

■ 論 文 ■

교통수요관리 기법을 활용한 환경오염비용의 내부화 방안연구

Internalizing Environmental Cost using TDM Alternatives

김 운 수

(서울시정개발연구원 도시환경연구부 부연구위원)

엄 진 기

(서울시정개발연구원 도시교통연구부 연구원)

황 기 연

(서울시정개발연구원 도시교통연구부 연구위원)

장 지 희

(서울시정개발연구원 도시환경연구부 연구원)

목 차

- I. 서론
- II. 교통·환경부문간 통합체계
 - 1. 교통·환경부문의 인식전환
 - 2. 교통·환경부문의 통합방향
- III. 분석모형의 정립
 - 1. 교통수요관리모형
 - 2. 교통부문 배출량 산정
- IV. 분석결과
 - 1. 시간대별 통행량 배정과 배출총량 산정
 - 2. 환경주행세 부과효과
 - 3. 총괄분석
- V. 결론
참고문헌

요 약

도시지역의 대기오염은 주로 자동차에 기인하며, 이는 보편적인 현상으로 나타나고 있다. 특히 서울시의 경우 자동차에 의한 대기오염 비중이 85.7%(1997년 기준)를 차지하고 있을 만큼 큰 비중을 보이고 있다. 이에 본 연구의 1차적 관심사는 서울시 대기오염의 주된 요인인 교통부문의 개별적 분석보다는 지속가능한 도시발전을 위한 새로운 패러다임의 적용이라는 관점에서 향후 서울시의 교통·환경부문의 통합연계 분석에 대한 공감대 형성 및 활용가능성 모색에 두었다.

서울시 통행 O-D자료를 바탕으로 환경주행세 부과를 고려한 단기교통혼잡관리모형 적용결과, 교통·환경부 문간 연계통합모형의 실제 유의성을 발견할 수 있었다. 즉 환경주행세의 시행전후 비교분석에 의하면, 유류소비 단위당 500원/ℓ과 1,000원/ℓ을 부과할 경우, 오전 첨두시간대의 대기오염물질 배출량은 시행후 10.7%와 17.3%씩 감소하는 것으로 나타났다. 이에 비하여 유류소비량 저감은 20.2%와 30.3%로서, 저감비율이 상대적으로 높게 반영되고 있다. 그러나 단위 유류소비량에 대한 차종별 오염물질 배출량 비중은 버스 46.4, 화물차 50.4, 승용차 14.4 등으로 산출되어, 환경주행세 500원/ℓ 부과에 의한 승용차의 오염배출 비중은 비탄력적인 반면에 오염물질 배출량이 많은 버스 및 화물차의 비중은 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 결과적으로 자동차 유발 대기오염의 비중을 낮추기 위해서는 차종별 오염물질 배출경향을 고려한 환경주행세의 차별부과 방식이 고려되어야 할 것이다. 예를 들면, 차종별 유류소비량에 대한 오염물질 배출비중을 균등화하는 방법, 또는 서울지역 오존오염의 원인이 되는 HC와 NOx 오염물질의 총량에 대한 차종별 기여도를 평균화하는 방법이 적용될 수 있다. 한편으로 환경주행세의 부과방식과 병행하여, 자동차 오염물질 배출을 저감할 수 있는 삼원촉매장치와 매연연과장치의 부착, 오염물질 과다배출 차량의 조기폐차 시행에 의한 인센티브 부여, 그리고 청정자동차 구입에 의한 버스업체의 환경주행세 감면 등과 같은 제도적 장치도 함께 고려되어야 한다.

그러나 본 연구에서 의도하였던 도로환경용량을 고려한 통행량 배분의 실제적 효과를 산출하기 위해서는 첫째, 통행비용의 절감과 대기질 개선이라는 공동선(共同善)을 추구하기 위한 교통·환경간 통합패러다임의 적용 모형 개발과 활용가능성 모색, 둘째, 물리적 기준인 도로별 교통용량기준을 환경요소도 포함하는 도로환경용량으로의 전환, 셋째, 통행시간·환경비용·도로건설 및 유지비용뿐만 아니라 자동차 이용에 따른 연료소비 등을 포함하는 통행배분 모형 개발, 넷째, 단기혼잡프로그램을 활용하여 자동차 유발 대기오염물질 배출량 저감효과와의 연계시도 등과 같은 사항이 지속적으로 연구·개발되어야 할 것이다.

1. 서론

교통은 인적·물적 이동을 통하여 도시공간상에서 시간적·공간적 거리를 줄여 줌으로써 도시기능을 활성화하는데 기여한다. 그러나 도시규모가 확대되면서 도로교통의 효율성은 저하되는 반면 교통혼잡, 대기오염 등의 외부불경제는 증가하게 된다. 이러한 맥락에서 주로 이동성·접근도 기준에 의하여 도시 교통서비스가 공급되어 온 측면을 지양하고, 도시성장의 지속가능성(sustainability)과 환경의 생동성(liability to environment) 등을 포함한 통합패러다임에 의해 교통·환경문제가 함께 다루어져야 하는 당위성을 찾을 수 있다(Ewing, 1993, p.11).

따라서 교통계획과 대기환경관리가 상호 개별적으로 연구되어온 접근방식을 지양하고, 이를 연계할 수 있는 방안의 모색이 필요하다. 특히 기존의 통행배분 방식에 자동차가 배출하는 대기오염물질의 배출특성을 반영함으로써 교통정책(예:통행비용의 절감)뿐만 아니라 환경정책(예:대기오염농도의 저감)을 동시에 고려할 수 있는 방안이 필요하다. 미국의 경우 1990년 대기정화법 개정안(Clean Air Act Amendments)에 의하면, 교통계획의 수립과 집행, 투자사업의 실행 등은 대기환경기준을 달성하기 위한 대기오염 저감대책과 반드시 연계되도록 규정하고 있음은 이러한 연유이다(Shrouds, 1994, p.1).

전통적으로 교통계획에서는 대기오염 저감대책은 교통·환경의 직접적 연계의 산물이 아닌 파생적 효과로 취급하는 경향이 주류를 이루어 왔다. 따라서 대기오염 저감을 위한 대기환경기준과 자동차 배출가스 배출허용기준의 강화, 자동차 연료비의 인상 등이 교통수요와 대기질 개선에 미치는 동시효과에 관한 분석노력은 미흡하였다. 이에 대기환경보전을 위한 도시교통부문의 역할이 강조될수록 교통부문과 관련된 환경부문체계와의 조정·통합의 필요성은 높아지게 된다.

한편 날로 심각해지는 서울시 도로상 교통문제에 보다 효과적으로 대처하기 위해 1990년대 들어서면서 부터 서울시에서는 승용차의 이용억제를 중심으로 한 교통수요관리를 시행해오고 있다. 특히 IMF 경제위기 상황으로 서울시는 1999년 이후의 교통시설투자에 대한 신규발주계획을 갖지 못하여 2000년부터 2007년까지는 공급정체 현상에 직면하게 될 전망이다.

따라서 서울시는 교통문제에 대처하기 위해 교통수요관리에 대한 의존도를 높일 수밖에 없는 실정이다.

