

시 · 공간적 고해상도 자동차 배출량 모형의 개발

박성규[†] · 김신도 · 박기학*

서울시립대학교 환경공학과, *서울대학교 자연과학대학

Development of Vehicle Emission Model with a High Resolution in Time and Space

Seong Kyu Park[†] · Shin Do Kim · Ki Hark Park*

Dept. of Environmental Engineering, University of Seoul

*College of Natural Sciences, Seoul National University

(Received May 25, 2004; Accepted August 10, 2004)

ABSTRACT

Traffic represents one of the largest sources of primary air pollutants in urban area. As a consequence, numerous abatement strategies are being pursued to decrease the ambient concentration of pollutants. A characteristics of most of the these strategies is a requirement for accurate data on both the quantity and spatial distribution of emissions to air in the form of an atmospheric emission inventory database. In the case of traffic pollution, such an inventory must be compiled using activity statistics and emission factors for vehicle types. The majority of inventories are compiled using passive data from either surveys or transportation models and by their very nature tend to be out-of-date by the time they are compiled. The study of current trends is towards integrating urban traffic control systems and assessments of the environmental effects of motor vehicles. In this study, a model of vehicle emission calculation by using real-time traffic data was studied. Traffic data, which are required on a street-by-street basis, is obtained from induction loops of traffic control system. It is possible that characteristics of hourly air pollutants emission rates is obtained from hourly traffic volume and speed. An emission rates model is allocated with a high resolution space by using geographic information system (GIS). Vehicle emission model was developed with a high resolution spatial, gridded and hourly emission rates.

Keywords: vehicle emission model, high resolution, line source

I. 서 론

자동차는 인간의 생활에 많은 편리함과 동시에 불편함과 유해성을 주고 있다. 이 자동차의 유해성을 저감하기 위하여 교통량과 주변현황 등에 대한 정확한 파악이 필요하다.¹⁾ 특히, 서울시 등 대도시의 대기질을 개선하기 위해서는 교통공학과 대기환경측면에서 자동차에서 배출되는 배출가스의 저감을 위한 원활한 교통소통에 따른 대기오염의 저감에 대해서 구체적으로 살펴볼 필요가 있다고 생각한다. 원활한 교통흐름을 통한 연료소비의 감소와 이에 따른 배출가스의 저감을 도모함과 동시에 교통량과 교통흐름, 지형적인 영향, 기상

조건의 변화 등을 고려한 자동차 대기오염물질 배출량의 정확한 평가와 기여도를 파악하는 등의 적절한 대책이 필요하다. 최근의 추세는 도시 교통제어시스템과 자동차가 주변 환경에 미치는 영향 평가의 활용에 대한 연구가 활발히 추진되고 있다.²⁾

현재, 서울시내에서 교통관련 자료는 서울지방경찰청의 '서울시 교통량 조사자료'와 주요 도로별, 차종별 속도자료를 제공하는 서울특별시의 '정기속도조사자료'가 있다. 건설교통부에서 관리하는 고속국도, 일반국도, 지방도에 대하여 교통량을 조사 발표하는 '도로교통량통계연보' 자료를 활용할 수 있다. 또한, 서울시내에서 실시간으로 교통자료가 수집되는 것으로는 서울지방경찰청에서 운영하는 올림픽대로 잠실·여의도 구간에서의 교통량, 차종, 차속, 교통밀도 등이 수집되고 있으며, 강남구 일대의 첨단교통제어시스템의 교차로에서 통과 교통량과 속도 자료가 수집되어 원활한 교통흐름을 위하

[†]Corresponding author : Dept. of Environment Engineering, University of Seoul
Tel: 82-2-2210-2315, Fax: 82-2-2242-4962
E-mail : mincheon@chollian.net

여 교차로의 신호를 제어하고 있다. 최근에는 교통관련 자료를 수집하여 서비스를 제공하는 기업체에서 운영하는 교통정보 자료를 활용할 수 있다. 각 교통관련 기관에서 제공하는 교통자료 수집은 원활한 교통흐름의 소통을 목적으로 운영되고 있기 때문에 대기환경측면에서 자료를 활용하기에는 많은 노력과 시간이 필요한 실정이다. 도심의 자동차에서 배출되는 대기오염물질의 정확한 현황 파악과 이를 토대로 그 영향 등을 예측하기 위한 시·공간적 고해상도의 배출량 모형이 필요하다.

