

# 大氣汚染豫測을 위한 面汚染源排出量 算定模型의 開發에 關한 研究

## A Study on the Estimation Technique of Area Source Emissions for Air Pollution Prediction

박준대, 김정욱

서울대학교 환경대학원  
(원고접수: 1990. 1. 20)

Jun-dae Bag, Jung-wk Kim

Graduate School of Environmental Studies Seoul National University  
(Received 20 January 1990)

### Abstract

In the estimation of grid type area source emissions, the factors by which emissions are distributed spatially must be considered comprehensively. The estimation process can be approached systematically by connecting the emission activity of air pollutants with land use pattern and the various impacts can be taken into account in the process by using such area information as land use, population, distribution of households, types of housing units, fuel consumption and so on.

The estimation procedure was computerized in order to calculate area source emissions by grid information system. This computerization helped to augment effectiveness and efficiency not only by managing enormous data but also by performing diverse functions.

### 1. 서 론

대기중으로 배출된 오염부하가 대기질에 미치는 영향을 예측하기 위하여 대기확산모형을 이용하게 되는 데, 대기확산모형의 예측력을 높이기 위해서는 각 지역 또는 공간으로부터 배출되는 오염물질의 양을 정확하게 파악하여야 한다<sup>1)</sup>. 면오염원에 대한 배출량은 Simulation 하고자 하는 지역의 총 오염부하량을 각 격자(Grid)에 합당하도록 배분하여 결정하는 것이 보통이다. 그러나 도시지역에서와 같이 배출형태가 다양하고 지역이 광범위한 경우에는 오염원의 확인 및 오염부하의 분배과정에서

여러가지 종류의 오차가 개입될 확률이 많고 방대한 자료의 처리 등으로 인하여 배출량 산정결과에 대한 신뢰성이 결여될 수 있다<sup>2)</sup>. 그러므로 면오염원에 대해서는 지역전체에 대한 오염원 상호간의 관계, 배출활동의 종류 및 규모 등이 체계적으로 파악되어야 하며, 공간적 배출요인들이 합리적으로 고려될 수 있는 배출량 산정체계의 확립과 이를 효과적으로 수행할 수 있는 방법이 필요하다. 면오염원 배출량을 산정함에 있어서는 대기오염물질 배출과 공간적 특성과의 연계성을 구축함으로써 배출량 산정과정의 체계적 접근이 가능하게 되며, 또한 공간적 배출특성의 내용을 나타내는 여러가지 지역정보(Area Information)를 이용함으로써

배출량 산정방법에 대한 합리성을 부여할 수 있다. 본 연구에서는 대기오염물질 배출량의 공간적 분포요인이 되는 대상지역의 토지이용 형태, 인구 및 가구분포, 주택의 종류, 에너지 소비형태 등의 각종 지역정보를 이용하여 대기 확산모형의 적용에 필요한 격자형 면오염원배출량을 지역 및 배출특성에 따라 체계적이며 합리적으로 산정할 수 있는 방법을 정립하였으며, 이를 보다 효과적이며 능률적으로 수행할 수 있는 전산프로그램을 개발하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 면오염원배출량 산정과정의 설정

대기오염물질은 주로 인간의 주거생활을 포함한 상업,공업 및 기타 활동에 필요한 에너지 소비로 인하여 발생되므로, 연료사용으로 인한 면오염원배출량을 산정할 경우에는 공간적 요소인 토지이용형태와 부문별 연료사용량이 동

