

## 해풍이 부산 지역의 대기 오염 농도에 미치는 영향

전 병 일 · 김 유 근 · 이 화 운

부산대학교 대기과학과  
(1994년 4월 27일 접수)

### The Influences of Sea Breeze on Air Pollution Concentration in Pusan, Korea

Byung-Il Jeon, Yoo-Keun Kim and Hwa-Woon Lee

*Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea*  
(Manuscript received 27 April 1994)

#### Abstract

Air pollution characteristics and the influence of sea breeze on air pollution concentration were studied using the data measured at 7 air quality continuous monitoring stations in Pusan, 1993.

Maximum air pollution concentration in Pusan was Gamjeondong for SO<sub>2</sub>, Sinpyeongdong for TSP, Daeyeondong for O<sub>3</sub>, Kwangbokdong for NO<sub>2</sub>, Beomcheondong for CO and all substances were under annual ambient air quality standards.

Increased rate of concentration for sea breeze was 24.4% for SO<sub>2</sub>, 31.5% for TSP, 8.0% for O<sub>3</sub>, 26.7% for NO<sub>2</sub>, 15.7% for CO. Frequencies distribution of SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and CO concentration for sea breeze moved toward high concentration class.

Key Words : sea breeze, sea breezing day, air pollution concentration, ambient air quality standards.

#### 1. 서 론

최근 도시의 대기 오염은 중대한 문제로서 대두되고 있으며, 특히 연안 공업 도시의 대기 오염에 대해서는 해풍과의 관련을 무시할 수 없게 되었다. 대도시의 대부분이 연안에 있기 때문에 많은 도시의 오염 농도 분포가 해풍의 영향을 받아서 복잡하게 나타난다(河村, 1979; Kawamura, 1985). 특히 부산 지역의 해안은 남해와 동해에 접하면서, 공업 지대가 연안에 인접해 있기 때문에 대기 오염 물질이 해풍에 의해 영향을 받을 수 있는 최적의 상태에 있다고 할 수 있으며, 최길수 등

(1982)과 전병일 등(1994)에 의하면 부산 지역은 해풍의 발생 빈도가 높고 해풍의 영향이 큰 지역이라고 조사된 바 있다.

일반적으로 해풍이 발생할 때는 기압경도가 완만해서 대기가 안정하고 역전층고도가 낮으며, 대기의 확산 능력은 작아진다. 이러한 조건 아래서는 바람의 수렴이 종종 일어나기 때문에 농도가 급격히 상승하는 경우도 나타난다(若松伸司, 1975).

부산 지역의 대기 오염 농도에 관한 연구로는 박옥현(1986)이 부산에서의 기인 물질 발생원 특성과 오존생성 및 고농도 오존 계절의 NMHC와 NO<sub>x</sub>의 분포에 대한 연구가 있고, 정장표(1993)는

부산시 자동 측정망의 총부유 분진 농도 자료를 이용하여 분진의 특성에 대한 규명을 하였다. 그리고 박종길(1993)은 광복동에서의 관측 자료를 이용해 대기 오염 농도와 기상과의 상관 관계를 연구한 바 있으나, 지금까지 해풍이 발생했을 때 대기 오염 농도의 변화에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 부산시의 7개 대기 오염 측정망에서 1993년 1월 1일부터 12월 31일까지 1년간 매시간 측정된 SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO 자료 중 유효 측정 자료를 대상으로 부산시의 지역별 대기 오염 특성과 해풍이 부산 지역의 대기 오염 농도 변화와 분포에 미치는 영향에 대해서 고찰하였다.

## 2. 자료 및 연구 방법

### 가. 자료

본 연구에서 사용한 자료는 1993년 1월 1일부터 12월 31일까지 1년간 환경처의 자동 관측 장비가 설치된 부산 지역의 7개 지점(광복동, 범천동, 명륜동, 대연동, 신평동, 감전동, 덕천동)에서 측정된 SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO 5개 항목의 시간별 자료를 이용하였다.

각 측정소는 주거 지역이 3개소(명륜동, 대연동, 덕천동), 상업 지역이 2개소(광복동, 범천동), 공업 지역이 2개소(신평동, 감전동)이고, 그 곳의 TM좌표는 Table 1과 같다.

