



THIS REPORT
HAS BEEN
PRODUCED IN
COLLABORATION
WITH:

ZSL
LET'S WORK
FOR WILDLIFE



지구생명 보고서 2020

BENDING THE CURVE OF BIODIVERSITY LOSS

요약본

WWF(World Wide Fund for Nature, 세계자연기금)

WWF는 1961년 설립된 세계 최대 비영리 국제자연보전기관으로, 세계 100여 개국 글로벌 네트워크 통해 500만 명 이상의 후원자들과 함께 활발히 활동하고 있습니다. WWF는 인간과 자연이 조화롭게 살아가는 미래를 만들고자 합니다. 이를 위해 생물다양성을 보전하고, 재생 가능한 자연자원을 지속가능한 이용 방식으로 유도하며, 환경오염 및 불필요한 소비를 줄이고자 인식 증진 활동에 힘쓰고 있습니다. WWF-Korea(세계자연기금 한국본부)는 지난 2014년 공식 설립되었습니다.

런던동물학회(Zoological Society of London)

1826년 설립된 런던동물학회(ZSL)는 전 세계 동물과 그 서식처를 보전하는 것을 목표로 과학연구, 자연보전, 교육사업 등의 활동을 펼치고 있는 국제 학술 단체입니다. 런던동물학회는 런던동물원(ZSL London Zoo)과 윌스내이드 동물원(ZSL Whipsnade Zoo), 동물학연구소(Institute of Zoology)등을 운영하며 과학적 연구와 서식지 보전 활동을 전 세계 널리 알리고 있습니다. 또한 런던동물학회는 WWF와 공동사업으로 지구생명지수(Living Planet Index)를 개발, 운영하고 있습니다.

국문 발간 관련 내용

발행인: 홍윤희

발행처: WWF-Korea(세계자연기금 한국본부)

발행일: 2020년 9월

번역감수: 안혜진, 이영란, 홍나희, 권연주

디자인 작업: 베스트셀러바나나

원문 발간

원문: WWF (2020) Living Planet Report 2020 – Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland.

디자인 및 인포그래픽스: peer&dedigitalesupermarkt

표지 사진: © Jonathan Caramanus / Green Renaissance / WWF-UK

농사일을 하고 있는 낸시 로노의 옷소매에 카멜레온이 앉아 있다 (케냐 보메트 현 마라강 상류)

목차

서문	2
한눈에 보기	4
우리가 마주한 현실	6
자연이 보내는 SOS 신호	8
지구생명지수가 의미하는 것	9
2020년 우리는 지금	22
생물다양성에 미치는 기후변화의 위험	30
한계점에 다다른 생태적 안전망	32
인간과 자연을 위한 로드맵	40
앞으로 우리가 가야 할 길	44
참고자료	45
WWF 네트워크	49

자연을 보전해야 하는 80억 가지 이유



WWF
사무총장
마르코 람베르티니

전 세계가 초유의 혼란에 휩싸이고 있습니다. 올해 발간되는 『지구생명보고서 2020』는 자연이 우리에게 적신호를 보내고 있다는 명확한 근거를 제시합니다. 인간의 자연 파괴는 야생동식물의 감소뿐 아니라 인간의 건강과 삶의 질에도 막대한 부정적 영향을 가져옵니다.

그동안 인간의 문명은 자연을 고려하지 않은 채 사회를 운영해왔습니다. 이제 자연의 가치를 반영해 사회, 경제적 시스템 전반에서 근본적이고 총체적인 전환을 만들어야 할 때입니다. 놀랍도록 다양한 지구 생명을 보존하고 건강과 번영을 이루는 공정한 사회를 만들어 인간과 지구의 조화를 다시 이뤄내는 것이 우리 스스로의 생존을 보장하는 길입니다.

자연은 수백만 년의 역사 중 전례없이 빠른 속도로 나빠지고 있습니다. 인간이 식량과 에너지를 만들고 쓰는 방식, 자연을 고려하지 않는 지금의 경제 모델이 자연을 한계까지 내몰고 있습니다. 코로나19는 인간과 자연의 잘못된 관계를 분명히 나타내고, 인간의 건강과 자연의 건강의 깊은 상호 관계를 깨닫게 합니다.

이제는 우리가 자연의 SOS에 답해야 합니다. 놀랍도록 다양한 생명을 보존하려는 것은 단순히 자연에 대한 윤리적 의무나 감성적 이유 때문만은 아닙니다. 바로 80억 인류의 미래가 위태로워지기 때문입니다.

더 나은 미래는 세계 각국의 정부와 기업, 시민들의 결정에서 시작됩니다. 세계 지도자들은 건강한 사회와 경제 번영의 토대인 자연을 보호하고 회복시키는 긴급 조치를 취해야 합니다.

이제는 전 세계가 '자연과 인류를 위한 뉴딜(New Deal for Nature and People)'에 합의해 2030년까지 생물다양성 손실이 아닌 회복으로 추세를 전환해야 합니다. 아울러 탄소 중립을 달성하고, 자연의 건강성을 높이는(nature-positive) 사회를 만들겠다는 공약을 이행해야 합니다. 바로 이것이 인류의 건강과 생계 수단을 오랫동안 보호하고, 후손들에게 안전한 미래를 물려줄 최고의 방안입니다.

새로운 시대로 전환을 시작할 때

코로나19로 인류가 겪는 위기는 인간과 자연의 관계가 근본적으로 바뀌어야 한다는 점을 분명히 말하고 있습니다. 한국의 기록적인 장마, 잦고 강한 태풍, 관측 역사상 가장 더운 북극 등 기후 변화의 현상 역시 우리가 새로운 사회로 전환해야 한다는 뚜렷한 신호입니다.

최근 지구생명지수(LPI, Living planet Index)를 보면 지난 반세기 동안 3분의 2에 달하는 야생 생물종 개체군의 규모가 감소했습니다. 이는 2년 전 지구생명지수에 비해 뚜렷한 감소세를 보여줍니다. 우리 주변에서 쉽게 볼 수 있던 생물종들을 더 이상 흔하게 볼 수 없게 될지도 모른다는 의미입니다. 우리는 이제 점차 빨라지고 있는 생물다양성의 손실을 멈추고 이를 회복시켜야 할 역사적 시기를 맞이하고 있습니다.

WWF는 인류가 맞닥뜨린 전 지구적 재앙이 지구 자원의 무분별한 생산과 소비, 지속 가능하지 않은 사회 시스템에서 비롯됐다는 사실을 꾸준히 강조해왔습니다. 이번 지구생명보고서는 2030년까지 생물다양성이 감소하는 추세를 반전시키기 위한 '회복으로의 전환(Bending the curve)' 이니셔티브를 담고 있습니다. 자연보전과 지속가능한 생산과 소비의 균형을 맞추기 위한 로드맵을 구체적으로 제시해 상호 연결된 인간과 자연의 관계를 회복하고자 합니다.

전 세계가 거대한 변화를 맞이하는 시점에서 우리는 근본적이고 혁신적인 전환에 나서야 합니다. 자연을 무시한 현재의 사회 경제적 모델을 유지한다면 미래 세대의 권리를 침해하는 수준을 넘어 지구 시스템의 붕괴로 이어질 것입니다. 우리는 자연 파괴의 영향을 처음 인식한 첫 세대이자 새로운 역사적 변화를 만들 수 있는 마지막 세대라는 사실을 떠올렸으면 합니다.

Together Possible!



WWF-Korea
사무총장
홍윤희

한눈에 보기

자연이 보내는 SOS 신호

CHAPTER 1

- 생물종 개체군 규모의 심각한 감소 추세는 전반적인 생태계 건강 상태를 보여준다. 지구가 우리에게 위험 신호를 보내고 있는 것이다.
- 2020년 세계 지구생명지수에 따르면 1970년부터 2016년까지 관찰된 척추동물 종들의 개체군의 규모가 평균 68% 감소한 것으로 나타났다.
- 아메리카 열대 지역의 LPI 감소를 94%는 세계 각지에서 관측된 결과 중 가장 충격적이다.
- 이 장에서는 포유류, 조류, 파충류, 양서류 및 어류 외에도 토양 생물다양성 및 곤충의 감소 추이를 다루며, 지구생명보고서로는 처음으로 식물의 감소 추이에 대해서도 살펴본다.

상호 연결되어 있는 인간과 지구

CHAPTER 3

- 전 세계 자연 시스템의 인위적 변경은 인간의 건강과 삶의 질 측면에서 인류가 거둔 놀라운 성과를 물거품으로 만들어 버릴 수 있다.
- 전 세계에 식량을 공급하는 생물다양성의 손실에 대처하기 위한 조치를 시급히 취해야 한다.
- 인공적인 '경제적 문법'과 현실 세계를 작동시키는 '자연의 문법' 사이에 근본적인 불일치가 존재한다.
- 생물다양성 보전이 우리의 건강과 부(富) 및 안전을 보장하기 위해 양보 불가능하고 전략적인 투자라는 점이 갈수록 분명해지고 있다.

2020년 우리는 지금

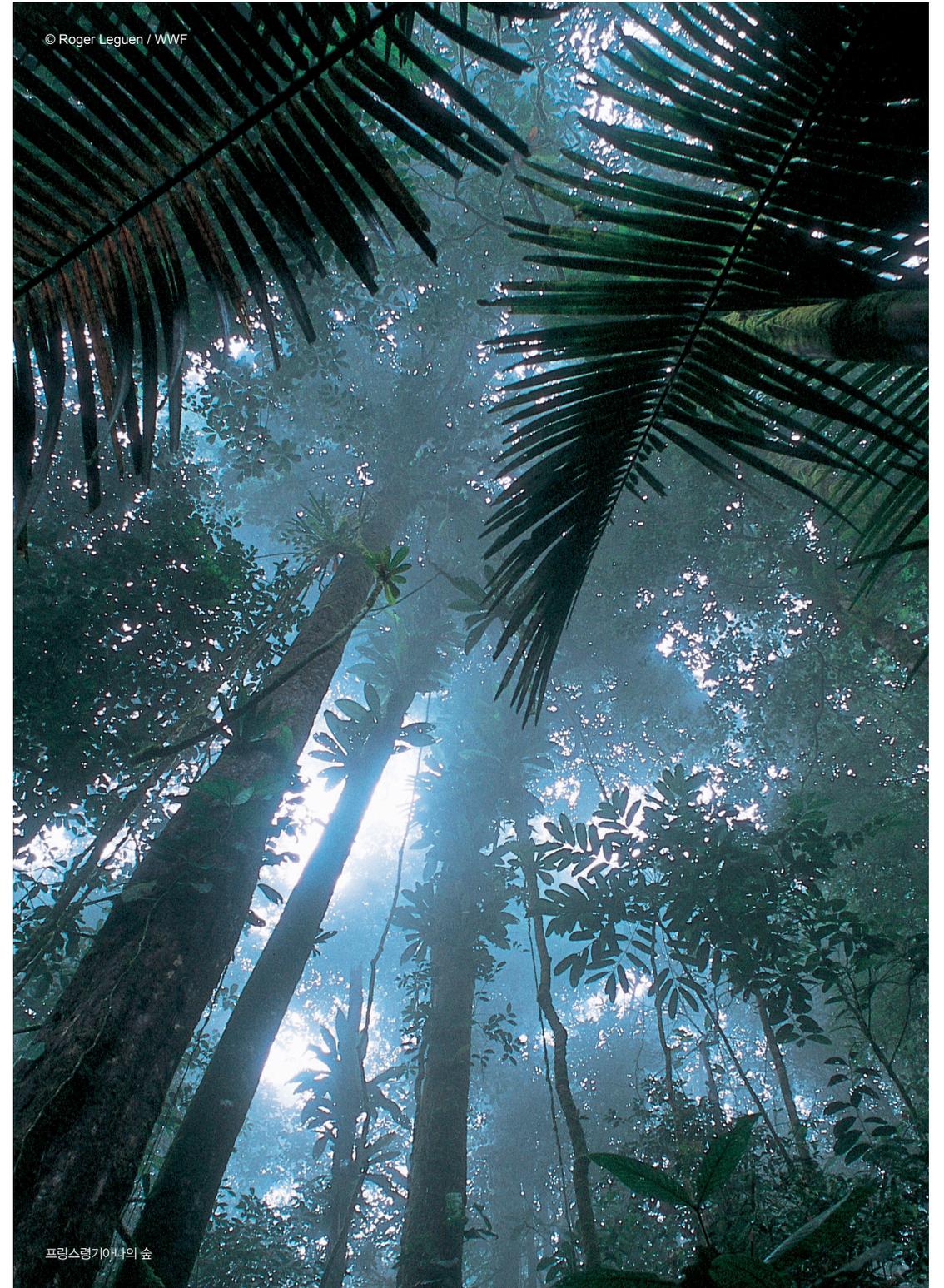
CHAPTER 2

- 2차 세계대전 이후 세계경제가 빠르게 성장하면서 인류의 삶은 현저하게 향상되었다. 그러나 이러한 성취는 우리의 생명을 유지시키는 지구의 운영 시스템이 지닌 안정성을 희생시킨 대가로 이루어졌다.
- 인간은 생태용량(biocapacity)의 최소 56%를 초과하는 수준으로 자연자원을 과용하고 있다.
- 식량 생산지와 생산 방식의 변화로 인한 토지 이용 변화는 인간이 생물다양성에 가하는 최대 위협 중 하나이다.
- 바다는 수온 상승, 남획, 오염, 연안 개발 등의 영향을 받고 있으며, 기후변화는 해양 생태계에 갈수록 많은 부정적 영향을 미치고 있다.

인간과 자연을 위한 로드맵

CHAPTER 4

- 생물다양성에 대한 선구적인 모델링 작업을 통해 '인류가 다른 경로를 택한다면 어떻게 될 것인가' 하는 질문의 답을 상상해 볼 수 있다.
- '회복으로의 전환(Bending the Curve)' 이니셔티브는 점차 증가하고 있는 전 세계 인구에 식량을 공급하면서도 자연의 손실을 멈추게 하고 감소 추세를 역전시킬 수 있음을 개념적으로 입증했다.
- 생물다양성 감소 추세를 회복하는 것은 기술적·경제적으로 가능하지만, 이를 위해서는 인간의 식량 생산과 소비 방식 및 자연의 지속가능한 관리와 보전에 있어서 혁신적인 변화가 필요하다.



우리가 마주한 현실

자연은 인간의 생존과 안락한 삶을 살아가는데 필수적이며, 생명유지에 꼭 필요한 공기, 물과 토양을 지속적으로 제공해 준다. 또한 자연은 기후를 조절하고, 생명을 수분(受粉)시키며 병해충을 억제할 뿐 아니라 자연재해의 영향을 감소시킨다. 전 세계 대부분의 지역에서 과거 그 어느 때보다 많은 식량과 에너지 및 물자가 공급되고 있는 지금, 과도한 동식물의 이용으로 인해 미래에 자연이 제공할 수 있는 능력이 점차 훼손되고 있다

지난 50년간 우리가 사는 세계는 국제무역, 소비 및 인구의 폭발적 증가와 더불어 곳곳이 대대적인 도시화로 바뀌고 있다. 이러한 추세는 전례 없이 자연자원을 과도하게 이용하게 하고, 자연을 파괴하며 황폐화시키고 있다. 이제 고작 몇 나라만 마지막 남은 야생 구역을 지키고 있다. 이전과는 비교가 안될 만큼 빠르게 우리의 자연이 변하고 있다.

2020년 세계 지구생명지수(Living Planet Index)에 따르면 1970년부터 2016년까지 관찰된 포유류, 조류, 양서류, 파충류 및 어류의 개체군 크기가 평균 68% 감소한 것으로 나타났다. 생물종의 개체군 규모의 변화는 전반적인 생태계 건강의 척도가 되기 때문에 매우 중요하다. 생명체의 다양성을 의미하는 생물다양성을 계속한다는 것은 매우 복잡하다. 생명의 그물(web of life) 안에서 발생하는 모든 변화를 담아낼 수 있는 유일한 방법 같은 것은 없다. 그럼에도 현재까지 알려진 대부분의 지표들은 최근 몇 십년간의 뚜렷한 생물다양성 감소를 보여 준다.

우리는 이러한 감소 추세를 반전시킬 수 있을까? 이는 생물다양성 손실에서 회복으로의 전환을 위한 연구 및 모델링을 수행하기 위해 WWF와 40여 개 대학, 자연보전 단체 및 정부간 기구들로 구성된 컨소시엄인 '회복으로의 전환(Bending the Curve, BTC)' 이니셔티브가 2017년에 제기한 질문이다.

BTC 이니셔티브의 선구적인 모델링을 통해 토지 이용 변화에 따른 육상 생물다양성 손실을 멈추고 감소 추세를 반전시킬 수 있음이 개념적으로 입증되었다. BTC 이니셔티브는 자연보전과 식량 수급 시스템의 근본적 변화라는 두 측면을 유례를 찾아볼 수 없을 만큼 즉각적이고도 심도 있게 다루고 있다. 이를 통해 BTC 이니셔티브는 생물다양성을 복원하고 지속적으로 증가하는 전 세계 인구의 식량문제를 해결하기 위한 로드맵을 제시하고 있다.