그러나 교통수요관리에 대한 의존도가 높아질 것으로 기대됨에도 불구하고, 기존의 서울시 교통수요관리 정책은 몇 가지 문제점이 있는 것으로 지적되고 있다. 첫째, 기존의 도시교통정책이 장기간을 필요로 하는 투자계획을 포함하여 전시성 도시교통지표를 설정함에 따라, 단기적으로 교통수요관리를 통해 감축해야 할 승용차 교통량의 목표치가 존재하지 않아서 효율적인 정책시행이 어려웠다. 둘째, 혼잡통행료, 주차요금정책, 기업체교통수요관리, 주행세 정책 등은 국지적·단편적으로 실시되어 서울시 전체가르에 대한 개선효과가 명확하지 않았다. 셋째, 수요관리정책의 시행에 따른 교통현상 변화에 대한 지속적 모니터링 체계의 결함으로 정책효과에 대한 정확한 홍보가 이루어지지 못하여 정책의 지속적 수용성 확보가 어려웠을 뿐만 아니라, 교통여건이 악화되어 새로운 시책을 도입할 때 과도한 준비기간이 소요되어 상황변화에의 탄력적인 대응이 어려웠다.

이러한 문제를 해결하기 위해 서울시에서는 단기교통혼잡관리프로그램(Short-term Congestion Management Program:SCMP) 도입을 시도하고 있다. 당해 프로그램은 기존 교통수요관리시책의 평가와 분석을 통한 타당성 및 문제점 파악, 서울시의 단기교통관리목표 설정과 적정교통수준을 넘어서는 수요를 감축하기 위한 종합적 교통수요관리시책의 마련, 선정된 대안의 기대효과를 예측할 수 있는 방법론 구축, 그리고 신속하게 시행, 모니터링 함으로써 서울의 교통수준을 단기적으로 항시 적정수준으로 유지하고, 장기목표의 점진적 달성에 기여하는 것을 목적으로 하고 있다(서울시정개발연구원, 1998).

이러한 점을 감안하여 본 연구는 통합패러다임의 개발과 적용의 일환으로서 '환경-교통'간 상호 조정·통합과정을 통하여 도시지역에서 대기질 개선노력과 교통계획이 원활히 이루어질 수 있는 방향 모색에 주된 관심을 두고 있다. 이에 서울시 SCMP 실행을 위한 교통수요관리 프로그램의 효과예측시스템을 활용하여 대기환경관리 계획을 보다 효과적으로 연계하고자 한다. 또한 서울시 1996년 기종점 통행량 조사자료를 바탕으로 환경주행세 개념을 도입하여, 이의 실제 적용가능성을 모색하고자 하였다. 본 연구는 총 5장으로 구성되며, 제2장에서는 교통수요관리와 대기

환경관리의 연계 필요성, 제3장에서는 SCMP 실행을 위한 교통수요관리와 대기오염물질 배출량 저감효과 평가, 제4장에서는 서울시를 대상으로 환경주행세 도입시 기대효과를 예측하고, 친환경적인 교통수요관리를 위한 향후과제를 제시하고, 마지막으로 제5장에서는 결론을 제시한다.

II. 교통·환경부문간 통합체계

1. 교통·환경부문의 인식전환

도시지역의 대기오염은 주로 자동차에 기인하며, 이는 보편적인 현상으로 나타나고 있다. 특히 서울시의 경우 자동차에 의한 대기오염 비중이 약 85.7% (1997년 기준)를 차지하고 있을 만큼 큰 비중을 보이고 있다. 이러한 현상은 정도의 차이는 있으나 다른 대도시에서도 비슷한 양상을 보이고 있어 결국 대도시 대기오염의 저감방안은 자동차(이동오염원) 대책에 있음을 알 수 있다.

반면에 교통계획에서의 일반적인 관심은 이동성과 접근성 제고를 통한 인적·물적 이동에 소요되는 통행비용의 최소화해 있다. 그러나 자동차 유발 대기오염물질이 도시지역 대기오염의 주된 요인으로 등장하고, 한편으로는 도로시설용량의 제약으로 인한 외부불경제가 급속하게 증가하게 된다. 이에 도로시설 공급의 현실적 한계와 자동차 유발 대기오염도의 증대를 고려하게 되면, 친환경적인 교통수요관리의 필요성이 제기된다. 결과적으로 자동차에 의한 대기오염을 저감하기 위해서는 기본적으로 도시지역 통행패턴에 영향을 미치는 토지이용계획의 재검토, 그리고 교통수요의 변화 및 대기질 영향 등의 동시적 최적화 고려가 필요하게 된다.

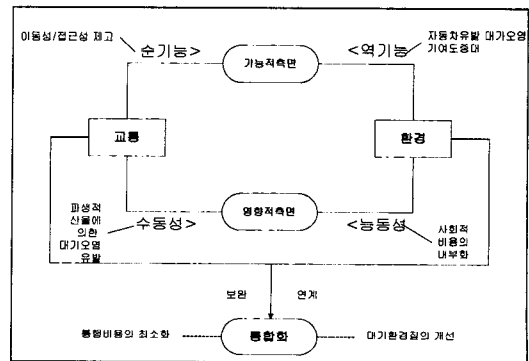
한편 도시지역 대기질 악화에 대비하기 위한 각국의 보편적인 접근방법은 대기정화법(Clean Air Act)을 통한 환경기준의 강화에 초점을 맞추고 있으나 이의 달성여부는 불확실한 상황이다. 미국 샌프란시스코만(San Francisco Bay Area)의 사례를 보면 1990년 대기정화법의 개정에 따른 주정부 실행계획(SIP)의 작성, 배출기준 및 자동차 유지·관리(I/M)의 엄격한 적용, 청정연료의 확대보급, 그리고 산업활동의 규제 등으로 오염물질의 배출량이 상당히 감소

되었다. 그러나 자동차 주행거리의 상대적 증가는 이러한 배출량 감소효과를 상쇄하여 궁극적으로 대기오염 저감방안의 효과가 반감되는 결과를 낳고 있음은 시사하는 바가 크다(Black, 1991; Deakin, 1993).

2. 교통·환경부문의 통합방향

교통·환경부문간 기능연계의 미비뿐만 아니라, 현재와 같이 도시규모의 집적이익이 쇠퇴하고, 삶의 질을 저하시키는 대기환경오염 심화현상을 고려하게 되면, 교통·환경부문간 통합연계 시도의 당위성이 한층 더 요구되고 있다(〈그림 1〉 참조). 이러한 인식전환의 배경은 교통부문에 의한 대기오염 발생을 교통활동의 파생적 산물로 인식하는 경향에 의해 도시지역 대기오염의 개선은 한계에 직면하기 때문이다. 즉 교통부문에 의한 외부효과의 내부화가 실제적으로 이루어지지 못할 뿐만 아니라, 환경관련부서의 몫으로 전이되는 오류를 낳고 있다. 한편으로는 대기오염 발생원인 자동차에 관한 유지·관리(I/M)와 같은 간접적 정책수단의 활용가능성이 제기되고 있으며, 대기질 악화로 인한 환경관련부서의 역할이 점차적으로 증대되는 경향을 보이고 있다.

