



기후변화와 생물종다양성

제주생물종다양성연구소장 • 이 욱 재

I. 서 론

지구상에 처음으로 생명체가 출현한 이후 오랜 시간동안 많은 생물들이 진화라고 하는 생물학적 과정을 통해서 지구상에 출현하였고 또한 멸종되어갔다. 이렇게 탄생되고 소멸되어 가는 모든 생물들을 일컬어 생물종다양성이라 하고 또한 생물들을 구분하는 단위로서 종(species)을 포함한 지구생태계의 생물요소들을 종다양성(species diversity)이라고 하기도 한다. 또한 최근에는 생물자원(bio-resources)라고 하는 의미로도 활용되고 있어서, 생물종다양성은 대단히 다양한 의미로 활용되고 있다. 학자들은 어림잡아 현재 우리들과 더불어 지구에 살고 있는 생물종들이 3천만~5천만 종에 이르고, 이중 143만여 종들만이 우리들에게 알려지고 있는 것으로 추산하고 있다. 지금도 지구상에는 열대우림에서 한대지역에 이르기까지 아주 다양한 환경 속에서 우리 인간들에게 알려지지 않은 채 지구상에 출현했다가 멸종되어 가는 생물들이 셀 수 없을 만큼 많다. 이들 생물들은 어느 하나 소중하지 않은 것이 없다. 모두가 우리와 더불어 지구생태계를 구성하고 있으며 또한 그 구성원으로써 맡은 역할들을 다하고 있는 것이다. 또한 생물들은 생태계의 구성원으로써 뿐만 아니라 우리들의 삶을 풍요롭게 해주는 소

중한 자원으로써도 충분한 가치를 가지고 있다. 이를테면 우리의 모든 식량자원 그리고 천연물 신약을 비롯한 바이오신소재의 자원들이 모두 이들 생물들로부터 얻어지는 것이다. 하지만 최근 들어 많은 이러한 소중한 생물자원들이 급속히 지구상에서 멸종되어가고 있다고 하니 걱정이다.

이렇게 생물자원이 급속하게 지구상에서 사라져가는 원인 중의 가장 중요한 것은 인구증가라고 할 수 있을 것이다. 인구증가에 따른 경작지의 확대는 생물들의 생육환경을 파괴하고 더불어 작물의 생산성증대를 위해 사용하는 다양한 살충제 및 제초제 그리고 비료사용은 많은 생물들의 생존을 위태롭게 만든다. 또한 인구증가에 따른 화석연료사용의 급증은 대기의 온실효과에 의한 지구온난화를 초래하고 급격한 지구기후변화를 일으키는 것으로 이해하고 있다. 특히 기후 변화에 의한 생물들의 생육환경변화는 가장 중요한 생물들의 종다양성 감소의 원인이 될 수 있을 것이다.

기후변화국제심의회에서는 향후 1세기에 걸쳐 세계 평균 온도가 최소 1.8℃에서 4℃까지 상승할 것이라는 전망을 발표한바 있다. 최근 1960년 이후 45년간은 0.60℃나 상승하였다. 이러한 기후변화는 해양 및 육상의 물리적 환경변화를 초래하고 있다. 특히 지구의 평균 온도

가 상승함에 따라 해수면과 수온 또한 비례적으로 상승하고 있다. 현존하는 생물들에게는 이러한 지구환경의 변화는 생존의 위협요소가 되고 있다.

II. 종다양성의 변화

1. 육생태계에서 종다양성의 변화

지구 기후변화의 가장 중요한 요인을 제공하고 또한 그 영향을 가장 직접적으로 받고 있는 것 중의 하나가 우리가 살아가고 있는 육상생태계이다. 육상생태계는 위도에 따라서 열대우림에서 아한대에 이르기 까지 매우 다양한 생물자원 요소와 물리 환경적 요인들로 구성되어있다. 특히 산업혁명이후 급속한 도시화와 인구 과밀화가 이루어지고 있는 도시들을 비롯하여, 농업생산성을 높이기 위해 집약적으로 경작되고 있는 농경지 들은 가장 육상생태계의 생물종 다양성 안정성을 가장 크게 위협하는 요소 중의 하나이다.

