# 서울지역 대기중 오존 발생 특성에 관한 연구

연세대학교 보건대학원

환경관리학과

박 영 석

# 서울지역 대기중 오존 발생 특성에 관한 연구

지 도 신 동 천 교 수

이 논문을 보건학석사학위 논문으로 제출함

2000년 6월 일

연세대학교 보건대학원

환 경 관 리 학 과

박 영 석

**박영석의 보건학 석사학위논문을 인준함.**

**심사위원 _____ 인**

**심사위원 _____ 인**

**심사위원 _____ 인**

**연세대학교 보건대학원**

**2000년 6월 일**

# 감 사 의 글

오늘의 내가 있기까지 인도하신 하나님께 감사와 영광을 드립니다.
마음속에 간직한 소망을 이룰 수 있도록 배움의 길을 열어주어 나름대로는 열심히 배우고 모든 일에 충실하고자 노력하였으나, 지나간 세월은 널 아쉽기만 합니다.

먼저 배움의 길을 열어주시고 많은 관심과 이해로 배려해 주신 신동천 교수님께 감사를 드립니다. 또한 논문심사를 통하여 조언을 해 주신 이종태 교수님, 항상 밝은 웃음으로 학생들을 대하며 어려울 때마다 힘이 되어 주신 박성은 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

또한 바쁜 업무에도 불구하고 이 논문을 작성할 수 있도록 자료 수집에 많은 도움을 준 환경부 박규식 님, 업무를 맡아 처리해 준 동료 신보균 님, 뿐만 아니라 학업을 계속할 수 있도록 시간적인 배려와 위로를 아끼지 않으신 과장님을 비롯한 모든 동료들, 힘들고 어려울 때 같이 걱정하며 도움을 준 김영준 사장님, 장명규 사무관, 김 현 님, 짧은 시간이나마 함께 공부한 김진용 군을 비롯한 원우들 모두에게도 진심으로 감사를 드립니다.

아울러 당신의 안위를 걱정하시기 보다 자식을 위해 하루도 빠지지 아니하고 기도하시는 부모님, 연로하시어 매일 문안을 드려도 부족한데 위로 한번 해드리지 못하였음을 돌이켜 보며 다시 한번 부모님의 애틋하신 은혜를 깨닫습니다. 그리고 부족한 이 사람과 23년을 함께 살아오면서 항상 곁에서

위로와 용기를 북돋우어 주는 사랑하는 아내 이경옥 님, 당신에게 이 세상에 모든 것을 주어도 아깝지 않는 사랑과 고마움을 늘 느끼며, 내가 해야하는 집안의 크고 작은 일들을 대신해 주는 영호와 멀리 미국에서 형을 위하여 늘 걱정하며 기도하는 영철이, 누님과 매형, 그리고 이문호 장로, 전성숙 집사 이 모든 분들께도 항상 고마운 마음 금할 길이 없습니다. 나의 일에만 동분서주하며 너희들을 제대로 돌보지 못하였으나 오히려 부모를 걱정하는 교상이와 진상이에게 아비로서의 미안한 마음을 전한다.

앞으로는 그 동안 나를 위해 걱정하며 도와준 모든 분들께 은혜를 갚는 마음으로 보다 충실한 삶을 살아가기 위해 하루하루 모든 일에 최선을 다할 것을 다짐하면서, 이 작은 결실의 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

2000. 6.

박 영 석 올림

# 제 목 차 례

# 표 차 례

# 그 림 차 례

# 국 문 요 약

우리 나라는 1980년대부터 자동차의 운행이 급속히 증가하여 서울을 비롯한 도시지역의 대기환경은 악화되었다. 특히 서울지역은 과도한 기능 집중 현상으로 인해 공업지역 및 인구밀도가 높은 지역이 주변지역으로 확대됨으로서 대기오염은 점차 가속화되었으며, 최근 서울지역에서 봄과 여름철에 오존주의보가 빈번히 발령되고 있어 시민들은 과거 LA스모그 사건과 같은 대기오염 사건이 서울에서도 발생되지 않을까 하는 걱정과 관심의 대상이 되고 있다.

이에 본 연구에서는 오존이 고농도로 발생될 때 이로 인한 피해를 최소화하고, 오존발생 저감대책을 수립하기 위해서는 오존이 고농도로 발생될 때의 특성 연구가 선행되어야 하므로, 서울지역에서의 대기 중 오존발생 특성을 연구하고자 하였다. 연구는 1990년부터 1999년까지 서울지역 전역에 설치된 대기오염 자동측정소에서 측정한 대기오염물질 농도 및 기상관측 자료를 이용하여 연도별 · 월별 · 시간대별 오존발생 현황 및 변화추이를 파악하고, 오존농도와 오존발생과 관계가 있는 인자를 비교 · 분석하였으며, 1999년도에 고농도의 오존이 발생될 때 서울지역 오존농도의 수평적 · 공간적 분포도를 작성하였다. 그 결과는 다음과 같았다.

첫째, 연도별 오존농도 현황 및 변화추이는 지난 10년간 매년 증가하는 추세이며, 연 평균 농도가 1990년 9ppb에서 1999년 16ppb로 89% 증가하였다. 월별 오존농도의 변화는 1990년은 8월이 14ppb로 가장 높았고, 1991년부터 1999년까지는 5월과 6월이 가장 높았다.

둘째, 오존농도의 단기기준초과 횟수는 1990년에 20개 지점 중 9개 지점, 1999년에는 27개 지점중에서 93%인 25개 지점으로 증가하였으며, 월별로는 초과횟수가 많은 달은 연도별로 일정하지 아니하였다. 또한 1995년부터 실시하는 오존경보제도에 의하여 주의보가 발령된 횟수는 1995년에 2회에서 1999년에는 16회로 증가하였으며, 월별로는 6월이 가장 많았다.

셋째, 오존농도와 다른 대기오염물질과의 연도별 변화추세는 오존은 1990년에 비해 1999년에 89% 증가하였으나, 이산화질소는 7%(2ppb) 증가하였으며 반면, 아황산가스·일산화탄소 및 총 먼지는 각각 86%·58%·57% 감소하여, 서울지역도 광화학반응에 의한 오존 등 2차 오염물질이 증가하고 있었다.

넷째, 서울지역 27개 지점에서 1999년도에 측정된 월별 오존농도는 최고치가 25개 지점은 30ppb이하이었으나, 방학동지점은 6월에 37ppb, 신림동 지점은 5월과 6월에 39ppb로 가장 높았고, 월별 최고치를 나타내는 달은 6월이 20개 지점으로 가장 많았다.

다섯째, 또한 주요지점 7개지점을 선정하여 시간대별로 분석한 결과 15시  16시에 최고치를 나타내고, 08시  09시에 최저치를 나타내었다. 시청앞지점 등 일부 지점은 03시  04시에 약간 상승하는 추세를 보였으며, 신림동의 경우 01시  06시에 26ppb을 보여 다른 지점보다 높은 편이였다.

여섯째 1999년도 오존농도와 기상과 비교한 결과 고농도의 오존발생에는 일정한 기온과 일사량 조건에서 강수량과 풍향 및 풍속의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

일곱째, Episode기간 오존경보 발령 권역별로는 남동지역과 북동지역이 남서지역과 북서지역보다 전체적으로 오존농도가 높았다. 또한 지점별로는 하루 중 최고치를 기록하는 같은 시간대에 140ppb이상을 나타내는 지점도 있는 반면, 100ppb이하를 나타내는 지점도 있어, 지점별로 상당한 차이가 있었다. 또한 야간의 농도가 다른 지점의 낮 시간대와 비슷하게 높은 지점도 있었다.

여덟째, 오존농도와 NO 및 $NO_2$농도의 관계는 대부분의 지점은 오전에 NO와 $NO_2$농도가 높았다가 오후 오존농도가 가장 높을 때부터 감소하는 전형적인 광화학반응을 보이는 지점도 있으나, 일부지점은 오전에 NO와 $NO_2$농도가 높지 않으면서 고농도의 오존을 보이는 지점도 있어, 고농도의 오존이 발생될 때에는 지점별로 또 다른 인자의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

아홉째, 서울지역 전체 27개 지점에 대한 Episode기간 3시간 간격의 수평적·공간적 오존분포도는 시간대별·지점별 변화가 크게 나타났으며, 1999년 6월 4일 12시 분포도의 경우 오존농도가 도시 중심부는 낮고, 외곽 부는 높은 현상을 보이는 특성을 볼 수 있었다.

끝으로 오존발생 특성을 보다 정확하고 과학적인 조사가 이루어지기 위해서는「광화학평가측정망의 설치, 기상자료와 환경자료의 실시간 연계방안 및 대기오염측정소에서의 기상자료 측정, 대기오염 측정자료에 대한 QA/QC 프로그램 개발, 대기오염 배출량 산정에 대한 체계구축, 광화학반응을 평가할 수 있는 단기예측 모형개발」같은 기반구축이 필요하였다.

# Ⅰ. 서 론

우리 나라는 1980년대부터 자동차 운행이 급속히 증가함에 따라 대도시 대기환경은 악화되었다. 특히 서울지역은 과도한 기능 집중 현상으로 인해 공업지역과 인구밀도가 높은 지역이 주변지역으로 확대됨으로서 대기오염이 점차 가속화되었으며 특히, 오존($O_3$)과 같은 2차 대기오염물질의 오염도가 증가 추세에 있는 것으로 알려져 있다. 이에 정부에서는 도시 대기환경 개선을 위하여 1981년부터 저유황연료 공급, 1988년부터 청정연료 사용의무 지역 및 건물을 확대하는 등의 연료정책을 추진하는 한편, 오존 등 2차 오염물질을 관리하기 위해 대기중에 오존농도가 일정기준 이상으로 높게 나타날 경우 시·도지사가 자동차의 운행제한 또는 사업장의 조업단축 명령을 할 수 있도록 하고, 시민들에게 인체 및 생활환경에의 피해를 최소화하도록 1995년부터 1시간평균 오존농도에 따라 주의보(120ppb 이상), 경보(300ppb 이상), 중대경보(500ppb 이상)를 발령하는 오존경보제도를 실시하고 있다(환경부, 1999).

대류권내에서의 광화학반응에 의하여 생성되는 오존은 화학인자·기상인자·지표인자 등의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다. 주요한 화학적 인자로는 질소산화물, 탄화수소 등이다. 이는 자동차, 산업체 등에서 배출된 질소산화물(Nitrogen Oxide) 및 휘발성유기화합물질(Volatile Organic Compound) 등이 태양에너지에 의하여 광화학산화와 해리에 의하여 오존($O_3$)이 생성되는 광화학반응에 관하여 Finlayson-Pitts and Pitts(1986), Haggen-Smit와 Fox(1953) 등의 연구에 의해 밝혀진 바 있다.

기상인자는 대기안정도 · 풍속 · 풍향 · 기온 · 습도 · 일사량 · 강우량 등이 있다. 일반적으로 오존의 생성은 대기안정도가 높고 일반풍에 비해 국지풍이 강하며 풍속이 낮을 때, 그리고 기온이 20℃ 이상이고 습도가 70% 이하이며 일사량이 많을 때 등의 조건에서 높은 강도로 발생한다고 알려져 있다. 1989년 미국과 유럽에서 강한 일사와 고온 건조했던 여름날씨가 높은 오존농도를 기록했다는 연구보고서가 있다(Lester, 1989). 또한 1986년과 1987년 중국 Taipei시의 대기중 오존발생에 관한 연구결과 여름철에 해륙풍이 오염물질을 Taipei시 도심으로 이동시켜 오존농도를 증가시켰으며(Chung 등, 1990), 미국의 뉴욕과 아틀란타시 뉴저지 등에서의 기후와 계절적 오존농도와의 상관관계를 연구한 결과 지속적인 높은 온도가 만성적인 높은 오존농도와 관계가 있는 것으로 보고된 바 있다(Vito, 1990), 우리 나라에서도 수도권 서쪽에 위치한 구로공단, 인구 · 교통 밀집지역인 인천 및 부평지역으로부터 NOx, $CH_4$ 및 유기화합물과 같은 대기오염물질을 이동시키는 해풍도 서울 동부 풍하측에 지면 오존의 최대치를 나타나게 하는데 기여한다는 보고(정용승, 1991)를 비롯하여 오존발생과 기상인자와의 관계에 대하여 많은 연구보고서가 이를 확인해 주고 있다.

지표인자로는 지표의 굴곡 · 산과 계곡 · 하천 등의 자연적 지형조건, 고층 건물이나 고속도로 등 도시구조에 관한 인공적 지형 등에 따라 광화학 스모그의 발생이 영향을 받는다는 보고가 있으며(水野建樹, 1984), 오존의 농도는 지역의 특성 · 공업지역 · 주거지역 · 도로변 등의 지역별 차이에 의하여 많은 영향을 받는다는 보고가 있다(Zurita, 1983).

이러한 요인에 의해 발생되는 2차 대기오염물질인 오존이 대기중에 높은 농도가 될 경우 인체 및 식물 등에 피해를 주게 된다. 오존으로 인한 사람에 대한 피해는 오존농도가 1,500ppb 2,000ppb에서 2시간이내에 인체에 해를 주게 되고, 250ppb의 농도에서 천식이 발생하며, 순환기의 점액막에 염증을 유발하여 폐 기능을 손상시키고 감기·폐렴에 대한 저항력을 감소시키며, 안과 질환을 유발하며 정신능력을 저하시킨다는 보고가 있다(Dix, 1981). 또한 오존농도가 50ppb 100ppb일 때 불쾌한 냄새를 느낄 수 있고, 50ppb 300ppb의 농도에서 30분 6시간 노출될 때에는 운동신경 저하, 학습능력 감소, 100ppb 300ppb의 농도에서 3시간 4시간 노출될 때에는 호흡기 자극, 기침발생, 눈 자극, 숨찬 증상을 보이며, 250ppb 750ppb농도에서 2시간 노출될 경우 운동할 때 폐 기능이 감소되는 것으로 알려져 있다(환경부, 1999). 또한 우리 나라 서울지역 병원 및 종합병원의 응급실을 찾은 환자를 대상으로 오존농도 변화와 천식 발작간의 상관성에 관해 연구한 결과 오존농도가 증가함에 따라 천식발작이 유의하게 증가하는 것으로 보고된 바 있다(한국환경정책평가연구원, 1997).

최근 서울지역에서 봄과 여름철에 오존주의보가 빈번히 발령되고 있어 시민들은 이와 같이 유해한 오존으로 인하여 과거 LA스모그 사건과 같은 대기오염 사건이 서울에서도 발생되지 않을까 하는 걱정과 함께 관심의 대상이 되고 있으며, 또한 서울시 대기중 오존의 오염도와 그 영향인자 분석 보고서(정용 등, 1986)에 의하면 당시에는 오존농도가 그다지 높지 않았으나 서울지역은 특징적인 오염의 양상을 보이고 있어 형태가 바뀜에 따라 오존의 농도가 크게 증가할 가능성이 있어 계속적인 연구가 있어야 한다고 보고된

바 있었다. 그러나 서울지역에 대한 오존발생에 관한 연구는 1980년대 후반부터 1990년대 초반까지는 연구가 일부 진행되었으나, 이 또한 일부지점에서 측정한 자료를 이용한 연구였으며, 오존경보제도가 실시된 1995년 이후에는 연구가 그리 많지 않은 것으로 파악되고 있다. 따라서 대기중에 고농도의 오존이 발생했을 때 이로 인한 피해를 최소화하는 방안을 마련하고, 오존발생을 억제하기 위한 저감대책을 수립하기 위해서는 오존이 고농도로 발생될 때 측정지점별 오존농도 분포 등 서울지역에서의 오존발생 특성에 관한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 광화학반응에 의한 생성, 이동, 소멸 등 복잡하고 다양한 요인에 의해 서울지역에서 발생되는 오존농도의 현황과 특성을 파악하고자 하며, 연구목적을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 서울지역에서 발생되는 오존농도의 연도별·월별·시간대별 발생현황과 변화추이, 단기기준 초과 및 오존경보 발령현황을 살펴보고

둘째, 오존농도와 오존의 생성에 관련이 있는 것으로 알려진 일산화질소·이산화질소 및 기상인자와 비교하며, 서울지역에서의 오존농도의 수평적·공간적 분포 특성을 분석한다.

# Ⅱ. 연구 내용 및 방법

## 1. 연구 내용

서울지역에 대한 대기오염도 측정자료를 이용하여 연도별·월별·일별 및 시간대별 오존발생 현황 및 변화추이와 오존이 고농도로 발생할 때 오존농도와 화학인자인 질소산화물·기상인자 및 지표인자를 비교·분석하며, 서울 전역에 대한 오존농도의 수평적·공간적 분포 상태를 조사하였다.

## 2. 연구 방법

### 가. 연구대상 지역 및 기간

본 연구의 대상 지역은 서울 전역으로 하였고, 대상기간은 연도별·월별 오존발생의 변화 추이는 1990년부터 1999년까지 10년간으로 하고, 고농도 오존발생에 대한 분석은 1999년도로 하였다.

### 나. 대기 측정자료 및 기상자료 수집

대기오염 측정자료는 연도별·월별 변화추세를 파악하기 위하여 환경부에서 발간되는 "환경통계연감 및 대기환경월보"에 수록된 $O_3$, $NO_2$, $SO_2$, CO, TSP 등 5개 항목의 자료를 이용하였으며, Episode기간의 오존발생에 대한 사례분석에 이용한 매시간 단위의 자료는 환경부에서 관리하고 있는 자료를 이용하였다. 이 자료는 환경부의「대기오염 측정망 설치·운영지침」에 따라 서울지역에 설치된 대기오염자동측정소에서 측정된 자료로서, 1999년도 현재 대기오염 측정지점 현황 및 위치는 표 1 및 그림 1과 같다.

표 1. 서울지역 대기오염 측정지점 현황

| 번호 | 측정지점 | 용도지역 | 주소 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 시청앞 | 상업 | 중 구 정동 5-1 | 덕수궁 내 |
| 2 | 이화동 | 주거 | 종로구 이화동 149-1 | 이화동 사무소 |
| 3 | 한남동 | 주거 | 용산구 한남동 726-78 | 서울 한강관리사업소 안 |
| 4 | 구의동 | 녹지 | 광진구 구의동 164 | 구의 수원지 본관 2층 |
| 5 | 성수동 | 상업 | 성동구 성수2가 299-240 | 성수3동사무소 3층 옥상 |
| 6 | 면목동 | 주거 | 중랑구 면목2동 192 | 중랑 초등교안 양호실 2층 옥상 |
| 7 | 신설동 | 주거 | 동대문구 신설동 109-5 | 숭의 여중 창고 1층 옥상 |
| 8 | 길음동 | 주거 | 성북구 길음3동 1064-1 | 길음동 사무소 3층 옥상 |
| 9 | 방학동 | 주거 | 도봉구 쌍문2동 564 | 방학1동 (동사무소 옥상) |
| 10 | 불광동 | 주거 | 은평구 불광동 280-17 | 국립환경연구원 보일러실 옥상 |
| 11 | 남가좌동 | 주거 | 서대문구 남가좌1동 250-6 | 동사무소 3층 옥상 |
| 12 | 마 포 | 주거 | 마포구 염리동 50 | 동도중학교 4층 옥상 |
| 13 | 화곡동 | 주거 | 강서구 화곡동 1019-1 | 화곡3동 사무소 3층 옥상 |
| 14 | 구로동 | 준공업 | 구로구 구로동 222-16 | 수출공단 본부 |
| 15 | 궁 동 | 준공업 | 구로구 궁동 157 | 궁동 독서실 |
| 16 | 문래동 | 준공업 | 영등포구 문래2동 4가 6-9 | 문래2동사무소 3층 옥상 |
| 17 | 사당동 | 주거 | 동작구 사당4동 300-8 | 사당4동 사무소 |
| 18 | 신림동 | 주거 | 관악구 신림동 | 서울대학교 학도 호국단 2층 |
| 19 | 대치동 | 주거 | 강남구 대치동 642-2 | 대치1동사무소 2층 옥상 |
| 20 | 반포동 | 주거 | 서초구 반포동 355 | 반포2동사무소 4층 옥상 |
| 21 | 잠실동 | 주거 | 송파구 잠실동 | 잠실본동사무소 2층 옥상 |
| 22 | 방이동 | 주거 | 송파구 방이동 88 | 올림픽공원내 지상 |
| 23 | 천호동 | 주거 | 강동구 천호1동 76-2 | 천호1동사무소 |
| 24 | 시흥동 | 주거 | 금천구 시흥5동 832-14 | 시흥5동사무소 |
| 25 | 번 동 | 주거 | 강북구 번1동 417-11 | 번1동사무소 |
| 26 | 신정동 | 주거 | 양천구 신정4동 957-9 | 신정4동사무소 |
| 27 | 상계동 | 주거 | 노원구 상계2동 389-482 | 상계2동 사무소 |


그림 1. 서울지역 대기오염 측정지점 위치도

기상자료는 기상청 서울측후소에서 시간별로 관측한 기온·강수량·풍향·풍속·상대습도·일사량 및 시정거리 등 7개 항목의 자료를 사용하였다.

### 다. 분석 방법

본 연구는 먼저 서울지역에서의 연도별·월별·시간대별 오존농도 현황과 변화추이를 파악하고, 고농도의 오존이 발생할 때 오존농도와 질소산화물 및 기상인자와 비교·분석하며, Episode기간 서울전역에 대하여 오존농도의 수평적·공간적 오존발생 분포도를 작성하는 것으로 하였다. 모든 통계처리와 그림 작성에는 Excel 7.0프로그램을 사용하였으며, 오존농도의 수평적·공간적 분포도는 SURFER프로그램을 이용하여 작성하였다.

# Ⅲ. 연 구 결 과

## 1. 서울지역 오존발생 현황 및 변화추이

### 가. 연도별 오존발생 현황 및 변화추이

서울지역의 연도별 오존발생 현황 및 변화추이를 살펴보기 위하여 1990년부터 1999년까지 10년 동안 서울시 전역에서 측정된 대기질 자료를 조사한 결과, 그림 2에서 보는 것과 같이 1990년에 9ppb에서 1999년에는 16ppb로 매년 증가하는 추세를 나타내고 있다.

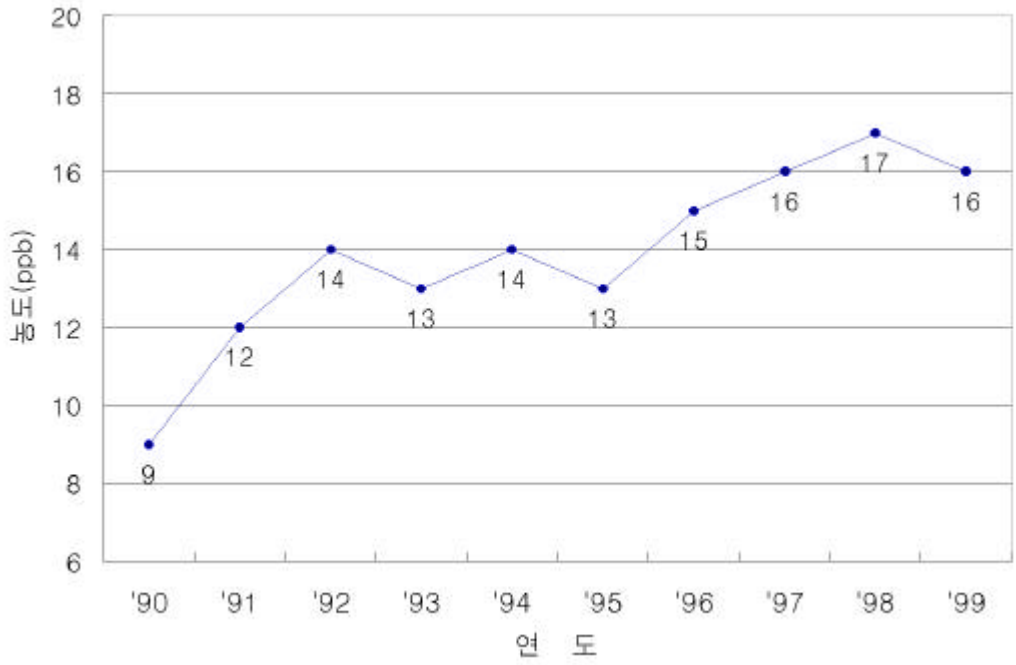



그림 2. 서울지역 연도별 평균 오존농도 변화추이(1990년 1999년)

### 나. 월별 오존발생 현황 및 변화추이

서울지역의 월별 오존발생 현황 및 변화추이를 살펴보기 위하여 1990년부터 1999년까지 10년간 측정된 자료를 월별로 비교한 결과 표 2와 같이 1990년에는 월 평균 농도가 6월이 14ppb로서 가장 높고 그 다음이 4월과 5월이 13ppb로서 높았으며, 1991년부터 1999년까지는 5월과 6월이 월 평균 최고치가 19ppb 27ppb로 가장 높았다. 따라서 연도별 월별 변화 추이는 봄철이 가장 높고, 그 다음이 여름철로 높은 추세를 보이고 있었다. 여기에서 기온이 가장 높은 7 8월보다는 오히려 5월과 6월이 높은 현상을 볼 수 있다.

표 2. 서울지역 연도별 · 월별 평균 오존농도 현황(1990년 1999년)

단위 : ppb

| 연도(지점수) | | 월 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1990 | (20) | 7 | 5 | 9 | 13 | 13 | 11 | 8 | **14** | 10 | 9 | 5 | 6 |
| 1991 | (20) | 7 | 8 | 9 | 14 | **19** | 18 | 14 | 18 | 14 | 10 | 8 | 6 |
| 1992 | (20) | 7 | 10 | 12 | 17 | **20** | **20** | **20** | 17 | 15 | 12 | 9 | 7 |
| 1993 | (20) | 7 | 11 | 12 | 15 | **19** | 18 | 15 | 14 | 15 | 12 | 9 | 8 |
| 1994 | (20) | 8 | 10 | 14 | 18 | 19 | **21** | 17 | 16 | 16 | 13 | 9 | 9 |
| 1995 | (20) | 11 | 10 | 14 | 18 | **22** | 21 | 14 | 13 | 12 | 10 | 8 | 7 |
| 1996 | (20) | 11 | 13 | 15 | 20 | **22** | 21 | 16 | 21 | 19 | 11 | 8 | 7 |
| 1997 | (20) | 9 | 12 | 17 | 20 | 21 | **24** | 20 | 19 | 15 | 15 | 9 | 10 |
| 1998 | (27) | 13 | 14 | 19 | 19 | **24** | 23 | 17 | 18 | 20 | 14 | 11 | 8 |
| 1999 | (27) | 9 | 13 | 15 | 21 | 25 | **27** | 21 | 18 | 17 | 10 | 9 | 9 |

### 다. 오존농도의 단기기준 초과 현황 및 변화추이

오존발생의 특성을 파악하기 위하여 1990년부터 1999년까지 10년간 서울지역 전체 측정지점에서의 오존 단기기준을 초과한 현황을 살펴 본 결과 표 3과 같이 1시간기준 초과 지점이 1990년에는 20개 지점 중 9개 지점으로 전체지점의 45%를 차지했으나, 1996년에는 90%, 1997년에는 80%, 1998년에는 89%, 1999년에는 93%로서 최근에는 서울전역이 거의 기준을 초과하고 있었다. 또한 전 지점을 통한 1시간기준(100ppb)뿐만 아니라 8시간기준(60ppb) 초과 지점 및 횟수도 점점 증가 추세에 있다.

