

# 오존과 건강

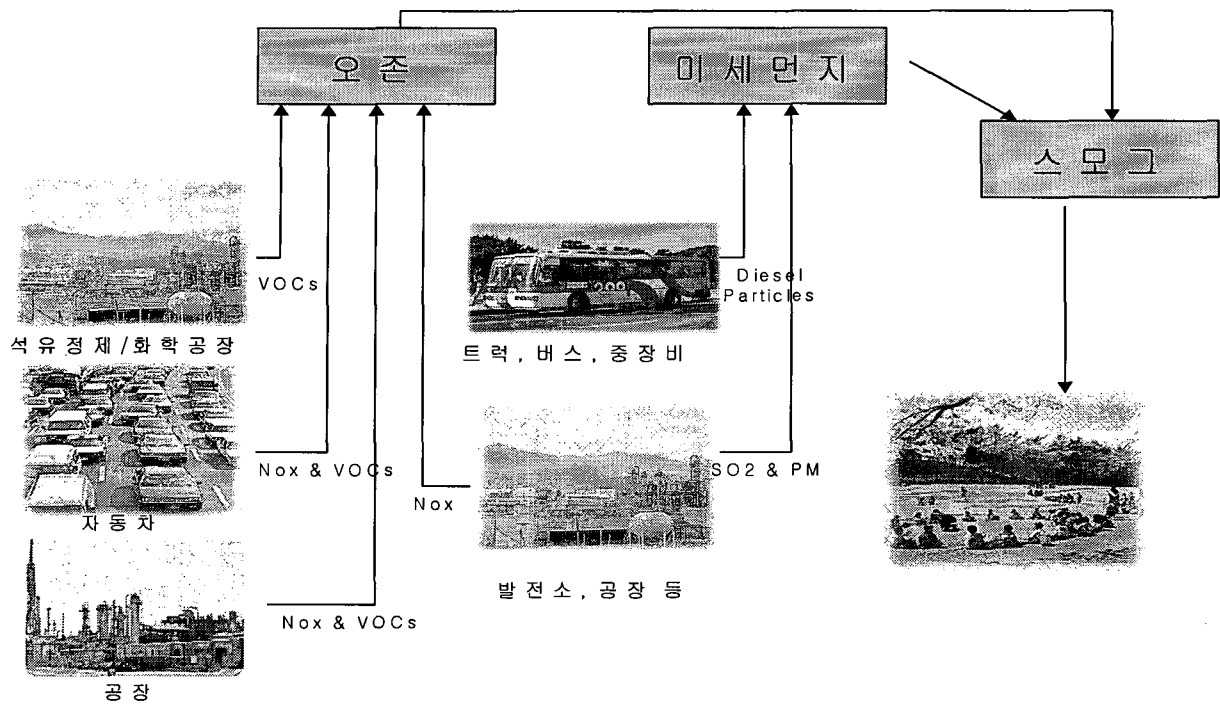
전남의대 예방의학교실 손 석 준

## 1. 대기오염물질 (Air Pollutants)로서의 오존

오존(O<sub>3</sub>)은 무색의 기체로 “냄새가 나다”라는 뜻을 가진 희랍어 ozein에서 유래하였다. 오존은 산소의 불안정한 동소체로 산소보다 높은 에너지를 갖으며 햇빛 등 주위의 전자파를 흡수하여 쉽게 분해되고, 이때 생긴 여분의 산소원자는 주위의 물질들과 쉽게 반응하는 강한 산화력을 가진 활성 기체이다.

오존이 갖고있는 강력한 산화력은 하수의 살균, 악취제거 등에 유용하게 이용되기도 하고, 지구 대기 중에 오존층을 형성하여 보호막의 역할도 하는 등 좋은 역할을 하지만 지표면에 생성되는 오존은 인간의 건강에 해로운 대기오염물질이 된다.

인위적으로 배출된 대기오염물질의 대부분은 통상 지상으로부터 1~2 km 이내에 존재한다. 대기오염물질 중 질소산화물(NOx)과 휘발성유기화합물(VOCs)은 햇빛에 의한 화학반응에 의해 오존을 생성하여 대기 중 오존농도가 증가하게 된다. 그리고 이 오존의 일부는 대기 중 또 다른 오염물질과의 2차 반응에 의해 미세입자를 만들어 광화학스모그 현상을 일으킨다. 이에 따라 가시거리가 짧아지는 등 시정이 나빠지고(그림 1), 호흡기나 눈을 자극하는 등의 건강에 장애를 주며 농작물에도 직·간접적인 피해를 주는 데 이를 지표오존이라 한다.



- VOCs : 휘발성유기화합물
- NOx : 질소산화물
- SO2 : 황산화물
- PM : 입자상 물질(미세먼지)

그림 1. 광화학스모그 현상의 발현 양상

1944년경 발견된 Los Angeles 연무는 오존과 이산화질소( $\text{NO}_2$ )를 주성분으로 하는 광화학 연무(photochemical pollution)이다(표 1). 근년에는 자동차 수가 많이 증가하면서 발생하는 질소산화물과 탄화수소가 강렬한 태양광선과 반응하여 오존을 발생시켜 새로운 문제가 되고 있다.

Table 1. Comparison of general characteristics of sulfurous(London) and photochemical (Los Angeles) air pollution

CHARACTERISTICS	SULFUROUS (LONDON)	PHOTOCHEMICAL (LOS ANGELES)
First recognized	Centuries ago	Mid-1940s
Primary pollutants	SO <sub>2</sub> , sooty particles	Organics, NO <sub>2</sub>
Secondary pollutants	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , aerosols, Sulfates, sulfonic acids, etc.	O <sub>3</sub> , peroxyacetyl nitrate(PAN), HNO <sub>3</sub> , aldehydes, particulate nitrates, sulfates, etc
Temperature	Cool ( $\leq 35^{\circ}\text{F}$ )	Hot ( $\geq 75^{\circ}\text{F}$ )
Relative humidity	High, usually foggy	Low, usually hot and dry
Type of inversion	Radiation (ground)	subsidence(overhead)
Time air pollut. peaks	Early morning	Noon-evening

Table 2. National Ambient Air Quality Standards

Pollutant	Primary Stds.	Averaging Times	Secondary Stds.
Carbon Monoxide	9 ppm(10mg/m <sup>3</sup> )	8-hour <sup>1</sup>	None
	35 ppm(40mg/m <sup>3</sup> )	1-hour <sup>1</sup>	None
Lead	1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Quarterly Average	Same as Primary
Nitrogen Dioxide	0.053 ppm(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Annual (Arithmetic Mean)	Same as Primary
Particulate Matter (PML <sub>10</sub> )	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual <sup>2</sup> (Arith. Mean)	Same as Primary
	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24-hour <sup>1</sup>	
Particulate Matter (PML <sub>2.5</sub> )	15.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual <sup>3</sup> (Arith. Mean)	Same as Primary
	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24-hour <sup>4</sup>	
Ozone	0.08 ppm	8-hour <sup>5</sup>	Same as Primary
	0.12 ppm	1-hour <sup>6</sup>	Same as Primary
Sulfur Oxides	0.034 ppm	Annual (Arith. Mean)	
	0.14 ppm	24-hour <sup>1</sup>	
		3-hour <sup>1</sup>	0.5 ppm(1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

\* Primary standards set limits to protect public health, including the health of "sensitive" populations such as asthmatics, children, and the elderly. Secondary standards set limits to protect public welfare, including protection against decreased visibility, damage to animals, crops, vegetation, and buildings.