본 연구에서는 서울시 강남구 지역에서 생산되는 실시간 교통정보 중 교통량과 주행속도를 이용한 자동차 오염원의 배출량 산정 기법을 모색하여, 실시간으로 자동차에서 발생하는 대기오염물질의 배출량 산정 모형을 개발하고자 하였다. 또한, 배출량 모델은 확산 모델 등과 결합되어야 하기 때문에²⁾ 대상지역 강남구에서 수집되는 교통량과 속도 자료를 이용하여 확산 모델의 적용을 위한 시간단위 고해상도 배출량과 공간단위 해상도를 높이기 위해서 지리정보 시스템을 이용하여 100m×100m 격자단위로 배출량을 산정 하고자 하였다. 격자 단위로 산정한 배출량 자료를 대기오염확산모델에 적용하여 대상지역에 설치되어있는 대기오염자동 측정망 자료의 대기오염도와 비교하였다.

II. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 교통제어시스템으로부터 수집되는 실시간 교통 자료를 이용하여 자동차에서 배출되는 대기오염물질 배출량 산정 기법의 개발과 적용 가능성을 파악하였다. 서울시 강남구 지역의 실시간 제어시스템(real-time system)인 첨단교통신호시스템에서 수집되는 교통정보를 분석하여 차속과 교통량 정보 자료를 활용하여 실시간으로 자동차에서 배출되는 대기오염물질량을 산정하였다.

적용대상 지역은 도로망 형태가 격자형으로 유사하여 교통흐름 특성 또한 유사할 것으로 판단한 서울시 강남구 지역의 도로망으로 하였다. 교통 자료 수집은 2001년 5월 24일 목요일 강남구 지역의 서울지방경찰청 첨단교통제어시스템의 교통자료를 노드(node)별로 수집하여 교통 특성을 파악하였다. 공간 정보의 표현은 GIS ArcView를 이용하였다. 최종적으로 시간적으로는 시간대별로 자동차 배출량 특성을 파악하고, 공간적으로는 각 도로별, 격자별(100m×100m)로 세분하여 시·공간적 고해상도 배출량 모형을 개발하였다. 또한, 대상지역 내에 설치되어있는 자동측정망 자료의 대

기오염도와 비교하여 그 특성을 파악하였다.

III. 고해상도 배출량 산정 모형의 설정

1. 실시간 배출량 산정 모형의 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 주행 특성과 모드에 관한 정보의 수집은 현장조사, 교통제어시스템, CCTV, 교통수요모형 등을 이용하여 평가할 수 있다. 그러나, 실제 적용 시에는 자료의 부족으로 세분하여 적용하기 어렵다. 특히, 주행 자동차에 대한 자동차 연식, 도로 경사의 정도 등의 정밀한 조사 자료가 필요하다.⁴⁾

본 연구에서 활동도는 식 (1)과 같이 현재 이용 가능한 자료인 차종별 연료를 구분하여 적용하였고, 교통량은 실시간 교통량(RTTV ; real time traffic volume)을 도로별로 수집하여 각각의 도로 길이를 적용하였다. 배출계수는 식 (2)와 같이 시간대별로 수집되는 시간평균 주행속도 자료를 적용하였다. 최종적으로 본 연구에서 적용한 시간평균 주행속도 변화에 따른 자동차 배출량은 식 (3)과 같이 대기오염물질별, 차종별, 사용 연료별, 주행속도별, 도로별, 시간대별로 세분하여 산정하였다.⁵⁾

$$A_{RTTV_{v,f,s,r,h}} = \Sigma(Vol_{v,f,s,r,h}) \times (L) \tag{1}$$

$$F_{RTTV_{v,f,p,s,h}} = \Sigma F_{v,f,p,s,h} \tag{2}$$

$$E_{RTTV_{p,v,f,s,r,h}} = \Sigma Vol_{v,f,s,r,h} \times L \times F_{v,f,p,s,h} \tag{3}$$

