

## 2.6 왜 이산화탄소에 대해 걱정을 할까?

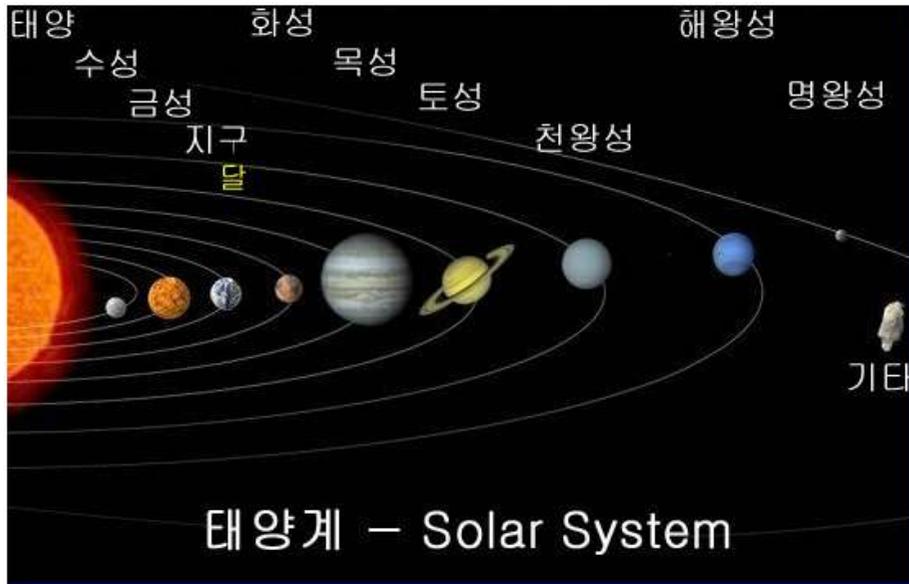
### 태양광 에너지

에너지 종류	파장 영역	상대적 에너지
적외선	$2.5 \times 10^{-5}$ 에서 $2.5 \times 10^{-6}$ m	작다
가시광선	$700 \times 10^{-9}$ 에서 $400 \times 10^{-9}$ m	중간
자외선	$400 \times 10^{-9}$ 에서 $200 \times 10^{-9}$ m	크다

파장은 에너지에 반비례 : 파장 : 자외선 < 가시광선 < 적외선

빛의 에너지 : 자외선 > 가시광선 > 적외선

- 적외선을 흡수 :분자의 모양과 주어진 결합이 늘어나거나 구부러지는 분자의 전자 분포와 관계 있다
- 대기의  $N_2$ ,  $O_2$ 는 적외선을 흡수 하지 않는다.
- 대기의 이산화탄소( $CO_2$ ), 메테인, 수증기는 적외선을 흡수 한다. ★
  - 세 분자들이 지구의 따뜻함을 유지하는데 주된 역할 함.



