

서울시 대기중 오존오염도의 연도별 변화와 그 영향인자 분석 —광화문 지역을 중심으로—

Yearly Variation and Influencing Factors of Ozone Concentration in the Ambient Air of Seoul

이 기 원 · 권 숙 표 · 정 용

연세대학교 환경공해연구소
(원고접수; 1992. 12. 28)

Ki-Won Lee, Sook-Pyo Kwon and Yong Chung

The Institute for Environmental Research, Yonsei University
(Received 28 December 1992)

Abstract

This study was carried out to find the characteristics of surface ozone concentration data obtained during 1988-1991 by the Korea Ministry of Environment. Seasonal data (spring, summer, autumn and winter) were obtained in May, August, November and February respectively at Kwanghwamun in Seoul. The pollutants analyzed in this study are SO₂, TSP, CO, NO, NO₂ and NO₂/NO. Atmospheric factors such as solar radiation, wind speed, relative humidity, cloud amount and atmospheric temperature are also analyzed. The influence of pollutants and atmospheric factors that affect ozone concentration were analyzed by statistical method. The results are summarized as follows :

1. The ozone concentration varied seasonally. The maximum values were 23 ppb in spring, 33 ppb in summer, 16 ppb in autumn and 13 ppb in winter. So the seasonal ozone value was highest in Summer.

2. The diurnal concentration of ozone was highest during 2-4 P. M. and was very low in the morning and evening.

3. The maximal correlation coefficients of each season between ozone concentration and the influencing pollutants or atmospheric factors are as follows ;

- a. spring, $r = 0.44$ (solar radiation)
- b. summer, $r = -0.59$ (relative humidity)
- c. autumn, $r = -0.55$ (relative humidity)
- d. winter, $r = -0.58$ (NO₂)

4. The major factor affecting the ozone concentration in spring was solar radiation. Relative humidity was the first affecting factor in summer, autumn and NO₂ concentration was dominant in winter.

1. 서 론

현재 우리나라의 대기오염의 연구가 주로 아황산

가스와 분진에 관해 관심이 집중되어 있다. 또한 서울의 주 내기오염의 형태도 아황산가스와 분진이 주요오염물질을 이루고 있으며 기타 질소산화물, 오

존, 일산화탄소등 다른 오염물질의 농도는 그다지 높지 않은 것으로 알려져 있다(정용 등, 1986).

그러나 최근 서울시의 일부 도심지역에서는 오존의 농도가 환경기준치를 넘고 있는 곳도 있으며 급격한 차량의 증가와 아황산가스등의 오염도를 감축시키기 위한 연료의 전환등의 에너지 정책의 변화로 인하여 오존의 오염도는 크게 증가할 가능성이 있다. 실제로 자동차 배출가스가 주 오염원이고 연료가 석탄류 보다는 가스류를 많이 사용하는 지역이 광화학적 오염이 높고 1차오염물질의 오염도가 심한 지역의 오존의 농도가 오히려 낮다는 보고(Mcclenny, 1978)를 고려할 때 서울지역을 비롯한 대도시에서의 광화학적 오염도가 장래에 매우 높아질 가능성이 많다.

또한 오존은 산화제인 H_2O_2 , O_3 , OH와 더불어 대기중의 물방울에서 NO_x , SO_x 와 반응하여 H_2SO_4 , HNO_3 를 포함하는 산성강수, 산성안개, 산성이슬의 생성에 중요한 역할을 하며, 대기오염의 광화학적 스모그가 발생할때 자주 관측되며, 이에 따른 시정 감소와 일사량의 감소를 초래한다.

우리나라에서의 광화학적 오염의 현황 및 그 발생에 영향을 미치는 요소에 관한 연구가 매우 필요한 실정이나 국내에서 이에 대한 연구는 매우 미비한 상태이다. 오존은 보통 인구, 산업, 차량밀집 지역인 대도시에서 높은 오염도를 나타내는 것으로 알려지고 있다(Lester, 1989). 또한, 지속적인 높은 온도가 만성적인 높은 오존오염도와 관계가 있는 것으로 미국의 뉴욕과 아틀란타시, 뉴저지등에서의 기후와 계절별 오존오염도와와의 상관관계 연구에서 보고되었다 (Vito, 1990). 가장 최근의 서울지역의 광화학오존에 관한 연구에 의하면 오존오염도의 월평균 최대치는 5월에 나타나며, 8월에 두번째 최대값이 나타나고, 지면 오존의 일최대농도는 일 최고온도가 나타나는 시간의 1-2시간 후인 13-15시 경에 나타나는 것으로 보고하고 있다(정용승 등, 1991).

본 연구의 목적은 광화문지역의 대기중 오존농도의 연도별, 계절별 변화를 조사하고, 각종 대기오염물질 및 기상조건들이 오존농도에 미치는 영향을 계절별로 분석하며, 대기중 오존오염의 유형에 따른 대책수립을 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

2. 연구방법

2.1 연구대상지역 및 기간

본 연구의 대상지역은 서울시의 광화문 지역으로 이지역은 교통의 중심지와 주거지역으로 자료가 비

교적 충실하며 오존의 오염도가 높은지역이며 서울의 중심지이다. 대상기간은 1988년부터 1991년까지의 각 년도의 2, 5, 8 및 11월을 각 계절의 대표적인 월로 정하였다.

