

## 서울시 고농도 오존(O<sub>3</sub>) 대응 매뉴얼 연구

A Study on Preparing Manual for Ozone Pollution  
Episodes in Seoul

김운수



2013-OR-55

## 서울시 고농도 오존(O<sub>3</sub>) 대응 매뉴얼 연구

A Study on Preparing Manual for Ozone Pollution  
Episodes in Seoul

연구진

연구책임	김운수	안전환경연구실 선임연구위원
연구원	김정아	안전환경연구실 연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서  
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

# 요약 및 정책건의

## 1 연구의 개요

### 1.1 배경 및 목적

- 1단계 수도권 대기환경 관리 기본계획과 시행계획의 목표관리에서 제외되었던 오존(O<sub>3</sub>)기준과 PM2.5 기준이 추가됨으로써, 기후환경 변화의 건강영향을 최소화하기 위한 대기환경 관리의 새로운 정책방향 마련에 관심이 집중되고 있음.
- 오존 농도 증가 및 국지 고농도(Hot Spot) 형성에 따른 관리 및 대응방안 마련은 국가 및 지자체 차원의 기후변화 대응과 시민 건강 예방과 직결됨.
- 오존 오염의 평균농도 증가 경향, 도시 기후환경의 변화에 따른 2차 생성 가능성 증대, 오존 형성 메커니즘 기반 원인물질 배출량 감축비용의 부담, 국지 고농도 형성에 따른 단기노출의 건강 피해영향 증가 등은 서울을 포함한 수도권 오존관리의 4중고를 대변하고 있음.
- 이 연구는 현행 대기환경보전법상 고농도 오존 오염의 명시적 대응 규정의 실제 적용 및 시민참여 과정에 한계가 있음을 고려하여, 오존 오염의 발생·확산·영향 등의 특성을 고려한 과학적 관리를 기반으로 오존 대응 매뉴얼의 작성 및 활용 개선안을 제시하고자 함.
- 특히 고농도 오존 발생 가능성에 대비하여 민감계층/지역/배출부문별 고농도 오존 대응 지침을 검토하여, 시민건강과 사회·경제적 영향에 효과적으로 활용할 수 있는 매뉴얼 구성체계를 검토하고자 함.



## 12 내용 및 방법

- 시민건강에 유의한 영향을 미칠 수 있는 고농도 오존 오염의 대응 기반 구축을 위해 고농도 오존의 형성 및 확산 과정을 파악하고, 권역별 오존 농도 기여 원인물질의 배출원 관리 및 대응 매뉴얼을 작성하여, 오존 대응의 효과적 절차 과정과 정책방향을 설계

### 12.1 연구 범위

- 시간적 범위 : 자료 확보의 용이성, 유의성, 확실성 등을 고려
  - 대기오염 자동측정망 : 2000~2012년
  - 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System; CAPSS)의 오염물질 배출량 : 2000~2010년
- 공간적 범위 :
  - 오존 평균 농도 및 고농도 에피소드 분석 : 현행 서울시의 오존 예·경보 시스템의 관리 범위인 5개 권역
  - 오존 오염 기여 원인물질 배출원 기초정보 분석 : 25개 자치구
- 내용적 범위
  - 고도 적응도시 실현과 고농도 오존 오염의 정책적 대응체계 도출

### 12.2 연구 방법

- 문헌연구 및 기초자료 조사 : 서울시 오존 오염의 형성 및 확산과정 분석을 위한 국내 문헌조사 및 고농도 오존 대응 정책방향 도출을 위한 세계 도시의 연구사례 분석
- 고농도 오존 오염 에피소드 및 오존 대응 기반체계 진단

### 12.3 주요 연구내용

- 서울시 5개 권역별 고농도 오존 오염 모니터링 분석

- 서울시 자치구별·권역별 오존 오염 농도의 시간적·공간적 변이성 파악 및 확산 경로 분석
- 고농도 오존 오염 발생 및 확산경로를 고려한 5개 권역별 배출원 대응 전략 제언
  - 고농도 오존 오염의 단기노출 건강영향을 최소화하기 위한 기본 정보로서 권역별 오존 오염 기여 배출원의 분포 확인 및 관리정보를 포함한 대응 지침 제언
- 고농도 오존 대응 시민 및 사업장 이해 증진 및 참여 유도
  - 고농도 오존 에피소드와 시민의 건강영향을 고려한 대응과정을 상호 유기적으로 연계하여 서울시 기후환경 복지 개선에 적용 가능한 고농도 오존 오염 대응의 정보 제공

## 2 연구의 주요 결과

### 2.1 오존 발생 메커니즘과 이동경로 분석

#### 2.1.1 오존 오염의 시·공간적 발생조건

- 오존 오염의 연간 평균농도는 1990년 0.011ppm 이후 완만히 증가하다가 2000년 감소 추세를 보였으나, 도시 기후환경 변화의 주요 특성인 기온 상승에 따라 2005년부터 다시 증가하여 전반적인 상승 경향을 보임.
- 강한 일사에 의해 생성이 활발해지는 오존은 기온이 높고 일사량이 많으며 풍속이 약한 5~6월, 오후 2시~5시 시간대에 높게 나타남.
- 오존 농도의 95% 및 99% 백분위수(percentile)의 농도가 전반적으로 상승하고 있어 추세를 보여 서울의 오존 농도가 점차 고농도화되어 가는 추세임.
- 오존농도는 전구물질인 질소산화물(NOx), 휘발성유기화합물(VOC) 오염물질 배출기여 이외에도 기온, 확산정도, 일사량 등의 기상요인에 의한 영향 때문에 북동권역에서 높게 나타나고 있음.



- 남서쪽으로부터 이동해 온 오염물질의 광화학 반응 과정이 북동부 지역에서 정체되는 지형적 조건과 밀접한 관련성이 추정됨.

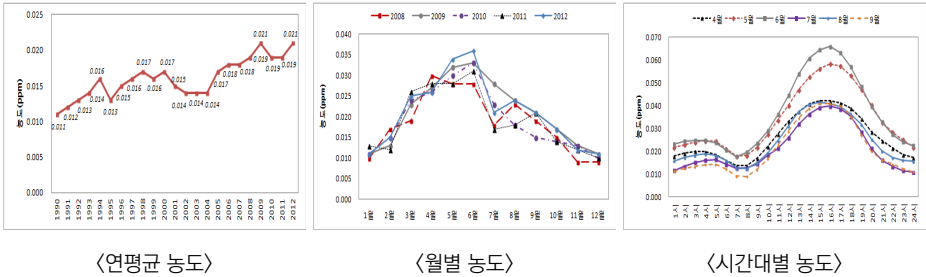


그림 1 서울시 오존의 시간적 변화 추세

- 단기 노출에 따른 시민건강 위해 가능성이 큰 고농도 오존은 기온에 비례하여 증가하고, 상대습도 및 풍속에 반비례하여 감소하여 도시 기후환경의 변화조건과 연계성이 높음.
- 서울 전체 및 권역별 고농도 오존 발생 조건은 VOCs-limited 조건에 해당하나, 권역별 농도 비율의 차이가 일부 나타나고 있어 향후 권역별 VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 고려한 오존 모니터링 및 대응정책 검토가 요구됨.

## 2.1.2 고농도 오존 오염 형성 및 이동경로 분석

- 고농도 오존의 발생 사례 : 동일 시간대에 고농도가 발생한 독립형과 시간 간격을 두고 여러 지역에 고농도가 발생한 시차형으로 분류
  - 독립형 : 평균 오존 농도가 인접 자치구에 비해 상대적으로 높게 형성되어 비정형적으로 발생하는 사례(Case 1), 고온 및 낮은 풍속에서 고농도 오존이 발생하는 사례(Case 2, Case 3)
  - 시차형 : 바람의 이동 경로에 따라 고농도 오존 발생 지역이 이동하는 사례(Case 4), VOC/NO<sub>x</sub> 오염물질의 배출 및 기상요인의

## 복합 영향사례(Case 5)

- 서울시 고농도 오존형성 사례의 유형 구분은 향후 고농도 에피소드(episode) 발생 가능성 추정과 대응방안 마련에 시사점을 기대할 수 있음.

표 1 서울시 권역별 고농도 오존 오염 형성 및 이동경로

고농도 발생유형 오존	비고	농도 비율 (NMHC/NOx)	기상조건			
			기온 (°C)	풍속 (m/s)	풍향	
독립형 Case1	1개 권역 (1개 자치구)	2004년 6월 1일(남서 관악)	2.7	28.1	2.8	WSW
		2008년 8월 8일(남서 구로)	4.3	37.3	1.5	WSW
	Case2	단일 권역 (2개 이상 자치구)	2011년 6월 19일 (남서 강서, 구로)	7.2	31.7	1.3
Case3	2개 권역 이상	2007년 9월 12일 (도심, 북동)	4.3, 6.3	28.7~ 29.1	1.4	NW, WSW NNE, SW
시차형 Case4	바람의 이동 경로	2012년 6월 21일 (북서, 북동, 남동)	5.7~8.7	31.3~ 32.1	0.3~2 .0	W, NW, ESE
		Case5	내부 오염물질 배출 및 기상조건의 복합영향	2010년 6월 25일 (남서, 북동, 남동)	3.0~9.6	31.7~ 32.8

## 2.2 오존 기여 원인물질 배출원 관리방안

- 2010년 질소산화물의 권역별 배출비중은 남서(30.4%), 북동(25.5%), 남동(24.2%), 북서(12.0%), 도심(8.0%) 순서이며, 휘발성유기화합물 역시 남서권역이 32.0%로 가장 큰 배출비중을 차지함.
- 권역별 배출원별 NO<sub>x</sub>/VOC 오염물질 배출 기여도
  - NO<sub>x</sub>는 도심권역을 제외한 4개 권역에서 화물차의 배출 기여가 가장 큰 반면, 도심권역에서는 상업·공공기관의 난방이 기여 1순 위임.
- VOC는 북서, 북동, 남서, 남동권역에서 가정·상업부문의 유기용제 사용이 가장 큰 비중을 차지하며, 도심권역에서는 인쇄업의 배출 기여가



- 큰 비중을 보임.
- VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율은 고농도 오존이 발생하지 않은 날에는 3.9~4.8 수준이었으나, 고농도 오존이 발생한 날에는 4.1~7.2 범역으로 그 비율이 증대되는 것으로 분석됨.
  - 서울의 오존 생성은 VOC-limited 조건에 해당하여, 고농도 오존 대응을 위해서는 권역별 VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 고려한 오존 대응 정책이 요구됨.
  - 권역별 오존 발생 원인물질의 배출 기여도를 고려한 배출원 관리가 필요함.
    - 도심권역은 인쇄업, 북서·남서·남동권역은 건축·건물의 도장, 북동권역은 세탁시설의 VOCs 배출량 감축을 검토
    - 가정·상업의 유기용제 사용을 관리하기 위해 친환경 유기용제 사용 및 보관 등에 관한 시민·사업자 대상의 교육 및 홍보 강화 등의 관리방안이 필요
  - NO<sub>x</sub>/VOCs 배출원 관리정보는 서울시 오존 오염의 평균농도 저감뿐만 아니라 고농도 단기 오존노출의 건강영향을 저감하기 위한 오존 예·경보제 운영의 대응지침 마련 과정에서 활용이 가능할 것으로 판단됨.

**표 2 서울시 권역별 오존 오염 발생 조건(2000~2010)**

구분	VOCs/NO <sub>x</sub> 배출량 비율	VOCs/NO <sub>x</sub> 농도 비율1)	
		연평균	고농도 오존 발생 시
도심	1.05	4.2	7.2
북서	0.75	4.8	4.1
북동	0.85	4.1	5.9
남서	1.01	4.1	6.1
남동	0.85	3.9	5.6

주 : VOCs, NO<sub>x</sub> 농도는 광화학 반응 과정을 분석하기 위해 오전 시간대(6시~12시)의 NMHC, NO<sub>x</sub> 농도 비율 변화를 적용하였음.

## 해외 오존 오염 대응 사례

- 오존 상시 모니터링 측정 시스템 구축
  - 측정 자료를 바탕으로 다양한 모델링을 통해 오존 생성 메커니즘의 정량적 분석
- 대기질지수(AQI), 대기질 건강지수(AQHI) 개발 및 정보 제공
  - TV, 라디오, 신문, 인터넷, 팩스를 통하여 시민에게 정보 제공
  - 오존 노출 저감을 유도하는 전달체계 구축
- 세분화된 오존 예·경보제 운영
  - 4단계로 세분화되어 운영되며, 단계별로 교통부문에서는 차량통제와 카풀 시행, 사업장에서는 배출량 감축 등의 대응책 제시
- 오존 발생 기여 배출원 확인 및 관리
  - 일정 기준 이상의 NOX, VOC 배출시설에 대해 고농도 오존 발생시 협조 및 의무 이행사항 부여, NOX 및 VOC 배출 삭감계획 및 삭감 보고 의무화
- 고농도 오존의 사후 관리 체계 마련
  - 고농도 오존에 의한 피해 관련 조사를 실시하고, 오존 고농도에 피소드가 발생한 지역에 대해 고농도 에피소드의 재발생 가능성을 방지하기 위해 시민·사업자에게 배출량을 줄이는 자발적 조치 교육 프로그램 마련
- 민감 및 취약계층의 건강영향을 고려한 경보 단계 설정
  - 어린이, 학생들의 건강 피해를 미연에 방지하기 위해 '학교 정보' 단계를 설정하여 오존 농도가 0.01ppm 이상이 되면 어린이집, 학교 등 관계기관에 해당 정보 통보
- 해외 오존 오염 대응사례는 서울시가 향후 기후환경 복지 개선에 유용한 고농도 오존 오염 대응 정책 수립 및 추진 과정에 유의하게 활용할 수 있는 시사점을 제시하고 있음.



## 정책제언

### 3.1 “서울특별시 오존 예보 및 경보에 관한 조례(안)” 제정

- 대기환경보전법 제8조의 발령기준, 조치사항의 명시적·제한적 적용을 지양하고, 시민의 건강피해를 고려하면서 고농도 오존의 체계적 대응에 필요한 오존 오염 예·경보의 법적 근거 마련
- 오존 예보·경보 내용 및 기준, 오존 예·경보 시 조치, 대기오염 개선, 민감계층 관리, 피해 발생 시 조사 등을 조례 내용에 반영하여 현장 적용의 실효성 제고 유도
- 향후 미세먼지, 오존 등의 건강피해에 대한 통합관리와 예방을 위한 예·경보제 관련 법령 체계의 선진화 도모

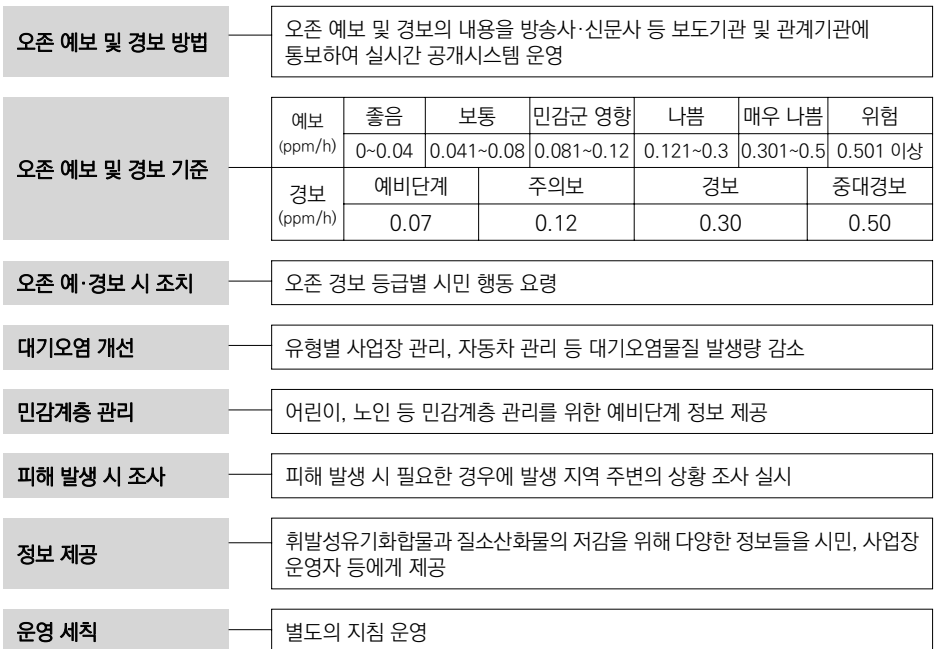


그림 2 서울시 오존 예보 및 경보에 관한 조례 구성 체계(안)

3 2 고농도 오존 대응 매뉴얼의 활용

3 2 1 민감·취약계층 대상 고농도 대응 예비정보 전달

- 현행 3단계의 오존 경보 발령 기준에 “예비단계”를 추가하여, 사전 대응 정보 전달
- 최근 5년(2008~2012) 동안 서울시 오존 농도의 95%, 99% 백분위수(percentile)에 해당하는 농도 수준이 각각 0.05ppm/hr, 0.07ppm/hr 수준이므로 주의보와 경보, 중대경보의 기준을 고려하여 99% 수준인 0.07ppm/hr 농도를 “예비단계” 기준으로 설정 검토
- 어린이집, 학교, 노인시설, 병원 등 민감·취약 계층이 밀집되어 있는 관련 기관에 예비 단계의 정보를 우선 전달하고 관련 행동요령에 따라 대응하도록 유도

표 3 고농도 오존 대응 시민 행동요령(안)

발령기준	예비 단계 (0.07ppm/hr)	주의보 (0.12ppm/hr)	경보 (0.3ppm/hr)	중대경보 (0.5ppm/hr)
민감계층 <sup>1)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외출 일정 조정</li> <li>• 보육시설 실외학습 자제(14시~16시)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외출 자제</li> <li>• 보육시설 실외학습 제한</li> <li>• 초등학교 실외학습 제한</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노인복지시설의 실외활동 금지</li> <li>• 보육시설의 실외학습 금지</li> <li>• 초·중·고등학교 실외학습 제한 및 단축 수업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노인복지시설의 실외활동 금지</li> <li>• 보육시설의 실외학습 금지</li> <li>• 학교 휴교</li> </ul>
취약계층 <sup>2)</sup>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 옥외 작업 시간의 단축 및 조정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 옥외 작업 제한</li> <li>• 실내 작업(도장 등) 시간 변경(야간)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 옥외 작업 금지</li> <li>• 실내 작업(도장 등) 금지</li> </ul>
일반시민 <sup>3)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 어린이 및 민감계층 동반 외출 자제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외출 일정 조정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과격 야외 운동(조깅, 자전거, 축구 등) 제한</li> <li>• 자동차 급유 자제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과격 야외 운동(조깅, 자전거, 축구 등) 금지</li> <li>• 야외 운동(골프 등) 제한</li> </ul>

주 : 1) 민감계층 : 65세 이상 노인, 유아, 학생, 호흡기·심혈관 질환자 등

2) 취약계층 : 건설 및 산업장 근로자

3) 일반시민 : 민감계층 또는 취약계층에 해당하지 않는 일반 성인

### 사업장 및 가정·상업 배출원 관리 행동지침

- 서울의 오존 생성은 VOC-limited 조건에 해당하며, 고농도 오존 대응을 위하여 권역별 VOCs/NOx 농도 비율을 전체적으로 조정하는 과정에서 유기용제 사용의 우선적인 감축 관리 필요
- 권역별 오존 생성 배출원 특성을 고려하여 도심권역은 인쇄업, 북서·남서·남동권역은 건축·건물의 도장, 북동권역은 세탁시설의 배출량 감축을 우선적으로 고려
- 전체적으로 배출 기여도가 높은 가정·상업의 유기용제 사용을 관리하기 위해 친환경 유기용제 사용 및 보관 방법 등에 대해 시민·사업자를 대상으로 교육 및 홍보 강화 필요
- 휘발성유기화합물질 농도 분포와 오존 생성 기여도를 파악하기 위한 과학적 기반체계 구축의 일환으로 광화학 측정소의 확대·운영을 통해 VOC/NOx 관리 실효성 제고

표 4 사업장의 고농도 오존 대응 정보제공 방안(안)

발령기준	예비 단계 (0.07ppm/hr)	주의보 (0.12ppm/hr)	경보 (0.3ppm/hr)	중대경보 (0.5ppm/hr)
대형 사업장1)	<pre> graph LR     A[사전 통보] --- B[협조 요청]     B --- C[권고]     C --- D[명령]             </pre>			
고농도 오존 발생 예비 정보 제공	• 연료 사용량 10% 감축 • 조업시간 단축	• 연료 사용량 20% 감축 • 조업시간 단축	• 연료 사용량 40% 감축 • 조업 중지	
소형 사업장2)	<pre> graph LR     A[사전 통보] --- B[권고]     B --- C[명령]             </pre>			
고농도 오존 발생 정보 제공	• 가동률 조정 • 조업시간 단축	• 연료 사용량 감축 • 조업시간 단축		

주 : 1) 대형 사업장, 중점관리 사업장은 1~3종 대기배출시설과 휘발성유기화합물 배출시설의 종류·시설 규모·배출억제·방지시설의 설치 등에 관한 규정을 적용받는 시설 규모를 총칭함.

2) 소형 사업장, 관리유도 사업장은 4~5종 대기배출시설과 휘발성유기화합물 배출시설의 종류·시설규모·배출억제·방지시설의 설치 등에 관한 규정상 시설규모 미만의 시설임.

### 3 2 3 교통부문의 고농도 오존 대응 정보 제공

- 오존 정보가 발령된 권역과 발령되지 않은 권역으로 구분하여 교통부문의 고농도 오존 대응정보를 제시하고, 자동차 운행 자제 요청 시에도 보다 구체적으로 제시, 체감할 수 있는 권고내용 제안이 바람직
- 공회전 집중관리 확대, 대형 업무·상업시설의 주차장 및 공영주차장의 운영시간 제한 및 금지, 공공기관의 엄격한 요일제 시행 등 보다 실효성 있는 고농도 오존 대응 정보제공 방안 검토

**표 5 교통부문의 고농도 오존 대응 정보제공 방안(안)**

발령기준	예비 단계 (0.07ppm/hr)	주의보 (0.12ppm/hr)	경보 (0.3ppm/hr)	중대경보 (0.5ppm/hr)
운행 제한	발령 권역	고농도 오존 발생 정보 제공 (전광판, 교통 방송 등)	• 3km 이내 단거리 자동차 운행 자제 요청	• 자동차 운행 제한
	이외 권역		• 발령권역으로 이동 시 대중교통 이용 권고	• 3km 이내 단거리 자동차 운행 자제 요청 • 발령권역으로 자동차 진입 금지 • 자동차 운행 제한
공회전	집중관리 지역 확대		• 터미널, 차고지 집중관리	• 화물 하역장 집중관리 확대 • 택시·버스 승차장 집중관리 확대
교통 수요 관리	대형 업무·상업시설 주차장	고농도 오존 발생 정보 제공 (전광판, 교통 방송 등)	• 운영시간 이용 제한 협조 요청	• 주차 면적 20% 이용 제한 권고
	공영 주차장		• 운영시간 제한(2~4시)	• 주차면적 50% 운영 감축
	공공 기관		• 요일제 엄격관리	• 2부제 전면시행
				• 주차 면적 40% 이용 제한 명령 • 주차장 전면 운영 금지 • 업무용 차량 이용 금지

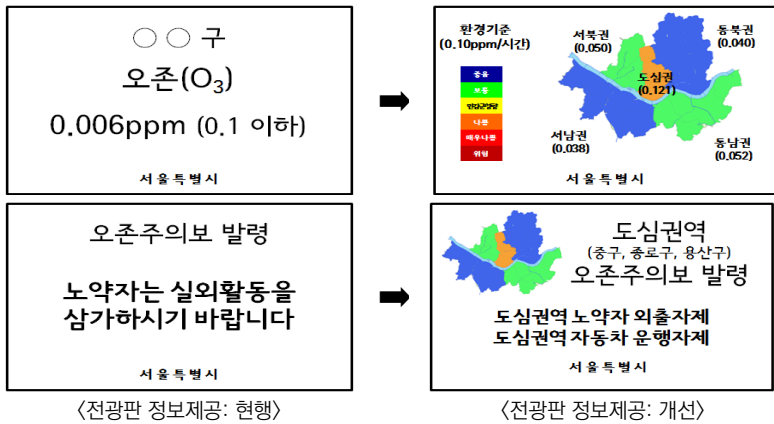
주 : 서울시 자가용 승용차 일 주행거리는 28.6km로, 일거리의 10% 수준인 3km를 단거리 운행거리로 설정함.

## 3 3 오존 대응 이해 증진 및 참여 유도

### 3 3 1 오존 대응 정보 전달체계의 개선

- 사전·사후 통합 대응체계로의 전환을 위해 고농도 오존 에피소드의 피해 영향 사례 보고 및 행동요령 보완의 쌍방향 정보 전달체계 구축

- 오존 경보 발령 후 효과 평가 등의 피드백 과정을 도입하여 오존 오염의 건강피해사례가 재발하지 않도록 오존 경보의 모니터링 체계 구축
- 고농도 오존 오염 정보의 실시간 시민전달을 위한 웹(Web)-기반 정보 어플을 제공하고 시민이해 및 반응을 높이기 위한 대응요령의 Q&A 자료집 제작·홍보
- 서울시 권역별 고농도 오존 오염 생성·확산 관련 정보 생산 및 전광판 표출 방법을 시민 체감형으로 개선



〈Web 기반 고농도 오존 대응 정보 어플〉

그림 3 고농도 오존 대응 정보제공(안)

## 오존 생성 VOCs 배출저감 정보 제공

- 일상생활 과정에서 시민건강 피해를 완화할 수 있는 ‘오존 저감 녹색지침’으로서 오존 대응 관련 팁(Tip) 작성·홍보
- 산업별·공정별 VOC 배출요인 및 저감대책, 대책별 저감 효율, 가정·상업 생활 과정의 VOC 저감 등 오존 생성 오염물질의 저감 가이드라인 제공
- 서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성(안) : 서울시 고농도 오존 오염 생성에 따른 시민 건강피해를 사전 예방하고 오존발생 원인물질 배출 저감을 유도하기 위한 배출원 대응방안, 고농도 오존 수준별 대응 요령, 오존 정보전달 및 효과 모니터링 등 포함

표 6 서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성(안)

<b>제1장</b> 개요	1. 목적 2. 법적 근거 3. 적용범위
<b>제2장</b> 고농도 오존 발생 현황	1. 오존 발생 메커니즘 2. 고농도 오존 발생 유형 3. 고농도 오존 발생 기여 배출원
<b>제3장</b> 고농도 기준	1. 사전 주의보 기준 2. 경보 기준 3. 지역 구분
<b>제4장</b> 경보 전달체계	1. 경보 사전 전달체계 2. 피해 사후 전달체계
<b>제5장</b> 고농도 오존 수준별 대응 요령	1. 시민 대응 행동요령 - 일반시민 - 민감계층 2. 배출원별 대응요령 - 배출시설 및 사업장 - 교통부문
<b>제6장</b> 모니터링	1. 오존 대응 효과 평가 2. 배출원 관리의 실적 평가
<b>제7장</b> 정보제공	1. 가정, 사무실에서 오존 저감방안 2. 산업공정에서의 오존 저감 가이드
<b>부록</b>	정보 제공 사이트



# 차례

<b>I</b>	<b>연구개요</b>	<b>24</b>
1	연구배경 및 목적	24
2	연구내용 및 방법	29
<b>II</b>	<b>오존 발생 메커니즘과 이동경로 분석</b>	<b>34</b>
1	오존 오염의 시·공간적 발생조건	34
1 1	평균농도 변화	34
1 2	고농도 오존 오염 발생특성	38
1 3	고농도 오존 생성 기여도 평가	42
2	권역별 고농도 오존 오염 형성 및 이동경로 분석	44
2 1	선정 조건	44
2 2	독립형 고농도 에피소드	44
2 3	시차형 고농도 에피소드	48
2 4	종합정리	50
<b>III</b>	<b>오존 기여 원인물질 배출원 관리방안</b>	<b>54</b>
1	오존과 건강영향	54
2	자료수집 및 분석방법	56
3	오존 오염 기여 발생원 분포 및 배출량 변화	57
3 1	배출원별 배출량 변화	57
3 2	배출 기여도	59
4	오존 발생조건 기반 배출원 관리 방안	65

<b>IV</b>	<b>해외 오존 오염 대응 사례분석</b>	<b>68</b>
1	고농도 오존 오염 대응 사례	68
11	국가 오존 대응 사례	68
12	주요 도시의 오존 대응 사례	77
2	시사점 도출	88
<b>V</b>	<b>서울시 고농도 오존 대응 방안</b>	<b>92</b>
1	오존 오염 대응체계 현황 및 해결과제	92
11	오존 예·경보제 시스템 운영현황	92
12	오존 경보제 홍보·교육 및 추진실적 확인	95
13	서울시 오존 오염 대응체계의 해결과제	96
2	오존 예·경보 조례 제정	98
3	고농도 오존 대응 매뉴얼의 활용	101
31	민감·취약계층 대상 고농도 대응 예비정보 전달	101
32	사업장 및 가정·상업 배출원 관리 행동지침	103
33	교통부문의 고농도 오존 대응 정보 제공	104
4	오존 대응 이해 증진 및 참여 유도	106
41	오존 대응 정보 전달체계의 개선	106
42	오존 생성 VOCs 배출저감 정보 제공	108
<b>VI</b>	<b>결론</b>	<b>112</b>
1	요약	112
2	정책제언	115
	<b>참고문헌</b>	<b>120</b>
	<b>부록</b>	<b>124</b>
	<b>Abstract</b>	<b>136</b>

# 표차례

표 1-1	지역별 시간최고 오존농도 변화	28
표 2-1	오존 경보 발령 기준	38
표 2-2	서울 전체 및 권역별 NMHC/NO <sub>x</sub> 농도비율	44
표 2-3	독립형 고농도 오존사례 1 : 단일 자치구	45
표 2-4	시차형 고농도 오존사례 4 : 기상조건 비교	48
표 2-5	시차형 고농도 오존사례 5 : 기상조건 비교	50
표 2-6	권역별 고농도 오존 오염 형성 및 이동경로	51
표 3-1	오존이 인체에 미치는 건강영향	54
표 3-2	오존농도의 수준 및 노출시간별 인체에 미치는 영향	55
표 3-3	서울시 배출원별 질소산화물(NO <sub>x</sub> ) 배출량 변화(2000~2010)	57
표 3-4	서울시 배출원별 휘발성유기화합물 배출량 변화(2000~2010)	58
표 3-5	서울시 권역별 질소산화물 및 휘발성유기화합물 배출량(2010)	59
표 3-6	서울시 권역별·배출원별 질소산화물, 휘발성유기화합물 배출비중	60
표 3-7	서울시 자치구별·배출원별 질소산화물, 휘발성유기화합물 배출비중(2010)	63
표 3-8	서울시 권역별 오존 오염 발생 조건(2000~2010)	65
표 4-1	호주 인구집단별 오존 AQI 권고사항	74
표 4-2	캐나다 AQHI 취약인구 분류	76
표 4-3	캐나다 집단 특성별 AQHI 수준별 권고사항	77
표 4-4	기상요소(도쿄 관구 기상대)와 광화학 옥시던트 농도와의 상관계수	79
표 4-5	도쿄도 광화학 스모그 긴급 시 발령 및 해제 기준	83
표 4-6	미국 대기질 지수별 행동 지침	86
표 4-7	미국 오존 경보제 현황	87

표 4-8	도시별 오존 경보제의 기준 비교	88
표 5-1	서울시 오존 경보 발령 지역구분	92
표 5-2	오존경보 발령 시 조치사항	94
표 5-3	오존 예보 등급	95
표 5-4	서울시 오존 오염 관리의 해결과제	98
표 5-5	고농도 오존 대응 시민 행동요령(안)	102
표 5-6	사업장의 고농도 오존 대응 정보제공 방안(안)	104
표 5-7	교통부문의 고농도 오존 대응 정보제공 방안(안)	105
표 5-8	서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성(안)	109

# 그림차례

그림 1-1	연구체계	31
그림 2-1	서울시 연도별 오존 오염도 변화 패턴(1990~2012)	34
그림 2-2	서울시 월별 오존농도 추이(2008~2012)	35
그림 2-3	서울시 시간대별 오존 평균농도 변화(2012)	35
그림 2-4	서울시 고농도 오존 농도 변화(95.0%, 99%, 99.9% 백분위수)	35
그림 2-5	수도권 및 서울의 연도별 오존 농도 변화 비교	36
그림 2-6	서울시 연도별 오존주의보 발령현황	39
그림 2-7	서울시 5개 권역별 오존주의보 발령횟수(2000~2012)	40
그림 2-8	서울시 자치구별 오존주의보 발령횟수(2000~2012)	40
그림 2-9	서울시 고농도 오존 발생시간 및 지속시간(2000~2012)	41
그림 2-10	서울시 고농도 오존 발생 시 기상현황(2000~2012)	42
그림 2-11	NO <sub>x</sub> 대비 VOCs 비율에 따른 오존 등농도 곡선	43
그림 2-12	독립형 고농도 오존사례 1 : 단일 자치구	45
그림 2-13	독립형 고농도 오존사례 2 : 단일 권역(2개 자치구)	46
그림 2-14	독립형 고농도 오존사례 3 : 2개 권역	47
그림 2-15	시차형 고농도 오존사례 4 : 시간대별 오존 농도 분포 변화	48
그림 2-16	시차형 고농도 오존사례 4 : 기상요인 영향	49
그림 2-17	시차형 고농도 오존사례 5 : 시간대별 오존 농도 및 기상조건 비교	50
그림 3-1	서울시 자치구별 질소산화물 및 휘발성유기화합물 배출량 분포(2010)	60
그림 3-2	서울시 자치구별·배출원별 질소산화물 및 휘발성유기화합물 배출량 비교(2010)	62
그림 4-1	일본의 광화학 옥시던트 농도 및 주의보 발령 현황	68
그림 4-2	관동지역의 NO <sub>x</sub> 와 NMHC 발생원 강도 변화 및 오존 관계	69

그림 4-3	AAQ NEPM 오존 기준 초과 및 최대 농도 현황(1994~2011)	72
그림 4-4	호주 대기질 지수	73
그림 4-5	토론토 AQHI 구성 및 적용 절차	75
그림 4-6	광화학 옥시던트·질소산화물·비메탄 탄화수소 연평균값의 경년변화 및 주의보 발령일수	78
그림 4-7	광화학 옥시던트 0.12ppm 이상인 연간 시간수	78
그림 4-8	원인물질과 고농도 옥시던트 발생 비율의 관계	80
그림 4-9	도쿄도 고농도 발생 지역의 NO <sub>x</sub> , NMHC, NMHC/NO <sub>x</sub> 농도 비율 변화	81
그림 4-10	도쿄도 VOC 배출원별 배출량(2000년 기준)	82
그림 4-11	캘리포니아주 오존 농도 추세 및 AQI 정보 제공	86
그림 5-1	서울시 오존 경보 전달체계	93
그림 5-2	서울시 오존 예보 전달체계	95
그림 5-3	서울시 오존 예보 및 경보에 관한 조례 구성 체계(안)	99
그림 5-4	고농도 오존 대응 전광판 정보제공(안)	107
그림 5-5	Web 기반 고농도 오존 대응 정보 어플	107



# I 연구개요

1 연구배경 및 목적

2 연구방법 및 범위

# I 연구개요

## 1 연구배경 및 목적

### 1.1 연구배경

#### 1.1.1 수도권 대기환경 관리의 새로운 변화

서울을 포함한 수도권 지역의 대기환경 개선을 위한 본격적인 출발은 2005년 “수도권 대기환경 개선에 관한 특별법” 제정을 계기로, 수도권 대기환경관리 기본계획 수립 및 서울·인천·경기도 시행계획 수립·추진으로 요약된다. 수도권 대기환경관리 기본계획(2005~2014)이 2014년에 종료됨에 따라 1단계 추진성과와 여건 변화 및 미래 전망을 반영하여 2단계(2015~2024) 기본계획의 수립이 검토되고 있다.