시에 상호연관되는 체계를 갖게 되므로 특정지역으로부터 배출되는 오염물질의 양은 그 지역에 거주하고 있는 인구 및 각 활동이 이루어지고 있는 공간의 이용면적에 비례한다고 할 수 있다<sup>3)</sup>. 또한 지역 전체에서 점오염원을 제외한다면, 면오염원을 구성하고 있는 단위오염원들은 그 규모가 일정하다고 볼 수 있으므로 오염물질의 배출규모는 각 활동에 대한 토지이용도로 나타낼 수가 있다. 그러므로 격자내의 배출량은 다음 (그림 1)과 같이 토지이용에 따른 부문별 총 연료사용량으로부터 오염물질의 공간적 배출특성에 관련된 여러가지 지역정보를 이용하여 해당 격자에 합리적으로 배분한 다음, 대상오염물질에 대한 배출계수를 적용하여 산정한다. 면오염원배출량을 산정하는데 이용될 수 있는 지역정보로서는 지형, 수문, 기상 등의 자연환경인자와 토지이용, 인구, 주택, 행정구역, 교통, 공공시설 등의 인문사회환경인자들에 관한 내용을 들 수가 있다<sup>4)</sup>.

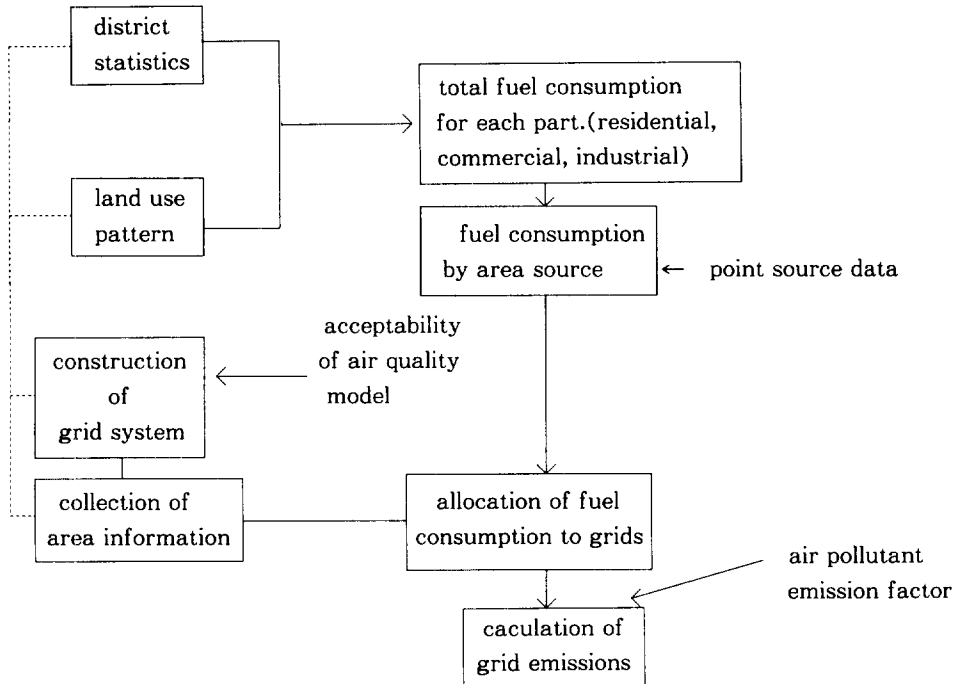


Fig. 1. Flow chart for the calculation of grid type area source emissions.

### 2.2 면오염원배출량 산정방법의 정립

#### 1) 부문별 연료사용량 조사

부문별 연료사용량에 관한 자료는 지역의 연

료공급처로부터 직접 구입할 수도 있으며 에너지와 관련된 여러가지 통계조사 자료들로부터 활용될 수도 있다. 그러나, 이러한 연료공급처

의 기록부나 통계조사 자료들은 지역의 총 연료사용량 즉, 모든 오염원으로부터 사용된 연료량이므로 각 부문별 면오염원에 의한 연료사용량은 다음과 같이 구할 수 있다<sup>2)</sup>.

$$Q_{ra} = Q_{rt} - Q_{rp} \quad (1)$$

$$Q_{ca} = Q_{ct} - Q_{cp} \quad (2)$$

$$Q_{ia} = Q_{it} - Q_{ip} \quad (3)$$

여기서, Q는 연료사용량, r, c, i는 주거, 상업, 공업부문, a, p, t는 면오염원, 점오염원, 점오염원+면오염원이다.

