

# 생물다양성

## 01. 생물다양성 개념



Environment

## I 생물다양성의 정의

생물다양성이란 무엇일까? 이에 대한 많은 정의가 있지만 대부분 “어떤 지역의 유전자, 종, 생태계의 총체”로 말한다. 유엔 생물다양성협약에서는 이를 “육상생태계와 해양생태계 및 다른 수생태계 등 모든 생태계에 살아가는 생물들 사이의 종내, 종간, 그리고 생태계 간의 변이”로 정의하였다. 좀 더 자세한 정의로는 1989년 세계자연보호재단의 “수 백만여 종의 동식물, 미생물, 그들이 가진 유전자, 그리고 그들의 환경을 만드는 생태계 등을 모두 포함하는 이 지구상에 살아있는 모든 생명의 풍요로움”<sup>1)</sup>이 있다. 모두 생명 현상의 다양함에 대한 개념이며 보통 유전자, 종, 생태계 수준을 포함한다. 최근에는 분자 수준까지 덧붙이기도 한다.

## II 생물다양성의 수준

생물다양성은 보통 분자, 유전자, 종, 생태계 수준 등 생명 현상의 모든 수준에서의 다양성을 모두 나타내는 개념이다. 이를 각 수준에서 알아보자.

### 1. 생태계다양성

3차원에서 더 깊숙이 배우겠지만, 생태계는 생물이 포함된 자연을 하나의 열린 시스템으로 보고 생물뿐만 아니라 에너지와 물질까지도 포함하는 개념이다. 따라서 어떤 지역의 생태계라 할 때 그 지역에 살고 있는 생산자와 소비자 및 분해자 등 생물들과 함께 흐르고 순환하는 에너지와 물질을 모두 포함한 시스템으로 본다.

자연생태계는 크게 육상생태계와 수생태계로 나눈다. 육상생태계는 다시 식생에 따라 열대우림, 열대초원(사바나), 지중해성관목림, 온대활엽수림, 온대초지, 냉대침엽수림, 툰드라 등으로 나누고, 수생태계는 호수, 습지, 하천과 강, 하구, 조간대, 대양, 산호초 등으로 구분한다. 생태계의 다양성은 이러한 구분에 그치지 않고 각 생태계 유형 안에서도 각 장소마다 오랜 세월동안 그 생태계에서 진화해온 생물 종이 각기 다른 것까지 포함한다. 따라서 지구에서 같은 생태계는 존재하지 않으며 또 어떤 생태계를 다른 지역으로 옮겨놓는 것도 불가능하다.

생태계다양성이란 생태계가 다양한 정도를 말한다. 한 생태계는 수많은 생물 종을 포함하고 각 생물 종마다 종 내부에도 유전자다양성을 나타내므로 각 지역의 고유한 생태계를 지킴으로써 생태계의 다양성을 지키는 일은 모든 수준에서의 생물다양성 보전에 매우 중요한 일이 된다.

### 2. 종다양성

가장 일반적으로 많이 쓰이는 것은 종 수준의 생물다양성인 종다양성 (species diversity)이다. 이는 어떤 지역에 생물 종이 얼마나 있으며 여러 종들이 고루 있는지를 나타내는 개념이다. 종다양성에 대해 다루려면 우선 종(species)에 대한 이해가 필요하다. 종은 보통 생물학 연구의 기본 단위로 여러 정의가 있지만 보통 “잠재적으로 또는 실질적으로 교배가 가능한 자연 개체군”으로 본다. 대구의 측백나무 숲과 제천의 측백나무 숲은 너무 멀리 떨어져 있어 측백나무끼리 실질적으로 교배가 일어나지 않아 다른 개체군이지만, 이들 따로 떨어진 숲의 나무를 옮겨놓으면

1) Worldwide Fund for Nature. 1989. The importance of biological diversity. WWF, Gland.

교배<sup>2)</sup>가 일어나므로 이들은 잠재적으로 교배가 가능한 한 종으로 볼 수 있다. 지구상의 모든 잠재적으로 교배 가능한 측백나무 개체군을 모두 모아놓은 집합이 바로 측백나무 종이 된다.

