

서울연구원  
정책리포트  
171

2014. 7. 7

# 고농도 오존의 시민 건강영향과 대응방안

**김운수**

서울연구원  
선임연구위원

## 고농도 오존의 시민 건강영향과 대응방안

|      |                       |    |
|------|-----------------------|----|
|      | 요약                    | 3  |
| I.   | 오존의 건강영향과 고농도 대응 현황   | 4  |
| II.  | 해외의 오존오염 대응 사례        | 9  |
| III. | 단기 고농도 오존 대응을 위한 정책방향 | 13 |

김운수

서울연구원  
선임연구위원

02-2149-1155  
woonkim@si.re.kr

최근 기후환경의 변화에 따른 건강영향을 최소화하기 위해 그동안 수도권 대기환경관리에서 제외되었던 오존(O<sub>3</sub>) 관리의 새로운 정책방안 마련에 관심이 집중되고 있다. 이는 시민이 안심하고 호흡할 수 있는 ‘숨쉬는 도시’ 서울 만들기로 구체화되고 있다. 다만, 서울시 고농도 오존 대응은 오존 오염 발생·확산 경로 분석과 사후관리의 상호 연계성 미흡으로 시민건강 위해성 예방과정에서 어려움이 예상되고 있다. 따라서 오존 오염의 발생 메커니즘을 고려한 과학적 관리를 기반으로 사전 예방적 관리체계로의 전환이 바람직하다.

### 기존 관리체계로는 고농도 오존 대응의 실천적 효과가 미흡한 수준

서울은 오존 오염의 평균농도 증가 경향, 기후환경 변화에 따른 2차 생성 가능성 증대, 오존 형성 원인물질 배출량 감축비용 부담, 국지 고농도 단기노출의 건강 피해영향 증가 등 오존 관리의 4중고(四重苦)에 직면하여, 예방적 차원의 오존 오염 관리체계의 개선이 필요하다.

### 해외도시들은 오존생성 메커니즘의 정량분석으로 효과적인 정보전달체계를 구축하여 관리

오존 상시 모니터링 측정시스템을 구축하여 오존 생성 메커니즘을 정량적으로 분석하고, 고농도 오존의 사후 관리 체계를 마련하고 있다. 또한 오존 예·경보는 4단계로 세분하여 운영하며, 특히 민감 및 취약 계층의 건강영향을 고려한 별도의 경보 단계를 설정하고 있다. 이외에도 건강영향을 고려한 대기질 지수(AQI), 대기질 건강지수(AQHI) 등을 개발하고 시민에게 오존 노출 저감을 유도하는 건강정보 전달체계를 구축하여 대응하고 있다.

### 고농도 오존 단기노출의 건강 피해영향 예방을 위한 대응체계의 개선 필요

기후환경 모범도시 서울을 실현하고 시민의 건강영향 예방을 위한 고농도 오존 관리는 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫째, 고농도 오존의 예방적 대응에 필요한 오존 오염 예·경보 제도의 법적 근거를 마련한다. 둘째, 시민의 건강, 사회·경제적 활동양식에 맞추어 현장 적용이 가능한 고농도 오존 대응 매뉴얼을 작성·활용한다. 특히 민감·취약 계층 대상의 고농도 대응 예비정보 전달과 함께, 사업장 및 가정·상업 배출원 관리지침, 교통부문의 고농도 오존 대응 정보 제공 등이 핵심요소이다. 셋째, 오존 대응 관련 Q&A 자료집 제작·홍보, 웹(Web) 기반 어플 및 녹색지침(Tip) 제공, 오존생성 원인물질인 VOC 배출저감 가이드라인 작성·활용 등으로 고농도 오존 대응 과정에의 시민과 민간부문의 참여를 유도한다.

# I. 오존의 건강영향과 고농도 대응 현황

## 기후환경 변화에 따라 건강영향의 관심이 고조

환경성 질환의 발생빈도는 오존 농도 노출과 비례하여 증가

- 만성 호흡질환, 천식 악화, 폐활량 감소, 폐렴, 생체 면역능력 감소 등 유발
- 인체로 흡입될 경우 흉부 통증, 기침, 목 부위 자극, 울혈(congestion) 반응 및 기관지염, 폐기종(emphysema), 천식 악화 등 건강피해 영향요인으로 작용
- 특히 기관지 천식환자, 호흡기질환자, 어린이, 노약자 등 민감계층 대상의 영향 심화

표 1 오존이 인체에 미치는 건강영향

|            |  |
|------------|--|
| 호흡기계       | 고농도의 오존에 노출된 경우 노력성 폐활량, 일초율 등임. 만성 호흡기질환자의 증상을 유발 또는 악화시키며, 특히 천식이 가장 문제가 됨 |
| 급성 호흡기계 질환 | 오존의 최고 농도와 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)

국지 고농도의 오존 형성은 시민건강 위해도의 악화요인으로 작용

- 오존 농도 10ppb 증가 시 시민의 호흡기계 질환의 상대위험도는 1.9% 증가
- 65세 이상 노약자 집단의 호흡기계 질환의 상대위험도는 2.0% 수준으로 민감계층 대상 오존관리가 더욱 중요
- 환경성 호흡계통 질환을 치료하기 위한 의료비용은 2.9%, 피부 및 피하조직 질환은 0.08%가 각각 증가
- 오존 오염노출로 인한 호흡계통 질환 조기 사망자 수는 오존 농도 수준과 관련성이 높으며, 2011년 호흡계통 질환의 서울지역 조기 사망부담은 인구 10만 명당 2.10명 수준으로 추정

