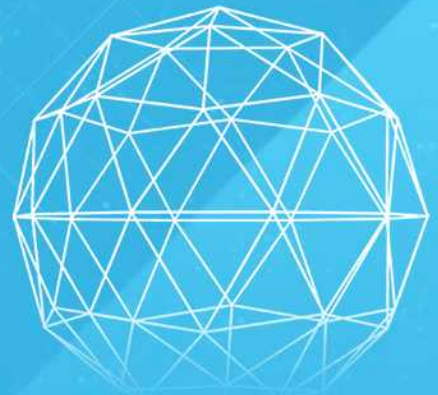




청소년을 위한

생물다양성 02

생물다양성 감소 원인과 대책



1. 생물다양성을 위협하는 요인들

전세계적으로 생물다양성은 감소하고 있습니다. 세계 생물종들의 멸종위기 위험 정도를 나타내는 국제자연보전연맹(IUCN)의 적색목록 지수(Red List Index)에 따르면 모든 생물종은 지속적으로 감소하고 있습니다. 특히 산호초는 모든 분류군 중에서 가장 빠르게 멸종위기를 맞고 있고, 양서류는 가장 크게 멸종위험을 받고 있습니다. 세계자연기금(WWF; World Wild Fund for nature)의 지구생명지수, LPI는 척추동물 종의 개체수를 수집해서, 1970년 기준치와의 (평균)변화를 계산해 생물다양성을 측정하는 지수입니다. 이 지구생명지수에 따르면 1970년부터 2012년까지 40여년동안 약 58%의 개체수가 감소했고, 2020년에는 66%이상 감소할 것으로 예측됩니다.

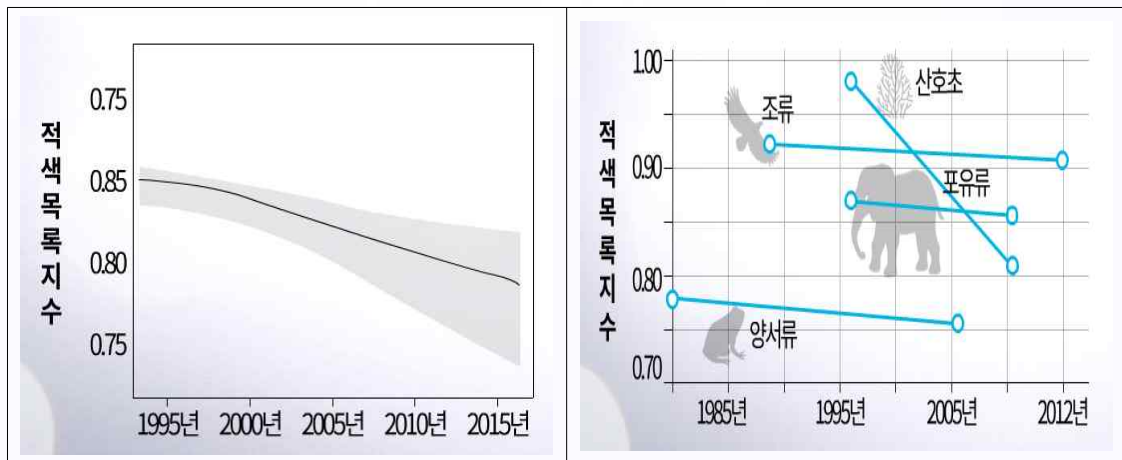


그림 1. 적색목록 지수(Red List Index)의 변화

출처: CBD 2014, IUCN 2018(<https://www.iucn.org>)

우리나라도 멸종위기 야생동물이 꾸준히 증가하고 있고, 호랑이, 늑대, 독도강치 등 이미 절멸된 종들도 있습니다. 다행히 환경부가 멸종위기 야생생물을 지정해 법적으로 보호하면서, 멸종위기 야생생물은 1989년 92종에서 2018년 현재 총 267종으로 약 2배 가까이 증가했습니다.

