

## 자동차 평균통행속도 적용방식에 따른 대기오염 배출량 비교 연구

### A Study on the Comparison of Air Pollutants Emissions according to Three Averaging Methods of Vehicular Travel Speed

조 규 탁

서울대학교 환경대학원 환경계획연구소  
(2005년 1월 12일 접수, 2005년 5월 17일 채택)

Kyu-Tak Cho

*Environmental Planning Institute, Seoul National University*

(Received 12 January 2005, accepted 17 May 2005)

#### Abstract

This study was conducted to develop a method to be able to estimate the vehicular emissions according to spatial scales—Seoul province, 25 counties and hundreds of grids (1 km × 1 km). First, the emissions at each spatial scale was calculated by using the road network and the travel volume and speed of each link modeled by travel demand model (TDM). Second, the emission at each spatial scale was calculated on the basis of average speeds estimated by using three kinds of averaging method. These are called the provincial, volume-delay function (VDF) and zonal method, respectively. Third, three kinds of emissions and those by TDM are compared each other at three spatial scales. In Seoul (provincial scale), three kinds of emissions are less than those by TDM, but the differences of TDM from three speed averaging methods (SAMs) are small. The relative ratios of three SAMs to TDM are 88~90% in CO, 99~100% in NO<sub>x</sub>, 84~85% in VOCs. At county scale, NO<sub>x</sub> among three pollutants showed the highest correlation between TDM and three SAMs and the zonal method among three SAMs was proven to be the highest correlation with TDM. NO<sub>x</sub> showed the coefficients ( $R^2$ ) greater than 0.9 in all three SAMs but CO and VOC showed the coefficients ( $R^2$ ) greater than 0.9 in only zonal method. Slopes of correlations of all pollutants showed the values close to '1' in zonal method. In the other two SAMs, slopes of NO<sub>x</sub> showed the values close to '1', but those of CO and VOC showed the values less than 0.85. At grid scale, correlations between TDM and three SAMs were not high. CO showed 0.68~0.77 in  $R^2$ s and 58~0.68 in slopes. NO<sub>x</sub> showed 0.90~0.94 in  $R^2$ s and 0.86~0.94 in slopes. VOC showed 0.56~0.70 in  $R^2$ s and 0.48~0.57 in slopes. There are not high correlations between TDM and three SAMs in grid scale. This study showed that there is the most suitable method for calculating the average travel speed at each spatial scale and it is thought that the zonal method is more suitable than the VDF or provincial method.

**Key words** : Mobile emission, Travel demand model, TDM, Spatial scale, Grid emission

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-880-8828, E-mail : chokt304@chol.com

## 1. 서 론

1990년대로 들어서면서 이산화황, 일산화탄소 및 총먼지의 오염도는 상당히 개선된 반면에 질소산화물과 오존 오염도는 별로 개선되지 않고 있으며, 또한 총먼지의 감소에도 불구하고 미세먼지 오염도는 악화되는 것으로 나타났다. 배출원 분포를 살펴보면 대도시 지역에서는 발전시설, 대형보일러 및 산업시설 등의 배출기여도가 감소하고 있는 반면에 자동차가 중요한 배출원으로 부상하고 있다.

2002년 자료(환경부, 2004)에 의하면 자동차의 전국 배출기여도는 CO 79.4%, NOx 42.4%, SOx 1.3%, TSP 33.6%, PM10 43.4%, VOC 16.7% 등으로 나타났으며, 서울시 기여도는 CO 90.0%, NOx 61.1%, SOx 11.0%, TSP 71.2%, PM10 73.7%, VOC 31.1% 등이었다.

주요한 자동차 배출량 연구를 살펴보면 1980년대 초반에는 자동차공해연구소를 중심으로 배출계수 개발과 국가 및 시도 단위 배출량 산정연구가 수행되었고(국립환경연구원, 2004; 국립환경연구원, 1991; 국립환경연구원, 1990; 국립환경연구원, 1989; 조강래 등, 1986; 조강래 등, 1984; 조강래 등, 1983; 조강래 등, 1981), 1990년 중반부터는 고해상도 격자 배출량 산정방법이 개발되었는데(조규탁 등, 2002; 에너지기술연구원 2001; 장영기 등, 2000; 환경부, 1995), 대부분 Top Down Approach에 기반하고 있으며, 서울지역에 대한 일부 연구에서 교통수요모형(travel demand model, 이하 TDM)을 활용하였다(서울특별시, 1996)

자동차 배출계수는 주행속도에 대한 상관회귀식으로 산출하는데, 도로구간(link)별 주행속도를 이용한다면 가장 신뢰할 수 있는 배출량 산정이 가능하다. 1990년대 말까지 환경부(1998)에서는 단일 평균주행속도를 적용하여 배출량을 평가하였고, 에너지기술연구원(2001)은 고속국도, 국도/국가지원지방도/지방도 및 기타(특별시도 및 시군구도) 등으로 구분된 도로종류에 대하여 각각 80, 50, 25 km/h의 평균속도를 적용하는 방안을 제시하였다. 서울시(1996)는 TDM에서 평가한 링크별 속도를 이용하여 배출량을 산정하였으나, 지속적으로 이용되지 못하고 있다. 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System, 이하

CAPSS)에서는 실측 구간의 경우 실측 주행속도를 적용하고 비실측 구간에서는 도로종류에 따라 평균속도를 다르게 적용하는 방안을 제시하였는데, 특광역시 도로는 지역평균속도를, 기타 시지역 도로는 7대 특광역시 평균속도를, 군지역 도로는 제한속도의 80%를 적용하였다.