## 오존 기여 원인물질의 배출원 관리가 미흡

### 고농도 오존 대응 관련 법규의 실효성 확보가 필요

- 오존 발생 메커니즘을 고려하여 오존 농도 경보단계별 조치사항을 적용할 수 있는 조례의 제정으로 법적 근거 확보 및 이행의 실효성 확보가 관건
- 오존 생성 기여물질의 배출감소 및 오존으로 인한 피해 영향의 예방을 유도할 수 있도록 이행조치 등을 포함한 대응지침 마련을 검토

표 2 대기오염경보 단계별 오존의 농도기준

| 경보단계 | 발령기준  | 해제기준  |
|------|---|---|
| 주의보  | 기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 오존 농도가 0.12ppm 이상일 때 | 주의보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 오존 농도가 0.12ppm 미만일 때                   |
| 경보   | 기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 오존 농도가 0.3ppm 이상일 때  | 경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 고려하여 대기자동측정소의 오존 농도가 0.12ppm 이상 0.3ppm 미만일 때는 주의보로 전환 |
| 중대경보 | 기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 오존 농도가 0.5ppm 이상일 때  | 중대경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 고려하여 대기자동측정소의 오존 농도가 0.3ppm 이상 0.5ppm 미만일 때는 경보로 전환 |

주 : 오존 농도는 1시간 평균농도를 기준으로 하며 해당지역의 대기자동측정소 오존 농도가 1개소라도 경보단계별 발령기준을 초과하면 해당 경보를 발령할 수 있음.

자료 : 대기환경보전법 시행규칙 제14조 관련 [별표 7]

### 오존 생성 배출량 정보의 미활용은 오존 관리의 비효율성을 유발

- 오존 생성 원인물질인 질소산화물( $\text{NO}_x$ )과 휘발성 유기화합물질(VOC)의 5개 권역별 배출량 자료의 확인 및 관리가 필요
- 2010년 기준 서울시 질소산화물의 권역별 배출 비중은 남서(30.4%), 북동(25.5%), 남동(24.2%), 북서(12.0%), 도심(8.0%) 순
- 휘발성 유기화합물질에서도 남서권역이 32.0%로 가장 큰 배출 비중을 차지
- $\text{NO}_x$ /VOC 배출 기여도를 고려한 5개 권역별 배출원 차별관리의 방향을 설정

- 질소산화물은 도심권역을 제외한 4개 권역에서 화물차의 배출 기여가 가장 큰 반면, 도심권역은 상업·공공기관의 난방이 기여 1순위를 차지
- 휘발성 유기화합물질은 북서·북동·남서·남동권역에서 가정·상업부문의 유기용제 사용이 가장 큰 비중을 차지하고, 도심권역은 인쇄업의 배출 기여가 큰 수준

#### 저비용·고효율의 맞춤 대응은 VOC/NO<sub>x</sub> 농도비율 확인에서 출발

- 서울의 오존 생성은 VOC 배출 농도의 영향을 많이 받아 휘발성 유기화합물질의 집중관리가 필요
- 고농도 오존이 발생된 날을 제외한 연평균 VOC/NO<sub>x</sub> 농도 비율은 3.9~4.8 수준이나, 고농도 오존이 발생된 날은 4.1~7.2 범역으로 농도 비율이 전환
- 5개 권역별 오존 발생 원인물질의 배출 기여도를 고려한 배출원 관리가 필요
- 도심권역에서는 인쇄업, 북서·남서·남동권역은 건축·건물의 도장, 북동권역은 세탁시설의 VOC 배출량의 우선 감축을 검토
- 친환경 유기용제 사용 및 보관 등에 관한 시민·사업자 대상의 교육 및 홍보를 강화하여 가정·상업부문의 유기용제 사용 감축 및 친환경 소비제품 사용을 유도

## 시민건강 예방 차원의 고농도 오존 대응이 필요

#### 고농도 오존 형성의 메커니즘 확인은 예방적 대응의 선결조건

- 1990~2012년 기간 오존은 연평균 3.0% 상승하고, 오존주의보 발령 가능성 증대
- 오존의 연간 평균농도는 1990년 0.011ppm 이후 완만히 증가, 2000년 이후 감소 추세, 기온 상승에 따라 2005년부터 다시 증가하여 전반적으로 상승하는 추세
- 서울의 오존 농도는 기온이 높고 일사량이 많으며 풍속이 약한 5~6월, 오후 2~5시 시간대에 높은 수준으로 형성