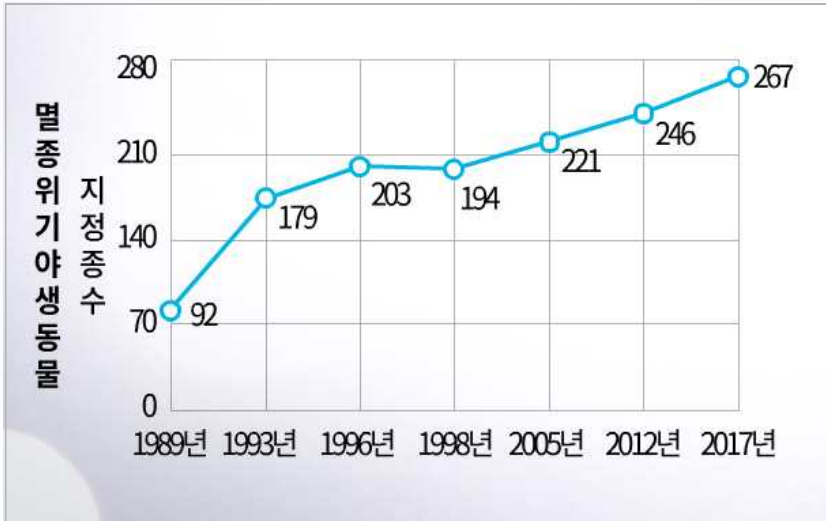


그림 2. 과거 20년 국내 멸종위기 야생동물 지정 종 수 변화

1) 생물다양성의 감소 원인

그렇다면 생물다양성이 감소하는 이유는 뭘까요? 2016년 WWF 보고서에 따르면 종 다양성과 개체군이 위협을 받는 이유는 매우 다양한데요, 서식지 감소와 훼손, 남획과 밀렵, 대기 및 수질 오염, 외래종과 질병, 기후변화등을 들 수 있습니다. 이 중에서 서식지파괴는 생물 다양성을 감소시키는 가장 심각한 원인 중 하나입니다. 서식지파괴는 인간이 자연을 개발하는 과정에서 주로 일어나는데, 서식지를 잃은 생물은 사라지게 됩니다. 자, 그럼 지금부터, 서식지파괴와 감소등에 영향을 미쳐서 생물다양성 감소시키는 요인들을 살펴봅시다.

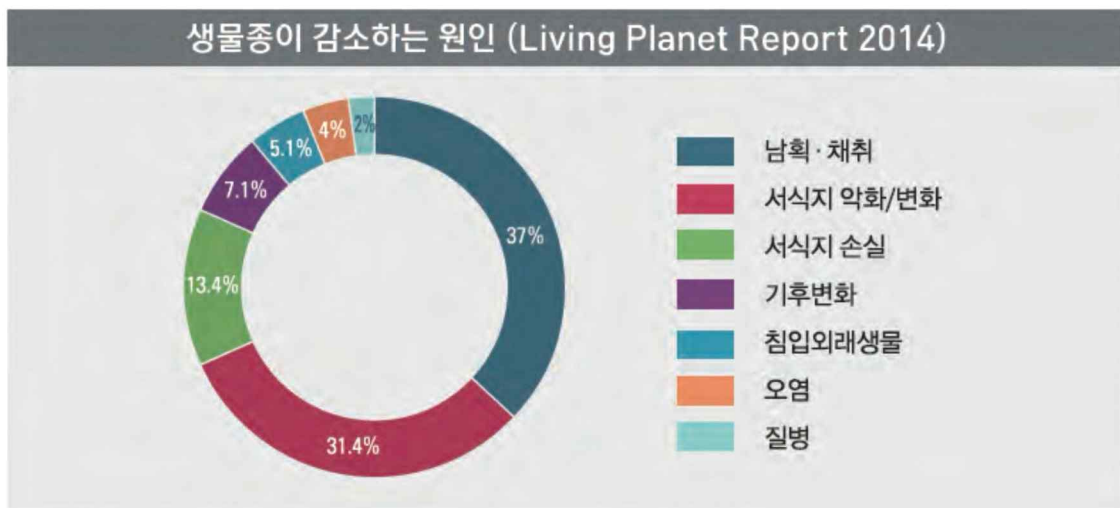


그림 3. 전 지구 생물다양성의 주요 감소 원인

출처: 세계자연기금(WWF, 2014)

① 개발과 토지이용 변화

제일 먼저 도시화에 따른 개발과 토지이용변화를 들 수 있는데요. 전 세계적으로 토지 개발과 도시화, 에너지와 채석장 개발 및 농경지 전환등으로 야생생물의 서식지가 상당부분 사라졌고,

또 서식지의 질이 낮아졌습니다. 뿐만 아니라 하천을 직선화하고 지하수 개발사업 등으로 담수 서식지도 교란됐습니다. 우리나라만 해도 과거 50여년 동안 도시 면적이 급격히 증가했습니다. 도시화율은 1960년 28%에서 2016년 81.5%로 3배가량 상승했고, 도시 면적은 1980년말 약 2,000km²에서 2010년말 약 4,000km²로 30년 동안 2배로 증가했습니다. 대부분의 산림과 습지, 그리고 농경지가 도시로 전환된 것입니다. 세계은행(Worldbank)에 따르면 1990년부터 2017년까지 27년 사이에 전국적으로 산림 면적은 약 2.7%(1,936km²)가 감소했는데, 서울시 면적(2010년말 기준, 605.25km²)의 약 3.2배에 해당합니다. 같은 기간, 농경지 면적도 약 5.1%가량 줄어들었습니다. 일본도 농경지 면적이 크게 감소했는데 도시화의 결과라고 볼 수 있습니다. 그러나 산림면적의 경우, 일본은 핀란드 등 다른 국가들과 비슷한 수준을 유지하거나 높아진 데 비해 우리는 크게 감소했는데요. 우리나라는 도시개발 가용면적이 작아서 저지대 산림지역이 더 많이 개발된 영향으로 보입니다.

