

■ 論 文 ■

# 자동차 대기오염물질 산정 방법론 설정에 관한 비교 연구 (강남구의 실시간 교통량 자료를 이용하여)

Comparative Study on the Methodology of Motor Vehicle Emission Calculation  
by Using Real-Time Traffic Volume in the Kangnam-Gu

**박 성 규**  
(서울시립대학교  
환경공학과 박사과정)

**김 신 도**  
(서울시립대학교  
환경공학과 교수)

**이 영 인**  
(서울시립대학교  
건축도시조경학부 교수)

## 목 차

- |                   |                  |
|-------------------|------------------|
| I. 서론             | 1. 대상 지역         |
| II. 기존 문헌 고찰      | 2. 적용 방법 및 수집 자료 |
| III. 배출량 산정모형의 구축 | 3. 적용 결과         |
| 1. 이론적 배경         | 4. 타 모형 결과와의 비교  |
| 2. 배출량 산정 기법 구축   | V. 결론 및 향후 과제    |
| IV. 배출량 산정모형의 적용  | 참고문헌             |

Key Words : 자동차 오염물질, 이동오염원, 대기오염물질 배출량, 첨단교통신호시스템, 실시간 교통량

## 요 약

대도시에서 자동차는 1차 대기오염물질의 가장 큰 발생원 중의 하나이기 때문에 자동차 오염물질을 감소시키기 위한 수많은 저감 대책이 추진되고 있다. 이러한 저감 대책 연구의 대표적인 특징은 대기오염물질의 배출목록 자료의 구축 시 오염물질의 정량성과 공간적인 분포성에 대한 것이다. 자동차 오염물질을 산정 할 때 배출목록은 활동도 통계와 차종별 배출계수 자료 등이 수집되어야 한다. 대부분의 배출목록은 개별조사나 교통모델에 의한 수동적인 자료로서 자료가 수집되는 순간부터 과거 자료가 되는 특성을 지닌다. 따라서, 최근의 추세는 도시 교통제어시스템과 자동차가 주변 환경에 미치는 영향 평가의 결합에 대한 연구가 추진되고 있다. 본 연구에서는 실시간 교통 자료를 이용한 이동오염원의 배출량을 평가하기 위한 산출 기법을 비교하여 배출량 자료구축의 방향을 설정하고자 하였다. 대상지역에서 대표적인 자동차 오염물질 중 CO의 배출량을 산정 하였다. 교통 자료는 서울시 강남구 지역(강남대로-영동대로와 역삼로-양재대로 축)에 설치되어있는 교차로 검지기에서 수집되는 첨단교통신호시스템의 실시간 교통정보를 이용하였다. 실시간 교통정보 중 시간대별 통과 교통량과 통과속도 자료를 이용하여 시간대별 평균주행속도에 따른 배출계수와 각 도로의 길이를 고려하여 각 도로별·시간대별로 자동차에서 배출되는 CO 배출량을 산정 하였다. 또한, 기존의 차종별 일일평균주행거리에 의한 방법으로 산정한 결과와 비교하여 각각의 방법에 따른 장·단점을 파악하여 자동차 대기오염물질 배출량 산정방법론을 제시하고자 하였다.

## I. 서론

우리나라 자동차 등록대수가 1985년 100만대를 넘어선 이후 1997년 7월 1,000만대를 돌파하는 등 최근 자동차가 급증하고 있다. 하지만, 지금까지 기존의 도로 및 교통계획은 원활한 교통소통을 우선시하여 주변지역의 대기환경적인 영향을 저감시킬 수 있는 고려가 부족하였다.

자동차의 증가와 더불어 배출가스의 급격한 증가로 인한 대도시의 시정장애 등으로 감각, 시각 등 체감 오염도가 급증하고 있으며, 이는 대도시 대기오염의 주요한 요인으로 등장하게 되었다. 자동차에서 배출되는 대기오염물질은 연료성상에 따라 약간씩 다르지만 휘발유나 가스연료를 사용할 경우에는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx) 및 미량의 아황산가스(SOx)와 납(Pb) 등이 주로 배출되고, 경유를 사용할 경우에는 이외에도 매연이 더 배출된다(환경부, 2000).

자동차에서 배출되는 각종 오염물질은 인간 호흡기 계통의 건강과 국부적인 환경영향의 원인으로 작용하며, 지역적으로는 산성비와 광화학 산화물질을 생성하거나 지구온실효과 및 성층권 오존층파괴 등의 영향을 초래한다. 현재까지 주요 관심대상 오염물질은 행정적으로 규제, 관리가 용이하고 대기오염도에 크게 기여하는 것으로 알려진 대기환경기준물질로서 SO<sub>2</sub>, CO, NOx, 입자상오염물질 등이었으나 최근 자동차에 의한 미세먼지와 2차 오염물질로 인한 고농도 오존(O<sub>3</sub>) 발생 등의 대기질 악화와 대기 중에 미량 존재하는 휘발성유기화합물질(VOCs), 다환방향족화합물질(PAHs) 등의 유해대기오염물질에 대한 관심 또한 증가하고 있다. 특히, VOCs와 PAHs는 발암유발물질로 주목을 받고 있는 물질이다.

자동차 운행에서 배출되는 대기오염물질을 저감하기 위해 환경부는 저공해 자동차(LEV: Low Emission Vehicle) 생산을 위한 엔진 및 후처리 장치 등의 기술개발, 청정연료 사용과 연료품질 개선, 교통 운용의 극대화를 통한 대기오염 저감과 기타 대중교통 이용 등의 국민홍보 등 다양한 정책을 추진하고 있다. 하지만, 저공해 자동차의 기술개발과 불필요한 자동차 운행의 자제 등을 유도하더라도 최소한의 대중교통과 승용차 운행, 물류 이동, 여가선용 등으로 자동차는 운행 될 수밖에 없을 것이고, 이에 따른 배출가스의

배출과 대기오염의 악화를 간과 할 수 없다. 실제 한 지역의 대기질 측면에서 교차로나 도심의 교통정체에 따른 배출가스의 증가가 제작차의 규제강화를 통한 배출가스 저감 수준을 상회 할 수도 있다. 따라서, 교통공학과 대기환경측면에서 자동차에서 배출되는 배출가스의 저감을 위한 원활한 교통소통에 따른 대기오염의 저감에 대해서 구체적으로 살펴볼 필요성이 대두되고있다. 원활한 교통흐름을 통한 연료소비의 감소와 이에 따른 배출가스의 저감을 도모함과 동시에 교통량과 교통흐름, 지형적인 영향, 기상조건의 변화 등을 고려한 대기오염의 정확한 평가와 기여도를 파악하여 적절한 대책이 필요한 실정이다. 또한, 원활한 교통흐름을 위한 신호체계의 개선과 도심에서 양호한 확산을 유도할 수 있는 도시·교통 계획도 필요한 실정이다.

현재, 서울시와 환경부에서는 서울지역의 자동차에 대한 정확한 대기오염 기여도의 확인 없이 대기오염의 약 85%를 자동차가 차지하는 것으로 추정하여 광화학 스모그(고농도 오존) 유발 등이 자동차의 기여로 간주하고 있다. 따라서, 이 서울의 대기오염의 주원인으로 간주하고 있는 선오염원에 대한 자료 구축의 체계가 조속히 확립되어야 할 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 자동차에 의해 배출되는 대기오염물질의 배출량을 정확히 산정하고 시·공간적 해상도를 높여 대기오염에 미치는 영향과 기여도 파악을 위한 방법으로 서울시 강남구 지역에 설치되어있는 첨단교통신호시스템의 시간대별 통과 교통량과 통과속도 자료를 이용하여 시간대별 자동차 배출량 산정 기법을 모색하고, 기존의 차종별 일일평균주행거리(VKT: Vehicle Kilometer Travelled)에 의한 방법으로 산정한 결과를 비교·연구하여 선오염원 배출량 자료구축의 방향을 설정하고자 하였다. 또한, 각 기관별 교통관련 자료 수집의 활용 방안의 모색을 통하여 대기질 개선을 위한 자동차의 기여도 산정과 관리대책의 기본 자료로 활용하고자 하였다.

