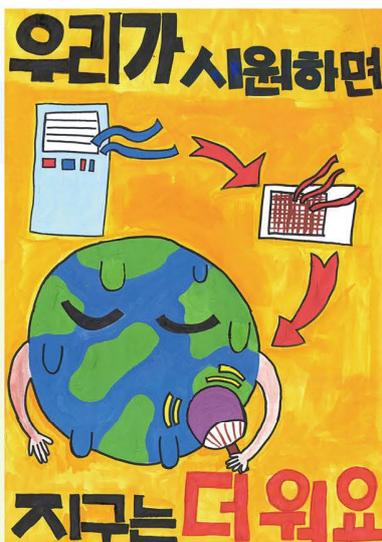
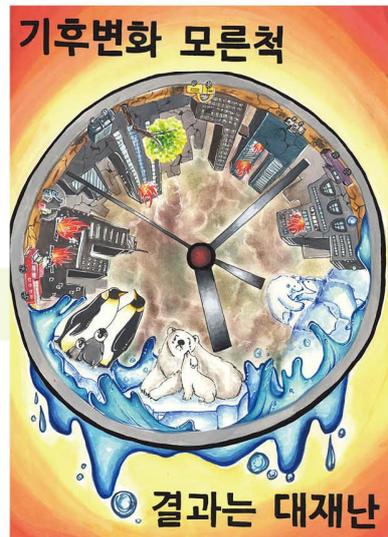


# 기후변화감시 용어 해설집



# 기후변화감시 용어 해설집

## 차례

01. 기후변화 .....	4
(날씨/기후/지구온난화)	
02. 기후시스템 .....	6
(대기권/수권/빙권/생물권/지권)	
03. 기후변화감시 .....	8
(기후변화 원인/기후시스템 변화/기후변화 영향/한반도 기후변화감시)	
04. 지구대기감시 .....	10
(배경대기/기후변화감시소/지구대기감시 요소/킬링곡선)	
05. 온실가스 .....	13
(이산화탄소/메탄/아산화질소/육불화황/수소불화탄소/과불화탄소/ 염화불화탄소-11, 12, 113/지구온난화지수/복사강제력/이산화탄소상당량)	
06. 탄소추적시스템 .....	18
(탄소순환/탄소수지)	
07. 세계표준센터 .....	21
(육불화황 세계표준센터/표준가스/국제비교실험)	
08. 미세먼지(에어로졸) .....	23
(광학깊이/미세먼지/황사/연무/PM10 질량농도/PMX 질량농도/ 검댕/탄소 에어로졸/유기 에어로졸/에어로졸과 기후변화)	
09. 반응가스 .....	27
(일산화탄소/지표오존/이산화황/질소산화물/휘발성유기화합물/ 탄화수소화합물/광화학반응/이차오염물질)	
10. 대기복사 .....	30
(직달일사/산란일사/전천일사/순복사/태양복사/지구복사/복사수지)	
11. 자외선 .....	33
(자외선A/자외선B/홍반자외선/자외선지수)	
12. 오존층 .....	35
(성층권오존/오존전량/오존홀/돝손단위/오존두께/오존연직분포/ 오존층파괴/프레온가스/프레온가스 대체물질/할로카본/오존주의보)	

# 기후변화감시 용어 해설집

## 차례

13. 산성비 .....	41
(건성침적/습성침적/총대기침적/산성도/전기전도도/강수이온성분)	
14. 기후 .....	44
(기후요소/기후인자/기후민감도/기후변동성/기후피드백/평년값/ 기후평년값/계절길이)	
15. 자연적인 기후변화 원인 .....	47
(태양에너지 변화/밀란코비치 이론/화산활동/엘니뇨/북극진동)	
16. 극한기후현상 .....	50
(가뭄/홍수/폭염/한파)	
17. 극한기후지수 .....	52
(서리일수/여름일수/결빙일수/열대야일수/폭염일수/식물성장기간/ 호우일수/강수강도)	
18. 해빙 .....	54
(빙하/대륙빙하/해수면 상승)	
19. 해양 기후변화 .....	56
(해수온도 상승/표층수온/해양 산성화/백화현상/갯녹음/바다사막화)	
20. 기후변화 시나리오 .....	59
(온실가스 배출 시나리오/대표농도경로/우리나라의 기후변화 미래 전망/ 기후변화 적응/기후예측/기후전망/기후변화예측모델)	
21. 기후응용정보 .....	62
(유효적산온도/생육온도일수/열지수/불쾌지수/잠재증발산량)	
참고문헌 .....	64

# 기후변화

우리가 살아가는 기후 환경이 변하고 있다.

우리의 생활은 의식주뿐만 아니라 문화, 사회적 관습, 경제활동 등 모든 면에서 날씨 또는 기후와 밀접한 관련이 있다. 지역에 따라 계절에 따라 날씨와 기후가 변하면 우리의 생활도 변하게 된다.

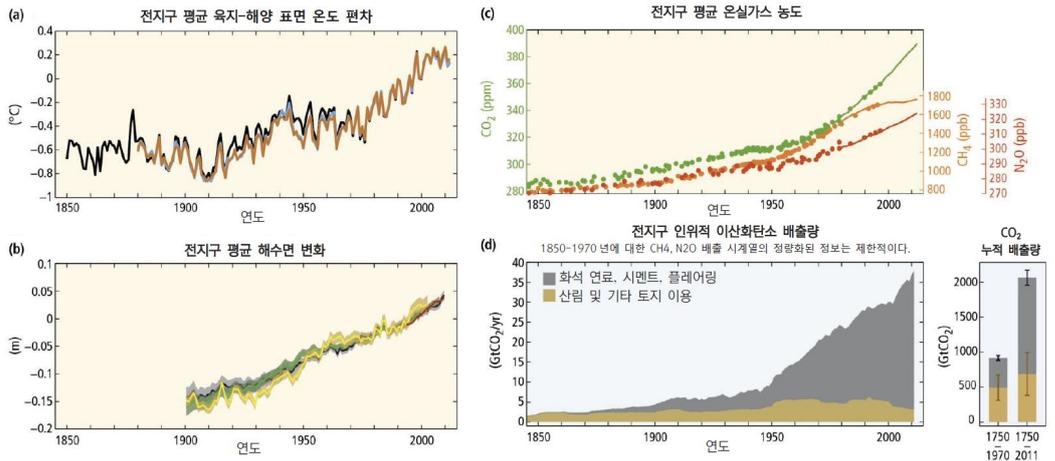


**기후변화** 연관어

- 날씨
- 기후
- 지구온난화

**기후변화**

- 기후는 장기간(대개 30년)에 걸친 날씨(기상)의 평균이나 변동의 특성을 말하며, 과거에는 한 지역의 기후는 변하지 않는 것으로 생각하여 '서울'의 기후와 같이 표현하였다. 과학자들은 기후가 변하고 있다는 것을 확인하고(IPCC<sup>1</sup> 평가보고서), 이는 인류의 에너지 수요 급증으로 인한 화석연료 사용 증가 등 인간 활동으로 인하여 발생하였을 가능성이 매우 높다고 평가하였다.
- 석탄, 석유 등 화석연료의 연소, 삼림 훼손, 농업 활동 증가 등으로 대기 중 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 불소화합물 등)가 많아지면서 온실효과가 증가하여 지구온난화가 나타나고 있다.

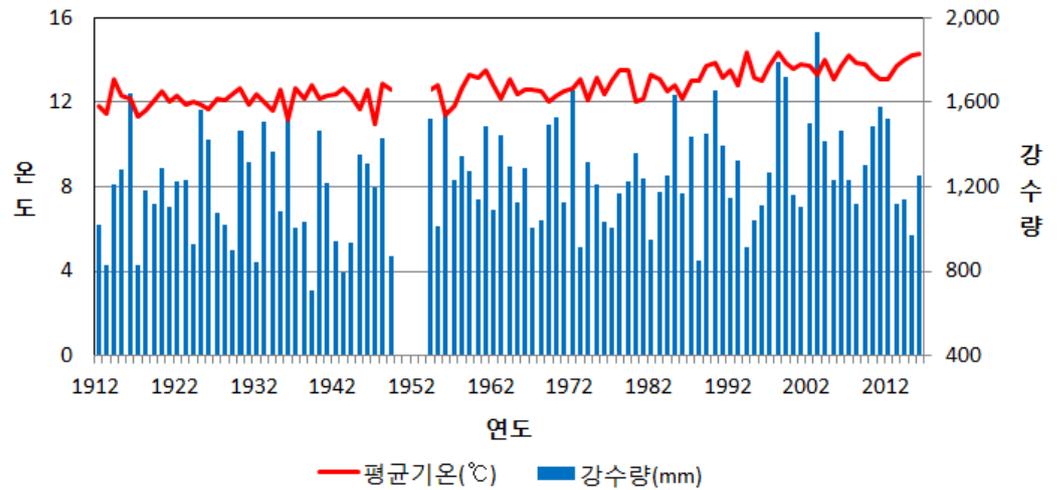


<관측된 변화 : a) 지구평균기온, b) 해수면, c) 온실가스 농도, d) 이산화탄소 배출량(IPCC)>

<sup>1</sup> IPCC 정부간 기후변화 협의체: Intergovernmental Panel on Climate Change 1988년 UN 기구로 설립되어 기후변화의 과학, 기술, 사회경제적 평가보고서를 작성하여 국제기후변화협약에 기여하고 있음. 2017년 현재 의장은 이회성 박사임. (www.ipcc.ch)

- 기후변화는 기후의 상태변화가 기후 특성의 평균이나 변동성의 변화를 통해 확인되고 그 변화가 수십 년 이상 지속되는 것을 말하며 자연적 원인(태양에너지 변화, 지구공전궤도 변화, 화산활동, 내부변동성 등)이나 인간 활동으로 인한 대기조성 또는 자연환경 변화 등 외부강제력 변화 때문에 발생한다.

- 우리나라의 기후변화 : 우리나라는 1912~2016년까지 평균기온은 1.8℃ 상승하여 지구평균보다 상승속도가 빠르며, 강수량은 약 10% 증가하였다.



<1912~2016년 우리나라의 평균기온과 강수량 변화>

\* 6개 기상관측지점(서울, 인천, 강릉, 대구, 부산, 목포) 평균

\* 1950~1953년은 전쟁기간으로 자료 누락

**날씨**

- 대기 중에서 일어나는 순간적이고 국지적인 다양한 기상현상으로 시시각각 변하는 특성을 가짐.

**기후**

- 장기간에 걸쳐 나타난 기상을 평균과 변동성 측면에서 통계적으로 설명한 것. 세계기상기구(WMO)가 정한 평균 산출기간은 30년임.
- 주로 온도, 강수, 바람 등을 말하며 최근에는 다양한 기후시스템의 변수를 포함한 통계적 기후계의 상태를 말함(IPCC).

**지구온난화**

- 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 불소화합물 등)와 에어로졸(미세먼지, 황화합물 등)의 대기 중 농도가 달라지면서 온실효과가 증가하여 지구 기온 상승으로 발생하는 기후변화.

# 기후시스템

## 지구의 기후를 결정하는 기후시스템

인간은 공기, 지표, 해양, 얼음, 식생이 있는 기후시스템 속에 살고 있으며, 각 권역 간에서 복잡한 물리 과정을 거쳐 현재의 기후를 유지하고 있다.



### 기후시스템 연관어

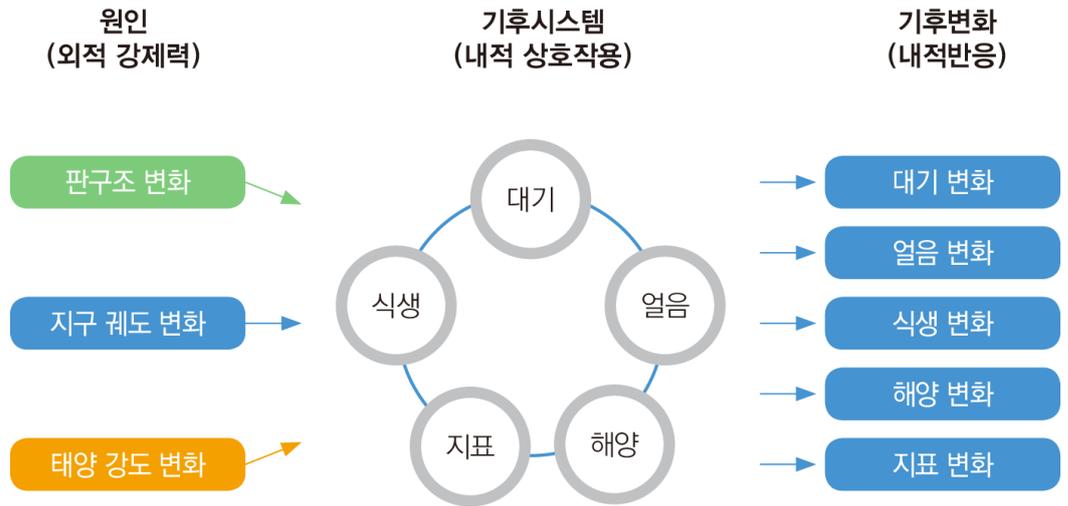
- 대기권
- 수권
- 빙권
- 생물권
- 지권

### 기후시스템

- 기상이나 기후를 결정하는 광역적인 지구시스템으로 대기권, 수권, 빙권, 생물권, 지권의 5개 요소로 구성되어 있다.
- 기후시스템 안에서 각 요소는 끊임없이 활발하게 서로 작용을 한다. 해양은 대기에 열과 수증기를 공급하고 대기는 해양에 운동에너지를 주고 있다. 빙권은 지구의 반사도(알베도)를 변화시켜 지구의 복사수지에 영향을 미친다. 지권은 식생과 토양을 통해 대기로부터 에너지를 방출하며, 생물권은 탄소순환 등으로 기후시스템에 영향을 미친다. 지구의 기후변화를 이해하려면 이런 모든 요소를 한 틀에서 고려하여야 한다.



<지구의 기후시스템>



<지구의 기후시스템과 각 구성요소의 상호작용>

- ※ ① (원인) 기후변화를 일으키거나 강제하는 외부의 힘.
- ② (기후시스템) 기후시스템의 내적 구성요소(공기, 물, 얼음, 식생, 지표) 사이에서 상호작용을 함.
- ③ (기후변화) 기후시스템에 나타나는 기후반응으로서 측정 가능한 변화임.

**대기권** - 지구를 둘러싸고 있는 대기권역을 말함. 다양한 기상 및 기후 현상이 발생하여 우리 생활에 영향을 미침.

**수권** - 대기권의 수증기 및 빙권을 제외하고 지구상의 물이 존재하는 권역으로 해양과 육지의 강, 호수로 구성됨.

**빙권** - 지표나 해양에서 눈과 얼음으로 덮여 있는 권역을 말하며 육빙(고산빙하, 빙상), 해빙, 영구 동토, 눈, 강과 호수의 얼음 등으로 구성됨.

**생물권** - 지구상의 생물 전체가 생활하고 있는 권역으로 육지 생물권과 해양 생물권으로 구분됨.

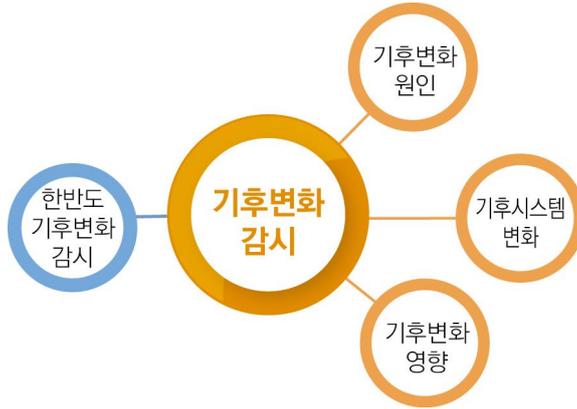
**지권** - 암석과 토양으로 구성되며 기후영역에서 가장 느리게 변화하는 영역으로 지권 중 기후 시스템에 가장 빠르게 영향을 주는 것은 화산활동이며, 대륙이동 및 조산활동 등 지각 활동은 오랜 시간에 걸쳐 일어남.

# 기후변화감시

## 기후변화감시는 기후시스템 전반을 감시해야

지구온난화 문제(기후안보, 탄소배출권거래제 등)는 인류의 생존을 위협하는 가장 중요한 이슈로 UN을 중심으로 국제사회가 공동으로 대응하고 있다. 기후변화에 대응하기 위해서는 기후변화의 현황, 원인, 영향 및 미래 기후변화 전망 등 다양한 기후변화 과학정보가 요구되고 있다.

기후시스템에 나타나는 변화와 영향을 감시하고 기후변화의 원인물질의 감시를 위해 다양한 관측 및 위성 자료 등을 활용하고 있다.

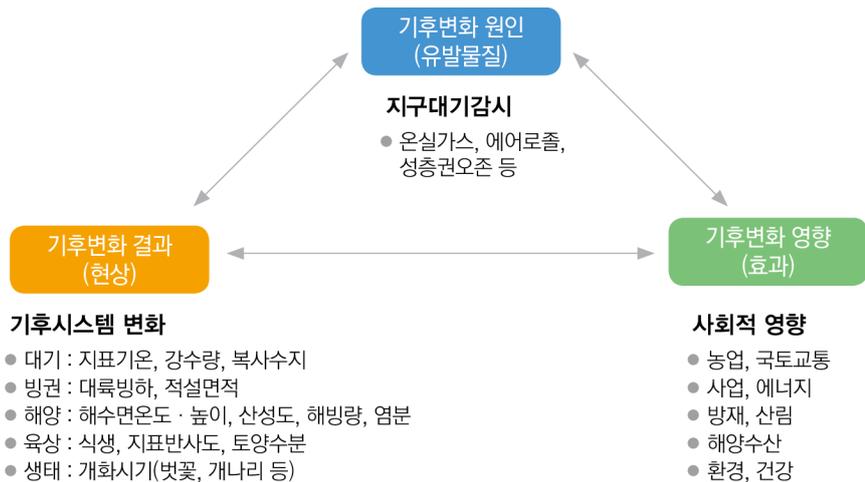


### 기후변화감시 연관어

- 기후변화 원인
- 기후시스템 변화
- 기후변화 영향
- 한반도 기후변화감시

## 기후변화감시

- 온실가스, 에어로졸 등 기후변화의 원인물질과 대기권, 수권, 빙권 등 기후시스템 전반에 나타나는 변화와 이에 따른 자연생태계, 환경, 국토, 농업, 산림, 건강, 해양수산, 산업에너지 등에 나타나는 장기적인 변화를 파악하기 위하여 관측자료를 수집하여 분석하는 것을 말한다.



<기후변화감시 체계>

### 기후변화 원인

- 온실가스, 에어로졸 등 기후변화의 원인물질과 태양에너지, 화산활동, 지구공전궤도 등의 자연적인 변화를 말함.

### 기후시스템 변화

- 기후에 영향을 주는 대기, 빙권, 해양, 육상, 생태계에 대한 기후시스템의 상태 변화를 말함.

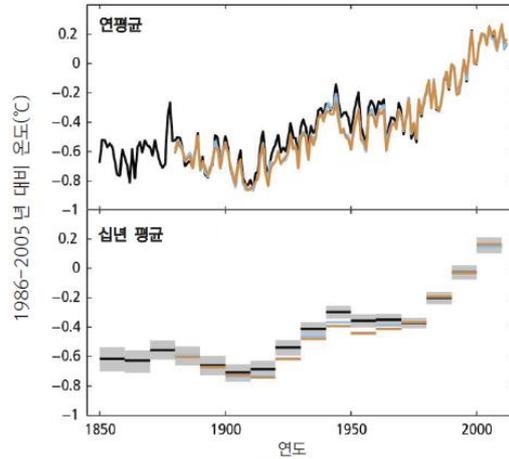
**기후변화 영향**

- 기후변화로 인해 자연생태계, 환경, 국토, 농업, 산림, 건강, 해양수산, 산업·에너지, 자연재해 분야에 대한 영향을 말함.

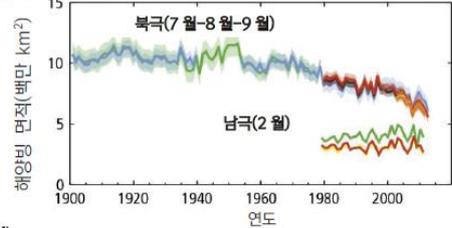
**한반도 기후변화감시**

- 한반도에서 기후변화 원인물질인 온실가스와 에어로졸의 변화를 감시하기 위해 안면도, 제주도 고산, 울릉도독도에서 한반도를 삼각형으로 감시하는 지구대기감시 관측망이 있으며, 포항, 목포, 강릉의 보조관측소 3개소, 대학, 관련 기관 등 위탁관측소 7개소가 운영되고 있음.

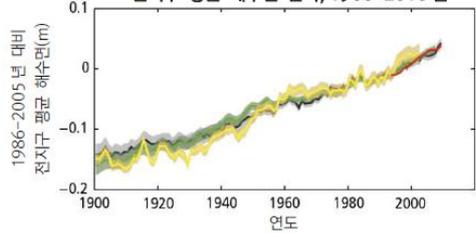
(a) 관측된 전지구 평균 육지-해양 표면온도 편차 1850-2012년



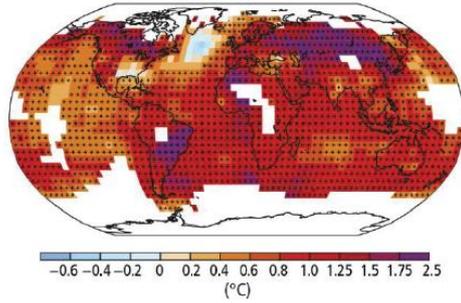
(c) 해양빙 면적



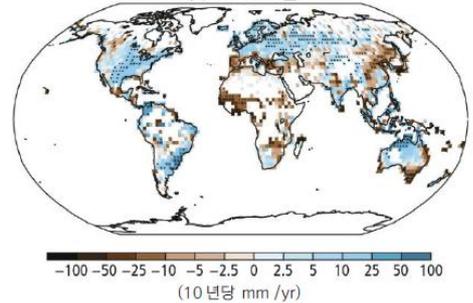
(d) 전지구 평균 해수면 변화, 1900-2010년



(b) 관측된 표면 온도 변화, 1901-2012년



(e) 관측된 육지 연강수량 변화, 1951-2010년



<관측에 의한 기후변화(IPCC)>

# 지구대기감시

## 청정지역에서 기후변화 원인물질을 감시하다

18세기 중반 산업혁명 이후 경제 성장과 인구증가로 인한 에너지 소비가 급증하면서 이산화탄소 등 온실가스와 미세먼지를 포함한 에어로졸의 농도가 증가하고 있다.

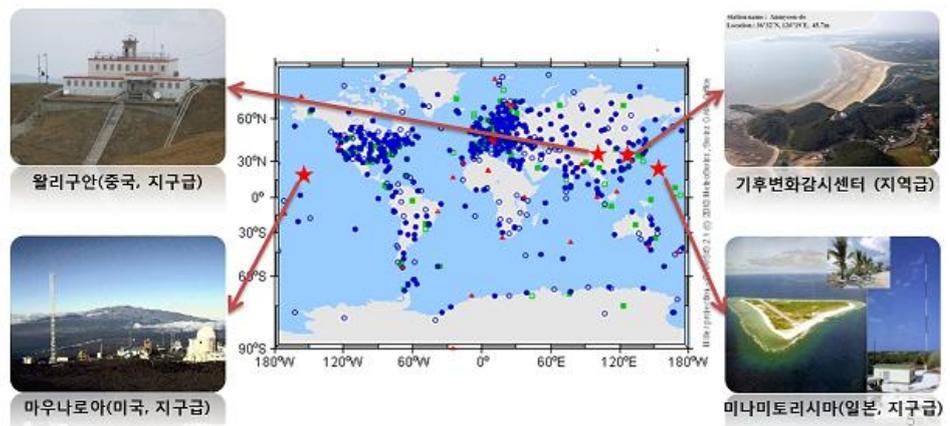


### 지구대기감시 연관어

- 배경대기
- 기후변화감시소
- 지구대기감시 요소
- 킬링곡선

## 지구대기감시(GAW)

- 세계기상기구(WMO)<sup>2</sup> 과학기술 프로그램 중 하나인 지구대기감시 프로그램(Global Atmosphere Watch)은 지구온난화, 오존층 파괴, 산성비 등과 같은 환경문제에 대처하기 위해 1989년에 전지구오존관측망(GO<sub>3</sub>OS)과 배경대기오염감시망(BAPMoN)을 통합하여 시작되어 전세계 지구급 관측소 31개소, 지역급 관측소 400여 개소, 협력 관측소 100여 개소가 운영 중이다.
  - 지구대기감시란 지구대기 자료를 과학적인 방법으로 관측·분석하는 것을 말한다.
- \* 지구대기 자료 : 성층권 오존 등 주요 온실가스와 지역 대기질에 영향을 미치는 가스상·입자상 물질.



<지구대기감시 프로그램의 관측소 현황>

- ※ WMO는 지구환경 실태를 정확히 파악하고 과학자료를 산출하기 위해 지구대기감시 관측소를 지정.
  - ① 지구급 관측소 : 지구 규모의 환경문제(기후변화 등)를 다루기 위해 관측·감시하는 곳.
  - ② 지역급 관측소 : 지역 규모의 환경문제를 다루기 위해 관측·감시하는 곳.
- ※ 지구대기감시 관측·분석자료는 기상청 기후정보포털(www.climate.go.kr)에서 확인 할 수 있음.

