

## 부산 연안역의 오존 농도에 미치는 해풍의 영향

김유근 · 이화운 · 전병일 · 홍정혜  
부산대학교 대기과학과  
(1996년 3월 5일 접수)

### The Influences of Sea Breeze on Surface Ozone Concentration in Pusan Coastal Area, Korea

Yoo-Keun KIM, Hwa-Woon LEE, Byung-Il JEON and Jung-Hye HONG

*Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan*

(Manuscript received 5 March 1996)

Air pollution characteristics and the influence of sea breeze on surface ozone concentration were studied using the data measured at 7 air quality continuous monitoring stations from June to September using 3 years (1990, 1993, 1994) in Pusan coastal area.

Among the 246 sea breeze days for research period, there were approximately 89 sea breeze days (36%) from June to September. And there were 120 the episode days (68%) of ozone greater than or equal to 60 ppb in summer season. In 89 sea breeze days, the episode day was highly marked as 56 days (63%). So, we knew that the sea breeze greatly affects the occurrence of ozone episode day. the ozone concentration under the condition of the sea breeze increase about 40% in the daytime. Frequencies distribution of  $O_3$  concentration for sea breeze moved toward high concentration class.

The characteristics of ozone concentration in relation to meteorological conditions of sea breeze is significant because we can discover major weather factors for establishing an air pollution-weather forecast system. For further study about meteorological approach method for photochemical air pollution, it is necessary to explain the characteristics of atmosphere below 1,000 m, especially concerning the formation mechanism of inversion layers. And finally, we will study the relationships to synoptic weather conditions and vertical structure and diurnal variation of local wind systems including sea breeze, and the vertical movements of atmosphere in the city.

**Key words :** sea breeze,  $O_3$  concentration, ozone episode days,

#### 1. 서 론

과거의 대기오염은  $SO_2$ 와 분진 등의 1차 오염물질이 문제가 되었고 관심이 집중되어 왔다. 그러나 오늘날 저유황 연료유의 공급 확대와 청정 연료의 사용 의무화로 인해 점차 오염도가 줄어드는 추세에 있는 반면, 급속한 산업화와 소득의 증대로 기하급수적으로 늘어나는 자동차와 산업 시설에서

배출되는 질소산화물 (NOX)과 탄화수소류 (HCS), 휘발성 유기화합물 (VOC) 등을 포함하는 다양한 천연, 인공 물질이 태양광과 반응 (광화학반응)하여 2차적으로 생성된  $O_3$  등에 의한 대기 오염이 심각해 지고 있다. 특히  $O_3$ 은 그 자체가 환경기준의 주요항목으로 주요 환경오염물질로서 문제인 동시에 이산화질소, 부유분진, 산성안개, 산성비 등의 2차 생성에 의한 대기오염현상에 깊게 관여하고

있다 (Ohara *et al.*, 1995).

지표오존은 인공적인 오염물질의 광화학반응의 결과로서 생성되며, 기상조건이 오존농도에 강하게 영향을 미친다. 질소산화물, 탄화수소와 기상변수(일사량, 기온, 대기안정도, 역전층, 장거리수송)사이의 복잡한 상호작용은 오존오염사건의 위치, 강도, 기간을 결정한다 (Chock *et al.*, 1982; Altshuller, 1986; Seinfeld, 1989; Comrie, 1990).

Spicer 등 (1979)은 O<sub>3</sub>의 발생 원인으로서는 자연적이거나 배경 대류권의 O<sub>3</sub>, 국지적인 인공 오염물질로부터 생성된 O<sub>3</sub>, 장거리 수송과 고기압계에서 축적된 O<sub>3</sub>, 도시 plume의 풍하측에서 형성된 O<sub>3</sub>, 그리고 성층권에서 대류권으로 침입하거나 대류 혼합에 의해 지표로 침입한 O<sub>3</sub>으로 나누어서 제시하기도 하였으며, 성층권 오존의 대류권의 유입에 관한 증거는 많은 연구에서 제시되었다 (Gidel, 1980; Viezee and Singh, 1980; Wolff *et al.*, 1981). O<sub>3</sub>은 광화학 스모그의 원인이 되는 강한 산화력을 가진 물질로서 높은 농도에 장기간 노출되면 점막의 자극, 호흡기 질환 등 인간의 건강과 농작물이나 식물에도 심각한 영향을 미치고 (Krupa and Manning, 1988; Manning and Feder, 1980), 시정을 감소시키는 역할을 하며, 또한, O<sub>3</sub>은 이산화탄소보다도 훨씬 강력한 온실 효과를 일으킨다고 알려져 있기도 하다 (Coffin and Stokinger, 1977; 일본 환경백서, 1993).

광화학스모그의 발생은 기상조건과 밀접한 관계가 있기 때문에 기상상태에 따라 사전에 예보하는 것이 가능하고 현재 많은 지방에서 기상조건에 의해 예보를 발령하고 발생원대책이나 인체피해발생의 방지에 노력하고 있다. 사전예보수법으로서 기상조건과 오존농도사이에는 통계적 상관관계가 사용되고 실용적으로 어느 정도의 성과가 얻어지고 있다 (菊地, 1983). 그러나 간단한 예보에 거치지 않고 광화학스모그의 발생을 위해서는 고농도 오존의 발생기구를 명확화하는 것이 필요하고 그것을 위한 기초적 조사로서 이류를 중심으로 한 대기의 상태를 역학적으로 파악하는 것이 중요하다.

