관리 프로그램임

- 세계 5만개의 발전소와 4천개의 전력회사의 탄소배출과 관련 탄소배출량 모니터링 시스템으로, 세계 최초로 지역별·업체별 통계자료와 DB 인벤토리 자료를 보유



<그림 2-2-15> 발전소 탄소배출량 모니터링시스템(Center for Global Development, 2011)

제3절 연구결과가 국내·외 기술개발현황에서 차지하는 위치

1. 탄소배출 관련 국내 기술개발 수준

○ 국내 도시계획 및 설계기법을 연구하는 연구자 및 관련 기법·기술을 보유한 단체는 상당수 존재하는 상황임

○ 그러나 탄소저감형 도시계획 및 설계기법의 개발을 연구하는 전문가는 대략 20여명 정도이나 아직까지는 국외에 적용된 기법을 연구하는 단계임

○ 특히, 지구단위의 미시적인 공간단위에서의 탄소저감형 설계기법을 연구하는 연구자는 사실상 전무한 상황이며, 현재까지 국내에서 탄소저감형 도시계획·설계기법이 적용되어 실현된 사례는 전무한 상황임

○ 교통수요량 예측을 위하여 현재 활용하고 있는 거시적인 개념의 교통존(TAZ) 기반 4단계 수요예측모형은 자동차 교통량 예측에 용이하나, 도시 교통수단별 장래 통행량을 정확히 예측하고, 탄소저감을 위한 교통정책 집행에 따른 수단전이 및 통행 저감량을 산출하기 위해서는 한계가 있음

○ 보행이나 자전거와 같은 친환경 교통수단의 활동범위는 미시적인 시·공간 단위의 통행행태분석을 통해서 이루어져야 하며, 이를 위해 개별행태(Agent)기반 세부적인 통행체인 및 스케줄링 프로세스가 필요한 시점임