- 오존 농도의 95% 및 99% 확률분포 농도가 전반적으로 상승 추세를 보여, 서울의 오존 농도가 점차 고농도화되어 가는 경향

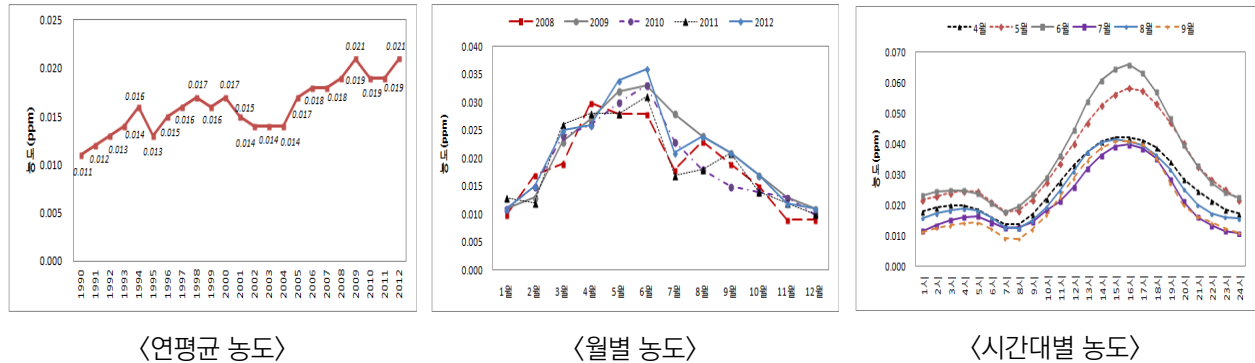


그림 1 서울시 오존의 시간적 변화 추세

- 오존 농도는 복합요인의 영향으로 공간적 농도수준의 차이가 발생
  - 오존 생성 기여물질인 NO<sub>x</sub>, VOC 오염물질 배출기여, 기온, 확산정도, 일사량 등의 기상요인의 복합 작용으로 북동권역이 다른 권역에 비해 높은 수준
  - 남서쪽으로부터 이동해 온 오염물질의 광화학 반응과정이 북동부 지역에서 정체되는 지역 조건과 결합하여 국지 고농도 오존 발생으로 진행
- 고농도 오존은 도시 기후환경의 변화조건과 밀접한 상관성을 갖는 것으로 추정
  - 단기 노출에 따른 시민건강 위해 가능성이 큰 고농도 오존은 기온에 비례하여 증가, 상대습도 및 풍속에 반비례하여 감소
  - 향후 서울시 맞춤형 고농도 오존 관리를 서울지역 및 5개 권역별 VOC 배출농도 조건의 확인과 함께, VOC/NO<sub>x</sub> 농도 비율을 고려한 오존 모니터링 및 대응정책 수립으로 전환

#### 고농도 오존 형성과 이동을 파악할 수 있는 기초정보 확인이 필요

- 고농도 오존이 동일 시간대에 발생한 독립형, 시간 간격을 두고 여러 지역에 발생한 시차형으로 분류

- 독립형 : 평균 오존 농도가 인접 자치구와 비교하여 상대적으로 높게 형성되어 비정상적으로 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)
- 고농도 오존형성 사례의 유형 구분은 향후 고농도 오존 발생 가능성 추정과 맞춤형 대응방안 마련에의 기초정보로서 활용 가능

표 3 서울시 권역별 고농도 오존 오염 형성 및 이동 경로

| 고농도 오존 | 발생유형   | 비고                       | 농도 비율 (NMHC/NO <sub>x</sub> )                    | 기상조건         |            |                  |
|--------|--------|--------------------------|--|--------------|------------|------------------|
|        |        |                          |  | 기온 (°C)      | 풍속 (m/s)   | 풍향               |
| 독립형    | Case 1 | 1개 권역 (1개 자치구)           | 2004년 6월 1일(남서 관악) 2.7<br>2008년 8월 8일(남서 구로) 4.3 | 28.1<br>37.3 | 2.8<br>1.5 | WSW<br>WSW       |
|        | Case 2 | 단일 권역 (2개 이상 자치구)        | 2011년 6월 19일 (남서 강서, 구로)                         | 31.7         | 1.3        | S, WSW           |
|        | Case 3 | 2개 권역 이상                 | 2007년 9월 12일 (도심, 북동)                            | 28.7~29.1    | 1.4        | NW, WSW, NNE, SW |
| 시차형    | Case 4 | 바람의 이동경로                 | 2012년 6월 21일 (북서, 북동, 남동)                        | 31.3~32.1    | 0.3~2.0    | W, NW, ESE       |
|        | Case 5 | 내부 오염물질 배출 및 기상조건의 복합 영향 | 2010년 6월 25일 (남서, 북동, 남동)                        | 31.7~32.8    | 1.3~2.5    | N, E, SE         |



## II. 해외의 오존오염 대응 사례

---

### 고농도 오존 대응 시스템 구축으로 실효성을 확보

오존 상시 모니터링 측정 시스템의 구축으로 과학적 관리기반을 마련

- 오존 생성 메커니즘의 정량적 분석에 기반을 두는 대응정책을 수립
  - 측정 자료를 바탕으로 다양한 모델링을 통한 오존 농도의 수치모의분석 결과를 산출하여 오존생성에 미치는 영향을 정량적으로 판단
  - 도쿄도의 고농도 발생 지역 대상 분석 결과, 질소산화물( $\text{NO}_x$ ) 농도·비메탄 탄화수소(NMHC) 농도가 낮고, 농도비(NMHC/ $\text{NO}_x$ )가 낮은 조건에서 고농도 오존 출현 비율이 감소하는 경향을 확인
  - 고농도 오존 생성 정보를 바탕으로 질소산화물의 배출삭감 대책, 비메탄 탄화수소를 포함한 휘발성 유기화합물의 배출량 삭감대책을 탄력적으로 추진
- 고농도 오존의 건강피해 조사를 실시하여 고농도 오존의 사후관리 체계를 마련
  - 고농도 오존 에피소드 발생 지역에 대해 재발 가능성의 방지를 위해 시민들에게 배출량을 줄이는 자발적 이행조치 협력 프로그램을 마련