<sup>2</sup> WMO 세계기상기구 : World Meteorological Organization 1950년 3월 23일 설립되었음. 현재 191 개 회원국이 참여하고 있으며 기상·기후·수문 분야를 총괄하는 국제기구임. (www.wmo.int)

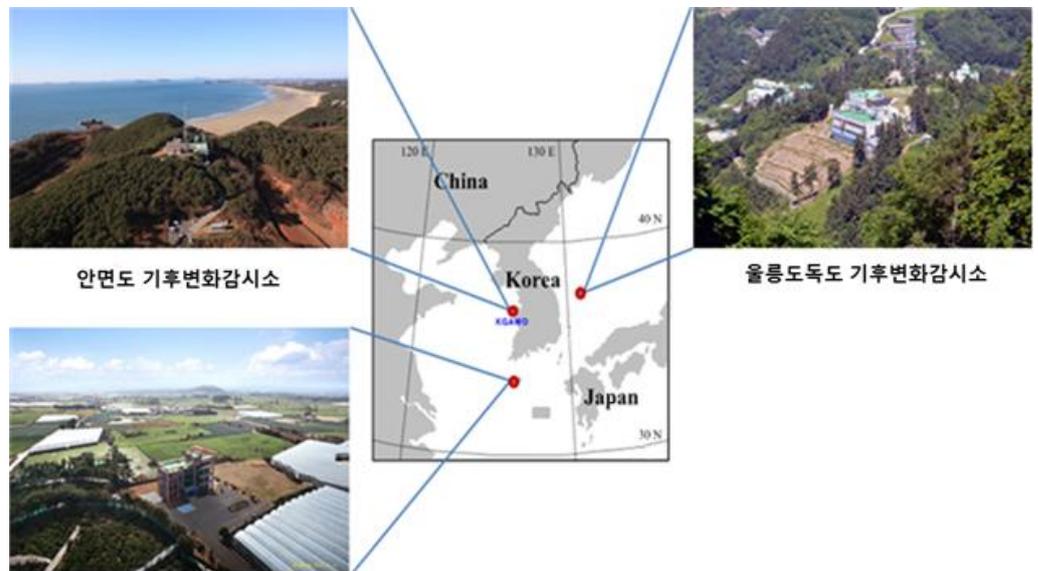
**배경대기 중 온실가스**

- 지역 활동의 영향을 받지 않은 공기(배경대기)에서 산출한 온실가스 농도로 기후변화감시, 기후변화예측, 국제기후변화협약에서 기초자료로 활용함.

$$\text{온실가스 농도변화} = \text{배경대기 일·계절(월)·연 변화} + \text{국지적 발생·소멸에 의한 단주기 변화}$$

**기후변화감시소**

- 기후변화로 지구온난화가 사회·경제적인 이슈가 되면서 기상청은 한반도에서 기후변화 원인물질의 유·출입을 감시하기 위한 지구대기감시 관측망을 운영함.
- 기후변화 원인물질의 유입 지역에 해당하는 중부 서해안에 1996년 9월 안면도 기후변화감시소가 설치되고 남쪽으로는 제주도에 고산 기후변화감시소가 2008년 11월에 신설됨. 2011년 10월에 기후변화 원인물질의 유출 지역으로 우리나라 가장 동쪽에 위치한 독도에 온실가스를 관측하기 시작하였으며, 2013년 12월에 울릉도에 울릉도독도 기후변화감시소가 신설됨.



안면도 기후변화감시소

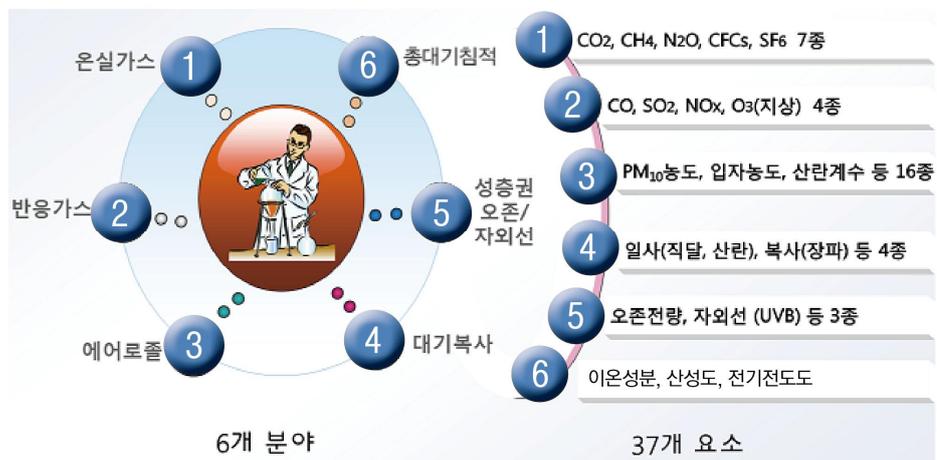
울릉도독도 기후변화감시소

고산 기후변화감시소

<한반도 기후변화감시소>

**지구대기감시 요소**

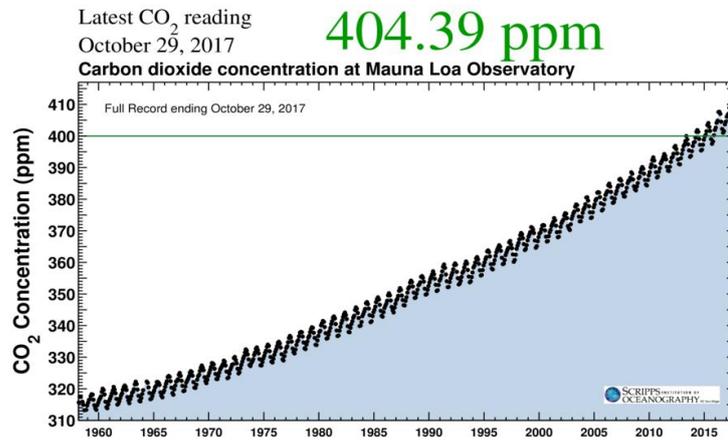
- GAW에서 권고하는 온실가스, 반응가스, 에어로졸, 대기복사, 성층권오존/자외선, 총대기침적 분야 총 37종의 요소를 관측하고 있음.



<한반도 지구대기감시 요소>

### 킬링곡선

- 1958년부터 지구대기의 이산화탄소 농도를 관측하여 나타낸 그래프로 최초로 이산화탄소 농도를 측정한 찰스 데이비드 킬링(1928-2005)의 이름을 따서 지어졌음.
- 청정지역의 지구 배경대기 값을 얻기 위해 하와이 마우나로아에서 이산화탄소 농도를 측정해 왔으며 이산화탄소의 농도 변동이 계절적인 변동을 넘어 매년 증가하는 것을 발견하였음.



<마우나로아 이산화탄소 농도 그래프>

출처 : <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>

3 1ppm = 백만분의 1, parts per million; 공기 분자 백만개 중 이산화탄소의 갯수를 나타내는 단위로 쓰임.

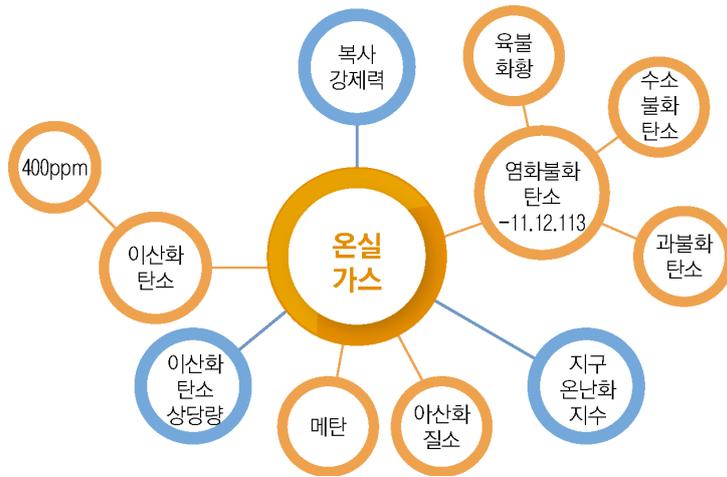
# 온실가스

## '따뜻한' 지구의 원인인 '온실가스'

만약 온실가스가 없다면 지구평균기온은 -19℃가 될 것이다. 그러나 대기 중에 이산화탄소, 메탄, 수증기 등 온실가스에 의한 온실효과로 지구평균기온은 약 14℃로 인류가 살기 좋은 기온을 유지하고 있다. 그러나 지난 130여년 간 지구평균기온이 상승하는 지구온난화가 나타나고 있다.

UN 산하 '기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)' 제5차 보고서는 지난 130여년 간 지구온난화로 지구평균기온이 빠르게 상승하고 있으며, 1950년 이후 나타난 지구온난화가 화석연료의 사용 때문일 가능성이 매우 높다(95% 이상의 확률)고 결론을 내렸다. 에너지를 얻기 위해 사용된 화석연료(석유, 석탄, 가스 등)의 연소는 지구온난화의 주범인 이산화탄소 농도를 꾸준히 증가시키고 있는 것이다.

계속되는 온실가스의 증가로 지구의 평균기온 상승이 불가피한 가운데 어느 때보다 기후변화를 효과적으로 대응하기 위하여 우리 모두 꾸준한 노력을 기울일 필요가 있다.



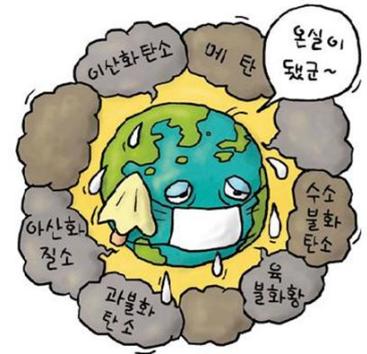
### 온실가스 연관어

- 이산화탄소
- 메탄
- 아산화질소
- 육불화황
- 수소불화탄소
- 과불화탄소
- 염화불화탄소-11, 12, 113
- 지구온난화지수
- 복사강제력(온실효과)
- 이산화탄소상당량

## 온실가스

- 대기 중에 가스 상태로 장기간 체류하면서 대부분의 태양복사를 투과시키고 지표면에서 방출하는 지구복사를 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 물질이다.
- 온실효과를 유발하여 지표온도를 상승시킬 수 있는 온실가스 중에는 이산화탄소 이외에 메탄, 아산화질소, 염화불화탄소 등의 대기미량가스를 꼽을 수 있다.

이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	산림벌채, 에너지 사용, 화석연료의 연소 등
메탄(CH <sub>4</sub> )	가축 사육, 습지, 논, 음식물 쓰레기, 쓰레기 더미 등
아산화질소(N <sub>2</sub> O)	석탄, 폐기물 소각, 화학 비료의 사용 등
수소불화탄소(HFCs)	에어컨 냉매, 스프레이 제품 분사제 등
과불화탄소(PFCs)	반도체 세정제 등
육불화황(SF <sub>6</sub> )	전기제품과 변압기 등의 절연체 등



<교토의정서 규제대상 6대 온실가스(1997)>

### <온실가스의 특성>

온실가스	1750년 이전 농도	전지구 평균농도 <sup>1)</sup>	체류시간 (년)	지구온난화 지수(GWP) <sup>2)</sup>	복사강제력 <sup>3)</sup> (W/m <sup>2</sup> )	복사강제력 <sup>4)</sup> (W/m <sup>2</sup> /ppb)	주요 배출원
이산화탄소 (CO <sub>2</sub> )	280	396 ppm	100~300	1	1.68	1.4×10 <sup>-5</sup>	에너지 생산
메탄 (CH <sub>4</sub> )	722	1824 ppb	12	25	0.48	3.7×10 <sup>-4</sup>	농업, 축산, 폐기물
아산화질소 (N <sub>2</sub> O)	270	325.9 ppb	114	298	0.17	3.03×10 <sup>-3</sup>	농업, 비료, 산업공정
염화불화탄소 (CFCs)	0	-11 236 ppt -12 527 ppt -113 74 ppt	45 100 85	4,750 10,900 6,130	0.062 0.17 0.022	0.25 0.32 0.3	냉매, 발포제, 세정제
육불화황 (SF <sub>6</sub> )	0	7.79 ppt	3,200	22,800	0.0041	0.52	전기전자 산업 절연체
수소불화탄소 (HFCs)	0	-23 24.0 ppt -32 4.92 ppt -134a 62 ppt	270 4.9 14	14,800 675 1,430	0.0043 0.0005 0.01	0.19 0.11 0.16	반도체제조, 냉매
과불화탄소 (PFCs)	34.7 0	-14 79 ppt -116 4.2 ppt	50,000 10,000	7,390 12,200	0.004 0.001	0.1 0.26	세정제, 냉매, 발포제

\* ppm : 100만분의 1, ppb : 10억분의 1, ppt : 1조분의 1  
 (출처 : IPCC, 2013) <sup>1)</sup> CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O은 2013년 평균값, 나머지는 2011년 평균값. <sup>2)</sup> 100년 동안 1kg 온실가스의 적외선 흡수능력으로 CO<sub>2</sub> 1kg의 상대비율로 산출.  
<sup>3)</sup> 1790년 대비 2011년의 복사강제력, 복사강제력은 기후변화요인으로 이 값이 클수록 지구를 따뜻하게 함. <sup>4)</sup> 농도 1ppb에 대한 복사강제력



화석연료의 사용

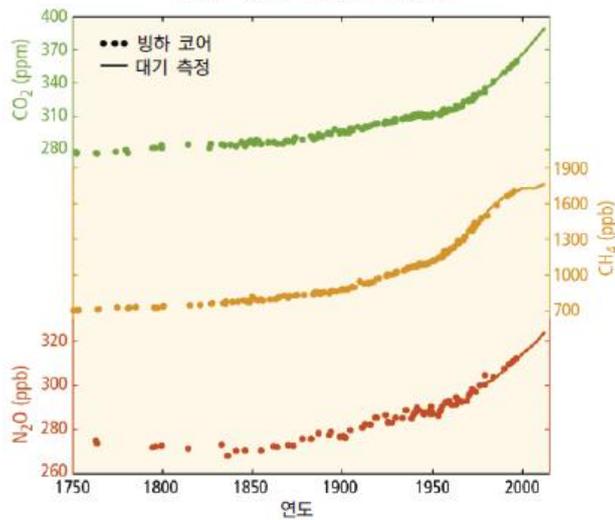


산업화 도시화에 따른 영향



다양한 온실가스 발생

### 전지구 평균 온실가스 농도



<1750-2011년 지구평균 온실가스 농도 변화>

※ 온실가스의 대기 중 농도는 적어도 80만 년 동안 가장 높은 수준임. 가장 중요한 온실가스인 이산화탄소(초록색), 메탄(오렌지색) 및 아산화질소(빨간색) 농도는 모두 1750년 이후 크게 증가(각각 40%, 150%, 20%)하였으며, 최근에는 증가 속도가 더 빨라지고 있음.

※ 2016년 전지구 평균 이산화탄소 농도는 403.3ppm, 메탄은 1,853ppb, 아산화질소는 328.9ppb를 기록하였음(WMO 온실가스 연보 No.13).

## 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

- 인류의 화석연료 소비 증가로 배출되는 대표적 온실가스로 관측 단위는 ppm(part per million, 100만분의 1)이며 대기 중에 머무르는 기간이 100~300년으로 전체 온실효과(복사강제력)의 64%를 차지함.
- 화석에너지 사용과 시멘트 생산 등 인간 활동과 유기물의 부패, 화산활동 등 자연활동으로 대기 중에 배출됨.
- 식물의 광합성 작용과 해양 흡수로 배출된 양의 약 60%가 제거되며 나머지 40%는 대기 중에 남아 농도가 증가함.
- 최근 이산화탄소 농도는 산업혁명 이전의 280ppm보다 현저하게 증가하고 있으며 전지구 평균 농도는 2015년 400ppm(0.04%)을 기록하였음.
- 안면도 기후변화감시소(기상청 소속)에서 관측된 우리나라의 이산화탄소 평균 농도는 2013년 402.4ppm을 기록함으로써 400ppm을 넘었음.
- 과거 대기 중 이산화탄소 농도의 장기변동은 남극, 그린란드, 고산 빙하 속에 포집된 공기 중 농도를 분석하여 밝혀짐.

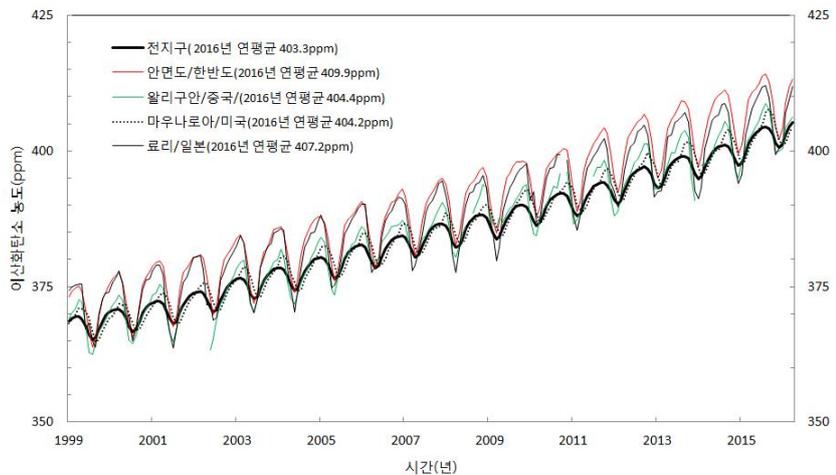


벌목, 산업화



- ※ (~1958년 이전) 남극·그린란드·고산의 빙하 속 공기방울의 농도를 측정.
- (1958년) 미국 : 하와이 마우나로아에서 이산화탄소 관측이 시작됨.
- (1990년) 태안반도 : 미해양대기청(NOAA)에 의해 주 1회 플라스크 샘플링을 통한 관측 시작.
- (1999년) 안면도 : 실시간으로 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등 관측 시작.
- (2012년) 제주도 고산 : 실시간 이산화탄소, 아산화질소 관측 시작.
- (2013년) 독도 : 실시간 이산화탄소, 메탄 관측시작.
- (2014년) 울릉도 : 실시간 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 관측 시작.

### <온실가스 관측역사>



<전지구와 우리나라 등의 이산화탄소 농도 비교>

### 메탄(CH<sub>4</sub>)

- 이산화탄소 다음으로 중요한 온실가스 중 하나로 관측단위는 ppb(part per billion, 10억분의 1)임.
- 전지구 온실가스 복사강제력 대비 17%를 기여하고 있으며 주요 배출원은 습지, 바다, 지표의 사용, 쌀농사, 발효, 화석연료, 목축 등 다양한 인위적·자연적 요소가 존재하는 반면, 소멸원은 주로 대기 중 수산화이온(OH) 라디칼로 알려져 있음.
- 다른 온실가스에 비해 체류시간이 12년으로 짧아 배출량을 줄이면 가장 빠른 효과를 볼 수 있음.



축산업, 폐기물 부패

### 아산화질소(N<sub>2</sub>O)

- 대기 중 체류시간이 114년 되는 온실가스로 복사강제력의 6%를 차지하고 있음.
- 발생원은 해양, 토양 등이 있으며 화석연료, 생태소각, 농업비료의 사용, 여러 산업공정에서 배출되는 인위적 기원 등이 있음. 아산화질소는 성층권으로 올라가 광분해 되어 성층권 오존을 파괴하면서 소멸됨.

### 염화불화탄소-11, 12, 113 (CFC-11, 12, 113)

- '프레온 가스'로 널리 알려져 있음. 오존층을 파괴시키는 물질 중 하나로 몬트리올 의정서에서 규제대상 물질(1989)로 지정되었으며, 냉장고 냉매, 발포제, 충전제로 주로 사용됨.
- 지속적인 배출로 농도가 꾸준히 증가하였으나, 몬트리올 의정서 발표 이후 현재 감소 추세에 있음.
- ※ 교토의정서에서 규제되었으나, 몬트리올 의정서에서 규제되지 않은 물질은 그 농도가 증가 추세에 있음 (예 : HFCs와 SF<sub>6</sub>).

### 육불화황(SF<sub>6</sub>)

- 육불화황은 인공적인 온실효과를 유발하며 화학적, 열적으로 안정된 가스임.
- 전기를 통하지 않는 특성이 있으며 반도체 생산 공정에서 다량 사용됨.
- 이산화탄소와 같은 양일 때 온실효과는 약 22,800배로 가장 크며 한번 배출되면 3,200년 까지 대기 중에 남아 있음.
- 대부분 성층권이나 그 상층에서 주로 짧은 파장의 태양자외선에 의해 파괴됨.

### 수소불화탄소(HFCs)

- 오존층을 파괴하는 프레온 가스로 염화불화탄소의 대체물질로 개발됨.
- 냉장고나 에어컨의 냉매 등 주로 인공적으로 만들어 산업공정의 부산물로 쓰임.

### 과불화탄소(PFCs)

- 염화불화탄소의 대체물질로 개발. 탄소(C)와 불소(F)의 화합물로 만든 전자제품, 도금산업, 반도체의 세척용, 소화기 등에 사용됨.

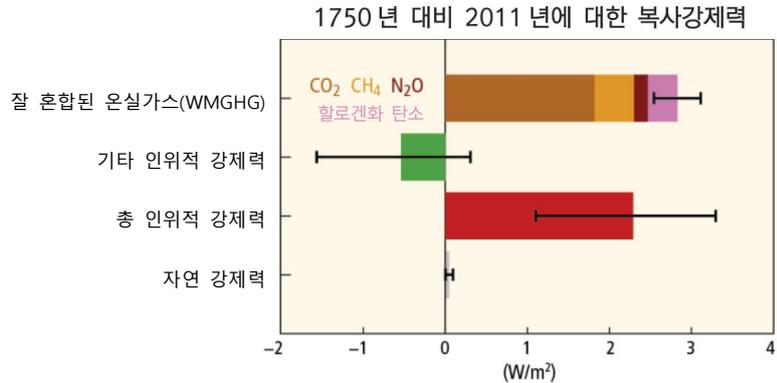
### 지구온난화지수

- 이산화탄소 1kg과 비교하여 온실가스가 대기 중에 방출된 후 특정기간 그 가스 1kg의 상대적 온난화 효과.

	이산화탄소	메탄	아산화질소	수소·과불화탄소, 육불화황
지구온난화지수	1	25	298	675~22,800

**복사강제력  
(온실효과)**

- 기후변화를 일으키는 물질들의 영향력을 나타내는 척도로 단위면적 당 에너지 변화율로 표현( $W/m^2$ ). 양의 복사강제력은 지구-대기 시스템의 에너지를 증가시키고, 음의 복사강제력은 에너지를 감소시킴.



<기후변화의 복사강제력(IPCC, 2013)>

※ 1750~2011년 인위적인 복사강제력의 총량과 이산화탄소의 복사강제력 :  $2.3W/m^2$ ,  $1.82W/m^2$   
복사강제력 증가에 가장 크게 기여한 요인은 이산화탄소임.

**이산화탄소 상당량**

- 모든 온실가스, 에어로졸 및 알베도 변화에 의한 복사강제력(온실효과)을 이산화탄소 농도로 환산한 값.
- 1750년~2011년 간 총 인위적 복사강제력  $2.3W/m^2$ 은 이산화탄소상당량으로 환산( $CO_2$ -상당농도= $278 e^{RF/5.35}$ )하면 430ppm에 해당함(IPCC, 2013).

# 탄소추적시스템

## 이산화탄소! 너 어디에서 어디로 흘러가고 있는 거니?

지구온난화에 가장 크게 기여하는 것으로 간주되는 온실가스인 이산화탄소는 인간 활동에 의해 대기 중 꾸준히 증가하고 있다. 대기 중으로 배출되는 이산화탄소의 약 절반정도는 육지와 해양 과정에서 흡수되지만 이러한 탄소의 시간과 공간적인 변동성을 파악하는데 어려움이 있다. 이산화탄소의 전 세계 분포에 대한 정확한 파악은 국제 협약에 따라 각국에 대한 이산화탄소의 배출을 제한하는 근거를 만드는 것 뿐 아니라 탄소 순환 과정을 이해하는데 중요하다.