2.2 대기오염도 및 기상자료의 수집

오염도 자료는 오존과 그외에 NO , NO_2 , CO , SO_2 , TSP, NO_x/NO 를 조사하였으며(환경처, 1992) 이들 자료는 환경처의 광화문 대기오염측정소의 매시간 측정자료를 사용하였다. 기상자료로는 일사량, 풍속, 비교습도, 운량, 기온으로 이들 자료는 기상청의 시간별 측정자료를 사용하였다(기상청, 1992). 이때 봄, 여름, 가을, 겨울등 계절별 자료로는 봄과 겨울은 1989-1991년의 5월과 2월, 여름과 가을은 1988-1990년의 8월과 11월의 시간평균 자료로서 통계처리 하였다.

2.3 연구방법 및 분석방법

서울시 광화문지역을 중심으로 대상기간의 오존의 오염도자료를 기준으로 기후자료와 다른 대기오염자료를 가지고 서울의 대기중 오존오염도에 영향을 미치는 영향인자 간의 상관관계를 분석하고, 오존오염도의 년도별 변화와 계절별 변화, 일중 변화를 분석하였다. 중회귀분석을 통하여 각 영향인자에 의한 오존의 예측식을 구하였다. 모든 통계처리는 SPSS(Statistical Package for Social Sciences)를 사용하였다.

3. 결 과

3.1 오존농도의 변화양상

오존이 최고농도일때의 일중변화

Fig. 1은 1988년 8월 1일의 오존과 NO , NO_2 의 일중 변화를 보여주고 있다. 오전 8시경에 NO 가 최고농도를 기록하고 감소하며 NO_2 는 오전 11시경에 최고농도를 나타내며, 오존은 12시경에 급격히 상승하여 오후 3-4시경에 최고농도를 나타내고 있다. 이것은 오존의 전구물질인 NO , NO_2 가 교통량이 많은 아침시간대에 많이 배출된 후에 대기중에서 화학반응과 양호한 기상조건에 의하여 일사량이 풍부한 낮시간에 오존으로 광화학 반응이 일어남을 알 수 있다.

오존농도의 연도별 변화

Fig. 2는 광화문지역에서 연구 대상기간인 1988년 8월부터 1991년 5월 까지의 NO , NO_2 와 오존농도의 연평균변화를 보여주고 있다. NO 는 변화가 심

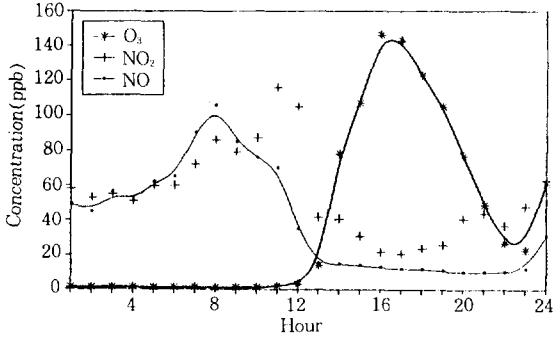


Fig. 1. Diurnal variations of NO, NO₂ and O₃ concentration(August, 1 1988).

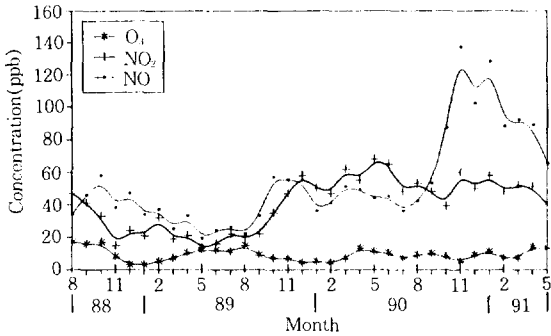
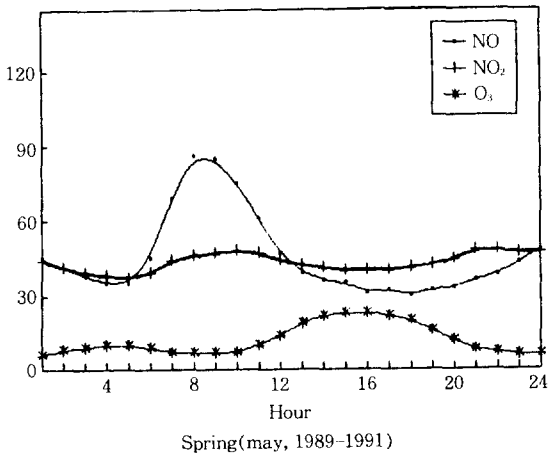


Fig. 2. Monthly variations of NO, NO₂ and O₃ concentration at Kwanghwamun(August, 1988 -May, 1991).

