

부산 해안지역의 고농도 오존 발생 특성에 관한 연구

전 병 일
신라대학교 환경학과
(1999년 12월 31일 접수)

Characteristics of Surface High Ozone Concentration on Pusan Coastal area, Korea

Byung-II Jeon

Dept. of Environmental Sciences, Silla University, Pusan, Korea
(Manuscript received 31 December, 1999)

This study was conducted to investigate the characteristics of surface ozone concentration and occurrence of high ozone concentration using hourly ozone, nitrogen dioxide and meteorological data for 1997~1998 in Pusan coastal area. Monthly mean ozone concentration was the highest at Dongsamdong in Spring(35.4ppb), at Kwangbokdong in Fall(25.1ppb) and the lowest Dongsamdong(22.2ppb) and Kwangbokdong(16.0ppb) in Winter. Relative standard deviation indicating clearness of observation site was 0.42 at Dongsamdong and 0.49 at Kwangbokdong that is similar to urban area. The diurnal variation of ozone concentration of Dongsamdong and Kwangbokdong showed maximum at 1500~1600LST and minimum 0700~0800LST that typical pattern of ozone concentration. In ozone episode period(Sept. 10~15, 1998), diurnal change of ozone concentration was very high, and ozone concentration was related to meteorological parameters such as temperature, relative humidity, wind speed, cloud amount and radiation on a horizontal surface. During the episode days peak ozone concentrations are much higher than the normal values, wind speeds are always lower, and solar radiation is high with the exception of the September episode.

Key words : high ozone concentration, meteorological parameter, episode days, relative standard deviation, diurnal change of ozone concentration

1. 서 론

부산시의 경우 1998년 5월 27일에 동삼동, 8월 26일과 9월 10일에 광복동에서 120ppb 이상의 오존농도를 기록하여 1998년에 오존주의보가 3차례 발령된 바 있다. 이와 같은 고농도 오존이 내륙이 아닌 해양과 접한 해안지역에서 발생되었고 특히 동삼동 측정소는 영도구 해양대학교에 설치되어 오존의 기인물질이 없는 비교적 청정지역임에도 불구하고 고농도 오존이 발생한 것에 대해 부산시 오존경보 관계자들을 상당히 당황시킨 바 있다.

특히 부산시는 해안지역에 많은 시민들이 거주·활동하고 있어, 이러한 주민들의 건강을 위해서라도 해안선과 인접한 지역에서의 고농도 오존발생에 대한 연구는 시급히 요구되고 있다.¹⁾

부산지역의 오존농도에 관한 연구는 주로 지표오존농도와 기상인자와의 관계를 분석한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 김유근 등²⁾과 전병일³⁾은 해풍이 발생하였을 때의 오존농도는 그렇지 않은 날보다 높은 값을 나타내

어, 부산의 오존농도는 해풍에 의해 많은 영향을 받고 있다고 하였으며, 또한 전병일 등⁴⁾은 기상인자를 이용하여 오존농도의 특성을 체계적으로 분석하였다. 우리나라 해안에 대한 오존농도에 관한 연구는 주로 제주도 고산지역을 중심으로 이루어진 바 있는데, 주로 오존농도를 직접 측정하여 그 특성을 분석하였다.^{5,6)} 그리고 서명석 등⁷⁾은 청정지역인 고산과 도시지역인 서울과 부산의 오존농도를 비교하여 그 특성을 연구한 바 있다. 해양이나 도시지역, 농촌지역 그리고 산악지역에서 오존농도를 관측한 사례한 많으나 도시지역 인근의 해안에서 오존농도를 관측하여 분석한 사례를 드문 편이다.^{8,9)} 특히 우리나라의 경우 도시부근의 해안지역에서 오존농도만을 대상으로 해양의 영향을 고려한 연구는 아직까지 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 부산광역시의 해안지역인 동삼동과 광복동의 환경부 산하 대기오염자동측정망에서 관측된 시간별 오존농도자료를 이용하여 근래 빈번히 발생

하는 고농도 오존발생 특성을 구체적으로 고찰하고, 그 원인을 분석하므로서 부산시의 오존농도를 정확하게 예측하고, 시행중인 오존예보제의 운용에 있어 도움이 되고자 한다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서는 1997년 1월 1일부터 1998년 12월 31일까지 2년간 부산 해안지역인 동삼동과 광복동의 시간별 지표오존농도자료를 사용하였고, 부산광역시의 전반적인 오존농도특성을 비교·고찰하기 위해서 상기 두 지점 외에 7개 지점(범천동, 대연동, 감전동, 덕천동, 재송동, 신평동, 연산동)의 자료도 함께 사용하였으며, 고농도 오존 발생일에 대한 사례연구를 위해 오존의 기인물질인 NO₂농도자료를 함께 이용하였다. 본 연구에서의 고농도 오존의 선정기준은 WHO 권고기준을 적용하여 60ppb 이상인 농도를 선정하였다.³⁾ 이 농도를 WHO¹⁰⁾에서는 천식을 가진 환자의 증세가 더욱 악화될 수 있을 정도의 오염도라고 보고하고 있다. 또한 오존농도는 기상학적 요인과 밀접한 관계가 있으므로 부산지방기상청의 기상자료를 이용하여 그 상호관련성을 고찰하였다.¹¹⁾

동삼동 관측소가 위치한 해양대학교는 사면이 바다로 둘러싸여 있으며 관측장비가 설치된 파고관측소는 앞쪽으로 남해와 접해 있고 뒤쪽은 산이 있어 인위적인 오염물질은 학교에 출입하는 자동차에 의한 영향밖에 없는 매우 청정한 지역이라고 할 수 있으며, 광복동 관측소는 해안과 접해 있는 지역이면서도 차량과 건물이 밀집된 광복동 중심가에 있어 인위적인 오염물질에 영향을 크게 받는 상업지역이라고 할 수 있다.¹¹⁾

