

ITS 기반에서 개별차량 주행행태별 배출가스 배출량 산정모형 개발

Development of a model for estimating emission considering individual driving behaviors on ITS

조혜진

서울대학교 환경대학원 석사과정

박준환

서울대학교 환경대학원 박사과정

이영인

서울대학교 환경대학원 부교수

Key Words : Emission Model, Transportation Simulation, Individual Driving Behavior

목 차

I. 서론	2. 배출량 산출방법 정립
1. 연구의 배경 및 목적	3. 배출량 산출모형 정립
II. 문헌 고찰	IV. 시나리오 설정 및 모형의 적용
1. 기존 배출가스 추정모형 분석	1. 가상의 차량주행상황 설정
2. 국외 배출량 산출방법	2. 모형의 적용결과 비교
III. 배출량 추정 모형 정립	3. 연구결과 및 모형선정 방향 제시
1. 국내 배출량 산출방법의 한계	V. 결론 및 향후 연구과제

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

대기오염 중 자동차에서 배출되는 오염물질이 차지하는 비중이 '92년 60.8%에서 '99년 85.2%로 점차 증가¹⁾하고 있는 현실을 반영하여 자동차 배기가스로 인한 대기오염 문제는 최근 몇 년 동안 교통 및 환경분야에서 중요한 연구과제로 주목받고 있다. 그러나 문제의 중요성에 비해 배기가스 배출량을 실시간 교통류 상황과 더불어 추정할 수 있는 모형에 대한 연구는 거의 없는 것이 사실이다.

ITS사업을 통해 실시간 교통상황을 인식할 수 있는 토대가 마련됨에 따라 보다 발전된 배기가스 산출 모형을 마련하고, 이를 실제 네트워크 상의 교통류 상태와 결합시켜 배출가스의 배출량을 모니터링 할 수 있는 현실적 모니터링 시스템이 요구된다. 이러한 연구수행을 위해서는 ITS의 실시간 검지체계를 바탕으로 현재의 교통상황을 미시적으로 재현하고, 여기에서 산출되는 개별차량의 주행행태에 따라 배기가스 배출정도를 추정하는 방법론의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 ITS 검지정보의 입력을 가정한 상황의 네트워크 상에서 개별차량의 운행 패턴과 교통류의 특성 변화

를 추정하여 도로에서 발생하는 배기가스 배출량의 추정방법론을 제시하는 것을 목적으로 한다.

II. 문헌고찰

1. 기존 배출가스 추정모형 분석

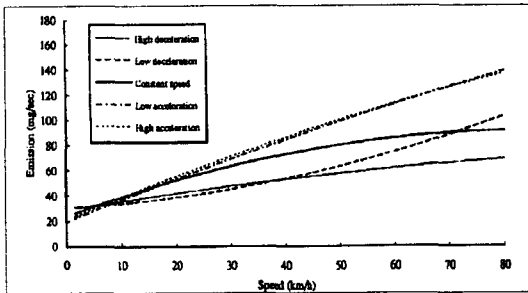
대기오염 배출원은 크게 고정오염원과 이동오염원으로 구분된다. 고정오염원은 다시 점오염원과 면오염원으로 나뉘어진다. 이동오염원은 보통 배출형태가 선형이므로 선오염원이라 부르며, 대표적 선오염원인 자동차 오염물질 배출량은 사용연료, 차량의 종류, 특히 차량주행상태(정지가동, 가속, 감속, 정속)에 따라 오염물질의 성분 및 양이 달라진다는 특징을 가지고 있다.

선오염원으로부터의 오염물질 배출량을 산정 하는 방법은 Bottom-Up Approach(BUA)와 Top-Down Approach(TDA)로 구분된다(조규탁, 2002). BUA는 국가 또는 지역배출량과 같이 규모가 큰 배출원에 적용하는 방법으로 개별 배출원 각각에 대해 배출량을 파악한 후 총량을 구하는 방법이다. 이와 반대로 TDA는 대기확산모델의 입력자료와 같이 규모가 작은 면오염원이나 선오염원에 적용하는 방법으로 대상지역의 총