지금까지 살펴본 것처럼 평균속도는 배출계수를 결정하는 중요한 요소임에도 불구하고, 적절한 검토나 분석 없이 임의의 기준으로 산출된 평균속도를 이용하고 있어서 배출량 자료의 신뢰성을 판단하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 평균주행속도 적용방식에 따른 배출량 공간분포를 비교하여 국내실정에 적용 가능한 자동차 배출량 산정방법을 제안하고자 한다.

## 2. 연구방법 및 자료

### 2.1 개요

본 연구에서는 TDM에 의해 생성된 링크별 통행량 및 통행속도를 이용하여 산정한 배출량과 3가지 평균주행속도-단일평균주행속도, 도로종류별 평균주행속도, 자치구별 평균주행속도-에 의한 배출량을 상호 비교하여 차이를 분석하였다.

### 2.2 기초자료

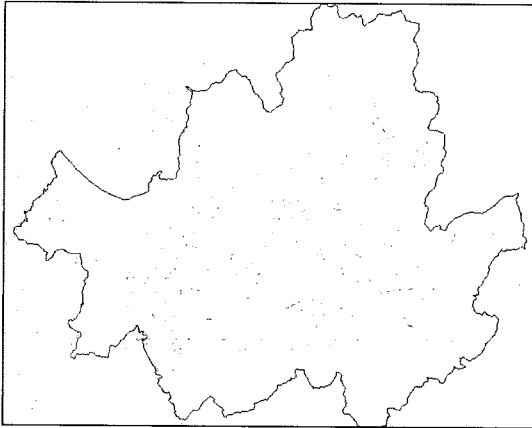
본 연구에서 사용한 링크별 교통량 및 속도 자료는 서울시(1997)에서 작성한 수도권 O-D(origin-destination) 및 가로망 자료를 기초로 서울시정개발연구원에서 EMME/2를 이용하여 산출한 시간대별 배정결과이다. 첨두, 비첨두 및 중간첨두로 나누어 통행량을 산출하는데, 수요모형에 의한 노선배정결과는 승용차환산대수(PCU; passenger car unit)로 표시되므로 차종별 통행량을 평가하기 위해서는 적절하게 분할해 주어야 한다. 수요모형자료에서는 승용차, 택시, 중소형승합차, 대형승합차 및 화물차로 구분하였으나, 본 연구에서는 배출계수 구분에 일치시키기 위하여 서울시(1996)에서 제안한 차종별 등록대수에 기초한 분류방법을 적용하였다. 최종 차종별 구분계수는 표 1과 같다.

노선배정에 이용된 1996년도 가로망(road network)은 대중교통 가로망과 기타 교통수단별 가로망

**Table 1. Allocating factors to split a kind of vehicle into nine kinds of vehicles in travel volumes estimated by TDM (1997).**

Factor	GPC	LPGT	Small bus		HDB	Freight car		
			LDB	MDB		LDT	MDT	HDT
	0.61	0.145	0.07365	0.00135	0.044	0.095508	0.012474	0.018018

GPC: gasoline passenger car, LPGT: LPG taxi, LDB: light-duty bus, MDB: medium-duty bus, HDB: heavy-duty bus, LDT: light-duty truck, MDT: medium-duty truck, HDT: heavy-duty truck



**Fig. 1. Road network used to assign the travel demand to each link in Seoul. Seoul is located in a bold solid line.**

**Table 2. A description on relationship between the road functional class and the number of volume-delay function (VDF) on road network in Seoul.**

Road functional class	VDF no.
National freeway	1
Urban freeway	2
Major arterial road	3
Minor arterial road	4
Road (collectors)	10
National arterial road	5
Local road	6
Subway	19
Ramp	7
Bridge/tunnel	8
Overpass	9
Bus lane	13
Centroid connector	11
Subway connector	14, 18

으로 구성된다. 그림 1에는 서울지역 및 인근의 가로망이 제시되어 있는데, 주요 링크 4,852개에 대하여

**Table 3. A summary on matching a county name to the number of a zone used in this study.**

Zone no.	County name
1	Chongno-Gu
2	Chung-Gu
3	Yongsan-Gu
4	Songdong-Gu
5	Kwangjin-Gu
6	Tongdaemun-Gu
7	Chungnang-Gu
8	Songbuk-Gu
9	Kangbuk-Gu
10	Tobong-Gu
11	Nowon-Gu
12	Unp'yong-Gu
13	Seodaemun-Gu
14	Mapo-Gu
15	Yangch'on-Gu
16	Kangseo-Gu
17	Kuro-Gu
18	Kumch'on-Gu
19	Yongdungp'o-Gu
20	Tongjak-Gu
21	Kwanak-Gu
22	Soch'o-Gu
23	Kangnam-Gu
24	Songpa-Gu
25	Kangdong-Gu

통행량 및 속도가 추정되었다.

링크별 통행속도는 도로위계에 따라 부여된 통행지체함수 (Volume-Delay Function, 이하 VDF)로 평가하는데, 표 2에는 1997년에 이용된 도로위계 및 VDF 번호가 제시되어 있다.

표 3에는 본 연구에서 사용한 존번호와 실제 자치구의 명칭이 제시되어 있다. 이후 자료 분석에서는 존번호를 이용하였다.