그러나 주거부문과 상업부문은 연료사용 목적의 유사성과 소비과정의 근린성으로 인하여 상호간의 구별이 어렵고 각각에 대한 연료사용량 자료의 획득이 어려울 경우가 있는데, 이러한 경우에는 다음과 같은 방법을 사용할 수가 있다.

$$Q_{rt} = H \times ql \times day \times CP \quad (4)$$

$$Q_{ct} = Q_{rc} - Q_{rt} \quad (5)$$

여기서, H는 총 연료사용원(난방면적, 인구, 가구, ...), ql는 단위열부하, day는 년평균 난방일수, CF는 보정계수(CF=1 단, 연료사용원이 가구일 경우에는 표준가구크기에 대한 대상지역의 평균가구크기의 비), Q<sub>rc</sub>는 주거, 상업부문 혼합사용량 이다.

2) 연료사용량의 격자별 배분

격자별 연료사용량 배분의 기준이 되는 토지이용정보는 면적이용률(총 용지면적에 대한 격자이용면적의 비)를 사용하므로써 정량화할 수 있으며, 단위격자들이 포함하고 있는 정보들을 이용하여 각 격자별로 다음과 같이 배분한다.

가. 주거부문

식(1)의 주거부문 사용량과 단위격자의 인구, 주거, 주택, 토지이용 등의 정보를 이용하여 다음과 같은 방법으로 격자내의 주거부문 연료사용량을 계산한다.

$$G_{Qr} = Q_{ra} \times \frac{G_h}{H} \quad (6)$$

여기서, G<sub>Qr</sub>는 단위격자내의 주거용 연료사용량, Q<sub>ra</sub>는 면오염원에 의한 주거부문 연료사용량, H는 최대행정구역단위의 연료사용인구 또는 가구, G<sub>h</sub>는 단위격자의 연료사용인구 또는

가구로서  $G_h = \sum hij \times AUF_r$ , hij는 j 행정구역의 연료사용원, j는 해당격자에 연루된 최소행정구역(j=1, 2, 3...n), AUF<sub>r</sub>는 주거용지면적이용률이다.

나. 상업부문

식(2)의 상업부문 사용량과 단위격자의 토지이용정보를 이용하여 격자내의 상업부문 연료사용량은 다음과 같이 계산한다.

$$G_{Qc} = Q_{ca} \times AUF_c \quad (7)$$

여기서, G<sub>Qc</sub>는 단위격자내의 상업용 연료사용량, Q<sub>ca</sub>는 면오염원에 의한 상업부문 연료사용량, AUF<sub>c</sub>는 단위격자내의 상업용 면적을 총 상업면적으로 나눈값이다.

다. 공업부문

식(3)의 공업부문 사용량과 단위격자의 토지이용정보를 이용하여 격자내의 공업부문 연료사용량은 다음과 같이 계산한다.

$$G_{Qi} = Q_{ia} \times AUF_i \quad (8)$$

여기서, G<sub>Qi</sub>는 단위격자내의 공업용 연료사용량, Q<sub>ia</sub>는 면오염원에 의한 공업부문 연료사용량, AUF<sub>i</sub>는 단위격자내의 공업용지면적을 총 공업용지면적으로 나눈값이다.

3) 격자별 배출량 산출

식(6), (7), (8)에 의하여 단위격자에 배분된 부문별 연료사용량과 대기오염물질 배출계수를 이용하여 격자내의 오염물질 배출량은 다음과 같이 계산한다.

$$GE = \sum \{ (G_{Qr}(k) + G_{Qc}(k) + G_{Qi}(k)) \times EF(k) \} \quad (9)$$

여기서, GE는 단위격자내의 오염물질 배출량, k는 연료의 종류 (k=1, 2, 3...n), EF는 대기오염물질 배출계수이다.

