

1990~1995 서울·수도권 지역의 광화학 오염현상

Indication of Photochemical Air Pollution in the Greater Seoul Area, 1990 to 1995

김 영 성

한국과학기술연구원 환경연구센터

(1996년 9월 2일 접수, 1997년 2월 3일 채택)

Young Sung Ghim

Environment Research Center, Korea Institute of Science and Technology

(Received 2 September 1996; accepted 3 February 1997)

Abstract

Status of photochemical air pollution in the Greater Seoul Area (GSA) between 1990 and 1995 was assessed in terms of frequency distributions, number of days exceeding standards, average concentration and meteorological effects. In Seoul compared with other areas in Korea, daily maximum concentration was higher but average concentration was not so high due to lower daily minimum from April to October. The top 5th percentile was high especially in summer season. Average number of days exceeding 100 ppb at monitoring stations in GSA was highest in 1994, the hottest year, but it was only 4 days a year. Mean meteorological pattern of high ozone days could be summarized as low wind speeds, high temperatures, strong solar radiation, and low precipitation. Westerlies were more frequent on high ozone days and at Pangi station located in the eastside of GSA, both number of high ozone days and average concentration were high. Effect of precursor transport on the rise of ozone concentration was, however, not consistently important on the whole in GSA.

Key words : photochemical air pollution, the Greater Seoul area, ozone standard exceedances, ozone average concentration, meteorological effects

1. 서 론

1996년 여름은 수차례 발령된 오존 주의보와 함께 서울, 수도권 지역주민들 사이에 대류권 오존에 관한 관심이 어느 해 보다 높아진 때이다. 작게는 서울, 수도권, 크게는 우리나라의 오존농도 수준과 추이에 대한 의문들이 이어지고 있다. 서울, 수도권의 오존농도는 어느 정도인지, 차량이 계속 증가하는 상태에서 우리나라 오존농도도 광화학 오염으로 유명한 LA 만큼 높아질 것인

지, 뿐만 아니라 서울 하늘이 광화학 스모그 때문인지 등의 의문들이 있다.

마지막 질문부터 가능한대로 답변을 찾아보면, 첫째, 광화학 스모그가 낮에 발달하는데 비하여 서울의 스모그는 아침부터 시작된다는 점에서 최소한 광화학 스모그만은 아니다. 둘째, 서울, 수도권의 경우 차량 증가 등 요인에 의하여 향후 오존농도가 높아질 수 있으나 기후 조건이 다른 이상(WHO/UNEP, 1992) LA나 멕시코시티와 같이 높아지지는 않을 것으로 예상된다. 본 논문은 첫 번째 질문에 대한 답변을 위하여 1990년부터 1995년

까지 6년간 서울, 수도권 지역 환경부 측정소와 서울시 운영 10개 측정소에서 측정된 오존농도를 살펴본 것이다.

2. 서울의 오존농도

표 1은 1991~1993기간 서울시 20개 측정소 측정치의 단기 환경기준 초과회수이다. 대기질의 변화를 볼 수 있도록 '93년 말 개정기준까지를 포함하여 가장 엄격한 기준에 대한 초과회수를 조사하였다. 아황산가스, 먼지,

일산화탄소 등의 기준 초과회수는 3년간 현저히 감소하고 있다. 그러나 이산화질소와 오존의 초과회수는 감소하지 않고 있다. '91년에는 아황산가스의 기준 초과가 오존보다 월등 많으나 '93년에는 상황이 역전되고 있다. 표 1은 서울의 대기질이 불과 3, 4년전 직접 배출에 의한 1차 오염에서 대기 중 화학반응이 중요한 2차 오염으로 빠르게 전환되었음을 보여 주고 있다.

그림 1은 광화문에서 오존농도가 각각 322 ppb와 243 ppb까지 상승하였던 1994년 8월 23일과 24일의 모습이다. 8월 23일은 광화문의 최고치 보다 빠른 오후 2, 3시에 부천 심곡에서 148, 146 ppb까지 상승하였고, 8월 24일은 잠실에서 12시, 2시에 125, 128 ppb까지 높았으나 광화문의 농도 상승에 비할 바는 아니다. 322, 243 ppb까지 상승하였던 광화문의 오존은 그러나 밤에는 수 ppb 수준으로 급속히 떨어져 전형적인 광화학 오염의 양상을 보이고 있다(김영성, 1996). 그림 1