금성 : 평균온도 450 °C

지구 : 거리 계산에 의한

평균 온도 계산값 -18 °C

실제 평균온도 15 °C

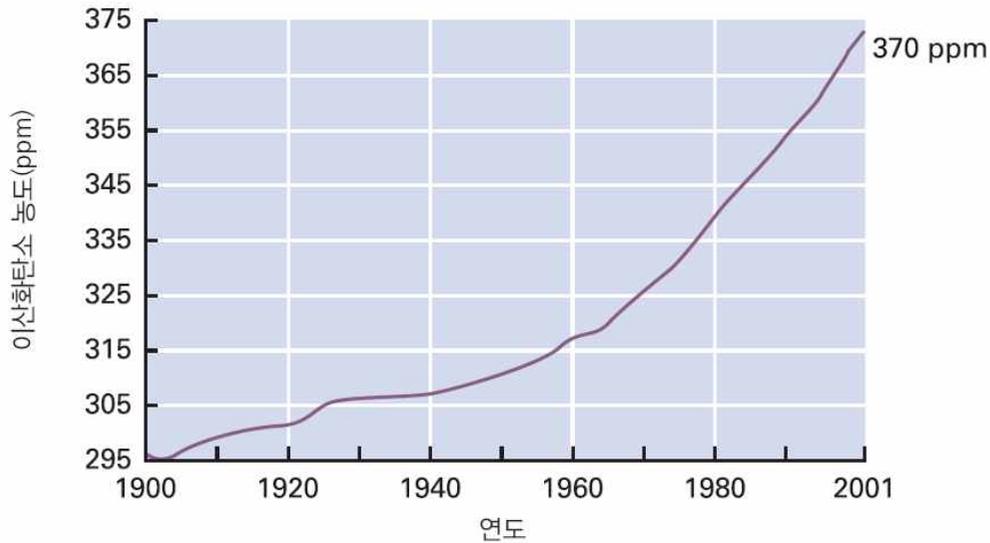
❖ 두 행성의 대기 구성이 온도 차이에 기인

: 금성 - 이산화탄소 96%, 대기압력 90 atm

지구 - 78% N<sub>2</sub>, 21% O<sub>2</sub>,

0.03~0.04% CO<sub>2</sub>, 0.1~1.0 % H<sub>2</sub>O

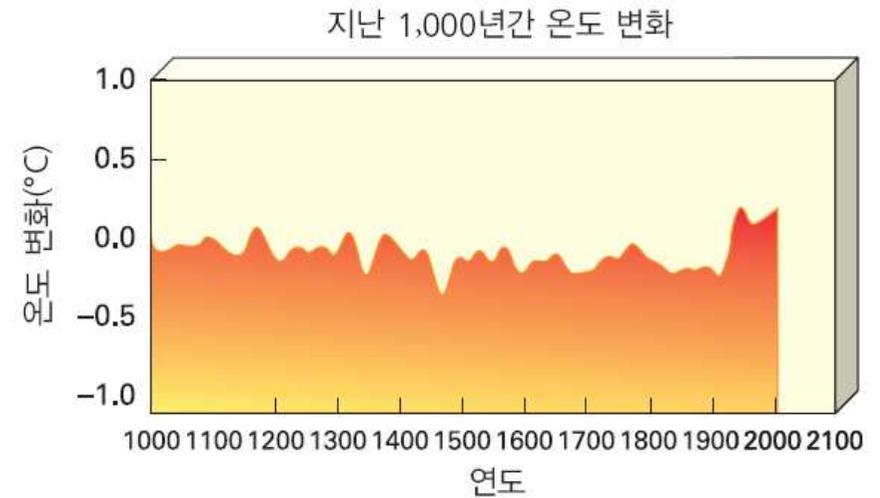
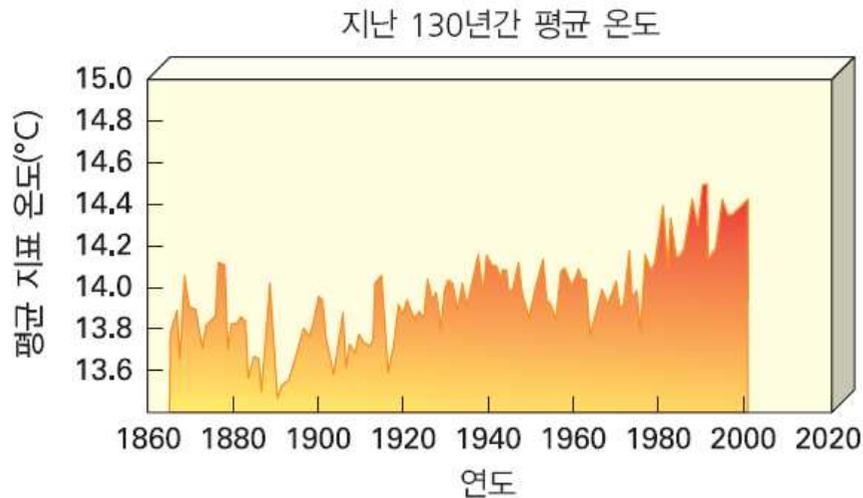
대기압력 1 atm



지구대기의 CO<sub>2</sub> 평균 농도  
 1860년 280 ppm  
 2001년 380 ppm

280 → 330 ppm : 150년  
 330 → 380 ppm : 최근 30년

\*이산화 탄소의 증가에 따라 적외선 흡수가 증가되어 지구의 온도 상승.



