

## GIS를 이용한 대기오염 배출량 분포도의 정확도 향상에 관한 연구

최진무\*

### A Study on the Improvement of Accuracy in Mapping the Distribution of the Emission Volume of Air Pollution Using GIS

Jin-Mu Choi\*

#### 요 약

대기오염을 관리하기 위해서는 대기오염 농도와 함께 대기오염 배출량의 공간분포가 정확히 산정되어야 한다. 기존의 대기오염 분포도에서는 토지이용 분류도의 해상도(resolution)가 낮아 같은 위치에서 오염원별 토지이용이 중복되었기 때문에 배출량의 정확한 공간분포를 산정할 수 없었다. 본 연구에서는 토지이용 분류도를 고해상도(28.5m×28.5m)로 작성함으로써 이것이 배출량의 공간분포 산정과 대기오염농도의 추정에 미치는 영향을 파악하였는데, 결과를 요약하면 다음과 같다. GIS를 이용하여 비교적 고해상도(28.5m×28.5m)의 토지이용 분류도를 작성함으로써 점 및 선 오염원이 면 오염원과 동일한 지점에서 중복되지 않도록 토지이용을 효율적으로 반영할 수 있었다. 서울지역에 대해 기존의 방법으로 작성된 배출량 분포도와 본 연구에서 작성된 배출량 분포도를 이용하여 대기오염 농도를 추정(TCM-2 모델을 이용)한 결과 본 연구에서 작성한 배출량 분포도에 의한 대기오염 농도의 추정치가 자동측정망의 실측치에 근접함을 알 수 있었다.

주요어 : 지리정보시스템, 토지이용 분류도, 해상도, 대기오염 배출량, 대기오염 농도, TCM-2모형, 점 오염원, 선 오염원, 면 오염원.

**ABSTRACT** : Air contaminant density must be inferred exactly to manage air pollution. Each land use of air pollution source is duplicated in the existing air contaminant distribution because the resolution of the land use map is low. The purpose of this study is to understand how the land use map is used to determine effectively in the distribution calculation of the emission volume and the inference of air contaminant density, as it is made in a high resolution. The major findings are as follows : In this study, as to making a high resolution(28.5m×28.5m) map of land use with GIS, each air pollution source is not duplicated spatially and land use can be reflected effectively. In Seoul, each air contaminant density was inferred (using a TCM-2 model) with the existing distribution map of emission volume, whose resolution is 1km X 1km, and the new distribution map of emission volume, whose resolution is 28.5km×28.5km. According to the result, the inference

\*서울대학교 대학원 지리학과 석사졸업

\*\*서울시정개발연구원(Seoul Development Institute, San 4-5, Yejang-dong, Jung-ku, Seoul, Korea, 100-250.

TEL : (02) 726-1253

value of the new distribution map was more similar to the actual value of an automatic survey network.

key words : GIS(Geographic Information System), land use map, resolution, emission volume of air pollution, air contaminant density, TCM-2 model, point sources, line sources, area sources.

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경과 목적

최근 들어 자동차가 급증하고 도시화에 따른 인구집중 및 증가와 도시 내 생산 및 소비 활동의 증대 등으로 도시의 대기오염문제가 심각해지고 있다. 국내에서도 이와 같은 대도시 대기오염문제는 이미 심각한 상태에 이르렀다.

대기오염농도를 추정하기 위해서 대기확산모형을 사용한다. 대기확산모형을 이용하여 대기오염농도를 추정하기 위해서는 기상자료와 배출량자료가 필요하다. 배출량의 공간적 배치를 위한 격자체계를 토지이용(land use) 분류도를 토대로 작성된다.

대기오염배출량은 총량단위로 산출된다. 이것을 공간을 반영하는 격자(토지이용 분류도)상에 배분하는 방법에 따라 대기확산모형에 의해 추정할 수 있는 대기오염농도 예측치의 결과가 다르다. 기존의 연구방법은 수작업에 의해 이루어졌기 때문에 1km×1km 이상의 해상도를 고려하기 어려웠기 때문에 도시지역의 토지이용을 효율적으로 반영하지 못하였다.

그러나, GIS(geographic information system)를 이용하면 보다 높은 해상도의 격자체계를 구성할 수 있고 대기오염 총 배출량을 보다 정확히 격자체계에 배분할 수 있다.

이 연구에서는 대기오염원에 따라 서울의 토지이용을 재분류하여 토지이용 분류도를 고해상도(28.5m×28.5m)로 작성하였다. 격자 해상도의 향상이 배출량 공간분포의 정확도와 대기오염농도의

추정에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 구체적으로는 첫째, 각 오염원이 공간적으로 중복되어 정의되지 않도록 고해상도의 토지이용 분류도를 작성한다. 둘째, 작성된 토지이용 분류도를 토대로 고해상도의 대기오염배출량 분포도를 작성하고 기존의 배출량 분포도와 중첩하여 공간적 오류의 정도를 파악한다. 셋째, 대기확산모형 중 TCM-2 모형을 이용하여 서울시의 장기 대기오염농도의 추정에 적합한 해상도를 모색한다.

