

교통수요예측모형을 이용한 환경지역(차량통행제한지역) 도입 효과분석

Analysis of Effectiveness of Environmental Zone Using Travel Demand Forecasting Model

안 성 채

(아주대학교 교통공학과 석사과정)

최 기 주

(아주대학교 교통공학과 교수)

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법

II. 기존 문헌 고찰

1. 환경지역 관련 연구
2. 배출량 추정 관련 연구

III. 환경지역 설정을 위한 시나리오 선정

1. 대상차량 선정
2. 대상지역 선정

3. 환경지역 분석을 위한 시나리오 선정

IV. 교통수요예측모형을 이용한 배출량 분석

1. 배출량 추정 방식
2. 배출량 추정 결과
3. 배출량 삭감에 따른 편익 산정

V. 결론 및 향후 과제

참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 스웨덴, 영국 등 유럽 선진국에서는 환경 친화적인 교통수요관리의 일환으로 특정지역에 대해 기준치 이상의 오염물질을 배출하는 차량의 통행과 관련하여 부분 또는 원천적으로 통제하는 정책을 시행 및 준비하고 있다. 이들 정책은 교통정책과 환경정책의 연계에 기반을 둔 것으로 그동안 교통으로 인한 환경오염을 단순 파생물로써만 인식하던 정책구조에 시사하고 있는 바가 크다. 우리나라의 경우 「수도권 대기환경 개선에 관한 특별법(2003.12)」 제정 이후 「수도권 대기환경관리 기본계획(2005.10)」을 수립하면서 선진국 수준의 대기환경개선을 위한 노력을 기울이고 있으며, 더욱이 여러 관련 분야의 협조와 기술지원을 통한 체계적인 정책 추진은 정책간 연계성을 확인하고 반영하려 한다는 점에서 긍정적이다 할 수 있다.

환경 친화적인 교통수요관리 역시 공급만으로는 더 이상 교통에 의해 발생하는 외부불경제(대기환경오염)를 해소할 수 없다는 공급의 한계에 대한 인식에 기반을 둔 정책으로 교통정책과 환경정책의 상호 연계를 둔 교통수요관리를 통해 대기 질 개선을 하고자 함에 목적을 두고 있다. 서두에서도 거론했듯 이와 관련하여 스웨덴에서는 1996년 스톡홀름을 시작으로 총 4개 도시에서 Environmental Zone(EZ)이라는 통행제한지역을 설정하고 있으며, 영국의 경우 런던을 대상으로 Low Emission Zone(LEZ)이라 하여 2008년 시행을 위해 준비를 하고 있다. 이렇듯 유럽의 많은 국가들이 환경지역¹⁾ 설정과 관련된 여러 시도를 하고 있으며 시행국가들은 대기 질 개선을 위해서 특정 공간범위를 설정하고 특정차량에 대한 특정 규정 및 규제책을 두고 있다.

이에 본 연구는 선진사례분석을 통해 우리나라

1) 본 논문에서는 환경과 관련하여 차량통행을 제한하는 지역에 대해서 '환경지역'이라 통칭함.

라에 맞는 환경 친화적인 교통수요관리로써 환경지역에 대한 설정항목을 검토해보고 도출한 설정항목을 토대로 시나리오를 설정하여 새로운 형태의 교통수요관리 정책에 대한 대기 질 개선효과를 분석하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 선진사례를 바탕으로 환경지역 정책에 필요한 설정항목 고찰을 통해 지역 및 차종, 차중, 차령을 고려한 대상차량을 설정하였고, 이를 기반으로 시행년도 2009년부터 「수도권 대기환경 기본계획」 목표년도인 2014년 까지 배출 삭감량을 추정하였다.

배출량 추정과정에 있어서는 이동오염원의 직접적인 배출원인 도로상의 교통특성을 반영하기 위해 BUA(Bottom Up Approach)방식의 교통수요예측모형을 적용하여 총 VKT를 산정하고 TransCAD에 결합된 대기모델인 MOBILE6 Emission Model을 이용하여 격자별·링크별·속도별 VKT를 재산정하는 과정을 통해 환경지역 도입에 따른 대기 질 개선효과를 분석하였다.

II. 기존 문헌 고찰

1. 환경지역 관련 연구

1) 국내 환경지역 관련 연구

수도권의 대기 질 악화에 대한 종합 대책으로 우리나라는 「수도권 대기환경 개선에 관한 특별법(2003.12)」을 제정하고 「수도권 대기환경관리 기본계획(2005.10)」을 수립하였다. 수도권 대기환경관리 목표가 설정되고 지역별 배출허용총량제가 시행됨에 따라 지역별·배출원별 배출허용총량이 할당되게 되며, 2006년 말 수도권 대기환경관리 기본계획 시행을 위한 서울시·인천시·경기도의 각 지자체의 시행계획이 수립된다. 환경지역은 각 지자체의 이동오염원 관리 대책 중 교통수요관리의 일환으로 시행계획에 반영되며, 최근 「대기·교통·수질분야에 대한 서울·인천·경기 공동협약(2006.12)」에서도 노후 경유차량 통행제한지역설정에 대한 내용이 다루어진 바 있다.

