

■ 論 文 ■

환경정의를 고려한 교통운영 전략 및 평가에 관한 연구

A Study on the Strategy and the Evaluation of Traffic Operation Considering the Environmental Justice in Emission

박 준 환

(서울시정개발연구원 도시교통부 초빙부연구위원)

김 원 호

(서울시정개발연구원 도시교통부 부연구위원)

남 두 희

(한성대학교 정보시스템공학과 교수)

이 영 인

(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

- I. 서 론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 구성 및 절차
 - II. 이론적 고찰
 - 1. 환경정의와 교통의 관계 고찰
 - 2. 배기가스 배출량 추정 방법론 고찰
 - III. 환경정의를 고려한 교통운영 개선 및 평가 방안 구축
 - 1. 교통운영개선을 통한 환경정의 고려 방안
 - IV. 환경정의 개선방안 설정 및 적용
 - 1. 단계 1 : 교통개선을 통한 환경정의 구현 목표 설정
 - 2. 단계 2 : 교통운영전략 시나리오 수립
 - 3. 단계 3 : 시나리오별 결과 산출
 - 4. 단계 4 : 결과 분석 및 시사점
 - V. 결론
- 참고 문헌

Key Words : 환경정의, 배기가스 배출, 교통운영, 배출모형, 어린이 통학로
Environmental justice, Emission, Traffic operation, Emission model, School walkway

요 약

단순한 배기가스의 양적 감소를 위한 노력에서 벗어나 환경정의와 같은 새로운 이론적 체계 속에서 교통 운영 개선과 대기오염 개선을 함께 살펴보았다. 즉, 환경정의의 관점에서 새로운 목표를 설정하고, 설정된 목표를 달성하기 위한 교통운영 대안들을 마련한 후, 교통 및 환경차원에서 동시에 적용·평가하는 틀을 마련하였다.

이러한 이론적 틀은 교통개선을 통한 환경정의 구현 목표 설정, 교통운영전략 시나리오 수립, 시나리오별 결과 산출, 결과 분석 및 시사점 도출의 과정으로 구성된다. 본 연구를 통해 환경적 요구가 뚜렷하게 강조되어야 하는 경우에는 환경정의가 우선되는 교통운영 개선전략을 마련하고 평가하여 시행할 수 있는 도구를 마련하였다.

This study suggests ways to utilize the concept of environmental justice in order to improve the environment through strategies related to emissions. In particular, this study explores ways to ameliorate the environment and traffic in consideration of environmental justice instead of simply aiming to reduce emissions. Real-time traffic information was gathered using ITS, it was input into a simulation model, and the level of present exhaust fume emissions was found. At the same time, based on current traffic situations, diverse strategies for reducing emissions were evaluated and appropriate executable alternative measures for ensuring environmental justice were provided.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 여러해 동안 수도권 대기오염을 개선하기 위한 다양한 노력과 연구가 이루어지고 있다. 그런데 지금까지의 대기오염 개선은 대기오염의 양적 감소에 대한 논의가 대부분이었다. 그러나 최근 대기오염의 양적 감소뿐만 아니라 대기오염으로 인한 환경적 위험과 질병위험으로부터 모든 사람들이 평등하게 보호받으며, 동시에 모든 사회구성원이 환경적 위험을 균형있게 부담해야 한다는 환경정의에 대한 인식 필요성도 제기되었다. 해외에서는 이미 수년전에 이러한 논의에 대한 이론적 체계가 확립되어 시행되고 있는 있다. 그 예로 미국의 클린턴 정부에서 1994년 Executive Order 12898을 통해 환경정의를 연방정부의 공식 정책방향으로 제시하였다. 또한 U.S. Department of Transportation (USDOT)와 Federal Highway Administration (FHWA)에서도 Environmental Justice Orders (USDOT Order 5610.2, FHWA Order 6640.23)를 1997년과 1998년에 각각 발표하여 환경정의와 관련한 교통측면의 의미와 역할을 제시하였다. (Thomas Sanchez and James W. Wolf, 2005)

이러한 현실을 고려할 때 서울의 대기 환경개선을 위해서는 대기오염의 개선 노력과 함께 환경정의와 같은 정책적 방향 설정이 중요하다고 판단된다. 더불어 대기오염에 있어서 교통측면의 중요성과 배출량 비중을 고려할 때 교통 측면에서 제시할 수 있는 새로운 목표와 전략이 필요하다는 결론에 이르게 된다.

본 연구는 이러한 배경을 바탕으로 단순한 배기가스의 양적 감소를 위한 노력에서 벗어나 환경정의와 같은 새로운 이론적 체계 속에서 교통 운영 개선과 대기오염 개선을 함께 논의해 보고자 한다. 즉, 환경정의의 관점에서 새로운 목표를 설정하고, 설정된 목표를 달성하기 위한 교통운영 대안들을 마련한 후, 교통 및 환경차원에서 동시에 적용·평가하는 틀을 마련하고자 한다.

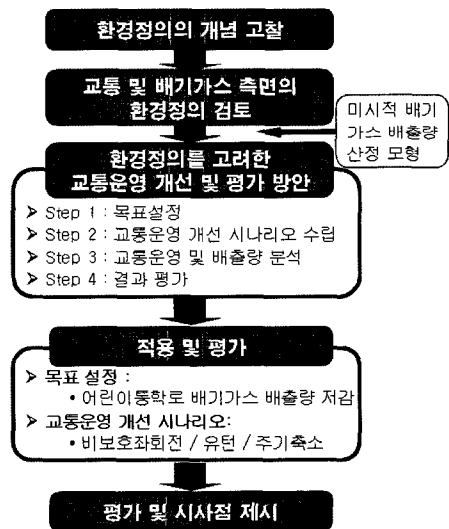
2. 연구의 구성 및 절차

본 연구는 환경정의 이론을 바탕으로 교통부문에서의 환경정의와 관련한 역할을 찾고, 교통운영 개선을 통해 교통상황 개선 뿐 아니라 환경정의 측면의 개선을 기대

할 수 있는 방안을 모색하고자 하는 연구이다.