이러한 국내의 경험에 비추어, 첫째, 교통계획의 환경친화성 달성도에 대한 제도적 제약인자로서 환경요인을 추가하여야 하며, 둘째, 교통량의 절대적 증가(예:자동차 보유대수 증가)보다는 상대적 감소(예:주행거리 감소)에 특히 유의하여야 하고, 셋째, 도시지역내 대기오염물질의 확산과정을 고려한 통행량 배분이 이루어져야 함을 지적할 수 있다.

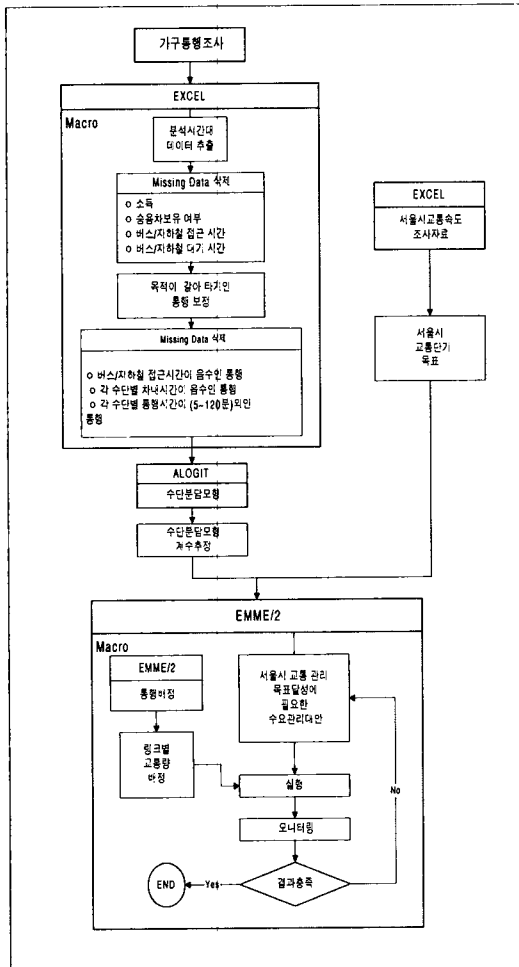


〈그림 1〉 교통·환경부문간 통합체계

III. 분석모형의 정립

1. 교통수요관리모형

교통수요관리 대안의 기대효과분석을 위한 총괄적 방법론은 <그림 2>에 제시되어 있다. 전체적으로 노선배정단계, 수단분담율 결정단계, 교통관리목표달성 단계 등의 3단계로 구성된다. 분석에 사용될 관련 프로그램은 EXCEL, ALOGIT, EMME/2 등이고, 또한 시스템의 통합적 효과분석을 위하여 EMME/2내의 MACRO 기능을 추가하였다.¹⁾



<그림 2> 연구분석 과정도

우선, 4단계수요분석 방법 중 통행발생과 통행분포 과정은 단기적으로 큰 변화가 없다는 가정 하에 대한 시행효과분석은 교통수단선택과 노선배정 과정만을 고려하도록 한다. 교통수단선택 모형은 총 통행량 및 O-D의 변화가 없는 것을 전제로 하여 수단분담율을 도출하기 때문에, 정책실시로 인하여 도로상에서 통행자체가 소멸되는 통행은 사전에 합리적인 기준으로 줄여서 분석하였다. 기존 수요관리정책 평가결과를 최대한 교통수단선택 모형의 계수 산정과정에 반영하기 위해서 기존에 실시된 혼잡통행료, 주행세, 강제10부제, 유류가격인상 등에 대한 모니터링 결과를 이용하였다(서울시정개발연구원, 1998).

노선배정모형의 정산은 교통정책의 실행 시점과 자료조사 시점의 차이로 인한 자료간의 시간적 불일치를 없애기 위해 정책 시행 전의 자료로 일치시켰다. 즉, 정산된 노선배정모형의 통행시간, 교통량, 속도 등 결과는 자료조사후 시행된 남산 1, 3호 터널 혼잡통행료 징수에 따른 효과 분석을 위한 기준지표로서 이용하였다. 한편, 단기에서는 투자가 고정된 상황이므로 당해 연도 예산에 확정된 투자계획만을 노선배정모형에 반영하도록 하였다.

한편 교통수요관리 대안 적용시 신속한 효과를 분석하기 위해 수단선택모형과 노선배정모형을 EMME/2의 매크로 기능을 이용하여 하나의 결합된 형태로 구성하여 상호간 변량을 각 모형에 반영시켜서 균형(equilibrium)을 이를 때까지 반복적으로 수행한다.

2. 교통부문 배출량 산정

자동차 유발 대기오염 물질의 배출량을 산출하기 위한 일반적 과정은, 먼저 도시지역을 배출량, 오염물질 확산패턴, 도시공간구조 및 가로망 형태 등을 감안하여 N개의 교통존(zone)으로 구분하는 것이 필요하다. 연후에 각각의 존별·링크별 대기오염물질의 배출량 추정모형을 전개하는 과정이 수반되며, 이 경우 자동차 차종별 배출량 함수식이 이용되게 된다(Kim, 1995; 김운수·정성용, 1995).

1) 교통수요관리방안의 단기적 효과분석 모형구축에 관한 자세한 내용은 황기연외(1999) 참조.

1) 자동차 주행속도를 고려한 배출량 함수결정

자동차유발오염물질의 배출량산정은 일반적으로 차종별 주행거리(VKT) 및 주행거리별 배출계수를 이용하여 산정하는 방법과 도로상 주행패턴을 고려한 차종별 주행속도함수를 이용하는 방법으로 구분할 수 있다.

전자에 의한 이동오염원 배출량 산정방법은 간편하게 이용할 수 있는 장점이 있어 가장 보편적으로 이용하고 있는 반면에, 실제 자동차 주행에 따른 배출량을 정확하게 산정할 수 없는 단점을 내포하고 있다. 그러나 후자의 방법은 도로 네트워크에서 이루어지는 차종별 주행속도를 반영할 수 있어 보다 정확하게 배출량을 산정할 수 있는 이점이 있으나, 통행빈도(trip)별 기·종점 자료(O-D Data)와 단위 도로별 차종분포를 정확하게 파악하지 않으면, 그 만큼 효과를 기대할 수 없는 현실적인 한계점을 갖게 된다.²⁾

본 연구에서는 통상적으로 이용되고 있는 VKT 방식의 적용보다는, 자동차 주행속도를 고려한 배출량 산정을 통하여 서울시 지역내 자동차 통행패턴을 반영한 오염물질의 배출량을 다음과 같은 기본가정하에 산정하고자 한다.