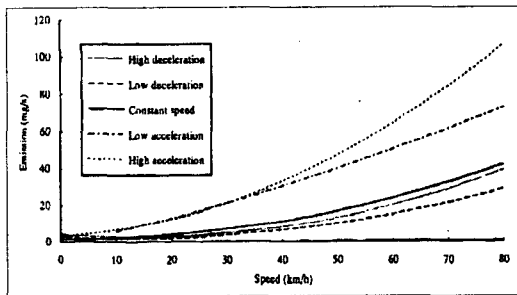
1) 환경부, 대기환경연보, 2001

배출량을 먼저 산정하고 적절한 할당지표를 이용해 총배출량을 각 지역에 할당하는 방법이다. TDA는 적용이 용이하나 대상지역을 평균화시키는 단점을 가지고 있는 반면, BEA는 시공간적 변화를 적절하게 반영할 수 있으나 실제 적용시 많은 어려움이 따른다. 따라서 현실적으로 TDA 방법을 많이 이용하고 있는 실정이다.

그러나 차량의 배기가스 산출량은 <그림 1>과 <그림 2>에서 나타나는 바와 같이 차종별, 속도 및 가속도에 따라 배출량의 정도가 상당한 차이를 보인다. 이러한 자동차 배출가스의 배출특성을 감안하면 기존의 집계적인 배출량 산출방식의 개선책을 모색할 수 있다.



<그림 1> 속도, 가속도에 따른 CO의 배출량 변화



<그림 2> 속도, 가속도에 따른 NOx의 배출량 변화

2. 국외 배출량 산출방법

1) 미국

미국의 배출계수 산출방법을 살펴보면(조규탁, 2002) 배출계수 중 EFbase는 지정된 실험조건에서 얻어진 기준배출속도(basic emission rate: BER)를 차량 누적 주행거리에 대해 보정하여 사용하였다. 여기에서의 속도는 평균 통행속도 개념을 이용하였으며, 크게 속도, 온도, tampering, 공기상태, 부하, 도로경사등을 고려한 배출계수를 사용하고 있다. 여기에서 속도는 도로상 통행조건의 함수로서 가속, 감속, 정속, 정지가동 등을 모두 고려한 평균속도 개념을 이용한다.

$$EF = EF_{\text{exhaust}} + EF_{\text{evaporative}} \quad (1)$$

$$EF_{\text{exhaust}} = EF_{\text{base}} \times CF \quad (2)$$

where : EF=총 배출 계수, g/veh-km

EF_{evaporative} (증발배출계수, g/veh-km) = f(온도, 연료 형태, 레이드 증기압 등)

EF_{exhaust} = 배출 계수(g/veh-km)

EF_{base} = 기본 배출 계수(g/veh-km)

CF(보정계수, 무차원) = f(속도, 온도, tampering, 공기 상태, 부하, 도로의 경사 등)

이러한 배출계수를 이용하여 미국에서 널리 이용되고 있는 이동오염원의 배출량 산출모형은 EPA에서 개발한 MOBILE과 California에서 개발한 MVEI(Motor Vehicle Emissions Inventory)로 나눌 수 있다.²⁾

2) 유럽

유럽의 경우 주행모드(hot, cold, start)중에서 엔진가열배출에 대해 속도를 고려한 배출계수 작성 후, 다양한 인자에 대해 보정하는 방식을 취한다. 배출계수는 미국의 배출계수 산정과 마찬가지로 속도·차종별·연료별·도로경사·부하 등을 고려하고 있고, 엔진 가열 배출에 대해 속도·차종·연료 형태 등을 고려한 배출계수를 사용한다.

즉, 미국이나 유럽의 경우 다양한 배출요인에 대해 배출계수를 보정하여 보다 정확한 배출량 산정을 시도한다.

3) 국내 배출량 산출방법

가장 이상적인 대기오염물질 배출량 산출방법은 교통수요 모형이나 실측·원격탐사등을 통한 교통량과 속도 등을 이용하는 방법이지만 전문성이 요구되며 막대한 비용이 소요되어 현실적으로 많은 어려움이 따른다.(장영기 외, 2000)

따라서 환경부에서는 현실적으로 다음과 같은 방법을 채택하고 있는데, 즉 보다 평균화된 개념을 도입하여 전체적인 배출량을 추정한 다음 지역현황에 따라 배분하는 방법을 사용하고 있다. 이는 광역단체 단위의 차종별 평균 주행거리(VKT : Vehicle Kilometer Traveled)를 산정하여 해당지역별로 할당 한 후 배출계수를 적용하는 방법으로, 여기서 할당 기준은 해당지역의 자동차 등록대수를 이용하고 있다. 이를 보다 상세히 살펴보면 다음과 같다.