### 나. 측정 자료의 선정

대기 오염 측정 자료를 통계적으로 해석할 때, 측정 자료의 유효 측정 시간수 분석은 매우 중요한 의미를 지닌다. Larsen(1973)에 의하면 1961년부터 1968년까지 7년간 Washington D.C.에서의 실측 자료를 해석하면서 실측 자료의 수가 전체 자료 집단의 3분의 2이상(24시간 평균치는 16시간, 1개월 평균치는 20일이상)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 20시간이상(5/6), 월평균치는 월간 600시간(24×30×5/6), 그리고 연평균치는 연간 7000시간 이상(8,760×0.8)으로 각각 법을 규정하고 있다. 송동웅 등(1990)은 서울시의 SO<sub>2</sub> 오염도 분석에서 24시간평균치는 16시간 이상, 1개월 평균치는 20일이상의 자료를 선택하였다. 현재 환경처에서도 자료의 70%이상 관측된 자료를 유효하게 보고 처리를 하고 있다.

따라서 본 연구에서 일평균농도는 시간별 관측 농도 자료 중에서 70%이상 측정된 것을 선정하였으며, 월평균 농도는 일평균 농도가 70%이상 측정된 것을 통계 분석 자료로 선정하였다. 1993년 부산 지역의 지점별 유효 측정 자료수는 Table 2와 같으며, 범천동과 감전동의 CO를 제외한 전 지역의 항목에 대해서 양호한 자료라고 볼 수 있다.

### 다. 연구 방법

위와 같은 방법으로 유효하다고 선정된 자료를

Table 1. Figures of automatic air quality continuous monitoring stations in Pusan

Station	Zoning	TM Coordinates	
		X	Y
Kwangbokdong	Commercial	203.20	177.69
Beomcheonong	Commercial	205.37	183.00
Meongryundong	Residential	207.40	189.96
Daeyeondong	Residential	208.40	182.00
Sinpeongdong	Industrial	196.50	176.48
Gamjeondong	Industrial	198.02	183.87
Deokcheonong	Residential	201.77	190.75

Table 2. Number of data available at each station of Pusan, 1993

	Kwangbok	Beomcheon	Meongryun	Daeyeon	Sinpyeong	Gamjeon	Deokcheon
SO <sub>2</sub>	350	358	357	313	327	328	351
TSP	324	353	350	294	314	333	334
O <sub>3</sub>	340	358	356	302	337	338	354
NO <sub>2</sub>	358	355	354	304	333	332	339
CO	349	139	340	305	335	226	278

이용하여 부산시 전 지역에 대해 월평균 농도를 산술적으로 구했으며, 시간별 평균 농도에 대해서도 전 지역에 대해서 구하였다. 부산 지역의 대기 오염 농도 분포를 고찰하기 위해 각 농도별 도수 분포도를 그려 보았다. 그리고 부산 지역의 해풍 발생일을 선정하기 위해 연구 지역 중심에서 서쪽으로 약 3km 떨어진 김해 공군 기상대에서 관측한 자료를 강수가 없는 날 중에서 06시의 지상 풍속이 1.5m/s이하 또는 풍향이 서북서풍~동풍이고 12시의 지상 풍속이 1.5m/s이상인 서남서풍~동남동풍이든가 아니면 15시의 지상풍이 1.5m/s이상 이 되고 풍향이 서남서풍~동남동풍이 되면 해풍이 발생한 날로 선정하였다(전병일 등, 1994). 이러한 해풍 발생 기준을 사용하여 해풍 발생일을 선정한 뒤, 해풍이 발생한 날의 농도가 전체 농도에 대해 어떤 변화가 나타나는지를 고찰하였다. 해풍 발생 기준을 사용하여 김해 공군 기상대에서의 해풍 발생일은 Table 3과 같이 92일로 조사되었으며, 3, 4, 5월의 봄철이 41일로서 전체의 45%를 나타내었고, 9, 10, 11월의 가을철에도 22일로서 높은 출현 빈도를 보였다. 그러나 여름철과 겨울철에는 출현 빈도가 아주 미약하였다.

Table 3. Occurrence frequency of sea breeze on Pusan coastal area, 1993

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Frequ.	1	9	13	18	12	8	1	1	8	9	5	3	92

### 3. 분석 결과

#### 가. 지역별 대기 오염 특성

부산 지역의 1993년 연평균 농도를 지역별로 Table 4에 나타내었으며, 각 오염물질의 특성과 농도 분포를 살펴 보면 다음과 같다.

SO<sub>2</sub> 농도 분포를 살펴 보면 공업 지역인 감전동이 0.04ppm으로 가장 높았고, 주거지역인 대연동이 0.031ppm으로 두번째였는데, 이는 인근 해안 지역에 존재하는 특정 점오염원에 의한 것으로 생각되며, 세번째로는 0.028ppm인 신평동이였다. 가장 낮은 농도는 주거 지역인 덕천동이였으며, 연평균 농도는 0.028ppm으로 연평균 환경 기준치인 0.05ppm에는 미달하였다.

