

WEB 6

생물권과 인간의 영향

W6.1 태양, 바람, 물의 생태계 효과

W6.2 지구의 생물군계

W6.3 담수 서식지

W6.4 해양 서식지

W6.5 생물권에 대한 인간의 영향 : 오염과 자원 고갈

W6.6 생물권에 대한 인간의 영향 : 기후 변화

도입

생물권에는 열대우림의 풍요로운 생명체에서 해양의 플랑크톤 공동체에 이르기까지 지구상의 모든 살아있는 공동체가 포함된다. 매우 일반적인 의미에서 지구상의 생명 분포는 한 지상 환경에서 다른 환경으로의 온도와 물의 이용성 변화와 같은 지구의 비생물적 환경의 변화를 반영한다. 이 페이지의 그림은 아메리카 대륙의 위성 이미지이다. 색상은 생물학적 공동체의 풍부함을 나타내는 지표 인 엽록소의 상대적인 풍부함을 나타낸다. 육지의 녹색 및 짙은 녹색 지역은 1 차 생산성이 높은 지역 (예 : 번성하는 숲)이고 노란색 지역에는 아메리카 사막과 극북의 툰드라가 포함되어 생산성이 낮다.

W6.1 태양, 바람, 물의 생태계 효과

학습 목표

1. 위도와 함께 바람과 현재 방향의 변화를 설명할 수 있다.
2. 코리올리 효과를 설명할 수 있다.
3. 고도와 위도에 따라 온도가 어떻게 변하는 지 설명할 수 있다.

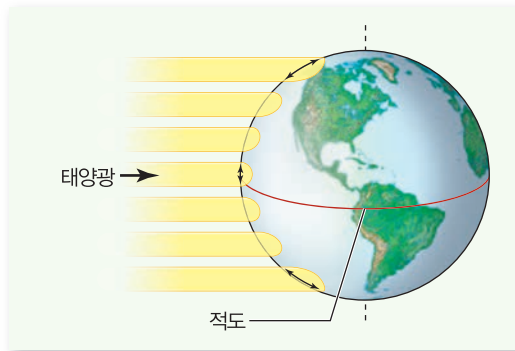
지구상의 생물의 분포 유형은(1) 지구의 다른 부분에 도달하는 태양광의 양과 그 복사의 계절적 변화와(2) 지구 대기 순환의 패턴과

그에 따른 해양 순환의 패턴에 크게 영향을 받는다. 토양 유형 및 토지의 고도와 같은 지역적 특성은 태양 광, 바람 및 수류의 전지구적 패턴과 상호 작용하여 생명체가 존재하는 조건과 생태계의 분포를 결정한다.

태양에너지와 지구 자전은 대기 순환에 영향을 미친다

지구는 가시광선과 가시 광선에 가까운 파장에서 전자기 복사의 형태로 태양으로부터 높은 속도로 에너지를 받는다. 상층 대기의 1 m² 면적에서 초당 약 1400줄 (J/sec)을 수신하며, 이는 14개의 100와트(W) 전구의 출력과 동일한 효과를 갖는다.

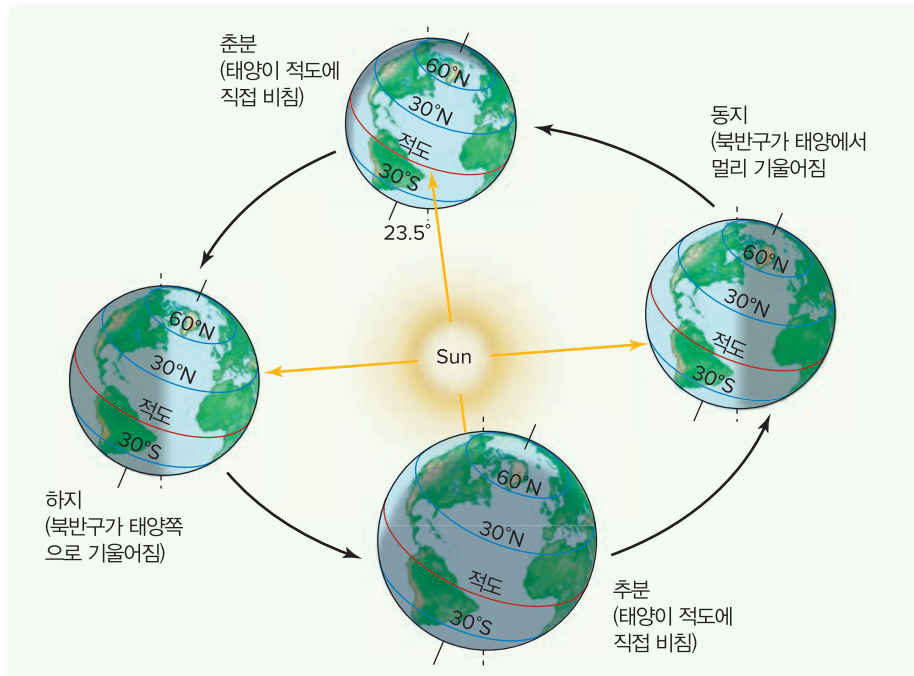
태양 복사 에너지가 대기를 통과함에 따라 그 강도와 파장 구성이



a.

그림 W6.1 지구의 생물 분포 및 특성의 결정에 중요하게 작용하는 지구와 태양 사이의 상호 관계.

a. 북반구의 중위도 부분 또는 남반구에서 지구에 입사되는 태양에너지 광선은 적도 지역에 조사되는 동일량의 광선보다 더 넓은 면적을 조사한다. b. 지구가 매년 태양을 중심으로 궤도를 돌고 있다는 사실을 기후에 큰 영향을 미치고 있다. 북반구와 남반구에서는 지구의 축이 그 궤도 평면에 수직으로 위치해 있지 않기 때문에 1년 주기로 대기온도가 변한다. 따라서 각 반구의 한 쪽은 어떤 기간 동안에는 태양을 향해 있고, 다른 기간에는 태양과 반대로 기울어져 있게 된다.



b.

변경된다. 에너지의 약 절반은 대기 중에 흡수되고 절반은 지구 표면에 도달한다. 대기의 가스는 일부 파장을 강하게 흡수하고 다른 파장은 자유롭게 통과한다. 결과적으로 지구 표면에 도달하는 태양 에너지의 파장 구성은 태양이 방출하는 것과 다르다. 예를 들어, UV-B로 알려진 자외선(UV) 파장은 대기의 오존(O_3)에 강하게 흡수되므로 이 파장은 지구 표면에 도달하는 태양 에너지에서 크게 감소한다.

태양복사가 기후에 미치는 영향

지표면의 일부는 다른 곳보다 태양으로부터 더 많은 에너지를 받게 되는데, 이러한 차이는 기후에 큰 영향을 미친다.

장소에 따라 태양 복사가 다른 주된 이유는 지구가 구형 혹은 거의 구형(그림 W6.1a)로 되어있다는 사실에서 기인된다. 열대 지방은 태양 광선이 적도 근처 지역에서 지표면에 거의 수직으로 도달하기 때문에 특히 따뜻하다. 극에 가까울수록 태양광이 닿는 각도인 입사각(angle of Incidence)에 의하여 태양 에너지를 더 많은 지구 표면에 퍼뜨려 단위 지표 면적당 에너지를 더 적게 전달한다. 그림 W6.2에서 볼 수 있듯이 가장 높은 연평균 기온은 적도(위도 0°) 근처에서 발생한다.

태양을 중심으로 한 지구의 연간 궤도와 자체 축의 일일 회전 역시 태양 방사에너지와 기후에 대한 영향을 결정하는 중요한 요인이다(그림 W6.1b).

지구의 자전축은 지구가 태양을 공전하는 평면에 대하여 수직이

아니다. 축이 약 23.5° 기울어져 있기 때문에 지구의 모든 부분, 특히 적도에서 멀리 떨어진 위도에서 계절이 진행된다. 예를 들어 북반구는 몇 달 동안 태양을 향해 기울어지지만 몇 달 동안은 멀어지면서 여름과 겨울이 온다. 적도에서 멀어 질수록 그림 W6.2에서 알 수 있

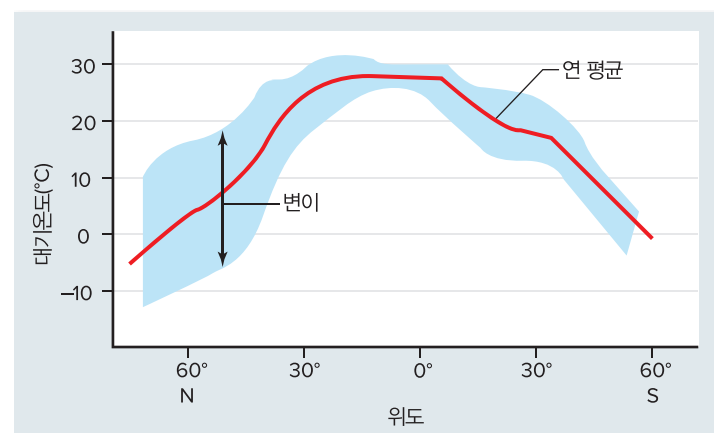


그림 W6.2 위도에 따라 달라지는 연평균 기온.

붉은 선은 좌측 북극 인근에서부터 우측 남극 인근까지의 다양한 위도에서의 연간 평균 기온을 나타낸다. 적도는 0°이다. 각각의 다른 위도에서 파란색 지역으로 표시된 위쪽 상단 끝은 한 해의 12개월 동안 관찰된 월별 최고 평균기온이며, 아래쪽 하단 끝은 월별 최저 평균기온을 나타낸다.

자료 분석 기온의 계절적 변화는 위도와 어떤 관련이 있으며 그 이유는 무엇인가?

듯이 여름과 겨울의 차이가 커진다.

대기권에서의 지구 순환 패턴

뜨거운 공기는 온도가 증가함에 따라 공기 중의 분자 운동이 증가하여 밀도가 낮아지기 때문에 차가운 공기에 비해 상승하는 경향이 있다. 따라서 적도 위도에서는 지구 표면의 강렬한 태양열 가열로 인해 공기가 표면에서 대기의 높이로 상승합니다. 이 상승 공기는 일반적으로 수증기가 풍부하다. 한 가지 이유는 공기가 가열될 때 수증기 함유 능력이 증가하고, 두 번째 이유는 적도의 강한 태양 복사가 다량의 물이 증발하는 데 필요한 열을 제공하기 때문이다. 따뜻하고 습한 공기가 표면에서 상승한 후(그림 W6.3), 높은 고도(10 km 이상)에서 적도에서 북반구의 북쪽, 남반구의 남쪽으로 밀려난다. 상승하는 공기를 대신하기 위해 더 차가운 공기가 북쪽과 남쪽에서 지표면을 따라 적도를 향해 흐른다. 이러한 공기 이동은 구상 대기 순환의 중

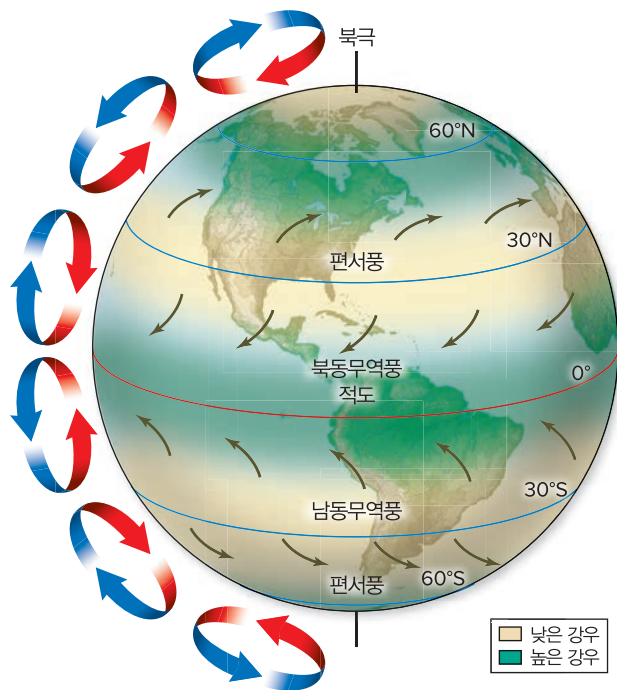


그림 W6.3 대기 순환의 일반적 유형.

이 그림은 주간 및 월간(이러한 평균 패턴은 어떤 특정 날에 극적인 차이를 보일 수 있다)에 일어나는 대기 순환의 패턴을 보여준다. 상승 공기는 점점 냉각되면서 적도 부근에서 그리고 60°N과 60°S에서 상대적으로 높은 강우량을 나타내는 지역을 형성한다. 고도가 높은 곳에서 대부분의 수증기를 소실한 공기는 30°N과 30°S 근처의 위도에서 상대적으로 낮은 강우량을 보이며 지표면으로 하강하는 경향을 보인다. 빨간 화살표는 지표면에서 부는 방향을 나타낸다. 파란 화살표는 위도가 높은 곳에서 부는 바람의 방향을 나타낸다. 바람은 지표면에 비해 상대적으로 곡선 형태로 움직여 가는데 이는 지구가 축을 중심으로 자전하고 있기 때문이다(코리올리 효과). 용어에서 혼동 문제가 있는데, 예전에는 바람이 가는(go) 방향이 아니라 오는(come) 방향에 의거하여 이름을 명명했다. 따라서 위도 30°에서 60° 사이의 바람은 서쪽에서 불기 때문에 편서풍(westerlies)으로 명명했다. 그에 반해 해양 학자들은 반대적 개념을 이용하며, 나아가는 방향으로 해류 이름을 명명하였다.

요한 요인이다. 공기는 표면의 양쪽 반구에서 적도를 향해 흐르고 적도에서 상승하며 높은 고도에서 적도에서 멀어진다. 정확한 흐름 패턴은 축에서 지구의 회전에 영향을 받는다. 이 효과에 대해 간략히 살펴보겠다.

복잡한 이유로, 적도에서 위로 순환하고 양쪽 반구의 높은 고도에서 순환하는 공기는 북과 남의 약 30° 위도에서 지구 표면으로 다시 순환하는 경향이 있다(그림 W6.3). 이 운동이 진행되는 동안 공기의 수분 함량은

온도 변화. 냉각은 수증기를 보유하는 공기의 능력을 극적으로 감소시킨다. 결과적으로 적도에서 상승하는 공기 중 많은 수증기가 응축되어 공기가 위로 이동함에 따라 구름과 비를 형성한다. 이런 강우는 적도 근처의 위도에서 많이 내리는데 지구 강우량에서 가장 많은 부분을 차지한다.

공기가 위도 30도 부근에서 지구 표면으로 다시 내려오기 시작하면 차갑게 되어 대부분의 수증기를 잃는다. 공기가 내려 가면서 다시 데워지지만 내려가는 동안 수증기를 많이 얻지는 않습니다. 가장 큰 사막의 대부분은 위도에서 지표면으로 건조한 공기가 꾸준히 하강하기 때문에 30° 근처의 위도에서 발생한다. 사하라 사막이 가장 극적인 예다.

30° 근처의 위도에서 하강하는 공기는 지구 표면에 도달한 후 부분적으로 적도 쪽으로 흐른다. 그 중 일부는 극을 향해 흐르고 각 반구에서 위도 30°에서 60°로 지구 표면에 불어오는 바람을 일으키도록 한다. 60° 근처의 위도에서는 공기가 표면에서 높은 고도로 상승한다.

? 탐구문제 연왜 0도 가까운 위도에서 더울까?

코리올리 효과

앞서 기술한 바와 같이, 지구가 축을 중심으로 회전하지 않는다면, 지구 공기 이동은 간단한 패턴을 따를 것이다. 그러나 공기 흐름(바람)은 회전하는 표면을 가로 질러 이동한다. 고체 형태인 지구는 바람 아래에서 회전하기 때문에 바람은 직선 경로가 아닌 표면을 가로 지르는 곡선 경로로 이동한다. 지구 자전으로 인한 바람의 경로의 곡률은 19세기 프랑스의 수학자 Gaspard-Gustave Coriolis의 이름을 따서 코리올리 효과(Coriolis effect)라고 한다.

북극에서 있다면 지구는 그 축에서 시계 반대 방향으로 회전하는 것처럼 보일 것이지만, 남극에 있다면 지구는 시계 방향으로 회전하는 것처럼 보일 것이다. 두 극에서 볼 때 회전 방향이 서로 반대인 회전 구의 이러한 속성은 두 반구에서 코리올리 효과의 방향이 반대인 이유를 설명한다. 북반구에서 바람은 항상 운동 방향의 오른쪽으로

로 구부러지고, 남반구에서는 항상 왼쪽으로 구부러진다.

이러한 바람 패턴의 이유는 지구와 같은 구형의 원둘레가 위도에 따라 변하기 때문이다. 극점에서는 0이고 적도에서는 38,000 km이다. 따라서 지표면 속도는 극지방에서 적도까지 시간당 약 0에서 1500 km로 변한다. 북위 30°로 내려오는 공기는 그 이하의 지표면 속도처럼 유사한 속도로 일정하게 불지 않게 된다. 그러나 적도 쪽으로 갈수록 그 아래 표면보다 더 느리게 이동하므로 북반구에서 오른쪽으로, 남반구에서 왼쪽으로 편향되게 된다. 위와 같은 이유로 북반구와 남반구 모두에서 바람이 적도를 향해서 뿐만 아니라 서쪽으로 불어온다. 그 결과(그림 W6.3) 적도의 양쪽에서 무역풍이라고하는 바람이 동쪽에서 서쪽으로 불어나는 것을 볼 수 있다.

이와 반대로, 30°에서 북쪽으로 이동하는 기단은 지표면에 형성되는 것보다 더 빠르게 이동하므로 오른쪽으로 다시 편향되며, 이 경우에는 동쪽으로 흐른다. 마찬가지로 남반구, 30°에서 60° 사이의 기단은 동쪽으로, 왼쪽으로 편향된다. 그러므로 양쪽 반구에서 30도에서

60도 사이의 바람이 서쪽에서 동쪽으로 불어나는데, 이 바람을 '편서풍(Westerlies)'라고 한다.

해류는 주로 바람에 의해 움직인다

주요 해류는 지구 표면의 바람에 의해 유도된다. 즉, 해류는 태양 에너지에 의해 간접적으로 움직인다는 것을 뜻한다. 태양으로부터의 복사열 입력은 이미 설명한대로 대기를 움직이게 하고 바람은 바다를 움직이게 한다.

북대서양(그림 W6.4)에서 지구 바람은 다음과 같은 패턴을 따른다. 지표면 바람은 적도 근처에서 동쪽부터 서쪽으로 날아가는 경향이 있지만 중위도에서는 서쪽에서 동쪽으로 불어오는 경향이 있다. (30° 및 60°). 결과적으로 북대서양의 표층수는 중위도에서 북미에서 유럽으로 흐르고 적도 근처의 위도에서 유럽과 아프리카에서 북미로 돌아 오는 거대한 폐곡선 -환류(gyre)라고 함-으로 이동하는 경향이 있다.

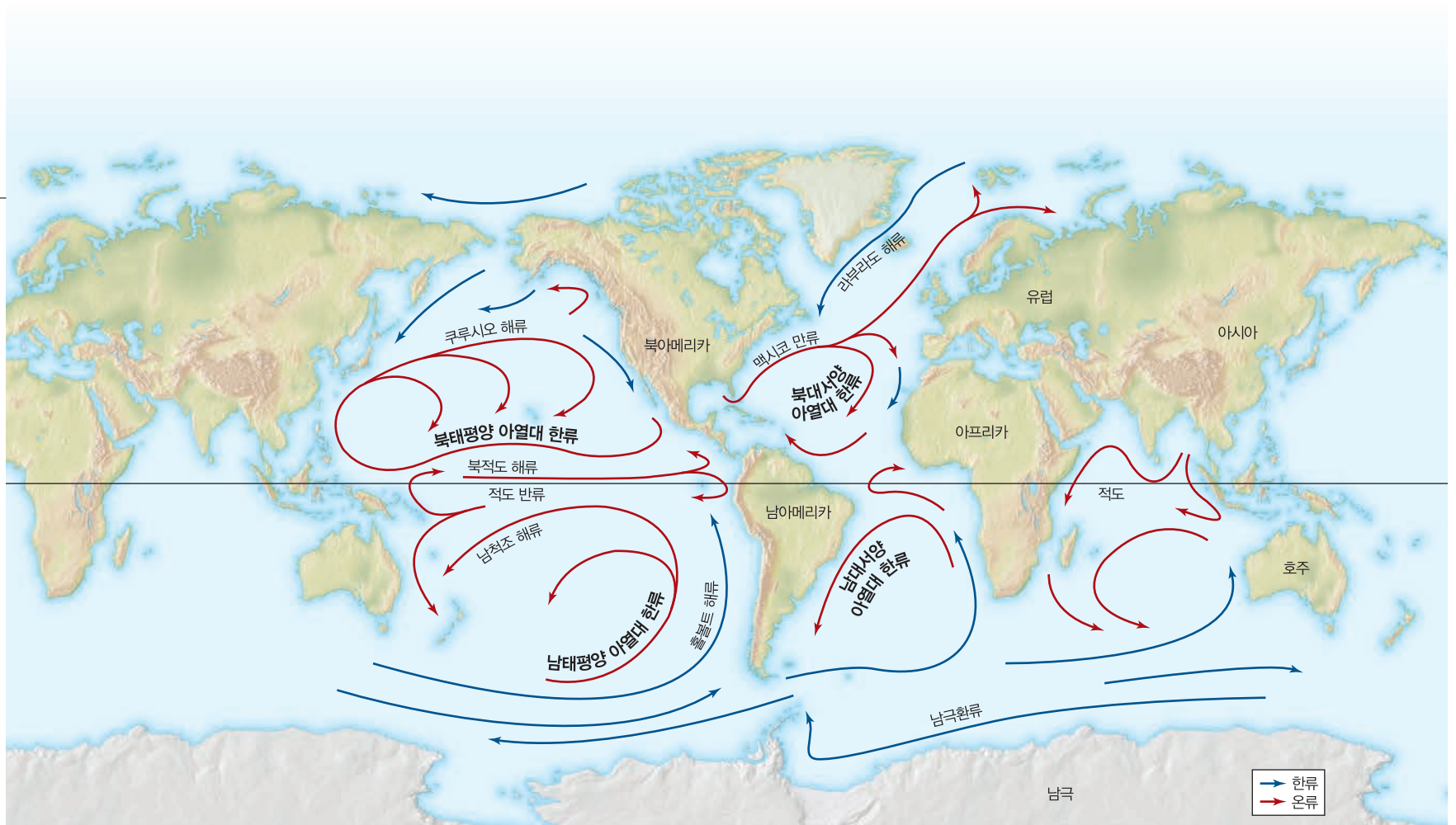


그림 W6.4 해류의 순환.