하여 90년 11월에는 120ppb 이상의 높은 값을 나타내고 있으며, NO₂는 약간 증가하여 50-60ppb의 일정한 수준을 유지하고 있다. 오존농도는 봄과 여름



인 5월과 8월에 높은 농도를 나타내고 있으며, 대상 기간 모두 평균 20ppb 미만의 농도를 나타내고 있다.

오존농도의 계절별 변화

Fig. 3은 오존농도의 하루중 계절별 변화를 보여주고 있다. 각 월의 시간별 평균오염도는 모든 계절에서 12시를 기점으로 증가하기 시작하여 오후 2-4시 사이에 일 최고농도를 기록하고 있다. 이 중 여름이 30ppb 이상의 가장 높은 농도를 나타내었고 그 다음이 봄으로 23ppb 정도이며, 그 다음은 가을 그리고 겨울이 가장 낮은 농도를 나타내고 있다.

Fig. 4는 1988년부터 1991년의 봄, 여름, 가을, 겨울의 NO, NO₂, O₃ 농도의 일중변화를 보여주고 있

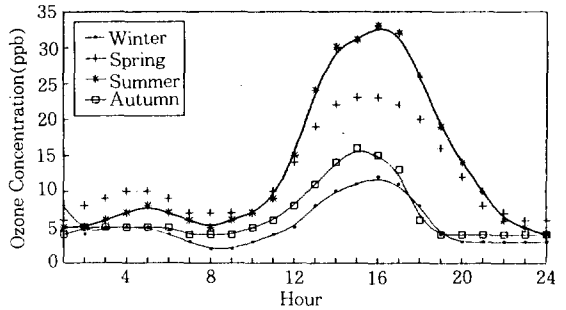
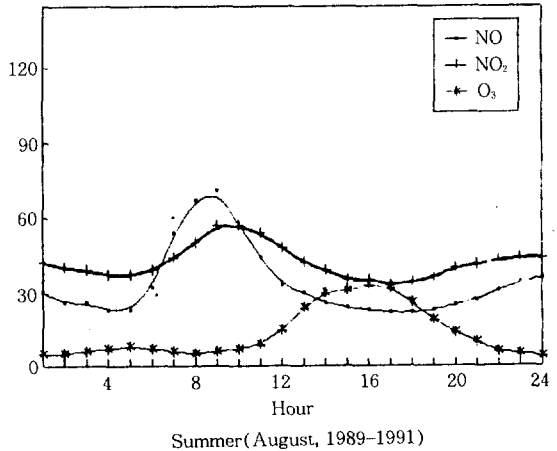


Fig. 3. Seasonal variations of ozone concentration (May, August, November, February, 1988-1991).

다. NO농도는 각 계절 모두 아주 높은 값을 나타내었다. 이중 가을에는 140ppb를 넘는 높은 농도를 기록하였다. 시간적으로는 각 계절 모두 오전 8시경에 제일 높은 값을 보이다가 계속 감소하면서 오후 4시



Spring(may, 1989-1991)

Summer(August, 1989-1991)

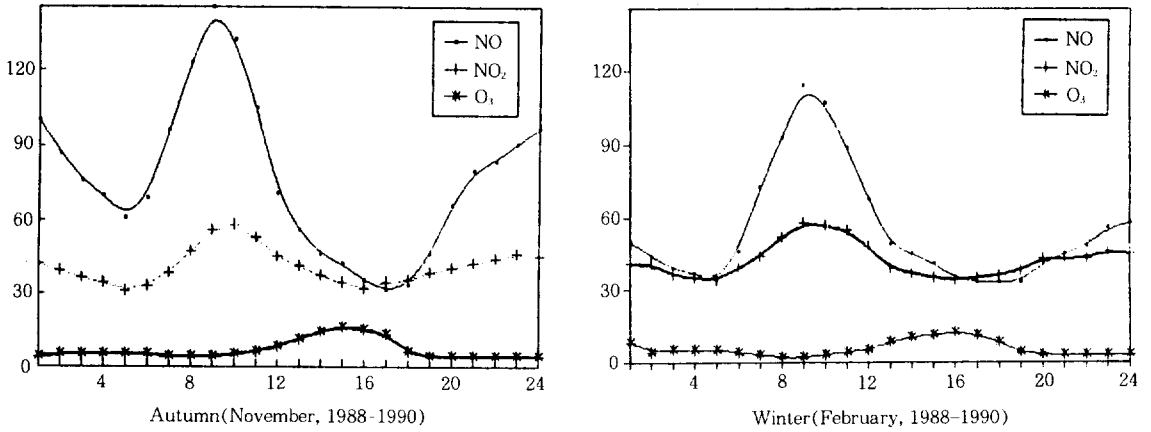


Fig. 4. Diurnal variations of NO, NO₂ and O₃ concentration.

경에 최저값을 나타낸 후 다시 증가하기 시작한다. NO₂농도는 NO 처럼 큰 폭으로 변화하지는 않으며 시간적으로는 NO의 변화와 거의 비슷하게 오전 8시경에 최고값을, 오후 4시경에 최저값을 기록하고 있다. 오존의 계절별 변화를 살펴보면, 봄과 여름이 가을과 겨울보다 높은 값을 보이고 있으며 특히 여름에 높은 농도를 나타내고 있다. 시간적으로는 모든 계절의 오후 2-4시 사이에 최고값을 나타

내며 특별히 최저값을 나타내는 시간은 없이 매우 낮은 농도를 나타내고 있다.