광화학반응을 거쳐 생성된 오존은 이류로 이동하기 때문에 그 농도분포는 지표부근의 풍계와 밀접한 관계가 있다 (若松伸司, 1975).

특히 연안 공업 도시의 대기오염에 대해서는 해풍과의 관련을 무시할 수 없게 되었다. 오염물질의 주요 발생원인 대도시와 공업지역의 대다수가 해안에 위치하기 때문에 많은 도시의 오염 농도 분포가 해풍의 영향을 받아서 복잡하게 나타난다 (河村, 1979; Kawamura, 1985). 우리나라에서는 부산 지역의 해안이 한반도의 남해와 동해에 접하여 있고, 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 (1994a)에 의하면 부산 도심지는 해풍의 발생 빈도가 높고 해풍의 영향이 큰 지역이라고 조사된 바 있다.

일반적으로 해풍이 발생할 때는 기압경도가 완만해서 대기가 안정하고 역전층 고도가 낮으며, 약한 풍속으로 인한 대기의 확산 능력은 작아지며, 또한 이러한 조건 아래서는 해풍전선 부근에서 바람의 수렴과 연직혼합이 종종 일어나기 때문에 농도가 급격히 상승하는 경우도 나타나며 (若松伸司, 1975; Young and Winchester, 1980; Lalas *et al.*, 1983), 그리고 해풍이 발생하는 날은 혼합층의 고도가 낮아 대기확산이 어려워지는 경향이 있다 (Mantis *et al.*, 1992). 지역오염 형태와 관련하여 해륙풍의 역할로서 먼저 육풍역내의 오염물의 체류와 이류, 해풍에 의한 오염물의 이류, 해풍역내에서의 오염물의 이류, 해풍역내에서의 trapping, 해풍역내에서의 하강류에 의한 오염물의 이송 그리고 해풍전선부근의 오염공기의 체류와 연직혼합 등이 있다 (菊地, 1983). NO<sub>x</sub> 나 HC와 같은 1차오염물질을 다량으로 함유한 오염기체가 광화학반응에 의해 O<sub>3</sub>농도를 높히고 해풍에 의해 내륙으로 수송되어 내륙에서 고농도가 출현하는 것이 밝혀지기도 하였다 (Angell *et al.*, 1972; Chock and Levitt, 1976; Husar *et al.*, 1977; Chock *et al.*, 1981; Kurita and Ueda, 1986).

우리 나라에서 해륙풍과 오존에 관한 연구로는 서울지역에서 정용승과 정재섭(1991)에 의해 해륙풍의 풍하측인 서울 동부의 오존이 높게 나타난다는 사례 연구가 있었으며, 김진영(1995)에 의해 전남 여천에서 해륙풍과 같은 풍향의 일변화가 우세하게 나타나는 날에 오존 농도가 상승한다는 연구가 있다. 그러나 특정지역에 오존 농도가 해풍과 관련하여 나타나는 여러 가지 특성에 대해 연구한 예는 아직 없는 실정이다.

O<sub>3</sub>농도를 해풍과 관련하여 분석한 연구는 앞에서 살펴보았듯이 대체로 2가지로 분류할 수 있다. 첫째는 O<sub>3</sub>농도를 해륙풍에 의한 이류와 수렴의 관점에서 해석하는 것이고 두번째는 해륙풍이 발생하는 기상조건과 O<sub>3</sub>농도를 관련시키는 경우가 있는데, 본 연구에서는 후자의 관점에서, 해풍이 발생한 날의 O<sub>3</sub>농도가 어떠한 특성을 나타내는지에 대해 고찰해 보았으며, 앞으로 이 연구는 O<sub>3</sub>농도에 대한 대기오염 예보 체계를 구축하는데 좋은 기초 자료가 될 것이라고 사료된다.

## 2. 자료 및 연구방법

본 연구에서 사용된 대기오염 농도 자료는 부산 지역의 환경부 산하 7개 대기질 자동 측정망(주거지역: 명륜동, 대연동, 덕천동, 상업지역: 광복동, 범천동, 공업지역: 신평동, 감전동)에서 자외선 광도법(Ultra Violet Photometric Method)에 의해 측정된 시간별 O<sub>3</sub>농도이다.

부산 지역의 대기질 측정망의 위치와 지형은 Fig. 1과 같으며, 부산의 지형을 살펴볼 때 시청으로부터 서면, 연산동, 동래의 도심지를 지나는 골짜기와 신평동에서 하구연, 사상, 구포를 잇는 낙동강을 따라가는 골짜기로 크게 두갈래로 나눌 수 있다. 도심지를 지나가는 곳에는 광복동, 범천동, 명륜동 측정소가 있으며, 낙동강을 지나는 골짜기에는 신평동, 감전동, 덕천동 측정소가 위치해 있다고 볼 수 있다.

