

## 대구시 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구

박 명 회 · 김 해 동 · 홍 정 혜  
계명대학교 환경학부 · 부산광역시 보건환경연구원  
(2002년 10월 17일 접수; 2003년 1월 6일 채택)

## Emission Estimation of Air Pollutants in Daegu

Myoung-Hee Park, Hae-Dong Kim and Jung-Hye Hong  
Faculty of Environmental Study, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea  
Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Busan 613-100, Korea  
(Manuscript received 17 October, 2002; accepted 6 January, 2003)

Urban air quality is usually worse than that of rural counterpart. The contrasting atmospheric properties seem to be direct result of different urban-rural air pollutant emission. Hence, the emission estimation of air pollutants plays an important role to the atmospheric environmental management. The main purpose of this study is to find out the temporal and spatial distribution of air pollutant emission in Daegu area.

For the study, the Daegu statistical yearbook and data of waste facilities and the report on traffic survey issued by Daegu metropolitan city and the statistical yearbook on the road capacity issued by the ministry of construction and transportation are used. Each item for the emission estimation is SO<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM-10 from point, line and area source. The result were as follow;

- (1) The air pollutants with the highest amount of emission from the emission source is CO followed by NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM-10, HC in descending order of magnitude.
- (2) The annually totaled air pollutant emission consists of 81%(73,185 ton/year) of line, 11%(9,589 ton/year) of area and 8%(7,445 ton/year) of point source in Daegu. Air pollutant emission was mainly due to line sources.
- (3) High-emission of the air pollutants of line source appeared ariond Bukgu, Dalseonggun, Dongu and Seogu ; the areas with highway networks.

Key words : Emission estimation, Point source, Line source, Area source

### 1. 서 론

현대사회는 산업의 발달과 도시의 광역화 및 자동차 운행의 증가 등으로 대기오염이 심각한 사회 문제로 대두됨에 따라 쾌적한 대기환경을 유지하기 위한 국민들의 욕구가 날로 증가되고 있으며 대기 오염물질을 유발하는 원인 물질도 다양해지고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 도시지역의 대기오염현상은 그 지역의 인구분포, 지형적 특성, 토지이용현황, 교통현황, 산

업활동의 종류 및 규모 등과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 그래서 해당지역의 대기오염의 피해를 저감하고 개선하기 위해서는 지형과 기상조건 외에 그 지역에 존재하는 대기오염원과 배출량의 파악과 관리가 중요하다.<sup>2)</sup>

대기오염배출량 조사란 대상지역 내에 있는 모든 오염원으로부터 일정기간 동안 대기 중으로 방출되는 오염물질의 종류와 양을 파악하고 배출원과 관련된 정보를 수집하는 것으로서, 대기확산모형의 적용을 위해서 반드시 필요하며 대기오염관리를 위해서는 모든 것에 앞서서 수행되어야 하는 가장 기본적인 일이다. 그리고 배출원 자료가 대기모델링에서 유용하게 활용되기 위해서는 모든 배출원 항

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Faculty of Environmental Study, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea  
Phone : +82-53-580-5930  
E-mail : hdkim@kmu.ac.kr

목이 공간적으로 시간적으로 정확히 분석되어야 한다.<sup>3)</sup> 또한 배출원 조사 자료는 대기오염 감축계획, 대기오염 피해연구, 대기오염도 측정망 설계 등의 기초 자료로도 활용된다.<sup>4,5)</sup>

대기오염물질의 배출량 산정에 관한 선행연구로, 박준대<sup>6)</sup>는 서울시의 자료를 이용하여 면 오염원에 대한 보다 정확한 산정방법을 개발하였으며, 박순웅 등<sup>7)</sup>은 1992년의 서울시와 인접한 도시의 대기오염예측모델의 개발을 목적으로 각 오염원별 오염물질 배출량 자료를 조사한 바가 있으며, 김동영<sup>8)</sup>은 서울지역을 중심으로 오염물질의 배출량을 산정하여 각 오염원들의 기여도를 분석한 바 있다. 또한 김유근 등<sup>4)</sup>과 임경택 등<sup>9)</sup>은 부산지역을 대상으로 배출량을 산정하고, 대기질 예측모델을 이용하여 부산지역의 대기질 예측을 시도한 바 있다. 그리고 박종길 등<sup>10)</sup>은 김해시를 대상으로 대기오염물질배출량을 산정하였는데, 이 연구에서 그들은 자동차에 의한 선 오염원의 비중이 다른 오염원에 비하여 월등히 큼을 지적하였다.

특히 도시 대기오염원 중 가장 많은 영향을 미치는 오염원은 도로교통에 의해 배출되는 선 오염원 이므로, 가능한 정확하게 배출수준(emission level)을 정량화 하는 것이 필요한데, 이는 도로길이의 분석에 의한 방법과 거리에 따른 배출량 수지에 의한 방법 등 여러 가지가 있다<sup>11)</sup>. 우리 나라 대도시의 선 오염원 조사와 관련해서, 조약수<sup>12)</sup>는 서울지역을 대상으로 선 오염원에 의한 대기오염물질 배출량의 시·공간적 분포파악을 한 바 있다. 외국의 예로서는, Alexopoulos 등<sup>13)</sup>이 그리스 아테네를 중심으로 차량 오염원에 대한 배출량 산정 및 대기오염기여도를 분석하였으며, Higashint 등<sup>14,15)</sup>은 동아시아의 NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 등의 배출량을 추정한 바 있다.

우리나라의 대표적인 내륙분지형 공업도시인 대구의 경우에는, 매년 환경백서에 발표되는 소비연료량에 근거하여 제시되는 각종 대기오염배출량의 연간 총량자료와 주요 산업시설의 점 오염원 및 주택단지의 면 오염원에 의한 대기오염배출총량의 공간분포 자료가 조사되어 있을 뿐이고, 현대 도시사회에서 압도적으로 많은 대기오염물질을 배출하는 선 오염원의 공간분포 및 점·선·면 배출원에 의한 대기오염물질배출량의 시·공간적 자료는 조사되지 못하였다.

이러한 배경에서, 본 연구에서는 대구지역의 대기오염물질 유동현상 파악을 위한 수치모델의 입력 자료로 활용 가능하게 하기 위하여 대구지역을 1km×1km 간격의 격자로 나누어, 점·선·면 오염원에

서 배출되는 대기오염물질배출량의 시·공간적 분포 자료를 산출하였다. 이 연구를 통하여 대구에 산재한 각종 오염원이 배출하는 대기오염물질에 의한 대기오염의 영향을 시·공간적으로 파악하게 됨으로써, 대구지역의 대기오염을 예측하여 관리할 수 있는 기초자료를 확보하게 되었다. 또 이 연구의 결과는 격자간격으로, 매시간별로 산출되었기 때문에 대기확산모델 뿐만 아니라, 국지순환모델에도 입력 자료로 바로 활용할 수 있다는 점에서 그 활용성을 제고하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 분석영역 및 자료

#### 2.1.1. 분석영역

대구시에서 배출되는 각종 오염원으로부터 오염물질 배출량을 산정하기 위하여 분석된 영역은 Fig. 1에 제시된 바와 같이, 동경 128°21'~128°46' 북위 35°36'~36°01' 중 달성군의 일부지역을 제외한 동서36km, 남북 27km의 영역이다.

