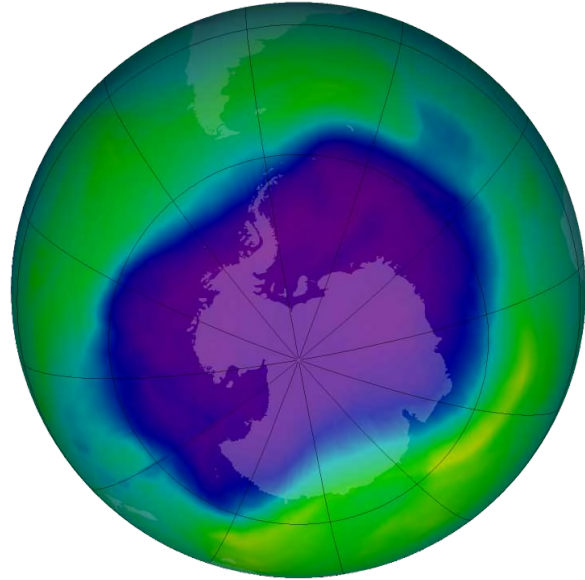


오존층과 오존구멍

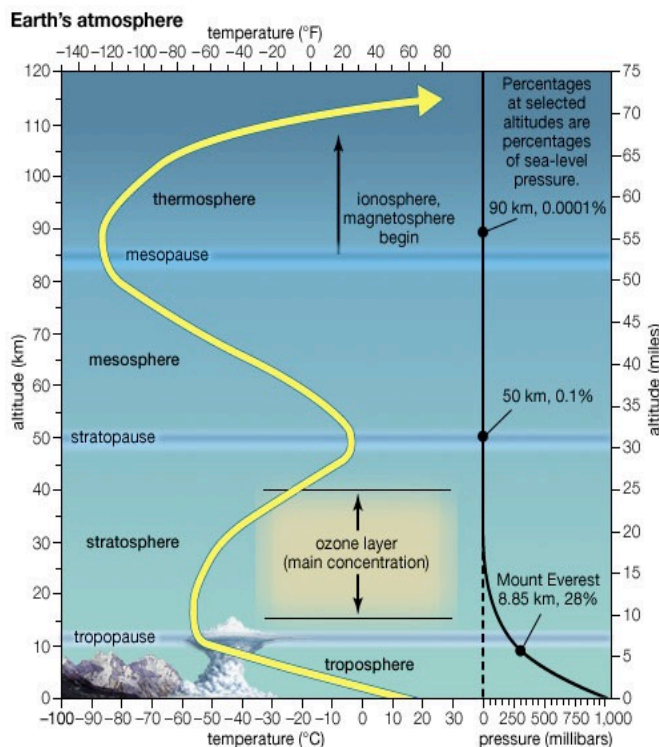
환경기후과학



(September 2006, NASA)

* 이 수업자료는 많은 부분이 서울대학교 김상우 교수님이 제공해주신 정보로 구성되었습니다. 양질의 수업을 위해 자료를 제공해주신 김상우 교수님께 감사를 드립니다.

오존층



대기의 구조와 오존층

오존의 90% 이상이 성층권에 존재 (고도 20-35 km에 오존의 농도가 높은 오존층 존재)

성층권 오존층의 오존 평균농도는 대류권 평균 오존 농도의 200~300배

19세기의 상층관측

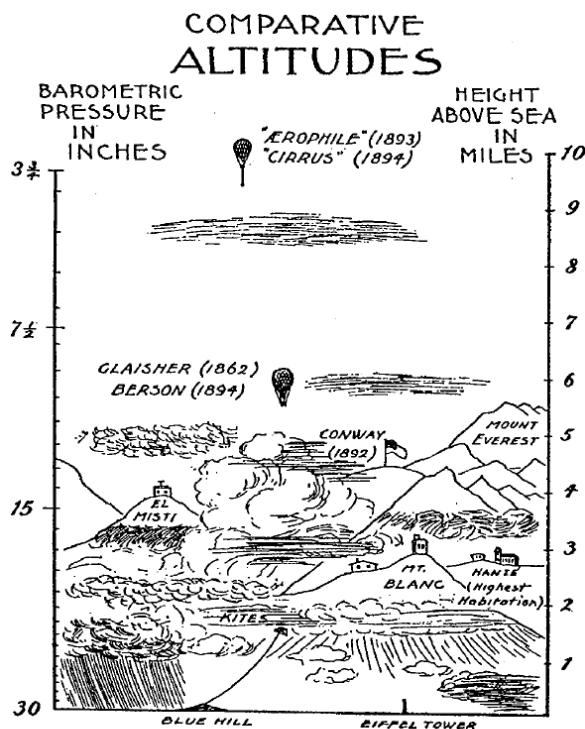


Fig. 3. Upper-air research at the end of the 19th century (taken from ROTCH 1896).

(from Hoinka, 1997)

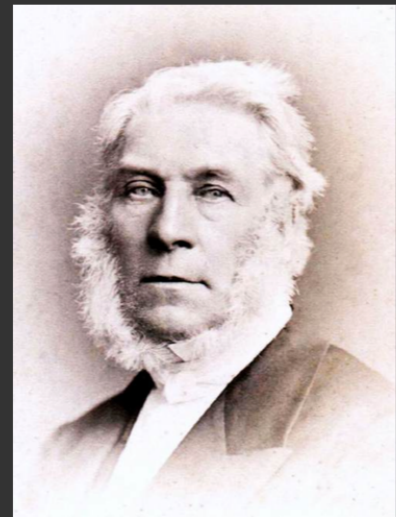
대기의 구조와 상층

상층으로 올라갈 수록 기온이 꾸준히 감소하여 상층 어딘가에서는 절대온도 0 도에 도달할 것으로 예상함

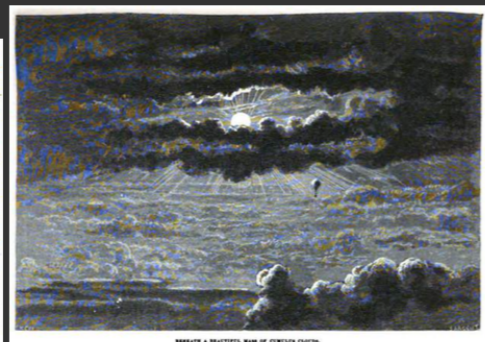
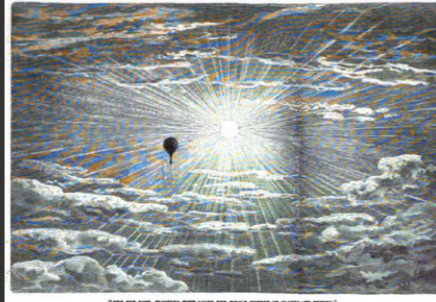
유일한 관측은 열기구관측 (생존자가 많지 않았음...)