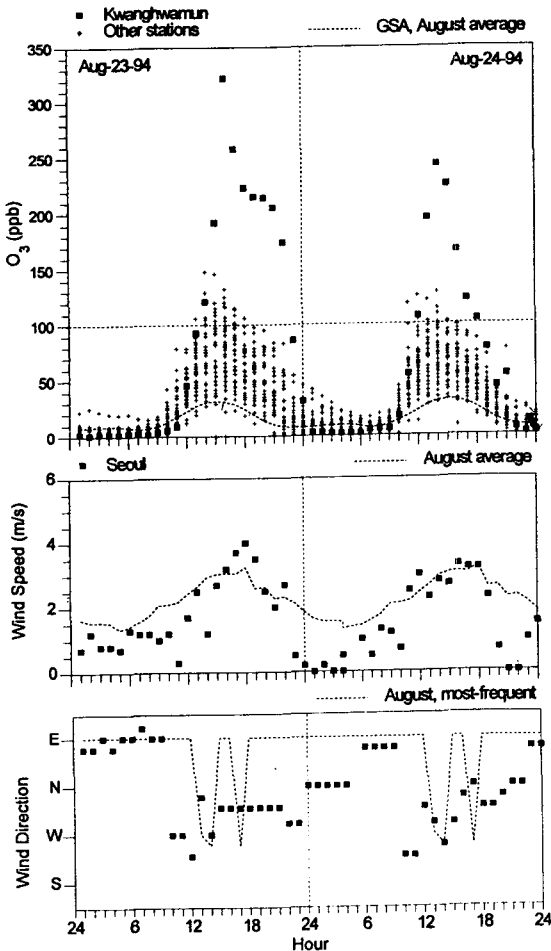


Fig. 1. Variations in ozone concentrations at Kwanghwamun and other stations in the Greater Seoul Area, together with wind speed and direction measured at the Seoul Meteorological Station from August 23 to 24, 1994.

Table 1. Number of exceedances of selected short-term standards for 5 criteria pollutants at 20 monitoring stations in Seoul.

Pollutant Standard	1991	1992	1993
SO ₂ 1-hr average 250 ppb ^a	936	178	0
TSP 24-hr average 300 µg/m ³	124	62	38
CO 8-hr average 9 ppm ^b	87	30	1
NO ₂ 24-hr average 150 ppb ^a	43	15	40
O ₃ 1-hr average 100 ppb	157	222	63

^a Enforced from December 31, 1993.

^b Enforced from January 1, 1995.

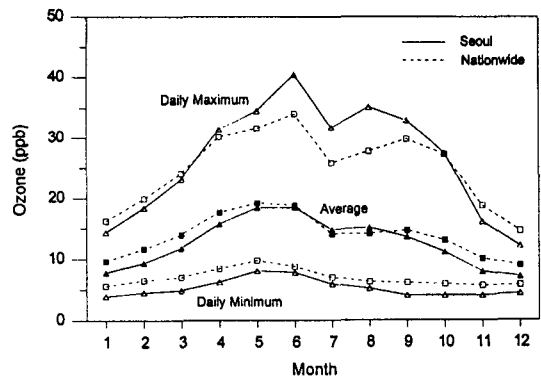


Fig. 2. Monthly average concentrations with mean daily 1-hour maximum and minimum concentrations for Seoul and nationwide from 1990 to 1995.

의 아래 그림들은 종로구 송월동의 기상청에서 관측한 풍향, 풍속이다. 8월 평균에 비하여 크게 두드러지지 않는으나 일사가 강한 오후 몇시간을 제외하고는 대체로 풍속이 낮고 낮시간에는 서풍이 비교적 잦다.

그림 2는 전국 평균과 비교한 서울의 월평균 농도 변화이다. 월평균은 전국 평균이 대체로 높으나 7, 8월은 서울이 높다. 평균 일 최고 농도는 4월부터 10월까지 소위 오존 시즌동안 서울이 높은 반면 평균 일 최저 농도는 연중 내내 서울이 전국 평균 보다 낮다. 상대적으로 낮은 최저 농도에도 불구하고 7, 8월 서울의 월평균이 전국 평균보다 높은 것은 7, 8월 서울의 최고 농도가 전국 평균보다 크게 높기 때문이다. 이에 따라 서울에서는 봄철 최고, 7, 8월 하락, 가을철 재상승의 오존농도 변화 양상이 전국 평균보다 약하다.

3. 오존농도 변화 특성

표 2는 서울, 수도권 지역과 전국의 측정소 수 및 측정소 자료 수집율이다. 전국의 측정소 수는 1990년부터 6년 동안 30% 가까이 증가하였지만 서울, 수도권 지역의 측정소 수는 3개가 늘었을 뿐이다. 회수율(recovery rate) 대신 수집율이라는 용어를 사용한 것은 분석기로부터 얻은 자료의 신뢰성을 점검하는 체계적 절차가 아직 마련되어 있지 않기 때문인데, 오존 측정치 수집율은 80~90%로 서울, 수도권과 전국 모두 연도별 차이가 크지 않다. 그림 3은 지난 6년간 운영되었거나 현재 운

Table 2. Collection of data from surface ozone monitoring stations^a.

	GSA		Nationwide	
	Number of stations ^b	Average rate of data collection ^c	Number of stations ^b	Average rate of data collection ^c
1990	34	77.7%	71	79.9%
1991	35	88.3%	77	79.0%
1992	35	83.3%	78	83.3%
1993	35	91.8%	80	93.1%
1994	37	91.7%	84	91.4%
1995	37	83.8%	92	88.0%

^a Not followed by systematic data validation procedures.
^b Total number of stations operated including closed and newly opened stations in that year. Stations existed, but completely not operated in that year, were excluded.
^c Effective rate. Opening and closing were taken into account on the monthly base. Stations existed, but completely not operated in that year, were not counted.