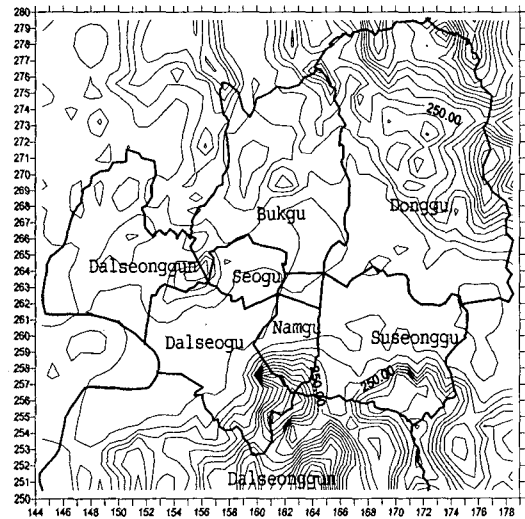


Fig. 1. Topography of Daegu.

대구시의 기후와 자연환경은 다른 지역에 비해 특색이 많다. 대구시 북쪽에는 팔공산 등 높은 산줄기가 여러 곳으로 뻗어 병풍처럼 둘러싸여 있고, 남쪽에도 비슬산 줄기와 여러 개의 높은 봉우리가 존재하며, 남서방면에는 와룡산이 위치하고, 그 사이를 금호강과 신천이 흐르고 있는 분지 지형이다. 이러한 이유로 대구는 기온의 일교차가 크고, 강수량이 다른 지역에 비해 적은 내륙분지형 기후를 나타낸다.<sup>16)</sup>

2.1.2. 분석 자료

대기오염배출량은 대구 지역을 나타낸 1: 25000의 지도를 이용하여 TM(Transverse - Mercator) 좌표에 따라 1km×1km의 격자로 나누어 각 격자내에 존재하는 점·선·면 오염원을 대상으로 배출되는 아황산가스(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 미세먼지(PM-10)의 배출량을 산정하였다. 본 연구에서 사용된 자료는 대구시의 통계연보<sup>17)</sup>, 교통조사자료집<sup>5)</sup>, 건설교통부의 도로별 통계연보<sup>3)</sup> 그리고 공해배출업소현황<sup>18)</sup>이다.

본 연구에서 산정된 배출량의 타당성을 검증하기 위해서는, 대구시 환경백서<sup>18)</sup>에 나와 있는 대구지역 대기오염원별(점·선·면) 대기오염물질 연간 총배출량과 비교하였다.

2.2. 산정된 대기오염배출물질

대구지역 내에 존재하는 대기오염물질배출업소, 차량, 주택들을 대상으로 점·선·면 오염원 구분하여 배출량을 산정하였다. 점 오염원은 배출업소 중 연간 고체연료로 환산한 사용량이 1,000톤 이상인 1, 2, 3종의 업소만을 대상으로 하였고, 면 오염원은 가정난방과 연간 고체 연료로 환산한 사용량이 1,000톤 이하인 4, 5종 배출업소를 대상으로 연료별 오염물질 배출계수를 적용하여 산정하였다. 선 오염원은 차종을 7종류(승용차, 소형버스, 중형버스, 대형버스, 소형화물차, 중형화물차, 대형화물차)로 구분하여, 국립환경연구원에서 제시한 차종별 배출계수를 적용하여 산정하였다<sup>2)</sup>. 배출량 산정 대상오염물질은 PM-10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC 이다.

2.3. 배출량 산정 방법

2.3.1. 면 오염원

면 오염원은 도시지역의 대부분을 차지하고 있으며, 그 수가 많아 오염배출량에 대한 실측이 불가능한 실정이다. 그래서 본 연구에서는 연료사용량과 사용연료에 따른 배출계수를 이용하여 산정한다. 각 격자별 면 오염원을 산정하기 위하여 사용된 오염원에 대한 자료로는, 대구시 발간의 통계연보<sup>17)</sup>의 구별 실제 가구수와 연료별 연간 사용량, 국립환경연구원<sup>2)</sup>에서 제시한 연료에 따른 배출계수이다. 이 연구에 사용된 배출계수를 Table. 2에 제시하였는데, 면 오염원에 의한 대기오염물질 배출량

Table 1. Annual total fuel consumption in Daegu (1998)

Fuel type	Coal(kg)	Kerosene (ℓ)	Diesel (ℓ)	LPG (kg)	LNG (m <sup>3</sup> )
Consumption	53.7	756.4	899.7	315.6	540.2

산정에는 연료별 오염물질 배출계수 중 난방부문 연료에 의한 배출계수를 이용하였다.

$$QG = N_g \times \sum_{n=1}^n (FC_n \times EF_n) \quad (1)$$

QG : Emission rate of grid (g/s)  
 N : The factor household number of grid  
 FC : Annual fuel consumption each household  
 EF : Emission factor  
 n : A fuel type

$$N_g = MH_g \times \frac{TH}{TMH} \quad (2)$$

MHg : Household number of gide  
 TH : Total household number of district  
 TMH : Total household number of map

2.3.2. 선 오염원

선 오염원에 의한 대기오염물질 배출량을 계산하기 위해서는 교통량조사자료집<sup>5)</sup>과 도로별 통계연보<sup>3)</sup>, 차종별 오염물질배출계수<sup>2)</sup>와 대구시 도로길이 추정 자료를 이용하여 산정하였다. 차종은 7종류(승용차, 소형버스, 중형버스, 대형버스, 소형화물차, 중형화물차, 대형화물차)로 구분하여 고려하였다.

$$QG = \sum_{k=1}^k (Len \times TQ_k \times EF_k) \quad (3)$$

QG : A daily emission rate of grid (g/day)  
 Len : Length of load in grid (km)  
 k : Various kind of vehicles  
 TQ : A traffic in grid  
 EF : Emission factor

2.3.3. 점 오염원

점 오염원에 의한 배출량은 대구시 공해배출업소 중 연간 연료사용량이 1000톤 이상인 대기분야 1, 2, 3종의 업소를 대상으로 하였으나, 입수한 공해배출업소 자료는 대기분야 1, 2, 3종의 업소 중 대구시가 보유한 자료를 이용하였다. 그리고 각 배출업소별로 TM좌표화 하여 연간 사용한 연료종류와 총 사용량을 조사하고, 연료의 종류별 대기오염물질 배출계수(Table.2) 중에서 산업용 대기오염물질 배출계수를 곱하여 점오염원에 의한 배출량을 구한다.

$$Q = FC \times EF \quad (4)$$

Q : Emission rate of pollutants  
 FC : Annual fuel consumption  
 EF : Emission factor