TSP 농도 분포를 살펴 보면 공업 지역인 신평

Table 4. Mean SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO concentration in Pusan, 1993

	Kwangbok	Beomcheon	Meongryun	Daeyeon	Sinpyeong	Gamjeon	Deokcheon	Annual Mean
SO <sub>2</sub> (ppm)	0.028	0.022	0.027	0.031	0.028	0.040	0.016	0.028
TSP(μg/m <sup>3</sup> )	61	105	106	86	112	111	86	95
O <sub>3</sub> (ppm)	0.009	0.011	0.017	0.019	0.016	0.013	0.017	0.014
NO <sub>2</sub> (ppm)	0.034	0.027	0.030	0.025	0.015	0.028	0.017	0.025
CO(ppm)	1.1	1.6	1.5	1.3	1.3	1.3	0.9	1.3

동과 감전동이 각각  $112 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $111 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최고치를 나타내었으며, 가장 낮은 농도를 보인 지역은 광복동으로  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 연평균 농도는  $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 연평균 환경 기준치인  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 미치지 못하는 값을 보였다.

$\text{O}_3$  농도 분포를 살펴 보면, 대연동이 0.019ppm으로 최고값을 나타내었으며, 명륜동과 덕천동이 0.017ppm으로 그 다음으로 높았으며, 광복동이 가장 낮은 0.009ppm을 나타내었다. 연평균치는 0.014ppm으로 연평균 환경 기준치인 0.02ppm에는 미달하였다.

$\text{NO}_2$  농도 분포를 살펴 보면 광복동이 0.034ppm으로 최고값을 나타내었으며, 다음으로 명륜동과 감전동으로 각각 0.030ppm과 0.028ppm을 나타내었고, 연평균 농도는 0.025ppm으로 연평균 환경 기준치인 0.05ppm에는 미달하였다.

$\text{CO}$  농도 분포를 살펴보면 자료가 충분하지 못한 점이 있지만 범천동과 명륜동이 각각 1.6ppm과 1.5ppm으로 높은 농도를 나타내었으며, 대연동과 신평동 그리고 감전동이 동일하게 1.3ppm을 나타내었다.

이상의 내용으로 볼 때 인위적인 배출원이 많은 공업 지역(감전동과 신평동)에서  $\text{SO}_2$ 와 TSP의 농도가 높게 나타났으며,  $\text{O}_3$ 은 승용차 차량이 급격히 증가하는 도로변에 위치한 대연동, 명륜동 그리고 덕천동에서 고농도가 나타나는 경향을 보여 주었다. 지역별 농도는 대기 오염 물질 배출량과 배출원의 특성이 큰 비중을 차지 하는 만큼 부산 지역에서의 대기 오염 물질의 배출량 산정이 이루어진다면 지역별 농도 특성이 정확하게 규명되리라 생각된다.

#### 나. 시간별 농도 변화와 농도 증가율

Figs. 1~5는 부산 지역의 각 관측 지점에 대한 오염 물질별 농도의 일변화를 연평균과 해풍 발생일의 평균을 비교하여 나타낸 것이다.  $\text{SO}_2$ 의 경우를 보면 대체적으로 전 지역에서 오전 8~9시에 최대 농도를 나타내며, 광복동과 덕천동은 19~20시경에 약한 peak를 보이는 double peak(DP)가 나타나지만 그 외지역의 농도는 일정하거나 증가

하는 분포를 보이고 있다. 해풍이 발생한 날의 농도는 대체로 모든 지역에서 전 시각에 걸쳐 높은 농도를 보이고 있으며, 특히 내륙 지역인 명륜동과 감전동에서 오전 시간에 큰 폭의 증가가 있었다.

TSP의 경우는 오전 10시를 전후로 최대 농도를 나타내고 있으며, 대연동은 아침부터 저녁까지 고농도가 지속되다가 최대 peak는 오후 3시에 발생하며, 감전동과 덕천동은 20시와 19시에 각각 2차 peak를 나타내고 있다. 해풍이 발생한 날의 농도는 전 시각에 걸쳐 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

$\text{O}_3$ 의 경우는 전 지역에서 일사량이 강한 오후 2~3시에 최대 농도를 나타내고 있으며, 해풍이 발생한 날의 농도는 주간에는 높은 농도 증가를 나타내고 있으나, 새벽과 늦은 야간 시각에 내륙에서 해안으로 육풍이 불게되면  $\text{O}_3$ 과  $\text{NO}$ 의 반응이 활발해 분해가 많이 되기 때문에 농도가 낮게 나타났다(鶴田治雄, 1983). 오후의 농도차는 내륙인 명륜동에서 가장 컸으며, 해안에 가까운 광복동이 가장 낮았다.