이것을 이뤄내기 위해서는 우리 모두 강력한 리더십을 발휘하고 행동에 나서야 한다. BTC 이니셔티브에서 제시된 내용들을 보완하기 위해, 우리는 전 세계 다양한 국가와 문화의 청년세대와 기성세대, 이론가들과 실무자들에게 인간과 자연을 위해 건강한 지구란 어떤 모습인지를 물었다. 우리는 이들의 의견을 취합해 『지구생명보고서 2020』의 특별 부록인 '지구생명을 위한 목소리(Voices for a Living Planet)'에 수록했다.

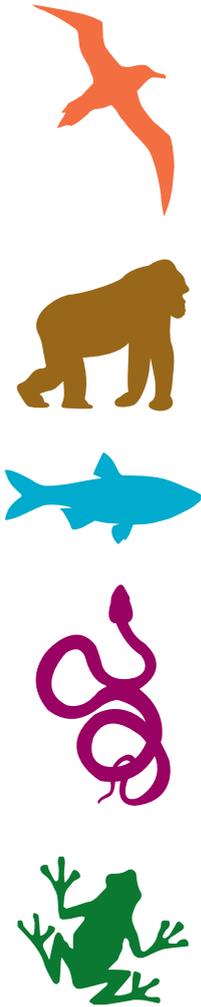
산불, 메뚜기 떼의 창궐, 코로나19의 세계적 대유행 등 연이어 발생하는 비극적 현상들은 생물다양성 보전이 우리의 건강과 재산 그리고 안전을 보장하기 위해 물려설 수 없는 전략적인 투자가 되어야 함을 여실히 보여 주면서 인류의 환경에 대한 의식을 일깨우고 있다. 2020년은 기후변화, 생물다양성 및 지속가능한 발전 등의 난제에 대해 역사에 남을 국제회의들이 연이어 열릴 예정이었다. 이를 통해 국제사회가 인류세(Anthropocene)라는 새로운 시대에 대응하기 위한 다각적인 계획을 수립하는 그야말로 '슈퍼 이어(Super Year)'가 될 것으로 기대를 모았었지만 안타깝게도 코로나19로 인해 모두 2021년으로 연기되었다.

지구의 현재 상태는 전 세계와 각국 지도자들이 인간과 자연이 함께 번영할 수 있는 길로 나아갈 새로운 '글로벌 딜'을 추진해야 할 때라는 것을 확실히 보여준다.

우리는 WWF의 『지구생명보고서 2020』가 매우 어려운 시기에 발간된다는 사실을 알고 있다. 전 세계가 불가피하게 격동과 불안, 변화의 시기로 돌입하고 있는 지금, 중대하고도 범 지구적인 생태적, 사회적, 경제적 문제 해결을 위한 행동을 독려할 정보와 지식을 한데 모아 이 보고서에 담았다.

자연이 보내는 SOS 신호

인류가 지구에서 살아가는 데 필수적인 생물다양성은 역사상 전례 없이 빠른 속도로 인간에 의해 파괴되고 있으며, 이를 뒷받침하는 명백한 증거가 있다.¹²



산업혁명 이래로 인간의 활동에 의해 산림, 초지, 습지 및 기타 중요한 생태계가 심각하게 파괴되고 황폐화되면서 인류의 삶의 질이 위협받고 있다. 지구상 부동(不凍) 지표면의 75%가 이미 심각한 변화를 겪었고, 대부분의 해양이 오염되었으며, 습지 지역의 85% 이상이 사라졌다.

지난 몇 십 년간 육상 시스템에서 발생한 생물다양성 손실의 가장 중요하고 직접적인 요인은 토지 이용의 변화다. 일차적으로 이는 자연 그대로의 상태로 유지되던 서식지가 농업 시스템으로 전환된 데 따른 것이다. 대부분의 해양 지역에서는 남획이 벌어지고 있다. 기후변화가 전 지구적 생물다양성 손실 측면에서 아직까지는 가장 중요한 요인이라고 할 수는 없으나, 몇 십 년 후에는 다른 요인들과 비등하거나 훨씬 중요한 요인이 될 것으로 예측된다.

생물다양성 손실은 환경 문제이면서 동시에 개발, 경제, 세계 안보, 윤리 및 도덕과 관련된 사안이다. 또한 자기보존(self-preservation)의 문제이기도 하다. 생물다양성은 식량, 섬유, 물, 에너지, 의약품, 유전물질 등을 제공하는데 핵심적인 역할을 하며, 기후, 수질, 오염, 수분 작용, 홍수 및 폭풍해일을 조절하는 데 필수적이다. 나아가 자연은 인간 건강의 모든 측면을 뒷받침하며, 영감, 학습, 신체적·심리적 경험, 정체성 형성 등과 같이 삶의 질 및 문화적 온전성(cultural integrity)의 중심을 이루는 비물질적 측면에도 기여한다.

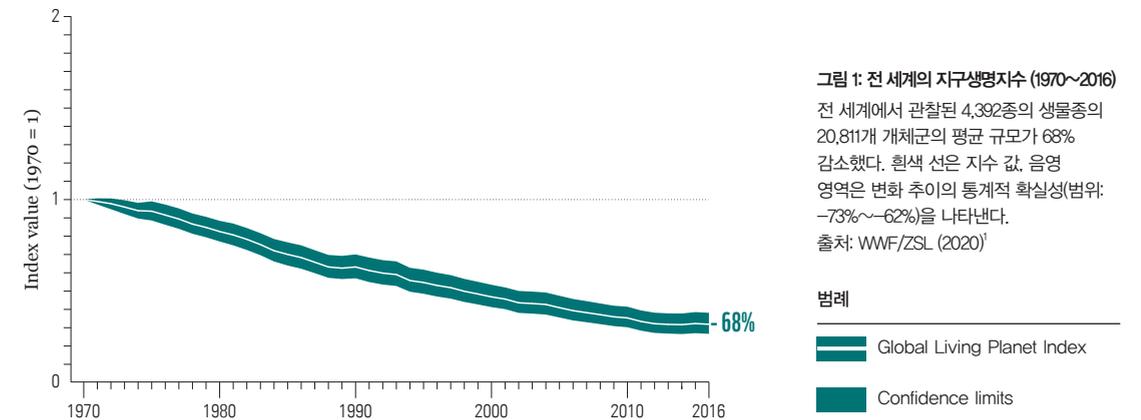
2020년 지구생명지수는 무엇을 말해 주는가?

생물종 개체군 규모의 변화는 생태계 전반의 건강을 보여주는 척도가 되기 때문에 매우 중요하다. 심각한 생물종 개체군 규모의 감소 추세는 현재 자연의 상태를 보여주는 지표가 된다.

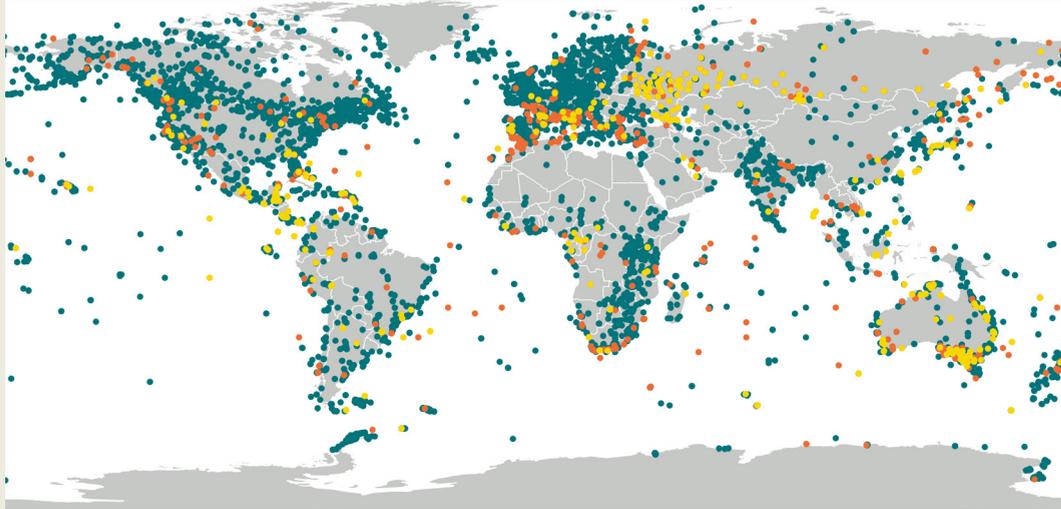
지구생명지수(Living Planet Index, LPI)는 21,000개에 이르는 전 세계 포유류, 조류, 어류, 파충류 및 양서류의 개체군의 규모를 나타낸다. 지구생명지수(LPI)는 야생동물 개체군 데이터세트를 이용하여 산출된다. 1970년 이후 야생동물 개체군 크기의 평균 변화율을 이룬 데이터셋에서 보여주는 변화 추이와 함께 지수를 이용하여 계산하였다(그림 1). 2020년 지구생명지수(LPI)에는 400여종에 이르는 신규 생물종과 4,870개의 신규 개체군이 포함되었다.

2018년에 마지막으로 지구생명지수(LPI)가 발표된 이후, 대부분의 지역에서 조사대상 생물종 수가 늘어났으며, 특히 양서류 종의 수가 가장 크게 증가했다. 지금까지 척추동물에 대한 조사와 관찰이 더 잘 이루어졌기 때문에 현재 지구생명지수(LPI)는 척추동물 관련 데이터만을 포함하고 있다. 그러나 지구에 살고 있는 생명 전반의 개체군 변화를 반영할 수 있도록 비척추동물에 관한 데이터를 포함시키기 위해 노력하고 있다.

2020년 전 세계의 지구생명지수(LPI)는 1970년부터 2016년까지 포유류, 조류, 양서류, 파충류 및 어류의 개체군 크기가 평균 68%(범위: -73%~-62%) 감소한 것을 보여준다!



지구생명지수(LPI) 이해하기



지구생명지수(LPI) 읽는 법

- 2020년 LPI는 1970년과 2016년 사이에 생물종 개체군의 규모가 평균 68% 감소한 것을 보여준다.
- LPI는 현재 전 세계의 포유류, 조류, 어류, 파충류, 양서류를 포함한 약 21,000여 마리의 개체군을 추적하고 있다.
- LPI는 멸종 위기에 있는 종 뿐만 아니라 그렇지 않은 종에 대한 데이터도 포함한다. 장기적인 모니터링이 이루어진 경우에만 포함한다.
- LPI에 포함된 생물종 및 개체군의 규모는 감소하는 것 뿐만 아니라 증가하거나 안정적인 추세를 보이는 것도 있다.
- LPI에 포함된 생물종의 약 절반은 개체군의 평균 규모가 감소하고 있다.

그림 2: LPI 생물종 개체군의 위치

LPI에서 모니터링된 모집단의 위치를 보여주는 지도. 마지막 보고서 이후 LPI에 새로 추가된 생물종 및 개체군은 오렌지색이나 노란색으로 강조되어 있다.

범례

- 신규 생물종
- 신규 개체군
- 기존 데이터

지구생명지수(LPI)가 의미하지 않는 것

- LPI는 사라지거나 멸종된 종의 수를 나타내는 것은 아니다.
- LPI는 전체 생물종이나 개체군의 X%가 줄었다는 의미는 아니다.
- 또한 개체군 또는 개체 수의 X%가 사라졌다는 것을 의미하지는 않는다.



© naturepl.com / Andy Rouse / WWF

포클랜드제도(Falkland Islands) 서식지에서 새끼를 돌보는 알바트로스(Diomedeidae / Thalassarche melanophrys)

전 세계 지역마다 각기 다른 속도로 감소 중인 생물다양성

글로벌 지구생명지수(LPI)만으로 전체 그림을 보기는 어렵다. 지역마다 개체군 규모의 변화 추이가 다르기 때문이다. 생물다양성의 감소는 열대 지역에서 가장 두드러지게 나타나고 있다.

아메리카 열대 지역의 지구생명지수(LPI) 감소율 94%는 전 세계 다른 지역과 비교했을 때 매우 충격적이다. 초원과 사바나, 산림, 습지가 인간에 의해 토지 용도가 변하고 남획, 외래종 도입 등으로 인해 이런 결과가 나온 것으로 파악된다.

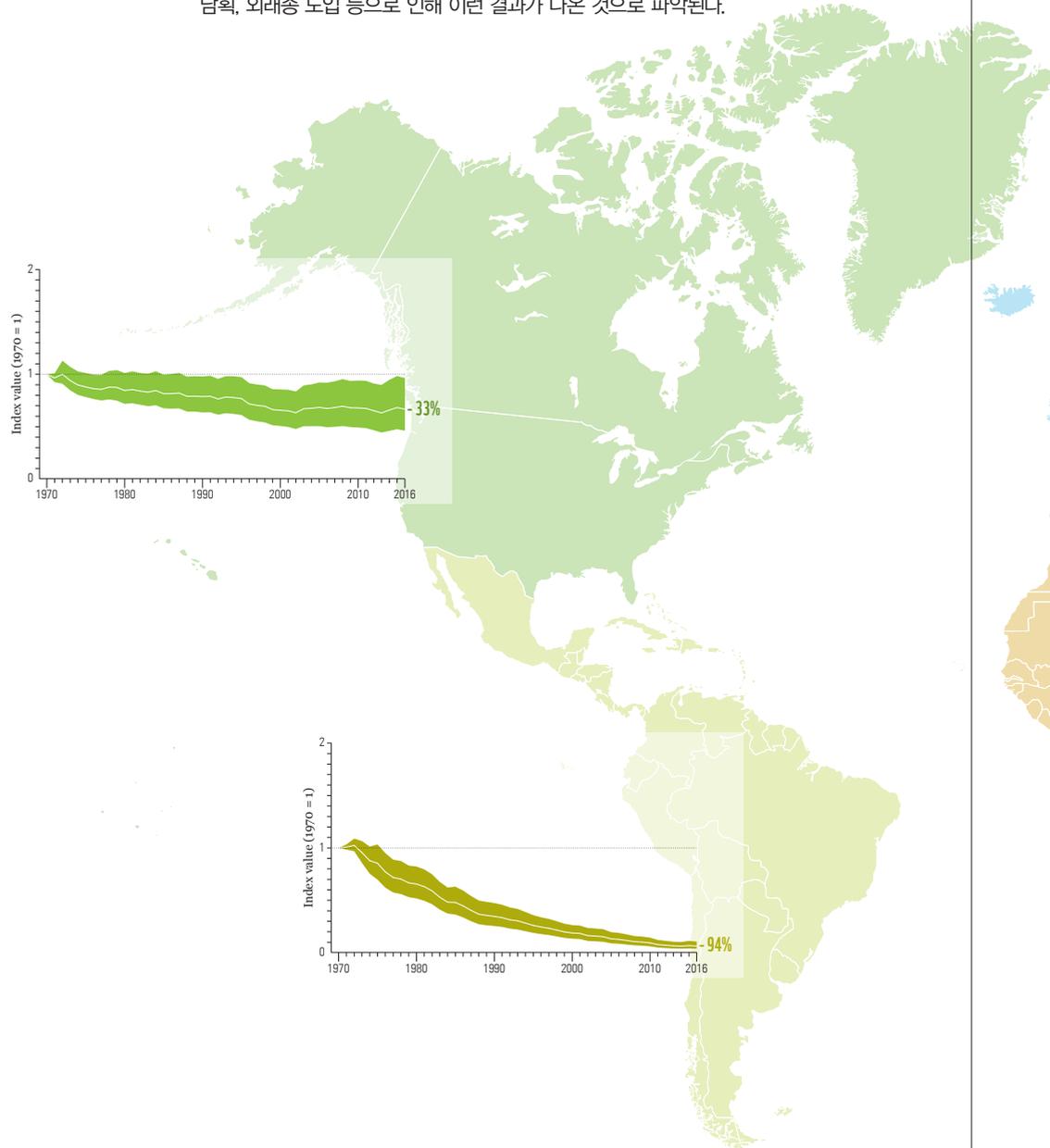
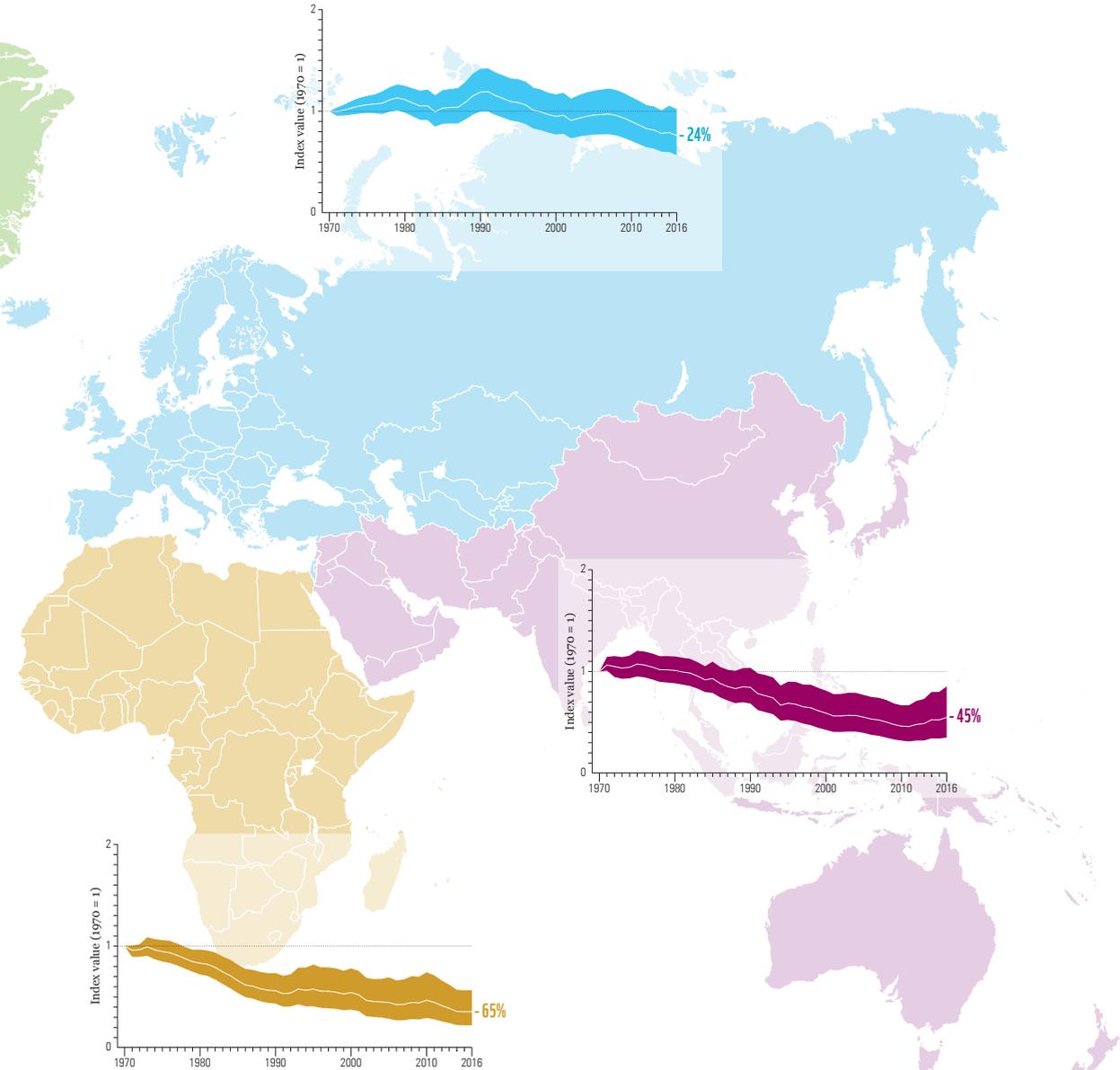