Table 2. Emission factors for each fuel

Emission Pollutant	Dust				SO <sub>2</sub>				CO				HC				NO <sub>x</sub>				
	Heating	Industry	Transport	Electric	Heating	Industry	Transport	Electric	Heating	Industry	Transport	Electric	Heating	Industry	Transport	Electric	Heating	Industry	Transport	Electric	
Gasoline	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kerosene	0.24	-	-	-	17S	-	-	-	0.6	-	-	-	0.067	-	-	-	2.4	-	-	-	
Diesel	0.1%	0.24	0.24	4.4	0.24	17S	17S	17S	17S	0.6	0.6	14.5	0.6	0.067	0.03	7.1	0.03	2.4	2.4	42.3	2.4
	0.05%	0.24	0.24	-	0.24	17S	17S	-	17S	0.6	0.6	-	0.6	0.067	0.03	-	0.03	2.4	2.4	-	2.4
Bunker A oil	0.84	0.84	4.4	0.84	18S	18S	19.1S	18S	0.6	0.6	0.414	0.6	0.067	0.03	0.082	0.125	2.4	2.4	6.7	6.5	
Bunker B oil	1.2	1.2	4.4	1.2	19S	19S	19.1S	19S	0.6	0.6	0.414	0.6	0.193	0.154	0.082	0.125	6.6	6.6	6.7	6.5	
Bunker C oil	4.0%	1.12S+0.37	1.12S+0.37	2.4	1.12S+0.37	19S	19S	19.1S	19.5S	0.6	0.6	0.414	0.6	0.193	0.154	0.082	0.125	6.6	6.6	6.7	6.5
	1.0%	1.12S+0.37	1.12S+0.37	2.4	1.12S+0.37	19S	19S	19.1S	19.5S	0.6	0.6	0.414	0.6	0.193	0.154	0.082	0.125	6.6	6.6	6.7	6.5
	0.5%	1.12S+0.37	1.12S+0.37	2.4	1.12S+0.37	19S	19S	19.1S	19.5S	0.6	0.6	0.414	0.6	0.193	0.154	0.082	0.125	6.6	6.6	6.7	6.5
	0.3%	1.12S+0.37	1.12S+0.37	2.4	1.12S+0.37	19S	19S	19.1S	19.5S	0.6	0.6	0.414	0.6	0.193	0.154	0.082	0.125	6.6	6.6	6.7	6.5
Coal	Hard Coal	0.6*	5A	-	5A	10.3*	19.5S	-	19.5S	32.2*	0.3	-	0.3	0.04	0.04	-	0.04	1.3*	9	-	2.4*
	Soft Coal	-	5A	-	5A	-	19S	-	19S	-	0.3	-	0.3	-	0.04	-	0.04	-	10.85	-	4*
Gas	LNG	0.003	0.1	-	0.05	0.01	0.01	-	0.01	0.64	0.56	-	0.64	0.18	0.09	-	0.28	1.5	2.24	-	8.8
	LPG	0.05	0.07	-	0.05	0.01	0.01	-	0.01	0.2	0.4	-	0.2	0.06	0.06	-	0.06	1.7	2.3	-	1.7

Table 3. Emission factors for each mobile(traffic source)

Vehicle		CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM-10	SO <sub>2</sub>	
Car	Private	2.60	0.43	0.44	0.01	0.03	
	Taxi	6.17	0.75	0.82	0.00	0.00	
Bus	Small	Gasoline	6.21	0.50	1.43	0.01	-
		LPG	6.17	0.75	0.82	0.00	-
		Diesel	1.28	0.10	1.44	0.34	0.048
	Middle	Diesel	1.82	0.73	1.54	0.64	0.14
		City	10.97	1.55	12.36	1.97	0.15
	Large	Cross-country	10.97	1.55	12.36	1.97	0.15
		Charter	10.97	1.55	12.36	1.97	0.15
		Highway	10.97	1.55	12.36	1.97	0.15
		Etc	10.97	1.55	12.36	1.97	0.15
	Truck	Small	Gasoline	6.21	0.50	1.43	0.01
LPG			6.17	0.75	0.82	0.00	-
Diesel			1.67	0.15	1.48	0.37	0.048
Middle		1.82	0.73	1.54	0.64	0.14	
Large	13.12	1.64	12.70	2.03	0.15		

Table 4. Classification of fuel by consumption rate

Degree	Hard coal consumption (ton/year)	Bunker C oil consumption (kl/year)	Energy consumption (10 <sup>9</sup> kcal/year)
1	10,000 more than	5,000 more than	49 more than
2	2,000~10,000	1,000~5,000	9.8~49
3	1,000~2,000	500~1,000	4.9~9.8
4	200~1,000	100~500	0.98~4.9
5	200 less than	100 less than	0.98 less than

2.3.4. 월별 대기오염물질 배출량 산정

먼 오염원의 월별배출량은 대구시에서 발간한 통계연보<sup>17)</sup>에 제시된 연료별 월별사용량을 이용하여 월별환산계수를 구하여, Table. 5에 제시하였다. Table. 5에서, 동계에 연료의 사용량이 많고 하계에 연료사용량이 적은 경향을 확인할 수 있다. 선 오염원의 월별배출량은 건설교통부에서 발간한 도로별 통계연보<sup>3)</sup>중 대구에서 농공간의 지점별 월별교통량을 이용하여 월별환산계수를 구하여 Table. 6에 제시하였다. 점 오염원의 월별배출량에 대해서

Table 5. Monthly conversion factors for area sources

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Coal	2.28	0.84	1.08	0.6	0.24	0.24	0.12	0.24	0.72	1.80	2.04	1.80
Kerosene	1.20	1.08	1.32	0.72	0.36	0.36	0.24	0.36	0.96	1.44	1.44	2.40
Diesel	1.08	0.84	1.20	1.08	1.02	1.02	0.96	0.84	0.96	0.96	0.96	1.08
LPG	1.32	1.20	1.20	0.96	0.84	0.84	0.84	0.72	0.84	0.96	1.08	1.20
LNG	1.42	1.24	1.20	1.08	0.84	0.72	0.72	0.60	0.72	0.72	1.08	1.66

Table 6. Monthly conversion factors for line sources

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Traffic	1.00	0.97	1.05	1.04	1.06	1.01	0.98	0.96	1.00	1.00	0.98	0.95

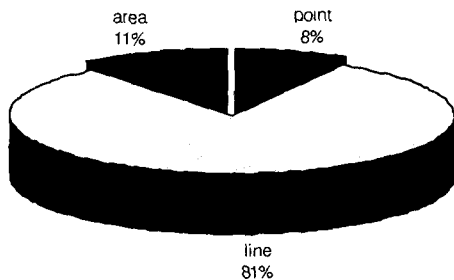


Fig. 2. The percentage of total air pollutants emitted from each source in Daegu.

는 통계연보<sup>17)</sup>의 B-C유와 LNG의 월별 사용량을 이용하여 월별환산계수를 구하여 Table. 7에 제시하였다.

### 2.3.5. 시간대별 대기오염물질 배출량 산정

시간대별 배출량은 대기오염물질배출량 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 선 오염원을 대상으로 하였다. 시간대별 환산계수는 대구시에서 발간한 교통조사자료집<sup>5)</sup>의 조사지점별 교통량을 이용하여 Table. 8에 제시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 시간적 분포

#### 3.1.1. 연간 대기오염물질배출량

본 연구에서 산출된 오염원별 배출량(Fig. 2)을 살펴보면, 차량에 의해서 발생하는 선 오염원이 총 배출량의 81%(73185ton/year), 면 오염원이 11%(9859ton/year) 그리고 점 오염원은 8%(7445ton/year)를 차지하는 것으로 나타났다.