### 탄소추적시스템 **연관어**

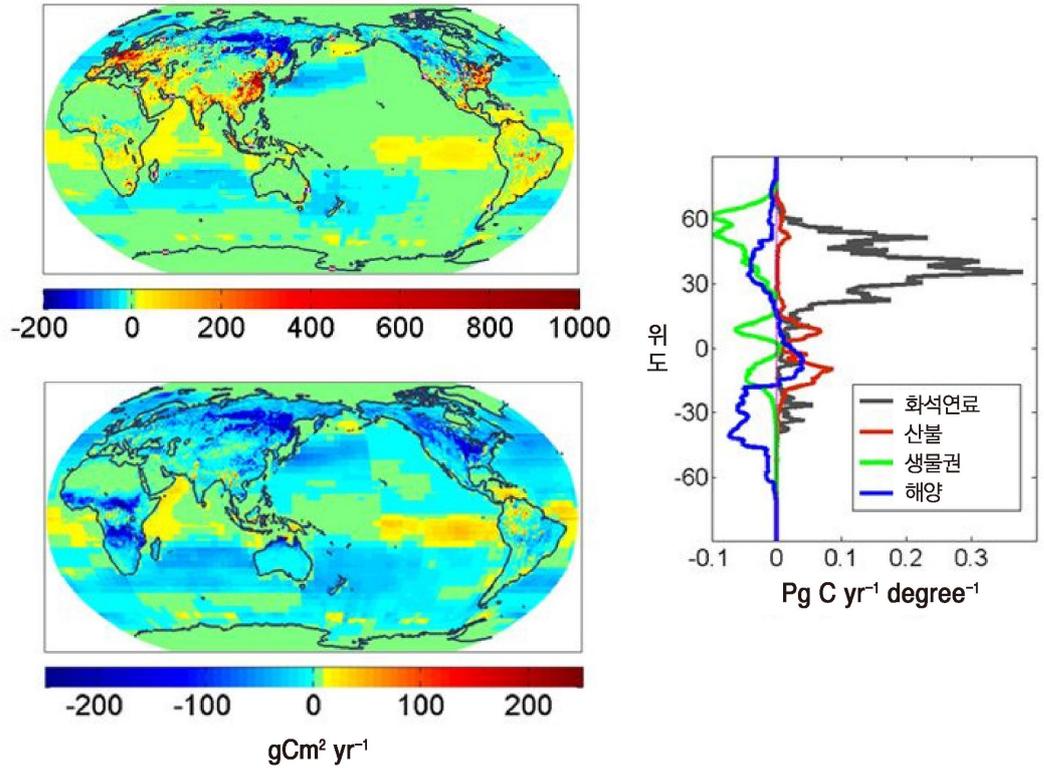
- 탄소순환
- 탄소수지

## 탄소추적시스템

- 이산화탄소가 언제, 어디에서, 얼마나 배출되고 흡수되는지 산출할 수 있는 컴퓨터모델을 의미한다.
- 탄소추적시스템은 이산화탄소 발생원 및 흡수원을 역 추적하기 위해 미국 해양대기청(NOAA) 지구시스템연구소에서 개발되었으며, 이를 개선하여 우리나라는 세계 3번째로 탄소추적시스템-아시아를 개발하였다.
- 이 시스템을 통해 아시아 국가의 보다 상세한 이산화탄소의 흡수·배출 정보를 파악할 수 있고(전지구 : 3°×2° 격자, 아시아 : 1°×1° 격자), 국제 기후협상 및 글로벌 탄소시장에서 적극적인 대응을 위한 과학적 근거 제시가 가능하다.
- 또한 정확하고 신뢰성 있는 탄소추적시스템을 통해 이산화탄소 배출 저감 활동을 감시하고 그 효과성을 높일 수 있다.

### ▶ 탄소추적시스템의 원리와 효과

- 탄소추적시스템은 대기 수송모형을 기반으로 육상, 해상, 화석연료, 화재에서 배출되는 이산화탄소 자료와 지상에서 관측되는 이산화탄소 자료를 이용하여 통합적으로 정량적인 전 지구 이산화탄소의 흡수·배출 정보를 산출한다.
- 특히 탄소추적시스템-아시아는 아시아 지역의 흡수·배출 정보 산출 정확도 향상을 위하여 일본 지역의 지상 관측지점 3개소(료리, 요나구니지마, 미나미토리시마)를 추가로 사용하고 있으며, 최근 이산화탄소 항공기 관측자료를 추가로 이용하고 있다.
- 아울러 향후 위성에서 관측한 이산화탄소 자료를 이용할 수 있는 방법을 개발할 예정이다.
- 이처럼 우리나라에서 탄소추적시스템-아시아를 이용하여 온실가스 배출 저감과 관련하여 독자적인 정보수집 및 분석능력을 갖추게 되었으며 향후 기후변화 협약 시 객관적이고 과학적인 근거자료로서 그 중요성이 크며, 활용성이 기대된다.

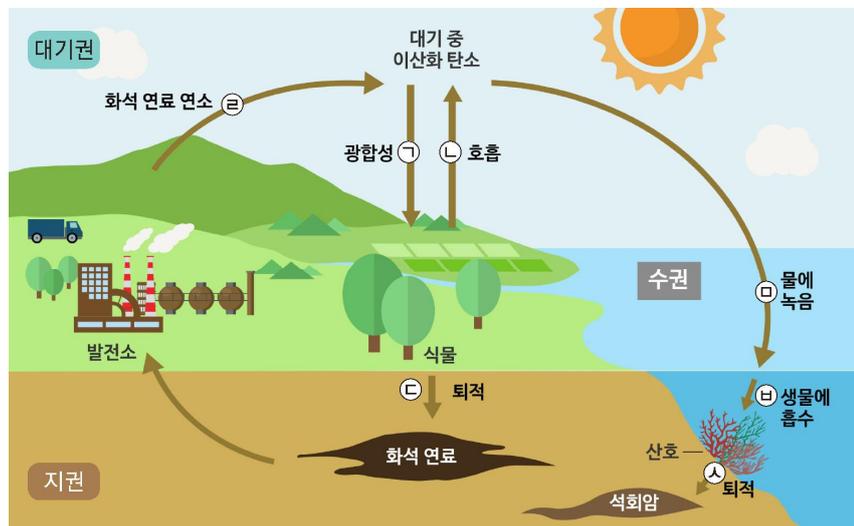


<전세계 이산화탄소 농도 플럭스의 총 변화율(위) 및 자연 변화율(아래),  
 위도별 발생원에 따른 이산화탄소 농도 플럭스 변화율(오른쪽)/ 2000~2009년>

출처 : <http://www.nimr.go.kr/2/carbontracker/flux.html>

**탄소순환**

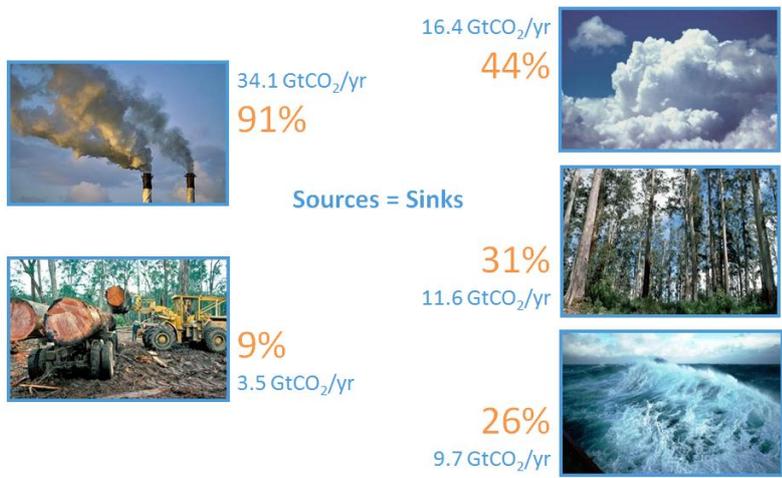
- 탄소가 형태를 바꾸면서 지구 기후시스템 내의 지권, 대기권, 수권, 생물권 사이를 이동하며 순환하는 것을 탄소 순환이라고 함.



- ㉠ 광합성으로 이산화탄소 흡수 : 대기권 → 생물권
- ㉡ 호흡으로 이산화탄소 방출 : 생물권 → 대기권
- ㉢ 동식물의 유해가 땅속에 묻혀 화석 연료가 됨 : 생물권 → 지권
- ㉣ 화석 연료의 연소로 이산화탄소 방출 : 지권 → 대기권
- ㉤ 이산화탄소가 물에 녹음 : 대기권 → 수권
- ㉥ 물에 녹은 탄소가 산호, 조개껍데기 구성 : 수권 → 생물권
- ㉦ 물에 녹은 탄소나 해양 생물체가 퇴적되어 석회암 생성 : 수권 → 지권, 생물권 → 지권

**탄소 수지**

- 최근 10년간(2006-2015년) 이산화탄소의 배출량은 화석연료의 연소 및 시멘트 생산으로 34.1GtCO<sub>2</sub><sup>4</sup>, 삼림훼손 등 자연환경변화로 3.5GtCO<sub>2</sub>가 배출되고 식물의 광합성작용으로 31%, 해양에 26%가 흡수되며 나머지 44%는 공기 중에 남아 농도가 증가함.  
(출처 : <http://www.globalcarbonproject.org>)



<2006-2015년 지구 탄소 수지>  
(출처 : Global Carbon Budget 2016)

<sup>4</sup> 1GtCO<sub>2</sub> = 이산화탄소 10억톤;  
1GtC = 탄소 10억톤; 1GtC = 3.664GtCO<sub>2</sub>

# 세계표준센터

## 국가 표준을 넘어 세계표준센터로 도약하다

세계기상기구(WMO : World Meteorological Organization)는 지구대기감시(GAW : Global Atmosphere Watch) 프로그램 수행을 위해 주요 표준시설을 운영하고, 전세계 회원국과 관측기술, 자료 관리에 대한 가이드라인을 제시하고 있는데, 우리나라는 육불화황 세계표준센터를 2011년 최초로 유치하여 현재까지 운영해 오고 있다. 국제기후협약을 통해 규제되고 있는 온실가스 중의 하나인 육불화황은 1970년대 이후 전기산업의 절연가스에 널리 사용되면서 대기 중의 농도가 급격히 증가하고 있다. 대기의 1조분의 일(ppt) 단위로 미미한 가스이지만 이산화탄소에 비해 지구온난화 효과는 22,800배나 된다.



### 세계표준센터 연관어

- 육불화황 세계표준센터
- 표준가스
- 국제비교실험

## 세계표준센터

- 전세계 관측기술 및 자료품질 향상의 견인차 역할을 하고 있다.
- 세계기상기구의 지구대기감시 네트워크에 속한 관측소의 자료품질을 보증하기 위하여 운영되는 5개 주요시설<sup>5</sup> 중 하나로, 온실가스 관측에 기준이 되는 표준가스 제조와 공급은 물론 관측소 대상 교육 및 적합성 평가와 기술을 지원하는 역할을 수행한다.

### <온실가스 세계표준센터 현황>

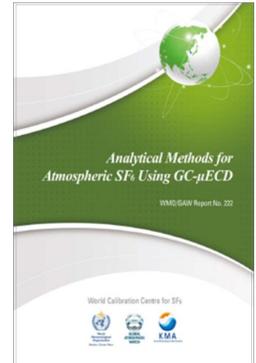
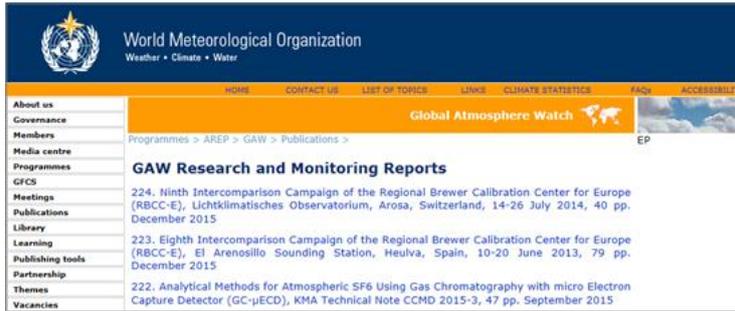
관측요소	세계표준센터	비 고
CO <sub>2</sub>	NOAA-ESRL*(미국)	순차순환실험
	EMPA**(스위스)	적합성평가
CH <sub>4</sub>	EMPA(스위스)	미국, 유럽, 아프리카
	JMA(일본)	아시아, 남서태평양
N <sub>2</sub> O	KIT/IMK-IFU***(독일)	-
SF <sub>6</sub>	<b>KMA(한국 기상청)</b>	-
CFCs, HCFCs, HFCs	미지정	-

\* : 미국 NOAA 지구시스템연구소  
 \*\* : 스위스 연방재료과학기술연구소  
 \*\*\* : 독일 대기환경연구소

<sup>5</sup> 5개 주요시설 : 품질보증 과학자 문위원, 중앙교정실험실, 세계표준센터, 지역교정센터, 세계자료센터

**육불화황  
세계표준센터**

- 한국 기상청은 교토의정서의 규제대상 온실가스 중 하나인 육불화황에 대한 관측기술을 국제적으로 인정받아 육불화황 세계표준센터를 유치하여 운영하고 있음.



<관측기술 보급용 기술노트 WMO 공식보고서 채택>



<제7회 아시아태평양 기후변화감시> 국제워크숍

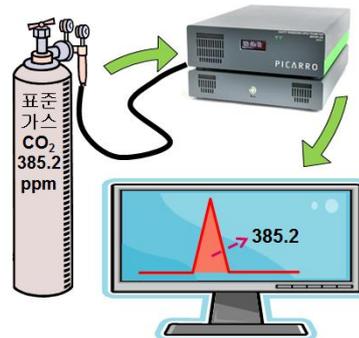


<제2회 온실가스 교육훈련과정 운영>

**표준가스**

- 대상 성분의 농도를 정확히 알고 있는 가스로서 온실가스 농도를 관측하기 위한 척도이며, 표준가스는 국가표준기관에서 제조.

- ※ 1, 2차 표준가스 : 중앙교정실험실인 미국 NOAA 지구시스템연구소에서 보유한 국제표준가스를 말함.
- ※ 3차 표준가스 : 세계표준센터 중앙교정실험실이 제조하여 인증한 표준가스와 교정한 후 생산한 표준가스이며, 주로 현장 관측소에서 대기 중 농도를 관측하기 위한 용도로 활용됨.



**국제비교실험**

- 국제적으로 기후변화감시 요소에 대한 측정 분석능력을 검증하기 위해 WMO 기준척도와 맞는지 확인하기 위한 비교실험.

# 미세먼지(에어로졸)

## 공기질을 넘어 삶의 질을 결정하는 미세먼지(에어로졸)

아시아 지역에서 대기 중의 에어로졸에 따른 대기오염으로 인간의 건강에 직접적인 영향을 주면서 관심이 더욱 커지고 있다. 또한 반응가스와 결합하여 산성비, 스모그, 시정 감소의 원인이 되며, 대기 중에 부유하여 지표면으로 들어오는 태양복사 에너지를 차단하거나 흡수해 기후변화를 유발시키는 강제력을 가진다.

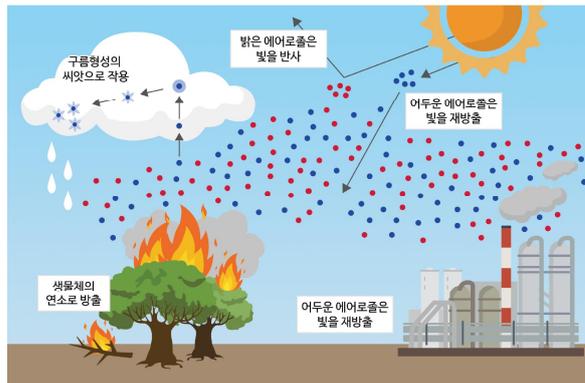


### 에어로졸 연관어

- 광학깊이
- 미세먼지
- 황사
- 연무
- PM10 질량농도
- PMX 질량농도
- 검댕
- 탄소 에어로졸
- 유기 에어로졸
- 에어로졸과 기후변화

### 에어로졸

- 대기 중에 떠 있는 고체 또는 액체 상태의 작은 입자로 연무, 황사, 안개, 먼지 등이 있으며, 보통  $0.001\sim 100\mu\text{m}^6$  정도의 크기를 가진다.
- 1차 발생원은 바람에 의한 흩날림, 화산폭발, 바닷물의 물보라 등 자연적인 요인이고, 2차 발생원은 산업 활동, 화학 반응의 결과로 생성된다.



<에어로졸의 생성(왼쪽)과 발생(오른쪽)>

### 광학깊이

- 에어로졸 광학깊이(AOD : Aerosol Optical Depth)는 태양복사가 대기의 상하에서 지표까지 도달하는 동안 대기 중 에어로졸에 의해 감소되는 효과를 나타내는 척도임. 지상에서 정밀 필터복사계(PFR\*)를 사용하거나 인공위성에서 관측할 수 있음.

\* PFR : Precision Filter Radiometers  
 ※ 에어로졸 광학깊이는 GAW-PFR AOD 네트워크로 실시간 전송.

6  $1\mu\text{m}$  = 백만분의 1미터 =  $10^{-6}\text{m}$

① 관측현황

- 장비/관측요소 : 정밀필터복사계(PFR)/관측 : 파장별일사(368, 415, 500, 862nm<sup>7</sup>)



<안면도>



<고산>



<울릉도독도>

② GAW-PFR AOD 네트워크 현황

- 29개 관측소 참여(동아시아 3개국 참여/한국 안면도, 일본 료리, 중국 왈리구안).

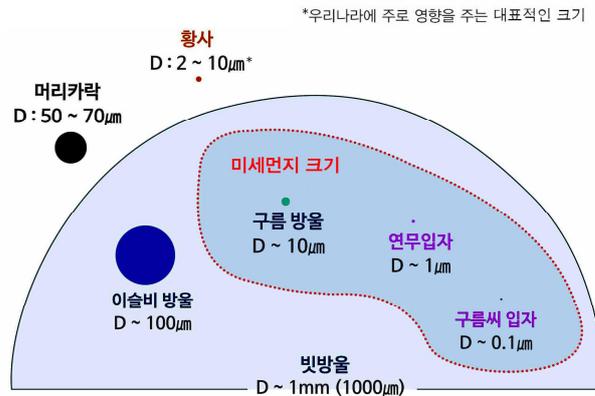
주관 : 세계광학깊이연구 및 교정센터/PMOD WRC\*



\* PMOD WRC : Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos World Radiation Center

**미세먼지**

- 입자크기(직경)가 10 $\mu$ m 이하인 먼지로 통상 인위적인 배출에 의한 입자를 말함.

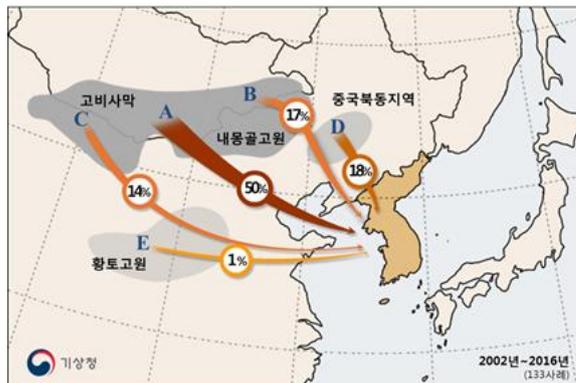


\*우리나라에 주로 영향을 주는 대표적인 크기

\* D : 직경

**황사**

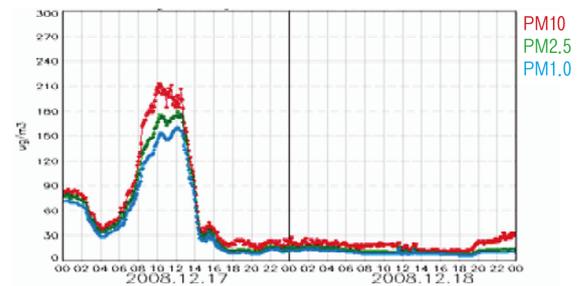
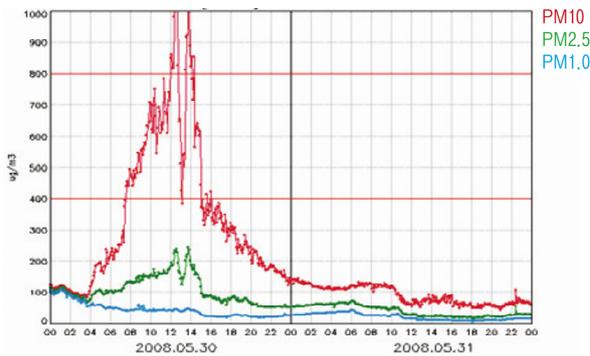
- 먼지 연무의 일종으로 주로 대륙의 황토지대에서 불려 올라간 다량의 황토먼지가 온 하늘을 덮고 떠다니며 서서히 하강하는 현상으로 입자크기는 2~10 $\mu$ m 정도임.



<우리나라에 영향을 준 황사 발원지와 이동경로>

7 1nm = 10억분의 1미터

**연무** - 시정 1km 이상으로 습도가 비교적 낮을 때 대기 중에 연기·먼지 등 미세한 입자가 떠 있어서 공기의 색이 우윳빛으로 부영게 보이는 현상.



**<큰입자 증가(PM10)>**

**황사 vs 연무**(그래프에서 빨간선은 PM10, 초록선은 PM2.5, 파란선은 PM1.0)

※ 연무와 안개의 차이점

연무 : 시정거리 1km 이상으로 미세한 고체입자가 공기 중에 부유하는 것으로 회백색을 띠.

안개 : 시정거리 1km 이하로 미세한 물방울이 공기 중에 떠 있는 현상으로 습도가 높게 나타남.

\* 시정거리 : 수평방향으로 어떤 물체를 확인할 수 있는 최대거리.

**<작은입자(PM1.0, PM2.5)>**

**PM10 질량농도** - 지름 10 $\mu$ m 이하의 먼지의 질량농도.

**PMX 질량농도** - 지름 X $\mu$ m 이하 먼지의 질량농도.

**검댕** - 연료가 불완전연소해서 발생한 작은 탄소 알갱이로 크기는 지름 1~20 $\mu$ m이며, 성분의 50%는 탄소임.

**탄소 에어로졸** - 에어로졸 중 탄소성분으로 구성된 오염물질임. 에어로졸은 크게 황산염과 질산염등의 무기 에어로졸과 원소탄소와 유기탄소로 구분되는 탄소성분(이를 탄소에어로졸이라고 칭함), 그리고 수분으로 구분되어짐.

- 지난 수십 년 동안 무기 에어로졸에 관한 연구는 많은 진척을 이루어 이들의 주요 배출원 및 대기에서의 영향에 대해 이해할 수 있었음.

- 반면, 에어로졸의 50% 이상을 차지하는 탄소 에어로졸에 대해서는 아직 많은 연구들이 진행되지 못하고 있는 실정임. 탄소에어로졸의 기후변화에 미치는 영향을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 여러 지역에서 탄소에어로졸을 포함한 에어로졸의 화학조성 연구가 필요함.

### 유기 에어로졸

- 최근 인간의 활동 증가로 황산염, 질산염 등의 생성에 기여하는 인위적 오염원으로부터 영향이 증대됨.
- 에어로졸 입자의 주요 구성성분인 탄소 에어로졸은 유기 및 원소탄소로 이루어져 있으며, 이 중 유기탄소는 탄소성분으로만 구성되어 있는 원소탄소와는 달리 1,000여종의 개별 유기성분들로 이루어져 있음. 이러한 유기성분들을 총칭하여 유기 에어로졸이라고 칭함.
- 주로 1차 배출물질인 원소탄소는 대부분 화석연료의 연소에 의해 대기 중으로 배출되는 반면, 유기 에어로졸은 1차 오염원에서 직접 배출되기도 하지만 기체상 유기화합물이 대기 중에서 광화학 반응 등에 의해 입자로 변환되어 2차적으로 생성되기도 함.
- 유기 에어로졸 입자의 상당 부분을 차지하고 있는 수용성 유기탄소 화합물의 대부분은 구름 응결핵으로 작용하여 구름의 생성에 영향을 줄 뿐만 아니라, 간접적인 기후 냉각효과를 일으킴.

### 에어로졸과 기후변화

- 에어로졸은 전체적으로 온실가스와는 달리 기후를 냉각시키는 역할을 하며 기후변화에 영향을 미치는 3가지 효과는
  - 1) 직접효과로서 태양복사나 지표면, 대기에서 방출되는 적외선복사를 산란시키거나 흡수해서 복사수지를 변화시킴.
  - 2) 구름의 응결핵이나 빙정핵이 되어 구름 속 물방울의 크기나 개수를 변화시킴으로써 복사수지를 변화시키는 간접효과.
  - 3) 검댕이나 광물입자가 태양에너지를 흡수하여 구름 생성에 영향을 미치는 효과가 있음.

# 반응가스

## 기후변화에 영향을 주는 반응가스

일산화탄소(CO), 지표오존(O<sub>3</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 휘발성유기화합물(VOCs)은 인체와 식물 성장에 유해한 영향을 미치기 때문에 대기오염물질로만 생각해왔다. 그러나 일산화탄소와 질소산화물의 영향으로 생성되는 지표오존은 다른 온실가스와 같이 강력한 온실효과를 나타낸다.

또한 이산화황이나 질소산화물은 황산 및 질산 에어로졸을 생성하는 전구체\*이다. 이렇듯 반응가스는 대기질 뿐 아니라 온실효과에 직간접적인 영향을 미친다.

\* 전구체 : 어떤 물질대사나 반응에서 특정물질이 되기 전 단계의 물질.



### 반응가스 연관어

- 일산화탄소
- 지표오존
- 이산화황
- 질소산화물
- 휘발성유기화합물
- 탄화수소화합물
- 광화학반응
- 이차오염물질

## 반응가스

- 다른 가스 상 물질들과의 결합력이 좋아 대기 중에 체류시간이 짧기 때문에 반응가스라 부른다.
- 이 가스는 일차 오염물질과 이차 오염물질로 나뉘는데 배출원에서 바로 배출된 물질이 일차 오염물질이고 배출된 이후 대기 중에서 다른 화학반응으로 새롭게 생성된 물질을 이차 오염물질이라고 한다.

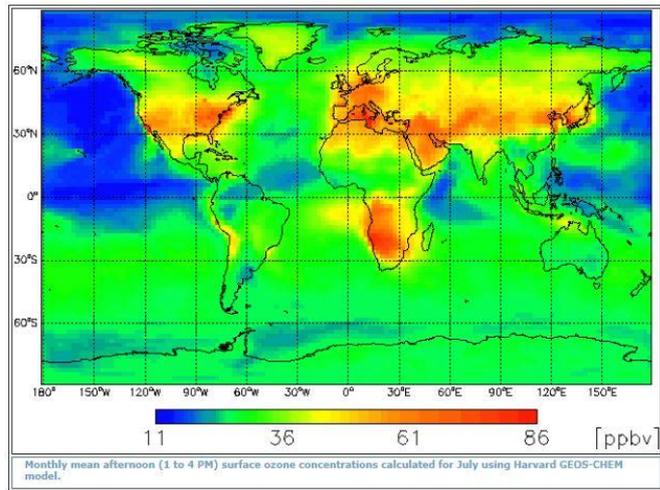
### 일산화탄소

- 복사강제력은 0.23W/m<sup>2</sup>으로 수산화이온(OH라디칼)<sup>8</sup>과의 반응으로 이산화탄소 등 온실가스 농도를 변화시켜 지구온난화에 영향을 미침(IPCC, 2013).
- 주로 화석연료나 탄소화합물의 불완전연소, 메탄 등 탄화수소 계열 물질의 산화과정, 화산 폭발, 산불, 해수 중의 미생물 작용 등에 의해 생성.