그렇다면 이 세상에는 얼마나 많은 종이 있을까? 지금까지 계통분류학자들에 의해 알려진 종은 약 164만 종 정도이다<sup>3)</sup>. 이 중 95만여 종이 곤충이고 식물이 27만여 종, 척추동물이 6만 종 썬 된다. 곤충 중 딱정벌레목(Coleoptera)은 40만여 종에 달하여 알려진 종다양성의 약 25%에 달해 종다양성이 가장 높은 분류군이다. 이런 알려진 종다양성은 아직 밝혀지지 않은 전체 종다양성의 극히 일부분에 불과하다. 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity)에 따르면 추정된 전체 생물 종의 수는 곤충은 1천만여 종, 세균은 100만여 종, 진균류는 150만여 종, 식물 40만여 종 등 약 1400만여 종에 이를 것으로 예상된다.

### 3. 유전자다양성

최근 DNA 수준의 분자생물학적 연구가 많이 이루어지면서 한 종 안에도 다양한 유전적인 특성을 가지고 있는 것이 강조되고 있는데 이런 유전자 수준에서의 생물다양성을 유전자다양성(genetic diversity)이라고 한다. 사람의 경우 DNA정보를 이용하여 친자확인 소송이 가능한 것도 사람이라는 종 내에 개체 단위로 관별이 가능할 만큼 유전자다양성이 존재하기 때문이다. 또한 지리적으로 고립되어 유전자 왕래가 적은 개체군의 경우 유전자 조성이 상당히 달라질 수 있다. 유전자다양성이 높으면 전염병이 돌거나 물리적 환경이 극단적으로 변하더라도 다양한 개체 중 살아남는 개체가 있을 수 있다.

따라서 유전자다양성은 멸종위기종을 보전하는 데 매우 중요하다. 어떤 종이 수십 마리 정도로 숫자가 줄었다가 보전 노력을 통하여 다시 개체수가 늘어난 경우 개체수가 회복되기 이전의 얼마 되지 않는 개체들의 유전체가 그대로 복사되어 유전자다양성이 매우 단순해지는 경우가 많다. 이를 병목 효과(bottleneck effect)라고 한다. 북방코끼리물범(Northern elephant seals)은 1890년대에 30 마리 정도로 멸종 위기에 몰렸으나 다시 숫자가 불어나 현재는 수십만 마리에 이르고 있지만 유전자다양성이 극히 낮은 것으로 알려져 있다. 어떤 종을 멸종위기로부터 보전하려면 개체수를 늘리는 일뿐만 아니라 그 종의 유전자다양성도 높게 유지하는 것이 필요하다.

### 4. 분자다양성

최근에는 분자 수준의 생물다양성 개념이 대두되었다. 분자 다양성이란 생물에서 발견되는 분자들의 다양함을 의미한다<sup>4)</sup>. 캠프(A.K. Campbell)에 따르면 세 가지 유형의 분자 다양성이 있다. 첫 번째 분자 다양성은 동일한 분자를 다양한 과정에 이용하는 것이다. 칼슘이온은 근세포에서 근육의 수축을 일으키는 신호가 되지만 신경세포에서는 신경전달물질을 분비하게 하는 신호가 된다. 두 번째 분자 다양성은 같은 생명 현상에 대해 다양한 분자를 이용하는 것이다. 초식을 당하는 식물이 초식자를 방어하기 위해 다양한 이차대사물질을 만드는 것이 이에 해당된다. 세 번째 분자 다양성은 동일한 분자의 효과가 세포가 달라지면 다른 효과를 이끄는 것을 말한다. 특정 뉴런의 활동전위를 일으키는데 필요한 신호전달물질의 역치 값이 다른 세포에서는 달라지

2) 이 때 교배는 생식 가능한 자손을 낳는 교배를 말한다. 노새는 말과 당나귀가 교배해서 만들어진 것이지만 자신의 자손을 만들 수 없기 때문에 말과 당나귀는 실질적으로 교배가 가능하지 않으며 다른 종으로 본다.

3) IUCN Red List 자료

4) Campbell, AK. 2003. Save those molecules! Molecular biodiversity and life. Journal of Applied Ecology 40: 193-203.

는 것이 그 예가 된다. 분자 다양성은 종과 개체 그리고 같은 개체 안에서도 기관이나 성장 상태, 서식생육지에 따라 다양한 양상을 보이는데 이는 비슷한 유전정보를 가졌다 하더라도 여러 가지 환경 요인과 상호작용하여 다양한 분자들을 만들어 내기 때문이다.

### Ⅲ 생물다양성의 형성 역사

가장 오래된 화석이 발견되는 38억 년 전에는 지구에 생물이 거의 존재하지 않았고 있더라도 종류가 아주 한정적이었을 것이다. 그때부터 현재까지 약 40억년 동안 지구의 생물다양성은 꾸준히 증가해왔다. 따라서 현재 지구상의 생물다양성은 오랜 진화적 세월을 통해 형성된 것이다.