3. 부산 해안지역의 고농도 오존 발생 특성

3.1 오존농도의 계절변화 특성

동삼동과 광복동의 오존농도의 계절별 변화 특성과 지역적 특성을 고찰하기 위해 Table 1에 계절 및 연평균 그리고 평균상대표준편차(r.s.d: relative standard deviation)를 나타내었다. 우리나라에서 청정지역으로 알려진 제주도 고산은 서명식 등⁷⁾의 연구결과를 인용하여 동삼동 및 광복동과 비교하였다. 평균상대표준편차는 일본에서 오존측정소의 청정도를 분류하기 위해서 Mizoguchi *et al.*¹²⁾가 사용한 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$Ors = \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{i=1}^N \left(\frac{S_i}{M} \right) \quad (1)$$

여기서 Ors 는 측정소의 청정도를 나타내는 평균상대표준편차이고 N 은 측정일수, S 는 일별 표준편차이며 M 은 일평균값이다. 위 식을 사용하여 남극 및 일본내의 청정지역의 평균상대표준편차는 0.03~0.30정도였으며,¹²⁾ 제주도 고산은 0.12로 비교적 청정한 지역으로 분류되었다.⁷⁾

동삼동의 계절별 오존농도는 전 계절에 걸쳐 광복동의 오존농도보다 높았으며, 특히 춘계는 12.2ppb나 높게 나타났으며, 추계는 두 지역 모두 25ppb정도로 비슷

Table 1. Seasonal mean and mean relative standard deviation of O₃ at Dongsamdong, Kwangbokdong and Kosan(Cheju)

Area		Season	Spring	Summer	Autumn	Winter	Mean
		mean(ppb)	35.4	26.8	25.6	22.2	27.5
Dongsamdong	r.s.d.	0.39	0.36	0.48	0.44	0.42	
	mean(ppb)	22.2	23.3	25.1	16.9	21.9	
Kwangbokdong	r.s.d.	0.45	0.49	0.52	0.48	0.49	
	mean(ppb)	52.0	33.1	41.6	38.9	42.2	
Kosan(Cheju)	r.s.d.	0.09	0.09	0.18	0.12	0.12	

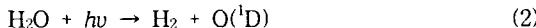
한 농도를 나타내었다. 대체로 오존농도는 일사량과 온도가 높은 하계에 오존농도가 높게 나타나지만, 우리나라에는 6월 말부터 7월 중순까지 발생하는 장마에 의한 강수량이 많은 몬순기후에 속해 있기 때문에 하계의 오존농도가 낮게 나타난다.³⁾ 그리고 동삼동과 광복동의 오존농도는 모든 계절에 걸쳐 제주도 고산보다 낮은 농도를 나타내었다. 측정소의 청정도를 나타내는 평균상대표준편차는 동삼동의 경우 하계의 0.36부터 추계 0.48까지 평균 0.42로서 비교적 높은 값을 나타내었고 광복동도 춘계 0.45부터 추계 0.52까지 평균 0.49로서 동삼동보다 높은 값을 나타내었으며, 제주도 고산은 춘·하계 0.09, 동계 0.12, 추계 0.18로써 평균 0.12로 앞에서 기술하였듯이 고산지역은 청정지역이라고 할 수 있을 정도로 낮은 값을 나타내었다. 따라서 평소 녹지지역 내지 준 청정지역일 것이라고 간주되었던 동삼동은 측정소의 청정도를 나타내는 평균상대표준편차가 상업지역인 광복동과 비슷한 값이 나타남으로서 이 측정소의 지역적 정의를 다시 고려해야 될 것으로 판단된다.

3.2. 오존농도의 일변화 특성

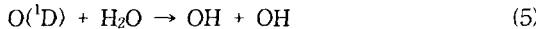
최근 2년간(1997, 1998) 동삼동과 광복동의 계절별 오존농도의 일변화를 Fig. 1에 나타내었다. 동삼동의 경우 15~16시 부근에서 최고농도를 나타내었고 아침 7~8시에 최저농도를 나타내었으며, 최고농도와 최저농도의 차가 25ppb 정도로 그 차가 매우 크게 나타났으며, 계절별로 보면 주간의 경우 춘계가 가장 높은 농도를 나타내며 추계와 하계는 비슷한 농도를 보이며 동계에 가장 낮은 농도를 나타내었다. 특히 춘계의 경우 12시 이후부터 21시까지 장시간 40ppb 이상의 농도를 보였으며, 특히 15시부터 18시까지 50ppb에 가까운 농도가 3시간 가량 지속하여 나타났다. 대체로 최고농도가 발생하는 시각(15시 전후)이 지나면 일사량이 작아지면서 오존농도가 급격히 하강하는 것이 보통인데,³⁾ 동삼동의 경우는 오존을 파괴시키는 요인보다는 지속시키는 인자가 더 크게 영향을 미친다는 것을 시사하고 있다. 따라서 15시 이후의 고농도 오존을 지속시키는 관련인자를 찾아내는 것이 요구된다. 이는 뒤에 기

술 할 60ppb 이상의 고농도 오존 지속시간분포에서도 잘 나타나고 있다. 또한 21시 이후부터 최저농도를 나타내는 아침 7~8시까지의 농도변화를 보면, 춘계는 서서히 하강하는 양상이나 다른 계절은 일정한 농도를 나타내어 새벽에 오존을 관리시키는 물질 즉 자동차에 배출되는 일산화질소에 의한 오존의 환원반응이나 지표로의 침적현상이 동삼동에서는 약하다는 것을 시사하고 있다.