현재 국내에서 진행되는 연구는 협약내용에서 비추어 볼 수 있듯 노후 경유 차량에 대한 매연저감장치 부착 등 저공해사업의 조속 시행 및 저공해조치 의무 등의 추진을 유도하고자 하는 정책 보완적인 성향이 있으며, 이에 따라 노후 경유 차량에 대한 저공해장치 부착을 의무화하고 2007~2008년에는 차령 7년 이상 된 3.5톤 이상 경유차를, 2009~2010까지는 차령 7년 이상 된 2.5~3.5톤 경유차를 대상으로 단계적 저공해장치 부착을 실시하는 선행 정책에 바탕을 두고 저공해장치를 부착하지 않은 노후 경유차의 관리권역 내 운행을 제한하는 방안에 대한 검토와 효과분석이 주를 이루고 있다.

2) 국외 환경지역 관련 연구

환경을 위한 차량통행제한지역 설정이라는 개념을 처음 도입한 스웨덴은 차량으로부터 대기오염을 억제 및 감소시키는 동시에 도심으로의 접근성을 유지하기 위하여 Environmental Zone (EZ)이라는 지역을 설정하고 배출 기준치에 미달하는 차량의 통행을 제한하였다. 현재 스웨덴은 1996년 스톡홀름, 고센버그, 말피를 시작으로 1999년 룬드의 총 4개 대도시 도심에 시행 중에 있다. 설정지역은 도시지역 중 주거밀집지역, 보행자나 자전거 통행이 많은 도로, 오염원에 민감한 공원이나 녹지, 대기오염과 소음에 많이 노출된 지역이 해당하며, 경유를 사용하는 차령 8년 이상 된 총 중량 3.5톤 이상의 트럭과 버스를 규제대상으로 하고 있다.

스웨덴의 지자체에서 연구된 자료를 보면 환경지역 도입으로 개선효과가 있는 것으로 분석되었다. 하지만 Eric Rapaport(2002)는 EZ 도입 당시 대기오염 평가는 단지 배출량만 고려되고 농도수준은 무시되었다고 지적하고 있다. 더욱이 효과를 평가하기 위한 프로그램 역시 제시되어 있지 않아 빈약한 계획과정이 있을지 정적 문제가 있을지는 알 수 없다고 문제점을 논하고 있다. Eric Rapaport는 EZ 도입으로 질소산화물(NO_x)이나 입자상물질(PM)의 배출량과 농도에 영향을 주는 차량을 향상시키거나 저공해장치의 구매를 장려할 수 있는 새로운 정책이면서 운영비를 오염유발자에게 부담할 수 있다는 이점에 대해서 이야기하면서 EZ의 도입과정을 재검토 및 재평가를 수행하고 정책

도입에 대한 권고사항을 제안하고 있다.

영국 런던에서는 이와 유사 개념의 Low Emission Zone(LEZ) 도입을 위한 연구를 시행하고 있으며 2008년부터 시행이 계획되어 있다. 영국 런던의 경우 단계적으로 대상차량을 확대하는 방안을 가지고 있으며, 연구에서 가능한 대기 질 편익을 최대한 얻을 수 있도록 지역을 크게 적용하는 것을 권고하고 있다. Eric Rapaport에 따르면 스웨덴의 도입 경우와는 달리 런던 LEZ는 도입에 대한 충분한 시험과 평가가 이루어진 후에 법제화를 시도하고 있다고 말하고 있다.

David C. Carslaw 와 Sean D. Beevers(2002)는 LEZ 도입에 있어 이산화질소(NO_2) 농도 감소 효과에 대해 질소산화물 농도의 감소는 눈에 띄게 나타날지 몰라도 이산화질소 농도의 감소는 미묘하다고 설명하고 있다. 현재 이산화질소는 대부분의 유럽도시에서 중요한 대기오염물질로 간주하고 있는데, 이후 LEZ 연구를 보면 이산화질소 농도가 반영되어 있음을 확인할 수 있다. Eric Rapaport와 David C. Carslaw, Sean D. Beevers의 연구에서 환경지역 도입을 통해 효과가 있다고 분석되어지지만 오염물질 분포와 관련하여 풍속, 풍향, 습도, 온도 등이 고려된 대기오염물질의 농도에 대한 분석이 요구된다고 논하고 있다.

2. 배출량 추정 관련 연구

배출량을 추정하는 방법은 크게 BUA(Bottom Up Approach)와 TDA(Top Down Approach)로 구분 짓고 있다. BUA는 개별적인 조사를 통하여 전체 배출량을 파악하는 방법으로 주로 대형 점오염원에 의한 배출량 추정이나 통계자료를 활용한 선·면 오염원 배출 총량 파악시 사용되는 반면, TDA는 선·면 오염원 등 개별 배출원에 대한 추적이 불가능한 경우 배출계수를 도입하여 배출량을 추정하고 있다.