첫째, 자동차 배출가스의 발생량(원단위)은 도시도로망 통행패턴과정에서 결정되는 통행속도의 함수로 나타낼 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$E(k) = f(S)$$

단,

$E(k)$: 오염물질 k 의 배출량 (E)

S : 통행속도

둘째, 차량의 주행속도는 당해 링크 i 의 도로용량 (\bar{b}_i ; 법적·제도적 규정에 의한 도로용량으로서의 내생변수)과 통행량(X_i)에 의해 결정되며, 이의 함수식은 BPR 함수의 변환식을 이용한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S_i = g(X_i), \quad \partial S_i / \partial X_i < 0$$

셋째, 차종별 배출량 함수식은 1991년 국립환경연구원에서 발표한 자료를 근간으로 하되, 엔진개발수준을 고려하여 보정된 동종인외(1996)의 자료를 이용하기로 한다.

넷째, 서울시 O-D Network 통행량 자료(링크단위별 차종분포와 통행속도)는 1996년 조사자료를 이용하며, 차량분포는 서울시 등록 자동차의 연식분포 자료를 원용한다. 그리고 시간대별 통행량 배정은 서울시정개발연구원에서 개발한 교통혼잡관리 모형인 SECOMM(Seoul Congestion Management Model)을 이용하여 산출된 결과를 인용한다.

2) 통행배분에 따른 링크·존별 배출량 산정

(1) 링크·존별 구분

도시 가로망구조를 먼저 링크·존별 구분에 의해 행렬식으로 도식하면 다음과 같다.

$$G_m = \text{링크별} \begin{matrix} & \text{존별} \\ \begin{bmatrix} L_{1,m,1} & L_{1,m,2} & \cdots & L_{1,m,n} & \cdots & L_{1,m,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{i,m,1} & L_{i,m,2} & \cdots & L_{i,m,n} & \cdots & L_{i,m,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{I,m,1} & L_{I,m,2} & \cdots & L_{I,m,n} & \cdots & L_{I,m,N} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

단, $L_{i,m,n}$: 링크 i 의 길이

(존 n 에 있는 도로형태 m 인 경우)

: 0

(링크 i 가 존 n 에 포함되지 않거나 도로형태 m 이 아닐 경우)

즉, G_m 은 ($I \times N$) 링크·존 행렬식(incidence matrix)을 나타낸다. 예컨대 도시가로망에 있어 대로를 표시할 경우 G_1 이 이에 해당되며, 전체 가로망은 $\sum_{m=1}^3 G_m$ 이 된다.

2) 자동차 배출량 산정은 통행속도, 차종, 차량, 연료, 주행패턴, 그리고 운전행태 등 다양한 요인의 복합적 작용을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 링크단위 차종별(연료별·차령별) 평균통행속도를 이용하여 가로망 전체의 배출량을 산정하고 있다. 다만, 기타 요인에 의한 배출량 산정은 자료수집의 어려움과 보편화의 어려움으로 인하여 향후의 연구과제로 제시하기로 한다.

(2) 매개변수의 결정

링크·존별 자동차 배출가스 배출량을 산정하기 위하여 다음과 같이 매개변수를 정의하기로 한다.

- $X_{i,m,n}^1$: 존 n의 도로형태 m별 링크 i의 단위 길이·시간당 차량수 (차량수/km.hr)
- $X_{i,m,n}^2$: 존 n의 도로형태 m별 링크 i의 단위시간당 차량수 (차량수/hr)
- $X_{i,m,n}^3$: 존 n의 도로형태 m별 링크 i의 통행거리 (차량.km/hr)
- $b_{i,m,n}$: 존 n의 도로형태 m별 링크 i의 도로용량 (차량수/hr)
- $T_{i,m,n}$: 링크 i의 총통행시간 (hr)
- $S_{i,m,n}$: 링크 i의 통행속도 (km/hr)
- $E_{i,m,n}^k(S_{i,m,n})$: 속도함수에 의한 자동차 오염물질 k의 배출계수 (g/차량.km)

한편, 자동차 오염물질 k의 배출량을 산정하기 위하여 상기와같은 매개변수를 이용할 경우, 다음과 같은 링크i의 배출량(= $E(k)_{i,m,n}$), 존별 배출량 [= $EZ(k)_n$], 그리고 가로망 전체의 배출량 [= $ETZ(k)$] 을 산출할 수 있게 된다.

$$E(k)_{i,m,n} = E_{i,m,n}^k * X_{i,m,n}^2 * L_{i,m,n} \quad (n=1 \rightarrow N) \quad (1)$$

$$EZ(k)_n = \sum_{m=1}^3 E(k)_{i,m,n} \quad (2)$$

$$ETZ(k) = \sum_{n=1}^N EZ(k)_n \quad (3)$$

(3) 링크·존별 배출량

앞서 살펴 본 함수식 (1), (2), 그리고 (3)에 의하면, 오염물질 k의 링크별 배출량, 존별 배출량, 그리고 가로망 전체의 배출량을 산정할 수 있게 된다. 이에 특정 오염물질의 배출량이 우려되는 지역의 경우 통행노선에서의 차량유입의 제한, 대체노선의 선택적 이용 권고, 그리고 기타 사회·경제적 유인제도에 의한 국지적 또는 도시지역 전체를 대상으로 한 배출량 저감효과분석도 가능하게 된다.

〈표 1〉 차종별 자동차 배출량 산정계수 (단위:g/km)

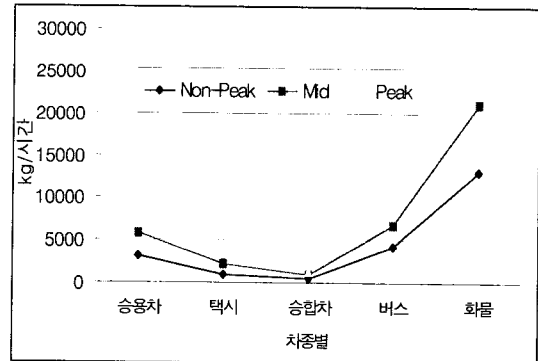
구분	차종별	구분	속도(S)-배출량(E)함수식
CO	소형 버스	1987 이전모델	$5.60162 * S^{**}(-0.360182)$
		1988 이후모델	$4.49487 * S^{**}(-0.381945)$
	대형 버스	1987 이전모델	19.78
		1988 이후모델	13.42
	소형 트럭	1987 이전모델	$13.3282 * S^{**}(-0.528002)$
		1988 이후모델	$12.6145 * S^{**}(-0.691569)$
	대형 트럭	1987 이전모델	21.19
		1988 이후모델	16.36
승용차	무연(촉매활성)	$4.63973 * S^{**}(-0.455348)$	
	무연(촉매비활성)	$15.9853 * S^{**}(-0.413275)$	
HC	소형 버스	1987 이전모델	$0.983463 * S^{***}(-0.50955)$
		1988 이후모델	$0.546357 * S^{***}(-0.47332)$
	대형 버스	1987 이전모델	2.41
		1988 이후모델	2.14
	소형 트럭	1987 이전모델	$1.78294 * S^{**}(-0.652073)$
		1988 이후모델	$1.17083 * S^{**}(-0.662448)$
	대형 트럭	1987 이전모델	2.56
		1988 이후모델	2.30
	승용차	무연(촉매활성)	$1.89441 * S^{**}(-0.863931)$
		무연(촉매비활성)	$15.6065 * S^{**}(-1.04228)$
PM 10	소형 버스	1987 이전모델	$1.59765 * S^{**}(-0.43241)$
		1988 이후모델	$0.9317 * S^{**}(-0.329425)$
	대형 버스	1987 이전모델	2.48
		1988 이후모델	2.26
	소형 트럭	1987 이전모델	$1.1968 * S^{**}(-0.279784)$
		1988 이후모델	$1.23525 * S^{**}(-0.407143)$
	대형 트럭	1987 이전모델	2.67
		1988 이후모델	2.39
승용차	-	0.01	
NOx	소형 버스	1987 이전모델	$(-4.63318E-5) * S^3 + 0.0054964 * S^2 - 0.22743 * S + 4.54107$
		1988 이후모델	$(-5.2655E-5) * S^3 + 0.0056 * S^2 - 0.20242 * S + 3.5378$
	대형 버스	1987 이전모델	16.4
		1988 이후모델	14.27
	소형 트럭	1987 이전모델	$(-4.51385E-5) * S^3 + 0.0050737 * S^2 - 0.2004 * S + 4.20756$
		1988 이후모델	$(-4.00437E-5) * S^3 + 0.004705 * S^2 - 0.1866 * S + 3.51259$
	대형 트럭	1987 이전모델	15.87
		1988 이후모델	14.79
	승용차	무연(촉매활성)	$(-4.75824E-5) * S^3 + 0.0043217 * S^2 - 0.120921 * S + 1.26126$
		무연(촉매비활성)	$(-7.13665E-5) * S^3 + 0.00635478 * S^2 - 0.173834 * S + 2.16327$