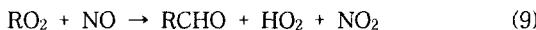
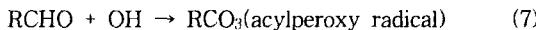
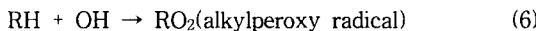
이러한 주간의 고농도가 동삼동에서 나타나는 이유는 해안의 지형적 특성으로 SO_2 와 TSP와 같은 1차오염물질이 적어 태양복사에너지의 투과율이 커서 광화학 반응이 상대적으로 크게 일어날 가능성이 있고,¹⁾ 또 하나는 식 (2) 및 (3)과 같이 바닷물의 수증기(H_2O)가 오존생성에 필수적인 산소원자(O)와 OH 라디칼(peroxy radical)의 생성이 풍부하여 오존의 발생량이 많아졌다고 볼 수 있다.^{13,14)} 특히 OH 라디칼은 대기 중의 광화학 반응을 매우 효율적으로 만드는 특징이 있다.



또한 동삼동과 같이 NO_x 가 낮은 오염되지 않은 지역에서는 식(4) 및 (5)과 같이 광화학반응으로 생성된 산소원자가 수증기와 반응하여 OH 라디칼을 생성할 수 있다.¹⁵⁾



이렇게 생성된 OH 라디칼은 다음과 같은 반응을 통하여 오존을 생성하는 데 큰 기여를 하는 비메탄유기화합물(Non-Methane Organic Compounds : NMOC)을 생성한다.¹⁶⁾



위 식과 같이 OH 라디칼은 NMOC를 생성하는 중요한 산화작용을 한다.

광복동의 경우는 14시부터 16시 사이에 1차 피크를 나타내고 새벽 4시 부근에 2차 피크를 나타내는 양상을 나타내는 데, 추계의 경우 주간의 최고농도와 새벽의 최고농도의 차가 10ppb정도로서 비슷한 농도를 나타내고 있다. 일중 최고농도를 나타내는 15시 이후 농도는 급격히 하강하고 있으며 새벽의 2차 피크의 발생은 야간의 난류에 의해 대기경계층내의 잔존 오존이 지표로 하강한 결과라고 보고 있다.¹⁷⁾ 특히 광복동은 부산광역시 중에서도 그 양상이 뚜렷하게 나타나는 데, 이에 대한 것은 오존농도의 연직구조파악과 같은 추가적인 연구가 요구되고 있다.

최근 2년간(1997, 1998) 동삼동과 광복동 두 지역에서 동시에 측정된 3월, 5월, 9월, 12월의 이산화질소 농도의 일변화를 Fig. 2에 나타내었다.

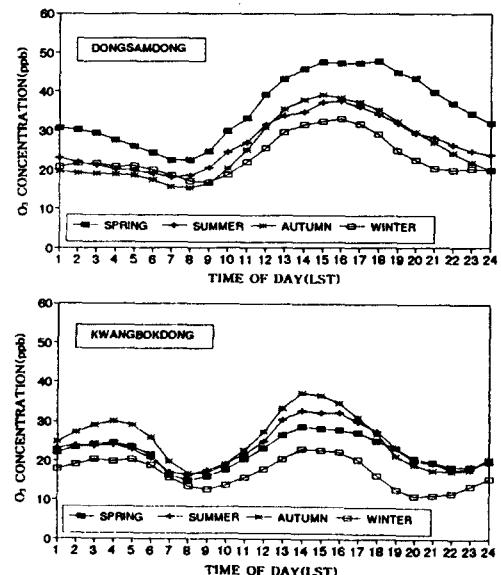


Fig. 1. Seasonal variation of O_3 concentration(ppb) at Dongsamdong and Kwangbokdong.

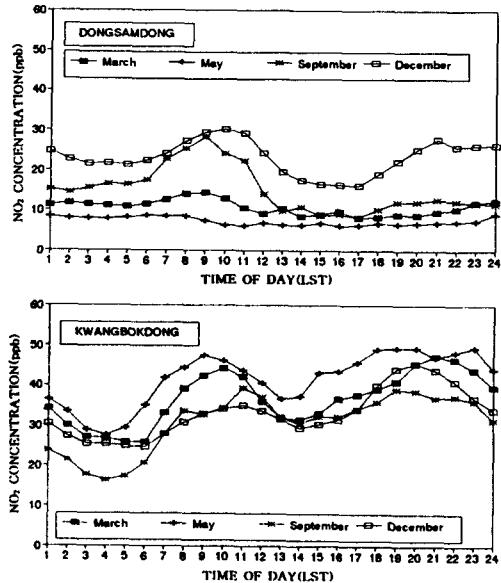


Fig. 2. Monthly variation of NO_2 concentration(ppb) at Dongsamdong and Kwangbokdong.

동삼동의 경우, 3월과 5월은 일중 10ppb정도의 매우 낮은 농도를 나타내었으며, 9월은 오전 9시경에 30ppb 정도의 농도를 나타내며, 13시 이후는 10ppb정도의 매우 낮은 농도를 보였다. 12월은 오전 10시경과 오후 9시경 두 번의 피크가 나타나고 있다. 이는 이산화질소 일변화의 전형적인 형태로서 알려지고 있다. 따라서 동삼동의 이산화질소는 동계인 12월을 제외하고 매우 낮은 농도를 나타내었으며, 이는 광복동과 달리 자동차의 통행량이 적기 때문에 판단된다.

