

# 오존농도의 動態 및 影響因子에 關한 研究

## Studies on the Behaviour of Ozone Concentration and the Influencing Factors

金 旻 永\* , 姜 熙 坤\* , 李 完 宗\* , 李 相 七\*  
Min-Young Kim Hee-Gon Kang Wan-Jong Lee Sang-Chil Lee  
張 鳳 勳\* , 朴 聖 培\*  
Bong-Hoon Chang Sung-Bae Park

### ABSTRACT

This study was carried out to determine the ozone concentration to behaviour and the factors to be influenced the variation of its concentration in the ambient air in Seoul.

Measurements of ozone concentrations were made at 10 monitoring station to take care of SIHE (Seoul Institute of Health & Environment) during December 1987 to November 1988, also measured the hourly average concentration of sulfur dioxide, total suspended particulate, nitrogen oxide (NO & NO<sub>2</sub>), carbon monoxide, hydro carbon (n-CH<sub>4</sub> & THC) and meteorological factors, that is, temperature, humidity, wind velocity wind direction and ultraviolet intensity etc, for the same period at same place.

The basis of the data obtained were analyzed statistically along with the various data.

The results were as follows;

1. The annually arithmetic mean concentration of ozone for the 10 sites during one years was 10.0 ppb and ranged from  $3.1 \pm 4.5$ ppb at the Kuro industrial complex to  $17.2 \pm 18.7$  ppb at the Ssangmun site.
2. The frequency of hours on which oxidant concentrations exceeded the present short term standard of ozone (100 ppb) were 78 times.
3. The diurnal patterns of hourly ozone concentrations in Seoul area was a typical bi-modal variation which have 4 to 5 a.m. peak and 3 to 4 p.m peak.
4. The time zone of highest ozone concentration in a whole day and night was 1 to 5 p.m and 90.9 percent of appearance rate.
5. The diurnal patterns of hourly ozone concentrations in Seoul were on the whole the order of daytime from 5.8ppb to 28.7 ppb evening from 1.7 to 18.7 ppb night time from 1.9 to 9.3 ppb

---

\* 서울특별시 보건환경연구원(Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment)

daybreak from 1.4ppb according to measuring sites, and the highest that observed at the Ssangmun area while the lowest was the Kuro industrial complex monitor sites.

6. The weekly variation of ozone concentration was the higher level ozone concentration in the day of the week occurred sunday-monday and weekend but the decrease were observed from wednesday to thursday.

## 1. 緒 論

光化學옥시단트농도는 光化學反應에 의하여 발생하는 대기오염상황을 나타내는 중요한 指標의 하나이므로 서울시의 보건환경연구원에서는 10개소의 환경대기오염측정망에서 화학발광법의 원리를 이용한 측정기기로서 상시측정을 실시하고 있다.

광화학대기오염은, 影響面에서는 단일물질이 아닌 복합오염물질에 의한 복합적인 영향과 그리고 식물에 주는 영향도 현저하다는 것이며 現象面에서는 기상조건의 관여와 함께 반응과정과 移流擴散過程이 복잡하게 얽힌 2차생성물질에 의한 오염이라는 것 그리고 時間的으로는 큰 幅의 日間變化를 수반하여 일어나는 현상이라는 것이며 對策面에서는 原因물질이 2個 以上이므로 필연적으로  $\text{NO}_x$ 와 HC의 감소대책이 함께 이루어져야 하는 기술적인 문제가 생긴다는 것 등의 특징이 있다. 더욱이 긴급시 대책과 같은 정보체제의 性格에서 Telemeter system 등의 情報面의 정비를 요하며 특히, 成層圈에서의 오존 沈降은 人爲的 汚染과 함께 自然的인 오염도 관계한다는 점에서 종래의  $\text{SO}_x$ , TSP 및  $\text{NO}_x$  등의 감소대책과는 전혀 次元이 다르다고 할 수 있다.

한편, 光化學大氣汚染은 최근 새로운 오염형태로서 주목되고 있는 酸性雨나 浮遊粒子狀物質에 의한 오염과 2차 生成물질에 의한 오염이라는 면에서 극히 유사하다고 할 수 있다.

즉, 대기중에서 일어나는 여러가지의 變質過程中에서,  $\text{NO}_2$ 의 존재와 함께 산소와 HC의 光酸化에 초점을 맞추면 광화학대기오염이 문

제시되고,  $\text{SO}_2$ 나  $\text{NO}_2$ 의 酸化에 초점이 맞추어지면 酸性雨가 문제시 된다. 또한 가스상물질이 아닌 입자상물질(aerosol)에 주안점을 두면 산화과정에서 생성되는 2차生成粒子를 추구하지 않으면 안 된다.

미국의 LA, Denver, New York<sup>1)</sup>나 일본의 동경, 멕시코시티<sup>2)</sup> 등을 중심으로 고농도 광화학스모그의 빈번한 발생으로 인하여 큰 사회문제로 된 지 오래 되었으며 서울의 경우도 급속한 연료사용량증가와 연료전환정책 그리고 차량의 급증으로 인하여 일차오염물질인  $\text{SO}_2$  농도는 괄목할 만한 감소현상이 나타난 반면 이차성 광화학오염물질인 옥시단트類는 증가하고 있으며 앞으로 이같은 오염패턴의 변화는 급속히 진전되리라고 추측된다.

光化學스모그의 指標물질로 되어 있는 오존의 측정체계는 서울시는 地域環境測定網(regional network)의 次元에서 잘 정비되어 10개소의 환성대기 측정소가 운영 관리되고 있다.

옥시단트나 질소산화물감소대책의 모델작성 등을 行할 때는 정확한 오존( $\text{O}_3$ )농도의 정보가 필요하며 특히 非汚染지역에서도 봄과 여름에 걸쳐 때때로 관찰되는 고농도옥시단트의 발생기구에 관한 해석을 위하여도 background 오존의 동태도 파악할 필요가 있다고 생각된다.

이 研究는 以上과 같은 實狀을 근거로 하여 1987년12월부터 1988년11월까지 1년간 서울지역내에 설치되어 운영중인 대기오염상시측정망의 오존농도측정자료를 이용하여 서울지역의 오존농도현황과 그의 變動狀況을 파악하여 解析을 시도하였다.

## 2. 調査方法

### 2.1 調査對象

서울특별시 보건환경연구원에서 운영 관리중인 한남동대기자동측정소등 10개 지점에서 상시 연속측정된 측정자료를 분석이용하였고, 그의 측정지점과 지역구분은 표1과 같다.

Table 1. Sampling sites.

No	Sampling site	Area	Distance from the Kwangwhamun
1	Hannam-dong	Residential	4.1 km
2	Chamsil-dong	Residential	10.5
3	Ssangmun-dong	Residential	10.1
4	Kuūi-dong	Residential	10.6
5	Oryu-dong	Residential	15.5
6	Bang-i-dong	Rural	14.1
7	Banpo-dong	Commercial	7.5
8	Sōngsu-dong	Industrial	7.3
9	Kuro-dong	Industrial	12.3
10	Namgajwa-dong	Residential	5.2

### 2.2 調査期間

1987년12월1일부터 1988년11월30일까지 1년간 측정된 대기오염관측자료를 이용하였다.

### 2.3 分析方法

우리 연구원의 보유장비인 Micro Computer System Air Pollution Monitor에 의하여 자동연속적으로 분석측정된 대기오염물질 및 각종 기상인자에 대한 자료는 기기내부의 마이크로컴퓨터에 의하여 연산, 매시간 1회씩 시간평균농도를 타점토록 되어 있다.

이들 분석자료에 대한 통계처리를 TRIGEM AT기종의 SPSS와 SAS통계 Package를 이용하였다.

아황산가스를 비롯한 대기오염물질의 분석방법과 기상인자의 관측방법은 전년도와 동일하다.<sup>3)</sup>

## 3. 調査結果 및 考察

### 3.1 汚染度 現況

표 2는 서울지역 11개 측정지점에서 측정된 오존의 환경대기오염농도를 종합한 것으로서 월간변동을 나타내었다.

년간 평균치로서 환경기준의 장기기준치인 0.02ppm을 넘고 있는 지점은 한 곳도 없었으며, 쌍문동지역이 년평균 17.2 ± 18.7ppb로서 조사대상지점중 가장 높았으며 구로동지역이 3.1 ± 4.5ppb로서 가장 낮아 심한 지역차를 나타내었다.

20ppb를 초과한 경우는 쌍문동지역에서 월간평균치가 2월, 3월, 4월, 5월, 6월 그리고 8월중에 각각 23.4 ± 17.1ppb, 21.1 ± 16.4ppb, 25.0 ± 21.7ppb, 27.0 ± 23.6ppb, 26.7 ± 23.6ppb 그리고 20.5 ± 22.3ppb로서 조사대상지점중 가장 많이 초과하였으며, 구의동의 8월, 방이동과 남가좌동의 7월에도 각각 24.4 ± 25.2ppb, 20.1 ± 18.9ppb, 26.7 ± 23.1ppb로 초과하고 있었다. 등촌동의 1월은 33.2 ± 20.6ppb로서 가장 높은 월평균치를 나타내었다.

