

## 서울시 지역별 SO<sub>2</sub> 오염도 분석에 관한 연구

### A Study on the Analysis of SO<sub>2</sub> Concentration in the Metro Seoul

송 동 웅 · 김 원 만<sup>1)</sup>

한국과학기술연구원 대기환경연구소

<sup>1)</sup>한양대학교 도시공학과

(원고접수: 1991. 2. 21)

**Dong Woong Song, Won Man Kim<sup>1)</sup>**

Air Pollution Control Laboratory, KIST

<sup>1)</sup>Dept. of Urban Engineering, Hanyang University

(Received 21, February 1991)

#### Abstract

The major purpose of this study is to delineate and assess the regional SO<sub>2</sub> levels in Seoul. This study is based on 1988 year-round data from 20 air quality continuous monitoring stations in Seoul.

Statistical analyses were attempted, statistical parameters such as average concentration, standard deviation, maximum concentration, minimum concentration and monthly highest concentration were included in the analyses. In addition, Larsen's averaging time analysis was evaluated in terms of 24-hr concentration.

The SO<sub>2</sub> levels in 1988 were that most stations except Daechidong, Sinlimdong, Jamsil 2, Bangidong violate the long-term standard (annual average 0.05 ppm) and the percentage of number of days within a year in which the 24-hr average concentration observed exceeds short-term standard (0.15 ppm) are; 37% at Deungchondong, 30% at Sinseoldong, more than 20% at Ssangmundong, Myunmogdong and Oryudong.

#### 1. 서 론

현재까지 대기오염 문제를 해결하기 위한 많은 연구와 정책이 수행되어 왔으나 이를 뒷받침해 줄 충분하고도 이용가능한 대기오염 측정자료는 아직 제대로 정리되지 않은 채 매년 오염도의 산술평균 제시정도만으로 많은 유용한 대기질 연속측정자료가 효율적으로 이용되지 못하고 있는 실정이다.

또한, 정부에서 발표하는 대기오염도 자료는 측정 기술 부족, 부적절한 측정망 배치로 인해 시간적, 공간적 대표성과 통계적 의미를 갖지 못해 일반 시

민이 느끼는 오염정도와 차이가 많으며 이에 따라 발표자료에 대한 신뢰를 갖지 못하는 등 많은 문제점이 노출되고 있다.

따라서 대기오염도 자료의 종합적이고 과학적인 분석을 통해 정확한 대기오염 현황 파악, 합리적인 환경기준의 설정과 배출규제, 지역계획 등 종합적인 대기관리 계획수립에 필요한 기초자료의 확립이 절실한 실정이다.

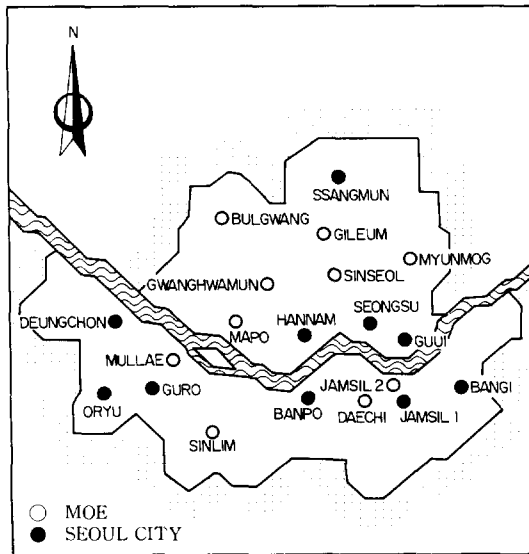
본 연구에서는 서울시의 20개 대기오염 자동측정망에서 매시간 측정된 SO<sub>2</sub> 자료중 유효측정자료를 대상으로 서울시의 지역별 SO<sub>2</sub> 오염도를 통계분석하여 지역별 평균농도, 표준편차, 최대 및 최저치,

유효측정일수, 월별 최대농도, 환경기준 초과여부 등을 제시하였으며 또한 측정치의 부정확, 측정횟수의 빈곤으로 인한 측정 최고치를 보완하기 위해 Larsen의 평균화 시간분석으로 이론 최고치를 구하였다.