Henry Coxwell (1819 – 1900)

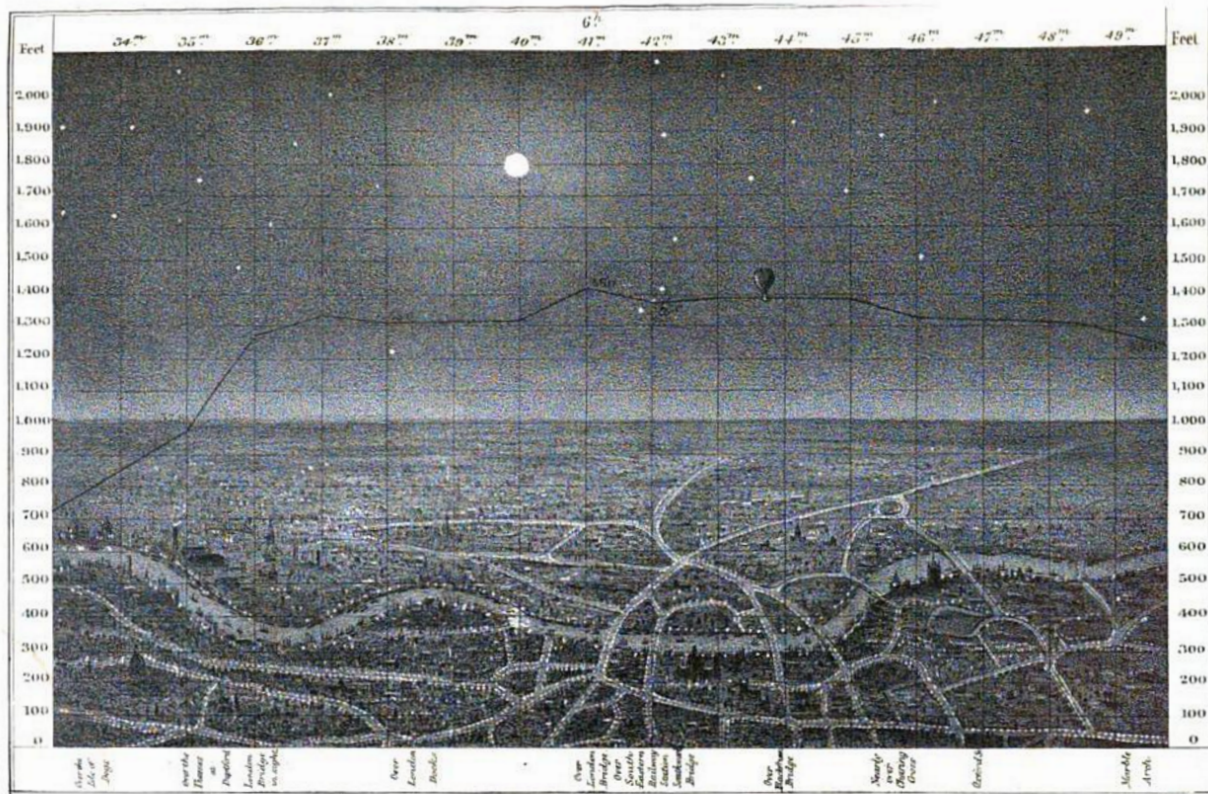


James Glaisher (1809 – 1903)

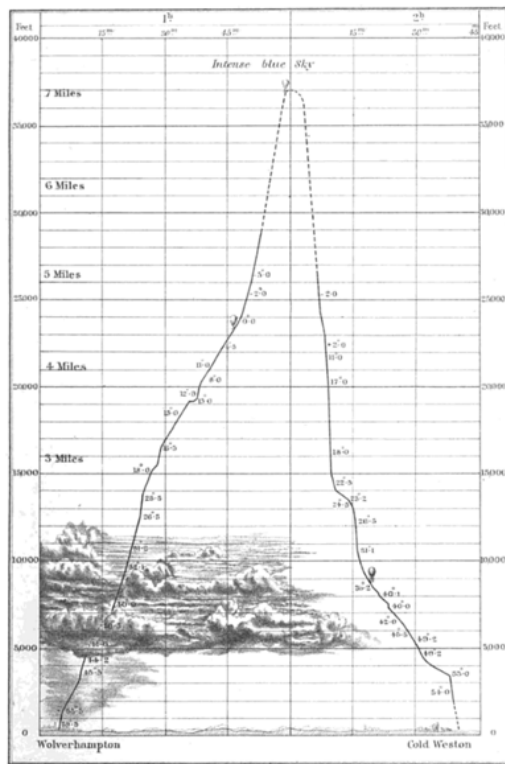


slide courtesy of Prof. Birner

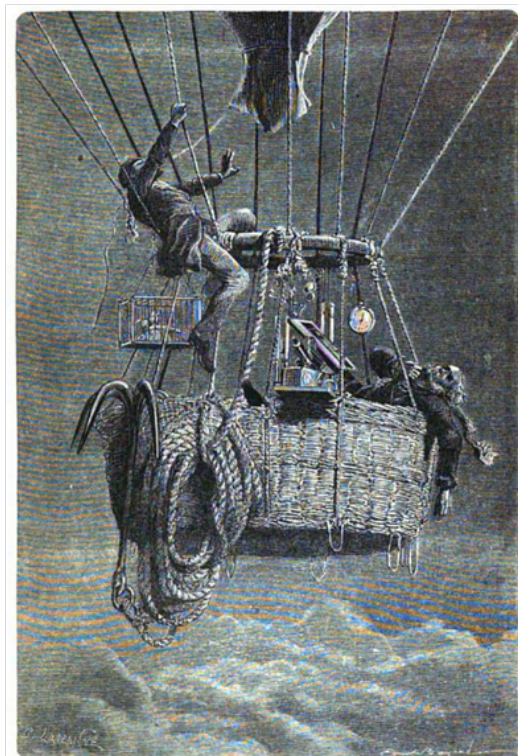
비행 경로 (over London, England)



Path of the Balloon over London, (at Night.)
2nd Oct. 1865.

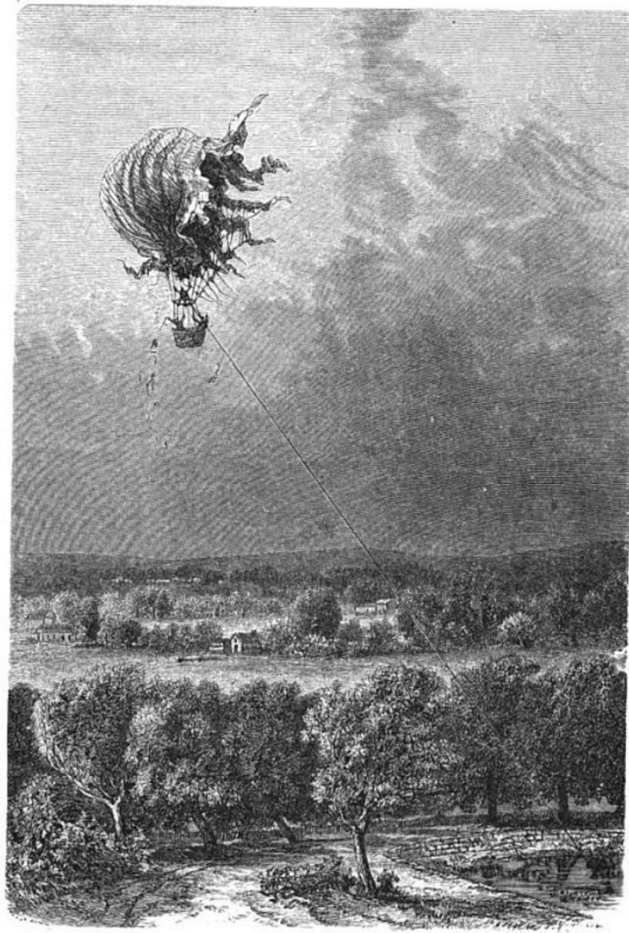


Path of the Balloon in its ascent from Wolverhampton to
Cold Weston near Ludlow.
5th September 1862.