환경기준의 장기기준치 초과는 50%가 6월과 8월중에 나타났으며 1시간측정치로서 최저치는 전측정지점에서 "0"으로 검출되지 않았다.

월평균치로서 3월중에 최고치를 나타낸 곳은 구로동으로 6.15 ± 6.4ppb였고, 5월중의 최고치는 한남동과 쌍문동으로서 각각 18.8 ± 21.9ppb, 27.0 ± 24.6ppb였으며, 6월중의 최고치는 잠실, 오류, 방이, 반포, 남가좌동으로 각각 13.3 ± 13.0ppb, 18.2 ± 14.0ppb, 20.1 ± 18.9ppb, 16.6 ± 17.4ppb, 26.7 ± 23.1ppb였으며, 8월중의 최고치는 구의와 성수동으로서 각각 24.4 ± 25.2ppb, 12.6 ± 16.4ppb로 나타나 5월, 6월, 8월에 고농도오존이 발생하고 있음을 알 수 있었다.

Table 2. Oxidant concentration in the ambient air in seoul

Area	Month	Number of cases observed	mean $\pm$ s.d max; min	(unit : ppb)											
				87 DEC	88 JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV
Hannam-dong		7,010	10.01 $\pm$ 15.44 116.0; 0.0	0.72 $\pm$ 2.07	1.28 $\pm$ 4.02	14.41 $\pm$ 14.91	13.77 $\pm$ 17.05	17.95 $\pm$ 19.47	18.79 $\pm$ 21.86	11.20 $\pm$ 12.34	6.56 $\pm$ 15.61	11.93 $\pm$ 16.52	10.08 $\pm$ 13.14	5.79 $\pm$ 9.52	3.60 $\pm$ 5.41
Chamsil-dong		7,497	5.75 $\pm$ 9.11 93.0; 0.0	1.67 $\pm$ 3.12	1.67 $\pm$ 2.53	2.52 $\pm$ 3.65	5.78 $\pm$ 7.04	7.03 $\pm$ 7.89	9.69 $\pm$ 11.36	13.32 $\pm$ 13.02	6.17 $\pm$ 9.96	11.12 $\pm$ 16.62	6.23 $\pm$ 7.90	3.11 $\pm$ 5.58	2.12 $\pm$ 3.38
Ssangmun-dong		8,405	17.17 $\pm$ 18.70 150.0; 0.0	6.34 $\pm$ 7.63	5.27 $\pm$ 10.04	23.42 $\pm$ 17.08	21.24 $\pm$ 16.41	25.02 $\pm$ 21.72	26.98 $\pm$ 24.61	26.69 $\pm$ 23.62	11.61 $\pm$ 15.56	20.51 $\pm$ 22.31	13.31 $\pm$ 13.57	10.32 $\pm$ 12.31	10.18 $\pm$ 9.87
Kuui-dong		6,863	8.91 $\pm$ 13.34 157.0; 0.0	1.64 $\pm$ 3.49	2.60 $\pm$ 3.57	4.37 $\pm$ 5.68	6.14 $\pm$ 7.25	8.90 $\pm$ 9.01	12.81 $\pm$ 13.14	13.71 $\pm$ 10.64	10.65 $\pm$ 13.74	24.35 $\pm$ 25.19	5.91 $\pm$ 5.91	3.38 $\pm$ 4.40	-
Oryu-dong		8,274	11.32 $\pm$ 11.35 99.0; 0.0	5.25 $\pm$ 5.50	6.18 $\pm$ 6.34	9.57 $\pm$ 8.58	9.70 $\pm$ 9.64	12.55 $\pm$ 10.62	13.31 $\pm$ 12.90	18.24 $\pm$ 13.98	10.85 $\pm$ 11.44	17.72 $\pm$ 15.15	10.60 $\pm$ 11.36	11.85 $\pm$ 10.26	9.66 $\pm$ 7.52
Bangi-dong		8,450	12.20 $\pm$ 15.06 108.0; 0.0	4.24 $\pm$ 7.25	5.73 $\pm$ 7.12	8.69 $\pm$ 9.33	13.56 $\pm$ 13.51	18.68 $\pm$ 17.05	19.60 $\pm$ 19.05	20.10 $\pm$ 18.89	12.92 $\pm$ 14.93	16.70 $\pm$ 18.68	13.97 $\pm$ 16.17	8.11 $\pm$ 2.24	6.43 $\pm$ 8.19
Banpo-dong		8,494	10.20 $\pm$ 15.06 168.0; 0.0	2.82 $\pm$ 3.86	4.35 $\pm$ 5.60	5.57 $\pm$ 6.79	8.0 $\pm$ 8.81	11.23 $\pm$ 13.26	14.37 $\pm$ 16.24	16.56 $\pm$ 17.35	11.00 $\pm$ 16.12	14.28 $\pm$ 20.09	15.50 $\pm$ 23.27	10.13 $\pm$ 16.15	8.63 $\pm$ 11.05
Naemga-jwa-dong		4,744	11.37 $\pm$ 14.02 163.0; 0.0	-	12.12 $\pm$ 13.21	7.27 $\pm$ 6.82	3.38 $\pm$ 4.73	13.62 $\pm$ 15.80	16.14 $\pm$ 13.65	26.73 $\pm$ 23.09	12.47 $\pm$ 0.21	18.05 $\pm$ 15.41	11.02 $\pm$ 2.07	6.67 $\pm$ 8.86	4.68 $\pm$ 6.03
Songsu-dong		6,451	7.67 $\pm$ 11.18 95.0; 0.0	3.24 $\pm$ 5.88	2.44 $\pm$ 3.67	4.67 $\pm$ 6.05	7.22 $\pm$ 7.51	-	10.40 $\pm$ 14.09	11.30 $\pm$ 12.50	6.91 $\pm$ 8.50	12.57 $\pm$ 16.44	12.03 $\pm$ 11.34	6.05 $\pm$ 9.19	5.19 $\pm$ 6.22
Kuro-dong		6,160	3.14 $\pm$ 4.55 30.0; 0.0	2.01 $\pm$ 3.16	1.86 $\pm$ 3.05	4.81 $\pm$ 6.25	6.15 $\pm$ 6.38	3.55 $\pm$ 4.46	3.63 $\pm$ 4.89	2.26 $\pm$ 3.82	-	2.30 $\pm$ 3.24	2.63 $\pm$ 3.85	1.40 $\pm$ 2.52	5.02 $\pm$ 5.05

또한 월평균치가 년평균치를 초과하거나 육박하기 시작한 달이 2월인 달이 3개소, 3월인 달이 3개소, 4월인 달이 4개소 등이며 이러한 상황이 계속되는 달이 8월인 곳이 2개소, 9월인 곳이 5개소, 10월인 곳이 2개소 등으로서 서울지역에서의 "광화학스모그시즌"으로 될 가능성이 있는 계절은 3월에서 9월까지인 것으로 판단된다. 이는 일본의 4~9월<sup>1)</sup>까지인 것과 비슷하였다. 조사기간중 서울지역의 년간총평균농도는 10.0ppb였다.

1시간 측정치로서 短期基準値인 0.1ppm(100ppb)를 초과한 경우는 한남동의 5월과 8월중에 각 1회, 쌍문동의 경우는 4,5,6,7,8월중에 각 1회, 12회, 5회, 3회, 7회로 년중 28회로서 가장 많았다.

구의동의 7월과 8월중에도 각 4회 및 14회 초과하였고, 방이동의 7월에도 2회 초과하였다.

반포동의 7,8,9월에도 각각 3회, 6회, 12회 초과하였으며 남가좌동의 6월중에 7회초과한 것으로 나타나 전지역에서 총 78회로서 전체의 0.1%정도로 매우 낮았다.

일본의 경우<sup>5)</sup> 광화학옥시단트측정 Data를 1981~1986년까지 계속 측정하고 있는 전국

912개 측정소에서 注意報發令濃度(1시간치 0.12ppm) 이상의 평균일수는 동경이 3.8일, 오사카가 4.2일로서 우리나라 보다도 기준치가 20ppb나 높은 데도 불구하고 매우 높은 초과회수를 나타내고 있다.

잠실과 오류동, 성수와 구로지역에서는 短期基準値 0.1ppm을 초과한 경우는 전혀 없었으므로 일본의 경우와 좋은 대조가 된다고 볼 수 있다.

표 3은 각지점별로 계절에 따라 초과율을 표시한 것으로서 短期基準値의 경우 구의지역이 18회로서 0.9%의 초과율로서 가장 많았으며 한남동의 봄과 여름에 각 1회씩, 쌍문동의 봄과 여름에 각각 13회, 15회씩, 방이동이 여름에 2회, 반포동의 여름과 가을에 각각 9회, 12회, 남가좌동이 여름에 7회 초과한 것으로 나타났다.

전체적으로 여름이 52회로 가장 많고, 봄 14회, 가을 12회의 順으로 낮았다.

이는 전년도의 477회 0.71%에 비하여 매우 낮은 것임을 알 수 있었다.

이는 서울올림픽개최와 관련 철저한 대기오염방지대책의 결과라고 생각된다.

Table 3. Seasonal variations of excessive rate environmental short term standard value of ozone.