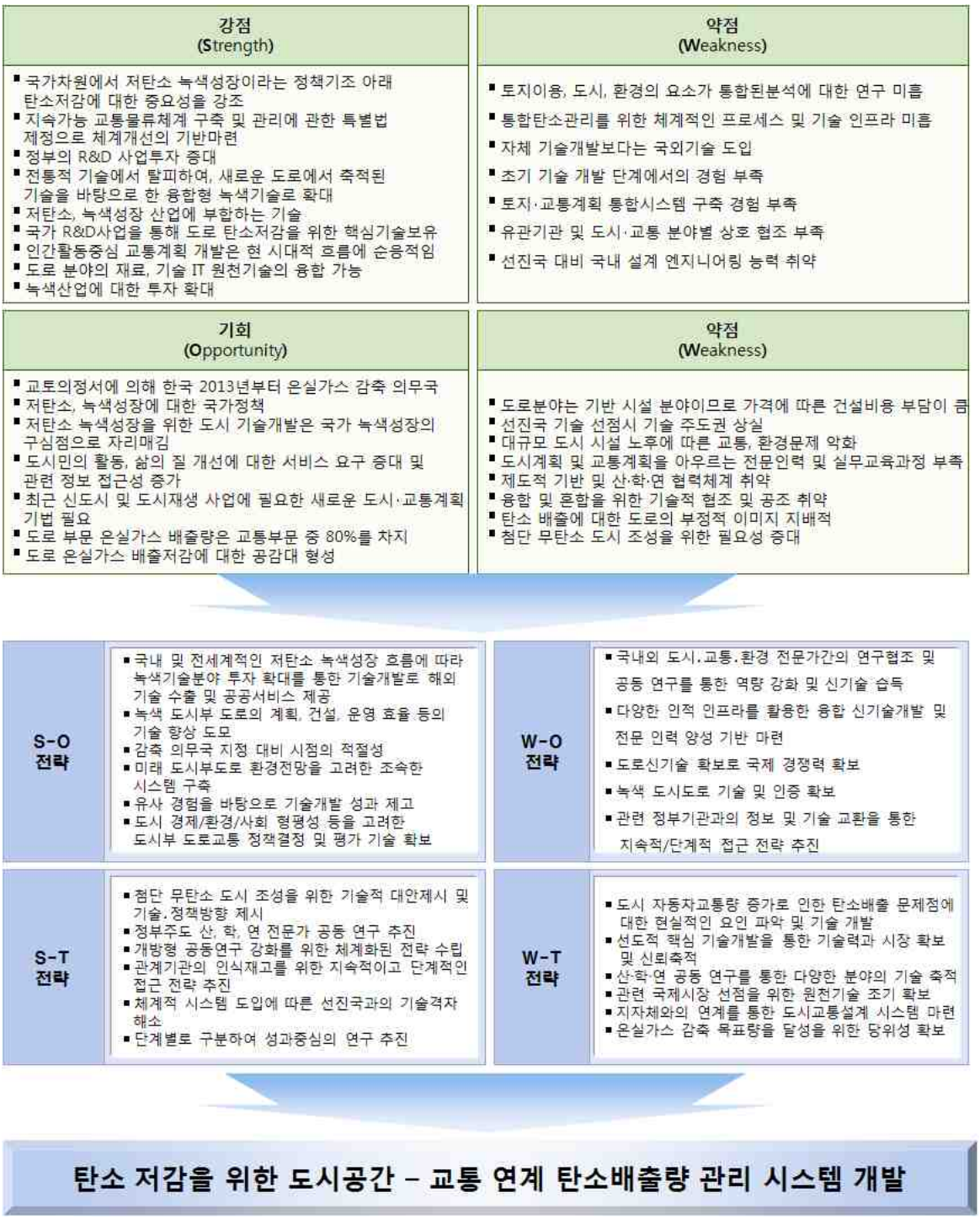
○ 도시 내 토지이용모형 또한 거시적 공간계획과 미시적 공간계획의 장기적 효과를 예측할 수 있는 모형과 미시적 공간입력 모듈 그리고 연계 교통시뮬레이션 등이 통합된 도시공간배치 시뮬레이터의 개발이 요구됨

○ 해외 선진국은 도시 및 교통정책 결정 및 집행을 지원하기 위하여 활용되는 정책지원 시스템 및 도시공간배치 시뮬레이터를 개발하고, 지방자치단체 및 도시개발 사업시행자로 하여금 도시정책의 입안과 도시개발 사업계획의 수립 시 단기적 및 장기적 탄소저감 효과를 예측 검증하여 탄소 저감형 도시 구현을 위한 도시정책과 도시개발사업의 실효성을 제고하도록 지원하도록 되어 있음

○ 그 중, 유럽연합은 국가 간 온실가스 배출량 저감에 관한 합의문을 통하여 정책을 집행하고 있고, 미국 등 선진국에서도 마찬가지로 도시와 교통의 지속가능성을 제고하기 위한 지침 등을 마련하여 평가에 활용하고 있음

○ 따라서 우리나라도 교통량 및 주행거리의 감소 등과 같은 교통부문 탄소저감 목표를 수립하고, 도시부 도로에서 온실가스 배출량을 모니터링하여, 제도적, 정책적 측면에서의 탄소기반 도시부 도로 기능(성능) 평가 및 관리가 필요함

○ 하지만 도시의 토지 용도별 탄소배출량과 도로교통 대기오염 물질 배출량 산정과 관련 국내 연구는 매우 미흡하여, 도시 공간배치의 변화 및 인간의 활동패턴의 변화에 대한 탄소 저감 효과를 도시단위 및 도로 구간단위로 분석하고, 정책에 반영할 수 있는 평가 구조가 부재하여 이에 대한 필요성은 강조되고 있음