표 3. 서울지역 연도별 오존농도 단기기준 초과현황(1990년 1999년)

| 연도 (총지점수) | 1시간 기준 (0.1ppb) | | 8시간 기준 (0.06ppb) | |
|---|---|---|---|---|
| | 초과 지점수 | 초과 횟수 | 초과 지점수 | 초과 횟수 |
| 1990 (20) | 9 (45%) | 96 | - | - |
| 1991 (20) | 15 (75%) | 157 | - | - |
| 1992 (20) | 11 (55%) | 222 | - | - |
| 1993 (20) | 12 (60%) | 63 | - | - |
| 1994 (20) | 15 (75%) | 265 | - | - |
| 1995 (20) | 9 (45%) | 28 | - | - |
| 1996 (20) | 18 (90%) | 179 | 17 | 103 |
| 1997 (20) | 16 (80%) | 199 | 17 | 133 |
| 1998 (27) | 24 (89%) | 269 | 21 | 121 |
| 1999 (27) | 25 (93%) | 296 | 27 | 235 |

※ 8시간기준은 1996년부터 환경기준으로 설정

1990년부터 1999년까지 서울지역 전체 측정지점에 대한 월별 1시간기준 초과 현황을 조사한 결과 표 4와 같이 6·7·8월은 매년 기준을 초과하고 있으나, 초과한 횟수가 가장 많은 달은 매년 일정하지 않았다. 1998년에는 초과 횟수가 가장 많은 달이 9월인 반면, 1999년의 경우는 초과횟수가 가장 많은 달이 6월로서 225회이고, 7월은 8회에 불과하였으며, 8월은 29회로 나타났다.

표 4. 서울지역 연도별·월별 오존농도 1시간기준 초과 현황(1990년 1999년)

단위 : 횟수

| 연도(지점수) | 계 | 월 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1990 (20) | 96 | - | - | - | 1 | - | 8 | 18 | 69 | - | - | - | - |
| 1991 (20) | 157 | - | - | - | - | 14 | 42 | 11 | 80 | 10 | - | - | - |
| 1992 (20) | 222 | - | - | - | 3 | 2 | 30 | 101 | 37 | 40 | 9 | - | - |
| 1993 (20) | 63 | - | - | - | - | 13 | 18 | 12 | 11 | 9 | - | - | - |
| 1994 (20) | 265 | - | - | - | - | - | 63 | 129 | 53 | 20 | - | - | - |
| 1995 (20) | 28 | - | - | - | - | - | 5 | 14 | 9 | - | - | - | - |
| 1996 (20) | 179 | - | - | - | 4 | 38 | 27 | 108 | 2 | - | - | - | - |
| 1997 (20) | 199 | - | - | - | - | - | 89 | 91 | 18 | 1 | - | - | - |
| 1998 (27) | 269 | - | - | - | 3 | 63 | 27 | 22 | 17 | 137 | - | - | - |
| 1999 (27) | 296 | - | - | - | 5 | 14 | 225 | 8 | 29 | 15 | - | - | - |
| 계 | | | | | 16 | 144 | 534 | 514 | 325 | 232 | 9 | | |

### 라. 오존경보 발령 현황

서울시에서 1995년부터 표 5와 같이 오존오염이 미치는 영향권역을 서울지역의 지형학적 위치 및 경보관리의 효율성을 고려하여 행정구역(구 경계)을 기준으로 4개 권역으로 구분하고, 그 권역 안에 설치된 대기오염자동측정소 중 1개 측정소 이상에서 오존농도가 발령기준을 넘을 경우 기상조건을 검토하여 초과한 측정소를 포함한 인근지역에 대하여 발령기준치에 해당하는 경보를 발령하고 있다.

표 5. 서울지역 오존경보 발령 권역별 오존 측정지점 현황

| 권 역 | 지 점 |
|---|---|
| 남서지역 | 구로동 · 시흥동 · 화곡동 · 궁 동 · 신림동 · 사당동 · 문래동 · 신정동 (8개지점) |
| 남동지역 | 대치동 · 반포동 · 잠실동 · 천호동 · 방이동 (5개지점) |
| 북서지역 | 한남동 · 이화동 · 시청앞 · 남가좌동 · 마 포 · 불광동 (6개지점) |
| 북동지역 | 성수동 · 길음동 · 방학동 · 구의동 · 번 동 · 상계동 · 면목동 · 신설동 (8개지점) |

이에 1995년부터 1999년까지의 오존경보 발령 현황을 살펴본 결과 표 6에서와 같이 1995년도에는 2회이었으나, 1996년에 9회, 1997년에 18회, 1998년과 1999년에는 각각 16회씩 발령되었으며, 월별로는 6월이 26회로 가장 많고, 그 다음이 7월, 8월 순서로 발령되었다.

**표 6. 서울지역 권역별 · 월별 오존주의보 발령 현황(1995년 1999년)**

| 연도별 | 계 | 지 역 | 오존주의보 발령 횟수 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 총 횟수 |
| 1995 | 2회 | 남 서 | | | | | | |
| | | 남 동 | | | | | | |
| | | 북 서 | | | 1 | | | 1 |
| | | 북 동 | | | 1 | | | 1 |
| 1996 | 9회 | 남 서 | | | | 1 | | 1 |
| | | 남 동 | | | 1 | | | 1 |
| | | 북 서 | | 1 | | 1 | | 2 |
| | | 북 동 | | 2 | 1 | 2 | | 5 |
| 1997 | 18회 | 남 서 | | 2 | | | | 2 |
| | | 남 동 | | 2 | 3 | | | 5 |
| | | 북 서 | | 1 | | 1 | | 2 |
| | | 북 동 | | 3 | 5 | 1 | | 9 |
| 1998 | 16회 | 남 서 | 1 | | | | | 1 |
| | | 남 동 | | | | | 3 | 3 |
| | | 북 서 | | | | | 1 | 1 |
| | | 북 동 | 3 | 1 | 2 | 1 | 4 | 11 |
| 1999 | 16회 | 남 서 | | 3 | | 1 | | 4 |
| | | 남 동 | | 4 | | 1 | | 5 |
| | | 북 서 | | 2 | | | | 2 |
| | | 북 동 | | 5 | | | | 5 |
| **계** | 61회 | 남 서 | | | | | | 8 |
| | | 남 동 | 4 | 26 | 14 | 9 | 8 | 14 |
| | | 북 서 | | | | | | 8 |
| | | 북 동 | | | | | | 31 |

**※ 같은 날 같은 지역에 동시에 발령된 경우는 제외**

## 2. 오존농도와 다른 대기오염물질과의 관계

서울지역에서의 1990년부터 1999년까지 측정된 오존농도와 다른 오염물질인 아황산가스, 이산화질소, 일산화탄소 및 총 먼지의 연도별 연평균 농도 및 변화추이를 살펴보았다. 그 결과 그림 3에서 보는 것과 같이 오존은 1990년 9ppb에서 1999년 16ppb로 매년 증가하였으며, 오존발생의 전구물질로 알려진 이산화질소는 1990년 30ppb에서 1999년 32ppb로서 큰 변화를 보이지 않고 있다. 그러나 아황산가스는 1990년 50ppb에서 1999년 7ppb로 86% 감소하였으며, 일산화탄소도 1990년 2.6ppm에서 1999년 1.1ppm으로 58%, 총 먼지도 1990년 150㎍/㎥에서 1999년 64㎍/㎥로서 57% 감소하였으며, 매년 감소하는 추세를 보였다.

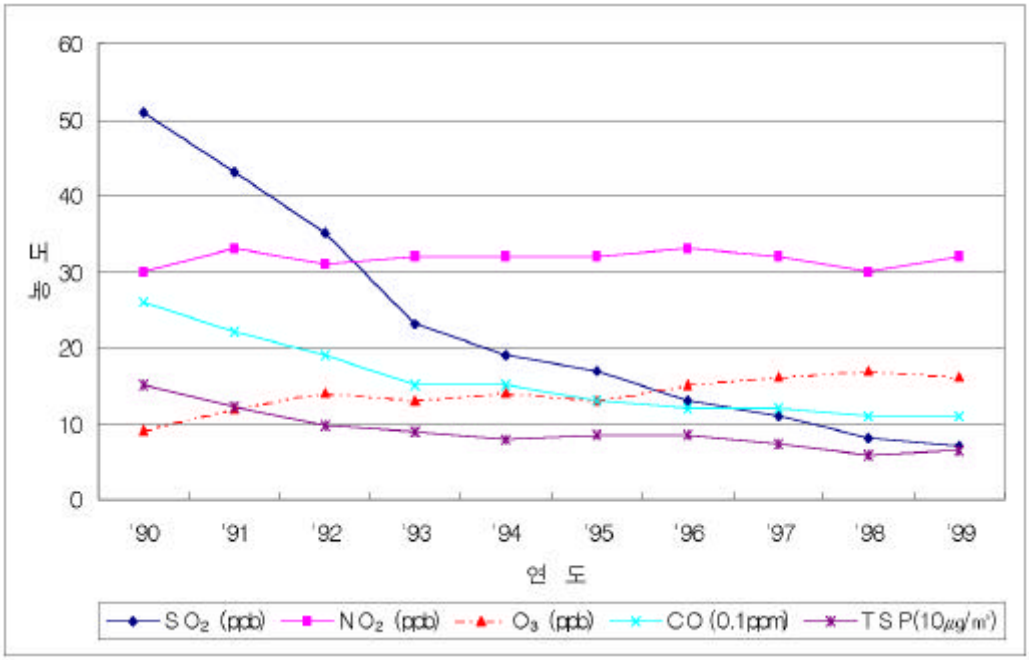



그림 3. 서울지역 연도별 오존 및 다른 대기오염물질농도 변화추이 (1990년 1999년)

## 3. 서울지역 세부 측정지점별 오존발생 현황

### 가. 서울지역 전체 지점별 오존발생 특성

서울지역 27개 측정지점에 대한 1999년 월별 오존발생 현황은 표 7과 같으며, 신림동지점의 5월과 6월은 39ppb를 기록하는 등 다른 지점보다 높게 발생되었는데 이곳은 서울대 학도호국단 2층 건물에 설치되어 있어 주변이 숲으로서 비교적 오염원이 없는 데도 다른 지점보다 높게 나타나는 특징을 보이고 있다. 또한 오존주의보가 빈번히 발령되는 방학동지점의 경우 겨울철인 1월과 2월의 농도는 다른 지점과 비슷하나 4월은 31ppb, 5월은 32ppb, 6월은 37ppb로 높게 나타나는 등 지점별로 다소 다른 양상을 보이고 있다.

표 7. 서울지역 측정지점별 · 월별 평균 오존농도 현황(1999년)

단위 : ppb

| 지 점 | 월 | | | | | | | | | | | | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 시청앞 | 11 | 15 | 15 | 20 | 22 | 21 | 11 | 10 | 12 | 10 | 10 | 11 | 14 |
| 이화동 | 2 | 4 | 6 | 22 | 23 | 26 | 22 | 20 | 22 | 12 | 8 | 7 | 15 |
| 면목동 | 9 | 12 | 15 | 21 | 24 | 25 | 21 | 15 | 18 | 10 | 9 | 9 | 16 |
| 신설동 | 11 | 13 | 14 | 18 | 21 | 28 | 15 | 11 | 14 | 7 | 7 | 9 | 14 |
| 불광동 | 14 | 17 | 21 | 27 | 29 | 34 | 26 | 28 | 26 | 18 | 16 | 14 | 23 |
| 마 포 | 9 | 12 | 14 | 20 | 23 | 26 | 23 | 17 | 13 | 10 | 9 | 9 | 15 |
| 문래동 | 15 | 18 | 19 | 24 | 25 | 20 | 22 | 17 | 19 | 14 | 12 | 12 | 18 |
| 사당동 | 5 | 6 | 5 | 15 | 27 | 28 | 19 | 15 | 14 | 8 | 5 | 5 | 13 |
| 신림동 | 20 | 25 | 26 | 27 | 39 | 39 | 26 | 24 | 30 | 23 | 18 | 17 | 26 |

표 7. 서울지역 측정지점별·월별 평균 오존농도 현황(1999년도)(계속)

단위 : ppb

| 지 점 | 월 | | | | | | | | | | | | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 대치동 | 20 | 24 | 21 | 12 | 17 | 24 | 21 | 20 | 14 | 9 | 8 | 7 | 16 |
| 잠실동 | 8 | 13 | 23 | 27 | 27 | 25 | 23 | 18 | 17 | 8 | 6 | 6 | 17 |
| 시흥동 | 5 | 6 | 5 | 11 | 27 | 28 | 22 | 20 | 16 | 9 | 7 | 6 | 14 |
| 천호동 | 5 | 11 | 16 | 21 | 21 | 26 | 20 | 18 | 18 | 7 | 6 | 5 | 15 |
| 번 동 | 3 | 4 | 4 | 17 | 22 | 25 | 18 | 14 | 14 | 6 | 5 | 4 | 11 |
| 길음동 | 10 | 14 | 13 | 18 | 21 | 21 | 19 | 13 | 12 | 9 | | | 15 |
| 한남동 | 9 | 12 | 15 | 21 | 23 | 26 | 24 | 18 | 16 | 9 | 7 | 8 | 16 |
| 구의동 | 10 | 12 | 15 | 21 | 26 | 29 | 20 | 18 | 17 | 10 | 8 | 7 | 16 |
| 성수동 | 9 | 13 | 16 | 22 | 28 | 28 | 23 | 18 | 17 | 8 | 8 | 8 | 17 |
| 방학동 | 15 | 20 | 23 | 31 | 32 | 37 | 25 | 22 | 21 | 14 | 11 | 13 | 22 |
| 남가좌동 | 8 | 10 | 14 | 18 | 22 | 25 | 21 | 19 | 16 | 8 | 6 | 5 | 14 |
| 구로동 | 12 | 16 | 18 | 22 | 27 | 29 | 21 | 19 | 17 | 10 | 8 | 9 | 17 |
| 반포동 | 8 | 10 | 19 | 27 | 26 | 29 | 21 | 17 | 17 | 9 | 7 | 7 | 16 |
| 화곡동 | 5 | 7 | 7 | 26 | 30 | 30 | 23 | 19 | 16 | 10 | 8 | 7 | 16 |
| 방이동 | 10 | 14 | 18 | 26 | 28 | 29 | 23 | 19 | 17 | 10 | 9 | 8 | 18 |
| 신정동 | 6 | 7 | 8 | 16 | 29 | 26 | 18 | 16 | 14 | 5 | 4 | 4 | 13 |
| 상계동 | 9 | 14 | 15 | 18 | 26 | 29 | 21 | 19 | 17 | 10 | 11 | 17 | 17 |
| 궁 동 | 8 | 12 | 13 | 24 | 23 | 21 | 16 | 19 | 16 | 11 | 13 | 12 | 16 |
| 평 균 | 10 | 13 | 15 | 21 | 26 | 27 | 21 | 18 | 17 | 10 | 9 | 9 | 16 |

### 나. 서울지역 주요 지점별 오존발생 특성

서울지역의 27개 측정지점 가운데 표 8과 같이 오존농도가 특히 높게 나타나는 지점, 오존주의보 발령이 빈번한 지점, 도심지와 격리되어 있으나 오염도가 높은 지점, 오존농도의 변화추이가 심하지 않는 대조지점 등 7개 지점을 선정하고, 1999년도 오존농도를 시간대별로 분석하였다.

표 8. 서울지역 오존농도 변화추이 조사지점 및 지점 선정사유

| 지 점 | 용도 지역 | 오존발령 권 역 | 연 평균 농 도 (ppb) | 주의보 발령횟수 | 1시간기준 초과횟수 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 시청앞 | 상업 | 북서지역 | 14 | - | 1회 | 서울의 가장 중심지 이며, 상업지역 |
| 불광동 | 주거 | 북서지역 | 23 | 1회 | 22회 | 오존발령 권역 중 북서지역에 위치 |
| 신림동 | 주거 | 남서지역 | 26 | - | 2회 | 서울대학 학도호국단 건물에 위치하여 오염원이 없는 지역 |
| 구로동 | 준 공업 | 남서지역 | 17 | 1회 | 11회 | 준공업 지역으로 남서 지역의 대표지점 |
| 구의동 | 녹지 | 북동지역 | 16 | - | 15회 | 서울의 측정지점 중 유일한 녹지지역 |
| 방학동 | 주거 | 북동지역 | 22 | 5회 | 40회 | 오존오염도가 가장 높은지점으로 북동 지역의대표지점 |
| 방이동 | 주거 | 남동지역 | 18 | 1회 | 14회 | 올림픽공원 안에 위치 하면서도 남동지역의 대표적인 오염지점 |

그림 4와 같이 시간대별 최고치는 구로동(38ppb), 구의동(35ppb), 방이동(38ppb)은 15시에, 시청앞(28ppb), 불광동(40ppb), 신림동(37ppb), 방학동(46ppb)은 16시에 나타내고, 최저치는 08시 09시에 나타내고 있다. 따라서 오존농도의 하루중 시단대별 변화추세는 15시 16시에 최고치를 나타내고 그 이후부터 감소하기 시작하여 08시 09시에 최저치를 보이는 추세이었다. 다만, 7개지점중 시청앞·구의동·구로동·방이동의 4개 지점은 03시 04시에 약간 상승하는 경향을 보였다.

지점별로는 시청앞지점은 최고농도가 다른 지점이 35ppb이상을 기록하는데 비해 상당히 낮은 28ppb를 나타내었다. 불광동지점은 01시 06시 사이에 15ppb 17ppb로서 다른 지점보다(11ppb) 상당히 높게 나타났고, 7개 지점중 방학동 다음으로 높은 40ppb를 나타내었으며, 최저치도 13ppb로서 다른 지점의 9ppb이하보다 높게 나타나는 등 다른 지점에 비해 시간대별 변화추세가 심하지 않는 현상이다. 신림동지점은 낮 최고는 37ppb로서 다른 지점과 비슷한 농도를 보이나, 다른 지점은 10ppb정도를 나타내는 01시 06시 사이에 시청앞지점의 17시와 같은 26ppb, 또한 다른 지점은 최저치를 나타내는 08시에도 19ppb를 나타내고 있어 다른 지점이 낮은 시간대에 상당히 높게 측정되는 특징을 보여주고 있다. 구로동지점은 08시에 최저치(7ppb)를 나타내고 점차 증가하여 15시에 최고치(38ppb)를 나타내고 다시 감소하는 전형적인 광화학반응에 의한 오존농도를 보이고 있다. 방학동지점은 낮 시간과 밤 시간 변화추이가 가장 심하게 나타나고 있으며, 최고농도가 46ppb로서 다른 지점의 최고농도 보다 높았다. 구의동지점과 방이동지점은 각각 올림픽공원 안과 녹지지역에 위치하고 있어 특별한 오염원이 없는

지역임에도 불구하고, 최고농도가 시청앞(28ppb)보다 높은 35ppb와 38ppb로 높았고, 시간대별 변화추세도 다른 지점과 유사한 경향을 보였다.

이와 같이 서울지역의 27개 지점중에서 주요 7개지점을 시간대별로 측정된 오존농도를 분석한 결과 최고치와 최저치를 나타내는 시간대 변화 추세는 비슷하나, 각 시간대별 측정된 오존농도는 지점별로 상당히 다른 현상을 보이고 있다. 이는 동일한 서울지역이고, 동일한 기간에 측정된 것이기 때문에 기상조건이 같다는 것을 감안할 때 지점별로 지형적 요인 또는 광화학반응에 관여되는 오염물질의 배출 등 다른 요인에 의해 오존농도가 다르다는 것을 보여주었다. 주요 지점별 1999년도 시간대별 오존농도를 부록 1에 수록하였다.

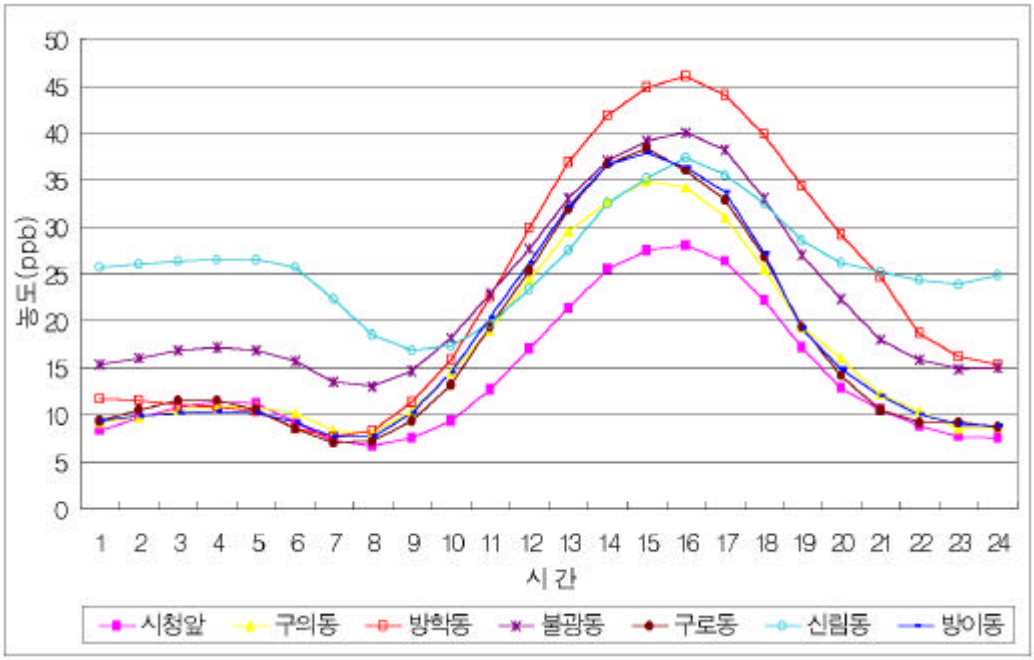



그림 4. 서울지역 측정지점 및 시간대별 오존농도 변화추이(1999년)

## 4. 오존농도와 기상과의 관계

### 가. 기상 현황

오존농도와 기상과의 관계를 살펴보기 위하여 오존농도가 높은 1999년도 5월 8월의 기상자료를 분석한 결과 표 9에서 나타나는 것과 같이 5월·6월·7월·8월의 평균기온은 각각 17.5℃·23.1℃·25.9℃·26℃, 최고기온은 28.1℃·33.6℃, 34.9℃·35.4℃를 나타내어 5 6월보다 7 8월이 평균 및 시간 최고기온이 높았다. 월 평균 강수량은 5월에 1.2mm, 6월에 1.7mm에 불과하였으나, 7월은 2.0mm, 8월은 5.6mm를 기록하는 등 7 8월이 많았다. 시정거리도 월 평균 5월의 10㎞, 6월의 9㎞에 비해 7월이 11㎞, 8월이 13㎞로서 7 8월이 길었다. 습도는 월 평균이 5월 65%, 6월 67%이고, 7월이 73%, 8월이 74%로서 7월과 8월이 높았다. 그러나 일사량은 월 평균 5월이 0.92MJ/㎡, 6월이 0.97MJ/㎡이고, 7월이 0.73MJ/㎡, 8월이 0.72MJ/㎡로서 5 6월이 많았으며, 풍향·풍속은 바람장미를 그려본 결과 그림 5와 같이 5월과 6월은 서풍 또는 남서풍의 바람이 많이 불고, 7월과 8월은 북동풍의 바람이 많이 불었으며, 평균 풍속은 5월 2.2m/s, 6월 1.8m/s, 7월 2.1m/s, 8월 1.3m/s로 불었다.

또한 같은 기간에 3시간 간격으로 관측된 시간대별 기상자료를 살펴본 결과, 오존농도가 가장 높은 시간대와 가장 가까운 시간대인 15시의 월 평균 기온은 5월이 21.8℃, 6월이 27.4℃, 7월과 8월이 29.1℃이였으며, 강수량은 7 8월이 5 6월보다 많았고, 일사량은 5 6월이 훨씬 많았다. 시정거리는 5월이 15㎞, 8월이 14㎞, 7월이 13㎞, 6월이 9㎞로서 6월이 가장 짧았다. 습도는 7월 8월이 많았다. 풍향은 5월과 6월은 남서풍, 7월과 8월은 남동풍이

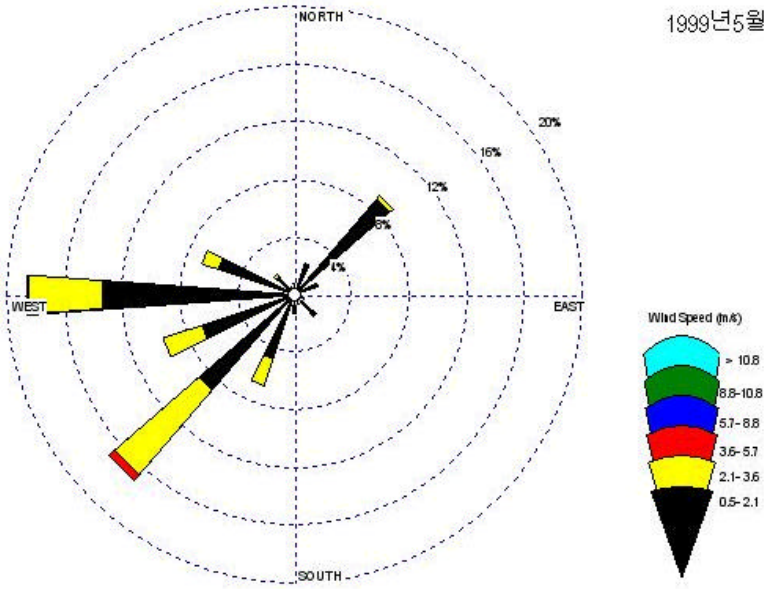
불었는데 이때 풍속은 5월 3.1m/ s, 6월 2.7m/ s, 7월 2.4m/ s, 8월1.5m/ s로 불었다.

