

기후변화

■ 학습 목표

- 기후를 변화시키는 요인을 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분하여 설명할 수 있다.
- 지구 온난화 원인과 경향성을 파악할 수 있다.
- 기후 변화를 예방하기 위한 노력과 방안을 제시할 수 있다.

■ 기후를 변화시키는 요인

(1) 기후 변화의 자연적 요인

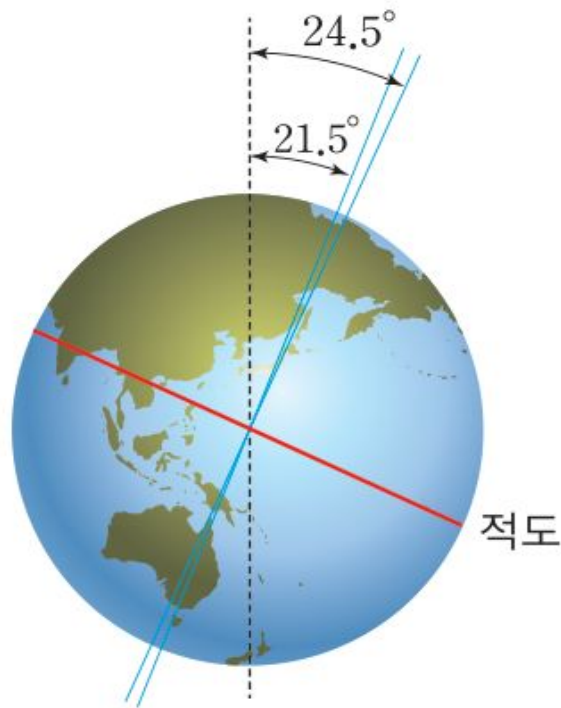
① 지구 내적 요인: 기후 변화에 영향을 주는 지구 내적 요인에는 지구 내부 에너지로 화산이 분출하면서 발생하는 대기 중 온실 가스 증가와 성층권의 에어로졸 증가, 빙하 면적의 변화, 생물의 호흡과 같은 요인이 있다. 한편 대기와 해양, 지권과 생물권은 상호 작용하며 영향을 주고받는다.

이에 따라 대기 대순환의 변화와 표층 해수 및 심층 해류는 서로 영향을 주면서 기후를 변화시킨다. 또 빙하 분포나 지표 식생 및 생태계 변화는 지표 반사율에 변화를 주면서 태양 복사 에너지와 지구 복사 에너지 출입에 작용하면서 기후 변화를 일으키는 요소로 작용한다.

② 외적 요인:

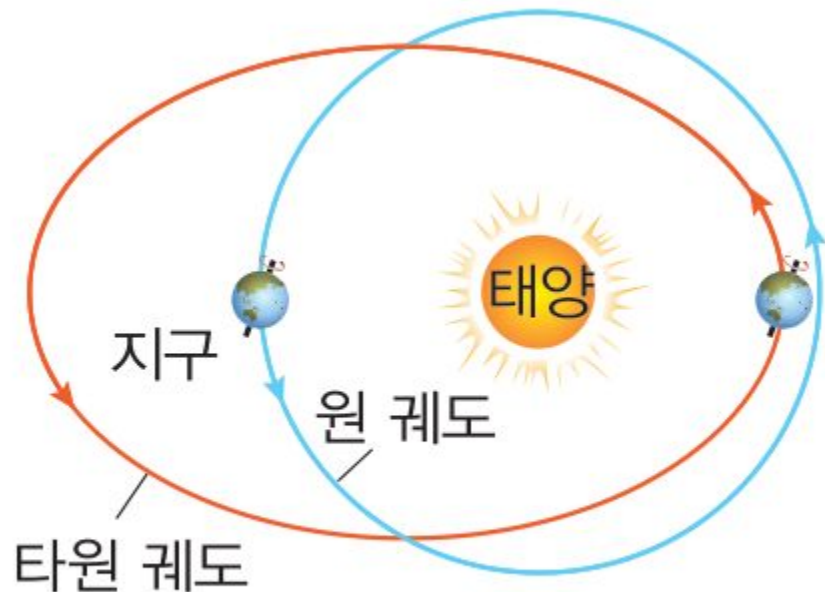
- 지구 궤도 요소의 주기적인 변동: 지구 궤도의 주기적인 변동에는 3가지 요소가 복합적으로 작용한다.

먼저 지구 자전축의 경사 변화는 21.5° ~ 24.5° 까지의 변화가 약 41,000년을 주기로 일어난다. 자전축 경사가 커지면 계절에 따른 태양 복사 에너지 진폭이 증가하면서 연교차가 커진다.