- 1 Not to be exceeded more than once per year.
- 2 To attain this standard, the expected annual arithmetic mean PM10 concentration at each monitor within an area must not exceed 50 ug/m<sup>3</sup>.
- 3 To attain this standard, the 3-year average of the annual arithmetic mean PM2.5 concentrations from single or multiple community-oriented monitors must not exceed 15.0 ug/m<sup>3</sup>.
- 4 To attain this standard, the 3-year average of the 98th percentile of 24-hour concentrations at each population-oriented monitor within an area must not exceed 65 ug/m<sup>3</sup>.
- 5 To attain this standard, the 3-year average of the fourth-highest daily maximum 8-hour average ozone concentrations measured at each monitor within an area over each year must not exceed 0.08 ppm.
- 6 (a) The standard is attained when the expected number of days per calendar year with maximum hourly average concentrations above 0.12 ppm is ≤ 1, as determined by appendix H.  
(b) The 1-hour NAAQS will no longer apply to an area one year after the effective date of the designation of that area for the 8-hour ozone NAAQS. The effective designation date for most areas is June 15, 2004. (40 CFR 50.9; see Federal Register of April 30, 2004 (69 FR 23996).)

미국 National Ambient Air Quality Standards(NAAQS)는 오존, 호흡성 (10, 2.5 $\mu$ m 이하) 입자물질, 이산화황 (SO<sub>2</sub>), NO<sub>2</sub>, 일산화탄소, 납의 7 가지 "기준(criteria)" 실외 대기오염물질의 최대 허용농도를 규정하고 있다(표 2). 우리나라의 대기 환경기준은 (표 3)과 같다.

표 3. 우리나라의 대기 환경기준

항 목	기 준	측 정 방 법
아황산가스 (SO <sub>2</sub> )	연간평균치 0.02ppm 이하 24시간평균치 0.05ppm 이하 1시간평균치 0.15ppm 이하	자외선형광법 (Pulse U.V. Fluorescence Method)
일산화탄소 (CO)	8시간평균치 9ppm이하 1시간평균치 25ppm이하	비분산적외선분석법(Non-Dispersive Infrared Method)
이산화질소 (NO <sub>2</sub> )	연간평균치 0.05ppm이하 24시간평균치 0.08ppm이하 1시간평균치 0.15ppm이하	화학발광법(Chemiluminescent Method)
미세먼지 (PM-10)	연간평균치 70 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하 24시간평균치 150 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	베타선흡수법( $\beta$ -Ray Absorption Method)
오존 (O <sub>3</sub> )	8시간평균치 0.06ppm이하 1시간평균치 0.1ppm이하	자외선광도법(U.V. Photometric Method)
납 (Pb)	연간평균치 0.5 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	원자흡광광도법(Atomic Absorption Spectrophotometry)

비 고 : 1. 1시간 평균치는 999천분위수(천분위수)의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니되고, 8시간 및 24시간 평균치는 99백분위수의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니된다.

2. 미세먼지는 입자의 크기가 10 $\mu$ m이하인 먼지를 말한다.

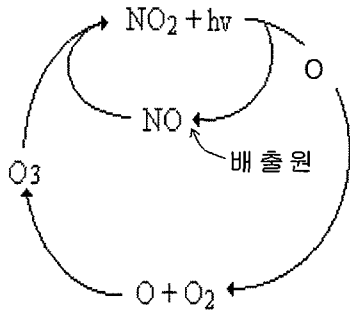
오존에 급성 노출 때 FVC와 FEV<sub>1</sub> 이 10% 이상 저하되는 경우 건강에 위대한 효과를 나타내었다고 정의한 학자도 있으나 대기오염물질에 대한 생체반응이 피라미드형으로 나타나기 때문에 어느 선까지를 유해한 것이라고 해야 할 것인지는 명확하지 않다. 통계적으로 유의한 차이가 모두 의학적으로 유의한 것은 아니며 생리적 변화가 모두 해로운 것도 아니다. Environmental Protection Agency(EPA)는 carboxyhemoglobin이 2.5% 이상이면 의학적으로 유의한 해작용 때문에 허용할 수 없으나 그 이하는 괜찮다고 하였고, 도시의 연무나 광화학적 산화성 공기오염물에 의한 눈 코 귀의 자극은 의학적으로 중요하지 않기 때문에 공기청정법에서 건강에 유해한 것으로 취급하지 않는다. 그러나 반응이 가역적인 경우에도 천식에서처럼 의의를 붙일 수도 있다.

## 2. 오존의 생성과 분포

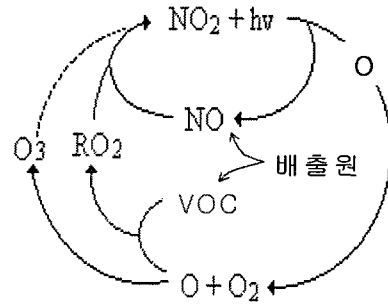
### 1) 오존의 생성

지표 오존은 가정, 자동차, 사업장 등에서 대기 중으로 직접 배출되는 오염물질이 아니라, 이들에서 배출된 질소산화물( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$  : 연소과정에서 90~95% 이상이 NO로 배출됨)과 휘발성유기화합물이 대기 중에 함께 존재한 상태, 또는 질소산화물만이 존재하는 상태에서 햇빛에 의한 광화학반응으로 생성되는 2차적 오염물질이다(그림 2).

그림 2의 (a)와 같이 대기 중에 질소산화물만이 존재한 경우에는 먼저 일산화질소(NO)가 이산화질소( $\text{NO}_2$ )로 산화되고, 이  $\text{NO}_2$ 가 햇빛(자외선 중의 장파와 가시광선 중의 단파  $\Rightarrow h\nu$ )에 의해 산소원자(O)와 NO로 광분해된다. 그리고 산소원자는 대기 중의 산소분자와 반응하여 오존을 만들며, 이 오존은 다시 NO를  $\text{NO}_2$ 로 산화시키는 데 소비된다. 따라서 이 과정에서는 오존농도가 증가하지 않고 일정한 농도로 유지되게 된다.