### 세분화된 오존 예·경보 제도를 맞춤형으로 운영

교통부문과 사업장 대상 배출량 감축을 예·경보 단계별로 탄력 적용

- 오존주의보를 포함한 4단계 오존 예·경보 시스템을 운영
  - 교통부문에서는 차량 통제와 카풀 시행, 사업장에는 배출량 감축 등 대응방안을 제시

표 4 도시별 오존 경보제의 기준 비교

| 구분     | (학교정보)  | 주의보<br>(주의보) | 1단계<br>(경보) | 2단계<br>(중대긴급경보) | 3단계     |
|--------|---------|--------------|-------------|-----------------|---------|
| 캘리포니아주 |         | 0.15ppm      | 0.20ppm     | 0.35ppm         | 0.50ppm |
| 시카고    |         | 0.12ppm      | 0.20ppm     | 0.35ppm         | 0.50ppm |
| 도쿄·오사카 | 0.10ppm | 0.12ppm      | 0.24ppm     | 0.40ppm         |         |
| 서울     |         | 0.12ppm      | 0.30ppm     | 0.50ppm         |         |

주 : ( ) 단계는 도쿄도의 오존 경보제 단계임

- 민감 및 취약계층의 건강영향을 고려한 경보 단계를 설정
  - 도쿄도는 어린이, 학생들의 건강 피해를 예방하기 위해 ‘학교정보’ 단계를 설정하고, 오존농도가 0.01ppm 이상이면 어린이집, 학교 등 관계기관에 해당 정보를 통보
  - 질병, 연령, 활동량 등에 따라 오존농도의 건강영향 정도를 구분하여 민감계층과 일반시민으로 구분하고, 고농도 오존 발생 시 대응방안을 맞춤형으로 권고
- 고농도 오존 발생 시 NO<sub>x</sub>, VOC 배출원별 특화관리를 유도
  - 일정 기준 이상의 NO<sub>x</sub> 및 VOC 배출시설에 대해 고농도 오존 발생 시 협조 및 의무 이행사항을 부여하고, NO<sub>x</sub> 및 VOC 배출 삭감계획 및 삭감 보고를 의무화
  - 오존 경보단계에 따라 구체적인 연료사용량 삭감, VOC 배출시설의 사용 제한 범위 제시, 그리고 자동차 운행 제한 및 교통수요 관리를 추진

## 건강영향을 고려한 대기질 지수 개발 및 정보를 제공

대기질 지수, 대기질 건강 지수 등을 개발하여 실시간 정보를 제공

- 호주는 대기질 지수(AQI), 캐나다는 대기질 건강 지수(AQHI)의 정보를 제공
  - TV, 라디오, 신문, 인터넷, 팩스를 통하여 시민들에게 오존 노출 저감을 유도하는 건강정보 전달체계를 구축하여 운영

- 건강유지를 위한 단계별 권고사항이 일반인과 취약인구로 구분되어 제공

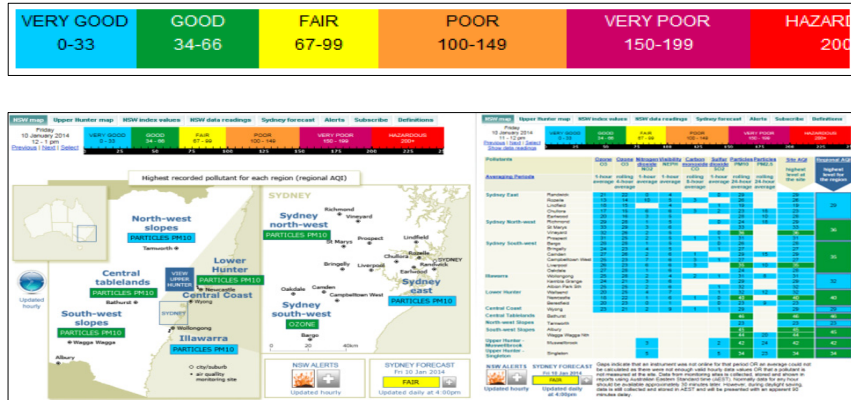


그림 2 호주 대기질 지수

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

표 4 호주 인구집단별 오존 AQI 권고사항 사례

| AQI                  | 민감집단  | 일반집단   |
|----------------------|---|--|
| Very Good<br>0~33    | 야외활동을 하기에 이상적인 조건   | 야외활동을 즐기기에 이상적인 조건   |
| Good<br>34~66        | 야외활동을 즐기기에 이상적인 조건  | 야외활동을 즐기기에 이상적인 조건   |
| Fair<br>67~99        | 특정 민감집단의 경우 장시간 야외활동은 자제하도록 함.  | 야외활동을 할 수 있음.  |
| Poor<br>100~149      | 천식환자, 심장질환자, 폐질환자와 함께 어린이는 저녁에 야외활동을 하는 것을 피하고, 비교적 대기질 지수가 낮은 실내에 있도록 함.<br>천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하고 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음.   | 야외활동을 줄임.  |
| Very Poor<br>150~200 | 천식환자, 심장질환자, 폐질환자와 함께 어린이는 야외에서 지속적으로 활동하는 것을 피하고 비교적 대기질 지수가 낮은 실내에 있도록 함.<br>천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하고 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음. | 야외활동을 줄임.<br>천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하고 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음.                |
| Hazardous<br>200+    | 야외활동을 피하고 가능한 실내에 있도록 함.<br>천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하고 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음.  | 야외활동을 피하고 가능한 실내에 있도록 함.<br>천식증상이나 짧은 숨을 쉬거나 기침을 할 경우 쉬도록 하고 완화시킬 수 있는 약물을 복용. 만약 증상이 계속될 경우 의사의 처방을 받음. |