주거부문과 상업부문의 연료사용은 대부분 난방을 위한 것이므로, 계절적 변화에 따른 연료사용량에 차이가 나타나게 된다. 따라서 다음 식(10)에서와 같이 지역적 연료소비형태에 따라 결정된 연료소비계수를 이용하여 계절별 또는 월별 배출량을 계산할 수 있다.

$$GE_p = \sum \{ (P \times (G_{Qr}(k) + G_{Qc}(k)) + G_{Qi} \}$$

$$(k) \times EF(k)$$

(10)

비계수이다.

여기서,  $GE_p$ 는 단위격자내의 월평균 또는 계절평균 배출량,  $P$ 는 월별 또는 계절별 연료소

2.3 면오염원 격자체계의 전산화

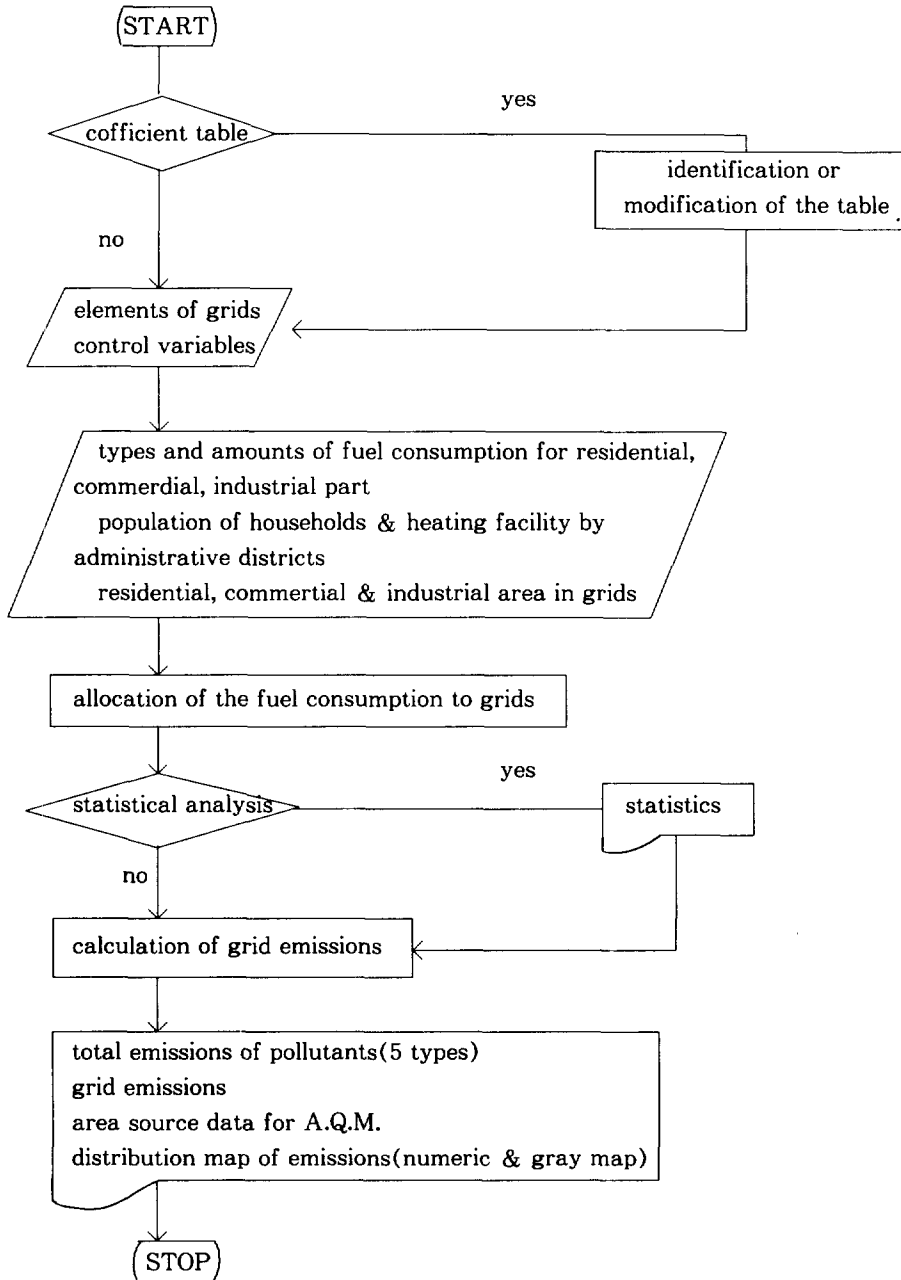


Fig. 2. Flow Chart of computer program(ASGS).

컴퓨터를 이용하여 격자식정보처리방법<sup>5)</sup>으로 면오염원배출량을 산정할 수 있는 전산프로그램을 개발하고 ASGS(Area Source Grid System)라고 명명하였다. 이 프로그램은 대형 컴퓨터(IBM 3090)용으로 설계되었으나 명암도(gray map) 작성을 제외하고는 마이크로컴퓨터에서도 사용할 수 있도록 개조하였다. ASGS의 처리과정은 크게 입력, 계수수정, 연산, 통계분석 및 출력과정으로 나눌 수 있다. 또한 사용의 편의와 능률적인 자료처리를 위하여 응답처리방식(Interactive Process)과 일괄처리방식(Batch Process)을 겸용하도록 설계되었으며 다음과 같이 주처리프로그램(Main program)과 이를 보조하는 5개의 부프로그램(Subprogram) 및 Block data로 구성되어 있다.

- ① MAIN : 자료의 입력과 함께 프로그램 전반에 관한 제어를한다. 입력자료의 처리 및 각종 연산작업을 수행하며 처리된 결과물을 출력시킨다.
- ② MODIF : 변경된 계수값들에 대한 수정작업을 한다.

- ③ STATIC : 자료들에 대하여 통계적 분석을 수행한다.
- ④ COFFOUT : 계수값의 수정전과 수정후에 계수표(Coefficient Table)를 화면 또는 프린터에 출력시켜 확인하도록 한다.
- ⑤ NMAPOUT : 숫자방식으로 표현되는 도면을 출력시킨다.