링크별 통행량과 통행속도를 이용하여 CO, NOx 및 VOC 등의 배출량을 산정하였으며, 배출계수는 한국에너지기술연구원 (2001)의 연구결과이다. 이륜차

는 고려하지 않았으며, 대형버스 중에서 평균 통행속도 50 km/h 이상에 대해서는 대형트럭의 배출계수를 활용하였다. 승용차는 중형승용차(배기량 1,500

~2,000 cc)의 배출계수를 대표값으로 고려하였다. 아래 표 4~6에는 CO, NOx 및 VOC에 대한 차종별 배출계수식이 제시되어 있다. 현재 엔진가열배출(hot

**Table 4. Equations on CO hot start emission factors (2000).**

Vehicle	Category	CO emission factor equations (g/km)	R <sup>2</sup>
Passenger Car	Unleaded gasoline	• $65.759 * V^{\wedge} (-1.1804)$	0.98
	Taxi	• $232.52 * V^{\wedge} (-1.2534)$	0.99
Bus	Light-duty diesel	• $3.7386 * V^{\wedge} (-0.5273)$	0.88
	Medium-duty diesel	• $16.937 * V^{\wedge} (-0.6203)$	0.90
	Heavy-duty diesel	• $\leq 50 : 23.761 * V^{\wedge} (-0.5094)$ for urban bus • Other buses use the equation of heavy-duty diesel truck	0.96
Truck	Light-duty diesel	• $3.331 * V^{\wedge} (-0.386)$	0.87
	Medium-duty diesel	• $30.701 * V^{\wedge} (-0.6688)$	0.99
	Heavy-duty diesel	• $44.229 * V^{\wedge} (-0.7411)$	0.98

\*speed (V) range → 10~100 km/hr, \*engine capacity of unleaded gasoline → 1,500~2,000 cc

**Table 5. Equations on NOx hot start emission factors (2000).**

Vehicle category	NOx emission factor equation (g/km)	R <sup>2</sup>	
Passenger Car	Unleaded gasoline	• $7.4218 * V^{\wedge} (-0.803)$	0.97
	Taxi	• $4.3129 * V^{\wedge} (-0.5955)$	0.97
Bus	Light-duty diesel	• $35 \geq : 7.046 * V^{\wedge} (-0.58)$ • $35-100 : 0.0003 * V^{\wedge} 2 - 0.0339 * V + 1.7737$	0.98 0.92
	Medium-duty diesel	• $80 \geq : 30.015 * V^{\wedge} (-0.6054)$ • $80-110 : 0.0018 * V^{\wedge} 2 - 0.2758 * V + 12.507$	0.98 0.94
	Heavy-duty diesel	• $\leq 50 : 66.205 * V^{\wedge} (-0.4041)$ for urban bus • Other buses use the equation of heavy-duty diesel truck	0.95
	Truck	Light-duty diesel	• $35 \geq : 12.86 * V^{\wedge} (-0.7046)$ • $35-100 : 0.0002 * V^{\wedge} 2 - 0.0313 * V + 1.8357$
Truck	Medium-duty diesel	• $25 > 44.224 * V^{\wedge} (-0.5514)$	0.99
	Heavy-duty diesel	• $25-110 : 0.0009 * V^{\wedge} 2 - 0.1533 * V + 10.66$ • $82.397 * V^{\wedge} (-0.3783)$	0.92 0.97

\*speed (V) range → 10~100 km/hr, \*engine capacity of unleaded gasoline → 1,500~2,000 cc

**Table 6. Equations on HC hot start emission factors (2000).**

Vehicle category	HC emission factor equation (g/km)	R <sup>2</sup>	
Passenger Car	Unleaded gasoline	• $23.975 * V^{\wedge} (-1.5404)$	0.99
	Taxi	• $32.88 * V^{\wedge} (-1.2403)$	0.98
Bus	Light-duty diesel	• $1.2912 * V^{\wedge} (-0.778)$	0.94
	Medium-duty diesel	• $5.5534 * V^{\wedge} (-0.6478)$	0.82
	Heavy-duty diesel	• $\leq 50 : 8.1065 * V^{\wedge} (-0.6746)$ for urban bus • Other buses use the equation of heavy-duty diesel truck	0.99
Truck	Light-duty diesel	• $0.7334 * V^{\wedge} (-0.5169)$	0.89
	Medium-duty diesel	• $10.161 * V^{\wedge} (-0.6487)$	0.99
	Heavy-duty diesel	• $8.471 * V^{\wedge} (-0.566)$	0.95

\*speed (V) range → 10~100 km/hr, \*engine capacity of unleaded gasoline → 1,500~2,000 cc

start emission)계수만 개발되었으며 엔진미기열배출(cold start emission) 및 증발배출(evaporative emission)에 대해서는 계수가 개발되지 않아 본 연구에서는 엔진기열배출만 고려하였다.

2.3 평균주행속도

주행속도는 주행거리를 주행시간으로 나눈 값이다. 링크별 주행속도는 동행배정에서 VDF에 의하여 산출되며, 지역별 평균주행속도 또는 자치구별 평균주행속도는 링크별 주행속도를 단순 평균하는 방법과 누적주행거리를 누적주행시간으로 나누는 방법에 의해서 산출된다.

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{T_i}}{n} \quad [\text{method 1}]$$

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad [\text{method 2}] \quad (1)$$

- $\bar{V}$  = average travel speed (km/hr)
- $V_i$  = travel speed of link i (km/hr)
- $L_i$  = travel length of link i (km)
- $T_i$  = travel time of link i (hr)

평균주행속도는 서울시 전역, 도로위계 (도로종류) 및 자치구 등에 대하여 평가되었는데, 각각 전역평균(provincial), 도로평균 (VDF), 구평균 (zonal) 등으로 명명하였다. 전역평균은 단일값을 가지며, 도로평균

은 표 2에서 제시하는 도로위계별로 산정되므로 14개의 값을 가지고, 구평균은 25개의 자치구별로 평균값을 가지게 된다. 전역평균을 적용하면 하나의 차종별 배출계수가 이용되며, 도로평균을 이용하면 14개의 배출계수가, 구평균을 이용하면 25개의 배출계수가 이용된다. 링크별 속도를 적용하면 링크수만큼 배출계수가 이용된다.