	Spring	Summer	Fall	Winter
Hannam-dong	1	1	0	0
Chamsil-dong	0	0	0	0
Ssangmun-dong	13	15	0	0
Kuui-dong	0	18	0	0
Oryu-dong	0	0	0	0
Bang-i-dong	0	2	0	0
Banpo-dong	0	9	12	0
Songsu-dong	0	0	0	0
Kuro-dong	0	0	0	0
Namgaajwa-dong	0	7	0	0
Total	14	52	12	0

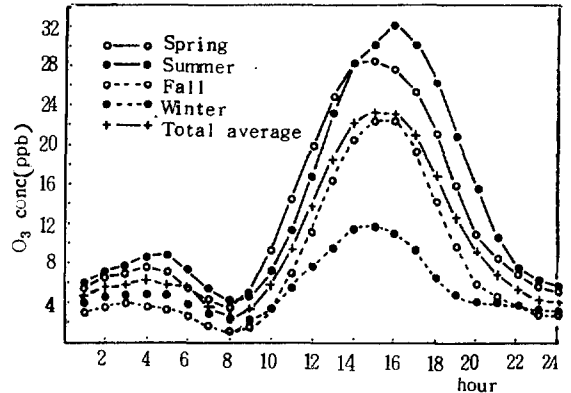


Fig. 1 Monthly variation of O<sub>3</sub> concentration

### 3.2 오존濃度の日間變動

전지역 총 평균치로서의 日變化패턴은 그림 1과 같다.

오전 7~8시경을 최저로 하여 날이 밝기 전인 새벽 4~5경과 낮시간대에 피크를 갖는 典型的인 bi-modal型으로 되어 있다.

가을철의 晝間농도는 겨울철에 비하여 약 1.5배 정도를 나타내며 가을철의 오존농도가 년 평균치에 상당하는 농도임을 알 수 있었다. 그러나 23시~오전 9시까지는 겨울의 농도가 가을보다도 다소 높으며, 사계절중 여름철의 주간농도가 가장 높았으며 겨울철의 주간 최고농도에 비하여 약 3배, 야간시에는 약 2배 정도의 농도를 나타내었다.

측정된 전지역에서 오존농도는 야간에 비하여 주간에 높은 경향을 나타내는 것은 例年과 같고 오전보다도 오후가 높은 것을 알 수 있었다.

연중 최고농도는 한남, 잠실, 성수 및 구로 지역에서 13~16시간대에 나타나고 있고, 쌍문, 구의, 오류, 방이, 반포 및 남가좌지역에서는 13~17시간대에 나타났다.

최고농도가 30ppb전후를 나타낸 곳은 쌍문

동과 방이동 및 반포지역으로서 각각 32.6~34.9ppb, 28.8~30.4ppb, 24.2~28.5ppb를 나타내어 조사대상지점중 가장 높았으며, 한남동과 남가좌동에서는 각각 25.0~25.8ppb, 24.1~24.8ppb로 나타났으며, 구의, 오류 및 성수지역은 각각 18.4~20.7ppb, 21.3~22.9ppb, 19.4~19.9ppb로서 일중 가장 높은 농도로 나타났으나 공업지역인 구로동의 경우는 7.6~8.3ppb로 다른 조사지역에 비하여 현저히 낮았다.

최저농도는 한남, 잠실, 쌍문, 오류, 방이, 반포, 성수, 구로 및 남가좌지역에서 오전 7~8시간대에서 나타났고 구의동은 오전 8~9시간대에서 나타나고 있다.

하루중 최저농도는 최고농도와 같이 지역에 따라 차이가 있었으며 2ppb 이하의 범위인 곳은 잠실동  $1.05 \pm 2.42$ ppb, 반포동  $1.95 \pm 3.96$ ppb, 구로  $0.72 \pm 1.92$ ppb였으며, 2~4ppb의 범위인 곳은 한남동  $2.31 \pm 5.99$ ppb, 3.21  $\pm 5.30$ ppb, 방이동  $3.15 \pm 5.94$ ppb, 성수동  $2.11 \pm 4.01$ ppb였으며, 4ppb 이상인 곳은 쌍문동  $4.66 \pm 8.42$ ppb, 오류동  $4.01 \pm 4.56$ ppb, 남가좌동  $4.21 \pm 6.63$ ppb 등이 었다.

시간대별 연중 최소농도는 모든 지점의 전 시간대에서 췌하였다. 최고농도가 30ppb인 지

점은 공업지역인 구로동이었으며, 100ppb전후를 나타낸 곳은 한남, 잠실, 오류, 방이, 성수 지역 등에서 각각 116ppb(15~16시), 93ppb(17~18시), 199ppb(13~15시), 106ppb(14~15시) 95ppb(15~16시) 등이었다. 최고농도가 150ppb전후를 나타낸 곳은 쌍문, 구이, 반포, 남가좌동 등으로서 각각 150ppb(15~16시), 157ppb(16~17시), 168ppb(16~17시), 163ppb(15~16시) 등으로 나타나 지점에 따라 최고농도 발생시각의 차가 매우 컸음을 알 수 있었다.

서울지역에서 오존의 일중최고농도발생시간은 14~15시가 전체의 53.5%이며, 15~16시가 전체의 36.3%로서 13~17시가 전체의 90.9%로 나타나고 있다. 일본의 동경<sup>6)</sup>에서 1970년대에는 전체의 65%가 11~13시에서 나타났으며 1980~1985년대에는 13~15시간대가 오존의 최고농도발생시각<sup>4)</sup>인 것과는 많은 차이가 있었다.

쌍문동과 구로동 지점에서 겨울철 야간의 오존농도가 봄철 다음으로 높았다. 자외선량이 적은 겨울에는 오존의 생성량이 적기 때문에 일중농도는 다른 계절에 비하여 낮게 되는 것은 당연한 것이다. 따라서 야간의 농도도 낮게 되지만 겨울철의 야간에도 오존농도는 존재하고 있으므로, 이는 발생원과 기상因子와의關係때문으로 생각할 수 있겠다.

쌍문동은 동남향의 위치에 큰 발생원이 많은 지리적 조건을 갖고 있으며 겨울철에는 그림 2와 같이 주로 ENE~ESE가 주풍方向<sup>5)</sup>을 이루는 한편 12월~2월의 겨울철에는 오존농도는 동남풍시에 특히 고농도임을 알 수 있다. 이 때문에 낮동안의 生成量이 낮아도 야간의 殘存量이 크므로 실질적으로 겨울철 야간시의 오존농도가 높게 되는 것으로 생각된다.

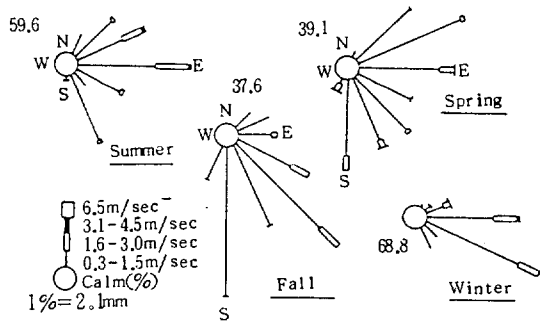


Fig.2 Wind rose in Ssangmun-dong

### 3.3 오존농도의 晝夜間變化

환경대기중 오존농도의 주야간 농도변화는 이의 생성원인으로 볼 때 매우 큰 幅의 변화가 예상되므로 아침(오전 6~10시), 낮(오전 11~오후 6시), 저녁(오후 7~11시), 밤(자정~오전 5시)등 시간대로 구분하여 농도변화를 파악하였다.

모든 지점의 시간대별 평균치를 월별로 나타낸 것은 표 4와 같으며 12월, 1월, 그리고 11월에는 저녁시간대보다도 야간에 오염도가 높고 낮과 밤의 日較差(變動幅)도 다른 때보다도 적었다.

낮동안에 光化學反應에 의하여 生成된 오존이 야간에는 거의 반응이 일어나지 않으므로 다른 오염물질등에 의하여 파괴되기도 상시 잔존하는 저농도오존이 남게 되며 이부분의 오존 level을 이른바 “도시지역의 back ground 오존”이라고 말하고 있다.<sup>4)</sup>

야간보다는 저녁무렵이 오염물질에 의한 파괴가 심할 것이며 night smog發生이 주로 겨울철이라는 것을 감안하면 상기한 3개월간의 현상을 설명할 수 있을 것이다.

大氣下層에서의 옥시단트의 生成과 消滅에 관계하는 오존농도변화는 일반적으로 24시간 週期의 變動<sup>7)</sup>을 갖는 것이 일반적이며 NO<sub>x</sub> 농도가 매우 낮은 background지역에서는 오존농도는 晝間時에 약간 높은 농도<sup>8)</sup>를 나타내

Table 4. Variation of O<sub>3</sub> concentration between day & night.