지구의 종 수는 시간이 지남에 따라 전반적으로 증가해왔지만 실제로는 새로운 종이 만들어지고, 기존의 종이 멸종하면서 역동적으로 변화해왔다. 특히 5억 년 전에 무척추동물에 속하는 대부분의 문이 출현한 캄브리아기 대폭발과 함께 5번의 대멸종사건이 있었다. 이 중 대표적인 멸종사건은 2억5천만년 전 페름기-삼첩기 사이에 일어났는데 전체 종의 90% 이상이 멸종되었다. 또 다른 멸종사건은 6천 5백만 년 전인 백악기와 3기 사이에 일어났으며 이때 공룡뿐만 아니라 모든 종의 75% 이상이 지구상에서 사라졌다. 사실 고생대, 중생대, 신생대의 구별은 5억 년 전의 캄브리아기 대폭발, 2억 5천만년 전의 페름기 절멸, 6천 5백만년 전의 백악기 절멸로 생물의 구성이 급격하게 변한 것이 화석으로 반영되어 나누게 된 것이다. 이러한 대멸종 사건 이외에도 크고 작은 멸종 사건들이 있었지만 멸종과 멸종 사이에는 꾸준히 새로운 종들이 출현하여 전반적인 종다양성은 계속 증가하였다.

캄브리아기의 무척추동물의 대량 출현 이후 약 4억 년 전에 육상식물이 나타났고 이를 먹이로 하는 동물들도 육상으로 진출하였다. 어류와 양서류가 고생대, 파충류가 중생대, 포유류가 신생대에 주로 번창하였다. 식물의 경우 고생대에는 양치류가, 중생대에는 겉씨식물이 신생대에는 꽃피는 식물인 속씨식물이 번창하였다. 현재 속씨식물과 곤충의 종다양성이 높은 것은 신생대 이후 꽃을 진화시킨 속씨식물과 이를 이용하려는 곤충들이 서로 밀접한 관계를 맺으며 공진화가 진행되었기 때문으로 보인다.

### Ⅳ 종다양성 개념

#### 1. 종풍부도와 종균등도

생물다양성의 세 수준 중에서 가장 쉽게 측정할 수 있고 가장 많이 쓰이는 종다양성은 어떤 지역에 얼마나 생물종이 많은지 (종풍부도, species richness)와 얼마나 이들이 고르게 분포하는지 (종균등도, species richness)를 종합하는 개념이다. 어떤 곳에 있는 생물의 종 수가 많으면 당연히 종다양성도 높겠지만 종수가 같다면 생물들의 개체수가 고른 곳이 더 생물다양성이 높게 된다. 같은 종수라도 한 종이 압도적으로 많이 우점하는 경우 생물다양성은 떨어지게 된다. 그림 1에서 (A), (B), (C) 군집의 종풍부도는 각각 3종, 8종, 8종으로 (A) 군집에 비해 (B)와 (C) 군집의 종풍부도가 높다. (B)와 (C) 군집은 종풍부도는 8종으로 같지만, (C) 군집이 한 종의 버섯이



우점하기 때문에 종균등도가 떨어진다. 세 군집 중에서 전체적인 종다양성이 가장 높은 군집은 (B) 군집이 된다.

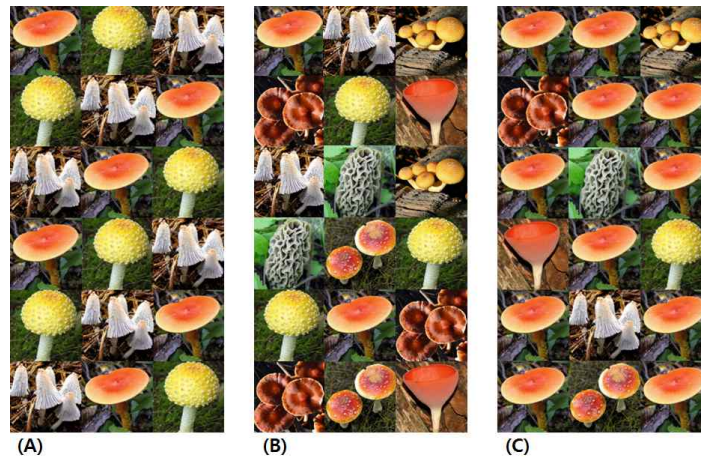


그림 1. 가상적인 버섯 군집의 종다양성 비교. 사진: Creative Commons License. (B) 왼쪽 제일 위에서부터 오른쪽으로 NA Tonelli, Epop, B Peterson, Sardaka, NA Tonelli, T Friedel, Epop, US Fish and Wildlife Service, B Peterson, US Fish and Wildlife Service, H Steve & US Fish and Wildlife Service, NA Tonelli, Na Tonelli, Sardaka, Sardaka, H Steve & US Fish and Wildlife Service, T Friedel