① 평균차속으로 배출량 산출 후 해당 지역별로 할당하는 방법 (김진영 외, 1999)

평균차속과 오염물질 배출량과의 상관식을 산출하고, 해당 연도·해당지역의 평균차속을 대입하여 차종별·연식별 오염물질 배출계수를 산출한다. 이는 전체적인 배출량을 추정하여 해당 지역별로 할당하는 방법으로, 시공간적 해상도는 낮으나 도시 전체지역의 배출량 산정 시에는 매우 경제적이며 간편한 방법이다.

② 통과 교통량 자료를 이용한 자동차 대기오염물질 배출량 산정

통과 교통량 자료를 이용한 배출량 자료는 해상도를 높여 교통량에 의한 배출 특성을 파악하는데 유리하나, 정확한 교통정보의 수집이 요구된다. 즉 교통량과 도로 길이를 산출하여 적용하는 것이 원칙이지만 우리나라의 경우 지역별로 상

2) 경기개발연구원(2002)

세한 교통량 확보가 어렵다는 단점을 지니고 있다.

③ 배출계수 산출방법

자동차 배기가스와 주행속도와의 회귀식을 통한 배출계수를 산출하는 방법으로, 배출계수는 조강래 등(1989, 1990, 1991)이 서울과 광주지역에서 실제 도로상황의 주행상태를 감안하여 실험자동차의 평균차속, 4모드시간비율(정지, 가속, 정속, 감속), 평균가속율, 평균감속율, 평균회전속도, 평균연료 소비량을 측정한다. 이를 10단계의 대표주행모드로 정형화하여 배기가스를 산출한 결과를 바탕으로 주행속도와의 회귀분석을 통하여 주행속도에 따른 배출계수 산출식을 산정한다. 차종이 같다 하여도 주행조건 및 차량의 운행년수 등에 따라 배출계수는 변화하므로 이런 요인을 고려하여 배출계수를 수정하여야 한다. 예로, 자가용 대표 배출계수 산출식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{배출계수(g/km)} \\ & = ((\text{연회발유 자동차 배출계수} \times \text{모델구성비}) + (\text{무연회발유} \\ & \text{자동차중 catalyzer activate 자동차의 배출계수} \times \text{모델구성비})) \\ & + (\text{무연회발유 자동차중 catalyzer unactivate 자동차 배출계수} \\ & \times \text{모델구성비}) \times 100 \end{aligned} \quad (3)$$

III. 배출량 추정 모형 정립

현재 환경부에서 공식적으로 자동차 대기오염 배출량을 산정하여 발표하는 방법은 앞 절에서 설명한 바와 같이 차종별 일일평균주행거리를 이용하는 방법이다. 이러한 방식은 개별 차량의 속도 및 가속도에 의한 배출량 차를 반영하지 못하여 여러 한계를 가지게 된다. 본 연구에서는 국내 배출량 산출방법의 한계를 살펴보고 이를 개선할 수 있는 배출량 산출모형을 정립하고자 한다.

1. 국내 배출량 산출방법의 한계

국내 배출계수 산정방법은 기본적으로 TDA방법으로서 이로 인한 여러가지 문제점과 그 한계를 살펴보면 다음과 같다.

1) 운전자의 통행특성 반영 미흡

선 오염원으로부터의 배출량은 운전자의 차량주행상태, 즉 정지가동, 가속, 감속, 정속에 따라 큰 차이가 나지만 이를 무시하여 개별차량에 대한 단위거리당 오염물질 배출량을 정확하게 산출하지 못한다.

2) 교통류 상황 반영 미흡

시간대별·도로링크별로 통행특성은 크게 달라지며 같은 시공간이라 하더라도 유고나 돌발상황 등의 발생으로 인해 교통류는 영향을 받게 되나 다양한 교통류 상황을 반영하지 못하는 한계를 지닌다. 특히, 첨두·비첨두때마다 통행량 분포는 큰 차이를 보이고 있으며, 정확한 대기오염물질 배출량

산출을 위해서는 통행량 분포에 따른 산출량 차이를 명확히 할 필요가 있다.