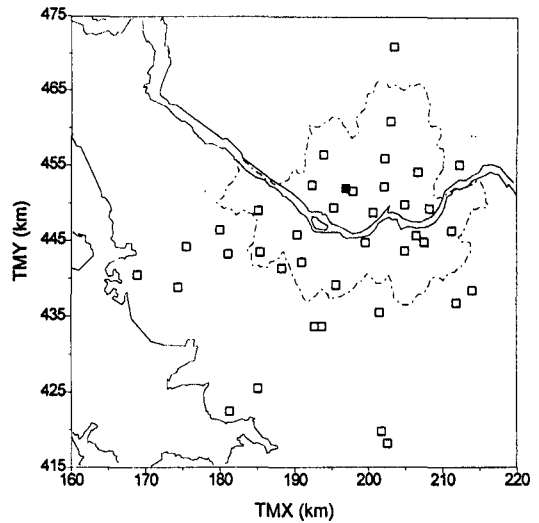
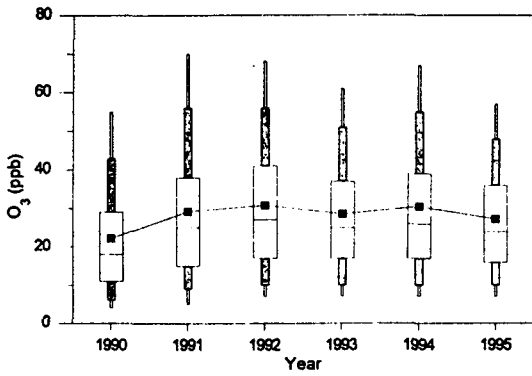


Fig. 3. Air quality monitoring stations in the Greater Seoul Area. Open rectangles indicate monitoring stations, and a solid rectangle indicates the Seoul meteorological station. Dashed line represents the boundary of Seoul.

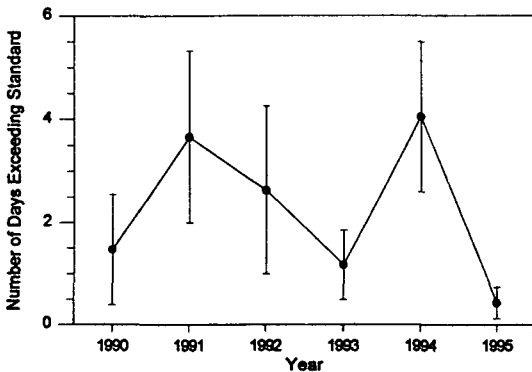
영 중에 있는 38개 측정소와 서울 기상 관측소의 위치이다.

그림 4의 (a)와 (b)는 지난 6년간 서울, 수도권의 오존농도 변화추이를 알아보기 위한 연도별 2번째 일 최고 농도분포와 측정소 평균 1시간 환경기준 초과 일수이다. 그림 4(a)의 2번째 일 최고 농도는 일 최고 농도나 환경기준 초과회수에 비하여 주위의 일시적 환경 변화에 덜 민감한 까닭에 미국 EPA에서도 이를 토대로 오존농도 변화 추이를 조사하고 있다(NRC, 1991). 2번째 일 최고 농도평균은 '92년과 '94년이 높으나 상위 5%는 '91년이 가장 높고 '92, '94년 순이다. 그림 4 (b)의 측정소 평균 환경기준 초과일수는 $\Sigma(\text{측정소별 환경기준 초과 일수})/(\text{측정소 수})$ 이다. 이미 지적한 바와 같이 연도별 측정소 평균 환경기준 초과일수 변화는 그림 4(a)보다 훨씬 커서 '94년과 '91년의 초과일수가 월등 많다. 그러나 초과일수가 가장 많은 '94년도 그 수는 4일 정도이다. '94년은 측정소별 편차가 비교적 작은데 비하여 '91년은 크고, 그림 4(a)에서 평균이 가장 높고 상위 5% 값도 '91년 다음으로 높았던 '92년의 초과 일수가 의외로 그리 많지 않다.

기온은 광화학 오존 생성에 영향을 미치는 가장 중요한 기상인자 중의 하나이다. 보편적으로 20~25°C 이하에서는 기온의 영향이 거의 없으나 30°C를 넘으면 영



(a) Boxplot comparison of trends in annual second highest daily maximum 1-hour ozone concentration. Each box represents the 5th, 10th, 25th, 50th (median), 75th, 90th, and 95th percentiles of the data. The mean values are joined by line.

