■ 남극의 오존 홀

○ **최근 수행된 조사에 따르면 남극 상공의 오존층[3]이 평소에 비해 빨리 사라지고 있다고 함**

- UN 산하 세계기상기구[4]는 최근에 인공위성을 이용해 남극 오존층의 변화를 조사한 결과, 오존 홀[5](hole)의 존재가 관측되기 전인 1964-76 기간 동안에 측정된 남극의 오존 평균량과 비교해 30%가 감소하였다고 발표함
  - 이는 세계기상기구가 인공위성을 이용해 2주전 관측한 감소율 15%에 비해 두 배나 감소한 것으로서 이렇게 빠른 감소율은 평소에는 관측되지 않던 현상이며 향후 오존 홀의 크기가 훨씬 커질 가능성을 보이는 것임
  - 이러한 결과는 프랑스(20% 감소), 러시아(35% 감소), 일본 및 우크라이나(25% 감소) 연구팀에 의해서도 동일하게 확인되기는 하였지만 아직 초기 단계로서 성층권의 기상 조건에 따라 쉽게 변할 수 있기 때문에 금년에 오존 홀이 크게 형성되었다고 단정하기에는 너무 이른 것으로 판단함

○ **오존은 염소를 함유한 화합물이 성층권에서 자외선을 받아 광분해되면서 발생한 염소기와 반응하여 분해됨**

- 냉매나 용제, 에어러졸 등에 이용되는 염소화합물은 매우 안정하므로 대류권을 넘어서 성층권 약 30 ㎞ 상공까지 도달하는데 이곳으로 복사되는 220 nm 이하의 자외선에 의해 광분해되면서 염소기를 방출함[6]
  - 염소기는 오존과 반응해 일산화염소가 되며 오존을 분해함[7]
  - 여기에서 생성된 일산화염소는 오존이 분해되면서 발생한 산소원자와

---

3) 오존은 지표에서부터 지상 60 ㎞까지 분포하지만 성층권(지상 약 11 ㎞에서 50 ㎞까지)에 약 90%가 밀집되어 있으며 성층권에서도 주로 20 25 ㎞에 밀집해 존재하는데 이를 오존층이라고 하며 극지방에서의 오존 총량은 400 DU, 적도지방의 경우에는 260 DU 정도를 나타냄
(DU : Dobson Unit의 약자로 주어진 면적 상의 대기 컬럼에 존재하는 오존의 총량을 표준상태(0 ℃, 1 기압)에서 두께로 환산하였을 때, 1 ㎜를 100 DU로 정의함)

4) World Meteorological Organization (WMO)

5) 주어진 면적 상의 대기 컬럼에서의 오존 두께가 2.2 ㎜(표준상태) 즉, 220 DU 이하인 지역을 이름

6) 염소화합물 $\xrightarrow{UV}$ 중간체 + Cl ・(염소기)

7) $Cl\cdot + O_3$(오존) $\longrightarrow ClO + O_2$

반응해 염소기를 다시 배출하게 되며 이러한 순환반응[8]이 10만 번 정도 되풀이되면서 엄청난 양의 오존이 분해되는 것임

○ 남극 상공의 오존층은 혹한기가 지나는 7월부터 파괴되기 시작함

- 겨울철이 되면서 성층권 하부에서 염소기가 질산결정과 함께 결빙된 입자로 구성된 극성층운이 생성됨
  - 겨울철에 남극 상공의 대기는 서쪽으로 순환하는 와류 운동을 하면서 남극의 대기를 주위 대기와 격리시켜 열전달을 차단하여 성층권의 기온이 -80 ℃ 이하의 매우 낮은 상태로 유지되도록 함으로써 성층권 하부 약 20 ㎞ 상공에 극성층운[9]이 형성됨
  - 이 때 결빙 내에는 대류권으로부터 공급된 염소기가 농축되어 저장됨
  - 대기의 와동은 수개월 동안 유지되다가 봄에 접어들면서 깨지기 시작함

- 봄이 시작되면서 햇빛에너지가 강해지게 되면 극성층운은 증발하게 되고 결빙되어 있던 농축된 염소기가 성층권으로 방출됨에 따라 오존 파괴반응은 급격히 시작됨
  - 오존층 파괴는 대개 7월에 시작되어 8월부터 강화되어 10월까지 유지되다가 11월이나 12월초부터는 없어짐

- 봄이 지나 여름이 될 무렵에는 기온이 상승해 와류가 만든 차단벽이 사라지게 됨
  - 비교적 오존 농도가 높은 바깥쪽 공기가 남극성층권으로 유입되어 오존홀은 정상으로 돌아가게 됨