## II. 기존 문헌 고찰

배출량 산정 접근 방법은 크게 bottom-up approach와 top-down approach로 나눌 수 있다. bottom-up approach는 배출량이 커서 중요하고 각각의 특성 차

가 뚜렷한 경우, 개별적인 조사를 통하여 전체 배출원을 파악하는 방법으로 주로 대형 점오염원 산정 시 적용한다. top-down approach는 점오염원을 제외한 선오염원이나 면오염원의 대기오염물질 배출량은 일반적으로 개별적인 배출원별 추적이 불가능하기 때문에 배출계수에 의한 방법을 사용하는 것을 의미한다.

자동차에서 배출되는 대기오염물질량을 산정 하는 방법으로는 차종별 일일평균주행거리를 이용하는 방법, 연료판매량 자료를 이용하는 방법, 교통수요모형을 이용하여 각 도로구간의 교통량을 추정하여 산정 하는 방법, 실시간 교통량을 이용하는 방법 등이 있다.

차종별 일일평균주행거리를 이용하는 방법은 현실적으로 사용할 수 있는 평균화된 개념을 도입하여 전체적인 배출량을 추정한 다음 지역현황에 따라 배분하는 방법이다. 일일평균주행거리에 의한 산정 방법은 광역단체 단위의 차종별 일일평균주행거리를 산정한 후 해당 지역의 자동차 등록 대수를 고려하여 해당 지역별로 할당하고, 배출계수를 적용하여 산정 하는 방법으로 현재 환경부에서는 이 방법을 통하여 자동차 배출 대기오염물질량을 산정 하여 발표하고 있다. 그러나 이 일일평균주행거리에 의한 산정 방법은 자동차의 배출계수가 차량의 종류와 사용기간, 특히 주행속도에 매우 민감하여 일률적으로 적용할 경우 큰 오차를 가져올 수 있다는 문제점이 있다. 또한, 도시지역에 산재해 있는 도로구간의 교통량에 대한 정보를 정확히 반영하기 어렵고, 각 도로구간의 주행속도를 고려하기가 어렵다. 따라서 이 방법은 해당 지역의 실제 도로에서 발생하는 대기오염물질 배출량을 정확하게 산정하기 어려우며, 농도 오존과 같은 광화학 오염현상을 규명하기 위한 시·공간적인 해상도가 낮을 수 있지만, 도시 전체지역의 배출량 산정 시에는 매우 경제적이며, 간편한 방법이다(장영기 등, 1995; 표준과학연구원, 1998). 이 방법을 토대로 한국대기환경학회(1997)는 서해안 권역내 선오염원에 대한 배출량을 조사하였으며, 경기도(2000)에서는 경기도의 장래 대기질 개선 대책을 마련하면서 자동차 배출량을 산정 하였다.

해당지역의 연료판매량 자료와 자동차의 단위 연료소비당 평균주행거리를 이용하여, 이를 일일평균주행거리로 환산하여 계산하는 방법이다(조역수, 1993). 하지만, 이 방법은 해당지역의 연료사용량을 정확히 산정하기가 어렵기 때문에 쉽게 적용하기 어려울 수

있다.

각 도로구간의 교통량을 추정하여 산정 하는 방법은 도로구간의 교통량을 추정하여 도로의 길이를 고려하여 배출계수를 적용하는 것으로 각 도로구간의 주행속도를 고려하게 되며, 각 도로구간의 통과 교통량을 추정하는 방법으로 소규모 도시의 경우 모든 도로구간의 교통량을 실측하거나 대도시의 경우에는 교통수요모형을 이용하여 각 도로구간의 교통량과 주행속도를 추정한다. 이 방법은 각 도로구간의 교통량을 추정하여 배출량을 산정 하는 것으로 매우 방대한 작업이고 각 도로구간의 교통량과 주행속도를 도출하여 하루 중 교통량의 변화를 고려할 수 있고, 각 도로구간의 교통량과 주행속도를 고려함으로 인하여 대기오염물질 배출량의 공간적 분포를 파악할 수 있기 때문에 대기오염 확산 모델링의 적용이 가능하며, 대기오염관리, 교통계획, 토지이용계획 등의 기초자료로 이용할 수 있다. 이 방법을 이용할 경우 일반적으로 도시지역의 산재하는 도로구간의 교통량을 모두 실측할 수 없다는 점에서 교통수요모형의 정확도는 자동차에 의한 배출량 산정의 정확도를 크게 좌우한다. 즉, 교통수요모형은 주로 통행빈도별 기·종점 자료(O-D: Origins and Destinations)의 단위도로별 차종분포를 정확하게 파악하지 않으면 결국 정확한 대기오염물질량을 산정 할 수 없다(김운수 등, 1999). 이 교통수요모형을 이용하여 서울시(2000)는 '장래의 서울시 대기환경개선 실천계획' 수립시 1997년의 서울의 자동차 대기오염물질별 배출량을 산정하였다.

실시간 교통량 자료를 이용하는 방법은 대상도로의 통과대수와 통과속도를 고려한 배출계수를 적용하여 배출량을 산정 하는 방법이다. 이 방법을 적용하기 위해서는 정확한 교통정보의 수집이 가능해야 한다. 실시간 통과 교통량 자료를 이용하여 박성규 등(2000)은 고속도로 요금소의 실시간 교통량을 수집하여 배출량 산정과 대기오염도 예측을 수행 하였다. 현재 국내에서 실시간으로 통과 교통량 자료가 수집되는 곳은 한국도로공사의 각 요금소 교통량과 서울의 경우 강남구 지역의 첨단교통신호시스템, 여의도-잠실구간에 운영되고 있는 올림픽대로 교통관리시스템 등에서 교통량과 차량속도 등의 자료가 수집되어 주로 원활한 교통소통을 주목적으로 한 교통정보를 제공하기 위하여 설치·이용되고 있다(이영인, 1998). 그러나, 아직 실시간 통과 교통량 자료는 일부 지역에서

만 수집되고 있으며, 일반인이 쉽게 자료를 공유하기 어려운 점이 많다. 앞으로는 서울시 등 대도시를 중심으로 지능형 교통체계(ITS: Intelligent Transport System)를 도입하여 교통체계의 효율성과 안전성을 제고하기 위하여 기존의 교통체계에 전자/정보/통신/제어 등의 첨단기술을 접목시킨 차세대 교통체계로 전환을 추진하고 있는 단계이다(박영주 등, 1999). 따라서, 각 기관별 교통관련 자료 수집의 활용체계 구축과 첨단교통시스템과의 연계를 통한 교통량 자료를 이용하여 차량대수와 주행속도 자료를 수집하여 대기환경분야로 활용 할 수 있는 자료수집 형태의 제시와 이의 활용에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다.