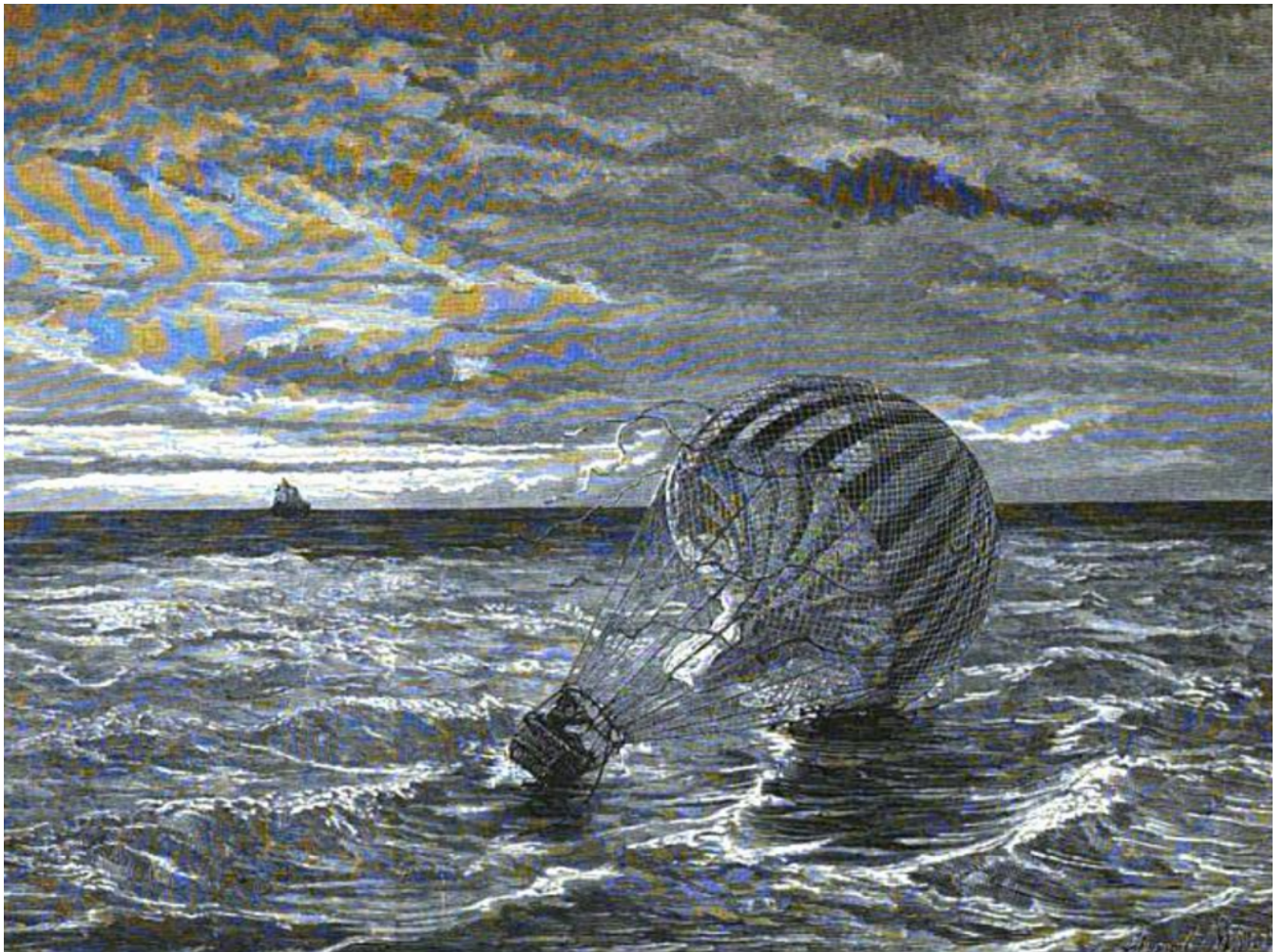


MR. GLAUCHER INSENGELE AT THE HEIGHT OF SEVEN MILLS

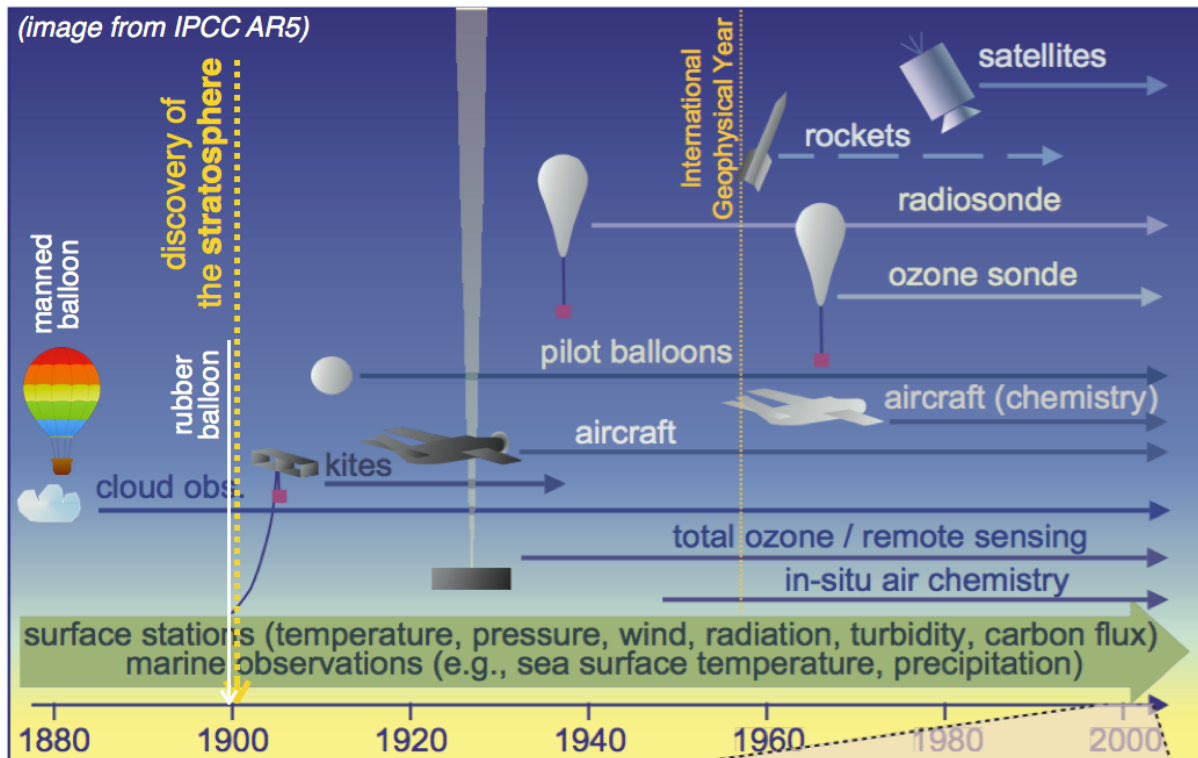
(Travels in the Air, 1871)



"THE BALLOON HAS BURST!"