	'87 DEC	'88 JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV
Daybreak	1.6 ± 3.6	1.9 ± 4.1	4.9 ± 7.4	4.7 ± 7.4	5.8 ± 9.1	5.9 ± 8.9	6.6 ± 8.7	5.7 ± 6.5	5.0 ± 7.2	2.5 ± 4.6	1.6 ± 3.6	2.7 ± 4.3
Daytime	5.8 ± 6.3	6.9 ± 7.4	14.1 ± 12.6	17.6 ± 13.3	25.4 ± 17.1	28.5 ± 18.7	27.8 ± 19.9	16.2 ± 18.2	29.9 ± 22.9	21.9 ± 17.2	15.7 ± 13.1	11.7 ± 8.3
Evening	1.8 ± 4.0	3.1 ± 6.2	6.9 ± 10.7	6.4 ± 9.4	9.3 ± 12.4	12.9 ± 15.2	15.0 ± 14.9	8.6 ± 11.0	12.4 ± 14.4	7.6 ± 9.4	4.2 ± 7.2	4.2 ± 6.1
Nighttime	2.4 ± 5.5	3.8 ± 6.6	6.4 ± 9.9	6.4 ± 10.2	6.4 ± 10.1	6.4 ± 10.8	8.2 ± 10.5	7.1 ± 7.7	6.4 ± 8.2	3.8 ± 6.2	2.5 ± 5.5	4.5 ± 6.7

어 변동폭은 오염지역에 比하여 매우 낮게 나타난다.<sup>8,9,10)</sup>

어떤 지역의 오존농도를 해명하는 경우에, 오존자체의 기류이동을 포함한 生成機構는 광화학스모그가 발생되면 항상 문제가 되는 부분이며 광화학反應, 다른 지역에서의 氣流移動(輸送), 上層大氣(成層圈)에서의 降下 등이 原因이 된다.

결국 成層圈의 background오존에다 反應과 氣流移動의 오존이 더하여 그 지역의 오존이 형성되며 이번 조사결과에서는 서울도심지역의 平均의 background오존에 對한 검토를 하였던 바, 淸淨지역의 경우는 주로 성층권오존이 차지하는 部分이 크고 도시의 경우는 反應과 氣流移動에 의한 오존이 차지하는 부분이 큰 것으로 사료된다.

晝間오존은 반응에 의한 오존이므로 반응이 없는 야간과 비교하여 보면, 各月の 낮(5~20時)과 밤(21~5時)의 두가지로만 區分하여 關係를 Plot한 것이 그림 3이다. 그림중 R은 낮/밤의 比를 나타낸 것이며 R이 1에 가까우면 反應의 部分은 적고 R의 값이 크면 反應의 部分이 큰 것으로 보면 된다.

낮의 年間平均濃度는 12.3ppb, 밤은 5.3ppb로서 年간比 R은 2.33이었다. 최고치는 9월의 R=3.54와 10월의 R=3.56, 최저치는 1월의 R=1.3이었다. 그림에서와 같이 8월에도 R의 값은 3.04로서 높음을 알 수 있고 이는 日射量 및 日照時間이 比較的 길고 온도가 높으며 대기중에 오존을 파괴하는 오염물질이 적기 때문에 반응성오존이 많은 것을 나타내는 것으로

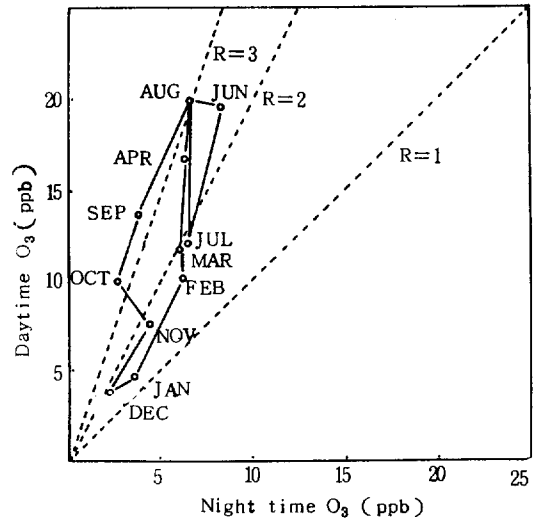


Fig. 3 Relationship between day-time and night time O<sub>3</sub>  
R=daytime/night time ratio

볼 수 있으며 겨울철은 이와 반대임을 알 수 있다.

결국, 겨울철에는 反應性오존이 적으며 도시 지역의 background的인 要素가 많다고 생각된다.

가장 都市活動이 적고 오존을 파괴하는 물질의 배출이 적다고 생각되는 1월 新正連休중 오존농도동향은 그림 4와 같다.

86년부터 88년까지 3년간 1월 1일~3일간(87년은 4일까지)의 平均濃도의 일변화를 나타낸 것이다.

낮동안에는 오존의 生成反應이 행하여지고 있음을 알 수 있고 날이 밝기 전에는 기류이동 혹은 上層에서의 降下라고 생각되는 낮과 對等한 오존피크가 출현하고 있음을 알 수 있다.

월평균치에 비하여 월등히 큰 야간의 피크는

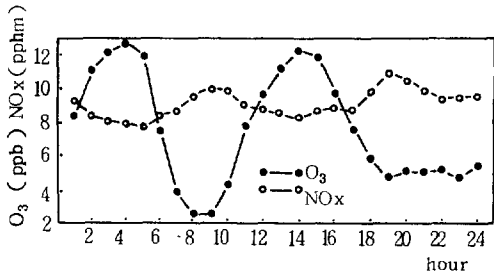


Fig.4 Diurnal variations of  $O_3$  and  $NO_x$  concentration

과피성분물질이 적기 때문으로 생각되며  $NO_x$ 의 경시변화는 비교적 적었으나 평균농도는 평일에 비하여 큰 차이를 보이지 않으며 이는 서울지역에서 오염원으로 공장 및 사업장의 비중이 크지 않고 또한 舊正 연휴와는 달리 생산시설의 가동율이 적지 않으며 가정연료의 비중이 큰 때문으로 생각된다. 3일간의 오존 평균농도는 7.7ppb, 주간 평균농도는 7.0ppb, 야간 평균농도는 8.9ppb로서 야간시 평균농도가 오히려 높았다. 동일기간중  $NO_x$ 의 평균농도는 9.1pphm이며 이중  $NO_2$ 농도는 2.5pphm으로서 겨울철  $NO_x$ 평균치 11pphm보다는 낮지만 다른 계절에 비하여 낮지 않은 것이다.

이들 값은 당연히 매년 차이가 있지만 도심지역의 평균적 background농도는 反應性오존을 포함하여 5~10ppb로서 여기에 계절當의 부가농도가 加算된다고 추정된다.

### 3.4 오존 濃度의 週間變動

인간의 활동은 1주일을 기본 단위로 하여 반복하여 행하여지는 것이 보통이므로 환경대기 오염도의 변화도 당연히 주간변동이 있을 것으로 예측된다.

각 조사지점별로 1주일간의 요일별 오존농도 변화는 대부분의 지역에서 일요일~월요일에 주간 최고농도가 나타나며 주로 火, 水, 金曜日에 週間 最低濃度가 나타났다.

이의 측정값으로 계절별로 오존농도와 曜日

사이에 회귀방정식을 구하여 圖示한 바 그림 5와 같았다.

봄과 여름철에는 단연 일요일에 오존농도가 높고 가을철에는 週初와 週末濃度가 對等하며 겨울철에는 週末濃도가 더 높게 나타나고 있다. 연간 평균치로 보아 주초가 가장 높으며 수~목요일의 週中이 가장 낮게 나타나고 있다.

모든 조사지점을 대상으로 아황산가스의 평균농도와 요일간의 관계를 구하여 圖示한 바 그림 6과 같았다.

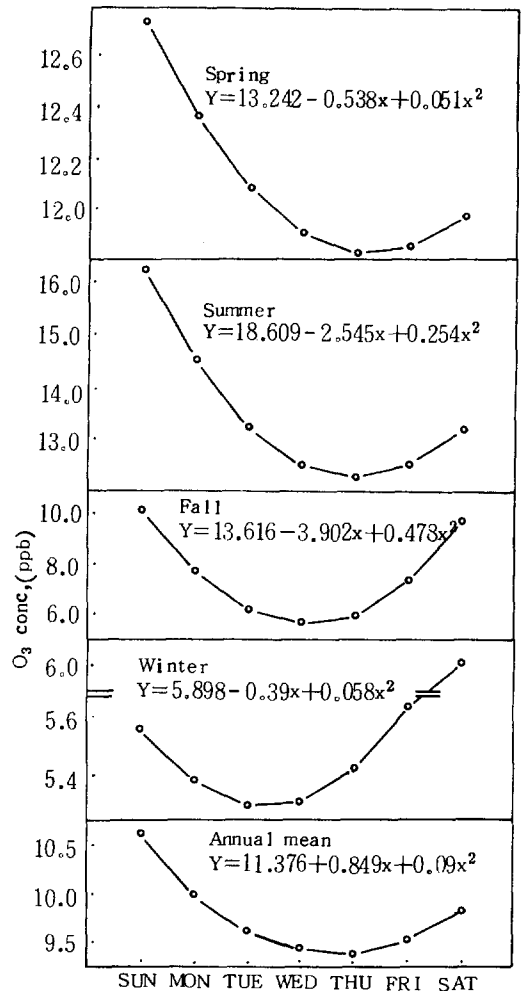


Fig.5 Corilation between  $O_3$  concentration and a day of the week



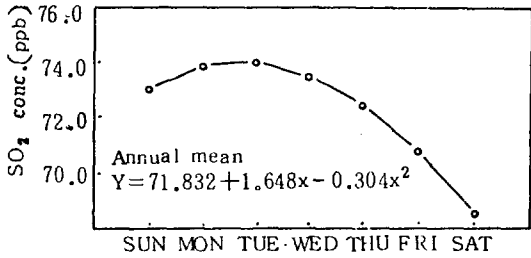


Fig.6 Correlation between SO<sub>2</sub> concentration and a day of the week

그림 5의 오존농도의 년평균치와 비교하면 대칭성이 있음을 알 수 있다.

