

## 연안 도시 대기오염 물질의 농도분포 특성

박종길·석경하·김지형·차주완\*  
인제대학교 자연대학 환경시스템학부·\*데이터정보학과·\*\*기상청 기상연구소  
(2002년 2월 28일 접수; 2002년 12월 11일 채택)

## Characteristics of Concentration Distribution of Coastal Urban Air Pollutants

Jong-Kil Park, Kyung-Ha Seok<sup>\*</sup>, Ji-Hyoung Kim and Joo-Wan Cha<sup>\*\*</sup>

School of Environmental Sciences & Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

<sup>\*</sup>Dept. of Data Science, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

<sup>\*\*</sup>Korea Global Atmosphere Watch Observatory, Meteorological Research Institute, Chung-Nam 357-961, Korea

(Manuscript received 28 February, 2002; accepted 11 December, 2002)

This paper aims to find the characteristics of concentration distribution of coastal urban air pollutants. For this purpose, It was used the daily meteorological data and the hourly concentration data for O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> in Busan metropolitan city from 1994 to 1996. It was investigated the annual and monthly distribution of ozone and nitrogen dioxide concentration at each site in Busan, and also investigated the characteristics of concentration change of air pollutants with time under the sea breeze.

As a results, the concentration of nitrogen dioxide and ozone tend to be increased every year and nitrogen dioxide concentration is higher than ozone concentration at all sites in Busan. The concentration of ozone is high in summer season and low in winter season, but the concentration of nitrogen dioxide have a reversed trend. The monthly peak concentration of ozone occurred in April and September, while the monthly minimum concentration of nitrogen dioxide occurred in August. Their trend were identified by sites near the coastline than sites stands apart from the coastline. The sea breeze occurred annual mean 81 day in Busan from 1994 to 1996. The main wind direction of sea breeze was classified into southwesterly and southeasterly. In case of southwesterly, It was pronounced the south wind and southwest wind. In case of southeasterly, the occurrence frequency of east wind was high. Especially, the concentrations of urban air pollutants, such as ozone and nitrogen dioxide, were high on time which the sea breeze flow, and the areas that ozone concentration was high moved from outside part to central part of city with time.

In costal urban such as Busan, the wind direction of sea breeze is influenced the change of ozone and nitrogen dioxide concentration on time which the sea breeze flow at each site and also influenced the change of air pollutants concentration of sites on the pathway of sea breeze.

Key words : Coastal urban air pollutants, Peak concentration, Wind direction of sea breeze, Ozone, Nitrogen dioxide

### 1. 서론

최근 도시 대기오염이 주요 문제로 대두되고 있다. 특히 연안 도시의 경우 오염물질의 발생원이 대

부분 연안에 위치하기 때문에 대기오염에 대한 해풍과의 관련을 무시할 수 없게 되었을 뿐 아니라, 도시의 대부분이 연안에 있기 때문에 많은 도시의 대기오염 농도 분포가 해풍의 영향을 받아 복잡하게 나타난다.<sup>1,2)</sup> 부산 지역은 한반도의 남해와 동해에 인접해 있고, 여러 공업지대가 해안가에 있기 때문에 대기오염물질이 해풍의 영향을 받을 수 있는

Corresponding Author : Jong-Kil Park, School of Environmental Science & Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea  
Phone : +82-55-320-3250  
E-mail : envpjk@ijnc.inje.ac.kr

상태에 있다고 할 수 있으며, 해풍의 발생빈도가 높고 해풍의 영향이 큰 지역이라고 조사된 바가 있다.<sup>3~5)</sup> 또한 광화학 반응을 거쳐 생성된 오존은 대기의 이류운동으로 이동하기 때문에 그 이동방향과 확산정도 그리고 농도분포는 지표부근의 대기운동에 의한 바람장과 밀접한 관계가 있다.<sup>6)</sup>

일반적으로 해풍이 발생할 때는 기압경도가 완만하여 대기가 안정하고 역전층 고도가 낮으며, 대기의 확산 능력이 없어진다. 이러한 조건하에서는 바람의 수렴이 종종 일어나기 때문에 농도가 급격히 상승하는 경향이 있다.<sup>7)</sup>

도시 대기오염의 주역은 오존(Oxidants)으로 알려져 있으며 이를 형성하게 하는 메카니즘 또한 잘 알려져 있다. 광화학 반응 물질의 하나이며 발전소나 소각로와 같은 고정오염원이나 자동차와 같은 이동오염원에 의해 많이 배출되는 이산화질소( $\text{NO}_2$ ) 역시 도시 대기오염을 일으키는 주요 오염물질이다. 이들 오염물질의 제어는 도시 대기오염을 개선할 수 있는 좋은 지표가 될 수 있다. 대기 중에서 오존의 배경 농도는 0.01~0.02ppm으로 알려져 있으며 청정 지역에서의 오존( $\text{O}_3$ ) 농도는 일변화를 하지 않으므로 이러한 지역의 지표부근에서는 오존의 광화학 생성이 중요하지 않으나, 도시와 같은 오염지역에서는 정오경에 가장 높은 농도를 나타내며 그 후 점차 감소함을 볼 수 있다.<sup>8)</sup>

도시나 전원지역의 대기 중 오존 농도는 가끔 이산화질소의 광해리에 의해서 생성될 때 보다 더 높은 경우가 있다. 이것은 오존을 소모하지 않고 일산화질소( $\text{NO}$ )가 이산화질소로 산화되기 때문이며 오염된 대기 중에서 오존 농도에 영향을 주는 것은 태양 빛의 강도,  $\text{NO}_2/\text{NO}$ 의 비, 반응성 탄화수소의 농도 등이며,<sup>8)</sup> Sanchez and Sanz<sup>9)</sup>는 오존의 이산화질소의 증가는 오존의 생성에 크게 영향을 미친다고 지적하였다.

우리나라 해안지역에 대한 대기오염 연구로는 제주도 고산지역을 중심으로 이루어진 홍민선 외<sup>10)</sup>, 박경윤 외<sup>11)</sup>, 장광미 외<sup>12)</sup> 등의 연구가 있으며, 농촌이나 배경지역을 대상으로는 Chung and Zhong<sup>13)</sup>, 송기형 외<sup>14)</sup>, 윤마병과 정용승<sup>15)</sup>, 서명석 외<sup>16)</sup> 등의 연구가 있으나, 연안으로 인한 도시의 특성을 비교한 것은 아니었다. 또한 전병일<sup>17)</sup>은 부산 동삼동 지역을 대상으로 해양의 영향을 고려한 대기오염의 특성을 울릉도 자료와 비교한 바가 있으나, 이는 특정 지역의 자료를 해석한 것으로 연안도시의 대기오염 특성을 밝힌 것은 아니었다.