### 1.2 연구동향과 방법

#### 1) 연구동향과 문제점

기존의 대기오염 분포 산정방법은 해상도가 낮아 토지이용을 정확히 고려할 수 없기 때문에 배출량의 정확한 공간분포를 산정할 수 없다. 또한 총 배출량의 배분에 사용된 격자의 크기는 1km×1km 해상도이다. 한 격자 내에 면 오염원과 선 오염원이 공존하는 경우 공간적으로 같은 위치에

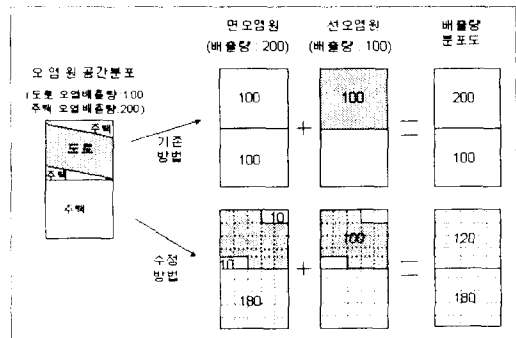


그림1 배출량 분포 산정방법

두 가지 이상의 오염원이 존재하게 되어 배출량의 공간분포가 왜곡되게 된다. 격자 해상도가 크기 때문에 발생하는 토지이용 및 배출량 공간분포의 왜곡과 해상도 향상을 통해 토지이용 및 배출량의 공간분포를 정확히 산정할 수 있는 방법은 그림2와 같다.

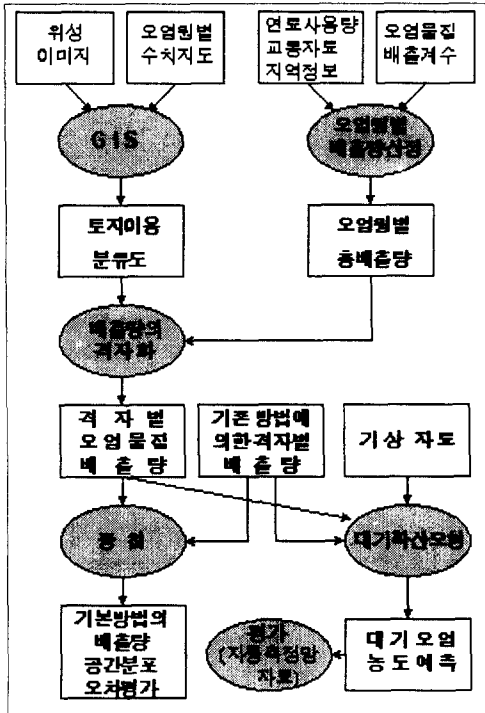


그림2 연구 흐름도

2) 연구방법

본 연구의 대상지역은 서울시로 위성이미지 (Landsat TM)는 위성(Landsat)의 궤도 중 Path116, row 34의 subscene B(위도 126° 70' ~ 127° 25', 경도 37° 40' ~ 37° 68')에 해당한다.

본 연구는 크게 네 부분으로 구분할 수 있다.

첫째, 위성이미지와 수치지도를 입력자료로 GIS를 이용하여 배출량 공간분포 산정의 기초자료인

토지이용 분류도를 작성한다. 이 때, 공간적으로 동일한 위치에 두 가지의 오염원이 동시에 정의되지 않도록 한다.

둘째, 연료사용자료와 배출계수를 이용하여 각 오염원별 대기오염물질 총 배출량을 산정한다.

셋째, 격자체계와 총 배출량을 이용하여 배출량의 공간분포를 산정하고 기존 방법에 의해 작성된 배출량 격자체계의 오차정도를 파악한다.

넷째, 대기확산모형 중 장기모형인 TCM-2 모형을 이용하여 오염농도를 추정하고 대기오염 자동측정망의 실측치와 비교한다.

이상의 방법에 대한 흐름도는 그림 4와 같다.

2. 토지이용 분류

2.1 토지이용과 대기오염

도시내의 대기오염물질 배출원을 점·선·면 오염원과 자연발생원으로 분류하고 이를 토지이용과 대응시켜 대기오염물질의 배출특성에 따라 토지이용을 나누면<sup>1)</sup> 표1과 같다.