거대한 대양의 몇몇 중심부에서 표층수는 폐쇄형 커브 패턴으로 이동하는데, 이를 환류라고 한다. 이러한 물의 이동은 대양에서 생물 생산력에 영향을 주며, 인근 대륙의 기후에 큰 영향을 주는데 이런 사례로 겔프류가 영국의 섬들 지역에 난류를 공급하는 것을 들 수 있다.

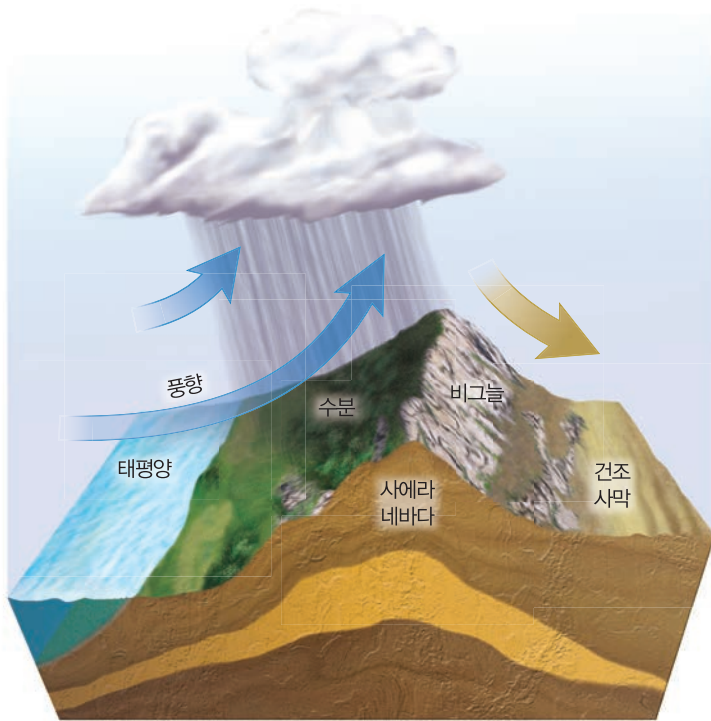


그림 W6.5 캘리포니아에서 비그늘 효과.

태평양으로부터 수분을 함유한 바람은 시에라 네바다 산맥을 만나면서 상승하고 냉각된다. 좀 더 차갑고 높은 고도에서 공기의 수분 함유력은 감소하게 되어 비를 뿌리고, 이는 산맥의 바다면 경사지에 수분을 공급한다. 이 경사지에서는 나무가 잘 자라는 숲이 형성되어 큰 거목(*Sequoiadendron giganteum*)도 발견된다. 이 공기는 산맥 동쪽 지역으로 하강하게 되면서 수분 함유력이 다시 증가하게 되고, 공기는 주변으로부터 수분을 빼앗는다. 이로 인해 산맥의 동쪽 지역은 건조해지고, 비그늘 효과에 의해 종종 사막도 형성된다.

해류는 코리올리 효과의 영향을 받는다. 따라서 코리올리 효과는 시계 방향으로 (폐쇄된 커브 흐름) 닫힌 곡선 운동에 기여한다. 중위도에서 유럽을 향해 대서양을 가로 질러 흐르는 물은 오른쪽으로 구부러지는 경향이 있으며 적도 근처에서 동쪽에서 서쪽으로 흐름으로 들어간다. 이 후자의 흐름은 또한 오른쪽으로 굽어 가는 경향이 있으며 중위도에서 서쪽에서 동쪽으로 흐름으로 들어간다. 남대서양에서는 일종의 거울상에서 같은 과정이 일어나고, 북태평양과 남태평양에서도 비슷한 시계 방향과 반 시계 방향 회전이 일어난다.

지역 및 지역 차이는 육상 생태계에 영향을 미친다

특정 장소의 환경 상태는 태양 복사, 공기 순환 및 물 순환의 지역적 및 지역적 영향과 함께 글로벌 패턴에 영향을 받는다. 이 섹션에서는 지상과 시스템에 초점을 맞춘 지역 및 지역 효과의 몇 가지 예를 살피고자 한다. 여기에는 비 그림자, 몬순 바람, 고도 및 미세 기상학적 요인의 존재가 포함된다.

비그늘 효과

육지의 사막은 습기가 많은 바다의 바람을 산맥이 가로챌으로써 형성되기도 한다. 바다에서 육지로 흐르는 공기가 산맥을 만나면(**그림 W6.5**), 공기가 상승하고, 높은 고도에서 차가워지기 때문에 수분 보유 능력이 감소하여 바다를 향한 산 경사면에 강수량이 떨어지게 된다.

상당한 수분을 빼앗긴 공기가 산맥 반대편으로 내려 가면 따뜻하지만 건조한 상태를 유지하고, 따뜻한 온도로 인해 수분 보유력이 증가한다. 즉, 토양과 식물에서 수분을 쉽게 흡수하게 된다.

한 가지 결과는 산맥의 두 경사면에서 수분 함유량이 극적으로 다르다. 예를 들어 캘리포니아의 경우 태평양으로부터 많이 떨어진 시에라 네바다 산맥의 동쪽 경사면은 서쪽 경사면보다 훨씬 건조하다. 또 다른 예로는 사막은 건조한 지역에 더 잘 발달이 되는데, 모하비 사막이 그 예다. 산은 비 그림자를 생성한다고 한다.

계절풍

아시아 대륙은 너무 커서 계절이 지나가는 동안 표면을 가열하고 냉각하면 바람 패턴이 지역적으로 크게 변화한다. 여름에는 아시아 대륙의 표면이 주변 바다보다 더 많이 뜨거워지지만 겨울에는 육지가 바다보다 더 많이 냉각된다. 그 결과 여름에 특히 인도양과 서부 열대 태평양 지역에서 바람이 아시아 대륙의 내부로 물을 이동시키는 경향이 있다. 겨울에는 반대로 대륙에서 해양으로 바람이 불게 된다. 계절에 따라 변화하는 이러한 바람을 몬순이라고 한다. 몬순은 강우 형태와 기간 및 강도에 영향을 미치며, 매년 이 지역에서 수억 명의 사람들의 식량 문제와 기근에 영향을 끼친다.

해발고도

또 다른 지역적 패턴은 산악 지역에서 온도 및 기타 조건이 고도에 따라 변한다는 것이다. 주어진 위도에서 기온은 고도가 1000m 증가할 때마다 약 6°C가 떨어집니다. 고도에 따른 온도 변화의 생태학적 중요성은 위도에 따른 온도 변화의 결과와 유사하다(**그림 W6.6**). 북미에서 고도가 1000 m 증가하면 위도 880 km 증가와 동일한 온도 저하가 발생한다.

미기후

환경은 매우 작은 공간적 규모에서도 상당히 다양하다. 예를 들어, 숲에서 열린 패치에 앉아있는 새는 강한 태양 복사, 높은 기온 및 낮은 습도를 경험할 수 있지만, 10피트 떨어진 통나무 아래에 숨어 있는 마우스는 그늘, 시원한 온도 및 수증기로 포화된 공기에 노출되어 있다. 이처럼 고도로 지역화 된 기후 조건을 미기후라고 한다.

어떤 경우에 생물종들이 서로 다른 미기후를 이용하고 적응함으

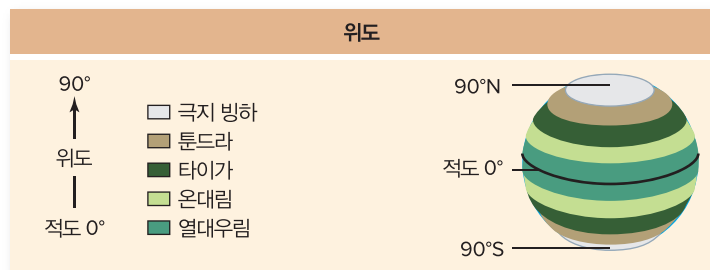
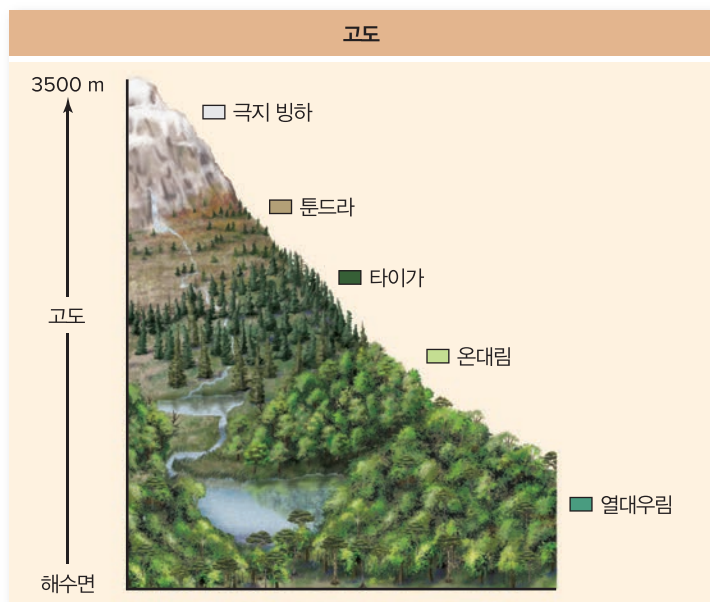


그림 W6.6 생물군계 분포에 영향을 미치는 해발 고도.

해수면에서 적도와 멀리 떨어진 북쪽에서 일반적으로 생성되는 생물군계는 열대지역의 고산지대에서도 나타난다. 열대지방의 고산지대에서는 위의 그림에서 보여주는 것처럼 생물군계의 연속성을 볼 수 있다. 북미에서 해발 고도가 1,000 m 상승되면서 나타나는 온도 감소는 위도가 880 km 증가할 때와 동일한 효과를 갖는다.

로써 경쟁을 피한다. 이전 장에서 우리는 경쟁 압력을 최소화하기 위해 자원 사용에서 종이 어떻게 다른지 논의한 다음, 특정 생태 틈새에 더 전문화되도록 적응하는 방법을 살펴보았다. 이것은 적응 복사와 광경의 기초가 되는 캐릭터 변위 과정이다(22장과 55 장 참조). 이러한 현상에 대한 이전 논의의 대부분은 동물이 먹을 수 있는 음식의 크기에 영향을 미치는 신체 크기 또는 다른 틈새 시장에 대한 적응과 관련된 기타 형태 학적 특징과 같은 특성에 초점을 맞추었다.

그러나 틈새를 나누는 대안은 다른 미기후를 사용하도록 생리적 적응을 진화시키는 것이다. 그렇게 함으로써 공생 종들은 서로를 덜 자주 만나며 공간과 식량에 대한 경쟁을 최소화한다. 예를 들어, 같은 지역에 사는 도롱뇽은 다른 서식지에서 다양한 습도에 적응할 수 있다. 마찬가지로 하와이에서는 다양한 미기후를 사용하도록 적응하는 종에 의해 다양한 유형의 식물의 적응 복사가 촉진된다.

핵심 요약 W6.1

다른 지역에 비해 더 강한 태양열 난방이 이루어지는 일부 글로벌 지역은 대기 순환의 글로벌 패턴을 설정하여 차례로 바다에서 물 순환의 글로벌 패턴을 유발한다. 코리올리 효과는 대기의 움직이는 기반 아래에서 지구가 회전하면서 발생한다. 이러한 패턴과 계절적 변화는 세계의 다른 지역에 있는 생물체에 존재하는 조건에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 고도나 위도가 높아지면 온도가 감소한다.

- 지구가 반대 방향으로 돌면 지구 공기 이동 패턴은 어떻게 달라질까?

W6.2 지구의 생물군계

학습 목표

1. 생물권에 대해 정의할 수 있다.
2. 특정 장소에서 생물권의 유형을 결정하는 주요 요인에 대해 설명할 수 있다.

생물권(Biomes)은 육지 생태계의 주요 유형이다. 각 생물 군계는 특징적인 외양을 가지고 있으며 주로 일련의 지역 기후 조건에 의해 정의된 넓은 지역에 분포되어 있다. 생물권은 식물 분포 구조에 따라 명명되지만 각 군계는 현존하는 동물도 포함된다.

생물권을 광범위하게 정의하자면, 육상 생태계를 생물 군계로 분류하는 방법에는 여러 가지가 있다. 8가지 주요 생물 군계는 다음과 같다. (1) 열대 우림, (2) 사바나, (3) 사막, (4) 온대 초원, (5) 온대 낙엽림, (6) 온대 상록수림, (7) 타이가, (8) 툰드라.

일부 생태 학자들이 인정하는 여섯 가지 추가 생물 군계는 극지 빙하, 고산지대, 수풀, 온대습윤 상록수림, 열대 계절풍림 및 반사막 등이다. 다른 생태 학자들은 이 6개를 8개의 주요 생물권과 함께 묶어 구분한다. **그림 W6.7**은 14개의 모든 생물 군계의 분포를 보여준다.

생물 군계는 특정 식물 종의 존재 유무보다는 그들의 특징적인 식생 구조 및 관련 기후 조건에 의해 정의된다. 따라서 동일한 생물 군계에 할당된 두 지역은 경관 특성을 지배하는 종에 따라 다를 수 있다. 예를 들어 전 세계의 열대 우림은 모두 크고 무성한 초목으로 구성되어 있지만 남미 열대 우림을 지배하는 수종은 인도네시아 열대 우림과 다르다. 이러한 숲 사이의 유사성은 수렴 진화에서 비롯된다(21장 참조).

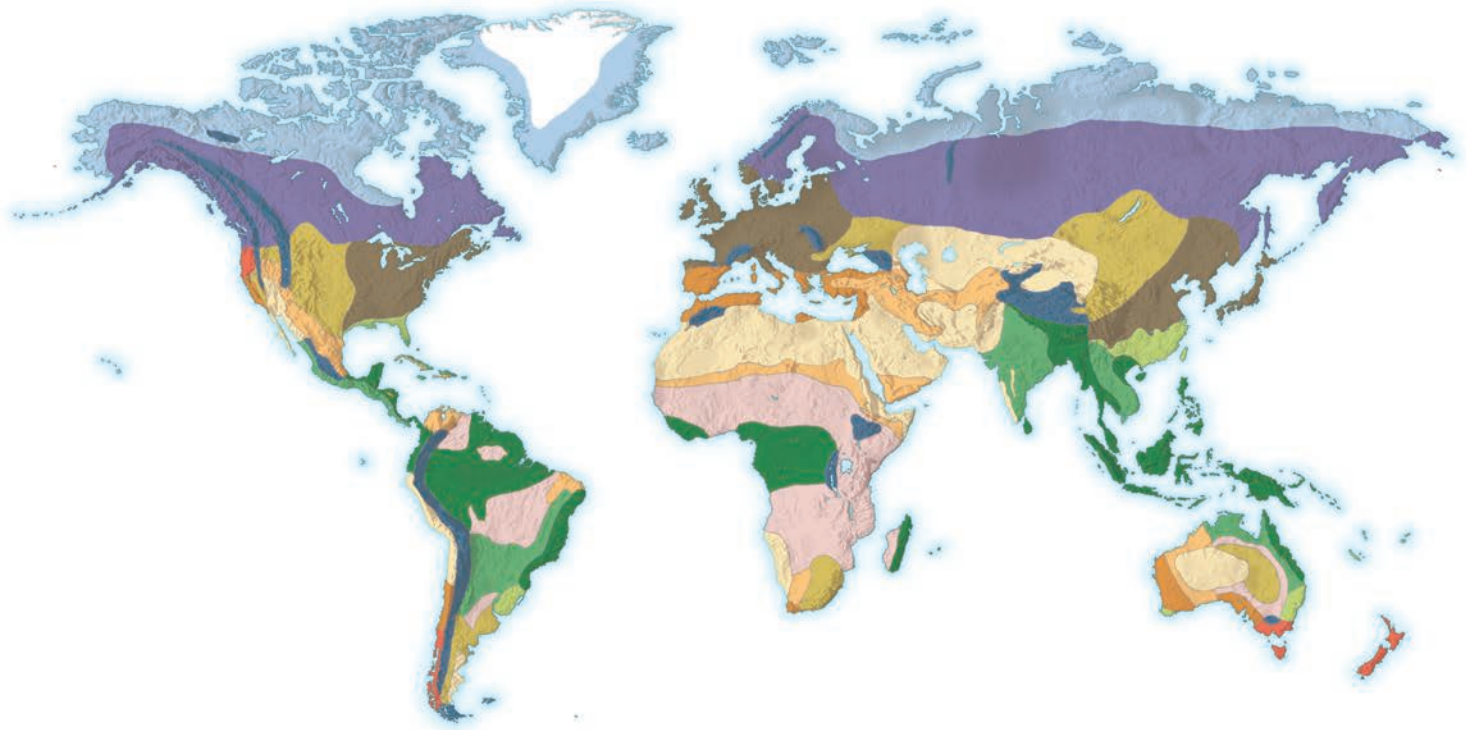


그림 W6.7 생물군계의 분포.

각 생물군계는 자체 내의 고유한 식생 구조 및 외형적 특성을 갖는다.

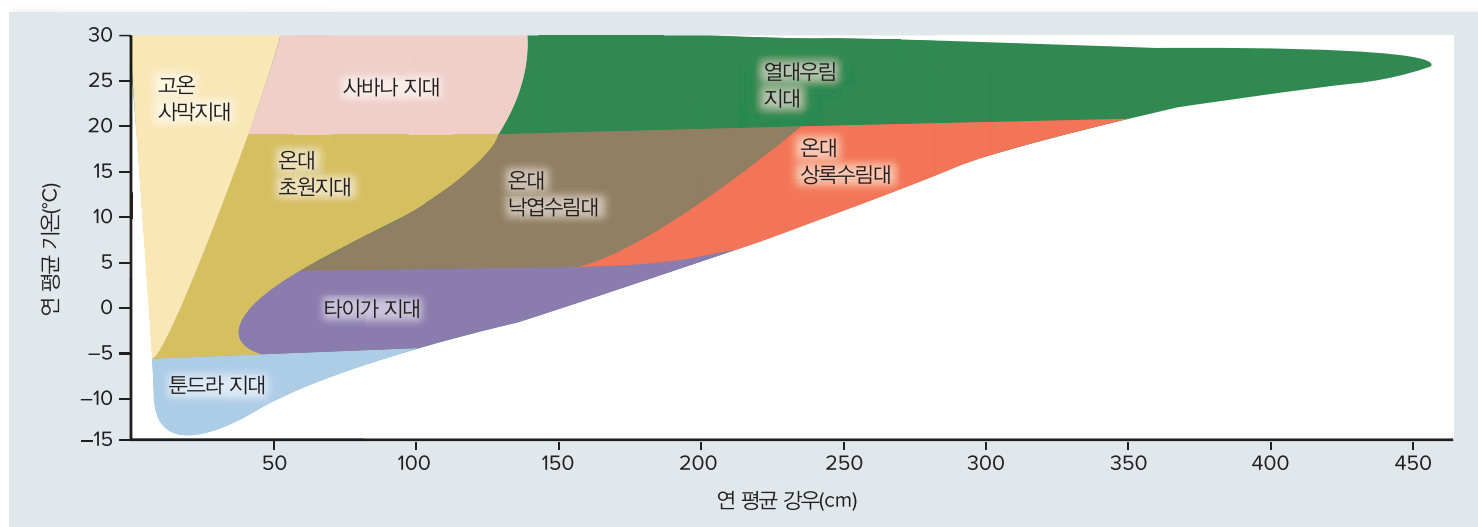
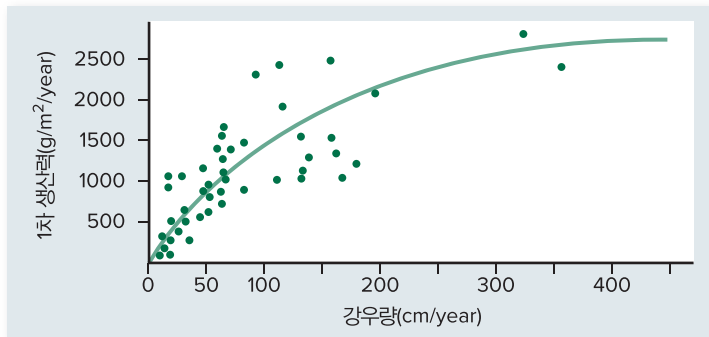
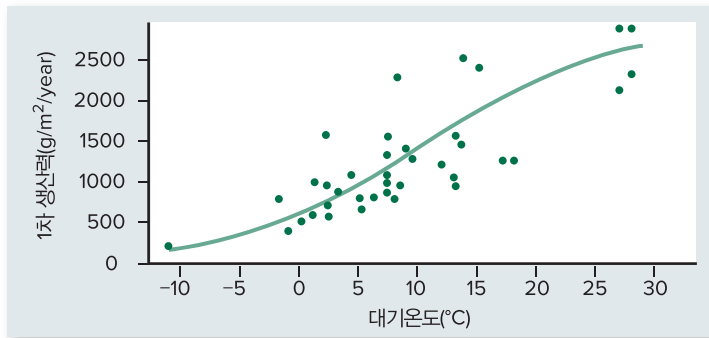


그림 W6.8 생물군계 분포에 영향을 주는 요인들.