두 가지 평균주행속도 산출방법을 이용하여 산정한 전역평균속도가 표 7에 제시되어 있다. 첨두시에 방법1에서 34.8 km/h, 방법2에서 27.5 km/h를 나타냈으며, 중간첨두시에는 방법1은 41.4 km/h, 방법2는 37.7 km/h로 평가되어 약간의 차이가 발생하였으나, 비첨두시에는 방법1에서 48.2 km/h, 방법2에서는 47.7 km/h로 방법에 따른 차이가 없었다. 본 연구에서는 경찰청 실측자료와의 비교를 통해 차이가 더 작은 방법2에 의한 평균주행속도를 선정하였다. 그런데, 1997년 서울경찰청 자료에 따르면 승용차는 18~23 km/h, 버스는 17~19 km/h의 평균속도를 보여주어 방법2에 의한 평균속도가 10~15 km/h 정도 크게 나타나고 있는데, 경찰청 자료가 출퇴근 등 첨두시에 주요 간선도로 및 교량 등 교통정체가 심한 지역에서 측정된 자료임을 감안하면 수요모형 자료의 평균통행속도가 더 크게 나타난 것은 당연하다고 추정된다.

그림 2는 통행시기별로 도로종류 (VDF)에 대하여 평가한 도로평균속도이다. 첨두시와 중간첨두시에는 도로종류에 따라 속도변화가 완만하지만 비첨두시에는 도로종류에 따른 속도변화가 크게 나타나고 있다. 비첨두시에 VDF 1 (고속도로)과 2 (도시고속도로)에서 고속주행 특성을 보여주었고, 가장 낮은 평균속도

Table 7. A summary on average travel speeds calculated by using the method 1 and 2.

Travel period	Method 1					Method 2		
	Sample	Min (km/h)	Max. (km/h)	Avg. (km/h)	Std. (km/h)	Length (A) (km)	Time (B) (h)	Speed (A/B) (km/h)
Mid hour (14:00-15:00)	4851	1.0	96.8	41.4	12.3	2,146.8	56.9	37.7
Non-peak hour (05:00-06:00)	4852	1.8	100.0	48.2	10.2	2,146.8	45.0	47.7
Peak hour (08:00-09:00)	4726	0.4	96.9	34.8	14.1	2,090.9	76.1	27.5

note: A detailed description on the method 1 and 2 is presented at equation 1.

는 침두시에 VDF 11(센트로이드 커넥터)에서 나타났다.

그림 3은 구평균속도를 산정한 결과이다. 일부 존의 경우 침두시에 매우 낮은 평균속도를 보였는데, 전역평균을 이용하는 방법에서는 이러한 저속구간을 고려하지 못하기 때문에 배출량 공간분포에서 오차를 발생시킬 가능성이 크다. 구평균의 존별 차이는 침두시 및 중간침두시에 상당히 크게 나타났으나, 비침두시에는 거의 나타나지 않았다.

2.4 배출량 비교

TDM에 의한 링크별 속도 및 3가지 평균속도에 의한 배출량은 대규모 공간수준(서울시), 중규모 공간수준(25개 자치구) 및 소규모 공간수준(1 km × 1

km 격자)에서 산정되었다. 배출량은 침두시, 중간침두시, 비침두시에 대하여 별도로 산정되는데, 본 연구에서는 침두시 및 비침두시는 각각 6시간, 중간침두시는 12시간으로 가정하여 일일배출량을 산정하였다.

산정된 배출량은 상관분석기법을 적용하여 비교하였는데, 상관계수(또는 결정계수) 및 기울기가 비교 지표로 사용되었다. TDM의 링크별 속도에 의한 배출량에 대하여 3가지 평균속도 산출방법에 의한 배출량을 3개의 공간수준-서울시, 25개 자치구, 1 km × 1 km 격자-에서 비교하였다.

3. 배출량 산정결과 및 분석

3.1 서울시 총배출량

표 8과 그림 4는 속도 적용방식에 따라 산출한 서울시 배출량인데, 제시된 결과는 자료가 하나뿐이어서 통계적인 유의성 평가는 할 수 없었다.

NOx는 평균속도 적용방법에 따른 차이가 거의 나타나지 않은 반면에, CO와 VOC는 TDM에 의한 배출량과 다른 3가지 평균속도 사이에 큰 차이가 나타났는데, 특히 비침두시에 큰 차이를 나타냈다. TDM에 대한 3가지 평균속도의 배출비율을 살펴보면 CO는 88~90%, NOx는 99~100%, VOC는 84%로 나타났다. NOx는 3가지 평균속도 모두 TDM과 유사한 결과를 나타냈으나, CO 및 VOC는 모두 TDM보다 저평가된 배출량을 보여주었다. 이것은 배출계수식의

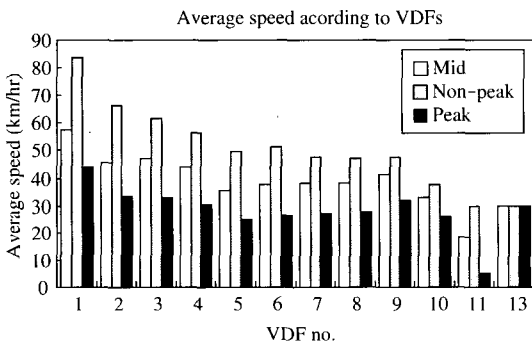


Fig. 2. A comparison of VDF average speeds calculated at each travel period.