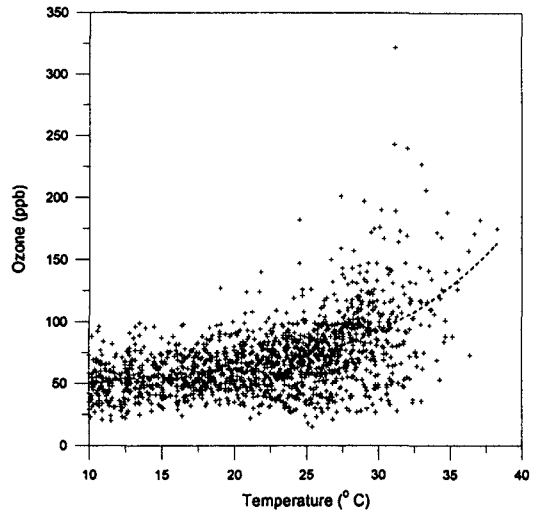


(b) Average number of days exceeding ozone standard of 1-h average 100 ppb with 95% confidence intervals.

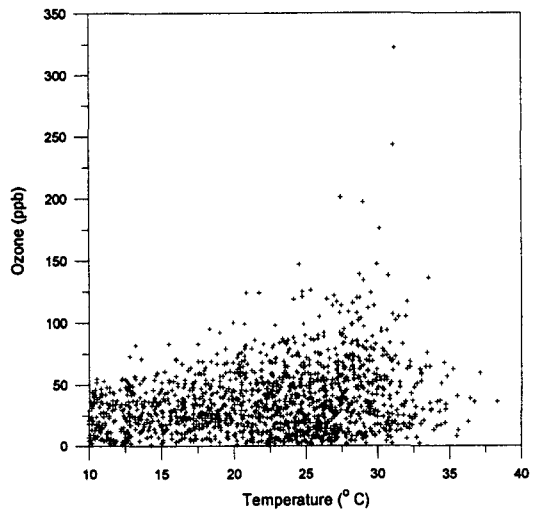
Fig. 4. Trends in annual ozone concentration in the Greater Seoul Area.

Table 3. Number of days on which daily maximum temperature exceeds 30°C at the Seoul meteorological station.

Month	1990	1991	1992	1993	1994	1995
5	0	1	0	1	0	0
6	0	2	0	0	5	0
7	7	2	55	2	22	10
8	19	12	7	0	22	8
9	2	2	2	0	3	0
Sum	28	19	14	3	52	18



(a) Ozone concentration represents the greatest value of daily maximum concentrations measured at the monitoring stations in the Greater Seoul Area.



(b) Ozone concentration represents the daily maximum concentration measured at Kwanghwamun station.

Fig. 5. Daily maximum ozone vs. daily maximum temperature between 1990 and 1995. Temperature was measured at the Seoul meteorological station.

향이 급격히 커진다(NRC, 1991). 표 3은 서울 기상 관측소에서 관측된 일 최고 기온이 30°C를 초과한 날수이다. 그림 4와 함께 표 3을 보면, '90년은 최고 기온이 30°C를 넘는 날 수는 많으나 오존농도는 높지 않다. 반면 '91년의 고온 일수는 '94년의 1/3 정도이나 그림 4(b)에 나타난 '91년의 오존 고농도 일수는 '94년에 비할 만하다.

그림 5(a)는 지난 6년간 서울, 수도권내 측정소 중 최고 농도와 서울 기상관측소에서 관측된 최고 기온의 상관관계를 살펴본 것이다. 어느 정도 두 변수사이의 상관관계를 볼 수 있으나 기온이 30°C를 훨씬 넘어선 경우도 기온과 최고 농도 사이의 상관 관계가 그리 뚜렷하지 않다. 서울 기상 관측소의 기온으로 서울, 수도권내 최고 농도를 살펴보는 것이 무리라고 생각할 수 있으므로 그림 5(b)에서는 서울 기상관측소와 인접한 광화문의 측정치만을 이용하여 상관관계를 살펴보았다. 그러나 두 변수 사이의 상관관계는 그림 5(a)보다 훨씬 못하다. 이러한 현상의 이면에는 기온은 국지 변화가 심하지 않으므로 기온에 관한 한 서울 기상관측소가 서울, 수도권을 대표하지 못한다고 볼 수 없으며, 국지 환경의 영향을 받을 수 있는 한 측정소의 측정치보다는 지역 단위의 분석에서 보편적 특성이 보다 잘 드러날 수 있다는 점 등을 생각할 수 있다.

그림 5에서 최고 기온과 농도의 상관 관계가 덜한 것은 주로 기온이 높음에도 농도가 상승하지 못한 때문이다. 따라서 표 4에서는 1시간 환경기준을 초과한 고농도 일과 보통일을 나누어 각 군별로 기온을 포함한 주요 기상요소의 평균 특성을 조사하였다. 1년을 두달씩 묶어서 서울, 수도권내 34~37개 측정소 중 1곳이라도 환경 기

준을 초과한 날은 고농도일로 분류하였으며, 기상은 그대로 서울 기상 관측소 관측치를 대표치로 사용하였다. 김영성(1996)이 1차 박힌 바와 같이 높은 기온 외에 낮은 풍속, 강한 일사, 적은 강우들이 고농도일의 기상 특성으로 나타나고 있다. 평균적으로 볼 때 고농도일에 강우가 적은 것이 사실이나 7, 8월만을 분리하여 표준편차와 함께 보면 10 mm 이상의 강우가 있었던 날도 오존농도가 100 ppb 이상 상승하여 편차가 매우 심한데, 서울 기상관측소 주변의 국지 강우나 강우 시간들과 관련된 현상으로 해석된다.