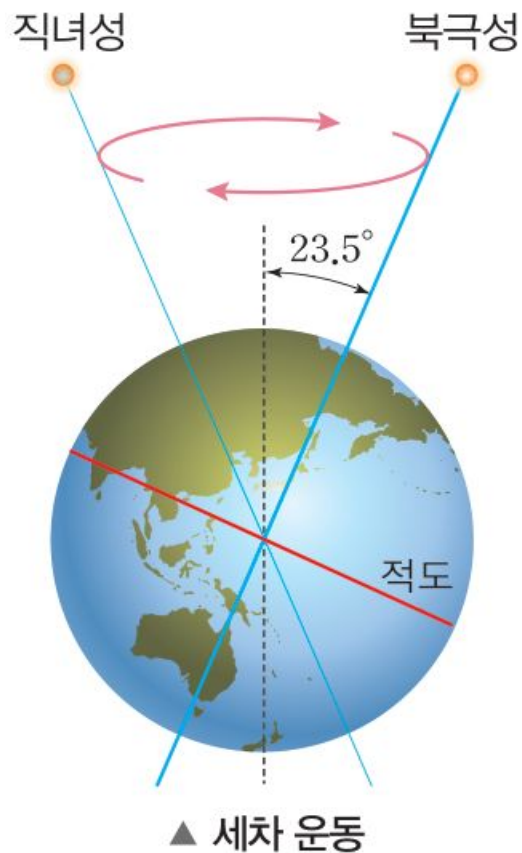
▲ 자전축 경사 변화

두 번째로 지구 공전 궤도가
시간에 따라 거의 원형에서
완만한 타원 모양까지 약
10만 년 주기로 변한다.
이러한 공전 궤도 이심률
변화에 따라 지표에 도달하는
태양 복사 에너지의 양은 약
23%의 차이를 보인다.



▲ 공전 궤도 이심률 변화

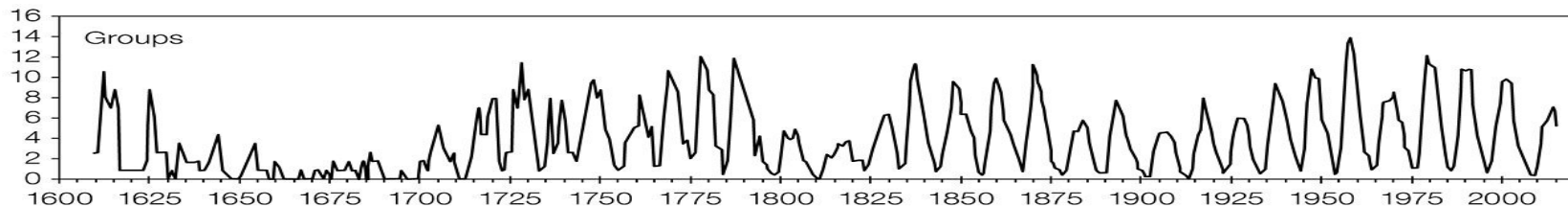
마지막으로 세차 운동은 지구 자전축 방향이 일정한 중심을 기준으로 회전하는 현상으로 약 26,000년의 주기를 가지고 있다. 현재 북반구는 근일점에서 겨울이고 원일점에서 여름이라 연교차가 작지만, 자전축의 경사 방향이 반대가 되면 북반구에서 연교차는 커진다.