상층대기 관측의 역사



성층권의 발견 (보고)



Léon Teisserenc de Bort
(1855-1913)

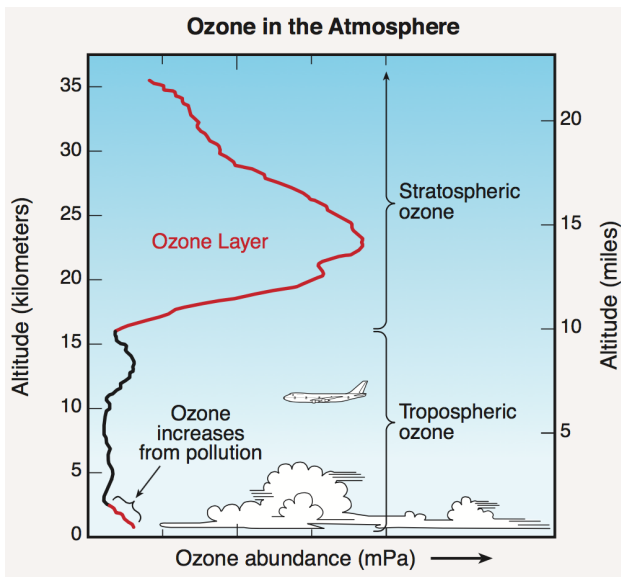
- 프랑스 중앙 기상국 수석 기상학자
- 10년간 약 200회의 존데 관측
- 성층권의 존재를 발표 (28 April 1902)
French Academy of Science



Richard Assmann
(1845 – 1918)

- 수학, 물리학 박사, 의사
- 1880년대 최초로 존데 관측
- 성층권의 존재를 발표 (1 May 1902)
German Academy of Science

오존층의 발견



(from Ozone assessment report 2007)

Upper air ozone recognized
by Cornu (1879) and Hartley (1880)

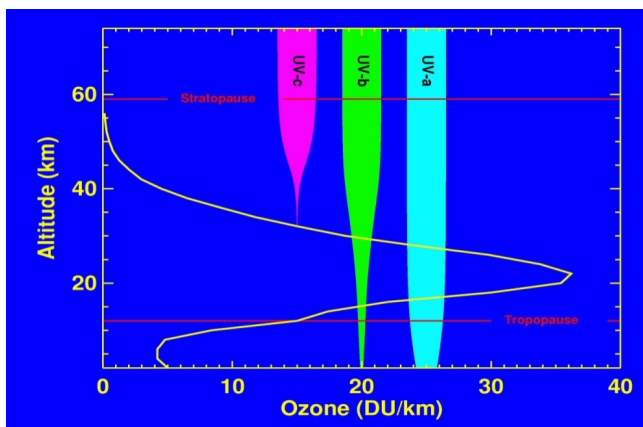
The **ozone layer was discovered**
by Fabry and Buisson (1912,1913)

Total column ozone was estimated (3mm
at STP) by Fabry and Buisson (1921)

Vertical distribution of the ozone was
obtained by Dobson and Götze (1932)

Ozone hole reported over Antarctica
by British Antarctic Survey scientists (1985)

오존층의 자외선 흡수



자외선

UV-A(장파장 자외선, 320-400nm):

생물에 미치는 유해도가 낮고, 오존에 의한 흡수량도 작아 성층권 오존량 변화에 크게 민감하지 않음.

UV-B(중파장 자외선, 280-320nm)

대기환경이나 생물학적 측면에서 가장 중요한 자외선 영역. 많은 양이 오존분자에 의해 흡수되고 그 나머지 10~30% 정도 지표면 도달. 대기중 오존량의 변화에 따라 지상에 도달하는 강도가 크게 변함.

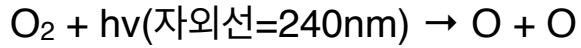
UV-C(단파장 자외선: 200-280nm)

생물체에 가장 유해한 자외선으로, 오존과 산소 분자에 의한 흡수가 매우 강하기 때문에 오존층에서 거의 흡수되어 지상에 도달하지 않음.

오존층

오존의 자연생성과정

성층권 상부:

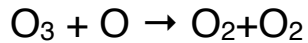
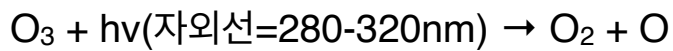


성층권 중-하부:



이때 M은 질소와 같은 제3의 완충 물질.

성층권 하부:



위의 과정은 1930년대 시드니 채프만(Sydney Chapman)이 최초로 제안.

오존층

Q) 대기 중에 존재하는 오존의 총량을 두께로 환산하면 얼마나 될까?

- (1) 2 ~ 4 mm
- (2) 2 ~ 4 cm
- (3) 20~ 40 cm
- (4) > 1 m

오존층

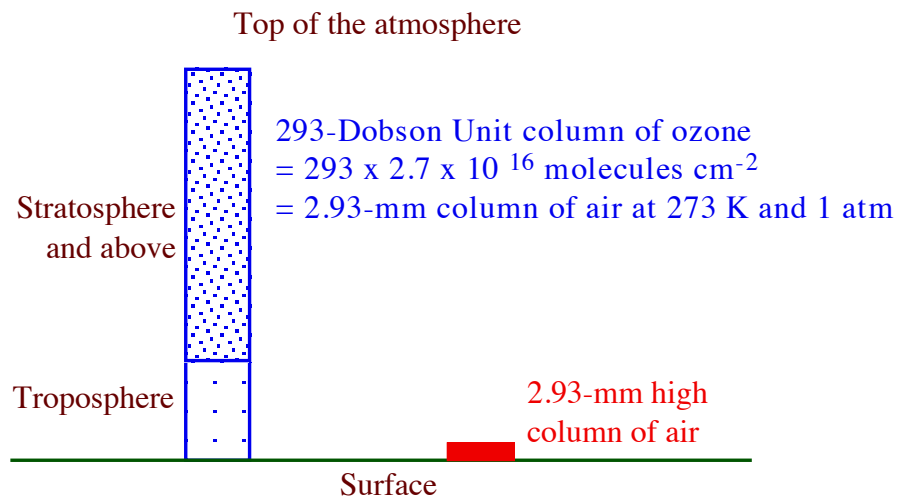
Q) 대기 중에 존재하는 오존의 총량을 두께로 환산하면 얼마나 될까?

(1) 2 ~ 4 mm (3mm → 300 Dobson)