**그림 2.8** 지난 1,000 년간 지구 표면의 온도 변화와 좀 더 자세하게 분석한 지난 130 년간 지구 표면의 온도 변화. 더 자세한 자료는 <http://www.ipcc.ch/present/graphics/2001syrlarge.0516.jpg>



ppm (parts per million) : 1백만 분의 1

$1\text{ppm} = 1/10^6 = 1/10^4 \%$  (% , percentage는 1백분의 1)

미량분석의 정량범위, 검출한계 등을 수적으로 표현할 때 널리 씁니다



● 섭씨 (Celsius): 1기압에서의 물의 어는 점을 0 °C, 끓는 점을 100 °C로 정한 온도 체계

● 화씨 (F, Fahrenheit) : 물이 어는 온도는 32도 (섭씨 0도)이며, 물이 끓는 온도는 212도 (섭씨 100도)이므로, 이 사이의 온도는 180등분

$$- \text{ } ^\circ \text{ F} = [^\circ \text{ C} \times 9/5] + 32 \quad \underline{?} \text{ } ^\circ \text{ F} = \left( x \text{ } ^\circ \text{ C} \times \frac{1.8 \text{ } ^\circ \text{ F}}{1.0 \text{ } ^\circ \text{ C}} \right) + 32 \text{ } ^\circ \text{ F}$$

● 절대 온도 (K, Kelvin) : 물리학에서 이론적인 온도의 최저점인 절대 0도를 온도 척도의 기준으로 하는 온도를 절대 온도라 함

$$- \text{ K} = \text{ } ^\circ \text{ C} + 273$$

예제 2.3, 2.4

## 2.7 지구 온난화의 결과

- 증발이 늘어나 어떤 지역에서는 강수량이 더 늘어난다. 이것은 홍수의 증가로 이어진다.
- 수목선(tree line)은 더 먼 북쪽으로 움직이고 더 넓은 지역에서 나무가 자란다. 이것은 더 많은 이산화탄소를 소비하게 할 수 있다.
- 강우지역의 이동에 따라 사막과 세계의 경작지는 크기와 위치가 바뀔 수 있다. 그 결과는 예측하기 어렵다.
- 지구 온난화와 함께 열대의 질병이 유행하고 더 널리 퍼진다.
- 태풍과 날씨 변화가 틀림없이 더 증가할 것이다.
- 증가된 열은 어떤 지역에서 대기오염을 악화시키고, 작물을 손상시키며, 자원을 감소시킬 것이다.
- 몇몇 과학자들은 온실 기체가 어떤 대기 농도에 도달하였을 때, 아마도 상대적으로 빠르고 대규모적인 기후 시스템 재편성의 원인이 될 수 있다고 생각한다.
- 중요한 결과가 전혀 없고 그래서 우리가 다룰 수 없는 것도 하나도 없을 수 있다.

**좋은가? 나쁜가?**

## 2.8 교토 회의가 지구 온난화를 강조하다

교토 회의 : 1997년 일본 교토에서 열린 지구 온난화 방지회의.

### 교토의정서

- \* 이 의정서를 인준한 국가는 이산화탄소를 포함한 여섯 종류의 온실 가스(이산화탄소( $\text{CO}_2$ ), 메테인( $\text{CH}_4$ ), 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ ), 과불화탄소(PFC), 수소화불화탄소(HFC), 육불화황( $\text{SF}_6$ ))의 배출량을 감축하며, 배출량을 줄이도록 한다는 내용.
- \* 2005년 2월 16일 법으로 효력 발생. (124개국)
- \* 선진국에 대한 온실가스 방출량은 정했지만, 개발도상국을 위한 방출량은 정하지 않았다.
- \* 대한민국은 2002년에 이 조약을 비준하였으나 개발도상국으로 분류가 되어 이행의 의무는 아직 없다.