주) 경유사용 자동차의 질소산화물(NOx) 배출함수식의 경우 배출계치는 동일한 수준으로 가정함.

자료) 동종인 외(1996)

$$E(k)_m = \text{링크별} \begin{matrix} \text{존별} \\ \begin{matrix} E(k)_{1,m,1} & E(k)_{1,m,2} & \cdots & E(k)_{1,m,n} & \cdots & E(k)_{1,m,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ E(k)_{i,m,1} & E(k)_{i,m,2} & \cdots & E(k)_{i,m,n} & \cdots & E(k)_{i,m,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ E(k)_{I,m,1} & E(k)_{I,m,2} & \cdots & E(k)_{I,m,n} & \cdots & E(k)_{I,m,N} \end{matrix} \end{matrix}$$

단, $E(k)_m$: 도로형태 m별 k 오염물질 배출량 행렬 ($I \times N$),
 $E(k)_{i,m,n}$: 존 n의 도로형태 m별 링크 i에서의 k 배출량.



〈그림 3〉서울시 지역내 단위시간대별 자동차배출량

IV. 분석결과

1. 시간대별 통행량 배정과 배출총량 산정

차종별 통행량 배분결과를 바탕으로 산정한 오염물질별 배출량은 〈표 2〉와 같다. 이에 의하면, 비침두시간대의 총 오염물질 배출량은 약 21.8톤이며, 오전침두시(8:00~9:00 A.M.) 및 비침두시(14:00~15:00 A.M.)·오후침두시(6:00~7:00 P.M.)의 경우에는 각각 48.2톤, 36.6톤으로 분석되고 있다. 한편 오전침두, 비침두, 그리고 오후침두시간대에서 나타난 배출량 자료를 년간 배출량 자료로 환산하게 되면, 차종별 주행속도를 고려한 1997년의 배출총량은 약 31.4만톤으로 추정된다.

〈표 2〉 서울시 단위시간별 자동차 오염물질 배출량(1997년) (단위: kg/h)

비 고	승용차	택시	승합차	버스	화물	소계	
비침두 (14시)	CO	2,498	770	224	1,823	6,147	11,463
	HC	213	96	19	282	863	1,472
	NOx	335	150	149	1,795	5,277	7,706
	PM	18	0	57	274	810	1,159
	총배출량	3,065	1,016	449	4,174	13,098	21,801
오후침두 (18시)	CO	4,549	1,683	402	2,929	9,874	19,438
	HC	469	208	35	454	1,386	2,551
	NOx	739	338	328	2,883	8,477	12,764
	PM	29	0	101	440	1,302	1,872
	총배출량	5,787	2,229	866	6,705	21,038	36,625
오전침두 (08시)	CO	6,475	2,951	563	3,636	12,256	25,881
	HC	829	361	51	564	1,720	3,526
	NOx	1,299	593	513	3,578	10,523	16,505
	PM	-	-	139	546	1,616	2,301
	총배출량	8,603	3,905	1,265	8,324	26,114	48,212

2. 환경주행세 부과효과

1) 기본개념

대도시 대기환경의 주된 영향인자는 자동차 통행에 의한 것이며, 특히 운행자동차의 총량증가에 의한 대기환경 영향 보다는 차량 총주행거리의 증대에 의한 영향이 한층 대기환경의 악화요인인 것으로 분석되고 있다(Black, 1991; Deakin, 1993). 서울시의 경우에도 예외는 아니다(교통안전공단, 1998).

서울시는 심각한 교통문제를 해결하기 위하여 승용차의 과다이용을 억제하기 위한 주행세의 도입을 검토하여 왔다. 주행세 도입목적은 차량소유 욕구의 충족과 이용억제를 통해 교통혼잡 완화, 자동차 소유·이용간 균형을 유지하기 위한 자동차 세제 개편, 차치단체 중심의 자주적·안정적 교통관련 재원의 확보 등이다. 그러나 주행세 도입으로 교통혼잡의 완화(이용억제에 의한 주행거리 단축)와 병행하여 대기환경 개선이라는 부가적인 효과를 기대할 수 있으나, 대기개선의 합목적적인 실현수단으로는 정착되지 못하게 된다. 이에 교통환경 개선수단으로서 주행세 도입과 아울러 대기환경 개선을 도모하기 위한 환경주행세 개념이 필요함을 알 수 있다.

첫째, 환경주행세는 대기환경을 고려한 주행세로서, 주행세 본래의 목적과 병행하여 주행거리에 상응한 대기오염물질의 배출량 증대를 저감하기 위한 조세부과 방법이다.

둘째, 환경주행세는 단위 연료당 주행거리에 대한 일정금액 부과방식의 주행세 개념을 단위연료의 소비에 의한 대기오염물질의 배출량으로 치환하여 "연료소비-주행거리-세금부과" (₩/ℓ) 방식에서 "연료소비-주

〈표 3〉 자동차 유형별·주행속도별 에너지 소비량 산정

연구기관	차종	주행속도(km/h)별 유류소비량	특징
교통개발연구원(1987)	버스	$-0.000062 + 7.539/S + 0.0000123*S^2$	미국의 Winfrey 보고서를 기초로 우리나라의 도로여건, 차량 유형별 속도변화에 알맞는 파마미터의 추정
한국도로공사(1981)	화물	$-0.000921 + 7.4865/S + 0.00001602*S^2$	최근 승용차의 연비감안
에너지경제연구원(1992)	승용차	$(4.0031 + 0.41167*S - 0.002741*S^2)$	

행거리-대기오염물질 배출량(kg/ℓ)간의 관계를 정립하기 위한 방법이다.