표 1 배출특성에 따른 토지이용 분류

토지이용 형태	오염원	오염원 형태
거주지역(단독주택)	난방, 취사	면 오염원
거주(중양난방식 아파트)	중양난방	점 오염원
도 로	자동차	선 오염원
산 업 지 역	대규모 굴뚝	점 오염원
녹 지 및 나 대 지	생물활동	자연 발생원
지 하 공 간	기타	면 오염원

자료 : 조경두, 「토지이용에 따른 대기오염관리모형의 개발에 관한 연구」, 1996, p17.

표1의 토지이용 형태는 USGS의 level II에 해당

1) 조경두, 1996, 「토지이용을 고려한 대기오염관리모형의 개발에 관한 연구」, 서울대학교 환경계획학과 박사학위논문

하는 것으로 Landsat TM 이미지의 해상력으로는 분류가 불가능하다. 따라서 위성이미지로는 USGS의 level I에 해당하는 분류만 실시하고 level II의 분류는 도시계획도, 점 오염 배치도, 도로망도 등의 수치지도를 이용하였다.

표 2 대기오염배출량 산정을 위한 도시지역 토지 이용 분류

분류	level I	level II
발생원	인위적 발생원 도시역	점 오염원 대규모 공장, 빌딩 대규모 아파트
		선 오염원 도로
		면 오염원 상업, 공업지역 주택, 아파트
		비 오염원(주차장 등)
	자연적 발생원 삼림, 하천	
자료	위성이미지	도시계획도, 도로망도 등

### 2.2 위성이미지를 이용한 토지피복 분류

위성이미지(Landsat TM)를 이용하면 토지이용의 형태 중 도시역(인위적 오염원)과 비 도시역(자연적 오염원)에 따른 토지이용의 형태를 분류할 수 있다. 본 연구에서는 감독분류 중 통계적으로 편중(bias)과 미 분류가 발생하지 않는 최대 우도법(maximum likelihood clustering)을 사용하였다.

### 2.3 수치지도를 이용한 점·선·면 오염원의 분류

도로망은 교통량이 많은 주요도로 중 위성이미지와 통합될 수 있도록 4차선 이상의 노폭을 가진 도로를 수치화 하였다. 도로의 지형정보는 지형도

를 이용하고 도로 폭 속성정보는 1대 5천 지형도에서 추출하였다. 점 오염원(대규모 공장, 빌딩, 상가, 아파트) 수치지도는 대기오염 실태조사표의 위치자료를 이용하여 작성되었다.

면 오염원은 연료사용 방법과 사용시간에 따라 상업지역, 주거지역, 공업지역으로 구분된다. 벡터 형태의 도시계획도 수치지도에서 면 오염원에 해당하는 상업, 공업, 주택, 아파트 지역을 분리하여 격자화 하였다.

### 2.4 토지이용 분류도 작성과 평가

#### 1) 중첩에 의한 토지이용 분류도 작성

앞에서 작성된 분류 레이어들을 중첩하여 대기오염 배출원에 따른 토지이용 분류도를 작성하였다.

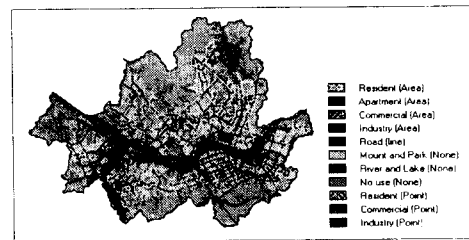


그림3 서울시 토지이용 분류도

#### 2) 토지이용도의 분류 정확도 검증

표본 추출 공식(Fitspatrick-Lins,1981)에 의해 표본별 토지이용 면적에 따라 400개의 표본을 추출하여 현장조사를 통해 오차행렬을 작성·평가하였다.

overall accuracy와 Kappa index값이 낮은 이유는 도시계획도에서 추출된 주거, 상업, 공업지역에서 생략과 추가오차가 많이 발생했기 때문이다.

표 3 오차행렬에 대한 단순기술통계 분석표

범주	omission error (%)	commission error (%)
주 택	12.4	26.4
아파트	46.2	12.5
상 업	13.3	18.7
공 업	7.7	25.0
삼 립	0.0	9.0
하 천	11.1	0.0
비오염	42.4	7.2
Overall Accuracy = 345/416 = 82.9 %		
Khat == 77.23%		

### 3. 대기오염물질 배출량 산정

일반적으로 대기오염물질의 배출량은 배출계수와 연료사용량을 이용하여 각 오염원별로 추론하는 방법이 가장 효과적<sup>2)</sup>이다. 배출계수란 제품의 생산 또는 연료의 소비 등과 같은 일련의 경제활동과 그 결과적 산물인 배출량 사이의 인과적 기대치로서, 단위 생산량 또는 단위 소비량에 대하여 배출되는 평균적인 대기오염물질의 양을 의미한다.<sup>3)</sup>

#### 3.1 대기오염물질 배출계수

##### 1) 점·면 오염원 배출계수

점·면 오염원에 대한 배출량을 산정할 때는 일반적으로 사용연료와 배출계수를 이용한다. 사용연료에 따른 배출계수(표4)는 국립환경연구원의 실험 결과에 미국환경청(EPA)의 자료를 추가하여 구성된 것<sup>4)</sup>이다.