3) 배출계수의 제한성

자동차 대기오염물질 배출 총량산출의 기본적도가 되는 배출계수는 평균적 개념의 주행속도를 이용함으로써 하나의 오염물질에 대해 차종별로 하나의 배출계수를 이용하게 된다. 이로 인해 차량의 종류, 사용기간, 특히 주행속도 및 가속도에 민감한 배출계수를 일률적으로 적용할 경우 큰 오차를 가져올 수 있다.

4) 총배출량 산정시 자료의 부정확성

환경부의 대기오염물질 총배출량 산정시 배출계수와 자동차 등록대수 및 활동도로서 일일평균주행거리(VKT)를 이용하고 있으며, 자동차 등록대수의 경우 그 지역에 등록된 차량이라 해도 해당지역 내에서 실질적으로 운행되고 있다고는 볼 수 없고, 일일평균주행거리는 타 지역에서의 통행거리를 반영하고 있지 않다.

5) 교통정책에 따른 대기오염 영향평가 미흡

ITS와 같은 신기술 도입이나 교통운영상태의 개선 등으로 인한 대기오염 배출량의 저감효과에 대한 평가가 불가능하며, 시설투자 및 정책수립에 있어 우선순위 결정을 불가능하게 한다.

2. 배출량 산출방법 정립

앞에서 살펴본 바와 같이 현행 자동차 대기오염물질 배출량을 산출하는 방법은 실제 도로상에서의 운전자 통행행태나 시공간 통행특성을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 점을 고려하여 TDA와 BUA의 상호보완성을 높인 배출량 모형의 개발이 필요하다고 판단되며, 이에 차량의 주행행태를 반영하는 차종별 개별차량 속도와 가속도를 이용하여 개별차량의 대기오염물질 배출량을 산출하는 모형을 개발한다.

1) 배출량 산출 모형 구축

본 연구에서는 자동차의 주행으로 인해 배출되는 대기오염물질 발생량은 차종별로 속도와 가속도에 크게 의존(Cohen, 1977)한다는 점에 착안하여, 기존의 집계적이고 평균적인 배출가스 산출량 측정방법의 한계를 개선할 수 있는 배출량 산출모형을 개발하고자 한다. 이를 위해 우선 가장 미시적으로 분석되어 있는 자동차 배기가스 배출량 테이블의 바탕으로 이를 일반화 할 수 있는 모형 구축을 시도한다.

(1) 자동차 대기오염물질 배출량 표(table)

영국 TRL의 MODEM의 자동차 대기오염물질 배출량 표(emission unit table)를 이용하여 차종별·매 초당 속도와 가속도에 따른 배출량을 산출하며, 배출량 표는 대기오염물질별

로 제시되며 그 양식은 <그림 3>과 같다.

Speed (mph)	DECELERATION/ACCELERATION (mph/s)												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
0							IDLE						
5													
10													
15													
20													
25													
30													
35													
40													
45													
50													
55													
60													
65													

<그림 3> 자동차 대기오염물질 배출량 표

(2) 배출량 산출의 일반식

차종구분 및 배출량 표에 근거하여 대상 네트워크 전체의 차량이 배출하는 대기오염물질의 총량을 다음과 같이 산출할 수 있으며, 차종별 속도와 가속도에 따른 함수로 나타나는 오염원배출량을 매시간단위로 측정하여 모든 링크의 총합으로 구한다.

$$Q_p = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^n \sum_{t=1}^{t_j} f_j(V, a) \quad (4)$$

Q_p = 오염원별 시간대 별 총 배출량
 ($p=HC, CO, NO_x, SO_2$)

l = 링크 수

m = 차량대수 ($m=1,2,\dots,n$)

t = 관측시간(sec) ($t=1,2,\dots,t_j$)

j = 차종 (p:승용차, q:버스, r:트럭)

f_j = 각 차종별 오염원 배출량

(속도, 가속도에 관한 함수)

V = 속도, a = 가속도

3. 배출량 산출모형 정립

앞에서 살펴본 바와 같이, 평균통행속도를 사용한 거시적인 접근방식의 국내 배출량 산출방법은 개별차량의 행태에 따른 배출량을 나타내기에는 한계가 있다. 여기서는 차종별 속도와 가속도의 변화에 따른 배출량 산출표를 바탕으로 대기오염물질 배출량을 산정하는 일반식을 도출한다.