그리고 발생원별 각종 대기오염물질 배출량 산정 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 점 오염원의 경우(Fig. 3(a))에 아황산가스( $SO_2$ , 4354ton/year)가 질소산화물( $NO_x$ , 2460ton/year)보다 약 2배정도 많이 배

Table 7. Monthly conversion factors for point sources

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bunker C oil	1.14	1.08	1.14	0.96	0.96	0.88	0.95	0.85	0.94	0.92	1.00	1.18
LNG	1.32	1.44	1.20	1.08	0.84	0.72	0.72	0.60	0.72	0.72	1.08	1.56

Table 8. Hourly conversion factors for line sources

Hour	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Traffic	0.58	0.40	0.28	0.23	0.25	0.40	0.76	1.13	1.24	1.31	1.32	1.24
Hour	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Traffic	1.22	1.23	1.28	1.29	1.33	1.35	1.46	1.36	1.28	1.17	1.04	0.86

출되고, 그 이외의 오염물질들 보다는 월등히 많이 배출됨을 알 수 있다. 선 오염원의 경우(Fig. 3(b))는 일산화탄소( $CO$ , 40966ton/year)가 가장 많이 배출되는데, 질소산화물( $NO_x$ , 20963ton/year)보다도 2배정도 많이 배출되고 있는 것으로 산정되었다. 점과 면 오염원에 비하여 탄화수소( $HC$ )와 미세먼지( $PM-10$ )도 많이 배출되고 있음을 확인할 수 있다. 면 오염원의 경우(Fig. 3(c))는 질소산화물( $NO_x$ , 4230ton/year)의 배출비율이 가장 높았고, 이어서 아황산가스( $SO_2$ , 2655ton/year), 일산화탄소( $CO$ , 2453ton/year), 미세먼지( $PM-10$ , 352ton/year) 그리고 탄화수소( $HC$ , 168ton/year)의 순이었다.

발생원별로 각각의 대기오염물질배출량에 기여하는 비율을 계산하여 Fig. 4에 제시하였다. 점 오염원의 경우(Fig. 4(a)) 아황산가스( $SO_2$ , 58%)가 질소산화물( $NO_x$ , 33%)의 2배정도 많이 배출되고, 다른 오염물질보다도 월등하게 많음을 알 수 있다. 선 오염원의 경우(Fig. 4(b)) 일산화탄소( $CO$ , 56%)가 질소산화물( $NO_x$ , 29%)보다 2배정도 많이 배출되고, 점과 면 오염원에 비해서 탄화수소( $HC$ )와 미세먼지( $PM-10$ )의 배출량도 많음을 알 수 있다. 면 오염원의 경우(Fig. 4(c)) 질소산화물( $NO_x$ , 42%)의 배출량이 가장 많은 비율을 차지하고, 이어서 아황산가스( $SO_2$ , 27%), 일산화탄소( $CO$ , 25%), 미세먼지( $PM-10$ , 4%), 탄화수소( $HC$ , 2%) 순이었다.

#### 3.1.2. 월별 대기오염물질배출량

각 오염원들의 월별배출량 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 점 오염원의 월별변화(Fig. 5(a))를 살펴보면, 한후기인 10월-3월에 걸쳐서 배출량이 많고 난후기인 4월-9월에 걸쳐서 배출량이 낮게 나타났다. 선 오염원의 월별변화(Fig. 5(b))에 있어서는, 춘계(3월-5월)에 배출량이 높고 하계(6월-8월)에 배출

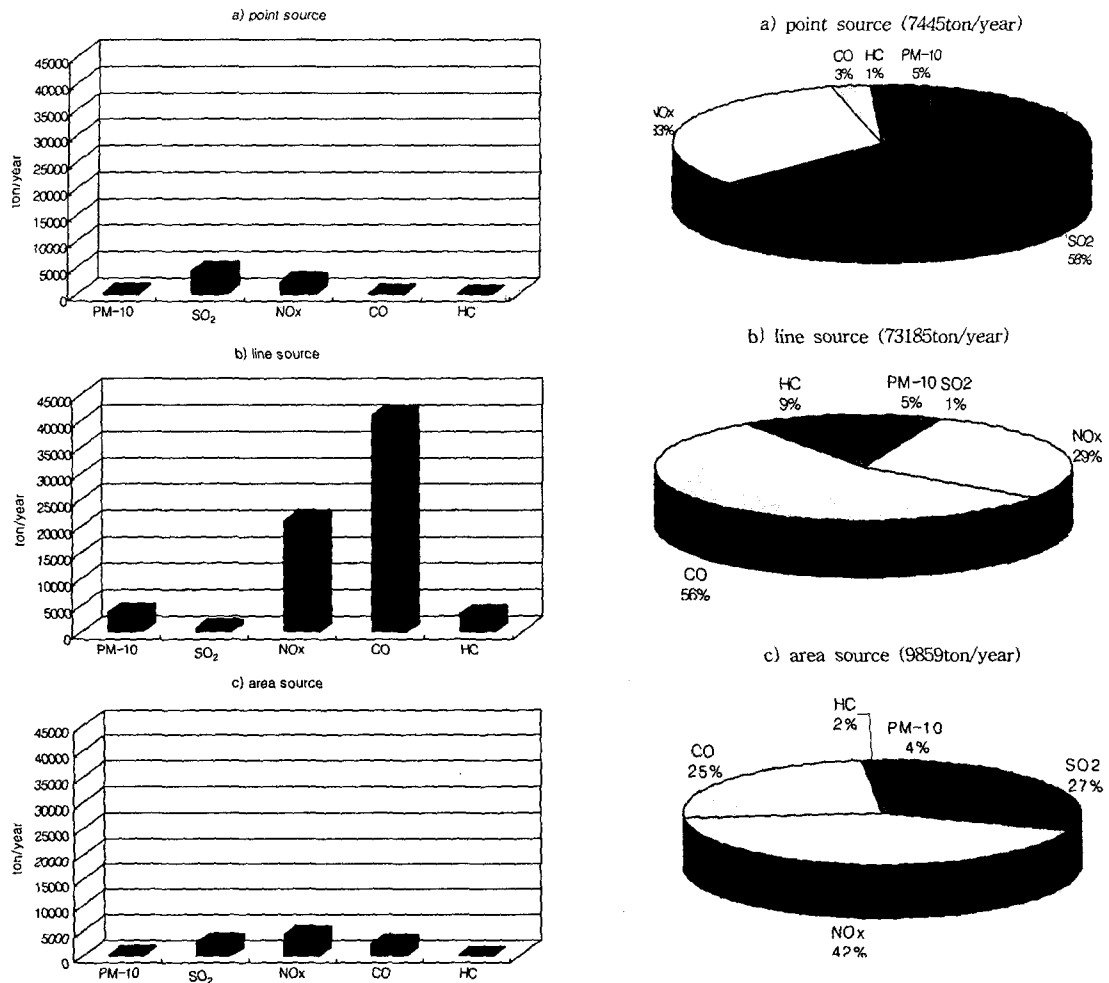


Fig. 3. Annual total emission for each source ((a)point, (b)line, (c)area) in Daegu.