오존농도는 모든 계절에서 다소 낮게 나타나지만, 여름 오후 4시경에는 매우 높은 농도를 나타내고 있다. 모든 계절이 오전 8-9시 사이에 NO가 최대값을 나타내는데 이때는 교통량이 제일 많은 시간이다. 그 이후에 NO₂가 오전 10시경에 최대값을 나타내며 이때 NO는 감소하기 시작한다. 12시를 기

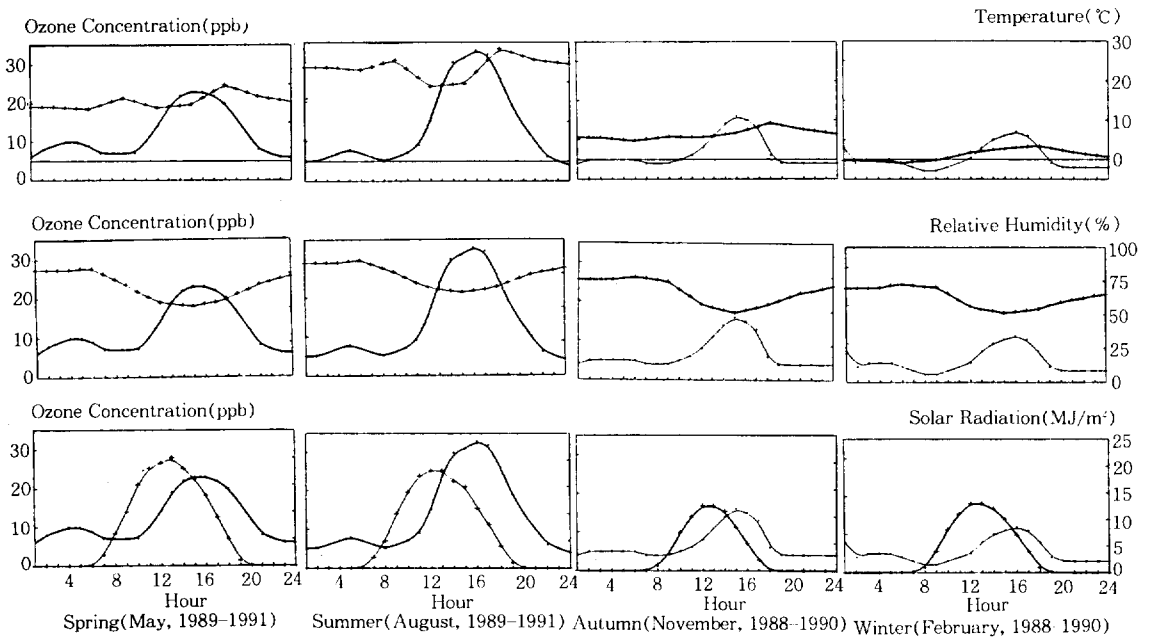


Fig. 5. Diurnal Variations of Temperature, Relative Humidity, Solar Radiation and O₃ Concentration.

점으로 오존의 농도는 증가하기 시작하고 NO₂는 감소하기 시작하며, 오존은 계속 증가하기 시작하다가 오후 2-4시 사이에 최대값을 나타내다가 감소하기 시작하여 일정한 값을 나타낸다.

오존농도와 기상요인의 변화

오존의 형성에 기상요소들이 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Fig. 5는 봄, 여름, 가을, 겨울의 오존농도와 기상요인의 변화를 도식화한 것이다.

기상요인의 변화중 기온은 봄과 여름에 오전 9시경 약간 증가한 후 감소하기 시작하는데 그 이유는 바람과 강수등의 요인으로 일시적인 현상이며 오존이 오후 2-4시 사이에 최고값을 나타낸 후 감소하기 시작할 때 기온은 다시 오후 4시경에 최고값을 나타낸다.

습도와 오존농도는 역상관관계를 보여주고 있다. 습도는 오전 6시경 부터 감소하기 시작하여 12시경에 이르면 매우 낮은값을 보이는데, 오존은 오전 10시경부터 증가하기 시작하여 오후 2-4시경에 최대값을 나타낼때 습도는 최저값을 나타낸다. 다시 습도가 증가하기 시작할때 오존은 감소하기 시작한다.

일사량은 오존농도보다 3-4시간 앞서 진행되어 오존농도의 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 일사량은 오전 6시경부터 증가하기 시작하며 3-4시간 정도 후인 오전 10시경부터 오존이 증가하기 시작한다. 일사량이 12시경에 최대값을 나타낸 후 3-4시간 정도 후인 오후 2-4시 사이에 오존농도는 최

대값을 나타낸다.

3.2 오존농도와 영향인자 간의 상관관계

광화문지역에서의 오존의 시간평균 빈도를 Table 1에 나타내었다. 대상기간의 평균 농도는 9ppb이며 5ppb 이하가 57.6%로 대부분을 나타내었다.