(2) 2 ~ 4 cm

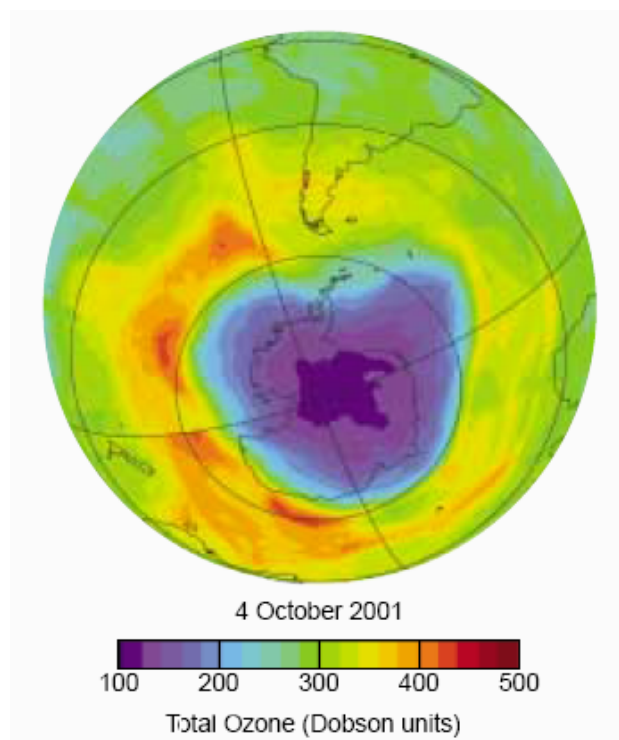
(3) 20~ 40 cm

(4) > 1 m



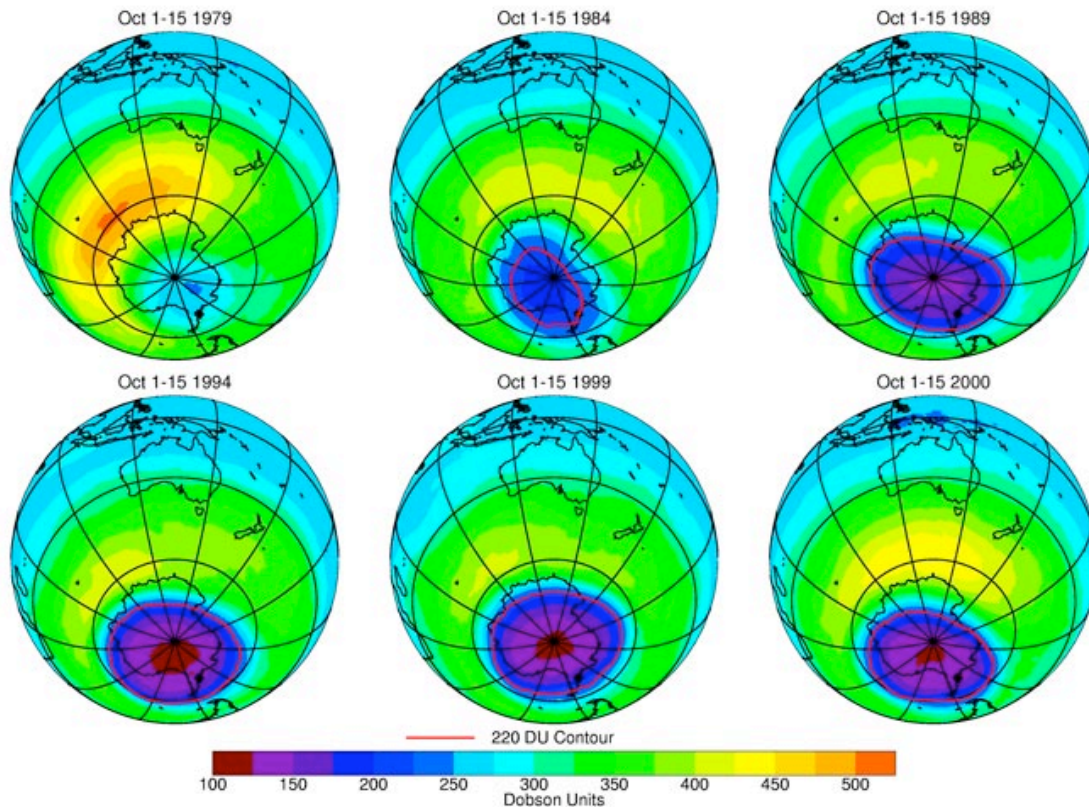
오존홀

인공위성으로 관측한 남극의 오존농도



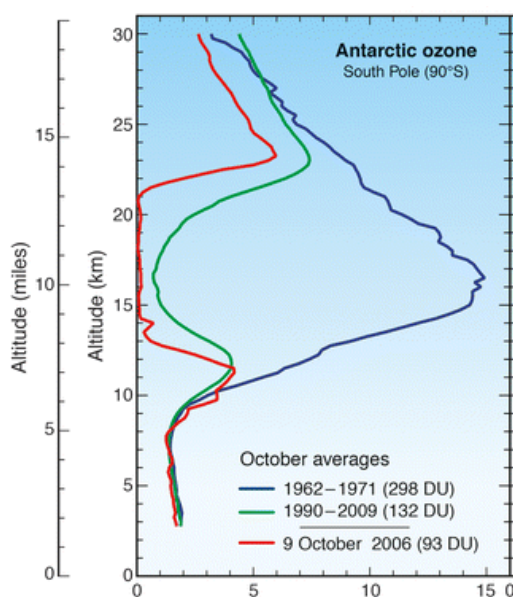
Total column O_3 in 2001

오존홀



남극 오존홀 생성 보고 (1985)

NATURE VOL. 315 16 MAY 1985



(Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010, WMO 2011)

Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction

J. C. Farman, B. G. Gardiner & J. D. Shanklin

British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council, High Cross, Madingley Road, Cambridge CB3 0ET, UK

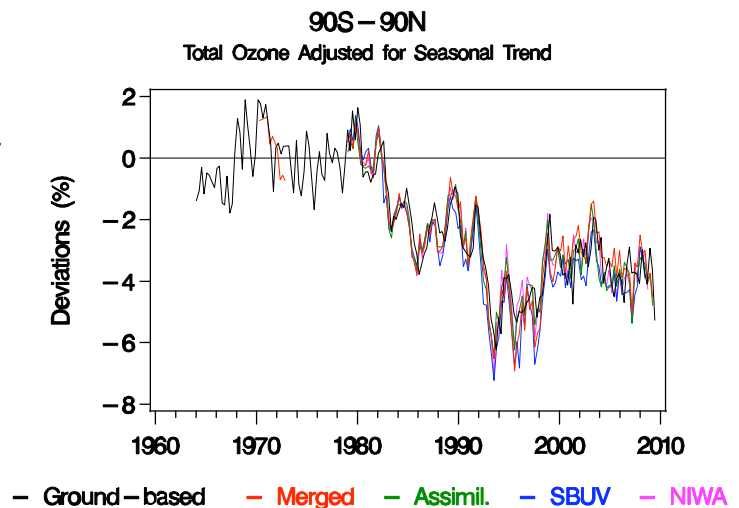
Recent attempts^{1,2} to consolidate assessments of the effect of human activities on stratospheric ozone (O_3) using one-dimensional models for 30°N have suggested that perturbations of total O_3 will remain small for at least the next decade. Results from such models are often accepted by default as global estimates³. The inadequacy of this approach is here made evident by observations that the spring values of total O_3 in Antarctica have now fallen considerably. The circulation in the lower stratosphere is apparently unchanged, and possible chemical causes must be considered. We suggest that the very low temperatures which prevail from midwinter until several weeks after the spring equinox make the Antarctic stratosphere uniquely sensitive to growth of inorganic chlorine, ClX , primarily by the effect of this growth on the NO_2/NO ratio. This, with the height distribution of UV irradiation peculiar to the polar stratosphere, could account for the O_3 losses observed.