Fig. 4. The percentage for each air pollutants emission for ((a)point, (b)line, (c)area) source in Daegu.

량이 상대적으로 작게 평가되었다. 먼 오염원의 월별변화(Fig. 5(c))에 있어서는, 한후기인 10월-3월에 걸쳐서 높고 평가되었고, 난후기인 5월-8월에 걸쳐서 배출량이 작은 것으로 나타났는데, 월별변화 폭이 다른 배출원(점과 선)에 비하여 크게 나타났다. 먼 오염원의 경우 동계의 배출량이 많은 이유는 겨울철 난방연료의 사용량이 많기 때문이다.

### 3.1.3. 시간대별 대기오염물질 배출량

시간대별 배출량은 대기오염물질배출량 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 선 오염원을 대상으로 하였다. 선 오염원 산정시 차량의 종류는 승용차, 소형버스, 중형버스, 대형버스, 소형화물차, 중형화물차, 대형화물차로 나누어 계산하였다. 차종별 교통량을 Fig. 6에 제시하였는데, 승용차가 전체 교통량의 62%를 차지하고, 이어서 중형화물차 12%, 소

형화물차 11%, 대형화물차 6.4%, 소형버스 4%, 중형버스 2.2%, 대형버스 1.6% 순으로 나타났다.

차종별 대기오염배출량을 Fig. 7에 나타내었다. 배출량은 하루중에 계속해서 일산화탄소(CO)가 가장 많이 배출되고, 이어서 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 탄화수소(HC), 미세먼지(PM-10), 아황산가스(SO<sub>2</sub>) 순이었다. 시간대별로 살펴보면 출근시간대를 포함하는 아침 8시~11시와 퇴근시간대인 18시~21시에 배출량이 가장 많음을 알 수 있다. 선 오염원 중에서 가장 높은 대기오염물질 배출을 나타내는 승용차의 시간대별 오염물질배출량(Fig. 7(g))을 살펴보면 일산화탄소(CO)의 시간대별 변화가 가장 크고 차량의 이동이 많은 낮시간대에 월등히 많이 배출됨을 확인할 수 있다. 일산화탄소(CO)배출은 차량의 통행량이 거의 없는 새벽 4시경에 최소, 차

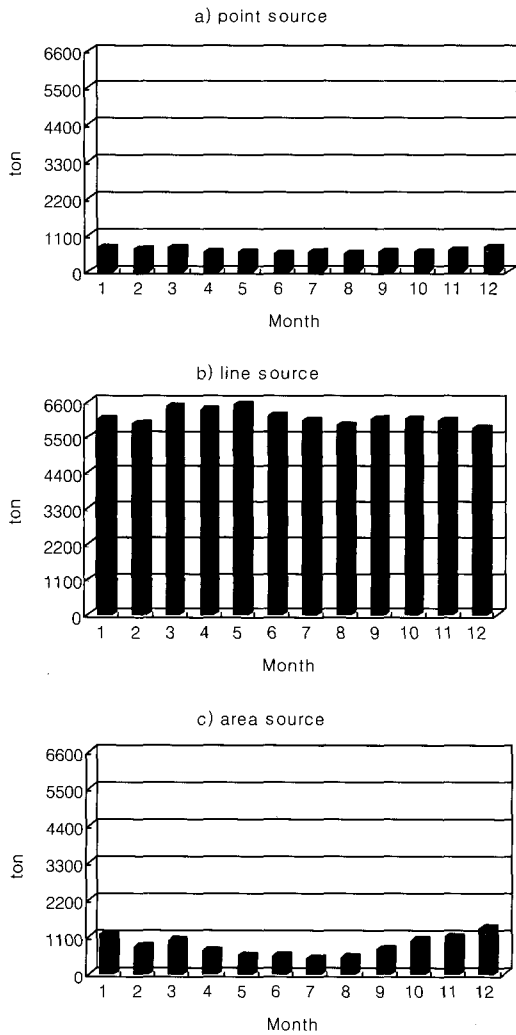


Fig. 5. Monthly total emission for each source ((a)point, (b)line, (c)area) in Daegu.

량의 통행량이 가장 많은 저녁 7시경에 최대를 나타내었다. 질소산화물( $NO_x$ )의 시간대별 변화는 일산화탄소( $CO$ )와 같은 경향을 보이고 있으나, 배출량은 일산화탄소의 절반이하였다. 탄화수소( $HC$ )와 미세먼지( $PM-10$ )도 낮시간대에 배출량이 증가하는 것을 알 수 있다. 아황산가스( $SO_2$ )는 배출량이 적고, 시간대별 변화도 상대적으로 가장 작았다.

### 3.2. 대기오염물질배출량의 공간분포

대구지역에서 배출되는 대기오염물질배출량을 오염물질별( $PM-10$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $HC$ )로 공간분포를 구하여 Fig. 8에 나타내었다. 미세먼지( $PM-10$ )의 경우(Fig. 8(a))는 산격동일대에서 181.5ton/year 이상으로 가장 많은 배출량을 보였

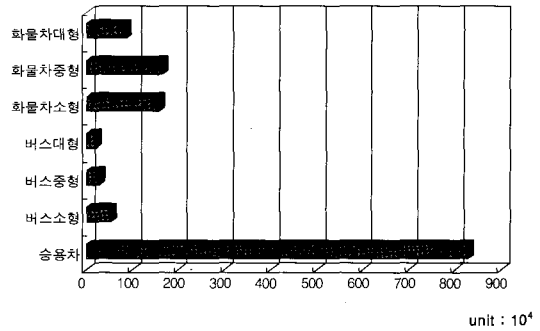


Fig. 6. The number for each mobile.

다. 150ton/year이상 배출하는 지역은 이현동, 100ton/year 이상의 배출량을 보이는 곳은 각산동, 비산동, 사수동 일대로 나타났다. 아황산가스( $SO_2$ )의 경우(Fig. 8(b))는 역시 비산동일대에서 253.92ton/year이상으로 가장 많이 배출하는 것으로 평가되었고, 200ton/year 이상은 수성동, 150ton/year 이상은 장동과 이현동일대였다. 질소산화물( $NO_x$ )의 경우(Fig. 8(c))도 산격동일대가 997.79ton/year이상으로 가장 많이 배출하는 것으로 평가되었고, 이현동은 900ton/year이상, 수성동은 800ton/year 이상을 보여 이들 지역이 높은 아황산가스 배출량 지역임이 확인되었다. 일산화탄소( $CO$ )의 경우(Fig. 8(d))는 서대구공단일대인 이현동에서 1644.71ton/year로 가장 많이 배출되는 것으로 평가되었다. 그리고 산격동, 수성동일대에서 1400ton/year 이상의  $CO$ 가스가 배출하고 있고, 대구의 도심인 삼덕동일대에서도 537.88ton/year 이상 배출되고 알 수 있다. 탄화수소( $HC$ )의 경우(Fig. 8(e))는 주요배출지역이 일산화탄소( $CO$ )와 거의 일치하나, 그 양은 일산화탄소에 비하여 상당히 적다. 200ton/year 이상 배출되는 지역은 이현동, 산격동, 수성동 일대이고, 150ton/year 이상은 각산동, 팔달동, 내당동, 비산동일대로 이들 지역에서 많은 양의 탄화수소가 배출량을 확인할 수 있다.