##### 2) 선 오염원 배출계수

선 오염원의 오염물질 발생원은 자동차이다. 일반적으로 자동차의 배출계수는 평균 주행거리 당 연료소비량 자료를 이용하여 추정<sup>5)</sup>되고 있다. 그러나, 차종이 같더라도 주행조건 및 차량의 운행 년수 등에 따라 배출계수는 변화한다. 이런 요인을 고려하기 위해 차종 모델별 구성비<sup>6)</sup>를 이용하여 차종별 종합 배출계수를 산출할 수 있다. 국립환경연구원에서 1995년도 서울시의 자동차의 주행속도에 따른 배출계수<sup>7)</sup>를 산정 하였다. 산정된 주행속도에 따른 배출계수에 승용차 구성비를 곱하면 차종별 배출계수를 산정할 수 있다.

표5 1995년도 서울시 차종별 배출계수  
단위 : g/km

차종	배출계수					
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	TSP	SO <sub>2</sub>	
승용차	1.45	0.16	0.20	0.00	0.03	
택시	4.13	1.07	1.07	0.00	0.00	
버스	소형	1.47	0.14	1.36	0.23	0.60
	중형	2.28	1.03	1.71	0.68	0.98
	대형	13.98	2.17	13.76	2.10	2.10
트럭	소형	1.65	0.17	1.93	0.25	0.60
	중형	2.28	1.03	1.71	0.68	0.98
	대형	16.46	2.31	14.13	2.17	0.01

2) 환경처, 1996, 「환경백서」.

3) Arthur C. Stern et al, 1984, *Ibid*, p 96.

4) 장영기 등, 1995, 「면 및 이동오염원 조사방법 개발 및 지침서 작성에 관한 연구」, 환경부.

5) 조강래 외, 1990, "도시지역 대기질 개선에 관한 연구(II) - 이동배출원의 오염물질 배출부하량 산정을 중심으로", 「국립환경연구원보」.

6) 조강래 외, 1991, "도시지역 대기질 개선에 관한 연구(III) - 이동배출원의 오염물질 배출부하량 산정을 중심으로", 「국립환경연구원보」, Vol.13.

7) 장영기 등, 전계서.

표 4 연료소비에 따른 대기오염물질 배출계수\*

연료		부문	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TSP	HC <sup>A</sup>	
연 탄	유연탄(0.75%) <sup>A</sup> (kg/톤)	주거	-	-	-	-	-	
		상업	-	-	-	-	-	
		산업	14.625	10.500	0.300	1.000 <sup>D</sup>	0.040	
	무연탄(0.75%) <sup>C</sup> (kg/톤)	주거	10.300	1.300	32.200	0.600	-	
		상업	10.300	1.300	32.200	0.600	-	
		산업	14.625	9.000	0.300	20.000 <sup>F</sup>	0.040	
유 류	등유(0.1%) (kg/kl)	주거	1.700	2.200	0.600	0.300	0.085	
		상업	1.700	2.200	0.600	0.300	0.085	
		산업	-	-	-	-	-	
	경유 (kg/kl)	0.2%	주거	3.460	2.200	0.600	0.300	0.085
			상업	3.460	2.400	0.600	0.240	0.040
			산업	3.460	2.400	0.600	0.240	0.024
		1.0%	주거	17.300	2.200	0.600	0.300	0.085
			상업	17.300	2.400	0.600	0.240	0.040
			산업	17.300	2.400	0.600	0.240	0.024
경질중유 <sup>F</sup> (1.6%) (B-A)(kg/kl)	주거	30.880	6.600	0.600	0.880	0.140		
	상업	30.880	6.600	0.600	0.880	0.140		
	산업	30.880	6.600	0.600	0.880	0.034		
중유 <sup>G</sup> (1.6%) (B-B)(kg/kl)	주거	30.880	6.600	0.600	1.250	0.140		
	상업	30.880	6.600	0.600	1.250	0.140		
	산업	30.880	6.600	0.600	1.250	0.034		
범커C유 (B-C) (kg/kl)	0.3%	주거	5.790	6.600	0.600	0.755	0.140	
		상업	5.790	6.600	0.600	0.755	0.140	
		산업	5.790	6.600	0.600	0.755	0.034	
	1.0%	주거	19.300	6.600	0.600	1.360	0.140	
		상업	19.300	6.600	0.600	1.360	0.034	
		산업	19.300	6.600	0.600	1.360	0.034	
	1.6%	주거	30.880	6.600	0.600	2.380	0.140	
		상업	30.880	6.600	0.600	2.380	0.140	
		산업	30.880	6.600	0.600	2.380	0.034	
	4.0%	주거	77.200	6.600	0.600	5.380	0.140	
		상업	77.200	6.600	0.600	5.380	0.140	
		산업	77.200	6.600	0.600	5.380	0.034	
가 스	LPG(프로판) <sup>H</sup> (kg/kl)	주거	-	1.050	0.220	0.030 <sup>I</sup>	0.060	
		상업	-	1.050	0.220	0.030 <sup>I</sup>	0.060	
		산업	-	0.490	0.370	0.030 <sup>I</sup>	0.030	
	LNG (kg/1000m <sup>3</sup> )	주거	0.0476	1.6325	0.3759	0.0308	0.035	
		상업	0.0476	1.6325	0.3759	0.0308	0.035	
		산업	0.0476	2.6674	0.3759	0.0308	0.035	