2단계 수도권 대기환경개선 특별대책의 주된 관심은 PM10과 NO<sub>2</sub> 목표농도 관리에 집중했던 그간의 정책방향을 인체 위해성에 중점을 둔 방향으로 전환하는 데 있다. 특히 1단계 기본계획과 시행계획의 목표관리에서 제외되었던 오존 기준(60/15ppb)과 PM2.5 기준(25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 추가됨으로써, 기후환경 변화의 건강영향을 최소화하기 위한 수도권 대기환경 관리의 새로운 정책방향 마련에 관심이 집중되고 있다.

#### 1.1.2 오존 평균농도의 상승 및 국지 고농도(Hot Spot) 오존 대응수요 증대

오존은 광화학반응에 의해 생성되는 2차 오염물질로 질소산화물, 휘발성유기화합물질, 태양 빛에 의해 생성되며, 여름철 한낮에 농도가 급격히 상승하는 특징을 보이고 있다.<sup>1</sup> 이에 따라 오존 관리는 농도 형성의 시

---

<sup>1</sup> 지상 10~50km 사이의 성층권(Stratosphere) 오존층(Ozone layer)에 존재하는 오존은 전체 오존의 약 90%를 차지하며, 태양광선 중 생명체에 해로운 자외선(UV-B 등)을 95~99% 정도 흡수하여 지구상의 인간과 동식물의 생명을 보호하는 방호막 역할을 하고 있음.

간적·공간적 변이성을 고려하여 평균농도 개선과 국지 고농도 대응으로 대별된다.

평균농도 개선을 위해 현재 환경정책기본법에는 대기환경기준으로 오존 농도가 8시간 평균 0.06ppm, 매시간 0.1ppm으로 정해져 있다. 다만, 2001년 이후 수도권 지역의 대기 중 평균 오존농도는 소폭 상승하는 경향을 나타내며, 원인물질 배출량 감축의 어려움과 광화학 반응의 2차 생성 메카니즘으로 인해 어려움이 가중되고 있다. 그리고 국지 고농도 대응을 위해서는 대기환경보전법 제8조에 근거하여 대기 중 오존농도가 환경기준을 초과하여 일정 기준 이상으로 높게 발생할 경우를 대비하여 시민건강 영향을 최소화하기 위한 사전 예방조치 수단으로 오존 예·경보제도를 1995년부터 시행하고 있다.<sup>2</sup>

국지 고농도 오존 발생에 따른 단기노출의 건강 영향을 저감하기 위한 실효성 확보가 주요 관심사항이다. 따라서 오존농도 증가 및 국지 고농도 형성에 따른 관리 및 대응방안 마련은 국가 및 지자체 차원의 기후변화 대응과 시민 건강 예방과 직결됨을 알 수 있다.

## 113 오존 농도 증가에 따른 환경성 질환의 건강 피해 우려

지표면으로부터 10km 이내의 대류권(Troposphere)에 존재하는 오존은 농도가 일정기준 이상 높아질 경우 만성 호흡질환, 천식 악화, 폐활량 감소, 폐렴, 생체 면역 능력의 감소와 같은 현상이 나타날 수 있다. 또한 기관지를 통해 인체 내부로 유입되어 기관지의 세포 및 조직에 영향을 미치며 기관지 질환과 폐기능 악화를 초래한다(Tilton, 1989). 특히 기관지 천식환자나 호흡기 질환자, 어린이, 노약자 등에게는 많은 영향을 미

---

2 오존경보제는 1995년 7월 서울지역에서 시범 실시한 이후, 2012년도 현재 15개시·도, 65개 시·군에서 시행되고 있음. 오존예보제는 1998년부터 서울, 부산, 대구, 대전, 인천 등 5대 도시를 시작으로 2005년 광주, 울산, 2011년 경기도, 2012년 전남 여주시, 순천시, 광양시로 확대하여 현재 11개 시·도에서 운영하고 있음. 예보제 시행기간은 경보제와 동일하게 매년 5~9월이며, 서울은 5개 권역으로 설정되어 있음(환경부, 대기환경연보, 2013).

치므로 주의할 필요가 있다(Vallero, 2008). 아울러 농작물과 식물에 직접 영향을 미쳐 수확량이 감소하기도 하며 잎이 말라 죽기도 한다. 이와 같이 오존은 인체의 건강과 동식물, 재산상에 미치는 영향이 매우 크다. 이러한 고농도 오존 현상은 자동차에 의한 질소산화물(NOx)과 휘발성 유기화합물(VOC) 등의 원인물질과 광화학적 요인이 복잡하게 작용하여 발생하고 있다(안재호, 2012). 특히 서울 지역은 기후환경의 변화와 더불어 중국의 산업화에 따른 오존발생 전구물질의 유입, 그리고 수도권 일대의 공장·자동차·선박 등의 운송수단에서 배출된 오존 전구물질을 통해 생성된 오존이 서울 시내로의 유입 영향에 의해 오존주의보를 초과할 수 있는 고농도 오존 발생 가능성도 우려되고 있다.

#### 114 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성 및 활용 검토

오존 오염의 평균농도 증가 경향, 도시 기후환경의 변화에 따른 2차 생성 가능성 증대, 오존 형성 메커니즘 기반 원인물질 배출량 감축비용의 상승, 그리고 국지 고농도 형성에 따른 단기노출의 건강 피해영향 증가 등은 서울을 포함한 수도권 오존관리의 4중고를 대변하고 있다.

이에 따라 대기환경기준에 맞춘 오존 오염 관리에 못지않게 고농도 오존 오염에 효과적으로 대응하기 위해서는 오존관리의 4중고를 감안한 고농도 오존 대응 매뉴얼의 작성과 활용이 필요하다. 즉 고농도 오존 대응 매뉴얼은 서울시 오존 생성 메커니즘을 바탕으로 단기노출 영향을 감소하기 위한 대응 지침으로, 시민건강 위해성 예방 차원의 실제적 효용성을 기대할 수 있음을 의미한다.

## 12 연구목적

### 121 기후환경 모범도시 실현을 위한 고농도 오존 관리

최근 기후환경 변화에 따른 건강영향에 대한 관심이 고조되고 있다. 특

히 21세기 글로벌 경쟁사회에서 기후환경 가치의 중요성이 부각됨에 따라, 세계의 도시들은 건강도시를 향한 도시브랜드 가치를 높이기 위한 전략 마련에 중점을 두고 있다. 21세기 기후환경의 시대를 맞이하여 건강하고 쾌적한 생활환경의 조성은 시민의 삶의 질 향상에 필요조건으로 인식되고 있어, 기후환경 변화에 따른 건강영향 개선은 지속 가능한 발전목표(sustainable development goal; SDG)를 가늠할 수 있는 도시경쟁력 비교의 중요 요소가 되기 때문이다.

최근 발표된 「서울시 대기질 개선 종합대책」(2014.1.28)은 기후환경 모범도시로서의 건강가치 창출과 기후환경 요인의 통합관리 성과를 높이기 위한 발상전환의 일환으로 이해할 수 있다. 다만, 저유황 연료유의 공급과 청정연료 사용 의무화 등 대기오염저감정책에 따라 황산화물, 먼지 등의 대기오염도는 지속적으로 개선되고 있으나, 자동차의 급격한 증가 및 산업 활동의 증가에 따른 오존 농도의 증가 추세가 기후환경 모범도시 실현의 제약요인으로 지적되고 있다.

특히 서울을 포함한 수도권 지역에서의 고농도 오존의 발생 가능성이 높고, 연중 시간 최고농도에서도 매년 수도권 대기관리권역의 오존 농도가 최고값을 보이며, 평균적으로 다른 도시에 비해 평균 1.5~2배 정도 높은 것으로 나타나고 있기 때문에 더욱 그러하다.<sup>3</sup>

3 수도권 대기관리권역에서의 오존주의보 발령일수는 2012년 우리나라 전체 발령일수의 37.9%를 차지하고 있으며, 발령횟수는 수도권에서 28회로 전체 발령횟수(66회)의 45.5%에 달함.

**<지역별 오존주의보 발령일수>**

구분	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012
계	6(11)	14(38)	17(52)	9(45)	27(156)	22(52)	32(101)	25(83)	29(66)
수 계	6(11)	12(35)	14(49)	7(43)	14(100)	8(21)	16(51)	8(43)	11(28)
도									
서울	5(10)	11(17)	8(16)	1(1)	5(9)	1(3)	8(23)	7(21)	3(6)
권									
인천	1(1)	2(2)	2(4)	2(4)	6(8)	1(1)	12(15)	2(5)	5(6)
경기	-	6(16)	12(29)	7(38)	14(83)	7(17)	8(13)	5(17)	9(16)
기타지역	-	3(3)	3(3)	2(2)	23(56)	18(31)	24(50)	20(40)	19(38)

주 : 발령일수(발령횟수)

자료 : 환경부, 2012 대기환경연보, 2013.

표 1-1 지역별 시간최고 오존농도 변화

(단위 : ppm)

연도별	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012
수도권대기 관리권역	0.162	0.168	0.177	0.203	0.195	0.154	0.173	0.175	0.157
부산	0.160	0.143	0.125	0.132	0.201	0.192	0.146	0.173	0.144
대구	0.142	0.117	0.111	0.105	0.173	0.132	0.136	0.135	0.139
광주	0.088	0.104	0.107	0.098	0.129	0.121	0.094	0.102	0.114
대전	0.111	0.099	0.117	0.098	0.132	0.091	0.115	0.119	0.114
울산	-	0.148	0.110	0.118	0.196	0.156	0.148	0.164	0.154

자료 : 환경부, 2012 대기환경연보, 2013.

## 1.2.2 고농도 오존 단기노출의 건강영향 저감 대응 매뉴얼의 작성 및 활용

고농도 오존 오염 대응은 첫째, 고농도 오존발생 가능성을 예측하여 오존 형성과정을 고려한 권역별·단계별 대응, 둘째, 고농도 오존발생을 전제로 오존영향을 최소화하기 위한 사후관리 성격의 대응으로 구분할 수 있다. 다만, 현행 고농도 오존 오염 대응은 오존 오염 발생 및 확산경로 분석과 사후관리가 상호 연계되지 못하는 한계로 인하여 시민건강 위해성 예방에 비효율성을 보이고 있다.

이 연구의 목적은 고농도 오존발생 메카니즘의 확인 과정과 연계한 오존 오염 대응체계의 실효성을 제고할 수 있는 가이드라인 마련의 일환으로 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성 및 활용에 있다. 이는 도시 기후환경의 변화 및 고농도 오존 발생조건 심화 가능성을 고려한 고도 적응도시 실현을 위한 대응기반을 마련하고, 향후 고농도 오존 오염의 단기노출에 의한 건강영향을 저감할 수 있는 서울시 제도 개선의 기초자료로 활용이 가능하기 때문이다.

이와 함께 현행 대기환경보전법에 제시되어 있는 고농도 오존 오염의 대응 규정이 명시적 규정으로서 실제 적용 및 시민참여과정에 한계가 있음을 고려하여, 오존 오염의 발생·확산·영향 등의 특성을 고려한 과학적



관리를 기반으로 하는 오존 대응 매뉴얼의 구성 체계 개선안을 제시하고자 한다. 특히 고농도 오존 발생 가능성에 대비하여 민감계층/지역/배출 부문별 고농도 오존 대응 지침을 검토하여, 시민건강과 사회·경제적 영향에 효과적으로 활용할 수 있는 매뉴얼 작성·활용을 검토하고자 한다.

## 2 연구내용 및 방법

### 2.1 연구내용

시민건강에 유의한 영향을 미칠 수 있는 고농도 오존 대응 기반 구축을 위해 고농도 오존 오염의 형성 및 확산 과정을 파악한 연후에 이를 바탕으로 권역별 오존농도 기여 원인물질의 배출원 관리 및 대응 매뉴얼을 작성하여, 오존대응의 효과적 절차과정과 정책방향을 설계하는 데에 이 연구의 주안점이 있다.

따라서 도시 기후환경의 변화 및 고농도 오존 발생조건 of 심화 가능성을 고려한 고도 적응도시 실현과 고농도 오존 오염에 대한 정책적 대응체계를 도출하기 위해 다음과 같은 3개의 연구주제를 중심으로 접근하였다.

- 1) 서울시 5개 권역별 고농도 오존 오염 모니터링 기반 분석  
서울시 자치구별·권역별 오존 오염 농도의 시간적·공간적 변이성 파악 및 확산 경로(Ozone Path) 분석
- 2) 고농도 오존 오염 발생 및 확산경로를 고려한 권역별 배출원 대응 전략 제언  
고농도 오존 오염의 단기노출 건강영향을 최소화하기 위한 기본 정보로서 권역별 오존 오염 기여 배출원의 분포 확인 및 관리정보를 포함하는 대응 지침 작성
- 3) 고농도 오존 대응 시민 및 사업장 이해 증진 및 참여유도  
고농도 오존 에피소드와 시민의 건강영향을 고려한 대응과정을

상호 유기적으로 연계하여 서울시 기후환경 복지 개선에 적용 가능한 오존 대응 정보 제공

22

## 연구방법

### 1) 문헌연구 및 기초자료 조사

서울시 오존 오염의 형성 및 확산과정 파악을 위한 국내 문헌조사 및 고농도 오존 대응 정책방향 도출을 위한 세계도시의 연구사례 분석

### 2) 고농도 오존 오염 에피소드 및 오존 대응 기반 분석

- 권역별 고농도 에피소드 분류 및 확산조건 분석 : 서울시 25개 자치구별 대기오염자동측정망 자료, 기상자료를 활용한 고농도 오존 오염 에피소드
- 5개 권역별 오존 오염 기여 원인물질 배출원 분포 진단 : 서울시 5개 권역별 오존 오염 기여 배출원의 분포 확인 및 배출량 변화
- 서울시 오존농도 모니터링 체계 및 오존 예·경보 시스템 분석

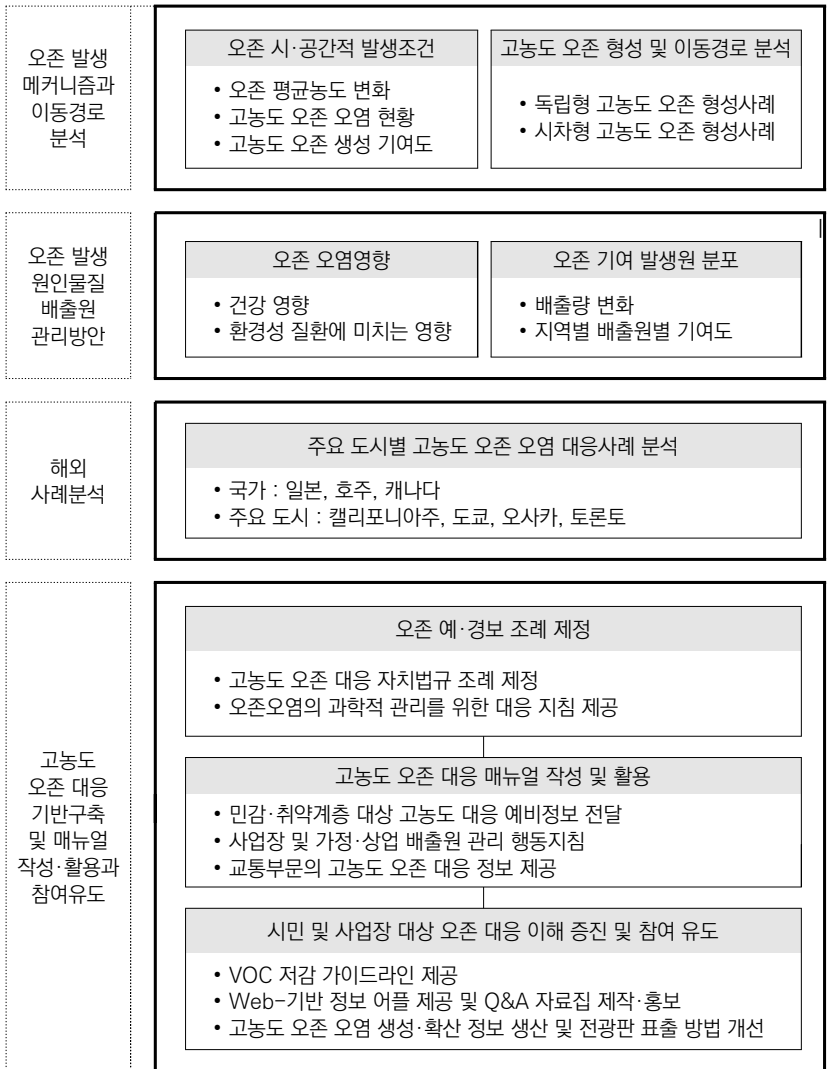


그림 1-1 연구체계

## II 오존 발생 메커니즘과 이동경로 분석

1 오존 오염의 시·공간적 발생조건

2 권역별 고농도 오존 오염 형성 및 이동경로 분석

## II 오존 발생 메커니즘과 이동경로 분석

### 1 오존 오염의 시·공간적 발생조건

#### 1.1 평균농도 변화

##### 1.1.1 시간적 발생패턴

서울의 연간 평균 오존농도는 1990년 0.011ppm 이후 완만히 증가하다가 2000년 0.017ppm을 정점으로 20004년까지 감소추세를 보인 바 있다. 그러나 도시 기후환경 변화의 주요 특성인 기온 상승에 따라 2005년부터 다시 증가하여 2012년에는 0.021ppm 수준으로 전반적인 상승 경향을 보이고 있다(그림 2-1 참조).

강한 일사에 의해 생성이 활발해지는 오존은 기온이 높고 일사량이 많으며 풍속이 약한 5~6월에 평균적으로 높은 농도를, 그리고 1월과 12월에 가장 낮은 농도를 나타내고 있어 월별 농도차이가 큰 것이 특징이다. 최근 5년(2008~2012) 동안 월별 오존 농도 추이는 그림 2-2와 같다. 시간대별로 오존 농도의 변화를 보면 4월부터 9월까지 하루 중 오존 농도가 가장 높은 시간대는 오후 2시~5시로 나타나고 있다.

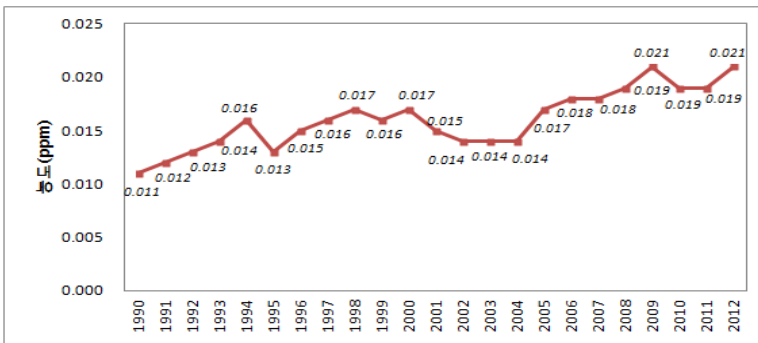


그림 2-1 서울시 연도별 오존 오염도 변화 패턴(1990~2012)

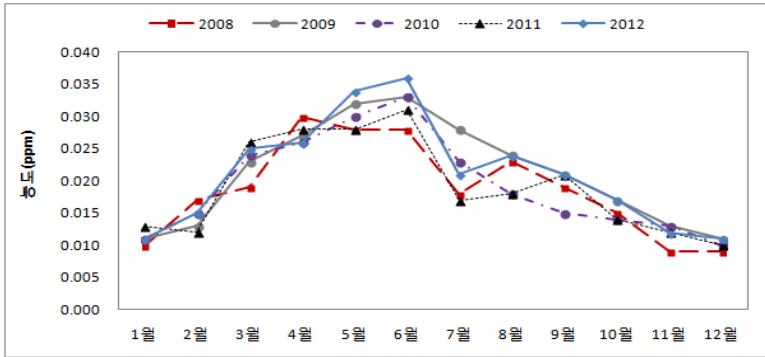


그림 2-2 서울시 월별 오존농도 추이(2008~2012)

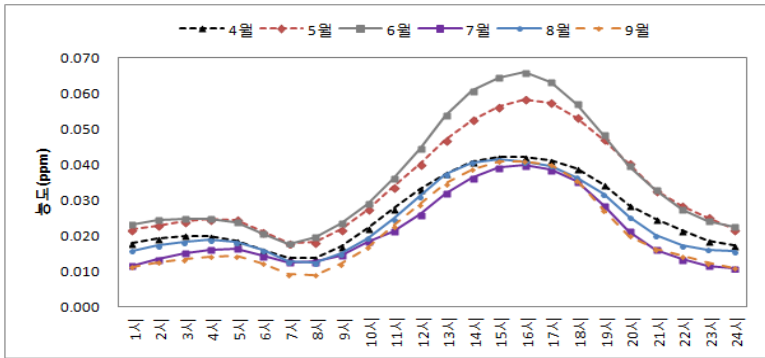


그림 2-3 서울시 시간대별 오존 평균농도 변화(2012)

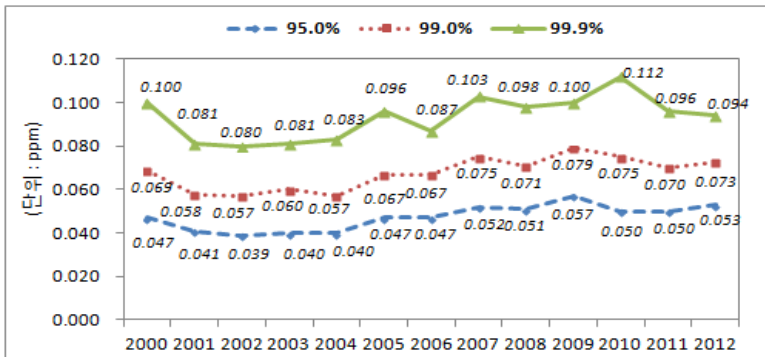


그림 2-4 서울시 고농도 오존 농도 변화(95.0%, 99%, 99.9% 백분위수)



고농도 오존 농도의 범위를 95%, 99% 백분위수(percentile) 통계 분석을 통해 살펴본 결과, 그 농도가 전반적으로 상승하고 있어, 서울의 오존 농도가 점차 고농도화되어 가는 추세를 시사하고 있다.

112 **공간적 발생패턴**

인천, 경기의 오존 농도 역시 지속적으로 증가하는 추세를 보이며, 서울의 농도가 가장 낮고, 인천의 농도가 가장 높게 나타나고 있다. 서울의 지형적인 여건과 대기오염물질 이동경로를 고려하여 권역별 오존 농도의 분포는 북동부 권역이 다른 권역에 비해 다소 높은 수준을 보이고 있다. 측정소별로는 강북의 오존농도가 높은 반면, 강남구의 오존 농도가 대체로 낮게 형성되고 있다.

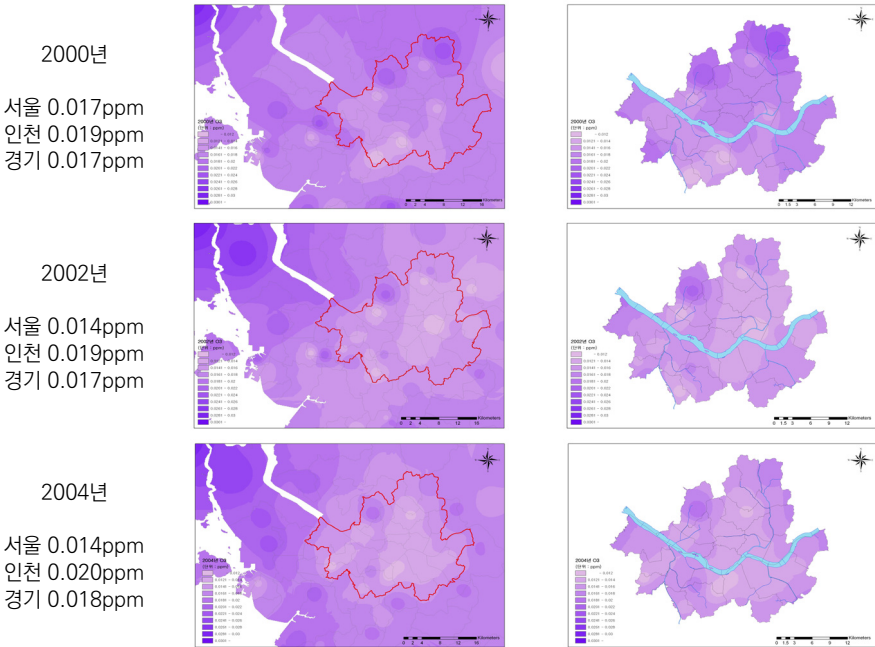
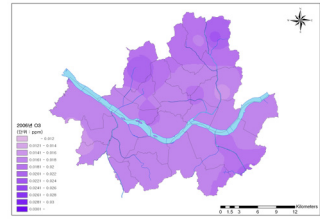
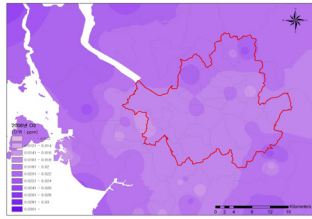
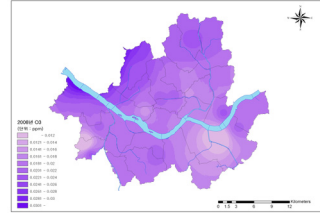
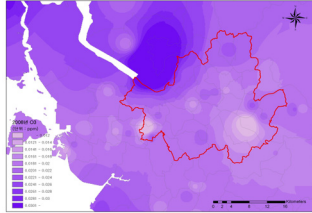


그림 2-5 수도권 및 서울의 연도별 오존 농도 변화 비교

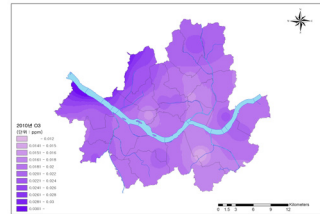
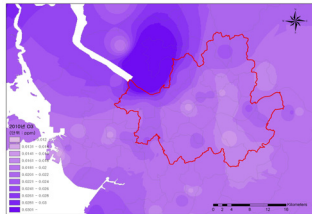
2006년  
 서울 0.018ppm  
 인천 0.020ppm  
 경기 0.019ppm



2008년  
 서울 0.019ppm  
 인천 0.024ppm  
 경기 0.020ppm



2010년  
 서울 0.019ppm  
 인천 0.021ppm  
 경기 0.020ppm



2012년  
 서울 0.021ppm  
 인천 0.024ppm  
 경기 0.024ppm

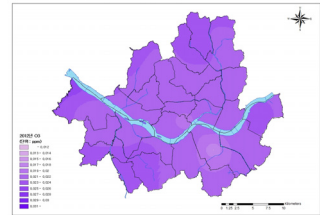
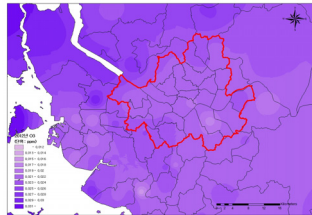


그림 계속 수도권 및 서울의 연도별 오존 농도 변화 비교

오존은 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 휘발성유기화합물(VOC)의 농도가 상호 밀접한 관계를 보이며, 서울시에서는 산지가 많이 분포하고 있는 북한산과 도봉산이 위치한 은평구, 도봉구의 오존 농도가 높은 수준을 보이고 있다. 이는 수목에서 배출되는 VOC와 이동오염원 등에서 배출되는 NO<sub>x</sub>의 결합으로 오존 생성이 활발하여 농도가 높은 것으로 추정된다(서울특별시, 2006).

한편 오존농도는 전구물질인 NO<sub>x</sub>, VOC 오염물질 배출량 기여 이외에 도 기온, 확산정도, 일사량(자외선량) 등의 기상요인에 의한 영향 때문에 공간적으로는 북동권역에서 높게 나타나고 있다. 이는 남서쪽으로부터 이동해 온 오염물질의 광화학 반응 과정이 북동부 지역에서 정체되는 지형적 조건과 밀접한 관련이 있는 것으로 추정되고 있다(서울특별시, 2013).

## 12 고농도 오존 오염 발생특성

오존 예·경보제는 대기환경보전법 제8조에 근거해 대기 중 오존농도가 환경기준을 초과하여 일정기준 이상으로 높게 나타날 때 신속히 경보를 발령하여 고농도 오존의 단기노출에 따른 건강피해를 사전 예방하기 위해 운영되고 있다. 특히 고농도의 오존에 노출될 경우 피해를 입을 수 있는 호흡기 질환자, 어린이, 노약자들에게 오존 농도가 높음을 알려 줌으로써 피해를 최소화하고, 오존 농도를 줄이는 데에 시민들의 이해와 참여를 유도하기 위해 시행하고 있다(서울특별시, 2013).

**표 2-1 오존 경보 발령 기준**

발령기준	주의보	경보	중대경보
농도(1시간 평균값)	0.12ppm/hr 이상	0.3ppm/hr 이상	0.5ppm/hr

자료 : 서울특별시, 2013년 오존경보제 시행계획, 2013.4

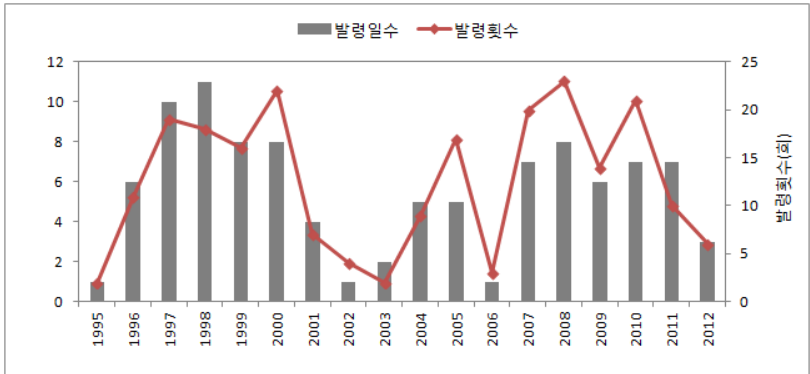


그림 2-6 서울시 연도별 오존주의보 발령현황

### 1.2.1 오존주의보 발령현황

2000~2012년 동안 오존주의보가 발령된 날짜의 발령시각, 해제시각, 오존 농도, NO<sub>x</sub> 농도, NMHC(비메탄 탄화수소) 농도, 기온, 습도, 풍향, 풍속 등 기상 요인 항목을 중심으로 서울시 고농도 오존 오염 발생특성을 정리하면 다음과 같다.

권역별로는 오존주의보가 도심 22회(12.0%), 북서 24회(13.1%), 북동 56회(30.6%), 남서 46회(25.1%), 남동 35회(19.1%)가 발령되어 북동 권역에서 상대적으로 발령빈도가 높은 수준이다. 매시간 오존 측정 결과가 1개 측정소에서 경보 발령 기준에 해당하면 당해 측정소가 포함된 권역에 대해 오존주의보가 발령된다. 5개 권역에 포함되는 자치구가 다르기 때문에 권역별 평균 발령횟수(권역별 발령횟수/권역별 자치구 수)를 중심으로 살펴보면 북동이 14.0회, 북서가 8.0회, 도심이 7.3회, 남서가 5.8회, 남동이 5.0회 빈도를 보여 북동권역에서 고농도가 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

자치구별로는 은평구가 18회로 오존주의보의 발령이 가장 많았으며, 그 다음은 송파구, 구로구, 광진구, 도봉구 순으로 나타나고 있다.

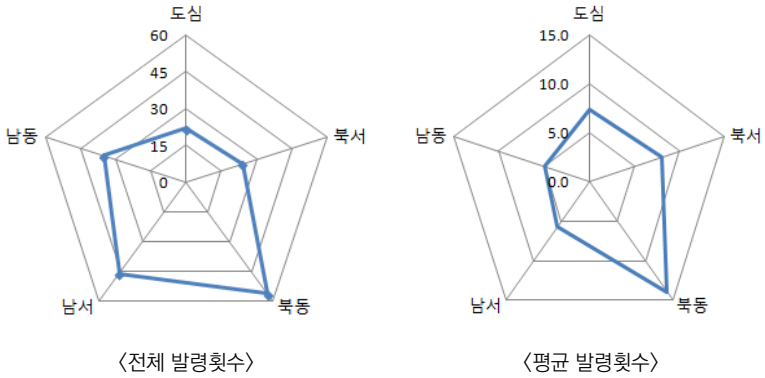


그림 2-7 서울시 5개 권역별 오존주의보 발령횟수(2000~2012)

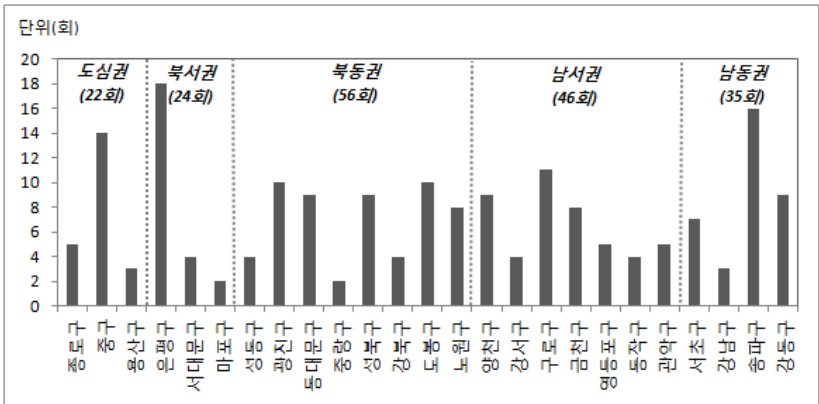
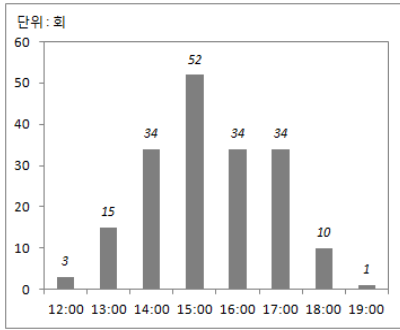
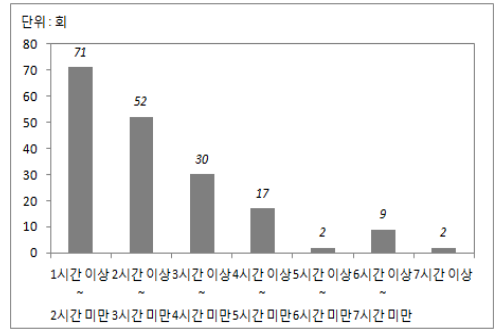


그림 2-8 서울시 자치구별 오존주의보 발령횟수(2000~2012)

오존 형성 메커니즘에 따라 고농도 오존은 15시에 가장 많이 발생하고, 지속시간은 평균 2시간이며 최고 7시간(2005년, 2010년)을 기록한 바 있다.



