

■ 論 文 ■

# 도로환경요인이 도로변 대기오염에 미치는 영향분석

Effects of Road and Traffic Characteristics on Roadside Air Pollution

조 혜 진

(한국건설기술연구원 책임연구원)

최 동 용

(부산광역시청 교통운영과 공무원)

## 목 차

- I. 서론
- II. 선행 연구 고찰
- III. 대기오염 배출량 예측 모형 구축
  - 1. 모형 정립
  - 2. 자료수집 및 대상구간 특성
  - 3. 환경특성과 대기오염 상관분석
- 4. 모형 추정 결과 분석
- IV. 모형 오차분석
  - 1. 오차 분석 데이터
  - 2. MAPE를 사용한 오차 평균
- V. 결론 및 향후연구과제  
참고문헌

Key Words : 대기오염, 대기질, 대기질예측모형, 도로환경요인, 도로변대기오염측정망  
 Air Pollution, Air Quality, Air Quality Prediction Model, Road Characteristics, Roadside  
 Air Quality Measurement Network

## 요 약

대기오염 물질 배출량 중 도로이동오염원에 의한 배출량은 다른 오염원에 비해 월등히 높은 편이나 관련 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 교통량, 속도 및 기타 기상 조건의 실시간 자료와 도로기하구조와 같은 도로특성인자를 반영하여, 대기오염 물질 배출에 도로환경요인이 미치는 영향을 분석하였다. 서울시의 실시간 대기오염 데이터와 교통량, 도로관련 데이터를 수집하여 대기오염 물질별 오염배출량 예측 회귀모형식을 구축하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 교통량이 증가할수록 오염물질의 측정량은 증가하며, 속도가 증가할수록 측정량은 감소한다. 둘째, 풍속, 온도, 습도가 증가할수록 측정량은 감소한다. 셋째, 교차로 형태가 복잡할수록 측정량은 감소한다. 예측모형을 검증하기 위하여 예측치와 실측치 데이터를 비교 분석한 결과 총 7곳의 도로변대기오염 측정망 중 실측치와 예측치가 가장 부합하는 측정망은 청계 4가 측정망인 것으로 나타났다. 본 연구는 실시간 대기오염배출량 데이터와 교통량 데이터, 도로 환경 특성데이터를 이용하여 예측모형을 구축하여 현실적인 도로환경요인이 대기질에 미치는 영향을 설명하였다는 데 의의가 있다.

While air pollutants emission caused by the traffic is one of the major sources, few researches have done. This study investigated the extent to which traffic and road related characteristics such as traffic volumes, speeds and road weather data including wind speed, temperature and humidity, as well as the road geometry affect the air pollutant emission. We collected the real time air pollutant emission data from Seoul automatic stations and real time traffic volume counts as well as the road geometry. The regression air pollutant emission models were estimated. The results show followings. First, the more traffic volume increase, the more pollutant emission increase. The more vehicle speed increase, the more measurement quantity of pollutant decrease. Secondly, as the wind speed, temperature, and humidity increase, the amount of air pollutant is likely to decrease. Thirdly, the figure of intersections affects air pollutant emission. To verify the estimated models, we compared the estimates of the air pollutant emission with the real emission data. The result show the estimated results of Chunggae 4 station has the most reliable data compared with the others. This study is differentiated in the way the model used the real time air pollutant emission data and real time traffic data as well as the road geometry to explain the effects of the traffic and road characteristics on air quality.

## I. 서론

산업의 발달과 도시의 광역화 및 인구의 증가에 따라 자동차 등록 대수는 매년 증가추세에 있으며 자동차 교통은 도시대기오염의 주범으로 이러한 이동 오염원에 의한 대기오염 문제는 심각한 사회적 문제로 대두되고 있다. 우리나라의 총 대기오염 물질 배출량중 도로 이동 오염원에 의한 배출량 비율은 34%로 에너지 산업 연소, 비산업 연소, 제조업 연소, 생산공정, 비도로 이동오염원, 폐기물 처리등과 같은 다른 오염원에 비해 월등히 높은 편이다.

하지만 자동차 오염물질 배출의 허용기준 및 대기오염의 규제와 같은 법적인 규제의 발달에 비해 가장 기본이라고 할 수 있는 이동오염원인 자동차에 대한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 기초자료와 연구는 미흡한 실정이다.