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

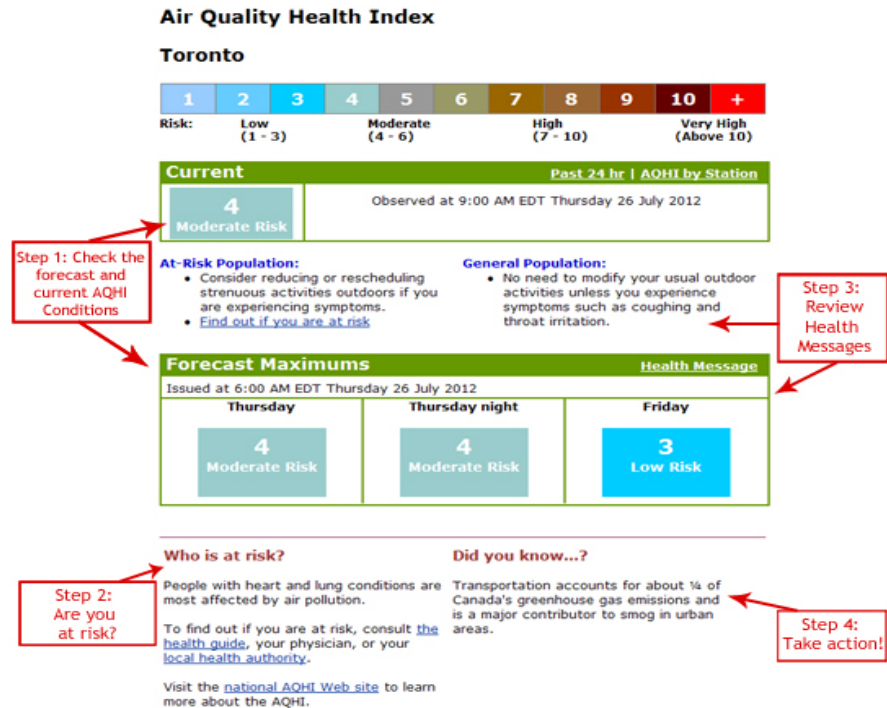


그림 3 토론토 AQHI 구성 및 적용 절차

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

표 6 캐나다 집단 특성별 AQHI 수준별 권고사항 사례

| 수준        | AQHI | 권고사항  |  |
|-----------|------|---|--|
|           |      | 취약인구 <sup>1)</sup>                                | 일반인  |
| Low       | 1-3  | • 일반적인 야외활동 가능                                    | • 야외활동을 하기에 이상적임.                          |
| Moderate  | 4-6  | • 증상이 있을 경우 힘든 야외활동을 줄이거나 미룸.                     | • 기침이나 목이 아프지 않는 한 일상적인 외부활동을 변경할 필요 없음.   |
| High      | 7-10 | • 힘든 야외활동을 줄이거나 취소<br>• 어린이와 노인은 휴식을 취해야 함.       | • 기침이나 목의 통증이 있을 경우 힘든 외부활동 일정을 줄이거나 변경 고려 |
| Very High | +10  | • 힘든 야외활동은 피함.<br>• 어린이와 노인은 외부에서의 물리적 활동을 피해야 함. | • 기침이나 목의 통증이 있을 경우 야외활동을 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>)

### Ⅲ. 단기 고농도 오존 대응을 위한 정책방향

## 고농도 오존의 맞춤 대응 전략으로 추진

### 고농도 오존 대응의 실효성 확보는 관리체계의 개선에서 출발

- 오존 오염의 체계적인 대응과 관리를 위한 법적 기반으로 조례 제정을 검토
  - 현행 대기환경보전법 제8조(대기오염에 대한 경보)의 명시적 규정에서 벗어나 서울특별시 오존 예보 및 경보에 관한 조례 제정으로 고농도 오존의 법적 근거를 마련

### 고농도 오존 생성과 대응 과정의 연계성을 강화

- 5개 권역별 고농도 오존의 발생빈도를 낮추기 위한 오존 생성 기여물질인 NOx 및 VOC 배출정보의 확인과 적용이 미흡
  - 오존 2차 생성 조건에 맞춘 5개 권역별 오존 대응 맞춤형 배출원 관리대책을 수립
- 단기 고농도 오존 농도의 시민건강 피해를 예방하기 위해 현장 적용이 가능한 오존 대응 매뉴얼의 작성·활용 및 정보전달체계의 개선을 검토
  - 오존 생성 오염물질의 배출저감 가이드라인을 작성하여, 산업 및 사회 영역별 고농도 오존 대응 정보를 제공하고 시민참여를 유도하는 것이 효과적
  - 고농도 오존 에피소드의 피해 영향 사례 보고 및 행동요령 보완의 쌍방향 정보전달 체계를 구축하여 시민건강의 추가 발생 가능성에 대비하는 것을 검토