때때로 여러 요인들은 생물군계 분포에 중요한 역할을 하지만, 온도 및 강수량은 이들 분포에 가장 큰 영향을 주는 중요한 요인이다.



a.



b.

그림 W6.9 강수량과 기온에 따른 1차 생산력의 변화.

지구상의 52개 지점에서 1차 생산성은 **a.** 연 평균 강수량과 **b.** 연 평균 기온과 뚜렷한 상관 관계를 보인다.



탐구문제 강수량과 온도가 증가함에 따라 1차 생산성이 증가할 것으로 예상하는 이유는 무엇인가?



자료 분석 **그림 W6.9a**는 중간 강수량(연간 약 125 cm)을 갖는 생태계의 생산성에 큰 변화를 나타낸다. **그림 W6.9b**와 **W6.8**의 정보는 어떻게 이것을 설명할 수 있는가?

기온과 습도는 생물권을 결정한다

어떤 생물권이 어디에서 발견되는지를 결정해 주는 두 가지 주요 환경 요인은 온도와 습기이다. 그림 W6.8에서 볼 수 있듯이 육상 지역의 연평균 기온과 연평균 강수량을 알고 있다면 우세한 생물 군계를 예측할 수 있다. 온도와 습기는 다양한 방식으로 생태계에 영향을 미친다. 그들이 그토록 영향력 있는 이유 중 하나는 56장에 설명된 것처럼 1차 생산력이 강한 상관 관계가 있기 때문이다(**그림 W6.9**).

연평균 기온과 강수량이 비슷한 다른 장소는 때때로 다른 생물 군계를 지원하는데, 이는 온도와 습기가 중요한 유일한 요소가 아님을 나타낸다. 토양 구조와 광물 구성(37장 참조)은 영향을 미칠 수 있는 다른 요인 중 하나이다. 현존하는 군계는 온도와 강수 조건이 얼마나 계절적으로 강하거나 상대적으로 일정한지 여부에 따라 달라질 수 있다.



그림 W6.10 열대우림.

열대우림은 높은 생산력을 지닌 적도 좌표계이다

일반적으로 연간 140~450 cm의 비가 내리는 열대 우림(Tropical rainforests)은 지구상에서 가장 풍부한 생태계이고(**그림 W6.10**), 높은 온도와 높은 강수량의 이점을 누리기 때문에 매우 생산력이 높은 지역이다(**그림 W6.9** 참조). 또한, 이 군계는 매우 높은 생물 다양성을 나타내며, 모든 육상 식물 및 동물 종의 적어도 절반에 이르는 200종 이상이 존재하는 지역이다. 1제곱 마일 안에 브라질 열대 우림에는 1200종의 나비가 서식하는데 이는 북미 전체에서 발견되는 수의 두 배입니다. 열대 우림은 영양분을 빠르게 재활용하기 때문에 토양에는 영양분이 결핍되는 현상이 일어나기도 한다.

사바나는 계절적 강우를 보이는 열대 초원이다

사바나(Savanna)는 열대 또는 아열대 초원이며 종종 넓은 간격의 나무 또는 관목이 점재한다. 전 세계적으로 사바나는 열대 우림과 사막 사이의 전이적 생태계이다. 이 군계는 연간 강수량(50~125 cm)으로 연중 강수량이 적어 열대 우림을 지탱할 수 없지만, 사막 환경을 조성할 만큼 적지는 않은 따뜻한 곳의 특징이다.

강우는 사바나에서 종종 계절적으로 나타난다. 동아프리카의 세렝게티 생태계는 아마도 세계에서 가장 유명한 사바나 생물 군계의 예일 것이다. 대부분의 세렝게티 지역에서 일년 중 여러 달 동안 비가 내리지 않지만 그 외 시기에는 비가 많이 내린다. 생태계에서 방목하는 동물의 거대한 무리는 비의 계절성에 반응한다. 많은 종들은 비가 내리는 몇 개월 간 수위가 높아진 강에서 떨어져 있다.

사막은 비가 거의 내리지 않는 곳이다

사막은 비가 드물고 (연간 강수량이 25~40 cm 미만) 예측할 수 없는 건조한 곳이다. 예측할 수 없다는 것은 식물과 동물이 1년에 단



그림 W6.11 온대 낙엽수림.

한 번도 비를 맞을 수 없다는 것을 의미한다. 섹션 W6.1에서 언급했듯이, 사막의 대부분은 지구의 대기 순환 패턴으로 인해 30°N 및 30°S 근처의 위도에서 발생한다(그림 W6.3 참조). 다른 사막은 비 그림자로 인해 형성되기도 한다(그림 W6.5 참조).

사막에는 식물이 거의 없으며 식물과 동물의 생존은 물 공급 여부에 달려 있다. 많은 사막 유기체는 비가 내리지 않는 기간 동안 비활성 단계에 들어간다. 극한의 온도를 피하기 위해 사막에 사는 소형 척추 동물은 종종 깊고 시원하며 때로는 습한 굴에서 산다. 일부는 밤에만 나타나기도 한다. 큰 사막 동물들 사이에서 낙타는 물이 있을 때 다량의 물을 마시고 잘 보존하여 몇 주 동안 마시지 않고 살아남을 수 있다. 오리시스(대형 사막에 서식하는 영양)는 파넌 잎이나 뿌리의 수분과 가능한 경우 식수를 통해 기회주의적으로 생존한다.

온대성 초원에는 비옥한 토양이 있다

적도와 극 사이의 중간에는 풀들이 아주 잘 자라는 온대성 초원이 있다. 이러한 초지 지역을 평원(prairies)이라고도 하는데, 북미 내륙 지방에서 분포한 이후 유라시아와 남미 대륙으로 널리 퍼졌다.

다년생 초본의 뿌리는 특징적으로 토양 깊숙이 침투하고, 초원 토양은 깊고 비옥한 경향이 있다. 온대성 초원은 농업용으로 전환될 때 생산성이 매우 높으며 광대 한 지역이 이러한 방식으로 변형되었다. 이러한 토지 사용의 변화 이전에 북미에서는 거대한 들소 무리와 대

혼 양 영양이 온대성 초원에 서식했으며, 1년 동안 자원이 변경됨에 따라 계절에 따라 이동했다. 자연적인 온대성 초원은 주기적인 화재에 적응하여 화재가 필요한 생물 군계 중 하나이기에 적당한 화재가 필요하기도 하다.

온대 낙엽 수림은 계절 변화에 적응한다

온화하지만 계절적인 기후(따뜻한 여름과 추운 겨울)와 풍부한 비는 미국 동부, 캐나다 동부 및 유라시아의 온대 낙엽 수림의 성장을 촉진한다(그림 W6.11). 낙엽수는 겨울철에 잎을 떨어뜨리는 나무를 뜻한다. 사슴, 곰, 비버, 너구리는 이 생물권에 주로 서식하는 동물이다.

온대성 상록수림은 해안가에 있다

온대 상록수림(Temperate evergreen forests)은 미국 북서부와 같이 온화한 기후의 해안선을 따라 발생한다. 잎을 떨어뜨리지 않는(그래서, 늘 푸른나무인) 가문비 나무, 소나무, 삼나무와 같은 상록수들이 주요 우점 수종이다.

타이가는 겨울철 추위가 혹독한 북방의 숲이다

타이가와 툰드라(다음에 설명 됨)는 둘 다 지구 전체를 돌며 큰 원으로 뻗어 있다는 점에서 다른 생물 군계와 다르다(그림 W6.7 참조). 타이가는 일년 내내 바늘 모양의 잎을 유지하는 침엽수(가문비 나무, 험록 및 전나무)가 지배적인데 북부 산림지대에 많이 분포한다.

타이가는 지구상에서 가장 큰 생물 군계 중 하나이다. 타이가 지역의 겨울은 매우 길고 춥고 대부분의 제한된 강수량은 여름에 내린다. 엘크, 무스, 사슴을 포함한 많은 대형 초식 동물과 늑대, 곰, 스라소니, 울버린과 같은 육식 동물들을 타이가에서 발견할 수 있다.

툰드라는 성장기가 짧고 얼어붙은 나무가 없는 지역이다

타이가보다 위 위도이지만 극지방의 얼음 남쪽에서는 나무가 거의 자라지 않는다. 툰드라라고 불리는 이 지역에서 발생하는 풍경은 열려 있고 바람이 불며 종종 늪지대이다. 이 거대한 생물 군계는 지구 지표면의 5분의 1을 차지한다. 비나 눈이 거의 내리지 않는다. 영구 동토대(모든 곳에서 지속되는 토양 얼음)는 1년 내내 토양이 얼어 있고, 계절-일반적으로 지표면 1미터 이내에 존재한다.

툰드라에서 발견되는 나무는 작고 대부분 하천과 호수 가장자리에 국한되어 있다. 사향소와 순록(순록)과 같은 대형 방목 포유 동물과 늑대, 여우, 스라소니와 같은 육식 동물이 툰드라에 서식한다. 레밍(북극에 서식하는 작은 설치류)의 개체군은 극적으로 증가하고 감소하며 이를 잡아먹는 동물의 수에 중요한 영향을 끼친다.

핵심 요약 W6.2

생물 군계라고하는 주요 생태계 유형은 육지의 기후 지역마다 구별될 수 있다. 이 생물 군계는 지구상 어디에서나 거의 동일하다. 연평균 기온과 강수량은 생물 군계 유형의 효과적인 예측 변수지만 계절적 변화의 범위와 지역의 토양 특성도 영향을 받는다.

■ 다른 위도에서 다른 생물 군계가 발생하는 이유는 무엇입니까?

W6.3 Freshwater Habitats

학습 목표

1. 유광대를 설명하시오.
2. 호수에서 봄과 가을 전복의 원인을 설명하시오
3. 부영양화와 빈영양화를 구별하시오.

주요 서식지 중 담수는 지구 표면의 가장 작은 비율을 차지한다. 육지는 27%, 바다는 71%에 비해 그 크기가 매우 작고 2%에 불과하다. 대기 중으로 물이 증발하며 시작되는데, 담수의 형성은 증류와 마찬가지로 대부분의 용해된 성분을 제거하는 것과 같다. 물이 비나 눈으로 지구 표면으로 떨어지면 대기에서 생물학적으로 중요한 용해 또는 미립자 물질을 집어 들었는지 모르지만 거의 순수한 상태로 도달한다.

습지, 늪, 수령과 같은 민물 습지는 담수 영역과 육지 영역 사이의 중간적인 서식지 역할을 한다. 습지는 매우 생산성이 높으며(그림 56.11 참조) 그들은 또한 홍수를 조절하는 저수지 역할과 같은 중요한 추가 역할을 한다.

담수 수체의 1차 생산은 물에 떠있는 단세포 조류(식물성 플랑크톤), 바닥에서 필름으로 자라는 조류, 수련과 같은 뿌리 식물에 의해 수행된다. 또한, 육상의 죽은 잎과 같은 상당한 양의 유기물이 근처 땅에서 자라는 식물 군집의 수체에 유입된다.

담수 서식지의 생활은 산소 가용성에 달려 있다

용존 산소(O_2)의 농도는 담수 생물 군집의 특성을 결정하는 주요 요인이다. 산소는 설탕이나 소금처럼 물에 용해되는데, 물고기와 다른 수생 생물은 용액에서 흡수하여 필요한 산소를 얻는다. 따라서 산

소의 용해도는 매우 중요하다.

실제로 산소는 물에 잘 녹지 않는다. 결과적으로 담수가 완전히 통기되고 대기와 평형을 이루더라도 리터당 포함하는 산소의 양은 공기 중 5%(또는 그 이하)에 불과하다. 이것은 생물체가 필요로 하는 산소를 얻는 측면에서 담수 생물이 공기를 호흡하는 육상 생물보다 훨씬 안전하지 않다는 한계를 가지고 있음을 의미한다.

산소는 담수 수체에 지속적으로 추가되기도 하고 제거되기도 한다. 산소는 광합성과 대기로부터의 산소 공급에 의해 추가되며 동물 및 기타 종속 영양에 의해 제거된다. 썩어가는 유기물이 물 속에 많이 존재하면 썩어가는 미생물의 산소 요구량이 높을 수 있으며 때로는 다른 종에서 사용할 수 있는 산소의 양을 고갈시킬 수도 있다. 물에서 산소를 제거하는 속도가 추가 속도를 초과하는 조건에서는 용존 산소 농도가 너무 낮아서 많은 수생 동물이 생존할 수 없게 된다.

호수와 연못 서식지는 수심에 따라 변한다

담수에서 수체의 규모가 크면 호수, 작으면 연못이라고 한다. 물은 수체를 통과하는 빛을 흡수하고 광합성에 사용할 수 있는 햇빛의 강도는 깊이가 증가함에 따라 급격히 감소한다. 깊은 호수에서는 상

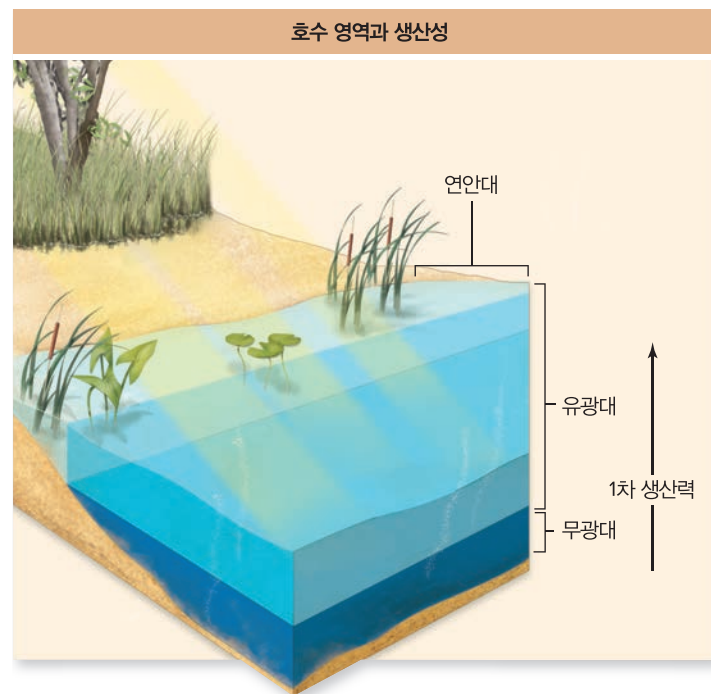


그림 W6.12 호수에서의 광투과.

호수에서 광합성에 유용하게 이용되는 태양광의 강도는 호수가 깊어질수록 감소한다. 결과적으로 표층의 일부인 유광대에서 충분한 빛을 받고, 이층에서 식물 플랑크톤의 1차 순생산력은 증가한다. 유광대의 깊이는 물의 탁도에 의해 결정된다. 호수의 가장자리 얇은 곳을 연안대라고 부른다. 이곳은 바닥까지 햇빛이 잘 도달하기 때문에 식물과 바닥의 조류들이 그곳에서 잘 서식할 수 있다.

대적으로 표면에 가까운 물만이 식물성 플랑크톤이 긍정적인 1차 순 생산성을 나타내기에 충분한 빛을 받는다(그림 W6.12). 이와 같이 광 투과가 이뤄지는 수심을 유광대(photic zone)라 한다.

유광대

유광대의 깊이는 물에 있는 입자상 물질의 양에 따라 달라진다. 상대적으로 맑고 입자상 물질이 없는 물은 식물성 플랑크톤을 지원하기에 충분한 강도로 빛이 10 m 깊이까지 침투하도록 한다. 표층부에 조류가 많거나 침식으로 인한 토양으로 탁해진 물은 빛이 깊게 침투하지 않게 할 수 있다.

호수의 심해에 용존 산소를 공급하는 것은 산소가 표층부 근처의 수중 시스템으로 들어가 공기와 가스 교환이 일어나고 수생 생물에서 광합성이 발생하기 때문에 문제가 될 수 있다. 호수의 고요한 물에서는 표면과 더 깊은 층이 섞이지 않을 수 있다. 열적 층화의 결과로 가끔 발생하는 경우를 제외하고 발생시키는데 결과적으로 산소는 지표수에서 심해로 거의 유입되지 않는다.

수온 성층화 현상

수온 성층화는 많은 호수와 큰 연못의 특징이다. 그림 W6.13의 하단에서 볼 수 있듯이 여름에는 태양에 의해 데워진 물은 표면에 표층을 형성한다. 왜냐하면 따뜻한 물은 냉수보다 밀도가 낮고 위에 떠다니는 경향이 있기 때문이다. 심수층(hypolimnion)이라고 불리는 더 차갑고 밀도가 높은 물이 아래에 있다. 따뜻한 층과 차가운 층 사이에는 과도기 층인 수온약층이 존재한다. 여기서 우리는 담수에 초점을 맞추고 있지만, 해양에서도 이와 같은 구조가 비슷하게 발생한다.

호수에서 수온 성층화 현상은 심층수로의 산소 공급을 차단하는 경향이 있다. 수온 성층화의 결과는 산소를 받는 상층 수가 하층 수와 혼합되지 않게 되는 것이다. 바닥의 산소 농도는 시간이 지남에 따라 점차적으로 감소할 수 있다. 심수층에 사는 유기체가 대체되는 것보다 더 빨리 산소를 사용하기 때문이다. 산소 사용률이 높으면 여름이 끝나기 전에 바닥의 물에 산소가 부족하여 산소가 없어 질 수 있다. 산소가 없는 상태가 발생하면 호수에서 대부분의 동물이 폐사하게 된다.

가을에는 호수의 표층 수온이 심해의 온도와 거의 같을 때까지 떨어진다. 두 층의 밀도가 점점 비슷해지고 두 층이 떨어져 있는 성질이 약해진다. 그런 다음 바람이 층을 혼합하도록 할 수 있으며, 이렇게 혼합되는 것을 가을 수직혼합현상이라고 한다(그림 W6.13). 그런 다음 심층수의 산소 농도가 높아지며 원래와 같이 복원된다.

2장에서는 물의 독특한 성질에 대해 살펴보았다. 담수는 온도가 4°C

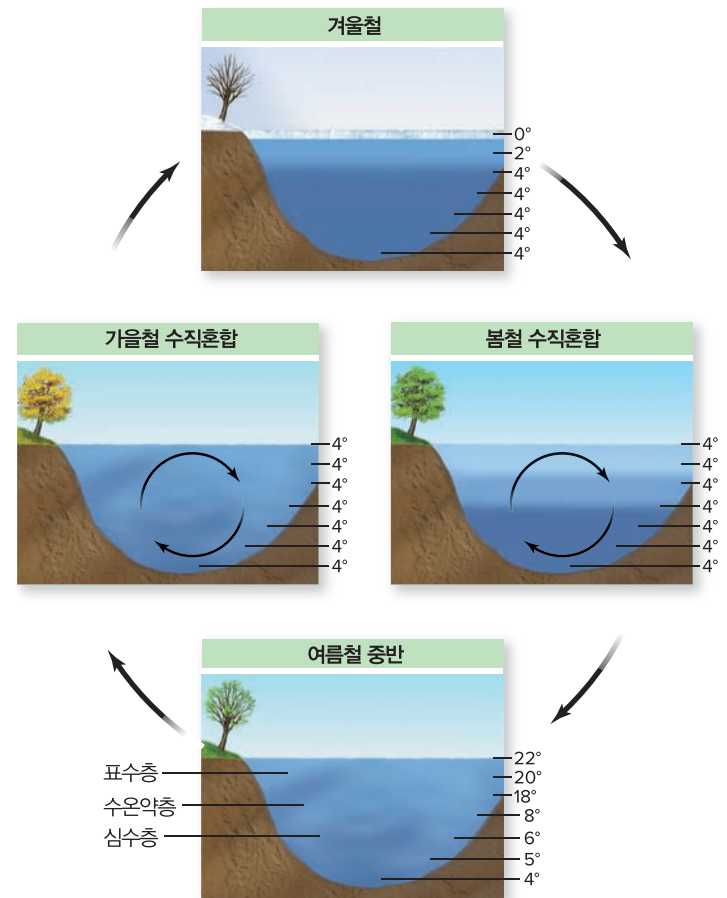


그림 W6.13 온대지역의 호수들에서 수온 성층화 현상의 계절별 순환 모식도.