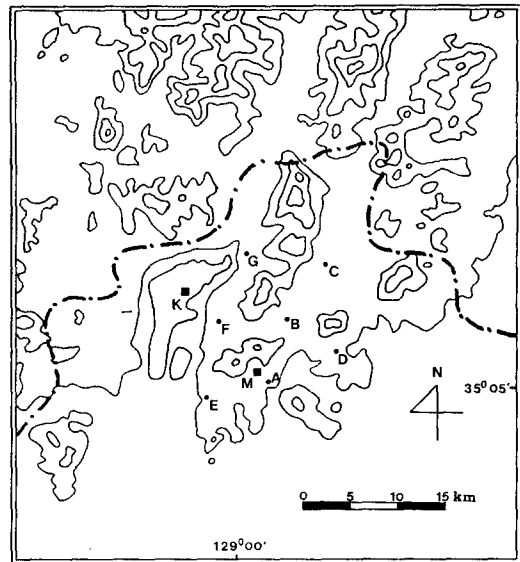


Fig. 1. Map of Pusan coastal area. The air quality monitoring stations marked as A~G are operated by the Environmental Protection Administration (A: Kwangbokdong, B: Beomcheondong, C: Meongryundong, D: Daeyeondong, E: Sinpyeongdong, F: Gamjeondong, G: Deokcheondong). Station K and M are Kimhae air force meteorological station and Pusan meteorological administration, respectively. The contour interval of topography is 200 m.

측정 자료의 유효성은 대기오염농도 분석에서 상당한 중요성을 가지는데, 24시간 중에서 70% (18시간) 이상 측정된 자료를 유효한 자료로서 취급하였으며 (Larsen, 1973; 송동용 등, 1990; 전병일 등, 1994b), 유효성이 인정된 1990년, 1993년 그리고 1994년의 3년간 6월부터 9월까지의 자료를 이용하였다. O<sub>3</sub>농도와 관련되는 해풍 발생일을 선정하기 위하여 부산지방기상청의 일평균 기상 자료(일최고 기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 운량, 일조시간)를 사용하였다.

그리고 부산 연안역의 해풍 발생일은 강수가 없는 날 중에서 일평균 운량이 7할 이하이고, 일조율이 70% 이상이며 06시의 지상풍속이 1.5 m/s 이하 또는 풍향이 북동풍~서풍이고 12시의 지상 풍속

**Table 1. Occurrence frequency of sea breeze in Pusan coastal area, for 1990, 1993, 1994.**

Year	Month												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1990	2		8	7	10	7	7	13	3	5	7	4	73
1993	1	7	13	13	10	6	3	6	7	7	5	4	82
1994	5	7	9	11	5	8	8	6	15	9	5	3	91
Total	8	14	30	31	25	21	18	25	25	21	17	11	246

이 1.5 m/s 이상인 동풍~서북서풍이든가 아니면 15 시의 지상풍이 1.5 m/s 이상이 되고 풍향이 동풍~서남서풍이 되면 해풍이 발생한 날로 선정하였다 (전병일 등, 1994a). 이러한 해풍 발생 기준을 사용하여 해풍 발생일을 선정한 뒤, 해풍이 발생한 날의 농도가 전체 농도에 대해 어떤 변화가 나타나는지를 고찰하였다.

### 3. 분석 결과

해풍 발생 기준을 사용하여 부산연안역의 해풍 발생일은 Table 1과 같이 1990년, 1993년과 1994년에 각각 73일, 82일과 91일로 조사되었으며, 3, 4, 5월의 봄철이 86일로서 전체의 35%를 나타내었고, 여름철(6, 7, 8월)과 가을철(9, 10, 11월)은 각각 64일(26%)과 63일(26%)이었으며, 겨울철(12, 1, 2월)은 33일(13%)로 가장 낮은 빈도를 나타내었다. 월별로는 4월이 31일로 가장 많았고 5, 8, 9월이 25일로 그 다음으로 많이 나타났으며, 6월과 7월의 빈도는 장마로 인해 상대적으로 낮았다. 본 연구의 연구기간은 O<sub>3</sub>농도가 가장 높은 계절인 6월부터 9월까지이며, 이 기간의 해풍발생일은 89일(36%)로 비교적 높은 발생빈도를 나타내고 있다.

O<sub>3</sub>는 기상 조건에 의해 영향을 가장 많이 받는 대기 오염 물질로서, 기상학적 접근이 매우 중요하다고 생각된다. 고농도 O<sub>3</sub>일의 선정 기준은 목적에 따라 여러 기준을 사용할 수 있다 (Ashmore, 1985; Rombout, 1985; Reich and Amundson, 1985; Mohonen and Cowling, 1988; McKendry, 1992; Hurley

and Mainins, 1995). 일본과 대만의 1시간 평균 Oxidants 농도의 대기환경기준과 WHO 권고 기준치는 60ppb라 정하였으며 (일본환경청, 1973; WHO, 1987), 우리나라의 1시간 환경기준치는 100ppb로 규정하고 있다 (환경처, 1994). 본 연구에서는 고농도 O<sub>3</sub>일을 60ppb 이상이라 선정하고 그에 대한 분석을 행하였으며, 이 농도에서는 천식을 가진 환자의 증세가 더욱 악화될 정도의 오염도이다 (WHO, 1978).