(a) 휘발성유기화합물 없을 때의  
일정 오존농도 유지 반응

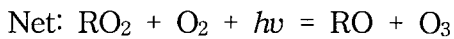
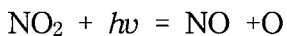
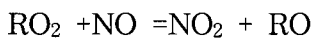


(b) 휘발성유기화합물이 있을 때의  
오존농도 증가 반응

그림 2. 광화학반응에 의한 오존 생성반응

그러나 휘발성유기화합물이 존재하는 경우에는 그림 2의 (b)와 같이 산소원자와 휘발성유기화합물의 반응에 의해 과산화기( $RO_2$ )가 생성된다. 이 과산화기에 의해 NO는  $NO_2$ 로 매우 빨리 산화된다. 따라서 NO를  $NO_2$ 로 산화시키는 오존이 덜 소모되어 대기 중의 오존농도는 증가하게 된다. 도시지역에서 하절기의 낮 시간대에 고농도 오존발생은 이와 같은 반응에 연유한다.

대기 중에 탄화수소가 있을 때는 산화수소기 (hydroxyl radicals, OH) 가 작용해서 peroxy radical( $RO_2$ , R 은 alkyl group)들이 생성되고, 이것에 의해 오존의 소모 없이  $NO_2$ 가 생성되며, 그 결과 오존이 축적된다.

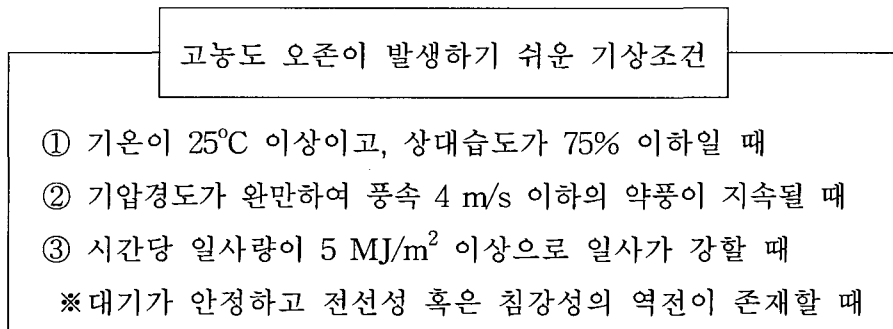


광자  $hv$  는 파장 280 - 430nm이다.

## 2) 기상의 영향

오존이 대기오염물질 중 하나인 것으로 알려지고 이것을 측정하기 시작한 것은 1950년대부터이며, 자동차 등 내연소 엔진에서 산화질소와 탄화수소가 생산되고, 기타 인간이 만든 환경으로부터 탄화수소가 만들어져서 이것들이 강력한 태양 빛과 대기 온도의 상승, 대기의 정체와 함께 작용을 해서 여름에 오존을 생성한다.

고농도 오존은 질소산화물과 휘발성유기화합물이 풍부한 도시지역에서 햇빛이 강한 하절기의 낮 시간대에 주로 나타난다. 그리고 이들 원인물질의 양이 같아도 할 지라도 광화학반응이나 확산 등에 영향을 주는 햇빛 외의 기상조건에 따라 그 농도는 서로 달라질 수 있다. 일일 최고 오존농도는 대략 일사량 및 기온에 비례하여 증가하고, 상대습도 및 풍속에 반비례하여 감소하는 경향을 보인다. 고농도 오존이 나타난 기상조건은 다음과 같다.



## 3) 우리나라의 오존농도

오존의 환경기준은 8시간 평균치가 0.06ppm이하, 1시간 평균치가 0.1ppm 이하로 설정되어 있으며, 주요 국가의 환경기준은 다음과 같다.

표 4. 주요 국가의 대기 중 오존 기준

구분	한국	미국	캐나다	일본	스위스	대만	WHO 권고기준
8시간 평균	0.06	0.08	0.025	-	-	0.06	0.06
1시간 평균	0.10	0.12	0.08	0.06	0.06	0.12	-

'90년대 들어와 황산화물, 분진 등 대기오염도가 계속 감소하고 있으나, 자동차의 지속적인 증가와 사업장 산업활동의 증가에 따라 대도시의 오존 오염도는 매년 악화되고 있다.



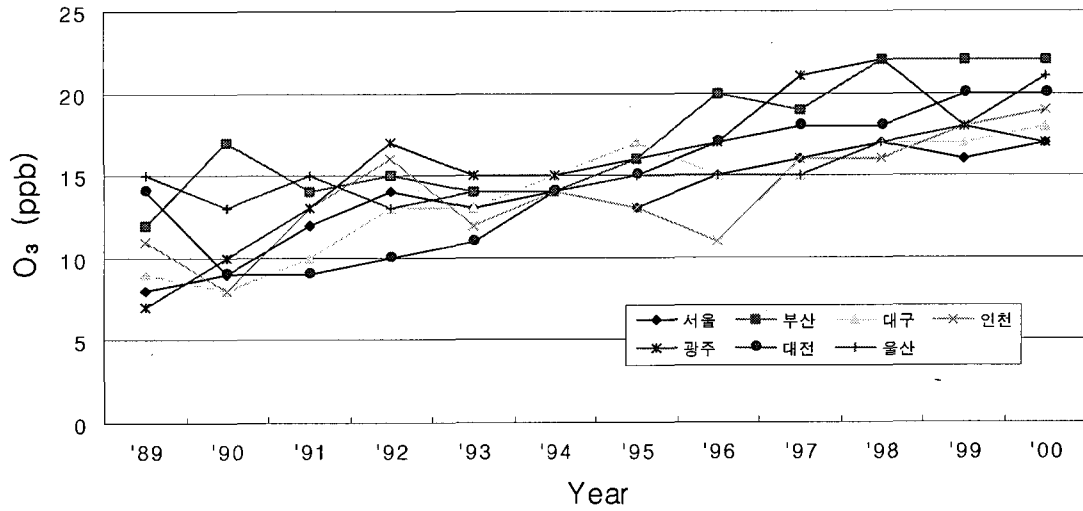


그림 3. 주요 도시의 연도별 O<sub>3</sub> 연평균농도

2000년도 월별 오존 농도변화를 분석해 보면, 봄철에 점차 증가하다가 5~6월에 최고치를 보이고 7~8월에 감소했다가 9월에 다시 약간 증가하는 경향을 보였다.