1) 국내 배출량 추정 관련 연구

조억수(1993)는 교통수요예측모형을 통해 분석구간의 통행량 추정을 하고 하루 중 차종별 통행량 변화를 파악하여 각 차종별 시간대별

통행량을 산출하였으며 대기확산모형을 이용하여 배출량을 추정하였다.

김현명(1997)은 기존 통행배정 모형의 경우 승용차 단위로 통행량을 예측함에 따라 각 차종에 대한 세분화된 대기오염물질 배출량 분석을 할 수 없었던 것에 착안하여 복수수단 통행배정 모형을 이용함으로써 버스나 트럭과 같은 대형 차종의 배출량 분석을 가능하게 하였다.

엄정화(2002)는 배출량 추정에 관한 방법을 검토하고 기존 배출량 추정방법이 갖고 있는 한계를 개선할 수 있으면서 현실성 있는 추정방법에 대해 연구하였다. 교통수요예측모형을 이용하여 구한 VKT와 환경부의 TDA 방식으로 구한 VKT는 큰 차이가 있음을 보이고 실제적인 VKT 산정을 통해 좀 더 정확한 배출량을 얻을 수 있다고 설명하고 있다.

2) 국외 배출량 추정 관련 연구

Ronald J. Dickson과 William R. Oliver(1991)는 분석지역을 일정한 격자로 분류하고 각 격자 내부의 도로구간 길이를 이용하여 배출량 분포를 계산하고 그 필요성을 제시하였다.

Loibil W. et al(1993)는 BUA와 TDA가 서로 보완되어 수행되어야 한다고 설명하였으나, Zissis Samaras et al(1995)는 BUA와 TDA를 통해 추정된 배출량을 비교했을 때 결과에 큰 차이를 주지 않는다고 주장하였다.

Peter R. Stopher와 Haoqiang Fu(1996)는 하루를 오전첨두, 정오, 오후첨두, 야간으로 구분하여 교통수요예측과정을 통해 분석구간의 VMT 및 속도를 구하고 배출량 추정모형인 MOBILE 5a를 이용하여 이동오염원의 분산된 배출량을 추정하였다.

이외에 Hung, W. T. et al(2000), Jin Young Park et al(2001), Hesham Rakha et al.(2004) 등 교통 환경을 좀 더 세부적으로 반영할 수 있는 미시적인 모형이 연구되고 있으나, 아직 국내에서 적용하기에는 어려움이 있다.

III. 환경지역 설정을 위한 시나리오 선정

1. 대상차량 선정

1) 사용 연료를 고려한 대상차량 선정

20세기 말 지구온난화의 주범이 이산화탄소라고 공식 선언된 이후 이산화탄소 발생을 줄이기 위해 차량 개선 및 배출기준 강화가 추진되었다. 이에 따라 휘발유보다 연소효율이 좋고 경제성이 있는 경유 차량이 이산화탄소 배출이 적어 보급 확대의 계기를 마련하게 된다. 더욱이 우리나라는 한때 연료비 절감 등의 이유와 함께 경유 차량이 휘발유 차량보다 상당히 낮은 가격으로 판매됨에 따라 선진국에 비해 경유 차량이 많이 보급된 상태이다. 서울시 보고에 따르면 2004년에 등록된 278만대 중 경유 차량은 80만대로 28.7%를 차지하고 있으며, 매년 증가 추세이다.

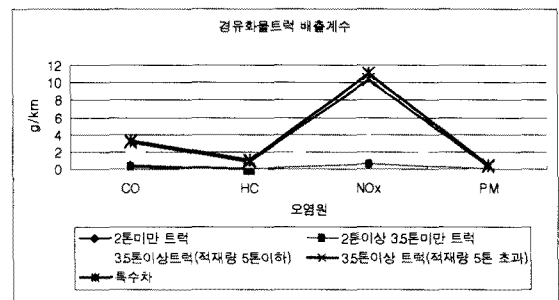
하지만 최근 질소산화물과 입자상물질이 많이 배출되는 경유 차량으로 인해 인체와 생태계에 위해성을 준다는 연구가 발표되면서 저감 대책에 대한 대책이 계획 및 시행되고 있다. 대기오염 물질 중 수송분야의 오염물질이 75%이며 대형 경유 차량은 전체 차량의 2.2%에 불과하나 총 배출량의 22%를 배출하고 있다는 점을 근간으로 서울시는 대기환경을 빠른 시일 내 개선하기 위해서는 경유 차량에 대한 특단의 대책이 가장 시급히 요구된다고 보고 대안을 수립·시행하고 있다. 이렇듯 각 지자체에서 수도권 대기관리 기본계획을 위해 수립한 시행계획에서 도로이동오염원 저감대책으로 경유 차량에 저공해장치를 부착하는 등의 운행차 관리 정책을 통해 경유 차량으로 인한 대기오염물질 저감에 노력하고 있다. 이러한 흐름에 맞추어 경유 차량의 저공해화에 탄력을 가하기 위해서라도 경유 차량에 대한 우선적인 단속이 필요하다고 할 수 있다.