## 2. 절멸과 멸종

종이 어떤 지역에서 완전히 사라지는 것을 절멸 또는 멸절 (extinction)이라고 한다. 시베리아 호랑이(Panthera tigris altaica)는 남한 지역에서 완전히 사라져 절멸되었지만 북한과 만주에 대략 50여 마리, 우수리에 350 마리 정도가 살고 있다. 이 경우 시베리아호랑이는 남한에서는 국지적으로 절멸(local extinction)되었으나 북쪽 지방에 야생으로 살고 있으므로 전 지구적으로 절멸(global extinction) 되지는 않았다. 이러한 전 지구적인 절멸을 멸종이라고 한다. 지역적인 절멸이나 전 지구적인 멸종 모두 지역 또는 전지구적 규모에서 종 수를 감소시키기 때문에 종다양성을 감소시킨다.

## 3. 종다양성의 감소

종다양성은 종풍부도와 종균등도를 종합한 개념이기 때문에 종풍부도뿐만 아니라 종균등도 또한 종다양성에 영향을 준다. 일반적으로 한 지역에서 생물 종의 절멸이 일어나 종 수가 줄어드는 것을 종다양성의 감소로 쉽게 인식하지만 종 수의 변화가 없는 채 종균등도가 떨어지는 경우는 종다양성의 감소로 인식하지 못하는 경우가 많다. 황소개구리와 같은 외래 도입종에 의해 다른 종들이 아직 사라지지 않았지만 개체군 크기, 즉 개체 수가 뚜렷하게 줄어들어 황소개구리가 대부분을 차지하게 되었다면 종다양성이 감소되었다고 보아야한다.

## V 생물다양성 결정 요인

열대우림과 같이 생물다양성이 높은 생태계도 있지만 극지와 같이 생물다양성이 극히 낮은 곳이 있어 생물다양성은 생태계에 따라 매우 차이가 심하다. 어떤 곳이 생물다양성이 높고 또 왜 높은지는 생물다양성 보전에 매우 중요하다. 기후, 서식처 다양성, 면적, 핵심종의 유무, 생물 종의 공급원까지의 거리 등이 생물다양성에 영향을 주는 요인이 된다.

### 1. 기후

전 지구적으로 육상에서 생물다양성이 높은 곳은 열대지방의 열대우림 생태계인 반면에 극지방으로 갈수록 생물다양성은 대체로 낮아진다. 이를 보면 육상생태계의 생물다양성은 지구에 도달하는 태양에너지와 연관이 있음을 알 수 있다. 식물의 경우 물이 부족한 사막에서도 종다양성이 낮다. 따라서 식물의 다양성은 기온과 강수량과 연관이 있으며 이 두 가지 요인을 반영하는 것이 바로 실제 증발산량(actual evapotranspiration)이다. 빛과 물이 충분하면 광합성과 식물의 생장에 유리하고 이러한 조건에서 오랜 시간 동안 진화에 의해 식물다양성이 증가하였을 것이다. 실제 증발산량은 식물의 1차생산성과도 밀접한 연관이 있기에 식물의 1차생산성과 종다양성은 상관성이 높다.

하지만 동물의 경우 수분을 효율적으로 이용할 수 있게 진화적으로 적응한 종들이 많아 강수량과 종다양성이 큰 관련이 없다. 하지만 동물의 종다양성은 식물의 종다양성과 밀접한 연관을 갖는다.