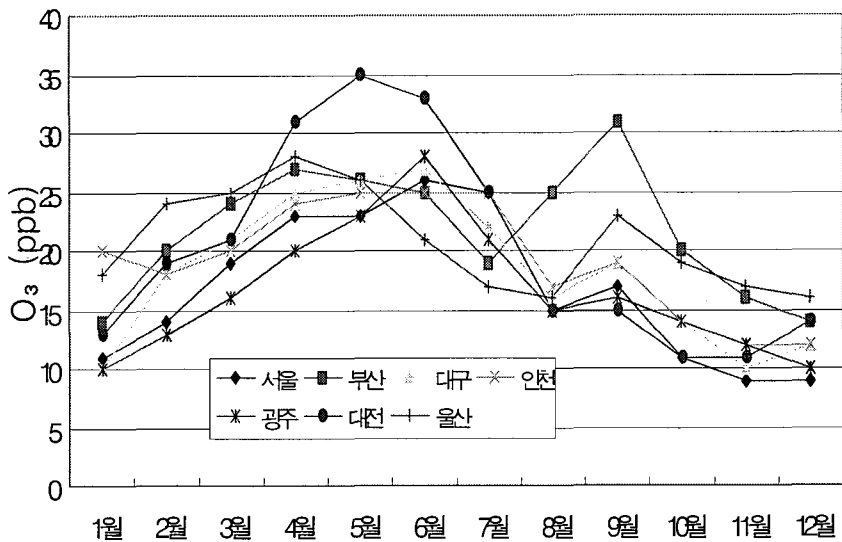


그림 4. 주요 도시의 2000년 월별 O<sub>3</sub> 평균농도

저녁 및 밤 시간대가 되면 햇빛이 없고 기온도 내려가기 때문에 광화학반응에 의한 오존의 생성은 멈추게 되고, 낮 시간대에 생성된 고농도의 오존은 NO를 NO<sub>2</sub> 등으로 산화시키는 데 소모된다.

따라서 오존농도는 급격히 감소하여 밤 중이나 이른 아침에는 오존농도가 일일 중에서 가장 낮은 수준까지 내려가게 되어 뚜렷한 일 변화를 나타낸다.

황산과 질산 에어로졸 등 다른 오염물질 농도도 상승하여 오존의 효과를 증폭시킨다. 오존은 공공 수도 정화, 공기 중 살균 및 냄새 제거 등의 공기정화 목적으로 쓰이기도 하고, 용접 같은 직업에서는 고농도의 오존에 노출되기도 한다.

오존은 대기오염물질 중 허용치가 작업장 노출한계 (threshold limit value, 0.10ppm, 8 시간 평균)를 넘을 수 있는 유일한 오염물질이며, 여름에 대기 농도가 자주 한계치인 0.12ppm(235ug/m<sup>3</sup>)을 넘는다.

실내 오존 수준은 광복사기나 레이저 인쇄기 같은 실내 발생원들이 비교적 적고, 오존의 독특한 냄새가 40 - 100ug/m<sup>3</sup>에서 나타나기 때문에 발생을 피하게 되며, 오존이 건물의 물질에 쉽게 반응하기 때문에 실외 오존에 비해 훨씬 낮다. 그러나 실내 오존은 실외 수준과 밀접한 관계가 있으며, 환기 정도에 따라 실외의 20 - 80% 수준이다. 실내와 실외 수준비가 0.5 이상인 경우는 공기 조절 장치가 없는 집과 창문을 열어 놓은 집에서 볼 수 있다. 공기청정기들은 비교적 적은 양 (<33mg/h) 의 오존을 생산해서 신선한 대기에 있는 정도의 오존 농도를 만듦으로써 소위 신선한 공기를 만드는 기계로 많이 이용되고 있으나 그 정도의 농도를 흡입하는 것도 꼭 좋은 것은 아니라고 본다. 대부분의 사람들은 실내 오존 농도가 무시할 수 없는 수준이고, 또 80% 이상의 시간을 실내에서 보내기 때문에 오존 노출의 많은 부분은 실내에서 받는 것으로 보인다.

#### 4) 오존의 원인물질

오존 농도가 증가하는 것은 오존 원인물질인 질소산화물과 휘발성유기화합물질이 증가하기 때문이다. 대도시 대기오염물질의 80% 이상을 배출하는 자동차의 등록 대수는 크게 증가하였고, 공장·등 배출시설도 증가하는 추세에 있다.

질소산화물과 휘발성유기화합물질의 주된 배출원을 분석해 보면, 대도시의 경우 NO<sub>x</sub>는 수송에서 약 73%, 발전소 등 연소시설에서 약 27%(발전·산업 3%, 난방 24%)가 배출되고 VOCs는 수송에서 약 53%, 나머지 약 47%는 주유소나 유기용제를 사용하는 인쇄소, 세탁소 등과 페인트 작업시 등에서 발생된다.

### 3. 오존이 건강에 미치는 영향

#### 1) 인체에 미치는 독성의 작용기전

오존은 기체이므로 인체가 오존에 노출 될 수 있는 경로는 피부, 인후, 폐라고 할 수 있다. 오존이 인체에 미치는 영향은 각 장기에 따라 다른 양상으로 나타난다. 그러나 오존이 인체의 조직과 접촉하여 독성작용을 나타내는 기전은 일반적으로 동일하다고 볼 수 있다. 오존이 인체에 독성작용을 나타내는 기전은 아직 명확하게 밝혀져 있지 않지만 ①단백질의 변성, ②지방의 과산화(Peroxidation)에 의한다는 두 가지 가설이 제시되고 있다.

#### (1) 단백질의 변성

단백질은 인체를 구성하는 가장 기본적인 물질로서 인체의 기본단위인 세포의 막을 구성하는 성분이기도하고, 또 생명활동에 필수적인 여러 가지 생화학적 반응을 매개하는 효소의 구성성분이기도 하다. 그런데 강력한 산화제인 오존은 산화작용을 통하여 단백질을 변성시킴으로써 독성작용을 나타낸다. Sulfhydryl 계의 물질은 세포 내에서 환원제로 이용되기도 하지만 세포 내에 존재하는 여러 효소와 단백질의 구성성분이기도하다. 그런데 오존은 세포막에 있는 막표면단백질들의 Sulfhydryl기에 작용해서 이들을 연결시킴으로써 세포막의 구조를 변화시켜 세포막을 약화시킨다. 또한 오존은 막구조를 지탱하고 있는 단백질을 분해하여 세포막을 약화시키기도 한다. 그 외에도 오존은 여러 가지 작용을 하는 효소들의 구조도 변형시켜 효소에 의해 일어나는 여러 가지 기능에 장애를 초래한다.

#### (2) 지방의 과산화

오존은 체내의 불포화지방산과 반응하여 독성작용을 나타낸다. 일반적으로 불포화지방산은 세포막을 구성하는 중요한 성분중의 하나이며, 폐의 조직을 덮고있는 액체에도 다량 함유되어 있다. 먼저 인체에 흡입된 오존은 불포화지방산과 반응하여 지방의 과산화를 일으킨다. 이 과정은 오존이 산의 에틸렌 그룹과 반응하여 과산화물을 형성하는 과정에 근거를 두고 있다. 이렇게 분해된 결과 자유기(Free radical)가 형성되고 이렇게 형성된 자유기는 다시금 다른 불포화지방산의 과산화를 촉진시킨다. 이러한 분해과정에서 생겨나는 산물들은 과산화수소와 알데하이드 등인데 이들 물질이 직접적으로 세포에 독성작용을 일으키는 것으로 알려져 있다. 또한 세포막을 구성하는 지방산들이 과산화되어 막의 구조가 약해져서 세포가 손상을

받기도 한다.