여기서, $A_{RTTV_{v,f,s,r,h}}$: 차종별, 사용 연료별, 주행속도별, 도로별, 시간대별 활동도

$Vol_{v,f,s,r,h}$: 차종별, 사용 연료별, 주행속도별, 도로별, 시간대별 실시간 교통량 (vehicle/hr)

$F_{RTTV_{v,f,p,s,h}}$: 차종별, 사용 연료별, 대기오염물질별, 주행속도별, 시간대별 배출계수(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)

2. 대상 지역 선정 및 적용 방법

본 연구에서 대상으로 한 강남구 지역(강남대로-영동대로와 역삼로-양재대로 축)의 첨단교통신호시스템의 교통량에 따른 자동신호시스템의 설치 지역은 다양한 목적의 검지기를 설치하고, 이로부터 수집되는 자료를 직접 활용하여 현장 신호제어가 수행되고 있다. 서울시는 날로 심화되는 교통난 해소대책의 일환으로 실시간 교통신호제어시스템을 개발하여 1995년부터 서울시 강남·서초 일부지역의 61개소에 시범 설치하여 운영하다가, 2001년 1월 1일 110개소를 추가하여 171개소가 설치 운영되고 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.

서울시 첨단교통신호시스템의 검지기에서 수집되는 교통량과 속도 자료를 분리하여 시간대별 평균주행속도에 따른 배출계수와 각 도로의 길이를 고려하여 통과 교통량에 따른 대기오염물질 배출량을 산정하였다. 교통자료 수집은 서울지방경찰청 첨단교통신호시스템의 중앙컴퓨터에서 일일교통정보자료를 통해 해당 일의 교통정보 파일을 생성하여 수집하였다. 대상 일은 2001년 5월 24일(목)로 하였으며, 각 도로구간과 방향별 1개 차로의 시간대별 통과 교통량과 통과속도 자료를 분리하고, 차로 수를 곱하여 각 시간대별, 도로별, 방향별로 교통량과 평균주행속도를 산정하였다. 검지

기 교통량은 차종별로 구분되지 않기 때문에 차종별 교통량은 서울시 교통센서스 및 데이터 베이스 구축·코든·스크린라인 교통량조사⁶⁾ 자료의 차종별 교통량 혼입율과 서울시의 실측자료를 적용하여 배분·산정하였다.

차종별로 사용하는 연료와 사용연료에 따른 오염물질 배출계수가 다르게 적용되기 때문에 차종의 구분은 중요한 정보이다. 국내에서 자동차 오염물질의 배출량을 산정할 때 구분하는 차량의 종류와 같이 승용차(휘발유), 택시(LPG), 소형(15인승 이하)·중형(16~25인승)·대형(26인승 이상) 버스(경유), 소형(1톤 이하)·중형(1~3.5톤)·대형(3.5톤 이상) 트럭(경유) 등 8종으로 구분하여 각각의 배출계수를 적용하였다. 또한, 도로별 교통량과 평균속도를 적용하여 최종적으로 대기오염물질별, 도로별, 지역별로 배출량을 산정 하였다. 대상 대기오염물질은 대표적인 자동차 오염물질로서 비반응성 물질인 CO를 대상으로 하였다.⁸⁾

3. 적용 결과

조사한 교통자료를 토대로 분석한 결과 5월 24일 대상지역을 통과한 교통량은 약 1,028,897대/day로 나타났으며, 교통량이 많은 오전 첨두시간은 9~10시, 오후 첨두시간은 18~19시로 나타났다. 각 도로의 평균 통과속도는 교통량과 반비례관계를 나타내었다. 또한, 대상 지역의 평균 통과속도는 약 20~37 km/hr로 나타났으며, 통과속도가 가장 빠른 도로는 양재대로로서 평균 약 37.0 km/hr로 나타났다.