$\text{NO}_2$ 의 경우에는 전 지역에서 자동차 등의 배기 가스에 의해 오전 8~10시와 오후 19시~21시에 고농도를 나타내는 double peak가 있으며, 신평동과 덕천동을 제외한 모든 지역에서 오후가 오전보다 높은 농도를 나타내었다. 해풍이 발생한 날의 농도는 전지역과 전 시간대에서 높은 농도를 나타내고 있다.

$\text{CO}$ 의 경우를 보면 새벽과 오전 시간대에서 고농도를 보이며, 오후에는 저농도를 나타내며, 야간으로 갈수록 증가하고 있다. 해풍이 발생한 날의 농도는  $\text{NO}_2$ 와 비슷한 경향을 보이고 있으나, 해안과 가까운 광복동, 대연동 그리고 신평동에서의 오후 농도는 거의 비슷한 분포를 보였다.

해풍이 발생했을 때의 농도 증가율을 시간에 따라 살펴보면(Fig. 6참조),  $\text{SO}_2$ 의 경우는 대체적으로 새벽과 오전에는 최고 50%까지 증가하며, 광복동과 신평동을 제외한 전지역은 오후와 야간에도 증가를 나타내고 있으며, 전체적으로 24.4%의 증가를 나타내고 있다. TSP의 경우는 전 지역에서 전시간대에 증가를 나타내고 있으며, 특히 신평동에서는 새벽과 야간에 뚜렷한 증가를 나타내고 있으며, 전체 증가

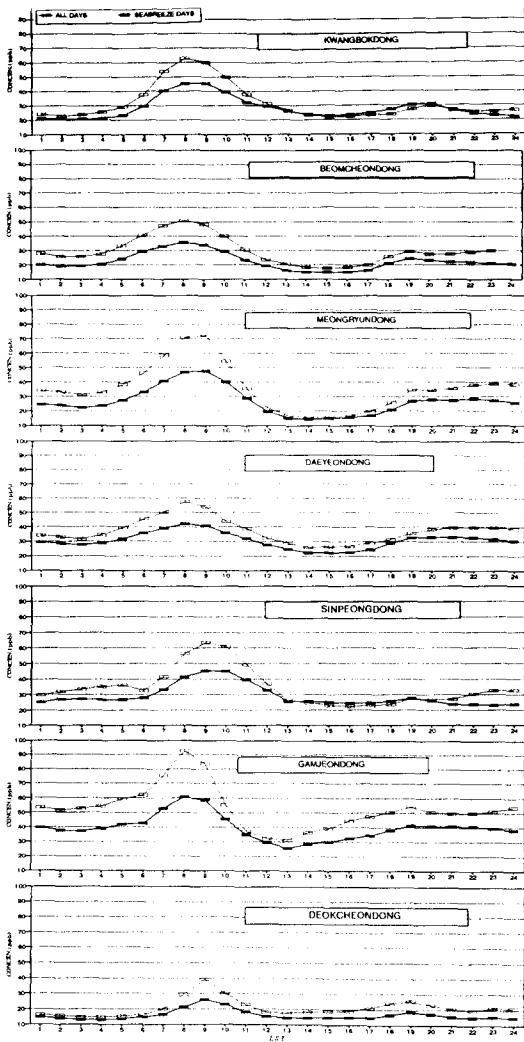


Fig. 1. Diurnal change of SO<sub>2</sub> concentration in Pusan, 1993.

율은 31.5%으로 매우 큰 증가를 보이고 있다. O<sub>3</sub>의 경우는 전지역에서 오전 10시까지의 감소를 나타내고 그 이후에는 증가를 나타내고 있으며, 특히 신평동에서는 야간에 50%에 가까운 증가를 나타내고 있으며, 전체 증가율은 낮과 밤의 상쇄로 인하여 8%의 낮은 증가율을 나타내고 있다. NO<sub>2</sub>는 전지역에서 전시간에 걸쳐 증가를 나타냈