2) 중량을 고려한 대상차량 선정

중량과 관련된 국외사례를 보면, 스웨덴은 3.5톤 이상, 덴마크는 2.5톤 이상, 네덜란드는 7.5톤 이상, 체코는 5.5톤 이상에서 3.5톤 이상으로 확대하여 시행하고 있다. 시행국가마다 중량에 대한 차이를 보이고 있으나 중량을 고려한 기반 근거는 설명되지 않았다.

우리나라의 경우 2006년 1월 1일부터 「수도권 대기환경 개선에 관한 특별법」에 따라 대기관리권역에 등록된 특정경유 차량(보증기간이

지난 경유 차량)에 대해서는 대기환경보전법의 배출허용기준보다 강화된 배출허용기준에 따라 관리하고 있다. 특정경유 차량에 대한 배출허용기준에 대해서 총 중량 3.5톤 이상 차량과 미만 차량으로 구분하고 있는데, 이와 같은 차량구분은 차량의 검사 방식에 따른 차이로 원인을 찾아볼 수 있으며 <그림 1>의 경유화물트럭의 3.5톤 이상의 질소산화물 배출계수가 3.5톤 미만의 배출계수와 약 10배 이상 차이가 나고 있다는 것으로도 설명이 가능하겠다. 3.5톤 이상의 경유 차량에 대한 우선적인 단속이 필요하다고 할 수 있다.

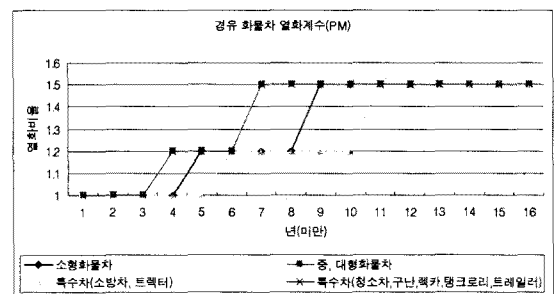


<그림 1> 경유화물차량의 배출계수

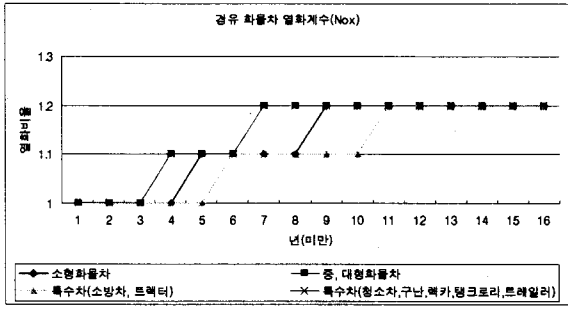
3) 차령을 고려한 대상차량 선정

차령과 관련해서 대부분의 국가에서 8년 이상을 두고 있으며, 스웨덴의 경우 차후 6년 이상으로 확대할 방안을 가지고 있다. 차령을 고려한 기반 근거 역시 설명되지 않았다.

열화계수는 자동차 배출가스로 인해 범규에서 규정한 보증기간까지 주행 후 배출가스 관련 부품이 나빠지는 정도를 나타낸다. 열화계수를 통해 적정 대상차령을 검토해 보면, <그림 2>와 <그림 3>에서 볼 수 있듯 중·대형 화물차 및 특수차에 대하여 7년 이후 배출가스 보증기간이 각 1.5배, 1.2배 증가하는 것을 확인할 수 있다. 7년 이상 차량에 대한 단속이 우선적으로 필요하다고 할 수 있다.



<그림 2> 경유화물차량의 열화계수(PM)



<그림 3> 경유화물차량의 열화계수(Nox)

저감장치 장착시 3년 동안 보증기간이 연장됨에 따라 2009년에는 99연식 이전 차량, 2010년에는 00연식 이전 차량, 2011년에는 01연식 이전 차량, 2012년에는 02연식 이전 차량, 2013년에는 03연식 이전 차량, 2014년에는 04연식 이전 차량에 대한 통행제한을 실시하게 된다.

4) 대상차량 선정

현재 경제적 및 기술적 문제를 고려하여 적용 가능한 저감기술을 감안했을 때, 환경지역을 설정시 대상차량은 차령 7년 이상 된 총 중량 3.5톤 이상의 경유 차량으로 하는 방안이 적절하다고 보며, 향후 강화하는 방안을 검토하여야 한다. 대상차량으로 선정된 내용은 수도권 지자체에서 공동으로 협약한 내용과도 일맥상통하는 부분이 있기에 분석상 의미가 있다.