그림 3: 생물다양성과학기구(IPBES) 지역별 지구생명지수

흰색 선은 지수 값. 음영 영역은 변화 추이의 통계적 확실성(95%)을 나타낸다. 모든 지수는 해당 종 풍부도(species richness)에 따라 가중치가 부여되었다. 육상 및 담수 시스템에서 생물종이 풍부한 분류군은 생물종이 상대적으로 적은 분류군보다 더 많은 가중치가 부여되었다. 지역 지도: IPBES (2015)². LPI 데이터: WWF/ZSL (2020)¹.

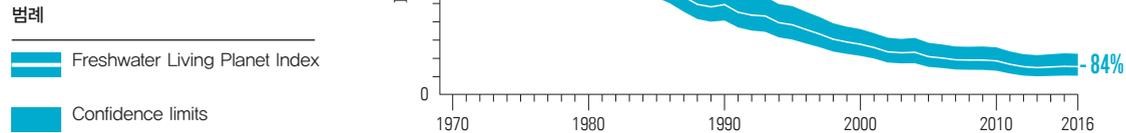


담수의 지구생명지수

담수의 생물다양성은 해양 및 산림 지역보다 훨씬 빠르게 감소하고 있다. 지금까지 발표된 자료들에 따르면 1700년부터 전 세계의 습지 가운데 약 90%가 사라졌으며, 최근 제작된 세계지도를 보면 인간이 수백만 킬로미터에 이르는 강을 얼마나 변화시켰는지 알 수 있다. 이러한 변화는 우리가 지금까지 관찰해 온 담수 생물종 개체군의 규모가 급격히 감소하는 등 담수 생물다양성에 극심한 영향을 미치고 있다.

담수의 지구생명지수(LPI)의 경우, 포유류, 조류, 양서류, 파충류 및 어류 944종의 3,741개의 개체 수를 관찰한 결과이다. 개체군 규모의 평균은 84%(범위: -89%~-77%) 감소했는데, 이는 1970년부터 매년 4% 감소한 수치이다(그림 4). 이러한 감소 추세는 전 세계 모든 지역, 특히 라틴아메리카와 카리브해 지역에서 볼 수 있었으며 대부분 양서류와 파충류, 어류에서 두드러지게 나타났다.

그림 4: 담수 지구생명지수(1970~2016)
전 세계에서 관찰된 944종의 생물종을 대표하는 3,741개 담수 개체군 평균 규모가 84% 감소했다. 흰색 선은 지수 값, 음영 영역은 변화 추이의 통계적 확실성(범위: -89%~-77%)을 나타낸다.
출처: WWF/ZSL (2020)¹



몸집이 클수록 더 커지는 위협

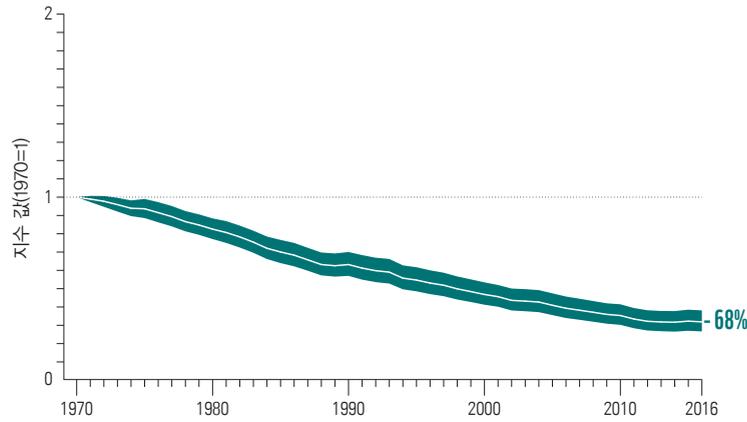
동일한 분류군 내에서 다른 생물들보다 몸집이 큰 생물들은 '거대 동물(megafauna)'이라고 불리기도 한다. 담수 생태계에서 거대 동물이란 30kg 이상 성장하는 종으로, 철갑상어, 메콩대형메기, 강돌고래(river dolphin), 수달, 비버, 하마 등이 이에 해당한다. 이들 거대 동물은 남획⁴을 포함한 인간활동에 의한 위협⁵을 받고 있으며, 이로 인해 개체 수가 현저하게 감소하고 있다.⁵ 거대 동물 가운데 대형 어종이 특히 위협에 취약하다. 예컨대 2000년부터 2015년까지 메콩강 유역의 어획량은 78%의 어종에 대해 감소했으며, 특히 중형 및 대형 종에서 심각한 감소 추세를 보였다.⁶ 대형 어종은 댐 건설에도 심각한 영향을 받는다. 산란 및 먹이 공급을 위한 장소로 이동하는 경로가 댐에 의해 막히기 때문이다.^{7,3}

어린 플로리다 매너티
(*Trichechus manatus latirostris*)
한 마리가 담수에서 따뜻한 겨울을 보내고 있다
(미국 플로리다주 Three Sisters Spring).



© naturepl.com / Alex Mustard / WWF

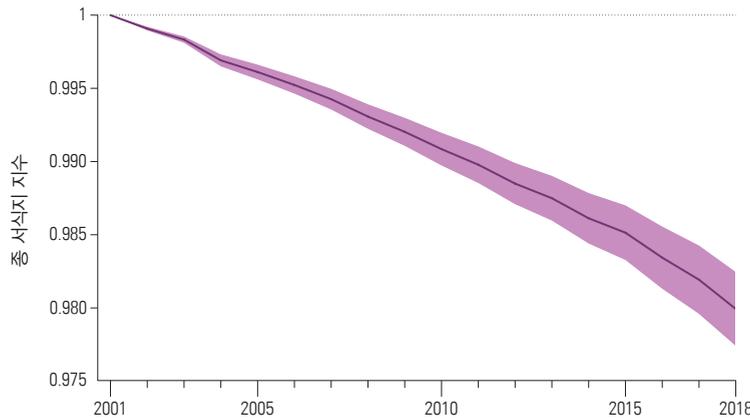
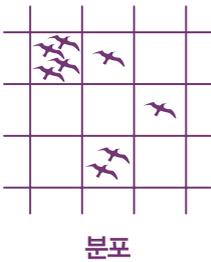
최근 몇 십 년간 심각한 생물다양성 감소를 나타내는 여러 지표 중 하나인 지구생명지수



지구생명지수

지구생명지수(LPI)는 21,000개에 이르는 전 세계 포유류, 조류, 어류, 파충류 및 양서류 개체군의 개체 수를 관찰하고 보여준다. 4,392종의 생물종의 20,811개 개체 수 데이터를 사용하여 산출한 2020년 전 세계 지구생명지수

(LPI)는 1970년부터 2016년까지 관찰된 개체군의 평균 규모가 68% 감소했음을 보여 준다(범위: -73%~62%). 지구생명지수(LPI)의 백분율 변화는 사라진 동물 개체 수를 나타내는 것이 아니라 46년간 추적된 동물 개체군 크기의 평균적인 비율 변화를 반영하고 있다.

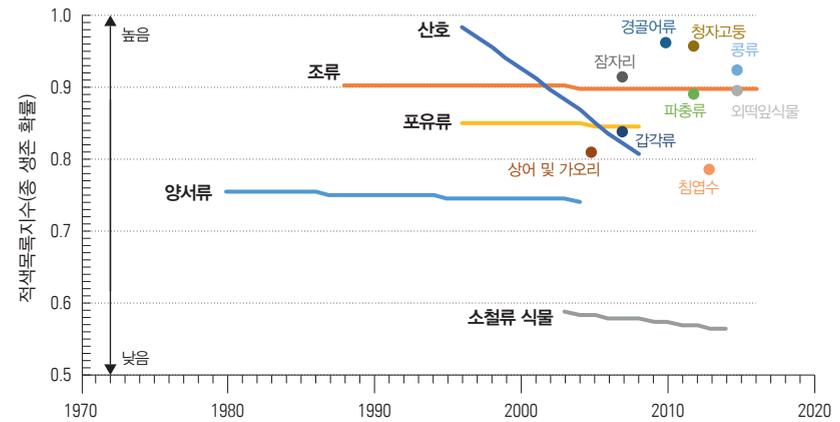


종 서식지 지수

인간이 인위적으로 토지 용도를 바꾸면서 전 세계의 토지 모습도 함께 변하고 있다. 기후변화도 이런 변화의 요인 중 하나이다. 원격 센서를 이용한 모니터링 및 모델 기반 예측 방법을 이용한 연구들이 지구의 땅 위에서 일어나는 변화의 대부분을 보여주고 있다. 종 서식지 지수(SHI: Species Habitat Index)는 생물종 개체 수와 관련된 조사결과의 시사점을 정량화하여 보여준다.^{8,9} 종 서식지 지수(SHI)는 수천 종의 생물이 살고 있는 전 세계의 서식지를 관찰 혹은 모델링 방식을 통해 서식지 변화에 따라 생물들이 살기 위

해 적합한 서식지가 얼마나 줄어들었는지 보여준다.¹⁰ 2000년부터 2018년까지 종 서식지 지수(SHI)는 2% 감소했는데, 이는 생물들이 이용할 수 있는 서식지가 전반적으로 강한 감소 추세를 보이고 있음을 나타낸다. 특정 지역과 생물종의 경우에는 종 서식지 지수 (SHI)가 더 가파른 감소 추세를 보인다. 종 서식지 지수 (SHI)가 두 자릿수 비율로 감소하는 경우에는 전체 개체 수가 대대적으로 감소했다는 것을 나타내며 해당 생물종이 자연 상태에서 살고 있던 역할도 이와 함께 축소되어 있다는 것을 알 수 있다.

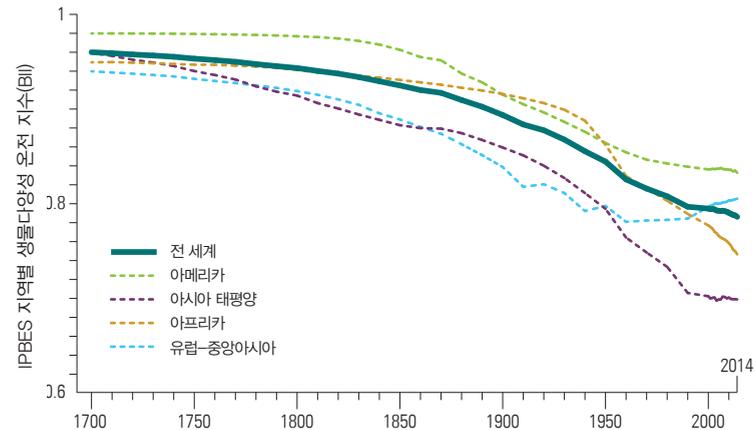
인간이 생물다양성 감소에 미치는 영향이 너무나 크기 때문에 과학자들은 우리가 인류세(Anthropocene)라는 새로운 지질시대로 접어들고 있다고 여긴다. 그러나 지구 상의 모든 생명체의 다양함을 보여주는 생물다양성을 측정한다는 작업은 매우 복잡하고, 다양한 생명체들이 서로 얽혀있는 이 지구 상에서 일어나는 모든 변화를 보여줄 수 있는 하나의 측정 방식은 없다. 그럼에도 대부분의 지표는 최근 몇 십 년간 전반적인 생물다양성이 감소하고 있음을 보여 준다.



적색목록지수

국제자연보존연맹(IUCN)의 멸종위기종 적색목록(Red List of Threatened Species)상의 데이터를 기반으로 하는 적색목록지수(Red List Index, RLI)는 생물(시간에 따른 멸종 위험을 역산(逆算)한 것)의 추이를 나타낸다. 적색목록지수(RLI) 값이 1.0이면 집단 내 모든 종이 '관심대상(Low Concern)' 범주에 속한다. 다시 말해 가까운 미래에 '멸종(Extinct)' 상태가 되지 않을 것

으로 예상된다는 의미이다. 시간이 흘러도 적색목록지수(RLI) 값이 일정한 상수로 나타나면 해당 집단의 전반적인 멸종 위험이 변화하지 않았음을 의미한다. 생물다양성 손실률이 감소하면 적색목록지수(RLI)는 상향 추이를 보인다. 반면 적색목록지수(RLI)가 감소하면 해당 생물의 종이 빠르게 멸종 상태가 되고 있다는 것을 의미한다.



생물다양성 온전 지수

생물다양성 온전 지수(Biodiversity Intactness Index, BII)는 특정 지역 내의 육상 생태군집(ecological community) 전체를 대상으로 기존의 생물다양성이 평균적으로 얼마나 남아 있는지를 측정하여 보여준다. 생물다양성 온전 지수(BII)는 현재까지 생물다양성 손실의 주된 요인으로 알려져 있는 인간의 토지 이용 변화 및 이와 관련된 다른 영향에 초점을 맞춘다.^{11,12} 생물다양성 온전 지수(BII)는 생태학적으로 다양한 동식물 종으로 구성된 많은 생물 종들을 대상으로 측정되기 때문에 생태계가 인간에게 주는 다양한

혜택, 즉 생태계 서비스를 파악할 수 있는 유용한 지수이다. 따라서 생물다양성 온전 지수(BII)는 지구위험한계(Planetary Boundaries) 프레임워크에서 생물이 살 수 있는 지구의 표면과 대기권의 온전함(biosphere integrity)을 나타내는 지표로 활용된다.¹³ 생물다양성 온전 지수(BII)의 전 세계 평균 값(79%)은 안전한 하한선으로 제안된 90%보다 훨씬 낮은 수준이며, 특히 아프리카를 포함한¹⁴ 모든 지역에서 계속 감소하고 있다. 이는 전 세계의 육상 생물다양성이 이미 위험한 수준으로 줄어들었다는 것을 시사한다. 서유럽을 포함한 일부 지역에서는 오랫동안 지구의 토지를 집약적으로 이용해왔기 때문에 생물다양성 온전 지수(BII)가 매우 낮다.