오존홀

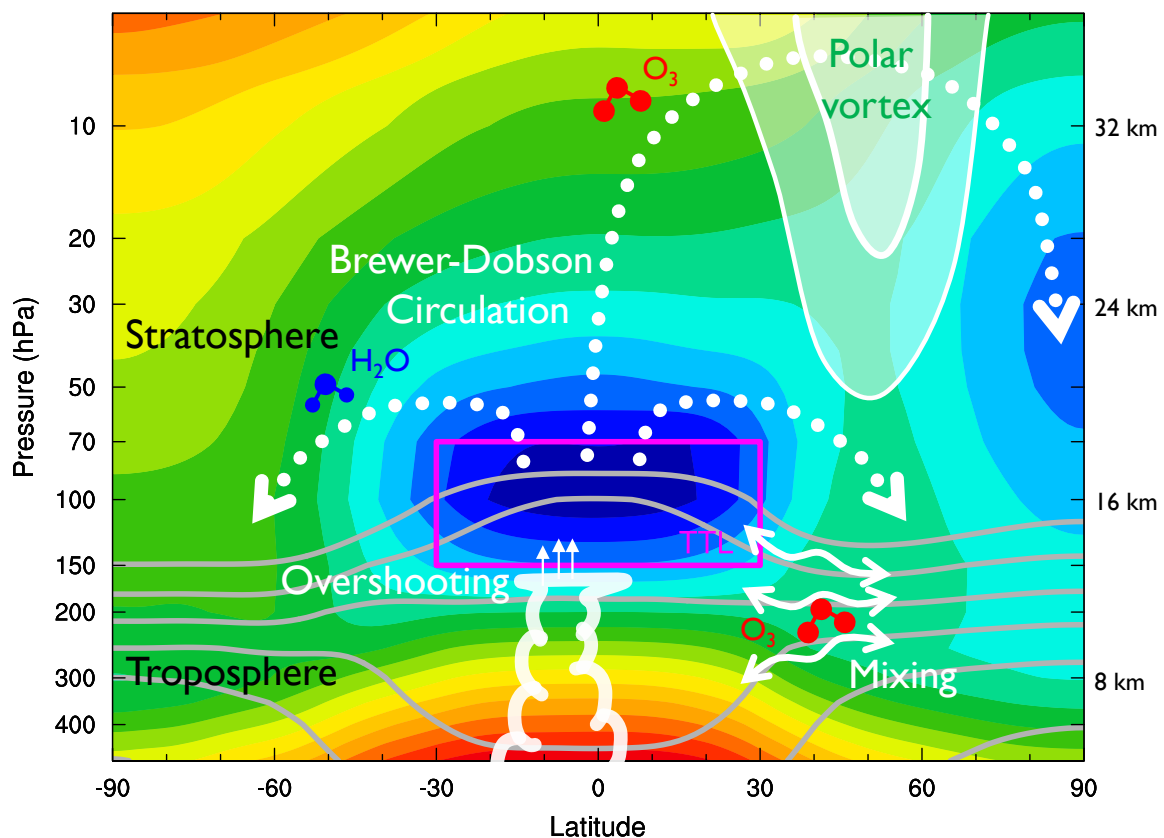
오존의 인위적 파괴에 의한 오존홀 생성

오존층 파괴가 가장 심각한 남극 15~20km 고도 내에서 오존량의 약 95%가 파괴되었으며, 남극 할리만(Halley Bay)에서 관측된 오존량은 1970년 오존량의 반 이하로 감소

1989~1990년 동안에 오존층은 아주 심각하게 파괴되었으며, 1979년 이래 전지구적 오존량도 년 3% 정도씩 감소



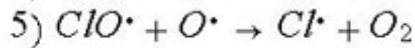
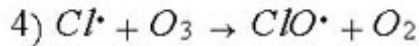
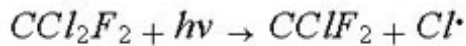
오존의 일생



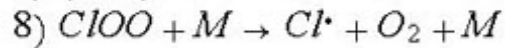
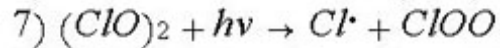
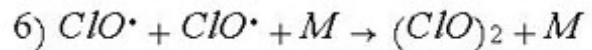
오존 파괴 과정

오존의 인위적 파괴 과정 (오존홀 생성)

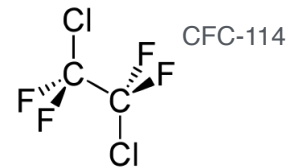
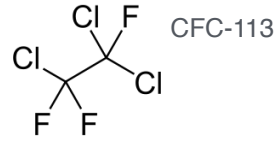
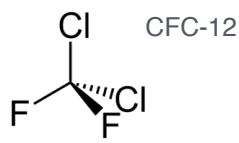
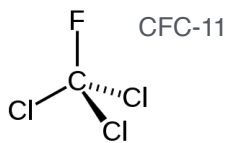
CFCs - Catalytic Cycle I



Cl· - Catalytic Cycle II

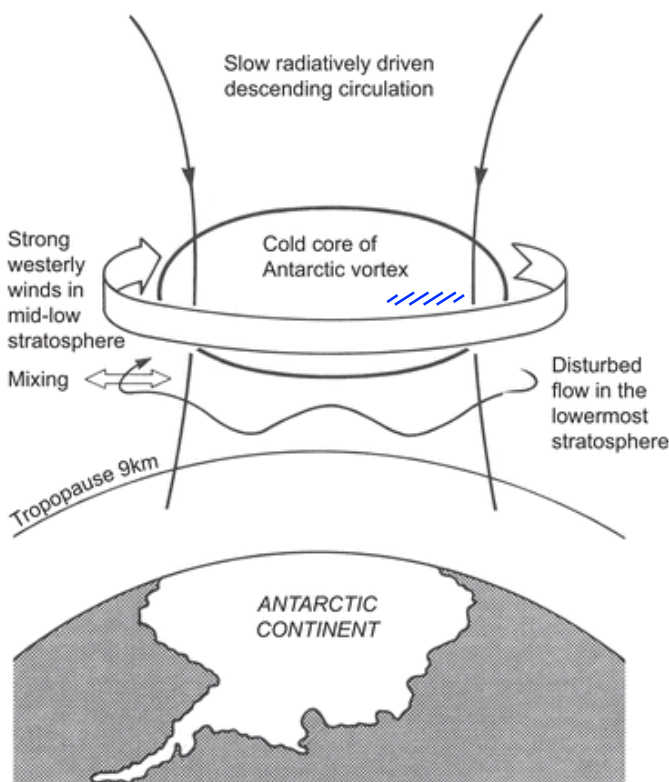


(from www.umich.edu)



- CFC와 N₂O등의 물질들이 인위적으로 만들어짐
- 성층권에서 자외선에 의해 Cl (염소), NO (일산화질소) 생성 오존층 파괴를 가속
- Cl 한 원자가 약 10만개의 오존을 파괴할 수 있음 (촉매반응)

왜 남극에 오존홀이 많이 발생할까?



남극 성층권은 안정하고 매우 강한 극소용돌이가 존재하여 겨울이 깊어지면 기온이 영하 90°C 이하로 내려감.