1) 배출량표에 따른 산출방식의 한계점 및 개선방향

배출량 표를 이용한 대기오염물질 배출량 값을 본 연구와 같은 미시적인 시뮬레이션 프로그램에 적용함에 있어서 가장 큰 한계점은, 속도와 가속도에 따른 배출량 값이 모두 채워진 완성된 배출량 표를 작성하기 어렵다는 점이다. 실제로 차량의 종류나 차령, 사용하는 연료 등 차량의 특성에 따라 각 오염물질별 배출량이 다르고, 지형의 차이에 따라서도 차이가

있을 것이므로 각 상황별 배출량표를 작성하는 것은 거의 불가능한 일이며, 이를 하나의 대표적인 표로 제시하는 것 또한 쉽지 않은 일이다. 한편, 현재와 같이 속도와 가속도 자료가 이산적인 형태로 작성된 경우에는 배출량표 상의 행간·열간 값을 알지 못하고, 배출량 표에서 나타내고 있는 속도와 가속도 범위 이상의 값들은 추정하기 어려우므로 차량의 주행상태를 보다 현실적으로 모사하지 못하는 단점이 있다. 또한 프로그램의 연산시간이 오래 걸리는 도 문제점이 될 수 있다.

이러한 문제를 개선하기 위하여 미시적인 시뮬레이터 연산에 적합하도록 이산적 자료(배출량표)를 연속적인 함수형태(회귀모형 등)로 변형하여 속도와 가속도에 따른 다항회귀모형을 도출한다.

2) 배출량 산출 모형의 개요

(1) 모형 구축을 위한 기준 배출량

미국 NCHRP의 자동차 대기오염물질 배출량 표(emission unit table)에서는 대표적인 차종을 8가지³⁾로 나누고 각각에 대한 대기오염물질 CO, HC, NOx와 연료소모량을 제시하고 있다. 여기서는 대표적으로 Jeep Grand Cherokee의 CO 배출량 함수를 추정·검증하는 과정을 제시한다. 모형 구축을 위한 기준 배출량 자료를 국내 차종을 이용한 데이터가 아닌 영국의 자료를 이용한 것은 국내에서는 아직 제시된 기준 배출량 표가 없기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 점을 본 연구의 한계로 인정하고 적정 방법론을 마련하여 향후 국내 차종의 배출량 테이블이 구축되면 즉시 적용할 수 있는 분석의 틀을 제시한다는 점에 의의를 둔다.

기준데이터가 되는 배출량표는 가속도 $-5\sim 12ft/s^2$, 속도 $0\sim 110ft/s$ 범위로 작성이 되어있는데, 본 연구에서는 이를 1% 및 1%로 환산하였을 때 국내의 도시부 도로실정을 고려하여 속도가 너무 높은 경우(100km/h 이상)는 제외하고 분석에 이용하였다.

(2) 회귀분석

차량이동에 따른 배기가스 배출량은 속도보다는 가속도에 의해 크게 영향을 받는다는 연구결과를 앞서 고찰한 바 있다. 따라서, 가속도를 단계별로 구분하여 속도를 독립변수로 한 회귀모형을 도출하였다.

본 연구에서는 배출량의 형태가 유사한 가속도끼리 3가지 단계로 적절히 그룹화 하여 가장 높은 결정계수를 보이는 회귀모형을 사용하였다. 가속도의 그룹화에 있어서는 가속도와 속도에 따른 배출량 변화의 전체 패턴을 살펴본 후 유사한 패턴을 보이는 구간을 찾아 <표 1>와 같이 세가지 모형 Set으로의 그룹화를 수행하였다.