이와 관련하여 자동차 등 이동오염원에 대한 대기보전정책을 효율적으로 수립하고 추진하기 위해 환경 관련국책연구기관과 산·학에 걸쳐 1990년 이후 정기적으로 자동차 등 이동 오염원에 대한 오염 물질 배출량 산정 및 기타 관련 연구를 진행하고 있다.

지금까지 진행된 대부분의 연구는 대기오염의 자동차 배출계수를 얻기 위하여 정지된 차량에 부하를 주어 차종별, 배기량별, 엔진별로 배출 계수를 산정하고 있다. 이렇게 자동차의 배출계수만으로는 자동차 교통으로 인해서 발생하는 대기오염의 오염원에 대해서는 예측할 수가 있다. 그러나, 도로주행상에서 정체나 신호대기로 인한 대기오염발생량의 차이, 교차로의 간격, 도로의 규모, 신호교차로의 특성 등 도로네트워크의 특성에 따라 자동차교통에서 발생한 대기오염물질이 확산되는 등 대기질에 미치는 영향을 파악하는데는 한계가 있다. 이러한 교차로의 현실적인 도로조건과 더불어서 대기오염의 발생과 확산에 영향을 미치는 기상조건을 반영하지 못하기 때문에 현실적인 배출량을 제시하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 기존의 자동차 엔진의 종류, 자동차의 크기와 같은 자동차 배출계수 예측모형과는 달리 교통량, 속도 및 기타 기상 조건과 같은 실제로 도로의 환경요인이 대기오염의 발생 및 확산에 미치는 영향을 설명하기 위하여 도로기하구조와 같은 도로특성인자를 반영하고, 교통량, 대기오염배출량 등의 실시간 실측자료를 활용하여 대기오염 물질 배출에 도로환경요인이 미치는 영향을 분석하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 기존

의 자동차 대기오염 물질 배출량 산출에 관한 방법을 검토한 후, 실시간 시간별 교통량, 속도 및 각 대기오염물질의 농도 및 기하구조와 같은 도로특성 등을 반영한 대기오염 예측 모형식을 구축하고자 한다.

## II. 선행 연구 고찰

자동차에서 배출되는 오염물질을 정확히 파악하기 위해서는 생산연도, 자동차의 사용기간, 평균차속과 같은 교통조건, 엔진의 온도, 환경조건, 연간 자동차의 주행거리 및 자동차 보유대수 등이 영향을 미치기 때문에 정확한 오염물질배출량을 파악하는 것은 쉽지 않다.

기존 선행연구에 따르면 자동차에서 배출되는 대기오염물질량을 산정하는 방법으로 차종별 일일평균주행거리를 이용하는 방법, 교통수요모형(통행배분모형)을 이용하는 방법, 실시간 교통량을 이용하는 방법 등이 있다.

조강래(1993)는 차종별 일일주행거리를 이용하여 배출량을 산정하였다. 대상년도의 차종별 오염물질별 배출량을 산출하고 규제년도별, 주행거리별 보유 구성비를 이용하여 차종별 배출계수를 산출하였다. 또한 전체 자동차의 배출계수를 산정하고 자동차 보유대수 및 일일주행거리를 곱하여 전체 자동차의 오염물질 배출량을 산정하였다.

김운수(1999)는 교통수요모형을 이용하는 방법을 사용하여 환경주행세 부과 시 시행전후 배출량의 변화에 대한 연구를 수행한바 있다. 엄정화(2001)는 기존의 차종별 일일평균주행거리를 이용하여 자동차 대기오염물질 배출량을 산출하는 방법의 한계를 개선하기 위한 방안으로 도시전체의 자동차 대기오염물질 배출량을 통행배분모형을 이용하여 추정하는 방법을 사용하였다.

박성규(2001)는 실시간 통과 교통량과 통과 속도 자료를 이용하여, 일일평균주행거리에 의한 배출량 산정과 실시간 교통량 자료를 이용한 산정방법의 결과를 비교·분석하였다. 박성규(2000)는 한국도로공사의 실시간 교통량을 이용하여 대기오염 배출량 산정과 대기 오염도를 예측하였으며, 교통량에 따른 NO<sub>2</sub> 배출량을 산정하고 대기오염확산모형을 이용하여 요금소 부스 내·외부의 NO<sub>2</sub> 농도의 민감도를 평가하였다.