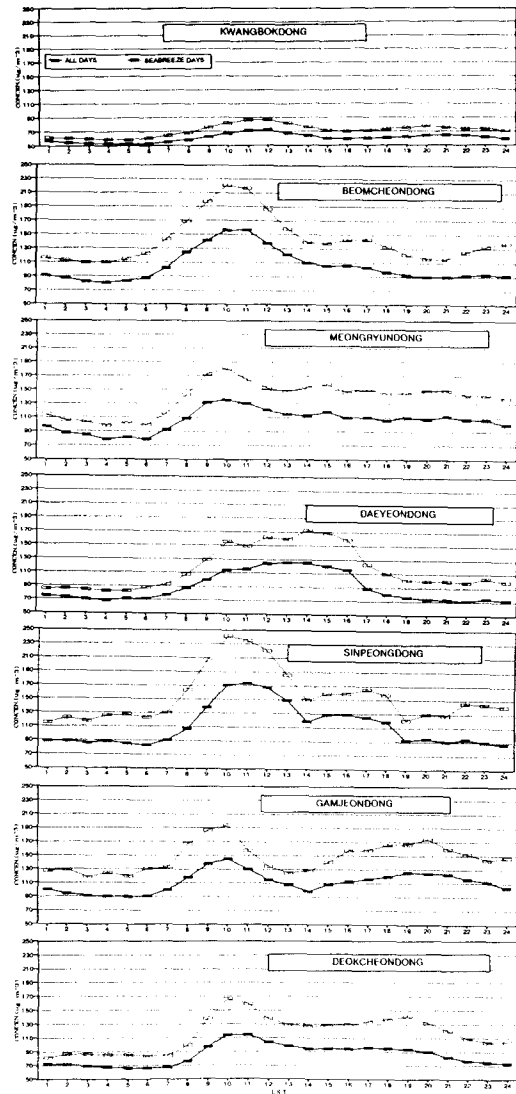


Fig. 2. Same as Fig. 1. except for TSP.

으며, 오후보다는 새벽과 야간에 뚜렷한 증가를 나타내었다. CO도 NO<sub>2</sub>와 마찬가지로 새벽과 야간에 증가를 나타냈으며 오후에는 감소를 보이는 곳도 발생하였다.

#### 다. 대기오염농도 분포

1993년 1년동안 측정된 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO의 시

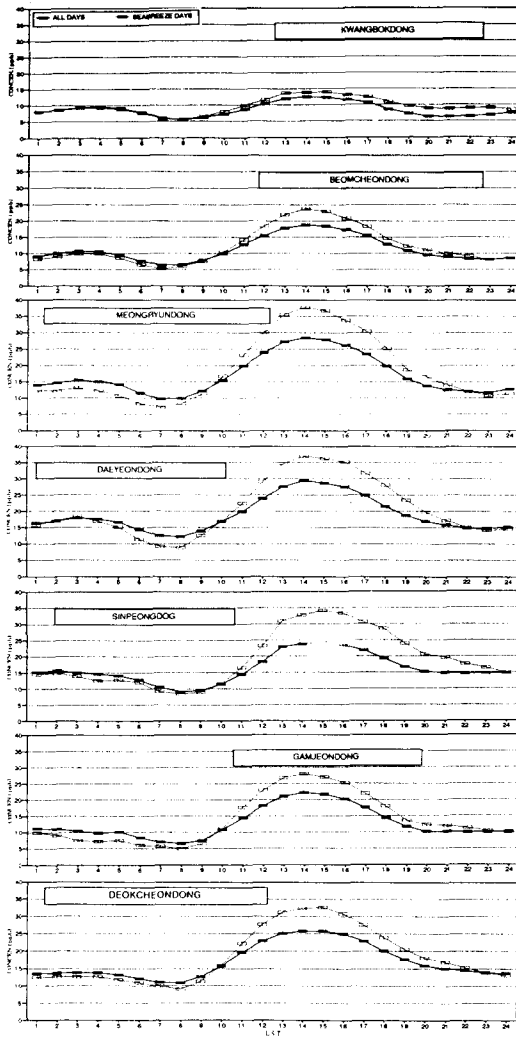


Fig. 3. Same as Fig. 1. except for O<sub>3</sub>.

간 평균값(TSP는 일평균값)을 이용하여 각 농도별 도수 분포도를 나타낸 것이 Fig. 7이다.

SO<sub>2</sub>의 농도를 살펴보면 10~30ppb의 낮은 농도에 치우쳐 있는 비대칭형으로 대수 정규분포(lognormal distribution)형태를 나타내고 있으며, 해풍이 발생한 날의 분포도 위와 비슷한 분포를 하고 있다. TSP의 농도를 살펴보면 60~120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 낮은 농도에 치우쳐 있으며 해풍이 발생