- ⑥ GRAFOUT : 8개의 부호로 나타내어지는 명암도(Gray Map)를 출력시킨다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 자료의 수집 및 분석

면오염원에 대한 배출량을 산정하기 위하여 다음과 같은 자료들을 수집 및 분석하였다.

##### 1) 인구 및 주거현황

주거용 연료사용으로 인한 배출활동의 단위 오염원으로서는 가구(Household)를 사용하였다. 격자내의 사용연료별 가구수를 계산하는데 필요한 입력자료를 작성하기 위하여 서울시 통계연보<sup>6)</sup>에 나타나 있는 1985년 현재 서울시의 총 425개 동에 대한 가구분포현황과 다음 <표

**Table 1.** The ratio of housing by heating facility in Seoul(1985).

No.	administration district	coal boiler	oil boiler	central heating boiler	others
1	Chongno-gu	0.86	0.10	0.03	0.01
2	Chung-gu	0.87	0.07	0.05	0.01
3	Yongsan-gu	0.73	0.10	0.16	0.12
4	Songdong-gu	0.89	0.06	0.04	0.01
5	Tongdaemun-gu	0.92	0.04	0.03	0.01
6	Songbuk-gu	0.91	0.06	0.02	0.01
7	Tobong-gu	0.92	0.05	0.02	0.01
8	Unpyong-gu	0.90	0.08	0.01	0.01
9	Sodaemun-gu	0.89	0.08	0.02	0.01
10	Mapo-gu	0.86	0.09	0.09	0.01
11	Kangso-gu	0.91	0.04	0.03	0.02
12	Kuro-gu	0.86	0.03	0.10	0.01
13	Yongdungpo-gu	0.68	0.05	0.26	0.01
14	Tongjak-gu	0.88	0.08	0.03	0.01
15	Kwanak-gu	0.93	0.04	0.02	0.01
16	Kangnam-gu	0.30	0.13	0.56	0.01
17	Kangdong-gu	0.62	0.03	0.34	0.01
	average	0.78	0.07	0.14	0.01

1) 및 <표 2><sup>7)</sup>와 같이 17개 구에 대한 난방형태별 주택현황을 조사하였다.