Table 2는 오존농도와 다른 오염물질 및 기상요소간의 상관계수의 값을 나타낸 것이다. SO₂, TSP, CO, NO, NO₂와는 역상관관계를, NO₂/NO가 순상관관계를 나타내었다. 이 중 NO가 -0.336으로 가장 큰 상관관계를 나타내었다. 기상요소는 습도와 운량이 역상관관계를, 기온과 풍속, 일사량이 순상관관계를 나타내었다. 이 중 일사량이 0.469로 가장 큰 상관관계를 나타내었다.

Table 1. Frequency of O₃(1 hour average) at Kwanghwamun in Seoul(May, August, November, February, 1988-1991).

O ₃ (ppb)	Number of cases	Relative frequency.(%)	Cumulative frequency(%)
0- 5	4976	57.6	57.6
6-10	1322	15.3	72.9
11-20	1279	14.8	87.7
21-30	605	7.0	94.7
31-40	234	2.7	97.4
41-50	116	1.3	98.8
51-100	102	1.2	99.9
101-146	6	.1	100.0

Table 2. Correlation coefficients between O₃ concentration and each factor.

	SO ₂	TSP	CO	NO	NO ₂	NO ₂ /NO	Temp.	W.S	R.H	S.R	Cloud
O ₃	-.298	-.018	-.289	-.336	-.315	.213	.148	.409	-.402	.469	-.126

Temp. = Temperature W.S = Wind Speed R.H = Relative Humidity
S.R = Solar Radiation Cloud = Cloud Amount

Table 3, 4는 봄, 여름, 가을, 겨울의 오존농도와 영향인자와는 모두 유의한 관계를 보이고 있다 (P < 0.001). Table 3의 세로측은 봄, 가로측은 여름의 오존과 각 영향인자와의 상관관계를 나타낸 것으로서 봄은 CO가 -0.39로 가장 큰 것으로 나타났으며 기상요소는 일사량이 0.44로 가장 큰 상관관계를 나타내었다. 여름철의 경우 NO가 -0.39로 가장 큰 상관관계를 나타냈으며 기상요소중 습도가 -0.59로 가장 큰 상관관계를 나타내었다.

Table 4의 세로측은 가을, 가로측은 겨울의 경우로서 다른 오염물질과의 상관관계에서는 NO₂가 -0.47로 가장 큰것으로 나타났으며 기상요소중 습도가

-0.55로 가장 큰 상관관계를 나타내었다. 겨울의 경우는 NO₂/NO를 제외하고 모두 유의한 관계를 보이고 있다 (P < 0.001). 다른 오염물질과의 상관관계에서는 NO₂가 -0.58로 가장 큰것으로 나타났으며 기상요소중 풍속이 0.56으로 가장 크게 나타났다.

3.3 오존농도에 영향을 미치는 요인

오존농도에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위하여 중회귀분석을 실시하였다. 통계방법은 대상기간의 매시간평균 자료로서 계절별로 다단분석을 실시하였으며 그결과는 Table 5, 6과 같다. Table 5는 각 월의 매시간 평균자료로서 다단분석을 실시한

Table 3. Pearson Correlation matrix in spring, summer(May, August 1988-1991).

	O ₃	SO ₂	TSP	CO	NO	NO ₂	NO ₂ /NO	Temp.	W.S	R.H	S.R	Cloud
O ₃	1	-.12**	.10**	-.29**	-.39**	-.37**	.10**	-.12**	.40**	-.59**	.49**	-.13**
SO ₂	-.33**	1	.30**	.27**	.52**	.16**	.34**	.01	.22**	.10**	.15**	.06
TSP	.11**	.46**	1	-.23**	-.02	-.27**	-.18**	.10**	-.08*	-.12**	.08*	.07*
CO	-.39**	.67**	.11**	1	.59**	.67**	-.05	-.21**	-.31**	.26**	-.05	.01
NO	-.38**	.50**	.24**	.37**	1	.35**	-.43**	-.01	-.38**	.27**	-.07*	.05
NO ₂	-.15**	.25**	.09**	.27**	.02**	1	.40**	-.27**	-.24**	.24**	-.05	.01
NO ₂ /NO	.31**	-.18**	-.16**	-.17**	-.67**	.42**	1	-.16**	.25**	.01	-.02	.01
Temp.	.15**	-.11**	.15**	-.35**	.13**	-.12**	-.20**	1	-.08*	.09*	-.42**	-.13**
W.S	.38**	-.44**	-.17**	-.32**	-.34**	-.20**	.02**	-.03	1	-.35**	.23**	.01
R.H	-.41**	.06	-.22**	.30**	-.08**	.21**	.18**	-.29**	-.12**	1	-.61**	.38**
S.R	.44**	-.04	.28**	-.22**	.05	-.06	-.07*	.02	.18**	-.58**	1	-.13**
Cloud	-.14**	-.26**	-.28**	-.04	-.13**	.20**	.13**	-.18**	.08**	.39**	-.20**	1

Temp. = Temperature W.S = Wind Speed
 R.H = Relative Humidity S.R = Solar Radiation
 Cloud = Cloud Amount *p < 0.01 **p < 0.001

Table 4. Pearson Correlation matrix in autumn, winter(November, February 1988-1991).