2. 대상지역 선정

서울시 면적 608km²보다 2.6배 크고 서울시와 인천시 면적을 합한 것보다 180km² 정도 큰 면적인 1578km²을 대상으로 한 영국 런던을 제외하고는 대부분의 시행국가에서는 대도시의 도심을 대상으로 25km² 미만의 지역에서 시행하고 있다. 우리나라는 세계 3위의 인구 밀도를 가진 나라이면서 국토 약 11.8%에 불과한 수도권 면적에 인구의 절반인 약 48%가 집중되어 있다. 그 외 수도권에는 전국의 45% 수준의 사업체수와 51% 수준의 제조업체수 그리고 46% 수준의 차량등록대수라는 수치를 보인다.

수도권의 대기 질 악화에 대한 종합 대책으로 수립된 「수도권 대기환경관리 기본계획」에 맞추어 분석지역은 수도권 관리권역²⁾을 대상으로 하며, 각 지자체별 분석도 시행하도록 한다.

3. 환경지역 분석을 위한 시나리오 선정

차령 7년 이상 된 총 중량 3.5톤 이상 경유 차량에 대해서 지역별(서울·인천·경기·수도권)로 2014년까지의 배출 삭감량을 추정하도록 한다. 환경지역 시행연도는 2009년을 기준으로 하며, 기존 저감정책을 반영하여 중복되어 적용되지 않도록 하였다. 차령 10년 이상 된 차종에 대해서는 구분 없이 폐차조치하고, 7년 이상 된 승용차와 승합차, 소형 화물차량은 LPG 차량으로의 개조를 반영하며 버스는 CNG차량으로 교체하는 것으로 한다. 대상차량에 대해서는 DPF를 장착한 차량만 통행이 가능하도록 하였다.

또한 「수도권지역 배출총량관리제 추진방안(2004. 08)」에서 제시한 저감효율을 이용하여, LPG 개조나 CNG 교체의 경우 질소산화물과 입자상물질의 50% 저감, DOC(Diesel Oxidation Catalyst, 산화촉매장치)가 장착될 경우 입자상물질 25% 저감, DPF(Diesel Particulate Filter trap, 매연여과장치)가 장착될 경우에는 2010년 이전까지는 입자상물질 75% 저감을 적용하고 이후에는 SCR(Selective Catalytic Reduction, DPF와 DOC가 통합된 시스템) 기술이 반영될 것으로 예상하여 질소산화물 80% 저감과 입자상물질 85% 저감을 반영하였다.

<표 1>은 시나리오별 전체차량에 대한 대상차량의 비율을 보여주며, 수도권에서 대상차량의 비율이 5% 미만으로 상당히 적음을 확인할 수 있다.

<표 1> 시나리오별 대상차량의 비율

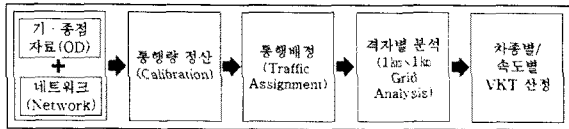
구분	서울시	인천시	경기도	관리권역
2009년	1.12	1.68	1.89	4.70
2010년	0.93	1.48	1.69	4.10
2011년	0.84	1.37	1.61	3.83
2012년	0.81	1.32	1.60	3.72
2013년	0.81	1.32	1.60	3.72
2014년	0.81	1.32	1.60	3.72

2) 서울시 전역, 인천시: 용진군(용진군 영흥면은 제외)을 제외한 전역, 경기도 24개시: 김포, 고양, 의정부, 남양주, 구리, 하남, 성남, 의왕, 군포, 과천, 안양, 광명, 시흥, 부천, 안산, 수원, 용인, 화성, 오산, 평택, 파주, 동두천, 양주, 이천시

IV. 교통수요예측모형을 이용한 배출량 분석

1. 배출량 추정 방식

현재 대기오염물질 추정을 위해 통용되고 있는 CAPSS(Clean Air Policy Support System)는 물론 대부분의 경우 이동오염원에 의한 대기오염 배출량을 산정하는데 있어 차량등록대수와 평균통행속도를 기반으로 한 TDA방식을 이용하고 있다. 하지만 엄정화(2002) 연구에서 교통수요예측모형을 이용한 BUA 방식과 환경부의 TDA 방식간 VKT에 차이를 보이고 있음을 분석한 것처럼, TDA 방식은 도로상의 각 차량의 이동경로나 속도에 대해 현실을 유사하게 반영하지 못한다는 단점이 있어 본 연구에서는 실제 도로상의 차량 집단에 대한 특성을 반영할 수 있도록 교통모형을 적용한 BUA 방식의 개념을 반영하여 분석하였다. 분석방식은 아래의 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 교통모형을 통한 VKT 분석 흐름도

분석은 환경지역이 시행된다고 예상한 2009년부터 2014년까지에 대해 진행하였으며 VKT 산정을 위해서 OD와 네트워크 자료를 기반으로 TransCAD를 이용한 4단계 수요예측을 통해 각 링크별 배정되는 통행량과 통행속도 등 교통특성이 반영된 구체적인 자료를 도출하였다. 1시간 교통량을 기준으로 일교통량의 7%가 적용되는 일 첨두 10시간과 일교통량의 2.5%가 적용되는 일 비첨두 9시간을 적용하였다. 또한 소프트웨어에서 지원하는 현재와 장래를 대상으로 도로상을 움직이는 차량에서 유발되는 오염물질의 배출량을 추정하기 위해 미국 EPA(Environment Protection Agency)에서 개발한 MOBILE6 Emission Model을 활용하여 1km×1km 격자별 VKT 자료를 재산정하였다.