표 9. 서울지역 기상 현황(1999년 5월 8월)

| 구 분 | 월 | 3시 | 6시 | 9시 | 12시 | 15시 | 18시 | 21시 | 24시 | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 기 온 (℃) | 5월 | 14.3 | 13.4 | 16.8 | 20.3 | 21.8 | 20.4 | 17.3 | 15.7 | 17.5 |
| | 6월 | 19.8 | 19.2 | 22.3 | 25.9 | 27.4 | 26.3 | 22.8 | 21.0 | 23.1 |
| | 7월 | 23.6 | 22.9 | 25.0 | 27.5 | 29.1 | 28.3 | 25.8 | 24.6 | 25.9 |
| | 8월 | 23.7 | 23.0 | 25.4 | 28.4 | 29.1 | 27.9 | 25.8 | 24.5 | 26.0 |
| 강 수 량 (mm) | 5월 | 0.46 | 2.84 | 1.59 | 0.57 | 0.82 | 1.29 | 1.03 | 0.71 | 1.2 |
| | 6월 | 2.95 | 1.88 | 0.24 | 0.142 | 2.30 | 1.21 | 0.48 | 4.18 | 1.7 |
| | 7월 | 1.15 | 1.49 | 0.67 | 1.30 | 3.12 | 3.96 | 1.79 | 2.23 | 2.0 |
| | 8월 | 6.1 | 6.73 | 11.06 | 8.49 | 4.35 | 4.92 | 1.18 | 1.72 | 5.6 |
| 시정거리 (10㎞) | 5월 | 9 | 8 | 9 | 9 | 15 | 13 | 11 | 10 | 10 |
| | 6월 | 8 | 7 | 8 | 8 | 9 | 11 | 10 | 9 | 9 |
| | 7월 | 10 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 11 |
| | 8월 | 12 | 12 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 12 | 13 |
| 상대습도 (%) | 5월 | 81 | 84 | 69 | 54 | 48 | 53 | 63 | 73 | 65 |
| | 6월 | 82 | 84 | 70 | 56 | 50 | 53 | 67 | 77 | 67 |
| | 7월 | 82 | 85 | 76 | 66 | 60 | 65 | 75 | 78 | 73 |
| | 8월 | 83 | 86 | 74 | 63 | 62 | 67 | 76 | 81 | 74 |
| 일 사 량 (0.01MJ/ ㎡) | 5월 | | 0.45 | 59.66 | 176 | 203 | 104 | 9.76 | | 92 |
| | 6월 | | 1.13 | 60.57 | 183 | 207 | 115 | 17.3 | | 97 |
| | 7월 | | 0.45 | 44.45 | 131 | 153 | 93.4 | 14.6 | | 73 |
| | 8월 | | 0 | 46.2 | 153 | 148 | 73.4 | 8.23 | | 72 |
| 풍 속 (m/ s) | 5월 | 1.3 | 1.2 | 1.5 | 2.4 | 3.1 | 3.5 | 2.7 | 1.8 | 2.2 |
| | 6월 | 1.2 | 0.7 | 1.1 | 1.9 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 1.4 | 1.8 |
| | 7월 | 1.5 | 1.4 | 1.7 | 2.1 | 2.4 | 3.2 | 2.7 | 2.1 | 2.1 |
| | 8월 | 0.9 | 0.8 | 1.1 | 1.4 | 1.5 | 1.9 | 1.5 | 1.2 | 1.3 |

※ 1) 기온 · 상대습도 · 시정거리는 3시간 간격으로 측정된 자료

2) 강수량 · 풍향 · 풍속 · 일사량은 매시간 단위로 측정된 값을 3시간 간격으로 산출한 값



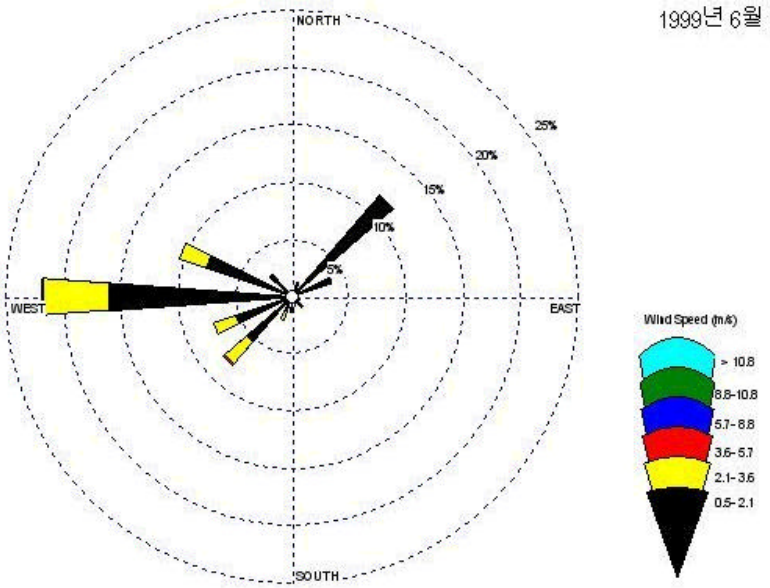
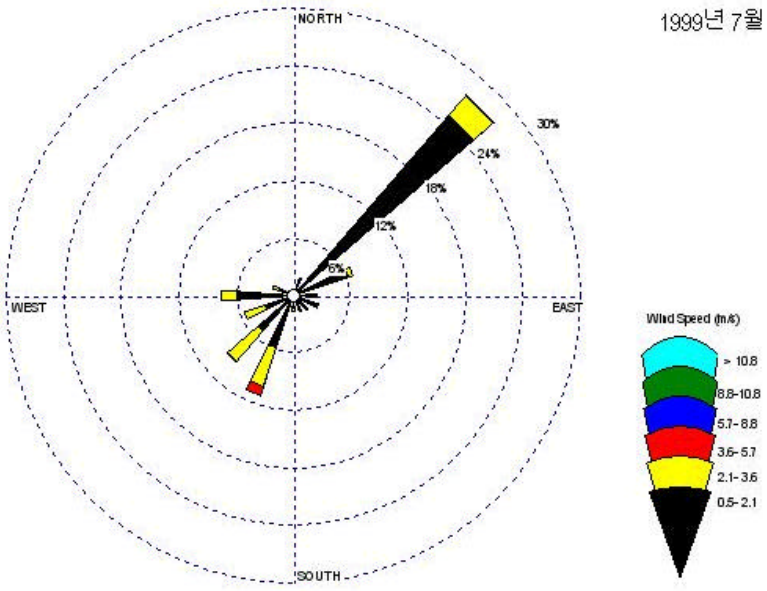




**그림 5. 서울지역 바람장미(1999년 5월 8월)**



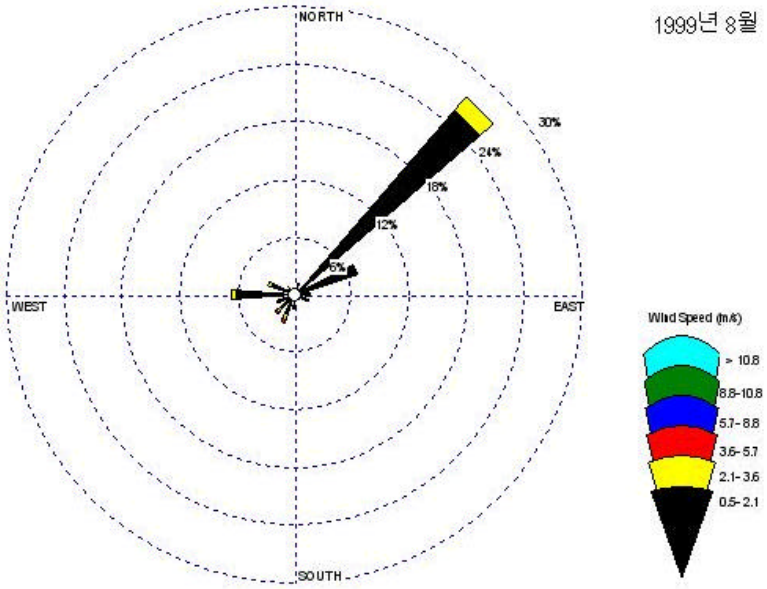




**그림 5. 서울지역 바람장미(1999년 5월 8월) (계속)**

### 나. 오존농도와 기상과의 비교

오존발생과 기상과의 관계를 조사하기 위하여 우선 1999년도의 월별 오존 단기기준 초과횟수와 총 강수량 및 최고기온과의 관계를 조사한 결과, 그림 6에서 나타난 것과 같이 기온이 낮은 겨울철은 오존농도가 단기기준을 초과하지 않는 반면, 기온이 높은 4월 9월에 초과되고 있는 것으로 보아 일정온도 이상일 때 오존이 많이 생성되고 있다. 또한 초과 횟수는 6월이 가장 많고, 그 다음이 5월·8월·7월·9월·4월 순서로 많았는데, 최고기온은 6월·7월·8월 모두 30℃ 이상으로 비슷하였으나 총 강수량은 7월과 8월이 6월보다 훨씬 많았다. 따라서 고농도의 오존발생횟수와 강수량은 밀접한 관계가 있는 것으로 예상되었다.

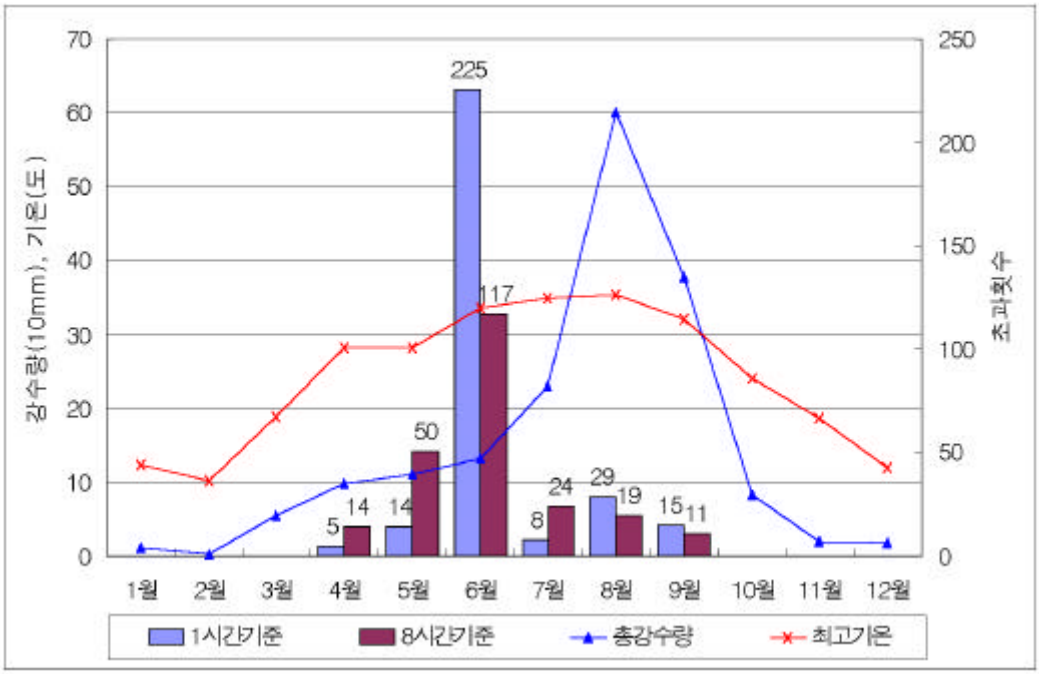



그림 6. 서울지역 오존 단기기준초과 횟수·강수량 및 최고기온 비교도(1999년)

1999년도 월 평균 오존농도를 보면 6월이 27ppb, 5월이 25ppb, 4월과 7월이 21ppb, 8월이 18ppb의 순서로 높았다, 그런데 기상은 월 평균 기온 및 시간 최고 기온은 5월과 6월보다 7월과 8월이 높았으며, 강수량은 7월과 8월이 많았고, 시정거리도 7월과 8월이 길었다. 또한 습도도 7월과 8월이 높았다. 그러나 일사량은 5월과 6월이 많았다. 풍향은 5월과 6월은 서풍 또는 남서풍, 7월과 8월은 북동풍의 바람이 불었다.

따라서 오존농도와 기상과의 관계는 일정온도가 유지되는 조건에서 강수량 · 일사량 · 풍향과 밀접한 관계가 있는 것으로 예상되었으며, 시정거리가 5월과 6월이 7월과 8월보다 짧은 것은 오존농도가 높기 때문인 것으로 보였다.

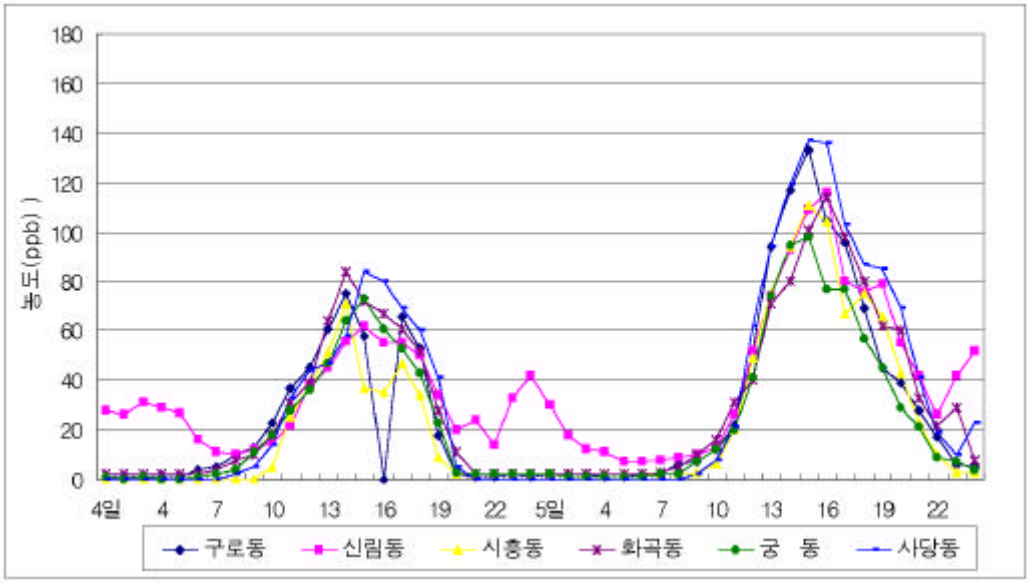
## 5. Episode기간중 오존발생에 대한 분석

### 가. 권역별 오존발생 특성

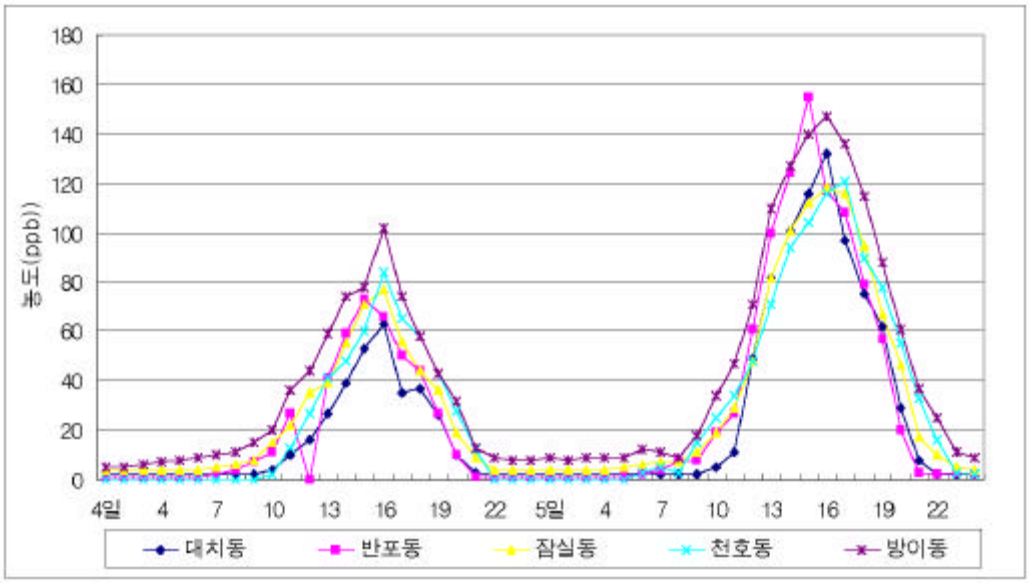
서울시 전역에 오존주의보가 발령된 날이 1999년 6월 5일이므로 6월 3일에서 6월 12일 사이의 권역별·지점별 및 일별 평균 오존농도 변화추이를 살펴보고, 6월 4일 5일을 서울지역에서의 고농도 오존발생에 대한 특성을 분석하기 위한 episode기간으로 정하였으며, 동기간에 오존경보 발령 권역별 및 시간대별 오존농도 분포를 조사하여 오존발생 특성을 살펴보았다. 6월 3일 12일 오존농도 변화 추이는 부록 2에 수록하였다.

그림 7에서 보는 것과 같이 최고농도가 6월 4일의 경우 북동지역이 가장 높고(길음동·방학동지점 102ppb), 그 다음이 남동지역(방이동지점 102ppb), 북서 지역(이화동지점 88ppb), 남서 지역(사당동·화곡동지점 84ppb)의 순서로 높았다. 여기에서 남서지역과 북서지역은 90ppb이하이나, 북동지역과 남동지역은 100ppb를 넘어서고 있어, 서쪽보다 동쪽이 높은 현상을 보였다.

6월 5일도 북동지역(방학동 168ppb), 남동지역(반포동 155ppb), 남서지역(사당동지점 137ppb), 북서지역(불광동지점 120ppb)으로 나타나 이날도 동쪽 지역이 높게 나타났다. 특히 북서지역은 불광동을 제외하고 120ppb이하이나, 남동지역과 북동지역은 권역 안의 모든 지점이 주의보 발령기준인 120ppb 이상을 보였고 북동지역의 방학동지점은 최고치가 무려 168ppb를 기록하는 높은 농도를 보였다. 권역별·지점별·일별·시간대별 오존농도의 상세한 자료는 부록 3에 수록하였다.

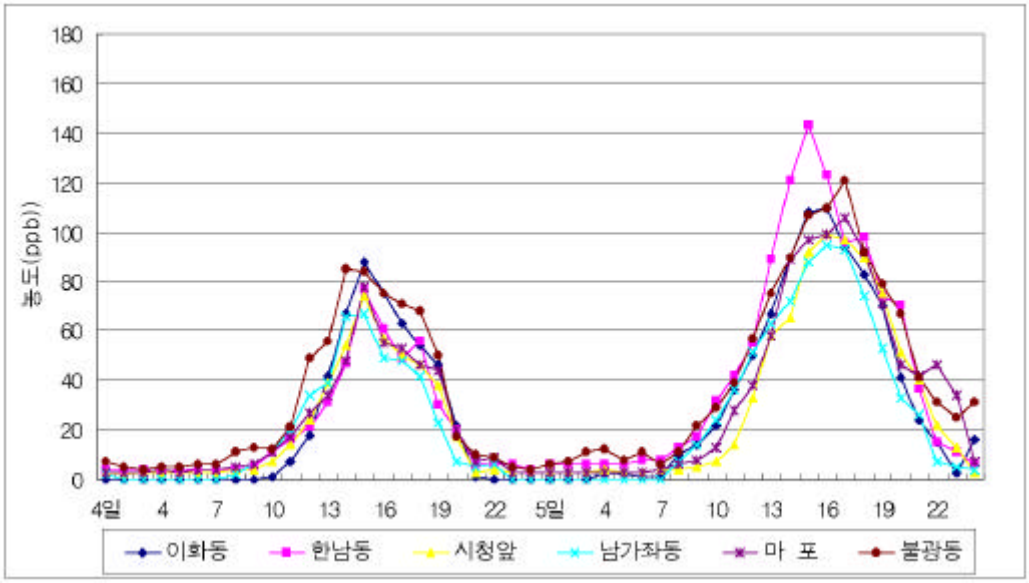



(a) **남서지역**

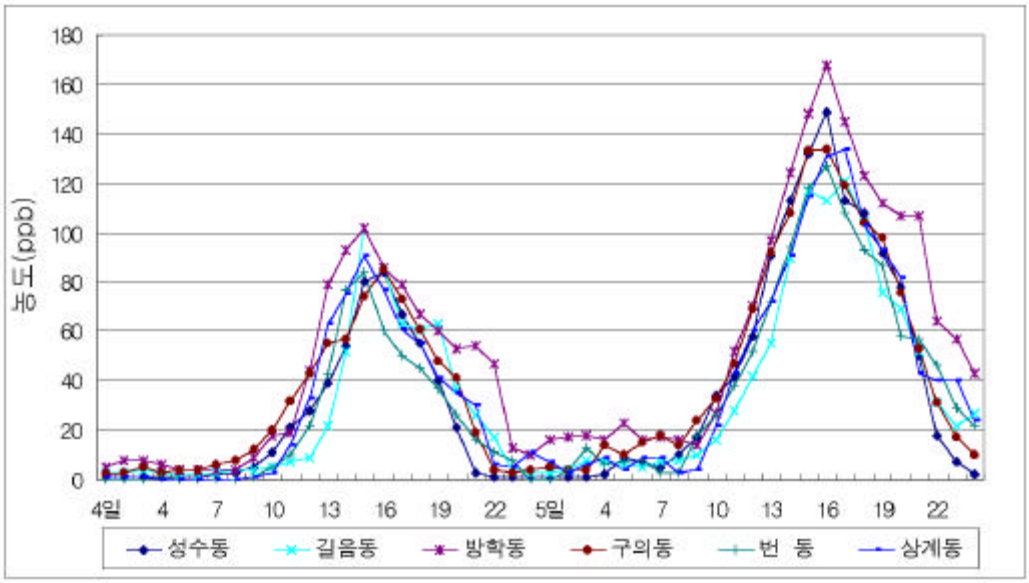



(b) **남동지역**

**그림 7. 서울지역 오존경보 발령 권역별 및 시간대별 오존농도 변화추이**
**(1999년 6월 4일 5일)**




(c) **북서지역**




(d) **북동지역**

**그림 7. 서울지역 오존경보 발령 권역별 및 시간대별 오존농도 변화추이**
**(1999년 6월 4일 5일) (계속)**

또한 Episode기간의 기상은 표 10에서 보는 것과 같이 최고기온은 4일이 29.4℃이고 5일이 31.4℃로서 5일이 약간 높았고, 풍향은 4일은 하루종일 서풍 또는 북서풍이 불었으나 5일은 05시부터 11시까지 북동풍이 불다가 13시부터 서풍 또는 북서풍이 불었다. 풍속은 전반적으로 5일이 낮게 불었는데 17시부터 19시까지는 5일이 다소 강하게 불었다. 습도는 4일과 5일 비슷한 현상이었고, 시정거리는 오전에는 5일이 길고 오후에는 4일이 길었다. 일사량은 4일이 많았다. 따라서 episode기간중 권역별 오존농도와 기상을 비교한 결과, 고농도의 오존발생과 풍향·풍속과는 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났으며, 5일이 시정거리가 짧고 일사량이 적은 것은 오존농도가 5일이 높기 때문에 이의 영향으로 보여졌다. 6월 4일과 5일의 시간대별 기상 자료는 부록 4에 수록하였다.

표 10. 서울지역 기상 현황(1999년 6월 4일 5일)

| 구 분 | | 4일 | 5일 |
|---|---|---|---|
| 기 온 | (최 고) | 29,4℃ | 31.4℃ |
| | (최 저) | 17.6℃ | 20.9℃ |
| 풍 향 | (주 방향) | 서 풍, 북서풍 | 서 풍, 북서풍 |
| 풍 속 | (최 고) | 3.7㎞(15시) | 4.5㎞(16시) |
| 상대습도 | (최 고) | 89%(06시) | 83%(03시) |
| | (최 저) | 38%(18시) | 44%(15시) |
| 시정거리 | | 8㎞ (15시) | 5㎞(15시) |
| 일 사 량 | (최 고) | 2.69MJ/㎡ | 2.57MJ/㎡ |

### 나. 주요 지점별 오존발생 특성

서울시 지역 안에 위치한 총 27개 지점에서 측정된 오존농도를 살펴보면 1999년도에 오존농도가 1시간기준을 1회라도 초과한 지점이 93%인 25개 지점이며, 총 296회나 기준을 초과하였다. 또한 1995년부터 실시하는 오존경보제도에 따라 1999년에 서울지역에 발령된 오존주의보는 총 16회이나, 한 지점에서 기준을 초과하여 오존주의보를 발령할 경우 같은 권역 안의 다른 지점에서 기준을 초과하더라도 추가적으로 오존주의보 발령을 내지 않는 점을 고려할 때 실제 지점별 오존주의보를 발령하면 더 많은 주의보 발령이 있을 수 있다. 이에 1999년 6월중 오존농도가 높게 측정된 10개 지점을 선정하여 episode기간 지점별 오존농도 현황을 살펴보았다.

표 11에서 보는 것과 같이 오존농도가 가장 높은 5일과 전날을 비교한 결과, 한남동의 경우 무려 66ppb의 차이를 보이는 등 4일과 5일은 상당히 차이가 있었다. 또한 최고 농도를 나타내는 시각도 5일이 약간 늦게 나타나는 경향을 보였다.

방학동지점은 1999년도에 오존 단기기준을 가장 많이 초과하였을 뿐만 아니라, 전체 지점중에서 최고 농도인 168ppb를 기록하였고 전날도 102 ppb로 높았다. 이화동지점의 경우 1999년도에 1시간기준초과 횟수가 16회이나 4일과 5일 모두 다른 지점에 비해 낮은 편이었다. 시청앞 지점은 시내 중심부이면서도 5일 최고농도가 99ppb로서 다른 지점에 비해 상당히 낮은 특징을 보였다.

표 11. Episode기간 주요 지점별 오존 최고농도 현황(1999년 6월 4일 5일)

| 구 분 | Episode 기간 오존 최고농도 | | | | 비 고 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4일 | | 5일 | | 1999년도 오존 기준초과 횟수 | | 1999년도 오존주의보 발령 횟수 |
| | 농도 (ppb) | 시각 | 농도 (ppb) | 시각 | 1시간 기준 | 8시간 기준 | |
| 방학동 | 102 | 15시 | 168 | 16시 | 40 | 30 | 5 |
| 한남동 | 77 | 15시 | 143 | 15시 | 6 | 7 | 1 |
| 구의동 | 85 | 16시 | 133 | 15시 | 15 | 11 | - |
| 구로동 | 75 | 14시 | 133 | 15시 | 11 | 8 | 1 |
| 방이동 | 102 | 16시 | 147 | 16시 | 14 | 10 | 1 |
| 사당동 | 84 | 15시 | 137 | 15시 | 12 | 10 | 2 |
| 반포동 | 73 | 15시 | 155 | 15시 | 22 | 18 | 2 |
| 불광동 | 85 | 14시 | 121 | 17시 | 22 | 14 | 1 |
| 시청앞 | 74 | 15시 | 99 | 16시 | 1 | 1 | |
| 이화동 | 88 | 15시 | 110 | 16시 | 16 | 16 | |

### 다. 오존농도와 NO 및 $NO_2$와의 비교

서울지역 안에 위치한 총 27개 지점중에서 앞에서 선정한 10개 지점에 대하여 episode기간 오존농도와 일산화질소 및 이산화질소농도를 비교·분석하여 보았다.