따라서 우선 환경정의의 개념에 대한 정리가 필요하다. 더불어 교통측면에서 고려할 수 있는 환경정의에 대한 논의도 함께 살펴본다. 그 후 기존의 단순한 배출량 저감을 목표로 하는 방법론이 아닌 보다 발전된 환경이론인 환경정의를 추구하기 위해 교통운영개선을 통해 수행할 수 있는 교통부문 역할과 필요성에 대해 논의한다. 그리고 배기가스 배출량 산정을 위한 방법론들을 검토하고 적절한 방법론을 제시한다.

이렇게 논의된 이론적 틀 위에서 환경정의를 고려한 교통운영상의 목표를 설정하고 목표달성을 위한 교통운영 대안을 마련한다. 각 대안들을 시행했을 경우를 시뮬레이션하여 교통상황 개선과 환경적 측면의 개선을 함께 분석하고 평가한다. 끝으로 분석 결과에 대한 평가를 통해 교통운영관리 방안을 이용한 환경정의 구현에 대해 시사점을 제시한다. 지금까지 서술한 연구 내용을 요약하면 <그림 1>과 같은 형태로 정리할 수 있다.



<그림 1> 연구의 구성 및 절차

II. 이론적 고찰

1. 환경정의와 교통의 관계 고찰

1) 환경정의의 개념

지금까지 서울을 비롯한 많은 도시들의 대기오염 정책은 도시나 지역 전체의 총량을 제한하는 것이 주된 목

표였다. 그래서 대기오염의 파악이나 저감 대책들도 도시나 지역전체를 대상으로 하는 거시적인 접근이 대부분이었다. 그러나 환경에 대한 논의가 심화되면서 대기오염의 피해에 있어서 드러나는 불평등을 인식하게 되었다. 즉, 도시에 사는 사람이라면 누구나 비슷한 수준의 대기오염 피해를 받는 것이 아니라는 점에 주목하게 되게 되면서 환경정의에 대한 논의가 발전되어 왔다.

환경정의에 대한 대표적인 정의는 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 찾을 수 있다. EPA에 따르면 '환경정의는 환경관련 법률과 규제, 정책과 관련하여 인종, 피부색, 국적 혹은 경제적 지위와 상관없이 모든 사람들이 공평하게 혜택을 받고 참여하는 것'이라고 정의하고 있다. 더불어 환경정의의 구현을 위해서는 모든 사람들이 환경이나 건강상의 위협에서부터 동일한 수준의 보호를 받을 수 있어야 하고 건강하게 생활할 수 있는 환경을 만드는 정책결정 과정에 동등하게 참여할 수 있어야 한다는 점을 강조하고 있다. (U.S. EPA: <http://www.epa.gov/environmentaljustice>) 이러한 정책적 목표를 이루기 위해 환경정의와 관련한 문제에 자문을 제공하기 위한 연방위원회인 "National Environmental Justice Advisory Council", 각 지방의 환경적 문제를 지원하기 위한 연방의 재정지원 "Environmental Justice Grants", 일반 대학생들에게 환경적 체험과 학습 기회를 제공하는 "Environmental Justice Community Intern Program" 등을 운영하고 있다.

환경정의에 대한 국내 연구에서 대표적인 정의는 박재묵(2004)을 통해 알 수 있다. 환경정의란 인종·소득·문화 또는 사회계층과 무관하게 환경적 위협과 건강위험으로부터 모든 사람들이 평등하게 보호받으며 모든 사회구성원이 환경위험과 건강위험을 균형있게 부담하는 것을 의미한다. 다시말해 환경오염으로 인한 각종 피해나 불이익이 특정한 지역이나 특정한 계층의 사람들에게 불평등하게 가중되는 것은 옳지 않으며, 환경피해를 해소하기 위한 비용은 누구나 평등하게 부담해야 한다는 의미를 강조하는 것이다.

환경정의에 대한 이러한 의미를 바탕으로 교통과의 관계와 교통의 역할 등에 대해 다음 절에서 살펴본다.

2) 환경정의와 교통의 관계 및 기능

환경정의는 Ronald Bass(1998)의 연구와 같이 환경정책에 대한 평가에서도 중요한 기준으로 적용되기도

하지만 교통개선 사업이나 교통인프라의 평가(Karen Lucas, 2006)와 같은 문제에 있어서도 중요한 척도로 활용되고 있다. 교통측면의 환경정의를 정의하기 위해서 FHWA에서 최근에 3가지 원칙을 제시하였다. (Jayajit Chakraborty, 2006)

첫째, 사회·경제적 효과를 포함하여 인간의 건강이나 환경에 있어서 사회적 소수자들과 저소득계층들에게 특별히 심각한 악영향을 미치는 것을 회피하거나 최소화하거나 완화할 것. 둘째, 교통사업의 의사결정과정에서 잠재적으로 영향을 받을 수 있는 모든 계층에게 동일한 참여를 보장할 것. 셋째, 사회적 소수자들과 저소득계층에게 교통사업의 혜택이 늦어지거나 줄어들거나 제외되는 일이 없도록 할 것. 이런 원칙들에 공통적으로 포함되어 있는 것은 특정한 집단이 환경측면에서나 교통측면에서 특별한 피해를 받지 않도록 정책결정과정에서 세심한 고려를 하여야 한다는 점이다.

그렇다면 환경정의가 자동차 배기가스 배출과 관련하여 갖는 의미는 어떤 것인지 짚어볼 필요가 있을 것이다. 윤순진·장미진(2005)에서 제기한 바와 같이 과거에는 모두가 가해자이자 피해자이고, 누구나 동일한 피해를 겪고 있는 것으로 간주되는 것이 자동차 배기가스이다. 이러한 인식은 대기오염에 대한 총량적 인식이나 접근을 기반으로 하기 때문이며, 환경문제에 대한 피해나 대처가 공간적인 분포나 사람들의 사회적 위치에 따라 다를 수 있음을 간과해 왔다.

이러한 현실에 비추어 볼 때, 특정지역의 교통현황을 실시간적으로 파악하여 배기가스 배출량을 시간·공간적으로 높은 해상도에서 추정할 뿐 아니라 어느정도까지 배출량의 통제도 가능하게 하는 시스템이 제공된다면 환경정의 구현의 훌륭한 사례이자 도구라고 할 수 있을 것이다.