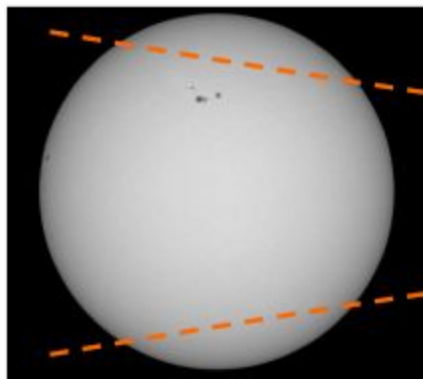
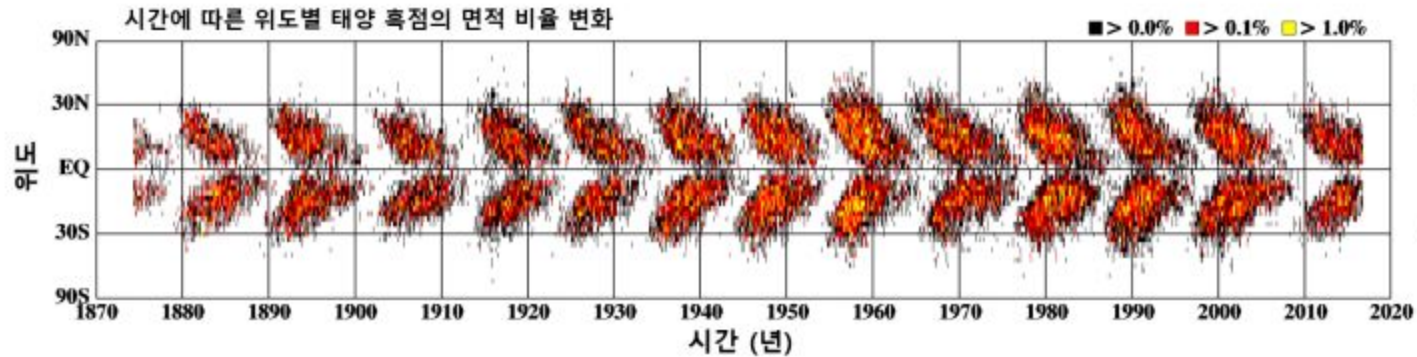


- 태양 변동 요인:

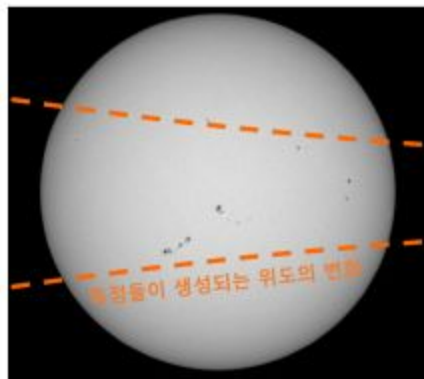
기후 변화에 영향을 주는 태양 변동 요인에는 태양 활동 강화에 따른 지구에 입사되는 태양 복사 에너지의 양 변화나 태양풍으로 지구에 도달하는 입자들에 의한 영향 등이 있다.

- * 흑점수 변화 주기

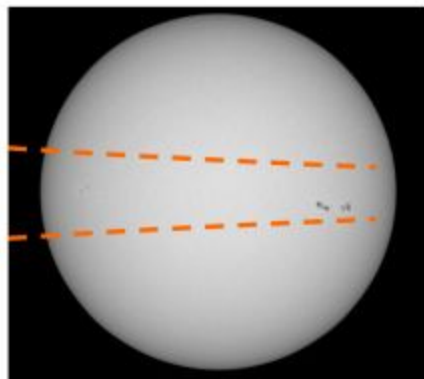




2011년



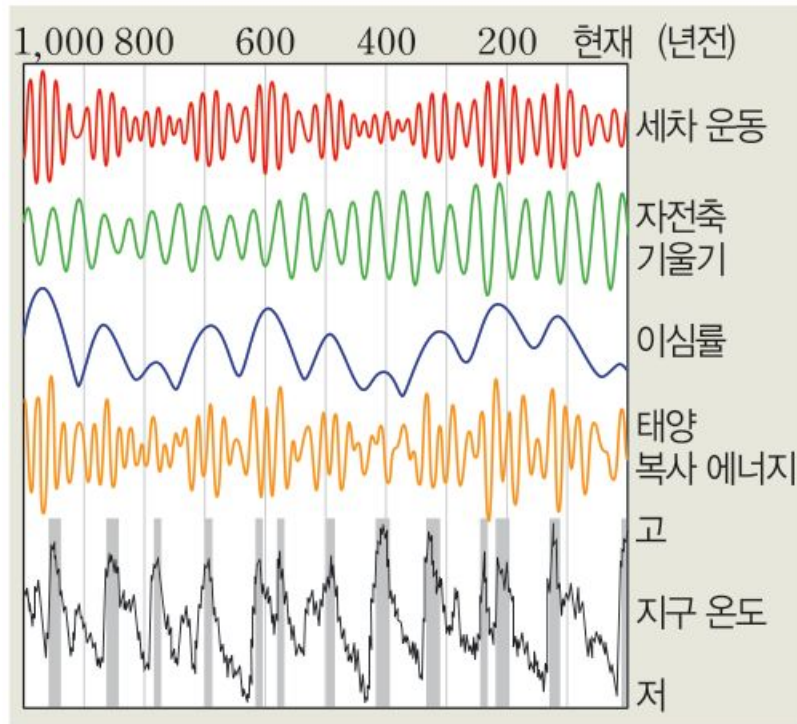
2014년



2017년

③ 밀란코비치 이론: 지구 자전축 경사 변화, 이심률 변화, 세차 운동의 결과로 지구에 기후 변동이 일어나고 그에 따라 빙하기가 온다는 이론이다. 1970년대와 1980년대에 과학자들은 남극 보스토크(Vostok) 지역에서 빙하 코어와 해저 퇴적물에 포함된 유공충을 분석했다.