3)Chevrolet Truck, Corsica, Oldsmobile Cutlass, Geo Prizm, Oldsmobile 88, Subaru, Villager, Jeep Grand Cherokee

<표 1> 회귀식 도출결과

구분	가속도	R ²	회귀식
모형 set I	-5	0.8869	$y = 3E-08x^4 - 6E-06x^3 + 0.0005x^2 - 0.01x + 0.6548$
	-4	0.864	$y = 8E-09x^5 - 2E-06x^4 + 0.0002x^3 - 0.0056x^2 + 0.065x + 0.4416$
	-3	0.8179	$y = -3E-11x^6 + 1E-08x^5 - 2E-06x^4 + 0.0002x^3 - 0.005x^2 + 0.0516x + 0.5039$
	-2	0.5684	$y = 1E-10x^6 - 3E-08x^5 + 2E-06x^4 - 6E-05x^3 + 0.0004x^2 + 0.0014x + 0.6318$
	-1	0.8997	$y = 0.5019\exp(0.0296x)$
	0	0.8789	$y = 0.589\exp(0.0322x)$
	1	0.8573	$y = 3E-08x^6 - 8E-06x^5 + 0.0009x^4 - 0.0488x^3 + 1.1763x^2 - 10.941x + 22.593$
	2	0.9069	$y = 0.6582\exp(0.0724x)$
	3	0.9649	$y = 0.8159\exp(0.0785x)$
	4	0.9682	$y = -2E-07x^6 + 5E-05x^5 - 0.0039x^4 + 0.1623x^3 - 3.477x^2 + 31.695x - 61.61$
	5	0.9891	$y = -0.0011x^4 + 0.2307x^3 - 12.848x^2 + 229.05x - 827.34$
	6	0.9576	$y = -4E-07x^6 + 0.0002x^5 - 0.0192x^4 + 0.8082x^3 - 14.022x^2 + 87.784x - 103.84$
	7	0.9726	$y = -2E-05x^6 + 0.0029x^5 - 0.1849x^4 + 5.5705x^3 - 78.144x^2 + 422.95x - 458.87$
8	0.9899	$y = 1E-05x^6 - 0.002x^5 + 0.1462x^4 - 4.4983x^3 + 60.291x^2 - 298.47x + 294.84$	
9	0.9787	$y = -6E-06x^6 + 0.0007x^5 - 0.0195x^4 + 0.1927x^3 - 0.2324x^2 - 1.2086x + 3.0397$	
10	0.9452	$y = 5E-05x^6 - 0.0038x^5 + 0.1018x^4 - 1.2578x^3 + 7.1545x^2 - 14.213x + 5.0195$	
11	0.9596	$y = 6E-05x^6 - 0.0039x^5 + 0.1006x^4 - 1.2019x^3 + 6.6643x^2 - 13.214x + 4.8601$	
12	0.6084	$y = 0.0012x^6 - 0.0455x^5 + 0.6397x^4 - 4.2323x^3 + 13.208x^2 - 16.185x + 18.133$	
모형 set II	-5	0.932	$y = 1E-09x^5 - 3E-07x^4 + 2E-05x^3 - 0.0005x^2 + 0.0046x + 0.6079$
	-4~-3	0.8256	$y = -9E-12x^6 + 8E-09x^5 - 2E-06x^4 + 0.0001x^3 - 0.0044x^2 + 0.0475x + 0.5017$
	-2	0.5684	$y = 1E-10x^6 - 3E-08x^5 + 2E-06x^4 - 6E-05x^3 + 0.0004x^2 + 0.0014x + 0.6318$
	-1~0	0.8687	$y = 0.5437\exp(0.0309x)$
	1	0.8573	$y = 3E-08x^6 - 8E-06x^5 + 0.0009x^4 - 0.0488x^3 + 1.1763x^2 - 10.941x + 22.593$
	2~3	0.9264	$y = 0.7556\exp(0.075x)$
	4~6	0.9581	$y = -2E-08x^6 - 7E-06x^5 + 0.0021x^4 - 0.1393x^3 + 3.4968x^2 - 29.13x + 49.75$
7~9	0.9333	$y = -2E-06x^6 + 0.0001x^5 + 0.0018x^4 - 0.0942x^3 - 0.6122x^2 + 21.542x - 43.512$	
10~11	0.9436	$y = 6E-05x^6 - 0.0039x^5 + 0.1009x^4 - 1.2064x^3 + 6.6614x^2 - 13.255x + 9.6582$	
모형 set III	-5~-2	0.7273	$y = 1E-10x^6 - 3E-08x^5 + 3E-06x^4 - 0.0001x^3 + 0.0017x^2 - 0.0109x + 0.6328$
	-1~1	0.7359	$y = 0.7059\exp(0.03x)$
	2~6	0.7474	$y = 1.6805\exp(0.0826x)$
	7	0.9259	$y = -0.0097x^4 + 1.1243x^3 - 35.698x^2 + 362.06x - 725.2$

3) 배출량 산출 모형의 도출

배출량표의 이산적인 자료를 연속적인 함수로 표현하기 위하여 가속도를 18개, 9개, 4개 그룹으로 각각 그룹화한 후, 각 경우에 대한 회귀모형을 도출하였다. 도출된 배출량 산출 모형 set은 <표 1>와 같으며, 모든 회귀모형의 결정계수는 0.85 이상으로 모형의 적합도가 높게 나타났다.