**2. 측정자료**

**2.1 측정지점 및 측정방법**

1988년 서울시의 대기오염 자동측정망은 20개소로 그림 1과 같이 환경처와 서울시가 각각 10개씩 운영하고 있으며 그중 주거지역에 13개소, 공업지역에 3개소, 녹지지역에 3개소, 상업지역에 1개소가 위치해 있다.



**Fig. 1.** Automatic air quality monitoring stations in Seoul.

대기중 SO<sub>2</sub>의 측정은 SO<sub>2</sub> 분자가 자외선을 흡수하여 생성된 여기상태(excited state)의 SO<sub>2</sub>로부터 형광을 검출하는 자외선형광법(UV-Fluorescence method)을 이용한 SO<sub>2</sub> 연속자동측정기를 사용하고 있다.

**2.2 측정자료의 선정**

대기오염측정자료의 통계해석시 측정자료의 유효 측정시간수 분석은 매우 중요하다. Larsen(1973)에 의하면 1961년부터 1968년까지 7년간 Washington D.C.에서 실측자료를 해석하는데 있어 실측자료의

수가 전체자료집단의 2/3 이상(24시간 평균치는 16시간, 1개월 평균치는 20일 이상)일 때 유효하다고 하였으며 그 이하일 때는 통계적 의미를 상실한다고 하였다. 일본의 경우(大氣汚染監視網管理研究會, 1975)는 일평균치는 20시간 이상(24시간×5/6=20시간), 월평균치는 월간 600시간 이상(24시간×30일×5/6), 그리고 연간 7,000시간 이상(8,760시간×0.8)으로 각각 법으로 규정하고 있다.

이러한 근거를 바탕으로 본 연구에서는 서울시의 1988년 자료 중 24시간 평균치는 16시간 이상, 1개월 평균치는 20일 이상의 경우에 대해 통계분석자료로 선정하였으며 지점별 연간 유효측정자료수를 분석하면 표 1과 같다.

**Table 1.** Number of data available at each station.

Station	No. of data	Station	No. of data
Gwanghwamun	338	Ssangmundong	351
Jamsil 1	338	Mullaedong	269
Hannamdong	27	Gurodong	166
Gileumdong	49	Oryudong	355
Guidong	312	Daechidong	300
Seongsudong	319	Banpodong	333
Bulgwangdong	339	Sinlimdong	291
Mapodong	313	Deungchondong	173
Myunmogdong	183	Jamsil 2	227
Sinseoldong	191	Bangidong	175

**3. 측정자료의 통계처리**

**3.1 기본적인 통계처리**

기본적인 통계처리를 위해 통계분석 프로그램인 SPSS를 이용하였으며 산술평균, 표준편차, 중앙값, 연중 최대, 최소값 및 월 최대값 등을 구하여 표 2에 요약하였다.

**3.2 평균화시간 분석**

Larsen(1969)은 대기오염물 농도, 평균화시간과 누적빈도의 상관관계로부터 수학적 모델을 개발하였다. Larsen은 6개 도시에서 7개 오염물을 대상으로 3년간의 실측자료를 분석한 결과 다음과 같은 이론을 정립하였으며 이 수학적 모델도 여기에 근거를 두고 있다(Larsen, 1973 ; Norco *et al.*, 1970).

1. 대기오염물 농도는 모든 평균화시간에 대하여 대수정규분포를 이룬다.
2. 중앙치 농도(50 percentile)는 exponent의 평

Table 2. Statistical Results of the air quality data in Seoul (SO<sub>2</sub>, 1988).