표 12와 13에서 보는 것과 같이 오존농도와 일산화질소농도를 비교한 결과 4일은 10개 지점 중 구로동과 방이동지점을 제외하고 모든 지점이 08시 10시인 오전에 NO농도가 최고치를 나타내고, 5시간 7시간 후인 14시 15시에 최고 $O_3$농도를 기록하였으며, 오존농도의 최고치가 발생된 후 2시간 3시간 이후인 16시 18시에 NO가 최저치를 나타낸 후 다시 증가하는 현상을 보였다. 5일은 방학동을 제외하고 모든 지점이 01시 02시인 밤에 NO농도가 최고치를 나타낸 후 감소하여 오전 중에는 낮은 농도를 보였으며, 대부분의 지점이 NO농도가 최고치를 보인 후 약 14시간 15시간 이후에 최고치의 $O_3$농도를 기록하였다. 따라서 $O_3$농도가 높은 5일은 4일에 비해 오전중의 NO농도가 낮았으며, 또한 4일과 5일의 최고치의 NO농도와 최고치의 $O_3$이 발생되는 시간은 다소 차이를 보였다.

오존농도와 이산화질소와의 관계는 4일은 사당동을 제외하고 모든 지점이 10시 14시에 $NO_2$가 최고치를 나타내고, $O_3$농도의 최고치는 14시 15시에 기록하였으며, $NO_2$의 최저치는 방이동과 반포동을 제외하고 전 지점이 $O_3$농도의 최고치를 보인 1시간 3시간 후에 나타났다. $O_3$농도가 높은 5일은 4일에 비해 다소 다르게 $NO_2$가 오전에는 모든 지점이 4일보다 낮고, 구로동·방이동·사당동을 제외한 7개 지점은 05시 09시에 최저치를 보이고, $O_3$농도가 최고치를 보인 후부터 다시 상승하였다.

표 12. Episode기간 $O_3$ · NO · $NO_2$농도 현황(1999년 6월 4일)

단위 : ppb

| 지 점 | NO | | | $NO_2$ | | | $O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 일 중 최 고 | 오 전 최 고 | 일 중 최 저 | 일 중 최 고 | 오 전 최 고 | 일 중 최 저 | 일 중 최 고 |
| 방학동 | 114 (08) | 114 (08시) | 22 (16시) | 65 (11시) | 65 (11시) | 17 (16시) | 102 (15시) |
| 한남동 | 217 (08시) | 217 (08시) | 36 (18시) | 88 (12시) | 88 (12시) | 29 (18시) | 77 (15시) |
| 구의동 | 141 (09시) | 141 (09시) | 18 (18시) | 75 (13시) | 72 (12시) | 15 (18시) | 85 (16시) |
| 구로동 | 123 (23시) | 84 (09시) | 34 (17시) | 71 (14시) | 53 (12시) | 28 (17시) | 75 (14시) |
| 방이동 | 148 (24시) | 129 (09시) | 37 (18시) | 88 (13시) | 87 (12시) | 26 (06시) | 102 (16시) |
| 사당동 | 114 (09시) | 114 (09시) | 18 (17시) | 65 (20시) | 60 (10시) | 16 (17시) | 84 (15시) |
| 반포동 | 267 (24시) | 190 (09시) | 64 (16시) | 91 (10시) | 91 (10시) | 41 (06시) | 73 (15시) |
| 불광동 | 61 (07시) | 61 (07시) | 5 (15시) | 64 (11시) | 64 (11시) | 13 (18시) | 85 (14시) |
| 시청앞 | 74 (09시) | 74 (09시) | 5 (19시) | 58 (11시) | 58 (11시) | 13 (17시) | 74 (15시) |
| 이화동 | 200 (10시) | 200 (10시) | 24 (17시) | 88 (12시) | 88 (12시) | 22 (17시) | 88 (15시) |

주) 오전 : 06시 12시, 오후 : 13시 18시

표 13. Episode기간 $O_3$ · NO · $NO_2$농도 현황(1999년 6월 5일)

단위 : ppb

| 지 점 | NO | | | NO₂ | | | O₃ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 일 중 최 고 | 오 전 최 고 | 일 중 최 저 | 일 중 최 고 | 오 전 최 고 | 일 중 최 저 | 일 중 최 고 |
| 방학동 | 69 (09시) | 69 (09시) | 22 (05시) | 45 (22시) | 40 (09시) | 18 (05시) | 168 (16시) |
| 한남동 | 187 (01시) | 58 (12시) | 42 (10시) | 85 (23시) | 48 (12시) | 31 (07시) | 143 (15시) |
| 구의동 | 133 (01시) | 32 (08시) | 20 (10시) | 71 (23시) | 25 (12시) | 14 (10시) | 133 (15시) |
| 구로동 | 163 (02시) | 157 (07시) | 38 (14시) | 89 (23시) | 61 (11시) | 33 (14시) | 133 (15시) |
| 방이동 | 163 (01시) | 76 (08시) | 23 (13시) | 79 (23시) | 36 (08시) | 17 (13시) | 147 (16시) |
| 사당동 | 139 (05시) | 60 (07시) | 27 (14시) | 66 (22시) | 53 (10시) | 25 (14시) | 137 (15시) |
| 반포동 | 277 (01시) | 114 (09시) | 56 (13시) | 125 (22시) | 65 (11시) | 40 (07시) | 155 (15시) |
| 불광동 | 51 (02시) | 51 (08시) | 6 (13시) | 61 (21시) | 34 (08시) | 28 (09시) | 121 (17시) |
| 시청앞 | 71 (03시) | 67 (09시) | 7 (15시) | 70 (24시) | 53 (12시) | 17 (10시) | 99 (16시) |
| 이화동 | 133 (01시) | 51 (12시) | 44 (13시) | 77 (23시) | 43 (12시) | 24 (08시) | 110 (16l) |

주) 오전 : 06시 12시, 오후 : 13시 18시

오존농도와 일산화질소 및 이산화질소의 관계를 지점별로 분석한 결과 방학동지점은 6월 4일 오전에 NO와 $NO_2$농도가 최고치(NO 114ppb, $NO_2$ 65ppb)를 나타내고, 12시를 넘어서면서 점차 감소하다가 $O_3$농도가 가장 높은 15시(102ppb)를 지나 16시에 최저농도(NO 22ppb, $NO_2$ 17ppb)를 나타내는 등 전형적인 광화학반응 현상을 나타내고 있었다. 그러나 6월 5일은 오전에 NO가 69ppb, $NO_2$가 40ppb로서 높지 않으면서 16시에 $O_3$농도가 168ppb의 고농도를 나타내는 것이 특징이다.

한남동지점은 6월 4일 오전에 NO농도가 217ppb로서 상당히 높고, $NO_2$ 농도의 최고치가 88ppb로서 다른 지점과 비슷하였으나, $O_3$농도는 최고치가 77ppb로서 다른 지점에 비해 다소 낮은 편이다. 6월 5일은 NO가 4일 24시 최고농도(221ppb)에서 점차 감소하면서 오전에는 58ppb로 낮았고, $NO_2$ 농도도 오전에는 최고 48ppb로 낮았으나, $O_3$은 15시에 143ppb를 기록하였다.

구의동지점은 6월 4일 NO농도는 09시에 최고 141ppb를 나타내었으나, $NO_2$농도는 최고치가 13시에 75ppb로 낮았으며, $O_3$농도도 16시에 최고 85ppb로 나타났다. 6월 5일은 NO가 01시에 133ppb로 최고농도를 나타낸 후 점차 낮아 오전중의 최고치는 32ppb로 매우 낮았으며, $NO_2$농도도 오전에는 최고가 25ppb로서 매우 낮았다. 그러나 $O_3$농도는 15시에 최고 133ppb를 기록하여 매우 높은 것을 볼 수 있었다.

구로동지점의 6월 4일 NO농도는 오전은 그다지 높지 않으나 19시 이후부터 상승하여 23시에 123ppb를 기록하였으며, $NO_2$농도는 14시에 최고 71ppb를 나타내고, $O_3$농도는 14시에 75ppb가 최고이었다. 6월 5일 NO농도가 02시에 163ppb이고 07시까지 100ppb이상의 높은 수치를 보이다 08시부터

급격히 낮아져 14시에 38ppb를 나타내었고, $NO_2$ 농도는 그렇게 높지 않았으나, 15시에 $O_3$농도가 주의보기준을 넘어선 133ppb를 기록하였다.

방이동지점은 6월 4일 NO농도는 08시 09시에 129ppb이고, 하루 중 최고치는 24시에 148ppb를 기록하고 있으며, $NO_2$는 13시에 최고치가 88ppb를 나타내었고, $O_3$농도는 16시에 102ppb를 기록하였다. 6월 5일의 NO는 01시에 163ppb까지 높았으며 06시에는 44ppb까지 낮아졌다. $NO_2$의 농도는 그다지 높지 않은 상태에서 $O_3$은 13시부터 1시간기준을 초과하다가 16시에 최고 147ppb를 기록하였다. 이 지점은 올림픽공원 안에 위치하고 있어 오염원이 전혀 없음에도 불구하고 새벽에 NO의 농도가 아주 높게 나타나고 $O_3$농도가 오후에 오존주의보 기준을 빈번히 초과하는 것이 특징이다.

사당동지점은 6월 4일 NO농도는 09시에 최고농도로서 114ppb이며, 그 이후 감소하다가 20시부터 다시 상승하였으며, $NO_2$농도는 13시에 최고 64ppb를 나타낸 후 $O_3$농도가 16시에 84ppb를 기록하였다. 6월 5일은 20시부터 상승하기 시작한 NO농도가 5일 05시에 최고치인 139ppb를 나타낸 후 오전 들어 NO농도가 점차 감소하였고, $NO_2$농도는 오전 중에는 최고치가 53ppb이였으며, 15시에 오존농도가 137ppb를 기록하였다.

반포동지점은 6월 4일 NO농도는 01시에 277ppb, 09시에 190ppb로서 높은 농도를 나타내었고, $NO_2$농도는 오전에는 10시에 최고 91ppb를 나타낸 후 $O_3$농도가 15시에 최고 73ppb를 나타내어 6월 4일의 $O_3$농도는 그렇게 높은 편은 아니었으나, 6월 5일은 4일 20시부터 상승하기 시작한 NO농도가 277ppb 258ppb의 높은 농도로 01시 04시까지 3시간 가량 지속한 후 05시부터 점차 감소하였으며, $NO_2$농도는 6월 5일 별다른 변화를 보이지 않았으나 $O_3$농도는 12시부터 급상승하여 15시에 최고 155ppb까지 상승하였다.

불광동지점의 6월 4일 NO농도는 07시에 최고농도가 비교적 낮은 61ppb를 나타낸 후, $NO_2$ 농도는 출근시간후인 11시에 최고 64ppb를 기록하고, 이후 14시 15시에 $O_3$농도가 최고 85ppb로 다른 지점과 비슷하였다. 6월 5일의 NO는 07시에 51ppb가 최고치로서 다른 지점과 달리 높지 않으며, $NO_2$의 농도도 01시 08시까지 평균 30 40ppb정도를 유지하고 있다. $O_3$농도는 12시부터 상승하여 17시에 최고 121ppb를 나타내는데, 이때 NO농도가 6 8ppb로 감소하고 있으나, $NO_2$농도는 다른 지점과 달리 평균농도가 오전보다 다소 높은 편이다.

시청앞은 6월 4일 NO농도는 08시 09시에 최고농도가 74ppb를 나타내고 있으며, $NO_2$농도는 10시 12시에 58ppb로서 최고농도를 나타낸 후, 16시에 $O_3$농도가 시간 최고인 74ppb를 기록할 때 NO와 $NO_2$ 모두 감소하는 전형적인 광화학반응 현상을 보였다. 6월 5일은 NO농도가 03시에 71ppb로서 최고치를 나타낸 후 낮아졌다가 출근시간대인 07시 09시에 약간 상승(67ppb)하는 현상을 보이고 있으며, $NO_2$농도는 10시까지 높지 않았으나 이후 점차 높아지고 있었으며, $O_3$농도도 11시 이후 점차 상승하다가 15시 18시까지 90ppb 99ppb를 유지하여 다른 지점에 비해 낮은 편이였다.

이화동지점의 경우 6월 4일 NO는 05시에 102ppb로서 이때부터 상승하여 10시에 200ppb를 기록하고 그 이후 점차 감소하여 17시에 최저치 24ppb를 보이고 다시 상승하였다. $NO_2$농도는 10시 12시까지 82 88ppb를 기록하다가 13시부터 감소하여 17시에 22ppb를 나타내는데 오존은 15시에 최고치 88ppb이었다. 6월 5일은 NO와 $NO_2$모두 오전 중에 낮았으나, $O_3$농도는 16시에 110ppb를 기록하는 현상을 보였다.

따라서 $O_3$농도와 NO 및 $NO_2$농도의 관계는 전반적으로 오전에 NO 및 $NO_2$ 농도가 높고, 기온이 상승하면서 13시  16시에 $O_3$농도가 최고치를 기록하며, 이때 NO와 $NO_2$농도는 최저치를 나타낸 후 $O_3$농도는 감소하면서 NO와 $NO_2$농도는 증가하는 광화학반응 현상을 보인다. 그러나 NO와 $NO_2$농도가 높은 지점이 반듯이 $O_3$농도가 높은 것은 아니고, 또한 NO와 $NO_2$농도의 최고치 시간대와 $O_3$농도의 최고치 시간대와의 시간적 거리는 일정하지 않았다. 이를 종합해 보면 고농도의 오존이 발생될 때에는 당해 지점에서의 NO와 $NO_2$농도이외에 다른 지역으로부터 이동되어 오거나 또 다른 요인에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. 1999년 6월 4일  5일의 지점별 $O_3$농도와 NO와 $NO_2$농도의 변화추이 및 NO와 $NO_2$농도 자료는 부록 5, 6, 7에 수록하였다.

### 라. 오존농도의 수평적·공간적 분포

Episode기간 서울지역 27개 지점의 오존농도 및 측정지점의 TM 좌표를 이용하여 3시간 간격으로 오존농도의 수평적·공간적 분포상황을 살펴보았다.

6월 4일의 03시에는 그림 8의 (a)와 같이 남서지역의 신림동이 최고치인 31ppb, 문래동이 13ppb이고, 그 다음이 신설동이 12ppb이며 그 외의 지점은 10ppb이하로 매우 낮게 측정되었다. 이때 바람은 서풍이 1.2m/s로 불었고, 기온은 18.4℃ 습도는 88%이었으며 맑은 날씨이었다.

06시에는 그림 8의 (b)와 같이 신림동 지점이 16ppb로 감소하였고 그 외의 지역은 03시와 비슷한 분포도를 나타내었다. 기상도 기온만 약간 내려간 것 외에는 03시와 비슷하였다.

09시에는 그림 8의 (c)와 같이 03시와 06시보다 공간 높이가 약간 높게 나타나고 있는데, 이때는 출근시간이 거의 끝나는 시간대로서 신림동·궁동·불광동·시청앞·구로동 등 일부지점을 제외하고 NO가 100ppb를 넘고 있으며, 기상은 남풍계열의 바람이 1.5m/s속도로 불고, 습도는 68%이었다.

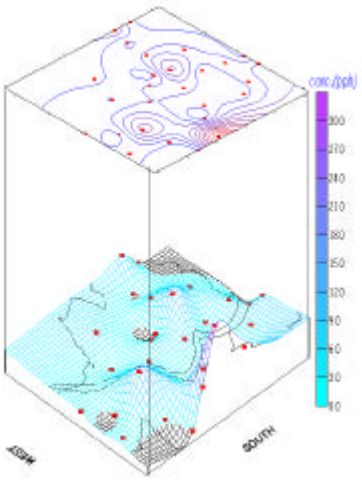
12시에는 그림 8의 (d)와 같이 북서지역인 마포지점에서 북동지역으로 연결하는 시청앞·이화동·신설동·길음동 지점까지 일단의 벨트를 형성하면서 시내 중심부가 다른 지점에 비하여 낮게 나타나는 반면, 방학동·구로동·사당동·방이동 등 외곽지역이 40ppb을 넘는 농도를 나타내고 있다. 바람방향은 9시의 남풍계열에서 서풍계열로 바뀌었고 풍속도 9시보다 다소 강한 2.0m/s의 바람이 불었다.

15시에는 그림 8의 (e)와 같이 전체 지점이 하루 중에서 오존농도가 가장 높은 시간대로서 특이한 것은 14시까지 그리 높지 않던 길음동이 102ppb로 높아졌고, 같은 북동지역이 높고(방학동 102ppb, 상계동 91ppb, 번동 84ppb), 반대 편인 남서지역은 사당동을 제외하고 전 지점이 80ppb이하로 상대적으로 낮은 농도를 보였다. 이 시간부터 전 지점이 일산화질소와 이산화질소농도가 감소하는 추세를 보였다. 기상은 북서풍이 하루 중 가장 강한 3.7m/ s의 바람이 불었고, 일사량은 2.52MJ/ ㎡로서 13시 2.69MJ/ ㎡ 정도의 수준을 유지하고 있었다.

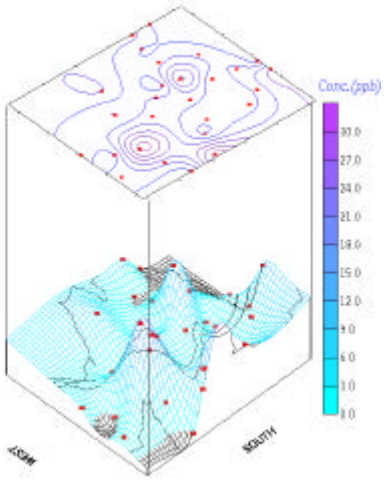
18시에는 그림 8의 (f)와 같이 대부분의 지점이 15시를 기점으로 감소하여 약간 낮아졌는데, 신설동 · 방학동 등 북동지역이 다른 지역보다 높게 나타났다. NO는 반포동(71ppb)을 제외하고 전 지점이 50ppb이하로 나타나고, 아울러 $NO_2$도 반포동(57ppb)을 제외하고 40ppb이하로 낮았다.

21시에는 그림 8의 (g)와 같이 북동지역이 다른 지역에 비해 높고(신설동 60ppb, 방학동 54ppb), 그 외의 지역은 신림동(24ppb)을 제외하고 10ppb 이하로 낮아졌다.

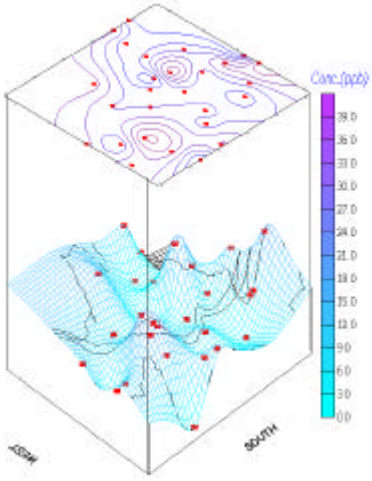
24시에는 그림 8의 (h)와 같이 신설동이 49ppb, 신림동이 42ppb를 보이고, 그 외 지역은 10ppb이하로 낮아졌다.



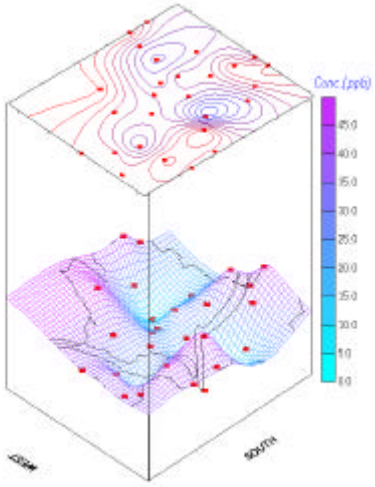

(a) 6월 4일 03시




(b) 6월 4일 06시

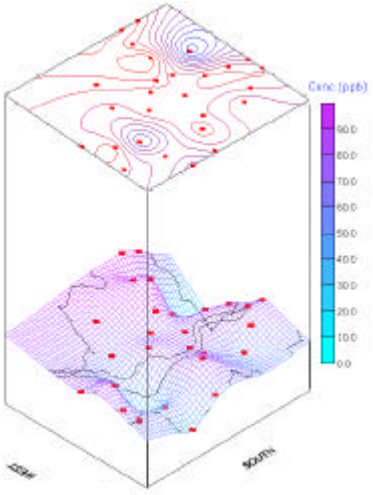



(c) 6월 4일 09시

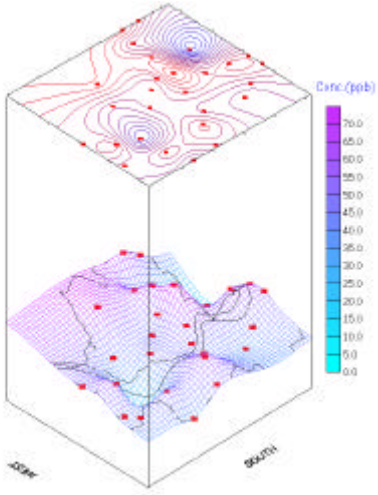



(d) 6월 4일 12시

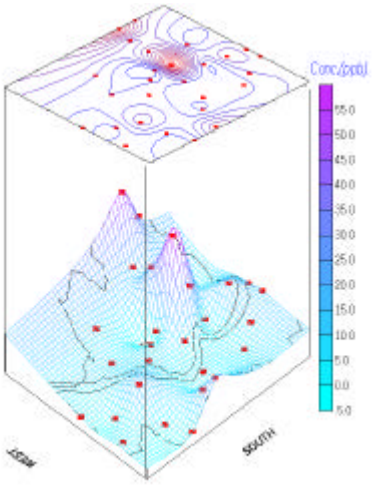
**그림 8. 서울지역 오존농도의 수평적·공간적 분포도(1999년 6월 4일)**



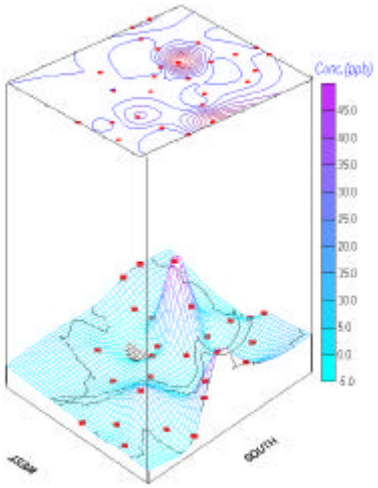

(e) 6월 4일 15시




(f) 6월 4일 18시




(g) 6월 4일 21시




(h) 6월 4일 24시

그림 8. 서울지역 오존농도의 수평적·공간적 분포도(1999년 6월 4일) (계속)

6월 5일은 1999년도 중에서 제일 높은 오존농도 값을 보였는데, 그림 9의 (a)와 같이 03시에는 신설동지점이 35ppb로서 6월 4일부터 지속적으로 평균 약 40ppb 수준으로 나타나는 것을 제외하고는 전 지점이 20ppb이하로 낮게 측정되었다.

06시에도 그림 9의 (b)와 같이 신설동(26ppb)을 제외하고 20ppb이하로 매우 낮은 농도를 보였다. 이 때의 풍향은 관측되지 않았으며, 05시에 북동풍이 0.3m/s로 거의 바람이 불지 않는 상태이었다.

09시의 공간분포는 그림 9의 (c)와 같이 03시와 06시보다 농도가 전반적으로 높게 나타나고 있는데, 이는 출근시간대 차량에 의한 영향으로 파악되었다. 기상여건은 6월 4일 09시 때와는 상당히 다르게 북동풍 계열의 바람이 전일의 같은 시간대 0.5m/s보다 강한 1.8m/s의 바람이 불면서 풍하 방향에 위치한 천호동과 한남동·방이동 지점이 4일 같은 시간대의 오염도보다 높게 나타났다. 북서지역에 위치한 구로동과 궁동의 경우는 반대로 4일보다 낮게 나타났다.

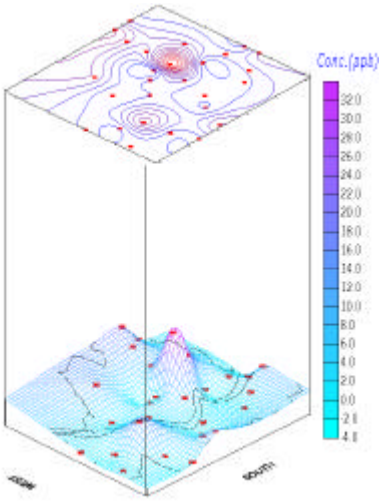
12시에는 기온이 올라가면서 27개 지점 중 측정되지 못한 문래동·신정동 지점을 제외하고는 그림 9의 (d)와 같이 오존농도가 50ppb를 넘어서고 있으며, 남동지역의 방이동이 71ppb로서 최고를 나타내고, 그 다음이 북동지역의 방학동이 70ppb로서 북동지역과 남동지역이 북서지역이나 남서지역보다 높은 현상을 보였다. 이때의 기상은 남풍이 0.8m/s로 불었으며 기온은 29.1℃를 기록하였다. 습도는 54%로서 건조한 편이며, 시정거리는 6㎞로 짧았다.

15시에는 오존농도 분포도가 그림 9의 (e)와 같이 기온이 최고 31.4℃까지 상승하면서 27개 지점 가운데 측정에 문제가 있는 면목동 · 신설동 · 문래동 · 신정동 등 4개지점을 제외할 경우 23개 지점가운데 19개 지점이 단기기준(0.1ppm)을 초과하였으며, 이중 한남동 · 구의동 · 성수동 · 방학동 · 구로동 · 사당동 · 반포동 · 방이동지점은 오존주의보 기준인 120ppb를 초과하였다.

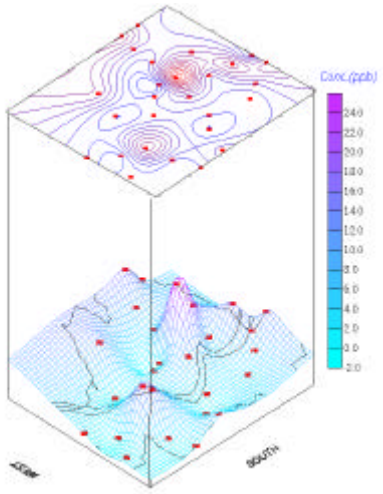
18시에는 그림 9의 (f)와 같이 오존이 15시 이후 감소된 상태이나, 6개 지점이 100ppb이상을 보였는데 북동지역이 방학동(123ppb)을 비롯하여 5개 지점, 남동지역이 1개(방이동)지점이었다. 바람은 16시부터 서풍계열의 5.3m/ s의 강한 바람이 불었다.