\* 도시가스, 주거 및 상업부문 무연탄의 배출계수는 국립환경연구원의 실험결과이며, 나머지 연료는 미국환경청의 자료에 근거하고 있음.

A: 무연탄을 제외한 나머지 연료의 경우에는 비 메탄계 탄화수소의 배출계수임.

B: 유연탄의 황함량은 무연탄과 같다고 가정.

C: 현재 공급되고 있는 무연탄의 황함량은 0.75%이며 서울 일부지역에 대해서는 0.5% 황함량을 가진 무연탄을 공급하고 있음. 환경백서, 1995, pp.54-55

D,E: 산업용 유연탄의 회분함량은 10%이고, 산업용 무연탄의 회분함량은 40%이며 방지설비의 효율은 90%이다. 석유연료, 1993, p106

F,G: 경질중유와 중유의 경우, 황함량이 2.0%, 1.6% 및 1.0% 세 종류가 있으므로, 위에서 제시한 연료와 황함량이 다를 경우 SO<sub>2</sub>와 TSP의 배출계수를 수정해야 함.

H: LPG의 배출계수는 프로판의 배출계수임.

I: EPA 자료에 의하면 0.01~0.05%의 범위를 가지며 여기에서는 중간 값을 취했음.

자료: 장영기 등, 1995, 「면 및 이동오염원 조사방법 개발 및 지침서 작성에 관한 연구」, 환경부, p 16.

### 3.2 배출량 산정

대기오염물질 배출량은 단위지역의 활동도 (activity level)를 지수화하고 이 활동도에 배출계수를 곱하여 산정하는 것이 일반적인 방법이다. 활동도로는 점·면 오염원의 경우 해당지역의 부문별 종류별 연료 소비량이 사용되고, 선 오염원의 경우는 자동차에 의한 것일 경우 차종별 평균주행거리와 자동차의 지역별 배분이 활동도로 사용된다.<sup>8)</sup>

점 오염원의 배출량은 각 대규모의 점 오염원에서 사용한 연료의 양을 이용해서 배출계수와 곱하여 산정 하였다. 배출업소 실태조사표에 나타난 각 오염원 업소별 95년 연간 총 연료사용량과 사용연료에 따른 배출계수를 이용해서 점 오염원의 배출량을 산정 하였다.

선 오염원의 배출량 산정은 자동차 대수와 주행거리를 이용하는 방법을 사용하였다. 서울시 교통량 조사자료<sup>9)</sup>와 차량등록비율을 이용하여 차종별

평균 교통량을 산정하고 평균 주행속도 자료<sup>10)</sup>를 이용하여 연간 총 주행거리를 산출하였다. 또한 총 주행거리를 차량등록대수 비율을 이용하여 차종별로 구분하고 여기에 배출계수를 곱하여 대기오염물질 배출량을 산정 하였다. 연구지역 내의 모든 도로구간의 교통량은 같으며 도로상태는 포장된 것으로 가정하였다.

면 오염원은 도시지역의 대부분을 차지하고 있으며, 그 수가 많아 오염배출량에 대한 실측정이 불가능하다. 따라서, 서울의 용도지역별 연료사용량과 사용연료에 따른 배출계수를 이용하여 산정 하였다.

서울지역의 오염원별 대기오염물질 배출량을 종합하면 표6과 같다. 여기서 면 오염원 중 주거부문은 사용연료에 따라 주택(무연탄), 아파트(벙커-C유), 주택과 아파트 공통지역(경유)으로 분리되었다.