1991~1993년의 분석에서도 지적되었지만(김영성, 1996) 표 4에서 가장 흥미있는 현상 중의 하나는 고농도일에 서풍의 비율이 높다는 사실이다. 많은 서울, 수도권의 오염원들이 서울을 중심으로 서쪽에 위치하고 있다는 점에서 고농도일의 잦은 서풍은 LA 지역에서 Blumenthal 등(1978)이나, 동경 지역에서 Chang 등(1989), 서울, 수도권에서 정용승, 장재섭(1991)들이 관찰한 광화학 반응물질의 이동에 의한 오존농도 상승의 가능성을 시사할 수 있다. 만일 광화학 반응물질이 서에서 동으로 이동하며 오존농도가 상승한다면 국지 배출이나 지형조건 등의 영향으로 최고치는 변할 수 있으나 최고치가 나타나는 최고치 시간은 동쪽으로 이동할 수록 늦어질 수 있다.

따라서 표 5에서는 표 4와 같이 고농도일과 보통일을 나누어 각기 측정소별 TMX 좌표와 최고치 시간간의 상관계수를 조사하였다. 고농도일의 평균 상관계수가 보통일보다 커서 동쪽으로 갈수록 최고치 시간이 지연되는 현상을 볼 수 있으나 매우 약하다. 뿐만 아니라 고농도 일에도 상관계수 최소치는 모두 음이어서 동쪽으로 갈수

Table 4. Mean meteorological pattern^a of high ozone days^b compared with other days in the Greater Seoul Area from 1990 to 1995.

Months	Number of Days ^b	Wind Speed (m/s)	Temperature (°C)	Solar Radiation (MJ/m ² ·day)	Precipitation (mm/day)	Most Frequent Wind Direction(%)
3~4	7 (high) 359	2.22±1.66 2.73±1.69	16.33±4.16 8.88±5.52	17.60±4.34 12.64±5.58	.07±.19 1.91±5.90	w (20.2%) w (18.4%)
5~6	47 (high) 319	2.09±1.38 2.52±1.57	22.96±4.08 18.85±4.40	19.17±2.86 14.33±7.12	.56±2.51 5.38±14.83	w (26.2%) w (18.2%)
7~8	84 (high) 288	1.77±1.16 2.28±1.44	26.95±3.89 24.85±3.13	16.28±4.19 10.50±6.33	2.40±10.68 13.99±28.07	w (18.1%) ne (23.1%)
9~10	23 (high) 343	1.53±1.08 1.88±1.30	22.09±4.33 17.33±5.09	14.34±2.08 11.22±4.38	1.04±4.98 4.03±18.44	w (23.7%) ne (21.2%)

^a Represented by meteorology at the Seoul meteorological station.

^b 'High ozone days' or 'days (high)' means that ozone standard of 1-hour average 100 ppb was exceeded at any station in GSA on those days.

Table 5. Correlations between ozone peak time and TMX coordinates on high ozone days^a compared with other days in the Greater Seoul Area from 1990 to 1995.

Months	Number of Days ^a	Correlability		
		Average	Minimum	Maximum
3~4	7 (high)	.302	-.101	.586
	359	.086	-.523	.927
5~6	47 (high)	.224	-.511	.839
	319	.104	-.612	.824
7~8	84 (high)	.156	-.504	.784
	288	.088	-.608	.843
9~10	23 (high)	.116	-.356	.803
	343	.031	-.716	.803

^a 'High ozone days' or 'days (high)' means that ozone standard of 1-hour average 100 ppb was exceeded at any station in GSA on those days.

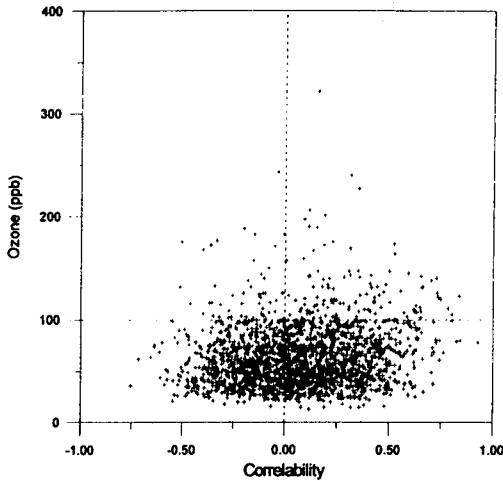


Fig. 6. Daily maximum ozone vs. correlability between ozone peak time and TMX coordinate in the Greater Seoul Area from 1990 to 1995.