광복동의 경우 월에 따라 차이가 있긴 하지만, 대체로 오전 9시와 10시경의 피크와 오후 20시전후의 피크가 나타나고 있다. 이는 도시에서의 이산화질소 일변화의 일반적인 형태로서 자동차 등의 영향을 매우 많이 받고 있음을 알 수 있으며, 그 농도도 매우 높게 나타나고 있다. 오존의 기인물질인 이산화질소의 농도는 동삼동에서 매우 낮았고 광복동에서 매우 높은 농도를 나타내었다. 따라서 동삼동과 광복동의 오존농도 고찰은 지역적인 특성을 고려하여야 한다는 것을 강하게 시사하고 있다.

3.3. 고농도 오존 발생 특성

최근 2년(1997, 1998)동안 부산광역시 9개 지역에서 측정된 시간별 오존농도자료를 이용하여 60ppb 이상의 고농도 오존 발생특성을 조사하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Occurrence(hour) of high ozone concentration($\geq 60\text{ppb}$) at Pusan area for 2 years(1997, 1998)

Area \ Concen.	$\geq 60\text{ppb}$	$\geq 80\text{ppb}$	$\geq 100\text{ppb}$	$\geq 120\text{ppb}$
Dongsamdong	543	77	13	3
Kwangbokdong	374	78	19	3
Becomcheondong	119	22	2	1
Daejeondong	95	12	1	
Gamjeondong	131	4		
Deokcheondong	187	24	1	
Jeasongdong	218	30	2	
Simpyeongdong	186	24	2	
Yeonsandong	221	37	8	2
Total	2074	308	48	9

60ppb이상의 농도를 보면 동삼동이 전체의 26.2%인 543시간으로 가장 많이 발생하였으며, 그 다음이 광복동으로 374시간(18.0%)을 나타내어 해안지역 두 지점이 전체의 44.2%를 차지해 부산에서의 고농도 오존 발생지임이 명확하게 드러났다. 그 외에 연산동과 재송동이 221시간(10.6%)과 218시간(10.5%)으로 나타나 비교적 고농도 오존이 빈번하게 나타났으며, 나머지 지역은 10% 이하로 낮은 발생빈도를 나타내었다. 80ppb이상의 경우를 보더라도 광복동과 동삼동이 78시간(25.3%)과 77시간(25%)으로 전체의 50%를 차지하였으며, 오존농도 1시간 기준치인 100ppb를 보면 광복동과 동삼동이 22시간으로 66.7%를 차지하였으며, 오존주의보 기준인 120ppb는 광복동과 동삼동이 6시간으로 66.7%를 차지해 고농도로 갈수록 두 지점이 차지하는 비율이 높아지고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 해안지역인 동삼동과 광복동의 오존농도특성조사와 연구는 매우 의미 있는 것이라 할 수 있겠다.

Table 2에서 살펴본 대로 동삼동과 광복동의 오존농

고농도 오존 발생의 비중이 크게 나타난 바, 그에 대한 상세한 연구를 위해 1997년과 1998년을 계절별로 고농도 오존 발생빈도를 조사하여 Table 3에 나타내었다. Table 2에서 나타내지 않았지만, 부산지역 9개 지점에서 60ppb 이상의 고농도 오존 발생시간수는 1997년에 742시간, 1998년에 1332시간으로 총 2074시간이었다. 그 중에 동삼동은 1997년에 246시간, 1998년에 297시간이었고 광복동은 1997년에 87시간, 1998년이 287시간으로 두 지점 모두 1997년에 비해 1998년이 고농도 오존의 발생이 많았으며, 전년도에 비해 동삼동은 20%, 광복동은 230%의 증가율을 나타내었다. 고농도 오존 발생특성을 계절별로 보면, 동삼동의 경우, 춘계의 발생빈도가 타 계절보다 탁월하게 높았으며, 특히 1998년의 춘계에 60ppb 이상의 농도가 248시간이나 발생하여 매우 높은 비율을 차지하였다. 한편 100ppb 이상과 120ppb 이상의 농도에서도 춘계의 농도는 매우 높게 나타났다. 그러나 광복동은 동삼동과 달리 하계와 추계의 고농도 오존 발생빈도가 높았으며, 특히 1998년 추계는 60ppb 이상의 발생빈도가 179시간으로 매우 높게 나타났다. 따라서 비교적 해양에 접해 있는 동삼동은 춘계에 고농도를 나타내었고, 해안에서 내륙으로 수백 m 떨어져 있고 비교적 교통량이 많은 광복동은 추계와 하계에 고농도 발생수가 높게 나타났다. 동삼동이 춘계에 높게 나타난 것은 청정지역에서의 오존농도 특성과 유사한 특성을 가지고 있으며, 그 원인을 춘계 대류권계면의 작은 folding으로 성층권 오존이 대류권으로 유입하여 오존농도가 상승하는 것으로 알려지고 있다.^{18,19)} 참고로 울릉도의 태하동의 경우도 주간과 야간의 농도차가 거의 없는 전형적인 배경농도의 양상을 나타내었으며, 춘·추계의 농도가 하계보다도 높게 나타났으며, 4월의 농도가 가장 높게 나타났는데,¹⁾ 이는 다소 성층권으로부터의 오존 유입에 의한 것으로 판단된다.^{18,20,21)}

Table 3. Seasonal frequency occurrence(hour) of high ozone concentration at Dongsamdong and Kwangbokdong for 2 years(1997, 1998)

Concen. \ Area	Dongsamdong				Kwangbokdong			
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
$\geq 60\text{ppb}$	1997	93	96	55	2	2	69	15
	1998	248	18	30	1	24	65	179
$\geq 80\text{ppb}$	1997	3	16	9			15	4
	1998	33	2	14		4	21	36
$\geq 100\text{ppb}$	1997			3			4	1
	1998	10						8
$\geq 120\text{ppb}$	1997							
	1998	3					1	2