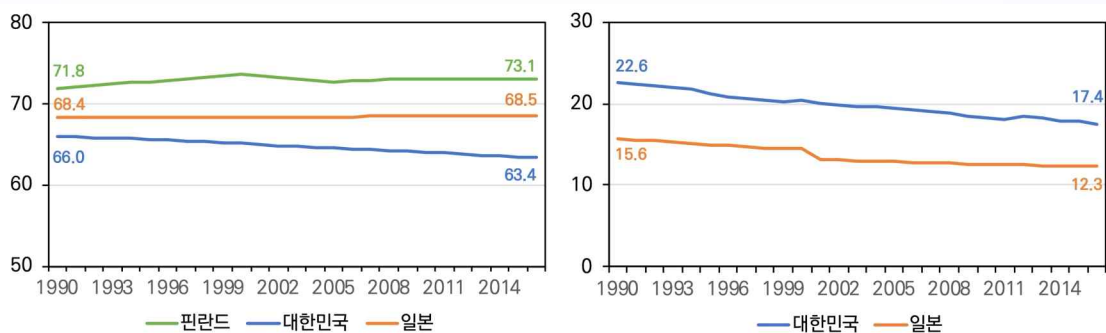


그림 4. 최근 27년간 산림 면적 변화(좌: 약 2.7% 감소)와 농경지 면적 변화(우, 약 5.1% 감소)

출처: 세계은행(<https://data.worldbank.org/indicator>)

② 하천 생태와 습지의 변화

최근 기후 및 기상변화 등으로 연간 강우량의 차이가 커지면서 국내 하천의 건천화가 증가하고 있습니다. 건천(乾川)이란 '조금만 가물어도 이내 물이 마르는 내'로, 하천의 정상적인 기능과 상태를 유지하기 위해 필요한 최소한의 유량(하천유지유량) 이하로 흐르는 하천을 말하는데요, 건천화는 서식지 변형을 초래할 수 있습니다. 특히 서울, 대구, 대전, 고양, 안산, 남양주, 창원, 군포, 하남 등의 도시는 도시하천 건천화율이 50%가 넘는 것으로 조사돼 하천 건천화에 대한 우려가 커지고 있습니다. 그리고 도시개발과 도로, 건물의 건설로 인해서 지표면에, 수분의 침투가 어려운 불투수층이 증가하는 것도 도시 내 건천화 현상을 가속시킬 수 있습니다. 불투수층이 강우나 지표수가 땅속으로 유입되는 것을 차단해서 지하수량과 수위가 낮아지기 때문입니다. 특히 대도시의 지하철이나 고층빌딩 등 지하 공간 개발은 다량의 지하수 유출을 발생시켜서 지하수위가 낮아지는 원인이 됩니다. 서울시만해도 지하철 119개소와 고층건물 18개소에서 1일 15만 톤 규모의 지하수가 빠져나가고 있습니다. 국내 하천과 호수의 수질도 경제성장에 따른 물수요 급증과 급속한 도시화, 집약적 농업 등으로 크게 위협받고 있습니다. 특히 1970년대 이후 급격한 도시화와 산업화로 발생한 생활하수 및 공장폐수가 제대로 처리되지 않고 하천과 호수로 방류돼서 수질이 심각하게 악화됐습니다. 이로 인해 유기물질이 썩으면서 물속의 용존산소(DO)가 부족해 어류 등 동식물은 폐

사하고, 혐기성 세균이 번식해 악취가 발생되기도 했습니다. 습지는 홍수 조절과 연안에서의 해안선 안정, 폭풍우로 인한 피해 방지와 수질정화 등의 기능을 하며 인간에게 다양한 생태계서비스를 제공하고 있습니다. 그러나, 최근 각종 개발 사업과 식량 확보를 위한 연안지역 매립 및 농경지 전환으로 인해서, 1980년말 약 7,670km²이던 습지는 2000년 말 약 4,360km²로 크게 감소했습니다.

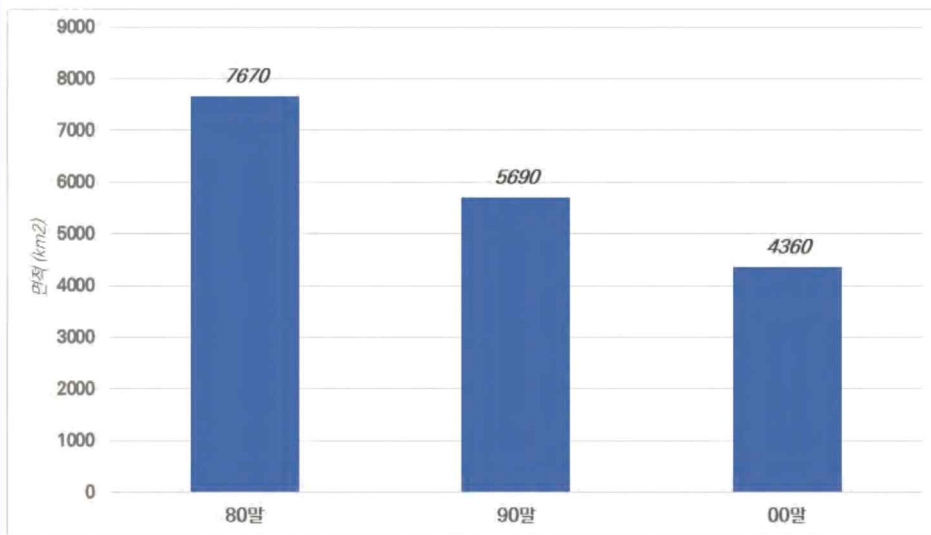


그림 5. 국내 내륙습지 면적 변화(환경부, 토지피복도 대분류 자료 활용)