당시 분석에는 방사성 동위 원소를 이용한 연대 측정과 산소 동위 원소 분석을 통한 고기후 온도 측정을 이용했다. 그 결과 해양의 온도 변화 주기와 빙하기와 태양 복사 에너지 유입량 변화가 서로 일치함을 알아내면서 밀란코비치 이론이 증명되었다.



▲ 밀란코비치 이론을 증명하는 다양한 조사 기록

(2) 기후 변화의 인위적 요인

지구 기후를 변화시키는 인위적 요인에는 화석 연료의 사용과 같은 인간 활동으로 인한 이산화 탄소나 메테인과 같은 대기 중 온실 기체 증가가 대표적이다. 인간 활동이 기후에 영향을 크게 미치기 시작한 것은 산업 혁명 초기인 **18세기** 중엽부터이다. **1970년부터 2004년** 사이에 지구 대기에 온실 기체의 양은 **70%**나 증가하였다.

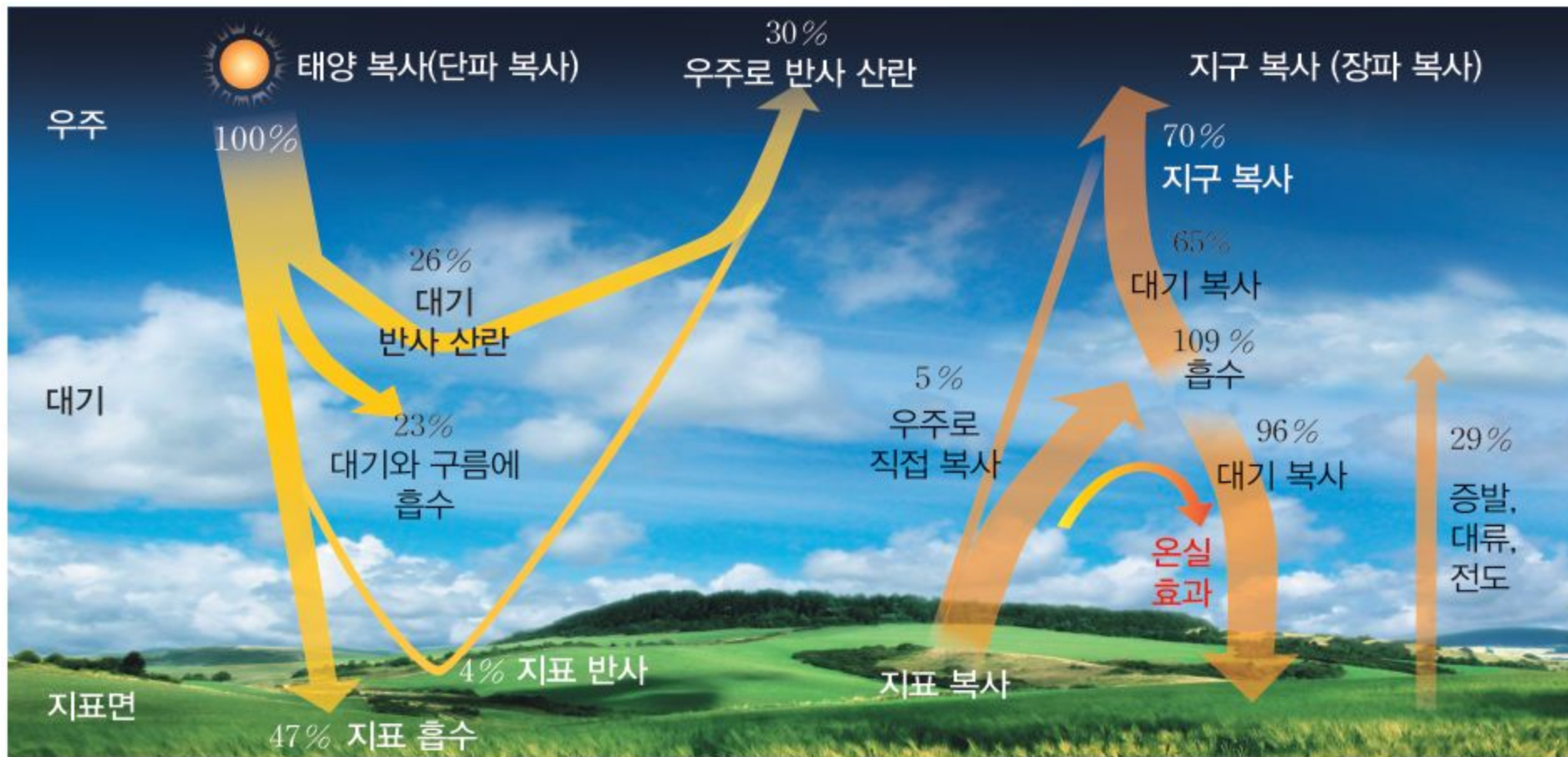
이 밖에 산업 시설 및 자동차 운행으로 발생하는 에어로졸은 태양 복사 에너지를 반사하거나 구름의 산란 효과를 증가시켜 지구 기온을 하강시키는 역할을 한다. 벌목 및 경작지를 만드는 과정에서 일어나는 대규모 산림 제거와 산불은 대기 중 이산화 탄소 농도를 증가시키며, 물과 기타 물질 순환에 영향을 주면서 지표 복사 특성을 변화시켜 강수량에도 영향을 준다.