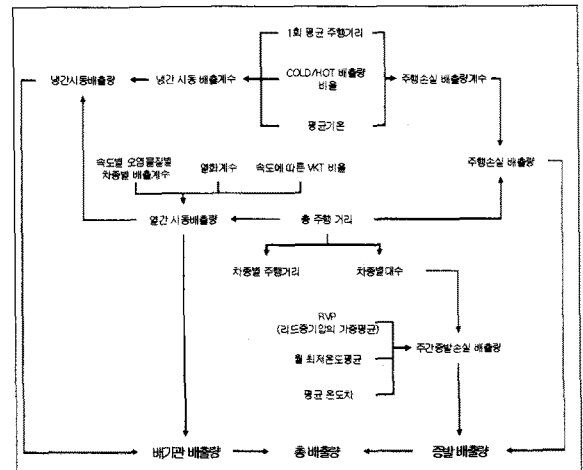
대기오염물질은 VKT에 비례하여 배출되고 차량으로부터 배출되는 오염물질은 속도에 따

라 배출되는 경향이 다르기 때문에 링크별 VKT와 통행속도에 대한 정확한 추정이 매우 중요하다. 교통수요예측을 활용한 대기오염물질 배출량 추정 식은 다음과 같다.

$$E^p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k v_{ij} \times l_i \times f_j^p(s_i)$$

- 여기서, p : 오염물질(NOx, PM10, CO, VOC, TSP)
- n : 링크개수
- k : 차종구분(승용, 승합, 버스, 화물, 특수)
- v_{ij} : 차종별 링크 통행량 (veh/h)
- l_i : 링크 i의 연장(km)
- s_i : 링크 통행속도(kph)
- $F_j^p(\cdot)$: 속도에 따른 차종별 오염물질 원단위(g/km)

교통모형을 통한 분석 후, 도출 자료를 이용하여 「이동오염원 대기오염물질 배출량 산정 방법편람(국립환경과학원, 2005.06)」에서 제시하는 열간 시동배출량(Hot Start Emission), 냉간 시동배출량(Cold Start Emission), 주행손실배출량(Running Loss), 주간증발손실 배출량(Diurnal Loss)을 계산하였으며 도로이동오염원의 총 배출량을 산출하였다. 이동오염원은 다른 오염원과 달리 총 배출량을 산정하는데 있어 배출되는 조건에 따라 엔진에서 배출되는 열간·냉간 시동배출량, 연료탱크에서 발생하는 증발손실배출량, 주행 중 주변의 먼지가 비산되어 발생하는 배출량, 주행으로 인해 타이어 마모에 의해 발생하는 배출량의 합으로 계산된다.

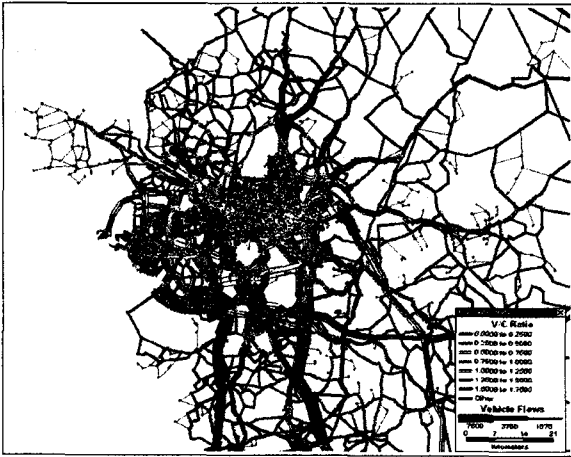


<그림 5> 도로이동오염원 배출량 산정 흐름도

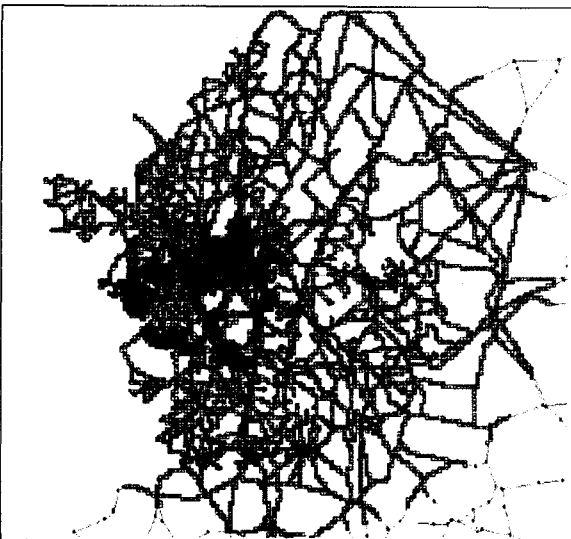
총 배출량 산출은 <그림 5>로 설명되며 배출량 분석과정에서 적용된 저감효율은 「수도권 지역 배출량 총량관리제 추진방안(환경부, 2004.08)」의 연구를 바탕으로 「수도권 대기환경관리 기본계획(환경부, 2005)」에서 산정한 장래 2014년 배출량을 고려하였다.