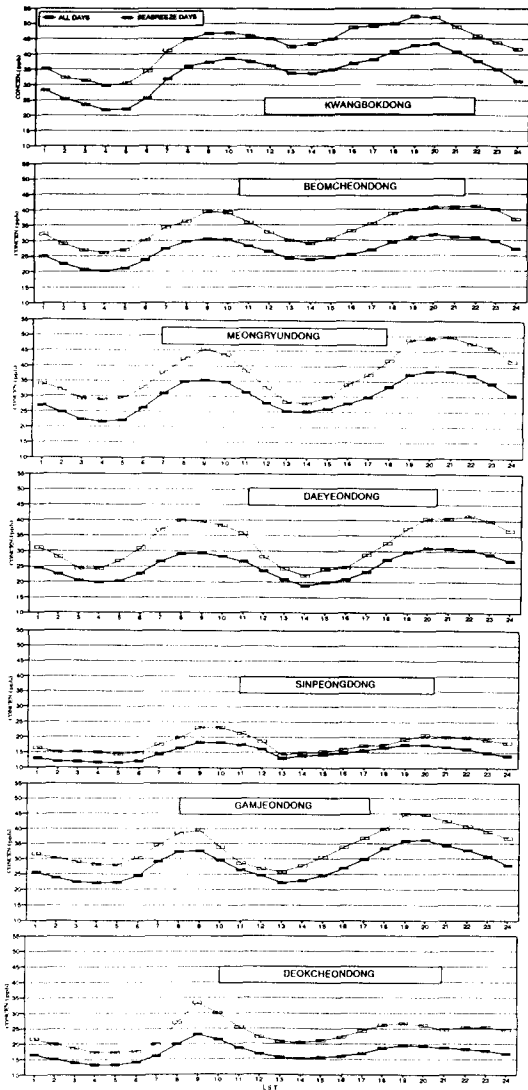


Fig. 4. Same as Fig. 3. except for NO<sub>2</sub>.

했을 때의 분포는 100~140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 많이 분포해 고농도쪽으로 약간 이동한 것을 알 수 있다. O<sub>3</sub>농도의 도수분포도를 보면 5~55ppb범위의 넓은 분포를 나타내고 있으며, 이 중 15ppb이내가 전체의 80%이상으로 낮은 농도에 치우친 비대칭형을 이루고 있다. 해풍 발생시의 농도분포도 위와 비슷한 분포를 보이고 있다. NO<sub>2</sub>와 CO 농도를 보면 10~30ppb의 낮은 농도에 치우쳐 있는 비대칭형

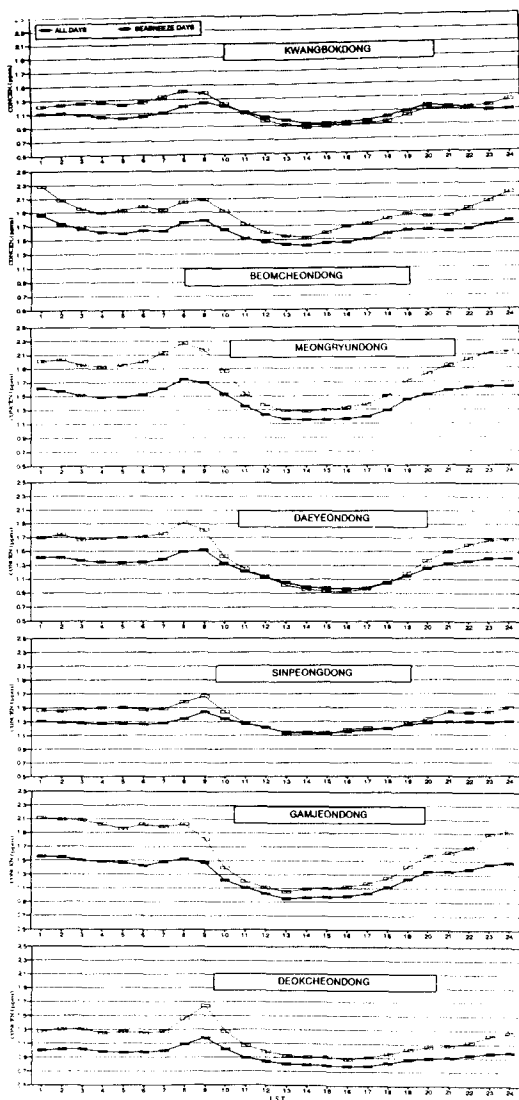


Fig. 5. Same as Fig. 1. except for CO.

분포를 보이고 있다. 해풍의 분포도 위와 비슷한 양상을 나타내고 있다.

그리고 해풍이 발생했을 때의 오염 농도가 어떻게 분포하는가를 알아보기 위해서 각 오염물질에 대해서 농도 계급별로 발생율을 Fig. 8과 같이 나타내었다.