대기질 모니터링 및 대기오염배출관련 연구는 많으나 도로교통과 관련해서 도로에서 발생한 대기질을 연구하는 연구는 한계가 있다. 도로에서 교통량으로 인해서 발생하는 대기오염물질을 예측하는 모형으로 가장 대표적

인 연구는 Eernes 등(1993)의 연구이다. 이 연구에서는 도로에서 발생하는 도로오염물질을 예측하는 CAR Model(Calculation of Air Pollution from Road Traffic)을 개발하였다. Car Model에서는 도로의 폭, 주변 토지이용, 도로의 네트워크, 도시의 규모 등을 고려해서 도로로 인해서 발생하는 대기오염물질별 예측모형을 개발하였다. 특히 이 모형에서는 도로의 제한속도와 도로의 주행속도 등이 대기오염물질 발생 및 확산에 미치는 영향도 예측하였다. 그러나 이모형은 도시계획적인 측면에서 도로주변의 토지이용, 즉 주변토지이용을 단순히 분류하고 원단위를 사용하여 대기오염물질을 예측한 것으로 실제 복잡한 도로형태의 특성 및 네트워크의 특성, 그리고 교통량과 속도 등 교통특성 등을 반영하지 못하고 있다.

국내에서는 홍민선 등(1993)이 신호교차로에서 발생하는 지체는 연료소모와 대기오염을 유발시킨다는 가정하에 도로의 신호교통시스템을 고려한 대기오염물질 배출량을 예측하였다. 이 연구에서는 현장조사 자료를 활용하여 Transyt-7F를 사용해서 시뮬레이션을 통해서 교차로의 지체와 연료소모, 총주행거리 등을 예측하고 대기오염물질 배출량 변화를 설명하였다.

위에서 살펴본 바와 같이 도로로 인한 대기오염 배출 예측관련 연구는 매우 미흡한 편이다. 본 연구는 대기오염 배출량 산정 연구방법 중 실시간 교통량을 이용하는 방법과 유사하지만, 기존의 대기오염 배출계수를 사용하지 않고 축적된 실시간 대기오염 데이터와 실시간 교통량 자료를 이용하여 새로운 모델을 개발하고자 한다. 또한, 도로주변의 토지이용이나 신호교차로의 신호대기와 같은 특성을 고려한 연구는 있었으나, 도로특성과 교통특성이 대기오염배출에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 도로의 형태, 네트워크의 특성, 교통량과 속도, 그리고 대기오염배출량에 영향을 미치는 기상관련 인자를 함께 고려하여 도로환경이 대기오염배출에 미치는 영향을 설명하고자 한다.

### III. 대기오염 배출량 예측 모형 구축

#### 1. 모형 정립

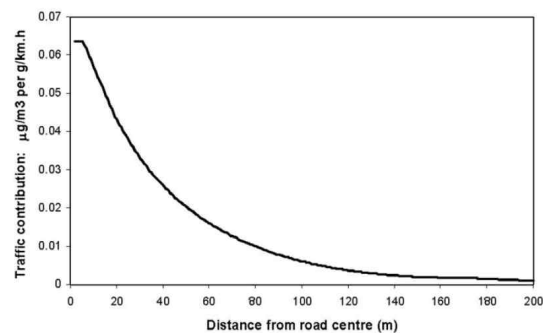
환경부에서 실시하는 대기오염 측정망중 도로는 일반 대기오염측정망중 도로변 측정망에 속하며 환경부 관련 규정에 도로변의 대기오염 측정항목을 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>,

CO, PM<sub>10</sub>, 풍향, 풍속, 온도는 필수 측정항목으로 Pb, PM<sub>2.5</sub>, HC, 교통량은 필요시 추가할수 있는 측정항목으로 규정되어 있다(환경부, 2006). 본 연구에서는 대기오염 예측모형은 환경부에서 제시한 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>의 5개 대기오염항목을 종속변수로 선정하여 다섯 가지 대기오염별 모형을 추정하였다.

대기오염배출을 예측하는 모형의 설명변수는 교통특성인자변수와 도로특성인자변수, 그리고 기상특성인자변수로 구성하였다. 각 대기오염물질별 배출량을 예측하기 위하여 설명변수로는 교통특성인자는 교통량, 속도와 도로특성인자는 차로수, 영향권, 교차로형태, 기상특성인자는 풍속, 온도, 습도 변수로 구성하였다. 도로특성인자 중 교차로의 형태를 직선, 3지, 4지, 5지 교차로 항목으로 구분하여 더미변수형태로 적용하였다.