이러한 이론적 틀을 마련하여 배기가스로 인한 환경적 부정의를 해소하기 위해 교통운영부문에서의 역할을 찾고 대응방안을 모색하는 것은 환경측면에서는 물론이고, 교통측면에서도 중요한 가치라고 판단된다.

2. 배기가스 배출량 추정 방법론 고찰

배기가스와 관련한 환경정의 고찰을 위해서는 적절한 배출가스 추정방법에 대한 검토가 필요하다. 따라서 기존의 추정모형과 그 한계를 살펴보고 보다 적절한 배출량 추정 방법론을 제시한다.

1) 거시적 배출량 추정방법론 및 한계

현재 대부분의 배출량 추정은 지역 전체의 총량적 배출량을 추정하는 방법이 주로 사용되고 있다. 이 방법을 요약하면 해당지역의 차종별 평균 주행거리와 속도를 산정하여 배출계수를 적용하는 방법이다. 이 때 배출계수의 산정과 지역별 세분화 방법이 중요한 쟁점이다.

미국의 배출계수 산출방법을 살펴보면 배출계수 중 기본배출계수는 지정된 실험조건에서 얻어진 기준배출속도를 차량 누적 주행거리에 대해 보정하여 사용하였다. 유럽의 경우 엔진가열 배출에 대해 속도를 고려한 배출계수 작성 후, 다양한 인자에 대해 보정하는 방식을 취한다. 배출계수는 미국의 배출계수 산정과 마찬가지로 속도·차종별·연료별·도로경사·부하 등을 고려하고 있다.(조규탁, 2002)

그러나 이러한 거시적인 배출량 추정방법론은 몇가지 한계가 지적되어 왔다. 우선, 배기가스는 교통수요, 통행패턴, 차량 특성, 도로기하구조 등의 다양한 요소들로 인해 달라질 수 있는데 기존의 총량적 접근은 이러한 특성에 대한 고려가 미흡했다. 더불어 환경정의와 같은 새로운 가치를 만족시키기 위해서는 대기오염의 공간적 해상도를 극대화시켜 배출량 분석이 공간적·시간적으로 세분화되어 파악하는 것이 대단히 중요한데, 기존의 거시적 접근으로는 성과를 기대하기 어렵다. 이러한 기존의 배출량 추정방법론의 한계로 인해 본 연구에서는 미시적 배기가스 배출량 추정방법을 적용한다.

2) 미시적 배출량 추정 방법론

개별차량의 초단위 배출량을 추정하는 방법인 미시적 배출량 추정은 거시적 추정 방법에 비해 다소 복잡한 과정이 요구된다.

우선, 차량 특성, 기상 조건, 운행 상태에 대한 파악이 필요하다. 차량 특성은 차종, 엔진크기, 차령, 사용연료 등으로 나누어 생각할 수 있다. 기상 조건은 풍향, 기온, 풍속 등의 변화를 의미하는데, 배출량보다 확산을 추정함에 있어서 더 중요한 변수이다. 운행상태는 속도, 가속도, 공회전 등의 운행상의 특성을 의미한다.(Park, 2005)

본 연구에서는 앞서 언급한 여러 요인들을 합리적으로 고려하기 위해 박준환·이준·이영인(2004)에서 제시하는 방법론을 활용한다. 이 방법론은 우선, 개별차량의 차종에 대한 정보와 함께 초단위의 가속, 감속, 공회

전, 속도에 대한 정보를 획득한다. 이러한 정보는 실제 운행차량을 조사하여 얻기 어려우므로, 본 연구에서는 VISSIM이라는 교통류 시뮬레이터를 이용하여 산출하였다. 산출된 개별 차량의 정보에 배출계수표(EUT ; Emission Unit Table)를 적용하여 일정 시간동안의 각 차량별 배출량을 산출한다. 배출계수표(EUT)는 기 후조건 제외한 개별 차량의 차종·오염원·속도·가속도에 대한 정보들에 따른 초단위 배기가스 배출량을 테이블 형태로 정리한 표를 의미한다.

그러나 국내의 차종에 대한 배출계수표는 존재하지 않기 때문에 미국의 NCHRP Project 25-11을 통해 조사된 Vehicle Emissions Database의 배출계수표를 이용한다.

차종구분 및 EUT에 근거하여 각 차량이 배출하는 오염원별 배출총량은 링크단위로 집계할 수 있다. 배출가스의 위치에 대한 해상도를 링크 단위로 높임으로써 배출가스의 위치에 대한 고려를 가능하게 할 수 있다.

지금까지 설명한 미시적 배출량 산정방법론을 하나의 모형으로 정리하면 식(1)과 같다.

$$Q_i = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^n \sum_{t=1}^{t_s} E_{i,pm}(V, a) \quad (1)$$

여기서, Q_i : 오염원별 시간대별 총 배출량
 l : 링크 수, m : 차량대수
 t : 관측시간(sec)($t=1,2,\dots,t_s$)
 p : 차종(a:승용차, r: 트럭)
 $E_{i,pm}$: 차종별 배출량, V : 속도
 a : 가속도

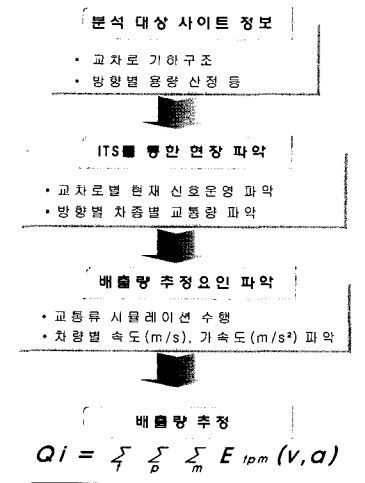
이러한 방법론을 통해 네트워크 전체의 배출량을 추정할 수 있을 뿐 아니라 특정링크나 특정시간대에서의 추정도 가능하게 된다.

지금까지 환경정의를 위한 배출량추정을 위해서는 시간적·공간적 해상도가 높은 미시적 배출량 추정방법이 필요함을 언급하였다. 그런데 특정지역의 배출량 추정과 환경적 정의를 위해서는 각 링크별 교통정보 및 신호정보에 대한 실시간 파악이 요구된다. 더불어 이러한 정보를 바탕으로 한 배출량 추정을 직접 수행하기 위해서는 ITS를 기반으로 하는 정보수집 및 추정알고리즘이 마련되어야 한다.