### 2. 면적과 공급원과의 거리: 섬생물지리학

이러한 태양에너지와 물 이외에 서식지의 다양성도 매우 중요한 데 생물이 살아가는 서식지가 특정 지역 내에 다양하게 존재할수록 생물다양성은 높다. 이러한 서식지의 다양성 때문에 어떤 생물이 살아가는 서식지 면적이 넓을수록 그 속의 생물다양성은 일반적으로 증가하는 패턴을 보인다. 일반적으로 섬 생태계는 육지에 비해 서식지가 좁으므로 종다양성이 낮고 섬 중에서도 섬 면적에 따라 종다양성이 비례하는 면적-종수 관계를 보인다. 맥아더(R. McArthur)와 윌슨(E. O. Wilson)이 이러한 면적-종수 관계를 확장하여 섬생물지리학(island biogeography)을 제안하였다. 섬생물지리학에 따르면 어떤 섬의 종 수는 새로운 종의 이입율과 기존에 있던 종의 절멸율에 의해 결정되는데 이입율은 새로운 종을 공급해주는 공급원(source)과의 거리가 가까울수록 커지고 절멸율은 섬의 면적이 작을수록 커진다. 따라서 큰 섬일수록 그리고 내륙에 가까울수록 종수는 많아진다고 설명한다. 처음에는 섬생물지리학이 바다의 섬에 적용된 이론이지만, 다른 유형의 '섬'에도 적용된다. 다른 서식지와 분리된 서식지 조각(patch)은 모두 '섬'으로 보고 섬생물지리학을 적용할 수 있다. 개발과 도로 건설 등으로 큰 면적의 서식지가 조각나는 단편화(fragmentation) (그림 2)가 진행되면 '섬'의 면적은 작아지고 '섬' 간의 거리도 멀어져서 종다양성은 감소하게 된다. 종종 고라니나 너구리 등 야생동물들이 차에 치어 죽는 '차길 동물사고(road kill)'은 단편화의 한 결과일 뿐이다.

서식지 단편화로 서식지가 분할되면 원래 서식지에 비해 각 서식지 조각의 면적도 줄어들지만 가장자리의 비율도 높아진다 (그림 3).

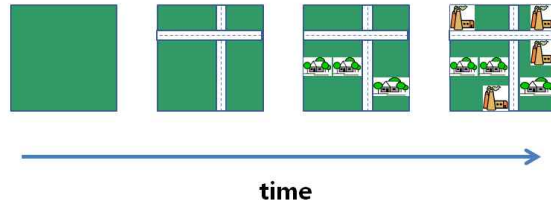


그림 2. 서식·생육지 단편화. 녹색으로 표시된 서식·생육지는 도로 건설, 주택 건설 및 공장지대 건설로 나누어지고 좁아진다.

가장자리는 빛, 온도, 습도, 바람 등의 변동이 매우 심하고 미세 기후(microclimate)가 숲 내부와 매우 다르므로 사는 종들도 달라지는 데 이를 가장자리 효과(edge effects)라고 한다.

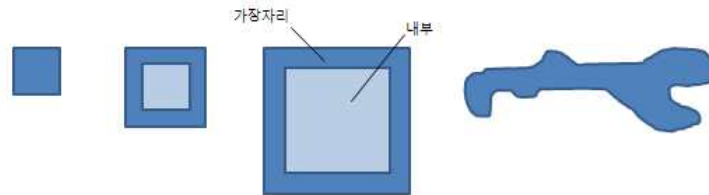


그림 3. 서식지 단편화와 가장자리 면적. 서식지의 면적이 줄어들면 가장자리가 차지하는 비중이 커진다. 길쭉한 모양의 서식지도 가장자리의 비중이 높다.

서식지 단편화가 일어나면 가장자리를 선호하는 종들이 늘어나고 숲 내부를 선호하는 종이 줄어드는 종 구성의 변화가 일어난다. 크낙새 등 내부종이 서식지 조각의 가장자리 환경에 노출되면 들고양이, 까치, 병원균 등 기생생물과 포식자의 영향을 더 많이 받게되어 개체수가 줄어든다.<sup>5)</sup>

### 3. 핵심종

또한 핵심종(Keystone species)도 생물다양성을 높이는데 중요한 역할을 하는 종이다. 핵심종은 썩기종이라고 하기도 하는데 아치형태의 다리에서의 썩기돌(keystone)처럼 군집에서 차지하는 부분은 적으나 이 종이 사라지면 군집이 무너질 정도로 중요한 역할을 하는 종을 일컫는 말이다. 보통 포식자가 먹이들에게 부정적인 영향만 준다고 생각하기 쉬운데 페인(R. Paine)이 바닷가 암반지대에서 실험한 결과는 포식자인 불가사리를 제거하면 불가사리의 먹이 중 일부가 엄청나게 늘어나 종다양성이 오히려 감소하는 것을 보여 주었다. 이렇게 핵심종의 포식에 의해서도 군집 전체의 생물다양성이 높게 유지될 수 있다.

5) 조도순. 2010. 생물다양성에 대한 위협. 생물다양성은 우리의 생명, 궁리, pp. 90-105.