

발간등록번호

11-1332522-000003-10

第 27 輯

ISSN 1738-2971

# 第二十七輯 治安論叢

2011 Police Science Journal

- 이주락** (경기대학교) 영·미 집회·시위 관리기법의 검토 및 그 시사점에 관한 연구
- 박현호** (웅인대학교) 방법용 CCTV의 사양표준 및 효율적 관리방안
- 김진태** (연세대학교) 교통운영체계선진화사업의 탄소감축 청정개발효과 연구
- 한상훈** (연세대학교) 사법개혁관점에서 바라본 수사효율성 제고 논의의 적정성에 관한 연구
- 이창훈** (미국 아칸소대) 민간조사관 활동이 경찰활동에 미치는 영향 연구

治安政策研究所



# 발 간 사

우리 경찰에서는 공명정대, 소통·화합, 공감치안을 목표로 '국가와 국민을 위한 경찰'로 거듭나기 위해 국민 중심의 맞춤형 치안활동을 전개하고자 여러 변화를 추진하고 있습니다.

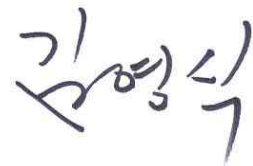
이에 국정과 사회적 요구를 반영한 '친서민 치안정책'을 최우선으로 하는 '기본과 원칙 구현을 위한 7대 과제'를 선정하여, 경찰 정책을 개선하고 있으며 이는 나아가 세계최고의 민생치안과 법질서 확립을 위한 디딤돌이 될 것이라고 생각합니다.

치안정책연구소는 경찰유일의 연구기관으로서 급변하는 치안환경 변화에 앞서가는 중장기 치안정책을 연구·개발하여 시의적절한 정책 대안을 제공하고 있으며, 이에 '사법개혁관점에서 바라본 수사효율성 제고 논의의 적정성에 관한 연구' 등 5편의 논문을 엄선하여 「치안논총」 제27집을 발간하게 되었습니다.

항상 「치안논총」에 관심과 성원을 보내주신 분들께 깊은 감사를 드리며 훌륭한 논문을 완성하여 주신 연구진과 논총발간에 애써주신 관계자 여러분의 노고에 깊이 감사드립니다.

2011. 8

치안정책연구소장



## 총 목 차

- ◆ 영·미 집회·시위 관리기법의 검토 및 그 시사점에 관한 연구 .....5
  
- ◆ 방법용 CCTV의 사양표준 및 효율적 관리방안 .....115
  
- ◆ 교통운영체계선진화사업의 탄소감축 청정개발효과 연구 .....213
  
- ◆ 사법개혁관점에서 바라본 수사효율성 제고 논의의 적정성에 관한  
연구 .....343
  
- ◆ 민간조사관 활동이 경찰활동에 미치는 영향 연구 .....447

# 교통운영체계선진화사업의 탄소감축 청정개발효과 연구

《 研 究 陣 》

---

연 구 위 원 : 김 진 태 (연세대학교 도시교통과학연구소)

---



# 목 차

<b>제1장 서론</b> .....	221
제1절 연구 배경 .....	221
1. 연구목적 .....	222
2. 연구내용 및 범위 .....	223
제2절 연구의미 및 기대효과 .....	224
<b>제2장 문헌고찰</b> .....	226
제1절 교통운영체계선진화 .....	226
1. 교통운영체계선진화사업 .....	226
2. 도로교통 부문 탄소배출 .....	227
제2절 기후변화에관한국제연합기본협약(UNFCCC) .....	228
1. 협약 배경 .....	229
2. 국가 간 의무부담 .....	229
제3절 청정개발체제 사업 .....	234
1. UN 청정개발체제 사업관리 체계 .....	235
2. 도로교통부문 청정개발체제 사업현황 .....	237
제4절 청정개발체제 효과상정 절차 .....	241
1. 행정적 요구사항 .....	241
2. 사업 추진 .....	242
제5절 청정개발체제 탄소감축량 산정방법 .....	255
1. IPCC 가이드라인의 탄소배출량 추정방법 .....	256
2. 청정개발체제 상정을 위한 기존 방법론 .....	260
<b>제3장 교통운영선진화방안 탄소감축량 측정방법</b> .....	268
제1절 분석대상 세부과제 선정 .....	268
1. 세부과제 내용적 특성 파악 .....	268
2. 청정개발효과 적용성 검토 .....	269

제2절	탄소감축량 분석방법론	272
1.	분석방법 제약조건 및 기능적 요구사항	272
2.	분석방법 프레임워크 설정	273
3.	분석방향 설정	274
4.	분석방법 개발	276
<b>제4장</b>	<b>포화수준별 탄소감축 효과</b>	<b>290</b>
제1절	교통흐름변화 측정방법	290
1.	교통자료 수집 환경	290
2.	교통자료 수집	297
제2절	선진화방안 과제별 모의실험 결과	298
1.	점멸신호 운영	299
2.	보행자자동신호기 운영	301
3.	비보호좌회전 확대 운영	306
4.	좌회전 신호보완 (감응신호운영)	308
5.	직진우선 신호원칙	311
6.	신호연동 시스템 확대	313
제3절	세부과제별 탄소배출 감소효과	316
1.	교차로 규모에 따른 연료소비 감축량 보정	316
2.	세부과제별 연료소비 감축효과	317
3.	일요일 및 공휴일에 대한 보정	317
4.	기존 현장 집행 비율에 대한 보정	317
5.	세부과제별 탄소배출 감소량 추정	319
<b>제5장</b>	<b>결론 및 제언</b>	<b>324</b>
제1절	결론	324
제2절	제언	327
<b>참고문헌</b>		<b>329</b>
<b>부록</b>		<b>331</b>

# 표 목 차

〈표 1〉 교토의정서 규정하는 6개 지구온난화 가스 .....	231
〈표 2〉 교토의정서 회원국별 이산화탄소 의무 감축량(부속서I 국가) .....	231
〈표 3〉 청정개발체제(CDM) 사업 관련 주요기관, 구성, 기능 및 역할 .....	236
〈표 4〉 콜롬비아 보고타의 BRT사업 개요 .....	238
〈표 5〉 청정개발체제 사업의 참여요건 (우리나라의 경우) .....	241
〈표 6〉 청정개발체제 사업계획서의 구성 .....	245
〈표 7〉 청정개발체제 사업 단계별 제출서류 .....	246
〈표 8〉 청정개발체제 사업 추진관련 소요비용 예측 .....	249
〈표 9〉 베이스라인 방법론 선정 시 고려사항 .....	253
〈표 10〉 모니터링 방법론 선정시 고려사항 .....	254
〈표 11〉 지구온난화 가스의 종류, 주요 배출원 및 주요 특성 .....	256
〈표 12〉 IPCC 가이드라인의 연료종류별 탄소배출계수 .....	257
〈표 13〉 IPCC 가이드라인 온실가스 추정방법 비교 .....	259
〈표 14〉 교통운영체계 선진화방안 19개 과제 및 주요내용 .....	270
〈표 15〉 교통운영체계 선진화방안 19개 과제의 특성분석 .....	271
〈표 16〉 도로교통 운영체계 변화에 따른 온실가스 배출량 분석방법 틀 .....	274
〈표 17〉 전국 신호제어기 설치 현황(2010년 9월말 기준) .....	279
〈표 18〉 우리나라 포장도로 차로 수 별 연장 구분 .....	280
〈표 19〉 신호교차로 교차로 규모별 구성비 추정 .....	281
〈표 20〉 신호운영 적용 가능한 기하구조 조건을 충족하는 교차로 수 .....	282
〈표 21〉 신호교차로 포화수준 발생시간대 기준 설정 .....	287
〈표 22〉 교통운영체계선진화 세부과제 포화수준별 운영시간(1일 기준) .....	288
〈표 23〉 분석대상 선진화 과제항목별 모의실험 분석대상 운영상태 .....	292
〈표 24〉 분석대상 선진화 과제항목별 모의실험 분석대상 네트워크 .....	293
〈표 25〉 낮은 포화수준 모의실험 조건 설정 .....	295
〈표 26〉 높은 포화수준 모의실험 조건 설정 .....	296
〈표 27〉 차종별 차량등록대수비 .....	297

〈표 28〉 교통수준 1상황 점멸신호운영 연료소비 감소량 .....	299
〈표 29〉 교통수준 2상황 점멸신호운영 연료소비 감소량 .....	300
〈표 30〉 교통수준 3상황 점멸신호운영 연료소비 감소량 .....	300
〈표 31〉 교통수준 4상황 보행작동신호기(100명/시) 연료소비 감소량 .....	302
〈표 32〉 교통수준 5상황 보행작동신호기(100명/시) 연료소비 감소량 .....	302
〈표 33〉 교통수준 6상황 보행작동신호기(100명/시) 연료소비 감소량 .....	303
〈표 34〉 교통수준 4상황 보행작동신호기(200명/시) 연료소비 감소량 .....	304
〈표 35〉 교통수준 5상황 보행작동신호기(200명/시) 연료소비 감소량 .....	304
〈표 36〉 교통수준 6상황 보행작동신호기(200명/시) 연료소비 감소량 .....	305
〈표 37〉 교통수준 1상황 비보호좌회전 연료소비 감소량 .....	306
〈표 38〉 교통수준 2상황 비보호좌회전 연료소비 감소량 .....	307
〈표 39〉 교통수준 3상황 비보호좌회전 연료소비 감소량 .....	307
〈표 40〉 교통수준 1상황 좌회전감응 연료소비 감소량 .....	309
〈표 41〉 교통수준 2상황 좌회전감응 연료소비 감소량 .....	309
〈표 42〉 교통수준 3상황 좌회전감응 연료소비 감소량 .....	310
〈표 43〉 교통수준 4상황 직진우선 신호원칙 연료소비 감소량 .....	311
〈표 44〉 교통수준 5상황 직진우선 신호원칙 연료소비 감소량 .....	312
〈표 45〉 교통수준 6상황 직진우선 신호원칙 연료소비 감소량 .....	312
〈표 46〉 교통수준 4상황 신호연동 연료소비 감소량 .....	314
〈표 47〉 교통수준 5상황 신호연동 연료소비 감소량 .....	314
〈표 48〉 교통수준 6상황 신호연동 연료소비 감소량 .....	315
〈표 49〉 차로 수를 반영한 모의실험 추정 연료소비량 보정계수 .....	316
〈표 50〉 교통선진화방안 세부과제별 연료소비 감축량) .....	318
〈표 51〉 교통운영체계선진화방안 세부과제별 현장적용 비율 .....	318
〈표 52〉 교통운영체계선진화방안 세부과제별 연료소비 절감량 (리터) .....	318
〈표 53〉 에너지열량환산기준 (에너지기본법 제5조 제1항 관련) .....	320
〈표 54〉 연료소비 절감에 따른 석유환산톤 및 이산화탄소 감축량 .....	321
〈표 55〉 도로교통 부문 전체 온실가스 배출량 기준 차지비율 .....	321
〈표 56〉 2009년 도로교통 부문 년 간 연료종류별 소비 .....	322

## 그림 목 차

〈그림 1〉 교통수단별 온실가스 배출수준 .....	228
〈그림 2〉 기후변화협약, 교토의정서 및 마라케쉬합의문 체계 .....	232
〈그림 3〉 청정개발체제 사업 절차 .....	244
〈그림 4〉 우리나라의 청정개발체제 사업 국가승인 절차 .....	247
〈그림 5〉 청정개발체제 사업 등록 절차 .....	248
〈그림 6〉 베이스라인 설정과 이산화탄소 배출량 .....	250
〈그림 7〉 CER 발급 절차 .....	251
〈그림 8〉 CDM 실질적 분석과 본 분석에서의 접근방향 .....	275
〈그림 9〉 4차로도로 일일교통량 시간대별 변화 1 .....	283
〈그림 10〉 4차로도로 일일교통량 시간대별 변화 2 .....	284
〈그림 11〉 8차로도로 일일교통량 시간대별 변화 1 .....	284
〈그림 12〉 8차로도로 일일교통량 시간대별 변화 2 .....	284
〈그림 13〉 일일 교통량 변동에 따른 교통수준(정체수준) 변화 개요도 .....	285
〈그림 14〉 연구에 사용된 CORSIM 6.1 .....	291
〈그림 15〉 모의실험 분석대상 독립교차로 기하구조 .....	294
〈그림 16〉 모의실험 분석대상 도로 축 기하구조 .....	294
〈그림 17〉 CORSIM 모의실험 프로그램 응용활용 Processor .....	298
〈그림 18〉 점멸신호운영 시 포화수준별 연료소비 감소 .....	301
〈그림 19〉 보행자자동신호기 적용 시 포화수준별 연료소비 감소 .....	305
〈그림 20〉 비보호좌회전 시 포화수준별 연료소비 감소 .....	308
〈그림 21〉 좌회전 감응 시 포화수준별 연료소비 감소 .....	310
〈그림 22〉 직진우선원칙 적용 시 포화수준별 연료소비 감소 .....	313
〈그림 23〉 신호연동시스템 적용 시 포화수준별 연료소비 감소 .....	315
〈그림 24〉 세부과제별 년 간 이산화탄소 감축량 .....	323



## 제1장 서론

대통령자문 국가경쟁력강화위원회는 일반 운전자들이 범법자들로 양성되는 현재의 우리나라 현장 도로교통 체계 불합리성을 인식하고 2009년 이를 개선하는 교통운영체계선진화방안으로 세부적인 19개 실행과제를 마련하였다. 경찰은 19개 세부 실행과제를 전국단위에서 구현하는 계획·사업을 준비 및 추진하고 있다(국가경쟁력강화위원회 2009a; 국가경쟁력강화위원회 2009b).

한편 지구온난화를 방지하고 지속가능한 녹색환경을 조성하기 위하여 온실가스 배출량을 감소하고자 하는 국제사회 노력이 꾸준히 진행되고 있다. 우리나라도 2009년 국무회의를 통하여 국내 2020년 온실가스 BAU(Business As Usual) 배출전망치 대비 30%를 감소하는 것을 국제 사회에 약속하나 경제성장을 주요 목표로 하는 우리나라 현 시점에서 온실가스 감축을 동시에 수행하기가 무난하지 않다(조선일보, 2009). 이러한 상황에서 산업자원, 건설, 교통계획 측면에서의 온실가스 저감 노력이 적극 추진되고 있으나 경찰이 관할하는 교통운영부문에서 관심은 상대적으로 소외되어 왔다. 교통운영체계선진화의 온실가스 배출량 감소 효과 역시 간과되어 왔다.

### 제1절 연구 배경

도시부 도로 교통흐름은 무수히 많은 신호교차로에서 적색신호동안 접근도로에 멈추며 지체를 경험하게 된다. 이러한 지체 및 정체시간 동안 차량은 불필요한 연료를 연소하며 탄소를 포함하는 배기가스를 신호교차로에서 대기 중에 배출한다. 이들 차량은 전국 8만여 개 신호교차로에서 하루 24시간 일 년 365일 단위로 상시 운행되기 때문에 이러한 차량의 지체 및 정체시간을 신호운행을 통해 효율적으로 감소하게 될 경우 배기가스 및 탄소 배출량을 획기적인 수준으로 감축할 수 있다.

대통령자문 국가경쟁력강화위원회와 국가경찰이 수행하는 교통운영체계선진화방안은 신호교차로에서의 효율적인 신호운영이 있게 하는 세부과제를 포함한다. 실제 사업을 통하여 신호운영 개선과제가 현장에 반영될 시 이로 인한 탄소배출량을 저감하는 효과가 수반된다. 이러한 저감 효과의 규모가 전국 신호교차로 수를 감안할 시 상당한 수준일 것이라 기대된다. 그러나 도로교통 운영부문 탄소배출 저감에 대한 관심이 지금까지 부족하였기에 국가의 주요정책 중 하나인 온실가스 저감 분야에서 경찰의 교통운영체계선진화 노력이 실제적인 효과에 비해 조명 받지 못한다.

우선 기초적으로 교통운영체계선진화방안으로 수행되는 각각의 세부 실행과제를 통해 기대되는 탄소감축 효과 규모가 어느 수준인지 점검할 필요가 있다. 그러하기 위하여 전국교차로 단위에서의 이들 과제의 연료소비 절감효과 계량방안을 기획할 필요가 있다. 또한 이러한 온실가스 및 탄소감축을 위한 우리나라 경찰의 구체적인 노력이 향후 UN(United Nation) 국제기관으로부터 인정받을 때 까지 진행이 필요한 구체적인 행정절차를 파악할 필요가 있다.

## 1. 연구목적

본 연구는 경찰이 추진하는 교통운영체계선진화방안의 세부 실행항목들로부터 기대되는 탄소배출 감축량을 기초수준에서 검토하는 것을 목적으로 한다. 구체적인 연구진행을 위하여 아래와 같은 세부 연구목적들을 별도로 수립하였다.

- 국제연합(UN; United Nations) CDM사업 중 기존 교통부문 청정개발체제 내용 점검 및 인증 상정에 수반되는 국제행정 검토
- 교통운영체계선진화방안 세부실행항목 집행에 따른 연료소비 감축량 추정 및 추정된 감축량만큼 기대되는 대기(大氣) 중 탄소배출 감소량 추정

교통운영체계선진화방안의 세부 19개 실행과제 중 일부는 국토해양부 등 타 부처 협조가 필요하다(국가경쟁력강화위원회, 2009a). 이들 과제에 따라 경찰주관으로 사업을 행정집행하지 못하는 경우도 존재하여 경찰의 청정개발체제사업수행이 어려울 수 있다.

이뿐만 아니라 과제의 개선효과 범위가 모호하여 효과 추정이 어려운 경우도 존재한다.

## 2. 연구내용 및 범위

이러한 제약사항들을 인식하며 본 연구의 범위를 아래와 같이 한정한다. 교통운영체계 선진화방안 19개 세부과제 항목 중 경찰이 주관으로 사업행정을 주관하며 긍정적인 탄소 배출 감소효과가 기대되고 감소효과의 추정이 가능한 특정 세부과제를 선별하여 이들을 대상으로 연구를 수행한다.

본 연구의 공간적 범위는 우리나라 전국 신호교차로를 기준으로 하며 시간적 범위는 현재 2010년을 기준으로 한다. 본 연구는 청정개발체제 상정을 위한 사업성격의 연구가 아니기 때문에 제약된 공간범위를 연구범위로 설정하지 않는다. 지금까지 UN에서 추진된 청정개발체제사업은 단위사업으로 추진되기 때문에 청정개발체제 상정에 제약된 공간 범위 설정이 필요하다(시스템 설치가 제안된 특정 도시 또는 생활권역 등을 공간범위로 제한하며 사업을 검토함). 교통운영체계선진화방안 세부 실행과제가 수행되었을 때 전국 으로부터 일반적으로 기대되는 개선효과의 측정에 중점을 두기 때문에 저자가 가상으로 공간적 범위를 임의로 설정하는 것은 본 연구에 적합하지 않다. 이에 따라 특정 공간권역이 아닌 우리나라 전 국토에 존재하는 모든 신호교차로를 공간적 범위로 한다.

본 연구에서 도로교통부문 온실가스·탄소 사용 및 저감에 대한 국내외 현황에 대한 점검이 수반되어야 한다. 온실가스 저감을 위한 국제사회의 노력을 파악하기 위해 기후변화에 관한UN기본협약(UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change)의 내용을 파악하고, 교토의정서 국제배출권거래제(IET, International Emission Trading)의 규정을 파악하고, 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism)에서 UN이 인증한 교통부문 탄소감축 노력 및 검증 기술 등 기존 사례에 대한 내용점검을 수행한다. 이러한 현황점검을 통하여 기존에 제시된 방법론의 장단점을 이해하고 이를 바탕으로 선별된 세부과제별 탄소감축 효과추정을 위한 방향, 분석 틀, 방법을 개발하여야 한다. 선별된 세부과제별 예상되는 에너지 소비감축량 및 탄소배출 감소량은 현장 제약으로 다양한 포화수준을 반영하는 미시적 모의실험(microscopic simulation)을 통해 추정한다.

## 제2절 연구의미 및 기대효과

우리나라의 30% 탄소배출감소량 목표(2020년 기준)를 수립함에 있어 도로교통부문에서의 온실가스 저감노력은 현실적으로 중요하다. 우리나라는 산업자원부문에서의 탄소배출 감소는 경제성장측면에서 미래를 견인하지 못한다. 우리나라는 2020년까지 온실가스 저감뿐만 아니라 탄소배출이 수반되는 경제성장 노력까지 함께 수행되어야 하기 때문에 이들에 대한 감소노력은 현실적으로 상반될 수 있다. 아직까지 경제성장에 소모되는 화석연료를 대신하는 친환경 대체연료가 가용적이지 못하며 이러한 자연에너지가 마련되어 대중화되기까지는 2020보다 더 많은 시간이 필요하다. 건축부문에서의 탄소배출 저감은 그 규모면에서 제한적이기 때문에 교통부문에서의 탄소배출 감소가 상대적으로 매우 중요하다.

화석연료 소비의 많은 부분을 차지하는 교통부문에서의 에너지 절감은 불필요하게 연료가 연소되는 교통지체 및 정체와 깊게 맞물려 있다. 불필요하게 에너지를 연소하게 하며 탄소를 배출하게 하는 교통 지체와 정체는 전국 우리나라 오전과 오후 침두시간 및 비침두시간 동안 신호교차로에서 반복 경험되고 있다. 우리나라는 경찰은 이러한 신호교차로에서의 교통지체와 정체를 관리하는 업무를 수행하고 있다.

우리나라 정부가 국제사회에서 추진하는 온실가스 배출량 저감 노력에 경찰의 도로교통 업무가 매우 중요하다. 도로교통 운영부문에서의 개선 노력이 UN 청정개발체제(CDM; 탄소배출권거래시장)시장으로 연계될 경우 시너지효과로 국가 교통발전, 경제발전 및 국가 위상 향상을 기대할 수 있다. 본 연구는 국제(UN) 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism; 탄소배출권거래시장)시장을 경찰이 수행하는 단속류(interrupted flow) 도로교통 운영을 통하여 우리나라가 선점할 수 있는 기회를 기초수준에서 검토한다.

본 연구를 통하여 교통운영체계선진화방안 세부과제별 탄소배출량 감소효과를 파악함에 따라 저탄소·녹색성장측면에서의 교통운영체계선진화방안 효과를 홍보할 수 있는 객관적인 자료를 확보하는 부수적인 효과가 기대된다. 선진화방안으로 변화되는 도로교통 현장에 대한 불필요한 국민들의 저항을 저감하고 긍정적 인식을 확보하게 하는 자료로 활용될 수 있다. 이는 경찰 수행사업에 대한 국민의 긍정적 인식 조성을 의미하며 선진

화사업의 조기 활성화 및 안정화 기초자료로 활용될 수 있음을 포함한다. 또한 우리나라 경찰의 도로교통 부문 업무가 저탄소 녹색성장의 주요 축으로 꾸준히 발전되게 하여 지속적으로 도로교통을 이용하는 국민의 이동효율 및 편의성 증진이 있게 하는 장기적인 업무체계 마련을 기대할 수 있다.

## 제2장 문헌고찰

본 연구와 관계되는 관련연구 및 청정개발체제 사업 산정절차를 분석하기 위하여 기존 연구문헌을 고찰하였으며 이들 문헌들의 내용을 정리한다. 이는 경찰이 수행하는 교통운영체계선진화방안, 온실가스 배출저감을 위한 국제협약, 청정개발체제, 국제사회에서 공인된 탄소배출량 추정기법, 청정개발체제 추진 및 상정절차에 대한 내용을 포함한다.

### 제1절 교통운영체계선진화

우리나라 대통령자문기구인 국가경쟁력강화위원회는 2009년 제12차 및 제13차 대통령 보고를 통하여 우리나라 기초법질서 확립을 위한 교통운영체계선진화방안을 마련하였다. 교통운영체계선진화방안은 과학적이고 공학적인 교통운영기법의 적용에 중심을 두기보다 우리나라의 도로교통 기초법질서 확립에 우선적인 무게를 두고 있다. 선진화방안을 통하여 도로교통 부문 문제점을 지적하고 이에 대한 실효적 개선방향을 마련하였고, 관련 중앙정부처와 협력을 기조로 우리나라 도로 교통안전시설 환경을 꾸준히 개선하고 있다.

#### 1. 교통운영체계선진화사업

교통신호 및 도로운영체계가 불합리하고 비현실적으로 현장 여건과 맞지 않는 것이 꾸준한 문제로 지적되었다. 이를 근본적으로 개선하고자 하는 것이 교통운영체계선진화사업의 근본 목표이다. 대한민국정책포털(2010)은 우리나라 운전자들은 년 간 평균 20.3회 교통법규를 위반하고 있으며 이러한 교통법규 위반의 주된 이유로 '비현실적 교통법규'를 지적하고 있다. 도로교통 이용자들이 관련 법 내용을 준수할 수 없게 마련된 현장으로 인해 대부분의 이용자들이 범법 및 위법을 쉽게 경험한다.

국민생활에 기초가 되는 교통법규의 잦은 위반은 전반적인 법질서 경시풍조를 야기하

여 사회적 신뢰형성을 저해하여 법률의 원칙과 기준을 약하게 한다. 지금까지 반복적으로 시행하였던 우선적인 단속강화에 앞서 국제적 표준에 부합되고 누구나 공감하며 준수할 수 있는 방향으로 교통운영체계를 개선하는 노력이 교통운영체계선진화사업이다. 이를 통해 자발적인 교통법규 준수문화를 확산하여 글로벌 국가경쟁력의 근간이 되는 법치주의 기초를 확립하고자 한다.

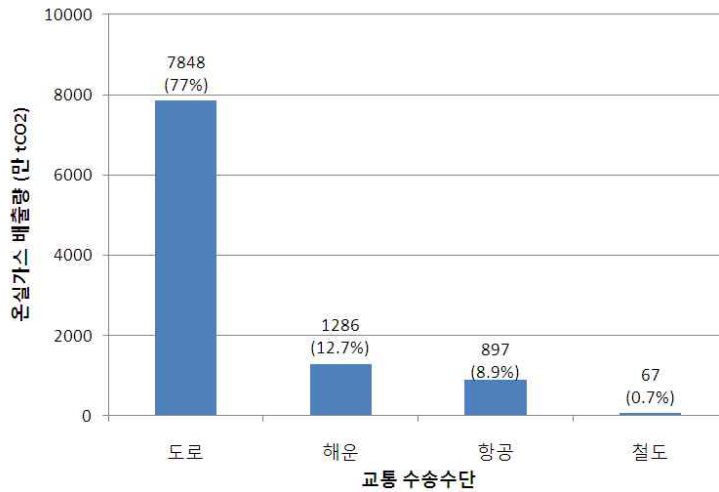
국가경쟁력강화위원회는 경찰청 및 전문가 자문위로 구성된 합동 T/F로 미국, 영국, 프랑스, 독일, 일본 등 선진 5개국 현지조사를 수행하는 등 도로 및 교통에 관한 문제들을 정리하여 교통운영체계선진화방안을 마련하였다(국가경쟁력강화위원회 2009). 여러 문제들 중 오랜 기간 관행화된 사회적 약속과 같은 교통신호의 변화는 오히려 급격한 변화로 반대급부적 문제가 발생할 수 있어 이러한 부작용을 최소화하기 위해 개선방안 시행에 앞서 공감대 형성을 위한 여론수렴, 교육, 홍보 등을 시행하고 민감한 과제의 경우 단계적, 점진적으로 확산 추진하는 체계적 계획 및 전략을 수립하여 시행하고 있다.

## 2. 도로교통 부문 탄소배출

교통운영체계선진화는 도로교통에 관한 법제도선진화와 더불어 교통안전 및 소통 증진, 유류비 및 배기가스 절감 등 저탄소녹색성장 부문에 있어 많은 효과가 기대된다. 한국교통연구원(2008)은 우리나라가 배출하는 전체 온실가스 중 약 16.6%가 교통부문에서 배출되고 있으며, 이 중 77.7%(7,848만 톤) 도로교통에서 발생되고 있다고 지적하고 있다(〈그림 1〉 참조). 이러한 온실가스 중 이산화탄소가 도로교통 배출 온실가스의 74.0%를 차지하여 가시적인 감축대상이 될 것으로 전망되고 있다(한국건설신문, 2010).

장기적으로 도로교통을 버스 및 궤도 중심으로 하는 대중교통수단을 전환하는 것이 해법이라고 하는 많은 제안이 발표되고 있다(UN, 2010, 에너지관리공단 2009, ICLEI 2001). 그러나 유비쿼터스 도시가 형성되고 IT기술이 발전하고 있는 21세기 오늘날의 이용자들이 바라는 교통여건은 과거와 다르다. 개개인들의 의견이 존중되고 직접적이고 빠르게 자유로운 서비스에 익숙해진 사람의 경우에는 승용차 이용을 선호한다. 이는 이동성(Mobility)은 유리하더라도 상대적으로 접근성(Accessibility)이 확보되지 않는 궤도 등의 대중교통은 결국 최종 목적지까지 원하는 시간과 경로를 자유롭게 이동할 수 있

는 도로교통의 주요 수단인 승용차를 대체할 수 없기 때문이다.



〈그림 1〉 교통수단별 온실가스 배출수준

즉, 일부 지역 간 대규모 수송이 요구되는 광역 교통망을 제외하고 도로교통은 항상 높은 비율로 남아 있을 수밖에 없기 때문에 교통운영체계선진화사업을 통한 탄소배출량 저감 노력은 실로 중요하다.

## 제2절 기후변화에관한국제연합기본협약(UNFCCC)

지구온난화문제가 성장의 한계<sup>1)</sup>로 제기되며 1972년 기후변화에 대한 논의가 시작되었다. 1980년대 이후 이상기후로 인한 자연재해가 빈발하면서 지구온난화에 대한 논쟁이 가속화되었다. 지구온난화에 관한 과학적 연구 및 대책마련이 필요하다는 인식이 전 세계적으로 확산되면서 기후변화에 관한 정부간협의체로 1988년 UN환경위원회(UNEP; United Nation Environment Programme)가 설립되었다(에너지관리공단, 2007).

1) 기하급수적으로 성장하는 산업 대비 자연환경의 양적 제약이 지적되었고, 환경을 파괴하는 경제성장의 無가치가 비유적으로 언급됨

## 1. 협약 배경

UN환경위원회는 이사회에서 1989년 조약을 교섭하여 1990년 세계기후회의 각료선언을 하였다. 1991년 지구온난화 방지에 대한 국제적 협약이 시작되었고 1992년 6월 브라질 리우데자네이루(Rio de Janeiro)에서 열린 환경회의를 통하여 '기후변화에 관한 국제연합 기본협약' (UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change)을 마련한 후 1994년 3월 21일 발효되었다.

UNFCCC협약 가입국은 2010년 현재 192개국이며 우리나라는 1993년 12월에 47번째 가입국으로 가입하였다(UN, 2010b). UNFCCC 가입 국가들은 경제적 상황에 따른 차별화 공동부담 원칙에 의하여 부속서I국가(41개 선진국, the industrialized countries)와 비부속서I국가(개발도상국, developing countries)로 구분하여 상황에 맞는 다른 의무를 부여하고 있다(UN, 2010b). UNFCCC협약은 의정서(Protocol)를 통해 체결국들이 의무적으로 준수하여야 하는 온실가스 배출량 제한을 규정하나 온실가스 배출량 통제에 강제성을 두고 있지 않다.

## 2. 국가 간 의무부담

UNFCCC협약은 인류의 활동으로 발생하는 인위적인 활동이 지구의 기후시스템에 영향을 미치지 않기 위하여 기후변화에 대한 과학적 확실성의 부족이 지구온난화 방지 조치를 연기하는 이유가 될 수 없음을 이유로 궁극적으로 지구 대기 중 온실가스 농도의 증가를 안정화시키는 것을 목표로 한다(UN, 2010c). 지구온난화 방지를 위하여 경제개발을 억제하여야 하는 문제와 기후를 관리해야만 하는 상반된 문제를 동시에 수행하기 위하여 (1) 기후변화의 예측·방지를 위한 예방적 조치의 시행 및 (2) 모든 국가의 지속 가능한 성장의 보장 등을 기본원칙으로 한다.

가입국 중 선진국(부속서I 국가)들은 과거로부터 경제 발전을 이루어오면서 대기 중으로 온실가스를 주도적으로 배출한 역사적 책임이 있음을 지적하며 온실가스 저감에 있어 선도적인 역할을 수행하도록 한다. 개발도상국(비부속서I 국가)은 경제 성장 문제에 대한 특수사정을 차별적으로 배려함과 동시에 기후변화를 억제하기 위한 국제 공동의 의무를

부담한다(UN, 2010b). UNFCCC협약은 부속서I 국가는 1990년 수준을 기준으로 자국 내 온실가스 배출량을 감축하기 위하여 우선적으로 노력하도록 규정하고 있으며, 온실가스 감축을 위해 비부속서I 국가에 대한 재정지원 및 기술이전의 의무를 가진다.