3) 실시간 배출량 추정 알고리즘

환경정의를 고려한 교통운영개선을 위해서는 특정 지점 및 시간에서의 교통상황 인식과 더불어 교통상황개선 뿐만 아니라 배출량 감소를 위한 교통운영이 필요하다. 이 때 실시간으로 교통상황 인식 및 배출량 추정을 위해서는 우선 ITS를 기반으로 하는 교통상황검지체제와 배출량 추정알고리즘이 요구된다.

본 연구에서는 박준환·이준·이영인(2004)과 조혜진·박준환·이영인(2004)에서 제시한 연구결과를 바탕으로 <그림 2>와 같은 과정의 방법론을 적용한다. 이러한 방법론을 바탕으로 DSRC나 RF-ID와 같은 개별차량과의 통신을 통해 차량의 차종, 속도, 교통량 등의 정보를 수집할 수 있는 ITS체계를 활용하여 실시간의 특정링크 배기가스 배출량을 추정할 수 있게 되면 환경측면의 다양한 가치를 반영한 교통제어가 가능하게 된다.



<그림 2> 실시간 배기가스 배출량 산정방법

III. 환경정의를 고려한 교통운영 전략 및 평가 방안 구축

1. 교통운영전략을 통한 환경정의 고려 방안

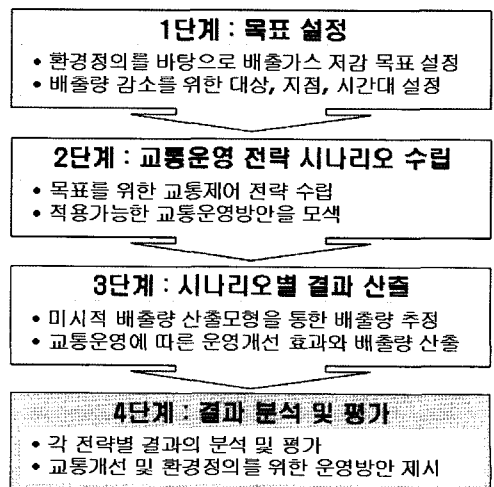
지금까지 살펴본 환경정의를 개념과 교통의 관계 및 배출량 추정 알고리즘 등을 이용하여 교통운영 개선을 통해 교통측면만의 개선을 넘어서서 환경정의와 같은 새로운 가치를 고려하는 방안을 제시한다.

우선 무엇보다 중요한 1단계에서는 교통운영개선을 통해 추구하고자 하는 환경정의의 목표를 설정한다. 즉, 환경적 불평등으로 판단되는 사례에 있어서 교통운영개선을 통해 환경정의를 고려할 수 있는 대상을 설정하는 과정이다.

둘째 대상에 대한 환경정의를 고려한 교통제어 전략을 수립하는 단계이다. 즉, 대상지역에 적용할 수 있는 비보호 좌회전 운영이나 현시 최적화 등과 같은 다양한 교통 운영방안을 모색하여 교통운영전략의 시나리오를 수립한다.

셋째, ITS와 같은 첨단교통정보를 통해 수집할 수 있는 해당 지역의 실시간 교통정보를 바탕으로 앞서 수립된 교통운영 전략별 시뮬레이션을 수행한다. 이 때 산출되는 결과는 지체시간 감소와 같은 교통운영개선 결과뿐만 아니라 배출량 추정알고리즘을 통해 산출된 배기가스 배출량도 포함된다. 이 과정 속에서 ITS의 활용은 세가지 정도의 필요성을 가지고 있다. 첫째, 실시간 차종별, 방향별 교통량에 대한 정보 수집. 둘째, 교통운영개선을 위해 ATIS나 ATMS와 같은 ITS전략의 활용. 셋째, 향후 개별차량의 동행패턴을 실시간으로 검지하여 실시간 배출량 파악. 이런 이유로 교통측면에서뿐만 아니라 환경측면에서도 향후 ITS 기술의 개발 및 활용이 요구된다고 보인다.

마지막으로 각 전략별 배출량 결과를 분석하여 가장 합리적 결과를 도출한 시나리오를 선택하여 환경정의를 고려한 교통운영전략으로 채택하여 수행한다. 이 때 교통개선효과와 환경개선효과가 결합되어 있는 각 결과의



<그림 3> 교통운영전략을 통한 환경정의 고려 방안

평가에 있어서는 보다 구체적인 논의가 필요하므로 다음 절에서 살펴본다.

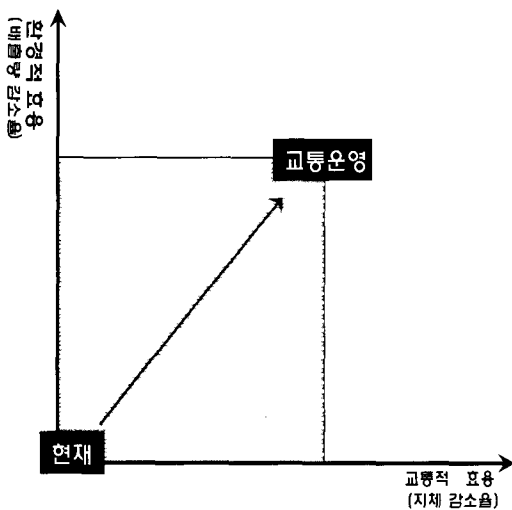
환경정의를 고려한 교통운영 개선방안 마련에 대한 전체적인 과정을 정리하면 <그림 3>과 같이 요약할 수 있다.

2. 결과 분석 및 평가 방안

환경정의를 고려한 교통운영개선 방안을 통해 도출된 결과는 교통측면의 효과와 환경적 측면에서의 효과가 동시에 산출된다. 따라서 이 결과들에 대한 해석 및 평가에 있어서 교통적 측면의 개선과 함께 환경정의를 고려하는 새로운 평가방법이 요구된다.