SO<sub>2</sub>의 경우를 보면 30ppb이하에서는 해풍 발생

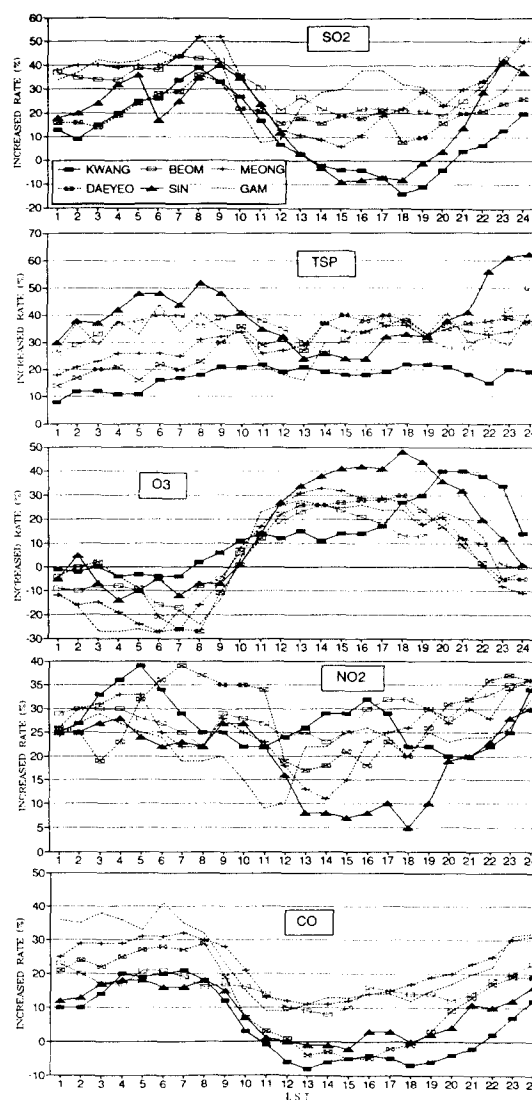


Fig. 6. Diurnal change of increased rate of SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO concentration for the sea breezing days in Pusan, 1993.

일의 경우가 적었으나, 15ppb이상에서는 해풍이 발생한 날일 때가 더 많은 빈도를 나타내 해풍이 불 때 고농도가 발생할 수 있음을 나타내었다. TSP의 경우도 SO<sub>2</sub>와 마찬가지로 120 μg/m<sup>3</sup> 이상에서 해풍이 발생할 때가 더 높게 나타났으며, 축의 중심이 80 μg/m<sup>3</sup>에서 120 μg/m<sup>3</sup>으로 뚜렷하게 이동한 것을 알 수 있다. O<sub>3</sub>와 NO<sub>2</sub>는 30ppb 이상

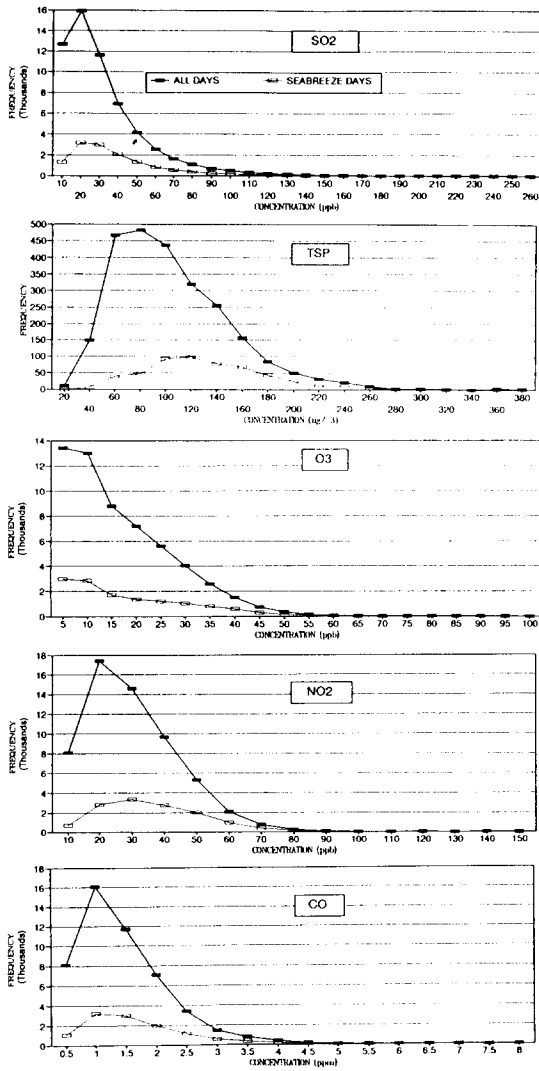


Fig. 7. Frequencies distribution of SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO concentration of all days and sea breezing days in Pusan, 1993.