록 최고치 시간이 빨라지는 역의 현상도 관찰되고 있다. 그림 6은 최고치 시간과 TMX 좌표간의 상관계수와 오존 최고 농도 사이의 상관관계이다. 서울, 수도권의 주풍이 서풍이므로 양의 상관계수가 많으나 양의 방향으로 상관계수가 커질수록 오존 최고농도가 커진다고 보기는 어렵다. 결국 표 5와 그림 6이 의미하는 한 그림 3의 영역 내에서는 동쪽에서 서쪽으로의 광화학 반응물질 이동이 오존농도 상승에 최소한 지속적으로 중요하지는 않다.

이와 같은 결과를 이해하기 위해서는 국지 기상과 광화학 반응물질 배출에 대한 구체적 자료가 필요한 물론이다. 그러나 우선 개괄적으로 ① 주요 점오염원은 인천 해안가에 있으나 먼오염원은 그림 3에서 북동쪽에 가까운 광화문 등 한 서울도심의 비중이 크고(장성기, 1996), ② 표 4의 서울 풍속이 3, 4월을 제외하고는 2 m/s 내외로 낮을 뿐 아니라 지형이 복잡하고 도심에는 고층 빌딩이 많아 대기 흐름이 국지화 되기 쉬우며, ③ 다음 항에서 보다 상세히 살펴볼 예정이나 광화학 반응이 서울, 수도권 전역에서 지배적인 것으로 판단하기 어렵다는 점들을 원인으로 생각할 수 있다.

4. 오존농도 분포 특성

그림 7은 1990년부터 1995년까지 측정소별 1시간 환경기준 초과일과 평균농도 분포이다. S로 표시된 신태음 측정소는 서울대학교 구내에 위치하여 주변의 관악산은 물론 교내도 녹지 비율이 비교적 높는데, 평균농도는 가장 높으나 6년간 환경기준 초과가 한번도 없다. 반면 K로 표시된 광화문 측정소는 기준 초과일이 많으나 평균

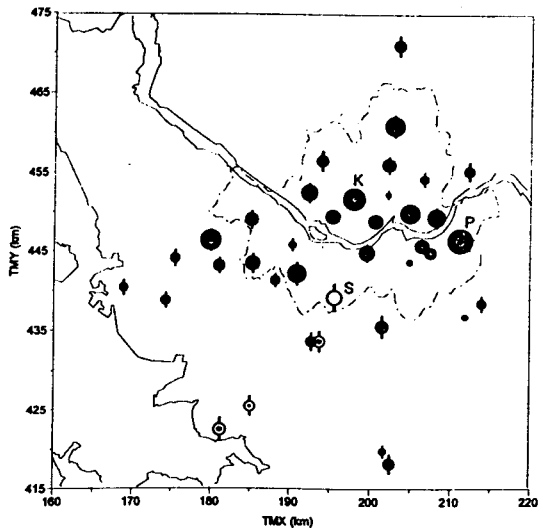


Fig. 7. Number of days exceeding ozone standard of 1-hour average 100 ppb vs. average concentration from 1990 to 1995. Blot represents total number of days exceeding standard, which varies from 0 to 49. Open circle with vertical bar represents average concentration, which varies from 9.4 ppb to 17 ppb. (S indicates Sillim; K, Kwanghwamun; P, Pangi.)

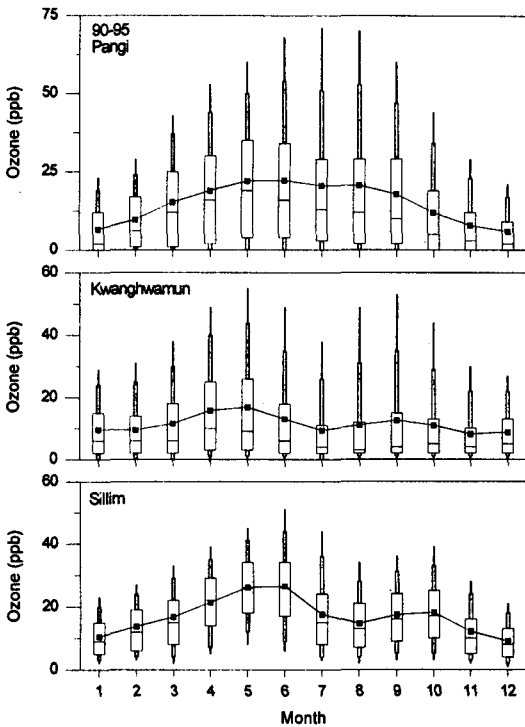


Fig. 8. Monthly variations in box plots of 1-h average ozone concentrations at three distinct stations in Seoul from 1990 to 1995. Each box represents the 5th, 10th, 25th, 50th (median), 75th, 90th, and 95th percentiles of the data. Monthly average values are joined by line. Pangi is where the number of days exceeding ozone standard was the largest and average concentration was also one of the highest. Kwanghwamun is where the number of days exceeding ozone standard was large but average concentration was low. Sillim is where average concentration was the highest, but days exceeding standard were not observed.

