

차량의 개별주행행태를 고려한 자동차 배출가스 산정방법론 연구

이 영 인* · 조 혜 진** · 박 준 환***

A Study on the Estimation Method for Emission from Vehicles Considering Individual Driving Behaviors

Young-in Lee* · Hye-jin Cho** · Junhwan Park***

요약 : 자동차 배기가스로 인한 대기오염 문제는 그 중요성에 비해 구체화된 연구가 부족한 것이 사실이다. 따라서 보다 현실적인 차량의 배기가스 산출 모형을 마련하고, 이를 실제 네트워크 상의 교통류 상태와 결합시켜 배출가스의 배출량을 모니터링 할 수 있는 모형의 구축은 교통과 환경 및 인간 정주 분야에서 중요한 연구 과제이다. 본 연구에서는 ITS 검지정보를 입력하여 네트워크 상에서 개별차량의 운행 패턴과 교통류의 특성 변화를 모사하고, 이러한 변화에 따라 발생하는 배기가스 배출량 추정의 방법론을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 기존의 거시적인 관점에서의 배출량 산정방식의 한계점을 분석하고, 실시간으로 변화하는 도로상황 및 개별차량의 주행상태에 따른 배출량 산정을 위한 미시적 접근방식을 택하여 차량의 속도와 가속도에 따른 배출량 산정 모형을 제안하였다. 그 결과 결과의 신뢰성과 더불어 적용 용이성 및 연산수행의 효율성을 고려하여 가속도 구간을 $1 \sim 2 ft/sec^2$ 단위로 그룹화하여 9개의 회귀식으로 구성된 모형을 적용하는 것이 가장 합리적이라는 결론을 도출하였다.

주제어 : 배출량 추정 모형, 개별차량 주행행태, 이동오염원 배출, 배출량 표, 배출계수

ABSTRACT : There is few studies on air pollution by car's emission in spite of its importance. It's a important work in fields of transportation, environment and human settlement to develop a more realistic model of estimating emission and a model able to monitor emission combined traffic situation. The purpose of this study is to simulate driving patterns of individual cars on networks using ITS and characteristic changes of traffic flow, and then to suggest ways of estimating emission. For the purpose, this study analyzes limits in ways of calculating gas emission in the existing macroscopic views and then suggests a model of calculating emission with considering velocity and acceleration of car which are changed by traffic situations and individual driving behavior in the microscopic views. As a result, this study finds that the most reasonable model is formed by 9 regression models grouped by $1 \sim 2 ft/sec^2$ in accelerated

* 서울대학교 환경대학원 부교수(Associate Professor, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University), 논문주작성자임.

** 서울대학교 환경대학원 교통관리전공 석사과정(Master's Course Student, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University)

*** 서울대학교 환경대학원 교통관리전공 박사과정(Doctor's Course Student, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University)

section, with considering reliability of results as well as easiness of application and efficiency of calculating achievement.

Key Words : emission estimation model, individual driving behavior, emission from mobile source, emission table, emission coefficient

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

대기오염 중 자동차에서 배출되는 오염물질이 차지하는 비중이 '92년 60.8%에서 '99년 85.2%로 점차 증가하고¹⁾ 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 시스템의 마련은 교통과 환경 분야에서 중요한 연구과제이다.

이러한 연구수행을 위해서는 ITS의 실시간 검지체계를 바탕으로 현재의 교통상황을 미시적으로 재현하고, 여기에서 산출되는 개별차량의 주행행태에 따른 배기가스 배출정도를 추정하는 방법론의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 ITS 검지정보를 입력하여 네트워크 상에서 개별차량의 운행 패턴과 교통류의 특성 변화를 모사하고, 이러한 변화에 따라 도로에서 발생하는 자동차 배기가스 배출량의 추정방법론을 제시하고자 한다.

II. 문헌고찰

1. 기존 배출가스 추정모형 분석

대기오염 배출원은 크게 고정오염원과 이동오염원으로 구분된다. 고정오염원은 다시 점오염원과 면오염원으로 나누어지는데, 이동오염원은 보통 배출형태가 선형이므로 선오염원이라 부르며, 도시공간에서 주로 문제가 되는 오염원은 선오염원으로 자동차 오염물질 배출량은 사용연료, 차량의 종류, 차량주행상태(정지, 가동, 가속, 감속, 정속)에 따라 오염물질의 성분 및 양이 달라진다는 특징을 가지고 있다.

선오염원으로부터의 오염물질 배출량을 산정하는 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

1) 환경부, 『대기환경연보』, 2001.

후 총량을 구하는 방법이다. 이와 반대로 TDA는 대기확산모델의 입력자료와 같이 규모가 작은 면오염원이나 선오염원에 적용하는 방법으로 대상지역의 총배출량을 먼저 산정하고 적절한 할당지표를 이용해 총배출량을 각 지역에 할당하는 방법이다. TDA는 적용이 용이하나 대상지역을 평균화시키는 단점을 가지고 있는 반면, BUA는 시공간적 변화를 적절하게 반영할 수 있으나 실제 적용시 많은 어려움이 따른다. 따라서 현실적으로 TDA 방법을 많이 이용하고 있는 실정이다.

선 오염원으로부터 배출되는 대기오염물질 배출량을 산출하는 국·내외 산출방법을 살펴보면 다음과 같다.