③ 농업 생태환경의 변화

논습지 감소도 서식지 변형을 일으켜서 생물다양성을 감소시키는 원인 중 하나입니다. 1988년 135만 8,000ha에 달하던 우리나라 논습지는 2013년 96만 4,000ha로, 25년간 약 30%나 감소했습니다. 그런데 도로 건설과 신도시계획 확장등으로 농지전용이 증가하고 있어 논습지 감소 추세는 계속 이어질 것으로 보입니다. 뿐만 아니라 농촌의 경지정리로 인해 논습지의 환경도 변하고 있습니다. 규모가 협소한 논이나, 농로와 수로 등의 시설이 미비한 지역의 경우, 수리 관개시설 정비로가뭄에도 안전하게 농사를 지을 수 있는 수리답으로 개발됐고, 영농기계화를 위한 기반 정비나 영농 규모화를 위한 농지의 집단화 등도 촉진되고 있습니다. 이런 작업들로 식량의 공급량을 유지하고 농촌 환경이 개선되고 있지만, 논습지내 소생태계가 감소하고 단절돼 생물다양성의 감소에 영향을 주고 있습니다. 그리고 각종 농약도 서식지를 변형시키고 있는데요. 정부는 환경과 인체에 해로운 토양·작물잔류성 농약과 수생생물에 피해를 주는 수질오염성 농약의 제조 및 사용을 엄격히 제한하고 있습니다. 특히 2005년부터는 화학비료 보조를 폐지하고, 친환경농업을 지원하는 정책 등을 통해 화학농약과 화학비료의 사용 절감을 유도하고 있습니다. 따라서 골프장 등에서 수목에 고독성 농약을 사용할 경우엔 반드시 정부의 승인이 필요합니다.

④ 도로에 의한 생태환경 변화

도로와 철도의 건설과 확대는 서식지 면적의 감소와 파편화를 일으키고 결과적으로 생물 다양성을 감소시킵니다. 야생동물의 개체수가 지속적으로 줄어들게 되면 최소 생존개체군 크기는 위협받고 결국 멸종위기에 이르게 되는데요, 도로나 철도 등의 교통시설에서 동물이 차량과 부딪쳐 죽는 로드킬E 동물 개체수 감소에 직접적인 영향을 끼칩니다. 지난 2013년부터 2017년 8월까지 전국 고속도로에서 총 12,052건의 로드킬 사고가 발생했는데요, 2015년 한 해에만도 2,545마리, 즉 하루 평균 6.9마리가 로드킬 당했습니다. 동물별로는 고라니가 총 10,752마리로 전체 로드킬 사고의 92.9%를 차지했습니다. 그 다음으로 너구리 496마리(4.1%), 멧돼지 446마리(3.7%)를 비롯해 오소리(121마리)와 멧토끼(58마리), 삥(54마리), 족제비 29마리, 기타 96마리 순입니다.

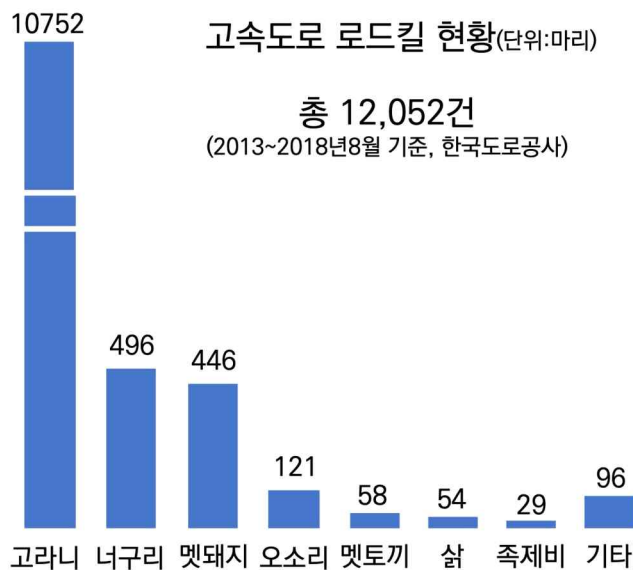


그림 6. 전국 고속도로 로드킬 현황

출처: 한국고속도로공사, 2018

2. 기후변화와 생물 다양성의 어떠한 관계인가?

