

기후변화에 따른 생물다양성의 보전¹⁾

박 용 하²⁾

한국환경정책·평가연구원

머리글

21세기 기후변화¹⁾의 심각성은 세계 도처에서 이미 인지되고 있다. 예를 들면, 호주 근처의 섬나라인 투발루는 지구온난화에 따른 해수면 상승으로 국토 손실에 대한 대처가 불가능해짐에 따라 26 km²의 면적과 환초로 구성된 자국의 국토를 포기하기로 결정하였다. 그러나 자국 주민을 이주시킬 곳이 없어 호주 및 뉴질랜드에 이민을 요청하고 있는 실정이다. 북극 빙하의 해빙범위와 두께가 점진적으로 감소하고 있으며, 그 외에도 지구의 여러 지역에서 기후변화가 목격되고 있다. 이러한 현실을 볼 때 전 세계에 기후변화의 심각성이 점차 확산되고 있는 실정이다. 2000년 스위스 다보스에서 열린 세계경제포럼에서도 세계가 직면한 가장 긴박한 문제로 기후변화를 선정하였으며 미국 타임지의 2001년 3월 대국민 여론조사 결과 조사 대상의 75%가 지구온난화를 심각하게 생각하고 있다고 답하였다.

우리나라도 그간의 변화를 종합해 볼 때

기후변화의 안전지대가 아니다. 기상연구소(2005)에 의하면, 우리나라는 1904년 이후 2000년까지 평균기온은 1.5°C 증가하였다. 이러한 기온의 상승원인에는 지구온난화와 도시화 효과가 있으며, 이중에서 지구온난화에 의한 효과는 70~80%로 분석하고 있다. 이는 전 지구적 온난화 추세를 상회하고 있는 것이다.

기후변화에 대한 논의는 크게 세 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 미래의 기후가 얼마나 변화할 것인가?, 둘째, 향후 발생하는 기후변화가 인류에게 미치는 영향이 어떠한 것인가?, 셋째, 기후변화에 대응하기 위한 인류차원의 대응방안에 관한 것이다. 이러한 기후변화의 세계적인 주제를 논의하기 위해서 기후변화에 관한 정부간 패널기구(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)와 UN환경계획(United Nations Environment Programme, UNEP)에 의해 1988년 11월에 설립되었다. 과거 10여년간 약 170여개국에서 3,000명 이상의 과

1)Biodiversity Conservation in Korea Influenced by Changing Global Climate

2)PARK, Yong Ha, Korea Environment Institute

¹1993년에 체결된 기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)에서 기후변화란 “지구온난화에 의하여 기후변화가 발생한 몇 십 년부터 몇 세기동안을 포함하여 기후시스템을 대기권, 수권, 생물권, 그리고 지권의 총체성 그리고 그들의 상호작용”이라고 정의하고 있다.

학자가 참여한 IPCC는 위의 세가지 논의에 대해 수년간의 검토를 거쳐 과학적으로 일치된 견해를 보이는 세권의 보고서를 출판했다. 첫째 실무그룹(Working Group I)에서는 기후변화에 대한 과학적인 이해와 온실가스의 배출 및 흡수 방법론 개발 등 과학적 분석을 수행하였다. 이 그룹의 논의 결과에 의하면, 향후 2100년까지 평균 기온이 1.4~5.8°C 올라갈 것으로 예측하고 있다. 둘째 실무그룹(Working Group II)에서는 기후변화로 인한 긍정적 또는 부정적인 결과 및 취약성을 과학적, 기술적, 환경적, 사회·경제적 측면에서 평가하였다. 셋째 실무그룹(Working Group III)에서는 기후변화에 대응 및 적응하기 위한 온실가스감축에 관한 내용을 다루고 있다. 논의 결과에 의하면, 지구 기후변화의 주요인은 인간 활동으로부터 기인하고 있는 것이다(IPCC, 2001). 이에 대해 범지구적인 차원에서 적극적으로 대응하기 위해 기후온난화 물질인 온실가스를 감축하기 위한 교토의정서가 2005년 2월 16일부터 발효되고 있다.

