

오존층 파괴와 기후변화

1974년 염화불화탄소(CFC, 일명 프레온가스)가 오존층을 파괴한다는 내용의 논문이 최초 과학잡지 "Nature"에 발표되었다, 1985년 영국의 관측 조사팀에 의해 남극오존홀 파괴현상이 발견됨으로써 파괴물질에 대한 규명과 배출규제의 필요성이 대두되게 되고, '98년 2월현재 165개국 이 오존층파괴물질에 대한 몬트리올 의정서에 가입(한국 : '92. 2월에 가입), 대책을 마련하여 왔다. 이에 본지는 오존층파괴의 메카니즘과 영향을 설명하고, 당사국총회 결정사항에서 파급되는 국내의 문제점과 대책을 살펴보고자 한다.

<편집부>

1. 개요

오존층은 <Figure 1>과 같이 성층권내 고도 25~30km에 위치하며, 오존 최고 농도는 약 10ppm정도로 대류권내의 오존농도 0.02~0.07ppm보다 훨씬 높다. 오존층은 태양에서 발생하는 자외선중 인간에게 가장 해로운 파장 200~280 nm 는 거의 전량 오존층의 오존이 흡수·제거한다. 그러므로 오존층의 오존은 태양으로부터 지구에 도달하는 광선의 일부를 여과하고 대기 및 지표면의 온도조절기능을 하는 가스로 생물체의 생존에 결정적인 역할을 한다.

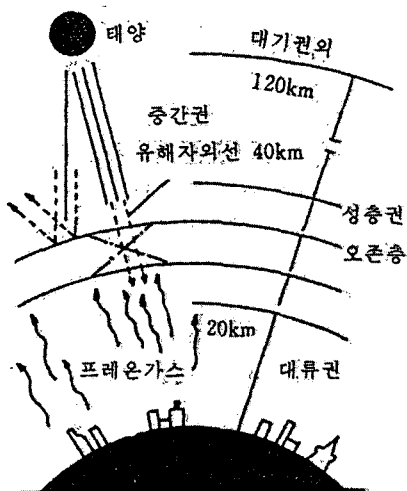


Figure 1 성층권의 오존층

2. 현황

인공위성 NIMBUS-7의 측정에 의하면 과거 12년간 북반구에서 6~8% 오존이 감소되었고, 제 8차 당사국 총회('96년 11월)에서는 남위 65도부터 남극지역까지 오존층 두께는 가장 낮은 수준이며, 남극 오존홀의 면적은 미주 대륙 절반크기인 2천 3백만 km²를 초과하였다고 세계기상기구(WMO)에 보고되었다.

3. 오존층 파괴 원인물질

발포제, 냉방기 냉매, 분사제 등으로 이용되는 염화불화탄소(CFCs), 소화기 용도로 쓰이는 할론, 기체정제, 드라이클리닝 용제로 쓰이는 사염화탄소 및 메틸클로로포름등이 있다. 특히 CFCs는 매우 안정적인 화학물질로서 낮은 대기권에서는 분해되지 않으며, 성층권까지 도달된후 자외선에 의해 분해되어 오존층 파괴의 촉매제로 작용하는 염소분자 방출하며, 할론은 염소보다 약 10배 가까이 오존을 파괴하여 남극 오존층파괴에 약 20% 나 기여하고 있다.

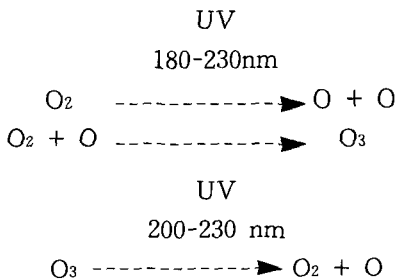
4. 오존층 파괴과정

4.1 메카니즘

대기중에 있는 가스들은 동력학적으로 균형을

이루고 있으며, 탄소 및 질소와 같은 기초원소가 식물, 동물, 해양, 토양, 대기중으로 순환되는데 그 기능을 담당하고 있다. 대기상층부에 있는 많은 종류의 가스가 태양광선에 의하여 분해되고 분해결과 2차적으로 생성된 물질들이 다른 가스와 격렬히 반응하게 된다. 오존 자체는 파장이 242nm 이하의 태양광선이 산소분자에 흡수되어 산소분자가 두 개의 산소원자로 나뉘지고, 이 원자가 즉시 다른 산소 분자와 결합하여 형성된다.