하절기(아래 그림)에는 태양에 의해 따뜻한 물(표층)이 차갑고 밀도가 높은 물(심층) 위로 떠오르며 수온 성층화가 일어난다. 동절기(위 그림)에 수온 성층화 현상은 표층 수온이 빙점 근처로 하강할 때 혹은 수온이 40°C(순수한 물에서 가장 높은 밀도를 갖는 온도)인 표층수 위에 열기 직전의 차가운 물이 있을 때 일어난다. 성층화 현상은 봄과 가을철의 수직 혼합 현상에 의해 파괴되며, 이때 호수의 수온은 모든 수심에서 균일한데, 이는 바람이 상층과 하층의 물을 잘 혼합해주기 때문이다.

일 때 밀도가 가장 높고 0°C일 때 얼음이 된다. 겨울이 시작되면서 호수가 어는 점으로 냉각되면서 호수 전체가 먼저 4°C에 도달한다. 그런 다음 일부 물은 더 낮은 온도로 냉각되고 냉각되면 밀도가 낮아지고 상단으로 올라가게 된다. 이 표층수가 차가워지면서 표면이 얼음으로 얼어붙는다. 봄에는 얼음이 녹고 표면이 따뜻해지며 다시 바람이 호수 전체를 혼합하게 되는데 이러한 현상을 봄 수직혼합 현상이라 한다.

열대 지방에서는 연중 기온 변화가 적기 때문에 많은 호수에서 수직혼합 현상이 발생하지 않는다. 결과적으로 열대 호수는 바닥 근처에 산소가 고갈되는 영구적인 수온약층을 갖게 된다.

호수는 영양염류 농도 및 용존 산소가 다르게 나타난다.

조류 영양소(질산염 또는 인산염 등)가 적고 부피 단위당 조류 물질의 양이 적은 담수를 빈영양 수체라고 하는데, 이러한 물은 맑고

빈영양호



a.

그림 W6.14 빈영양호와 부영양호.

a. 빈영양호에서는 영양염류 농도가 낮고, 용존산소량이 높으며, 물이 맑다. **b.** 부영양호는 조류의 영양염류의 농도가 높으며, 용존산소량이 적다. 이런 부영양호에서는 빛이 수심 깊은 곳까지 투과하지 못한다.

부영양호



b.

깨끗하다. 빈영양성 하천과 강은 흐르는 물의 움직임으로 인해 공기가 통하기 때문에 용존 산소가 높은 경향이 있다. 물 속의 유기물이 적다는 것은 산소가 상대적으로 낮은 비율로 사용된다는 것을 의미한다. 유사하게, 빈영양 호수와 빈영양 연못은 산소 사용률이 낮기 때문에 일년 내내 모든 깊이에서 용존 산소가 높은 경향이 있다. 물이 비교적 맑기 때문에 빛은 물에 쉽게 침투하게 되고 광합성이 위에서 아래로 많은 수주를 통해 일어날 수 있다(**그림 W6.14**).

부영양(Eutrophic) 수체는 조류 영양분이 높고 조류가 밀집되어 있다. 특히 여름에는 이러한 수체에서 용존 산소가 낮을 가능성이 더 크다. 부영양 상태의 수역에서 부식 미생물은 종종 이용 가능한 산소를 많이 요구하는데, 두꺼운 조류 개체군이 죽으면 많은 양의 유기물이 분해 될 수 있기 때문이다. 더욱이 빛은 물 속의 모든 유기물 때문에 부영양성 물을 잘 통과하지 못한다. 따라서 광합성 산소 첨가는 상단의 상대적으로 얇은 물 층으로 제한된다.

인간의 활동은 종종 빈영양호를 부영양호로 변화시켰다. 예를 들어, 사람들이 잔디나 들판을 과도하게 비옥하게 하면, 비료의 질산염과 인산염이 지역 상수도로 흘러내리게 된다. 이러한 영양소를 받는 호수는 더 부영양화 된다. 그 결과, 여름철에는 바닥에 산소가 없을 가능성이 더 커진다. 송어와 같은 어류들은 산소 고갈에 민감한데, 호수가 부영양 상태가 되면 이런 종들은 사라지고 잉어와 같이 낮은 산소 농도에도 잘 적응하는 종들로 대체된다. 과도한 질산염, 인산염 및 하수와 같은 이물질의 추가를 제거하기위한 조치를 취하면 호수는 시간이 지남에 따라 빈영양 상태로 돌아갈 수 있다.

핵심 요약 W6.3

유광대는 빛이 투과하는 표면 근처의 층이다. 광합성은 광 영역에서만 일어난다. 열성층화는 산소 농도의 주요 결정 요소이다. 온대 호수에서는 온대호수에서는 봄과 가을에 층이 같은 온도에 도달했을 때 층이 서로 섞이는 현상이 발생하며, 바람 때문에 층이 섞일 수 있다. 이것은 호수 바닥 근처의 산소 고갈을 방지한다. 부영양 호수는 조류에 대한 영양소는 높지만 용존 산소는 낮다. 빈영양 호수는 영양소가 적지만 모든 깊이에서 용존 산소가 높다.

- 열대 호수가 종종 계절별 전환을 진행하지 않는 이유는 무엇이며, 이것이 이러한 호수의 생태계에 어떤 영향을 미칠 가능성이 있는가?

W6.4 Marine Habitats

학습 목표

1. 다양한 해양 서식지를 알 수 있다.
2. 엘니뇨 사건이 발생하는 이유를 설명하시오.

지구 표면의 약 71%가 바다로 덮여 있다. 대륙붕은 물이 특별히 깊지 않은 해안선 근처에서 발생하는데(**그림 W6.15**), 본질적으로 대

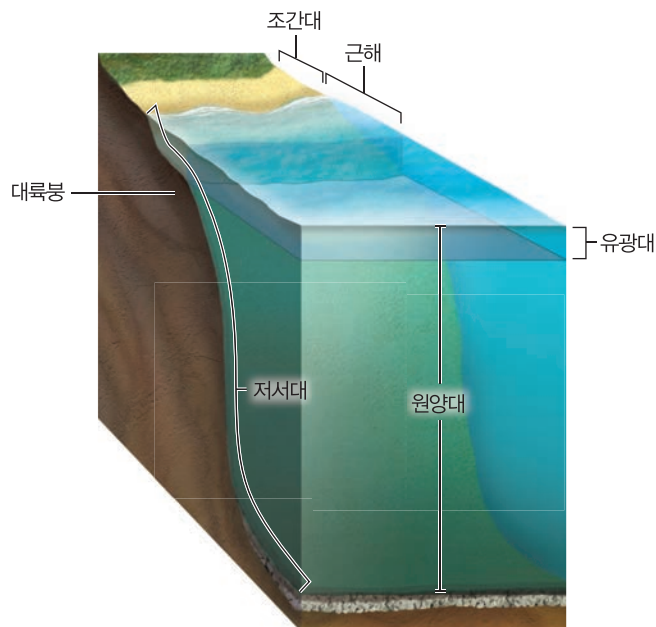


그림 W6.15 해양 생태계를 설명하는 데 이용되는 기본 개념 및 용어.

대륙붕은 대륙 근처에서 물에 잠긴 가장자리를 말한다. 이 위에 있는 물을 근해라 하고, 전 세계적으로 평균 수심이 가장 깊은 곳은 130 m에 달한다. 연안대를 따라 조수 간만의 차로 인하여 생성된 지역을 조간대라 부른다. 바닥은 저서대라고 부르고, 개방된 해양에서 수역을 원양대라고 한다. 유광대는 식물 플랑크톤이 1차 순생산력을 능동적으로 생산하는 곳으로 충분한 광 투과를 갖는 원양대의 일부분이다. 이 모식도의 종적인 규모는 매우 축소되었다. 반면, 대륙붕의 가장자리 밖은 깊이가 130 m이고 개방된 해양은 실제로 평균 깊이가 35배(4,000~5,000 m)이상 깊다.

륙붕은 물에 잠긴 육지의 가장자리를 나타낸다. 전 세계적으로 선반의 너비는 평균 약 80 km이며, 해안에서 바다를 향해 이동함에 따라 그 위의 수심은 1 m에서 약 130 m로 증가한다.

대륙붕 너머로 급격히 수심이 깊어진다. 열린 바다의 평균 깊이는 4000~5000 m이며 일부 부분(참호라고 함)은 훨씬 더 깊어 태평양 서부의 마리아나 해구에서 11,000 m에 이른다.

해양에서 주된 1차 생산자는 빛이 잘 통과되는 표층에 떠다니는 식물성 플랑크톤이다. 해양 식물성 플랑크톤의 영양염류 제한에 대한 과학적 이해는 현재 개정 중이다(56장 참조). 식물성 플랑크톤의 1차 생산은 현재 세계 해양의 약 2/3에서 질소가 제한, 약 1/3에서는 철이 제한 인자가 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. 철 제한 지역으로 알려진 주요 지역은 남극 대륙, 적도 태평양의 일부 및 아북극의 북동 태평양 일부를 둘러싸고있는 남극해이다. 해안선을 따라 물이 얇은 곳에서는 식물성 플랑크톤 뿐만 아니라 해초와 같은 뿌리 식물과 해조류를 포함한 바닥에 서식하는 조류에 의해 1차 생산이 이루어진다.

세계의 해양은 매우 광대하여 다양한 유형의 생태계를 포함한다. 산호초 및 기수역과 같은 일부는 단위 면적당 순 1차 생산성이 높지

만(그림 W6.11 참조) 그 외의 지역은 단위 면적당 생산성이 낮다. 해양 생태계는 네 가지 주요 유형으로 나뉜다: 외양, 대륙붕, 용승부, 심해.

외양은 일차 생산력이 낮다.

가까운 육지(대륙붕 너머)에서 멀리 떨어진 외양은 표층에 햇빛을 충분히 받을 수 있으며, 주기적으로 상호작용할 수 있는 곳이다. 이 섹션의 뒷부분에서 심해에 대해 별도로 논의할 것이다.

외양에서 태양광의 강도는 표면에서 높고 수심 200 m에 다다르면 0으로 떨어진다. 광합성은 이 수심에서 일어나지 않는다. 과거 오랫동안 질소와 그 밖의 다른 영양물질들은 생태학적인 과정에서 표층에서 심층으로 전달되었다. 그러나 질산염과 같은 식물성 플랑크톤에 대한 영양소는 유광대에서 낮은 농도로 존재하는 경향이 있다. 과거에 오랜 시간 동안 생태학적 과정에서 질산염 및 기타 영양소를 상층에서 심해로 내보내고 활발하지 않기 때문이다. 햇볕에 쪼인 바다로 영양분을 되 돌리는 힘이 외양에 존재한다.

유광대에서의 영양소 농도가 낮기 때문에, 외양의 대부분은 단위 면적당 1차 생산성이 낮으며(그림 56.11 참조)“생물학적 사막”이라고 부른다. 이 부분(그림 W6.4 참조)은 대양의 중심부에 해당하며, 낮은 영양 수준과 낮은 생산성과 관련하여 종종 빈영양 상태(그림 W6.16)라고 한다.

오늘날 사람들은 참치와 일부 오징어, 고래와 같은 몇 가지 종만을 위해 바다에서 낚시를 한다. 바다에서의 어획은 두 가지 이유로 비교적 적은 수의 종으로 제한된다. 첫째, 단위 면적당 1차 생산성이 낮기 때문에 동물은 바다에 얇게 분포하는 경향이 있다. 상업적으로 잡을 수 있는 유일한 것은 개별적으로 크거나 떼를 지어 다니기 때문이다. 둘째, 육지에서 멀리 떨어진 곳을 여행하는 데 드는 비용이 높다. 모든 당국은 우리가 급증하는 인류에게 식량을 제공하기 위해 바다로 향할 때 외양에서 많은 양의 식량을 공급할 것으로 기대할 수 없다.

대륙붕 생태계는 풍부한 자원을 제공한다.

대륙붕에 있는 많은 생태계는 단위 면적당 생산성이 상대적으로 높다. 여기에는 중요한 이유가 있는데, 연안수(그림 W6.15 참조)가 상대적으로 높은 농도의 질산염과 기타 영양소를 갖는 경향이 있기 때문이다.

대륙붕은 얕기 때문에 넓은 바다처럼 심해로 영양염류가 손실되지 않았다. 연안 해수에서는 가라 앉은 영양이 풍부한 물질이 얇은 바닥에 부딪히고, 여기에 포함된 영양소는 폭풍우에 의해 물기둥으로 다시 휘저어진다. 또한 영양물질은 인근 땅에서 흘러나오는 유출

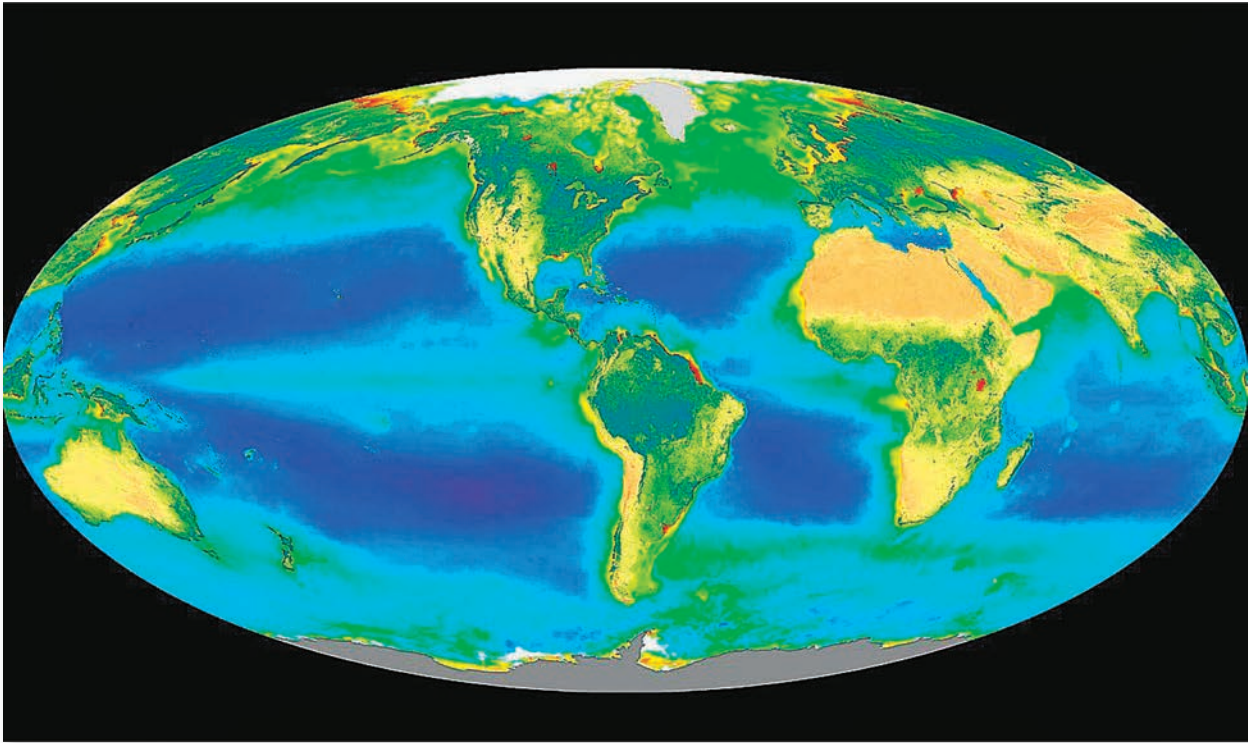


그림 W6.16 주요 기능별로 구분되는 해양.

빈영양 해양(진한 청색)으로 분류되는 지역들은 단위 면적당 생산력이 낮은 “생물학적 사막”이다. 대륙붕 생태계(대륙의 가장자리의 녹색)의 생산력은 중-상 정도의 생산력을 보인다. 용승부 지역들(대륙의 가장자리의 노란색)은 단위 면적당 생산력이 가장 높은 곳으로서, 지구의 모든 생태계에서 가장 높은 생산력을 갖는다.

물에 의해 지속적으로 보충된다.

사람들이 바다에서 수확하는 식량의 약 99%는 대륙붕 생태계 또는 인근 용승부에서 비롯된다. 대륙붕 생태계는 다른 방식으로도 인류에게 특히 중요하다. 석유와 같이 바다에서 채취한 광물 자원은 거의 독점적으로 대륙붕에서 나온다. 또한 항해에서 스쿠버 다이빙에 이르기까지 거의 모든 해양 레크리에이션 용도가 대륙붕에서 이루어진다. 대륙붕은 해안선에 가깝고 상대적으로 얇기 때문에 이러한 방식으로 두드러진다.

기수역

기수역은 대륙붕 생태계 유형 중 하나이다. 기수역은 만과 같은 해안선을 따라 부분적으로 육지로 둘러싸여 있고 개울이나 강의 담수가 바닷물과 혼합되는 중간에 있어, (염수)염분은 중간 정도를 띠는 장소이다.

기수역은 수역 외에 조간대 습지나 늪이 포함된다. 조간대 서식지는 썰물 때는 공기에 노출되지만 만조 때는 물 속에 노출되는 지역이다. 조간대의 습지를 염습지라고 한다. 맹그로브 늪 (나무와 덩굴이 우세)이라고하는 조간대 늪은 나무와 관목이 울창한데, 세계의 열대 및 아열대 지역에서 발생한다.

기수역은 생명력이 높고 생산성이 높은 생태계이다. 또한, 인간이 식량을 위해 수확하는 많은 수생 동물, 특히 유충과 어린 동물에게 은신처와 식량을 제공한다. 뿐만 아니라, 철새와 같은 매우 많은 다른 동물 종에게도 중요하다.

대륙붕의 뱅크와 산호초

다른 유형의 대륙붕 생태계에는 뱅크와 산호초가 있다. 뱅크(bank)는 대륙붕에 있는 지역의 얇은 지역으로 어장 형성에 매우 중요하다. 매사추세츠 해안에서 100 km 떨어진 조지뱅크(Georges Bank)는 이전에 가장 생산적이고 유명한 곳 중 하나였다. 이 지역의 대부분은 과도한 착취로 인해 1990년대 중반 이후로 어업이 금지되었다.

산호초(Coral reef) 생태계는 아열대 및 열대 위도에서 발생한다. 이것의 특징으로는 돌이 많은 산호초(단단하고 석회화 된 유형의 골격을 분비하는 산호)가 암초 물고기와 부드러운 산호를 포함하여 다른 독특한 유기체가 사는 특이 서식지를 형성하는 3차원 골격구조를 구축한다는 것이다(그림 W6.17).

700여 종의 산호초를 만드는 산호류는 모두 동물-조류의 공생 관계이다. 동물은 냉소적이며, 편모충 공생체는 내부 세포충(위배



그림 W6.17 산호초 군집 생태계.

자포동물과 조류 사이의 공생으로 형성되는 산호초 군락은 산호의 3차원적 구조로 구성되고, 1차 생산력이 높다. 어류와 많은 다른 종류의 동물들은 이 곳에서 먹이와 은신처를 찾고, 이곳에 가장 다양한 생태계가 만들어진다. 모든 어종의 약 20%는 산호초 군집 생태계에서 특이적으로 서식하고 있다.

피, 32장 참조)의 세포 내에 산다. 이러한 산호는 조류 공생체의 광합성에 의존하므로 햇빛이 쉽게 투과할 수 있는 맑은 물에서만 산다. W6.5절에 설명된 바와 같이 산호초를 만드는 산호는 전 세계적으로 위협받고 있다.

용승부 영양염류와 산소의 혼합이 일어난다.

용승부 지역은 바람과 같은 국지적 힘의 작용으로 깊은 물이 표면으로 일관되게 끌어당겨지는 곳이다. 심해에는 보통 질산이나 기타 다른 영양소가 풍부하기 때문에 표층으로 영양분을 공급하는 역할을 한다. 식물성 플랑크톤은 풍부한 영양염류와 빛에 반응하여 다량의 성장과 번식을 한다. 용승부는 전 세계 해양에서 단위 면적당 1차 생산성이 가장 높다.

가장 잘 알려진 용승부 지역(그림 W6.16 참조)은 연중 내내 용승부 작용이 발생하는 곳으로 페루와 에콰도르 해안에 분포되어 있다. 또 다른 중요한 용승부 지역은 캘리포니아 해안선으로, 여름철 약 반년 동안 상승이 발생하여 7월과 8월에도 해변에서 수영하는 사람들이 차가운 물을 찾는 이유이다.

용승부 지역은 생산성이 높지만 풍부했던 어장을 빈약하게 만들기도 한다. 캘리포니아 용기 지역의 정어리 낚시는 수십 년 전에 추락했지만, 이전에는 노벨상을 수상한 작가 John Steinbeck이 그의 저서, 특히 Cannery Row라고 기록한 것처럼 이전에는 이 지역에서 호황이었다.

엘니뇨 남방 진동(ENSO)

엘니뇨라는 현상은 페루-에콰도르 용승부 지역에 대한 연구에서 처음으로 과학의 주목을 받았다. 이 지역에서는 불규칙하고 상대적으로 예측할 수 없는 기준으로 2~7년마다 해안선의 물이 매우 따뜻해지면서 동시에 1차 생산성이 비정상적으로 낮게 나왔다.