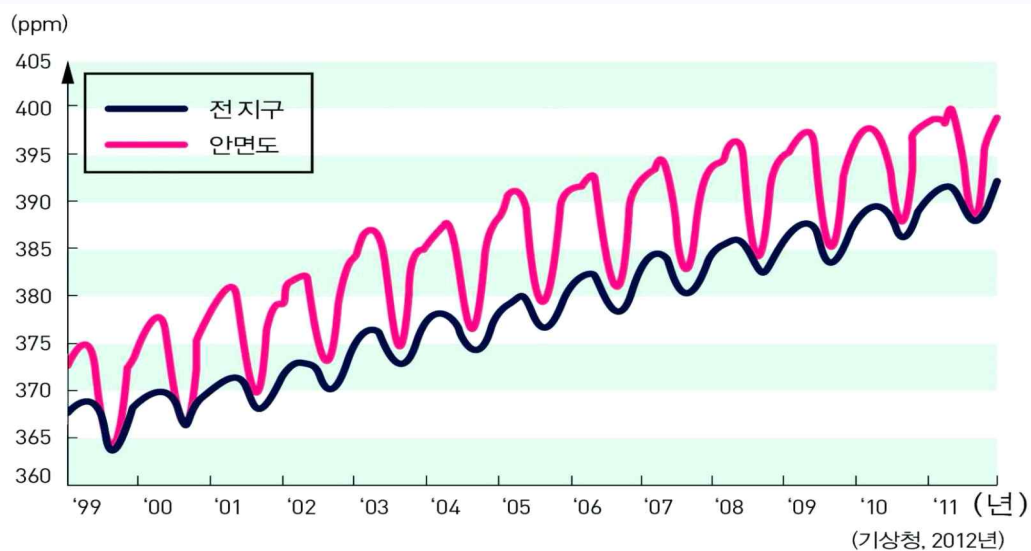
기후변화와 생물다양성은 어떤 관계일까요? 먼저 기후변화란 무엇인지부터 살펴보죠. 기후변화는 시간에 따른 지구의 세계기후 또는 지역기후의 변화입니다. 학술적으로는 10년에서부터 수백만년동안 대기의 평균상태 변화를 의미합니다. 이 기후변화가 지구촌 곳곳에서 발생하는 기상이변의 주요 원인으로 지목되고 있습니다.

1) 기후변화의 원인

기후 변화와 관련된 문제를 파악하여 이를 해결하고자 마련된 국제기구인 IPCC가 5년마

다 발간하는 평가보고서는 인간 활동으로 인한 온실가스 배출이 현재 발생하고 있는 기후변화의 주된 원인이라고 밝히고 있습니다. 기후변화의 요인이 되는 탄소는 지구상에 존재하는 생물과 무생물 간을 순환하면서 다양한 영향을 줍니다. 광합성 생물은 대기 중의 이산화 탄소를 흡수해서 유기물을 만들고, 조류나 가재 등 수생동물은 물에 녹은 이산화 탄소를 흡수해서 탄산칼슘으로 된 껍데기를 만듭니다. 이처럼 생물의 체내에 흡수되거나 저장된 탄소는 생태계 속 생물들간의 관계, 즉 잡아먹거나 잡아먹히는 관계 속에서 순환을 하게 됩니다. 인간의 다양한 활동이 대기 중의 이 탄소를 증가시키는 요인으로 작용하는데요. 대표적인 것이 석유나 석탄, 가스등 연료가 탈 때 배출되는 이산화 탄소입니다. 과거 농경사회에서 지금의 산업사회로 넘어오면서 탄소배출은 급속히 증가하고 있습니다. 최근엔 기후변화라고 하면 '지구온난화'로 인한 기후변화를 가리키는 경우가 일반적인데요. 지구 온난화는 지표에서 방출되는 지구 복사 에너지가 이산화 탄소와 같은 온실기체에 대부분 흡수되었다가 지표로 다시 복사되서, 지구온도가 높아지는 현상을 말합니다. 즉 지구 대기층 중, 이산화 탄소가 포함된 공기층이 일종의 비닐하우스와 같은 효과를 유도해서, 태양으로부터 오는 열과 지구자체에서 발생하는 열이 합쳐져서 온도상승을 유도하는 것이죠. 이 때 이산화 탄소는 자연상태에서 발생하기도 하지만, 대부분은 산업시설, 농기계, 자동차, 가정의 난방에 사용되는 화석연료사용으로 발생합니다. 대기 중 이산화 탄소의 농도가 산업혁명 이후 급격히 증가한 것이 그 반증이기도 합니다.

(예시)



우리나라 충남 안면도에 위치한 국립기상과학원 안면도 기후변화감시소의 자료에 따르면, 기후 변화 원인 물질 중 이산화 탄소가 기온 상승에 영향을 미치는 비중은 64% 정도 된다고 합니다. 최근 들어 이산화 탄소 농도의 증가율은 과거에 비해 매우 빨라졌는데, 이는 지구 온난화가 매우 빠르게 진행되고 있음을 나타냅니다. 안면도에서 발생하는 이산화 탄소 농도의 증감이 전지구에서 발생하는 증감보다 높게 나타났는데요, 우리나라의 이산화 탄소 배출이 전지구에 비해 높다는 얘깁니다. 지금까지 기후변화에 대해 간단히 살펴봤는데요, 기후변화는 다양한 원인 파악과 온실가스 배출, 생태계 영향, 지표면 온도상승 등의 문제를

완화하기 위한 개인 및 국가간의 노력 등 종합적으로 다루어져야 하는 복합한 문제입니다.