따라서 이 연구는 해안에 인접해 있는 도시지역에서 관측된 대기오염자료를 분석하고 지상에서의

오염물질 농도변화와 관련한 해풍의 영향을 고려함으로써 연안에 인접한 도시 대기오염 물질의 농도 분포 특성과 도시 대기오염 예보체계 구축을 위한 기초 자료를 생산하고자 한다.

## 2. 분석 지역 및 자료선정

연안에 인접한 도시지역에서 관측한 이산화질소나 오존과 같은 도시 대기오염 물질의 농도분포와 해풍의 영향을 분석하기 위하여 부산광역시 일기상자료<sup>18)</sup>와 환경부 산하 7개 측정소(광복동, 범천동, 대연동, 명륜동, 신평동, 감전동, 덕천동)의 농도 자료 중 1994년부터 1996년까지 3년간의 시간별 농도 자료를 사용하여 자료의 유효성을 검증하고, 도시역내의 도로와 산을 경계로 해풍의 영향을 비교하고자 한다.

부산지역의 대기질 측정망의 위치와 지형은 Fig. 1에서와 같이 도로와 산을 경계로 남북으로는 중앙동에서부터 서면, 시청, 연산동, 동래를 지나는 권역과 신평동에서 사상, 구포를 잇는 권역으로 나눌 수 있는데, 첫 번째 권역에는 광복동(Gwangbok-dong, GB), 범천동(Beomcheon-dong, BC), 명륜동(Meongryun-dong, MR) 측정소가 있으며 두 번째 권역에는 신평동(Sinpyeong-dong, SP), 감전동(Gamjeon-dong, GJ), 덕천동(deokcheon-dong, DC) 측정소가

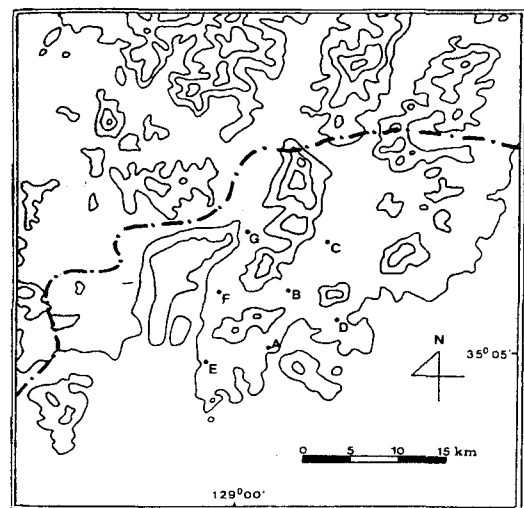


Fig. 1. Topography and air monitoring sites in Busan Metropolitan City. The alphabet symbol indicates site name, A : Gwangbok(GB), B : Beomcheon(BC), C : Meongryun(MR), D : Daeyeon(DY), E : Sinpyeong(SP), F : Gamjeon(GJ), G : Deokcheon(DC).

### 연안 도시 대기오염 물질의 농도분포 특성

있다. 그리고 남동풍계열의 해풍이 불 경우 오염물의 이동과 밀접한 관계를 갖고 있는 권역은 대연동(Daeyeon-dong, DY), 범천동, 감전동 측정소로 부산을 동서 방향으로 나누며 도로가 길게 위치하고 있다.

관측지점의 유효 자료 선정에 있어, Larsen<sup>19)</sup>은 실측자료의 수가 전체 자료 집단의 2% 이상(24시간 평균치는 16시간, 1개월 평균치는 20일 이상)일 때 유효하며, 그 이하 일 때는 통계적 의미를 상실한다고 하였으므로, 본 연구에서는 이산화질소와 오존의 시간별 농도자료 중에서 70% 이상(24시간 중 결측이 8시간 미만)으로 측정된 날을 유효자료 일로 선정하여 일 평균농도를 구하였으며, 월 평균농도는 일 평균농도가 70% 이상 구해진 월의 평균값을 통계 분석 자료로 선정하였으며<sup>4,20)</sup>, 연도별 각 지점의 유효자료수와 백분율을 Table 1과 2에 나타내었다.

본 연구기간동안 오존의 유효자료율은 67.4%에서 94.7%를 나타내고 있으며, 전체적으로 88.7%를 나타내 높은 유효자료율을 나타내고 있다. 하지만 명륜동 지점의 경우 67.4%로 가장 낮은 유효자료율을

나타내 이 지점의 자료를 제외하면 89.3~94.7%로 전체 유효자료율을 상회하고 있다. 월별로는 82.5~94.9%로 대체적으로 80% 이상의 유효자료율을 나타내고 있다. 이에 비해 이산화질소의 경우 유효자료율은 지점별로 69.2~95.3%로 나타나며 명륜동이 오존의 경우와 마찬가지로 69.2%의 가장 낮은 유효자료율을 나타내고 있으며, 월별로 높은 유효자료율을 나타내고 있다.

따라서 전체 유효자료율에 비해 현저히 낮은 명륜동 지점을 제외하면 대체로 오존의 경우 89.3% 이상이며, 이산화질소는 86.2%로 나타나 유효자료율이 높게 나타나므로 본 연구에서는 명륜동을 제외한 6개 지점의 자료를 선택하여 통계분석에 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 도시 대기오염 물질의 특성

##### 3.1.1. 대기오염물질 농도의 연변화

도시 대기 오염 물질의 연변화 특성을 알아보기 위해 평균농도와 최대농도의 연변화를 지점별로 비

Table 1. The effective data number and percentage of the observed ozone concentration data at each site in Busan Metropolitan City for last 3 years(1994-1996)

site	Month												Total	Annual Mean	%
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec			
BC	91	78	91	86	81	87	76	92	86	93	82	90	1,033	344.3	94.3
DC	90	79	87	87	83	85	89	87	86	89	86	89	1,037	345.7	94.7
DY	85	79	91	90	85	68	80	79	83	86	83	83	992	330.7	90.6
GJ	83	82	92	89	88	87	78	89	86	88	88	73	1,023	341.0	93.4
KB	91	80	89	85	88	85	78	63	88	93	79	77	996	332.0	91.0
MR	91	80	63	53	53	44	57	62	60	61	55	59	738	246.0	67.4
SP	87	77	89	79	65	83	79	78	83	88	84	86	978	326.0	89.3
Total	618	555	602	569	543	539	537	550	572	598	557	557	6,797		88.7
%	94.9	94.4	92.5	90.3	83.4	85.6	82.5	84.5	90.8	91.9	88.4	85.6	88.7		