21시에는 그림 9의 (g)와 같이 더욱 오존농도가 감소하여 방학동(107ppb), 신설동(66ppb)을 제외하고 대부분 50ppb이하를 보였다.

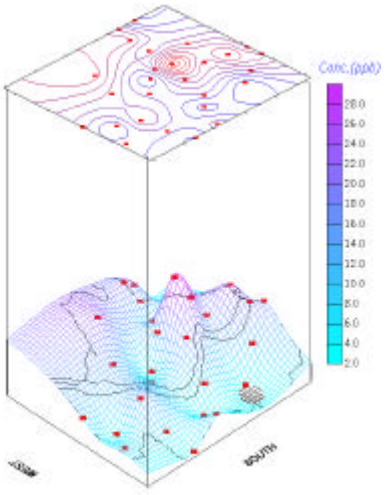
24시는 그림 9의 (h)와 같이 신설동(64ppb)과 신림동을 제외하고 전 지점이 50ppb이하를 보이는데, 기상은 기온이 다소 낮은 것 이외 별다른 특징이 없었다.



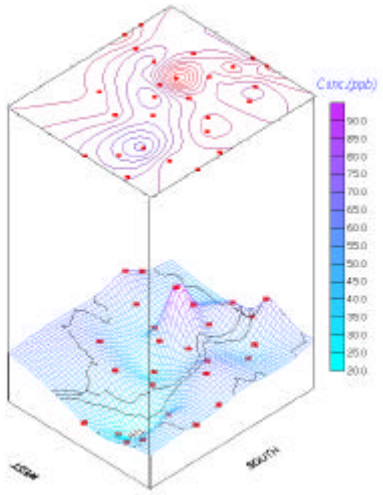

(a) 6월 5일 03시




(b) 6월 5일 06시

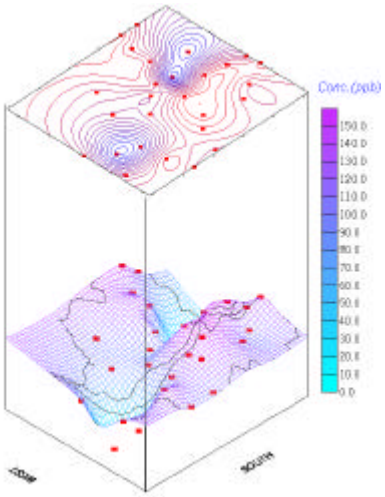



(c) 6월 5일 09

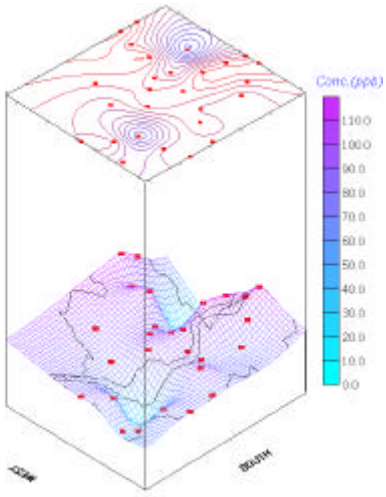



(d) 6월 5일 12시

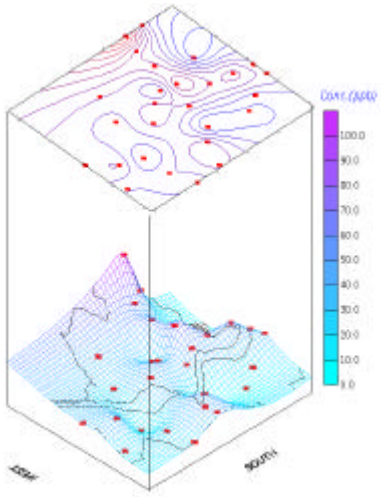
**그림 9. 서울지역 오존농도의 수평적·공간적 분포도(1999년 6월 5일)**



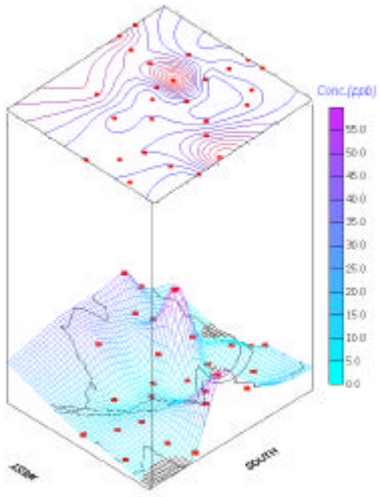
(e) 6월 5일 15시



(f) 6월 5일 18시



(g) 6월 5일 21시



(h) 6월 5일 24시

그림 9. 서울지역 오존농도의 수평적 · 공간적 분포도(1999년 6월 5일) (계속)

# Ⅳ. 고 찰

서울지역의 오존발생 특성을 조사하기 위하여, 먼저 오존농도의 연도별 현황 및 변화추이를 살펴본 결과, 지난 10년간 매년 증가하는 추세이며 연평균 농도가 1990년 9ppb에서 1999년도에는 16ppb으로 무려 2배 (89%)나 증가하였다. 이는 1994년 서울시정개발연구원에서 1984년과 1993년을 비교하여 63% 증가한 수치보다 더욱 높은 증가율을 보이고 있다.

월별 오존농도의 변화는 서울지역의 경우 일반적으로 기온이 높은 7월과 8월이 일사량도 많아 오존농도가 높을 것으로 생각되는데, 조사결과 1990년에는 8월이 14ppb으로 가장 높고 그 다음은 5월과 6월이 13ppb로 높았으며, 1991년부터 1999년까지는 5월과 6월이 높은 현상을 보였다. 특히 1999년에는 6월이 27ppb, 5월이 25ppb, 4월과 7월이 21ppb, 8월이 18ppb로 봄철인 6월이 제일 높고, 그 다음이 5월로 7과 8월보다 높은 농도로 발생했다. 이러한 봄철 4월과 5월의 고농도 오존발생은 우리 나라만이 국한되는 일시적인 현상이 아니며, 북반구의 여러 지역에 매년 발생하는 현상으로 연구자들에 의해 밝혀지고 있다. 인공위성자료를 이용하여 조사한 바에 따르면 봄철 오존농도가 높은 지역은 중국 동부로부터 우리 나라, 일본, 오오츠크해를 포함하는 지역과 북아메리카 북동부지역이며, 성층권 오존의 경우는 북반구에서는 3월부터 5월까지 봄철농도가 가장 높고, 특히 한국을 비롯한 동북아시아 북부가 가장 높으며, 봄철 오존농도의 상승은 청정지역에서 보다 분명하게 나타났다 (Fishman등, 1990). 북반구 지역의 계절적 오존 배경농도 변화를 살펴보면 봄철에 가장 높으며, 가을철에 최저를 나타낸다(Oltmans and Levy Ⅱ,

1994). 이와 같이 북반구지역에서 봄철의 오존농도가 높게 나타나는 원인은 명확하게 규명되지 않고 있으나, 연구자에 따라 성층권의 영향, 겨울철 광화학반응 등 여러 가지 가설이 있다. 대류권의 오존농도가 성층권의 오존농도에 영향을 받는다는 주장의 근거는 지구상 오존의 대부분인 약 90%가 성층권에 존재하고 있으며, 대류권 오존농도 결정에 특히 중요하리라고 생각되는 성층권하부의 농도변화가 봄철에 높고 여름에 낮아 대류권의 계절에 따른 농도변화와 일치하기 때문이다(Singh 등, 1980), 또한 Wakamatsu 등(1989)은 일본 대마도지역의 기상변화를 분석한 결과를 토대로 성층권하부의 고농도 오존이 지표면에 영향을 준다고 해석하였다. 그리고 겨울철에는 대기가 안정되고 난방연료사용의 증가로 질소산화물의 농도가 여름보다 높다. 결국 기온이 낮아 반응속도가 낮으나, 질소산화물의 높은 농도 조건 속에서 광화학반응이 서서히 진행되며, 생성된 오존 역시 반감기가 길어 축적된 오존이 북반구 봄철 오존농도를 높이는 역할을 한다고 분석하였다.(Liu 등 1987)

1990년부터 1999년까지 월별 단기기준초과 지점수를 보면, 1990년에는 20개 지점중 9개 지점으로서 45%이었으나, 1999년에는 27개 지점 중 93%인 25개 지점으로서 초과 지점수가 많았다. 이는 서울 전 지역이 오존농도가 높아지는 현상을 보인 것이다. 월별로는 5월이 534회, 7월이 514회, 8월이 325회이었으나, 연도별로는 초과횟수가 많은 달이 각각 상이하여 이의 원인을 파악하기 위해서는 연도별 기상자료 등을 동시에 파악하여야만 그 특성을 알 수 있을 것으로 판단되었다.

1995년부터 실시하고 있는 오존경보제도에 의하여 오존주의보가 1995년에는 2회 발령되었으나, 1996년에는 9회, 1997년에는 18회, 1998년과 1999년에는 16회 발령되었고, 월별로는 6월이 총 26회로서 가장 많이 발령되었다.

오존농도와 다른 대기오염물질과의 관계를 보기 위하여 1990년부터 1999년까지 측정된 자료를 연평균 비교한 결과, 오존농도는 19990년에 비해 1999년에는 89%증가하였으나, 오존의 전구물질로 알려진 이산화질소의 농도는 7%(2ppb) 증가한 것으로 나타났다. 반면, 아황산가스·일산화탄소·총 먼지는 각각 86%·58%·57% 감소하였는데, 이러한 이유는 그간 청정연료와 저유황 연료 공급 확대, 저공해 자동차 보급 등으로 인하여 아황산가스와 먼지 등 개도국형 대기오염상태는 개선되는 추세이나, 광화학반응에 의한 오존 등 2차 오염물질은 증가하고 있다. 서울시의 경우 자동차 등록대수가 1989년에 약 100만대에서 1998년 약 220만대로 증가하였으며(서울시, 1999), 앞으로 자동차 운행대수는 점차 증가할 것이고, 산업체에서 질소산화물의 배출도 증가할 것으로 예상되므로 이에 대한 저감대책이 없을 경우 오존은 계속 증가할 것으로 예측되었다.

서울지역에서 측정된 27개 지점의 1999년 월별 오존농도를 보면, 월 평균 농도가 신림동이 5월과 6월에 39ppb로 가장 높고 방학동이 6월에 37ppb로 높았으며, 나머지 25개 지점은 21ppb 30ppb를 나타내었다. 월별로는 최고치를 나타내는 달이 6월이 20개 지점, 5월이 5개 지점, 5월과 6월 같이 최고치를 나타내는 지점이 2개 지점으로서 6월이 최고치를 나타내는 지점이 가장 많았다.

1999년도 측정된 자료를 검토하여 오존농도가 높거나, 측정지점 중에서 서울지역 중심부에 위치하는 지점, 오염원이 별로 없는 지점 등 7개 지점을 선정하여 시간대별로 분석하여 보았다. 그 결과 오존농도의 최고치를 기록한 지점은 15시에 3개 지점, 16시에 4개지점이였고, 08시 09시에 최저치를

보였다. 다만, 시청앞·구의동 등 몇 개 지점은 03시 04시에 약간 상승하는 경향을 보이는데 이와 같이 새벽의 오존농도가 약간 상승하거나 새벽에 6ppb이 넘는 오존농도가 나타나는 경우에 대하여 Liu(1990)등은 낮에 생성된 오존이 야간에 지상에서는 질소산화물 등의 오염물질에 의하여 오존이 소멸되나 안정한 대기층 때문에 혼합층 위에 오존은 남아 있을 수 있으며, 이 혼합고 상부의 오존이 이른 아침에 혼합층의 발달이 시작되면서 혼합층내로 유입되어 지상의 오존농도가 상승한다고 하였다. 그러나 신림동의 경우 01시 06시까지 26ppb를 기록하여 01시 03시에는 아직 혼합층의 발달이 시작되기 전이므로 이와 같은 설명은 다소 부적절하고, 어떤 다른 요인에 의하여 높은 것으로 판단되었다. 오존농도의 하루 중 시간대별 변화는 일사량과 기온의 상승, 혼합고의 상승등 기상요소의 영향을 받으며, 배출된 오염물질에 의한 광화학반응으로 생성, 야간의 소멸반응 등이 오존농도의 시간대별 변화에 영향을 미치기도 한다. 야간에 형성된 안정된 대기층은 일출과 동시에 혼합이 시작되어 대류가 활발한 경계층(convective boundary layer)을 형성하게 된다. 이러한 경계층 또는 혼합층(mixing layer)은 오후까지 계속 성장하여 혼합고(mixing height)는 오후에 최대가 된다. Khemani(1995)등은 오전에 혼합층이 형성되기 시작할 때, 혼합층 위에 있던 오존이 혼합층으로 유입되어 오존농도가 상승하기 시작하고, 일사량이 많은 오후에 오염물질과의 광화학반응으로 오존농도는 계속 상승한다고 주장하였다. 또한 일사량이 감소하면서 혼합층은 점차 소멸하게 되고 혼합층 상부로부터 오존의 유입도 감소하면서 지상의 오존농도는 낮아진다고 하였다.

오존농도와 기상과의 관계를 보기 위하여 1999년도 오존 단기기준인 1시간기준(100ppb)과 8시간기준(60ppb)을 초과한 월별 초과 횟수와 기상상태를

비교한 결과, 오존의 농도가 단기기준을 초과한 횟수가 6월이 가장 많고 그 다음이 5월·8월·7월 순서로 많았다. 기상은 5월·6월·7월·8월의 최고기온이 28.1℃·33.6℃, 34.9℃·35.4℃를 나타내어 7월과 8월의 시간 최고기온이 5월과 6월보다 높았다. 그러나 월 평균 강수량은 5월에 1.2mm, 6월에 1.7mm에 불과하였으나, 7월은 2.0mm, 8월은 5.6mm를 기록하는 등 7월과 8월이 많았다. 상대습도도 5월과 6월이 7월과 8월보다 낮게 나타나고 있으며, 이른 아침인 03시 06시 사이에 80%이상의 습도를 나타내고 있다. 일사량도 월 평균 5월이 0.92MJ/㎡, 6월이 0.97MJ/㎡로서 7월 0.73MJ/㎡, 8월의 0.72MJ/㎡보다 많으며, 시정거리도 월 평균 5월의 10㎞, 6월의 9㎞에 비해 7월이 11㎞, 8월이 13㎞로서 7월과 8월이 길었다. 바람은 5월과 6월은 서풍 또는 남서풍이 월 평균2.2m/s, 1.8m/s, 7월과 8월은 북동풍이 월 평균 2.1m/s, 1.3m/s의 속도로 불었다. 따라서 고농도의 오존발생에는 일정한 기온과 일사량 조건에서 강수량과 풍향 및 풍속의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 특히 시간별 강수량이 8월의 경우 오전 9시경에 많은 비가 내려 오염물질을 정화하는 역할을 함으로서 오후시간대 기온이 상승하더라고 정체된 오존을 세정한 탓에 오후 오존농도가 높지 않은 것으로 판단되었다.

서울지역의 대부분 오존 측정지점에서 오존농도가 환경기준치를 초과한 Episode기간의 오존발생 현황을 살펴보기 위하여 1999년 6월 4일과 5일의 오존측정자료를 오존경보 권역별로 분석한 결과, 4일과 5일 모두 남서지역과 북서지역보다 남동지역 및 북동지역이 높은 현상을 보여 같은 서울지역이라도 권역별로 오존농도가 다르게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 남서지역의 경우 인천지역에서 서울로 이동하는 주요 이동통로인 신원 I.C에서 서울시

지방경찰청에서 조사한 교통량자료를 보면 '98년 187,658대/일로 서울시 경계 34개 교통량 측정지점 중 일 교통량이 가장 많은 지점이며 기타 부천과 안양 등지에서도 많은 차량들이 서울로 진입하는 등 오존발생의 주원인인 차량통행량이 많은 지점이며, 또한 북서지역은 서울의 가장 중심부이며 번화가이어서 늘 차량지체 현상이 빚어지는 지역이다. 반면, 남동지역은 서초구·강남구·송파구 및 강동구 등으로 구성되어 상대적으로 주택가가 많으며 차량의 유·출입량이 남서지역보다 적고 성남시 및 하남시와 경계를 이루고 있으며, 북동지역은 전체지역 중 상당지역이 북한산에 포함되어 있어 녹지가 많은 지역이다. 따라서 일반적으로 생각할 때는 남서지역과 북서지역이 남동지역과 북동지역보다 오존농도가 높게 나타날 것으로 생각했으나, 오히려 남동지역과 북동지역이 높았다. 이는 이날 최고기온은 29.4℃, 31.4℃로 높은 편이며, 바람은 서풍 또는 북서풍이 불고 있었다. 일부 조사결과에서도 수도권의 경우 주간에는 국지풍인 해륙풍의 발달로 오염물질이 풍하측으로 이동됨에 따라 인천의 풍하지역인 서울지역의 오존농도를 더욱 증가시킬 수 있으며(Chung et al, 1990), 낮 동안에 부는 해륙풍에 의하여 풍상측에서 배출되는 오염물질이 풍하측으로 운반되므로 수송되어 온 오염물질과 자체 오염물질이 합쳐져서 높은 농도를 기록한다고 보고한 내용(정용승, 1991)과 일치하고 있다.

또한 같은 Episode기간 서울지역 전체 27개 지점중에서 주요 10개지점을 선정하여 조사한 결과, 최고농도가 4일과 5일은 상당한 차이가 있었으며, 지점별로는 4일의 최고치는 방학동·방이동이 102ppb이고 나머지 8개 지점은 90ppb이하를 보였다. 5일은 방학동·한남동·반포동·방이동은 140ppb

이상을 기록하는 반면, 시청앞지점은 100ppb이하를 나타내기도 하여 지점별로 차이가 있는 것을 볼 수 있어 지점별로 어떤 영향을 많이 받는 것으로 판단되었다. 서울대 학도호국단에 위치한 신림동지점, 올림픽공원 안에 위치한 방이동지점 그리고 녹지지역인 구의동지점의 경우 비슷한 경향을 보일 것으로 판단하였으나, 신림동지점의 01시 06시 사이 오존농도는 시청앞 지점의 16시 농도와 비슷할 정도로 높게 나타나고, 일사량이 많은 오후와 새벽의 오존농도가 비슷한 수준인 것으로 보아 광화학반응의 영향이 작은 것으로 판단되었다. 또한 방이동지점은 올림픽공원 안에 위치하고 있어 특별한 오염원이 없음에도 불구하고 방학동지점, 구로동지점과 비슷한 시간 변화추이를 보이고 있는 것으로 보아 인근지역에서 생성된 오존이 기류를 타고 이동되어 진 것으로 판단되었다.

오존발생과 밀접한 관계가 있는 오존농도와 일산화질소 및 이산화질소의 관계를 보면, 오존농도가 고농도로 발생할 때에는 오전에 NO와 $NO_2$농도가 높고, 기온이 상승하면서 광화학반응에 의해 생성된 오존으로 인하여 13시 16시에 오존농도가 최고치를 보이는데, 본 연구에서는 오존농도가 고농도로 발생되는 서울의 주요지점에 대하여 Episode기간 오존농도와 질소산화물을 비교한 결과, 방학동의 경우 4일은 전형적인 광화학반응을 보이나 5일은 NO와 $NO_2$농도가 그리 높지 않으면서, 오존이 168ppb까지 높게 나타났다. 한남동의 경우 4일 오전 NO가 217ppb로 아주 높았으나 최고 오존은 77ppb로서 그리 높지 않았으며, 24일 24시에 NO가 최고치(221ppb)를 기록한 후 급격히 감소하고 오존은 15시에 최고치(143ppb)를 나타내었는데 NO 최고치와 오존 최고치가 나타나는데는 무려 16시간 이후였다. 불광동지점의 경우도 6월 5일 새벽의 NO농도가 그다지 높지 않았으나, 17시에 오존 값이 121ppb를 기록

한 후 곧바로 감소하였다. 따라서 전반적으로는 질소산화물의 농도가 높게 나타난 후 기온이 상승할 때 오존 농도가 높으나, 지점에 따라서는 이와 똑 같은 현상이 아닌 지점도 있었다. 이는 당해 지점 주변에서 발생된 오염물질 보다 다른 지역에서 발생된 오염물질이 이동되어 온 것으로 볼 수 있다.

Episode기간 서울지역 전체 27개 측정지점의 오존농도를 3시간 간격으로 수평적·공간적 분포도를 그림으로 그려본 결과, 공간적 높이는 03시와 06시에는 오존농도가 낮아 공간높이가 낮고, 그 이후 오존농도가 점점 높아 15시에 최고 높이가 된 후 내려가는 현상을 볼 수 있다, 수평적 분포는 각 지점별·시간대별 여러 양상을 보이고 있는데, 12시의 경우 시내 중심부에 속하는 지점은 낮고 외곽부에 속하는 지점은 높은 현상을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 현상은 같은 서울지역이라도 지점에 따라 영향을 많이 받는 것으로 생각되었다. 이와 같이 서울시내에 위치한 대기오염측정소에서 측정된 오존 오염도 자료를 분석하여 서울지역 오존발생에 대한 특성을 조사해 본 결과, 오존 측정지점별 기상자료, 질소산화물 등 휘발성유기화합물의 지역별 발생량, 고도별 오존농도 측정자료 및 서울 주변지역의 오존관련 자료 등을 포함하여 종합적으로 분석하면 보다 정확한 특성을 파악할 수 있을 것으로 생각된다, 이에 앞으로 오존발생에 대한 저감대책을 수립하기 위해서는 보다 정확하고 과학적인 조사가 있어야 될 것으로 판단되며, 이를 위하여 다음과 같은 기반구축이 필요한 것으로 생각된다.

먼저 광화학평가측정망의 설치가 우선 선행되어야 한다. 서울지역 안에서의 오존과 오존 전구물질은 물론이고, 지역 내로 유입되거나 지역 외로 유출하는 오존과 오존 전구물질의 농도를 측정할 수 있는 광화학평가측정망을 설치하여 오존 이동량과 광화학반응에 의한 생성량을 산출하여야 한다. 미국은

1994년부터 5개년 계획으로 광화학평가측정망을 설립하여 운영하고 있는데, 1997년 현재 미국내의 광화학평가측정소는 31개소인 것으로 조사되고 있다.

그 다음은 기상자료와 환경자료의 실시간 연계방안 및 대기측정소에서의 기상자료 측정이 보완되어야 한다. 오존발생의 특성을 파악하기 위해서는 정확한 기상자료가 중요하다. 현재 기상자료는 기상청에서 측정하여 제공하는 자료를 이용하고 있으나 서울지역은 1개 지점에서 측정된 자료이며, 일부 자료는 3시간마다 관측이 이루어지고 있다. 따라서 기상청자료를 실시간으로 환경자료와 연계하여 활용할 수 있는 방안이 마련되어야 하며, 서울지역의 경우 고공 기상자료는 오산관측소만을 이용할 수 있어 서울지역에서의 자료와 상이할 수 있으므로 이를 보완하여야 하고, 국지적인 오염 이동 영향을 파악하고, 보다 정확한 오존 예보나 경보를 위해서는 지점별로 필요한 최소한의 기상자료를 얻을 수 있도록 대기오염측정소에 기상측정 장비를 보강하여야 할 것이다.

또한 대기오염 측정자료에 대한 QA/QC 프로그램이 필요하다. 대기오염 측정소에서 측정된 자료에 신뢰성을 확보하고, 오존예보시의 예보 확률도 높일 수 있도록 측정자료에 대한 프로그램을 개발하여 활용할 필요가 있다.

아울러 대기오염 배출량 산정에 대한 체계구축이 필요하다. 오존발생 특성을 파악하기 위해서는 측정된 자료를 분석하는 방법도 필요하지만 더욱 중요한 것은 그 지역과 인근지역의 대기오염물질 배출량에 대한 자료를 확보하는 것이다. 특히 오존발생에 결정적인 영향을 미치는 전구물질인 휘발성 유기화합물질(VOC)의 경우 국가에서 배출량을 산정한 자료가 없는 실정이며, 자동차에서 주로 발생하는 질소산화물의 경우 자동차 등록대수만으로

배출량을 산정하고 있어 실제 차량통행량이 많은 지역과 적은 지역에 대한 고려가 이루어져 있지 않다. 또한 차량속도 등에 대한 고려도 하지 않은 평균적인 오염배출량을 활용하여 대기오염저감대책을 수립하고 있어 지역내 오염배출량에 차이가 심한 실정이다. 따라서 국가적으로 표준화된 배출량 산정방법과 배출계수자료가 필요하며, 국지적으로 편차가 심한 사항을 고려한 실제적인 배출량자료가 선행·조사되어야 오존발생에 대한 특성 분석시 활용할 수 있을 것이다.

마지막으로 광화학반응을 평가 할 수 있는 단기예측 모형개발이 시급하다. 1995년부터 서울지역에 대하여 오존경보제도를 실시하고 있으나 오존경보제도는 단순히 오존농도가 기준치를 초과한 후에 실시하는 제도이므로 이를 효율적으로 운영하기 위해서는 오존농도에 영향을 미치는 인자들에 대한 이론적인 근거를 선정하여 광화학반응의 특성을 반영한 예측식을 설정하고, 현실적으로 입력 가능한 인자자료를 확보·반영하거나 필요시 모형 내에서 추정할 수 있는 오존 단기예측모형 개발이 시급한 것으로 생각되었다.

# Ⅴ. 결　　론

서울지역의 오존발생 특성을 조사하기 위하여, 서울지역 전역에 설치된 대기오염 자동측정소에서 측정한 대기오염물질 농도 및 기상자료를 이용하여 연도별·월별·시간대별 오존발생 현황 및 변화추이를 파악하고, 오존농도와 오존발생과 관계 있는 인자를 비교·분석하였으며, 고농도의 오존이 발생될 때 서울지역 오존농도의 수평적·공간적 분포도를 작성하였다. 그 결과는 다음과 같았다.

첫째, 연도별 오존농도 현황 및 변화추이는 지난 10년간 매년 증가하는 추세이며, 연 평균 농도가 1990년 9ppb에서 1999년 16ppb로 89% 증가하였다. 월별 오존농도의 변화는 1990년은 8월이 14ppb으로 가장 높았고, 1991년부터 1999년까지는 5월과 6월이 가장 높았다.

둘째, 오존농도의 단기기준초과 횟수는 1990년에 20개 지점 중 9개 지점, 1999년에는 27개 지점중에서 93%인 25개 지점으로 증가하였으며, 월별로는 초과횟수가 많은 달은 연도별로 일정하지 아니하였다. 또한 1995년부터 실시하는 오존경보제도에 의하여 주의보가 발령된 횟수는 1995년에 2회에서 1999년에는 16회로 증가하였으며, 월별로는 6월이 가장 많았다.