2. 국외 배출량 산출방법

미국과 유럽의 경우 다양한 배출요인에 대한 배출량 산정모형을 구축·사용하고 있다.

1) 미국

미국의 배출계수 산출방법(조규탁, 2002)을 살펴보면 아래와 같은데, 미국에서의 배출계수 중 EF_{base} 는 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, 공기 상태, 부하, 도로경사 등을 고려한 배출계수를 사용하고 있다.

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

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

where :

EF =총 배출 계수, g/veh-km

$EF_{evaporative}$ (증발배출계수, g/veh-km)

= {온도, 연료 형태, 레이드 증기압 등}

$EF_{exhaust}$ = 배출 계수(g/veh-km)

EF_{base} = 기본 배출 계수(g/veh-km)

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

여기에서 속도는 도로상 통행조건에의 함수로서 가속, 감속, 정속, 정지가동 등을 모두 고려한 평균속도 개념을 이용한다.

이러한 배출계수를 이용하여 미국에서 널리 이용되고 있는 이동오염원의 배출량 산출모형²⁾은 EPA에서 개발한 MOBILE과 California에서 개발한 MVEI(Motor Vehicle Emissions Inventory)로 나눌 수 있다.

① MOBILE

$$\begin{aligned} \text{배출량} &= \text{평균속도} \times \text{차종에 따른 배출계수} \\ &\quad \times \text{VMT(Vehicle Miles Traveled)} \\ &\quad \cdots \cdots \cdots (3) \end{aligned}$$

② MVEI

MVEI은 크게 4가지 모듈로 구성되어 있는데, 이는 CALIMFAC, WEIGHT, EMFAC, BURDEN이며, 기본원리는 MOBILE과 같으나, VMT·속도·출발형태·차량대수·온도·납/황 자료에 대한 모듈인 BURDEN이 포함되

2) 경기개발연구원(2002) 참조.

어 있다는 것이 큰 차이이다.

2) 유럽

유럽에서 배출량을 산정하는 방법은 다음과 같다.

$$\text{배출량} = f\{\text{도로 종류별, 차종별}\} \\ \times \text{배출계수} \dots\dots\dots(4)$$

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

배기관 배출은 주행거리에 기초하여 산출한다. 우리나라의 경우 아직 엔진미가열배출 및 증발배출에 대해 배출계수가 개발되어 있지 않다.

$$EF_{\text{exhaust}} = EF_{\text{hot}} \times CF \dots\dots\dots(5)$$

where :

EF_{hot} (가열 배출 계수, $g/veh-km$)

= $f\{\text{속도, 차종별, 연료 형태}\}$

CF (보정계수, 무차원) = $f\{\text{자동차 연식,}$

$\text{미가열 출발시 배출량, 도로 경사, 부하 등}\}$

$EF_{\text{evaporative}}$ (exhaust emission factor,

$g/veh-km$) = $f\{\text{온도, 연료형태 등}\}$

= $[ed + S_c + S_{fi}] + R$

ed =평균 배출 계수 for diurnal loss

($g/veh-day$)

S_c = average hot & warm soak emission factor(carburetor형태, $g/veh-day$)

S_{fi} = average hot & warm soak emission factor(연료주입형태, $g/veh-day$)

R = running loss emission factor, ($g/veh-day$)

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

3. 국내 배출량 산출방법

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

따라서 환경부에서는 현실적으로 다음과 같은 방법을 채택하고 있는데, 즉 보다 평균화된 개념을 도입하여 전체적인 배출량을 추정하는 다음 지역현황에 따라 배분하는 방법을 이용하고 있다. 이는 광역단체 단위의 차종별 평균 주행거리(VKT : Vehicle Kilometer Traveled)를 산정하여 해당지역별로 할당하고, 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)

$$Q(\text{kg/day}) = VN(\text{대}) \times VKT(\text{km/day, 대}) \times EF(\text{g/km, 대}) \times 0.001(\text{kg/g}) \dots\dots\dots(6)$$

where :

$Q(\text{kg/day})$: 배출량

$VN(\text{대})$: 차량등록대수

$EF(\text{g/km, 대})$: 자동차 배출 계수

$VKT(\text{km/day, 대})$: 차종별 총 주행거리

평균차속과 오염물질 배출량과의 상관식을 산출하고, 해당연도·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 대기 오염물질 배출량 산정

$$Q(\text{kg/day}) = T(\text{대/hr}) \times EF(\text{g/km, 대}) \times D(\text{km}) \times 0.001(\text{kg/g}) \dots\dots\dots(7)$$

$Q(\text{kg/day})$: 배출량

$T(\text{대/hr})$: 교통량

$D(\text{km})$: 도로길이

$EF(\text{g/km, 대})$: 자동차 배출 계수

통과 교통량 자료를 이용한 배출량 자료는 해상도를 높여 교통량에 의한 배출 특성을 파악하는데 유리하나, 정확한 교통정보의 수집이 요구되며, 이처럼 교통량과 도로 길이를 산출하는 것이 원칙이지만 우리나라의 경우 상세한 교통량 확보가 어렵다는 단점을 지니고 있다.