Fig. 1은 2001년 5월 24일 강남구 지역의 각 도로

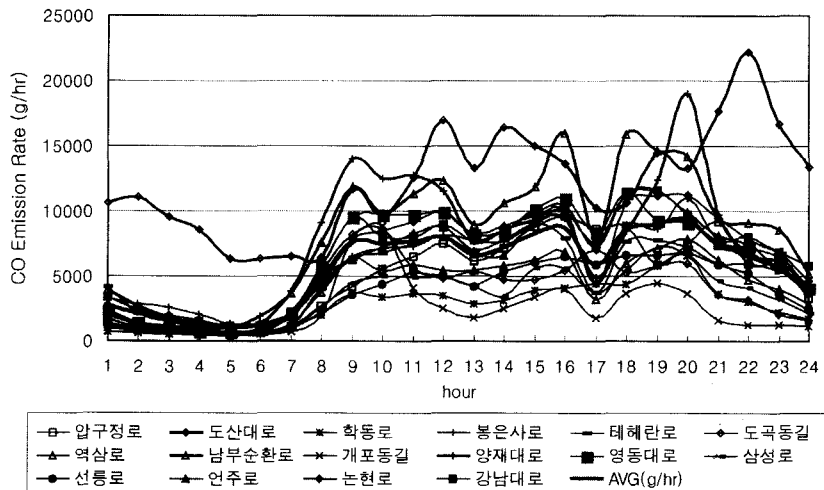


Fig. 1. Hourly variation of Emission rates of CO in Kangnam-gu area (May 24, 2001).

별 통과교통량에 의한 CO 배출량의 시간대별 변화를 나타낸 것이다. 대상지역에서 발생한 CO 시간 평균 배출량은 90,185 g/hr · km으로 나타났다. 각 도로 중 각각의 오염물질 배출량은 교통량이 많은 도산대로에서 가장 많은 것으로 나타났다. 대상지역의 2001년 5월 24일 각 도로에서 자동차에 의한 대기오염물질 배출량의 하루 중 변화를 나타낸 것으로 배출량은 자동차 통행량이 증가하는 07시를 시작으로 급격히 증가하여 오전 침투시간대인 9~10시, 오후에는 19~20시에 많은 것으로 나타났으며, 야간 시간대에 점차 감소함을 알 수 있다. 따라서, 이 통과 교통량과 통과속도 자료를 활용한다면 대상도로의 시간대별 배출특성을 파악하는데 유용하다고 판단된다. 시간대별 오염물질 배출량을 계산함으로써 배출량의 일평균에서 시간 평균 해상도를 높일 수 있어 대기오염확산모델의 입력치로 활용할 수 있게 된다.

IV. GIS를 이용한 배출량의 공간 배분과 확산 모델의 적용

1. GIS를 이용한 배출량의 공간 배분

일반적으로 선오염원의 배출량 산정시 주요 자료 유형은 도로망과 교통자료를 포함하는 공간정보가 필요하다.⁹⁾ 본 연구에서는 지리정보 시스템(GIS) 및 데이터 베이스를 이용하여 기초 자료의 관리 및 분석 시스템을 구축하였다. 공간정보는 GIS ArcView를 이용하여 데이터베이스를 구축하여 분석할 수 있도록 구성하였다.¹⁰⁾ 사용되는 공간정보 자료로는 도로망 코드, 도로명, 길이, 차선 등을 포함하는 도로망과 대상지역의 행정구역도, 첨단교통제어시스템의 위치도, 그리고 격자의 ID 등의 자료를 수집 구축하였다.