### 지표오존

- 강력한 온실효과를 일으키는 가스 중의 하나이며, 대류권 오존의 복사강제력은 0.4W/m<sup>2</sup>로 지구온난화에 직접적으로 영향을 미침(IPCC, 2013).
- 화학반응에 의해서 생성되어 광화학스모그의 원인물질 뿐 아니라 장파복사에너지를 흡수하는 온실가스로 작용하며, 시각장애와 폐수종, 폐충혈 등을 일으킴.

<sup>8</sup> 수산화이온(OH라디칼) : 산소 하나에 수소 하나가 결합된 형태의 수소 산화물로 물에 녹아 염기성 용액이 되며 수산화이온의 농도는 용액의 염기성의 척도임.



<7월 월평균 오후(1~4PM) 지표오존 농도/하버드 모델>

**이산화황**

- 황산에어로졸의 전구체로 복사강제력이  $-0.41W/m^2$ 로 나타나며 태양빛을 산란시켜 지구 냉각화에 기여함(IPCC, 2013).
- 석탄, 기름 연소, 난방 등에서 주로 배출되며 무색의 자극성이 강한 가스로 액화되기 쉬우며, 기관지염, 천식, 폐기종, 폐쇄성 질환을 일으킴.



<아황산가스 배출 공장단지>

**질소산화물**

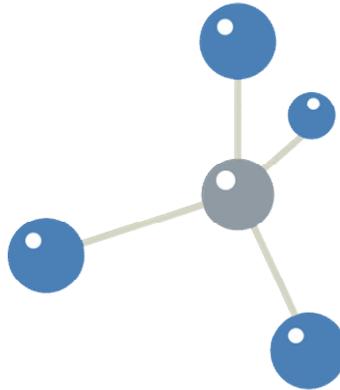
- 지구온난화를 일으키는 오존의 주요 전구체임과 동시에 지구 냉각화를 일으키는 질산에어로졸의 전구체임(IPCC, 2013).
- 질산에어로졸의 냉각화 영향으로 복사강제력은  $-0.15W/m^2$ 임.

**휘발성유기화합물**

- 대기 중에서 쉽게 증발하는 액체 또는 가스상 유기화합물로 메탄올, 프로판, 아세틸렌, 휘발류 등이 있으며 대기오염 뿐만 아니라 발암성 물질임.
- 다른 물질과의 반응성이 매우 높아 대기 중의 질소산화물과 반응하여 광화학 스모그의 주원인인 오존 발생을 촉진시키는 전구체 역할을 함.

### 탄화수소화합물

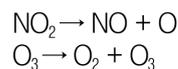
- 유기화합물은 탄소가 수소와 산소, 질소 등과 결합하여 만드는 화합물을 말하는데 그 중 탄소와 수소로 이루어진 유기물을 탄화수소화합물이라고 함.
- 탄소와 탄소가 결합한 모양과 탄소의 개수에 따라 이름이 다르고 각각의 반응도 다르게 나타남.
- 메탄은 가장 간단한 유기화합물로 화학식은  $CH_4$ 이며 천연가스의 주성분임. 대칭구조이며 무극성을 띠고 물에 용해되기 어려움.
- 메탄 분자를 구성하는 탄소 원자와 수소 원자의 결합이 비교적 안정하기 때문에 쉽게 반응하지는 않지만 자외선을 받아 광화학 반응을 거치면 탄소와 수소의 결합이 끊어지고 탄소와 염소의 결합이 형성됨.



<메탄의 분자 모형>

### 광화학반응

- 광합성과 같이 새로운 물질을 합성하거나 특징에 변화를 주는 화학반응임. 복사 에너지의 흡수 혹은 방출이 관여하는 화학반응을 말함.
- 자외선의 흡수는 대기에서 분자들의 화학 결합을 끊어 연쇄반응을 일으킬 수 있도록 만들어 광화학반응의 예로 이산화질소나 오존의 광분해를 들 수 있음.



- 이후 화학반응은 대류권에 존재하는 탄화수소와 그 외의 오염물질들을 제거하는 연쇄반응을 촉발함.

### 이차 오염물질

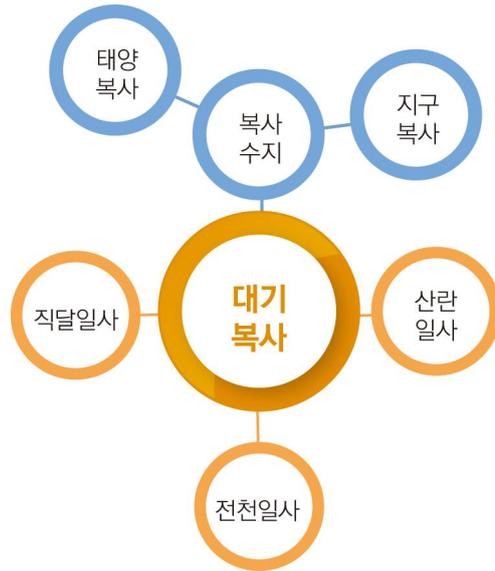
- 오염 발생원에서 직접적으로 배출된 오염물질을 일차 오염물질이라고 함.
  - 이러한 오염물질이 자외선을 받아 새로운 물질로 변화되어 오염현상을 일으킬 때 새롭게 생성된 물질을 이차 오염물질이라 함.
  - 오염물의 화학적인 변환이 일어날 때 어떤 오염물질은 방출된 직후 인체에 피해를 주지 않지만 화학작용에 의해 고농도의 해로운 오염물질로 변환되기도 함.
- ※ 예 : 오존은 질소산화물(NOx)과 휘발성 유기화합물(VOCs)이 광화학반응을 일으켜 생성된 이차 오염물질임.

# 대기복사

## '균형'이 중요한 태양복사량과 지구복사량

지구에 도달하는 태양복사에너지 중의 약 49%가 적외선, 약 44%가 가시광선 그리고 약 7%가 자외선영역으로 이루어져 있다. 또한 지구의 자전축이 기울어진 채로 태양의 주위를 공전하기 때문에 지구가 받는 복사량에는 계절적인 변화가 있고, 흑점과 같은 태양 자체의 지속적인 활동으로 인해 태양복사량은 일정하지 않다.

장기적으로 지구가 받는 태양복사량과 지구에서 방출되는 지구복사량은 균형을 이루고 있다. 지구의 대기층은 입사되는 태양에너지를 대부분 통과시키지만 지구에서 방출되는 지구복사에너지를 흡수한 후 지표로 재방출하는 역할을 하여 지표와 대기의 온도를 상승시키는 온실효과를 발생시킨다. 만일 이러한 역할을 하는 온실가스의 양이 변하게 되면 지구에는 기후가 변하게 된다.

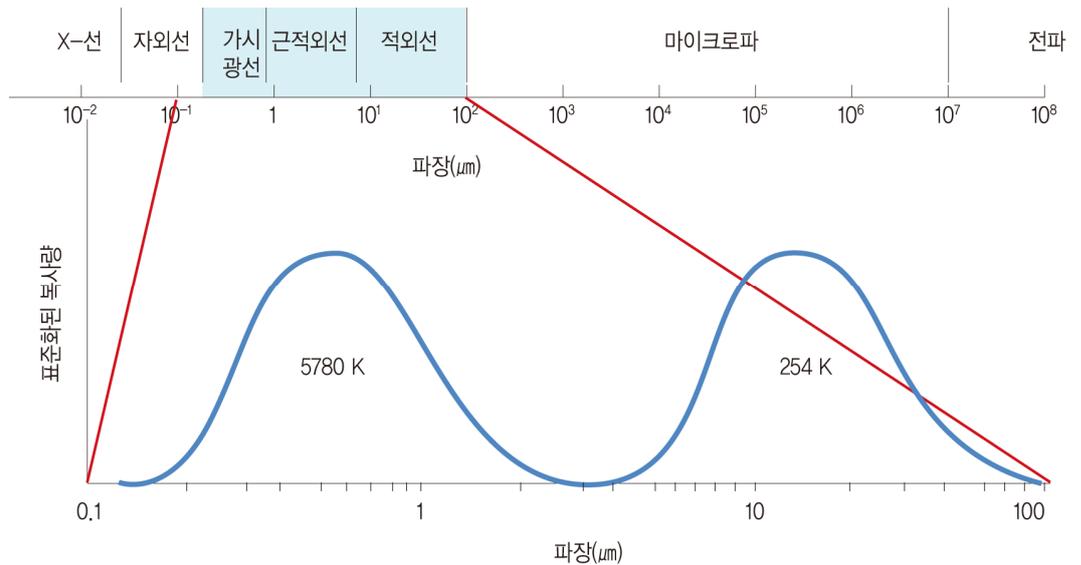


### 대기복사 연관어

- 태양복사
- 전천일사
- 직달일사
- 산란일사
- 지구복사
- 복사수지

## 대기복사

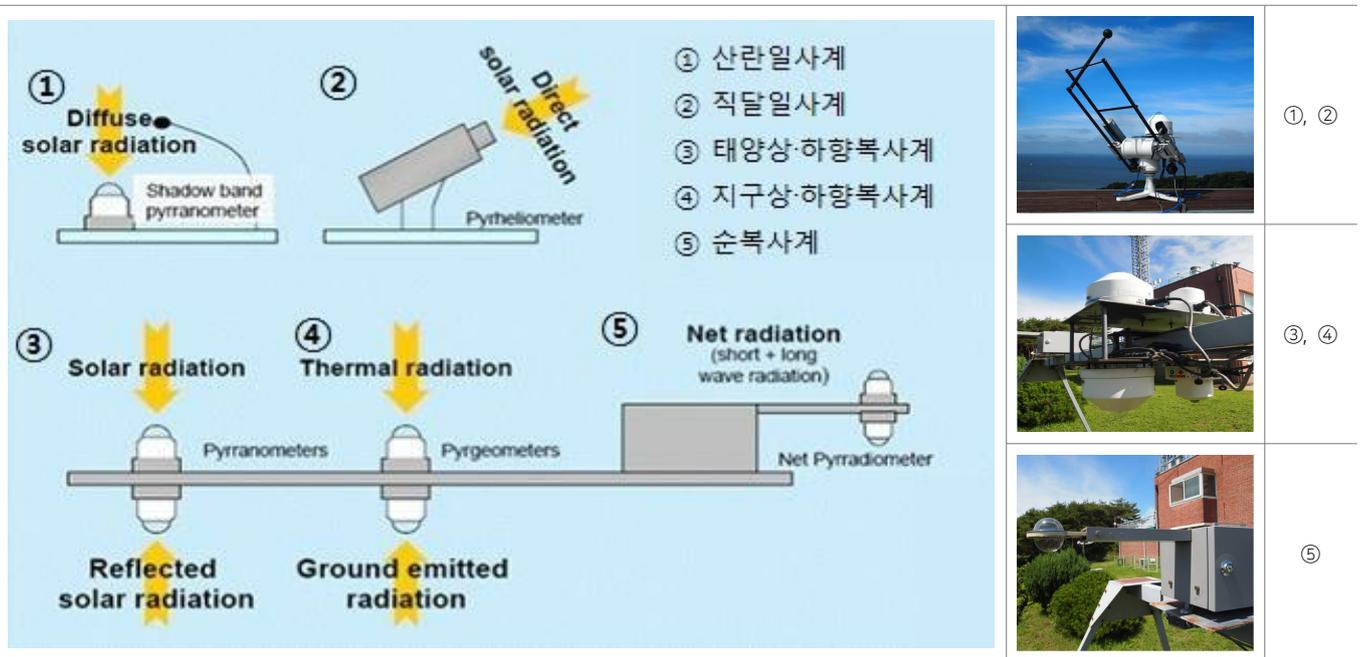
- 대기복사는 태양복사와 지구복사로 구분할 수 있는데, 지구대기에 유입되는 에너지는 태양에서 방출한 빛에너지이다.
  - 태양복사는 가시광선, 적외선, 자외선을 모두 포함하는데 그 중 가시광선을 가장 많이 방출하며, 대기를 통과하면서 일부는 구성성분에 의해 산란, 반사 또는 흡수되고 나머지는 지표에 도달한다.
  - 태양에너지는 공기, 지표 등 기후시스템을 가열하는데 사용되므로 지구 대기를 움직이는 1차 원동력이자 지구상의 모든 생명체를 위해 필수적인 에너지원이다.
  - 지구복사는 지구가 흡수한 태양에너지와 거의 같은 양의 에너지를 적외선 복사의 형태로 우주공간으로 내보내는 것을 말하는데, 지구의 지표, 대기, 구름 등 모든 물체에서 절대온도에 따라 복사에너지를 방출한다.
- ※ 복사에너지 : 모든 물체는 물체의 절대온도의 네제곱에 비례하여 전자기파의 형태로 에너지를 방출하며 다른 물질의 도움을 받지 않고 직접 전달되는 에너지임.



<태양과 지구복사의 흑체 스펙트럼>

**태양복사**

- 태양이 방출하는 단파복사로서 상향과 하향의 태양복사량으로 관측함.
- 대기권 밖에 도달하는 태양에너지는  $340\text{W/m}^2$ 임.
- ※ 태양하향복사(전천일사) : 태양으로부터 지표에 도달하는 모든 일사량으로 수평면 직달일사와 산란일사의 합으로 나타냄.
- 태양상향복사 : 구름 및 에어로졸 등에 의해 산란되어 외계로 방출되는 일사량.
- ※ 직달일사 : 대기, 구름 등에 의한 산란 없이 태양으로부터 직접 도달하는 태양복사.
- ※ 산란일사 : 대기, 구름 등에 의해 산란된 태양복사.



<관측장비>

**지구복사**

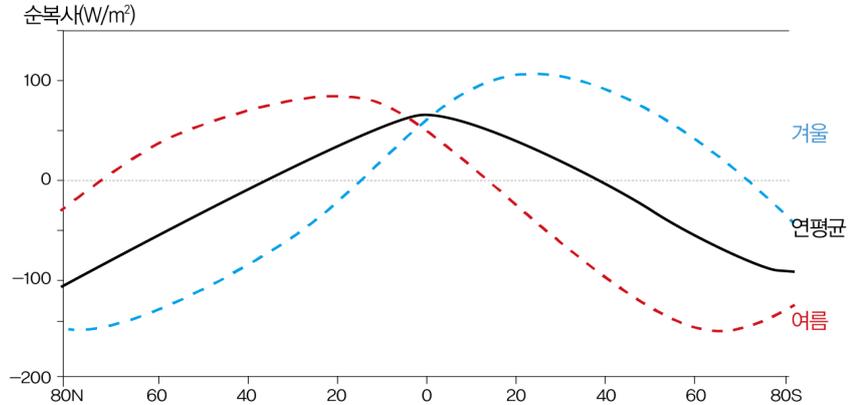
- 지표나 대기에서 방출하는 적외선 장파복사를 말하며 지구복사 에너지량은 입사되는 복사 에너지량보다 지면에서 대기로 방출하는 복사에너지량이 큼.
- 지구복사수지는 기후변화의 원인이 되는 에너지이기 때문에 그 변화를 감시하는 것이 중요함.
- ※ 지구상향복사 : 지표에서 대기로 방출되는 장파복사.
- 지구하향복사 : 지구상향복사가 온실가스, 구름 등에 의해 흡수되어 재방출되어 지표에 도달하는 장파복사.

## 순복사

- 태양 및 지구복사의 입사량과 방출량 차이를 말함.

$$\text{순복사} = \text{태양하향복사} - \text{태양상향복사} + \text{지구하향복사} - \text{지구상향복사}$$

- 순복사는 지표 에너지수지를 결정하는 중요한 요소로 일별 순복사는 열대와 아열대지역, 적도 근처에서 일년 내내 양의 값을 가지지만, 그 외 지역에서는 양과 음의 값을 가짐.

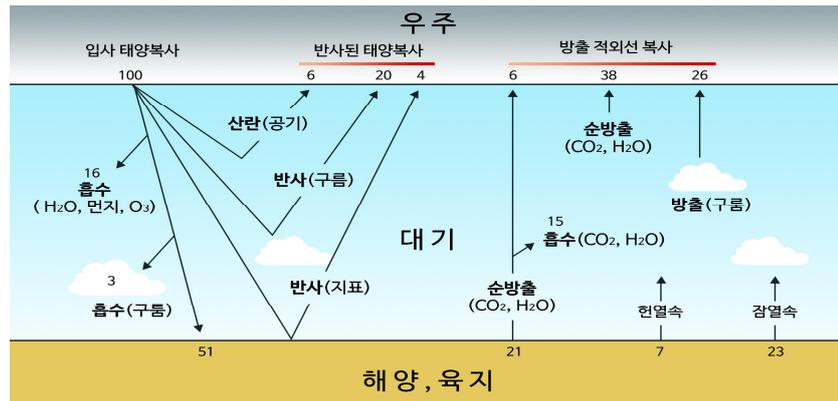


<대기 상부에서 북반구 여름과 겨울, 연평균 동서 평균 순복사>

- \* ① 연평균을 나타내는 선을 보면 북반구와 남반구의 위도가 약 40°인 지점과 극지방 사이에 복사에너지 부족이 나타나며 북반구 겨울에는 복사에너지 부족이 위도 15°까지 확장되고 여름에는 복사에너지 과잉이 약 위도 70°까지 도달함.
- ② 겨울(12, 1, 2월) 기간 동안 남반구의 복사에너지 과잉이 여름(6, 7, 8월) 기간 동안 북반구의 복사에너지 과잉보다 최대점이 높은 것은 1월 태양 간 거리가 가장 가깝고 남반구 해양의 알베도가 낮기 때문임.
- ③ 극-적도 간 복사에너지 분포의 불균형을 바로 잡기 위해 적도에서 극지방으로 에너지 수송이 이루어져야 함.

## 복사수지

- 지구와 지구대기가 태양에너지를 우주로 방출하는 것보다 더 많이 흡수하면 지구는 따뜻해지고, 지구와 지구시스템이 태양으로부터 받는 것보다 더 많이 방출하면 지구는 차가워짐.  
- 흡수된 에너지와 방출된 에너지가 균형을 이루면서 변하지 않는 상태를 복사평형이라고 함.



<지구-대기권의 에너지수지>

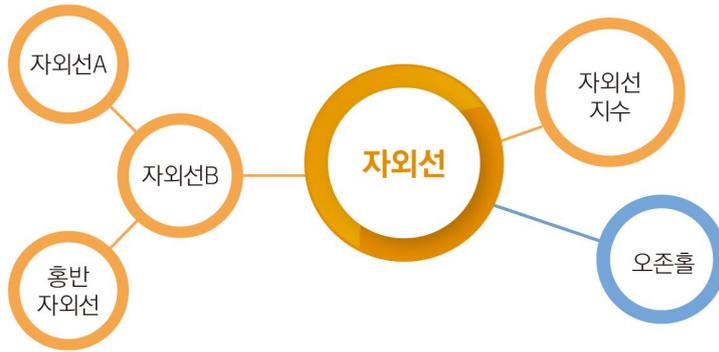
\* 지구 전체로 볼 때 태양에너지의 70%는 흡수하고 30%는 반사함. 대기 중에서 19%를 흡수하고 지표면에서는 51%를 흡수하여 다시 적외선복사의 형태로 우주공간으로 방출.



# 자외선

## 나들이 필수정보, '자외선지수'

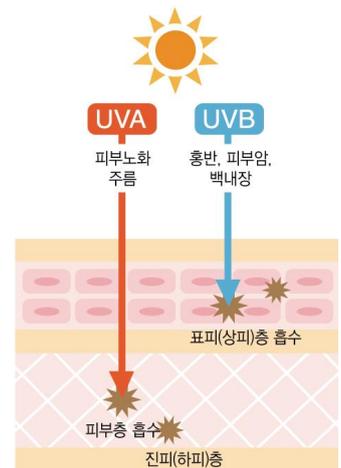
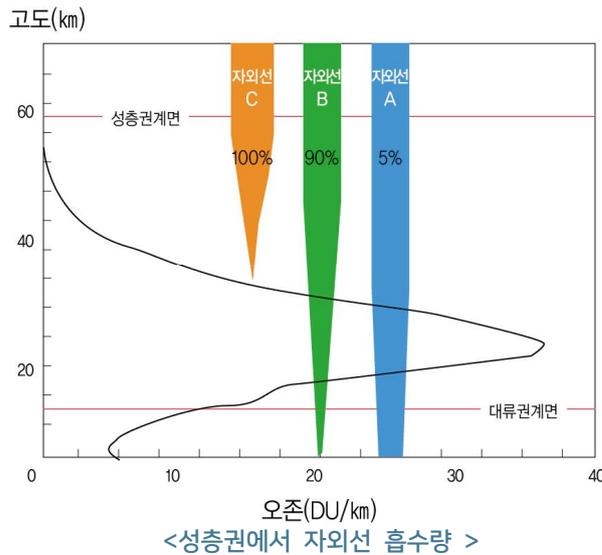
자외선은 태양광선 중 지구대기에 도달하면서 인체에 생물학적 반응을 일으켜 세계보건기구가 1급 발암물질로 지정하고 있다. 파장이 가장 긴 자외선A는 인체의 피부 깊숙이 침투하여 피부노화에 영향을 준다. 그 보다 파장이 짧은 자외선B는 피부, 눈 등에 부정적인 영향이 있지만 체내에 필요한 비타민D를 80%가량 피부 내에서 합성시켜주는 좋은 자외선이기도 하다. 자외선의 긍정적인 효과와 부정적인 효과를 제대로 파악하여 자외선지수 정보를 매일 활용해 보자.



- 자외선** **연관어**
- 자외선A
  - 자외선B
  - 홍반자외선
  - 자외선지수

### 자외선

- 자외선복사의 파장 영역은 100~400nm<sup>9</sup>이며, 이는 자외선A(320~400nm), 자외선B(280~320nm), 자외선C(100~280nm)로 분류된다.
- 자외선복사는 복사파장, 태양천정각, 오존 및 기타 미량가스, 구름, 에어로졸 등에 영향을 받는다. 따라서 자외선복사의 변화폭은 매우 크다.
- 오존변화는 자외선에 영향을 끼치며 특히 파장이 짧은 영역에서 변화가 커 오존층 감소에 따라 그 복사량 증가가 우려되면서 기후환경에 중요한 문제가 되고 있다.



<자외선A와 자외선B의 피부 침투 정도>

\* 태양의 자외선은 자외선A, B, C로 구별되며, 성층권 오존층을 통과하면서 자외선C는 모두 흡수되고, 자외선B는 10%만이, 자외선A는 90% 이상이 지표에 도달.

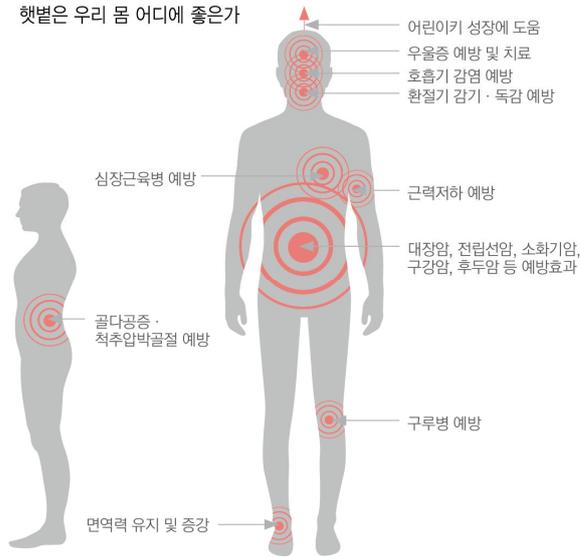
<sup>9</sup> 1nm = 10억분의 1 미터  
= 10<sup>-9</sup>m

**자외선A**

- 320~400nm 파장 영역으로 90% 이상이 지표에 도달. 생물에 큰 영향은 없으나 파장이 길어 유리창을 통과하고 장기간 노출 시 주름과 피부노화에 영향을 줌.

**자외선B**

- 280~320nm 파장 영역으로 10% 미만이 지표에 도달. 오존층 농도에 따라 지표에 도달하는 복사량은 차이가 있고 맑은 날 태양 남중시간에 정점을 보임.  
- 에너지가 강해 장기간 노출 시 피부암, 백내장 등을 유발하나 체내에 필요한 비타민D를 합성하여 건강에 도움을 주기도 함.



① 자외선B의 긍정적인 효과

: 체내에 필요한 비타민D를 80% 가량을 피부 내에서 합성하여 비타민D 부족으로 야기되는 질병 예방에 도움.

② 비타민D의 효능

: 뼈 성장과 건강에 필요한 칼슘과 인의 흡수를 돕고 다양한 화학반응을 유도 (우리나라 남성 87%, 여성 93%가 비타민 D 부족/보건복지부 통계).

<자외선B의 긍정적인 효과와 비타민D의 효능>

**홍반자외선**

- 태양에 노출되었을 때 피부홍반(강한 햇빛에 오래 노출되어 피부가 붉어지는 반응으로 주로 자외선B 복사에 의해 나타남)을 강하게 발생시키는 영역인 250~300nm의 자외선C와 B영역에 높은 가중값을 주고 300nm부터 400nm까지 감소하도록 반영된 자외선 복사를 말함.