면, 점 및 선 오염원별 대기오염물질 발생량에 대한 공간분포를 Fig. 9에 나타내었다. 면 오염원의 경우(Fig. 9(a))는 대단위 아파트 밀집지역이 위치한 주거지역을 중심으로 많이 배출되고 있음을 알 수 있다. 면 오염원은 난방연료 사용시 많이 배출되는데 달서구, 남구, 서구, 수성구, 동구 순으로 세대수가 밀집되어 있는 지역에 뚜렷하게 높은 값이 나타나 있다.

선 오염원의 경우(Fig. 9(b))는 경부고속도로와 중앙고속도로, 구마고속도로가 지나가는 영역을 따라서 배출량이 많음을 볼 수 있다. 점 오염원의 경우

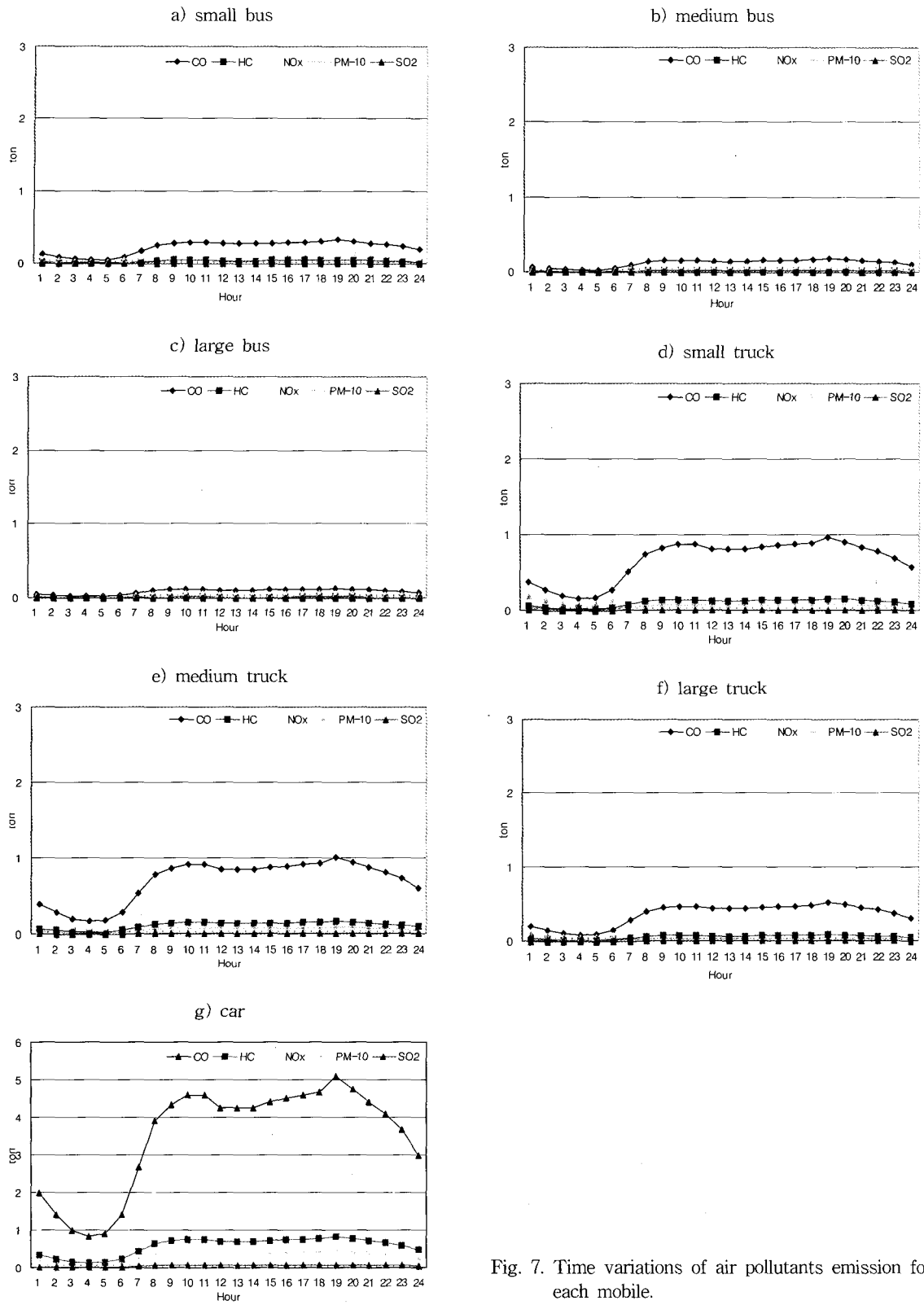


Fig. 7. Time variations of air pollutants emission for each mobile.