Station	Zoning	No. of data available	Arith. mean	Standard dev.	Max. Min.	Maximum for month												
						Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
1. Gwanghwamun	Commercial	338	0.072	0.071	0.388 0.006	0.350 0.388	0.183 0.166	0.077 0.032	0.024 0.030	0.024 0.030	0.035 0.155	0.233 0.294						
2. Jamsil 1	Rural	338	0.050	0.042	0.226 0.004	0.170 0.226	0.118 0.120	0.056 0.026	0.016 0.024	0.026 0.109	0.123 0.208							
3. Hannamdong	Residential	27	0.086	0.020	0.121 0.044	— —	0.121 —	— —	— —	— —	— —	— —						
4. Gileumdong	"	49	0.150	0.065	0.266 0.050	0.233 0.266	— —	— —	— —	— —	— —	— —						
5. Guuidong	"	312	0.056	0.061	0.320 0.004	0.282 0.320	0.148 0.159	0.051 0.026	0.016 0.094	0.050 0.153	0.209 —							
6. Seongsudong	Industrial	319	0.080	0.063	0.310 0.004	0.205 0.310	0.211 0.127	0.087 0.055	0.025 0.053	0.038 0.160	0.208 0.251							
7. Bulgwangdong	Residential	339	0.056	0.050	0.246 0.001	0.172 0.246	0.142 0.099	0.056 0.023	0.014 0.016	0.036 0.104	0.162 0.235							
8. Mapodong	"	313	0.090	0.081	0.432 0.002	0.432 0.246	0.255 0.178	0.101 0.057	0.026 0.049	0.039 0.191	0.210 0.230							
9. Myunmgdong	"	183	0.108	0.096	0.475 0.004	0.451 0.475	0.173 0.118	0.106 —	— —	0.047 0.132	— —							
10. Sinseoldong	"	191	0.131	0.118	0.509 0.004	0.469 0.509	0.248 0.133	0.083 —	— —	0.051 0.128	— —							
11. Ssangmundong	"	351	0.097	0.087	0.443 0.001	0.432 0.443	0.276 0.166	0.090 0.039	0.078 0.067	0.045 0.184	0.261 0.419							
12. Mullaedong	Industrial	269	0.087	0.085	0.410 0.002	— —	0.218 0.156	0.096 0.064	0.048 0.021	0.056 0.325	0.410 0.396							
13. Gurodong	"	166	0.065	0.065	0.307 0.002	0.270 —	0.307 0.098	— —	0.017 0.054	0.028 0.148	— —							
14. Oryudong	Residential	355	0.090	0.089	0.478 0.005	0.391 0.343	0.258 0.150	0.091 0.037	0.022 0.022	0.042 0.265	0.478 0.478							
15. Daechidong	"	300	0.044	0.034	0.185 0.001	0.098 0.146	0.088 0.089	0.052 0.035	0.026 0.028	0.025 —	0.111 0.185							
16. Banpodong	"	333	0.067	0.060	0.367 0.004	0.272 0.367	0.223 0.149	0.095 —	0.037 0.043	0.030 0.093	0.189 0.197							
17. Simimdong	Rural	291	0.043	0.036	0.255 0.001	0.107 0.255	0.105 —	0.080 —	0.013 0.013	0.026 0.054	0.096 0.143							
18. Deungchondong	Residential	173	0.136	0.093	0.384 0.008	— 0.364	0.384 0.323	0.154 —	— —	0.052 0.214	— 0.379							
19. Jamsil 2	"	227	0.044	0.036	0.153 0.000	0.103 0.116	0.119 0.114	— —	0.006 —	0.015 0.101	0.141 0.153							
20. Bangidong	Rural	175	0.043	0.044	0.180 0.002	— —	— —	— —	0.020 0.029	0.018 0.074	0.145 0.180							

균화시간승에 거의 비례한다.

3. 최대농도는 exponent의 평균화시간승에 거의 반비례한다.