	O ₃	SO ₂	TSP	CO	NO	NO ₂	NO ₂ /NO	Temp.	W.S	R.H	S.R	Cloud
O ₃	1	-.45**	-.16**	-.38**	-.36**	-.58**	.05	-.32**	.56**	-.43**	.42**	-.28**
SO ₂	-.28**	1	.44**	.80**	.61**	.37**	-.27**	-.06	-.46**	.19**	-.07	-.06
TSP	-.15**	.51**	1	.41**	.29**	.10**	-.09*	.13**	-.16**	-.04	.25**	-.14**
CO	-.22**	.82**	.40**	1	.27**	.18**	-.10**	-.00	-.44**	.35**	-.14**	-.05
NO	-.43**	.68**	.42**	.43**	1	.56**	-.40**	.07*	-.26**	.04	.04	.04
NO ₂	-.47**	.65**	.57**	.46**	.71**	1	.03	.42**	-.35**	.08*	-.07*	.19**
NO ₂ /NO	.38**	-.49**	-.16*	-.36**	-.60**	-.40	1	.13**	.02	.12**	-.15**	.11**
Temp.	-.27**	.01	.16	-.01	.12**	.12**	-.17**	1	-.13**	.19**	-.08*	.47**
W.S	.54**	-.49**	-.25**	-.42**	-.46**	-.52**	.47**	-.35**	1	-.26**	.27**	-.03
R.H	-.55**	.38**	.15**	.35**	.44**	.28**	-.43**	.38**	-.46**	1	-.45**	.48**
S.R	.41**	-.16**	.12**	-.18**	-.15**	-.05	.10**	-.17**	.25**	-.45**	1	-.18**
Cloud	-.24**	.03	.04	-.05	.09**	.07*	-.15**	.25**	-.12**	.39**	-.17**	1

Temp. = Temperature W.S = Wind Speed
 R.H = Relative Humidity S.R = Solar Radiation
 Cloud = Cloud Amount *p < 0.01 **p < 0.001

것이다. Table 5에 의하면 오존농도에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 일사량으로 대시간 중 오존농도 변화의 21%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 일사량 다음으로 영향을 미치는 것은 풍속으로 나타났으며 일사량과 풍속에 의해 오존농도 변화의 31%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 그 다음이 NO, 기온, 습도, NO₂ 순으로 총 44%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 이때 유의도는 1%보다 큰값으로 고도의 유의성이 인정되었다.

Table 6은 계절별로 오존에 미치는 요인을 분석한 것으로서 봄에는 일사량이 변수로서 오존농도의 전 변동의 19%를 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, 일사량과 NO는 35%를 설명할 수 있는 결과

Table 5. Stepwise Multiple Regression between O₃ concentration and each factor.

Step	Variable Entered	Significance	Multiple R	R Square
1	Solar Radiation	0.000	0.4686	0.2196
2	Wind Speed	0.000	0.5642	0.3184
3	NO	0.000	0.6029	0.3635
4	Temperature	0.000	0.6209	0.3855
5	Relative Humidity	0.000	0.6405	0.4103
6	NO ₂	0.000	0.6493	0.4216
7	NO ₂ /NO	0.000	0.6643	0.4413
8	SO ₂	0.000	0.6661	0.4437

F = 56.85275, Signif F = 0.0

Table 6. Stepwise Multiple Regression between O₃ concentration and each factor.

Step	Spring		Summer		Autumn		Winter	
	Variable Ent.	R ²	Variable Ent.	R ²	Variable Ent.	R ²	Variable Ent.	R ²
1	Solar Rad.	0.1896	Relative Hum.	0.3475	Relative Hum.	0.3020	NO ₂	0.3350
2	NO	0.3557	NO	0.4023	NO ₂	0.4103	Relative Hum.	0.4884
3	Relative Hum.	0.4051	Solar Rad.	0.4393	Solar Rad.	0.4528	Wind Speed	0.5735
4	Wind Speed	0.4304	NO ₂	0.4748	Wind Speed	0.4822	Solar Rad.	0.6046
5	NO ₂ /NO	0.4496	NO ₂ /NO	0.4945	SO ₂	0.5178	NO ₂ /NO	0.6174
6	Temperature	0.4712	CO	0.5107	NO ₂ /NO	0.5242	TSP	0.6241
7	NO ₂	0.4912	Wind Speed	0.5155	—	—	Temperature	0.6289
8	TSP	0.5010	—	—	—	—	SO ₂	0.6320
9	SO ₂	0.5132	—	—	—	—	NO	0.6347
10	CO	0.5184	—	—	—	—	Cloud	0.6368
F value	133.09		175.41		239.52		213.37	

Table 7. Multiple Regression Equation.