<그림 2-3-1> SWOT 분석

2. 유사과제 현황 및 차별화 방안

가. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

○ 기획연구에서 기 수행된 과제와의 차별화를 위하여 과제 중복성 검토를 수행하였고, 이를 통해 과제 내용의 중복여부를 판단하여 배제하였음

○ 전문기관 홈페이지 및 www.ntis.go.kr에서 각 부처 R&D 계획 자료를 이용하여 1차적으로 기획연구진이 중복가능성이 있는 사업, 과제들을 스크리닝 한 후, 전문가 위원회를 통해 중복 여부에 대한 정밀 진단 추진하였음

○ 한국건설교통기술평가원(현 국토교통과학기술진흥원)에서 탄소 저감과 관련하여 기 수행한 기획연구 과제 (탄소 중립형 도로, 탄소 절감형 건설재료 등)를 통하여 본 과제로 발주되고 있는 과제들과 본 연구와의 차이점은 타 과제들은 대상 지역이 고속도로 및 지방부 도로이나 본 연구는 도시부 도로로 구분할 수 있으며, 각각 도로의 지역 특성과 교통류 특성이 현저히 다르기 때문에 차별화된 접근 방법이 필요함

나. 연구개발과제의 차별화 방안

○ 본 연구는 도시 사회적, 경제적 변화에 따른 토지이용 패턴별 다양한 활동 및 통행 원단위를 산정할 수 있도록 구체적인 시나리오를 설정하고, 보다 미시적이고 구체적인 단위의 결과를 도출하여 종합적인 도시·교통 탄소관리에의 활용을 목표로 연구개발을 진행함

○ 탄소저감정책과 장래 도시공간배치 변화에 따른 시·공간적 탄소배출량 추이 모니터링과 기존 교통체계(ITS, UTIS, ATMS) 및 환경정보체계와의 실시간 정보교환 및 융합을 수행하는 고도화된 다차원 융·복합 탄소배출 통합모니터링 기술의 개발을 핵심으로 함

○ 탄소 이외의 온실가스 저감을 위한 연구 역시 매우 중요한 의미를 지니며 이들 온실가스의 발생량을 탄소량으로 변환하는 방법론 들이 제시되고 있으므로 기술의 범위를 확대된 이산화탄소를 넘어 온실가스 저감을 위한 연구로 설정함

○ 본 과제에서 개발되는 배출계수와 배출량 산정모형은 국외의 모형을 그대로 사용하는 것이 아니고 국내의 실정과 특성을 반영한 모형으로 개발함

<표 2-3-1> 중복성 검토 및 차별화 방안

기존 연구과제(최상위 과제명)		검토결과	
과제명	연구기관 (연구기간)	차별성	연계방안
탄소중립형 도로 기획연구 및 연구단과제	한국건설기술 연구원 ('10.12~'11.6)	• 해당 과제는 도로의 대상이 고속도로 및 국도를 포함한	• 본 과제는 도로의 대상이 도시부 도로이며, 탄소 저감을 위한 도시 공간배치 및 교통 탄소정책의