## 2.9 지구 온난화에 대한 가능한 대응

- 화석연료의 사용을 줄이고 탄소에 기반을 두지 않은 대체연료를 개발, 사용한다.
  - 화석연료에 깊이 의존하지 않는 좀 더 효율적인 내연기관이나 자동차를 개발한다.
  - 대중교통수단을 개발하거나 이용을 강제한다.
  - 생산 과정에서 온실기체를 발생시킨 상품이나 서비스에 세금(“탄소세”)을 부과한다.
  - 국제적 탄소배출량 거래 시스템을 개발하여 국가간 또는 다른 주체들이 함께 효율적으로 감소 프로그램 실행할 수 있게 한다.
- 온실기체를 발생하지 않는 기술을 개발하여 이용한다. 예를 들면 원자력과 풍력은 온실기체를 발생하지 않는다. 뉴욕시에 있는 Freedom Tower가 주목할 만한데, 이것은 2001년 11월 공격으로 파괴된 세계무역센터 자리에 지어질 것으로 20%의 에너지를 타워 꼭대기에 있는 풍력 터빈에서 얻도록 되어 있다.
  - 공장의 이산화탄소들을 가압하여 해저에 넣으면, 높은 압력 하에서 이산화탄소는 액체가 된다. 이렇게 바다를 이산화탄소의 폐기 저장소로 이용한다. 조심할 것은, 이 방법은 바다의 화학적 조성을 변화시킬 우려가 있다는 점이다. 또한, 바다에서 갑자기 많은 양의 이산화탄소가 방출되는 문제가 발생할 수가 있다.



미국 플로리다주에 있는 청정 석탄 연소 공장.

- 광합성 플랑크톤의 성장을 촉진시키기 위해 바다를 비옥하게 한다. 이 아이디어는 이산화탄소의 소비를 증가시킬 수 있을 것이다. 설령 이것이 가능하더라도 광합성 플랑크톤이 죽거나 분해되면 어떤 일이 일어날 것인가?
- 태양광의 반사와 유입을 막기 위해 태양과 지구 사이에 거대한 가리개를 설치한다.
- 태양광을 반사시키거나 온도 상승을 막기 위해 성층권에 거대한 먼지를 옮겨둔다. 우리가 너무 많은 태양광을 받게 되면 어떻게 될 것인가? 몇몇 사람들은 이것에 대한 대안으로 반사 가능한 작은 공을 성층권에 많이 뿌리는 것을 제안하고 있다.
- 일인당 이산화탄소 발생량을 줄일 수 있도록 삶의 방법을 바꾼다.
- 전 세계 인구를 줄이거나 최소한 그 증가율을 감소시킨다.
- 내연기관 사용과 화석연료 연소를 금지시킨다.

여러분의 제안은?



주지사 Arnold Schwarzenegger가 미국 캘리포니아주 수소 고속도로망 (California Hydrogen Highways Network)을 발표하러 수소 연료전지 자동차를 운전하여 가고 있다. 주지사인 그는 2010년까지 수소 충전소를 20마일마다 건설하도록 하는 주 명령서에 서명하였다.

## 2.10 산소-오존 보호막

### 자외선 복사

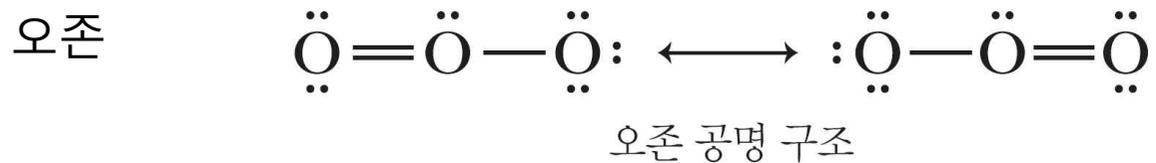
: 파장 200~400 nm

: 몇몇 화학결합을 끊기에  
충분하고 많은 생물학적 시  
스템에 큰 파괴

: 산소와 오존에 의해서  
주로 흡수되어서 대부분의  
자외선은 지구에 이르지 못  
한다.

표 2.1 자외선 복사의 종류 비교

복사선 종류	파장 범위	상대적 에너지	설명
UV-A	320~400 nm	에너지 작음	지표에 가장 많은 양이 도달하지만 에너지가 작기 때문에 UV-B나 UV-C보다 생물체에 피해를 줄 가능성이 적다. 그렇지만 UV-A는 피부의 조숙한 노화와 주름의 원인으로 의심받고 있다. 치명적일 수 있는 몇 종류의 피부암을 일으킨다.
UV-B	280~320 nm	에너지 중간	대부분의 UV-B는 대기 중 오존에 의해서 흡수되고 일부만이 지표에 도달한다. 그러나 UV-B는 DNA 손상을 일으키고 인간의 면역 체계를 약하게 하고, 어떤 피부암을 일으키고, 눈에 장애를 주는데 매우 효과적이다. 식물체와 해양 유기체에도 상당한 피해를 일으킨다.
UV-C	200~280 nm	가장 에너지 큼	대기 중 산소 또는 오존에 의해서 완전하게 흡수된다. 상당한 생물 재해를 일으킬 수 있다.