우리가 밟고 살아 가는 땅을 지키는 토양 생물다양성

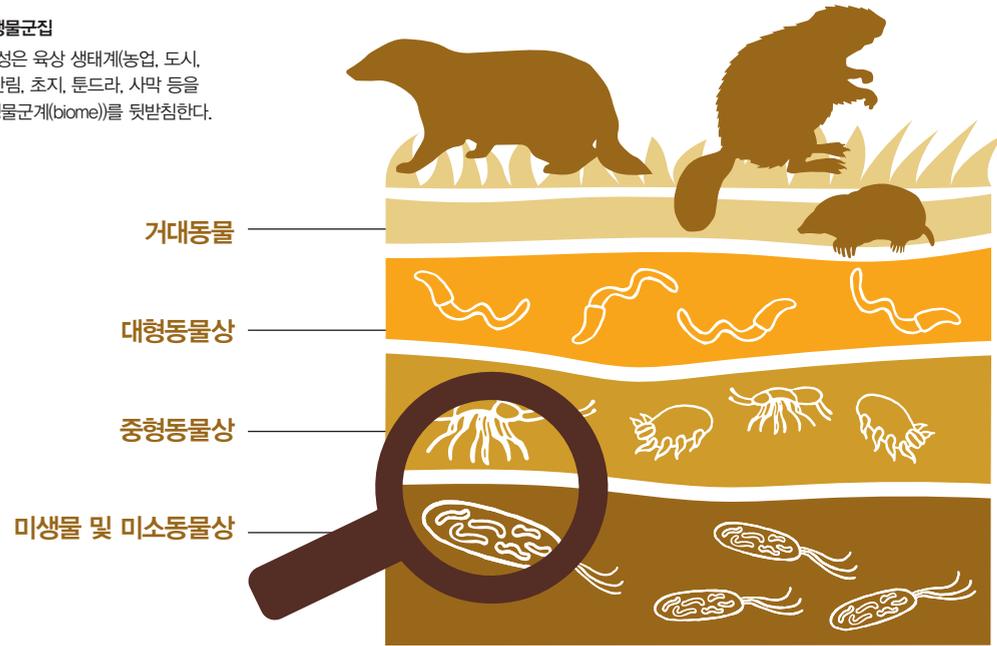
토양은 자연환경의 필수적인 구성요소다. 그러나 대부분의 사람들은 우리가 의존하는 생태계 서비스에서 토양 생물다양성이 담당하는 핵심적 역할을 전혀 인식하지 못하거나 과소평가한다.

토양은 지구상에서 규모가 가장 큰 생물다양성 저장고 중 하나이다. 수분매개동물 을 포함하여 육상 생태계를 구성하는 전체 생물의 90% 정도가 생애의 일부를 토양 서식지에서 보낸다.⁷⁵ 공기과 물 등 다양한 토양의 구성 요소들은 우리가 지구에서 살아갈 수 있는 밑바탕이 되는 수많은 종류의 토양생물을 위해 놀랍도록 다양한 서식지를 제공한다.

토양 생물다양성이 사라지면 육상 생태계는 붕괴할 것이다. 육상에 살고 있는 생물들과 토양에 살고 있는 생물들은 서로 끊임없이 공생관계를 이루며 살아가고 있다.^{15~17} 이런 공생관계에 대한 이해가 제대로 이루어진다면 생물다양성 변화와 손실이 가져올 결과를 더 효과적으로 예측하는 데 도움이 될 것이다.

그림 5: 토양 생물군집

토양 생물다양성은 육상 생태계(농업, 도시, 자연, 그리고 산림, 초지, 툰드라, 사막 등을 포함한 모든 생물군계(biome))를 뒷받침한다.



‘세상을 움직이는 작은 것들’이 사라지고 있는가?

곤충의 개체 수와 다양성 그리고 바이오매스(biomass)가 최근 빠르게 감소하고 있다는 충분한 증거들이 있다. 그러나 대부분의 증거는 몇몇 곤충 종류들과 북반구 국가들에 국한되며 현실은 훨씬 더 복잡하다.

윌슨(E.O. Wilson) 교수는 곤충을 ‘세상을 움직이는 작은 것들(the little things that run the world)’이라고 설명했다.¹⁸ 곤충 모니터링 기법과 장기적인 연구 조사를 통해 서유럽과 북아메리카 지역의 곤충 개체 수, 분포 또는 바이오매스가 최근 엄청나게 빠른 속도로 감소하고 있는 것으로 나타났다. 서유럽과 북아메리카 지역에서 집약적 농업이 다른 지역보다 이른 시기에 확산되었다는 사실¹⁹을 생각해보면, 이 지역의 곤충 감소 추이를 관찰함으로써 인위적 교란 및 토지 이용 변화가 전 세계적으로 계속되는 경우에 발생할 수 있는 전 세계 곤충 감소 정도를 예측할 수 있다. 대규모 모니터링이 장기적으로 실시된다면 현재와 미래의 곤충 개체군 변화 수준을 이해하는 데 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

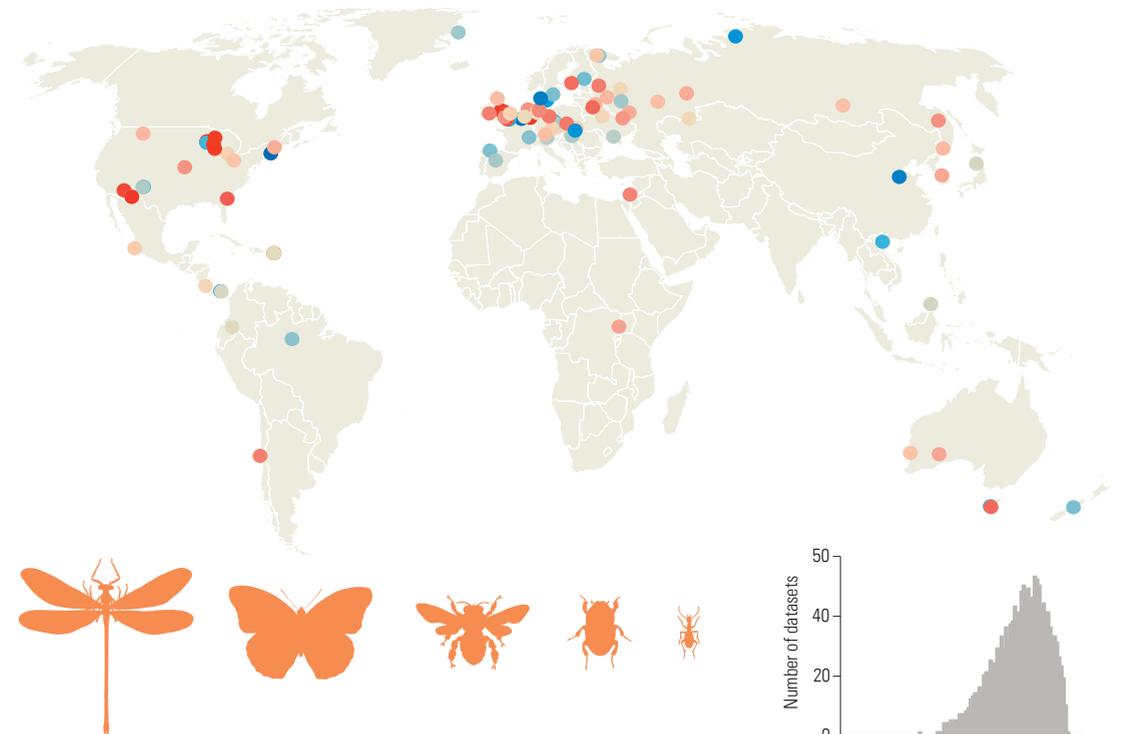
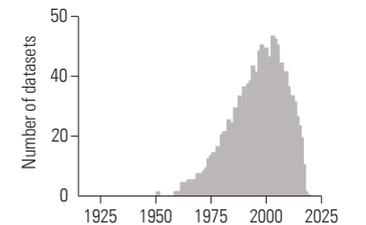


그림 6: 육상 곤충 수(개체 수 또는 바이오매스)의 장기적 변화 추정치

Van Klink 외(2020)⁷⁷가 103건의 연구를 검토하여 도출된 결과에 근거한다. 103건의 연구 중 4분의 3에 해당하는 77건은 유럽과 북아메리카를 대상으로 한 연구이며, 아프리카, 아시아(러시아·중동 제외) 및 남아메리카를 대상으로 한 연구는 극소수에 불과했다(각각 1건, 5건 및 3건). 그림에 삽입된 히스토그램은 매년 최소 1개의 데이터가 존재하는 데이터세트의 수를 나타내고 있다.



심각하게 감소 중인 식물다양성

식물은 거의 모든 육상 생태계의 구조적·생태적 토대이며, 지구 생명체를 지탱하는 근간이다. 또한 식물은 인류의 건강과 삶의 질, 식량 조달에 필수적이다.²⁰

세계에서 가장 작은 수련인 피그미 르완다 수련(*Nymphaea lthermarum*)은 르완다에 있는 어느 온천에서 물이 흘러 넘쳐 형성된 습지에서만 발견되었다. 2008년 온천으로 이어지는 물줄기의 방향을 농업을 위해 바꾸면서 마지막으로 남아 있던 피그미 르완다 수련이 고사했다. 큐 왕립식물원(Royal Botanic Gardens Kew)에는 현지 외(ex situ) 채집본이 보존되어 있다. 원래의 서식지가 복구되면 피그미 르완다 수련을 다시 들여올 수 있기를 기대해 본다.



© Andrew McRobb - Trustees of the Royal Botanic Gardens Kew

식물다양성 손실은 식물과 그 생태계를 위협할 뿐만 아니라, 식물이 인간과 지구에 제공하는 다양한 서비스에도 영향을 미친다.

아라비카(*Coffea arabica*)는 세계에서 가장 인기 있는 커피콩이다. 기후변화의 잠재적 영향을 포함하여 멸종 위험을 평가했을 때 아라비카는 '위기'(Endangered) 범주로 분류되었으며, 2088년까지 자연 개체군의 절반 이상이 사라질 것으로 예측된다.²³



© Jenny Williams, RBG Kew

식물의 멸종 위험은 포유류의 멸종 위험과 유사한 정도이고 조류의 멸종 위험보다는 크다. 문서로 기록되어 있는 식물의 멸종 사례는 포유류, 조류 및 양서류의 사례를 합친 것보다도 많다.²¹ 아울러 전 세계 식물다양성의 분류학적 범위와 지리적 범위를 대표하는 수천 종의 식물종 표본에 대한 평가를 실시한 결과, 전체의 5분의 1 정도(22%)가 멸종위기 상태이며, 그중 대부분이 열대 지역에 서식하고 있다.²²



© Malin Rivers

최초의 세계 수목평가(Global Tree Assessment)는 전 세계 수목 보전 현황을 완벽하게 파악하기 위해 전 세계 6만 여종의 수목 종 전체를 대상으로 실시될 예정이다.²⁴

평가 결과는 수목의 종 뿐만 아니라 생존을 위해 수목에 의존하는 여타 생물다양성 및 생태계에도 중요한 시사점을 제공할 것이다. 아울러, 보전 활동의 방향을 설정하고 생물다양성의 관리, 복원 및 소멸 방지 노력을 추진하는데 활용될 것이다.

흔히 '과라주바'(Guarajuba)로 알려져 있는 'Terminalia acuminata'는 브라질 고유종 나무로 '위기'(Endangered) 범주로 분류되어 있다. 과거에는 야생에서 멸종한 것으로 여겨졌으나 세계 수목평가를 위한 재평가 과정에서 발견되었다.



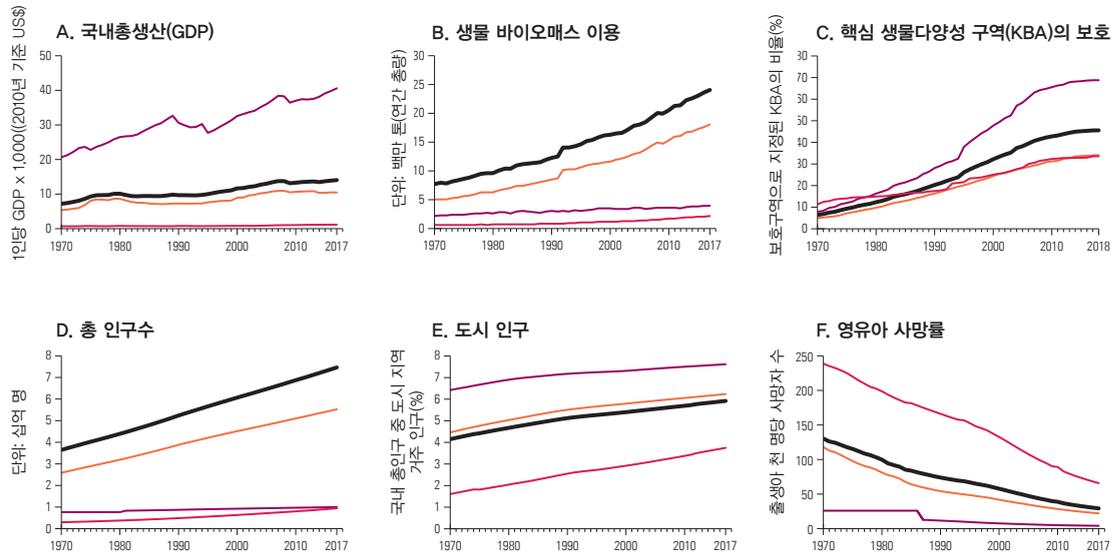
© Svalbard Global Seedbank / Riccardo Gangale

전 세계의 종자은행들은 약 700만 개의 곡물 표본을 보관하여 생물다양성 보호 및 전 세계 영양 안정성에 기여하고 있다. 지난 몇 십 년간 지방, 국가, 지역 및 국제적 차원의 종자은행 수백 개가 설립되었다. 그 중에서 가장 유명하다고 할 수 있는 노르웨이 스발바르 국제종자저장고(Svalbard Global Seed Vault)는 다른 종자은행에서 문제가 발생할 때를 대비한 백업 서비스를 제공한다. 연구자와 식물 육종가들은 새롭고 개선된 곡물 품종을 개발하기 위해 종자은행을 활용한다.

스발바르 국제종자저장고 건물 정면의 모습(노르웨이 스발바르 제도)

2020년 우리는 지금

지난 50년간 세계는 국제무역, 소비 및 인구의 폭발적 증가와 함께 곳곳이 대대적인 도시화가 진행되며 우리의 삶의 방식도 이전과는 크게 바뀌었다. 문제는 이러한 변화가 자연, 그리고 우리의 생명을 지속시키는 지구의 운영 체계 안정성을 훼손시킨 결과라는 것이다.



범례

- 선진국
- 개발도상국
- 최빈개발도상국
- 전 세계

그림 7. 1970년 이후 개발은 국가별로 불공평한 혜택과 손해가 특징적이다

(a) 최빈개발도상국들은 가장 낮은 GDP 증가율을 보였고, (b) 선진국에서의 소비 증가로 인해 대부분 개발도상국의 자연으로부터 생물자원의 이용이 증가했으며, (c) 주요 생물다양성 구역의 전반적인 보호 수준은 선진국에서 가장 높았다. (d) 총 인구수는 개발도상국들에서 더 빠르게 증가했으며, (e) 도시 인구는 선진국들에 가장 많고 최빈개발도상국들에서 가장 빠르게 증가하고 있다. (f) 영유아 사망률은 전 세계적으로 급격하게 감소했으나, 최빈개발도상국들에는 여전히 해결해야 할 과제로 남아 있다. 출처: World Bank (2018)²⁷ 및 IPBES (2019)²⁸

사진 속의 붉은색 플라스틱 더미는 해안 정화 활동 단체인 'Peninsula Beach Care'가 영국 콘월주 휘트샌드 베이에서 수거한 플라스틱 쓰레기의 극히 일부이다.