산소 분자와 결합하여 생성된 오존분자는 자외선(UV)을 흡수하여 분해되고 그 결과 한 개의 산소분자와 한 개의 산소원자로 나누어지는데 반응식은 다음과 같다.



대기중에 다른 화학물질이 존재하지 않는다면 이러한 오존형성과 분해과정은 균형을 이루게 되며, 성층권에서 오존이 생성되는 비율은 전적으로 성층권으로 유입되는 태양광선의 양에 의하여 결정된다. 따라서, 대기중에 다른 화학물질이 존재하지 않는다면 대기중의 오존의 양과 농도는 거의 일정하게 유지가 된다. 다만, 계절에 따른 태양광선의 강도에 따라 차이가 있으며, 11년의 태양주기(solar cycle)에 따라 어느정도 오존농도의 변화를 가져온다. 성층권의 오존층은 전술한 바와 같이 인류의 활동에 의하여 생성된 질소산화물, 염소, 염화불화탄소 등에 의해서 파괴될 수 있다.

오존층에는 화학반응을 촉진하는 여러종류의 가스가 존재하며, 이중에서 문제가 되는 가스는 그 자체가 화학적으로 변하지 않으면서 오존의 분해 과정에 촉매로 작용하는 가스이다. 이러한 가스들은 반응과정에서 촉매제 자체는 영향을 받지 않으

므로 반응이 끝난 후에도 촉매제는 반응이전의 상태와 동일하므로 이러한 촉매 가스가 극미량이 존재하는 경우에도 대기중의 오존농도에 큰 영향을 미치게 된다. 촉매가스는 계속적으로 오존분해작용을 일으킨다. 예를 들면 한 개의 염소 또는 질소 산화물과 같은 촉매가스는 1,000개 정도의 오존을 차례대로 파괴하게 된다. 염화불화탄소(CFCs)가 성층권의 오존파괴 과정을 표지하면 <figure 2>와 같다.

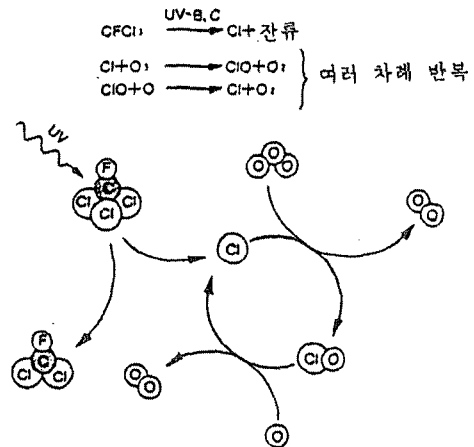


Figure 2 염화불화탄소에 의한 성층권 오존파괴 과정(자료 : 지구의 위기 1992)

오존층의 화학반응을 촉진하는 힘은 자외선에 의하여 발생하며 그 형태는 광자(Photo)라고 부르는데, 오존층의 균형은 여러종류의 광화학반응에 의해서 유지된다. 각종 산업시설에서 수소, 질소, 염소, 불소를 함유하는 화학물질이 다량으로 생성되며, 대기중 낮은 위치에서 서로 결합하여 질산, 염화수소산등과 같은 분자는 산성우의 형태로 지표면에 떨어진다. 그러나 촉매기능을 갖는 화학물질인 일산화질소, 염화메틸, 메탄, 4염화탄소, 염화불화탄소와 같이 염소와 불소를 동시에 함유하는 화합물 등과 같이 안정하고 물에 잘 녹지 않는 형태로 대기중으로 유입되면 상황이 달라진다.