		지방부 도로이며, 도로의 설계 및 재료/시공 등과 같은 도로건설의 전생애주기 탄소배출과 관련됨	변화에 따른 효과를 분석하고 평가할 수 있는 모형 및 의사결정 지원시스템의 개발을 목적으로 함 • 또한 도로 탄소배출 모니터링과 탄소기반 도로 기능(성능) 평가 및 탄소관리를 위한 시스템 구축을 목표로 함
탄소절감형 건설재료 기획연구 및 연구단과제	한국건설기술 연구원 ('10.12~'11.6)	• 해당 과제는 도로를 제외한 건설부문의 탄소저감재료를 개발하는 것을 목적으로 함	• 본 과제는 건설재료와 무관함
지구온난화에 대비한 공간데이터웨어하우스 기반 통합토지이용교통모델 개발	서울 시립대학교 ('08.9~'11.8)	• 해당 과제는 거시적인 수준의 공간DB를 구축하는 분석툴을 개발함	• 도시 사회적, 경제적 변화에 따른 토지이용 패턴별 다양한 활동 및 통행 원단위를 산정할 수 있도록 구체적인 시나리오를 설정하고, 보다 미시적이고 구체적인 단위의 결과 도출
동적 교통제어 및 운영을 위한 복합수단 네트워크 설계 및 통행배정 모형 개발	서울대학교 ('08.1~'08.12)	• 해당과제는 실시간 교통제어를 위한 모형개발에 국한됨	• 본 과제는 미시적으로 도시활동에 대한 스케쥴링을 포함하여 실시간 네트워크 설계까지 확대함 • 세부과제 목표인 자동차 교통 통행량 저감을 위하여 정확한 자동차 통행 배정량 추정을 위한 모형 개발이 아닌 Intermodalism을 지향하는 토지이용-교통 공간 배치 시뮬레이션 개발
대중교통이용을 촉진하는 에너지 절약형 도시조성모델 개발 연구	서울시정 개발연구원 ('07.08~ 08.07)	• 해당 과제는 대중교통 이용을 촉진하는 도시모델을 개발하는 연구임	• 본 과제는 대중교통이용 정책 촉진보다는 탄소 배출을 최대로 저감하는 도시 공간구조 배치 조성 기술을 개발함 • 탄소배출저감에 직접적인 영향평가를 시행할 수 있는 시뮬레이션 기술로 집중
교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발국토해양부	한국교통연구원	• 해당과제는 교통수단별 국가 온실가스 배출량을 집적 총량으로 산출하는 연구임	• 본 과제는 도시의 공간배치계획과 이에 따른 교통의 변화와 인간 활동별 배출가스 산출량의 산정 등으로 차별화 • 대상지역에 대한 온실가스 배출량을 미시적으로 산출 및 예측함으로써 보다 효과적인 탄소저감 정책을 개발 평가하는 데 활용가능 • 도시의 탄소량을 모니터링 함으로써 모형의 결과값을 검증할 수 있으며 모형을 보정할 수 있게 됨

3. 우수성 및 차별성

○ 조훈희 외(2011)는 “기후변화대응 탄소저감형 도시 조성기술”의 비전과 목표를 <그림 2-3-2>과 <그림 2-3-3>와 같이 제시하였음

- 기후변화대응 탄소저감 도시조성 기술개발의 목표는 세계 최고 수준의 에너지 절약 및 지속가능한 생태도시 모델을 개발하여 녹색성장의 실천 모델을 제시하고, 경제성을 확보한 현실적인 도시조성 기술의 개발 및 구현하는 것이 목적
- 기존의 개별적 주제의 접근이 아닌 “통합적 관점”에서 다양한 중점분야들을 고려
- 인간활동 제어를 위한 토지이용-교통계획과 연계한 공간배치와 청정공급 처리시스템이 도시기반시설에서 통합되는 시스템 도입 필요
- 스마트그리드 기반의 저탄소 도시를 관리하는 Ubiquitous 서비스가 공급되는 첨단 미래형 무탄소 도시조성을 위한 필수적인 기술연구 개발 필요
- 도시건설 및 재개발 등의 관련 사업을 추진함에 있어서 도시 조성이 일체적으로 수행될 수 있도록 기술의 융·복합을 도모하며, 계획 및 설계단계에서 시공 및 유지관리를 포함한 도시의 전반적인 조성 및 운영에 탄소저감형 기술 적용



<그림 2-3-2> “기후변화대응 탄소저감형 도시 조성기술”의
기술개념개요, 조훈희 외(2011)



<그림 2-3-3> "기후변화대응 탄소저감형 도시 조성기술"의 비전과 목표(조훈희 외, 2011)

○ 본 연구개발 과제는 탄소저감형 도시조성/운영기술 및 공간배치-교통지원시스템 개발에 속하는 연구임

○ 국외에서 활발히 연구 진행 또는 완료된 기술을 국산화하였으며, 국외에서도 연구 시작 단계 또는 미개척 분야이므로 선진 기술과의 격차를 줄이면서 세계 최고의 기술을 개발하는 성과를 도출하고자 함

가. 도시-교통 통합 탄소저감 정책 의사결정지원시스템

○ 현재 국내에서는 토지이용 및 교통 통합 모형의 적용가능성을 검토하여 개발한 경험은 있으나, 정책과 사업에 활용 할 수 있는 통합 시스템 기술은 부재함.