고농도 오존 발생 특성의 또 다른 방법으로 8시간 평균 농도기준을 이용한 초과횟수를 알아보는 것이다. 우리나라 오존의 8시간 평균 농도는 1일 24시간을 8시간 간격으로(1시~8시, 9시~16시, 17시~24시) 세 등분으로

부산 해안지역의 고농도 오존 발생 특성에 관한 연구

구분한 뒤, 각 단위별로 산술 평균하여 농도를 구한다. 그러나 미국을 비롯한 영국 및 WHO는 8시간 이동 평균(running 8-hour average)하여 1일 24회 연속적으로 농도를 구하는 방법을 사용하고 있다.²²⁾

본 연구에서는 8시간 기준을 부산 해안지역의 고농도 오존 특성을 고찰하기 위한 수단으로 사용하기 때문에 방법간의 차이에 대한 결과는 다음 기회에 기록하기로 한다. 우리나라 오존의 8시간 평균농도 기준 산정방법을 이용하여 부산지역 9개 지점의 초과횟수를 조사한 것이 Table 4이다. 1시부터 8시 사이에 60ppb를 초과한 경우는 1998년에 동삼동이 2회, 광복동이 1회로 나타나, 부산지역 9개 지점 중에서 두 지점에서만 발생하였다. 주간 시간대인 9시와 16시 사이의 경우 부산 전체에서 1997년 13회, 1998년 25회가 발생하여 1998년이 1997년 보다 2배정도 높게 발생하였으며, 그 중에 동삼동이 1997년 2회, 1998년 7회, 광복동이 1997년 4회, 1998년 6회로 두 지역에서만 1997년 6회, 1998년 13회로 부산지역 발생률의 50%정도를 차지하였다. 17시와 24시 사이의 경우 부산 전체에서 1997년 8회, 1998년 23회로 1998년이 1997년보다 3배정도 높게 발생하였으며, 그 중에서 동삼동이 1997년 5회, 1998년 10회로 가장 높은 발생횟수를 나타내었다. 따라서 동삼동은 야간에도 높은 농도를 나타내는 회수가 많다는 것을 나타내고 있다.

부산지역에서 지난 2년간 우리나라 8시간 평균농도 기준인 60ppb를 초과하는 횟수로 볼 때 동삼동이 26회로 36%이였으며, 광복동이 15회(21%)로 나타나, 두 지역이 전체의 57%를 차지하여 고농도 오존 발생지역으로 판명되었다. 또한 부산 전체에서 8시간 평균농도 기준 초과 발생률로 볼 때, 1998년(51회)이 1997년(21회)보다 2배 이상이나 발생되어 향후 8시간 기준에 대한 검토나 대책이 필요하다고 사료된다.

WHO에서 권장하는 기준치인 60ppb 이상이 되는 농도 빈도를 시각별로 조사하여 Fig. 3에 나타내었다. 동삼동의 경우 오후 3시부터 5시까지 70시간 이상이 나타나 최대의 고농도 오존 발생시각이였으며, 정오부

터 오후 6시 사이가 전체의 69.1%이였고, 오후 7시부터 자정사이에도 24.1%정도가 발생하여 야간 늦게까지도 고농도 오존이 지속되어 나타났다. 그러나 새벽에는 그 발생률이 매우 미미하였으며, 아침 7시와 8시에는 고농도 오존이 전혀 나타나지 않았다. 광복동의 경우는 14시부터 16시사이의 고농도 오존발생률이 가장 높았으며 그 발생빈도는 동삼동에 비해 낮았다. 정오부터 오후 6시 사이에서 전체의 57.2%로 동삼동보다 11.9% 낮았으며, 오후 7시부터 자정까지의 발생률도 11.7%로 동삼동보다 12.4% 낮았다. 그러나 새벽인 오전 1시부터 6시까지는 27.4%로서 대단히 높은 발생률을 나타내었으며, 발생빈도도 동삼동보다 훨씬 높았다. 따라서 동삼동의 고농도 오존은 오후부터 자정이전에 그 발생률이 높고 광복동은 오후시간대와 새벽시간대에 발생률이 높았다.

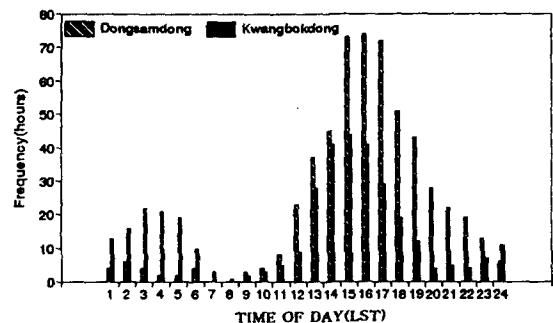


Fig. 3. Diurnal frequency of a high ozone episode above WHO standard in Dongsamdong and Kwangbokdong for 2 years(1997, 1998).

동삼동과 광복동에서 고농도 오존이 발생한 날, 그 시간이 얼마나 지속되었는가를 조사하여 Fig. 4에 나타내었다. 이와 같이 고농도 오존 지속시간은 인간이나 식물 등에 대단히 중요한 의미를 지니게 된다²³⁾. 동삼동은 지속시간이 1시간인 경우가 전체의 34.8%로 가장 많았고, 2시간이 19.6%로 1~2시간의 지속률이 가장 높았으며, 4시간이상 지속된 경우도 36.1%로 적지 않게 나타났다. 광복동은 지속시간이 1시간인 경우가 전체의 35.5%로 가장 많았고, 2시간이 19.0%로 1~2시간의 지속률이 가장 높았고, 4시간이상 지속된 경우도 33.9%로 적지 않게 나타났다. 이러한 결과는 오존경보체를 운영할 때 매우 신속하게 시스템이 운용되어야 함을 시사하며, 아울러 고농도 오존이 오랜 시간 지속될 때를 대비하여서도 이에 상응하는 조치가 취해져야 함을 강하게 시사하고 있다.