교통과 환경에 대한 효과를 <그림 4>와 같이 하나의 그래프 속에 음영의 크기로 나타낼 수 있다. 그리고 이 음영의 크기가 클수록 좋은 대안으로 평가할 수 있다. 즉, 이 음영의 크기가 대안별 평가지표라고 할 수 있다.

그러나 교통운영 측면의 최적화 대안과 환경정의 측면의 최적대안은 다소 차이가 날 수 있다. 또한 어떤 측면의 가치를 더욱 중요하게 생각하느냐에 따라서 각 대안에 대한 평가가 달라질 수 있다. 이러한 경우 일반적으로 각 개선 효과를 화폐단위로 환산하여 단위를 통일시킨 후 하나의 기준으로 평가하여 최적대안을 찾는 방법이 있다. 즉, 감소된 지체시간에 시간비용을 적용한 통행 시간비용의 감소분과 감소된 배출량에 배출원별 비용을 적용한 대기오염비용의 감소분을 비교하는 방법이다.



<그림 4> 교통운영 개선의 평가 지표

그러나 본 연구에서는 화폐단위와 같은 하나의 기준에서 최적대안을 선택하기 보다는 특정한 경우나 목표에 따라 유연한 교통운영을 통해 상황에 따라 다양한 사회적 효용과 가치를 만족시킬 수 있어야 한다는 점이 중요하다. 다시말해, 환경적 가치가 중요하게 판단되는 경우가 발생하여 사회적 합의가 이루어지는 경우에는 교통개선 효과가 적더라도 환경적 개선이 높은 대안을 선택할 수도 있다는 것이다. 본 연구는 기존의 교통측면만의 가치판단을 넘어서서 환경정의와 같은 다양한 사회적 가치에 따라 교통전략을 평가하고 판단할 수 있는 분석의 틀을 제공한다는 점에 의의를 둘 수 있다.

결과 평가에 있어서 또하나 고려해야 할 점은 현황의 수준에 따른 개선효과를 달리 평가해야 할 것이라는 점이다. 특히, 교통 및 환경이 양호한 상태에서의 5%개선과 열악한 상황에서의 5%개선은 분명 차이가 있는 결과이다. 따라서 향후 연구에서는 현재 상태에 기반하여 개선 효과 평가를 차별화하는 방안에 대한 검토도 요구된다.

IV. 환경정의 개선방안 설정 및 적용

지금까지 논의된 모형을 실제 사례에 적용하여 분석하는 과정을 통해 본 연구의 적용성과 성과를 살펴본다. 본 장의 각 절은 제3장에서 제시한 환경정의를 고려한 교통운영개선 방안의 각 단계에 따라 서술한다.

1. 단계 1 : 교통개선을 통한 환경정의 구현 목표 설정

1) 배출가스 오염원별 특성 검토

배출가스와 관련된 오염원은 CO, FC, NOx, HC 등 여러 종류로 구성된다. 그 중 본 연구에서는 배출가스에 의해 가장 심각하게 영향을 받고, 호흡기 질환과도 영향이 있음이 드러난 NOx와 CO를 중심으로 살펴본다.

배출가스로 인한 피해정도는 누구나 동일할 것으로 생각하기 쉽다. 그러나 대기오염의 가장 큰 피해자는 어린이이다. 어른보다 몸집은 작지만 단위 체중당 호흡량이 50%나 많아 같은 공기를 마셔도 몸에 들어오는 오염물질이 더 많기 때문이다. 초등학교생의 13%, 중학생의 12.8%가 천식을 앓고 있는 것으로 나타났고, 대기오염이 심한 곳일수록 어린이의 천식이 더 악화되고 감기, 기관지염에 더욱 잘 걸리는 것으로 나타났다.(윤순진, 장미진, 2005)

특히 배기가스와 직접적으로 관련된 CO와 NO₂가 어린이에게 미치는 영향은 심각하다. 천식아동들에 대한 연구에서 대기 중의 NO₂ 노출은 천식 유병률이나 천식입원률에 영향을 미치고, 천식으로 인한 응급실 방문을 증가시키는 것으로 나타났다.(이보은, 2003) 그리고 아동들의 호흡기 질환과 연관이 있어 CO의 노출로 인해 0-14세 아동들의 호흡기 질환으로 병원 입원이 증가했다는 보고(Michelozzi et al. 2000)도 있다. 이렇듯 어린이들을 배기가스 피해에 있어서 대단히 취약한 집단이고 대기오염에 대한 소수집단(Minority Population)이라고 할 수 있다.

2) 환경정의 구현 목표 설정

앞서 언급한 바와 같이 환경정의에 있어서 가장 중요한 개념은 모든 사람들이 환경이나 건강상의 위험에서부터 동일한 수준의 보호를 받을 수 있어야 한다는 점이다.

이러한 관점에서 볼 때 어린이 통학로에 대해 주목할 필요가 있다. 어린이의 경우 배출가스에 의한 대기오염에 특히 취약한 집단이라는 사실을 살펴보았다. 더구나 어린이들의 경우 등하교를 위해 통학로를 매일 통행해야만 한다. 이 통학로는 대부분의 어린이들이 6년동안 반복해서 통행해야만 한다. 따라서 통학로가 도로와 직접적으로 접해 있는 도로인 경우 여러 해 동안 누적되는 배기가스 호흡로 인한 대기오염 피해를 보게 된다. 이런 상황을 환경정의의 관점에서 말하면 환경적 약자이자 소수자인 어린이들이 환경이나 건강상의 위험에 노출되어 있으므로 성인들과 동일한 수준의 보호를 위해서는 별도의 조치가 요구되는 것이다. 이 때 고려할 수 있는 조치는 교통운영 개선에 따른 배기가스 배출량을 감소시키는 것이다.

정리하면 본 연구에서는 대기오염 취약집단이 주로 통행하는 지역인 어린이 통학로 주변 도로에 대한 교통운영개선을 통해 배출량 감소와 함께 환경정의의 확보하고자 한다.