週初인 일요일, 월요일과 週末인 토요일에 오존농도가 높은 것은 週間 사회활동과 관련 오존과피물질의 多少와 깊은 관계가 있을 것으로 사료된다.

### 3.5 오존의 月間變動

조사기간중 經月變化는 쌍문, 방이, 반포, 구로, 성수지역과 총 평균농도에 대하여 그림 7과 같이 도시하였다.

모든 지역에서 봄철과 여름철에 오존농도가 높게 나타나지만 7월에 농도가 저하되는 패턴은 日本의 高所<sup>11,12)</sup>에서의 觀測結果와도 일치하는 것이다.

조사기간중 총평균농도는 10.0ppb이지만 “光化學스모그계절(3~9月)”의 평균은 12.8ppb이며 그 이외의 기간(10~2月)의 평균농도는 6.7ppb로서 스모그계절쪽이 2배정도 농도가 높았다(표 5참조).

배출원의 영향 및 각종 기상조건이 봄과 가을이 대체로 유사함에도 불구하고 봄철에 고농도오존이 나타나는 현상의 원인은 成層圈下部의 오존이 봄철에 증가하여 봄철 대류권下에서 저기압의 발달로 인하여 성층권下部大氣가 對流圈으로 輸送되기 때문이며 緯도가 높은 北半球 中緯度地域의 共通된 현상이다.<sup>13-18)</sup>

7월은 전형적인 광화학스모그의 발생이 많은

계절로서 맑은 날은 고농도오존이 나타나지만, 雨期로서 비오는 날이 많기 때문에 평균농도는 높지 않으며 결과적으로 비가 적은 8월과 9월이 평균농도가 높게 된다.

12월과 1월이 계절적으로 가장 낮은 농도를 나타내는 것은 지표역전에 의하여 형성된 역전층에서 일차오염물질과의 반응에 의한 오존의 消滅때문으로 생각되며 그 이후의 농도증가는 강한 계절풍에 의하여 역전층(逆轉層)의 형성이 다소 완화되기 때문에 오존농도가 유지되는 결과인 것으로 사료된다.

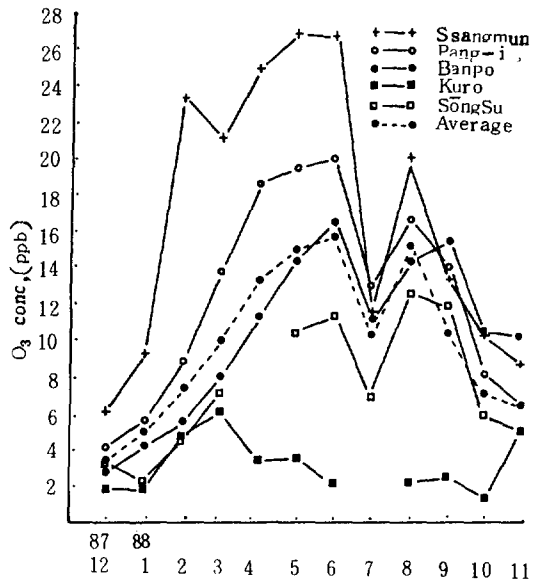


Fig.7 Monthly variation of ozone concentration

### 3.6 다른 오염물질의 영향

한남등 10개 전조사지점에서 오존농도와 아황산가스등다른 환경대기오염물질 사이의 상관관계를 구한 결과 표6과 같았다.

환경대기중 오존의 농도는 모든 지점에서 모든 가스상대기오염물질 및 입자상물질과의 사이에 負의 상관성이 입증되었으며, NO<sub>x</sub>類와 탄화수소類는 光化學反應關聯物質이므로 오존

Table 5. Comparison of ozone concentration between smog season and non smog season.

	Han-nam	Cha-msil	Ssangmun	Kuūi	Qryu	Bang-i	Banpo	Songsu	Kuro	Nam-gajwa	Average
smog season(A) (Mar.-Sep.)	13.83	8.21	20.91	12.16	13.39	16.37	12.89	10.41	3.35	13.78	12.81
non smog season (B) (Oct.-Feb.)	4.83	2.26	11.81	2.98	8.50	6.63	6.38	4.46	2.79	6.67	5.97
(A)/(B)	2.86	3.63	1.77	4.08	1.57	2.46	2.02	2.33	1.20	2.06	2.14

Table 6. Correlation coefficient between ozone and other air pollutants in each area.

Air pollutants Area	SO <sub>2</sub>	DUST	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	n-CH <sub>4</sub>	THC	CO
Hannam-dong	-0.2331**	-0.3303**	-0.4499**	0.0010	-0.4151**	-0.2251**	-0.2560**	-0.3798**
Chamsil-dong	-0.3554**	-0.3568**	-0.3841**	-0.4192**	-0.4260**	-0.0946**	-0.1565**	-0.3887**
Ssangmun-dong	-0.4453**	-0.4220**	-0.4836**	-0.4013**	-0.5039**	-0.4479**	-0.4080**	-0.4165**
Kuūi-dong	-0.3381**	-0.3266**	-0.3049**	-0.2518**	-0.3282**	-0.1861**	-0.1114*	-0.3281**
Oryu-dong	-0.4273**	-0.3798**	-0.3904**	-0.3647**	-0.4189**	-0.2967**	-0.3828**	-0.4373**
Bang-i-dong	-0.3139**	-0.4535**	-0.4800**	-0.4122**	-0.5244**	-0.3063**	-0.4212**	-0.4513**
Banpo-dong	-0.3547**	-0.3930**	-0.4022**	-0.3057**	-0.4260**	-0.2924**	-0.3115**	-0.3589**
Songsu-dong	-0.3555**	-0.3577**	-0.4486**	-0.1958**	-0.4369**	-0.1558**	-0.2729**	-0.3618**
Kuro-dong	-0.2462**	-0.3627**	-0.3051**	-0.3682**	-0.3489**	-0.1847**	-0.1779**	-0.3156**
Namgajwa-dong	-0.3409**	-0.3511**	-0.4022**	-0.3780**	-0.4330**	-0.2861**	-0.2980**	-0.4008**

\*\* P<0.01, \* P<0.05

농도증가시에 감소하는 것이며 그 이외의 대기 오염물질과의 사이에서 負의 상관을 나타내는 것은 오존의 파괴물질로서 작용하기 때문에 사료된다. NO<sub>2</sub>보다도 NO와의 사이에서 상관 계수가 높은 것은 NO<sub>2</sub>가 오존발생의 主反應物 質인 반면 NO는 O<sub>3</sub>과의 반응에 의한 파괴작용때문에 反應速度와 관계가 있는 것으로 생각 된다.

대기중 오존농도측정과 동일한 시간에 관측

한 한남지역의 SO<sub>2</sub>, TSP, CO 등 대기오염농도의 일간변동은 그림8과 같았다.

SO<sub>2</sub>와 CO농도는 일몰을 전후한 오후 7시부터 계속 上昇하여 오전 7~8시에 피크를 이룬 후 서서히 감소하는 一山型의 分布를 나타내어 전년도와 거의 같은 양상을 나타내었다.

熱供給이나 가정난방형태로 보아 아직도 연탄사용이 많고 연탄연소의 특성상 24시간 계속 연소되므로 SO<sub>2</sub>의 CO발생량은 배출원의 방출

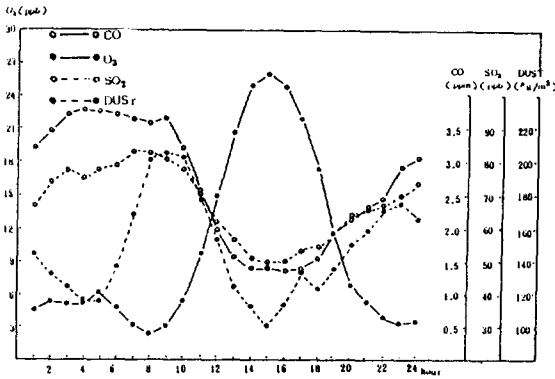


Fig.8 Diurnal variations of various air pollutants concentration (annual average in Hannam)

량과 시간보다는 기상조건에 더 의존하기 때문으로 사료되며 이 때문에 외국의 통산적인 二山型分布<sup>19-21)</sup>와는 다른 독특한 오염패턴을 나타내는 것으로 사료된다.

야간에는 통상 기온역전의 안정상태가 유지되며 풍속도 약한 상태가 계속되기 때문에 수직혼합의 효과가 매우 적은 것으로 생각된다.

SO<sub>2</sub>와 CO농도의 9시경부터의 감소현상이 시각부터 오염원의 강도도 약해 지지만 이것만으로 SO<sub>2</sub>의 급격한 감소는 설명되지 않으며 낮동안의 SO<sub>2</sub>나 CO농도의 감소는 熱的不安定에 의한 수직혼합과 바람에 의한 수평혼합이 주된 원인<sup>22)</sup>이라 생각된다.