이러한 미량가스는 오랜기간동안 대류권에 잔류하며 일부는 성층권으로 유입되어 산소, 오존을 포함한 다른 화학물질과 급격히 반응한다. 특히 염화

불화탄소는 성층권에서 태양광선에 의해 자체 분열되어 염소원자가 떨어져나와 연속적으로 오존을 파괴시킨다.

염화불화탄소와 오존과의 반응에 대한 최근의 연구결과는 단순히 프레온가스의 존재만으로 오존층이 파괴되지는 않는다고 보고되고 있다. 이것은 식물이 발아할 때처럼 적어도 세가지 조건이 맞아 떨어져야 한다는 것이다. 첫째, 햇빛, 둘째, 염소원자, 셋째 고체상태의 질산구름이 그것이다. 마지막 조건인 질산구름은 질산의 빙점인 영하 45°C 이하에서 생긴다.

이들 조건의 작용관계는 다음과 같다.

얼음덩이의 질산구름이 따뜻한 햇빛에 녹아내리기 시작한다. 이 고체질산이 기체로 변해가는 순간 염소원자는 오존을 만나 결합한다. 중요한 것은 오존이 결합해 파괴되는 현상은 반드시 질산구름의 표면이며, 질산구름은 촉매역할이라고 할 수 있다. 또한 화산이 폭발하는 경우 그 분출력으로 먼지나 질소산화물등이 높이 솟아 올라 성층권까지 도달되어 이 분출된 먼지들이 바로 질산구름을 만드는 데 한 몫을 함으로써 화산과 오존층파괴는 불가분의 관계를 맺게 된다. 이러한 오존층 파괴의 제반 조건을 감안하면 남극 상공의 오존구멍이 더 쉽게 커질 수 밖에 없다.

남극의 성층권 기온은 적도나 중위도 지방에 비해 영하 40도이하로 떨어지는 경우도 많다. 또한 남극은 강한 회오리바람으로 인해 북극보다 기온이 낮다. 얼마전 발표된 위성사진에 의하면, 남극상공의 오존층파괴가 제일 심한 것으로 나타나고 있다. 이것은 남극상공의 오존층에 질산구름 생성이 용이하기 때문인 것으로 알려지고 있다.

질소산화물은 오존과 반응하여 오존을 파괴하는 요인이 되고 있다. <figure 3>

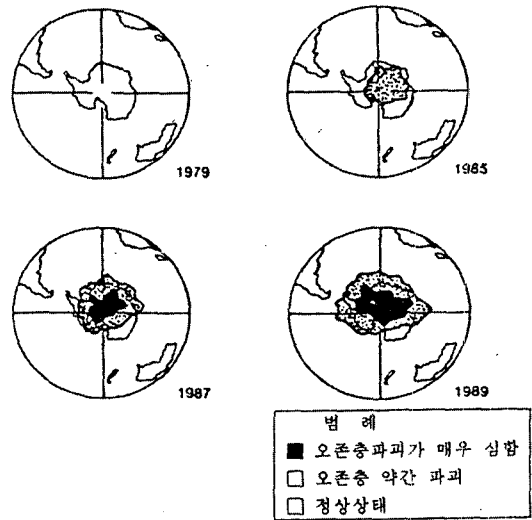


Figure 3 남극의 오존파괴 현상

초음속여객기 운항도 오존층 파괴의 원인이 될 수 있다. 즉 비행기에서 배출되는 질소산화물이 오존과 반응하므로 고공에서의 오존농도를 감소시키기 때문이다. 얼마전 발표된 위성사진에 의하면 오존층의 파괴정도는 지역에 따라 다소차이가 있으나 전반적으로 모든 지역의 오존층 농도가 감소되고 있다. 한반도 상공의 경우도 계속 감소추세를 보이고 있다. 오존층 파괴에 영향을 미치는 가스들의 종류를 나열하면 <Table 1>과 같다.