1차 생산성이 낮아졌기 때문에 일반적으로 많은 어류 개체수가 약화되고 물고기에 의존하는 바닷새와 바다 포유류 개체수가 스트레스를 받아 급감하였다. 지역 주민들은 매년 크리스마스 무렵에 발생하는 온화한 온난화 이벤트를 “엘니뇨”(문자 그대로 Christ Child(아기 예수)의 이름을 따서 “the child”(어린 아이))라고 명명했다.

엘니뇨의 즉각적인 원인을 파악하는 데 수십 년이 걸렸지만 궁극적으로 그 원인은 이 지역의 동서 무역풍이 약화되고 있다는 것이 연구 결과로 밝혀졌다. 무역풍은 보통 페루에서 떨어진 서쪽으로 따뜻한 표층수 부근에서 페루-에콰도르 연안에서 떨어진 서쪽으로 불어낸다.

이것으로 인해 해안을 따라 따뜻한 해수의 표면층이 얇아져 차갑지만 영양소가 풍부한 깊은 물이 표면으로 끌어와 높은 1차 생산으로 이어진다.

무역풍이 약해지면 따뜻한 온도의 표수층이 두꺼워진다. 용승부는 계속되더라도 그러한 상황에서는 영양이 고갈된 두꺼운 따뜻한 표수층을 재순환시킬 뿐이다.

이러한 기본법칙이 발견된 후, 1980년대의 연구원들은 무역풍의 약화가 실제로 불규칙적으로 반복되는 대기 순환 패턴 변화의 일부임을 깨달았다. 무역풍이 평상시 동서로 불어오는 한 가지 이유는 서부 적도 태평양의 지표수가 동서 적도 태평양의 지표수보다 따뜻하기 때문이다. 따뜻한 서부 지역에서 공기가 상승하여 표면에 저기압이 발생하고 동쪽에서 저기압으로 공기가 불어온다. 엘니뇨 현상 동안 동해가 더 따뜻해질수록 서해와 더 비슷해진다. 때문에 대양을 가로지르는 압력의 차이가 줄어들고, 무역풍이 약화되면 바람을 일으키는 압력차가 줄어들어 무역풍이 더욱 약화된다. 무역풍에 의해 일반적으로 서쪽에 유지되는 따뜻한 물은 이러한 자력강화연쇄 현상으로 인해 점차 적도 지역의 동쪽으로 이동한다. 궁극적으로 엘니뇨 현상의 영향은 전 세계의 기상 체계에 대부분에서 발생하는데, 캘리포니아의 해수 온도, 미국 남서부의 강수량, 심지어는 아프리카까지 멀리 떨어진 시스템에 광범위하게 영향을 미친다.

한 가지 특이한 결과는 서부 태평양의 기상 시스템이 동쪽으로 6000 km 이동되는 것이다. 일반적으로 인도네시아와 필리핀을 휩쓸적시는 열대성 폭풍우는 이 섬들에 인접한 따뜻한 바닷물로 인해 그 위의 공기가 상승하고, 냉각되며 습기가 구름으로 응축될 때 발생하는

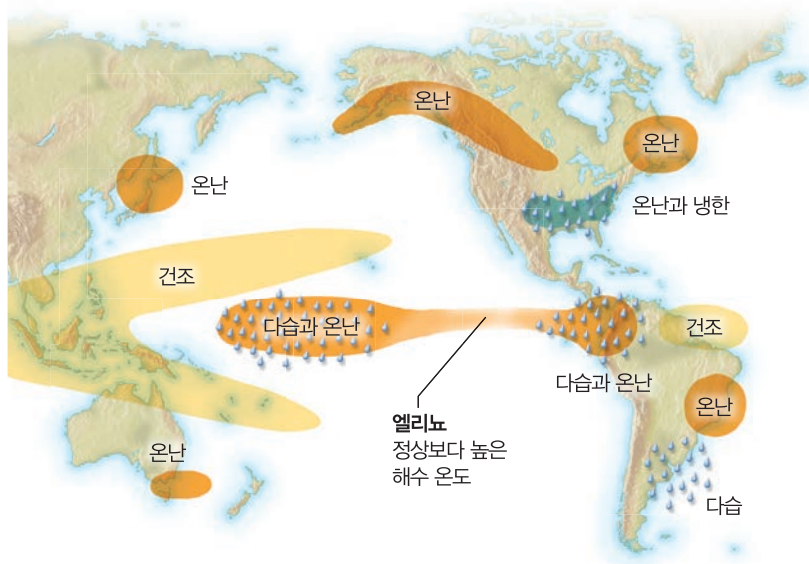


그림 W6.18 엘니뇨 겨울.
이 그림은 엘니뇨 현상과 관계되는 전 세계적 이상기후 현상을 보여준다.

다. 따뜻한 물이 동쪽으로 이동하면 구름도 같이 이동하여 이전에 비가 내리던 지역은 가뭄에 빠진다. 반대로, 보통 강수량이 거의 없는 페루와 에콰도르의 서쪽 가장자리는 집중 호우로 인하여 흠뻑 젖게 된다.

엘니뇨 현상은 생태계를 파괴할 수 있다. 엘니뇨 이벤트 기간 동안, 플랑크톤은 페루와 에콰도르의 해역에서 풍부도가 20분의 1로 떨어질 수 있으며 플랑크톤 생산성의 저하로 인해 상업적인 어장이 사실상 사라졌다(그림 W6.18). 예를 들어 갈라파고스 제도에서는 물고기 부족으로 동물이 굶어 죽어 바닷새와 바다 사자 개체수가 추락하게 된다. 대조적으로, 육지에서는 폭우가 많은 씨앗을 생산하고 육지의 새가 번성하였다. 칠레에서는 종자 풍부에 대한 유사한 영향이 먹이 사슬로 전파되어 먼저 설치류 개체수를 증가시킨 다음 포식자 개체수를 증가시키는데 이는 56장에서 논의된 바와 같이 상향 영양 구조 개념의 좋은 예다.

과학자들은 El Niño Southern이라는 용어를 채택했다.

해양 온도 및 기후 패턴의 이러한 주기적 변화를 나타내는 진동(ENSO). ENSO는 세 가지 단계를 갖는다: El Niño; 수온이 낮고 El Niño의 효과가 역전되는 La Niña; 조건이 평균 정도일 때 중간 단계가 있다.

차갑고 어두운 심해는 매혹적인 생물군집이 살고 있다.

심해는 지구상에서 비교적 균일한 조건이 특징인 거대한 지역이라는 점에서 지구상에서 가장 큰 단일 서식지이다. 심해는 계절이 없고 2°~−5°C로 춥고 완전히 어두우며 4000~5000 m에서 압력이

그림 W6.19 심해의 생명체.

a. 이 심해 어류의 눈 아래에 있는 형광집은 생물발광 박테리아의 공생 집단이 눈 밑에 붙어 생겨난 결과이다. 생물발광은 어두운 심해에 사는 동물들이 갖는 공통적인 특징이다. 그리고 이들보다 더 깊은 곳에 서식하는 종들에게는 훨씬 더 공통적으로 나타나는 현상이다. b. 거대한 지렁이(worm)는 해저 지각의 갈라진 부분을 통해 황화 수소를 함유한 뜨거운 물이 올라오는 열수공을 따라 서식한다. 각 지렁이 몸체의 대부분은 공생하는 황산화 박테리아의 군체에 제공된다. 이 지렁이들은 황과 산소를 박테리아에게 전달해주고, 이 박테리아는 황을 산화시키면서 1차 얻어진 에너지를 유기물 생성에 이용한다. 박테리아는 이런 유기물을 숙주인 지렁이와 공유한다.



a.



b.

400~500정도로 압력이 매우 높게 작용하고 있는 곳이다

심해의 대부분 지역에서 먹이는 주로 햇빛이 잘 드는 상부 수체에서 광합성을 통해 생성된다. 시체, 배설물, 점액 형태의 이러한 먹이는 표면에서 바닥으로 내려가는 데 한 달 정도 걸리며, 그 과정에서 약 99 %는 물기둥에 사는 동물이 먹는다. 따라서 최하위 커뮤니티는 1차 생산량의 약 1 % 만 받게 되어 먹을 것이 거의 없다. 그럼에도 불구하고 대부분의 동물은 몸이 작고 듬성듬성 분포하는 종들이 현재 심해에 많이 사는 것으로 알려져 있다. 일부 동물은 생물 발광(그림 W6.19a)이므로 빛을 사용하여 소통하거나 먹이를 유인할 수 있다.

열수공 군집

심해에서 가장 믿기 힘든 생물군집은 열수공 군집이다. 심해의 대부분의 지역과는 달리 이 군집은 야구 방망이 크기의 벌레와 같이 몸집이 큰 생명체가 풍부하다(그림 W6.19b). 이러한 풍요로운 삶이 지원될 수 있는 이유는 멀리 떨어져있는 유광대에 의존할 필요 없이, 지역에 국한되었음에도 활발히 1차 생산으로 살고 있기 때문이다.

열수공 군집은 지각판이 떨어져 나가는 곳에서 발생하며 다공성 암석을 통해 순환하는 해수는 해저 아래의 매우 뜨거운 암석과 접촉한다. 이 물은 350°C 이상의 온도로 가열되고 그 과정에서 황화수소가 풍부해진다.

해수가 다공성 암석에서 올라오면 자유 생물과 공생 박테리아가 황화물을 산화시키고 이 반응에서 에너지를 얻게 되고 이를 생물의 세포질 합성 혹은 성장과 생식 등에 이용한다. 이러한 과정은 광합성과 유사한 부분이 있다고 할 수 있다. 이러한 황산화 박테리아는 화학합성 독립영양체이다(56장 참조). 이 곳에 사는 동물은 박테리아에서 생존하거나 다른 동물을 먹는다. 열수 분출공 공동체는 일차 생산을 위해 태양 에너지에 의존하지 않는 지구상의 몇 안되는 군집 중 하나이다.

핵심 요약 W6.4

빈영양 해양에는 1차 생산성이 거의 발생하지 않는 외양과 심해가 포함된다. 대륙붕 생태계는 생산성이 중간에서 높은 경향이 있다. 여기에는 기수역, 소금 습지, 어업 뱅크 및 산호초가 포함된다. 생산성이 가장 높은 지역은 북아메리카와 남아메리카의 서해안 지역과 같이 다작이지만 취약한 어장이 있는 용승부에서 발견된다. 이 지역에서 무역풍이 주기적으로 약해지면 냉수의 용승을 막고 결과적으로 엘니노라는 사건에서 날씨 변화를 일으킬 수 있다.

- ENSO의 영향을 받는 지역에서 어떤 종류의 인구 순환이 예상되는가?

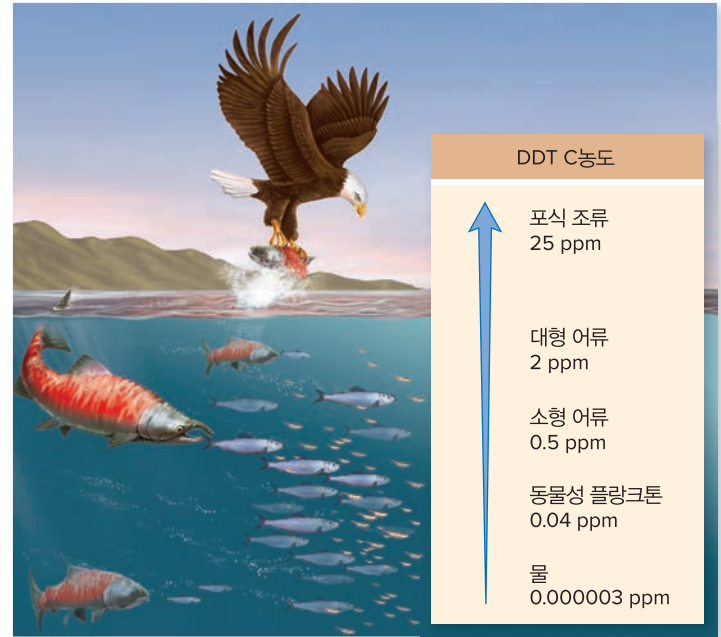


그림 W6.20 DDT 농도의 생물학적 농축 현상.

동물들이 먹이를 섭취한 때 DDT는 지방조직에 축적되기 때문에 먹이연쇄의 상위에 있는 동물들에게 DDT 농도가 더욱 증가하게 된다. 오른쪽의 농도 단위는 ppm. 미국에서 DDT 사용 금지령이 내려지기 전에 대형 어류를 섭취하는 조류의 개체군은 급격히 감소하기 시작했는데, 그 원인은 DDT의 대사산물이 알 껍질을 얇게 만들고 이는 부화하는 동안 껍질이 깨져 개체 수가 감소하는 원인을 제공하였다.

W6.5 생물권에 대한 인간의 영향: 오염과 자원 고갈

학습 목표

1. 생태계에 대한 인간이 끼치는 주요 위협의 이름을 지정할 수 있다.
2. 점원 오염과 확산 오염을 구분할 수 있다.
3. 삼림 벌채의 영향을 설명할 수 있다.
4. 서식지 분열이 어떻게 인간의 질병 발병률을 증가시킬 수 있는지 설명하십시오.

우리 모두는 인간 활동이 생태계에 악영향을 미칠 수 있다는 것을 알고 있다. 이를 논의할 때 창의적인 사람들은 종종 그러한 문제에 대해 합리적인 해결책을 제시할 수 있음을 인식하는 것이 중요하다.

미국의 DDT 역사에 좋은 사례가 존재한다. DDT는 제2차 세계

대전 이후 수십 년 동안 모기를 방제하기 위해 습지에 널리 뿌려진 매우 효과적인 살충제이다. 수년 동안 과도한 DDT 사용으로 인해 물수리 개체군, 대머리 독수리, 갈색 펠리컨(큰 물고기를 잡는 모든 새)같은 맹금류가 오염되기 시작했다. 궁극적으로 DDT의 사용은 새들의 죽음과 관련이 있다.

과학자들은 화합물이 먹이 사슬을 통해 전달됨에 따라 DDT와 그 대사산물이 동물의 조직에 점점 더 집중된다는 사실을 확인했다(그림 W6.20). 먹이 사슬의 맨 아래에 있는 동물은 지방 조직에 상대적으로 낮은 농도를 축적했다. 그러나 그들을 잡아먹은 1차 육식 동물은 많은 수의 먹이를 먹어서 더 높은 농도를 축적했고, 2차 육식 동물은 아직 더 높은 농도를 축적했다. 큰 물고기를 먹는 새처럼 최상위 육식 동물은 DDT의 영향을 크게 받았다. 이 새들에서 과학자들은 DDT의 대사 산물이 달걀 껍질의 형성을 방해한다는 것을 발견했다. 새들은 얇은 껍질로 알을 낳았기 때문에 새끼가 부화하기 전에 종종 깨져버렸다.

연구자들은 DDT의 생태계 정화 계획을 통해 어류를 먹는 새의 죽음을 되돌릴 수 있다고 결론을 내렸고 그 사용을 금지하는 법이 통과되었다. 이제 40년이 넘게 물수리, 독수리, 펠리컨의 개체수가 극적으로 증가했다.

담수서식처는 오염과 자원 고갈에 위협받는다.

담수는 주요 서식지 중 가장 작은 곳일 뿐만 아니라 가장 위협받는 곳이기도 하다. 담수에 대한 가장 단순하지만 가장 불길한 위협 중 하나는 급증하는 인구가 강, 호수 또는 개울에서 과도한 양의 물을 추출하는 것이다. 예를 들어, 콜로라도 강은 북미에서 가장 큰 강 중 하나이며, 록키 산맥에서 눈이 녹 으면서 시작되어 유타, 애리조나, 네바다, 캘리포니아 및 멕시코 북부를 거쳐 바다로 흐른다. 오늘날, 물은 도시(로스 앤젤레스만 큼 먼 도시까지도)의 물 수요를 충족시키고 작물에 관개하기 위해 강 밖으로 펌핑된다. 강은 이제 자주 물이 떨어지고 사막에서 말라서 바다에 도달하지 않는다. 전 세계적으로 담수 공급에 대한 많은 위기가 다가오고 있다.

오염: 점 오염원과 확산 오염원

담수의 오염은 전 세계적인 문제다. 점 오염원은 정해진 곳에서 오염 물질을 배출하는 공장이나 배수관과 같은 시설에서 쉽게 식별 가능하다. 하수 처리장 (하수 처리장) 같이 특정 위치에서 폐수를 배출하고 때로는 중금속이나 화학 물질로 오염된 물을 배출하는 공장 으로 예를 들 수 있다. 정확한 위치와 오염 유형이 잘 정해져 있기 때문에 법과 기술을 통해 점원 오염을 적절히 규제하게 되었다. 많은 국가에서 큰 진전이 이루어졌지만 다른 국가, 종종 개발 도상국에서는 수질 오염이 여전히 주요 문제다.

확산 오염원은 잔디와 농경지에서 과도한 질산염과 인산염의 유출로 인해 수체의 부영양화를 예로 들 수 있다. 과도한 질산염과 인산염이 강과 호수에 들어가면 수역의 특성이 악화된다. 용해된 산소의 농도가 감소하고 잉어와 같은 어종이 보다 바람직한 종을 대신한다. 강이 바다로 흐르면 문제는 더욱 악화된다. 화학 물질의 축적으로 인한 부영양화는 산소가 없는 엄청난 양의 물로 이어질 수 있으며, 이는 어류와 다른 동물의 엄청난 죽음을 초래할 수 있다. 2015년에 약 16,500 km²에 달하는 미시시피 강이 멕시코 만으로 유입되었고 이런 “dead zones”의 사례는 세계 곳곳에서 발생한다.

이러한 문제를 일으키는 질산염과 인산염은 전체 유역에 흩어져 있는 수천 개의 농장과 잔디밭에서 비롯되며 거의 수많은 위치에서 담수로 유입되는 경우가 많다. 이러한 종류의 오염 확산은 기술 수정으로 간단히 해결하기는 없으며 공공육과 정치적 행동이 해결책으로 제안되고 있다.

석탄 연소로 인한 오염: 산성비

점원과 확산 유형의 중간 단계 오염 유형은 화력발전소로 인한 오염을 예로 들 수 있다. 각 굴뚝이 점 오염원이지만 많은 굴뚝이 있으며 이러한 굴뚝에서 나오는 연기와 가스는 넓은 지역에 퍼져 있다.

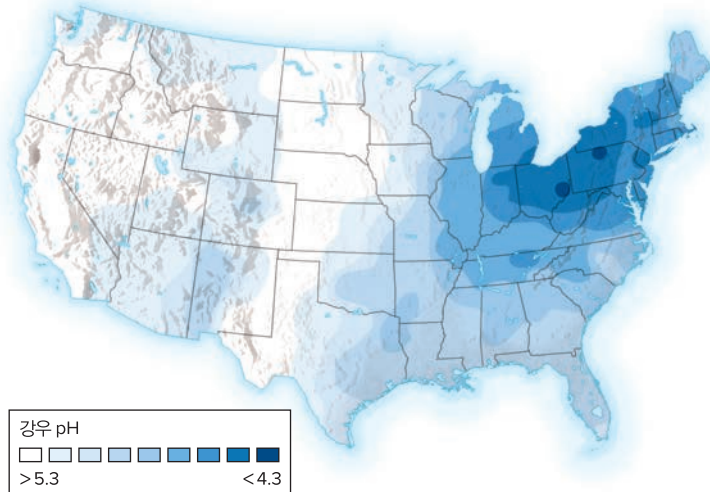


그림 W6.21 미국에서 강우의 pH 분포 특성.

7보다 낮은 pH 값은 산성을 나타내며, 값이 낮을수록 산성은 강해지는 것을 의미한다. 미국의 북동지역 강우는 pH가 5.6이거나 그 이상으로서 일반 자연적 강우보다 산성도가 더 높게 나타나고 있다.

산성비는 이런 문제의 한 예다. 석탄을 태우면 석탄 속의 황이 산화된다. 통제되지 않으면 황산화물은 굴뚝에서 대기 중으로 분출되고 그곳에서 수증기와 결합하여 황산을 생성할 것이고 내리는 비나 눈은 산을 집어 들고 지구 표면에 도달할 때 과도하게 산성을 띄게 된다(그림 W6.21).

굴뚝 연기에서 방출되는 수은은 두 번째로 심각한 문제다. 수은의 배출은 석탄의 연소에서 방출이 되는데, 소량의 수은은 인간 태아와 유아의 뇌 발달을 방해할 수 있기 때문에 심각한 공중 보건 문제다.

산성비와 수은 오염은 담수 생태계에 영향을 미친다. 5.0 미만의 pH 수준에서는 많은 어종과 기타 수생 동물이 죽게 되어 번식할 수 없다. 전 세계 수천 개의 호수와 연못은 산성비로 인한 pH 변화로 인해 더 이상 어류는 살 수 없게 된다. 대기에 있던 수은이 호수와 연못으로 유입되고 식용 물고기의 조직에 축적된다. 때문에 미국 오대호 지역에서는 임산부가 현지 생선을 먹을 때는 매우 조심해야 한다. 생선이 높은 수은 함량을 띄고 있을 수 있기에 주 정부로부터 권고를 받았다.