② 기후변화에 따른 생물다양성의 위협

그렇다면 기후변화는 생물다양성을 어떻게 위협하는지 얘기를 해보죠. “꿀벌이 사라지면 4년 이내에 인류는 멸망하게 될 것이다” 무슨 얘길까요? 꿀벌이 멸종하면 왜 인간은 4년밖에 살지 못하는 것일까요? 그 이유는 벌이 생태계에서 중요한 역할을 담당하기 때문입니다. 우리가 먹는 음식물의 80%는 벌과 연관돼 있습니다. 식물의 꽃 중에서 3분의 1은 곤충에 의해 수분이 되는 충매화인데, 이 중에 60%이상 역할을 하는 것이 벌입니다. 특히 우리가 식량용으로 키우는 100대 작물 중에서 70%는 꿀벌 없이는 열매를 맺지 못합니다. 그렇기 때문에 벌이 멸종되면 식량생산에 심각한 차질을 빚어서 인류가 생존하는데 영향을 미칠 수밖에 없겠죠. 그 뿐이 아닙니다. 벌의 멸종으로 식물이 멸종되면 지구의 산소 공급에도 영향을 미치게 됩니다. 한 생물의 멸종이 다른 생물에게 미치는 영향이 지대하단 얘깁니다.

그런데 최근 벌의 멸종과 관련된 불길한 징조들이 나타나고 있습니다. 2008년부터 2013년 사이, 미국 전지역에서 야생벌 숫자가 4분의 1정도로 줄어들었는데, 일벌들이 갑자기 사라지니 벌집에 남아 있던 애벌레와 여왕벌도 점차 죽게 된 겁니다. 이런 현상을 ‘군집 붕괴 현상’이라고 부르는데, 미국뿐 아니라 전 세계적으로 일어나고 있고, 우리나라에서도 2009년 이후 전체 토종벌의 98% 정도가 사라졌습니다.

벌들이 사라진 이유는 무엇일까요?

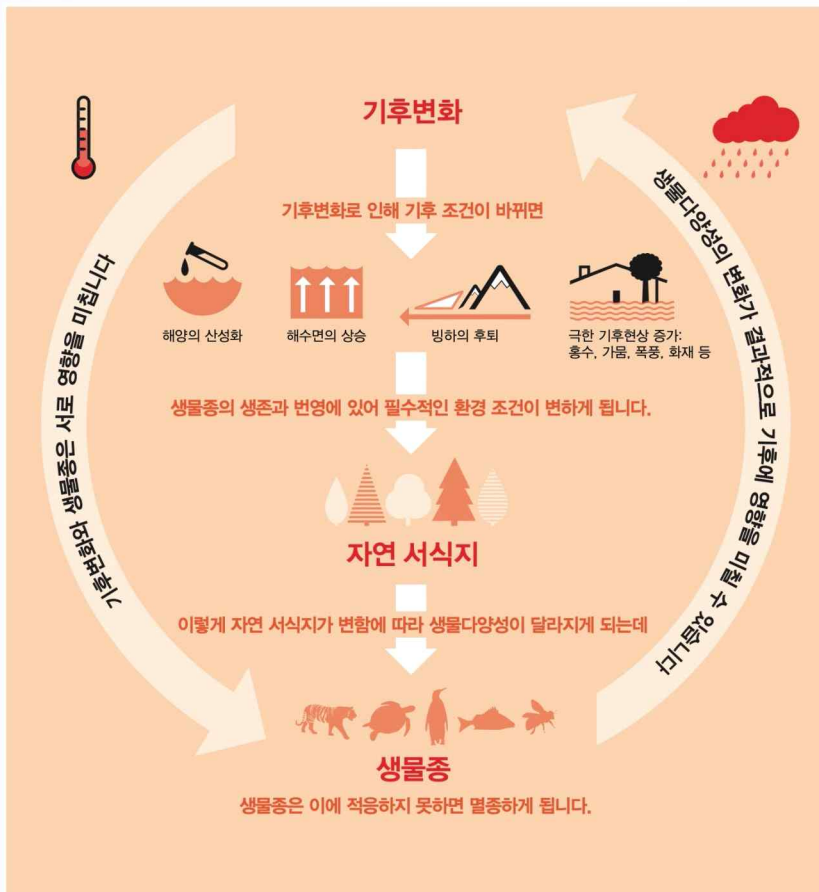
군집 붕괴 현상의 원인으로는 전자파, 지구 온난화와 기후 변화, 과도한 농약 사용 등으로 추측되고 있지만, 명확한 원인은 아직 밝혀지지 않고 있습니다.

그렇다면 벌의 멸종을 막기 위해 우리가 실천할 수 있는 것들은 무엇일까요? 아주 작은 것에서부터 실천하는 것이 중요한데요, 벌의 먹이가 될 수 있는 식물을 키우고, 화학약품 사용을 자제하여 환경을 보호하는 겁니다. 그리고 더 나아가 도시에서도 벌을 키우는 겁니다. 이른바 ‘도시 양봉’으로 도심 녹지를 늘리고, 빌딩의 옥상 등에 벌통을 직접 설치해서 벌을 키우는 것입니다. 이런 노력들이 모여서 벌의 멸종을 막고 인류의 멸종도 막을 수 있을 겁니다.