교통특성인자 중 영향권을 선정한 이유는 대기질은 대기오염물질이 배출된 후 도로상의 공간에 따라서 대기질의 확산정도가 다르기 때문에 이를 설명하기 위함이다 도로의 영향권은 측정소의 위치가 직선구간에 위치할 경우 측정소와 직각으로 교접하는 도로의 중앙선으로부터 반경 200m 범위내 도로면적으로 정의하였으며, 측정소가 교차로 구간에 위치할 경우 교차로의 정중앙으로부터 반경 200m 범위내의 도로면적으로 정의하였다. 이러한 영향권의 범위를 상기와 같이 정의한 근거는 영국의 도로 및 교량 설계편람(DMRB, 2004)에서 기존 연구에 근거하여 차량에 의해 오염물질이 발생한 후 발생한 오염물질이 영향을 미치는 확산 범위를 도로중앙으로부터 약 200m까지로 규정하고 있기 때문이다.

교통특성 설명변수로 교통량과 속도를 함께 고려한 이유는 교통량이 대기오염물질 배출량의 증감에 영향을 미치며, 차량의 주행속도도 대기오염물질 배출량의 증감에 영향을 미치기 때문이다.



<그림 1> 도로의 오염물질 확산범위(DMRB, 2004)

도로특성변수로 차로수 및 영향권을 규모를 고려한 이유는 차로수와 영향권 규모에 따라 바람길의 규모가 결정되고 이에 의해 대기오염물질의 확산에 영향을 미치기 때문이다.

기상특성변수의 경우 풍속은 오염물질이 확산되는 속도에 영향을 미치고 온도는 온도의 증감에 따라 대류 속도에 영향을 미쳐 오염물질의 확산되는 정도가 다르고 이러한 대류속도에 의해 대기오염 측정망에서 측정된 관측값에 영향을 미치기 때문이다. 습도는 오염물질과 습기와의 흡착량의 차이에 의해 대기오염 측정망에서 측정된 관측값에 영향을 미치기 때문이다. 교차로의 형태에 따라 대기오염 물질의 측정값이 달라질 것으로 예상되어 교차로의 형태를 더미변수로 추가하였다.

2. 자료수집 및 대상구간 특성

본 연구에서는 실제 대기오염물질 배출량 자료를 사용하였다. 서울시 주요 도로 중 도로변 대기오염측정망이 설치되어 있는 7개 대기오염측정소의 실시간 대기오염 데이터와 풍속, 온도, 습도로 구성되는 실시간 시간별 기상자료를 수집하였다. 교통량 및 속도관련 데이터는 대기오염 측정소의 위치와 가장 근접한 위치의 실시간 교통량과 속도 정보를 수집하였다 (<표 1> 참조). 분석 대상자료는 <표 1>과 같이 분석대상자료의 단위를 그대로 적용하되, 교통량 자료의 경우 다른 변수의 자료크기를 고려하여 log 값을 취하여 사용하였다.

도로변 대기오염 측정망 위치와 주변 교차로 유/무(형태) 및 교통량·속도 적용 지점은 <표 2>와 같다.

<표 1> 분석 대상 자료

항목		기간 및 주기	위치
대기 오염 물질	SO <sub>2</sub> (ppm)	2007년 1월 1일~12월 31일, 시간별 측정 자료	도로변 대기오염 측정망 중 7개소(신촌, 청계4가, 서울역, 동대문, 청량리, 영등포 및 신사)
	O <sub>3</sub> (ppm)		
	NO <sub>2</sub> (ppm)		
	CO(ppm)		
	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )		
기상	풍속(m/s)		
	온도(°C)		
	습도(%)		
도로	교통량(log'대/시)	-	대기오염 측정소 위치와 가장 인접한 도로
	속도(km/h)		
	차로수(차로)		