이 때 대상지역은 역삼초등학교의 어린이 통학로가 포함되어 있고, 평상시 통행량이 많으며, 여러 교통운영방안이 적용가능한 지역을 선택하였다. 본 연구에서는 역삼역을 중심으로 남쪽의 네블럭, 9개의 대형교차로와 44개의 링크가 포함되어 있는 강남구 역삼동 일대를 대상지역으로 선정하였다. 이 지역 내 교차로 구성은 보호 좌회전 9개소, 비보호 좌회전 2개소, 전방향 좌회전 금지 1개소로 교차로 12개소와 횡단보도 교차로 14개소이다.

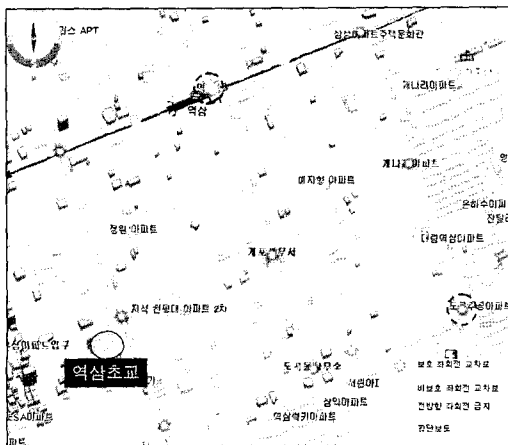
2. 단계 2 : 교통운영전략 시나리오 수립

본 절에서는 교통운영전략 시나리오에 따른 환경정의 구현 성과를 분석한다. 우선 실행가능한 교통운영전략을 시나리오로 제시한다. 이 교통운영 시나리오에 따른 배출량 변화 분석을 통해 환경정의에 대한 성과를 파악한다.

본 연구에서 분석한 시나리오는 비보호 좌회전의 운영, 비보호 좌회전 및 유턴 운영, 비보호 좌회전과 유턴 및 주기축소의 3가지이다. 각 시나리오의 설정 이유는 우선 배출가스의 변화는 개별차량의 정차, 가감속 정도에 의해 크게 영향을 받으므로 비보호 좌회전을 통해 지체의 변화를 유도하였다. 또한 유턴 운영을 적용하여 통행거리 변화에 따른 배출량 변화를 고려할 수 있게 하였다. 그리고, 신호주기 변화를 통해 현시의 변화를 고려할 수 있게 하였다.

배출량은 통학로의 환경개선을 목표로 하므로 역삼초교 주변 4방향의 링크들을 대상으로 분석하였다. 교통개선효과는 개별교차로의 효과보다 네트워크 전체의 변화를 평가하는 것이 보다 합리적이다. 따라서 네트워크 전체의 지체변화와 CO와 NO₂의 감소를 살펴보았다.

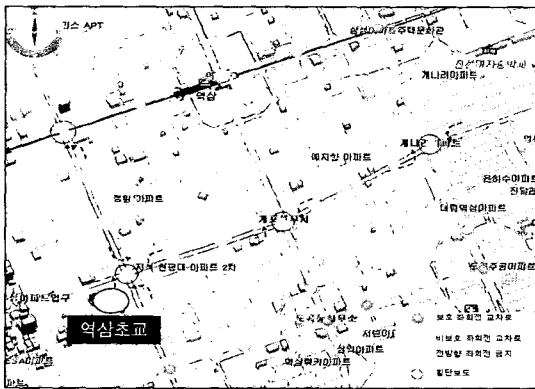
분석대상 시간은 현황을 포함한 모든 시나리오에 하루 중 교통량이 제일 많은 17:30~19:30까지의 교통량을 적용하였다. 이 분석 시나리오에는 신호 운영 중 주기(Cycle)의 변화와 같이 ITS를 이용한 실시간 제어가 가능한 시나리오와 함께 비보호 좌회전처럼 일정한 시간간격을 가지고 운영하는 교통통제방안도 함께 고려한다. 이렇게 다양한 방안을 고려함으로써 실시간 정보를 이용한 환경정의 확보 방안의 대안을 폭넓게 가지게 한다.



〈그림 5〉 대상지역 네트워크 현황

1) 비보호 좌회전(See. 1)

현재 네트워크에서 보호 좌회전 교차로 중, 좌회전 비보호가 가능한 교차로에 좌회전 현시를 비보호로 바꾸어서 분석해 본다. 네트워크에서 좌회전 교통량이 비교적 적어 별도의 좌회전 현시 없이도 좌회전 수요 처리가 가능하고, 기하구조상 좌회전방향이 편도 2차로 이하인 교차로를 대상으로 적용한다.



〈그림 6〉 시나리오 1 : 비보호 좌회전 운영

4지 교차로에서 전방향 좌회전이 비보호로 운영될 경우 2현시 체계로 운영이 가능하기 때문에 신호 총 손실시간이 감소하고, 직진 현시의 녹색신호시간 증가로 교차로 전체의 지체가 줄어들어 신호 운영 효율성이 높아지게 된다.

이런 시나리오를 통해 대상지역 전체 배출량의 변화와 어린이 통학로 링크의 배출량 변화를 함께 살펴본다. 따라서 역삼초교와 사거리를 포함한 5개 네트워크에 비보호 좌회전 운영을 수행한다.

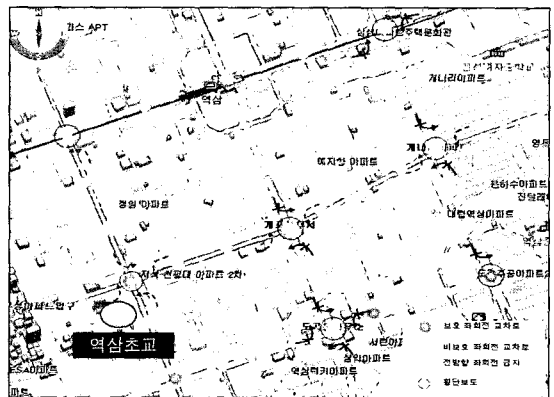
2) 비보호 좌회전과 유턴(See. 2)

네트워크 전체 교차로에서 보호 좌회전을 하지 않고, 비보호 좌회전과 유턴을 혼용하여 좌회전 교통량을 처리하는 것이다. 보호 좌회전을 허용하지 않기 때문에 전교차로(영동세브란스 교차로 제외)의 신호가 2현시 체계로 운영되어 현시로 인한 손실시간이 줄어들므로 네트워크 전체의 신호 효율성이 높게 되고, 배출감소도 기대할 수 있게 된다.