○ 토지이용 및 교통모형의 일부를 활용하여 국내 도시에 적용하거나, 또는 이미 정책 실무에 적용하여 사용 중인 국외 기술(통합 및 연계 모형)을 국내에 실험적으로 적용해 본 연구경험은 있음

○ 따라서, 해당 연구결과는 국내적으로는 최초·최고의 기술이며, 국외 우수 기술에 약 70%의 수준으로 판단됨

나. 도시 활동별 통행체인 및 스케쥴링 예측기술

○ 본 연구에서는 기존의 거시적인 모델들에 비해 장래 통행패턴을 미시적으로(시·공간적으로) 판단할 수 있도록 예측기술을 연구하고, 장래 통행패턴을 예측할 수 있도록 시간대별 목적 통행을 유형별(배웅, 귀가, 출근, 등교, 학원, 업무, 쇼핑, 여가, 기타 등)로 분류하여 통행 체인분석을 실시하고, 해외의 활동기반 모델(HTAS, STARCHILD)을 검토 및 국내적용 시사점 도출하여 인간 활동 기반 모형을 구축함

○ 따라서, 본 연구를 통해 인간 활동 기반의 개별 행태 모형을 구축하고, 스케줄링 예측 및 미시적인 수요예측, 탄소 배출량 산출에 필요한 데이터 산출이 가능한 기술력을 확보할 수 있음

○ 이는 국내 대규모(large-scale) 활동기반 연구의 시초가 될 것이며, 해외 선진 기술 대비 약 60% 수준의 기술력 확보가 가능할 것으로 판단됨

다. 탄소 저감 도시공간-교통 연계 탄소배출량 관리 시스템 구축 및 실증

○ 국내의 경우 탄소배출량 관리 시스템으로 2010년부터 개발 중인 KOTEMS 배출정보통계 시스템이 있으나, 이는 배출계수 정보를 인벤토리화하는 수준에 머물기 때문에, 본 기술은 국내에서는 최초로 도시공간(토지이용)과 교통 간 상호작용을 고려한 탄소배출량 관리 시스템임

○ 미국의 경우 EPA 주관으로 Nation-wide 배출계수 인벤토리 구축 및 배출량 계산 툴을 개발하였으며, 이를 활용하여 도시 및 교통 계획 등에 활용하고 있음

라. 인간 활동별 공간-교통-대기환경/탄소예측기술

○ 장래 토지이용과 교통수요 변화에 따른 탄소배출량을 산출하는 방법론으로서, 배출된 탄소가 도시대기에 미치는 영향을 분석하여 도시에서 활동하는 인간에게 미치는 영향을 가늠하는 평가지표 개발에 활용됨

○ 토지이용과 도로교통부문의 탄소배출량을 통합적으로 산출하는 특징을 가지며, 국내외에서 개별적으로 개발된 토지이용별 탄소 배출 계수와 도로교통부문 탄소배출계수 기반의 탄소배출량 산정법에 비해 거시 차원의 분석이 가능하고 통합 관점에서 도시 공간과 교통의 관계를 통찰할 수 있는 장점 제공

마. 탄소 저감형 도시 조성을 위한 교통분야 탄소 운영관리 지원시스템

○ 본 기술은 탄소배출량을 활용하여 도로 네트워크의 성능을 평가하고 분석하는 알고리즘으로서, 기존 도로 교통량과 통행시간 등의 성능 기반의 도로 네트워크 성능 평가 기법에 비해 환경과 보건적인 요소를 가미한 미래 녹색성장을 위한 도로 네트워크 평가 기법임