<표 2> 대기오염 측정소 위치 및 분석교차로의 특성

도로변 측정망	측정망 위치	교차로 유/무 (형태)	교통량·속도 적용 지점
신촌	마포구 노고산동 31-6 (우리은행 앞)	유 (5지)	연희IC (사천교↔연세대)
청계천 4가	중구 주교동 125 (남강빌딩 앞)	유 (4지)	을지로3가 (을지로입구↔을지로4가)
서울역	용산구 동자동 43 (서울역전 식당앞)	무 (직선)	퇴계로 입구 (서울역↔남대문시장)
동대문	중구 을지로 7가 135-5 (동대문운동장 지하철사거리)	유 (4지)	동대문 (신설동↔동대문)
청량리	동대문구 청량리동 746 (기업은행 앞)	유 (3지)	중랑교 (상계동↔장인동)
영등포	영등포동 4가 66 (서울은행 앞)	유 (4지)	서울교 남단 (영등포↔여의도 광장)
신사	강남구 논현동 (중앙산부인과 앞)	무 (직선)	고속터미널 (논현동↔이수교)

3. 환경특성과 대기오염 상관분석

대기오염배출량 예측을 위해서 종속변수와 설명변수의 관계, 설명변수간 관계 등을 알아보기 위하여 교통량, 속도, 차로수, 풍속, 온도, 습도 등의 독립변수와 각 오염물질인 종속변수간의 상관 분석을 실시하였다.

분석 결과, 교통량변수는 모든 오염물질에 대해 양의 상관관계를 가지며 이 중 NO<sub>2</sub>(0.413)가 타오염물질에 비해 비교적 강한 양의 상관관계를 가짐을 알 수 있었다. 속도의 경우 SO<sub>2</sub>(0.061), CO(0.129), PM<sub>10</sub>(0.021)의 오염항목에 대해 양의 상관관계를 가지며, O<sub>3</sub>(-0.056), NO<sub>2</sub>(-0.043)의 오염 항목에 대해 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

풍속의 경우 O<sub>3</sub>(0.301)의 오염항목에 대해서만 강한 양의 상관관계를 가지며 타 오염항목의 경우 음의 상관관계를 가진다. 온도의 경우 O<sub>3</sub>(0.298)의 오염항목에 대해서 강한 양의 상관관계를 가지며, 타 오염항목에 대해서는 비교적 강한 음의 상관관계를 가짐을 알 수 있다. 습도의 경우 모든 오염항목에 대해 음의 상관관계를 가지고 있으며, SO<sub>2</sub>(-0.216), O<sub>3</sub>(-0.253), NO<sub>2</sub>(-0.240)의 경우 특히 강한 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

독립변수간의 상관분석 결과를 종합해 보면, 교통량-속도(-0.329), 교통량-차로수(0.303), 속도-영향권(-0.313), 차로수-영향권(0.303)에 대해 강한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

4. 모형 추정 및 결과 분석

도로환경요인이 대기오염 물질배출에 미치는 영향을 예측하기 위하여 대기오염항목별로 오염배출량을 예측하는 회귀모형을 추정하였다. 모형 추정결과 속도와 영향권에 대한 계수값의 부호가 전반적으로 유의하지 못하였다. NO<sub>2</sub> 모형의 경우 설명력이 가장 높게 추정되었으나, 차로수에 대한 계수값의 부호가 유의하지 못하였다. 이는 차로수와 영향권간에 강한 상관관계가 있기때문인 것으로 해석할 수 있다. 따라서 독립변수로 사용하였던 도로특성인자 중 차로수를 제외하고 모형을 재추정하였다. 최종 추정한 모형식은 식(1)과 같다.

$$f(x) = \{x_{vol}, x_{speed}, x_{ws}, x_{temp}, x_{hum}, x_{area}, d_1, d_2, d_3\} \quad (1)$$

- $x_{vol}$  : 교통량
- $x_{speed}$  : 차량 속도
- $x_{ws}$  : 풍속
- $x_{temp}$  : 온도
- $x_{hum}$  : 습도
- $x_{area}$  : 영향권
- $d_1$  : 3지 교차로
- $d_2$  : 4지 교차로
- $d_3$  : 5지 교차로

각 대기오염 물질별 대기오염예측 모형을 추정하였다. 모형별 모형 설명력(R<sup>2</sup>)은 전반적으로 최초 모형과 비슷한 0.02~0.30의 분포를 보이는 것으로 나타났다. O<sub>3</sub> 모형과 PM<sub>10</sub>의 모형을 제외한 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO 모형은 파라메타의 부호가 적정하고 전반적으로 계수값과 t통계량이 유의한 것으로 나타났고 이 중 PM<sub>10</sub> 모형의 설명력이 가장 낮은 것으로 나타났다.