③ 배출계수 산출방법

자동차 배기가스와 주행속도와의 회귀식을 통한 배출계수를 산출하는 방법으로, 배출계수는 조강래·김양균(1989), 조강래 외(1993), 조강래 외(1999)가 서울과 광주지역에서 실제 도로상황의 주행상태를 실험자동차의 평균차속, 4모드시간비율(정지, 가속, 정속, 감속), 평균가속율, 평균감속율, 평균회전속도, 평균연료소비량을 측정한 다음, 이를 10단계의 대표주행모드로 선정하여 배기가스를 측정하여 산정한 것을 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.

$$\begin{aligned} &\text{배출계수(g/km)} \\ &= \{(\text{연회발유 자동차 배출계수} \times \text{모델구성비}) \\ &+ (\text{무연회발유 자동차중 catalyzer activate 자동차의 배출계수} \times \text{모델구성비}) + (\text{무연회발유 자동차중 catalyzer unactivate 자동차 배출계수} \times \text{모델구성비})\} \times 100 \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

III. 배출량 추정 모형 정립

현재 환경부에서 공식적으로 자동차 대기오염 배출량을 산정하여 발표하는 방법은 앞 절에서 설명한 바와 같이 차종별 일일평균주행거리를 이용하는 방법이다. 이는 먼저 특정노

선을 선택하여 차량이 실제 도로상을 주행할 때의 주행패턴을 모의하여 차량속도를 기준으로 시험모드를 선정한다. 작성한 시험모드 하에서 차종별 시험자동차를 선정하고 차대동력계상에서 주행시켜 배출가스를 측정하며, 이로부터 속도에 따른 배출계수 산출 회귀식을 도출하고, 배출계수 회귀식에 연평균 통행속도를 대입하여 차종별 오염물질별 배출계수를 산출한다. 마지막으로 차종별 배출계수에 자동차등록대수와 차종별 일일주행거리를 곱하여 차종별 오염물질 배출량을 산출한다. 그러나 이러한 일일평균주행거리를 이용하는 집계방식은 개별차량의 속도 및 가속도에 의한 배출량 차

를 반영하지 못한다.

〈표 1〉에서 제시한 내용은 지금까지 사용되어온 배출계수와 차량속도와의 상관식이다. 최근 환경부에서는 CAPSS를 비롯하여 관련 연구를 진행하고 있으나 아직 현장 적용이나 구체적 활용사례를 찾기 힘든 상황이다.

이탈리아의 Milan에서 주행하는 경차를 대상으로 속도와 가속도에 의한 오염물질(CO, VOC, NO_x) 배출량의 상관성에 대해 실험한 연구³⁾에 따르면 다음과 같은 결과가 도출되었다. 이 실험은 네 가지의 주행 사이클(가속, 감속, 정속, idling 공회전)을 차대동력계에서 실험하여 얻은 데이터로 가속의 범위를 세분화

〈표 1〉 배출계수와 차량속도와의 상관식

(단위 : Q - g/km, V-km/hr)

차 종	연 료	배출 물질	배 출 량	계 수			
			Q	a	b	c	d
승용차	무 연	CO	$a \cdot V^b$	14.814	-0.392056		
		HC	$a \cdot V^b$	11.8404	-0.9212		
		NO _x	$a \cdot V^3 + bV^2 + cV + d$	-6.461E-5	0.00578	-0.1584	1.87638
승용차	유 연	CO	$a \cdot V^b$	271.33	-0.682204		
		HC	$a \cdot V^b$	16.3956	-0.5085		
		NO _x	$a \cdot V^3 + bV^2 + cV + d$	-5.8E-5	0.00474	-0.1149	2.388
택시	LPG	CO	$a \cdot V^b$	149.254	-0.9229		
		HC	$a \cdot V^b$	15.985	-0.8167		
		NO _x	$a \cdot V^3 + bV^2 + cV + d$	-6.6411E-5	0.00574	-0.15325	2.4779
소형 버스	경 유	CO	$a \cdot V^b$	5.19995	-0.3748		
		HC	$a \cdot V^b$	0.7756	-0.4936		
		NO _x	$a \cdot V^3 + bV^2 + cV + d$	-4.76E-5	0.0052956	-0.2032	3.81325
		Part.	$a \cdot V^b$	0.839189	-0.39045		
소형 트럭	경 유	CO	$a \cdot V^b$	22.3933	-0.8325		
		HC	$a \cdot V^b$	2.65035	-0.8233		
		NO _x	$a \cdot V^3 + bV^2 + cV + d$	-2.8223E-5	0.0038	-0.1658	3.3786
		Part.	$a \cdot V^b$	1.1737	-0.441978		

자료 : 조강래 외(1990)

3) Cernuschi et al. (1995, 175~183) 참조.

하고, 다섯 개의 다른 가속도의 분류를 통해 차량의 배출량 변화를 살펴본 결과, 가속도의 변화에 따라 배출량이 다르게 산출되었음을 알 수 있었다. 또한, CO, VOC, NO_x의 경우 속도의 크기가 클수록 가속이 배출량에 미치는 편차는 constant speed로 자동차가 달리는 경우 큰 차이를 나타내지 않으나 가속을 높게 할수록 배출량은 확연히 증가하는 것으로 나타났다.