〈발생 시간〉



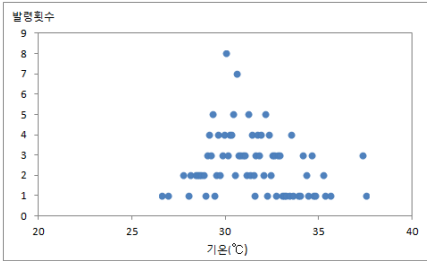
〈지속시간〉

그림 2-9 서울시 고농도 오존 발생시간 및 지속시간(2000~2012)

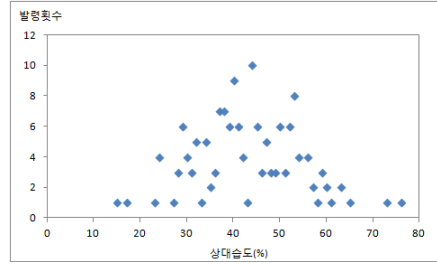
## 1 2 2 기상조건 변화와 오존주의보 발령

고농도 오존이 발생한 날의 기상 현황을 살펴보면 기온이 27℃ 이상일 때 0.12ppm 이상의 고농도 오존이 관측되었으며, 오존주의보의 68.1% 정도가 30~35℃에서 발령되어, 도시 기후환경 변화에 따른 고농도 오존의 발생 가능성이 우려되고 있다. 그리고 상대습도는 50% 이하일 때 고농도 오존이 발생하는 조건으로 확인되고 있다. 특히 풍속은 2.0% 미만일 때 오존주의보 발령 빈도가 전체 발령횟수의 67.2%를 차지하고 있어, 풍속이 다소 약하면 고농도 오존의 발생빈도가 높은 것을 알 수 있다. 그리고 풍향은 서남서풍, 남서풍의 계열에서 고농도 오존이 많이 발생하는 특성을 보이고 있다.

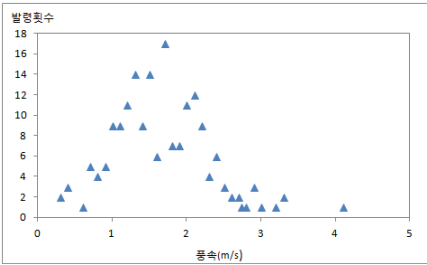
이와 같이 단기 노출에 따른 시민 건강 위해 가능성이 큰 고농도 오존은 도시 기후환경의 변화와 함께 기온에 비례하여 증가하고, 상대습도 및 풍속에 반비례하여 감소하는 일반적 경향이 나타나고 있다.



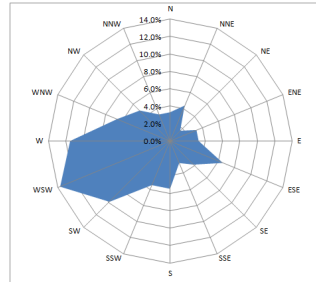
〈기온〉



〈습도〉



〈풍속〉



〈풍향〉

그림 2-10 서울시 고농도 오존 발생 시 기상현황(2000~2012)

### 13 고농도 오존 생성 기여도 평가

VOCs와 NO<sub>x</sub> 배출원에 의해 배출된 오염물질의 대기 중 VOC/NO<sub>2</sub> 농도 비율 조건에 따라 오존농도가 변화한다는 사실은 일반적으로 알려져 있다. VOCs 농도가 낮고 NO<sub>x</sub> 농도가 높은 조건에서 VOCs 농도가 감소하면 오존 농도가 감소하는 경향을 VOCs-limited 조건이라고 한다. 반대로 VOCs 농도가 높고 NO<sub>x</sub> 농도가 낮은 조건에서 NO<sub>x</sub> 농도가 감소할수록 오존 농도가 감소하는 조건을 NO<sub>x</sub>-limited 조건이라고 한다. 오존 등농도 곡선에 기반하여 VOCs/NO<sub>x</sub>비가 4 이하이면 VOCs 농도, 15 이상이면 NO<sub>x</sub> 농도를 저감시키는 것이 오존저감에 효과적인 접근법으로 평가되고 있다(정일록, 2001).

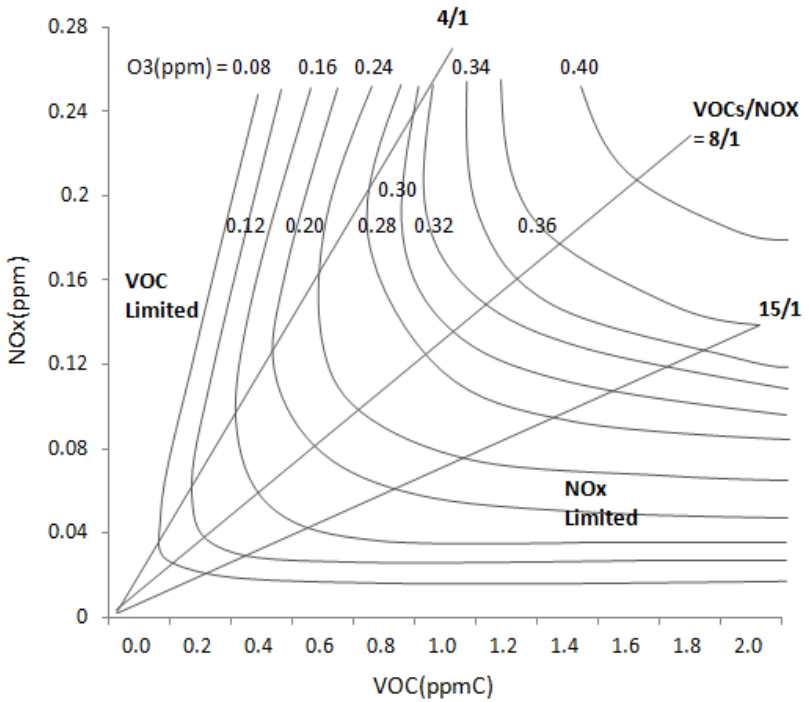


그림 2-11 NOx 대비 VOCs 비율에 따른 오존 등농도 곡선

자료 : 광진, “부산지역 휘발성유기화합물(VOCs)의 농도분포 특성연구-당감동, 덕천동, 광화학평가측정소를 대상으로-”, 부산광역시 보건환경연구원보 제14권

도시대기측정망 자료 가운데 NMHC/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 바탕으로 서울의 오존 생성 기여도를 분석하면 표 2-2와 같다.<sup>4</sup>

서울 전체 및 권역별 고농도 오존 발생 조건은 VOCs-limited 조건에 해당함을 알 수 있다. 다만, 권역별 농도 비율의 차이가 일부 나타나고 있어 향후 권역별 VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 고려한 오존 모니터링 및 대응정책 검토가 요구되고 있다.

4

광화학 반응 과정을 분석하기 위해 오전 시간대(6시~12시)의 NMHC, NO<sub>x</sub> 농도 비율 변화 적용



표 2-2 서울 전체 및 권역별 NMHC/NOx 농도비율

구분	평균	최대	최소
서울	5.8	15.5	1.9
도심 (용산, 종로)	7.2	10.6	2.5
북서 (마포, 서대문)	4.1	11.5	1.4
북동 (강북, 광진, 노원, 도봉, 동대문, 성동)	5.9	17.8	1.1
남서 (강서, 관악, 구로, 금천, 동작, 양천, 영등포)	6.1	14.7	1.6
남동 (강남, 서초, 강동, 송파)	5.6	23.0	1.9

주 : 중구, 은평구, 성북구, 중랑구 대기오염 자동측정소에서는 NMHC가 측정되지 않으므로, 권역별 NMHC/NOx 농도비 산정에 4개 자치구의 값은 제외함.

## 2 권역별 고농도 오존 오염 형성 및 이동경로 분석

### 2.1 선정 조건

권역별 고농도 오존 형성 및 이동특성을 파악하기 위해 2000~2012년 기간 오존주의보(0.12ppm) 발령일 가운데 기상 요인(기온, 풍속, 풍향) 및 오존 발생 원인물질(NOx, NMHC)의 농도 자료를 바탕으로 동일 시간대에 고농도 오존이 발생한 사례와 시간 간격에 따라 고농도 오존 에피소드(Episode)의 발생사례를 각각 선정하였다.

### 2.2 독립형 고농도 에피소드

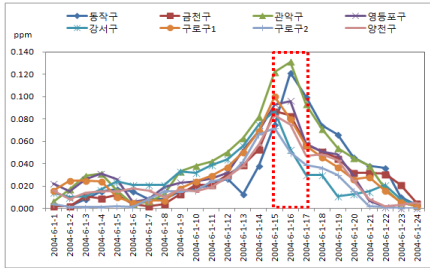
#### 2.2.1 Case 1 : 1개 자치구에 고농도 오존 발생

25개 자치구 가운데 1개의 자치구에만 오존주의보가 발령된 사례이다. 2004년 6월 1일 관악구에서 고농도 오존사례가 15시에 나타나 2시간 동안 지속되었으며, 2008년 8월 8일 15시에 구로구에서 고농도 오존이 발생해 3시간 정도 지속되었다.

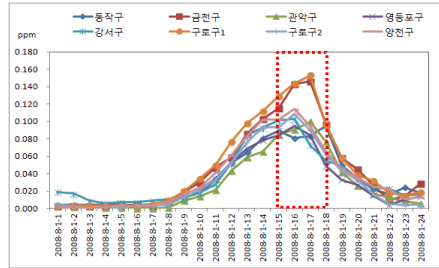
시간대별 오존 농도의 변이도는 다소 차이가 있으나 농도 변화 패턴은 인접 다른 자치구와 유사한 패턴을 보이고 있다. NMHC, NOx 농도 비

올이 다른 자치구와 비교해 상대적으로 낮은 반면, 기상 요인은 기온과 풍속이 다소 높으며, 주풍향은 서남서로 나타난다.

Case 1은 고농도 오존이 발생한 자치구의 평균 오존 농도가 인접 자치구에 비해 상대적으로 높게 형성됨에 따라 나타나는 비정형적인 발생 사례 유형으로 볼 수 있다.



<2004년 6월 15일>



<2008년 8월 8일>

그림 2-12 독립형 고농도 오존사례 1 : 단일 자치구

표 2-3 독립형 고농도 오존 사례 1 : 단일 자치구

구분	동작구	금천구	관악구	영등포구	강서구	구로구1	구로구2	양천구
2004년 6월 15:00								
O3(ppm)	0.075	0.087	0.122	0.093	0.087	0.1	0.072	0.083
NMHC(ppm)	0.27	0.72	0.23	0.36	0.34	0.54	0.5	0.16
NOx(ppm)	0.047	0.048	0.047	0.062	0.039	0.044	0.038	0.038
NMHC/NOx	4.1	6.6	2.7	4.0	2.6	7.6	7.4	1.4
Temp	26.3	27.4	28.1	29.0	27.3	27.5	27.2	27.7
WS	1.2	1.5	2.8	2.2	1.3	3.2	2.2	1.3
WD	W	SW	WSW	NW	SSE	E	SSE	SSW
2008년 8월 8일 15:00								
O3(ppm)	0.089	0.115	0.085	0.084	0.101	0.129	0.093	0.102
NMHC(ppm)	0.33	0.29	0.32	0.27	0.30	0.13	0.13	0.42
NOx(ppm)	0.023	0.022	0.034	0.016	0.033	0.019	0.023	0.017
NMHC/NOx	6.9	5.8	5.1	6.6	6.3	5.7	3.9	8.9
Temp	35.7	34.9	36	36.7	35.1	37.3	38.1	34.7
WS	1.5	1.2	1.2	1.1	1.1	1.5	1.3	1.4
WD	SSE	NE	ESE	SSE	N	WSW	NNW	NE

주 : 광화학 반응 과정을 분석하기 위해 오전 시간대(6시~12시)의 NMHC, NOx 농도 비율 변화를 적용함.

Case 2 : 단일권역(2개 자치구)에 고농도 오존 발생

서울시 5개 권역 가운데 1개 권역에만 오존주의보가 발령된 사례로, 2011년 6월 19일 15시 남서권역(강서구, 구로구)에서 고농도 오존이 발생하였다.

권역별 시간대별 평균 오존 농도는 남서권역에서 가장 높았으며, 다음으로 북서권역에서 높게 나타났다. 남서권역과 공간적으로 멀리 떨어진 남동, 북동권역이 상대적으로 다소 낮은 농도를 보이고 있지만, 남서권역과 인접한 도심권역은 가장 낮은 농도 수준을 보이고 있다.

기온은 권역별로 큰 차이가 없으나 30℃ 이상의 높은 기온이고, 풍속은 남서권역이 1.3%로 다른 권역과 비교해 다소 낮으며, 서풍, 서남풍이 많이 나타나고 있다. 남서권역의 고농도 오존형성 시간대의 NMHC/NOx 비율이 10.1 수준인 것에 비해 오전 시간대(6시~12시)의 NMHC/NOx 평균 농도 비율은 5.0으로 VOCs-limited 조건이 확대되어 나타난 고농도 오존 발생 사례로 판단된다.

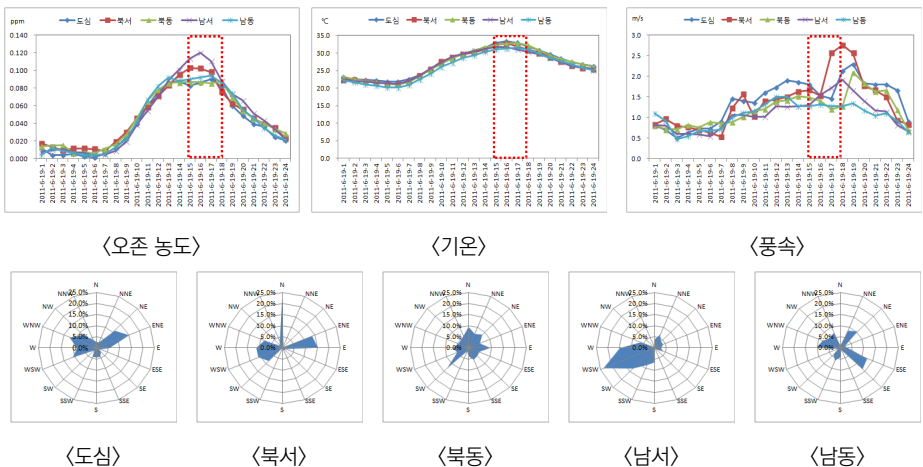


그림 2-13 독립형 고농도 오존사례 2 : 단일권역(2개 자치구)

Case 3 : 2개 권역에 고농도 오존 발생

2007년 9월 12일 17시 도심권역(중로구, 중구), 북동권역(성북구, 강북구, 노원구)에서 고농도 오존이 동시에 발생한 사례이다.

고농도 오존이 발생한 날의 권역별 시간대별 오존 농도는 도심, 북동, 북서권역 순서로 높게 나타나고 있다. 북서권역에서는 오존주의보가 발령된 0.12ppm 이상의 고농도는 아니지만 0.110ppm 수준의 고농도가 나타나 인접하고 있는 도심, 북동, 북서권역 등 강북에서 고농도가 형성되고 있다.

오전 시간대(6시~12시)의 NMHC/NOx 평균 농도 비율은 도심 5.3(고농도 시간대 7.4), 북동 6.2(고농도 시간대 8.8), 북서 5.9, 남서 5.8, 남동 5.0으로 VOCs-limited 조건에 해당한다. 다만 권역별 NMHC/NOx 비율은 큰 차이를 보이지 않고 있다.

Case 2와 유사하게 권역별 오존 농도 수준의 차이는 크지 않으나, 기온은 29℃ 이상으로 높고, 도심 및 북동권역 풍속은 1.4%로 다른 권역에 비해 다소 낮은 풍속을 보이고 있다.

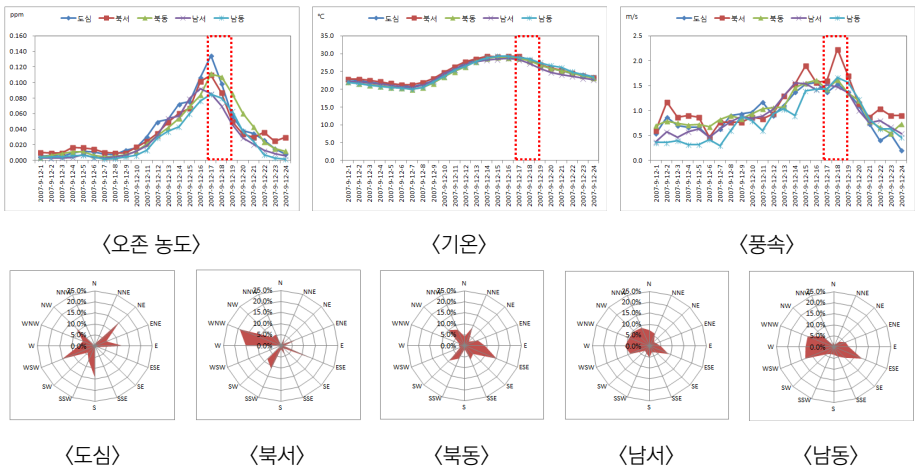


그림 2-14 독립형 고농도 오존사례 3 : 2개 권역

23 시차형 고농도 에피소드

231 Case 4 : 기상요인 영향

시간대 오존 생성 메커니즘과 기상조건이 함께 작용하여 시차적으로 고농도 오존 오염이 이동·확산된 사례이다. 2011년 6월 21일 15시에 북서권역의 은평구에서 고농도 오존이 발생하여 2시간 정도 지속된 후 북동권역의 노원구에서 17시, 1시간 후인 18시에 남동권역의 강동구에서 고농도 오존이 나타났다. 이와 같이 시차를 두고 발생한 고농도 오존 발생 사례는 권역별 해당 측정소의 측정 자료를 중심으로 분석하였다.

표 2-4 시차형 고농도 오존사례 4 : 기상조건 비교

구분	오존 (ppm)			기온(°C)			풍속(m/s)			풍향		
	은평구	노원구	강동구	은평구	노원구	강동구	은평구	노원구	강동구	은평구	노원구	강동구
2012-6-21-15	0.121	0.111	0.102	30.6	31.5	30.8	1.9	1.3	0.8	W	SE	ESE
2012-6-21-16	0.130	0.118	0.103	31.4	31.5	31.7	2.0	2.2	0.5	WNW	WSW	E
2012-6-21-17	0.107	0.122	0.109	31.0	31.3	32.1	2.2	2.0	0.3	WSW	NW	ENE
2012-6-21-18	0.087	0.122	0.120	30.1	31.6	32.1	2.0	1.2	0.3	WSW	NW	ESE

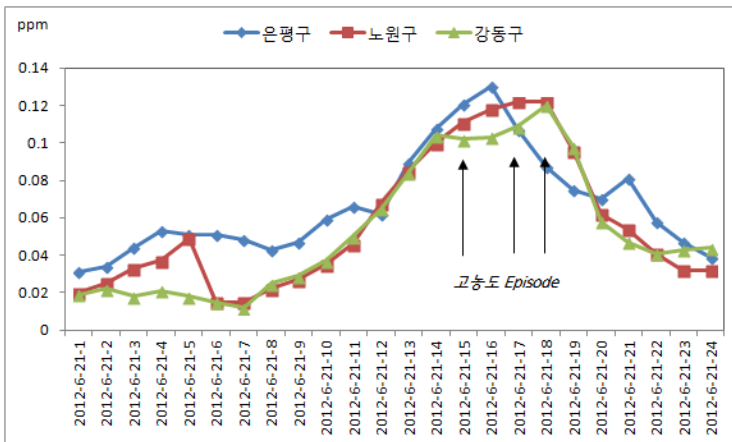


그림 2-15 시차형 고농도 오존사례 4 : 시간대별 오존 농도 분포 변화

고농도 오존 오염이 발생한 시각 이후의 풍향과 풍속을 중심으로 오염물질의 이동경로를 살펴보면, 은평구에서 주풍향이 서풍 계열로 오염물질은 바람을 따라 북동권역의 노원구로 이동되고, 노원구에서 북서풍을 따라 강동구로 이동된 것으로 판단된다.

이와 같은 시차형 고농도 오존은 시간 차이를 두고 바람의 이동 경로에 따라 발생하고 있으므로, 기상요인 가운데 특히 풍향과 관련성이 큰 것으로 분석된다.

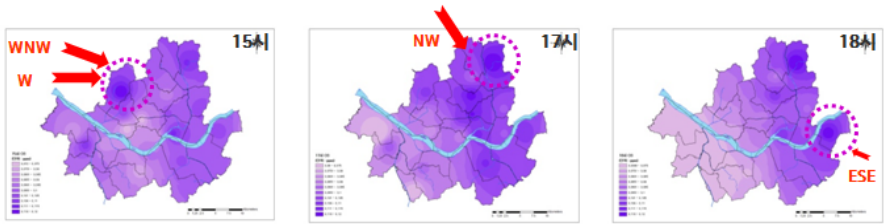


그림 2-16 시차형 고농도 오존사례 4 : 기상요인 영향

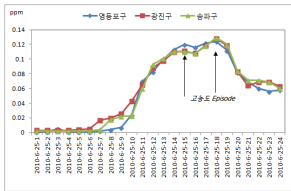
232 Case 5 : 내부 오염물질의 배출영향

2010년 6월 25일 15시에 영등포구에서 고농도 오존이 발생한 후 18시에 광진구, 송파구 2개 자치구에서 동시에 발생한 사례이다. 시간대별 오존 농도가 3개 자치구에서 큰 시차 없이 유사한 패턴을 보이고 있다. 3개 자치구의 고농도 오존 형성 시간대의 NMHC/NO<sub>x</sub> 비율이 10.8~20.5 수준인 것에 비해, 오전 6~12시의 NMHC/NO<sub>x</sub>의 평균 농도 비율은 남서 4.7, 북동 7.0, 남동 6.0 수준으로 앞서 살펴본 Case 2 및 Case 3과 같이 VOCs-limited 조건에 해당한다. 다만 농도 비율은 큰 차이가 나타나지 않고 있다.

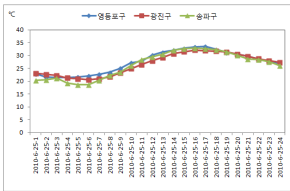
이와 같이 Case 5의 경우에는 바람의 이동 경로보다 내부 오염물질의 배출영향 및 고온과 낮은 풍속 등 기상요인의 복합 영향에 의해 고농도 오존이 발생한 것으로 판단된다.

표 2-5 시차형 고농도 오존사례 5 : 기상조건 비교

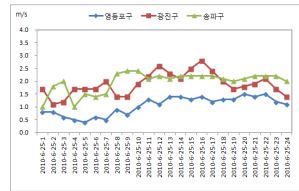
구분	오존 (ppm)			기온(°C)			풍속(m/s)			풍향		
	영등포구	광진구	송파구	영등포구	광진구	송파구	영등포구	광진구	송파구	영등포구	광진구	송파구
2012-6-25-15	0.120	0.111	0.11	32.8	31.5	32.6	1.8	2.5	2.2	N	ENE	ENE
2012-6-25-16	0.116	0.108	0.108	33.4	32.1	32.8	1.7	2.8	2.2	ESE	E	ESE
2012-6-25-17	0.122	0.119	0.118	33.5	31.9	32.6	1.3	2.4	2.2	ENE	E	ESE
2012-6-25-18	0.124	0.128	0.129	32.4	31.7	32.3	1.0	2.0	2.1	ESE	E	SE



<오존 농도>



<기온>



<풍속>

그림 2-17 시차형 고농도 오존사례 5 : 시간대별 오존농도 및 기상조건 비교

## 2.4 종합정리

서울의 고농도 오존의 발생 유형은 고농도 오존 에피소드 사례를 통해 동일한 시간대에 고농도가 발생한 독립형과 시간 간격을 두고 여러 지역에 고농도가 발생한 시차형으로 분류할 수 있다.

독립형 고농도 오존 사례는 평균 오존 농도가 인접 자치구에 비하여 오존 농도가 상대적으로 높게 형성되어 비정형적으로 발생하는 사례 (Case 1), 고온 및 낮은 풍속에서 VOC-limited 조건이 확대되어 고농도 오존이 발생하는 사례(Case 2, Case 3)로 분류할 수 있다. 그리고 시차형 고농도 오존 사례는 바람의 이동 경로에 따라 고농도 오존 발생 지역이 이동하는 사례(Case 4)와 내부 VOC/NO<sub>x</sub> 오염물질의 배출 및 기상요인의 복합 영향사례(Case 5)로 나눌 수 있다.

서울시 고농도 오존형성 사례의 유형구분은 향후 고농도 에피소드 발생

가능성 추정과 대응 방안 마련에 시사점을 줄 것으로 기대된다.

표 2-6 서울시 권역별 고농도 오존 오염 형성 및 이동경로

고농도 오존	발생유형	비고	농도 비율 (NMHC/NOX)	기상조건		
				기온 (°C)	풍속 (m/s)	풍향
독립형	Case1 1개 권역 (1개 자치구)	2004년 6월 1일 (남서 관악)	2.7	28.1	2.8	WSW
		2008년 8월 8일 (남서 구로)	4.3	37.3	1.5	WSW
	Case2 단일 권역 (2개 이상 자치구)	2011년 6월 19일 (남서 강서, 구로)	7.2	31.7	1.3	S, WSW
시차형	Case3 2개 권역 이상	2007년 9월 12일 (도심, 북동)	4.3, 6.3	28.7~29.1	1.4	NW, WSW, NNE, SW
		Case4 바람의 이동 경로	2012년 6월 21일 (북서, 북동, 남동)	5.7~8.7	31.3~32.1	0.3~2.0
	Case5 내부 오염물질 배출 및 기상조건 복합영향	2010년 6월 25일 (남서, 북동, 남동)	3.0~9.6	31.7~32.8	1.3~2.5	N, E, SE



### III 오존 기여 원인물질 배출원 관리방안

- 1 오존과 건강영향
- 2 자료수집 및 분석방법
- 3 오존 오염 기여 발생원 분포 및 배출량 변화
- 4 오존 발생조건 기반 배출원 관리 방안

### III 오존 기여 원인물질 배출원 관리방안

#### 1 오존과 건강영향

지표면 오존 오염은 일반적으로 만성 호흡질환, 천식 악화, 폐활량 감소, 폐렴, 생체 면역 능력의 감소와 같은 건강피해를 줄 수 있음이 보고되고 있다. 또한 기관지를 통해 인체 내부로 유입되어 기관지의 세포 및 조직에 영향을 미치며 기관지 질환과 폐기능 악화를 초래하는 요인으로 작용하게 된다(Tilton, 1989).

오존이 인체에 미치는 건강영향은 호흡기계, 급성 호흡기계 질환, 신경계, 감각기관 등 4가지로 구분할 수 있다.

표 3-1 오존이 인체에 미치는 건강영향

호흡기계	고농도의 오존에 노출된 경우 노력성 폐활량, 일초율 등임, 만성호흡기 질환 환자의 증상을 유발 또는 악화시키며, 특히 천식이 가장 문제됨
급성 호흡기계 질환	오존의 최고농도와 급성 인후염, 기관지염, 상기도 감염 등은 상관관계를 보임
신경계	오존은 중추신경계에 영향을 미쳐 두통과 의식 불분명 등의 신경계통 증상이 나타날 수 있음
감각기관	눈이나 코 등에 자극증상 및 시력저하를 일으킴

자료 : 국립환경과학원(2011)

오존 기여 NO<sub>x</sub>/VOCs 오염물질 배출량 및 도시 기후환경의 변화와 밀접한 관련성을 가진 오존은 인체로 흡입될 경우 흉부통증, 기침, 목부위 자극, 울혈(congestion)을 포함한 다양한 반응을 일으키며, 기관지염, 폐기종(emphysema), 천식을 악화시키게 된다. 특히 대기 중의 오존에 노출되면 폐기능이 축소되며, 폐 내벽(lining)의 염증을 유발한다. 또한 오존에 반복 노출될 경우 폐조직이 영구적으로 손상될 수 있는 위험성이 확인되고 있다(국립환경과학원, 2011).

표 3-2 오존농도의 수준 및 노출시간별 인체에 미치는 영향

농도(ppm)	노출시간	인체 및 실험동물에 미치는 영향
0.02	5분	냄새 감지
0.03~0.3	1시간	달리기 선수의 기록저하
0.05~0.1	30분	불안감을 느낌
0.05~0.2	-	코 및 인후의 자극
0.05~0.6	1시간	천식 환자의 발작빈도 증가
0.08	3시간	동물(쥐)의 세균감염, 감수성 증가
0.1	30분	두통, 눈에 자극
	1시간	시각장애, 폐포 내의 산소 확산력 저하
	2시간	폐동맥 산소 분압 증가
	24시간	눈자극 증상 증가
0.1~0.25	30분	호흡수의 증가
0.2	1시간	동물(쥐)의 적혈구 변형
	6시간	동물(쥐)의 자율운동 감소
0.2~0.8	-	눈에 자극
0.3	-	호흡기 자극, 가슴압박
	5분	호흡량의 증가
0.34	2시간	동물의 호흡량 증가
0.35	3~6시간	시력감소
0.37~0.75	2시간	호흡량 현저히 감소
0.4	2~4시간	기도저항 증가, 호흡량 감소
0.5	2시간	폐기능 저하
	6시간	기도저항의 증가와 폐기능 현저한 감소
	2~6시간	동물(쥐)의 폐세포 팽창
0.6~0.8	2시간	기관지 자극, 폐기능 저하, 폐확산력 감소
0.8~1.5	-	폐출혈
0.9	5분	기도저항의 심각한 감소
1.0	6시간	동물(쥐)의 사망률 증가
1.5~2.0	2시간	심한 피로, 가슴통증, 기침
9.0	-	급성 폐부종

자료 : 환경부, 오존 오염의 현황과 대응방안, 2001.

오존 농도의 서울 시민 건강 상대위험도(Relative Risk; RR)와 관련하여 오존 농도가 10ppb 증가할 경우 시민의 호흡기계 질환의 상대위험도는 1.9% 정도 증가하며, 특히 65세 이상에서는 2.0% 증가하여, 노약자의 건강영향이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 오존 농도 증가에 따른 의료 비용 역시 환경성 호흡계통 질환은 2.9%, 피부 및 피하조직 질환은 0.08%씩 증가하는 것으로 추정된다. 그리고 오존 노출로 인한 전체 인구 대상 호흡계통 질환 조기 사망자수는 오존 농도 수준에 따라 증감하는 경향이 차별적으로 나타나고 있으나, 2011년 호흡계통 질환의 서울 지역 조기 사망부담은 인구 10만명당 2.10명으로 분석된 바 있다(김운수, 2013).

## 2 자료수집 및 분석방법

국가 대기오염물질 배출량 기본통계는 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System; CAPSS)에 구축되어 있는 인벤토리를 활용하여 확인한다. CAPSS 시스템에는 1999년부터 7개의 대기오염물질(CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, TSP, PM<sub>10</sub>, VOC, NH<sub>3</sub>) 항목을 대상으로 통계자료가 작성·공개되어 있다.

이 연구에서는 고농도 오존 발생 원인물질인 NO<sub>x</sub> 및 VOC 배출량을 CAPSS 인벤토리 기반으로 분석한다. 이를 위해 고농도 오존 발생 사례 분석과 동일하게 2000~2010년 기간 CAPSS 시스템의 대분류별 배출량 변화를 파악한다. 연후에 서울시 5개 권역별·자치구별 NO<sub>x</sub>, VOC의 배출총량 대비 배출원별 기여도를 진단한다. 다만, 고농도 오존의 단기노출 영향을 저감하기 위한 NO<sub>x</sub>/VOCs 농도비율은 권역별 대기오염 자동측정망 측정 자료를 수집해 분석하며, 연후에 권역별 배출량 관리방안을 도출한다.

## 오존 오염 기여 발생원 분포 및 배출량 변화

### 3.1 배출원별 배출량 변화

#### 3.1.1 질소산화물 배출량 변화(2000~2010)

환경부의 대기정책지원시스템(CAPSS)에 구축되어 있는 서울시 배출원별 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출통계는 이동오염원 외에 비산업연소가 주요 배출원으로 확인되고 있으며, 배출량 수준은 2006년까지 증감을 반복하다가 2007년 이후 감소하고 있다. 2010년 71,089톤의 NO<sub>x</sub> 배출량 가운데 도로이동오염원 배출량은 39,431톤(55.5%)으로 2009년 37,957톤(56.7%)보다 1,474톤이 감소한 것으로 나타났다. 이는 자동차 등록대수의 증가에도 불구하고 총 주행거리 감소 및 저공해 사업의 추진효과 등의 영향으로 도로이동오염원 부문 배출량이 감소했기 때문으로 추정된다.

표 3-3 서울시 배출원별 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출량 변화(2000~2010)

(단위 : 톤, %)

구분	2000	2002	2004	2006	2008	2010
기타 면오염원	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	24 (0.0)	37 (0.1)
도로이동오염원	54,315 (56.2)	64,190 (58.2)	65,625 (63.4)	56,040 (63.8)	43,491 (60.8)	39,431 (55.5)
비도로이동오염원	14,907 (15.4)	22,713 (20.6)	14,941 (14.4)	9,161 (10.4)	6,915 (9.7)	9,442 (13.3)
비산업 연소	23,384 (24.2)	20,638 (18.7)	20,037 (19.4)	20,295 (23.1)	18,427 (25.8)	20,924 (29.4)
에너지 산업 연소	2,276 (2.4)	884 (0.8)	1,012 (1.0)	399 (0.5)	507 (0.7)	640 (0.9)
제조업 연소	1,017 (1.1)	1,110 (1.0)	712 (0.7)	991 (1.1)	814 (1.1)	262 (0.4)
폐기물 처리	693 (0.7)	817 (0.7)	1,222 (1.2)	1,007 (1.1)	1,315 (1.8)	352 (0.5)
합계	96,591 (100.0)	110,354 (100.0)	103,549 (100.0)	87,893 (100.0)	71,493 (100.0)	71,089 (100.0)

### 휘발성유기화합물 배출량 변화(2000~2010)

서울의 휘발성유기화합물(VOC) 배출량은 2006년까지 감소 추세였으나, 2007년 배출량 산정 시 유기용제 사용부문 배출계수 개선 및 기타 배출목록 추가 등으로 인하여 2006년 대비 34.2% 증가하였다.