2. 배출량 추정 결과

TransCAD를 이용하여 교통량 배정한 결과는 <그림 6>과 같이 도출되며 <그림 7>, <그림 8>, <그림 9>는 대상지역에 대한 격자별 분석과정이다.



<그림 6> 수도권 전역 교통량 배정 (TransCAD)



<그림 7> 수도권 1km×1km 격자 분석

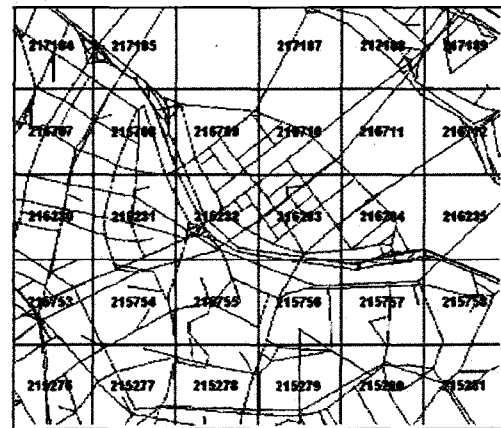


<그림 8> 서울시 1km×1km 격자 분석



<그림 9> 인천시 1km×1km 격자 분석

<그림 10>은 TransCAD의 MOBILE6 Emission Model 기능을 활용하여 격자별 분석시 차종별 속도별 VKT 산정과정을 설명한다.



<그림 10> 1km×1km 격자 분석(여의도 일대)

분석을 통해 추정된 대기오염물질 삭감량을 아래 <표 2>와 <표 3>을 통해서 보면 질소산화물의 경우 전체 배출량 대비 삭감비율은 최저 5.69%에서 최고 10.46%까지 상당히 높게 나오는 반면, 입자상물질은 0.34%에서 0.76%로 상당히 적게 나오는 것을 확인할 수 있다.

<표 2> 시나리오별 질소산화물(NO_x) 삭감량

구분	삭감량 (전체 배출량 대비 삭감비율, %)			
	서울시	인천시	경기도	관리권역
2009년	2418 (6.27)	1662 (10.46)	3798 (8.89)	7878 (8.89)
2010년	1917 (5.73)	1289 (9.34)	3038 (8.19)	6243 (8.19)
2011년	1659 (5.69)	1051 (8.75)	2619 (8.12)	5329 (8.12)
2012년	1515 (5.79)	919 (8.52)	2476 (8.55)	4910 (8.55)
2013년	1325 (5.79)	803 (8.52)	2166 (8.55)	4294 (8.55)
2014년	1219 (5.79)	739 (8.52)	1992 (8.55)	3950 (8.55)

<표 3> 시나리오별 입자상물질(PM_{10}) 삭감량

구분	삭감량 (전체 배출량 대비 삭감비율, %)			
	서울시	인천시	경기도	관리권역
2009년	188 (0.37)	138 (0.76)	302 (0.41)	629 (0.49)
2010년	150 (0.33)	108 (0.68)	244 (0.38)	502 (0.45)
2011년	138 (0.33)	93 (0.63)	224 (0.38)	455 (0.44)
2012년	139 (0.34)	90 (0.61)	235 (0.39)	464 (0.45)
2013년	131 (0.34)	85 (0.61)	221 (0.39)	437 (0.45)
2014년	123 (0.34)	80 (0.61)	207 (0.39)	410 (0.45)

3. 배출량 삭감에 따른 편익 산정

우리나라는 현재 대기오염물질 저감에 따른 환경개선 편익에 대한 추정치를 가지고 있지 못하여 일반적으로 EU의 대기오염물질 단위당 피해비용 추정치를 사용하고 있다. EU의 자료는 유럽지역에서 적용되는 자료로 우리나라 여건에 맞지 않을 수 있으나 관련 분석 중 EU안이 가장 공신력을 가지고 있기에 이를 사용하여 편익을 산정하였다.