Season	Equation
Spring	$Y = 4.08X_{11} + 0.03X_4 - 1.42X_8 + 0.91X_9 + 4.3X_6 + 0.28X_7 - 0.14X_5 + 0.05X_2 - 0.17X_1 + 0.92X_3 + 11.15$
Summer	$Y = -2.87X_8 + 0.06X_4 + 4.37X_{11} - 0.28X_5 + 1.26X_6 + 1.73X_3 + 0.85X_9 + 35.39$
Autumn	$Y = -1.19X_8 - 1.12X_5 + 3.63X_{11} + 0.98X_9 + 0.03X_1 + 0.57X_6 + 14.49$
Winter	$Y = -0.12X_5 - 0.66X_8 + 1.07X_9 + 2.92X_{11} + 0.65X_6 - 9.10E-03X_2 - 0.10X_7 - 0.01X_1 + 8.18E-03X_4 - 0.93X_{10} + 13.06$

Y = Ozone Concentration	X ₄ = NO	X ₈ = Relative Humidity
X ₁ = SO ₂	X ₅ = NO ₂	X ₉ = Wind speed
X ₂ = TSP	X ₆ = NO ₂ /NO	X ₁₀ = Cloud Amount
X ₃ = CO	X ₇ = Temperature	X ₁₁ = Solar Radiation

로 나타났고 중상관계수는 0.5964였다.

여름에는 상대습도등 7가지 요인이 모두 유의하였으며 상대습도와 NO가 오존농도 변화에 40%를, 가을에는 상대습도와 NO₂가 41%를 그리고 겨울에는 NO₂와 상대습도가 49%를 각각 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 7은 각 계절별로 중회귀분석한 결과에 따른 회귀식으로서 통계적 유의성이 확인 되었다.

4. 고 찰

도시대기에 자주 발생하는 광화학스모그에는 과산화물이 많이 포함되어 있으며 이의 주된 성분은 오존이다.

수도권의 200여만대의 자동차들에서 배출되는 1차오염물질이 오존발생의 제 1원인이 되며, 그 외에 주거지역의 난방, 화학공장 등에서 고열로 연소되어 발생하는 SO₂, NO, CO 등이 제 2의 원인이 되고 있다(정용승, 1991). 오존의 주요 전구물질은 자동차에서 배출되는 NOx인 것으로 알려져 있다.

광화문 지역을 통과하는 자동차의 교통량과 NO₂, O₃의 일중 변화를 Fig. 6에 나타내었다.(교통량자료: 서울시 교통현황조사, 서울시 교통관리사업소, 1990)교통량이 많은 아침 10시경에 자동차에서 배출되는 NO₂의 농도는 최고농도를 나타낸다. 오존생성요인과 관계인자는 매우 많으므로 교통량과의 직접 관련보다도 이로 인하여 생성된 질소산화물과

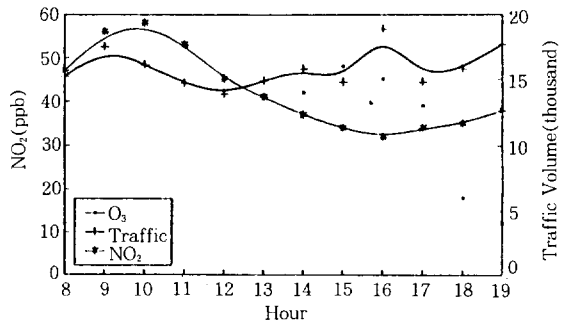


Fig. 6. Diurnal Variations of NO₂, O₃ Concentration and Traffic Volume.

탄화수소등 오존생성 원인물질의 농도변화 그리고 기상인자등이 오존 생성의 원인이 된다.

오존은 영향인자중 일사량이 0.469로서 가장 큰 상관관계를 나타내었다. 상대습도가 낮을수록 오존농도가 높은 것을 알 수 있는데, 이것은 1991년 미국의 Pamela등이 실시한 전기와 습기때의 연구결과, 시간평균 최대농도가 전기때 높게 나타난 결과와 일치하는 것이다. 오후 2-4시경에 나타나는 오존최고농도는 기상요인중 일사량과 함께 기온의 영향이 큰것으로 해석된다.

오존농도는 4계절 모두 일사량과 큰 상관성이 있으며 그 다음에 상대습도, NO₂/NO 그리고 풍속등 대체로 오염물질 보다는 기상인자와 큰 상관성이 있음이 확인되었다.

일사량은 오전 7-8시부터 상승하기 시작하여 12경에 최고값을 기록한 3-4시간 후에 오존의 최대값에 직접적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 결과적으로 기온과 습도, 일사량 모두 오존의 형성에 영향을 미치는 기상요인임을 알 수 있다. 이상과 같이 오존의 전구물질인 NO와 NO₂가 대기중에서 적당한 기상조건으로 인하여 높은 오존농도를 발생시키는 것을 알 수 있다.

최근 조사에 의하면 현재 서울시는 연료전환등으로 인한 1차성 대기오염물질의 감소로 오존농도가 매우 높아질 우려가 있으며, 본 연구가 지역과 시간적으로 제한된 범위내에서 수행된 아쉬운 점이 있으나, 환경 대기중 오존에 대한 연구가 계속적으로 수행되어야 하리라고 생각된다.