③ 기후변화가 생물종에 미치는 영향

기후변화와 생물종은 서로 밀접한 영향을 주고받습니다. 예를 들어보겠습니다. 기후변화로 대나무숲의 분포가 이동할 경우 대나무를 주식으로 하고, 그 지대를 서식지로 삼고 있는 대왕판다는 위험에 처하게 됩니다. 대나무는 그 종에 따라 15년에서 120년 만에 한 번씩 꽃을 피우고 생육하는 종으로 기후변화에 대한 적응 속도가 매우 느립니다. 그럼에도 불구하고 현재까지 진행된 연구에 따르면 기후변화가 진행되면서 판다 서식지에서 사라지는 대나무 종이 상당수에 이릅니다. 이 중엔 기후가 맞는 지대로 옮겨가는 종도 있지만 서식지 소실을 보이는 대나무 종도 상당한 것으로 보입니다. 기후변화로 인해 대나무의 분포와 종다양성이 감소하면 대왕판다는 먹이 확보에 큰 어려움을 겪게 되고, 곧 생존과 보존에도 심각한 영향

을 끼치게 된다는거죠. 정리하자면 지구온난화로 인해 기후조건이 바뀌면 해양이 산성화되고, 수온 상승으로 극지방의 빙하가 좀 더 빠르게 녹아 해수면의 상승을 유도할 수 있습니다. 또한 기후변화로 인해 대기가 불안정해져서 홍수나 가뭄, 폭풍, 화재등 극한의 기후 현상이 증가할 수 있습니다. 이런 환경변화는 그 환경속에서 서식하는 생물종의 생존과 번식에 필수적인 환경조건을 변형시킬 수 있습니다. 즉, 자연 서식지의 크기와 형태, 생태적 조성에 영향을 주어서 그 속에서 생존하는 생물 다양성도 함께 달라집니다. 이때 바뀐 자연 서식지에 적응하지 못하면 멸종하게 되는데, 이와 같은 생물다양성의 변화는 다시 기후에 영향을 줄 수 있어서 끝없는 악순환을 초래하게 되는 겁니다.



기후변화는 서식지 변화와 남획(over-exploitation), 오염, 외래 유입종 등과 같이 생물다양성의 파괴를 야기하는 여타 요소들의 영향을 더욱 악화시킬 것이다(Field et al., 2014).
출처: 지구생명보고서 2014

3. 생물다양성 증진을 위한 노력들은 무엇인가?

생물다양성 증진을 위해서 무엇을 어떻게 해야 할까요? 생물다양성을 위협하는 원인이 복잡한 만큼 한 국가나 단체, 개인의 노력만으로 문제를 해결할 수 없습니다. 개인은 물론 국가와 지역사회, 그리고 국제사회의 자각과 노력이 합쳐졌을 때, 비로소 생물다양성을 보전할 수 있습니다.

① 국가(정부)의 노력

먼저 생물다양성 증진을 위한 우리 정부의 노력부터 살펴보겠습니다. 우선 정책적으로 우리나라의 자연환경 보전을 위한 자연환경 보호지역 지정과 관리, 자연생태계 유지와 생물다양성 보전, 이를 뒷받침하기 위한 자연환경조사와 정보망구축 등 자연환경보전 기반구축을 위해 여러 정부부처들이 노력하고 있습니다. 생물다양성 증진을 위해서는 어떤 생물이 우리나라에서 살고 있는지 그리고 얼마만큼의 위협을 받고 있는지에 대한 기초적인 현황 파악이 필요합니다. 이를 위해 우리 정부는 전국자연환경조사, 우수생태계 정밀조사, 멸종위기 야생생물 전국 분포조사, 자연공원 자연자원조사 등을 실시하고 있습니다.

그리고 2012년도에 '생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률'을 제정하고 국가 생물다양성 보전과 그 구성요소의 지속가능한 이용을 도모하고 있습니다. 또한 전략의 구체적인 실행방안으로서 매년 시행계획을 수립하고, 그 이행 상황을 점검해 효과적으로 목표를 달성할 수 있도록 노력하고 있습니다. 우리나라의 보호지역 지정은 1960년대에 산림법, 문화재보호법, 공원법 등의 제정을 통해 시작되었습니다. 그리고 1965년 홍도와 설악산을 천연보호지역으로 지정하고 1967년에 지리산을 최초의 국립공원으로 지정한 것이 출발점이라 할 수 있습니다. 2017년 현재 우리나라 법정보호지역은 모두 2,646개소로, 총 면적이 2만 6,772km²정도인데, 법정보호지역은 환경부, 해양수산부, 문화재청, 산림청, 국토교통부등 5개 부처에서 다양한 유형으로 지정·관리되고 있습니다.