이와 같이 대수정규분포를 이루는 대기오염도 측정자료를 대수확률지(log-probability)에 그리면 직선이 되며 실제 측정자료를 고농도순으로 나열했을 때 특정 누적빈도(cumulative frequency)에 해당하는 농도의 순위와의 상관관계는 다음 식에 의해 결정된다.

$$r = \frac{fn}{100\%} + 0.999 \quad (1)$$

여기서, r은 고농도 순위이며 f는 누적백분율 빈도, n은 관측수이고 0.999는 전산결과치를 균일하게 하기 위한 1보다 작은 상수이다.

위와 같이 고농도 순으로 나열했을 때 관측 순위에 의해 계산된 누적백분율 빈도와 관측된 농도를 대수확률지에 그리면 직선이 되며 이 직선에서 누적백분율 빈도 50%에 해당하는 값이 기하평균(geometric mean)이며 이 직선의 기울기가 기하표준편차(standard geometric deviation)이다. 이 기하표준편차는 중앙치로부터 표준편차수 1에 해당하는 16 percentile 농도의 기하평균에 대한 비율로 나타낸다.

또한 실제 측정치의 부정확, 측정횟수의 빈곤으로 인한 측정 최고치를 보완하는 방법으로 다음 식을 이용하여 예상되는 최고농도에 대한 누적빈도를 구하므로써 실제 일어날 수 있는 이론 최고농도를 구할 수 있다(Larsen, 1974).

$$f = 100\% \frac{r-0.4}{n} \quad (2)$$

본 연구에서는 이와 같은 이론을 바탕으로 유효측정일이 243일(366×2/3) 이상인 12개 측정지점을 대상으로 표 3에 24시간 평균치의 누적백분율과 농도의 관계를 나타냈으며 그림 2는 그 중 광화문 측정치의 누적백분율과 농도와의 관계를 대수확률지에 예시한 것이다.

표 4는 평균화 시간 분석에 의한 이론 최고농도와 실제 측정된 최고농도를 비교한 것으로 대부분 지역

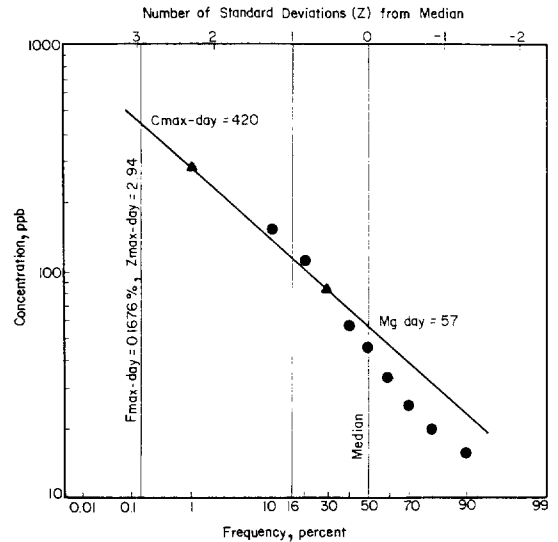


Fig. 2. 24-hr-average SO<sub>2</sub> concentration vs. frequency at Gwanghwamun.

Table 3. SO<sub>2</sub> concentration vs. frequency in Seoul (1988).

(Unit : ppm)