Table 2. The effective data number and percentage of the observed nitrogen dioxide concentration data at each site in Busan Metropolitan City for last 3 years(1994-1996)

site	Month												Total	Annual Mean	%
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec			
BC	83	81	91	89	76	84	83	83	86	90	87	88	1,021	340.3	93.2
DC	82	56	85	81	81	80	88	77	58	88	82	86	944	314.7	86.2
DY	72	80	91	82	76	71	84	85	73	86	79	84	963	321.0	87.9
GJ	83	82	92	89	88	86	68	89	66	88	90	81	1,002	334.0	91.5
KB	92	84	92	89	81	86	85	86	90	93	82	83	1,043	347.7	95.3
MR	91	80	63	57	60	57	59	62	60	58	55	56	758	252.7	69.2
SP	84	77	86	86	83	90	79	65	58	84	76	80	948	316.0	86.6
Total	587	540	600	573	545	554	546	547	491	587	551	558	6,679		87.1
%	90.2	91.8	92.2	91.0	83.7	87.9	83.9	84.0	77.9	90.2	87.5	85.7	87.1		

교하였다. 농도 값에는 다소 차이가 있었으나, 연도에 따라 점차 증가하는 그들의 경향은 비슷하였으며 평균 농도보다는 최고 농도의 경우 인체에 더 큰 영향을 주므로 여기서는 최대농도의 연변화를 제시하였다(Fig. 2).

Fig. 2에서 보듯이 부산의 모든 지점이 연도별로 이산화질소와 오존의 농도가 대체로 증가하는 것을 볼 수 있으며 이산화질소의 농도가 오존의 농도보다 높게 나타났다. 이는 매년 증가하고 있는 도시의 차량 등록수와 지역에 따른 통행량 증가를 잘 반영

하고 있다.<sup>21)</sup> 하지만 덕천동 지점의 경우 교통량이 많은 주택가임에도 불구하고 오존의 농도가 이산화질소의 농도에 비해 상대적으로 높게 나타났는데, 이는 해풍의 영향과 해풍의 방향에 대해 풍상측에 위치하는 덕천동의 지형적인 영향도 고려해 보아야 할 것이다.

따라서 연안에 위치한 부산지역은 이산화질소와 오존의 농도가 점차 증가하고 있으며 오존에 비해 이산화질소가 더 높게 나타나 자동차 배기가스의 영향이 크게 나타남을 알 수 있다.

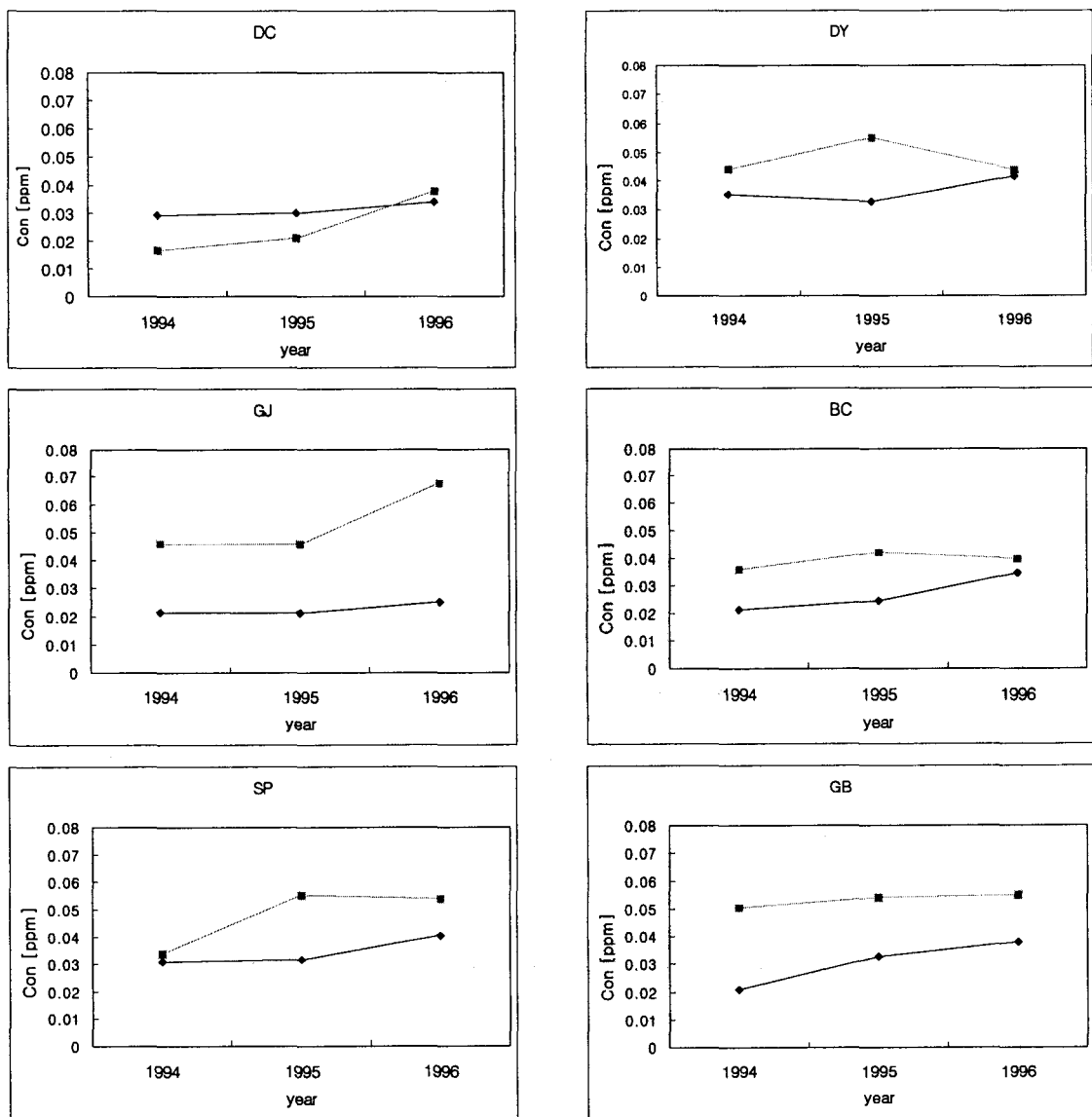


Fig. 2. The variation of annual mean maximum concentration of ozone(-◆-) and nitrate dioxide(-■-) in each site at Busan Metropolitan City(1994~1996).