1990년, 1993년과 1994년의 3년에 걸쳐 부산 지역의 모든 대기 오염 관측소에서의 시간별 O<sub>3</sub> 농도를 분석한 결과 Table 2와 같이 각 지점에서 60 ppb 이상을 나타낸 회수는 177회이었으며, 무더운 북태평양 기단이 우리나라에 매우 큰 영향을 미치는 8월이 44회로서 가장 많이 발생하였고 두 번째로 9월이었다. 7월은 우리나라가 장마 전선의 영향으로 강수일이 많기 때문에 고농도 O<sub>3</sub>일 발생이 적게 나타났다. 계절별로는 광화학반응이 일어나기 쉬운 계절인 여름철(6, 7, 8월)이 84회로 전체의 47%를 차지하였으며, 가을철(9, 10, 11월)이 35%, 봄철(3, 4, 5월)이 18%였으며, 일조시간이 작고 야간 역전층의 형성 시간 연장으로 인한 O<sub>3</sub>의 파괴가 많아지기 쉬운 계절인 겨울철(12, 1, 2월)은 한번도 발생하지 않았다. 그리고 본 연구기간인 6월부터 9월까지의 120회로 전체의 68%를 차지해 고농도 오존이 가장 많이 발생하는 기간이라고 할 수 있다. 지역별로는 비교적 해안 지역에 위치하고 교통량이 많은 대연동이 47회(48%)였으며, 내륙 지역이면서 교통량이 증가하는 추세에 있는 명륜동이 38회(21%)로서, 고농도 O<sub>3</sub> 발생 지역이라고

부산 연안역의 오존 농도에 미치는 해풍의 영향

**Table 2. The monthly variation of the frequencies of ozone episode days( $\geq 60\text{ppb}$ ) in air monitoring station in Pusan coastal area, during 3 years(1990, 1993, 1994)**

Station	Month												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Kwangbok						2	1	3	5		1		12
Beomcheon					1		2	7	5				15
Meongryun				3	3	1	3	9	9	5	5		38
Daeyeon			1	5	10	9	3	9	4	6			47
Sinpyeong				7		2	4	7	7	3	1		31
Gamjeon					1	5	1	4		3			14
Deokcheo						2	5	5	6	2			20
Total			1	15	15	21	19	44	36	19	7		177

**Table 3. The frequency of ozone episode days( $\geq 60\text{ppb}$ ) during seabreeze days from June to September for 3 years(1990, 1993, 1994).**

	1990	1993	1994	Total
seabreeze day	30	22	37	89
ozone episode days( $\geq 60\text{ppb}$ )	22	8	26	56
	(73%)	(36%)	(70%)	(63%)

할 수 있다. 다음으로 공업 지역인 신평동이 31회 (18%)였으며, 해안 지역인 광복동이 12회 (7%)로 가장 낮은 발생율을 나타내었다.

1990년과 1993년 그리고 1994년의 6월부터 9월까지 해풍이 발생한 날 중에서 오존 농도가 60ppb 이상인 날을 Table 3에 나타내었다. 같은 기간에 해풍이 발생한 날은 1990년과 1993년 그리고 1994년에 각각 30일, 22일 그리고 37일이었으며, 이 중에 60ppb이상의 고농도 오존을 기록한 날은 22일, 8일, 26일로 각각 73%, 36%, 70%을 기록하였고 전체적으로 63%라는 비교적 높은 비율을 나타내었다. 따라서 해풍발생이 고농도 오존일을 예보하는데 유용하게 사용할 수 있는 인자가 될 수 있다고 생각된다. 1993년은 Table 4에서 보는 바와 같이 하계의 일평균최고기온이 1990년과 1994년에 비해 낮기 때문에 해풍의 발생빈도와 고농도 오존발생율이 작게 나타난다고 생각한다.

Table 5는 고농도 오존이 발생한 시각의 풍향과 풍속을 조사하여 나타내었다. 6월부터 9월까지의

**Table 4. Comparison of daily maximum temperature( $^{\circ}\text{C}$ ) between 1990, 1993 and 1994.**

Year	Month			
	6	7	8	9
1990	24.3	28.5	32.5	26.4
1993	23.5	24.9	25.9	25.5
1994	24.3	31.4	31.6	27.7

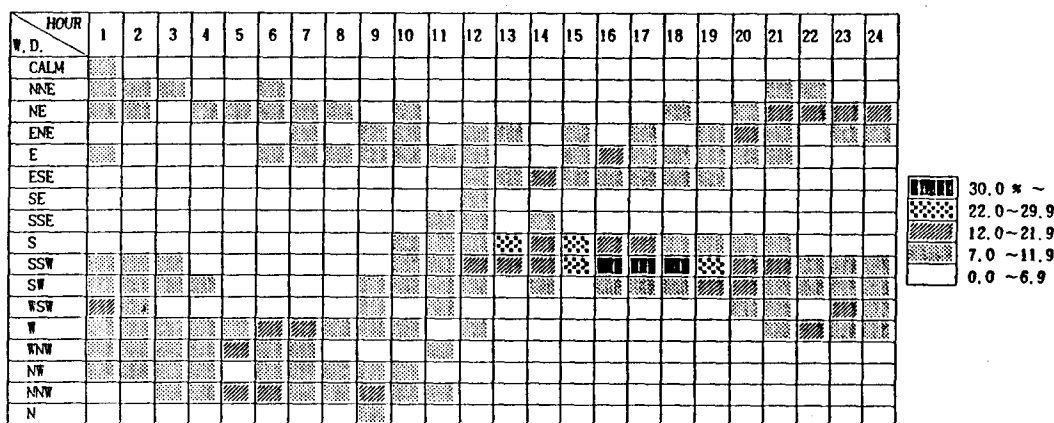
60ppb이상의 고농도오존을 기록한 일은 1990년이 32일, 1993년이 8일, 1994년이 30일로 전부 70일이었다. 그 중에서 55일 (79%)이 해풍계열의 풍향과 2.0~5.9 m/s의 풍속의 범위를 가지는 집중성이 강한 모습을 보이고 있으며, 그 외의 풍향은 거의 나타나지 않는 것으로 보아 고농도 오존의 발생은 해풍과 관련되어 있다는 것을 강하게 나타내고 있다.