대상지역의 실시간 자동차 배출량은 식 (1)~식 (3)의 모형식을 적용하여 시간단위 배출량을 산정 하였다. 시간 단위 고해상도 배출량을 공간적으로 분배하기 위하여 GIS ArcView를 이용하였으며, 대상지역의 행정구역도, 도로망도, 첨단교통제어시스템 위치도 등을 Fig. 2 와 같이 나타내었다. 대상지역을 100m×100m의 격자 64×85개로 하였으며, 이 격자 중 도로가 통과하는 격자는 총 1,023로 계산되어 발생원 격자로 하였다. 대상 지역에서 첨단교통제어시스템의 도로를 발생원으로 하여 격자단위 배출량은 식 (4)와 같이 계산하였다. 각 계산과정에서 해당 차종 및 도로별 교통량과 통과속도, 대기오염물질별로 적용하면, 대기오염물질별로 시간대별, 배출량 자료를 산정할 수 있으며, 이 과정의 개념도는 Fig. 3과 같다.

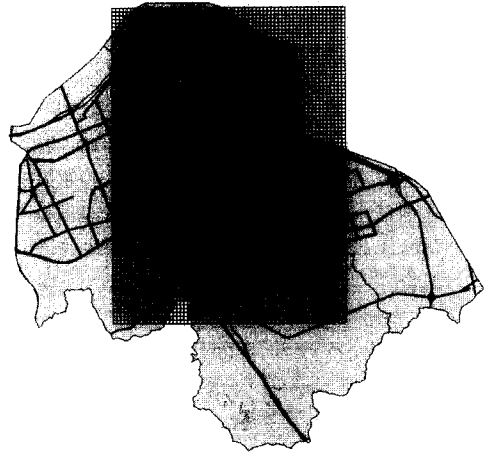


Fig. 2. Target area and road grid for spacial analysis.

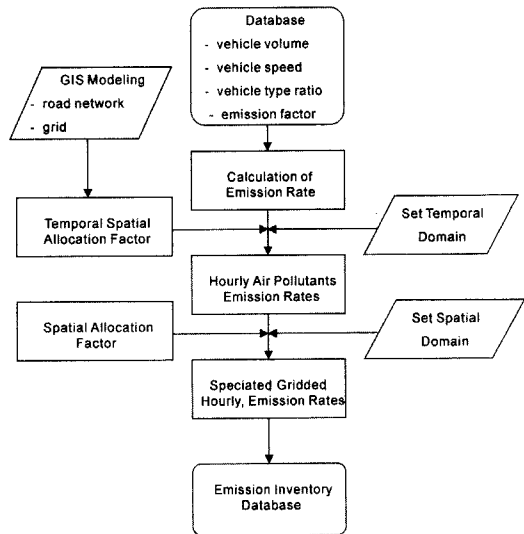


Fig. 3. Flowchart of vehicle emission model with a high resolution in time and space.

$$E_g = E_{road} \times L_g \times \frac{1km}{1000m} \times \frac{1}{100m \times 100m} \times \frac{1hr}{3600s} \quad (4)$$

여기서, E_g : 격자(grid)별 배출량(g/s · m²)
 E_{road} : 각 도로(road)별 배출량(g/km · hr)
 L_g : 해당 격자 내의 도로길이(m)

또한, 본 연구에서는 첨단교통제어시스템의 도로망의 도로 길이, 차선, 교통량, 통과속도 등 각종 자료를 통합 및 분석하고, 행정구역도 및 격자망도와의 상호관계 분석 등 일련의 과정을 GIS 모형화를 통해 자동화하여

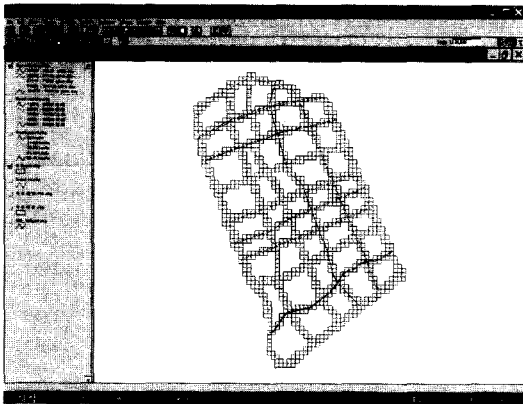


Fig. 4. Emission rates of spacial allocation with a high resolution space.