바. 공간배치 변화에 따른 통합 탄소배출 관리 프로그램 및 효과평가 시뮬레이션 기술

○ 도시 내 자동차 통행을 억제하고, 대중교통 및 친환경 저탄소 교통수단으로 교통량을 전환시키는 정책지원을 위한 분석 프로그램 및 기술은 선진 외국의 수준에 미치지 못하고 있어 탄소저감형 도시를 건설하기 위한 기술개발이 요구됨

○ 디지털 지도(GIS) 기반의 단일 프로그램으로 통합함으로써 탄소배출 관리의 종합적인 업무 수행을 지원하는 기술임. 국내 최초로 개발되는 기술이며, 국외에도 아직 시도되지 않은 것으로 분석됨

참고문헌

경기도청, http://www.gg.go.kr

교통기술과 정책 (2014), 생태교통 수원 2013-교통변화분석

국립환경연구원 (2000), “자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구(Ⅰ)”.

국립환경연구원 (2001), “자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구(Ⅱ)”.

국립환경연구원 (2003), “자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구(Ⅰ)”.

국립환경연구원 (2004), “자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구(Ⅱ)”.

국립환경연구원 (2005), “자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구(Ⅲ)”.

국립환경과학원 (2007), “환경부문 온실가스 배출량 Inventory 작성 및 배출계수 개발(Ⅱ)”.

국립환경과학원 (2010), 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람.

국립환경과학원 (2011), GHG-CAPSS 온실가스 배출량 산정편람.

국토해양부 (2013), 도로용량편람.

김규일 (2011), 도시통합모델을 이용한 교통에너지 및 탄소배출량 시나리오 분석 - 네덜란드 Delft시를 사례로, 서울시립대학교 대학원 도시공학과 공학석사학위 논문.

김규일, 이창효, 이승일 (2010), DELTA 모델을 이용한 교통에너지 및 탄소배출 시나리오 분석 -네덜란드 Delft시를 사례로, 대한국토・도시계획학회지 제45권 제6호, pp.117-135.

김순관 (1994), “활동중심모형의 현주소와 연구방향”, memo.

다음 부동산, http://realestate.daum.net

대한민국 관보, http://gwanbo.korea.go.kr

서상언, 정진혁, 김순관 (2006), “활동 스케줄 분석을 통한 고령자의 통행특성과 통행행태에 관한 연구”, 대한교통학회지 제24권 제5호, pp.89-108.

서울 열린 데이터 광장, http://data.seoul.go.kr

수도권 교통본부, http://www..mta.go.kr

안홍기, 임은선, 김대종, 배유진, 최명섭, 박종덕, & 정윤영 (2010). 국토정책 시뮬레이션 모형의 구축 연구 (Ⅰ)(Establishing the simulation model for national territorial policy (I)). 국토연 2010-22.

엄진기(2008), 시·공간 활동인구 추정에 의한 통행수요 예측, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제26권, 제5호, pp163~174.

엄진기 (2009), “활동기반 접근방법을 고려한 철도 이용 승객의 통행행태 분석”, 한국철도학회 논문집.

엄진기(Eom, J)., Stone, J.R (2009), “Ghosh, Daily Activity Patterns of University Student”, ASCE.

왕광익, 노경식 (2010), “저탄소 녹색도시계획 수립을 위한 지원시스템-미국사례를 중심으로“, 국토정책 Brief 297호.

이규진, 최기주, 유정훈, 오체창 (2011), 교통사업의 대기질 평가를 위한 가변적 배출계수 예측모형, 대한교통학회 논문집 29권 6호, p117~128.

이승재 (2011), “MATSim 시뮬레이션 분석 사례-부산시 자연재해상황 대피 경로”, Behavior in Networks (BiNs) Workshop, Seoul, Korea, June 14~17.