표 6 서울시 대기오염물질 총 배출량(1995)

단위 : kg/year

배출원	물질	일산화탄소 (CO)	질소산화물(NO <sub>x</sub> )	아황산가스(SO <sub>2</sub> )	분진 (TSP)	탄화수소 (HC)
점오염원		338,535	1,417,522	10,126,653	207,924	36,222
선오염원		129,334,978	58,581,975	10,555,040	7,392,788	17,355,765
면오염원	주 택	23,207,989	936,969	7,423,674	432,447	0
	APT	86,864	955,508	4,470,621	344,562	20,268
	공 통	434,375	1,592,708	12,524,473	217,188	61,536
	상 업	2,160,683	3,302,785	20,116,585	738,407	60,694
	공 업	406,714	3,232,439	16,918,298	980,769	137,070
	소 계	26,296,625	10,020,409	61,453,651	2,713,373	279,568
계		155,970,138	70,018,906	82,135,344	10,324,085	17,671,555

8) 장영기 등, 전게서.

9) 서울특별시 지방경찰청, 1996, 「'95 서울시 교통량 조사자료」

10) 서울특별시 교통관리사업소, 1995, 「서울시 정기속도조사 결과」.

## 4. 배출량의 공간분포와 평가

### 4.1 배출량의 공간분포와 오차평가

#### 1) 점 오염 배출량의 공간분포

점 오염원 배출량의 공간분포는 본 연구에서 작성된 28.5m 해상도의 토지이용 분류도와 배출업 소실태조사표에 따른 굴뚝의 위치(TM), 연료사용량을 이용하여 작성되었다. 구체적인 흐름도는 그림4와 같다.



그림4 점 오염 배출량 공간분포산정 흐름도

#### 2) 선 오염 배출량의 공간분포

선 오염원 배출량 공간분포는 도로의 단위격자당 배출량으로 작성되었다. 도로의 단위격자당 배출량은 선 오염 배출량을 도로의 총 격자수로 나누어 산정되었다. 구체적인 방법을 흐름도는 그림5와 같다.



그림5 선 오염 배출량 공간분포 산정 흐름도

#### 3) 면 오염 배출량의 공간분포

면 오염원에서 상업 및 공업지역에 해당하는 격자는 부문별 총 배출량과 토지이용 형태별 격자의 총수를 나누면 단위격자당 상업과 공업 부문 오염물질 배출량을 산정할 수 있다. 주거부문을 연료사용량을 대표하는 사회적 지표인 가구수를 이용

하여 총 배출량을 격자별 가구수의 비율에 따라 배분하였다. 구체적인 방법을 흐름도로 나타내면 그림6과 같다.



그림6 면 오염 배출량 공간분포 산정 흐름도

#### 4) 배출량 분포의 통합

앞에서 작성된 배출량 분포도를 통합하여 단위시간당 배출량(g/sec) 분포도로 작성하였다. 서울시의 1995년 단위시간당 이산화황(SO<sub>2</sub>) 배출량 분포도는 그림7과 같다.

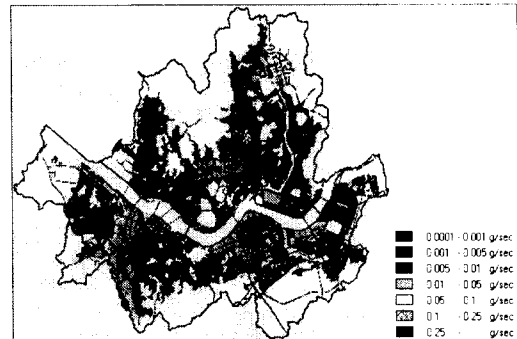


그림7 서울시 이산화황(SO<sub>2</sub>) 배출량 분포도 I  
(해상도 : 28.5m×28.5m)

#### 5) 배출량의 오차 평가

기존방법의 오차정도를 평가하기 위해 본 연구에서 산정된 총 배출량을 TM 격자체계를 기준으로 기존의 배출량자료 격자체계 배분방식<sup>11)</sup>을 적용하여 이산화황의 배출량 분포도를 작성하면 그림8과 같다. 하천과 삼림 등 인위적 오염이 거의 발생하지 않는 지역에서 상당한 오염이 배출되는 것으로 나타난다.

11) 장영기 등, 전계서, p 47, p 58.



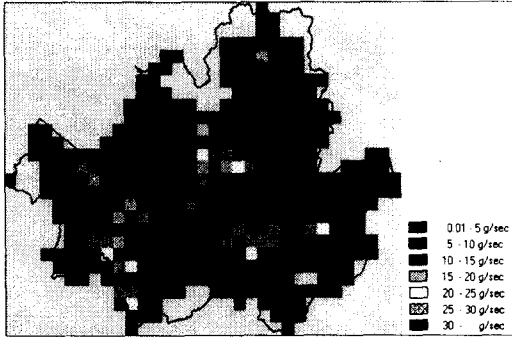


그림8 서울시 이산화황의 배출량 분포도II  
(기존 방법에 의한 1140m×1140m 격자)

그림7과 그림8을 중첩하여 기존방법에 의해 작성된 배출량 분포도(그림22)에서 오염원 지역에서 발생한 배출량과 비 오염원 지역에서 발생한 것으로 나타난 배출량을 파악하였다. 이것은 표7과 같다.