Station	Arith. mean	Max.	Min.	Percent of time concentration is equaled or exceeded									
				1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Gwanghwamun	0.072	0.388	0.006	0.294	0.172	0.122	0.083	0.059	0.044	0.032	0.025	0.020	0.014
Jamsil 1	0.050	0.226	0.004	0.178	0.109	0.082	0.061	0.047	0.034	0.026	0.019	0.015	0.011
Guuidong	0.056	0.320	0.004	0.260	0.137	0.092	0.063	0.045	0.032	0.023	0.017	0.012	0.007
Seongsudong	0.080	0.310	0.004	0.246	0.166	0.136	0.110	0.085	0.066	0.047	0.029	0.018	0.011
Bulgwangdong	0.056	0.246	0.001	0.190	0.121	0.094	0.077	0.055	0.044	0.031	0.016	0.010	0.005
Mapodong	0.090	0.432	0.002	0.350	0.193	0.145	0.118	0.091	0.068	0.052	0.031	0.016	0.010
Ssangmundong	0.097	0.443	0.001	0.366	0.223	0.169	0.120	0.086	0.067	0.050	0.037	0.025	0.015
Mullaedong	0.087	0.410	0.002	0.347	0.206	0.133	0.098	0.081	0.066	0.048	0.026	0.016	0.010
Oryudong	0.090	0.478	0.005	0.418	0.200	0.154	0.115	0.084	0.059	0.044	0.022	0.014	0.011
Daechidong	0.044	0.185	0.001	0.158	0.085	0.070	0.060	0.046	0.037	0.027	0.019	0.015	0.010
Banpodong	0.067	0.367	0.004	0.245	0.156	0.104	0.078	0.060	0.046	0.035	0.025	0.019	0.013
Sinlimdong	0.043	0.255	0.001	0.143	0.088	0.071	0.058	0.047	0.036	0.026	0.018	0.009	0.004

**Table 4.** Comparison of expected and observed maximum SO<sub>2</sub> concentrations by averaging time analysis. (Unit : ppb)

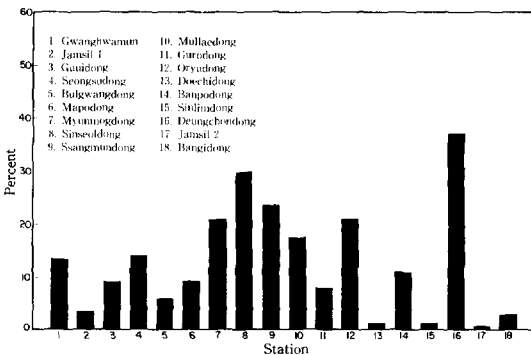
Monitoring station	Expected max. conc.	Observed max. conc.
Gwanghwamun	420	388
Jamsil 1	254	226
Guuidong	400	320
Seongsudong	305	310
Bulgwangdong	240	246
Mapodong	481	432
Ssangmundong	484	443
Mullaedong	480	410
Oryudong	610	478
Daechidong	205	185
Banpodong	380	367
Sinlimdong	204	255

에서 이론 최고치가 실측 최고치보다 크게 예측되었으며 이는 실제 발생할 수 있는 최고농도가 결측되었음을 암시하고 있다.

**4. 결과 및 고찰**

서울시 1988년도 지역별 SO<sub>2</sub> 농도는 표 5와 같으며 연평균 농도를 보면 대치동, 신림동, 잠실 2, 방이동 등 4개 지점을 제외한 전 지점에서 장기환경 기준을 초과하였으며 특히 등촌동이 0.136 ppm, 신설동이 0.131 ppm, 면목동이 0.108 ppm으로 환경기준치 0.05 ppm을 훨씬 상회하고 있는 것으로 나타났다.

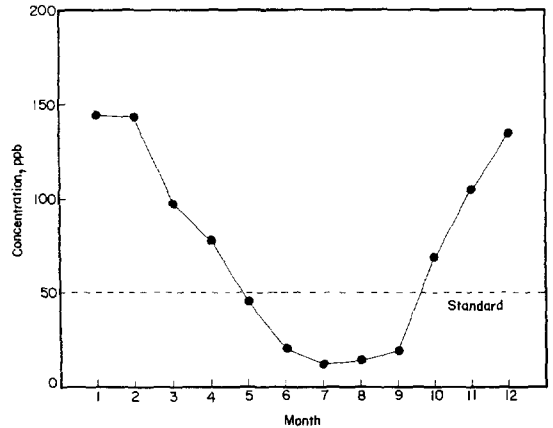
그림 3은 지역별 단기환경기준(24시간 평균 0.15 ppm)을 초과하는 일수를 유효 측정일수에 대한 비