© Sam Hobson / WWF-UK

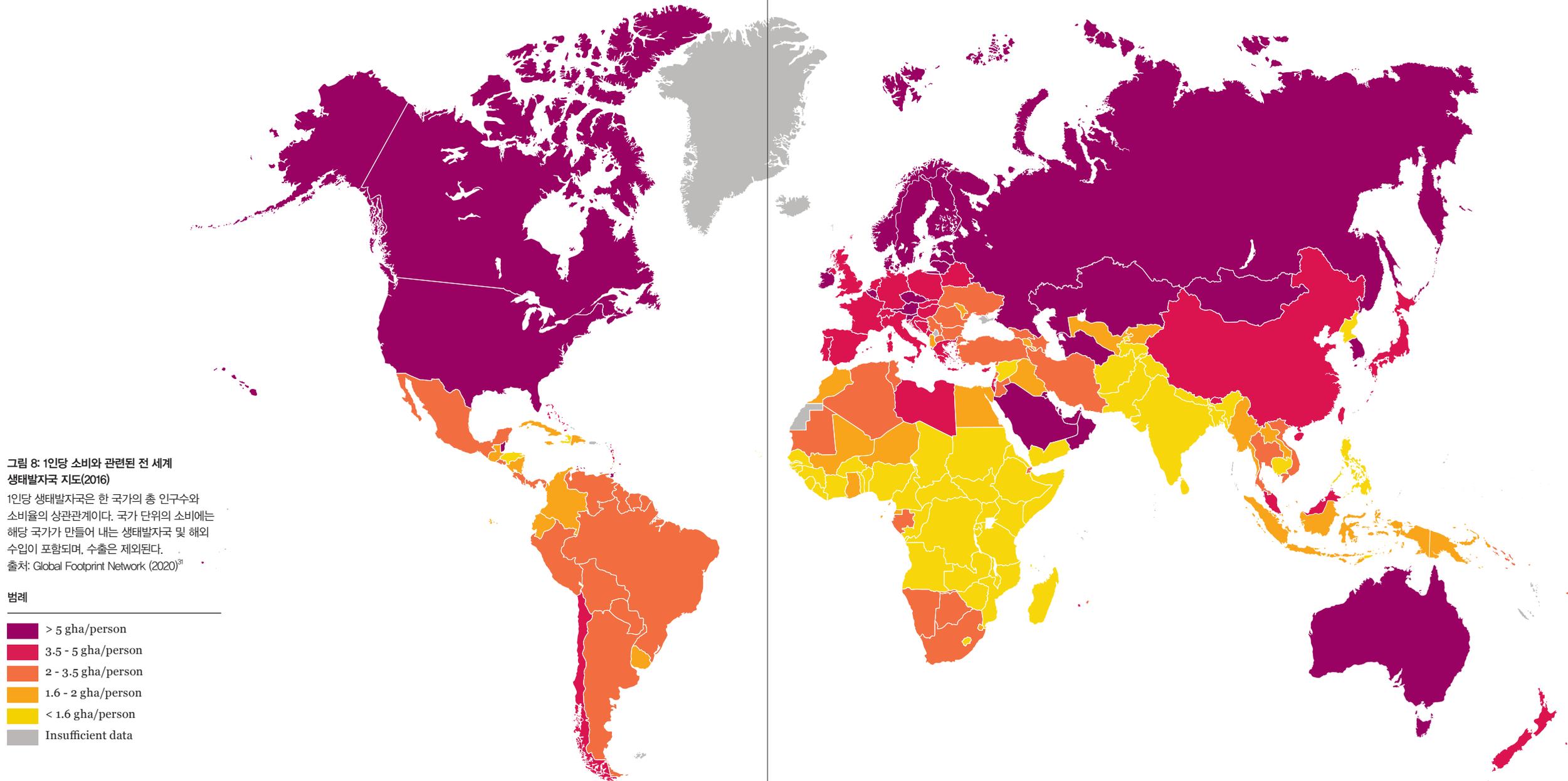
매년 '생물학적 예산'을 과다 지출하는 인류

1970년 이후 인간의 생태발자국(Ecological Footprint)은 지구의 재생 속도를 넘어섰다. 이는 지구의 건강을 약화시키고 인류의 미래마저 어둡게 만든다. 인간의 소비 수요와 자연자원 모두 전 세계적으로 불균등하게 분포되어 있다. 자원은 채취되

는 곳에서 소비되는 것이 아니기 때문에 자연자원의 소비 양상은 자원의 가용성에 따라 다르다. 각국의 1인당 생태발자국을 살펴보면 국가의 자원 이용실태, 위험 및 기회에 관해 통찰할 수 있다.^{28~30}

지역에 따라 사는 사람들의 생활방식과 소비 양상은 다르다. 거주자들이 소비하는 식품, 상품, 서비스가 다르므로 그것을 생산

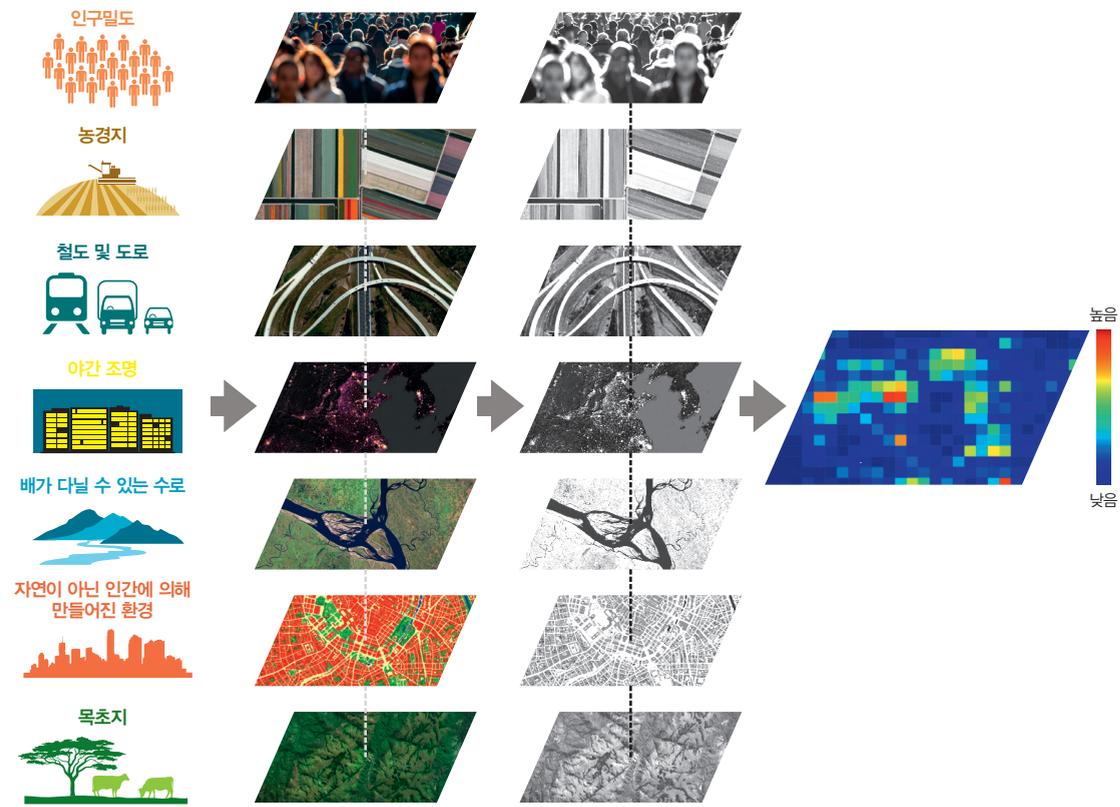
하는 데 소요되는 자연자원과 만들면서 배출되는 이산화탄소의 양도 다르다. 결국 생태발자국은 여러 수준으로 나타난다.



지구상 마지막 야생 구역

인공위성 기술의 발전으로 우리는 지구가 변하는 모습을 실시간으로 볼 수 있게 되었다. 인간 생태발자국(Human Footprint) 지도는 지구상의 육지 중 인간이 영향을 미치는 지역과 그렇지 않은 지역을 보여 준다.

그림 9: 누적된 인간의 영향(human pressure)에 관한 지도를 만들기 위해 사용된 광범위한 방법론적 프레임워크 - Watson, J.E.M. & Venter, O. (2019)³³ 재구성



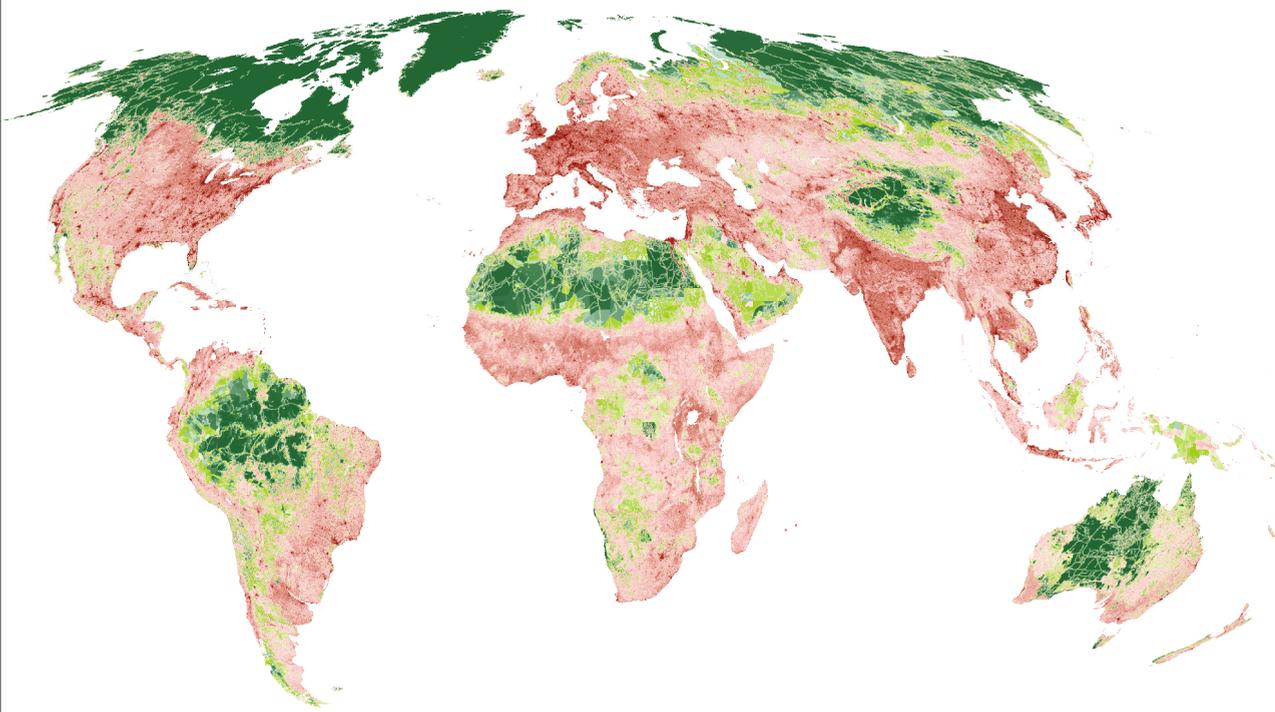
1. 인간이 끼치는 주요한 영향을 확인한다.
2. 각각의 영향에 관한 데이터를 확보 또는 개발한다.
3. 각각의 영향에 상대적인 영향 점수를 부여한다.
4. 각각의 영향의 오버레이 작업을 거쳐 인간 생태발자국 지도를 제작한다.

최근 제작된 지도는 인간 생태발자국이 없는 지역, 다시 말해 지구상에 마지막으로 남은 육상 야생 구역의 대부분이 고작 몇몇 국가(러시아, 캐나다, 브라질, 호주)에만 남아있음을 보여 주고 있다.³²

범례

훼손 지역	비손상 지역	야생 지역
높음: 50	높음: 1	높음: 0
낮음: 4	낮음: 4	낮음: 1

그림 10: 남극을 제외한 각 지역의 육상 생물군(biome) 비중에 따라 야생 지역(진녹색, 인간생태발자국 값 1 미만), 비손상 지역(연녹색, 인간생태발자국 값 1 이상 또는 4미만), 인간에 의해 심하게 바뀐 지역(붉은색, 인간생태발자국 값 4 이상)으로 나타냈다. 출처: Williams, B.A. 외 (2020)³² 재구성



뜨거워지는 바다

천해에서 심해에 이르는 바다 전체가 다양한 인간의 영향 중에서 특히 남획, 오염 및 연안

개발에 고통받고 있으며, 여기에 기후변화가 해양 생태계 전반에 미치는 영향 또한 점점 더 범위를 넓혀갈 것으로 보인다.

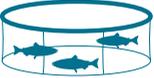
변화 동인	잠재적 악영향	생태학적으로 나타나는 결과들
어업 	남획, 비목표종의 혼획, 저인망 쌍끌이 어업으로 인한 해저 서식지 파괴, 불법·비보고·비규제(UU) 어업, 관상용으로 거래하기 위한 생물 수집	개체군 크기 감소, 생태계 재구성과 영양단계 연쇄적 영향(trophic cascade), 몸체 크기 감소, 지역적 및 상업적 멸종, 유실되거나 버려진 어구로 인한 '유령어업(ghost-fishing)'
기후변화 	수온 상승, 해양 산성화, 빈산소수괴층(oxygen minimum zone) 증가, 빈번한 극한기상현상 발생, 해양 해류의 변화	백화현상으로 인한 산호초 폐사, 수온 상승으로 생물종의 지역 이탈, 생태적 상호작용 및 생물의 대사 변화, 생물의 위치 및 공간 이용 방식 변화에 따른 인간과의 상호작용 변화(예: 어획, 선박과의 충돌 등), 해양 순환 패턴 및 생산성 변화, 질병 발생 및 생물학적 과정의 변화
육상 기인 오염 	육상 영양물질 유입, 중금속, 대형 및 미세 플라스틱 등 오염물질	적조 발생 및 어류 폐사, 먹이사슬 상위 단계로 독성물질 축적, 플라스틱 및 기타 쓰레기 섭식 및 얽힘
해양 기인 오염 	폐기물 처리, 선박에서의 연료 누출 및 쓰레기 투기, 석유 시추선의 기름 유출, 소음공해	해양생물의 생리기능에 미치는 유독한 영향, 소음공해가 해양동물의 행동에 영향
연안 개발 	서식지 파괴, 현지 해안선에 가해지는 압력 증가, 오염 및 쓰레기 증가	맹그로브 및 해초와 같은 서식지 감소, 연안 서식지와 생물들이 기후변화에 적응하기 위해 이동할 수 있는 능력의 제한
외래종의 침입 	침입종의 우발적(예: 선박평형수를 통해) 또는 의도적 유입, 기후변화로 인한 침입 증가 가능	침입종이 토착종과의 경쟁에서 우위를 점하고 생태계를 교란하여 토착종의 국지적 또는 전 세계적 멸종을 초래할 수 있음
해양 기반시설 	해저에서의 물리적 위해, 서식지 역할을 하는 구조의 형성	국지적 해저 서식지 파괴, 생물이 군집을 이루어 서식할 수 있는 구조물의 역할 제공
해운 활동 	선박과의 충돌, 폐기물 투기로 인한 오염	선박과의 충돌이 멸종위기 해양 포유류의 개체군 크기에 영향, 오염으로 인한 생리학적·물리적 영향
해양생물 양식 	양식 시설의 물리적 존재, 오염	부영양화와 적조, 질병, 항생제 사용, 양식 생물 탈출이 지역 생태계에 영향, 양식사료용 어분 조달을 위하여 어선 어업에 미치는 간접적 영향
심해 채광 	해저 파괴, 해저에서 형성되는 부유퇴적물 기둥(plumes), 가스 등의 누출 및 화학물질 유출 가능성, 소음공해	물리적 서식지(예: 한류성 산호) 및 해저 저서층의 파괴, 부유퇴적물 기둥(plumes)에 의한 생물 질식 가능성

그림 11:
 해양 생태계의 인위적 변화 요인, 그러한 요인들이 미칠 수 있는 부정적 영향의 유형 및 잠재적인 생태적 결과의 예. 부정적 영향은 감축될 수 있고 어떤 경우에는 사회적 편익과 비교하여 검토해야 한다는 점을 유념할 필요가 있다. 심해 채광의 경우, 부정적 영향은 아직까지 충분히 큰 규모로 적용된 사례가 없기 때문에 추정에 따른 것이다. 각각의 변화 요인의 영향은 매우 지역적인 규모부터 전 세계적인 규모에 이르기까지 다양할 수 있다.
 출처: IPBES (2019)²⁶ 및 해당 문헌에 언급된 참고 문헌

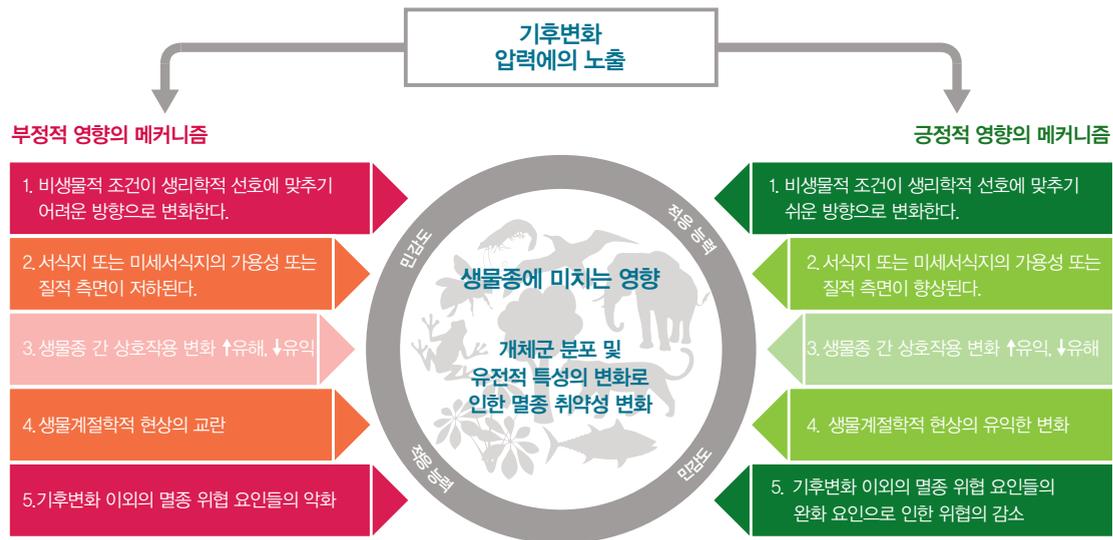
생물다양성에 미치는 기후변화의 위험

상당한 감축 노력에도 불구하고 기후변화라는 요인 하나만으로 금세기에 야생종의 5분의 1 정도가 멸종될 위기에 처해 있으며, 생물다양성 '핫스팟' 지역에서는 야생종이 가장 높은 비율로 사라질 것으로 예상된다.