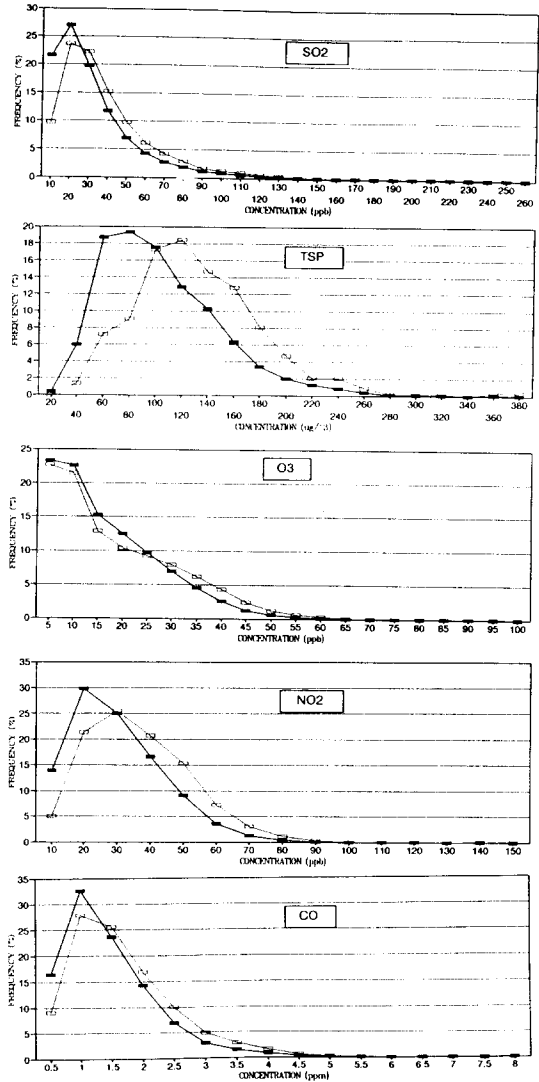


Fig. 8. Frequency distribution of SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO concentration.

에서, CO는 1.5ppm이상에서 해풍이 발생할 때가 더 높은 율을 나타내고 있다.

이것으로 보아 해풍이 발생한 날일 때 대기 오염 농도는 고농도가 될 확률이 크다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

1993년 1월 1일부터 12월 31일 까지 1년간 부산 지역의 7개의 대기 오염 자동 측정망의 시간별 자료를 이용해 부산 지역의 대기 오염 특성과 해풍 발생이 대기 오염 농도에 미치는 영향을 고찰한



결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 부산 지역의 대기 오염 농도가 SO<sub>2</sub>는 감전동, TSP는 신평동, O<sub>3</sub>는 대연동, NO<sub>2</sub>는 광복동, CO는 범천동에서 가장 높은 농도를 나타내었으며, 전 항목 모두 연평균 환경기준치에 미달하였다.

2) 해풍이 발생할 때의 농도 증가율은 SO<sub>2</sub>는 24.4%, TSP는 31.5%, O<sub>3</sub>은 8.0%, NO<sub>2</sub>는 26.7%, CO는 15.7%을 나타내었다.

3) 해풍이 발생했을 때의 농도별 발생 빈도는 고농도 계급으로 갈수록 발생 횟수가 증가하였다.

### 감사의 글

본 연구를 위하여 자료를 제공해 주신 환경처 대기정책과의 관계자와 자료의 정리와 분석에 도움을 준 부산대학교 대기과학과 방종선에게 감사를 표합니다.

### 참 고 문 헌

박옥현, 1986, 부산에 있어서의 광화학 스모그 오염의 제어를 위한 통계학적 접근(II), 화학공업과 기술, 4, 62-70.  
 박종길, 1993, 부산 지방의 대기 오염에 미치는 기상인자에 관한 연구, 부산시정연구보고, 제 5호, 313-334.

송동용 등, 1990, 서울시 지역별 대기 오염도 분석 평가 기초연구, KIST 보고서 E10410-4047-6, 81pp.  
 전병일, 김유근, 이화운, 1994, 부산 연안역의 바람 특성에 관한 고찰, 한국환경과학회지, 3(1), 1-9.  
 정장표, 1993, 부산시 부유 분진의 특성과 오염원 기여도에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문, 221pp.  
 최길수, 문승의, 양인기, 문영수, 1982, 부산 지방의 해륙풍의 특성에 관한 연구, 부산대 자연과학논문집, 34, 411-422.  
 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.  
 若松伸司, 1975, 神祭川縣の海風と大氣汚染(1), 天氣, 22(2), 79-83.  
 河村 武, 1979, 都市の大氣環境, 東京大學出版會, 185pp.  
 鶴田治雄, 1983, 内陸域における大氣汚染の動態, 環境科學研究報告集, B180-S702, 114pp.  
 Larsen, R. I., 1973, An air quality data analysis system for interrelating effects, standards, and needed source reductions, JAPCA, 23, 933.  
 Kawamura, T., 1985, Recent changes of atmospheric environment in Tokyo and its surrounding area, Geographical Review of Japan, Vol.58(Ser.B), No.1, 83-94.