Table 6은 부산지역에서 60ppb이상의 고농도 오존이 발생했을 때 시간에 따른 풍향의 일변화를

**Table 5. The frequency of ozone episode days( $\geq 60$ ppb) according to wind speed(m/s) and wind direction for 3 years(1990, 1993, 1994).**

WD \ WS	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WSW	NW	NNW	N
0.5~1.9				1		1						1				
2.0~3.9			1	8	5	1	4	3	6	3	3			1	2	
4.0~5.9		1	1	2				9	7	3						1
6.0~7.9								1	4							
8.0~									1							

**Table 6. The occurrence rate(%) according to each hour for ozone episode days( $\geq 60$ ppb) during 3 years(1990, 1993, 1994)**



나타낸 것이다. 이른 아침에는 북서풍계열의 바람이 우세하게 나타나지만, 태양복사에너지의 영향이 강하게 나타날 시간대인 13시부터 19시까지의 주 간에는 남풍에서 남서풍까지의 남풍 계열의 바람이 다른 풍향에 비해서 발생율이 크게 나타나며, 특히 16시부터 18시까지 남남서풍이 30% 이상의 월등한 발생율을 기록하고 있는 것으로 보아, 고농도 오존의 발생은 풍향의 일변화가 명확하게 나타날 즉 해륙풍의 교대가 현저하게 나타나는 날과 깊은 관계가 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 1990년과 1993년 그리고 1994년의 6월부터 9월까지의 부산 지역의 7개 O<sub>3</sub>농도 관측지점에서 농도의 일변화를 전기간중의 평균과 해풍 발생일의 평균을 비교하여 나타낸 것이다. 우선 모든

날의 O<sub>3</sub> 일변화를 살펴 보면, 전 지역에서 강한 일사량으로 인한 광화학반응으로 인해 오후 2~3시에 최대 농도를 나타내고 있으며, 각 지점별로는 대연동이 31ppb로 가장 높았고 다음으로 덕천동이었으며, 가장 낮은 곳은 해안에서 가장 가까운 광복동이었다. 해풍이 발생한 날의 O<sub>3</sub>농도는 대연동이 43ppb로 가장 높았으며, 명륜동과 덕천동 순으로 나타났다. 해풍이 발생한 날의 O<sub>3</sub>농도는 모든 지점에서 전기간의 평균값에 비해 주간에 높은 농도 증가를 나타내고 있으며, 새벽과 늦은 야간 시각에 내륙에서 해안으로 육풍이 불거나, 대기가 안정하여 구름이 없으면, O<sub>3</sub>과 NO의 반응이 활발해 분해가 많이 발생되기 때문에 농도가 낮게 나타났다(鶴田治雄, 1983). 오후의 농도차는 명륜동에서 13