### 주요 추진 전략

| 주요 과제                              | 추진 전략   |
|------------------------------------|---|
| 고농도 오존 대응의 법적 기반 마련                | - 고농도 오존 대응 및 예방 지침으로 오존 예·경보 조례 제정   |
| 고농도 오존 대응 매뉴얼의 작성 및 활용             | - 민감·취약 계층을 대상으로 고농도 대응 예비정보 전달<br>- 사업장 및 가정·상업 배출원을 대상으로 관리 행동지침 제공<br>- 교통부문의 배출특성에 맞춘 고농도 오존 대응책 마련 |
| 고농도 오존 정보전달체계 개선으로 시민과 민간부문의 참여 유도 | - 시민의 참여를 제고할 수 있는 오존 대응 정보전달체계로의 전환<br>- 오존 생성 기여물질의 배출저감 정보를 맞춤형으로 제공                                 |

## 고농도 오존 대응의 법적 기반을 마련

### 고농도 오존 대응 및 예방 지침으로 오존 예·경보 조례를 제정

- 시민의 건강 피해영향의 예방 및 대응 지침으로 ‘서울특별시 오존 예보 및 경보에 관한 조례(안)’을 제정하여 오존 대응의 법적 기반을 마련
- 현행 대기환경보전법 제8조 규정(대기오염에 대한 경보)의 고농도 오존 발령 기준, 조치사항의 일률적 적용에서 벗어나 고농도 예방지침인 조례 제정을 검토
- 단기 고농도 오존 농도 증가에 따른 시민건강 피해영향을 예방하기 위해 오존 생성 메커니즘을 고려한 대응지침으로 조례 제정의 실용성을 기대
- 오존 예·경보 조례에 맞춘 단기 고농도 대응 매뉴얼의 작성 및 활용으로 확대
- 오존 예·경보 단계별 행동요령, 대기오염 개선, 민감계층 관리, 피해 발생 조사, 정보 제공 등을 조례내용에 반영하여 현장 적용의 실효성 제고가 필요

|               |   |        |            |            |           |           |          |
|---------------|---|--------|------------|------------|-----------|-----------|----------|
| 오존 예보 및 경보 방법 | 오존 예보 및 경보의 내용을 방송사·신문사 등 보도기관 및 관계기관에 통보<br>실시간 공개시스템 운영 |        |            |            |           |           |          |
| 오존 예보 및 경보 기준 | 예보<br>(ppm/시간)  | 좋음     | 보통         | 민감군 영향     | 나쁨        | 매우 나쁨     | 위험       |
|               |   | 0~0.04 | 0.041~0.08 | 0.081~0.12 | 0.121~0.3 | 0.301~0.5 | 0.501 이상 |
|               | 경보<br>(ppm/시간)  | 예비단계   |            | 주의보        | 경보        |           | 중대경보     |
| 0.07          |   | 0.12   | 0.30       |            | 0.50      |           |          |
| 오존 예·경보 시 조치  | 오존 경보 등급별 시민 행동 요령  |        |            |            |           |           |          |
| 대기오염 개선       | 유형별 사업장 관리, 자동차 관리 등 대기오염물질 발생량 감소                        |        |            |            |           |           |          |
| 민감계층 관리       | 어린이, 노인 등 민감계층 관리를 위한 예비단계 정보 제공                          |        |            |            |           |           |          |
| 피해 발생 시 조사    | 피해 발생 시 필요한 경우에 발생 지역 주변의 상황 조사 실시                        |        |            |            |           |           |          |
| 정보 제공         | 휘발성 유기화합물과 질소산화물의 저감을 위해 다양한 정보를 시민, 사업장 운영자 등에게 제공       |        |            |            |           |           |          |
| 운영 세칙         | 별도의 지침 운영   |        |            |            |           |           |          |

주 : 서울특별시 오존 예보 및 경보에 관한 조례(안)의 구성 내용은 김운수, 2014, 서울시 고농도 오존(O<sub>3</sub>) 대응 매뉴얼 연구, 2013-OR-55 참조

그림 4 서울특별시 오존 예보 및 경보에 관한 조례 구성 체계(안)

## 고농도 오존 대응 매뉴얼을 작성하여 활용

### 민감·취약 계층을 대상으로 고농도 대응 예비정보를 전달

- 현행 3단계의 오존 정보 발령 기준에 ‘예비단계’를 추가하여, 건강영향의 사전 대응이 가능하도록 예방정보를 전달
- 최근 5년(2008~2012) 동안 서울시 오존농도의 95%, 99% percentile 해당 농도는 각각 0.05ppm/시간, 0.07ppm/시간 수준의 확률분포를 기록
- 현행 오존주의보와 경보, 중대경보의 발령기준을 고려하여 99% 수준인 0.07ppm/시간 농도를 ‘예비단계’ 기준으로 설정하여 사전 건강영향 대응 정보를 전달
- 어린이집, 학교, 노인시설, 병원 등의 민감·취약 계층이 밀집되어 있는 관련 기관에 예비단계의 대응정보를 우선 전달하고 관련 행동요령에 따라 대응하도록 유도