셋째, 오존농도와 다른 대기오염물질과의 연도별 변화추세는 오존은 1990년에 비해 1999년에 89% 증가하였으나, 이산화질소는 7%(2ppb) 증가하였으며 반면, 아황산가스·일산화탄소 및 총 먼지는 각각 86%·58%·57% 감소하여, 서울지역도 광화학반응에 의한 오존 등 2차 오염물질이 증가하고 있었다.

넷째, 서울지역 27개 지점에서 1999년도에 측정된 월별 오존농도는 최고치가 25개 지점은 30ppb이하이었으나, 방학동지점은 6월에 37ppb, 신림동 지점은 5월과 6월에 39ppb로 가장 높았고, 월별 최고치를 나타내는 달은 6월이 20개 지점으로 가장 많았다.

다섯째, 또한 주요지점 7개지점을 선정하여 시간대별로 분석한 결과 15시 16시에 최고치를 나타내고, 08시 09시에 최저치를 나타내었다. 시청 앞지점 등 일부 지점은 03시 04시에 약간 상승하는 추세를 보였으며, 신림동의 경우 01시 06시에 26ppb을 보여 다른 지점보다 높은 편이였다.

여섯째 1999년도 오존농도와 기상과 비교한 결과 고농도의 오존발생에는 일정한 기온과 일사량 조건에서 강수량과 풍향 및 풍속의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

일곱째, Episode기간 오존경보 발령 권역별로는 남동지역과 북동지역이 남서지역과 북서지역보다 전체적으로 오존 농도가 높았다. 또한 지점별로는 하루 중 최고치를 기록하는 같은 시간대에 140ppb이상을 나타내는 지점도 있는 반면, 100ppb 이하를 나타내는 지점도 있어, 지점별로 상당한 차이가 있었다. 또한 야간의 농도가 다른 지점의 낮 시간대와 비슷하게 높은 지점도 있었다.

여덟째, 오존농도와 NO 및 $NO_2$농도의 관계는 대부분의 지점은 오전에 NO와 $NO_2$농도가 높았다가 오후 오존농도가 가장 높을 때부터 감소하는 전형적인 광화학반응을 보이는 지점도 있으나, 일부지점은 오전에 NO와 $NO_2$농도가 높지 않으면서 고농도의 오존을 보이는 지점도 있어, 고농도의

오존이 발생될 때에는 지점별로 또 다른 인자의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

아홉째, 서울지역 전체 27개 지점에 대한 Episode기간 3시간 간격의 수평적·공간적 오존분포도는 시간대별·지점별 변화가 크게 나타났으며, 1999년 6월 4일 12시 분포도의 경우 오존농도가 도시 중심부는 낮고, 외곽 부는 높은 현상을 보이는 특성을 볼 수 있었다.

끝으로 오존발생 특성을 보다 정확하고 과학적인 조사가 이루어지기 위해서는「광화학평가측정망의 설치, 기상자료와 환경자료의 실시간 연계방안 및 대기오염측정소에서의 기상자료 측정, 대기오염 측정자료에 대한 QA/QC 프로그램 개발, 대기오염 배출량 산정에 대한 체계구축, 광화학반응을 평가할 수 있는 단기예측 모형개발」같은 기반구축이 필요하였다.

# 참 고 문 헌


기상청, 기상월보(1월 12월), 1999

서울시정개발연구원, 서울시 대기오염 특성연구, 1994

서울특별시, 서울 통계연보, 1999

정용, 장재연, 권숙표, 서울시 대기중 오존의 오염도와 그 영향인자 분석, 한국대기보전학회지 1986 ; 2(1) : 73-79

정용승 , 대도시 광화학 스모그에 관한 연구, 한국환경과학연구협의회, 1991

한국환경정책·평가연구원, 대기중 오존과 미세먼지에 의한 건강영향 평가, KEI/ 1997/ TR-1

환경부, 대기보전정책, http:/ / www.me.go.kr

환경부, 2000년대 대기오염 측정망 기본계획, 1999

환경부, 대기오염 측정망 설치·운영지침, 2000

환경부, 대기환경월보(1월 12월), 1999

환경부, 환경기본통계편람, 1999

환경부, 환경통계연감, 1989 1999

Chung, ML., Shaw CL. and Shen SH., : A study of Taipei ozone problem. Atmos. Environment 1990 ; 24A : 1461-1472

Dix HM.. Enviromental Air Pollution. John Wiley, New York. 1981

Fishman, J., Watson, CE., Larsen, J. et al. Distribution of tropospheric ozone determined from sattellite data, J. Geophys. Res. 1990 ; 95 : 3599- 3617

Haagen-Smit A. J., Bradley C. and Fox M. M., Ozone formation in photochemical of organic substances. Indust. Eng. Chem. 1953 ; 45 : 20860- 2087

Khemani, LT., Study of surface ozone behavior at urban and forested sites in India, Atmospheric Environment, 1995

Lester RB. . State of World 1989.(**지구환경보고서 한국어 번역판**) , 뜨님, **도서출판**, 1990 ; 167

Liu, CH., Liu, SC., and Shen, S. H,. A study of Taipai ozone problem, Atmospheric Environment 1990 ; 24A : 1461-1472

Liu, SC., Trainer, M., Fehsenfeld, F. C., Parrish, DD., et al. ozone production in the rural troposphere and the implication for regional and global ozone distributions, J. Geophy. Res. 1987 ; 92 : 4191-4207

Oltmans, SJ. and Levy, H. **II**. Surface ozone measurements from a global network, Atmospheric Environments 1994 ; 28 : 9-24

Pitts, BJF. and Pitts JNJr., Atmospheric chemistry, John Wiley, New York 1986

Singh, HB., Viezee, W., Jphnson, W., et al, The impact of stratospheric ozone on tropospheric air quality, Air Pollution Control Assoc. 1980 ; 30 : 1009-1017

Vito P., Seasonal Ozone Levels and Control by Seasonal Meteorology. Jr. of AWMA, 1990 ; 40(2) : 206-210

Wakamatsu, S., Uno, I., Ueda, H., et al. Observation study of stratospheric ozone intrusions into the lower troposphere, Atmospheric Environment 1989 ; 23 : 1815-1826

Zurita E and Castro M, A Statistical Analysis of Mean Hourly Concenyration of Surface Ozone At Madrid(Spain), Atmospheric Environment 1983 ; 17(11) : 2213-2220

**水野建樹, 광화학대기오염 こかかれる低層大氣中の オジソの 動態する研究, 公害資源研究所報告** 1984 ; **第**30**號** : 1-83

# 부 록

1. 서울지역 주요 지점별·시간대별 평균 오존농도 현황 (1999년)

2. 서울지역 오존경보발령 권역별 오존농도 변화추이 (1999년 6월 3일 12일)

3. 서울지역 오존농도 현황 (1999년 6월 4일 5일)

4. 서울지역 기상 현황 (1999년 6월 4일 5일)

5. 서울지역 주요 지점별 $O_3$, NO, $NO_2$농도 변화추이 (1999년 6월 4일 5일)

6. 서울지역 일산화질소농도 현황 (1999년 6월 4일 5일)

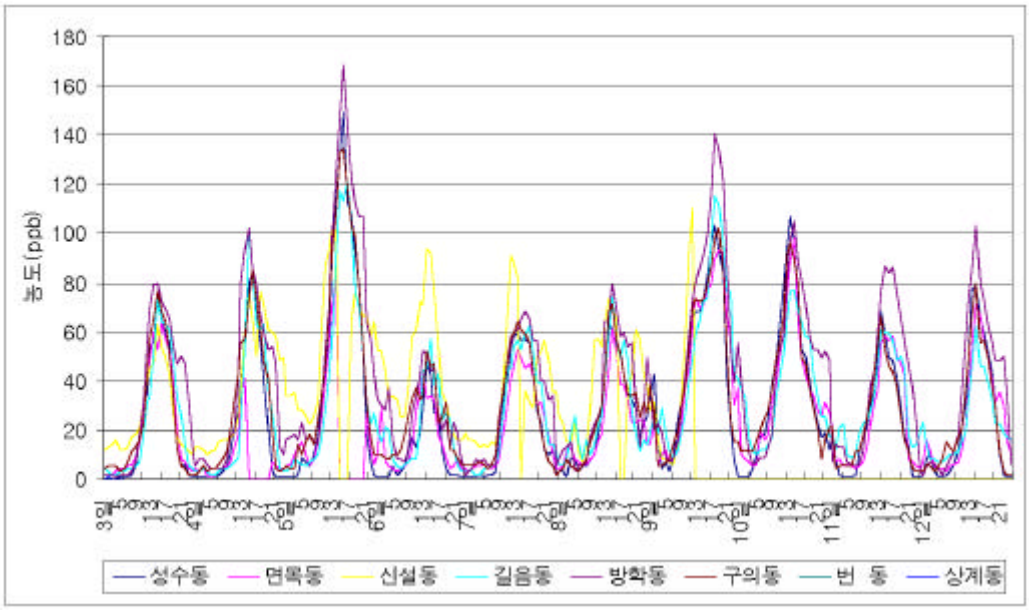
7. 서울지역 이산화질소농도 현황 (1999년 6월 4일 5일)

## 1. 서울지역 주요 지점별·시간대별 평균 오존농도 현황 (1999년)

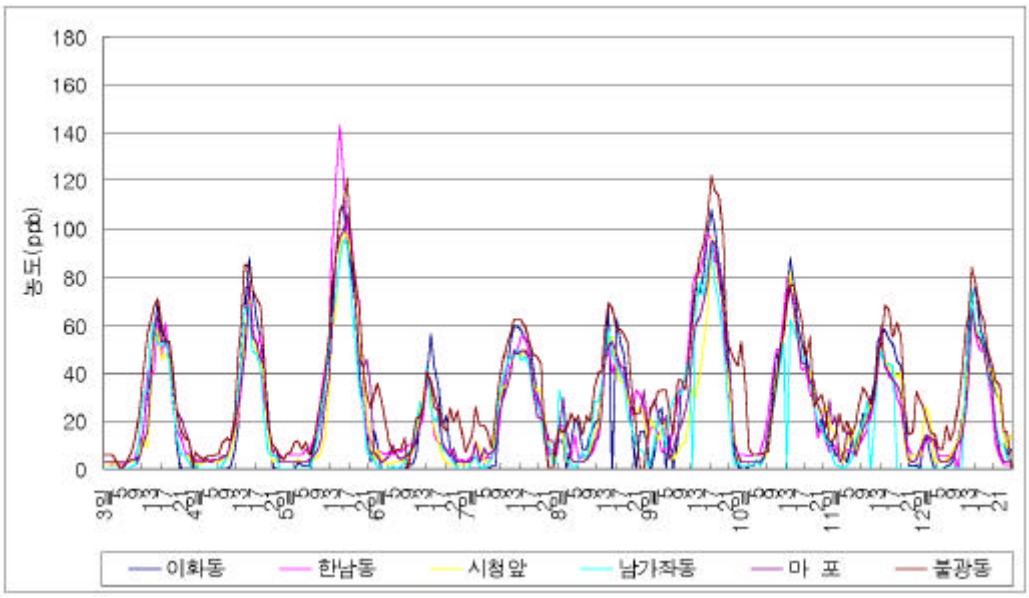
**단위** : ppb

| 시 간 | 지 점 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 시청앞 | 불광동 | 신림동 | 구로동 | 구의동 | 방학동 | 방이동 |
| 1 | 8 | 15 | 26 | 9 | 9 | 12 | 9 |
| 2 | 10 | 16 | 26 | 11 | 10 | 11 | 10 |
| 3 | 11 | 17 | 26 | 11 | 11 | 11 | 10 |
| 4 | 11 | 17 | 26 | 12 | 11 | 11 | 10 |
| 5 | 11 | 17 | 26 | 11 | 11 | 10 | 10 |
| 6 | 9 | 16 | 26 | 8 | 10 | 9 | 9 |
| 7 | 7 | 14 | 22 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 8 | 7 | 13 | 19 | 7 | 8 | 8 | 8 |
| 9 | 7 | 15 | 17 | 9 | 10 | 11 | 10 |
| 10 | 9 | 18 | 17 | 13 | 14 | 16 | 15 |
| 11 | 13 | 23 | 20 | 19 | 19 | 22 | 20 |
| 12 | 17 | 28 | 23 | 25 | 24 | 30 | 26 |
| 13 | 21 | 33 | 27 | 32 | 30 | 37 | 32 |
| 14 | 25 | 37 | 33 | 37 | 33 | 42 | 37 |
| 15 | 27 | 39 | 35 | 38 | 35 | 45 | 38 |
| 16 | 28 | 40 | 37 | 36 | 34 | 46 | 36 |
| 17 | 26 | 38 | 36 | 33 | 31 | 44 | 34 |
| 18 | 22 | 33 | 32 | 27 | 26 | 40 | 27 |
| 19 | 17 | 27 | 29 | 19 | 19 | 34 | 19 |
| 20 | 13 | 22 | 26 | 14 | 16 | 29 | 15 |
| 21 | 11 | 18 | 25 | 10 | 12 | 25 | 12 |
| 22 | 9 | 16 | 24 | 9 | 10 | 19 | 10 |
| 23 | 8 | 15 | 24 | 9 | 9 | 16 | 9 |
| 24 | 7 | 15 | 25 | 9 | 9 | 15 | 9 |
| **연 평균** | 14.21 | 22.91 | 26.17 | 17.65 | 17.39 | 23.30 | 18.00 |

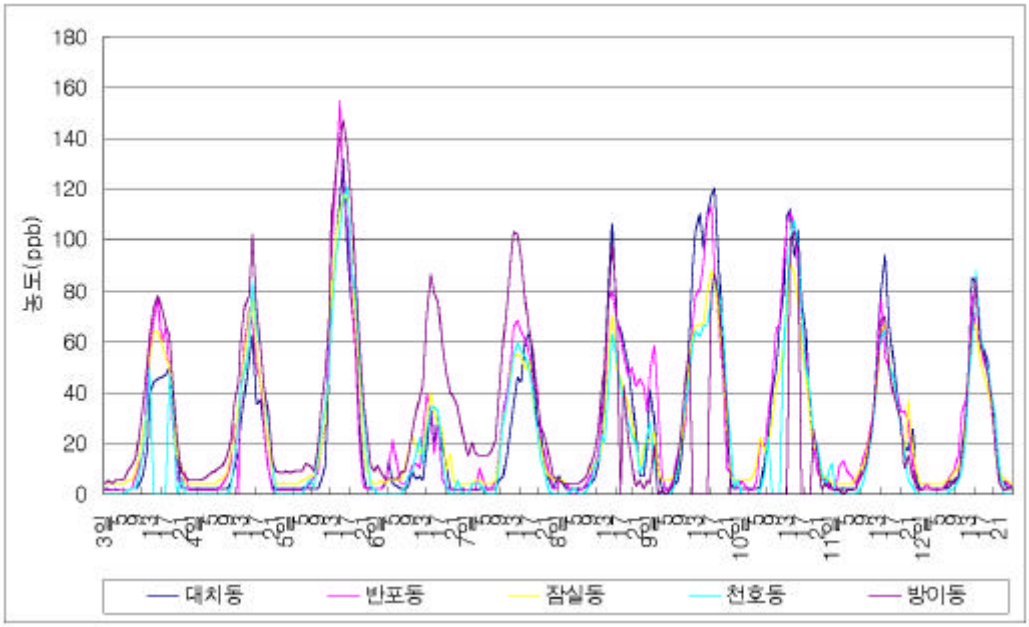
## 2. 서울지역 오존경보발령 권역별 오존농도 변화추이 (1999년 6월 3일 12일)



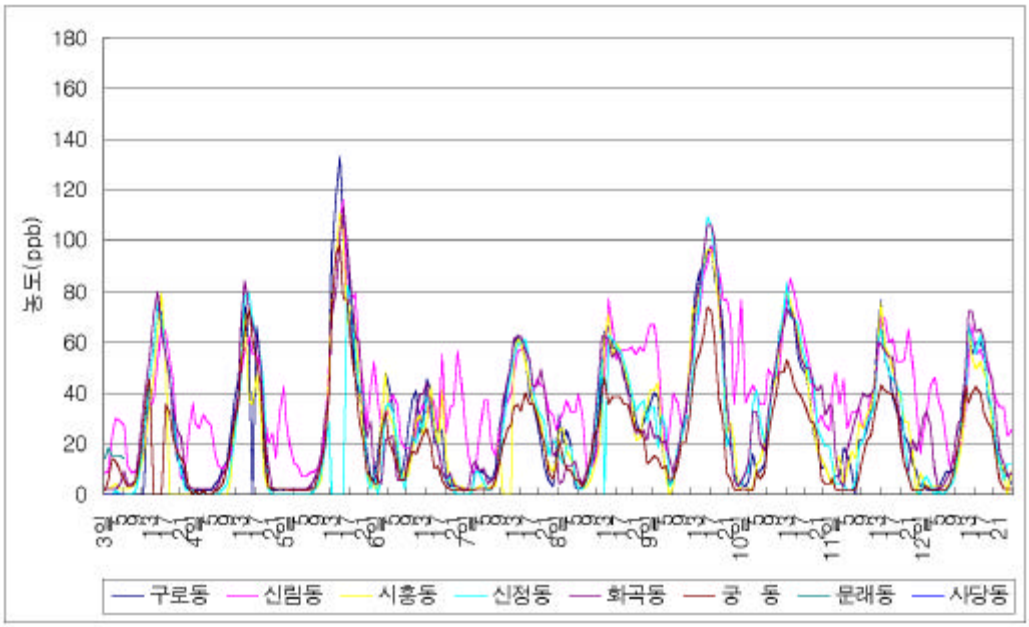

(a) 북동지역




(b) 북서지역




(c) **남동 지역**




(d) **남서 지역**

## 3. 서울지역 오존농도 현황 (1999년 6월 4일 5일)

□ **1999년 6월 4일**

**단위** : ppb

| 권역 | 지점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 남서 | 구로동 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 5 | 10 | 13 | 23 | 37 | 45 |
| | 신림동 | 28 | 26 | 31 | 29 | 27 | 16 | 11 | 10 | 12 | 15 | 22 | 38 |
| | 시흥동 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 25 | 38 |
| | 신정동 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 11 | 21 | 36 |
| | 화곡동 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 8 | 10 | 18 | 31 | 39 |
| | 궁 동 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 4 | 11 | 18 | 28 | 36 |
| | 문래동 | 15 | 13 | 13 | 15 | 15 | 16 | 17 | 17 | 18 | 19 | 19 | 18 |
| | 사당동 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 14 | 33 | 44 |
| 남동 | 대치동 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 10 | 16 |
| | 반포동 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 7 | 11 | 27 | - |
| | 잠실동 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 8 | 15 | 22 | 35 |
| | 천호동 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 13 | 27 |
| | 방이동 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 15 | 20 | 36 | 44 |
| 북서 | 이화동 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 18 |
| | 한남동 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 11 | 16 | 21 |
| | 시청앞 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 7 | 14 | 24 |
| | 남가좌동 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 11 | 20 | 34 |
| | 마 포 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 11 | 17 | 27 |
| | 불광동 | 7 | 5 | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 11 | 13 | 12 | 21 | 49 |
| 북동 | 성수동 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 11 | 21 | 28 |
| | 면목동 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 13 | 18 |
| | 신설동 | 13 | 13 | 12 | 10 | 11 | 12 | 15 | 16 | 16 | 17 | 19 | 26 |
| | 길음동 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 7 | 9 |
| | 방학동 | 5 | 8 | 8 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 9 | 18 | 19 | 44 |
| | 구의동 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 6 | 8 | 12 | 20 | 32 | 43 |
| | 번 동 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 10 | 22 |
| | 상계동 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 14 | 33 |

단위 : ppb

| 권역 | 지점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 남서 | 구로동 | 61 | 75 | 58 | - | 66 | 53 | 18 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| | 신림동 | 45 | 56 | 62 | 55 | 55 | 50 | 34 | 20 | 24 | 14 | 33 | 42 |
| | 시흥동 | 51 | 71 | 37 | 35 | 47 | 34 | 9 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 신정동 | 42 | 78 | 79 | 69 | 61 | 54 | 43 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 화곡동 | 64 | 84 | 72 | 67 | 61 | 52 | 28 | 11 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 궁 동 | 47 | 64 | 73 | 61 | 53 | 43 | 23 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 문래동 | 17 | 20 | 23 | 20 | 19 | 16 | 14 | 13 | 17 | 16 | 12 | 16 |
| | 사당동 | 47 | 58 | 84 | 80 | 69 | 60 | 41 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 남동 | 대치동 | 27 | 39 | 53 | 63 | 35 | 37 | 26 | 10 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| | 반포동 | 41 | 59 | 73 | 66 | 50 | 44 | 27 | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 잠실동 | 39 | 55 | 71 | 77 | 56 | 44 | 36 | 19 | 9 | 4 | 4 | 4 |
| | 천호동 | 41 | 48 | 60 | 84 | 65 | 58 | 43 | 28 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| | 방이동 | 59 | 74 | 78 | 102 | 74 | 58 | 43 | 32 | 13 | 9 | 8 | 8 |
| 북서 | 이화동 | 42 | 67 | 88 | 75 | 63 | 54 | 46 | 22 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 한남동 | 31 | 47 | 77 | 61 | 49 | 56 | 30 | 20 | 6 | 6 | 6 | 4 |
| | 시청앞 | 39 | 54 | 74 | 57 | 50 | 46 | 38 | 17 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| | 남가좌동 | 39 | 66 | 67 | 49 | 48 | 42 | 23 | 7 | 5 | 6 | 0 | 0 |
| | 마 포 | 34 | 48 | 78 | 55 | 53 | 46 | 44 | 20 | 7 | 9 | 3 | 3 |
| | 불광동 | 56 | 85 | 84 | 75 | 71 | 68 | 50 | 17 | 10 | 9 | 5 | 4 |
| 북동 | 성수동 | 39 | 54 | 80 | 84 | 67 | 55 | 40 | 21 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| | 면목동 | 32 | 41 | - | - | - | - | - | - | 7 | 5 | 4 | 4 |
| | 신설동 | 35 | 58 | 75 | 65 | 50 | 76 | 71 | 61 | 60 | 58 | 48 | 49 |
| | 길음동 | 22 | 52 | 102 | 86 | 63 | 61 | 63 | 37 | 26 | 17 | 4 | 3 |
| | 방학동 | 79 | 93 | 102 | 86 | 79 | 67 | 60 | 53 | 54 | 47 | 13 | 10 |
| | 구의동 | 55 | 57 | 74 | 85 | 73 | 61 | 48 | 41 | 19 | 4 | 3 | 4 |
| | 번 동 | 43 | 77 | 84 | 60 | 50 | 45 | 37 | 26 | 16 | 11 | 8 | 0 |
| | 상계동 | 63 | 75 | 91 | 77 | 61 | 55 | 41 | 35 | 30 | 6 | 5 | 11 |

□ **1999년 6월 5일**

**단위** : ppb

| 권역 | 지점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 남서 | 구로동 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 6 | 7 | 12 | 22 | 52 |
| | 신림동 | 30 | 18 | 12 | 11 | 7 | 7 | 8 | 9 | 10 | 13 | 26 | 52 |
| | 시흥동 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 6 | 20 | 49 |
| | 신정동 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 8 | 19 | 28 |
| | 화곡동 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 10 | 16 | 31 | 40 |
| | 궁 동 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 7 | 12 | 20 | 41 |
| | 문래동 | 14 | 15 | 16 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 14 | 15 | 17 |
| | 사당동 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 21 | 62 |
| 남동 | 대치동 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 5 | 11 | 49 |
| | 반포동 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 7 | 8 | 19 | 27 | 61 |
| | 잠실동 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 | 11 | 19 | 29 | 48 |
| | 천호동 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 3 | 15 | 25 | 34 | 48 |
| | 방이동 | 9 | 8 | 9 | 9 | 9 | 12 | 11 | 9 | 18 | 34 | 47 | 71 |
| 북서 | 이화동 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 | 10 | 14 | 22 | 36 | 50 |
| | 한남동 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 13 | 17 | 32 | 42 | 55 |
| | 시청앞 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 7 | 14 | 33 |
| | 남가좌동 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 14 | 24 | 36 | 51 |
| | 마 포 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 6 | 8 | 13 | 28 | 38 |
| | 불광동 | 6 | 7 | 11 | 12 | 8 | 11 | 6 | 11 | 22 | 29 | 39 | 57 |
| 북동 | 성수동 | 1 | 1 | 1 | 2 | 9 | 7 | 5 | 10 | 17 | 34 | 42 | 58 |
| | 면목동 | 5 | 6 | 10 | 13 | 15 | 10 | 6 | 8 | 15 | 24 | 40 | 55 |
| | 신설동 | 34 | 34 | 35 | 28 | 28 | 26 | 22 | 26 | 31 | 59 | 87 | 94 |
| | 길음동 | 3 | 4 | 8 | 7 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 16 | 28 | 42 |
| | 방학동 | 16 | 17 | 18 | 16 | 23 | 16 | 17 | 16 | 14 | 27 | 52 | 70 |
| | 구의동 | 5 | 4 | 4 | 14 | 10 | 15 | 18 | 14 | 24 | 33 | 47 | 69 |
| | 번 동 | 0 | 4 | 13 | 6 | 7 | 8 | 3 | 3 | 18 | 26 | 38 | 52 |
| | 상계동 | 7 | 3 | 6 | 9 | 4 | 9 | 9 | 3 | 4 | 22 | 43 | 60 |