부산 연안역의 오존 농도에 미치는 해풍의 영향

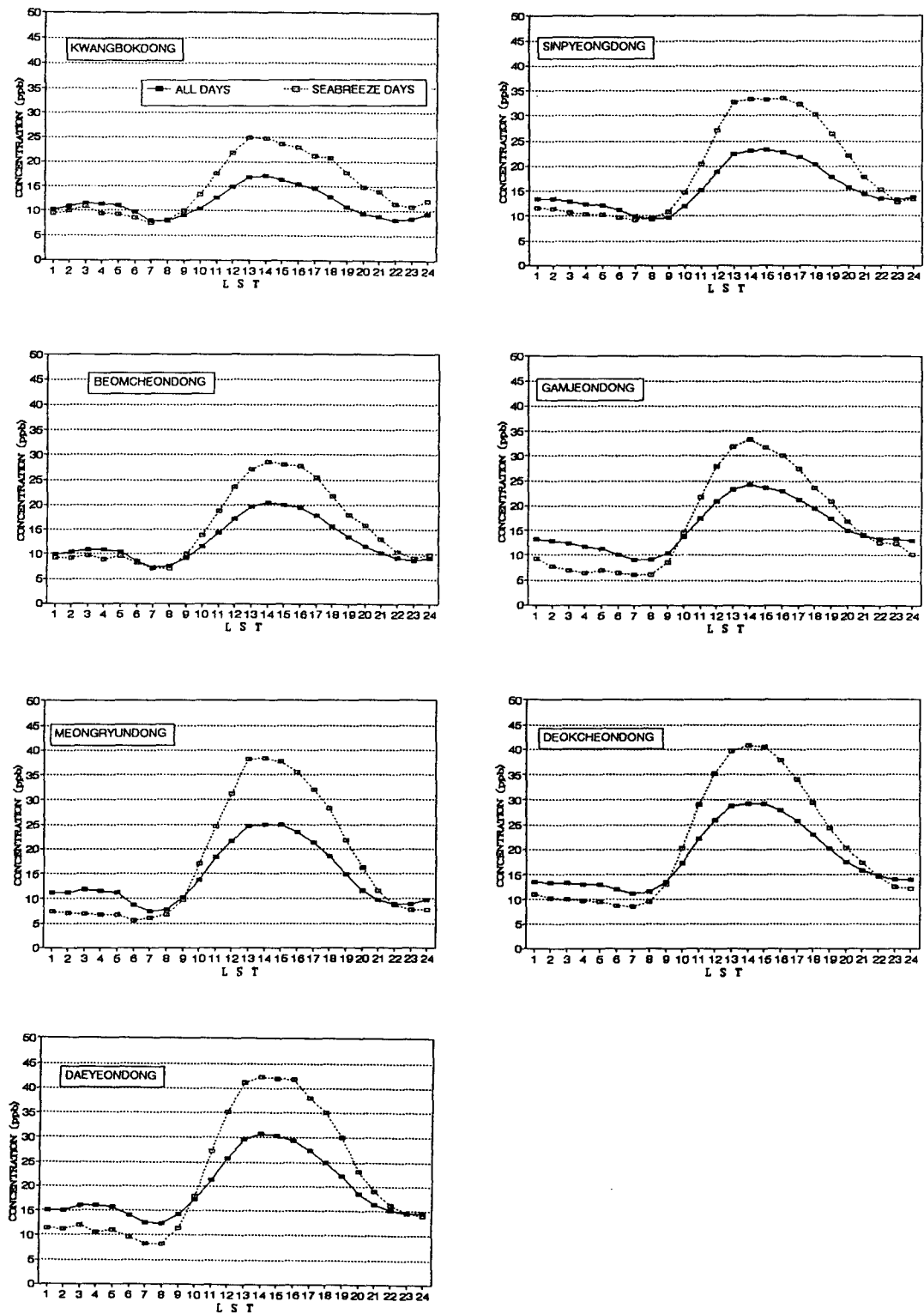


Fig. 2. Diurnal change of O<sub>3</sub> concentration of all days and seabreeze days from June to September for 3 years in Pusan coastal area (1990, 1993, 1994).

ppb로 가장 높았으며, 광복동과 범천동이 8ppb로 가장 낮게 나타났다. 이는 국지적인 기상특성이나 O<sub>3</sub>의 기인물질인 NO<sub>x</sub>, HCs 등의 배출량의 차이에 의한 것으로 사료된다.

Fig. 3은 해풍이 발생하였을 때 시간에 따른 O<sub>3</sub> 농도 증가율을 나타낸 것이다. 관측지역 전 지점에서 오전 8시까지 감소율을 나타내고 그 이후에는 급격한 증가를 나타내고 있으며, 특히 10시부터 20시까지 평균 40% 이상의 농도증가율을 나타내고 있다. 가장 높은 증가율로서 약 55%를 나타낸 지역은 명륜동이었으며, 이른 새벽이나 늦은 야간에는 10%에서 40%까지의 농도 감소를 보이고 있다. 약 45% 정도로 가장 큰 감소를 보인 지역은 감전동이었다. 명륜동의 경우 주간의 농도 증가율도 높지만 야간의 농도하강율도 높은 것으로 나타났으며, 해풍 발생시 주간의 높은 농도증가율과 야간의 농도하강율사이의 관계는 광화학반응에 의한 영향으로 사료되지만 그 정도에 관하여는 세밀한 조사가 있어야 할 것으로 판단된다.

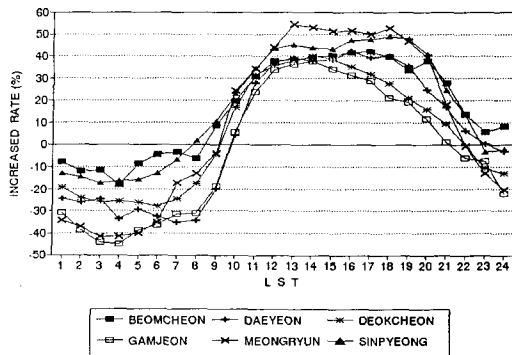


Fig. 3. Diurnal change of increased rate of O<sub>3</sub> concentration for the sea breezing days for 3 years in Pusan coastal area (1990, 1993, 1994).

해풍이 발생하였을 때의 오염 농도값이 어떠한 분포를 하고 있는가를 알아보기 위하여 농도 계급별 발생율을 Fig. 4와 같이 조사해 보았다. 전반적으로 O<sub>3</sub> 농도 분포를 보면, 부산지역은 30ppb이하의 저농도 오존의 분포율이 고농도 오존에 비해서

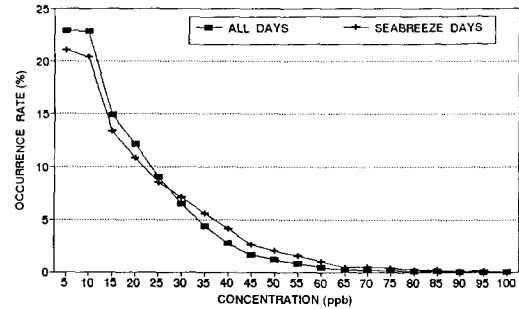


Fig. 4. Occurrence rate (%) of O<sub>3</sub> concentration of all days and sea breezing days for 3 years in Pusan coastal area (1990, 1993, 1994).