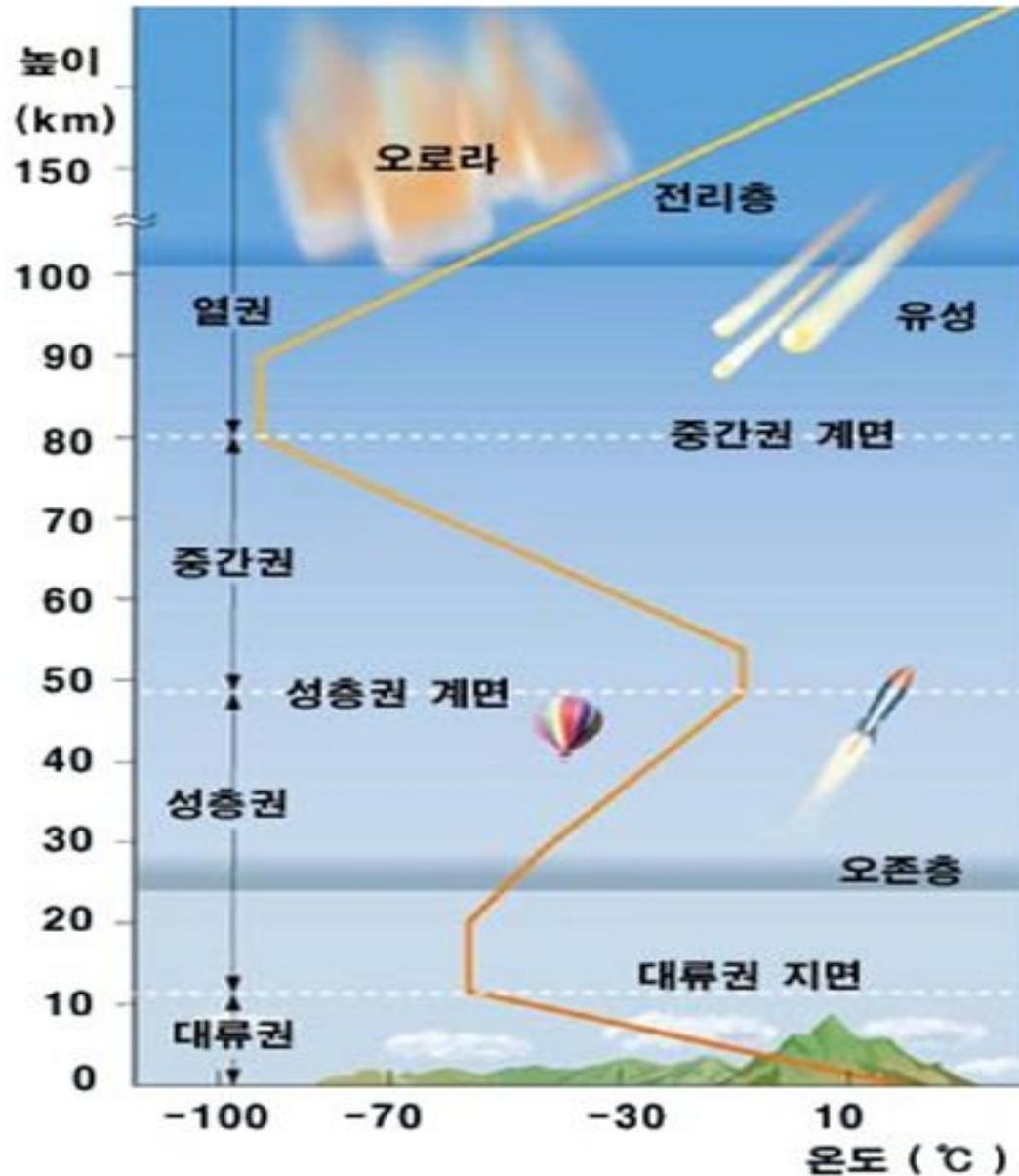
산소 : 이중 결합

→ 242 nm 보다 짧은 고 에너지 UV 복사(UV-C)를 흡수

오존 : 단일 그리고 이중결합 → 1.5결합이라 상상 (이중결합보다 약한 결합)