연안 도시 대기오염 물질의 농도분포 특성

3.1.2. 대기오염물질 농도의 월변화

본 연구기간 동안 도시 대기오염물질인 이산화질소와 오존의 평균 농도의 월변화를 보면(Fig. 3), 오존과 이산화질소는 서로 상반되는 월별 농도 분포를 나타내고 있으며, 연변화의 경우와 마찬가지로 덕천동 지점을 제외하고 이산화질소의 농도가 오존 농도에 비해 높게 나타나고 있다.

오존의 경우 4월과 10월 사이가 다른 월에 비해 대체로 높은 농도를 나타내어 하계에 높은 농도를 나타내고 동계에는 감소하는 일반적인 경향을 잘

반영하고 있지만, 풍부한 일사량으로 해양과 내륙의 온도차에 기인한 남동내지 남서 계절풍의 유입으로 오존이 내륙으로 확산·이동됨으로서 오존농도의 최대 극값은 오히려 4월과 9월에 나타나, 해양의 영향이 잘 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 7월에는 오존의 농도가 극소값을 나타내고 있는데, 이는 6월 하순에서 7월 중순사이에 한반도에 나타나는 장마의 영향으로 운량이 증가하여 일사량이 감소함으로써 광화학 반응에 의한 오존의 생성이 상대적으로 감소하였기 때문으로 생각된다. 이러한 현상은 해안

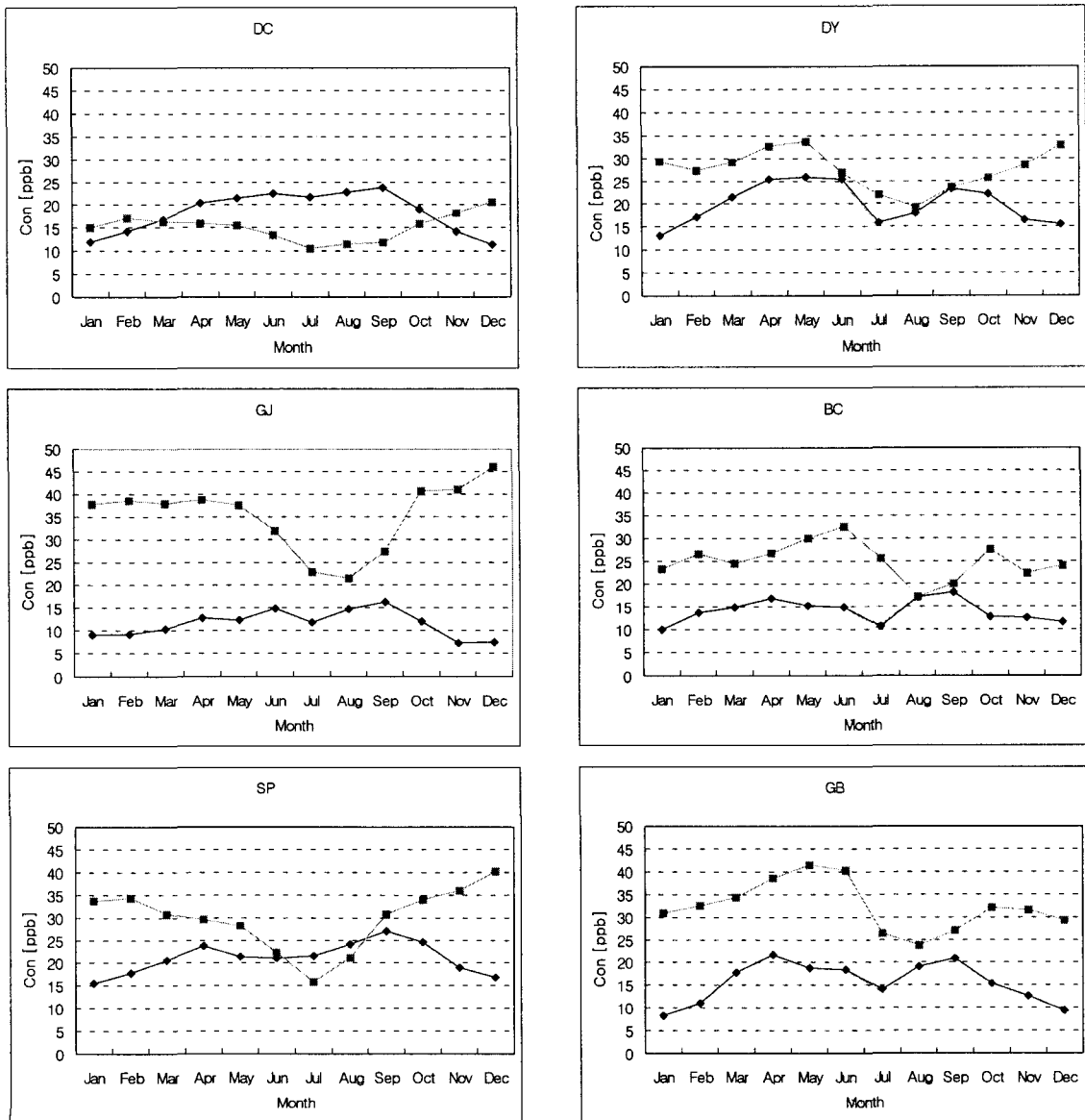


Fig. 3. The variation of monthly mean concentration of ozone(-◆-) and nitrate dioxide(-■-) in each site at Busan Metropolitan City(1994~1996).

에 인접한 광복동과 대연동의 경우 강하게 나타나며, 상대적으로 해안에서 거리가 먼 덕천동, 감전동, 범천동의 경우 그 경향은 약하게 나타났다. 지점별로는 신평동과 대연동 지점이 각각 연평균 21.09 ppb, 19.98 ppb로 높은 농도를 나타내었으며 감전동이 가장 낮은 11.51 ppb를 나타내었다.