O<sub>3</sub>와 PM<sub>10</sub>의 모형의 설명력이 상대적으로 낮은 이유는 다음과 같다. O<sub>3</sub>가 자동차에 의해서 직접적으로 생성된 물질이 아닌 2차생성물이기 때문이다. PM<sub>10</sub>은 우리

나라의 지리적 위치에 따른 황사현상 및 계절적인 영향을 많이 받기 때문에 상대적으로 도로환경이 오염물질 배출에 미치는 영향을 적은 것으로 해석할 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 O<sub>3</sub>와 PM<sub>10</sub>의 모형은 제외하고 도로 이동오염원에 의한 대기오염 물질 중 CO와 NO<sub>x</sub>가 전체의 86%를 차지하는 점을 감안하여 CO의 모형과 NO<sub>2</sub>의 모형과 SO<sub>2</sub>의 예측모형을 추정하였고 그 결과는 표 3과 같다.

도출된 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO모형 추정결과를 살펴보면 교통량이 증가할수록 오염물질의 측정량은 증가하는 것으로 나타났고 이는 일반적인 상식과 부합하는 결과이다. 속도의 경우 속도가 증가할수록 오염물질은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 임철수(2004)등 많은 연구 결과에서 밝힌바 있으며, NO<sub>x</sub>의 경우 일부차종에 한해 65.4km의 속도를 정점으로 그 이상의 속도일 때 배출량은 증가하지만, 본 연구에서의 사용한 데이터는 도시부 신교통차로의 데이터로 평균속도가 46.6km/h이기 때문에 모형의 결과는 속도가 증가할수록 오염물질은 감소하는 것으로 나타났다.

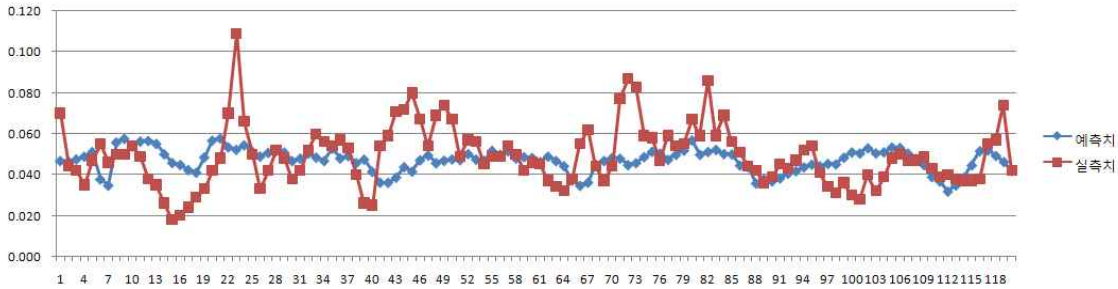
기상인자에 관련된 계수값을 살펴보면 세 가지 결과를 얻을 수 있다. 첫째, 풍속이 높을수록 대기오염물질은 줄어드는 것으로 나타났고 이는 풍속이 대기오염물질의 활발한 확산에 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다. 둘째, 온도가 높을수록 대기오염측정이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 온도가 높을 때 대류현상이 활발히 일어나 대기오염 확산에 영향을 미치고 따라서 측정량이 줄어드는 것으로 해석할 수 있다. 셋째, 습도가 높을수록 오염물질량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 습기가 높을 경우 오염물질과 습기와의 흡착가능성이 커지면서 지면으로 하강하는 경향을 보여 측정량이 감소하는 것으로 해석할 수 있다.

도로의 형태가 대기오염에 미치는 영향을 확인하기 위한 교차로 형태의 계수를 살펴보면 전반적으로 교차로

<표 3> 모형 추정 결과

항목	교통량	속도	풍속	온도	습도	영향권	3지교차로	4지교차로	5지교차로	상수	R <sup>2</sup>	
SO <sub>2</sub>	계수	0.00456	-0.00001	-0.00131	-0.00013	-0.00341	-0.0625	0.00116	0.00101	0.00029	-0.00256	0.174
	t통계량	43.88083	-1.45449	-30.77610	-63.71977	-33.13463	-13.2050	14.06185	16.82654	3.59200	-6.39622	
NO <sub>2</sub>	계수	0.03476	-0.00017	-0.01440	-0.00030	-0.02026	-0.7981	0.00006	-0.00480	-0.00199	-0.01255	0.298
	t통계량	80.57236	-23.41017	-81.51925	-34.51852	-47.49242	-40.6667	0.17976	-19.24303	-5.84782	-7.56741	
CO	계수	0.40776	-0.00064	-0.20353	-0.01187	-0.14345	-7.8465	-0.01997	-0.13039	-0.30889	0.14178	0.169
	t통계량	39.22935	-3.60156	-47.81170	-57.08979	-13.95645	-16.5934	-2.42026	-21.67974	-37.73211	3.54738	