유기용제 사용부문은 2010년 VOC 총 배출량의 72.5% 수준으로 가장 큰 배출원이며, 도로이동오염원이 19.2%로 두 번째로 큰 배출원으로 나타났다. 특히 도로이동오염원은 자동차 주행거리 감소 및 자동차 배출개선 등의 영향으로 지속적으로 줄어들고 있으며, 2009년 대비 14.1% 감소한 것으로 분석되었다. 다만 유기용제 사용에 따른 VOC 배출수준은 총량비중과 배출증가 비율에서 향후 주된 관리대상으로 확인되고 있음이 특징이다.

표 3-4 서울시 배출원별 휘발성유기화합물(VOCs) 배출량 변화(2000~2010)

(단위 : 톤, %)

구분	2000	2002	2004	2006	2008	2010
기타 먼오염원	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	83 (0.1)	65 (0.1)
도로이동오염원	28,560 (33.5)	26,486 (29.3)	24,226 (31.2)	22,879 (33.6)	20,608 (25.5)	14,650 (19.2)
비도로이동오염원	1,715 (2.0)	2,733 (3.0)	1,769 (2.3)	1,072 (1.6)	721 (0.9)	995 (1.3)
비산업연소	827 (1.0)	835 (0.9)	843 (1.1)	897 (1.3)	831 (1.0)	810 (1.1)
에너지산업	99 (0.1)	99 (0.1)	79 (0.1)	65 (0.1)	86 (0.1)	100 (0.1)
제조업 연소	36 (0.0)	50 (0.1)	33 (0.0)	46 (0.1)	39 (0.0)	10 (0.0)
에너지 수송 및 저장	3,995 (4.7)	3,841 (4.3)	3,344 (4.3)	3,347 (4.9)	3,743 (4.6)	3,905 (5.1)
유기용제 사용	49,311 (57.8)	55,350 (61.3)	45,234 (58.2)	39,261 (57.6)	54,492 (67.4)	55,278 (72.5)
폐기물 처리	834 (1.0)	919 (1.0)	2,167 (2.8)	575 (0.8)	254 (0.3)	420 (0.6)
합계	85,375 (100.0)	90,313 (100.0)	77,695 (100.0)	68,142 (100.0)	80,855 (100.0)	76,234 (100.0)

## 배출 기여도

### 3.2.1

#### 지역별 기여도

##### 1) 권역 기준

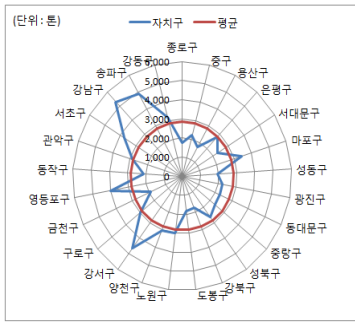
2010년 질소산화물의 권역별 배출비중을 살펴보면, 남서권역의 배출비중은 서울시 전체의 30.4% 정도로 가장 높았으며, 다음이 북동권역(25.5%), 남동권역(24.2%), 북서권역(12.0%), 도심권역(8.0%) 순서로 나타났다. 휘발성유기화합물 역시 남서권역의 배출비중이 약 32.0%(약 24,425톤)로 가장 높았으며, 전체적으로 남서권역이 다른 4개 권역에 비해 오존 발생의 원인물질인 질소산화물과 휘발성유기화합물의 배출 기여가 높은 것으로 확인되고 있다.

표 3-5 서울시 권역별 질소산화물 및 휘발성유기화합물 배출량(2010년 기준)

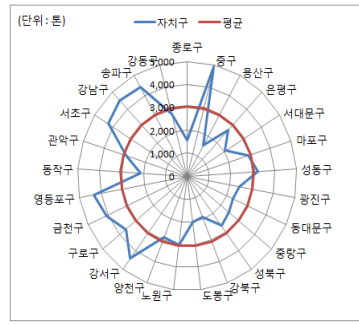
구분	질소산화물		휘발성유기화합물	
	배출량(톤)	배출비중(%)	배출량(톤)	배출비중(%)
도심	5,680	8.0%	8,011	10.5%
북서	8,509	12.0%	7,751	10.2%
북동	18,083	25.5%	20,061	26.3%
남서	21,609	30.4%	24,425	32.0%
남동	17,171	24.2%	15,987	21.0%
합계	71,052	100.0%	76,234	100.0%

##### 2) 자치구 기준

2010년 질소산화물의 자치구별 배출비중을 살펴보면, 강남구의 배출비중은 서울시 전체의 7.5% 정도(5,325톤)로 가장 높았으며, 송파구, 강서구의 배출비중이 각각 6.9%, 6.6%로 다른 자치구에 비해 상대적으로 높은 수준임을 알 수 있다. 또한 휘발성유기화합물은 중구의 배출비중이 6.4% 수준으로 가장 높은 것으로 나타나고 있다.



〈질소산화물〉



〈휘발성유기화합물〉

그림 3-1 서울시 자치구별 질소산화물 및 휘발성유기화합물 배출량 분포(2010년 기준)

### 3 2 2 배출원별 기여도

#### 1) 권역 기준

권역별 배출원별 NO<sub>x</sub>/VOC 오염물질 배출 기여도를 살펴보면, 질소산화물은 도심권역을 제외한 4개 권역에서 화물차의 배출 기여도가 가장 큰 반면, 도심권역에서는 상업·공공기관 난방의 배출 기여도가 가장 큰 것으로 나타났다. 휘발성유기화합물은 북서, 북동, 남서, 남동권역에서 가정·상업부문의 유기용제 사용이 가장 큰 비중을 차지하는 반면, 도심권역에서는 인쇄업이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.

표 3-6 서울시 권역별·배출원별 질소산화물, 휘발성유기화합물 배출비중

구분	질소산화물(NO <sub>x</sub> )			휘발성유기화합물(VOCs)		
	1순위	2순위	3순위	1순위	2순위	3순위
도심	상업·공공기관 난방 (26.3%)	화물차 (21.9%)	건설장비 (9.4%)	인쇄업 (49.0%)	가정·상업 유기용제 (18.1%)	건축·건물 도장 (5.9%)
북서	화물차 (27.7%)	가정 난방 (18.3%)	건설장비 (17.8%)	가정·상업 유기용제 (41.0%)	건축·건물 도장 (16.9%)	세탁 (7.2%)
북동	화물차 (30.9%)	가정 난방 (22.5%)	승용차 (9.0%)	가정·상업 유기용제 (43.3%)	세탁 (7.5%)	승용차 (7.1%)



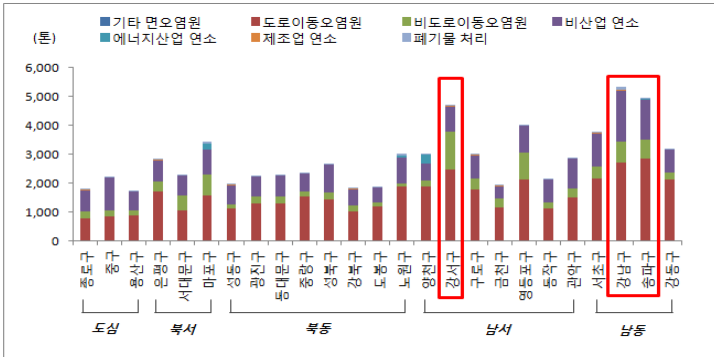
표 계속 서울시 권역별·배출원별 질소산화물, 휘발성유기화합물 배출비중

구분	질소산화물(NOx)			휘발성유기화합물(VOCs)		
	1순위	2순위	3순위	1순위	2순위	3순위
남서	화물차 (30.1%)	가정 난방 (15.8%)	건설장비 (12.6%)	가정·상업 유기용제 (33.3%)	건축·건물 도장 (14.2%)	코일 코팅 (11.5%)
남동	화물차 (29.6%)	상업·공공기관 난방 (15.1%)	가정 난방 (13.8%)	가정·상업 유기용제 (36.0%)	건축·건물 도장 (16.5%)	승용차 (8.0%)

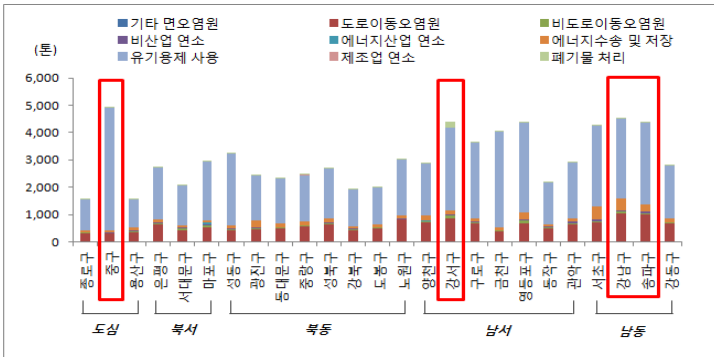
2) 자치구 기준

도로이동오염원의 질소산화물 배출비중은 송파구가 서울시 전체의 약 4.0%(2,856톤)로 가장 높았으며, 강남구가 3.8% 수준으로 두 번째로 높은 것으로 분석되었다.

휘발성유기화합물은 중구의 유기용제 사용부문의 배출비중이 서울시 전체의 5.9%(4,485톤)를 차지하며, 인쇄업에서 사용하는 유기용제에 의한 배출비중이 가장 높은 것으로 나타났다.



〈질소산화물〉



〈휘발성유기화합물〉

그림 3-2 서울시 자치구별·배출원별 질소산화물 및 휘발성유기화합물 배출량(2010)

자치구별·배출원별 질소산화물, 휘발성유기화합물의 배출 기여도 순위와 배출비중을 정리한 결과는 표 3-7과 같다.

질소산화물은 1순위로는 화물차의 배출 기여도가 가장 크며 2순위, 3순위로는 가정 또는 상업·공공기관 난방부문의 배출 기여도가 가장 큰 것으로 확인되고 있다. 한편 종로구와 중구는 다른 자치구와 달리 질소산화물 배출량 비교에서 상업·공공기관의 난방부문의 배출비중이 가장 큰 것으로 나타났다.

성동구, 성북구, 송파구의 질소산화물 배출 기여도는 ‘화물차-가정 난방-상업·공공기관 난방’ 순서로 동일하다. 그러나 성북구, 성동구의 가정

난방 부분의 배출비중은 20% 이상, 송파구의 가정 난방부분의 배출비중은 13% 수준으로 그 비중에 상당한 차이가 있음을 알 수 있다.

한편 휘발성유기화합물의 자치구별 배출원 기여도를 살펴보면, 가정·상업의 유기용제 사용비중이 40% 이상으로 가장 높았으며, 그다음은 건축·건물 도장, 코일 코팅, 세탁시설(드라이크리닝), 승용차, 이륜차의 순으로 나타나고 있다. 특히 중구는 인쇄업의 배출비중이 74.6%에 달하고 있어 휘발성유기화합물 배출원의 특화 관리가 필요함을 시사하고 있다. 이와 같이 권역별, 자치구별, 배출원별 오존 발생 원인물질인 질소산화물, 휘발성유기화합물의 배출 기여 순위가 다소 차이를 보이며, 동일한 기여도 순위라고 하더라도 배출비중에는 상당한 차이가 있음이 명확하게 확인되고 있다. 이를 통해 향후 서울시 권역별 NO<sub>x</sub>/VOC 오염물질 배출 특성을 반영한 맞춤형 배출원 관리 전략이 필요함을 알 수 있다. 즉 서울시 오존오염의 평균농도 저감뿐만 아니라 고농도 단기 오존노출의 건강영향을 저감하기 위한 고농도 오존 예·경보제 운영의 대응 지침에서도 NO<sub>x</sub>/VOCs 배출원 관리 정보로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

표 3-7 서울시 자치구별 배출원별 질소산화물, 휘발성유기화합물 배출비중(2010)

구분	질소산화물(NO <sub>x</sub> )			휘발성유기화합물(VOCs)		
	1순위	2순위	3순위	1순위	2순위	3순위
강남구	화물차 (21.7)	상업 및 공공기관 난방(20.1)	건설장비 (14.0)	가정·상업 유기용제(33.3)	건축·건물 도장 (14.3)	승용차 (10.0)
강동구	화물차 (39.7)	가정 난방 (17.9)	건설장비 (7.9)	가정·상업 유기용제(46.7)	세탁시설 (8.4)	건축·건물 도장 (7.8)
강북구	화물차 (29.2)	가정 난방 (25.3)	건설장비 (11.3)	가정·상업 유기용제(47.8)	건축·건물 도장 (9.1)	세탁시설 (9.0)
강서구	화물차 (27.8)	항공 (16.7)	건설장비 (11.4)	가정·상업 유기용제(34.4)	건축·건물 도장 (19.4)	승용차 (6.8)
관악구	화물차 (26.0)	가정 난방 (25.7)	건설장비 (11.2)	가정·상업 유기용제(47.8)	건축·건물 도장 (9.4)	세탁시설 (8.7)
광진구	화물차 (31.9)	가정 난방 (21.3)	상업 및 공공기관 난방(10.3)	가정·상업 유기용제(41.0)	에너지 수송·저장(10.8)	세탁시설(8.7)

표 계속 서울시 자치구별 배출원별 질소산화물, 휘발성유기화합물 배출비중(2010년)

구분	질소산화물(NOx)			휘발성유기화합물(VOCs)		
	1순위	2순위	3순위	1순위	2순위	3순위
구로구	화물차 (31.4)	가정 난방 (16.4)	상업 및 공공기관 난방(10.6)	가정·상업 유기용제(30.7)	코일코팅 (20.7)	승용차 (6.8)
금천구	화물차 (37.5)	가정 난방 (15.7)	건설장비 (13.9)	코일 코팅 (29.5)	건축·건물 도장 (18.9)	가정·상업 유기용제(16.0)
노원구	화물차 (29.0)	가정 난방 (21.3)	승용차 (10.7)	가정·상업 유기용제(53.2)	승용차 (9.3)	이륜차 (8.3)
도봉구	화물차 (31.3)	가정 난방 (21.7)	승용차 (10.3)	가정·상업 유기용제(48.5)	승용차 (8.4)	이륜차 (7.5)
동대문구	화물차 (32.5)	가정 난방 (21.8)	상업 및 공공기관 난방(10.3)	가정·상업 유기용제(41.8)	세탁시설 (8.8)	건축·건물 도장 (7.7)
동작구	화물차 (25.3)	가정 난방 (26.3)	상업 및 공공기관 난방(10.0)	가정·상업 유기용제(49.4)	건축·건물 도장 (8.3)	세탁시설 (8.3)
마포구	화물차 (26.0)	건설장비 (21.4)	가정 난방 (16.1)	가정·상업 유기용제(35.1)	건축·건물 도장 (21.5)	세탁시설 (6.6)
서대문구	화물차 (23.4)	건설장비 (19.1)	가정 난방 (18.8)	가정·상업 유기용제(41.4)	건축·건물 도장 (18.1)	세탁시설 (7.5)
서초구	화물차 (29.4)	상업 및 공공기관 난방(18.7)	가정 난방 (11.8)	건축·건물 도장 (28.7)	가정·상업 유기용제(26.9)	에너지수송·저장 (11.6)
성동구	화물차 (31.1)	가정 난방 (21.0)	상업 및 공공기관 난방(12.0)	가정·상업 유기용제(25.1)	코일 코팅 (14.2)	승용차 (4.8)
성북구	화물차 (25.8)	가정 난방 (26.6)	상업 및 공공기관 난방(9.6)	가정·상업 유기용제(48.3)	승용차 (8.0)	세탁시설(7.9)
송파구	화물차 (31.9)	가정 난방 (13.5)	상업 및 공공기관 난방(12.2)	가정·상업 유기용제(41.0)	건축·건물 도장 (12.3)	승용차 (7.8)
양천구	화물차 (32.2)	가정 난방 (11.7)	승용차 (9.3)	가정·상업 유기용제(46.1)	승용차 (8.6)	이륜차 (7.2)
영등포구	화물차 (32.2)	건설장비 (21.6)	상업 및 공공기관 난방(12.0)	가정·상업 유기용제(24.7)	건축·건물 도장 (19.9)	코일 코팅 (13.1)
용산구	화물차 (24.6)	가정 난방 (20.5)	상업 및 공공기관 난방(18.4)	가정·상업 유기용제(41.8)	승용차 (9.0)	세탁시설 (8.3)
은평구	화물차 (33.1)	상업 및 공공기관 난방(20.7)	건설장비 (12.2)	가정·상업 유기용제(47.1)	건축·건물 도장 (11.0)	세탁시설 (7.8)
종로구	상업 및 공공기관 난방(25.3)	화물차 (21.3)	가정 난방 (15.2)	가정·상업 유기용제(28.9)	건축·건물 도장 (13.4)	인쇄업 (13.3)
중구	상업 및 공공기관 난방(33.2)	화물차 (20.3)	가정 난방 (17.9)	인쇄업 (74.6)	가정·상업 유기용제(7.1)	승용차 (2.4)
종량구	화물차 (37.5)	가정 난방 (21.3)	승용차 (8.5)	가정·상업 유기용제(45.9)	세탁시설 (8.6)	승용차 (7.0)

주 : ()안의 수치는 자치구별 NOx, VOCs 배출 총량 100% 가운데 배출원이 차지하는 비중을 나타냄.

## 오존 발생조건 기반 배출원 관리 방안

2000~2010년 기간 서울시 5개 권역별 휘발성유기화합물, 질소산화물의 평균 배출량 비율(VOCs/NO<sub>x</sub>)은 도심, 남서권역은 각각 1.05, 1.01 수준으로 휘발성유기화합물이 질소산화물보다 배출량이 다소 큰 반면 북서, 북동, 남동권역은 질소산화물이 휘발성유기화합물보다 배출량이 많은 것을 알 수 있다.

VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율은 고농도 오존이 발생하지 않은 날에는 3.9~4.8 수준이었으나, 고농도 오존이 발생한 날에는 4.1~7.2로 그 비율이 증대 되는 것으로 분석되고 있다.

서울의 오존 생성은 VOC-limited 조건에 해당하여, 고농도 오존 대응을 위해 권역별 VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 고려한 오존 대응 정책이 요구되고 있다. 즉 권역별 배출원별 오존 발생 원인물질 배출 기여도를 고려한 배출원 관리가 필요하다.

VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율 조정을 위해 전체적으로 유기용제 사용의 감축이 우선되어야 한다. 특히 도심권역에서는 인쇄업, 북서·남서·남동권역에서는 건축·건물의 도장, 북동권역에서는 세탁시설의 VOCs 배출량 감축이 일차적으로 고려되어야 한다. 이와 함께 가정·상업의 유기용제 사용을 관리하기 위해 친환경 유기용제 사용 및 보관 등에 관한 시민·사업자 대상의 교육 및 홍보 강화 등의 관리방안이 검토되어야 한다.

표 3-8 서울시 권역별 오존 오염 발생 조건(2000~2010)

구분	VOCs/NO <sub>x</sub> 배출량 비율	VOCs/NO <sub>x</sub> 농도 비율 <sup>1)</sup>	
		연평균	고농도 오존 발생 시
도심	1.05	4.2	7.2
북서	0.75	4.8	4.1
북동	0.85	4.1	5.9
남서	1.01	4.1	6.1
남동	0.85	3.9	5.6

주 : VOCs, NO<sub>x</sub> 농도는 광화학 반응 과정을 분석하기 위해 오전 시간대(6시~12시)의 NMHC, NO<sub>x</sub> 농도 비율 변화를 적용하였음.

## IV 해외 오존 오염 대응 사례분석

- 1 고농도 오존 오염 대응 사례
- 2 시사점 도출

# IV 해외 오존 오염 대응 사례분석

## 1 고농도 오존 오염 대응 사례

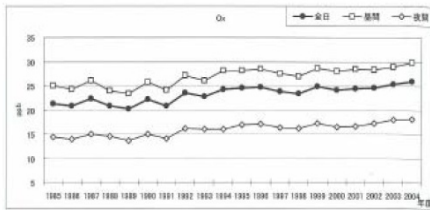
### 1.1 국가 오존 대응 사례

#### 1.1.1 일본

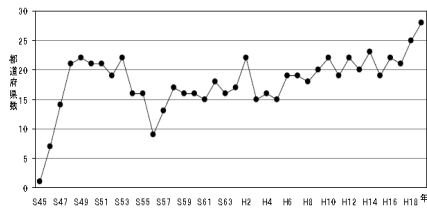
##### 1) 현황

일본에서는 대기오염방지법을 바탕으로 도·도·부·현의 지역 단위로 광화학 옥시던트(Oxidant)의 상시 감시가 이루어지고 있으며, 환경성 및 기상청도 일본의 원격 지역 대상으로 오존 측정을 실시하고 있다.<sup>5)</sup>

광화학 옥시던트 농도는 증가 추세에 있고, 전국의 연평균값은 1985~2004년 동안 약 5ppb 상승하였다. 그리고 광화학 옥시던트의 환경기준 달성 현황은 매우 낮은 수준이며, 특히 주의보 발령 지역은 점차 광역화하고 있다.



〈광화학 옥시던트 농도의 경년변화〉



〈광화학 옥시던트 주의보 발령 도도부현수 추이〉

#### 그림 4-1 일본의 광화학 옥시던트 농도 및 주의보 발령 현황

자료 : 光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会,  
「光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書」, 2007

5) 광화학 옥시던트의 측정은 2006년 말 일반환경 대기환경 측정국 1,145국, 자동차배출가스 측정국 27국에서 실시하고 있으며, 환경성(국설 산성우 측정소) 9개 지점, 기상청 3개 지점 및 국립환경 연구소 2개 지점에서 실시하고 있음.

광화학 옥시던트의 생성량은 NO<sub>x</sub> 및 NMHC 농도의 상호 복잡한 반응에 따라 NO<sub>x</sub>-limited 영역, NMHC-limited 영역이 존재하는 것으로 확인되고 있다. 관동지역에서 NO<sub>x</sub>와 NMHC 발생원의 강도 변화와 오존 최고 농도 또는 일최고 농도 발생 시각의 관계를 살펴보면, NO<sub>x</sub> 배출량의 감소가 오존 생성 가능성을 감소시키는 한편, 생성 속도를 증가시키기 때문에 발생원의 인접 지역에서 고농도가 발생한다. 그리고 NMHC 배출량의 감소는 오존 생성 속도를 감소시키므로 최고 농도가 출현하는 시각이 늦어지고, 발생원에서 먼 지역까지 이류한 후에 고농도가 발생하고 있다.

한편 수도권 지역에서는 NMHC/NO<sub>x</sub> 비율이 6 이상의 경우에 고농도 오존의 출현 비율이 증가하는 것으로 보고되고 있다(光化学オキシタン・対流圏オゾン検討会, 2005).

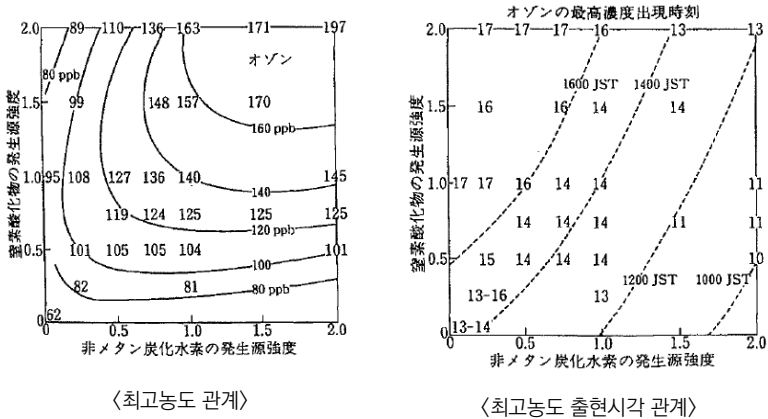


그림 4-2 관동지역의 NO<sub>x</sub>와 NMHC 발생원 강도 변화 및 오존 관계

자료 : 光化学オキシタン・対流圏オゾン検討会(2007)

광화학 옥시던트의 전구물질인 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 및 비메탄 탄화수소(NMHC) 전국 평균 농도의 경년변화를 살펴보면, 대기오염방지법 또는



자동차 NO<sub>x</sub>·PM<sub>10</sub>법, 자치단체의 조례·지도에 의한 대기오염물질의 배출량 감소 대책 효과에 의해 NO<sub>x</sub>는 1996년부터 감소 추세를 전환되고, NMHC는 1985~2004년 동안 감소 추세를 보이고 있다. 다만 광화학 옥시던트 농도는 증가하고 있어 NO<sub>x</sub>/VOC 배출량 관리의 전환이 요구되고 있다.

이와 함께 질소산화물 중 이산화질소의 농도 비율(NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 비율)은 증가 추세를 보이며, 특히 1998년 이후에는 그 증가율이 높아지고 있다. 오존 상승에 의한 NO에서 NO<sub>2</sub>로의 변화 증대, 자동차 배출 가스 중 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 비율의 증가 등이 그 원인으로 추정되고 있다.

## 2) 광화학 옥시던트 대응 방안

### ○ 조사연구·모니터링 강화

오존 농도 상승의 메커니즘을 분석하기 위해 일본은 세계 각 지역의 원거리 지점에서 대륙 내 월경 운송, 대륙 간 운송 등 개별 기여율의 정량적 평가, 배출원 연구를 진행하며, 지역마다 상세한 고농도 발생 요인을 분석하고 있다.

그리고 주민이나 지방자치단체에 대해 광화학 옥시던트의 모니터링 자료나 농도 예측을 용이하게 파악할 수 있도록 정보를 제공하고 있다.

### ○ 삭감대책 추진

2010년까지 고정 발생원에서의 VOC 배출량을 2000년 대비 30% 정도 억제하는 목표관리 대책이 추진되고 있다. 또한 지역마다 조사나 보다 정확한 모델에 의한 해석을 바탕으로 과학적 근거에 기초하여 더 효과적인 대책 방향을 검토하고 있다.

아울러 인위적 기원과 자연적 기원의 NO<sub>x</sub>와 VOC 배출 인벤토리를 정비·갱신하고 있다. 특히 VOC 발생원 가운데 배출 정보가 적은 공사차량, 농업, 공항시설, 항만 시설 등에 관한 배출량 인벤토리 구축에 역점을 두고 있다.

○ 긴급 시의 대응

대기오염방지법 제23조에 고농도 오존 대응 긴급 조치의 일환으로 VOC 배출량 또는 비산량 감소의 협조 요구(제1항)<sup>6</sup>, VOC 농도 감소, VOC 배출시설의 사용 저감, 기타 필요한 조치 등의 명령(제2항)<sup>7</sup> 등이 규정되어 있다.

한편 이러한 긴급 시 조치는 대기오염방지법의 VOC 배출시설을 중심으로 이루어지며, 이러한 시설에는 이미 VOC 배출 삭감대책과 연계하여 마련되어 있다. 또한 VOC 배출 억제 대책이 이루어지지 않는 시설과 옥외 도장 작업과 같은 개방된 현장에서 VOC의 비산 작업 관련 대응방안 마련도 추진되고 있다.

112 호주

호주 AAQ NEPM(National Environment Protection Measure)은 오존 기준을 0.01ppm/hr, 0.08ppm/4hr로 설정하고, 2008년부터 허용 가능한 기준 초과일을 최대 1년에 1일로 그 목표를 설정한 바 있다. 그러나 2008~2011년 기간 NEPM의 오존 목표는 2008년 시드니에서 1시간 기준만을 충족하였다.

시드니의 1시간 기준 오존 농도 초과일은 1994년 19일에서 2011년 4일로, 4시간 기준은 1994년 21일에서 2011년 5일로 감소하였지만, 초과 최고 농도는 2001년에 발생한 바 있다.

오존 기준 초과일과 기상 요인 간의 상관관계 때문에 오존 초과일수와

---

6 (제1항) 도도부현 지사 및 기타큐슈시장은 대기오염이 악화되어, 사람 건강에 관련된 피해가 발생할 우려가 있다고 인정되는 경우로서 해당하는 사태가 발생했을 때 VOC를 배출하거나 비산시키는 자로, 대기 오염을 더욱 현저하게 만들 수 있다고 인정되는 것에 대해 VOC 배출량 또는 비산량 감소 등에 협조를 구해야 함.

7 (제2항) 기상 상황의 영향에 의해 대기오염이 급격하게 악화되어, 사람 건강에 관련된 피해가 발생하는 경우에 해당하는 사태가 발생했을 때, 당해 사업자가 VOC에 기인하는 경우에는 VOC 배출자에 대해 VOC 농도 감소, VOC 배출 시설의 사용 제한, 기타 필요한 조치를 취하도록 명령하고 있음.

최고 농도에서 주목할 만한 경향을 찾기는 어렵다. 다만 대부분의 기상 변수들을 제외한 통계분석에서 시드니의 오존 농도는 감소하지 않는 것으로 추정되고 있다.

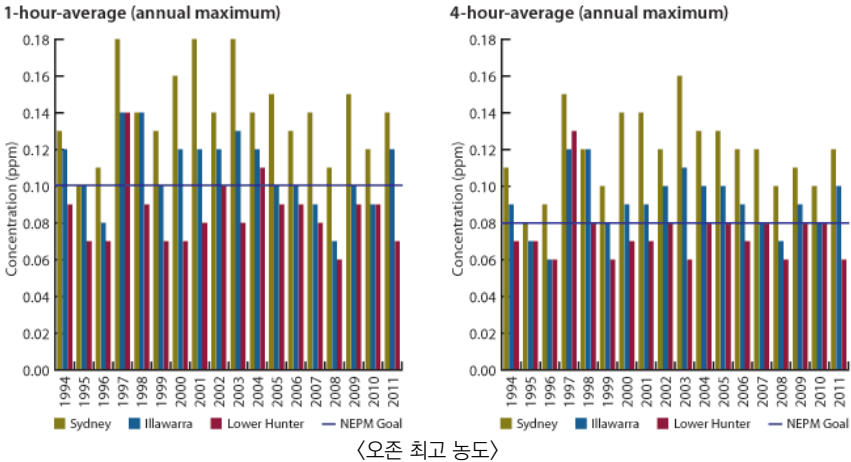
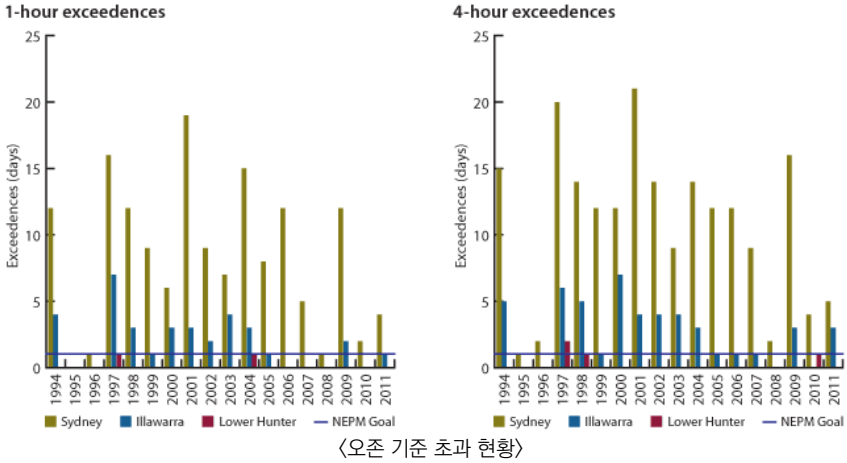
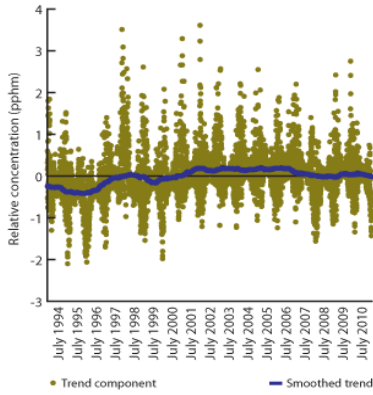


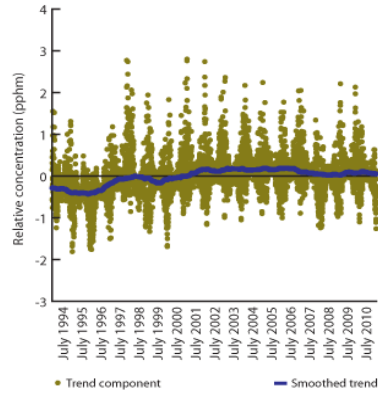
그림 4-3 AAQ NEPM 오존 기준 초과 및 최대 농도 현황(1994~2011)

자료 : <http://www.epa.nsw.gov.au>

Long range dependence modelling  
(1-hour average)



Long range dependence modelling  
(4-hour average)



〈시드니의 오존 농도 추세(기상요인을 제외한 통계분석)〉

그림 계속 AAQ NEPM 오존 기준 초과 및 최대 농도 현황(1994~2011)

자료 : <http://www.epa.nsw.gov.au>

한편 호주는 오존, 이산화질소, 가시거리, 일산화탄소, 이산화황, 미세먼지 등 6개 측정 자료를 바탕으로 대기상황 및 건강영향 및 취약집단에 대한 정보로서 대기질 지수(AQI)를 제공하고 있다.

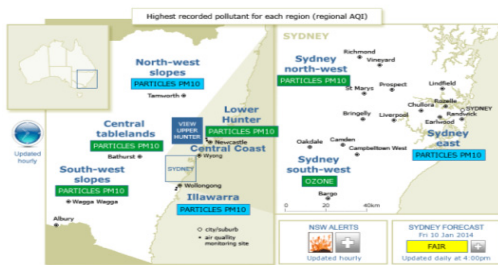
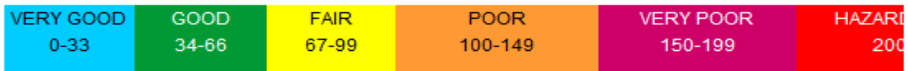


그림 4-4 호주 대기질 지수

자료 : <http://www.environment.nsw.gov.au/AQMS/>

호주 뉴사우스웨일스(NSW)주 보건부는 천식환자, 심장질환자, 폐질환자와 함께 어린이, 노인, 임산부를 대기오염 수준에 따라 건강영향을 받는 취약집단으로 구분하고 있다. 특히 어린이, 노인은 대기질 지수에 따른 권고사항을 별도로 마련하여, 고농도 오존 관리에 유의하고 있음을 볼 수 있다. 대기질 지수는 6단계로 구분되며, 단계별 취약계층과 일반 인구집단의 구체적인 권고사항 내용은 표 4-1과 같다.