지난 수년 동안 대기의 온도상승은 지구 전체에 광범위하게 나타나고, 특히 북반구 고위도로 갈수록 더 크게 나타나며, 이러한 현상은 육지가 해양보다 빠르게 온난화된 것으로 알려지고 있다. 1978년 이후 관측된 자료에 따르면 연평균 북극의 해빙 범위가 10년에 2.7%씩 감소하고, 여름에는 7.4%씩 더 크게 감소한 것으로 나타났다. 산악의 평균 빙하 및 적설면적은 북반구와 남반구에서 평균적으로 감소하고 있으며, 이러한 변화는 빙하호의 수와 크기를 증가시키고 산악지역 및 기타 영구 동토지역에서 생태계의 변화를 초래하고 있다. 사계절의 변화에서도 봄이 일찍 시작되고 겨울 기간도 짧아지는 변화가 있으며, 동식물 생육범위가 극지방과 고위도로 이동하는 것도 최근의 기후온난화와 관련된 것으로 이해할 수 있을 것이다.

급격한 기후환경의 변화는 육상생태계의 구조와 기능을 변화시키고 있다. 육상 산림생태계에서는 빈번하게 발생하는 산불과 솔잎혹파리와 같은 병충해 등에 의해 많은 생물자원들의 종 구성이 바뀌고 있으며 또한 그들의 생산성의 변화도 이루어지고 있다. 더불어 일부 지역의 전염병 매개체 변화, 북반구 중고위도 지역에 식물들의 화분을 매개하는 곤충들의 급격한 종 감소와 개체군 감소는 식물자원생산력의 감소로 이어져 향후 식량자원 확보에 문제가 될 수 있다. 최근 영국에서는 꿀벌의 개체수의 급격한 감소로 인하여 주변 식물들의 과실 결실률이 크게 낮아졌다는 보고도 있다. 생물종다양성의 변화는 기후변화에 따른 온난화에 민감한 다양한 생태계 즉 툰드라, 아한대 산림 및 산악지대를 비롯하여, 지중해성 생태계, 열대우림 등 어느 생태계도 지구온난화로부터 자유로운 생태계는 없다.

기후변화는 육상생물종의 멸종과 종구성의 변화뿐 만아니라 생물들의 지리적 분포의 변화를 유발하기도 한다. 세계 많은 생물학자들은 만약 지구 평균 기온상승이 1.5~2.5℃ 이상 이루어진다면, 지금까지 평가된 육상 생물 종의 대략 20~30%, 약 3.5℃를 초과할 때는 지구 전체에서 이들 종들 중의 40~70%가 멸종할 것으로 예견하고 하고 있다. 특히 이동성이 있는 생물들은 식물들에 비하여 훨씬 빠른 속도로 그들의 분포를 변화시키게 될 것이라는 것이다. 즉 기후변화는 생물들의 생리적 특성, 생물계절상 그리고 생물종간 상호작용 등에 변화를 유발하고 더불어 이들 생물종들의 지리적 분포의 변화를 유발할 수 있다는 것이다. 또한 스웨덴에서 기후대의 변화는 자연림에서 주요 종의 분포와 군집 조성을 변화시킬 것으로 예측하고 있는데 식생의 변화는 절지동물의 분포와 종군의 구성에 변화를 가져올 수 있고, 우점종과 먹

이사슬의 구성변화를 유도할 수 있다는 것이다. 한편 네덜란드에서 최근 20여년 사이에 64종의 관속식물이 멸종했고 84종이 처음으로 출현하였다는 보고는 장기적으로 육상생태계의 종조성이 아주 빠른 속도로 급격하게 변할 것이라는 것을 예견하는 것이다. 유럽 영국에서는 몇몇 나비 종들의 분포범위가 변한 것이 관찰되었고 이것은 온도변화가 원인이라고 학자들은 설명하고 있다.