국내에 비해 국외에서는 자동차 배출량 산정에 대한 여러 방법론이 연구되어 비교 평가되고 있다. Sturm et al.(1997)은 입력자료와 적용지역에 기초한 배출목록을 수집하기 위하여 이른바 'actual driving behaviour', 'specific streets', 'vehicle miles travelled'의 세 가지 다른 접근 방법을 비교/설명하였다. Zachariadis and Samaras(1997) 도시 규모의 배출량을 산정하는 HBEFA, DRIVE-MODEM, DGV, COPERT의 4가지 모델을 비교한 결과 상당히 유사함을 발표했다. Samaras et al.(1995)은 배출량 산정의 bottom-up과 top-down 방식을 비교하여 원칙적으로 두가지 평가방법이 일치할 수 있다고 발표하였지만, Loibl et al.(1993) 두 가지 방법은 서로 병합되어야 한다고 언급했다. Barth et al.(1996) 미국에서 자동차 도로 교통에서 배출되는 오염물질을 평가하는 EMFAC/MOBILE, multiple driving cycles, velocity-acceleration matrix, emission mapping, physical models의 5가지 방법을 평가하였다. Winther(1998)는 COPERT II, German Workbook, DTU 모델에 대하여 중요한 차이점 등을 설명하였다. 이러한 미국이나 유럽 등에서 개발된 모델이 동일한 기본 구조를 사용하고 있지만, 입력자료, 계산과정의 가정과 변수에 따라 상당한 차이를 나타내고 있다. 특히, 간단한 방법으로 복잡한 지역에 적용되었을 때 결과가 상당한 오차를 유발할 수 있다. 위에서 언급한 배출량 산정 모델의 중요한 단점은 각 모델은 교통모델이나 교통량 조사에 의한 수동교통자료(passive traffic data)를 사용한다는 것이다. 교통량은 도시 전역과 지역 도로에서 과대/과소 평가될 수 있고, 이에 따른 배출량의 평가의 오류를 유발할 수 있다. 특히, 차량속도가 교통량

으로부터 계산된다면 오염물질 배출이 속도 영향에 민감하기 때문에 상당히 큰 오차를 유발할 수 있다. 이러한 교통량의 오류는 배출량 산정의 잠재적인 오류를 내재하고 있다. 따라서, 정확한 교통량이 자동차 배출량 산정의 관건이다. 또한, 근본적으로 자동차 배출 목록은 자료가 집계되는 시간부터 과거자료가 된다. 이러한 단점을 극복하기 위한 접근방법으로 이용할 수 있는 도시교통제어시스템의 자료를 활용하는 것이다. Reynolds(2000) 등은 이상적인 방법으로 수동적인 방법을 대체하기보다는 실시간 자료를 보충하는 혼합모델이 개발되어야 한다고 주장하였다.

정확한 교통량의 수집과 세분화된 도로 네트워크는 배출량 산정의 중요한 자료이다. 교통량 정보는 각 도로별 교통량과 평균속도, 제각연도(차령), 대중교통과 개인 승용차로 뚜렷하게 구분되는 주행모드 등이 수집되어야 한다. 따라서, 앞으로 대도시에서 정확한 자동차 배출량을 산정하기 위해서는 교통제어시스템이 설치되어 많은 정보가 수집되어 활용되어야 한다. 실제 도로상에서 실시간으로 수집된 교통 정보는 상당히 제한적이기 때문에 차종 등은 CCTV 등의 다른 방법에 의해 보완하여야 한다(Reynolds et al., 2000).

일반적으로 도시교통제어시스템은 주로 교통정체를 감소시키고, 이를 반영하여 원활한 교통소통을 주목적으로 한 교통정보를 제공하기 위하여 설치·이용되고 있다. 교통정보는 주행속도, 지체와 정체의 관점에서 일반적으로 정량화 되어, 최근에는 교통정체에 따른 환경영향을 평가하는데 활용되고 있다.

본 연구에서는 자동차에 의해 배출되는 대기오염물질의 배출량을 정확히 산정하고 시·공간적 해상도를 높이기 위해 서울시 강남구 지역에 설치되어있는 첨단교통신호시스템의 시간대별 통과 교통량과 통과속도 자료를 이용하여 시간대별 자동차 배출량을 산정하고자 하였다.

### III. 배출량 산정모형의 구축

#### 1. 이론적 배경

배출량 산정의 기본 원리는 식(1)~(3)과 같이 단위 지역의 활동도(activity level)를 지수화한 다음, 각 활동도에 따른 배출계수를 곱함으로써 배출량을 산정 하는 것이 일반적인 방법이다(US EPA, 1985;

US EPA, 1991; EU EEA, 1997; EU EEA, 1999).

$$E = A \times F \quad (1)$$

$$A = \sum (Vol_{v,f,s,y,r,g,l}) \times (L) \quad (2)$$

$$F = \sum F_{v,f,p,s,y,g,l} \quad (3)$$

여기서,

$E$  : 대기오염물질 배출량(g/hr)

$A$  : 교통량과 도로길이에 따른 활동도

$F$  : 대기오염물질별 배출계수(g/km-vehicle)

$L$  : 도로의 길이(km)

$Vol_{v,f,s,y,r,g,l}$  : 차종별, 사용 연료별, 주행속도별, 연식별, 도로별, 도로 등급별, 하중별 교통량(vehicle/hr)

$F_{v,f,p,s,y,g,l}$  : 차종별, 사용 연료별, 대기오염물질별, 주행속도별, 연식별, 도로 등급별, 하중별 배출계수

$p$  : 대기오염물질(SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PM-10, TSP)

$v$  : 차종(passenger car, taxi, bus, truck)

$f$  : 사용 연료의 종류(gasoline, light oil, LPG, natural gas)

$s$  : 평균주행속도

$r$  : 도로의 종류(국도, 지방도, 고속도로, 자동차 전용도로)

$y$  : 차령(제작연도 및 후처리 장착 여부)

$g$  : 도로 기울기에 따른 도로등급

$l$  : 차체의 하중

활동도는 배출량을 지역적으로 할당하는 지표가 되기 때문에 무엇을 어떻게 쓸 것인가 하는 것이 중요하다. 일반적으로 대기오염배출과 직·간접적인 관련이 있으면서 지역별로 서로 비교가 가능한 활동도가 될 수 있는데, 배출원에 따라 산업 활동, 인구 밀도, 교통량, 연료 소비량 등이 사용될 수 있다. 또 활동도로 무엇을 어떻게 이용할 것인가는 배출계수의 형태와 직결되어 있다. 배출계수는 곧 단위 활동도에 따른 배출량이기 때문에 사전에 연구, 조사되어야 한다(장영기 등, 1995; 표준과학연구원, 1998).

일반적으로 자동차에서 배출되는 대기오염물질량을 산정 할 때는 두 단계의 과정을 거치게 된다. 첫 번째,

배출계수(emission factor)의 개발 단계로 자동차 활동도에 따른 배출율을 대표하는 것이지만, 전체 차량 중에서 제한된 차량의 결과로서 확대 적용된다. 이 배출계수는 사전에 정해진 주행 모드에 의해 실험실 조건 하에서 결정된다. 국내 자동차에 대해서는 현재 국립환경연구원의 자동차공해연구소에서 배출가스 규제 시험모드를 미국연방시험모드(FTP-75:Federal Test Procedure)인 정용적시료채취장치(CVS-75:Constant Volume Sampler)에 의해 배출가스를 측정하고 있다. 자동차에서 배출되는 대기오염물질량은 많은 변수에 의해 결정된다. 이러한 변수는 여행수요, 정체나 자유흐름의 교통상황, 정속, 공회전, 가속, 감속 등의 주행 모드, 엔진의 저온/고온 출발, 평균속도, 차량 부하, 주행거리, 주행빈도 등의 주행조건, 제작차 모델, 연식, 유지관리 상태, 엔진의 크기와 형태, 배출 저감장치, 연료 공급 시스템 등의 차량 조건, 연료 형태, 휘발성, 화학 첨가제 조성 등의 연료 특성, 대기 온도·습도 등의 지역기후 조건, 도로경사·고도 등의 지형 조건 등 아주 다양하다. 이 배출계수는 실제 주행의 대안으로 배출량 측정장치를 사용하여 실험실에서 결정된다. 이는 대상 도시의 구체적인 지역 조건을 정확하게 반영하는 장점이 있다. 그러나, 배출계수는 실험실 규모의 제한된 샘플 수에 의존하기 때문에 다른 지역에 적용될 때 그 지역이나 당시의 조건을 정확하게 반영한다고 확신할 수 없다. 자동차 배출계수 관련 자료는 국내에서는 국립환경연구원 자동차공해연구소에서 발표하고 있으며, 유럽의 경우 EU EEA(1997)에서 정기적으로 조사 발표하고 있으며, 미국의 경우 US EPA(1985)와 캘리포니아 대기국(CARB:California Air Resource Board)은 교통 당국과 유기적이고, 체계적으로 배출량을 조사하여 데이터베이스화되어 전산망을 통하여 관리되고 있다.