이산화질소의 경우 오존과 달리 동계에 높은 농도를 나타내고 있으며, 오존의 농도가 높게 나타나는 기간에는 상대적으로 낮은 농도를 보여 광화학 반응에 의한 오존의 생성을 뒷받침해 주고 있다. 특히 덕천동의 경우 그 경향이 뚜렷하였다. 이산화질소의 농도가 최소로 나타나는 월은 덕천동과 신평동을 제외하고 8월 이었으며, 대체로 7~9월 사이가 가장 낮은 농도를 나타내 이산화질소와 오존의 상호반응을 잘 나타내고 있다. 또한 하계의 경우 이산화질소와 오존의 농도 차가 동계에 비해 적으며, 해풍의 이동경로 상에 위치한 대연동과 범천동, 신평동과 감전동 지점을 비교할 경우 해안에 가까울수록 농도 차가 적어짐을 보여 해양의 영향이 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 지점별로는 광복동이 연평균 32.31 ppb로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 덕천동이 연평균 15.18 ppb로 가장 낮은 농도를 나타내었다.

따라서 해안에 위치한 부산지방의 경우 오존의 농도는 하계에 높고 동계로 갈수록 감소하였으며 이산화질소는 그 반대 경향을 나타내 상호 관련이 있으며 하계일수록 밀접하게 관련됨을 알 수 있다. 그리고 일사량이 강한 7, 8월보다는 4월과 9월에 오존의 농도가 최대 극값을 나타낸 반면, 이산화질소는 8월에 최소 농도를 나타내었고 해안에 인접한 지점은 멀리 떨어진 지점에 비해 그 경향이 뚜렷하여 해양의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

### 3.2. 지점별 대기오염물질 농도의 상관관계

부산 지역에 있는 각 측정망이 기상조건이나 오염원의 조건으로 볼 때 유사성이나 상관성을 알아보기 위해 각 지점별 오존과 이산화질소의 일 최고 농도의 상관관계를 조사하였으며, 상관계수를 Table 3에 나타내었다. 대각선 위 부분은 이산화질소 농도에 대한 지점별 상관 계수를 나타내었으며 아랫부분은 오존 농도에 대한 지점별 상관계수를 나타내고 있다. Table 3내에 \* 표시가 되어 있는 상관계수를 제외하고 모두 99%의 유의수준을 만족하였다.

오존 농도의 경우, 덕천동과 감전동이 0.80로 가장 높은 상관계수를 기록하였다. 이 지역은 전병일<sup>20)</sup>이 지적하듯이 부산의 서부지역에 속하며, 낙동강 강변에 인접하고 있는 지역으로 산곡풍이나 해륙풍과 같은 국지풍의 통로가 되고 있으며, 덕천동은 또

한 신평동, 광복동과도 좋은 상관을 나타내 앞에서 지적한 국지풍의 통로와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 그들의 상관계수는 각각 0.69, 0.61로 높은 상관을 나타내고 있다. 그리고 동풍이 불 경우 해풍의 통로가 되는 대연동과 범천동, 감전동의 경우를 보면 범천동과 대연동은 0.65로 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 감전동과도 0.63의 높은 상관을 나타내고 있어 연안도시의 오존 농도는 해풍과 같은 국지풍의 이동 경로상에 놓인 지점간에 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다. 대연동과 신평동의 경우도 0.70의 높은 상관계수를 나타내 해안에 인접한 유사성을 가진 지점임을 알 수 있다.

이산화질소 농도의 경우는 오존에 비해 다소 낮은 상관계수를 나타내고 있으나, 신평동과 감전동이 0.65로 가장 높은 상관 계수를 나타내었고 감전동과 덕천동이 0.62의 높은 상관계수를 나타내 오존의 경우와 마찬가지로 지역적으로 유사성이 있음을 나타내고 있다. 대연동과 범천동 그리고 감전동사이의 상관은 오존에 비해 상관계수는 낮으나 99%의 유의수준을 만족하는 상관관계를 나타내고 있다.

따라서 도시 대기오염물질 농도에 다른 지점별 유사성이나 관련성을 나타내는 상관 관계는 신평동과 감전동, 덕천동이 지역과 풍향에 따라 관련되어 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

Table 3. Correlation coefficients of urban air pollutants concentration at each site from 1994 to 1996 in Busan Metropolitan City

NO <sub>2</sub>	BC	DC	DY	GJ	GB	SP
BC		0.07*	0.47	0.40	0.47	0.28
DC	0.62		0.20	0.62	0.38	0.58
DY	0.65	0.60		0.45	0.60	0.47
GJ	0.63	0.80	0.64		0.48	0.65
GB	0.60	0.61	0.57	0.54		0.49
SP	0.59	0.69	0.70	0.69	0.52	

### 3.3. 해풍의 영향과 대기오염물질의 농도

#### 3.3.1. 해풍 발생 일의 선정

해안에 인접한 도시의 경우 대기오염물질의 농도가 해풍의 영향을 받아 지역적으로 차이를 나타내므로 부산지역에서 발생하는 해풍의 영향에 의한 도시 대기오염 물질의 농도 변화특성을 알아보기 위해 본 연구기간 동안 해풍이 발생한 날을 선정하였으며, 사용한 자료는 해풍 발생 일에 대한 자료이므로 앞서 소개한 6개 지점과 명륜동 지점도 분석에 사용하였다.

부산 지역 해풍이 발생한 날을 선정하기 위해 먼저 일 중 강수가 없는 날 가운데 일 평균 운량이 전체를 10으로 보았을 때 7이하이며, 일조율이 70%이상인 날을 선택하였다. 선택된 날 중에서 오전 6시의 풍속이  $1.5\text{ms}^{-1}$ 이하이거나 풍향이 서풍에서 북동풍사이이고, 12시의 풍속이  $1.5\text{ms}^{-1}$ 이상의 동풍에서 서남서풍사이이거나, 15시의 풍속이  $1.5\text{ms}^{-1}$ 이상의 동풍에서 남서풍사이이면 해풍이 발생한 날로 선정하였다<sup>4)</sup>.