EU의 추정치는 오염물질별 대기오염의 사회적 한계비용을 계산한 것으로 사회적 비용에는 조기사망이나 질병유발과 같은 건강피해, 농작물 생산성 감소, 건물 및 구조물 피해 등의 비용이 총체적으로 고려되어 있으며, 본 연구에서는 「환경 친화적 자전거문화 정착연구(2007.05)」에서 사용한 방법을 참고하였다. 대기오염물질의 단위당 피해비용은 <표 4>와 같으며, 대기오염물질 삭감에 따른 편익은 <표 5>에서 확인할 수 있다. 관리권역을 대상으로 환경지역을 설정하게 되면 2009년 편익은 질소산화물 삭감에 따른 편익 887억과 입자상물질 삭감에 따른 편익 295억으로 1,182억이 되며, 2009년부터 6년간 총 편익은 5,029억으로 연간 838억의 편익을 얻을 수 있다. 서울시의 경우 연간 256억, 인천시 167억, 경기도 414억의 편익이 구해진다.

<표 4> 대기오염물질 단위당 피해비용

대기오염물질	피해비용 (원/kg)
질소산화물 (NO_x)	11,271
입자상물질 (PM)	46,930

<표 5> 시나리오별 편익 (단위:억원)

구분	질소산화물(NO_x)				입자상물질(PM_{10})			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
2009년	272	187	428	887	88	64	141	295
2010년	216	145	342	703	70	50	114	235
2011년	186	118	295	600	64	43	105	213
2012년	170	103	279	553	65	42	110	217
2013년	149	90	244	484	61	39	103	205
2014년	137	83	224	445	57	37	97	192

* (1): 서울시, (2): 인천시, (3): 경기도, (4): 관리권역

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서 교통수요예측모형을 이용하여 좀 더 실질적으로 교통특성을 반영한 도로상의 대기오염 개선정도를 분석하고자 하였으며 이 동오염원의 주요 오염물질인 NO_x , PM_{10} 을 지정된 환경지역의 대안별로 배출량을 추정하고 시행에 따른 대기오염물질 삭감량을 산정하였다.

대기오염으로 인한 수도권 사회경제적 피해비용은 대기오염비용만 10조 4000억원, 환경처리비용은 4조 2000억원에 달한다고 보고 있는 현실에서 수도권 대기관리권역의 환경지역 도입은 대상차량이 5% 미만임에도 불구하고 연 838억원의 편익을 얻을 수 있다는 점에서 상당히 눈여겨 볼 결과이다.

향후 피해비용에 대한 우리나라 추정치에 대한 검토와 환경지역 도입을 위해 필요한 단속시스템 구축비용 등의 분석이 추가적으로 요구되어지며 환경지역 도입에 따라 환경지역 주변의 변화에 대한 연구가 고려되어야 할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 삭감량에 대해서만 추정하였는데 앞서서도 언급되었던 바 대기모델링을 통해 지역별 농도분석 실시를 통한 분석이 이루어져야 하겠다. 또한 대기오염물질 배출량을 추정하기 위해 실시한 교통수요예측모형을 통한 BUA 방식의 접근은 기존의 TDA 방식의 접근보다 더 실효성이 있다고 하겠으나 내부통행에 대한 추정이라든지 평균통행속도 이외에 다른 운행 특성요소의 반영 등에 대한 검토가 좀 더 이루어져야한다.

참고문헌

1. 조역수(1993), "선오염원에 의한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구", 서울대학교 석사학위 논문
2. 김현명(1997), "복수수단 통행배정모형에 의한 대기오염물질의 배출량 산정에 관한 연구", 서울대학교 석사학위 논문
3. 엄정화(2002), "통행배분모형을 이용한 자동차대기오염물질 배출량 추정연구", 명지대학교 석사학위 논문
4. 한국환경정책평가연구원, 한국교통연구원(2007), "환경친화적 자전거문화 정착연구", 환경부
5. Ronald J. Dickson, William R. Oliver (1991),

- "Emissions Models for Regional Air Quality Studies", Environmental Science & Technology, vol. 25, No. 9.
6. Loibil W., Orthofer R., Winiwarter W.(1993), "Spatially Disaggregated Emission Inventory for Anthropogenic NMVOC in Austria", Atmospheric Environment vol. 23.
7. Zissis Samaras, Nikolas Kyriakis, Sheodoros Zachariadis(1995), "Reconciliation of macroscale and microscale motor vehicle emission estimates", The Science of Total Environment 169.
8. Peter R.Stopher, Haoqiang Fu(1996), "Travel Demand Analysis Impacts on Estimation of Mobile Emission", Transportation Research Record.
9. Eric Rapaport(2002), "The Stockholm environmental zone, a method to curb air pollution from bus and truck traffic", Transportation Research Part D 7.
10. David C. Carslaw, Sean D. Beevers(2002), "The efficacy of low emission zones in central London as a means of reducing nitrogen dioxide concentrations", Transportation Research D 7.
11. Jin young Park, Robert B. Noland, John W. Polak(2001), "Microscopic Model of Air Pollutant Concentrations (Comparison of Simulated Results with Measured and Macroscopic Estimates", Transportation Research Record 1750.
12. Hesham Rakha, Hyungho Ahn(2004), "Integration Modeling Framework for Estimating Mobile Source Emissions", Journal of Transportation Engineering.