이승철 외 (2005), “TRANSIM과 EMME/2를 이용한 활동기반모형과 4단계 모형의 비교분석: 배정된 링크자료를 중심으로”, 교통 제12권 제1호.

이창효 (2012), 토지이용-교통 상호작용을 고려한 주거입지 예측모델 연구-DELTA의 활용을 중심으로-, 서울시립대학교 박사학위논문.

인천광역시의회 (2008), 인천지역개발사업현황.

장대희 외 (2011), “도시기후 변화대응 생태단지 조성기술 개발”, 한국건설기술연구원 보고서.

조창현, 김찬성, 성홍모 (2008), “우리나라 대형 화물차의 통행사슬분석: 활동기반모형 적용”, 한국경제지리학회지, vol.11, no.2, pp. 191-702.

조훈희, 조혜진, 왕광익, 봉선학 (2011), “기후변화대응 탄소저감형 도시 조성기술 기획”.

통계청, http://www.kostat.go.kr

한국개발연구원 (2008), 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판).

한국교통연구원 (2012), 교통수요 분석 기초자료 배포 설명자료.

坂本 將吾, 杉田 浩, 谷下 雅義, 鹿島 茂(2006), “3都市圏データを用いた土地利用-交通モデルの構造比較分析”, Doboku Keikakugaku Kenkyu Ronbunshu Vol. 23 187p ~ 194p

Andrews S., Bayen, A., Butler, J, Edwards, D., Glaser, S., Holstius, D., Lipoff, M., Reilly, J., Samaranayake, S., Seto, E, Swick, S. ClearSky: year 1 presentation, UC Berkeley, CCIT, 2011

Barth M., An F., Younglove T., Scora G., Levine C., Ross M., Wenzel T. (2001), Comprehensive modal emissions model (CMEM) User's Guide, University of California Riverside Center for Environmental Research and Technology.

Boulter P. G., McCrae I. S., Barlow T. J. (2006), A Review of Instantaneous Emission Models for Road Vehicles, TRL Unpublished Report UPR/IE/030/06, TRL Limited.

Bowman, J.L.(1998), The day activity schedule approach to travel demand analysis, Ph.D. Thesis, Uni. of Massachusetts.

Bowman, J.L. and Ben-Akiva, M.E.(2000b), Activity Based Travel Forecasting, Activity-Based Travel Forecating Conference.Cambridge Environmental Research Consultants Ltd., “ADMS-Roads(Air Quality Management System) User Guide 3.0”, 2010.

Center for Global Development, http://carma.org/, accessed at 2011.

David Simmonds Consultancy Ltd, "PROJECT SUMMARY 14: Land-Use/Transport Interaction Modelling of London", 2009.

David Simmonds Consultancy Ltd.(공간정보솔루션랩 엮음), "Landuse-Transport 모델 실습 교안 Ⅰ", 서울 : 서울시립대학교. 2009.

David Simmonds Consultancy(DSC) (2012), DELTA User Reference Manual, Cambridge, England.

Engelen, G., White, R., & Nijs, T. (2003). Environment explorer: spatial support system for the integrated assessment of socio-economic and environmental policies in the Netherlands. Integrated assessment, 4(2), 97-105.

Eggleston H. S, Buendia L., Miwa K., Ngara T. dan Tanabe K.(eds), "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan, 2006.

Emissions from Road Transport User Manual (Version 2.1)", European Environment Agency, 2000.

Eradus, P., Schoemakers, A., & van der Hoorn, T. (2002). Four applications of the TIGRIS model in the Netherlands. Journal of Transport Geography, 10(2), 111-121.

Frey, H. C., and B. Liu(2013), Development and Evaluation of a Simplified Version of MOVES for Coupling with a Traffic Simulation Model, Paper 13-1201, Proceedings, 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, January 21-76.