지난 25년 동안, 규제는 석탄 공장에서 배출되는 황산화물의 양을 크게 줄였다. 많은 호수에서 pH 수준이 회복되었다. 비록 호수 생태계의 일부 측면이 회복되기 시작하고 있지만, 대부분의 동물들의 개체수가 산성비 이전의 수준으로 돌아가기까지는 수년이 걸릴 것이다.

열대 및 온대 지역에서 산림 생태계가 위협받다.

아마도 전 세계 육상 서식지의 가장 큰 문제는 벌목이나 개간에



a.



b.

그림 W6.22 파괴되는 열대우림 지역.

브라질의 열대우림 지역에서는 목장 건설을 위해 숲을 불태우며, 산림을 파괴한다. 12. 이 사진은 과거 마다가스카르의 중간 성도의 고도 경사지에서 산림 벌채 후의 모습이지만, 현재는 고도가 낮은 곳에 목장들이 들어서 있고, 표토가 침식되어 강으로 유입되고 있다(토양 침식률이 높아 강물은 갈색으로 변한다). 마다가스카르와 같은 이런 사진은 에콰도르와 아이티를 포함한 전 세계에서 자주 목격된다.

의한 산림 벌채일 것이다. 산림 벌채에는 여러 가지 이유가 있다. 후진국에서 산림 벌채는 일반 인구에 의해 빈번히 발생한다. 사람들은 요리나 난방을 위해 산림에서 목재를 벌채하여 이용하기 때문이다.

다른 경우로는 기업은 대규모 벌목을 예로 들 수 있는데, 돈을 위해 원시림의 넓은 지역을 벌목하여 전 세계의 목재 구매자들에게 배송한다. 동남아시아 열대 우림에서 생산된 마호가니와 같은 열대 경목은 가구에 사용하기 위해 미국으로 운송되고, 침엽수 통나무는 펄프와 제지 생산을 위해 알래스카에서 동아시아로 운송된다. 산림은 때때로 단순히 태워서 농사를 짓거나 목장을 위해 불태워지기도 한다(그림 W6.22a). 최근 몇 년 동안 콩에 대한 수요 증가가 그 원인이 되어 2016년에 브라질의 삼림 벌채 비율이 10년 동안 감소하다가 다시 증가했다.

서식지 손실

산림 서식지의 손실은 심각한 결과를 초래할 수 있다. 예를 들어, 다양한 열대 우림에서 종 다양성은 그들이 사는 서식지에 의존하는데, 열대 우림이 개간되면 생물 다양성의 손실이 극심히 감소하게 된다. 최근 조사에 따르면, 많은 열대 우림 지역이 심하게 황폐화되었으며 세계 열대 우림의 절반만이 그나마 온전히 있다고 한다. 세계의 모든 열대 우림은 약 30년 안에 파괴되거나 파괴될 것이다.

서식지 손실 외에도 산림 벌채는 지역 상황에 따라 수많은 2차적

인 결과를 초래할 수 있다. 아프리카의 사하라 사막 남쪽에 있는 사헬 지역에서는 산림 벌채가 사막화 증가의 주요 원인이 되었다. 미국 북동부의 산림에서 Hubbard Brook 실험이 보여주듯 (그림 56.7 참조) 산림 벌채는 산림 토양의 영양소 손실과 하류 수역의 부영양화 현상으로 이어질 수 있다.

물 순환의 교란

56장에서 논의한 바와 같이 열대 우림의 벌목은 종종 지역의 물 순환을 방해하여 풍경을 영구적으로 변화시켰다. 열대 우림 지역이 개간된 후, 빗물은 증산작용에 의해 바로 대기로 되돌아가는 것이 아닌 땅에서 멀리 떨어진 지역까지 흘러간다. 이 변화는 원래 그곳에 살았던 열대 우림 나무에 적합하지 않은 조건을 만들 수 있다. 이로 인한 결과로는 식생이 부족한 땅 (두꺼운 뿌리 시스템에 의해 노출되고 더 이상 안정화되지 않음)이 침식으로 황폐화된(그림 W6.22b).

산성비

산림 벌채는 열대 지역뿐 아니라 온대 지역에서도 문제가 될 수 있다. 또한 산성비는 호수와 개울뿐만 아니라 산림에도 직접적인 영향을 미친다. 온대 지역의 넓은 나무가 산성비의 영향을 받으며 토양의 산성도가 가속화되고, 산성비는 광범위한 나무 사망률을 초래할 수 있다(그림 W6.23).



그림 W6.23 미국 테네시주에 있는 클링만 돔의 산성비에 의한 피해.
산성비는 나무를 약하게 하고 해충이나 포식자에게 노출되기 쉽게 만든다.

질병이 동물에서 사람으로 전염될 수 있다.

인간과 숲 및 그 주민들과의 상호 작용은 인간에게 새로운 건강 문제를 증가시키고 있다. 동물성 매개의 인수공통감염 질병(zoonotic diseases)은 동물에서 인간으로 전파되는 전염성 질병이다(물론 인간에서 동물로 전파되는 다른 방향으로도 작용한다). 역사를 통틀어 우리는 동물들로 부터 많은 질병을 얻었다. 전염병, 독감, 콜레라, 살모넬라 등 모든 인간 병원체의 60%가 동물로부터의 감염이다. 그러나 최근 몇 년 동안 웨스트 나일 바이러스, 한타 바이러스, 중동 호흡기 증후군(MERS), 중증 급성 호흡기 증후군(SARS), 지카 등 수많은 새로운 질병이 인간에게 급증하였다. 에볼라는 오래 전부터 알려졌지만 2014년에 폭발하여 서 아프리카에서 11,000명 이상의 사람들이 사망 한 또 다른 동물 매개성 전염병이다.

최근 많은 새로운 동물 매개성 질병이 발생하는 데에는 여러 가지 이유가 있지만, 많은 사람들이 점점 더 숲을 사용하고 질병 유기체를 보유한 주민들과 접촉하면서 발생했다. 인간 면역 결핍 바이러스(HIV)는 서아프리카의 유인원과 원숭이로부터 인간에게 전염되었으며, 사냥이나 도살 중에 동물의 혈액이 인간에게 유입되었을 때 발생했을 가능성이 매우 높다(섹션 23.5참조).

또 다른 예는 일반적으로 과일 박쥐에서 발견되는 Nipah 바이러스다. 이로 인해 1999년 말레이시아에서 100명 이상이 사망했다. 전염의 즉각적인 원인은 인근에 대규모 양돈장을 설립했기 때문일 것이다. 박쥐는 지저분하게 먹어서 과일 나무를 엉망진창으로 만들고 과일을 많이 떨어 뜨린다. 박쥐 타액은 바이러스를 포함하며 반쯤 먹은 과일에서 찾을 수 있다. 그런 열매를 줌으로써 돼지가 어떻게 질병에

걸리고 양돈 농부에게 전염시킬 수 있는지 상상하기는 어렵지 않다.

동물성 매개의 인수공통감염 질병(zoonotic diseases)은 인간이 산림 생태계를 파괴할 때도 발생할 수 있다. 분명한 예는 라임 병(표 27.1 참조)의 발병으로, 매년 미국에서 300,000 명, 대부분이 북동부 주에서 진단된다. 이 질병은 흰발 마우스에서 흔히 발견되는 박테리아 *Borrelia burgdorferi*에 의해 발생한다. 박테리아는 검은 다리 진드기에 의해 한 마우스에서 다른 마우스로 전염되며, 이는 또한 질병을 인간에게 전염시킬 수 있다.

미국 북동부에서 이 질병이 널리 퍼진 이유 중 하나는 그곳의 숲이 도로, 들판, 도시에 의해 많은 작은 부분으로 갈라져 있기 때문이다. 작은 숲 패치에는 상대적으로 포식자가 적은 경향이 있으며 결과적으로 쥐의 개체 밀도가 증가한다. 이로 인해 진드기 발생률이 훨씬 높아질 뿐만 아니라 (더 큰 패치에 비해 크기가 1.2 헥타르 미만인 패치에서 3배 더 높음) 진드기의 감염 발생률도 더 높아진다(7배 더 많음). 작은 패치에 감염 될 가능성이 있음). 결과적으로 이러한 패치 근처에 사는 사람들은 진드기에 물려 라임 병에 걸릴 가능성이 훨씬 더 높다(그림 W6.24).

안타깝게도 새로운 동물성 매개의 인수공통감염 질병의 발병 조

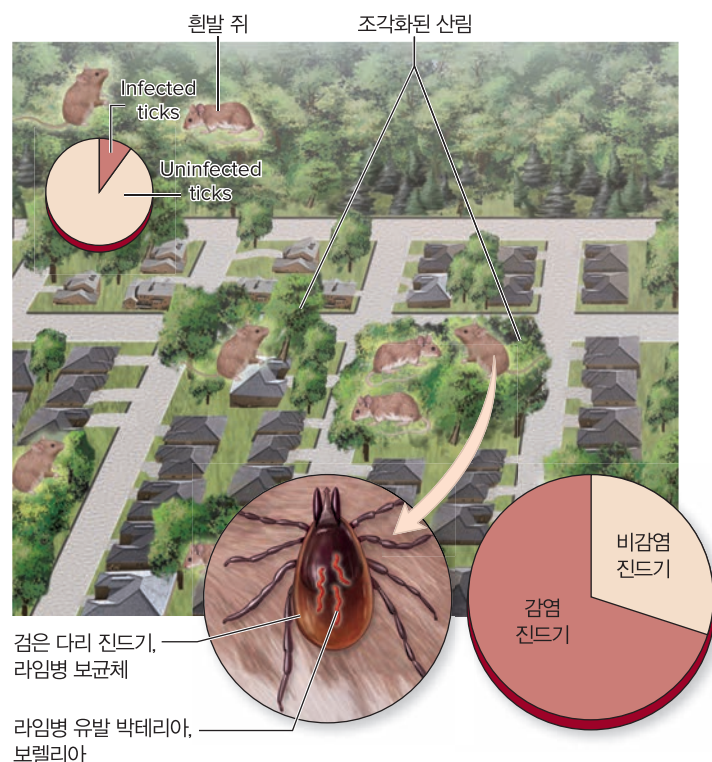


그림 W6.24 산림 조각화가 라임 병 발병으로 이어지는 방법.

조각화 된 숲에는 포식자가 적기 때문에 흰발 쥐(*Peromyscus leucopus*) 개체수가 증가한다. 이것은 더 많은 검은 다리 진드기(*Ixotodes scapularis*) 수의 증가로 이어지며 더 많은 진드기가 라임 병을 유발하는 박테리아에 감염된다.

건이 점점 보편화되고 있으며 새로운 질병이 계속해서 등장하고 있다. 가장 우려되는 것은 사람 사이에 쉽게 전염될 수 있는 질병이다. 접촉이나 기침이 주요 전염병을 일으킬 수 있다. 지금까지 우리는 운이 좋았지만 공중 보건 당국자들은 지속적으로 경계를 하지 않으면 대규모 발병이 불가피 할 수 있다고 우려한다

해양 서식지들은 물고기와 다른 종들로 고갈되고 있다.

해양에서의 과도한 남획은 몇 십 년간 집중적으로 이행되었으며 아마도 해양 영역에서 현재 가장 큰 문제로 대두되고 있다. 바다의 크기는 매우 거대하여 인간의 영향에 의해 담수산 육상 생태계보다 덜 민감한 경향이 있다. 그럼에도 세계 어획량은 어류에 대한 수요가 계속 증가하며 20년 넘게 최대치를 보이고 있다. 어획량이 너무 많아 전세계 해양 어류량의 25~30%가 현재 공식적으로 과잉 착취, 고갈 또는 회복중인 것으로 평가되고 있다. 또한 그 밖의 40~50%는 최대 가능 수준까지 포획되고 있는 것으로 평가된다.

매사추세츠 주 노바 스코샤와 영국의 대구 어장은 붕괴로 인해 이미 20년 전에 어업이 중단되었다(그림 W6.25). 과도한 어업은 간접적으로 생태계 교란에 영향을 미칠 수 있는데, 아프리카의 빈곤 지역에서는 어획량이 감소하면 국립 공원에서 영장류와 기타 야생 포유류에 대한 밀렵이 증가하게 된다.

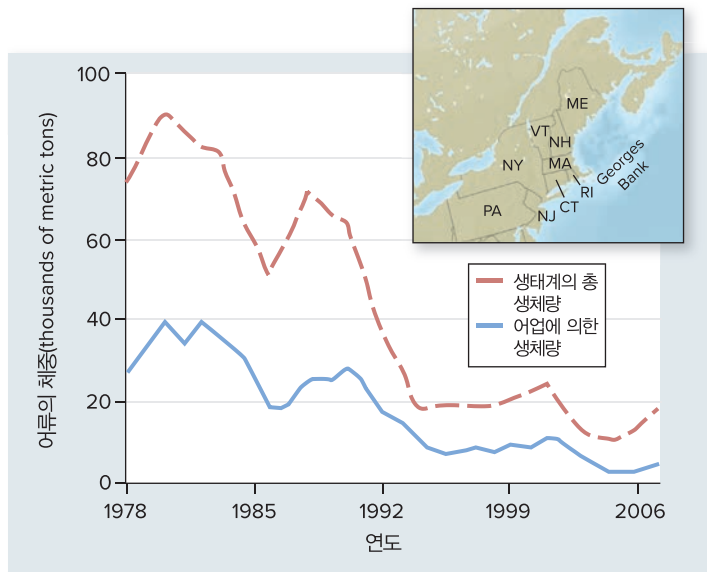


그림 W6.25 수산업의 붕괴.

이 그림은 조지 뱅크(George Bank) 생태계에서 현존하는 대구(cod, *Gadus morhua*)의 총 생체량(빨강 점선)을 보여주는 것으로, 이 자료는 미국 해양 어업국의 현장 조사에 기반을 둔 추정치이다. 대구의 생체량은 어업으로 인해 1970년과 1990년 사이에 급격히 감소하였다. 시간이 경과하면서 상업적 대구 어획(파란색 선, 어업에 의한 대구 생체량)은 부분적으로 일정 수준을 유지했으나, 1990년 이르러 거의 0%까지 급격히 감소하였고, 1990년 중반에 대구 복원사업의 일환으로 어업을 중단시켰지만, 2009년에 대구의 복원은 아주 미비하였고, 어업으로부터의 생산성은 과거의 정상적 평균을 매우 밑돌고 있다.

양식업: 현재의 일시적 해결책?

양식업에 의한 어류 생산은 지난 20년 동안 꾸준히 증가했으며, 어장 문제에 대한 직접적인 해결책으로 간주된다. 그러나 연어와 같은 많은 양식 어류종의 사료에는 단백질이 포함되어야 하는데, 이 단백질들은 대부분 자연산 어류로 충족되었다. 이 경우 남획은 단순히 다른 종으로 옮겨졌다.

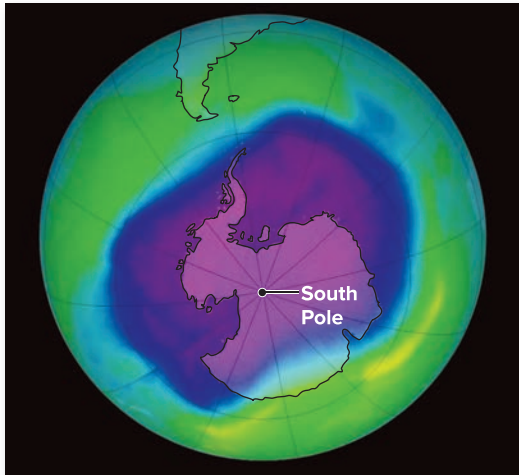
또한 현재의 양식업은 자연 해양 생태계를 손상시키는데, 한 가지 예는 해안을 따라 맹그로브 늪을 개간하여 새우와 양어장을 만드는 것이다. 이들은 생산성이 떨어지면 바로 버려지거나 하는데, 이러한 문제를 개선하기 위해서는 연구가 필요하다.

오염의 영향

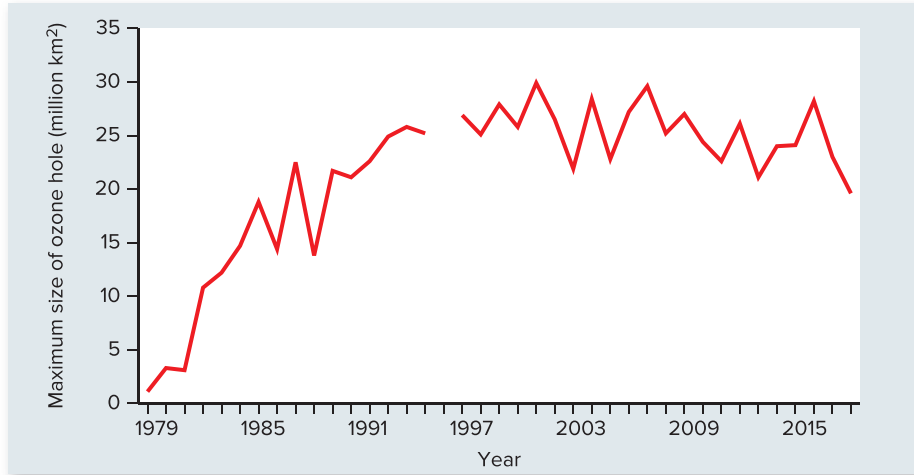
바다의 크기는 매우 크지만 21세기에 들면서 오염물질이 지속적으로 유입되고 있다. 예를 들어, 태평양에서 가장 외딴 무인도 일부를 발견하여 조사했는데, 최근 해변에서 상당량의 플라스틱이 발견되어 형성된 섬이라는 것을 알게 되었다. 비슷하게, 북극의 바다조차도 독성 화학 물질로 가득 차 있다. 북극 범고래(*Orcinus orca*)의 생체조직 검사 결과에서 살충제와 카펫에 자주 사용되는 인화억제제 같은 매우 높은 위험 수준의 많은 화학 물질을 발견했다. 그럼에도 불구하고 바다는 광대하기 때문에 오염 물질의 농도는 아직 위기 수준까지는 아니다.

담수 서식지에서와 마찬가지로 석탄 연소 및 기타 원인으로 인한 오염은 바다의 산성도를 높이지만 이때 많은 영향을 끼치는 것은 이산화탄소다. 최근에 과학자들은 엄청난 양의 이산화탄소가 대기로 유입된 결과(W6.6절 참조)의 상당수가 바다에 용해된다는 사실을 알게 되었다. 그리고 그렇게 되면 물과 결합하여 수소(H⁺)와 중탄산염(HCO₃⁻) 이온을 형성한다. 일부 측정에 따르면, 그 결과 1950년대 이후 해양의 산성도가 30% 증가하여 해양의 pH가 지난 2천만 년 동안 그 어느 때보다 낮아졌으며 21세기 말까지 150%의 증가가 예상된다.

이 산성화의 생물학적 결과는 분명하지 않지만, 주요 관심사는 산호, 극피 동물, 굴 유충 및 기타 많은 해양 유기체가 골격과 기타 구조를 구축하기 위해 탄산 칼슘을 사용한다는 것이다. 바다가 더 산성화됨에 따라 물 속의 탄산 칼슘(CaCO₃)은 수소 이온과 결합하여 중탄산염을 형성하므로 동물이 생존하고 성장하는 데 필요한 구조를 구축하기가 더 어려워진다. 사실, 그 반대가 발생할 수 있으며 이미 골격이나 다른 구조에 포함된 탄산 칼슘은 실제로 용해될 수 있다. 이러한 영향의 크기는 아직 명확하지 않지만 많은 과학자들은 산호초와 해양 생태계의 다른 많은 요소가 위협에 처할 수 있다고 우려한다.



a.



b.

Note: No data are available for 1995 because of satellite instrument failure.

그림 W6.26 남극의 오존 구멍.

NASA 위성은 현재 남극 성층권의 오존층 파괴의 범위를 추적하였다. 1980년 이후 매년 오존 고갈은 8월(남반구에서 이른 봄)에 가장 심하게 나타났는데, 이 시기는 바로 남극에서 겨울 동안 갇혀 있던 찬 공기가 햇빛과 화학적 반응을 일으킬 때이다. 오존 구멍은 9월 동안 가장 극대화된다. a. 2006년 9월에 관측된 1,140만 평방마일의 오존 구멍(위성사진 중 보라색의 크기는 미국, 캐나다, 멕시코를 합친 것보다 컸으며, 가장 큰 면적으로 기록되었다. b. 대기에서 오존을 파괴시키는 화학물질의 농도는 최근 몇 년 동안 최대치를 보였으나, 향후 몇 십 년 동안 서서히 감소할 것으로 예측하고 있다.

해안 생태계 파괴

해안 생태계의 악화 역시 심각한 문제인데, 해안가 근처의 기수역은 종종 심각한 부영양화를 겪는다. 한 예로, 1970년경부터 워싱턴 DC 근처 체서 피크만의 바닥 물은 과도한 양의 유기물이 붕괴되어 매년 여름 무산소 상태가 되었다.

또 다른 해안 문제는 (담수 습지와 같이) 종종 일회용으로 인식되는 염습지의 파괴이다. 2005년 허리케인 카트리나로 인해 뉴올리언스가 큰 피해를 입었는데, 당국은 그 주요 원인을 20세기의 염습지 손실로 보았다. 염습지가 충분하고 편백속 삼나무가 충분했다면 홍수의 많은 양을 흡수하고 폭풍의 피해를 줄여줄 것이라고 추정된다.