■ 지구 복사 평형과 온실 효과

(1) 지구 복사 평형

지구에 입사된 태양 복사 에너지의 일부는 대기와 지표에서 반사되고, 나머지는 대기와 지표면에 흡수되었다가 지구 복사 에너지로 다시 우주로 나간다. 이 과정에서 지구 복사 에너지로 방출하는 에너지 일부는 대기에 흡수되어 다시 지구로 재복사한다. 이러한 대기와 지표의 열 출입 과정으로 바람이나 강수, 해류 등의 현상이 일어난다.

이때 지표와 대기에서 흡수하는 에너지의 양과 우주로 방출하는 복사 에너지의 양은 서로 같게 유지되는데, 이를 복사평형이라고 한다. 복사 평형으로 지구는 연평균 기온이 일정하게 유지된다.



▲ 지구의 복사 평형

(2) 온실 효과

① 온실 효과: 온실 효과는 지구에 흡수된 태양 복사 에너지가 모두 우주로 방출되지 않고 일부 지구 대기에 흡수된 후 재복사 되면서 지구의 평형 온도가 높아지는 것이다.

태양 복사 에너지는 지구 대기층을 통과하는 과정에서 일부는 대기에 반사되어 우주로 방출되고 일부는 대기에 직접 흡수된다. 이러한 결과로 태양 복사 에너지의 약 **50%** 정도만 지표에 도달하게 된다. 이때 지표에 흡수된 에너지는 열에너지나 파장이 긴 적외선으로 바뀌어 다시 우주 공간으로 방출한다.

이렇게 방출되는 적외선의 절반 정도는 우주 공간으로 빠져나가지만, 나머지는 구름이나 수증기나 이산화 탄소와 같은 온실 기체에 의해 흡수되어 에너지가 다시 지표로 되돌려 보내지면서 지구의 평형 온도가 올라가게 된다.

태양 복사 에너지
(가시광선)

반사량

지구 복사 에너지
(적외선)

우주로 나가는 적외선

우주로 나가는 적외선

위를 향한 재복사
(적외선)

흡수

온실 기체

흡수

온실 기체

아래를 향한 재복사
(적외선)

온실 기체

지표면을 데운다.

지표면을 데운다.