표 4-1 호주 인구집단별 오존 AQI 권고사항

AQI	민감 집단	일반 집단
Very Good 0~33	야외활동을 하기에 이상적인 조건	야외활동을 즐기기에 이상적인 조건
Good 34~66	야외활동을 즐기기에 이상적 조건	야외활동을 즐기기에 이상적 조건
Fair 67~99	특정민감 집단의 경우 장시간 야외 활동은 자제하도록 함.	야외활동을 할 수 있음.
Poor 100~149	천식환자, 심장질환자, 폐질환자와 함께 어린이는 저녁에 야외활동하는 것을 피하고, 비교적 대기질 지수가 낮은 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며, 완화시킬 수 있는 약물을 복용함. 만약 증상이 계속될 경우 의사에게 처방을 받음.	야외 활동을 줄임.
Very Poor 150~200	천식환자, 심장질환자, 폐질환자와 함께 어린이는 야외에서 지속적으로 활동하는 것을 피하고 비교적 대기질 지수가 낮은 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용함. 만약 증상이 계속될 경우 의사에 처방을 받음.	야외활동을 줄임. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용함. 만약 증상이 계속될 경우 의사에 처방을 받음.
Hazardous 200+	야외활동을 피하고 가능한 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용함. 만약 증상이 계속될 경우 의사에 처방을 받음.	야외활동을 피하고 가능한 실내에 있도록 함. 천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하며 완화시킬 수 있는 약물을 복용함. 만약 증상이 계속될 경우 의사에 처방을 받음.

자료 : 국립환경과학원, 2011, 「기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구」

## 113 캐나다

캐나다는 오존 경보를 발령하지는 않지만 퀘벡 지역은 스모그 경보

(info-smog) 정보를 제공하고 있다. 최근에는 대기질 건강지수(Air Quality Health Index; AQHI)를 통해 캐나다 전역으로 대기질 정보를 제공하고 있다. AQHI는 British Columbia, Alberta, Saskatchewan 등 10개 주 위주로 운영되고 있으나, 남은 3개 주에서도 단계적으로 시행될 예정이다. AQHI는 기상예보를 통해서나 지역의 홈페이지와 캐나다 환경부 홈페이지에서 확인이 가능하다.



그림 4-5 토론토 AQHI 구성 및 적용 절차

자료 : 캐나다 환경부 홈페이지(<http://www.ec.gc.ca>)

AQHI는 인간의 건강에 영향을 미친다고 알려진 대기오염원의 상대적 위험(RR)에 근거하여 산출된다. 지표는 오존, 미세먼지(PM2.5/PM10), 이산화질소의 측정값을 환산하여 대기오염으로 인한 건강 위험의 수준

으로 제시된다. 기존의 전통적인 대기질 건강지수(AQI)가 캐나다의 대기질 기준과 비교한 정보를 제공하는데 그친다면, 새롭게 적용된 AQHI는 대기질이 직접 건강에 미치는 정도를 1에서 10 이상의 값으로 환산하여 지역별로 대기질에 따른 건강위험 수준을 즉각적으로 반영할 수 있게 되어 있다.

AQHI 지표 값은 Basic에서 Low, Moderate, High, Very-High까지 5개 단계로 구분되며, 단계별로 건강유지를 위한 권고사항이 일반인과 취약인구로 구분되어 제공되고 있다. 기존의 대기질 및 건강 관련 정보가 현재 상태의 정보 제공에 제한되었다면, AQHI는 다음날의 예보까지 제공하고 있다.

AQHI는 대략적으로 대기오염 취약인구를 노인, 천식이 있는 어린이, 당뇨병환자, 심장이나 폐질환자 등으로 제시하고 보다 상세한 취약인구의 분류는 표 4-2와 같다.

표 4-2 캐나다 AQHI 취약인구 분류

요인	취약인구	메커니즘
질병	<ul style="list-style-type: none"> <li>•호흡기(천식, 만성폐쇄성폐질환, 만성기관지염, 폐기종, 폐암) 및 심혈관질환자(협심증, 심장마비 병력이 있는 환자, 출혈성 심장질환, 심장 박동문제(부정맥이나 불규칙한 심장발동))</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•대기오염은 호흡곤란을 초래할 수 있고 현재의 폐나 심장관련 증상을 악화시킬 수 있어 심장마비 등을 유발할 수 있음.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•당뇨 환자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•당뇨병환자의 경우 심혈관 질환이 발병하기 쉽기 때문에 보다 위험에 노출됨.</li> </ul>
연령	<ul style="list-style-type: none"> <li>•어리거나 활동적인 어린이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•어린이는 체중당 호흡량이 어른보다 상대적으로 많아 오염된 공기를 더 많이 들이킬 수 있음. 높은 대사율과 어린이의 방어체계는 대기오염에 더 많이 민감하도록 함.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•노인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•노인은 약한 폐기능, 심혈관 기능과 방어체계 혹은 질병으로 진단되지 않은 심혈관이나 폐의 문제로 인하여 대기오염에 취약함.</li> </ul>
활동량	<ul style="list-style-type: none"> <li>•격렬한 외부활동을 하는 운동선수나 야외에서 근무하는 노동자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•격렬한 운동이나 노동은 호흡을 더 깊고 빠르게 하기 때문에 오염된 공기가 폐에 더 많이 침투함.</li> </ul>

자료 : 캐나다 환경부 홈페이지(<http://www.ec.gc.ca>)

**표 4-3 캐나다 집단 특성별 AQHI 수준별 권고사항**

수준	AQHI	권고사항	
		취약인구 <sup>1)</sup>	일반인
Low	1-3	•일반적인 야외활동 가능	•야외 활동하기에 이상적임
Moderate	4-6	•증상이 있을 경우 힘든 야외활동을 감소하거나 미룸	•기침이나 목이 아프지 않는 한 일상적인 외부활동을 변경할 필요가 없음
High	7-10	•힘든 야외활동을 중지거나 취소 •어린이와 노인은 휴식을 취해야 함	•기침이나 목의 통증을 경험할 경우 힘든 외부활동 일정의 축소 혹은 변경 고려
Very High	+10	•힘든 야외활동은 피함 •어린이와 노인은 외부의 물리적 활동을 피해야 함	•기침이나 목의 통증이 있을 경우 야외 활동을 줄이거나 취소

주 1 : 심장이나 호흡과 관련된 문제가 있는 인구가 가장 위험한 인구집단임. 운동과 건강상태 관리에 대한 의사의 조언에 따라야 함.

자료 : 캐나다 환경부 홈페이지(<http://www.ec.gc.ca>)

## 1.2 주요 도시의 오존 대응 사례

### 1.2.1 도쿄도

#### 1) 오존 농도 현황

오존 생성의 전구물질인 질소산화물, 비메탄 탄화수소(NMHC) 농도는 감소하고 있으나, 1980년 이후 광화학 옥시던트 농도는 상승하는 추세를 보이고 있다. 또한 광화학 스모그 주의보 발령 수준인 0.12ppm 이상 고농도의 광화학 옥시던트가 출현하는 빈도가 다시 높아지고, 고농도 오존의 공간 범위가 점차 확대되는 상황이다.



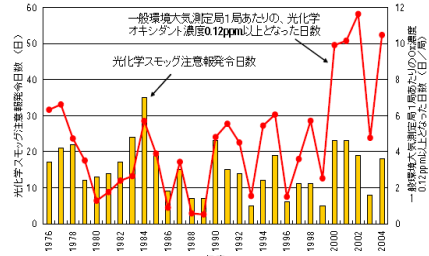
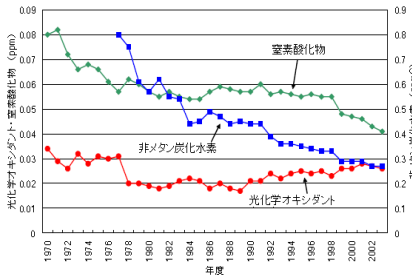


그림 4-6 광화학 옥시던트·질소산화물·비메탄 탄화수소 연평균값의 경년변화 및 주의보 발령일수  
 자료 : 光化学オキシダント 対策検討, 「光化学オキシダント 対策検討会報告」, 2005

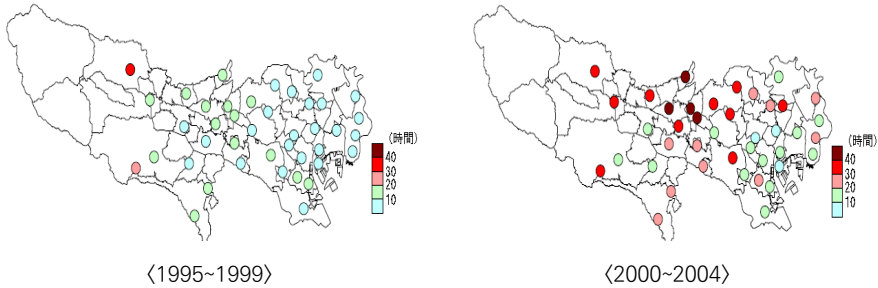


그림 4-7 광화학 옥시던트 0.12ppm 이상인 연간 시간수  
 자료 : 光化学オキシダント 対策検討(2005)

2) 광화학 옥시던트 농도의 상승요인 분석

광화학 옥시던트는 대기 중의 질소산화물과 비메탄 탄화수소가 태양광을 받아 광화학 반응을 일으켜 생성된다. 이러한 생성 메커니즘은 시간 경과와 함께 오염물질이 광역적으로 이동하면서 반응하므로, 일사량·기온·풍속 등 기상요소의 영향을 받을 뿐 아니라 원인물질인 질소산화물이나 비메탄 탄화수소의 농도도 복잡하게 관련되어 있다.

○ 기상요인

1976~2002년의 4~9월에 도쿄 관구 기상대의 각종 기상요소와 주간(5~20시) 시간의 광화학 옥시던트의 평균 농도(A), 최고 농도(B), 최고

농도의 평균(C)과의 상관 관계를 조사한 결과, (A)·(C)는 기상요소 가운데 일사량과 가장 높은 상관관계가 있으며, 낮 오전 평균 풍속과 두 번째로 높은 상관관계가 있음이 확인되고 있다.

**표 4-4 기상요소(도쿄 관구 기상대)와 광화학 옥시던트 농도와의 상관계수**

광화학 옥시던트 농도의 일통계량 <sup>1)</sup>	A	B	C
일사량	0.582	0.591	0.588
기온 일 최고 기온(0~24시)	-0.043	0.491	0.235
주간 평균 기온(5~20시)	-0.118	0.431	0.160
일 평균 기온(0~24시)	-0.166	0.395	0.114
풍속 주간 평균 풍속(5~20시)	-0.127	-0.263	-0.284
주간 오전 평균 풍속(5~12시)	-0.199	-0.386	-0.377
일 평균 풍속(0~24시)	-0.147	-0.299	-0.314
고층과의 기온차	0.177	-0.034	0.073

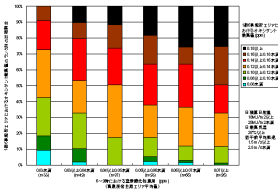
주 1) A : 모든 측정국의 주간(5~20시) 시간대 중 1시간의 일평균 농도

B : 주간 시간대에 최고 농도가 측정된 측정국의 1시간 농도

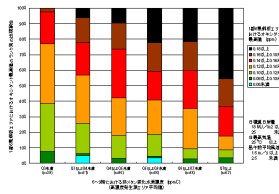
C : 각 측정국의 주간 1시간 최고 농도의 평균값

○ 원인물질

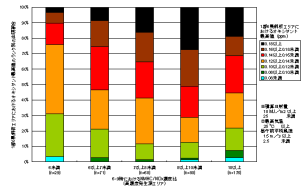
도쿄도는 기상요소 이외 요인 중 하나로 오전 시간대 오존 생성의 원인 물질(질소산화물과 비메탄 탄화수소)에 착안하여 오존농도 기여 수준을 분석하고 있다. 이에 따라 「고농도 발생 지역」을 대상으로 6~9시 동안 원인물질인 질소산화물과 비메탄 탄화수소의 평균 농도와 광화학 옥시던트의 최고 농도와의 상관성을 분석한 결과, 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 비메탄 탄화수소(NMHC)의 농도가 낮고, 농도비(NMHC/NO<sub>x</sub>)가 낮은 조건이 되면, 고농도 광화학 옥시던트의 출현 비율이 감소하는 것으로 확인되고 있다.



〈질소산화물 농도〉



〈비메탄 탄화수소 농도〉



〈NMHC/NOx 농도 비율〉

그림 4-8 원인물질과 고농도 옥시던트 발생 비율의 관계

자료 : 光化学オキシダント 対策検討(2005)

NMHC/NO<sub>x</sub> 농도 비율은 1980년 초 10 이상에서, 1993년 6 정도로 낮아졌으나, 광화학 옥시던트 농도는 증가하고 있다. 광화학 옥시던트 농도 증가는 NMHC/NO<sub>x</sub> 농도 비율의 변화로 설명하기에는 한계가 있음이 지적되고 있다. 한편 최근 자동차 공해대책의 시행으로 질소산화물의 배출량이 삭감되었으나 비메탄 탄화수소의 배출량 감소가 이를 상회하지 못하여 1996년 이후 NMHC/NO<sub>x</sub> 농도비가 약간 상승하는 추세를 보이고 있다. 이러한 추세는 2000년 이후 고농도 옥시던트의 출현 빈도의 급격한 증가를 가져올 가능성이 큰 것으로 우려되고 있다.

이에 따라 질소산화물의 배출량 삭감에 머무르지 않고, 비메탄 탄화수소를 포함한 휘발성유기화합물(VOC) 배출량 삭감대책의 추진 필요성이 대두되고 있다.

2000~2002년 기간 고농도 옥시던트의 출현 빈도를 기준으로 원인물질의 평균 농도가 각각 일정 비율로 낮아진 경우, 고농도 옥시던트 출현일수가 감소하는 것으로 나타나고 있다. 즉 2000~2002년의 기상 조건이 변동하지 않는다고 가정하고, 새벽시간 질소산화물 농도가 30% 낮아지고 비메탄 탄화수소 농도가 40% 낮아지면, 고농도 광화학 옥시던트(0.12ppm 이상) 출현일수가 62일에서 18일로 약 70% 감소하는 것으로 추정되고 있다.

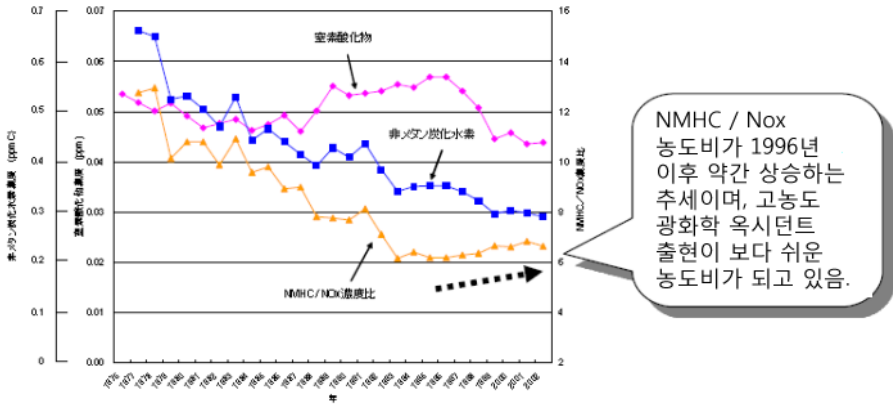


그림 4-9 도쿄도 고농도 발생 지역의 NOx, NMHC, NMHC/NOx 농도 비율 변화

### 3) VOC 대책 방향

고농도 광화학 옥시던트의 생성을 억제하기 위해 질소산화물의 배출 삭감대책뿐만 아니라 비메탄 탄화수소를 포함하는 휘발성유기화합물(VOC)의 새로운 배출 삭감대책 마련이 검토되고 있다.

도쿄도내의 VOC 배출은 약 70%가 증발계 고정 발생원이다. 특히 도장, 인쇄, 세탁, 급유, 금속표면 처리 등과 관련된 업종이 주된 발생원이다. 다만, 이들 업종은 중소기업의 사업자가 많고, 옥외에서의 도장 배출이 많이 차지하고 있기 때문에, 향후 도쿄도가 사업자 실태 조사에 따른 대응방안을 촉진하기 위해서는 VOC 배출 감축과 관련된 지원정책의 적극적인 추진이 요구되고 있다.

이와 함께 광화학 옥시던트는 영향이 광범위할 뿐만 아니라 발생원 지역과 고농도 출현지역이 다르기 때문에, 인접 자치단체와의 협력에 의한 광역적인 대책이 필요하다. 이에 따라 도쿄도는 인근 자치단체에 관련 정보 제공과 함께 광역 대책 추진을 위해 인근 자치단체와 제휴하고 선도하는 역할에 주목하고 있다.

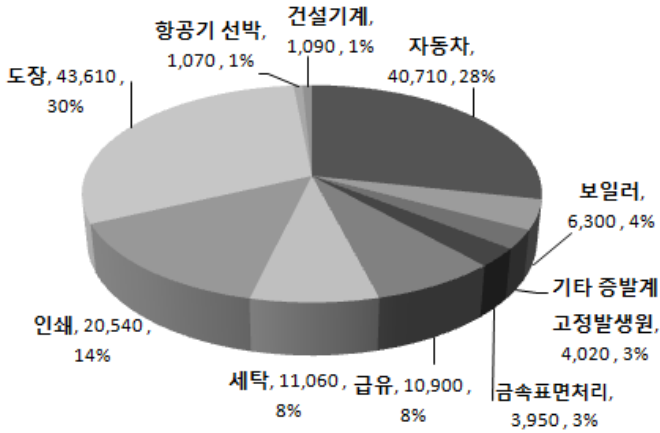


그림 4-10 도쿄도 VOC 배출원별 배출량(2000년 기준)

4)

#### 긴급 시 대응

도쿄도는 지역별 측정망 관측 자료를 바탕으로 광화학 스모그 경보제도를 운영하고 있다. 특히, 어린이, 학생의 광화학 스모그에 의한 피해를 미연에 방지하기 위해 학교에 정도를 제공하는 ‘학교 정보’ 단계를 설정하고 있는 것이 특징이다. 광화학 스모그의 경보 발령 및 해제 기준은 표 4-5와 같다.

이와 함께 대기오염물질의 농도, 기상 요인 등을 종합적으로 판단하여 광화학 스모그의 원인물질인 광화학 옥시던트 농도 추이를 3단계로 예측하고, 4~10월 동안 정보를 제공하고 있다.<sup>8</sup>

오존 경보제 운영과 함께 인터넷, 전자우편, 휴대전화망 등을 통해 오염도를 실시간으로 제공하여 오염도에 따른 시민들의 행동요령을 제공하고 있다.

8

3단계 구분은 0.12ppm 이상의 주의보 기준까지 높아질 우려가 있을 경우, 0.10~0.11ppm의 학교정보까지 높아질 우려가 있을 경우, 그리고 농도가 높아질 우려가 없는 경우로 분류함.

**표 4-5 도쿄도 광화학 스모그 긴급 시 발령 및 해제 기준**

구분	발령 기준	해제 기준
예보	다음 중 하나에 해당하는 상태가 발생했을 때 1. 기상조건에서 볼 때 아래 3칸에 규정하는 상태가 발생하는 것이 예상될 때 2. 옥시던트의 대기 함유율(오염비 1시간 값으로 한다)이 아래 3칸에 기재한 상태에 가깝고, 해당 상태가 더욱 악화된다고 예상될 때	다음 중 하나에 해당할 때 1. 왼쪽에 제시한 상태가 없다고 인정될 때 2. 왼쪽 아래 3칸에 규정하는 긴급 시의 발령을 실시했을 때
학교 정보	기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.1 이상인 상태가 되고, 기상 조건에서 볼 때 상태가 계속한다고 인정될 때	발령지역 내 모든 기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.1 미만이고, 기상조건에서 볼 때 상태가 악화될 우려가 없다고 인정될 때
주의보	기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.12 이상인 상태가 되고, 기상 조건에서 볼 때 상태가 계속한다고 인정될 때	발령지역(제7 긴급 시의 발령을 실시하고 있는 지역의 범위를 말함) 내에 모든 기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.12 미만이 되고, 기상조건에서 볼 때 상태가 악화될 우려가 없다고 인정될 때
광보	기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.24 이상인 상태가 되고, 기상조건에서 볼 때 상태가 계속된다고 인정될 때	발령지역 내 모든 기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.24 미만이고, 기상조건에서 볼 때 상태가 악화될 우려가 없다고 인정될 때
중대 긴급 정보	기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.4 이상인 상태가 되고, 기상조건에서 볼 때 상태가 계속된다고 인정될 때	발령지역 내 모든 기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.4 미만이고, 기상조건에서 볼 때 상태가 악화될 우려가 없다고 인정될 때

자료 : 도쿄도 대기오염 긴급 시 대책 실시요강(옥시던트) <별표 2>

**도쿄도 대기오염 긴급 시 대책 실시요강(옥시던트)**

(목적)

제1 이 요강은 대기오염방지법(1968년 법률 제97호) 제23조 및 도민의 건강과 안전을 확보하는 환경에 관한 조례(2000년 도쿄도 조례 제25호) 제146조에서 제148조까지의 규정에 기초해 옥시던트에 관한 긴급 시에 지사의 조치 및 기타 관련하는 필요한 사항을 정하는 것을 목적으로 한다.

(측정방법 및 측정장소)

제2 긴급 시에 관한 옥시던트의 대기 중 함유율은 대기오염방지법 시행규칙(1971년 후생성·통상산업성령 제1호) 제18조에 규정하는 측정방법에 의해 측정하는 것으로 하고, 별표 1에 기재한 측정장소에서 실시한다.

(감시)

제3 긴급 시에 관한 대기오염현황의 감시는 기준 측정점에서 측정결과에 대해 매시 시행한다.

(대상정보 등의 수집)

제4 긴급 시에 관한 필요한 기상정보는 기준 측정점, 입체측정국(도쿄 타운), 기상청 및 관계현에서 수집한다.

(긴급 시 구분)

제5 긴급 시는 광화학 스모그 예보, 광화학 스모그 주의보, 광화학 스모그 경보 및 광화학 스모그 중대 긴급 정보로 구분하고, 그 상황에 따라 발령 및 해제를 실시한다.

(긴급 시 발령 및 해제 기준)

제6 긴급 시 발령 및 해제는 별표 2에 정한 기준에 의해 시행한다.

(긴급 시 지역 및 기준 측정점)

제7 긴급 시 발령 및 해제는 별표 3에 기재된 발령 지역마다 기준 측정점의 측정결과에 기초해 실시한다.

(긴급 시 발령 및 해제 결정)

제8 발령 및 해제 결정은 광화학 스모그 예보 및 광화학 스모그 주의보에 대해서는 환경개선부 대기보전과장 또는 대기보전과장이 미리 지정한 환경개선부 과장급 직원이 하며, 광화학 스모그 경보 및 광화학 스모그 중대 긴급정보에 대해서는 환경개선부장이 한다.

(협력 공장 등)

제9 긴급 시에 연료사용량을 삭감(이것에 준하는 조치를 포함)하는 공장·사업장은 원칙적으로 시설 정격 능력 합계 1시간당 1t 이상(중유 환산)의 공장 또는 사업장으로 하고, 휘발성유기화합물의 배출을 억제하는 공장·사업장(이하 「VOC 억제 협력 공장」이라 함)은 대기오염방지법 제17조 4 휘발성유기화합물 배출 시설의 설치 신고를 하고 있는 공장 또는 사업장으로 한다.

(긴급 시 조치)

제10 긴급시에는 그림 1에 기재된 수법에 의해, <그림 1>에 기재한 기관을 통해 정보 주지를 실시하는 동시에 다음 각 호에 기재한 조치를 실시한다.

(1) 도민에 대한 주의 사항

광화학 스모그 주의보 이상의 긴급 시에는 다음 사항에 대해 도민에게 주의하도록 주지한다.

- ① 옥외에 가능한 한 나오지 않도록 한다.
- ② 옥외 운동은 보류하도록 한다.
- ③ 광화학 스모그의 피해를 입은 사람은 근처 보건소에 연락한다.

(2) 광화학 스모그 예보 시 협력

광화학 스모그 예보를 발령한 때는 별표 4의 협력 지역내 연료 삭감 협력 공장에 대해 연료 사용량 삭감(이것에 준하는 조치를 포함)에 의해 매연 배출량을 감소하도록 자체적 합력을 요구하며, 자동차를 사용하는 자에 대해 불요불급의 목적에 의해 자동차를 사용하지 않도록 협력을 요구한다.

(3) 광화학 스모그 주의보 시 권고

광화학 스모그 주의보를 발령한 때는 협력 지역내의 연료 삭감 협력 공장에 대해 매연 배출량의 감소를 도모하기 위해, 연료 사용량을 통상 사용량의 20% 정도 삭감하도록 권고하는 것과 함께 VOC 억제 협력공장에 대해 휘발성유기화합물의 배출을 억제하도록 자주적 협력을 요구하고, 자동차를 사용하는 자에 대해 해당 지역을 통과하지 않도록 협력을 요구한다.

(4) 광화학 스모그 경보 시 권고

광화학 스모그 경보를 발령한 때는 협력 지역내의 연료 삭감 협력 공장에 대해 매연 배출량의 삭감을 도모하기 위해, 연료 사용량을 통상 사용량의 40% 정도 삭감하도록 권고하는 것과 함께 VOC 억제 협력 공장에 대해 휘발성유기화합물의 배출량을 삭감하도록 시설 사용의 제한을 권고하고, 자동차를 사용하는 자에 대해 해당 지역을 통과하지 않도록 요구한다.

(5) 광화학 스모그 중대 긴급정보 시 명령

광화학 스모그 중대 긴급정보를 발령한 때는 협력 지역내의 연료 삭감 협력 공장에 대해 매연 배출량의 감소를 도모하기 위해, 연료 사용량을 통상 사용량의 40% 이상 삭감하도록 명령하는 것과 함께 VOC 억제 협력 공장에 대해 휘발성유기화합물의 배출량을 삭감하도록 시설의 사용 제한을 명령한다. 또한 자동차를 사용하는 자에 대해서는 도코도 공간 위원회에 도로 교통법의 규정에 의한 조치를 취하도록 요청한다.

(삭감 계획 및 삭감보고)

제111 제10의 규정에 의한 조치를 실시한 때에는 연료 삭감 협력 공장에 대해 연료 사용량의 삭감 계획을, VOC 협력 공장에 대해서는 휘발성유기화합물의 배출을 억제하는 조치 방법을 제출할 것을 요구한다. 또한 긴급 시의 발령 일마다 협력지역 내의 연료 삭감 협력 공장이 실시한 연료 사용량의 삭감에 대해, VOC 억제 협력 공장이 실시한 휘발성유기화합물의 배출 억제조치에 대해 팩스로 조치 상황의 보고를 요구한다.

(광화학 스모그 학교 정보)

제12 유아, 학생의 피해를 미연에 방지하기 위해 관계 구시정촌에 대해 다음에 게재한 기준에 의해 광화학 스모그 학교 정보를 제공한다.

(1) 제공 기준

기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.1 이상인 상태가 되고, 기상조건에서 보고 그 상태가 지속 또는 악화한다고 인정될 때

(2) 해제 기준

상기의 정보제공 후 기준 측정점에서 옥시던트의 대기 중 함유율이 100만분의 0.1 미만인 것이 기상 조건에서 보아 분명할 때

(정보의 주지 및 제공방법)

제13 제10 및 제12에 정하는 것 이외 인터넷(휴대전화), 전화메일, 전화 서비스, 팩스 등 전기 통신 설비에 의해 정보를 알리고 제공한다.

(피해발생 시 조사)

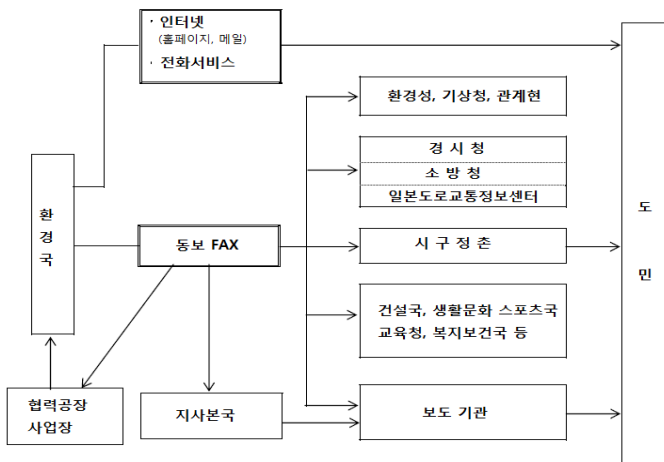
제14 피해 발생 시 필요한 경우에 발생 지역 주변의 상황 조사를 실시한다.

(구시에 협력 요청)

제15 제10에 규정하는 긴급 시의 조치를 실시할 때 관계 구시정촌에 대해 필요한 협력을 요구한다.

(국가 및 관계현과의 상호 협력)

제16 요강 실시에서 국가 및 관계 현과 연락을 긴밀하게 하여 적절한 운영을 도모한다.



〈그림 1〉 광화학 스모그 긴급 시 연락체제

자료 : 도쿄도 환경국 홈페이지(<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachement/>)



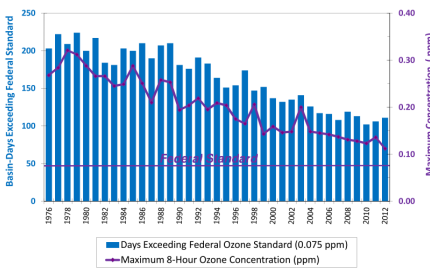
## 캘리포니아주

미국 환경보호청(EPA)은 1991년에 국민의 건강을 보호하기 위해 새로운 대기질 지수(AQI; Air Quality Index)를 개발하여, 당일 자료 및 전 날 대기질 지수를 국민들에게 인터넷으로 공개하여 대기오염 노출로 인한 피해를 최소화하고 있다.

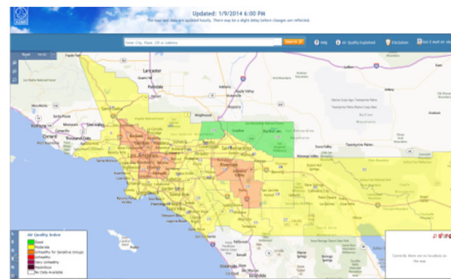
표 4-6 미국 대기질 지수별 행동 지침

Very Unhealthy (201 to 300)	Unhealthy (201 to 300)	Unhealthy for sensitive groups (101 to 150)	Moderate (51 to 100)	Good (0 to 50)
천식과 같은 호흡기질환을 가진 사람, 활동적인 어린이, 어른들은 외부활동을 피함	천식과 같은 호흡기 질환을 가진 사람이나 활동적인 어린이, 어른들은 지속적인 외부활동을 피해야 함 모든 사람 중 특히 어린이들은 지속적인 외부활동을 제한	활동적인 아이들과 어른 그리고 천식과 같은 호흡기 질환을 가진 사람들은 지속적인 외부활동을 제한	특히 민감한 사람들은 없음 지속적인 외부활동을 제한하는 것을 고려	

자료 : AIR QUALITY INDEX(<http://www.aqmd.gov/pubinfo/Publications>)



Ozone Trend(1976~2012)



Map 기반 AQI 정보

그림 4-11 캘리포니아주 오존 농도 추세 및 AQI 정보 제공

자료 : <http://www.aqmd.gov/smog/>

캘리포니아주는 1970년대부터 오존경보제를 시행 중이며, 경보제는 Clean Air Act와 Episode Program에 규정되어 있다. 오존경보는 경

보 기준을 초과하고, 익일도 기준초과 예측 시 발령되며, 모델링 결과 및 경험으로 예보한다. 미국 내 인구 35만 명 이상의 주요 도시는 대부분 오존과 미세먼지에 대한 농도 현황을 일반 시민에게 공개하고 있으며, 기준치를 초과하는 경우에는 경보를 발령하고 있다.

캘리포니아주 SCAQMD(South Coast Air Quality Management District)는 미국 내에서도 대기오염이 가장 심한 캘리포니아 남부 해안 지역을 관할하고 있으며, 통계모형을 이용하여 24시간 오존 농도 예보제를 시행하고 있다.

오존예보는 환경청과 TV, 라디오, 신문, 인터넷 그리고 팩스를 통하여 시민에게 정보를 제공하며, 오존 노출을 줄이고 피할 수 있도록 통보하고 있다. 또한 대기질이 좋지 못한 날에 시민들에게 배출량을 줄이는 자발적 조치와 배출량 발생 활동에 대한 교육을 실시하는 Ozone Action day 등의 프로그램이 마련되어 있다.

미국 캘리포니아주와 시카고시의 오존경보 기준은 주의보를 포함하여 4단계로 구분된다.

**표 4-7 미국 오존 경보제 현황**

구분	캘리포니아주	시카고시
경보 단계별 기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>•주의보 : 0.15ppm</li> <li>•1단계 : 0.20ppm</li> <li>•2단계 : 0.35ppm</li> <li>•3단계 : 0.50ppm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•주의보 : 0.12ppm</li> <li>•1단계 : 0.20ppm</li> <li>•2단계 : 0.35ppm</li> <li>•3단계 : 0.50ppm</li> </ul>
조치사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>•주민 외출금지</li> <li>•차량통제(Carpool제 시행)</li> <li>•석유정제 등 18개 업종 배출량 감축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•주민 외출금지</li> <li>•차량통제(Carpool제 시행)</li> <li>•연간 100톤 이상 오염물질 배출공장 배출량 감축</li> </ul>
발령지역	•10개 지역	•6개 지역
발령권자	•주지사	•일리노이 EPA
발령횟수	•연간 100여회	•없음

자료 : 김동영, 2005, 「오존경보제 운영 개선 방안」, 경기개발연구원

## 시사점 도출

선진도시들의 고농도 오존 대응 사례의 수집 및 비교분석, 그리고 제반 시사점 도출 등을 수행하는 이유는 오존 등의 건강 피해 영향을 예방하여 향후 서울시 기후환경 복지 개선에 유용한 고농도 오존 오염 대응 정책 수립 및 추진 과정에 원용 가능성을 높이는 효과가 있기 때문이다. 이러한 관점에서 해외 선진 도시들의 오존 대기환경 현황, 정보전달, 고농도 오존 대응 체계를 종합하여 분석한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 선진도시들은 오존을 상시 모니터링할 수 있는 측정 시스템을 구축하고 있으며, 측정 자료를 바탕으로 다양한 모델링을 통한 오존 농도를 수치모의를 통해 산출하여 오존생성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 있다.