성층권 오존 고갈로 오존 “구멍”이 형성되다.

그림 W6.26a의 위성 사진의 색상은 지구 표면으로부터 20~25 km 위에 위치한 오존(O_3)의 밀도 차이를 나타낸다. 성층권 오존은 남극 대륙(그림의 보라색 지역)에서 역사적으로 정상적인 농도의 절반에서 3분의 1 사이로 고갈되는데, 이는 오존 구멍이라고 불리는 현상이다. 성층권 오존의 고갈은 남극 대륙에서 가장 극적이지만 전 세계적인 현상입니다. 미국 환경보호국에 따르면 미국 전역에서 오존 농도가 약 4% 감소했다고 한다.

성층권 오존과 UV-B

성층권 오존은 태양 복사에너지로부터 방출되는 자외선(특히

UV-B라고하는 파장)을 흡수하기 때문에 중요하다. UV-B는 여러 가지 방식으로 살아있는 유기체에 손상을 준다. 예를 들어 백내장과 피부암의 위험을 증가시킨다. 성층권 오존의 고갈은 더 많은 UV-B가 지구 표면에 도달하게 하여 UV-B 손상의 위험을 증가시키게 된다. 예를 들어 성층권 오존이 1% 감소할 때마다 피부암 발생률이 6% 증가하는 것으로 추정된다. 오존층 파괴가 가장 큰 남반구에서는 피부암 발병률이 세계 다른 곳보다 훨씬 높다. 예를 들어 호주에서는 3명 중 2명이 70세가 되면 피부암에 걸릴 것이다. 뿐만 아니라, UV 노출은 양서류와 같은 많은 유형의 동물에게 해로울 수 있다(그림 W6.27).

오존 고갈의 주요 원인은 산업적으로 생산된 염소와 브롬의 대기 방출이다. 특히 우려되는 것은 클로로플루오로카본(CFC)으로 1990년대까지 에어컨과 냉장고의 냉매 및 제조에 사용되는 프레온 가스이다. 대기로 방출된 CFC는 유리 염소 원자를 방출하며, 성층권에서 오존 분자(O_3)를 분해하여 일반 산소(O_2)로 전환시킨다. 오존은 지속적으로 만들어지고 분해되며 유리 염소 원자는 더 빠른 분해 속도로 균형을 기울인다.

남극에서 발생하는 오존층의 심각한 파괴는 남극의 특이한 날씨 때문이다. 남극의 겨울이 계속 어두워지는 동안 강한 성층권 바람, 극야 제트류가 발달하고 지구 전체 둘레로 부는 바람은 성층권을 고립시킨다.

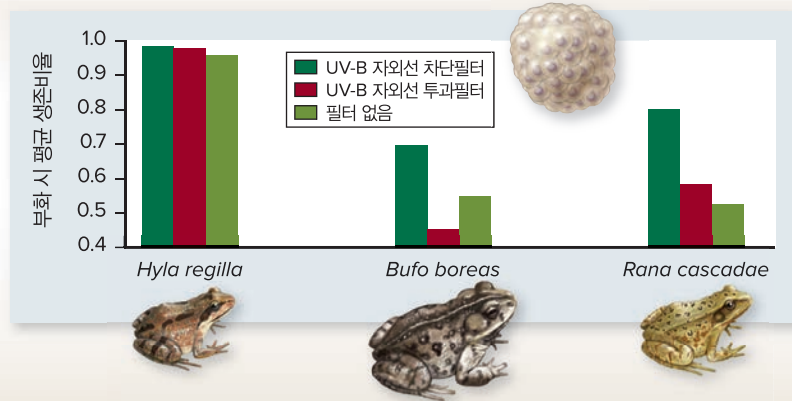
나머지 대기권에서 남극 대륙, 그 결과 남극 성층권은 몇 주 동안

과학적 사고

질문: 자외선의 노출은 양서류 알의 생존에 어떠한 영향을 줄까?

가설: 직접적인 자외선 노출은 알에 손상을 준다.

실험: 태양광 전체 파장에 노출되는 격벽 실험구에 각각 3종의 개구리 수정란을 넣었다. 모든 실험구에는 차단막을 두었는데, 그 중에는 자외선을 차단하는 필터가 있는 실험구 및 자외선 투과에 영향을 주지 않는 실험구를 준비하였다. 실험에서는 수정란이 부화되어 생존하는지 혹은 죽는지의 유무를 관찰하였다.



결과: 수정란의 생존율은 3종 중 2종에서 자외선 필터를 사용하지 않았을 때가 필터를 사용했을 때보다 크게 감소하였다. 따라서 자외선 노출은 양서류 알에 치명적이라는 가설을 확인하였다.

추가 질문: 어떤 종들은 자외선 노출에 의해 영향을 받고, 다른 어떤 종들은 왜 그렇지 않은지에 대한 주요 요인은 무엇일까? 어떻게 이런 가설을 시험할 것인가?

그림 W6.27 양서류 수정란에 대한 자외선의 영향.

극도로 춥게 (-80°C 이하) 유지되어 독특한 유형의 얼음 구름이 형성된다. 이 얼음 구름의 입자와 관련된 반응은 이원자 염소 Cl_2 의 축적을 초래하고, 초봄에 햇빛이 들어오게 되면 이원자 염소가 광화학적으로 분해되어 많은 양의 유리 염소 원자를 형성하고 오존 파괴 반응이 계속된다.

CFC의 단계적 폐지

성층권 오존 고갈의 원인이 밝혀진 후, 오존 고갈을 유발하는 CFC 및 기타 화합물의 생산을 단계적으로 중단하기 위한 세계적 합의가 이루어졌다. 위 화합물의 제조는 1996년에 미국에서 중단되었으며, 이제 “오존에 안전한” 대체 화학 물질 사용의 중요성을 인식하게 되었다. 이런 물질은 화학적으로 안정적이기 때문에 오존층 파괴 화합물은 천천히 감소될 것이다. 그럼에도 불구하고 오존층 파괴 문제는 감소하고 있고 실질적으로 21세기 후반에 해결될 것으로 기대하고 있다(그림 W6.26b 참조).

CFCs에 대한 이야기는 환경 문제가 어떻게 발생하고 해결할 수 있는지에 대한 훌륭한 예다. 처음에 CFC는 효율적이고 싼 가격으로 냉매 물질로 선도적인 역할을 하였는데, 이전 기술에 비해 진보적인 것으로 여겨졌다 그 당시 이 물질로 인한 해로운 결과는 알려지지 않았다. 문제가 확인된 후 국제 협약은 효과적인 해결책이 제안되었고

기술의 발전은 적은 비용으로 이 문제를 해결할 수 있는 대체 물질을 찾아내어 사용하고 있다.

핵심 요약 W6.5

오염과 자원 고갈은 환경에 대한 인간의 주요 영향이며 담수 서식지가 가장 위협받고 있다. 점 오염원은 공장과 같은 식별 가능한 위치에서 발생하는 반면 확산 오염은 수정된 잔디와 같은 수많은 원인에서 발생한다. 삼림 벌채는 서식지를 파괴하고, 지역 사회를 파괴하고, 자원을 고갈시키고, 지역의 물 순환과 날씨 패턴을 변화시키는 주요 문제이다. 서식지 조각화 및 기타 환경 장애는 동물에서 인간으로 새로운 질병을 전파하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 남획은 바다에서 가장 큰 문제이다.

- CFC가 점 오염원 또는 확산 오염의 예였는가? 일반적으로 오염 방지 노력은 오염원에 따라 어떻게 달라지는가?

W6.6 생물권에 대한 인간의 영향: 기후 변화

학습 목표

1. 공기 중의 이산화탄소와 지구온난화의 상관성을 설명하시오
2. 지구온난화로 인해 환경과 인류의 건강에 끼치는 영향을 묘사하시오.

과학자들은 지구의 역사를 연구하고 다른 행성과 비교함으로써 우리 대기의 가스 농도, 특히 CO₂가 이전에 없을 때보다 지구 평균 온도를 약 25°C 높게 유지한다는 것을 밝혔다. 이 사실은 우리 대기의 구성이 지구상의 생명체를 유지할 수 있는 주요 요인임을 의미한다. 불행히도, 인간 활동은 대기 구성을 변화시키고 있고 장기적으로는 재앙이 될 것이라고 결론 내리고 있다.

대기 구성의 변화로 인해 지구 표면의 평균 온도가 증가하고 있는데, 이런 현상을 지구 온난화라고 한다. 이 장의 시작 부분에서 말한 내용에서 예상할 수 있듯, 온도의 변화는 복잡한 방식으로 지구 풍향과 해류 패턴을 변경한다. 이것은 평균 지구 온도가 상승함에 따라 세계의 일부 특정 지역이 약간 따뜻해지는 반면, 다른 지역은 광범위하게 뜨거워진다는 것을 의미한다(그림 W6.28). 또한 지구 강수 패턴

은 직접적으로 지구 풍향 패턴에 의존하기 때문에 강수 패턴이 바뀌는 것을 의미한다. 전세계 곳곳에서 이런 영향을 예측하고 계산하기 위해 거대한 컴퓨터 예측 모델이 사용된다.

컴퓨터 예측 모델은 지구의 변화를 예측한다.

다양한 시나리오를 바탕으로 컴퓨터 예측 모델은 지구 온도가 21세기 말까지 2.5°C에서 7.8°C(4.5°–14.0°F)까지 상승할 것으로 예측한다. 기온보다 더 불길한 징조는 강수량에 대한 예측에서 나타난다. 예를 들어, 북유럽은 현재보다 더 많은 강수량을 받을 것으로 예상되지만, 또 다른 최근 연구에서는 남유럽의 일부 지역의 강수량이 약 20% 감소하여 자연 생태계, 농업 및 식수 공급에 차질이 생길 것이라 예측했다. 일부 유럽 국가는 경제적으로 앞서 나갈 수 있지만 다른 국가는 뒤처질 것이며 일부 국가는 식품 수출국에서 식품 수입을 해야 하는 국가로 전환됨에 따라 국가 간의 정치적 관계가 바뀔 가능성이 있다고 예측된다.

이산화탄소는 주요 온실가스이다.

이산화탄소는 지구 온난화의 원인을 논의할 때 다른 대기 가스도 있지만, 일반적으로 강조되는 가스이다(그림 W6.29). 하와이 섬의 마우나로아 화산 꼭대기에 있는 관측소는 1950년대부터 대기 중 CO₂ 농도를 관측했다. 이 관측소는 대부분의 사람들이 살고 있는 대륙과는 거리가 먼 태평양 한가운데에 있기 때문에 특히 중요하며, 따라서

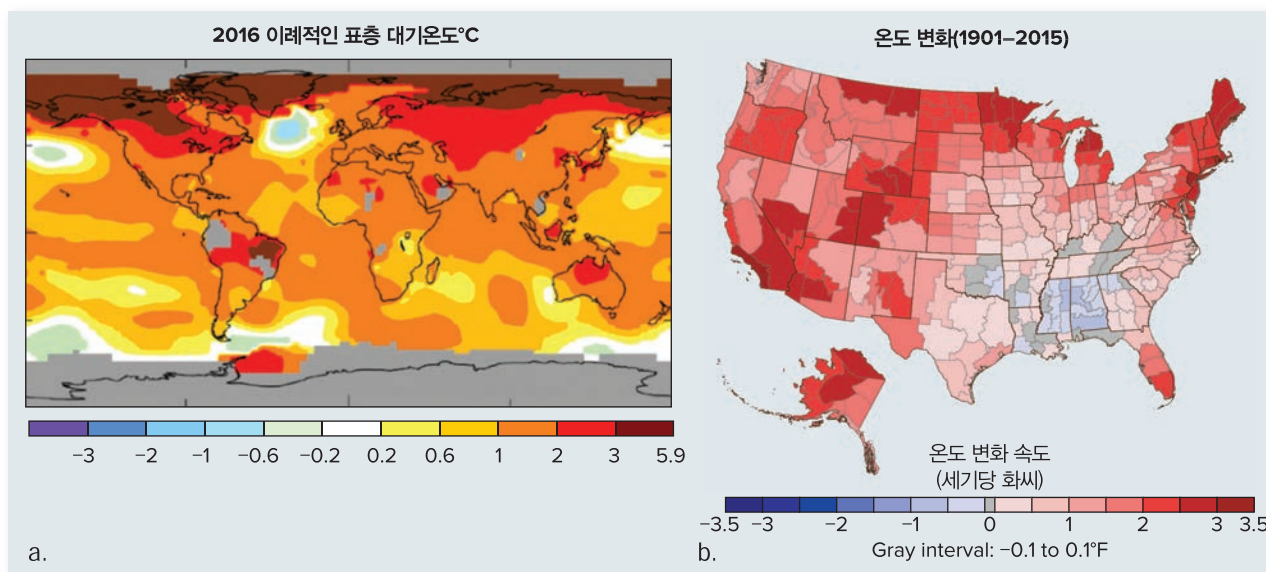


그림 W6.28 지구 온난화의 지리적 변화.

2016년은 1880년 기록보관이 시작된 이래 가장 따뜻한 해였고, 2017년까지 6년(작성 당시 마지막 가용 자료)이 모두 2010년 이후 발생한 해였다. **a.** 지구의 어떤 지역은 다른 지역보다 더 뜨겁게 달아올랐다. 색상은 현대의 온실 효과가 완전히 나타나기 전 기준 기간(1901–1960)의 평균 온도에 비해 2016년에 얼마나 많은 온난화가 발생했는지를 나타낸다. **b.** 이와 유사하게, 미국의 일부 지역은 다른 지역보다 더 따뜻해졌다. 이 수치는 미국 대륙의 온도 변화 속도(세기당 화씨)를 보여준다.

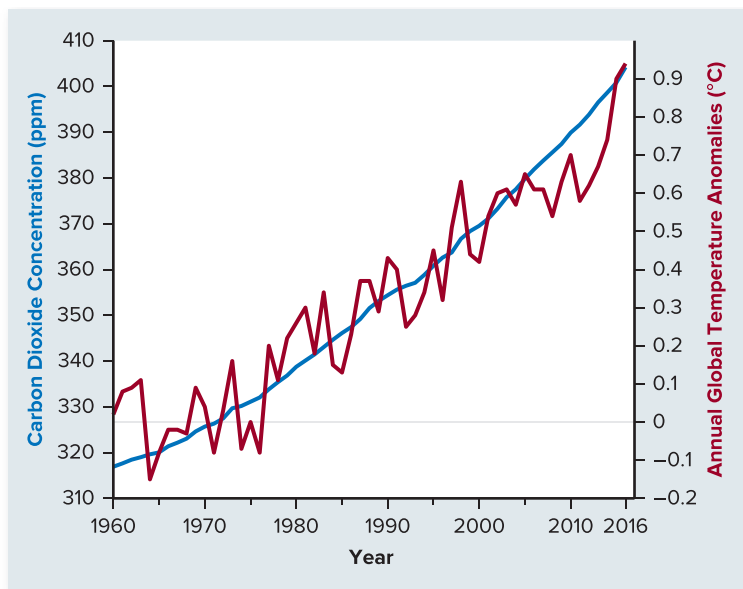


그림 W6.29 온실효과.

대기 중의 이산화탄소 농도는 1950년 이후 파란색 실선이 보여주는 바와 같이 꾸준히 증가해 왔다. 빨간색 선은 같은 기간 동안 지구 평균 온도의 변화를 보여준다. 온도는 기준 기간(1951~1980)의 평균 온도와 관련된 이상 현상으로 기록된다. CO₂ 농도는 ppm으로, 대기 중 다른 기체의 분자와 비교한 CO₂ 분자의 수로 측정되었다.

지역의 영향을 받지 않고 지구 대기 상태를 관측하는 최적의 장소다.

1958년 대기 중 이산화탄소 농도는 0.031%였다. 2016년까지 이산화탄소 농도는 0.041%로 상승했다. 학자들은 대기 CO₂의 꾸준한 증가의 원인이 인구 증가(그리고 점점 더 많은 에너지를 요구하는)에 의한 석탄 및 석유 제품의 연소라고 분석하였다.

이산화탄소가 온도에 미치는 영향

대기 중의 이산화탄소 농도는 지구 온도에 영향을 끼친다. 지구 열에 중요한 일부 파장에서 전자기 복사 에너지를 강하게 흡수하게 되기 때문이다. 56장에서 강조했듯이 지구는 태양으로부터 복사 에너지를 받을 뿐만 아니라 우주 공간으로 복사 에너지를 방출한다. 이런 유입과 방출이 동일하다면, 지구 온도는 일정하게 유지될 것이다.

지구로 들어오는 태양 에너지는 전자기 스펙트럼 중 상대적으로 짧은 파장, 즉 가시광선 혹은 가시광선에 가까운 파장들이다. 지구에서 방출되는 에너지는 서로 다르고 더 긴 파장으로 다르게 구성되어 있다. 이산화탄소는 특정 중요한 단파의 적외선 파장에서 에너지를 흡수한다. 이것은 이산화탄소가 단파장에서 복사 에너지의 도달을 방해하지는 않지만 에너지가 지구에서 긴 파장으로 우주 공간으로 이동하는 속도를 지연시킨다는 것을 의미한다.

이산화탄소는 온실의 효과와 유사하기 때문에 온실 가스라고 불린다. 유리 온실 내부가 따뜻해지는 이유는 유리창이 빛이 잘 투과되

지만, 장파 적외선에는 적은 양만 투과되기 때문이다. 내부에 들어가면 에너지는 열로 흡수된 다음 장파 적외선 복사로 다시 방사된다. 적외선은 유리를 통해 쉽게 빠져나갈 수 없으므로 내부에 에너지가 축적된다.

다른 온실 가스

이산화탄소 외에 다른 온실가스들이 존재하는데, 대표적인 예로는 메탄과 아산화 질소가 있다. 특정 온실 가스의 영향은 분자 특성과 농도에 따라 달라진다. 예를 들어, 분자 대 분자의 비율로 메탄은 이산화탄소보다 약 20배의 열을 가두어 두는 효과를 거둔다. 반면에 메탄은 이산화탄소보다 더 밀도가 작고 농축 대기에서의 수명이 더 짧다.

메탄은 지구의 혐기성 토양에서 형성되고, 소와 같은 반추 동물의 소화 발효 반응에서 상당한 양이 생산된다. 엄청난 양의 메탄이 북극 영구 동토층에 갇혀 있는데 동토층이 녹으면 메탄이 빠르게 방출하여 지구 온도에 갑작스러운 변화를 일으킬 수 있다.

아산화질소의 주 공급원은 농업에서 비료를 사용하는 것이고, 두 번째는 에너지 사용, 각종 산업에서의 배출이 세 번째다.

지구 온도변화는 과거에 생태계에 영향을 미쳤고 지금도 그러하다.

온난화에 대한 증거는 여러 가지 방법으로 볼 수 있다. 예컨대, 전 세계적으로 통계적으로 볼 때 호수와 강의 얼음은 늦게 형성되고 예전보다 빨리 녹았고, 평균적으로 얼음이 없는 계절은 100년 전보다 2.5주 더 길어졌다. 또한 북극에서 얼음의 범위가 크게 감소했으며 빙하가 전 세계적으로 줄고 있다(그림 W6.30).

지구 온난화와 냉각화는 과거에도 발생했었고, 그 대부분은 최근의 간빙기에서 발생했다. 생물종은 지리적으로 이동하고 환경 변화에 따라 대응했다. 예를 들어, 현재 극북지역이나 북미의 추운 지역에 적응한 많은 나무종은 과거 한대 상태였던 10,000년에서 20,000년 전에는 더 낮은 지대에서 살았지만 오늘날에는 높은 지대에서만 발견된다. 현재의 지구 온난화도 이와 비슷한 영향이 있는데, 최근 수십 년 동안 많은 나비와 새들이 북쪽으로 이동했다(그림 W6.31).

많은 철새가 과거보다 더 일찍 여름 번식지에 도착한다. 많은 곤충과 양서류가 일찍이 짝짓기를 시작하고 식물은 더 일찍 꽃을 피운다. 호주의 최근 연구에 따르면 지난 20년 동안 야생 초파리 개체군이 유전자 빈도에 가시적인 변화를 겪었는데, 호주의 추운 지역에 있는 개체군이 따뜻한 지역에 있는 개체군과 유전적으로 유사해지고 있다는 것이다.

산호초를 만드는 산호는 오랜 기간 적응해온 해수 온도와 생존할



그림 W6.30 빙하의 소멸.

1970년 (위)과 2000년 (아래)에 찍은 탄자니아의 킬리만자로 산. 30년에 걸쳐 빙하가 덮인 면적은 줄어들고 있다.

수 있는 최대 온도 사이에 좁은 범위에서 살아가고 있다. 지구 온난화는 이미 광범위한 해양의 백화현상을 발생시켰고, 이것은 산호초에게도 위협을 가하는 요소이며 자포동물과 조류 세포 사이의 정상적이고 필요한 공생을 방해한다.

오늘날 지구 온난화가 자연 생태계에 미치는 영향이 과거의 온난화 현상보다 더 심각하다 할 수 있는 이유들이 존재한다. 한 가지 이유는 오늘날 온난화 속도가 빠르기 때문에 진화적 적응은 멸종을 방지하기 위해 비교적 몇 세대 안에 매우 빠르게 이루어져야 한다는 것이다. 또 다른 이유로는 자연 지역이 더 이상 자연 그대로가 아닌, 도시나 농장으로 완전히 둘러싸인 공원의 형태가 된 것이다. 공원은 고정된 지리적 위치에 있으며 일반적으로 이동할 수 없고, 공원의 기후 조건이 주민들에게 부적합 해지면 공원이 살기 적절하지 않은 서식지가 되어 제 기능을 할 수 없게 된다. 그 결과 종은 사라지고 공원의 생물 다양성은 급락하게 된다.