표 7 고농도 오존 대응 시민 행동요령(안)

| 발령기준               | 예비단계<br>(0.07ppm/시간 이상) <sup>4)</sup>   | 주의보<br>(0.12ppm/시간 이상)  | 경보<br>(0.3ppm/시간 이상)   | 중대경보<br>(0.5ppm/시간 이상)  |
|--------------------|---|---|--|---|
| 민감계층 <sup>1)</sup> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 외출 일정 조정</li> <li>• 보육시설 실외학습 자제(오후 2~4시)</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 작업시간의 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 해당되지 않는 일반 성인

4) 최근 5년(2008~2012) 동안 서울시 오존 농도의 95%, 99% percentile에 해당하는 농도 수준은 각각 0.05ppm/시간, 0.07ppm/시간으로 주의보와 경보, 중대경보의 기준을 고려하여 99% 수준인 0.07ppm/시간 농도를 예비단계 기준으로 설정함.

## 사업장 및 가정·상업 배출원을 대상으로 관리 행동지침을 제공

- 5개 권역별 VOC/NO<sub>x</sub> 농도 비율, 배출원별 기여도 등을 고려한 단기 고농도 오존 대응 관리정보의 활용이 필요
- VOC-limited 조건을 가진 서울의 오존 생성과정에 대한 맞춤 대응을 위해 5개 권역별 VOC/NO<sub>x</sub> 농도 비율 조정과정에서 유기용제 사용의 우선적인 감축관리가 필요
- 도심권역에서는 인쇄업, 북서·남서·남동권역은 건축·건물의 도장, 북동권역은 세탁시설의 VOC 배출량 감축을 우선적으로 고려
- 가정·상업의 유기용제 사용을 관리하기 위해 친환경 유기용제 사용 및 보관 방법 등 시민·사업자 대상으로 교육 및 홍보 강화가 바람직
- 오존 생성과 대응의 판단기준인 VOC/NO<sub>x</sub> 비율 관리를 위한 측정망 확충이 필요
- 휘발성 유기화합물질 농도 분포와 오존 생성 기여도를 파악하기 위한 과학적 기반체계 구축으로 광화학 측정소의 설치 확대·운영이 중요

표 8 사업장의 고농도 오존 대응 정보제공 방안(안)

| 발령기준                    | 예비단계<br>(0.07ppm/시간 이상) | 주의보<br>(0.12ppm/시간 이상)   | 경보<br>(0.3ppm/시간 이상)  | 중대경보<br>(0.5ppm/시간 이상)  |
|-------------------------|-------------------------|--|---|---|
| 대형<br>사업장 <sup>1)</sup> | 사전 통보                   | <div> <div>협조 요청</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 연료 사용량 10% 감축</li> <li>• 조업시간 단축</li> </ul> </div> | <div> <div>권고</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 연료 사용량 20% 감축</li> <li>• 조업시간 단축</li> </ul> </div> | <div> <div>명령</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 연료 사용량 40% 감축</li> <li>• 조업 중지</li> </ul> </div> |
| 소형<br>사업장 <sup>2)</sup> | 고농도 오존 발생<br>예비 정보 제공   | <div> <div>사전 통보</div> <div>고농도 오존 발생<br/>정보 제공</div> </div>   | <div> <div>협조 요청</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 가동률 조정</li> <li>• 조업시간 단축</li> </ul> </div>     | <div> <div>권고</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 연료 사용량 감축</li> <li>• 조업시간 단축</li> </ul> </div>   |

주 : 1) 대형 사업장은 1~3종 대기배출시설과 휘발성 유기화합물 배출시설의 종류·시설규모·배출억제/방지시설의 설치 등에 관한 규정에 적용받는 시설 규모를 총칭함.

2) 소형 사업장은 4~5종 대기배출시설과 휘발성 유기화합물 배출시설의 종류·시설규모·배출억제/방지시설의 설치 등에 관한 규정의 시설규모 미만의 시설임.



## 교통부문의 배출특성에 맞춘 고농도 오존 대응책 마련 필요

- 자동차 운행모드를 구분하여 교통부문 대상의 고농도 오존 대응이 필요
  - 자동차 운행모드 유형은 운행 제한, 공회전 제한, 교통수요 관리 등으로 구분하고, 정보단계별 오존 대응 정보를 제공
  - 오존의 2차 생성 및 확산과정에 따라, 오존 대응정보 제공의 공간범역을 이동오염원 배출특성에 맞게 고농도 오존 발생지역과 주변 영향지역으로 구분
- 이동오염원의 배출특성에 따라 선(線)과 면(面)을 결합한 고농도 오존 대응을 검토
  - 공회전 집중관리 확대, 대형 업무·상업시설의 주차장 및 공영주차장의 운영시간 제한 및 금지, 공공기관의 엄격한 요일제 시행 등을 실시
  - 자동차 운행제한, 통행금지와 같은 면(面) 기준의 단기 국지 고농도 오존 대응의 실효성 확보는 어려우나, 현행 공해차량제한지역(LEZ), 혼잡통행료와 연계하여 운영

표 9 교통부문의 고농도 오존 대응 정보제공 방안(안)