### 가. 교토의정서

UNFCCC협약 내용은 교토의정서(Kyoto Protocol)를 통하여 보다 구체적으로 보완되며 강제성이 부여된다. 교토의정서는 지구온난화의 규제 및 방지를 위한 구체적인 이행방안에 대한 내용을 정하는 국제협약이다(UN, 1998). UNFCCC협약이 전 세계 국가들이 기후변화 방지를 위한 노력을 하겠다는 일반적인 원칙을 담는다면, 교토의정서는 기후변화협약의 목적을 달성하기 위하여 누가, 얼마만큼, 어떻게 줄이는가에 대한 구체적인 절차와 온실가스 감축 의무에 대한 구속력을 부여한다.

교토의정서는 뉴욕의 유엔본부에서 1998년 3월 16일부터 1999년 3월 15일까지 서명을 받아 채택되었고, 의정서가 발효될 수 있도록 협약 당사국들이 자국 비준을 노력하였으며, 우리나라 및 북한을 포함한 175개국과 EC(European Commission)가 의정서에 비준하였다.

2001년 3월 중국, 인도 등 개발도상국들이 의무감축대상에서 제외된 것과 자국 경제에 심각한 피해를 줄 수 있음을 이유로 최대 온실가스 배출국인 미국이 의정서에 대하여 반대 입장을 표명하여 교토의정서의 실효성에 타격을 입었다. 그러나 EU(European Union)와 일본 등이 중심이 되어 협상을 지속하여 2004년 11월 러시아가 비준서를 제출함에 따라 교토의정서 발효 조건<sup>2)</sup>이 충족되어 2005년 2월 16일에 발효되었다(에너지관리공단, 2007).

총 28개조와 부속서로 이루어진 교토의정서를 인준한 국가에게는 온실효과를 나타내는 <표 1>의 여섯 종류 감축대상 가스(온실가스)의 배출감소 의무가 부과된다. 인준국가들에게 온실가스 배출량감소 목표치를 지정하였으며(<표 2> 참조), 목표를 달성하지 못

2) 교토의정서 발효조건: 첫째, 55개국 이상의 협약당사국이 교토의정서에 비준하고, 둘째, 그 중 비준서를 기탁한 부속서I 국가들의 1990년 기준 온실가스 배출량의 합이 전체 부속서I 국가들의 1990년 기준 온실가스 배출량의 55%이상을 차지해야 한다. 교토의정서는 위 조건이 충족된 날로부터 90일 경과 후 발효된다.

하는 국가는 무역교류에 관세장벽을 적용하도록 하여 구속력을 동반한다.

〈표 1〉 교토의정서 규정하는 6개 지구온난화 가스

교토의정서 규정 감축대상 온실가스	주요 배출원
이산화탄소(Carbon dioxide, CO <sub>2</sub> )	연료사용/산업공정
메테인(Methane, CH <sub>4</sub> )	폐기물/농업/축산
아산화질소(Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O))	산업공정/비료사용
과불화탄소(Hydrofluorocarbon, HFCs)	반도체 세정용, 냉매, 발포제
수소화불화탄소 (Perfluorocarbons, PFCs)	반도체 제조
육불화황(Sulphur hexafluoride, SF <sub>6</sub> )	LCD모니터제조, 자동차 생산공정

〈표 2〉 교토의정서 회원국별 이산화탄소 의무 감축량(부속서I 국가)

현재수준 대비	감축목표	해당 국가
92%	-8%	오스트리아, 벨기에, 불가리아, 체코, 덴마크, 에스토니아, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 라트비아, 리히텐슈타인, 리투아니아, 룩셈부르크, 모나코, 네델란드, 포르투갈, 루마니아, 슬로바키아, 슬로베니아, 스페인, 스위스, 영국 (유럽연합 15개국)
93%	-7%	미국
94%	-6%	캐나다, 헝가리, 일본, 폴란드
95%	-5%	크로아티아
100%	0%	뉴질랜드, 러시아, 우크라이나
101%	+1%	노르웨이
108%	+8%	오스트레일리아
110%	+10%	아이슬란드

※ 삼림자원을 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 흡수원으로 인정하여 흡수량 일부를 배출가스 감축량으로 인정

국가별로 탄소배출 감축량이 정해져 있으며 국가가 배출허용량 보다 적게 배출할 경우 그 차이 만큼에 해당하는 탄소배출 권리를 타 국가와 거래 할 수 있게 한다. 우리나라는 OECD 가입 국가임에도 1990년대 후반 IMF(International Monetary Fund) 상황을 고려하여 비부속서I 국가(개발도상국)로 분류되어 있다. 우리나라 국회는 2002년 해당 조약을 비준하였으나 이러한 이유로 탄소감축의 이행 의무는 지금 현재의 시점에서 선진국에 비하여 상대적으로 심각하지 않다.

UNFCCC 기후변화협약과 교토의정서는 법과 시행령의 관계를 의미한다. 또한, 국가 간 구체적인 정책적 현안에 대한 합의문인 마라케쉬합의문(Marrakech Accords)은 실제적으로 <그림 2>와 같이 시행규칙의 의미를 지니고 있다(UN, 2001).



<그림 2> 기후변화협약, 교토의정서 및 마라케쉬합의문 체계

IPCCC: International Panel on Climate Change  
 GEF: Global Environment Facility (Financial Mechanism)  
 출처: 에너지관리공단, 2007

마라케쉬합의문은 교토의정서 내용에 준하여 보다 세부적인 기금지원, 경영, 이행지침, 청정개발체제 방식 및 절차, 국가시스템, 요청된 정보 준비에 대한 지침 등 실무에 직접적으로 관련되는 내용, 규칙을 선언하고 있다(UN, 2001).

### 나. 교토메커니즘

부속서I 국가(선진국)들은 교토의정서에서 할당받은 온실가스 감축량을 자국 내 노력만으로 달성하는 데는 막대한 비용소요가 발생할 수 있다는 것과 극단적인 경우 목표달성에 무리가 따를 것을 우려하고 온실가스 감축량 목표를 효율적으로 달성할 수 있도록 교토메커니즘 제도를 마련하여 공동사업 및 거래를 통한 실적 인정방안을 마련하였다. 이들 통하여 이들에게 할당된 감축실적에 대한 목표달성 인정에 유연성을 확보한다. 선진국들이 마련한 교토메커니즘은 아래와 같이 구분된다.

- 공동이행제도(Join Implementation, JI),
- 배출권거래제(Emission Trading, ET),
- 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)

선진국들의 탄소배출 감축을 위한 노력으로 마련된 메커니즘 중 하나가 탄소배출량을 거래할 수 있는 청정개발체제로 이에 대한 설명은 제3절에서 별도 검토한다. 공동이행제도와 배출권거래제는 부속서I국가에 해당되는 제도로 우리나라와 직접적 관련이 없다. 아래 세부단락에서 메커니즘 개별방안에 대한 간략한 설명을 제시한다.

### 1) 공동이행제도 (Joint Implementation)

공동이행제도는 교토의정서 제6조에 규정된다(UN, 1998). 이는 부속서I 국가 간에 온실가스 감축사업을 공동으로 수행하는 것을 인정하는 것으로, 예를 들면 하나의 국가가 다른 국가에 투자하여 감축한 온실가스 감축량의 일부분을 투자국의 감축실적으로 인정하는 제도이다. 공동이행제도의 시행을 통해 줄어드는 이산화탄소 감축량을 ERU (Emission Reduction Unit)라고 한다. 유럽연합은 동부유럽국가와 온실가스감축 공동이행제도를 추진하기 위하여 활발한 움직임을 보이고 있다. 우리나라는 비부속서I 국가에 속해있기 때문에 공동이행제도(JI)를 적용할 수 있는 국가에 해당하지 않는다.

### 2) 배출권거래제 (Emission Trading)

배출권거래제는 교토의정서 제17조에 규정된다(UN1998). 이는 온실가스 감축의무 국가가 할당된 의무감축량을 초과하여 달성하였을 경우 해당 초과분을 다른 온실가스 감축의무 국가와 거래할 수 있도록 하는 제도이다. 반대로 의무를 달성하지 못한 온실가스 감축의무 국가는 감축량의 부족분을 다른 온실가스 감축의무 국가로부터 구입할 수 있다. 다시 말해, 온실가스 감축량을 현물 시장의 상품처럼 사고 팔 수 있도록 허용한 것을 의미한다. 배출권거래제 역시 공동이행제도와 마찬가지로 비부속서I 국가에 속해있는 우리나라에게 적용되는 제도가 아니다.

### 3) 청정개발체제 (Clean Development Mechanism)

청정개발체제는 교토의정서 제12조에 규정된다(UN, 1998). 이는 비부속서I 국가(개발도상국)에서 온실가스 감축사업을 수행하여 달성한 실적을 부속서I 국가(선진국)의 의무감축량 목표 달성에 활용할 수 있도록 하는 제도이다. 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)사업을 통해 비부속서I 국가는 감축 달성 목표에 해당하는 온실가스 감축량을 얻고, 개발도상국은 선진국으로부터 기술과 재정지원을 받아 자국의 지속가능한 개발에 기여한다.

현재 비부속서I 국가에 포함되어 있는 우리나라에게도 청정개발체제가 적용된다. 우리나라가 수행한 청정개발체제를 통하여 확보한 온실가스 감축량을 부속서I국가 등을 대상을 판매할 수 있다. 우리나라의 온실가스 저감과 동시에 지속가능한 국가발전을 위해 청정개발체제의 적용과 활용이 절실히 필요하며 해외 탄소배출권 판매를 통한 국제사회에서의 국가수준 수익구조를 마련할 수 있다.

## 제3절 청정개발체제 사업

청정개발체제(CDM; Clean Development Mechanism) 사업은 비부속서I 국가의 지원을 통하여 UNFCCC 협약의 궁극적인 온실가스 저감목표를 달성하기 위함이나 우선적으로는 부속서I 국가들의 의무 온실가스 감축량을 달성할 수 있도록 위하여 마련되었다. 부속서I 국가가 청정개발체제 사업을 통하여 유도한 개발도상국 대기오염원 감소분에 대한 지분을 가지도록 하나 이러한 사업 수행자격이 부속서I 국가에만 국한되지 않는다(UN, 1998).

국제사회에서 대기오염원 감축효과가 있는 청정개발체제 사업으로 인정받기 위하여 온실가스 배출 감축량이 현재를 기준으로 추가적(특정 시점을 기준으로 추가적으로 감소되어야 함)이어야 하며 실질적이어야 한다. 추가적으로 감소된 온실가스 배출량에 대한 실질적인 인정은 UNFCCC 주최국연합(COP; Conference of the Parties)의 지도에 따라 청정개발체제 실무회의(EB; Executive Board)에 의해 실질적으로 통제된다(Carbon Trust, 2008).

## 1. UN 청정개발체제 사업관리 체계

청정개발체제 사업은 전 세계를 대상으로 가장 비용이 저렴한 장소(국가)에서의 온실가스 배출량 감축을 유도한다. 이를 통해 세계은행은 교토의정서가 지정한 청정개발체제 프로젝트 시작년도인 2001년부터 종료 년도인 2012년까지 총 15억 톤에 상응하는 이산화탄소가 감축될 것을 기대하고 있다(김영철, 2009). 온실가스 배출권을 거래하는 시장은 지역시장 및 민간시장 등 다양한 형태로 구성되며 국제대기오염배출권거래연맹(IETA; International Emission Trading Association)이 배출권거래체제의 등록을 총 관리한다.

과거로부터 유사하게 영국은 이미 2002년 4월 기후변동 프로그램의 일환으로 자주적인 온실가스 배출권거래제도(ETS, Emission Trading Schemes)를 실시하였다. 영국정부와 온실가스 배출기업 간 삭감목표 협정을 체결하고, 해당 목표를 초과 달성한 기업은 배출권을 획득·거래할 수 있게 하는 제도이다. 배출권거래제도 참여 방식은 국가 간 기후변동협정 체결, 배출량 삭감으로 발생한 탄소배출권의 판매, 직접 참여방식을 규정한다.

청정개발체제사업 관련 국제기관은 당사국 총회(COP/MOP ; Conference of Parties serving as the Meeting of the Parties), 청정개발체제 집행위원회(EB; Executive Board), 청정개발체제 사업 운영기구(DOE; Designated Operational Entity), 국가 청정개발체제 승인기구(DNA, Designated National Authority)가 있고, 각 기관의 역할은 <표 3>과 같다.

청정개발체제 집행위원회(EB)는 총 10명으로 구성되며 연간 3회 이상 회의를 개최한다. 정족수는 부속서I 국가 소속 3명 이상과 비부속서I 국가 소속 4명 이상의 참가를 전제로 전체의 2/3 이상으로 규정한다. 집행위원회의 의결은 원칙적으로 의견일치(consensus)이나 필요한 경우 출석인원의 3/4의 다수결에 의하여 결정한다.

집행위원회는 청정개발체제와 관련한 전반적인 사항을 관장하고, 소규모 청정개발체제 사업 관련 양식 및 절차 개발, 청정개발체제 사업 인증기관 및 청정개발체제 사업 미시행 시(베이스라인) 및 시행 시 모니터링 방법론 승인과 관련된 업무를 원활하게 수행하기 위해서 산하 전문위원회(Panel)를 두고 있다.

〈표 3〉 청정개발체제(CDM) 사업 관련 주요기관, 구성, 기능 및 역할

기관	구성	기능	역할
COP/MOP	교토의정서 비준국	CDM사업 관련 최고 의사결정기구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CDM 집행위원회의 절차에 대한 결정</li> <li>• 집행위원회가 인증한 운영기구의 지정 및 인증기준 결정</li> <li>• DOE와 CDM 사업의 지역적 분배 검토</li> <li>• CDM 사업 활동 기금 조성지원 (필요시)</li> </ul>
EB	총10명 - 교토의정서 당사국 UN 5개 지역그룹 (5명) - 부속서I국가 (2명) - 비부속서I국가 (2명) - 도서국가 (1명)	COP/MOP 지침에 따라 CDM 사업 관리·감독	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CDM 사업의 추가적인 방식 및 절차를 COP/MOP에 권고</li> <li>• 새로운 베이스라인 및 모니터링 방법론 승인</li> <li>• 소규모 CDM 사업의 간소화된 방식 및 절차 등을 검토하여 COP/MOP에 권고</li> <li>• DOE 지정 업무 및 관련 기준 및 검토사항을 COP/MOP에 제시</li> <li>• CDM 사업의 지리적 배분에 관한 COP/MOP에 보고</li> <li>• 각종 절차와 방법, 가이드 라인 결전 전에 적어도 8주간의 의견수렴 (public comment) 이행</li> <li>• CDM 사업 투자가에 CDM 사업에 관한 다양한 정보 제공</li> <li>• COP/MOP의 각 회기에 활동상황 보고</li> </ul>
DOE	CDM 집행위원회 지정	CDM사업 타당성 확인 및 배출 감소량 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신청된 CDM 사업의 타당성 확인 심사</li> <li>• 사업의 타당성 확인이 종료된 CDM 사업의 배출 저감에 관한 검증, 인증</li> <li>• 호스트 국내의 관련 법률 준수</li> <li>• 사업의 타당성 확인, 검증, 인증을 행하는 CDM 사업과 CDM 사업 운영기구 간에 이해관계가 없음을 증명</li> <li>• 타당성 확인, 검증, 인증을 행할 대상 CDM 사업의 리스트 공개 및 유지</li> <li>• CDM 사업자로부터 얻은 정보 공표 (집행위원회 요구시)</li> </ul>
DNA	교토의정서 비준국 CDM 사업관련 정부기관	CDM 사업 승인서 발급	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비부속서I국가: 제안된 CDM 사업의 자국의 지속가능개발 요구사항 만족여부를 확인하여 승인서 (Letter of Approval) 발급</li> <li>• 부속서I국가: 승인서 (declaration of approval) 발급</li> </ul>

청정개발체제 사업운영기구(DOE)는 청정개발체제 사업 타당성 확인 및 배출 감축량 검증 업무를 수행한다. 해외 DNV Certification AS, 일본품질협회(JQA), 우리나라 에너지관리공단 청정개발체제인증원, 한국품질재단 등을 포함하는 18개 기관이 청정개발체제 사업운영기구로 지정<sup>3)</sup>되어 있다.

청정개발체제 승인기구(DNA)는 각 국가별로 청정개발체제 사업 승인서를 발급하고 사업을 추진하는 것을 목적으로 한다. 2007년 12월을 기준으로, 일본, 캐나다, 독일 등을 포함한 128개국 정부가 청정개발체제 승인기구 설치를 완료하였다. 우리나라의 경우 국무총리실 기후변화대책기획단이 승인가구의 역할을 하고 있다.

우리나라는 아직 청정개발체제 사업 추진정책이 제대로 마련되어 있지 않기 때문에, 선진국의 청정개발체제 사업 시장선점에 따른 잠재적 불이익을 당할 가능성이 높으며, 배출권 시장 거래에서도 불리한 입장이라는 문제가 지적되고 있다. 이의 극복 대안의 일부로써 우리나라는 안정적인 저렴한 배출권의 확보를 위해 중국, 인도네시아, 인도, 브라질 등의 개발도상국과의 청정개발체제 사업 추진을 위한 협력체제 구축과 선진국의 개발 경험 및 배출권 시장 경험을 습득하기 위한 공동이행제도의 활용 방안의 필요성이 지적되고 있다(에너지관리공단, 2007).

## 2. 도로교통부문 청정개발체제 사업현황

지금까지 청정개발체제로 진행되며 온실가스 저감효과를 UN으로부터 공식 인증 받은 사업 항목 중 도로교통운영부문에서의 해당하는 것은 없다. 교통운영부문에서의 청정개발체제사업은 그 만큼 상대적으로 진행된바 없다. 교통운영부문을 넘어서 도로교통부문 전체에 있어서 지금까지 UN에서 인증을 받은 대표적 청정개발체제 사업은 2개로 국한된다. 하나는 콜롬비아 보고타의 BRT(Bus Rapid Transit) 사업과 둘째는 인도 델리의 저온실가스 차량 교체 사업이다(UN 2010d).

3) 청정개발체제 운영기구(DOE)는 청정개발체제 집행위원회의 추천을 통해 COP/MOP에서 지정하게 된다. 청정개발체제 집행위원회에 의한 인정절차는 문서심사, 현장심사, 입회심사 3단계로 진행되며 비용절감을 위해 현장심사와 입회심사를 함께 받을 수 있다. 실제적인 인정절차의 운영은 청정개발체제 집행위원회가 구성한 청정개발체제 인정패널(청정개발체제 Accreditation Panel)에서 담당하며 운영기구에 대한 심사는 인정패널이 구성한 평가팀(청정개발체제 Assessment Team)에서 실시하게 된다.

## 가. 도로교통부문 UN인증 청정개발체제 사업

콜롬비아 보고타의 BRT(Bus Rapid Transit) 사업과 인도 델리의 저온실가스 차량 교체 사업이 청정개발체제사업으로 승인받았으며 이들 사업의 주요 특징은 다음과 같다.

### 1) 콜롬비아 보고타의 BRT사업 (대규모 사업)

콜롬비아 보고타의 BRT사업<sup>4)</sup>은 2015년까지 총 350km 도로에 버스전용차로를 설치하는 사업으로, 시스템 설치와 더불어 버스차량 개선, 차량 용량 증대, 버스 운행여건 개선, 수단전환, 요금징수방식 개선 등으로 효율적인 버스운영체계를 구축하는 내용을 포함하고 있다(〈표 4〉 참조).

〈표 4〉 콜롬비아 보고타의 BRT사업 개요

항 목	내 용
버스 차량 개선	효율이 높고 오염물질 배출량이 적은 차량 이용
차량 용량 증대	버스 용량을 증가하여 승객-km당 온실가스 배출량 저감
버스 운행여건 개선	버스전용차로와 전용신호를 통해 효율적인 버스운행 환경조성
중앙집중식 버스 운영관리	중앙에서 BMS와 같은 시스템을 도입하여, 버스의 실시간 배차 간격 조정으로 수요 대응
수단 전환	승용차 이용에서 대중교통으로 통행수단 전환
사전 요금 징수방식	탑승시 요금 지불시간 절감, 버스 정차시간 단축

콜롬비아 보고타 BRT사업이 청정개발체제 사업으로 추진되기 위해, 2006년 Grütter 컨설팅은 UN인증을 위한 방법론을 개발하였고, 그 해 12월 UN에 의해 교통부문의 첫 청정개발체제 사업으로 승인되었다. 이산화탄소 저감 추가성(Additionality)을 증명하기 위해서 기존 대중교통체계의 개편, 청정개발체제 사업이 포함되지 않는 BRT구축 등 다양한 시나리오를 설정하고, 다양한 대안과 비교를 통해 추가성을 증명하였다.

BRT사업의 제약조건으로는 소요 비용, 정치적 저항, 기존 교통운영업자들의 반대, BRT사업의 경험 미숙 등을 제시하였다. BRT사업으로부터 영향 받아 간접적으로 발생하는 탄소누출(leakage)을 고려하기 위하여 BRT건설에 소요되는 (1) 시멘트, 아스팔트

4) TransMilenio BRT사업이라고도 함

생산에서 발생하는 온실가스, (2) 기존 차량 폐차 시 발생하는 온실가스, (3) 사업시행으로 절감된 유류의 정제 및 운송과정에서 줄어드는 온실가스 감소량, (4) BRT운영으로 인한 교통수단 전환 따른 온실가스 감소량, (5) 교통 혼잡 감소로 인한 온실가스 감소 및 (6) 이에 따른 수요증가로 인한 온실가스 변화 내용을 적용하였다.

보고타 BRT사업이 미치는 사회적 영향으로는 교통사고 감소, 교류증대, 혼잡감소로 인한 통행시간 절감과 호흡기질환 감소 등이 제시되었고, 두 달마다 수행되는 모니터링은 승객 수, 연료소모, 간선 및 지선버스의 운행거리 정보를 통해 분석하였다.

보고타 BRT사업 시행을 통하여 2012년까지 총 3.8백만 톤의 온실가스를 감축하고, 금전적 효과는 최소 130백만US\$(한화 약 1,300억 원)에서 최대 350백만US\$(한화 약 3,500억 원)의 효과가 나타날 것으로 보이며, 이는 총 투자비용의 10%에 해당하는 효과인 것으로 분석되고 있다.

## 2) 인도 델리의 저온실가스차량 교체사업 (소규모 청정개발체제 사업)

인도 델리의 저온실가스 차량교체 사업은 델리 지하철 공사의 차량을 제동장치를 이용하여 전력을 재생산하는 장비를 갖춘 차량으로 교체하는 사업으로, 교통부문에서 승인된 소규모 청정개발체제 사업이다. 차량 제동 시 발생하는 여유 전력을 활용하여 차량에 전력을 제공함으로써 차량운영에 소요되는 전기량을 줄여 온실가스를 감축하는 내용이 핵심이다. 인도에서 이루어지는 사업이나 사업에 따른 배출권은 일본이 소유하게 된다.

연간 온실가스 감축량이 6만 톤 미만인 소규모 사업으로 AMS.Ⅲ.C '저온실가스 배출 차량에 의한 온실가스 감축' 추정방법론이 사업 분석에 사용되었다. 본 사업에 의해 매년 41,160톤씩 향후 10년간 총 411,600톤의 온실가스가 감축될 것으로 전망하고 있다.

## 나. 도로교통부문 우리나라 청정개발체제 사업

도로교통부문 모두를 통틀어 UN에 인증된 우리나라 청정개발체제 사업은 전무하다. 현재 진행 중이면서 조속한 시일 내에 청정개발체제 사업으로 등록·인증받기 위한 노력이 진행 중인 대표적 사업을 정리하면 다음과 같다.

### 1) 서울시 BRT사업

서울시에서는 2004년 7월에 시행된 CNG 차량 보급사업 및 버스체계 개편사업이 온실가스 저감효과가 있는 것으로 파악하고, 유엔기후변화협약(UNFCCC)이 정하고 있는 절차와 방법론에 따라 'BRT system in Seoul'이라는 제목으로 청정개발체제 사업 승인을 추진 중에 있다(박진영 외 2인 2008). 서울시는 2008년 12월에 정부의 승인을 얻기 위해 국내 청정개발체제 운영기구인 에너지관리공단을 선정하였고, 에너지관리공단은 서울시 BRT사업이 청정개발체제 사업으로 타당성을 밝히기 위한 절차로 검토보고서를 작성하였으나, 2009년 3월 기준 국가승인 단계인 2단계에서 머물러 있는 상태이다.

### 2) 호남고속철도 청정개발체제 사업

한국철도시설공단은 2010년 3월 호남고속철도를 청정개발체제 사업으로 추진하여 기후변화협약, 교토의정서 체제 등 세계적 환경변화 흐름에 적극 부응하기 위해 국내의 (주)사우스피시픽과 스위스 Grütter사(社)와 공동으로 '사업추진 컨설팅 협약'을 체결하였다. 현재 공단은 호남고속철도의 청정개발체제 사업 추진의향서를 국무총리실 및 유엔기후변화협약(UNFCCC)사무국에 제출했으며, 향후 사업계획서 작성 및 등록, UN 승인 등의 절차를 거쳐 온실가스 감축량을 탄소배출권으로 확보하는 계획을 준비 중이다. 호남고속철도 청정개발체제 사업이 성공적으로 추진되면, 연간 약13만 톤의 이산화탄소 감축으로 연간 30억 원, 21년간 총630억 원에 상당하는 경제적 부가가치가 창출될 것으로 기대하고 있다.

### 3) 교통신호등 LED교체 사업

서울시는 교통신호등을 기존의 전구형 신호등에서 시인성이 우수하고 절전효과가 높은 LED 신호등으로 개량하는 사업을 추진하고 있다. 기존의 신호등을 LED 신호등으로 교체함으로써, 전기소모량이 줄어들고, 이에 따라 전력 생산 시 소비되는 온실가스가 감축된다. 본 사업은 신호등 교체만으로 이루어져 경제성이 없는 사업으로 (온실가스 저감의) 추가성 확보가 용이하며, 신호등 제품만 교체하므로 제품으로 인한 온실가스 배출량과 감소량을 산정에 용이한 장점이 있다.

## 제4절 청정개발체제 효과상징 절차

선진국은 개발도상국에서 온실가스 감축사업을 하면 UN에서 이를 심사·평가해 일정량의 탄소배출권(CER)을 부여한다. 이때에 적용되는 온실가스 감축사업을 청정개발체제 사업이라고 한다. 2010년 우리나라는 부속서I(선진국)으로 분류된 국가가 아니나, 청정개발체제 사업을 수행하여 탄소배출권을 얻을 수 있다. 이에 본 장에서는 우리나라 도로교통 부문 청정개발체제 사업이 UN에 승인받기 위해 필요한 절차에 대해 검토한다.

### 1. 행정적 요구사항

#### 가. 사업 참여 요건

청정개발체제 사업에 참여하려는 부속서I국가(선진국)와 우리나라를 포함하는 비부속서I국가(개발도상국)는 아래 세 가지 기본 요건을 충족시켜야 한다.

〈표 5〉 청정개발체제 사업의 참여요건 (우리나라의 경우)

구분	내 용
①	교토의정서 비준
②	청정개발체제 사업에 자발적 참여
③	국가 청정개발체제승인기구(Designated National Authority)설립

특히, 부속서 I국가(투자국)는 위의 세 가지 요건 이외 (1) 초기감축목표가 확정되어 있을 것, (2) 국가 배출량, 흡수량 산정시스템을 가지고 있을 것, (3) 국가 온실가스 등기부(REGISTRY)를 가지고 있을 것, (4) 연간 온실가스 배출량을 제출할 것 등의 추가 요건을 충족해야만 청정개발체제 사업에 참여할 수 있다.

#### 나. 사업 전제 조건

청정개발체제 사업은 일반 투자사업과는 다른 두 가지 전제 조건인 추가성과 투명성이

필요하다. 첫째, 추가성이란 계획하고 있는 사업을 수행하여 발생하는 이득이 소요비용보다 작아서 상업적으로 추진이 불가능한 사업이 온실가스 배출저감실적의 판매 및 환경비용을 고려할 경우 상업성이 확보되어 진행될 수 있는 사업임을 증명해야 한다. 또한 비록 상업성이 있는 사업들이라 할지라도 현실적으로 다양한 장애요인(barriers)에 의해 실시되지 못하는 경우도 이에 포함될 수 있다. 추가성을 증명하기 위해서는 기존 체계 하에서 가능한 다양한 시나리오를 선정하여 청정개발체제 사업과 비교하게 된다. 둘째, 청정개발체제 사업은 사업이 수행되는 전 기간 동안에 추가성이나 사업수행에서 비롯되는 환경영향 관련 자료 및 베이스라인 관련 자료를 일반대중에게 공개하여 투명성을 확보하여야 하며, 온실가스 산출량을 명확하게 산출하고 측정할 수 있어야 한다.

#### 다. 등록 가능 사업

청정개발체제에는 다음과 같은 사업들이 포함될 수 있다.

- 최종소비의 에너지효율 개선
- 공급측면의 에너지효율 개선
- 재생 가능한 에너지
- 연료 전환
- 농업(메탄과 아산화질소의 배출 감축)
- 산업 공정(시멘트 생산 과정의 CO<sub>2</sub>, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>)
- 산림 및 토지이용 사업(조림과 재조림의 경우만 가능)

## 2. 사업 추진

### 가. 사업의 종류

청정개발체제 사업은 규모에 따라 소규모 청정개발체제 사업과 일반 청정개발체제 사업으로 나누어지며, 사업내용에 따라 흡수원 청정개발체제 사업과 비흡수원 청정개발체제 사업으로 나눌 수 있다. 제1차 의무 이행 기간 중, 흡수원(sink)에 관한 청정개발체

제 사업은 신규조림(造林)<sup>5)</sup> 및 재조림(再造林)<sup>6)</sup>으로 한정되며, 산림경영에 의한 온실가스 감축은 청정개발체제 사업으로 인정되지 않는다.

### 1) 사업규모에 따른 청정개발체제 사업

청정개발체제 사업을 크기별로 구분하면, 소규모 청정개발체제 사업과 일반 청정개발체제 사업으로 구분할 수 있다. 소규모 사업은 제7차 당사국 총회에서 지정한 사업으로 아래와 같이 세 가지 종류로 나눌 수 있고, 이외의 사업을 일반 청정개발체제 사업으로 여길 수 있다.

- 최대발전용량이 15MW까지의 신재생에너지 사업
- 에너지 공급/수요 측면에서 에너지 소비량을 최대 연간 60GWh 저감 에너지사업
- 인위적 배출감축사업으로 직접배출량이 연간 60,000 CO<sub>2</sub>ton 미만의 사업

### 2) 신규조림 및 재조림 청정개발체제 사업

제3차 당사국 총회에서 채택된 교토의정서에서는 신규조림, 재조림, 산림전용 및 산림경영으로 발생한 온실가스 흡수량 또는 배출량을 탄소배출권으로 인정하였다. 제7차 당사국 총회에서 채택된 마라케쉬 합의문에서는 제1차 공약기간 동안에는 신규조림·재조림 청정개발체제 사업은 기준연도 총배출량의 1%을 상한으로 정하고, 산림경영 청정개발체제 사업은 인정하지 않기로 하였다. 산림경영은 제1차 공약기간에는 국내 산림경영 및 JI사업으로 발행한 총 CO<sub>2</sub> 흡수량에 대해 기준연도 총 배출량의 3% 이내로 인정하기로 결정하였다.