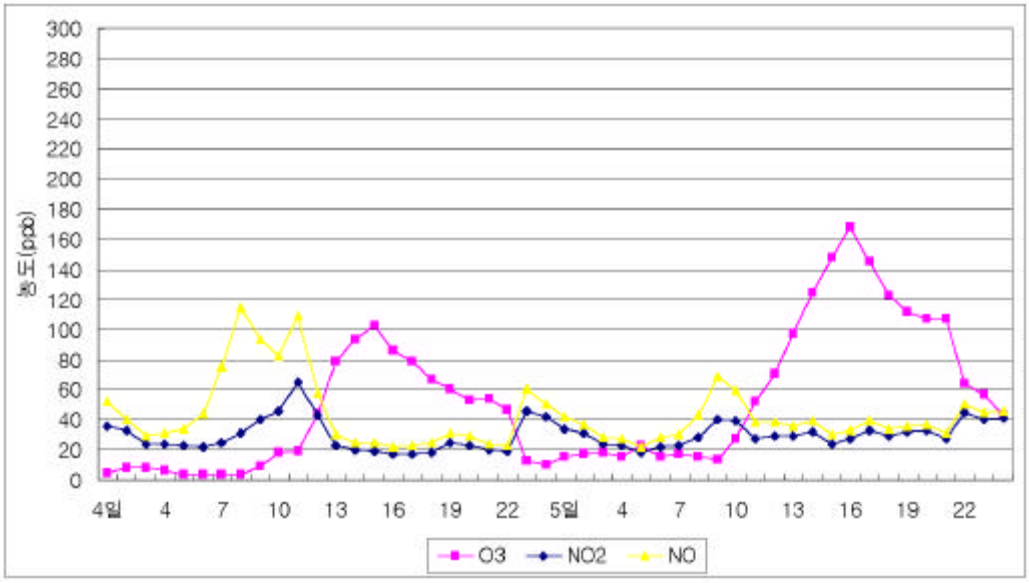
단위 : ppb

| 권역 | 지점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 남서 | 구로동 | 94 | 117 | 133 | 105 | 96 | 69 | 45 | 39 | 28 | 17 | 6 | 5 |
| | 신림동 | 74 | 93 | 109 | 116 | 80 | 76 | 79 | 55 | 42 | 26 | 42 | 52 |
| | 시흥동 | 75 | 94 | 111 | 104 | 67 | 75 | 66 | 43 | 23 | 10 | 3 | 3 |
| | 신정동 | - | - | - | - | 82 | 77 | 55 | 41 | 39 | 7 | 2 | 11 |
| | 화곡동 | 71 | 80 | 101 | 114 | 98 | 80 | 62 | 60 | 33 | 22 | 29 | 8 |
| | 궁 동 | 74 | 95 | 98 | 77 | 77 | 57 | 45 | 29 | 21 | 9 | 7 | 4 |
| | 문래동 | 21 | 24 | 24 | 25 | 20 | 15 | 12 | 11 | 11 | 12 | 11 | 12 |
| | 사당동 | 94 | 119 | 137 | 136 | 103 | 87 | 85 | 69 | 41 | 19 | 10 | 23 |
| 남동 | 대치동 | 82 | 101 | 116 | 132 | 97 | 75 | 62 | 29 | 8 | 2 | 2 | 2 |
| | 반포동 | 100 | 124 | 155 | 117 | 108 | 79 | 57 | 20 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| | 잠실동 | 82 | 101 | 112 | 118 | 116 | 95 | 67 | 46 | 17 | 10 | 5 | 4 |
| | 천호동 | 71 | 94 | 104 | 116 | 121 | 90 | 78 | 55 | 33 | 16 | 3 | 2 |
| | 방이동 | 110 | 127 | 140 | 147 | 136 | 115 | 88 | 61 | 37 | 25 | 11 | 9 |
| 북서 | 이화동 | 67 | 90 | 108 | 110 | 94 | 83 | 70 | 41 | 24 | 15 | 3 | 16 |
| | 한남동 | 89 | 121 | 143 | 123 | 96 | 98 | 74 | 70 | 37 | 15 | 11 | 6 |
| | 시청앞 | 58 | 65 | 92 | 99 | 97 | 90 | 75 | 51 | 40 | 22 | 13 | 3 |
| | 남가좌동 | 63 | 72 | 88 | 95 | 93 | 74 | 53 | 33 | 26 | 7 | 5 | 4 |
| | 마 포 | 58 | 89 | 97 | 99 | 106 | 92 | 71 | 46 | 42 | 46 | 34 | 7 |
| | 불광동 | 75 | 90 | 107 | 110 | 121 | 92 | 79 | 67 | 41 | 31 | 25 | 31 |
| 북동 | 성수동 | 91 | 113 | 132 | 149 | 113 | 108 | 92 | 78 | 50 | 18 | 7 | 2 |
| | 면목동 | 70 | 83 | - | - | - | - | - | - | - | 27 | 12 | 6 |
| | 신설동 | 101 | 101 | - | - | - | 64 | 76 | 70 | 66 | 67 | 58 | 64 |
| | 길음동 | 55 | 90 | 117 | 113 | 121 | 105 | 76 | 69 | 52 | 31 | 22 | 27 |
| | 방학동 | 97 | 124 | 148 | 168 | 145 | 123 | 112 | 107 | 107 | 64 | 57 | 43 |
| | 구의동 | 92 | 108 | 133 | 134 | 119 | 104 | 98 | 76 | 53 | 31 | 17 | 10 |
| | 번 동 | 72 | 94 | 118 | 127 | 108 | 93 | 87 | 58 | 57 | 46 | 29 | 22 |
| | 상계동 | 72 | 91 | 115 | 131 | 134 | 103 | 93 | 82 | 43 | 40 | 40 | 24 |

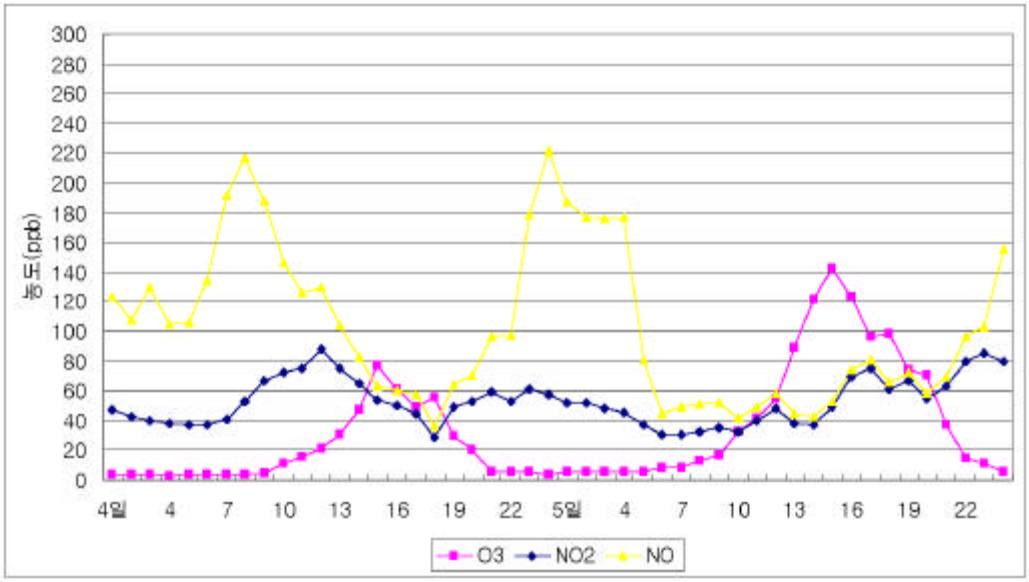
## 4. 서울지역 기상 현황 (1999년 6월 4일 5일)

| 구 분 | 풍 향 (36방향) | | 풍 속 (m/s) | | 기 온 (도) | | 상대습도 (%) | | 시정거리 (㎞) | | 강수량 (mm) | | 일사량 (0.01MJ/㎡) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 일 / 시간 | 4일 | 5일 | 4일 | 5일 | 4일 | 5일 | 4일 | 5일 | 4일 | 5일 | 4일 | 5일 | 4일 | 5일 |
| 1 | 29 | 0 | 1.7 | 0 | | | | | | | | | | |
| 2 | 0 | 27 | 0 | 1.2 | | | | | | | | | | |
| 3 | 27 | 0 | 1.2 | 0 | 18.4 | 21.7 | 88 | 83 | 4 | 10 | | | | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | | | | | | | | | | |
| 5 | 27 | 5 | 0.7 | 0.3 | | | | | | | | | | |
| 6 | 27 | 0 | 1.3 | 0 | 17.6 | 20.9 | 89 | 84 | 4 | 8 | | | 2 | 1 |
| 7 | 29 | 5 | 2.0 | 0.3 | | | | | | | | | 24 | 27 |
| 8 | 0 | 5 | 0 | 1.5 | | | | | | | | | 86 | 68 |
| 9 | 18 | 5 | 1.5 | 1.8 | 21.7 | 24.4 | 73 | 68 | 5 | 7 | | | 142 | 129 |
| 10 | 25 | 5 | 0.3 | 1.7 | | | | | | | | | 201 | 190 |
| 11 | 20 | 5 | 1.7 | 0.7 | | | | | | | | | 235 | 235 |
| 12 | 29 | 18 | 2.0 | 0.8 | 26.6 | 29.1 | 55 | 54 | 7 | 6 | | | 262 | 257 |
| 13 | 27 | 29 | 2.7 | 0.3 | | | | | | | | | 269 | 257 |
| 14 | 27 | 29 | 3.0 | 0.3 | | | | | | | | | 267 | 238 |
| 15 | 29 | 32 | 3.7 | 2.2 | 29.4 | 31.4 | 43 | 44 | 8 | 5 | | | 252 | 186 |
| 16 | 29 | 27 | 3.0 | 5.3 | | | | | | | | | 208 | 138 |
| 17 | 29 | 25 | 3.7 | 4.5 | | | | | | | | | 155 | 102 |
| 18 | 27 | 27 | 2.7 | 4.0 | 28.7 | 28.6 | 38 | 55 | 15 | 5 | | | 86 | 62 |
| 19 | 27 | 25 | 3.0 | 2.8 | | | | | | | | | 32 | 23 |
| 20 | 27 | 25 | 0.8 | 2.3 | | | | | | | | | 0 | 2 |
| 21 | 23 | 27 | 1.7 | 0.7 | 24.3 | 25.5 | 68 | 60 | 12 | 5 | | | | |
| 22 | 23 | 27 | 3.0 | 1.2 | | | | | | | | | | |
| 23 | 27 | 27 | 0.5 | 1.8 | | | | | | | | | | |
| 24 | 0 | 27 | 0 | 0.7 | 22.6 | 23.7 | 75 | 69 | 10 | 6 | | | | |

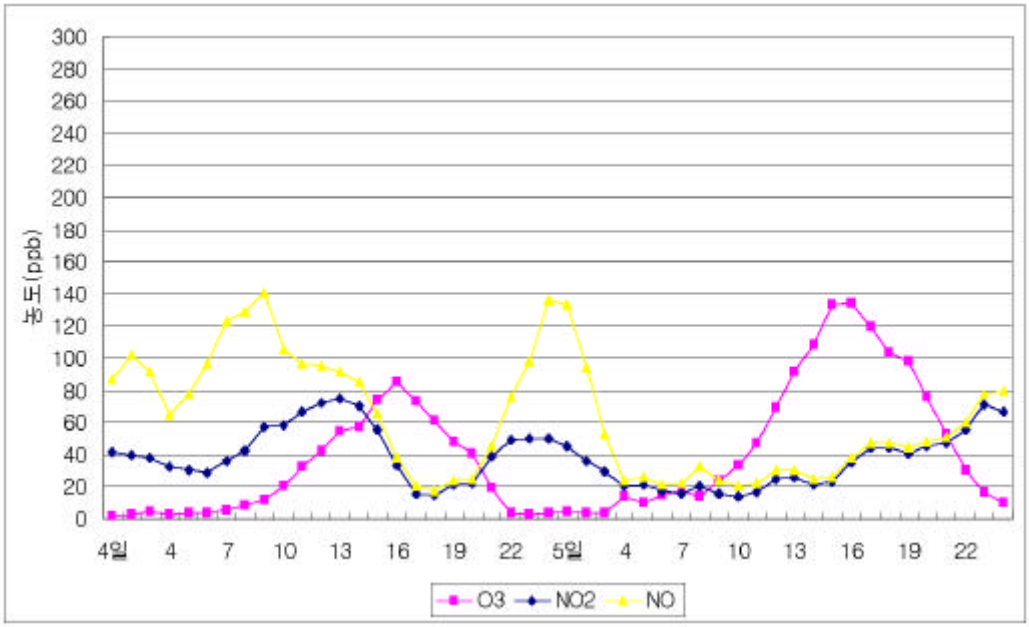
## 5. 서울지역 주요지점별 $O_3$ · NO · $NO_2$농도 변화추이 (1999년 6월 4일 5일)



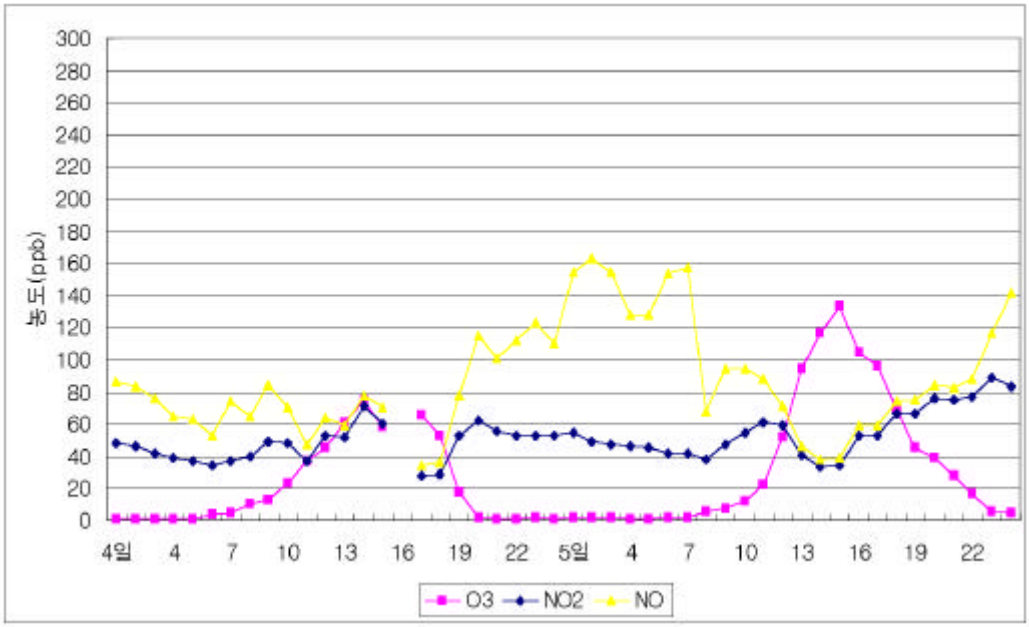

(a) 방학동 지점



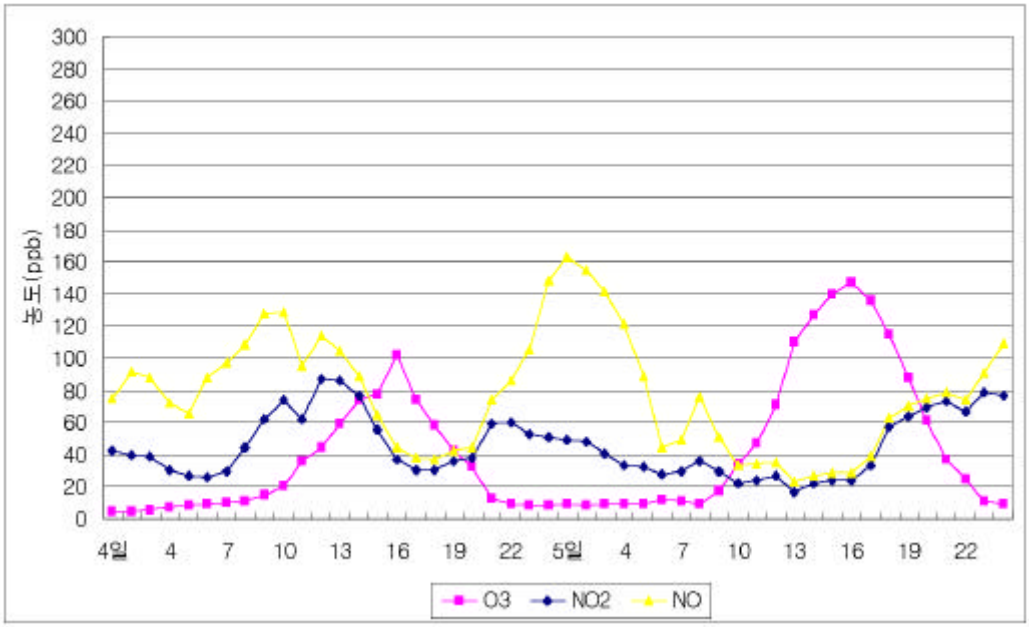

(b) 한남동 지점



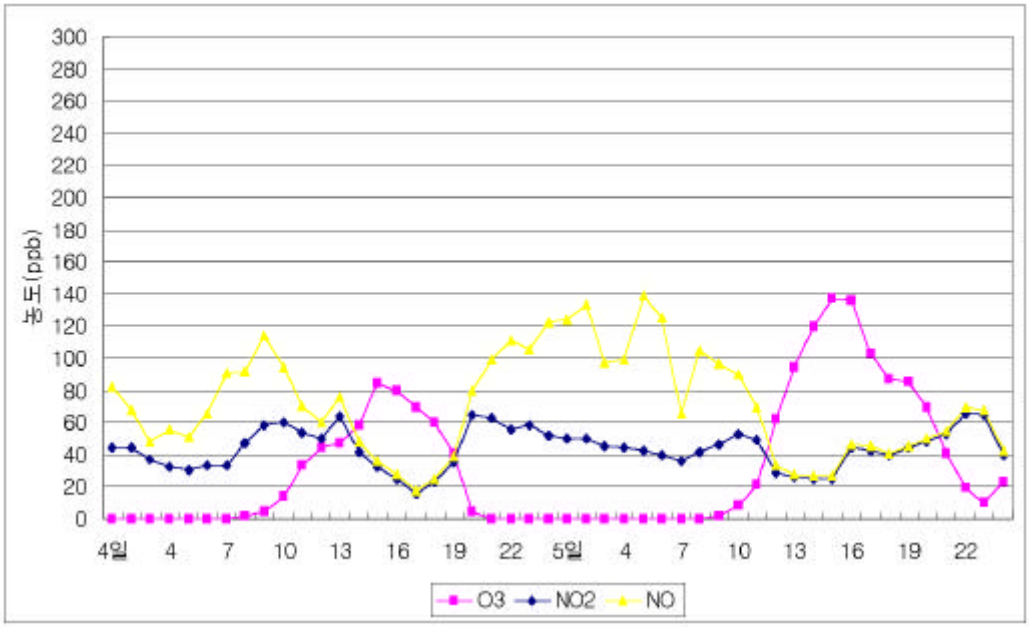

(c) **구의동 지점**



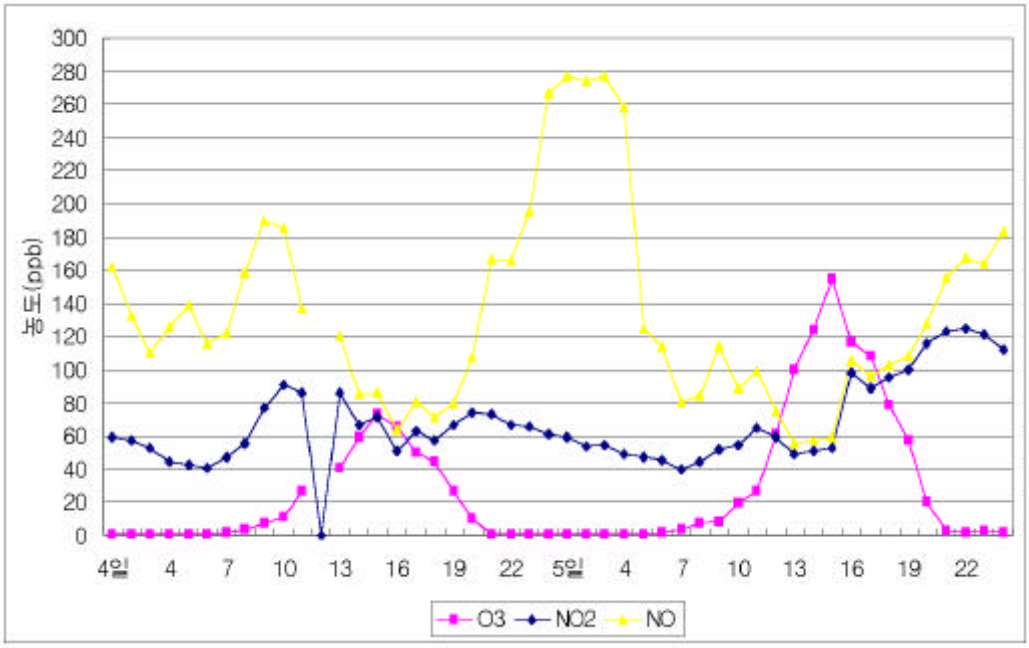

(d) **구로동 지점**



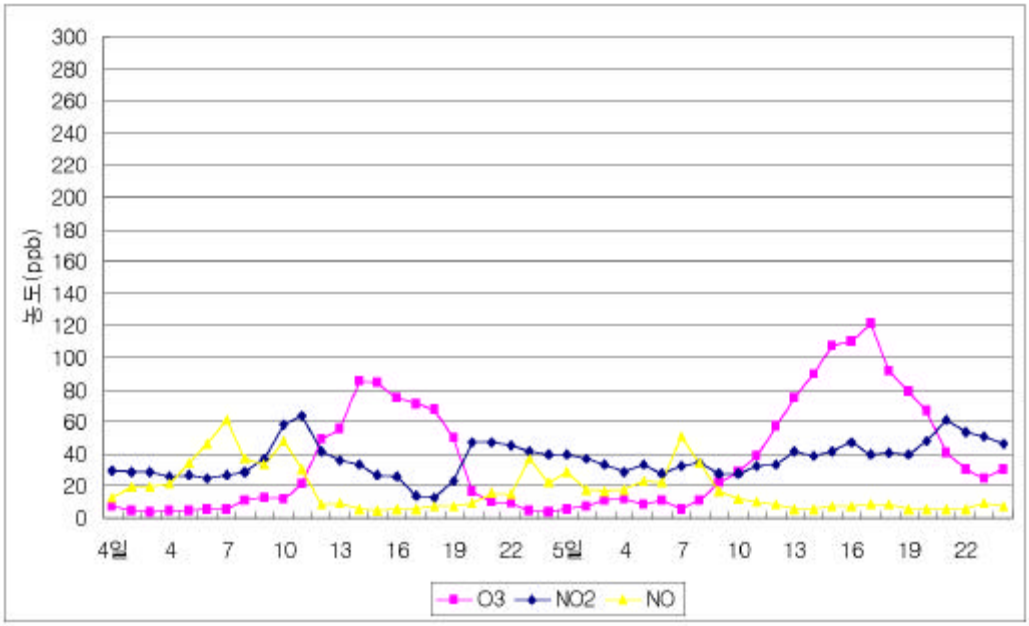

(e) **방이동 지점**



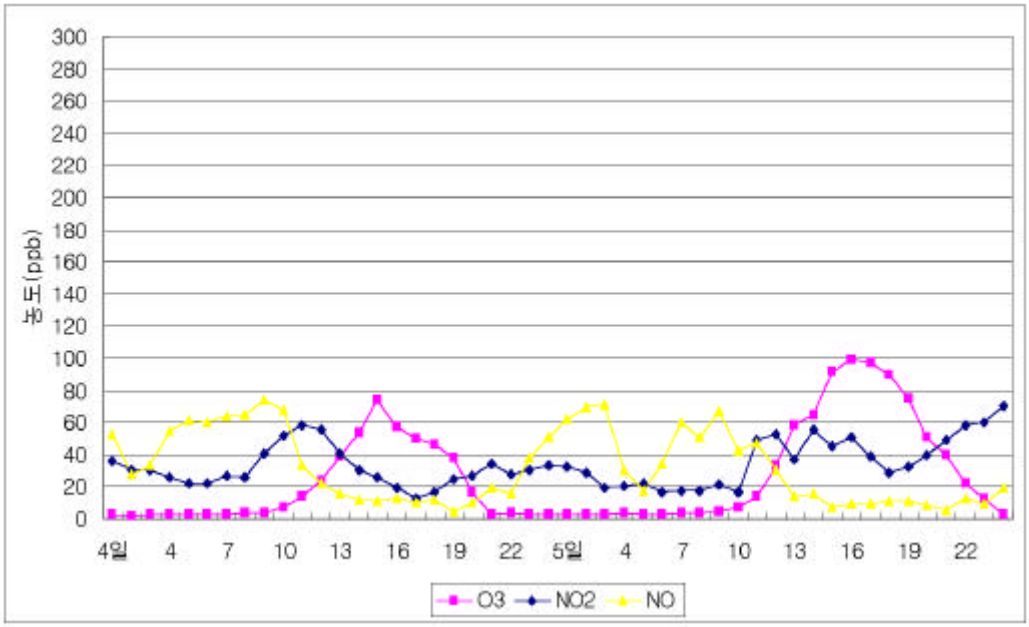

(f) **사당동 지점**



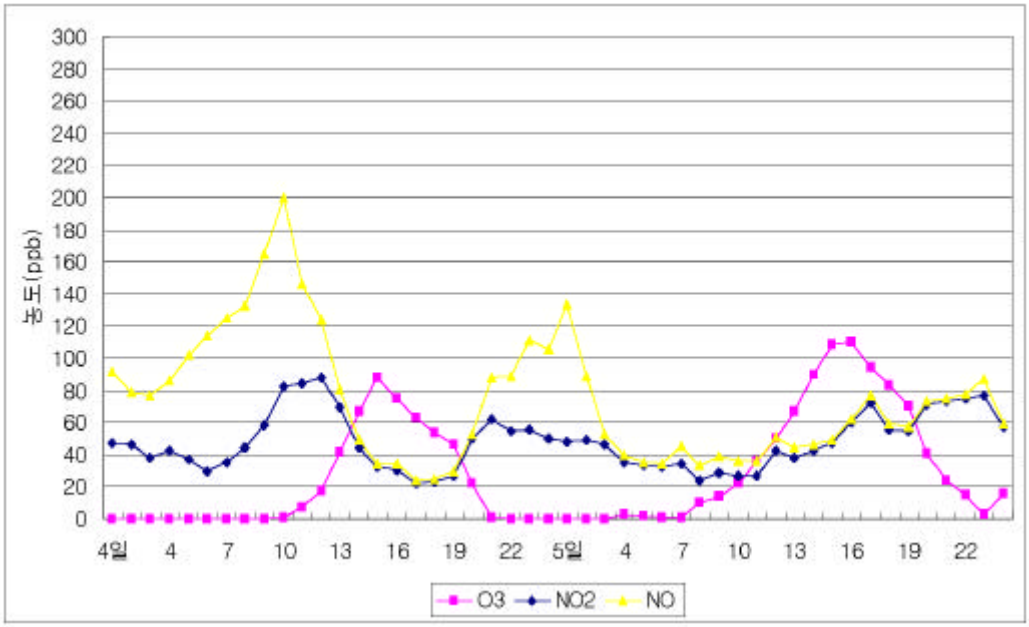

(g) **반포동 지점**




(h) **불광동 지점**




(i) 시청앞 지점




(j) 이화동 지점

## 6. 서울지역 일산화질소농도 현황 (1999년 6월 4일  5일)

□ **1999년 6월 4일**

**단위** : ppb

| 지 점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 방학동 | 52 | 40 | 29 | 31 | 34 | 44 | 75 | 114 | 93 | 82 | 109 | 58 |
| 한남동 | 123 | 107 | 130 | 105 | 106 | 134 | 192 | 217 | 188 | 146 | 126 | 130 |
| 구의동 | 87 | 102 | 92 | 65 | 78 | 96 | 123 | 129 | 141 | 106 | 96 | 95 |
| 구로동 | 86 | 83 | 76 | 65 | 63 | 53 | 74 | 65 | 84 | 70 | 47 | 64 |
| 방이동 | 75 | 92 | 88 | 72 | 66 | 88 | 97 | 108 | 128 | 129 | 95 | 114 |
| 사당동 | 82 | 68 | 48 | 56 | 51 | 66 | 91 | 92 | 114 | 94 | 70 | 60 |
| 반포동 | 162 | 132 | 110 | 126 | 139 | 116 | 122 | 158 | 190 | 185 | 137 | |
| 불광동 | 13 | 19 | 19 | 21 | 34 | 46 | 61 | 37 | 33 | 48 | 31 | 8 |
| 시청앞 | 53 | 28 | 33 | 55 | 61 | 60 | 64 | 65 | 74 | 68 | 33 | 22 |
| 이화동 | 92 | 79 | 77 | 86 | 102 | 114 | 125 | 132 | 165 | 200 | 146 | 124 |
| 궁 동 | 50 | 55 | 44 | 37 | 38 | 57 | 65 | 68 | 62 | 54 | 56 | 78 |
| 신림동 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 6 | 11 | 12 | 11 | 7 | 3 |
| 성수동 | 127 | 156 | 149 | 126 | 127 | 130 | 138 | 164 | 182 | 158 | 132 | 124 |
| 길음동 | 136 | 201 | 228 | 136 | 84 | 109 | 209 | 221 | 149 | 131 | 107 | 87 |
| 남가좌동 | 99 | 81 | 112 | 115 | 126 | 139 | 169 | 160 | 131 | 136 | 119 | 50 |
| 화곡동 | 102 | 110 | 84 | 59 | 69 | 83 | 101 | 100 | 136 | 104 | 78 | 60 |
| 천호동 | 94 | 99 | 95 | 79 | 89 | 103 | 110 | 157 | 168 | 162 | 108 | 100 |
| 시흥동 | 86 | 90 | 71 | 67 | 69 | 65 | 81 | 97 | 102 | 100 | 58 | 39 |
| 번 동 | 73 | 51 | 44 | 35 | 42 | 57 | 104 | 106 | 119 | 119 | 140 | 119 |
| 상계동 | 39 | 30 | 30 | 37 | 47 | 53 | 67 | 79 | 114 | 121 | 83 | 44 |