## 2) 인체에 미치는 영향

### (1) 오존에 의한 건강영향 개요

오존에 반복적으로 노출되면 폐에 비가역적 손상이 초래될 수 있다. 오존이 비록 낮은 농도일지라도 흡입하게 되면 가슴통증, 기침, 메스꺼움, 인후자극, 충혈과 같은 다양한 건강문제를 야기한다. 또한 기관지염, 심장병, 폐 기종, 천식을 악화시킬 수 있고, 폐 용량을 감소시킬 수 있다. 건강한 사람도 또한 오존에 노출되면 호흡의 곤란을 경험한다. 오존 오염은 보통 더운 기후에 형성되기 때문에 여름에 바깥에서 시간을 보내는 사람들은 누구나 영향을 받을 수 있고, 특히 어린이, 노인, 바깥에서 일을 하거나 운동하는 사람은 영향을 받을 수 있다.

표 5. 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	기도저항증가, 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, 폐기능저하, 폐확산력 현저한 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

## (2) 호흡기계에 미치는 영향

오존은 산화제이자 호흡기에 대해서는 강력한 자극원으로 작용하기 때문에 오존에 노출되었을 때 일차적으로 영향을 받는 기관이 호흡기이며, 오존에 의한 영향이 가장 문제가 되는 기관도 호흡기이다. 대기중의 오존의 농도는 큰 변화 없이 일정하게 유지되는 것이 아니라 광화학반응이 일어나기 좋은 조건이 되었을 때 다량의 오존이 생성되어 고농도로 수 시간 유지되다가 다른 물질로 분해된다. 따라서 사람에게서는 단기간 동안 고농도의 오존에 노출되었을 때 생길 수 있는 급성영향이 중요하다. 일반적으로 1-2시간 동안 고농도의 오존을 흡입하게 되면 호흡기에서 여러 가지 변화와 증상들이 유발되는데 이들이 완전히 가라앉아 정상을 되찾는 데에는 수일의 시간이 소요된다. 오존에 노출되었을 때 생기는 급성증상들은 기침, 숨참, 숨을 깊이 들이쉬었을 때 느껴지는 통증 등이다. 이러한 증상들에 뒤이어 폐기능상의 지표에도 변화가 온다. 고농도의 오존에 노출된 사람들은 일반적으로 노력성폐활량, 일초율 등이 감소한다. 고농도의 오존에 노출되었을 경우에는 숨을 얇게 쉬고, 그 결과 부족하게 되는 산소를 보충하기 위해서 1분간의 호흡수가 많아진다. 오존은 호흡기 가운데서도 주로 소기관지에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

오존과 호흡기질환과의 관계를 살펴보면 현재로서는 오존이 만성호흡기질환의 직접적인 원인이 된다고 보기는 어렵다. 그러나 이미 만성호흡기질환이 있는 환자들에서는 대기중의 오존이 증상을 유발시키거나 악화시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 만성호흡기질환 가운데에서 일시적인 자극에 의해 심한 증상이 나타나는 천식이 가장 문제가 된다.

## (3) 급성호흡기 질환에 미치는 영향

오존의 최고농도와 급성으로 생기는 인후염, 기관지염, 상기도 감염 등과의 사이에 의미 있는 상관관계가 나타나는 것으로 알려져 있다.

## (4) 신경계통에 미치는 영향

오존은 중추신경계에도 영향을 미쳐 그와 관련된 증상들이나 행동 상에 여러 가지 변화를 초래하기도 한다. 따라서 고농도의 오존에 노출되었을 때는 두통과 의식이 불분명해지는 것 등의 신경계통의 증상이 나타날 수 있다. 그리고 역학조사결과 오존의 농도와 두통발생 사이에는 일정한 상관관계가 나타나는 것으로 알려져 있다.

## (5) 감각기에 미치는 영향

오존은 자극성이 강한 기체이기 때문에 인체의 예민한 부분을 자극해 자극증상을 일으킨다. 오존의 자극에 의한 영향은 눈이나 코와 같이 외부 자극을 받아들이는 감각기에 우선적으로 나타난다. 일반적으로 눈이 자극감을 느끼는 오존의 농도

는  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.10ppm: 대기환경기준 1시간 평균치)로 이 농도 이하에서는 특별한 자극증상이 나타나지 않는다.

또한 오존은 눈의 기능에도 영향을 미친다. 오존에 노출된 피험자들을 대상으로 시력의 여러 가지 측면에 대해 검사를 실시한 결과 암순응상태에서 시력의 예민도가 많이 감소하였고, 주변시야는 넓어졌으며, 외안근의 균형에 변화가 일어났고, 야간시력이 약해졌다. 그리고 오존의 농도를 보다 높였을 때에는 집중력이 감소된다고 호소하는 경우도 있었다.

실험에 따라 결과가 조금씩 다르기는 하나 오존을 냄새로 느낄 수 있는 한계는  $15\sim 40\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.008~ 0.02ppm) 정도로 알려져 있다. 오존농도가  $100\sim 900\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.05~0.450ppm)일 때 오존농도가 증가함에 따라 눈의 자극증상도 함께 증가하는 데 호흡기 자극증상, 두통, 기침, 가슴의 답답함 등도 모두 시간당 오존의 최고농도치와 관계가 있다.

#### (6) 오존과 암 발생

오존에 발암성이 있는가의 여부는 아직 실험적으로는 증명되지 않았다. 또 역학 조사에서도 오존의 영향만을 따로 분리해내기 어렵기 때문에 오존과 암 발생과의 관계를 직접적으로 유추해내기는 힘들다. 그러나 일반적으로 보아 대기오염이 심한 지역에서는 폐암의 발병률이 높아진다는 것은 역학적인 연구로 입증되고 있다.

### 4. 오존의 효과에 관한 연구

#### 1) 역학적 연구

오존이 알레르기성질환인 천식을 포함한 호흡기질환에 미치는 영향에 대한 많은 연구들이 있는데, 크게 역학적 연구와 실험적 연구로 나누어 볼 수 있다.

역학적 연구는 한가지 대기오염물질이 호흡기질환과 유의한 관계에 있더라도 단정하여 원인이라고 말하기 곤란하다. 흡연이나 기타 대기오염물질, 알레르기항원, 기후, 직업성 노출, 감염 등이 모두 천식에 관계되기 때문에 이런 위험인자들에 대한 고려를 해야한다. 또한 개개인에서 노출된 대기오염물질의 양을 측정하기 곤란하고 개개인의 노출 정도에 많은 차이가 있을 것이며 많은 사람을 대상 표본으로 하는 경우에 문진 이외에 더 자세한 검사를 해서 진단하기 어려우므로 병명이 정확하지 않을 수 있는 문제점이 있다.