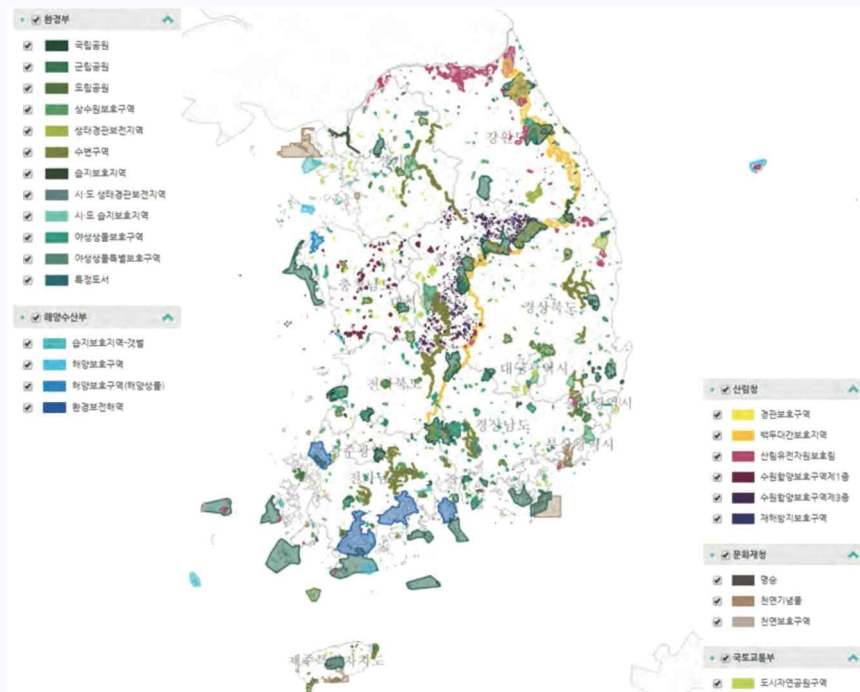


그림 7. 우리나라 보호지역 지정 현황

출처: <http://www.kdpa.kr>

② 국제협력을 통한 노력

지구의 생물자원은 인류의 사회·경제적 발전의 핵심입니다. 현재는 물론 미래세대에게도 엄청난 가치를 부여하는 전 세계적 자산이라고 할 수 있죠. 그런데 개발등의 인간 활동으로 종은 놀라운 속도로 소멸되고 있습니다. 이에 효과적을 대응하기 위해선 각 국가별 노력은 물론 지역적, 전 지구적 협력이 필요합니다. 먼저 유엔(UN)은 지구환경 문제를 논의하고 지구적 차원의 협력을 도모하기 위해 1992년 UN환경개발회의(지구정상회의)를 개최했습니다. 그리고 이를 계기로 생물다양성협약(CBD: Convention on Biological Diversity)과 기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)이 탄생했고, 사막화방지협약에 관한 논의도 시작됐습니다. 참고로 생물다양성협약의 목적은 생물다양성의 보전, 생물다양성 구성요소의 지속가능한 이용, 유전자원 이용으로 발생하는 이익의 공정하고 공평한 분배입니다. 여기서 생물다양성은 1차시에서 설명한 유전자, 종, 생태계의 다양성을 의미합니다. 우리나라도 생물다양성 관련 4개 협약에 모두 가입해 활동하고 있으며, 북한도 멸종위기에 처한 야생동식물의 국제거래에 관한 협약, CITES을 제외한 나머지 협약에 가입해 활동 중입니다.

③ 생물다양성 증진을 위한 민간참여

생물다양성 증진을 위한 개인 혹은 민간의 참여가 정부나 국제기관보다 파장이 큰 경우도 많습니다. 1962년출판된 레이철 카슨의 "침묵의 봄"이란 책이 좋은 예입니다. "침묵의 봄"은 살충제·살균제 등의 무분별한 사용으로 인한 환경오염의 심각성을 고발한 세계적 베스트셀러로, '침묵의 봄'이라는 제목은 살충제로 인해 생태계가 파괴되어 봄이 왔음에도 새들의 노랫소리가 들리지 않는 것을 우려한다는 의미입니다. 이 책이 발간된 직후 미국에서는 DDT 사용 금지를 촉구하는 시민운동이 일어나는 등 환경보호에 대한 전 세계인의 인식을 바꾸는 데 지대한 영향을 미쳤습니다. 그리고 미국의회는 1969년 국가환경정책법안을 통과시켰고, 1972년 미국 환경부는 살충제의 대표주자인 DDT 사용을 금지하기에 이르렀다.

레이철 카슨의 "침묵의 봄"은 당시 일부 피해 지역에서만 관심을 가졌던 환경문제를 대중화 하는데 기여했고, 이를 기점으로 환경문제가 이슈화됐습니다. 국제협력과 국가차원의 노력 못지않게 시민, 즉 민간의 노력이 얼마나 중요한지 잘 보여주는 사례입니다.

생물다양성 증진을 위한 민간참여엔 또 어떤 것들이 있을까요.

생태계를 잘 보존하고자 무분별한 개발사업, 즉 환경파괴가 심각한 개발사업 등의 문제점을 지적하고 보존활동을 펼치는 환경단체의 활동이라든지 환경문제가 발생한 지역사회 등 다양한 이해관계자들의 노력 등을 들 수 있습니다.

환경단체들은 생물종의 현황파악과 불법행위 감시등 지속적인 연구와 모니터링을 통해 보전 활동에 기여하고 있는데, 시민주도형의 '자치형 참여'로 구분될 수도 있습니다.

이들은 별도의 연구소를 설립해 연구 결과를 정책운동에 반영하고, 지속가능성을 확보하기 위한 보전활동의 제도화에도 노력하고 있습니다.

● 참고 문헌

- 유네스코한국위원회 (2018) 우리의 지속가능한 생물다양성
- 환경부 기후변화협력과 (2010) 중학교 '기후변화의 이해'
- 김찬국 등 (2014) 기후를 지키는 STEAM
- 세계자연기금 국제본부 (2015) 기후변화가 생물종에 미치는 영향