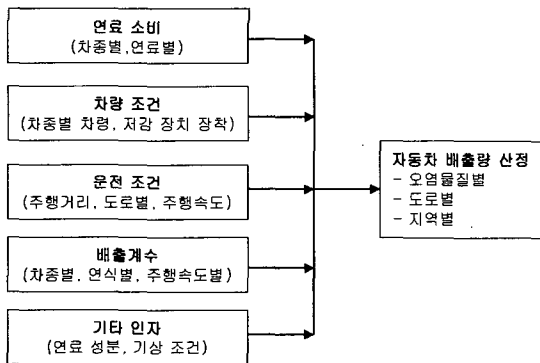
두 번째 단계는 차량과 차량의 활동도 평가의 결정 단계이다. 이 활동도 자료는 교통량 조사나 교통모형에서 구할 수 있다. 교통량 조사는 실제 도로상의 교통 패턴에 대한 정확한 정보를 제공하기 때문에 가장 바람직하지만, 이러한 교통량 조사는 전체 연구 지역 이기보다는 특정지역이나 교차로의 자료를 제공하는 한계점이 있다. 이에 비해 교통모형은 물리적인 도로망과 교통환경의 전산모사로 표현된다. 이러한 교통모형은 현재 아주 정밀하게 도시규모의 지역을 모사하고 있지만, 자동차에서 배출되는 대기오염물질량의

완벽한 목록의 산정에 필요한 모든 정보를 제공 할 수는 없다. 차종별 제작 년도 및 배출가스 저감 장치 장착 여부에 따라 구분하고, 도로별 교통량과 평균속도를 적용하여 최종적으로 오염물질별, 도로별, 지역별로 배출량을 산정 하게 된다. 따라서, 이 활동도를 정확하게 평가하기 위해서는 실제 도로 상태의 정확한 교통량의 적용이 필수적이다.

### 2. 배출량 산정 기법 구축

자동차 배출량의 산정은 각 자동차에서 배출되는 오염물질의 양과 주행 특성 등에 따른 배출계수의 적용에 기초한다. 이 배출계수를 적용하기 위해서는 차종의 구성비, 각 차종별 사용하는 연료의 종류 등에 대한 자료가 필요하다. 활동도를 정량적으로 평가하기 위한 자동차 이동과 주행 특성과 모드에 관한 정보의 수집은 현장조사, 교통제어시스템, CCTV, 교통수요모형의 이용 등을 이용하여 평가할 수 있다. 그러나, 실제 적용 시에는 자료의 부족으로 세분하여 적용하기 어렵다. 특히, 주행자동차에 대한 자동차 연식, 도로 경사의 정도 등의 정밀한 조사자료가 필요하다. 전체적인 배출량 산정의 흐름은 <그림 1>과 같다.

본 연구에서 활동도는 식(4)와 같이 현재 이용 가능한 자료인 차종별 연료를 구분하여 적용하였고, 교통량은 실시간 교통량(RTTV:Real Time Traffic Volume)을 도로별로 수집하여 각각의 도로길이를 적용하였다. 배출계수는 식(5)과 같이 시간대별로 수집되는 시간평균 주행속도 자료를 속도에 따른 배출계수 식에 적용하였다. 최종적으로 본 연구에서 적용한 시간평균 주행속도 변화에 따른 자동차 배출량은 식(6)과 같이



<그림 1> 배출량 산정의 흐름도

대기오염물질별, 차종별, 사용 연료별, 주행속도별, 도로별, 시간대별로 세분하여 산정 하였다.

$$A_{RTTV_{v,f,s,r,h}} = \sum (Vol_{RTTV_{v,f,s,r,h}}) \times (L) \quad (4)$$

$$F_{RTTV_{v,f,s,r,h}} = \sum F_{RTTV_{v,f,s,r,h}} \quad (5)$$

$$E_{RTTV_{p,v,f,s,r,h}} = A_{RTTV_{v,f,s,r,h}} \times F_{RTTV_{v,f,s,r,h}} \quad (6)$$

여기서,

- $A_{RTTV_{v,f,s,r,h}}$  : 차종별, 사용 연료별, 주행속도별, 도로별, 시간대별 활동도
- $Vol_{RTTV_{v,f,s,r,h}}$  : 차종별, 사용 연료별, 주행속도별, 도로별, 시간대별 실시간 교통량(vehicle/hr)
- $F_{RTTV_{v,f,s,r,h}}$  : 차종별, 사용 연료별, 대기오염물질별, 주행속도별, 시간대별배출계수(g/km-vehicle)
- $h$  : 01~24 시간대별 시간평균가중
- $E_{RTTV_{p,v,f,s,r,h}}$  : 대기오염물질별, 차종별, 사용 연료별, 주행속도별, 도로별, 시간대별 실시간 배출량(g/hr)

또한, 본 연구의 산정 결과와 비교하기 위하여 자동차에 의한 대기오염물질 배출량을 산정 하는 방법 중 현재 주로 활용되고 있는 일일평균주행거리에 의한 배출량 산정과 실시간 교통량 자료를 이용한 산정 방법을 대상으로 하여 두 방법의 결과를 비교·분석 하였다. 차종별 일일평균주행거리에 의하여 배출량을 산정 하는 방법은 차종별 평균 주행거리를 조사하여 배출계수를 적용하여 산정하며, 계산식은 식(7)~(10)과 같다(장영기 등, 1995; EU EEA, 1999).

$$A_{VKT_{v,f,s}} = \sum Vol_{VKT_{v,f}} \times (VKT_v \times day/24hr) \times L_q \quad (7)$$

$$L_q = \frac{R_l}{RL_{lt}} \quad (8)$$

$$F_{VKT_{v,f,s}} = \sum F_{VKT_{v,f,s}} \quad (9)$$

$$E_{VKT_{p,v,f,s}} = A_{VKT_{v,f,s}} \times F_{VKT_{v,f,s}} \quad (10)$$

여기서,

$A_{VKT_{v,t,s}}$  : 차종별, 사용 연료별, 해당 지역별 일  
일평균 활동도

$Vol_{VKT_{v,t,s}}$  : 차종별, 연료별 자동차 등록대수(vehicle)

$VKT_v$  : 차종별 일일 평균 주행거리(km/day)

$L_q$  : 해당지역의 도로별 길이 분율

$R_l$  : 해당지역의 도로별 길이(km)

$RL_{it}$  : 해당 자치구의 총 도로 길이(km)

$F_{VKT_{v,t,s}}$  : 차종별, 사용 연료별, 대기오염물질별,  
주행속도별 일일평균 배출계수(g/km-  
vehicle)

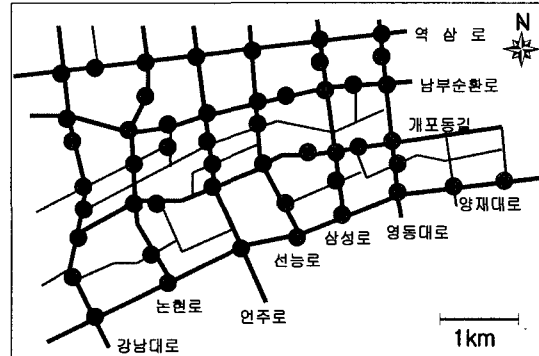
$E_{VKT_{v,t,s}}$  : 대기오염물질별, 차종별, 연료 형태별,  
주행속도별, 일일 시간평균 배출량(g/hr)

일일평균주행거리에 의한 방법은 대상 도시 전체의 일평균 배출량을 의미하기 때문에 실시간 교통량 자료를 이용하여 도로별로 산정 한 결과와 비교하기 위해서는 지역별로 배출량을 배분하여야 한다. 지역별 배출량 배분은 지역별 자동차 등록대수를 사용하며, 세부지역별 산정은 세부지역별 도로종류의 길이 비에 따라 배분하는 방법을 사용한다. 즉, 광역단체 단위의 차종별 평균주행거리를 산정 하여 해당지역별로 할당하고, 배출계수를 적용하는 방법을 사용한다. 여기서 할당기준으로는 해당지역의 자동차 등록대수와 도로 길이를 이용한다. 도로의 길이는 보다 정확하게 접근하기 위하여 도로 길이에 차로(lane) 수를 곱한 길이를 사용한다.