**자외선지수**

- 태양고도가 최대인 남중시각 때 지표에 도달하는 자외선 영역의 복사량을 지수식으로 환산한 것을 말함.  
- 자외선으로 인해 우리 몸의 피부가 얼마만큼 위험할 수 있는가 하는 정도를 숫자로 나타낸 것으로 위험, 매우높음, 높음, 보통, 낮음 5단계로 제공되며, 숫자가 높을수록 위험함.



<자외선지수 관측자료>

단계	활동요령
위험 (11이상)	햇빛에 노출 시 수십 분 이내에도 피부 화상을 입을 수 있어 가장 위험함. 가능한 실내에 머물러야 함. 외출 시에는 긴 소매 옷을 입고 모자와 선글라스를 쓰며 자외선 차단제를 정기적으로 발라야 함.
매우 높음 (8~10)	햇빛에 노출 시 수십 분 이내에도 피부 화상을 입을 수 있어 매우 위험함. 햇빛이 강한 오전 10시부터 오후 3시까지 외출을 피하고 실내나 그늘에 머물러야 함. 외출 시에는 긴 소매 옷을 입고 모자와 선글라스를 쓰며 자외선 차단제를 정기적으로 발라야 함.
높음 (6~7)	햇빛에 노출 시 1~2시간 내에도 피부 화상을 입을 수 있어 위험함. 원뿔에는 그늘에 머물러야 함. 외출 시에는 긴 소매 옷을 입고 모자와 선글라스를 쓰며 자외선 차단제를 정기적으로 발라야 함.
보통 (3~5)	2~3시간 내에 햇빛에 노출 시에도 피부 화상을 입을 수 있음. 모자와 선글라스를 쓰며 자외선 차단제를 발라야 함.
낮음 (2이하)	햇빛 노출에 대한 보호조치가 필요하지 않음. 그러나 햇빛에 민감한 피부를 가진 분은 자외선 차단제를 발라야 함.

<자외선지수의 단계별 주의사항>

## 오존층

### 오존의 두얼굴

성층권오존은 태양에서 방출되는 유해한 자외선복사를 다량 흡수한다. 이 같은 유익한 역할로 성층권 오존은 좋은 오존으로 불린다. 반면 지표면에서 인위적으로 형성된 오염원 가스의 화학반응으로 형성된 오존은 인간과 동식물에 해롭기 때문에 나쁜 오존으로 간주된다.

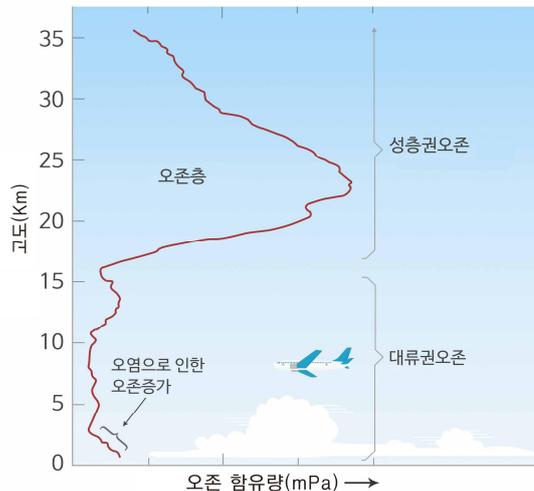


#### 오존층 관련어

- 성층권오존
- 오존전량
- 오존홀
- 오존단위
- 오존두께
- 오존연직분포
- 오존층파괴
- 프레온가스
- 프레온가스 대체물질
- 할로카본
- 오존주의보

### 오존층

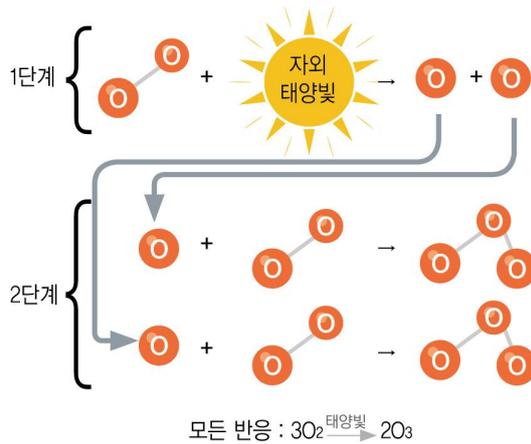
- 지구대기에 존재하는 오존의 약 90%는 지표 위 10km(극지역)~16km(열대지역)이상에서 50km까지의 성층권에 존재하며 나머지 약 10%의 오존은 지표에서 성층권 하부지역에 위치한 대류권에 존재한다.
- 성층권은 대류권 상층부로부터 약 50km 고도까지는 기온이 계속 상승하여 약 50km 고도에서 0℃의 기온을 나타내는 안정한 대기층으로 주로 분자 확산에 의해 기체의 이동이 이루어진다. 성층권 내에서도 20~25km 사이의 오존이 밀집되어 있는데 이 층을 오존층이라 한다.
- 오존층은 태양으로부터의 자외선 복사를 흡수하여 자외선의 대부분을 지표면에 도달하기 전에 막아주는 보호막 역할을 한다.



<대기의 오존분포(Fahey, D. W., 2002)>

## 성층권의 오존

- 성층권 오존은 대기 중 21%를 차지하는 산소 분자가 태양 자외선복사와 화학반응을 일으켜 자연적으로 형성됨. 이 화학반응들은 성층권에 태양복사가 존재할 때 발생하며 열대지방의 성층권에서 오존이 가장 많이 생성됨.
- 성층권의 오존 생성은 화학반응으로 파괴되는 오존에 의해 균형을 이룸. 성층권의 오존 일부는 바람에 의해 대류권에 수송되어 내려오고 때때로 지표면의 오존량, 특히 지구상에서 오염이 되지 않은 외딴 지역의 오존량에 영향을 미칠 수 있음.
- 성층권 오존은 태양빛뿐 아니라 다양한 자연·인위적 화학물질과 지속적으로 반응을 일으키는데 오존을 파괴하는 주요 반응성 가스는 산화수소와 산화질소, 그리고 염소와 브롬이 함유된 반응성 가스가 있음.

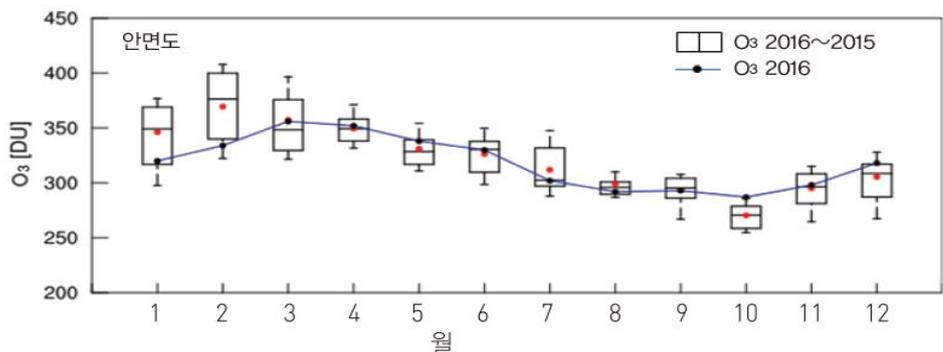


- 성층권 오존은 2단계의 반응과정을 거쳐 자연적으로 생성.
- 첫 단계에서, 산소 분자 1개가 태양 자외선 복사(태양빛)에 의해 해리되어 산소 원자 2개(O)로 분리됨.
- 두 번째 단계에서, 각각의 원자는 다른 산소 분자와 결합 충돌을 일으켜 오존 분자 하나를 생성.
- 전 과정을 통해 산소 분자 3개가 태양빛과 반응해 오존 분자 2개를 생성.

### <성층권 오존의 생성>

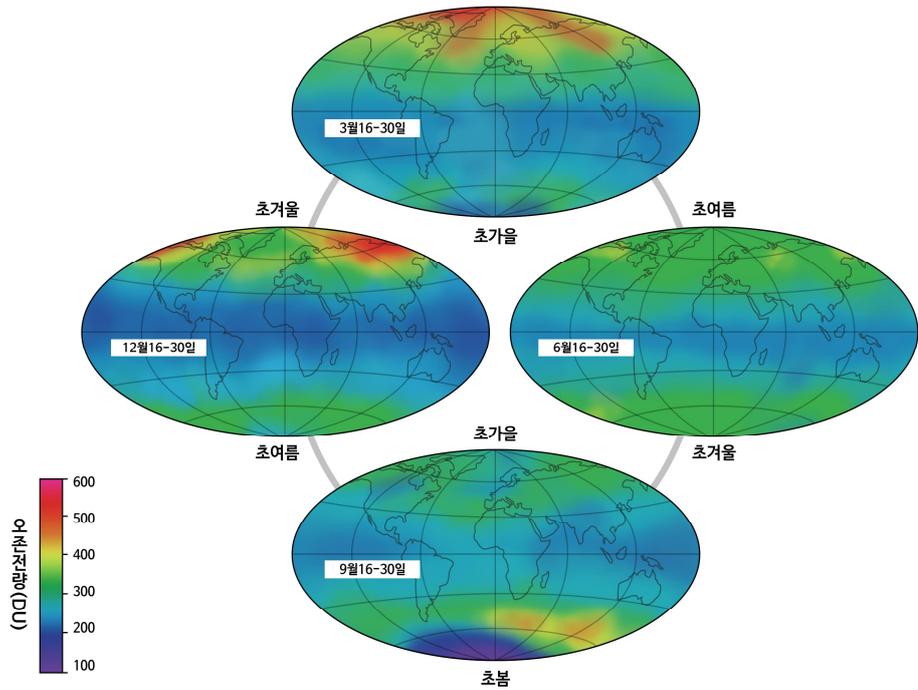
## 오존전량

- 오존전량은 지상 어느 위치든 그 위치 상공에 존재하는 오존분자의 총량으로 정의되며, 위도, 경도, 계절에 따라 달라짐.
- (지구분포) 태양자외선 복사에 의한 오존 생성 비율이 열대지방에서 최댓값을 보이며 성층권 내 공기 대순환으로 열대지방 오존이 극지방으로 서서히 수송되기 때문에 고위도와 중위도에서 최댓값을 보임.
- (계절분포) 늦가을과 겨울동안 열대지방에서 극지방으로 오존 수송이 증가하여 오존전량은 봄철 고위도에서 최댓값을 가짐.



<안면도 기후변화감시소의 2016년 월평균 오존전량 분포>

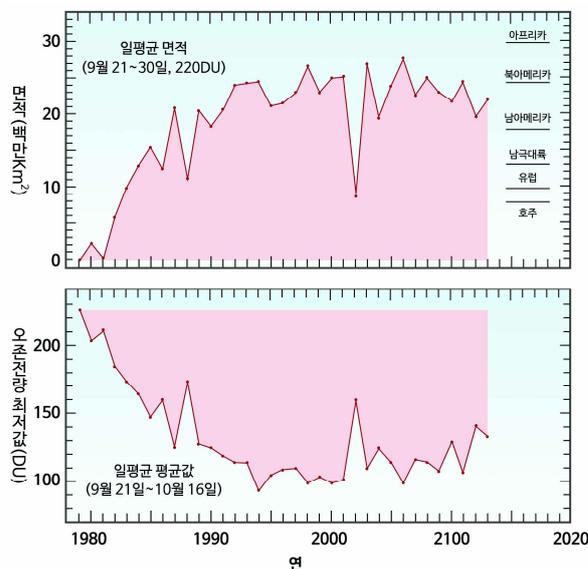
- 2016년 안면도에서 관측된 오존전량 최댓값은 3월 27일 433DU이고, 계절변동을 보면 2~4월까지 크고 10월에 가장 낮은 분포를 보임.



- 고위도에서 최댓값을 갖고 열대지방에서 최솟값을 가짐. 위 그림은 2009년에 위성으로 측정한 오존의 2주 평균 값을 이용해 계절 변동을 나타낸 것으로 열대지방(북위 20°~남위 20°)은 모든 계절에 오존전량에 변화가 거의 없지만 오존함유량이 높은 공기가 열대지방으로부터 이동해 고위도에 축적되기 때문에 열대지방 외의 지역의 오존전량은 일별부터 계절별 기간에 따라 크게 달라짐.
- 2009년 9월, 남극의 오존전량 값이 낮아 오존홀이 형성되었으며 1980년대부터 늦겨울과 초봄에 나타나는 오존홀은 모든 계절과 위도를 통틀어 오존전량이 최솟값을 가짐.

**오존홀**

- 남극대륙의 늦겨울에서 초봄 사이에 성층권 오존층이 심각하게 파괴된 영역을 오존홀이라고 함.
- 오존전량이 220DU보다 낮은 영역을 의미하며, 남극 극소용돌이에서 제트기류가 강화되는 8~12월 사이에 오존홀이 생기며, 주로 남극 봄인 9~10월에 최대면적을 보임.



※ 남극대륙에만 오존홀이 발생하는 이유

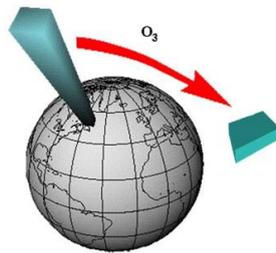
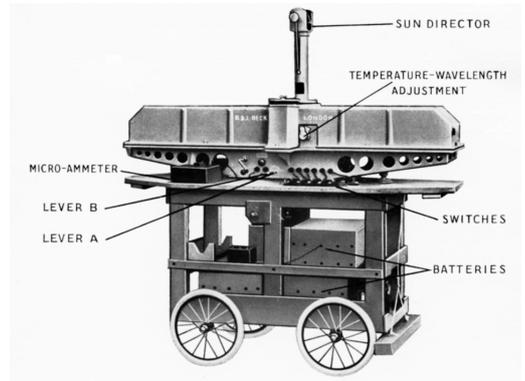
- 지구상 남극에만 존재하는 특수한 대기화학적 환경 때문.
- 남극 성층권의 겨울철 극저온은 극성층권구름을 형성하고 그 구름에서 발생하는 특수한 화학반응과 극지방성층권의 상대적인 대기 분리현상이 결합되면서 염소와 브롬은 봄철 남극대륙에서 오존홀을 생성하는 화학반응을 일으킴.

**돋슨단위(DU)**

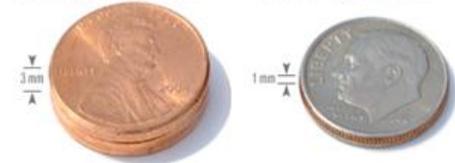
- 옥스포드대 Gordon Dobson이 개발한 단위로 단위 면적의 기둥에 포함된 미량 가스를 0°C와 1기압 상태에서 압축했을 때 높이를 말함.
- 1DU는 표준상태에서 압축했을 때의 물리적 두께로 0.01mm 로 정의됨.



G. M. B. Dobson(1889-1976)



Global Average Ozone: 300 DU=3 mm      Ozone Hole Average: 100 DU=1 mm



1 DU = 0.01 mm  
 300 DU = 3 mm  
 지구대기 오존200~500 DU 분포

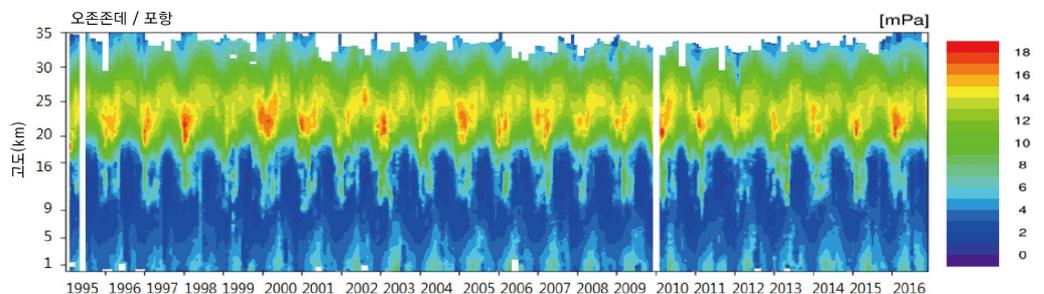
<돋슨단위의 이해>

**오존두께**

- 대기 중 오존의 낮은 상대적 함유량을 보여주기 위해 대류권과 성층권에 있는 오존을 모두 모아 지표면으로 가져왔을 때 두께를 의미함.
- 이 오존 분자들을 지구 전체에 균일하게 분포시켜 얇은 기체층을 만든다고 가정했을 때, 순수한 오존층의 평균 두께는 약 3mm임.

**오존연직분포**

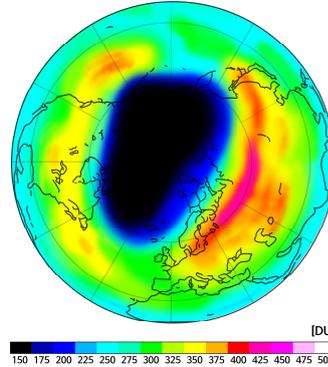
- 연직 공기기둥에 존재하는 각 층의 오존정보로 오존 생성의 광화학과정에 의해 결정됨.
- 오존은 성층권에서 주로 생성이 이루어진 후, 대류권으로 수송되어 소멸되고 있으며, 이러한 특성 상 오존농도는 하부성층권에서 최대로 나타나며, 대류권에서는 대체적으로 균일한 농도를 보이고 있음.



<포항지역의 오존농도 연직분포(1995~2016년)>

## 오존층 파괴

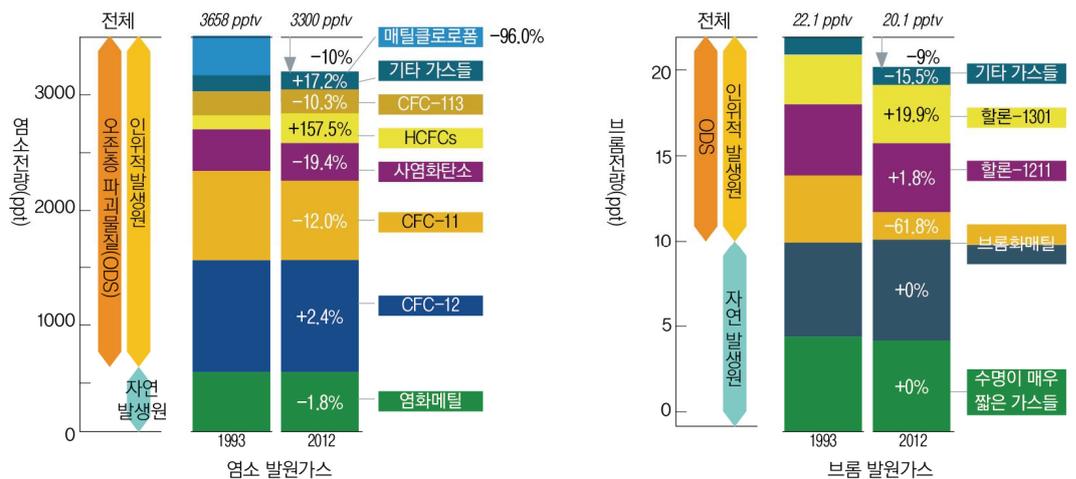
- 성층권 오존은 태양 자외선과 산소 분자가 포함된 화학반응으로 자연적으로 생성됨.
- 오존은 성층권에서 다양한 자연적인 요소와 인간이 만들어 낸 화학 성분에 끊임없이 반응하며, 각 반응에서 오존 분자를 잃어버리고 다른 화학 성분이 생성됨.
- 염소와 브롬을 포함하는 중요한 반응 가스는 오존을 파괴함.



<오존홀(ozone hole)의 예(2006년 9월25일, 남극상공)>

### ※ 오존층 파괴물질

- 몬트리올의정서에 의거하여 세계적으로 규제되는 인위적인 할로겐 발원가스임.
- 이 기체들은 염소와 브롬원자를 성층권으로 유입시켜 오존을 파괴하는 화학반응을 일으킴.
- 한때 거의 모든 냉장고와 에어컨 냉매제로 사용되었던 염화불화탄소와 소화기에 사용되었던 할론이 대표적인 예임.



## 프레온가스

- 염화불화탄소(CFCs)는 오존층 파괴물질로 지구온난화를 일으키는 온실가스의 일종.

## 프레온가스 대체물질

- 프레온가스의 대체물질은 수소불화탄소와 과불화탄소로 에어컨과 냉장고 등의 냉매로 쓰이며 온실가스에 해당함.

## 할로카본

- 메탄의 수소원자 전부를 할로겐 원자로 치환한 것으로 메탄보다 탄소원자 수가 많은 탄화수소의 과할로겐 치환체의 총칭으로 사용됨.
- 대기 속에 방출된 인공 할로카본류는 안정하기 때문에 그대로 대류권에 축적되어 있다가 성층권으로 퍼져, 태양 자외선 분해로 생기는 염소원자가 오존층을 파괴함.

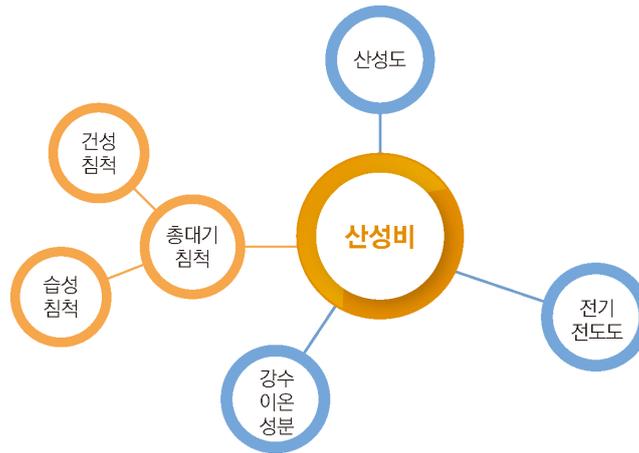
### 오존주의보

- 지표 오존은 일상생활에서 배출되는 자동차의 배기가스, 스프레이, 공장매연, 질소산화물 등이 태양빛을 받아 광화학 반응을 일으키면 오존 농도가 높아지게 됨.
- 오존이 적당량 존재할 경우 강력한 산화력으로 살균, 탈취작용을 함. 그러나 오존 농도가 일정 기준이상 높아지면 호흡기나 눈이 자극을 받아 기침이 나고 눈이 따끔거릴 수 있으며 심할 경우 폐기능 저하 등 인체에 피해를 줄 수 있음.
- 대기 중 오존 농도가 1시간 평균 0.12ppm 이상 일 때 오존주의보가 발표됨.

## 산성비

### '새콤한 비'가 무섭다?

서울 종로 탑골공원에 가면 유리 보호각에 들어 있는 원각사지 심종석탑(圓覺寺址 十層石塔)을 볼 수 있다. 이 탑을 유리 보호각에 넣은 이유는 여러이지만, 그 중 하나가 산성비로 대리석이 부식되는 것을 막기 위해서라고 한다. 서부 유럽에서는 산성비로 훼손된 문화재를 많이 볼 수 있는데 흔히 대리석으로 만들어진 유적의 피해가 크다고 한다. 일반적으로 pH 5.6 이하의 비를 산성비라고 정의하는데, 이 때 pH는 용액 중 수소이온 농도의 음의 대수 값으로 나타낸다. 산성비는 1960~1970년대 유럽과 북동 아메리카 지역에서 주요한 환경문제로 대두되었다. 산성비의 피해는 문화재나 건물의 부식, 토양이나 호수의 산성화, 산림의 파괴 등으로 다양하고 넓게 발생한다.



#### 산성비 연관어

- 건성침적
- 습성침적
- 총대기침적
- 산성도
- 전기전도도
- 강수이온성분

### 산성비

- 산성비란 말 그대로 산성을 띤 빗물로, 빗물의 pH가 정상(5.6)보다 낮을 때를 말하며, 자연 상태에서 오염되지 않은 빗물은 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)가 빗물에 녹아 있고 이때 수소이온의 물 농도는 pH 5.6이다.

$$pH = -\log[H^+] = 5.6$$

- 대기 중 이산화황(SO<sub>2</sub>)과 질소산화물(NOx) 등이 물과 반응하여 황산과 질산 등의 산성 물질이 되고, 빗방울과 섞여 지면으로 떨어진다.



<1970년>

<독일 중부 침엽수림의 변화>



<1985년>



<1980~1990년대>

<유럽지역 산림파괴>

**건성침적**

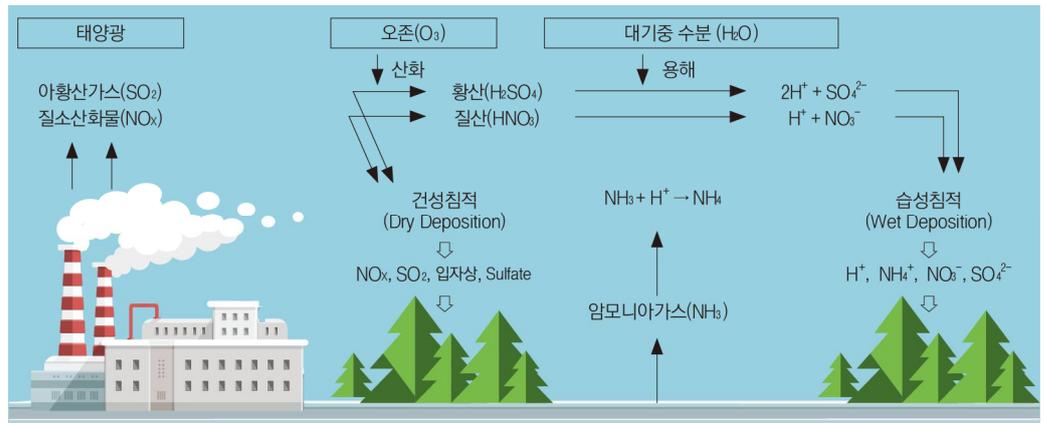
- 대기 중의 어떤 물질이 확산, 흡착, 충돌, 중력낙하 등에 의해 지면에 도달하는 과정.