→ 320 nm 보다 짧은 파장(UV-B)를 흡수

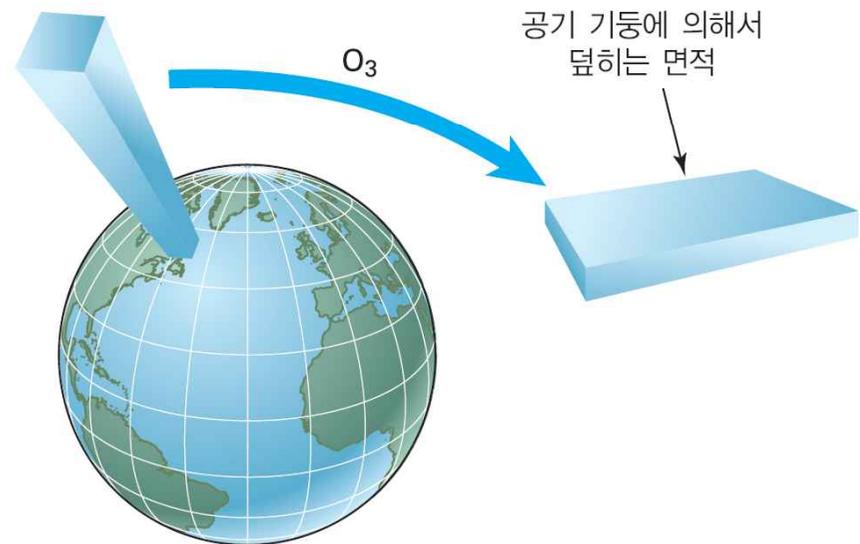
## 2.11 오존은 어디에 있나?



◆오존의 최대 농도  $\sim 10^{19}/\text{m}^3$   
 $=10^{19}/1000\text{L}$   
 $=10^{16}/\text{L}$

◆사람이 한번 호흡하는 공기  $\sim 4 \times 10^{22}/\text{L}$

◆오존 분자의 농도는 우리가 호흡하는 공기의 약 0.000001배에 불과.  
→오존이 0°C 1기압으로 압축  
→ 두께 3mm에 불과



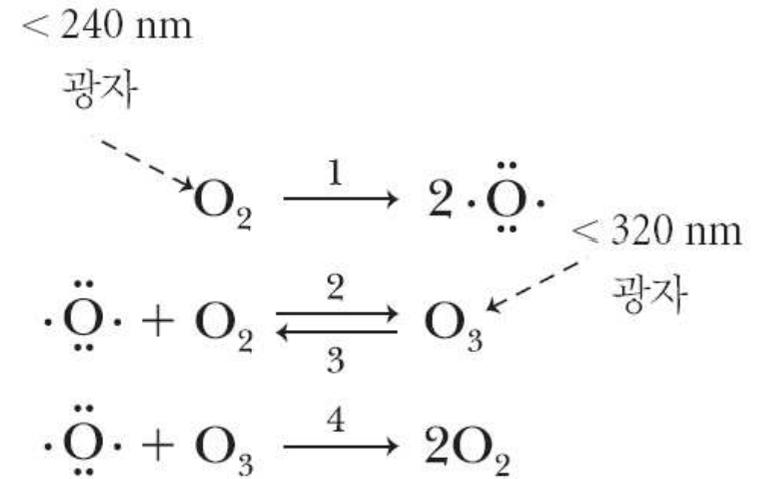
**그림 2.9** 만약 단위 면적 위의 모든 오존이 0°C, 1기압으로 압축되었다고 하면 두께가 3 mm인 널판지처럼 될 것이고, 이는 300 Dobson unit(2.12절)에 해당된다. 그림은 <http://www.atm.ch.cam.ac.uk/tour/dobson.html>에 있다.