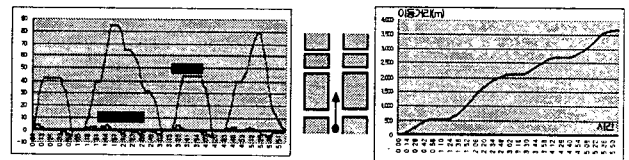
그러나 이 결과만으로는 모형의 적용성을 평가하기 어려우므로 가상 시나리오를 설정하고 도출된 모형set을 이용하여 배기가스 배출량을 추정하여 배출량 테이블을 통해 도출된 값과 비교하여 구축된 배출량 산출모형의 적용성을 평가한다.

IV. 시나리오 설정 및 모형의 적용

1. 가상의 차량주행상황 설정

모형의 적용성을 분석하기 위하여 가상의 네트워크 및 차량 한대의 주행상황을 설정하였다. 네트워크는 3개의 교차로가 있는 약 7km 구간이며, 차량 한 대가 정지상황에서 6분 동안 평균 매1초 간격으로 가·감속을 통해 주행하는 상황을 구성하였다. 가상의 주행상황에 대한 네트워크 구성 및 주행상태 변화는 <그림 4>에서 제시된 바와 같이 3개의 교차로

를 거치면서 속도와 가속도의 변화를 만들게 된다.



<그림 4> 적용성 분석에 사용된 가상 네트워크 및 차량의 주행상태(속도·가속도) 변화

2. 모형의 적용결과 비교

앞에서 설정한 차량의 속도와 가속도에 따른 배출량을 배출량표에서 찾아내고, 이 값을 기준값으로 설정하였다. 이 기준값과 각 모형 set에 의해 도출된 배출량 결과를 비교해 보기 위하여 대응 T-test(쌍체비교)를 수행하였으며, 실측치와 예측치는 차이가 없다는 귀무가설에 대한 쌍체비교 결과 값은 <표 2>와 같다.

쌍체비교 결과, 가속도를 18단계로 구분한 모형 set I의 유의확률이 가장 높아 기준값과 가장 유사한 것으로 나타났고 다음으로 모형 set II, III순으로 귀무가설을 채택할 확률이 높은 것으로 나타났다. 모형 set I과 II의 경우는 신뢰수준 95%에서 유의한 결과를 보였으나, 가속도 그룹의 구간을 크게 설정한 모형 set III의 경우는 신뢰수준 95%에서 귀무가설

을 기각하여, 배출량표에 의해 도출된 기준값과 차이가 있다는 결과를 보였다.

<표 2>모형별 대응t-test(쌍체비교) 결과

구분	기준값 (배출량표)	모형 set I (18단계)	모형 set II (9단계)	모형 set III (4단계)
평균	34	30	42	39
분산	76,419	47,032	106,009	29,505
관측수	361	361	361	361
상관 계수		0.9884	0.9818	0.4266
t 통계량		9.7709	-2.0149	-0.3496
P(T<=t)		0.0329	0.0447	0.7269

3. 연구결과 및 모형선정 방향 제시

본 연구를 통하여 차량의 속도와 가속도에 의한 배출량을 산정함에 있어서 표에 의한 이산자료를 이용하여 연속적인 함수형태로 모형화하였다. 속도를 독립변수로 한 회귀모형을 도출하되, 가속도구간의 그룹화정도를 세 단계로하여 모형 set을 구성하였으며, 각 모형set에 의한 배출량의 결과와 차이를 기준이 되는 값과 비교하기 위하여 쌍체비교를 수행하였다. 그 결과 가속도를 $1ft/sec^2$ 단위로 구분하여 도출한 회귀모형 set I 이 기준값과 차이가 없는 것으로 나타났으나, 프로그램 적용의 용이성 및 연산수행의 효율성을 고려하여 가속도 구간을 $1\sim 2ft/sec^2$ 단위로 그룹화하여 9개의 회귀식으로 구성된 모형set II을 적용할 것을 제안하였다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 자동차 배출가스와 환경오염문제가 중요성이 갈수록 증대되고 있음에도 불구하고 실시간 교통류 상황과 더불어 대기오염물질 추정할 수 있는 모형에 대한 연구가 거의 없다는 점에 착안하여 개별차량의 주행행태에 따른 배기가스 배출정도를 추정하는 방법론을 정립하였다.