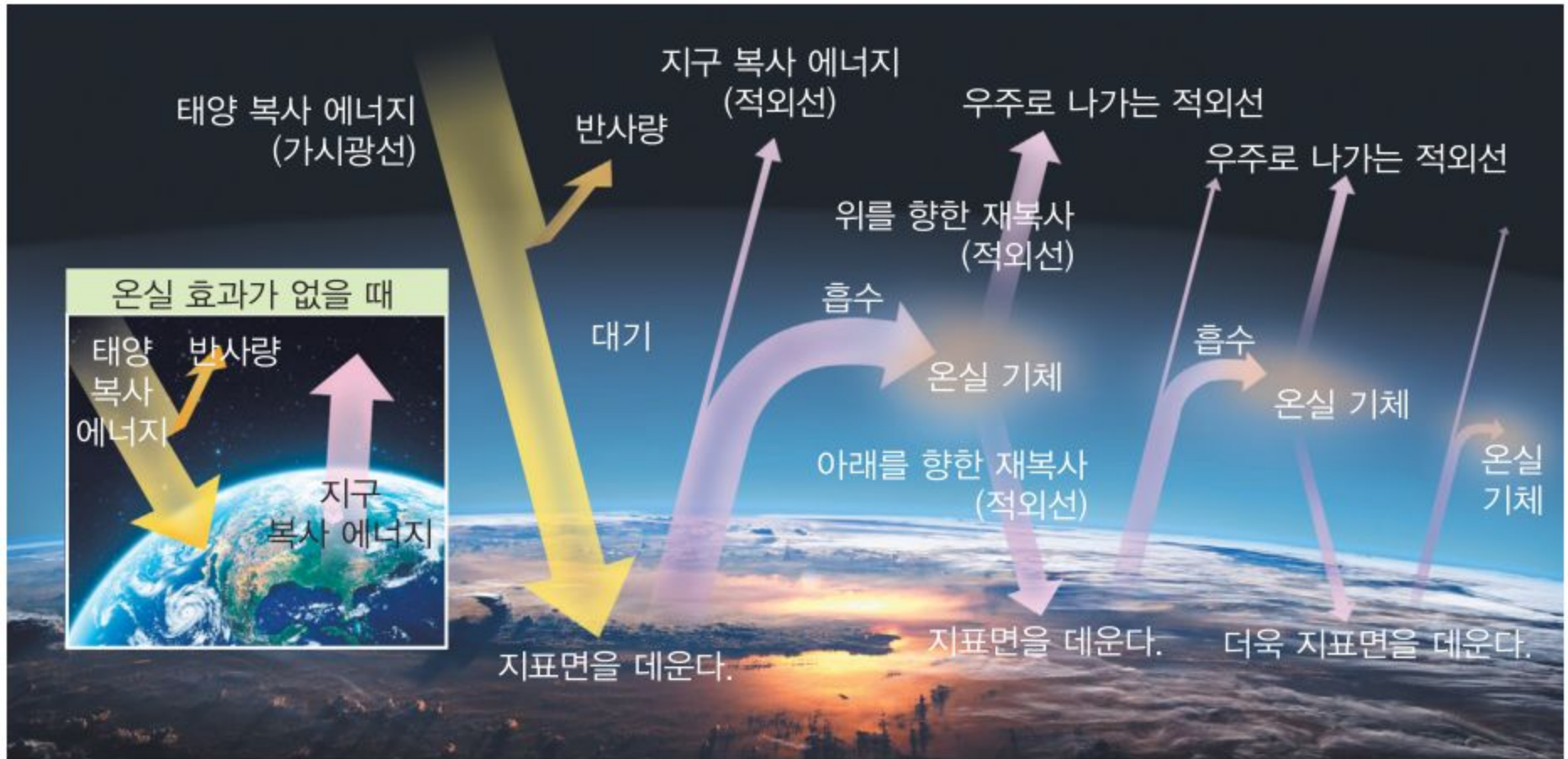
더욱 지표면을 데운다.