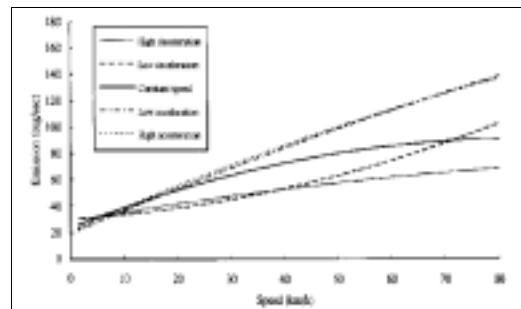
속도, 가속도에 따른 CO, VOC, NO_x 배출량을 그래프로 살펴보면 다음과 같다.

high decelerating mode : < -2 km/h · s
 low decelerating mode : -2 to -0.5 km/h · s
 constant speed modes : -0.5 to 0.5 km/h · s
 low accelerating modes : 0.5 to 2 km/h · s
 high accelerating modes : >2km/h · s

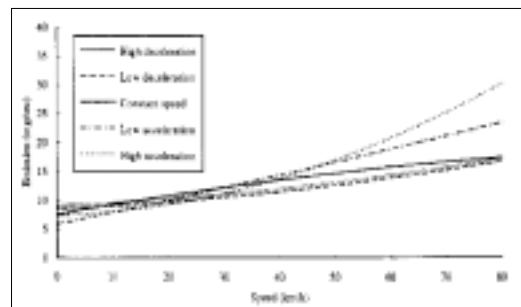
또한 승용차의 배출량과 연료소비량에 영향을 끼치는 요소들을 결정하기 위해 수행된 연구⁴⁾를 살펴보면, 속도와 가속도의 2가지 변수로 수행되는 결과의 예가 <그림 4>이다.

순간 배출량은 속도 프로파일에 의해 결정될 수 있으며 같은 속도로 차량이 주행할 경우, 가속도가 0일 때에 비해 높을수록 NO_x 순간 배출량은 높게 나타났으며 낮을수록 적게 나타났다.

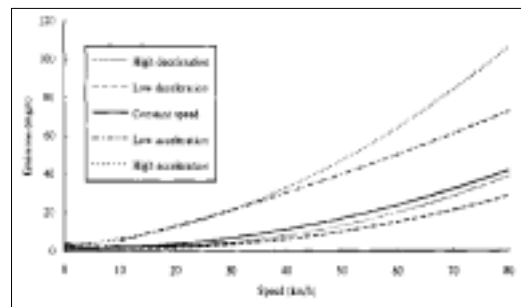
이와 같은 결과에도 불구하고 현행 국내 배출량 산출방법은 집계방식을 이용하고 있는바, 본 연구에서는 국내 배출량 산출방법의 한계를 살펴보고 본 연구에서 산정한 배출량 산출모형을 정립하고자 한다.



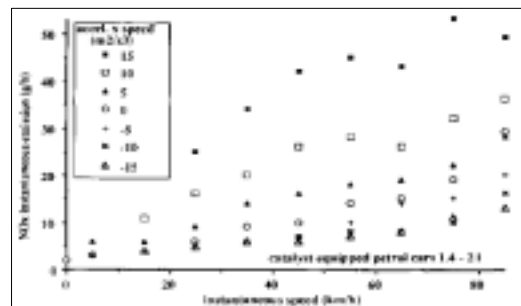
<그림 1> 속도, 가속도에 따른 CO의 배출량 변화



<그림 2> 속도, 가속도에 따른 VOC의 배출량 변화



<그림 3> 속도, 가속도에 따른 NOx의 배출량 변화



<그림 4> 속도, 가속도에 따른 촉매 장치가 장착된 휘발유 차량의 NO_x 배출량

4) Joumard et al. (1995, 167~174) 참조.

1. 국내 배출량 산출방법의 한계

국내 배출계수 산정방법은 기본적으로 TDA 방법으로서 차종별 배출계수는 평균통행속도만의 함수이므로, 실제 도로상에서의 시공간적 차량주행특성, 즉 속도와 가속도를 반영하지 못하고 이로 인해 자동차 대기오염물질 배출량을 정확하게 산출하기 어렵다. 이와 같은 국내의 자동차 대기오염물질 배출량을 산출하는 방법에서 발생하는 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 단위주행거리당 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 기본

척도가 되는 배출계수는 평균적 개념의 주행속도를 이용함으로서 하나의 오염물질에 대해 차종별 하나의 배출계수를 이용하고 있으며, 배출계수가 차량의 종류, 사용기간, 특히 주행속도에 민감하여 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, 등록대수의 경우 그 지역에 등록된 차량이라 해도 해당지역 내에서 실질적으로 운행되고 있다고는 볼 수 없고, 일일평균주행거리는 타 지역의 통행거리를 반영하진 않는다.

5) 교통정책에 따른 대기오염 영향평가 미흡

ITS와 같은 신기술 도입이나 교통운영상태의 개선 등으로 인한 대기오염 배출량의 저감 효과는 극미하며, 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. 따라서 연평균 개념의 배출량과 농도를 추정하고 있으며, 따라서 실시간으로 변화하는 교통류 흐름에 따른 배출량 차이를 산출하지 못하게 된다. 차량은 같은 평균주행속도를 가진다 하더라도

라도 극히 다른 차량주행특성(가속, 감속, idling)을 가질 수 있고 배출량의 형태 또한 극히 달라지는데, 저속과 idling 상태에서 높게 배출되고 적색불인 경우 많은 양의 CO가 방출되는 점을 예로 들 수 있다.