연구 기간동안 해풍 발생 일은 Table 4와 같으며 1994년, 1995년과 1996년에 각각 88일, 76일, 79일이 발생하여 연평균 81일 발생하였다. 월별로는 4월과 10월이 28일로 빈도수가 가장 많았으며 그 다음이 5월로 26일이 선정되었고 1월은 가장 작은 14일이 선정되었다. 이로부터 부산지역은 해풍이 연중 발생하며 도시 내에 오존 농도가 높게 나타나는 시기와 일치하고 있으므로 연안에 인접한 도시의 대기오염물질의 농도는 해풍의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

3.3.2. 해풍 발생 일의 오존 농도의 일 변화

부산 지역의 해풍 발생 일에 대한 지점별 오존농도의 일 변화를 보면 Fig. 4와 같다. 지점에 관계없

Table 4. Occurrence frequency of a sea breeze day in Busan Metropolitan City from 1994 to 1996

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1994	3	6	8	9	10	5	8	8	11	8	8	4	0
1995	5	5	8	9	6	6	3	5	2	10	13	4	88
1996	6	8	4	10	10	2	3	6	6	10	3	11	76
Total	14	19	20	28	26	13	14	19	19	28	24	19	79
Average	5.76	7.82	8.23	11.52	10.7	5.35	5.76	7.82	7.82	11.52	9.88	7.82	81

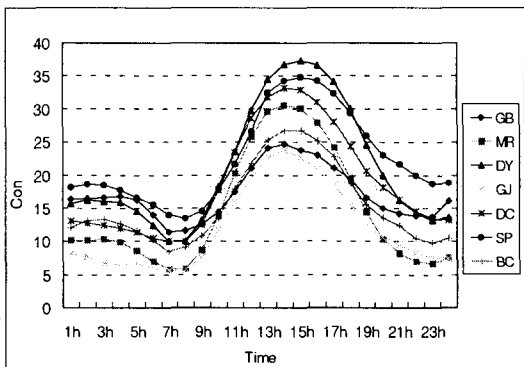


Fig. 4. Diurnal variation of Ozone concentration on a sea breeze day from 1994 to 1996 at Busan Metropolitan City.

이 오전 6~8시경에 가장 농도가 낮게 나타나며, 오후 1~3시경이 가장 농도가 높게 나타나 전형적인 일 변화 경향을 나타내고 있으며, 지점별로는 대연동이 가장 높은 농도를 보이며 그 다음이 신평동, 덕천동, 명륜동, 범천동, 광복동 그리고 감전동의 순으로 나타나 해안에 인접한 대연동, 신평동은 다른 지점에 비해 일 중 높은 농도를 나타냈으며, 해안에서 가까운 광복동은 해풍이 강한 한낮을 제외한 새벽과 늦은 오후에도 높은 농도를 보였으며 그 외 지점은 늦은 오후와 새벽에 지점별로 농도가 다르게 나타났다.

해풍이 발생한 날과 발생하지 않은 날의 도시내 오존 농도의 변화를 알아보기 위해 해풍이 발생한 날의 월별 평균 최고 농도를 조사하였다(Table 5). 부산의 모든 지점이 전월에 걸쳐 평균 최고값(Table 3 참조)보다 높게 나타나 해풍 발생 일의 오존 농도가 해풍이 발생하지 않은 날보다 높음을 알 수 있다.

따라서 해풍이 발생한 날의 월평균 오존농도와 전체 월평균 농도와 비교할 경우, 오존의 농도가 높게 나타나는 월은 유사하며, 농도도 전체 월평균 농도보다 높게 나타나는 것을 알 수 있는데 이는 해풍이 도시 대기 오염물질의 이동과 축적에 영향을 주고 있다고 할 수 있을 것이다.

3.3.3 주 해풍의 풍향에 따른 오존의 농도 변화 특성

Fig. 1에서 알 수 있듯이, 부산지역은 남동부 지역이 해안과 접하고 있어 해풍도 남동풍과 남서풍 두 계열로 나누어질 수 있는데, 이 중 어느 바람이

Table 5. Monthly mean maximum ozone concentration on a sea breeze day at each site (unit : ppb)

	GB	MR	DY	GJ	DC	SP	BC	Average
Jan.	17.14	28.07	26.00	17.07	19.64	25.29	20.43	21.95
Feb.	20.37	30.47	28.21	15.89	21.84	28.79	25.47	24.44
Mar.	32.60	32.25	37.35	16.90	25.85	35.70	24.45	29.30
Apr.	41.21	27.75	47.71	22.54	32.39	39.29	32.43	34.76
May	37.35	15.92	52.31	23.54	34.62	32.58	31.50	32.54
Jun.	47.38	29.46	55.38	34.23	44.23	35.46	33.62	39.97
Jul.	38.43	38.21	47.64	38.71	53.50	44.86	34.71	42.30
Aug.	34.47	25.32	39.74	37.21	56.74	39.63	44.47	39.65
Sep.	48.95	31.26	47.63	45.74	56.63	52.11	49.16	47.35
Oct.	24.32	11.89	29.00	23.14	27.46	34.43	21.11	24.48
Nov.	7.50	10.54	17.29	10.38	12.92	16.54	9.00	12.02
Dec.	18.47	8.16	28.89	16.11	18.53	26.05	18.26	19.21
Annual	30.68	24.11	38.10	25.12	33.70	34.23	28.72	

부산지방의 주 해풍인지 알아보고, 주 해풍에 따른 오존농도의 변화를 보기 위해 바람의 이동방향과 지점별 상관성이 있는 지점사이의 일 변화를 비교하였다.

여기서 선정된 해풍 발생 일을 풍향별로 분류하면 Table 6과 같이 4개의 남동풍 계열과 3개의 남서풍 계열로 크게 두 가지 계열의 7개 풍향으로 구분되어 진다.

부산 지역의 해풍은 본 연구기간동안 남동풍보다는 남서풍계열의 바람이 우세하게 나타났으며, 남서풍계열에서는 남풍이 가장 많은 66일의 빈도를 나타내 전체의 27.16%를 차지하였으며, 그 다음이 남서풍으로 56일, 23.05% 그리고 남남서풍이 36일, 14.81%로 나타났다. 이에 비해 남동풍 계열에서는 동풍이 가장 많은 38회로 전체 해풍 발생 일의 15.64%를 나타내었으며 그 다음은 동남풍, 남남동풍, 남동풍으로 나타났다. 그러므로 부산지역의 주요 해풍의 풍향은 주로 남~남서풍이며, 남동풍계열의 바람이 불 경우 주로 동풍이 주요 해풍임을 알 수 있다.

해풍에 의한 오염물질의 영향을 알아보기 위해 가장 많은 발생빈도를 나타낸 남서풍 계열의 해풍 발생 일의 오존의 일 평균 변화를 같은 풍계의 영향하에 놓여 있는 세 지점(신평동, 감전동, 덕천동)을 비교해보면(Fig. 5 참조), 해풍이 불기 전에는 해안

가에 위치한 신평동의 오존 농도가 높게 나타났으나, 해풍이 불기 시작한 시간에는 신평동의 오존농도의 증가폭은 크지 않았지만 해안에서 다소 떨어져 있는 덕천동 지점에서의 오존 농도의 증가폭이 더 커, 신평동 지점보다 높은 농도를 나타내었다.