○ 지금까지 기록된 가장 큰 오존 홀은 1998년에 남극 상공에서 관측된 것으로서 1,199만 ㎢를 기록해 미국과 멕시코를 합친 면적보다 컸음

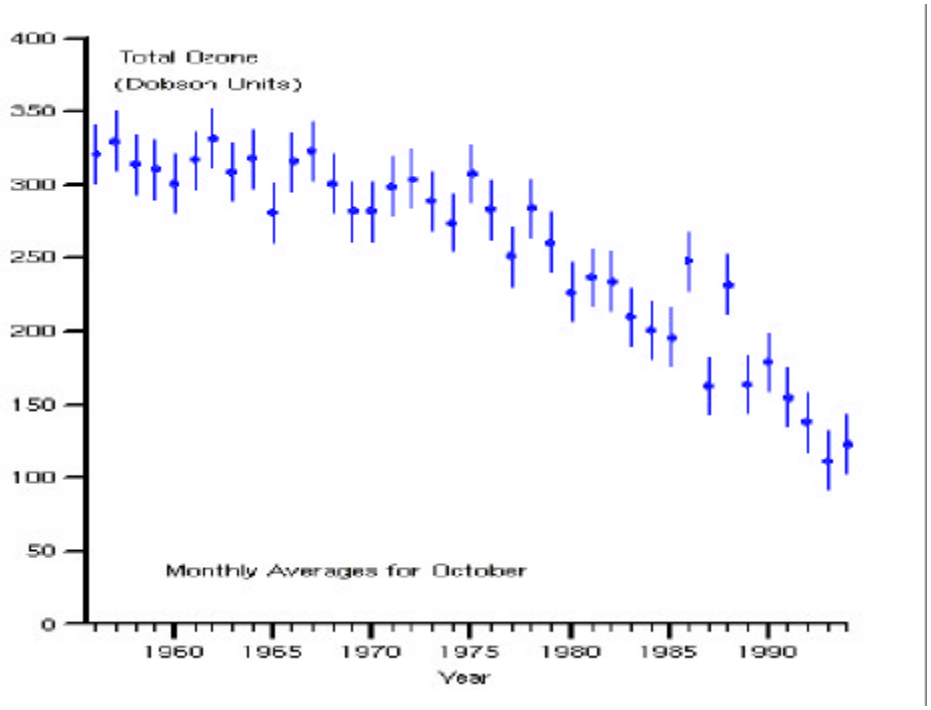
- 남극에서의 오존 농도는 지난 1970년대 후반 이후 지속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있으며 최근 들어 오존 홀의 크기가 매우 커지고 있는 추세임(그림 1)

---

8) $ClO + O \longrightarrow Cl\cdot + O_2$

9) 염소화합물의 배출이 압도적인 북반구에서 남반구에 비해 비교적 미약한 오존 홀이 생성되는 것은 북극에서는 남극에서처럼 기온을 -80 ℃ 이하로 떨어뜨리는 대기의 와류운동이 생기지 않아 강력한 극성층운이 형성되지 않기 때문임

- 작년에는 999만 ㎢으로 전년에 비해 작아졌으나 여전히 그 크기는 미국 면적을 상회할 정도로 거대하였음



< 그림 1 > 10월 중 남극에서 관측된 평균 오존량 변화

자료 : University of Cambridge, www.atm.ch.cam.ac.uk/tour/part1.html

○ 지구 전체적인 열수지를 조절하고 있으며 강력한 자외선을 막아 주는 오존층을 보호하기 위해 몬트리올 의정서를 채택함

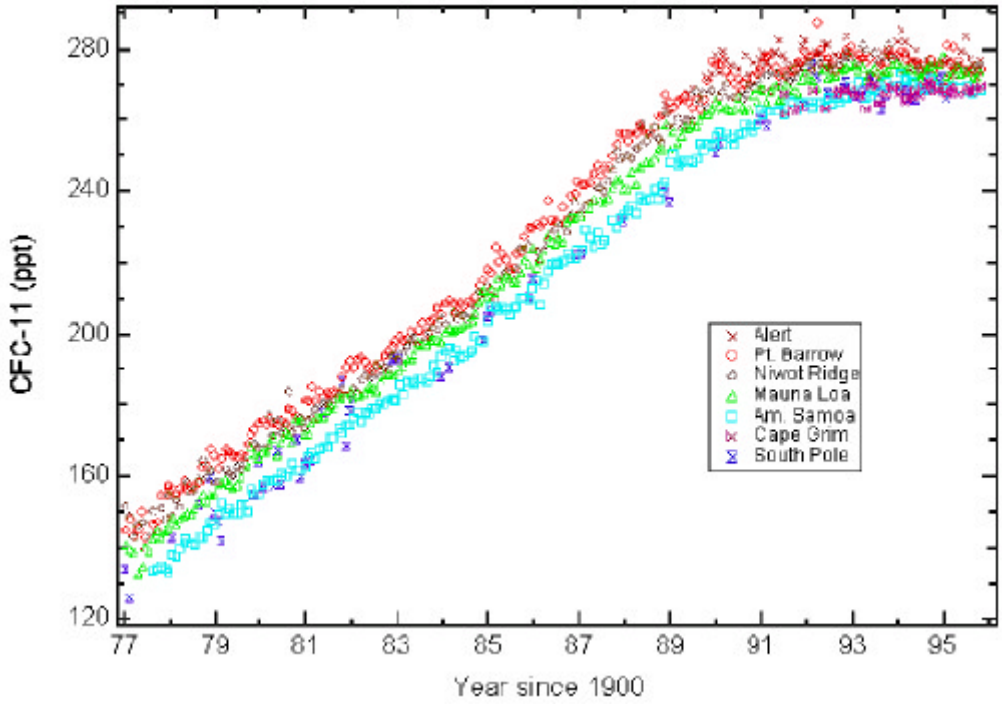
- 표준상태에서 두께가 2.5 4 ㎜에 불과한 오존층은 지상의 총 공기가 표준상태에서 약 10 ㎞ 두께를 보이는 것에 비해 매우 미미한 양이지만 지상의 생명을 유지시켜 주는데 필수적인 요소임