4. 1998년 9월 10일~15일의 고농도 오존 사례연구

4.1. 고농도 오존 사례일의 기상학적 특성

고농도 오존 사례연구일인 9월 10일부터 15일까지의 09시 지상일기도록 Fig. 5에 나타내었다.²⁴⁾ 9월 10일의

Table 4. Occurrence number above ozone 8-hour standard(60ppb) at Pusan area for 2 years (1997, 1998)

Area	Time		0100~0800LST		0900~1600LST		1700~2400LST		Total		
	Year	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Dongsamdong	0	2	2	7	5	10	7	19			
Kwangbokdong	0	1	4	6	0	4	4	4	11		
Beomchondong	0	0	1	1	0	3	1	4			
Daeyeondong	0	0	0	0	0	1	0	1			
Gamjeondong	0	0	1	2	0	0	1	2			
Deokcheondong	0	0	0	2	1	0	1	2			
Jicasongdong	0	0	1	4	0	1	1	5			
Sinpyeongdong	0	0	1	2	1	1	2	3			
Yeonsandong	0	0	3	1	1	3	4	4			
Total	0	3	12	25	8	23	21	51			

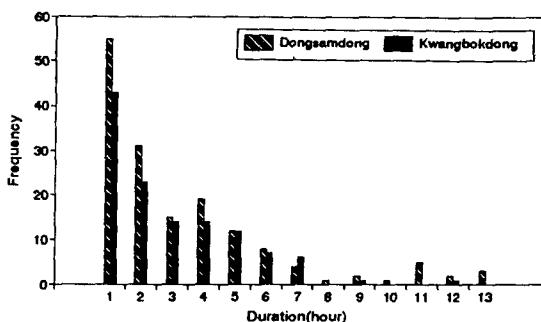


Fig. 4. Duration of a high ozone episode above WHO standard in Dongsamdong and Kwangbokdong for 2 years(1997, 1998).

경우 부산지방은 안상부형의 기압배치 하에 있으며, 일 최고기온이 30.4°C . 일최저기온이 23.6°C 로 대체로 맑은 날씨를 나타내었으며, 11일은 이동성 고기압이 중·북부지방에 동서로 놓여 있고, 부산지방은 남자나 해상에 중심을 둔 저기압의 영향으로 구름이 대체로 많은(7.3/10) 날씨였으나, 일최고기온은 30.1°C 까지 올라갔다. 12일은 북만주지방에 중심을 둔 고기압이 남부지방까지 영향을 미치면서 부산지방은 고기압의 가장자리에 위치하고 있으나 일교차가 7°C , 일조시간이 10.1시간, 수평면일사량이 18.16MJ/m^2 로서 대체로 맑은 날씨를 나타내었다. 그리고 13일은 전일의 고기압중심이 남하하여 연해주에 위치하고 있어 부산지방은 일중 북동기류의 영향하에 있었으며, 일최고기온이 30.1°C , 일최저기온이 21.7°C 로 일교차가 크고(8.4°C) 구름이 없는 대단히 맑은 날씨를 나타내었다. 14일은 일본 동쪽에 위치한 고기압의 가장자리가 부산지방에 걸쳐있어, 기압배치로 볼 때 동서고압대의 형태를 가지고 있다고 할 수 있다.

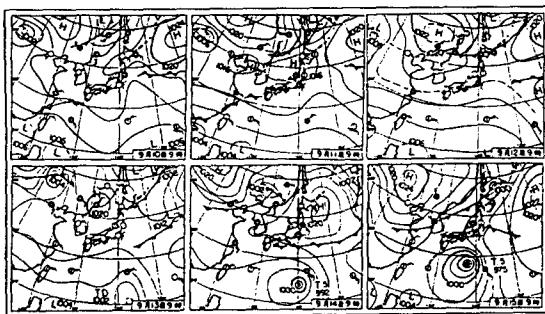


Fig. 5. Surface weather chart at 0900LST Sept ember 10~15, 1998.

따라서 맑은 날씨(운량: 0.5/10)의 영향으로 해류 온도 차(일교차: 7.9°C)에 의한 해풍이 12시부터 20시까지 나타났으며, 15일은 전날 만주지방에 있던 한랭전선이 남하하여 중부지방에 가로놓여 있으며, 그에 의한 직접적인 영향은 없었고 14일과 비슷한 날씨를 나타내었다. 따라서 본 사례연구기간 중 부산지방은 이동성 고기압의 영

향으로 대체로 맑은 날씨를 나타내었으며 광화학반응에 의한 오존생성에 적당한 날씨였다고 할 수 있다.

4.2. 오존농도의 특성

동삼동과 광복동에서 고농도 오존을 나타낸 1998년 9월 10일부터 15일 까지 오존과 이산화질소의 농도변화를 조사하여 Fig. 6에 나타내었다.