따라서 교통운영의 개선효과(램프미터링, 신호변동, 자동고속도로시스템 등)는 현재 우리나라와 같은 대기오염물질 배출량 산출모형으로는 평가할 수 없다. 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 개발하고자 한다. 본 연구에서 수행하는 구체적인 자동차 대기오염물질 배출량 산출방법과 격자(Grid)별 그 집계방법 및 연료소모량 추정방법은 다음과 같이 정립할 수 있다.

1) 배출량 산출방법 결정

미국 EPA의 MOBILE과 CARB의 EMPAC 모형 및 우리나라의 대기오염물질 배출량 산출방법은 다양한 교통상황의 영향 하에서 대기오염물질 배출량을 분석하는데 부적절하다. 본 연구에서는 연료소모량, 대기오염물질 배출량과 같은 MOEs(Measurement of Effectiveness)는 속도와 가속도에 크게 의존(Cohen, 1977)하는 점에 착안하여, 위와 같은 필요성을 만족시키는 배출량 산출모형을 개발하고자 한다.

(1) 자동차 대기오염물질 배출량 표(table)

영국 TRL의 MODEM의 자동차 대기오염물

질 배출량 표(emission unit table)를 이용하여 차종별·매 초당 속도와 가속도에 따른 배출량을 산출하며, 배출량 표는 대기오염물질별로 제시되며 그 양식은 다음과 같다.

〈그림 5〉 자동차 대기오염물질 배출량 표

(2) 배출량 산출의 일반식

위에서 제시한 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 합으로 구한다.

$$Q_p = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^n \sum_{t=1}^{t_s} f_j(V, a) \dots\dots\dots(9)$$

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)($t=1,2,\dots,t_s$)

j = 차종(p :승용차, q :버스, r : 트럭)

f_j = 차종별 배출량(속도, 가속도에 관한 함수)

V = 속도, a =가속도

2) 배출량 산출 시간별 집계

〈그림 6〉, 〈그림 7〉은 시간의 흐름에 따라 배출량의 정도가 달라지는 것을 보여주는데, 이는 배출량의 집계시간 간격에 따라 결과가 차이가 남을 보여준다. 따라서 배출량(g/sec)은 개별차량별로 매 초당 계산하고, 배출량 산정 격자별로 초단위로 자동차 대기오염물질 배출량을 집계한다.



〈그림 6〉 시간대별 배출량 변화 예(1)



〈그림 7〉 시간대별 배출량 변화 예(2)

3. 배출량 산출모형 정립

앞에서 살펴본 바와 같이, 평균통행속도를 사용한 거시적인 접근방식의 국내 배출량 산출방법은 개별차량의 행태에 따른 배출량을

나타내기에는 한계가 있다. 여기서는 배출량표를 이용하여 차량의 속도와 가속도에 따른 대기오염물질 배출량을 산정하는 일반식을 도출한다.

1) 배출량 표에 따른 배출량 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. 이러한 이유로 국내에서는 아직 배출량표 작성이 시도된 바 없으며, 본 연구에서 또한 해외의 연구결과⁵⁾를 기반으로 하여 배출량식을 도출하였다. 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 배출량 표의 내용을 실제 프로그램에 코딩하여 차량의 속도 가속도를 가지고 배출량을 찾는 데 걸리는 연산시

5) 본 연구에서는 미국의 NCHRP 프로젝트에서 제시한 자동차 대기오염물질 배출량표(emission unit table)를 적용하였다.

간이 오래 걸리는 것도 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. 이렇게 일반화된 식을 이용하면 실제 검지기에서 얻은 차량의 속도와 가속도를 입력하여 그에 따른 오염물질별 배출량을 산정하기 용이하고, 이것을 프로그램화한다면 코딩과정의 시간과 노력을 덜 수 있으며, 연산처리속도도 향상될 것으로 예상된다.

2) 배출량 산출 모형의 개요

(1) 모형 구축을 위한 기준 배출량

영국 TRL의 MODEM의 자동차 대기오염물질 배출량 표(emission unit table)에서는 대표적인 차종을 8가지⁶⁾로 나누고 각각에 대한 대기오염물질 CO, HC, NO_x와 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 -5~12ft/s², 속도 0~110ft/s 범위로 작성이 되어있는데, 본 연구에서는 이를 % 및 %로 환산하였을 때 국내의 도시부 도로실정을 고려하여 속도가 너무 높은 경우(속도 100km/h 이상)는 제외하고 분석에 이용하였다.

(2) 다중회귀분석

배출량을 산정하는 모형을 구축하기 위해서는 우선 배출량에 영향을 주는 주요 변수를 결정해야 할 것이다. 본 모형에서는 속도와 가속도, 차종을 기준으로 한 배출량 테이블을 적용하게 되므로 차종과 속도, 가속도를 독립변수로 적용할 수 있다. 다만 차종별 배출량 모형은 차종별로 별도로 제시되므로 본 연구에서는 직접적 변수로 포함하지는 않고 분석하였다.