인류가 기후변화에 적극적으로 대응하더라도 지구의 반응은 서서히 나타난다. 인간이 방출한 주요 온실기체가 대기에서 머무는 시간은 수십 년에서 수백년 정도이고, 지구가 온실기체나 에어로졸 변화 등의 강제력 등에 반응하는데 수십년이 걸리기 때문이다. 이와 같은 시간차가 의미하는 것은 적어도 100년간 기후변화가 인류에게 영향을 미치게 됨을 시사한다. 즉, 기후변화는 장기간에 걸쳐 진행될 것이며, 서둘러 기후변화에 대처할수록 기후변화의 영향을 줄일 수 있을 것이다. 따라서 최근 기후변화영향에 대한 대응방안에 대한 핵심개념은 온실기체 방출의 완화(mitigation)와 기후변화에 대한 적응(adaptation)이다. 완화란 기후변화를 유발하는 원인행위를 감소시켜 기후변화가 진행정

도를 서서히 되게 하는 것이다. 적응이란 기후변화는 필연적으로 발생하기 때문에 이 속에서 인류가 더불어 공존해야 하는 것을 의미한다. 따라서 기후변화가 우리의 생태계에 미치는 영향을 정확하게 평가하고 이에 따른 대응방안 및 적응방안을 수립하는 것은 매우 중요한 일이다.

기후변화가 생물다양성에 미치는 영향

기후변화는 생물 개체에 직접적이고 간접적인 영향을 미칠 것이다. 예를 들면, 기온이 상승하게 되면, 식물의 개엽시기가 당겨지게 되고(신·임, 2003), 식물의 개화시기 또한 빨라지게 된다(이 등, 2003). 우리나라와 같은 온대림 지역에서는 기후변화로 인해 기온이 상승하고 대기 중 이산화탄소 농도가 증가함과 동시에 토양중의 미생물활동이 영향을 받으며, 이는 유기물과 무기물질의 분해속도를 증가시킴으로써 대체로 식물의 성장속도에 영향을 미칠 것이다. 기후변화는 생태계의 양분순환 체계와 생산성에 영향을 미치고, 생태계의 구성요소를 변화시킬 뿐만 아니라 궁극적으로는 생물다양성의 다양하고 종합적인 반응으로 나타나게 될 것이다.

지역별로 관측되는 생물다양성의 변화는 우리나라 주요 생물종의 생육범위에 나타날 것이다. 위도에 따른 수평적 생물의 생육범위 변화뿐만 아니라(윤, 2003), 산악지형이 많은 우리나라의 경우 고도에 따른 수직적 생육범위 또한 변화할 것이다. 산림의 이동 속도보다 기후변화가 급격하게 이루어진다면 이에 적응하지 못한 수종들은 사라지게 될 것이고(정 등, 2003), 기온상승으로 인해 식물의 생육고도가 상승하여 고산식물의 경우 멸종위기에 처할 것으로 보인다(공, 2005). 그리고 기후변화에 따라 생물종별로 특이한

생리적 반응을 나타내므로 수종별 경쟁력이 변화하고 천이의 진행방향도 바뀌게 되어 현 식물군집구조와는 다른 군집구조로 변하게 될 것이다(전 등, 2002).

기상 인자에 의해 직접적으로 영향을 받는 생물종의 1차 변화 뿐 아니라, 1차 변화에 따른 2차적인 생물다양성의 변화도 추정할 수 있다. 항온동물의 경우에는 기상인자에 대하여 직접적으로 영향을 받기 보다는 서식지의 변동과 먹이자원이 되는 다른 식물과 곤충 등의 변화에 크게 지배될 것이다. 농작물 재배지의 경우에는, 재배되는 농작물의 종류가 변화하게 될 것이다. 이와 같이 다양한 부문에서 기후변화에 따른 2차적인 생물다양성의 변화가 나타날 것이다.