온실 효과가 없을 때

태양 복사
에너지

반사량

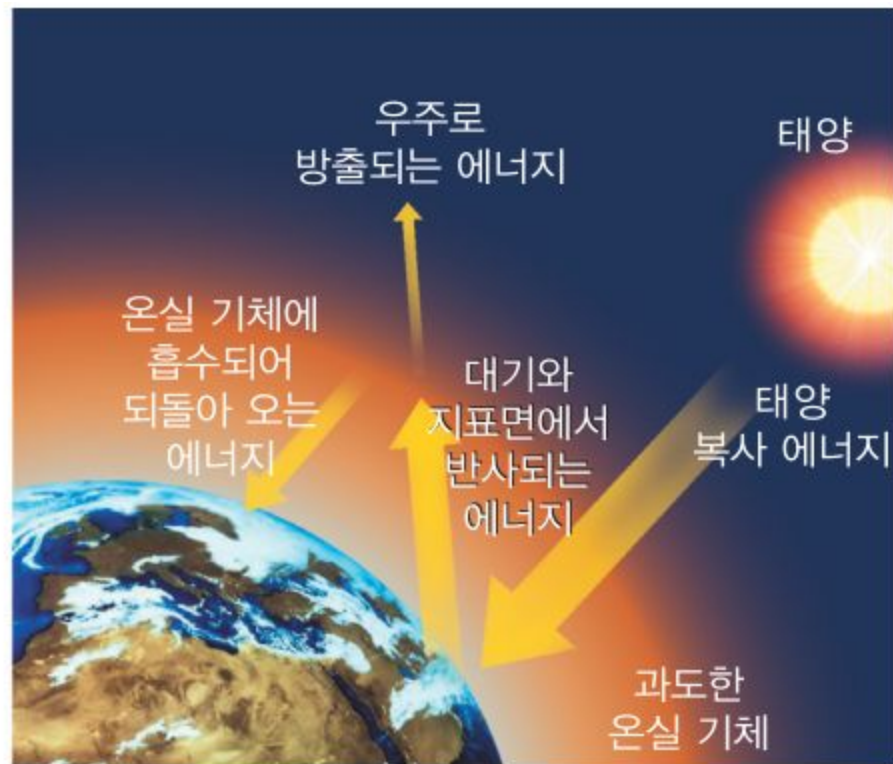
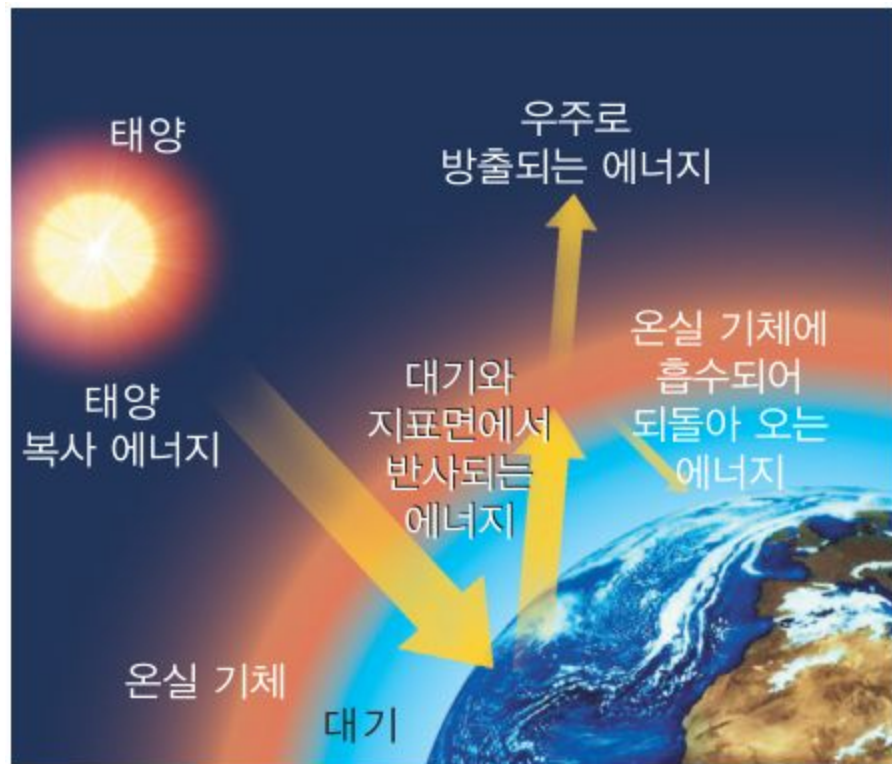
지구
복사 에너지



② 온실 효과의 역할: 실제 대기에 의해 일어나는 온실 효과는 지구 기온을 일정하게 유지하는 매우 중요한 현상이다.

만약 대기가 없어 온실 효과가 없었다면 지구는 화성처럼 낮에는 햇빛을 받아 기온이 수십 $^{\circ}\text{C}$ 이상으로 올라가지만, 반대로 태양이 없는 밤에는 모든 열이 방출되어 영하 100°C 이하로 떨어지게 될 것이다.

따라서 현재 환경 문제와 관련하여 지구 환경에 좋지 않은 영향으로 거론되는 온실 효과는 온실 효과 자체가 문제가 아니라, 일부 온실 효과를 일으키는 기체가 인간의 인위적인 활동으로 과다하게 대기 중에 방출되어 발생하는 지구 온난화 현상이 문제라고 할 수 있다.



▲ 자연적 온실 효과와 지구 온난화 현상

③ 온실 기체와 온실 효과: 지구 대기를 구성하는 기체 중 지구에서 방출되는 적외선을 흡수하여 열에너지로 저장하고 있다가 지구로 다시 열에너지를 방출하는 기체를 온실 기체라고 한다.

주로 이산화 탄소(CO_2), 수증기, 메테인(CH_4), 클로로플루오로탄소(CFC) 등이 온실 효과를 일으키는 온실 기체이다.