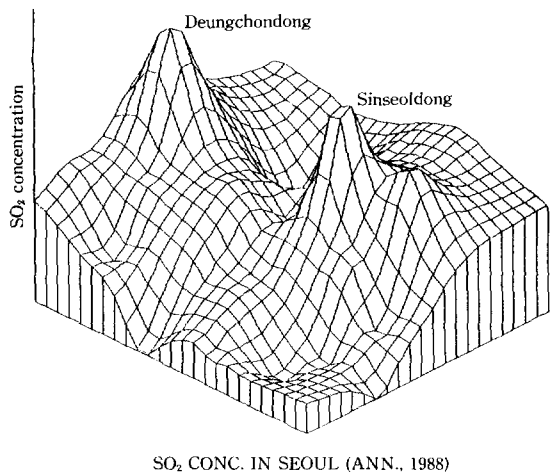
**Fig. 3.** Percent of ambient SO<sub>2</sub> concentrations exceeding short-term air quality standard for each station (1988).

율로 표시한 것으로 등촌동이 연중 37%, 신설동이 약 30%, 쌍문동, 면목동, 오류동 등이 20% 이상을 초과하는 것으로 나타났으며 특히 오염이 심한 겨울철에 신설동, 면목동, 마포동 등에서는 1개월 중 23~25일 이상 단기기준을 초과하는 것으로 나타나 오염도가 매우 심각함을 보였다.

월별 오염도를 보면 그림 4와 같이 겨울철인 1월과 2월 그리고 12월에 난방으로 인한 아황산가스의 증가로 오염도가 매우 높게 나타났으며 반대로 여름철인 6, 7, 8, 9월에는 평균 0.02 ppm 이하의 낮은 오염도를 보였다. 지역별로는 저소득층 주거지역인 면목동, 신설동, 문래동이 겨울철에 특히 연탄 난방으로 인해 오염도가 심각한 것으로 나타났다.



**Fig. 4.** Monthly averaged SO<sub>2</sub> concentrations in Seoul (1988).



SO<sub>2</sub> CONC. IN SEOUL (ANN., 1988)

**Fig. 5.** Annual-average SO<sub>2</sub> concentrations in Seoul (1988).

Table 5. Monthly-averaged SO<sub>2</sub> concentrations in Seoul (1988).

(Unit : ppm)

Station	Month												Annual
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
1. Gwanghwamun	0.142	0.134	0.093	0.068	0.038	0.019	0.016	0.017	0.021	0.066	0.115	0.147	0.072
2. Jamsil 1	0.098	0.108	0.073	0.051	0.030	0.014	0.010	0.015	0.019	0.054	0.064	0.080	0.050
3. Hannamdong	—	—	—	0.086	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4. Giljeondong	0.148	0.152	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5. Guiddong	0.148	0.146	0.058	0.052	0.023	0.015	0.008	0.025	0.018	0.049	0.081	—	0.056
6. Seongsudong	0.112	0.155	0.116	0.079	0.046	0.029	0.012	0.020	0.019	0.079	0.135	0.157	0.080
7. Bulgwangdong	0.108	0.104	0.075	0.050	0.028	0.014	0.006	0.006	0.014	0.056	0.088	0.119	0.056
8. Mapodong	0.232	0.148	0.113	0.092	0.052	0.022	0.012	0.017	0.019	0.092	0.120	0.117	0.090
9. Myunmgdong	0.239	0.214	0.082	0.059	0.068	—	—	—	0.028	0.079	—	—	0.108
10. Sinscoldong	0.276	0.273	0.123	0.074	0.058	—	—	—	0.022	0.061	—	—	0.131
11. Sangmudong	0.192	0.168	0.122	0.086	0.045	0.021	0.038	0.015	0.025	0.085	0.156	0.186	0.097
12. Mullaedong	—	—	0.127	0.093	0.057	0.030	0.018	0.010	0.022	0.110	0.212	0.215	0.087
13. Gurodong	0.128	—	—	0.143	0.065	—	0.008	0.012	0.016	0.080	—	—	0.065
14. Oryudong	0.173	0.150	0.121	0.077	0.044	0.016	0.013	0.011	0.020	0.100	0.175	0.177	0.090
15. Daechidong	0.066	0.074	0.056	0.044	0.026	0.018	0.011	0.013	0.017	—	0.061	0.095	0.044
16. Banpodong	0.125	0.134	0.098	0.071	0.048	—	0.015	0.019	0.018	0.047	0.067	0.097	0.067
17. Sillindong	0.065	0.079	0.051	—	0.031	—	0.005	0.006	0.012	0.029	0.053	0.088	0.043
18. Deungchondong	—	0.189	0.208	0.171	0.080	—	—	—	0.031	0.109	—	0.193	0.136
19. Jamsil 2	0.058	0.053	0.046	0.026	—	—	0.004	—	0.009	0.040	0.070	0.096	0.044
20. Bangidong	—	—	—	—	—	—	0.007	0.012	0.011	0.042	0.072	0.106	0.043