우리는 이와 같이 육상생태계의 기후변화에 따른 다양한 형태의 생태계 기능에 영향을 줄 수도 있다. 생태계를 구성하고 있는 다양한 생물들은 생산자, 소비자, 그리고 분해자 등으로 그들의 기능이 잘 분화되어 있다. 따라서 생태계에서 비슷한 기능적 특성을 갖는 종의 멸종은 생태계의 회복력과 기후변화에 대처하는 선택의 폭을 감소시킬 수 있어서 심각한 생태계 교란을 초래할 수 있다.

2. 해양생태계에서 종다양성의 변화

한편 지구표면적의 70% 이상을 차지하는 해양생태계는 그 면적 못지않게 다양한 생물종다양성을 유지하고 있다. 해양의 기후변화는 육상생태계만큼이나 급속하고 그리고 광범위하게 이루어지고 있다. 그중 주요원인 중의 하나로 기후변화국제심의회에서는 해수면 상승을 들고 있으며 그 원인으로 그린란드와 남극의 대륙빙하로 요약하고 있다. 해수면 상승은 1993년에서 2003년 동안에는 3.1mm의 빠른 속도로 증가하고 있다고 하였다. 해수면의 증가와 수온 상승 등과 같은 해양환경의 변화는 해양 생물자원에 많은 변화를 가져오고 있다. 특히 그 영향은 수온의 변화, 해수의 순환, 해양생물 서식환경 변화 및 이에 따른 생지화학적 순환 및 먹이사슬의 변화 등으로 이어진다. 그동안 유럽에

서는 기후변화가 해양생태계에 미치는 영향을 다각적 측면에서 연구해 왔는데, 이러한 영향은 크게 아래와 같이 몇 가지로 정리할 수 있을 것이다.

먼저 해양생물들의 서식지 이동이다. 이것은 해양환경 변화의 중요한 산물이라고 할 수 있으며 1980년 이후부터 가속화된 수온상승 현상은 남부의 온대지역에 서식하던 해양생물이 수온상승 효과로 과거보다 따뜻해진 북쪽(북극지방)으로의 이동하거나 또는 생육지역이 급속하게 확대되고 있는 한 현상이다. 이러한 해양기후변화가 해양생물중에 미치는 영향은 종에 따라 다양하게 나타나므로 계절에 따른 생물 간의 상호작용 즉 해양생태계를 구성하고 있는 생물들 간의 생태역할의 불일치 등을 야기할 것으로 많은 해양 생물학자들은 예견하고 있다. 즉 포식자와 피식자의 관계, 경쟁, 상호공생 등 다양한 생물 종간의 상호작용에서의 불협화음으로 인한 생태계 교란현상을 유발할 수 있다는 것이다.

해수 수온의 빠른 변화는 외래유입종의 유입과 정착과정을 가속화 시키고 있다. 최근 들어 기후 변화에 따른 해수온도의 상승과 더불어 아열대 지역으로 부티의 새로운 외래종들이 온대지역에 유입되고 기존의 해조류들의 개체군들이 급격하게 변화하고 있는 것은 세계 곳곳에서 관찰되고 있으며 많은 보고서가 제출되고 있다. 특히 고착생활을 하는 해양식물들에서 많이 보고되고 있는데 지중해연안에서는 약 85종, 그리고 프랑스 해안에서는 그 지역 해조류 23%인 45종이 생육하고 있는 것으로 알려지고 있다. 또한 미국의 캘리포니아해안은 한대성 해류와 난대성 해류가 서로 만나는 곳으로 독특한 해양환경을 가지고 있어서 이곳에서 생육하는 생물종다양성 역시 세계적으로 유명한 곳이다. 하지만 이곳에서도 최근 많은 유입 종들이 개체군을 형성하면서 해양생태계의 구조적 특

성을 변형시켜왔다. 이를테면 녹조류의 일종인 *Caulerpa taxifolia*는 아열대 지역으로부터 캘리포니아로 유입되어 캘리포니아 해안의 수백 에이커를 완전히 장악하게 되었으며, 1차 소비자인 초식성 동물들의 성장을 억제하고 군집으로부터 완전히 제거하는 결과를 낳았다. 이로 인해 캘리포니아 해안의 많은 부분이 이 녹조류가 우점하게 되어 해양생태계의 종다양성이 급격하게 감소하여 생태계의 안정성이 크게 감소하게 되었다.