### 나. 사업 절차 및 단계별 고려사항

청정개발체제 사업은 사업 계획 및 구체화, 정부로부터의 승인, 확인 및 등록, 사업비용 조달, 모니터링, 검증/인증, 그리고 CER 발급 의 7가지 단계를 거쳐 이루어진다. 초기 네 개의 단계는 사업 수행 전에 실시되며, 나머지 세 개의 단계는 사업 진행 과정을

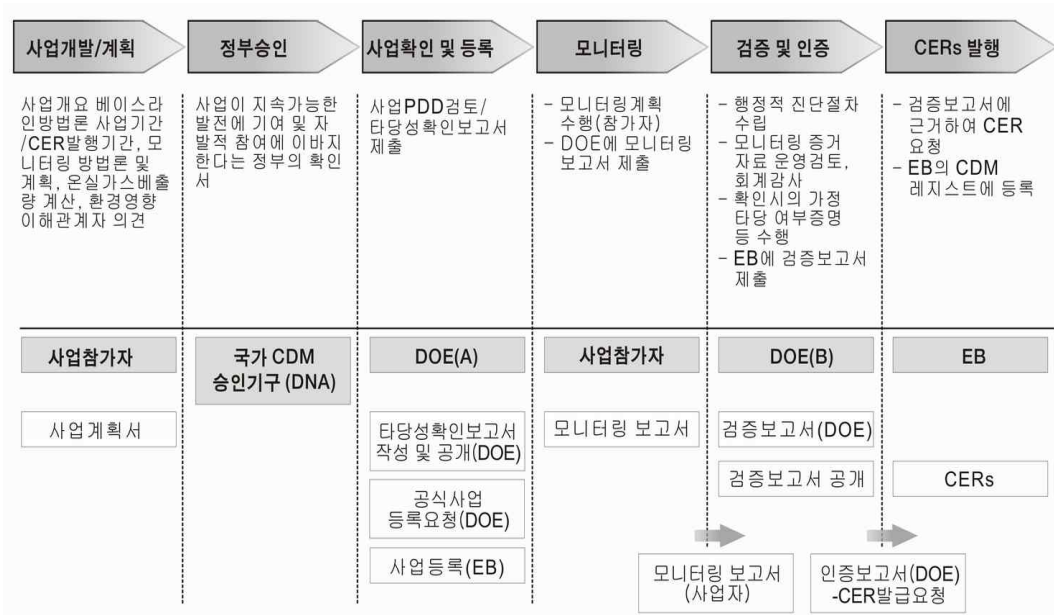
5) 신규조림 청정개발체제 사업: 50년간 산림이 아니던 토지를 산림으로 전환하는 사업

6) 재조림 청정개발체제 사업: 1990년 이전에 산림이 아닌 토지를 산림으로 전환하는 사업

통해 실시된다.

1) 1단계 : 청정개발체제 사업 발굴/계획

1단계는 청정개발체제 사업을 추진하고자 하는 부속서I 국가의 사업자가 비부속서I 국가에서 재정적인 어려움이나 다른 이유로 추진하기 어려운 온실가스 감축사업을 발굴하는 것으로부터 시작된다(〈그림 3〉 참조). 그러나 제 18차 청정개발체제 집행위원회 회의에서 부속서I 국가의 사업자 참여 없이, 비부속서I 국가 사업자가 청정개발체제 사업을 발굴하여 등록할 수 있다고 결정되어, 우리나라와 같이 자본 및 기술력을 가진 비부속서I 국가 사업자들도 청정개발체제 사업추진이 수월해졌다.



〈그림 3〉 청정개발체제 사업 절차

청정개발체제 사업 수행자는 청정개발체제 사업을 발굴한 뒤, 청정개발체제 사업 계획서(CDM-PDD: 청정개발체제 Project Design Document)를 작성해야 한다. 여기서 중요한 점은 해당사업을 시작하기 이전에 청정개발체제 사업으로 인한 이익을 충분히 고려했음을 입증할 수 있도록 사업 시작일로부터 6개월 이내에 국가승인기구나 UNFCCC

사무국에 등록 추진 의향을 통보해야 한다. 청정개발체제 사업계획서의 구성은 <표 6>과 같다.

<표 6> 청정개발체제 사업계획서의 구성

구분	내 용
①	사업 개요 (General description of project activity)
②	베이스라인 및 모니터링 방법론 적용 (Application of a baseline and monitoring methodology)
③	사업 기간 / CER 발급 기간 (Duration of the project activity / Crediting period)
④	환경 영향 (Environmental impacts)
⑤	CDM 사업으로부터 영향을 받을 수 있는 지역, 단체 또는 개인의 의견 (Stakeholders' comments)
⑥	기타 (Annexes)

청정개발체제 사업계획서 중에서 ② 베이스라인 및 모니터링 방법론은 청정개발체제 집행위원회의 승인을 얻은 방법론을 사용하여 작성하도록 되어있다 (참고로, 2007년 12월 기준 집행위원회가 승인한 일반 방법론은 총 48개, 통합방법론은 14개가 있음).

청정개발체제 사업자가 승인된 방법론이 아닌 새로운 베이스라인 또는 모니터링 방법론을 적용하는 사업을 추진하는 하는 경우 청정개발체제 사업 운영기구 (DOE)를 통하여 청정개발체제 집행위원회에 관련 방법론을 제출하여 승인을 받아야 한다. 이에 따라, 청정개발체제 집행위원회는 방법론 검토 절차에 따라서 제안된 새로운 방법론을 4개월 안에 신속히 검토하여야 할 의무가 있다. 일단 청정개발체제 집행위원회가 제안된 방법론을 승인하면 승인된 방법론에 관련은 관련 지침서류와 함께 공개되나, 만일, 청정개발체제 집행위원회 또는 COP/MOP가 승인된 방법론에 대한 수정을 요구하는 경우에는 어떠한 청정개발체제 사업도 이 방법론을 사용할 수 없게 된다.

## 2) 2단계 : 청정개발체제 사업 타당성 확인 및 정부 승인

청정개발체제 사업 수행자는 작성된 청정개발체제 사업 계획서를 COP/MOP가 지정한 청정개발체제 운영기구(DOE)들 중에서 하나의 운영기구를 선정하여 타당성 확인을 받는다. 청정개발체제 사업수행자에 의해 선택된 청정개발체제 운영기구에서는 청정개발

체제 사업자가 제출한 사업 관련 서류(〈표 7〉 참조)들이 청정개발체제 사업에 관한 각 요건을 만족하는지 검토하고, 이를 바탕으로 제안된 사업에 대한 타당성 검토 보고서(Validation Report)를 작성한다.

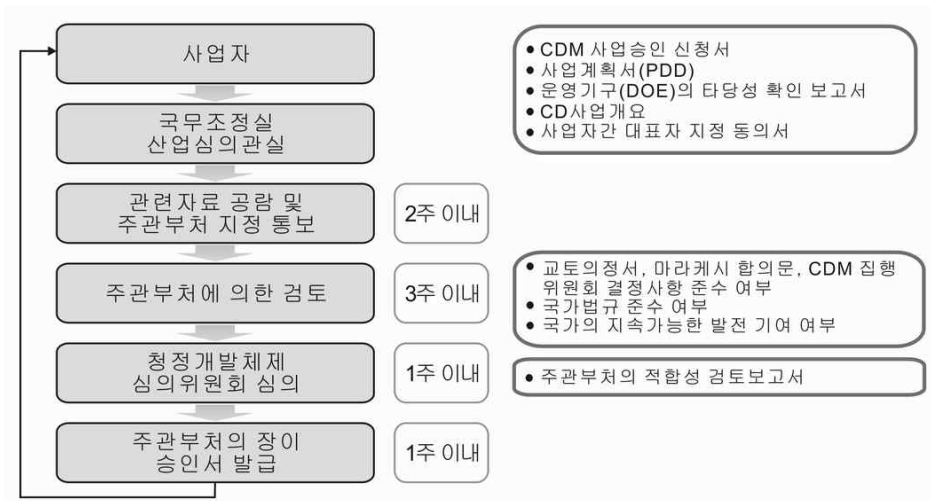
〈표 7〉 청정개발체제 사업 단계별 제출서류

절 차	정정개발체제 집행위원회 제출서류	
	제18차 집행위원회 회의 이전	제18차 집행위원회 회의 이후
1. 정정개발체제 사업 PDD 작성	-	-
2. DOE(A)의 타당성 확인 및 등록	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정정개발체제 사업 등록서</li> <li>• 정정개발체제 사업 계획서</li> <li>• 타당성 확인 보고서</li> <li>• 부속서I 국가 승인서</li> <li>• 부속서I 국가 승인서</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정정개발체제 사업 등록서</li> <li>• 정정개발체제 사업 계획서</li> <li>• 타당성 확인 보고서</li> <li>• 비부속서I 국가 승인서</li> </ul>
3. 모니터링 및 보고서 작성	-	-
4. DOE(B)의 검증 및 인증	• 검증보고서	• 검증보고서
5. CER 발급	• 인증보고서	• 인증보고서
6. CER 계좌이체	-	• 부속서I국가 승인서

청정개발체제 사업 수행자는 청정개발체제 사업이 추진될 청정개발체제 유치국(비부속서I)과 투자국(부속서I)의 청정개발체제 사업 승인 기구에 청정개발체제 사업 국가승인서를 요청하게 된다. 그러나 제18차 정정개발체제 집행위원회('05.2)회의에서 청정개발체제 사업 등록단계에서는 비부속서I 국가의 청정개발체제 사업 국가승인서만 제출하여도 등록이 가능하도록 결정하였으므로, 이런 경우 CER의 계좌이체를 요청하는 단계에서 부속서I국가의 승인서를 포함하도록 결정하였다. 청정개발체제 사업 유치국의 청정개발체제 사업 국가승인기구(DNA)는 자국내 청정개발체제 사업 수행이 지속가능한 개발을 이루는데 도움이 되는가를 평가하고 제안된 사업이 환경에 미치는 영향이 크다고 판단되는 경우, 사업수행자는 유치국 요구한 절차에 따라서 환경영향평가를 실시해야 한다. 유치국

의 청정개발체제 사업 국가승인기구가 제안된 청정개발체제 사업이 자국의 지속가능한 개발에 도움이 된다고 결정하면, 청정개발체제 사업 허가서류를 사업 수행자에게 발급한다.

우리나라의 청정개발체제 사업 국가승인 발급절차는 <그림 4>와 같다. 사업자가 청정개발체제 사업계획서 등을 포함하여 청정개발체제 사업 신청서를 국무조정실 산업심의관실에 제출하면, 산업심의관실은 관련부처의 의견수렴을 통하여 제안된 청정개발체제 사업을 검토할 부처를 선정한다. 선정된 부처는 제안된 청정개발체제 사업에 대한 검토의견을 작성하고, 산업심의관실은 이를 근거로 청정개발체제 사업 승인서의 발급여부를 결정한다.



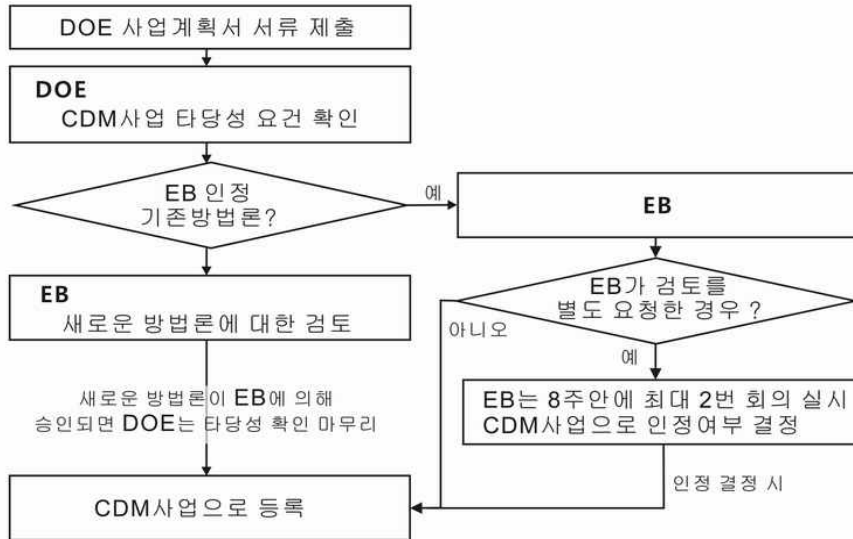
<그림 4> 우리나라의 청정개발체제 사업 국가승인 절차

### 3) 3단계 : 청정개발체제 사업 등록

청정개발체제 사업운영기구(DOE)는 제안된 청정개발체제 사업 계획서(CDM-PDD), 청정개발체제 사업 타당성 보고서(Validation Report)와 관련 국가의 사업승인서, 사업자 간 지정동의서(Modality of Communication) 등을 첨부하여 청정개발체제 집행위원회(EB)에 청정개발체제 사업 등록을 요청한다(<그림 5>참조).

청정개발체제 사업 운영기구에서 등록 요청한 청정개발체제 사업과 관련하여, 당사국 또는 청정개발체제 집행위원회 위원 중 최소 3명이 제안된 청정개발체제 사업의 검토

(review)를 요청하지 않으면, 청정개발체제 집행위원회는 청정개발체제 사업 등록 요청 접수일 이후 8주 안에 청정개발체제 사업 등록을 종료해야 한다(소규모 사업일 경우 4주).



〈그림 5〉 청정개발체제 사업 등록 절차

출처: <http://unfccc.int/cdm>

청정개발체제 사업을 청정개발체제 집행위원회에 등록할 때 소요되는 비용은 연간 평균 예상 감축량을 기준으로 첫 15,000톤에는 1 CER당 USD 0.1의 행정비용이 적용되며, 15,000톤 이후에는 1 CER당 USD 0.2의 행정비용이 적용된다. 따라서, 최대로 지불할 수 있는 비용은 USD 350,000이다. 단, 인증기간(crediting period) 동안 연간 평균 예상 감축량이 15,000톤 미만의 사업에 대해서는 등록비용(registration fee)가 면제된다. 이시기에 가장 중요한 것은 베이스라인(Baseline)과 승인된 베이스라인 산정 방법론에 의해 추정되는 예상 감축량의 산정이다.

베이스라인은 저감사업이 없을 경우 발생할 온실가스 양으로서 저감사업이 이루어졌을 경우와 그렇지 않은 경우를 가정하여 승인된 방법론에 의거하여 비교 계산되는 추적의 추정치 또는 합의에 의하여 도출되는 배출량이다 (UNFCCC, 2010; IEA, 2010).

베이스라인은 사업별로 승인된 방법론에 따라 사업 참여자들에 의해 정해진다. 따라서

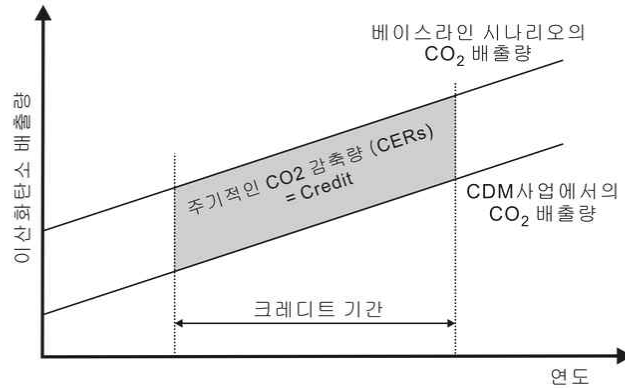
방법론은 청정개발체제 사업에서 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 청정개발체제 사업자가 승인된 방법론이 아닌 새로운 베이스라인 또는 모니터링 방법론을 적용하는 사업을 추진한다면, 청정개발체제 사업 운영기구(DOE)를 통하여 청정개발체제 집행위원회에 관련 방법론을 제출하여 승인을 받아야 하는데 청정개발체제 집행위원회는 방법론 검토 절차에 따라서 제안된 새로운 방법론을 4개월 안에 신속히 검토하여야 한다.

〈표 8〉 청정개발체제 사업 추진관련 소요비용 예측

구 분		내 용	비 용	
1단계	사업 준비	PDD 작성	US\$ 25,000~38,000/건	
		베이스라인 설정	US\$ 18,000~23,000	
		모니터링 계획 설정	US\$ 7,000~15,000	
		환경영향평가 (법적 요구되는 대규모 사업 해당)	US\$ 40,000	
		Stakeholder's Consulting	미확정	
2단계	사업 타당성 검토 및 등록	청정개발체제사업 운영기구의 청정개발체제 사업 타당성 확인 보고서 작성	US\$ 15,000~30,000	
		국가 청정개발체제 사업 승인기구 승인비용 (각국마다 상이)	우리나라는 없음	
		UNFCCC 청정개발체제 사업 등록(등록비 소요)	US\$ 0.00~35,0000/건	
		행정비용	첫 번째 15,000 CERs	US\$ 0.11 /CER
			15,000 CERs 이후	US\$ 0.20 /CER
3단계	사업계획서에 따른 모니터링 실시	청정개발체제 사업 모니터링 보고서 작성	US\$ 2,000~3,000	
4단계	청정개발체제 사업 인증 및 CER 발급	청정개발체제 사업 verification 및 certification 보고서 작성 비용	7,000 US\$/건	
		개도국 기후변화 적응 비용:	매년 CER 판매수익 2%	
		행정비용: 확정 없음(청정개발체제사업 등록비 공제)	-	

일단 청정개발체제 집행위원회가 제안된 방법론을 승인하면, 새로이 승인된 방법론은 관련 지침서류들과 함께 공개된다. 만일 청정개발체제 집행위원회 또는 COP/MOP가 승인된 방법론에 대한 수정을 요구하는 일이 발생하게 되면, 어떠한 청정개발체제 사업도

이 방법론을 사용할 수 없다.



〈그림 6〉 베이스라인 설정과 이산화탄소 배출량

출처: 한국교통연구원, 연구총서 2008-03 교통부문 CDM 활성화 방안

#### 4) 4단계 : 모니터링

청정개발체제 사업에 대한 모니터링은 사업자가 청정개발체제 사업계획서(CDM-PDD)에 제시한 모니터링 계획에 따라 청정개발체제 사업자 또는 제3의 기관이 실시한다. 청정개발체제 사업자는 청정개발체제 운영기관(DOE)에 제출한 사업계획서에 포함된 계획에 따라 사업 전 기간 동안 모니터링을 실시해야 한다. 모니터링은 정확한 배출 자료를 수집하기 위한 것으로 다음과 같은 조건을 충족시켜야 한다.

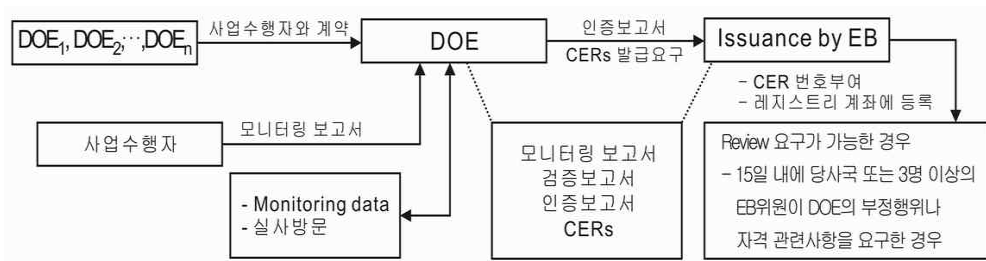
- 향후 검증의 토대가 되는 모니터링 계획은 배출 감축 및 기타 사업 목표들이 실제로 달성되고 있다는 신뢰를 주어야 한다.
- 베이스라인과 사업으로 인한 온실가스 배출과 이에 따른 위험들을 모니터 할 수 있어야 한다.

청정개발체제 사업자는 청정개발체제 사업의 검증(verification) 및 인증(certification)을 위하여 청정개발체제 사업계획서의 모니터링 계획에 따라 모니터링 보고서를 작성하여 지정된 청정개발체제 운영기구(DOE)에 제출해야 한다. 소규모 청정개발체제 사업의 경우,

타당성 확인(validation)과 검증 및 인증 (verification & certification)을 동일한 청정개발체제 사업운영기구에서 실시할 수 있으나, 일반 청정개발체제 사업은 타당성 확인과 검증 및 인증을 담당하는 청정개발체제 사업운영기구는 서로 달라야 한다.

#### 5) 5단계 : 청정개발체제 사업 검증 및 인증

청정개발체제 사업 검증은 검증기간 동안 해당 프로젝트의 진행상황을 주기적으로 검토함으로써 실질적인 온실가스 배출감축 실적을 결정하는 것을 목적으로 한다. 청정개발체제 사업자가 선택한 청정개발체제 사업운영기구는 청정개발체제 사업 모니터링 보고서의 검토 및 현장 조사 등을 통하여, 청정개발체제 사업자가 사업 초기단계에 제출한 사업계획서 및 모니터링 계획서와의 일치 여부, 모니터링 방법 평가와 결과 검토 및 온실가스 감축량 결정방법에 대한 평가 등을 실시하게 된다.



〈그림 7〉 CER 발급 절차

출처: <http://unfccc.int/cdm>

청정개발체제 사업 운영기구(DOE)는 청정개발체제 사업자, 투자국 및 유치국과 청정개발체제 집행위원회에 서면으로 보고하고, 내용 공표를 통하여 검증된 양에 해당하는 CER의 발행을 요청한다. 청정개발체제 사업 운영기구는 검증보고서를 근거로 일정기간 내에 청정개발체제 사업이 달성한 추가적인 배출저감량<sup>7)</sup>에 대한 인증 보고서를 작성한다.

#### 6) 6단계 : CERs 발급

7) 추가적인 배출 저감량: 해당 청정개발체제 사업이 존재하지 않는다면 발생하지 않을 감축량

청정개발체제 집행위원회는 청정개발체제 사업 운영기구가 제출한 인증보고서를 접수하고, 15일 이내에 관련 당사국(청정개발사업 투자국 및 유치국) 또는 청정개발체제 집행위원회 위원 중 적어도 3명 이상이 CERs 발행의 재검토(review)를 요청하지 않으면 CERs을 발급하게 된다. 청정개발체제 집행위원회로부터 CERs 발급을 요청받은 청정개발체제 레지스트리 관리자는 발급 요청된 CERs를 CDM 집행위원회 미결제좌(pending account)로 발행하게 된다. 청정개발체제 레지스트리 관리자는 미결제좌의 CERs로부터 행정비용, 개발도상국을 지원하기 위한 기금(CERs의 2%)을 공제한 나머지 CERs를 청정개발체제 사업 수행자 및 유치국의 요청에 따라 각각의 계좌로 이전시킨다.

#### 다. 사업 계획서 작성 단계별 고려사항

청정개발체제 집행위원회에서 제공되는 청정개발체제 사업계획서는 크게 6개의 부분으로 구성되며, 단계별 작성 내용을 다음과 같다.

##### 1) 1단계 : 사업개요

청정개발체제 사업 제목, 사업에 대한 간략한 설명, 사업 참여자, 사업에 대한 기술적 설명(사업장의 위치, 분류, 채택된 기술), 인위적 온실가스(GHG) 배출의 감축에 대한 설명, 공적자금의 유입 여부에 대한 서술로 구성된다.

##### 2) 2단계 : 베이스라인 및 모니터링 방법론의 적용

###### 가) 베이스라인 방법론 적용

베이스라인은 청정개발체제 사업이 존재하지 않는 경우 또는 청정개발체제 사업을 수행하지 않았을 경우의 온실가스 배출량에 대한 시나리오로, 청정개발체제 사업계획서에는 베이스라인과 비교하여 그 차이에 해당하는 배출량을 온실가스 감축량(CERs)으로 계산해야 한다. 당사국의 의지에 따라 선택한 임의의 베이스라인에 의해 청정개발체제 사업의 성과가 과대 또는 과소평가될 수 있기 때문에, 베이스라인 설정 시 감축량이 현실적으로 발생가능하고 측정 가능한가(정확성: Accuracy), 신뢰성을 보장할 수 있는가

(투명성: Transparency), 관련 자료는 이용가능한가 등을 고려하여 실질적이며 보수적인 방법으로 설정해야 한다. 청정개발체제 사업의 베이스라인을 설정할 때는 마라케시 합의문에 제시되어 있는 <표 9>의 내용들을 고려해야 한다.

〈표 9〉 베이스라인 방법론 선정 시 고려사항

구분	내 용
①	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 청정개발체제 집행위원회에 승인된 방법론을 이용할 것</li> <li>• 새로운 방법론을 사용할 경우 청정개발체제 사업 등록을 제출하기 이전에 청정개발체제 운영기구는 사업개요, PDD 초안과 제안된 방법론을 청정개발체제 집행위원회에 검토 요청</li> </ul>
②	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 불확실성을 고려하여 가정(assumption), 방법론, 매개변수, 자료출처, 주요인자 및 추가성에 대해 투명하고 보수적인 방법론으로 설정</li> </ul>
③	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업별로 베이스라인을 설정함</li> </ul>
④	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유치국의 다양한 상황을 고려 (베이스라인은 유치국의 고유한 환경에 의해 향후 원별 인위적인 배출이 현재 수준이상으로 상승된다는 시나리오를 포함)</li> </ul>
⑤	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 베이스라인 방법 선정에 있어서는 아래 중에서 가장 적절한 것을 선택               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존의 실질 혹은 역사적인 배출량</li> <li>- 투자의 장벽을 고려한 경제적으로 매력에 있는 기술로부터 배출량</li> <li>- 비슷한 사회적, 경제적, 환경적 및 기술적 환경에서 과거 5년 동안에 수행된 비슷한 사업 활동 (성과가 동일 범주의 상위 20% 이내)의 평균 배출량</li> </ul> </li> </ul>
⑥	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관련 국가 및 부문별 관련 정책, 지리적, 경제적 환경 및 발전부문 확대 계획 고려</li> </ul>
⑦	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유치국의 고유 환경에 의해 향후 인위적인 배출은 현재 수준 이상으로 상승된다는 시나리오를 포함</li> </ul>

#### 나) 모니터링 방법론 적용

청정개발체제 사업계획서의 모니터링 방법론은 베이스라인 방법론과 동일하게 청정개발체제 집행위원회로부터 승인을 받은 모니터링 방법론만을 사용해야 하며 <표 10>의 사항을 포함해야 한다. 또한, 위에서 선택한 베이스라인 및 모니터링 방법론에 따라 사업경계 내에서 온실가스 배출량 감축량(CERs)을 산출하여 제시하여야 한다. 제시되는 온실가스 배출 감축량은 CO<sub>2</sub> 상당량 (예, 톤CO<sub>2</sub>)으로 표시되어야 한다.

〈표 10〉 모니터링 방법론 선정시 고려사항

구분	내 용
①	• 크레딧 기간 동안 사업 범위 내에서 발생하는 온실가스 배출원에 의한 인위적인 배출량 산정 혹은 측정을 위한 모든 관련 데이터의 수집과 기록
②	• 크레딧 기간 동안 사업 범위 내에서 온실가스 배출량의 베이스라인을 결정하는데 필요한 모든 관련 데이터의 수집과 기록
③	• 크레딧 기간 동안 사업활동에 기인한 사업범위 밖의 모든 가능한 온실가스 배출량 증가에 대한 모든 잠재적인 발생원(potential sources) 파악 및 자료수집 및 보관
④	• 청정개발체제 사업 타당성 검토 단계에서 고려되었던 사업이 환경에 미치는 영향 기록 및 수집
⑤	• 모니터링 절차에 대한 QA/QC(Quality Assurance and Control)
⑥	• 청정개발체제 사업 활동에 의한 온실가스 배출 감출량의 주기적인 계산과 누출효과에 대한 절차

### 3) 3단계 : 사업기간/CER 발급

사업계획서 작성 3단계는 청정개발체제 사업기간 및 발생된 CER의 유효기간 (또는 CER 크레딧기간<sup>8)</sup>)으로 구성된다.

- 최대 2번의 사업기간이 갱신 가능하며, 1회당 최대 7년 (최대 총 21년 가능). 단, 갱신 시 지정 청정개발체제 운영기구가 베이스라인의 유효성 또는 새로운 베이스라인의 사용에 대한 판단이 필요하며, 신규 데이터의 사용 여부 등을 청정개발체제 집행위원회에 통보하여야 함
- 베이스라인 갱신 없이 최대 10년

### 4) 4단계 : 환경 영향

제안된 청정개발체제 사업 및 관련 활동이 환경에 미칠 수 있는 영향을 기술하는 것으로써, 환경에 미치는 영향이 크다고 간주될 경우, 환경영향평가를 실시해야 한다. 우리나라

8) 크레딧 기간: 청정개발체제 사업 수행에 따라 저감되는 온실가스량을 CERs로 발생할 수 있는 기간

라의 경우에는 「환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법」에 의해 환경영향평가가 필요한 사업의 경우 반드시 환경영향평가보고서를 첨부하도록 되어 있기 때문에, 다른 나라에 비해 환경영향 분석의 행정적 절차는 비교적 수월한 편이다.

#### 5) 5단계 : 청정개발체제 사업의 영향 지역, 단체 및 개인의 의견

이해관계자(stakeholders)는 사업에 영향을 미치거나 혹은 영향을 받을 수 있는 개인, 단체 혹은 공동체를 포함하는 다수를 의미하며, 이러한 이해관계자의 의견을 어떠한 과정과 방법으로 수렴하였는지에 대해 설명이 포함되어야 한다.

#### 6) 6단계 : 기타

기타(annexes) 부분에서는 사업 당사자의 연락처 정보, 공적자금에 관한 정보, 베이 스라인 산정 시 사용한 데이터 및 모니터링 계획 등을 첨부하도록 되어있다.

## 제5절 청정개발체제 탄소감축량 산정방법

교토의정서에서 규정하는 6가지 온실가스 배출물질 중 도로교통부문에 의하여 발생하는 주 물질인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 화석연료 연소를 통해 발생되며 이는 에너지소비량으로 측정가능하다(〈표 11〉 참조). 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 경우 대기 중으로 방출되면 100년 이상 머무르며, 열을 흡수하는 기체로는 수증기 다음으로 풍부할 뿐만 아니라 인위적 온실효과에 대한 기여도는 50% 정도나 되므로 주요 저감 대상이다. 이러한 이유로 도로교통부문에 있어서 여러 온실가스 오염원 중에서 이산화탄소의 배출량 추정에 주된 관심이 맞추어 진다.

〈표 11〉 지구온난화 가스의 종류, 주요 배출원 및 주요 특성

지구온난화 가스 종류	주요 배출원	주요 특성
이산화탄소 (CO <sub>2</sub> )	화석 연료 사용 / 산업 공정	에너지 절약, 후처리 불가
메탄 (CH <sub>4</sub> )	폐기물 / 농업 / 축산	발생원 광범위, 모집 어려움
아산화질소 (N <sub>2</sub> O)	산업공정 / 비료사용	발생원 광범위, 모집 어려움
수소불화탄소 (HFCs)	반도체 세정용, 냉매, 발포제 사용	발생원 명확함, 증가세 빠름
과불화탄소 (PFCs)	반도체 제조	화학적으로 안정적, 분해 어려움
육불화황 (SF <sub>4</sub> )	LCD 모니터 제조, 자동차 생산 공정	현재 파괴기술 미확립

출처: IPCC, Revised 1996 Guideline for National Greenhouse Inventories

자료: 에너지관리공단, 기업을 위한 청정개발체제 사업 지침서의 구성, 2007

도로교통부문 온실가스 배출량 산정방법은 일반적으로 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)가 제시한 지침서인 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories의 내용을 따른다(IPCC 2010). IPCC 지침서는 도로교통부문별 이산화탄소 등의 온실가스 배출량 산출을 위한 기본적인 방법론과 온실가스 종류별 배출계수 자료 등을 제시한다.

## 1. IPCC 가이드라인의 탄소배출량 추정방법

IPCC Guideline에 제시되어 있는 이산화탄소 배출량 산정 방법은 Tier 1, Tier 2, Tier 3로 구분되며, 각 국가별로 보유하고 있는 기초자료의 종류와 형태 등을 고려하여 적절한 것을 사용하도록 권고되어 있다.

### 가. Tier1 방법

Tier 1 방법은 기초자료가 미비하거나 확보가 어려울 경우 주로 적용하는 방법으로 에너지 소비량에 배출계수를 곱하여 산출하는 가장 기본적인 산출방법이다. IPCC Guideline에는 도로, 항공, 철도, 해운 등 분야별로 Tier 1 방법을 제시하고 있는데, 기본구조는 식 (1)과 같다.

〈표 12〉 IPCC 가이드라인의 연료종류별 탄소배출계수

연료 구분		탄소배출계수				
		Kg C/GJ	Ton C/TOE	TJ/103Ton		
액체 화석 연료	1차 연료	원유	20.00	0.829	-	
		천연액화가스(NGL)	17.20	0.630	-	
	2차 연료	휘발유	18.90	0.783	44.80	
		항공가솔린	18.90	0.783	44.59	
		등유	19.60	0.812	44.75	
		항공유	19.50	0.808	-	
		경유	20.20	0.837	43.33	
		중유	21.10	0.875	40.19	
		LPG	17.20	0.713	47.31	
		납사	20.00(a)	0.829	45.01	
		아스팔트(Bitumen)	22.00	0.912	40.19	
		윤활유	20.00(a)	0.829	40.19	
		Petroleum Coke	27.50	1.140	31.0	
		Refinery Feedstock	20.00(a)	0.829	44.80	
고체 화석 연료	1차 연료	무연탄	26.80	1.100	-	
		유연탄	원료탄	25.80	1.059	-
			연료탄	25.80	1.059	-
		갈 탄	27.60	1.132	-	
		Peat	28.90	1.186	-	
	2차 연료	BKB & Patent Fuel	(25.80)(a)	1.059	-	
		Coke Oven/Gas Coke	29.50	1.210	-	
		Coke Oven Gas	13.0(b)	-	-	
	Blast Furnace Gas	66.0(b)	-	-		
기체 화석 연료 바이오매스 1	LNG(dry)	15.30	0.637	-		
	고체바이오매스	29.90	1.252	-		
	액체바이오매스	(20.00)(a)	0.837	-		
	기체바이오매스	(30.60)(a)	1.281	-		

1 CO<sub>2</sub> 배출량 계산 시 불 포함; 41.868

TJ/104 toe 적용하여 계수 환산

자료: 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC가이드라인, 환경부, 환경관리공단, 2008

$$E = \sum_j (Fuel_j \times EF_j) \quad (1)$$

여기서,  $E$  : 배출량 (Emission) (Kg)

$Fuel_j$	: $j$ 연료의 사용량(TJ)
$EF_j$	: $j$ 연료의 온실가스 배출계수(Kg/TJ)
$j$	: 연료의 종류 (가솔린, 디젤, 천연가스, LPG등)

에너지 소비량에 <표 12>에 제시된 배출계수를 적용하는 가장 기본적인 산출방식으로 사용되는 연료종류별로 구분하여 온실가스 배출량을 추정하는 방법이다. 거시적인 측면에서 국가배출량 산정에 적합하지만 실제로 배출되는 탄소배출량을 산정함은 다소 부적합하다(김태호 외 3인, 2010).