Table 1 주요오존층 파괴물질의 용도·생산량 및 진류기간

종 류	화학식	오존파괴 지수	용 도	1985년 세계생산량 (톤)	대기권 잔류기간 (연)
CFC-001	CFC ₁₂	1.0	냉각, 에어로졸, 발포제	298,000	65~75
CFC-012	CF ₂ Cl ₂	0.9~1.0	냉각, 에어로졸, 발포제, 살균, 식품냉동, 열탕지, 경고장치, 화장품, 기압승풍장치	438,000	100~140
CFC-113	CCl ₃ CF ₃	0.8~0.9	용제, 화장품	138,500	100~134
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	0.7~1.0	냉각		300
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	0.4~0.6	냉각, 거품크림, 안정제		500
할론 1301	CBrF ₃	10.0~13.2	소화(消火)	2,600	110
할론 1211	CClBrF ₂	2.2~3.0	소화	2,600	15
HCFC-22	CHClF ₂	0.05	냉각, 에어로졸, 발포제, 소화제	81,200	16~20
메틸 클로로포름	CH ₃ CCl ₃	0.15	용제	499,500	5.5~10
사염화탄소	CCl ₄	12	용제	71,200	50~69

자료 : 지구의 위기(1992)

이들은 대기중에서 매우 안정되어 염화불화탄소의 경우 75~110년간 이들의 농도는 계속 증가되고 있다.

5. 오존층 파괴의 영향

오존층파괴의 영향은 크게 2가지를 들 수 있다. 첫째, 오존층의 오존량감소에 따른 자외선의 투과 증가로 지구상의 동식물 피해, 둘째 오존량의 감소에 따른 지구기온 상승을 들 수 있다.

5.1 인체, 동식물 및 재산피해

자외선은 태양광선 스펙트럼에서 보라색 부분의 단파장측에 있는 눈에 보이지 않는 복사선을 말한다. 자외선은 파장이 10~390nm에 해당되며, 특히 짧은 파장의 자외선은 살균력이 강하여 동식물에 직접 영향을 미친다. 오존에 의하여 부분적으로 흡수되는 자외선의 파장 범위는 280 - 320nm이다. 이 범위의 자외선은 UV-B로 알려져 있으며 피부 그을림, 시력손상, 피부암, 피부주름 및 노화 등의 원인이 된다. 자외선중에서는 파장이 짧을수록 생물체조직에 영향이 더욱 큰 것으로 알려지고 있다. 대기중의 오존은 파장이 짧은 자외선을 긴 광선보다 더 잘 흡수한다. 적도지방에서 맑은 날씨의 경우 UV-B의 70%가 흡수되고 나머지 30%정도가 지표면에 도달하는 것으로 알려지고 있다.

오존량의 변화에 따라 UV-B 투과량이 달라지며 오존량이 10%줄어들 경우 지표면에 도착하는 UV-B의 양은 20%정도 증가하며, UV-B는 동식물체 조직의 단백질 및 DNA에 직접 영향을 미치는데 DNA의 손상으로 인한 피부암을 유발하게 된다.

UV-B량의 증가시 따른 피부암 발생영향은 오존량 1% 감소시 피부암 발병율은 2% 증가가 예측되고 있다. 오존량 3% 감소시 미국에서만 매년 18,000여건의 피부암 발생자가 증가할 것으로 전망된다. 피부암의 발생외에도 UV-B의 증가는 인체의 면역기능의 약화, 피부염의 발생을 증가시킬 수 있다.