셋째, 환경주행세의 도입은 자동차 소유·이용패턴을 합리적으로 반영하고, 통행요금 억제를 통한 교통혼잡의 개선뿐만 아니라 대기환경 개선비용의 내부화를 통하여 교통·환경관련 재원을 확보할 수 있게 된다.

2) 환경주행세의 효과분석

(1) 개요

본 절에서는 앞서 언급한 분석모형과 배출량 산정 방법을 구체화하여 서울시에서 주행세를 도입하였을 경우의 기대효과를 분석하였다. 효과분석은 대안의 실행에 따른 교통수단 분담을 변화, 분담을 변화에 의한 수단별 통행량 변화, 네트워크의 속도 및 교통량의 변화를 추정함으로써 가능하게 된다. 이를 위해서는 기준년도 각종 교통지표 및 기초자료를 이용하여 분석모형의 정산과정이 선행되어야 한다. 모형의 정산과정은 교통수단선택 모형의 정산과정과 노선배정 모형의 정산과정의 2부분으로 구분할 수 있으며, 이 둘은 정산 이후 하나의 결합된 형태로 각 수요관리 정책의 효과분석에 이용된다. 이하에서는 서울시에서 휘발유 값을 인상(주행세)하였을 경우의 시행효과를 예측하고자 한다.

(2) 분석가정

환경주행세 도입 가능성을 분석하기 위한 기본과정은 다음과 같다.

첫째, 서울시 기·종점 교통량 조사결과 자료를 바탕으로 오전 첨두시간대의 통행패턴을 고려한다.

둘째, 환경주행세 도입에 따른 통행패턴의 변화는 EMME2 프로그램을 활용한 서울시 주행세 효과분석 모형(SECOMM Model)을 이용한다.

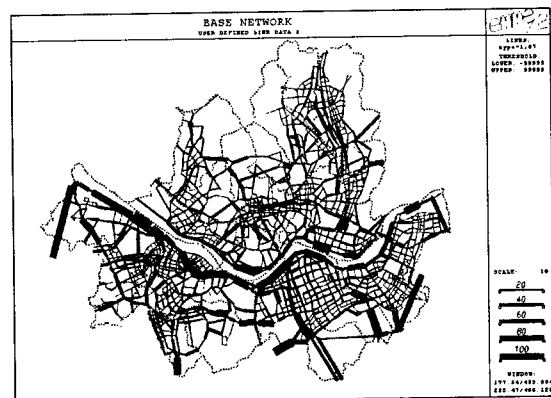
셋째, 자동차 차종별 유류소비량은 주행속도를 독립변수로 하는 연료소비량 산정공식을 활용한다.

(3) 환경주행세를 고려하지 않을 경우

(환경)주행세를 고려하지 않을 경우 오전 첨두시간대의 오염물질 총배출량은 48.2톤이며, 유류소비량은 1.8톤 수준이었다. 승용차의 경우 총 유류소비량은 595kℓ이나 오염물질 총배출량은 8,603kg으로, 14.5g/ℓ의 단위유류소비당 오염물질이 배출되고 있다. 반면에 화물자동차와 버스의 경우에는 각각 42.4g/ℓ, 38.7g/ℓ의 단위유류소비당 오염물질이 배출되고 있다. 이와 같은 승용차·화물차·버스간 단위유류소비량에 따른 오염물질 배출량 비교에 의하면, 환경주행세의 일차적인 대상은 화물차, 버스임을 시사하게 된다.

〈표 4〉 환경주행세를 고려하지 않은 오전첨두시 유류소비량과 총배출량 (단위: kg/h, kℓ/h)

구분	승용차	택시	승합차	버스	화물	소계
유류소비량	595	-	366	215	616	1,791
CO	6,475	2,951	563	3,636	12,256	25,881
HC	829	361	51	564	1,720	3,526
NOx	1,299	593	513	3,578	10,523	16,505
PM	-	-	139	546	1,616	2,301
총배출량	8,603	3,905	1,265	8,324	26,114	48,212



〈그림 4〉 통행량 분포에 의한 링크별 배출량 : 주행세 부과이전

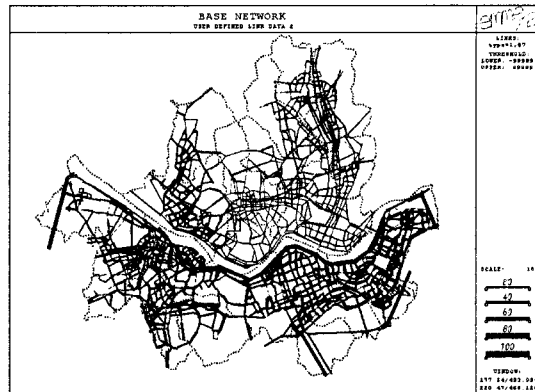
3) 환경주행세를 고려할 경우 : 500원/ℓ

500원/ℓ의 (환경)주행세를 고려할 경우 오전 첨두시간대의 오염물질 총배출량은 43.0톤이며, 유류소비량은 1.4톤 수준이었다. 환경주행세 시행전후 승용차의 경우 유류소비량과 오염물질 배출량은 각각 14.8%와 15.2%씩 감소하였다. 그리고 화물자동차와 버스의 경우에는 유류소비량은 23.1%와 23.5%씩 감소하고, 또한 오염물질 배출량은 각각 8.5%씩 감소하는 것으로 분석된다.

그러나 단위 유류소비량에 대한 차종별 오염물질 배출량 비중은 버스 46.4, 화물차 50.4, 승용차 14.4 등으로 산출되어, 환경주행세 500원/ℓ 부과에 의한 승용차의 오염배출 비중은 비탄력적인 반면에 오염물질 배출량이 많은 버스 및 화물차의 비중은 오히려 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이에 자동차 유발 대기오염의 비중을 낮추기 위해서는 차종별 오염물질 배출경향을 고려한 환경주행세의 차별부과 방식이 고려될 필요가 있음을 알 수 있다. 예를 들면, 차종별 유류소비량에 대한 오염물질 배출비중을 균등화하는 방법, 또는 서울지역 오존오염의 원인이 되는 HC와 NOx 오염물질의 총량에 대한 차종별 기여도를 평균화하는 방법이 적용될 수 있다. 한편으로 환경주행세의 부과방식과 병행하여, 자동차 오염물질 배출을 저감할 수 있는 삼원촉매장치와 매연여과장치의 부착, 오염물질 과다배출 차량의 조기폐차 시행에 의한 인센티브 부여, 그리고 청정자동차 구입에 의한 버스업체의 환경주행세 감면 등과 같은 환경주행세 부과효과를 고양할 수 있는 제도적 장치도 함께 고려될 필요가 있다.