#### IV. 배출량 산정 모형의 적용

##### 1. 대상 지역

서울시는 날로 심화되는 교통난 해소대책의 일환으로 실시간 교통신호제어시스템을 개발하여 1995년부터 서울시 강남·서초 일부지역의 61개소에 시범 설치하여 운영하고 있다. 교통제어시스템은 중앙관리용 컴퓨터 및 주변장치, 지역컴퓨터 그리고 검지기 센서를 포함하는 현장제어기의 계층형 분산구조로 구성되어 있으며, 실시간 신호제어를 위한 가변통신 프로토콜이 다양하게 제공되어 시간에 따라 변하는 송·수신 데이터의 실시간 처리가 가능하도록 구성되어 있다.



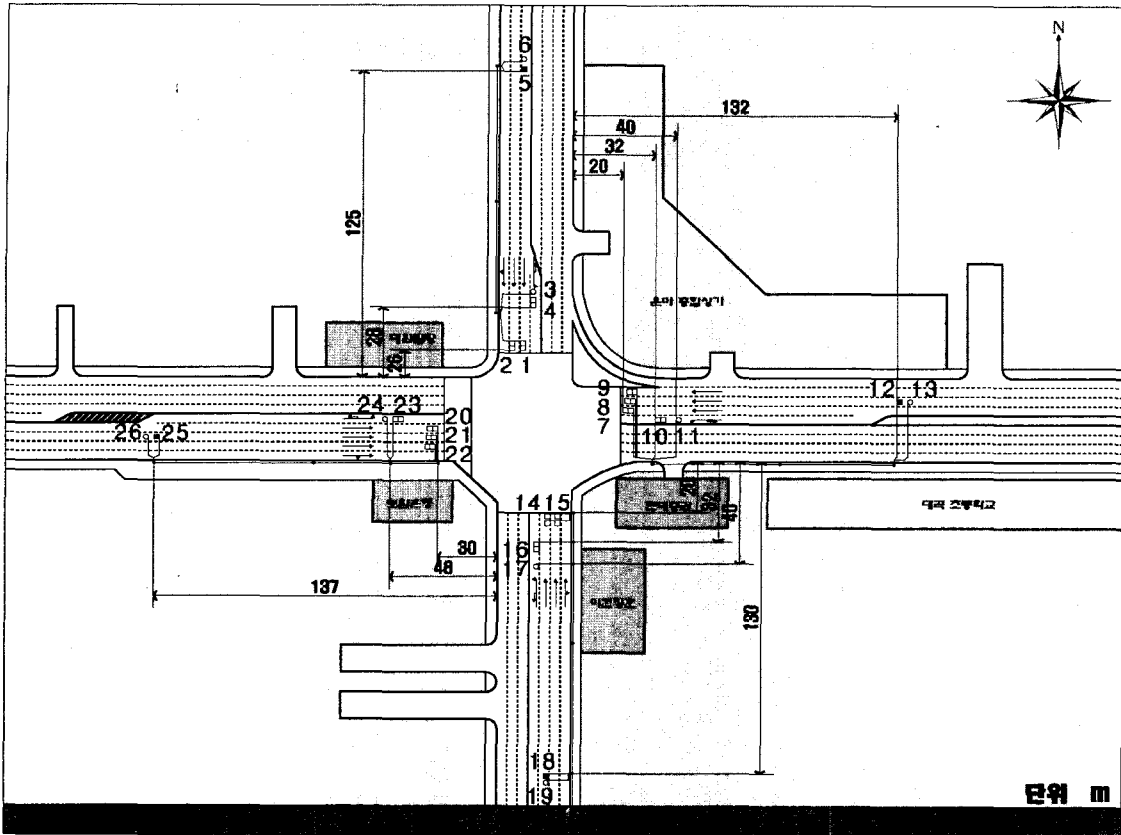
〈그림 2〉 대상도로와 첨단교통신호시스템 설치도(영동대로-강남대로와 역삼로-양재대로 축)(서울지방경찰청, 1997)

본 연구의 대상으로 한 강남구 일대(강남대로-영동대로와 역삼로-양재대로 축)의 첨단교통신호시스템의 교통량에 따른 자동신호시스템의 설치 지역은 〈그림 2〉와 같으며, 다양한 목적의 검지기를 설치하고, 이들로 부터 수집되는 자료를 직접 활용하여 현장 신호제어가 수행되고 있다. 대상 도로의 통과 교통량은 각 도로의 구간 양방향에 설치된 검지기 예는 〈그림 3〉와 같다(서울지방경찰청, 1999).

본 연구에서는 교통제어시스템으로부터 수집되는 실시간 교통 자료를 이용하여 자동차에서 배출되는 대기오염물질 배출량 산정 기법의 개발과 및 적용 가능성을 파악하였다. 서울시 강남구 일대에 설치되어 있는 서울지방경찰청 첨단교통신호시스템의 61개 교차로에 매설된 검지기에서 수집되는 교통량과 속도 자료를 분리하여 시간대별 평균주행속도에 따른 배출계수와 각 도로의 길이를 고려하여 통과 교통량에 따른 대기오염물질 배출량을 산정 하였다.

##### 2. 적용 방법 및 수집 자료

본 연구에서의 교통자료 수집은 서울지방경찰청 첨단교통신호시스템의 중앙컴퓨터에서 일일교통정보자료를 통해 해당 일의 교통정보 파일을 생성하여 수집 하였다. 대상 일은 1999년 6월 9일(화)과 8월 17일(화)로 하여 각 도로구간과 방향별 1개 차로의 시간대별 통과 교통량과 통과속도 자료를 분리하고, 차로 수를 곱하여 각 시간대별, 도로별, 방향별로 교통량과 평균주행속도를 산정 하였다. 차량의 종류는 8종으로 구분하고, 검지기 교통량은 차종별로 구분되지 않기



〈그림 3〉 첨단신호제어시스템의 검지기 체계 예 (서울지방경찰청, 1997)

〈표 1〉 차종별 교통량 구성비(1997년, 서울)<sup>9)</sup>

구분	계	승용차			버스				화물차				기타 (특수차)
		자가용	택시	소계	소형(승합차)	중형	대형	소계	소형	중형	대형	소계	
대/일	10,671,624	6,433,312	1,542,206	7,975,518	827,166	-	467,948	1,295,114	1,023,357	-	323,858	1,347,215	53,777
비율(%)	100.0	60.3	14.5	74.8	7.7	-	4.4	12.1	9.6	-	3.0	12.6	0.5