또한 새로운 병해충의 발생 변화를 예상할 수 있다. 예를 들면, 기온 상승에 따라 작물의 유해 병원균과 해충의 생육가능기간이 크게 연장되고 겨울이 짧아져 이들의 월동이 용이해지기 때문에 연중 발생세대수가 증가되어 농업의 안정성을 위협할 것이다. 아열대성 수목병원균의 하나인 *Fusarium* 가지마름병은 1996년 우리나라에 최초로 발견된 이후 이미 전국적으로 확산되고 있고, 해충으로는 동남아시아가 원산지인 대벌레류가 경상남북도에서부터 내륙산간지대로 확산되고 있다(신·임, 2003).

기후변화에 따른 생물다양성 보전을 위한 현황 및 문제점

기후변화가 생물다양성에 미치는 영향을 정확하게 파악하는 것은 이에 따른 대응방안 및 적응방안을 수립하는 필수조건이다. 이에 따라, 선진국들은 기후변화가 생물다양성에 미치는 영향을 경험적이고 과학적으로 분석하기 위한 다양한 정량적 모형을 개발하고, 이를 토대로 이행정책을 마련하고 있

다. 이 중에서 생물다양성의 변화를 예측하는 경험적이고 과학적인 모형의 가장 일반적인 형태는 생물·물리적 모형이라 할 수 있다.

생물·물리적 모형이란 강수, 온도, 토양 유형, 식물종 등의 구동변수 변화의 결과로 인한 생태계 속성(생물다양성의 생존과 성장 또는 생태계의 생산성)의 변화를 예측하기 위한 모형이다. 이 생물·물리적 모형의 대표적인 방법으로는 경험적 통계적 모형과 과정기반모형이 있다.

경험적 통계적 모형의 가장 일반적인 형태는 기후변수(강우, 증발산 등)에 따른 특정 종의 존재 또는 부재의 관계를 이용하는 생기후적 모형(Bioclimatic models)과 생태계의 에너지와 물질순환을 중심으로 한 생화학적모형(Biochemical Model)이다.

생기후적 모형중 가장 대표적인 모델로는 Holdridge 모델, BIOME3 모델, BOX 모델이 있다. 이 생기후적 모형은 다양한 기후변화 시나리오 하에서의 미래 평형상태의 생물종 분포를 예측하는 용도로 사용할 수 있다. 생화학적모형은 생태계의 에너지 또는 영양물질의 순환과정을 중심으로 시뮬레이션하는 것으로 생물다양성보다는 이산화탄소 농도 증가시 각 삼림유형별 생물종의 생산량 및 탄소보유량을 산정하는 데 사용된다.

과정기반 모형은 입력과 출력의 기계적인 연산에 의해 예측되는 모형으로, 기계적인 모형이라고도 알려져 있다. 이 모형에는 특정지역에서 삼림수목의 생성, 성장, 소멸과정을 수명, 성장률, 요구환경을 이용하여 시뮬레이션하는 Gap 모형이 있다. 이 모형은 종 구성변화 및 외부적 환경변화에 따른 일시적인 생물량 반응을 예측하는 연구에 매우 유용한 방법이다. 그러나 이 모형을 운영하기 위해서는 많은 기초정보가 필요한 데, 기초연구가 안되어 있는 대부분의 나라에서는 기초정보를 구축하는데 많은 시간과 노

력이 사전에 투입되어야 한다는 단점이 있다.