미국 EPA에서 오존 등 광화학산화물에 관한 포괄적인 보고서를 내놓았다. 오존의 영향에 관한 단면적 연구들에서 산화물 농도가 높은 지역에 사는 사람들의 호흡기증상이나 폐기능이 낮은 지역에 비해 별 차이가 없었다. 그러나

California에서 11년 이상 거주한 25세 이상 비흡연자 7,000명 이상을 대상으로 한 연구에서는 이산화황 과 총 부유분진 뿐 아니라 오존을 포함한 총산화물 농도가 관계가 있었고, Austria 학동들을 대상으로 한 연구에서 오존 농도가 높은 지역 (최고 0.188ppm)의 아이들이 낮은 지역 (최고 0.095ppm) 보다 methacholine(MCh) 기도과민성(airway hyperresponsiveness, AHR)이 있는 아이가 많았다.

오존에 관한 경시적 연구들에서 호흡기증상, PEFr 저하 정도와 산화물 농도 사이에 관계가 있었으며, 0.12ppm 미만의 낮은 농도에서도 폐기능 저하 정도와 관계되었다. New Jersey의 대기오존 농도 0.12ppm 미만인 여름 캠프에서 8 - 15세 아이들 91명을 대상으로 4주 동안 매일 폐기능 검사를 했을 때 오존 농도와 관계가 있었다. California의 비흡연자 3,914명에 대한 1977 - 1987년의 연구에서 오존 농도가 0.10ppm 이상 오랫동안 노출 되었을 때 천식발생이 유의하게 증가되고, 천식의 심한 정도가 악화되었다.

천식환자를 대상으로 보았을 때 발작 빈도가 산화물치 0.2ppm 증가마다 8% 위험 증가가 있었다. Bates 와 Sizto는 남부 Ontario 에서 여름 동안 병원 입원과 오존 농도가 관계 있는 것으로 보고하였다.

## 2) 실험적 연구

사람을 대상으로 오존을 노출한 연구는 대상이 소수이고, 짧은 기간 한가지 물질에만 노출하여 가벼운 급성 가역적 변화만을 초래하는 농도에서 연구한 것이 대부분이다. 그러나 원인과 효과의 관계, 용량 반응 관계, 운동이 악화시키는 역할, 예민한 군이 있다는 것 등을 앞으로써 이해하는데 많은 도움이 된다.

### (1) 증상과 폐기능

건강한 사람에서 오존을 노출했을 때 역치에 이르면 첫 노출 후 수분 이내에 흉부 압박감을 느끼기 시작하고, 깊게 들이쉴 때 불편감, 마른기침을 초래한다. 대상자가 못 느낄 수도 있으나 호흡양상이 더 빠르고 얕아진다. 대부분 건강한 사람은 0.3ppm 미만에서 2-3시간 노출로는 별 영향이 없으나 운동을 심하게 하면 낮은 농도에서도 유의한 반응을 나타내고, 반응 정도는 유효용량 (농도 × 환기량 × 시간)에 비례한다. 5시간 동안 계속 운동하면서 (약 40L/min 환기) 0.08, 0.10, 0.12ppm 오존에 노출했을 때 농도와 노출시간에 따라 FEV<sub>1</sub> 저하와 심호흡 때 통증을 나타내었다.

오존 0.25-0.45ppm에 반복 노출하면 다음날 폐기능이 더 심하게 저하되며, 4-5일째에는 적응하여 거의 반응이 없어진다. 0.12ppm 의 낮은 농도에서 하루 6.6시간 매시간 50분씩 중등도 운동을 했을 때는 폐기능 저하와 증상발현이 더 빨리 2일째 부터 약화되고 3일째는 없어졌다.



## (2) 오존에 대한 감수성

어린애들에서 0.12ppm 오존 노출 후 FEV<sub>1</sub>이 약간 더 저하되었으나 다른 연구에서는 이것을 증명하지 못하였다. 50세 이상은 0.20-0.45ppm 오존에 덜 반응하며, 오존, NO<sub>2</sub>, peroxyacetyl nitrate 혼합물 1-2시간 급성 노출 때 젊은 성인 보다 덜 반응한다.

만성폐쇄성폐질환환자에서 0.12-0.25ppm 오존에 폐기능이 더 저하되지 않았으나 환기관류불균형에 의한 동맥혈 산소탈포화를 초래하였다. 천식에서 0.4ppm을 2시간 동안 간헐적 운동하면서 노출 때 정상보다 더 심하게 폐기능이 저하되었으나 증상, MCh-AHR 유발은 차이가 없었다. 그러나 자원자를 대상으로 한 연구에서 오존에 과민한 군에는 천식, 아토피성질환환자가 많았으며, 0.24ppm 오존을 90분간 운동하면서 노출했을 때 정상인은 변화가 없었으나 천식환자의 비강세척액에서는 노출 직후와 24시간에 백혈구 수 혹은 상피세포수가 유의하게 증가하였다.

## (3) 오존에 의한 호흡기 반응의 기전

오존은 쌍을 이루지 못한 전자를 두개 가지고 있어서 표적물질을 직접 산화시키거나 자유기를 생산해서 불포화지방산(polyunsaturated fatty acids)과 Surfactant로부터 수소기를 빼냄으로써 lipid peroxide를 만든다. 또한 glutathione의 sulphydryl group에 작용하며, NADH, NADPH 등 환원제와 쉽게 반응한다. 손상된 폐 세포들로부터 나온 cytokine과 같은 물질들이 혈류에 들어가서 타 장기에 영향을 끼칠 수도 있다.

- 가) 인체 실험
- 나) 동물실험
- 다) 적용

## 5. 건강상의 피해를 최소화할 수 있는 방안

### 1) 배출저감

오존은 다른 오염물질과는 달리 사람들의 활동으로 만들어진 오존·생성의 전구물질들이 이차적으로 반응을 일으켜 만들어지는 물질이므로 다른 대기오염물질의 배출을 규제하는 것과 같이 직접적으로 그 배출을 규제하는 데에는 여러 가지 어려움이 뒤따른다. 그런데 오존생성 전구물질은 주로 자동차의 배기가스에서 나오므로 이에 대한 관리를 통하여 어느 정도 오존의 생성을 억제시킬 수 있으며, 특히 오존 농도가 높아 오존경보가 내려진 지역에는 자동차의 출입을 통제시켜 해당 지역의 오존 농도가 더 이상 높아지지 않게 할 필요가 있다.