### 2) 토지이용현황

현재 서울시의 토지이용현황조사가 이루어지지 않은 관계로 용도지역 지정현황을 토대로하여 토지이용상태를 살펴보았다. 서울시를 도시계획도(축척 1/25000)상에서 1 km<sup>2</sup> 크기의 격자로 구분하고 서울시에 포함된 637개 격자에 대한 각각의 용도지역 지정현황을 구적계를 이용하여 조사하였다. 또한 주거용 면적은 행정구역과 관련시켜 조사되어야 하므로 서울시의 행정구역도(1/25000)상에 주거용도지역현황을 표시한 다음, 격자내에 포함된 각 동에 대하여 주거용지면적이용도를 조사하였다.

### 3) 연료사용현황

서울시에서 1985년 1년동안에 사용한 연료는 무연탄이 8766319톤, 휘발유 493921kl, 등유 477425kl, 경유 1980822kl, 벙커C유 1305017kl, 가스류 613338kl, 기타가 338186kl로서 종류는 다양하나, 본 면오염원배출량 산

**Table 2.** The ratio of household to housing in Seoul(1985).

No.	administration district	No. of households	No. of housing	ratio
1	Chongno-gu	66168	35732	1.85
2	Chung-gu	52900	26287	2.01
3	Yongsan-gu	80113	42312	1.89
4	Songdong-gu	180544	72830	2.48
5	Tongdaemun-gu	225966	97147	2.33
6	Songbuk-gu	142701	67562	2.08
7	Tobong-gu	201173	95689	2.10
8	Unpyong-gu	100567	51880	1.94
9	Sodaemun-gu	96835	50597	1.90
10	Mapo-gu	108998	55773	1.95
11	Kangso-gu	163510	80387	2.06
12	Kuro-gu	168616	67978	2.48
13	Yongdungpo-gu	109697	53316	2.06
14	Tongjak-gu	97532	46342	2.10
15	Kwanak-gu	130850	62561	2.09
16	Kangnam-gu	183600	137335	1.34
17	Kangdong-gu	2216459	132434	1.63
	total	2324219	1176162	1.98

정에 고려된 연료는 무연탄, 경유 및 벙커C유이며, 기타연료는 단위발열량당 오염물질의 배출량이 매우 적고 또한 사용량도 적은 편이므로 제외시켰다.

**Table 3.** Fuel consumption pattern in Seoul (1987)  
(Percentage in parenthesis).

use	fuel	anthracite [t]	light oil [1000Bbl]	bunker-C [1000Bbl]
heating		8728423	2298.1( 21.26)	4271.3( 40.71)
industrial		28191	1263.2( 11.69)	2973.1( 28.34)
transport		-	7248.1( 67.05)	116.9( 1.11)
electric utility		-	0.02( 0.00)	3130.9( 29.84)
total		8756614	10809.6(100.0)	10492.2(100.0)

본 연구에 의한 방법으로 면오염원배출량을 산정하기 위해서는 부문별 연료사용량에 관한 조사가 선행되어야 하는 데 1985년 12월현재 서울시의 용도별 연료사용량에 대한 조사가 되어있지 않은 관계로, 한국환경연감<sup>8)</sup>을 기준으로 작성한 <표 3>의 1987년도 용도별 연료사용 구성비를 참고로하여, 비례적인 방법으로 1985년도의 부문별 연료사용량을 추정하였으나 조사시점의 차이로 인한 오차가 포함되었을 것으로 생각된다.