또한 최근 우리나라 해안에서 일어나고 있는 갯녹음(산호조류의 급속한 증가)은 대기 중의 이산화탄소 증가와 수온상승에 의한 해양환경의 변화에 기인하는 것으로 많은 학자들은 이해하고 있다. 이런 갯녹음 현상 오래 전부터 예견되어왔던 현상이지만 정확한 해양생태 환경 특히 생물개체군들에 모니터링과정에 대한 이해가 없었던 것이다. 산호조류의 대량번식과정은 유절 산호조류의 증가 그리고 무절산호조류의 증가 등으로 이어지면서 고착 해조류의 급격한 종다양성 감소를 초래하였다.

갯녹음 현상은 우리나라 주변뿐만 아니라 세계 곳곳에서 일어나고 있는데 호주에서도 30여 년간 지속적인 수온상승을 유발하였고 호주 연안의 산호의 백화현상(bleaching)을 가속화시키고 있으며, 특히 호주 북서부의 산호초에 심각한 영향을 미치고 있는 것으로 알려지고 있으며 이로 인한 산호의 대량폐사가 예측되고 이로 인한 해양생태계의 심각한 교란을 야기 할 것으로 예견하고 있다.

제주해안에서 최근 6-8월경에 짧은 시간 동안에 급속한 속도로 성장하고 살아져가는 홍조류인 비단망사류(*Marthensia* spp.)는 갯녹음 현상 못지않게 우리해안의 많은 해양식물자원을 종다양성을 감소시킬 수 있는 해조류라고 할 수 있다.

이러한 해양기후의 변화는 해양 생물종다양성의 변화 이외에도 생태계의 구조적, 기능적 변화 역시 육상생태계와 유사한 변화과정을 예견할 수 있다. 즉 해양생태계에서의 식물플랑크톤, 해조류 및 광합성 박테리아 등에 의한 광합성 활동을 통해 이루어지는 기초생산력 변화이다. 기후변화로 인한 연안의 해수 수온 상승은 연안의 기초생산력을 2050년까지 1-8%정도 증가시킬 것으로 예측하고 있으며 이로 인한 생태계의 전반적의 구조적 변화가 예견되고 해양생태계의 1차 생산자에서 분해자에 이르기까지 일련의 먹이사슬의 구조변화에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

해양생태계의 먹이사슬구조 변화는 세계 곳곳에서 일어나고 있다. 한편 영국 연안에 서식하고 있는 바닷새인 일종인 흑다리갈매기는 최근 들어 부화성공률이 감소하여 그 수가 줄어들고 있는 것으로 알려지고 있다. 이렇게 부화율이 감소하게 된 이유는 이 바닷새의 먹이류가 기존의 영양가가 높은 냉수성 어류에서 영양가가 낮은 난대성 어류로 바뀐 것에 기인한 것으로 추측되며 이러한 저조한 부화율은 다른 바닷새 집단에게도 영향을 미칠 것으로 예측되고 있다. 장기적인 기후변화는 바닷새의 분포 범위에 영향을 미칠 것으로 예측되는데 이는 냉수성 어류가 보다 북쪽으로 이동함에 따라 이를 먹이로 삼는 바닷새들이 현재의 분포지역에서 먹이를 따라 보다 북쪽으로 이동할 것으로 예측되고 있다.

3. 생물종다양성 보존의 중요성

세계적으로 인구밀도가 높고 고도성장 경제 정책을 지속하고 있는 세계경제 질서를 고려한다면 인간 활동에 의한 생태계 훼손과 생물서식지 파괴는 불가피하다. 또한 이로 인한 생물종

다양성의 감소와 생태계의 교란으로 인한 우리 생활경제에 미치는 영향은 열거하기란 쉽지 않을 것이다. 특히 이런 생태계변화는 기후변화와 더불어 가속되고 있는 지구생태계의 변화를 적절하게 조정하거나 필요한 경우에는 적극적으로 훼손된 생태계를 복구하고 변화된 생물종 다양성을 보존하고자 하는 노력들이 지속적이고 계획적으로 시도되어야 한다. 특히, 이러한 생물종다양성은 생태계의 주요 구성원이자 우리 산업의 가장 원초적인 자원이기 때문이다.