그림 12: 기후변화 압력에 노출된 생물종은 다섯 종류의 메커니즘을 통해 긍정적, 부정적 또는 이 두 가지가 결합된 방식의 영향을 받을 수 있다. 그러한 영향에 대한 각각의 종 별 민감도 및 적응 능력은 고유한 생물학적 특성 및 생활사(life history)에 의해 좌우된다. 기후변화 압력, 메커니즘, 민감도 및 적응 능력이 복합적으로 작용하여 각 생물종의 멸종 취약성에 영향을 미친다(그림 출처: Foden, W.B. 외 (2018)³⁴ 재구성).

30년 전만 하더라도 생물종에 미치는 기후변화의 영향은 극히 드물었으나, 지금은 아주 흔하다. 심해 어류와 같은 일부 생물종은 기후변화의 영향으로부터 상대적으로 영향을 덜 받지만 북극 및 툰드라 지역 등에 서식하는 생물종은 막대한 기후변화의 영향에 직면해 있다. 그러한 압력은 직접적인 생리학적 스트레스, 적합한 서식지의 상실, 생물종 간 상호작용(예: 수분 작용 또는 포식자-먹이 간 상호작용) 방해, 그리고 회유, 번식, 출생(및 죽음) 등과 같은 중요한 생애사건(life event)의 시기 교란 등 다양한 메커니즘을 통해 생물종에 영향을 미칠 수 있다(그림 12).³⁴

최근 기후변화가 플라잉폭스(flying fox, 열대 및 아열대 서식하는 박쥐의 일종)와 브람블 케이 멜로미스(Bramble Cay melomys, 호주 고유종으로 최근 절멸된 설치류)에 끼쳤던 영향은 기후변화가 얼마나 빨리 심각한 개체군 감소를 이끌 수 있는지를 보여주며, 상대적으로 눈에 잘 띄지 않는 생물종들에 보이지 않는 피해를 입힐 수 있음을 경고하고 있다(하단 텍스트 상자 참조).



기후변화로 인해 멸종된 최초의 포유류



브람블 케이 멜로미스 (Melomys rubicola)는 기후변화의 직접적인 영향으로 멸종한 최초의 포유류이다(호주 토레스 해협 제도 브람블 케이).

2016년 브람블 케이 멜로미스(Melomys rubicola)가 멸종되었다는 소식이 대대적으로 보도되었다. 이 같은 멸종 사실은 호주 토레스 해협에 위치한 5헥타르 규모의 산호지대 서식지에 대한 집중 조사로 밝혀졌다. 브람블 케이 멜로미스의 멸

종은 기후변화와 직접 연관이 있는 최초의 포유류 멸종 사례이다.³⁵ 비록 이 설치류는 사라졌지만, 지금이야말로 기후변화 대응에 나서야 할 때임을 절실하게 상기시켜 주는 상징으로 영원히 남을 것이다.³⁶

기온이 오르면 박쥐 수가 감소한다



© Martin Harvey / WWF

낮 동안 나무에 매달려 잠을 자는 플라잉폭스(Pteropus conspicillatus) 무리(호주 퀸즐랜드주 북부). 플라잉폭스는 무리를 지어 휴식을 취하기 때문에 단독생활을 하는 생물종에 비해 극한현상이 개체군에 미치는 영향을 발견하기가 상대적으로 쉽다.

플라잉폭스(Flying fox)라는 박쥐(Pteropus속)는 기온이 42°C를 넘으면 생리학적으로 견디지 못한다.³⁷ 그러한 고온에서는 그늘 찾기, 과호흡, 몸에 침 바르기(땀이 나오지 않으므로) 등과 같은 통상적인 대처 행동으로 몸을 식히기에는 역부족이며, 박쥐들은 더위를 피하기 위해 몹시 흥분된 상태에서 무

리를 짓기 시작한다. 나무에서 떨어진 박쥐들은 상처를 입거나 닳에 걸려 죽는 경우가 많다. 1994년부터 2007년까지 전 세계적으로 10만 마리도 되지 않는 플라잉폭스 박쥐 중 최소 2개 종의 3만 마리 이상이 혹서기에 폐사한 것으로 추정된다.^{37, 38}

한계점에 거의 다다른 생태적 안전망

자연에 대한 가치는 다양한 방식으로 부여된다. 인간과 자연을 위해 건강하고 회복력 있는 지구를 구현할 수 있는 정책을 수립하는 데 이러한 방식을 취합하여 활용할 수 있다.

‘인간에 대한 자연의 기여(Nature’s Contributions to People, NCP)’란 인간의 삶의 질에 대한 자연의 긍정적 및 부정적 영향 일체를 말한다. NCP 개념은 밀레니엄 생태계 평가(Millennium Ecosystem Assessment)³⁹를 통해 잘 알려진 ‘생태계 서비스’ 개념에 바탕을 둔다. NCP 개념에는 생태계 상품 및 서비스, 자연의 혜택 등과 같이 인간이 자연에 의존하는 광범위한 사례가 포함된다. NCP는 인간과 자연을 잇는 모든 연결고리를 규정함에 있어서 문화가 핵심적 역할을 함을 인지하는 개념이기도 하다. 아울러 토착 지식, 현지 지식의 중요성을 강조하며, 그러한 역할이 제대로 잘 작용될 수 있도록 한다.^{40, 26} 아래 표에는 1970년부터 현재까지 NCP 일부의 글로벌 추이가 제시되어 있다. 이 표는 생명다양성과학기구(IPBES)의 ‘정책입안자를 위한 요약본(Summary for Policy Makers)’에 수록되어 있다.²⁶

그림 13: 1970년부터 현재까지 ‘자연의 인간에 대한 기여(NCP)’ 18개 범주의 글로벌 추이. 분석된 18개 범주 중 14개 범주가 1970년 이래로 감소 추세를 보이고 있다 (그림 출처: Diaz, S. 외 (2019)⁴¹ 및 IPBES (2019)²⁶ 재구성)



환경 프로세스 조절

원료 · 자재 및 지원

비물질적 기여

자연의 인간에 대한 기여	50년간 글로벌 추이	선정된 지표
서식지 형성 및 유지	↓ ↓	• 적합한 서식지의 범위 • 생물다양성 온전성
수분 작용, 종자 및 기타 번식체 (PROPAGULE)의 산포	↓ ↓	• 수분매개동물 다양성 • 농경지역 내 자연 서식지 범위
대기질 조절	↘	• 생태계에 의한 대기오염물질 보유 및 배출 방지
기후 조절	↘	• 생태계에 의한 온실가스 배출 방지 및 흡수
해양 산성화 조절	→	• 해양 및 육상 환경의 탄소격리 능력
담수의 양, 위치 및 타이밍 조절	↘	• 생태계가 대기-지표수-지하수 구획 분할에 미치는 영향
담수와 연안수의 질 조절	↘	• 생태계가 구성 물질을 여과하거나 물에 추가하는 범위
토양과 퇴적물의 형성, 보호 및 오염 제거	↘	• 토양 유기탄소
재해 및 극한현상 조절	↘	• 생태계의 재해 흡수 및 완충 능력
유해생물 및 생물학적 과정의 조절	↓ ↓	• 농경지역 내 자연 서식지 범위 • 매개체 감염병의 적격 숙주(competent host) 다양성
에너지	↘ ↗	• 농지의 범위—바이오에너지 생산 잠재력이 있는 토지 • 산림지의 범위
식품 및 사료	↓ ↗	• 농지의 범위—식품 및 사료 생산 잠재력이 있는 토지 • 해양 어족자원량
원료 · 자재 및 지원	↘ ↗	• 농지의 범위—원료 · 자재 생산 잠재력이 있는 토지 • 산림지의 범위
의약, 생화학 및 유전 자원	↓ ↗	• 현지에서 약용으로 사용되는 생물종 • 계통학적 다양성
학습 및 영감	↓ ↓	• 자연과 가까이 사는 사람의 수 • 학습 대상으로서의 생명 다양성
신체적 · 심리적 경험	↘	• 자연적 · 전통적 육상경관 및 해상경관의 면적
정체성 형성 및 유지	↘	• 토지 이용 및 토지 피복의 안정성
선택 가능한 대안의 유지	↓ ↓	• 생물종의 생존 확률 • 계통학적 다양성

지구와 인류의 건강은 본질적으로 상호 연결되어 있다

20세기에 인류의 건강과 삶의 질은 놀랄 만큼 향상되었다. 예컨대 5세 미만 영유아 사망률은 1990년 이후 절반으로 감소했고⁴², 전 세계 인구 중 하루 1달러 90센트 미만으로 살아가는 사람의 수는 같은 기간 동안 3분의 2가 줄어들었으며⁴³, 출생 시 기대수명은 50년 전에 비해 약 15년이 증가했다.⁴⁴ 이는 마땅히 기뻐해야 할 일이다. 그러나 이러한 결과는 전 세계 자연 시스템을 착취하고 변형시키는 가운데 이루어졌다. 그와 같은 방식은 지금까지의 발전을 모두 과거의 상태로 되돌릴 수도 있는 위험이 되고 있다.

전통의약품과 식물 유래 의약품에서 습지에 의한 물 여과 작용에 이르기까지 **생물다양성과 건강**을 잇는 연결 고리는 다양하다.^{26, 47, 48}

건강이란 “완전한 육체적, 정신적 및 사회적 안녕의 상태로서, 단순히 질병 또는 병약이 존재하지 않는 것만이 아니다. 도달 가능한 최고 수준의 건강을 향유하는 것은 인종, 종교, 정치적 신념, 경제적 또는 사회적 조건의 구별 없이 만인이 가지는 기본적 권리의 하나이다.” 세계보건기구(WHO, 1948)⁴⁵

생물다양성은 “수십억 년에 걸친 진화의 열매로서, 자연적 과정과 인간의 영향갈수록 그 비중이 커지고 있는)에 의해 형성된 것이다. 생물다양성은 우리가 필수적인 부분을 이루고 있으면서 전적으로 의존하는 생명의 그물을 형성한다. 또한 생물다양성은 사막, 산림, 습지, 산지, 호수, 강, 농업경관 등에 존재하는 다양한 생태계를 아우른다. 각각의 생태계에서 인간을 포함한 생물들은 공동체를 형성하고 서로 간에 상호작용을 하며, 주위의 대기, 물 및 토양과도 상호작용을 한다.” 생물다양성협약(CBD, 2020)⁴⁶

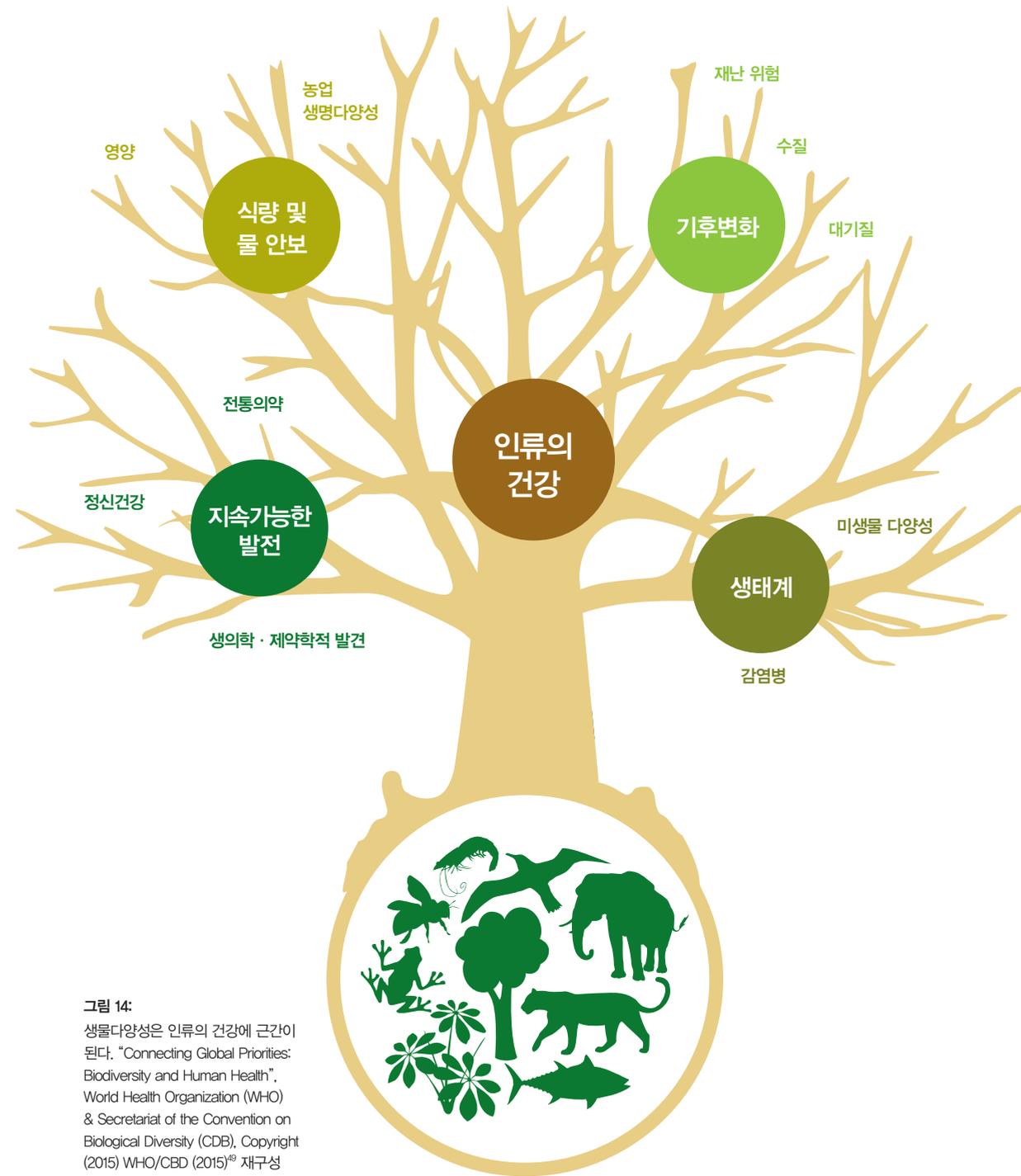


그림 14: 생물다양성은 인류의 건강에 근간이 된다. “Connecting Global Priorities: Biodiversity and Human Health”, World Health Organization (WHO) & Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CBD), Copyright (2015) WHO/CBD (2015)⁴⁹ 재구성

자연의 건강에 의존하는 인류의 경제적 번영

경제활동은 자연을 바탕으로 이루어진다. 인류가 이러한 현실을 인정하고 이에 따라 행동할 때 비로소 생물다양성을 보호하고 개선하여 경제적 번영을 누릴 수 있다.

코로나19는 자연이 우리에게 보내는 메시지이다. 사실상 인류 사회를 위한 SOS 신호라고 할 수 있다. 이는 인류가 '지구 생태용량의 한계를 넘지 않는 안전한 범위'에서 살아가야 한다는 데 초점을 맞추고 있다. 이 신호를 무시한다면 인류는 건강과 환경, 경제 전반에 걸쳐 막대한 피해를 입게 될 것이다.

우리는 기술 발전 덕분에 자연이 보내는 메시지를 어느 때보다도 주의 깊게 경청하고 효과적으로 파악할 수 있다. 또한 우리는 생산자본과 인적자본(예: 도로, 숙련 기술 등)이 지닌 가치와 더불어 '자연자본'(식물, 토양, 광물 등을 포함하여 재생가능하거나 그렇지 않은 지구 자연자원의 양)이 지닌 가치도 평가할 수 있다. 이러한 두 종류의 자본은 함께 결합됨으로써 한 국가의 진정한 부(富)를 가늠할 수 있는 척도가 된다.

유엔환경계획(UNEP)에 따르면 전 세계 1인당 자연자본은 1990년대 초 이래로 40% 가까이 감소한 반면, 생산자본과 인적자본은 각각 100%, 13% 증가했다.⁸²

그럼에도 자연이 보내는 메시지를 어떻게 해석할지 알고 있는 경제 및 금융 분야의 의사결정자는 극히 드물다. 심지어는 아예 귀를 막아 버리는 이들도 있다. 가장 근본적인 문제는 공공 및 민간 정책을 주도하는 인간의 '경제적 문법'과 현실 세계의 작동 방식을 결정하는 '자연의 문법'이 서로 불일치하는 부분이 있다는 점이다.

그 결과 우리는 자연의 메시지를 놓치고 있다.

경제적 문법이 현실을 제대로 반영하지 못하고 있다면, 더 나은 답을 어디서 어떻게 찾아야 하는가? 경제 성장과 발전에 관한 표준 모형들과는 달리 인간과 경제를 자연 속에 위치시키는 방식이 도움이 될 수 있다. 또한 인류의 번영이 궁극적으로 지구의 번영에 좌우된다는 사실을 받아들이는 데 도움이 된다. 이러한 새로운 문법은 학교에서 기업에 이르기까지, 그리고 지방의회에서 중앙정부 부처에 이르기까지 어디에서나 필요하다. 자연의 문법은 지속가능한 경제성장의 참된 의미를 일깨워 주고, 현재와 미래 세대가 보다 건강하고 자연친화적이며 행복한 삶을 살기 위해 지도자들이 더 현명한 결정을 하는데 도움을 준다.