### 나. Tier2 방법

Tier2방법은 큰 틀에서 배출계수를 사용하는 Tier1의 방법과 유사하나 차종별로 연료 소비량이 다름을 반영하여 온실가스 배출량을 산정하는 방식으로 식 (2)와 같다. Tier1 및 Tier2 모두 실제 도로를 운행하는 차종을 반영하는 미시적 에너지소비량을 근거로 계산하지 않고 거시적인 방법으로 접근하기 때문에 세부적인 대책마련에 참조되기에는 아직까지 무리가 존재한다(국립환경연구원, 2006).

$$E = \sum_{a,b,c} (Fuel_{a,b,c} \times EF_{a,b,c}) \quad (2)$$

여기서, $E$	: 배출량 (Emission) (Kg)
$Fuel$	: 연료의 사용량(TJ)
$EF$	: 연료의 온실가스 배출계수(Kg/TJ)
$a$	: 연료의 종류 (가솔린, 디젤, 천연가스, LPG등)
$b$	: 차종
$c$	: 배출제어기술 (배출저감장치)

### 다. Tier3 방법

Tier3 방법은 다양한 차종들이 운행되는 도로종류, 평균이동거리 등의 운전조건 등을 반영하며 온실가스 배출량을 추정하는 방법으로 식 (3)과 같다.

$$E = \sum_{a,b,c,d} (Distance_{a,b,c,d} \times EF_{a,b,c,d}) \quad (3)$$

- 여기서,  $E$  : 배출량 (Emission) (Kg)  
 $Distance$  : 이동거리를 반영한 연료소비량(TJ)  
 $EF$  : 연료의 온실가스 배출계수(Kg/TJ)  
 $a$  : 연료의 종류 (가솔린, 디젤, 천연가스, LPG등)  
 $b$  : 차종  
 $c$  : 배출제어기술 (배출저감장치)  
 $d$  : 운전조건 (도로종류 등)

### 라. IPCC 가이드라인의 탄소배출량 추정방법 비교

온실가스 배출량 추정에 사용되는 Tier1, Tier2, Tier3 방법들은 <표 13>에 제시된 장단점이 있다. 이들 방법들은 기본적으로 교통수요관리를 통하여 온실가스 배출을 감소시키기 위한 방법론의 분석을 지원하기 위하여 적용되고 있다. 구체적으로, 이들 방법이 고려하는 항목 중 효과가 기대되는 운영시간대 및 도로 포화수준 등을 고려하지 않고 있어 본 연구에서 수행하고자 하는 교통운영체계 개선을 통하여 온실가스 배출을 감소시키기 위한 방법으로 적합하지 않다. 이를 통하여 본 연구에서 사용하고자 하는 방식을 선정하는 과정에 제4의 추정방법이 새롭게 개발될 필요가 있음을 확인한다.

<표 13> IPCC 가이드라인 온실가스 추정방법 비교

구분	Tier 1	Tier 2	Tier 3
고려항목	연료	연료, 차종, 배출제어기술	연료, 차종, 배출제어기술, 주행거리
방식	Top-down방식	Bottom-up 방식	
장점	가장 기본적인 방식	-	상세한 수준의 온실가스 배출량 산정 가능
단점	차량 주행거리 고려 미흡	차종별, 에너지 소비량 자료 필요	방대하고 다양한 자료가 필요

자료출처 : 김태호 외 4인 (2010) 도로교통부문의 온실가스 배출량 산정방법론 비교 연구

## 2. 청정개발체제 상정을 위한 기존 방법론

청정개발체제 사업에 있어서 사업 전/후에 해당하는 온실가스 배출량과 감축량 산정방법은 매우 중요한 부분이다. UN에 인증된 기존 방법론을 청정개발체제 사업의 효과 분석에 활용할 경우, 분석방법의 타당성 증명에 소요되는 기간을 단축시킬 수 있는 장점이 있다. 반면에, 새로운 방법론을 활용할 경우 제안 방법론의 타당성을 검증받아야 하므로 많은 시간과 비용이 추가적으로 소요된다.

본 단락에서는 도로교통부문에 있어서, UN에 승인을 받은 2개의 청정개발체제 사업 즉, 콜롬비아 보고타 BRT사업과 인도 델리의 저온실가스 차량 교체사업의 효과분석에 적용되었던 사업 미시행시(베이스라인) 및 사업 시행 시 배출량 모니터링 방법론을 검토한다. 추가로, UN에 인증요청을 시도하였지만, 실패한 사례도 검토하여, 교통운영체계 선진화사업의 탄소감축량 측정 방법론 정립을 위한 시사점을 도출한다.

### 가. UN 승인된 방법론

#### 1) 보고타 BRT사업의 탄소감축량 산정방법 (AM0031)

콜롬비아 보고타 BRT사업은 기존 대중교통 체계 및 개인 자가용 이용자가 BRT승객으로 전환되는 시나리오를 우선적으로 적용하였다. 분석의 물리적 범위는 새로운 BRT나 대중교통 혹은 승객 소송의 도달 범위로 규정하는 방법을 사용하였다.

#### 가) 사업 미시행 시(베이스라인) 탄소감축량 산정방법

##### (1) 분석 시나리오 설정

사업 미시행시(베이스라인)를 위한 시나리오는 3단계에 걸쳐 설정되었다. 1단계에서는 제안된 사업과 동일한 기능을 수행할 수 있는 모든 대안 즉, ① 현재의 도로를 기본으로 하는 대중교통체계 지속, ② 제안한 사업(BRT)이 청정개발체제 사업으로 미시행, ③ 철도나 해운에 기초한 교통체계, ④ 종합적인 교통체계의 개편을 고려하였다. 2단계에서는 1단계에서 설정된 모든 대안에 대해 사업의 추가성을 증명한다. 마지막 3단계에서는 2단계 분석에 의해 하나 이상의 수행 가능한 대안이 나타날 경우 배출량이 가장 낮은 대안

을 베이스라인의 대안으로 선정한다.

## (2) 온실가스 배출량 산정

사업 미시행 시 온실가스 배출량 산출은 운송수단별 승객 당 운송배출계수 산정을 기초로 하였다. 배출계수 산정을 위하여 운송수단을 버스 (대형, 중형, 소형), 승용차, 택시, 오토바이로 구분하였다. 운송수단별 승객 당 운송배출계수 산정은 ① 운송수단 주행거리 별 온실가스 배출량과 수단별 승객수를 이용한 산정 방법과 ② 운송수단 연료 소비량과 승객 수를 이용한 산정 방법을 적용하였다. 경우에 따라 두 가지 방법을 혼용하여 적용하였다.

### (가) 운송수단 주행거리별 운송배출계수 산정

운송수단 주행거리별 운송배출계수는 차종별 연료소비량을 근거로 계산하고, 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 외 메탄(CH<sub>4</sub>)과 아산화질소(N<sub>2</sub>O)의 배출계수는 해당 지역에서 측정된 배출계수를 이용하거나 UN이 승인한 일반적인 운송수단별 기본 값을 이용할 수 있다. 이동수단별 거리에 따른 이산화탄소 배출량은 식(4)를 통하여 추정한다.

$$EF_{KM,i} = \sum_x [SEC_{x,i} \times (EF_{CO_2,x} + EF_{CH_4,x} + EF_{N_2O,x}) \times (\frac{N_{x,i}}{N_i})] \quad (4)$$

여기서,  $EF_{KM,i}$  : 운송수단  $i$ 별 거리에 따른 운송배출계수 ( $gCO_2eq/km$ )

$SEC_{x,i}$  : 차량  $i$ 에 따른  $x$ 연료의 연료 소비량 ( $l/km$ )

$EF_{CO_2,x}$  : 연료 CO<sub>2</sub> 배출계수 ( $gCO_2eq/l$ , GWP)

$EF_{CH_4,x}$  : 연료 CH<sub>4</sub> 배출계수 ( $gCO_2eq/l$ , GWP)

$EF_{N_2O,x}$  : 연료 N<sub>2</sub>O 배출계수 ( $gCO_2eq/l$ , GWP)

$N_i$  : 운송수단  $i$ 의 총 대수

$N_{x,i}$  : 사용하는 연료종류  $x$ 의 운송수단  $i$ 의 대수

식(2)에서 차량별 연료소비량( $SEC_{x,i}$ ) 산정을 위하여 아래 두 가지 방법이 선택적으로 이용될 수 있도록 한다.

- 표본을 이용하여 연료소비량을 측정한다. 보수적으로 추정하기 위해 에너지 소비량이 낮은 20%의 표본은 계산에서 제외한다.
- 국내 혹은 국외에서 출판된 문헌에 기초한 상수 값을 이용한다. 운송수단의 평균연차와 기술을 확인하여, IPCC에서 제안한 상수 값 중 적용 가능한 값이나 비슷한 운송장비의 근거에 기초한 국제 문헌 값을 인용한다.

(나) 운송수단별 연료 소비량과 승객 수를 이용한 운송배출계수 산정

운송수단별 연료소비량과 해당 수단 이용 승객수를 이용한 운송배출계수 산정방법의 적용은 다음의 조건이 충족될 때에만 객관성 유지가 가능하다. 각 운송 수단별로 분류한 연료소비에 관한 자료가 최소오차범위 95% 이내이며 연료소비에 대한 자료가 동일한 시점에 취합된 자료일 때, 지역별 구분이 잘 되어 있으며 이용 승객 자료는 동일한 지역적 경계를 가질 때가 해당된다. 운송수단별 승객 당 운송배출계수 산정에 식(5)를 적용된다.

$$EF_{P,i} = \frac{\sum_x [TC_{x,i} \times (EF_{CO_2,x} + EF_{CH_4,x} + EF_{N_2O,x})]}{P_i} \quad (5)$$

- 여기서,  $EF_{P,i}$  : 사업 미시행시 승객 당 운송배출계수 (*grams*/승객)  
 $TC_{x,i}$  : 운송수단  $i$ 의 연료 총 소비량 ( $l$ )  
 $EF_{CO_2,x}$  : 연료  $CO_2$  배출계수 ( $gCO_2eq/l$ , GWP)  
 $EF_{CH_4,x}$  : 연료  $CH_4$  배출계수 ( $gCO_2eq/l$ , GWP)  
 $EF_{N_2O,x}$  : 연료  $N_2O$  배출계수 ( $gCO_2eq/l$ , GWP)  
 $P_i$  : 베이스라인에서 운송수단  $i$ 로 이동된 승객

(다) 여건 변화에 따른 배출량 변화 고려

기존 교통체계에서 운송수단의 연료별 배출계수는 ① 연료효율이 보다 효율적인 운송수단으로의 대체되거나 또는 ② 운송수단 노후로 인한 온실가스 배출량이 증가되는 요인에 의하여 변할 수 있으므로, 상황 변화에 따른 온실가스 산출량 변화를 사업 미시행시 분석에 고려하여야 한다.

(라) 사업 미시행시 관련인자 산출계수 변화 고려

교통수단 수단 전환 등과 같은 사회적 변화요인이 존재할 이를 사업 미시행시(베이스라인) 산출계수에 반영하여야 한다. 이러한 상황은 각 수단별 탑승률의 변화, 승객 수의 변화, 승객의 이동거리 변화, 승용차 사용 연료 종류변화를 포함한다. 이 때 승용차에서 사용되는 연료의 종류가 변화할 때 새로운 연료에 의한 온실가스 배출계수가 이전의 온실가스 배출계수보다 높을 경우는 반영할 필요가 없다.

(마) 정책에 따른 영향 고려

온실가스 배출에 미치는 효과가 정략적으로 측정 가능한 정책인 경우 고려하여야 한다.

(바) 온실가스 배출량 산정

사업 미시행 시(베이스라인)에 따른 온실가스 배출량은 수단을 통해 운송되는 모든 승객 수를 반영한다. 사업 미시행시 기준에 이용하였던 운송수단별로 산정한다. 운송된 승객 수는 승객 수의 변동을 반영하여 연차별로 결정한다. 사업 미시행 시 배출되는 온실가스 산정은 식(6)을 적용한다.

$$BE_y = \sum_i (EF_{p,i,y} \times P_{i,y}) \quad (6)$$

여기서,  $BE_y$  :  $y$ 년 간 발생하는 사업 미시행시 (베이스라인) 배출량 ( $tCO_2eq$ )

$EF_{p,i,y}$  : 승객 당 운송 배출계수 ( $grams/승객$ )

$P_{i,y}$  : 사업 미시행시 차량  $i$ 의  $y$ 년에 사업에 의해서 수송될 승객 수

이 때 연도별, 수단별 승객 당 온실가스 추정이 필요하다. 해당 온실가스 배출계수를 산정을 위하여 식(7)을 적용한다.

$$EF_{p,i,y} = EF_{p,i} \times IR_{i,t} \times CD_{i,y} \quad (7)$$

여기서,  $EF_{p,i,y}$  :  $y$ 년 간 운송수단  $i$ 의 승객 당 운송 배출계수 ( $grams/승객$ )  
 $EF_{p,i}$  : 사업 시작 전 승객 당 운송배출계수 ( $grams/승객$ )  
 $CD_{i,y}$  :  $y$ 년 간 운송수단  $i$ 의 변화된 운송거리의 보정계수  
 $IR_{i,t}$  :  $y$ 년 운송수단  $i$ 의 기술적 개선요소  
 $t$  :  $y$ 년 배출계수의 산출을 위한 연료 사용된 데이터의 년 수

연차별 분석과정에서  $y$  연도에 운송수단  $i$ 의 승객 수를 산정을 위하여 식(8)이 제시되었다. 식(8)을 적용하여 운송수단  $i$ 의 이동승객 수를 추정한다.

$$P_{i,y} = P_y \times S_{i,y} \quad (8)$$

여기서,  $P_{i,y}$  : 운송수단  $i$ 에 의한 사업에 의해 이동된 승객 (백만 명)  
 $P_y$  :  $y$ 년 동안 모니터링 된 사업에 의해 총 이동된 승객 (백만 명)  
 $S_{i,y}$  : 사업 부재후 이용된 운송수단  $i$ 에 의해 운송된 승객의 비율 (%)

#### 나) 사업 시행 시 탄소 배출량 산정 및 모니터링 방법

사업 시행에 따른 탄소 배출량은 사업 미시행시(베이스라인)의 탄소감축량 산정을 위해 설정한 시나리오를 제외하고, 사업 미시행 시의 산정방법과 동일한 절차를 따른다. 사업에 따른 모니터링은 승객 수, 연료 소모, 간선 및 지선버스의 운행거리 정보가 수집되고 있으며, 두 달마다 이루어지는 이용자 설문에 의해 이루어진다. 또한, 누출과 관련하여 도로건설을 위해 사용된 시멘트의 양, 택시 및 기타 버스의 탑승률 등의 정보가 수집된다.

#### 2) 저온실가스 차량 교체사업의 탄소감축량 산정방법 (AMS.Ⅲ.C)

온실가스 배출을 적게 하는 열차 차량으로 차량을 교체를 하였을 경우 해당 사업으로 인하여 발생하는 탄소감축량을 추정하는 방법이다. 이때 분석방법론의 분석대상은 사업 대상 운송수단(차량)이 된다.

## 가) 사업 미시행시(베이스라인) 산정방법

사업 미시행시 (베이스라인)의 탄소배출량은 식(9)에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{베이스라인 배출량 (tCO}_2\text{/yr)} & (9) \\
 & = (\text{에너지사용량/운송수단의 단위서비스}) \times (\text{연 평균 서비스/운송수단}) \\
 & \quad \times (\text{운송수단 개체 수}) \times (\text{운송수단에 사용된 연료의 배출계수}) \\
 & = \text{운행거리(km/대} \cdot \text{yr)} \times \text{운송수단의 개체 수(대)} \\
 & \quad \times \text{휘발유 배출계수 (tCO}_2\text{/l)} / \text{휘발유의 평균연비 (km/l)}
 \end{aligned}$$

여기에서, 운행거리는 승용차의 평균 운행거리로 약 20,000km/대 · yr로 가정하고, 운송수단의 수는 사업 시작 시 200대로 시작하여 계획차량 1,000대가 될 때까지 1년에 200대씩 증가시키는 방법을 사용한다. 휘발유 사용에 따른 온실가스 배출계수는 IPCC 가이드라인이 제시하는 지침을 적용한다.

## 나) 사업 시행시 산정 및 모니터링 방법

온실가스 감축량 산정방법은 사업 미시행시 (베이스라인) 배출량이나 사업에 의한 배출량이나 동일하며 식(10)으로 계산된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{사업 시행에 따른 탄소 배출량 (tCO}_2\text{/yr)} & (10) \\
 & = \{ \text{운행거리(km/대} \cdot \text{yr)} \times \text{운송수단의 개체 수(대)} \times \text{휘발유 배출계수 (tCO}_2\text{/l)} \\
 & \quad / \text{휘발유의 평균연비 (km/l)} \} + \{ \text{운행거리(km/대} \cdot \text{yr)} \times \text{운송수단의 개체 수} \\
 & \quad (\text{대}) \times \text{천연가스 배출계수 (tCO}_2\text{/m}^3) / \text{천연가스 연비 (km/m}^3) \}
 \end{aligned}$$

사업에 따른 모니터링은 사업을 시행되는 운송수단의 수를 파악하고, 표본조사를 통하여 연간 서비스 단위를 모니터링 한다. 운송수단이 전기자동차일 경우, 차량운행에 소요

되는 전력 생산에 따른 배출량을 고려해야 하며, 하이브리드 자동차에 관해서 화석연료 사용량과 전력 사용량이, 전기자동차에 대해서는 전력소비량을 모니터링 한다.

## 나. UN 인증 거부된 방법론

UN에 인증요청을 시도하였지만 승인에 실패한 사례를 검토하여 교통운영체계 선진화 사업의 탄소감축량 측정 방법론 정립에 참고할 시사점을 점검한다.

### 1) 온실가스 감축을 위한 수송체계 전환 (NM0276)

브라질의 철강공장에서 생산되는 열연강판을 기존의 육상운송수단에서 해상운송수단으로 전환하여 운송함으로써 온실가스를 감축하고자 하는 사업에 적용된 방법론으로 UN에 인증을 요청하였으나, 인증요청에 실패된 사례로 거부된 주요 사유는 다음과 같다.

- 방법론의 적용범위가 광범위
- 전체 운송 노선과 이에 따른 사업의 범위 불명확
- 사업 미시행시 온실가스 배출량이 보다 명확한 산정 필요
- 온실가스 감축량을 정확히 측정할 수 있는 모니터링 체계 미흡
- 경제성 분석을 위한 추가성과 사업 미시행시 시나리오 선택 미흡

### 2) 대중교통 공급 최적화 (NM0257)

필리핀의 마닐라 시에서 버스의 평균 탑승률을 증가시켜 버스체계의 효율을 높이고, 이에 따라 온실가스를 감축하고자 하는 사업에 적용된 방법론으로, UN 승인요청에 실패한 주요 사유는 다음과 같다.

- 방법론의 적용범위가 광범위
- 버스 서비스 수준에 대한 대안 설정
- 사업 미시행시(베이스라인) 온실가스 배출량 산정 기준의 모호

- 실제 온실가스 감소량의 측정 체계의 미비

#### 다. 시사점

UN에 인증된 두 방법론의 공통점은 탄소배출량의 계량이 개관적이라는 것에 있다고 할 수 있다. 보고타 BRT사업의 산정방법론이 인도 델리의 저온실가스차량 교체사업의 방법론에 비해, 구체적이긴 하나 IPCC 가이드라인이 권하고 있는 기본적인 산정 방식을 벗어나지 않고 있음을 주목해야 한다.

한편, UN이 인증에 거부된 방법론의 공통점은 제안한 방법론의 범위가 광범위하다는 것이다. 현재까지 UN에 제안된 도로교통부문의 청정개발체제 사업은 공통적으로 교통수단의 전환에 따른 온실가스 감소효과를 주 대상으로 하고 있기 때문에, 교통수단을 이용하는 주체의 이동범위를 명확히 규정하는 것이 매우 어렵다. 이와 같이, 분석 범위를 적절히 정하는 노하우가 UN 인증을 성공적으로 이루어낼 수 있는 하나의 방법이 될 수 있다.

UN 인증에 실패한 또 하나의 주된 사유는 청정개발체제 사업 미시행 시 발생하는 온실가스 배출량의 산정기준이 합리적이지 못하다는 것이다. 이는 사업과 관련해 존재할 수 있는 다양한 대안이 충분히 고려되지 않았기 때문이다. 또한 실제 온실가스 감소량을 객관적으로 측정하고 분석하는 모니터링 체계구축의 미비를 들 수 있다.

## 제3장 교통운영선진화방안 탄소감축량 측정방법

교통운영체계선진화방안은 19개의 독립적인 세부과제를 포함하고 있다. 이러한 세부과제들은 각각의 독립된 도로교통 운영방안을 포함하며 해당 방안이 적용되는 지역과 장소에 따라 그 효과 역시 다양하게 나타난다. 제2장에서 검토한 바와 같이 교통운영체계선진화방안은 법·제도 측면에서의 선진화라는 틀에서 출발하였기에 이들 19개 세부과제 모든 항목으로부터 온실가스 감축을 기대하기가 어려울 수 있다.

교통운영체계선진화방안 세부과제의 탄소감축량 측정방법 개발에 앞서 전체 세부과제 중 탄소감축이 기대되는 항목 중 경찰이 주관하여 추진하는 항목들을 점검하여 선별한다. 선별된 세부과제들을 대상으로 온실가스 배출량 측정에 관한 방법을 고안한다.

### 제1절 분석대상 세부과제 선정

제2장에서 UN인증에 실패한 기존 방법론들을 검토하였으며 그 주요 실패원인으로 ① 제안 방법론의 범위가 광범위하여 제안한 청정개발사업의 효과를 측정하는데 어려움이 있는 것과 ② 탄소감축량 산정이 비합리적이고 객관적으로 측정/분석하는 기술의 명확함 부족에 있다는 것을 확인하였다. 기존 UN인증 실패된 사례의 원인을 반영하며 교통운영체계선진화방안의 19개 세부과제들에 대하여 검토한다.

#### 1. 세부과제 내용적 특성 파악

교통운영체계 선진화과제의 19개 세부과제에 해당하는 주요내용을 <표 14>에 정리하였다. 세부과제 중 온실가스 저감에 직접적으로 영향을 미치지 않는 내용들을 검토하여

해당 세부과제를 분석대상 과제에서 제외한다. 1단계 두 번째 세부과제인 신호기 위치조정이 좋은 예이다. 신호기 위치조정은 교차로를 건너기 전에 이전하며 설치하는 것이다. 이렇게 함으로 신호교차로를 주행하는 차량이 적색신호에 정지선을 위반하며 정지할 경우 운전자 시야에 신호등이 들지 않는 상황을 제공하여 운전자들이 스스로 정지선 준수율을 높이도록 유도하는 교통 환경을 제공한다. 정지선 준수율 향상으로 인하여 횡단보도 내에 차량과 횡단보행자가 혼재기회가 줄어들어 교통안전을 증진시키는 효과가 존재한다. 이를 통한 교통사고 처리비용 및 온실가스배출 저감으로 인한 효과가 간접적으로 존재하나 도로교통 부문 운영효율 개선으로 인한 직접적 효과는 기대할 수 없다.

주말·휴일주차허용의 경우는 주말 및 휴일동안 승용차량 이용을 활성화하고 도로변 주차활동 증가로 인한 도로용량저하를 발생하게 하여 오히려 온실가스 배출량이 증가될 수 있는 경우에 해당된다. 이는 현재에도 주말 및 휴일 유원지 및 상업지 도로변에 공공연히 이루어지고 있는 불법주차 운전자들을 합법주차 운전자로 보호하도록 법제도 및 교통 환경을 개선하는 노력이다. 해당 항목도 법제도측면에서는 합당하나 온실가스배출 저감문제로 기대하기 어렵다. 우회전신호등 운영의 경우도 우회전차량의 대기시간을 증가하게 하여 온실가스 배출을 증가하게 한다.

## 2. 청정개발효과 적용성 검토

〈표 14〉에 정리된 교통운영체계선진화 세부과제 내용들을 기반으로 ① 온실가스 감축 효과를 객관적, 합리적으로 측정가능하게 하는 기초자료 가용성 및 ② 경찰 주관사업 여부 등을 고려하여 선진화사업 세부과제를 〈표 15〉와 같이 분석하였다.

〈표 14〉 교통운영체계 선진화방안 19개 과제 및 주요내용

단계	과제	주요내용
1단계 (4개)	① 점멸신호 운영	교통량 변화에 따라 교차로·단일로 차량신호를 점멸신호로 운영하여 탄력적인 신호운영 확대
	② 신호기 위치 조정	신호기 위치를 교차로 건너편에서 교차로 진입前 정지선 부근으로 조정하고 보조신호등 등을 별도설치
	③ 보행자 작동 신호기 설치	보행량이 적거나, 차량신호가 점멸신호로 전환되는 곳에 보행자 편의를 위한 “보행자 작동 신호기” 설치
	④ 주말·휴일 주차 허용	국민편의 제고를 위해 주말·휴일에 가족단위 외출이 많은 다중이용시설 주변도로에 주차 허용
2단계 (9개)	① 비보호좌회전 확대	교차로 대기시간 감소를 위해 “비보호좌회전” 을 확대하면서 여건이 성숙되면 녹색신호 좌회전 허용
	② 회전교차로 활성화	통행량이 적어 신호통제의 필요성이 낮고 교차로 엉킴상이 잦은 多枝교차로는 회전교차로로 운영
	③ 우측보행 확립	보행자 안전 및 글로벌 보행문화 정착을 위해 좌측통행 원칙에서 “우측통행 원칙” 으로 전환
	④ 지정차로제 개선	교육·홍보 및 계도·단속을 통해 지정차로제의 준수율을 높이면서 1.5톤 화물차에 대한 제도개선 추진
	⑤ 보행신호 점멸시작시점 조정	보행자의 불안감을 유발하는 현행 보행신호 점멸 시작시점을 1/4 시점에서 1/2 시점으로 조정
	⑥ 교통섬 확대	광폭교차로에서 보행신호가 끊겨 횡단보도 중간에 보행자가 고립되지 않도록 보행자 교통섬 설치 확대
	⑦ 생활도로 일방통행 운영	편도 1차로 생활도로 일방통행 전환
	⑧ 좌회전 신호 보완	신호감응 시스템 설치 및 U·P턴 확대추진
	⑨ 자전거 신호등 설치	자전거 도로에 “자전거 전용신호등” 설치
3단계 (6개)	① 직진우선 신호원칙 확립	“先行 좌회전” 신호순서 비율을 단계적으로 축소하여 ‘11년까지 원칙적으로 모든 교차로를 “先行직진” 전환
	② 신호연동 시스템 개발확대	교차로간 “신호연동시스템” 표준모델 개발 및 연동영감·깨짐현상이 없도록 조사주기 등 메뉴얼화
	③ 무신호교차로 통행우선권 확립	무신호교차로 통행우선권 정립을 통한 교통질서 확립 및 사고발생시 불필요한 분쟁방지
	④ 우회전 신호등 운영	적색신호에 우회전 선별제한을 위해 3색 화살표 우회전 신호등을 도입·설치
	⑤ 우회전 전용차로 설치	적색신호 우회전 선별제한에 따른 우회전 교통정체 예방을 위해 우회전 전용차로 설치사업 추진
	⑥ 도심 주요도로 일방통행 확대	소통 제고를 위해 교통량이 많은 도심 주요도로를 일방통행으로 운영

출처 : 제12·13차 국가경쟁력강화위원회의 ‘기초 법질서 확립을 위한 교통운영체계 선진화방안’ 보도자료

〈표 15〉 교통운영체계 선진화방안 19개 과제의 특성분석

단계	과제	차량 통행 개선	차량 연료 절감	배출 가스 감소	분석 대상	비 고
1단계 (4개)	① 점멸신호 운영	○	○	○	선정	-
	② 신호기 위치 조정	△	X	X	제외	직접적 청정개발효과 없음
	③ 보행자 작동 신호기 설치	○	○	○	선정	-
	④ 주말·휴일 주차 허용	X	X	X	제외	직접적 청정개발효과 없음
2단계 (9개)	① 비보호좌회전 확대	○	○	○	선정	-
	② 회전교차로 활성화	○	○	○	제외	경찰청 청정개발효과 사업대상 외
	③ 우측보행 확립	X	X	X	제외	직접적 청정개발효과 없음
	④ 지정차로제 개선	△	△	△	제외	효과측정방법 광범위
	⑤ 보행신호 점멸시작시점 조정	X	X	X	제외	직접적 청정개발효과 없음
	⑥ 교통섬 확대	△	△	△	제외	경찰청 청정개발효과 사업대상 외
	⑦ 생활도로 일방통행 운영	△	△	△	제외	우회거리 증가, 청정개발효과 미비
	⑧ 좌회전 신호보완(감응식)	△	△	△	제외	국제수준에선 이미 가동 중
	⑨ 자전거 신호등 설치	X	X	X	제외	직접적 청정개발효과 없음
3단계 (6개)	① 직진우선 신호원칙 확립	○	○	○	선정	-
	② 신호연동 시스템 개발·확대	○	○	○	선정	-
	③ 무신호교차로통행우선권확립	X	X	X	제외	직접적 청정개발효과 미비
	④ 우회전 신호등 운영	X	X	X	제외	국제법 이미 대부분 국가 준수
	⑤ 우회전 전용차로 설치	△	△	△	제외	경찰청 청정개발효과 사업대상 외
	⑥ 도심 주요도로 일방통행 확대	△	△	△	제외	우회거리 증가, 청정개발효과 미비

주: ○: 효과 있음, △: 효과 미비, X: 효과 없음

직접적인 온실가스 저감효과를 기대할 수 있어 청정개발체제 효과가 기대되는 교통운영체계선진화방안 세부항목을 선정한 결과 다음의 6개 항목을 도출하였다.

- 점멸신호 운영
- 보행자 작동 신호기 설치
- 비보호좌회전 확대
- 회전교차로 활성화
- 직진우선 신호원칙 확립
- 신호연동 시스템 개발·확대

선정된 6개 과제가 제시하는 운영방법은 모두 신호교차로에서의 신호운영기법에 해당한다. 이들 세부과제가 제시하는 교통운영방법은 서로 독립적이다. 그러나 하나의 현장 교차로에 이들 방안이 공통 적용됨으로 인하여 기대되는 온실가스 배출저감 효과는 독립적이지 않으며 상호 연계적이다.

## 제2절 탄소감축량 분석방법론

교통운영체계선진화방안 세부과제 적용을 통해 기대되는 탄소감축량 분석에 앞서 분석방법이 충족하여야 하는 제약조건 및 기능적 요구사항을 정립한다. 정립된 제약조건 과 요구사항을 토대로 이들을 충족하는 방법론을 개발한다.

### 1. 분석방법 제약조건 및 기능적 요구사항

탄소감축량을 분석하는 방법론을 수립하기에 앞서 방법론이 확보하여야 하는 제약조건 및 요구사항을 아래와 같이 정립하였다. 첫째, 온실가스저감효과가 세부과제별로 서로 독립적이지 않고 연계적이기 때문에 이들 6개 세부과제에 대한 탄소감축량 추정도 독립적으로 수행되어야 한다. 따라서 6개 세부과제로 기대되는 온실가스배출량 저감효과를 모

두 합산하면 실제보다 과다 추정되는 문제가 있기 때문에 개별 세부과제를 하나하나 구분하며 별도로 분석하여야 한다.

둘째, 6개 세부과제로 기대되는 효과를 추정하는 방법론이 서로 다르지 않아야 한다. 개별 효과를 측정하는 분석방법이 도로교통운영방법별로 다를 경우 이를 통해 추정된 효과에 대한 비교가 불가하다. 도로교통 운영특성을 근본적으로 반영하는 통일된 분석 틀을 토대로 6개 세부과제 온실가스저감효과를 분석하여야 한다.