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

주 : 서울시 자가용 승용차 일 주행거리가 28.6km로, 일 거리의 10% 수준인 3km를 단거리 운행거리로 설정

## 고농도 오존 정보전달체계 개선으로 시민 참여를 유도

시민의 참여를 제고할 수 있는 오존 대응 정보전달체계로의 전환

- 고농도 오존 에피소드의 발생 전·후 통합 대응체계로의 전환을 위해 시민건강 피해 영향 사례 보고 및 행동요령 보완의 쌍방향 정보전달체계를 구축
- 오존 경보 발령 후 효과 평가 등의 피드백 과정을 도입하여 오존오염의 건강영향 피해사례가 재발하지 않도록 오존 경보 발령 후 모니터링이 필요
- 고농도 오존 오염정보의 실시간 시민전달을 위한 Web 기반 정보 어플의 제공 및 시민 이해와 참여를 높이기 위해 ‘고농도 오존 대응요령의 Q&A 자료집’ 제작과 홍보
- 서울시 권역별 고농도 오존의 생성·확산 관련 정보 생산 및 전광판 표출 방법을 시민 체감형으로 개선이 효과적

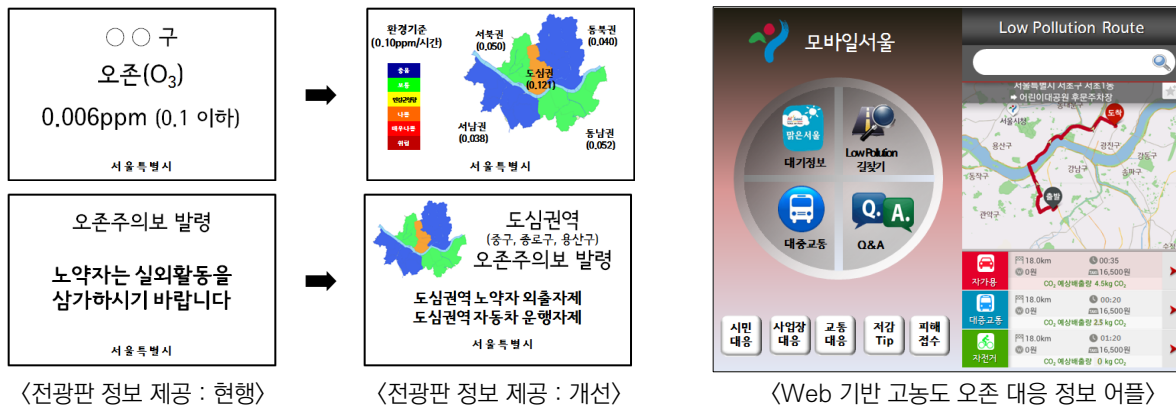


그림 5 고농도 오존 대응 정보 제공(안)

오존 생성 기여물질의 배출저감 정보를 맞춤형으로 제공

- 고농도 오존의 시민건강 피해영향을 예방하기 위해 ‘오존 대응 녹색지침’인 팸플릿을 작성하여 시민 이해와 참여를 권장
- 산업별·공정별 VOC 배출요인 및 저감대책, 대책별 저감효율, 가정·상업 생활과정의 VOC 저감 등 오존 생성 오염물질의 저감에 유용한 가이드라인 정보를 제공

## 오존 대응 관련 Tip

### 〈자동차 관련〉

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

### 〈가정·상업 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 얼룩 제거 등의 작업을 신속하게 하기
- 얼룩 제거 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 드라이클리닝 작업을 최소화

### 〈도장시설〉

- 도료의 도색 작업은 신속하게 하기
- 도색은 얇은 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

## 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

|  |                                    |                                       |  |
|--|------------------------------------|---------------------------------------|--|
|  | <b>【표시 확인】</b> 저VOC<br>VOC多        | 질소가스<br>탄산 가스<br>가연성 가스<br>LPG<br>DME | <b>【형태 확인】</b> 저VOC<br>분무식<br>펌프식          |
|  | <b>저VOC</b> 수성<br>VOC多 유성          | 수성<br>VOC多 유성                         | <b>저VOC</b> 수성<br>VOC多 유성                  |
|  | <b>저VOC</b> 수성<br>VOC多 용제계<br>유기용제 | 수성<br>VOC多 용제계<br>유기용제                | <b>저VOC</b> 수성<br>VOC多 유성<br>유기용제          |
|  | <b>저VOC</b> 수성<br>VOC多 용제계<br>유기용제 | 수성<br>VOC多 용제계<br>유기용제                | <b>저VOC</b> No 알코올<br>알코올 free<br>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

- ✗ 쓰러지지 않게, 뚜껑을 닫아 보관
- 직사광선, 고온 다습한 장소 피하기

## ○ 고농도 오존 대응 매뉴얼 작성과 활용으로 체계적인 고농도 오존 대응을 유도

- 고농도 오존오염 생성에 따른 시민 건강영향의 사전 예방, 오존발생 원인물질 배출 저감을 체계적으로 유도하기 위해 ‘고농도 오존 대응 매뉴얼’ 작성이 바람직
- 고농도 오존 대응 매뉴얼에는 배출원 대응방안, 고농도 오존 수준별 대응 요령, 오존 정보전달 및 효과 모니터링 등을 포함하여 실용성을 제고

표 10 서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼 구성 체계(안)

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

주 : 서울시 고농도 오존 대응 매뉴얼(안)의 주요 내용은 김운수, 2014, 서울시 고농도 오존(O<sub>3</sub>) 대응 매뉴얼 연구, 2013-OR-55 참조