오존의 고농도(100ppb 이상) 발생회수 총 78회중 SO<sub>2</sub>오염도가 환경기준인 0.05ppm을 초과한 경우는 6회뿐이며, 최고농도가 0.062ppm, 평균농도는 23.8 ± 15.1ppb,로서 SO<sub>2</sub>농도가 낮은 때 광화학오염은 발생하기 쉬웠다(표 7 참조), CO농도도 1.8 ± 0.7ppm으로 최고 농도는 3.3ppm이며 계절평균농도인 여름의 1.5 ± 0.9ppm보다는 다소 높지만 봄의 2.6 ± 2.4ppm, 가을 3.0 ± 3.3ppm, 겨울 4.7 ± 4.2ppm보다는 매우 낮았다. 또한 NO<sub>2</sub>농도가 환경기준 0.05ppm을 초과한 경우는 9회로서 최고농도 0.067ppm, 평균농도는 32.1 ± 12.9

ppb로 나타나 년평균치보다도 높으며 특히 질소산화물중 NO<sub>2</sub>비가 67.3%로서 계절에 따라 전지역 평균하여 최저 27.5%(겨울)~최고 48.4%(여름)의 범위보다 매우 높았다.

비메탄계 탄화수소농도도 0.61 ± 0.29ppm으로서 전지역 계절평균치인 0.40 ± 0.29ppm(여름)~0.51 ± 0.45ppm(가을)보다도 높은 양상

Table 7. Various air pollutants concentration & meteorological conditions during high value ozone (100 ppb or more)

Item	No. of samples	mean ± SD	range
O <sub>3</sub> (ppb)	80	118.9 ± 17.1	100.0 ~ 168.0
SO <sub>2</sub> (ppb)	78	23.9 ± 15.1	4.0 ~ 62.0
TSP (μg/m <sup>3</sup> )	66	146.3 ± 55.8	41 ~ 321
NO (ppb)	79	15.6 ± 11.0	0 ~ 55
NO <sub>2</sub> (ppb)	79	32.1 ± 12.9	14 ~ 67
NO <sub>x</sub> (ppb)	79	47.7 ± 15.8	19 ~ 89
CO (ppm)	76	1.8 ± 0.7	0.4 ~ 3.3
n-CH <sub>4</sub> (ppm)	43	0.61 ± 0.29	0.20 ~ 1.26
THC (ppm)	43	2.71 ± 0.55	1.81 ~ 4.09
WS (m/sec)	80	0.92 ± 0.45	0 ~ 2.4
UV (mW/cm <sup>2</sup> )	55	0.80 ± 0.36	0 ~ 1.67
Temp (°C)	66	32.2 ± 3.4	23.3 ~ 37.9
Hum (%)	80	40.3 ± 7.1	23.0 ~ 55.0

으로 나타나고 있다. 결국 反應性오존만을 고려할 때, 대기중에 광화학스모그의 원인물질인 NO<sub>2</sub>와 THC농도가 높을 때 그리고 파괴물질인 SO<sub>2</sub>, CO농도는 낮을 때 고농도오존은 발생하기 쉽다고 할 수 있다.

100ppb 이상의 고농도오존에 대한 발생빈도를 각 요인별로 시간대로는 15~16시간대에 23회로서 가장 빈발하였고 요일별로는 일요일과 월요일에 각각 21회와 20회로 발생이 많았으며 8월이 28회로서 고농도오존이 많은 달로 나타

났으며 기상인자로서는 0.3~1.0m/sec의 풍속에서 43회로 가장 많았다.

또한 풍향으로는 W-NW와 ENE-ESE가 총 46회로서 고농도오존 발생이 많은 풍향이였다.

오존농도와 각 대기오염물질 및 기상인자간의 t검점결과는 표 7과 같으며 대기중 오존농도와 각 영향인자간에는 매우 유의한 차이가 있다는 것을 확인할 수 있었으며 다만 반포지역에서 풍속과의 사이에서 유의성이 없는 것으로 나타났다.

Table 7. T-test value between ozone concentration and each item in urban ambient air.

	Hannam	Chamsil	Ssangmun	Kuui	Oryu	Bangi	Bango	Sonpsu	Kuro	Namgaajwa
SO <sub>2</sub>	67.7**	62.4**	65.9**	60.0**	62.3**	27.8**	61.4**	79.4**	68.3**	61.2**
TSP	110.9**	115.7**	99.7**	118.3**	129.5**	99.6**	91.2**	132.0**	108.6**	87.8**
NO	74.3**	53.8**	49.6**	45.4**	31.9**	42.5**	63.4**	79.4**	69.5**	49.3**
NO <sub>2</sub>	55.4**	115.6**	46.5**	79.5**	41.3**	72.9**	95.5**	122.0**	142.2**	57.9**
NO <sub>x</sub>	102.3**	84.1**	80.7**	82.0**	68.8**	84.5**	84.7**	119.3**	101.8**	74.5**
CO	45.0**	54.5**	44.5**	66.2**	49.5**	24.2**	58.1**	89.8**	62.9**	38.2**
CH <sub>4</sub>	197.4**	432.7**	487.2**	146.0**	333.4**	502.2**	257.3**	228.5**	237.1**	123.1**
N-CH <sub>4</sub>	52.3**	59.5**	76.0**	48.8**	45.4**	61.3**	82.1**	97.5**	78.5**	64.3**
THC	179.0**	313.3**	344.8**	153.6**	262.7**	410.9**	243.2**	236.9**	224.7**	136.1**
WS	-15.8**	-	-59.1**	4.0**	-39.2**	-9.0**	1.5	10.5**	49.3**	-5.8**
UV	31.1**	-	16.6**	-	4.9**	24.3**	32.9**	22.1**	46.3**	-
TEMP	94.6**	100.8**	85.3**	83.2**	125.9**	86.7**	115.9**	111.0**	107.2**	105.4**
HUM	66.5**	133.4**	83.9**	102.3**	196.9**	140.1**	111.5**	103.2**	157.2**	101.7**

\*\* Two tailed probability  $p < 0.0001$

### 3.7 氣象因子의 影響

한남동등 전조사지점에서 1년간 동시에 관측한 각종 기상인자 즉 풍속, 온도, 습도, 자외선강도등과 오존농도와의 상관성을 구한 결과 표 8 과 같았다. 대기오염물질과는 달리 풍속, 온도 그리고 자외선 강도와의 사이에서 正의 상관관계를 나타내어 이들이 환경대기중 오존농도증가에 上昇因子라는 것을 추측케하는 점이다. 다만 습도와는 모든 지점에서 負의 상관을 나타내었고 구로의 온도와는 상관성이 없었다. 오존과 풍속과는 지점별로 0.1697~0.4537

의 범위였으며 온도와는 0.2908~0.4555의 범위를 나타내었고 자외선강도와는 0.4795~0.6528의 범위로서 기상인자중 가장 상관계수가 큼을 알 수 있었다. 습도와는 -0.1594~-0.5398의 범위로 나타났다.

환경대기중의 오존 level은 기온과 자외선강도의 증가와 함께 1시간 정도의 시차를 두고 증가하지만 오존의 일간변동 즉 증가와 감소패턴은 온도보다는 자외선강도와 잘 대응하고 있음을 알 수 있었다. 이는 實測자외선강도에 의한 오존농도상승의 大小가 잘 나타난다고 하는

吉門等<sup>23)</sup>의 결과와도 일치하는 것이다. 기류 또한 낮시간에 대기안정도가 풀리면서 다소 강

하여지는바 온도 및 자외선강도와 동일한 시간대임을 알 수 있었다.

Table 8. Correlation coefficient between ozone and other meteorological factors in each area.

Meteorological factors Area	WS	TEMP.	HUM.	UV
Hannam-dong	0.2264 **	0.2419 **	-0.3852 **	0.6528 **
Chamsil-dong	-	0.3516 **	-0.1594 **	-
Ssangmun-dong	0.4077 **	0.2908 **	-0.4743 **	0.4933 **
Kuūi-dong	0.1697 **	0.4555 **	-0.3244 **	-
Oryu-dong	0.3644 **	0.4388 **	-0.3858 **	0.5367 **
Bang-i-dong	0.4401 **	0.4506 **	-0.5398 **	0.6505 **
Banpo-dong	0.4281 **	0.3740 **	-0.3482 **	0.5854 **
Songsu-dong	0.4537 **	0.3718 **	-0.2791 **	0.5986 **
Kuro-dong	0.4229 **	0.0007	-0.3995 **	0.4795 **
Namgajwa-dong	0.1974 **	0.4501 **	-0.3436 **	-

\*\* p < 0.01

Table 9. The monthly mean ozone concentration values according to wind speed at all stations.