**습성침적**

- 대기 중에 부유하는 기체나 입자상 물질이 눈이나 비로 지면에 도달하는 과정.

**총대기침적**

- 세계기상기구(WMO) 지구대기감시(GAW) 프로그램의 한 분야인 총대기침적은 습성 및 건성 침적의 조성을 파악하는 것으로 산성화, 부영양화, 스모그, 기후변화 등의 원인과 영향을 이해하는 데 중요함.
- 건성침적과 습성침적 모두를 말하며, 생태계나 건강에 미치는 영향을 평가하기 위하여 두 가지 모두 중요함.



<산성화 생성 과정>

**산성도**

- 강염기를 중화시킬 수 있는 수용액의 세기로, 수용액에 포함된 수소이온의 농도를 지수로 계산한 pH로 표현함. pH가 작을수록 산성도가 강하고, pH가 클수록 산성도가 약해짐.

\* 산 : 물에 녹아 수소이온(H<sup>+</sup>)을 내는 물질 / 염기 : 수산화이온(OH<sup>-</sup>)을 내는 물질



**전기전도도**

- 물질이나 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도로, 수용액에 용해된 염분의 농도를 평가할 수 있는 지표임.

## 강수이온성분

- 강수에 포함된 주요 수용성 이온 9종( $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ).

### 강수시료 채취

당일 09시부터 익일 09시까지



강수자동채수기

강수시료(Wet)

산성도(pH),  
전기전도도 측정

필터링

표준용액제조  
(11단계)

이온성분 분석  
(9종)

분석결과검증(QA/QC)

분석결과(DB)

### 산성도(pH), 전기전도도 측정

강수시료의 산성도 및 전기전도도 측정



산성도측정기 전기전도도측정기

### 이온성분 분석(9종)

[ $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ]



이온크로마토그래피(IC)

### 분석결과 검증

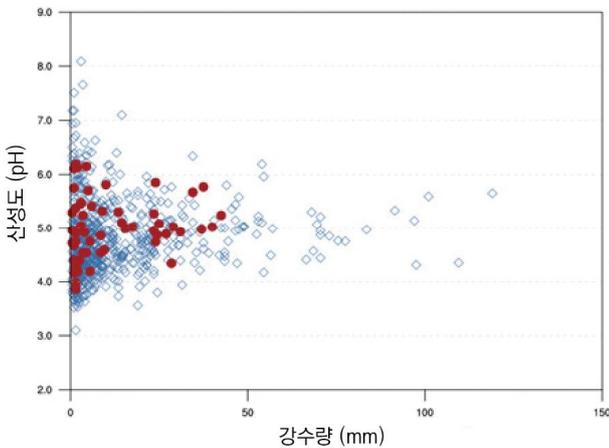
이온 균형 전기전도도 균형

ION BALANCE		CONDUCTIVITY BALANCE	
Ion Difference (%) = $\frac{(E_1 - E_2)}{(E_1 + E_2)} \times 100$		Conductivity Difference (%) = $\frac{(EC_1 - EC_2)}{(EC_1 + EC_2)} \times 100$	
$(E_1 - E_2) \leq 1.0\%$ $(E_1 + E_2) \geq 1.0\%$ (E: Actual Conductivity) (E: Measured Conductivity)		$(EC_1 - EC_2) \leq 1.0\%$ $(EC_1 + EC_2) \geq 1.0\%$ (EC <sub>1</sub> : Measured Conductivity) (EC <sub>2</sub> : Calculated Conductivity)	
*Required values for the ion balance (E1+E2) > 1.0%    Ion Difference < 1.0%		*Required values for the conductivity balance (EC1+EC2) > 1.0%    Conductivity Difference < 1.0%	

### \* 측정요소

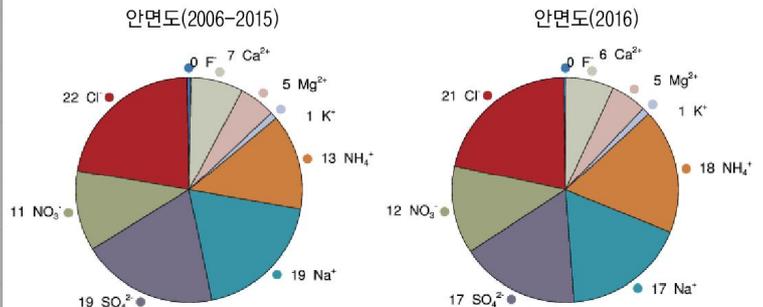
산성도 (pH), 전기전도도(Conductivity), 불소( $F^-$ ), 황산염( $SO_4^{2-}$ ), 질산염( $NO_3^-$ ), 염화물( $Cl^-$ ), 암모늄( $NH_4^+$ ), 나트륨( $Na^+$ ), 칼륨( $K^+$ ), 마그네슘( $Mg^{2+}$ ) 및 칼슘( $Ca^{2+}$ )

### <강수화학 시료채취 및 분석절차>



<안면도의 강수량에 따른 산성도 분포>

출처 : 2016 지구대기감시 보고서

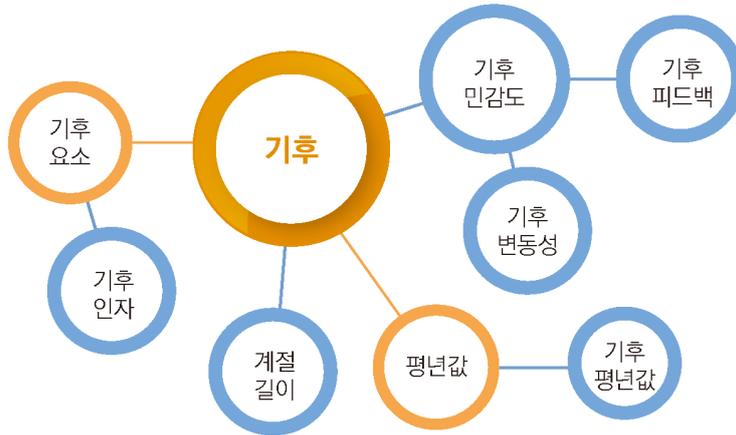


<2006~2015년, 2016년 강수의 이온성분 비율>

# 기후

## 대기현상과 기후는 같은 것이 아닌가요?

대기현상은 지구를 둘러싸고 있는 대기의 규칙적인 일변화 및 연변화 현상과 일시적으로 불규칙한 현상과의 복합적인 현상이다. 기후의 일년주기를 기후년이라고 한다. 기후란 이들의 대기현상이 시간적, 공간적으로 일반화된 것을 말한다. 바꾸어 말하면, 가장 출현확률이 높은 대기의 종합상태를 말한다. 기후도 기상도 모두 같은 대기현상이므로 많은 공통점을 가지고 있으나, 기후는 장기간의 대기현상을 종합한 것이고, 기상은 시시각각으로 변하는 순간적인 대기현상을 가리킨다.



- 기후** **연관어**
- 기후요소
  - 기후인자
  - 기후민감도
  - 기후변동성
  - 기후피드백
  - 평년값
  - 기후평년값
  - 계절길이

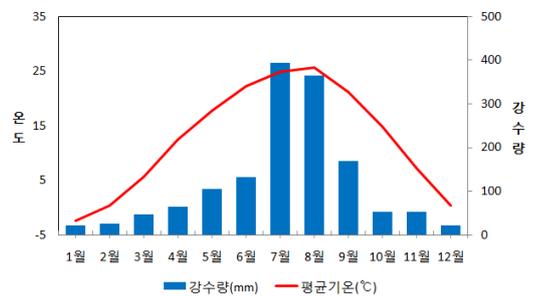
## 기후

- 좁은 의미에서의 기후는 대개 "평균 상태의 대기"로 정의하거나, 또는 좀 더 엄격하게 수개월에서 수천 년 또는 수백만 년의 기간 동안 관련되는 기후요소의 평균과 평균으로부터의 변동을 사용하여 통계적으로 기술하여 정의한다.
- 전형적인 주기는 세계기상기구에서 정의한 바와 같이 30년이다. 이러한 양들은 대개 온도, 강수량 및 바람과 같은 지상 요소들인 경우가 많다. 넓은 의미에서의 기후란 통계적인 기술을 포함하여 기후시스템의 상태를 말한다.

### 날씨

동네예보		서울특별시 동각구 신여말재1동		동네날기	도도영향기												
기온		이웃날기		2017년 12월 11일 (월)요일 15:30 발표													
시간	현재	16시 예보	17시 예보	18시 예보													
날씨/기온	☀️ -5°C	☀️ -6°C	☀️ -7°C	☁️ -8°C													
풍향/풍속	북서 3m/s	북서 3m/s	북서 3m/s	북서 4m/s													
습도	35%	35%	33%	40%													
(1시간)강수량	-	-	-	-													
*날씨 예보는 소단기예보에서만 제공됩니다.																	
2017년 12월 11일 (월)요일 14:00 발표																	
날씨	오늘 (11일 월)	내일 (12일 화)				모래 (13일 수)											
시각	18 21 24 03 06 09 12 15 18 21 24 03 06 09 12 15 18 21 00																
날씨	☀️	☀️				☀️											
강수확률(%)	0	0				0											
강수량(mm)	-	-				-											
최저/최고(°C)	-	-11/-6				-10/-3											
기온(°C)	-8	-8	-9	-10	-11	-10	-7	-6	-7	-8	-9	-9	-6	-4	-5	-7	
풍향/풍속	북서 4	북서 3	북서 3	북서 3	북서 3	북서 4	북서 4	북서 3	북서 2	북서 3	북서 3	북서 2	북서 3	북서 4	북서 3	북서 3	
습도(%)	40	45	45	45	45	30	25	35	40	50	45	45	40	20	15	25	40

### 기후



○ 30년 이상 특정지역의 날씨 평균

## 기후요소

- 매일 매일의 날씨
- 짧은 기간 기상·바람·눈·비·구름·서리
- 기후는 다양한 기후요소로 구성되는데, 온도, 강수량, 적설, 풍향·풍속 등이 있음.
  - ※ 예 : "여름은 무덥고 비가 많다"에서 기후요소는 강수량, 기온임.

### 기후인자

- 기후요소의 시간적·공간적 차이를 가져오는 원인을 말하며, 위도, 수륙분포, 지형, 해류, 기압 등이 있음.

### 기후민감도

- 교란시키는 힘이 작용했을 때 나타나는 기후의 반응 강도를 말함. 기후 모델링에서는 매 개변수에 변화를 주었을 때 나타나는 모의결과의 차이로 정의하기도 함.  
- 기후변화과학 분야에서는 복사강제력이 변화할 때 나타나는 전지구 평균표면온도의 평형 변화로 정의하며, 때때로 이산화탄소의 농도 증가로 인해 초래되는 복사강제력 변화에 대한 기후반응으로 표현되기도 함.

### 기후변동성

- 기후시스템 속에서 대기권, 수권, 빙권, 생물권 및 지권의 각종 역학적, 물리적, 화학적 과정들이 복잡하게 얽혀 있고, 또 각 과정들 간의 반응속도가 크게 다르기 때문에 외부의 특별한 변화요인 없이도 기상과 기후는 계속 변하고 있음.  
- 기후는 느리게 변하는 경향이 있지만 보통 몇 달에서 수십 년에 걸쳐 기후변동 현상이 나타남.  
※ 예 : 적도 부근의 해수면온도는 몇 년 주기로 온난화와 냉각화가 번갈아 나타남.

### 기후피드백 = 기후되먹임

- 기후시스템내에 존재하는 각 과정들 사이에서 최초 과정의 결과가 두 번째 과정에 변화를 촉발하고 이 과정이 다시 최초의 과정에 번갈아 영향을 미칠 때 이러한 상호 작용 메커니즘을 기후되먹임이라고 부름.  
- 양의 되먹임은 원래의 과정을 증폭시키는 것을 말하며 음의 되먹임은 감소시키는 것을 말함.  
※ 예시  
① 양의 되먹임 : 지구온난화 → 반사도 높은 눈·빙하 녹음 → 햇빛 흡수 증가 → 온난화 가속  
② 음의 되먹임 : 지구온난화 → 수증기 증발량 증가 → 구름의 햇빛 반사 증가 → 햇빛 흡수 감소 → 온난화 감소(그러나 구름이 증가하는 경우 온실효과 증가로 양의 되먹임도 나타나서 구름 증가의 효과는 불확실함)

### 평년값

- 정해진 기간에 대해 표준으로 인식되는 기상요소의 평균값

### 기후평년값

- 1931~1960년, 1961~1990년, 1991~2020년 등과 같이 고정된 30년간의 누적 평균값을 "기후표준평년값"이라고 하며, 그 밖의 임의의 30년간의 누적평균값을 "기후평년값"이라고 함.  
- 세계기상기구에서는 "기후표준평년값"을 이용하도록 권고하고 있으나 최근 기후변화를 조사하려는 목적으로 각 나라에서 "기후평년값"을 산출하고 있음.

<서울의 월별 기온 기후평년값(1981~2010년)>

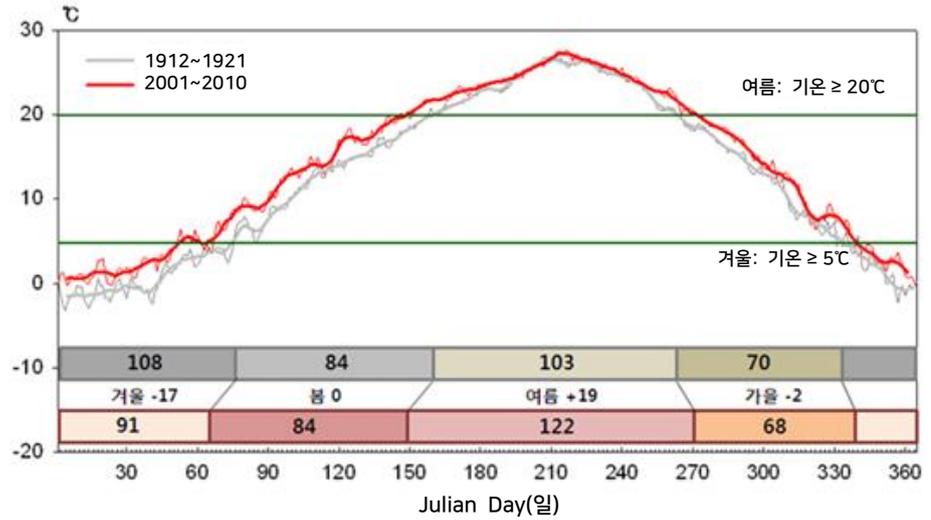
요소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평균 기온 (°C)	-2.4	0.4	5.7	12.5	17.8	22.2	24.9	25.7	21.2	14.8	7.2	0.4
최고 기온 (°C)	1.5	4.7	10.4	17.8	23	27.1	28.6	29.6	25.8	19.8	11.6	4.3
최저 기온 (°C)	-5.9	-3.4	1.6	7.8	13.2	18.2	21.9	22.4	17.2	10.3	3.2	-3.2
강수량 (mm)	20.8	25	47.2	64.5	105.9	133.2	394.7	364.2	169.3	51.8	52.5	21.5

### 계절길이

- 계절길이의 변화는 일평균기온을 9일 이동평균한 자료를 사용하며, 각 계절의 시작은 아래와 같이 정의함.  
(봄) 일평균 기온이 5°C 이상 올라간 후 다시 떨어지지 않는 첫날.  
(여름) 일평균 기온이 20°C 이상 올라간 후 다시 떨어지지 않는 첫날.  
(가을) 일평균 기온이 20°C 미만으로 내려간 후 다시 올라가지 않는 첫날.  
(겨울) 일평균 기온이 5°C 미만으로 내려간 후 다시 올라가지 않는 첫날.  
※ 계절구분은 단순히 3달 간격으로 나누는 방법, 천문학적 계절구분 등 다양하나 기상청은 기온임계치\*를 이용하여 계절일수를 발표함.  
\* 임계치 : 어떠한 물리현상이 갈라져 다르게 나타나기 시작하는 경계

<한반도의 계절 시작일>

	봄	여름	가을	겨울
1912~1921	3월 17일	6월 9일	9월 20일	11월 29일
2001~2010	3월 6일	5월 29일	9월 28일	12월 5일
차이(일)	-11	-11	+8	+6



<계절길이>

# 자연적인 기후변화 원인

## 지구 기후는 끊임없이 변화하고 있다

지구 기후는 인류가 세상에 나타나기 이전에도 끊임없이 변화하였다. 우리가 아는 고생대, 중생대 하는 지질연대를 나누는 기준은 지층에서 발견된 화석의 생물종이 급격히 달라지는 시기를 기준으로 한다. 생물종이 급격히 달라지는 시기를 생물 종의 멸종 시기라고 하는데 이는 지구 기후 변화와 밀접한 관계가 있음이 밝혀졌다. 이렇게 모든 생물의 생존에 영향을 미친 기후 변화는 무엇 때문일까?



### 자연적인 기후변화 원인 연관어

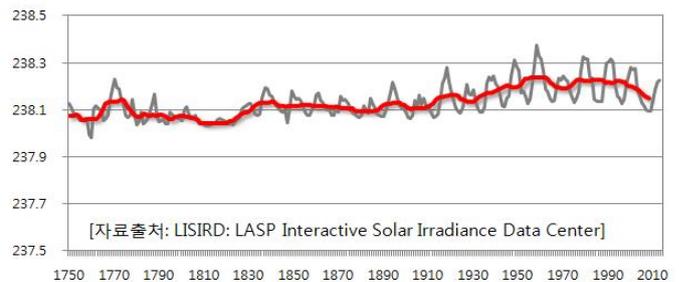
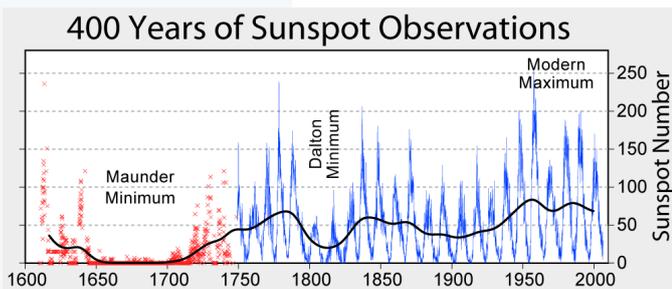
- 태양에너지 변화
- 밀란코비치 이론
- 화산활동
- 엘니뇨
- 북극진동

## 자연적인 기후변화 원인

- 지구 기후가 변하는 원인은 크게 자연적인 원인과 인위적인 원인으로 구분할 수 있다.
- 자연적인 원인으로는 태양 복사에너지 변화, 지구공전궤도 변화(밀란코비치 이론), 화산활동 또는 조산활동 등이 외부에서 가해지는 원인이며 내부에서는 기후시스템의 자연 변동성으로 인한 엘니뇨, 북극진동, 몬순(장마) 등과 대기 및 해양 순환의 변화가 원인이 된다.
- 인위적인 원인으로는 이산화탄소 등 온실가스 농도 증가와 에어로졸 농도 변화 등이 있으며 삼림훼손이나 토지이용도 변화 등 환경 변화 등이 포함된다.

### 태양에너지 변화

- 태양에너지는 수백만 년 이상 장기적인 별의 생애에 따른 에너지 변화뿐만 아니라 11년 주기의 흑점활동으로 인해 방출되는 에너지가 변함.
- 지구에 도달하는 에너지가 감소하면 지구의 기후가 추워지는데 15-18세기에 걸쳐 나타난 소빙기는 태양 흑점활동이 적었던 시기와 관련이 있음.

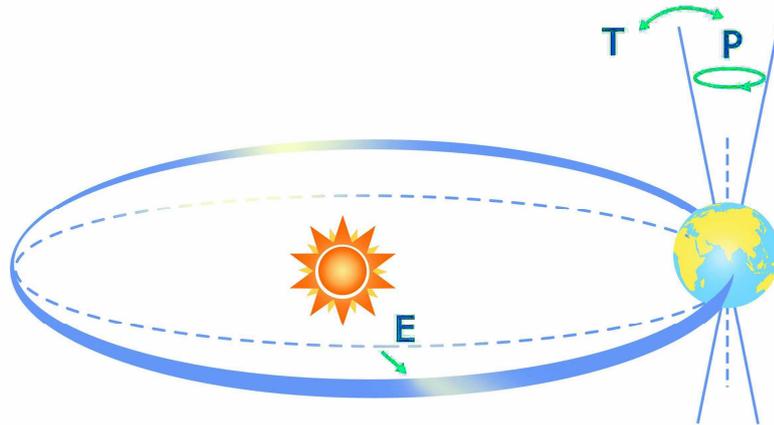


출처 : Robert A. Rohde, Global Warming Art Project.

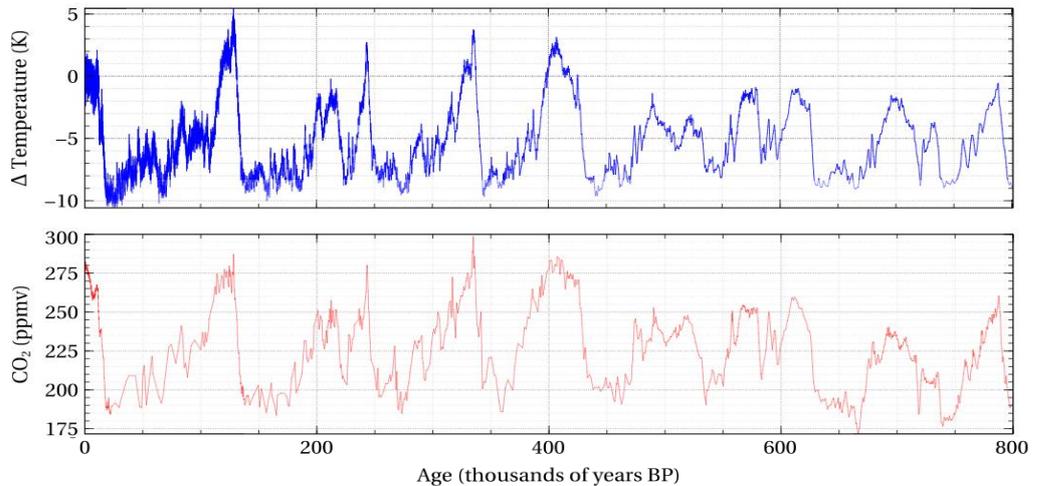
### <지표면에 도달하는 태양에너지>

**지구공전궤도 변화  
(밀란코비치 이론)**

- 지구공전궤도의 변화는 세르비아의 과학자 밀루틴 밀란코비치(1879~1958)가 지구 기후 변화를 설명하기 위해 최초로 제안. 지구가 자전과 공전을 함에 따라 지구 공전 궤도 이심률(E)과 자전축 경사(T)의 변화, 세차운동(P)에 따라 지구와 태양 사이의 거리가 달라지며, 도달하는 태양에너지 양도 달라지는데 이러한 태양에너지 변화가 지구 기후에 영향을 미친다는 이론임.
- 지구공전궤도의 변화 중 이심률은 대략 10만년, 41만년, 자전축 경사는 4만년, 세차운동 2만6천년 주기를 가지고 변하는데, 이에 따른 태양에너지 변화와 고기후 연구로 구한 지난 백만년 동안 빙하시대의 기후변화가 밀접한 관계를 보이는 것이 밝혀졌음.



빙하기 순환을 주도하는 지구궤도의 변화(밀란)



<남극 빙하코아의 80만년간 평균기온과 이산화탄소 농도 변화>

(출처: By Fabrice.Lambert, <https://commons.wikimedia.org>)

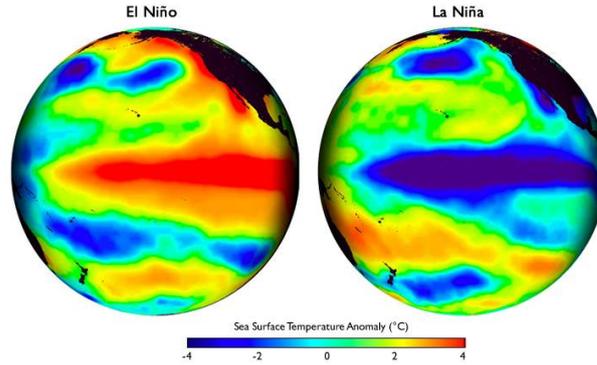
**화산활동**

- 화산활동으로 많은 양의 화산재가 방출되면 일부는 성층권에 도달하게 되어 수년간 머무르면서 태양복사를 반사하여 지표에 도달하는 태양에너지가 감소하여 냉각화되는 현상이 나타남.
- 1815년 인도네시아의 탐보라 화산이 폭발로 이듬해인 1816년에 유럽과 북미대륙에서 여름 기온이 매우 낮아서 '여름이 없는 해(Year without a summer)'라고 기록되었음.

**엘니뇨**

- 남미의 페루 연안에서 날짜변경선까지의 동태평양 적도 해역에서 해수면 온도가 평년에 비해 높아지는 현상으로 보통 한 번 나타나면 그 상태가 반년에서 1년 반 정도 계속됨. 수년에 한 번 꼴로 발생하며, 반대로 이 해역의 온도가 낮아지는 현상은 라니냐라고 함.

- 엘니뇨가 발생하면 페루에서는 호우, 인도네시아에서는 가뭄이 발생하는 등 지구 곳곳에서 이상기후가 발생함.