## 인류의 영향이 없다면 ~

성층권의 오존층 농도는 수백만 년 동안 정류상태를 유지  
(정류상태, steady state : 생성되는 속도와 파괴되는 속도가 같은 상태)

### → Chapman 순환과정

- 반응(1)은 산소 분자가 240 nm보다 짧은 파장에서 고에너지의 UV 방사선을 흡수하고 반응성이 큰 두 산소 원자로 해리되는 것을 나타낸다.
- 반응(2)는 산소 원자들이 오존 분자를 생성하기 위해 다른 산소 분자와 결합할 수 있음을 나타낸다. 이것이 성층권에서 오존이 생성되는 반응이다.
- 반응(3)은 만약 태양으로부터 온 자외선이 320 nm 이하의 파장을 가지고 있다면 오존분자가 이 자외선과 반응한다는 것을 보여준다. 이렇게 된다면 오존은 다시 산소 원자와 산소 분자로 바뀌게 된다. 산소와 오존은 320 nm 이하의 파장을 가진 모든 자외선으로부터 우리를 지켜준다. 오존 농도는 이 정류 상태 반응에 의해 유지된다.
- 반응(4)는 산소 원자가 하나의 오존 분자와 결합해 두 개의 산소 분자를 생성할 수 있음을 보여준다. 이 반응은 오존의 알짜 손실을 일으키므로 바람직한 반응이 아니다. 이것은 자연 상태에서 상대적으로 드물게 일어나는 반응이다. 왜냐하면 반응에 참여하는 화학종의 농도들이 굉장히 낮기 때문이다. 반응(4)를 촉진하는 어떤 화학 반응이라도 오존층의 평형 농도를 유지하는 것을 방해한다.



성층권 오존의 생성과 파괴에 대한  
Chapman 순환과정.

## 2.12 오존층이 사라지고 있다

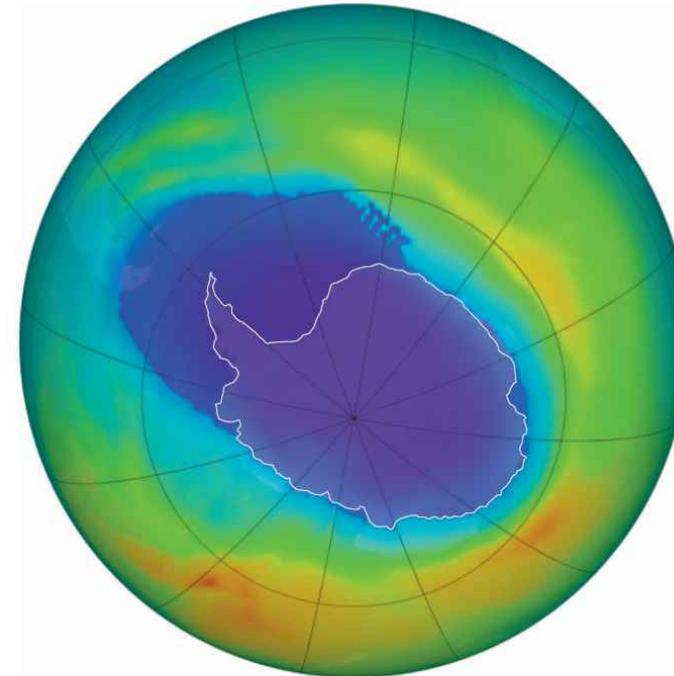
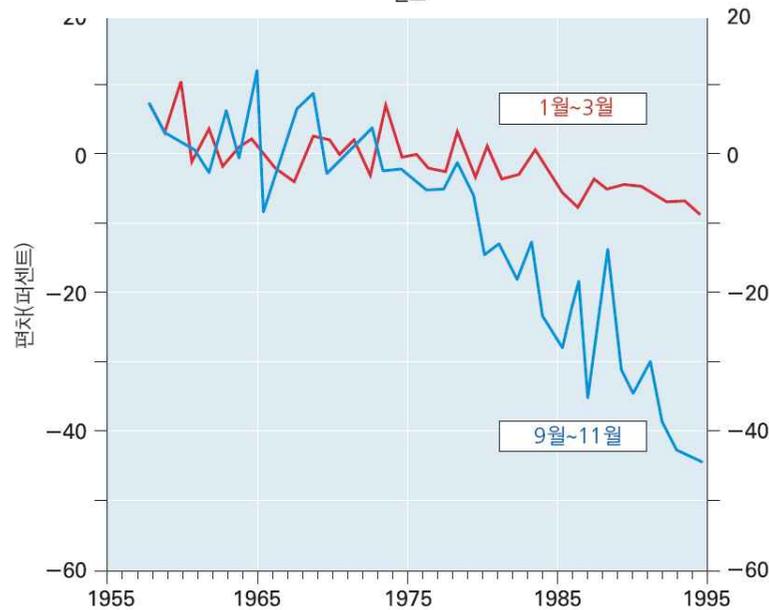
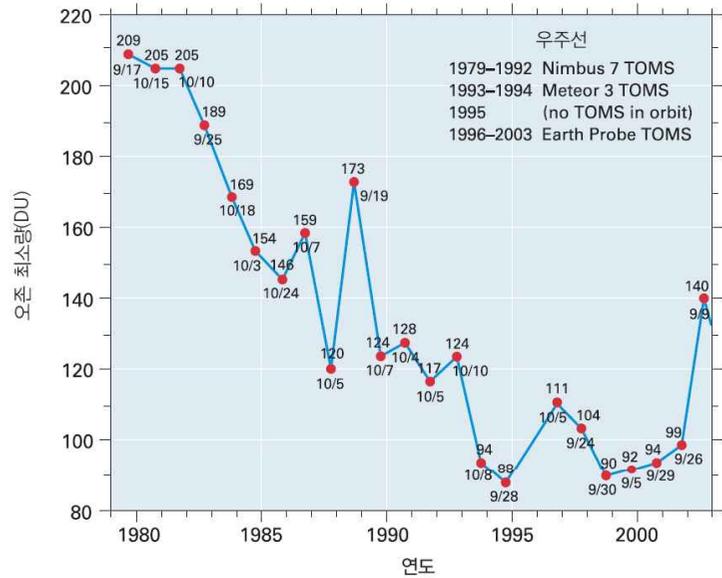
대기중 오존의 단위 = Dobson Unit (DU) = 1오존분자/10억 공기분자  
1 DU = 1 ppb