먼저, 속도와 가속도를 모두 독립변수로 하는 하나의 배출량식으로 표현하기 위하여 다중회귀분석을 수행하였다. 회귀방정식의 형태는 다음과 같으며, 그림은 표본관찰치인 배출량 데이터에 적합된 회귀평면을 보여준다. 회귀평면은 수직방향에서 관찰치로부터 제공된 편차를 최소로 하는 평면이다.

$$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$$

\hat{Y} : 추정된 CO 배출량

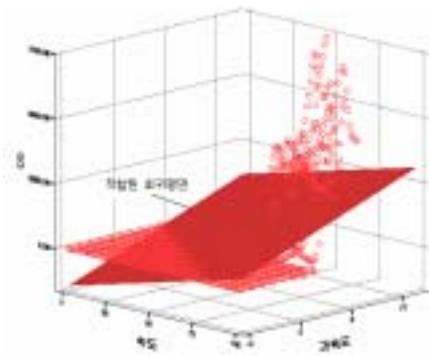
α : 상수

β_1, β_2 : 계수추정치

x_1 : 속도

x_2 : 가속도

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



〈그림 8〉 적합한 회귀평면

분석결과 조정된 R^2 값이 0.39로 나타나, 속도와 가속도를 함께 독립변수로 사용한 통합 회귀식으로 표현하기에는 모형의 적합성에 있어서 문제가 있는 것으로 판단되었다.

(3) 곡선추정 회귀분석

한편, 속도보다는 가속도에 의해 배출량 값이 크게 영향을 받는다는 연구결과를 앞서 고찰한 바 있다. 따라서, 가속도를 단계별로 구분하여 속도를 독립변수로 한 회귀모형을 도출하되, 표준관측치의 형태가 x 의 변화에 따라서 y 가 직선적으로 변화하는 직선의 형태가 아니므로 곡선추정(curve estimation) 회귀모형을 도출하기로 하였다. 곡선추정 회귀모형은 곡선을 적합시키는 회귀분석이며, 다음 〈표 2〉의 7가지가 사용 가능하다.

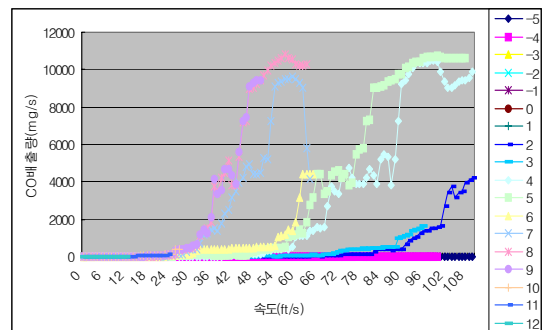
본 연구에서는 배출량의 형태가 유사한 가속도끼리 3가지 단계로 적절히 그룹화 하여 가장 높은 결정계수를 보이는 회귀모형을 사용하였다. 가속도의 그룹화에 있어서는 가속도와 속도에 따른 배출량 변화의 전체 패턴을 살펴본 후 유사한 패턴을 보이는 구간을 찾아 다음 〈표 3〉과 같이 그룹화 하였다.

〈표 2〉 곡선추정 회귀모형의 종류

모 형	방 정 식
2차모형 ~6차모형	$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 \dots b_nx^n$
복합모형	$y = b_0b_1^x$ $\ln(y) = \ln(b_0) + [\ln(b_1)]x$
파워모형	$y = b_0x^{b_1}$ $\ln(y) = \ln(b_0) + b_1 \ln(x)$
S-모형	$y = \exp(b_0 + \frac{b_1}{x})$ $\ln(y) = b_0 + \frac{b_1}{x}$
성장모형	$y = \exp(b_0 + b_1x)$ $\ln(y) = b_0 + b_1x$
지수모형	$y = b_0 \exp(b_1x)$ $\ln(y) = \ln(b_0) + b_1x$
로지스틱 모형	$y = \frac{1}{\frac{1}{u} + b_0b_1^x}$ $\ln(\frac{1}{y} - \frac{1}{u}) = \ln(b_0) + [\ln(b_1)]x$

〈표 3〉 모형 산정을 위한 가속도 그룹별 구분

가속도	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
case I (18단계)	모형 1	모형 2	모형 17	모형 18
case II (9단계)	모형 1	모형 2					모형 8			모형 9	
case III (4단계)		모형 1				모형 2			모형 3								모형 4	



〈그림 9〉 속도에 따른 배출량 변화

3) 배출량 산출 모형의 결과 및 적용성 분석

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 다음의 <표 4>와 같으며, 모든 회귀 모형의 결정계수는 0.85이상으로 모형의 적합도가 높게 나타났다. 그러나 이 결과만으로는

모형의 적용성을 평가하기 어려우므로 가상의 시나리오를 설정하고 도출된 모형set을 이용하여 구축모형의 적용성을 분석한다.

위의 결과는 미시적 교통류 모형에서 도출된 결과로서 현장 적용을 위해서는 실제 주행 차량에 대한 조사를 바탕으로 한 정산 및 신뢰성 확보가 추가되어야 한다.