## 2. 분석방법 프레임워크 설정

도로교통부문에서 교통운영체계선진화방안에서 추진하는 내용이 청정개발체제(CDM) 사업으로 시도된 사례는 국내 및 국외사례 모두 전무하다. 기존 도로교통부문에서의 CDM사업은 대중교통으로 승용차수요를 전환(교통수단 전환)하는 교통수요관리 중심이거나 기계공학적인 측면에서 탄소를 저감하는 차량개선 중심이었다. 교통운영체계선진화방안은 도로교통 운영체계 개선에 초점을 맞추고 있다. 선진화방안을 통한 이용자 수단선택 변화는 신교통수단 도입 경우와 같이 직접적으로 관계없다.

지금까지 승인된 온실가스 배출량을 추정하는 UN인증 분석방법 역시 ① 신교통수단 도입 등을 통한 대중교통으로의 교통수단 전환(승용차 이용 억제) 또는 ② 기계적 차량장치 개선의 경우로 국한되어 이를 참고하기가 부적절하다. 본 연구보고서 제2장에 정리된 IPCC가 제시하고 있는 방법론 역시 마찬가지로 교통이용자를 승용차로부터 대중교통으로 전환하는 상황에 해당하여 방법을 적용하는 상황에서부터 근본적 차이가 있다.

교통운영체계선진화방안은 도로교통 운영 상태를 반영하여야 하기 때문에 이들 기존 방법과 다를 수밖에 없다. IPCC 방법론을 적용하여서는 안 된다. 그러나 UN이 제시한 공식적인 이들 방법론을 철저히 무시할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 가능한 한 IPCC 가이드라인에 권고되어 있는 세 가지 방법론(Tier1, Tier2, Tier3) 틀에 분석방법의 기반을 두고 새롭게 도로교통 운영 상태를 반영할 수 있는 내용을 반영하는 틀을 <표 16>의 형태로 개발하여야 한다.

〈표 16〉 도로교통 운영체계 변화에 따른 온실가스 배출량 분석방법 틀

구분	IPCC 가이드라인 권고 방법론			개발이 필요한 도로교통 운영체계 분석방법
	Tier1	Tier2	Tier3	
고려항목	연료	연료, 차종, 배출제어기술	연료, 차종, 배출제어기술, 주행거리	연료, 차종, 운영상태, 운영시간

도로교통 운영체계를 위한 분석방법은 IPCC가 가이드라인에서 제시하는 거시적 분석 모형의 틀을 유지하여야 한다. 그러면서 동시에 도로교통 운영상태가 미시적 수준으로 분석모형의 틀에 반영되어야 하는 어려움이 있다. 거시적 분석과 미시적 분석은 분석의 접근방법이 상이하여 서로 조화하기 쉽지 않다. 미시적 분석결과를 거시적 분석방법에 적용하기 위하여 적절하게 미세한 수준으로 구분된 원단위 방식 추정기법을 적용하는 방법이 틀을 이루어야 한다.

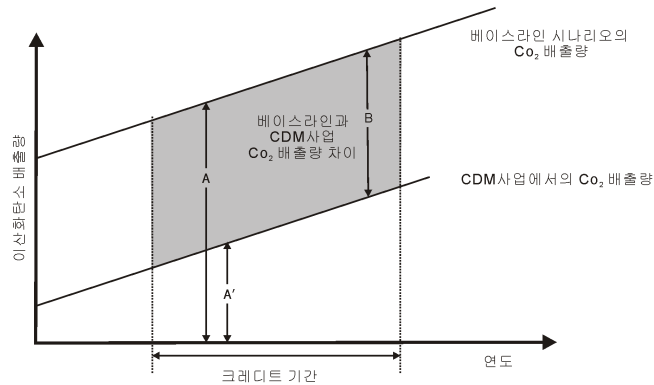
교통운영체계선진화방안은 도시 또는 지방자치단체 권역을 대상으로 하는 면(面)단위 사업으로 현실화된다. 사업특성상 하나의 지역에서 다양한 세부과제들이 동시에 적용 될 수 있다. 이에 따라 사업 미시행시(베이스라인)와 시행시에 발생하는 온실가스 배출량 계량화를 거시적인 측면에서 접근할 필요가 있다.

### 3. 분석방향 설정

본 연구의 목적은 교통운영체계선진화방안 세부과제의 청정개발체제사업 가능성을 검토하는 기초수준에서의 점검이며 분석이다. 향후 실질적인 청정개발체제 사업 신청제안서를 작성할 때 수행하여야 하는 연구와 수준이 다름을 구분하여야 한다. 〈그림 8〉은 온실가스 배출량 추정을 위한 분석방향 개요도이다.

본 연구에서는 베이스라인에서의 탄소배출량 추정치(A)와 CDM사업 시행 후 탄소배출량 추정치(A')의 차이(A-A')를 토대로 실질적인 탄소감축량을 추정하는 방향보다 직접적으로 탄소감축량(B)을 추정하는 방식을 적용한다. UN으로의 청정개발체제사업 신청은 사업진행이 어느 정도 가시화된 이후에 상정된다. 즉 현장에서 관측가능한 상황이

사업시행 시의 상황이다. 그렇기 때문에 청정개발체제사업 시행 후와 관련된 탄소배출량 추정 기초자료는 현장에서 수집하는 것이 용이한 반면, 사업이 시행되지 않은 베이스라인 시나리오 상태에서 기대되는 탄소배출량 추정은 상대적으로 용이하지 않다. 이러한 불확실성 이유로 베이스라인에 대한 탄소배출량 추정이 무게 있게 강조된다.



〈그림 8〉 CDM 실질적 분석과 본 분석에서의 접근방향

아직까지 도로교통 운영체계 개선을 통한 탄소감축량 추정에 대한 구체적인 방법론을 도출하기에 많은 내용들이 검토되고 고려되어야 하며 이러한 내용들에 대한 분석은 공학적인 범위를 초과한다. 예를 들면 신호연동시스템 도입의 경우가 그러하다. 신호 연동운영은 하나의 시스템을 도입하는 것으로 끝나는 것이 아니라 도입된 시스템을 지속적으로 안정적으로 운영을 하기 위한 행정, 예산, 인력투입 등과 같이 자유도(degree of freedom)가 높은 요소항목에서의 안정적인 투입이 있을 수 있도록 새로운 제도적 약속이 마련되어 함께 상정되어야 할 것이다. 도로교통 운영유지 부문에 국가비용이 지속적으로 안정적으로 투입되어야 하는 조건들이 선결되어야 하기 때문에 단순히 베이스라인 시나리오와 CDM사업 시행 후 상황을 간단히 비교분석함에 무리가 있다.

이와 같이 불확실성이 많이 포함하는 베이스라인 및 사업시행을 뒷받침하는 구체적인 행정 제도적 대안을 무리하게 가정한 내용들을 사업진행 측면에서 상세하게 연구를 수행할 필요가 낮다. 본격적인 청정개발체제 사업화에 앞서 본 연구에서는 공학적인 기초수준에서 교통운영체계선진화방안 각각의 세부과제 탄소배출 감축효과를 추정한다. 이를

위하여 사업시행 전후의 차이(B)를 직접 추정하는 방식을 적용하며 검토한다.

#### 4. 분석방법 개발

도로교통 운영체계 개선으로 인하여 기대되는 탄소감축량 추정치는 도로교통체계 운영 시간 및 운영 상태를 반영하여야 한다. 동일한 운영체계를 적용하였다도 기대되는 탄소 배출 감축량은 해당 운영체계가 적용되는 장소, 시간, 운영 상태에 따라 크게 달라진다.

##### 가. 운영 장소의 구분

예를 들면 비보호좌회전 활성화의 경우가 그렇다. 비보호좌회전은 대향직진교통량이 적어 녹색시간이 비효율적으로 사용되고 있는 경우 불필요하게 지체와 정체를 경험하는 좌회전이 녹색신호에 비보호 진행할 수 있게 하여 정체수준을 낮추고 에너지소비를 절감하게 하는 방안이다. 그러나 이러한 비보호좌회전 운영체계가 모든 규모의 교차로에 획일적으로 도입될 수 없다. 교차로의 크기가 일정한 수준을 초과하는 경우 대향 직진차량 교통량이 증가하여 사고의 위험이 높다. 이처럼 비보호좌회전은 교차로 크기가 일정수준 이상이 되면 교통안전확보를 위하여 금지되어야 한다. 이처럼 본 연구에서 도로교통 운영 기법에 따른 탄소저감효과를 거시적으로 분석함에 운영기법이 적용되는 운영 장소가 구분되어야 한다.<sup>9)</sup>

##### 나. 운영 시간의 구분

점멸운영의 경우는 운영 장소와 더불어 운영시간대에도 영향을 받는다. 야간시간대의 경우 신호교차로를 이용하는 교통량이 적어지며 이때 불필요한 신호시간으로 지체 및 정체가 증가하고 이로 인한 에너지 소비가 증가가 발생한다. 교통량이 적은 야간시간대에 점멸신호운행을 수행할 경우 이러한 지체 및 정체를 저감할 수 있으며 이로 인한 탄소배출량 저감효과를 기대할 수 있다. 그러나 점멸신호운영이 교통량이 많은 주간 시간에도

9) 실제 청정개발체제 사업 시행 시에는 실시설계지점이 분명하기 때문에 도로교통 운영체계 적용 장소를 별도로 구분할 필요가 없다.

적용될 수 있는 지점은 많지 않다. 점멸신호운영으로 인한 탄소배출량 감소효과는 야간 점멸신호운영 시간대에만 존재한다. 따라서 탄소저감효과를 거시적으로 분석하는 과정에 이러한 신호운영기법이 적용되는 시간대가 구분되어 반영되어야 한다.

#### 다. 운영 상태의 구분

좌회전감응신호운영의 경우도 그러하다. 좌회전감응신호운영은 교통량이 낮은 교차로에서 불필요한 방향으로 녹색신호가 제공되는 것을 억제한다. 이를 통하여 지체 및 정체를 제거하고 차량들의 에너지 소비를 감소하게 하여 궁극적으로 탄소배출량의 저감 효과가 있다. 그러나 교통량이 높아지는 경우 감응신호교차로에서의 현시길이는 운영특성상 최대녹색시간까지 증가하게 된다. 즉 좌회전감응신호운영은 교차로교통량이 적은 경우에만 탄소감축효과를 기대할 수 있다. 반대로 교통량이 많아지는 경우 탄소감축효과는 극단적인 상황에서 없는 것과 가까운 수준으로 떨어진다. 이도 마찬가지로 탄소저감효과를 거시적으로 분석하는 과정에 이러한 해당 기법이 적용되는 상황에 따른 기대효과를 별도로 구분되어 반영하여야 한다.

#### 라. 분석방법 설계

도로교통 운영체계 개선을 통하여 기대할 수 있는 효과는 장소, 시간, 상태를 고려하는 미시적인 수준의 분석을 통해 도출된다. 도로교통 운영체계 개선효과를 분석할 수 있는 현재 사용가능한 전산모형들을 통해 도출할 수 있는 분석지표는 차량의 에너지소비량 변화량이 일반적이다. 따라서 도로교통 운영기법 적용 전과 후 상황에 연소되는 연료 에너지 소비량을 추정하고 이를 토대로 하는 에너지소비변화를 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)로 변환하여 탄소배출량을 추정하는 방법을 사용한다. 도로교통 운영체계개선으로 영향 받는 연료 소비량을 근거로 하는 온실가스 배출량 산정방식은 식(11)과 같다.

$$\begin{aligned}
 ECO_2 &= \sum_k (EC_k \times EF_k) \\
 &= \sum_k \left( \left\{ N \times \left( 1 - \frac{I}{N} \right) \times (WD + WE) \times \sum_j (S_j \times M_{jk}) \right\} \times p_k \times f_k \times EF_k \right)
 \end{aligned} \tag{11}$$

$ECO_2$	: 특정 운영기법으로 인한 온실가스 배출 감축량 (ton)
$EC_k$	: 에너지 연료 $k$ 소비 감축량 (liter 또는 ton)
$EF_k$	: 에너지 연료 $k$ 의 탄소배출계수
$N$	: 특정 운영기법 적용대상 신호교차로 수(개)
$I$	: 특정 운영기법이 적용되고 있는 현재 교차로 수 (개)
$WD$	: 주중 및 토요일 수 환산계수(일)
$WE$	: 일요일 및 공휴일 수 환산계수(일)
$S_j$	: 특정 운영기법이 적용되는 포화수준 $j$ 시간 대 (시)
$M_{jk}$	: 포화수준 $j$ 에서 연료 $k$ 소비 감축량(liter/시)
$p_k$	: 에너지 연료 $k$ 사용 차량 비율 (%)
$f_k$	: 에너지 연료 $k$ 환산계수 (ton/liter)

상기 수식을 추정에 적용함에 있어 화석연료별로 탄소함유량이 상이하므로 연료별 탄소배출계수를 결정하여 적용하여야 한다. 국내에는 연료별 탄소배출계수가 존재하지 않기 때문에 IPCC가 제시하는 <표 12>의 연료별 탄소배출계수를 참조하며 적용한다. 수식(11)은 사업시행 전(베이스라인)과 사업시행 후에 대한 온실가스 배출량을 산출하기 위해 별도로 적용할 용도로 개발되지 않았음이 강조되어야 한다. 도로교통 운영기법 분석 미시적 프로그램을 활용하여 추정한 에너지 감축량을 직접 사용하기 때문이다. 본보고서 분석방향의 설계부문에서 설명되었듯이 식(11)은 기초수준의 분석을 위한 용도로 사용이 제한되어야 한다.

### 1) 특정운영기법 적용대상 신호교차로 수 산정

사업범위와 대상이 정해진 경우 특정 운영기법이 적용되는 신호교차로 수는 더 이상 추정대상이 아니다. 그러나 교통운영체계선진화방안 세부과제의 탄소저감효과를 기초 분석하는 본 연구는 특정운영기법 적용을 전국을 대상으로 한다. 전국 우리나라에 존재하는 신호교차로 관련 통계를 파악하기 쉽지 않다. 현장에서는 경우에 따라 두 개의 신호교차로를 하나의 신호제어기로 연동하여 신호를 표출하는 등 다양한 경우가 많이 존재하여 신호제어기 수치만으로 정확한 신호교차로 수를 파악할 수 없다.<sup>10)</sup>

10) 정확한 신호교차로 개소 수를 집계하며 현장에서 통계관리를 수행하지 않는다(실제적으로 신호교

## 가) 우리나라 전국 신호교차로 수

우리나라 전국에 설치되어 운영되고 있는 신호제어기 현황은 <표 17>과 같다. 신호제어기로 신호교차로를 추정함에 하나의 신호제어기로 두 개 이상의 신호교차로를 연계하여 연등제어하는 경우가 없다고 가정한다. 신호제어기 수가 신호교차로 수와 동일한 것으로 가정하여 현장에서 관측할 수 있는 실제 신호교차로 수보다 그 수가 적게 추정된다. 분석에 해당 오차를 포함하여 신호교차로의 수를 보수적(conservative)수준으로 추정한다. 이러한 과정으로 전국에 설치된 신호제어기의 수인 33,312개 신호교차로에서 연료소비 절감효과가 있는 것으로 분석한다.

&lt;표 17&gt; 전국 신호제어기 설치 현황(2010년 9월말 기준)

구 분	일반신호기	전자신호기	표준신호기	계
수 량	16,889 (50.70%)	10,713 (32.16%)	5,710 (17.14%)	33,312 100.00%

출처: 경찰청 내부자료

<표 17>이 제시하는 통계로 우리나라 현장에는 신호연동 구현이 어려운 일반신호제어기가 아직도 현장에 50.70% 수준으로 설치되어 있음을 확인할 수 있다.

## 나) 규모에 따른 신호교차로 크기 구분

이들 전체 신호교차로는 크고 작은 다양한 신호교차로들을 모두 포함한다. 교차로 크기별로 교차로를 이용하는 교통량이 다르다. 이들 교차로를 이용하는 교통량을 구분하며 해당 교차로에서 소요되는 연료소비량을 추정하기 위해 전체 교차로를 크기별로 구분할 필요가 있다.

도로가 포장되지 않은 시골농로 및 산악도로에 신호기가 설치된 경우가 일반적으로 드물기 때문에 우리나라 교통신호기는 포장도로로 구성된 교차로에 위치하며 비포장도로 교차로에서는 신호기가 설치되지 않음을 가정한다. 이를 통하여 포장도로의 규모를 추정

차로와 신호제어기를 구별하며 해당 수치를 통계관리하지 않고 있다).

하며 우리나라 전국의 신호교차로 규모를 추정할 수 있다. <표 18>은 국토해양부에서 통계발표한 우리나라 도로 차로 폭별 도로연장이다. <표 18>은 비포장도로와 신호등이 설치되지 않는 고속도로(고속국도)에 대한 통계를 제외한다. 도로의 폭이 좁은 도로일수록 총 연장이 길며 그 반대일수록 총 연장이 짧은 것을 볼 수 있다.

〈표 18〉 우리나라 포장도로 차로 수 별 연장 구분

구 분	총 연장(m)	포장도로 차로 수 별 연장 (m)				
		2차로 이하	4차로	6차로	8차로	10차로 이상
일반국도	13,464,306 (100.0%)	6,744,762 (50.1%)	5,902,628 (43.8%)	698,083 (5.2%)	111,156 (0.8%)	7,677 (0.1%)
특별·광역시도	18,634,575 (100.0%)	14,429,373 (77.4%)	2,009,335 (10.8%)	1,270,710 (6.8%)	653,816 (3.5%)	271,341 (1.5%)
지방도	14,851,634 (100.0%)	13,409,006 (90.3%)	1,200,554 (8.1%)	175,237 (1.2%)	66,671 (0.3%)	166 (0.1%)
시 도	18,177,200 (100.0%)	12,595,587 (69.3%)	3,726,334 (20.5%)	1,464,113 (8.2%)	371,526 (2.0%)	19,640 (0.1%)
군 도	14,292,760 (100.0%)	14,100,416 (98.5%)	180,904 (1.3%)	7,640 (0.1%)	3,800 (0.1%)	0 (0.0%)
계	79,420,475 (100.0%)	61,279,144 (77.2%)	13,019,755 (16.4%)	3,615,783 (4.6%)	1,206,969 (1.5%)	298,824 (0.4%)

출처: 국토해양부 통계 (경찰청 통계 인용)

국토해양부 통계는 전체 포장도로를 일반국도, 특별·광역시도, 지방도, 시도, 군도로 구분하여 각각에 대한 차로수를 정리한다. 이들 전체 도로연장에서 전체연장 79,420,475m 중 2차로이하 도로가 77.2%를 차지하며, 4차로 도로가 16.4%, 6차로 도로가 4.6%, 8차로 도로가 1.5%, 10차로 도로가 0.4%를 차지한다. 이들 도로들이 교차하는 지점에 신호교차로가 설치된다. 모든 도로가 현실적인 제약 없이 자유롭게 교차하는 것인 아니다. 도로등급 차이가 많은 경우(예: 2차로와 10차로 도로) 해당 도로가 교차하는 지점은 일반적으로 접근통제(Access Control)기법을 적용하며 신호교차로로

설치되는 것을 지양한다.

긴 도로구간 일수록 교차로가 위치할 기회가 많으며 그 반대일수록 기회가 적다. 전국 33,312개 신호교차로를 구성하는 교차로 규모 구성을 <표 18>의 해당도로 차로 폭 구성 비율을 참조하며 <표 19>로 추정한다. 정확한 집계는 존재하지 않아 참조할만한 다른 자료가 부재한 제약조건에서 교차로 규모를 구분 수 있는 현실적인 방안이다.

<표 19> 신호교차로 교차로 규모별 구성비 추정

교차로 규모구분	계	구 분			
		Class A (4차로)	Class B (6차로)	Class C (8차로)	Class D (10차로)
전체 교차로 수	33,312				
비율(%)	100.00%	71.77%	19.93%	6.65%	1.65%
추정 교차로 수	33,312	23,908	6,639	2,215	550

생활권 내에서 자주 접할 수 있는 도로는 2차로 이하 도로가 대부분이다. 생활권 도로는 차량과 보행자의 활동이 공존하기 때문에, 보행자에게 통행 우선권이 부여된다고 할 수 있다. 따라서 차량은 보행자에게 통행 우선권을 양보해야 하는 경우가 대부분이므로, 교차로가 무신호로 운영되는 경우가 많다. 본 분석에서는 신호교차로에서 적용 가능한 교통운영체계선진화방안 세부항목의 탄소저감효과를 분석하는 것이기 때문에, 2차로 이하 도로는 신호교차로가 없다고 보수적(conservative)으로 가정하며 분석에서 제외하였다.

전국에 있는 우리나라 신호교차로 규모를 Class A, B, C, D 네 등급으로 구분하고 이들에 해당하는 수량을 4차로, 6차로, 8차로, 10차로 도로의 구성비를 참조하여 구분한다. 해당 등급의 구분은 전체교차로의 71.77%, 19.93%, 6.65%, 1.65%를 참조하여 총 33,312개 교차로 중 23,908개, 6,639개, 2,215개, 550개 인 것으로 추정한다.

#### 다) 특정운영기법 적용대상 신호교차로 수

교통운영체계선진화방안 세부과제는 상기 규모별로 구분된 모든 교차로에 적용될 수 없는 경우가 존재한다. 일반적으로 세부과제 내용에 해당하는 신호운영방법을 특정한 신

호교차로 조건에만 적용할 수 있는 경우가 그러하다. 이때 신호운영방법을 적용하지 못하는 신호교차로를 별도로 구별하여 분석에 반영되지 않도록 하여야 한다. 세부과제의 특정 신호운영기법이 적용될 수 있는 교차로를 규모별로 구별하여 <표 20>에 제시한다.

<표 20> 신호운영 적용 가능한 기하구조 조건을 충족하는 교차로 수

구분	점멸	보행작동	비보호	좌회전감응	직진우선	연동
Class A ( 4차로 수준)	23,908	23,908	23,908	23,908	23,908	23,908
Class B ( 6차로 수준)	6,639	6,639	N/A	6,639	6,639	6,639
Class C ( 8차로 수준)	N/A	2,215	N/A	2,215	2,215	2,215
Class D (10차로 수준)	N/A	550	N/A	550	550	550
계	30,547	33,312	23,908	33,312	33,312	33,312

보행자작동신호기, 신호연동, 직진우선신호체계, 좌회전감응의 신호운영방법은 교차로 규모와 관련 없이 현장에 적용된다. 해외 사례의 경우 모든 교차로에 해당 신호체계를 적용하고 있기 때문에 본 분석에서도 모든 교차로에 해당 신호운영방법이 적용된 경우를 대상으로 분석하기 위하여 33,312개 신호교차로 모두를 분석대상으로 고려한다.

점멸신호와 비보호좌회전 신호운영의 경우 상황은 다르다. 점멸신호운영은 교통량이 적은 야간시간대에 신호등을 대신하여 황색점멸로 통행우선권을 제공하는 방법이다. 이러한 운영방법은 교차로 크기가 일정 수준 이하의 작은 경우로만 적용가능하다. 8차로 및 10차로와 같이 대로가 교차하는 크기가 큰 교차로의 경우 점멸신호운영을 현실적으로 수행할 수 없으며 그렇기에 효과를 기대할 수 없다. 교차로규모 중 4차로, 6차로 수준에 해당하는 신호교차로에만 점멸신호운영이 적용 가능한 것으로 구분한다.

비보호좌회전의 경우도 그러하다. 교차로 크기가 커질수록 비보호좌회전의 대향교통량이 증가하기 때문에 비보호좌회전 운영의 현장적용은 비현실적이다(교통규제가 허용되지 않는다). 일반적으로 4차로(편도2차로) 규모에 해당하는 작은 신호교차로의 경우 비보호좌회전이 적용되기 때문에 본 분석에서 4차로 비보호좌회전운영에서만 효과를 기대할 수 있음을 가정한다. 현장에는 실제 6차로도(편도3차로)에서 비보호좌회전을 수행하기도

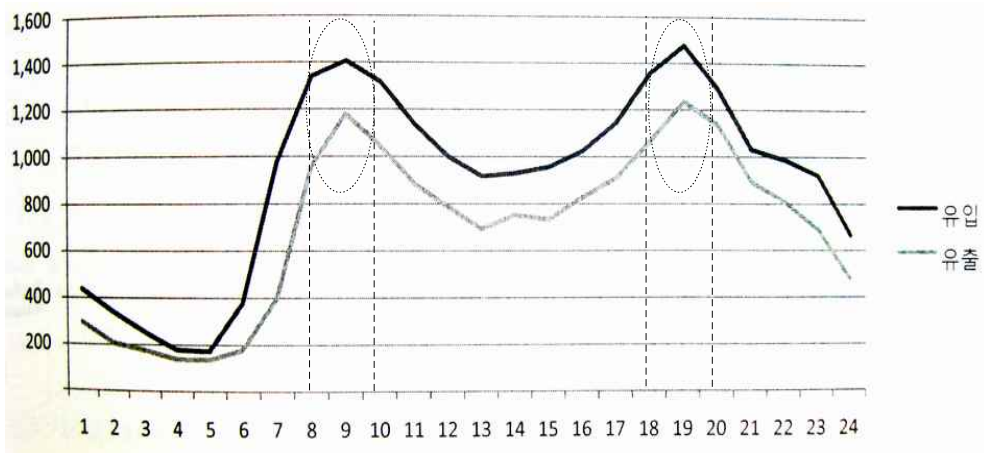
하며 실제 4차로도로(편도2차로)에서 좌회전 배이 확보의 어려움 등으로 비보호 좌회전을 수행하지 않기도 하므로 4차로도로를 기준으로 구분하였다.

## 2) 특정기법운영 시간 및 포화수준

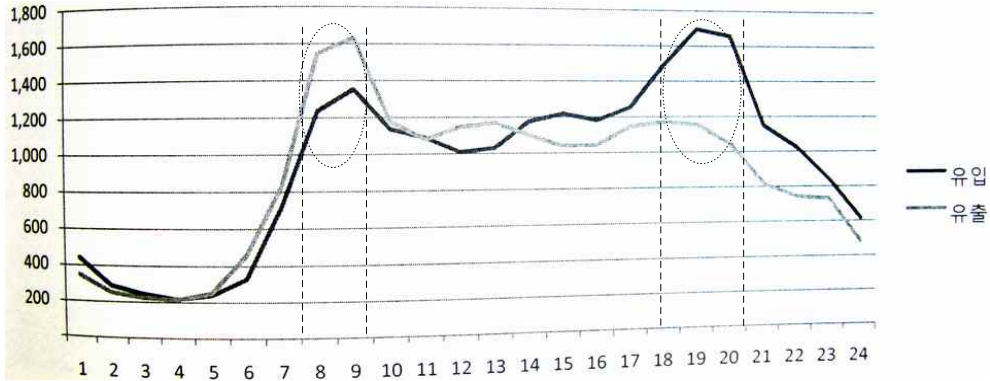
신호교차로를 이용하는 차량들은 시간대에 따라 다르기 때문에 다양한 신호교차로 운영상황이 시간대에 따라 다르다. 신호교차로 운영상황에 따라 선진화과제 세부항목 교통신호 운영으로 인한 탄소배출량 규모가 달라진다. 즉 특정 시간대에 따라 감축이 기대되는 탄소배출량 규모가 달라진다.

### 가) 시간대별 일일교통량 변화

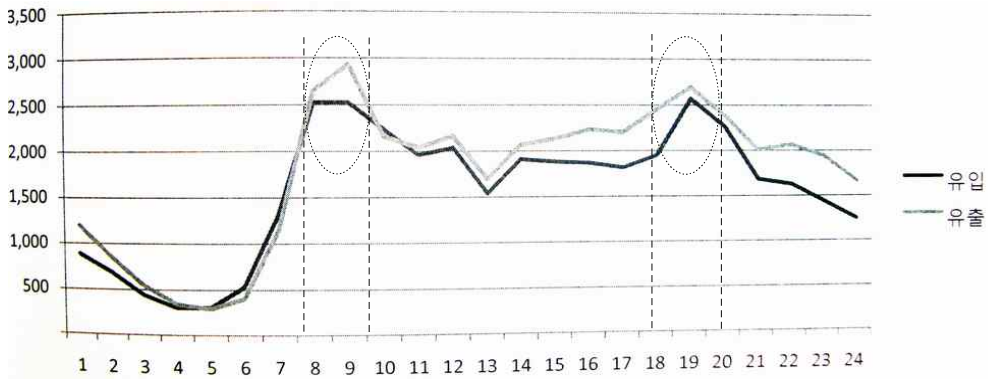
현장 도로에서 시간대에 따라 변화하는 교통량 비율을 추정하기 위하여 서울시 도로특정지점에서 24시간 조사된 교통량 변화 패턴을 검토하였다. <그림 9>, <그림 10>, <그림 11>, <그림 12>는 2009년에 서울시 도로에서 조사된 24시간 교통량 패턴이다(서울지방경찰청 2009).



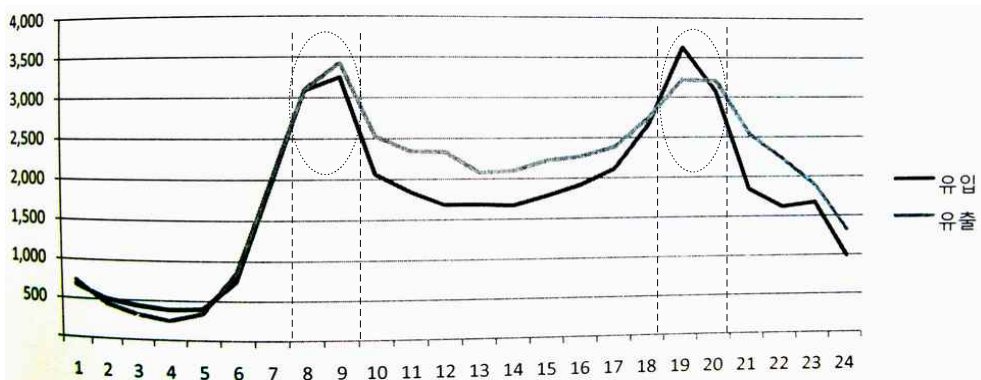
<그림 9> 4차로도로 일일교통량 시간대별 변화 1



〈그림 10〉 4차로도로 일일교통량 시간대별 변화 2



〈그림 11〉 8차로도로 일일교통량 시간대별 변화 1



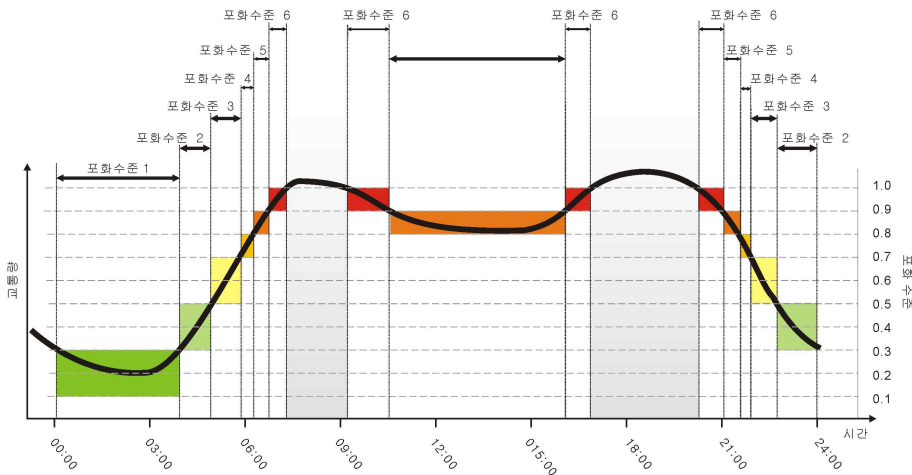
〈그림 12〉 8차로도로 일일교통량 시간대별 변화 2

일반적으로 자정 야간 및 새벽 시간동안 교통량은 일반적으로 높지 않으며 오전 출근 시간대와 오후 퇴근시간대에 많은 교통량이 집중되는 현상이 관측된다. 교통량 패턴은 오전시간대(8:30-10:15)에 걸쳐 교통량이 집중하며 오후시간은 18:00-20:30에 걸쳐 교통량이 집중한다. 오전 첨두시간을 지나고 오후 첨두시간이 시작되는 시간까지 교통량은 첨두시간 수준까지는 아니지만 일정 수준 이하로 낮아지는 패턴이 관측된다.

이러한 교통량 패턴을 중심으로 오전 및 오후 첨두시간대의 폭은 교차로 지점마다 다르고 교통량 집중도 역시 교차로마다 다르게 나타난다. 세부적으로 이러한 교차로 교통량 특성은 주말, 주중, 요일별로 다르고 월별로 다르다. 이처럼 상세하고 다양한 교통량 변화 패턴을 모두 고려하여 일반화할 필요가 있다.