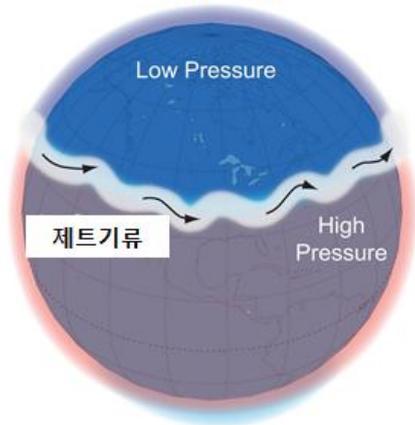


<엘니뇨(왼쪽)와 라니냐(오른쪽) 발생시 태평양 해수온도 편차>  
(출처: www.climate.gov)

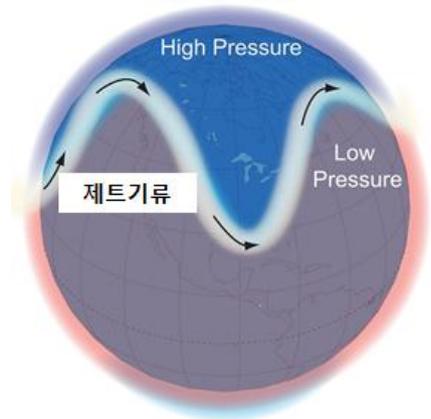
**북극진동**

- 북극에 존재하는 찬 공기의 소용돌이가 수십일 또는 수십년 주기로 강약을 되풀이하는 현상.
- 북극진동지수는 이를 지수화한 것으로 북극진동 지수가 양의 값일 경우 중위도 지역에 따뜻한 겨울이, 음의 값일 경우 추운 겨울이 나타남.

**양의 지수**



**음의 지수**



<북극진동>

※ 제트기류 : 제트기류는 대류권 상층의 편서풍 파동 내에서 가장 빠른 속도를 보이는 부분을 의미함. 세계기상기구는 제트기류를 '상부 대류권 또는 성층권에서 거의 수평축에 따라 집중적으로 부는 좁고 강한 기류이며 연직 또는 양측 방향으로 강한 바람의 풍속차를 갖는 하나 또는 둘 이상의 풍속극대가 있는 것'이라고 봄. 길이가 2,000~3,000km, 폭은 수백km, 두께는 수km의 강한 바람으로 제트기류에는 중위도 지방 상공 8~9km에서 발달하고 평균풍속이 40m/s 정도인 한대 제트기류와 위도 약 30° 부근의 고도 12~13km에서 발달하는 아열대 제트기류가 있음.

## 극한기후현상

### 기후변화는 기온만 상승시키는 것이 아니다?

흔히 기후변화로 지구 평균기온이 상승했다는 이야기를 많이 접하게 된다. 기후변화는 기온상승 뿐 아니라 극한기후현상의 빈도 증가에도 큰 몫을 하여 우리가 재해라고 생각하는 홍수나 폭염의 발생이 증가하게 된다. 즉, 그 지역의 평균적인 기후에서 통계적 기준 범위를 넘어선 현상의 발생이 증가하게 되는 것이다. 가령 100년만의 기록적인 폭우가 2~3년 내에 새로운 기록으로 경신되거나, 극한기후현상 중 하나인 폭염이나 한파의 연중발생일수가 늘어나는 것이다.



#### 극한기후현상 연관어

- 가뭄
- 홍수
- 폭염
- 한파

### 극한기후현상

- 통계적으로 상위 또는 하위 5%에 해당하는 기후요소에서 나타나는 현상을 의미하며, 전문가들은 그 원인을 자연변동성(엘니뇨 등)과 지구온난화로 보기도 한다.
- 21세기에 들어 극한기후현상이 더 강해지고 빈번히 발생하며 보다 광범위하게 나타나고 있다고 밝힌 바 있다(IPCC, 2007). 앞으로 경제발전과 우리의 지속가능한 삶은 극한기후 현상에 관련된 위험을 다루는 우리의 능력에 달려 있다고 할 수 있다.
  - ※ 이상기상 : 일반적으로 과거에 경험한 기상상태로부터 크게 차이가 나는 기상현상으로 세계기상기구에서는 월평균기온이나 월강수량이 30년에 1회 정도의 확률로 발생하는 기상현상이라고 정의하고 있음.
  - ※ 이상기후 : 기온, 강수량 등의 기후요소가 평년값에 비해 현저히 높거나 낮은 수치를 나타내는 극한 현상.



<가뭄>



<홍수>



<폭염>



<한파>

**가뭄**

- 어느 지역에서 일정기간 이상 평균 이하의 강수로 인해 강수량 부족이 장기화되는 현상으로 판단 기준에 의해 기상학적·수문학적·농업적·사회경제학적 가뭄으로 분류함.  
 (기상학적 가뭄) 일정기간 평균 강수량보다 적은 강수로 건조한 날이 지속되는 것.  
 (농업적 가뭄) 작물의 생육에 필요한 수분 부족이 지속되는 것.  
 (수문학적 가뭄) 전반적인 수자원 공급의 부족이 지속되는 것.  
 (사회경제학적 가뭄) 사회적으로 물의 수요가 증가하여 공급량을 초과하여 발생하는 농업·공업·활용수 등의 부족이 지속되는 것.

**집중호우**

- 짧은 시간 내에 많은 비가 오는 현상으로 일반적으로 한 시간에 30mm 이상이나 하루에 80mm 이상의 비가 내릴 때, 또는 연강수량의 10%에 상당하는 비가 하루에 내리는 정도를 말함. 지역의 기후에 따라 기준이 달라짐.

**홍수**

- 비가 많이 와서 사람들의 생활터전이 물에 잠겨 큰 피해를 입는 현상을 말함. 고산지역에서는 눈이 빠른 시간 내에 녹은 경우에도 발생하며 해안지방에서는 바닷물이 바람에 의해 높아져서 홍수가 발생하기도 함.

**폭염**

- 폭염은 매우 심한 더위로 인체에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 기상청은 일최고기온이 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 '폭염주의보'를, 일최고기온이 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 '폭염경보'를 발표함.

**한파**

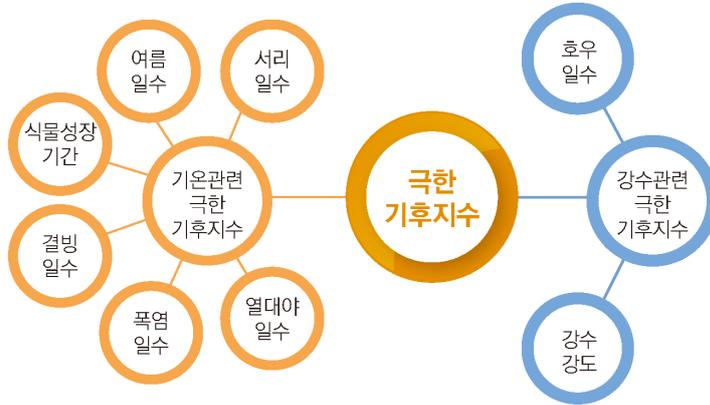
- 차가운 공기가 저위도로 하강하여 급격한 기온하강을 일으키는 현상으로 기상청은 이를 대비하기 위해 아래와 같이 특보를 발표함.

한파주의보	한파경보
① 아침 최저기온이 전날보다 10℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때	① 아침 최저기온이 전날보다 15℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때
② 아침 최저기온이 -12℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때	② 아침 최저기온이 -15℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때
③ 급격한 저온현상으로 중대한 피해가 예상될 때	③ 급격한 저온현상으로 광범위한 지역에서 중대한 피해가 예상될 때

# 극한기후지수

## 우리 동네의 열대야는 며칠이나 될까?

한여름 열대야는 숙면을 방해하여 만성피로를 야기하기도 한다. 열대야 뿐 아니라 한낮의 폭염으로 인한 사망자 관련 기사도 여름철 뉴스의 단골손님이다. 이러한 극한기후 현상이 어느 정도의 빈도로 출현하는지 정량화 시킨 것이 극한기후지수이다. 극한기후지수에는 여름에 흔히 나타나는 열대야일수와 폭염일수뿐 아니라 겨울의 한파일수, 결빙일수 등이 있고, 강수와 관련한 호우일수와 강수강도 등이 있다. 이 지수들은 우리가 극한기후에 적응하는데 도움을 주는 기초자료로 활용된다.



### 극한기후지수 연관어

- 서리일수
- 여름일수
- 결빙일수
- 열대야일수
- 폭염일수
- 식물성장기간
- 호우일수
- 강수강도

## 극한기후지수

- 극한기후는 폭염, 한파, 홍수 등 사회에 심각한 영향을 미친다. 극한기후를 정량적으로 파악하기 위해 세계기상기구 기준을 반영한 지수로서 열대야일수, 폭염일수, 호우일수 등이 있다.

### 서리일수

- 일최저기온이 0℃ 미만인 날의 연중 일수.

### 여름일수

- 일최고기온이 25℃ 이상인 날의 연중 일수.

### 결빙일수

- 일최고기온이 0℃ 미만인 날의 연중 일수.

### 열대야일수

- 일최저기온이 25℃ 이상인 날의 연중 일수.

### 폭염일수

- 일최고기온이 33℃이상인 날의 연중 일수.

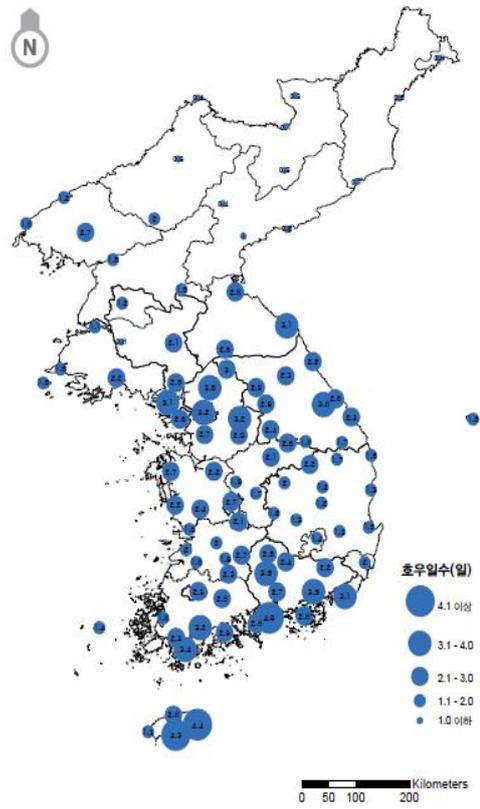
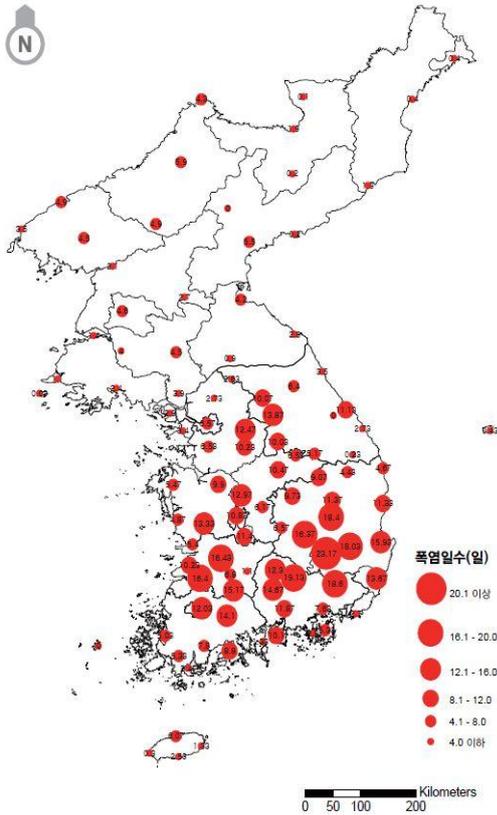
### 식물성장기간

- 일평균기온이 5℃ 보다 높은 날이 6일 이상 지속된 첫 날부터 일평균기온이 5℃ 미만인 날이 6일 이상 지속된 첫 날까지 사이의 연중 일수.

### 호우일수

- 일강수량이 80mm 이상인 날의 연중일수.

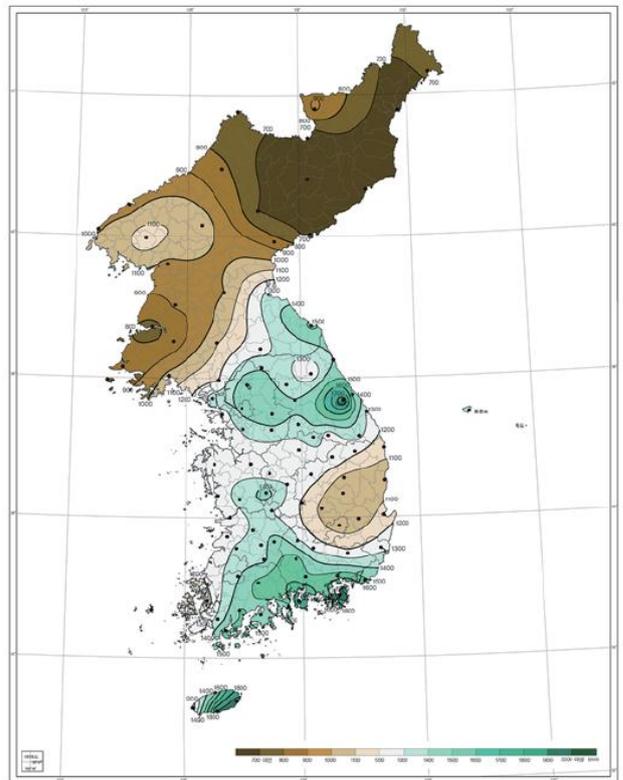
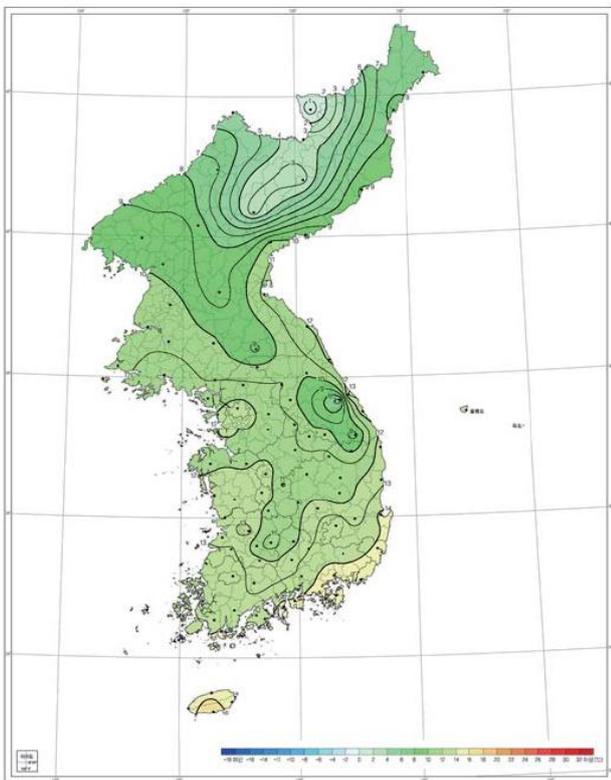
**강수강도** - 연중 습윤일수(일강수량이 1.0mm이상인 날)로 나누어진 연 총강수량.



<한반도 연평균 폭염일수의 공간분포(1981~2010년)>

<한반도 연평균 호우일수의 공간분포(1981~2010년)>

출처 : 한반도 기후변화 전망보고서(2012)



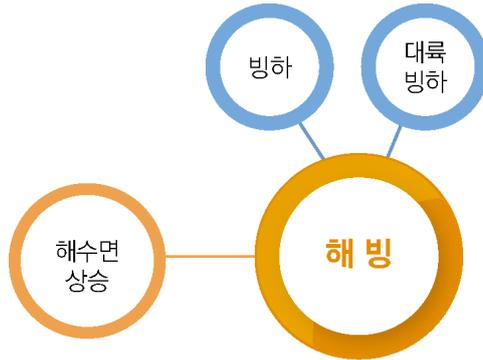
<한반도 연평균 기온 공간분포(1981~2010년)>

<한반도 연평균 강수량 공간분포(1981~2010년)>

# 해빙

## 북극곰의 터전을 지켜주세요.

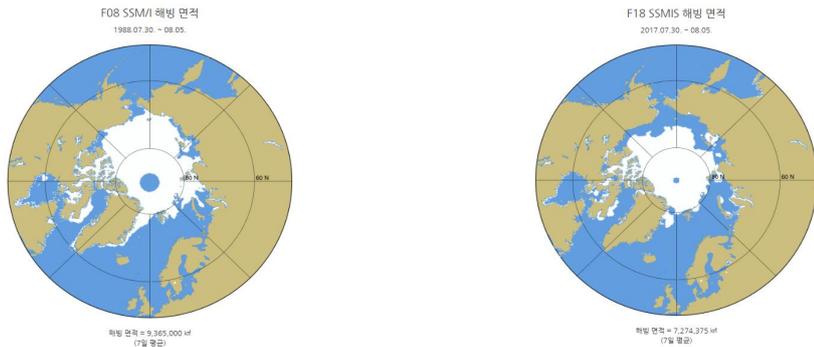
기후변화로 인해 북극의 기온이 올라가면서 빙하가 녹아 북극곰은 삶의 터전을 잃어가고 있다. 점점 줄어드는 해빙과 먹잇감의 감소로 인해 북극곰의 개체가 점점 줄고 있다. 북극곰에게 해빙은 바다표범을 사냥하고 영양분을 보충하는 곳으로 없어서는 안 되는 곳이다. 워싱턴 대학 연구팀은 지금과 같은 상태가 지속될 경우 2050년 쯤 북극곰은 6~7주정도 북극에서 해빙 없이 지내야 할 것으로 전망하였다. 얼음이 녹아있는 기간이 길면 갈수록 북극곰들은 육지를 찾기 위해 더 멀리 수영을 해야 한다. 해빙의 변화는 북극곰의 영양과 생산성, 개체 수에 많은 영향을 미칠 것으로 보인다.



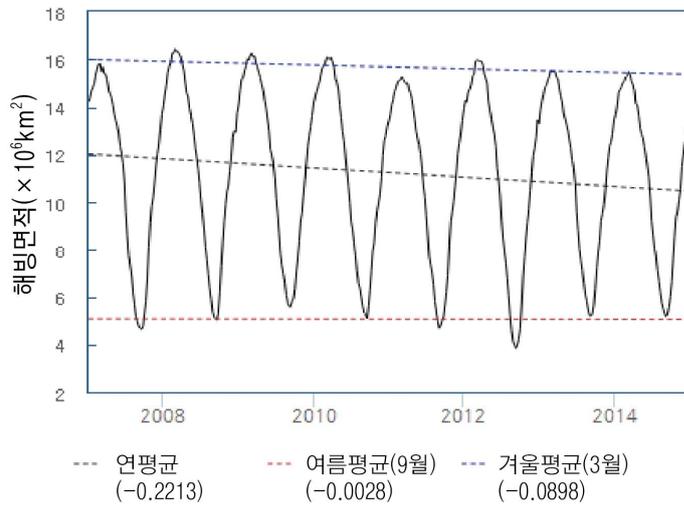
- 해빙** **연관어**
- 빙하
  - 대륙빙하
  - 해수면 상승

## 해빙

- 해빙은 광의의 뜻으로 바다에 떠 있는 얼음을 의미하지만 현상에 관계없이 바닷물이 얼어서 만들어진 얼음 덩어리를 말한다. 바닷물은 영하 1.7~영하 2.0°C에서 언다. 해빙은 모양과 상태에 따라 해안에서부터 얼기 시작하며 확대되는 얇고 평탄한 얼음이다. 북극해빙은 매년 태양고도의 변화에 따라 녹고 얼음을 반복하는 계절변동이 뚜렷하다.
- 고위도에 태양이 비추지 않는 겨울 동안 해빙은 지속적으로 증가하여 3월에 최대로 증가하였다가 태양이 뜨기 시작하는 봄부터 녹기 시작한다. 여름 동안 감소한 해빙은 9월에 최저 면적에 도달한 후 태양이 지는 시기와 함께 다시 증가하기 시작한다. 최근 지구온난화로 인해 여름철 해빙의 면적 감소가 급격히 진행되고 있다.
- 해빙이나 빙하면적이 줄어들면 태양에너지 반사율이 낮아지면서 주위의 온도가 올라가서 온난화가 빨라지는 얼음-반사도 효과(ice-albedo feedback)가 나타날 수 있다.



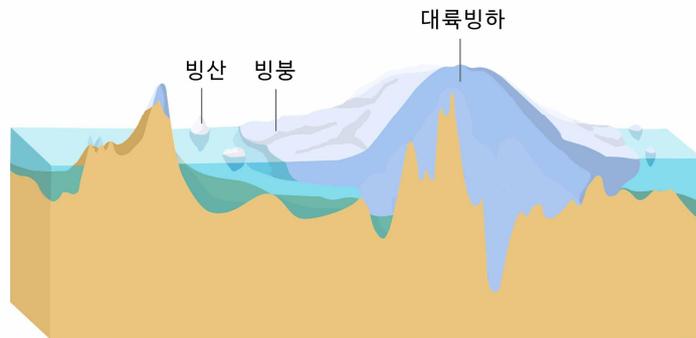
30년 간 북극 해빙의 면적 변화(좌 : 1988년 7월, 우 : 2017년 7월)



### <북극 해빙면적>

#### 빙하

- 압축된 눈이 오랫동안 쌓이고 다져져 육지의 일부를 덮고 있는 얼음층을 말함. 지구 육지 표면의 약 1/10은 빙하라고 불리는 얼음덩어리로 덮여 있지만 빙하는 기후변화에 따라 축소 또는 확대됨.
- 기온이 내려가고 강설량이 늘면 설선(만년설의 하한선을 나타내는 선)의 위치가 내려가고 빙하가 확대되지만, 기온이 상승하고 강설량이 줄면 설선의 위치가 올라가고 빙하가 축소됨. 기후변화로 인한 빙하의 확대와 축소 때문에 빙하는 나무의 나이테와 같은 층을 갖게 되며, 이러한 얼음층을 뚫어 빙핵(ice core)을 추출하여 얼음 속에 갇힌 공기, 꽃가루, 화학물질, 먼지 등을 통해 과거의 기후변화를 알 수 있음.



#### 대륙빙하

- 대륙에 넓게 분포하는 빙하를 의미함. 빙기에 유럽과 북미 대륙을 뒤덮었으며 현재는 그린란드와 남극대륙에만 분포하고 있음. 그린란드는 좁은 해안지대를 제외한 대부분의 지역이 대륙빙하로 덮여 있으며 남극대륙의 경우 전부 대륙빙하에 해당함.

#### 해수면 상승

- 바람 혹은 파도의 작용에 의해 해수면의 수위가 높아지는 현상을 말함. 최근 지구의 온도가 상승하면서 바닷물의 열팽창이 일어나고 대륙빙하가 녹게 되어 해수면 상승이 문제가 되고 있음. 극지방의 빙하 및 만년설이 녹게 되면 해수면이 상승하여 불어난 바닷물로 인해 섬나라나 저지대 해안도시는 물에 잠기게 됨. 다만 북극해빙은 녹더라도 해수면 상승에 거의 영향을 미치지 않음.

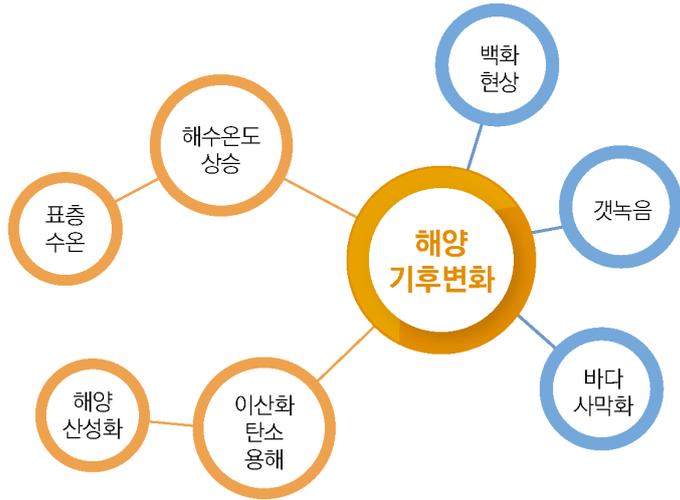
# 해양 기후변화

## 물로 가득한 바다에도 사막이 있다고요?

육지에도 숲이 있는 것처럼 바다에도 '바다 숲'이 있습니다. 이러한 바다 숲에는 많은 해조류가 살고 있다. 그러나 이러한 해조류는 백화현상으로 말라가게 된다.

지구온난화로 인해 바다의 수온이 올라가면서 높은 수온에서 잘 자라는 산호말이 번식하게 된다.

산호말은 석회질의 탄산칼슘을 가지고 있는 홍조류로 산호말이 번식하게 되면 다시마나 미역과 같은 해조류는 달라붙을 장소를 확보하지 못해 잘 자라지 않는다. 바다 속 산소와 영양물질을 만들고 바다동물의 직접적인 먹잇감인 해조류가 사라지게 되면 바다 속이 황폐화된다. 따라서 이러한 백화현상을 '바다의 사막화'라고 부른다.