3) 비보호 좌회전과 유턴 및 주기축소(See. 3)

네트워크에서 비보호 좌회전과 유턴을 혼용하여 좌회

전 교통량을 처리하고, 주기를 120초로 줄여서 분석해 본다. 4현시 상태에서의 네트워크 내 교차로 주기는 평균 140~160초이고, 2현시로 운영되는 상황에서는 주기가 길어 신호운영 효율성이 떨어진다. 따라서 현시의 개선을 통해 교차로 운영상황을 개선하는 것이다. 이러한 신호제어전략은 ATMS와 같은 ITS를 통해 실시간으로 제어가 가능한 대안이므로 가장 실현가능성이 높은 시나리오라 할 수 있다. 이 때의 대상 교차로도 역삼초교를 포함한 5개 주변 교차로이다.



〈그림 7〉 시나리오 2와 3 : 유턴과 주기축소

3. 단계 3 : 시나리오별 결과 산출

1) 교통운영패턴의 변화

각 시나리오를 수행할 경우, 교통운영 측면의 변화를 추정하여 정리하였다. 시나리오별 교통운영성과를 파악하고, 배출량 계산에 필요한 기초자료인 개별차량의 초단위 속도, 가속도를 산출하기 위해 VISSIM¹⁾을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다.

그 결과 <표 1>에 제시된 바와 같은 교통운영 성과를 얻을 수 있었다. 산출된 항목은 정지횟수, 평균지체시간, 총정지지체시간 등이다.

평균지체시간, 정지지체시간 측면에서 봤을 때 모든 시나리오에서 개선 효과가 나타났다. 그 중 비보호 좌회전과 유턴을 시행한 경우(시나리오 2)와 비보호 좌회전, 유턴, 주기축소를 함께 수행한 (시나리오 3)이 지체시간의 감소효과가 높은 것으로 나타났다.

1) 특정교통상황에서의 개별차량 행태를 묘사하고 평가하기 위해 사용되는 미시적 교통류 시뮬레이션 프로그램

〈표 1〉 시나리오별 교통운영 성과 평가

구 분	현 황	비보호	비보호 와 유턴	비보호 /유턴 /주기축소
	Sce. 0	Sce. 1	Sce. 2	Sce. 3
정지횟수(회)	227,103	206,849	143,086	185,498
평균정지횟수(회)	11.8	10.7	7.2	9.2
평균지체시간(초)	215.9	201.3	146.8	140.2
(현황 대비 감소율)	(0%)	(6.8%)	(32.0%)	(35.1%)
총정지지체(시간)	796.9	740.1	510.8	451.6
평균정지지체(초)	138.6	138.3	93.1	81.0

2) 배출량의 변화

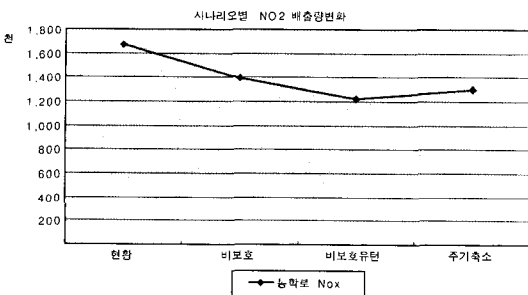
앞서 제시한 과정에 따라 배출량의 변화를 각 시나리오 별로 산출하였다. 배출량 결과를 살펴보면 통학로주변의 배출량이 최소가 되는 시나리오는 비보호 좌회전과 유턴을 함께 수행하는 시나리오 3의 경우인 것을 알 수 있다.

시나리오 3의 경우 CO와 NO₂의 배출량이 현황의 약 65%, 73% 정도수준으로 감소되었다. 이에 반해 교통운영효과측면에서는 가장 뛰어난 대안이었던 시나리오 3의 경우는 시나리오 2보다는 낮은 성과를 보이고 있다.

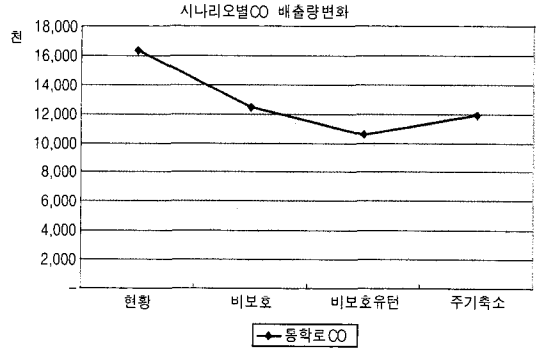
이런 결과가 도출된 이유는 주기축소 과정에서 짧아진 주기로 인해 지체는 줄었으나 평균정지횟수는 증가함

〈표 2〉 시나리오별 배출량 변화 (단위:g/hr)

시나리오		CO	NO ₂	계
Sce.0	현황	16,337	1,672	18,009
Sce.1	비보호	12,428	1,393	13,821
	현황 대비 감소율	23.9%	16.7%	23.3%
Sce.2	비보호 및 유턴	10,592	1,218	11,810
	현황 대비 감소율	35.2%	27.2%	34.4%
Sce.3	비보호와 유턴 및 주기축소	11,939	1,304	13,243
	현황 대비 감소율	26.9%	22.0%	26.5%



〈그림 8〉 시나리오 별 NO₂ 배출량 변화



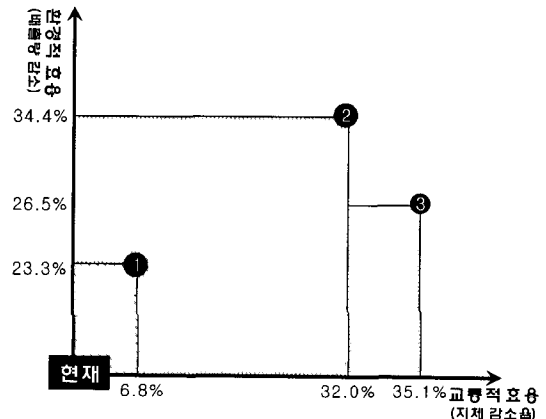
〈그림 9〉 시나리오별 CO 배출량 변화

으로 인해 속도의 가감속 횟수가 증가하였다. 그리고, 가감속 변화에 영향을 많이 받는 자동차 배기가스 배출특성으로 인해 정지횟수의 증가가 배출량 증가로 나타나는 것으로 풀이된다.