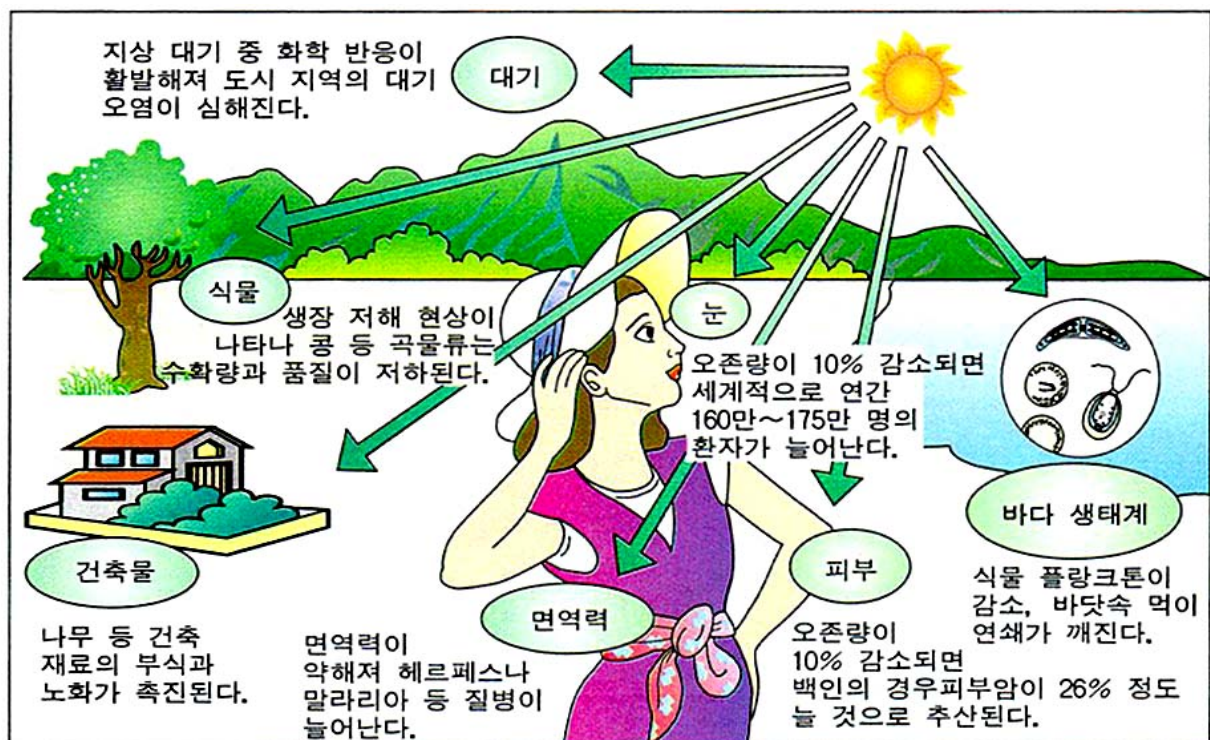
낮은 대기 대기온도로 인해 극성층권 구름이 형성되면 염화수소(HCl)나 질산염소(ClONO₂)의 형태로 안정하게 보관되었던 분자가 구름표면에서 반응하며 염소분자를 대기로 방출.

봄철(9월)이 되면 태양이 남극 상공에 비치기 시작하면 방출된 염소 분자가 자외선에 의해 염소 원자로 분해되고, 이들이 급격히 오존을 파괴.

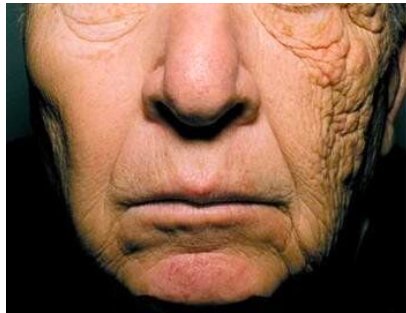
(UK Stratospheric Ozone Review Group, Stratospheric Ozone 1988)

Polar Stratospheric Clouds (PSC, credit: NASA)

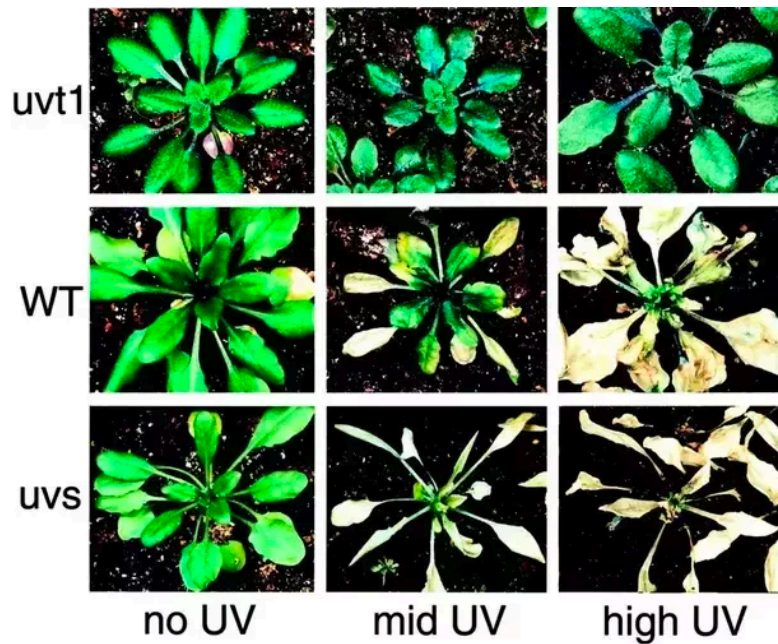
성층권 오존의 감소에 의한 자외선 영향



성층권 오존의 감소에 의한 자외선 영향

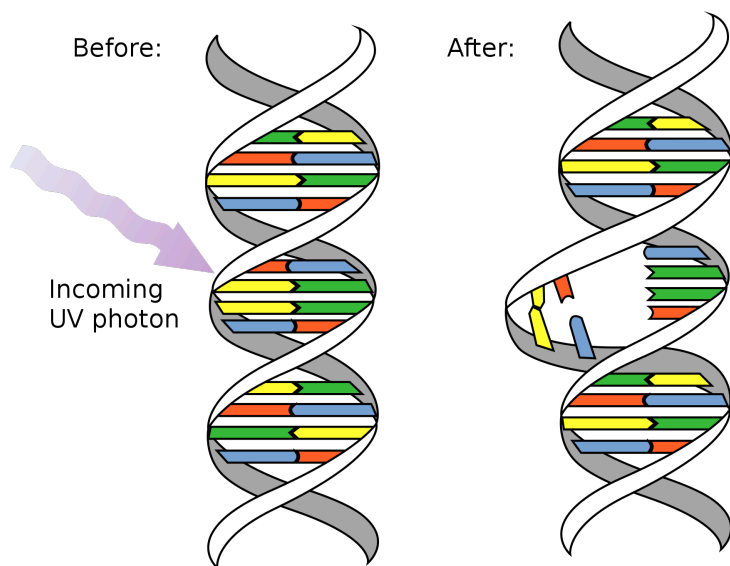


‘편측 일사성 피부염’
(출처: huffpost)



UV에 의한 식물세포 피해
(출처: plant physiology; Beiza and Lois 2001)