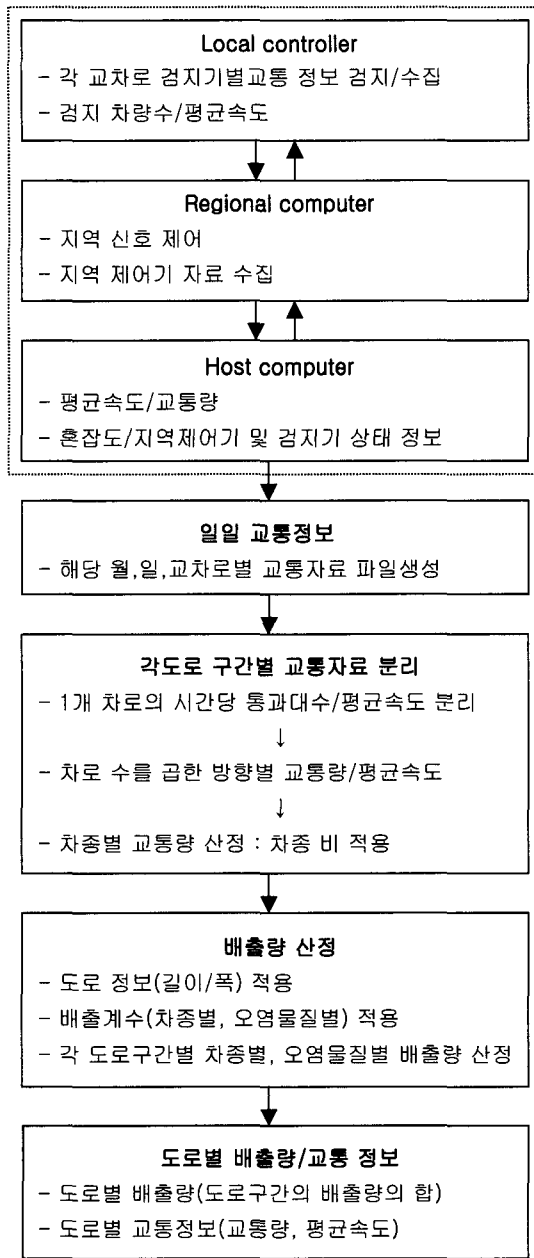
때문에 차종별 교통량은 서울시 교통센서스 및 데이터 베이스 구축-코든·스크린라인 교통량조사(서울특별시, 1997) 자료의 차종별 교통량 혼입율(〈표 1〉)을 일관적으로 적용하여 배분·산정 하였다. 검지기의 성능과 평가는 기존연구에서 검정되어 왔다(서울지방경찰청, 1999). 차종별 배출계수 자료는 국립환경연구원 자료를 이용하였다. 대상지역의 교통량 자료수집과 배출량 산정의 흐름도는 〈그림 4〉와 같다.

차종별로 사용하는 연료와 사용연료에 따른 오염물질 배출계수가 다르게 적용되기 때문에 차종의 구분은 중요한 정보이다. 국내에서 자동차 오염물질의 배출량을 산정 할 때 구분하는 차량의 종류는 승용차

(휘발유), 택시(LPG), 소형(12인승 이하)·중형·대형(17인승 이상), 버스(경유), 소형(1톤 이하)·중형(1~8톤)·대형(8톤 이상)트럭(경유)으로 구분하여 각각의 배출계수(조강래, 1993)를 적용한다. 또한, 도로별 교통량과 평균속도를 적용하여 최종적으로 대기오염물질별, 도로별, 지역별로 배출량을 산정 하게 된다.

대상 대기오염물질은 실제 도로상의 자동차에서 배출되는 대표적인 오염물질 중 비반응성 오염물질인 일산화탄소(CO)를 대상으로 하였다. 일산화탄소는 자동차 내부와 도로변에서 인간의 노출을 평가하기에 유용할 뿐만 아니라 산정 된 배출량을 평가하고, 배출가스 중 상관관계가 규명된 다른 유해대기오염물질





〈그림 4〉 대상지역의 배출량 산정 흐름도

배출량에도 적용 할 수 있다(Singh and Huber, 2000).

한편, 대상 지역의 배출량을 일일평균주행거리에 의한 방법으로 산정하기 위하여, 1999년의 강남구 자동차 등록 대수(〈표 2〉)와 도로 길이는 서울통계연보(서울특별시, 2000) 자료를 이용하였다. 차종별 배출계수와 차종별 일일평균주행거리는 국립환경연구원의 대기오염물질배출량(2000) 자료를 이용하였다. 강남구 전체의 차종별 등록대수를 파악하여, 강남구 전체의 배출량을 산정 한 후, 해당지역의 배출량으로 배분하기 위하여 강남구 전체의 도로 길이(도로 길이× 차로 수) 중의 대상지역의 도로 길이를 배분하여 계산하였다. 차종별 대수는 실시간 교통량을 이용한 방법과 동일하게 〈표 1〉에 의해 배분하여 산정 하였다.

### 3. 적용 결과

〈그림 5〉는 1999년 6월 9일과 8월 17일의 강남구 대상지역의 각 도로별 통과교통량을 나타낸 것이다. 6월 9일과 8월 17일 대상지역을 통과한 교통량은 각각 799,122대/day, 818,167대/day로 나타났다. 〈그림 6〉은 각 도로의 평균 통과속도를 나타내는 것으로 전체적으로 교통량과는 반비례관계를 나타내고 있다. 대상지역의 평균 통과속도는 약 34km/hr로 나타났으며, 통과속도가 가장 빠른 도로는 양재대로로서 평균 약 41~44km/hr로 나타났다. 〈그림 7〉은 6월 9일 대상지역의 각 도로 중 통과교통량이 가장 많은 양재대로의 시간대별 차종별 교통량을 나타내고 있다. 시간대별 차종은 〈표 1〉의 혼입률을 이용해 배분하여 산정 하였다. 〈그림 8〉는 1999년 6월 9일과 8월 17일의 강남구 대상지역의 각 도로별 통과교통량에 의한 CO 배출량 산정치를 나타낸 것이다. 6월 9일과 8월 17일 대상지역에서 발생한 CO 배출량 산정치는 각각 8,484kg/day, 9,791kg/day로 나타났다. 각 도로 중 CO 배출량 산정치는 교통량이 많은 양재대

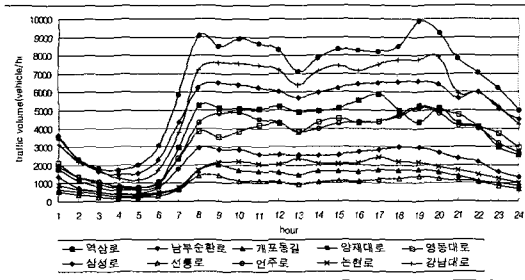
〈표 2〉 자동차 등록 현황(1997·1999년, 서울시 강남구)<sup>1)</sup>

구분	계	승용차			버스				화물차				기타 (특수차)	
		자가용	택시	소계	소형	중형	대형	소계	소형	중형	대형	소계		
1997	등록대수	181,880	151,389	1,653	153,042	-	-	-	8,604	-	-	-	19,924	310
	비율(%)	100.0	83.2	0.9	84.1	-	-	-	4.7	-	-	-	11.0	0.2
1999	등록대수	185,437	151,202	1,629	152,831	-	-	-	12,636	-	-	-	19,736	234
	비율(%)	100.0	81.6	0.9	82.5	-	-	-	6.8	-	-	-	10.6	0.1

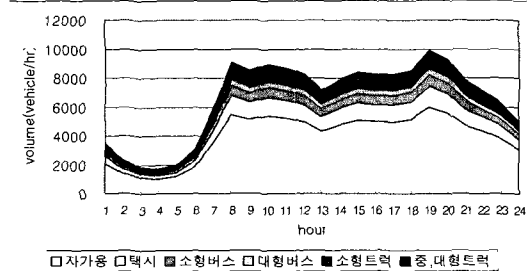
로에서 가장 많은 것으로 나타났다. 대상지역의 1999년 6월 9일과 8월 17일 각 도로에서 자동차에 의한 대기 오염물질 배출량의 하루 중 변화를 나타내는 것으로 배출량은 자동차 통행량이 증가하는 07시를 시작으로

급격히 증가하여 야간시간대에 감소함을 알 수 있다. 따라서, 이 통과 교통량과 통과속도 자료를 활용한다면 대상도로의 시간대별 배출특성 파악과 교차로에 의한 오염물질 배출 특성 등을 파악하는데 유용하다고 판단된다.