자료를 생성하고, 저장하여 배출량 모형을 확산모델에 직접 이용할 수 있도록 하였다.

격자단위 배출량 모형의 결과는 차종별, 오염물질별, 시간대별, 격자별로 자료가 산출되므로 매우 많은 자료를 생성하게 된다. 이들 자료를 효율적으로 관리하고 필요한 자료를 활용하기 위해서는 효율적인 자료관리 체계(data base management system)의 구축이 필수적이다.^{11,12)} 이 자료 체계로부터 오염물질별, 차종별 배출 기여도 분석, 확산 모델의 적용을 위한 자료의 추출 및 생성 등이 쉽게 가능해야 한다.

따라서, 본 연구에서는 도로별, 격자 단위별 교통특성과 배출량의 공간분포 특성 파악할 수 있도록 하였다. 또한, 이를 활용하여 대기오염 확산모델에 적용하기 쉽게 대기오염물질별, 시간대별, 격자단위별로 배출량을 산정 하였다. Fig. 4는 격자별 CO 배출량 분포 특성을 나타낸 것이다. 이 격자별 배출량은 대기오염물질 배출량의 공간적 분포 특성을 나타낼 뿐만 아니라 대기오염확산 모델의 입력 자료로 직접 이용되게 된다.

2. 확산 모델링의 적용 및 평가

시간 단위 및 격자 단위 배출량 모형의 적합성을 파악하기 위하여 대기오염확산모델 중 ISCST3 모델에 배출량 자료, 기상자료, 지형자료를 적용하여 모델을 수행하였다. 모델을 수행한 후 대상지역 내의 강남구 대치 1동 대기오염자동측정망자료의 대기오염도와 비교하여 모델치와 실측치를 비교 검토하였다.

일반적으로 자동차에서 배출되는 대기오염물질이 주변 지역에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 선오염원을 대상으로 하는 line source model을 적용해야 하지만, 대상지역이 6.3 km×8.4 km으로 선오염원 모델에

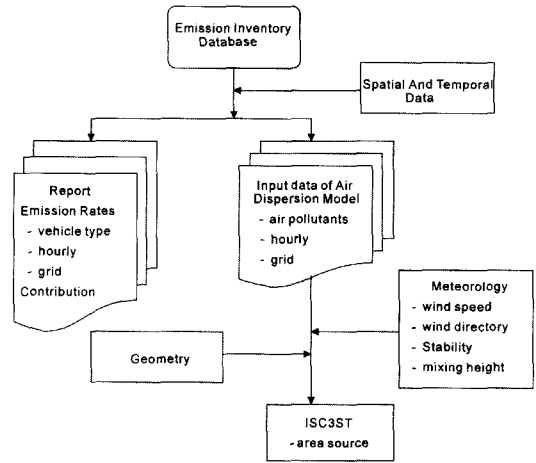


Fig. 5. Application of emission model results.

적용하기에는 공간적 제한사항이 따르게 된다. 따라서, 이 선오염원 배출원을 공간적 해상도를 100 m×100 m 격자별로 산정 하여 ISCST3 모델에 적용하여 평가하였다. 모형 적용 대상과 수용점 격자망은 강남지역의 첨단교통제어시스템이 설치되어 운영되고 있는 지역을 중심으로 모델링 하였다. 대상지역의 배출량을 GIS를 활용하여 격자별로 공간 배분하여 산정하였으며, 배출량 산정 결과의 활용도는 Fig. 5와 같다.

모델링에 필요한 입력자료 중 배출량 자료는 GIS에서 생성된 시간대별 격자별 시간단위 배출량 값을 이용하였다. 기상 자료는 2001년 5월 24일 대기안정도와 혼합고 계산에 필요한 자료는 서울기상청(측정소 번호 108번) 자료를 이용하였으며, 풍향·풍속 자료는 서울 강남구 삼성3동의 자동기상관측소(측정소 번호 401번) 자료를 이용하였다. 풍속 범위는 0.2~4.2 m/s이었으며, 평균 풍속은 2.2 m/s로 나타났다. 혼합고는 야간 시간대에 최소 약 39 m에서 주간 시간대에 최대 약 1453 m로 증가 하였으며, 평균 혼합고는 약 358.5 m로 나타났다. 대기안정도는 야간에는 극히 안정하였으며, 주간에는 불안정한 조건을 나타내었다.