생물다양성의 변화를 예측하는 모형으로 생물·물리학적(biophysical) 과정과 사회·경제적 과정을 통합한 통합모형(Integrated Models)이 있다. 이러한 모형으로는 네덜란드 보건환경연구소(Research for Man and Environment: RIVM)에서 개발한 IMAGE2.0과 일본의 AIM(Asian-Pacific Integrated Model)이 있다. AIM 모형은 기후변화에 따라 변화하는 생물의 성장·동향 등을 모형화한 것으로 기후 변화가 식생, 삼림생태계, 겨울밀의 생산성 변화 등에 영향을 미치고 있다는 것을 예측한 바 있다(AIM Project Team, 1996). 이들 모형은 기후변화에 따른 생물·물리적인 영향과 이로 인한 사회·경제적 현상을 함께 예측하는 것으로 가장 이상적인 모형이다. 그러나 그 구조가 매우 복잡하여, 다양한 자료를 수집하고 적용하는 것이 다른 모형보다 어렵고, 예측 결과에 대한 정확성 문제가 제기된다.

우리나라에서는 지난 수년간 기후변화가 생물다양성에 미치는 영향에 대한 연구가 추진되어 왔다. 김(1995)은 삼림생태계에서는 분포범위가 넓은 수종들은 기후변화에 대하여 큰 피해를 받지 않고 생존할 수 있을 것이나 희귀수종이나 분포가 제한된 수종들은 소멸될 우려가 클 것으로 예상되고 있다. 박 등(1995)은 기후변화 시나리오에 따라 우리나라 주요 수종의 생육가능 분포위치가 어떻게 달라질 것인가를 지역적 규모에서 분석하였고, 보다 적은 입분단위에서 산림의 생산성과 종 구성이 변동하게 될 것으로 예측하고 있다. 진 등(2002)은 AIM 모형/CSIRO

A2시나리오²를 이용하여 향후 우리나라의 온대림과 아한대림이 감소하고 아열대림이 증가하는 현상을 보여주고 있다. 윤(2003)은 IPCC에서 제공하는 기후변화모형인 CSIRO의 네가지 시나리오를 적용하여 2100년의 소나무 분포의 가능지 및 출현확률을 추정한 바 있다. 농업부문에서는 기후변화에 따른 작물의 적응성에 관한 연구가 추진되었다. 그 예로는 작물생산환경 변화 및 기상재해 대비 연구, 농업기후지대별 벼 재배양식에 따른 안전한 작기 설정과 지형에 따른 농업국지 기후 평가 연구 등이 있다(윤·이, 2001; 서, 2003; 심 등, 2004).

그간 우리나라에서 기후변화에 따른 생물다양성 변화에 관한 연구는 많지 않으며, 이 분야 연구개발에 대한 뚜렷한 목표, 체계적·종합적인 계획 또한 마련되어 있지 않다. 또한 이에 대한 국가의 정책적인 대응방안도 마련되어 있지 않은 실정이다. 이를 종합해보면, 국가적인 차원에서 기후변화가 생물다양성에 미치는 영향예측과 영향평가의 기술개발은 매우 초보적인 단계라 할 수 있다. 기후변화 문제와 관련해서 지금까지는 기후변화에 영향을 미치는 물질을 줄이는 방향에서 접근하는 것이 대세였다. 그러나 현실점에서 지구의 기후변화에 영향을 주는 원인들을 제거하더라도, 당분간 지구의 기후변화는 막을 수 없다. 그러므로 지구의 기후변화에 따른 생물다양성의 변화 역시 막을 수 없는 것이다. 그럼에도 불구하고, 기후변화에 따른 생물다양성의 변화에 대한 연구가 미흡하며, 이 분야 연구의 목표, 체계적·종합적인 계획이 없는 것은 주요 문제라 할

²CSIRO 모형은 Australia's Common Wealth and Industrial Organization에 의해 연구된 미래기후 예측 모형이다. 이 모형은 기후변화에 대한 다양한 시나리오를 제공하며, 2000년 IPCC에 의하여 공인된 모형으로 4개의 시나리오를 갖고 있다. A2시나리오란 지역적 차원의 경제성장과 높은 인구성장을 가정한 것으로, 세계 각 지역문화의 다양성과 사회구조 및 정치구조를 고려하여 세계의 정치, 경제 및 정치가 블록화 되어 간다는 것을 가정하여 만들어진 것이다. 이 시나리오에 의하면 2100년에 전세계 인구가 150억인에 달한다.