표 7 배출량의 공간적 분포 단위 : kg/year

구 분	기존방법 (1140m×1140m)	수정방법 (28.5m×28.5m)
오염원 지역 발생량	55733402	72008691
비 오염원 지역 발생량	16275289	0
총 발생량	72008691	72008691

표7에서 알 수 있듯이 기존방법에 의해 작성된 배출량 분포도는 강이나 삼림 등의 비 오염원 지역에서 오염발생 총량의 약 22.6%가 발생하는 것으로 나타난다. 따라서 대기확산모형을 운용할 경우 기존의 방법에 의해 작성된 배출량 분포도를 이용하면 공간적으로 상당한 오류를 포함하는 대기오염농도를 추정하게 된다.

#### 4.2 대기확산모형을 이용한 오염농도의 추정과 평가

##### 1) 대기확산모형

대기확산모형은 대기오염물질과 착 지점 사이에는 일정한 관계가 존재한다는 가정 하에, 대상지역 내의 오염물질 배출량과 기상 및 지형조건 등을 고려하여 오염물질의 분포상황을 수학적으로 예측하는 방법이다. 대기확산모형은 오염농도 산출의 기간에 따라 장기모형과 단기 모형으로 나뉘어진다. 본 연구에서는 1995년의 1년 평균농도를 산출하여야 하므로 장기모형 중 기존의 환경영향평가 및 각종 연구보고서<sup>12)</sup>에서 주로 사용되었고 실측치와의 비교분석을 목적으로 사용된 바 있는 TCM-2(Texas Climatological Model-2)모형을 사용<sup>13)</sup>하였다.

##### 2) 대기확산과 평가

TCM-2 모형은 대기확산에서 2차 반응을 고려하지 않으므로 본 연구에서는 대기오염물질 중 2차 반응을 하지 않는 이산화 황(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 분진(TSP) 중 이산화황(SO<sub>2</sub>)을 TCM-2 모형의 입력대상으로 하였다. TCM-2모형의 입력자료에는 기상자료(Joint Frequency), 점 오염 배출자료, 면 오염 배출자료가 있다.

대기오염농도 실측치와 예측치를 비교하기 위하여 분산비와 RMSE를 산출하면 표9와 같다. 실측치와 예측치들 간의 좀더 명확한 비교를 위해 값의 분포를 상자그림(boxplot)으로 나타내면 그림9와 같다.

표9과 그림9에서 본 연구방법에 의해 예측된 대기오염농도가 기존의 방법에 의해 예측된 대기오염농도보다 분산과 평균의 측면에서 실측치에 근접하였다. 따라서, 해상도를 높여 토지이용을 효

12) 서울시, 1986, 「서울시 대기오염 감축대책 연구」.

13) 박준대, 1990, 「지역정보를 이용한 면 오염배출량 산정방법 개발에 관한 연구」, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.

표8 대기오염물질의 확산 결과

측정소명	좌 표		SO <sub>2</sub> (ug/sec · km <sup>2</sup> )		
	Eas-ting	Nor-thing	실측(A)	확산(B) (28.5m)	확산(C) (1140m)
갈음	202.18	455.92	37.65	6.33	92.28
불광	193.88	456.42	21.89	5.40	57.19
마포	194.80	449.40	33.00	14.48	154.41
면목	206.61	454.11	33.44	5.69	98.05
신설	202.10	452.19	31.87	5.71	370.09
대치	204.85	443.65	29.60	10.47	193.52
잠실	207.45	444.80	30.69	12.08	164.03
한남	200.49	448.78	22.67	7.42	132.61
쌍문	202.89	460.85	37.63	11.42	95.14
화곡	185.34	449.62	22.70	12.08	53.29
남가좌	192.32	452.40	29.65	12.38	83.34
반포	199.53	444.79	23.19	10.75	202.02
구의	208.15	449.28	21.51	8.82	124.10
방이	211.15	446.35	16.03	11.31	133.96
관악산	195.90	439.20	19.48	9.28	35.49
오류	185.31	443.50	22.30	8.23	54.32
구로	190.88	442.20	30.03	31.65	349.32
문래	190.27	445.83	39.22	25.39	382.62
광화문	197.87	451.60	33.69	8.28	297.64
성수	204.87	449.81	28.67	6.27	265.32

주. 실측\*은 서울시 대기오염 자동측정망의 대기오염 농도 실측치(1995)

표 9 대기오염농도의 실측치와 예측치 비교

구 분	분 산 비	FMSE
실측치와 본연구의 예측치	$\frac{B\text{의분산}}{A\text{의분산}} = 0.98$	$\frac{\sqrt{\sum(A-B)^2}}{20} = 4.21$
실측치와 기존방법 예측치	$\frac{C\text{의분산}}{A\text{의분산}} = 276.94$	$\frac{\sqrt{\sum(A-C)^2}}{20} = 38.81$

주. A : 실측치, B : 본연구 예측치, C : 기존방법 예측치

울적으로 반영한 대기오염배출량 분포도가 오염농도의 예측력을 높이는데 기여했음을 알 수 있다.