대상지역의 실시간 교통량 자료를 이용한 대기오염물질 배출량 산정 결과를 검증하기 위하여 ISCST3의 예측치와 대상지역 내에 설치되어있는 대기오염자동측정망(대치1동)에 의한 실측치를 대상으로 시간대별 평균 농도 변화 및 공간적 평균 농도에 대한 분석을 수행하였다. 좀더 정확한 분석을 위하여 많은 지점의 자료를 활용하여야 하지만, 도로변의 많은 실측치를 활용하기에는 현실적으로 많은 어려움이 따르기 때문에 측정망 자료를 이용하여 개발한 배출량 모형을 검증하였다.

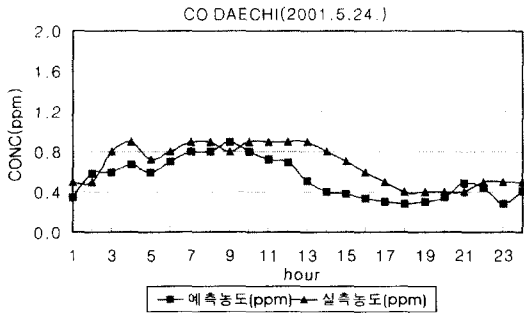


Fig. 6. Hourly variation of observed and predicted concentration of CO in Kangnam-gu area.

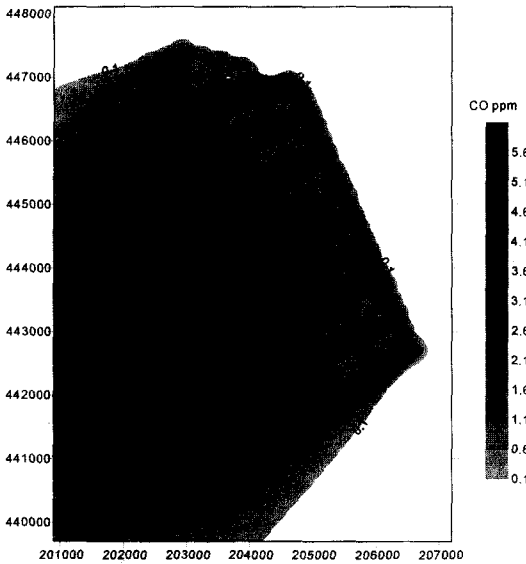


Fig. 7. Spatial distribution of predicted peak time 09:00 CO (May 24, 2001).

비교 대상오염물질은 CO로 하였으며, 모델 예측치와 실측치간의 시간대별 변화 양상은 각각 Fig. 6과 같다. 실측치와 예측치의 비교에서 두 자료 모두 대기오염도가 교통량과 직접적으로 비례하지는 않았다. 이는 자동차에서 배출된 대기오염도는 배출량 뿐만 아니라 기상 조건과 기타 상황에 따라 많은 영향을 받는 것으로 판단된다. 예측치는 오전과 오후의 교통량 첨두시간대에 높은 농도를 나타내는 교통의 영향을 직접적으로 반영되는 것으로 나타났다. CO 예측치의 오전 교통량 첨두 시간대의 공간적 분포도는 Fig. 7과 같다. 공간적 분포는 발생원이 있는 도로를 중심으로 높은 농도를 나타내었고, 교통량이 많은 도산대로가 가장 높은 농도를 나타내었다.