둘째, 선진도시들은 건강 영향을 고려하여 대기질 지수(AQI), 대기질 건강 지수(AQHI) 등을 산정하여, TV, 라디오, 신문, 인터넷 그리고 팩스를 통하여 시민에게 정보를 제공하고, 오존 노출을 줄이고 피할 수 있도록 유도하기 위한 전달체계를 구축하고 있다.

셋째, 선진도시들은 4단계로 세분화하여 오존 예·경보제를 운영하고 있으며, 단계별로 교통부문에서는 차량통제, 카풀 시행, 사업장에서는 배출량 감축 등의 대응책을 제시하고 있다.

표 4-8 도시별 오존 경보제의 기준 비교

구분	주의보 (학교정보)	주의보 (주의보)	1단계 (경보)	2단계 (중대긴급경보)	3단계
캘리포니아주		0.15ppm	0.20ppm	0.35ppm	0.50ppm
시카고		0.12ppm	0.20ppm	0.35ppm	0.50ppm
도쿄	0.10ppm	0.12ppm	0.24ppm	0.40ppm	
서울		0.12ppm	0.30ppm	0.50ppm	

주 : ( ) 단계는 도쿄도의 오존 경보제 단계임

넷째, 선진도시들은 일정 기준 이상의 NOX, VOC 배출시설에 대해 고농도 오존 발생 시 협조 및 의무 이행사항을 부여하고, NO<sub>x</sub>, VOC 배출 삭감계획 및 삭감 보고를 의무화하고 있다. 오존 경보단계에 따라 구체적인 연료사용량 삭감, VOC 배출시설 사용 제한 범위를 제시하고, 자동차 운행 제한 및 교통수요 관리 등의 고농도 오존 발생 시 배출원 관리에도 유의하고 있다.

다섯째, 선진도시들은 고농도 오존 대응의 실효성 확보를 위해 고농도 오존에 의한 피해 관련 조사를 실시하여 사후 관리 체계를 마련하고 있다. 특히 오존 고농도 에피소드가 발생한 지역의 경우에는 고농도 에피소드의 재발생 가능성을 방지하기 위해 시민·사업자에게 배출량을 줄이는 자발적 조치 교육을 실시하는 프로그램이 함께 마련되어 있다.

여섯째, 선진도시들은 민감 및 취약계층을 보호하며 건강영향을 최소화하기 위해 별도의 경보 단계를 설정하고 있다. 도쿄도는 어린이, 학생들의 건강 피해를 미연에 방지하기 위해 '학교 정보' 단계를 설정하여 오존 농도가 0.01ppm 이상이 되면 어린이집, 학교 등 관계기관에 해당 정보를 통보하고 있다. 그리고 질병, 연령, 활동량 등에 따라 오존 농도의 건강영향 정도를 구분하여 민감 계층과 일반 시민의 고농도 오존 발생 시 대응 방안을 맞춤형으로 권고하고 있다.

## V 서울시 고농도 오존 대응 방안

- 1 오존 오염 대응체계 현황 및 해결과제
- 2 오존 예·경보 조례 제정
- 3 고농도 오존 대응 매뉴얼의 활용
- 4 오존 대응 이해 증진 및 참여 유도

# V 서울시 고농도 오존 대응 방안

## 1 오존 오염 대응체계 현황 및 해결과제

### 1.1 오존 예·경보제 시스템 운영현황

고농도 오존에 노출될 경우 건강영향을 받을 수 있는 호흡기 질환을 가지고 있는 환자나 노약자, 어린이들에게 오존농도가 높음을 알려 그 피해를 최소화하고, 오존농도를 줄이는 데 있어 시민들의 자발적인 협조를 구하기 위하여 예·경보 시스템이 운영되고 있다. 오존 경보제는 대기환경보전법 제8조(대기오염에 대한 경보)에 근거하여 매년 오존 생성 메커니즘이 활발한 5월 1일부터 9월 15일까지 시행되고 있다.

오존경보는 오존농도에 따라 주의보, 경보, 중대경보 등 3단계로 발령하며, 지형적인 여건과 대기오염물질 이동경로를 고려하여 도심, 북동, 북서, 남서, 남동 등 5개 권역으로 나누어 발령하고 있다.<sup>9)</sup>

표 5-1 서울시 오존 경보 발령 지역구분

구분	행정구역
도심권(3개구)	종로구, 중구, 용산구
북동권(8개구)	성동구, 광진구, 동대문구, 중랑구, 성북구, 강북구, 도봉구, 노원구
북서권(3개구)	마포구, 서대문구, 은평구
남서권(7개구)	양천구, 강서구, 구로구, 금천구, 영등포구, 동작구, 관악구
남동권(4개구)	서초구, 강남구, 송파구, 강동구



주 : 매시간 오존측정결과 1개 측정소 이상에서 경보발령기준에 해당하며, 당해 측정소가 포함된 권역에 대해 발령  
 자료 : 기후환경본부, 「2013년 오존경보제 시행계획」, 2013.4

<sup>9)</sup> 주의보 0.12ppm/hr 이상, 경보 0.30ppm/hr 이상, 중대경보 0.50ppm/hr 이상

현재 서울시 오존 오염 정보 전달체계를 보면 다음과 같다. 먼저 서울시 보건환경연구원에 설치된 오존경보상황실은 매시간 측정결과와 기상자료를 검토하여 오존농도가 일정기준에 도달하면 서울시 기후환경본부로 오존경보 발령을 요청하게 된다. 요청을 받은 서울시 기후환경본부는 방송매체 등을 통해 경보를 발령하고 음성·팩스 동보장치, 휴대전화 SMS, 대기환경정보 옥외전광판, 버스정보 안내전광판 등을 활용하여 유관기관, 학교, 일반시민 등에게 고농도 오존 생성 상황을 전달하고 있다.<sup>10</sup>

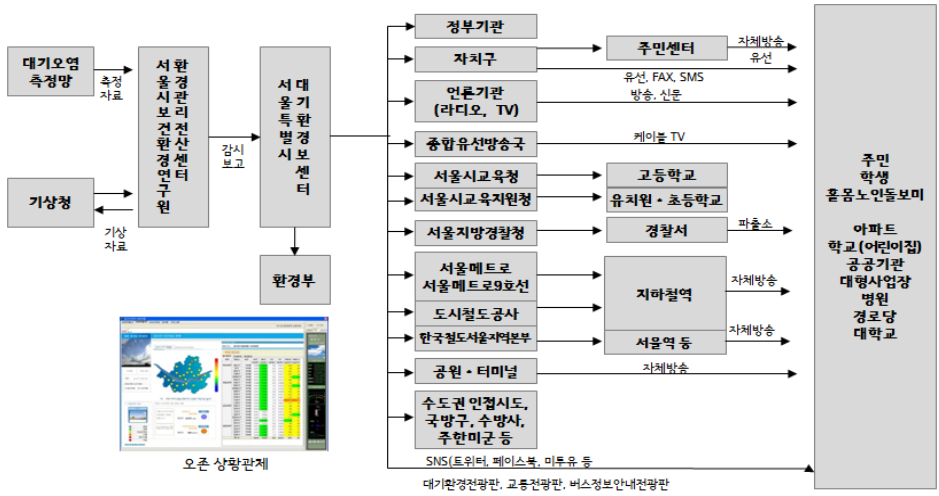


그림 5-1 서울시 오존 경보 전달체계

고농도 오존 발생에 따른 시민건강 피해가 우려되어 오존주의보가 발령되면, 시민들은 실외활동을 가급적 자제하고, 오존경보가 발령되면 자동차 사용의 자제 및 사업장 연료사용량의 감축이 요구되며, 중대경보가 발령되면 자동차 통행금지와 사업장의 조업시간을 단축하여야 한다. 다

<sup>10</sup> 오존경보상황실은 매년 5월 1일~9월 15일 기간 운영되며, 기후대기과(대기환경정보센터), 보건환경연구원(환경관리전문센터), 25개 자치구(환경정보센터 또는 환경업무담당과)의 기관에서 운영됨.

만, 오존 경보제 시행 이후 현재까지(2013년 현재) 경보나 중대경보를 발령한 사례는 없다. 오존경보 발령 단계별 조치사항은 대기환경보전법 시행령 제2조 제4항에 근거하며 표 5-2와 같다.

표 5-2 오존경보 발령 시 조치사항

구분	일반시민	자동차 소유자	행정(유관) 기관
주의보 (0.12ppm/hr 이상)	<ul style="list-style-type: none"> <li>실외활동 자제 요청</li> <li>호흡기질환자, 노약자, 어린이의 실외활동 자제 권고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>자동차의 운행 자제 요청</li> <li>대중 교통시설 이용 권고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대중홍보매체에 의한 대시민 홍보</li> </ul>
경보 (0.3ppm/hr 이상)	<ul style="list-style-type: none"> <li>실외활동 제한 요청</li> <li>호흡기질환자, 노약자, 어린이의 실외활동 제한 권고 및 학교의 실외학습 자제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>경보지역 내 자동차의 사용 제한 명령</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>경보상황 대시민 홍보</li> <li>대형 대기배출사업장 연료사용량 감축 권고</li> </ul>
중대경보 (0.5ppm/hr 이상)	<ul style="list-style-type: none"> <li>실외활동 금지 요청</li> <li>호흡기질환자, 노약자, 어린이의 실외활동 중지, 학교 휴교 요청</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>경보지역 내 자동차의 통행 금지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>위험상황에 대한 시민 홍보 강화</li> <li>대형 대기배출사업장 조업단축 명령</li> </ul>

주 : 법 제8조제4항에 따른 경보 단계별 조치에는 다음 각 호의 구분에 따른 사항이 포함되도록 하여야 함.  
다만, 지역의 특성에 따라 특별시·광역시·특별자치시·도·특별자치도의 조례로 경보 단계별 조치사항을 일부 조정할 수 있음(개정 2013.1.31).

그리고 오존 경보 단계의 사전 대응의 일환으로 오존 농도가 0.081ppm/hr 이상일 때 대기배출업소, 휘발성유기화합물 배출 사업장 등에 사전 통보 하고, 특히 질소산화물, 휘발성유기화합물 등을 다량 배출하는 발전소·소각장·도장시설 등 배출원을 중심으로 오존 농도 증가를 알려 가동률 조정 등 협조를 요청하고 있다.

한편 오존 예보제는 전일의 대기오염도, 기상자료, 익일의 기상 예보자료, 오존예보 모델식을 활용하여 익일의 오존농도를 사전에 예측하고, 시민에게 방송, 인터넷 등으로 정보를 전달함으로써 시민들이 오존의 건강영향에 사전 대비하게 유도하는 제도이다. 오존 예보제의 운영 기간 및 권역은 경보제와 동일하며, 활용되는 예보 등급은 표 5-3과 같다.





그림 5-2 서울시 오존 예보 전달체계

표 5-3 오존 예보 등급

예보등급	좋음	보통	민감군 영향	나쁨	매우 나쁨	위험
예측농도 (ppm)	0~0.040	0.041~0.080	0.081~0.120	0.121~0.300	0.301~0.500	0.501~

1 2

## 오존 경보제 홍보·교육 및 추진실적 확인

서울시는 대기환경정보 및 자치구의 인터넷 홈페이지를 통해 오존 경보제를 안내하고 있으며, 오존 저감대책, 경보발령 시의 시민 행동요령 및 실천사항 등을 홍보·교육하고 있다. 이 밖에 오존 경보제 시행계획 책자와 대기환경전광판(13개소), 교통전광판(26개소), 버스정보안내전광판(729개소), 기타 언론보도, 모바일 매체 등을 통해 오존 경보제를 홍보하고 있다.<sup>11</sup>

그리고 오존 경보제 관련 홍보실적, 오존주의보 발령 시 전파 실적, 자동차 배출가스·VOC 배출시설 단속실적, 대기오염물질 배출업소·주유소 등에 조업시간 조정 협조 요청, 오존 경보제 운영기간 중 살수차량 운행, 물청소 추진 등의 오존저감 추진 실적을 평가하고 있다.



11

대기환경정보 전광판을 통해 평시에는 “오존주의보 발령 시 외출 삼가, 차량 운행 자제!”, 오존주의보·경보 발령 시에는 “발령지역에 계신 분들은 외출을 삼가 주시기 바랍니다”라는 내용이 표출됨.

현행 서울시 오존 경보제 운영현황의 홍보 및 교육 등과 관련하여 설문 조사결과, 서울시민 10명 중 7명은 대기오염 예·경보제에 대해 인지(매우 1.7%, 어느 정도 26.3%, 들어본 적 있음 42.0%)하는 것으로 나타난 반면, 30.0%는 모르는 것으로 나타나고 있다. 또한 예·경보에 따른 민감도 조사 결과, '신경을 쓰고 있지만 대응행동을 한 적 없다'가 69.3%로 가장 높았으며, 다음은 '신경을 쓰지 않는다' 20.7%, '항상 신경을 쓰며 대응행동을 한다' 16.0% 정도로 비교적 낮은 응답률을 보이고 있는 것으로 분석되고 있다(김운수·최유진, 2011). 이러한 설문조사 결과는 고농도 오존의 시민건강 영향 예방 차원에서 향후 오존 예·경보제 운영의 개선 과제로 판단된다.

### 13 서울시 오존 오염 대응체계의 해결과제

#### 1) 오존 농도의 뚜렷한 상승 경향과 국지 고농도(Hot Spot) 오존 대응 수요 증대

1990~2012년 기간 서울지역의 오존 평균농도는 연평균 3.0% 증가하여 뚜렷한 상승 추세가 나타나고 있다. 또한 도시 기후환경의 변화 영향으로 국지 고농도(Hot Spot) 오존 형성 조건이 갖추어져 오존주의보의 발령 가능성 확대에 따른 오존 대응 수요가 증대되고 있다.

#### 2) 오존 농도 증가에 따른 환경성 질환의 건강피해 우려

오존 오염 농도가 10ppb 증가할 경우 시민 호흡기계 질환의 상대위험도(RR)는 1.9% 증가하여 미세먼지(PM10)의 건강영향과 환경성 질환의 건강영향이 우려되고 있다. 이는 수도권 대기환경 개선 제2차 기본계획(2015~2024)에서 '인체위해성 중심의 대기관리'를 목적으로 서울을 포함한 수도권 지역의 대기개선 항목에 오존 관리대상 오염물질을 추가하는 배경이 되고 있다.

3) **오존발생 기여 원인물질 삭감의 한계비용 부담**

오존 오염의 일반적 생성 메커니즘은 오존생성 기여 오염물질인 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 휘발성유기화합물질(VOCs)의 복잡한 광화학 반응으로 요약된다. 따라서 서울지역의 오존농도 저감 및 고농도 오존발생 가능성을 억제하기 위해서는 기본적으로 오존 오염 형성의 전구물질인 휘발성유기화합물 및 질소산화물을 대상으로 NO<sub>x</sub>, VOC 배출량 및 농도 비율을 고려한 권역별 오존 저감방법 파악 및 동시 배출량 삭감이 필요하다. 다만, NO<sub>x</sub>, VOC 배출량 삭감에 소요되는 막대한 사회적 비용이 오존 저감의 한계요인으로 작용하고 있다.

4) **고농도 오존 대응 행동지침의 활용 미흡**

현행 서울시 오존 예·경보제 운영은 고농도 오존 오염의 형성과정을 모니터링하여, 정보전달체계를 통해 시민의 건강 피해를 예방하기 위한 행동요령 정보를 제공하는 기본적인 대응체계를 구축하고 있다. 이와 함께 고농도 오존경보 발령 이전에 예비정보를 전달하거나, 오존발생 원인물질 배출 사업장의 조업 조정과 배출량 감축 유도, 그리고 정보전달의 추진실적 관리 등을 도모하고 있다. 다만, 오존 예·경보제 운영과정에서 시민과 사업자 등이 실제적으로 오존 오염 대응 과정에 참여하고, 고농도 대응과정의 모니터링 결과의 환류과정 확보 등과 같은 고농도 오존 대응의 한계를 극복하는 관리체계의 개선이 필요한 것으로 판단된다. 특히 오존오염의 체계적 대응 및 관리를 위한 법적 기반 마련, 오존 2차 생성 조건 기반 권역별 배출원 관리, 시민·민감계층 및 사업장에 고농도 오존 대응 지침 제공, 산업 및 사회영역별 고농도 오존 대응 정보 제공과 참여유도 등 현장에 적용할 수 있는 고농도 오존 대응 매뉴얼의 작성 및 활용이 더욱 요구되고 있다.

표 5-4 서울시 오존오염 관리의 해결과제

해결과제	내용
오존 대응의 법적 기반 마련	- 서울특별시 오존 예보 및 경보에 관한 조례 제정 - 미세먼지·오존 등 건강피해 예방을 위한 법령체계의 선진화 유도 - 고농도 오존의 건강영향 모니터링 및 환류과정 도입
2차 생성조건 기반 VOC/NOx 비율 관리	- 고농도 오존 오염의 권역별 생성 및 확산 모니터링 기법 개발 - VOCs/NOx 농도 비율, 배출원 기여도를 고려한 권역별 관리 대책 - 오존 생성 및 배출원 관리 효과 진단을 위한 광화학 측정망의 확대 운영
산업 및 사회 영역별 오존 대응 정보 제공	- 오존 경보 등급별 시민·민감계층 행동 요령 - 산업 부문, 교통부문의 고농도 오존 대응 정보 전달 - 오존 대응 시민과 사업장 이해 증진 및 참여유도 정보 제공

## 2 오존 예·경보 조례 제정

오존 예·경보제와 유사한 미세먼지 예·경보제는 미세먼지로 인한 대기오염으로부터 시민의 건강을 보호하고, 미세먼지로 인한 대기오염도를 저감하기 위하여 2005년부터 “서울특별시 미세먼지 예보 및 경보에 관한 조례(서울특별시조례 제5657호, 2014.1.9, 일부개정)”에 근거하여 시행되고 있다. 그러나 오존 예·경보제는 오존오염의 시민건강 피해가 우려됨에도 불구하고 미세먼지 예·경보제 운영 조례 접근과 달리 대기환경보전법 제8조(대기오염에 대한 경보) 규정에 근거하여 시행되고 있다.<sup>12</sup> 다만, 대기환경보전법 제8조의 발령기준, 조치사항의 명시적·제한적 적

12 대기환경보전법 제8조(대기오염에 대한 경보) ① 시·도지사는 대기오염도가 「환경정책기본법」 제12조에 따른 대기에 대한 환경기준(이하 “환경기준”이라 한다)을 초과하여 주민의 건강·재산이나 동식물의 생육에 심각한 피해를 끼칠 우려가 있다고 인정되면 그 지역에 대기오염경보를 발령할 수 있다. 대기오염경보의 발령 사유가 없어진 경우 시·도지사는 대기오염경보를 즉시 해제하여야 한다. <개정 2011.7.21>  
 ② 시·도지사는 대기오염경보가 발령된 지역의 대기오염을 긴급하게 줄일 필요가 있다고 인정하면 기간을 정하여 그 지역에서 자동차의 운행을 제한하거나 사업장의 조업 단축을 명하거나, 그 밖에 필요한 조치를 할 수 있다.  
 ③ 제2항에 따라 자동차의 운행 제한이나 사업장의 조업 단축 등을 명령받은 자는 정당한 사유가 없으면 따라야 한다.  
 ④ 대기오염경보의 대상 지역, 대상 오염물질, 발령 기준, 경보 단계 및 경보 단계별 조치 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

용을 지양하고, 시민의 건강영향을 고려하면서 고농도 오존의 체계적 대응을 위해 오존 오염 예·경보의 법적 근거 마련이 요구된다.

이에 따라 “서울특별시 오존 예보 및 경보에 관한 조례(안)”에 오존 예보·경보 내용 및 기준, 오존 예·경보 시 조치, 대기오염 개선, 민감계층 관리, 피해 발생 시 조사 등을 조례 내용에 반영하여 현장 적용의 실효성 제고를 유도하는 것이 바람직하다. 서울시 오존 예보 및 경보제 운영을 위한 조례(안)의 구성체계와 주요 내용은 그림 5-3과 같다.

향후 미세먼지, 오존 등 시민의 건강피해가 우려될 수 있는 대기오염물질의 통합관리와 예방을 위한 예·경보제 운영 관련 법령 체계의 선진화 또한 기대할 수 있다.

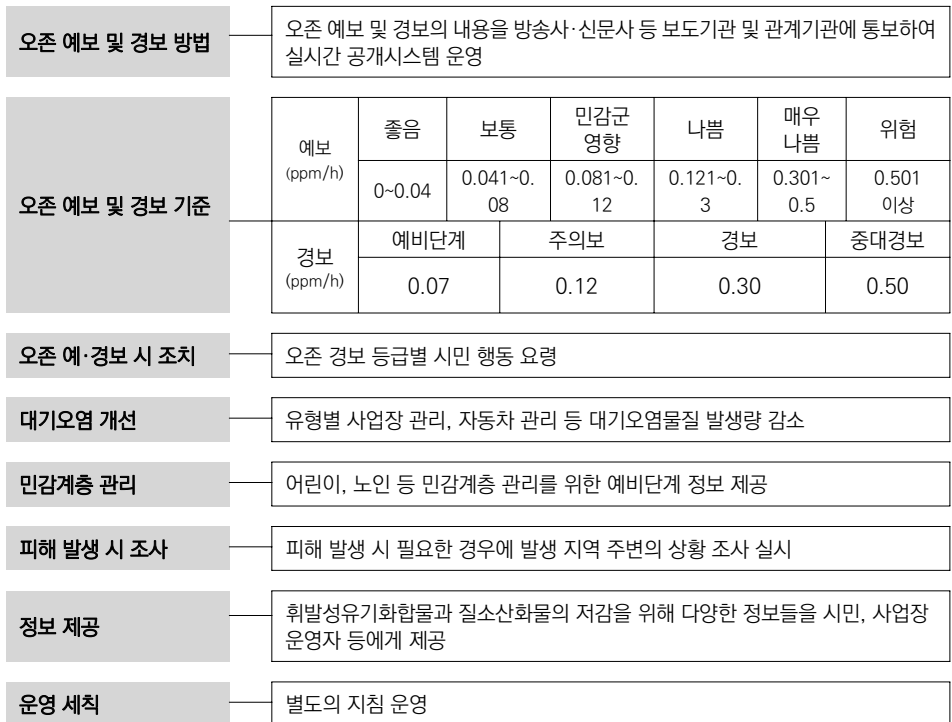


그림 5-3 서울시 오존 예보 및 경보에 관한 조례 구성 체계(안)

## 서울특별시 오존 예보 및 경보에 관한 조례(안)

제1조(목적) 이 조례는 오존으로 인한 대기오염으로부터 시민의 건강을 보호하고, 오존으로 인한 대기오염도를 저감하기 위하여 오존 예보 및 경보에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(정의) 이 조례에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. “예보”란 관측된 오존농도 및 기상변화 등을 참조하여 예측한 다음날의 오존농도를 시민에게 알리는 것을 말한다.
2. “경보”란 오존농도가 일정기준 이상인 때에 시민에게 알리는 것을 말한다.
3. “오존 농도”란 서울 도시대기측정소의 오존을 실시간으로 관측한 값의 전체평균을 말한다.

제3조(책우) ① 서울특별시 및 자치구는 예보 및 경보가 발령되면 이에 따라 필요한 사항을 조치하여야 한다.

② 시민과 각급 기관·단체는 예보 및 경보발령에 따른 행동요령의 실행을 위하여 적극 협조하여야 한다.

제4조(예보 및 경보방법) ① 서울특별시(이하 “시장”이라 한다)은 시민의 안전과 건강을 위하여 오존 예보 및 경보의 내용을 방송사·신문사 등 보도기관 및 관계기관에 통보하여야 한다.

② 시장은 시민이 오존농도를 언제든지 인터넷을 통하여 확인할 수 있도록 실시간 공개시스템을 운영하여야 한다.

③ 시장은 예보 및 경보를 대상지역별로 발령하도록 하고, 그 대상지역은 다음 각 호와 같이 5개 권역으로 구분한다.

1. 도심권 : 종로구, 중구, 용산구
2. 동북권 : 성동구, 광진구, 동대문구, 중랑구, 성북구, 강북구, 도봉구, 노원구
3. 서북권 : 마포구, 서대문구, 은평구
4. 서남권 : 양천구, 강서구, 구로구, 금천구, 영등포구, 동작구, 관악구
5. 동남권 : 서초구, 강남구, 송파구, 강동구

제5조(예보의 내용 및 기준) 오존 예보의 내용과 그 기준은 별표 1과 같다.

제6조(예보에 따른 조치) ① 시장은 다음 각 호와 같이 대기오염물질 발생량 감소를 위하여 노력하여야 한다.

1. 별표 1의 “나쁨”이상의 예보가 된 때에는 시민에게 차량운행 자제, 대기오염물질배출업소의 작업시간 조정 권고 등

2. 별표 1의 “매우 나쁨”이상의 예보가 된 때에는 어린이·학생의 건강보호를 위하여 실외수업 금지, 수업단축, 휴교 등의 조치를 취하도록 교육청장에게 권고

② 자치구청장은 별표 1의 “민감군 영향”이상의 예보가 된 때에는 관내 병원·노인정 등의 주민에게 별표 2의 예보에 따른 시민행동요령을 신속하게 전파하여야 한다.

제7조(경보의 내용 및 기준) 시장은 오존농도가 일정기준 이상인 때에는 경보를 발령하되 “예비단계”, “주의보”, “경보”, “중대경보”로 구분하고, 발령기준 및 해제기준은 별표 3과 같다.

제8조(예비단계 조치) ① 고농도 오존의 단기 노출에 민감한 어린이·학생, 노인들의 피해를 미연에 방지하기 위해 예비단계를 설정한다.

② 예비단계가 발령된 때에는 관내 어린이집, 학교, 노인시설, 병원 등에 관련 정보를 제공한다.

③ 예비단계가 발령된 때에는 대형 사업장에 관련 정보의 제공과 함께 가동률 조정 등의 협조 요청을 한다.

제9조(경보 등에 따른 조치) ① 시장은 주의보 또는 경보(이하 “경보”라 한다)를 발령한 때에는 다음 각 호의 조치를 취하여야 한다.

1. 어린이·학생의 건강보호를 위하여 그 내용에 따라 실외수업 금지, 수업단축, 휴교 등의 조치를 취하도록 교육청장에게 권고 및 명령

2. 오존 경보 단계별 불요불급한 차량 미운행 권고 및 운행제한 명령, 대기오염물질을 배출하는 업소 또는 공사장의 연료사용량 감축 권고 및 명령, 작업시간 단축 권고 및 명령

3. 오존의 위해성 등을 보도기관을 통하여 전파

② 자치구청장은 경보가 발령된 때에는 관내 병원·공원 및 노인정 등의 주민, 대기오염물질 배출업소·공사장을 운영하는 자 등에게 별표 4의 경보에 따른 시민행동요령을 신속하게 전파하여야 한다.

③ 일반시민의 이용이 많은 공원·지하철 및 고공 등에서는 구내방송 등을 통하여 경보의 발령 사항을 이용자에게 즉시 알려야 한다.

제10조(대기오염 개선노력) ① 예보 및 경보가 발령된 때에 차량을 운행하는 자는 긴급한 경우 이외에는 차량운행을 자제하여 대기오염물질 발생량 감소를 위하여 노력하여야 한다.

② 대기오염물질 배출시설 등을 관리·운영하는 자는 사업장의 환경개선, 작업시간 조정 등으로 오존 생성물질의 감소를 위하여 노력하여야 하며, 경보, 중대경보 발령 후 조치사항에 보고하여야 한다.

③ 대기오염물질 배출시설과 휘발성유기화합물 배출시설이 대상이며, 다음 각 호의 시설이 해당한다.

1. 대형 배출사업장과 소형 배출사업장으로 분류하며, 대형 사업장은 대기환경보전법 시행령 제13조 별표 기준

에 따라 1~3종을 대형 사업장으로, 4~5종을 소형 사업장으로 한다.

2. 대기환경보전법 제44조 1항, 대기환경보전법 시행령 제45조 제1항에 근거한 “휘발성유기화합물 배출시설의 종류, 시설규모, 배출억제·방지시설의 설치 등에 관한 규정”의 시설을 중점관리 사업장으로 하며, 규정 이하의 시설을 관리 유도 사업장으로 한다.

제11조(예보 및 경보에 따른 조치사항 확인)① 시장 및 자치구청장은 예보 및 경보가 발령되어 그에 대한 조치를 한 때에는 그 결과를 확인할 수 있다.

② 예보 및 경보에 따라 조치를 받은 기관에서는 특별한 사유가 없는 한 이에 적극 협조하여야 한다.

제12조(피해발생 시 조사 및 모니터링) 오존 피해 발생 시 필요한 경우에 피해발생 지역 주변의 상황 조사를 실시하고, 오존 예·경보의 효과를 지속적으로 평가하여 결과를 반영하도록 한다.

제13조(정보 제공) 오존 생성 원인물질인 휘발성유기화합물과 질소산화물의 배출저감을 위한 다양한 정보를 시민, 사업장 운영자 등에게 제공한다.

오존 피해 발생 시 필요한 경우에 피해발생 지역 주변의 상황 조사를 실시하여야 한다.

제14조(예산의 지원) 시장은 예보 및 경보를 원활하게 할 수 있도록 예산의 범위 내에서 필요한 경비를 집행할 수 있다.

제15조(운영세칙) 시장은 오존 예보 및 경보를 위하여 필요한 사항은 별도의 지침을 마련하여 운영할 수 있다.

### 3 고농도 오존 대응 매뉴얼의 활용

서울시 오존오염 평균농도의 증가 및 국지 고농도 오존 관리 수요 증대, 오존오염의 시민건강 피해 우려, 오존발생 원인물질 배출량 저감 비용 부담, 그리고 도시 기후환경 변화에 따른 오존 농도의 추가적 상승효과 등을 고려하면, 고농도 오존 대응을 위한 가이드라인의 작성과 활용이 요구됨은 물론이다.

따라서 고농도 오존오염의 위기관리 대응능력 향상을 위해 현장 적용이 가능한 고농도 오존 대응 매뉴얼의 제작·활용을 적극 검토하는 것이 바람직하다. 대응 매뉴얼에는 고농도 오존 발생 조건과 관련된 VOC/NO<sub>x</sub> 농도/배출조건 관리 방향, 사회영역별 민감계층의 건강영향을 고려한 오존농도 조건의 세분화 및 선택적 집중 관리, 오존 등급별 시민 행동요령 및 사업장, 교통부문 대응 정보 제공 등이 포함되어야 한다.

### 3.1 민감·취약계층 대상 고농도 대응 예비정보 전달

오존오염이 다양한 건강피해를 유발하고, 특히 호흡기질환, 심혈관질환의 위험과 사망위험도를 증가시킨다는 것이 여러 연구사례를 통해 밝혀

지고 있다. 특히 동일 농도에 노출되는 경우에도 어린이, 고령자, 심장 또는 폐질환을 앓고 있는 시민들이 더욱 취약하다는 연구결과가 확인되고 있다. 이에 따라 어린이, 고령인구 및 취약계층을 집중적으로 고려할 수 있는 오존 대응방안이 마련되어야 할 것이다.

이를 위해 현행 3단계의 오존 경보 발령 기준에 “예비단계”를 추가하여, 사전 대응 정보를 전달하도록 할 필요가 있다. 즉 오존 농도가 예비단계 기준 이상이 되면, 어린이집, 학교, 노인시설, 병원 등의 민감·취약 계층이 밀집되어 있는 관련 기관에 예비 단계의 정보를 우선 전달하고 관련 행동요령에 따라 대응하도록 유도함이 바람직하다.

최근 5년(2008~2012) 동안 서울시 오존 농도의 95%, 99% 백분위수(percentile)에 해당하는 농도 수준이 각각 0.05ppm/hr, 0.07ppm/hr 수준이므로, 주의보와 경보, 중대경보의 기준을 고려하여 99% 수준인 0.07ppm/hr 농도를 “예비단계” 기준으로 설정할 수 있다. 서울시 고농도 대응 시민 행동요령(안)은 표 5-5와 같다.

표 5-5 고농도 오존 대응 시민 행동요령(안)

발령기준	예비 단계 (0.07ppm/hr)	주의보 (0.12ppm/hr)	경보 (0.3ppm/hr)	중대경보 (0.5ppm/hr)
민감계층 <sup>1)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외출 일정 조정</li> <li>• 보육시설 실외학습 자제(14시~16시)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외출 자제</li> <li>• 보육시설 실외학습 제한</li> <li>• 초등학교 실외학습 제한</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노인복지시설의 실외활동 금지</li> <li>• 보육시설의 실외학습 금지</li> <li>• 초·중·고등학교 실외학습 제한 및 단축 수업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노인복지시설의 실외활동 금지</li> <li>• 보육시설의 실외학습 금지</li> <li>• 학교 휴교</li> </ul>
취약계층 <sup>2)</sup>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 옥외 작업 시간의 단축 및 조정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 옥외 작업 제한</li> <li>• 실내 작업(도장 등) 시간 변경(야간)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 옥외 작업 금지</li> <li>• 실내 작업(도장 등) 금지</li> </ul>
일반시민 <sup>3)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 어린이 및 민감계층 동반 외출 자제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외출 일정 조정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과격 야외 운동(조깅, 자전거, 축구 등) 제한</li> <li>• 자동차 급유 자제</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과격 야외 운동(조깅, 자전거, 축구 등) 금지</li> <li>• 야외 운동(골프 등) 제한</li> </ul>

주 : 1) 민감계층 : 65세 이상 노인, 유아, 학생, 호흡기·심혈관 질환자 등

2) 취약계층 : 건설 및 산업장 근로자

3) 일반시민 : 민감계층 또는 취약계층에 해당하지 않는 일반 성인



서울의 오존 생성은 VOC-limited 조건에 해당하여, 고농도 오존 대응을 위하여 권역별 VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 조정하는데 전체적으로 유기용제 사용의 감축 관리가 필요하다. 이를 위해 권역별 오존 생성 기여도를 파악하여, 권역별 맞춤형 관리 대책이 마련되어야 한다.

권역별 오존 생성 배출원 특성을 고려하여 도심권역은 인쇄업, 복서·남서·남동권역은 건축·건물의 도장, 북동권역은 세탁시설의 배출량 감축을 우선적으로 고려할 수 있다.

전체적으로는 배출 기여도가 높은 가정·상업의 유기용제 사용을 관리하기 위해 친환경 유기용제 사용 및 보관 방법 등에 대해 시민·사업자를 대상으로 교육 및 홍보 강화가 필요하다.