대구시 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구

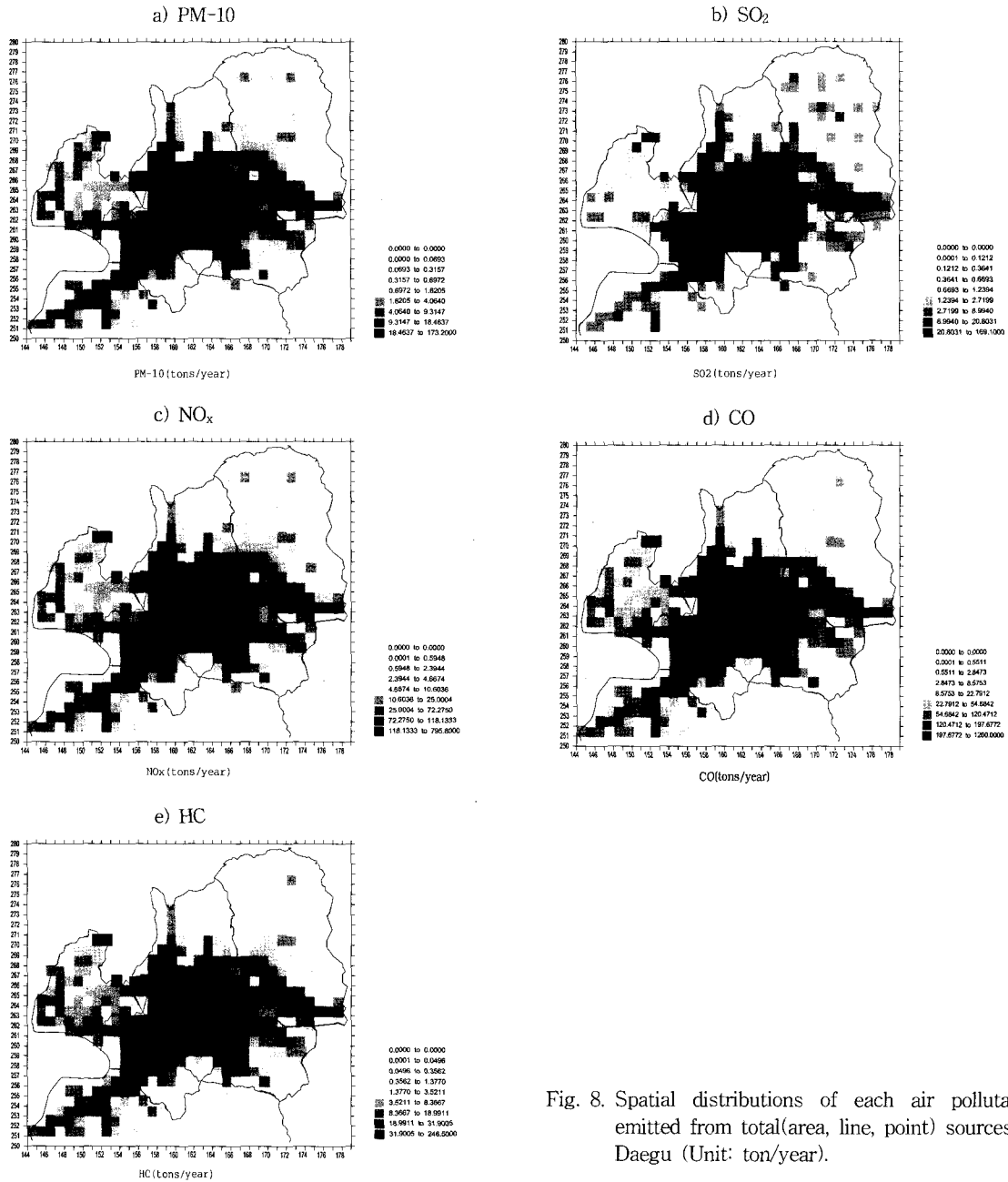


Fig. 8. Spatial distributions of each air pollutants emitted from total(area, line, point) sources in Daegu (Unit: ton/year).

(Fig. 9(c))는 성서공단과 서대구공단, 3공단이 위치한 곳에서 높은 배출량이 산정되었다.

3.3. 산정결과와 타당성 평가

본 연구에서 산정된 대기오염물질 배출량의 신뢰성을 확인하기 위하여, 대구시 발간의 환경백서<sup>18)</sup>에 제시되어 있는 대구지역의 오염물질별 연간 총배출량과 본 연구에서 산정된 오염물질별 연간 총 배출

량을 비교하여 보았다. 환경백서<sup>18)</sup>에서는 대구지역에서 소비된 연료의 종류와 양에 대기오염물질 배출계수를 곱하여 구한 것으로, 대구지역에서 배출된 대기오염물질의 연간 총량은 알 수 있지만, 그것의 시·공간적 분포특성은 알 수 없다. 반면에, 우리가 구한 값은 대구지역을 소격자 간격으로 나누어 그곳에 소재하는 배출원이 대기중으로 방출하는 대기오염물질을 산정하였기 때문에 그것의 시·공간

적 분포특성이 파악된다. 한편, 본연구와 같이 연료 소비원을 추정하여 산출한 배출량에는 미파악된 배출원이 방출하는 오염물질의 양은 배제될 수 밖에 없기 때문에 총량이 다소 작게 산정될 가능성이 있다.

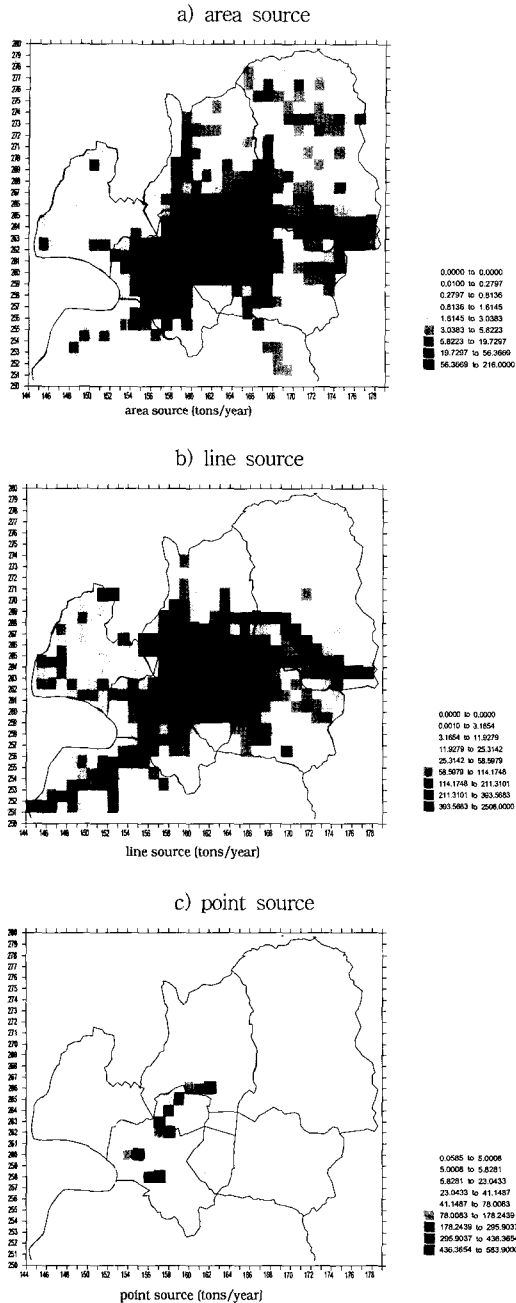


Fig. 9. Spatial distributions of total air pollutants emitted from each (area, line, point) sources in Daegu (Unit: ton/year).

본 연구에서 산정된 모든 대기오염물질의 연간 총배출량은 환경백서<sup>18)</sup>에 제시된 값의 87%에 머물렀는데, 그 이유는 연구의 대상에 일부 지역(달성군)이 제외되었고, 공업시설에 대한 일부자료가 대구시에 확보되어 있지 못하여, 이들의 기여량을 반영하지 못한 탓으로 판단된다.

대기오염물질별로 환경백서<sup>18)</sup>에 제시된 값과 우리의 결과를 Table 9에 제시하였다. 본 연구에서 산정된 값은 환경백서<sup>18)</sup>의 값에 대해서, 먼지 (PM-10)는 80.7%, 아황산가스 (SO<sub>2</sub>)는 85.6%, 질소산화물(NO<sub>x</sub>)는 90%, 일산화탄소(CO)는 85%, 탄화수소(HC)는 86%에 이르렀다. 그래서 연간 총량으로 평가하였을 때, 본 연구에서 산출한 양은 오염물질의 종류에 따라서 실제에 비하여 약 10~20%정도 작게 평가된 것으로 여겨진다.