식물의 경우 UV-B양이 증가할 경우 이에 대한 피해가 있는 것으로 보고되고 있다. 식물종류에 따라 UV-B의 증가에 따른 영향정도가 차이가 있으며, 현재까지 200여종에 대한 실험결과 60~70%정도가 영향이 있는 것으로 알려지고 있다. 목화, 완두콩, 매론, 양배추와 같이 민감한 식물은 성장이 둔화되고 경우에 따라서는 식물 호르몬과 광합성의 기능을 갖는 엽록소에 피해를 주므로 성장기간 동안의 과실량이 감소된다. 또한 UV-B는 물속으로 상당히 깊이 침투하므로 단세포 조류에 대한 피해가 크다. 단세포 조류는 먹이 사슬에서 최초의 단계가 되며, 이들이 감소할 경우 어류등 다른 생물에 연속적으로 피해를 야기할 것이다. 자외선 침투 증가는 이상에서 설명한 인체, 동·식물 피해외에도 재산상의 피해를 야기하게 된다. 예를들면 건축물과 차량 등의 색상변화에 의한 피해를 들 수 있으며 PVC등 플라스틱제품의 직접적인 손상도 우려된다. 이외에도 오존농도 감소에 따른 지구기온 상승은 대기오염 물질간의 반응을 촉진하여 대기오염을 가중시키는 요인이 될 수 있다.

5.2 기후변화

전술한 바와 같이 오존은 이산화탄소와 마찬가지로 온실기체이다. 온실기체의 영향이외에도 오존층파괴로 인한 태양광선 침투의 증가는 지구기온의 상승을 초래할 것이다. IPCC보고서(1990)에 의하면 오존층파괴에 의한 지구기온상승정도는 정확히 예측하기는 어려우나 오존층에서 오존이 파괴되고 대류권에서 CO₂등 온실기체의 방출이 계속될 경우 10년에 0.3°C의 기온이 상승, 다가오는 21세기 말에는 현재보다 3°C정도 기온이 상승하게 된다.

오존층 파괴로 인한 또하나의 기후변화 영향은 습도와 증발량의 증가에 의한 강수량 변화를 들 수 있다. 강수량 증가에 따라 일부지역은 홍수피해가 증가할 것이고, 일부 지역의 가뭄피해가 증가할 것이다. 아울러 지구 온도상승은 양극지방의 기후에 커다란 영향을 미치게 되는데, 눈과 얼음의 녹는량이 증가하게 된다.

6. 몬트리올 의정서 체결경위 및 주요내용

6. 1 체결경위

일 자	내 용	비 고
'77년 5월	UNEP 오존문제 조성위원회구성	
'85년 3월	오존층보호를 위한 비엔나협약 채택	'85년 9월 발효
'87년 9월	오존층파괴물질에 관한 몬트리올 의정서 채택	'89년 1월 발효
'90년 6월	제1차 개정서 채택	'92년 8월 발효 규제물질이 8종에서 20종으로 확대
'92년 11월	제2차 개정서 채택	'94년 6월 발효 • 규제물질이 20종에서 95종으로 확대 • CFCs의 경우 2000년 전폐에서 '96전폐
'95년 11월	제7차 당사국회의 조정	• CFCs, Halon등에 대한 개도국규제일정통일 • 메틸브로마이드에 대한 규제일정 확정 (2010년 전폐, 개도국 2002년부터 동결)
'97년 9월	제9차 당사국회의 조정	메틸브로마이드에 대한 규정일정 조정 (선진국 2010년 전폐, 개도국 2015년 전폐)

※ 우리나라 : '92. 2월 비엔나 협약 및 몬트리올 의정서 가입
'92. 12월 제1차 개정서 가입
'92. 12월 제2차 개정서 가입

6.2 주요내용

▶ 염화불화탄소(CFC)

선진국의 경우 CFC-11등 5종은 '86년 생산·소비량을 기준으로 '94년부터 75% 삭감, '96년부터 100% 삭감키로했고, CFC-111등 10종은 '89년 생산·소비량을 기준으로 '94년부터 75% 삭감, '96년부터 100% 삭감한다.

개도국의 경우 CFC-11등 5종은 '95~'97년 평균 생산소비량 또는 1인당 생산·소비량 0.3 Kg중 낮은 수치기준으로 '99. 7월부터 동결, 2005년 50%, 2007년 85%, 2010년 100% 삭감키로 하였고, CFC-111등 10종은 '98~2000년 평균 생산·소비량 또는 1인당 생산·소비량 0.2kg중 낮은 수치기준으로 2003년 20%, 2007년 85%, 2010년 100% 삭감키로 하였다.