기후변화가 육상 산림생태계를 구성하고 있는 가장 중요한 생물자원 중의 하나는 산림자원 일 것이다. 기후 변화로 기온이 상승하고 이산화탄소의 농도가 증가되면서 동시에 질소무기화속도가 빨라짐에 따라서 식물의 생장에 따른 산림생산성 증가할 것이라는 예측은 가능하지만, 생태계의 구조적 변화로 인한 천적의 소실에 따라 새롭게 유입되는 병해충 등은 우리의 소중한 자원을 복구 불능의 상태로 만들 수 있다. 즉, 동남아시아가 원산인 대벌래류는 1983년도에 삼척에서 처음으로 발생하여 경상남북도, 충청북도 등지로 확산추세에 있으며, 솔수염하늘소가 매개충인 소나무재선충병도 남부지역에서 발생하여 계속 북상하고 있어서 많은 인력과 경제적 손실을 낳고 있다.

또한 주요 해양생물자원도 해양생태계의 구성원으로써의 무한한 경제적 가치를 제공하는 수산업의 자원이다. 하지만 기후변화 인한 생태계의 지리적 이동 및 내부 개체군의 변화는 새로운 어족 자원의 분포도가 형성되면서 어장의 변화가 일어날 것이며 이러한 요소들은 세계 해양 산업에 큰 혼란을 가져 올 것으로 많은 학자들이 예상하고 있다. 이러한 단편적인 한 예로서 북미 지역의 미국과 캐나다 남방 해역에서 난류성 어종인 가자미, 넙치의 생산량이 감소할 것으로 예상되어지며 대구의 주요 산란 지

역인 북해 남부 해역에서 대구가 사라질 위험에 있다고 보고되어졌다. 일본의 경우 쾅치, 정어리, 고등어 등의 어장이 북상하고 북어의 양식 가능 해역이 축소되었으며 몇 년 전부터 대형 해파리에 의한 피해가 보다 확대되는 추세를 나타내고 있다고 보고하고 있다. 이러한 산업적 피해 현상은 비록 어류뿐만 아니라 우리나라에서는 주요 수산자원인 해조류 양식 산업에서도 나타나고 있다. 즉, 서남해안에서 대량으로 양식되고 있는 김은 해수 온도의 상승에 따라 수확기 단축 등으로 수확량이 급감하고 있다.

Ⅲ. 생물종다양성 보존의 전략

생물종다양성 즉 생물자원을 위협하는 요소는 매우 복잡하고 다양한 요소들로 구성되어있다. 사적인 이윤 추구하고 대중적 이익이 상충하는 정책개발 그리고 관리 방안 등이 그러한 예라고 할 수 있다. 이제는 생물종다양성 즉 생물자원의 보존과 관리는 국제적, 국가적 차원에서 이루어져야한다.

먼저 생물자원을 보존하고 관리하기 위한 생육지의 복합적 활용을 위한 정책적 변환이 필요하다. 더불어 생물자원을 발굴하고 그리고 이들 생물자원의 생육지(habitats)를 확보하고 보존하는 일은 무엇보다도 선행되어야 할 일이다. 즉, 급속한 기후 환경의 변화로 인해 멸종되어 질 수 있는 소중한 생물자원을 확보하고 관리 방안을 찾아야 한다. 이러한 생물종다양성 보존을 위해 현재 세계적으로 수행하고 있는 소극적 방안은 다음과 같은 두 가지 유형으로 구분할 수 있을 것이다.