농도는 낮아 대조적이다. P로 표시된 방이 측정소는 기준 초과일이 가장 많고 평균농도도 높다. 특징적인 몇몇 측정소를 살펴보았으나 그림 7의 환경기준 초과일과 평균농도 분포에서 일관된 경향을 발견하기는 매우 어렵다. 동쪽 끝에 위치한 방이 측정소의 기준 초과일수와 평균농도가 모두 높다는 사실을 광화학 반응물질의 이동과 연관지어 생각할 수 있으나 서울, 수도권 전반의 기상 및 배출에 관한 이해가 부족한 현재로써 방이 측정소 결과만을 별도로 취급하기는 쉽지 않다.

그림 8은 그림 7의 특징적인 세 측정소의 월별 1시간

평균농도 분포이다. 방이 측정소는 4월부터 10월까지 오존 시든 내내 중간값과 평균값이 모두 크다. 중간값은 5월이 가장 높으나 상위 5% 값은 7월이 가장 높다. 광화학 측정소는 중간값이 7, 8월에 특히 낮으나 상위 5% 값은 그리 낮지 않아 7, 8월에 평균과 중간값의 차이가 크다. 상위 5% 값은 5월과 9월에 최대를 보이며, 특히 9월에는 고농도가 많아 평균값이 상위 25% 수준까지 근접하고 있다. 7월부터 9월 내지 10월까지 광화학의 이러한 변화는 저농도가 증가하며 고농도가 발달함으로써 극지 배출에 의한 광화학 반응이 중요한 대표적 지점으로 생각할 수 있다(김영성, 1996). 광화학만큼 두드러지는 않으나 방이에서도 여름부터 가을까지 중간값과 평균값의 차이가 커 광화학 반응의 영향을 짐작할 수 있다.

반면 신림은 농도분포폭이 매우 좁아 평균값과 중간값의 차이가 작다. 모든 통계치들이 유사하게 5, 6월에 높고 9, 10월에 다시 높다. 높은 평균값에도 불구하고 신림의 이러한 변화는 광화학 반응의 결과로부터 가장 멀며, 봄철 최고, 7, 8월 하락, 가을철 2차 상승이라는 우리나라 배경 농도 특성의 많은 부분을 가장 잘 반영하고 있다. 그림 9는 전국 주요 지점의 월별 1시간 평균 농도 분포이다. 신림의 변화는 평균값이 높고 시기적으로 다소 차이가 있으나 봄철 최고, 여름철 하락이 분명한 등 여천에 가깝다. 서울의 변화는 광화학에, 춘천의 변화는 방이와 각각 유사하다. 서울, 수도권 동쪽 춘천의 변화가 방이와 유사하다는 점이 다시 한 번 광화학 반응물질의 이동에 의한 오존농도 상승 가능성을 제기할 수 있으나 향후 검토되어야 할 부분이다.

5. 결 론

'91~'93년의 우리나라 전반에 이어(김영성, 1996) '90~'95년 서울, 수도권을 대상으로 오존농도 변화 특성을 조사하였다. 측정소 수와 측정소별 자료 수집율의 차이가 심하여 월평균 일 최고, 최저 농도으로써 광화학 오염 정도를 판단하였던 앞의 논문에 비하여 서울, 수도권에서는 이들의 연도별 변화가 크지 않아 1시간 평균 농도 분포와 환경기준 초과일수 등 보다 보편적 변수를 이용하여 광화학 오염 현상을 살펴보았다.

① 우리나라 여타 지역에 비하여 서울은 오존 시든인 4월부터 10월까지 월평균 일 최고 농도는 높으나 일 최저 농도가 낮아 평균치가 낮으며, 상위 5% 값은 여름 동안 높다. 서울과 주변 지역의 오존농도 변화는 광화학 오염의 특성을 지니고 있다.