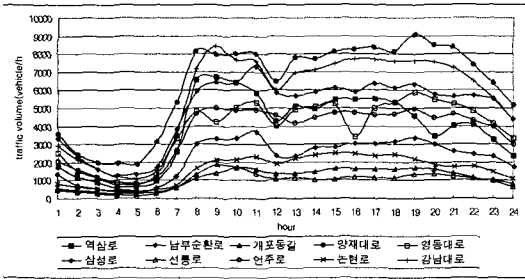
또한, 대상지역의 차종별 배출량 기여도는 <그림 9>



(a) 1999년 6월 9일(화) 통과 교통량

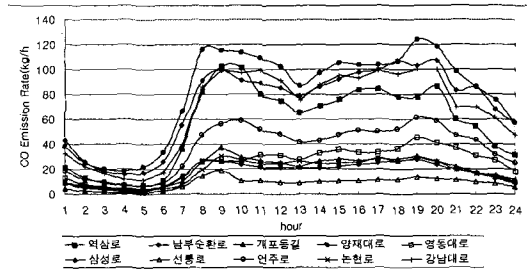


<그림 7> 양재대로의 차종별 교통량 변화(1999년 6월 9일)

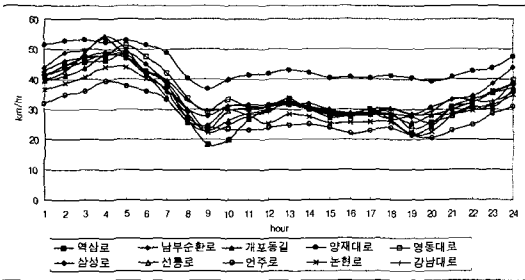


(b) 1999년 8월 17일(화) 통과 교통량

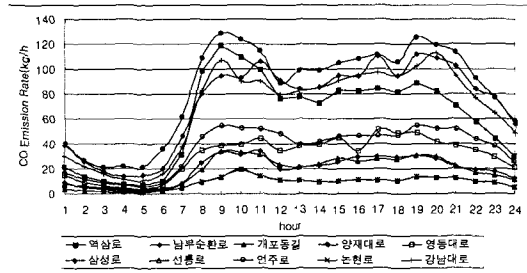
<그림 5> 대상지역의 일일 교통량 변화



(a) 1999년 6월 9일(화) 배출량

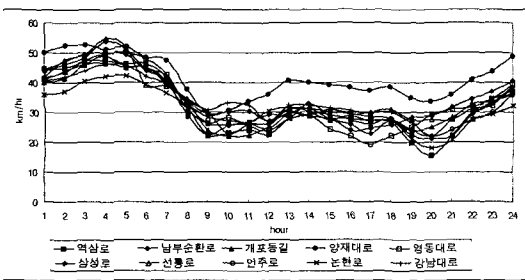


(a) 1999년 6월 9일(화) 통과 속도



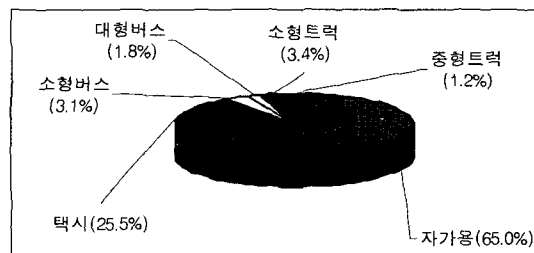
(b) 1999년 8월 17일(화) 배출량

<그림 8> 대상지역의 도로별 CO 배출량 변동 특성



(b) 1999년 8월 17일(화) 통과 속도

<그림 6> 대상지역의 일일 통과 속도 변화



<그림 9> 차종별 CO 배출량 기여도

와 같으며, 자가용이 65.0%로 가장 크게 나타났으며, 다음은 택시, 버스, 트럭 순으로 나타나 소형차의 배출량 기여도가 큼을 알 수 있었다.

#### 4. 타 모형 결과와의 비교

기존의 차종별 일일평균주행거리 방법에 의한 대상 지역의 CO 일일 총배출량 산정치는 약 5,234kg/day로 산정 되었다. 이는 일일의 총 배출량으로 시간대별 변화를 파악할 수가 없다. 대상지역의 첨단교통신호시스템 교통 자료 이용과 같은 교통량에 따른 시간 배출량 변동 특성을 고려하지 못하게 된다. 이는 강남구의 대상지역에서 1999년의 일일 평균적인 배출량을 의미하는 것으로 연간 단위로 배출량을 산정하기 때문에 1개월 또는 1일과 같은 연중 어느 특정 기간과 특정지역의 배출량을 계산하기 위해서는 산술 평균적으로 나누어 계산하기 때문에 월별 특성이나 요일 특성, 시간대별 특성을 고려할 수가 없다. 즉, 특정한 월별, 요일별 특성을 파악하기가 어려워 자동차에 의한 대기오염도와의 관계를 규명하기가 어렵게 된다.

통과 교통량과 통과속도 자료를 고려한 산정 결과와 비교했을 때 1999년 6월 9일과 8월 17일의 CO 배출량은 각각 8,484kg/day, 9,791kg/day로 산정 되어 약 1.6~1.9배의 차이를 나타내었다. 이는 차종별 일일평균주행거리에 의한 방법에서는 연중 어느 특정일과 특정지역의 하루 중 주행속도 변화에 대한 고려를 하지 못하는 점과 <표 1>과 <표 2>에서 차종별 주행 혼입률을 적용한 1997년 승용차의 등록대수는 84.1%이지만, 실제 주행중인 교통량 비율은 74.8%로 등록현황과 그 지역의 실제 도로 통행량의 차이로 인한 오차가 유발 할 수 있다는 점이다.

또한, 일일평균주행거리에 의한 방법에서는 1999년도 서울시 전역의 평균 주행속도 19.21km(서울특별시, 1999)를 차종별 구분 없이 일괄적으로 적용하는 점과 대상지역인 강남구 일대의 평균 34km/hr인 점과 각 도로별, 시간대별 평균 주행속도의 적용 등에 기인한다고 판단된다. 특히, 차속이 10km/hr이하가 되면 배출량은 급격히 증가하는 것으로 자동차 배출량은 주행속도에 따라 민감하게 변화하기 때문에 정확한 주행속도의 적용이 중요하다.

따라서, 정확한 교통정보의 수집과 세분화된 도로

망은 배출량 산정의 중요한 자료로서 각 도로별 교통량과 통과속도 등의 실시간 교통정보가 수집되어 활용되어야 한다. 본 연구에서 적용한 각 시간대별로 통과 교통량과 통과속도의 실시간 자료를 각 도로별로 적용한다면 시·공간적인 해상도를 높여 하루 중 배출량의 일변화 경향을 파악할 수 있어 교통량에 의한 대기오염의 특성 파악에 유리하다고 판단된다.

#### V. 결론 및 향후 과제

서울시 등 대도시에서 자동차에 의한 대기오염의 기여도가 증가하고 있지만, 그 자동차에서 배출되는 대기오염물질 배출량을 정확히 산정 하여 시·공간적 고해상도의 배출량 산정을 통하여 대기오염에 미치는 영향과 그 기여도 파악이 필요한 실정이다. 따라서, 정확한 자동차 오염물질 배출량 산정을 위한 방법으로 서울시 강남구 지역에 설치되어있는 첨단교통신호시스템의 교통 자료 중 시간대별 통과 교통량과 통과속도를 이용하여 시간대별 자동차 배출량을 산정하고, 기존의 차종별 일일평균주행거리에 의한 방법으로 산정한 결과를 비교하고, 각각의 장·단점을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 강남구 대상지역의 각 도로별 통과 교통량은 07시부터 급격히 증가하여 야간시간대부터 감소하는 패턴을 가지고 있으며, 평균 통과속도는 약 34km/hr로 나타났으며, 통과속도가 가장 빠른 도로는 양재대로로서 평균 약 41~44km/hr로 나타났다. 각 도로 중 CO 배출량은 교통량이 많은 양재대로에서 가장 많은 것으로 나타났다. 대상지역의 각 도로에서 자동차에 의한 대기오염물질 배출량의 하루 중 변화를 나타내는 것으로 배출량은 자동차 통행량이 증가하는 07시를 시작으로 급격히 증가하여 야간 시간대에 감소하는 대상도로의 시간대별 배출특성을 파악할 수 있었으며, 차종별 CO 배출량 기여도는 자가용이 가장 크게 나타났다.