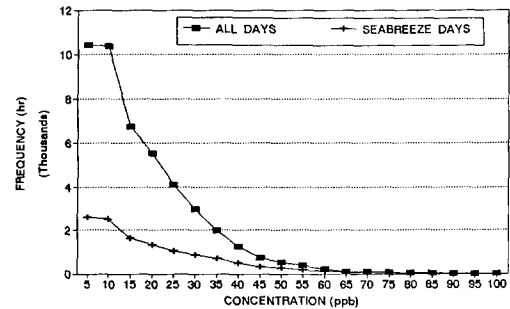


Fig. 5. Frequency distribution of O<sub>3</sub> concentration of all days and sea breezing days for 3 years in Pusan coastal area (1990, 1993, 1994).

상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 전기간에 걸쳐 O<sub>3</sub> 농도는 25ppb이하에서 높은 발생율을 나타내고 30ppb 이상의 농도에서는 해풍이 발생할 때가 보다 높은 발생율을 나타내고 있다. 이것으로 보아 해풍이 발생한 날일 때 O<sub>3</sub> 농도가 더 높게 나타날 확률이 크다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5에 1990년, 1993년과 1994년의 3년동안 측정된 O<sub>3</sub>의 시간별 농도값을 이용하여 각 농도 계급별 발생 빈도를 나타내었다. O<sub>3</sub>농도의 빈도 분포를 보면, 전반적으로 5~55ppb범위의 넓은 분포를 나타내고 있으며, 60ppb이상의 고농도의 분포는 적고 15ppb이하가 전체의 80%이상으로써 낮은 농도에 치우친 비대칭형을 이루고 있다. 전기간 중의 농도분포를 살펴 보면, 10ppb에서 50ppb로 급격하게 감소하는 빈도를 보이지만 해풍이 발생한 날의



분포는 완만한 감소율로 나타났으며, 이는 전기간의 오존 분포와는 매우 다른 양상을 보여 주고 있다.

#### 4. 결 론

1990년과 1993년 그리고 1994년의 6월부터 9월 까지 3년간 부산 지역의 7개의 O<sub>3</sub>농도 자동 측정망의 시간별 자료를 이용해 부산 지역의 O<sub>3</sub>농도 발생 특성과 해풍 발생이 O<sub>3</sub>농도에 미치는 영향을 고찰한 결과는 다음과 같다.

1990년과 1993년 그리고 1994년의 3년간 246일의 해풍 발생일 중에서 하계(6월~9월)가 차지하는 비율이 89일로 36%를 차지하였으며, 같은 기간 동안에 고농도 O<sub>3</sub>일(≥60ppb)은 120회(68%)로 높은 발생율을 나타내었다. 그리고 해풍발생일(89일) 중에 고농도 O<sub>3</sub>일(≥60ppb)이 발생한 날이 56일로 63%를 나타내어 해풍발생이 고농도 오존 생성에 큰 영향을 나타내는 것으로 나타났다. 해풍이 발생일의 O<sub>3</sub>농도는 전기간의 O<sub>3</sub>농도보다 주간에는 40% 정도의 농도증가를 나타내었으며, 해풍 발생시 농도별 발생 빈도는 고농도 계급으로 갈수록 발생 횟수가 증가하였다.

해풍이 발생할 수 있는 기상조건하에서 O<sub>3</sub>농도의 특성을 고찰하는 것은 대기오염 기상예보 체제의 구축에 매우 중요한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 연구는 1995년도 한국과학재단 핵심전문연구 "연안역에서의 대기오염기상 예보시스템 개발에 관한 연구"(과제번호: 951-0401-014-2) 과제 연구비 지원에 의해 수행된 것입니다.

#### 참 고 문 헌

김진영, 1995, 여천 동광양 지역 지상 오존 농도와

기상 인자와의 상관성 분석, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 55pp.

송동웅 등, 1990, 서울시 지역별 대기 오염도 분석 평가 기초연구, KIST 보고서, E10410-4047-6, 81pp.

전병일, 김유근, 이화운, 1994a, 부산 연안역의 바람 특성에 관한 고찰, 한국환경과학회지, 3(1), 1~9.

전병일, 김유근, 이화운, 1994b, 해풍이 부산 지역의 대기오염 농도에 미치는 영향, 한국환경과학회지, 3(4), 357~365.

정용승, 정재섭, 1991, 서울 수도권 지역의 광화학 오존에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 169~179.

최길수, 문승의, 양인기, 문영수, 1982, 부산 지방의 해륙풍의 특성에 관한 연구, 부산대 자연과학 논문집, 34, 411~422.

환경처, 1994, 환경백서, 454pp.

菊地 立, 1983, 關東地方の局地風系と高濃度大氣汚染關係についての研究, 國立公害研究所研究報告, 44, 31~55.

若松伸司, 1975, 神祭川縣の海風と大氣汚染(1), 天氣, 22~2, 79~83.

日本 環境白書, 1993, 總說, 290pp.

日本 環境廳, 1973, 大氣の汚染に係わる環境基準について, 昭和48年環境廳告示第25號.

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.

Altshuller, A. P., 1986, The role of nitrogen oxides in non-urban ozone formation in the planetary boundary layer over N America, W Europe and adjacent areas of ocean. Atmos. Environ., 20, 245~268.