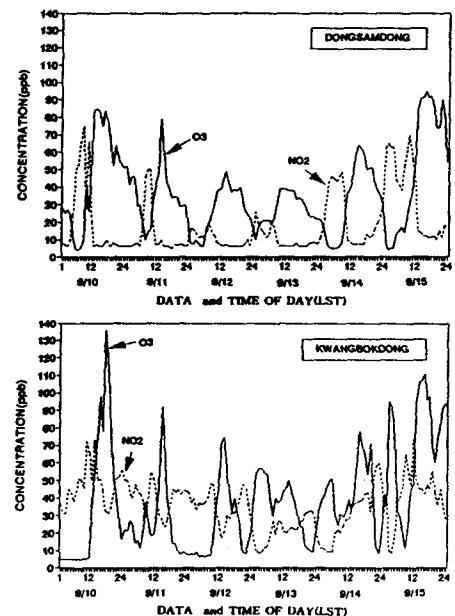


Fig. 6. Variation of O₃ and NO₂ concentration for ozone episode day period (September 10~15, 1998) at Dongsamdong and Kwangbokdong in Pusan.

동삼동의 경우 오존농도와 이산화질소농도는 서로 반비례관계가 확연하게 나타나고 오존의 최고농도는 이산화질소 최고농도 발생의 수 시간 후에 나타났다. 동삼동은 일최고 오존농도가 나타나는 시간대인 오후 3시를 전후하여 2~3시간정도 지속하여 고농도로 유지되는 특성이 있다. 특히 15일의 경우는 13시부터 23시 까지 70ppb를 초과하는 농도가 11시간이나 지속하여 나타났다.

사례연구기간 중 오존 일최고 농도가 60ppb를 넘은 9월 10일(85ppb, 14시), 11일(79ppb, 14시), 14일(64ppb, 15시), 15일(95ppb, 16시)에 이산화질소의 농도도 75ppb(9시), 50ppb(10시), 49ppb(9시), 70ppb(10시)를 나타내어 질소산화물의 배출원이 어느 정도 존재한다는 것을 시사하고 있다. 따라서 향후 오존의 기인물질의 조사에 관심을 가진다면 비교적 청정지역이라고 알고 있는 동삼동의 고농도 오존농도 예측에 도움이 되리라고 판단된다.

광복동의 경우를 보면, 9월 10일 15시에 74ppb의 오존농도를 나타낸 데 이어 계속 증가하여 18시에는 오존주

의보기준보다 높은 136ppb를 기록하였고, 77ppb를 나타낸 20시까지 6시간 동안 70ppb를 초과하는 고농도 오존을 나타내었다. 9월 13일부터 15일까지의 농도 일변화를 보면 새벽의 농도가 주간의 최고농도와 비슷한 값을 나타내는 현상이 보였다. 특히 15일은 새벽 3시와 4시에 95ppb와 92ppb를 나타내어 15시 부근의 농도와 비슷한 농도를 나타내었다. 이와 같이 주간의 primary peak와 새벽의 secondary peak가 뚜렷하게 분리되어 나타났다. 이와 같은 현상은 부산지역 중에서도 광복동에서 두드러지게 나타나는 데, 이에 대한 이유를 새벽의 강한 바람에 의한 기류의 연직혼합에 의한 대기경계층에 잔존해 있던 오존에 의해 일시적으로 농도가 상승한 것으로 보인다.^{1,15)} 야간에 광화학반응이 없기 때문에 이 지역에서 자체적으로 생성된 것이라고는 볼 수 없다. 또 하나의 이유로서 내륙에서 육풍에 의해서 수송된 것이라고 할 수 있는 데, 그에 대한 것은 상세한 대기오염기상학적인 조사와 연구가 요구된다.

5. 결 론

1997년 1월 1일부터 1998년 12월 31일까지 2년간 부산의 해안지역인 동삼동과 광복동의 시간별 오존농도, 이산화질소농도 차로와 부산지방기상청의 기상자료를 이용하여 두 지점의 지표오존 농도특성과 고농도 오존 발생 특성을 고찰하고, 고농도 오존이 발생한 1998년 9월 10일부터 15일까지의 오존농도와 이산화질소농도 그리고 기상자료를 이용해 그 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가장 높은 오존농도를 나타낸 계절로 동삼동은 춘계(35.4ppb), 광복동은 추계(25.1ppb)였으며, 가장 낮은 농도를 나타낸 계절은 동삼동과 광복동 모두 동계로서 각각 22.2ppb와 16.9ppb를 나타내었다. 지역의 청정도를 나타내는 평균상대표준편차는 동삼동이 연평균 0.42, 광복동이 연평균 0.49로서 도시지역과 같이 비교적 높은 값을 나타내었다. 오존농도의 일변화는 두 지역 모두 15~16시에 최고농도, 오전 7~8시에 최저농도인 전형적인 오존의 일변화 경향이 나타났으며, 동삼동의 경우, 최고농도 발생시각 후 농도의 급격한 감소현상과 새벽의 2차 고농도 현상이 발생하지 않아 오존을 초과하는 물질이 적었다는 것을 알 수 있었다. 이산화질소의 일변화는 오전 9시와 오후 10시경에 두 번의 피크가 나타났으며, 동삼동의 농도가 광복동보다 낮아 인위적인 오염물질의 영향이 적은 것으로 나타났다.

또한 최근 2년(1997, 1998) 동안 두 지점의 시간당 60ppb 이상의 고농도 오존 발생률이 부산지역 전체의 44.2%를 차지하였으며, 특히 동삼동은 춘계에, 광복동은 추계에 그 발생률이 높았다. 우리 나라의 8시간 평균 농도 기준을 초과한 횟수를 볼 때, 2년 동안 두 지점은 부산지역 전체의 57%를 차지하여 고농도 오존 발생지역임이 판명되었다. 시간당 60ppb 이상의 고농도 오존 발생 시각은 동삼동의 경우 대체로 오후부터 자정 이전이었고, 광복동의 경우 오후시간대와 새벽시간 이였다. 고농도 오존 사례연구(1998년 9월 10일~15일)에서 일최저농

도와 일최고농도의 차이가 매우 크게 나타났으며, 광화학반응과 관련된 기온, 일사량, 상대습도, 풍속, 운량과 밀접한 관계를 나타내었다.