개인들이 오존생성에 관여하는 물질의 농도를 저감시키기 위하여 할 수 있는 것은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 자동차를 잘 정비하고 유지한다.
- 카풀참여, 대중교통이용, 걸어다님, 자전거 타기, 자동차 운행을 줄임(특히 더운 여름날에)
- 자동차, 정원관리장비 등에 주유시 가솔린을 흘리지 않도록 한다. 여름철에는 시원한 저녁 시간에 주유를 한다.
- 자동차 타이어에 적절히 공기를 주입하고 타이어의 균형을 유지한다.
- 지역적인 설비에너지절약프로그램에 참여한다.
- 가정용 세제, 작업장 화학약품 및 용제, 정원용 화학약품 등의 용기를 잘 밀봉하여 휘발성유기 화합물이 공기로 증발되지 않도록 하고, 이들을 잘 처리한다.

## 2) 노출회피

발생차원의 관리와는 별도로 이미 오존이 발생하여 대기 중에 고농도로 존재할 때 이에 대비하는 것 또한 중요하다. 자극에 민감한 호흡기 질환자나 노약자들은 대기 중 오존의 농도가 높은 상황에 노출되지 않도록 주의해야 한다. 일반적으로 오존은 태양 빛이 강하고, 공기의 이동이 적을 때 많이 발생하므로 여름철이나 정오를 전후하여 태양 빛이 강할 때에 이러한 사람들은 외출을 삼가는 것이 좋다. 특히 오존 경보가 내려진 상황에서는 실외활동을 피해야 한다.

## 3) 영양섭취

비타민 C와 E에는 오존에 자극된 폐에서 일어나는 염증반응을 약화시키는 작용이 있으므로 이들 비타민을 충분히 섭취함으로써 오존에 의한 조직의 손상을 어느 정도 막을 수 있다. 비타민의 예방효과는 성인보다는 폐의 발육이 진행중인 어린이에서 더욱 효과적인 것으로 알려져 있다.

## 6. 오존 주의보 및 경보

대기 중의 오존농도가 일정 수준 이상이 되면, 이를 신속히 알려주어 자동차의 운행자제 등을 유도하여 오존농도의 상승을 억제하고, 호흡기 질환자나 노약자들의 실외활동을 자제토록 하여 건강피해를 최소화하기 위한 제도로 시행하고 있다. 2003년도에는 총 12개 시도, 36개 시에서 실시되었다. 오존농도가 시간당 0.12ppm 이

상일 때 주의보, 0.3ppm 이상일 때 경보, 0.5ppm 이상일 때 중대경보 등 3단계로 발령하게 되는데 경보단계별로 필요한 조치가 취해지게 된다(표 6).

표 6. 오존경보 발령시 조치사항

구 분	시 민	차량운전자(소유자)	관계기관	사 업 장
주 의 보 (≥0.12ppm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○노천소각금지 요청</li> <li>○대중교통이용 권고</li> <li>○주민 실외활동 및 과격 운동자제 요청</li> <li>○노약자, 어린이, 호흡기 환자, 심장질환자의 실외활동 자제 권고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○경보지역내 차량운행 자제 권고 (Carpool제 시행)</li> <li>○대중교통이용 권고</li> <li>○자동차 사용 자제요청</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○주의보 상황 통보</li> <li>○대중홍보매체에 의한 대국민 홍보요청</li> <li>○대기오염도 변화분석 및 기상관측자료 검토 요청</li> </ul>	
경 보 (≥0.3ppm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○소각시설 사용제한 요청</li> <li>○주민 실외활동 및 과격 운동제한 요청</li> <li>○유치원, 학교 등 실외 학습제한 권고</li> <li>○노약자, 어린이, 호흡기 환자, 심장질환자 실외 활동제한 권고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○경보지역내 자동차 사용제한 명령</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○경보상황 통보</li> <li>○대기오염 측정 및 기상 관측 활동강화 요청</li> <li>○경보상황에 대한 대 국민 홍보강화 요청</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○연료사용량 감축권고</li> </ul>
중대경보 (≥0.5ppm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○소각시설 사용중지 요청</li> <li>○주민 실외활동 및 과격 운동 금지 요청</li> <li>○유치원, 학교등 실외 학습중지 및 휴교권고</li> <li>○노약자, 어린이, 호흡기 환자, 심장질환자 실외 활동중지 권고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○경보지역내 자동차 통행금지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○중대경보상황 통보</li> <li>○대기오염측정 및 기상 관측활동강화 요청</li> <li>○위험사항에 대한 국민 홍보강화 요청</li> <li>○경찰에 교통규제 협조 요청</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○조업 단축 명령</li> </ul>

오존 경보 및 중대경보는 아직까지 발령되지 않았으나 주의보는 대도시를 중심으로 252회 발령되었다(표 7).

표 7. 연도별 오존주의보 발령현황

연 도	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03
발령횟수	2	11	24	38	41	52	29	45	48

1) 오존경보제 법적 근거

- 대기환경보전법 제7조의2 (대기오염경보)

- ① 시·도지사는 대기오염도가 환경정책기본법의 규정에 의한 대기에 대한 환경기준을 초과하여 주민의 건강·재산이나 동·식물의 생육에 중대한 위해를 가져올 우려가 있다고 인정되는 때에는 당해 지역에 대하여 대기오염경보를 발령할 수 있다. 또한, 대기오염경보의 발령사유가 소멸된 때에는 시·도지사는 즉시 이를 해제하여야 한다.
- ② 시·도지사는 대기오염경보가 발령된 지역의 대기오염을 긴급하게 줄이기 위하여 필요하다고 인정하는 때에는 기간을 정하여 당해 지역 안에서 자동차의 운행제한, 사업장의 조업단축을 명하거나 기타 필요한 조치를 할 수 있다.
- ③ 제2항의 규정에 의하여 자동차의 운행제한·사업장의 조업단축 등을 명령받은 자는 정당한 사유가 없는 한 이에 응하여야 한다.
- ④ 대기오염경보의 대상지역·대상오염물질·발령기준·경보단계 및 경보단계별 조치사항 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

- 대기환경보전법시행령 제2조 (대기오염경보의 대상지역 등)

- ① 법의 규정에 의한 대기오염경보의 대상지역은 시(특별시 및 광역시를 포함한다)지역 중 특별시장·광역시장 또는 도지사가 필요하다고 인정하여 지정하는 지역으로 한다.
- ② 대기오염경보대상 오염물질은 환경정책기본법의 규정에 의하여 환경기준이 설정된 오염물질 중 오존을 말한다.
- ③ 법의 규정에 의한 대기오염경보단계는 대기오염경보대상 오염물질의 농도에 따라 주의보·경보 또는 중대경보로 구분하되, 대기오염경보단계별 오염물질의 농도기준은 환경부령으로 정한다.
- ④ 법의 규정에 의한 경보단계별 조치사항은 주의보발령의 경우에는 주민의 실외활동 자제요청 및 자동차의 사용자제요청, 경보발령의 경우에는 주민의

실외활동 제한요청, 자동차의 사용제한명령 및 사업장의 연료사용량 감축권고, 중대경보발령의 경우에는 주민의 실외활동 금지요청, 자동차의 통행금지 및 사업장의 조업시간 단축명령등이 포함되도록 하여야 한다. 다만, 지역의 특성에 따라 특별시·광역시·도의 조례로 경보단계별 조치사항을 일부 조정할 수 있다.