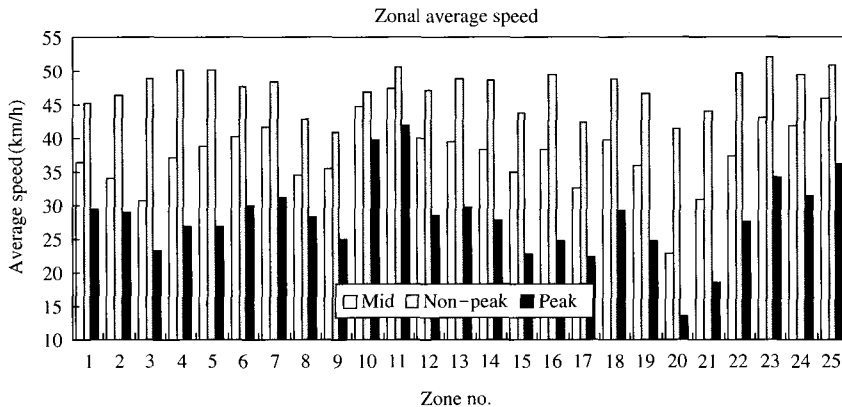


Fig. 3. A comparison of the county average speeds calculated at each travel period.

**Table 8. A summary of the emissions calculated at each travel period by using TDM and three different average speeds – the provincial, VDF and zonal average speeds. (unit : kg/year)**

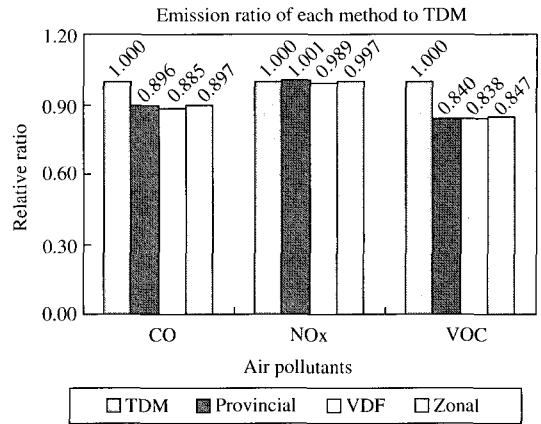
Pollutant	Travel period	Averaging method			
		TDM	Provincial	VDF	Zonal
CO	Mid	29,300.5	26,723.8	26,660.4	27,272.1
	Non-peak	6,412.5	6,581.1	6,124.1	6,501.8
	Peak	27,404.8	23,230.0	23,092.5	22,862.0
	Sum	63,117.8	56,534.9	55,877.0	56,635.9
NOx	Mid	30,998.0	30,239.4	30,186.3	31,108.3
	Non-peak	7,721.9	8,765.2	7,956.0	7,991.0
	Peak	23,793.0	23,599.8	23,654.2	23,241.0
	Sum	62,512.9	62,604.4	61,796.5	62,340.3
VOC	Mid	4,474.7	3,893.1	3,905.4	3,982.4
	Non-peak	989.3	947.7	918.2	968.1
	Peak	4,407.3	3,455.4	3,452.3	3,409.5
	Sum	9,871.4	8,296.1	8,275.9	8,360.0

형태와 관련이 있는데, CO와 VOC는 속도 20 km/h 이하 저속에서는 속도 감소에 따라 배출계수가 급증하는 형태의 상관회귀식을 가지는데, 평균속도를 적용하게 되면 이러한 배출특성이 반영되지 못한다. 특히 서울지역에서 배출기여도가 큰 승용차에서 이러한 현상이 뚜렷한데, 표 8과 그림 4의 결과는 평균속도 적용방식이 저속구간을 반영하지 못한 결과로 해석된다. 반면에 NOx는 평균속도에 따른 변동이 상대적으로 작았고 일부 배출계수는 속도의 2차식 형태이므로 50 km/h 이상에서 배출량이 증가하여 저속구간의 감소를 상쇄하는 효과를 보여주었다.

**3. 2 자치구별 배출량**

그림 5는 3가지 평균속도에 의해 평가된 자치구별 배출량과 TDM에 의한 결과를 비교한 것이다. NOx의 상관성이 가장 높게 나타났으며, 평균속도 중에서는 구평균(zonal)을 적용한 방식이 가장 높은 상관성을 보여주었다. NOx의 경우에는 모든 평균속도에서 0.9 이상의 결정계수(R<sup>2</sup>)를 보였지만, CO와 VOC는 구평균에서만 0.9 이상의 결정계수를 나타냈다.

기울기를 살펴보면 구평균은 모든 물질에서 1에 가까운 기울기를 나타냈으나, 다른 두 가지-전역평균 및 도로평균-평균속도는 NOx만 1에 가까운 기울기를 나타냈고, CO와 VOC는 0.85 이하의 기울기를 보여주었다. 전반적으로 구평균의 배출량이 TDM



**Fig. 4. Relative ratios of emissions calculated by using three different speed averaging methods to those by TDM**

에 의한 결과와 가장 상관성이 높았는데, 이러한 결과들은 공간규모에 따라 평균속도 적용방식이 변화되어야 한다는 것을 의미한다.

**3. 3 격자별 배출량**

그림 6은 3가지 평균속도와 TDM에 의한 격자별 배출량을 비교한 것이다. NOx가 구평균에서 비교적 높은 상관성을 보였으나, 전반적으로 낮은 상관성을 보여주었다. CO는 결정계수(R<sup>2</sup>) 0.68~0.77을 나타냈고 기울기는 0.58~0.68을 보여주었는데, 도로평균이 가장 낮은 상관성을 나타냈다. NOx는 결정계수(R<sup>2</sup>) 0.90~0.94, 기울기 0.86~0.94를 나타냈는데, CO와 동일하게 도로평균이 가장 낮은 상관성을 나타냈다. VOC는 결정계수(R<sup>2</sup>) 0.56~0.70, 기울기 0.48~0.57을 나타내어 세 물질 중에서 가장 낮은 상관성을 보여주었다. TDM의 배출량이 높은 격자의 경우 3가지 평균속도와의 편차가 더욱 크게 나타났는데, 이는 평균속도 적용방법이 저속구간의 배출특성을 반영하지 못하기 때문이다. 현재 대기질모델링을 위한 격자배출량은 지역배출량(시도별 또는 시군구별)을 “차선×길이” 비율에 따라 배분하는 방법으로 산정하는데, 이는 전역평균(provincial) 적용방식과 동일한 방법으로서 그림 6의 왼쪽에 해당하며 NOx를 제외하면 상관성이 높지 않은 방법이다.