〈표 5〉 환경주행세(500원/ℓ)를 고려한 오전첨두시 유류소비량과 총배출량 (단위:kg/h, kl/h)

구분	승용차	택시	승합차	버스	화물	소계
유류소비량 (NO TAX 대비감소율)	507 (14.8%)	-	280 (23.5%)	164 (23.5%)	474 (23.1%)	1,425 (20.4%)
CO	5,550	2,294	487	3,326	11,213	22,869
HC	642	282	43	516	1,574	3,057
NOx	1,103	503	430	3,273	9,626	14,935
PM	0	0	121	500	1,478	2,099
총배출량 (NO TAX 대비감소율)	7,295 (15.2%)	3,079 (21.2%)	1,080 (14.6%)	7,615 (8.5%)	23,891 (8.5%)	42,960 (10.9%)



〈그림 5〉 통행량 분포변화에 의한 링크별 배출량 : 500원/ℓ 주행세부과

4) 환경주행세를 고려할 경우 : 1,000원/ℓ

1,000원/ℓ의 (환경)주행세를 고려할 경우 오전 첨두시간대의 오염물질 총배출량은 39.9톤이며, 유류소비량은 1.3톤 수준이었다. 환경주행세 시행전후 승용차의 경우 유류소비량과 오염물질 배출량은 각각 23.0%와 23.4%씩 감소하였다. 반면에 화물자동차와 버스의 경우에는 유류소비량은 33.0%와 33.8%씩 감소하고, 오염물질 배출량은 각각 14.0%씩 감소하는 것으로 분석된다. 단위 유류소비량에 대한 차종별 오염물질 배출량 비중은 버스 50.4, 화물차 54.6, 승용차 14.4 등으로 산출되어, 앞서 환경주행세 500원/ℓ 부과에서 나타난 결과와 유사한 패턴을 보이고 있다. 즉 승용차의 오염배출 비중은 비탄력적인 반면에 오염물질 배출량이 많은 버스 및 화물차의 비중은 오히려 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이에 자동차 유발 대기오염의 비중을 낮추기 위해서는 차종별 오

〈표 6〉 환경주행세(1,000원/ℓ)를 고려한 오전첨두시 유류소비량과 총배출량 (단위:kg/h, kl/h)

구분	승용차	택시	승합차	버스	화물	소계
유류소비량 (NO TAX 대비감소율)	458 (23.0%)	-	242 (33.8%)	142 (33.8%)	411 (33.0%)	1,253 (30.0%)
CO	5,044	1,983	444	3,126	10,539	21,136
HC	554	244	39	485	1,479	2,801
NOx	991	450	385	3,076	9,047	13,949
PM	0	0	111	470	1,389	1,970
총배출량 (NO TAX 대비감소율)	6,589 (23.4%)	2,677 (31.4%)	979 (22.6%)	7,157 (14.0%)	22,454 (14.0%)	39,856 (17.3%)

염물질 배출경향을 고려한 환경주행세의 차별부과 방식을 고려하고, 또한 환경주행세의 부과효과를 제고할 수 있는 제도적 장치를 고려하여야 함에 유의하여야 할 것이다.

3. 총괄분석

환경주행세의 시행전후 비교분석에 의하면, 유류소비단위당 500원/ℓ 과 1,000원/ℓ 을 부과할 경우, 오전 첨두시간대의 대기오염물질 배출량은 시행후 10.7%와 17.3%씩 감소하는 것으로 나타나고 있다. 이에 비하여 유류소비량 저감은 20.2%와 30.3%로서, 저감비율이 상대적으로 높게 반영되고 있다. 이는 단위 유류소비량에 주행세를 부과한 결과이다.

한편 통행소통이라는 교통정책 목적과 상응한 대기오염물질의 배출량 저감에 관심을 둘 경우, "주행세+환경세"인 환경주행세를 고려할 수 있다. 즉 승용차·버스·화물자동차 등 차종별 오염물질의 배출특성을 감안하여, 주행세 부과방식의 차별화를 도모할 수 있다. 화물자동차·버스의 경우 질소산화물과 먼지저감을, 그리고 승용차는 일산화탄소 저감을 도모하기 위한 환경주행세의 부과이다. 이에 일차적으로 현재 논의되고 있는 주행세 부과금액을 바탕으로, 주행세 부과비율에 따른 오염물질의 배출저감 경향을 반영한 부과금액 결정이 필요하다.

예를 들면, 승용차 유발 일산화탄소의 배출량을 약 18.2%를 저감하기 위한 목적을 달성하기 위해서는 (오전 첨두시간대 기준임), 환경주행세 부과금액은 750원/ℓ 수준을 고려할 수 있다. 또한 버스의 경우

질소산화물의 배출량을 약 11.3% 저감하기 위해서는 (오전 첨두시간대 기준임), 환경주행세 부과금액은 750원/ℓ 수준을 고려할 수 있다. 이와 같이 연료소비량 기준의 주행세 부과는 대기오염물질 배출저감의 효과는 부수적인 사항인 반면, 환경주행세는 지역 대기오염수준을 고려하여 차종별·오염물질별 차등과세할 수 있는 장점이 있다.

〈표 7〉 환경주행세 부과와 대기환경 개선효과 (단위:톤/년)

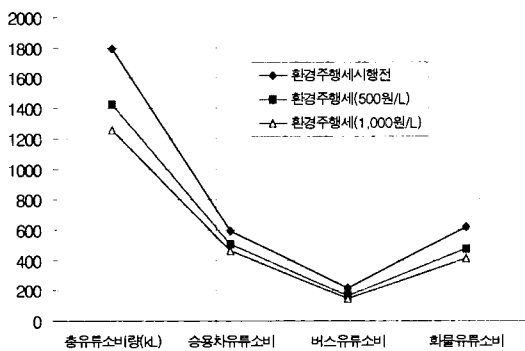
구분	500원/ℓ	1000원/ℓ
CO	4,398	6,928
HC	685	1,059
NOx	2,292	3,732
PM	295	483
총저감량	7,670	12,202

V. 결론

도시지역의 대기오염은 주로 자동차에 기인하며, 이는 보편적인 현상으로 나타나고 있다. 특히 서울시의 경우 자동차에 의한 대기오염 비중이 85.7%(1997년 기준)를 차지하고 있을 만큼 큰 비중을 보이고 있다. 이러한 현상은 정도의 차이는 있으나 다른 대도시에서도 비슷한 양상을 보이고 있어 결국 대도시 대기오염의 저감방안은 자동차(이동오염원) 대책에 있음을 알 수 있다.

따라서 교통계획과 대기환경관리가 상호 개별적으로 연구되어온 접근방식을 지양하고 이를 연계할 수 있는 방안의 모색이 필요하다. 특히 기존의 통행배분 방식에 자동차가 배출하는 대기오염물질이 도시공간 상에서 확산되는 패턴을 반영함으로써 교통정책(예: 통행비용의 절감)뿐만 아니라 환경정책(예: 대기오염 농도의 저감)을 동시에 고려할 수 있는 통합패러다임 개발의 필요성이 요구되어 왔다.