Wind speed (m/sec)	Month												Total	
	'87 DEC	'88 JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	mean ± sd	range
0.0 ~ 0.2 (calm)	1.66 ± 3.95 (279)	2.11 ± 4.53 (2008)	5.46 ± 10.39 (1543)	6.03 ± 10.89 (1374)	6.88 ± 12.77 (1201)	8.60 ± 15.33 (1757)	10.46 ± 14.34 (1486)	5.73 ± 10.46 (988)	7.65 ± 12.56 (1516)	4.88 ± 9.57 (1868)	2.88 ± 6.61 (2430)	2.41 ± 4.29 (1629)	5.01 ± 10.26 (20179)	~ 129
0.3 ~ 1.0	3.78 ± 5.72 (1841)	4.01 ± 6.22 (1832)	9.09 ± 12.10 (1789)	9.41 ± 12.08 (1855)	12.00 ± 15.49 (1774)	15.65 ± 18.58 (2314)	16.39 ± 17.67 (2311)	9.87 ± 14.38 (2295)	15.48 ± 19.01 (2072)	12.34 ± 15.06 (2732)	8.57 ± 11.53 (2369)	6.50 ± 7.19 (1680)	10.77 ± 14.80 (26156)	~ 163
1.1 ~ 1.5	5.43 ± 6.45 (563)	7.19 ± 8.03 (560)	11.54 ± 11.96 (742)	12.41 ± 13.16 (876)	18.54 ± 17.19 (683)	21.26 ± 16.67 (808)	23.09 ± 19.22 (883)	14.06 ± 14.18 (1031)	22.52 ± 21.92 (949)	18.89 ± 19.02 (563)	14.98 ± 13.17 (527)	12.33 ± 8.38 (514)	15.81 ± 16.36 (8661)	~ 164
1.6 ~ 2.0	6.51 ± 7.13 (267)	9.38 ± 8.86 (304)	13.72 ± 12.07 (470)	12.80 ± 12.90 (606)	20.71 ± 16.54 (442)	20.77 ± 15.30 (386)	23.14 ± 17.06 (343)	15.05 ± 12.50 (668)	27.85 ± 20.05 (395)	21.91 ± 14.78 (146)	17.41 ± 12.04 (222)	13.54 ± 8.87 (380)	16.56 ± 14.76 (4274)	~ 148
2.1 ~ 2.5	6.95 ± 6.57 (153)	10.36 ± 8.32 (228)	13.18 ± 9.99 (365)	11.95 ± 11.27 (399)	22.01 ± 16.02 (282)	23.43 ± 17.75 (217)	26.18 ± 17.07 (137)	15.08 ± 11.20 (693)	28.74 ± 20.78 (94)	24.53 ± 12.54 (6)	17.69 ± 11.24 (108)	14.37 ± 8.56 (216)	16.44 ± 14.12 (2264)	~ 106
2.6 ~ 3.0	8.29 ± 7.54 (78)	11.40 ± 8.82 (132)	15.35 ± 10.64 (78)	13.55 ± 11.47 (244)	23.11 ± 16.62 (164)	27.99 ± 18.24 (146)	31.98 ± 16.90 (41)	15.48 ± 8.34 (77)	17.30 ± 16.29 (30)	21.52 ± 8.06 (23)	21.21 ± 12.60 (72)	18.49 ± 11.01 (82)	17.80 ± 14.20 (1260)	~ 95
3.1 ~ 3.5	8.98 ± 6.74 (41)	12.05 ± 7.34 (93)	15.76 ± 8.23 (30)	17.11 ± 13.53 (100)	26.33 ± 15.35 (111)	28.71 ± 15.17 (78)	32.67 ± 17.70 (12)	14.77 ± 6.22 (36)	24.22 ± 15.97 (9)	20.27 ± 6.21 (11)	15.00 ± 9.34 (36)	19.02 ± 12.13 (40)	19.09 ± 13.92 (686)	~ 71
3.6 ~ 4.0	9.92 ± 5.08 (23)	13.53 ± 5.51 (80)	17.22 ± 7.18 (36)	20.14 ± 11.75 (63)	25.60 ± 15.62 (67)	33.74 ± 15.24 (34)	38.30 ± 14.01 (10)	17.44 ± 7.59 (18)	21.78 ± 5.16 (6)	21.17 ± 5.69 (6)	13.65 ± 8.48 (17)	18.33 ± 11.72 (24)	20.18 ± 12.95 (385)	~ 76
4.1 ~ 4.5	14.09 ± 9.10 (11)	11.90 ± 7.90 (3)	18.03 ± 10.00 (26)	23.77 ± 9.49 (31)	31.00 ± 13.67 (26)	33.70 ± 18.11 (20)		17.90 ± 11.96 (4)		21.80 ± 3.96 (5)	15.00 ± 10.38 (8)	13.54 ± 13.33 (13)	21.44 ± 13.28 (171)	~ 72
4.6 ~	13.60 ± 8.67 (15)	15.24 ± 6.17 (25)	16.68 ± 6.74 (11)	26.56 ± 7.43 (27)	30.03 ± 9.82 (31)	31.07 ± 9.43 (15)		19.78 ± 4.15 (9)		24.00 ± 0.00 (11)	10.62 ± 6.79 (11)	15.53 ± 7.67 (15)	20.51 ± 10.18 (130)	~ 49

1) 풍향별 오존농도분포

일반적으로 도시지역은 농촌이나 교외지역보다 대기오염도가 높으나<sup>24)~27)</sup> 바람이 고농도로

염지역을 風下側에 이동시켜 교외지역에 특히 하게 높은 오염지역이 때때로 나타나며 이같은 현상은 L.A<sup>27, 28)</sup> 지역에서도 자주 관측되고 있

다.

쌍문지역의 풍향별 오존농도는 년중 SW-NNW방향의 바람은 없었으며 특히 ENE~E~ESE는 5월과 6월에 고농도오존의 출현이 있었으며 쌍문지역에서 고농도오존발생풍향은 ENE~E~ESE~SE~SSE 등이었다.

주풍방향은 봄철이 E, 여름 ENE, 가을 및 겨울 SE등이었고 창동 등에 위치한 공장지대의 풍하측에 놓여 이의 영향이 매우 클 것으로 사료된다.

#### 2) 풍속별 오존농도分布

풍속의 微細한 變動과 오존농도와는 잘 對應한다는 것은 잘 알려져 있다.<sup>29)</sup>

풍속은 0.2m/sec 이하의 靜穩과 0.4~1.0 m/sec, 1.1~1.5m/sec, 1.6~2.0m/sec, 2.1~2.5m/sec, 2.6~3.0m/sec, 3.1~3.5m/sec, 3.6~4.0m/sec, 4.1~4.5m/sec, 4.6m/sec 이상의 10단계로 분류하여 각 풍속별 오존농도분포를 조사하였다.

년평균으로 보면 무풍시 5.01 ± 10.3ppb보다 0.3~1.0m/sec 풍속시에는 10.8 ± 14.8ppb로서 약 2배 정도나 높으며 풍속이 클수록 대기중 오존농도는 높고 4.1~4.5m/sec보다는 4.6m/sec 이상일 때 조금 감소하는 것으로 나타났다으나 측정범위에서 알 수 있듯이 100ppb 이상의 고농도오존은 2.6m/sec 이상의 풍속이 있을 때는 발생치 않았다.

오존농도와 바람과의 관계는 다른 오염물질과 같이 오염에 기여하는 풍향성은 높으며 都心, 副都心, 工場地帶方向의 바람일 때 오존농도가 높았다.

풍속은 무풍상태보다는 1.0m/sec에서 보던 4.6m/sec 이상의 강한 바람까지 폭넓은 풍속범위에서 높은 농도로 나타났다으나 100ppb 이상의 고농도오존발생은 2.5m/sec 이하의 풍속시 발생하였다.

기온, 습도 및 자외선강도 등 기상인자와 오존농도와의 정량적 관계도 확인되었다.

福岡等<sup>30)</sup>이 東京都에서 5년간에 걸쳐 조사한 결과 고농도 옥시단트농도는 4m/sec 이상일 때는 발생키 어려운 것으로 보고하였으나 이번 조사결과 서울은 지역에 따라서 4.6m/sec 이상의 강한 바람에서도 고농도오존이 관측되었다.

## 4. 結 論

서울시 한남동 등 10개 지점에서 설치한 대기오염자동측정소에서 1987.12.1부터 1988.11.30까지 측정된 자료를 이용하여 환경대기중 오존농도의 變動과 그 영향인자에 관한 조사를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 서울전지역의 오존농도의 년평균치는 10 ppb였으며 지역별 최고농도는 쌍문동지역에서 17.2 ± 18.7ppb였고 최저농도는 구로공단지역에서 3.1 ± 4.5ppb였으며 지역별로 환경기준 장기기준치를 초과한 곳은 없었다.

2. 환경기준단기기준치인 100ppb를 초과한 회수는 4월에 1회, 5월 13회, 6월과 7월 각 12회, 8월 28회, 9월 12회 등 모두 78회였다.

3. 서울지역의 오존농도의 日變化패턴은 오전 7~8시경을 日中최저로 새벽 4~5시경과 낮 시간대에 2개의 피크를 갖는 典型的인 bi-modal型으로 되어 있다.

4. 하루중 평균적 고농도오존발생시각은 14~15시가 53.5%, 15~16시가 36.3%이며 13~17시가 전체의 90.9%로 나타나고 있었다.