전반적으로 평균속도에 의한 배출량은 1 km×1

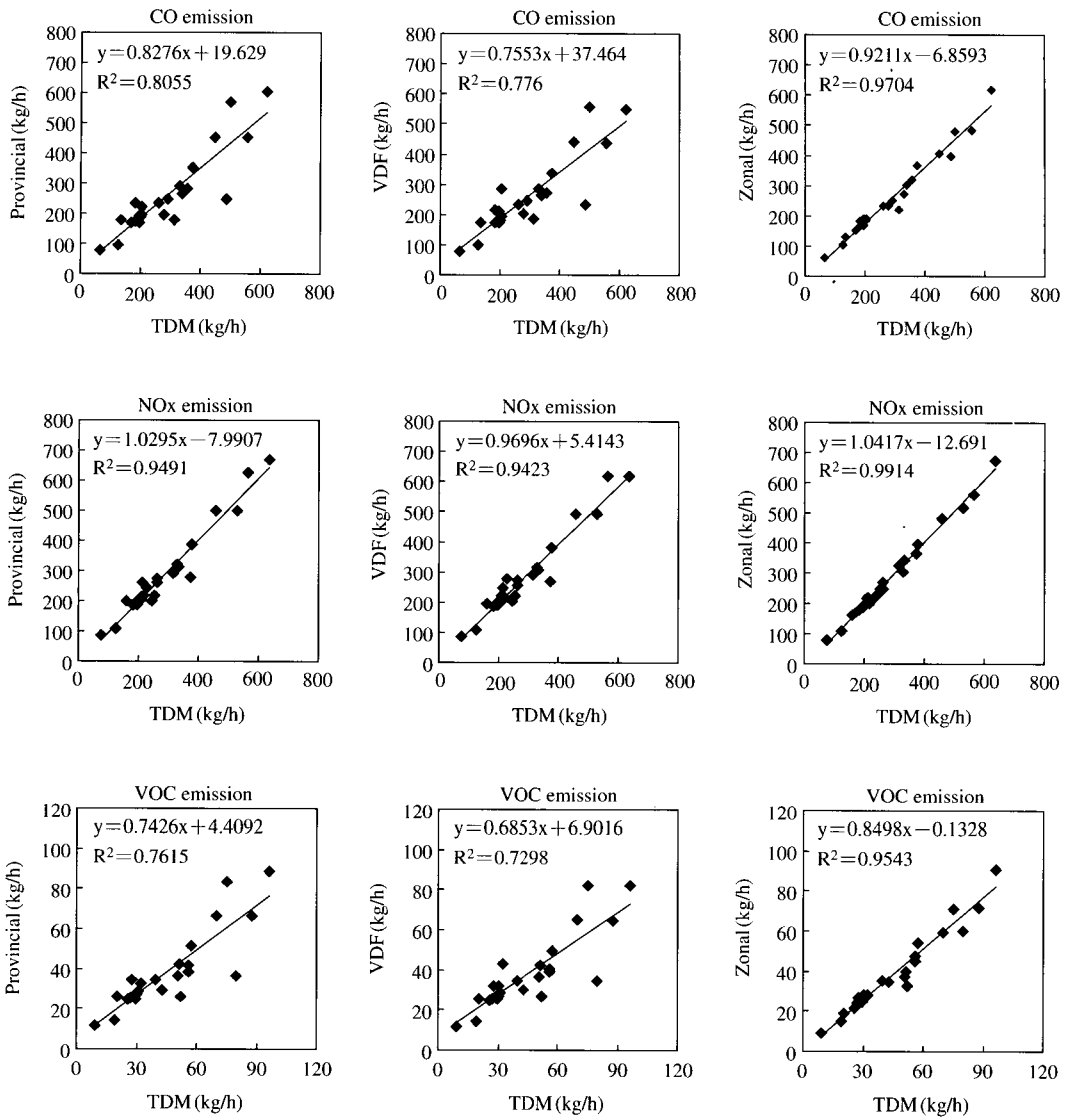


Fig. 5. Correlations of county emissions estimated by using three different speed averaging methods with those by TDM.

km 격자체계에서 상관성이 높지 않은 것으로 분석되었는데, 이는 교통수요모형에서 추정된 결과를 기반으로 도출된 결론이기 때문에 향후 실제 자료를 이용한 추가 평가가 필요하다. 이러한 불확실성에도 불구하고 만일 현재의 여건에서 대기질모델링을 위한 격자배출량 자료를 평균주행속도에 기초한 Top Down Approach (이하 TDA)를 이용하여 작성한다면

그림 6에 제시된 것처럼 구평균 방식을 적용하는 것이 바람직한 것으로 평가되었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 배출량 산정에서 평균속도 적용방식의