－ 대기환경보전법시행규칙 제10조(대기오염경보의 발령 및 해제방법 등)

- ① 법의 규정에 의한 대기오염경보는 방송매체 등을 이용하여 발령 또는 해제하여야 한다.
- ② 규정에 의한 대기오염경보의 발령시에 포함되어야 할 사항은 다음 각호와 같다.
  1. 경보의 대상지역
  2. 경보단계 및 오염물질의 농도
  3. 경보단계별 조치사항
  4. 기타 시·도지사가 필요하다고 인정하는 사항

표 7. 대기오염경보단계별 오염물질의 농도기준

경보단계	발령기준	해제기준
주 의 보	- 기상조건등을 검토하여 해당 지역 내 대기자동측정소의 오존 농도가 0.12ppm이상일 때	- 주의보가 발령된 지역내의 기상 조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 오존농도가 0.12ppm미만일때
경 보	- 기상조건등을 검토하여 해당 지역 내 대기자동측정소의 오존 농도가 0.3ppm이상일 때	- 경보가 발령된 지역내의 기상 조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 오존농도가 0.12ppm이상~0.3ppm미만 일 때에는 주의보로 전환
중대경보	- 기상조건등을 검토하여 해당 지역 내 대기자동측정소의 오존 농도가 0.5ppm이상일 때	- 중대경보가 발령된 지역내의 기상조건등을 검토하여 대기자동측정소의 오존농도가 0.3ppm이상~0.5ppm미만 일 때에는 경보로 전환

비고 : 오존농도는 1시간 평균농도를 기준으로 하며 해당 지역내 1개 측정소라도 경보단계별 발령기준을 초과하면 경보를 발령한다.

2) 오존경보제 개요

- 목 적 : 자동차 등의 증가로 오존오염도가 환경기준을 초과할시 인체 및 생활환경에 미치는 영향을 최소화하기 위함

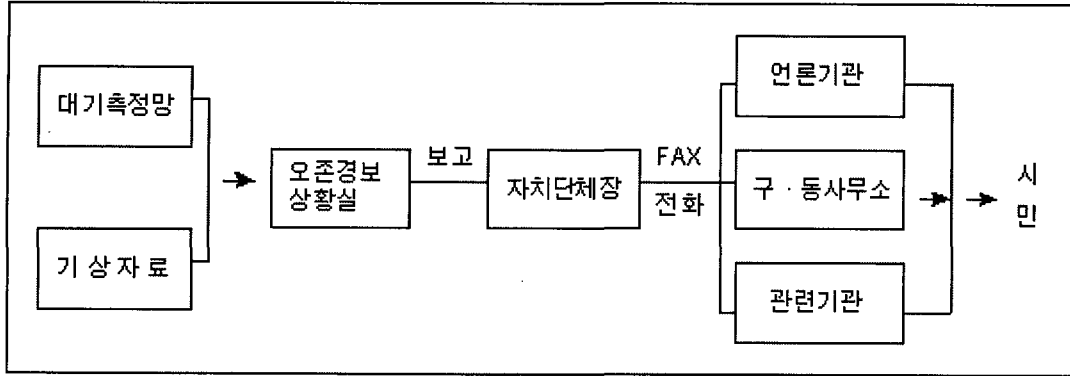


그림 5. 경보전달 체계

3) 오존예보제

- 시행시기 : 오존농도가 높게 나타나는 매년 5~9월
- 대상지역 : 서울·인천·부산 등 6대도시
- 예보내용 : 오존오염도 예측모델을 이용, 익일의 오존주의보발생 가능성을 확률로 예보
- 수행주체 : 지방자치단체

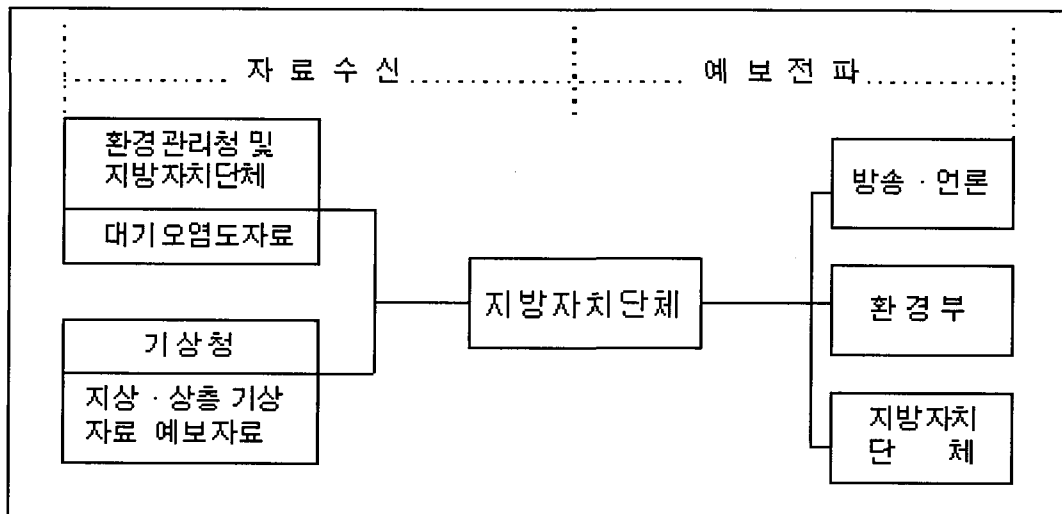


그림6. 오존예보제 운영 체계도

## 7. 오존저감을 위한 국민 실천사항

- 하절기에는 승용차 이용을 자제하고 대중교통을 이용하거나, 승용차 함께 타기를 생활화합시다.
- 차량운행시에는 불필요한 공회전을 삼갑시다.
- 차량운행을 가급적 자제하고 가까운 거리는 자전거를 이용합시다.
- 자동차 에어컨 사용을 최소화합시다.
- 차량운행시에는 경제속도(80km/h)를 지키고, 급출발, 급제동을 삼갑시다.
- 자동차는 잘 정비하여 탑시다.
- 과적이나 연료공급장치를 조작하지 맙시다.
- 타이어 공기압은 적절하게 유지합시다.
- 에너지절약을 실천합시다.
- 기름은 낮 시간대를 피하여 아침이나 저녁시간대에 넣고, 급유시에는 연료탱크를 꽉 채우지 맙시다.
- 하절기에는 유성페인트, 스프레이 사용을 자제합시다.
- 오존예보 또는 경보가 발령된 때에는 노약자, 어린이 및 호흡기환자는 외출을 자제하고 실외운동경기를 삼갑시다.