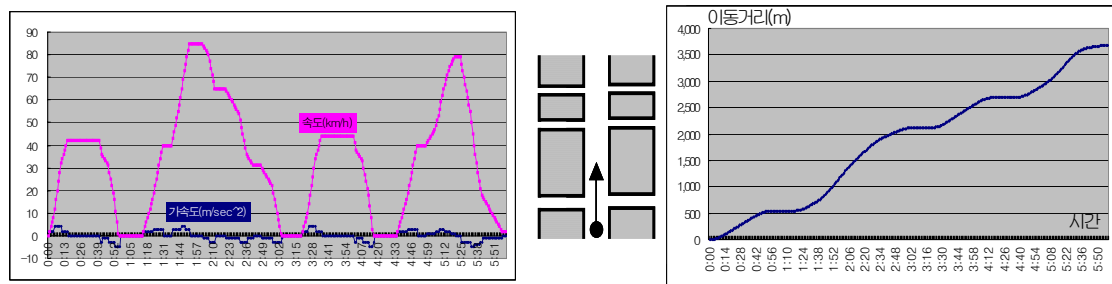
<표 4> 회귀식 도출결과

	가속도	R2	회 귀 식
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	$y = 0.5019e0.0296x$
	0	0.8789	$y = 0.589e0.0322x$
	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	$y = 0.6582e0.0724x$
	3	0.9649	$y = 0.8159e0.0785x$
	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	$y = -2E-05x^6 + 0.0029x^5 - 0.1849x^4 + 5.5705x^3 - 78.144x^2 + 422.95x - 458.87$
모형 set II	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	$y = 0.0012x^6 - 0.0455x^5 + 0.6397x^4 - 4.2323x^3 + 13.208x^2 - 16.185x + 18.133$
	-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	$y = 1E-10x^6 - 3E-08x^5 + 2E-06x^4 - 6E-05x^3 + 0.0004x^2 + 0.0014x + 0.6318$
모형 set III	-1~0	0.8687	$y = 0.5437e0.0309x$
	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	$y = 0.7556e0.075x$
	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	$y = 6E-05x^6 - 0.0039x^5 + 0.1009x^4 - 1.2064x^3 + 6.6614x^2 - 13.255x + 9.6582$
	-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	$y = 0.7059e0.03x$
모형 set III	2~6	0.7474	$y = 1.6805e0.0826x$
	7~	0.9259	$y = -0.0097x^4 + 1.1243x^3 - 35.698x^2 + 362.06x - 725.2$

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 가속 및 감속을 통해 주행하는 상황을 구성하였다. 가상 네트워크 및 설정된 차량의 속도와 가속도의 변화는 다음 <그림 10>과 같다.



<그림 10> 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 없다'라는 귀무가설에 대한 쌍체비교 결과 값은 아래의 <표 5>와 같다.

쌍체비교 결과, 가속도를 18단계로 구분한 모형 set I의 유의확률이 가장 높아 기준값과 가장 유사한 것으로 나타났고 다음으로 모형

<표 5> 모형별 대응t-test(쌍체비교) 결과

구 분	기준값(배출량표 이용)	모형 set I (18단계)	모형 set II (9단계)	모형 set III (4단계)
평 균	34	30	42	39
분 산	76,419	47,032	106,009	29,505
관 측 수	361	361	361	361
피어슨 상관 계수		0.988359475	0.981800815	0.42658419
가설 평균차		0	0	0
자 유 도		360	360	360
t 통 계 량		9.77092085	-2.014808949	-0.349561175
P(T<=t) 단측 검정		0.016458984	0.022333864	0.363436223
t 기각치 단측 검정		1.649098067	1.649098067	1.649098067
P(T<=t) 양측 검정		0.032917969	0.044667729	0.726872446
t 기각치 양측 검정		1.966573109	1.966573109	1.966573109

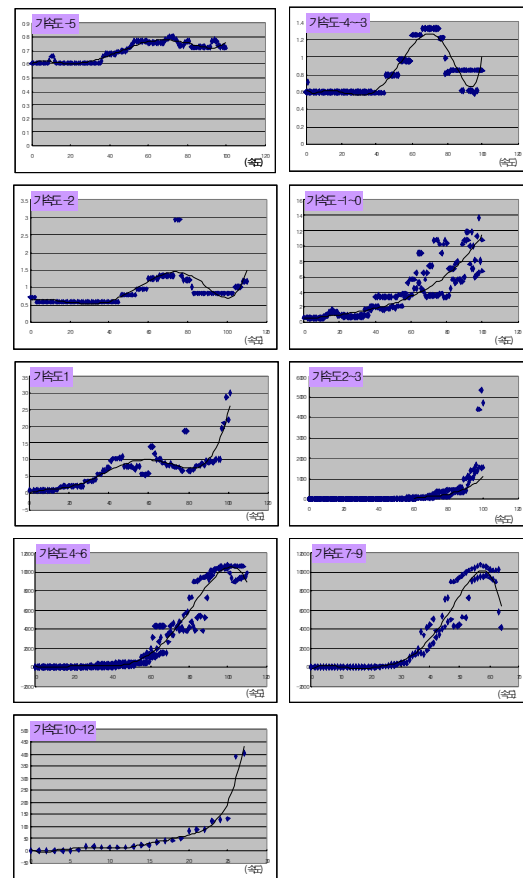
set II, III 순으로 귀무가설을 채택할 확률이 높은 것으로 나타났다. 모형 set I 과 II의 경우는 신뢰수준 95%에서 유의한 결과를 보였으나, 가속도 그룹의 구간을 크게 설정한 모형 set III의 경우는 신뢰수준 95%에서 귀무가설을 기각하여, 배출량표에 의해 도출된 기준값과 차이가 있다는 결과를 보였다.