<그림 2> 종로 측정망의 NO<sub>2</sub> 예측치와 실측치 비교

<표 7> 종로측정망 NO<sub>2</sub> MAPE 범주별 빈도수 및 비율

MAPE(%) 범위	해당 지점수	비율	누적비율
0 ~ 10	38	0.32	0.32
10 ~ 20	29	0.24	0.56
20 ~ 30	11	0.09	0.65
30 ~ 40	19	0.16	0.81
40 이상	23	0.19	0.19
계	120	1.00	1.00

구축된 모형을 기준으로 종로 측정소의 5일간 교통량, 속도, 풍속, 온도, 습도 등의 측정 데이터와 영향권 설정 및 교차로 구분을 통해 NO<sub>2</sub>의 모형에 대입하여 얻은 예측치 자료와 실제 측정으로 얻은 실측자료를 비교해보면 <그림 2>와 같다. 전반적인 증감 추이는 예측치와 실측치가 비슷한 경향을 보이지만 측정치가 민감한 변화 보이는 반면 예측치의 경우 완만한 변화를 보인다.

종로측정망의 NO<sub>2</sub>에 대한 추정된 오차의 범주별 빈도수를 보면 모형 구축시 사용한 기존 7개의 대기오염 측정망의 추정된 오차중 청계 4가 측정망의 경우와 비슷한 결과를 보인다. 이는 종로 측정소 인근에 종묘, 공원 등 비교적 낮은 건축물들이 위치하고 있어 타 측정소에 비해 원활한 바람길이 조성되어 대기오염 물질이 빠르게 대기로 흘러가서 오염물질의 측정시 실제 측정값보다 적게 측정되어 본 연구에서 개발한 대기오염 모형에 의한 예측치와 비슷한 것으로 해석할 수 있다. 종로 측정망의 NO<sub>2</sub> 추정 오차의 범주별 빈도수 및 비율은 <표 7>과 같다.

V. 결론

본 연구는 실시간 교통량과 속도 및 기타 기상 조건의 자료를 바탕으로, 도로환경요인이 대기오염 물질 배출에 미치는 영향을 분석하였다. 수집한 자료를 바탕으로 대기오염 모형 정립을 위해 각 항목별 대기오염물질에 영

향을 미치는 인자를 크게 3가지로 구분하였다. 교통특성 인자는 교통량, 속도, 도로특성인자는 차로수, 영향권, 교차로 형태, 기상특성인자는 풍속, 온도, 습도를 고려하였다. 모형 추정에 앞서 다중상관분석을 통하여 다중공선성 문제 여부를 살펴보았다.

추정된 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO모형의 결과를 분석해 보면 교통량이 증가할수록 오염물질의 측정량이 증가하며 속도가 증가할수록 오염물질은 감소하는 것으로 나타났다. 풍속의 경우 풍속이 높을수록 확산이 활발히 이루어져 대기오염물질 측정량은 줄어드는 반면, 온도의 경우 온도가 높을수록 대류현상이 활발히 일어나 측정량은 감소되는 것을 알 수 있었다. 습도가 높을수록 오염물질과 습기와 흡착이 커지면서 지면으로 하강하는 경향을 보여 측정량은 줄어드는 경향을 나타냈다. 교차로수의 경우 전반적으로 교차로가 늘어날수록 오염물질의 측정값이 낮게 나오는 것으로 나타났으며 이는 교차로의 수가 많을수록 원활한 바람길의 형성에 의해 대기오염물질이 대기에서 활발히 이동하는 경향에 따른 것으로 분석되었다.

오차 분석시 7곳의 측정망은 전반적으로 비슷한 오차를 보였으나, 각 측정망별 MAPE 누적 비율을 살펴보면, 측정치와 도출된 모형을 통해 산출된 예측치가 가장 유사한 측정망은 청계4가 측정망인 것으로 분석되었다. 반면 동대문 측정망의 경우 실제 측정치와 모형을 통한 예측치의 차이가 가장 큰 것으로 나타났다. 종로측정망의 NO<sub>2</sub>에 대해 오차분석을 실시한 결과 기존 7곳의 대기오염 측정망의 추정된 오차중 청계 4가 측정망의 경우와 비슷한 결과를 보였다.