- 1 ppm = 1 mg/L =  
1/1 million = 0.000001
- 1 ppb = 1 µg/L =  
1/1 billion = 0.000000001

1,000.	kilogram	kg	10 <sup>3</sup>
100.0	hectogram	hg	10 <sup>2</sup>
10.00	dekagram	dag	10 <sup>1</sup>
1.000	gram	g	-
0.1	decigram	dg	10 <sup>-1</sup>
0.01	centigram	cg	10 <sup>-2</sup>
0.001	milligram	mg	10 <sup>-3</sup>
0.000,001	microgram	µg	10 <sup>-6</sup>

# 1979년부터 남극에서 성층권의 오존 측정값이 감소 (특히 9월에서 11월)

→ 남극 오존 구멍 (2003년, 2900만 km<sup>2</sup>에 육박)



2004년 9월

## 2.13 오존 구멍의 크기 증가는 무엇을 암시하는가?

- : 오존의 농도가 감소
- : 높은 강도의 UV 복사선에 노출
- : 피부암 발생이 증가
- : 농작물 수확량에 나쁜 영향.

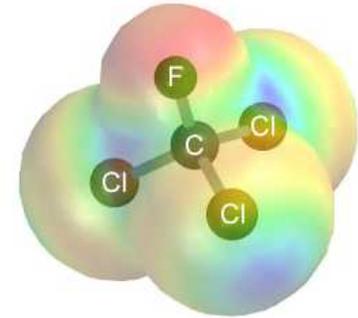
## 2.14 우리는 오존 구멍에 대하여 무엇을 할 수 있는가?

### ◆ 염화플루오르화탄소 (chlorofluorocarbon, CFC) 사용 금지

: CFC는 에어로졸 프프레이의 추진체로 사용.

CFC는 안전한 상태로 성층권으로 확산되고 오존과 반응하여 오존을 파괴한다.

<http://omsriram.com/GlobalWarming.htm>



### ◆ 몬트리올 의정서 (1987년)

: CFC의 발생을 1998년 까지 1986년도의 절반으로 줄이자.

◆ 1990년 100개 나라는 2000년 까지 CFC 생산 금지에 동의.