이러한 현상을 좀더 자세히 알아보기 위해 남서풍계열의 풍향 중 가장 빈도수가 높은 남풍 가운데, 가장 높은 농도를 나타낸 날을 선정하였는데, 세 지점 모두 1996년 8월 8일에 가장 높은 농도를 나타내었다. 신평동의 경우에는 109 ppb를 나타내었고, 감전동은 92 ppb, 덕천동은 110 ppb를 나타내었다. 이 세 지점의 일 변화(Fig. 6)를 보면 일출전후에 신평동, 덕천동, 감전동 순으로 나타난 농도가 해풍이 불기 시작하는 시각<sup>22)</sup>인 오전 11시 이후에는 덕천동, 감전동, 신평동 순으로 농도가 반전되었다가 오후 늦게 다시 신평동의 농도가 다른 두 지점보다 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

남서풍계열 가운데 세 번째로 발생빈도가 높았던 남남서풍의 경우, 신평동은 최고농도를 보인 날이 1994년 10월 6일 이었으나 감전동과 덕천동의 경우는 1994년 8월 31일로 나타나 남남서풍의 경우에는 두 지점에서 최고농도를 나타낸 날(1994년 8월 31일)을 선택하여 남풍의 경우와 마찬가지로 같은 세 지점에서 오존 농도의 일 변화(Fig. 7)를 조사한 결과 남풍과 유사하게 감전동과 덕천동이 모두 신평동에 비해 해풍이 불기 시작한 시각에 높은 농도를 보여 같은 유형을 보이는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 국지풍을 이용한 부산 연안 역에서 광화학 반응모델에 의한 오존농도분포가 오전에 연안부근에 분포하던 고농도 역이 오후가 되면서 도심으로 진입한다는 전병일 외<sup>6)</sup>의 모델 결과와도 잘 일치해 해풍의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다.

따라서 부산지역과 같이 해안을 접하는 대도시의

Table 6. The classification of a sea breeze day in Busan Metropolitan City from 1994 to 1996

Wind Direction	Southeasterly				Southwesterly				
	E	ESE	SE	SSE	Total	S	SSW	SW	Total
Frequency	38	18	13	16	85	66	36	56	158
%	15.64	7.41	5.35	6.58	34.98	27.16	14.81	23.05	65.02

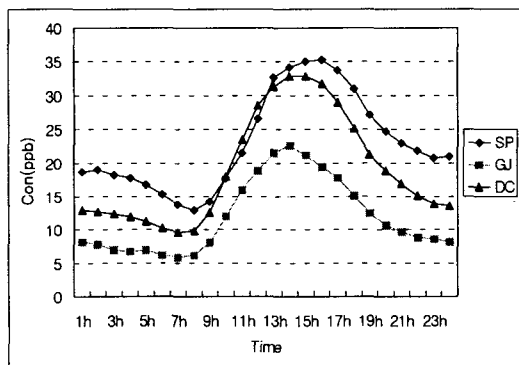


Fig. 5. Variation of daily mean ozone concentration under the southwesterly.

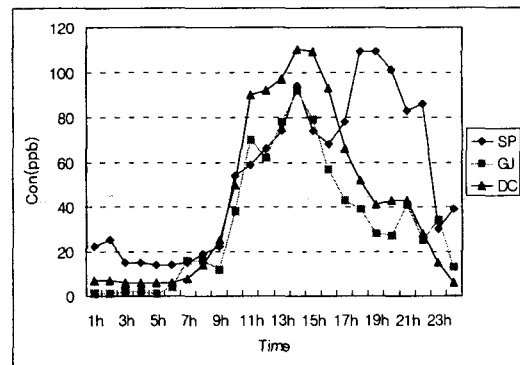


Fig. 6. Diurnal variation of ozone concentration under the south wind.



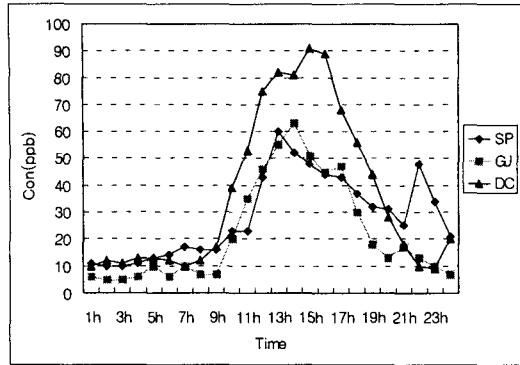


Fig. 7. Diurnal variation of ozone concentration under the south-southwest wind.

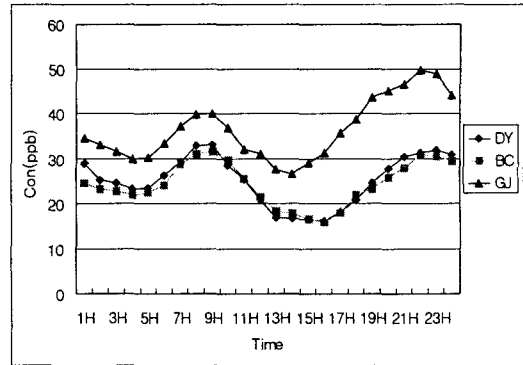


Fig. 8. Diurnal variation of nitrogen dioxide concentration under the east wind.

경우 해풍에 의한 오염물질의 이동과 침적 등이 크게 기인한다고 생각되며, 연안에 인접한 도시의 오존 농도를 예측할 경우 해풍의 풍향을 고려하여야 할 것으로 생각된다.

다음은 남동풍 계열의 해풍 중 동풍이 불 경우, 도시 오존 농도에 영향을 주는 이산화질소 농도의 일 변화를 관측지점간의 상관성이 비교적 높았던 대연동과 감전동, 범천동의 경우를 Fig. 8에 나타내었다. 세 지점 모두 일 중 같은 변화경향을 나타내었으며, 대연동과 감전동 지점의 이산화질소 농도는 큰 차이를 보여 해풍의 영향을 바로 알 수 없으나, 동풍이 불 경우 동서 방향의 도로상에 위치한 세 지점 중 그 사이 지점인 범천동의 경우 해풍이 불기 시작한 시각이후 해안에 인접한 대연동 지점에 비해 농도가 높아지다가 오후 늦게 다시 낮아지는 것을 볼 수 있다.