이제부터 자연을 보전하고 개선하는 일은 우리가 경제적 번영을 이루기 위한 방안의 중심이 되어야 한다.



가족이 운영하는 홀스테이 농가의 텃밭에서 채소를 따는 네팔 소녀

식량안보에 필수적인 생물다양성

전 세계에 식량을 공급하는 생물다양성의 손실에 대처하는 긴급 조치를 취해야 한다.

2019년 유엔식량농업기구(FAO)는 '식량 및 농업을 위한 전 세계 생물다양성 현황'에 관한 첫 번째 보고서를 발표했다.⁵⁵ 5년이라는 기간 동안 FAO 식량농업유전자원위원회(Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture)의 주도로 발간된 이 보고서는 생물다양성이 어떻게 식량과 농업에 혜택을

주는지에 대해 설명하고 있으며, 농업인, 목축업자, 산림 거주자, 어업인 및 양식업자들이 생물다양성을 형성하고 관리해 온 과정을 검토하고 있다. 또한 생물다양성의 상태를 변화시키는 주요 요인을 식별하고, 생물다양성 친화적 생산 관행의 동향에 대해 논의하고 있다.

직접 기여: 식량으로 이용되는 생물다양성



그림 15: 생물다양성이 식량안보에 직접적으로 기여하는 주요 분야. 이 그림에 제시된 정보는 여러 출처⁵⁵⁻⁶⁸에 근거한다.

인류와 자연을 위한 로드맵

새로운 모델링 작업을 통해 토지이용 변화에 따른 육상 생물다양성 손실을 멈추고 감소 추세를 뒤바꿀 수 있다는 사실이 처음으로 개념적으로 입증되었다. '회복으로의 전환(Bending the Curve, BTC)' 이니셔티브는 자연보전과 식량 수급 시스템의 근본적 변화라는 두 측면을 유례를 찾아볼 수 없을 만큼 즉각적이고도 심도 있게 다루고 있다. 이를 통해 BTC 이니셔티브는 생물다양성을 복원하고 점차 증가하는 전 세계 인구에 식량을 공급하기 위한 로드맵을 제시하고 있다.

모델링은 허황된 개념이 아니다. 교통 계획을 수립하고 학교 신축 부지 결정을 위해 인구 증가 지역을 예측하기 위한 용도 등으로 전 세계에서 매일 사용되고 있다. 자연 보전 분야에서는, 예컨대 미래의 기후변화 경로를 파악하기 위해 모델링을 활용한다. 오늘날 컴퓨터의 연산 능력과 인공지능(AI) 기술이 두드러지게 발전하면서 우리는 광범위하고 복합적인 미래 시나리오를 훨씬 더 정교하게 예측할 수 있으며, 'What?'(무엇)이 아닌 'What if?'(가정에 해당하는 질문을 제기하고 있다.

BTC 이니셔티브⁶⁹에서는 여러 개의 최신 모델과 시나리오를 사용하여 인간이 육상 생물다양성 감소 추세를 역전시킬 수 있는지, 그리고 만약 그렇다면 어떤 방식으로 가능한지에 대해 조사했다. 지속가능성 목표 달성을 위한 경로를 모델링한 선구적 작업⁷⁰ 및 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)와 생물다양성과과학기구(Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES) 과학자들이 최근에 기울인 노력⁷¹⁻⁷³을 바탕으로 일곱 개의 'What-if' 미래 시나리오가 개발되었다.

준거(reference)가 되는 What-if 시나리오는 IPCC의 '중도(middle-of-the-road)' 시나리오(SSP2, Fricko, O. 외, 201774)를 기반으로 하며, 자연보전 및 지속가능한 생산과 소비 노력이 제한적이고 현상 유지(BAU: business-as-usual)가 되는 미래를 가정하고 있다. 이 모델에 따르면 세계 인구는 2070년에 94억 명에 도달하고, 경제성장은 완만한 수준으로 불균등하게 진행되며, 세계화는 계속된다. 이러한 준거 시나리오 외에 각기 다른 조치의 잠재적 효과를 탐구하기 위해 여섯 개의 What-if 시나리오가 개발되었다.

기후변화 및 코로나19와 관련된 모델링의 경우와 마찬가지로, 잠재적 미래 경로를 판단하기 위한 개입은 일련의 '행동 웨지(action wedge, 뺄기 역할을 하는 조치)'들로 분류되었다. 그러한 행동 웨지에는 보전 노력 확대를 위한 조치 뿐 아니라 생산 및 소비 측면 모두에서 글로벌 식량 시스템이 육상 생물다양성에 미치는 영향을 줄이기 위한 조치도 포함된다.

생물다양성 손실에서 회복으로의 전환을 위한 시나리오

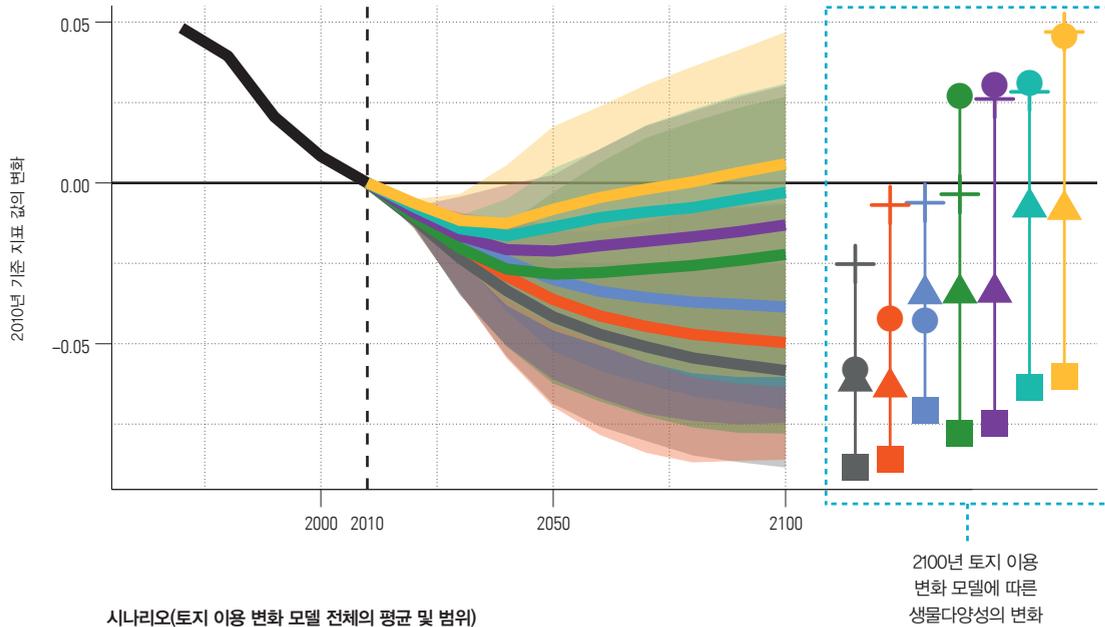
3개 시나리오는 생물다양성의 감소를 멈추고 회복시키기 위해 단일한 개입 유형들을 상정하고 있다.

1. **자연보전 노력 확대(C) 시나리오**에는 보호지역의 범위 확대 및 관리 강화, 복원 노력 제고, 육상경관 차원의 보전 계획 등이 포함된다.
2. **생산의 지속가능성 강화(공급 측면 노력, SS) 시나리오**에는 농업생산성 및 농산품 거래가 보다 지속가능한 방식으로 증가하는 상황이 포함된다.
3. **소비의 지속가능성 강화(수요 측면 노력, DS) 시나리오**에는 산지에서 소비자에게 이르기까지 농산품 폐기물이 감소하는 상황, 그리고 육류 소비가 많은 국가에서 동물성 식품 섭취 비중이 낮아지는 방향으로 식단이 변화하는 상황이 포함된다.

나머지 3개 시나리오는 앞서 언급된 노력들을 다양한 방식으로 조합한 모델을 제시한다.

4. **네 번째 시나리오**는 보전 및 지속가능한 생산(C+SS)에 초점을 맞추고 있다.
5. **다섯 번째 시나리오**는 보전 및 지속가능한 소비(C+DS)가 결합된 형태이다.
6. **여섯 번째 시나리오**는 3개 부문 전체에 대한 개입으로서, 개입의 '통합적 행동 포트폴리오(IP, Integrated Action Portfolio)' 시나리오로 알려져 있다.

생물다양성 손실에서 회복으로의 전환: 가능할 것인가?



시나리오(토지 이용 변화 모델 전체의 평균 및 범위)

범례

- 과거
- 기준선(BASE)
- 공급 측면 노력(SS)
- 수요 측면 노력(DS)
- 보전 노력 포함(C)
- 보전 및 공급 측면 노력 포함(C+SS)
- 보전 및 수요 측면 노력 포함(C+DS)
- 통합적 행동 포트폴리오(AP)

4개의 토지 이용 모델에 따른 2100년도 값

- AIM
- ▲ GLOBIOM
- IMAGE
- + MAgPIE

그림 16: 토지 이용 변화로 인한 생물다양성 감소 추세를 역전시키기 위한 다양한 노력의 예상 기여도
이 예시에서는 하나의 생물다양성 지표가 사용되었으며, 생물다양성 감소 추세를 역전시키기 위한 미래의 행동들이 7개 시나리오 전체에 걸쳐 다양한 결과를 초래하는 과정을 각기 다른 색으로 보여 주고 있다. 각 시나리오의 선 및 음영 영역은 4개의 토지 이용 모델 전체에 걸쳐 추정되는 상대적 변화의 평균 및 범위(2010년 대비)를 나타낸다. 그래프에는 'GLOBIOM'이라는 생물다양성 모델을 사용하여 생물다양성 지표 중 하나인 '평균 종 풍부도(MSA, Mean Species Abundance)'의 반응을 추정된 값이 제시되어 있다. 모든 생물다양성 지표 및 모델에 대한 자세한 사항은 기술 부록(Technical Supplement)에 수록되어 있다. 출처: Leclère, D. 외 (2020)⁶⁹

그래프에서 굵게 색칠된 선들은 각각의 시나리오에서 생물다양성이 어떻게 반응할 것으로 추정되는지를 나타낸다. 4개의 토지 이용 모델이 사용되었기 때문에 그러한 반응은 이들 모델 전체의 평균값에 해당한다.

회색 선은 준거 및 기준선 역할을 하는 '현상 유지(BAU)' 시나리오에서 전 세계 생물다양성이 2050년까지 최근 몇 십 년간의 속도와 비슷한 속도로 감소하며 21세기 내내 지속적인 감소 추세를 보임을 나타낸다.

단일 개입:

- 빨간색 선은 지속가능한 생산 조치만을 취했을 때의 효과를 나타낸다.
- 파란색 선은 지속가능한 소비 개입만이 이루어진 경우의 효과를 나타낸다.
- 녹색 선은 보다 과감한 보전 조치만을 취했을 때의 효과를 나타낸다.

통합적 개입에서는 상기 3개 시나리오를 각기 다른 방식으로 조합한다.

- 보라색 선은 보전 조치 확대와 보다 지속가능한 생산 노력이 결합되는 경우에 생물다양성이 어떻게 반응할 것으로 추정되는지를 나타낸다.
- 하늘색 선은 보전 조치 확대와 보다 지속가능한 소비 노력이 결합되는 경우에 생물다양성이 어떻게 반응할 것으로 추정되는지를 나타낸다.
- 노란색 선은 3가지 단일 개입 방식이 모두 결합된(보전 조치 확대 + 보다 지속가능한 생산 + 보다 지속가능한 소비) '통합적 행동 포트폴리오(AP)'가 적용되는 경우에 생물다양성이 어떻게 반응할 것인지를 나타낸다.

자연보전 노력만으로는 충분하지 않다 - 식량 생산 및 소비 패턴의 근본적인 변화도 반드시 이루어내야 한다

이 연구에서는 보다 과감한 자연보전 노력이 생물다양성 손실을 회복으로 전환할 수 있는 열쇠임을 보여 준다. 보전 노력 확대는 다른 어떤 단일 유형의 조치보다도 미래에 생물다양성의 추가적 손실을 더 효과적으로 제한하고 전 세계 생물다양성 변화 추이를 회복세에 올려 놓을 수 있는 것으로 밝혀졌다. 과감한 보전 노력과 서식지 전환 요인에 초점을 맞춘 조치(예: 지속가능한 생산, 지속가능한 소비, 또는 가급적이면 두 가지 개입 방식 모두)가 결합된 통합적 접근법을 통해서만 생물다양성 손실을 회복으로 전환하는 데 성공할 수 있다.

앞으로 우리가 가야 할 길

『지구생명보고서 2020』은 전 세계가 혼란을 겪고 있는 시기에 발간되지만, 보고서가 전달하고자 하는 핵심 메시지는 지난 수십 년 동안 한결같은 내용입니다. 바로 우리의 생명을 지탱하는 시스템인 자연이 심각하게 빠른 속도로 나빠지고 있다는 것입니다. 우리는 인간의 건강과 자연의 건강 사이의 상호관련성이 갈수록 높아지고 있다는 사실을 잘 알고 있습니다. 심각한 피해를 초래한 산불과 여전히 ‘현재진행형’인 코로나19 대유행은 그러한 사실을 부정할 수 없게 만들었습니다.

‘회복으로의 전환(Bending the Curve)’ 모델은 우리가 근본적 변화를 해야만 생물다양성 손실에서 회복으로 전환할 수 있음을 보여 줍니다. ‘근본적 변화’라는 것이 말로는 쉬운 일처럼 보이지만 고도로 복잡하고 상호 연결된 현대 사회를 살아가는 우리가 어떻게 변화를 만들 수 있을까요? 변화를 위해서는 전 지구적이고 집단적인 노력이 필요하다는 사실을 우리 모두 잘 알고 있습니다. 또한 식량과 에너지를 생산하고 소비하는 방식을 바꾸는 것과 동시에 자연보전 노력을 강화해야 한다는 사실도 잘 알고 있습니다. 세계 각국의 시민과 정부 및 기업이 그 어느 때보다도 과감한 변화에 조속히 동참해야 합니다.

여러분 모두가 변화의 주인공이 되어야 합니다. 이 보고서의 부록인 ‘지구생명을 위한 목소리(Voices for a Living Planet)’에는 세계 여러 국가의 다양한 분야에서 활동 중인 이론가들과 실무자들의 의견이 수록되어 있습니다. 인간과 자연을 위해 건강한 지구를 만들 수 있는 아이디어를 도출하는 데 영감을 줄 수 있을 것입니다.

『지구생명보고서 2020』의 주제와 내용을 보완하는 부록인 ‘지구생명을 위한 목소리(Voices for a Living Planet)’에는 인권 문제와 윤리적 고려 사항에서부터 지속가능한 금융과 기업 혁신에 이르기까지 세계 각지에서 모은 다양한 목소리와 의견이 반영되어 있습니다. 또한 이 부록은 건설적인 대화의 출발점 역할을 하며, 인간과 자연이 조화롭게 살아가는 미래를 만들기 위해 여러분이 생각해 볼 만한 내용과 아이디어를 담고 있습니다.

여러분이 변화에 동참하는 데 『지구생명보고서 2020』와 부록의 내용이 도움이 되기를 바랍니다.