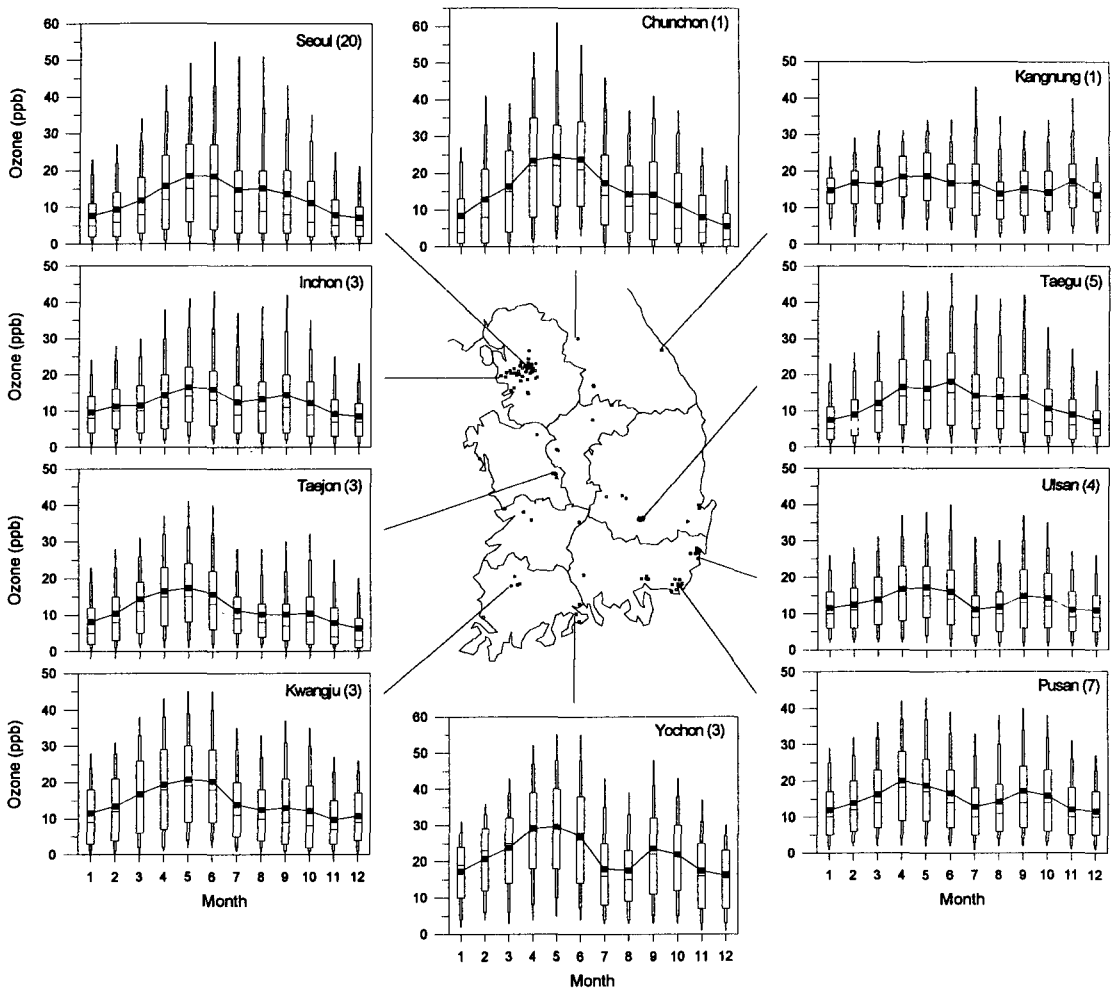


Fig. 9. Monthly variations in box plots of 1-h average ozone concentrations in 10 cities in Korea from 1990 to 1995. Figure in the parentheses indicates the effective number of monitoring stations in that city. Each box represents the 5th, 10th, 25th, 50th (median), 75th, 90th, and 95th percentiles of the data. Representative monthly averages of the city were obtained by averaging monthly averages for stations in the city, and are joined by line.

② 서울, 수도권 측정소 평균 1시간 환경기준 초과일 수는 7, 8월이 가장 더웠던 '94년에 가장 많으나 4일 정도이다. 대체로 기온이 높을 때 오존농도도 높으나 기온만의 상관관계는 그리 뚜렷하지 않다. 100 ppb 이상 고농도일의 기상 특성은 고온 외에 약한 풍속, 강한 일사, 적은 강우로 요약된다.

③ 고농도일에는 서풍이 잦고, 약하기는 하나 동쪽으로 갈수록 오존 최고치 시간이 늦어지는 경향도 있다. 서울, 수도권 동쪽의 방이 측정소는 환경기준 초과일과

평균농도가 모두 높고, 춘천의 오존농도 분포도 방이와 유사하다. 그러나 광화문에서는 국지 배출의 영향이 뚜렷하고, 신림의 변화에는 우리나라 배경농도 특성이 나타나는 등 국지적 성향도 강하다.

감사의 글

본 연구를 지원하여 주신 과학기술처와 측정 자료를 제공하여 주신 환경부 관계자분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김영성 (1996) 1991~1993년 사이 우리나라의 오존 농도 변화, 한국대기보전학회지, 12, 55-66.
- 장성기 (1996) 개인 교신, 국립환경연구원 대기공학과.
- 정용승, 정재섭 (1991) 서울 수도권 지역의 광화학 오존에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 7, 169-179.
- Blumenthal, D.L., W.H. White, and T.B. Smith (1978) Anatomy of Los Angeles smog episode: Pollutant transport in the daytime sea breeze regime, Atmospheric Environment, 12, 893-907.
- Chang, Y.S., G.R. Carmichael, H. Kurita, and H. Ueda (1989) The transport and formation of photochemical oxidants in central Japan, Atmospheric Environment, 23, 363-393.
- NRC (National Research Council) (1991) *Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution*, National Academic Press, Washington, D.C.
- WHO/UNEP (1992) *Urban Air Pollution in Megacities of the World*, World Health Organization, United Nations Environment Programme, Blackwell, Oxford (Edited excerpts from the report can be found in "Air pollution in the world's megacities," Environment, 36, 4-13, 25-37, 1994).