Hatzopoulou, M. Miller, E.J., "Development of an Operational Integrated Urban model System- Volume VIII Environmental Modelling", Urban Transportation Research & Advancement Centre, 2008.

Jin, Y., I. Williams, M. Shahkarami (2002), A new land use and transport interaction model for London and its surrounding regions. Proceedings of the European Transport Conference. Session 07ii, Applied Transport Methods, Homerton College, Cambridge, 9-11 September 2002

Jost P., Hassel D., Webber F. J., Sonnborn (1992). Emission and fuel consumption modelling based on continuous measurements. Deliverable No. 7, DRIVE Project V1053. TUV Rhineland, Cologne.

Joumard R., Jost P., Hickman J. (1995). Influence of instantaneous speed and acceleration on hot passenger car emissions and fuel consumption. SAE Paper 950928. Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pennsylvania.

Kim, J. Y (2014) A Simulated Annealing Algorithm for the Activity Based Travel Demand Modelling

Kitamura Ryuichi(1985), Trip chaining in a linear city, Transportation Research Part A: General Volume 19, Issue 2, pp.155~167.

Konstadinos G. Goulias, et al. (2012), Transims and MATSim experiments in SimAGENT, Southern California Assiciation of goverments.

Kouridis, C., Ntziachristos, L., Samaras, Z.,, "COPERT III Computer Programme to Calculate

Lautso, K., Spiekermann, K., Wegener, M., Sheppard, I., Steadman, P., Martino, A., ... & Echenique, M. P. M. (2004). Planning and research of policies for land use and transport for increasing urban sustainability. Final report, Institute of Spatial Planning (IRPUD), Dortmund.

Lee, T. W., Keel J. H., Park J. H., Park Y. H., Hong J. H., Lee D. Y.(2011), Speed-Based Emission Factor regarding Vehicle Specific Power and Acceleration during On-road Driving, Transactions of KSAE, Vol.19, No.1, pp. 73-81.

LOIS (2003), Home page of the London to Ipswich Multi Modal Study. http://212.67.202.71/~loismms/

McNally. M.G.(1999), Activity-based forecasting model incorporating GIS, Geographical Systems, pp.163-187.

MIRA (2002), VeTESS simulation procedure.

National Chiao Tung University, http://www.nctu.edu.tw/, accessed at 201

Pelkmans L., Debal P., Hood T., Hauser G., Delgado M. R. (2004). Development of a simulation tool to calculate fuel consumption and emissions of vehicles operating in dynamic conditions. SAE Paper 2004-01-1873. Society of Automotive Engineers.

Peter M. Jones.(1983), 'HATS': A Technique for Investigating Household Decisions, Environment and Planning, volume 15, pp. 593~606.

Rexeis M., Hausberger S., Riemersma I., Tartakovsky L., Zvirin Y., Erwin C. (2005). Heavy-duty vehicle emissions. Final Report of WP400 in ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems), University of

Technology, Graz.

Rilett, L. Kim, K. O. (2001), Comparison of TRANSIMS and CORSIM Traffic Signal Simulation Modules, Journal of the Transportation Research Board, volume 1748, pp. 18~25.

Rouphai N. and C.F.(2013), Framework for Context-Sensitive Spatially- and Temporally-Resolved Onroad Mobile Source Emissions Inventories, EPA

Senozon, http://www.senozon.com/, accessed at 2011.

USEPA, "EMFAC2007 Version 2.30 - Calculating Emission Inventories for Vehicles in California User's Guide", 2007.

US EPA, MOVES, http://www.epa.gov/otaq/models/moves/index.htm.2010.

Veitch Lister Consulting Pty Ltd(VLC) (2009), Validation of Zenith Travel Model of Sydney for Metro Demand Analysis, Australia.

WSP (2002), London Ipswich Multi-Modal Study (LOIS). First LASER-LOIS Policy Test

Report. WSP Group, London.

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.

ISBN 979-11-957708-9-2