- 오존층은 복사에너지를 흡수해 지구의 열수지를 적정하게 조절함
  - 지구 대류권으로 유입되는 320 nm 이하의 빛에너지 중 99%를 흡수하여 대류권의 기온을 적절하게 유지시키고 있음

- 오존층은 성층권에서 자외선을 흡수해 지상의 생명체를 보호하는 차단막 역할을 함
  - 오존층은 피부암을 일으키고 면역체계를 저하시키며 안구질환을 악화시킬 뿐만 아니라 식물들의 광합성을 저해시키는 자외선을 막아 줌
  - 과학적인 연구결과에 따르면 오존층이 실제 사라지게 되면 지상의 생

물들 역시 존재할 수 없게 될 것이라고 함

- 오존층을 보호하기 위해 '오존층 보호를 위한 비엔나 협약'이 1985년에 체결되었고 1987년에는 '오존층을 파괴하는 물질의 사용과 생산을 금지하는 몬트리올 의정서'가 채택됨
  - 오존을 파괴하는 것은 에어러졸이나 냉매로 사용하는 프레온과 같이 사람이 만들어낸 화합물 중 염소를 함유한 화학물질들로서 이들에 대한 금지 필요성을 세계가 동의하고 협약을 체결하게 됨(표 1)
  - '80년대 말까지 꾸준히 높아졌던 프레온의 대기 중 농도는 현재 더 이상 증가하고 있지 않으며(그림 2) 향후 감소추세를 보일 것으로 전망되고 있음



< 그림 2 > 세계 각 지역에서 측정된 프레온(CFC- 11)의 대기 중 농도 변화 추세
자료 : James W. Elkins, 'The Chapman & Hall Encyclopedia of Environmental Science', 1999

○ 전세계적으로 오존층 파괴물질에 대한 생산과 사용을 금지함에 따라 남극의 오존층은 향후 정상 수준으로 회복될 전망임

- 염소계 화합물들에 대한 규제는 1987년부터 시작되었지만 2010년 정도에 이르러서야 비로소 오존 농도가 본격적으로 회복되기 시작할 것으로 전망됨
  - 남극의 오존층은 약 2050년경에나 완전한 정상 수준에 도달할 것으로 예측하고 있음

< 표 1 > **몬트리올 의정서에 의한 오존 파괴물질 규제 일정**

선 진 국 가		개 발 도 상 국 가	
규제 화합물 (기준년도)	제한 일정	규제 화합물 (기준년도)	제한 일정
주요 CFCs 5종 (1986)	7/1989 : 동결 1994 : - 75% 1996 : - 100%	주요 CFCs 5종 (1995- 97)	7/1999 : 동결 2005 : - 50% 2007 : - 85% 2010 : - 100%
Halons (1986)	1992 : 동결 1994 : - 100%	Halons (1995- 97)	2002 : 동결 2005 : - 50% 2010 : - 100%
기타 CFCs 10종 (1989)	1993 : - 20% 1994 : - 75% 1996 : - 100%	기타 CFCs 10종 (1998- 2000)	2003 : - 20% 2007 : - 85% 2010 : - 100%
Carbon Tetrachloride (1989)	1995 : - 85% 1996 : - 100%	Carbon Tetrachloride (1998- 2000)	2005 : - 85% 2010 : - 100%
Methyl Chloroform (1989)	1993 : 동결 1994 : - 50% 1996 : - 100%	Methyl Chloroform (1998- 2000)	2003 : 동결 2005 : - 30% 2010 : - 70% 2015 : - 100%
HCFCs (1989 + 2.8% of 1989 CFCs consumption)	1996 : 동결 2004 : - 35% 2010 : - 65% 2015 : - 90% 2020 : - 99.5% 2030 : - 100%	HCFCs (2015)	2016 : 동결 2040 : - 100%
HBFCs	1996 : - 100%	HBFCs	1996 : - 100%
Methyl Bromide (1991)	1995 : 동결 1999 : - 25% 2001 : - 50% 2003 : - 70% 2005 : - 100%	Methyl Bromide (1995- 98)	2002 : 동결 2005 : - 20% 2015 : - 100%
Bromochloro- methane	2002 : - 100%	Bromochloro- methane	2002 : - 100%

자료 : European Commission, 'The Implementation of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer in the European Union', 2000

기 준 학(02- 3669- 4097, hiemjhki@shinbiro.com)