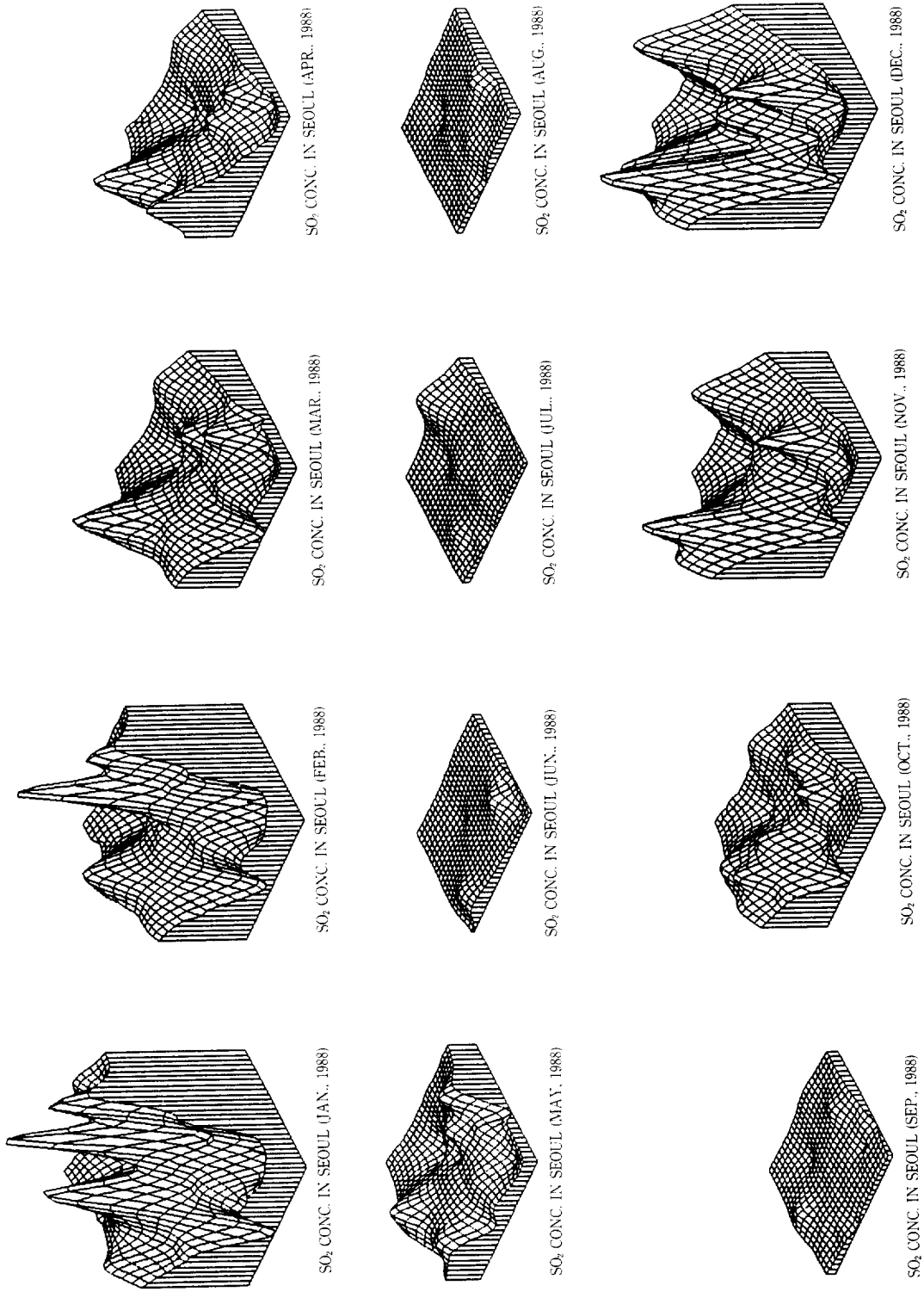


Fig. 6. Monthly-averaged SO<sub>2</sub> concentrations in Seoul (1988).

그림 5와 그림 6은 지역별 연평균 및 월평균 오염도를 3차원으로 도시한 것으로 그림 5의 연평균 농도를 보면 서쪽의 등촌동, 구로동, 오류동의 고농도 지역과 동쪽의 신설동, 면목동, 쌍문동의 고농도 지역으로 크게 두 개의 고농도 지역권을 형성하는 것을 알 수 있으며 강남지역은 비교적 낮은 오염도를 보였다. 그림 6의 3차원으로 도시된 월평균 농도를 보면 1, 2월과 11, 12월 등 겨울철이 6, 7, 8월의 여름철에 비해 SO<sub>2</sub> 오염도가 매우 높았음을 보여주고 있다.

## 5. 결 론

대기오염문제를 해결하기 위해서는 오염 실상과 성격을 정확하게 알리는 것이 매우 중요하며 이에 따라 정확한 측정과 과학적인 분석만이 합리적이고 효율적인 대기관리정책수립을 가능하게 한다.

본 연구에서 1988년 서울시 지역별 SO<sub>2</sub> 오염도 분석결과는 다음과 같다.

1. 연평균농도는 대치동, 신림동, 잠실 2, 방이동 등 4개 지점을 제외하고는 전 지역이 장기환경기준을 초과하는 것으로 나타났으며 단기환경기준은 등촌동이 연중 37%, 신설동이 30%, 쌍문동, 면목동, 오류동 등이 20% 이상 초과하였다.

2. 월별로는 겨울철에 난방으로 인한 SO<sub>2</sub>의 증가로 매우 높은 반면 여름철에는 0.02 ppm 이하의 낮

은 농도를 보였다.

3. Larsen의 평균화시간 분석 결과 대부분 지역에서 이론 최고치가 실측최고치보다 크게 분석되어 실제 발생할 수 있는 최고농도가 결측되었음을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- 송동웅 등(1990) 서울시 지역별 대기오염도 분석평가 기초 연구, KIST 보고서 E10410-4047-6.
- Larsen, R.I. (1973) An Air Quality Data Analysis System for Interrelating Effects, Standards, and Needed Source Reductions, JAPCA 23, 933.
- 大氣汚染監視網管理研究會, (1975) 大氣汚染常時測定網の管理方法に關する研究.
- Larsen, R.I. (1969) A New Mathematical Model of Air Pollutant Concentration, Averaging Time, and Frequency, JAPCA 19, 24.
- Norco J.E. et al. (1970) Evaluation of Emission Control Strategies for Sulfur Dioxide and Particulates in the Chicago Metropolitan Air Quality Control Region, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois.
- Larsen, R.I. (1974) An Air Quality Data Analysis System for Interrelating Effects, Standards, and Needed Source Reductions-Part 2, JAPCA 24, 551.