Angell, J. K., Pack, D. H., Machta, L. M., Dickson, C. R. and W. H. Hoecker, 1972, Three dimensional air trajectories determined from tet-roon flights in the planetary boundary layer

- of the Los Angeles Basin, *J. Appl. Meteor.*, 11, 451~471.
- Ashmore, M. R., 1985, Effect of ozone on vegetation in the U. K., In *Ozone, Proc. of an Int. Workshop*. February 1984, Goteberg, Sweden, 92~104.
- Chock D. P., Kumar, S. and R. W. Herrmann, 1982, An analysis of trends in oxidant air quality in the South Coast Air basin of California, *Atmos. Environ.*, 16, 2615~2624.
- Chock, D. P. and S. B. Levitt, 1976, A space-time correlation study of oxidant and carbon monoxide in the Los Angeles Basin, *Atmos. Environ.*, 10, 107~113.
- Chock, D. P., Dunker, A. M., Kumar, S. and C. S. Sloane, 1981, Effect of NOX emission rates on smog formation in the California South Coast Air Basin, *Environ. Sci. Technol.*, 15, 933~939.
- Coffin, D. L. and H. E. Stokinger, 1977, Biological effects of air pollutants, In *Air Pollution* (edited by A. Stern), Vol.II, Academic Press, 231 pp.
- Comrie, A. C., 1990, The climatology of surface ozone in rural areas: a conceptual model, *Prog. Phys. Geog.*, 14, 295~316.
- Gidel, L., 1980, General circulation model estimates of the net vertical flux of ozone in the lower stratosphere and the implications for the tropospheric zone budget, *J. geophys. Res.*, 85, 4049~4058.
- Hurley, P. J. and P. C. Manins, 1995, Meteorological modeling on high-ozone days in Perth, Western Australia, *J. Appl. Meteor.*, 34, 1643~1652.
- Husar, R. B., Patterson, D. E., Blumental, D. L., White, W. H. and T. B. Smith, 1977, Three-dimensional distribution of air pollutants in the Los Angeles Basin, *J. Appl. Meteor.*, 16, 1089~1096.
- 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.
- Krupa, S. V. and W. J. Manning, 1988, Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation, *Environ. Pollut.*, 50, 101~137.
- Kurita, H. and H. Ueda, 1986, Meteorological conditions for long-range transport under light gradient winds, *Atmos. Environ.*, 20, 687~694.
- Lalas, D. P., Asimakopulos, D. N., Deligiorgi, D. G., and C. G. Helmis, 1983, Sea-breeze circulation and photochemical pollution in Athens, Greece, *Atmos. Environ.*, 17 (9), 1621~1632.
- Larsen, R. I., 1973, An air quality data analysis system for interrelating effects, standards, and needed source reductions, *JAPCA*, 23, 933.
- Manning, W. J. and W. A. Feder, 1980, Biomonitoring air pollutants with plants, *Applied Science*, London, 142 pp.
- Mantis, H. T., Pepapis, C. C., Zerefos, C. S., and J. C. Ziomas, 1992, Assessment of the potential for photochemical air pollution in Athens: A comparison of emissions and air-pollutant levels in Athens with those in Los Angeles, *J. appl. Meteor.*, 31, 1467~1476.
- McKendry, I. G., 1992, Ground-level ozone in Montreal, Canada, *Atmos. Environ.*, 27B (1), 93~103.
- Mohnen, V. and E. B. Cowling, 1988, Summary of progress in Mountain Cloud Chemistry Research-1986-87, Peer review workshop at Corpus Christie, Texas, Feb. 23~26, 1988, Forest Response Program, U. S. Forest Serv., Washington, D. C..
- Ohara, T., Wakamatsu, S., Uno, I., Ando, T. and

- S. Izumikawa, 1995, An analysis of annual trends of photochemical oxidants in the Kanto and Kansai areas, *J. Japan Soc. Air Pollut.*, 30 (2), 137~148.
- Reich, P. B. and A. G. Amundson, 1985, Ambient levels of ozone reduce net photosynthesis in tree and crop species, *Science*, 230, 566~570.
- Rombout P. J. A., 1985, Short term health effects of ozone and nitrogen dioxide in experimental animals in relation to measurement and monitoring of air pollution, In *Ozone, Proc. of an Int. Workshop February 1984, Goteberg, Sweden*, 92~104.
- Seinfeld, J. H., 1989, Urban air pollution: state of the science, *Science*, 243, 745~752.
- Spicer, C. W., Joseph, D. W., Sticksel, P. R. and G. F. Ward, 1979, Ozone sources and transport into the northeastern United States, *Environ. Sci. Technol.* 13, 975~985.
- Viezee, W. and H. B. Singh, 1980, The distribution of beryllium-7 in the troposphere: implications on stratospheric/tropospheric air exchange, *Geophys. Res. Lett.*, 7, 805~808.
- WHO, 1978, WHO photochemical oxidants, *Environmental Health Criteria*, No. 7, Geneva, Switzerland.
- WHO, 1987, Air quality guidelines for Europe, WHO regional publications, European series, No. 23, Copenhagen.
- Wolff, G. T., Kelly, N. A. and M. A. Ferman, 1981, Source regions of summertime ozone and haze episodes in the Eastern United States, *Environmental Science Dept. (No. 110)*, General Motors Research Labs (3701), Warren, MI 48090.
- Young, G. S., and J. W. Winchester, 1980, Association of non-marine sulfate aerosol with sea-breeze circulation in Tampa Bay, *J. Appl. Meteor.*, 19, 419~425.