첫째로 생물종다양성 보전지역을 확보하는 일이다. 즉 국립공원등과 같이 일정 보전지역 지정하여 다양한 생태적 환경에 적응하여 분화되어진 생물자원들을 자연상태로 복합적이고

체계적인 보전관리를 수행하는 일이다. 세계생물자원보전협회에 따르면 현재 4,545개지소로 지구 육지면적의 약 3.7%인 484,630천 ha가 육생생물자원의 보존지역으로 관리되고 있다. 여기에는 유전자원의 보전관리, 수권보전, 그리고 생물자원 재활용과 교육 등의 생물종다양성 보전을 위한 사회적 공감대 형성을 위한 다양한 프로그램 운영을 통하여 보다 효율적이고 합리적인 생물종다양성 보전을 수행할 수 있다.

둘째로 생물종의 서식지외 보존이다. 즉 식물원, 동물원, 그리고 종자은행 등과 같이 특정 생물자원의 인위적 서식지를 만들어 보존하는 것이다. 장기간의 생물자원을 보존할 수 있고, 또한 이들 생물자원의 생물학적 정보를 확보하기 위한 다양한 실험들을 수행할 수 있다는 측

면에서 매우 중요한 보존 방식이라고 할 수 있다. 세계적으로 약 3,000여종 이상의 척추동물들이 동물원에서 이렇게 보존되고 있는 것으로 알려지고 있으며, 1,300개 이상의 식물원과 수목원에서 많은 식물자원을 보존하고 있다. 또한 현존하고 있는 지구상 식물의 약 15%인 37,500여종의 식물들이 종자은행에 보존되고 있다. 이렇게 멸종위기에 처해 있거나 경제적으로 중요한 가치를 지닌 생물자원(생물종다양성)을 보존하고 관리할 수 있을 것이다.

하지만 이러한 소극적 생물종다양성 보존 전략에는 한계가 있을 수 있다. 따라서 국가 또는 사회구성원간의 생물종다양성의 중요성을 바르게 인식하고 이들을 안전하고 합리적으로 관리 및 활용할 수 있는 사회적 규범을 만들고 실천해야 할 것이다.



참·고·문·헌

- Feldmann J, 1937, Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. Rev. Alg 10: 1-340.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001, Summary for Policymakers. A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change (ed. Albritton D.L et al.).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2002, Climate Change and Biodiversity. IPCC Technical Paper V (ed. Gitay, H., Suarez, H., Watson, R.T. and Dokken, D.J.).
- McNeely J.A., Miller K.R., Reid W.V., Mittermeier R.A. and T.B. Werner, 1990, Conserving the world's biological diversity. IUCN, Gland, Switzerland; WRI, CI, WWF-US, and the World Bank, Washington, D.C.
- Miller, K.A, 2004, California's non-native seaweeds. *Fremontia* 32: 10-15.
- Ribera-Siguan, A, 2002, Review of non native marine plants in the Mediterranean Sea, In: E. Leppakoski, S. Gollasch and S. Olenin, Eds. *Invasive Aquatic Species of Europe, Distribution, Impact and Management*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, NDL(2002). pp 291-310
- UK DFRA, 2001, "Climate Change: United Kingdom's Third national Communication. Summary of Climate Change Impacts and Responses".
- Verlaque M, 2001, Checklist of the macroalgae of Thau Lagoon (Herault, France), a hot spot of marine species introduction in Europe. *Oceanologica Acta* 24: 29-49.
- Wetzel R.G. and D.F. Westlake, 1974, Periphyton. pp. 42-50 in R.A. Vollenweider. (ed.) *A Manual on methods for Measuring primary production in aquatic environments*. 2nd ed. IBP Handbook, No. 12. 225 pp.
- 이인규, 이용필, 정호성, 1986b, 추자군도의 하계 해조상. *자연실태종합조사보고*, 5: 287-308.
- 이용필, 2004, 제주도해조류의 정성적 특성. *기초과학연구, 제주대학교 기초과학연구소*, 17: 139-152.
- 전성우, 박용하, 정휘철, 이동근, Y. Matsuoka, H. Harasawa, K. Takahashi, 2002, 기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구 III-삼림부분을 중심으로. *한국환경정책평가연구원 연구보고서 RE-08*.