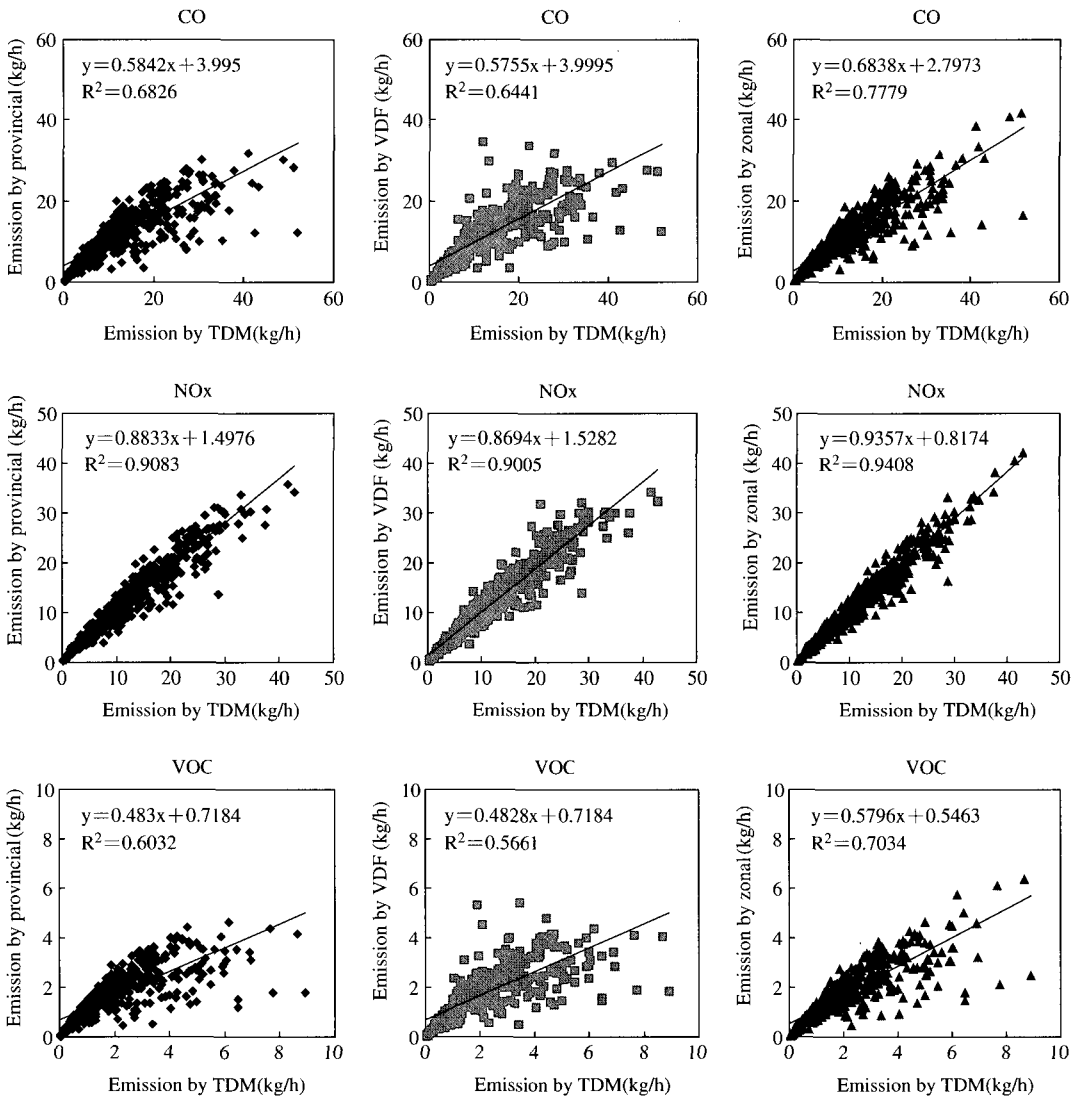


Fig. 6. Correlations of grid emissions estimated by using three different speed averaging methods with those by TDM.

타당성을 평가하고 개선방안을 도출하기 위하여 수행하였는데, 평균속도에 기초한 Top Down Approach는 오염물질 및 공간규모에 따라서 적용 가능성이 다른 것으로 평가되었다. TDM에 의한 링크별 속도와 3가지 평균속도-전역평균, 도로평균, 구평균-에 의한 배출량을 비교하였으며 그 결과는 아래와 같았다.

1) 서울시(대규모 공간수준)에서는, TDM 배출량에

대한 3가지 평균속도의 배출량이 비교적 비슷한 것으로 나타났다. TDM에 대한 3가지 평균속도의 배출비율을 살펴보면 CO는 88~90%, NOx는 99~100%, VOC는 84%의 배출비율을 나타내어 NOx가 가장 유사한 결과를 나타냈다.

2) 25개 자치구(중규모 공간수준)에서는 물질 중에서 NOx가, 평균속도 중에서는 구평균(zonal) 적용방식이 높은 상관성을 보였다. NOx는 모든 평균속도

에서 TDM 배출량과 0.9 이상의 결정계수( $R^2$ )를 보였지만, CO와 VOC는 구평균에서만 0.9 이상의 결정계수( $R^2$ )를 나타냈다. 회귀식의 기울기는 구평균에서는 모든 물질에서 1에 가까운 값을 나타냈으나, 나머지 평균속도는 NOx만 1에 가까운 기울기를 나타냈고, CO와 VOC는 0.85 이하의 기울기를 보여주었다.

3) 격자 규모에서는 물질 중에서 NOx가, 평균속도 중에서는 구평균이 TDM 배출량에 대한 상관성이 가장 크게 나타났지만, NOx를 제외하면 실제 상관계수는 높지 않았다. CO는 결정계수( $R^2$ ) 0.68~0.77을 나타냈고, 기울기는 0.58~0.68을 보여주었다. NOx는 결정계수( $R^2$ ) 0.90~0.94, 기울기 0.86~0.94를 나타냈다. VOC는 결정계수( $R^2$ ) 0.56~0.70, 기울기 0.48~0.57을 나타내어 세 물질 중에서 가장 낮은 상관성을 보여주었다.

대규모 공간수준(서울시)의 배출량을 제외하면, 3가지 평균속도에 의한 배출량은 TDM보다 항상 저평가되는 결과를 보였는데, 특히 TDM의 링크별 속도가 저속일수록 평균속도에 기초한 Top Down Approach는 저속구간의 배출특성을 적절하게 고려하지 못하는 것으로 나타났다. 특히 격자규모와 같이 공간규모가 상세할수록 배출량 산정방법의 개선이 시급한 것으로 나타났으며, 물질 중에서는 VOC에 대한 방법론 개선이 우선되어야 할 것으로 판단된다.