3. 연구결과 및 모형선정 방향 제시

위의 결과와 같이 모형 set I 과 II가 신뢰수준 95%에서 기준값과 차이가 없다는 유의한 결과를 나타내었으나, 모형 set I 과 같이 가속도를 $1\text{ft}/\text{sec}^2$ 단위로 각각 모형식을 추정하여 프로그램에 적용하게 되면, 차종별·오염물질별로 각각 도출되는 모형식의 개수가 과도하게 많아져 연산의 속도를 향상시키거나 프로그램화의 작업효율을 높이려는 본 연구의 목적에 부합되지 않는다. 따라서, 같은 신뢰수준 하에서 동일하게 유의한 결과를 보인 모형 set II를 프로그램에 적용함이 바람직하다고 판단된다.

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 단계로 하여 모형 set을 구성하였으며, 각 모형set에 의한 배출량의 결과와 차이를 기준이 되는 값과 비교하기 위하여 쌍체비교를 수행하였다. 그 결과 가속도를 $1\text{ft}/\text{sec}^2$ 단위로 구분하여 도출한 회귀모형 set I 이 기준값과 차이가 없는

것으로 나타났으나, 프로그램 적용의 용이성 및 연산수행의 효율성을 고려하여 가속도 구간을 $1\sim 2\text{ft}/\text{sec}^2$ 단위로 그룹화하여 9개의 회귀식으로 구성된 모형set II를 적용할 것을 제안하였다.



〈그림 11〉 모형 set II의 회귀모형 도출 결과

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 자동차 배출가스와 환경오염 문제의 중요성이 갈수록 증대되고 있음에도 불구하고 실시간 교통류 상황과 더불어 대기 오염물질을 추정할 수 있는 모형에 대한 연구

가 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.

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.

더불어 본 연구에 있어서 중요한 시사점은 본 연구결과와 기존의 거시적 접근방식과의 역할 및 한계에 대한 인식이다. 개별차량의 주행행태를 고려한 배출량 산정은 기존 분석방법의 한계를 모두 불식시키는 만능의 배출량 산정모형이 아님이 분명하고, 분석·활용목적에 따라 배출량 산정이 달리 개발되고 적용될

수 있다는 사실이 인식되어야 할 것이다.

참고문헌

- 김진영·김영성·김용표, 1999, “서울수도권지역 주요 대기오염물질 배출원 자료 현황 분석”, 『한국대기환경학회지』, vol. 15(6): 813~826.
- 박성규·김신도·이영인, 2001, “자동차 대기오염물질 산정 방법론 설정에 관한 비교 연구”, 『대한교통학회지』, 19권 제 4호.
- 서광석·김종규, 1995, “교통여건 변화에 따른 자동차 오염물질 배출에 관한 연구”, 『한국환경관리학회』.
- 이영인, 2002, “교통대응 신호제어전략의 평가를 위한 미시적 시뮬레이터의 원형 개발”, 『대한교통학회지』, 19권 제6호.
- 장영기·조경두, 1997, “GIS를 이용한 이동오염원 배출량 산정”, 『대기환경학회 학술대회 논문집』, Vol. 2.
- 조강래, 2001, “자동차에서 배출되는 오염물질의 배출계수 산출과 예측”, 환경부문 학술 강연회.
- 조강래·김종준·홍유덕, 1999, “운행중인 삼원촉매부착 승용차의 오염물질 배출특성”, 『한국대기환경학회지』, vol. 11.
- 조강래·엄명도·김종훈·홍유덕·김종규·한영출, 1993, “자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산출에 관한 연구”, 『한국대기환경학회지』, vol. 9.
- 조강래·김양균, 1989, “ 시내버스 매연 방지를 위한 촉매산화 여과 장치의 실용화 연구”, 제8회 대기보전학술연구발표회.
- 조규탁, 2002, 『자동차 배기오염물질 배출량의 공간해상도 개선을 위한 Nested Top Down Approach 개발』, 서울대학교 박사학위 논문.
- 경기개발연구원, 2002, 『수도권 자동차 대기오염물질 배출량 추정 및 대기오염 저감정책방안 연구』.
- 환경부, 『대기환경연보』, 2001.
- Cernuschi, S., M. Giugliano, A. Cemin and I. Giovannini, 1995, “Modal analysis of vehicle emission factors”, *The Science of the Total Environment*, 169: 175~183.
- Cohen, S. L., 1997, “Use of Traffic Simulation in Analysis of Carbon Monoxide Pollution”, *Transportation Research Record* 648: 74~76.

- Hung, W. T. and H. Y. Tong, 2000, "Review of vehicle emissions and fuel consumption modelling approaches at signalized road network", *Hong Kong Society for Transportation Studies*, 2: 234~239.
- Journard, Robert, Peter Jost, John Hickman and Dieter Hassel, "Hot passenger car emissions modelling as a function of instantaneous speed and acceleration". *The Science of Total Environment*, 169: 167~174, 1995.
- 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.
- 원 고 접 수 일 : 2004년 9월 6일
1차심사완료일 : 2004년 11월 1일
최종원고채택일 : 2004년 11월 18일