본 연구는 대기오염 산정연구 방법 중 실시간 교통량을 이용하는 방법과 유사하지만, 기존의 대기오염 배출계수를 사용하지 않고 측정된 대기오염 데이터와 실시간 교통량 자료를 이용하여 개발한 모델로 의의를 가진다.

하지만 대기오염 모델 구축시 대기오염에 영향을 미

칠것으로 판단한 교통량, 속도, 풍속, 온도, 습도, 영향권 및 교차로의 구분외에 데이터 수집과 계량화가 힘든 풍환경 및 건축물 구조와 같은 기타 인자를 고려하지 못함과, 교통량과 속도 변수를 적용할 때 대기오염측정망이 위치한 지점의 교통량과 속도가 아닌 인근 지역의 교통량과 속도 자료를 활용함에 따라, 설명력이 다소 낮아지는 결과를 보였다. 이는 수집과 계량화가 힘든 데이터에 대해 보다 더 객관적이고 과학적인 방법을 사용한 데이터를 적용하고 기계공학, 교통공학 분야에서 최근 많이 응용되고 있는 신경망, 퍼지이론을 적용시킨 모형 구축을 통해 극복할 수 있을 것으로 판단되며 이를 향후연구과제로 제시하고자 한다. 또한 정체시와 비정체시의 '교통량', '속도'의 상관관계가 다르며 모형의 계수값이 상이하게 도출될 수 있음을 고려한 추가연구가 계속되어야 할 것이다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

## 참고문헌

1. 김운수·엄진기·황기연·장지희(1999), "교통수요관리 기법을 활용한 환경오염비용의 내부화 방안 연구", 대한교통학회지, 제17권 제4호, 대한교통학회, pp.99~110.
2. 박성규·김신도·김종호(1998), "자동차 대기오염물질이 고속도로 인접지역에 미치는 농도 예측에 관한 연구", 한국대기보전학회지 제14권 제4호.
3. 박성규·김신도·이정주(2000), "실시간 교통량을 이용한 고속도로 요금소 대기오염도 예측", 한국환경위생학회지, 제26권 제4호.
4. 박성규·김신도·이영인(2001), "자동차 대기오염물질 산정 방법론 설정에 관한 비교 연구 (강남구의 실시간 교통량 자료를 이용하여)", 대한교통학회지, 제19권 제4호, 대한교통학회, pp.35~47.
5. 엄정화(2001), "통행배분모형을 이용한 자동차대기오염물질 배출량 추정연구", 석사학위논문, 명지대.
6. 임철수·엄명도·류정호·한중수·유영숙·김기호·김예은(2004), "자동차 오염물질 배출계수 산정방법에 관한 연구", 한국대기환경학회 2004 춘계 학술대회 논문집.
7. 조강래 등(1987), "도시지역 대기질 개선에 관한 연구(I), 이동배출원의 오염물질 부하량 산정을 중심으로, 국립환경연구원보, Vol. 11, pp.27~52.
8. 조강래·엄명도·김종춘·홍유덕·김종규·한영출(1993), "자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산출에 관한연구", 한국대기보전학회지, 제9권 제1호.
9. 조역수(1993), "선오염원에 의한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구", 석사학위논문, 서울대.
10. 홍민선·우완기·최종인(1993), 대도시 교통신호시스템에 따른 대기오염물질 배출량 변화에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 제9권 제1호, pp.93~100.
11. 환경부(2006), 대기오염측정망 설치 및 운영지침 2006.2.
12. Eernes, H., Sliggers, C, and Van den Hout, K(1993), The CAR Model; the Dutch Method to Determine City Street Air Quality, Atmospheric Environment Vol. 27B, No. 4, pp.389~399.
13. The Department of Transport(2004), "Design Manual for Roads and Bridges(XVI)", Vol 11 Environmental Assessment Section 3, C/4.

✉ 주 작성자 : 조혜진

✉ 교신저자 : 조혜진

✉ 논문투고일 : 2009. 2. 21

✉ 논문심사일 : 2009. 4. 23 (1차)  
2009. 11. 10 (2차)

✉ 심사판정일 : 2009. 11. 10

✉ 반론접수기한 : 2010. 4. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필