현행 배출계수 상환회귀식은 차속 5 km/hr 이하의 저속이나 공회전 상태의 배출계수는 산정할 수 없는데, 지금까지 분석결과에서 알 수 있는 것처럼 평균속도 방법은 저속구간 배출량을 적절하게 평가할 수 없으므로 향후 Top Down Approach에 기초한 배출량 산정방법을 계속 이용해야 한다면 이러한 초저속이나 공회전 상태의 배출량을 보정할 수 방법론이 개발되어야 할 것이다.

이러한 다양한 한계에도 불구하고 Top Down Approach를 이용하여 격자별 배출량을 작성할 경우, 본 연구에서는 전역평균(provincial)이나 도로평균(VDF)보다는 구평균(zonal)을 활용하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다.

### 감사의 글

본 연구에 활용된 교통수요모형 자료를 제공해 주

신 서울시정개발연구원 김운수 박사님과 이재섭 연구원에게 감사드립니다.

### 참고 문헌

국립환경연구원(1989) 도시지역 대기질 개선에 관한 연구 (I).

국립환경연구원(1990) 도시지역 대기질 개선에 관한 연구 (II).

국립환경연구원(1991) 도시지역 대기질 개선에 관한 연구 (III).

국립환경연구원(2004) 대기보전정책수립지원시스템 4차년도 사업 최종보고서 [4. 배출량산정방법론]

서울시정개발연구원(1998) 서울시 교통혼잡관리프로그램 실행을 위한 교통수요관리 효과분석체계의 구축, 시정연 98-R-10.

서울시정개발연구원(1999) 서울시 종합교통분석체계 정립 및 광역통행분석, 시정연 99-R-11.

서울특별시(1996) 2000년대 서울시의 대기오염물질 배출량 예측 및 관리방안 연구.

장영기, 최상진, 조규탁, 김태승(2000) 통행량을 고려한 자동차 대기오염 배출량 산출 조사연구, 대기환경학회 2000 춘계학술대회 논문집, 33-35.

조강래, 김양균, 동종인, 엄명도, 김종춘, 이영진(1986) 자동차 배출가스에 의한 오염물질 배출량 산정에 관한 연구 (II), 국립환경연구원보, 8, 151-161.

조강래, 김양균, 동종인, 최병찬, 엄명도(1983) 도심지 자동차 주행패턴에 관한 조사연구, 국립환경연구소보, 5, 81-103.

조강래, 김양균, 동종인, 최병찬, 엄명도, 김종춘, 이영진(1984) 자동차 배출가스에 의한 오염물질 배출량 산정에 관한 연구 (I), 국립환경연구소보, 6, 35-60.

조강래, 김양균, 동종인, 최병찬, 엄명도, 김종춘, 이영진, 주수영, 최양일(1984) 경유자동차의 오염물질 배출현황 조사연구, 국립환경연구소보, 6, 61-72.

조강래, 임근상, 동종인, 최병찬, 배정오(1981) 운행중인 자동차의 일산화탄소 저감대책에 관한 연구, 국립환경연구소보, 3, 79-85.

조규탁(2002) 자동차 대기오염물질 배출량의 공간해상도 개선을 위한 Nested Top Down Approach 개발, 서울대학교 박사학위 논문.

조규탁, 장영기, 최상진(1999) 자동차 오염물질 산정방법 개선방안, 한국대기환경학회 1999 추계학술대회 논문집, 75-76.

한국에너지기술연구원(2001) 자동차 오염물질 배출량 산출 연구-제3부: 이동오염원(비도로포함) 배출량 산정

- 환경부(1995) 먼 및 이동오염원 조사방법 개발 및 지침서 작성에 관한 연구.
- 환경부, 국립환경연구원(1998) 대기오염물질배출량('97).
- Borrego, C., O. Tchepel, N. Barros, and A.I. Miranda (2000) Impact of road traffic emissions on air quality of the Lisbon area, *atmospheric Environment*, 34, 4683-4690.
- Brandmeyer, J.E. and H.A. Karimi (2000) Improved spatial allocation methodology for On-road mobile emissions, *J. Air & Waste Management Association*, 50, 972-980.
- Kuhlwein, J. and R. Friedrich (2000) Uncertainties of modeling emission from road transport, *Atmospheric Environment*, 34, 4603-4610.
- Lin, K. and D.A. Niemeier (1998) Temporal disaggregation of travel demand for high resolution emission inventories, *Transportation research Part D* 3(6), 375-387.
- Lindley, S.J., D.E. Conlan, D.W. Raper, and A.F.R. Watson (1999) Estimation of spatially resolved road transport emissions for air quality management applications in the North West region of England, *The Science of the Total Environment*, 235, 119-132.
- Mensink, C., De I. Vlieger, and J. Nys (2000) An urban transport emission model for the Antwerp area, *Atmospheric Environment*, 34, 4595-4602.
- Niemeier, D.A., K. Lin, and J. Utts (1999) Using observed traffic volumes to improve fine-grained regional emission estimation, *Transportation research Part D* 4, 313-332.
- Samaras, Z., N. Kyriakis, and T. Zachariadis (1995) Reconciliation of macroscale and microscale motor vehicle emission estimates, *The Science of the Total Environment*, 169, 231-239.
- Sbayti, H., M. El-Fadel, and I. Kaysi (2002) Effect of roadway network aggregation levels on modeling of traffic-induced emission inventories in Beirut, *Transportation Research Part D* 7, 163-173.
- Sturm, P.J., K. Pucher, C. Sudy, and R.A. Almbauer (1996) Determination of traffic emissions-intercomparison of different calculation methods, *The Science of the Total Environment* 189/190, 187-196.