연료소비실태는 그 지역의 지리적위치, 기후, 생활습관 등의 지역적 특성에 따라 다르게 나타나므로, 주거부문에 대한 연료사용원단위를 이용할 때는 해당지역과 관련된 자료를 사용하여야 한다. 에너지센서스 결과보고서<sup>10)</sup>에 나타난 서울시의 연료소비형태를 기준으로하여 난방형태별 가구당 평균연료사용량을 구하였으며, 무연탄이 3500.64kg/년, 경유가 2157.14kl/년, 벙커C유가 660.00kl/년으로서, 이들 값을 주거부문의 연료사용원단위로 활용하였다.

이와같이 구한 연료사용원단위, 연료사용가구수, 연료사용현황자료를 이용하여 면오염원의 부문별 연료사용량을 구하였으며 그 내용은 <표 4>와 같다.

**Table 4.** The amount of fuel consumed by area sources.  
(Quantity of consumption by point source in praenthesis)

fuel use	anthracite [t]	light oil [kL]	bunker-C [kL]
residential	6389794	353363.0	— (256504.9)
commercial	2348300	67760.0	181263.0 ( 93503.8)
industrial	28222	231558.0	363118.6 (396140.3)
total	8766319	652681.0	544381.6 (746149.0)

계절의 변화에 따른 연료소비양상은 큰 차이로 나타나며 이에 따라서 오염물질의 배출량도 달라진다. 다음 <표 5>는 월별 무연탄소비현황(도시평균)<sup>9)</sup>을 기준으로하여 산출된 연료소비계수로써 서울지역의 계절평균 또는 월평균 배출량을 산정할 경우에 이용될 수 있다.

**3.2 ASGS의 산출결과**

앞절에서 수집·분석된 자료들과 격자구성에 관한 정보들을 컴퓨터에 입력시켜 ASGS를 수행하면 매 격자마다 좌표(TM좌표)가 설정되어 숫자 또는 코우딩화된 정보들이 분석·처리되어 다음과 같은 결과들이 출력된다.

1) 총 면오염원배출량

면오염원에 의한 부문별 연료사용량과 미국 환경청에서 발표한 AP-42 및 국내에서 개발된 배출계수들을 토대로 하여 설정된 대기오염물질 배출계수<sup>10)</sup>를 이용하여 1985년 1년동안에 서울시의 면오염원으로부터 발생한 5개 항목의

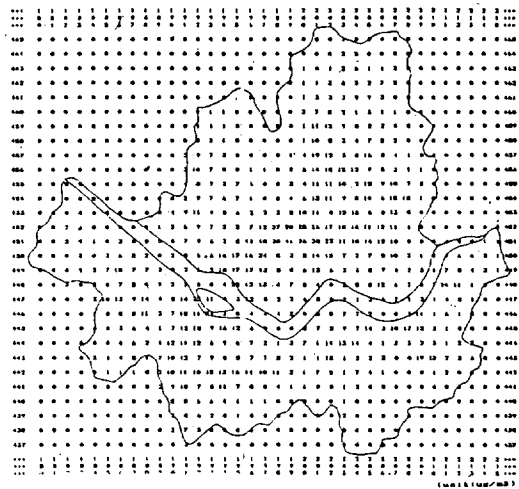
주요대기오염물질의 총 배출량은 SO<sub>2</sub> 122320.99t/yr, TSP 16300.34t/yr, NO<sub>x</sub> 6787.00t/yr, CO 853716.70t/yr, HC 6455.39t/yr이다.

2) 대기확산모형의 면오염원자료

특정한 출력형태를 지정하여주면, X좌표, Y좌표, 격자의 크기, 배출량, 배출원의 높이 등의 요소들로 구성되는 면오염원자료가 직접 대기확산모형에 적용될 수 있도록 출력된다.