기체 종류	수증기	이산화 탄소	오존	메테인과 아산화 질소 등 외
온실 효과 비율(%)	60	26	8	6

* 6대 온실 기체: 교토 의정서에서 이산화 탄소(CO_2), 메테인(CH_4), 아산화 질소(N_2O), 수소불화 탄소(HFCs), 과불화 탄소(PFCs), 육불화 황(SF_6) 지정

- CFC

냉매, 발포제, 세정제 등에 사용되는 가스로, 프레온 가스라고도 한다. 인체에 독성이 없고 불연성을 가진 이상적인 화합물로 산업 전반에 사용하였다.

그러나 태양의 자외선에 의해 염소 분자로 분해되어 오존층 파괴를 일으키는 것으로 알려져 사용이 금지되고 있다.

* (구체적 반응) ?

■ 지구 온난화

(1) 지구 온난화

지구는 태양 복사 에너지와 지구 복사 에너지가 평형을 이루어 지구 평균 온도는 거의 일정하게 유지되고 있다.

그러나 화석 연료 연소로 발생하는 이산화 탄소, 축산 폐수나 기타 요인으로 발생하는 메테인, 이 밖에 기타 여러 과정에서 발생하는 오존·아산화 질소·프레온·수증기 등과 같은 온실 기체들이 대기로 들어가 잔류하면 온실 효과가 커진다. 이 과정으로 대류권 기온이 상승하는 현상을 지구 온난화라고 한다.

(2) 지구 온난화의 원인

① 수증기:

수증기는 대기 중 온실 효과에 가장 크게 기여하는 온실 기체이다. 그러나 대류권 수증기 농도는 기온에만 의존하므로 대류권 수증기 농도가 다른 온실 기체와 같이 기후를 변동시키는 요인으로 작용하지는 않는다.

② 이산화 탄소: 산업 혁명 이후 대기 중 이산화 탄소의 급격한 농도 상승은 주로 인위적인 방출에 의한 것으로, 화석 연료 소비와 열대 삼림 파괴가 주요한 원인이다.

이산화 탄소는 적외선 영역에서 강한 흡수대를 가지고 있어 지구에서 우주 공간으로 방출하는 적외선을 흡수한다. 이러한 작용으로 대기 중 이산화 탄소 농도 증가는 지구 기후 변화에 큰 영향을 미치고 있다.

연구 자료에 따르면 이산화 탄소 농도가 **2배** 상승하면 지구 평균 온도가 약 **2°C** 정도 상승하는 것으로 알려져 있다.

(3) 지구 온난화 영향

- ① 기후 변화: 지구의 평균 온도 상승으로 각 지역의 기후가 변하고, 그 결과 식생의 분포도 변해가고 있다. 이러한 변화를 생태계가 따라가지 못해 혼란이 초래되기 때문에 문제가 되고 있다.
- ② 해수면 상승: 지구 평균 온도가 상승하면서 극지방의 빙하가 녹고, 수온 상승으로 해수의 부피가 팽창하면서 해수면이 상승한다. 그 결과 섬으로 이루어진 국가나 해안 저지대의 침수로 이어지면서 그 지역 주민들이 삶의 터전을 잃게 된다.



▲ 지구 온난화 영향

■기후 변화 협약

기후 변화를 예방하기 위한 국제적 노력은 꾸준히 진행되어 왔다. 먼저 인간 활동에 의한 잠재적 기후 변화를 예측하고 방지하기 위한 세계 기후 회의(1979년)가 개최되었으며,

이후 국제 연합 환경 계획과 세계 기상 기구에 의한 기후 변화 정부간 패널(IPCC)이 조직되었다 (1988년).

1992년에는 기후 시스템에 위협이 되는 대기 중 온실 기체 농도를 안정화시키기 위한 리우 지구 환경 선언이 있었다.

1997년에는 선진국의 온실 기체 배출 감축 의무를 합의한 교토 의정서를 채택하였다.

파리 협약은 2015년 유엔 기후 변화 회의에서 채택된 조약이다.

(2) 정부간 기후 변화 협의체(IPCC)

① 설립: 정부간 기후 변화 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 국제 연합의 전문 기관인 세계 기상 기구(WMO)와 국제 연합 환경 계획(UNEP)에 의해 1988년 설립된 조직으로, 인간 활동에 대한 기후 변화의 위험을 평가한다. IPCC는 연구를 수행하거나 기상 관측을 하지는 않으며, 기후 변화에 관한 국제 연합 기본 협약(UNFCCC)의 실행에 관한 보고서를 발행하고 있다.