이와 비슷하게, 온도가 상승함에 따라 산악 지역에 사는 종들이 선호하는 서식지를 찾기 위해 더 높은 고도로 이동하고 있다. 그러나 결국 그들은 산의 정상에 도달하게 되면 더 높이 이동할 수 없다. 기온이 계속 상승함에 따라 종의 서식지가 완전히 사라지는 것이다. 많은 종의 코스타리카 개구리는 이러한 이유로 멸종했다. 서식지가 녹아 내리면서 많은 북극 종들 역시 멸종이랑 같은 운명을 맞이하고 있다.



그림 W6.31 나비 분포 범위의 이동.

영국에서 반점나무나비(*Pararge aegria*)의 분포에 따르면, 1915~1939(검정색)에는 남쪽에만 분포하였으나, 1970~1997년(녹색)에는 북쪽까지 분포 범위가 확장되었음을 볼 수 있다.

지구 온난화는 인간에게도 영향을 미친다

지구 온난화는 다양한 방식으로 인간의 건강과 복지에 영향을 미치고 있다. 이러한 변화 중 일부는 유익할 수 있지만 어떤 때에는 해가 될 수도 있다. 선진국들은 해가 되더라도 이러한 문제를 조정할 수 있다. 그러나 후진국은 빠르게 대처하지 못하고 일부 변화에는 부유한 국가조차도 감당하기 어렵기 때문에 극도로 예산이 많이 드는 대책이 수반되기도 한다.

해수면 상승

20세기 후반 이후 해수면은 매년 3 mm 이상 상승했다. 미국 환경보호국은 지구 온난화의 두 가지 영향으로 인해 21세기에 해수면이 2~3배 더 빠르게 상승할 것으로 예측한다. (1) 극지방의 얼음과 빙하가 녹아 해수면이 상승하게 된다. 그리고 (2) 평균 해양 온도의 상승으로 물이 따뜻해짐에 따라 팽창하기 때문에 수위가 올라가게 된다는 것이다. 이러한 증가는 저지대와 해안 습지의 침식과 침수를 증가시킬 것이며 다른 서식지도 위태롭게 만든다. 홍수 증가의 영향을 받는 사람은 2억 명에 이르는데, 해수면이 계속 상승하면 해안 도시와 인도양의 몰디브와 같은 일부 섬 전체가 수몰될 위기에 처할 것이다.

다른 기후적 영향

지구 온난화는 기온 상승 외에도 다양한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 특히, 폭염, 가뭄, 심한 폭풍, 허리케인과 같은 극심한 기상 현

상의 빈도 또는 정도가 증가할 것으로 예상되며, 이에 수반되는 기후 영향과 함께 엘니뇨 현상은 흔하게 더 많이 일어날 수 있다.

또한 강우 패턴이 바뀔 가능성이 있으며, 현재 거의 20억 인구는 이미 물의 영향을 크게 받고 있고 앞으로 몇 년 동안 더 심각한 물 부족 문제에 직면할 것이다. 이에 대한 증거는 이러한 영향이 지난 몇 년 동안 강력한 폭풍, 허리케인 및 엘 니뇨 현상의 빈도가 증가한 것을 들 수 있는데, 이미 이런 문제들이 명백히 발생하는 것을 시사한다.

농업에 미치는 영향

지구 온난화는 농업에 긍정적인 영향과 부정적인 영향 모두 끼친다. 긍정적인 측면에서, 더 따뜻한 기온과 증가된 대기 중 이산화탄소는 일부 작물의 성장을 촉진시켜 농업 수확량을 증가시킨다. 그러나 다른 작물은 부정적인 영향을 받게 된다. 대부분의 작물은 가뭄의 빈도 증가에 영향을 받는다. 북부 온대 지역의 작물은 더 높은 온도에서 성장할 수 있지만 많은 수의 아열대 작물은 이미 최대 온도에서 자라고 있어 기온이 상승하면 작물 수확량이 감소할 것이다.

또한 부정적인 측면으로 강우 패턴, 대기 온도, 해충 분포 및 기타 다양한 요인의 변화는 생물 서식의 적응 변화에 있어 많은 것을 요구할 것이다. 이러한 변화는 선진국의 농부들에게 비교적 쉬울 수 있지만 이와 동일한 비용을 지불해야 하는 개발 도상국의 농부들에게 치명적이게 할 것이다.

인간의 건강에 대한 영향

점점 더 빈번한 폭풍, 홍수 및 가뭄은 인간의 건강에 악영향을 미칠 것이다. 직접적인 영향 외에도 그러한 사건은 종종 개발 도상국의 취약한 사회 기반을 파괴하여 안전한 식수 및 기타 문제를 초래한다. 결과적으로 콜레라 및 기타 질병의 유행이 더 자주 발생할 것으로 예상된다.

또한 기온이 상승하면 열대 지역에 서식하는 생물들은 북쪽으로 확장될 것이다. 특히 우려되는 것은 특정 유기체들이 인간의 질병을 일으키게 되는 것이다. 열대 지역에 국한되던 많은 질병이 범위를 확장하고 열대 지역이 아닌 곳에서 문제가 되고 있다. 말라리아(28장 참조), 뎅기열 및 뇌수막염과 같은 병들은 모기에 의해 전염되는 질병이 예다. 모기의 분포는 추위에 의해 제한되는데, 겨울에 영하로 떨어지는 것은 많은 모기와 알을 죽인다. 결과적으로 말라리아는 보통 기온이 16°C 이상인 지역에서만 발생하고, 말라리아를 옮기는 종과 다른 모기에 의해 전염되는 황열병과 뎅기열은 보통 기온이 10°C 이상인 지역에서 발생한다. 또한, 더 높은 온도에서 말라리아 균은 더 빨리 성장한다.

말라리아는 이미 매년 약 50만 명을 사망하게 한다. 일부 예측에 따르면 말라리아에 걸릴 위험이 있는 인구의 비율은 21세기말까지 33 % 증가할 수 있다고 하며 이미 말라리아는 증가 추세라고 한다.

1980년까지 말라리아는 캘리포니아를 제외한 모든 미국에서 박멸되었지만 최근에는 남부, 심지어는 북부의 일부 주에서도 발생했다.

뎅기열(이로 인한 통증 때문에 "파괴 열"이라고도 함)도 퍼지고 있는 추세이다. 이전에는 열대와 아열대 지역에 국한된 질병으로 연간 5천만에서 1억 명이 감염되었지만 현재는 미국, 남미 남부 및 호주 북부에서도 발생한다.

이러한 질병의 우려되는 측면 중 하나는 백신이 없다는 것이다. 말라리아의 경우 약물 치료가 가능하지만 기생충은 저항성을 빠르게 진화시키고 약물을 효과가 없게 만든다. 뎅기열에 대한 약물 치료법은 아직 개발되지 않았다.

문제 해결

지구 온난화는 현재 인간에 의해 발생하는 지속적인 현상으로 널리 인식되고 있다. 이전에 적극적이지 않았던 많은 국가들이 이제 조치를 취하려고 하며 기업 역시 환경 보전을 위해 힘쓰고 환경의 중요성을 인식하고 있다. 그 결과 "친환경" 기술과 실천 사례는 점점 보편화되고 있다.

예를 들어, 재생 가능 에너지원(대형 댐 제외)에 대한 투자는 화석 연료 발전소에 대한 투자보다 두 배 이상 크다. 그 결과 2000년 이후 20개국에서 이산화탄소 배출량이 감소했다.

그럼에도 불구하고 아직 갈 길이 멀다. 그러나 시민, 기업 및 정부의 공동 노력으로 지난 세기에 오존 고갈이 역전된 것처럼 국가, 기업, 개개인이 상호협력 한다면 지구 기후 변화의 더 심각한 결과를 피할 수 있을 것이다.

핵심 요약 W6.6

이산화탄소는 주된 온실 가스로, 이는 열이 지구를 빠져 나가는 것을 막아 지구 온도를 상승시킨다는 것을 의미한다. 대기 구성의 변화(특히 CO₂ 축적)로 인한 지구 온난화는 사막화를 증가시키고 일부 서식지와 종을 사라지게 할 수 있다. 지구 온난화는 또한 만년설과 빙하를 녹여 수위가 상승하게 하여 해안선을 변화시킬 수 있다. 열대성 질병의 발생 증가뿐만 아니라 격렬한 기상 현상, 수돗물 공급 중단, 저지대 침수도 발생할 수 있다.

- 지구 기후 변화는 오존층 파괴에 의해 제기되는 것과 어떤 면에서 다른 질문을 제기하는가?

핵심 개념 요약

W6.1 태양, 바람, 물의 생태계 효과

■ 태양 에너지와 지구의 자전은 대기 순환에 영향을 미친다

지구 표면에 도달하는 태양 복사의 양은 기후에 큰 영향을 미친다. 계절은 태양에 대한 지구의 위치 변화에서 비롯된다(그림 W6.1). 늘어난 수분 함량을 가진 뜨거운 공기는 적도에서 상승했다가 냉각되고 수분을 잃게 되어 적도 열대 우림이 생성된다(그림 W6.3).

상층 대기의 건조한 서늘한 공기가 적도로부터 멀어져서 지구로 내려오면서 지구 표면의 습기를 제거하고 적도로 돌아오는 길에 사막을 만든다. 바람은 지구가 축을 중심으로 회전하기 때문에 지구 표면을 기준으로 곡선 경로를 따라 이동한다 (코리올리 효과; 그림 W6.3 참조).

■ 해류는 주로 바람에 의해 발생한다(그림 W6.4)

바람의 방향에 따라 해류에서 4개의 큰 원형 환류를 찾을 수 있다. 이것들은 또한 코리올리 효과의 영향을 받는다.

■ 지역 및 지역별 차이는 지구 생태계에 영향을 미친다.

비 그림자는 산악 지대가 바람의 측면으로부터 움직이는 공기로부터 수분을 제거하여 반대쪽에 더 건조한 환경을 조성할 때 발생한다(그림 W6.5). 고도가 1000 m 증가할 때마다 온도가 약 6°C 떨어진다(그림 W6.6). 미기후는 조건에 있어서 작은 차이이다.

W6.2 지구의 생물군계

■ 온도와 습도는 종종 생물 군계를 결정한다

연평균 기온과 강수량, 계절적 변화의 범위에 따라 다양한 생물군계가 결정된다. 8 가지 주요 생물 군계가 알려져 있다.

■ 열대 우림은 매우 생산적인 적도 시스템이다

■ 사바나는 계절적으로 비가 내리는 열대 초원이다

■ 사막은 강수량이 적은 지역이다

■ 온대 초원에는 토양이 풍부하다

■ 온대 낙엽 수림은 계절 변화에 적응한다

■ 온대 상록수림은 해안에 있다

■ 타이가는 겨울이 혹독한 북부 숲 지역이다

■ 툰드라는 성장기가 짧은 주로 얼어 붙은 나무가 없는 지역이다

W6.3 담수 서식지

■ 담수 서식지의 생활은 산소 가용성에 달려 있다

산소는 물에 잘 녹지 않는다. 산소는 수생 식물의 광합성에 의해 지속적으로 추가되고 종속 영양에 의해 제거된다.

■ 호수와 연못의 서식지는 수심에 따라 변한다

표면 근처의 유광대는 주요 생산성 영역이고, 깊이는 물의 투명도에 따라 다르다(그림 W6.12).

여름에는 따뜻한 물(epilimnion)이 차가운 물(hypolimnion) 위에 뜬다. 담수 호는 수면과 수심의 온도가 같아지고 층이 바람에 의해 움직이면서 일년에 두 번 뒤집어진다(그림 W6.13).

■ 호수는 산소와 영양소 함량이 다르다

빈영양 호수는 높은 산소와 낮은 영양소를 가지고 있는 반면, 부영양 호수는 그 반대이다.

W6.4 해양 서식지

바다는 여러 구역으로 나뉘어져 있다: 조건대, 연안대, 유광대, 저서대, 그리고 원양대(그림 W6.15).

외양은 일차 생산성이 낮다. 식물성 플랑크톤은 공해에서 주요 생산지이며, 낮은 영양분 수치 때문에 1차 생산량이 낮다.

■ 대륙붕 생태계는 풍부한 자원을 제공한다

연안수는 대륙붕 위에서 발견되며 영양 수준이 더 높다(그림 W6.15). 기수역에는 종종 풍부한 조건대 구역이 포함되어 있다. 다른 생태계는 대륙붕의 생산적인 은행과 공생 산호초 생태계를 포함한다.

■ 용승부는 영양분과 산소의 혼합이 이루어진다

용승부에서는 국지적으로 불어오는 바람에 영양분이 풍부한 심해를 불러와 1차 생산율이 가장 높다. 엘니뇨 현상은 무역풍이 약해질 때 발생하며, 더 깊은 영양분이 풍부한 물보다는 지표수로의 부기를 제한한다.

■ 차갑고 어두운 심해는 매혹적인 생물군집이 살고 있다

심해는 단일 서식지 중 가장 큰 서식지이다. 열수 분출구 공동체는 지각판이 떨어져 나가는 곳에서 발생한다; 그곳에 사는 화학영양들은 황의 산화로부터 에너지를 얻는다.

W6.5 생물권에 대한 인간의 영향: 오염과 자원 고갈

DDT와 같은 위험한 화학물질은 에너지가 먹이 사슬 위로 이동함에 따라 생체적으로 확대됩니다(그림 W6.20).

■ 담수 서식지는 오염과 자원 고갈로 위협받고 있다

점원 및 확산 오염, 산성 강수 및 남용은 담수 서식지를 위협한다(그림 W6.21).

■ 열대 지방과 온대 지방에서는 산림 생태계가 위협받고 있다

삼림 벌채는 서식지를 잃고, 물의 순환을 방해하며, 영양분을 잃게 한다. 산성 비는 숲과 호수와 하천에 주요한 해로운 영향을 미친다(그림 W6.23).

■ 질병은 동물에서 사람으로 전염될 수 있다

■ 해양 서식지는 물고기와 다른 종들이 고갈되고 있다

조지 बैं크 생태계와 같은 많은 어장들이 붕괴되고 회복되지 못하고 있다.

■ 성층권 오존의 고갈은 오존 "구멍"으로 이어졌다

UV-B 방사선의 증가된 전송은 생물에 해롭다. CFC의 세계적인 규제는 오존층 파괴를 역전시키고 있는 것으로 보인다.

W6.6 생물권에 대한 인간의 영향 : 오염과 자원 고갈

■ 독립적인 컴퓨터 모델은 전지구적 변화를 예측한다

■ 이산화탄소는 주요한 온실 가스이다

이산화탄소는 태양 복사열이 대기를 통과할 수 있게 해주지만 열이 지구를 떠나지 못하게 하여 더 따뜻한 환경을 만든다.

■ 지구 온도 변화는 과거에 생태계에 영향을 미쳤고 지금도 그렇게 하고 있다

온도가 빠르게 변하면, 자연 선택은 많은 종들이 멸종되는 것을 막을 만큼 빠르게 일어날 수 없다.

■ 지구 온난화는 또한 인류에게도 영향을 미친다

해수면 변화, 극단적인 기후 현상의 빈도 증가, 농업에 대한 직간접적 영향, 열대성 질병의 확대는 모두 인간의 삶에 영향을 미칠 수 있다.

인간의 환경 교란은 동물에서 인간으로 새로운 질병의 전염으로 이어지고 있다.

연습문제

■ 1단계: 이해력 확인하기

1. 코리올리의 효과는?
 - a. 지구의 자전에 의해 유도된다
 - b. 적도지방에서 계절적 변화가 거의 없기 때문이다.
 - c. 지구의 바람순환 패턴을 유도한다
 - d. 지구의 바람 및 해수 순환 패턴을 결정한다
2. 생물군계 분포에 영향을 주는 가장 중요한 요인 두 가지는?
 - a. 기온과 위도
 - b. 강우와 기온
 - c. 위도와 강우
 - d. 기온과 토양 유형
3. 비그늘 효과에 따르면, 공기가 상승하면서 냉각되고 가라 앉으면서 열을 흡수하게 되어 습하거나 건조한 산맥의 경사면을 형성하게 되는데, 공기가 수분을 흡수하는 힘은?
 - a. 직접적으로 대기온도와 관계되기 때문이다.
 - b. 대기온도와 역상관관계를 갖기 때문이다.
 - c. 기온에 의해 영향을 받지 않기 때문이다.
 - d. 대기온도의 변화를 만들기 때문이다
4. 호수에서 수온 성층화는?
 - a. 가을철과 봄철의 수층 혼합 현상에 의해 변화되지 않는다.
 - b. 표층에 비해 심층에서 더 많은 산소를 유발한다.
 - c. 심층에 비해 표층에서 더 많은 산소를 가진다.
 - d. 호수 표층에 얼음이 얼 때 약화된다.
5. 빈영양호수는?
 - a. 산소 농도가 낮고, 영양염류의 농도가 높다
 - b. 산소 농도가 높고, 영양염류의 농도가 높다.
 - c. 산소 농도가 높고, 영양염류의 농도가 낮다.
 - d. 산소 농도가 낮고, 영양염류의 농도가 낮다.

6. 심해에 존재하는 열수공 군집은?
 - a. 표층 근처의 유광대로부터 광합성을 통해 에너지를 얻는다.
 - b. 먹이를 얻기 위해 생물 발광을 이용한다.
 - c. 황을 산화시키는 화학합성 자가영양생물의 활동에 의해 생산된 에너지를 기반으로 형성된다.
 - d. 박테리아 및 다른 미생물만을 포함한다.
7. 생물농축현상은?
 - a. 영양단계가 높아질수록 생물 조직 속에 오염물의 농도가 증가한다.
 - b. 오염물질 효과는 생물 내 화학적 상호작용에 의해 증폭된다.
 - c. 생물을 해부현미경 하에서 관찰될 때 일어난다—
 - d. 생물에 의해 일단 소화되면 오염물질 농도는 예측되는 효과보다 더 크다
8. 다음 중 점 오염원은?
 - a. 잔디
 - b. 화력발전소의 굴뚝
 - c. 하천으로 흘러 들어가는 공장배출수 파이프
 - d. 산성비

■ 2단계: 적용력 평가하기

1. 지구가 회전축으로 기울어지지 않았다면, 북반구와 남반구에서 매년 계절주는?
 - a. 거꾸로 될 것이다
 - b. 동일 상태를 유지할 것이다.
 - c. 감소될 것이다
 - d. 존재하지 않을 것이다.
2. 빈영양 호수는 다음 중 어떤 인위적 영향에 의해 부영양 호수로 변할 수 있는가?
 - a. 어류 군집을 파괴할 수 있을 정도로 민감 종을 과도하게 포획하는 것
 - b. 물속에 영양염류를 유입시켜 식물 또는 조류 성장을 자극하게 하는 것
 - c. 호안에 육상 식생대를 파괴하여 토양을 호수 내부로 유입되게 하는 것
 - d. 수중 곤충의 개체군을 조절하기 위해 물속에 살충제를 살포하는 것

3. DDT와 같은 살충제가 저농도에서 유해하지 않고 적절히 잘 이용된다면, 비표적 생물에 어떻게 위협을 가하게 되는 것일까?
 - a. DDT에 노출된 이후에도 일부 생물들은 비록 낮은 농도이긴 하지만 알레르기 반응이 생기기 때문이다.
 - b. DDT 분자는 서로 상호 결합하여 시간이 경과하면서 농도가 상승하기 때문이다.
 - c. DDT와 같은 화학물질의 농도는 상위 영양단계에서 농도가 더 증가하기 때문이다.
 - d. 지구 온난화와 UV-B 노출은 DDT 분자들에게 강력한 힘을 생성하기 때문이다.
4. 많은 온실가스가 존재하는데, 왜 이산화탄소만이 지구 온난화의 주요한 요인으로 간주되는 것일까?
 - a. 다른 가스는 지구 온난화를 일으키지 않기 때문이다.
 - b. 과학자들은 다른 원인들에 대해 관심을 갖고 있기 때문이다. 예를 들면 영구 동토대가 녹으면서 생성되는 메탄 방출은 지구 온난화에 중요한 영향을 줄 수 있기 때문이다.

- c. 다른 가스들은 낮은 농도로 존재하여, 기후 변화에 거의 영향을 미치지 않기 때문이다.
- d. 이산화탄소는 장파를 지닌 적외선을 흡수하는 유일한 가스이기 때문이다.

■ 3단계: 사고력 함양하기

1. **그림 59.1**이 어떻게 **그림 59.2**에서 관찰되는 패턴을 설명하는지 논하라.
2. 대부분의 사막들이 지구의 위도 30° 부근에서 발견되는 이유는 무엇인가?
3. 지구가 과거에도 여러 차례에 걸쳐 지구 온난화를 경험했는데, 현재 다시 발생되고 있는 것에 대해 관심을 가져야 하는 이유는 무엇인가?
4. 새로운 질병이 동물에서 인간으로 옮겨가는 것을 막기 위해 무엇을 할 수 있을까?