나) 시간대별 포화수준 변화

전국단위 탄소배출량을 추정함에 교통량의 시간대별 변화를 미시적인 수준으로 상세 분석할 필요가 적다. 월별, 요일별 등 다양한 교통량 변화를 대표하는 거시적인 수준에서의 대표적인 교통량변화를 설정하여야 하며 이러한 교통량변화에 따른 선진화방안 세부 항목 적용 시 탄소배출량 감소분을 추정한다. 교통량변화로부터 영향 받는 신호교차로 포화수준 개요도를 <그림 13>에 제시하였다.



<그림 13> 일일 교통량 변동에 따른 교통수준(정체수준) 변화 개요도

교통선진화과제를 통하여 현장에 적용되는 교통운영기법들로 기대되는 효과는 신호교차로 포화수준에 따라 다르다. 따라서 적용되는 교통운영기법으로 인하여 발생하는 효과는 하루 24시간 중 일부에 해당하므로 효과가 기대되는 시간대에 대한 별도의 추출이 필요하다.

#### 다) 과포화 상황

교통량이 과포화상태가 되는 오전 및 오후 침두시간은 교통선진화사업에 해당하는 어떠한 세부 신호운영방안이 적용되더라도 정체해소 및 탄소배출감소에 대한 개선효과를 측정하기가 어렵다. 교통선진화사업으로 책정된 세부 교통운영항목의 효용성과 다르다. 과포화 상황을 해결하는 방법은 공학적으로 과포화상태가 유지되는 시간을 단축하는 것이지만 과포화 수준을 억제하는 방법이 아니기 때문에 탄소감축 효과는 크지 않다. 이미 심각한 정체가 발생한 이후에는 비보호좌회전, 연동운영, 선행 직진, 보행자작동신호, 좌회전 개선, 점멸신호운영 등 선진화과제 시행 전 후 상관없이 개선효과를 기대할 수 없다.

#### 라) 시간대별 포화수준 변화 기준 설정

교통운영기법이 적용됨으로 인해 탄소감축 효과가 기대되는 시간대 추출을 위하여 하루 시간대별 교통량 및 포화도 변동 기준을 마련한다. 하루 24시간을 대상으로 교통량 수준에 따른 일반적인 포화도 수준(모의실험분석 포화도 수준인 0.2, 0.4, 0.6, 0.75, 0.85, 0.95; 모의실험과 관련된 설명은 다음 장에서 별도 제시)을 설정하고 각 포화도 수준이 관측되는 시간을 누적하여 <표 21>을 도출하였다.

일반적으로 버스운행이 중단되는 시간인 야간 23:00-새벽 04:00 시간대를 포화도 0.2 수준이 되는 관측되는 시간대로 가정한다. 대도시 도심부의 경우 해당 시간에 포화도가 0.2보다 높을 수 있다. 또한 지방부에서는 가정된 시간범위 이외의 시간에서도 포화도 0.2 운영상태가 발견될 수 있다. 현장의 다양한 모든 경우를 고려하는 것이 불가하여 거시적 수준에서 일반적 교통상황을 설정하며 분석한다.

〈표 21〉 신호교차로 포화수준 발생시간대 기준 설정

구 분			시 간 대				누적시간 (시간/일)
운영상태	수준	v/c	오 전		오 후		
비포화	Class 1	0.20	00:00-04:00	-	-	23:00-24:00	5
	Class 2	0.40	04:00-05:00	-	-	22:00-23:00	2
	Class 3	0.60	05:00-06:00	-	-	21:00-22:00	2
	Class 4	0.75	06:00-07:00	10:30-12:00	12:00-16:00	20:30-21:00	7
	Class 5	0.85	07:00-07:30	09:00-10:30	16:00-17:30	20:00-20:30	4
	Class 6	0.95	07:30-08:00	08:30-09:00	17:30-18:30	19:00-20:00	3
과포화	>1.00		08:00-08:30	-	18:30-19:00	-	1
계							24

오전 4:00시를 시점으로 교통량이 오전 침두시간까지 증가함을 가정하고 8:30분부터 교통량이 일부 소거됨을 가정한다. 이는 오전 9:00에 업무를 시작하는 출근자들에 대한 교통흐름을 반영하여 가정한 값으로 8:30 이후로는 교통수준이 다소 낮아짐을 가정한다. 오전 침두시간 이후로 오후 침두시간까지는 포화수준이 0.95, 0.85에서 0.75 까지 각각 낮아짐을 가정하였으며 오후 17:30분을 기점으로 오후 침두시간이 시작되는 것으로 설정한다.

#### 마) 세부과제 포화수준별 효과가 기대되는 운영시간 구분

교통운영체계선진화방안 6개 세부과제가 교차로에 적용되었을 시 기대되는 지체/정체 감소 효과는 교통량으로 영향 받는 신호교차로 운영상황에 따라 다르다. 해당기법이 적용되는 시간대 교차로 운영 상태에 따라 기대되는 탄소감축효과가 다르기 때문에 〈표 21〉이 제시하는 포화수준별 누적시간을 교통운영체계선진화방안 각각의 세부과제를 대상으로 구분하여야 한다. 구분된 교통상황에 따라 세부과제별로 효과가 기대되는 시간을 구분하여 〈표 22〉에 제시하였다.

〈표 22〉 교통운영체계선진화 세부과제 포화수준별 운영시간(1일 기준)

포화수준		교통운영체계 선진화 세부과제					
구분	v/c	점멸신호 운영	보행자작동 신호기	비보호 좌회전	좌회전 신호보완	직진우선	신호연동
Class 1	0.20	5		5	5		
Class 2	0.40	2	효과미비1)	2	2	효과미비1)	효과미비2)
Class 3	0.60	2		2	2		
Class 4	0.75		7			7	7
Class 5	0.85	적용불가	4	적용불가	효과미비	4	4
Class 6	0.95		3			3	3
효과가 기대되는 운영시간(시간/일)		9	14	9	9	14	14

- 1) 교통량이 적은 경우 탄소감축 효과가 그렇지 않은 경우에 비하여 미비한 수준이므로 분석 생략
- 2) 일반적으로 주간 첨두시간 및 비첨두시간대를 중심으로 신호연동 Offset을 설계하므로 야간 및 심야 포화도 낮은 상황의 경우 연동 Offset 부적절 (도로 폭이 좁은 경우 야간 점멸신호운영으로 전환 경우 존재)

점멸신호운영은 교통량이 낮은 경우에 적용할 수 있다. 점멸신호운영 효과는 야간 및 심야시간으로 교통량이 낮은 9시간(〈표 21〉 참조)을 설정하였으며 이러한 9시간 중 5시간, 2시간, 2시간이 같이 각각 0.2, 0.4, 0.6 포화수준으로 운영되는 것으로 〈표 22〉와 같이 구분한다. 교차로 교통량이 높은 경우 점멸신호운영의 적용은 일반적으로 고려되지 않는다. 교차로 규모가 작은 경우라 할지라도 포화수준이 높은 경우 교통안전사고가 문제가 존재하기 때문이다.

우리나라의 신호연동 운영은 TOD신호제어방식을 통해 현장에서 구현된다. 일반적인 교통신호 연동운영은 오전 첨두시간대, 오후 첨두시간대, 비첨두시간대를 구분하여 적용된다. 이때 첨두시간대 신호연동은 도심 및 외곽을 구분하는 주 교통흐름방향을 중심으로 설계되기 때문에 해당 시간대 지체해소 효과가 크다. 반면 비첨두시간대 신호연동은 주간 비첨두시간과 야간 비첨두시간으로 구분되나 일반적으로 비첨두시간대 교통량을 중심으로 설계되어 야간시간대에 지체해소 효과가 적다. 교통량이 일정수준 높은 신호연동 설계 시간대에 비하여 야간 시간대 교통량이 적기 때문에 해당 신호연동 값으로 야간시

간대에 효율적인 운영을 기대할 수 없다.

보행자작동신호운영 방안은 보행자가 없는 시간대에 불필요한 차량적색시간을 소거하여 차량신호시간이 효율적으로 운영되게 한다. 보행교통량에 많은 영향을 받는 운영방식으로 차량교통량 유무와 관계없으나 교통량이 일정수준 높은 경우 해당 방법의 적용효과가 크게 나타난다. 보행자작동운영방안은 보행자가 존재하지 않는 시간에 국한되어 최소 녹색시간과 일반녹색시간의 차이만큼이 녹색시간이 변화하기 때문에 교통량이 낮을 경우에도 효과가 존재하지 본 분석에서는 고려를 생략한다.

### 3) 다양한 포화수준별 세부과제별 연료소비감소량

교통운영체계선진화방안 세부과제 항목별로 기대되는 연료소비절감 기대효과를 추정함에 있어 아래와 같은 다양한 상황들이 고려되어야한다.

- 교차로규모: 교차로 기하구조 조건에 따라 연료소비절감 효과가 상이함
- 포화도수준: 교통상황에 따라 연료소비절감 효과가 상이함
- 차량발생상황: 차량발생 시나리오에 따라 연료소비절감 효과가 상이함

상기 세 가지 조건(교차로로 규모, 포화도수준, 차량발생상황)의 조합 상황 모두를 고려하며 각각의 세부과제 항목이 독립적으로 적용되었을 시 발생하는 연료소비 절감효과 추정을 위한 원단위를 제4장에 제시된 모의실험 분석을 통하여 도출하였다. 도출된 결과는 제4장에서 제시된다.

## 제4장 포화수준별 탄소감축 효과

도로교통의 운영효율성을 높이는 교통선진화방안 적용으로 도로교통부문에서 기대되는 탄소배출 감축효과를 분석한다. 교통선진화방안 세부주제 항목별로 구분하여 기대되는 탄소배출량 저감효과를 추정한 후 이를 근거로 선진화방안의 탄소감축효과를 수치화한다.

### 제1절 교통흐름변화 측정방법

교통선진화방안 적용으로 인한 운영개선 효과의 현실적인 파악을 위해 현장조사를 수행하는 것이 바람직하다. 교통선진화방안 세부 적용항목별 적용 현장지점을 미리 파악하여, 시공 이전/이후 현장자료 수집을 통해 사전/사후 비교분석을 수행하는 방법이 그러하다. 해당 분석방법은 실제 분석이 수행되기 까지 많은 시간이 소요된다.

#### 1. 교통자료 수집 환경

경찰청은 교통선진화모델도시로 창원, 원주, 군산을 선정하였다. 해당 모델도시들은 선진화방안에서 선정하는 세부 요소항목들을 현장에 집중 설치·운영하게 된다. 이들 도시에 설치·운영되는 세부항목을 대상으로 현장분석을 하는 것으로 본 연구를 계획하였으나 현재 모델도시들은 기본설계에 대한 구상을 수행하는 수준이라 실질적인 현장 지점 및 내용설계가 부재하여 현장 자료수집 제약이 있다. 따라서 본 연구는 현장분석이 아닌 미시적 교통류모의실험 전산모형을 통한 가상환경에서 교통흐름의 변화수준을 측정하는 방법을 적용하여 교통선진화 내용을 실험하여 분석한다.

### 가. 모의실험 모형

교통류모의실험은 현실에서 실험하기 어려운 조건을 가상현실에서 컴퓨터모형을 이용하여 모사하는 실험이다. 교통류분석 모의실험은 차량의 주행상황에서 차량 운전자 운행 특성을 모사하는 추종모형, 차로변경모형 등의 운전자와 관련한 여러 세부모형들과 더불어 교통신호제어기 하드웨어 및 소프트웨어 특성을 설명하는 제어시스템 관련 모형의 조합으로 구성된다. 세계 각국에서 다양한 종류의 모의실험 전산모형이 개발되어 이들 중 하나를 선택하여 적용 가능하다. 모의실험모형으로 현실상황에 대한 모사능력이 설명능력이 가장 높은 모형을 사용하는 것이 분석에 효과적이다.

현재 국내 실무에서 많이 사용되는 미시적 교통류모의실험 전산모형으로는 미국에서 개발된 CORSIM, 영국에서 개발된 PARAMICS, 독일에서 개발된 VISSIM 등이 있다. 본 연구에서는 미국에서 개발된 미시적 모의실험(Microscopic Simulation) 모형인 CORSIM(Corridor Simulation; version 6.1)을 선택 적용한다(〈그림 14〉 참조). CORSIM 모형은 이들 전산모형 중 가장 현장에 대한 설명력이 높은 모형으로 여러 다양한 연구를 통하여 검증되어 왔다.



〈그림 14〉 연구에 사용된 CORSIM 6.1

CORSIM모형으로 가상의 간선도로 및 교차로 네트워크를 구축하고 교통선진화방안으로 추진하는 세부항목 각각에 대한 실행 전과 후의 변화를 분석한다.

## 나. 모의실험 시나리오 설계

앞 단락에서 언급하였듯이 총 19개 추진과제 중에서 13개 항목은 탄소감축량 추정에서 배제하였으며 나머지 6개 항목에 대한 모의실험 분석 시나리오를 설계하였다. 이들 과제항목 적용에 따른 효과가 기대되는 운영 상태를 대상으로 모의실험분석 시나리오 설계를 수행하였다.

### 1) 모의실험 대상 포화도 수준

점멸신호운영, 비보호좌회전 확대, 좌회전 신호보완(감응식 신호운영)의 경우 교통량 수준이 낮은 경우 효과를 기대할 수 있다. 이들 운영방법은 교통량이 많은 경우 적용이 불가하거나 적용이 가능하다 하여도 긍정적인 효과를 기대할 수 없다. 이와 반대로 보행자자동신호제어, 직진우선 신호원칙, 신호연동시스템개발 확대 과제의 경우는 교통량이 어느 정도 충분히 많은 경우에 운영방법 적용에 따른 효과를 기대할 수 있다. 이를 근거로 모의실험 분석이 정리된 포화도 수준을 대상으로 수행될 수 있도록 시나리오를 <표 23>와 같이 설계하였다.

<표 23> 분석대상 선진화 과제항목별 모의실험 분석대상 운영상태

구분	분석대상 선진화 과제항목	운영 특성	분석 대상 운영상태
1	점멸신호 운영	교통수준 한가한 시간대에 효과	낮은 포화수준 대상 분석
2	보행자 자동 신호기 설치	보행교통량 적고 차량교통량 많을 경우 효과	높은 포화수준 대상 분석
3	비보호좌회전 확대	교통량 적을 경우 효과	낮은 포화수준 대상 분석
4	좌회전 신호보완(감응식)	교통량 적을 경우 효과	낮은 포화수준 대상 분석
5	직진우선 신호원칙 확립	비정체 상황에서 차량교통량 많을 경우 효과	높은 포화수준 대상 분석
6	신호연동 시스템 개발확대	비정체 상황에서 차량교통량 많을 경우 효과	높은 포화수준 대상 분석

높은 포화수준에서 적용에 따른 효과가 기대되어도 교통량이 일정수준을 넘어 과포화 수준이 되는 경우는 어떠한 선진화과제 항목도 효과를 기대할 수 없다. 따라서 높은 포화수준의 교통수준은 적어도 교통량-대-용량 비율( $v/c$ ; volume to capacity ratio)이 1.0을 넘지 않도록 교통조건을 설계한다.

## 2) 모의실험 네트워크 설계

분석대상 선진화 과제항목이 실제적으로 적용되는 교차로를 구분하며 이에 상응하는 모의실험 분석대상 도로망 네트워크를 마련한다(〈표 24〉 참조).

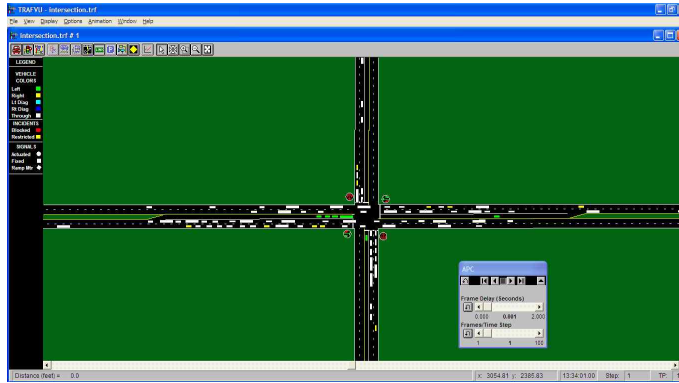
〈표 24〉 분석대상 선진화 과제항목별 모의실험 분석대상 네트워크

구분	분석대상 선진화 과제항목	운영방법 적용 교차로	모의실험 네트워크 구성
1	점멸신호 운영	집산도로 수준 교차로 복합 적용	도로 축(신호교차로 3개)
2	보행자 작동 신호기 설치	집산도로 수준 교차로 개별 적용	독립교차로
3	비보호좌회전 확대	집산도로 수준 독립교차로	독립교차로
4	좌회전 신호보완(감응식)	집산도로 수준 독립교차로	독립교차로
5	직진우선 신호원칙 확립	간선도로 축 교차로 일괄 적용	도로 축(신호교차로 3개)
6	신호연동 시스템 개발·확대	간선도로 축 교차로 복합 적용	도로 축(신호교차로 3개)

예를 들면 점멸신호운영은 교통량이 적은 시간대에 집산도로 수준 신호교차로에 일괄적으로 적용될 가능성이 많다. 따라서 모의실험 대상 도로 네트워크도 3개의 신호교차로로 구성된 도로축으로 설정하여 모의실험을 분석한다. 비보호좌회전 확대의 경우 운영방법 적용 교차로 규모와 상관없이 그 효과에 대한 측정은 독립적으로 지점별로 수행되어야 한다. 따라서 모의실험 대상 도로 네트워크를 독립교차로로 설정한다.

가) 모의실험 대상 독립교차로 기하구조

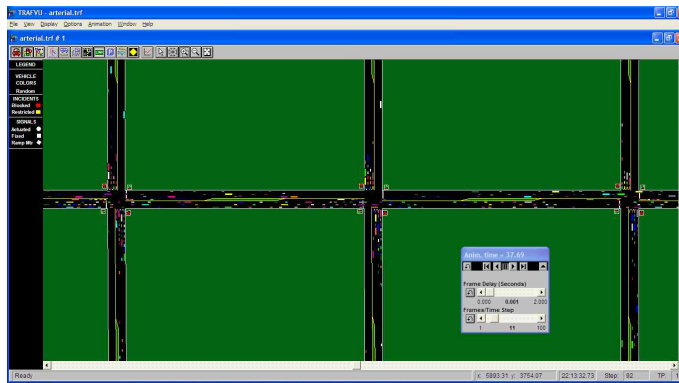
분석을 위해 설정한 독립신호교차로는 주도로와 부도로 모두 왕복4차로 도로로 구성되며 접근로 모두 좌회전 전용차로(left-turn bay)가 설치된다(〈그림 15〉 참조).



〈그림 15〉 모의실험 분석대상 독립교차로 기하구조

나) 모의실험 대상 도로 축 기하구조

일련의 신호교차로로 구성되는 도로축 모의실험 분석을 위해 주도로 부도로 모두 왕복 6차로, 접근로 모두 좌회전 전용차로(left-turn bay)로 구성된다(〈그림 16〉 참조).



〈그림 16〉 모의실험 분석대상 도로 축 기하구조

### 3) 낮은 포화수준의 교통조건 설계

점멸신호 운영, 비보호좌회전 확대, 좌회전 신호보완(감응식) 선진화과제에 대한 모의 실험 분석은 낮은 포화도 수준에서 수행되어야 하여 모의실험 분석 대상 운영포화도수준을 0.2, 0.4, 0.6으로 설정한다. 해당 포화도 수준 모두에서 전체 교통량을 기준으로 접근방향비율(주방향:부방향)을 55:45, 60:40, 65:35로, 좌회전(회전교통량) 비율을 5%, 10%, 15% 3개 수준으로 구분하여 적용하였다(〈표 25〉 참조).

〈표 25〉 낮은 포화수준 모의실험 조건 설정

구 분		적 용		
1	전체교통량	교통량 Level 1) (v/c = 0.20)	교통량 Level 2) (v/c = 0.40)	교통량 Level3) (v/c = 0.60)
2	접근방향 비율(주방향 :부방향)	각 교통량 수준 별 ① 55:45, ② 60:40, ③ 65:35		
3	좌회전(회전교통량) 비율	각 접근방향 비율 별 ① 5%, ② 10%, ③ 15%		

- 1) 교통량 Level 1: TRANSYT-7F 신호최적화 후 교차로 전체 포화도가 평균 0.75 수준
- 2) 교통량 Level 2: TRANSYT-7F 신호최적화 후 교차로 전체 포화도가 평균 0.85 수준
- 3) 교통량 Level 3: TRANSYT-7F 신호최적화 후 교차로 전체 포화도가 평균 0.95 수준

교통조건을 설정하는 과정에 있어 교차로 신호운영상황에 따라 포화수준이 달라진다. 전체 교통량을 증감하며 TRANSYT-7F 신호설계모형을 적용하는 과정을 통해 설계된 최적신호시간을 반영하며 분석목표로 설정된 포화도 수준에서의 교통량을 설계하였다.

### 4) 높은 포화수준의 교통조건 설계

보행자작동 신호운영, 직진우선 신호원칙, 신호연동 선진화과제에 대한 모의실험 분석은 일정수준 이상의 포화수준에서 수행하여야 한다. 이를 위한 모의실험 분석 운영포화도수준을 0.75, 0.85, 0.95로 설정한다. 앞서와 마찬가지로 해당 포화도 수준 모두에서 전체 교통량을 기준으로 접근방향비율(주방향:부방향)을 55:45, 60:40, 65:35로, 좌회전(회전교통량) 비율을 5%, 10%, 15% 3개 수준으로 구분하여 적용하였다(〈표 26〉 참조).

〈표 26〉 높은 포화수준 모의실험 조건 설정

구 분		적 용		
1	전체교통량	교통량 Level 41) (v/c = 0.75)	교통량 Level 52) (v/c = 0.85)	교통량 Level 63) (v/c = 0.95)
2	접근방향 비율(주방향 :부방향)	각 교통량 수준 별 ① 55:45, ② 60:40, ③ 65:35		
3	좌회전(회전교통량) 비율	각 접근방향 비율 별 ① 5%, ② 10%, ③ 15%		

- 1) 교통량 Level 1: TRANSYT-7F 신호최적화 후 교차로 전체 포화도가 평균 0.75 수준
- 2) 교통량 Level 2: TRANSYT-7F 신호최적화 후 교차로 전체 포화도가 평균 0.85 수준
- 3) 교통량 Level 3: TRANSYT-7F 신호최적화 후 교차로 전체 포화도가 평균 0.95 수준

해당 상황 역시 교통조건을 설정하는 과정에 있어 교차로 신호운영상황에 따라 포화수준이 달라진다. 전체 교통량을 증감하며 TRANSYT-7F 신호설계모형을 적용하는 과정을 통해 설계된 최적신호시간을 반영하며 분석목표로 설정된 포화도 수준에서의 교통량을 설계하였다.

#### 라. 모의실험 적용 기초 변수

모의실험 분석에 1,900대/시 포화교통류율을 적용하였다(포화차두시간 = 1.90초/대). 국토해양부는 우리나라 신호교차로에서의 포화차두시간을 1.63초/대로 규정하나, 이는 수도권 도시부 출퇴근 운전자들을 대상으로 측정한 값이기에 전국 신호교차로를 이용하는 일반 이용자들을 모두 고려한 포화차두시간 값을 대표하기에 무리가 있어 CORSIM 모형의 기본 값인 1,900대/시를 적용하였다.

CORSIM 모의실험 모형은 모의실험 내 주행차량의 차종을 구분하면서 총 연료소비량을 추정한다. 올바른 연료소비량을 측정하기 위하여 〈표 27〉에서 제시하는 우리나라 차종별 차량등록대수 비를 모의실험 입력 값으로 반영하였다 (국토해양통계누리 2010). 우리나라 도로에서 주행하는 차량의 차종별 구성비를 모의실험 상황에 반영하여 현실적인 교통운영상황 모사가 되도록 실험을 설계하였다.

〈표 27〉 차종별 차량등록대수비

차종	승용	승합	화물	특수
계	1,334만대(75.6%)	106만대(6.0%)	319만대(18.1%)	5만대(0.3%)

\* 출처 : 국토해양부, 자동차관리현황 및 자동차등록현황 (2010년 6월)

우리나라에 등록된 차종별 구성비를 모의실험에 반영하여 이들 차량들의 운행능력으로 인하여 결정되는 신호교차로 모의실험 결과가 우리나라 신호교차로 현장 운영상황을 반영하도록 하였다. 이는 통하여 가능한 경우 되도록 현실적인 상황을 모의실험으로 분석하고자 한다.

## 2. 교통자료 수집

모의실험은 먼저 설정된 일련의 무작위 난수를 토대로 개별차량의 진입시간, 자유속도, 고유 운전자 타입 등이 결정된다. 이러한 모의실험 전산분석 특성으로 인하여 일회의 모의실험 분석은 특정한 하나의 교통상황만을 실험하는 것에 해당하여 다양한 현장상황을 일반적으로 반영하지 못한다. 여러 번의 모의실험을 반복 수행 하였더라도 동일한 난수 초기변수를 적용할 경우 모의실험에서 반영된 현장상황은 하나에 해당된다.

### 가. 모의실험분석 자동 전산실행

본 연구에서는 하나의 상황에 대한 모의실험 분석을 여러 번의 모의실험으로 수행하기 위하여 CORSIM.DLL Windows파일을 DOS 스크립트 언어 환경에서 실행시키는 CMRP (CORSIM Multiple Run Processor) 소프트웨어를 Visual Basic 프로그램 언어로 개발하였다(〈그림 17〉참조). CMRP는 자동으로 일련의 모의실험을 수행한 후 이들로부터 생산되는 결과파일에 위치한 최종 측정지표를 선출하여 이들의 평균과 표준편차를 산정한다.

여러 번의 모의실험 분석으로 도출되는 다수의 측정지표(본 분석을 통해 수집되는 측정지표는 연료소비량) 평균값의 10% 내로 표준편차가 작아지는 경우까지 10회씩 횟수

를 증가하며 모의실험을 수행한다.



〈그림 17〉 CORSIM 모의실험 프로그램 응용활용 Processor

#### 나. 총 모의실험 수행 횟수

본 연구에서 수행한 CORSIM 모의실험 수행횟수는 최소 총 1,620회이다. 교통선진화방안 과제 개별항목별 최소 270번의 모의실험을 수행하여 분석하였다(교통량 수준 3단계 × 접근교통량 비 3단계 × 회전교통량 3단계 × 무작위 난수 초기변수 10개). 경우에 따라 표준편차가 평균의 10%보다 클 경우 10회의 모의실험을 추가로 수행하여 270번의 두 배인 540번의 모의실험을 수행한 경우도 포함되어 있어 실제로 자료생성을 위해 수행한 모의실험 수행횟수는 1,620회 이상이며 이와 같은 반복 실행을 통하여 본 분석에 사용되는 최종 모의실험 기초자료를 생성하였다.

## 제2절 선진화방안 과제별 모의실험 결과

아래의 세부 단락은 교통선진화사업 6개 세부과제별 방법적용에 따라 구분된 모의실험 분석결과를 정리·제시한다.

## 1. 점멸신호 운영

교통신호운영이 불필요한 도로 교차지점에서 올바른 검토 없이 교통신호기를 설치하고 운영하는 경우 오히려 차량정체를 유발하는 경우가 존재한다. 차량활동이 많은 낮 시간 대에는 교통량이 일반적으로 많으나 야간시간의 경우 교통량이 한산하게 되어 교통신호를 이용한 교통정리가 비효율적이다. 운전자들은 야간에 이러한 불합리한 교통신호를 준수하지 않아 신호위반을 하게 되는 상황을 학습하게 되어 도로교통법 위상이 저하된다.

따라서 점멸신호운영은 교통량이 낮은 경우에 적용 효용성이 크다. 이러한 상황 분석을 토대로 교통량-대-용량 비율이 약 절반 수준 이하일 경우만을 대상으로 설계한 분석 시나리오에 대한 모의실험 결과를 교통수준별로 구분하여 <표 28>, <표 29>, <표 30>에 제시하였다. <표 28>, <표 29>, <표 30>는 포화도가 각각 0.2, 0.4, 0.6 수준인 교통상황의 경우 모의실험 분석결과를 제시한다.

CORSIM모의실험모형은 점멸신호운영을 운전자 차간간격수락(Gap Acceptance)모형을 적용하여 모사한다. CORSIM은 과격한 운전자로부터 얌전한 운전자까지 10개의 운전자 타입(Driver Type)을 구분하며 그에 따른 임계차간간격(Critical Gap) 초기 값을 설정한다. 모의실험 중 차량 대기시간이 길어지는 경우 운전자가 임계간격이 점차 줄어들게 되어 있어 점멸신호상황에서의 분석된 결과는 모형의 이러한 과소추정 경향을 반영한다.

<표 28> 교통수준 1상황 점멸신호운영 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	933.71	714.45	-219.26	-23.48
	10	862.69	704.70	-157.99	-18.31
	15	944.23	787.98	-156.25	-16.55
60:40	5	839.32	627.53	-211.79	-25.23
	10	917.95	702.06	-215.89	-23.52
	15	1,146.39	679.75	-466.64	-40.71
65:35	5	846.66	626.99	-219.67	-25.95
	10	692.94	521.71	-171.23	-24.71
	15	812.18	623.27	-188.91	-23.26
평균		888.45	665.38	-223.07	-24.64

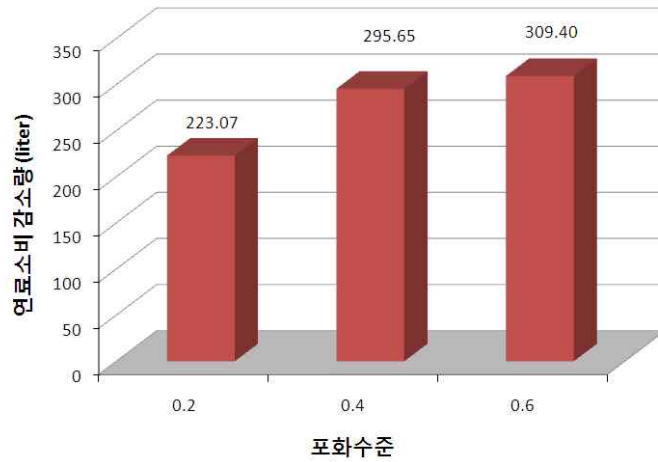
〈표 29〉 교통수준 2상황 점멸신호운영 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	1,824.38	1,535.23	-289.15	-15.85
	10	1,883.65	1,588.20	-295.45	-15.68
	15	1,664.17	1,366.47	-297.70	-17.89
60:40	5	1,596.08	1,298.62	-297.46	-18.64
	10	1,881.64	1,579.74	-301.90	-16.04
	15	1,920.60	1,609.11	-311.49	-16.22
65:35	5	1,926.47	1,631.10	-295.37	-15.33
	10	1,630.66	1,344.20	-286.46	-17.57
	15	1,647.87	1,361.96	-285.91	-17.35
평균		1,775.06	1,479.40	-295.65	-16.73

〈표 30〉 교통수준 3상황 점멸신호운영 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	2,610.60	2,324.67	-285.93	-10.95
	10	2,376.81	2,071.01	-305.80	-12.87
	15	2,450.44	2,140.19	-310.25	-12.66
60:40	5	2,357.87	2,066.20	-291.67	-12.37
	10	2,510.55	2,209.87	-300.68	-11.98
	15	2,584.43	2,271.76	-321.67	-12.10
65:35	5	2,673.45	2,335.51	-337.94	-12.64
	10	2,507.34	2,195.18	-312.16	-12.45
	15	2,456.29	2,137.81	-318.48	-12.97
평균		2,503.09	2,194.69	-309.40	-12.33

포화도 수준이 낮은 운영 상태( $v/c = 0.2, 0.4, 0.6$ )를 모의실험 분석하였기에 결과의 자유도가 높아 접근교통량 비, 좌회전 비 등에 따라 증감되는 연료소비량 변화의 경향은 의미가 낮다. 각 포화수준에 따라 예측되는 연료소비 감소량은 〈그림 18〉과 같다. 포화도가 0.2, 0.4, 0.6 수준에서 점멸신호운영을 수행할 시 평균 223.07리터/시, 295.65리터/시, 309.40리터/시 연료감소 효과가 존재하는 것으로 분석되었다.



〈그림 18〉 점멸신호운영 시 포화수준별 연료소비 감소

위의 분석결과는 왕복4차로 도로가 교차하는 교차로 경우를 대표한다. 도로의 차로수가 4차로가 아닌 다른 교차로의 경우는 차로 수 증감을 고려하며 교차로에서의 평균 연료소비 감축 분을 추정한다.