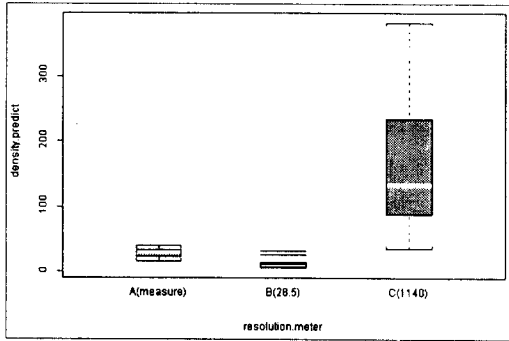


그림9 실측치(A)와 예측치(B, C)의 분포 비교

해상도가 낮기 때문에 본 연구에서 작성한 배출량 분포도와 중첩하여 분석한 결과 기존방법에 의해 작성된 배출량 분포도는 강이나 삼림 등의 비 오염원 지역에서 오염발생 총량의 약 22.6%가 발생하는 것으로 나타났다.

셋째, 도시지역에서는 좁은 지역 내에서 토지이용의 변화가 발생하므로 해상도에 의한 영향이 크다. 서울의 경우, 기존의 1km×1km 해상도의 배출량 분포도와 28.5m×28.5m 해상도의 배출량 분포도를 이용하여 TCM-2 모형으로 대기오염농도를 추정된 결과 후자에 의한 추정치가 자동측정망의 실측치에 근접함을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

토지이용 분류도를 28.5m 해상도로 향상하여 점·선·면 오염원을 효과적으로 반영함으로써 대기오염배출량 분포도의 정확도를 향상할 수 있었다. 본 연구에서 제시한 해상도와 기존방법에 의한 해상도로 대기오염 분포도를 작성하여 중첩하므로써 기존방법에 의해 작성된 대기오염 분포도가 공간적으로 상당한 오류를 포함하고 있음을 알 수 있었다. 또한 TCM-2 모형을 통해 서울시의 대기오염농도를 예측하고 자동측정망의 실측치와 비교·분석하여 유효성을 평가하였다.

본 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 공간적으로 정확한 배출량 분포도를 작성하기 위해서는 오염원이 공간적으로 동일한 지점에 중복되어 정의되지 않아야 한다. (도로의 면적은 서울지역 전체 면적의 10%) GIS를 이용하여 비교적 고해상도(28.5m×28.5m)의 토지이용 분류도를 작성함으로써 토지이용을 효율적으로 반영할 수 있었다.

둘째, 기존방법에 의해 작성된 배출량 분포도는

## 참 고 문 헌

1. 서울시정개발연구원, 1994, 「서울시 대기오염 특성연구」.
2. 서울시정개발연구원, 1993, 「대기질 측정방법의 효율화방법에 관한 연구」.
3. 서울시정개발연구원, 1994, 「지도로 본 서울」.
4. 신용배, 1982, “대기오염물 배출원 조사”, 「대기보전관리」, 환경청, pp 729-731
5. 장영기 등, 1995.12, 「면 및 이동오염원 조사방법 개발 및 지침서 작성에 관한 연구」, 환경부.
6. 정용, 1986, “대기오염모델의 적합도에 관한 연구”, 「한국대기보전학회지」, 제1호, pp 81-92.
7. 이덕길 외, 1987, 「대기오염예측모델개발에 관한 연구」, 국립환경연구원.
8. 박준대, 1990, 「지역정보를 이용한 면 오염원배출량 산정방법의 개발에 관한 연구」, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
9. 환경부, 1996, 「대기오염 배출업소 실태 조사표」.
10. Thomas E. Avery, Graydon L. Berlin, 1992, Fundamentals of Remote Sensing and

최진무

- Airphoto Interpretation.
11. Texas Air Control Board, 1980, User's guide Texas Climatological Model.
  12. John S. Irwin and Tony M. Brown, 1985, "A sensitivity Analysis of the Treatment of Area Source by the Climatological Dispersion Model", Journal of the Air Pollution Control Association, Vol.35, No.4.
  13. H. Power, N. Moussiopoulos, C. A. Brebbia, 1994, Urban Air Pollution.
  14. Roger D. Griffin, 1994, Principles of Air Quality Management.
  15. Arthur C. Stren et al, 1973, Fundamental of Air Pollution.