수 있다.

기후변화에 따른 생물다양성 보전 방향

기후변화가 생물다양성에 미치는 주요 영향은 다음과 같이 구분할 수 있다. 첫째, 생물종 구성과 생물종 서식지 규모의 변화이다. 특히 기후변화에 의해 위협받고 있는 생물종이나 생태계에 대한 위협정도는 다르게 나타난다(전 등, 2002). 둘째, 생물다양성을 구성하고 있는 생물자원에 의한 단위면적 당 생산량 변화이다. 셋째, 생태계 기능의 변화이다. 넷째, 적합하지 않은 기후와 장애요인 또는 병충해의 변화, 공생의 파괴에 기인한 생물다양성(생태계)의 변화이다. 다섯째, 농업, 임업 등에서 생물다양성을 이용하는 방법의 변화이다. 표 1은 기후변화가 생물다양성에 미치는 영향을 예측하고, 대응하기 위한 요소기술 등을 담고 있다.

이와 같은 관점에서 기후변화에 따른 생물다양성 보전을 위해 다음과 같은 제언을 고려할 수 있다.

첫째, 기후변화에 따라 위협받고 있는 종이나 생태계에 대한 위협을 평가해야 한다. 기후변화가 영향을 미칠 것으로 예측되는 주

요 생물종의 생육가능범위를 평가하여, 위협 지역과 새로운 기회지역을 분석하는 것이다. 이와 같이 특정 주요한 생물종이나 생태계 전반에 대한 위협을 평가하고, 현장 실사 조사 자료를 이용한 검증이 지속적으로 이루어져야 한다.

이를 위해서는 기후변화에 따른 생물다양성의 영향을 평가할 수 있는 모형이 개발되어야 한다. 한반도 지역차원에서 기후변화에 따른 생물다양성의 부분별 변화를 예측하는 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 특히, 그간 독립적으로 추진되어 온 각 부분별 연구를 연계시킬 수 있는 통합적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

둘째, 삼림 등 자연생태계의 단편화를 줄이고 우수한 삼림을 확대해야 한다. 단편화되어 있는 생태계를 연결할 수 있는 완충지대 등의 네트워크 설치가 필요하며, 기후변화 영향물질을 흡수하는 저감원 중의 하나인 삼림의 질을 높이고 우수한 삼림을 확대할 수 있도록 노력해야 한다.

셋째, 생태계 변화의 장기적인 모니터링이 필요하다. 기후변화에 따른 산불 및 홍수 등 물리적 변화 및 병충해에 대한 생리·생태적인 연구를 통해, 이들 요인에 의한 생물다양성의 훼손 방제에 노력을 기울여야 한다.

표 1. 기후변화 추세, 예측, 대응, 그리고 요소기술

추세	예측	대응	요소기술
• 기후변화에 의한 생물종(생태계) 분포의 변화 및 토지이용변화 분석	• 기후변화에 따른 생물종(생태계) 서식 면적 및 분포 변화의 예측	• 생물다양성에 의한 효율적 생산과 이용에 대한 정책적 대응 • 생물다양성 구성요소 관리 • 생물다양성의 보호 • 생물종(생태계)서식지의 복원 및 조성	• 원격탐사기법 응용 유추법 • 지리정보시스템을 이용한 분석 • 과정기반모형
• 기후변화에 따른 생물다양성 구조의 변화분석	• 기후변화에 따른 생물다양성 구조 변화의 예측		• 성장실험 • Forest-gap 모형
• 기후변화에 따른 생물다양성에 의한 생산량 변화 분석	• 기후변화에 따른 생물다양성에 의한 생산량 변화 및 자원경제학적 변화의 예측		• 경제모형 • Demographic모형 • 통합모형 • 통계분석모형
• 기후변화에 따른 생물다양성 기능의 변화분석	• 기후변화로 인한 생물종(생태계) 기능의 변화 예측		• Forest-Gap 모형

넷째, 멸종위기종이나 희귀종 이외의 다양한 생물에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 현재 우리나라에서 확인되지 않고 있는 6~7만종 정도의 미기록 생물에 대한 연구와 이들 생물에 대한 자료가 축적되어야 한다.