우선 오존주의보 등급별 사업장 관리대상은 대기오염물질 배출시설과 휘발성유기화합물 배출시설을 대상으로 하며, 대형 배출사업장과 소형 배출사업장으로 분류한다. 대형 사업장은 대기환경보전법 시행령 제13조 별표 기준에 따라 1~3종을 대형 사업장, 4~5종을 소형 사업장으로 한다.<sup>13</sup> 그리고 대기환경보전법 제44조 1항, 대기환경보전법 시행령 제45조 제1항에 근거한 “휘발성유기화합물 배출시설의 종류, 시설규모, 배출억제·방지시설의 설치 등에 관한 규정”의 시설을 중점관리 사업장으로 하며, 규정 이하의 시설을 관리유도 사업장으로 구분한다.<sup>14</sup>

오존주의보 발령일수 및 시간을 고려하여, 오존주의보 등급별 사업장의 고농도 오존 대응 정보는 표 5-6과 같이 제공하도록 한다.

13 1종 대기배출시설은 대기오염물질 발생량이 연간 80톤 이상인 사업장, 2종 시설은 연간 20톤 이상 ~ 80톤 미만 사업장, 3종 시설은 연간 10톤 이상 ~ 20톤 미만 사업장, 4종 시설은 연간 2톤 이상 ~ 10톤 미만 사업장, 5종 시설은 연간 2톤 미만 사업장으로 분류됨.

14 대기환경보전법 제44조 1항, 대기환경보전법 시행령 제45조 제1항에 근거한 휘발성유기화합물을 배출하는 시설의 종류 및 규모를 의미하며, 이 연구에서는 “중점관리” 대상 사업장으로 정의함(부록 4 참조).

다만, 서울시 오존주의보 발령일수 및 시간은 2010년 7일(27시간), 2012년 3일(5시간)로 사업장의 전체 조업일수 대비 오존주의보 발령일수 비율이 2010년 2.8%, 2012년 1.3%이며, 조업시간(8시간/일) 기준으로는 2010년 0.8%, 2012년 0.3% 수준이다. 이에 따라 오존 경보 단계별 조업시간 단축, 가동률 조정 등의 소형 사업장에 대한 협조요청 또는 권고는 시민의 건강 영향과 대기오염 저감을 위해 검토 가능한 대응방안으로 가능할 수 있다.

이와 함께 휘발성유기화합물질 농도 분포와 오존 생성 기여도를 파악하기 위한 과학적 기반체계 구축의 일환으로 광화학 측정소의 확대·운영을 통해 VOC/NO<sub>x</sub> 관리 실효성이 제고되어야 한다.

표 5-6 사업장의 고농도 오존 대응 정보제공 방안(안)

발령기준	예비 단계 (0.07ppm/hr)	주의보 (0.12ppm/hr)	경보 (0.3ppm/hr)	중대경보 (0.5ppm/hr)
대형 사업장1)	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">사전 통보</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">협조 요청</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">권고</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">명령</div> </div>			
	고농도 오존 발생 예비 정보 제공	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연료 사용량 10% 감축</li> <li>• 조업시간 단축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연료 사용량 20% 감축</li> <li>• 조업시간 단축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연료 사용량 40% 감축</li> <li>• 조업 중지</li> </ul>
소형 사업장2)	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">사전 통보</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">권고</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">명령</div> </div>			
	고농도 오존 발생 정보 제공	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가동률 조정</li> <li>• 조업시간 단축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연료 사용량 감축</li> <li>• 조업시간 단축</li> </ul>	

주 : 1) 대형 사업장, 중점관리 사업장은 1~3종 대기배출시설과 휘발성유기화합물 배출시설의 종류·시설 규모·배출억제·방지시설의 설치 등에 관한 규정을 적용받는 시설 규모를 총칭함.

2) 소형 사업장, 관리유도 사업장은 4~5종 대기배출시설과 휘발성유기화합물 배출시설의 종류·시설규모·배출억제·방지시설의 설치 등에 관한 규정상 시설규모 미만의 시설임.

### 3.3 교통부문의 고농도 오존 대응 정보 제공

환경부 대기정책지원시스템(CAPSS)의 대기오염물질 배출량 인벤토리

를 살펴보면, 2010년 서울의 휘발성유기화합물 배출량 가운데 도로이동오염원이 19.2%를 차지하고 있어, VOC 감축을 위해 이동오염원에 대한 적극적인 대응이 요구되고 있다.

현행 오존 경보제 운영과 관련하여 교통부문의 대응은 경보 지역 내 차량운행 자제권고, 대중교통이용 권고, 경보 지역 내 자동차 사용제한 명령으로 다소 명시적으로 규정되어, 실효성이 다소 우려되고 있다. 이에 따라 운행제한과 관련해서는 오존 경보가 발령된 권역과 발령되지 않은 권역으로 구분하여 교통부문의 고농도 오존 대응정보를 제시하고, 자동차 운행 자제 요청 시에도 보다 구체적으로 제시하거나 체감할 수 있는 권고내용 제안이 바람직하다.

이와 함께 공회전 집중관리 확대, 대형 업무·상업시설의 주차장, 공영주차장의 운영시간 제한 및 금지, 공공기관의 엄격한 요일제 시행 등 보다 실효성 있는 고농도 오존 대응 정보제공 방안이 검토되어야 한다.

표 5-7 교통부문의 고농도 오존 대응 정보제공 방안(안)

발령기준	예비 단계 (0.07ppm/hr)	주의보 (0.12ppm/hr)	경보 (0.3ppm/hr)	중대경보 (0.5ppm/hr)	
운행 제한	발령 권역	고농도 오존 발생 정보 제공 (전광판, 교통 방송 등)	• 3km 이내 단거리 자동차 운행 자제 요청	• 자동차 운행 제한	• 자동차 통행 금지
	이외 권역		• 발령권역으로 이동 시 대중교통 이용 권고	• 3km 이내 단거리 자동차 운행 자제 요청	• 발령권역으로 자동차 진입 금지 • 자동차 운행 제한
공회 전	집중관리 지역 확대		• 터미널, 차고지 집중관리	• 화물 하역장 집중관리 확대	• 택시·버스 승차장 집중관리 확대
교통 수요 관리	대형 업무·상업시설 주차장	고농도 오존 발생 정보 제공 (전광판, 교통 방송 등)	• 운영시간 이용 제한 협조 요청	• 주차 면적 20% 이용 제한 권고	• 주차 면적 40% 이용 제한 명령
	공영 주차장		• 운영시간 제한(2~4시)	• 주차면적 50% 운영 감축	• 주차장 전면 운영 금지
	공공 기관		• 요일제 엄격관리	• 2부제 전면시행	• 업무용 차량 이용 금지

주 : 서울시 자가용 승용차 일 주행거리가 28.6km로, 일거리의 10% 수준인 3km를 단거리 운행거리로 설정함.

## 오존 대응 정보 전달체계의 개선

현재 오존 경보 발령 전파체계는 고농도 오존이 발생한 경우, 정부 공공 기관, 서울시, 유관기관, 언론기관 등에 발령 사항을 통보하는 체계이다. 따라서 사전·사후 통합 대응체계로의 전환을 위해 고농도 오존 에피소드의 피해 영향 사례 보고 및 행동요령 보완의 쌍방향 정보 전달 체계를 구축하는 것이 효과적이다. 또한 오존 경보 발령 후 효과 평가 등의 피드백 과정을 도입하여, 오존오염의 건강피해 사례가 재발하지 않도록 오존 경보의 모니터링 체계를 구축하는 것이 바람직하다.

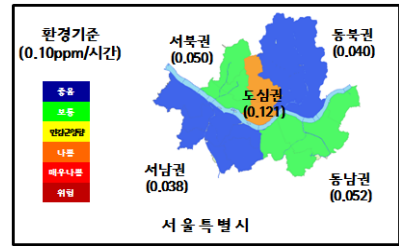
이와 함께 사업장의 고농도 오존 대응이 현장에서 효과적으로 적용되고, 시민들의 적극적인 참여를 유도하기 위한 차원에서 모바일서울(m.Seoul)을 통한 고농도 오존 오염 정보 제공이 요구된다. 특히 고농도 오염 발생 시 알람 서비스 및 저농도 지역 루트 검색 서비스 등 웹(Web)-기반 다양한 정보 어플을 제공하고 고농도 오존 대응요령의 시민이해 및 반응을 높이기 위한 Q&A 자료집을 제작·홍보하도록 한다.

그리고 고농도 오존 오염의 단기 노출에 의한 시민건강 피해를 줄이기 위해, 현행 오존 농도와 경보 발령 시 조치사항이 표출되는 전광판 정보 제공 방식을 시민 체감형으로 개선할 필요가 있다. 즉 서울시 권역별 고농도 오존 오염의 생성·확산 관련 정보를 권역별 오존 오염 현황과 함께 생산·표출하는 시민 체감형 방법으로서의 개선이 요구된다.

○○ 구  
오존(O<sub>3</sub>)  
0.006ppm (0.1 이하)  
서울특별시

오존주의보 발령  
노약자는 실외활동을  
삼가하시기 바랍니다  
서울특별시

〈전광판 정보제공: 현행〉



도심권역  
(중구, 종로구, 용산구)  
오존주의보 발령  
도심권역 노약자 외출자제  
도심권역 자동차 운행자제  
서울특별시

〈전광판 정보제공: 개선〉

그림 5-4 고농도 오존 대응 전광판 정보 제공(안)

모바일서울

맑은서울 대기정보  
Low Pollution 길찾기  
대중교통  
Q&A

시민 대응 사업장 대응 교통 대응 저감 Tip 피해 접수

Low Pollution Route

서울특별시 서초구 서초1동  
어린이대공원 후문주차장

자가용	18.0km	00:35	16,500원	CO <sub>2</sub> 예상배출량 4.5kg CO <sub>2</sub>
대중교통	18.0km	00:20	16,500원	CO <sub>2</sub> 예상배출량 2.5kg CO <sub>2</sub>
자전거	18.0km	01:20	16,500원	CO <sub>2</sub> 예상배출량 0 kg CO <sub>2</sub>

그림 5-5 Web 기반 고농도 오존 대응 정보 어플

서울시 오존 오염의 연평균 농도의 증가 패턴 및 고농도 오존 에피소드에 대한 시민건강 피해를 일상생활 과정에서 완화할 수 있는 ‘오존 저감 녹색지침’으로서 오존 대응 관련 팁(Tip)을 작성·홍보하는 접근법이 필요하다([부록 2] 오존을 줄이기 위한 시민생활 Tip 참조).

즉 산업별·공정별 VOC 배출요인 및 저감대책, 대책별 저감 효율, 가정·사업 생활 과정의 VOC 저감 등 오존 생성 오염물질의 저감 가이드라인을 제공하여 사업장 및 시민의 적극적인 참여 유도가 바람직하다.

#### 오존 대응 관련 Tip

##### 〈자동차 관련〉

- 짧은 거리(2.5km 이내) 승용차 운행을 자제하고 자전거, 도보로 이동하기
- 승용차 함께 타기
- 대중교통(지하철, 버스) 이용하기
- 에어컨 사용 자제하기
- 불필요한 공회전 하지 않기
- 경제속도(60~80km/h) 준수, 급출발·급제동 하지 않기
- 불필요한 물건이나 짐을 싣고 다니지 않기
- 적절한 타이어 공기압 유지
- 주유 시간대 조정(오전 7시 이전, 오후 6시 이후)
- 급유 시 연료탱크 가득 채우지 않기

##### 〈가정·사업 관련〉

- 에너지 절약하기
- 스프레이, 페인트, 왁스 접착제, 살충제, 자동차 용품 등 저VOC 제품 사용하기
  - 수성, 무용매 등
- 살충제, 방충제, 손세정제 사용 시 표준 사용량을 사용하기
- 페인트 사용 시 분무기보다 붓 사용하기
- 사용하지 않는 VOC 제품들은 뚜껑을 닫아 보관하기
- 직사광선이 들지 않는 서늘한 곳에 보관하기

##### 〈세탁시설〉

- 세탁용제를 사용하는 얼룩제거 등을 신속하게 작업하기
- 얼룩제거 등을 한 세탁물을 바로 기계에 투입하기
- 세탁용제의 교환, 충전 시 누수 확인
- 세탁물을 분류하여(두꺼운 천, 얇은 천) 세탁하며, 세탁 후 바로 건조하기
- 세탁용제는 뚜껑을 밀폐하여, 직사광선이 들지 않는 곳에 보관하기
- 고농도 오염 발생 시간대에는 드라이 클리닝 작업을 최소화

##### 〈도장시설〉

- 도로의 조색 작업은 신속하게 하기
- 도색은 밝은 색에서 짙은 색으로 하기(세척 공정상 세척 용제 사용을 줄일 수 있음)
- 분무기 사용 시 15~20cm 거리에서 수직으로 도포하기
- 작업 환경의 청결(먼지 제거)
- 수성 도료 사용하기
- 용제는 뚜껑을 밀폐하여, 직사광선이 들지 않는 곳에 보관하기

한편 서울시 고농도 오존 오염 생성에 따른 시민건강 피해를 사전 예방하고, 오존발생 원인물질 배출 저감을 유도하기 위한 배출원 대응방안, 고농도 오존 수준별 대응 요령, 오존 정보전달 및 효과 모니터링 등을 포함한 ‘서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성(안)’을 전술한 연구내용을 바탕으로 제시하면 다음과 같다.<sup>15</sup>

**표 5-8 서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성(안)**

<b>제1장</b> 개요	1. 목적 2. 법적 근거 3. 적용범위
<b>제2장</b> 고농도 오존 발생 현황	1. 오존 발생 메커니즘 2. 고농도 오존 발생 유형 3. 고농도 오존 발생 기여 배출원
<b>제3장</b> 고농도 기준	1. 사전 주의보 기준 2. 경보 기준 3. 지역 구분
<b>제4장</b> 경보 전달체계	1. 경보 사전 전달체계 2. 피해 사후 전달체계
<b>제5장</b> 고농도 오존 수준별 대응 요령	1. 시민 대응 행동요령 - 일반시민 - 민감계층 2. 배출원별 대응요령 - 배출시설 및 사업장 - 교통부문
<b>제6장</b> 모니터링	1. 오존 대응 효과 평가 2. 배출원 관리의 실적 평가
<b>제7장</b> 정보제공	1. 가정, 사무실에서 오존 저감방안 2. 산업공정에서의 오존 저감 가이드
<b>부록</b>	정보 제공 사이트

15

매뉴얼 구성체계의 주요 내용은 [부록 3] 참조

## VI 결론

1 요약

2 정책제언



# VI 결론

## 1 요약

### 1.1 기후환경 모범도시 실현을 위한 고농도 오존 관리

2단계 수도권 대기환경개선 특별대책의 주된 관심은 그간 PM10과 NO<sub>2</sub> 목표농도 관리에 집중했던 정책방향을 인체 위해성에 중점을 둔 방향으로 전환하는 데 있다. 특히 1단계 기본계획과 시행계획의 목표관리에서 제외되었던 오존 기준(60/15ppb)과 PM2.5 기준(25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 추가됨으로써, 기후환경 변화의 건강영향을 최소화하기 위한 수도권 대기환경 관리의 새로운 정책방향 마련에 관심이 집중되고 있다.

국지 고농도 오존 발생에 따른 단기노출의 건강 영향을 저감하기 위한 실효성 확보가 주요 관심사항으로 오존농도 증가 및 국지 고농도 형성에 따른 관리 및 대응방안 마련은 국가 및 지자체 차원의 기후변화 대응과 시민 건강 예방과 직결된다.

### 1.2 고농도 오존 단기노출의 건강영향 저감 대응 매뉴얼의 작성 및 활용

고농도 오존 오염 대응은 첫째, 고농도 오존발생 가능성을 예측하여 오존 형성과정을 고려한 권역별·단계별 대응, 둘째, 고농도 오존발생을 전제로 오존영향을 최소화하기 위한 사후관리 성격의 대응으로 구분할 수 있다. 다만, 현행 고농도 오존 오염 대응은 오존 오염 발생 및 확산경로 분석과 사후관리가 상호 연계되지 못하는 한계로 인하여 시민건강 위해성 예방에 비효율성이 나타나고 있다.

이에 따라 고농도 오존발생 메커니즘의 확인 과정과 연계한 오존 오염 대응체계의 실효성을 제고할 수 있는 가이드라인 마련의 일환으로 고농

도 오존 대응 매뉴얼 작성 및 활용의 필요성이 더욱 커지고 있다. 이는 도시 기후환경의 변화 및 고농도 오존 발생조건에 대한 심화 가능성을 고려한 고농도 적응도시 실현을 위한 대응기반을 마련하고, 향후 고농도 오존 오염의 단기노출에 의한 건강영향 저감을 위한 서울시 제도 개선의 기초자료로 활용이 가능하기 때문이다.

## 1.3 주요 연구성과

### 1.3.1 오존 발생 메커니즘과 이동경로 분석

#### 1) 오존 오염의 시·공간적 발생조건

고농도 오존이 발생한 날의 기상 현황을 살펴보면 기온이 27℃ 이상, 상대습도는 50% 이하, 풍속이 다소 약할 때 고농도 오존의 발생빈도가 높으며, 서남서풍, 남서풍의 계열에서 고농도 오존이 많이 발생하는 특성을 보이고 있다.

이와 같이 단기 노출에 따른 시민 건강 위해 가능성이 큰 고농도 오존은 도시 기후환경의 변화와 함께 기온에 비례하여 증가하고, 상대습도 및 풍속에 반비례하여 감소하는 일반적 경향이 나타나고 있다.

서울 전체 및 권역별 고농도 오존 발생 조건은 VOCs-limited 조건에 해당한다. 다만 권역별 농도 비율의 차이가 일부 나타나고 있어 향후 권역별 VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 고려한 오존 모니터링 및 대응정책 검토가 요구되고 있다.

#### 2) 고농도 오존 오염 형성 및 이동경로 분석

서울의 고농도 오존의 발생 유형을 고농도 오존 에피소드 사례를 통해 동일한 시간대에 고농도가 발생한 독립형(평균 오존 농도가 인접 자치구에 비해 상대적으로 높게 형성되어 비정형적으로 발생하는 사례(Case 1), 고온 및 낮은 풍속에서 VOC-limited 조건이 확대되어 고농도 오존이

발생하는 사례(Case 2, Case 3))과 시간 간격을 두고 여러 지역에 고농도가 발생한 시차형(바람의 이동 경로에 따라 고농도 오존 발생 지역이 이동하는 사례(Case 4)와 내부 VOC/NO<sub>x</sub> 오염물질의 배출 및 기상요인의 복합 영향사례(Case 5))으로 분류할 수 있다.

서울시 고농도 오존형성 사례의 유형구분은 향후 고농도 에피소드 발생 가능성 추정과 대응 방안 마련에 시사점을 줄 것으로 기대된다.

### 132 **오존 기여 원인물질 배출원 관리방안**

서울의 오존 생성은 VOC-limited 조건에 해당하여, 고농도 오존 대응을 위해서는 권역별 VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 고려한 오존 대응 정책이 요구되고 있다. 즉 권역별 배출원별 오존 발생 원인물질 배출 기여도를 고려한 배출원 관리가 필요하다.

VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율 조정을 위해서는 전체적으로 유기용제 사용의 감축이 우선되어야 한다. 특히 도심권역은 인쇄업, 북서·남서·남동 권역은 건축·건물의 도장, 북동권역은 세탁시설의 VOCs 배출량 감축이 일차적으로 고려되어야 한다. 이와 함께 가정·상업의 유기용제 사용을 관리하기 위해 친환경 유기용제 사용 및 보관 등에 관한 시민·사업자 대상의 교육 및 홍보 강화 등의 관리방안이 검토되어야 한다.

### 133 **해외 오존 오염 대응 사례분석**

해외 선진도시들의 오존 대기환경 현황, 정보전달, 고농도 오존 대응 체계를 종합하여 분석한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 선진도시들은 오존을 상시 모니터링할 수 있는 측정 시스템을 구축하고 있으며, 오존생성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 있다.

둘째, 선진도시들은 건강 영향을 고려하여 대기질 지수(AQI), 대기질 건강지수(AQHI) 등을 개발하고, 오존 노출을 줄이고 피할 수 있도록 유도하기 위한 전달체계를 구축하고 있다.

셋째, 선진도시들은 4단계로 세분화된 경보 기준에 따라 오존 경보 제도를 운영하고 있으며, 단계별 대응책을 제시하고 있다.

넷째, 선진도시들은 오존 경보단계에 따라 구체적인 연료사용량 삭감, VOC 배출시설 사용 제한, 자동차 운행 제한 및 교통수요 관리 등 고농도 오존 발생 시 배출원 관리에도 유의하고 있다.

다섯째, 선진도시들은 고농도 오존 대응의 실효성 확보를 위해 고농도 오존에 의한 피해 관련 조사를 실시하여 사후 관리 체계를 마련하고 있다.

여섯째, 선진도시들은 민감 및 취약계층을 보호하며 건강영향을 최소화하기 위해 별도의 경보 단계를 설정하고 있다.

## 2 정책제언

### 2.1 오존 예·경보 조례 제정

오존 예·경보제는 오존 오염의 시민건강 피해가 우려됨에도 불구하고 미세먼지 예·경보제 운영 조례 접근과 달리 대기환경보전법 제8조(대기오염에 대한 경보) 규정에 근거하여 시행되고 있다.

이와 같이 대기환경보전법 제8조의 발령기준, 조치사항의 명시적·제한적 적용을 지양하고, 시민의 건강피해를 고려하면서 고농도 오존의 체계적 대응을 위해 오존 오염 예·경보의 법적 근거 마련이 요구된다. 향후 미세먼지, 오존 등의 건강피해에 대한 통합관리와 예방을 위한 예·경보제 관련 법령 체계의 선진화도 기대할 수 있다.

### 2.2 고농도 오존 대응 매뉴얼의 활용

고농도 오존오염의 위기관리 대응능력 향상을 위해 현장에 적용할 수 있는 고농도 오존 대응 매뉴얼의 제작·활용을 적극 검토하는 것이 바람직하다. 대응 매뉴얼에는 고농도 오존 발생 조건과 관련된 VOC/NOx 농

도/배출조건 관리 방향, 사회영역별 민감계층의 건강영향을 고려한 오존농도 조건의 세분화 및 선택적 집중 관리, 오존 등급별 시민 행동요령 및 사업장, 교통부문 대응 정보 제공 등이 포함되어야 한다.

### 2.2.1 민감·취약계층 대상 고농도 대응 예비정보 전달

현행 3단계의 오존 경보 발령 기준에 “예비단계”를 추가하여, 사전 대응 정보를 전달하도록 할 필요가 있다. 즉 오존 농도가 예비 단계 기준 이상이 되면, 어린이집, 학교, 노인시설, 병원 등의 민감·취약계층이 밀집되어 있는 관련 기관에 예비 단계의 정보를 우선 전달하고 관련 행동요령에 따라 대응하도록 유도함이 바람직하다.

### 2.2.2 사업장 및 가정·상업 배출원 관리 행동지침

서울의 오존 생성은 VOC-limited 조건에 해당하여, 고농도 오존 대응을 위하여 권역별 VOCs/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 조정하는데 전체적으로 유기용제 사용의 감축 관리가 필요하다. 이를 위해 권역별 오존 생성 기여도를 파악하여, 권역별 맞춤형 관리 대책이 마련되어야 한다.

권역별 오존 생성 배출원 특성을 고려하여 도심권역은 인쇄업, 북서·남서·남동권역은 건축·건물의 도장, 북동권역은 세탁시설의 배출량 감축을 우선적으로 고려할 수 있다.

이와 함께 휘발성유기화합물질 농도 분포와 오존 생성 기여도를 파악하기 위한 과학적 기반체계 구축의 일환으로 광화학 측정소의 확대·운영을 통해 VOC/NO<sub>x</sub> 관리 실효성이 제고되어야 한다.

### 2.2.3 교통부문의 고농도 오존 대응 정보 제공

운행제한과 관련하여서는 오존 경보가 발령된 권역과 발령되지 않은 권역으로 구분하여 교통부문의 고농도 오존 대응정보를 제시하고, 자동차 운행 자제 요청 시에도 보다 구체적으로 제시하거나 체감할 수 있는 권고

내용 제안이 바람직하다.

이와 함께 공회전 집중관리 확대, 대형 업무·상업시설의 주차장, 공유주차장의 운영시간 제한 및 금지, 공공기관의 엄격한 요일제 시행 등 보다 실효성 있는 고농도 오존 대응 정보제공 방안이 검토되어야 한다.

## 2.3 오존 대응 이해 증진 및 참여 유도

### 2.3.1 오존 대응 정보 전달체계의 개선

사전·사후 통합 대응체계로 전환하기 위해 고농도 오존 에피소드의 피해 영향 사례 보고 및 행동요령을 보완하는 쌍방향 정보 전달 체계를 구축하는 것이 효과적이다. 또한 오존 경보 발령 후 효과 평가 등의 피드백 과정을 도입하여, 오존 오염의 건강피해사례가 재발하지 않도록 오존 경보의 모니터링 체계를 구축하는 것이 바람직하다.

이와 함께 모바일서울(m.Seoul)을 통한 고농도 오존오염 정보 제공, 고농도 오염 발생 시 알람 서비스 및 저농도 지역 루트 검색 서비스 등 Web-기반 다양한 정보 어플을 제공하고, 고농도 오존 대응요령의 시민 이해 및 반응을 높이기 위한 Q&A 자료집을 제작·홍보하도록 한다. 그리고 서울시 권역별 고농도 오존 오염의 생성·확산 관련 정보를 권역별 오존 오염 현황과 함께 생산·표출하는 방법으로서의 개선이 요구된다.

### 2.3.2 오존 생성 VOCs 배출저감 정보 제공

서울시 오존 오염의 연평균 농도의 증가 패턴 및 고농도 오존 에피소드에 대한 시민건강 피해를 일상생활 과정에서 완화할 수 있는 ‘오존 저감 녹색지침’으로서 오존 대응 관련 Tip을 작성·홍보하는 접근법이 필요하다.

## 참고문헌

## 참고문헌

- 곽진, 2004, “부산지역 휘발성유기화합물(VOCs)의 농도분포 특성연구-당감동, 덕천동, 광화학평가측정소를 대상으로-”, 부산광역시 보건환경연구원보 제14권 제2호, pp229~254
- 김동영, 2005, 「오존경보제 운영 개선 방안」, 경기개발연구원
- 김영성·오현신, 1999, “1990~1997 기간 중 서울·수도권 지역의 고농도 오존 사례 연구”, 한국대기환경학회지 제15권 제3호, pp267~280
- 김운수, 2013, 「서울시 기후·환경 변화의 건강영향 분석연구」, 서울연구원
- 김운수·최유진, 2011, 「서울시 대기환경개선 목표 달성을 위한 오염물질 저감대책 수립 연구」, 서울시정개발연구원
- 김유근·문운섭·오인보·황미경, 2002, “서울 및 부산지역에서 기온과 국지풍이 지표 고농도 오존발생에 미치는 영향”, 한국기상학회지 제38권 제4호, pp319~331
- 김유근·박상현·강재은, 2007, “양산시 고농도 오존 관측 사례 수치모의 및 오존 발생과정별 기여도 평가”, 한국환경과학회 가을 학술발표회지 제16권 제2호, pp80~83
- 도상현·최성우, 2005, “대구시 고농도 오존일의 특성”, 「환경과학논문집」 제10권 제1호, pp57~65
- 도우근·조정구, 2012, “궤적분석을 활용한 고농도 오존 원인규명에 관한 연구”, 부산광역시보건환경연구원보 제22권 제1호, pp160~176
- 박수진, 2005, 「서울 지역 고농도 오존 분포 시 기상특성에 관한 연구」
- 안재호, 2011, “시화·반월단지지역의 고농도 오존일에 대한 광화학모델 적용 연구 - 기상특성에 대한 분석 -”, 한국태양에너지학회 논문집 제31권 제5호, pp47~59
- 오인보·김유근·황미경, 김동영, 2003, “서울지역 6월 고농도 오존 현상의 기상효과와 사례일 모델링”, 한국대기환경학회 2003 춘계학술대회 논문집, pp141~142
- 유숙진·조정구, 2008, “휘발성유기화합물과 질소산화물의 오존생성 기여도 평가에 관한 연구”, 부산광역시보건환경연구원보 제18권 제1호, pp181~192
- 유승성·김흥기·이상훈, 2005, “질소산화물과 휘발성유기화합물의 오존생성 기여도 평가”, 서울시 보건환경연구원보, pp380~386
- 유숙진·조정구, 2008, “휘발성유기화합물과 질소산화물의 오존생성 기여도 평가에 관한 연구”, 보건환경연구원보, pp181~192
- 이훈자, 2007, “경기도 수원지역 고농도 오존의 시계열 모형 연구”, 한국대기환경학회 2007 춘계학술대회 논문집



정여민·이순환·이화운·전원배, 2012, “수도권 배출량 저감에 따른 오존 발생 과정 분석에 관한 수치연구”, 한국환경과학회지 제21권 제3호, pp339~349

정여민·이화운·최현정, 2011, “기후변화에 따른 도시별 기상기여도 차이가 고농도 오존분포에 미치는 영향”, 한국환경과학회지 제20권 제3권, pp405~416

정일록, 2001, 「지표 오존생성의 기작과 영향요소」, 국립환경연구원

정장표·유숙진, 2010, “휘발성유기화합물과 질소산화물의 오존생성 기여도 평가에 관한 연구”, 대한환경공학회지 제32권 제2호, pp209~218

조용성·전의찬, 2005, “서울시민의 오존 오염에 대한 인식 및 의사결정 분석”, 한국대기환경학회지 제 21 권 제2호, pp205~213

최진호·엄정섭, 2011, “GIS를 활용한 대구시 행정동별 오존 분포특성 평가”, 대구경북연구원 저널 제10호 제1호, pp19~28

현명숙·이화운·정우식·오성남, 2004, “경주지역 오존의 고농도현상에 관한 기상학적 분석 II”, 한국기상학회지 제40권 제1호, pp49~59

국립환경과학원, 2012, 「대기오염물질 배출량 2010」.

국립환경과학원, 2011, 「기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구」.

국립환경과학원, 2008, 「선진국의 휘발성유기화합물(VOC) 배출저감 사례분석을 통한 국내 적용방안 연구(II)」

환경부, 2013, 「2013 대기환경연보」.

환경부, 2001, 「오존 오염의 현황과 대응방안」.

서울특별시, 2013a, 「2012 서울 대기질 평가보고서」.

서울특별시, 2013b, 「2013년 오존경보제 시행계획」.

서울특별시, 2006, 「수도권 대기환경개선 기본계획 추진을 위한 서울특별시 시행계획」.

EPA, 1994, Photochemical Assesment Monitoring Station Implementation Manual

EPA, 2006, Guideline for Reporting of Daily Air Quality -Air Quality Index (AQI)

Toronto public Health, 2001, Condition Critical Fixing Our Smog Warning System

Vallero, Daniel, 2008, Fundamentals of Air Pollution, 4th ed. Burlington, MA: Elsevier Inc.

光化学オキシダント対策検討, 2005, 「光化学オキシダント対策検討会報告」.

光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会, 2007, 「光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書」.