## 2. 보행자작동신호기 운영

보행자작동신호는 보행자 교통량이 낮을 때 효율적이며 차량교통량이 높을 때 효율적으로 측정될 수 있다. 따라서 보행교통량이 100명/시, 200명/시일 때를 구분하여 분석을 수행한다. 아래의 세부단락은 상기 두 가지 경우에 대하여 모의실험을 수행한 결과를 제시하며 이들 결과의 평균으로 보행자작동신호운영에 따른 영향을 추정한다.

### 1) 교차로 보행자교통량 100명/시 경우

보행교통량이 100명/시인 경우를 대상으로 교통량-대-용량 비율이 0.75, 0.85, 0.95 수준인 경우에 대하여 모의실험 분석한 결과를 <표 31>, <표 32>, <표 33>에 구분하여 제시하였다. 포화도 수준이 0.75, 0.85, 0.95 일 때 21.41 리터/시, 79.18 리터/시, 95.70 리터/시 연료소비 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

〈표 31〉 교통수준 4상황 보행자동신호기(100명/시) 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	700.25	684.82	-15.43	-2.20
	10	722.74	717.07	-5.67	-0.78
	15	698.42	694.37	-4.05	-0.58
60:40	5	740.37	726.76	-13.61	-1.84
	10	1,048.81	1,009.57	-39.24	-3.74
	15	675.90	676.73	0.83	0.12
65:35	5	1,004.93	961.02	-43.91	-4.37
	10	671.15	669.08	-2.07	-0.31
	15	1,068.13	998.55	-69.58	-6.51
평균		814.52	793.11	-21.41	-2.25

〈표 32〉 교통수준 5상황 보행자동신호기(100명/시) 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	778.23	762.87	-15.36	-1.97
	10	1,261.76	1,141.73	-120.03	-9.51
	15	761.55	759.39	-2.16	-0.28
60:40	5	798.06	784.59	-13.47	-1.69
	10	829.10	824.16	-4.94	-0.60
	15	850.25	848.75	-1.50	-0.18
65:35	5	1,204.97	1,055.91	-149.06	-12.37
	10	1,378.79	1,159.36	-219.43	-15.91
	15	1,414.94	1,228.27	-186.67	-13.19
평균		1,030.85	951.67	-79.18	-6.19

〈표 33〉 교통수준 6상항 보행자동신호기(100명/시) 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	887.55	874.39	-13.16	-1.48
	10	924.92	918.28	-6.64	-0.72
	15	912.81	912.42	-0.39	-0.04
60:40	5	905.10	889.50	-15.60	-1.72
	10	1,525.01	1,301.72	-223.29	-14.64
	15	819.38	818.47	-0.91	-0.11
65:35	5	1,449.84	1,198.36	-251.48	-17.35
	10	1,526.03	1,307.50	-218.53	-14.32
	15	1,670.23	1,538.96	-131.27	-7.86
평균		1,180.10	1,084.40	-95.70	-6.47

도로를 횡단하는 보행자 수가 많지 않은 신호교차로의 경우 보행자가 없는데도 횡단보도 신호가 작동되는 경우가 존재한다. 이 때 횡단보행자가 있는 경우를 가정하며 차량 녹색시간의 최소길이를 적용하는 제어방법이 적용된 교차로의 경우 불필요하게 녹색시간이 길게 배분되어 차량에게 할당되는 신호시간이 비효율적일 수 있다. 보행자들에게 별도의 버튼을 제공하여 해당 버튼을 누른 경우에만 보행신호가 작동될 수 있게 할 수 있다. 보행자가 존재하는 경우에 한하여 보행녹색신호를 제공하는 경우 보행자가 존재하지 않을 때 차량 녹색시간을 효율적으로 사용할 수 있다.

## 2) 교차로 보행자교통량 200명/시 경우

보행교통량이 200명/시인 경우를 대상으로 교통량-대-용량 비율이 0.75, 0.85, 0.95 수준인 경우에 대하여 모의실험 분석한 결과를 〈표 34〉, 〈표 35〉, 〈표 36〉에 구분하여 제시하였다. 포화도 수준이 0.75, 0.85, 0.95 일 때 21.35 리터/시, 78.72 리터/시, 96.65 리터/시 연료소비 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

〈표 34〉 교통수준 4상황 보행자동신호기(200명/시) 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	700.25	684.64	-15.61	-2.23
	10	722.74	717.42	-5.32	-0.74
	15	698.42	694.01	-4.41	-0.63
60:40	5	740.37	726.84	-13.53	-1.83
	10	1,048.81	1,011.52	-37.29	-3.56
	15	675.90	675.12	-0.78	-0.12
65:35	5	1,004.93	962.02	-42.91	-4.27
	10	671.15	668.97	-2.18	-0.32
	15	1,068.13	997.97	-70.16	-6.57
평균		814.52	793.17	-21.35	-2.25

〈표 35〉 교통수준 5상황 보행자동신호기(200명/시) 연료소비 감소량

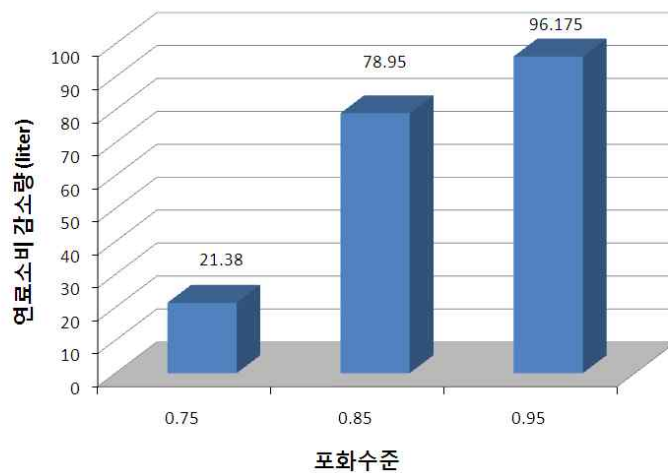
분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	798.06	784.91	-13.15	-1.65
	10	829.10	823.79	-5.31	-0.64
	15	850.25	849.04	-1.21	-0.14
60:40	5	778.23	764.86	-13.37	-1.72
	10	1,261.76	1,144.99	-116.77	-9.25
	15	761.55	760.18	-1.37	-0.18
65:35	5	1,204.97	1,054.07	-150.90	-12.52
	10	1,378.79	1,158.21	-220.58	-16.00
	15	1,414.94	1,229.16	-185.78	-13.13
평균		1,030.85	952.13	-78.72	-6.14

〈표 36〉 교통수준 6상황 보행자자동신호기(200명/시) 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	887.55	875.11	-12.44	-1.40
	10	924.92	916.55	-8.37	-0.90
	15	912.81	910.88	-1.93	-0.21
60:40	5	905.10	889.13	-15.97	-1.76
	10	1,525.01	1,299.54	-225.47	-14.78
	15	819.38	818.38	-1.00	-0.12
65:35	5	1,449.84	1,198.27	-251.57	-17.35
	10	1,526.03	1,310.50	-215.53	-14.12
	15	1,670.23	1,532.62	-137.61	-8.24
평균		1,180.10	1,083.44	-96.65	-6.54

## 1) 교차로 보행자교통량 100명/시 경우

보행교통량이 100명/시와 200명/시인 경우를 모두 고려하여 보행자자동신호기 운영 시 연료소비량 효과 대표 값을 추정하였다. 모의실험으로부터 도출된 결과를 근거로 〈그림 19〉는 포화수준이 0.75, 0.85, 0.95인 경우에 따라 연료소비감소량 효과가 21.38 리터/시, 78.95 리터/시, 96.175 리터/시 있는 것으로 분석한다.



〈그림 19〉 보행자자동신호기 적용 시 포화수준별 연료소비 감소

### 3. 비보호좌회전 확대 운영

비보호좌회전은 차량 교통량이 낮을 때 효율적이다. 교차로를 진행 직진차량의 수가 적을 경우 직진으로 정주기(pre-timed) 배분되는 녹색신호가 비효율적으로 운영될 수 있으며, 이 때 좌회전 차량은 비보호로 진행을 할 수 있음에도 불구하고 신호를 대기하여야 하는 상황에 처하여 불필요한 정체를 경험하게 된다. 신호주기 길이 역시 길어져 타 방향 움직임의 정체역시 증가할 수 있다. 교차로 교통량이 많은 경우 비보호좌회전 차량은 대향방향으로부터 진행이 허용되는 차간간격을 발견할 수 없어 비보호좌회전 차량은 진행할 수 없다. 이러한 경우 일반적으로 교통규제단계에서 비보호좌회전 운영을 허용하지도 않으며 허용하여서도 안 된다. 교차로 포화도 수준이 0.2, 0.4, 0.6인 경우를 대상으로 해당상황의 경우에 감소되는 연료소비량 추정 모의실험 분석결과를 <표 37>, <표 38>, <표 39>에 정리하여 제시하였다.

<표 37> 교통수준 1상황 비보호좌회전 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	135.88	129.37	-6.51	-4.79
	10	175.97	166.82	-9.15	-5.20
	15	215.36	205.06	-10.30	-4.78
60:40	5	143.67	136.82	-6.85	-4.77
	10	176.96	168.64	-8.32	-4.70
	15	142.33	135.65	-6.68	-4.69
65:35	5	147.09	139.99	-7.10	-4.83
	10	137.75	131.24	-6.51	-4.73
	15	138.77	134.82	-3.95	-2.85
평균		157.09	149.82	-7.26	-4.59

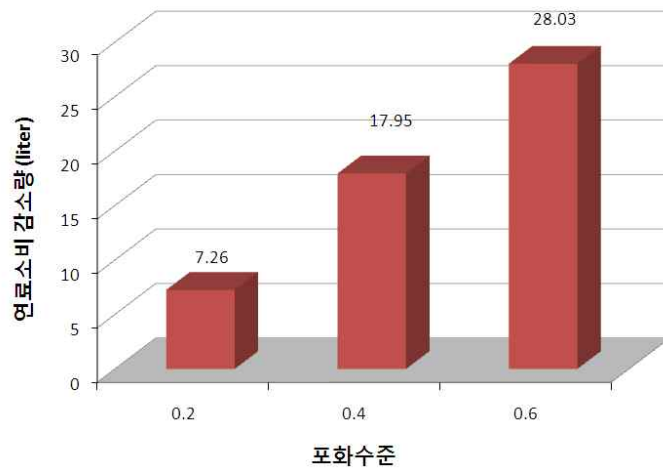
〈표 38〉 교통수준 2상황 비보호좌회전 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	418.92	399.87	-19.05	-4.55
	10	409.65	390.74	-18.91	-4.62
	15	421.73	402.43	-19.30	-4.58
60:40	5	373.60	356.17	-17.43	-4.67
	10	411.11	393.20	-17.91	-4.36
	15	435.07	416.01	-19.06	-4.38
65:35	5	331.97	316.96	-15.01	-4.52
	10	366.45	349.73	-16.72	-4.56
	15	397.94	379.81	-18.13	-4.56
평균		396.27	378.32	-17.95	-4.53

〈표 39〉 교통수준 3상황 비보호좌회전 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	606.11	577.20	-28.91	-4.77
	10	679.30	646.99	-32.31	-4.76
	15	665.15	635.73	-29.42	-4.42
60:40	5	544.86	520.18	-24.68	-4.53
	10	562.66	535.65	-27.01	-4.80
	15	602.45	572.41	-30.04	-4.99
65:35	5	535.08	509.39	-25.69	-4.80
	10	564.42	536.06	-28.36	-5.02
	15	530.37	504.51	-25.86	-4.88
평균		587.82	559.79	-28.03	-4.77

교차로 전체 포화도 수준이 낮은 경우 일반적으로 비보호좌회전을 수행하는 차량의 수도 함께 많지 않다. 포화도 수준이 0.2, 0.4, 0.6인 경우 연료소비감소량은 각각 7.26 리터/시, 17.95 리터/시, 28.03 리터/시 인 것으로 정리된다(〈그림 20〉 참조).



〈그림 20〉 비보호좌회전 시 포화수준별 연료소비 감소

포화도 수준이 낮은 경우 비보호좌회전 차량의 수도 낮아 연료소비 감소 효과가 적다. 포화도 수준이 일정 수준 상승하면 비보호좌회전 차량의 수가 증가하여 연료소비 감소효과가 증가한다. 포화도가 0.6 수준은 전체 녹색시간 중 60%만 차량이 사용하며 40% 시간은 여유분으로 남는 수준에 해당한다.

#### 4. 좌회전 신호보완 (감응신호운영)

좌회전감응신호운영은 좌회전차량이 존재하는 경우에만 좌회전차량에게 통행우선권을 배분하는 신호운영방법이다. 좌회전신호시간 길이를 좌회전 수요를 고려하여 최소녹색시간과 최대녹색시간 사이의 값으로 설정하는 방법으로 교통량이 많은 경우 좌회전 신호시간 길이가 항상 최대녹색시간으로 설정(Max-out)되게 되어 감응신호가 정주기 신호처럼 운영되어 좌회전감응신호 운영 효율성이 사라진다. 좌회전 신호시간을 줄이며 줄여진 시간만큼 직진으로 신호시간을 배분한다.

교통량이 적은 상황(포화수준 0.2, 0.4, 0.6)을 대상으로 좌회전감응신호운영으로 인한 연료소비 절감효과를 추정한다. 교차로 포화도 수준이 0.2, 0.4, 0.6인 경우를 대상으로 해당상황의 경우에 감소되는 연료소비량 추정 모의실험 분석결과를 〈표 40〉, 〈표 41〉, 〈표 42〉에 정리하여 제시하였다.

〈표 40〉 교통수준 1상황 좌회전감응 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	243.07	236.14	-6.93	-2.85
	10	265.12	260.77	-4.35	-1.64
	15	288.84	284.28	-4.56	-1.58
60:40	5	241.55	234.62	-6.93	-2.87
	10	265.83	261.36	-4.47	-1.68
	15	289.64	286.98	-2.66	-0.92
65:35	5	262.02	253.25	-8.77	-3.35
	10	239.79	234.97	-4.82	-2.01
	15	291.76	288.80	-2.96	-1.01
평균		265.29	260.13	-5.16	-1.99

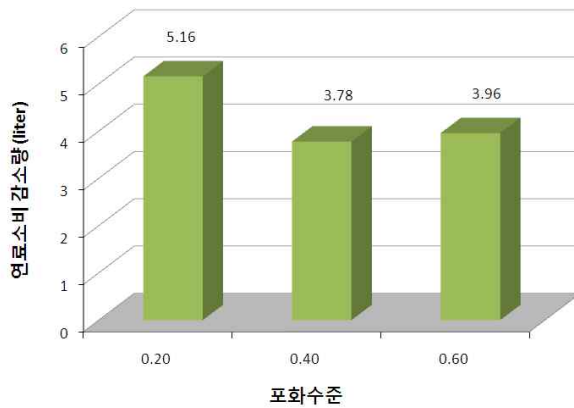
〈표 41〉 교통수준 2상황 좌회전감응 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	490.16	481.15	-9.01	-1.84
	10	537.09	533.33	-3.76	-0.70
	15	589.04	590.13	1.09	0.19
60:40	5	487.10	478.29	-8.81	-1.81
	10	533.78	532.71	-1.07	-0.20
	15	588.21	587.81	-0.40	-0.07
65:35	5	487.02	477.37	-9.65	-1.98
	10	536.17	534.50	-1.67	-0.31
	15	587.50	586.72	-0.78	-0.13
평균		537.34	533.56	-3.78	-0.76

〈표 42〉 교통수준 3상항 좌회전감응 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	723.21	712.82	-10.39	-1.44
	10	795.13	792.82	-2.31	-0.29
	15	868.45	870.42	1.97	0.23
60:40	5	724.01	713.99	-10.02	-1.38
	10	799.92	795.16	-4.76	-0.60
	15	873.09	875.12	2.03	0.23
65:35	5	729.17	717.77	-11.40	-1.56
	10	804.57	800.13	-4.44	-0.55
	15	877.49	881.19	3.70	0.42
평균		799.45	795.49	-3.96	-0.55

포화도 수준이 0.2, 0.4, 0.6인 경우 연료소비감소량은 각각 5.16 리터/시, 3.78 리터/시, 3.96 리터/시 인 것으로 분석되었다(〈그림 21〉 참조). 교통량(포화수준)이 높아지는 경우 좌회전 녹색시간이 최대녹색시간까지 증가하기 때문에 좌회전감응신호운영 결과가 정주기신호운영 결과와 동일하게 된다. 때문에 포화수준이 증가할수록 좌회전감응신호운영으로 기대되는 효과가 줄어드는 경향이 〈그림 21〉에도 반영된다.



〈그림 21〉 좌회전 감응 시 포화수준별 연료소비 감소

## 5. 직진우선 신호원칙

신호현시 순서를 표출함에 있어 과거에 좌회전이 선행되고 직진이 후행되었다. 그러나 교통신진화 방안을 통해 직진이 먼저 등화 되고 이후에 좌회전이 등화 되는 직진우선 신호가 적용되고 있다. 이러한 직진우선 신호원칙은 유효녹색시간만을 고려하는 독립교차로 수준의 분석보다 여러 개의 신호교차로가 배열되는 도로 축 분석을 통하여 효과가 나타난다. 신호연동에 의하여 신호를 받는 직진움직임보다 신호연동에 의하여 영향 받지 않는 좌회전움직임이 신호현시 표출 순서에 오히려 민감하게 영향 받기 때문이다.

일련의 신호가 연동하는 간선도로 도로축에서의 신호시간은 직진신호 시작시간을 중심으로 설계된다. 선행좌회전의 경우 좌회전신호가 종료하고 직진이 등기되는 시각에 맞추어 신호가 설계되기 때문에 좌회전 차량은 다음 주기의 신호시간을 이용하여야 하여 대기 시간이 길다. 반면 후행좌회전의 경우 직진차량의 진행은 큰 차이가 없으나 좌회전 차량은 다음 주기까지 신호시간을 대기하여야 할 필요가 없이 바로 다음 좌회전 신호현시를 이용하며 진행할 수 있다. 다양한 포화도 수준(0.75, 0.85, 0.95)에 따라 직진우선 신호원칙 적용 시 분석되는 연료소비 감소량은 <표 43>, <표 44>, <표 45>로 정리된다.

<표 43> 교통수준 4상황 직진우선 신호원칙 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	3,946.86	3,927.41	-19.45	-0.49
	10	4,350.15	4,326.21	-23.94	-0.55
	15	4,774.85	4,734.90	-39.95	-0.84
60:40	5	3,951.24	3,927.44	-23.80	-0.60
	10	4,370.10	4,342.29	-27.81	-0.64
	15	4,794.06	4,754.10	-39.96	-0.83
65:35	5	3,962.78	3,955.38	-7.40	-0.19
	10	4,391.51	4,361.54	-29.97	-0.68
	15	4,832.06	4,797.86	-34.20	-0.71
평균		4,374.85	4,347.46	-27.39	-0.61

〈표 44〉 교통수준 5상황 직진우선 신호원칙 연료소비 감소량

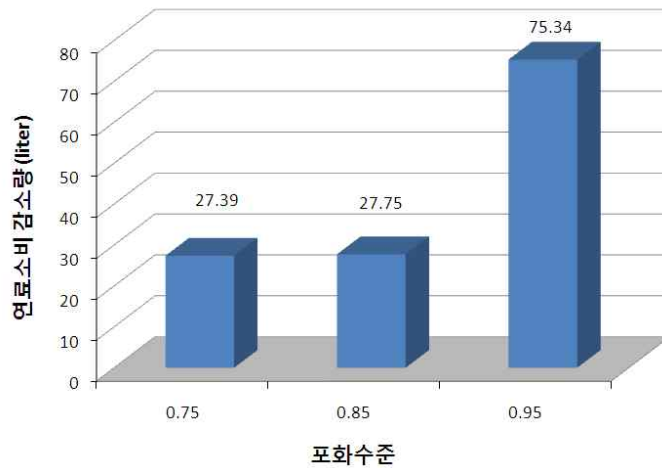
분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	4,667.59	4,652.71	-14.88	-0.32
	10	5,177.28	5,165.25	-12.03	-0.23
	15	5,931.22	5,888.71	-42.51	-0.72
60:40	5	4,701.46	4,686.51	-14.95	-0.32
	10	5,202.26	5,172.99	-29.27	-0.56
	15	5,752.35	5,722.74	-29.61	-0.51
65:35	5	4,759.11	4,730.96	-28.15	-0.59
	10	5,337.77	5,308.66	-29.11	-0.55
	15	5,941.65	5,892.42	-49.23	-0.83
평균		5,274.52	5,246.77	-27.75	-0.51

〈표 45〉 교통수준 6상황 직진우선 신호원칙 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	5,415.86	5,391.91	-23.95	-0.44
	10	6,025.96	5,988.36	-37.60	-0.62
	15	*****	*****	N/A	N/A
60:40	5	5,510.34	5,428.62	-81.72	-1.48
	10	5,760.69	5,726.39	-34.30	-0.60
	15	*****	*****	N/A	N/A
65:35	5	5,654.96	5,611.02	-43.94	-0.78
	10	6,194.31	6,020.28	-174.03	-2.81
	15	*****	*****	N/A	N/A
평균		5,760.35	5,694.43	-65.92	-1.12

직진우선 신호원칙 적용 전후 차이는 분석대상 네트워크에 대기하는 좌회전차량이 비율이다. 후행좌회전을 이용하는 좌회전 차량이 줄어드는 만큼 지체가 감소하고 지체가 감소하는 만큼 연료소비량이 감소하는 결과를 도출한다(〈그림 22〉참조). 그러나 전체교통량 중 좌회전 비율이 일정수준 이상 증가하는 경우 좌회전 차량이 좌회전 전용차로에

완전하게 담기지 못하고 넘쳐흘러서 직진차량의 진행을 방해하게 된다. 본 분석에서는 좌회전교통량비율이 15%를 초과할 시 과포화상황이 발생되어 지체도 수준에 오류가 있음을 확인하였다. 교통신호시간 설계 시 좌회전교통량 비율과 함께 고려되어야 할 설계 요소는 좌회전 전용차로의 길이이다.



〈그림 22〉 직진우선원칙 적용 시 포화수준별 연료소비 감소

## 6. 신호연동 시스템 확대

일련의 신호교차로로 구성되는 도로축에서 직진차량 움직임이 시작하는 시간에 따라 녹색시간 시작시간을 연등하는 신호연동시스템을 적용할 경우 신호운영효율이 높다. 이러한 신호연동시스템은 일반적인 신호제어기만을 설치하는 것으로 구현할 수 없으며 신호연동체계를 구축하기 위하여 신호시각 동기장치 등 일련의 별도 시스템을 구축하여야 한다.

신호연동체계가 구축되지 않은 도로의 경우 직진흐름은 매 신호교차로마다 단절되게 되어 정체가 유발되고 이로 인한 연료소비가 증가한다. 교통연동 효과는 교통량이 적은 수준에 비하여 일정수준 높은 경우 가장 많이 기대된다. 교통량에 따른 포화수준이 0.75, 0.85, 0.95인 상황에서의 신호연동 적용에 따른 연료소비 감소효과를 〈표 46〉, 〈표 47〉, 〈표 48〉에 구분하여 제시하였다.

〈표 46〉 교통수준 4상황 신호연동 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	4,012.17	3,927.41	-84.76	-2.11
	10	4,425.48	4,326.21	-99.27	-2.24
	15	4,839.20	4,734.90	-104.30	-2.16
60:40	5	4,020.27	3,927.44	-92.83	-2.31
	10	4,464.05	4,342.29	-121.76	-2.73
	15	4,861.68	4,754.10	-107.58	-2.21
65:35	5	4,043.36	3,955.38	-87.98	-2.18
	10	4,459.32	4,361.54	-97.78	-2.19
	15	4,893.08	4,797.86	-95.22	-1.95
평균		4,446.51	4,347.46	-99.05	-2.23

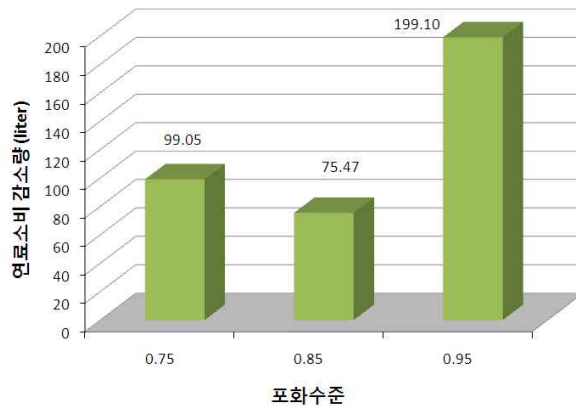
〈표 47〉 교통수준 5상황 신호연동 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	4,728.06	4,652.71	-75.35	-1.59
	10	5,245.64	5,165.25	-80.39	-1.53
	15	5,959.15	5,888.71	-70.44	-1.18
60:40	5	4,758.40	4,686.51	-71.89	-1.51
	10	5,251.20	5,172.99	-78.21	-1.49
	15	5,794.40	5,722.74	-71.66	-1.24
65:35	5	4,802.25	4,730.96	-71.29	-1.48
	10	5,373.67	5,308.66	-65.01	-1.21
	15	*****	*****	N/A	N/A
평균		5,239.10	5,166.07	-73.03	-1.40

〈표 48〉 교통수준 6상황 신호연동 연료소비 감소량

분석 시나리오		연료소비량 (단위: Liter)		변화수준	
접근교통량 비	좌회전 비(%)	미시행	시행	차이	증감율(%)
55:45	5	5,530.62	5,391.91	-138.71	-2.51
	10	6,320.24	5,988.36	-331.88	-5.25
	15	*****	*****	N/A	N/A
60:40	5	5,570.24	5,428.62	-141.62	-2.54
	10	6,099.63	5,726.48	-373.15	-6.12
	15	*****	*****	N/A	N/A
65:35	5	5,724.60	5,611.02	-113.58	-1.98
	10	6,436.83	6,020.28	-416.55	-6.47
	15	*****	*****	N/A	N/A
평균		5,947.03	5,694.44	-252.58	-4.14

분석대상 포화수준별 연료소비 감소량이 일정한 경향을 가지고 증감하지 않는다. 이는 교통신호시간 설계에 TRANSYT-7F 소프트웨어를 사용하고, 설계된 신호시간을 CORSIM으로 분석함에 기인한다. TRANSYT-7F는 수리모형(Analytical Model)을 기반으로 하는 설계모형(Design tool)이고 CORSIM은 모의실험(Microscopic Simulation)을 기반으로 하는 평가모형(Evaluation tool)이다. 서로 다른 두 개의 모형이 지시하는 최적 운영상태가 다를 수 있어 〈그림 23〉과 같은 차이가 존재한다. 포화수준이 증가함에 따라 신호연동 운영으로 교차로에서 정지하지 않고 처리되는 교통량이 많아져 연료소비 감소량이 증가하는 추세가 도출된다.



〈그림 23〉 신호연동시스템 적용 시 포화수준별 연료소비 감소

### 제3절 세부과제별 탄소배출 감소효과

교통운영체계 선진화방안 6개 세부과제 탄소배출 감소효과를 (1) 교차로 규모, (2) 요일, (3) 기존 현장 집행비율 등에 대한 내용을 반영하며 항목별로 추정한다.

#### 1. 교차로 규모에 따른 연료소비 감축량 보정

교통운영선진화 6개 세부항목 효과가 기대되는 포화도수준을 대상으로 모의실험을 분석하였다. 이는 특정 규모의 교차로에서 한 시간 동안 기대되는 연료소비 감축량에 해당한다.<sup>11)</sup> 이를 토대로 특정 규모가 아닌 다양한 크기의 교차로들에서 연료소비 감축 기대치를 유추하여야 한다. 모의실험을 통해 도출된 원단위(단위 교차로별 한 시간 동안 기대되는 연료소비 감축량)를 기준으로 교차로 규모별로 연료소비 감축량을 보정하는 계수를 정리하여 <표 49>에 제시하였다.

<표 49> 차로 수를 반영한 모의실험 추정 연료소비량 보정계수

구분	점멸	보행자작동	연동	비보호	직진우선	좌회전감응
4차로	0.67	1.00	0.67	1.00	0.67	1.00
6차로	1.00	1.50	1.00	N/A	1.00	1.50
8차로	N/A	2.00	1.33	N/A	1.33	2.00
10차로	N/A	2.50	1.67	N/A	1.67	2.50

점멸신호운영, 신호연동, 직진우선신호체계의 모의실험 분석에 사용된 신호교차로 차로 수는 경우 6차로(편도 3차로)이다. 보행자작동신호, 비보호좌회전, 좌회전감응신호운영 모의실험 분석을 위해 사용된 신호교차로 차로 수는 4차로(편도 2차로)이다. 편도2차로를 기준으로 처리되는 직진교통량을 기준으로 편도 3차로로 처리되는 직진교통량은 이의 1.5배에 해당하고 편도 4차로 경우는 2.0배로 직진 차로 수에 따라 증가하는 것을 가정한다.

11) 직진우선, 신호연동, 점멸운영과 같이 간선도로 축을 대상으로 모의실험 분석한 경우 결과를 1/3 배하여 한 개 교차로에 대한 연료소비 감축량으로 수치를 환산하였음

## 2. 세부과제별 연료소비 감축효과

교통운영체계선진화방안으로 수행되는 6개 세부과제를 전국 대상으로 수행하였을 시 기대되는 에너지소비 감소량을 식(11)을 토대로 추정된 결과 <표 50>과 같다. 본 실험에서는 CORSIM 모의실험을 적용하여 분석하였기 때문에 우리나라 등록 차량 중 휘발유, 경유, LPG 연료차량 비율을 고려하지 않고, 전 차량이 휘발유 연료를 사용하는 차량으로 가정한 상태로 에너지소비 감축효과를 추정하는 한계를 가지고 있다.

## 3. 일요일 및 공휴일에 대한 보정

일요일 및 공휴일의 교통흐름은 평일과는 다른 양상을 나타낸다. 예를 들어, 평일에는 출퇴근을 목적으로 하는 통행의 패턴이 뚜렷하고 시내통행이 많으나 주말의 경우에는 도로를 이용하는 전체 교통량 수준이 주중의 경우와 비교하였을 시 상대적으로 적다. 이러한 측면을 고려해서 요일별 교통량 비율 0.86% (이용택 외 2명, 2005)을 반영하여 분석을 수행하였다(과포화상태에서 발견되는 정체는 본 연구에서 고려하지 않기에 비포화상태에서의 (1) 교통량 비율 대 (2) 지체로 인한 연료소비의 관계가 선형관계(linear)임을 가정하여 일요일 및 공휴일에 해당하는 날(총62일/년<sup>12)</sup>)은 연료소비량을 0.86% 감소).

## 4. 기존 현장 집행 비율에 대한 보정

또한, 교통운영체계선진화방안 세부과제 중 일부는 이미 현장에 적용되고 있는 교차로 비율도 본 분석에 고려하여야 한다. 현재 실행되고 있는 세부과제가 본 분석 대상 6개 세부과제와 중복되기 때문에 현장에 이미 실행되고 있는 비율을 고려하여 해당 부분만큼 차감하며 6개 세부과제별 에너지소비 감축효과를 산정하였다. <표 51>은 현재 현장에서 운영되고 있는 교통운영체계선진화방안 세부과제(본 연구 분석 대상에 한함)의 현장적용 비율이다.

12) 규정 및 추석 당일을 제외한 교통정체 휴일은 본 분석에서 제외(교차로가 과포화 운영되는 경우 교통운영선진화 탄소저감 효과기대할 수 없음을 분석에 반영). 보수적인(conservative) 탄소감축량 분석을 위하여 공휴일과 일요일이 겹치는 경우가 없는 상황을 반영하며 분석함.

단위시간당으로 분석된 에너지 절감효과를 년 단위로 변환하면 <표 52>와 같은 결과로 도출된다. 분석결과에 따르면 보행자작동신호와 점멸신호 운영이 교통운영신진화방안 6개 세부과제 중에서 에너지절감에 큰 효과를 나타내는 것을 알 수 있다.