참고 문헌

- 1 WWF/ZSL. (2020). The Living Planet Index database. <www.livingplanetindex.org>.
- 2 IPBES. (2015). Report of the Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the work of its third session. Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Third session, Bonn, Germany. <https://ipbes.net/event/ipbes-3-plenary>.
- 3 He, F., Zarfl, C., Bremerich, V., Henshaw, A., Darwall, W., et al. (2017). Disappearing giants: A review of threats to freshwater megafauna. *WIREs Water* **4**:e1208. doi: 10.1002/wat2.1208.
- 4 Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Betts, M. G., Ceballos, G., et al. (2019). Are we eating the world's megafauna to extinction? *Conservation Letters* **12**:e12627. doi: 10.1111/conl.12627.
- 5 He, F., Zarfl, C., Bremerich, V., David, J. N. W., Hogan, Z., et al. (2019). The global decline of freshwater megafauna. *Global Change Biology* **25**:3883-3892. doi: 10.1111/gcb.14753.
- 6 Ngor, P. B., McCann, K. S., Grenouillet, G., So, N., McMeans, B. C., et al. (2018). Evidence of indiscriminate fishing effects in one of the world's largest inland fisheries. *Scientific Reports* **8**:8947. doi: 10.1038/s41598-018-27340-1.
- 7 Carrizo, S. F., Jähnig, S. C., Bremerich, V., Freyhof, J., Harrison, I., et al. (2017). Freshwater megafauna: Flagships for freshwater biodiversity under threat. *BioScience* **67**:919-927. doi: 10.1093/biosci/bix099.
- 8 Jetz, W., McPherson, J. M., and Guralnick, R. P. (2012). Integrating biodiversity distribution knowledge: Toward a global map of life. *Trends in Ecology & Evolution* **27**:151-159. doi: 10.1016/j.tree.2011.09.007.
- 9 GEO BON. (2015). *Global biodiversity change indicators. Version 1.2*. Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network Secretariat, Leipzig.
- 10 Powers, R. P., and Jetz, W. (2019). Global habitat loss and extinction risk of terrestrial vertebrates under future land-use-change scenarios. *Nature Climate Change* **9**:323-329. doi: 10.1038/s41558-019-0406-z.
- 11 Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., et al. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science* **366**:eaax3100. doi: 10.1126/science.aax3100.
- 12 IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- 13 Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* **347**:1259855. doi: 10.1126/science.1259855.
- 14 Hill, S. L. L., Gonzalez, R., Sanchez-Ortiz, K., Caton, E., Espinoza, F., et al. (2018). Worldwide impacts of past and projected future land-use change on local species richness and the Biodiversity Intactness Index. *bioRxiv (Preprint)*:311787. doi: 10.1101/311787.
- 15 Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J. N., Setälä, H., van der Putten, W. H., et al. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* **304**:1629-1633. doi: 10.1126/science.1094875.
- 16 Bardgett, R. D., and Wardle, D. A. (2010). *Aboveground-belowground linkages: Biotic interactions, ecosystem processes, and global change*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- 17 Fausto, C., Mininni, A. N., Sofu, A., Crecchio, C., Scagliola, M., et al. (2018). Olive orchard microbiome: characterisation of bacterial communities in soil-plant compartments and their comparison between sustainable and conventional soil management systems. *Plant Ecology & Diversity* **11**:597-610. doi: 10.1080/17550874.2019.1596172.
- 18 Wilson, E. O. (1987). The little things that run the world (the importance and conservation of invertebrates). *Conservation Biology* **1**:344-346.
- 19 Ellis, E. C., Kaplan, J. O., Fuller, D. Q., Vavrus, S., Klein Goldewijk, K., et al.

- (2013). Used planet: A global history. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **110**:7978-7985. doi: 10.1073/pnas.1217241110.
- 20 Antonelli, A., Smith, R. J., and Simmonds, M. S. J. (2019). Unlocking the properties of plants and fungi for sustainable development. *Nature Plants* **5**:1100-1102. doi: 10.1038/s41477-019-0554-1.
- 21 Humphreys, A. M., Govaerts, R., Ficinski, S. Z., Nic Lughadha, E., and Vorontsova, M. S. (2019). Global dataset shows geography and life form predict modern plant extinction and rediscovery. *Nature Ecology & Evolution* **3**:1043-1047. doi: 10.1038/s41559-019-0906-2.
- 22 Brummitt, N. A., Bachman, S. P., Griffiths-Lee, J., Lutz, M., Moat, J. F., et al. (2015). Green plants in the red: A baseline global assessment for the IUCN Sampled Red List Index for plants. *PLOS ONE* **10**:e0135152. doi: 10.1371/journal.pone.0135152.
- 23 Moat, J., O'Sullivan, R. J., Gole, T., and Davis, A. P. (2018). *Coffea arabica* (amended version of 2018 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN. Accessed 24th February, 2020. doi: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T18289789A174149937.en>.
- 24 Rivers, M. (2017). The Global Tree Assessment – Red listing the world's trees. *BGjournal* **14**:16-19.
- 25 UN. (2020). *Department of Economic and Social Affairs resources website*. United Nations (UN). <<https://www.un.org/development/desa/dpad/resources.html>>.
- 26 IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Diaz, S., Settele, J., Brondizio E. S., E. S., Ngo, H. T., Guèze, M., et al. editors. IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- 27 World Bank. (2018). *World Bank open data*. <<https://data.worldbank.org/>>.
- 28 Galli, A., Wackernagel, M., Iha, K., and Lazarus, E. (2014). Ecological Footprint: Implications for biodiversity. *Biological Conservation* **173**:121-132. doi: 10.1016/j.biocon.2013.10.019.
- 29 Wackernagel, M., Hanscom, L., and Lin, D. (2017). Making the sustainable development goals consistent with sustainability. *Frontiers in Energy Research* **5** doi: 10.3389/fenrg.2017.00018.
- 30 Wackernagel, M., Lin, D., Evans, M., Hanscom, L., and Raven, P. (2019). Defying the footprint oracle: Implications of country resource trends. *Sustainability* **11**:Pages 2164. doi: 10.3390/su11072164.
- 31 Global Footprint Network. (2020). *Calculating Earth overshoot day 2020: Estimates point to August 22nd*. Lin, D., Wambersie, L., Wackernagel, M., and Hanscom, P. editors. Global Footprint Network, Oakland. <www.overshootday.org/2020-calculation> for data see <<http://data.footprintnetwork.org/>>.
- 32 Williams, B. A., Venter, O., Allan, J. R., Atkinson, S. C., Rehbein, J. A., et al. (2020). Change in terrestrial human footprint drives continued loss of intact ecosystems. *OneEarth (In review)* doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3600547>.
- 33 Watson, J. E. M., and Venter, O. (2019). Mapping the continuum of humanity's footprint on land. *One Earth* **1**:175-180. doi: 10.1016/j.oneear.2019.09.004.
- 34 Foden, W. B., Young, B. E., Akçakaya, H. R., Garcia, R. A., Hoffmann, A. A., et al. (2018). Climate change vulnerability assessment of species. *WIREs Climate Change* **10**:e551. doi: 10.1002/wcc.551.
- 35 Waller, N. L., Gynther, I. C., Freeman, A. B., Lavery, T. H., and Leung, L. K.-P. (2017). The Bramble Cay melomys *Melomys rubicola* (Rodentia: Muridae): A first mammalian extinction caused by human-induced climate change? *Wildlife Research* **44**:9-21. doi: 10.1071/WR16157.
- 36 Fulton, G. R. (2017). The Bramble Cay melomys: The first mammalian extinction due to human-induced climate change. *Pacific Conservation Biology* **23**:1-3. doi: 10.1071/PCV23N1_ED.
- 37 Welbergen, J. A., Klose, S. M., Markus, N., and Eby, P. (2008). Climate change and the effects of temperature extremes on Australian flying-foxes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **275**:419-425. doi: 10.1098/rspb.2007.1385.
- 38 Welbergen, J., Booth, C., and Martin, J. (2014). Killer climate: tens of thousands of flying foxes dead in a day. *The Conversation*. <<http://theconversation.com/killer-climate-tens-of-thousands-of-flying-foxes-dead-in-a-day-23227>>.
- 39 Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- 40 Diaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., et al. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science* **359**:270-272. doi: 10.1126/science.aap8826.
- 42 UN IGME. (2019). *Levels & trends in child mortality: Report 2019, estimates developed by the United Nations Inter-agency Group for Child Mortality Estimation*. United Nations Inter-agency Group for Child Mortality Estimation (UN IGME). United Nations Children's Fund, New York.
- 43 The World Bank Group. (2019). *Poverty headcount ratio at \$1.90 a day (2011 PPP) (% of population)*. Accessed 9th November, 2019. <<https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.DDAY>>.
- 44 United Nations DESA Population Division. (2019). *World population prospects 2019, Online edition. Rev. 1*. Accessed 9th November, 2019. <<https://population.un.org/wpp/>>.
- 45 WHO. (1948). *Preamble to the Constitution of the World Health Organization*. World Health Organisation (WHO), Geneva. <<https://www.who.int/about/who-we-are/constitution>>.
- 46 CBD. (2020). *Sustaining life on Earth: How the Convention on Biological Diversity promotes nature and human well-being*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CDB), Montreal, Canada.
- 47 Atanasov, A. G., Waltenberger, B., Pferschy-Wenzig, E.-M., Linder, T., Wawrosch, C., et al. (2015). Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. *Biotechnology Advances* **33**:1582-1614. doi: 10.1016/j.biotechadv.2015.08.001.
- 48 Motti, R., Bonanomi, G., Emrick, S., and Lanzotti, V. (2019). Traditional herbal remedies used in women's health care in Italy: A review. *Human Ecology* **47**:941-972. doi: 10.1007/s10745-019-00125-4.
- 49 WHO/CBD. (2015). *Connecting global priorities: Biodiversity and human health*. World Health Organisation (WHO) and Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CDB), Geneva. <<https://www.who.int/globalchange/publications/biodiversity-human-health/en/>>.
- 55 FAO. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. Bélanger, J. and Pilling, D. editors. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments, Rome. <<http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>>.
- 56 Boa, E. (2004). Wild edible fungi. A global overview of their use and importance to people. *Non-wood Forest Products* **17**. FAO, Rome, Italy. <<http://www.fao.org/3/a-y5489e.pdf>>.
- 57 FAO. (2010). *The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture*. Rome. <<http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/i1500e.pdf>>.
- 58 van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., et al. (2013). *Edible insects: Future prospects for food and feed security*. FAO Forestry Paper No. 171. FAO, Rome. <<http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf>>.
- 59 FAO. (2015). *The second report on the state of world's animal genetic resources for food and agriculture*. Scherf, B. D. and Pilling, D. editors. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments, Rome. <<http://www.fao.org/3/a-i4787e.pdf>>.
- 60 Chang, S., and Wasser, S. (2017). *The cultivation and environmental impact of mushrooms*. Oxford University Press, New York.
- 61 Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. (2017). Mansfeld's world database of agriculture and horticultural crops. Accessed 25th June, 2018. <<http://mansfeld.ipk-gatersleben.de/apex/f?p=185:3>>.
- 62 FAO. (2018). *The state of world fisheries and aquaculture 2018. Meeting the sustainable development goals*. FAO, Rome. <<http://www.fao.org/3/i9540en/i9540en.pdf>>.
- 63 FAO. (2018). *Fishery and aquaculture statistics. FishstatJ – Global production by Production Source 1950-2016*. FAO Fisheries and Aquaculture Department. <<http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>>.
- 64 FAO. (2019). *The state of the world's aquatic genetic resources for food and agriculture*. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments, Rome. <<http://www.fao.org/3/CA5256EN/CA5256EN.pdf>>.
- 65 FAO. (2019). DAD-IS – Domestic Animal Diversity Information System. Rome. Accessed 11th December, 2019. <<http://www.fao.org/dad-is/en>>.
- 66 FAO. (2019). WIEWS – World Information and Early Warning System on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome. Accessed 11th December, 2019. <<http://www.fao.org/wiews/en/>>.

67 FAO. (2019). FAOSTAT. Rome. Accessed 11th December, 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/>.

68 IUCN. (2019). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3. Accessed 11th December, 2019. <http://www.iucnredlist.org/>.

69 Leclère, D., Obersteiner, M., Barrett, M., Butchart, S. H. M., Chaudhary, A., et al. (2020). Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature*.

70 van Vuuren, D. P., Kok, M., Lucas, P. L., Prins, A. G., Alkemade, R., et al. (2015). Pathways to achieve a set of ambitious global sustainability objectives by 2050: Explorations using the IMAGE integrated assessment model. *Technological Forecasting and Social Change* **98**:303-323. doi: 10.1016/j.techfore.2015.03.005.

71 IPBES. (2016). *Summary for policymakers of the methodological assessment of scenarios and models of biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Ferrier, S., Ninan, K. N., Leadley, P., Alkemade, R., Acosta, L. A., et al. editors. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. doi: 10.5281/zenodo.3235429.

72 Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., et al. (2017). Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change* **42**:331-345. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002.

73 Kim, H., Rosa, I. M. D., Alkemade, R., Leadley, P., Hurtt, G., et al. (2018). A protocol for an intercomparison of biodiversity and ecosystem services models using harmonized land-use and climate scenarios. *Geoscientific Model Development Discussions* **11**:4537-4562. doi: 10.5194/gmd-11-4537-2018.

74 Fricko, O., Havlik, P., Rogelj, J., Klimont, Z., Gusti, M., et al. (2017). The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environmental Change* **42**:251-267. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.06.004.

75 Bardgett, R. D., and van der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature* **515**:505-511. doi: 10.1038/nature13855.

76 Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annual Review of Entomology* **63**:31-45. doi: 10.1146/annurev-ento-020117-043348.

77 van Klink, R., Bowler, D. E., Gongalsky, K. B., Swengel, A. B., Gentile, A., et al. (2020). Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science* **368**:417-420. doi: 10.1126/science.aax9931.

78 Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P. M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., et al. (2006). Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* **313**:351-354. doi: 10.1126/science.1127863.

79 Fox, R., Oliver, T. H., Harrower, C., Parsons, M. S., Thomas, C. D., et al. (2014). Long-term changes to the frequency of occurrence of British moths are consistent with opposing and synergistic effects of climate and land-use changes. *Journal of Applied Ecology* **51**:949-957. doi: 10.1111/1365-2664.12256.

80 Habel, J. C., Trusch, R., Schmitt, T., Ochse, M., and Ulrich, W. (2019). Long-term large-scale decline in relative abundances of butterfly and burnet moth species across south-western Germany. *Scientific Reports* **9**:1-9. doi: 10.1038/s41598-019-51424-1.

81 Powney, G. D., Carvell, C., Edwards, M., Morris, R. K. A., Roy, H. E., et al. (2019). Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nature Communications* **10**:1-6. doi: 10.1038/s41467-019-08974-9.

82 UNEP. (2018). *Inclusive wealth report 2018: Measuring sustainability and well-being*. United Nations Environment Programme.

83 Ramsar Convention on Wetlands. (2018). *Global wetland outlook: State of the world's wetlands and their services to people*. Gardner, R.C., and Finlayson, C. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.

84 Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., et al. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature* **569**:215-221. doi: 10.1038/s41586-019-1111-9.

85 IUCN. (2020). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-2. <https://www.iucnredlist.org>.

86 Butchart, S. H. M., Resit Akçakaya, H., Chanson, J., Baillie, J. E. M., Collen, B., et al. (2007). Improvements to the Red List Index. *PLOS ONE* **2**:e140. doi: 10.1371/journal.pone.0000140.

WWF의 네트워크

가봉	영국
가이아나	오스트리아
과테말라	온드라스
그리스	우간다
나미비아	우크라이나
남아프리카	이탈리아
네덜란드	인도
네팔	인도네시아
노르웨이	일본
뉴질랜드	잠비아
대한민국	조지아
덴마크	중국
독일	중앙아프리카공화국
라오스	짐바브웨
러시아	칠레
루마니아	카메룬
마다가스카르	캄보디아
말레이시아	캐나다
멕시코	캐냐
모로코	콜롬비아
모잠비크	콩고민주공화국
몽골	쿠바
미국	크로아티아
미얀마	탄자니아
베트남	태국
벨기에	터키
벨리즈	투니지
볼리비아	파나마
부탄	파라과이
불가리아	파키스탄
브라질	파푸아뉴기니
솔로몬제도	페루
수리남	포르투갈
스웨덴	폴란드
스위스	프랑스
스페인	프랑스령기아나
슬로바키아	피지
싱가포르	핀란드
아랍에미리트	필리핀
아르메니아	헝가리
아제르바이잔	호주
에콰도르	홍콩

WWF 제휴기관

- Fundación Vida Silvestre (아르헨티나)
- Pasaules Dabas Fonds (라트비아)
- Nigerian Conservation Foundation (나이저리아)

출판 정보

본 저작물은 2020년 9월, 스위스 글랑에 본부를 둔 WWF(World Wild Fund for Nature, 전 World Wildlife Fund)가 출판하였습니다. 본 저작물의 일부 또는 전체를 재출판하는 경우, 하기의 규정을 준수하고 저작물 제목 및 저작권자인 상기 출판자를 명시해야 합니다.

원제:

WWF (2020) Living Planet Report 2020 – Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland.

텍스트 및 그래픽 공자: © 2020 WWF
All rights reserved.

교육용 또는 비영리적 목적으로 본 저작물을 재출판하는 경우(단, 사진 제외), 이를 WWF에 서면으로 사전 고지하고 상기 내용에 따라 그 출처를 반드시 기재해야 합니다. WWF의 사전 서면 허가 없이 본 저작물을 재판매 또는 기타 영리적 목적의 재출판을 금지합니다. 본 저작물의 사진을 재출판하는 경우, 그 용도와 관계없이 WWF 의 사전 서면 허가를 받아야 합니다.

본 보고서에 표기된 지리적 위치 및 보고서에 제시된 자료는 특정 국가나 영토, 지역의 법적 지위 또는 그 관계 당국의 법적 지위에 대한, 또는 그 경계나 국경 확장에 대한 WWF의 견해 표명이 아닙니다.

OUR MISSION IS TO STOP THE DEGRADATION OF THE PLANET'S NATURAL ENVIRONMENT AND TO BUILD A FUTURE IN WHICH HUMANS LIVE IN HARMONY WITH NATURE.



WWF(세계자연기금)는 지구의 자연환경 파괴를 막고
자연과 인간이 조화롭게 공존하는 미래를 위해 일하는
세계 최대 자연보전기관입니다.

together possible.

panda.org

© 2020

© 1986 판다 도형 WWF-World Wide Fund for Nature 세계자연기금 (전 World Wildlife Fund)

® 'WWF'는 WWF의 등록상표입니다.