3) 면오염원배출량 분포도

면오염원으로부터 배출된 대기오염물질의 공간적인 분포상황을 도면으로 출력한다. 다음 <그림 3>은 숫자로 표현되는 연평균 아황산가스 배출현황을 나타낸 것이며, <그림 4>는 명암도(Gray map)로 작성되는 아황산가스의 배출현황을 나타낸 것이다.



**Fig. 3.** Distribution map of SO<sub>2</sub> emissions (annual average).

**Table 5.** Fuel consumption coefficient for seasonal and monthly change.

sesonal factor	spring			summer			autumn			winter		
	0.0210			0.1867			0.9499			1.9424		
monthly factor	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
	1.2605	0.9259	0.5678	0.1958	0.1830	0.1814	0.5885	0.9746	1.2888	2.0052	2.0152	1.8609

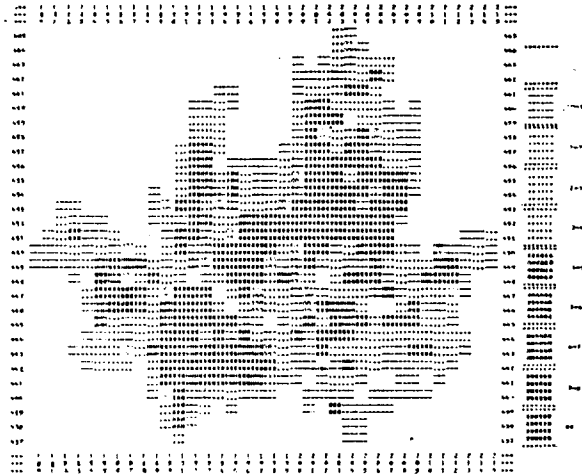


Fig. 4. Distribution map of SO<sub>2</sub> emissions (average in spring).

#### 4. 결 론

대기확산모형의 적용에 필요한 격자형 면오염원배출량을 산정하는 과정에 있어서는 오염물질의 공간적 배출요인들에 대한 영향이 종합적으로 고려되어야 하며, 이를 효과적으로 수행할 수 있는 방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 활동부문별 연료사용량과 공간적 요소인 토지이용형태의 연계성을 구축함으로써 배출활동에 따른 배출규모의 파악이 체계적으로 이루어지도록 하며, 또한 지역 및 공간적 배출특성을 고려할 수 있는 각종 지역정보를 이용함으로써 합리적으로 면오염원배출량을 산정할 수 있는 방법을 정립하여 이를 수행할 수 있는

전산모형을 개발하였다. 수립된 모형을 서울시에 적용하였으며 컴퓨터를 활용함으로써 방대한 자료의 신속한 처리는 물론, 다양한 기능의 수행하므로써 배출량 산정의 능률성과 효율성을 증대시키었다.

#### 參 考 文 獻

1. C.De Wispelaere(ed.), (1982), Air pollution Modeling and Its Application II, Plenum Press, New York, 11-33.
2. Arthur C. Stern(ed.), (1976), Air Pollution : Measuring, Monitoring, and Surveillance of Air Pollution Vol. 3, 3rd ed., Academic Press, 729-764.
3. Jean-Micheal Guldmann & Daniel Shefer, (1980), Industrial Location and Air Quality Control, John Wiley & Sons, 104-105.
4. 조본준, (1988), 개인용 컴퓨터를 이용한 토지이용 적합성분석에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 19-21.
5. 박종화, (1986), 퍼스컴을 이용한 환경계획 및 설계, 환경과 조경, 100-101.
6. 서울특별시, (1986), 서울통계연보
7. 경제기획원조사통계국, (1987), 1985 인구 및 주택센서스보고.
8. 환경청, (1988), 한국환경연감, 826-829.
9. 에너지경제연구원, (1985), 1984년도 에너지센서스 결과보고서, 동력자원부.
10. 서울특별시, (1986), 서울특별시 대기오염 감축대책 연구.