5. 오존의 낮동안 농도는 지역별로 최저 5.8 ppb, 최고 28.7ppb, 저녁농도 최저 1.7ppb, 최고 18.7ppb, 야간농도 최저 1.9ppb, 최고 9.3ppb, 새벽농도 최저 1.4ppb, 최고 6.5ppb의 順으로 낮았다.

6. 오존농도의 평균적인 週間變動은 週初인 日·月曜日이 가장 높고 水·木曜日을 최저로 하여 週末에 上昇하는 樣相으로 나타났다.

7. 서울지역에서의 광화학스모그계절은 3월에서 9월까지인 것으로 판단되며 이는 일본의 4~9월보다 1개월 이른 것이다.

8. 오존의 經月變動은 4~9월에 높고 10~2월에 낮은 농도의 패턴으로 나타났으며, 광화학스모그계절의 평균오존농도는 12.8ppb였으며 非스모그계절(10~2월)의 평균농도는 6.7ppb로서 2배 정도의 차이가 있었다.

9. 계절별 일변화패턴에서 낮동안의 오존농도는 여름( $17.1 \pm 19.0$ )이 가장 높고 봄( $15.7 \pm 16.6$ ppb), 가을( $10.3 \pm 12.9$ ppb), 겨울( $6.2 \pm 8.9$ ppb)의 順이었으며 하루 평균치로서는 가을철이 년평균 오존농도에 상당하는 농도였다.

10. 서울 도심지역의 평균적 back ground 농도는 反應性오존을 포함하여 5~10ppb라고 사료된다.

11. 오존농도의 日較差(變動幅)는 전지역을 평균하여 여름이 28ppb로 가장 높고, 겨울이 8ppb로 가장 낮으며, 여름철의 낮동안농도는 겨울철의 약 3배, 야간시에는 약 2배정도 높았다.

12. 100ppb 이상의 고농도오존발생시간은 14~17시대가 71%였고, 요일별로는 日·月曜日이 51%였으며, 5~9월이 전체의 98.8%의 發生率로 나타났다. 또한 풍속별로는 0.3~1.5 m/sec가 전체의 83.8%였으며 N~NW와 ENE~ESE가 57.5%로 고농도오존발생이 많은 풍향이였다.

13. 계절별 일변화패턴에서 4,5,6월은 移動性高氣壓(氣流移動)에 의한 氣象的, 8,9,10월은 反應的, 겨울인 12,1월에는 도시지역의 back ground的 나머지 2,3,11월에는 4~6월과 8~10월의 중간적 要素가 많다고 생각된다.

다.

14. 오존과  $SO_2$ , TSP, NO,  $NO_x$ , n- $CH_4$ , CO등과 높은 逆의 상관성을 나타내었다.

15.  $NO_2$ 보다는 NO와의 사이에서 상관계수가 컸으며 이는 오존발생의 반응 혹은 파괴물질로서 반응속도와 관계가 있는 것으로 보인다.

16.  $SO_2$ 와 CO농도는 낮을수록  $NO_2$ 와 THC 특히  $NO_2/NO_x$ 比가 높을수록 고농도오존발생(100ppb 이상)이 많았다.

17. 오존농도와 풍속과는 0.1697(구의)~0.4537(성수), 온도와는 0.2908(쌍문)~0.4555(구의), 자외선강도와는 0.4795(구의)~0.6528(방이) 등의 높은 正의 상관성이 확인되었으며 습도와는 -0.1594(잠실)~-0.5398(방이)의 負의 상관성이 있었다.

18. 100ppb 이상의 고농도오존발생시 평균기온은  $32.2^\circ C \pm 3.4$ , 온도범위는 23.3~37.9 $^\circ C$ 로서 고온시 그리고 2.5m/sec 이하의 풍속시 발생가능성이 높으며, 자외선강도는  $0.8 mW/cm^2 \pm 0.36$ 로서 가장 강한 계절인 여름평균강도  $0.29mW/cm \pm 0.43$ 보다 약 3배정도 높았다.

19. 오존농도와 바람과의 관계는 다른 오염물질과 같이 오염에 기여하는 풍향성이 강하고 都心·副都心方向의 바람일 때 높았으며 풍속은 무풍상태보다 1.0m/sec 이상의 강한 바람일 때 농도가 높고 4.6m/sec 이상의 풍속에서도 고농도오존이 나타남을 확인하였다.

(원고접수 '89. 9.11)

## 參 考 文 獻

1. Jacobson, J. Salottolo, G. (1975) Photochemical Oxidants in the New York-New Jersey metropolitan area. Atmos. Environ., 9, 321-332

2. 横田強 (1983), メキシコ市における大気汚染の実態, よ公害と対策, 19, 9, 69-76.
3. 金旻永, 姜熙坤, 朴相賢, 朴聖培 (1987), 서울地域の光化学汚染物質濃度現況 및 氣象因子의 影響에 關한 研究(第2報), 서울특별시 保健環境研究院報, 23, 217~261.
4. 早福正孝, 宇田三滿, 伊藤政志 (1986), 東京のオゾン (1980~1985), 第27回 大気汚染學會講演要旨集, 267.
5. 環境廳, 環境白書 (1987) 一國土利用の新たな潮流と環境保全一, 180-181.
6. 中村喜三雄, 大平俊男, 福岡三郎, 伊藤政志, 宇田川滿 (1971) 光化学スモッグ豫報に關する二,三の考察, 大気汚染研究, 6, 1,
7. 藤田慎一 (1986) 地上オキシダント濃度に及ぼすバックグラウンドオゾンの影響(2), 大気汚染學會誌, 21, 6, 486-495.
8. 山本晋 (1989) 西太平洋上におけるNO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>の観測, 公害, 14, 5, 39-47.
9. 藤田慎一, 中山稔夫, 矢田部照夫, 千秋鋭夫 (1984), 地上オキシダント濃度に及ぼすバックグラウンドオゾンの影響, 大気汚染學會誌, 19, 183-193.
10. 川村 清, 伐見克彦 (1976) 綾里, 垂鞍撃, 南鳥島, 父島における大気のSO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, CO, O<sub>3</sub>濃度について, 氣象研究所技術報告, 1, 117~123.
11. 光本茂記, 植田洋匡, 栗田秀實 (1985) 乗鞍岳山頂におけるオゾン濃度の季節的變化, 大気汚染學會講演要旨集, 354.
12. 鶴田治雄 (1985), 日本におけるバックグラウンドオゾンの舉動(第2報), 春季高濃度現象の考察, 355,
13. 富山縣公害センター (1977), 縣内におけるオキシダント濃度の解析, 富山縣公害のセンター年報, 5, 23-32.
14. 材尾直人, 大喜多敏一, 太田幸雄 (1982) 成層圏オゾンの地表オキシダント濃度に及ぼす影響に關ける一考察 天氣, 29, 537-545.
15. Mizuno, T., Yoshikado, H. : (1983) On some characteristics of the diurnal variation of O<sub>3</sub> observed in island, urban and rural areas, Atmos. Environ., 17, 2575-1582
16. 加藤央之, 藤田慎一, 西官 昌 (1985), 春期における地上オキシダント高濃度の發生機構, 電力中央研究所報告 283039,
17. Singh, H.B., Ludwig, R.L., Johnson, W.B. (1978) Tropospheric ozone: Concentration and variabilities in dean remote atmospheres, Atmos. Environ., 12, 2185-2196,
18. Brewer, A.W., Wilson, A.W. : (1968) The regions of formation of atmospheric ozone, Q.J.R. Met. Soc., 94, 249-263,
19. 大気汚染研究 全國 協議會 (1970), 大気汚染ハンドブック(3), コロナ社,
20. Hewson, E.W. (1945) The meteorological control of atmospheric pollution by heavy industry, Q.J.R. Met. Soc. 71, 266-282,
21. 向後鐵太郎 (1968) 札幌の冬の大気汚染, 道立衛生研究所報, 18, 123-132,
22. 平松 親, 孫野長治 : (1979) 札幌市の大気環境1-大気汚染濃度の日變化, 大気汚染學會誌, 14, 3, 33-37,
23. 吉門 洋, 河本 稔 (1985), 流跡線モデル



- による光化学大気汚染の生成, 擴散シミュレーション大気汚染學會誌, 20(3), 205-214.
24. Anderson, D., Ferris, B. (1965) Community studies of the health effects of air pollution-A critique.
25. Morris, S., Shapiro, M., Waller, J. (1976) Adult mortality in two communities with widely different air pollution levels, Arch. Environ. Health, 31, 248-254.
26. Hosein, H., Mitchell, C., Bonhuys, A. (1977) Evaluation of outdoor air quality in rural and urban communities. Arch. Environ. Health, 32, 4-13.
27. Mahoney, L. (1976) Wind flow and respiratory in Los Angeles, Arch. Environ. Health, 22, 344-347.
28. Chock, D, Levitt, S. (1976) A space time correlation study of oxidant and CO in the Los Angeles Basin, Atmos. Environ. 10, 107-113
29. 荒木眞文, 佐佐木長儀, 本木茂, 岡上正夫 (1983), オゾン濃度減衰に及ぼす樹林の効果, 林業試験場報告, 321, 51-87,
30. 福岡三郎, 伊藤政志, 大平俊男 (1971), 光化学スモッグ発生時における氣象條件について, 大気汚染研究, 6, 1, 109.