동삼동에서 주간에 고농도 오존이 나타나는 것은 해안의 지형적 특성과 강한 태양복사에너지에 의한 광화학반응의 활성화 그리고 바닷물의 수증기(H_2O)가 오존생성에 필수적인 산소원자(O)와 OH 라디칼의 생성이 풍부하기 때문으로 사료된다.

앞으로 부산의 해안지역인 동삼동과 광복동 주변 해양에 대한 정확한 배출원의 추적 및 지형적 특성 그리고 국지기상학적 고찰을 통해서 해안지역에 있는 오존농도 특성을 체계적으로 밝히는 것이 요망되며, 이 연구의 결과가 부산시의 토지이용도 및 도시규모에 따른 대기오염측정소의 적정배치에 있어 도움이 되었으면 한다.

감사의 글

이 연구는 1999년도 신라대학교 연구비에 의해 이루어 졌음.

참 고 문 헌

- 1) 전병일, 1999, 부산 동삼동지역의 대기오염특성, *한국환경과학회지*, 8(3), 281-286.
- 2) 김유근, 이화운, 전병일, 홍정혜, 1996, 부산연안역의 오존농도에 미치는 해풍의 영향, *한국환경과학회지*, 5(3), 265-275.
- 3) 전병일, 1997, 부산연안역의 고농도 오존일의 예측기법개발과 오존농도 수치모의, *부산대학교 박사학위논문*, 119pp.
- 4) 전병일, 김유근, 이화운, 1995, 부산지역의 오존농도특성과 기상인자에 관한 연구, *한국대기보전학회지*, 11(1), 45-56.
- 5) 홍민선, 이상훈, 이동섭, 강창희, 박경윤, 1992, 제주도 고산에서의 대기오염물질 측정 및 분석에 관한 연구, *한국대기보전학회지*, 8(4), 257-261.
- 6) 박경윤, 이호근, 서명석, 장광미, 강창희, 허철구, 김영준, 1994, 제주도 고산측정소에서의 대기오염 배경농도 측정 및 분석, *한국대기보전학회지*, 10(4), 252-259.
- 7) 서명석, 박경윤, 이호근, 장광미, 강창희, 허철구, 김영준, 1995, 청정지역과 도시지역의 오존농도 특성 연구, *한국대기보전학회지*, 11(3), 253-262.
- 8) Bremaud, P. J., F. Taupin., A. M. Thompson and N. Chaumerliac, 1998, Ozone nighttime recovery in the marine boundary layer: Measurements and simulation of the ozone diurnal cycle at Reunion island, *J. Geophys. Res.*, 103, 3463-3473.
- 9) Lal, S., M. Naja and A. Jayaraman, 1998, Ozon in the marine boundary layer over the tropical Indian Ocean, *J. Geophys. Res.*, 103, 18907-18917.
- 10) WHO, 1978, WHO photochemical oxidants, Environmental Health Criteria, No. 7, Geneva, Switzerland.
- 11) 기상청, 기상월보, 1997, 1998.
- 12) Mizoguchi, T., M. Kunugi and M. Nishikawa, 1985,

- Background air pollutant measurement and selection of background sites in Japan, Res. Rep. Natl. Environ. Study. Japan, No. 79.
- 13) Seinfeld, J. H., 1986, Atmospheric chemistry and physics of air pollution, John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A.
 - 14) Thompson, A. M., 1994, Oxidants in the unpolluted marine atmosphere, In Environmental oxidants, Ed. by J. O. Nriagu and M. S. Simmons, John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A, 31
 - 15) Ayers, G. P., S. A. Penkett, R. W.Gillet, B. Bandy., I. E. Galbally., C. P. Meyer., C. M. Elsworth., S. T. Bentley and B. W. Forgan, 1992, Evidence for photochemical control of ozone concentrations in unpolluted marine air, *Nature*, 360, 446-449.
 - 16) Chock, D. P and J. M. Heuss, 1987, Urban ozone and its precursors, *Environ. Sci. Technol.*, 21(12), 1146-1153.17)
 - 17) 전병일, 1999, 부산연안역의 야간 고농도 오존 발생 특성과 기상학적 관련성, *한국환경과학회지*, 8(3), 287-292.
 - 18) Wakamatsu, S., I. Uno, H. Ueda, K. Uehara and H. Tateishi, 1989, Observational study of stratospheric ozone intrusions into the lower troposphere, *Atmos. Environ.*, 23, 1815-1826.
 - 19) Sunwoo, Y. and G. R. Carmichael, 1994, Characteristics of background surface ozone in Japan, *Atmos. Environ.*, 28, 25-37.
 - 20) Muramatsu, H., 1980, A case study of the transport of the stratospheric ozone into the troposphere, *Papers in Meteorology and Geophysics*, 31, 97-105.
 - 21) Shapiro, M. A., 1980, Turbulent mixing within tropopause folds as a mechanism for the exchange of chemical constituents between the stratosphere and troposphere, *J. Atmos. Sci.*, 37, 994-1004.
 - 22) James, C., ST. John and W. L. Chameides, 1997, Climatology of ozone exceedences in the Atlanta metropolitan area: 1-hour vs 8-hour standard and the role of plume recirculation air pollution episodes, *Enviro. Sci. Technol.*, 31, 2797-2804.
 - 23) McKendry, I. G., 1992, Ground-level ozone in Montreal, Canada, *Atmos. Environ.*, 27B, 93-103.
 - 24) 일본기상청, 일기도, 1998.