### 해양 기후변화 연관어

- 해수 온도 상승
- 표층 수온
- 해양 산성화
- 백화현상
- 갯녹음
- 바다사막화

## 해양 기후변화

- 해양의 기후변화는 해양 온도 상승, 해양 산성화, 해수면 상승으로 나타나는데 해양은 표면의 온도가 가장 빨리 상승하지만 깊은 곳까지 온도가 올라가는 현상이 관측되고 있다.
- 또한 대기 중 이산화탄소를 흡수하면서 해양의 산성화가 진행되고 있어 앞으로 해양생태계에도 악영향을 미칠 것이 우려된다. 해수면 상승은 주로 육지빙하가 녹은 물이 해양에 유입되거나 해양의 온도가 상승함에 따라 물의 부피 팽창으로 상승하고 있는데 앞으로 해수면 상승으로 연안지역의 해수 범람과 갯벌생태계에 심각한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

### 해수 온도 상승

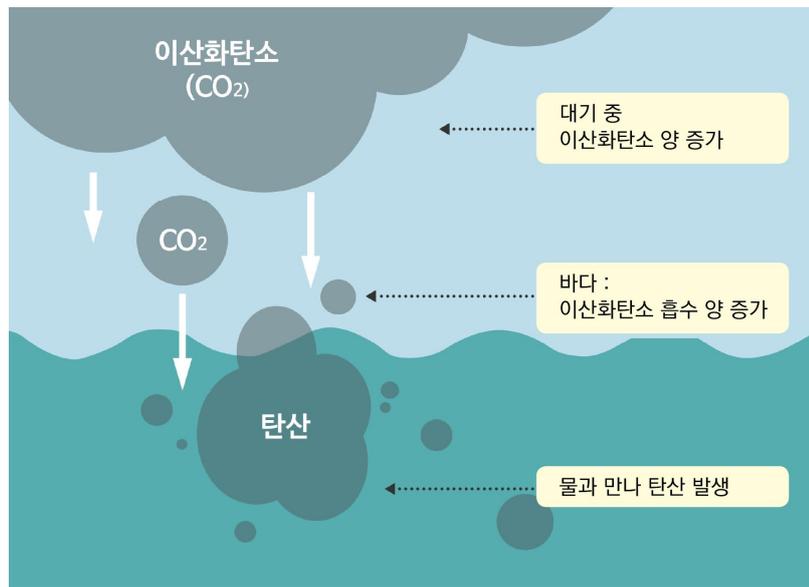
- 미국 샌프란시스코 남쪽의 태평양 연안은 1931년 이후 60년 동안 평균 0.3℃가 올라갔고, 그 남쪽 해안도 1951년 이후 40년 동안 1.6℃가 올라갔다. 바다 표면의 수온만 올라가는 것이 아니라 바다 속 깊은 곳의 수온도 함께 올라가고 있는데 대서양 수심 2km의 온도는 1957년 이후 35년 동안 평균 0.32℃ 상승하였음.
- 이 정도의 추세라면 100년에 1℃가 올라가는 것과 같으며, 이런 현상이 지속된다면 육지에서 사과와 재배 지역이 점점 북쪽으로 올라가듯이 바다에서 물고기의 생장 분포도 난류 지역에서 한류 지역으로 조금씩 이동하게 될 것임.
- 산업혁명 이후 해수면 온도는 0.7℃ 상승하였으며, 최근에는 10년에 0.11℃씩 상승하고 있음. 해양은 온실효과로 인해 축적된 지구 기후시스템 에너지의 90% 이상을 흡수하여 2000m 깊이에서도 온도가 상승하는 것이 관측되었음.
- 해양의 온도가 계속 상승한다면 육지에서 사과와 재배 지역이 점점 북쪽으로 올라가듯이 바다에서 물고기의 생장 분포도 난류 지역에서 한류 지역으로 조금씩 이동하게 될 것임.

### 표층수온

- 바다 표면과 가까운 해수를 일반적으로 표층수라고 하며 태양의 열로 인해 바닷물이 따뜻해지는데 이러한 부분을 수온약층이라 함. 표층수는 풍랑, 강수, 증발 등 기상현상에 민감하게 변화함. 바닷물의 온도는 적도 쪽으로 갈수록 높게 나타나며 극지방으로 갈수록 낮게 나타남.
- 표층수온의 변화는 중위도의 대륙 가장자리에서 크게 나타남.

### 해양산성화

- 대기 중의 이산화탄소 양이 많아지면 바다가 흡수하는 이산화탄소 양 또한 증가하게 됨. 바다로 흡수된 이산화탄소는 물과 만나면 탄산이 발생하게 되고 해양산성화가 진행됨.
- 지구에서 배출되고 있는 이산화탄소의 약 4분의 1이 바다에서 녹아 탄산을 생성함.
- 이산화탄소 배출량이 급격히 증가하면서 바다 pH를 약 30% 떨어뜨려 바다의 산성도가 빠른 속도로 증가하고 있음(UNEP 국제연합환경계획 보고서, 1985).



<바다 산성화 진행과정>

### 백화현상

- 백화현상이란 바닷물 속에 녹아있는 탄산칼슘(석회가루)이 빠져 생물이나 해저의 바닥, 바위 등에 하얗게 달라붙는 현상을 말함.
- 지구온난화로 인해 수온이 올라가면서 산호말과 같은 탄산칼슘을 갖고 있는 홍조류가 바다의 바닥면이나 바위에 달라붙기 시작하며, 바닥에 쌓인 탄산칼슘으로 인해 기존에 살던 해조류는 죽게 되어 해저는 불모지 상태가 됨.
- 이 같은 백화현상의 원인은 이상기온에 따른 수온 상승과 육지의 오염물질 유입 등으로 추정됨.



<백화현상>



<갯녹음 암반>

### 갯녹음

- 연안에 서식하고 있는 해조류 일부나 전부가 고사하여 유실되고 해저는 불모지 상태로 변화하여 정착성 생물이 감소하는 현상을 말함.
- 갯녹음 현상이란 바닷물이 흐르는 곳인 '갯'과 '녹다'의 명사어인 '녹음'의 합성어로 만들어진 백화현상의 순우리말임.

### 바다 사막화

- 산호말이 번식하면 다시마나 미역과 같은 바다의 숲을 이루는 해조류가 뿌리내릴 공간을 찾지 못함.
- 이러한 해조류는 바다 속에서 광합성을 통해 산소와 영양물질을 생산하는 1차 생산자 역할 뿐 아니라 바다 속 생물체의 먹이가 되어 해조류가 사라지게 되면 바다 속은 황폐화되고 바다 생태계 또한 파괴됨.

# 기후변화 시나리오

## 50년, 100년 후에 우리나라 기후는 어떨까?

미래에 한반도 지역의 온대 기후가 아열대 기후로 바뀐다는 말이 사실일까?

모든 이가 공감하듯이 제주감귤, 대구사과가 다른 지역을 대표하는 작물로 바뀌는 걸까?

이러한 막연한 의문과 불안감을 해소하고 우리가 어떻게 미래를 준비해야 하는지에 대한 해답을 제시하고자 전세계의 석학들이 기후변화 시나리오를 만들었다. 기후변화 시나리오란 온실가스, 에어로졸의 변화 등 인위적인 원인에 따른 기후변화를 조사하기 위해 기후변화 모델을 이용하여 계산한 미래 기후(기온, 강수, 습도, 바람 등) 전망정보이다. 이는 기후변화로 인한 미래의 영향을 평가하고 피해를 최소화 하는데 활용할 수 있는 가장 기본적인 정보로 자리매김 하고 있다.

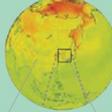
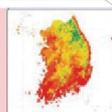


**기후변화 시나리오** **연관어**

- 온실가스 배출 시나리오
- 대표농도경로(RCP)
- 우리나라의 기후변화 미래 전망
- 기후변화 적응
- 기후변화예측모델
- 기후예측
- 기후전망

### 기후변화 시나리오

- 인간활동에 따른 인위적인 원인에 의한 기후변화를 전망하기 위하여, 미래 온실가스 농도와 기후시스템을 수치화한 기후변화 모델을 이용하여 계산한 미래기후(기온, 강수, 습도, 바람 등)에 대한 정보이다.
- 이는 미래 기후변화로 인한 영향을 평가하고 피해를 최소화하는데 활용할 수 있는 선제적인 정보라고 할 수 있다.

<b>1</b> 단계	IPCC PCP 온실가스 시나리오 사용
<b>2</b> 단계	<b>전지구 시나리오</b> 전지구 기후변화모델에 인위적 기후변화 강제력을 적용하여 전지구 기후변화 시나리오 산출 <div style="float: right; text-align: right;">  <ul style="list-style-type: none"> <li>● 영역 : 전지구</li> <li>● 해상도 : 135km</li> <li>● 영국 해들리센터 모델 (HadGEM2-AO)</li> </ul> </div>
<b>3</b> 단계	<b>한반도 시나리오</b> 우리나라의 지역특성을 반영한 지역 기후모델을 이용한 역학적 상세화로 한반도 기후변화 시나리오 산출 <div style="float: right; text-align: right;">  <ul style="list-style-type: none"> <li>● 영역 : 한반도</li> <li>● 해상도 : 12.5km</li> <li>● 영국 해들리센터 지역기후모델 (HadGEM3-AO)</li> </ul> </div>
<b>4</b> 단계	<b>남한상세 시나리오</b> 한반도 기후변화 시나리오에 통계적 상세화 기법을 적용하여 지역적 기후특성을 반영한 남한상세 기후변화 시나리오 산출 <div style="float: right; text-align: right;">  <ul style="list-style-type: none"> <li>● 영역 : 남한</li> <li>● 해상도 : 1km</li> <li>● 공주대 통계 모델 (PRIDE)</li> </ul> </div>

<기후변화 시나리오 산출과정>

### 온실가스 배출 시나리오

- 산업 활동 정도에 따라 미래에 배출될 온실가스의 양을 가정하여 미래에 미치는 영향을 산출한 것.

※ 예시

- ▶ SRES(Special Report on Emission Scenario, 배출 시나리오에 관한 특별 보고서) : 예상되는 이산화탄소 배출 양에 따라 A1B(2100년 이산화탄소 농도, 720ppm), A2(830ppm), B1(550ppm)의 시나리오가 있음.
- ▶ RCP(Representative Concentration Pathways, 대표농도경로) : 인간활동이 대기에 미치는 복사강제력으로 온실가스 농도를 정하였으며 RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5의 시나리오가 있음.

### 대표농도경로(RCP)

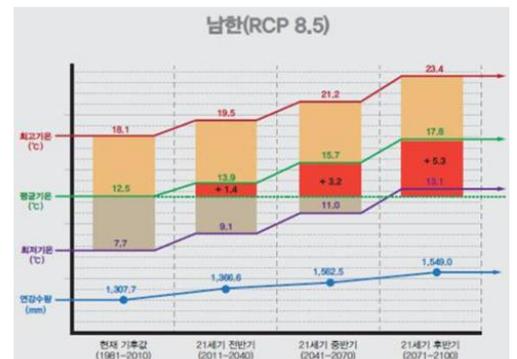
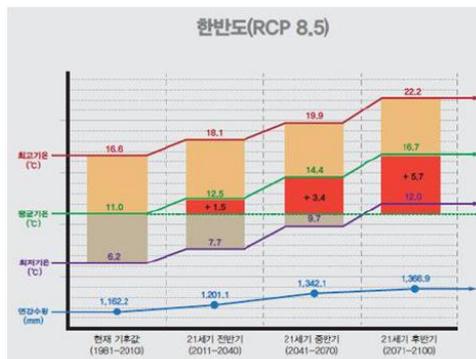
- 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)가 발간한 5차 평가 보고서의 기후변화 시나리오는 대기 중의 온실가스 농도에 따라 지구의 온도가 어떻게 변화할지를 제시하고 있음. 인간활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였음. 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회·경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 '대표(Representative)'라는 표현을 사용하며, 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 '경로(Pathways)'라는 의미를 포함하고 있음.
- 대표농도경로 시나리오는 총 4종의 시나리오로 나뉨(RCP 8.5/6.0/4.5/2.6). RCP 시나리오의 숫자는 복사강제력, 즉 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 의미하는 양으로서 단위는 W/m<sup>2</sup>임(2011년 현재 복사강제력은 2.3W/m<sup>2</sup>임).
- 지상에 도달되는 태양복사가 약 238W/m<sup>2</sup>이므로 RCP 8.5/6.0/4.5/2.6의 복사강제력은 입사태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1%에 해당함.

<RCP 시나리오별 설명 및 2100년 기준 CO<sub>2</sub> 농도>

종류	시나리오 설명	2100년 기준 CO <sub>2</sub> 농도(ppm)
RCP2.6	인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우(실현 불가)	420
RCP4.5	온실가스 감축 정책이 상당히 실현되는 경우	540
RCP6.0	온실가스 감축 정책이 어느 정도 실현되는 경우	670
RCP8.5	현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우	940

### 우리나라 기후변화 미래 전망

- 현재 추세대로 온실가스 배출이 계속 증가한다면(RCP8.5 시나리오) 21세기 말에는 기온은 현재보다 5.7℃ 상승하고 강수량은 17% 정도 증가할 것으로 전망됨.



<한반도와 남한의 RCP8.5 시나리오>

**기후변화 적응**

- 실제로 일어나고 있거나, 일어날 것으로 예상되는 기후변화에 대응한 자연, 인간시스템의 조절작용으로 기후변화의 결과를 기회로 삼는 행동 또는 과정을 말함.

**기후예측**

- 특정지역의 기후에 관한 미래의 상황을 예상하는 것을 말하며, 장기예보 및 기후전망을 포함함.

종류	1개월전망	3개월전망	기후전망
발표일	매주 목요일	매월 23일	2·5·8·11·12월 23일
예보형태	3분위 확률 정보		
예보내용	주별, 평균기온 및 강수량	월별, 평균기온 및 강수량 ※ 계절별 전망 - 봄 : 황사 - 여름 : 태풍 - 가을 : 태풍	엘니뇨/라니냐 전망, 기온 및 강수 확률 ※ 발표일, 예보기간 - 2월 : 여름철 - 5월 : 가을철 - 8월 : 겨울철 - 11월 : 봄철 - 12월 : 다음 해 연 전망
예보지역	전국 12개 구역		전국평균

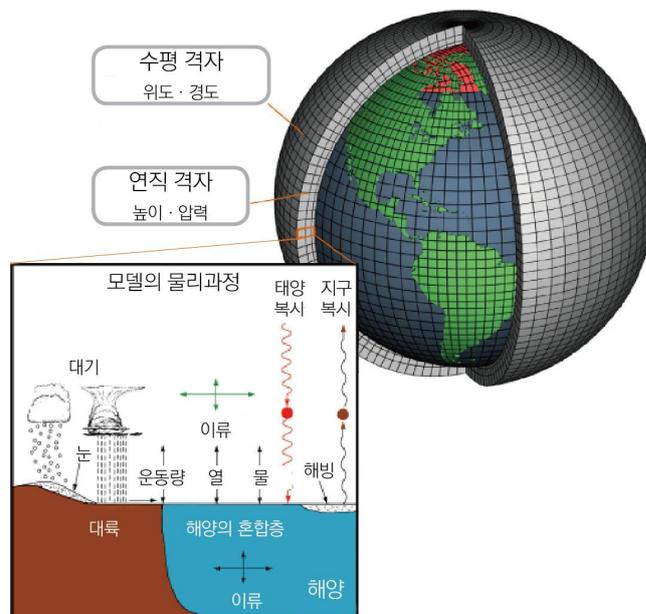
※ 기상청의 장기예보와 기후전망은 기상청 홈페이지(www.kma.go.kr)에서 확인할 수 있음.

**기후전망**

- 특정지역의 기후에 관하여 3개월 이후의 미래 상황을 예상하는 것.

**기후변화예측모델**

- 기후시스템 내의 대기권, 수권, 빙권, 지권 및 생물권의 운동과 상호작용을 물리방정식을 이용하여 지구의 기후를 시뮬레이션하기 위해 만든 컴퓨터모델로 미래기후를 예측하는데 사용됨.  
- 1970년대 이후 컴퓨터의 진보와 더불어 초기의 간단한 기후모델에서 최근에는 지구시스템모델로 발전되었음.

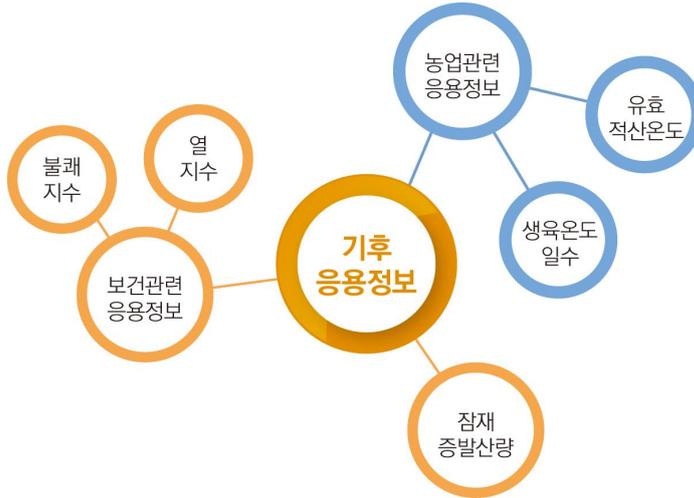


# 기후응용정보

## 기후가 미치는 영향을 살펴볼 지표가 그 지역의 평균적인 날씨밖에 없는 것일까?

기후는 농업, 보건, 에너지 분야 등 다양한 분야에 영향을 미치고 있다.

막연하게 각 분야에서 기후의 영향을 받고 있다는 생각에서 벗어나 정형화, 정량화 된 지표가 요구되기 시작했다. 이에 각 분야에서 좀 더 효율적으로 활용할 수 있을지를 고민하게 되었고, 여러 종류의 기후응용정보가 탄생하게 되었다. 사람의 건강에 영향을 미치는 정도를 가늠할 수 있는 열지수와 불래지수, 작물생육 정도를 가늠할 수 있는 유효적산온도와 생육온도일수 등이 그것이다. 이러한 기후응용정보는 기후정보를 다양한 분야의 정보와 접목시켜 수요자들이 편리하게 사용할 수 있게 했다는 점에서 그 의미가 크다.



### 기후응용정보 연관어

- 유효적산온도
- 생육온도일수
- 열지수
- 불래지수
- 잠재증발산량

## 기후응용정보

- 기후정보를 농업, 보건, 수자원 등 여러 분야에서 손쉽게 활용 할 수 있도록 재가공한 정보를 말한다.
- 2012년 이후로 보건, 농업, 방재 등 부문별 기후변화 응용정보 생산을 통해 맞춤형 시나리오를 제공하고 있다.

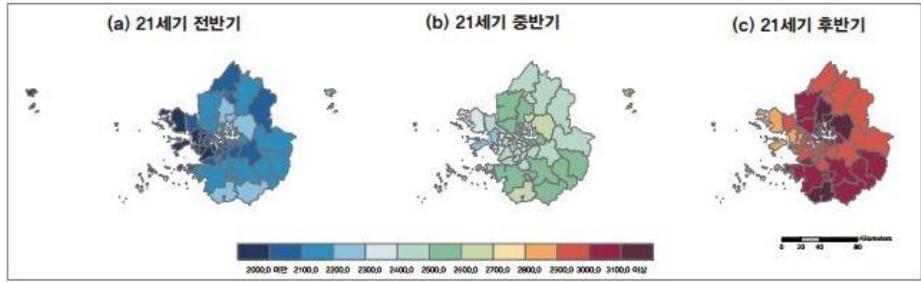
### <부문별 기후변화 응용정보>

	수자원	보건	농업	방재
생산요소	중권역별 강수량 유출량 잠재증발산량 유황분석정보	열지수, 불래지수, 체감온도, 체감추위, 열체감지수, NET	생육온도일수 유효적산온도 식물기간, 작물기간 무상기간, 작물저온요구도 온습도지수 기후생산력지수 난방도일, 냉방도일 기준증발산량 연면수분지속기간	표준강수지수(SPI) 독립호우사상특성
기간	2000~2100년	1950~2005년 2013~2100년	1971~2100년 2011~2100년	2012~2100년
시간해상도	일, 월	월	순(10년평균)	월
공간해상도	중권역(104개), 73개지점	230개 시군구	230개 시군구, 격자(12.5km)	73개 지점

※ 기후정보포털(www.climate.go.kr) > 시나리오 조회 > 응용시나리오 조회 > 부문별 응용정보 선택 > 변수 및 기간 등 선택하여 정보를 확인할 수 있음.

**유효적산온도**

- 작물의 생육에 필요한 열량을 나타내기 위한 것으로 일평균기온에서 생육한계온도(10℃)를 뺀 값을 합한 것.



<RCP8.5 유효적산온도 분포표(℃)>

**생육온도일수**

- 작물별 기본온도와 일평균온도의 차를 생육기간 동안 합한 값(작물의 재배적지 및 품종 선택 지표).

**열지수**

- 건구온도와 상대습도를 이용하여, 일사병, 열경련 등 열적 스트레스의 위험도를 나타낸 지수(6~9월).

**불쾌지수**

- 건구온도와 상대습도를 이용하여, 날씨에 따라서 사람이 불쾌감을 느끼는 정도를 나타낸 지수(6~9월).

$$\text{불쾌지수} = 0.72 (\text{건구온도} + \text{습구온도}) + 40.6$$

- 통계에 따르면 80이상이면 대부분의 사람이 불쾌감을 느낌

**단계별 대응요령**

단계	지수범위	대응요령
위험	66 이상	▶ 긴급적 야외 활동 및 작업을 중지하고, 부득이한 경우 야외활동 시 자신의 건강 상태를 살피며 활동의 강도를 조절하고 두통, 어지러움, 근육경련, 의식저하 등의 증상이 있으면 그늘이나 서늘한 실내에서 휴식을 취함 ▶ 특히, 노인이나 어린이 같은 취약계층의 경우 긴급적 실내에서 활동하며 냉방기기를 적절히 사용하여 실내 온도를 적정수준(26~28℃)을 유지하여 각별한 주의 요망. 냉방기기가 없는 경우 냉방기기가 구비되어있는 가까운 공공기관을 이용 ▶ 환자 발생 시 시원한 곳으로 이동시킨 후 119에 구급 요청
매우높음	54 이상 66 미만	▶ 열사병, 열경련 가능성이 높아지므로 낮 12시~오후 5시 사이에는 야외 활동 및 작업을 자제하고 햇볕을 차단 ▶ 주정차된 차에 어린이나 동물을 혼자 두지 않도록 주의
높음	41 이상 54 미만	▶ 열사병, 열경련 가능성이 있으므로 야외 활동 및 작업에 주의하고, 적극적 수분 섭취 필요 ▶ 땀을 많이 흘렸을 경우 염분과 미네랄 보충하기 ▶ 만소재의 열량하고 가벼운 옷 입기 ▶ 창문과 문이 닫힌 상태에서 선풍기를 틀지 않도록 주의
보통	32 이상 41 미만	▶ 열사병, 열경련 가능성이 있으므로 야외 활동 및 작업에 주의하고, 적극적 수분 섭취 필요 ▶ 땀을 많이 흘렸을 경우 염분과 미네랄 보충하기 ▶ 만소재의 열량하고 가벼운 옷 입기 ▶ 창문과 문이 닫힌 상태에서 선풍기를 틀지 않도록 주의
낮음	32 미만	▶ 일반적으로 위험은 낮으나 수분섭취 등 건강관리에 유의

<열지수 단계별 대응요령>

**단계별 대응요령**

단계	지수범위	대응요령
매우높음	80 이상	▶ 전원 불쾌감을 느낌 ▶ 어린이, 노약자 등 더위에 취약한 사람들은 야외활동을 자제함 ▶ 에어컨, 제습기, 실내 환기 등을 통해 실내 온습도를 조절하거나 무더위쉼터 등으로 이동하여 휴식 ▶ 수분을 미리 충분히 섭취
높음	75 이상 80 미만	▶ 50% 정도 불쾌감을 느낌 ▶ 어린이, 노약자 등 더위에 취약한 사람들은 12시~5시 사이에는 야외활동을 자제하거나 가벼운 옷을 입기 ▶ 에어컨, 제습기, 실내 환기 등을 통해 실내 온습도를 조절함 ▶ 지속적으로 수분을 섭취함
보통	68 이상 75 미만	▶ 불쾌감을 나타내기 시작함 ▶ 어린이, 노약자 등 더위에 취약한 사람들은 야외활동을 시 가벼운 옷을 입기 ▶ 수분을 충분히 섭취함
낮음	68 미만	▶ 전원 쾌적함을 느낌

※ 자료: 고려대학교 의과대학 이은일 교수

<불쾌지수 단계별 대응요령>

**잠재증발산량**

- 주어진 기상 및 지형의 조건 하에서 발생할 수 있는 증발산량의 최대값.

## 참고문헌

1. 국립기상연구소 2009 : 기후변화 이해하기 II -한반도 기후변화, 현재와 미래
2. 기상청 2012 : 한반도 기후전망 보고서
3. 기상청 2012 : 서울·인천·경기도 기후전망 보고서
4. IPCC 2013 : IPCC 제4차 평가 평가보고서
5. IPCC 2014 : IPCC 제5차 평가 종합보고서
6. 윌리엄 F. 러디먼 2015 : 지구의 기후변화 과거와 미래
7. 기상청 2015 : 오존층에 관한 질문과 답변 20가지 : 2014년판
8. 기상청 2015 : 장기예보 업무 편람
9. 기상청 2017 : 2016 지구대기감시 보고서
10. 네이버 지식백과, 기상백과
11. WMO 2017 : 온실가스 연보 No.13

## 관련 홈페이지

기상청 홈페이지 : <http://www.kma.go.kr>  
기후정보포털 : <http://www.climate.go.kr>  
WMO 홈페이지 : <http://www.wmo.int>  
IPCC 홈페이지 : <http://www.ipcc.ch>

## 기후변화감시 용어 해설집

---

발행일 : 2017년 12월

총괄 : 오미림

편집 : 김정식, 고혜영(기상청)

감수 : 권원태(한국기후변화학회)

발행처 : 기후변화감시과  
서울특별시 동작구 여의대방로16길 61번지

인쇄처 : (사)한국시각장애인연합회 인쇄사업단

등록번호 : 11-1360000-001468-13

---