기존의 거시적인 관점에서의 배출량 산정방식의 한계점을 분석하고, 실시간으로 변화하는 도로상황 및 개별차량의 주행행태에 따른 배출량 산정을 위한 미시적 접근방식을 택하여 차량의 속도와 가속도에 따른 배출량 산정 모형을 제안하였다.

제안한 모형을 가상의 네트워크 및 차량의 주행상황에 적용한 결과, 개별차량의 속도 및 가속도에 따른 배출량의 산출결과가 관측자료로 구축된 값과 차이가 없는 것으로 분석되어 제한된 범위 내에서 그 적용성이 있는 것으로 판단되었다.

본 연구를 통해 제시된 모형은 지구단위의 교통체계 개선이나 각종 교통사업, 혹은 그 외에 교통패턴에 영향을 줄 수 있는 다양한 사업을 시행함에 있어서 그 사업이 대기오염에 미치는 변화를 추정할 수 있는 근거를 마련해 주게 될 것이다. 예를 들어 배기가스 배출량의 변화가 중요할 수 있는 어

린이 통학로 주변에서의 교통사업이 어린이들의 호흡기 질환에 미칠 수 있는 영향을 추정할 수 있게 된다.

그러나, 본 분석에서 사용한 기준값이 되는 배출량표가 해외에서 작성된 데이터이므로 관측된 데이터가 국내 실정과 다르며 차량의 종류나 속도·가속도의 단위 등도 국내 상황과 맞지 않는 문제점이 존재한다. 향후 우리나라 실정에 맞는 신뢰도 높은 실측데이터를 구축하여 원시자료로 이용한다면 차량의 주행에 따른 대기오염물질 배출량을 모형화하는데 뿐만 아니라 다양한 관련 연구에 기초 자료로 폭넓게 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김진영 외 (1999), 「서울수도권지역 주요 대기오염물질 배출원 자료 현황 분석」, 한국대기환경학회지, vol. 15(6), pp. 813~826
2. 박성규, 김신도, 이영인 (2001), 「자동차 대기오염물질 산정 방법론 설정에 관한 비교 연구」, 대한교통학회지, 19권 제 4호
3. 서광석, 김종규 (1995), 「교통여건 변화에 따른 자동차 오염물질 배출에 관한 연구」, 한국환경관리 학회
4. 이영인 (2002), 「교통대응 신호제어전략의 평가를 위한 미시적 시뮬레이터의 원형 개발」, 대한교통학회지 제 19권 제6호
5. 장영기 외 (1997), 「GIS를 이용한 이동오염원 배출량 산정, 대기환경학회 학술대회 논문집」, Vol. 2
6. 조강래 (2001), 「자동차에서 배출되는 오염물질의 배출계수 산출과 예측」, 환기부문 학술 강연회
7. 경기개발연구원 (2002), 「수도권 자동차 대기오염물질 배출량 추정 및 대기오염 저감정책방안 연구」
8. Cernuschi, S., M. Giugliano, A. Cemin, and I. Giovannini (1995), 「Modal analysis of vehicle emission factors」, The Science of the Total Environment, 169, pp. 175~183
9. Cohen, S. L. (1997), 「Use of Traffic Simulation in Analysis of Carbon Monoxide Pollution」, Transportation Research Record 648, pp. 74~76
10. Hung, W.T. and H.Y. Tong (2000), 「Review of vehicle emissions and fuel consumption modelling approaches at signalized road network」, Proceedings of the 5th Meeting of Hong Kong society for Transportation Studies, 2, pp. 234~239
11. Taylor, M. A. P., and T. M. Young (1996), 「Developing a Set of Fuel Consumption and Emissions Models for Use in Traffic Network Modelling」, 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, July 24~26, Lyon, France