<표 50> 교통신진화방안 세부과제별 연료소비 감축량 (리터/시/교차로; 기준교차로 참조)

구분	점멸신호 운영				보행자작동신호기				비보호좌회전활성화				좌회전 신호보완(감응)				직진우선(선직진)				신호연동운영				
	교차로	규모	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D			
포화 수준	0.20	49.82	74.36	보행자작동신호기 탄소배출 절감효과미흡 (본 분석제외)								7.26	효과미약				효과미약								
	0.40	66.03	98.55									17.95									5.16	7.74	10.32	12.90	
	0.60	69.10	103.13									28.03									3.78	5.67	7.56	9.45	
	0.75	점멸신호 적용불가				21.38	32.07	42.76	53.45	신호현시 Max-out 영향으로 탄소배출절감효과 미흡 (본 분석제외)				6.12	9.13	12.14	15.25	22.12	33.02	43.92	55.14				
	0.85					78.95	118.43	157.90	197.38					비보호좌회전 적용 불가				6.20	9.25	12.30	15.45	16.86	25.16	33.46	42.02
	0.95					96.18	144.27	192.36	240.45									14.72	21.97	29.22	36.69	56.41	84.19	111.97	140.60

<표 51> 교통운영체계신진화방안 세부과제별 현장적용 비율

구분	내용	단위	점멸운영	보행자작동신호	비보호좌회전	좌회전감응	직진우선	신호연동
			효과 순위	58.27%	7.69%	41.05%	1.32%	50.58%

※ 경찰청 내부통계자료 (2010년 10월)

<표 52> 교통운영체계신진화방안 세부과제별 연료소비 절감량 (리터)

구분	내용	단위	점멸운영	보행자작동신호	비보호좌회전	좌회전감응	직진우선	신호연동
			연료 감소량 (리터)	일	7,329,101	27,612,187	1,807,666	1,616,023
	년	1,116,368,645	4,205,888,325	275,343,750	246,152,574	333,102,394	834,251,275	
효과 순위			2	1	5	6	4	3

## 5. 세부과제별 탄소배출 감소량 추정

지금까지 교통운영체계선진화방안 세부과제 적용에 따른 에너지 감소량을 연료(리터)를 단위로 추정하였기에 이를 탄소배출량으로 환산한다. 실제로 차량이 사용하는 연료는 가솔린, 경유, LPG등으로 구분되나 CORSIM 모의실험은 이들 연료를 구분하지 못하는 제약이 있다. 가솔린 감소량을 탄소(CO<sub>2</sub>) 감소량으로 환산하기 위해서는 아래의 방식을 적용한다.

### 가. 탄소배출량 추정방법

저감되는 탄소배출량 추정을 위하여 먼저 감소된 휘발유(리터) 소비량을 석유환산톤(ToE; Ton of Oil Equivalent)<sup>13)</sup>으로 환산한다. 휘발유 소비 감소량에 대한 석유환산톤을 산정하는 방법은 식(12)과 같다.

$$TOE = \text{연료량}(\ell, kg, Nm^3, kWh) \times \text{석유환산계수} \div 1,000\text{toe/kgoe}^{14)} \quad (12)$$

여기에서 석유환산계수는 에너지관리공단(2006)에서 제시한 기준인 0.8을 적용한다(〈표 53〉 참조). 해당 기준에 의하면 에너지열량환산기준에 의하면 가솔린 1ℓ은 8,000 kcal 발열량에 해당된다.

식(12)를 통하여 계산된 석유환산톤에 IPCC가이드라인이 권고하는 탄소배출계수(본 보고서 〈표 12〉 참조) 0.783(Ton C/TOE)을 적용한 후 식(13)을 적용하여 최종 탄소배출 감축량을 계산한다. 계산과정에 사용되는 계수 3.667은 이산화탄소분자량(44)을 탄소원자량(12) 나눈 값이다.

$$TCO_2 = \text{연료의 } TOE \times \text{탄소배출계수}(ton\ C/toe) \times 3.667 \quad (13)$$

13) 국제 에너지기구(IEA)에서 정한 온실가스 계산의 기본 단위

14) kgoe = kilograms of oil equivalent

〈표 53〉 에너지열량환산기준 (에너지기본법 제5조 제1항 관련)

품	단위	총발열량		석유환산계수	비고
		kcal	MJ 환산		
원 유	kg	10,750	45.0	1.075	
휘 발 유	ℓ	8,000	33.5	0.800	
실 내 등 유	ℓ	8,800	36.8	0.880	
보일러등유	ℓ	8,950	37.5	0.895	
경 유	ℓ	9,050	37.9	0.905	
B - A 유	ℓ	9,300	38.9	0.930	계산
B - B 유	ℓ	9,650	40.4	0.965	계산
B - C 유	ℓ	9,900	41.4	0.990	
프 로 판	kg	12,050	50.4	1.205	KS자료
부 탄	kg	11,850	49.6	1.185	KS자료
나 프 타	ℓ	8,050	33.7	0.805	
용 제	ℓ	7,950	33.3	0.795	
항 공 유	ℓ	8,750	36.6	0.875	항공유통합
아 스 팔 트	kg	9,900	41.4	0.990	
윤 활 유	ℓ	9,250	38.7	0.925	
석 유 코 크	kg	8,100	33.9	0.810	
부생연료1호	ℓ	8,850	37.0	0.885	
부생연료2호	ℓ	9,700	40.6	0.970	
천연가스(LNG)	kg	13,000	54.5	1.300	
도시가스(LNG)	Nm <sup>3</sup>	10,550	44.2	1.055	
도시가스(LPG)	Nm <sup>3</sup>	15,000	62.8	1.500	
국내무연탄	kg	4,650	19.5	0.465	
수입무연탄	kg	6,550	27.4	0.655	
유연탄(연료용)	kg	6,200	26.0	0.620	
유연탄(원료용)	kg	7,000	29.3	0.700	
아 역 청 탄	kg	5,350	22.4	0.535	
코 크 스	kg	7,050	29.5	0.705	
전 력	kWh	2,150	9.0	0.215	효율40.20%
신 탄	kg	4,500	18.8	0.450	

\* 출처 : 에너지관리공단, 에너지열량 환산기준 적용 메뉴얼 (2006년 6월)

식(12)을 적용하며 휘발유 사용량에 대한 석유환산톤을 계산하였으며 이를 식(13)에 적용하여 최종 탄소(이산화탄소, CO<sub>2</sub>)배출 감축량을 산정하였다. 선진화방안 세부과제별로 예상되는 탄소배출 감축량 최종 결과는 <표 54>와 같다.

<표 54> 연료소비 절감에 따른 석유환산톤 및 이산화탄소 감축량

구분		점멸운영	보행작동신호	비보호좌회전	좌회전감응	직진우선	신호연동
내용	단위						
석유환산톤 (TOE)	일	5,863.3	22,089.7	8,646.1	1,292.8	1,749.5	4,381.6
	년	893,094.9	3,364,710.7	220,275.0	196,922.1	26,6481.9	667,401.0
TCO <sub>2</sub>	일	16,835.0	63,425.4	24,825.3	3,712.0	5,023.2	12,580.6
	년	2,564,309.6	9,660,962.5	632,467.0	565,414.6	765,139.1	1,916,282.5

#### 나. 분석결과 및 제약

한국교통연구원(2008)은 우리나라에서 배출되는 전체 온실가스의 약 16.6%가 교통 부문에서 배출되며 이 중 77.7%에 해당하는 7,848만 톤이 도로교통에서 배출되는 것으로 보고한다. 해당 수치와 비교할 시 (1) 보행자 작동 신호운영, (2) 점멸신호운영, (3) 신호연동, (4) 직진우선, (5) 비보호좌회전, (6) 좌회전감응 운영기법의 전면 도입으로 각각 도로교통부문의 온실가스의 3.27%, 12.31%, 0.81%, 0.72%, 0.97%, 2.44%의 감소를 기대할 수 있는 수준에 해당된다(<표 55> 참조).

<표 55> 도로교통 부문 전체 온실가스 배출량 기준 차지비율

구분	점멸운영	보행작동신호	비보호좌회전	좌회전감응	직진우선	신호연동
비율	3.27%	12.31%	0.81%	0.72%	0.97%	2.44%

2009년 우리나라 도로교통에서 소비되는 연료 중 경유가 비율이 가장 높고(46.91%)

그 다음으로 휘발유(29.98%)와 LPG(23.11%) 순으로 비율이 높은 것으로 <표 56>와 같이 집계된다(한국석유공사 2010).

<표 56> 2009년 도로교통 부문 년 간 연료종류별 소비

구분	휘발유	경유	LPG
도로교통부문 총 소비량 <sup>1)</sup>	52875 (29.98%)	82720 (46.91%)	40,760 (23.11%)
IPCC 탄소배출계수(TOE당) <sup>2)</sup>	0.783	0.837	0.713
이산화탄소 도로배출계수(g/km) <sup>3)</sup>	2.56~6.21	1.16~12.0	6.17~6.36

1) 출처: 한국석유공사 통계 (2010) <http://www.petronet.co.kr>

2) 출처: UN, IPCC 가이드라인

3) 출처: 환경부 국립환경연구원 (2000) 대기오염물질 배출량

도로교통 부문에서 가장 많이 사용되는 경유 1톤당 이산화탄소배출은 0.837톤으로 휘발유(0.73)에 비하여 약 15% 정도 높다. LPG의 경유는 탄소배출계수가 0.713으로 휘발유에 비하여 0.98% 수준으로 수치는 낮으나 실질적으로 LPG가 배출하는 이산화탄소량은 휘발유 보다 낮지 않다. 이유는 휘발유의 경우 도로 1km를 주행하며 배출하는 이산화탄소량이 2.56(승용차)에서 6.21(버스 및 트럭)이나 LPG의 경우 6.17(택시와 같은 승용차)로부터 6.36(버스 및 트럭)로 그 수준이 높기 때문이다.

신호교차로 교통운영상태 분석을 위하여 본 연구에서 적용한 CORSIM 모의실험 모형은 가솔린에 대한 연료소비량만을 제시한다. 앞서 언급된 이유로 모든 차량들이 휘발유를 사용하는 것을 가정(본 연구에 채택된 모의실험 전산모형의 제약)하는 경우 탄소 배출량 감축 분을 보수적(conservative)으로 과소 추정하게 된다. 과소 추정되는 연구제약 조건 하에서 교통운영체계선진화방안 6개 세부과제 적용을 통해 기대되는 이산화탄소 배출 감축량(<표 54> 참조)을 도식화하면 <그림 24>와 같다.



〈그림 24〉 세부과제별 년 간 이산화탄소 감축량

가장 탄소배출량 효과가 높은 것은 보행자작동신호로 년 간 약 9,660,963톤 CO<sub>2</sub>가 감소되는 것으로 나타난다. 교통운영체계선진화방안 세부과제들 중에서 가장 효과가 높은 것으로 결과 되었다. 그 다음으로는 점멸운영신호 및 신호연동의 효과가 높은 것으로 나타났고, 비보호좌회전, 좌회전감응, 직진우선 신호의 적용은 이산화탄소 효과에 다른 사업에 비해 상대적으로 효과도가 높지 않으나 탄소배출량 감축 효과가 있는 것으로 분석되었다.

## 제5장 결론 및 제언

### 제1절 결론

대통령자문 국가경쟁력강화위원회는 우리나라 현장 교통운영체계의 불합리성을 인식하고 이를 개선하기 위하여 교통운영체계선진화방안을 수행하며 신호교차로에서의 효율적인 운영을 수행하는 것을 세부과제로 포함한다. 신호교차로로 발생하는 지체 및 정체시간 동안 대기차량은 불필요한 연료를 연소하며 탄소를 포함하는 배기가스를 신호교차로에서 대기 중에 배출한다. 실제 선진화사업을 통한 신호운영 개선과제가 현장에 반영될 경우 이로 인한 탄소배출량을 저감하는 효과가 수반될 것으로 기대된다. 더욱이 이러한 저감 효과의 규모가 전국 신호교차로 수를 감안할 시 상당한 수준일 것이라 기대된다. 그러나 우리나라에서의 온실가스 저감 노력은 산업자원, 건설, 교통계획 측면에서의 수행되고 있어, 경찰이 관할하는 교통운영부문에서의 교통운영체계선진화 노력이 실제적인 효과에 비해 조명을 받지 못하는 실정이다.

UNFCCC 기후변화협약과 교토의정서는 온실가스 감축량 목표를 효율적으로 달성할 수 있도록 공동사업 및 거래를 통한 실적 인정방안을 마련하였다. 개발도상국(비부속서I)에 속해있는 우리나라는 자국에서 수행한 온실가스 감축사업을 통해 확보한 온실가스 감축량을 선진국을 대상으로 판매하는 제도(청정개발체제, Clean Development Mechanism)로 국제무대의 선도 기회를 가질 수 있다. 이처럼 청정개발체제 사업이 우리나라에 제공하는 잠재적 기회는 중요하게 해석될 수 있다.

이러한 배경아래 본 연구는 우선 기초적으로 교통운영체계선진화방안으로 수행되는 각각의 세부 실행과제를 통해 기대되는 탄소감축 효과 규모가 어느 수준인지 검토를 수행하고, 탄소감축을 위한 우리나라 경찰의 구체적인 노력이 구체화될 수 있는 청정개발체제 수행을 위한 절차를 검토하였다. 한국교통연구원(2008)은 우리나라 도로교통 부문에서 배출되는 온실가스를 약 7,848 만 톤으로 추정한다. 도로교통에서 대부분 온실가스

의 발생은 도로상에서 발생하는 지정체로부터 기인한다. 교통운영체계선진화는 도로교통에 관한 법제도선진화와 더불어 교통안전 및 소통 증진, 유류비 및 배기가스 절감 등 저탄소녹색성장 부문에 있어 많은 효과가 기대된다. 도로교통 운영부문에서의 개선 노력이 UN 청정개발체제(CDM; 탄소배출거래시장)시장으로 연계될 경우 시너지효과로 국가 교통발전, 경제발전 및 국가 위상 향상을 기대할 수 있다. 교통운영체계선진화사업의 세부 실행과제가 국제사회에서 인정받기 위해서는 이를 청정개발체제로 승화시킬 필요가 있다.

현재, 경찰이 주관하는 교통운영부문에서의 청정개발체제 사업 승인을 받기 위한 방법론은 부재하다. 교통운영체계 선진화사업이 UN으로 부터 인증받기 위한 분석방법론을 개발하여야 한다. 해당 분석방법론은

- (1) IPCC 가이드라인에 권고되는 기본적인 탄소 배출량 산정방법을 기초로 하고
- (2) 사업 시행 전/후의 탄소배출량의 합리적 산정이 가능하도록 분석범위를 정하고
- (3) 사업 시행과 관련된 다양한 시나리오를 설정하고
- (4) 이를 토대로 사업 미시행시 발생하는 탄소발생량을 분석하고
- (5) 사업 시행 시 발생하는 탄소감축량에 대한 모니터링 방법을 객관화할 방법

을 포함하여야 하는 것으로 검토되었다. IPCC 가이드라인의 권고에는 온실가스 배출량 추정에 사용되는 방법들이 소개되지만, 이들 방법들은 기본적으로 교통수요관리를 통한 온실가스 배출감소에 초점을 맞추고 있어 교통운영관리를 통한 분석에 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 (1) 교통운영관리를 위해 고려하여야 하는 기본항목을 정의하고, (2) 도로교통 운영기법 적용 전과 후 상황에 연소되는 연료 에너지 소비량을 추정하고, (3) 이를 토대로 하는 에너지소비변화를 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)로 변환하여 탄소배출량을 추정하는 방법을 제안하였다.

교통운영체계선진화방안 세부과제의 탄소감축량 측정방법 개발에 앞서 전체 세부과제 중 탄소감축이 기대되는 항목과 경찰이 주관하여 추진하는 6개 항목(① 점멸신호 운영, ② 보행자 작동 신호기 설치, ③ 비보호좌회전 확대, ④ 회전교차로 활성화, ⑤ 직진우선 신호원칙 확립, ⑥ 신호연동 시스템 개발·확대)을 대상으로 제안된 방법론을 적용하였다. 추정하는 과정에 (1)교차로규모, (2) 포화도수준, (3) 차량발생의 조합 상황 모두를

고려하며 각각의 세부과제 항목이 독립적으로 적용되었을 시 발생하는 연료소비 절감효과를 추정하였다.

분석된 교통운영체계선진화방안 중 보행자작동신호의 경우가 약 년 간 9,660,963톤의 CO<sub>2</sub> 감소효과가 있는 것으로 도출되어 분석 대상 교통신호운영방안 중 가장 효과가 높은 것으로 나타났다. 이어 점멸운영신호 및 신호연동체계 구축이 탄소배출량 감소 효과가 높은 것으로 나타났고, 그 뒤로 직진우선 신호운영, 비보호좌회전 확대 적용, 좌회전감응신호의 순으로 이산화탄소 발생 감축효과가 있는 것으로 분석되었다.

연구를 통해 분석된 교통운영선진화사업 6개 세부과제들의 탄소감축 비율은 한국교통연구원(2008)이 보고한 우리나라전체 교통부문에서 배출되고 있는 7,848만 톤의 온실가스를 중

- (1) 점멸신호운영 확대적용이 3.27%,
- (2) 보행자작동신호운영 확대적용이 12.31%,
- (3) 비보호좌회전 확대적용이 0.81%,
- (4) 좌회전감응신호 확대적용이 0.72%,
- (5) 직진우선(선직진)신호제어 확대적용이 0.97%,
- (6) 신호연동 확대적용이 2.44%

인 것으로 도출되었다. 이는 6개 교통운영체계선진화 사업을 현장에 실시하였을 경우 한 해 동안 도로교통부문이 배출하는 이산화탄소의 비율을 그 만큼 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다.

본 분석결과는 지구온난화문제가 국제적 화두로 상정되어 탄소저감 기술이 매래 국가의 성장 동력 산업으로 전환되고 있는 현 시점에서 유행에 민감한 다른 타 분야 사업의 우선순위에 밀려 도로교통운영부문의 중요성이 뒤쳐져서는 안 됨을 시사한다. 이를 홍보하여 선진화방안으로 도로교통 현장변화로 발생하는 불편에 대한 국민들의 반감을 저감하고 긍정적 인식을 확보하게 하는 자료로의 활용될 수 있을 것이다. 이를 토대로 우리나라 경찰의 도로교통 운영 업무가 저탄소 녹색성장의 주요 축으로 발전되게 하여 지속적으로 도로교통을 이용하는 국민의 이동효율 및 편의성 증진이 있게 하는 장기적인 업

무체계를 마련할 수 있다.

## 제2절 제언

앞서 모의실험 분석기법을 통해 분석된 교통운영체계선진화방안의 세부과제가 산출하는 이산화탄소 감축량은 양적 측면에서 그 중요성이 인식되었으나, UN에 인정받을 수 있는 수준으로 분석과정과 분석결과를 도출하기 위해서는 크게 세 가지 항목이 추가·보완되어야 할 필요가 있다.

첫째, 국제사회에서 이산화탄소 감축효과가 있는 청정개발체제 사업으로 인정받기 위하여 이산화탄소 배출 감축량이 현재를 기준으로 추가적(특정 시점을 기준으로 추가적으로 감소되어야 함)이어야 하며 실질적이어야 한다. 추가성의 분석을 위해서는 제안방편론과 관련이 있는 다양한 시나리오 설정과 이를 분석하기 위한 연구개발이 필요하다. 예를 들어, 콜롬비아 보고타 BRT사업이 청정개발체제 사업으로 추진되는 과정에서 추가성(Additionality)을 증명하기 위해서 기존 대중교통체계의 개편, 청정개발체제 사업이 포함되지 않는 BRT구축 등 다양한 시나리오를 설정한 바 있다. 또한, BRT사업의 제약조건으로 소요 비용, 정치적 저항, 기존 교통운영업자들의 반대, BRT사업의 경험 미숙 등을 제시하였다. 이에 기초하여, 교통운영체계선진화방안 세부사업의 경우에는 현재 교통 신호시스템 유지, 전도로망 연동화 신호운영, 감응신호시스템 체계 구축 등이 해당될 수 있으며, 교통운영체계선진화사업의 제약조건으로 소요비용, 기존신호운영업자의 반대, 경험미숙 등이 포함될 수 있다.

둘째, 청정개발체제 사업 수행 시 사업 범위 바깥에서 발생하지만 청정개발체제 사업과 관련이 있는 온실가스 배출량(누출, leakage이라고 함)을 객관적으로 산출할 수 있는 방안이 구체화되어야 한다. 예를 들어, 보고타 BRT(Bus Rapid Transit)사업은 탄소누출(leakage)을 고려하기 위하여 BRT건설에 소요되는 시멘트, 아스팔트 생산에서 발생하는 온실가스, 기존 차량 폐차 시 발생하는 온실가스, 사업시행으로 절감된 유류의 정제 및 운송과정에서 줄어드는 온실가스 감소량, BRT운영으로 인한 교통수단 전환 따른 온실가스 감소량, 교통 혼잡 감소로 인한 온실가스 감소 및 이에 따른 수요증가로 인

한 온실가스 변화 내용을 적용하였다. 이를 고려하여, 교통운영체계선진화방안 세부사업의 UN인증 청정개발체제 사업으로 승인을 받기 위한 누출항목 설정에는 현장 도로구조 개선에 소요되는 시멘트와 아스팔트 생산에서 발생하는 온실가스, 선진화사업의 개선효과 즉 교통혼잡 감소로 인한 대중교통/승용차 수요증가로 인한 온실가스 증대 등이 포함될 수 있다.

셋째, 청정개발체제 사업이 시행되는 과정을 보여주는 자료의 투명성을 확보할 수 있을 정도의 모니터링을 실시되어야 한다. 모니터링은 정확한 배출 자료를 수집하기 위한 것으로 (1) 배출 감축 및 기타 사업 목표들이 실제로 달성되고 있다는 신뢰를 주어야 하고, (2) 베이스라인과 사업으로 인한 온실가스 배출과 이에 따른 위험들을 모니터 할 수 있어야 한다.

교통운영체계선진화사업이 청정개발체제 사업으로 시행되는 과정을 보여주는 자료를 객관적으로 확보하여 투명성을 확보하는 방안으로 우리나라 경찰이 보유한 UTIS (Urban Traffic Information Systems)시스템을 활용이 있다. 예로 UTIS가 운영되고 있는 도시에 교통운영체계선진화 세부사업이 적용될 경우, UTIS 정보센터에서는 개별차량이 갖는 반경 500m 이내의 차량이동을 추적할 수 있기 때문에 해당 차량의 속도, 위치정보, 지점 및 가로축별 차량 에너지 변화량 및 온실가스 배출량 측정이 모형 개발 등의 추가 노력이 있을 경우 실시간으로 가능할 수 있는 여건을 확보할 수 있다. 사업 추진에 따른 온실가스 배출량 측정이 가능하고 측정방법에 대한 타당성 입증에 외국에 비하여 유리할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 국가경쟁력강화위원회 (2009a) 12차 회의 보도자료, 2009.05.27.
- 국가경쟁력강화위원회 (2009b) 13차 회의 보도자료, 2009.04.29.
- 국가경쟁력강화위원회 (2009c) 해외출장보고서, unpublished
- 국립환경연구원, 온실가스 및 대기오염물질 배출계수 통합관리 시스템 개발, 2006.
- 국토해양통계누리, <https://stat.mltn.go.kr/>, 2010
- 기후변화홍보포털, <http://www.gihoo.or.kr/portal/index.jsp>, 2010.
- 김영철, 세계 탄소시장 현황과 정책 및 우리의 대응방안, 사단법인한국가스연맹, 봄호, pp24-32, 2009.
- 김진태 · Carbon Trust, Global Carbon Mechanisms: Emerging lessons and implications (CTC748), <http://www.carbontrust.co.uk>, 2009.
- 김태호 · 이수일 · 김영일 · 노정현, 도로교통부문의 온실가스 배출량 산정방법론 비교연구, 대한토목학회지 Vol. 58 No. 9, 통권365호, pp67-73, 2010.
- 대한민국정책포털, 우회전 때 꼭 신호등 확인하세요, 2010.01.14
- 빈미영, 교통부문 청정개발체제(CDM)사업의 과제와 전망, 경기개발연구원, 2009.
- 박용남, 간선급행버스시스템과 지속가능도시: 기후변화협약에 대응한 전략을 중심으로, 지속가능도시연구센터, 2007.
- 박진영 · 조준행 · 김동준, 교통부문 청정개발체제(CDM) 활성화방안, 한국교통연구원, 2008.
- 서울지방경찰청, 2009 서울특별시 교통량조사자료, 2009.
- 에너지관리공단, 기업을 위한 CDM사업 지침서, 2007.
- 에너지관리공단, 도로운송 업종 온실가스 배출량 산정 Good Practice 가이드라인, 2009.
- 이용택 · 이태경 · 조성준, 서울시 도로교통량조사체계, 도로교통 제99호 봄, pp44-57, 2005.
- 조선일보, 온실가스 30%(2020년 배출전망치 대비) 감축, 2009.11.18.([http://www.chosun.com/site/data/html\\_dir/2009/11/18/2009111800103.html](http://www.chosun.com/site/data/html_dir/2009/11/18/2009111800103.html)), 2009.
- 한국건설신문, 녹색 고속도로로 가는 길, <http://www.conslove.co.kr/news>, 2010.

한국석유공사 석유정보망, <http://www.petronet.co.kr/main2.jsp>, 2010.

환경관리공단, 국가온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인, 2006.

Carbon Trust, Global Carbon Mechanisms Emerging lessons and Implications, 2008.

International Council for Local Environmental Initiatives, Sustainable Transportation Options for Protecting the Climate, 2001.

International Energy Agency, <http://www.iea.org/>, 2010.

IPCC, Task Force on National Greenhouse Gas Inventories, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>, 2010.

United Nation (2010a) [http://unfccc.int/press/fact\\_sheets/items/4978.php](http://unfccc.int/press/fact_sheets/items/4978.php)

United Nation (2010b) [http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/items/2704.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/items/2704.php)

United Nation (2010c) <http://unfccc.int/2860.php>

United Nation (2010d) <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>

United Nation, Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 1998.

United Nation, The Marrakesh Accords & the Marrakesh Declaration, 2001.

United Nations Framework Convention on Climate Change (2010) <http://unfccc.int/>

World Bank, World Development Report 2010: Development and Climate Change, The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 1818 H Street NW, Washington DC, 2010.

## 〈부록〉

## A. 독립교차로 모의실험 시나리오 교통조건(Base Traffic Condition)

## ■ 교통량수준 Level 1 (포화도 0.95 수준)

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 55:45인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	50	990	50	4,180
SB	41	810	41	
WB	45	900	45	
EB	55	1,100	55	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	99	990	99	4,560
SB	81	810	81	
WB	90	900	90	
EB	110	1,100	110	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	149	990	149	4,942
SB	122	810	122	
WB	135	900	135	
EB	165	1,100	165	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 60:40인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	54	1080	54	4,180
SB	36	720	36	
WB	40	800	40	
EB	60	1200	60	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	108	1080	108	4,560
SB	72	720	72	
WB	80	800	80	
EB	120	1200	120	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	162	1080	162	4,940
SB	108	720	108	
WB	120	800	120	
EB	180	1200	180	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 65:35인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	59	1170	59	4,180
SB	32	630	32	
WB	35	700	35	
EB	65	1300	65	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	117	1170	117	4,560
SB	63	630	63	
WB	70	700	70	
EB	130	1300	130	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	176	1170	176	4,940
SB	95	630	95	
WB	105	700	105	
EB	195	1300	195	

■ 교통량수준 Level 2 (포화도 0.85 수준)

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 55:45인 경우

▪ 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	44	871	44	3,678
SB	36	713	36	
WB	40	792	40	
EB	48	968	48	

▪ 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	87	871	87	4,013
SB	71	713	71	
WB	79	792	79	
EB	97	968	97	

▪ 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	145	968	145	4,347
SB	107	713	107	
WB	119	792	119	
EB	145	968	145	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 60:40인 경우

▪ 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	48	950	48	3,678
SB	32	634	32	
WB	35	704	35	
EB	53	1056	53	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	95	950	95	4,013
SB	63	634	63	
WB	70	704	70	
EB	106	1056	106	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	143	950	143	4,347
SB	95	634	95	
WB	106	704	106	
EB	158	1,056	158	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 65:35인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	51	1,030	51	3,678
SB	28	554	28	
WB	31	616	31	
EB	57	1,144	57	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	103	1,030	103	4,013
SB	55	554	55	
WB	62	616	62	
EB	114	1,144	114	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	154	1,030	154	4,347
SB	83	554	83	
WB	92	616	92	
EB	172	1,144	172	

■ 교통량수준 Level 3 (포화도 0.75 수준)

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 55:45인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	40	802	40	3,386
SB	33	656	33	
WB	36	729	36	
EB	45	891	45	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	80	802	80	3,694
SB	66	656	66	
WB	73	729	73	
EB	89	891	89	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	120	802	120	4,001
SB	98	656	98	
WB	109	729	109	
EB	134	891	134	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 60:40인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	44	875	44	3,386
SB	29	583	29	
WB	32	648	32	
EB	49	972	49	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	87	875	87	3,694
SB	58	583	58	
WB	65	648	65	
EB	97	972	97	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	131	875	131	4,001
SB	87	583	87	
WB	97	648	97	
EB	146	972	146	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 65:35인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	47	948	47	3,386
SB	26	510	26	
WB	28	567	28	
EB	53	1,053	53	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	95	948	95	3,694
SB	51	510	51	
WB	57	567	57	
EB	105	1,053	105	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	142	948	142	4,001
SB	77	510	77	
WB	85	567	85	
EB	158	1,053	158	

■ 교통량수준 Level 4 (포화도 0.2 수준)

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 55:45인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	12	238	12	1003
SB	10	194	10	
WB	11	216	11	
EB	13	264	13	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	24	238	24	1094
SB	19	194	19	
WB	22	216	22	
EB	26	264	26	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	36	238	36	1186
SB	29	194	29	
WB	32	216	32	
EB	40	264	40	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 60:40인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	13	259	13	1005
SB	10	173	10	
WB	10	192	10	
EB	14	288	14	

▪ 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	26	259	26	1094
SB	17	173	17	
WB	19	192	19	
EB	29	288	29	

▪ 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	39	259	39	1186
SB	26	173	26	
WB	29	192	29	
EB	43	288	43	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 65:35인 경우

▪ 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	10	281	10	1083
SB	10	194	10	
WB	10	216	10	
EB	10	312	10	

▪ 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	10	281	10	992
SB	10	151	10	
WB	10	168	10	
EB	10	312	10	

▪ 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	42	281	42	1186
SB	23	151	23	
WB	25	168	25	
EB	47	312	47	

■ 교통량수준 Level 5 (포화도 0.4 수준)

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 55:45인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	23	455	23	1923
SB	19	373	19	
WB	21	414	21	
EB	25	506	25	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	46	455	46	2098
SB	37	373	37	
WB	41	414	41	
EB	51	506	51	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	68	455	68	2272
SB	56	373	56	
WB	62	414	62	
EB	76	506	76	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 60:40인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	25	497	25	1923
SB	17	331	17	
WB	18	368	18	
EB	28	552	28	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	50	497	50	2098
SB	33	331	33	
WB	37	368	37	
EB	55	552	55	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	75	497	75	2272
SB	50	331	50	
WB	55	368	55	
EB	83	552	83	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 65:35인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	27	538	27	1923
SB	14	290	14	
WB	16	322	16	
EB	30	598		

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	54	538	54	2098
SB	29	290	29	
WB	32	322	32	
EB	60	598	60	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	81	538	81	2272
SB	43	290	43	
WB	48	322	48	
EB	90	598	90	

■ 교통량수준 Level 6 (포화도 0.6 수준)

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 55:45인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	33	653	33	2759
SB	27	535	27	
WB	30	594	30	
EB	36	726	36	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	65	653	65	3010
SB	53	535	53	
WB	59	594	59	
EB	73	726	73	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	98	653	98	3260
SB	80	535	80	
WB	89	594	89	
EB	109	726	109	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 60:40인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	36	713	36	2759
SB	24	475	24	
WB	26	528	26	
EB	40	792	40	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	71	713	71	3010
SB	48	475	48	
WB	53	528	53	
EB	79	792	79	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	119	792	119	3260
SB	79	528	79	
WB	107	713	107	
EB	71	475	71	

○ 접근 교통량 비(Approach Balance)가 65:35인 경우

- 회전교통량 비율 5%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	39	772	39	2759
SB	21	416	21	
WB	23	462	23	
EB	43	858	43	

- 회전교통량 비율 10%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	77	772	77	3010
SB	42	416	42	
WB	46	462	46	
EB	86	858	86	

- 회전교통량 비율 15%

구분	LT	TH	RT	합계
NB	116	772	116	3260
SB	62	416	62	
WB	69	462	69	
EB	129	858	129	

# 治安論叢 (제27집)

---

2011년 8월 발행

2011년 8월 인쇄

발행인 : 김 영 식

발행처 : 치안정책연구소  
경기도 용인시 기흥구 언동1길 29

인쇄처 : 제이케이컴퍼니

---

이 책의 무단 복제를 금합니다.

이 책자에 게재된 내용은 연구자 개인 의견이며  
치안정책연구소 공식 견해와 다를 수 있습니다.

[ 제27집 **치안논총** 2011 Police Science Journal ]

**치안정책연구소** Police Science Institute

경기도 용인시 기흥구 언동1길 29 Tel, 031-285-0183 Fax, 031-285-0184

이 책에 게재된 내용은 연구자 개인 의견이며 치안정책연구소 공식 견해와 다를 수 있습니다.