본 연구의 1차적 관심사는 서울시 대기오염의 주된 요인인 교통부문의 개별적 분석보다는 지속가능한 도시발전을 위한 새로운 패러다임의 적용이라는 관점에서 향후 서울시의 교통·환경부문의 통합연계 분석에 대한 공감대 형성 및 활용가능성 모색에 두었다. 서울시 통행 O-D자료를 바탕으로 환경주행세 부과를 고려한 단기교통혼잡프로그램 적용결과, 교통·환경



〈그림 6〉 환경주행세 시행전후 배출량 변화 및 유류소비비 변화

부문간 연계통합모형의 실제 유의성을 발견할 수 있었다. 즉 환경주행세의 시행전후 비교분석에 의하면, 유류소비 단위당 500원/ℓ과 1,000원/ℓ을 부과할 경우, 오전 첨두시간대의 대기오염물질 배출량은 시행후 10.7%와 17.3%씩 감소하는 것으로 나타나고 있다. 이에 비하여 유류소비량 저감은 20.2%와 30.3%로서, 저감비율이 상대적으로 높게 반영되고 있다. 한편으로 승용차 유발 일산화탄소의 배출량을 약 18.2%를 저감하기 위한 목적을 달성하기 위해서는(오전 첨두시간대 기준임), 환경주행세 부과금액은 750원/ℓ 수준을 고려할 수 있다. 또한 버스의 경우 질소산화물의 배출량을 약 11.3% 저감하기 위해서는(오전 첨두시간대 기준임), 환경주행세 부과금액은 750원/ℓ 수준을 고려할 수 있다. 이와 같이 연료소비량 기준의 주행세 부과는 대기오염물질 배출저감의 효과는 부수적인 사항인 반면, 환경주행세는 지역 대기오염수준을 고려하여 차종별·오염물질별 차등과세할 수 있는 장점이 있다. 예를 들면, 차종별 유류소비량에 대한 오염물질 배출비중을 균등화하는 방법, 또는 서울지역 오존오염의 원인이 되는 HC와 NOx 오염물질의 총량에 대한 차종별 기여도를 평균화하는 방법이 적용될 수 있다. 한편으로 환경주행세의 부과 방식과 병행하여, 자동차 오염물질 배출을 저감할 수 있는 삼원촉매장치와 매연여과장치의 부착, 오염물질 과다배출 차량의 조기폐차 시행에 의한 인센티브 부여, 그리고 청정자동차 구입에 의한 버스업체의 환경주행세 감면 등과 같은 환경주행세 부과효과를 고양할 수 있는 제도적 장치도 함께 고려될 필요가 있다.

그러나 본 연구에서 의도하였던 도로환경용량을 고려한 통행량 배분의 실제적 효과를 산출하기 위해서는 다음과 같은 사항이 지속적으로 연구·개발되어야 할 것이다.

첫째, 교통-환경부문간 상호작용체계의 정립 및 활용이 필요하다. 최근 삶의 질의 가치기준이 경제성과 환경성의 동시·연계 추구로 이어지고 있는 현실을 감안할 경우 종래의 교통부문 및 환경부문의 개별적 접근방법을 지양하고 '통행비용의 절감' 및 '대기질의 향상'이라는 공동선(共同善) 추구를 기본명제로 '교통-환경'간 통합패러다임의 적용모형을 개발하고, 이의 활용가능성을 모색함으로써 경제성과 환경성을 함께 다루어야 할 것이다.

둘째, 기존의 물리적 기준인 도로별 교통용량기준

을 환경요소도 포함하는 도로환경용량의 설정 및 적용이 필요하다. 따라서 도로환경용량 산정지침의 작성을 통해 자동차 배출가스기준, 대기환경기준, 그리고 도로상의 실제적 배출량 감소노력을 상호 연계하여야 할 필요성이 있다.

셋째, 종래의 통행배분모형의 경우 통행시간이 주된 평가항목이었으나, 자동차 통행수요와 관련된 비용항목에는 통행시간·환경비용·도로건설 및 유지비용뿐만 아니라 자동차 이용에 따른 연료소비도 포함될 수 있다. 따라서 연료소비 비용을 첨가하여 상호 비교하게 되면 보다 균형된 결과를 도출할 수 있을 것이다.

넷째, 향후 단기혼잡프로그램을 활용하여 자동차 유발 대기오염물질 배출량 저감효과와 연계시도가 지속적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서는 서울시 교통상황에 대한 지속적인 모니터링을 통한 모형결과치의 점검, 5년 단위의 통행발생·통행분포·수단분담과정의 보완, 매년 도로 및 대중교통망 등의 변화를 network에 반영, 정기적 통행설문조사, 각종 정책에 대한 지속적 모니터링을 통한 통행행태의 변화 검증 등이 필요하다.

결국 이제까지의 사회적 비용을 고려하지 않은 통행량 배분방식의 단점을 극복하고 환경가치의 편익을 사회 전체적으로 수용할 수 있는 교통·환경 통합모형의 적용타당성이 심도 있게 인식되고 검토되어야 할 것이다.

참고문헌

국내문헌

1. 교통안전공단, 「'97 자동차 주행거리(km) 실태 조사연구」, 1998. 12.
2. 김운수의, "환경친화적 도시교통체계의 구축을 위한 모형정립과 적용가능성에 관한 연구", 「국토계획」: 대한국토·도시계획학회지, 제33권 제3호(통권95호), 1998. 6.
3. 김갑수·김운수 외, 서울시 경유자동차 배출가스 저감정책수립에 관한 연구, 서울시정개발연구원, 1996.
4. 김운수·정성용, "도시교통 혼잡비용과 대기오염의 적정수준 결정에 관한 연구", 한국지역개발학회지, 제7권 1호, 1996.

5. 동종인의, 「2000년대 서울시의 대기오염물질 배출량 예측 및 관리방안 연구」, 1996.
6. 박현 외, 도시화물차량 관리방안 연구, 서울시정개발연구원, 1997.
7. 황기연·엄진기·이우철, 서울시 교통혼잡프로그램 실행을 위한 교통수요관리 효과분석체계의 구축, 서울시정개발연구원, 1998.
8. 황기연·김익기·엄진기, “교통수요관리 방안의 단기적 효과 분석모형의 구축”, 「대한교통학회지」, 대한교통학회, 제17권 제1호(통권 42호), 1999. 3.
9. Ewing, R., "Transportation Service Standards: As If People Matter", Transportation Research Record 1400, 1993.
10. Kim, WoonSoo, Combined Transportation Network Optimization and Spatial Allocation of Pollution Emissions, Ph. D. Dissertation, The Ohio State University, 1995.
11. Immers, B. H. and N. G. J. Oosterbaan, "Model Calculation of Environment-friendly Traffic Flows in Urban Networks", Transportation Research Record 1312, 1991.
12. Matzoros, A., "Results from a Model of Road Traffic Air Pollution, Featuring Junction Effects and Vehicle Operating Modes", Transportation Engineering and Control, 1990.
13. Matzoros, A. and D. V. Vliet, "A Model of Air Pollution from Traffic, Based on the Characteristics of Interrupted Flow and Junction Control: Part I-Model Description", Transportation Research A, Vol. 26A, 1992a.
14. _____. "A Model of Air Pollution from Traffic, Based on the Characteristics of Interrupted Flow and Junction Control: Part II-Model Results", Transportation Research A, Vol. 26A, 1992b.

외국문헌