▶ 할론(Halon)

'86 생산·소비량을 기준으로 '94년 100% 삭감

(개도국은 CFC-11 규정일정과 동일)

▶ 사염화탄소(CCl4)

'89sus 생산소비량을 기준으로 '95년부터 85% 삭감, '96년부터 100% 삭감
(개도국은 CFC-111 규제일정과 동일)

▶ 메틸클로로포름(C2H3Cl3)

'89년생산·소비량을 기준으로 '94년부터 50%, '96년부터 100% 삭감
(개도국은 CFC-111 규제일정과 동일)

▶ 수소염화불화탄소(HCFC)

'89년 생산·소비량을 기준으로 '96년부터 동결, 2004년 35%, 2010년 65%, 2015년 90%, 2020년 99.5%, 2030년 100% 삭감 (개도국은 2015년 소비량을 기준으로 2016년 동결, 2040년 100% 삭감)

▶ 메틸브로마이드(CH3Br)

'91년 생산·소비량을 기준으로 '95년부터 동결, '99년 25%, 2001년 50%, 2003년 70%, 2005년 100% 삭감(개도국은 '95~'98년 평균 생산·소비

량 기준으로 2002년부터 동결, 2005년 20%, 2015년 100% 삭감

그러나 규제일정이 계속단축되고 있는 추세이므로 이에 대한 사전 대처가 필요할 것으로 사료된다.

7. 국제추세에 따른 대처 및 향후전략

오존층 파괴물질 총 95종중 국내에서 주로 사용되고 있는 물질은 CFC등 불과 20여종에 불과하고, 우리나라는 개도국중 독자기술로 중간대체물질인 HCFC 및 최종대체물질인 HFC중 일부품목을 독자 개발한 유일한 국가로서, 개도국 특례조항의 적용을 받아 규제일정이 선진국에 비해 상당기간 유예되어있어, 현재로서는 국내산업에 미치는 영향이 크지않다.

또한 한국은 OECD 회원국으로서 의정서상 우리의 지위에 대한 이의제기에 대비하여 의정서의 이행등 오존층 파괴물질의 감축을 위하여 우리가 기울이고 있는 노력을 적극 홍보하고 우리와 입장이 유사한 멕시코등과 긴밀히 협조하여 개도국 지위를 계속유지하면서 동시에 CFC대체물질 개발추진과 대체물질의 사용유도, 현사용중인 CFC의 회수·재이용, 지속적인 한국상공의 오존층 감시 및 지상대기중의 CFC농도변화 측정 등을 통해 적극 대처해야 하겠다.

국제환경기술전(ENVEX '98) 참관 안내

오늘날의 환경문제는 인류가 직면하고 있는 가장 중요한 문제이며 우리 모두가 풀어나가야할 크나큰 과제입니다.

본협회에서는 지난 20여년 동안 매년 국제환경기술전(ENVEX)을 개최하여 우수한 청정기술의 개발과 함께 건전한 환경산업의 육성에 노력하고 있습니다.

국내외의 우수한 환경산업과 신기술을 선보이게 될 이번 국제환경기술전(ENVEX)에 관련업체의 많은 관심과 참관을 부탁드립니다.

- 일시 : '98. 6. 16(화) ~ 6. 19(금) 매일 10:00 ~ 18:00
- 장소 : 한국종합전시회(KOEX) 태평양관
- 주최 : 환경보전협회
- 후원 : 환경부, 산업자원부, 과학기술부, 서울특별시, 대한상공회의소
- 출품대상
수질 / 대기 / 폐기물처리 / 리사이클링 / 소음·진동 / 음식물쓰레기 처리기기 / 축산폐수처리 / 환경마크 및 재활용 상품 / 에너지 관련 기기 / 청정기술 / 각종 측정 및 분석기기 / 환경컨설팅 / 환경자문 및 감사 / 해양 / 기타 환경관련제품 및 문헌
- 참관문의 : 환경보전협회 홍보부 (전화 - 02)249-5265 교환 3번)