5. 결 론

서울의 광화문 지역을 중심으로 1988년 8월부터 1991년 5월 까지 봄은 5월, 여름은 8월, 가을은 11월, 겨울은 2월을 대표적인 월로 정하여 각 계절별로 오존농도에 미치는 오염물질 및 기상요인들의 영향을 분석하였다. 오염물질은 SO₂, TSP, CO, NO, NO₂, NO₂/NO 를, 기상요인은 일사량, 풍속, 비교습도, 운량, 기온을 조사하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 계절평균 오존의 최고농도는 봄에 23ppb, 여름에 33ppb, 가을에 16ppb, 겨울에 13ppb를 기록했으며, 여름에 가장 높은 최고농도를 나타냈다.

2) 일중 시간별 오존농도는 오후 2-4시경에 가장 높았으며, 오전과 저녁에는 매우 낮은 농도를 나타내었다.

3) 계절별 오존농도와 영향인자간의 상관성은 봄에는 일사량($r = 0.44$), 여름에는 비교습도($r = -0.$

59), 가을에는 비교습도($r = -0.55$), 겨울에는 NO₂ ($r = -0.58$)가 가장 큰 상관관계를 나타내었다.

4) 오존농도는 4계절 모두 일사량과 큰 상관성이 있으며, NO₂, NO, 상대습도 그리고 풍속등의 요인이 계절에 관계없이 비교적 큰영향을 미치고 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- 권숙표, 정 용, 장재연, 박영미(1985) 대기오염도에 영향을 미치는 기후요소 분석. 환경보전, 6(2), 1-10.
- 김필수(1983) 대기 경계층내 Ozone농도의 일변화 모형에 관한 연구. J. Basic Science, 2(1).
- 정 용, 장재연, 권숙표(1986) 서울시 대기중 오존의 오염도와 그영향인자 분석 한국대기보전학회지, 2(1), 73-79.
- 정 용, 장재연, 권숙표(1986) 오염물질지수(PSI)를 이용한 대기질의 평가. 예방의학회지, 19(1).
- 정용승, 정재섭(1991) 서울 수도권 지역의 광화학오존에 관한 연구. 한국대기보전학회지, 7(3), 169-179.
- Dunker, A. M., Kumar, S. and Berzins, P. H. (1984) A Comparison of Chemical Mechanisms used in Atmospheric Models. J. Atmospheric Environment, 18(2), 311-321.
- Allen, S. L., Douglas, S. S, Uwe, F., et al(1992) Surface-Level Ozone: Climate Change and Evidence for Trends. J. AWMA, 42(2), 136-144.
- Allen, S. L. and John, E. P.(1988) High Resolution Characterization of Ozone Data for Sites Located in Forested Areas of the United States. J. APCA, 38(12), 1504-1511.
- Christopher, S. R., Jane, Q. K. and Michael, S. M. (1988) Pulmonary Response to Ozone Exposures in Healthy Individuals Aged 55 Years or Greater. J APCA, 38(1), 51-55.
- David, M. O., Homero, C. and Thompson, C. R. (1988) California Statewide Assessment of the Effects of Ozone on Crop Productivity. J. APCA, 38(7), 928-931.
- Dix, H. M.(1965) Environmental Air Pollution. John Wiley, New York.
- Donald, J. W., Keith, E. G., Peter, S. C., et al (1989) The Role of Atmospheric Chemistry

- in Climate Change. J. APCA, 39(1), 22-28.
- Gurkan, k. and Tai, Y. C.(1987) Trends and Relationships of O₃, NO_x and HC in the South Coast Air Basin of California. J. APCA, 37, 1158-1163.
- Howard, E. H.(1988)Reduction in Soybean Seed Yields by Ozone Air Pollution? J.APCA, 38 (8), 1040-1041.
- Pamela, J. E., Frederica, w. and James, N. K. (1991) Characterization of Ozone During Consecutive Drought and Wet Years at Rural West Virginia Site. J.AWMA, 41(11), 1450-1453.
- Ray, E. S.(1991) A Comparison of Ozone Injury to Vegetation During Moist and Drought Years. J. APCA, 41(1), 63-64.
- Robin, L. D. and Mary, W. D.(1984) Evaluation of Urban Photochemical Models for regulatory use. J. Atmospheric Environment, 18(10), 2055-2069.
- Ronald, W. L., Jennifer, L. R. and William, L. C. (1989) Ozone Trends in Atlanta, Georgia: Have Emission Controls Been Effective? J. APCA, 39(1), 40-43.
- Thomas, M. and Richard, A.(1991) Annual and Multi-Year Variability in Ozone Expected Exceedances. J.APCA, 41(9), 1189-1194.
- Vito, P.(1990) Seasonal Ozone Levels and Control by Seasonal Meteorology. J. AWMA, 40(2), 206-210.
- Y. S. Chung and T. Dann (1985) Observations of Stratospheric Ozone at the ground level in Regina, Canada. J. Atmospheric Environment, 19(1), 157-162.