성층권 오존의 감소에 의한 자외선 영향



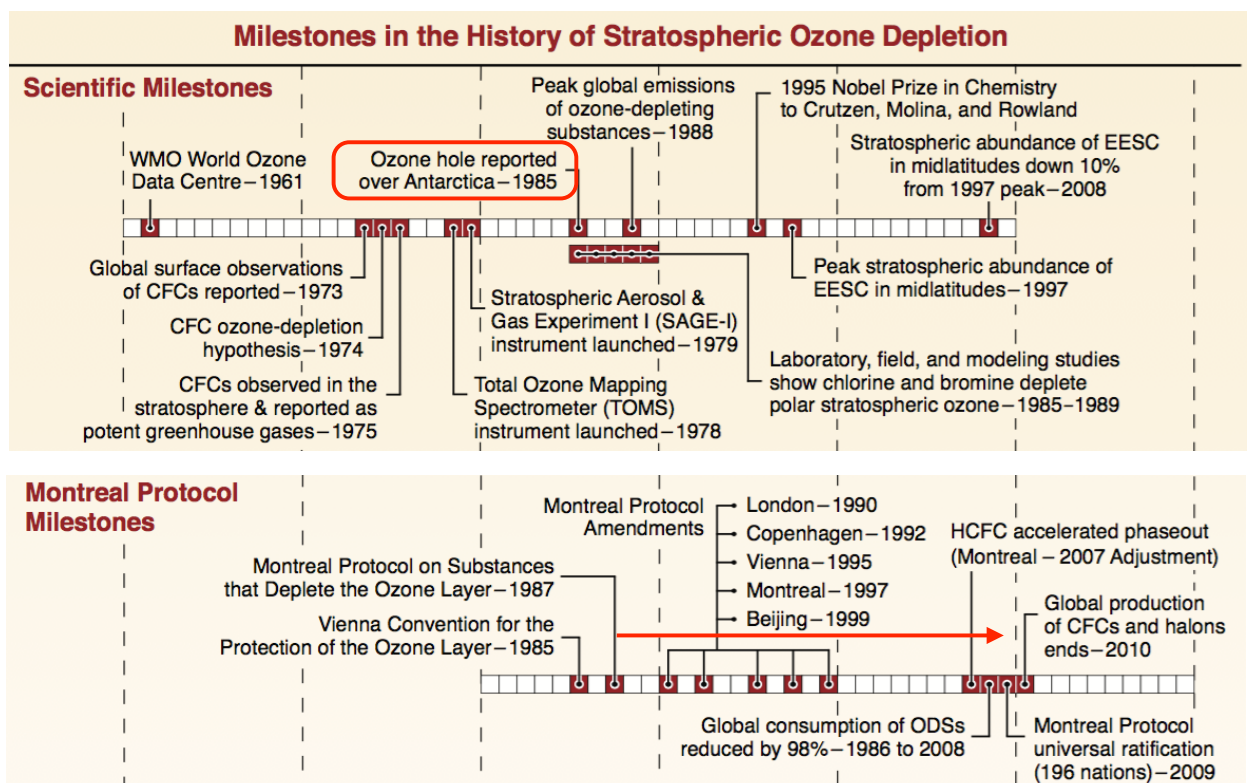
UVB 에 의한 세포손상과 및 흑색소 세포종 (피부암)
(출처 wikipedia)

몬트리올 의정서

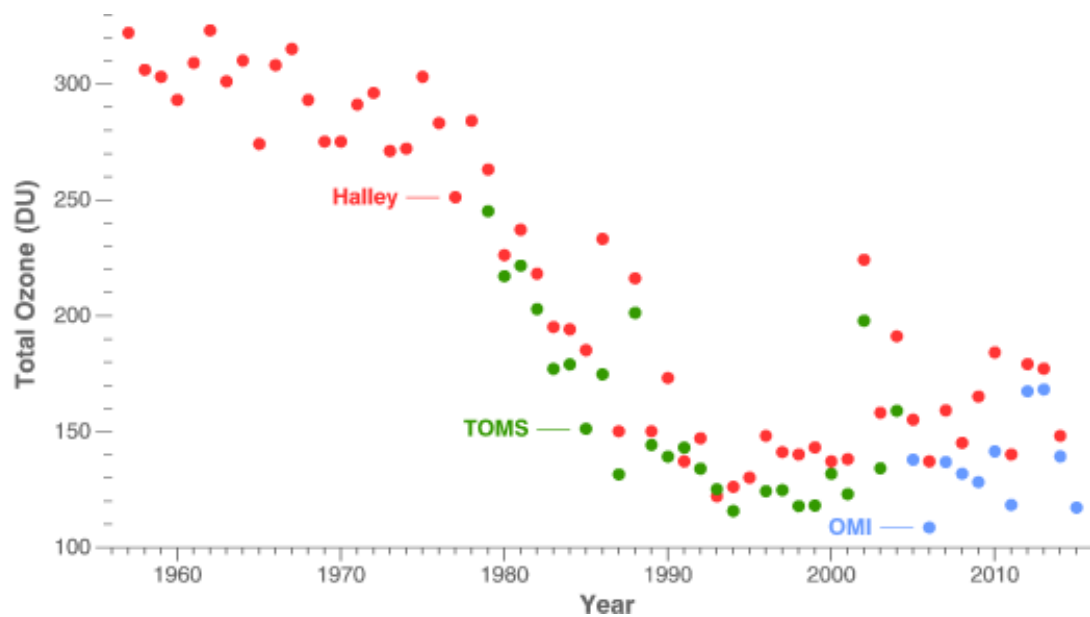
- 정식명칭은 '오존층 파괴 물질에 관한 몬트리올 의정서 (Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer)로 오존층의 파괴 예방과 보호를 위해 제정한 국제협약
- 오존층 파괴 물질 (CFC 등)의 생산과 사용 규제를 목적으로 함
- 채택:1987년, 발효: 1989년, 한국가입: 1992년 (190개국 이상 가입)



몬트리올 의정서 (1987 ~ ongoing)

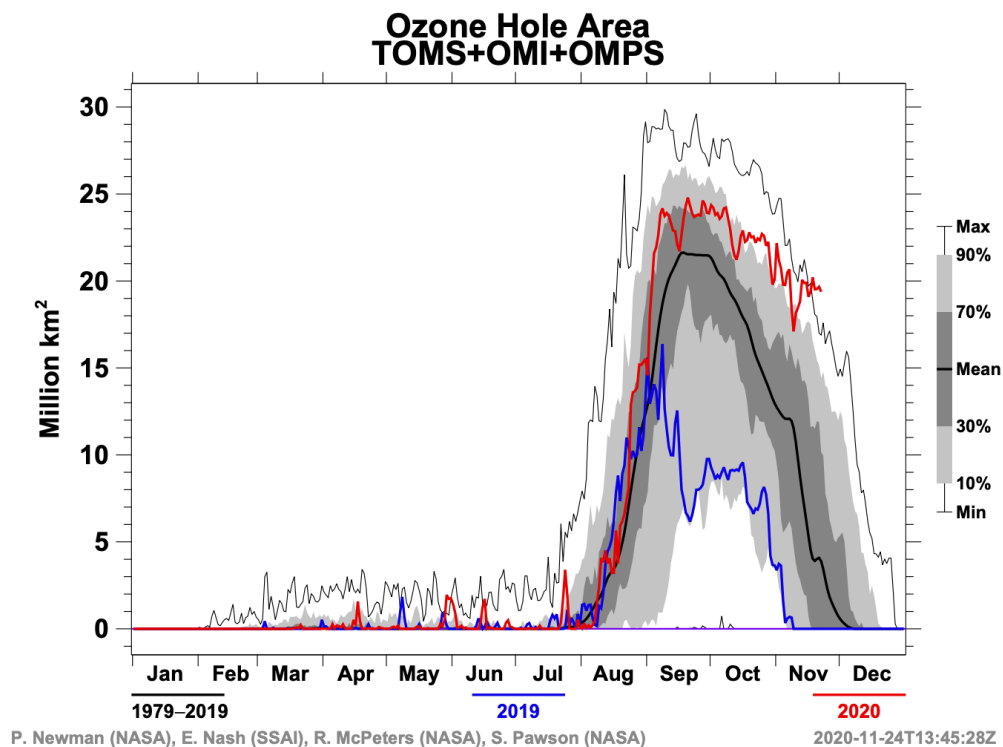


남극 오존량 (다시 증가?)



October ozone from instruments on the ground (at Halley) and satellite measurements above Antarctica (TOMS and OMI); from NASA

남극 오존량 (지속적인 모니터링)



오존홀

YouTube video

- Science of ozone hole
<https://www.youtube.com/watch?v=RS0Q3WldosE>
- Ozone hole movie (one year)
<https://www.youtube.com/watch?v=o7Yna4YOvM4>
- Earth's ozone hole (from 1979 - 2007)
<https://www.youtube.com/watch?v=taTzqRHNIec>
- Arctic ozone hole
<https://www.youtube.com/watch?v=1G2maRIIEaU>