따라서 남서풍계열에 의한 오존의 농도와 마찬가지로 이산화질소 농도에 대한 상관성이 있었던 지점의 경우도 해풍의 영향으로 이산화질소의 농도도 일변화가 달라짐을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

연안에 인접한 도시의 대기오염물질의 농도 분포 특성을 1994년부터 1996년까지 부산지방의 오존과 이산화질소 자료와 일기상 자료를 이용하여 그 특성을 조사한 결과 부산지방은 모든 관측지점이 연도별로 이산화질소와 오존의 농도가 대체로 증가하는 것을 볼 수 있으며 이산화질소의 농도가 오존의 농도보다 높게 나타났다. 이는 매년 증가하고 있는 도시의 차량 등록수와 지역에 따른 통행량 증가를 잘 반영하고 있으며, 오존의 농도는 하계에 높고 동계로 갈수록 감소하였으며 이산화질소는 그 반대 경향을 나타내 상호 관련이 있으며 하계일수록 밀

접하게 관련됨을 알 수 있다. 그리고 일사량이 강한 7, 8월보다는 4월과 9월에 오존의 농도가 최대 극값을 나타낸 반면, 이산화질소는 8월에 최소 농도를 나타내었고 해안에 인접한 지점은 멀리 떨어진 지점에 비해 그 경향이 뚜렷하여 해양의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

연구 기간동안 부산지방의 해풍 발생 일은 연평균 81일로 연중 발생하며 도시 내에 오존 농도가 높게 나타나는 시기와 일치하였으며, 부산지역의 주요 해풍의 풍향은 주로 남~남서풍이며, 남동풍계열의 바람이 불 경우 주로 동풍이 주요 해풍임을 알 수 있었다.

해풍이 발생한 날의 월평균 오존농도와 전체 월평균 농도와 비교할 경우, 오존의 농도가 높게 나타나는 월은 유사하며, 농도도 전체 월평균 농도보다 높게 나타나 해풍이 도시 대기 오염물질의 이동과 축적에 영향을 주고 있다고 할 수 있다. 또한 해풍의 풍향에 따른 오존과 이산화질소와 같은 도시 대기오염물질의 농도는 해풍이 부는 시각에 따라 농도변화를 나타내었으며, 해풍이 지나가는 경로상의 지점에서의 농도변화에도 영향을 줌을 알 수 있었다.

따라서 연안에 인접한 도시의 오존 농도를 예측하거나 고농도 오존일을 예·경보시에도 해풍의 세기와 풍향을 고려하여야 할 것으로 생각되며, 해풍에 의한 오염물질의 내륙으로의 축적에 대한 mechanism과 침적량에 관한 관측적인 연구도 진행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 논문은 1999년 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임.

참고문헌

- 1) 河村 武, 1979, 都市の大氣環境, 東京大學出版會, 185pp.
- 2) Kawamura, T., 1985, Recent changes of atmospheric environment in Tokyo and its surrounding area, Geographical Review of Japan, 58 (Ser.B)(1) 83-94.
- 3) 최결수, 문승의, 양인기, 문영수, 1982, 부산 지방의 해륙풍의 특성에 관한 연구, 부산대학교 자연과학논문집, 34, 411-422.
- 4) 전병일, 김유근, 이화운, 1994, 해풍이 부산 지역의 대기 오염 농도에 미치는 영향, 한국환경과학회지, 3(4), 357-365.
- 5) 전병일, 김유근, 이화운, 1994, 부산 연안역의 바람 특성에 관한 고찰, 한국환경과학회지, 3(1), 1-9.
- 6) 전병일, 김유근, 이화운, 1997, 부산 연안역에서 국지풍 모델을 이용한 오존농도의 수치모의, 한국환경과학회지, 6(4), 335-350.
- 7) 若松信司, 1983, 神祭川縣における 大氣汚染の動態, 環境科學研究報告集, B180-S702, 114pp.
- 8) 대기환경연구회, 1988, 대기오염 개론, 동화기술 78-80pp.
- 9) Sanchez, M. L. and J. Sanz, 1994, Application of Discriminant Analysis to Interpret the Behaviour of Photochemical Oxidants in an Urban Area, Atmos. Environ., 28(6), 1147-1157.
- 10) 홍민선, 이상훈, 이동섭, 강창희, 박경운, 1992, 제주도 고산에서의 대기오염물질 측정 및 분석에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(4), 257-261.
- 11) 박경운, 이상훈, 서명석, 장광미, 강창희, 허철구, 김영준, 1994, 제주도 고산 측정소에서의 대기오염 배경농도 측정 및 분석, 한국대기보전학회지, 10(4), 252-259.
- 12) 장광미, 이호근, 서명석, 박경운, 강창희, 허철구, 심상규, 1996, 1994년 자료에 나타난 제주도 고산에서의 SO<sub>2</sub> 농도 변화 특성, 한국대기보전학회지, 12(5), 541-554.
- 13) Chung, Y. S. and L. X. Zhong, 1995, Characteristics of ozone concentration in the rural area of Korea, J. of the Korean Environmental Sciences Society, 4(1), 63-70.
- 14) 송기형, 박용남, 정용승, 박국태, 1992, 충청북도 농촌지역의 강수의 산성도에 관한 기초연구, 한국대기보전학회지, 1992, 8(1), 39-44.
- 15) 윤마병, 정용승, 1992, 충북 청원군에서 관측된 지표면 부근의 오존, 한국대기보전학회지, 11(1), 85-93.
- 16) 서명석, 박경운, 이호근, 장광미, 강창희, 허철구, 김영준, 1995, 청정지역과 도시지역의 오존농도 특성 연구, 한국대기보전학회지, 11(3), 253-262.
- 17) 전병일, 1999, 부산 동삼동 지역의 대기오염농도 특성, 한국환경과학회지, 8(3), 281-286.
- 18) 기상청(1994-1996) 기상월보, 1994-1996, 기상청
- 19) Larsen, R. L., 1973, An air quality data analysis system for interrelating effects, standards and needed source reductions, JAPCA, 23, 933pp.
- 20) 김유근, 이화운, 전병일, 홍정혜, 1996, 부산 연안역의 오존 농도에 미치는 해풍의 영향, 한국환경과학회지, 5(3), 265-275.
- 21) 부산광역시, 2001, 부산광역시 대기환경개선 실천계획수립 보고서, 부산발전연구원, 60-64pp.
- 22) 전병일, 1997, 부산 연안역의 고농도 오존일의 예측기법개발과 오존농도 수치모의, 부산대학교 박사학위 논문, 1-40pp.