4. Step 4 : 결과 분석 및 시사점

지금까지 제시한 교통운영전략에 따른 배출량 추정 결과를 교통측면에서 뿐만 아니라 환경정의의 관점에서 분석하고 평가한다.

각 시나리오별 평가를 수행한 결과 시나리오 1은 개선효과가 가장 낮은 것으로 나타났다. 교통운영측면에서 가장 뛰어난 대안은 시나리오 3번으로 비보호 좌회전과 유턴 및 주기개선을 함께 수행한 결과였다. 그러나 배출량 변화와 관련한 환경정의 측면에서는 시나리오 3번을 최적 대안으로 판단하기 어렵다. 환경정의 목표에서 제시한 바와 같이 환경적 취약집단을 가장 잘 보호할 수 있



〈그림 10〉 시나리오별 평가 결과

는 대안은 시나리오 2번의 경우인 것을 알 수 있다. 이 결과를 요약하면 <그림 10>으로 정리할 수 있다.

이러한 결과에서 알 수 있는 바와 같이 교통측면의 최적대안과 환경적 측면의 최적대안은 서로 다를 수 있다. 이러한 경우 두 개선효과를 일괄적으로 통합하여 하나의 최적대안을 도출하기 보다는 사회적 합의와 같은 가치판단에 따라 최적 대안을 선택하고 활용하는 지혜가 필요할 것이다.

예를 들어 본 연구의 결과를 현실에 적용할 경우, 어린이들이 통학로를 이용하는 등교시간대의 경우에는 시나리오 2를 통해 환경적 최적대안을 적용하고, 등하교 시간을 제외한 나머지 시간에는 시나리오 3을 통해 교통적 효용이 최대가 되는 대안을 활용하는 것이 유연하고 합리적인 교통운영일 것으로 판단된다.

V. 결론

지금까지 환경정의의 개념을 바탕으로 교통운영 전략을 수립하고 평가하는 방안을 제시하였다.

본 연구의 성과를 정리하면 우선 환경정의에 대한 새로운 사회적 요구에 대한 인식을 제안하였고, 더불어 일정한 교통상황을 바탕으로 다양한 교통개선운영 전략을 마련하고, 평가하여 환경정의를 위한 적절한 대안을 찾아 수행할 수 있게 하였다.

이러한 연구를 통해 환경적 요구가 뚜렷하게 강조되어야 하는 경우에는 환경정의가 우선되는 교통운영 개선 전략을 마련하고 평가하여 시행할 수 있는 도구를 제시하였다. 또한 향후 ITS를 이용한 교통정보의 수집과 교통전략이 발전되면 교통소통과 환경정의 등 여러 측면에서 보다 다양하고 유연한 전략을 수행할 수 있는 가능성을 제시하였다.

그러나 본 연구에서의 시도가 실제로 구현되기 위해서는 몇가지 추가적인 연구가 필요하다. 우선 배기가스 배출량의 보다 정확한 추정을 위해서 국내 현실에 맞는 정확한 배기가스배출량 테이블(EUT)의 작성이 필요하다. 둘째, 개별차량의 행태를 파악할 수 있는 ITS 검지 체계의 개발을 통해 시뮬레이션을 적용하여 분석하는 한계를 극복할 수 있도록 해야겠다. 더불어 교통운영개선과 환경정의를 함께 구현할 수 있는 ITS전략개발이 요구된다.

그리고 교통과 환경 등 다양한 사회적 가치를 종합적

으로 고려하여 평가할 수 있는 합리적인 의사결정방안에 대한 연구도 지속되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. 국립환경연구원(2004), "대기보전정책수립지원시스템 구축4차년도", 배출량산정방법론
2. 박준환, 이준, 이영인(2004), "ITS를 이용한 대기오염 모니터링 시스템 개발", 대한교통학회지, 22권 제7호
3. 박재묵(2004), "사회적 불평등과 환경", 우리 눈으로 보는 환경사회학, 창비
4. 조규탁(2002), "자동차 배기오염물질 배출량의 공간해상도 개선을 위한 Nested Top Down Approach 개발", 서울대학교 박사학위 논문
5. 윤순진·장미진(2005), "자동차 배기가스 오염, 환경정의 관점에서 바라보기", ECO, 2005년 하반기 9호 pp. 7~43
6. 이보은(2003), "서울지역의 대기오염과 저체중아 출산에 관한 연구", 이화여대 대학원, 박사학위 논문
7. 조혜진·박준환·이영인(2004), "ITS 기반에서 개별차량 주행행태별 배출가스 배출량 산정모형 개발", ITS학회 2004년 학술 대회
8. Jayajit Chakraborty(2006), "Evaluating the environmental justice impacts of transportation improvement projects in the US", Transportation Research D, Vol 11, pp315-323
9. Karen Lucas(2005), "Providing transport for social inclusion within a framework for environmental justice in the UK", Transportation Research A, Vol. 40, pp 801~809
10. Michelozzi P., Forastiere F., Perucci C.A., Fusco D., Spadea T.(2000), "Acute effects of air pollution in Rome", Ann Ist super sanita,36(3), 297~304
11. Park(2005), "Microscopic modelling of air pollution from road traffic", University of London
12. Ronald Bass(1998), "Evaluating environmental justice under the national environmental policy act", Environmental impact assesment review, Vol. 18, pp83~92

13. Thomas Sanchez and James W. Wolf. (2005),
"Environmental Justice and Transportation
Equity: A Review of Metropolitan Planning
Organizations", Metropolitan institute of virginia

tech.

14. U.S. Environmental Protection Agency
(<http://www.epa.gov/environmentaljustice>)

✉ 주 작성자 : 박준환

✉ 교신저자 : 박준환

✉ 논문투고일 : 2006. 10. 28

✉ 논문심사일 : 2007. 1. 29 (1차)

2007. 3. 24 (2차)

2007. 3. 30 (3차)

✉ 심사판정일 : 2007. 3. 30

✉ 반론접수기한 : 2007. 10. 31