<http://cleanair.seoul.go.kr/>

서울특별시 대기환경정보

<http://legal.seoul.go.kr/>

서울특별시 법무행정서비스

<http://www.law.go.kr/>

법제처 국가법령정보센터

<http://www.epa.nsw.gov.au/>

호주 NSW 환경부

<http://www.ec.gc.ca/>

캐나다 환경부

<http://www.aqmd.gov/>

캘리포니아 남부해안대기관리부

## 부록

- 1 서울시 고농도 오존 Episode 발생 현황
- 2 오존 오염 대응 시민 녹색생활 Tip
- 3 서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성(안)
- 4 휘발성유기화합물을 배출하는 시설의 종류 및 규모

부록 1 서울시 고농도 오존 Episode 발생 현황

일자	발령 시간	해제 시간	지속 시간	구역	측정소	O <sub>3</sub> (ppm)	기온 (°C)	풍속 (m/s)	풍향
2000-06-15	15:00	18:00	3:00	남동	서초	0.125	30.4	1.4	W
2000-06-15	16:00	17:00	1:00	도심	중구	0.124	31.6	0.4	NE
2000-06-15	16:00	17:00	1:00	북동	도봉	0.122	34.6	3.0	WSW
2000-06-18	14:00	18:00	4:00	북서	은평	0.125	32.5	1.5	WNW
2000-06-18	14:00	17:00	3:00	북동	노원	0.120	32.9	1.8	SW
2000-06-18	15:00	19:00	4:00	남동	서초	0.129	30.2	2.9	WSW
2000-06-18	17:00	18:00	1:00	남서	영등포	0.125	32.9	2.0	.
2000-06-19	14:00	15:00	1:00	남서	영등포	0.140	32.6	1.1	.
2000-06-19	15:00	16:00	1:00	북동	광진	0.137	30.9	3.2	SSE
2000-06-19	15:00	16:00	1:00	남동	서초	0.146	30.6	2.0	WSW
2000-06-20	15:00	16:00	1:00	남서	구로1	0.122	29.6	3.3	E
2000-06-28	17:00	18:00	1:00	도심	중구	0.122	30.0	2.5	NE
2000-06-28	17:00	18:00	1:00	북동	도봉	0.120	32.7	4.1	WNW
2000-07-04	14:00	15:00	1:00	도심	용산	0.120	31.8	0.4	WSW
2000-07-04	14:00	17:00	3:00	북동	도봉	0.129	37.5	1.0	W
2000-07-04	15:00	18:00	3:00	남동	강동	0.135	34.3	1.5	S
2000-07-05	13:00	17:00	4:00	남동	강동	0.128	32.4	1.2	S
2000-07-05	13:00	16:00	3:00	북동	도봉	0.142	33.2	2.4	NW
2000-07-05	14:00	15:00	1:00	도심	중구	0.126	32.0	1.2	NE
2000-07-26	16:00	18:00	2:00	남서	양천	0.131	29.1	2.1	W
2000-07-26	17:00	18:00	1:00	북서	은평	0.130	30.5	1.7	WNW
2000-07-26	18:00	19:00	1:00	남동	서초	0.122	28.9	1.6	WNW
2001-06-04	15:00	16:00	1:00	북동	도봉	0.123	28.7	2.5	N
2001-06-10	15:00	17:00	2:00	북동	광진	0.124	31.7	1.7	SE
2001-06-10	15:00	18:00	3:00	남동	강동	0.120	30.6	1.7	W
2001-07-19	14:00	17:00	3:00	북동	충랑	0.125	29.8	1.5	.
2001-07-20	15:00	16:00	1:00	남서	영등포	0.121	30.7	1.4	.
2001-07-21	15:00	18:00	3:00	도심	중구	0.123	30.7	1.0	NNW
2001-08-04	15:00	17:00	2:00	남동	송파	0.014	33.5	1.0	.
2002-06-06	13:00	16:00	3:00	도심	중구	0.123	30.9	0.9	W
2002-06-06	13:00	17:00	4:00	북동	성동	0.137	30.0	1.0	SW
2002-06-06	13:00	17:00	4:00	남서	강서	0.122	28.8	1.5	SSW
2002-06-06	13:00	18:00	5:00	남동	강남	0.128	31.2	0.7	SSE
2003-05-13	17:00	18:00	1:00	북동	도봉	0.122	26.6	2.3	NNE
2003-07-31	16:00	17:00	1:00	남동	강동	0.122	30.1	1.6	WSW
2004-06-01	15:00	17:00	2:00	남서	관악	0.122	28.1	2.8	WSW
2004-06-03	14:00	16:00	2:00	북서	은평	0.123	31.9	1.5	SSW
2004-06-03	17:00	18:00	1:00	북동	광진	0.126	32.4	1.4	SE
2004-06-11	15:00	16:00	1:00	북서	은평	0.128	29.0	1.4	SSW
2004-06-11	15:00	16:00	1:00	남서	관악	0.126	30.4	1.4	NW
2004-06-11	16:00	17:00	1:00	북동	도봉	0.130	29.2	2.4	ENE
2004-06-16	16:00	17:00	1:00	남서	양천	0.134	30.9	1.2	SSW
2004-08-12	15:00	17:00	2:00	북서	은평	0.125	33.4	1.1	SW
2004-08-12	16:00	18:00	2:00	북동	도봉	0.127	30.8	2.1	N

부록 계속 서울시 고농도 오존 Episode 발생 현황

일자	발령 시간	해제 시간	지속 시간	권역	측정소	O <sub>3</sub> (ppm)	기온 (℃)	풍속 (m/s)	풍향
2005-05-29	16:00	19:00	3:00	남서	금천	0.126	29.2	2.2	WSW
2005-05-29	17:00	19:00	2:00	북서	은평	0.124	29.9	0.4	S
2005-05-29	17:00	20:00	3:00	남동	강남	0.132	30.6		E
2005-05-29	19:00	20:30	1:30	북동	노원	0.124	28.6	2.0	SSW
2005-06-24	14:00	15:00	1:00	남서	양천	0.132	30.4	1.7	SSW
2005-06-24	15:00	17:00	2:00	북서	은평	0.143	34.8	1.0	ESE
2005-06-24	16:00	18:00	2:00	남동	강동	0.135	32.1	1.3	E
2005-06-24	16:00	18:00	2:00	북동	노원	0.171	32.8	2.7	ESE
2005-07-22	15:00	17:00	2:00	남서	관악	0.122	34.7	0.7	ESE
2005-07-22	15:00	16:00	1:00	도심	종로	0.132	33.9	1.4	SSE
2005-07-22	15:00	17:30	2:30	남동	서초	0.136	35.2	1.2	NW
2005-07-22	15:00	17:00	2:00	북동	동대문	0.127	34.4	0.9	SW
2005-07-23	13:00	20:00	7:00	북동	도봉	0.130	32.8	0.8	NNE
2005-07-23	14:00	17:00	3:00	북서	은평	0.177	37.3	1.1	S
2005-07-23	14:00	17:00	3:00	남동	강동	0.137	33.5	1.5	N
2005-07-23	14:00	16:00	2:00	남서	양천	0.153	34.0	2.2	WSW
2005-08-31	17:00	18:00	1:00	북동	광진	0.124	29.8	1.3	ENE
2006-08-09	15:00	16:00	1:00	남서	구로1	0.143	34.1	2.6	WSW
2006-08-09	15:00	16:00	1:00	북서	은평	0.133	37.3	0.8	SSE
2006-08-09	16:00	17:00	1:00	북동	강북	0.121	33.6	1.6	NNW
2007-05-27	15:00	19:00	4:00	남서	구로2	0.129	29.6	1.7	S
2007-05-27	16:00	18:00	2:00	북동	광진	0.122	28.8	2.0	ENE
2007-05-27	16:00	18:00	2:00	북동	동대문	0.120	29.8	1.2	ESE
2007-05-27	17:00	19:00	2:00	도심	중구	0.127	32.3	0.6	S
2007-05-27	17:00	19:00	2:00	북서	서대문	0.121	31.4	1.8	ENE
2007-06-18	16:00	18:00	2:00	남동	송파1	0.124	35.2	0.8	W
2007-06-18	16:00	17:00	1:00	남서	구로2	0.120	32.0	1.7	N
2007-06-18	16:00	17:00	1:00	남서	관악	0.120	32.1	2.0	WSW
2007-06-18	16:00	18:00	2:00	북서	은평	0.120	34.6	1.0	S
2007-06-18	16:00	18:00	2:00	북서	서대문	0.125	32.1	2.9	WNW
2007-06-18	17:00	18:00	1:00	북동	동대문	0.131	33.1	2.0	NNW
2007-06-18	17:00	18:00	1:00	북동	성북	0.131	34.6	2.3	NNE
2007-06-19	12:00	18:00	6:00	북동	강북	0.123	28.6	1.3	WSW
2007-06-19	12:00	18:00	6:00	남동	송파1	0.120	31.9	0.7	W
2007-06-19	14:00	18:00	4:00	도심	용산	0.136	33.5	1.3	WNW
2007-06-19	14:00	18:00	4:00	북서	은평	0.121		0.3	
2007-06-19	14:00	15:00	1:00	남서	구로1	0.135		2.7	NNE
2007-06-19	14:00	15:00	1:00	남서	구로2	0.126	31.2	1.8	SSW
2007-06-19	14:00	15:00	1:00	남서	금천	0.149	29.9	2.2	W
2007-06-19	14:00	15:00	1:00	남서	관악	0.146	31.4	2.0	W
2007-07-08	17:00	19:00	2:00	도심	종로	0.137	29.5	1.7	W
2007-07-08	17:00	19:00	2:00	도심	중구	0.129	30.4	1.9	WSW
2007-07-08	17:00	19:30	2:30	북동	성북	0.137	31.8	1.9	NNE
2007-07-08	17:00	19:30	2:30	북동	도봉	0.125	30.3	1.3	ENE

부록 계속 서울시 고농도 오존 Episode 발생 현황

일자	발령 시간	해제 시간	지속 시간	권역	측정소	O <sub>3</sub> (ppm)	기온 (°C)	풍속 (m/s)	풍향
2007-07-08	17:00	19:30	2:30	북동	동대문	0.122	30.6	2.1	NW
2007-07-08	17:00	19:30	2:30	북동	노원	0.122	29.1	2.1	SW
2007-07-08	17:00	18:00	1:00	남서	금천	0.121	29.6	2.1	W
2007-07-08	18:00	19:00	1:00	남동	강남	0.121	30.6	2.0	NNE
2007-07-08	18:00	19:00	1:00	남동	강동	0.121	30.3	1.9	NE
2007-07-31	14:00	15:00	1:00	도심	종로	0.122	28.7	1.8	WSW
2007-07-31	14:00	15:00	1:00	북동	성북	0.131	31.8	1.8	NNE
2007-08-23	17:00	20:00	3:00	북서	서대문	0.125	32.2	2.4	W
2007-09-12	17:00	19:00	2:00	도심	종로	0.131	28.1	1.6	W
2007-09-12	17:00	19:00	2:00	도심	중구	0.138	29.0	1.3	WSW
2007-09-12	17:00	19:00	2:00	북동	성북	0.137	30.0	1.4	NNE
2007-09-12	17:00	19:00	2:00	북동	강북	0.126	27.7	1.7	NNW
2007-09-12	17:00	19:00	2:00	북동	노원	0.130	27.7	1.8	SW
2008-06-10	16:00	17:00	1:00	도심	중구	0.126	29.5	1.3	WNW
2008-06-10	16:00	17:00	1:00	북동	동대문	0.123	29.0	0.9	NNE
2008-06-10	16:00	17:00	1:00	남동	송파1	0.121	30.0	1.1	N
2008-06-12	15:00	16:00	1:00	도심	중구	0.131	30.2	1.5	WSW
2008-06-12	15:00	16:00	1:00	북동	동대문	0.128	29.3	2.1	ESE
2008-06-20	15:00	18:00	3:00	남동	송파1	0.135	31.2	1.2	SSW
2008-06-20	16:00	18:00	2:00	북동	동대문	0.129	29.3	0.7	NW
2008-06-20	16:00	17:00	1:00	도심	중구	0.129	31.7	0.9	W
2008-06-20	16:00	17:00	1:00	남서	금천	0.129	31.5	1.2	W
2008-07-17	16:00	18:00	2:00	남서	양천	0.126	29.2	2.3	SW
2008-07-17	17:00	18:00	1:00	북동	성동	0.133	29.7	1.1	NW
2008-07-17	18:00	19:00	1:00	남동	송파1	0.135	30.1	1.5	WNW
2008-07-18	13:00	16:00	3:00	남서	양천	0.131	29.3	1.2	SW
2008-07-18	13:00	16:00	3:00	남서	구로2	0.121	32.5	1.0	SW
2008-07-18	14:00	17:00	3:00	남동	서초	0.121	31.2	1.0	NNW
2008-07-18	15:00	17:00	2:00	북동	성동	0.165	29.9	0.7	SW
2008-07-18	15:00	17:00	2:00	북동	광진	0.128	31.0	2.1	WSW
2008-08-05	14:00	18:00	4:00	북동	강북	0.128	30.0	1.2	SE
2008-08-05	14:00	18:00	4:00	남서	강서	0.126	30.3	1.3	WNW
2008-08-05	14:00	18:00	4:00	남서	양천	0.120	29.3	1.7	WNW
2008-08-05	14:00	18:00	4:00	남동	송파1	0.123	32.1	1.1	ENE
2008-08-05	15:00	17:00	2:00	도심	중구	0.127	31.4	1.4	WSW
2008-08-06	15:00	17:00	2:00	도심	중구	0.134	33.5	1.3	WSW
2008-08-06	15:00	17:00	2:00	북서	마포	0.121	32.6	1.7	WSW
2008-08-06	15:00	17:00	2:00	남서	양천	0.128	31.3	1.7	NNW
2008-08-06	15:00	17:00	2:00	남서	구로1	0.146	33.0	2.2	NE
2008-08-06	15:00	17:00	2:00	남서	금천	0.126	31.7	1.9	WSW
2008-08-06	15:00	18:00	3:00	남동	서초	0.126	34.3	1.1	NNW
2008-08-08	15:00	18:00	3:00	남서	구로1	0.129	37.3	1.5	WSW

부록 계속 서울시 고농도 오존 Episode 발생 현황

일자	발령 시각	해제 시각	지속 시간	권역	측정소	O <sub>3</sub> (ppm)	기온 (°C)	풍속 (m/s)	풍향
2009-05-08	16:00	17:00	1:00	북서	은평	0.125	26.9	1.5	S
2009-05-08	16:00	17:00	1:00	북동	동대문	0.120	28.4	2.1	W
2009-06-18	17:00	18:00	1:00	남서	금천	0.122	31.6	1.1	ENE
2009-07-16	17:00	18:30	1:30	남서	구로	0.127	31.9	2.4	W
2009-07-30	15:00	17:00	2:00	남서	동작	0.121	30.2	1.6	SW
2009-07-30	16:00	19:30	3:30	북동	성북	0.127	31.6	2.0	SW
2009-08-14	15:00	19:30	4:30	북동	성북	0.137	35.6	1.3	SSW
2009-08-14	16:00	19:00	3:00	남서	금천	0.124	31.9	2.4	WSW
2009-08-14	16:00	18:00	2:00	남동	송파	0.129	34.1	0.9	WNW
2009-08-14	18:00	19:00	1:00	도심	종구	0.127	31.2	2.4	W
2009-08-15	14:00	19:00	5:00	북동	성북	0.137	35.3	1.5	NE
2009-08-15	14:00	18:00	4:00	북서	서대문	0.123	31.5	2.7	SW
2009-08-15	15:00	18:00	3:00	남동	송파	0.141	34.1	1.1	ESE
2009-08-15	15:00	18:00	3:00	남서	금천	0.140	30.2	1.6	W
2010-05-21	17:00	18:00	1:00	북서	은평	0.122	28.4	2.5	W
2010-05-21	17:00	18:40	1:40	북동	광진	0.122	29.1	3.3	W
2010-06-09	14:00	20:00	6:00	북서	은평	0.121	29.9	2.1	W
2010-06-09	14:00	20:35	6:35	북동	노원	0.136	30.1	1.9	SW
2010-06-09	14:00	17:00	3:00	남서	영등포	0.126	29.4	1.7	WSW
2010-06-09	14:00	20:15	6:15	남동	송파	0.130	30.6	2.2	WNW
2010-06-10	12:00	18:00	6:00	북동	노원	0.136	29.7	1.3	SSW
2010-06-10	13:00	17:00	4:00	북서	은평	0.124	31.0	1.0	ENE
2010-06-10	13:00	19:00	6:00	남동	송파	0.140	30.8	2.2	ESE
2010-06-10	13:00	19:00	6:00	남서	동작	0.120	30.0	1.4	ESE
2010-06-24	13:00	19:00	6:00	남동	송파	0.125	29.1	2.2	E
2010-06-24	13:00	20:00	7:00	북동	광진	0.120	28.0	1.7	SSE
2010-06-24	14:00	18:00	4:00	도심	종로	0.120	29.6	1.2	E
2010-06-24	15:00	18:00	3:00	남서	동작	0.123	30.3	1.3	SE
2010-06-25	15:00	19:00	4:00	남서	영등포	0.120	32.8	1.3	N
2010-06-25	18:00	19:00	1:00	북동	광진	0.128	31.7	2.0	E
2010-06-25	18:00	19:00	1:00	남동	송파	0.129	32.3	2.1	SE
2010-06-28	17:00	18:00	1:00	북동	중랑	0.123	31.0	1.7	W
2010-07-06	14:00	15:00	1:00	남서	양천	0.120	31.1	2.2	SW
2010-07-06	15:00	16:00	1:00	북동	광진	0.127	31.6	2.9	WSW
2010-07-06	15:00	16:00	1:00	남동	송파	0.123	32.3	1.7	NW

부록 계속 서울시 고농도 오존 Episode 발생 현황

일자	발령 시각	해제 시각	지속 시간	권역	측정소	O <sub>3</sub> (ppm)	기온 (°C)	풍속 (m/s)	풍향
2011-06-12	14:00	15:30	1:30	남서	강서	0.130	28.5	1.5	ESE
2011-06-12	16:00	17:00	1:00	남동	송파	0.127	30.4	2.2	NW
2011-06-15	13:00	15:00	2:00	남동	송파	0.122	30.5	2.1	ESE
2011-06-15	15:00	17:00	2:00	도심	용산	0.124	30.0	2.3	SE
2011-06-15	15:00	17:00	2:00	북동	성동	0.125	31.1	0.8	ESE
2011-06-15	15:00	17:00	2:00	남서	동작	0.120	30.7	1.2	SE
2011-06-15	16:00	17:00	1:00	북서	마포	0.125	30.0	1.9	SW
2011-06-19	15:00	18:00	3:00	남서	강서	0.125	31.4	1.3	S
2011-06-19	15:00	18:00	3:00	남서	구로	0.125	32.6	1.5	WSW
2011-06-28	15:00	16:00	1:00	북서	은평	0.123	29.3	1.7	S
2011-06-28	16:00	17:00	1:00	북동	성북	0.132	30.8	1.8	SW
2012-06-03	16:00	17:00	1:00	남동	강동	0.121	28.5	1.5	WNW
2012-06-21	15:00	17:00	2:00	북서	은평	0.121	30.6	1.9	W
2012-06-21	17:00	19:00	2:00	북동	노원	0.122	31.3	2.0	NW
2012-06-21	18:00	19:00	1:00	남동	강동	0.120	32.1	0.3	ESE
2012-08-08	17:00	19:00	2:00	북서	은평	0.127	32.9	2.6	WNW
2012-08-08	18:00	21:00	3:00	북동	성북	0.129	32.5	1.7	SW
2012-08-08	18:00	21:00	3:00	북동	동대문	0.121	32.3	2.1	WSW



## 생활 속에서 사용하는 VOC 줄이는 생활 Tip

제품 표시형태를 보고, VOC가 적은 제품을 선택해주세요

VOC의 양이 기존 제품보다 적은 "저 VOC제품"을 선택하기 위한 간단하고 쉬운 방법을 소개합니다.

### 저VOC 제품 사용의 이점

- 화재의 위험 감소
- 악취 저감(새집 증후군)
- 대상물의 보호(피부 저자극)
- 환경부하 감소



【표시 확인】

저VOC

질소가스  
탄산 가스

VOC多

가연성 가스  
LPG  
DME

【형태 확인】

저VOC

분무식  
폼프식



저VOC

수성  
물 희석 사용

VOC多

유성  
시너 희석 사용



저VOC

수성

VOC多

유성



저VOC

수성  
무용매

VOC多

용제계  
유기용제



저VOC

수성

VOC多

유성  
유기용제



저VOC

수성  
무용매

VOC多

용제계  
유기용제



저VOC

No 알코올  
알코올 free

VOC多

에탄올

VOC가 포함된 제품은 사용량과 보관에 주의해주세요

살충제, 방충제, 손 세정제는  
상품에 기재된 표준 사용량을 지켜주세요



○ 분무 횟수,  
분무량을 줄인다

○ 최소한 개수  
밀폐용기 사용

사용하지 않는 제품은  
안전한 장소에 적정하게 보관해 주세요



X 쓰러지지 않게,  
뚜껑을 닫아 보관

직사광선, 고온 다습한  
장소 피하기





부록 3 서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성(안)

<p><b>제1장</b> 개요</p>	<p>1.목적 - 매뉴얼은 고농도 오존 오염 상황이 발생하거나 우려될 때 서울시의 대응 임무·역할, 조치사항 및 유관기관의 협조사항, 시민의 행동요령 등을 규정하여 체계적이고 신속한 대응이 이루어져 고농도 오존의 건강 피해를 최소화하려는 데 목적이 있음.</p> <p>2.법적 근거 - 대기환경보전법 제8조(대기오염에 대한 경보) - 서울특별시 오존 예보 및 경보에 관한 조례</p> <p>3.적용범위 - 고농도 오존 대응 업무 수행과 관련되는 서울시의 대응활동에 적용 - 고농도 오존의 발생으로 인해 피해가 발생하거나 우려가 있을 상황에 적용</p>
<p><b>제2장</b> 고농도 오존 발생 현황</p>	<p>1. 오존이 인체에 미치는 건강영향</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 오존 농도의 서울 시민 건강 상대위험도(Relative Risk; RR)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오존 농도가 10ppb 증가할 경우 시민의 호흡기계 질환의 상대위험도는 1.9% 정도 증가하고 65세 이상에서는 2.0% 증가</li> </ul> </li> <li>● 오존 농도 증가에 따른 의료 비용             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 환경성 호흡계통 질환은 2.9%, 피부 및 피하조직 질환이 0.08%씩 증가</li> </ul> </li> <li>● 오존 노출로 인한 호흡계통 질환 조기 사망자수             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2011년 호흡계통 질환 서울 지역 조기 사망부담은 인구 10만명당 2.10명</li> </ul> </li> </ul> <p>2.오존 발생 메커니즘</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 기상 조건([고농도 오존 오염 발생특성] 참조)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기온 27℃ 이상, 상대습도 50% 이하, 풍속 2.0% 미만의 기상조건에서 고농도 오존 발생 빈도가 높음.</li> <li>- 도시 기후환경의 변화와 함께 기온에 비례하여 증가하고, 상대습도 및 풍속에 반 비례하여 감소하는 경향</li> </ul> </li> <li>● 오존 생성 기여도([고농도 오존 생성 기여도 평가] 참조)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 서울 전체 및 권역별 고농도 오존 발생 조건은 VOCs-limited 조건</li> <li>- 서울 전체 및 권역별 NMHC/NOx 농도비율 참조</li> </ul> </li> </ul> <p>3.고농도 오존 발생 유형([권역별 고농도 오존 오염 형성 및 이동경로 분석] 참조)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 독립형 고농도 Episode             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 인접 자치구와 비교하여 오존 농도가 상대적으로 높게 형성되어 비정형적으로 발생하는 사례</li> <li>- 고온 및 낮은 풍속에서 VOC-limited 조건이 확대되어 발생하는 사례</li> </ul> </li> <li>● 시차형 고농도 Episode             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바람의 이동 경로에 따라 고농도 오존 발생 지역이 이동하는 사례</li> <li>- 내부 VOC/NOx 오염물질의 배출 및 기상요인의 복합 영향 사례</li> </ul> </li> </ul> <p>4.고농도 오존 발생 기여 배출원</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 배출원별 기여도(권역 기준, 자치구 기준)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 권역별, 자치구별 질소산화물 및 휘발성유기화합물 배출 기여도(표 3-7 참조)</li> </ul> </li> <li>● VOCs/NOx 농도 비율 조정을 위해 전체적으로 유기용제 사용 관리             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도심권역 : 인쇄업</li> <li>- 북서·남서·남동권역 : 건축·건물의 도장</li> <li>- 북동권역 : 세탁시설</li> </ul> </li> </ul>

부록 계속 서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성(안)

<p><b>제3장</b> 고농도 기준</p>	<p>1.예비단계 기준 - 고농도 오존의 단기 노출에 민감한 어린이·학생, 노인들의 피해를 미연에 방지하기 위해 예비단계 설정 - 0.07ppm/hr 농도 이상 - 서울시 오존 농도의 95%, 99% 백분위수(percentile)에 해당하는 농도 수준을 고려하여 설정</p> <p>2.경보 기준 - 오존농도가 일정기준 이상인 때에는 경보를 발령하되 “주의보”, “경보”, “중대경보”로 구분 - 주의보 0.12ppm/hr 이상, 경보 0.30ppm/hr 이상, 중대경보 0.50ppm/hr 이상</p> <p>3.지역 구분 : 5개 권역 구분 - 도심권 : 종로구, 중구, 용산구 - 동북권 : 성동구, 광진구, 동대문구, 중랑구, 성북구, 강북구, 도봉구, 노원구 - 서북권 : 마포구, 서대문구, 은평구 - 서남권 : 양천구, 강서구, 구로구, 금천구, 영등포구, 동작구, 관악구 - 동남권 : 서초구, 강남구, 송파구, 강동구</p>
<p><b>제4장</b> 경보 전달체계</p>	<p>1.경보 전달체계 - 서울시 오존 경보 전달체계 구축(그림 5-1 참조) - 경보의 내용을 방송사·신문사 등 보도기관 및 관계기관 통보 - 오존농도의 실시간 공개시스템 운영 (서울특별시 대기환경정보(<a href="http://cleanair.seoul.go.kr">http://cleanair.seoul.go.kr</a>) 운영) - 음성·팩스 동보장치, 휴대전화 SMS, 대기환경정보 옥외전광판, 버스정보 안내전광판 등을 활용한 고농도 오존 생성 상황 전달</p> <p>2.피해 사후 전달체계 - 서울시 오존 건강영향 피해 보고 전달체계 구축 - 보건소 및 병원의 건강 피해 사례에 대해 해당 자치구에 보고 - 서울시 기후환경본부에서 해당 자치구의 피해 사례 수집</p>
<p><b>제5장</b> 고농도 오존 수준별 대응 요령</p>	<p>1.시민 대응 행동요령 • 고농도 오존 대응 시민 행동요령(〈표 5-5〉 참조) - 일반시민 : 민감계층 또는 취약계층에 해당하지 않는 일반 성인 - 민감계층 : 65세 이상 노인, 유아, 학생, 호흡기·심혈관 질환자 등 - 취약계층 : 건설 및 산업장 근로자</p> <p>2.배출원별 대응요령 • 배출시설 및 사업장 - 사업장 구분   · 대형사업장(1~3층), 소형사업장(4~5층): 대기환경보전법 시행령 제13조 별표 기준) 중점 관리 사업장, 관리 유도 사업장 : 대기환경보전법 제44조 1항, 대기환경보전법 시행령 제45조 제1항에 근거한 “휘발성유기화합물 배출시설의 종류, 시설규모, 배출억제·방지시설의 설치 등에 관한 규정” - 사업의 전체 조업일수 대비 오존주의보 발령일수 비율 : 2010년 2.8%, 2012년 1.3%(조업시간(8시간/일) 기준으로는 2010년 0.8%, 2012년 0.3% 수준) - 사업장의 고농도 오존 대응 정보 제공(표 5-6 참조)</p>

부록 계속 서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성(안)

<p><b>제5장</b> 고농도 오존 수준별 대응 요령</p>	<p>2. 배출원별 대응요령</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 교통부문             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고농도 오존 경보 발령 권역과 발령되지 않은 권역으로 구분하여 고농도 오존 대응 정보 제시</li> <li>- 체감할 수 있는 권고 : 3km 이내 단거리 자동차 운행 자제 요청                 <ul style="list-style-type: none"> <li>· 서울시 자가용 승용차 일 주행거리가 28.6km로, 일거리의 10% 수준인 3km를 단거리 운행거리로 설정</li> </ul> </li> <li>- 공회전 집중관리 확대(터미널, 차고지, 화물 하역장, 택시·버스 승차장)</li> <li>- 대형 업무·상업시설의 주차장, 공영주차장의 운영시간 제한 및 금지</li> <li>- 공공기관의 엄격한 요일제 시행</li> <li>- 교통부문의 고농도 오존 대응 제공(표 5-7 참조)</li> </ul> </li> </ul> <p>3. 공공기관 대응요령</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 예비단계             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 어린이집, 학교, 노인시설, 병원 등에 관련 정보 제공</li> <li>- 대형 사업장에 관련 정보의 제공과 함께 가동률 조정 등의 협조 요청</li> </ul> </li> <li>• 경보단계(주의보, 경보, 중대경보)             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동차 미운행 권고 및 운행제한 명령</li> <li>- 대기오염물질을 배출하는 업소 또는 공사장의 연료사용량 감축 권고 및 명령</li> <li>- 조업시간 단축 권고 및 명령</li> <li>- 오존의 위해성 등을 보도기관을 통한 전파</li> <li>- 일반시민의 이용이 많은 공원·지하철 및 고궁 등에서는 구내방송 등을 통하여 경보의 발령 사항 전달</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>제6장</b> 모니터링</p>	<p>1. 오존 대응 효과 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오존 대응 홍보실적(반상회보, 지역신문, 홍보물, 유선방송, 인터넷 등)</li> <li>- 오존주의보 발령 시 전달 실적(해당 기관 및 단체에 대한 대응 정보 전달 실적)</li> <li>- 제공된 대응 정보에 대한 기관 및 단체의 실천적 대응 모니터링</li> </ul> <p>2. 배출원 관리의 실적 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고농도 오존 발생 시 대형사업장 및 중점관리 사업장의 조치 결과 평가</li> <li>- 고농도 오존 발생 시 공회전 단속, 주차장 관리 실적 평가</li> <li>- 공공기관 요일제 시행 평가</li> </ul> <p>※ 오존 대응 효과 평가 및 배출원 관리 실적 평가(정량·정성 평가) 기준 설정</p>
<p><b>제7장</b> 정보제공</p>	<p>1. 가정, 사무실에서 오존 저감방안</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생활 속에서의 오존 저감 Tip 홍보물 제작·보급(부록 2 참조)</li> </ul> <p>2. 산업공정에서의 오존 저감 가이드</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도장, 인쇄, 세탁 등 휘발성 유기용제 사용이 많은 산업공정의 가이드라인 제공             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 공정별 오존 발생 원인물질 요인 체크</li> <li>· 공정·설비 개선, 원재료의 전환, 처리장치의 도입 등 저감 방안 정보 제공</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>부록</b></p>	<p>정보 제공 사이트</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 서울특별시 대기환경정보(<a href="http://cleanair.seoul.go.kr">http://cleanair.seoul.go.kr</a>)에 관련 정보 제공</li> </ul>

**부록 4 휘발성유기화합물 배출 시설의 종류 및 규모**

구분(업종)	배출시설	
	시 설 명	규 모
1. 석유정제 및 석유화학제품제조업	가. 원유정제 등 제조시설	모든 시설
	나. 저장시설	저장용량 40㎥ 이상
	다. 출하시설	모든 시설
2. 저유소	가. 저장시설	저장용량 20㎥ 이상
	나. 출하시설	모든 시설
3. 주유소	가. 저장시설	저장용량 20㎥ 이상
	나. 주유시설	저장시설의 저장용량 20㎥ 이상
4. 세탁시설	가. 세탁시설	처리용량 30kg 이상(합계)
5. 유기용제 및 페인트 제조업	가. 반응시설	용적 3㎥ 이상
	나. 혼합시설	용적 3㎥ 이상
	다. 희석신나 제조시설	용적 5㎥ 이상 또는 동력 50마력 이상
	라. 유기용제, 유기용제 함유물질 유류저장시설	저장용량 10㎥ 이상
	마. 페인트저장시설	저장용량 50㎥ 이상
6. 선박 및 대형철구조물 제조업 (10m×10m 이상인 대형구조물에 한함)	가. 세정시설(탈지시설 포함)	용적 1㎥ 이상
	나. 도장시설(건조시설 포함)	용적 5㎥ 이상 혹은 동력 3마력 이상
	다. 유기용제, 유기용제 함유물질 저장시설	저장용량 10㎥이상
	라. 유류저장시설	저장용량 10㎥ 이상
7. 자동차 제조업	가. 유류, 유기용제 및 유기용제 함유 물질 저장시설	저장용량 10㎥ 이상
	가. 세정시설(탈지시설 포함)	용적 1㎥ 이상
8. 기타 제조업	나. 유류, 유기용제 및 유기용제 함유 물질 저장시설	저장용량 10㎥ 이상
	가. 보관시설	저장용량 10㎥ 이상(합계)
9. 폐기물 보관·처리시설 (폐기물관리법시행령 제3조 별표1에 의한 폐유, 폐유기용제 및 폐농약)	나. 파쇄·분쇄·절단시설	동력 20마력 이상
	다. 소각시설	1일처리능력 10톤 이상
	라. 고온열분해시설	1일처리능력 5톤 이상
	마. 건류시설	1일 처리능력 5톤 이상
	바. 용융시설	동력 10마력 이상
	사. 증발·농축·반응시설	1일 처리능력 5톤 이상
	아. 정제시설	1일 20킬로리터 이상(고온열분해 또는 감압증류는 1일 24시간 기준으로, 기타의 경우에는 1일 8시간 기준으로 산정)
	자. 유수분리시설	1일 처리능력 5톤 이상
	차. 응집·침전시설	1일 처리능력 5톤 이상
	카. 건조시설	시간당 처리능력 0.15㎥ 이상

주 : 대기환경보전법 제44조 1항, 대기환경보전법 시행령 제45조 제1항에 근거한 “휘발성유기화합물 배출시설의 종류, 시설규모, 배출억제·방지시설의 설치 등에 관한 규정”에 해당하는 규모의 시설을 중점관리 사업장으로 규정하며, 이하의 시설을 관리유도 사업장으로 함.

# Abstract

# Abstract

## A Study on Preparing Manual for Ozone Pollution Episodes in Seoul

WoonSoo Kim · Jeongah Kim

Based on the annual air quality monitoring statistics from Seoul Air Quality Network (SAQN) in Seoul during 2000~2012, one of the dominant air pollutants affecting environmental living quality is ozone at ground level, despite great progress to PM10 concentration. Well known to us, O<sub>3</sub> is not emitted directly into the air, but is created by chemical reactions between oxides of nitrogen(NO<sub>x</sub>) and volatile organic compounds(VOCs) in the presence of heat and sunlight. In particular, O<sub>3</sub> concentration seems to likely reach unhealthy levels on hot sunny days in urban environments. Such condition typically has resulted in summer smog episodes as the ozone precursor chemicals react in the presence of sunlight.

It is analyzed that city of Seoul now encounters quadruple difficulty in dealing with increasing pattern of average O<sub>3</sub> concentrations, occurrence of spatially hot spot episodes, high relative risk of human health, and additive impacts of urban climate change. In coping with urban ozone pollution problem, two kinds of strategies has generally adopted: 1)reduction of VOCs and NO<sub>x</sub> pollutants from various emission sources separately, thereby expecting decrease of average concentration of ozone level, and 2)reaction to the case of hot-spot ozone episodes, resulting in the possible cutting off exposure to high O<sub>3</sub> concentration. However, it is important to consider both strategies together, for the efficient responding to O<sub>3</sub> episode days.

The aim of this research, with a view to alleviating harmful health impact from hot spot ozone episodes, is to suggest policy directions to ozone pollution epi-



sodes, by including modification of ozone pollution monitoring system, enactment of ozone pollution forecast and action day alert ordinance, preparation of ozone pollution episodes manual, and promotion of ozone action day alerts participation. Because  $O_3$  at ground level is especially dangerous for children, the elderly, citizens with chronic lung and heart disease-even healthy people who exercise outdoors, well-designed ozone pollution episodes manual with Q&A tips based on Seoul's ozone pollution forecast and warning ordinance would be helpful for implementing VOCs/NO<sub>x</sub> emission reduction strategies as well as guiding/supporting citizens to refer them. Those suggestions are from the facts that ozone-forming VOCs are emitted by a variety of sources, such as motor vehicles, use of chemical goods, and other factories. Also, NO<sub>x</sub> is usually emitted by motor vehicles and other combustion sources in Seoul.

# Table of Contents

<b>Chp.1</b>	<b>Introduction</b>
1	Background and Purpose
2	Research Framework
<b>Chp.2</b>	<b>The Mechanism of Ozone Pollution in Seoul</b>
1	Conditions for Ozone Pollution Occurrence
2	Assessment of Ozone Concentration Profile
<b>Chp.3</b>	<b>Source Management of Ozone Formation Emissions</b>
1	Health Impacts of Ozone Pollution
2	Analytical Method
3	Distribution of Ozone-forming Emission Sources
4	Strategies of Source Management
<b>Chp.4</b>	<b>Case Studies of Foreign Cities' Ozone Pollution Management</b>
1	Cases of Ozone Pollution Management
2	Implications
<b>Chp.5</b>	<b>Policy Directions to Ozone Pollution Episodes</b>
1	Modification of Ozone Pollution Monitoring System
2	Enactment of Ozone Pollution Forecast and Action Day Alert Ordinance
3	Preparation of Ozone Pollution Episodes Manual <ul style="list-style-type: none"><li>·Intensified Information Delivery System to Sensitive and Vulnerable Citizens</li><li>·Action Recommendations to Ozone Pollution Episodes</li><li>·Information Provision to Operation of Transportation Modes</li></ul>
4.	Promotion of Ozone Action Day Alerts Participation

Chp.6 Conclusions

References

Appendices

서울연 2013-OR-55

서울시 고농도 오존(O<sub>3</sub>) 대응 매뉴얼 연구

발행인 이창현

발행일 2014년 1월 31일

발행처 서울연구원

137-071

서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

전화 (02)2149-1234 팩스 (02)2149-1319

비매품 ISBN 978-89-8052-596-6 93530

본 출판물의 판권은 서울연구원에 속합니다.