다섯째, 기후변화가 생물다양성에 미치는 영향에 대한 지속적인 교육과 홍보가 필요하다. 일반국민이 쉽게 알 수 있도록 일반인들에게 친숙한 일반적인 생물에 기후변화가 미치는 영향에 대한 연구 결과를 지속적으로 홍보하고, 이를 통해 국민의 생활패턴변화를 유도해야 한다.

여섯째, 한반도 및 동북아지역 차원의 생태계네트워크 구축 등 종합적 보전체계를 수립하도록 하고, 멸종위기종의 보호대책을 강구해야 한다. 특히 고산 지대에 격리되어 분포하는 고산식물의 경우 많은 종들이 피난처를 찾지 못하고 멸종할 위기에 처해 있으므로 기후변화가 이들 생물종에 미치는 영향 파악이 시급하다.

일곱째, 남북한 및 국제협력이다. 한반도의 생태계는 백두대간을 축으로 하여 하나로 이어져 있다. 생태계의 보전을 위해서는 남북한이 교류·협력을 통해 그간 훼손된 남북의 생태공간을 복원하고, 유기적으로 연결시켜야 한다. 또한 기후변화에 따른 생물다양성의 영향 및 보전이 주요 의제로 논의되고 있는 생물다양성협약, 기후변화협약 등 국제회의에 적극 참여하여 자연환경보전을 위한 기술·정보 교류를 증대해야 한다.

참고문헌

공우석. 2005. 지구온난화에 취약한 지표식물 선정. 한국기상학회지 41: 263-273.
기상연구소. 2005. 한반도 기후 100년 변화와 미래전망.

김태훈. 1995. 기후변화가 산림생태계에 미치는 영향 및 대응방안. 「기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지움」. 한국과학기술원 p.37.
박원훈 외. 1995. 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구환경관련 대책연구(II). 한국과학기술원 연구보고서 p.153.
서형호. 2003. 기후변화가 원예작물의 성장과 품질에 미치는 영향(과수를 중심으로). 한국농림기상학회 03년 춘계학술발표논문집. pp. 131-137.
신준환·임종환. 2003. 기후변화가 한반도 산림생태계에 미치는 영향과 대응방안. 2003년 기후변화 포럼 및 학술대회 pp. 82-100.
심교문·이정택·이양수·김건엽. 2003. 20세기 한국의 농업기상재해 특징. 한국농림기상학회지 50: 255-260.
윤성호·이정택. 2001. 기후변화에 따른 벼 적정 등숙기간의 변동과 대책. 한국농림기상학회지 3: 55-70.
윤정호. 2003. 소나무림 공간분포의 특성 및 변화예측(지형, 기상, 토양인자의 영향을 중심으로). 고려대학교 박사학위논문. p.144.
이승범·신경섭·조영순·손승희. 2003. 식물계절에 나타난 한반도 기후변화 영향. 한국기상학회보 13: 468-471.
전성우·박용하·정휘철·이동근·Y. Matsuoka·H. Harasawa·K. Takahashi. 2002. 기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 III (삼림부문을 중심으로). 한국환경정책·평가연구원 연구보고서 RE-08.
정휘철·전성우·이동근. 2003. 지구온난화로 인한 한반도 삼림의 영향 평가. 한국환경복원녹화기술학회지 5: 1-10.
AIM Project Team. 1996. Technical Structure of AIM/Impact model, AIM Interim Paper. IP-95-06 National Institute for Environmental Studies.
IPCC. 2001. Third Assessment Report-Climatic Change 2001.