따라서, 본 연구에서 제시한 실시간 배출량 모형이 기존의 배출량 모형보다 시·공간적 해상도가 높아 대기오염 확산모델 등에 적용하여 좀 더 정확한 도로변의 대기오염 현황파악을 위한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

서울시 등 대도시에서 자동차에 의한 대기오염의 기여도가 증가하고 있는 시점에서 자동차로부터 발생하는 대기오염물질량을 시·공간적 고해상도의 배출량 산정을 통하여 대기오염에 미치는 영향과 그 기여도 파악이 필요한 실정이다. 따라서, 정확한 자동차 오염물질 배출량 산정을 위한 방법으로 대상지역의 교통 특성을 파악하고, 대상지역에 설치되어있는 첨단교통신호 시스템의 교통 자료 중 시간대별 통과 교통량과 통과 속도를 이용하여 시간대별 자동차 배출량 모형을 설정하고, 산정한 배출량을 확산모델에 적용하여 배출량 모형의 적정성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

실시간 교통정보 중 통과교통량과 통과속도 자료를 활용한다면, 대상도로의 시간대별 배출특성 파악이 가능하며, 이 시간대별 대기오염물질 배출량을 산정함으로써 배출량을 시간 단위의 고해상도를 얻을 수 있었다. 또한, GIS를 활용하여 도로별, 격자 단위별 교통특성과 배출량의 공간분포 특성 파악할 수 있도록 하였으며, 이를 활용하여 대기오염 확산모델에 적용하기 용이하게 대기오염물질별, 시간대별, 격자단위별로 배출량을 산정 하였다. 이 격자별 배출량은 대기오염물질 배출량의 공간적 분포 특성을 나타낼 뿐만 아니라 대기오염확산 모델의 입력 자료로 직접 이용할 수 있다.

대상지역의 실시간 교통량 자료를 이용한 대기오염물질 배출량 모형의 적정성을 평가하기 위하여 가우시안 확산모델을 이용한 예측치와 실측치를 비교한 결과 양호한 상관성을 나타내었다. 따라서, 교통분야에서 활용되고 있는 실시간 교통정보를 이용한다면, 대도시 도심의 자동차에서 배출되는 대기오염물질의 배출량 특성을 파악할 수 있고, 시·공간적으로 고해상도의 배출량 산정 모형에 활용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Ambrosino, G. et al. : A modeling framework for impact assessment of urban transport systems. *Transportation Research, Part D*(4), 73-79, 1999.

2. Don Pickrell : Cars and clean air: A reappraisal. *Transportation Research, Part A*(33), 527-547, 1999.
3. Salles, J. *et al.* : Mobile source emission inventory model. application to paris area. *Atmospheric Environment*, **30**(12), 1965-1975, 1996.
4. Marsden, G., Bell, M. and Reynolds, S. : Towards a real-time microscopic emissions model. *Transportation Research, Part D*(6), 37-60, 2001.
5. 박성규, 김신도, 이영인 : 자동차 대기오염물질 산정 방법론 설정에 관한 비교 연구(강남구의 실시간 교통량 자료를 이용하여). *대한교통공학회지*, **19**(4), 35-47, 2001.
6. 서울특별시 : 서울시 교통센서스 및 데이터 베이스 구축(코든 · 스크린라인 교통량조사), 1997.
7. 한국에너지기술연구원 : 자동차 오염물질 배출량 산정연구(제2부 : 이동오염원 배출계수 산출을 위한 배출가스 시험). 7-8, 서울, 1997.
8. Kourtidis, K. A. *et al.* : Evaporative traffic hydrocarbon emissions, traffic CO and speciated HC traffic emission from the city of Athens. *Atmospheric Environment*, **33**, 3831-3842, 1999.
9. Jian Dail, David M. Rocke : A GIS-based approach to spatial allocation of area source solvent emissions. *Environmental Modeling & Software* **15**, 293-302, 2000.
10. ESRI : ArcView GIS 3.2a, Environmental System Research Institute, Inc, 1996.
11. Rakesh B. Singh and Alan H. Huber : Development of a microscale emission factor model for CO for prediction real-time motor vehicle emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association* **50**, 1980-1991, 2000.
12. Xiugang, Li. *et al.* : GIS based map overlay method for comprehensive assessment of road environmental impact. *Transportation Research, Part D*(4), 147-158, 1999.