대기오염물질배출량 산정에 있어서 주요 오염원을 알아보기 위하여, 발생원 별로 환경백서<sup>18)</sup>의 자료와 비교하여 보았다(Table 10). 본 연구에서 산정된 점, 선 및 면 오염원의 배출량은 환경백서<sup>18)</sup>에 제시된 값에 각각 52%, 90%, 118%에相当하였다. 본 연구에서 점 오염원의 배출량이 실제의 50% 정도밖에 산정되지 못한 것은 대구시와 대구지방환경청에서 파악하고 있지 못한 공장이 많았기 때문이다. 이에 대해서는 향후 보완이 절실하다고 하겠다. 면 오염원의 경우는 본 연구에서 산정된 값이 환경백서<sup>18)</sup>에 제시된 배출량보다 20% 가량 많은데, 이는 일부 지역에 도입된 지역난방 아파트를 일반 아파트와 구분하지 않고 주택지에 대한 대기오염물질 배출방식을 일률적으로 적용한 탓으로 판단된다. 향후 이를 보완할 필요성이 있다. 한편, 발생원별

Table 9. Emission estimation of each air pollutant (Unit : ton/year)

	PM-10	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
Emission volum (Environment white paper)	5399.6	9033.9	30760.0	51296	7372.5
Emission volum (Present Result)	4359.9	7735.6	27653.5	43643	7098.7

Table 10. Emission estimation of air pollutants for each source (Unit : ton/year)

	Point source	Line source	Area source	Total source
Emission volum (Environment white paper)	14,362	81,112	8,364	103,838
Emission volum (Present Result)	7445	73,185	9,859	90,490

기여율을 살펴보면 환경백서<sup>18)</sup>의 경우에 점 오염원 14%, 선 오염원 78%, 면 오염원 8% 이다. 반면에 본 연구에서 산출된 발생원별 기여율은 점 오염원 8.3%, 선 오염원 80.9%, 면 오염원 10.9%이었다. 본 연구에서 산출된 점 오염원의 기여율이 낮게 평가된 것은 앞에서 지적한 바와 같이 대구시와 대구 지방환경청에서 자료정리가 되지 못한 공장의 수가 많았던 점에 기인한다. 그러나 도시의 대기오염물질 배출량 중에서 선 오염원이 차지하는 비중이 압도적으로 많은데, 본 연구에서 산출한 선 오염원량은 대구시가 발간한 환경백서<sup>18)</sup>에서 제시된 값에 근접한 결과를 보여 대구지역의 대기오염물질 배출량에 대한 시·공간적 분포를 파악하는 데에는 큰 무리가 없는 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 대구지역의 대기오염 저감대책 및 관리방안을 수립하는 기초자료를 제공하기 위하여 대구시 전역(달성군 일부지역 제외)을 1km×1km 간격의 격자로 나누어, 대기오염물질 배출량의 시·공간적 분포를 구하였다. 아울러, 같은 영역에 대하여 점·선·면 오염원에서 배출되는 대기오염물질량을 구분하여 산정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 1998년 대구지역(달성군 일부지역 제외)에서 배출된 대기오염물질의 총 배출량은 90,490ton/year이었다. 이는 달성군을 포함한 대구지역의 연간 연료소모량으로부터 추정된 대기오염배출량(환경백서)의 87%에 이르는 값이다.
- 2) 대구시 연간 대기오염물질배출량은 선 오염원이 80.9%(73,185ton/year), 면 오염원이 10.9%(9,859ton/year), 점 오염원이 8.3%(7,445ton/year)를 차지하여 자동차에 의해 배출되는 선 오염원이 대기오염배출량의 대부분을 차지하는 것으로 평가되었다.
- 3) 대구시의 구별 대기오염물질배출량을 살펴보면 점 오염원의 경우 달서구가 75%, 서구가 13%, 북구가 12%를 나타냈으며, 선 오염원의 경우 북구가 20%, 달성군 18%, 동구 16%, 서구 15%, 달서구 14%, 수성구 9%, 중구 5%, 남구 5% 순으로 고속도로가 지나가는 북구와 달성군의 배출량이 높음을 알 수 있다. 면 오염원의 경우 달서구 22%, 수성구 18%, 북구 16%, 동구 15%, 서구 12%, 남구 9%, 중구 4%, 달성군 4% 순으로 나타났다.
- 4) 대기오염물질의 월별배출량 변화를 살펴보면 점 오염원의 경우는 한후기인 12월부터 3월까지 배

출량이 높고, 난후기인 6월과 8월의 배출량이 낮게 나타났다. 선 오염원의 경우는 3월과 5월의 배출량이 높고, 12월에 배출량이 낮게 나타났다. 면 오염원의 경우에는 난방연료의 사용량에 의존하여, 12월에 대기오염물질의 배출량이 가장 높게 평가되었고, 8월에 가장 낮게 산출되었다. 면 오염원의 계절별 대기오염물질 배출량변동은 점과 선오염원의 변동량보다 훨씬 컸다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00020-0)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

- 1) 국립환경연구원, 1993, 도시대기오염의 특성과 광화학 반응의 연구, 국립환경원보 15호.
- 2) 국립환경연구원, 1999, 대기오염물질배출량.
- 3) 건설교통부, 1999, 도로별 통계연보.
- 4) 김유근, 이화운, 전병일, 방종선, 1996, 부산지역에서의 오염물 배출량 산정에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 12(14), 361-367.
- 5) 대구광역시, 1999, 교통조사자료집.
- 6) 박준대, 1990, 지역정보를 이용한 면 오염원 배출량 산정방법의 개발에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 82pp.
- 7) 박순용, 전종갑, 윤순창, 1993, 장기 대기오염 농도예측을 위한 오염배출량 산정에 관한 연구, 한국환경과학연구협회지, 103pp.
- 8) 김동영, 1992, 서울시 대기오염도의 배출원별 기여도에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 68pp.
- 9) 임경택, 김유근, 이화운, 박종길, 이부용, 박홍재, 정종순, 1996, 부산광역시 대기오염관련조사, 214pp.
- 10) 박종길, 김종필, 김지형, 1998, 김해시 대기오염물질배출량, 한국환경과학회지, 7(5), 647-652.
- 11) Sturm, P. J., R. Almbauer, C. Study, and K. Pucher, 1997, Application of Computational Methods for the Determination of Traffic Estimations, J. Air & Waste Manage. Assoc., 47, 1204-1210.
- 12) 조역수, 1993, 선오염원에 의한 대기오염물질배출량 산정에 관한 연구, 서울대학교, 환경대학원, 석사학위논문, 17-19.
- 13) Alexopoulos, A., D. Assimacopoulos, and E.

- Mitesoulis, 1993, Model for traffic emissions setimation, Atmos. Environ., 27B(4), 435-446.
- 14) Higashino, H., Y. Tonooka, Y. Yanagisawa, and Y. Ikeda, 1995, Emission Inventory of Air Pollutants in East Asia - Anthropogenic Emissions of sulfur Dioxide in China, J. Jpn. Soc. Atmos. Environ., 30(6), 374-390.
- 15) Higashino, H., Y. Tonooka, Y. Yanagisawa, and Y. Ikeda, 1996, Emission Inventory of Air Pollutants in East Asia (II) - Focused on Estimation of  $NO_x$  and  $CO_2$  Emissions in China, J. Jpn. Soc. Atmos. Environ., 31(6), 262-281.
- 16) 민경덕, 김경익, 윤일희, 이인숙, 1994, 대구지역의 기상 특성 및 대기확산모델의 개발: I. 도시기온 및 상대습도의 수평분포, 한국기상학회지, 30(2).
- 17) 대구광역시, 1999, 통계연보.
- 18) 대구광역시, 1999, 환경백서, 104-106pp.
- 19) 최진무, 1997, GIS를 이용한 대기오염배출량 분포도의 정확도 향상에 관한 연구, 서울대학교대학원, 석사학위논문, 44-49pp.