**단위** : ppb

| 지 점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| **방학동** | 30 | 25 | 25 | 22 | 23 | 25 | 31 | 29 | 24 | 23 | 60 | 50 |
| **한남동** | 104 | 82 | 63 | 60 | 57 | 36 | 64 | 70 | 96 | 97 | 179 | 221 |
| **구의동** | 92 | 85 | 66 | 38 | 20 | 18 | 24 | 25 | 45 | 76 | 98 | 136 |
| **구로동** | 59 | 78 | 70 | | 34 | 36 | 78 | 115 | 101 | 112 | 123 | 110 |
| **방이동** | 105 | 89 | 65 | 44 | 38 | 37 | 43 | 44 | 74 | 86 | 106 | 148 |
| **사당동** | 76 | 48 | 36 | 28 | 18 | 25 | 39 | 80 | 99 | 111 | 106 | 122 |
| **반포동** | 120 | 85 | 86 | 64 | 81 | 71 | 80 | 107 | 167 | 166 | 195 | 267 |
| **불광동** | 9 | 6 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 9 | 16 | 15 | 37 | 22 |
| **시청앞** | 16 | 12 | 11 | 13 | 10 | 12 | 5 | 10 | 19 | 16 | 38 | 51 |
| **이화동** | 81 | 49 | 34 | 34 | 24 | 25 | 30 | 53 | 88 | 89 | 111 | 106 |
| **궁 동** | 70 | 30 | 22 | 28 | 22 | 26 | 50 | 93 | 75 | 73 | 61 | 74 |
| **신림동** | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 5 | 2 | 2 |
| **성수동** | 116 | 84 | 62 | 35 | 26 | 29 | 44 | 60 | 94 | 89 | 156 | 215 |
| **길음동** | 50 | 33 | 27 | 32 | 38 | 40 | 39 | 34 | 26 | 19 | 48 | 78 |
| **남가좌동** | 74 | 66 | 51 | 60 | 54 | 55 | 73 | 99 | 95 | 96 | 181 | 187 |
| **화곡동** | 41 | 39 | 22 | 30 | 25 | 29 | 47 | 78 | 113 | 86 | 104 | 119 |
| **천호동** | 98 | 99 | 70 | 47 | 37 | 32 | 37 | 46 | 63 | 92 | 119 | 142 |
| **시흥동** | 57 | 63 | 75 | 60 | 40 | 42 | 66 | 90 | 100 | 90 | 124 | 125 |
| **번 동** | 74 | 36 | 30 | 33 | 35 | 30 | 35 | 40 | 51 | 55 | 61 | 85 |
| **상계동** | 16 | 11 | 19 | 19 | 18 | 15 | 31 | 27 | 32 | 49 | 45 | 35 |

□ **1999년 6월 5일**

**단위** : ppb

| 지 점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| **방학동** | 42 | 37 | 28 | 27 | 22 | 28 | 30 | 43 | 69 | 59 | 38 | 38 |
| **한남동** | 187 | 177 | 176 | 177 | 81 | 44 | 49 | 51 | 52 | 42 | 49 | 58 |
| **구의동** | 133 | 94 | 53 | 24 | 26 | 21 | 22 | 32 | 24 | 20 | 22 | 31 |
| **구로동** | 155 | 163 | 155 | 128 | 128 | 154 | 157 | 68 | 94 | 94 | 88 | 71 |
| **방이동** | 163 | 155 | 142 | 121 | 89 | 44 | 49 | 76 | 51 | 33 | 34 | 35 |
| **사당동** | 124 | 133 | 97 | 99 | 139 | 125 | 66 | 105 | 96 | 90 | 69 | 33 |
| **반포동** | 277 | 274 | 277 | 258 | 125 | 114 | 81 | 84 | 114 | 89 | 99 | 75 |
| **불광동** | 29 | 18 | 17 | 18 | 23 | 22 | 51 | 34 | 17 | 12 | 10 | 8 |
| **시청앞** | 62 | 69 | 71 | 31 | 18 | 34 | 60 | 51 | 67 | 43 | 47 | 31 |
| **이화동** | 133 | 89 | 53 | 40 | 35 | 34 | 45 | 33 | 39 | 36 | 36 | 51 |
| **궁 동** | 75 | 105 | 116 | 99 | 83 | 71 | 73 | 111 | 83 | 81 | 83 | 68 |
| **신림동** | 3 | 4 | 7 | 12 | 25 | 22 | 26 | 16 | 16 | 10 | 5 | 2 |
| **성수동** | 233 | 254 | 154 | 94 | 36 | 43 | 69 | 62 | 57 | 36 | 43 | 52 |
| **길음동** | 108 | 179 | 204 | 153 | 111 | 181 | 204 | 178 | 98 | 58 | 44 | 47 |
| **남가좌동** | 174 | 154 | 102 | 82 | 103 | 185 | 168 | 60 | 55 | 49 | 55 | 64 |
| **화곡동** | 119 | 88 | 97 | 86 | 72 | 77 | 76 | 117 | 98 | 98 | 90 | 96 |
| **천호동** | 114 | 79 | 74 | 49 | 44 | 30 | 41 | 60 | 30 | 22 | 27 | 30 |
| **시흥동** | 166 | 161 | 134 | 133 | 138 | 161 | 164 | 170 | 121 | 85 | 70 | 52 |
| **번 동** | 69 | 45 | 28 | 30 | 28 | 30 | 52 | 62 | 29 | 28 | 26 | 31 |
| **상계동** | 36 | 38 | 33 | 25 | 29 | 22 | 30 | 65 | 72 | 37 | 17 | 20 |

**단위** : ppb

| 지 점 | 시 | | | | | | 각 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| **방학동** | 36 | 39 | 30 | 33 | 39 | 34 | 36 | 37 | 31 | 50 | 45 | 46 |
| **한남동** | 44 | 43 | 53 | 74 | 81 | 66 | 72 | 58 | 69 | 96 | 103 | 156 |
| **구의동** | 31 | 25 | 26 | 38 | 47 | 47 | 44 | 48 | 51 | 60 | 78 | 80 |
| **구로동** | 46 | 38 | 39 | 59 | 59 | 74 | 75 | 84 | 82 | 88 | 117 | 142 |
| **방이동** | 23 | 27 | 29 | 29 | 39 | 63 | 70 | 75 | 79 | 74 | 91 | 109 |
| **사당동** | 28 | 27 | 27 | 46 | 45 | 41 | 45 | 50 | 55 | 69 | 68 | 43 |
| **반포동** | 56 | 57 | 59 | 106 | 96 | 103 | 108 | 128 | 156 | 168 | 164 | 183 |
| **불광동** | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 | 9 | 7 |
| **시청앞** | 14 | 16 | 7 | 9 | 9 | 11 | 11 | 8 | 6 | 13 | 9 | 19 |
| **이화동** | 44 | 46 | 49 | 62 | 77 | 59 | 57 | 73 | 75 | 78 | 87 | 59 |
| **궁 동** | 33 | 24 | 42 | 44 | 50 | 39 | 46 | 54 | 67 | 76 | 72 | 83 |
| **신림동** | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| **성수동** | 33 | 39 | 43 | 54 | 67 | 50 | 55 | 51 | 59 | 90 | 104 | 108 |
| **길음동** | 46 | 44 | 48 | 56 | 61 | 64 | 62 | 54 | 45 | 38 | 35 | 61 |
| **남가좌동** | 60 | 81 | 90 | 78 | 56 | 70 | 78 | 102 | 126 | 182 | 163 | 155 |
| **화곡동** | 76 | 77 | 83 | 48 | 39 | 39 | 50 | 52 | 86 | 93 | 70 | 92 |
| **천호동** | 32 | 30 | 27 | 25 | 32 | 61 | 56 | 63 | 72 | 81 | 95 | 118 |
| **시흥동** | 41 | 41 | 41 | 51 | 63 | 62 | 61 | 76 | 81 | 89 | 107 | 101 |
| **번 동** | 32 | 32 | 36 | 35 | 39 | 48 | 43 | 60 | 52 | 57 | 67 | 63 |
| **상계동** | 23 | 30 | 23 | 21 | 26 | 29 | 32 | 39 | 51 | 44 | 40 | 44 |

## 7. 서울지역 이산화질소농도 현황 (1999년 6월 4일 5일)

□ **1999년 6월 4일**

**단위** : ppb

| 지 점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 방학동 | 36 | 33 | 24 | 24 | 23 | 22 | 25 | 31 | 40 | 46 | 65 | 43 |
| 한남동 | 47 | 43 | 40 | 38 | 37 | 37 | 41 | 53 | 67 | 72 | 75 | 88 |
| 구의동 | 42 | 40 | 38 | 32 | 31 | 29 | 36 | 43 | 57 | 58 | 67 | 72 |
| 구로동 | 48 | 46 | 42 | 39 | 37 | 34 | 37 | 40 | 49 | 48 | 37 | 53 |
| 방이동 | 43 | 40 | 39 | 31 | 27 | 26 | 30 | 44 | 62 | 74 | 62 | 87 |
| 사당동 | 44 | 44 | 37 | 32 | 31 | 33 | 33 | 47 | 58 | 60 | 54 | 50 |
| 반포동 | 59 | 57 | 53 | 44 | 43 | 41 | 47 | 56 | 77 | 91 | 86 | - |
| 불광동 | 30 | 29 | 29 | 26 | 27 | 25 | 27 | 29 | 37 | 58 | 64 | 42 |
| 시청앞 | 36 | 31 | 31 | 26 | 22 | 22 | 27 | 26 | 41 | 52 | 58 | 56 |
| 이화동 | 47 | 46 | 38 | 43 | 37 | 30 | 35 | 44 | 58 | 82 | 84 | 88 |
| 궁 동 | 31 | 29 | 30 | 26 | 19 | 18 | 24 | 32 | 39 | 36 | 42 | 63 |
| 신림동 | 6 | 8 | 4 | 4 | 6 | 9 | 10 | 15 | 21 | 27 | 25 | 17 |
| 성수동 | 55 | 54 | 50 | 43 | 41 | 39 | 44 | 56 | 76 | 84 | 83 | 88 |
| 길음동 | 54 | 58 | 52 | 44 | 40 | 42 | 51 | 51 | 63 | 91 | 123 | 116 |
| 남가좌동 | 45 | 43 | 45 | 40 | 40 | 39 | 44 | 49 | 54 | 70 | 73 | 34 |
| 마 포 | 28 | 26 | 26 | 24 | 22 | 21 | 20 | 25 | 30 | 34 | 38 | 35 |
| 화곡동 | 54 | 46 | 44 | 40 | 38 | 37 | 41 | 51 | 64 | 62 | 54 | 43 |
| 대치동 | - | - | - | - | - | - | 2 | 5 | 5 | 4 | 2 | 2 |
| 잠실동 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 7 | 10 | 12 | 13 | 14 |
| 천호동 | 55 | 46 | 46 | 39 | 38 | 36 | 36 | 46 | 55 | 76 | 69 | 78 |
| 시흥동 | 31 | 29 | 32 | 25 | 24 | 22 | 20 | 29 | 37 | 45 | 44 | 36 |
| 번 동 | 34 | 35 | 31 | 26 | 27 | 23 | 20 | 29 | 38 | 56 | 79 | 85 |
| 신정동 | 45 | 45 | 39 | 34 | 35 | 34 | 34 | 38 | 52 | 51 | 51 | 48 |
| 상계동 | 34 | 27 | 27 | 30 | 31 | 28 | 32 | 34 | 46 | 59 | 56 | 37 |

**단위** : ppb

| 지 점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| **방학동** | 23 | 20 | 19 | 17 | 17 | 18 | 25 | 23 | 20 | 19 | 46 | 42 |
| **한남동** | 75 | 65 | 54 | 50 | 44 | 29 | 49 | 53 | 59 | 53 | 61 | 57 |
| **구의동** | 75 | 70 | 56 | 33 | 16 | 15 | 21 | 22 | 39 | 49 | 50 | 50 |
| **구로동** | 52 | 71 | 60 | | 28 | 29 | 53 | 62 | 56 | 53 | 53 | 53 |
| **방이동** | 86 | 77 | 56 | 37 | 31 | 31 | 36 | 38 | 59 | 60 | 53 | 51 |
| **사당동** | 64 | 42 | 32 | 25 | 16 | 23 | 35 | 65 | 63 | 56 | 58 | 52 |
| **반포동** | 86 | 67 | 71 | 51 | 63 | 57 | 67 | 74 | 73 | 67 | 66 | 61 |
| **불광동** | 36 | 33 | 27 | 26 | 14 | 13 | 23 | 47 | 47 | 45 | 42 | 40 |
| **시청앞** | 41 | 31 | 26 | 19 | 13 | 17 | 25 | 27 | 34 | 28 | 31 | 33 |
| **이화동** | 69 | 44 | 32 | 31 | 22 | 23 | 27 | 50 | 62 | 55 | 56 | 50 |
| **궁 동** | 58 | 26 | 19 | 23 | 17 | 20 | 38 | 51 | 45 | 43 | 40 | 33 |
| **신림동** | 22 | 22 | 26 | 19 | 15 | 12 | 18 | 21 | 17 | 22 | 12 | 7 |
| **성수동** | 90 | 69 | 53 | 30 | 22 | 24 | 39 | 52 | 68 | 58 | 64 | 64 |
| **길음동** | 119 | 77 | 33 | 27 | 31 | 25 | 21 | 38 | 46 | 49 | 66 | 62 |
| **남가좌동** | 51 | 49 | 37 | 42 | 37 | 38 | 47 | 58 | 55 | 51 | 67 | 67 |
| **마 포** | 29 | 26 | 19 | 20 | 17 | 18 | 16 | 26 | 30 | 28 | 32 | 33 |
| **화곡동** | 32 | 32 | 16 | 23 | 18 | 21 | 37 | 56 | 67 | 64 | 64 | 63 |
| **대치동** | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 | 9 | 9 | 4 |
| **잠실동** | 14 | 12 | 10 | 7 | 7 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 9 | 8 |
| **천호동** | 82 | 88 | 63 | 40 | 30 | 25 | 30 | 38 | 53 | 65 | 64 | 61 |
| **시흥동** | 55 | 61 | 67 | 56 | 38 | 39 | 56 | 52 | 45 | 41 | 36 | 30 |
| **번 동** | 61 | 32 | 28 | 28 | 29 | 26 | 32 | 36 | 42 | 43 | 46 | 47 |
| **신정동** | 35 | 26 | 22 | 19 | 19 | 18 | 24 | 59 | 57 | 50 | 45 | 45 |
| **상계동** | 15 | 10 | 18 | 17 | 17 | 14 | 29 | 26 | 30 | 44 | 41 | 34 |

□ **1999년 6월 5일**

**단위** : ppb

| 지 점 | 시 각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| **방학동** | 34 | 31 | 24 | 23 | 18 | 22 | 23 | 28 | 40 | 39 | 27 | 29 |
| **한남동** | 52 | 52 | 48 | 45 | 37 | 31 | 31 | 32 | 35 | 32 | 40 | 48 |
| **구의동** | 45 | 36 | 30 | 20 | 21 | 18 | 16 | 20 | 16 | 14 | 17 | 25 |
| **구로동** | 55 | 49 | 47 | 46 | 45 | 42 | 42 | 38 | 47 | 55 | 61 | 59 |
| **방이동** | 49 | 48 | 41 | 33 | 32 | 28 | 30 | 36 | 30 | 22 | 24 | 27 |
| **사당동** | 50 | 50 | 45 | 44 | 43 | 40 | 36 | 42 | 46 | 53 | 49 | 29 |
| **반포동** | 59 | 54 | 55 | 49 | 47 | 45 | 40 | 44 | 52 | 55 | 65 | 59 |
| **불광동** | 40 | 37 | 33 | 29 | 33 | 28 | 32 | 34 | 28 | 28 | 32 | 33 |
| **시청앞** | 32 | 29 | 19 | 20 | 22 | 17 | 18 | 18 | 21 | 17 | 49 | 53 |
| **이화동** | 48 | 49 | 46 | 35 | 33 | 32 | 34 | 24 | 29 | 27 | 27 | 43 |
| **궁 동** | 32 | 35 | 34 | 28 | 24 | 25 | 25 | 40 | 43 | 49 | 58 | 56 |
| **신림동** | 14 | 17 | 19 | 20 | 22 | 20 | 18 | 18 | 20 | 21 | 19 | 14 |
| **성수동** | 62 | 64 | 47 | 42 | 28 | 28 | 35 | 35 | 33 | 24 | 32 | 40 |
| **길음동** | 66 | 67 | 58 | 42 | 47 | 44 | 52 | 46 | 43 | 46 | 42 | 51 |
| **남가좌동** | 60 | 49 | 39 | 37 | 38 | 44 | 41 | 37 | 36 | 35 | 42 | 52 |
| **마 포** | 30 | 31 | 25 | 22 | 21 | 22 | 22 | 22 | 24 | 26 | 27 | 30 |
| **화곡동** | 54 | 48 | 48 | 43 | 39 | 34 | 29 | 45 | 50 | 57 | 61 | 74 |
| **대치동** | 10 | 17 | 14 | 4 | 9 | 4 | 2 | - | - | - | - | - |
| **잠실동** | 8 | 7 | 7 | 8 | 6 | 5 | 6 | 6 | 8 | 7 | 7 | 6 |
| **천호동** | 48 | 46 | 43 | 36 | 32 | 23 | 29 | 33 | 19 | 17 | 19 | 23 |
| **시흥동** | 20 | 17 | 22 | 20 | 14 | 11 | 14 | 25 | 32 | 44 | 51 | 44 |
| **번 동** | 43 | 36 | 26 | 27 | 24 | 25 | 30 | 32 | 20 | 21 | 22 | 27 |
| **신정동** | 46 | 45 | 43 | 42 | 40 | 30 | 30 | 37 | 41 | 49 | 52 | 62 |
| **상계동** | 35 | 36 | 32 | 24 | 26 | 21 | 26 | 38 | 41 | 26 | 16 | 19 |

**단위** : ppb

| 지 점 | 시각 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 방학동 | 29 | 32 | 24 | 27 | 33 | 29 | 32 | 33 | 27 | 45 | 40 | 41 |
| 한남동 | 38 | 37 | 49 | 69 | 75 | 61 | 67 | 55 | 63 | 80 | 85 | 80 |
| 구의동 | 26 | 21 | 23 | 35 | 44 | 44 | 41 | 45 | 47 | 56 | 71 | 67 |
| 구로동 | 41 | 33 | 34 | 53 | 53 | 67 | 67 | 76 | 75 | 77 | 89 | 83 |
| 방이동 | 17 | 22 | 24 | 24 | 33 | 57 | 64 | 69 | 73 | 67 | 79 | 77 |
| 사당동 | 26 | 25 | 25 | 44 | 43 | 40 | 44 | 48 | 53 | 66 | 65 | 40 |
| 반포동 | 49 | 51 | 53 | 98 | 89 | 95 | 100 | 116 | 123 | 125 | 121 | 112 |
| 불광동 | 42 | 39 | 42 | 47 | 40 | 41 | 40 | 48 | 61 | 54 | 51 | 46 |
| 시청앞 | 37 | 56 | 45 | 51 | 39 | 29 | 32 | 40 | 49 | 58 | 60 | 70 |
| 이화동 | 38 | 43 | 47 | 60 | 72 | 56 | 55 | 71 | 73 | 75 | 77 | 57 |
| 궁 동 | 30 | 22 | 37 | 39 | 45 | 34 | 40 | 46 | 56 | 55 | 48 | 53 |
| 신림동 | 13 | 12 | 12 | 11 | 17 | 18 | 17 | 21 | 21 | 27 | 15 | 9 |
| 성수동 | 27 | 34 | 39 | 51 | 63 | 47 | 52 | 48 | 55 | 83 | 95 | 92 |
| 길음동 | 58 | 46 | 46 | 70 | 52 | 58 | 65 | 59 | 60 | 73 | 79 | 72 |
| 남가좌동 | 47 | 69 | 79 | 69 | 48 | 58 | 62 | 76 | 99 | 119 | 94 | 83 |
| 마 포 | 27 | 26 | 34 | 35 | 22 | 23 | 26 | 32 | 29 | 32 | 31 | 45 |
| 화곡동 | 65 | 68 | 75 | 42 | 33 | 32 | 42 | 45 | 77 | 82 | 62 | 81 |
| 대치동 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 | 3 | 7 | 6 |
| 잠실동 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 8 | 8 | 9 | 11 | 12 | 11 | 9 |
| 천호동 | 26 | 24 | 21 | 19 | 28 | 57 | 53 | 59 | 68 | 77 | 89 | 92 |
| 시흥동 | 34 | 35 | 28 | 40 | 48 | 52 | 50 | 64 | 70 | 74 | 73 | 60 |
| 번 동 | 29 | 31 | 34 | 34 | 38 | 47 | 42 | 57 | 51 | 55 | 60 | 56 |
| 신정동 | - | - | - | - | 35 | 31 | 44 | 56 | 53 | 68 | 73 | 58 |
| 상계동 | 22 | 29 | 22 | 20 | 25 | 28 | 31 | 38 | 50 | 43 | 39 | 43 |

# *Abstract*

Characteristics of ozone formation

in the ambient air in Seoul

Young Seok Park

Department of Environmental Health

Graduate School of Health Science and Management

Yonsei University

(Directed by Professor Dong-Chun Shin, M.D, ph.D)

Since 1980, urban air quality in cities like Seoul has deteriorated largely due to a drastic increase in transportation. siting industry near Seoul, along with high population density, accelerated air pollution. Recently, frequent ozone warnings in spring and summer generated considerable public concern.

In this study, characteristics of ozone formation were investigated to reduce damage caused by high concentrations of ozone and establish measures to diminish ozone formation. Air pollutant concentration data obtained via air pollution monitoring stations located near Seoul from 1990 to 1999, as well as meteorological data, were applied.

I investigated yearly, monthly, and hourly status of ozone formation

and trends and analyzed the relationship of ozone concentration and factors resulting in ozone formation, as well as spatial distribution of ozone in Seoul in 1999.

Conclusions are as follows :

1. Change of annual average ozone concentration increased during the past 10 years. Annual average ozone concentration increased from 9ppb to 16ppb for 1990  1999. The maximum monthly ozone concentration was recorded 14ppb, in August 1990, May or Jun from 1991 to 1999.

2. The number of sites violating short-term standards of ozone concentration increased from 9 among 20 monitoring sites in 1990 to 25 among 27 monitoring sites in 1999. The number of ozone warnings increased from twice in 1995 to 16 times in 1999. The greatest number of warning occured in June.

3. From 1990 to 1999, Ozone concentrations and $NO_2$ increased 89% and 7%, respectively. Concentrations of $SO_2$, CO and TSP decreased 86%, 58%, and 57%, respectively. Concentrations of secondary air pollutants like ozone That generated photochemical reactions increased in Seoul.

4. Although maximum ozone concentrations were below 30ppb at 20 monitoring sites in 1999 among 27 sites, that of Banghak - Dong was 37ppb in June and that of Shillim - Dong was 39ppb in May and June. June had the overall highest concentrations (month-averaged)

5. Analysis of average hourly concentration based on the data gathered

at 7 important monitoring sites revealed that maximum and minimum concentrations occurred from 3 to 4 pm and from 8 to 9 am, respectively. In front of city hall, a slight increase was observed from 3 to 4 am. Sillim - Dong exhibited higher concentrations than other sites from 1 to 6 am, measured at 26ppb

6. Under constant temperature and solar energy's amount, rain precipitation, wind speed and wind direction greatly influenced highly concentrated ozone formation.

7. Ozone concentrations in south-eastern and north-eastern seoul were higher than those of the south-west and north-west. Ozone concentration was also site-dependent; that is, during the same time period exhibiting the maximum concentrations, that of one site was above 140ppb and that of another site was below 100ppb.

8. When ozone concentration was high, some factors apart from $NO_2$ concentration influence ozone formation. Although concentrations of NO and $NO_2$ at most sites decreased in the afternoon, when ozone concentration was high, some sites revealed high ozone concentration in spite of low concentrations of NO and $NO_2$.

9. Spatial distribution of ozone concentrations at 27 sites during the episode period changed greatly according to time and site. Specifically, spatial distribution showed that ozone concentrations at the center of the city was low and that of the suburbs was high on the 4th and 12th of June, 1999.

Finally, to precisely investigate the characteristics of ozone formation,

it was required to set up a photochemical evaluation monitoring system, determine a real-time correlation between meteorological data and environmental data, measure meteorological data at air pollution measurement sites, develop a QA/QC program for air pollution measurement data, evaluate emission of air pollutants, and develop a model to evaluate short-time photochemical reactions.