둘째, 기존의 차종별 일일평균주행거리 방법과 통과 교통량과 통과속도 자료를 고려한 방법에 의한 CO 배출량은 약 1.6~1.9 배의 차이를 나타내었는데, 이는 차종별 일일평균주행거리에 의한 방법에서는 연중 어느 특정일과 특정지역의 하루 중 주행속도 변화에 대한 고려를 하지 못하는 점과 자동차 등록현황과 그 지역의 실제 도로 통행량의 차이, 주행속도 19.21km

의 일괄적용과 각 도로별 구분 적용 등에 기인한다고 판단된다.

셋째, 일일평균주행거리에 의한 방법은 자치단체 규모의 연간 자동차에서 배출되는 총량과 평균적 값을 얻을 수 있다는 장점은 있지만, 연중 어느 특정일과 특정지역의 하루 중 배출량 변화 특성 등은 파악하기 어려운 시·공간적인 해상도가 낮아서 대기오염의 정량적인 평가가 어렵게 된다. 이를 개선하기 위한 방법으로 각 시간대별로 통과 교통량과 통과속도를 자료를 각 도로별로 적용한다면 시·공간적인 해상도를 높여 하루 중 배출량의 일 변화 경향을 파악할 수 있어 교통량에 의한 대기오염의 특성 파악에 유리하다고 판단된다.

하지만, 본 연구의 한계점은 검지기 자료에서 차종별 교통량을 구분할 수 없어서 과거의 차종비 자료를 이용하여 배분하여 산정 하였다는 점이다. 따라서, 차종별 교통 흐름이 정량화, 특성화된다면 국지지역에서 자동차에서 배출되는 대기오염물질 배출량 산출 기법으로 신뢰 할 수 있을 것이며, 특히 시간평균 배출량 산정이 가능하다고 판단된다. 또한, 이 방법은 현재 교통량 자료가 일부지역에서만 이용할 수 있다는 점과 많은 자료를 처리하는데 시간과 노력이 필요한 실정이다. 또한, 각 기관에서 수집되는 교통관련 자료를 체계적으로 수집하여 교통량에 따른 대기오염도의 정량적인 평가에 활용 할 수 있다면 대기 질 개선을 위한 자동차의 기여도 산정과 대도시의 대기오염 관리대책의 기본 자료로 활용할 수 있다고 판단된다.

## 참고문헌

- 경기도(2000), "21C 경기 대기보전 실천계획", pp.67~89.
- 김운수·엄진기·황기연·장지희(1999), "교통수요 관리 기법을 활용한 환경오염비용의 내부화 방안 연구", 대한교통학회지, 제17권 제4호, p.99~110, 대한교통학회.
- 박성규·김신도·김종호(1998), "자동차 대기오염 물질이 고속도로 인접지역에 미치는 농도 예측에 관한 연구", 한국대기환경학회지, 제14권 제6호, pp.607~620, 한국대기환경학회.
- 박성규·김신도·이정주(2000), "실시간 교통량을 이용한 고속도로 요금소 대기오염도 예측", 한국환경학회, 제26권 제4호, pp.134~140.
- 박영주·김호중·장석철·안병하(1999), "차량위 치과약을 위한 위성항법/개인이동통신/인터넷의 통합시스템 구현 및 분석", 대한교통학회지, 제17권 제3호, pp.7~20, 대한교통학회.
- 서울지방경찰청(1997), "서울특별시 첨단교통통신 시스템 시범설치공사 준공도면".
- 서울지방경찰청(1999), "신신호시스템 평가 및 감리 연구".
- 서울지방경찰청(2000), " '99 서울시 교통량 조사자료", p.16.
- 서울특별시(1997), "서울시 교통센서스 및 데이터 베이스 구축(코든·스크린라인 교통량조사)", p.24.
- 서울특별시(1999), "1999년도 정기속도조사자료", p.19.
- 서울특별시(1998, 2000), "서울통계연보(제38·40회)".
- 서울특별시(2000), "서울시 대기환경개선 실천 계획", pp.82~101.
- 이영인(1998), "교통정보 종합처리센터 구축방향 연구", 서울시립대학교 도시과학연구원 도시과학 논총, 제24권, pp.105~123, 서울시립대학교 도시과학연구원.
- 장영기·김동영·조규탁(1995), "면 및 이동오염 원 조사방법 개발 및 지침서 작성에 관한 연구", 환경부, p.29.
- 조강래 등(1993), "자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산출에 관한 연구", 한국대기 환경학회지, 제9권 제1호, pp.69~77, 한국대기환경학회.
- 조역수(1993), "선오염원에 의한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구(서울지역을 대상으로)", 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, pp.17~19.
- 표준과학연구원(1998), "대기오염 배출자료목록의 작성", pp.6, 20~23.
- 한국대기환경학회(1997), "서해안권역내 발전소 입지예정지역 주변의 대기오염원조사", pp.321~335, 한국전력공사.
- 환경부(1999), "21세기 자동차배출가스 관리정책 방향 대토론회", pp.3~28.
- 환경부(2000), "환경백서", p.245.
- 환경부(2000), "대기오염물질 배출량(1999)", p.103.

22. 本間正勝(1999), "自動車 交通公害 低減のための 交通管理対策の 評価 システム", 月刊交通 1999年 5月号, p.84~95.
23. Barth M., An F., Norbeck J., Ross M.(1996), "Modal Emission Modeling : A Physical Approach", Transportation Research Record Vol. 50, pp.81~88.
24. EU EEA(1997), "COPERTII Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport", users manual, EU European Environment Agency.
25. EU EEA(1999), "Atmospheric Emission Inventory Guidebook", second edition, Vol. II, Index to Methodology Chapters Ordered by SNAP97 Activity, EU European Environment Agency.
26. Joseph Kwame AFFUM(1999), "Estimating Urban Air Pollution Levels from Road Traffic in TRAMS", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 3 No. 1, pp.139~150.
27. Loibi W., Orthofer R., Winiwarter W.(1993), "Spatially Disaggregated Emission Inventory for Anthropogenic NMVOC in Austria", Atmospheric Environment Vol. 23, pp.37~48.
28. Rakesh B. Singh and Alan H. Huber(2000), "Development of a Microscale Emission Factor Model for CO for Prediction Real-Time Motor Vehicle Emissions", Journal of the Air & Waste Management Association Vol. 50, pp.1980~1991, Air &Waste Management Association.
29. Steven H. Cadle, Robert A. Gorse, Jr., Brent K. Bailey, Douglas R. Lawson(2000), "Real world vehicle emission : A summary of the ninth coordinating research council on road vehicle emission workshop", Journal of the Air & Waste Management Association Vol. 50, pp.278~291, Air &Waste Management Association.
30. Sturms P., Almbauer R., Sudy C., Pucher K.(1997), "Application of Computational Methods for the Determination of Traffic Emissions", Journal of the Air & Waste Management Association Vol. 47, pp.1204~1210, Air & Waste Management Association.
31. US EPA(1985, 1991), "Supplement A to Compilation of Air Pollution Emission Factors", Vol. II, Report US EPA AP-42, US Environmental Protection Agency.
32. Zachariadis T., Samaras Z.(1997), "Comparative Assessment of European Tools to Estimate Traffic Emissions", International Journal of Vehicle Design Vol. 18, pp.312~325.

✉ 주 작 성 자 : 박성규

✉ 논문투고일 : 2001. 4. 27

논문심사일 : 2001. 6. 4 (1차)

2001. 7. 13 (2차)

2001. 7. 26 (3차)

심사판정일 : 2001. 7. 26